中国铜矿床

（上册）

黄崇轲 白 冶 朱裕生 王惠章 尚修志 编著



地质出版社

ZHONGGUO TONGKUANGCHUANG

中国铜矿床

（上册）

黄崇轲　白　冶　朱裕生　王惠章　尚修治

编　著

地质出版社

·北　京·

内 容 提 要

《中国铜矿床》选择编撰了我国146个大中型铜矿床中的110个主要矿床。全书共分四篇，第一篇将50年来我国铜矿床地质勘查开发工作历史作了简要回顾和概括；第二篇是本书的主体部分，按类型介绍了每个矿床的具体特征；第三篇在第二篇介绍矿床情况的基础上对我国铜矿床的总体特点和不同成因类型的时空分布和演化规律及矿床成矿与地层、构造、岩浆作用的关系，按成因类型作了概略的归纳与分析；最后一篇则对我国铜矿床的找矿方向和方法作了粗浅的探讨。

编撰《中国铜矿床》的目的是给铜矿工作者提供一个我国主要铜矿床的索引和整体概况，让后来的工作者对中国铜矿床的全貌有一个概略的了解。因此，本书着重反映矿床实际情况，对于与铜矿床有关的理论问题，没有作太多的探讨，留让读者独立思考。

Synopsis

In this book, *Copper Deposit of China*, 110 main copper deposits selected from 146 medium-large-sized copper deposits of China are compiled, and their basic features, as geological settings, ore composition, ore-forming conditions and ore prospecting indicators are described accompanied with a series of geological maps and sections.

There are four parts in this book. In part one, the exploration and development history of copper deposits in China during the past 50 years were reviewed and generalized. In part two, general characteristics of individual copper deposits are introducted. In part three, their spatial and temporal distribution and the evolution pattern of various genetic types as well as the relationship between copper metallogenesis and strata, structures and magmatism were discussed, according to their metallogenic types. In the last part, the copper potential of China and the exploration approaches were discussed.

The authors attempt to provide a basic material of main type copper deposits of China to those who deal with the exploration of copper in China. So the emphasis of this book is focused on the introduction of geological characteristics of copper ores rather than the study of theoretical aspects of the deposits which would be interested by some readers

图书在版编目（CIP）数据

中国铜矿床/黄崇轲，白冶等编著. -北京：地质出版社，2001.2
ISBN 7-116-02869-2

Ⅰ.中… Ⅱ.①黄…②白… Ⅲ.铜矿床-中国 Ⅳ.P618.410.62

中国版本图书馆CIP数据核字（2001）第03734号

地质出版社出版发行

（100083 北京海淀区学院路29号）

责任编辑：陈 磊 于 勇 马洪功 刘海洋

责任校对：李 玫 田建茹

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：889×1194 1/16 印张：45.25 字数：1400000

2001年2月北京第一版·2001年2月北京第一次印刷

印数：1-1500册 定价（上、下册）：100.00元

ISBN 7-116-02869-2
P·2036

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行处负责调换）

前　言

铜是重要的金属原材料之一。中华人民共和国从建国初期起，就对铜矿床的勘查工作给予了相当的重视，“富铜富铁”地勘工作一直列为矿产勘查工作的首位。我国地质战线的职工，通过多年不懈的努力，发现并探明了900多处铜矿床，探明储量达几千万吨。但是，由于我国经济建设发展迅速，对铜等金属原材料的需求量很大，已探明的铜矿资源还不能完全满足国家建设的需要。迄今为止，我国铜金属的消费量，大约有30%～40%的缺口需要靠进口补足。

我国的建设正处在一个方兴未艾的高速发展阶段，对包括铜金属在内的各种原材料的需求，还会进一步增多。因此，地质战线一项迫在眉睫的任务是发现并探明更多的铜矿资源以满足经济建设的需要。

铜矿床的形成与其他矿床一样，是一个很复杂的地质演化过程，具有很强的区域性特点。了解国内主要铜矿床的情况和产出背景条件，将有助于铜矿床勘查工作的开展。为了给广大铜矿床地质工作者提供一些有益的帮助，原地质矿产部地质调查局于1997年立项，组织有关人员从已有的文献、资料、报告中选编了我国110个大中型铜矿床的基本地质情况和近期研究成果，并对其作了必要的综合分析、概括了我国铜矿床的时空分布规律和成矿特点，探讨了铜矿床的成矿条件和找矿方向，编著成了这本带有工具书性质的《中国铜矿床》一书，供铜矿床地质工作者参考。

《中国铜矿床》编著的指导思想是侧重于介绍我国已知的大中型铜矿床的基本地质情况，辅以有关的研究成果。对某一矿床的成因若有不同的认识和观点，则采取了“不拘一格，兼容并蓄”的做法，以利于开阔思路。为了叙述方便，本书矿床分类，选取了常用而不严格的成因分类。对某一矿床所属类型，有多种观点者，选择了大家较为公认的一种。文后列出了有关的参考文献，以便读者进一步查阅和分析。

《中国铜矿床》包括正文和1∶500万《中国铜矿床地质图》(数据库)。正文共四篇，第一篇简要概括了我国铜矿床勘查工作的历史和探采供需概况；第二篇为110个大中型铜矿床的矿床实例，按成因类型归类分为十章；第三篇概略总结了我国铜矿床在时间空间上的分布特点，铜矿床成矿与地层、构造、岩浆作用的关系；第四篇从宏观角度阐述了我国铜矿床的找矿方向。

整个编著工作除本项目组全体同志的合作努力外，还专门约请了芮宗瑶研究员、薛迪康、任丰寿、罗君烈等教授级高工等有关矿床专家参与选材和编撰。铜矿床数据库是在MAPGIS系统下建立的，计算机工作由聘请的谢锡林和刘亚玲研究员完成。在本书编著过程中得到叶天竺、张洪涛、余鸿彰、万子益等领导和矿床专家的指导和帮助。余鸿彰和王志泰先生对全文进行了认真审阅和订正，殷慕慈同志帮助修改文稿和部分插图，盛昌明同志帮助修改了部分文稿，在此一并致以深切的感谢！

由于时间较紧和作者们的水平有限，特别是有些矿床资料较少，为能较全面地反映矿床的客观实际，我们不得不引用了一些未公开出版的内部资料，而这些资料中的某些图、表已难以查到出处，不能一一注明资料来源，对此我们表示深深的歉意。另外，加之本书篇幅有限等原因，对某些矿床实例情况介绍得也不够全面，对成因观点未能完全做到“兼容并蓄”，新旧资料取舍也不一定恰到好处；有关大地构造名称的应用，由于原有资料等原因，没有统一于一种系统。诸如此类的不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编著者

1999年9月20日

目　　录

前言 …… (1)
第一篇　概论 …… (1)
第一章　中国铜矿床勘查开发简况 …… (1)
第二章　我国铜矿床基本特点 …… (5)
第三章　铜矿床资源形势 …… (8)
第二篇　铜矿床各论 …… (9)
第一章　与基性、超基性侵入岩有关的岩浆熔离型矿床 …… (9)
第一节　甘肃金昌市金川铜镍矿床 …… (9)
第二节　新疆富蕴县喀拉通克铜镍矿床 …… (18)
第三节　新疆哈密市黄山东铜镍矿床 …… (26)
第四节　新疆哈密市黄山铜镍矿床 …… (31)
第五节　吉林磐石县红旗岭铜镍矿床 …… (37)
第六节　吉林通化县赤柏松铜镍矿床 …… (44)
第七节　青海玛沁德尔尼铜钴矿床 …… (49)
第二章　与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的斑岩型铜矿床 …… (57)
第一节　江西德兴县铜厂铜矿床（含朱砂红矿区） …… (57)
第二节　江西德兴县富家坞铜矿床 …… (72)
第三节　西藏江达县玉龙铜矿床 …… (78)
第四节　西藏察雅县马拉松多铜矿床 …… (90)
第五节　黑龙江嫩江县多宝山铜矿床 …… (95)
第六节　内蒙古新巴尔虎右旗乌奴格吐山铜矿床 …… (106)
第七节　湖北阳新丰山洞铜矿床 …… (111)
第八节　湖北大冶县铜山口铜矿床 …… (117)
第九节　湖北阳新县白云山铜矿床 …… (122)
第十节　江苏江宁县安基山铜矿床 …… (126)
第十一节　安徽庐江县沙溪铜（金）矿床 …… (132)
第十二节　福建上杭县紫金山铜金矿床 …… (134)
第十三节　山西垣曲县铜矿峪铜矿床 …… (142)
第十四节　甘肃金塔县白山堂铜矿床 …… (153)
第十五节　甘肃肃北县公婆泉铜矿床 …… (157)
第十六节　云南中甸县雪鸡坪铜矿床 …… (163)
第十七节　河北平泉县小寺沟铜钼矿床 …… (168)
第十八节　河北涞源县木吉村铜钼铁矿床 …… (172)
第十九节　内蒙古陈巴尔虎旗八大关铜矿床 …… (178)
第二十节　内蒙古科尔沁右翼中旗布敖化铜矿床 …… (180)
第二十一节　内蒙古四子王旗白乃庙斑岩铜（钼）矿床 …… (185)
第二十二节　台湾奇美铜矿床 …… (192)
第二十三节　新疆温泉喇嘛苏铜矿床 …… (194)
第三章　与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的接触交代型（夕卡岩型）铜矿床 …… (199)
第一节　河北承德寿王坟铜矿床 …… (199)
第二节　辽宁桓仁县桓仁铜矿床 …… (207)
第三节　黑龙江宾县弓棚子铜矿床 …… (211)

第四节　湖北大冶县铜录山铜矿床 …… (215)
第五节　湖北大冶鸡冠嘴铜金矿床 …… (225)
第六节　湖北大冶石头嘴铜矿床 …… (231)
第七节　湖北大冶桃花嘴铜金矿床 …… (236)
第八节　湖北大冶县铁山铁铜矿床 …… (243)
第九节　江西城门山铜硫铁矿床 …… (250)
第十节　江西瑞昌县武山铜矿床 …… (257)
第十一节　江西铅山县永平铜多金属矿床 …… (261)
第十二节　安徽铜陵市铜官山铜矿床 …… (266)
第十三节　安徽铜陵冬瓜山铜矿床 …… (272)
第十四节　安徽铜陵狮子山铜矿床 …… (279)
第十五节　安徽铜陵药园山铜矿床 …… (283)
第十六节　安徽铜陵大团山铜矿床 …… (288)
第十七节　安徽铜陵新桥铜矿床 …… (292)
第十八节　安徽贵池县铜山铜矿床 …… (296)
第十九节　安徽安庆市西马鞍山铜矿床 …… (301)
第二十节　上海金山张堰铁铜矿床 …… (306)
第二十一节　云南个旧县卡房锡铜矿床 …… (310)
第二十二节　云南个旧市老厂锡铜矿床 …… (316)
第二十三节　云南中甸县红山铜矿床 …… (325)
第二十四节　广西德保钦甲铜锡矿床 …… (329)
第二十五节　新疆富蕴县索尔库都克铜（钼）矿床 …… (335)
第二十六节　青海省兴海县赛什塘铜矿床 …… (340)
第二十七节　湖南浏阳七宝山铜多金属矿床 …… (345)
第二十八节　山西襄汾县四家湾铜铁矿床 …… (352)
第二十九节　湖南江永县铜山岭铜多金属矿床 …… (354)
第三十节　湖北阳新鸡笼山铜矿床 …… (358)
第三十一节　长江中下游铜矿床的基本特征 …… (362)
第四章　与海相火山喷发-沉积作用有关的海相火山气液型铜矿床 …… (373)
第一节　甘肃白银厂折腰山-火焰山铜矿床 …… (373)
第二节　甘肃白银厂小铁山多金属矿床 …… (386)
第三节　青海孟源县红沟富铜矿床 …… (391)
第四节　新疆哈巴河县阿舍勒块状硫化物铜锌矿床 …… (397)
第五节　新疆托克逊县可可乃克铜矿床 …… (403)
第六节　四川会理县拉拉厂铜矿床 …… (407)
第七节　四川白玉县呷村铜多金属矿床 …… (416)
第八节　山西垣曲县落家河铜矿床 …… (423)
第九节　浙江绍兴市西裘铜矿床 …… (428)
第十节　甘肃文县筏子坝铜矿床 …… (432)
第十一节　陕西略阳县铜厂铜矿床 …… (438)
第十二节　广东梅县玉水铜多金属矿床 …… (443)
第十三节　海相火山气液型铜多金属矿床的基本特征 …… (446)
第五章　与陆相火山作用有关的陆相火山气液型铜矿床 …… (451)
第一节　江西德兴县银山铜多金属矿床 …… (451)
第二节　广东惠来县钟丘洋铜矿床 …… (458)
第三节　山西灵丘县刁泉铜金矿床 …… (461)
第四节　内蒙古林西县大井锡铜多金属矿床 …… (465)
第六章　热液型铜矿床 …… (472)

第一节 吉林珲春小西南岔铜金矿床 …… (472)
第二节 江西东乡县枫林铜多金属矿床 …… (481)
第三节 山东福山县王家庄铜矿床 …… (488)
第四节 广东曲江县大宝山铜多金属矿床 …… (491)
第五节 山西绛县凉水泉铜矿床 …… (497)
第六节 内蒙古突泉莲花山铜银矿床 …… (502)
第七节 浙江建德县岭后铜矿床 …… (508)
第八节 台湾金瓜石金铜矿床 …… (514)
第九节 青海兴海县铜峪沟铜矿床 …… (515)
第十节 广西武鸣县两江铜矿床 …… (520)
第七章 海相沉积型铜矿床 …… (526)
第一节 云南东川市落雪铜矿床 …… (526)
第二节 云南东川县汤丹铜矿床 …… (535)
第三节 云南东川县稀矿山铜铁矿床 …… (543)
第四节 云南易门县三家厂铜矿床 …… (549)
第五节 云南禄丰县大美厂铜矿床 …… (559)
第六节 云南武定县迤纳厂铜矿床 …… (565)
第七节 内蒙古乌拉特后旗霍各乞铜矿床 …… (572)
第八节 内蒙古乌拉特后旗炭窑口铜矿床 …… (579)
第九节 内蒙古乌拉特后旗东升庙铜矿床 …… (582)
第八章 陆相沉积铜矿床 …… (588)
第一节 云南大姚县六苴含铜砂岩矿床 …… (588)
第二节 云南大姚县老青山铜矿床 …… (593)
第三节 云南牟定县郝家河铜矿床 …… (596)
第四节 湖南麻阳县九曲湾铜矿床 …… (600)
第五节 四川会理县鹿厂铜矿床 …… (604)
第六节 云南兰坪县金满铜矿床 …… (608)
第九章 受变质型铜矿床 …… (615)
第一节 辽宁清原县红透山块状硫化物铜-锌矿床 …… (615)
第二节 山西垣曲县胡家峪铜矿床 …… (624)
第三节 山西闻喜县篦子沟铜矿床 …… (628)
第四节 云南新平县大红山铜铁矿床 …… (635)
第五节 四川九龙县李伍铜矿床 …… (646)
第六节 甘肃嘉峪关烽树沟铜矿床 …… (651)
第十章 与表生作用有关的铜矿床 …… (657)
第一节 广东阳春县石录铜矿床 …… (657)
第三篇 中国铜矿床成矿规律的探讨 …… (663)
第一章 中国铜矿床的时空分布规律 …… (663)
第二章 中国铜矿床与岩浆岩的关系 …… (670)
第三章 中国铜矿床与构造的关系 …… (675)
第四章 铜矿床的成矿与地层的关系 …… (678)
第四篇 中国铜矿找矿方向 …… (680)
第一章 铜矿成矿区带的划分 …… (680)
第二章 铜矿找矿方向探讨 …… (687)
第三章 铜矿找矿途径 …… (691)
主要参考文献 …… (699)

CONTENTS

Preface ..... (1)

Part One INTRODUCTION ..... (1)

1 Copper Exploration and Development in China ..... (1)

2 Basic Characteristics of the Copper Deposits in China ..... (5)

3 Copper Resources Situation in China ..... (8)

Part Two DESCRIPTION OF COPPER ORE DEPOSIT ..... (9)

1 Magmatic Liquidation Type Ore Deposits Related to Basic and Ultrabasic Intrusives ..... (9)

1.1 Jinchuan Cu-Ni Deposit, Jinchang City, Gansu Province ..... (9)

1.2 Kalatongke Cu-Ni Deposit, Fuyun County, Xinjiang Uygur Autonomous Region ..... (18)

1.3 Huangshandong Cu-Ni Deposit, Hami City, Xinjiang Uygur Autonomous Region ..... (26)

1.4 Huangshan Cu-Ni Deposit, Hami City, Xinjiang Autonomous Region ..... (31)

1.5 Hongqiling Cu-Ni Deposit, Panshi County, Jilin Province ..... (37)

1.6 Chibaisong Cu-Ni Deposit, Tonghua County, Jilin Province ..... (44)

1.7 Dur'ngoi Cu-Co Deposit, Maqen County, Qinghai Province ..... (49)

2 Porphyry-Copper Deposit Related to Intermediate-Acid Hypabyssal and Near-Subsurface intrusives (Including Cryptoexplosive Breccia Pipe-Type Copper Ore Deposit) ..... (57)

2.1 Tongchang Copper Deposit, Dexing County, Jiangxi Province ..... (57)

2.2 Fujiawu Copper Deposit, Dexing County, Jiangxi Province ..... (72)

2.3 Yulong Copper Deposit, Jomda County, Xizang Autonomous Region ..... (78)

2.4 Malasongduo Copper Deposit, Zhag'yab County, Xizang Autonomous Region ..... (90)

2-5 Duobaoshan Copper Deposit, Nenjiang County, Heilongjiang Province ..... (95)

2.6 Wunugetushan Copper Deposit, Xin Barag Youqi County, Inner Mongolia Autonomous Region ..... (106)

2.7 Fengshandong Copper Deposit, Yangxin County, Hubei Province ..... (111)

2.8 Tongshankou Copper Deposit, Daye County, Hubei Province ..... (117)

2.9 Baiyunshan Copper Deposit, Yangxin County, Hubei Province ..... (122)

2.10 Anjishan Copper Deposit, Jiangning County, Jiangsu Province ..... (126)

2.11 Shaxi Copper Deposit, Lujiang County, Anhui Province ..... (132)

2.12 Zijinshan Copper Deposit, Shanghang County, Fujian Province ..... (134)

2.13 Tongkuangyu Copper Deposit, Yuanqu City, Shanxi Province ..... (142)

2.14 Baishantang Copper Deposit, Jinta County, Gansu Province ..... (153)

2.15 Gongpoquan Copper Deposit, Subei County, Gansu Province ..... (157)

2.16 Xuejiping Copper Deposit, Zhongdian County, Yunnan Province ..... (163)

2.17 Xiaosigou Copper Deposit, Pingquan County, Hebei Province ..... (168)

2.18 Mujicun Copper Deposit, Laiyuan County, Hebei Province ..... (172)

2.19 Badaguan Copper Deposit, Chen Barag Banner, Inner Mongolia Autonomous Region ..... (178)

2.20 Budun Hua Copper Deposit, Horqin Banner, Inner Mongolia Autonomous Region ..... (180)

2.21 Bainaimiao Copper Deposit, Siziwang Youqi Zhongqi Banner, Inner Mongolia Autonomous Region ..... (185)

2.22 Qimei Copper Deposit, Taiwan Province ..... (192)

2.23 Lamasu Copper Deposit, Wenquan County, Xinjiang Autonomous Region ..... (194)

3 Contact Metasomatic Copper Deposits (Skarn-Type) Related to Intermediate-Acid Hypabyssal

and Near-Subsurface Intrusives ····· (199)
3.1 Shouwangfen Copper Deposit, Chengde City, Hebei Province ····· (199)
3.2 Huanren Copper Deposit, Huanren County, Liaoning Province ····· (207)
3.3 Gongpenzi Copper Deposit, Bin County, Heilongjiang Province ····· (211)
3.4 Tonglushan Copper Deposit, Daye County, Hubei Province ····· (215)
3.5 Jiguanzui Copper Deposit, Daye County, Hubei Province ····· (225)
3.6 Shitouzui Copper Deposit, Daye County, Hubei Province ····· (231)
3.7 Taohuazui Copper Deposit, Daye County, Hubei Province ····· (236)
3.8 Tieshan Iron. Copper Deposit, Daye County, Hubei Province ····· (243)
3.9 Chengmenshan Copper Deposit, Jiujiang City, Jiangxi Province ····· (250)
3.10 Wushan Copper Deposit, Ruichang County, Jiangxi Province ····· (257)
3.11 Yongping Cu-Polymetallic Deposit, Qianshan County, Jiangxi Province ····· (261)
3.12 Tongguanshan Copper Deposit, Tongling City, Anhui Province ····· (266)
3.13 Dongguashan Copper Deposit, Tongling City, Anhui Province ····· (272)
3.14 Shizishan Copper Deposit, Tongling City, Anhui Province ····· (279)
3.15 Yaoyuanshan Copper Deposit, Tongling City, Anhui Province ····· (283)
3.16 Datuanshan Copper Deposit, Tongling City, Anhui Province ····· (288)
3.17 Xinqiao Copper Deposit, Tongling City, Anhui Province ····· (292)
3.18 Tongshan Copper Deposit, Guichi County, Anhui Province ····· (296)
3.19 Xima'anshan Copper Deposit, Anqing County, Anhui Province ····· (301)
3.20 Zhangyan Iron-Copper Deposit, Jinshan County, Shanghai Municipality ····· (306)
3.21 Kafang Tin-Copper Deposit, Gejiu County, Yunnan Province ····· (310)
3.22 Laochang Tin-Copper Deposit, Gejiu City, Yunnan Province ····· (316)
3.23 Hongshan Copper Deposit, Zhongdian County, Yunnan Province ····· (325)
3.24 Qinjia Copper Deposit, Debao County, Guangxi Zhuang Autonomous Region ····· (329)
3.25 Suoerkuduke Copper Deposit, Fuyun County, Xinjiang Uygur Autonomous Region ····· (335)
3.26 Saishitang Copper Deposit, Xinghai County, Qinghai Province ····· (340)
3.27 Qibaoshan Cu-Polymetallic Deposit, Liuyang County, Hunan Province ····· (345)
3.28 Sijiawan Copper-Iron Deposit, Xingfen County, Shanxi Province ····· (352)
3.29 Tongshanling Cu-Polymetallic Deposit, Jiangyong County, Hunan Province ····· (354)
3.30 Jilongshan Copper Deposit, Yangxin County, Hubei Province ····· (358)
3.31 Fundamental Features of Copper Deposits in Middle - Lower Reaches Area of Yangtze River ····· (362)
4 Marine Volcanic Pneumato-Hydatogenetic Copper Deposits Related to Marine Volcanic Explosive-Sedimentation ····· (373)
4.1 Zheyaoshan-Huoyanshan Copper Deposit, Baiyin City, Gansu Province ····· (373)
4.2 Xiaotieshan Cu-Polymetallic Deposit, Baiyin City, Gansu Province ····· (386)
4.3 Honggou Copper Deposit, Mengyuan County, Qinghai Province ····· (391)
4.4 Ashele Copper Deposit, Habahe County, Xinjiang Uygur Autonomous Region ····· (397)
4.5 Kekenaike Copper Deposit, Toksun County, Xinjiang Uygur Autonomous Region ····· (403)
4.6 Lalachang Copper Deposit, Huili County, Sichuan Province ····· (407)
4.7 Gacun Cu-Polymetallic Deposit, Baiyu County, Sichuan Province ····· (416)
4.8 Luojiahe Copper Deposit, Huanqu County, Shanxi Province ····· (423)
4.9 Xiqiu Copper Deposit, Shaoxing City, Zhejiang Province ····· (428)
4.10 Faziba Copper Deposit, Wen County, Gansu Province ····· (432)
4.11 Tongchang Copper Deposit, Lueyang County, Shaanxi Province ····· (438)
4.12 Yushui Cu-Polymetallic Deposit, Mei County, Guangdong Province ····· (443)
4.13 Fundamental Features of Cu-Polymetallic Ore Deposit of Marine Facies

Volcanic Pneumato-Hydatogenetic-Type ····· (446)
5 Continental Volcanic Pneumato Hydatogenetic Copper Deposits Related to Continental Volcanism ····· (451)
5.1 Yinshan Cu-Polymetallic Deposit, Dexing County, Jiangxi Province ····· (451)
5.2 Zhongqiuyang Copper Deposit, Huilai County, Guangdong Province ····· (458)
5.3 Diaoquan Copper-Gold Deposit, Lingqiu County, Shanxi Province ····· (461)
5.4 Dajing Cu-Polymetallic Deposit, Linxi County, Inner Mongolia Autonomous Region ····· (465)
6 Hydrothermal Copper Deposits ····· (472)
6.1 Xiaoximancha Copper-Gold Deposit, Huichun County, Jilin Province ····· (472)
6.2 Fenglin Copper Deposit, Dongxiang County, Jiangxi Province ····· (481)
6.3 Wangjiazhuang Copper Deposit, Yantai Shi Shandong Province ····· (488)
6.4 Dabaoshan Cu-Polymetallic Deposit, Shaoguan City, Guangdong Province ····· (491)
6.5 Liangshuiquan Copper Deposit, Jiang county, Shanxi Province ····· (497)
6.6 Lianhuashan Copper Deposit, Tuquan County, Inner Mongolia Autonomous Region ····· (502)
6.7 Linghou Copper Deposit, Jiande County, Zhejiang Province ····· (508)
6.8 Jinguashi Copper Deposit, Jilong City, Taiwan Province ····· (514)
6.9 Tongyugou Copper Deposit, Xinghai County, Qinghai Province ····· (515)
6.10 Liangjiang Copper Deposit, Wuming County, Guangxi Zhuang Autonomous Region ····· (520)
7 Marine Sedimentary Copper Deposits ····· (526)
7.1 Luoxue Copper Deposit, Dongchuan City, Yunnan Province ····· (526)
7.2 Tangdan Copper Deposit, Dongchuan City, Yunnan Province ····· (535)
7.3 Xikuangshan Copper Deposit, Dongchuan City, Yunnan Province ····· (543)
7.4 Sanjiachang Copper Deposit, Yimen County, Yunnan Province ····· (549)
7.5 Dameichang Copper Deposit, Lufeng County, Yunnan Province ····· (559)
7.6 Yinachang Copper Deposit, Wuding County, Yunnan Province ····· (565)
7.7 Huogeqi Copper Deposit, Urad Houqi Banner, Inner Mongolia Autonomous Region ····· (572)
7.8 Tanyaokou Copper Deposit, Urad Houqi Banner, Inner Mongolia Autonomous Region ····· (579)
7.9 Dongshengmiao Copper Deposit, Urad Houqi Banner, Inner Mongolia Autonomous Region ····· (582)
8 Continental Sedimentary Copper Deposits ····· (588)
8.1 Liuju Copper Deposit, Dayao County, Yunnan Province ····· (588)
8.2 Laoqingshan Copper Deposit, Dayao County, Yunnan Province ····· (593)
8.3 Haojiahe Copper Deposit, Muding County, Yunnan Province ····· (596)
8.4 Jiuquwan Copper Deposit, Mayang County, Hunan Province ····· (600)
8.5 Luchang Copper Deposit, Huili County, Sichuan Province ····· (604)
8.6 Jinman Copper Deposit, Lanping County, Yunnan Province ····· (608)
9 Metamorphosed Copper Ore Deposits ····· (615)
9.1 Hongtoushan Copper Deposit, Qingyuan County, Liaoning Province ····· (615)
9.2 Hujiayu Copper Deposit, Yuanqu County, Shanxi Province ····· (624)
9.3 Bizigou Copper Deposit, Wenxi County, Shanxi Province ····· (628)
9.4 Dahongshan Copper Deposit, Xinping County, Yunnan Province ····· (635)
9.5 Liwu Copper Deposit, Jiulong County, Sichuan Province ····· (646)
9.6 Huashugou Copper Deposit, Jiayuguan City, Gansu Province ····· (651)
10 Copper Deposits Related to Supergenesis ····· (657)
10.1 Shilu Copper Deposit, Yangchun County, Guangdong Province ····· (657)
Part Three METALLOGENIC REGULARITY OF COPPER DEPOSITS IN CHINA ····· (663)
1 Temporal- Spatial Distribution of Copper Deposits in China ····· (663)
2 Relationship between Copper Deposits and Magmatism in China ····· (670)

3 Relationship between Metallogenisis of Copper Deposit and Structures in China ····· (675)
4 Relationship between Copper Metallogenesis and Stratigraphy ····· (678)
Part Four POTENTIALITY OF PROSPECTING FOR COPPER DEPOSITS IN CHINA ····· (680)
1 Classification of Copper Metallogenic Regions and Zones in China ····· (680)
2 Discussion on the Copper Exploration Orientation ····· (687)
3 Methodology on Copper Exploration ····· (691)
Major References ····· (699)

第一篇　概　论

第一章　中国铜矿床勘查开发简况

铜是人类使用最早的金属材料之一。据考古学家认定，新石器时代后期，人类就开始使用“红铜”（自然铜），并被称为“铜石并用时代”；之后，为青铜器时代。我国应用铜金属的时代很早，《史记·孝武本纪》记载“黄帝采首山铜，铸鼎于荆山下”。在湖北发现了商代中期，距今约3000多年的铜器。甘肃武威县皇娘娘台遗址和山西襄汾县陶寺遗址出土的红铜器定为公元前2000～2500年，同时与红铜器一起出土的还有青铜器，说明这时已进入青铜器时代。新疆伊犁地区尼勒克县城南的奴拉赛和圆头山两处开采辉铜矿古遗址中的支护木架和石斧经碳同位素测定为距今2300～2100年。我国自古以来铜一直是民用的主要金属材料之一，直到解放前的许多朝代的货币都是用铜合金制作成的。但中华人民共和国成立以前，我国很少进行铜矿地质勘查工作。仅有几个不定期开采的、产量很少的铜矿山，如安徽铜陵铜官山铜矿、云南东川铜矿等。因此，几乎没有探明的铜矿储量。随着新中国的成立和地质工作的开展，才开始有计划、有组织的铜矿地质勘查工作。半个世纪以来，铜矿地质勘查工作从未间断过。通过广大地质职工的努力，找到并探明了大量铜矿，为国家经济建设作出了应有的贡献。

一、铜矿床勘查工作发展的三个时期

我国铜矿床勘查工作在新中国建立时从发展老矿山开始，到现在运用现代地矿理论和各种高科技综合方法找铜，这半个世纪的发展过程大体可概括为三个时期。

1. 发展老矿山，扩大远景时期

新中国成立后，开始了大规模建设，因而需要各种大量铜矿资源，但当时资源情况不清，地质资料很少，要开展铜矿地质工作最快捷的办法是从几个已有的老铜矿山入手。当时首选了铜官山、东川和白银厂开展勘查。1951年中国地质工作计划指导委员会组织对铜官山老庙基山铜矿进行钻探。1952年地质部成立后，又组成321地质队对铜官山铜矿进一步勘查，首次探明铜金属储量26万吨，同时发现了狮子山含铜夕卡岩。但由于受当时国外夕卡岩型矿床无大矿的影响，找夕卡岩型铜矿工作搁浅。直到1956年华东地质局组建成扬子江普查队（374队）到狮子山普查，才在西狮子山见到隐伏的夕卡岩型铜矿，还指出了东狮子山有进一步工作的价值。1957年，321队接替374队继续工作，证实东西狮子山均为工业铜矿床。以后对外围的普查不断有新的发现，1965年发现了老鸦岭中型铜矿床，以后找到大团山等多个铜矿床。使铜官山地区探明的铜储量大增，于是在铜官山建成我国华东的重要铜矿生产基地。

东川铜矿床是一个地处边远的小矿床，1951年对它开展勘查工作，很快取得了成效。1953年起相继发现了汤丹铜矿、稀矿山铜矿、滥泥坪、小水井等多个铜矿床，到1957年末，东川铜矿床累计探明铜储量达210万吨，成为我国西南一个铜矿基地。

1950年，宋叔和先生对甘肃省白银厂开采铁矿时，见有铁帽，推测深部可能有铜，随即向中国地质工作计划指导委员会提出进一步开展工作。1951年组队上山，找到了折腰山和火焰山铜矿，当即展开工作，于1956年底结束折腰山、火焰山和铜厂沟等三个矿区勘探工作，提交铜金属储量86万吨，还发现了另一个大型矿床——小铁山铜多金属矿。白银厂成为我国西北的一个重要的铜矿基地。

类似的情况还有中条山铜矿床，1952年对垣曲铜矿峪铜矿点开展调查工作，在我国首次认定了铜矿峪矿床为细脉浸染型（后称为斑岩型铜矿）铜矿。于1954年调集2000余名职工，进行大规模勘查

工作　到 1956 年提交了探明铜金属储量达 167 万吨的勘探报告，形成了华北一个新的重要铜矿基地

1 个原来不大或者仅为矿点的老矿山的重新认识和勘查，后来都扩大或肯定了其开发远景，成了我国重要的铜矿生产基地。

2. 发动群众报矿，就矿找矿时期

1953 年，中国开始执行国民经济第一个五年计划，对地质工作提出的要求中明确“鼓励群众报矿”。从 1953 年起，地质部开展了群众报矿，广泛发动农牧民为主的群众找矿报矿，到 1958 年由于大炼钢铁，群众找矿报矿达到了空前规模。当时估计发现各种矿点、矿化点达 20 万处。这为后来的普查找矿提供了大量有用信息。我国惟一达世界级规模的甘肃金昌市金川铜镍矿和我国最大的斑岩型铜矿——西藏玉龙斑岩铜矿，就是根据群众报矿信息而发现的。青海玛沁德尔尼大型铜钴矿也是根据群众报矿发现的。没有群众报矿线索，像玉龙、德尔尼这样位于海拔 4000 多米、人迹罕至之处的矿，当时单凭专业地质队伍一时是难以走到和发现的。50 年代后期根据群众报矿线索或矿床（点）就矿找矿发现了许多铜矿。到“二五”末（1962 年），经过勘查上平衡表的铜储量猛增到 1100 多万吨。这和当时群众报矿和就矿找矿有密切关系。这种活动持续到 70 年代后期，根据这些线索，还发现了相当多的具工业价值的铜矿床。

3. 总结成矿规律，运用地矿理论指导找矿时期

这方面的铜矿工作，是从长江中下游地区首先开始的。长江中下游从 50 年代开始铜矿普查勘探工作后，大量铜矿床被发现。从湖北大冶起，沿江而下经过江西、安徽、江苏直到上海，这一地带开始作为国家铜铁矿普查勘探的最重要地区。对长江中下游地区铜矿为主的矿床一般地就矿找矿已不易解决问题，而对该区成矿规律等的认识日渐深化，同时找矿的难度则与日俱增，于是进入了总结成矿规律，运用地矿理论来指导找矿的阶段。

冬瓜山大型铜矿的发现是第一份丰厚的回报。铜陵狮子山接触交代型铜矿床成矿既有岩体与围岩接触带的控矿，又明显受岩层层位的控制。后来又发现了老鸦岭和大团山铜矿床，具有相似的控矿因素。当时地质队内以常印佛先生为代表的地质专家们反复研究和论证了区内石炭系黄龙—船山组的成矿条件后，认为这个层位分布的地区，即使隐伏地下也可能含矿。于是选择了冬瓜山西南约 240 m 处进行探查，于 1975 年 9 月开始钻探，1976 年 1 月见到了黄龙—船山组层位的铜矿，接着又施钻两个都见到了同一层位和同一类型的富铜矿，进一步的勘查结果，冬瓜山铜矿提交了铜金属储量 93 万吨。这一埋深近千米的全隐伏大富铜矿的发现，不仅在长江中下游找铜矿工作取得了突破性进展，证实了科学的预测，而且对地区的成矿规律的认识也是一个飞跃，使普查找矿工作迈进了一个新阶段。

1979 年下半年，湖北鄂东地质队薛迪康等在完成鄂东南地区 1∶10 万铁、铜、硫成矿预测成果的基础上，选择铜录山—冯家山铁铜矿田进行 1∶1 万成矿预测，总结矿田成矿规律，以矿田成矿模型为基础，按照“岩体前缘区，构造复合带，灰岩存在处”的找矿模式，对各种标志分析、类比，预测鸡冠嘴 NNE 向断裂破碎带在－500～－800 m 可能出现矿体。1981 年 11 月，钻孔见到了厚达 78 m 的全隐伏铜矿，取得了突破。最后探明为铜金属储量 12.76 万吨，共生金 20.28 t，硫铁矿石 631 万吨的大型金铜矿。

福建紫金山地区地质工作始于 1960 年，进行过 1∶20 万区调、化探扫面、重砂测量以及地面槽井等工作，多次进进出出，没有取得重要进展。到 1983 年认定是金矿，但还未作出评价。1985 年局总工石礼炎等认真仔细综合研究了紫金山地区的全部已有地质资料，认识到紫金山广泛发育有隐爆角砾岩，有大面积蚀变，还有多处铁帽，肯定了紫金山地区属于与次火山岩有关的矿化类型，推断深部有成铜远景。于是进一步加强工作和对新资料的综合分析研究，终于于 1987 年打到了隐伏的以蓝辉铜矿为主的大型斑岩型铜矿。

70 年代末至 80 年代初，各地勘单位和有关研究部门都加强了铜矿床的研究，深入开展成矿规律、成矿条件和找矿标志的研究和总结。原地质矿产部正式部署了总结区域成矿规律，开展中大比例尺成矿预测，用以指导普查找矿工作。经过综合研究全国成矿条件后，将全国划出若干有找矿前景的远景区（片），固体矿产的勘查工作有重点地部署在片区上。同时强调运用综合手段找矿，区（调）、地

（质）、物（探）、化（探）、遥（感）五统一部署工作。鉴于铜矿的找矿工作难度大大超过其他矿种，总结规律，应用地矿理论指导，进行预测和应用综合方法找矿就特别显得尤为重要。这样做的结果是陆续发现了一批铜矿，如湖北大冶的鸡冠嘴、桃花嘴大型金铜矿、新疆哈密黄山和黄山东铜镍矿、哈巴河阿舍勒大型海相火山气液型铜锌矿等。

二、坚持不懈地勘查铜矿床

国家建设需要大量的铜铁原材料，而我国已探明的铜铁矿储量有限，因此，从50年代起“富铁富铜”一直作为地质勘查工作的重点。每年铜矿地质勘查工作的地勘费和工作量都占相当大的比重，从而每年都有新的铜矿床发现，相应地探明了一定的铜储量。根据可统计数据，历年对铜矿地质勘查工作的投资、使用的岩心钻探工作量和探明铜储量的增长情况如表1-1。

表1-1 铜矿床勘查费、岩心钻探工作量和新增铜储量表

Table 1-1 Table showing exploration cost, core drilling footage and progressively increased reserves of copper metal

时　期	勘查费用/万元	岩心钻探工作量/万米	新增铜储量/%
1950～1952	692	0.62	
1953～1957（一五）	18630	44.12	100
1958～1962（二五）	19750	90.16	142.29
1963～1965	12020	34.78	49.27
1966～1970（三五）	35101	171.58	173.81
1971～1975（四五）	50655	270.68	98.64
1976～1980（五五）	60663	455.40	189.09
1981～1985（六五）	35800	139.57	82.71
1986～1990（七五）	40494	98.89	38.71
1991～1995（八五）	70314	65.19	73.24
1996～1997	18411	7.92	

注：比例数为以“一五”探明储量数为100%，各时期探明储量相当于“一五”的百分数。

据统计，到1996年底，我国铜矿床地质勘查工作共投入地勘费36.25亿元，占固体矿产勘查工作总投入的2.24%，使用岩心钻探工作量约1379万米，占固体矿产岩心钻探总工作量的4.09%，最多一年为1977年，当年铜矿床勘查施钻达104.3万米。

三、对我国铜矿床类型认识的发展

前已述及，新中国成立初期，我国铜矿床勘查工作是从几个已知矿床（矿点）的调查和评价起步的。在对它们的远景予以肯定并进入系统勘查后，对它们的成因类型也有了较深的认识，并且根据这些认识，在地质条件相似的邻近地区又陆续找到一些同类型的新矿床。但是当时对我国总的地质情况和成矿规律的知识还很肤浅，对我国铜矿类型的了解还很局限，因此对哪些铜矿类型在我国最有潜力，应该是主攻方向，哪些地区最有成矿远景，需要重点部署工作，还不是心中有数，并在一定程度上受到国外经验的影响，存在着盲目性。例如，我国最早开始勘查的夕卡岩型（接触交代型）铜矿，由于当时受到国外对这类矿床消极认识的影响，在铜官山铜矿勘查之后，没有继续加大沿长江中下游各省具类似成矿条件地区工作的力度，至使该区铜矿工作一度徘徊不前。进入60年代以后，我国经济建设遇到巨大困难，迫切需要交通条件好，靠近已有工业基地的富铜资源，才促使我们重新重视长江中下游一带夕卡岩型铜矿床的工作。经过60年代以后持续30余年的不懈努力，终于确立了这种类型富铜矿在我国的特殊重要意义。对这种类型富铜矿的成矿规律也有了相当深入的认识，并在其成矿理论上有了一批水平很高的著作成果问世。

例如斑岩型铜矿床，在1954年探明了中条山铜矿峪斑岩铜矿床的大量铜矿储量后，在全国范围内

激励起找寻这类铜矿的热潮。1956年发现了江西德兴斑岩铜矿，以及其他一些类似的矿点。但是由于我国这类矿床的次生富集作用不发育，缺少高品位的次生富集带、原生矿石较贫，在当时我国采冶技术水平较低的情况下，贫矿一时难以利用，因此找寻斑岩铜矿的热情开始低落。进入60年代随着板块构造学说的兴起、对斑岩铜矿成矿规律的进一步阐明和在世界范围内勘查斑岩铜矿热潮的启发下，原地质部1979年在江西德兴召开了斑岩铜矿工作现场会，推动了在全国有利地区找寻斑岩铜矿的高潮，发现并评价出一批斑岩铜矿，如西藏玉龙等世界级斑岩铜矿的勘查，就是最好的例证。到80年代初，我国斑岩铜矿的探明储量已远远超过其他类型而在我国居首位。而且经过实践已对我国斑岩型铜矿的成矿条件、成矿有利地区有了更深入的认识，工作的主动性更增强了。

除了上述两个类型铜矿的实例外，对我国已发现和勘查过的其他铜矿类型在我国铜矿资源中不同重要性，及其成矿条件和找矿潜力的了解也更深化了，这样就使我国铜矿勘查工作能建立在目标明确的基础上，大大减少了盲目性。

当然，地质工作还在发展中，新的铜矿类型还可能在勘查中被发现，已知的铜矿类型的认识还可能加深甚至发生改变，因此还需要在工作中继续加深对国内外各类型铜矿的研究，以求使我们的认识符合客观实际，进一步克服铜矿勘查工作中的盲目性，增强自觉性。

四、铜矿床的开发利用

从50年代的铜官山、中条山、东川和白银厂等几个老矿山开始建成为我国重要的铜矿基地起，随着新的铜矿床的不断发现和铜矿储量的扩大，新的铜矿山也陆续建成。我国铜的年产量平均以7.8%的增长率不断增加。根据“我国铜矿资源对2010年国民经济建设保证程度论证报告”资料，我国铜矿探明储量约有11%已被建设开发利用，共涉及矿区300多处，其中包括大中型矿床78处。如江西德兴铜厂铜矿、铅山县永平铜矿、湖北大冶县铜录山铜矿、甘肃白银市白银厂铜矿、金昌市金川铜镍矿、山西垣曲县铜矿峪铜矿、云南东川市东川铜矿等大型矿和一批中型矿；约有12%的探明储量可供建设利用但尚未被开采利用，其中大中型矿床13个，如江西九江县城门山、安徽铜陵市冬瓜山、江西德兴银山九区以及四川会理县拉拉厂和黑龙江嫩江县多宝山等大型矿床；约有32%的铜储量仅在规划考虑之中，共有269处产地，其中大中型矿床20处。这些矿床有的是位置偏远，目前交通不便，如青海玛沁德尔尼大型铜钴矿、兴海县铜峪沟大型铜矿等；有的铜品位低，如内蒙新巴尔虎右旗乌奴克吐山大型斑岩铜矿，铜储量有126万吨，但铜平均品位0.46%；广东曲江县大宝山大型铜多金属矿，铜矿体之上盖有几千万吨铁矿，影响了铜矿的近期开采；福建上杭县紫金山铜矿上部盖有几十吨金矿，先要开采金，铜只能延缓开发。诸如此类困难因素有客观的，也有人为的，致使大量探明铜储量不能马上建设利用。另外，还有目前暂难利用的铜金属储量约占探明总储量的11%多（包括大中型矿床24处），主要原因是矿石铜品位太低，选冶性能差，或外部建设或开采条件太差等。

第二章　我国铜矿床基本特点

我国铜矿床的基本特点是：

1. 铜矿床分布广泛

除天津市、重庆市和香港特区外，全国各省、市、自治区都探明有数量不等的铜金属储量（表 1-2，图 1-1）。探明铜储量占全国探明总储量 10%以上的有江西、云南和西藏等三省区，其中江西省最多，探明储量占全国探明总储量的 19.64%；在地区上，长江中下游、藏东、川滇、甘肃金川和白银等 5 个片区中，分布了全国铜储量约 73%，而长江中下游地区独占了 34%。

2. 单个铜矿床的规模以小型为主

我国单个矿床铜金属储量 50 万吨以上的大型矿床只有 34 个，探明铜储量占全部铜储量的 57.6%。其中只有江西德兴铜厂和西藏玉龙两个斑岩型铜矿的铜储量超过 500 万吨，从世界标准来看，我国迄今为止尚未找到千万吨级的特大型铜矿床。按矿床类型分，单个矿床规模超过 50 万吨的斑岩型有 11 个，接触交代型的有 9 个，海相火山气液型和热液型各有 4 个，受变质型 2 个，岩浆熔离型 2 个，海相沉积型 2 个。小型铜矿床有 700 多个，其铜储量总计仅占全国总储量的 13.44%。

3. 铜矿床类型多、成因复杂

一个矿床的形成往往经历过几种不同的成矿作用。由于研究者对一个矿床的成矿作用的了解程度不同或侧重点不同，因而对经过多种成矿作用的矿床有不同的成因解释。为便于对比，对一个具体矿床的成因归类，只能以一种主要成因为代表。据此，我国已知铜矿床的成因类型大体可划分为岩浆熔离型铜镍硫化物矿、斑岩型、接触交代型、海相火山气液型、陆相火山气液型、热液型、海相沉积型、陆相沉积型、受变质型和表生型等 10 种。其中以斑岩型为最重要，探明铜储量占全国探明总储量的 35.53%，其次为接触交代型，探明铜储量约占 25.32%。海相气液型约占 9.24%，热液型约占 8.25%，岩浆熔离型 5.67%，海相沉积型占 5.16%，受变质型占 3.82%，陆相火山气液型占 3.21%。

4. 矿石类型多样化

矿石类型可分为以铜为主的铜矿石、与其他元素共生的铜矿石和在非铜矿石中呈伴生状态的伴生铜矿石。以铜为主的铜矿石是主要的，占全部铜储量的 83%。特别是大中型铜矿，其储量占整个以铜为主储量的 86%。其他矿种矿床中伴生的铜储量仅占全部铜储量的 3.9%。铜矿的含铜品位以中低品位为主，大于 1%品位的富铜矿仅占全部探明储量的 33%；铜品位大于 0.5%、小于 1.0%的约占 47%。

5. 铜矿石中伴生的可综合利用的元素多

我国铜矿石中除主要组分 Cu 外，常伴生有 Au、Ag、Mo、Fe、Ni、Co、W、Sn、Pb、Zn 等。据统计，与铜伴生的金，占了整个伴生金储量的 78%，伴生银储量占整个伴生银储量的 26%。不同成因类型铜矿往往具不同的元素组合。如斑岩型铜矿以 Cu-Mo 为主，次为 Cu-Au；接触交代型铜矿以伴生 Cu-Fe、Cu-Au-S、Cu-Fe-Co 以及 Cu-Pb-Zn 等；岩浆熔离型铜矿为 Cu-Ni 组合为主；陆相沉积型铜矿有 Cu—Ag 组合。与铜矿伴生的组分具有很重要的综合利用价值。

6. 铜矿床的成矿时代多

我国铜矿的成矿时代从太古宙到第四纪各个时期都有，但主要是在燕山期，其探明铜储量占全部铜储量约 51%；其次为元古宙约占 17.9%，喜马拉雅期约占 12.7%；华力西期约占 9.6%；加里东期约占 4.4%；太古宙约占 3.9%。各个时代有不同的主要成因类型。太古宙以斑岩型和海相火山气液型为主；元古宙以海相沉积型和海相火山气液型为主；加里东期主要为海相火山气液型；华力西期以海相火山气液型和斑岩型为主；燕山期则以斑岩型和接触交代型最重要；喜马拉雅期主要为斑岩型。

表 1-2 各省、直辖市、自治区探明铜储量表

Table 1-2 The explored copper metal reserves in Municipalities, Autonomous and Provinces

地区	总矿床数及储量		大型矿床		中型矿床	
	矿床数 个	占全国总储量 %	矿床数 个	占本省(市、区)总储量 %	矿床数 个	占本省(市、区)总储量 %
全国	912		34		12	
北京	9					
天津						
河北	18	0.67			3	71.26
山西	26	4.99	1	59.98	5	27.04
内蒙古	37	4.31	2	52.29	6	34.88
辽宁	21	0.79			1	55.16
吉林	46	1.35	1	43.72		
黑龙江	15	3.19	1	87.72	1	1.79
上海	1				1	100
江苏	16	0.49			1	42.54
浙江	31	0.51			2	72.33
安徽	11	5.48	2	31.03	8	49.26
福建	25	2.20	1	69.21	2	15.74
江西	42	19.65	9	94.17	3	3.17
山东	54	1.24			3	17.36
台湾	2					
河南	19	0.24				
湖北	60	5.25	1	29.2		55.64
湖南	39	1.03				14.00
广东	28	2.61	1	30.73		37.78
广西	40	1.26	1	54.39	2	24.85
海南	3	0.38			1	99.03
四川	19	2.76			7	72.70
贵州	12	0.09				
云南	163	15.47	4	34.15	29	50.78
西藏	6	11.12	4	95.91	1	3.37
陕西	19	1.19			3	67.73
甘肃	25	6.51	2	65.62	8	28.01
青海	20	2.19	2	56.56	3	31.90
宁夏	3					
新疆	38	4.83	2	51.71	8	41.18

注：上述矿床数和储量统计到1997年，包括储量平衡表上储量和未上平衡表的普查储量。

大型规模：铜金属储量≥50万吨；中型规模：<50万吨铜金属储量≥10万吨。

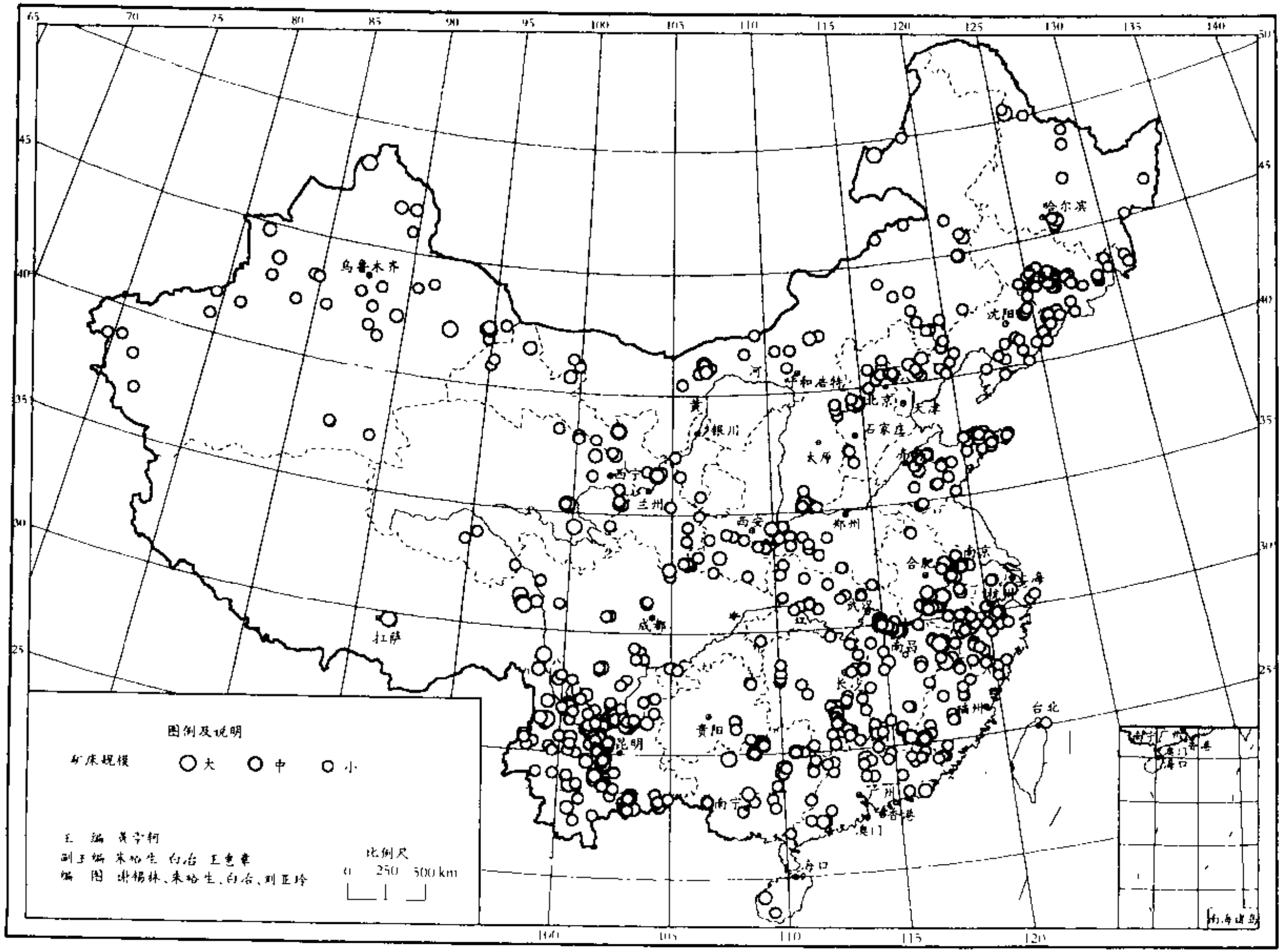


图 1-1 中国铜矿床分布图

Fig. 1-1 Distribution plan of copper deposits (occurrences) in China

(地理底图按中国地图出版社发行 1996 年 4 月第一版地理底图缩制，下同)

第三章　铜矿床资源形势

根据1996年11月原国家计划委员会和原地质矿产部组织十个工业部门参加所进行的《我国主要矿产资源对2010年国民经济建设保证程度的论证报告》（以下简称“论证报告”）中指出：铜在我国有色金属消费量中居第二位。用消费法、回归分析法和弹性系数法等进行预测，我国铜的需求量2005年为115万吨，2010年为170万吨。现有探明铜储量能保证2010年自产铜加上废铜的自给率只达70～80%，因此，今后必需加速铜矿勘查和部分长期进口，才能满足对铜的需要。

世界上铜矿资源是丰富的，目前，国际上铜金属供过于求，而且价格也比国内生产便宜。国家已制定了利用两种资源的政策，可以充分利用国外铜矿。但是对我们这样具有五分之一世界人口的社会主义大国，经济建设正处在高速发展时期，主要矿产资源的自给不仅具有经济意义，而且还具很重要的政治意义，在保障国家的安全上具有重要作用。特别今天，世界的风云变幻，还存在强权政治，存在着以强凌弱的现实。以美国为首的北约轰炸和封锁南斯拉夫科索沃问题就是一个明显的例子。因此，我们要有两手准备，一方面要充分利用国外资源，同时还要努力在国内找矿，使主要的矿产能基本立足于国内，或者有足够的储备。“论证报告”建议在进一步查明我国矿产资源的基础上集中有限的资金重点寻找国家急需而又有找矿远景的石油、铜等重要矿产，力争取得重大突破，发现和探明一批大型超大型铜矿床。

我国地域辽阔，地质构造复杂，成矿条件多样，铜矿床成因类型众多，各地区地质工作和研究程度深浅不一，因此，不仅在我国工作和研究程度较低的广大西北和西南地区铜矿有远景，而且工作和研究程度较高的东、中部地区找铜矿仍有希望（参阅第四篇）。但是应该看到，从已有的经验可以证明，铜矿的找矿难度远比黄金等其他矿产大得多，需要更深入的研究、更大的投入和坚持不懈的努力，才有可能取得突破性进展。

第二篇　铜矿床各论

第一章　与基性、超基性侵入岩有关的岩浆熔离型矿床

岩浆熔离型铜镍矿床硫化物矿床是含铜镍硫化物的基性 超基性岩浆，在深部或上侵后铜镍硫化物从岩浆中就地熔离聚集，形成的铜镍矿床。这类矿床也是我国较重要的铜矿床类型之一，其探明铜金属占全国铜储量的 5.67%。在我国，这一类型矿床主要分布在我国北部和西部地区（图 2-1），其大地构造环境既有地台，也有地槽。但探明储量则以分布在台区的占了绝大部分，地槽褶皱带内发现的矿点多，但探明的铜储量很少。成矿时代从元古宙延至晚古生代。在我国已发现和探明的这类矿床的规模相差很大，个别大的铜镍储量达几百万吨，多数矿床属小型。金属矿化随岩体性质不同而变化，元素组合有 Ni-（Cu）、Cu-Ni-（Co、Ag、Pt）、Cu-Ni （Co、Pt、Pd）等。围岩蚀变以蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化、滑石碳酸盐化等为主。需要指出的是，青海德尔尼铜钴矿床，矿体赋存于基性-超基性岩中，对其成因有不同的认识，其中有一种观点认为该矿床属于含镍钴基性-超基性岩浆，经深部熔离分异后贯入而成。因此，作者暂把它归入本类型矿床。

第一节　甘肃金昌市金川铜镍矿床

一、大地构造位置

金川镍、铜矿床位于前寒武纪早期中朝克拉通西南龙首山隆起带南侧（汤中立等，1987），与北祁连加里东褶皱带相毗邻。

二、矿区地质

（一）地层

龙首山隆起带出露地层主要有古元古界、新元古界、泥盆系、石炭系、二叠系及侏罗系。古元古界呈北西条带状分布，由白家嘴组（Pt_1^1）及塔马沟组（Pt_1^2）组成。前者主要由混合岩、片麻岩及蛇纹石大理岩组成。后者主要由各种片麻岩、片岩及条带状大理岩组成。上述两组岩石呈不整合或假整合接触。侵位于塔马沟组的白色伟晶花岗岩脉，K-Ar 同位素年龄为 1719 Ma。新元古界地层亦呈 NWW 向展布，主要由墩子沟组和韩母山群组成。前者主要由砾岩、砂岩和结晶灰岩组成；后者主要由绢英片岩、钙质片岩及灰质角砾岩组成，二者为不整合或断层接触。

（二）构造

古元古界组成一单斜构造，倾向 SW，它们被形成复背斜的新元古界所超覆。上古生界、中生界则形成同斜褶皱。

龙首山隆起带走向 EW，西部转为 NW 向。构造的线性特征十分明显。隆起带两侧为深断裂。断裂倾角 60°～70°（图 2-2）。平行主断裂的次级断裂亦较发育，隆起带还有一走向 NE 的平推断层。在金川侵入体中常见此类断层，并切割侵入体。

（三）岩浆岩

本区岩浆活动发育。吕梁期（1700 Ma），侵入体为伟晶花岗岩、斜长角闪岩，常呈小透镜体产出，

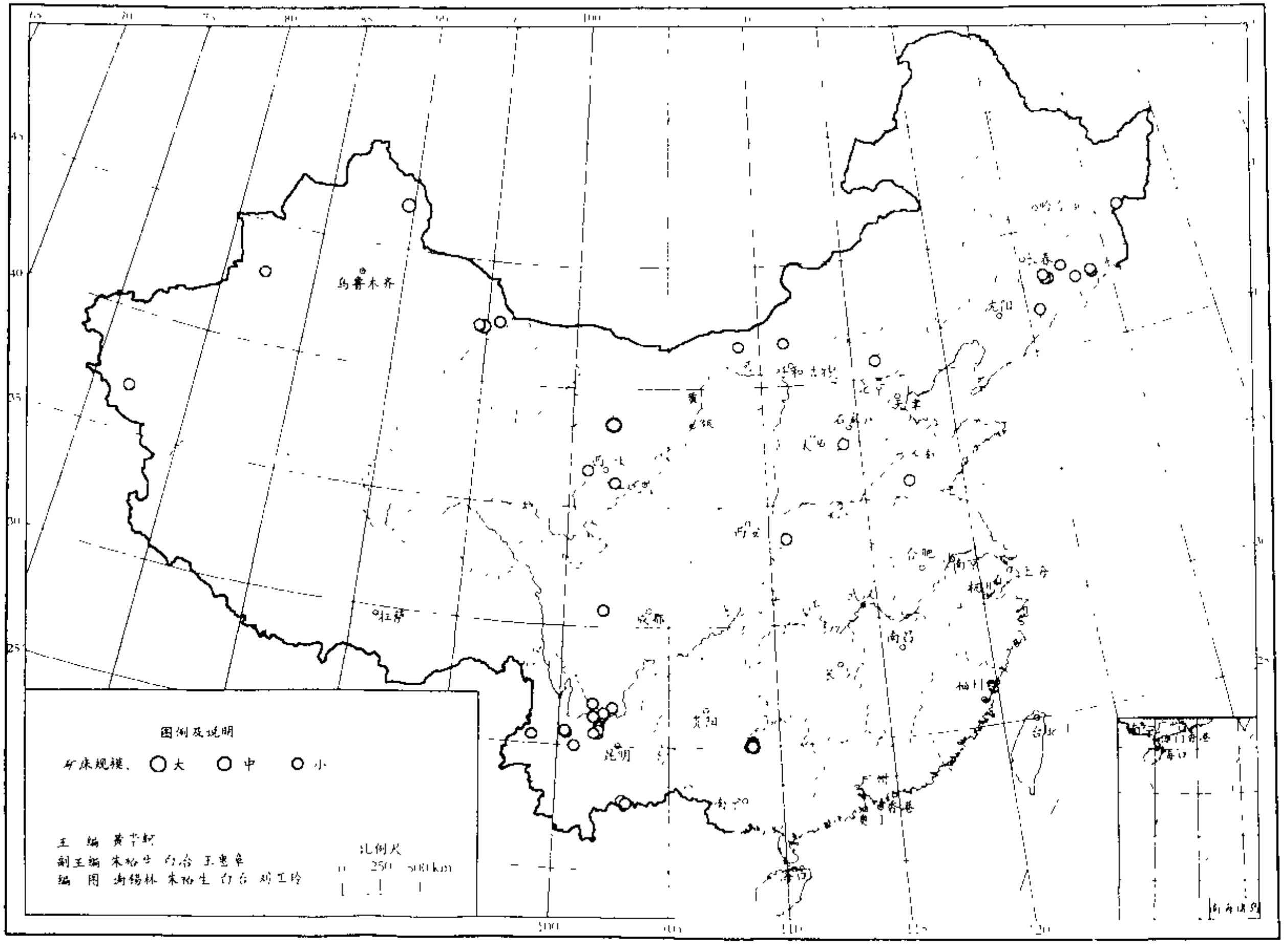
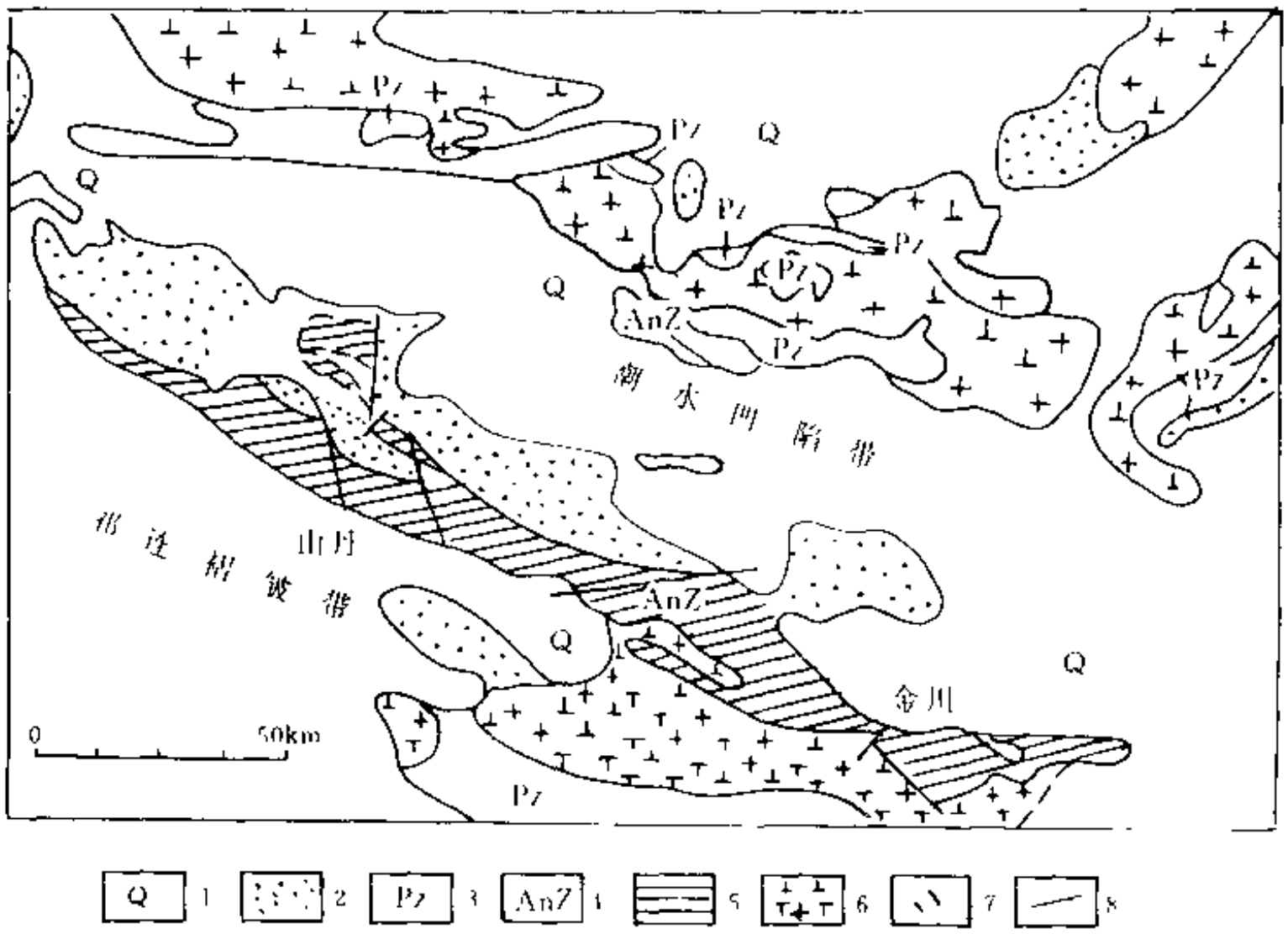


图 2-1 中国岩浆熔离型铜矿床分布图

Fig. 2-1 Distribution plan of liquation type copper deposit in China



Q 1　2　Pz 3　AnZ 4　5　6　7　8

图 2-2　金川区域地质图

Fig. 2-2　Regional geological map of Jinchuan area

1—第四系；2—中生界-第三系；3- 古生界；4　前寒武系；5　龙首山隆起带；6--花岗岩-闪长岩侵入体；7　镁铁 超镁铁侵入岩；8—断裂

往往被加里东期镁铁质岩脉切穿。含硫化物超镁铁质侵入体是由多次岩浆贯入而成的，形成时代为中元古代 1508 Ma±31 Ma。加里东期岩浆活动极其普遍，主要的代表性岩石为规模不等的花岗质侵入体，亦可见少量超镁铁岩、基性辉长岩及闪长岩和花岗闪长岩。

1. 岩体地质

金川含硫化物超镁铁深成侵入体以 10°交角侵位于古元古界白家嘴组的变质岩中。侵入体的 Nd Sm 同位素年龄为 1508 Ma±31 Ma（汤中立等，1992）。该岩体长 6500 m，宽数十米到 500 m 不等，其两端均为第四系所覆盖，地表出露长约 4500 m，出露面积为 1.34 km^2，走向为 N50°W，倾向 SW，倾角 50°～80°，呈不规则脉状展布，它被 E--NE 向的剪切断裂切割为四个区段，这 4 个区段从西到东（图 2-3）编号为Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ矿区。

Ⅲ号矿区的侵入体相对于Ⅰ号矿区的侵入体被 F_2 断层向 SW 方向错开达 900 多米，其上被 10～50 m 厚的第四系沉积物覆盖。该侵入体长 500 多米，东部较宽，向西尖灭。东端部分延深至 600 m 以下尖灭，西端延深约 200 m 呈楔型尖灭。该侵入体倾向南，倾角 60°～70°。

Ⅰ号矿区侵入体出露长约 1500 m，西宽东窄。西端宽达 320 m，东端宽约 20 m。向下延深大于 700 m。倾角较陡（70°～80°），倾向 SW。

Ⅱ号矿区侵入体的长度大于 3000 m，东部被第四系覆盖，向西逐渐变宽，在 F_{17}附近宽度最大，达 530 m，再朝西，又变窄。该侵入体走向约 N50°W，倾角 50°～60°，倾向 SW，东部倾角变缓。

Ⅳ号矿区侵入体位于全矿区最东端，长 1300 m，除西端位于混合岩之下外，其余均被第四系覆盖，覆盖厚度 50～140 m。侵入体的走向发生强烈偏转，为 N 80°W，倾角 50°～60°，倾向 SW。侵入体形态呈不规则透镜状，东部向下分叉并尖灭。最宽＞230 m，向下延伸达 400～600 m。综上所述，金川侵入体形态受包围它的断层的性质控制。在剪切断层控制作用明显地段，侵入体向下延伸较深，且呈平板状（图 2-3b）；在张性断裂发育地段，侵入体向下延伸不深，横剖面上呈漏斗状（图 2-3c）。在剪切作用发育地段，岩浆分异不明显；而在张性断裂发育地段，岩浆分异作用则十分明显，各岩相均较发育。

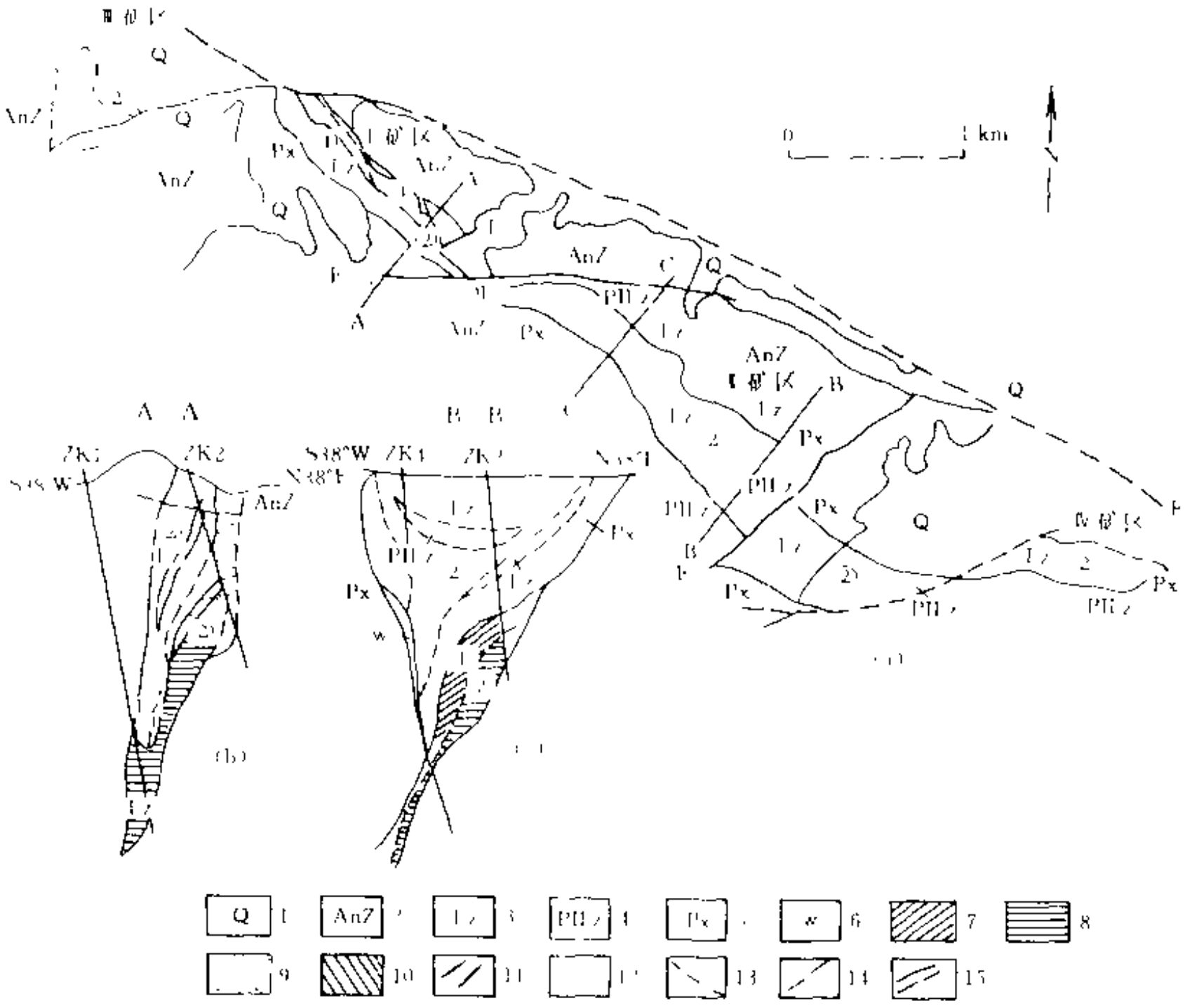


图 2-3 金川侵入体平面（a）及剖面（b、c）地质图

Fig 2-3 Geological plan (a) and section (b, c) of Jinchuan intrusive body

1. 第四系；2 元古宇；3 二辉橄榄岩；4 斜长 辉橄榄岩；5 橄榄二辉岩；6 二辉岩；7 浸染状矿石；8 网状富矿；9 贫化矿石；10 交代状矿石；11 块状硫化矿石；12 悬挂式浸染状矿石；13—岩浆岩岩相接触界线；14 不同阶段岩相接触界线；15 断层

2. 侵入体侵入阶段和岩石类型

金川含 Cu-Ni 硫化物岩体是一个复式侵入体，可分为三个侵入期次。

第一期为细 中粒二辉橄榄岩和橄榄二辉岩，主要产于Ⅰ、Ⅲ矿区侵入体的中、上部（西南侧），朝东南逐渐变窄，中止于 F_{16}。第二期为中-粗粒超镁铁岩分布于Ⅰ、Ⅲ矿区侵入体之中、下部，向东南逐渐变宽，成为Ⅱ、Ⅳ矿区侵入体的主岩相。第三期为中粒纯橄岩，主要产于Ⅰ、Ⅱ矿区侵入体之下部。

各期次岩体较基性的部分产于岩相中心，向外基性程度逐渐降低（图 2-3）。同一期次内各岩类之间的接触界线是逐渐过渡的，而不同期次之间的接触界线则是突变的。较早期次的侵入体已经蚀变或强烈破碎，有些接触带往往被晚期岩脉所充填。

金川各类岩石的主要造岩矿物为：橄榄石、单斜辉石、斜方辉石及斜长石。橄榄石一般为半自形-自形短柱状，但当其被其他矿物颗粒包裹时，则呈浑圆状，一般 Fo 77%～90%，极少部分 Fo 91%～94%。斜方辉石主要呈他形晶产出，半自形晶少见，En 80%～87.3%，成分相当于古铜辉石。在二辉岩中斜方辉石为紫苏辉石，En 76.5%，斜方辉石含量少于单斜辉石。

所有岩石均已蚀变，橄榄石一般蚀变为蛇纹石和纤蛇纹石，蚀变矿物一般沿裂隙分布，在强蚀变地段则被叶蛇纹石所代替。古铜辉石常蚀变为绢石。单斜辉石一般蚀变为纤闪石和透闪石，呈单斜辉

石假象出现，但其被蚀变为绿泥石时，其原来单斜辉石的结构则变得模糊不清。斜长石一般被葡萄石取代。纯橄岩蚀变较强的地方出现菱镁矿、方解石和绿泥石。

3. 侵入岩的化学成分

金川侵入岩的平均化学成分相当于二辉橄榄岩的成分（表 2-1），其中的 Mg、Fe、Ni、Cr 含量及 w（Mg）/w（Fe）值（3.02～2.2）随岩石基性程度的降低而有规律的减少。Fe^{2+}和 Fe^{3+}的含量成反比，Fe^{3+}与蚀变强度有关。Si、Ca、Al、Na、K 含量与 Mg、Fe 含量呈反比关系。Na_2O 含量一般<0.5%，但在一些含斜长石的岩石二辉岩或橄榄二辉岩中却>1%，w（K_2O）<w（Na_2O）。K_2O 含量在约 2% 的样品里>0.3%。在极个别样品中，其含量>1%。含 Ni 硫化物超镁铁岩中的 Cr 含量低于那些无矿的同类岩石，这反映 Cr^{3+}对单斜辉石有亲合倾向。Cr 含量较低的原因可能是与其在岩石晚期蚀变阶段铬尖晶石中的 Cr 被 Fe 置换迁出形成磁铁矿有关。

表 2-1　金川侵入体岩石成分（w_B/%）

Table 2-1　Lithologic composition of Jinchuan intrusive body（w_B/%）

岩石类型	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Ca_2O_3	NiO	LOI	总计	m/f
细—中细粒二辉橄榄岩	37.20	0.28	2.97	6.36	6.81	0.13	31.02	1.96	0.37	1.17	0.13	0.37	12.21	100.31	4.38
细-中粒橄榄二辉岩	40.82	0.55	5.17	5.58	6.38	0.15	27.32	3.67	0.34	0.07	0.50	0.15	9.14	99.74	4.23
平均	37.31	0.29	3.04	6.43	6.82	0.13	30.90	2.01	0.37	0.17	0.43	0.36	12.10	100.27	4.35
中—粗粒二辉橄榄岩	36.74	0.26	2.85	7.47	6.07	0.13	30.03	1.77	0.21	0.10	0.66	0.37	12.05	98.61	4.25
中—粗粒斜长二辉橄榄岩	38.03	0.34	4.01	6.07	7.99	0.15	30.99	2.64	0.38	0.20	0.49	0.20	9.64	101.13	4.07
中-粗粒橄榄二辉岩	41.49	0.48	5.95	4.18	4.85	0.16	25.60	5.15	0.60	0.31	0.31	0.25	7.22	100.25	3.22
中—粗粒二辉岩	43.55	0.57	8.54	3.34	8.64	0.15	19.94	8.08	0.82	0.37	0.31	0.15	5.67	100.13	3.02
平均	37.56	0.30	3.45	6.84	6.26	0.15	29.54	27.37	0.29	0.14	0.58	0.26	11.07	99.21	4.16
中粒纯橄岩	35.27	0.62	1.06	7.91	6.04	0.11	35.27	10.5	0.39	0.10	0.27	0.16	3.24	100.1	4.75
总平均	37.46	0.30	3.28		6.42	0.13	30.05	2.29	0.32	0.15	0.53	0.28	11.28	98.83	4.28

注：LOI——烧失量；m/f=Mg^{2+}原子数/[(Fe^{3+}+Fe^{2+}+Mn^{2+})原子数]

三、矿床地质特征

（一）矿体和矿石类型

金川矿床已知有 24、1、2 号三个主矿体（图 2-4），其 Cu-Ni 金属储量占整个矿床的 90%以上，其余矿体储量不足 10%。

金川矿床的矿石可划分为三种类型，与之对应的矿化作用为：岩浆、气成热液和热液作用。岩浆型矿石根据其离熔作用（不混熔硫化物分离）发生的地点及侵位的次序可划分为三种类型：就地熔离型矿石、深部熔离贯入型矿石及晚期贯入型矿石。气成-热液矿化主要形成接触交代矿石。纯热液型矿石主要叠加于深部熔离-贯入矿体之上，个别叠加于就地熔离矿体之上。

1. 就地岩浆熔离矿石（主要为浸染状硫化物矿石）

这类矿石在金川矿床中具第二位，为有经济价值的矿石类型，呈透镜状遍布侵入体各个部分所有相带中，其长可达几百米，厚为 1 m 至数十米，沿矿体的走向、倾向有分支复合现象，沿矿体倾向分支现象更为明显。较大矿体一般产于较富橄榄石的二辉橄榄岩中，位于侵入体中、下部。

矿石主要为浸染硫化物型。矿体中部硫化物最富，从矿体到围岩硫化物逐渐减少。主要硫化矿物是磁黄铁矿、镍黄铁矿及黄铜矿，其比率是：5.9∶5.6∶1。其他硫化矿物为方黄铜矿、马基诺矿、墨铜矿。上述硫化矿物呈不规则布丁状，一般粒径约 1～3 mm，均匀地充填于硅酸盐矿物如橄榄石和辉

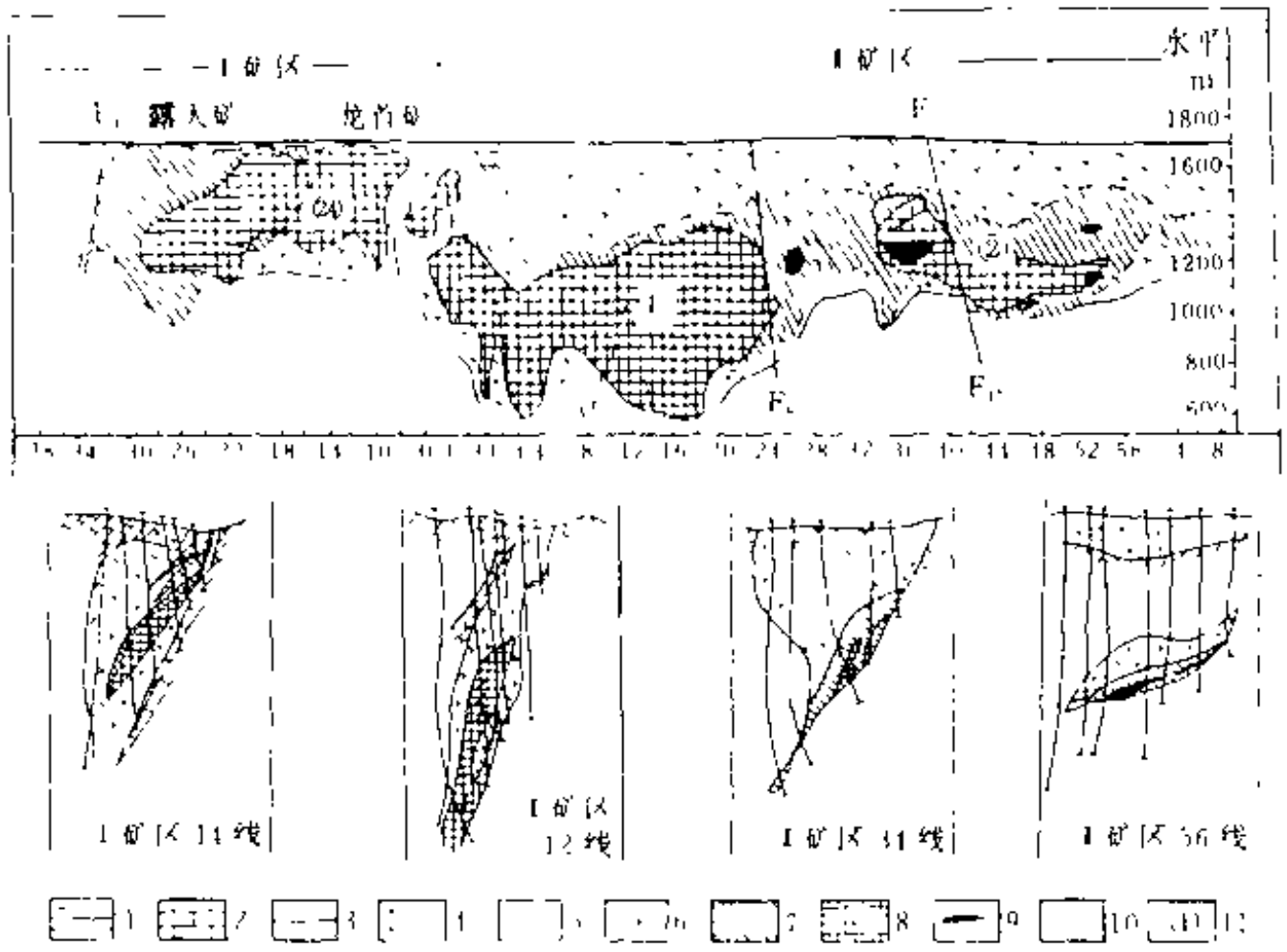


图 2-4　金川矿床主矿体纵、横断面示意图

Fig. 2-4　Sketch of longitudinal and cross section of main ore body in Jinchuan deposit

1. 混合岩；2. 大理岩；3. 斜长角闪岩；4. 辉橄榄岩；5. 斜长辉橄榄岩；6. 橄榄二辉岩；7. 星点状矿石；8. 海绵陨铁状矿石；9. 块状矿石；10. 岩相界线；11. 主矿体编号

石的空隙里。在矿体较下部边缘中可见由晚期阶段热液作用所形成的斑杂状矿石。这些矿石矿物以其集合体块度变化大（0.1～10 cm）为特征。矿体上部镍黄铁矿和磁黄铁矿大多已被蚀变为紫硫镍矿和白铁矿、黄铁矿，但保留有残余结构。

2. 深部岩浆熔离-贯入矿石（主要形成网状硫化物矿石）

这种矿石最重要，由其组成的矿体规模大，厚几十米至几百米，长几百米至几千米，主要产于侵入体之深部或者说是底部（图 2-4）。有几个矿体位于岩体上盘，而有一两个矿体贯入到侵入体下盘。矿体形态通常呈平板状、透镜状，但也有些呈似脉状，矿体会突然变薄或变厚，分支现象更为常见。

矿体倾角时而陡于侵入体，时而又缓于侵入体，穿插于先形成侵入体的各岩相中。矿体分布不受早期分异相分布的控制。

矿体规模和位置与侵入体的分异程度和规模无关。含硫化物的岩石是纯橄岩。由岩体中部向边部，其辉石含量有所增加。硫化物集合体大小约 1～6 mm，充填于硅酸盐矿物的间隙里，形成网状矿石，其含量可占纯橄岩的 12%～15%。局部动力和热液作用使得硫化物呈似片麻状、绒毛状、星云状构造，此类矿石的结构和矿物组合基本与就地岩浆熔离矿体相同，有发育良好的乳浊状、似火焰状、格子状、文象状和薄层状结构，它们均是离熔作用的产物，由交代作用形成的网状结构、环带结构较为常见。主要金属矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿，其比例是 1.8∶2.6∶1。在一些矿带里，Pt、Pd、Au、Ag 较为富集，含量大于 1×10^{-6}。这样的矿带厚可达几十米，长几百米，向下延伸达 100 m。

富矿带的主要特征是：构造裂隙比较发育，矿石结构、构造及矿物组合变化较大；矿石结构既可见到网状结构，也可见到交代网状结构（矿化物呈叶片状）以及似片麻状、星云状或似云状构造；硫化物一般表现出交代熔蚀结构、残留结构；硅酸盐矿物一般被强烈蚀变为蛇纹石、碳酸盐和滑石，形成纤蛇纹石-滑石-菱镁矿集合体。

铜矿物特别是方黄铜矿，在富矿带中明显增加，甚至可达硫化物总量一半以上。这些富矿带正如图 2-1 所表明的那样，富集了包括 Cu 在内的 Pt、Pd、Au、Ag、Se 等元素，上述这些元素主要以砷化物、自然元素、金属混合物、碲化物、铋化物、锑化物形式存在于主矿物里。Co 主要以固溶体形式存在于镍矿物中，w

(Ni) w (Co) 值为 41，Ni 辉砷钴矿与 Fe Ni 辉砷钴矿一般很少见到。Se 往往在硫化物中替代 S。

3. 晚期贯入矿石（主要形成块状硫化物矿石）

这类矿石位于侵入岩最深部位的深部熔离贯入矿体底部或其与围岩接触带。矿体通常以不规则状透镜体或脉体群形式出现，长约几米至几百米，厚数十厘米至 20 m，狭缩—膨胀变化突然。块状硫化物是这类矿石的主要类型，矿体边部或末端有时出现次块状、角砾状矿石。角砾成分包括原生网状结构矿石、辉绿岩及其他围岩。块状硫化矿石的脉石矿物含量不超过 2%。主要以绿泥石集合体为代表矿石的金属矿物是磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿及少量磁铁矿、赤铁矿、硫铁铜钾矿。磁黄铁矿（黄铁矿）、镍硫化物和黄铜矿三者间含量之比为 1.3∶1∶1。这种类型矿石中镍硫化物含量比其他类型矿石低。它们是在岩浆晚期温度较低的环境中形成的。

4. 接触交代矿石

这类矿石部分产于侵入体上盘或围岩的捕虏体里，但主要产于侵入体之下盘。规模较大的矿体长约几百米、厚几米至几十米，呈层状、透镜状或者似囊状紧靠含硫化物侵入体，或与围岩整合产出。矿体主要由稀疏浸染状—稠密浸染状、网状矿石组成。侵入体附近 Ni 含量最高，远离侵入体，Ni 含量降低。Cu 与 Ni 情况相反。矿石中的主要硫化矿物为磁黄铁矿（＋黄铁矿）、镍黄铁矿（＋紫硫镍矿）及黄铜矿（＋方黄铜矿、墨铜矿），它们之间的含量比为 1.2∶0.7∶1。磁铁矿和赤铁矿<1%，马基诺矿很少出现。硫化矿物呈半自形或他形，罕见条纹交代结构、交代假象结构以及出溶结构。围岩经过交代作用，也可形成矿体。这些围岩包括大理岩、片麻岩及斜长角闪岩。大理岩常蚀变为含钙铝榴石的透辉岩、透闪岩及绿泥片岩。蚀变作用主要围绕矿体的外侧分布。

（二）矿石成分

1. 矿石矿物成分

主要金属矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、马基诺矿、墨铜矿、紫硫镍铁矿等，以及自然金、银、自然铂及多种上述元素合金，各类碲化物、铋、锑、砷化物类矿物，铬尖晶石类矿物脉石矿物主要有贵橄榄石、古铜辉石、顽火辉石、透辉石、蛇纹石、拉长石等。

2. 矿石化学成分

金川矿床中，矿体占整个侵入体总体积的 13%。整个侵入体平均含 Ni 0.42%、Cu 0.23%、S 1.74%。

金川矿床各类矿石中 w（Ni）/w（Cu）值为 0.61～2.97，平均 1.29。块状矿石中 w（Ni）/w（Cu）值最高。热液矿石比值最低为 0.61。

金川矿区中铂族元素平均含量较高。各矿区铂含量平均（0.05～0.64）$\times10^{-6}$，且铂、钯含量高于锇铱钌铑，其比值为 2.0～7.15，在斑杂状矿石中极个别样品铂高达 81.67×10^{-6}（李文渊，1996）

（三）矿石结构构造

金川铜镍矿矿石结构、构造多样。岩浆就地熔离矿体，矿石结构以半自形至他形粒状结构为主，次为交代结构、交代残余结构；矿石以稀疏浸染状构造为主。岩浆深部熔离-贯入矿体矿石为半自形、他形粒状结构、乳浊状结构、格状结构、交代结构、叶片状结构。矿石以海绵晶秩构造为主，局部有星云状和云雾状构造。晚期贯入矿体矿石结构以半自形粒状结构为主。矿石常见构造为块状构造。其他类型矿石前已叙及不赘。

（四）围岩蚀变特征

岩浆期形成的矿体主要受自变质及后期热液作用影响而常发生见蛇纹石化、碳酸盐化、滑石化。接触交代型及热液叠加型矿体中局部出现夕卡岩化、绿泥石化。围岩为大理岩时，常见钙铝榴石、透辉石、透闪石岩。

（五）物化探异常特征

金川岩体所处的构造岩浆带上，有一个明显的重力梯度密集带，重力梯度值达 25 mg/km，该岩浆岩带磁场强度（ΔT）一般为 200～400 nT，最大值 700 nT。在铜镍矿体上激电异常明显，η_s 值一般大于 5%，最高可达 12%。

含矿岩体地表具明显土壤化探异常，内、中、外分带明显，以Cu、Ni、Cr三元素为主，并伴有Co、Sr等元素异常。

四、成矿条件

（一）同位素特征

矿床中不同期次各类矿石中硫同位素$\delta^{34}S$为1.06‰～2.53‰，与陨石硫接近。硫可能来自上地幔。

岩体的$^{87}Sr/^{86}Sr$较高为0.702547～0.711761，有的投点落在大陆壳演化线上，说明岩浆可能有地壳锶污染。$^{143}Nd/^{144}Nd$为（0.511800±10）～（0.512061±12），接近或大于球粒陨石，说明岩浆源发生过局部熔融。

金川岩体Sm-Nd等时线法测年为1508 Ma±31 Ma。

（二）成矿物理化学条件

据造岩矿物理论估算、造岩矿物熔融试验、熔融包体等方法测定：橄榄石液相线温度为1100℃，固相线温度为1200℃；辉石、斜长石在1100℃开始晶出。岩浆就位深度为10～15 km，岩浆房深度在20 km以下。硫化物初始熔离温度为1100～1500℃，硫化物呈单硫化物固溶体晶出温度为1000℃，到900℃以下发生固溶体分解，热液叠加作用发生在111～188℃左右。

五、矿床成因模式

（一）成矿阶段

含硫化物岩浆上升和贯入可分为4个连续阶段，即：硅酸盐岩浆阶段；含硫化物岩浆阶段；富硫化物岩浆阶段和硫化物熔融阶段。各阶段有如下特征：

第一阶段的硅酸盐岩浆仅形成少量由稀疏浸染状硫化物组成的矿体，呈小的悬挂凸镜体，位于侵入体西段的中、上部（图2-3b）。

第二阶段，含硫化物岩浆形成由稀疏浸染状硫化物组成的厚层状和凸镜状矿体，位于侵入体之中下部（图2-3c），其Ni、Cu储量占矿段储量的10%。

第三阶段的富硫化物岩浆贯入后，形成网状结构矿体，它呈大的凸镜体位于侵入体下侧（图2-3b、图2-3c），其Ni、Cu储量占矿段储量的85%。

第四阶段，硫化物熔体主要贯入到具网状结构矿体的底部裂隙里或其最底部（图2-3c），仅个别情况下，硫化物熔融体可贯入到其顶部、上盘或下盘。此类矿体呈脉状、透镜状、囊状，由块状硫化物组成，其Ni-Cu储量占矿段总储量的1%。

另外，在靠近侵入体底部和上部接触带的围岩里，以及侵入体的围岩捕虏体里，可见到接触交代矿体，它占矿段Ni-Cu储量的1%～2%。还可见到热液叠加型矿体，产于原生网状结构矿体，尤其是稀疏浸染型矿体里，此类矿体一般以富Cu、Pt、Pa、Au、Ag和Se为特征。

各类矿体的$w(Cu)/w(Cu+Ni)$、$w(Pt)/w(Pt+Pd)$值如表2-2。

表2-2　金川矿石类型有关元素含量比值

Table 2-2　Content ratio schedule of some elements of ore in Jinchuan deposit

	$w(Cu)/w(Cu+Ni)$	$w(Pt)/w(Pt+Pd)$
就地熔离侵染状矿石	0.46	0.65
深部熔离贯入网状结构矿石	0.39	0.57
晚期贯入块状矿石	0.25	0.36
接触交代侵染状矿石	0.45	0.61
热液叠加矿石	0.59	0.86

（二）综合模式

以目前所获的金川矿床地质和成分特征为基础，提出下列成因模式：

含铁超基性岩浆起源于地幔，上侵于地壳大于10 km处（图2-5a）的岩浆房里，原始岩浆的体积

比现在的侵入体的体积至少大 3 倍.

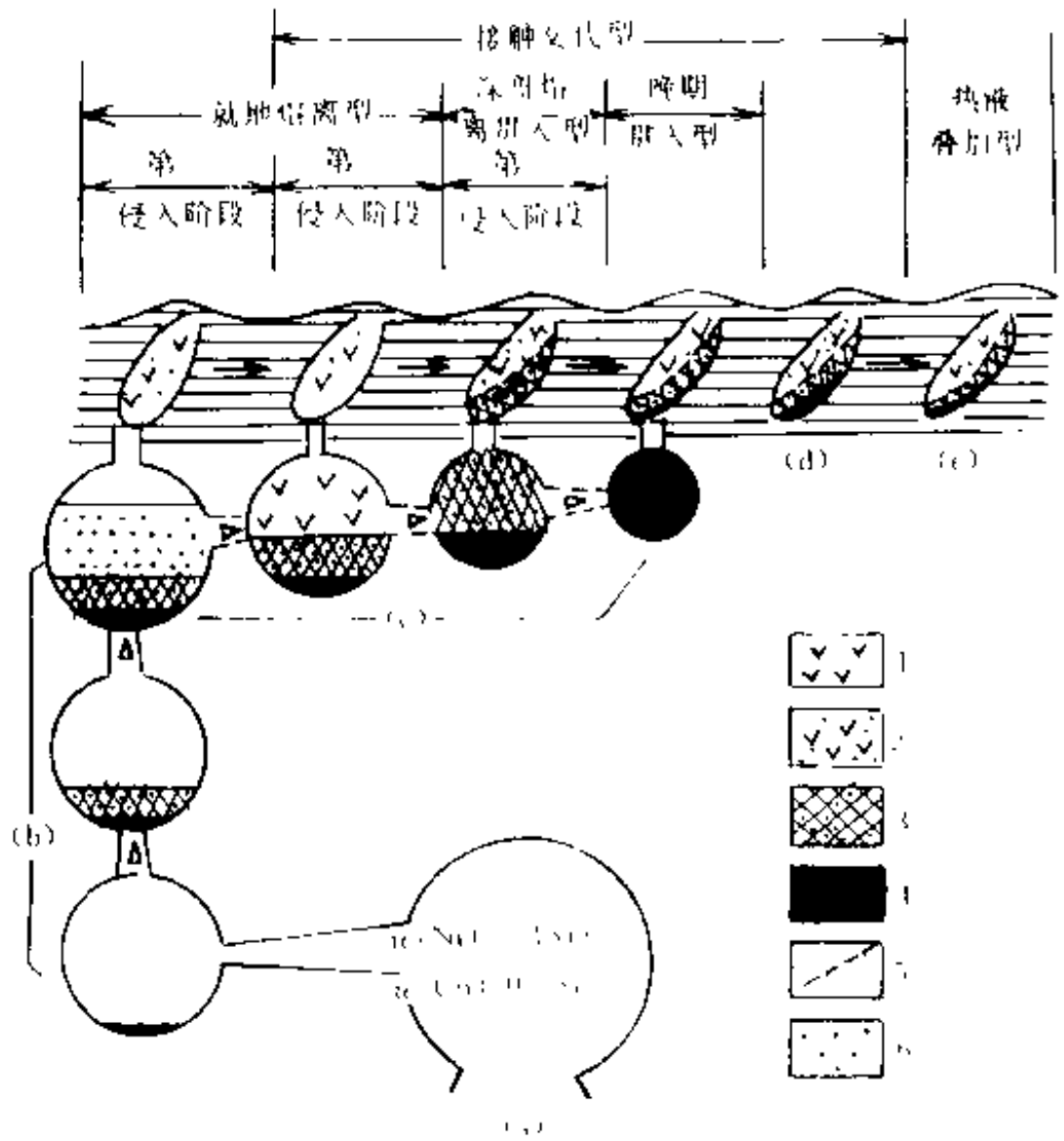


图 2-5 金川镍铜矿床成因模式

Fig. 2-5 Metallogenic model of Jinchuan Ni-Cu deposit

1—硅酸盐岩浆；2—含硫化物岩浆；3 富硫化物岩浆；4 硫化物熔融体；5 接触交代矿化；6 热液叠加矿化

地幔岩浆在上升到地壳中的岩浆房里后，在 1700～1100 C 范围内，不混溶流化物熔融体发生分离作用，橄榄石发生结晶分异作用（图 2-5b）。熔离后的硫化物熔体聚集，在重力作用下，下沉于岩浆房底部，而大量的橄榄石也结晶。并沉淀于硫化物熔融体之上，继之而来的岩浆中继续分离出来的硫化物熔融体又沉淀于橄榄石晶体之间，从而形成网状结构矿石层。 些硫化物微滴分离更晚，从而停滞悬浮于岩浆体之上部。这样，一个无矿岩浆 -含硫化物岩浆—富硫化物岩浆—硫化物熔融体（下降系列）的分层模式便在岩浆房中形成。

当岩浆房的温度在 1400～1200 C 期间，仅橄榄石继续结晶，硫化物保持其熔融状态，在脉动式构造应力驱动下，无矿岩浆—含硫化物岩浆—富硫化物岩浆 -硫化物熔融体依次上升（图 2-5c），侵位于地壳 10～15 km 处，形成现存的矿体和岩石。下地壳岩浆房上部的岩浆上侵到一处或多处位置。接着，上述的无矿岩浆—含硫化物岩浆—富硫化物岩浆及硫化物熔融体呈脉支式依次上侵到前面未固化的侵入体的位置。每次脉动式上侵都是沿早先形成的岩体下侧进行的，因为是该位置代表了一软弱带，利于岩浆上侵。

无矿岩浆和含硫化物岩浆在低于 1200 C 条件下继续就地结晶（Kudo 和 Weil，1970；Hakli 和 Wright，1967；中国科学院地球化学研究所，1981），依次形成古铜辉石、顽火辉石、拉长石、深部带上来的稀疏的硫化物微滴以及被封存于橄榄石间的或晚期结晶矿物间的就地熔离形成的硫化物微滴，在悬挂式板状矿体里形成稀疏浸染状矿石。

上述 4 种熔体侵位后，其中的挥发分随着温度降低以及结晶作用的断续进行而增加，最终挥发分聚集，导致自变质作用发生。原生的橄榄石和辉石被蚀变，形成蚀变矿物集合体，包括蛇纹石、角闪石及绿泥石。硫化物通过渗滤-扩散作用以及交代作用，侵入到围岩以及接触带附近围岩捕虏体中（图 2-5d）。受影响的围岩（主要是碳酸盐岩）被混染交代形成夕卡岩包括透闪石、绿泥石、少量钙铝榴石、

硅镁石和其他接触交代矿物。上述接触交代作用进行温度可能为 600～180℃。因为矿石成分来自于侵入岩中的硫化物，故未发现岩浆矿石与接触交代矿石中硫化矿物集合体间的差别，只是后者铜矿物的比例较高。随着挥发分的进一步聚集，挥发流体中成矿成分的比例有所增加。在构造应力的驱动下，这种高挥发分的流体贯入到网状矿体及浸染状矿体里的局部构造软弱带中（图 2-5c），形成具有热液叠加特征的矿体。此种热液成矿作用可使原生的网状矿石变为条状、星云状矿石，也可使稀疏浸染状矿石变为斑杂状矿石。它也使得硅酸盐矿物发生强烈的蛇纹石化。铜矿物特别是方黄铜矿的比例相对于总的硫化矿物增加了约一半，而且这类矿体里的 Pt、Pd、Au、Ag 及 Se 的相对丰度也显著增加。其中 Pt、Pd 是以砷化物、碲铋化物、碲化物的形式产出，而 Au、Ag 是以显微和微细粒（0.076 mm）自然金和银金固溶体形式存在。硒主要是以硫化物中硫的替代物形式出现。总之，该矿化阶段是以热液叠加为特征的，这主要表现为岩浆硫化物矿石中的 Cu、Pt、Pd、Au、Ag 和 Se 明显富集，该阶段的矿石里磁黄铁矿和黄铜矿的平衡温度为 189～339℃。

含矿侵入体就位时代为 1500 Ma。成矿后，该区经历了漫长而复杂的地质演化过程，表现为明显的地壳降起和剥蚀。到第四纪，大多数已知含硫化物侵入体已暴露于地表，侵入体西部矿体较浅、暴露部位遭受氧化作用，在镍铜硫化物矿床上形成氧化带，而东部的侵入体中的矿体从未暴露过，它们的最大埋深达 300 m。

第二节　新疆富蕴县喀拉通克铜镍矿床

一、大地构造位置

矿区位于准噶尔褶皱系，东准噶尔优地槽褶皱带北缘。按板块构造观点（刘德权，1998）将本区列入西伯利亚板块，北准噶尔洋内弧。

二、区域地质

（一）地层

区内出露的地层以泥盆系、石炭系为主，奥陶系次之，侏罗系、二叠系及第三系零星分布，第四系松散堆积物广布。

中上奥陶统：加普萨尔群（$O_{2+3}jb$）为一套浅海-滨海相陆源碎屑-海底火山喷发-碳酸盐建造组合。

泥盆系：由下泥盆统托让格库都克组（D_1t）和中泥盆统北塔山组（D_2b）、蕴都卡拉组（D_2y）组成，为一套滨海-浅海相陆源碎屑-海底中性火山岩-碳酸盐建造、海陆交互相中基性-中性火山岩-火山碎屑岩-碳酸盐建造、海陆交互相火山岩-火山碎屑岩组合组成。

石炭系：由下石炭统黑山砂组（C_1h）海相-海陆交互相的中性火山岩及碎屑岩和南明水组（C_1n）滨海-浅海相、海陆交互相的火山熔岩、火山碎屑岩及陆缘碎屑岩组合组成。喀拉通克铜镍矿、萨尔布拉克金矿和乔夏哈拉含铜磁铁矿均赋存于南明水组地层中。

第三系：由红砾山组和乌伦古河组及新第三系上新统昌吉河组成，主要分布于一些小盆地内。

（二）构造

该区位于加普萨尔复背斜内，背斜内出次级的莫勒迪尔巴斯复向斜、喀拉古拉复背斜、蕴都卡拉复向斜组成，呈北西向展布。断裂构造主要有 NW、NNW 和近 EW 向三组。本区的主要构造特征为：以 NW 向褶皱和断裂构成主要格架，其配套构造也很发育。

（三）岩浆岩

1. 侵入岩

区内已知岩体 133 个，划为三个侵入期。

华里西中期：是本区主要侵入期，分为五个侵入次。第一侵入次是以中基性岩为主，构成锡泊渡-喀拉通克中基性岩带。主要有：单斜辉石岩、单辉闪辉岩、橄榄辉长岩、辉长岩、闪长岩等。岩石多属钙碱系列。喀拉通克铜镍矿即产于该侵入期的基性岩体中。第二侵入次主要沿乌伦古河大断裂分布，以铁质超基性岩为主，其纯橄榄岩中产有铬铁矿。第三侵入次以花岗闪长岩、黑云母花岗岩为主，主

要沿 EW 向断裂和 NWW 向断裂分布。第四、五侵入次的岩体很小，仅见有斜长花岗岩和钾质花岗岩上述各侵入次有其相应的浅成岩及其脉岩，脉岩中石英脉部分含金、铜。

华里西晚期：主要为黑云母花岗岩，岩体很小。

燕山期：仅见花岗岩株和苦橄玢岩分布。

2. 喷出岩

以中生喷出岩为主，酸性及基性喷出岩较少。其主要特点是：随地层时代由老 新，岩石成分由基性—中性—酸性呈有规律的变化。

3. 火成岩的含矿性

对含铜镍有利的岩石是：华里西中期第一次侵入的含斜方辉石的各类中基性岩体为主，含橄榄石而不含斜方辉石的岩体次之。华里西中期第二侵入次纯橄榄岩中含铬铁矿。

华里西中期火山岩与铜金矿化关系密切，如乔夏哈拉含铜磁铁矿（含金）、索尔库都克铜（钼）矿等。

三、矿床地质特征

（一）成矿地质条件

1. 地层

出露地层以下石炭统南明水组为主，中泥盆统蕴都卡拉组仅见于南部边缘（图 2-6）。

下石炭统南明水组分为下、中、上三个岩性段。下段（C_1n^1）底部为紫红色岩屑砾岩，与下部中泥盆统蕴都卡拉组呈角度不整合。中部为紫色、杂色凝灰质粉砂岩、泥板岩，水平层理。上部为灰绿色泥板岩、粉砂质泥板岩夹硅质岩，水平层理。中段（C_1n^2）碎屑沉凝灰岩和沉火山砾岩，夹少量安山玄武岩。喀拉通克含矿中基性岩体即侵位于中上段中。研究表明：中、上段的沉积环境属"冒地槽"性质的以火山碎屑为主的浊积扇沉积环境或为远离火山岛弧或弧后盆地的一个拉张环境；沉凝灰岩 Rb Sr 等时线年龄为 311 Ma±16 Ma。

中泥盆统蕴都卡拉组（D_2y）：下部为安山岩、辉石安山岩、安山质角砾岩；上部为炭质、硅质泥板岩夹少量火山角砾岩。

2. 矿区构造

矿区位于莫勒迪尔巴斯复向斜东段，发育有次级褶皱和断裂。

褶皱构造：以 NW 向为主，次为 NNW 向。NW 向褶皱在矿区内有三个向斜、两个背斜。两翼对称，轴面近直立。NNW 向褶皱，为宽缓褶曲，由西向东有两个背斜、两个向斜，成斜列展布，NNW 向褶皱带斜跨 NW 向褶皱。

断裂构造：主要为 EW 向和 NNW 向，次为近 EW 向和 NE 向。NW 向断裂为主要控岩构造，基性岩体呈带状沿断裂分布。

3. 岩浆岩及其含矿性

矿区内主要发育有海西晚期以辉长-苏长岩为主体的中性—超基性岩体，少量燕山期侵入岩及脉岩。

目前已发现中基性—超基性岩体 10 个，分为南北两个岩带，两带相距 400～600 m，其展布方向为 310°与区域构造线一致。南岩带位于矿区南部背斜近轴部，由 Y_1、Y_2、Y_3 三个岩体组成（图 2-6），该带岩体规模大，形态较规则，半隐伏，基性程度高，含矿性好；除此在南岩带尚有 Y_{11}。北岩带位于矿区北部背斜内，由 Y_4～Y_9 组成。岩体较小，形态复杂，分异不明显，含矿性较差。

区内其他侵入岩主要为酸性浅成脉岩，有石英斑岩、钠长斑岩、花岗斑岩和少量石英脉。

4. 蚀变作用

含矿基性岩体侵位于南明水组中上段，致使围岩发生微弱的热接触变质作用。

（二）一号岩体特征

1. 形态规模产状

一号岩体沿 NW 向和 NNW 向两组断裂交汇处侵位。平面上为一中部膨大的不规则透镜体（图 2

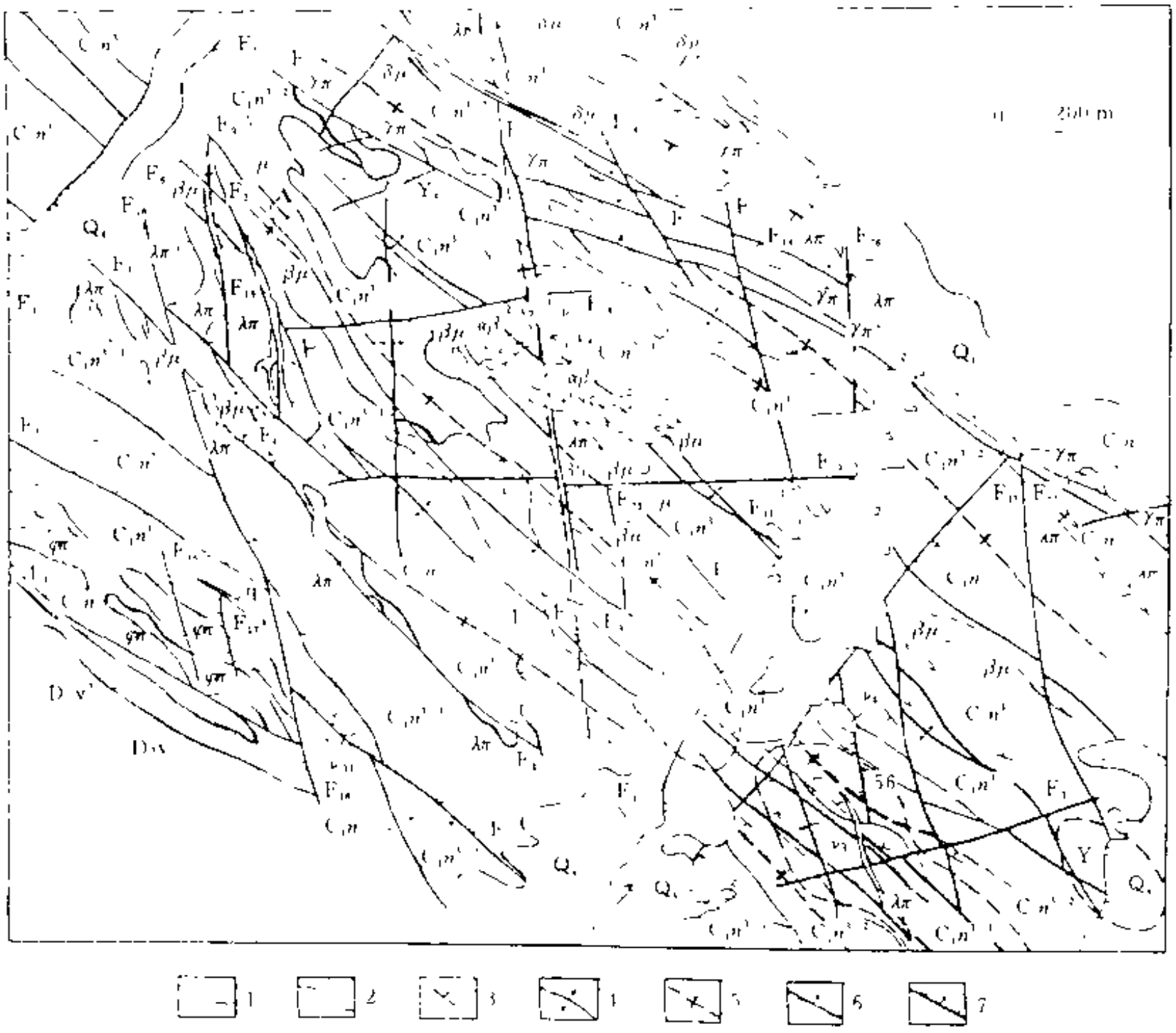


图 2-6　喀拉通克铜镍矿区地质略图

Fig. 2-6　Geological sketch of Kalatongke Cu-Ni ore district

Q_4—残坡积层和冲洪积层；E_{1-2}　红铁粘土和砂质粘土层；C_1n^{3-2}　凝灰质泥板岩和沉凝灰岩；C_1n^{3-1}　沉凝灰岩、含炭凝灰质板岩；C_1n^2—沉火山砾岩、沉凝灰岩；C_1n^1　泥板岩、粉砂岩夹灰岩；D_2y^2　泥板岩夹火山角砾岩；D_1v^1　安山岩、安山质角砾岩；Q—石英脉；$\Phi\pi$　钠长斑岩；$\lambda\pi$　石英斑岩，$\gamma\pi$　花岗斑岩；$\delta\mu$　闪长玢岩；$\beta\mu$　辉绿玢岩；ν_1　基性岩体及编号；$\alpha\beta$—安山玄武岩；1　地质界线，2　不整合界线；3　地层产状，4　背斜轴；5　向斜；6　逆断层，7　Ⅱ断层

7)。沿走向上盘面较平直，下盘面有较大弯曲。横剖面上，岩体呈向北东偏斜的漏斗状（图 2-8)。岩体地表出露长 695 m，最宽 289 m，向下延伸由西向东增大：西部 42 线深 150 m，中东部 28 线深 570 m。岩体总走向 330°，40 线以东倾向陡缓交替变化，致使岩体下盘出现台阶：40 线以西倾向 SW，倾角 70°～90°。

2. 岩相和主要造岩矿物

岩体垂直分异良好，自下而上分为黑云辉石闪长岩相、黑云角闪苏长岩相、黑云角闪橄榄苏长岩和黑云角闪辉绿辉长岩相四个岩相带。各相带间呈渐变过渡关系，各岩相基本特征如表 2-3。

3. 岩石化学成分特点

一号岩体岩石的平均化学成分与诺科斯（1954 年）的基性化学成分平均值和黎彤等（1962 年）中国基性岩化学成分平均值比较，其主要特点是：富镁贫钙、碱值略高，硅、铝、钛均低于同类岩石平均值。与国内同类矿床相比，较白家嘴子、力马河、红旗岭等岩体偏酸性；与赤柏松、黄山东等岩体的岩化特征近似，但仍具贫钙富镁的特点。

岩石化学成分在各类变异图上的投影点都落于贫钙低铝富碱质富镁铁区，形成环境为造山带或岛

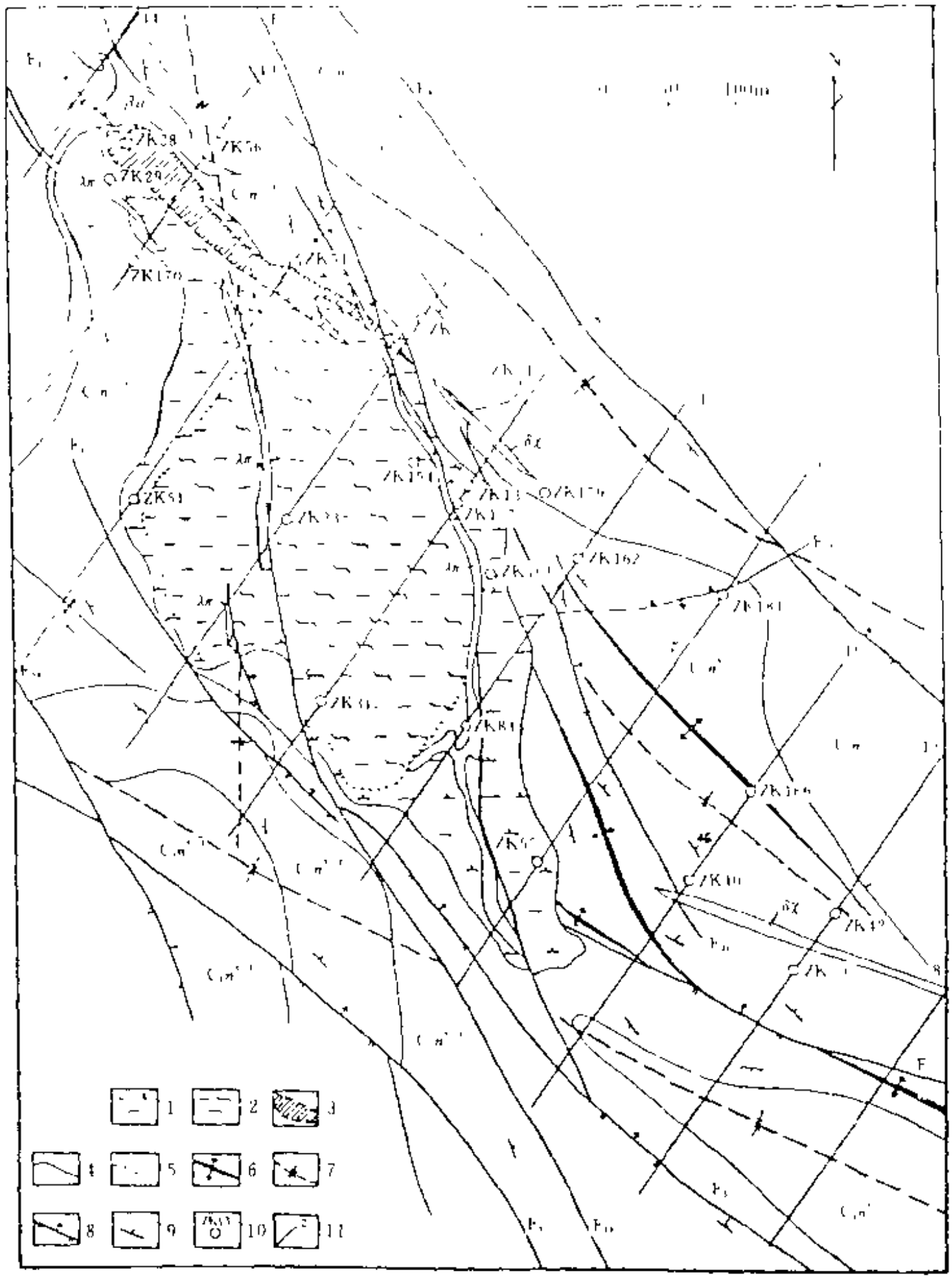


图 2-7　喀拉通克一号矿床地质图

Fig. 2-7　Compound section of deposit No. 1 in Kalatongke ore district

C_1n^{3-2}—灰白色泥板岩、含砾中粗屑 粉屑凝灰岩；C_1n^{2-1}　含砾中粗屑　粉屑沉凝灰岩、含炭质凝灰质泥板岩；1　黑云闪长岩相；2—黑云角闪苏长岩相；3　矿体；4　地质界线；5　岩相界线；6　背斜轴；7　向斜轴；8　逆断层及编号；9　地层产状；10　钻孔及编号；12　勘探线及编号；$\beta\mu$　辉绿粉岩；δr　闪斜煌岩；$\lambda\pi$　石英斑岩

弧火山岩区。

岩石平均化学成分的 m/f 值为 2.20，主要含矿岩石橄榄苏长岩、苏长岩的 m/f 值均大于 2.15，属铁质基性岩，平均成分的酸度（ASI）为 15.1、钙碱富集度为 55.2，属偏镁系列。一号岩体全岩矿化，主要成矿元素丰度 w（S）$=1.68\%$、w（Cu）$=0.30\%$、w（Ni）$=0.21\%$。

岩体化学成分特征表明：岩体属正常类型的铁镁质侵入体，铜镍硫丰度高，各种化学成分变化呈现良好的规律性，反映成岩过程进行了较好的分异演化；化学成分投影点说明岩体形成于较为活动的构造环境。

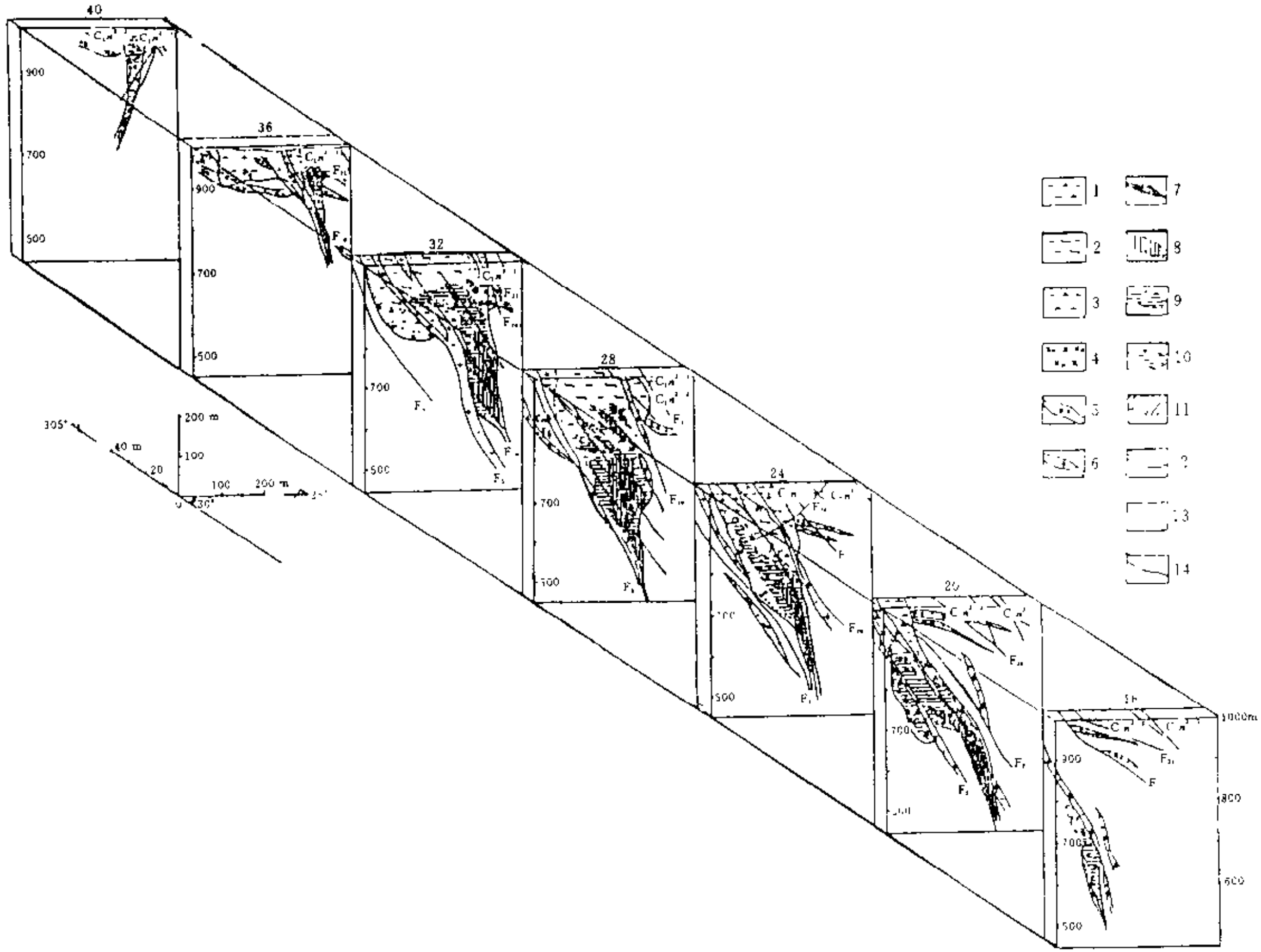


图 2-8 喀拉通克 号矿体地质联合剖面图

Fig. 2-8 Cross sections of No. 1 ore body in Kalatongke deposit

C_1n^{3-2} 灰白色泥板岩、含砾中粗屑 粉屑沉凝灰岩，C_1n^{3-1} 含砾中粗屑沉凝灰岩、含炭质凝灰质泥板岩，1 黑云闪长岩相，2 黑云角闪苏长岩相；3 黑云角闪橄榄苏长岩相；4 黑云角闪辉绿辉长岩相；5 辉绿粉岩；6 石英斑岩，7 深熔 贯入型特富铜镍矿体，8 中等 稠密浸染状 胶结状富铜贫镍矿体，9 稀疏浸染状贫铜贫镍矿体，10 稀疏浸染 脉状贫铜矿体；11 氧化矿体，12 实测及推测地质界线，13 相变界线，14 断层及编号

表 2-3　岩相特征一览表

Table 2-3　Characteristics of petrographical facies

岩相名称	岩体中的部位	占岩体体积	矿物成分				结构构造	镁铁比值（m/f）	固结指数（SI）	含矿性
			主要	次要	副矿物	蚀变矿物				
黑云闪长岩	上部	5	中（更）长石、角闪石	黑云母辉石、钾长石	磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、锆石、榍石	绿云母、次闪石	半自形粒状结构、块状构造	1.33	3.71	无
黑云角闪苏长岩	中上部	38（含混染岩9.7）	拉长石、古铜辉石	角闪石、黑云母、普通辉、石英	磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、榍石	滑石、绿泥石、阳起石、绢云母	包含结构为主，辉长结构次之，块状构造	2.55	20.70	差
黑云角闪橄榄苏长岩	中上部	29.6	拉长石、古铜辉石、橄榄石	闪角闪、黑云母	磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、榍石	蛇纹石、滑石、皂石、含云母、次闪石	包橄结构、含长结构、块状构造	2.17	54.31	最差
辉绿辉长岩	底部边部	27.1	拉长石、普通辉石	古铜辉石、橄榄石、角闪石、黑云母	磷灰石、磁铁矿、钛铁矿	次闪石、绿泥石	辉绿辉长结构、辉绿结构、海绵陨铁结构、含长结构、块状结构	1.79	32.3	橄榄辉长辉绿岩、辉长辉绿岩

4. 岩石中微量元素、稀土元素丰度及配分型式

岩体中微量无素丰度随岩石基性程度升高 Cr、Ni、Cu 含量增加，Ti、V 则相对降低，稀土元素配分形式呈“W”型，有两种情况：

一种是各类岩石稀土元素皆出现富集型配分模式，分馏现象明显，形态基本一致，但稀土元素总量却按橄榄苏长岩、辉绿辉长岩、苏长岩、闪长岩的顺序依次增加，表现出同一初始岩浆结晶分异中，轻稀土元素随岩石碱质增加、基性程度降低而递增的特点。另一种是致密块状特富矿石与矿区外围苦橄榄玢岩稀土总量低，基本上呈平坦配分模式，接近地幔岩或球粒陨石的丰度特征。

5. 岩体同位素组成特征

岩体 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 285～298 Ma；氧同位素组成变化为 5.17‰～9.62‰，其中橄榄苏长岩具有幔源玄武岩的正常值，其余岩石随基性程度降低而升高，表明岩浆结晶分异的成因特征。

（三）矿体特征

1. 矿体形态与矿石类型

一号岩体为全岩矿化，矿体占岩体体积的 60%，主要分布于岩体中下部的黑云角闪橄榄苏长岩相、黑云角闪苏长岩相内。在辉绿辉长岩相中的黑云角闪橄榄辉绿辉长岩中也有少量矿体分布。矿体形态、产状基本与岩体一致（图 2-8）。矿体由氧化矿和原生矿两部分组成。原生矿体由浸染状和致密块状矿体组成。浸染状矿体的矿石量占矿床矿石总量的 92.1%，金属量占总量的 61.8%，致密块状特富矿体的矿石量占总量的 7.6%，金属量却占总量的 38.11%。

矿床内共圈出矿体 73 个，主要为隐伏矿体，分为 1 种类型：

深熔贯入型矿体：分布于 23 区西南部埋深 300 m 以下。赋存于主岩体中，两个板状矿体向北陡倾，分别长 350 m 和 700 m。厚 5～52 m，延深 166～1253 m。两个矿体的 Cu 平均品位 0.31% 和 0.29%，Ni 平均品位 8.48% 和 0.48%，Co 平均 0.029% 和 0.31%。含矿岩石为方辉橄榄岩、方辉辉石岩和辉橄岩。

就地熔离型矿体：共 27 个，最大者长 150 m，厚 1.7～11.29 m，平均 6.98 m，埋深 429.5～627.5m，为贫矿体，产于角闪（辉橄榄）岩中。

熔蚀改造型矿体：是上矿体深延部分，受后期辉长闪长岩体侵蚀改造的矿体。

后期热液作用叠加贯入型矿体：沿新破碎带或辉长闪长岩体内部构造裂隙分布，多呈似层状、脉状和透镜体状，矿体长 100～400 m、倾斜延伸 53～237 m，厚 1.51～6.1 m 为硫化物型贫矿。

按矿石构造和工业类型划分的矿石类型有：稀疏浸染状贫铜贫镍矿石、细脉浸染状贫铜矿石，中等—稠密浸染状富铜贫镍矿石（含斑杂状、网脉状、胶结状富矿石等过渡类型）、致密块状矿石（致密块状特富铜镍矿石，致密块状富镍高铜矿石）。上述矿石类型，无论在平面上还是在剖面上，都呈环带状分布，以致密块状特富矿石居中，向外依次为稠密—中等浸染状富铜贫镍矿石→稀疏浸染状贫铜贫镍矿石（图 2-9）。

2. 矿石构造和结构

矿石构造按成因分为 4 种类型：

岩浆熔离作用形成的构造：包括珠滴状、浸染状、浸染条带状、短脉状、斑点状、海绵陨铁状等构造；

深熔矿浆贯入作用形成的构造：块状、胶结状等构造；

岩浆后期和矿浆后期热液作用形成的构造：细脉—浸染状、细脉网脉状、马尾丝状、脉状、富铜块状等构造；

次生风化作用形成的构造：土状、粉末状等构造。

矿石结构主要为自形-半自形、他形粒状、斑状等，还有固溶体分离和交代结构。

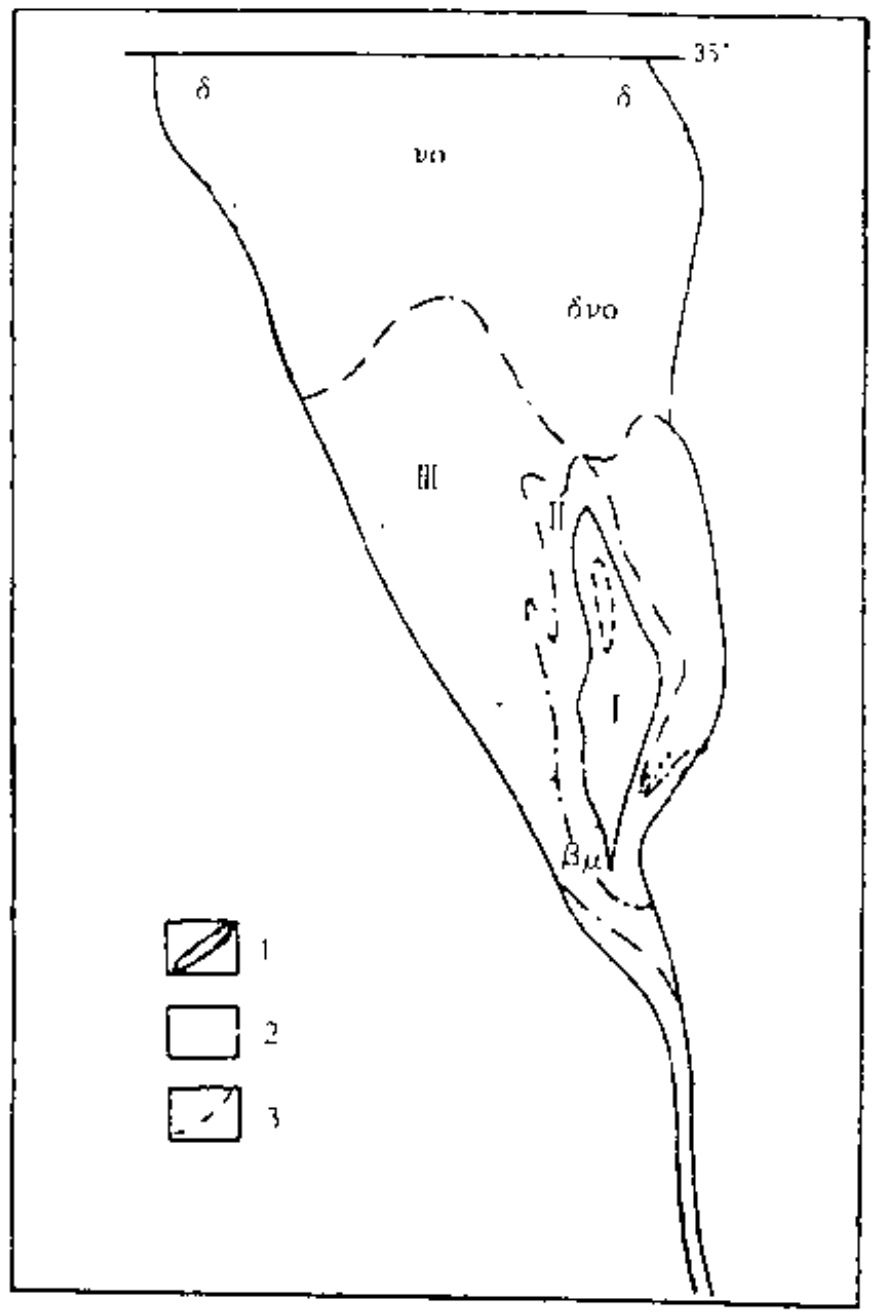


图 2-9 一-号矿床 28 线地质剖面简图

Fig. 2-9 Geological section of line 26 of deposit No. 1

δ-黑云闪长岩相；νο—黑云角闪苏长岩相；δνο—黑云角闪橄榄苏长岩相；βμ—辉绿辉长岩相；Ⅰ—致密块状特富铜镍矿，Ⅱ—中等稠浸染状富铜贫镍矿；Ⅲ—稀疏浸染状贫铜贫镍矿，1-富镍高铜特富铜镍矿；2-岩相界线；3-矿体界线

3. 矿石矿物成分

矿石矿物成分比较复杂，已发现有 60 余种。金属矿物有 30 余种，主要矿石矿物有：磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、黄铁矿、紫硫镍矿和磁铁矿等。贵金属矿物有：碲镍铋钯矿、铋碲钯矿、砷铂矿、碲银矿、银金矿、银镍黄铁矿、碲铋银矿等。少见矿物有：富镍硫铁铜钾矿等。

脉石矿物主要有：贵橄榄石、古铜辉石、单斜辉石、角闪石及其各类蚀变矿物。

1. 矿石化学成分及其特征

矿石中所含化学元素常见近 10 种，主要有用元素为 Cu、Ni，伴生有用元素有 Co、Au、Ag、Pt、Pd、Se、Te、S 等。各类矿石有用成分相同，表现地球化学场的一致性。三种矿石类型（贫铜贫镍、富铜贫镍、特富铜镍）中主要有用组分都是 w (Cu) $>w$ (Ni)，但含量有明显差别。致密块状与中等—稠密浸染状，中等—稠密浸染状与稀疏浸染状矿石之间相对含量之差大致为 1 倍和 2 倍。说明成矿流体分异较为充分，矿化富集程度高。三种矿石类型的 w (Cu) /w (Cu+Ni) 值为 0.632～0.573，w(Cu)/w(Ni) 为 1.342～1.711，说明成矿过程中 Cu、Ni 之间消长关系正常，按近似比例分配。

矿石中有用元素的分配特点为 w(Cu)/w(Cu+Ni)>0.5，w(Ag)/w(Au)>1，w(Pd)/w(Pt)≥1，w(S)/w(Se)>1，w(Se)/w(Te)>1，w(Co)/w(Ni)>0.0n，这些特征与相对较中性的基性-超基性岩含矿特征是一致的。

成矿元素空间分布规律：矿体中有用元素在水平和垂直方向上总的分配特点是：高含量在岩体中下部，由内向外含量依次降低，综合利用组分主要富集于高品位铜镍矿石中。成矿元素在不同水平上的富集中心，具有由东向西渐次向上迁移的规律，这与推断的岩浆和矿浆侵位通道在东面是一致的。

5. 矿石中稀土元素配分模式

各类矿石中稀土总量不高，为略具富集型的配分模式。其中块状特富矿石与网脉状矿石稀土配分模式为平坦型，不显稀土分异，与球粒陨石很接近，表明成矿物质是地幔来源，在一定物化条件下直接结晶形成的。矿化橄榄苏长岩略具富集型的平滑配分模式，与同处活动区的黄山东、红旗岭浸染状矿石相一致，说明它们具有相同或相似来源和形成条件。富镍高铜矿石稀土总量较高，出现正铕异常，这是矿浆结晶演化，局部热液性质更为明显的成矿溶液结晶形成的。

6. 矿石同位素组成及其意义

浸染状矿石和块状特富矿石的铅同位素组成都很稳定，几乎没有差别，同属正常铅范围，成矿点都落在大洋火山岩铅的同位素范围内，说明都来自于地幔的玄武岩浆，未受地壳铅的污染。

一号矿床矿石的 $\delta^{34}S$ 变化为 $-3.19‰$～$+3.00‰$，平均值为 $0.11‰$，有明显的塔式特点，峰值在 $0‰$ 附近，具陨石硫特征，说明硫源来自地幔。

碳、氢、氧同位素研究表明：形成方解石的流体是岩浆水，方解石中的碳质来自岩浆的无机碳

四、成岩成矿过程和成岩成矿模式

（一）成岩成矿过程

综前所述，起源于上地幔的亚碱性拉斑玄武岩浆，沿深大断裂上升到岩浆房，在重力作用下，形成液态层状分异。上层基性程度较低的岩浆在构造应力的驱动下，沿北西向断裂侵位，经结晶分异和熔离作用，形成二号、三号岩体和底部矿体。下层基性程度较高的基性含矿岩浆，沿北西向和北北西向断裂交会部位侵位，在相对封闭的较好环境中，基性含矿岩浆进行了较为充分的结晶分异作用和熔离成矿作用，形成了垂直分异良好的一号岩体和浸染状矿体（原生矿体）。

底层矿浆，沿一号岩体侵位和构造贯入于一号岩体中下部，形成致密块状特富矿体（后生矿体），二者共同形成叠生矿床。不难看出，组成矿区南岩带的一、二、三号岩体和矿体，是同源岩浆结晶分异并以三、二、一的顺序次侵位形成的，其侵位高程依次升高，基性程度依次增加，含矿性程度依次增强。

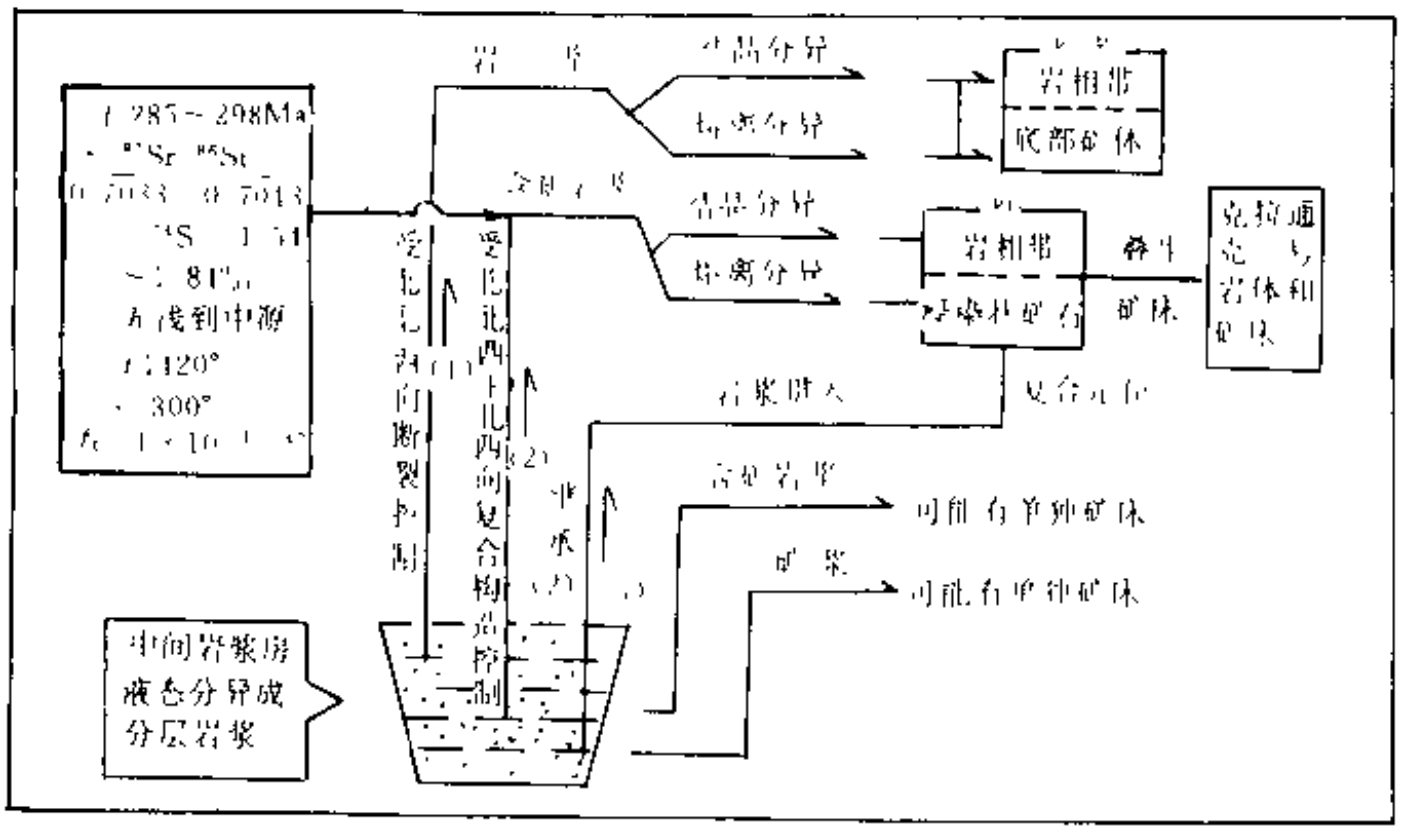


图 2-10　喀拉通克铜镍矿床成矿模式图解

Fig. 2-10　Metallogenic model diagram of Kalatongke Cu-Ni deposit

（ ）成岩成矿模式

概括一号岩体和矿床的成矿地质背景，矿床地质特征和成岩成矿过程，说明该矿床是起源于上地幔的亚碱性拉斑玄武岩浆，经中间岩浆房液态层状分异后，侵位于活动区的含矿基性岩浆就地熔离成矿和同源矿浆贯入成矿、并复合定位形成的岩浆熔离型叠生矿床。岩石的化学成分具有富镁富碱贫钙低硅铝、富硫铜镍的特点。岩体 Rb Sr 同位素年龄 285～298 Ma；矿浆贯入的同位素模式年龄为 279～278 Ma，初始锶比值 0.7033～0.70113，$\delta^{34}S$ 为 −1.5‰～−1.84‰。成岩成矿温度 1100～<1300℃，成岩深度为深-中深。氧逸度（f_{O_2}）为 10^{-11}。其成岩成矿综合模式如图 2-10。

第三节　新疆哈密市黄山东铜镍矿床

一、大地构造单元

矿区位于天山地槽褶皱带北山地向斜东部觉罗塔格复向斜苦水向斜束中的山口　双岔沟向斜北翼。

二、矿区地质

（一）地层

黄山东含矿复式岩体侵位于干洞组中。干洞组在矿区出露三个岩性段（图 2-11）：上段（C_2g^3）分布在矿区西南角，由细砂岩、粉砂岩组成，夹有石英角斑岩透镜体，出露厚度 498 m，与中段呈整合接触，中段（C_2g^2）分布在矿区南部，属岩性单一的千枚岩化沉凝灰岩，与下岩性段呈断层（F）断裂）接触。出露厚度 111 m。下段（C_2g^1）分布于矿区中部和北部。其上部岩性为含粉砂岩、板岩、灰岩、砂屑灰岩，夹有薄层细砂岩、砾岩及硅质岩，出露厚度 825 m。下部以粗粹屑岩为主，由砾岩、砂砾岩、砂岩、钙质粉砂岩及灰岩等组成。含矿基性 超基性岩体侵入该层位。岩体与围岩斜交，穿切围岩层面，并同化和捕虏了围岩。

（ ）构造

矿区构造为一向斜。黄山东含硫化铜镍超基性岩体侵入于向斜的核部。构造以 EW 为主、含矿岩体受近 EW 向及 NE 向高角度逆断层及派生断裂的控制，地表形态呈菱状（图 2-11）。

（ ）基性 超基性岩体特征

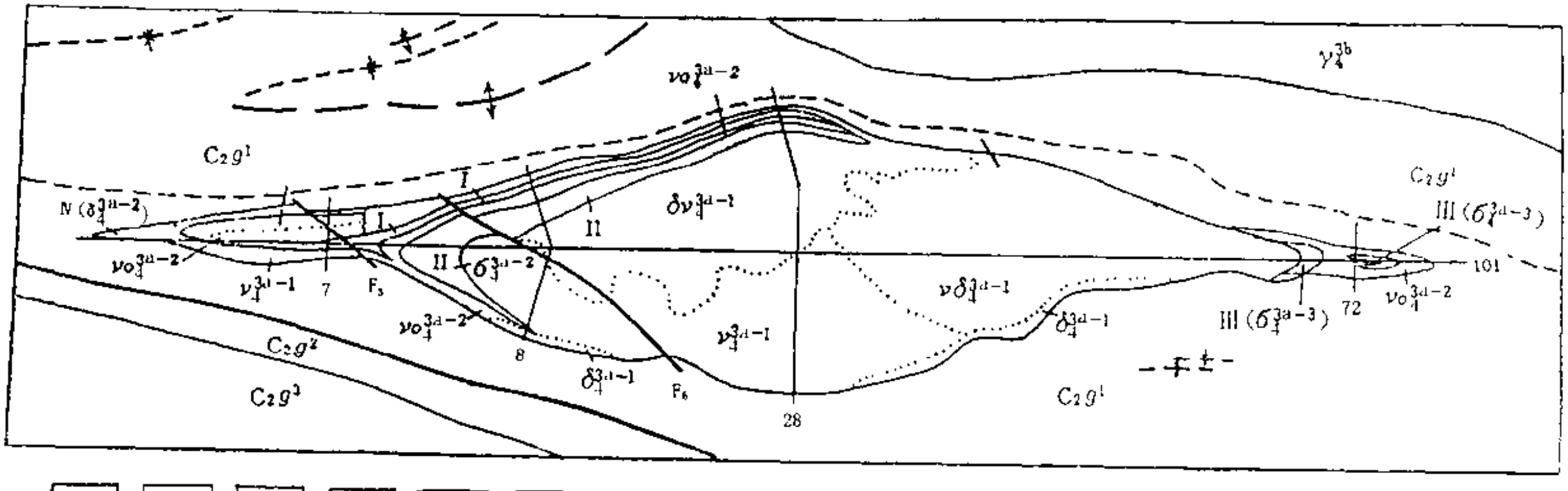
黄山东基性-超基性杂岩体为同源，同期次，不同侵入阶段的复式岩体（表 2-4），以基性岩为主（分布面积占面积的 85%以上），超基性岩较少（其面积占 15%），按岩性可划出 8 个岩相（表 2-4）。岩体侵入时代为华力西晚期第一次侵入，侵位于干洞组下岩性段上部的含炭粉砂质板岩中。岩体走向 72°～252°，严格受 F_9 断裂及其次级构造的控制，出露面积 2.8 km^2，地表为一菱形（图 2-11），空间上为一漏斗状（图 2-12、图 2-13）。地表膨大部位（28 号勘探线）宽度 1190 m，长约 5250 m，深部在 5 及 16 号勘探线呈两个凹斗（图 2-13）。岩体走向与地层走向之间夹角一般为 18°左右，局部地段走向一致。

第一次侵入三个阶段的侵位过程是：主体辉长岩浆侵位和分异（黄山东岩体形成）→超基性岩浆活动（超基性岩体的形成）→残余岩浆活动（粗粒角闪辉长-辉石岩，伟晶状闪长岩脉侵入）

Ⅰ号超基性岩体西起 9 勘探线，东至 28 勘探线，长约 1.95 km，向东隐伏于辉长岩之下，产状为向南陡倾的岩枝，地表呈带状分布，具有分枝现象。Ⅲ号超基性岩体位于复式岩体东端，地表呈半环带状，受断裂带的控制，深部较为破碎，呈脉状产出。Ⅳ号超基性岩体位于复式岩体西端北侧，呈带状向南陡倾，在 16 勘探线与Ⅰ号超基性岩体复合。

Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ号超基性岩体为同一阶段产物，其岩石类型相同，为辉石角闪橄榄岩、蚀变橄榄岩及辉石岩。岩石具有残余包含结构及鳞片变晶结构。橄榄石含量 40%～50%、辉石 20%～25%、角闪石 25%～30%，斜长石少量。岩石蚀变强烈，具蛇纹石化、滑石化、纤闪石化及绿泥石化等。粗粒角闪辉长-辉石岩沿超基性岩体的边部分布，为岩体后期产物。

Ⅱ号超基性岩体位于主体辉长岩的中部北侧（图 2-11）。岩石具典型的包含结构。橄榄石含量 5(左右，粒径 0.5～1.5 mm，裂隙发育，裂纹边见有蛇纹石化。古铜辉石含量 5%～15%，普通辉石含量



1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16

图 2-11 黄山东硫化铜镍矿床矿区地质图

Fig. 2-11 Geological map of Huangshandong Cu-Ni Sulfide deposit

(据郝刚力、张永珍，1988，图 2-12、图 2-13 同) (after Hao Gangli and Zhang Yongzhen, 1988)

1 中石炭统干洞组下段；2 中石炭统干洞组中段；3 中石炭统干洞组上段；4 角闪辉长岩；5 浅色辉长岩；6 角闪橄榄辉长岩；7 辉长闪长岩；8 闪长岩；9 第一侵入阶段超基性岩；10 第二侵入阶段超基性岩；11 辉长苏长岩；12 花岗岩；13 超基性岩体代号；14 断裂构造及编号；15 褶皱构造；16 勘探线及编号

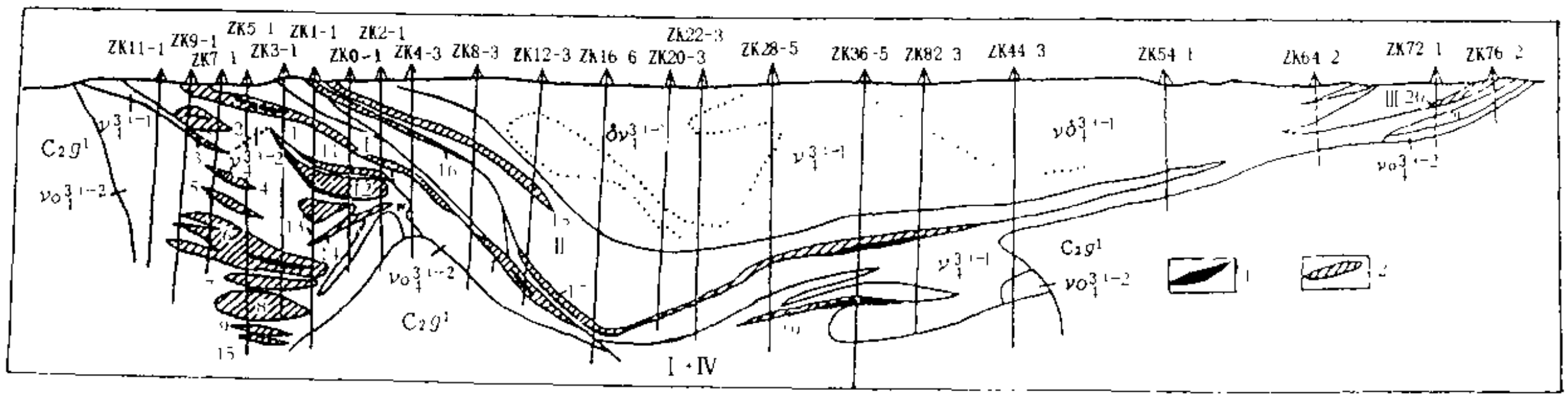


Fig. 2-12 Section of prospect No. 1-1

1 硫化镍矿矿体编号；2 硫化镍富矿；3 分层倒平图上一、二、三、四

5%～15%，角闪石含量5%～10%，均分布在橄榄石的间隙中。粗大的辉石矿物晶体中常包有橄榄石的晶粒。斜长石一般含量为10%～20%，个别达30%。

表2-4 华力西晚期第一次侵入基性-超基性复式岩体岩相划分

Table 2-4 Classification of Petrographical facies of basic-ultrabasic complex intrusion at first intrusive stage of late Variscan

侵入次	侵入阶段	岩体（相）	接触关系	备注
第一次侵入	第三阶段	粗粒角闪辉长辉石岩 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号超基性岩体	侵入接触	与第一、二阶段为侵入接触
	第二阶段	Ⅰ号超基性岩体 浅色辉长岩 辉长苏长岩	侵入接触相变接触	与第一阶段为侵入接触
	第一阶段	角闪橄榄辉长岩 角闪辉长岩 辉长闪长岩	相变接触	与下洞组为侵入接触

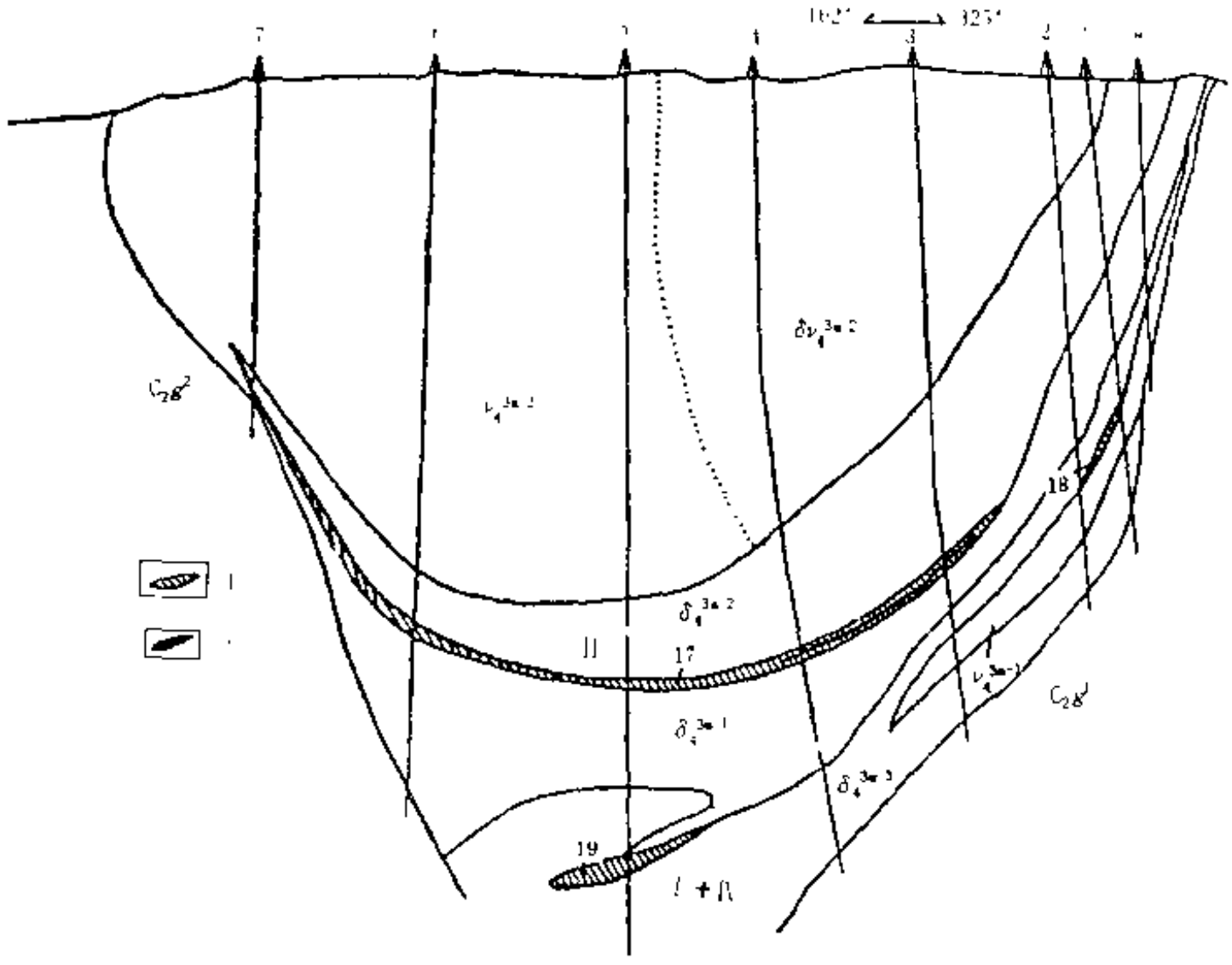


图2-13 28勘探线剖面图

Fig. 2-13 Profile of exploratory line 28

1 硫化镍贫矿及编号；2 硫化镍富矿（其余图例见图2-11）

岩石类型以斜长二辉角闪橄榄岩为主。

辉长岩是复式岩体的主要组成部分，据各岩相间的穿插关系，分为以角闪辉长岩为主的第一侵入阶段和以浅色辉长岩、辉长苏长岩为主的第二侵入阶段。

第一侵入阶段角闪辉长岩包括三个岩相带，相带之间均为相变关系，以角闪辉长岩为主，其次是角闪橄榄辉长岩、辉长闪长岩，闪长岩为岩体边缘的混染带。

角闪辉长岩分布于2～28勘探线之间，岩石具中粒嵌晶辉长结构，主要矿物成分：拉长石65%～70%、辉石10%～15%，角闪石25%～30%。

角闪橄榄辉长岩分布于复式岩体西北部角闪辉长岩中，具有似球状形态。矿物特征：斜长石65%，呈板状，见聚片双晶；角闪石10%～25%，晶体粗大；辉石20%，橄榄石少量。

辉长闪长岩分布于复式岩体东南部，Ⅲ号超基性岩体西部一带。在断裂和"X"节理附近岩石破碎，呈糜棱岩及碎裂岩，斜长石含量55%，辉石、角闪石含量35%～40%，石英少量。

闪长岩分布于辉长岩的边缘带上，是辉长岩与围岩形成的混染岩。具斑杂状构造，由长石、角闪石、石英、黑云母及辉石组成。

第二侵入阶段的浅色辉长岩和辉长苏长岩，为相变关系，以辉长苏长岩为主，浅色辉长岩次之。主要分布于复式岩体的西部。浅色辉长岩分布于辉长苏长岩的顶部，为结晶分异作用的产物。岩体呈向南陡倾的单斜岩枝，与第一侵入阶段长岩间为侵入接触，辉长苏长岩为中-粗粒嵌晶结构，矿物成分：中长石—拉长石45%～50%，紫苏辉石15%～20%，普通辉石5%～8%，角闪石20%。浅色辉长岩为中粒辉长结构，矿物成分：斜长石65%～70%，辉石25%～30%，角闪石较少。

按K-Ar同位素年龄（262.99～266.33）Ma±5.69 Ma❶，岩石化学成分具规律性变化，不仅再现了岩浆矿床成岩作用中岩浆成分的演化规律，也提供了成矿作用的信息。岩石的主要造岩氧化物SiO_2、Al_2O_3、CaO、Na_2O、K_2O、TiO_2的含量变化随着岩石的基性程度增高而降低，MgO、FeO、Fe_2O_3则反之，钙与镁之间的负相关关系显示了基性-超基性岩浆结晶分异过程的典型特征。此外，CaO、Al_2O_3随着基性程度的降低而增高，碱金属氧化物普遍偏高则是复式岩体的共同特点。

根据造岩氧化物CaO、Al_2O_3、TiO_2及碱金属的含量，以及超基性岩中含一定的斜长石等特征，该超基性岩体属B型，产状上与基性岩有密切的关系。MgO含量<30%、CaO 6.43%、K_2O 0.21%、Na_2O 1.5%、Al_2O_3 10.37%、TiO_2 0.59%，富含铂族元素、铬少、硫化铜镍矿化强，与彼努斯玄武岩浆分异的超性-基性岩的氧化物特征相近。

据镁铁比、镁硅比等数字特征的变化来看，黄山东复式岩体的岩石化学条件对形成铜镍矿床是有利的，辉长苏长岩、Ⅰ—Ⅳ号超基性岩体的岩石化学条件更为突出。

综上所述，根据复式岩体的分异程度、矿物成分的变化、全区平均岩石化学成分及标准矿物分子含量（斜长石27%，单斜辉石15%左右、斜方辉石31%，橄榄石17%），该复式岩体原始岩浆为含橄榄石的基性岩浆，具有拉斑玄武岩的性质，经历了深源液态分异作用，岩浆活动侵位序次经历了从基性到超基性两个侵位的分异过程。

三、矿床地质

（一）矿体特征

根据矿体赋存部位、矿石类型、形态和产状，可将矿体划分为产于超基性岩中、下部的悬浮矿体，产于超基性岩底部与基性岩间接触带的矿体，产于Ⅳ号超基性岩中的矿体和辉长苏长岩中的矿体。

产于Ⅰ号超基性岩中下部的悬浮矿体（图2-13），呈似层状，受超基性岩体形态的控制，矿体倾角30°左右，矿石品位低，但品位变化均匀，一般为硫化镍表外矿（Ni含量<0.3%）。矿体厚度小，为数米，厚度沿走向变化稳定（图2-12），如15、16号矿体。矿体沿走向延伸约800 m、倾向延伸约200 m，主要由浸染状--星点状矿石组成。矿体与围岩界线不清，岩石蚀变较弱。

产于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号超基性岩体底部与辉长岩间接触带矿体，如1、17、20号矿体（图2-12），呈似层状，矿体产状与岩体底部界线一致。矿体规模大，厚度数米至十几米，长至数千米，宽数百米，矿体倾角40°～50°，矿体沿走向变化较复杂，有膨缩现象（图2-12）。矿石以硫化镍贫矿为主，亦见硫化镍富矿，矿石品位变化不均匀，品位的高低与矿体的产出部位及厚度有关。一般厚度较大、品位较高的地段主要在岩体底部界线变化较大的部位和岩体产状由陡变缓及较为平缓的部位。由稀疏浸染状稠密浸染状—准块状矿石组成，准块状与稀疏浸染状矿石界线清楚。矿体围岩蚀变不强烈。

---

❶ 据邓振球1989年提供的数据。

产于Ⅱ号超基性岩体中的矿体（图 2-12），如 11～11 号矿体，呈似层状或凸镜状产出，其形态受岩体形态的控制。产于岩体上下部及接触带者，局部为全岩矿化。矿体规模小，厚度数米至几十米，长约 250 m，宽约 150 m，矿体倾角 50°。矿石为硫化镍贫矿，局部见富矿，品位变化较均匀。由稀疏浸染状矿石组成。稠密浸染状矿石界限清楚　含矿母岩蚀变强烈。

产于辉长苏长岩中的矿体均为悬浮矿体，如 3～10 号矿体（图 2-12），基本上呈向南陡倾的板状或凸镜状，从浅到深依次呈斜列式产出。长 200～500 m，宽 150 m 左右，厚十米至数十米不等。矿体倾角 70°左右。以硫化镍贫矿为主，在埋深或厚度较大的矿体中可见到富矿，与贫矿界线清楚。矿石品位变化均匀，以稀疏浸染状—稠密浸染状、准块状 角砾状硫化镍矿石为主。

（二）矿石矿物成分

主要金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、辉钴矿、墨铜矿、马基诺矿、银镍黄、砷铜矿、铁矿、碲银矿、硒银矿等，非金属矿物与基性、超基性岩矿物组成相同，另有蛇纹石、滑石、纤闪石及绿泥石等蚀变矿物。

（三）矿石结构构造

矿石构造有熔离 稠密浸染状构造，代表金属硫化物熔体未得到充分沉聚，被封存在造岩硅酸盐矿物间隙中，结晶形成的矿石构造。

珠滴状构造，反映了金属硫化物熔体由于溶解度的降低，析出的金属硫化物还来不及下沉聚集所形成的构造，或为比较晚期熔离析出的金属硫化物。

角砾状构造是熔离-贯入作用所形成的矿石构造类型。它是金属硫化物沿母岩裂隙贯入的结果　由于裂隙的性质不同，角砾的形状也就各异。

准块状构造，代表了金属硫化物较集中、且矿体与母岩界线清楚的构造。

脉状 斑杂状构造、细脉-网脉状构造代表了热液充填交代作用形成的矿石构造。它是岩浆期后含矿挥发分气液通过交代、充填作用形成的。

树枝状及片麻状-叶片状构造是动力作用形成的矿石构造，它是热动力作用下，塑性大的金属硫化物产生塑性流动形成的构造形态。

矿石结构有结晶作用形成的自形、他形及海绵陨铁结构。

固溶体分离作用形成了叶片状、火焰状及结状结构。

交代作用形成了浸蚀结构和反应边结构。

构造应力形成了揉皱及压碎结构。

（四）矿石化学成分

矿石中主要有益元素为 Cu、Ni，其次为 Co、Au、Ag 及铂族元素。有益元素平均含量见表 2-5。

表 2-5 中不同类型的矿体，有益组分含量不同，在超基性岩底部接触带矿体和辉长苏长岩中矿体 Ni 含量较高，Ni 和 S 的相关系数在 0.93 以上。Cu、Co 含量与成矿母岩的基性程度及 Ni 含量有关，基性岩中矿体的 Cu 含量高而 Co 低，超基性岩中则反之。主要成矿元素含量的高低与矿体的空间位置、成矿部位、矿石类型及矿体厚度有密切的关系。

在矿体中 Au、Ag 及铂族元素含量都较低，但与 Cu、Ir、Ag 的关系密切。岩体富含微量元素 Cr、Ni、Cu、Co、Ti，其中 Cr 为 $(n\cdot10^{2}\sim n\cdot10^{3})\times10^{-6}$，Cu 为 $(n\cdot10\sim n\cdot10^{4})\times10^{-6}$，Ni $(n\cdot10^{3})\times10^{-6}$，Co $(n\cdot10)\times10^{-6}$。U、Th 含量较低，小于 1×10^{-6}。

四、成矿条件

矿石硫含量一般比含矿母岩硫含量高出数十倍。虽然矿物种类、矿化类型、产出部位及储矿岩石不同，但硫同位素组成具有一致性。$^{32}S/^{34}S$ 为 22.238～22.179，差值为 0.057。$\delta^{34}S$ 变化范围为 −0.79‰～2.775‰，算术平均值为 0.82‰，总体标准误差 0.68‰，具塔式分布，与陨石硫同位素组成接近。同时，硫镍对数比[lg w(S)/lgw(Ni)]接近常数 1，反映了硫来源于上地幔，与复式岩体原始岩浆同源。对含矿岩体 Rb-Sr 同位素测定其 w(Rb)/w(Sr) 比值为 0.0384～0.6942，$^{87}Rb/^{87}Sr$ 值在 0.067～0.1567，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.70366～0.70585，说明岩体物质来源于上地幔，母岩浆侵位过程中没有受到大陆地壳

Sr 同位素的污染。从矿体产出部位、矿石类型、组构、矿物组合及有益元素的分布规律等特点，均反映了黄山东铜镍矿床存在多种成矿作用。

表 2-5　各类型矿体中有益元素平均含量

Table 2-5　The average content of the beneficial elements in all kind of ore bodies

矿体名称		超基性岩底部接触带矿体 I	超基性岩底部接触带矿体 I	Ⅱ号超基性体中矿体	Ⅰ号超基性岩悬浮矿体	辉长苏长岩中	赋存状态
有益元素平均含量 $\frac{w_B}{10^{-2}}$	Cu	0.283	0.30	0.250	0.113	0.282	黄铜矿等
	Co	0.025	0.027	0.025	0.019	0.018	辉砷钴矿及金属硫化物类质同象
	Ni	0.483	0.653	0.196	0.337	0.467	镍黄铁矿等
$\frac{w_B}{10^{-9}}$	Au	0.069	0.042	0.057	0.025	0.06	
	Ag	2.79	2.74	3.22	1.65	3.22	硒银矿、硒铋银矿等
	Pt	0.005	0.005	0.003	0.002	0.008	砷铂矿
	Pd	0.001	0.0005	0.0007	0.0003	0.001	
	Ir	0.001	0.0005	0.0007	0.0003	0.001	类质同象硫化物中
$\frac{w_B}{10^{-2}}$	S	2.79	4.16	3.14	1.14	2.12	硫化物中

黄山东铜镍矿床，以熔离成矿作用为主、熔离-贯入、热液交代等成矿作用为辅。熔离作用一般形成硫化铜镍贫矿，熔离-贯入成矿作用则形成较富的矿体，热液作用具有叠加作用。

在岩浆房分异过程中形成的熔离矿浆，随岩浆上侵就位，形成品位低、均匀、厚度不大的悬浮矿体。部分矿浆由于重力及构造应力作用向内外接触带贯入，形成熔离-贯入矿体。此种矿体品位较富，厚度大，矿石成分复杂。

辉长苏长岩中的矿体，在岩浆侵位时，由于物理化学条件变化较快，矿浆来不及充分下沉就封存在造岩矿物间隙中结晶形成矿体。矿体依次呈斜列式排列，从上到下，由贫变富，规模由小变大。由于构造应力作用，尚未结晶的富矿浆沿已结晶矿体和围岩碎裂贯入，形成角砾状矿石。

热液成矿作用是岩浆期后含矿热液，沿岩体原生裂隙运移，金属硫化物在岩体裂隙中沉淀成矿，形成脉状及网状矿石，并引起近矿围岩的蚀变。

综上所述，本矿床主体属熔离-贯入型硫化铜矿床。

本矿床的找矿标志明显，应用地质、地球物理方法发现基性超基性岩岩体，对岩体分异较好的和分异不良的岩体进行对比优选，确定含矿岩体，选择 Cu、Cr、Ni、Co、S 高的岩体做大比例尺物探工作，主要在重力高、强磁场、导电性好、极化率高的并相互重合的地段进行钻探验证，可能发现隐伏硫化铜镍矿床。

第四节　新疆哈密市黄山铜镍矿床

一、大地构造单元

黄山铜镍矿位于新疆哈密市东南 140 km 处。大地构造单元属天山地槽褶皱系（Ⅰ）北天山优地槽褶皱带（Ⅱ）范围，可以划分为 3 个三级构造单元：南部为中天山隆起带、中部觉罗塔格复背斜、北部为吐鲁番-哈密坳陷。按板块构造观点，何国琦、刘德全（1994），将黄山基性-超基性杂岩带列为哈萨克斯坦板块哈尔里克泥盆—石炭纪岛弧。岩带是沿着康古尔塔格韧性剪切带发生的张性断裂侵入的岩体形成的。

二、区域地质

（一）地层

元古宇主要出露在中天山一带。

长城系星星峡群：出露岩石主要为云英片岩、黑云母斜长片麻岩、混合岩夹石英岩和大理岩，厚2810～3573 m。

蓟县系卡瓦布拉克群：上部为云英片岩、角闪片岩、变质砂岩、石英岩和大理岩。下部以白云岩、大理岩为主夹片岩、片麻岩等。碳酸盐岩中含丰富的叠层石，厚1110～5434 m。

古生界主要为石炭系和少量的二叠系。

下石炭统雅满苏组(C_1y)主要出露在中天山隆起带之北，雅满苏断裂以南一带。为一套海相中性-酸性、基性火山岩、火山碎屑岩。碎屑岩和碳酸盐岩相变很大，富含腕足、珊瑚、头足类等化石。

下石炭统白鱼山组(C_1b)整合于雅满苏组之上，为一套滨海相正常碎屑岩、碳酸盐岩夹少量碎屑岩。

中石炭统干墩组(C_2g)，上部以正常碎屑岩为主夹灰岩、火山碎屑岩。中下部则主要为中酸性火山碎屑岩夹正常碎屑岩。厚为6671 m。

中石炭统梧桐窝子组(C_2w)，在区内分布广泛，下部与干墩组呈整合接触。在烟墩—黄山—镜儿泉一带主要为一套基性、中酸性火山碎屑岩和熔岩。总厚约7000 m。

下二叠统红柳河组，零星分布，主要岩性为一套火山碎屑岩夹碎屑岩。

中生界出露于局部的断陷盆地中，主要有中-下侏罗统煤窑沟组地层。新生界主要为新第三系，为一套陆相碎屑岩，第四系为分布在沟谷凹地中的洪积物。

（二）岩浆岩

区域内出露的岩浆岩主要为华力西期的产物，可分为早、中、晚三期，期内又划分为若干侵入次，从超基性-基性—中性-酸性都有，以酸性花岗岩类出露最多，中性闪长岩类次之，基性-超基性岩出露较少。

黄山基性-超基性杂岩体位于烟墩—黄山—镜儿泉基性-超基性杂岩带中。该带基性-超基性岩体约20多个，属于华力西中期产物。在该带中已探明硫化铜镍矿床五处，其中大型两处，中型三处，构成一个硫化铜镍矿成矿带。

（三）构造

烟墩—黄山—镜儿泉铜镍成矿带，区域上受F_8号断裂（即康古尔塔格断裂）控制，在南部受F_1号黑山口断裂控制，其间形成一个NE向延伸规模较大的韧性剪切带。该带由一系列近于EW向的右行滑动平移断层组成。黄山和黄山东两个大型铜镍矿即位于该带内的基性-超基性杂岩中。岩体的侵位及形态、产状受F_8断裂的次级构造控制。

三、矿区地质

（一）地层

矿区出露的地层属于上石炭统干墩组(C_2g)的上部层位。按其岩性组合自下而上，可划分为五个岩性段。

第一岩性段C_2g^1：细碧玢岩夹石英角斑岩。

第二岩性段C_2g^2：砂砾岩、砂岩夹含炭变余砂岩。

第三岩性段C_2g^3：变余粉砂岩夹砂砾岩及砂质灰岩透镜体。

第四岩性段C_2g^4：砂质灰岩、生物碎屑灰岩夹炭质灰岩、薄层及中-细粒砂岩透镜体。

第五岩性段C_2g^5：钙质砾岩、钙质中-细粒砂岩夹砂质灰岩、炭质灰岩透镜体。与梧桐窝子组(C_2w)在区域上呈整合接触，在矿区范围内为断层接触。由于受区域构造的影响，上述地层均呈倒转产状，向南倾斜，倾角较陡（图2-14）。

（二）岩浆岩

矿区内岩浆岩主要有，花岗岩和基性-超基性岩两大类。

花岗岩类：主要分布于矿区南部，如西南部的花岗岩体，面积约20 km^2，矿区内仅出露其一小部分。矿区东部的黄山花岗岩体，面积0.15 km^2，为黑云母花岗岩。东南部尚有一些受断裂控制呈NE向

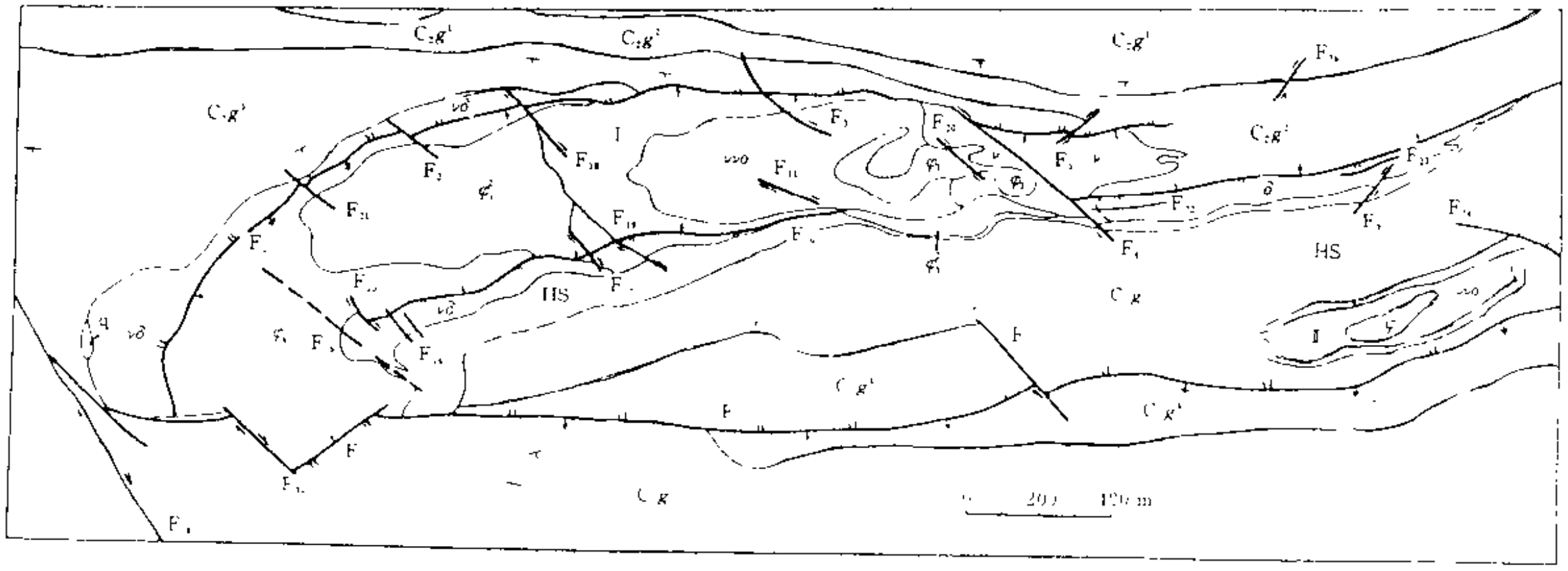


图 2-14　新疆哈密黄山铜矿床地质略图

Fig. 2-14　Schematic geological map of Huangshan copper deposit, Hami City

C_2g　中石炭统干墩组；C_2g^1 -第 -岩性段；C_2g^2 -第二岩性段；C_2g^3—第三岩性段；C_2g^4　第四岩性段；C_2g^5　第五岩性段；基性 - 超基性岩体、第 侵入业次　Φ、斜长角闪橄榄岩体，第 .侵入亚次；δ　辉长闪长岩相；ν —辉长岩相；νo　辉长苏长岩相；Φ^2- 角闪 辉辉石岩相；Φ_1　角闪 辉橄辉岩相；第四侵入业次，$\nu\delta$　辉长闪长岩体、HS　长英质角岩、

Q—石英脉；F_1 —断层及编号；I - 岩体编号，

分布的长条状花岗岩体。此外尚有一些规模更小的闪长岩或花岗闪长斑岩，多呈 NE 向分布，受断裂控制。

基性-超基性岩类：在矿区内发现 3 个岩体

Ⅲ号岩体：为闪长岩，出露于矿区东南部，长 600 m，宽 30～50 m，呈近东西向条状分布，无矿化显示。

Ⅱ号岩体：出露于矿区东部，呈 NEE 向长条状，长 1900 m，宽 100～150 m，为一岩墙，分异尚好，为二辉辉石岩、辉长苏长岩和辉长岩的岩石组合。地表具褐铁矿化、黄钾铁矾及少量的孔雀石，深部经钻孔验证有铜镍矿化，但达不到边界品位。

Ⅰ号岩体：横贯矿区中部，东西长约 3950 m，平均宽度 100 m，东窄西宽，呈近东西向分布的岩墙，它是由不同期次的岩浆侵入形成的杂岩体，分异较好。地表可圈出三个矿化带，深部经钻探揭露有与岩相关系密切的规模大的熔离型铜镍硫化物矿体存在。

（三）构造

矿区处于 F_9 号断裂带上，矿区构造主要为断裂，受 F_9 号断裂制约。矿区内褶皱不发育，仅局部有些较小的线型褶曲以及伴随断裂而形成挤压揉皱的挠曲。

F_9 断裂是成矿带内的导岩构造。它由区域构造 F_8 和 F_{10} 断裂诱导派生，以 F_8、F_{10} 为边界条件，在局部应力场作用下形成的两组剪切面中近 EW 向展布的一组，是矿区的序次最高的一组断层。黄山杂岩体和黄山东杂岩体都分布在该断裂带上。

在 F_9 断裂带内，发育一组 NE 向的断裂，是 F_9 的次级构造。黄山矿区的Ⅰ号岩体、Ⅱ号岩体以及矿区西南的一些花岗岩体，均沿此组断裂侵位。杂岩体的形态产状，受其控制，是成矿带中的容岩构造。

（四）Ⅰ号岩体地质

黄山基性-超基性杂岩体，以Ⅰ号岩体的规模最大，分异较为完全。黄山铜镍矿床主要赋存在该岩体中，其地质特征简述如下。

1. 岩体的规模、形态和产状

黄山基性-超基性杂岩体的平面外形像一头“虾”，头部位于西南，尾部伸向东部。东西长约 3900 m，岩体平面长轴方向各处不一，头部走向南西向，中部身躯近东西向，尾部向 NEE 伸展。东部最窄，不足 100 m，向东渐趋尖灭；中部宽度由 100 m 增至 500 m；西部最宽，将近 800 m，出露面积约 1.15 km^2。岩体北缘总体产状向南呈陡倾斜，南缘产状则向北倾斜，为一向南西侧伏的岩墙（图 2-15）。

2. 岩体侵入期次和岩相划分

岩体侵入期次和岩相的划分见表 2-6。

表 2-6 黄山矿区Ⅰ号岩体侵入期次和岩相划分表

Table 2-6 Periods and stages of intrusion and classification of petrographic facies of intrusion No. 1 in Huangshan ore district

期	侵入亚次	岩体岩相名称		代号	时间代号
华力西中期	第四侵入亚次	辉长闪长岩体		$\nu\delta$	$(\nu\delta)_3^{2h}$
	第三侵入亚次	含矿岩体		Φ_{2-3}	$(\Phi_{2-3})_3^{2h-2}$
	第二侵入亚次	主岩体	角闪橄榄岩相	Φ_2	$(\Phi_2)_3^{2h-2}$
			角闪 辉橄榄岩相	Φ_2^2	$(\Phi_2^2)_3^{2h-2}$
			角闪 辉橄榄岩相	Φ_2^3	$(\Phi_2^3)_3^{2h-2}$
			角闪 辉橄榄岩相	Φ_2^4	$(\Phi_2^4)_3^{2h-2}$
			辉长苏长岩相	$\nu\omega$	$(\nu\omega)_3^{2h-2}$
			角闪辉长岩相	ν	$(\nu)_3^{2h-2}$
			角闪岩相	δ	$(\delta)_3^{2h-2}$
	第一侵入亚次	斜长角闪橄榄岩相		Φ_2	$(\Phi_2)_3^{2-1}$

3. 主侵入体

Ⅰ号岩体是矿区规模最大的一次侵入活动形成的。岩浆侵位后，就地分异，形成结晶分异的连续岩相序列——自东向西、自上而下依次出现：闪长岩相—角闪辉长岩相—辉长苏长岩相—角闪二辉辉石岩相—角闪二辉橄辉岩相—角闪二辉橄榄岩相 角闪辉橄岩相。

4. 含矿岩体

含矿岩体主要分布在主岩体西南部，地表未出露。含矿岩体主要受NEE向断层控制，沿第 侵入亚次的主岩体的南侧侵入，切穿主岩体的不同岩相。该含矿岩体是沿岩浆通道处向上贯入而形成向北陡倾的单斜状岩体。含矿岩体虽有分异，但很不彻底，上下均有方辉辉石岩的透镜体或夹层。总的看，岩体下部基性程度较高，橄榄石含量高，向上基性程度减低，但整个岩体仍以辉橄岩为主，局部出现纯橄岩、橄榄岩和方辉辉石岩。后二者的出现范围较小。岩体中硫化物含量相当丰富，局部地段几乎全岩矿化，形成黄山铜镍矿的主体。可以想象，该期次的岩体是由富含硫化物的矿浆与岩浆同时贯入，经短暂熔离和结晶分异形成的含矿岩体。岩体中不论纯橄岩、辉橄岩、橄榄岩或是方辉辉石岩均可含矿。

该岩体与第二侵入亚次的主岩体下部的辉橄岩相，是分属不同期次侵入活动形成的两期岩体。

此外，第四侵入亚次的辉长闪长岩体主要分布于黄山杂岩体的中部，呈一“半月形”包于杂岩体外侧，南北长约400 m，东西宽约200 m。

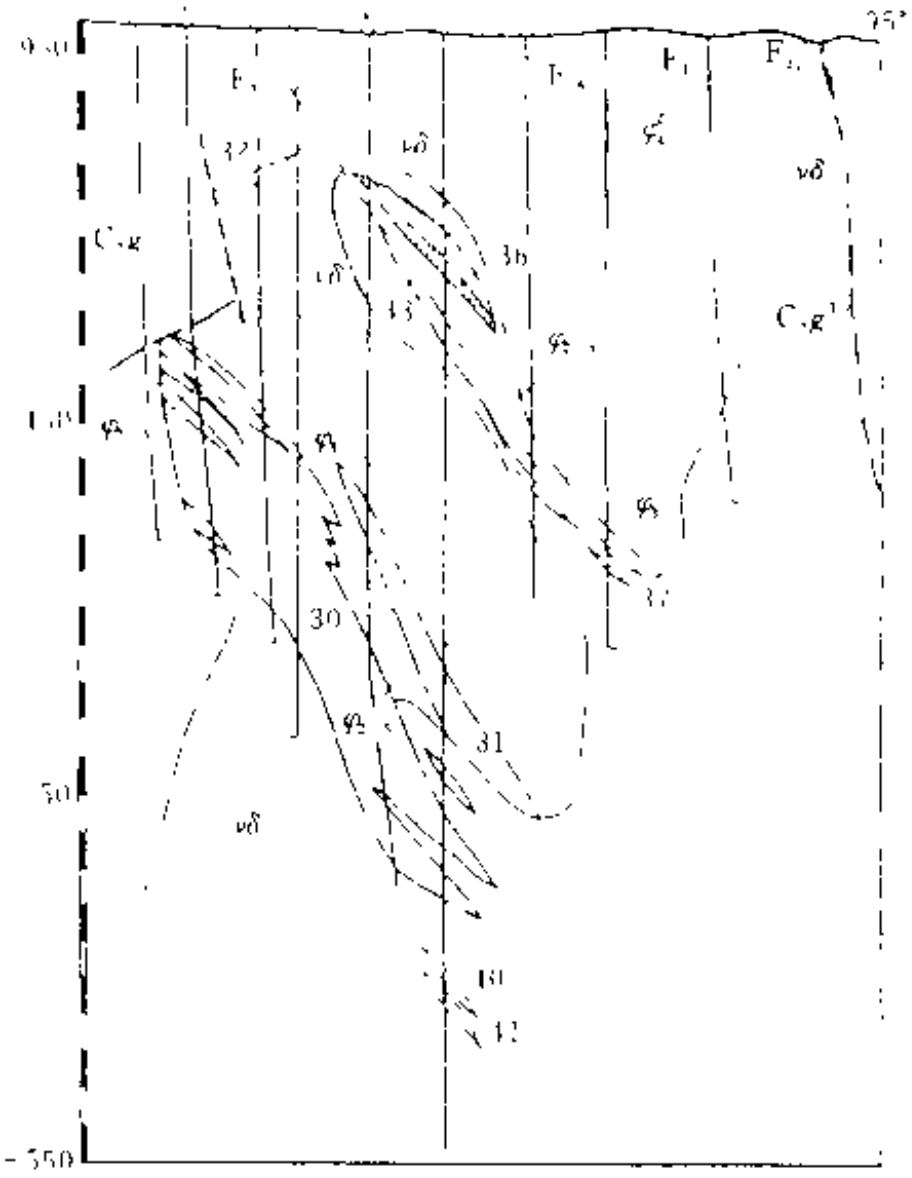


图2-15 122号勘探线剖面图

Fig. 2-15 Profile of exploratory line 122

C_2g^1 中石炭统干墩组第一岩性段；C_2g^2 中石炭统干墩组第二岩性段，$\mu\delta$ 辉长闪长岩，Φ_3^1 橄辉岩相，Φ_3 橄榄岩，Φ_2 含矿岩体；数字为矿体及编号

四、矿床地质

黄山矿区在地表及地下均发现有工业意义的矿体，但以深部与分异熔离作用有关的矿体为主，约占矿区总储量85%以上。

（一）地表矿体

地表共圈定出三个矿化带，分布在主侵入体与辉长闪长岩体之间的蚀变带中，或主侵入体与围岩地层之间的蚀变带上，受断层控制。各含矿带的情况简述如下。

Ⅰ号矿化带：分布于岩体北缘，东西长约1050 m，宽1～5.7 m，走向95°，倾向南，倾角62°～67°，受F_1断层控制，其中共圈定出P_1、P_2二个矿体。

P_1号矿体：长350 m；出露宽度1～3.9 m，平均2.13 m，倾向178°，倾角64°。矿体产于绢云母绿泥石蚀变岩中，呈似层状，矿化多沿断裂隙分布。平均品位Ni 0.45%、Cu 0.28%、Co 0.018%。

P_2号矿体：分布于P_1矿体之南，东西长约300 m，宽约2～5.7 m，平均宽度3.65 m，矿体倾向177°，倾角62°～65°。产于绿泥石-滑石及绢云母-绿泥石蚀变岩中，形成片状构造。平均品位：Ni 0.17%、Cu 0.26%、Co 0.021%。

Ⅱ号矿化带：位于主岩体南侧，东西长约550 m，最大宽度10.99 m，平均宽度5.5 m，走向55°，倾向N，倾角70°～80°。向下延伸最大可达92 m。其中的矿体主要赋存于两期岩体接触带的绿泥石-滑石蚀变岩和辉长闪长岩中。

P_{10}号矿体：地表形态为一椭圆状铁帽，东西长61 m，南北宽55 m，向下延伸可达20 m，赋存在辉长闪长岩中，由黄钾铁矾、孔雀石、褐铁矿和铜蓝等金属氧化物组成。有用组分呈星点状或斑点状

分布，有的呈细脉状充填于岩石裂隙中。矿石平均品位：Ni 1.65%、Cu 0.99%、Co 0.046%，是地表富矿。

Ⅱ号矿化带：分布于岩体西南部，东西长约 250 m，最大出露宽度 11.65 m，平均宽度 5.61 m，走向 11°，倾向 S，倾角 17°～72°。其中矿体赋存于围岩与岩体接触的断层面上绿泥石 滑石蚀变岩中。

P 号矿体：矿体厚度虽小，但走向延长和深部延伸都比较稳定，斜深可达 200～300 m。矿体赋存于绿泥石 滑石蚀变岩中，因受断层作用，强烈的片理和糜棱岩化。有用组分呈脉状，微细脉状充填于片理和裂隙中。地表为铁帽，见有孔雀石、褐铁矿、黄钾铁矾及铜蓝等金属氧化物。地表平均品位，Ni 0.55%、Cu 0.23%、Co 0.028%。

（二）隐伏矿体

黄山铜镍矿主要矿体均为隐伏矿体，分布于矿区南部。

Ⅰ矿体：赋存于第三侵入亚次的岩体中，东西长约 650 m，向北陡倾斜。由下而上共三层矿体：

底部第一层矿体（30 号矿体），走向长 600 m，厚度 20～80 m，最大厚度达百余米，最大斜深大于 600 m。该矿体底部有透镜状的富矿存在。

下部第二层矿体（31 号矿体），长近 600 m，多分叉，总厚度远小于 30 号矿体。

上部第三层矿体，仅分布于 122 线一带。含矿岩体呈枝叉状沿 F_{31} 号断层穿插于主岩体中。铜镍硫化物矿化，分上下两层平行斜列于含矿岩体中。

次要矿体：赋存于辉橄岩相底部，东西长大于 600 m，西段视厚度 6.62 m，Ni 平均品位 1.11%，中段视厚度 6.83 m，Ni 平均品位 0.31%，矿体隐伏于地下 656～800 m。

（三）矿石类型及矿石质量

1. 矿石类型

黄山铜镍矿区，含矿岩石种类相当多；主要岩石都可成为含矿岩石，如含矿辉橄岩、含矿橄榄岩、含矿方辉辉石岩、含矿辉长闪长岩、含矿绿泥 滑石蚀变岩、含矿绿泥-滑石千糜岩。

矿石的工业类型主要为硫化物原生矿石、地表一部分氧化矿石。前者又可分为：特富矿石、富矿石和贫矿石。特富矿石很少，富矿石可以圈定出单独矿体，大多数为贫矿石。

2. 矿石的结构、构造

矿石构造有：水滴状、稀疏浸染状、稠密浸染状、斑杂状、块状、脉状和角砾状、片状构造 石蚀变岩中与热液作用成矿有关的矿石，常出现斑杂状和脉状构造。在构造破碎带的蚀变岩中的矿石多数是条带状、片状构造和千糜状构造。

矿石结构有：半自形粒状结构、包含结构、海绵陨铁结构、固溶体分离结构和填隙结构。

3. 主要矿石

矿石中主要金属矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、辉钴镍矿、辉钴矿、马基诺矿、黑铜矿、紫硫镍铁矿、磁铁矿、铬尖晶石、钛铁矿、白铁矿。主要为磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿的组合。磁黄铁矿和镍黄铁矿有时表现为固溶体，黄铜矿一部分为与上述同期产物，一部分较晚时形成，表现为交代、穿插早期矿物。由于受后期热液活动的影响，又经常出现墨铜矿、紫硫镍铁矿。

4. 矿石组分

矿石主要有益组分为 Ni，共生组分 Cu、Co、Ag。经电子探针物相分析证明 Ni 主要以硫化物形式出现。Co 未见独立矿物，多数赋存于硅酸盐矿物中。矿区平均品位 Cu 0.309%、Co 0.032%、Ni 0.188%。

矿区伴生有益组分主要有 Au、Ag 和铂族元素。银比较普遍，一般含量在 $(2\sim3)\times10^{-6}$，最高 1.17×10^{-4}。金含量很少。硒比较普遍，最高可达 22.0×10^{-6}，最低 1.4×10^{-6}。铂、钯含量较低，多数达不到综合利用标准。

有害元素，主要为锌和砷，铬和碲很微量。

（四）成矿序次的划分

按成矿作用的时间先后可划分为三期：即岩浆后期、热液期和表生期。岩浆后期，又可分出三个

阶段。

岩浆期第一阶段的角闪二辉辉石岩相中，金属硫化物含量不丰富，但常见浸染状金属硫化物，有时可聚集成为厚约数米的矿体。成矿方式是岩浆熔离出的硫化物，由于重力作用沉降聚集而形成上盘矿体和底部矿体。

岩浆期第二阶段是含矿岩体岩浆侵入时的成矿阶段。由岩浆房分异形成富含硫化物的熔融体。

岩浆期第三阶段是晚期辉长闪长岩体侵入时的成矿阶段。其成矿作用是对前期已形成的矿体进行熔蚀和改造。其特点是黄铜矿的含量较上述各期的都较高。

热液期的成矿作用：岩浆期各阶段的成矿作用后都伴随有热液活动，金属硫化物沿裂隙充填形成脉状、细脉状矿石，或与先期形成的矿石叠加，形成交代混染状矿石。

表生作用，在地下水、大气降水和氧化等作用下使出露于地表的原生硫化物矿体风化，形成氧化矿石。

五、成岩成矿模式探讨

根据稀土元素总量及分配形式，硫同位素值和锶锶同位素初始比值等研究表明，黄山杂岩体的物质来源于上地幔。地幔物质大约相当于大洋拉斑玄武岩上涌到地下深处的岩浆房，岩浆进行分异，发生硫化物与硅酸盐两大类物质的熔离和熔离后的重力分异。脉动式的岩浆活动使略经分异的物质侵入到贮岩空间，在贮岩空间内进一步就地重力分异与结晶分异，金属硫化物在重力作用下逐渐聚集于岩浆房下部。

最初侵入就位的硅酸盐熔浆，形成以橄榄岩为主要成分的岩体。侵入就位的第二期次的岩浆总成分相当于橄榄岩的成分。。

富含金属硫化物熔体接近于辉橄岩的硅酸盐，最后侵入就位，形成第三次的含矿岩体，成为黄山矿区最重要的成矿岩体。

综合上述，黄山杂岩体成岩成矿可以概括为深部熔离、多次侵位，与就地分异相结合而形成的深熔-贯入型的矿床。

第五节　吉林磐石县红旗岭铜镍矿床

一、大地构造单元

红旗岭基性-超基性岩体群产于张广才岭优地槽褶皱带南部边缘，与华北陆块北缘紧邻。有些地质学家（傅德彬，1991），认为该区属于加里东弧后盆地，受辉发河深断裂带的次一级 NW 向断裂控制。从红旗岭到呼兰镇一带，一系列基性 超基性小岩体群呈北西向带状分布。

二、矿区地质

（一）矿区地层

基性-超基性岩体的围岩为下古生界呼兰群黄营屯组（351 Ma）的斜长角闪岩、黑云母斜长片麻岩、片岩夹大理岩透镜体。

（二）矿区构造

矿区褶皱和断裂构造均较发育，与基性 超基性岩体关系最为密切的是 NE 向张扭性辉发河断裂、岩体直接受控于主断裂的次级 NW 向压扭性断裂。基性-超基性岩浆的侵位具有多旋回、多期次的脉动特征。含矿岩体的 K-Ar 年龄为 391～350 Ma，属华力西早期。

（三）岩体地质

红旗岭基性-超基性岩群呈透镜状、纺锤状和脉状产出；侵位时代从加里东晚期到华力西早期，含矿岩体主要为华力西早期产物。岩石类型较为复杂，有辉长岩、辉石岩、橄榄岩、斜方辉石岩和角闪橄榄岩，它们均属正常岩石系列。大型硫化铜镍矿床产在红旗岭 1 号和 7 号岩体中。

现以红旗岭 7 号和 1 号含矿岩体为例，叙述其主要特征（表 2-7）。

表 2-7　红旗岭基性-超基性岩体类型及主要特征

Table 2-7　Main feature and type of Hongqiling basic-ultrabasic massif

岩体类型	时代	岩带	岩体形态	岩相组合	分异程度	m / f 值	含矿性	属于本类型的岩体	备注
斜长角闪岩角闪岩型	加里东晚期	Ⅰ-Ⅱ	透镜状或不规则岩墙状	斜长角闪岩角闪岩（变质的中基性岩）	差	1.3～2.8	无矿化	14、16、17、20、21、22、26、27、28、29、4、5、6、15、18、19、24号岩体	岩石具明显的片麻状构造，粒状变晶结构并碎结构。岩体蚀变强，某些岩体中有富钙质角闪橄榄岩脉岩
辉长岩辉石岩型	海西早期	Ⅱ(Ⅲ)	岩墙（或似盆状）	闪长辉长岩-辉石岩	较好	3.1～3.5号岩体平均成分）	有小型脉状矿（8、23号岩体未见矿）	3、30、25、8、23号岩体	
辉长岩辉石岩橄榄石型	海西早期	Ⅰ	似盆状或杯状	辉长岩辉石岩橄榄岩（橄榄辉岩）	好	3.5～4.1（1号岩体平均成分）	大、中型矿床（2号、F_1断层下盘岩体目前仅发现小型脉状矿体）	1、2号岩体、F_1断层下盘岩体	2号岩体较1号岩体基性程度低，辉长岩相厚度大，未见底部含矿橄榄岩相
斜方辉岩	海西早期	Ⅰ岩带	岩墙状	（苏长岩）顽火辉岩	单岩相岩体	4.2～5.7（7号岩体平均成分）	大型矿床	7、32、33号岩体	少量苏长岩产于岩体边部，为顽火辉岩同化围岩形成，脉岩（辉橄岩、橄榄辉岩）发育，不含矿
角闪橄榄岩岩	海西早期	Ⅰ(Ⅱ)	似盆状或杯状	角闪橄榄岩-（角闪岩岩）	较差	1.7（9号岩体平均成分）	有小型脉状矿体（3_号岩体未见矿）	9、31号岩体	31号岩体上部见有辉长岩相，构具垂直分异现场，与9号岩体不同

1. 红旗岭 7 号含矿岩体

岩体位于矿区东南部，沿 NW 向压扭性断裂的次一级断裂侵入与围岩呈不整合。岩体底盘为黑云母片麻岩，顶盘为花岗质片麻岩、角闪岩与大理岩的互层带。岩体南段被第三纪砂砾岩层覆盖，而砂砾岩层与黑云母片麻岩呈不整合接触（图 2-16）。岩体走向 N30°～60°W，总长数百米，宽数十米，厚 10～170 m，由北西向南东逐渐变薄。其北西方向有两个与主岩体不相连的透镜状小岩体。在剖面上岩体呈岩墙状（图 2-17），倾向 NE，倾角 75°～80°。在岩体中段（如 4 线）产状稍有变化，从上往下由陡变缓，在转折处有狭缩现象。在 4 线附近，岩体的上、下盘分别出现一个小的隐伏岩体，其产状与主岩体基本一致。

岩体的岩相组合及岩石特征：组成岩体的主要岩相为顽火辉石岩（局部强烈次闪石化为蚀变辉石岩）和少量苏长岩。前者是岩体的主体，占岩体总体积的 96%。苏长岩多在岩体的边部，与围岩呈构造破碎接触，据其岩石化学特征及在岩体中的产状，可能是由顽火辉石岩同化围岩而形成的。蚀变辉石岩分布无明显的规律，多在岩体边部或苏长岩内侧。

在岩体中段靠近下盘部位，常见有辉橄岩岩脉，岩脉有时过渡为橄榄岩或橄榄辉石岩，但其成分主要仍为辉橄岩。它与两侧围岩（顽火辉石岩或蚀变辉石岩）接触界线清楚，接触带常有小破碎带相隔。

顽火辉石岩：暗绿色，中细粒，自形-半自形粒状结构。组成矿物主要为顽火辉石（En_{91}，含量 75%～80%），还有少量棕色角闪石、拉长石和单斜辉石。部分岩石蚀变强烈，主要为皂石化、次闪石化、

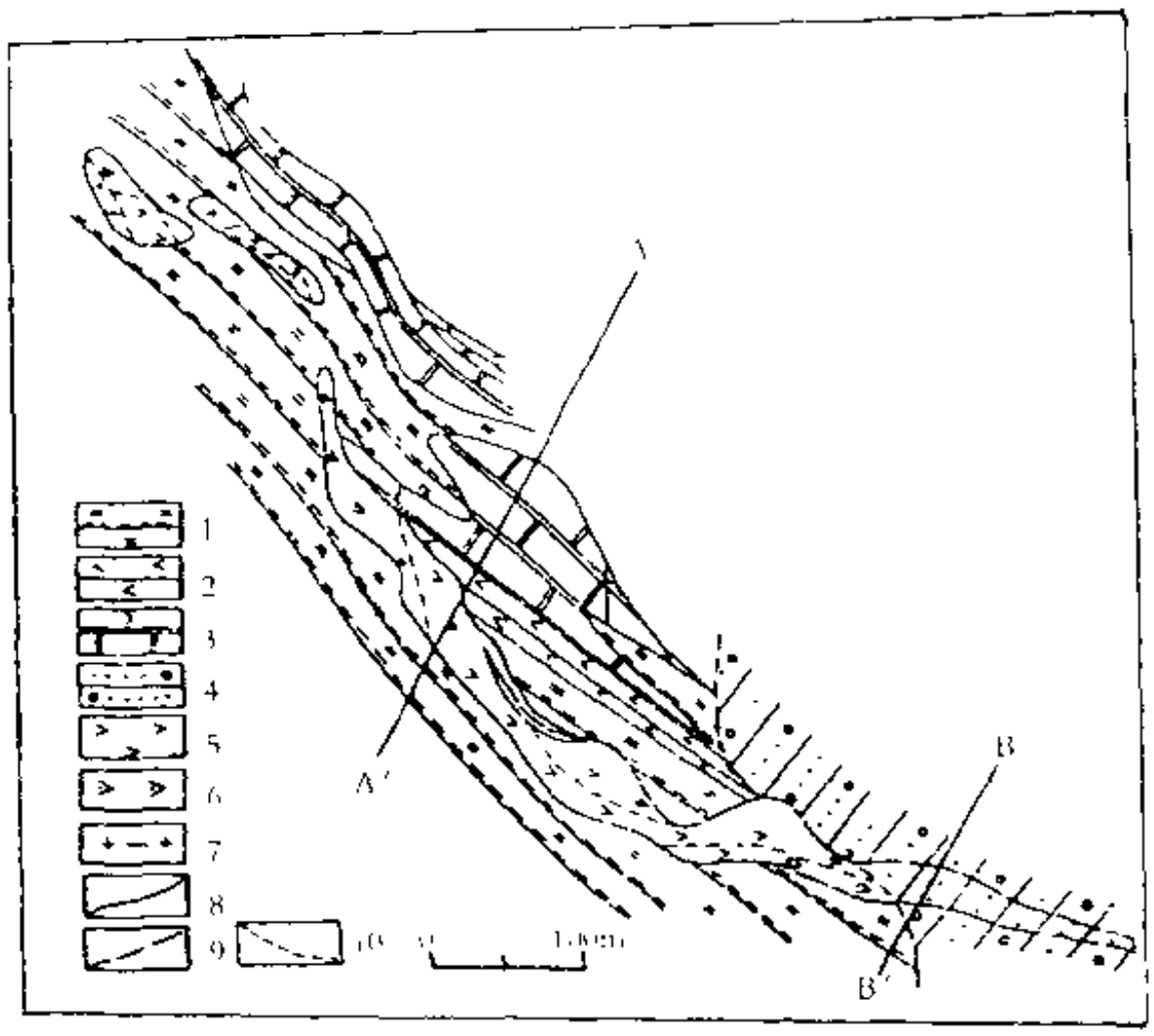


图 2-16　红旗岭 7 号岩体地质图

Fig. 2-16　Geological map of Hongqiling massif No. 7

(据 607 队，1972) (after Geological Team 607, 1972)

1—黑云母片麻岩；2　角闪片岩；3—大理岩；4　砂岩岩；5　橄榄辉石岩；6　蚀变辉石岩　7　苏长石，8　边缘破碎带，9　岩体投影界线；10　岩相界线

滑石化和少量绢云母化。普遍含有较多的金属硫化物，往往构成海绵陨铁状或浸染状矿石。有时不规则状硫化物充填于造岩矿物之间，并沿解理交代硅酸盐。

苏长岩：分布于顽火辉石岩同围岩接触带内侧，与前者呈渐变关系。呈暗灰—灰绿色，压碎结构、辉长结构。组成矿物主要有斜长石、斜方辉石、棕色角闪石和少量普通辉石。一般岩石蚀变较强，以斜方辉石的滑石化、次闪石化和拉长石的绢云母化为主。金属硫化物含量低（小于 3%），多呈浸染状、斑点状，偶而呈细脉状。硫化物交代硅酸盐现象较常见。

辉橄岩（脉岩）：黑色，中粒半自形粒状结构和包含结构。矿物以橄榄石为主（70%），顽火辉石和棕色角闪石次之。金属硫化物分布均匀，含量约 15%，局部达 70%。蛇纹石化较强。

2. 红旗岭 1 号含矿岩体

在平面上，1 号岩体呈似纺锤形（图 2-18），走向 NW46°，长 980 m，宽 150～280 m，最大控制深度 560 m，地表出露面积 0.2 km^2。在纵剖面上（图 2-19）为一向西北侧伏的不对称歪盆状体，其埋深东南浅向西北变深，矿化在东南端埋藏较浅处最为富集。

1987 年武殿英的研究进一步表明，1 号岩体是同源含镍基性-基性岩浆三次侵入形成的复式岩体。笔者将其分为辉长岩、辉石岩-辉石橄榄岩与橄榄辉石岩三个侵入相。各岩相之间均为侵入接触关系，从而否定了已往单式岩体的认识。

各岩相特征如下：

辉长岩相：其体积占岩体的 1%左右，主要分布在岩体上部近地表处，明显是辉石橄榄岩相捕虏体产出。含少量乳滴状铜镍硫化物，尚未构成矿化。

辉石岩-辉石橄榄岩相：其体积占岩体的 95%左右，是岩体的主体岩相。上部为辉石岩相，下部为辉石橄榄岩。二者体积比为 6.3∶93.7。在岩相底部，硫化物富集成斑点状矿石，但其储量微不足道

橄榄辉石岩相：在地表出露于岩体的东缘，在地下则位于岩体底部边缘。该岩相只占岩体体积的 4%，但却是岩体的主要含矿岩相。由橄榄石（Fo 87%～20%）、斜方辉石（主要是古铜辉石，含量 10～70%）及斜长石（An 为 58～60，含量 5%～10%）组成。

本岩相中含硫化物平均在35%左右，的且有从上向下逐渐增多的趋势。相应的矿石构造由稠密浸染状变为海绵陨铁状次至角砾状。

在本岩相底部矿体中显流动构造，且其流层产状与岩体底板或与下伏围岩接触带产状一致，表明本岩相中的富矿体在形成过程中动力因素是主要的、而重力因素次之。

通过对30余个采自各岩相的岩石化学分析的数据计算（王恒升、白文吉等，1975）结果表明，含矿岩体属正常系列基性-超基性岩体（图2-20）。基性岩部分的 $m/f=0.5\sim2$，属铁质基性岩；超基性岩部分的 $m/f=2\sim5.66$，属铁质超基性岩。$m/f=2\sim1$ 者含矿性好，$3\sim1$ 者含矿最佳。

各岩相在图5上的投影点分别集中在上、中、下三个彼此不连续的孤立区内，反映三个岩相是岩浆三次侵入的产物，并非结晶分异关系。"上区"为辉长岩类，"中区"为含矿橄榄辉石岩类，"下区"为辉石橄榄岩类。中、下区含矿岩相在 sfm 面上的岩石投影矢量短而陡，在 $sacm$ 面上的矢量则长而缓，它们分别表明岩石的暗色组分中富铁贫钙，浅色组分中富钙贫碱的岩石化学特点。实践表明，该岩化特点可作为岩体含矿性评价准则之一。

三、矿床地质

（一）7号岩体矿床特征

岩体中有以下三类矿体：似板状矿体、脉状矿体、纯硫化物脉状矿体。

似板状矿体：7号岩体中金属硫化物分布很普遍，绝大部分构成工业矿体，因此，矿体形态、产状与岩体基本吻合。含矿岩石主要是顽火辉岩或蚀变辉岩，少量为苏长岩。矿石多为细海绵陨铁状构造，少量浸染状构造，局部为团块状构造。矿石的金属矿物组合主要为磁黄铁矿、镍黄铁矿（包括少量紫硫镍矿）及黄铜矿，其相对百分含量分别为51、33和15。矿石中 $w(Ni)/w(Cu)$ 值3.3左右。

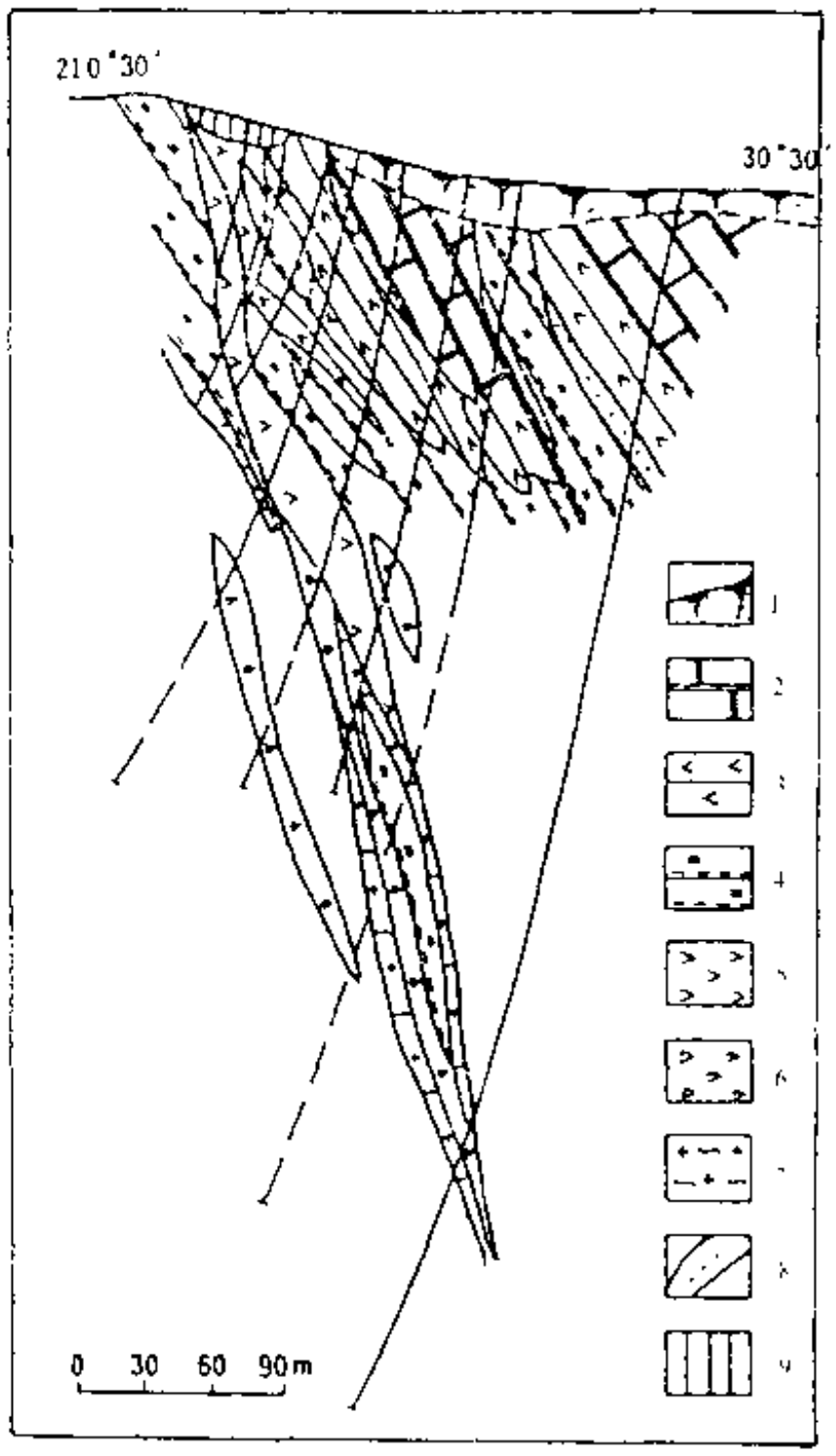


图2-17 红旗岭7号岩体1线地质剖面图

Fig. 2-17 Geological profile of exploratory line 4 in Hongqiling massif No. 7

（据607队，1972）

(after Geological Team 607, 1972)

1 表土及冲积层；2 大理岩；3- 角闪片岩，4- 黑云母片麻岩；5- 顽火辉石岩；6 蚀变辉石岩，7 苏长岩，8- 破碎带；9-矿体氧化带

脉状矿体：主要产于辉橄岩脉中，呈脉状，产状基本与所赋存的岩脉一致，由海绵陨铁状矿石和斑点状矿石构成。其主要金属矿物组合亦为磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿，它们的相对百分含量分别为56、39和5。镍品位较似板状矿体高，$w(Ni)/w(Cu)$ 值为5.2。

纯硫化物脉状矿体：产于顽火辉石岩与辉橄岩脉的接触破碎带中，三者界线清楚，呈突变关系。矿体全由致密块状矿石组成，其主要金属矿物亦为磁黄铁矿（58%）、镍黄铁矿（35%）和黄铜矿（7%）。其中有时见少量的橄榄石、顽火辉石和棕色角闪石。这种矿体沿走向和倾向变化不大，是稳定的脉状，延长大于延深。

7号岩体中共有3个矿体，其中1号主矿体长750 m，厚14.5 m，埋深150 m。矿石可分成三种类型。

斜方辉石岩中浸染型：矿石构造主要为浸染状，局部致密块状；半自形-他形粒状结构；磁黄铁矿：镍黄铁矿：黄铜矿的比例为4.2：2.5：1；硫化物含量大约为9%；Ni平均含量1.71%；Cu平均

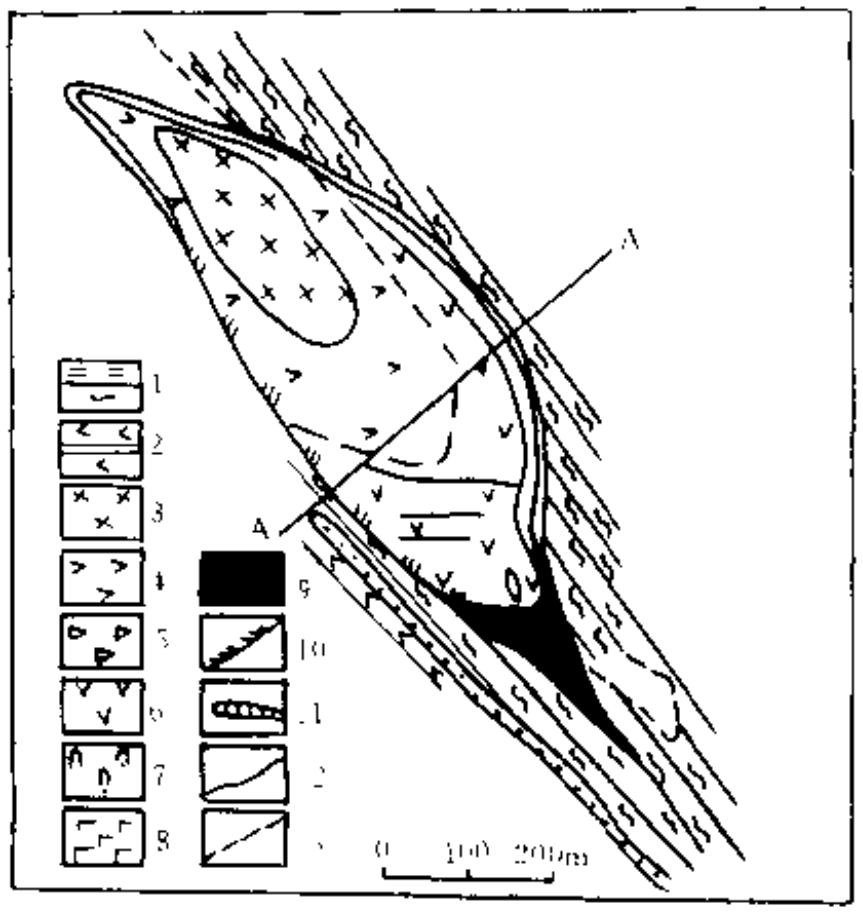


图 2-18 红旗岭 1 号含铜镍岩体地质图

Fig. 2-18 Geological map of Cu-Ni-bearing Hongqiling massif No. 1

1 黑云母片麻岩；2 角闪片岩；3 辉长岩；4 斜方辉石岩；5 辉石橄榄岩；6 橄榄辉石岩；7 石英霏细斑岩脉；8 斜长岩脉；9 工业矿体；10 逆掩断层；11 破碎带；12 性质不明断层；13 相变界线

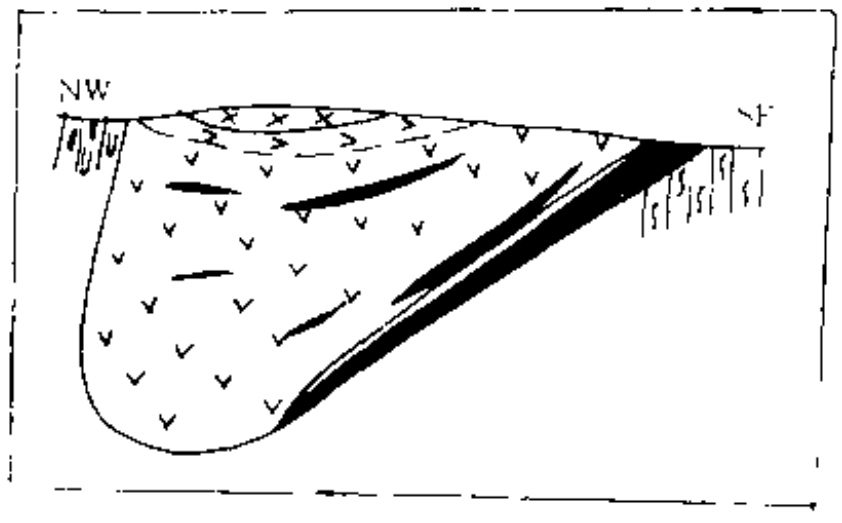


图 2-19 红旗岭 1 号含铜镍岩体纵剖面示意图

Fig. 2-19 Longitudinal section of Cu-Ni-bearing Hongqiling massif No. 1

（图例同图 2-18）

含量 0.52%。

橄榄岩中稠密浸染型：矿石构造为海绵陨铁状和斑点状；矿石结构为粗晶结构；磁黄铁矿：镍黄铁矿：黄铜矿的比例为 1.2：7.8：1；硫化物含量达 20%；Ni 平均含量 3.13%；Cu 平均含量为 [illegible]

纯硫化物脉型：矿石构造为致密块状；矿石结构为半自形晶粒状；磁黄铁矿：镍黄铁矿：黄铜矿的比例为 8.7：5：1；Ni 平均含量 9.76%；铜品位 0.63%。

（二）1 号岩体矿床特征

不同侵入岩相中的矿化特征是不同的（傅德彬，1982）。

（1）橄榄辉石岩中的“底部似层状”矿体，赋存于岩体底部与边缘，其形状、产状的变化与所在岩相一致。矿体具流动构造，而且边缘矿体有向上规模变大的趋势（图 2-19），尤为甚者东南端矿体露出地表厚 70 m，沿倾向向下延伸 800 m，平均垂深 250 m，向下渐趋尖灭。这些事实是难以用结晶重力分异理论解释的。矿体中主要矿石矿物是磁黄铁矿、镍黄铁矿与黄铜矿，三者含量分别为 60%、35%、5%。此外尚有少量的黄铁矿、斑铜矿、砷镍矿等。矿石中 $w(Ni):w(Cu)=5.1:1$。按硫化物“矿物对”中硫的稳定同位素计算的成矿温度及包裹体测温结果，矿石的形成温度在 382～400℃之间。按单辉石法地质温度计算得的含矿岩相形成温度 1265℃。如果矿石的海绵陨铁结构能说明硫化物是在硅酸盐结晶前熔离的，那么，本含矿岩相中的硫化物是在高于 1265℃（硅酸盐尚未结晶）时即与硅酸盐不混熔、熔离出来后又与硅酸盐熔浆一道或分别贯入地壳中成岩成矿。显然，硫化物是在硅酸盐结晶后相当长一段时间内（此时熔体呈晶粥状），在温度降到 100℃左右时才结晶成矿的。

（2）辉石橄榄岩中的“上悬透镜状”与“底部似层状”矿体。前者产于岩相上部，形体不规整，以透镜状为主，矿条状、扁豆状与薄层状亦时有出现，一般规模小，厚度薄，延长短，连续性差。矿石多呈稀疏浸染状，品位低，变化大，选矿性不佳，工业意义不大。后者位于岩相底部，橄榄辉石岩界面之上，矿石与寄主岩相界线不清楚，为渐变过渡关系，矿石以稠密浸染者为特征，较富者偶呈海绵陨铁状构造，局部见有罕见的“回文”状似共结结构。研究表明，上、下两类矿体的矿石矿物大同小异，主要是磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿。据统计，上悬矿体中三者含量分别为 60%、35%、5%，彼

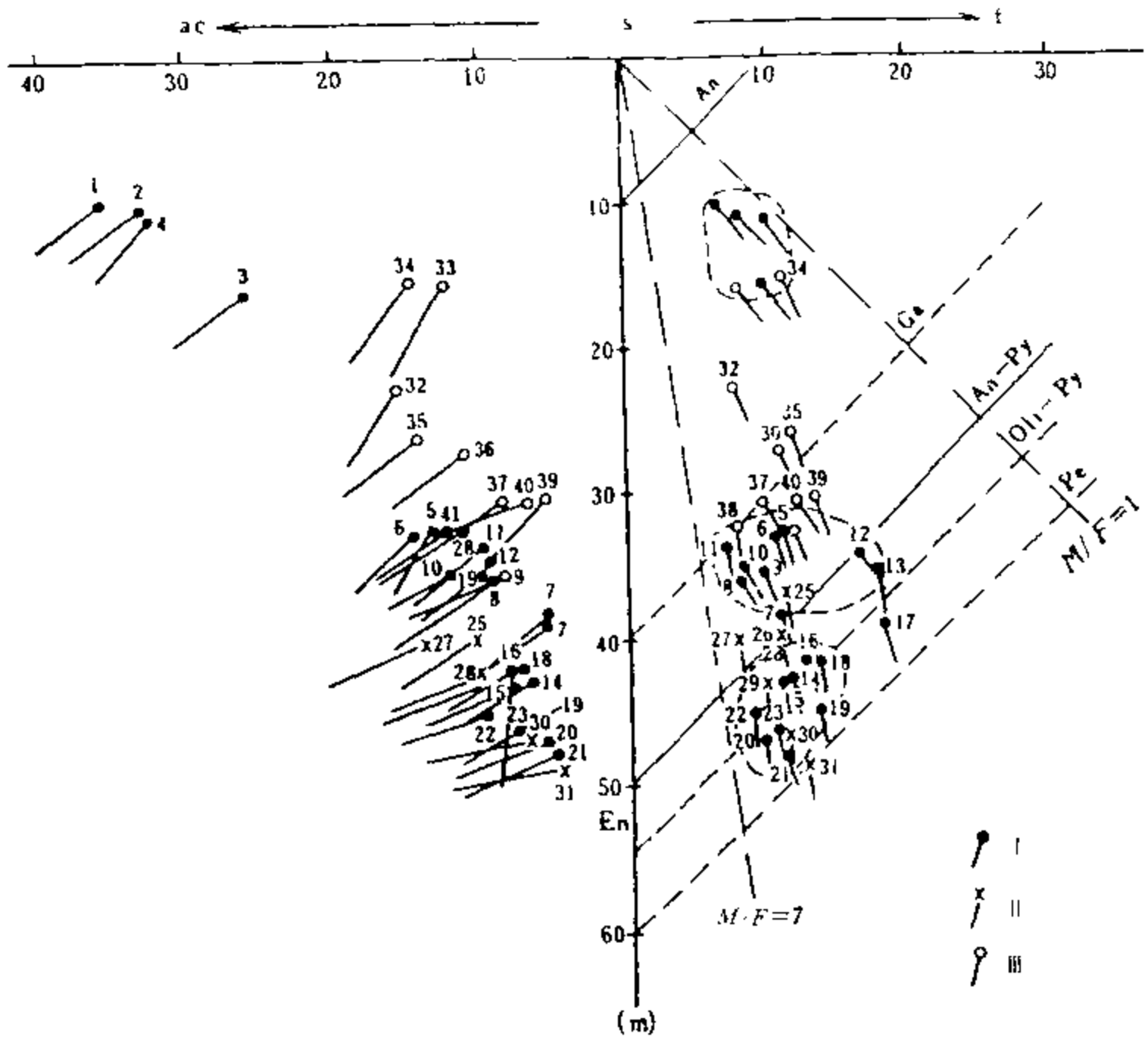


图 2-20　红旗岭区 1 号和 7 号含铜镍岩体岩石化学数值特征图解

Fig. 2-20　Numerical characteristics diagram of lithochemistry of Cu-Ni-bearing Hongqiling massif No. 1 and No. 3

(据王恒升、白文吉，1975) (after Wang Hengsheng et al., 1975)

I　1 号岩体：1～4　辉长岩；5～13　含长橄榄辉石岩；14～21　含长辉石橄榄岩；II　1 号岩体的 F1 断层下盘样品；25～31—含长辉石橄榄岩；III　7 号岩体：32～35　混染苏长岩；34、36　斜方辉石岩

此含量比为 12：7：1，矿物粒度 1～2 mm，近矿蚀变极轻微。硫化物在岩相中的含量 3%～6%，平均含 Ni 0.22%～0.30%，Cu 含量为 0.05，$w(Ni):w(Cu)=6:1$。而在底部矿体中黄铜矿有所增加，$w(Ni):w(Cu)=2.3:1$。本岩相的成岩、成矿的温度分别为 1500 C 与 500 C 左右。由上述不难看出，与橄榄辉石岩底部矿体不同的是辉石橄榄岩中的矿体显然是就地结晶熔离作用形成的。换言之，熔浆经深部液态熔离而形成的硅酸盐熔体或岩浆，包含有熔离未尽的残留硫化物．在温度下降等因素影响下发生结晶熔离作用，初始结晶熔离出来的一部分硫化物由于重力效应沉降到岩相底部形成“底部矿体”，另一部分硫化物熔离较晚，未及下沉而冷凝，遂形成“上悬矿体”，此种成矿作用几乎没有矿化剂参与，形成温度较高。

(3) 成岩后叠加脉状矿体。岩体的主要成岩成矿作用完成以后，尚有一些后期含矿脉岩及硫化物矿脉沿构造裂隙叠加于上述两种同生矿体上，使矿化更趋富集。该现象有力地证明了多期次矿浆成矿的特点。1 号岩体中有 2 个主要矿体，主矿体长 835 m，宽 9.5～65 m，厚 30～50 m，埋深 0～440 m，以镍为主，铜较贫，铜平均品位为 0.12%。

(三) 矿床成因探讨

(1) 传统的就地结晶熔离成矿理论认为矿体大小与母岩体规模有一定比例关系，基于这一理论，J. H. L. Vogt (1893) 认为小岩体无大矿。而上述岩体中硫化物占 1/3，尤其是 7 号岩体，整个岩体几

乎百分之百都是矿。这一事实，传统成因理论是无法解释的。如此之多的镍，无论用基性 超基性岩中镍的平均含量抑或硫化物在其中的溶解度都是无法解释的，只有用含矿熔浆经深部液态熔离作用形成的富硫化物矿浆贯入成矿才能得以解释。

(2) 红旗岭 1 号岩体中的矿体呈似层状产于岩体周边和近侧围岩中，尤其是含矿岩相（橄榄辉石岩相）与矿体均具产状与底部接触带一致的流动构造，说明在成岩成矿过程中动力作用是主要的，重力分异是次要的。特别是 7 号岩体是一岩墙，岩体即矿体，不存在任何重力分异现象，纯属典型的深部液态熔离矿浆贯入成因（武殿英，1987）。

(3) 含矿岩相位于岩体中部，而不是最下部，位于最下部的是非主要含矿辉石橄榄岩，这一事实说明 1 号岩体下部的含矿橄榄辉石岩及其中矿石并非结晶重力分异产物，而是单独一次深部液态熔离的含硫化物矿浆贯入形成的。

(4) 含矿橄榄辉石岩相粒度粗大（一般 2～3 mm，大者达 7～8 mm），富含金属硫化物（通常含 15～50%，最高可达 70%），硫化物附近有热液蚀变。岩相含水 5%～6%（高者达 8%）。足见矿浆在形成和运移中挥发分起了很重要的作用，此乃矿浆成矿的显著特征之一。

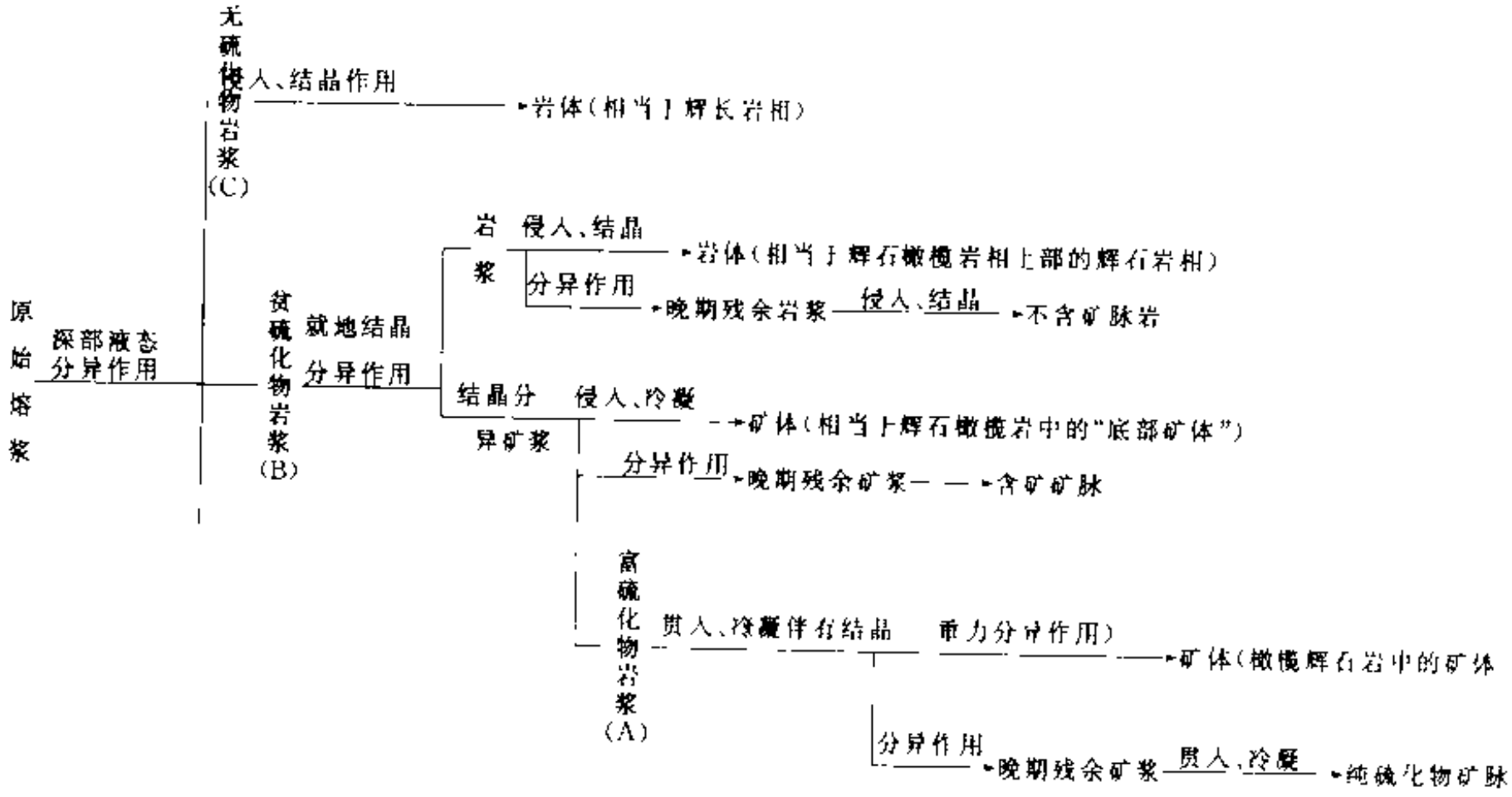
(5) 据资料，矿石中曾见一种可作为矿浆成矿的标型结构——橄榄石与硫化物的似共结结构，铬铁矿中尖晶石与硅酸盐间的似共结结构，堪为矿物从矿浆中晶出的标志（A. F. Koster，1967；Л. В. Полферов，1979）。

(6) 岩体中 $\delta^{34}S$ 变化为 +1.2‰～+2.8‰，不同类型矿石间 $\delta^{34}S$ 值彼此很接近，均近似于陨石中的硫同位素值。而且，其频率直方图塔式效应明显，故所述含矿岩体的成岩成矿物质来源于上地幔。

综上所述，红旗岭硫化铜镍矿床系上地幔原始含矿熔浆，经深部液态分异作用、熔离作用熔离出来的富硫化物矿浆贯入地壳上部形成的“矿浆贯入成因”矿床。其成矿作用可归纳为表 2-8。表 2-8 表明，原始熔浆是母体，岩浆与矿浆是一对孪生兄弟（属同层次范围），矿石与岩石是其后裔。矿浆可划分为液态熔离矿浆、结晶熔离矿浆与晚期残余矿浆。熔浆不同演化阶段形成的矿浆，其成矿作用的方式、矿体规模等一系列特点均不相同。

表 2-8 红旗岭铜镍矿成矿作用

Table 2-8 Metallogenesis of Hongqiling copper-nickel deposit



第六节　吉林通化县赤柏松铜镍矿床

一、大地构造单元

赤柏松铜镍硫化物矿床位于华北陆块北缘东段的南部龙岗陆核内，隶属吉林铜镍硫化物矿床龙岗陆核东西成矿亚带。矿床产在吉南地台区的龙岗陆核南缘与辽吉古元古代裂谷交接地带，受龙岗陆核边缘的断裂控制。

赤柏松矿床属于稳定构造环境中与镁铁质—超镁铁质侵入体有关的矿床。现已发现这类侵入岩共有 70 余个，其中赤柏松 1 号岩体已构成大型铜镍矿床，其他新安、金斗岩体赋存小型铜镍矿床。

二、矿区地质

（一）构造

在成岩成矿作用中扮演重要角色的控制构造是赤柏松穹隆构造。它分布在金斗—赤柏松一带，长 22 km、宽 17 km，近 SN 走向，其核部由奥长花岗岩、翼部由英云闪长岩组成，片麻理产状明显地显示出穹隆状构造。穹隆构造的张裂隙在赤柏松一带控制了较古老的变质基性岩脉的产出。著名的赤柏松 1 号含大型铜镍硫化物矿床的基性-超基性岩体产于穹隆构造边部的、近 SN 向的多次活动的断裂构造中，与早期变辉长辉绿岩墙复合在一起，构成一复式岩体。据不完全统计，该穹隆构造控制了 30 余个基性-超基性岩体。

（二）岩体地质特征

区内岩体均不整合地侵入于年龄为 2562 Ma 变质基性岩脉切穿的角闪麻粒岩相灰色片麻岩系（TTG 岩系）内。片麻岩的变质温度为 700～800 C，压力为 0.6GPa。岩体的直接围岩是夹有斜长角闪岩与磁铁石英岩包裹体的英云闪长岩。

赤柏松 1 号含矿岩体与太古宙围岩的接触带上发育有角岩化及混染岩化带（图 2-21）。岩体全岩钾稀释法年龄为 1960～242 Ma（据中科院地质研究所测定，1979）。

1. 岩体产状、形态与规模

岩体呈墙状产出（图 2-21），总体走向 5°～10°，倾向与倾角均有变化，北段倾向 SEE，倾角由北向南渐陡，变化为 55°～86°；南段倾向 NWW，倾角变化为 63°～85°。岩体控制长 4800 m、宽 10～140 m，出露面积约 0.1 km^2。北端翘起，向 SE 侧伏，侧伏角 15°左右。沿走向岩体膨胀不一，底部形态不规则，呈参差不齐的“根须状”。

2. 岩相及其相互关系

赤柏松 1 号岩体是伴随辽河期构造运动、沿断裂多次侵入形成的含矿复式基性-超基性岩体。主要由变辉长辉绿岩相，矿化中色橄榄辉长苏长岩相，含矿暗色橄榄辉长苏长岩相与含矿细粒辉长苏长岩相组成。除中色橄榄辉长苏长岩与暗色橄榄辉长苏长岩相同为“隐秘侵入接触”关系外，其余各岩相间均为明显侵入接触关系。由于中色与暗色橄榄辉长苏长岩岩浆之间系液态接触，故在二者交接带上发生了岩浆液态混合作用，形成了作为二者过渡带的混熔岩，其中 Cu、Ni 大量富集成矿，从而得出岩浆混合作用对铜镍矿成矿有利的结论（芮宗瑶等，1991；傅德彬，1991）。

3. 岩石矿物特征分析

把 42 个主要岩相的硅酸盐全岩分析数据进行调整、平差、求和后，用 CIPW 法进行了标准矿物计算，然后投到国际地科联(1972 年)的 Pl（Ol + Opx + Cpx）三角形四面体断面图上，其投影点分别落在暗色橄榄辉长苏长岩区、中色橄榄辉长苏长岩区与辉长辉绿岩区。除了中、暗色橄榄辉长苏长岩间形成混熔岩区介于Ⅰ与Ⅱ区之间外，各区之间无过渡现象，即彼此间并非结晶分异相变关系。

通过主要造岩矿物的成因矿物学研究得知，斜长石在无矿岩相中呈白色，在含矿岩相中呈灰—粉灰色。晶胞参数 a_0、b_0、c_0 及轴角 α_0 在含矿岩相具增大趋势。含矿岩相中斜长石 An 偏低，MgO 与 FeO 含量偏高。各岩相中斜长石的 $\delta^{18}O=6.11‰$～$9.82‰$，平均为 7.15‰。橄榄辉长苏长岩与辉长辉绿岩岩相中斜长石的有序度不同，前者为 0.70～0.83，后者约为 0.20。

在主要岩相中几乎都同时存在斜方与单斜两类辉石。中色橄榄辉长苏长岩中的单斜辉石为透辉石次透辉石，暗色橄榄辉长苏长岩中则为顽透辉石 普通辉石系列单斜辉石。同一岩相中存在两个系列的单斜辉石，而且成分互不连续，彼此结晶温度不一。斜方辉石主要是古铜辉石与紫苏辉石，相比之下，中色橄榄辉长苏长岩中的斜方辉石成分较暗色橄榄辉长苏长岩中的相对稳定，前者 En 为 65～80、后者 En 为 65～92。同一岩相中的斜方辉石较单斜辉石中 S、Ni 含量高；不同岩相中，偏基性者 Cu、Ni 含量较高。暗色橄榄辉长苏长岩相中单斜辉石内的 $w(Fe^{2+}_{M_1})/w(Fe^{2+}_{M_2})=0.04$，而中色橄榄辉长苏长岩中的 $w(Fe^{2+}_{M_1})/w(Fe^{2+}_{M_2})=0.12\sim0.13$，这意味着含矿岩相中单斜辉石内有较多的 Fe^{2+} 进入了 M_2 晶位。辉石中 $\delta^{18}O=6.49‰\sim7.73‰$，说明其物质来源于地幔。

岩体中的橄榄石 Fo 为 61.54%～81.11%，相当于贵橄榄石-透铁橄榄石系列。贵橄榄石主要产于含矿岩相中，透铁橄榄石则主要产于非含矿岩相中。含 Fo=75%～81%的橄榄石的岩相对成矿有利。

4. 岩石化学及特征

岩体中 $w(SiO_2)=41\%\sim53.3\%$，属基性--超基性过渡类型岩石，据 A. A. Marakushev(1979 年)，此类型岩石对镍矿成矿有利。$w(MgO)=5\%\sim27\%$，其中含矿岩相 $w(MgO)=15\%\sim27\%$，属中温含硫化物镁铁质岩石，无矿岩相 $w(MgO)=5\%\sim7\%$，属低温无硫化物镁铁岩石(按 A. II. Ланчев，1979)。扎氏数字主要特征：$b=35.1\sim57.7$，$m'=52.8\sim78.27$，$n=75.76\sim85.71$，$a/c=0.85\sim1.03$。此外，含矿或矿化岩相 $(m/f)/(m/s)=4:1\sim2:1$，$m/f=1.7\sim4.7$，属铁质基性岩类，其中 $m/f=3.1\sim4.7$ 者含矿性甚佳。$m/s=0.7\sim1.21$ 是辉长苏长岩类的特征，其中尤以 $m/s=1.08\sim1.24$ 者含矿性最好。$a_{si}=37\sim45$，其中 $a_{si}=37\sim40$ 者含矿性好。$m_k=1.8\sim6.3$，其中以 1.8～3.0 者含矿性最好。MacDonnald 指数 $F=30\sim50$，$A=0\sim10$，$M=40\sim70$，故岩体属于拉斑玄武岩类岩浆产物。

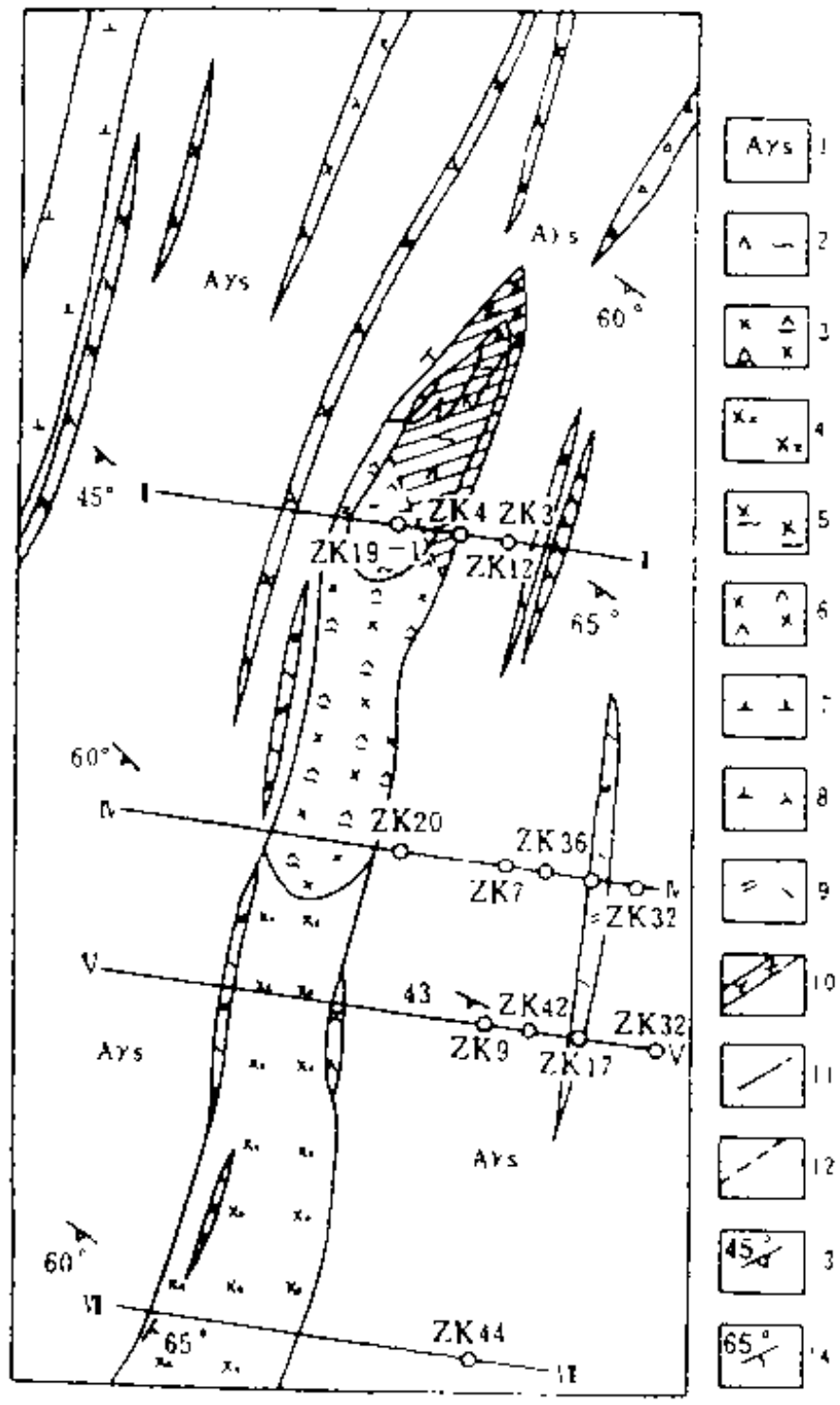


图 2-21 赤柏松 I 号基性岩体地质图

Fig. 2-21 Geological map of basic Intrusion No1. In Chibaisong

1 黑云角闪斜长片麻岩；2－暗色橄榄辉长苏长岩；3 中色橄榄辉长苏长岩；4 辉长辉绿岩；5 细粒辉长苏长岩；6 辉长玢岩；7 闪长岩；8 闪长玢岩；9 钠长斑岩；10 破碎带；11 岩相界线；12 矿体；13 片麻理产状；14 岩体接触带产状

赤柏松 1 号岩体中共查定有 62 种元素，它们在岩石、矿石中的分布及组合情况示于图 2-22。各岩相中有益元素含量和 REE 及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值等列入表 2-9 中。由表可知，各侵入相中造矿元素的含量随岩性基性程度增加而增加，其中 Co 相对稳定，S 变化大，Cu 与 Ni 变化适中。$w(LREE)/w(HREE)$ 值则随岩石基性程度增加而减少。$\delta^{34}S=-0.13‰\sim+1.3‰$，$^{32}S/^{34}S=22.216\sim22.281$，接近陨石硫数值。

5. 岩体成因

综上所述，赤柏松 1 号岩体是地幔物质部分熔融形成的大陆拉斑玄武质岩浆，转移到中间岩浆库后，经过深渊液态层状不混熔作用，于古元古代辽河运动时期沿辽吉古裂谷逐次上侵，最后在太古宙地体中停留下来，于岩浆房内冷凝形成了辉长苏长岩质基--超基性含矿复式岩体。

三、矿床地质

（一）矿体

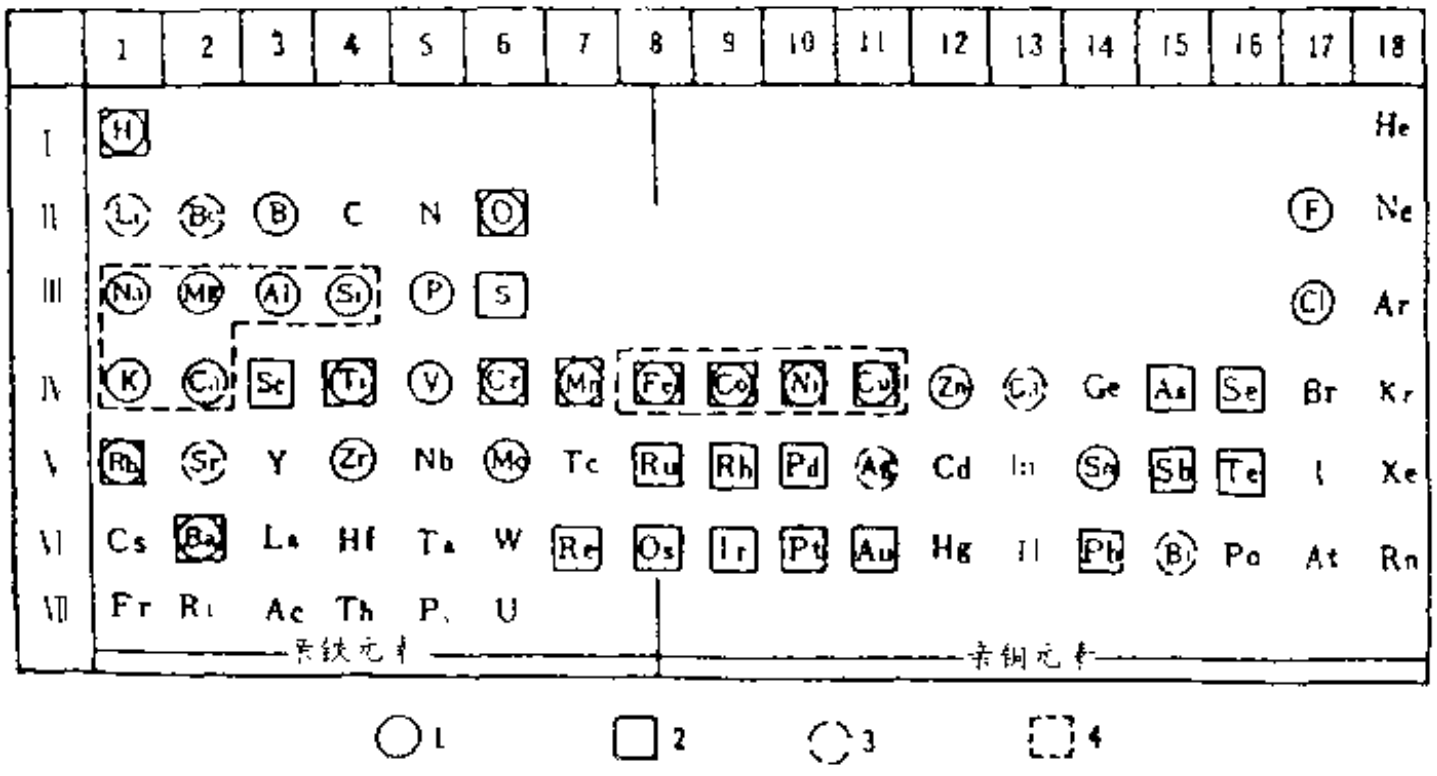


图 2-22　赤柏松 I 号岩体中元素分配及组合规律

Fig. 2-22　Distribution and association of element of Intrusion No. 1 in Chibaisong

1　造岩矿物中的元素；2　金属矿物中的元素；3　赋存状态尚未查明的元素；1　最主要的造岩、造矿元素组合，余者为岩体中尚未发现的元素

表 2-9　赤柏松含矿岩体中 Cu、Ni、Co、S 平均含量和 REE 及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值

Table 2-9　Average content of Cu-Ni-Co and S and ratio of REE and $^{87}Sr/^{86}Sr$ in ore bearing intrusion

岩　相	成矿元素百分含量 %				w(Ni)/w(Cu)
	Cu	Co	Ni	S	
辉长辉绿岩	0.0051	0.0011	0.0064	0.1183	1.2667
中色橄榄辉长苏岩	0.0186	0.0071	0.0623	0.0923	3.6933
暗色橄榄辉长苏岩	0.2267	0.0160	0.4453	1.1917	1.980

w(LREE)/w(HREE)	δEu	$^{87}Sr/^{86}Sr$	备　注
6.1367	1.1167	0.70988	本表中数据皆为赤柏松 I 号
5.5050	1.1120	0.70399	新安、金斗Ⅱ号二岩体的平均
0.0467	1.1050	0.70611	含量

矿体主要分布于岩体及部分围岩内：在岩体中者，矿石赋存在暗色橄榄辉长苏长岩相、混熔岩相、细粒辉长苏长岩相与辉长玢岩（硫化物胶结辉长玢岩角砾）岩相内；在围岩中者系沿裂隙贯入的脉状硫化物矿石，居次要地位。在空间上，矿体主要分布在岩体的底部边缘，少数为受裂隙构造控制的致密块状与条带状的矿脉产于岩体内或其边部的构造裂隙发育地段。

矿体产状与含矿侵入岩相产状相一致。故矿体亦伴随岩体在北端翘起，深部向 SE 方向侧伏。矿体地表出露长 200 m，厚度变化为 24.72～31.15 m。侧伏方向上已控制深度 1000 m（垂深 740 m）。厚度通常变化为 35.12～42.95 m，深部最小厚度为 2.31 m。在侧伏方向上矿体厚度比较稳定，在目前探矿工程所达之处矿体尚未尖灭。

控制矿体空间分布的因素有三：一是受侵入岩相控制，含矿岩相的空间分布即矿体的空间分布，如在岩体下部的暗色橄榄辉长苏长岩相中，控制了发育在其中的以稀疏浸染状、浸染状与斑点状矿石为主的同生矿体；二是受构造角砾岩带控制，富镍纯硫化物矿浆沿岩体与围岩的破碎接触带，特别是沿辉长玢岩角砾间贯入，形成块状与角砾状后生矿体；三是受构造裂隙控制，即以铜为主的铜镍纯硫化物矿浆，沿岩体底部边缘的岩体或矿体中的裂隙贯入，形成脉状与条纹状后生矿体。

矿体的上部界线在中色橄榄辉长苏长岩相的下部，亦即中色橄榄辉长苏长岩相与暗色橄榄辉长苏

长岩相接触部位所形成的混熔岩相的上部，矿体与围岩（母岩）为渐变关系；而矿体下部界线在太古宙变质岩系围岩中，矿体与围岩为侵入关系。

（二）矿石矿物

不同类型矿石中的金属矿物有：

硫化物类：磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、针镍矿、紫硫镍铁矿、辉镍矿、方黄铜矿、黄铁矿、墨铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、硫镍钴矿、白铁矿等。

氧化物类：铬铁矿、磁铁矿、钛铁矿、赤铁矿、尖晶石、金红石、钙钛矿、锐钛矿等。

自然金属矿物：自然金。

铂族元素矿物：铋碲钯铂矿、铋碲铂钯矿、硫铂矿、等轴铋碲钯矿等。

矿物共生组合的一个明显特征是，含矿岩相内同生矿石几乎千篇一律地为磁黄铁矿、镍黄铁矿与黄铜矿组合，与世界上同类矿床中的矿石矿物组合相同，其他矿物则所见甚微。此外，在富铜的条纹状矿石中出现的硫化物矿物共生组合主要是黄铜矿、针镍矿与黄铁矿（傅德彬，1991）。

（三）矿石结构构造

矿石主要构造有浸染状、斑点状、脉状、细脉浸染状、角砾状、块状与条纹状等构造。矿石结构主要是共结结构、固溶体分解结构、交代结构、似文象结构等数种。

（四）矿石化学成分及有用组分赋存状态

作为主要工业利用的元素为 Ni 和 Cu，镍平均品位为 0.591%，铜平均品位为 0.271%。主要伴生有益组分有 Co、Pt、Pd、Au 等。

主要镍矿物是镍黄铁矿，其次是针镍矿，辉镍矿，硫镍钴矿。在磁黄铁矿与黄铁矿中含少量的以类质同象形式存在的镍。钴主要是以类质同像形式赋存在镍黄铁矿和黄铜矿中，而呈独立的硫镍钴矿者罕见。铜矿物主要是黄铜矿，在磁黄铁矿与黄铁矿中有极少量的铜元素存在。

四、成矿条件

（一）稳定同位素

硫同位素：45 件硫化物矿物的硫同位素分析结果表明：

$\delta^{34}S$ 变化为 $-1.1‰\sim+0.7‰$，绝大多数为 $-0.5‰\sim+0.5‰$；$^{32}S/^{34}S=22.197\sim22.252$，多数为 22.218～22.236，变化小，与陨石标准（22.220）比较，离差幅度为 0.002～0.017；同位素频率图塔式效应明显；不同成矿阶段硫化物中 $\delta^{34}S$ 值稳定，变化范围狭窄，足见硫化物同出一源——上地幔，而且硫同位素分馏历程是相同的。

氧同位素：氧同位素除个别因混染成因偏高（CTD—6～—8c，$\delta^{18}O=-9.82‰$）外，90% 以上的 $\delta^{18}O$ 介于 6.1‰～7.73‰之间，与球粒陨石值（5.3‰～6.3‰），特别是与正常玄武岩的 $\delta^{18}O$ 值（5.5～7.4‰）很接近，表明是来源于上地幔玄武岩岩浆体系。

锶同位素：锶同位素（$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值）除变质辉长辉绿岩（CTSr38—2c）中斜长石偏高外，余者均变化为 0.70321～0.70888，与上地幔现代玄武岩浆中的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值（0.704±0.002）非常接近（G. Faure，1977），此亦证明成岩物质来自上地幔。

（二）稀土元素

含矿岩相中 ΣREE 含量为（34.10～49.01）$\times10^{-6}$，w(LREE)/w(HREE)为 4.07～1.71，δEu 为 0.84～1.14，$(La/Yb)_N$ 为 4.14～5.72。这些特征数据表明所述岩体与大陆型非洲玄武岩及大陆型德鲁斯辉长岩非常相近（E. A. 弗雷，M. A. 哈斯金，1988）。岩体 REE 特征近似于球粒陨石，来自上地幔。尤其是 $(La/Yb)_N$ 值介于大洋岛屿拉斑玄武岩与大陆拉斑玄武岩之间，显示出其大陆边缘产出的地质环境。

（三）成岩成矿物理化学环境

1. 矿物结晶温度

橄榄石是岩体中结晶最早的矿物，其结晶温度既是岩浆温度的下限，又是其固相开始晶出温度的上限。根据橄榄石的化学成分计算的（按夏林圻法，1985）结晶温度为 1412℃。各岩相中辉石的结晶

温度与压力分别为1107.90～1121.68℃与0.95～1.06GPa，斜长石的结晶温度为1155.81～1206.26℃，与辉石结晶温度相近，故二者在苏长岩中为共结的辉长结构。硫化物成矿温度是采用爆裂法，同位素温度计法与d_{111}值计算法等多种方法测算的，不同成矿阶段的成矿温度变化在300～170℃之间。

2. 成岩压力

尽管测算的辉石形成压力为0.95～1.16GPa，然而根据$t<1000$℃的斜长石平衡结晶温度与p_{H_2O}的关系可知，实际成岩压力是0.1～0.5GPa

3. 成岩深度

由成岩压力算得的成岩深度是3～11 km左右，即岩浆从11 km处开始结晶，最后冷凝的岩浆房距地表3 km左右。

4. 成岩氧逸度（f_{O_2}）

利用不同岩相中的橄榄石与辉石的端元组分（Fa与Fs）与结晶温度求得的成岩氧逸度，随岩浆演化由早到晚，f_{O_2}逐渐降低这种变化趋势有利于晚期成矿，因为晚期f_{O_2}、α_{S_2}升高。

5. 成岩成矿的E_h～pH条件

根据铁的氧化物与硫化物的生成顺序：磁铁矿－磁黄铁矿－磁铁矿（＋黄铁矿）测算的pH＝1～7，E_h＝0.1～0.16V。不言而喻，金属硫化物矿石是在弱酸性介质条件下，还原环境中形成的。

（四）成矿期及成矿阶段

根据赤柏松硫化物铜镍矿床的成矿条件与成因类型，共划分了矿浆、热液与表生三个成矿期。

其中最重要的矿浆成矿期分为五个成矿阶段：①暗色橄榄辉长苏长岩质矿浆贯入成矿阶段；②混熔岩质矿浆成矿阶段；③细粒辉长苏长岩质矿浆贯入成矿阶段；④富镍纯硫化物矿浆贯入成矿阶段；⑤富铜纯硫化物矿浆贯入成矿阶段。

五、矿床成因及矿床模式

基于前述矿床地质背景、岩体与矿床成因特征和成岩成矿条件等不难得知，地幔物质的局部熔融形成原始熔浆，其成分主要是硅酸盐与硫化物。因为其温度高，此时硫化物在硅酸盐溶体中呈悬浮状态。经后底辟作用抑或沿古裂谷带中的超壳深大断裂向上运移至中间岩浆库。由于温度、压力的改变及外来物质的混入等因素，破坏了原始熔浆的物理化学平衡，于是在地台稳定环境中，开始了深渊液态不混熔作用，不同密度物质（硫化物相密度为4 g/cm³，硅酸盐相密度为2.5 g/cm³）在地球重力场作用下形成若干组分不同的岩浆层与矿浆层，偏酸性者在上、偏基性者在下，硫化物矿浆在最底部（傅德彬，1986）。

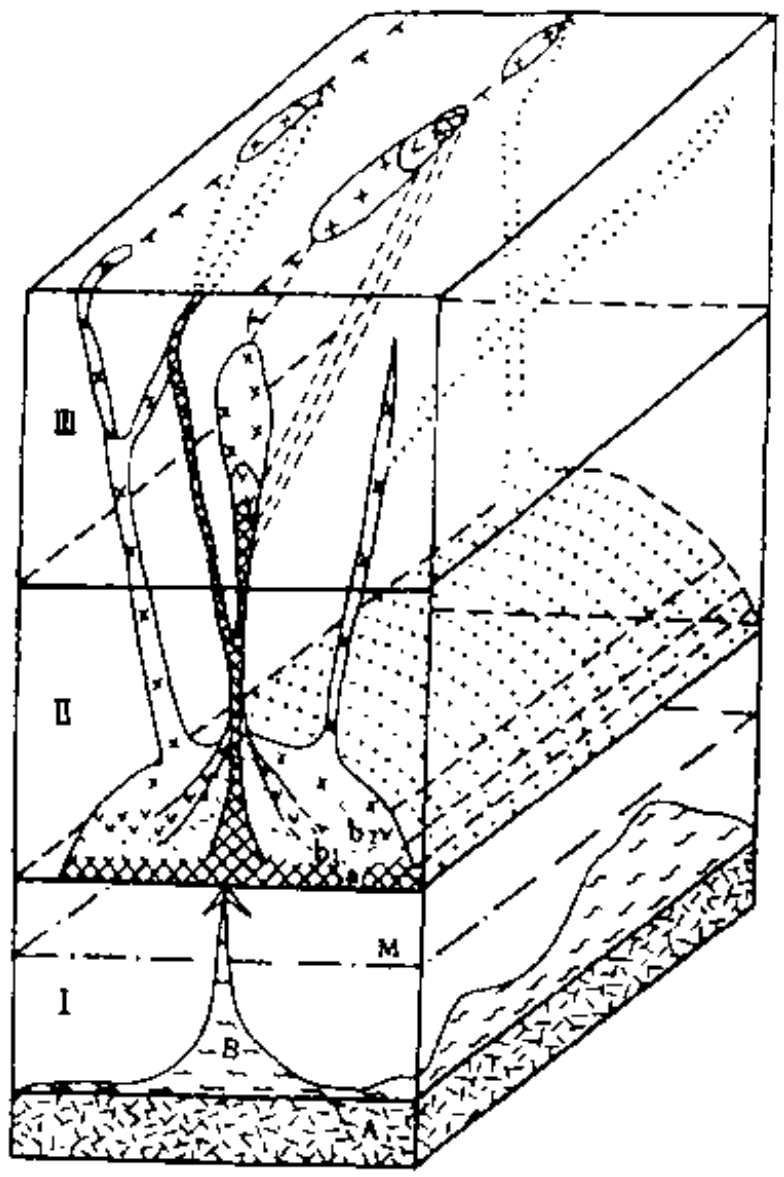


图2-23 赤柏松矿田成岩成矿模式图

Fig. 2-23 Rock-ore-forming pattern for Chibaisong ore field

Ⅰ 上地幔；A 上地幔物质，B 上地幔部分熔融之原始熔浆，M 莫霍面；Ⅱ 深渊岩浆库，原始熔浆转移后进行液态重力分异场所，其中a 硫化物矿浆，b_1 暗色橄榄辉长苏长岩质矿浆，b_2 中色橄榄辉长苏长岩质岩浆，c 拉斑玄武质岩浆，Ⅲ 岩浆房，成岩成矿的地方

大约为1960～2180 Ma，地球发生了一次规模宏大的构造-岩浆活动，在北美称Kenoran（1700～2000 Ma）运动，在非洲称Limpopo（1650～2150 Ma）运动，在我国称五台运动或辽河运动。此次构造岩浆热事件，形成了举世闻名的萨德贝里、布什维尔德、贝辰加等大型—特大型硫化物铜镍矿床。

五台或辽河运动在华北地台上的多次活动，使得龙岗

陆核边缘的辽吉古裂谷相应地多次复活，结果使上述岩浆库中已分层的岩浆、矿浆多次侵位，依次形成辉长辉绿岩侵入相、中色橄榄辉长苏长岩侵入相、暗色橄榄辉长苏长岩侵入相、细粒辉长苏长岩侵入相以及纯硫化物矿浆的贯入等，从而构成含矿复式岩体及其硫化物铜镍矿床。作者称这类矿床为"矿浆贯入矿床"（傅德彬，1981，1982，1983，1986b，1988）。为了描述所述矿床的成矿作用过程，反映成矿作用的内在联系，揭示成矿作用的本质特征，在查清成岩成矿物质来源、矿浆形成机理以及成岩成矿物化条件的基础上，绘制了赤柏松铜镍矿床矿浆成矿模式图（图 2-23）。

基于上述，该矿床属于来自上地幔的含硫化物岩浆，经深渊液态不混熔分异作用形成的硫化物铜镍矿浆多次贯入成因的深成矿浆贯入矿床（傅德彬，1986；芮宗瑶等，1991）。

第七节　青海玛沁德尔尼铜钴矿床

一、大地构造位置

德尔尼矿区位于巴颜喀拉褶皱系阿尼玛卿褶皱带东段，阿尼玛卿前缘大断裂北侧，阿尼玛卿超基性岩带东段的德尔尼超基性岩体中部（图 2-21）。阿尼玛卿褶皱带为 -裂谷系。

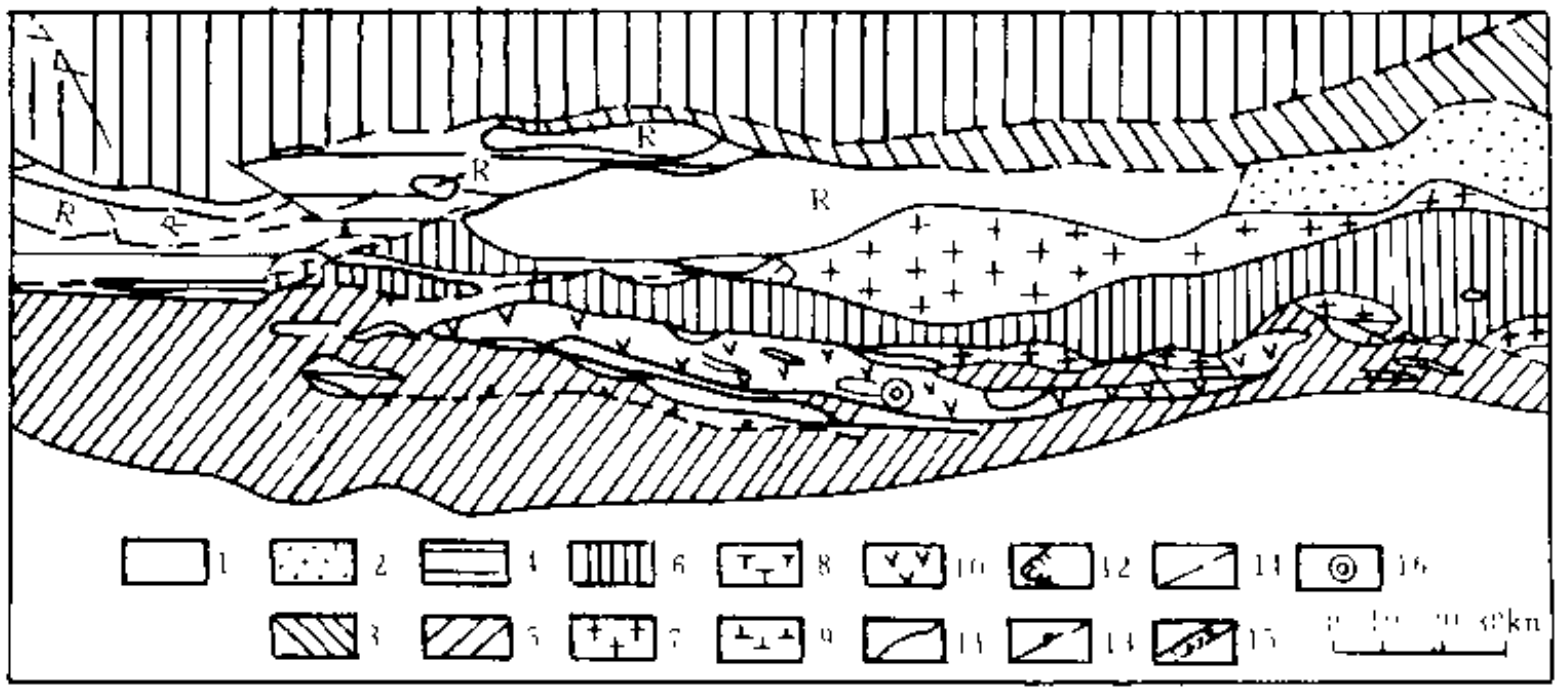


图 2-24　德尔尼地区区域地质略图

Fig. 2-24　Regional geological sketch of Dur'ngoi area

R　第三系红色砂砾岩、泥岩；1—白垩系紫红色砾岩、砂砾岩、砂岩；2　中、下侏罗统含煤碎屑岩；3　上 .叠统石灰岩夹砂岩；4- 下二叠统上组变质砂岩、板岩夹灰岩；5　下 .叠统下组板岩、变砂岩夹火山岩；6- 上石炭统结晶灰岩、大理岩夹角闪片岩；7 - 花岗岩；8　正长岩；9　闪长岩；10　超基性岩；11- 地质界线；12　沉积不整合线；13　实测、推测逆断层；14- 实测、推测性质不明断层；15 -构造破碎带；16　德尔尼矿区

二、区域地质

（一）地层概况

区内地层以上古生界为主，其次有中下侏罗统、白垩系、第三系及第四系。由老到新简述如下：

上石炭统（C_2）：出露于区域中部，呈 NW—SE 向条状分布。分为四层：即斜长角闪片岩夹大理岩、大理岩、生物灰岩和结晶灰岩。各岩层之间呈渐变关系。生物灰岩中盛产籐和腕足类化石，地层时代为上石炭统。但是，在德尔尼分水岭北侧之斜长角闪岩，角闪石 K-Ar 法年龄值 742 Ma。1991 年西北有色地研所对矿区北侧斜长角闪岩和大理岩，测得 Rb-Sr 等时线年龄值 203 Ma，说明该区岩石中夹有新元古代构造残片。

二叠系（P）：本区分布较广，主要在南半部。

下二叠统下组（P_1^1）：主要由板岩、变砂岩组成，并夹有变火山岩的透镜体。

下二叠统上组（P_1^2）：主要出露于区域南部，呈北西向带状延伸，由变砂岩、板岩、石灰岩组成，偶夹有变火山岩，构成了类复理石的沉积建造。在灰岩中盛产籐类化石。

上　叠统（P₂）：主要出露于区域中部，由石灰岩及砂岩组成。

中、下侏罗统（J₁₋₂）：分布于区域东端，由一套含煤碎屑岩组成，以砂岩、砂质页岩及页岩为主，底部有砾岩。这一套岩石属陆相湖盆沉积。

白垩系（K）：分布于区域北半部，为一套紫红色砾岩、砂砾岩、砂岩。

第　系（R）：出露于区域中部，由一套红色砾岩、砂砾岩、泥岩组成。

（二）区域岩浆活动

沿积石山和阿尼玛卿山脉长达约 300 km，断续分布着超基性岩体，构成“积石山超基性岩带”。在青海省境内称“阿尼玛卿山超基性岩带”，该岩带总体呈 NW 或 NWW 向。酸性侵入岩分布于岩带北侧，而以超基性岩分布在岩带南侧。而以超基性岩体占优势。这些侵入岩往往与断裂构造密集在一起，构成了宽约 3～5 km 的断裂-侵入岩带。

1. 超基性侵入岩

“阿尼玛卿山超基性岩带”由一系列大小不等、互相平行或互相衔接的岩体组成。最大的岩体为德尔尼含矿岩体，长达 17 km，最宽处 1000 m，小岩体长仅数米至数十米。

超基性岩体以斜辉辉橄岩为主，次为橄榄岩、纯橄岩、辉石岩，还有少量辉长岩。除辉长岩外，其余岩石均已成为蛇纹岩。岩石成分主要由纤蛇纹石、叶蛇纹石、胶蛇纹石及绢石组成，局部见斜方辉石残晶，岩石中有较多的硫化物、磁铁矿、尖晶石等。

超基性岩几乎都产于下二叠统下组，极个别产于上石炭统或上二叠统中。岩体平面上呈不规则的长条状，多为顺层产出，随地层产状变化而变化，与围岩接触一般无接触变质带，有时可见混染现象。

曾将这套超基性岩定为晚华力西期侵入产物。近几年来提出二种新看法，一种认为这套超基性岩属古元古代（Pt₁₋₂）火山橄榄岩系列，测得超基性岩和玄武岩系 Sm-Nb 等时线年龄为 1027 Ma，Rb-Sr 等时线年龄为 672 Ma；另一种认为阿尼玛卿山超基性岩带属于蛇绿岩组合特征。

2. 酸性侵入岩

分布于超基性岩带北侧，大小岩体密集出露，在区内构成了酸性侵入岩带。岩性以花岗岩为主，其余为花岗闪长岩、角闪花岗岩、花岗正长岩、正长岩、闪长岩等。这些岩石均呈小岩体出现，规模很小。

花岗岩主体为黑云花岗岩，局部为片麻状构造极为发育的碎裂花岗岩，矿区附近，尤为明显。时代为燕山期。但有人认为是混合花岗岩，属老的构造残片产物。

3. 火山岩

该区的火山岩分布在二叠系中，为玄武岩、玄武-安山岩，偶见凝灰岩，变安山岩顺地层产出，断续成透镜体分布，在安山岩与板岩接触处，其成分有渐变现象，为水下喷发形成。

（三）区域构造基本特点

区域总体构造线为 NW 向，岩体长轴方向及褶皱轴向和断裂带方向大体一致为 300°～330°。它是在一组 NE—SW 向具有长期活动和继承性特点的挤压应力作用下发生的。

古元古代时以柴达木地块为核心的大陆已经存在，阿尼玛卿山一带是中新元古代柴达木古陆增生的结果。本带的玄武岩是活动大陆边缘的产物，属北部柴达木古陆的一部分。晚古生代时，在阿尼玛卿-昆南-玛沁断裂和布青山-江千断裂再次活动，形成石炭—早二叠世活动性裂陷槽，深度大，活动性强，出现典型的岛弧型及活动性大陆边缘的环境，岩石具蛇绿岩组合特征。二叠纪末回返封闭成陆，三叠纪发生大规模特提斯海沉积，被阿尼玛卿山所阻，形成性质截然不同的南北二个特提斯海域。布青山-江千断裂附近有“混杂堆积”特点。侏罗纪以来，本区表现为陆相断陷沉积，以上升挤压和剥蚀作用为主，产生一系列推覆构造，伴有中酸性-酸性侵入岩多次活动。

（四）区域地球物理航磁特征

该区航磁异常呈串珠状展布在积石山、阿尼玛卿山断裂-超基性岩带上。分布长度达 150 km，其中有 5 个较大的异常，异常长轴 3～25 km，短轴 1.5～15 km，中心磁场强度 30～170nT 不等。

1369 号异常中心位置为德尔尼铜矿区，引起该异常的关键地质体为超基性岩带。F_{18}断裂控制了北

崩沟 德尔尼基性 超基性岩体的分布。

三、矿床地质特征

（一）矿区地层和岩石

德尔尼铜钴矿位于积石山超基性岩带的中段、矿区出露的地层有上石炭统（C_3）和下二叠统下组。超基性岩体的出露纵贯全矿区、占据矿区绝大部分面积（图 2-25）。

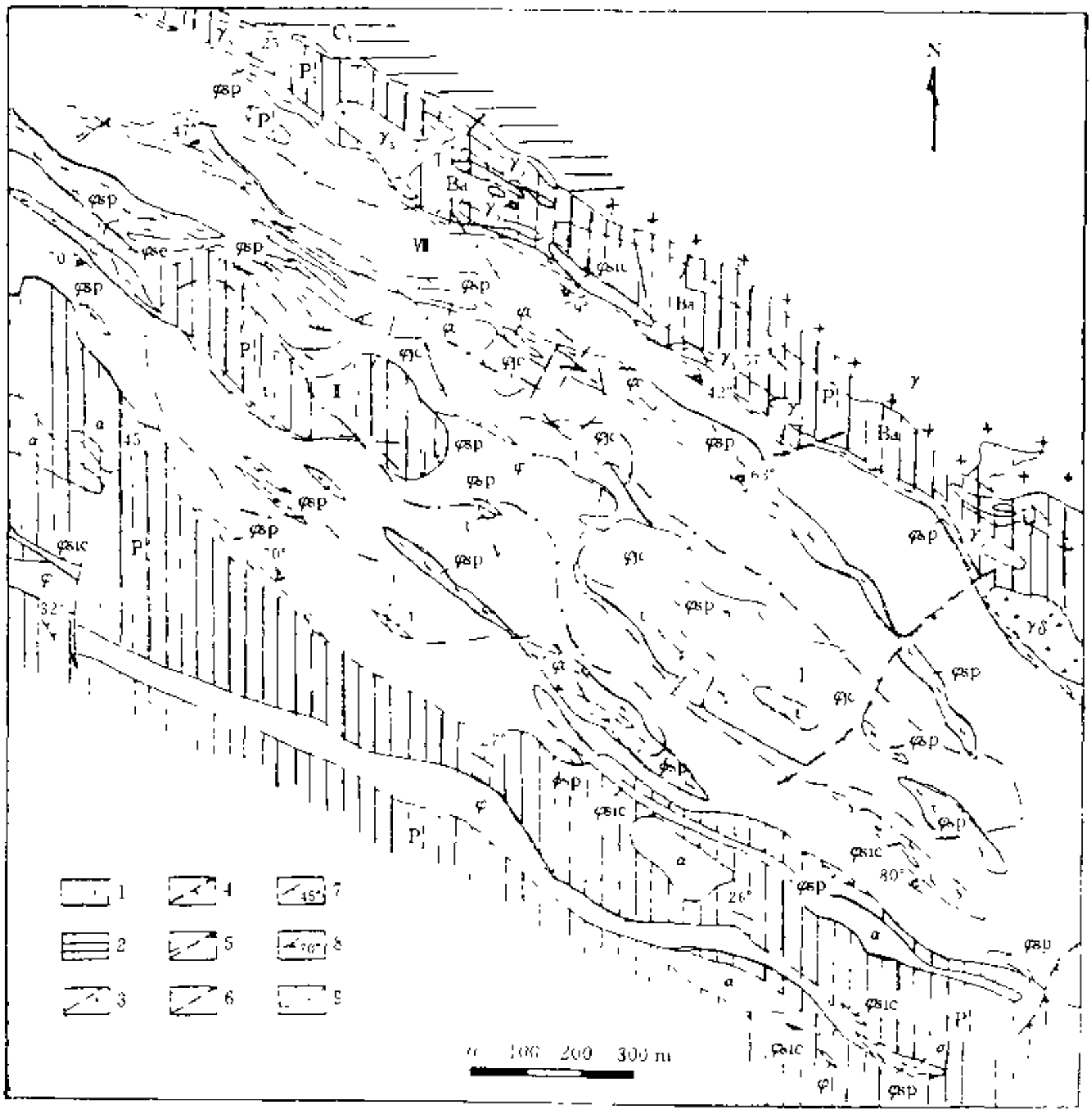


图 2-25 德尔尼铜矿区地质略图

Fig. 2-25 Geological sketch of Dur'ngoi copper deposit

α 变安山岩；Ba 凝灰质板岩；μ—硅质岩；γ 花岗岩；γδ 花岗闪长岩；φ—超基性岩，以辉橄岩为主体，普遍蛇纹石化和碳酸盐化；φsc 硅化碳酸盐化蛇纹岩；φc 碳酸盐化角砾状蛇纹岩；φc 碳酸盐化蛇纹石；φse—片状蛇纹岩；1—铁帽，1—P₁ 下二叠统下组千枚状炭质板岩、千枚岩，夹砂岩、变砂砾岩，偶夹变火山岩；2—C_3 上石炭统大理岩、结晶灰岩，夹角闪片岩；3—推测正断层；4—推测逆断层；5 实测、推测平移断层；6 实测、推测性质不明断层，7 地层产状；8—片理产状；9 矿体水平投影边界

岩体以北为上石炭统的大理岩夹角闪片岩和下二叠统下组的砂岩、炭质板岩、千枚岩夹凝灰质板岩和硅质岩。岩体以南为下二叠统下组的千枚状板岩，其中夹有玄武岩、玄武 安山岩透镜体。

德尔尼岩体群长 17 km，按地表出露情况，分为北、中、南三个岩带。德尔尼矿区位于中岩带最宽部位，宽约 800 m，两端逐渐变窄，西端有扎崩沟北矿带。南岩带在矿区南侧，至扎崩沟地区变宽，地表并有扎崩沟南矿带。北岩带呈断续出露，规模较小，西端有圆池山矿化点。总体讲，三个岩带向西

收敛，向东撒开。中岩带和南岩带围岩为下□叠统下组砂岩、千枚状板岩、炭质板岩、玄武岩等。岩体中常见围岩的残留体存在。中岩带北部边缘分布有混合岩化碎裂花岗岩。北岩带围岩除下二叠统外，尚有上石炭统。超基性岩体的产状与围岩产状同步变化，与围岩呈整合产出。岩体以辉橄岩为主体，其次有橄榄岩，少量纯橄岩、橄辉岩、辉石岩等。岩体普遍蛇纹石化，镜下几乎无橄榄石，辉石均绢石化，仅见辉石残晶。岩石类型属镁质超基性岩，镁铁比值平均9.6，为正常系列和铝过饱和系列两种，Fe(Ⅲ)含量高于Fe(Ⅱ)，氧化程度高。

(二) 矿区构造

矿区位于德尔尼复背斜的南翼接近轴部。

褶皱构造：在围岩和岩体中均有较多褶皱，轴向NW，与地层和岩体走向一致。岩体中心位置与背斜吻合，背斜南北两侧各有一个向斜。Ⅰ号矿体位于背斜轴部，Ⅱ号矿体位于南侧向斜轴部，Ⅶ号矿体位于背斜的北翼。

断裂构造：矿区断裂构造以纵向断裂为主，横向及斜断裂不发育。纵向断裂表现为逆断层带，片理化带及角砾带。

(三) 矿体特征

矿体：矿区内有Ⅰ、Ⅱ、Ⅴ、Ⅶ四个主矿体（表2-10），22个小矿体，均产于超基性岩体中，几乎

表2-10 主矿体矿量、规模及含量一览表

Table 2-10 Schedule of dimension, grade and ore reserves of main ore bodies

矿体	长度/m	最小穿厚/m	矿体平均品位				金属储量(万吨)			
			Cu	Zn	Co	S	Cu	Zn	Co	S
Ⅰ	1010	71.32	1.28	1.04	0.09	33.26	29.20	5.30	0.87	47.0
Ⅱ	760	27.57	1.21	3.93	0.05	33.22	5.00	2.70	0.19	5.7.0
Ⅴ	1270	61.36	1.48	2.06	0.11	31.39	24.30	6.19	1.41	49.4
Ⅶ	935	38.08	1.03	2.21	0.08	33.18	6.90	0.60	0.58	45.7

全部为埋藏不深的隐伏矿，呈透镜状或似层状，与围岩界线清楚，但具明显的褶皱形态。各矿体一般中部厚，向两端逐渐变薄。矿体虽然产在超基性岩体的中部，但局部地段的矿体的直接顶板岩层为一厚度不大的板岩夹变砂岩层（图2-26）。

矿石矿物成分见表2-11。

表2-11 各类矿石的矿物成分

Table 2-11 Mineral content of ore

矿石类型	金属矿物				非金属矿物	
	主要的	次要的	少量的	偶见的	主要的	次要的
氧化矿石（铁帽）	针铁矿	水针铁矿、水赤铁矿	赤铁矿、黑铜矿、黑锰矿、黄铁矿、黄铜矿	自然铜、赤铜矿、孔雀石、胆矾、自然金	石英、粘土物质	碳酸盐矿物
轻微氧化矿石	黄铁矿	褐铁矿、黄铜矿	斑铜矿、铜蓝、孔雀石、蓝铜矿、黑铜矿	辉铜矿、自然铜、赤铜矿、磁铁矿、闪锌矿	碳酸盐矿物、石英	硅质盐矿物
原生矿石	黄铁矿、磁黄铁矿	黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿	镍尖晶石、白铁矿、针镍、黄铁矿	赤铁矿、钛铁矿、硫铁矿、钴矿、方黄铜矿	碳酸盐（以方解石、白云石为主）矿物	石英、滑石、蛇纹石类、绿泥石类、云母类、透闪石阳起石、钠闪石、石棉

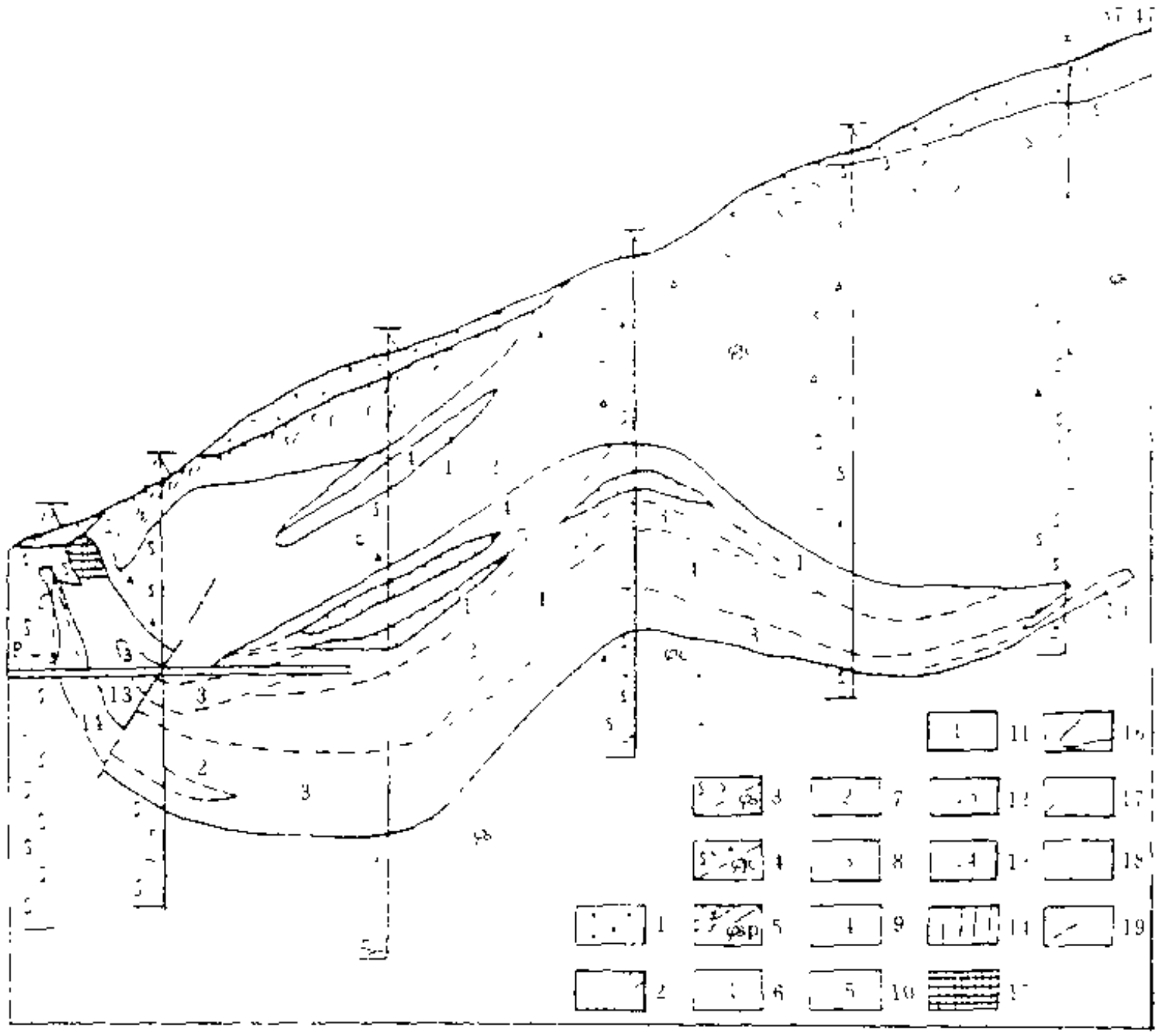


图 2-26　德尔尼铜矿 1 号矿体横剖面图

Fig. 2-26　Cross section of ore body No. 1 in ur'ngoi copper deposit

1－第四系残坡积物，2－板岩；3　蛇纹岩；4—碳酸盐化角砾状蛇纹岩；5　矿化片状蛇纹岩；6　铜锌钴硫矿石；7　铜锌硫矿石；8—铜铁硫矿石；9—铜硫矿石；10　铜硫（暂难利用）矿石；11　钴硫矿石；12　铜矿石（氧化矿）；13　铜矿石（氧化矿暂难利用）；14—夹石；15　-铁帽；16　矿体边界线；17　矿石工业类型边界线；18　地质界线；19　断层。

Ⅰ　主矿体及小矿体编号

矿石中主要组分：铜、锌、钴、硫均可单独圈出矿体。铜含量在1%左右，个别样品高达10%，锌含量在1%左右，个别样品高达7.28%。钴含量为0.08%～0.1%，个别样品达0.1%。钴主要分散在黄铁矿和磁黄铁矿中。黄铁矿含钴量最高，其次是磁黄铁矿；各期黄铁矿中早期黄铁矿含钴量最高。硫一般含量在30%～40%，一部分样品含硫达50%。

伴生组分：各主矿体含量较高的伴生组分为Au、Ag、Se、Cd、Ga、In。Au、Ag在氧化矿石中含量高于原生矿石。矿石中还含有微量Th和U。

矿石的结构和构造见表2-12。

矿石类型：绝大部分为原生矿石，局部地表有少量氧化矿石。原生矿石为块状和条带状含铜黄铁矿矿石，构成矿体的主体部分，它主要分布在矿体上半部。条带状含铜黄铁矿矿石主要分布在矿体下半部以及矿体两端尖灭部位。浸染状和角砾状矿石分布不广。矿石工业类型以铜锌钴硫矿石、铜锌硫矿石、铜钴硫矿石为主体。

主要组分的分布规律：铜、钴和硫基本上分布在整个矿体中，锌主要分布在矿体上部。

（四）围岩蚀变

矿体围岩蚀变以碳酸盐化和蛇纹石化最为发育，分布最广，与矿体空间关系密切。其次有滑石化、绿泥石化、钠闪石化、硅化、绿帘石化、闪石化、黑云母化、金云母化、石榴子石化等。这些蚀变较弱，分布不普遍，与矿体关系不密切。

表 2-12　矿石的结构和构造分类

Table 2-12　Texture and structure of ore

成因类型	结构			构造		
	主要的	次要的	少见的	主要的	次要的	少见的
内生作用	半自形粒状构造	自形粒状充填、熔蚀、交代结构	乳浊状、包含环状、格状结构	块状、浸染状、条带状构造	脉状及网脉状、斑状、假斑状、胶结构造	假环状、胶状构造
变质作用	压碎、自形粒状变晶结构	斑状变晶、花岗变晶结构	碎屑结构	角砾状、角砾条带状、眼带状构造	揉皱、假眼球状、疏松的粒状、假斑点状构造	变胶状构造
表生作用	隐晶、微晶结构	针状结构	残余、放射结构	多孔状、胶状构造	土状构造	皮壳构造

碳酸盐化：超基性岩内碳酸盐化广泛发育，蚀变矿物有方解石、白云石、菱镁矿等。

蛇纹石化：蛇纹石化几乎遍及整个超基性岩体，围绕矿体形成一个宽约数十米至数百米的蛇纹岩包围圈，内圈为碳酸盐化蛇纹岩。蚀变矿物主要为纤蛇纹石、叶蛇纹石、胶蛇纹石等。超基性岩体的蛇纹石化的形成共有三期，其中第二期蛇纹石化与矿化伴生。

（五）成矿作用

1. 地质构造背景

布青山-阿尼玛卿山带的主要特征有：

（1）从卫片上清楚地看出，阿尼玛卿带北侧修沟-玛沁一带有一条区域性大断裂存在，区域重力、航磁也显示深大断裂的特征。该断裂是具有继承性和长期性的深大断裂带，是塔柴古陆（或华北古陆）与华南古陆过渡地带，中新元古代具有华北古陆边缘的演化史，古生代及以后则具有华南古陆的特征。

（2）区内地层以上古生界为主，岩石变质程度深，一般出现千枚岩、变砂岩、大理岩，甚至出现片岩、片麻岩。

（3）德尔尼北侧中-酸性侵入岩的同位素年龄为 120 Ma、153 Ma、171 Ma，为燕山期，也还有可能印支期和喜马拉雅期岩体。德尔尼岩体北侧碎裂花岗岩有的为混合花岗岩。

（1）基性、超基性岩带呈 NW 或 NWW 向延展、断续分布长达 300 余公里，成群出现，岩体与长条状、密集平行排列，断续延伸。岩带中也有中古元古代的古老构造残片出露。德尔尼矿区北侧斜长角闪岩 K-Ar 法年龄值 742 Ma，德尔尼地区超基性岩及玄武岩 Sm-Nd 法年龄值 1027 Ma，Rb-Sr 法年龄值 672 Ma。

2. 超基性岩的成因

随着地质研究程度的加强，对超基性岩的认识不断加深。

（1）据钻孔资料，在深达 1000 m 处，超基性岩体仍然存在，并有铜矿体或矿脉。

（2）德尔尼矿区超基性岩体直接产于 P$_1$ 砂板岩中，但 P$_1$ 中火山岩夹层并不与超基性岩直接接触，未见二者的过渡关系。扎崩沟地区玄武岩与超基性岩呈整合接触，无蚀变作用，玄武质火山碎屑岩有硅质岩。圆池西山块状含铜黄铁矿产于玄武岩中，而玄武岩在超基性岩中呈小包体产出。

（3）岩体与围岩接触一般见不到接触变质现象，接触处偶有规模不大的片状蛇纹岩，这仅是构造接触的标志。

（1）"角砾状"超基性岩的形态产状和成因是复杂的。一种呈线型分布，蛇纹岩破碎成角砾，被碳酸盐胶结，方解石呈网脉状，可能属于就地破碎后期构造挤压形成；第二种是角砾状与块状蛇纹岩呈渐变过渡关系。角砾状蛇纹岩的角砾和胶结物均为超基性岩物质，角砾大小不等，角砾和胶结物比值变化极大，特别在扎崩沟地段如此。角砾状超基性岩分布大致呈椭圆形，可能具隐爆性质；第三类角砾和胶结物均为超基性物质的岩石，呈线型分布，或呈长轴状透镜体，胶结成分比例较低，角砾棱角模糊，可能是超基性岩流中自破碎角砾岩。

(5) 德尔尼矿区及其外围超基性岩体岩石中见有交织鬣刺、梳状显微结构，并有火焰状构造，说明该矿区有科马提质橄榄熔岩流存在（西北有色地质研究所，1991 年）。

(6) 超基性岩与围岩的形成具有同时性。

布青山-阿尼玛卿山岩带超基性岩生成于两个时代：中晚元古代便有具火山喷流特点为主的超基性岩，早三叠世是生成该带超基性岩的主体时期，形成侵入性质的超基性岩，而且与夹火山岩的沉积地层相隔时间不大。

3. 成矿条件

(1) 德尔尼矿床的成矿受超基性岩体控制，岩体规模大小与成矿有一定的关系，一般说岩体愈大，对成矿愈有利，但不是绝对的。

(2) 超基性岩受 P$_1^1$ 砂板岩地层控制，二者生成时间相近，并且，P$_1^1$ 中火山岩夹层愈多，其附近超基性岩成矿可能性愈大。

(3) 超基性岩带与断裂带分布一致，换言之即与矿带分布也一致。

(1) 超基性岩体中夹有较多围岩包体，包体长轴方向与区域构造方向一致。有的围岩包体明显呈向斜构造，向斜轴部有成矿的可能性。

(5) 整个岩带中，若超基性岩体附近出露有中酸性-酸性侵入岩，则超基性岩体有矿化显示，说明二者在成矿上有一定联系。

(6) 超基性岩体大致分为三个岩带。如果岩带彼此接近，或岩带膨大缩小，在其产状变化部位，均有矿化现象或工业矿体。

(7) 超基性岩体中有喷发性质与侵入性质超基性岩石（实际较难区分）共生时，对成矿有利。

(8) 在浅绿色叶蛇纹岩（有时有片理化）附近存在块状暗绿色纤维蛇纹岩，在后者中或在二者过渡处有矿化存在。

四、矿床成因

(一) 矿床一般特征

(1) 矿体围岩主要是角砾状蛇纹岩、暗绿色蛇纹岩和叶蛇纹石白云岩，局部为碳质沉凝灰岩，后者往往产于矿体上盘。

(2) 矿体与围岩界线清楚。在矿体周围发育有似外带的浸染状矿化（黄铁矿、黄铜矿），厚数厘米至数米不等。在德尔尼西部或扎崩沟，地表有厚 1～2 m 呈块状和脉状的矿体位于浸染状矿带中。

(3) 矿区有 34 个矿体群，各群中有一主矿体，附属有若干小矿体。

(4) 矿体呈似层状、透镜状、雁行状排列，有 3 个层位，各矿体首尾相连。

(5) 矿体与围岩（砂板岩）具有同步褶皱。

(6) 主矿体中上部为含铜黄铁矿石，下部为含铜磁黄铁矿石。金属矿物组成：黄铁矿 80%～90%、磁黄铁矿 5%、磁铁矿 2%、黄铜矿 1%～2%、闪锌矿 0.5%～2%。德尔尼西部深处见稠密块状磁黄铁矿矿石，磁黄铁矿 70%～80%、黄铁矿 20%～30%、黄铜矿、闪锌矿极微。

(7) 矿石中非金属矿物以碳酸盐（方解石和白云石，少量菱镁矿）和石英为主，前者含量 20% 以下，石英 3% 以下。碳酸盐和石英与金属矿物呈不规则共生，部分为脉状产出。矿石中一般不见超基性岩的矿物成分。

(8) 堆晶结构，块状和条带块状是主要矿石结构构造。浸染状构造发育在矿体边部、四周和尖灭部，以及附属的小矿体中。角砾状构造在矿石中分布较广，无明显规律。

(9) 碳酸盐化和蛇纹石化是主要的围岩蚀变。碳酸盐化产于矿体上盘，底板未见。矿体顶底板一般有片状或碎裂蛇纹岩带出现。这两种蚀变与矿体仅有空间关系。

(二) 成矿物质来源

(1) 矿体产于超基性岩中，岩体中各类岩石到处可见星点状硫化物，特别是黄铁矿分布广。

(2) 超基性岩中 Cu 只有地壳平均丰度的 1/3，Co 不足平均丰度 1/2，Zn 低于平均值。表明原始岩浆分异好，Cu、Zn、Co 已集中于矿化流体中。

(3) 岩石和矿石的稀土模式表明，超基性岩是地幔低度熔融产物，浸染状矿石和块状矿石为同源分异产物，岩、矿石是在较氧化条件下生成的。矿石显 δEu 正异常，岩石显弱负异常。玄武岩和超基性岩属同源而非直系相关。

(4) 矿石硫同位素 $\delta^{34}S$ 为 $-6.13‰ \sim 6.61‰$（12 件），平均 6.88‰。1991 年资料 $\delta^{34}S$ 为 $1.52‰ \sim -5.59‰$（11 件）。变化范围小、比陨石硫范围稍大，可认为硫源主要来自上地幔，有部分地壳硫混入。

(5) 超基性岩石的初始锶 0.510899，接近地幔岩的初始值。矿石磁铁矿 $\delta^{18}O$ 为 $0.52‰ \sim 7.85‰$，平均 $1.12‰$（13 件）；岩石中磁铁矿 $2.11‰$；全岩 $\delta^{18}O$ 为 $5.71‰ \sim 10.82‰$（13 件），平均 $8.37‰$，较一般超基性岩高。说明属岩浆来源，有外来物质混染。

(6) 据少量硫、氧同位素地质温度计计算结果，蛇纹岩成岩温度 1112～1196℃，其中硫化物形成温度大于 320℃。个别黄铁矿的生成温度为 210℃（段国连，1991）。

(二) 几种不同的矿床成因观点

目前对德尔尼矿床成因认识分歧意见较大。综合有以下观点：热液矿床、沉积矿床或喷发-沉积矿床、熔离贯入或熔离贯入-热液矿床、“德尔尼式”铜矿床、复合矿床、二重性矿床，该矿床具有岩浆矿床和喷气沉积矿床的双重特点。

第二章　与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的斑岩型铜矿床

斑岩型铜矿床是与中酸性斑岩体有成因关系的铜及其伴生元素硫化物呈细脉浸染状赋存于斑岩体本身及其与围岩接触带中的铜矿床。斑岩型铜矿床是世界最主要的铜矿床，也是我国最主要的铜矿床类型之一，其探明铜金属储量占我国铜储量的35.53%，在各类型的储量中居第一位，是我国铜金属生产中最主要的开采对象。我国斑岩铜矿床分布较广，世界上著名的三大斑岩铜矿带——古亚洲斑岩铜矿成矿带、环太平洋斑岩铜矿成矿带、特提斯-喜马拉雅斑岩铜矿成矿带都延入我国境内，并且都发现了规模不等的这类矿床。斑岩型铜矿床的成矿时代从元古宙到喜马拉雅期都有。单个铜矿床的规模半数较大，但也有不少铜储量很小的。原生矿矿石含铜品位低，矿化元素以Cu Mo、Cu-Au组合为主。矿化元素具有较明显的分带现象，从岩体内向外一般为Mo-Cu→Mo（Au）→Cu-S→（Au）-（Pb Zn Ag）。从世界各国的铜矿床情况看，斑岩型铜矿床的次生富集带发育，形成很富有的矿石，是开采的主要对象。但在我国的这类矿床中却不发育，这是一个特点，但在今后的勘查中仍然应该注意寻找次生富集带。矿床的蚀变及分带一般较明显。主要蚀变有硅化、钾化、石英绢云母化、泥化、青磐岩化等斑岩铜矿床的铜矿化主要分布在岩体外层及与围岩的内外接触带内。当围岩为碳酸盐岩时，往往形成接触交代型铜矿床，与斑岩铜矿床共生。我国斑岩型铜矿床分布如图2-27。

第一节　江西德兴县铜厂铜矿床（含朱砂红矿区）

一、大地构造单元

德兴铜厂铜矿床位于扬子准地台的江南台隆东段的南缘。区域构造上处于江南台隆与钱塘坳陷之间的赣东北深断裂带的隆起一侧。

赣东北深断裂带对江南台隆和钱塘坳陷可能具有长期的控制作用，从前震旦纪末江南一带地槽回返后，江南台隆一直处于上隆状态，台隆内部早古生代未接受沉积，晚古生代接受石炭纪—二叠纪海相沉积，中生代台隆边缘和内部出现NE和NEE向断陷盆地，沉积巨厚的陆相含煤碎屑建造、中酸性火山建造和红色碎屑岩构造由前震旦系一套厚15000m以上的浅变质岩系组成，沉积建造属于地槽期类复理式，并含火山沉积。台隆基底构造线作东西向或北东东向，属于线性褶皱，为扇形复背斜。台隆北东边缘的中生代断裂、火山活动和岩浆侵位对于斑岩铜（钼）矿的形成具有重要意义。

与江南台隆的不断上隆相对照，钱塘坳陷长期下陷。该坳陷的基底未出露，坳陷带内的震旦系至志留系为一套火山沉积、碎屑沉积和部分碳酸盐沉积，总厚度达8000～10000m；泥盆系至三叠系主要为碳酸盐沉积和部分碎屑沉积，约厚3500m；侏罗系-白垩系在坳陷的东北部为分布广泛的火山沉积和红色碎屑沉积，厚达9000m。台隆与坳陷之间长期存在的差异升降运动，控制着赣东北深断裂带的发生和发展，也控制它们衔接部位的岩浆活动。有人认为（芮宗瑶，1998），隆起与坳陷之间差异运动的幅度达15km左右。

赣东北深断裂带长约200km，宽15km，走向35°～60°，每隔1～2km，就有一条NE向断裂，与该深断裂带相配套的有NW向横张断裂和SN向断裂。此外，EW向共轭扭性断裂也随处可见（图2-28）。该深断裂带可能属于"超壳型"断裂，主要标志有：

（1）晋宁期婺源至东乡一线有安山质岩浆喷发，德兴金家有角闪辉长岩侵入体；雪峰期灵山北侧上墅组有细碧角斑岩系，九都附近有变玄武岩；加里东期德兴金家有辉石闪长岩体；华力西-印支期余干支家桥和德兴金家有超基性岩和基性岩体；燕山期有一系列深源中酸性岩浆侵位和喷发，铜

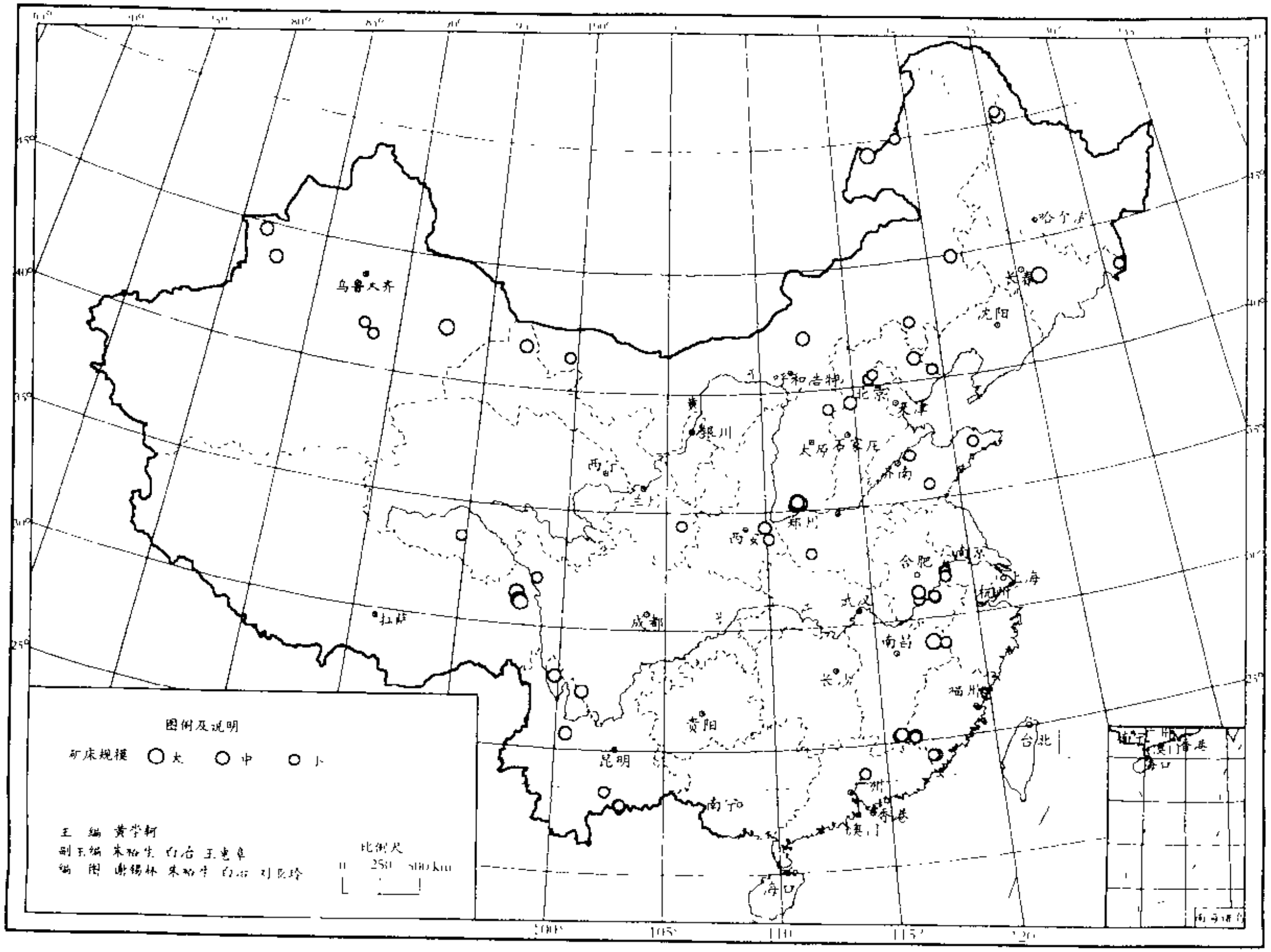


图 2-27 中国斑岩型铜矿床分布图

Fig. 2-27 Distribution plan of porphyry copper deposits in China

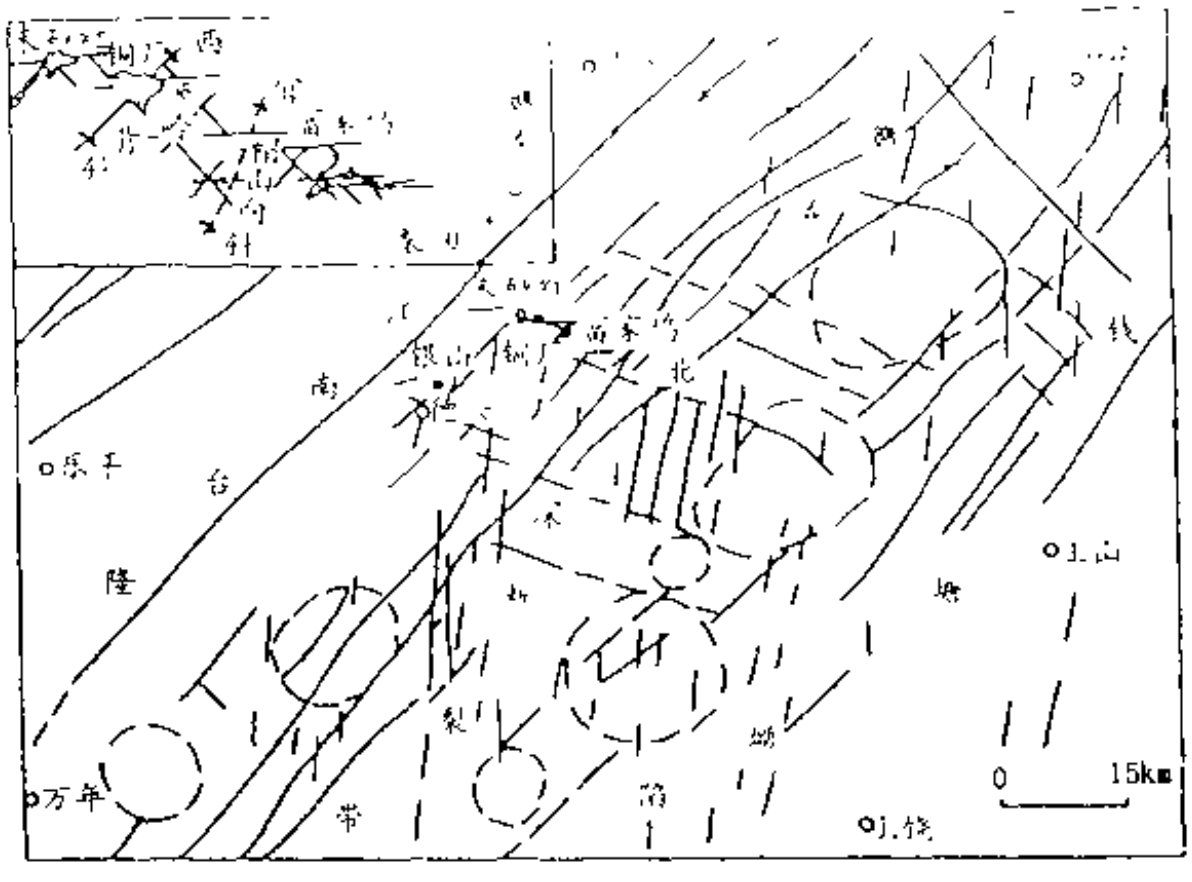


图 2-28　德兴斑岩铜矿田的构造体制

Fig. 2-28　Tectonic system of Dexing porphyry-type copper ore field

（根据卫片解释，朱训等，1983，原图改编，高宗瑶等，1995）

（钼）斑岩岩浆的侵位属于其中的一幕。

（2）断裂带两侧盖层厚度相差 15000 余米。

（3）1978 年人工地震观测表明，赣东北深断裂已切割了康氏面和莫氏面，断距达数公里。

（4）沿深断裂带有 Cr、Ni、Co、V、Cu、Mo 等 6 种元素的带状高背景区和正异常，这些元素直接指示上地慢物质通过深断裂被岩浆热液带到地壳上部。

二、矿区地质

（一）地层

德兴斑岩铜（钼）矿田区域地层如表 2-13。铜厂、朱砂红和富家坞铜矿床均赋存于前震旦系双桥山群之中。这套地层在德兴至万年和婺源至景德镇两地区有较好的出露，岩性以灰绿色、深灰色凝灰质板岩和凝灰质千枚岩为主，夹千枚岩和变质沉凝灰岩，局部地段见含炭板岩和变质中性 中酸性熔岩。该组下部火山碎屑较多，上部泥质增高，粒度变细，总厚度 1360m 左右。该组下部含光面球孢属、原始光面球孢属、穴面膜片属、带藻属和植物残片属等微体古植物分子。根据这些微体古植物化石将该组地层时代划为前震旦纪。同时本组上部凝灰质千枚岩的 Rb-Sr 同位素年龄值为 1100 Ma。

现对双桥山群几种主要岩石特征略加叙述。

绢云母千枚岩：浅灰、灰、深灰和灰绿色，质地致密，片理发育，易剥开，片理间具丝绢光泽，主要矿物组分为水白云母和水云母，其含量占 60%～90%，次要成分为绿泥石和石英，重矿物有磷灰石、锆石和金红石等。

板岩：灰至浅灰色，变泥状结构、板理发育，主要矿物组分为水白云母和水云母，其次为石英、中酸性斜长石和绿泥石，重矿物有磁铁矿、钛铁矿、金红石、磷灰石和锆石等。石英呈棱角状晶屑，中酸性斜长石已被水白云母和水云母代替，但仍保持斜长石晶屑的形态。

变质沉凝灰岩：浅灰、灰和灰绿色，变余沉凝灰结构，片理不如千枚岩发育，有时可见到呈线性排列的变余晶屑。主要矿物组分为水白云母、水云母和中酸性斜长石，其次为石英和绿泥石，副矿物有磁铁矿、钛铁矿、金红石、磷灰石、锆石和电气石等。

梅占魁（1980）统计了双桥山群 1514 件岩石样品的微量元素平均值为（10^{-6}）：Cu 65、Pb 29、Zn 104、W 1.8、Mo 1.8、Sn 6.7、Ag 0.37、Ni 40、Co 18、V 125、Mn 42、Ti 3850。上述统计表明，该组地层中 Cu、Pb、Zn、Ag、W、Sn、Mo、Cr、V、Mn 等元素的含量高于前震旦纪地层平均含量，

表 2-13　德兴斑岩铜矿田区域地层表

Table 2-13　Regional stratigraphic scale of Dexing porphyry-type copper ore field

界	系	统	地层名称	代号	厚度 m	岩性	构造运动	含金属
中生代界	白垩系	上统	主峰组	K_2z	5000	砖红色砂砾岩、粉砂岩、泥岩	燕山	Cu、Mo、Pb、Zn
		下统	周家店组	K_1z	750	紫红色、杂色砂砾岩、粉砂岩、泥岩	燕山	
			石溪组	K_1s	178～1500	紫红色砂岩、粉砂岩夹凝灰质砂岩	燕山	
	侏罗系	上统	鹅湖岭组	J_3e	600～1600	灰紫色流纹岩、凝灰岩、集块岩夹杂色砂砾岩、凝灰质砂岩	燕山	
		下统	林山组	J_1l	50～450	灰白色砂岩、砂砾岩、夹煤层	印支	
	三叠系	上统	安源组	J_3a	110	厚层状砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹煤层	印支	
		下统	大冶组	T_1d	200～500	黄绿色钙质页岩夹灰岩		
古生界	二叠系	上统	长兴组	P_2c	30～120	厚层状灰岩夹薄层炭质页岩		
			龙潭组	王潘甲段	P_2l^4	35～118	细砂岩、粉砂岩、粘土页岩、有时夹煤层	
				狮子山段	P_2l^3	12～63	厚层状石英细砂岩、粉砂岩	
				老山段	P_2l^2	118～200	细砂岩、粉砂岩、泥岩夹多层煤	
				官山段	P_2l^1	140～350	砂岩、粉砂岩、页岩、粘土岩夹煤层	东吴
		下统	茅口组	P_1m	113～287	黑色页岩、硅质页岩、夹薄层灰岩		
			栖霞组	P_1q	16～308	黑色厚层状含泥质灰岩	黔桂	华南
	石炭系	上统	船山组	C_3c	121～311	条带状巨厚层微晶灰岩		
		中统	黄龙组	C_2h	100～320	巨厚层状致密灰岩、白云岩		
		下统	叶家塘组	C_1y	50～315	紫红色砂砾岩、灰白色砂岩、页岩夹煤层，顶部夹凝灰岩或凝灰质砂岩	柳江	
	泥盆系	上统	珠藏坞组	D_4z	157	紫红色粉砂岩夹白色砂砾岩		
		中、下统	西湖组	$D_{1+2}x$	1.9	白色厚层状石英砂岩	加里东	
	志留纪	上统	唐家坞组	S_3t	2～1000	灰绿色长石石英砂岩、硅砂岩夹页岩。		
		中、下统	杜阳组	$S_{1-2}d$	600	钙质页岩、粉砂质泥岩		
	奥陶系	上统	长坪组	O_3c	65～1220	薄层细砂岩、粉砂岩、页岩、灰岩具韵律		
			黄泥岗组	O_3h	25～47	含灰岩瘤的钙质页岩、钙质泥岩		
		中统	砚瓦山组	O_2y	30～47	瘤状灰岩、钙质页岩、泥岩		
			胡乐组	O_2h	6～70	硅质岩、硅质页岩		
		下统	宁国组	O_1n	74～330	黑色页岩、微层理发育		Sn
			印渚埠组	O_1y	300～450	钙质页岩、泥灰岩夹串珠状灰岩		
	寒武系	上统	西阴山组	E_3x	54～350	泥灰岩、瘤状灰岩、钙质灰岩		
			华严寺组	E_3h	22～158	条带状灰岩夹白云质灰岩		
		中统	杨柳岗组	E_2y	202～335	厚层状灰岩、泥灰岩夹页岩		
		下统	荷塘组	E_1h	89～560	条带状白云质灰岩、含硅炭质页岩		
元古生界	震旦系	上统	西峰寺组	Z_2x	121～383	硅质岩、含硅白云质灰岩、含磷矿层		VMoU
			留公仵组	Z_2l	62～557	冰碛砾岩、砂岩、泥岩		
		下统	志棠组	Z_1z	700～1500	砂岩、粉砂岩、具韵律层、含磷	雪峰	CuSnW
			上墅组	Z_1s	>800	紫灰、紫红色变质凝灰岩、玄武岩、流纹岩	九岭	
太古生界	前震旦系		双桥山群	洞洲庙组	$Pt_2sh s$	2233	凝灰质千枚岩、千枚岩夹变质沉凝灰岩	Cu
				东阳山组	$Pt_2sh d$	1981	变质沉凝灰岩夹千枚岩、板岩	
				牛屋组	$Pt_2sh n$	>2700	变质砂岩、粉砂岩与板岩互层	CuMo
				木坑组	$Pt_2sh m$	1600	变质粉砂岩夹千枚岩	
				板桥组	$Pt_2sh b$	3137～3690	灰黑色千枚岩、板岩互层	SPb
				潭前组	$Pt_2sh z$	>2600	千枚岩粉砂岩、板岩、千枚岩互层	ZnW

其中 Cu、Pb、Zn、Ag、Cr 高于页岩的维氏平均值。尤其绢云母千枚岩、凝灰质千枚岩和变质沉凝灰岩含铜最高，平均达 26×10^{-6}，部分地区铜平均含量达 203×10^{-6}，大约是维氏值的 1 倍。因此，有部分地质学家主张德兴斑岩铜矿床的部分矿质是萃取地层的结果（Ji Kejian 等，1992）。

（二）构造

根据区域地质调查，双桥山群的大多片理面与层理交角很小或近于一致。就总体来说，"顺层片理"褶曲形态大致代表地层的褶皱构造。

矿田北侧，双桥山群东阳山组和泗洲庙组构成一个近 EW 向的泗洲庙复向斜，为矿田内的主要褶皱构造。NE 向次级褶皱叠加在泗洲庙东西向复向斜之上，从 NW 到 SE 这些次级褶皱分别为：朱砂红鼻状构造、西源岭背斜、官帽山向斜和富家坞鼻状构造。

朱砂红鼻状构造：为一个发育在西源岭背斜西北翼上的不太明显的鼻状弧形"浮褶"，弧顶向 NNW 凸出。

西源岭背斜：核部为东阳山组上段，两翼为泗洲庙组下段，轴线 NE50°～60°，延长约 5km，枢纽脊线向 NE 倾伏，外倾伏转折端在铜厂矿床北侧的西源岭附近。背斜 NW 翼产状稳定，倾向 NW，倾角 35°～55°；SE 侧包容有几个次一级的小褶皱，总体倾向 SE，倾角 10°～65°；背斜轴面向 NW 陡倾，脊部倾角约 80°。

官帽山向斜：它是由西源岭背斜的南东翼返褶向上形成的。核部为泗洲庙组下段，两翼为东阳山组上段。向斜轴线 NE30°～50°，延长约 7km；枢纽槽线向 NE 倾斜，内倾伏转折端在大屋头村北。向斜 NW 翼就是西源岭背斜的 SE 翼，SE 翼倾向 NW，倾角 15°以上；向斜轴面近于直立，槽底倾角 7° 左右。

富家坞鼻状构造：为官帽山向斜 SE 翼局部拱起的一种"浮褶"（decollement），形成向北凸起的弧形鼻状构造。

矿田内发育着 3 个断裂系统：EW 向断裂系统、NE 向断裂系统和 NNE 向断裂系统。现对它们的主要地质特征作简要叙述：

EW 向断裂系统：在矿田外围，双桥山群变质岩普遍发育有东西向挤压断裂带、强片理化带和糜棱岩化带，挤压强度各地不等。强烈挤压带似乎具有等距发育的特征，每隔 3～5km 出现一条强烈挤压带，自北向南共有 5 条，它们分别有：中平-海口、张家坂-杜村、泗洲庙-西源岭、铜厂-小浮溪和金山-直源。带长约 20km 左右，带宽近百米，挤压面倾向北，倾角 70°以上。挤压破碎程度，自北而南逐渐减弱。挤压破碎构造面常被各类岩脉充填。德兴斑岩铜矿矿田处于泗洲庙-西源岭与铜厂-小浮溪两条强烈挤压破碎带之间。在矿田范围内，发育十几条次级东西向挤压断裂带，通常长 500m 以上，宽 1～2cm，间距 50～1000m，倾向北者居多，倾角 45°～85°。

NE 向断裂系统：矿田 SE 侧有赣 EN 深断裂带存在，NW 侧有善坑-万年-文家桥深断裂带通过，矿田内 NE55°左右的挤压断裂广泛发育，具有一定规模的共有十多条，每隔 200～400m 就有一条，自 NW 向 SE 断裂密度增大，以倾向 NW 者居多，倾角 45°～70°。

NNE 向断裂系统：在德兴至婺源一带，NNE 向挤压断裂带作强弱相间排列，由西向东逐渐增强，其中较强烈的 NNE 向挤压断裂有 1 条，它们分别为：中洲-德兴、太白司-新营、铜厂-金山和新建-花桥。断裂间距 2～5km，长 2～6km，走向 20°～10°，倾向 NWW，倾角中等—陡倾。

（三）侵入岩

铜厂和朱砂红铜矿矿化直接受两个浅成花岗闪长斑岩体控制，它们作 NWW 侧列分布，单个岩体均向北西侧伏下插，深部呈似筒状岩柱，地表出露面积分别为 0.7 和 $0.06km^2$（图 2-29）。它们均为复式小岩体，其中花岗闪长斑岩三次侵位，闪长玢岩两次侵位，此外，还有多次上侵的小岩脉，它们有两种产状：其一围绕主岩体分布，向下与主岩体相连；其二单独成群出现。这些分异脉岩主要有钾长花岗细晶岩和石英闪长玢岩等。

铜厂和朱砂红两个主岩体与围岩接触界线清楚，局部存在有数米宽的接触角砾岩，岩体下盘和深部局部边缘有 1～3m 宽的同化混染带，主岩体在侵入早期，对浅变质围岩产生强烈的接触变质现象，按

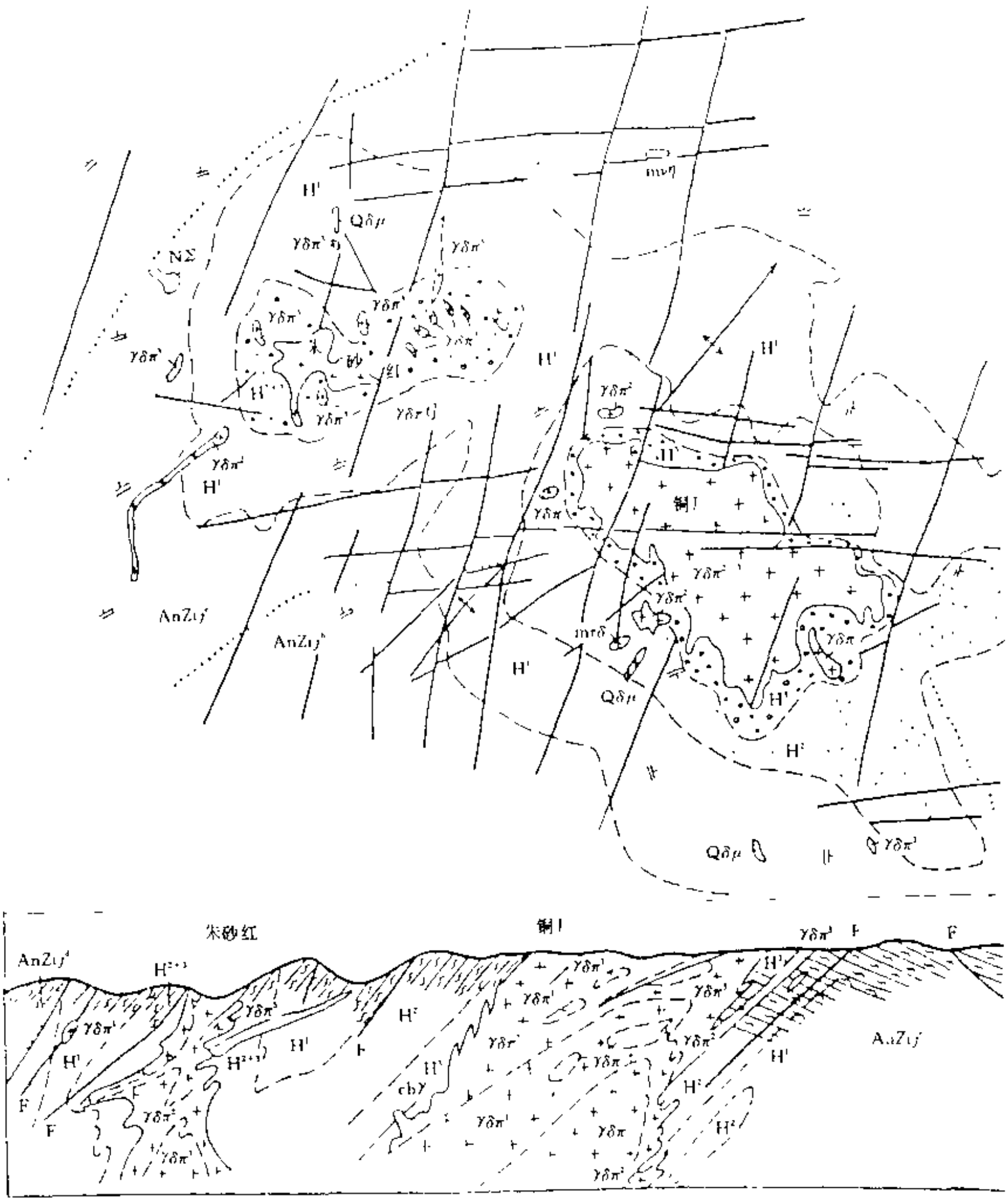


图 2-29　铜厂和朱砂红铜矿床地质图

Fig. 2-29　Geological map of Tongchang and Zhushahong copper deposit

（据胡魁等资料编制）(after Hu Kui, mended)

1—前震旦系九都组第四岩性段；2—前震旦系九都组第　岩性段；3　前震旦系九都组第_岩性段；4—绿泥石千枚岩；5　绿泥石（绿帘石）-水白云母化千枚岩（变质凝灰岩）；6　石英-水白云母化千枚岩（变质凝灰岩）；7—6 和 7 未分；8 -石英-水白云母化花岗闪长斑岩；9—绿泥石（绿帘石）-水白云母化花岗闪长斑岩；10　绿泥石（绿帘石）-水云母-钾长石花岗闪长斑岩；11—石英闪长玢岩；12　变质辉绿岩；13　辉长-辉石岩；14　细粒长英岩；15　接触角砾岩；16　地质界线；17—片理产状；18　蚀变带界线；19　背斜和它的倾伏方向．20　向斜和它的倾伏方向；21　断层

变质程度可划分内外两个带：内带包括黑云母角岩、长英质角岩和红柱石黑云母角岩等，深部该带可宽达 100m；外带为斑点千枚岩带，其斑点主要由细片状黑云母集合体组成。

花岗闪长斑岩为全晶质斑状结构。斑晶主要为中长石、普通角闪石、黑云母、钾长石和石英，基质主要由更长石、石英、钾长石、黑云母和普通闪石组成，副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石、钛铁矿、金红石、锆石、独居石和磷钇矿等。

铜厂和朱砂红花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩等的岩石化学成分如表 2-14。铜厂花岗闪长斑岩的

表 2-14　铜厂和朱砂红铜矿主要斑岩体岩石化学成分（w_B %）

Table 2-14　Petrochemical composition of porphyry massif in Tongchang andZhushahong copper deposit（w_B %）

岩体	编号	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	CO_2	烧失量	总和
铜厂	铜 1	花岗闪长斑岩	62.32	0.45	15.79	2.52	2.88	0.08	2.55	4.13	4.23	2.90	0.25	1.82	0.50		100.32
	铜 2	花岗闪长斑岩	6.70	0.40	14.88	1.77	2.61	0.05	2.07	1.32	3.71	3.19	0.25			3.11	100.39
	铜 3	花岗闪长斑岩	63.54	0.45	15.46	2.93	1.97	0.05	2.52	3.84	3.39	3.21	0.23	1.29	0.61		99.52
	铜 4	花岗闪长斑岩	63.22	0.45	15.07	2.55	2.89	0.05	2.55	3.83	3.78	3.38	0.25	1.12	0.21	1.09	101.14
	铜 5	花岗闪长斑岩	62.60	0.43	15.65	3.21	1.56	0.04	2.77	4.12	3.68	3.63	0.23	2.17	0.41		100.45
	铜 6	花岗闪长斑岩	62.82	0.45	15.58	2.73	2.59	0.08	2.55	4.50	4.00	3.33	0.25	1.61	0.12		100.42
	铜 7	花岗闪长斑岩	62.81	0.45	15.11	2.06	2.80	0.08	2.31	4.33	3.89	3.20	0.30	1.91	0.87	1.75	101.91
	铜 8	花岗闪长斑岩	62.88	0.44	15.29	3.00	1.98	0.08	2.83	3.80	3.37	3.55	0.24	1.31	1.06		100.75
	铜 9	花岗闪长斑岩	62.89	0.41	15.60	1.26	4.31	0.31	2.01	4.08	3.63	2.88	0.24	1.69			99.36
	铜 10	花岗闪长斑岩	63.00	0.41	15.47	1.56	3.56	0.24	2.10	4.31	3.61	2.74	0.24	1.69	0.59		99.14
	平均值	花岗闪长斑岩	73.18	0.43	15.39	2.36	2.69	0.06	2.13	4.15	3.73	3.20	0.25	1.49	0.49		99.67
	铜 12	花岗闪长斑岩	62.82	0.10	11.13	0.74	2.40	0.02	0.50	1.26	2.88	5.25	0.03	0.82	0.61		99.12
朱砂红	砾 1	钾长花岗细晶岩	64.98	0.40	15.21	0.72	2.52	0.03	2.41	3.17	3.81	3.31	0.25	2.46	0.75	3.38	101.53
对比	黎彤等	花岗闪长岩		0.52	16.33	1.89	2.49	0.09	1.94	3.70	3.67	2.95	0.32	0.83	0.29		100
	戴里	花岗闪长岩	65.01	0.57	15.94	1.74	2.65	0.07	1.93	4.42	3.70	2.75	0.20	1.09			100.05
	黎彤等	花岗闪长岩	60.51	0.73	16.70	2.84	3.49	0.24	2.54	4.63	3.68	22.65	0.16	0.88	0.75		100
	戴里	花岗闪长岩	61.69	0.66	16.21	2.54	3.77	0.10	2.80	5.38	3.37	2.10	0.26	1.22			100.02

SiO_2 变化于 62.32 %～63.70%，平均值为 63.00%，明显低于世界和中国花岗闪长岩的平均值。其 Al_2O_3 的含量铜厂与中国和世界的比较接近，变化于 14.88%～15.79%，平均 15.39%。其 Fe_2O_3 · FeO，铜厂变化于 1.11%～5.11%，平均为 3.09%，稍高于中国和世界同类岩石的平均值。其 MgO，铜厂的变化于 2.01%～2.83%，平均为 2.43%，较中国和世界花岗闪长岩的高。其 CaO，铜厂的变化于 3.80 %～4.42%，平均为 4.15%，略高于中国花岗闪长岩的平均值，但低于世界花岗闪长岩的平均值。其 Na_2O · K_2O，铜厂的变化于 6.35%～2.33%，平均为 6.93%，均高于中国和世界花岗闪长岩的平均值，尤以 K_2O 含量高更为明显。钾质偏高成为含铜斑岩的岩石化学成分主要特征。

铜厂铜矿床主要斑岩体岩石微量元素含量如表 2-15。表中所列数值均为我国 70 年代光谱分析结果，精确程度有限，只能作为参考。表 2-15 表明，Cu、Mo 亲硫元素含量高，V、Cr、Ni 和 Co 亲铁元素含量也较高，S、As 和 P 矿化剂元素含量较高，W 和 Sn 亲氧元素含量较低。

表 2-15　铜厂铜矿床主要斑岩体岩石微量元素含量（w_B/10^{-6}）

Table 2-15　Trace element content of porphyry massif in Tongchang copper deposit (w_B·10^{-6})

元素 \ 岩石	花岗闪长斑岩	钾长花岗细晶岩	维氏酸性岩	维氏中性岩	元素 \ 岩石	花岗闪长斑岩	钾长花岗细晶岩	维氏酸性岩	维氏中性岩
Be	<10		5.5	1.8	Mn	230	2000	600	1200
Rb	81.5		200	100	Y	30		340	
Sr	67.9		300	800	Yb	3		1	
Cs	10.3		5		Zr	220	100	200	260
Ba	1100	300	830	650	W			1.5	1
B	<100		15	15	Mo	3.7	1	1	0.9
F			800	500	Sn	<10	<10	3	
P	1000		700	1600	Cu	230	250	20	35
S	1200		400	200	Pb	26	30	20	15
Li	3230	3000	2300	8000	Zn	30	40	60	72
V	90		40	100	Ag	<1		0.05	0.07
Cr	120	50	25	50	Hg			0.08	
Ni	42	20	8	55	Ga	31	20	20	20
Co	14	10	5	10	As			1.5	2.4

铜厂斑岩体的同位素年龄已作过较详细的研究。铜厂花岗闪长斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄值为 179Ma，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.703，铜厂花岗闪长斑岩体内石英-绢云母化带的水白云母 K-Ar 年龄为 112Ma，铜厂南山石英闪长玢岩的黑云母 K-Ar 年龄为 100Ma。由此可见，从早期花岗闪长斑岩侵位，到热液蚀变和矿化，再到较晚期石英闪长玢岩侵位整整经历了 79Ma 的漫长历史。

（四）与成矿有关的火山岩

中元古代是本区最早的一期岩浆活动，在婺源、德兴、戈阳一带都见到广泛的火山喷发沉积，并伴有少量角闪辉石岩、辉绿玢岩和英安玢岩等次火山岩相，但迄今尚未发现古火山机构。本区双桥山群中大量火山碎屑肯定来自这次火山喷发，在这套地层中含铜较高，局部达到 203×10^{-6}，故许多人将双桥山群作为矿源层。

（五）矿床地质

1. 矿体

铜厂和朱砂红矿体特征如表 2-16 和图 2-30。主要铜矿体都赋存于浅成斑岩小岩株的侧部和上部围岩中，沿接触带内外分布。据统计，大的 1/3 矿体产于斑岩体中，其余 2/3 矿体赋存于双桥山群中。铜

厂斑岩体的顶部矿体大部分已剥蚀掉了，保留较好的是岩株上部周围接触带矿体，故矿体形态为倾向的空心筒状体。铜厂主要铜矿体上半环矿体规模大、厚度稳定、旧延深较长；下接触带矿体向下延深较浅、整个矿体呈向下斜楔的空心筒状矿

表 2-16　铜厂和朱砂红矿体特征

Table 2-16　Characteristic of ore bodies of Tongchang and Zhushahong copper deposit

矿床	矿体形态			矿体产状		矿体规模 m				矿体特征系数		
	空间	平面	剖面	倾向	倾角	长	宽	厚	规模	厚度变化系数	品位变化系数	含矿系数
铜厂	空心筒状	环形	纺锤形	320°	30°~50°	700~1200	400~500	200~500	特大	37~87	1.0~6.5	0.53~
朱砂红	平行矿条	环形透镜状	条状	320°~340°	40°~50°	500~1200	10~150	20~83	大	58~169	1.0	

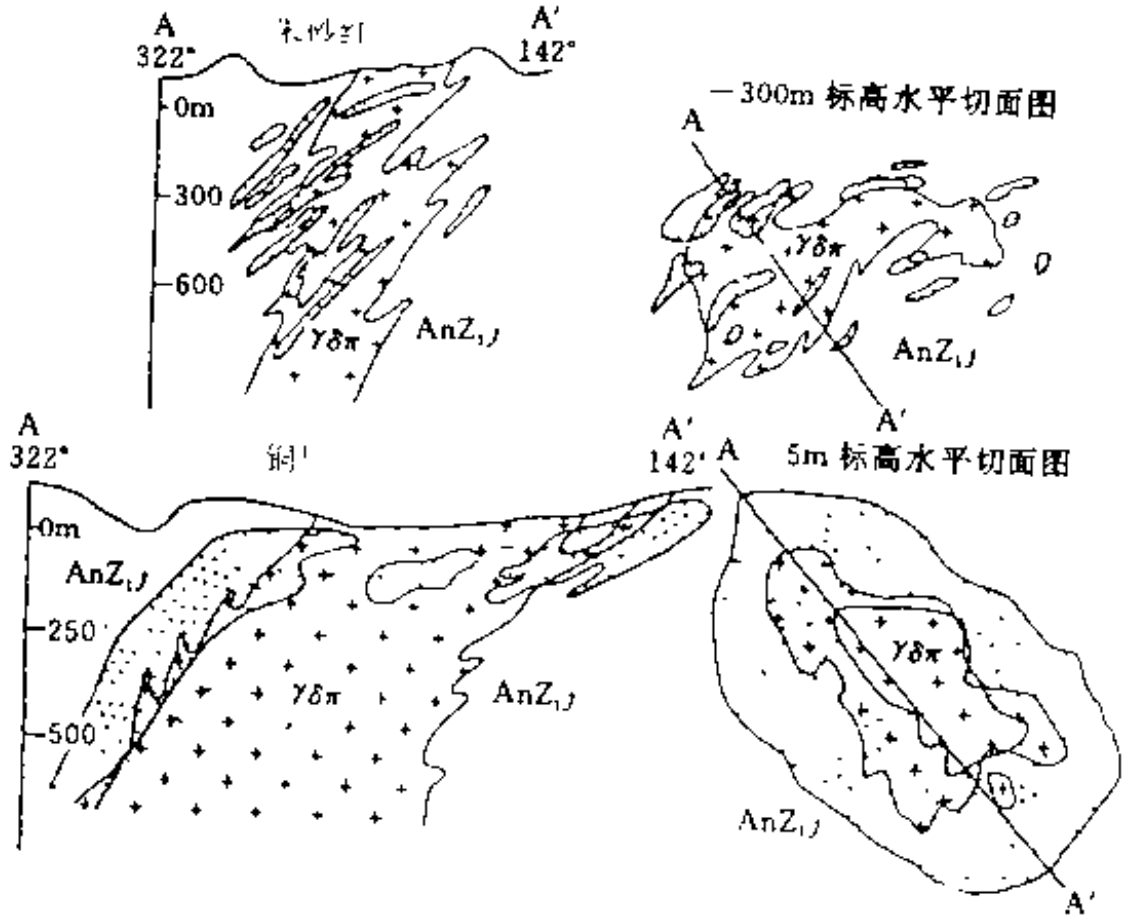


图 2-30　铜厂和朱砂红铜矿矿体形态

Fig. 2-30　Form of ore bodies in Tongchang and Zhushahong copper deposit

(图例同图 2-29) (Legend is same as Fig. 2-29)

朱砂红斑岩体的主体隐伏在深部，在矿化部位都呈枝桠众多的岩脉群，故矿体不构成完整的筒状，而是成为众多的矿条。

从总体上看，矿体规模上大下小，矿种有上铜下钼的变化趋势。从矿田的北西端朱砂红经过铜厂到南东端的富家坞，矿体倾角由陡变缓；矿体形态由复杂变简单；矿体的铜钼品位由贫变富；矿床剥蚀程度由浅变深，朱砂红矿床为浅剥蚀，铜厂矿床为中浅剥蚀，富家坞矿床为中等剥蚀。

2. 矿石矿物

铜厂和朱砂红铜矿矿石矿物组成如表 2-17。

已知矿石矿物多达 80 余种，其中金属矿物 51 种，非金属矿物 31 种。在金属矿物中，内生硫化矿物 23 种，碲化物 6 种，自然元素 2 种，氧化物和含氧盐 10 种，表生矿物 15 种。在非金属矿物中，热液蚀变矿物 25 种，原岩残留矿物 12 种。在原生矿石中，95%以上的矿物是脉石矿物，金属硫化矿物仅占 4%~5%。在脉石矿物中，以石英、绢云母、绿泥石最多，次之为碳酸盐、硫酸盐和赤铁矿等。金属硫化物以黄铁矿最多，黄铜矿和辉钼矿次之，再次之为砷黝铜矿和斑铜矿等。

表 2-17　铜厂和朱砂红铜矿矿石矿物组成

Table 2-17　Mineral composition of ore in Tongchang and Zhushahong copper deposit

类别 / 矿物名称	金属矿物					非金属矿物	
	内生矿物				表生矿物	热液蚀变矿物	原岩残留矿物
含量	硫化物	碲化物	自然元素	氧化物含氧盐			
主要	黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿			赤铁矿（镜铁矿）		石英、绢云母、水白云母、伊利石、绿泥石、铁白云石、方解石、白云石	
次要	砷黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿			磁铁矿金红石	低辉铜矿、针铁矿、赤铁矿、斑铜矿、孔雀石、铜蓝、蓝辉铜矿	硬石膏、石膏、绿帘石、锰菱铁矿、菱铁矿、正长石、黑云水母、黑云母、重石浊沸石	石英堇云母绿泥石钾长石钠长石
微量	辉铋矿、铜蓝、方黄铜矿、磁黄铁矿、毒砂、针硫铋铅矿、硫铜铋矿、硫银铋矿、硫铜钴矿、硫钴镍矿、硫铁镍矿、针镍矿、辉砷镍矿、硫砷镍铅铜矿	辉碲铋矿、碲银矿、碲金银矿、碲金矿、碲镍矿、碲钯矿	自然金银金矿	钛铁矿锐钛矿黑钨矿锡石铬铁矿独居石磷钇石	蓝铜矿、黑铜矿、铜铁矿、自然铜、胆矾、自然银、铅铅矿、白铁矿	磷灰石、电气石、重晶石高岭石、黝帘石、斜黝帘石、钠长石	红柱石角闪石辉石堇青石锆石褐帘石

矿石类型分为浸染型、细脉型和细脉浸染型三类，其中以细脉浸染型矿石为主。

浸染型矿石：分布零星，数量不多。主要分布于矿体上部，以斑岩体中较常见。通常黄铁和黄铜矿呈星散状较均匀地嵌布于大量脉石矿物中。

细脉型矿石：主要分布于矿体下部，矿化方式以充填为主，形成于成矿晚期。是一种黄铜矿和黄铁矿细脉或辉钼矿为主的细脉。

细脉浸染型矿石：为主要矿石类型，实际上是细脉型矿石和浸染型矿石混为一体。矿石中分布着密集的含矿石英脉、金属硫化物脉和含矿碳酸盐脉以及金属硫化物的浸染体。

如按容矿岩石矿石可分为斑岩型矿石和变质岩型矿石两个类型。

矿物共生组合大致可归纳7个类型：黑云母一钾长石-金属硫化物型、钾长石＋硬石膏·石英 镉硫化物型、石英＋绢云母-金属硫化物型、绿泥石＋绿帘石-金属硫化物型、碳酸盐-金属硫化物型、硫酸盐-金属硫化物型和表生铜氧化物-硫化物型。

3. 矿石结构构造

矿石结构按成因类型划分主要有4类：结晶结构、交代结构、固溶体分离结构和受压结构。生结晶结构中又可分为自形粒状结构、半自形粒状结构、它形粒状结构、环带结构、鳞片结构、放射状-束状结构、包含结构和环状结构等；在交代结构中又可分为粒间充填交代结构、裂隙充填交代结构、网状裂隙充填交代结构、交代残余结构、交代骸晶结构、穿插交代结构、镶边结构、环边结构。反应边结构、交代假象结构和选择交代结构等；在固溶体分离结构中又可分为乳滴状结构、文象 次文象结构和格状结构等；在受压结构中又可分为花岗压碎结构、斑状压碎结构、定向压碎结构和揉皱结构等

矿石构造可划分为浸染状构造、脉状构造、脉状 浸染状构造、团块状构造、块状构造、角砾状构造、晶洞构造和条带状构造。其中微粒浸染构造、微脉 浸染构造、细脉-浸染构造和网脉-浸染构造最为常见。

4. 矿石储量、品位及化学成分

铜厂铜矿铜储量524.41万吨，品位0.151%；钼储量120.450t，品位0.0114%；金储量18.98t，品位0.18×10^{-6}；银储量1238t，品位1.17×10^{-6}。

朱砂红铜矿铜储量60.50万吨，品位0.123%；伴生钼0.0097%，金0.1×10^{-6}，银1.91×10^{-6}，

铜厂矿床辉钼矿中含铼高达1119g/t，可考虑综合利用回收。铜厂矿床伴生的金80%以自然金形式存在，其次以银金矿、碲金银矿和碲金矿形式存在。铜厂矿床伴生银主要以碲银矿、碲金银矿、自然银和硫银铋矿形式存在。铜厂矿床已知碲的独立矿物有碲银矿、碲金银矿、碲金矿、辉碲铋矿、碲镍矿和碲钯矿，此外还有一部分碲赋存于砷黝铜矿（20.9g/t）、黄铁矿、辉钼矿和黄铜矿中；硒尚未发现独立矿物，在辉钼矿内最富集（91g/t），其次是黄铜矿、砷黝铜矿和黄铁矿。

铜厂矿床原矿含铂族元素总量为0.0123g/t，铜硫混合精矿含铂族元素为0.0691g/t，钼精矿含铂族元素为1.23g/t。

3. 矿化分带

从成矿早期到成矿晚期，形成五个主要矿物共生组合：硅酸盐 金属硫化物±氧化物、石英 金属硫化物、绿泥石-金属硫化物±氧化物、碳酸盐 金属硫化物和硫酸盐 金属硫化物。这五种组合产于不同的空间位置，形成矿化空间分带：硅酸盐 金属硫化物组合产于矿床深部和内部；石英 金属硫化物组合产于矿床中上部斑岩体接触带内外；绿泥石 金属硫化物±氧化物组合分布于矿床上部和外带围岩中；碳酸盐-金属硫化物组合和硫酸盐 金属硫化物组合分别散布于矿床的浅部和中深部。

（六）围岩蚀变

铜厂矿床的围岩蚀变是多阶段形成的。在斑岩岩浆侵位后凝结的早期引起周围围岩宽100~[illegible]m的接触变质，使千枚岩和变质凝灰岩发生黑云母角岩化、长英质角岩化和红柱石 黑云母角岩化，还使千枚岩（沉凝灰岩）生成许多微晶质的黑云母聚斑（斑点）。此阶段主要受热力的影响，使围岩原有的物质发生重结晶，但是通过高温热流体向四周散逸，部分钾质和挥发组分加入围岩是显而易见的，如某些钾质角岩的K_2O含量从2.4%~3.5%增加到5.5%。早期高温热流体在斑岩体内部，引起的钾硅酸盐蚀变通常不显著，如铜厂和朱砂红含矿斑岩体内部，无论钾长石化还是黑云母化均不构成独立的蚀变带。

进入岩浆期后，由于接触带的岩石破裂强烈，渗透性较好，成为热流体的活动中心，加之热流体在早期—中期具有酸性特点，于是围绕接触带分别向斑岩和围岩发生近于对称的酸性淋滤作用，由接触带向两侧，依次形成如下蚀变带：

强烈淋滤蚀变带：分别用$\gamma\delta\pi^3$和H^3符号表示，该带的花岗闪长斑岩、千枚岩和凝灰岩遭受强烈的石英-水白云母化，原岩结构模糊不清，原岩中的铁镁矿物和大部分长石类矿物遭受分解，新生蚀变矿物占蚀变岩总组成的80%以上；

中等淋滤蚀变带：分别用$\gamma\delta\pi^2$和H^2符号表示，该带的花岗闪长斑岩、千枚岩和凝灰岩遭受一定程度的绿泥石（绿帘石）-水白云母化，原岩结构和构造部分被改造，大部分铁镁矿物和部分长石类矿物遭受分解，新生蚀变矿物占蚀变岩总组成的60%~80%；

微弱淋滤蚀变带：分别用$\gamma\delta\pi^1$和H^1符号表示，该带的花岗闪长岩斑岩在早期钾长石化和黑云母化基础上叠加绿泥石（绿帘石）-水云母化；千枚岩（凝灰岩）在早期角岩化基础上叠加绿泥石（绿帘石）-水云母化，该带原岩结构和构造清楚，仅部分铁镁矿物和少部分长石类矿物遭受分解，新生蚀变矿物占蚀变岩总组成的10%~60%。朱贤甲（1981）详细对比了铜厂花岗闪长斑岩和千枚岩的原岩与各蚀变带岩石的矿物成分差别，见表2-18。

矿化伴随着蚀变发生。总的看，矿化作用的强度与蚀度与蚀变作用的强度直接有关，矿体基本上与石英-水白云母化带（或石英-绢云母化带）一致，主要矿体产于花岗闪长斑岩体与围岩的接触带，特别是上接触带（图2-30）。

（七）矿床地球化学异常

铜厂矿床地球化学异常如图2-31所示。矿床的蚀变矿物、矿石矿物、主要成矿元素、岩石主要化学成分等均作明显的对称分带。从斑岩体内部到外部围岩，矿石矿物更替次序为自然金→辉钼矿→黄铜矿→闪锌矿→方铅矿，黄铁矿为贯通矿物，与上述所有矿石矿物伴生并被它们交代；成矿元素的更替次序为W、Bi→Mo→Cu→Ni、Co、Pb、Zn→Mn；矿石类型更替次序为：浸染状矿石→细脉浸染状矿石→脉状矿石。蚀变岩石主要化学组分有以下变化趋势：Na_2O、CaO、MgO在接触带明显亏损，FeO

表 2-18　铜厂斑岩铜矿床各蚀变带岩石的矿物成分变化对比

Table 2-18　Mineral composition of various alteration belt in Tongchang and Zhushahong copper deposit

蚀变程度 / 岩石类型	花岗闪长斑岩+接触带+矿坡岩							
	原岩	微弱	中等	强烈	强烈	中等	微弱	原岩
斜长石	49.38	18						
钾长石	15.01	7						
普通角闪石	0.47							
黑云母	4.95	1						
石英	29.49	22	26	43	28	17	7	4
水白云母类		28	38	38	63	59	75	86
绿泥石类		15	24			15	13	12
绿帘石		2						
钠长石		1						
碳酸盐类		3	1	3	6	6	3	
硬石膏		2	2	1	1	1	1	1
磁铁矿*	8763	3742	5	35	几颗	几颗	几颗	△
磷灰石*	2546	1730	969	117				△
锆石*	124	131	19	206	几颗	几颗		△
榍石*	1192	192		1	几颗	几颗		△
钛铁矿*	196	14						△

* 以 10^{-5} 计；△无资料，未计 * 者以%含量计

稍有亏损，但不明显；K_2O、SiO_2 和 Fe_2O_3 在接触带明显富集；Al_2O_3 总的变化不大（图 2-31）。

三、成矿条件

（一）稳定同位素

硫同位素：铜厂和朱砂红共收集了 323 件硫同位素数据，其中朱砂红 47 件，铜厂 276 件，它们的变化范围和平均值如表 2-19。

表 2-19　朱砂红、铜厂矿床硫同位素测试值

Table 2-19　Composition of S isotope in Tongchang and Zhushahong copper deposit

矿床	矿物	样品数	$\delta^{34}S$ ‰	
			变化范围	平均值
朱砂红	Py	17	−0.8～+1.1	−0.05
	Cp	3	2.1～+0.3	0.53
	Sp	1	1.0	1.01
	Gn	1	2.4	2.41
	Py+Cp+Sp+Gn	22	1.0～+1.1	0.48
	Anhy	3	+9.9～+13.5	−11.37
铜　厂	Py	116	−2.5～+3.1	+0.36
	Cp	20	2.8～+1.4	2.07
	Py+Cp	136	2.8～+3.1	+0.15
	Anhy	1	+4.4～+11.5	+8.25

朱砂红硫同位素 $\delta^{34}S$ 的变化范围为 −4.0‰～1.1‰，平均值为 −0.48‰；铜厂硫同位素 $\delta^{34}S$ 的变化范围为 −2.8‰～3.1‰，平均值为 0.15‰。二者数值非常接近，推断它们具有相似的成矿物理学条件和较深的硫源（深部源岩）。

铜厂和朱砂红成矿系统的硫同位对和硫同位素平衡温度如表 2-20 所示。由上述这些数据可以求得

成矿系统的硫同位素初始值变化范围。计算程序如以下步骤：

根据温度对硫同位素分馏系数的影响得知：

$$\Delta_{AB}=\delta_A-\delta_B\approx 1000\ \ln\alpha_{AB}=X/T^2+Y \quad (1)$$

由（1）式得知，当$T\to\infty$时，$\delta_A-\delta_B\approx 0$，$\delta_A\approx\delta_B\approx\delta\Sigma$。因此在高温下，系统中各种平衡温度的计算采用H. Ohmoto 和 R. O. Rye (1983) 建立的方程：

硫酸盐—黄铜矿：$T=2.85\times10^3/(\Delta+1)^{1/2}$ $2T>400$ ℃ (2)

硫酸盐—黄铁矿：$T=2.76\times10^3/(\Delta\pm1)^{1/2}$ $2T>400$ ℃ (3)

黄铁矿—黄铜矿：$T=(0.67\pm0.01)\times10^3/(\Delta\pm1)^{1/2}$ (4)

这些硫化物对在$\delta^{34}S-1/T^2$图解上10件黄铜矿、12件黄铁矿和4件硬石膏样品，根据最小二乘法原理可以分别求得以下三条线性方程：

$$\delta^{34}S_{Cp}=-0.736\ [1/T_K]^2\times10^6+0.18 \quad (5)$$

$$\delta^{34}S_{Py}=-0.286\ [1/T_K]^2\times10^6+0.23 \quad (6)$$

$$\delta^{34}S_{Anhy}=7.777\ [1/T_K]^2\times10^6-1.385 \quad (7)$$

如果由（5）式与（6）式联合起来判断，成矿系统的$\delta^{34}S_{\Sigma S}$则变化于$+0.32‰\sim+0.18‰$；如果由（5）、（6）式与（7）式联合起来判断，成矿系统的$\delta^{34}S$值则变化于$-1.4‰\sim+0.48‰$。由此可以认为，铜厂和朱砂红矿床硫化物无论是平均硫同位素组成（表2-19），还是由硫化物对确定的成矿系统的$\delta^{34}S_{\Sigma S}$值都比较接近于陨石硫，这表明它们的主要硫源是地幔硫，未受到地壳上部硫的强烈混染。

氧同位素：铜厂和朱砂红矿床不同部位的花岗闪长斑岩、千枚岩和矿石共采集了11件矿物样品用以测定它们的氧同位素值，并利用矿物—水关系式计算了反应水的$\delta^{18}O_{H_2O}$值，一并列于表2-21。表2-21表明，主要为天水与岩浆水的混合流体，随着成矿温度的降低，天水逐渐取代岩浆水。

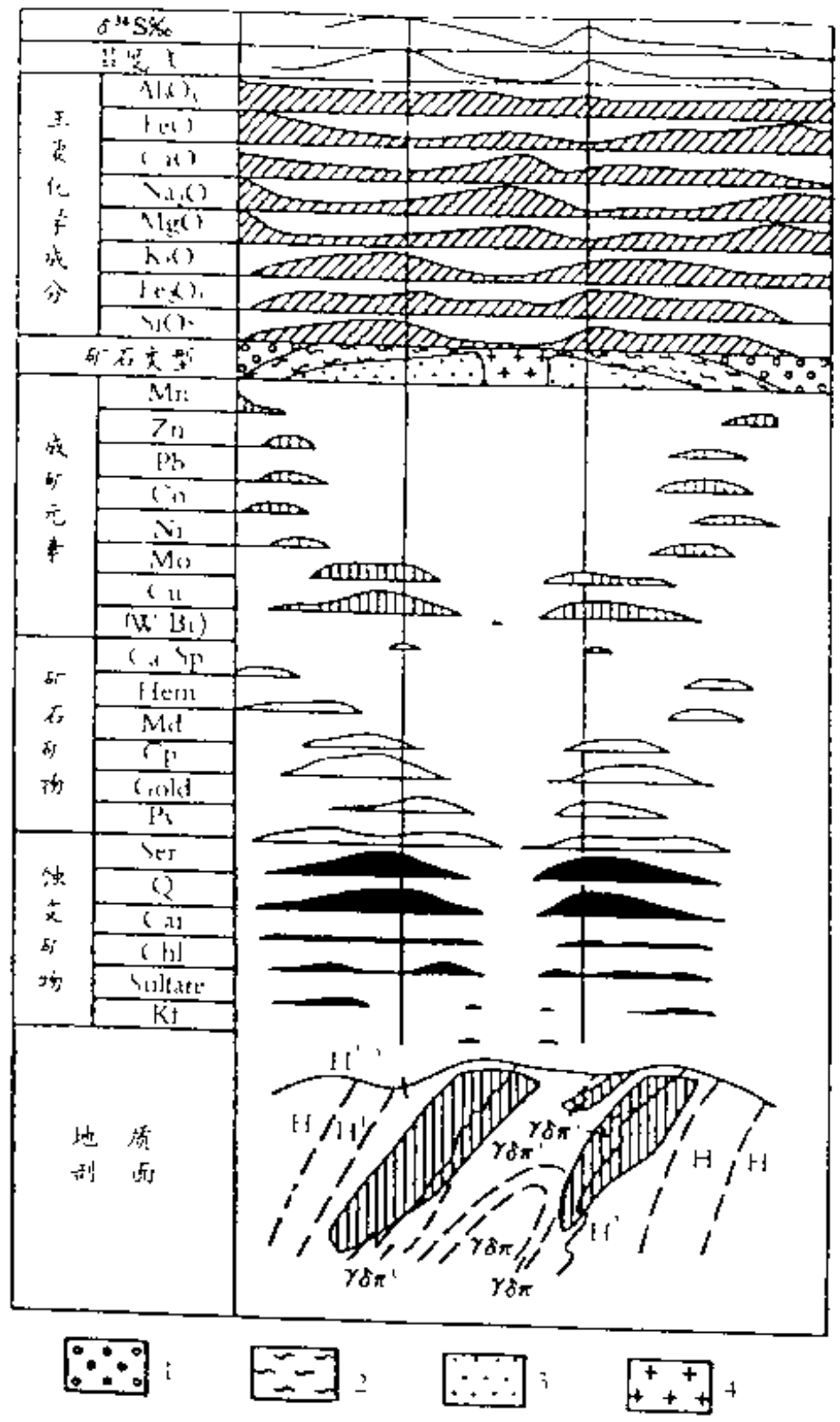


图2-31 德兴斑岩铜（钼）矿分带模型

Fig. 2-31 Zoning pattern of Dexing porphyry copper deposit

1 脉状矿，2 细脉状矿；3 浸染状矿；- 无矿线；$\gamma\delta\pi$ 花岗岩闪长斑岩；$\gamma\delta\pi^1$ 绿泥石（绿帘石）水云母-钾长石化花岗闪长斑岩，$\gamma\delta\pi^2$ 绿泥石（绿帘石）水白云母化花岗闪长斑岩，$\gamma\delta\tau$ 石英水白云母化花岗闪长斑岩；H^{2-4} 石英-水白云母化钾绿泥石（绿帘石）水白云母化千枚岩（凝灰岩）；H^3 绿泥石（绿帘石）水白云母化千枚岩（凝灰岩）；H 千枚岩（凝灰岩）

锶同位素：从铜厂斑岩体共采得3件单矿物和1件岩石样品，测得Rb-Sr等时线年龄和$^{87}Sr/^{86}Sr$初始值为0.7044，列表2-22。

将铜厂花岗闪长斑岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始值和等时线年龄值投影到Faure和Powell(1972)的上地幔和大陆锶的演化模式图上，可清楚看出，投影点落在玄武岩源区，并且进一步可以推测铜厂花岗闪长斑岩岩浆来源于上地幔。李坤英（1982）在讨论中国东南部中生代火山岩物质来源时认为：它们的初始锶高于上地幔平均值（0.7037），低于地壳平均增长值（0.719），全部数据落在上地幔向大陆壳过渡区。同时中国东南部火山成因的硫的$\delta^{34}S$接近陨石硫。由此，他认为中国东南部中生代火山岩和相当的深成侵入岩的原始物质，不大可能来自上地幔，只不过在岩浆形成过程中和岩浆上升过程中，由于大陆壳物质不断参与，其原始物质成分和同位素组成受到混染而发生变化。

表 2-20　铜厂和朱砂红硫同位素对其平衡温度平衡温度

Table 2-20　Sulfur isotope, equilibrium temperature and equilibrium moisture in Tongchang and Zhushahong copper deposit

	$\delta^{34}S_{Anhy}$ ‰	$\delta^{34}S_{Py}$ ‰	$\delta^{34}S_{Cp}$ ‰	Δ ‰	T ℃	样品描述
3x1 321	+8.6	0.3		8.9	604	蚀变斑岩中 Py-Anhy 组合
22?1 403	+17.5	+0.1		17.4	521	蚀变凝灰岩中 Py Cp-Qz Anhy 组合
2x 486.2	+13.5	0.3		13.8	444	蚀变千枚岩中 Py Cp Qz Anhy 组合
2x1 486.2	+15.5		0.9	14.4	413	蚀变千枚岩中 Py Cp Qz Anhy 组合
2x01 368		0.0	0.8	0.8	432	强蚀变千枚岩中浸染状 Py Cp 组合
1501 342		0.3	1.1	0.8	432	蚀变斑岩中浸染状 Py-Cp 组合
2301 405		0.8	1	1.0	377	蚀变千枚岩中 Py Cp Qz Car 脉
x01 239		0.3	1.4	1.1	328	蚀变斑岩中 Py Cp Qz 脉
1?0? 317		0.3	1.5	1.2	302	蚀变千枚岩中 Py Cp Qz 脉
2x02 330		0.3	1.5	1.2	302	蚀变千枚岩浸染状 Py Cp 组合
1501 203		0.6	2.0	1.4	259	蚀变千枚岩中浸染状 Py Cp 组合
CK05 37		1.3	2.7	1.4	259	矿化晚期 Py-Cp Car 脉
1x02 271		0.6	2.1	1.5	241	蚀变千枚岩中浸染状 Py Cp 组合

注　Py　黄铁矿；Anhy　硬石膏；Cp　黄铜矿；Qz　石英，Car　碳酸盐

表 2-21　朱砂红、铜厂氧同位素测试结果

Table 2-21　Composition of O isotope in Tongchang and Zhushahong copper deposit

样品号	样品产状和描述			
Zs201 1	石英，产于与钾化有关的长英岩脉	400	−6.53	−2.36
Z3201-2	钾长石，产于与钾化有关的长英岩脉	450	+8.09	+3.84
T301 1	石英，产于与钾化有关的长英岩脉	400	+10.18	+3.91
T302 2	钾长石，产于与钾化有关的长英岩脉	450	+8.25	−6.49
T125-1	石英，产于蚀变花岗闪长斑岩中石英硫化物脉	325	+1.65	2.62
TCH 1	石英，产于蚀变千枚岩中石英硫化物脉	325	+11.83	−4.56
T404 1	水白云母，产于花岗闪长斑岩的石英-水白云母化带	250	+7.05	−2.24
TCH 2	同上	250	+8.20	−3.57
TCH 3	同上	200	−9.43	−2.68
T125 2	水云母，产于花岗闪长斑岩的绿泥石-水白云母化带	200	−9.48	−2.73
T404-2	绿泥石，混有碳酸盐，产于千枚岩的绿泥石-水白云母化带	200	0.94	

表 2-22　铜厂花岗闪长斑岩的 Rb、Sr 测定结果表

Table 2-22　Composition of Rb, Sr isotope in Tongchang and Zhushahong copper deposit

	岩性	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$
19	花岗闪长斑岩	0.509148	0.705430
21	斜长岩	0.01983	0.704083
22	磷灰石	0.012934	0.704836
23	钾长石	0.899283	0.706674
24	花岗闪长斑岩	0.263992	0.705195
25	花岗闪长斑岩	0.274182	0.704935
27	花岗闪长斑岩	0.35022	0.705042

（二）流体包裹体

铜厂和朱砂红流体包裹体的均一温度如图 2-32 所示。气液包裹体、多相包裹体和气相包裹的均一温度依次递增：气体包裹体的均一温度变化范围为 320～550℃，个别高达 750℃；多相包裹体的均一温度变化范围为 280～550℃；气液相包裹体的均一温度变化范围为 100～450℃。

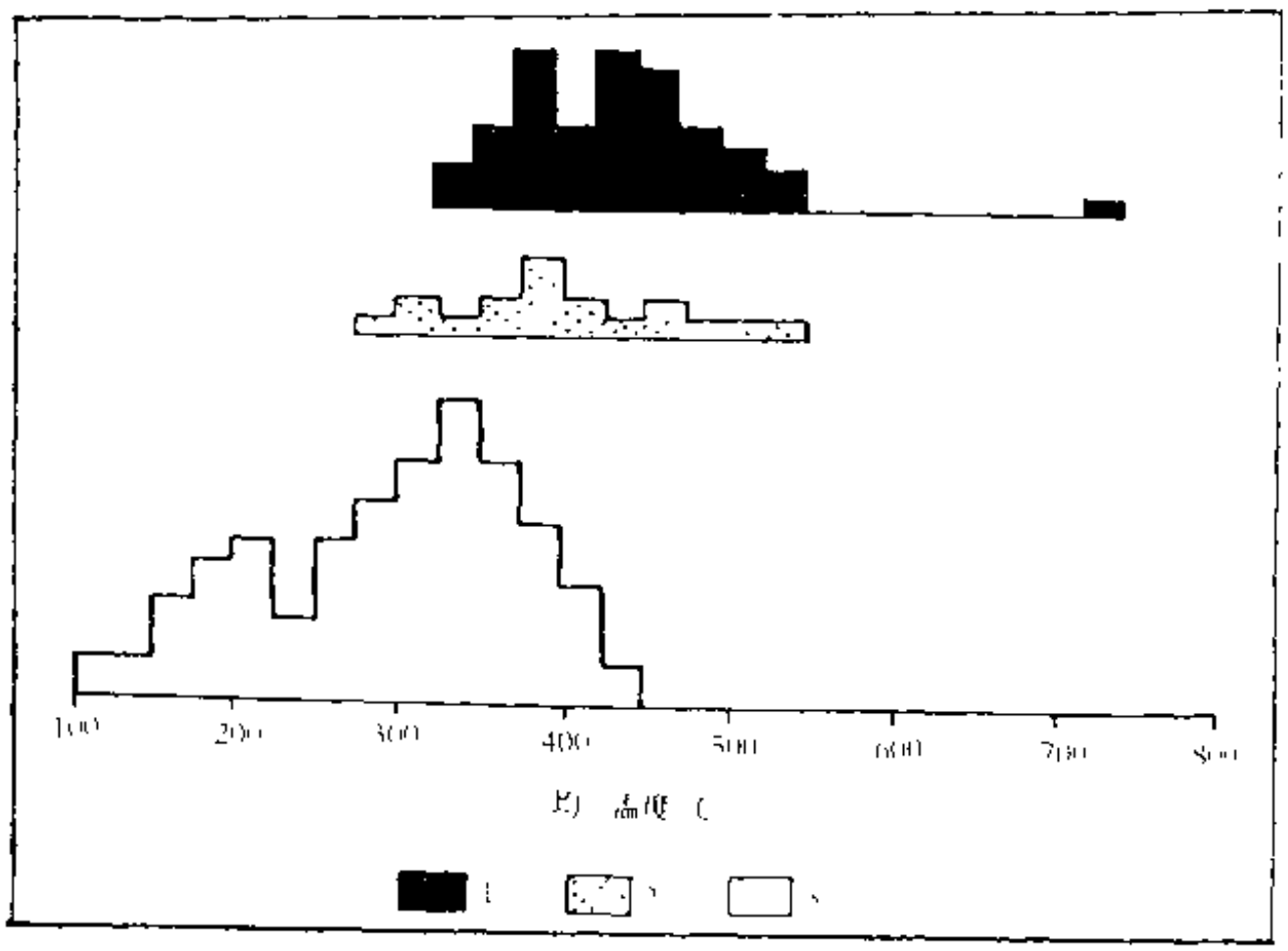


图 2-32 铜厂和朱砂红流体包裹体均一温度直方图

Fig. 2-32 Homogenization temperature histogram of fluid inclusion

1 气体包裹体；2 多相包裹体；3 气液相包裹体

铜厂多相包裹体的含盐度变化于：$w(NaCl)$ 为 38%～18%，$w(KCl)$ 为 10%～16%。

铜厂矿床成矿流体压力变化（90～1850）$\times 10^5$Pa；在石英绢云母化蚀变时期成矿流体的 pH 值变化于 4.2～4.4；在流体包裹体的液相成分中，$[K^+]$ / $[Na^+]$ 值为 1.2～5.6，$[Ca^{2+}]$ / $[Mg^{2+}]$ 值为 0.6～1.2，$[Cl^-]$ / $[F^-]$ 值为 13.6～63.3。

（三）成矿其他物理化学条件

1. 硫逸度

利用以下矿物生成反应式：$5CuFeS_2+S_2$（气）$\rightleftharpoons 1FeS_2+Cu_5FeS_4$

$$2FeS_2+3/2O_2\text{（气）}\rightleftharpoons Fe_2O_3+2S_2\text{（气）}$$

$$2FeS_2+2O_2\text{（气）}\rightleftharpoons Fe_3O_4+3S_2\text{（气）}$$

$$2FeS+S_2\text{（气）}\rightleftharpoons 2FeS_2$$

$$4Ag+S_2\text{（气）}\rightleftharpoons 2Ag_2S$$

可以求得铜厂和朱砂红矿床成矿时 fs_2 变化范围为 10^{-25}～10^{45}。

2. 氧逸度

利用以下矿物生成反应式：$3Fe_3O_4+1/2O_2$（气）$\rightleftharpoons 3Fe_2O_3$

$$SO_4^{-2}+2H^+\rightleftharpoons H_2S\text{（液）}+2O_2\text{（气）}(pH=4)$$

$$H^++HSO_4^-\rightleftharpoons H_2S\text{（液）}+2O_2\text{（气）}(pH=4)$$

$$KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2+1/2O_2\rightleftharpoons KAlSi_4O_8+Fe_3O_4+H_2O\ (x_{ann}=0.3)$$

$$C_{石墨}+O_2\text{（气）}\rightleftharpoons CO_2\text{（气）}$$

可以计算获得铜厂和朱砂红矿床成矿时 f_{O_2} 变化范围为 10^{-12}～10^{-71}Pa。

（四）矿床模式

中元古代优地槽发展阶段，厚逾万米的富铜含火山物质的类复理石沉积为斑岩铜矿床形成奠定了初步物质基础；燕山期花岗闪长斑岩侵位前的深部岩浆分异演化为斑岩铜矿形成提供了丰富矿质来源；与赣东北深断裂带相配套的北西向断裂与倾伏背斜的交叉复合部位为成岩成矿提供了有利空间；花岗闪长斑岩体高侵位并接受深部岩浆房排放出来的超临界热流体的补给是形成对流循环机制的关键。蚀变和矿化是热流体对流循环机制发生和发展的必然产物（图 2-33）。

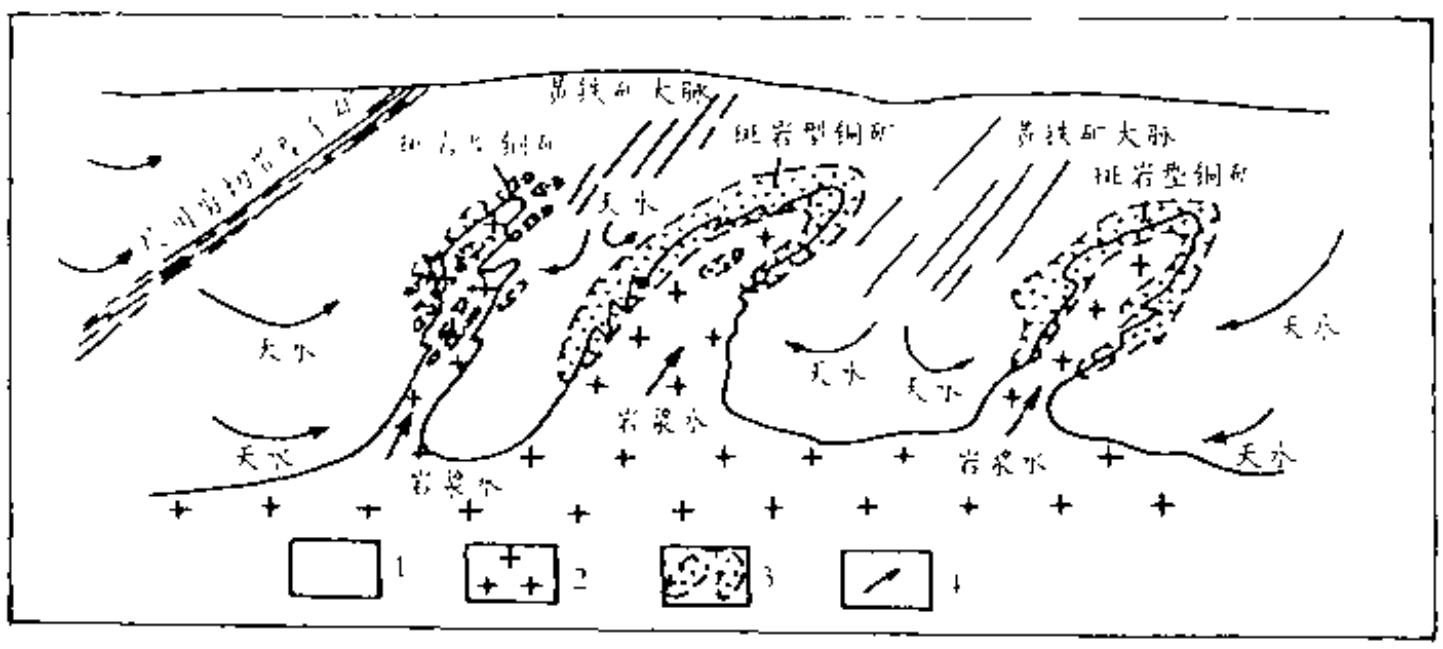


图 2-33　铜厂等斑岩铜矿床模式图

Fig. 2-33　Metallogenic model of porphyry-type copper deposit in Tongchang area

1　中元古界；2　花岗闪长斑岩；3　矿化范围；4　流体运移方向

在中间岩浆房住留的岩浆大约结晶出 35%～60%的晶体时，开始发生岩浆二次沸腾，分馏出来的独立流体相呈临界-超临界状态，富钾质、硅质、挥发组分（HCl、HF、SO_2、P_2O_5 等）和矿质，温度近于 650～750℃。这种热流体具有两个显著特征：一是与冷凝的顶部斑岩和邻近的千枚岩发生交代作用，产生钾质硅酸盐交代岩（黑云母和钾长石化等）；二是使斑岩顶部内能增大，当内能达到某一临界值时，则导致体系由封闭转为开放，由斑岩顶部和邻近围岩产生网状破裂系统，为岩浆水与大水的对流循环创造了条件。该类型矿石硫化物的 $\delta^{34}S$ 变化于 −4.0‰～3.1‰之间，平均值为 0.12，硬石膏的 $\delta^{34}S$ 值变化范围为 1.4‰～13.5‰，平均值为 8.62。钾化阶段蚀变矿物的 $\delta^{18}O$ 为 6.53‰～10.18‰；石英硫化物阶段的 $\delta^{18}O$ 值为 4.65‰～11.82‰；碳酸盐硫化物阶段 $\delta^{18}O$ 值为 0.91‰～4.57‰。

流体包裹体均一温度变化范围为 715～120℃，含盐度 w（NaCl）变化范围为 2%～62%，主要金属硫化物沉淀温度为 350～180℃。成矿热流体早期以岩浆水为主，中期为混合水，晚期以大水为主，成矿物质是多来源的，主要来自花岗质岩浆，部分来自围岩。

第二节　江西德兴县富家坞铜矿床

富家坞铜矿床为德兴斑岩铜矿田中重要矿床之一，位于矿田的东南端。它的大地构造单元、矿区地层和矿区构造均与铜厂和朱砂红相同，本节不再赘述。

一、侵入岩

富家坞花岗闪长斑岩在地表呈梯形，NE 向长 650m，NW 向宽 300m，面积 0.2km²（图 2-31），岩体向 NW310°方向下插，侧伏角 40°左右。岩体向下具有明显增大的逐势，至 −200m 标高，水平截面积增达 0.8km²，同时岩体的截面长轴方向也由 NE 转向 NW。该岩体边界较平直，侧旁分支较少。

主岩体与围岩呈侵入接触，接触界线清楚，呈突变关系。在局部地段存在有数米宽的接触角砾岩，角砾成分主要为围岩。

主岩体对浅变质围岩造成一定程度的接触变质，通常下盘变质程度高于上盘。按变质程度划分为内、外两个带，内带为角岩带，外带为斑点状千枚岩带。

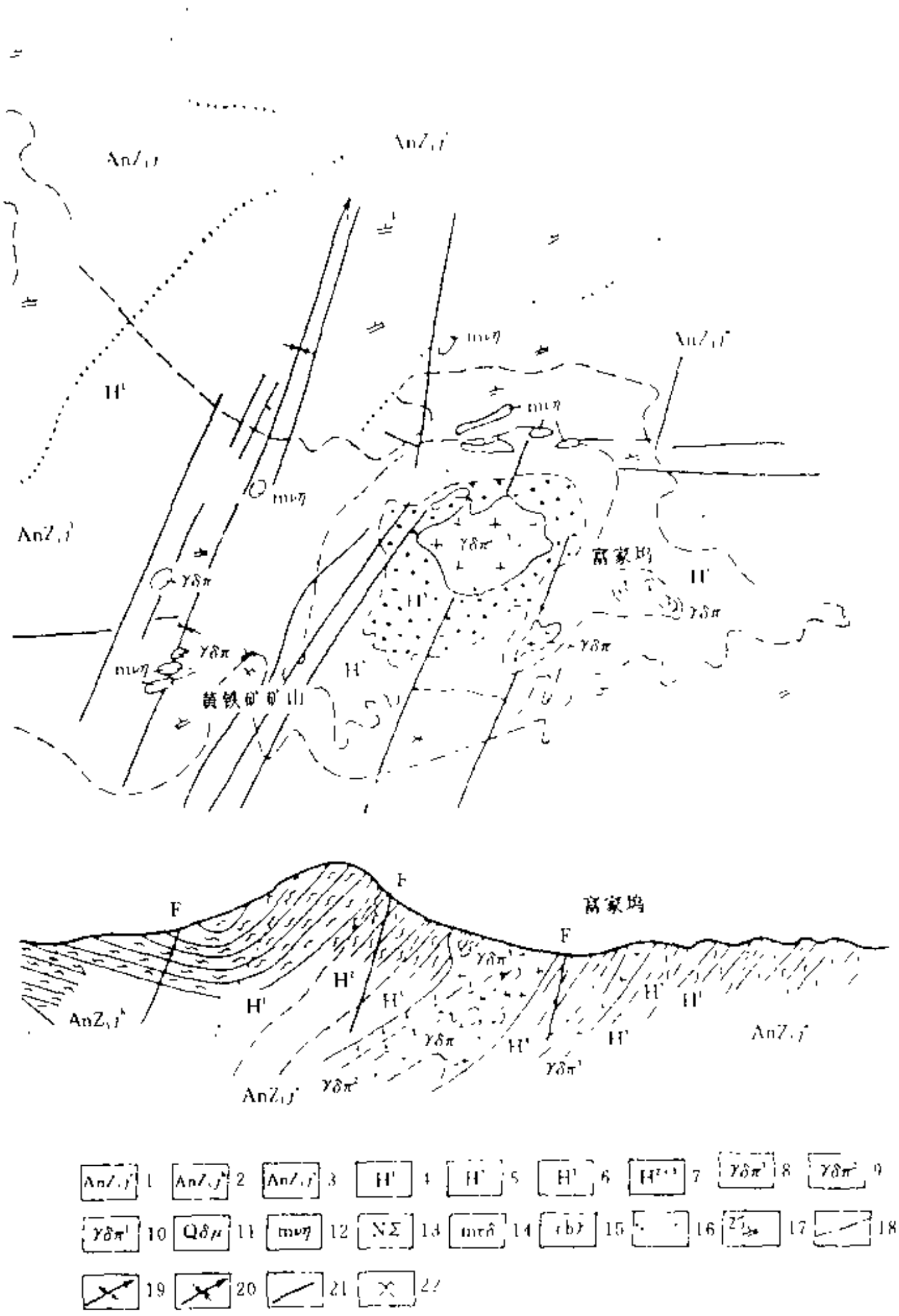


图 2-34　富家坞铜矿床地质图

Fig. 2-34　Geological map of Fujiawu copper deposit

1－前震旦系九都组第三岩性段；2—前震旦系九都组第 岩性段；3－ 前震旦系九都组第 岩性段；4—绿泥石（绿帘石）-水云母化千枚岩（变质凝灰岩）；5—绿泥石（绿帘石）-水白云母化千枚岩（变质凝灰岩）；6—石英-水白云母化千枚岩（变质凝灰岩）；7—6 和 7 未分；8－ 石英-水白云母化花岗闪长岩；9　绿泥石（绿帘石）-水白云母化岗闪长斑岩；10—绿泥石（绿帘石）-水云母-钾长石化花岗闪长斑岩；11　石英闪长玢岩；12　变质辉绿岩；13－ 辉长-辉石岩；14 -细粒长英岩；15—接触角砾岩；16—地质界线；17－ 片理产状；18－ 蚀变带界线；19　背斜和它的倾伏方向；20　向斜和它的倾伏方向；21　断层；22　黄铁矿矿山

根据地球物理资料推测，富家坞、铜厂和朱砂红三个复式小斑岩体在 1800m 深部汇聚为一个较大的隐伏岩体，因为在地下 800 多米处铜厂岩体已下插到朱砂红岩体的底部。

富家坞花岗闪长斑岩矿物，根据镜下定量统计（面积%）：石英变化于 18～23，平均 20.5；斜长

石（主要为中长石）变化于 13～55，平均 18.5；钾长石变化于 13～18，平均 15.5；角闪石变化于 7～10，平均 8.3；黑云母变化于 3～7，平均 4.8。富家坞上岩体副矿构成分为（10^{-6}）：磁铁矿变化于 847～9671 之间，平均 5261；磷灰石为 130～521，平均 351；榍石为 0.3～289，平均 145；锆石变化于 133～255 之间，平均 191。岩石化学成分列于表 2-23，并与中国和世界同类岩石进行对比；表 2-24 为富家坞斑岩 CIPW 数值。现对该斑岩体的主要氧化物特征作一些评述。

表 2-23　富家坞斑岩岩石化学成分及对比

Table 2-23　Petrochemical composition of Fujiawu porphyry rock

编号	1	2	3	4	5	6	7	黎彤	戴里
岩石名称	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩（平均
SiO_2	64.04	64.76	65.80	64.74	64.21	66.13	65.05	64.98	65.02
TiO_2	0.40	0.42	0.42	0.45	0.41	0.36	0.41	0.52	0.57
Al_2O_3	15.34	15.38	15.56	15.90	16.67	15.60	15.74	16.33	15.94
Fe_2O_3	1.44	1.88	1.71	1.85	1.45	1.83	1.69	1.89	1.74
FeO	2.91	3.10	2.04	2.87	2.10	2.05	2.51	2.49	2.65
MnO	0.08	0.75	0.09	0.11	0.06	0.06	0.11	0.09	0.7
MgO	1.88	1.83	1.37	2.09	1.36	1.62	1.69	1.94	1.81
CaO	3.38	3.86	2.99	4.66	3.63	2.89	3.57	3.70	4.12
K_2O	3.93	4.00	3.91	3.22	4.30	3.84	3.87	3.67	3.79
Na_2O	3.00	3.00	3.45	3.15	3.35	3.28	3.21	2.95	2.75
P_2O_5	0.25	0.21	0.20	0.28	0.15	0.16	0.21	0.32	0.20
H_2O^+	1.34			1.40	1.12	1.72	1.40	0.83	1.09
CO_2							0.58	0.29	
烧失量	1.338	1.02	1.90			1.50			
总合	99.97	100.21	99.44	100.72	98.81	101.01	100.04	100.00	100.05

表 2-24　富家坞斑岩 CIPW 数值（$w_B/\%$）

Table 2-24　CIPW value of Fujiawu porphyry（$w_B/\%$）

编号	富 1	富 2	富 3	富 4	富 5	富 6	富 7
岩性	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩（平均）
Ap	0.69	0.34	0.34	0.68	0.34	0.34	0.31
Il	0.78	0.77	0.78	0.91	0.78	0.77	0.78
Mt	2.14	2.81	2.61	2.79	2.13	2.59	2.60
Or	18.31	18.03	21.09	19.01	20.50	19.79	19.32
Ab	34.51	34.50	33.84	27.40	37.02	33.02	33.19
An	15.15	15.21	14.53	19.57	16.69	15.82	16.17
C			0.21				
Wo		1.41		0.82	0.36	0.35	0.21
Fs	3.66	4.01	1.76	3.05	2.16	1.88	2.69
En	4.75	4.68	3.49	5.25	3.39	4.08	4.31
Qu	19.71	18.24	21.35	20.52	16.53	21.36	20.06

SiO_2 含量变化于 64.27%～66.13%，平均为 65.05%，高于中国花岗闪长岩的平均值，接近世界花岗闪长岩的平均值。Al_2O_3 变化于 15.31%～16.67%，平均为 15.71%，均较中国和世界同类岩石的平均值偏低。Fe_2O_3+FeO 变化于 3.55%～4.98%，平均为 4.20%，同样较中国和世界同类岩石的平均质偏低。MgO 变化于 1.36%～2.90%，平均为 1.69%，相对较中国和世界花岗闪长岩的平均值低 CaO 变化于 2.89%～4.66%，平均为 3.57%，比中国和世界花岗闪长岩的平均值稍低。Na_2O-K_2O 变化于 6.37%～7.65%，平均为 7.08%，高于中国和世界花岗闪长岩的平均值；尤其 K_2O 含量更高，构成斑岩岩石学的主要特征。

富家坞花岗闪长斑岩体内石英钾长石脉的 K Ar 同位素年龄为 157Ma，该矿围岩内石英钾长石脉的 K Ar 同位素年龄为 152Ma。

二、矿床地质

矿体：富家坞矿体形态产状特征如表 2 25 和图 2 35。含铜斑岩岩株的中轴线向 NW 倾伏，倾伏角 10°～20°。岩体顶部矿体已被剥蚀，保留较好的是岩株上部周围接触带矿体，故矿体形态呈倾向北西的空心筒状体，水平切面为环形。铜钼矿化富集中心与外内接触带的构造断裂和裂隙密集带大致吻合，铜矿化强度大致与接触带相对称，单一铜矿体分布于矿床的深部，尤其是斑岩体的大部接触带，矿体内部矿化连续性甚好，包含的夹石甚少。

表 2-25 富家坞矿体形态产状特征

Table 2-25 Morphological feature and occurrence of ore bodies in Fujiawu copper deposit

矿体形态			矿体形状		矿体规模				矿体特征系数		
空间	平面	剖面	倾向	倾角	长/m	宽/m	厚/m	储量规模	厚度变化系数	品位变化系数	含矿系数
空心筒状	环形	纺锤形	318°	25°～46°	500～900	200～300	200～500	特大	26～50.5	21.2	0.978

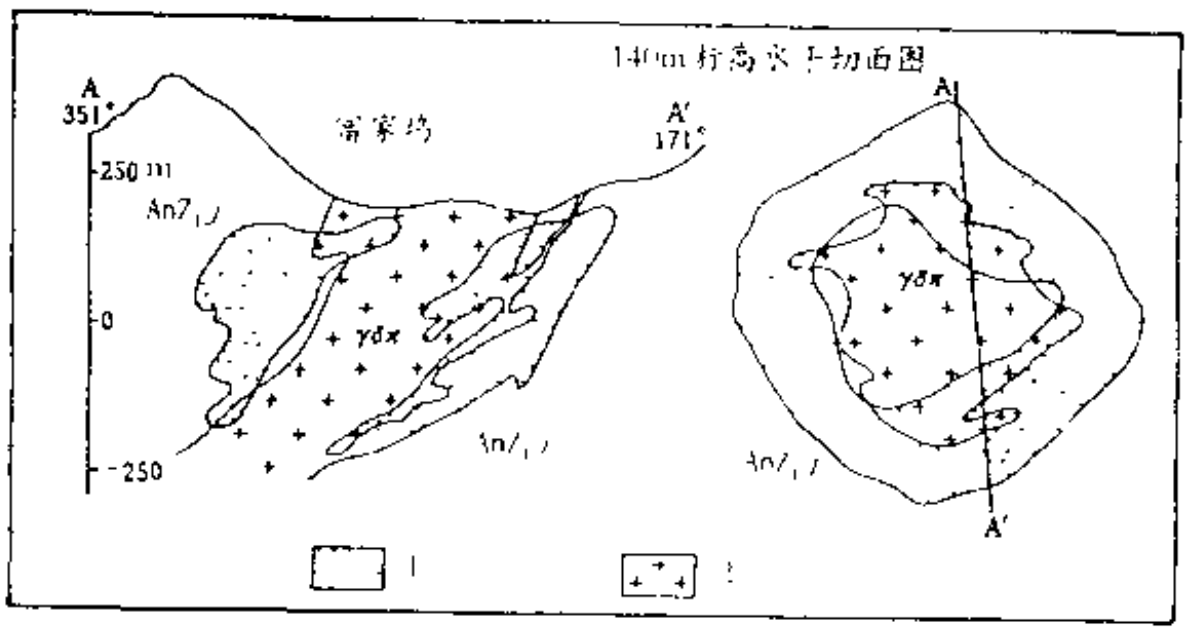


图 2-35 富家坞矿体的剖面和平面形态

Fig. 2-35 Plan and section showing the shape of Fujiawu ore body respectively

1 Cu (0.4%) 矿体；2 花岗闪长斑岩

矿石矿物：富家坞的矿石矿物与铜厂的基本相似，可参考铜厂一节的叙述，本节不再赘述。主要金属硫化物在矿石中的分布，富家坞矿床的镜下统计如下：黄铁矿 3.30%，黄铜矿 1.39%，辉钼矿 0.053%。黄铁矿：黄铜矿：辉钼矿为 2.4：1：0.038。黄铜矿在铜矿物中占 90%以上，其次为斑铜矿、黝铜矿和辉铜矿。

矿石结构构造：与铜厂的基本相似，本节不再赘述。

矿石储量、品位及化学成分：富家坞矿床有铜储量 257.26 万吨，铜品位为 0.501%；钼储量为

1575±5t，钼品位为0.033%；伴生金含量0.05g/t，钴含量为0.0021%，硒含量为0.0015%，原生矿石以原生硫化铜为主，通常占铜储量的90%左右，次生硫化铜占5%~10%，氧化铜和硫酸铜小于5%。可利用元素除铜外，伴生有益元素有铜、金、银、铼、镍、钴、硫、硒、碲、钛、钾、铂族元素等，矿石中有害杂质元素主要为砷、锌、镁等，砷平均为0.007%，锌含量通常小于0.01%，氧化镁一般小于2%，符合现行工业指标要求。

三、围岩蚀变

富家坞矿床的围岩蚀变基本与铜厂的相似，只是蚀变矿物含量有所差异，为此列表2-26可与铜厂的进行对比。

表2-26 富家坞斑岩铜（钼）矿各蚀变带岩石的矿物成分变化对比

Table 2-26 Mineral content of rock in alteration zones of Fujiawu porphyry-type Cu (Mo) deposit

蚀变程度	原岩	微弱	中等	强烈	强烈	中等	微弱	原岩
岩石类型	花岗闪长斑岩 $T\delta\pi$	$T\delta\pi^2$	$T\delta\pi^1$	$T\delta\pi^2$	接触带-千枚岩 H_1	H_2	H_2	H_1
斜长石	18.75	11						
钾长石	15.50	8						
普通角闪石	8.25							
黑云母	1.75	2						
石英	20.50	23	32	36	31	23	9	1
水云母类		28	31	46	61	52	70	81
绿泥石类		14	21			17	13	14
绿帘石		1	5				1	
钠长石		1						
碳酸盐类		2	3	3	4	5	3	
硬石膏		2	2	2	1	1	1	
磁铁矿*	5261	2950	125	73	150	291	112	21
磷灰石*	351	87	13	5				
锆石*	194	100	130	153	微量	少量	少量	少量
榍石*	145	19	13					

注 *以$\times10^{-6}$计；其他含量以%计

下面对富家坞矿床蚀变过程作些说明：

钾硅酸盐蚀变：主要以石英-钾长石脉形式出现，测得钾长石脉的K-Ar同位素年龄为152~157Ma，与花岗闪长斑岩K-Ar同位素年龄163Ma相差甚短，说明钾硅酸盐蚀变等随斑岩岩浆晚期形成，是斑岩岩浆晚期独立流体相与已结晶的斑岩和邻近围岩成生交代反应的结果。钾硅酸盐蚀变产物主要为钾长石，其次为黑云母、硬石膏和钠长石等。

石英-绢云母-绿泥石化：蚀变绢云母的K-Ar同位素年龄为112Ma，此时花岗闪长斑岩结晶已有很长时间隔。在此段时间内，构造运动使上部斑岩接触带发生密集裂隙带，但下部岩浆房还在继续排放富碱质富挥发性流体，并带动天水对流循环，形成混合流体相，最终使接触带周围岩石（斑岩和千枚岩等）发生以水解为主的交代作用。角闪石和黑云母分解成绢云母和石英等，铁质与硫化氢结合形成大量黄铁矿，从而形成石英-绢云母-绿泥石化带。

碳酸盐-硫酸盐化：岩浆房固结的晚期，还有一些余热的作用，带动天水的对流循环，热流体的物理化学条件慢慢恢复地壳表面状态。此阶段形成的蚀变物主要为方解石、白云石、铁白云石和石膏等，其次为锰菱铁矿、萤石、重晶石和沸石等。

四、稳定同位素

硫同位素：富家坞及附近的硫磺矿的硫化物硫同位素组成如表2-27，而硫酸盐的硫同位素$\delta^{34}S$变化范围为$-0.6‰$~$1.0‰$，平均值为$0.18‰$；硫磺矿硫化物硫同位素$\delta^{34}S$值为$0.5‰$~$1.3‰$，平均值

为 ‰）。这说明富家坞和硫磺矿硫化物硫同位素组成是均一的，基本与陨石硫比较接近。富家坞硫酸盐硫同位素 $\delta^{34}S$ 变化于 6.1‰～7.6‰之间，平均值为 7.1‰（表 2-28），这说明与海水硫酸盐硫同位素组成有很大差别，这些硫酸盐的硫源不是来自海水硫酸盐，而是主要来自深部硫源。

表 2-27 富家坞矿床硫化物硫同位素组成

Table 2-27 Sulfur isotope composition of sulfide in Fujiawu copper deposit

矿床	矿物	样品数	$\delta^{34}S$	
			变化范围	算数平均值
富家坞	Py	8	0.6～1.0	0.[illegible]
	Cp	3	0.1～1.0	[illegible].4
	Py+Cp	11	0.6～1.0	4.5
硫磺厂	Py	4	0.5～1.3	0.[illegible]

表 2-28 富家坞矿床硫酸盐硫同位素组成

Table 2-28 Sulfur isotope composition of sulfate in Fujiawu copper deposit

标本号	采样位置及产状	矿物名称	$\delta^{34}S$
FS-16	ZK703，307m；钾长石化花岗闪长斑岩中石膏细脉	石膏	[illegible]
FS-22	ZK703，367m；石英钾长石化凝灰岩千枚岩中石膏细脉	石膏	[illegible]
FS-24	ZK703，372m；石英钾长石化凝灰岩千枚岩中硬石膏细脉	硬石膏	[illegible]
FS-26	ZK703，383.5m；石英钾长石化凝灰岩千枚岩中硬石膏细脉	硬石膏	[illegible]
FS-29	ZK703，422m；石英钾长石化凝灰岩千枚岩中硬石膏细脉	硬石膏	[illegible]
平均值			[illegible]

表 2-29 富家坞矿床氧同位素组成

Table 2-29 Composition of O isotope in Fujiawu copper deposit

样品编号	样品产状及描述	平均温度 ℃	$\delta^{18}O_{[illegible]}$ ‰	$\delta^{18}O_{水}$ ‰
F301-1	石英，产于花岗闪长斑岩中原生石英	600	9.99	[illegible].02
F301-2	石英，产于花岗闪长斑岩中原生石英	600	8.17	6.[illegible]
F1107-1	石英，产于强蚀变的花岗闪长斑岩中石英硫化物脉	325	9.18	1.91
F1107-2	绿泥石，混有水白云母，产于花岗闪长斑岩中绿泥石-水白云母化带	200	4.57	

表 2-30 富家坞矿床石英中流体包裹体成分分析结果

Table 2-30 Composition of fluid inclusion in quartz of Fujiawu copper deposit

矿体名称	样品编号	分析结果（$\times 10^{-4}$）								K^+/Na^+
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	CO_2	盐度‰	
富家坞	DF0.3	1.559	1.304	0.485	0.145	0.034	2.497	10.187	6.02	1.196
	DF058	0.375	2.610	0.494	0.077	0.013	3.199	5.630	6.77	0.144
	DF060	9.745	1.858	0.317	0.626	0.097	1.928	3.805	14.63	5.247
	DF061	2.060	1.650	0.667	0.156	0.034	2.002	4.076	6.57	1.248
	DF064	1.325	0.643	0.352	0.170	0.012	0.608	2.562	3.23	2.067
	DF071	1.940	0.990	0.189	0.670	0.023	2.289	3.010	[illegible].06	[illegible].960
	DF101	2.339	3.756	0.611	1.349	0.043	2.339	3.155	13.50	0.62[illegible]
	DF105	2.010	5.[illegible]40	0.803	0.917	0.024	4.703	3.499	15.15	0.36[illegible]
	平均	2.669	2.281	0.339	0.539	0.035	2.152	4.744	8.12	1.170

注 根据冶金工业部地质研究所，1984

表 2-31　富家坞矿床石英中流体包裹体与成矿有关元素和成分分析结果

Table 2-31　Composition of elements related to ore-forming in fluid inclusion of quartz in Fujiawu copper deposit

矿床名称	样品编号	分析结果 (w_B 10⁻⁶)												
		Cu	Pb	Zn	Fe	Co	Ni	Al_2O_3	Mo	Mn	Ag	Cr_2O_3	Ga	BaO
富家坞	DF013	痕量	痕量		痕量			2620	220	220	痕量			
	DF038	200			370	50	痕量	750	50	750				
	DF063	170	80		2850		40	96300	40	80				
	DF061	1430		1150	痕量		30	痕量	痕量	230				
	DF064	29												
	DF071	80			痕量			1910	50	50	20			
	DF104	781	357	357	2657		4			20				
	DF105	781			218						0.6			

注　根据冶金工业部地质研究所，1984

氧同位素：富家坞氧同位素组成如表 2-29。由表 2-29 表明斑岩与混合流体发生反应的演化趋势，由花岗闪长岩岩浆氧逐步演化为天水氧同位素组成。

五、流体包裹体

富家坞矿床的流体包裹体包括气体包裹体、多相包裹体、气液包裹体和含 CO_2 包裹体。气液比通常变化于 10%～40%，少数达到 50%～80%。多相包裹体的子晶矿物主要有石盐、钾盐和硬石膏等。含 CO_2 包裹体中 CO_2 体积含量变化于 10%～15%。大多数流体包裹体直径变化于 5～10μm，少数达 10μm 以上。大多数流体包裹体均一温度变化范围在 110～360℃，少数达到 540～680℃。石英中硫体包裹体的成分分析测试结果如表 2-30，其中液相中与成矿有关元素和组分如表 2-31。

流体包裹体中主要离子比值如下：$[K^+]/[Na^+]$ 变化于 0.114～5.245，平均值为 1.557；$[Ca^{2+}]/[Mg^{2+}]$ 变化于 0.269～6.416，平均值为 2.099；$[Cl^-]/[F^-]$ 变化于 20.133～246.077，平均值为 96.560。此外，流体包裹体含有不等量成矿元素，其中铜变化于痕量至 1430×10⁻⁶，铅变化于痕量至 80×10⁻⁶。锌变化于痕量至 1150×10⁻⁶，钼变化于痕量至 220×10⁻⁶之间。

六、矿床成因讨论

富家坞铜矿产于江南台隆与钱塘坳陷交接带的隆起一侧，燕山期浅成花岗闪长斑岩岩浆侵位，热液蚀变和矿化活动均受赣东北深断裂带的控制。燕山期在婺源-德兴-弋阳-东乡一带安山质岩浆喷发，浅成—超浅成斑岩体侵位属于本期中酸性火山喷发的一个有机的组成部分，很可能属于本次火山喷发的管道相。中元古界双桥山群由于富含成矿金属组分，被一部分地质学家作为矿源层看待。矿体产于燕山期钙碱性复式花岗闪长斑岩小岩株的顶部和周围围岩，认为属于成矿的主要“贡献者”。富家坞矿床的热液蚀变和矿化等主要地质特征均可以与较典型的斑岩型矿床进行对比，故将其划为斑岩型铜（钼）矿床。

第三节　西藏江达县玉龙铜矿床

一、大地构造位置

玉龙铜矿带位于西南三江褶皱带东部羌塘-昌都微陆块中的玉龙-徐中陆缘山盆中。羌塘—昌都微陆块东隔金沙江断裂带与扬子陆块相望。

二、矿区地质

（一）地层

玉龙铜矿带地层主要为三叠系，最老为奥陶系，由下而上为：

下奥陶统青泥洞组（O_{1q}）：为石英砂板岩、板岩、千枚岩与大理岩互层，厚度大于1000m。

泥盆 石炭系：灰色灰岩、大理岩、白云岩夹紫色薄层砂页岩，厚度大于500m，不整合于青泥洞组之上。

上三叠统：自下而上分为甲丕拉组、波里拉组和阿堵拉组。甲丕拉组为红色砂岩、含砾砂岩；波里拉组为生物灰岩夹白云岩；阿堵拉组为砂页岩和粉砂岩。

（二）构造

自西向东由妥坝复背斜、玉龙复向斜、青泥洞-海通隆起和第三纪贡觉断陷盆地组成。褶皱总体呈向SE突出的NNW走向。断裂发育，其走向与褶皱方向一致，呈NWW和NNW向，主要为具平移性的压扭性断裂，倾向主要为北东，倾角较陡。极少数断裂呈NE走向。

（三）岩浆活动

玉龙矿带的岩浆活动在加里东期仅见下奥陶统有少量火山碎屑岩。华力西—印支期主要为海相和海陆交互相基性—中酸性喷发火山岩，印支期并伴有中酸性岩浆侵入。燕山期也以中酸性侵入为主，并伴有铜钼等矿化作用。喜马拉雅期岩浆活动强烈，是本区最主要活动时期，以酸性-中酸性侵入作用为主。玉龙铜矿带从印支-喜马拉雅期广泛发育的酸 中酸性浅成-超浅成侵入体，多达近百个，主要为二长花岗斑岩和花岗斑岩，多数侵位于三叠系中，这些岩体出露面积一般小于$1km^2$，呈岩筒、小岩株、岩枝和岩瘤，空间形态多呈蘑菇状、倒水滴状等上大下小的陡倾体。岩体与围岩呈交错参差接触，边界清楚，个别有混染现象。按同位素年龄大体可分为三组，同位素年龄为57～41Ma、以玉龙、夏日多岩体为代表；41～35Ma，以多霞松多、马拉松多和扎拉尕为代表；35～25Ma以莽总岩体为代表。其岩性主要为二长花岗斑岩、花岗斑岩、石英二长（斑）岩、正长斑岩和花岗闪长（斑）岩等。它们伴随着铜钼等矿化作用。

三、矿床地质

（一）地层矿床范围出露地层主要为上三叠统，自下而上为：

甲丕拉组（T_3j）：原岩为紫红色泥质粉砂岩和粉砂质泥岩夹砂岩。但已蚀变为灰-深灰色石英云母角岩，夹角岩化砂岩，近岩体部位有铜钼等矿化。远离岩体则变为青磐岩化角岩，厚199m。

波里拉组（T_3b），分为上中下三段：

下段（T_3b^1）原岩为灰岩，已蚀变为大理岩或白云质大理岩，并含有硅灰石、硅镁石、方柱石、透辉石和透闪石等蚀变矿物。在与岩体接触带蚀变为绿帘石、石榴子石等夕卡岩，具铜、铅、锌等矿化。

中段（T_3b^2）下部为灰-灰紫色石英砂岩、钙质砂岩与页岩互层；中部为灰-深灰色中-厚层泥质灰岩和生物碎屑灰岩夹泥砂质条带。具大理岩化、夕卡岩化、硅化等蚀变。在与岩体接触带有工业铜矿体。上部为灰-深灰色含长石岩屑钙质石英砂岩与砂质灰岩互层。

上段（T_3b^3）原岩为深灰-浅灰、中-厚层状灰岩，含燧石团块和条带。局部蚀变成石榴子石、绿帘石夕卡岩，并具铜、铁、铋等矿化。

阿堵拉组（T_3a），灰色斑点状页岩，具角岩化。

（二）构造

矿区为一褶皱，恒星错—甘龙拉背斜。背斜由上下三叠统组成，背斜轴部为马拉松多组，轴向NW、延伸约30km，向两端倾伏。玉龙含矿斑岩体受背斜倾伏端控制。

（三）含矿斑岩体

为黑云母二长花岗斑岩复式岩体。从侵入顺序为二长花岗斑岩→花岗斑岩→石英二长斑岩→钠长斑岩→长英岩脉组成。K-Ar年龄为37.9～57.9Ma，Rb-Sr年龄为41.0Ma。复式岩株平面上呈梨形、剖面上呈蘑菇状，被动侵入，岩体与围岩呈犬牙交错、参差不齐、垂直方向交替出现、岩枝岩脉多次穿插交织等一系列复杂的接触关系，但其界线清楚，仅个别部位出现同化混染而呈过渡关系。岩体边缘、顶部或其顶盖，常见因构造作用和隐爆成因的角砾岩，出露面积$0.63km^2$。围岩主要为上三叠统甲丕拉组凝灰质泥岩、粉砂岩夹砂岩，波里拉组灰岩、泥灰岩，阿堵拉组页岩。岩石主要矿物为钾长石、斜长石、石英、黑云母、角闪石，副矿物为磁铁矿、榍石、磷灰石、锆石和金红石等。

含矿斑岩的平均化学成分：SiO_2 68.21%，TiO_2 0.38%，Al_2O_3 14.55%，Fe_2O_3 1.56%，FeO 1.31%，MnO 0.04%，MgO 1.29%，CaO 1.25%，Na_2O 3.00%，K_2O 5.26%，P_2O_5 0.21%，SO 1.61%，属正常成分的钙碱性系列。岩石的皮科克指数为 58.0～59.4，里特曼指数平均为 2.88，自然组合指数为 1～3，赖特碱度指数平均为 2.53，属钙碱性岩石系列。

斑岩中 Cu、Mo、Ag、Au、Co、V、Cr、W、Sn、Pb、Zn 以及稳定元素 Nb、Y、Yb、Zr 等含量均普遍高于维氏酸性岩，Mo 高出 5～8 倍，Cu 高出 10～110 倍，Ag 高出 20～50 倍，Au 高出 2～6 倍矿化剂元素 S、F、Cl、B、CO_2 含量也远高于维氏值。斑岩中稀土含量普遍低于维氏值，并具有很小的负 Eu 异常。岩石的固结指数变化于 3.25～23.58 之间。

（四）矿床

1. 矿体的形态和产状

玉龙铜矿由多个主要矿体在空间上连接在一起，纵断面上呈蘑菇状。筒状矿体构成“蘑菇茎”，其产状直立或向北陡倾，下段横截面呈圆形，直径大于 500m，面积为 0.1～0.5km^2；上段因不均匀向外扩张，呈椭圆形，面积约 0.67km^2，长轴近南北向，长近 1000m。中空的环状似层状矿体构成“蘑菇盖”，向外缓倾并成楔形变薄，水平投影面积约 2.2km^2，周长约 6km（图 2-36、图 2-37）。

呈蘑菇盖的似层状矿体，呈环宽平均约 300m 的环状沿岩体四周及外接触带角岩带连续分布，水平投影面积约 1.6km^2。在斑岩体内，矿体下延自海拔 1321m 至 1120m 间，铜矿体呈空心圆筒状产出，再往下的岩体中，铜矿化整体上已达不到工业品位，但其中仍见有由氧化矿石组成的脉状铜矿体，推测是沿岩体中的断裂破碎带产出。据此认为，无矿核的某些地段，可能还是脉状铜矿分布带。角岩带中的铜矿体宽约 30～50m，向外以分叉尖灭形式渐变为非矿角岩。

似层状矿体分布在岩体的东、西、南侧，即倾伏背斜的两翼和倾伏端，矿体的宽度和厚度均较大，北端则窄而薄。似层状矿体由上矿层和下矿层组成。上矿层在东北部由岩溶型准块状富矿组成，其平均铅垂厚度为 19.30m，西部平均厚度为 49.35m，西南部厚度大于 90.56m（未打穿底板），是目前已知最大厚度，其含铜平均品位为 4.71%。东北部矿体大部分出露地表，遭受了剥蚀，厚度较小；西部的平均厚度可能代表矿体原有厚度。

下矿层由产于角岩层顶部和下夕卡岩层的细脉浸染状矿石组成，矿层平均厚约 45m，其中约 2/3m 为表外矿。靠近岩体一侧厚大完整，在东部其厚度为 85.12m，为现已控制的最大厚度。平均含铜品位为 0.85%，矿层向外往往出现分支，然后逐渐尖灭。准块状矿层四周界限明显，均为突变过渡；细脉浸染状矿层除顶界外，界限不明显，为渐变过渡。

此外，在主矿体外围零星散布有一些次要矿体，它们的形态及分布概况如下：

铁钨铋矿体：断续分布于岩体西侧接触带中，即在似层状矿体内侧顶板中产出，且常与似层状矿体相连，形态不规则。该矿体的部分地段，铜含量也可达到工业品位，从而成为铁铜钨铋矿体，为接触交代型矿体。

铅锌银矿体：零星分布于似层状矿体顶板大理岩（或结晶灰岩）中，呈脉状和团块状，或呈浸染状产于大理岩角砾破碎带中，形成透镜状矿体。脉状矿规模小，单脉厚一般数厘米至十余厘米。团块直径一般为 10～20cm，脉和团块构成的矿体厚一般为 3～5m，已知最厚度达 38.5m，平均含铅 3.33%，锌 1.16%，银约 100×10^{-6}，其成因应属热液型。

甘龙拉铜矿体：分布于矿区北缘甘龙拉山口西侧的碳酸盐岩层底部，为已氧化的块状富矿，与岩溶型主矿体的氧化铜矿石特征类似，地表拣块样铜品位为 2%～3%。矿体的规模不大。

此外在角岩层中还有零星小铜矿体；在岩体的西南缘探槽中见有爆发角砾岩筒型矿化体；矿区西边西沟下游，浮土中含铜达 1%～4%，构成浮上矿。

2. 矿化亚型

玉龙矿床可划分出斑岩（细脉浸染）亚型、斑岩-岩溶亚型和斑岩-接触交代亚型等 3 个矿化亚型。

斑岩（细脉浸染）亚型：矿体分布于斑岩体内及其周围的角岩层中，其铜金属储量仅次于斑岩-岩溶型。它是惟一的具工业意义的低品位铜矿。可分为四种矿化组合类型：①含铜钼矿化组合：位于北

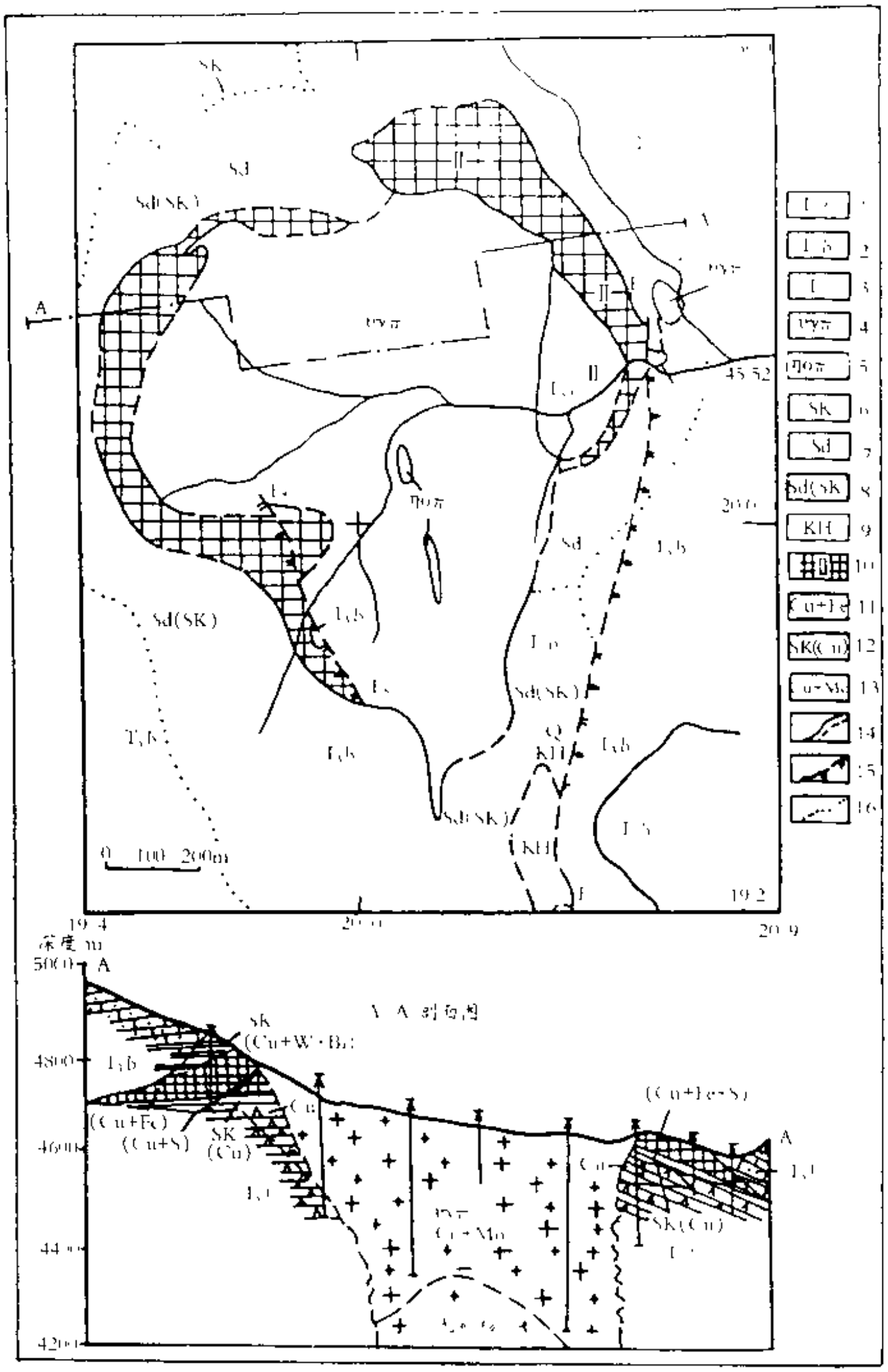


图 2-36 玉龙矿床地质图

Fig. 2-36 Geological map of Yulong deposit

1—阿堵拉组板岩；2—波里拉组碳酸盐岩夹砂泥岩；3 甲丕拉组角岩、砂质角岩；4— 长花岗斑岩；5—钠长斑岩、石英钠长斑岩；6—夕卡岩化带；7—大理岩化带；8 大理岩化夹夕卡岩化硅化带；9 铁铜矿化带；10 矿体及编号，11 岩溶型块状矿体及矿种；12-- 接触交代型矿体及矿种；13 细脉浸染型矿体及矿种；14—实测及推测地质界线；15 实测及推测断层及编号；16 蚀变带界线

部、矿体已知厚 51.3m，平均含钼 0.057%、铜 0.27%；②铜钼矿化组合，位于中偏北部，已知厚 355.8 m，平均含铜 0.6%，钼 0.035%；③铜矿化带，位于南部，钻孔中见矿厚 310.5 m，平均含铜 0.68%，钼 0.008%；④含钼表外铜矿化组合。

斑岩-岩溶亚型：为似层状矿体上矿层和其顶部碳酸盐岩层中的部分铅锌矿体和褐铁矿矿体，形成

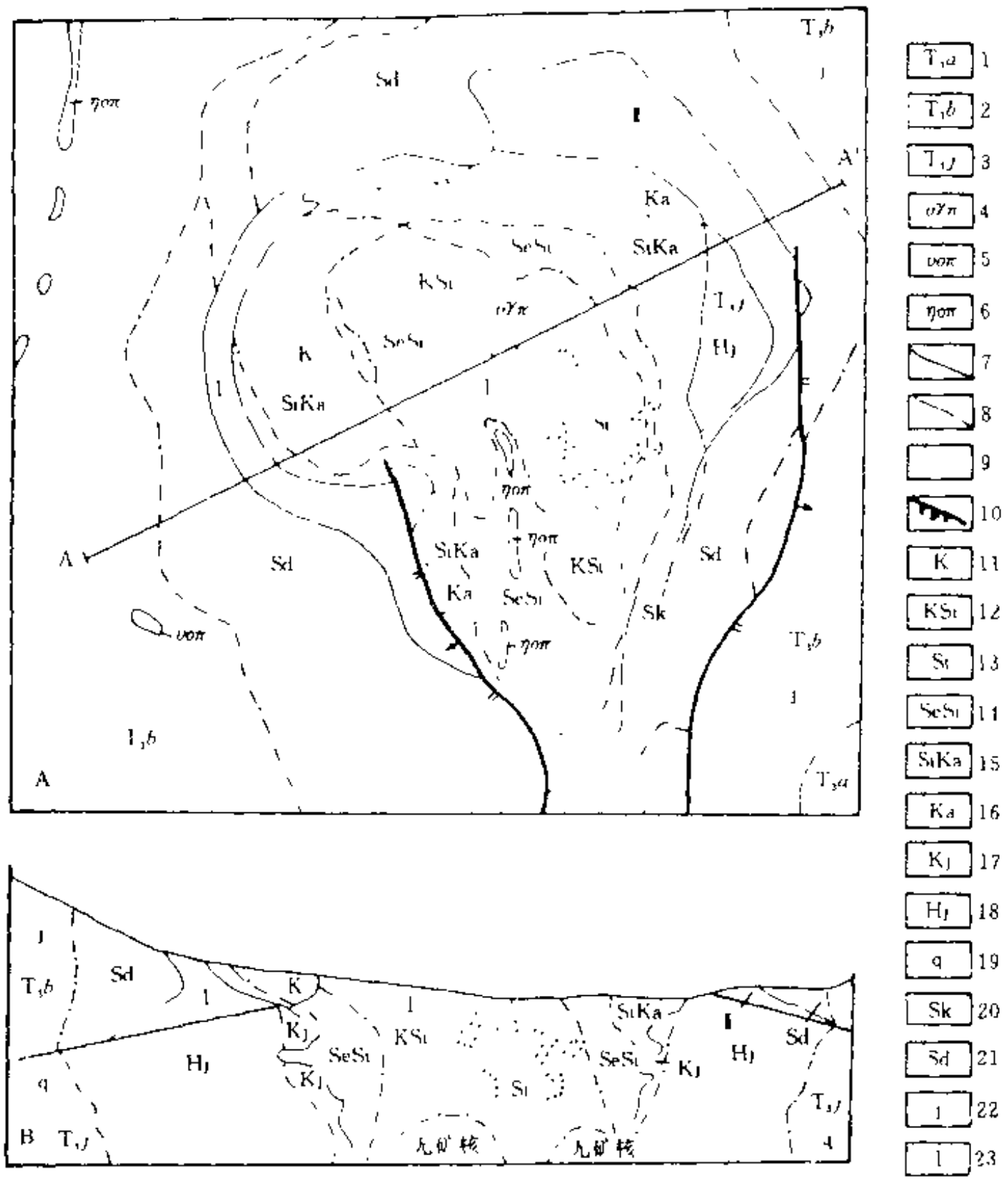


图 2-37　毛龙矿床蚀变分带图

Fig. 2-37　Sketch of alternation zoning in Yulong deposit

1. 阿堵拉组；2　波里拉组；3－甲丕拉组；4　长花岗斑岩；5　石英二长斑岩；6　石英钠长斑岩；7　地质界线；8　蚀变带界线；9　蚀变亚带界线；10　断层；11　前蚀变带界线；12　钾硅化带；13　强硅化带；14　绢英岩化带；15　硅化粘土化带；16－强粘土化带；17　钾化绢云母化带；18　绢英岩化带；19－青磐岩化带夹；20　夕卡岩化带；21－大理岩化带；22　结晶灰岩带；23－矿体编号

于斑岩体四周的碳酸盐岩层下部。似层状矿体规模大、连续性好，铜及伴生有用组分品位高，是本矿区最重要的亚型。其矿化自上而下大体可分为四层（带）：①氧化铜矿层，厚 3～15m，含铜 8%～10%，最高单样达 23%，主要为孔雀石和蓝铜矿、赤铜矿辉铜矿等，属氧化富集型矿石；②氧化贫铜铁矿层，厚 2～63m，平均数 8～20m，由褐铁矿、赤铁矿、辉铜矿、赤铜矿和黄钾铁矾等组成。矿石含铜0.3%～1%，含铁 25%～55%，还有少量的钨、铋等；③次生富集铜矿层，厚 6～13m，含有辉铜矿、蓝辉铜矿、黄铜矿、赤铜矿、孔雀石、铜蓝以及黄铁矿等组成，矿石含铜 4%～9%，单样最高达 25.71%，东北部矿石含金(4～6)×10⁻⁶；④黄铜黄铁矿层，厚 7～10m，矿石矿物主要为黄铜黄铁，矿石含铜1.4%～2.7%。

斑岩-接触交代亚型：为早、中期岩浆热流体成矿作用的产物。矿体分布于外接触带夕卡岩、大理岩、硅化灰岩、夕卡岩化砂泥质岩中。有用矿物多呈细脉浸染状，少数呈稠密浸染状分布。有用矿物组合以中温黄铁矿-黄铜矿-石英组合和中高温白钨矿-辉铋矿组合为主，极少出现磁铁矿-磁黄铁矿组

合。矿化体可分为①似层状接触交代型铜矿带：产于角岩层和大理岩层的过渡层（原岩为泥灰岩）中。赋矿岩石主要为钙铝榴石夕卡岩，多为全层矿化，围绕含矿岩体接触带形成一圈基本上是连续稳定的工业矿层，宽可达200m，厚一般为3～1m。以黄铁矿、黄铜矿为主，多呈细脉浸染状分布，内带铜含量约为1%，外带约为0.5%；②接触交代型铜、钨、铋矿带：常产于碳酸盐岩层的砂泥岩夹层及其顶、底板中，赋矿岩石为钙铝榴石夕卡岩、硅化灰岩、变质砂泥质岩等。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、白钨矿、辉铋矿及其次生产物，呈浸染状或细脉浸染状，主要分布在西北部外接触带，连续矿化长度大于800m，见矿铅直厚大于43.5m，矿层平均含Cu 0.26%～0.41%，WO_3 0.117%，Bi 0.066 %。

3. 矿石成分

矿石的矿物成分：矿床矿石类型和矿物种类均较繁多，现已发现矿物70余种，其中金属矿物10种，非金属矿物36种。原生主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿，次要矿物为辉铜矿、黝铜矿、铜蓝、磁铁矿、赤铁矿、针铁矿等，微量的有自然金、自然银、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿、方黄铜矿、磁黄铁矿、辉铋矿、铅铋银矿、硫铋银矿、白铁矿、白钨矿、钛铁矿等；表生金属矿物主要为辉铜矿、褐铁矿、软锰矿、孔雀石，次要的有斑铜矿、铜蓝、赤铜矿、黑铜矿、白铅矿、菱锌矿、蓝辉铜矿、钼华等。非金属矿物主要为石英、长石、多水高岭石、绢云母、白云母、高岭石，次要矿物有萤石、黑云母、钙铝榴石、电气石、绿帘石、透闪石、阳起石、钠长石、方柱石、石榴子石等。

矿石化学成分：含SiO_2 14.22%～22.01%，Al_2O_3 6.21%～15.56%，CaO 0.40%～15.93%，MgO 0.40%～1.22%，TiO_2 0.11%～0.15%，Na_2O 0.11%，K_2O 0.31%，TFe 10.61%～40.70%，MnO 0.09%～0.69%，S 0.10%～25.16%，Cu 1.01%～5.20%。矿床矿石含铜的平均品位：黄铜矿黄铁矿型3.10%，氧化富铜铁矿5.20%，氧化贫铜铁矿1.01%，氧化铜钴矿4.12%。铜金属储量计算结果为岩溶型矿体富铜矿金属储量占其总金属储量的80%以上；其余矿体则多为中、贫矿石。表外矿石不足5%。

矿石中伴生Mo、Au、Ag、Co、W、Bi、Pb、Zn、Pt、Re、Se、Te、S多种有益组分，前8种储量可达大型规模。其中Au的品位达0.3～0.1 g/t，少数达4×10 g/t，Ag达4～60 g/t，少数达810 g/t。

4. 矿石类型：主要有四种

产于斑岩体中的细脉-浸染状矿石：为斑岩型矿石。按主要组分可分为铜矿石、含钼铜矿石、铜钼矿石和含铜钼矿石。

产于夕卡岩和角岩中的细脉-浸染型矿石：有接触交代型铜钨铋矿石、接触交代型铜矿石、角岩型铜矿石和角岩型铜钼矿石和钼矿石。

岩溶型土状、准块状矿石：在古岩溶环境下形成。主要有块状黄铁黄铜矿矿石、次生富集铜硫矿石、氧化富集富铜铁矿石、氧化贫铜褐铁矿矿石（铁帽）、土状氧化铜矿石、氧化富铜矿石、土状氧化富铜钴矿石、土状氧化铜钴铁矿石和土状氧化铜铅锌矿石等。

产于大理岩层中的铅银矿石：多为方铅矿矿石，与褐铁矿共生，呈团块状或脉状产于大理岩中。

5. 矿石的结构构造

矿石结构：矿石结构分为半自形-他形结晶结构、交代溶蚀和交代残余结构、固溶体分离结构、揉碎结构、压碎结构和胶结结构等。

矿石构造：以细脉浸染状构造最为主要，其次为浸染状构造和脉状构造、角砾状构造、块状构造、土状构造、鲕状-豆状构造、胶状构造、多孔状构造、蜂窝状构造等。

6. 矿物共生组合，综合为12类

(1)石榴子石-阳起石-透闪石-石英-磁铁矿-金属硫化物组合：呈致密块状，分布于岩体北端接触带，量很少。

(2) 石英-白钨矿-辉秘矿-黄铜矿-黄铁矿组合：氧化后则成为石英-白钨矿-泡铋矿-孔雀石-褐铁矿组合。呈细脉浸染状分布于波里拉组的夕卡岩、变质砂泥岩和硅化灰岩夹层中。

(3) 阳起石-透闪石-金属硫化物组合：是层状接触交代型矿体的主要矿物共生组合。

(1) 钾长石-黑云母 金属硫化物组合：多呈浸染状出现在岩体中心。

(5) 石英 钾长石-黑云母 金属硫化物组合：为钾硅化带的矿物共生组合，呈细脉浸染状产出。

(6) 石英 绢云母 金属硫化物组合：呈细脉浸染状形成较强的铜矿化，其中开始有少量辉铜矿产出。

(7) 石英-高岭石 金属硫化物组合：为硅化粘土化带的矿物共生组合，铜矿物以辉铜矿为主，多交代黄铜矿、黄铁矿。辉铜矿呈细小鳞片状散布于粘土中。

(8) 绿泥石-绿帘石-金属硫化物组合：多呈细脉状出现于角岩的节理裂隙中，硫化物以黄铁矿为主，黄铜矿次之。

(9) 块状多水高岭石-蛋白石-金属硫化物（黄铁矿为主，黄铜矿、辉铜矿次之）组合：为岩溶型矿体内带（或根部带）的主要矿物共生组合，构成铜硫矿石。

(10) 粘土（多水高岭石为主）-孔雀石-蓝铜矿-褐铁矿组合：为似层状矿体顶部矿物共生组合，构成氧化富铜矿石。当铅、锌矿物含量增多，则成为氧化铜铅锌矿石。

(11) 块状褐铁矿-石英-粘土组合：含结合铜与铜铁矿，构成贫铜褐铁矿矿石。

(12) 土状孔雀石-蓝铜矿-钴土-褐铁矿-软锰矿 粘土组合：形成富铜钴矿石和铜钴矿石。

以上顺序，基本反映了生成顺序，其中（1）～（3）类为接触交代型矿石的矿物共生组合；（1）～（7）类为斑岩型矿石的矿物共生组合；（8）为角岩铜矿石的主要共生组合；（9）～（12）类为岩溶型似层状矿体的矿物共生组合，是本矿床所特有，为斑岩型矿化发展增添了新的重要内容。

（五）矿化分带

玉龙铜矿矿化分带明显，主要有以下矿化带：

1. 细脉浸染型矿化带

岩体中心为强钾化带，矿化强度中等；岩体过渡外缘为钾硅化带，有一定绢云母化，铜钼矿化强，以细脉浸染状矿石为主；向外为角岩层，矿化发育于钾硅化和绢英岩化带，金属硫化物总量有所增加，但铜矿化强度降低，钼矿化消失；再向外进入青磐岩化角岩带，矿化基本消失；而第二期矿化纵向（近 SN）上，北段矿化较好，以钼为主，为含铜钼矿石带；南段以铜为主；中段铜、钼矿体均有，为铜、钼矿带，段内仍表现出北铜（较富）南钼（较富）的矿化趋势。垂向上，由上到下可分出渐变过渡的四个带：

弱矿化带：含矿岩石常为石英钠长斑岩，含铜约 0.12%，含钼低于 0.001%，不构成工业矿体；

强矿化带：发育于二长花岗斑岩中，钾硅化、绢英岩化均很发育，并常有晚期粘土化、硅化叠加，厚 100～200m，外缘厚富，中心薄贫，含铜 0.8%，合钼 0.01%～0.036%；

中等强度矿化带：含铜 0.4%～0.5%，含钼 0.001%～0.35%，厚 100～200m，其他特征同强矿化带；

无矿核或脉状矿化带：仍为二长花岗斑岩，矿化和钾硅化明显减弱，碳酸盐化出现，岩石新鲜。

2. 斑岩-接触交代型矿化，主要有两种矿化带。

接触交代型铜、钨、铋矿化带：分布于上夕卡岩层和近接触带穿层夕卡岩中。

接触交代型铜矿化带：分布于下夕卡岩层中，铜矿化主要在中温热液蚀变（绢英岩化）阶段形成，铜含量较斑岩和角岩中的细脉浸染状矿石高。另外，在局部地段（如北部接触带）出现有接触交代型块状磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿组成的矿石，但分布零星、稀少。

3. 斑岩-岩溶型矿化带

其总的特点是，由北往南、由内到外和由下向上依次出现块状黄铜黄铁矿带→块状贫铜铁矿带→土状贫铜贫铁矿带→氧化富铜矿带（孔雀石、粘土组合）→氧化富铜钴矿带（孔雀石、软锰矿、钴土、粘土组合）。

（六）围岩蚀变

1. 蚀变类型

玉龙铜矿的围岩蚀变主要有钾长石化、黑云母化、钠长石化、硅化、绢云母化、粘土化、电气石化、夕卡岩化和青磐岩化。

（1）钾长石化：表现为钾长石晶体的再生长、钾长石交代斜长石和黑云母斑晶、基质钾长石化、形成钾长石变斑晶和在斑岩体及泥沙质围岩中形成钾长石单矿物脉、钾长石-石英-金属硫化物脉、钾长石-黑云母脉等。

（2）黑云母化表现为黑云母交代角闪石、交代原生黑云母斑晶、黑云母斑晶的再生长、在斑岩和围岩中分布的黑云母脉和斑岩体围岩的黑云母化。

（3）钠长石化：有四种形式。①斜长石斑晶的钠长石化——镜下见到斜长石斑晶外缘生长出钠长石"裙边"；②基质钠长石化；③钠长石交代钾长石斑晶；④钠长石脉——钠长石呈细脉状或浸染状分布于角岩、青磐岩化蚀变带中。

（4）硅化：是最普遍和显著的一种蚀变，其表现①石英斑晶的熔蚀和再生长；②石英变斑晶的形成；③基质硅化——使基质变成钾长石、石英组合；④石英脉方向不一，互相穿插；⑤围岩硅化——以脉状产出为主。

（5）绢云母化：表现为①斜长石绢云母化；②黑云母的绢云母化；③钾长石绢云母化；④红柱石、夕线石的绢云母化；⑤绢云母脉——绢云母常和石英、金属硫化物一起以脉的形式产出。

（6）粘土化：主要形成水云母、蒙脱石（微晶高岭石）、高岭石、多水高岭石（埃洛石）等矿物，其表现形式为①斜长石粘土化；②钾长石粘土化；③黑云母粘土化；④石英粘土化。

（7）电气石化：一般分布于早期蚀变的前缘区，岩体内和围岩中均可见到，呈脉等形式产出。

（8）接触交代化、青磐岩化。

2. 蚀变分带

玉龙斑岩铜矿具广而强的蚀变，并具明显的分带（图 2-37）。

（1）含矿斑岩的蚀变分带　①钾化带：表现为钾交代，即钾长石化和黑云母化，钠长石化也常见，主要是次生钾长石、黑云母交代早期生长成的各种斑晶，交代往往不完全。②钾硅化带：以强钾交代和硅化为特征，蚀变岩中发育有大量的钾长石和石英，伴有少量黑云母脉。硅化主要表现为石英变斑晶的形成和再生长石及基质硅化，并伴有少量石英细脉（包括石英金属硫化物脉等）的产生。角闪石被次生黑云母取代，黑云母、斜长石斑晶明显减少，钾长石和石英的含量增加，岩石中 SiO_2 含量达 8：以上，原岩结构已被破坏，为块状石英脉岩或强硅化斑岩。③绢英岩化带：绢云母化、硅化相伴发生，显示蚀变进入氢交代阶段。原斑岩中的斜长石和钾长石均不同程度地被绢云母和石英交代，斑岩的结构仍清晰完整，原有石英往往次生增大；黑云母全部退色，同时析出氧化铁。本蚀变带分布于钾硅化带外缘，二者无明显界线，它基本上可与铜矿化带相对应，当有较强的硅化、粘土化叠加时也可成为铜钼矿带。钾硅化和绢英岩化与斑岩型细脉浸染状矿体相伴出现。④硅化粘土化带：主要表现为黑云母和长石类矿物的粘土化和低温梳状含矿石英脉的产生。原岩被改造成各种粘土矿物和石英组成的蚀变岩——硅化粘土化二长花岗岩。具辉铜矿化和辉钼矿化。⑤强粘土化亚带：在接触带裂隙发育的局部地段，粘土化极为强烈，岩石中不仅绢云母被进一步水解，而且石英也部分或全部被分解淋滤，基本上只剩下粘土矿物。⑥青磐岩化、碳酸盐化：叠加于其他蚀变带之上，钾化带上较为发育。它表现为绿泥石、绿帘石、钠长石、黄铁矿等矿的交代现象和碳酸盐等岩脉的产出，无明显的矿化伴生。

（2）含矿斑岩围岩的蚀变分带（图 2-37）　①红色砂泥岩和碳酸盐岩的热变质，形成红色砂泥岩的角岩化，表现为泥质组分重结晶，产生黑云母、石英、长石等矿物，岩石具角岩结构，由紫红色变成灰黑色；碳酸盐岩主要表现为大理岩化和钙硅质角岩化。当围岩为较纯的灰岩时，则形成大理岩和结晶灰岩；不纯灰岩则变质成主要由钙铝石榴子石组成，并常含阳起石、透闪石等顺层分布的夕卡岩，并形成接触交代型矿体。②角岩的蚀变分带　A. 钾硅化角岩带　以钾长石化、黑云母化和硅化为主，有较强的后期蚀变叠加，分布于接触带，矿化较强，铜矿化较岩体的钾硅化带好，常构成工业矿体。B. 绢英岩化角岩带　位于钾硅化角岩带之外，以绢英岩化为主，多以脉和团块的形式产出，保持原角岩的特性。各种金属硫化物细脉、电气石细脉、阳起石绿泥石细脉、石英绿泥石脉等发育，且有脉旁浸染交代现象。C. 青磐岩化角岩带　位于最外圈，以青磐岩化、碳酸盐化等中、低温蚀变为主。绿泥石、绿帘石、钠长石、黄铁矿呈细脉产出或交代原岩中钙泥质结核呈团块状产出。并有方解石脉和雯石脉

的生成。矿化不明显。③碳酸盐岩蚀变分带　分为夕卡岩带、大理岩带和结晶灰岩带。A. 夕卡岩带：它是由两类成岩机理不同的"夕卡岩"组成。夕卡岩化：在岩体与大理岩的接触带宽数米到数十米范围内夕卡岩化形成致密块状铁铜矿石。内接触带蚀变不明显。钙硅质角岩的蚀变：先形成含阳起石、透闪石、绿帘石、绿泥石等矿物的湿夕卡岩和硅化，进一步石英和金属硫化物呈以浸染状为主的细脉浸染状充填、交代夕卡岩。最后低温的粘土化、蛋白石、玉髓伴有辉铜矿、铜蓝等交代早期生成的金属硫化物。B. 大理岩带　主要为硅灰石化和粘土化，硅灰石化遍及整个大理岩层和部分结晶灰岩，叠加硅化、黄铁矿化等。局部有零星铅（银）矿脉和团块矿化。粘土化主要表现为多水高岭石交代。

（七）物探、化探异常

1. 物探异常

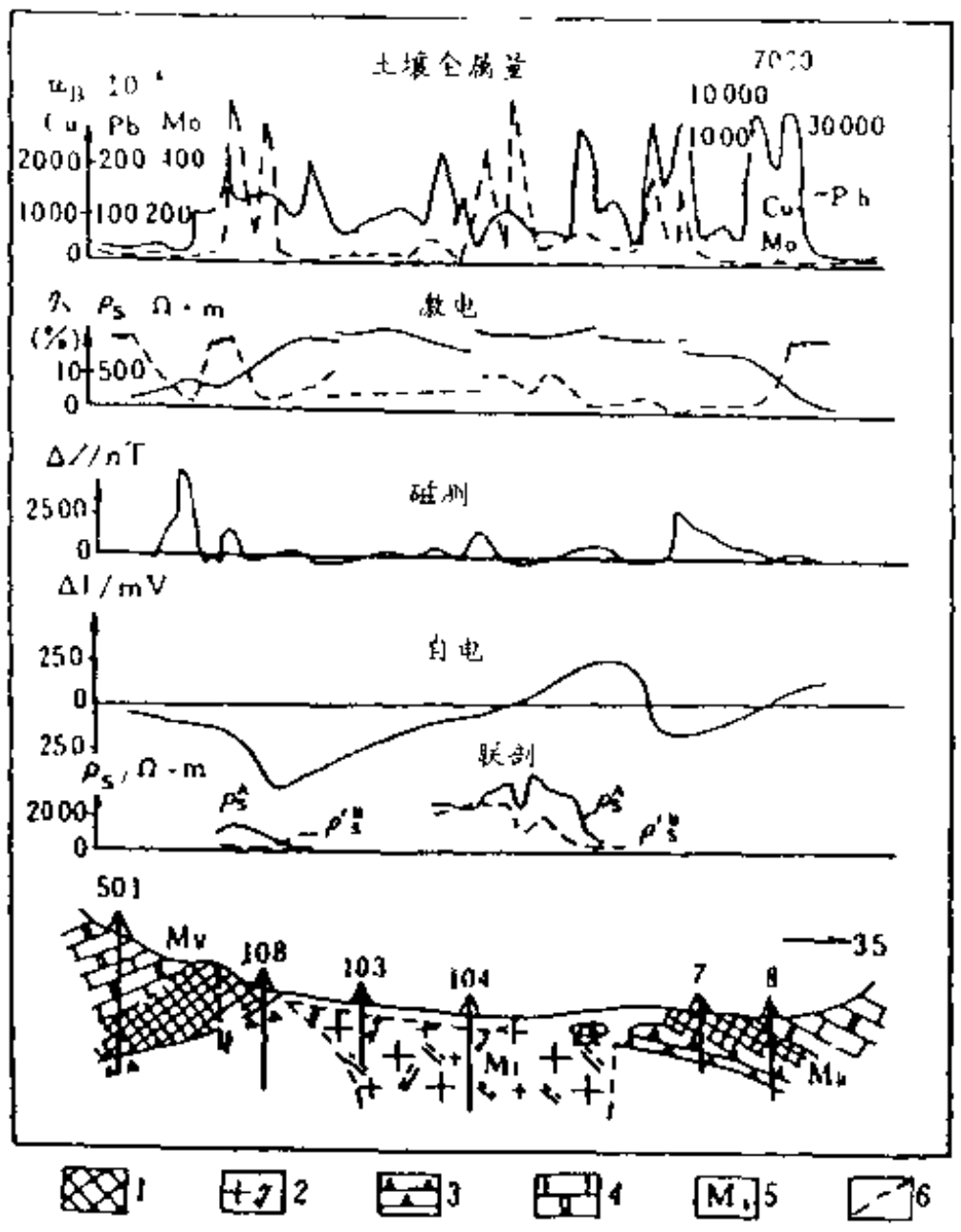


图 2-38　玉龙矿床 41 线综合剖面

Fig. 2-38　Integrated section of line 41 in Yulong deposit

1　外接触带矿体；2—含矿二长花岗岩；3　矿化角岩；4　白云质灰岩；5—异常编号；6—物化探推断岩体界线

铜矿床，具有明显或比较明显的激电（η_s、ρ_s）异常，η_s 值一般为 11%～18%、ρ_s 值约为 100～400Ω·m，激电测深曲线为 A、B 型。上龙矿床以 A 型为主、B 型次之的矿床，成矿地质条件好，可达大或特大型规模，明显的自电负异常，与激电 η_s、ρ_s 矿异常相伴出现（图 2-38）。在含矿斑岩体内，异常形态简单、稳定、连续性好，具一定规模，异常包围了整个岩体，其值一般为 $-n\times10$～100mV，负峰值达 −300mV。在接触带、破碎带，异常明显递增，强度大，梯度大，连续性差，其值一般为 −100～300mV，峰值达 −450mV 左右。斑岩铜（钼）矿床均伴有弱-中等强度（100～500nT）的磁异常。异常围绕含矿斑岩体（沿接触带）断续分布，其主体走向与矿区主体构造线基本一致，ΔZ 曲线圆滑梯度缓。内接触带之磁异常，一般形态低缓、舒展、圆滑，主要由矿体前缘的含铜褐铁矿赤铁矿等引起。

2. 矿床内矿化元素异常及其分带

在矿床及其蚀变围岩中，均具有以 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au、As、Bi、W 等元素组合为主的，比较清晰的，呈环带状分布的地球化学异常，其共同的水平分带模式是：内带为 Mo、Cu；内中带为 Cu、Mo、W、Bi、Au；外中带为 Pb、Zn、Ag、Cd；外带为 Sb、Bi。矿体范围内的主要成矿元素，具有以 Cu、Mo 为主的多元素组合，元素水平分带清楚，呈以矿体（斑岩体）为中心的对称环状，Mo 在内带，Cu、Au 等贯通矿体和接触带，Fe、W、Bi、S、Co、Ag、Pb、Zn 等在外带；在垂直方向上，由下而上为 Mo→Cu→Ag、Pb、Zn 等。矿体部位主要为 Cu、Mo，近矿为 W、Co、Bi 等，矿体上方为 As、Pb、Zn、As 等。

四、成矿作用

（一）同位素特征

铅同位素：玉龙二长花岗斑岩的实测初始锶比值为 0.7066±0.0001。玉龙铜矿带内 18 件样品的铅同位素组成：$^{206}Pb/^{204}Pb$ 变化为 18.608～18.888，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 变化为 15.583～15.6821，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 变化为 38.528～39.219；相对变化范围 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 0.282，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 0.194，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 0.597。表明铅同位素组成相当均一，与 Doe 等（1979）给出的造山带（岛弧带）铅同位素组成比较接近。

硫同位素：玉龙铜矿带内113件含矿斑岩及其围岩中的硫化物单矿物样（其中黄铁矿91件，黄铜矿11件，辉钼矿8件）硫同位素测定结果表明：110件硫化物的$\delta^{34}S$值变化为−0.1‰～5.5‰，变化范围窄，表明硫源主要来自上地幔或下地壳。3件白云岩和角岩中的黄铁矿的$\delta^{34}S$为12.0‰、13.8‰和−21.4‰，表明围岩中的硫具有不同的硫源，可能与原岩的沉积作用有关。

氢氧同位素：不同成岩成矿阶段的21件氢、氧同位素样的测定结果表明：含矿斑岩石英斑晶的$\delta^{18}O$为7.2‰～10.3‰，全岩的$\delta^{18}O$为10.62‰～12.58‰。带内含矿斑岩的$\delta^{18}O$为8.2‰。在各阶段$\delta^{18}O$的变化规律是：在钾长石化黑云母化阶段为3.2‰～5.5‰；石英水白云母水云母阶段为0.7‰～3.8‰（δD为−94.8‰）；泥化阶段为−0.6‰～0.2‰；绿泥石化绿帘石化碳酸盐化阶段为−6.8‰～3.3‰（δD为−102.1‰～−106.5‰）；主要金属硫化物沉淀阶段为2.0‰～5.0‰（δD为−100‰）。

以上表明成矿热流体主要为岩浆水混有天水而成的含矿热液。在主要蚀变矿化阶段，以岩浆水为主，但演化到晚期，热液逐渐发展到以天水为主。

（二）流体包裹体

含矿斑岩及其接触带围岩的矿物中，存在有气相、液相、含液态CO_2和多相（NaCl型和KCl-NaCl型）等各种类型包裹体。空间上，在含矿斑岩体中，各类包裹体同时并存，且高盐度的多相包裹体十分发育，子矿物种类繁多（石盐、钾盐、磁铁矿、赤铁矿、磷灰石、硬石膏等为数不少）。在接触带围岩中，普遍存在液相包裹体，偶见含液态CO_2包裹体；近矿围岩中可见NaCl型，但缺KCl-NaCl型多相包裹体；岩体顶部还见气相和少量的多相包裹体；时间上，成岩阶段以熔融包裹体和气、液包裹体为主；成矿早期主要为气相和液相包裹体及少量多相包裹体；中期，各类包裹体均发育，尤以多相包裹体最多，并以气相、液相和多相共存为突出特征；晚期，以液相包裹体为主，有少量气相和含液相CO_2包裹体。

成矿流体温压：大量测定的均一温度数据中，获得成岩成矿热流体的温度变化范围为118℃～115℃，但主要集中于600～160℃，包括了四个蚀变矿化阶段，即600～420℃的黑云母化钾长石化阶段，460～360℃的石英钾长石化阶段，380～280℃的石英绢云母化阶段300～160℃的粘土化青磐岩化阶段。金属硫化物的成矿温度范围为420～200℃，但铜、钼硫化物大量沉淀的最佳温度是350～200℃。

成矿流体盐度：成矿阶段KCl-NaCl型多相包裹体的含盐度变化范围为40%～55%。矿化高峰期K^+含量增加，Na^+含量下降，流体总盐度呈下降趋势。空间上，从岩体中心→边缘→围岩，盐度逐渐降低，变化梯度为（30%～50%）/km；时间上，从成矿早期→中期→晚期，盐度由低（3%～15%）→高（30%～50%）→低（6%～13%）。

成矿压力：用包裹体的均一温度和含盐度估算出其变化范围为8～30MPa。结合含矿斑岩产状、结构、石英斑晶普遍具熔蚀结构，可见有六方双锥状（β石英），斜长石斑晶普遍具正韵律环带，岩体边缘、顶部或顶盖，常见碎斑结构、碎裂结构和隐爆角砾岩等，矿床的形成深度为0.8～3km左右，属浅成—超浅成环境。

成矿流体的酸碱度：经测算为，钾硅酸盐蚀变阶段，pH值从8变化到4.5；到中晚期的绢英岩化阶段，pH值从4.5变化到2.5；晚期的青磐岩化阶段，流体转向偏碱性，pH值为5～8。矿带内硫化物沉淀主要发生在410～200℃范围内的钾硅化到绢英岩化阶段，介质的pH为4.2～4.5。大量硫化物析出的成矿阶段（400～200℃），其成矿溶液系统的f_{O_2}为10^{-35}～10^{-35}Pa。

（三）成矿期次

（1）角岩化变质蚀变未形成明显矿化，但形成与角岩形成机制很相似的湿夕卡岩。后续阶段（氧化物阶段），在岩体北端接触带出现致密块状磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿矿化。

（2）岩浆晚期矿化是指富含钾质的岩浆气液热流体的矿化作用，无天水参与，在岩体内部与钾化相伴形成黑云母-钾长石-金属硫化物组合。

（3）岩浆期后热液成矿期，是最主要的成矿时期，矿化很发育，叠加于原有各蚀变带之上，又可分为早中期和晚期：

早中期矿化（第一次成矿作用），分为3个矿化阶段。

高温阶段：在斑岩体内形成石英 黑云母 钾长石 金属硫化物组合；在接触带形成石英-白钨矿-辉铋矿 黄铜矿 黄铁矿组合。

中温阶段：在岩体内形成石英 绢云母 金属硫化物组合；在接触带形成绿泥石-绿帘石-金属硫化物组合。

低温阶段：矿化微弱，只有少量青磐岩 黄铜矿 黄铁矿组合的细脉产出，未形成工业矿体。

晚期矿化（第二次成矿作用），相对可分为早、晚两个阶段。

早低温阶段：与硅化、粘土化相伴，主要出现于岩体北部、中部外缘和接触带的局部地段；较弱的硅化、粘土化与辉钼矿化则涉及整个岩体，形成水白云母 高岭石-低温石英 辉钼矿组合和高岭石 石英-辉铜矿组合。此阶段于原有矿化体之上形成第二次钼矿化和辉铜矿化。

晚低温阶段：与强粘土化（多水高岭石化为主）相伴，主要是形成岩溶型矿体。另在接触带也形成一些零散分布的辉铜矿化和较早阶段弱的辉钼矿化。

表生期：对各类细脉浸染状矿石影响很小，只是使其出露地表的部分被改造成厚度不大的氧化矿石，但对岩溶型矿体影响甚大，将大部分硫化矿改造成氧化碳酸铜矿石和铁帽。

五、矿床模式

玉龙矿带是在印支期古特提斯火山岛弧的构造背景上，随着喜马拉雅期新特提斯的洋封闭，发生应力松弛和花岗质岩浆侵位的基础上发展起来的。含铜花岗质岩浆，上侵到达浅成-超浅成环境形成含铜斑岩体。但其与深部巨大的岩浆房仍有直接或间接的连通，深部岩浆房可能多次补给岩浆和岩浆热流体到蘑菇体的顶部（图 2-39）。当高侵位的蘑菇体中热流体聚集到一定量时，产生强大的机械能，破

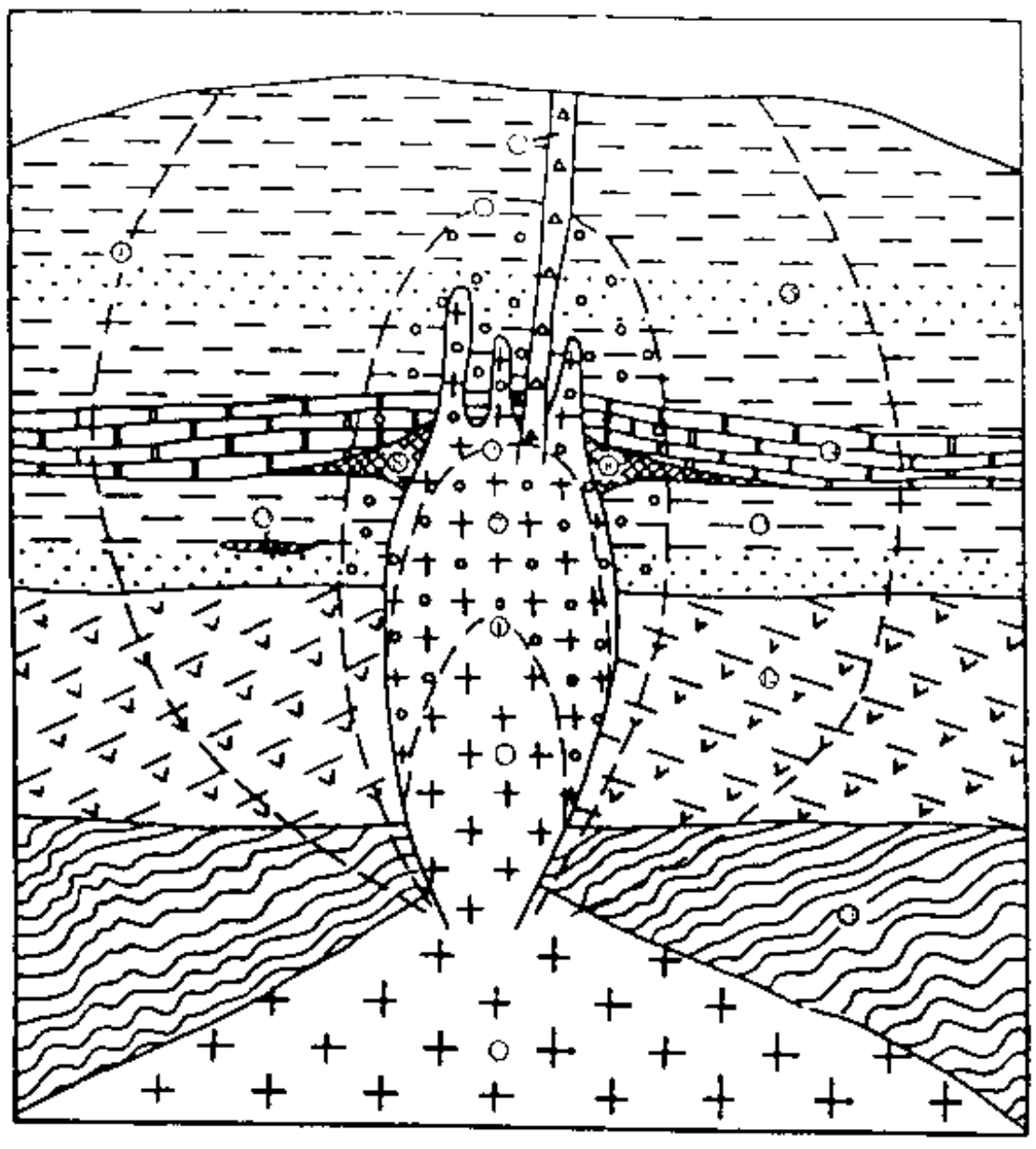


图 2-39　玉龙矿带斑岩铜（钼）矿床成矿模式图

Fig. 2-39　Metallogenic model of porphyry copper (molybdenum) deposit in Yulong ore belt

1　无矿斑岩核与钾硅酸盐蚀变斑岩的界线；2—钾硅酸盐蚀变带与绢英岩化带的界线；3—绢英岩化带与青磐岩化带的界线；4—青磐岩化界线；5—斑岩体的根部　岩株或岩基；6　无矿斑岩；7-含矿斑岩及斑岩型铜矿体（带小圈的部分）；8　岩溶型铜矿体；9-爆破角砾岩筒；10　砂岩型铜矿化；11　早古生代变质岩；12　早-中三叠世火山岩；13—晚三叠世砂页岩；14　晚　叠世碳酸盐岩层；15　晚　叠世砂页岩及煤系

坏蘑菇体顶部的岩石及邻近的围岩产生网状裂隙系统和爆破角砾岩筒。这些构造空间是随后成矿溶液沉淀的极好场所。当上升热流体（岩浆水）与下降大水发生混合时，流体的物理化学条件突然改变，矿质便从热流体中沉淀出来。

成矿热流体演化的早期，以岩浆水占优势，此时热流体处于临界或超临界状态。由于热流体碱质活度高，受热流体作用的斑岩和碳酸盐岩分别发生钾质硅酸盐交代和夕卡岩化。此时铜、钼初步富集。

成矿中期发生岩浆水与天水的对流循环，在这种混合流体的影响下，产生了电气石绢英岩化和青磐岩化，大部分铜（钼）以硫化物形式沉淀下来，形成铜（钼）矿石工业堆积体。成矿晚期热流体以天水为主，玉龙矿床地下岩浆体系仍不断补给岩浆热液，与天水混合形成酸性低温热流体，于破碎地带循环，产生近似表生特点的矿化（即二次成矿）。

六、找矿评价标志

（一）构造标志

基底断裂标志：玉龙矿带在野外实际观测或是从航卫片中，可发现走向约为20°～200°和110°～290°的断裂，这两组断裂出现于早三叠世地层中，而消失于侏罗纪-白垩纪地层中，晚三叠世地层中偶有显示。凡在晚三叠世地层中出现的地方，往往就是两组断裂交汇的部位，交汇处是火山岩和中酸性斑岩体产出部位。

褶皱标志：玉龙矿带已知的含矿斑岩体均产于次级背斜构造的轴部、近轴部和倾伏端，而以倾伏端出现的几率最大，它们控制着矿床、含矿斑岩体的空间位置。

（二）斑岩标志

斑岩体群标志：高位形成的中酸性斑岩体群与矿床和含矿斑岩体密切相关。因此，斑岩体群的出现是可能赋存斑岩型矿床的重要标志。

含矿斑岩标志：

（1）燕山期—喜马拉雅期被动侵位形成的浅成-超浅成小岩体，面积多小于1km²，常呈陡直筒状、喇叭状、倒水滴状的岩筒、小岩株、岩瘤等产出。

（2）岩性为中酸性岩类，并以二长花岗斑岩亚类为主。岩石基质呈显微花岗结构，成分较斑晶偏酸、偏碱。

（3）裂隙网脉发育，大于100条/m，并为各种蚀变岩脉和含矿岩脉所充填。

（4）SiO_2含量通常为68%左右。岩石富钾、贫钠、高镁、高铝，平均含K_2O 5.26%，K_2O-Na_2O 8.26%，MgO 1.29%，Al_2O_3 14.55%。分异指数为81～85，属分异相对较好的正常分异，钾质明显富集。固结指数较低，为8～13。

（5）斑岩的包裹体，含矿斑岩流体包裹体数量多，种类全，特别是有由丰富的气体包裹体和高盐度多相包裹体组成的沸腾包裹体群出现，而玻璃包裹体却很少出现。

（6）斑岩体造岩矿物与副矿物有明显的差别。①斑晶钾长石标志：含矿斑岩的斑晶钾长石，主要为正长石系列，有序度较高，$E(\theta)=0.541$，$E(Sm)=0.475$，含Cu(10～67)×10^{-6}，是非含矿斑岩的10～20倍。而非含矿斑岩的斑晶主要为高温透长石-钠长石系列，有序度较低，$E(\theta)=0.225$，$E(Sm)=0.197$。②黑云母标志：含矿斑岩中的斑晶黑云母属镁质黑云母，其MgO含量高，普遍大于16%，$rMg=0.660\sim0.817$。含铁系数为0.388～0.477，含镁系数为0.521～0.609，含Cu（30～300）×10^{-6}。含矿斑岩中的黑云母很像金云母。而非含矿斑岩中的斑晶黑云母多属铁黑云母，MgO含量多低于11%，含铁系数为0.561～0.607，而含镁系数则为0.390～0.433。③角闪石标志：含矿斑岩角闪石斑晶中的Fe/Mg值为0.42～0.59，非含矿斑岩体为0.63～0.85，明显高于含矿斑岩。含Cu 191.3×10^{-6}。角闪石与榍石在蚀变矿化由弱带到强带，斑晶角闪石与榍石分别变为鳞片状黑云母和金红石，但常保留其假象。再强，则角闪石假象消失，金红石颗粒周围也趋于干净。

（三）围岩蚀变标志

热变质：表现为碳酸盐岩的重结晶和大理岩化，砂、泥质岩的角岩化，并伴有黄铁矿化、钾化（黑云母化）和硅化。它们大面积出现，常为斑岩体面积的数十倍，颜色较深，成十分醒目的"火烧皮"异

常

热液蚀变：在岩体及其接触带形成夕卡岩化、钾硅化、绢英岩化、青磐岩化、粘土化等蚀变，蚀变面积一般为岩体面积的数倍。这套蚀变岩的颜色较浅，具明显的“中心式”面型蚀变分带，工业矿体主要分布于青磐岩化带以内的各蚀变带中，即浅色蚀变带中。

（四）直接找矿标志

矿体露头：在沟谷部位往往有矿体露头出现，可见孔雀石等表生铜矿物或原生铜矿石。

铁帽：对铁帽在野外仔细观察，往往能在铁帽中发现辉铜矿、自然铜、菱锌矿、白铅矿等矿物。铁帽分布于岩体与围岩接触带附近。

转石和重砂：铁帽和氧化铜矿转石以及铜矿物重砂分布很远。玉龙矿床下游约9000m处沟口的溪流砂砾堆积物中，氧化铜矿石和铁帽的转石及铜矿物重砂（以孔雀石为主）分布仍很普遍。

（五）地球化学异常标志

土壤地球化学异常标志：玉龙矿区各矿床（点）皆有明显的Cu、Mo、Pb、Zn、As、Au、Ag等元素组合的土壤地球化学异常。Cu异常强度（数量级为10^{-6}，下同）一般为200～800，少数达2000；Mo异常为5～200，多为30～100；Pb、Zn为100～1000。异常组合通常具有较明显的水平分带性。Mo、Cu异常位于内带，对应于含矿岩体或工业矿体分布地段，强度大于100～500的Cu异常范围与矿体范围吻合。Pb、Zn异常位于外带，对应于外接触带部位，为矿化区或脉状矿断续分布区。

岩石地球化学异常标志：矿床具有很清晰的岩石地球化学异常和分带特征：由内带→内中带→中外带→外带，依次为Mo、Cu→Cu、Mo、W、Bi、Au→Cu、Co、Mn、Pb、Zn、Ag→Sb、Bi。各带分别与含矿斑岩体、含矿内接触带、外接触带低温表生矿分布区或矿化区和蚀变晕外缘零散矿化区相对应（Cu原生晕强度为(100～500)×10^{-6}，Mo为(2～300)×10^{-6}）。

物探异常标志：

（1）具中等强度视极化率和较低视电阻率的激电异常，通常值η_s为11%～18%，ρ_s值为100～1000Ω·m，向纵深，ρ_s稍有降低，η_s保持不变，趋近于某一饱和值。

（2）具明显的中等或中偏弱的自电负异常，其值一般为－100～－200mV。自电和激电异常范围通常十分吻合。自电高值负异常区一般为矿体外蚀变带，可与激电非矿异常地段相对应。

（3）激电测深曲线类型为A、B型，且以A型居多。当6%>η_s>20%，100Ω·m>ρ_s>1000Ω·m时，相对应的激电测深曲线为C、D型，是非含矿斑岩体和正常背景的反映。

（4）在含矿斑岩体的接触带，往往出现一圈弱磁异常，ΔZ值一般为$n\times100$nT。当接触带有块状矿体产出时，其值可达$n\times1000$nT，甚至达10000nT。

（六）其他标志

颜色异常标志：矿床在蚀变、矿化过程中和成矿后的地表氧化淋滤作用下，使原岩发生褪色或染色的色变现象。例如由硫化物氧化成褐铁矿化形成的“火烧皮”褐红色；由硅化、绢云母化、水云母化、粘土化或大理岩化等岩石的褪色，造成比周围岩石色浅的浅色现象；青磐岩化和角岩化过程中，形成大量黑云母、绿帘石、绿泥石等深色矿物，使岩石呈深灰色-灰黑色，一切与周围原岩的颜色有明显的区别的深色异常等都是十分明显的找矿标志。

地形地貌标志：不同岩性的岩石抗风化的能力不一样，特别是岩石经蚀变后这种差别更大，因而造成地形地貌标志的明显差别。硅化、角岩化、夕卡岩化等使岩石硬度增大，抗风化能力强，形成正地形；而绢云母化、泥化使岩石明显变软，抗侵蚀能力弱，形成负地形，这也是明显的直接找矿标志。

第四节　西藏察雅县马拉松多铜矿床

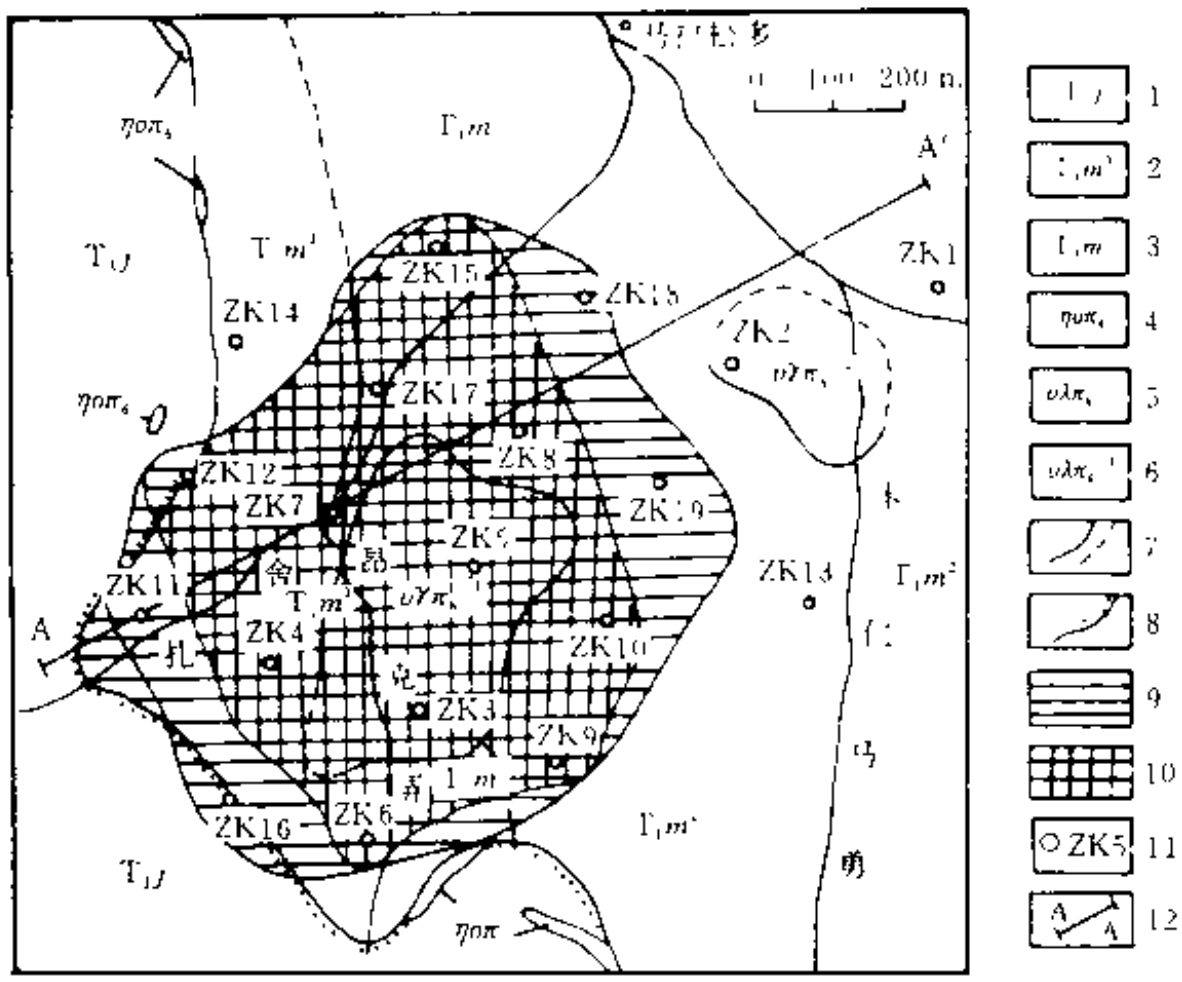
一、大地构造位置

西藏察雅县马拉松多铜矿床位于三江褶皱带东部羌塘-昌都微陆块中的玉龙-徐中陆缘山盆中。

二、矿区地质

（一）地层

矿区出露地层除第四系外，仅有下三叠统马拉松多组和上三叠统甲丕拉组。前者为含矿斑岩体的直接围岩（图 2-40）。由老至新为：



A A'剖面图

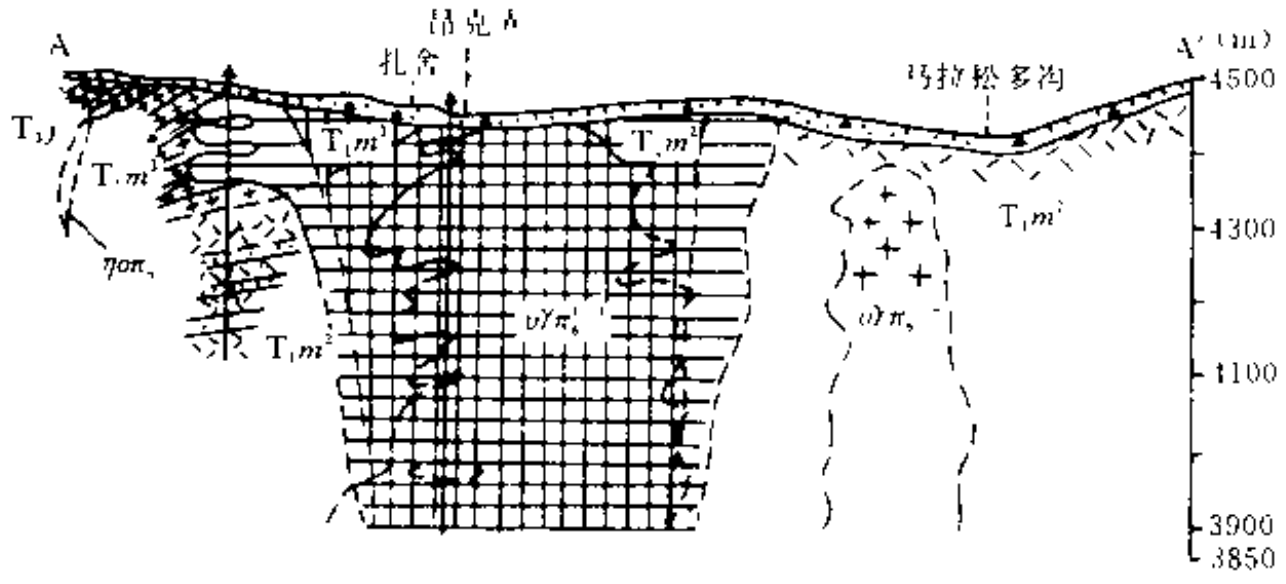


图 2-40 马拉松多矿床地质图

Fig. 2-40 Geological map of Malasongduo deposit

1—上三叠统甲丕拉组泥灰岩、粉砂岩；2—下三叠统马拉松多组三段凝灰流纹岩；3—马拉松多组二段流纹质凝灰岩；4—石英钠长斑岩；5、6—二长花岗斑岩；7—实测及推测地质界线；8 不整合界线；9 表外矿体；10 表内矿体；11 钻孔及编号；12 剖面线

下三叠统马拉松多组（T_1m）：主要为英安流纹岩、流纹岩、凝灰岩和火山角砾岩等中酸性火山岩。底部有黑色砂页岩、灰岩和泥灰岩，总厚 520～3450m。分为四个岩性段。

第一段（T_1m^1）未见底，为灰-灰黑色薄层状晶屑玻屑凝灰岩夹黑色和灰色页岩、凝灰质砂岩及透镜状凝灰质砾岩，厚 9m，与第二段（T_1m^2）整合接触。

第二段（T_1m^2）上部为含粉砂质绢云母板岩，夹深灰色含凝灰质霏细流纹岩；下部为灰黑色碳质、粉砂质页岩夹玻屑晶屑凝灰岩，厚 14m；黄绿色、灰绿色凝灰质砂岩，厚 15m；火山角砾凝灰岩、流纹岩和硅质岩，厚 12m；暗灰、灰紫色火山角砾凝灰岩和凝灰岩互层，厚 54m；浅灰色多斑流纹岩，块状构造，流动构造少见，偶见角砾，未见底，厚≥750m，与第三段（T_1m^3）整合接触。

第一段（T_3m^1）灰黑色、黑色页岩，夹灰白色硅质页岩、泥质粉砂岩及砂质页岩。偶夹硅质灰岩细条，厚 53m；火山角砾集块岩 熔火山角砾凝灰岩，厚 17m；上部为灰色-深灰色含斑霏细流纹岩，下部为深灰色含火山角砾凝灰质英安流纹岩，厚 101m，与第四段（T_3m^4）整合接触。

第四段（T_3m^4）蚀变晶屑岩屑凝灰岩夹霏细流纹岩，厚 75m，与上三叠统甲乐拉组（T_3j）微角度不整合接触。

上三叠统甲乐拉组（T_3j）主要为砂岩、细砾岩、粉砂岩、砾岩、含砾砂岩、页岩，顶部砂岩中含钙质结核和泥质灰岩薄层。

（二）构造

莽总-马拉松多背斜：核部出露最老地层为下三叠统马拉松多组，两翼为不整合覆盖其上的上三叠统。背斜轴向约 320°，延长约 60km，枢纽波状起伏，并向两端倾没。

（三）含矿侵入体

为被动侵入的黑云母二长花岗斑岩，空间形态呈--倒水滴状复式岩株（柱），出露面积 0.1km²，K-Ar 同位素年龄 32.4～19.2Ma，U-Pb 10.9Ma，Re-Os 35.1～39.1Ma。主要围岩为 T_3m 流纹岩、凝灰岩和角砾凝灰岩。另有 T_3j 砂岩、页岩夹灰岩薄条。受莽总-马拉松多背斜轴部控制，岩体上部与火山岩带接触。岩体主要矿物成分为钾长石 25%～35%，斜长石 20%～30%，石英 25%～30%，黑云母和角闪石 5%～10%；副矿物榍石、磷灰石和锆石。岩体化学成分为：SiO_2 69.31%～70.30%，TiO 0.30%～0.35%，Al_2O_3 12.77%～14.37%，Fe_2O_3 1.21%～2.15%，FeO 0.76%～1.11%，MnO 0.02%～0.01%，MgO 0.65%～1.11%，CaO 1.26%～2.18%，Na_2O 2.23%～3.89%，K_2O 4.53%～5.83%，P_2O_5 0.15%～0.16%，SO₃ 1.2%～3.56%，烧失量 1.1%～3.13%。金属元素含量甚微：Cu 1825×10⁻⁶、Mo 38.8×10⁻⁶、Pb 230×10⁻⁶、Zn 52.8×10⁻⁶、Ag 2.61×10⁻⁶、Ni 13×10⁻⁶、Cr 37×10⁻⁶、Co 665×10⁻⁶。

（四）矿体特征

1. 矿体形态与产状

矿区只有一个矿体，空间形态呈上端略宽的圆柱状，与岩体一致向北陡倾。露头的水平投影近似椭圆形，长轴近 SN 向，长约 950m，短轴近 EW 向，长约 800m。已控制矿体垂深 694m。矿体中心厚，最厚达 561.92m；边缘薄，最薄处厚 161.1m，平均厚 315.3m。推测矿体的延深近千米（图 2-40）。矿体与围岩为渐变过渡，分界线在剖面上显示为锯齿状。

2. 矿石矿物

矿石类型：基本为细脉浸染状矿石，少量为星散浸染状矿石，个别地点见到团块状矿石。赋矿岩石有斑岩和蚀变的火山熔岩、碎屑岩。绝大多数为铜矿石、少数为铜钼矿石，还有极少量的钼矿石和铅锌矿石。

矿石矿物成分：主要金属矿物有黄铜矿和黄铁矿。次要金属矿物有辉钼矿、方铅矿和闪锌矿。稀少金属矿物有镜铁矿、钛铁矿、铬铁矿、锐钛矿、方黄铜矿、锌铜矿等。次生矿物有褐铁矿、自然铜、铜铁矿、孔雀石、铜蓝、辉铜矿、斑铜矿等，多出现在地表浅部，量很少。黄铜矿在矿石中含量为0.42%～1.39%，全矿平均为 0.925%。黄铁矿在矿石中的含量为 0.53%～4.1%，全矿平均为 1.92%。辉钼矿主要赋存于矿体的核心和接触带。方铅矿和闪锌矿多交代黄铁矿产出，偶呈微细脉分布于矿体边缘。

3. 矿石结构构造

矿石结构有自形—他形粒状结构、包含结构、交代溶蚀、交代残余结构、交代假象结构、充填和乳滴状结构等。

矿石构造主要有细脉浸染状、浸染状和不规则小团块状构造等。相对地说，矿体中、上部细脉较发育，矿体的深部则以浸染状为主，细脉减少。浸染状构造表现为黄铜矿、黄铁矿及少量辉钼矿呈稀疏或稠密浸染状分布于斑岩或蚀变流纹岩中；不规则小团块状构造，由黄铜矿集合体和少量黄铁矿组成，分布于矿体中心的局部地段。

4. 矿物共生组合

石英硫化物脉：其中包括石英 黄铜矿 黄铁矿细脉、石英 黄铁矿细脉，主要分布于矿体边缘；石英-辉铜矿细脉、石英-铅锌矿脉零星分布于矿体边缘和远离矿体的蚀变流纹岩中。

黑云母硫化物脉：以黑云母和黄铜矿为主，间或有少量黄铁矿，多分布在矿体中、下部。

钾长石石英硫化物脉：主要由钾长石、石英组成，另有少量黄铜矿、黄铁矿，在矿体中偶见。

碳酸盐硫化物脉：由方解石等沿石英脉或石英硫化物脉内裂隙充填而成，亦有单独出现者。共生矿物有黄铁矿、石英和少量黄铜矿。在矿体西南边缘较发育。

电气石石英阳起石硫化物脉：由电气石、石英、阳起石和少量黄铜矿、黄铁矿、辉铜矿组成。主要分布于含矿的蚀变流纹岩中。

5. 矿石矿化分带及化学组分

矿化分带趋势：明显具中心式矿化分带的特点。由岩体中心向外，为铜矿化→铜、钼矿化→银、铅锌矿化；矿体上部矿化为铜、银相对较高的细脉状和细脉浸染状矿石，向深部渐变为较贫的浸染状为主的矿石。铜含量一般为0.3%～0.6%变化，中心局部地段含铜可高于1%。钼含量变化不大，平均含量为0.014%，接触带地段含量相对较高。矿体内铜钼矿化均匀、连续。

氧化次生富集特征：氧化深度一般20m左右，少数地段达10m，氧化程度不高，氧化率一般<10%，硫化物次生交代现象，只有少量辉铜矿、铜蓝等次生矿物产出。总之本矿床有氧化、次生富集现象出现，但30m以下，基本上为原生硫化矿石。

伴生组分：矿床中除Cu、Ag外，可综合利用的元素主要有Au、Ag、Re和铂族元素。Au、Ag赋存状况据少量单矿物测定，黄铜矿中含Au 1.33×10^{-6}，含Ag 12.0×10^{-6}；黄铁矿中含Au 0.61×10^{-6}，含Ag 15.75×10^{-6}，矿石中平均含Au 0.06×10^{-6}，含Ag 3×10^{-6}。Re基本上含于辉钼矿中，铂族元素赋存状况不明，初步测试表明Pd、Ir相对有较高含量。

（五）围岩蚀变及分带

马拉松多斑岩体的直接围岩以火山岩为主。其岩性主要是英安流纹岩、流纹岩和少量凝灰岩。围岩蚀变可分为钾硅化、绢英岩化和青磐岩化。在早期还有呈星点状夕线石、红柱石为特征的热变质作用。

钾硅化流纹岩带：分布于接触带附近，宽十余米至百余米。主要蚀变为钾长石化和硅化，黑云母化不发育。钾长石化主要表现为钾长石变斑晶的形成和基质钾长石的颗粒变粗。硅化的表现使蚀变斑岩体石英斑晶含量显著高于一般的斑岩。此外，该带内还常见绢英岩化叠加，主要表现为长石的绢云母化。该带伴生的铜、钼矿化较强，为工业矿体的主要赋存部位。

绢英岩化流纹岩带：该带分布于钾硅化带之外，宽数百米。主要表现为绢云母、石英微细粒集合体交代原岩的长石类矿物，同时夕线石、红柱石等热变质矿物也多被其完全交代，仅保留假象。其次是有少量石英绢云母硫化物脉产出。此外还零星出现少量钾长石脉、黑云母脉、电气石脉和碳酸盐脉等。经蚀变后的岩石退色成浅灰色，伴生的矿化较弱，只在靠近钾硅化的地段断续有表外矿体分布。

青磐岩化流纹岩带：该带为矿床最外围的蚀变带，宽约1000m。主要表现为由黄铁矿、绿帘石、绿泥石、方解石组成的脉或团块状、杏仁状集合体散布于岩石中。这些矿物的含量不多，一般为5%～10%。该带矿化微弱，无工业矿体出现。

（六）物探激电异常

马拉松多矿床具有与玉龙铜矿类似的激电异常，如图2-11。

三、成矿条件分析

（一）同位素

硫同位素：7个黄铁矿 $\delta^{34}S$ 2.9‰～5.5‰，平均1.5‰；7个黄铜矿 $\delta^{34}S$ 1.8‰～4.3‰，平均3.1‰。$\delta^{34}S$ 变化范围窄，与玉龙矿床的硫同位素值近似，表明它们具有共同的硫源-深源硫。

氢氧同位素：矿区对流体包裹体的流体测定氢氧同位素结果如表2-32。

均一温度：马拉松多矿床一些气体包裹体的均一温度很高，可达900～1000℃，个别达1180℃。已查明这些包裹体主要发育于岩体顶部黑云母钾长石化阶段形成的石英中，并与熔融包裹体共存。这两

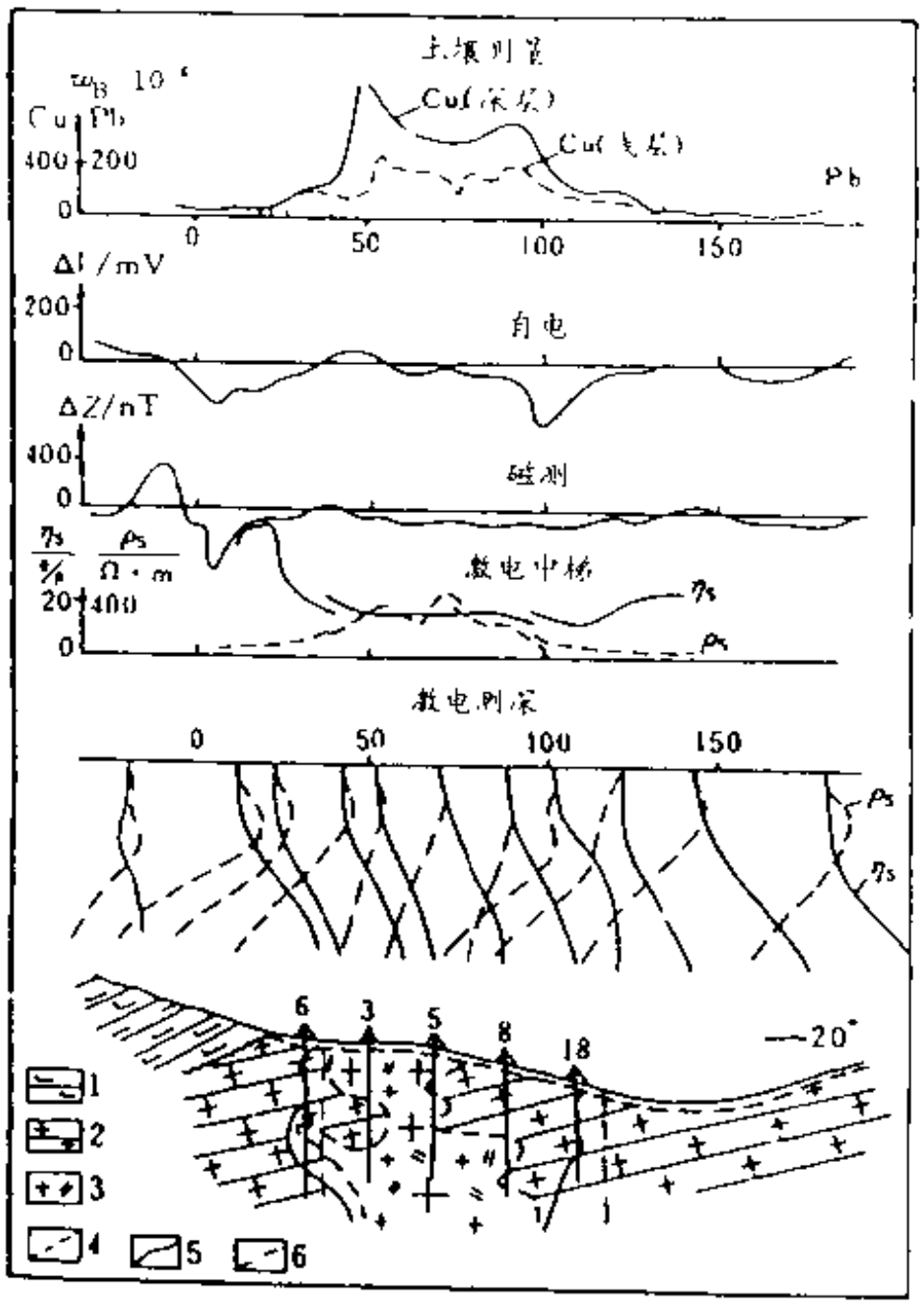


图 2-41 马拉松多矿床 320 线综合剖面图

Fig. 2-41 Integrated section of exploratory line 320 in Malasongduo deposit

1 砂岩；2—流纹岩；3-黑云母二长花岗斑岩；4 岩体界线；5—矿体界线；6—物化探推断矿体界线

类包裹体的均一温度(960℃左右)近似，它们同是岩浆期向期后转化的过渡阶段的产物，是在岩浆固相线之上捕获的。气体包裹体是早期黑云母钾长石化的代表性包裹体。马拉松多矿床黑云母钾长石化特别发育，石英中气体包裹体很多。流体包裹体测试过程中发现一些气体包裹体加热时气相不扩大、不缩小，而是在某一温度下气液相界线突然消失 临界态均一。这说明，初始的成矿流体处于临界和超临界的气态，其温度近于 600℃左右，随着温度的降低和含盐度的增高，成矿流体渐变为液态，转变温度大约为 420℃。600～420℃为成矿气态流体，主要形成黑云母钾长石化以及部分石英钾长石化，金属硫化物析出很少；成矿流体温度在 420～280℃时，形成广泛的石英钾长石化和石英绢云母化；350～200℃时，大量金属硫化物析出，是成矿的一个重要时期；当温度低于此值时，形成粘土化和青磐岩化，只有极少量金属硫化物析出。

（二）矿床成因

马拉松多铜矿与玉龙斑岩型铜矿属于同一个成矿带，具有基本相同的成矿地质环境和控矿条件。因此，马拉松多铜矿亦为一典型的斑岩型铜矿床。但马拉松多铜矿床的铜储量远比玉龙铜矿床小，铜矿石铜平均品位也比玉龙低，玉龙斑岩铜矿部分铜矿化带铜平均品位为 0.69%，钼平均为 0.008%；铜钼矿化带含铜平均为 0.33%，钼为 0.06%；钼铜矿化带铜平均品位为 0.27%，钼为 0.057%。而马拉松多矿石含铜 0.026%～0.6…，

表 2-32 流体包裹体氢氧同位素结果

Table 2-32 Composition of Oxygen and Hydrogen isotope of fluid inclusion

样品编号	矿物	产出状态	平衡温度/℃	$\delta^{18}O_{矿物}$/‰	$\delta^{18}O_{水}$/‰
M5-135	石英	斑钾化带	400	10.12	4.98
M7-434	石英	斑钾化带	450	9.59	5.47
M7-488	石英	斑钾化带	500	6.56	3.33
M8-2.2	石英	斑钾化带	500	6.40	3.17
M8-396	石英	斑钾化带	500	6.49	3.26
M7-325	石英	斑岩绢英岩化带	350	10.28	3.79
M8-391	石英		350	7.30	0.81
M8-307	方解石	方解石脉	200	6.4	6.83
M8-308	白云石	白云石脉	200	6.95	3.30

平均为 0.41%，含钼为 0.013%～0.036%，平均为 0.014%，这可能与含矿母岩体有关，马拉松多含矿岩体略比玉龙含矿岩体偏酸性，玉龙含矿岩体的 SiO_2 含量为 66.50%～70.14%，平均含量为

68.48%，马拉松多含矿岩体的SiO_2含量为69.31%～70.30%，平均为69.71%。玉龙含矿岩体铜的丰度为2379×10⁻⁶，岩体副矿物黑云母含铜为（72～160）×10⁻⁶；马拉松多含矿岩体铜的丰度为2207×10⁻⁶，黑云母含铜为（50～100）×10⁻⁶。此外，由于马拉松多岩体围岩为火山岩，因此，没有形成像玉龙那样的共生夕卡岩型铜矿。又由于本矿体所在地为一斜坡（玉龙则为一椅子状的负地形），所以氧化深度很浅，一般仅20m，氧化和次生富集作用很弱，没有形成有规模的次生富矿。

第五节　黑龙江嫩江县多宝山铜矿床

一、大地构造单元

多宝山铜矿床位于内蒙古-大兴安岭褶皱系的北东端，其二级构造单元属于罕达气优地槽褶皱带及沐河屯隆起带的北部。

二、矿区地质

（一）地层

多宝山矿区地层详见表2-33。

（二）构造

多宝山矿区总体为一向南突出的NW向弧形构造带，主要由NNW-NWW向多宝山复式背斜和EW向断裂组成。该NW向弧形构造带控制了华力西中期花岗闪长岩和花岗闪长斑岩的侵位及相关的铜（钼）矿化。

多宝山复背斜由核部中奥陶统铜山组和多宝山组组成，翼部由上奥陶统裸河组、爱辉组和下志留统黄花沟组组成。地层走向和褶皱轴向由WN段（板捷-小多宝山）的NNW向转为SE段（多宝山—铜山）的NWW向，总体上呈反“S”型转折。多宝山背斜枢扭总体向NW侧伏，但有多次起伏，因而由NW向SE依次分出次级的板捷背斜、小多宝山背斜、多宝山背斜和争光向斜，出露地层向SE渐趋增宽。6条NW向弧形片理化带（断裂带）向NW收敛，向SE撒开。

区域性板状劈理大多向SW陡倾斜，多宝山复背斜为轴面向SW陡倾斜的斜歪背斜。复背斜两翼发育次级褶皱。

（三）侵入岩

多宝山矿区侵入岩的同位素年龄统计表明了矿田的成矿岩体主要有三期（次）：第一期为华力西中期花岗闪长岩，如多宝山、铜山和跃进岩体，它们的年龄为310～292Ma；第二期为华力西中-晚期侵入于花岗闪长岩中的花岗闪长斑岩，其年龄为283Ma；第三期为花岗闪长岩和英云闪长岩，如窝里河顶子岩体等，它们的年龄为239～249Ma。上述同位素年龄表明，多宝山复式岩体的岩浆活动至少持续了50Ma。

多宝山花岗闪长岩体在地表略呈弓石燕形，沿NW-SE向延长大约6km，宽约3km，面积约9km²。岩体向南西倾伏，倾角约60°。岩体向下有膨大的趋势，向下延伸到500m，即0m标高处水平截面积扩大到16km²，形态变为三角形。该岩体与奥陶系地层在北部和东部呈侵入接触关系，接触界线清楚；南部和西部在地表呈现断层接触。岩体与围岩的接触界线多数不平直，呈犬牙交错状，有许多小岩枝穿入围岩。岩体顶部接触界面凹凸不平，经剥蚀后残留下来许多悬垂体，多分布在岩体的西北侧和东南侧。从岩体中部向NW和SE方向悬垂体由窄变宽，由薄变厚，花岗闪长岩体伏于围岩之下。

矿床内与花岗闪长岩伴生的岩脉比较发育，根据它们之间的相互穿插关系，从老到新依次为：角闪闪长玢岩→细晶石英闪长岩→闪长玢岩。多宝山花岗闪长岩的岩石特征为，呈灰白色和浅灰-灰绿色，多具半自形粒状结构，部分具似斑状花岗结构。岩石矿物成分比较简单，主要为斜长石、角闪石、石英和条纹长石（钾长石）等。岩石矿物在国际地质学火成岩小组推荐的QAP分类图（1972）中投影，落于花岗闪长岩和斜长花岗岩。

多宝山花岗闪长岩的岩石化学如表2-34。多宝山花岗闪长岩与中国和世界同类岩石比较，可以明显看出，其碱质（Na_2O+K_2O）和铁镁质（$Fe_2O_3+FeO+MgO$）相对偏低，其他氧化物含量比较接近。

表 2-33　多宝山矿区地层表

Table 2-33　Stratigraphic scale in Duobaoshan ore district

区域性名称			地方性岩性			代号	厚度 m	岩　性	岩浆活动
界	系	统	组	段	亚段				
	志留系	下统	黄花沟组			S_1h	606	上部为黑云母、堇青石角岩、云母石英角岩和角岩化砂岩，中部为深灰色细砂岩，下部为灰绿色泥质粉砂岩，灰绿-黑色粉砂泥质岩夹层状凝灰岩，最底部为黄灰色层状粉砂岩和黄绿色层状细砂岩	
奥陶系		中统	爱辉组	二段		O_3a_2	452	黑灰色粉砂质泥岩，灰黑色含碳质粉砂质泥岩，有微细层理，产笔石、*Orthograptus* sp 在底部有泥质粉砂岩	
				一段		O_3a_1	198	一般为深灰、灰黄色泥质粉砂岩及粉砂质泥岩，大部分具微细层理。在顶、底部为黄灰色粉砂岩及黄褐色粉砂岩	
		上统	裸河组	二段		O_3l_2	160 / 995	浅灰色泥灰质粉砂岩，凝灰质砂岩夹安山岩薄层或透镜体	有小规模的中性-中酸性火山喷发活动
				一段		O_3l_1		以灰紫色凝灰质砂砾岩、砂砾岩、浅灰色硅质粉砂岩，粗砂岩和细砂岩为主夹数层大理岩和中酸性凝灰岩薄层或透镜体	
		中统	多宝山组	三段	二亚段	$O_2d_3^2$	1033	上部灰白色中酸性含角砾凝灰熔岩，浅灰色中酸性含角砾凝灰岩和中酸性凝灰岩。中部浅灰紫-浅灰绿色英安岩夹流纹岩、安山岩和中酸性角砾熔岩等薄层或透镜体。上部灰-灰白色中性凝灰岩、中性含角砾凝灰岩、中酸性熔凝灰岩、英安岩和中性熔岩等	有大规模的中-中酸性火山喷发活动并伴有次火山岩体的侵入
					一亚段	$O_2d_3^1$	290	自上而下的灰白色中酸性凝灰岩，浅灰色中酸性角砾凝灰岩，中酸性熔凝灰熔岩，凝灰质粉砂岩，灰绿色中酸性凝灰岩和安山岩	
				二段	二亚段	$O_2d_2^2$	250	灰绿色中酸性凝灰岩和含角砾的凝灰岩，往往互层出现，夹薄层凝灰砂岩	
					一亚段	$O_2d_2^1$	1403	上部灰绿色凝灰质粉砂岩，中部以灰绿色安山岩为主夹少量凝灰质砂岩，凝灰质砂砾岩，下部为灰绿色中酸性凝灰岩夹少量中酸性凝灰熔岩	
				一段	三亚段	$O_2d_1^3$	598	上部灰绿色黄绿色凝灰质粉砂岩，凝灰质细砂岩，暗绿色安山岩和中酸性凝灰角砾岩，凝灰熔岩互层夹灰岩透镜体，中部灰绿色安山岩和片理化安山岩。下部以灰绿色中酸性凝灰岩为主，底部有少量紫灰色凝灰角砾岩	
					二亚段	$O_2d_1^2$	850	上部灰绿色凝灰质砂岩，灰绿、灰紫色和紫灰色凝灰质砂砾岩，泥质粉砂岩等夹杏仁状安山岩和结晶灰岩透镜体等。以上岩石组合通常称为“紫色层”。中部，灰绿色中酸性凝灰岩，沿走向相变为中性含角砾凝灰岩夹碎斑安山岩和安山岩。下部是互层出现的灰绿色中酸性凝灰岩夹碳质板岩和凝灰质砾岩	

多宝山花岗闪长岩的微量元素含量如表 2-35。表 2-35 表明，亲硫元素 Cu 和 Mo 均高于维氏值，其中 Cu 高出两倍，Mo 稍高。其他元素 Co、V、Ni、As 和 Ag 等均高于维氏值。微量元素含量与矿床中的基本一致，反映岩浆与矿床有内在联系，同时也表现出岩浆和矿床的物质来源具有深源特点。

表 2-34　花岗闪长岩体各岩相带岩石化学成分及扎氏数值特征表

Table 2-34　Chemical composition in differenet lithology zones of granodiorite

岩相带与对比	岩性	样号	氧化物重量百分比												
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O	总量
内部相	花岗闪长岩	IVKE1	62.65	0.53	15.59	2.41	2.48	0.07	3.26	3.07	3.24	4.13	0.39	2.41	100.23
		7	64.40	0.38	15.67	2.79	1.90	0.10	1.70	3.22	4.28	3.32	0.20	1.68	99.64
		56	59.88	0.36	15.25	2.05	3.25	0.053	2.15	3.70	3.48	5.4	0.14	3.13	98.87
		53	61.61	0.41	15.11	2.57	2.35	0.015	1.60	4.00	3.24	3.28	0.18	2.81	97.21
		平均值	62.14	0.42	15.41	2.46	3.12	0.07	2.18	3.50	3.56	4.04	0.23	2.51	98.89
对比	黑形花岗闪长岩		64.98	0.52	16.33	1.89	2.49	0.09	1.91	3.70	3.67	2.95	0.32	0.83	99.71
			65.01	0.57	15.94	1.74	2.65	0.07	1.94	4.42	3.70	2.75	0.20	1.09	100.08
中间相(过渡相)	贫钾花岗闪长岩	IVKE6	65.63	0.44	15.75	2.74	1.54	0.09	1.67	3.16	4.24	2.94	0.46	1.31	99.97
		11	63.53	0.44	16.57	2.81	3.05	0.05	2.59	2.03	3.60	3.72	0.23	1.38	100.00
		57	63.97	0.38	15.8	1.65	3.10	0.02	2.59	2.59	3.46	3.64	0.23	1.76	99.19
		平均值	64.38	0.12	16.04	2.40	2.56	0.05	2.59	2.59	3.77	3.43	0.31	1.48	99.72
边缘相	斜长花岗岩	IVKE13	68.2	0.32	16.1	1.99	2.06	0.05	0.80	0.80	4.79	2.57	0.11	1.62	99.41
		14	65.54	0.37	16.11	1.66	3.53	0.09	1.94	1.80	4.27	2.20	0.11	1.71	99.66
		15	63.41	0.45	16.46	2.86	3.22	0.05	2.40	1.70	3.24	3.74	0.12	2.08	99.76
		平均值	65.73	0.38	16.32	2.17	2.91	0.06	1.71	1.43	4.10	2.84	0.11	1.81	99.60

(据杜琦等,1988)

表 2-35　花岗闪长岩微量元素含量表(w_B/10 $^{-6}$)

Table 2-35　Trace elements content in granodiorite

微量元素	Cu	Mo	V	Ni	Co	Pb	Zn	Ag	Hg	As	F
花岗闪长岩	50.00	1.10	91.80	13.20	11.90	10.60	38.30	0.16	0.01	2.80	461.00
维氏值	20.00	1.00	40.00	8.00	5.00	20.00	60.00	0.05	0.06	1.50	800.00

(据杜琦等,1988)

多宝山花岗闪长斑岩体出露于多宝山铜矿床中部的大砬子一带，又称大砬子斑岩体，地表出露于500～600m标高处，分成南北两个部分，呈透镜状沿WN向分布，出露面积分别为0.08和0.09km²。加上分支在地表出露总面积共有0.17km²。这两个露头在下部合并为一个岩体，呈岩墙状沿WN向弧形构造带分布，其ES部翘起，倾向SW，倾角75°。斑岩体向NW倾伏，NW部分倾向EW，倾角80°。主斑岩体延深至100m标高时，水平面积为0.18km²，在矿床中部－200m以下，斑岩体有明显膨大的趋势。斑岩体上盘和下盘均有许多岩枝，一般宽3～5m，小者一般只有几十厘米，它们或出露地表或隐伏于地下。

斑岩体与花岗闪长岩体的侵入接触界面复杂，形成犬牙交错的接触带。接触带处的花岗闪长岩明显碎裂，并有3～10cm宽的热蚀变圈，使花岗闪长斑岩与花岗闪长岩体之间的界线变得十分清楚。斑岩体中心部位比较厚，岩枝多，形态复杂；西北延伸部位岩枝少，形态复杂，岩墙变薄，反映斑岩岩浆是沿花岗闪长岩体的中心部位被动侵位的。

与花岗闪长斑岩相伴生的岩脉有闪长岩和细晶闪长岩。

花岗闪长斑岩的主要岩石特征为：灰白色，斑状、不等粒斑状和多斑结构，基质为显微花岗结构、块状构造。斑晶主要为石英和斜长石，其次为条纹长石和黑云母，副矿物主要为磁铁矿和磷灰石等。斑晶含量变化幅度很大，从20%～80%。斑晶中斜长石变化为38%～70%，石英变化于7%～30%，条纹长石变化于0%～33%。当条纹长石斑晶含量在5%以下时则命明为斜长花岗斑岩；在5%以上时则命名为花岗闪长斑岩。基质为显微粒状，主要由斜长石、石英、黑云母和钾长石组成。斑晶的定量矿物在QAP三角图中投影与花岗闪长岩十分相似。

花岗闪长斑岩的岩石化学成分如表2-36。如排除硅化影响外，与江西富家坞花岗闪长斑岩的岩石化学成分大体近似。

表2-36　花岗闪长斑岩各岩相带的岩石化学成分

Table 2-36　Chemical composition in differenet lithology zones of granodiorite porphyry

岩相带与对比	岩性	样号	w_B %										
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O
内部相	花岗闪长斑岩	IVKE18	72.30	0.27	11.25	1.21	3.23	0.04	1.22	2.14		3.66	0.1[illegible]
		IVKE20	70.09	0.18	15.17	0.63	1.95	0.02	0.24	1.92	4.30	3.12	0.09
		IVKE21	70.9	0.13	13.65	0.45	2.25	0.03	0.41	2.37	3.64	3.12	0.07
		平均值	71.10	0.19	13.36	0.76	2.48	0.03	0.62	2.14		3.38	0.11
对比	德兴富家坞花岗闪长斑岩		65.56	0.38	16.11	3.72	2.57	0.10	0.87	3.70	1.32	2.86	0.18
	梅岭第三次侵位的花岗闪长斑岩		69.30	0.29	14.76	0.97	1.19	0.016	0.82	2.08	4.27	4.25	
边缘相	斜长花岗斑岩	IVKE22	72.56	0.28	14.70	0.57	0.95	0.01	1.05	0.86	4.39	3.77	0.1
		IVKE27	67.80	0.18	14.54	0.81	1.70	0.2	0.86	2.96	4.08	2.76	0.07
		IVKE41	72.88	0.10	13.18	0.38	2.05	0.03	0.93	1.35	4.13	3.02	0.05
		平均值	71.00	0.19	14.14	0.59	1.57	0.08	0.95	1.72	4.20	3.1[illegible]	0.07

注：肖宗瑶等1984，《中国斑岩铜（钼）矿床》

（据杜琦等，1988）

花岗闪长斑岩的主要微量元素见表2-37。如表2-37所示，亲硫元素Cu、Mo、Ag和As较维氏值高3～4倍、而Pb和Zn较维氏值低3位左右；与江西德兴相比，除Mo稍高外，其他元素均低2～3倍，个别元素可低7倍左右。亲铁元素Ni和Co高于维氏值，V和Mn低于维氏值；与江西德兴比较除Mn高外，其他均低。矿化剂元素除Cl略高于维氏值外，F、S等均低于维氏值。

多宝山花岗闪长岩的年龄值变化于292～310Ma，花岗闪长斑岩的年龄值为283.1Ma，闪斜煌斑岩的年龄值为245Ma。

表 2-37　花岗闪长斑岩微量元素含量（w_B 10⁻⁶）

Table 2-37　Trace elements content in granodiorite porphyry

地区 \ 元素含量（×10⁻⁶）	Cu	Mo	Ni	Co	Mn	Pb	Zn	V	F	Ce	Ag	S	As
多宝山	80	4.3	10	8.7	131	7.1	20.5	30.1	376	317	0.18	379	7
小西德兴	230	3.7	32	33	730	26	110	137			0.10		
维氏值	20	1.0	8.0	5.0	600	20	60	10	800	210		1	

注　德兴资料取自宋瑞等 1984.《中国斑岩铜（钼）矿床》　　（据杜琦等，1988）

（四）与成矿有关的火山机构

中奥陶统多宝山组在多宝山—裸河一带存在一套以安山岩为主的玄武岩-安山岩 英安岩 流纹岩组合，最厚处达 4864m；在霍龙门一带为以安山岩为主的玄武岩-玄武安山岩-安山岩-英安岩 流纹岩组合，厚达 1497.8m；在宽河一带为中酸性 中基性火山碎屑岩，厚 1068m。它们分别形成火山坳陷盆地，最大坳陷部位应为多宝山—裸河一带。

许多研究者认为多宝山斑岩铜矿与多宝山组地层关系密切，绝大部分矿体或矿化都赋存于多宝山组地层中，多宝山组火山岩层可能为重要矿源层（杜琦等，1984；1988）。多宝山组中铜元素平均含量可达 133×10^{-6}，是本区铜元素最明显富集层位：多宝山组安山岩平均含铜量为 151×10⁻⁶。已知矿带周围存在着明显的铜元素降低场，最低可降到 2×10⁻⁶以下，因此，许多研究者认为，矿体中有相当数量的铜是由多宝山组中安山岩及中性凝灰岩萃取出来的。

（五）铜矿床地质

1. 矿体

该矿床矿体均环绕着斑岩体分布并产在被绢云母化叠加改造的黑云母化带内，受构造控制非常明显。由于原始的黑云母化带内含铜不均匀和各处构造裂隙强度不一，矿体的规模、富集程度和形态产状等也随地而异。一般说来，斑岩体的上盘（南西盘）和侧伏部位（矿床西北部）矿化较好，而下盘（北东盘）和翘起部位（矿床东南部）矿化较差（图 2-42）。

多宝山矿床中，多数矿体呈透镜状和条带状，沿 NW 向和 NWW 向片理化带分布。矿体规模一般厚几米到几十米，延长、延深一般从 100～500m。当多个矿体聚合在一起时就构成了一个矿体群。矿体群中，总会有一个规模较大的矿体，厚度可达数十米至百余米，最厚可达三、四百米。主矿体两侧环绕着一些条带状小矿体（图 2-42）。几个相邻的矿体群合在一起就构成了一个矿带。在多宝山矿床中，按矿体与斑岩体的相对位置共划分为四个矿带。斑岩体下盘为 1 号矿带，上盘内由 WN 向 ES 依次出露有 3、2、4 号矿带。

由于铜矿化常富集在一些张开的 WN-NWW 向压扭性构造带内，因而，矿床内的矿体、矿体群和矿带大多呈雁行状排列。

主矿带（3 号矿带）与其他矿带的主要区别是：其围岩条件、构造条件、蚀变条件和其与斑岩体的空间部位都是比较有利的，其中铜矿化比较均匀，较高品位样品之间矿化是连续的，绝大多数分析样品品位＞0.3%。按工业指标进行矿体圈定后，可以构成稳定而连续的厚大矿体，厚度可达 300～400m，延深延长均大于 1000m，主矿体的中部品位相对较高，中间很少出现夹石，由中间的上盘和下盘，过渡为平行排列的一些分支矿体；在矿带的西北端和东南端厚大的矿体分岔呈掌指状后逐渐尖灭。

矿体、矿体群和矿带的产状，通常倾向 SW，倾角 65°～80°。主矿带与其他矿带在产状上的主要区别是产状稍陡，多数在 80°左右。主矿带厚大部位是矿带由 NNW 变为 WN 向的转弯部位。矿体与斑岩体的相对位置为：全部矿体都环绕斑岩体分布，通常矿体距斑岩体 0～500m，矿化最富集部位距斑岩体 50～150m。

矿体与围岩的关系为：矿区内中和小型矿体主要受 WN 向和 NWW 向构造裂控制，均赋存于花岗闪长岩体内，它们的个数虽多，但所占总储量比例不大；而大型矿体顶部常常赋存于多宝山组的一层

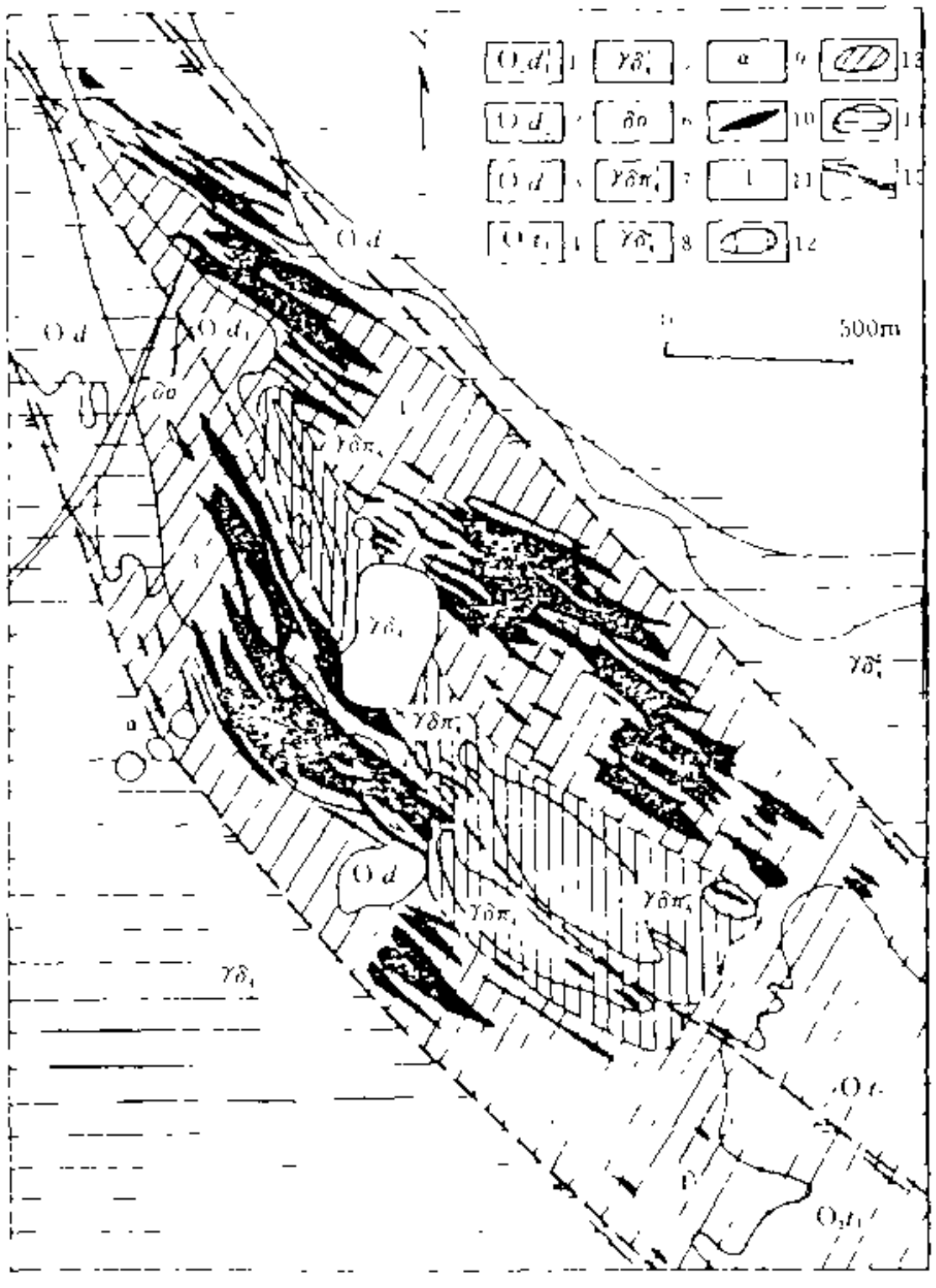


图 2-42　多宝山铜矿床矿带、矿体蚀变分带分布图

Fig. 2-42　Ore belt and alteration zoning in Duobaoshan copper deposit

1　多宝山组二段　亚段安山岩；2～4　多宝山组　段　、　、　亚段安山质火山沉积岩；5　晚华力西期英云闪长岩，6　石英闪长岩脉；7　花岗闪长斑岩；8　花岗闪长岩，9　安山岩；10　铜矿体；11　矿带编号；12　钾硅化带；13- 绢英岩化和绿泥绢英岩化带，14　青磐岩化带；15　NW 向弧形断裂

地层（安山岩）内，其下盘偏上部常有铜山组二段凝灰质砂砾岩，其中部和下部赋存于花岗闪长岩内，所占总储量比例很大（图 2-43、图 2-41）。

2. 矿石矿物成分

矿床中以铜矿石为主，钼矿石极少见。矿石矿物总量在 3%左右，主要为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿等，偶见黝铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然铜、自然金等。自矿体中心向外，特征的金属矿物依次是斑铜矿（自然铜）→黄铜矿→黄铁矿，其矿石类型依次是自然铜（辉铜矿）、斑铜矿矿石（较少）→斑铜矿矿石→斑铜矿、黄铜矿石→黄铜矿石→黄铜矿、黄铁矿石→黄铁矿石。与小多宝山矿床相比，多宝山矿床内黄铁矿含量很低，且黄铁矿主要分布于矿体上盘及顶部的 O_2d 与 $\gamma\delta$ 接触带，而往矿体中心部位，黄铁矿则逐渐消失。

脉石矿物平均约占 98%，以石英、绢云母、绿泥石和碳酸盐为主，其次为绿帘石、黑云母、绿泥石和钠长石等。

3. 矿石结构构造

矿石以半自形-它形晶粒状结构，交代残余结构、斑状变晶结构和压碎结构为主。其中，黄铜矿交代压碎状的黄铁矿、斑铜矿交代黄铜矿和黄铁矿，不但黄铁矿具碎裂结构，甚至黄铜矿亦见碎裂结构，另外尚见揉皱结构等，表明矿石矿物的形成具多期多阶段特点。矿石构造以浸染状、细脉状为主，尚

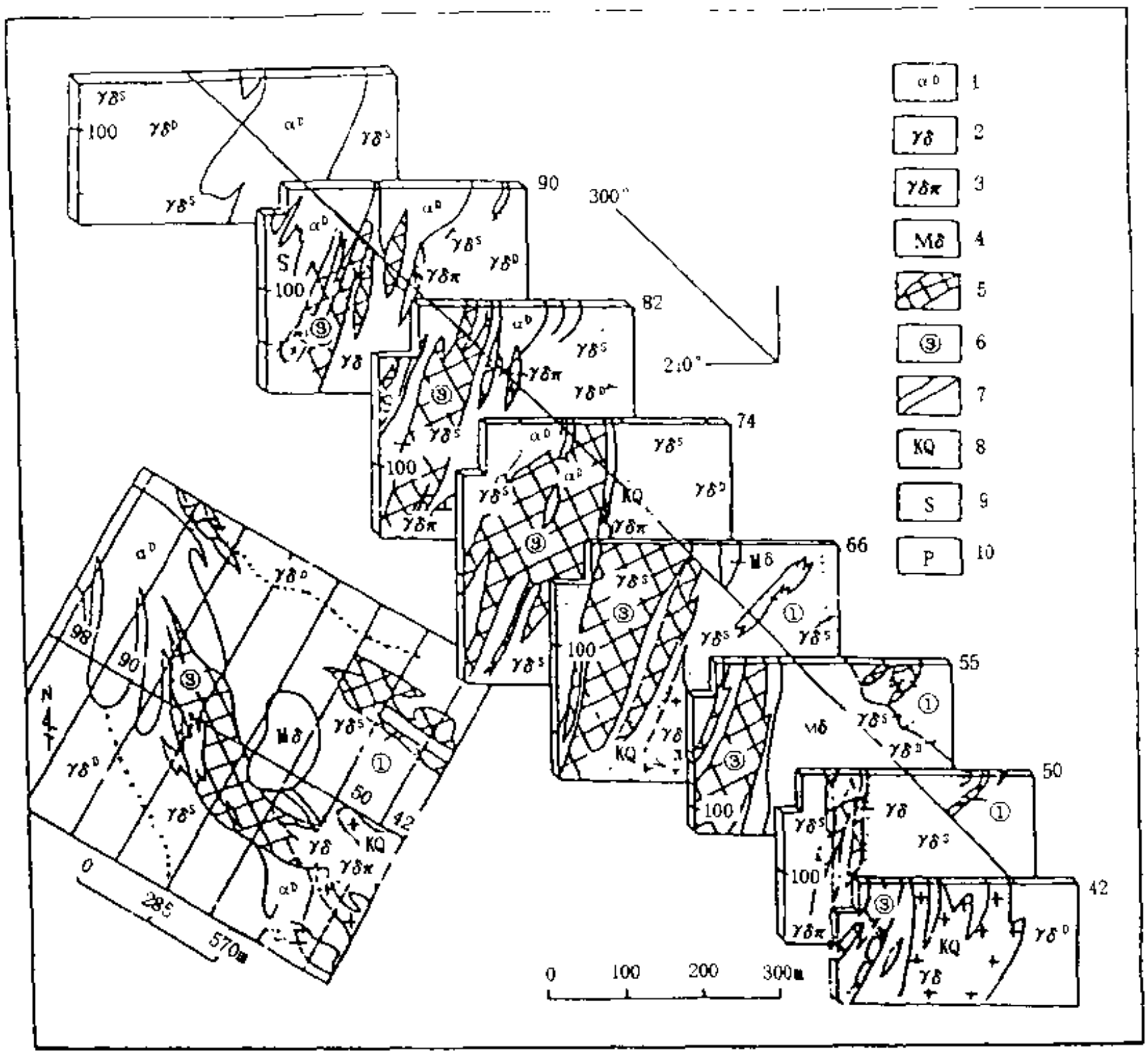


图 2-43　多宝山矿床 3 号矿带剖面联系图

Fig. 2-43　Integrated section of ore belt 3 in Duobaoshan copper deposit

1—安山质火山岩；2—花岗闪长岩；3—花岗闪长斑岩；4 ·英云闪长岩；5—矿体；6－矿带编号；7—地质界线蚀变界线．

8· 钾硅化带；9　绢英岩化带；10—青磐岩化带

见有块状，条带状和角砾状构造。

4. 矿石化学成分特征

多宝山铜矿铜储量 237.26 万吨，平均品位 0.45%；伴生钼矿 8.13 万吨，平均品位 0.016%；伴生金 75.9t，平均品位 0.144×10^{-6}，2 个选矿大样的矿石全分析结果为（%）：Sc 0.0004，Re 0.00014，Ga 0.0018，Ge 0.00019，Co 0.0012，Ni 0.004，In 0.00029，Cd 0.013，As 0.01，Pb 0.033，Zn 0.01，Mn0.02，WO_3 0.038，Sb_2O_3 0.01，SiO_2 62.6，M_2O_3 14.47，MgO 3.10，CaO 4.30，K_2O 3.38，Na_2O 2.35，TiO_2 0.40，Fe_2O_3 4.60，Au 0.2×10^{-6}，Ag 2×10^{-6}，Pt 0.0045，Pd 0.008，Os 0.008，Ir 0.0045，Ru<0.002，Rh<0.002，Cu 0.45，S 0.29。

上述分析结果表明，除 Cu 和 Mo 已富集成工业矿体外，Au、Ag、Sc、Re 和 Pt 族（Os、Pd、Ir、Ru 等）均已达到伴生元素的工业指标，可在选冶 Cu、Mo 时综合回收利用。

矿石工业类型大致可分为浸染型、细脉浸染型和细脉型。浸染型矿石主要金属硫化物为黄铜矿、斑铜矿和辉钼矿组成，呈他形晶粒状及鳞片状均匀分散在蚀变花岗闪长岩内，非金属矿物为石英、绢云母、绿泥石、绿帘石和碳酸盐。浸染型矿石主要分布于矿体中部，与细脉浸染型矿石无明显界线。细脉浸染型矿石为本矿床最重要的矿石类型，不仅数量多，而且分布广，与其他矿石类型无明显界线，主

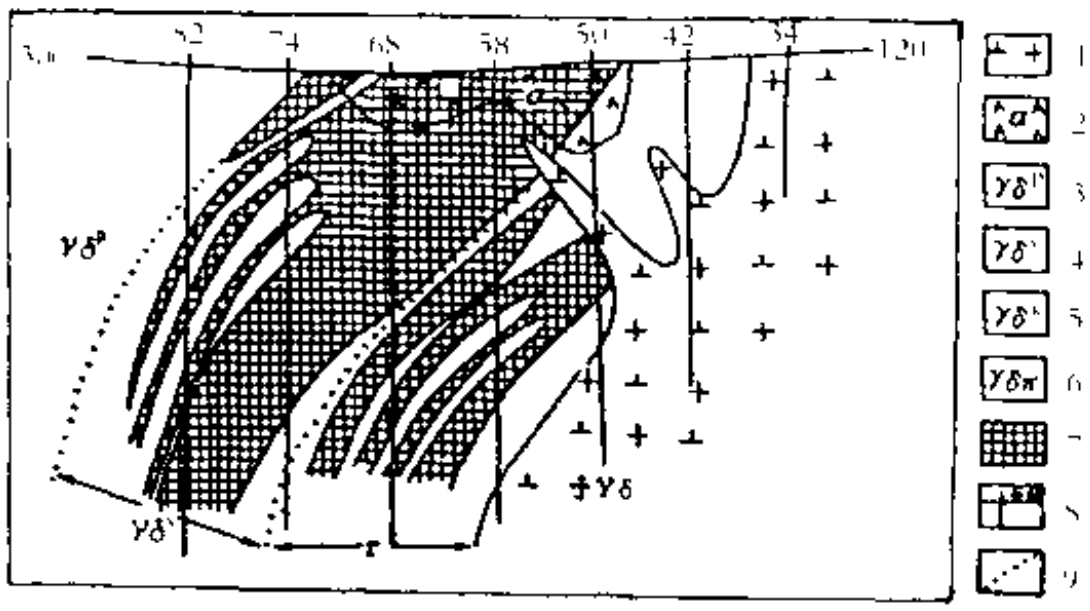


图 2-44　多宝山铜矿床 3 号矿带纵剖面图

Fig. 2-44　Profile of ore belt 3 in Duobaoshan copper deposit

1　花岗闪长斑岩；2　安山岩；3- 青磐岩化带的花岗闪长岩；4　绢云母带的花岗闪长岩；5　钾化带的花岗闪长岩；6　钾化带的花岗闪长斑岩；7　铜矿体；8— 勘探线编号；9　蚀变带界线

要金属矿物为黄铜矿、斑铜矿和辉钼矿。它们与石英、绢云母、硫酸盐和绿泥石等脉石矿物一起沿花岗闪长岩的微裂隙发育。细脉型矿石为金属硫化物与石英、绢云母、碳酸盐和绿帘石等脉石矿物组成的细脉，以充填形式形成脉状构造，细脉与围岩界线清楚，金属硫化物以黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿为主。

5. 矿化分带

多宝山矿化分带是由 6 次热液活动形成的。他们分别为：黑云母化时期形成的硫化物、硅化期形成的硫化物、斑岩青磐岩化期形成的硫化物、黄铁绢英岩化期形成的硫化物、主矿化形成的硫化物和碳酸盐期形成的硫化物。黑云母硫化物带呈扁椭圆状环绕斑岩体分布，面积大约 3km²；硅化硫化物带与硅化碎裂的斑岩体重叠，硅化总是与辉钼矿化相伴随，有时硅化核形成单独的辉钼矿体；斑岩青磐岩化硫化物带分布于铜矿带的外围，明显富集于矿带上部和侧部；黄铁绢英岩化硫化物带在空间上与片理化和绢云母化带关系十分密切，在矿带上下盘还生成大量晶形较好的黄铁矿和闪锌矿等；主矿化期硫化物带叠加在斑岩体周围，并叠加在近斑岩体的片理化带；碳酸岩化硫化物带主要沿南北向断裂分布。

（六）近矿围岩蚀变

多宝山蚀变岩是多期多阶段形成的，遭受蚀变的岩石主要有花岗闪长岩，花岗闪长斑岩，斜长花岗岩，安山岩，中酸性火山碎屑岩及凝灰质砂岩等。总的说来，蚀变分布是以花岗闪长斑岩为中心向外依次呈环状分布的：钾化带→绢云母化带→青磐岩化带，此外还有几条长条状硫酸岩化带。

钾化带：由斑岩体碎裂中心向外，钾化带依次出现强硅化亚带（或硅化核），钾硅化亚带和钾长石黑云母化亚带。三者之间均呈过渡关系。在钾化带内石英主要集中于硅化核内，一般大于 40%，向外至钾长石黑云母化亚带的边缘常递减到只有 2%左右。蚀变生成的黑云母在硅化亚带和钾硅化亚带内已被强烈交代，残留不多了，残存的蚀变生成的黑云母主要分布于钾长石黑云母亚带内。钾长石主要分布于钾硅化亚带内，含量一般为 2%～5%，多者大于 30%。向强硅化亚带和钾长石黑云母化亚带，钾长石有递减的趋势。

绢云母化带：略成拉长的环状分布于钾化带和青磐岩化带之间，沿北西向延长达 4km，宽处达 0.5km，倾向南西，倾角 70°～80°，向深部逐渐变窄和逐渐尖灭。根据绢云母化强度不同，可分为三个亚带：石英-绢云母化亚带，绿泥石-绢云母化亚带和绿帘石-绿泥石-绢云母化亚带。石英-绢云母化亚带分布于绢云母化带的中部，略偏向于钾化带一侧，是片理化。绢云母化和铜矿化最强的亚带。绿泥石-绢云母化亚带分布于石英-绢云母化亚带两侧，与石英-绢云母化亚带呈渐变过渡关系。有时，该亚带也可单独出现。矿区大多数的铜矿体都赋存在该亚带内。绿帘石-绿泥石-绢云母化亚带分布于绢云母化带的外侧，向外与青磐岩化带相邻接。

青磐岩化带：分布在绢云母化带以外的广大地区，是多次热液活动叠加改造的产物。根据蚀变矿物的生成次序，此带至少是三次热液活动的产物：花岗闪长岩岩浆结晶之前形成的分布于中奥陶统地层的青磐岩化；花岗闪长岩岩浆期后形成的分布于花岗闪长岩内部及其接触带附近的青磐岩化；花岗闪长斑岩岩浆后期形成的分布于钾化带外侧的青磐岩化。

碳酸岩化带：碳酸岩化带沿晚期南北向隐伏断裂带的主矿带中部发育。

（七）矿床物化探异常

磁异常：NW 向深大断裂与成矿关系密切，在 ΔT 等值线平面图上较为特征。ΔT 图表现出大片平静负磁场中出现有规律的零乱正磁异常带、平静负磁场系古生带火山岩地层的反映，零乱磁异常为沿断裂带侵入的花岗岩体。

重力场：在 Δg 布格重力异常图上，WN 向重力异常明显，形成规模较大的正负重力异常梯度带，该重力梯度带长约 40km，NW 端自三矿沟起，向 SE 经小多宝山、多宝山至铜山，转为近 EW 向后逐渐消失。该重力异常梯度带与基底断裂破碎带重叠，是岩浆活动的通道，也是矿液沉淀的场所。

激电异常：激电异常值（η_s）5%～10%，明显沿多宝山和铜山矿床的外围分布，形成激电异常圈。这些激电高值区除部分是由碳质岩石引起的外，主要是由黄铁矿化岩石引起的。激电异常长轴长 19km，宽 15km，呈近似三角形分布，其中矿带下盘（北东部）的 η_s 值在 5%以上的范围，分布较窄、但连续比较好，而 10%以上范围连续性较差。矿带上盘 10%以上的高值区和 5%以上的较高值区互连续性较好。多宝山矿田的主要矿体的激电异常值都在 5%～12%。

地球化学异常：多宝山斑岩铜矿田主要成矿元素 Cu、Mo、Au、Ag 沿北西向成矿构造带呈现明显高含量带，在高含量带周围环绕着 Cu、Mo、Ag 的降低场。

Cu 的高值带：10×10^{-6}以上 Cu 的高值带连成一片，多宝山和铜山矿床位于面积最大的高值区内（$>30\times10^{-6}$）。

Mo 的高值带：Mo 异常明显呈 NW 向带状分布 1，其值$>1.25\times10^{-6}$。Cu 与 Mo 高含量带分布范围基本一致，尤其在多宝山吻合程度最好。

Ag 的高值带：Ag 异常分布十分明显受构造控制，沿 NW 向呈带状分布。以多宝山矿床为中心，Ag 有向东南分布的趋势，而 Mo 则相反，主要出现于多宝山矿床的西北部。

Au 的高值带：Au 与 Cu、Ag 有相似之处，沿 NW 向呈构造带分布，但 Au 异常的连续性较差。

Cu 的降低场：Cu 的降低场沿 NW 向构造成矿带分布，西北宽，东南窄，一般宽在 10km 左右，最宽处在多宝山矿床附近，宽度可达 13km，降低场中 Cu 的衬度值为 0.5～0.9，主要矿床均被降低场所包围。

Mo 的降低场：Mo 的降低场形态不如 Cu 元素降低场规则，但范围较 Cu 的降低场大，宽 10～15km。降低场中的异常场沿北西向构造带呈带状分布，降低场中的异常场连续性比较好。

Ag 的降低场：Ag 的降低场也是沿 WN 向成矿构造带分布。降低场的范围和形态与 Mo 的相近，尤其铜山矿床东南部更为相近。降低场平均宽度 10km 左右，降低场中的衬度值为 0.9～0.5，降低场中的异常场衬度值在 1 以上。

物化探综合异常找矿模式：根据上述结果，将物化探综合找矿模式表示于图 2-15。

三、成矿条件

（一）稳定同位素

硫同位素：多宝山铜矿床硫同位素主要测定了黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿等（共计 234 件样品）。硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 值变化范围为3.3‰～－5.2‰，平均值为－0.77‰；其中黄铁矿的变化范围为 3.3‰～－5.2‰，平均值为－0.29‰；黄铜矿的变化范围为 1.2‰～－4.2‰，平均值为－1.31‰；斑铜矿的变化范围为 0.6‰～－3.5‰，平均值为－1.38‰。硫同位素组成频率直方图上呈塔式分布。矿田内 $\delta^{34}S$ 值总的变化范围窄，其绝对值小于 8.5‰，各种硫化物 $\delta^{34}S$ 值差异较小，说明矿田内硫同位素分馏效应总的不强烈，具有相对的均一特征。含矿热液中沉淀的硫化物同位素组成既受 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$的控制，也严格受 f_{O_2}、pH、T、f_{S_2} 等控制，但总的 $\delta^{34}S$ 值趋于陨石硫或铜镍硫化物硫，主要属于深部来源。

氢氧同位素：多宝山矿床共测试了 30 件氧同位素，7 件氢同位素。钾硅酸盐带中石英的 $\delta^{18}O$ 为 10.6‰，相平衡的热液 $\delta^{18}O$ 为－2.5‰，δD 为 －92‰；石英核的流体包裹体 $\delta^{18}O$ 为 10.57‰，δD 为－105.7‰；绢英岩化带石英为 $\delta^{18}O$ 为的 11.7‰，相平衡的热液 $\delta^{18}O$ 为 0.6‰～5.5‰，δD 为－81‰；青磐岩化带中石英 $\delta^{18}O$ 为 11.8‰，相平衡的热液 $\delta^{18}O$ 为－1.6‰，δD 为－83‰；无矿方解石脉的 $\delta^{18}O$ 为 7.7‰，相平衡的热液 $\delta^{18}O$ 为－4.9‰。上述结果表明，总的为岩浆水与天水的混合产物。

碳氧同位素：多宝山矿床碳酸盐化非常普遍，为了查明碳质来源，对多宝山组（中奥陶统）大理

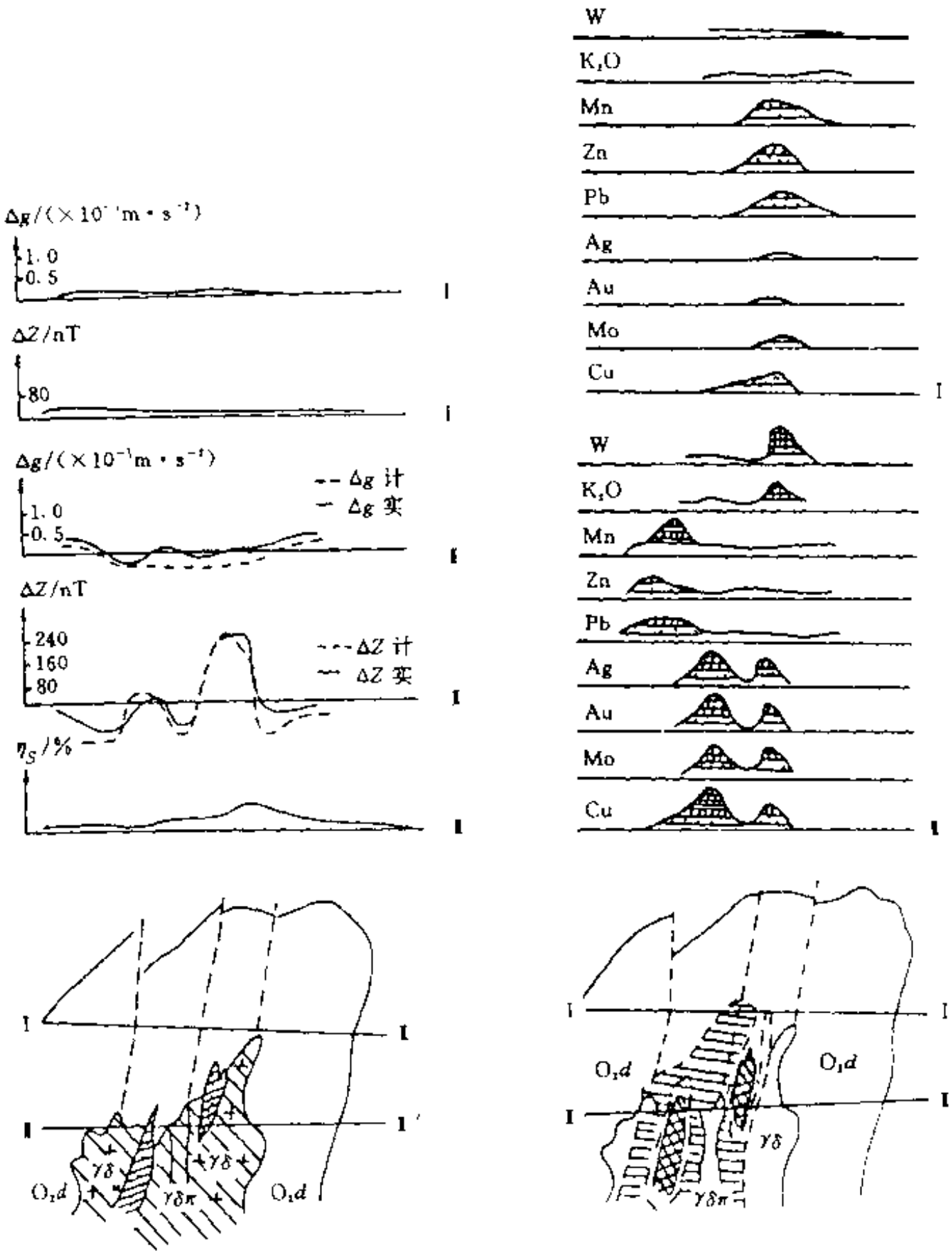


图 2-45　多宝山斑岩铜矿床物化探综合找矿模式图

Fig　2-45　Geochemical and geophysical exploration model of Duobaoshan porphyry copper deposit

I、I —分别为两条不同部位的剖面；左边为地球物理模式；右边为地球化学模式

岩和不同碳酸盐化期的蚀变方解石（共计 12 件样品）进行了碳同位素测定，同时作了相应的氧同位素测定。大理岩的 $\delta^{13}C$ 变化范围为 1.99‰～－1.27‰，平均值为 0.36；相应的 $\delta^{18}O$ 为 10.53‰～11.89‰，平均值为 11.21‰，与标准泥相硫酸盐的碳氧同位素组成是一致的。4 种不同产状的方解石脉的 $\delta^{13}C$ 值基本一致：绢云母化方解石脉 $\delta^{13}C$，平均为－2.5‰，相应的 $\delta^{18}O$ 平均为 10.01‰；石英方解石脉的 $\delta^{13}C$ 平均为－2.5‰，相应的 $\delta^{18}O$ 平均为 9.10‰；纯方解石脉的 $\delta^{13}C$ 平均为－2.36‰，相应的 $\delta^{18}O$ 平均为 9.66‰；含黝铜矿方解石脉的 $\delta^{13}C$ 平均为－2.44‰，相应的 $\delta^{18}O$ 平均为 10.32‰。上述数据表明，它们属于深海沉积物的碳氧源，但是在成矿热液的作用下都有一定范围的偏移。

铅同位素：多宝山矿床的铅同位素组成为 $^{206}Pb/^{204}Pb=17.996$，$^{207}Pb/^{204}Pb=15.568$，$^{208}Pb/^{204}Pb=37.707$，属于正常铅的同位素组成，铅源来自华力西中晚期岩浆热液。

锶同位素：多宝山地层共测试 Rb-Sr 同位素样品 23 个，分别采自花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、更长花岗岩、安山玢岩及奥陶系中统多宝山组安山岩。它们的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值分别为 0.70541～0.70369，其中花岗闪长斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 283.1Ma，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7054；更长花岗岩的 Rb-Sr

等时线年龄为 245Ma，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7037；花岗闪长岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 310Ma±17Ma，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7058；安山岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 299Ma，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7052。

将这些岩石的初始$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值投到 Faure 和 Hurley（1963）作的 Sr 同位素演化图上，其落点都集中在玄武岩来源区，证明这些中酸性花岗质岩浆属于深源部分熔融的。

（二）流体包裹体

多宝山矿床共采集了 2500 件流体包裹体样品，获得 4000 余个数据（杜琦等，1988）。流体包裹体主要产于石英、方解石、石膏和绿帘石、磷灰石和钾长石等矿物中，其中以石英中的流体包裹体最为丰富。根据流体包裹体的气液比和物理化学状态，将多宝山矿床的流体包裹体划分为五类。

气体包裹体：气液比大于 50%，在热台上加热均一为气态，均一温度变化范围为 249～560℃，主要温度区间集中于 360～480℃，含盐度变化范围为 20%～26%；

气液包裹体：气液比 15%～49%，一般均为液态，均一温度变化范围为 167～469℃，主要集中于 40～360℃，含盐度变化范围为 14%～23%；

液体包裹体：气液比小于 15%，加热均一为液态，均一温度变化范围为 110～287℃，主要集中于 140～250℃，含盐度变化范围为 10%～16%；

多相包裹体：此类包裹体含气相、液相和固相子晶，其子晶有钾盐、钠石盐、硬石膏、赤铁矿等，其气液比变化于 10%～15%，钠石盐子晶消失温度变化于 148～292℃，均一温度变化于 221～411℃，含盐度变化范围为 33%～49%；

含液相 CO_2 包裹体：液相 CO_2 体积大约占包裹体总体积的 15%～70%，CO_2 部分均一温度为 20～27.4℃。

均一瞬间压力：利用 NaCl 型多相包裹体求得均一瞬间压力变化于 75～160MPa；利用气体包裹体求得均一瞬间压力变化于 8～60MPa；利用含 CO_2 包裹体求得成矿压力变化于 9～57MPa。由此认为，均一瞬间压力具有很大的变化范围，在工业铜矿体内流动沸腾现象十分普遍，沸腾温度变化区间为 250～460℃，压力变化于 8～160MPa。

（三）成矿物理化学条件

氧逸度：根据黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和硬石膏等矿物稳定组合。如确定成矿温度变化为 150～340℃，则氧逸度变化为 $10^{-21.5}$～$10^{-45.1}$Pa。在整个成矿过程中，氧逸度总趋势是降低的。

硫逸度：在斑岩铜矿石中黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿等为重要的硫化物矿石矿物组合。硫氧逸度的变化范围，若温度在 150℃时，有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿和方解石的平衡组合存在则 f_{O_2} 的变化为 $10^{-8.5}$～10^{-17}Pa；若温度在 250℃时，有黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉钼矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、方解石和硬石膏的平衡组合存在，则 f_{O_2} 的变化为 $10^{-28.5}$～10^{-34}Pa，f_{S_2} 的变化为 $10^{-0.5}$～$10^{-13.5}$Pa；若温度在 350℃时，有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿、磁黄铁矿、赤铁矿和硬石膏的平衡组合存在，则 f_{O_2} 的变化为 10^{-23}～$10^{-25.6}$Pa；f_{S_2} 的变化为 $10^{-0.5}$～$10^{-4.5}$。

（四）矿床成因

多宝山铜矿床与华力西期（283～292Ma）花岗闪长岩和花岗闪长斑岩的岩浆热液活动具有密切关系，主要工业矿体均围绕花岗闪长斑岩小岩体（0.17km²）分布。北西向弧形断裂带既控制华力西中晚期花岗质岩浆侵位，也控制成矿热液的迁移和沉淀。由于构造-岩浆的多期多次活动，带动成矿热流体对围岩的多次蚀变，多次萃取，多次迁移和多次沉淀。下面首先对主要相关地质体对成矿的贡献作几点归纳：

地层对成矿的贡献：由于多宝山组正常场平均含铜量为 130×10^{-6}，矿区外围的负异常场中含铜量仅（2～40）$\times10^{-6}$，由此许多研究者（杜琦等，1988）认为，多宝山组可能起到矿源层的作用。在多宝山和铜山铜矿床主矿带的下盘分布着铜山组顶部的紫色砂砾岩层，由于该地层渗透率高，可能对成矿热液起到通道作用。几个大矿体的顶部毫无例外地赋存在多宝山组底部的安山岩内，由于安山岩韧性强，相对花岗闪长岩抗构造破碎，因而使铜矿化主要限制在安山岩下面的花岗闪长岩片理化带内，使

安山岩在成矿过程中起到屏蔽层的作用。

构造对成矿的贡献：从区域构造看，多宝山矿区位于增生大陆边缘，位于NE向应力场内的NW向深断裂带上和大背斜轴部，这种区域构造背景，有利于发生张性构造系统，岩浆被动侵位及成矿热液的对流循环。多宝山矿区明显受NW向弧形构造带控制，几条主干断裂、片理化带、斑岩体、蚀变带和矿带均作NW向展布。

花岗质岩浆对成矿的贡献：多宝山花岗闪长斑岩体具有小而复式侵位的特点，主要工业矿体均围绕小斑岩体周围分布，黑云母化与斑岩岩浆侵位紧紧相随，斑岩岩浆侵位和黑云母化发生的深度推算为1～6km。

热流体对成矿的贡献：多宝山铜矿具有多期热流体作用的特点，蚀变分带和矿化分带反映多期热流体活动叠加改造的结果，矿化与蚀变密切相关。据统计，硅化斑岩和硅化花岗闪长岩含铜（167～371）×10⁻⁶，钾长石化硅化花岗闪长岩含铜511×10⁻⁶，钾长石 黑云母化花岗闪长岩含铜1106×10⁻⁶，绿泥石 绢云母化花岗闪长岩含铜1120×10⁻⁶，硅化 绢云母化花岗闪长岩含铜1750×10⁻⁶，矿带内硫酸盐化-绢云母化花岗闪长岩含铜大于5000×10⁻⁶。

上述数据表明，铜的富集是随着热液蚀变叠加过程而实现的。主要工业矿体都赋存于绢云母化带和黑云母化亚带内。伴随着斑岩岩浆的侵位，形成了黑云母化亚带及铜的初步富集，辉钼矿的富集主要伴随硅化。后期各种热液蚀变以及矿化进一步改造富集是在热液对流循环机制中完成的。综观上述地质特征，我们将多宝山铜矿归为斑岩型铜矿。

第六节　内蒙古新巴尔虎右旗乌奴格吐山铜矿床

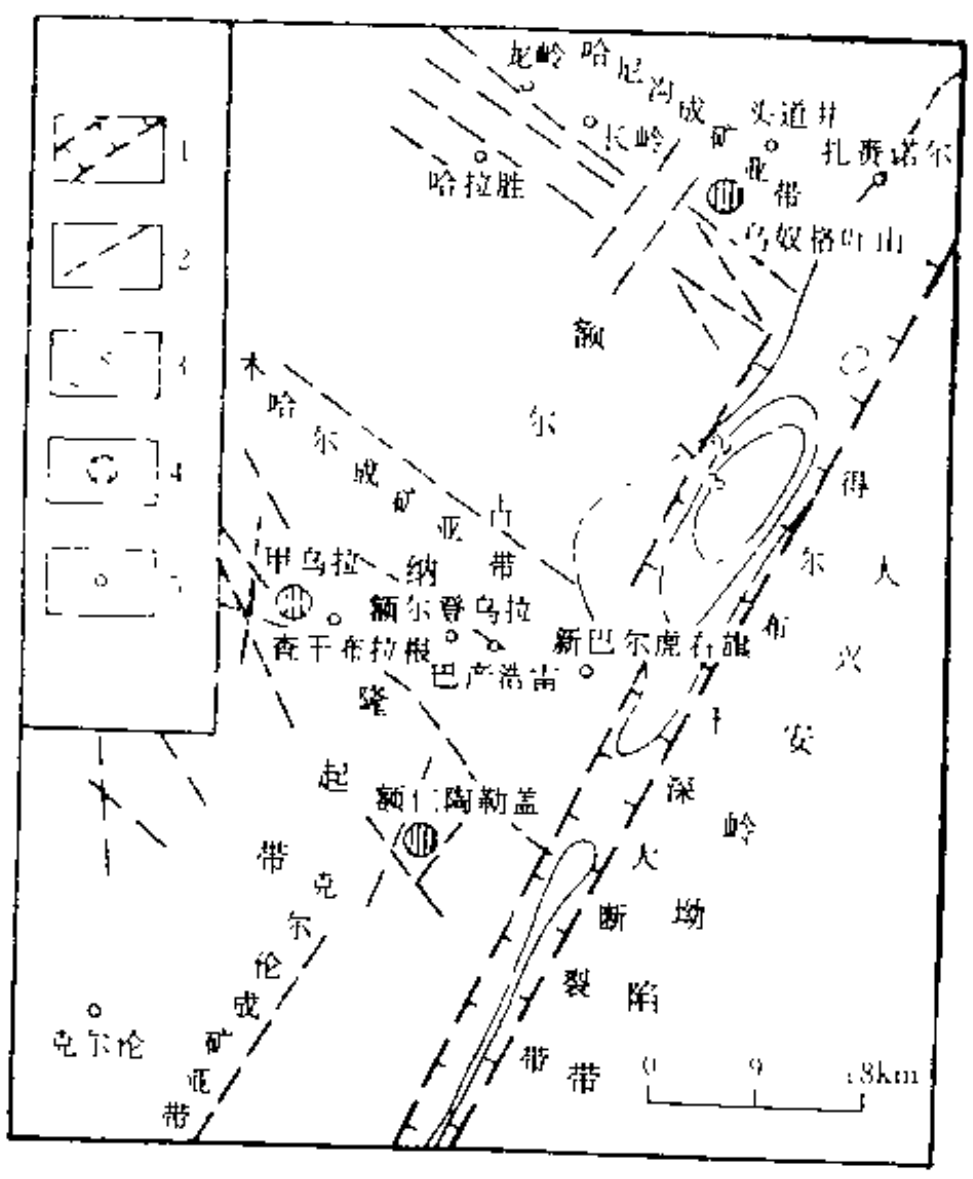


图2-46　乌奴格吐山斑岩铜矿区域构造示意图

Fig. 2-46　Regional structure sketch of Wunugetushan porphyry copper deposit

1　呼伦湖地堑；2—断裂；3—基底等深线；4　大型矿床；5—小型矿床、矿点

一、大地构造单元

乌奴格吐山斑岩铜矿床位于额尔古纳褶皱系深断裂带为界。额尔古纳褶皱系相对为隆起带，大兴安岭优地槽相对为坳陷带。该矿区位于隆坳交接带的隆起一侧（图2-16）。得尔布干深断裂为一个切割到上地幔的岩石圈断裂，对区内的地层、构造、岩浆活动和矿化作用起长期控制作用。进入中生代以来，该断裂带活动性增强，伴随区域性断陷和火山岩浆活动的同时，许多有色金属和贵金属矿床应运而生，乌奴格吐山斑岩铜矿床为其中的一例。

二、矿区地质

（一）地层

矿区分布主要地层有：

新元古界佳疙疸群：岩性为古老的片岩类；

泥盆系中统乌奴尔组：岩性为变质较深的碎屑岩、火山岩及碳酸岩；

二叠系上统老龙头组：浅变质中酸性火山岩及变质砂砾岩；

侏罗系中统南平组：岩性为陆相粗—细碎屑岩、含凝灰质成分；

侏罗系上统包括塔木兰沟组、木瑞组和上库力组，岩性为中酸性火山岩及次火山岩，共分3个喷发和溢流旋回，也是斑岩矿床和浅成热液矿床

成矿的最佳阶段；

白垩系伊列克得组和大磨拐河组：岩性为陆相碎屑岩及中基性-中性-酸性钙碱系列火山岩和碱性玄武岩。

本区除中生代地层广泛发育外，古生界和前古生界只有零星出露。

（二）构造

得尔布干深断裂带是区域控岩控矿的主导因素，据地球物理资料表明，该断裂已切穿壳层达到上地幔，在地壳浅部表现为两侧内倾陡立正断层，构成地堑构造。地堑下陷深度可达3000m，得尔布干深断裂带发生于古生代内蒙古-鄂霍次克海封闭时，中生代由于太平洋板块北西向推挤而活化。在中生代这种构造动力因素带动下，造成深部岩浆房的物质分异、岩浆上侵及成矿物质迁移沉淀，导致NNE向满洲里-新巴尔虎右旗多金属成矿带的形成。

与得尔布干深断裂相配套的有一系列NW向和NWW向张性和张剪性断裂，其中哈尼沟和木哈尔北西向断裂带构成重要的成矿亚带（图2-16）。乌奴格吐山斑岩铜矿即位于哈尼沟成矿亚带上。NW向和NWW断裂带在燕山早期为压性和压剪性，到燕山中晚期才转为张性或张剪性（李伟实，1994）。这种断裂性质的转变与成矿时间是一致的。

在NW向成矿亚带中，火山-次火山构造往往控制矿体的定位。例如乌奴格吐山斑岩铜矿产于破火山构造中；哈拉胜和大坝火山热液多金属矿床产于火山穹隆构造；甲乌拉浅成热液银-多金属矿床产于火山-次火山复合构造。乌奴格吐山矿区环状火山断裂系统对于控矿容矿十分明显。

（三）侵入岩

王之田等（1988）认为乌奴格吐山斑岩铜（钼）矿床的近矿围岩为黑云母花岗岩（187Ma，K-Ar法）。成矿母岩为二长花岗斑岩（138Ma，K-Ar法）。李伟实（1994）称成矿岩体为花岗闪长斑岩（138Ma，K-Ar法）。本文认为王之田等的命名较为合理，故称成矿主要斑岩为二长花岗斑岩。

实际上，成矿岩体为同源多期喷发和浅成侵位的复式岩体，平面上呈NW向拉长的椭圆形，剖面近于陡立略向北西侧伏，出露面积大约为0.12km^2，呈“-”岩株，分三个时期侵位：

（1）成矿早期为充填于火山通道中的流纹质角砾凝灰岩；

（2）主成矿期为沿火山管道侵位的二长花岗斑岩；

（3）成矿期后为侵入英安角砾岩。此外，还有花岗斑岩、石英斑岩及闪长玢岩等脉岩充填于四周环状裂隙中。

黑云母花岗岩为成矿的主要围岩，灰色略带粉红色。其矿物组成为：石英大于30%、条纹长石和正长石约占30%，钠长石为15%，黑云母占5%～15%。

二长花岗斑岩为灰白色，岩体上部以细粒或霏细结构为主，少斑晶，多晶屑；岩体下部斑晶明显增多，中细粒，基质为显微晶粒结构。斑晶以斜长石为主，其次为石英和黑云母，斑晶占43%～50%，基质为石英、钾长石和斜长石。暗色矿物含量少于6%。

二长花岗斑岩的SiO_2含量平均为70.5%，K_2O+Na_2O为8.27%，$w(K_2O)/w(Na_2O)$为0.83，其复式杂岩体组合指数δ为1～2.9，碱度AR为2.1～3.8，属于钙碱系列岩石。固结指数SI较低，为1.2～6.8。拉森指数LI较高，为22～31。以上数据反映乌奴格吐山复式岩体总的基性程度低，酸度较高。蚀变后SI降低，LI增大1，长英指数FL增大。斑岩分异指数DI为85～90，比我国其他几个主要斑岩铜（钼）矿床的都高（德兴68.14，多宝山78.38，玉龙79.61）。

乌奴格吐山二长花岗斑岩和黑云母花岗岩的副矿物组合为磁铁矿、磷灰石、锆石和榍石型。

黑云母花岗岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$的初始值为0.7065。二长花岗斑岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始值为0.7061。并且ΣREE值低，$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$值高，δEu值高，稀土分配模式为右倾曲线，Cu、Mo、Pb、Zn、Pt、Pd等元素丰度高。综上所述其岩源系来自上地幔与下地壳的混合源，岩浆属于同熔型。黑云母花岗岩的K-Ar法全岩年龄值为176.9～201.6Ma，一组Rb-Sr等时线年龄为198.11Ma，定为印支-燕山早期产物。二长花岗斑岩的K-Ar法全岩年龄值为164 Ma，属于晚侏罗世产物。

（四）与成矿有关的火山岩

矿区共发育有三个火山亚旋回：第一亚旋回为火山沉积旋回，时代属于中侏罗世；第二亚旋回为岩浆侵入亚旋回，是黑云母花岗岩侵位的主要时期，时代属于中、晚侏罗世；第三亚旋回为得尔布干地堑火山喷发的主要时期，时代属于晚侏罗世，最上部有一部分已跨早白垩世，第三亚旋回又划分四个火山喷发阶段。

这些火山岩岩石化学特征为：大部分属于正常系列，铝过饱和，少数为碱过饱和，$w_B(K_2O)>w_B(Na_2O)$。每个阶段从碱钙性开始，终于钙碱性和钙性，硅质和碱质含量递增，Al_2O_3、CaO、MgO、Fe_2O_3、FeO 含量偏低。在火山喷发的间隙期有斑岩侵位，为热液蚀变和矿化的主要时期。

（五）铜矿床地质

矿体：全矿区共探明 33 个铜矿体，13 个钼矿体。北矿段矿体主要赋存在斑岩体的内接触带，受围绕斑岩体的环状断裂控制。在剖面上矿体向北西倾斜，铜矿体向下分支。南矿带矿体形态不规则，以钼为主，整个矿带呈哑铃状，中间变窄，矿带 NE SW 向长 3200m，宽 130～780m，延伸大于 550m（图 2-47）。铜储量 223.2 万吨，品位 0.16%；钼储量 25.8 万吨，品位 0.019%；银储量 175t；铼储量 99t。

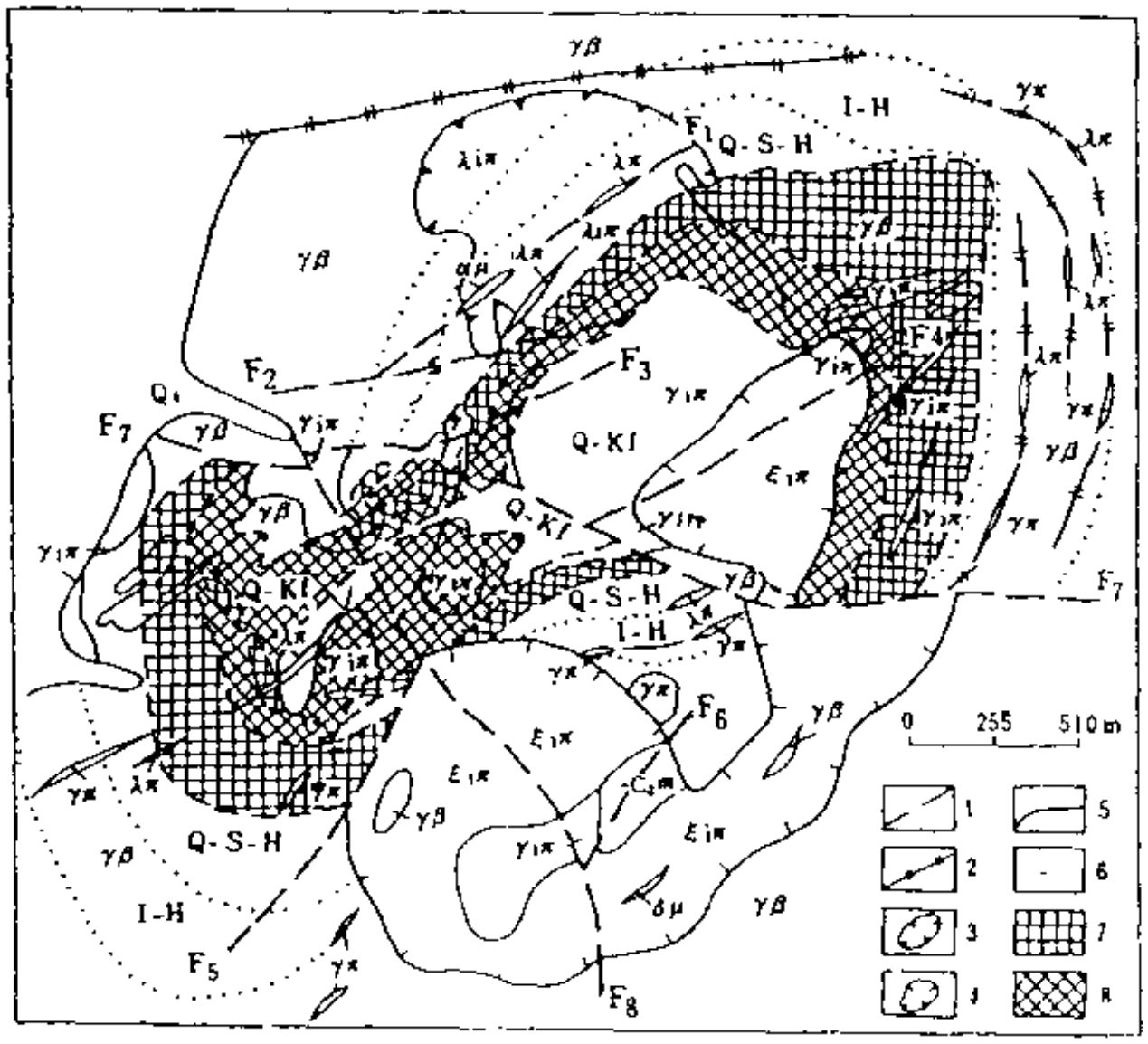


图 2-47　乌奴格吐山斑岩铜（钼）矿床地质略图

Fig. 2-47　Geological sketch map of Wunugetushan porphyry copper (molybdenum) deposit

Q1—第四系；clm—古生代安山岩、结晶灰岩；$\xi\pi$—次英安质角砾熔岩；$\gamma_1\pi$—二长花岗斑岩；$\lambda\pi$—次流纹质晶屑凝灰熔岩；$\gamma\beta$—黑云母花岗岩；$\alpha\mu/\delta\mu$—安山玢岩，闪长玢岩；$\lambda\pi$—流纹斑岩；$\gamma\pi$—花岗斑岩；I-H—水云母化带，Q-S-H—石英绢云母化带；Q-Kf—石英钾长石化带；1—断层；2—环状断裂系统；3—火山管道构造，4—爆发角砾岩筒；5—地质界线；6—蚀变带界线；7—铜矿化；8—钼矿化

矿石矿物成分：主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿、闪锌矿、黝铜矿、砷黝铜矿、方铅矿、磁黄铁矿和毒砂等；主要非金属矿物为石英、绢云母、钾长石和方解石等。

矿石结构构造：矿石主要为浸染状和细脉浸染状构造。

矿石化学成分：矿石中主要工业元素为 Cu 和 Mo，伴生有益组分为 Ag、Au、Re 等，矿石中微量元素还有 Ag、Pb、Zn、Au、Re、Co、Ni、Pt、Pd、As、Tl、Mg、Bi、Se、Sb、Sn、Te 等。

矿化分带：金属矿物组分由中心向外依次为：磁黄铁矿-黄铁矿-辉钼矿→黄铁矿-辉钼矿-黄铜矿→

黄铁矿 黄铜矿→黄铁矿-闪锌矿-方铅矿组合。

成矿阶段：李伟实（1994）将该矿床划分为4个成矿阶段：

（1）石英-铁硫化物阶段，主要形成石英和黄铁矿；

（2）石英-硫化物阶段，产于石英-钾长石带，主要形成石英、钾长石、黄铁矿、辉钼矿和黄铜矿，为钼矿的主要成矿阶段；

（3）石英-绢云母-硫化物阶段，主要形成石英、绢云母、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿和闪锌矿等，为铜矿主成矿阶段，产于石英-绢云母化带；

（4）方解石-硫化物阶段，主要形成方解石和黄铁矿等。

（六）近矿围岩蚀变

矿床围岩蚀变分带明显，但青磐岩化带不发育。北矿带以斑岩体中心形成环带状蚀变带，从内到外可分三个带：内带——石英-钾长石化带；中带——石英-绢云母化带；外带——水云母化带。

（七）物化探综合异常

（1）矿床位于平静低磁异常区（ΔZ100～200nT），外围磁场强度增高且杂乱（ΔZ200～500nT）；

（2）自电异常在矿体上方有－100mV左右的异常；

（3）激电幅频率异常在矿体上方呈弱异常（4%）至中等强度（6%～8%）异常，背景值2%～4%；矿体上呈低阻率100～300Ωm，而围岩电阻率300～700Ωm；

（4）电阻率联合剖面在矿体上有明显的低阻正交点；

（5）在矿体上方次生晕具有Pb、Zn、Mo、As内带异常，F、Hg、S、Mn外带组合异常及Cu的中带异；

（6）矿体上方地表原生晕有Pb、Zn、Cd内带异常，As、Ag、W、Ni、Co中带异常及F、Hg、Cu、Mo、Sb、Au、Sn、Mn、Rb、Ba外带异常。矿头晕特征元素为Pb、Zn、S、Ni(Cd、Ag、As)内带异常；矿体中部晕特征元素为Ag、As(Pb、Zn)内带异常，Hg(Cu)中带异常，Mn外带异常；矿尾部晕特征元素Bi、W内带和Co、Sn、Cu、Mo中带异常；

（7）矿石元素垂向变化自上而下Ag、Pb含量呈低-高-低变化，Pb、Ag主要富集在近地表300m深之内；Cu含量从上至下增加，Cu在深部富集；Zn量呈低-高-低-高变化，有两个富集段，即650～550m标高和310m标高以下。

三、成矿条件

（一）稳定同位素

金属硫化物的硫同位素组成为接近陨石硫，为正值，$\delta^{34}S$平均为＋2.24‰，极差小，离散度小，频率图呈塔式分布。在矿区范围内没有明显的硫同位素分馏，硫化物基本是在同位素平衡条件下生成的，硫源明显属于深部来源（上地幔），未受地壳物质污染。

矿石铅同位素组成为：$^{206}Pb/^{204}Pb$为18.327～18.526，$^{207}Pb/^{204}Pb$为15.436～15.633，$^{208}Pb/^{204}Pb$为37.997～38.421，比值波动不大。$^{238}U/^{204}Pb$变化为9.42292～9.26762，9个样品均属在正常铅增长曲线上及卡农三角图的小三角图形内，与火成岩的初始铅组成非常一致，表明铅源来自深部岩浆房。

石英-钾长石化带的$\delta^{18}O$为－119.56‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$为＋6.28‰；石英绢云母化带的δD为－120.89‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$为＋1.31‰，表明成矿热液属于以天水为主的混合热流体。

（二）稀土元素

二长石花岗斑岩的$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$值为4.8，δEu为1.08，无铕异常，相当于下地壳的REE特征。王之田等（1988）推测斑岩岩浆属于下地壳部分熔融并遭受上地壳混染的产物。

（三）流体包裹体及成矿物理化学条件

温度：矿物流体包裹体的温度变化范围为180～650℃；石英钾长石化带的均一温度变化范围为380～650℃，叠加有280～430℃和130～210℃两组后期蚀变温度；石英绢云母化带的均一温度为280～430℃，叠加一组130～310℃蚀变温度；水云母化带的均一温度为110～310℃。蚀变和矿化都是多期叠加的。

压力：成矿早期，体系处于相对封闭状态，压力可高达1000×10^5Pa，例如石英-钾长石化带的压力变

化范围为(200～1000)×10⁵Pa。随着构造裂隙的复杂化，体系趋于开放，例如石英-绢云母化带的压力变化范围为(200～300)×10⁵Pa，而到水云母化带的压力已降到(50～180)×10⁵Pa。

酸碱度：据 H_2CO_3-HCO_3^- 平衡反应可估算成矿流体的 pH 值，石英 钾长石化带(钼矿体)的 pH 值为 5.47，呈弱酸性；石英-绢云母化带的 pH 值为 5.3，酸度稍稍增强了；水云母化带的 pH 值为 5.69，呈弱酸性到中性；无矿正常场的 pH 值为 6.01，呈中性状态。总的说来，成矿流体的酸碱度变化不大，在弱酸性条件下成矿，故缺乏泥化带的发育。

氧逸度：利用矿物平衡反应可以估算成矿的 f_{O_2}。从成矿早期到成矿中晚期，f_{O_2} 值变化范围为 10^{-33}～10^{-44}Pa，表现成矿流体向氧逸度降低的方向演化。

成矿流体的演化：从斑岩岩浆房分馏出来的成矿流体最早高达 800～900℃，并富 Cl^-、F^-、SO_2、CO_2 等挥发性组分，还携带碱质 K^+、Na^+和重金属元素。早期成矿流体与二长花岗斑岩、黑云母花岗岩和火山岩等发生交代反应，即形成黑云母化和钾长石化。这种超临界状态的成矿流体冷凝后形成高盐度流体，其含盐度 w(NaCl)可达 60%，均一温度达 800～500℃，压力达 1000×10⁵Pa，有时可见到含子晶的气相包裹体，金属硫化物以辉钼矿为主。

早期成矿流体向上向外运移，温度和压力逐渐降低，从岩浆熔融体中分馏出来的 SO_2 发生水解，产生 H_2S 和 SO_4^{2-}，同时由于物理化学条件的骤变，促使金属硫化物大量析出和沉淀。首先是 $[Mo_2O_7]^{2-}$、$[MoO_3S_2]^{2-}$等配合物的分解，生成辉钼矿矿体，随后生成铜硫化物矿体，此时温度为 340～430℃，压力为 (200～300) ×10⁵Pa，含盐度 w (NaCl) 可达 12%～68%。此阶段有部分钾长石分解成绢云母，即石英 绢云母化叠加于石英-钾长石化之上。

成矿体系进一步开放，循环天水大量的参与，在大量酸性介质 (Cl^-、F^-等) 的影响下，钾长石、

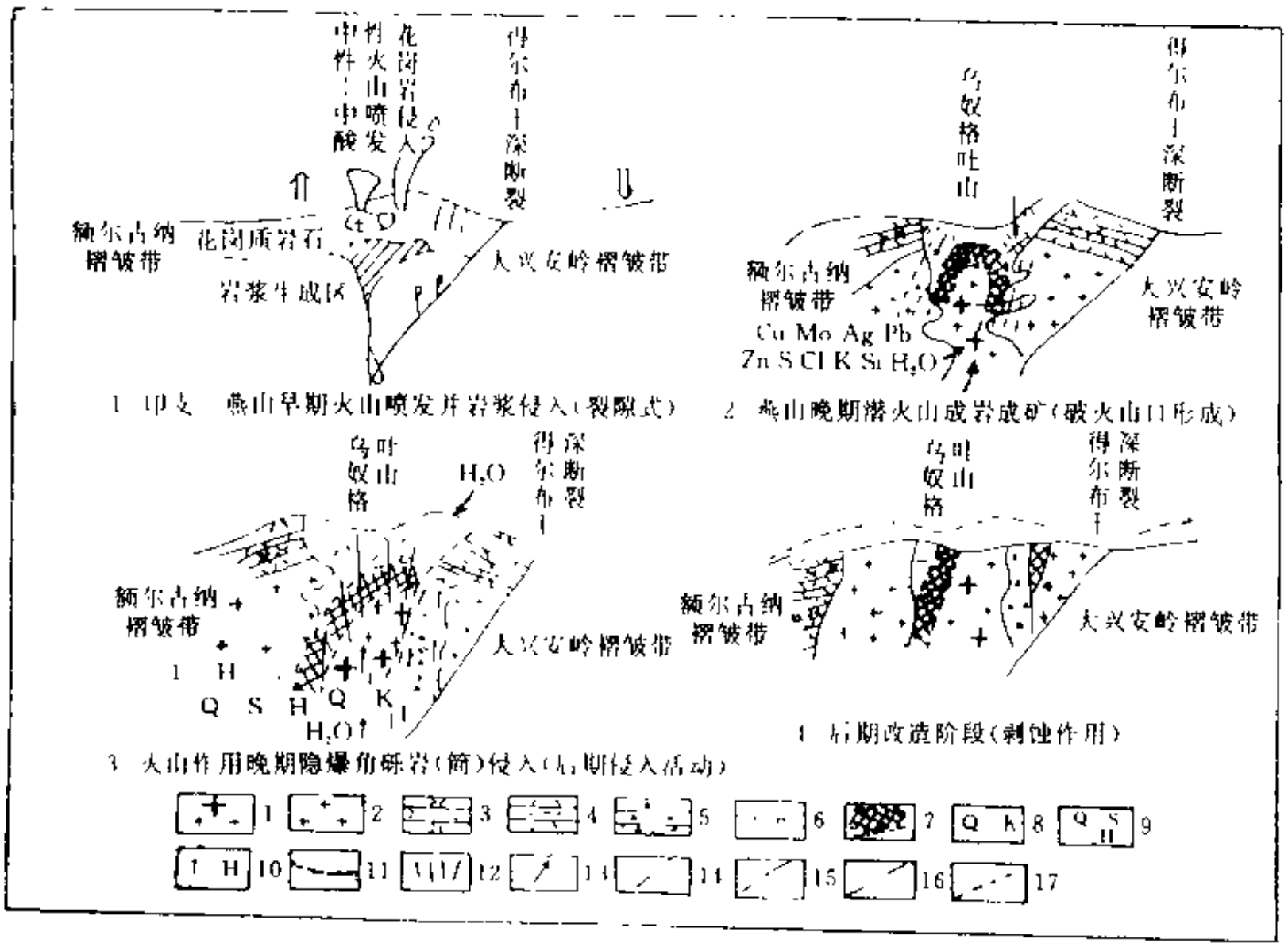


图 2-48 乌奴格吐山斑岩铜(钼)矿床成矿模式

Fig. 2-48 Metallogenic model of Wunugetushan porphyry copper(molybdenum) deposit

1—花岗斑岩；2—黑云母花岗岩；3—熔岩；4—凝灰岩；5—火山角砾岩；6—火山颈相；7—铜钼矿化；8—石英钾长石化带；9—石英绢云母化带；10—水云母化带；11—蚀变界线；12—断裂；13—矿液流向；14—火山管道界线；15—次火山岩体界线；16—侵入角砾岩筒界线；17—矿化界线

斜长石和黑云母分解为绢云母和水云母，形成石英-绢云母化带和水云母化带，同时 $[CuCl_2]^-$、$Cu[S_2O_3]^{3-}$、$CuS_2O_3^-$ 等络合物分解，生成大量黄铜矿，形成主要铜矿体。此时的温度为 240～340℃，压力大于 200×10^5Pa，含盐度可达 $w(NaCl)12\%$～50%。

成矿流体演化的晚期，对流循环的天水大量加入，其温度、压力和含盐度大大降低，硅酸岩矿物进一步水解，最终生成水云母化带，在矿体边缘及外围生成铅锌硫化物，如方铅矿和闪锌矿，此时的温度为 180～310℃，压力为 $(50\sim180)\times10^5$Pa。

（四）成矿模式

乌奴格吐山斑岩铜（钼）矿床的成矿模式可概括如图 2-18 所示。

印支-燕山早期，受太平洋板块向西推挤的影响，得尔布干深断裂带复活，黑云母花岗岩侵位，带来钼等成矿元素的富集。

燕山晚期受与得尔布干深断裂带相匹配的 NW 向拉张断裂的影响，形成许多中心式火山喷发机构，二长花岗斑岩沿火山管道相侵位，带来 Cu、Mo、Pb、Ag 等成矿元素的富集。乌奴格吐山斑岩铜（钼）矿床的形成是其中的一例。

由于本区多期次的构造岩浆活动，引发了深源岩浆水与下渗的天水对流循环，这种混合热流体由于既富挥发分又富碱质，同时对围岩具有强烈的萃取和交代反应能力，从而导致围绕斑岩体形成环带状蚀变分带和矿化分带。蚀变分带表现为石英-钾长石化带→石英-绢云母化带→水云母化带；矿化分带表现为 Mo→Mo-Cu→Cu→Cu-Pb-Zn 带。

由上述矿床地质特征表明，乌奴格吐山为较典型的斑岩铜（钼）矿床。

第七节　湖北阳新丰山洞铜矿床

一、大地构造单元

丰山洞铜矿床位于扬子准地台下扬子台褶带通山-瑞昌坳褶断束内丰山洞复式向斜的东端。

二、矿区地质

（一）地层

矿区出露的地层主要是下三叠统大冶群第四（T_1dy^4）至第七岩性段（T_1dy^7）（图 2-19），其中第五、六段（T_1dy^5、T_1dy^6）与成矿关系密切。

T_1dy^7：灰黄色厚层和薄层状白云质灰岩、白云岩夹角砾状白云岩，厚 79m。

T_1dy^6：上部为厚层状间夹薄层状灰岩，局部有少量燧石条带（或结核）和泥质条带，中部为中厚层状灰岩，具缝合线构造；下部为中-薄层状灰岩，厚 122m。

T_1dy^5：上部为淡黄色、灰色薄层状白云质灰岩；中部为浅灰-灰色中厚层状白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩；下部为薄层状白云质灰岩，含石膏条带状灰岩，厚 121m。

T_1dy^4：上部为厚层状白云质灰岩、灰质白云岩；下部为灰白色夹紫红色厚层状灰岩、白云岩，具鲕状构造，厚 205m。

（二）构造

矿区位于鸡笼山-苗母山复式倒转向斜核部。该向斜轴面走向近东西，倾向南。核部地层为三叠系碳酸盐岩，两翼地层为二叠系—志留系。两翼地层总体向南倾，倾角 40°～60°。核部次级褶皱发育，主要有大垅倒转向斜、仙人洞倒转背斜、立头倒转向斜和柯家塘倒转背斜（图 2-49），其中与成岩成矿关系密切的是立头倒转向斜和柯家塘倒转背斜。

断裂构造主要有近 EW 向、NWW 向，近 SN 向和 NE 向。近 EW 向断裂规模较大，以压性结构面为主，多为逆断层。NWW 向断裂以张性、张扭性为特征，地表并不明显。NE 向断裂比较复杂，有平移断层，NW 盘南移，SE 盘北移，表现为左旋扭动，矿田南部还有 NE 向逆断层。近 SN 向断层既有正断层，也有逆断层，切割岩体和矿体，为成岩成矿后断裂。岩枝、岩墙、岩脉主要呈 EW 向展布，受近 EW 断裂控制。而岩株主要呈 NWW 向展布，受 NWW 向构造控制。

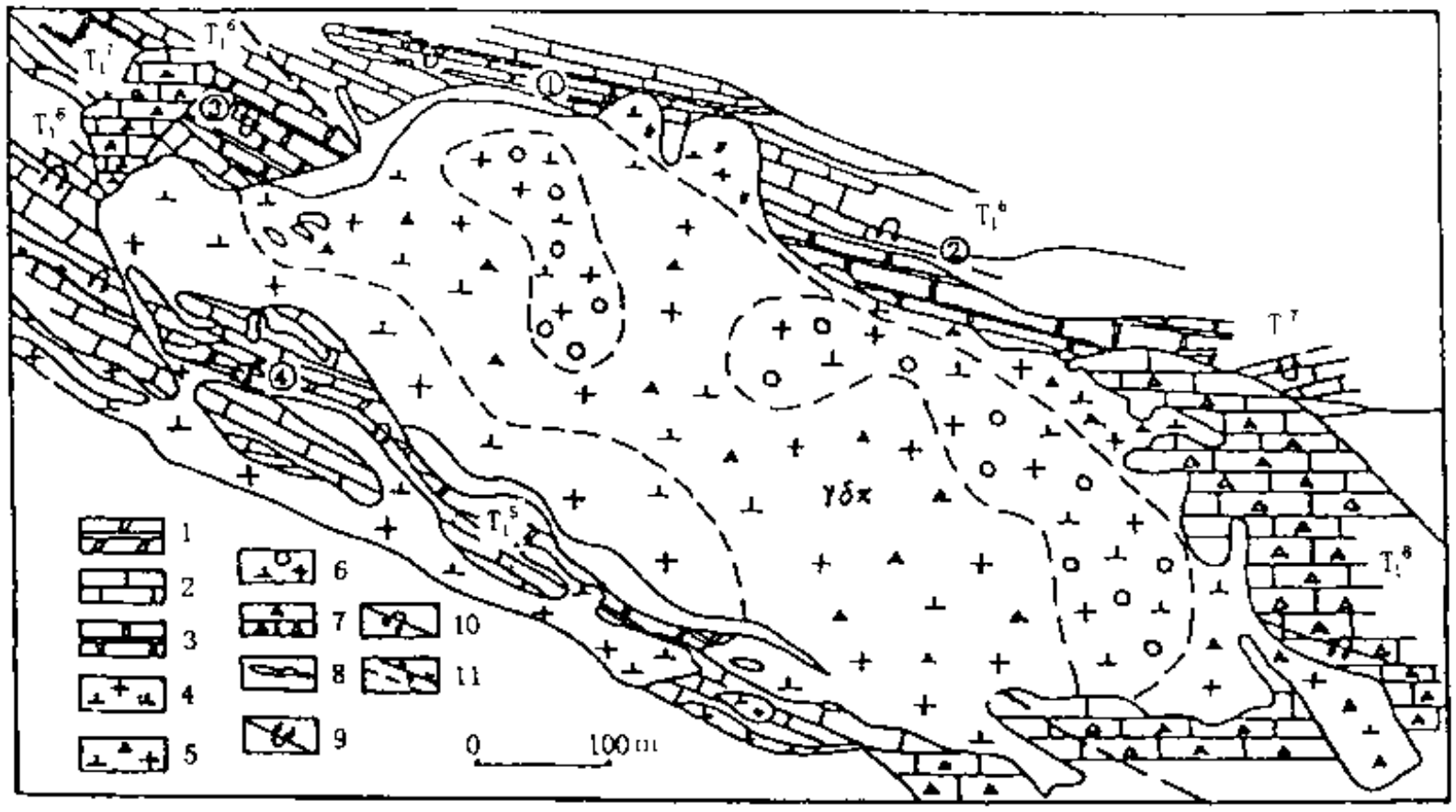


图 2-49　丰山洞铜（钼）矿床地质图

Fig. 2-49　Geological map of Fengshandong copper molybdenum deposit

（据翟裕生等，1992）（after Zhai Yusheng et al 1992）

1　大冶群五段白云质灰岩；2－大冶群六段厚层-中厚层灰岩；3　大冶群七段白云质灰岩、白云岩；4　花岗闪长斑岩；5　侵入交代角砾岩；6－卵石化角砾岩；7　震碎角砾岩；8　夕卡岩型矿体；9　倒转向斜；10　倒转背斜；11　断裂。①大境倒转向斜；②仙人洞背斜；③立头倒转向斜；④柯家塘倒转背斜

（三）侵入岩

丰山洞岩体沿柯家塘倒转背斜和立头倒转向斜侵入，平面上近似椭圆形，长轴呈NWW向延伸、向北超覆，向南倾伏，上大下小，为一蘑菇状岩株。岩株长约2200m，中部最大宽度800多米，地表长宽比为3∶1，在－100m标高为1.5∶1。出露面积约1.6km^2，由多次侵入活动形成。

丰山洞岩体可划分为四次侵入-爆发活动，第一次侵入活动形成岩株的主体，岩性主要为花岗闪长斑岩，在岩体的边缘，部分为石英闪长斑岩或石英二长闪长斑岩，是岩体同化围岩后形成的边缘相。

第二次岩浆活动以形成隐蔽爆发角砾岩体（筒）为特征，角砾成分复杂，有大理岩角砾、花岗闪长斑岩角砾、夕卡岩角砾以及矿石角砾等。胶结物有花岗闪长斑岩和热液蚀变产物。

第三次岩浆活动主要形成一个花岗闪长斑岩大岩墙，宽2526m，长近数公里。侵入到主岩体的西南部，并切穿了夕卡岩型矿体和隐爆角砾岩。

第四次岩浆活动形成了粗面质凝灰角砾岩和石英粗面质角砾凝灰岩，呈岩筒、岩墙产出，具有次火山岩和火山喷发岩间的过渡特征，是超浅成岩浆活动的结果。

各次岩浆的规模从早到晚由大渐小，说明岩浆活动强度从早到晚由强渐弱。从分布上看，第一次花岗闪长斑岩分布广，是主岩体，第二次主要分布在主岩体中部及西南部，第三次主要分布在主岩体西南部，第四次主要分布在主岩体东南部。在露天采场内，各次岩浆活动的产物穿插交织明显。

本区岩浆活动主要发生在燕山早期，第一次花岗闪长斑岩的同位素年龄为149Ma（K Ar法），第四次粗面质角砾凝灰岩138Ma（K-Ar法），时差为11Ma。从现场看，不同期次岩体虽然有明显的穿插关系，但冷凝边和烘烤边都不太发育，说明早、晚期岩浆岩时间间隔不大，是在统一的构造-岩浆背景下多次脉动活动的产物。

本区与成矿活动关系密切的是第一次和第二次侵入的花岗闪长斑岩，它们的化学成分与中国同类岩石化学成分相比，SiO_2含量略低，Na_2O+K_2O含量偏高，$w(Fe_2O_3)/w(Fe_2O_3+FeO)$第一次偏低，第二次偏高。FL与之相近，MF略低，为2.37～3.05，属钙碱性岩系列。岩石化学成分总体变化特征与区域内已知含矿斑岩（城门山、铜山口）十分相似。

稀土元素：$w(\Sigma REE)=167$，$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)=8.08$，$\delta Eu=0.98$，$(La/Yb)_N=31.56$，说明岩浆的来源可能为下地壳或上地幔。

成岩深度不大，据初步推算，岩体侵位深度小于 1km。岩体剥蚀深度也不大，因此丰山洞岩体为一超浅成侵入体。

三、矿床地质

(一) 矿体形态、产状

丰山洞矿床由近百个大小不等的矿体组成，其中 1 号、501 号和 558 号矿体规模较大，这三个矿体的储量占矿床总储量的 90%以上。

1 号矿体：位于岩体南缘接触带上，走向 NW300°，倾向 SW，倾角陡，一般在 50°左右。矿体沿走向长 800m，矿体厚度一般 30～40m。最大厚度可达 85m，矿体倾斜延深最大为 400m，总的形态为一复杂的扁豆体，走向上和倾向上都有分支复合现象，剖面上有叠瓦状排列的特点（图 2-50）。最近查明，该矿体位于－400m 上下的叠瓦状部分，在接触带大理岩褶曲突入岩体时，或凹兜部位时相连接，构成厚大的沿接触带受小褶曲控制的完整矿体。这一发现，使该矿体的储量成倍增长。

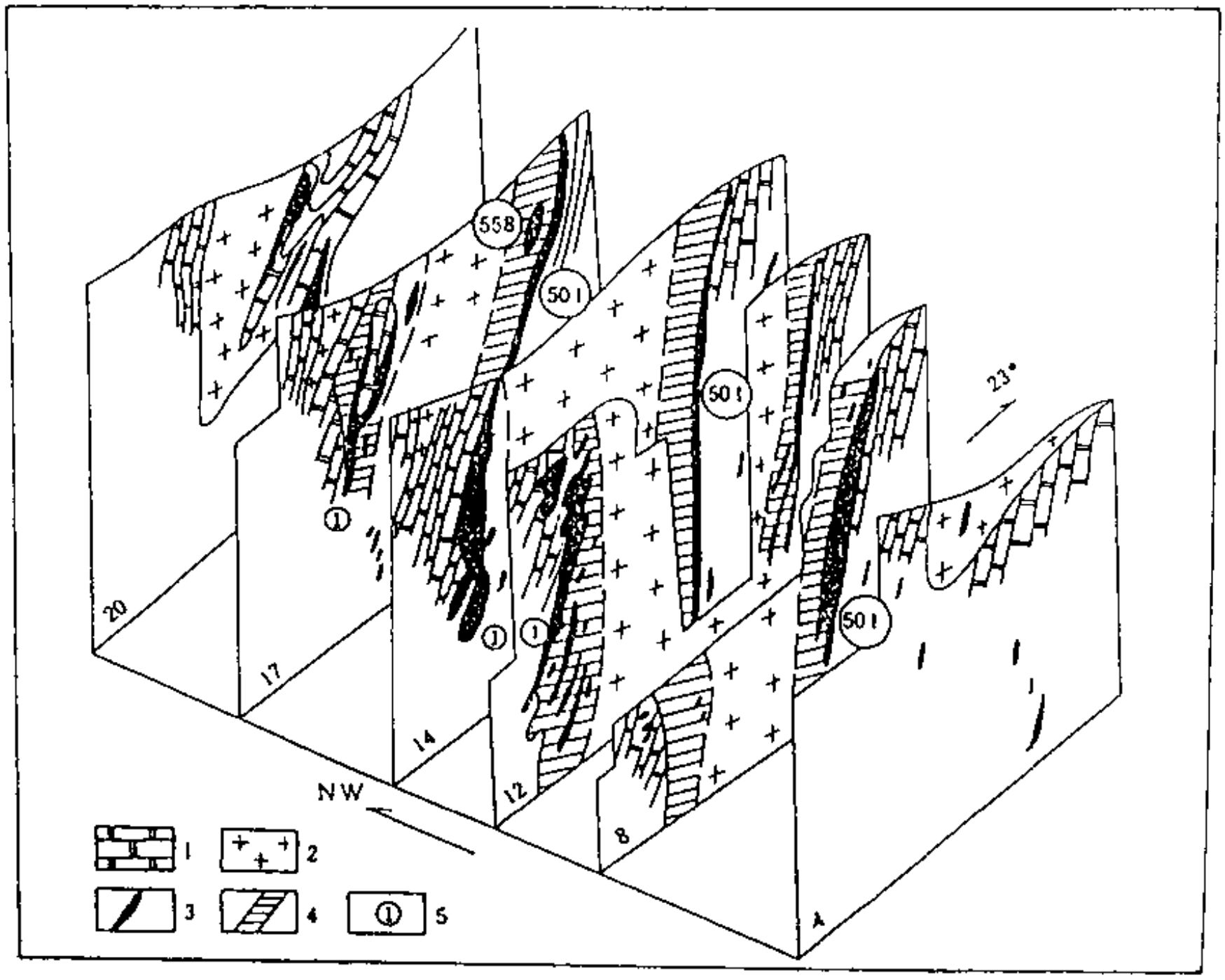


图 2-50　丰山洞铜（钼）矿床联合剖面图

Fig. 2-50　Combined profile of Fengshandong Copper-Molybdenum Deposit

（据翟裕生等，1992）(after Zhai Yusheng etc. 1992)

1－大理岩；2—花岗闪长斑岩；3- 夕卡岩型矿体；4－斑岩型矿化带；5- 矿体编号

501 号矿体：产于岩体北缘接触带上，矿体走向随接触带变化而变化，总体上向南倾，倾角在－100m标高以上为 35°左右，在－100m 以下变陡，为 50°～70°。矿体东西向长约 1500m，厚 8～15m，最厚达 36m，沿矿体倾斜延深最大在 500m 以上。矿体形态较为规则，分支复合现象少，分布较稳定，呈似层状沿接触带分布。

558 号矿体：产于岩体西北部，501 号矿体的上盘，距北部接触带约 50m 的隐爆角砾岩筒内。大致呈东西向延伸，已控制长度为 200m，厚 25～10m，最厚 60m。矿体赋存标高为＋60～－200m。矿体在平面上呈不规则的扁豆状，横剖面上为不规则筒状，受多组断裂控制，在断裂交汇处，角砾岩体厚度大，矿石品位较高。

总的来说，主要矿体产于接触带，与夕卡岩关系密切。岩体南缘的 1 号矿体形态复杂，赋存部位较高，上部矿体厚度较大。岩体北缘 501 号矿体形态较规则，分布稳定，延深最大。558 号矿体产于岩体内部，受隐爆角砾岩体的控制，赋存部位也较高。

（二）矿石特征

1. 矿物成分

常见的金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、磁铁矿、斑铜矿；其次有方铅矿、闪锌矿、赤铁矿；少量的有辉铜矿、铜蓝、黝铜矿和磁黄铁矿等。非金属矿物主要有石榴子石、透辉石、硅灰石、斜长石、石英、方解石、白云石、绢云母、绿泥石、蛇纹石、绿帘石等。

2. 矿石的结构、构造

矿石结构有自形—他形粒状结构、交代结构、固溶体分离结构和碎裂结构等。矿石构造主要有块状、角砾状、细脉浸染状、网脉状和脉状构造等。

3. 矿石类型

包括夕卡岩型、角砾岩型、斑岩型和大理岩型等 4 种。

夕卡岩型矿石是主要矿石，产在夕卡岩体中，矿石品位较高，Cu 平均品位为 0.9%～1%以上。主要矿物成分是黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、斑铜矿、石榴子石、透辉石、硅灰石等，可见块状黄铜矿矿石、块状磁铁矿-黄铜矿-黄铁矿矿石，细脉 细脉浸染状黄铜矿-黄铁矿矿石以及浸染状黄铜矿黄铁矿矿石。

角砾岩型矿石主要产在隐爆角砾岩体中，角砾和胶结物中都有矿化，胶结物中主要矿物是黄铜矿、黄铁矿、绿泥石、方解石等。角砾中成分比较复杂，既有矿化夕卡岩、矿化斑岩，也有矿化大理岩。矿石 Cu 品位平均约为 0.65%。

斑岩型矿石主要产于花岗闪长斑岩中，主要形成细脉浸染状黄铁矿黄铜矿矿石，也有浸染状黄铜矿-黄铁矿-辉钼矿矿化，Cu 品位较低，一般为 0.2%～0.1%。

大理岩型矿石产于岩体接触带附近的大理岩、蛇纹石化大理岩中，呈团块状、脉状。主要是黄铜矿、黄铁矿（含铜黄铁矿），此外还有方铅矿、闪锌矿等。

（三）蚀变-矿化期次与成矿阶段

本区矿化蚀变是多阶段的，与第一、二次岩浆活动关系密切。与第一次侵入活动有关的蚀变和矿化可分为气液期和热液期。气液期的主要产物是岩体中的钾长石化和接触带的夕卡岩化。钾长石化较普遍，岩体中心最发育，向岩体边缘逐渐减弱。以交代斜长石斑晶为主，其次交代黑云母，还形成钾长石-石英脉或黑云母脉贯入基质之中。这期钾长石化是花岗闪长斑岩结晶晚期的残余热液交代早期岩石生成的。在花岗闪长斑岩与三叠系碳酸盐岩的接触带，断续地形成一圈夕卡岩，其主要组成矿物为硅灰石、石榴子石、透辉石和绿帘石等。矿物成分虽比较简单，但有明显的分带性。外带主要为硅灰石，内带主要为石榴子石和透辉石，二者呈过渡关系。在气液期末，有磁铁矿、辉钼矿及少量黄铁矿的形成。

热液期在花岗闪长斑岩体边缘发生石英-绢云母化，在岩体内部与钾长石化重叠。石英-绢云母主要交代长石，既交代原生长石，也交代次生钾长石。花岗闪长斑岩中铜、钼矿化作用主要是伴随石英-绢云母化作用产生的，铜、钼矿化网脉或细脉充填于岩体边部的细小裂隙和网状裂隙，分布比较普遍，但矿化强度不大。含矿热液主要在夕卡岩中充填、交代，形成很富的夕卡岩型矿体。夕卡岩和斑岩中的矿化是贯通的，一些含铜黄铁矿脉同时贯入岩体和夕卡岩的裂隙中，金属矿物的组合也是一致的，只是它们的含量有差别，斑岩中矿化较为微弱，夕卡岩中矿化强烈，形成了重要的工业矿体。

第二次岩浆活动产生的隐爆作用，使主岩体、夕卡岩以及矿石发生破碎，在隐爆中心，形成爆破

角砾岩体（筒）。与之有关的蚀变作用主要有钾长石化、石英 绢云母化、绿泥石、碳酸盐化等。钾长石化主要发生在花岗闪长斑岩角砾的边缘，使角砾镶上一层肉红色钾化边，也有的沿花岗闪长斑岩角砾的裂隙交代。

石英-绢云母化、绿泥石-碳酸盐化比较发育，以交代隐爆角砾岩中的岩屑胶结物为主，也有交代部分花岗闪长斑岩角砾。这两类蚀变往往共生，相互重叠，在露天采场所见绿泥石-碳酸盐化比石英-绢云母化更为普遍。这两类蚀变作用均伴随有铜钼矿化，主要呈浸染状、细脉状分布，矿化较弱，一般不具工业价值。但当这期矿化与早期矿化重叠时，便形成工业矿体。

（四）蚀变-矿化分带

本区蚀变、矿化作用是多期次的，相互叠加，且具有一定分带性。从岩体中心向外，可分为钾化带-石英-绢云母化带-夕卡岩化带-蛇纹石化带。

钾长石化带：主要分布于岩体中部和北部，以交代斜长石斑晶为主，其次交代黑云母，也有黑云母-钾长石细脉、石英-钾长石细脉贯入基质之中。该带有浸染状辉钼矿、黄铜矿和黄铁矿等。

石英-绢云母化带：主要发育于岩体边缘部分，细晶石英和鳞片状绢云母呈“面型”交代，或沿原生硅酸盐矿物边缘和节理缝交代。该带局部叠加有绿泥石化和碳酸盐化。细脉浸染状，细脉状、网脉状铜钼矿比较发育。

夕卡岩化带：在岩体接触带断续地形成一圈夕卡岩。该带由内到外又可分为夕卡岩化花岗闪长斑岩亚带-石榴子石夕卡岩亚带-透辉石夕卡岩亚带-夕卡岩化硅灰石大理岩亚带。该带构成主要矿体，矿石具典型的夕卡岩矿物组合。金属矿物分带明显，在夕卡岩化花岗闪长斑岩亚带，主要是辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿；在石榴子石夕卡岩亚带，主要是磁铁矿、黄铁矿和黄铜矿；在透辉石夕卡岩亚带和夕卡岩化硅灰石大理岩亚带，主要是黄铜矿、斑铜矿；在夕卡岩化硅灰石大理岩亚带可见方铅矿和闪锌矿。

蛇纹石化带：蛇纹石沿层间裂隙充填交代。该带常叠加有绿泥石化和碳酸盐化，可见含铜黄铁矿脉或团块以及闪锌矿和方铅矿团块。

四、成矿条件

丰山洞矿床的成矿作用是多期、多类型的，以夕卡岩矿化为主，也有斑岩型矿化和角砾岩型矿化，这些矿化都与岩浆活动有密切联系。

（一）矿化特征

矿体主要产于岩体接触带和岩体内部，矿化强度与岩浆活动强度呈正相关性。第一次岩浆活动规模大，形成了岩株的主体，与之有关的矿化作用在斑岩中和接触带普遍发生，在接触带形成了主要矿体。随着岩浆活动的减弱，矿化作用也越来越弱。

与国内已知斑岩铜矿相比，本区主岩体具有含矿斑岩的特征。岩体的化学成分与城门山、铜山口等花岗闪长斑岩相似。岩体中铜、钼含量比正常花岗闪长斑岩高若干倍，银、铅、锌等的含量也高于同类岩石的维氏值。

岩体与矿石中主要元素含量变化一致。

（二）控矿条件分析

构造裂隙控矿：矿化作用受构造控制明显。成矿流体（含矿热液）由深部沿断裂构造上升，经过次级断裂裂隙构造的分配，然后在接触带构造、岩体中捕虏体以及岩体中裂隙交代充填成矿。由于接触带的物理化学环境优于岩体中的裂隙构造，因此，接触带构造是主要容矿空间，矿体规模大，矿石品位富。而岩体中矿化虽然普遍，但品位较低。

隐爆角砾岩控矿：与隐爆角砾岩有关的含矿热液，在上升过程中，部分沿用了第一次矿液运移的通路。容矿空间则主要受角砾岩体和断裂裂隙构造控制。如前述对 558 号矿体的厚度，矿石品位与坑道编录结合起来分析，可以看出在构造交叉部位，角砾岩体厚度较大，矿石品位也较高。

（三）稳定同位素

硫同位素：在花岗闪长斑岩矿化带及夕卡岩型矿体内、大理岩及角砾岩中，采硫化物测定的硫同

位素结果如表 2-38。测定结果表明，硫化物的硫同位素 $\delta^{34}S$ 基本一致，大多变化在 −0.1‰到 +2.7‰，这表明形成夕卡岩型矿体和花岗闪长斑岩中矿化热液的硫源是一致的，且主要是来自深部岩浆。

氧同位素：对矿区石榴子石、石英、钾长石等测定的氧同位素值列于表 2-39。

表 2-38 丰山洞矿床硫同位素组成

Table 2-38 Sulfur isotope composition in Fengshandong deposit

矿物	样品位置	$\delta^{34}S$‰	矿物	样品位置	$\delta^{34}S$‰
黄铁矿	钾化花岗闪长斑岩	+2.7	斑铜矿	夕卡岩型矿体	0.4
黄铁矿	石英-绢云母花岗闪长斑岩	+1.9	黄铁矿	夕卡岩外带 Pb-Zn 矿脉	−1.09
黄铜矿-黄铁矿	隐爆角砾岩型矿体	+1.34	方铅矿	夕卡岩外带 Pb-Zn 矿脉	+0.4
黄铁矿	夕卡岩型矿体	+0.9	闪锌矿	夕卡岩外带 Pb-Zn 矿脉	0.35
黄铜矿	夕卡岩型矿体	+1.5	黄铁矿	大理岩中含铜黄铁矿脉	−0.2

表 2-39 丰山洞矿床氧同位素组成

Table 2-39 Oxygen isotope composition in Fengshandong deposit

矿物	采样位置	$\delta^{34}S$‰	矿物	采样位置	$\delta^{34}S$‰
石榴子石	采场南缘夕卡岩	+7.92	石英	含黄铜矿石英脉	+18.62～+19.3
石榴子石	采场南缘夕卡岩	+5.83	花岗闪长斑岩	采场	+9.16±0.14
钾长石	蚀变花岗闪长斑岩	+11.71	岩浆水		+10～+9

根据夕卡岩和蚀变矿物的氧同位素 $\delta^{18}O$ 分析，本区至少在早期成矿阶段，成矿热液的 $\delta^{18}O$ 值接近岩浆水。

（四）矿物流体包裹体特征

矿物流体包裹体特征反映出蚀变矿化过程中含矿热液的一系列物理化学性质。在石榴子石矿物包裹体的液相成分中，阳离子以 K^+ 含量最高，Na^+ 次之；阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主，Mg^{2+}、Ca^{2+} 和 F^- 等含量较低。在石英矿物包裹体的液相成分中，阳离子 Na^+ 含量最高，其次是 K^+、Ca^{2+}；阴离子以 Cl^- 为主、F^- 和 SO_4^{2-} 浓度较低。矿物包裹体的气相成分都以 H_2O 为主，其次是 CO_2 和 CO。这些特征也可说明含矿热液的主体应属 $NaCl-KCl-H_2O$ 体系。

从气液期到热液期，K^+ 和 SO_4^{2-} 含量迅速降低。Na^+ 含量逐渐降低，$[Na^+]/[K^+]$ 值、Cl^- 和 F^- 的浓度逐渐增加，Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量变化不明显。这些特点与蚀变作用是相吻合的。

矿物流体包裹体的均一温度变化范围较宽，气液期（如石榴子石、硅灰石和钾长石-石英脉）温度为 310～600℃，个别高于 600℃；热液期（如石英-辉钼矿脉）为 330℃左右，而晚期的碳酸盐，石膏脉形成温度为 110℃左右。因此，金属硫化物的主要形成阶段为 200～350℃。

根据矿物流体包裹体确定的成矿压力为（116～315）$\times 10^5$Pa，推测成矿深度为 0.58～1.36km，据上覆地层厚度，推算岩体侵位深度为 543～915m，说明成岩成矿都处于浅部环境。

（五）成矿作用和矿床成因

综上所述，本区成矿作用始于花岗闪长斑岩的侵入，在与灰岩的接触带形成夕卡岩。在岩浆结晶的晚期，在岩体内形成钾长石化。以后，含矿热液从深部沿断裂-接触带构造上升，在夕卡岩带形成铜、钼矿体，同时在岩体边部发生石英-绢云母化，并形成细脉浸染状和网脉状铜钼矿化。在这以后，深部岩浆继续沿着第一次侵入的通道上侵，但因上部岩浆（第一次侵入）固结成岩，加上围岩裂隙受第一次侵入岩的热变质作用而愈合，形成封闭环境，使得大量气液流体在岩浆通道上部聚集，在内压急剧升高超过外压时，便冲破上部早期已固结的岩浆岩和上覆地层向上逃逸，由于能量的急剧释放，在地下一定深度发生爆炸，使得上部岩浆岩破碎，形成隐爆角砾岩，上覆大理岩被震碎崩塌，形成塌陷角砾岩。深部的高压气液流体沿断裂带上升，携带通道中的各种岩石碎块，形成角砾岩墙。角砾岩在热

液作用下，发生蚀变和矿化，但矿化强度不大。当其叠加在早期矿化花岗闪长斑岩或含夕卡岩型矿石角砾时，便形成工业矿体。因此，丰山洞应为斑岩-夕卡岩型复合铜（钼）矿床。

由于丰山洞矿床类型与铜山口矿床相似，其矿床物化探异常特征及找矿标志可以互相借鉴。

第八节　湖北大冶县铜山口铜矿床

一、大地构造单元

矿区位于扬子准地台下扬子台褶带大冶凹陷断束内大冶复向斜西段南翼。

二、矿区地质

（一）地层（表 2-40）

矿床内主要成矿围岩为下三叠统大冶群第 1～7 岩性段的白云岩、灰岩等。第 5 岩性段普遍含石膏假晶和盐溶角砾岩。第 4～6 岩性段常与岩体接触，变成大理岩或细晶白云岩等，是重要赋矿层。

表 2-40　铜山口含矿地层表

Table 2-40　Ore-bearing stratigraphic scale in Tongshankou deposit

界	系	统	地层名称		代号	厚度 m	岩性特征
中生界	三叠系	下统	大冶群	第七段	T_1dy^7	150～300	去膏化粉晶云岩、层纹状云岩、砂砾屑云岩夹石膏
				第六段	T_1dy^6	70～200	厚层状含生物屑灰岩、含砂砾屑灰岩、含泥质硅质条带
				第五段	T_1dy^5	97.5～232	薄层状去膏化泥晶云岩、去膏化云化层纹石灰岩、云化晶洞灰岩
				第四段	T_1dy^4	80～320	砂砾屑灰岩、鲕砾灰岩、鲕粒核形石灰岩、晶洞灰岩
				第三段	T_1dy^3	85～100	薄层状泥晶灰岩、粉晶灰岩、夹钙质页岩
				第二段	T_1dy^2	10～90	中层状粉-微晶灰岩、砾屑灰岩与泥晶灰岩、页岩互层
				第一段	T_1dy^1	30～100	页岩、硅质粘土岩、含硅质页岩夹薄-中层状泥晶灰岩

（二）构造

矿区构造主要有近 EW 向、NW 向及 NNE 向褶皱和断裂。与成岩成矿作用关系密切的有：东西向天台山倒转向斜，轴面南倾，南翼伴有同向逆冲断层，断层面倾向南；断裂以 NW 向为主，控制岩体展布方向，如陈家湾-云台寺断裂；NNE 向构造主要表现横跨 EW 向构造的“鼻状”短轴倾伏背斜和左行断裂，如穿越矿区的大广山-云台山断裂。

矿床位于近 EW 向天台山倒转向斜西段北翼近轴部和断裂构造中。由于燕山期的左旋力偶场，形成了 NNE 向“鼻状”叠加背斜以及 NW 向张剪性断裂。矿床位于不同方向、不同期次的构造行迹彼此交织，以褶皱叠加、断裂复合并多次活动之处为其特征的部位。

（三）侵入岩

铜山口岩体为浅成-超浅成相岩株，平面上略呈北西向椭圆形（图 2-51），中心直径 500～600m，出露面积为 0.33km^2；剖面为略向南东倾斜的蘑菇状岩筒（图 2-52）。狮子山地段岩体呈北西向瘤状。岩体受铜矿山背斜和 F_2 断裂控制。铜矿山背斜轴向 NE，向南西侧伏，由三叠系大冶群四至六段地层组成。其轴部与 F_2 断裂交汇部位和翼部层间滑动带控制了岩体侵入和层间矿体的分布。

铜山口岩体属中酸性正常系列花岗闪长斑岩，具有低酸度、中碱度、富挥发分、铜丰度高（平均 381×10^{-6}）、相带清楚及蚀变强等特点，可分为三个相带。

中心相为钾化花岗闪长斑岩，深灰色块状构造，斑晶由粗斑正长岩（3%～5%）及细斑中长石（大于 30%）组成，基质粒径 0.1～0.2mm，由奥长石、正长石、石英及少量黑云母、角闪石组成。

过渡相为弱钾化花岗闪长斑岩，与中心相无明显界限，斑晶特征，仅基质粒度变细（0.05～0.1mm），斜长石含量减少，正长石略增，钾化表现为部分角闪石为黑云母替代及少量钾长石呈细脉交代岩石。

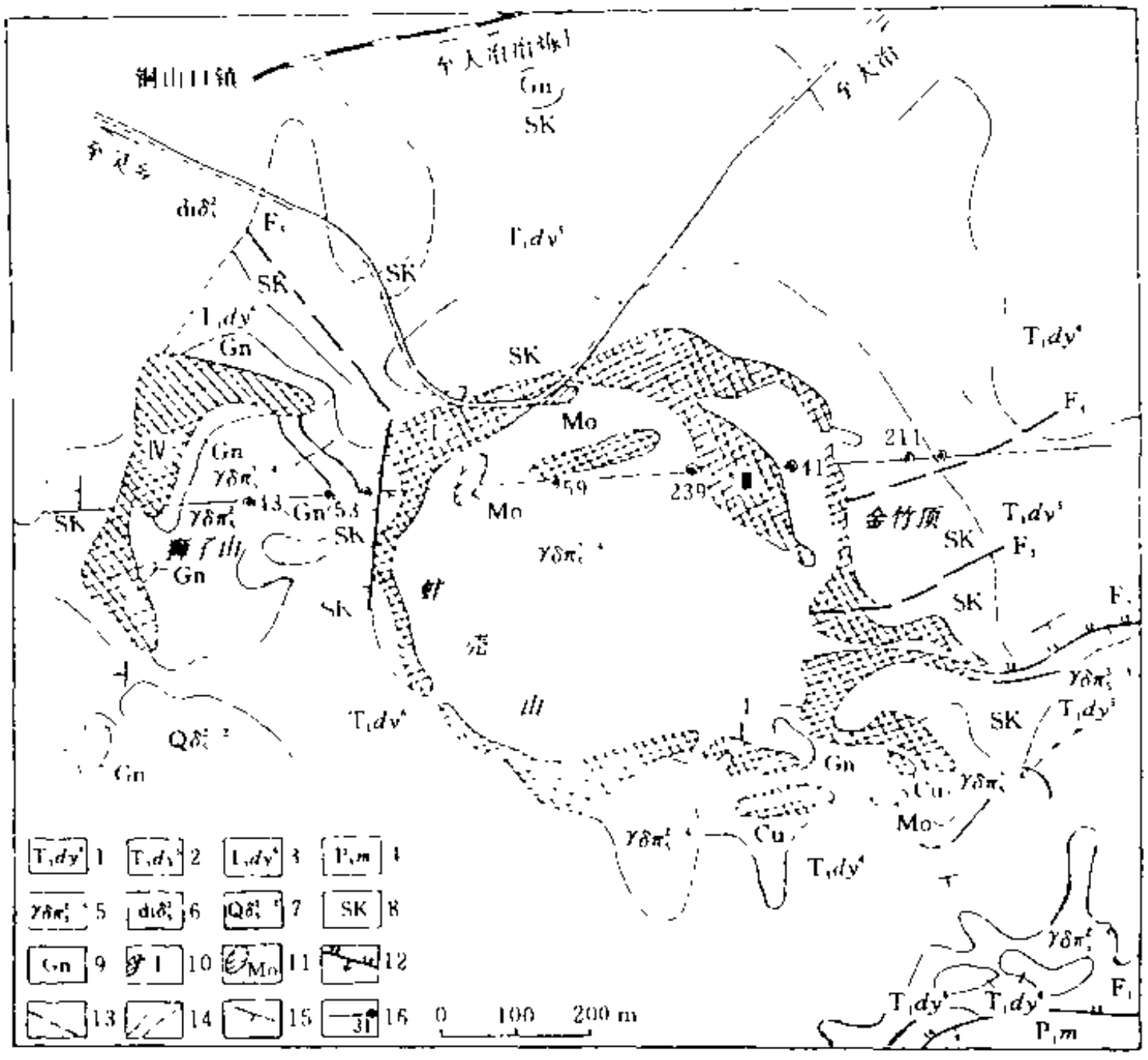


图 2-51 铜山口铜（钼）矿床地质图

Fig. 2-51 Simplified Geological map of Tongshankou copper (molybdenum) deposit

（据薛迪康，1997）(after Xue Dikang, 1997)

1－大冶群第四段；2—大冶群第五段；3－大冶群第六段；4—下二叠统茅口组；5 燕山早期花岗闪长斑岩；6—燕山早期透闪石闪长岩；7—燕山早期第二次黑云母角闪石石英闪长岩，8 夕卡岩；9—铁帽；10—铜矿体及编号；11—钼矿体；12—实测逆断层及产状；13—推测断层；14—实测推测地质界限；15—地层产状；16—勘探线、钻孔及编号

边缘相为硅化花岗闪长斑岩，岩石呈灰白带肉红色，基质中长英矿物粒度更细（0.02～0.05mm），斑晶中斜长石不同程度被正长石交代，石英网脉切穿岩石，部分硅化强烈成为硅化岩，钼铜矿化普遍。

斜长石岩带：为与碳酸盐岩接触交代岩，分布在接触带内侧。从边缘相到接触带斜长石岩的成分及组构逐渐变化：由斑状结构的拉长石岩→半自形粒状镶嵌变晶结构的拉长石岩→倍长石岩。愈近接触带石榴子石、透辉石化愈强。

铜山口花岗闪长斑岩化学成分见表 2-41。1976 及 1981 年由宜昌地矿所测定（K-Ar 法）花岗闪长斑岩（4 个样）127Ma（全岩样）、131Ma（全岩样）、132Ma（全岩样）、146Ma（黑云母）。

三、矿床地质

（一）矿体产状及形态特征

矿床由接触交代铜钼矿体（Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ）和斑岩型铜钼矿体（Ⅲ）组成（图 2-51、图 2-52）。其中Ⅰ号矿体规模最大，占全区总储量的 60%。Ⅰ号矿体赋存在岩株体周缘接触带中，地表呈环形、直径约 600m，主矿体形态似筒状，沿走向长 2100m，厚一般 10～40m，最厚 100.52m，斜深 300～600m；Ⅱ号矿体赋存在大冶群第四与第五岩性段的界面上，呈似层状，长 100～300m，厚 5～16m，北东段产状近于水平，南西段倾向南西，倾角 30°～60°。Ⅰ号矿体储量占全区总量的 23%；Ⅲ号矿体为斑岩铜钼矿体，矿体规模较小，细脉浸染呈透镜状产在岩株体内；Ⅳ号矿体分布在狮子山地段的岩体超覆部位下接触带上，平面上呈“半月形”，剖面上呈楔形，长 500m，厚 10～30m，倾向 SE、倾角

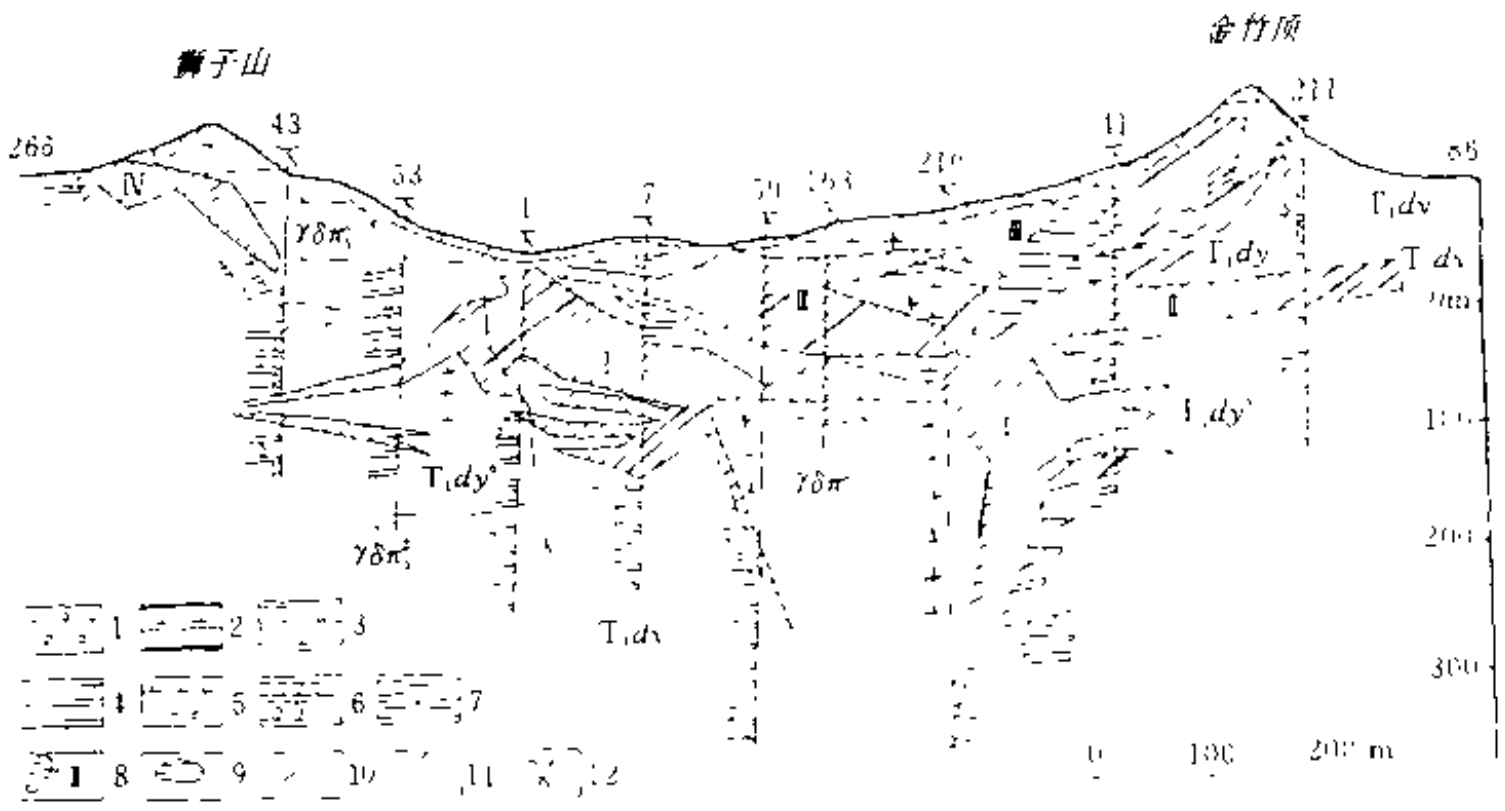


图 2-52　铜山口铜（钼）矿床 7 勘探线剖面图

Fig. 2-52　Profile of exploratory Line 7 of Tongshankou copper (molybdenum) deposit

（据薛迪康，1997）(after Xue Dikang, 1997)

1—砂砾石；2—大理岩；3—白云石大理岩；4—白云质大理岩；5—花岗闪长斑岩；6—石榴子石化大理岩；7—透辉石蛇纹石化大理岩；8—铜矿体及编号；9—钼矿体；10—断层；11—地质界限、接触带界限；12—钻孔及编号

表 2-41　铜山口侵入岩岩石化学成分表

Table 2-41　Petrochemical composition of Tongshankou Intrusion

化学成分 w_B %	岩石名称		
	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩（脉岩）	花岗闪长斑岩（脉岩）
SiO_2	62.40	63.26	63.37
TiO_2	0.58	0.58	0.67
Al_2O_3	14.48	15.05	11.99
Fe_2O_3	1.44	2.04	2.20
FeO	4.53	2.56	2.88
MnO	0.14	0.10	0.10
MgO	1.62	1.97	2.59
CaO	3.84	4.05	1.88
Na_2O	3.88	3.75	3.36
K_2O	3.42	3.65	3.84
P_2O_5	0.33	0.37	35
H_2O	1.52		0.75～2.53
SO_3	0.136	1.17	
CO_2	1.29		0.62
S	0.225		
烧失		1.75	2.70
总量	99.85	100.26	99.35

30°～60°，是矿床中品位最高的矿体；Ⅴ号矿体分布于大冶群第五与第六岩性段的界面上，呈似层状，长 700m，厚 2～5m，倾向 SW，倾角 5°～25°；Ⅵ号矿体受岩体内舌状大理岩残留体控制，矿体走向 NE，倾向 NW，倾角 9°～22°，赋存标高－190～－240m，矿体长 277m，斜深 135～300m，厚 1～32m。

（二）矿石类型和矿石物质组分

矿石的工业类型主要为铜矿石，次有钼矿石。矿石的自然类型有透辉石夕卡岩或蛇纹石化透辉石化白云岩铜矿石、石榴子石夕卡岩或石榴子石化大理岩铜矿石、花岗闪长斑岩铜矿石、角砾岩铜矿石、花岗闪长斑岩钼矿石和石榴子石夕卡岩钼矿石等六种。矿石建造主要为黄铜矿-辉钼矿。

矿石金属矿物为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿等。脉石矿物主要有透辉石、石榴子石、钾长石、石英、方解石、白云石等。

矿床成矿元素以铜为主，钼为次，一般夕卡岩型矿石铜品位较高，为 0.5%～3%，斑岩型矿石铜

品位较低，一般0.3%~0.5%，全区以中等-低品位为主；钼矿石平均品位0.017%，伴生有益组分有硫、银、硒、碲等，可综合回收利用。

矿石的结构有自形—他形粒晶结构，交代结构及乳浊状结构等，构造以浸染状和细脉浸染状为主。

（三）近矿围岩蚀变及分带

围岩蚀变主要有钾化、绢云母化、夕卡岩化、碳酸盐化，其次有绿泥石化、高岭石化等。矿床有比较明显蚀变分带现象，以岩体为中心，由内向外的蚀变-矿化分带为：

钾化带：即钾长石化、黑云母花岗闪长斑岩-黄铁矿、辉钼矿化带；

石英-绢云母化带：即硅化、绢云母化花岗闪长斑岩-辉钼矿、黄铜矿带；

夕卡岩-青磐岩化带：即绿泥石化、碳酸盐化夕卡岩-黄铜矿、黄铁矿带；

夕卡岩化大理岩-黄铜矿、黄铁矿带。

（四）矿床物化探异常特征

1. 地球物理异常

铜山口铜矿的物性特征标志为：

夕卡岩矿体以高密度、低电阻率、高极化、弱磁性为特征；

花岗闪长斑岩以低密度、较低电阻率、中-低极化、弱磁性为特征；

大理岩或白云岩以较高密度、无磁性、较高电阻率和低极化为特征。

矿床的地球物理异常特征显示：花岗闪长斑岩与成矿围岩的磁性差异甚小，ΔZ异常显示不明显，重力则呈现（1~2）×$10^{-5}m/s^2$的低异常。由于岩株体接触带发育夕卡岩和矿化体，相应密度升高-局部磁性矿物富集，故岩体边部出现ΔZ、Δg点状或局部异常，通常称为斑岩体磁性-密度外壳。同时在接触带出现高极化异常，自电、联合剖面在矿体上均有较好低阻异常。故在平面上，沿成矿岩体边缘磁、重、激电有环带状异常。在断面上，电测深呈K型曲线，矿体多产在低阻凹陷带或高-低阻过渡带上。

2. 矿床遥感影像

卫片遥感图像呈同心环形构造，内环由岩体构成呈负地形。四周夕卡岩形成山脊，色调较深。外环为三叠系大理岩，色调浅。矿床位于内环边缘及NNE、NW、NE向三组线性构造交切部位，属"三组交切"型构造。彩红外航片上，矿床体位于环形构造内圈的外侧。热耗散结构圈层多，中心常着色，色调自内至外由浅到深，中心发育洼地。

3. 地球化学异常

矿床的元素组分复杂。Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Mo、W、Bi、Mn、Hg、Co、Ni、F、As、Sb、B、Ba等元素均能形成局部地球化学异常场，并具较高的衬值和原始衬度。Cu、Mo的原始衬度大于100倍。

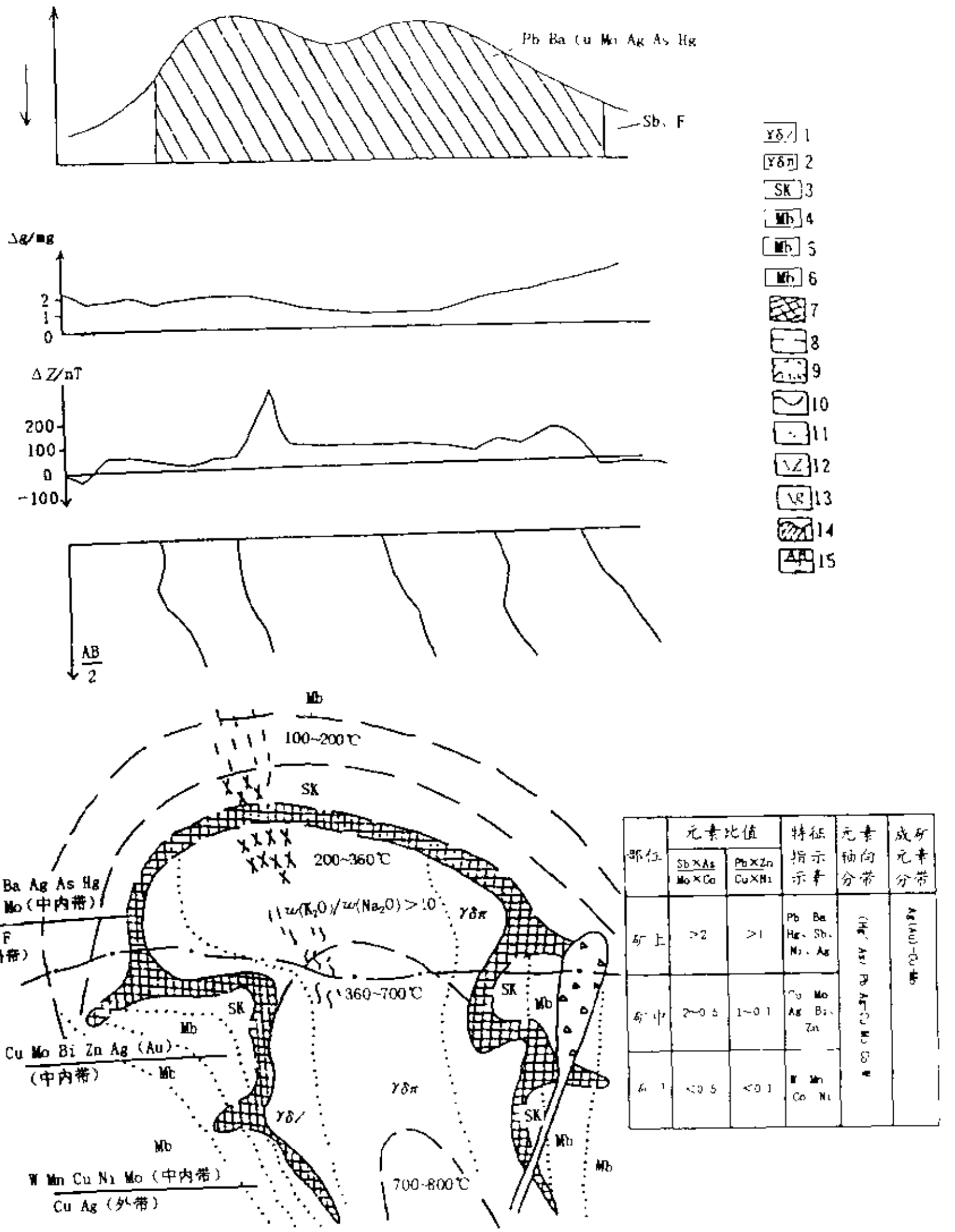
矿床地表的整个岩体存在局部地球化学异常，其强度高，整个岩体大部分可圈出Cu、Mo内带异常。其他元素异常大都沿接触带分布，以接触带为浓集中心，向两侧减弱，浓度分级明显。矿床指示元素自岩浆岩→大理岩具明显水平分带，即W→Mo→Co→Bi→Cu→Ag→（Au）→Pb→As（F）。

四、成矿条件与矿床成因

矿床内主要硫化物$\delta^{34}S$值变化范围为$-0.9‰$~$+0.6‰$，花岗闪长斑岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始值为0.703~0.705，反映出矿床岩浆来自以幔源为主的同溶型岩浆，$\delta^{18}O_{H_2O}$值为$+8.03‰$~$+2.72‰$，反映成岩阶段的混合岩浆水，到热液晚阶段反映出大气水已大量进入了成矿流体系统。

矿床气液流体的主要成分有H_2O、K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SiO_2、Li^+、Cl^-、F^-、HCO_3^-、SO_4^{2-}等，所含的成矿元素主要有Cu、Mo、Fe，其次为Pb、Zn、Au、Ag，还有其他微量的金属元素。从岩浆熔体分馏出的初始温度变化范围主要为600~100℃，气液期早阶段为600~800℃，晚阶段为480~360℃；热液期早阶段为380~280℃，晚阶段为220~80℃。

综上所述，铜山口铜（钼）矿床与花岗闪长斑岩有密切的空间、时间关系和成因联系。围岩为三叠系大冶群碳酸盐岩，成矿流体以含矿岩浆气液流体为主，早期有原地衍生的夕卡岩浆--液流体出现，



部位	元素比值 Sb×As / Mo×Co	元素比值 Pb×Zn / Cu×Ni	特征指示元素	元素轴向分带	成矿元素分带
矿上	>2	>1	Pb Ba Hg、Sb、Ni、Ag	(Hg、As) Pb Ag Cu Mo Bi	Ag(Au)-Cu-Mo
矿中	2~0.5	1~0.1	Cu Mo Ag Bi Zn		
矿下	<0.5	<0.1	W Mn Co Ni		

图 2-53 铜山口式铜（钼）矿床成矿模式及物化探异常特征

Fig. 2-53 Metallogenic model and geophysical and geochemical characteristicof Tongshankou-type copper (molybdenum) deposit

（据薛迪康，1997）（after Xue Dikang, 1997）

1 钾化花岗闪长斑岩带；2—石英-绢云母化带；3 夕卡岩化带；4 蛇纹石透辉石粗脉化大理岩亚带；5 -透辉石蛇纹石细脉化大理岩亚带；6—白云岩；7—铜矿体；8 -现代侵蚀面；9—温度曲线；10- 地质界限，11—蚀变分带界限；12—磁法 ΔZ 曲线；13—重力 Δg 曲线；14—原生异常；15 -电测深曲线类型

晚期有大气水掺合，控制着蚀变矿化过程。成矿方式以充填交代兼而有之为特色。主要矿石矿物组合简单，成矿元素以铜为主，钼次之，伴生有 Ag、Re、Se、Te 等有用元素。围岩蚀变独具特色，斑岩体内以钾化、钾硅化、绢云母硅化为主并具带状分布的特点，与狭义的斑岩型矿床类似；岩体外围以夕卡岩化、蛇纹石化、绿泥石化为主，与夕卡岩型矿床类似，而网脉状夕卡岩化十分发育与后者又有明显区别。矿体既有环绕花岗闪长斑岩呈筒状产出的矿体，又有沿地层界面产出的似层状矿体和受捕虏体控制的透镜状矿体。矿石既有斑点状、稠密浸染状、细脉浸染状的夕卡岩矿石，又有以细脉浸染状为主的斑岩型矿石、角砾岩型矿石。矿床具有复合面型矿化蚀变分带特点。

铜山口铜（钼）矿床的主要特征表明，它即区别于典型（狭义）斑岩型铜（钼）矿床，又有别于典型（狭义）的夕卡岩型矿床。故称其为接触交代-斑岩复合型矿床。铜山口成矿模式及物化探异常特征见图 2-53。

五、找矿标志

地质标志：燕山中期，花岗闪长斑岩蘑菇状小岩株侵入三叠系碳酸盐岩中。矿体产在斑岩岩株与下三叠统大冶群（T_1dy^4—T_1dy^1）白云质大理岩接触带上，层间破碎带（T_1dy^3/T_1dy^4）以及岩体裂隙构造中。岩株受近 EW 向向斜与 NNE 向横跨褶皱及 NW 向断裂三组构造交切复合的虚脱部位控制。矿体沿岩体边缘接触带呈环状分布。围岩蚀变发育，具有一定分带性并伴有相应的矿化分带。

地球物理标志：地表磁异常不明显，局部有弱磁异常显示。岩体上方有局部低重力异常，电法异常明显。在岩体边缘接触带发育的夕卡岩和矿体形成斑岩体的密度-磁性“外壳”，故沿岩体边缘磁、重、激电呈连续或不连续环带状分布。断面上电测深呈 K 型曲线，矿体产于低阻凹陷带或高低阻过渡带中。

地球化学标志：水系沉积物、水化学、土壤、岩石等地球化学测量均能圈出形态与岩体一致、范围大、强度高、浓度分级明显的地球化学异常。整个岩体 Cu、Mo 呈内带异常，控制矿化范围，主矿体上方为 Cu、Mo、Ag、Au 异常，伴有 Co、Bi、Zn、As、Sb、Hg、F 等异常。

第九节　湖北阳新县白云山铜矿床

一、大地构造位置

白云山铜矿床位于扬子准地台下扬子台褶带大冶凹褶断束南部，殷祖复背斜东部。

二、矿区地质

矿区位于黄姑山—犀牛山倒转背斜西端南翼和银山断裂破碎带北侧（图 2-54）。

（一）地层

矿区出露地层主要是下志留统高家边组，在银山断裂以南出露有石炭系和三叠系大冶群部分地层。与成矿有关的主要是高家边组第三段（S_1g^3），岩性是土黄色、黄褐色薄层状砂质页岩及粉砂质页岩，局部夹粉砂岩。由于受构造作用，岩层破碎，产状不稳定，变化大；岩层倾向一般为 140°～220°，倾角 35°～70°，厚度约 200m。

（二）构造

矿区内构造线主要呈 NEE 和 NWW 向展布，其间褶皱构造简单，断裂构造复杂，形成东西向的弧形挤压构造破碎带。

1. 褶皱

黄姑山—犀牛山倒转背斜：展布于矿区北缘，核部为奥陶系地层，两翼为志留系，轴部北侧 S 倾，倾向 SSE，倾角 50°～65°。

银山—肖家湾倒转向斜，展布于矿区南缘，核部为大冶群第七段，北翼受银山断裂影响，产状变化较大，南翼正常，轴线为向南突出的弧形，轴面南倾，倾角东陡西缓。

2. 断层及破碎带

银山断裂：分布于矿区南缘（图 2-54），是本区主要的导岩导矿构造。断裂呈东西向展布，地貌上表现清楚，倾向 170°～210°，倾角 65°～80°。断层北翼为志留系，南翼东为三叠系，西段除三叠系外，

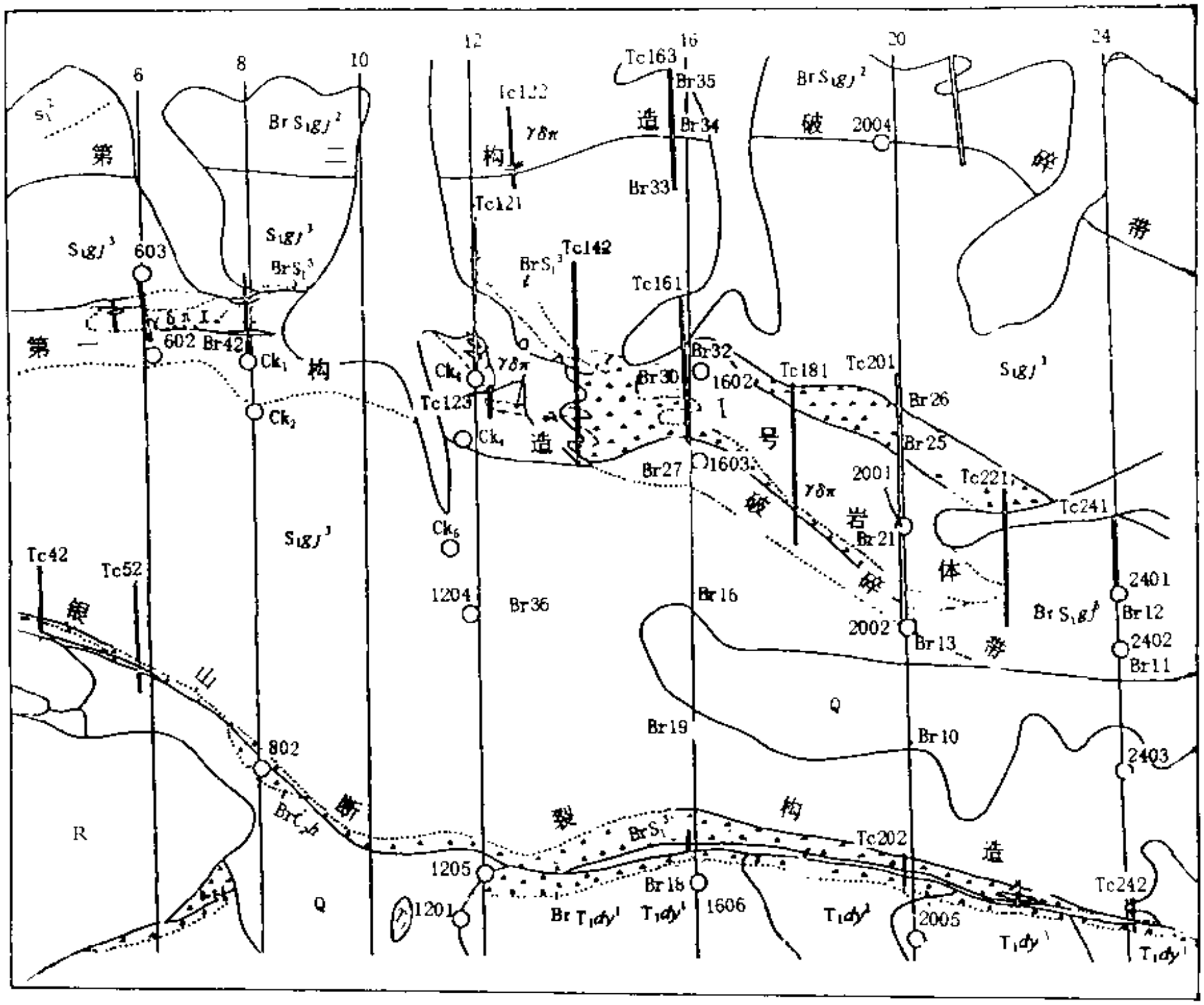


图 2-54　湖北阳新白云山铜矿地质图

Fig. 2-54　Geological map of Baiyunshan copper deposit, Yangxin, Hubei province

Q—第四系表土层；R—第三系东湖砾岩；T_1dy^4—T_1dy^1　三叠系下统大冶群第四段白云岩、第三段灰岩、第二段白云岩、第一段灰岩；C_2h—石炭系黄龙灰岩；S_1g^3—下志留统高家边组三段砂质页岩及粉砂质页岩；S_1g^2—高家边组第二段砂质页岩夹粉砂质页岩；Br—破碎带；$\gamma\delta\pi$—花岗闪长斑岩

尚有石炭、二叠系碳酸盐岩层。断层两侧角砾岩宽窄不一，呈糜棱岩或透镜体出现，角砾呈次棱角状和糜棱状，具定向排列，表明银山断裂为压扭性逆断层，断层中有含铜铁帽分布。

破碎带：破碎带有两条，分布于矿区中部和北部，其中以分布于矿区中部的第一破碎带最为重要。第一破碎带呈NWW向展布于矿区中部志留系高家边组第三段砂质页岩中，倾向南，倾角50°～75°，破碎带宽60～180m，主要由破碎砂质页岩和花岗闪长斑岩构成，胶结物主要为泥质、砂质及铁质，晚期石英脉发育，硅化强。此破碎带直接控制着白云山小岩体及铜矿化的产状、形态和规模。

（三）侵入岩

区内小岩体甚多，与白云山铜矿有关的是Ⅰ号花岗闪长斑岩体，其特征如下：

形态产状：花岗闪长斑岩体呈不规则脉状断续出露，地表延长达900m，一般宽10～90m，在20线最宽达140m，倾向南，倾角50°～70°。至22线向东侧伏，延伸全长达1200m。沿倾向在西段只有60m，东段可达400m。0m标高以下，岩体具分支、膨缩等现象。

岩体的矿物成分及岩石化学特征：岩石为浅灰或灰白色，蚀变后为灰绿、浅紫红色，变余斑状结构，基质为显微鳞片花岗变余结构。岩石中斑晶占20%～25%，主要由斜长石（假象）、石英，次为角闪石（假象）、黑云母（假象）组成。基质主要由石英、斜长石、绢云母、高岭土、碳酸盐组成。$w(Al_2O_3)$

$>\alpha$，K_2O+Na_2O-CaO，为中偏酸性铝过饱和系列，SiO_2 含量 54.81%～63.70%，岩体贫碱（K_2O+Na_2O 含量为 3.05%～4.658%），岩石的里特曼指数（δ）为 0.45～1.17，Na_2O 远小于 K_2O。岩体普遍含铜，含量在 0.1%左右。与斑岩铜矿床的岩石化学特征基本相符。

白云山花岗闪长斑岩 K-Ar 法同位素年龄 129～122Ma，属燕山晚期侵入。

三、矿床地质

白云山铜矿床由 23 个矿体组成，矿体主要赋存于第一构造破碎带的 I 号岩体中，沿北西向和北西西向呈透镜状或脉状分布，为一隐伏的斑岩铜矿床（图 2-55）。23 个矿体中以 I 号矿体为主，其铜金属储量占矿床总储量的 89%。

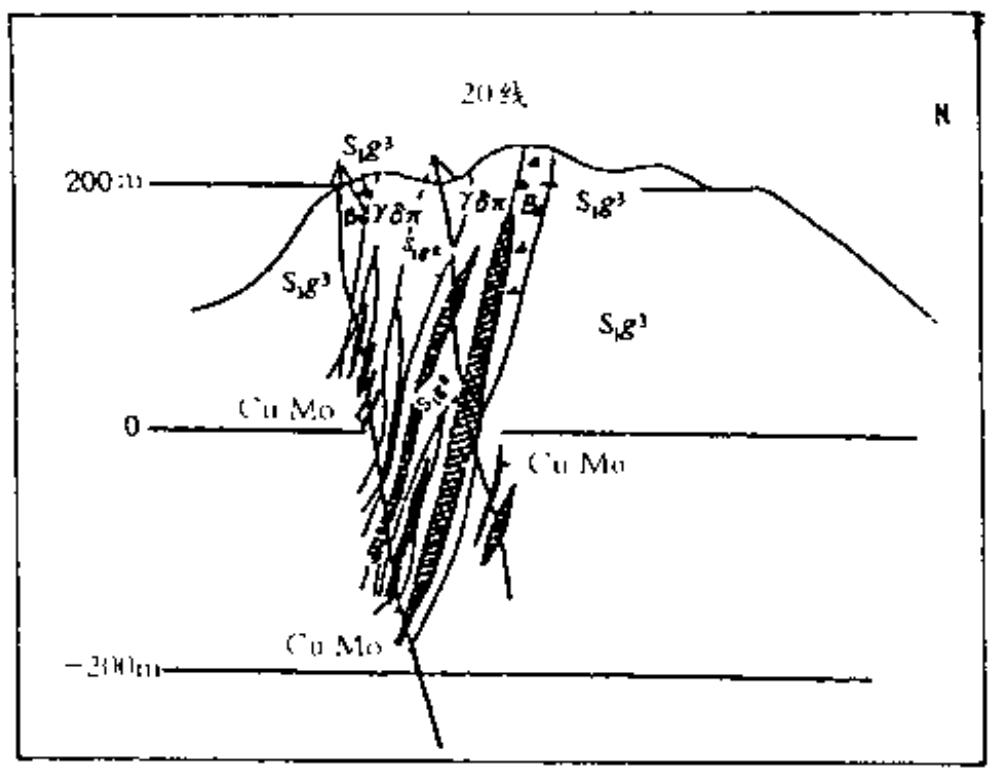


图 2-55　白云山铜钼矿床剖面图

Fig. 2-55　Exploratory section of Baiyunshan copper-molybdenum deposit

S_1g^3—下志留统高家边组下段；$\gamma\delta\pi$　花岗闪长斑岩；CuMo—铜钼矿体

（一）主矿体（即 I 号）特征

主矿体分布于矿区的 10～24 勘探线，赋存于岩体内及岩体与砂页岩的接触带附近。矿体走向在东段为 NW 向；西段为 NWW 向，倾向 SW 或 SSW，倾角 50°～70°，矿体由 NW 向 SE 侧伏，矿体长约 500m，沿倾向延深 50～390m，厚度平均约 43.91m，形态也较规则。矿体埋深 20～430m，绝大部分赋存于 0m 标高以上，矿体厚度大（平均约 43.91m）。

（二）矿石特征

矿石矿物成分：矿石中主要的金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、褐铁矿、白铁矿；次为闪锌矿、辉钼矿、磁黄铁矿、辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、黝铜矿、自然金、银金矿，脉石矿物主要为斜长石、石英、角闪石等。

矿石结构、构造：矿石有自形—他形晶粒状结构、胶状、环带、压碎和交代结构等。构造主要有浸染状、细脉浸染状构造，其次为团块状、蜂窝状构造。

矿石类型：矿床的矿石类型主要是含铜花岗闪长斑岩，其次为含铜砂质页岩。含铜花岗闪长斑岩矿石主要由黄铜矿、黄铁矿及斜长石、石英、绢云母组成。浸染状及团块状矿石矿化强烈，铜品位较富。矿石中 Pb、Zn、WO_3、Mo 含量很低，金含量一般在 0.1×10^{-6} 左右，$w(Cu)/w(Au)$ 值高达 56875～110500。

矿石有益组分含量：主矿体单工程含铜品位 0.402%～1.034%，剖面平均品位 0.824%（如 20 线，图 2-55），矿体平均品位 0.768%。伴生有益组分为 Au、Ag、S。Au $(0.05\sim0.2)\times10^{-6}$，Ag $(1\sim5)\times10^{-6}$，S 分布较均匀，含量 3.23%。

（三）围岩蚀变

矿床围岩蚀变种类繁多，主要有黄铁矿化、硅化、石英绢云母化，次为角岩化、碳酸盐化、绿泥石化等。

（四）矿床物化探异常特征

白云山矿床比较有效的物化探方法是：

自然电场法：−100mV 等值线圈闭异常呈东西向，长 750m，南北宽 350m。异常内有两个 −350mV 的局部异常，东段的局部异常与主矿体赋存部位一致，极值反映矿体肥大部位，异常形态也与矿体吻合；西段局部异常虽有可能反映山地电场，但该异常伴有 Cu、Mo、Ag、Zn 原生晕组合异常及土壤中汞气和激电中梯装置的 M_s 异常，因此，该自电异常可能反映下伏的金属硫化物体。

激电异常：激电中梯和激电三极装置，在主矿体上方有异常反映，能确定矿化范围，但在有些地段（16～18 线）M_s 异常反映不明显。

化探异常：矿床的元素组合为Cu、Mo、W、Bi、Ag、Pb、Zn、As、Hg等。其中Cu、Mo、W的浓集系数均大于25，Bi大于700。次生异常浓度分级明显，形态规则，强度高，沿东西向断裂破碎带展布。在矿体上方及破碎带中见很好的汞气异常。土壤中汞气异常的背景值为17ng/m³，衬度为10.77。原生异常的范围和强度略小。一般Mo、Ag、W反映斑岩体产出地段和铜矿体产出部位，Cu、Zn异常反映铜矿化范围，As异常主要发育在断裂破碎带和斑岩体侵入顶端部位。自岩体向外，元素具一定水平分带，即Mo、W→Ag、Cu、Zn→As→Hg。

综合分析钻孔原生晕剖面资料，Cu、Ag、Mo、W元素与斑岩体和矿体关系密切。铜晕内带包裹矿体，中带反映岩体及蚀变带。银晕内带包裹斑岩体，同时又在前缘上方的蚀变破碎带中出现。钨晕内带反映斑岩体产状，并延伸至岩、矿体尾缘以下。钼晕主要在岩、矿体下方的尾缘，与钨晕相近。锌晕发育于岩体上方及前缘破碎带中。砷、汞晕主要反映斑岩侵入体前缘和控矿破碎带。其他Bi、Mn、Co等异常也与矿体关系密切。

四、成矿条件及矿床成因

（一）流体包裹体特征

1. 矿床中包裹体不发育，类型单一，主要为流体包裹体及纯液相包裹体，气相包裹体很少，未见子矿物包裹体和气液二氧化碳包裹体。包裹体的宿主矿物主要是石英，包裹体在岩石的石英斑晶中（一般1～6μm）呈星散状分布，穿插岩体石英细脉中（<1μm）的液体包裹体呈带群状及点群状分布。包裹体体积较小，反映了矿区气液活动的规模可能不大，影响到矿床形成的规模。

2. 包裹体中液相成分及成矿流体性质

流体包裹体液相中含有Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}等阳离子和F^-、Cl^-、HCO_3^-等阴离子。岩浆期后热液含HCO_3^-、K^+高，pH值显中性，矿化热液含Na^+、Ca^{2+}，pH值显中偏酸性。包裹体液相中$[Na^+]/[K^+]$值由岩体向矿体明显增高，表明由$[K^+]$高向$[Na^+]$高演化，有利于配合物的分解和矿质沉淀。同时由于包裹体液相成分矿化度不高，未见明显矿液沸腾现象。

3. 成矿温度

包裹体的爆裂温度从岩体到围岩是366～321℃。黄铜矿的爆裂温度为250～280℃，属高到中温热液矿床。

4. 矿床硫化物的硫同位素平均值$\delta^{34}S$为3.1‰，接近陨石硫同位素特征，表明成矿物质硫来自深源。

（二）矿床成因

从侵入岩的岩石化学特征和矿床地质特征分析，白云山铜矿床与典型的斑岩型铜矿床相比，其不同之处表现在岩体规模小，形态呈不规则的脉状产出。岩石属铝过饱和系列，碱值远小于8，Na_2O含量远小于K_2O，岩体的里特曼指数（δ）远小于3.3。矿化发生在脉状花岗闪长斑岩中，呈线状分布，属线型矿化。矿床的规模小，矿化不均匀，围岩蚀变分带不明显。与鄂东南复合型斑岩铜矿床相比，本矿床钼含量低，$w(Cu)/w(Au)$及$w(Cu)/w(Ag)$值大，岩石类型单一，矿物成分简单，显示本矿区为单一斑岩型铜矿床特征。矿化形成温度与斑岩铜矿相符。因此，本矿床为高-中温热液斑岩型铜矿床。

五、找矿标志

地质标志：近东西向断裂破碎带控制含矿岩体，铜矿化主要产在上部岩体的侵入端缘及边部破碎砂、页岩中，地表石英绢云母化、钾化、硅化并存。

地球物理标志：在地表局部显弱磁、低重异常。自电、激电异常明显，基本反映含矿斑岩体和矿化范围，呈面状或环带状沿近东西向控岩控矿断裂破碎带展布。断面上激电异常反映蚀变带及矿化体的范围，矿体和斑岩处于低电阻率异常中。

地球化学标志：不同化探方法均能圈出局部地球化学异常。异常浓度分级明显，形态规则，范围大于岩体，强度较高。一般Cu、Zn异常控制矿化范围，Mo、Ag异常与矿体赋存部位吻合较好。侵入体端缘及断裂带上方，汞气异常明显。

据“八五”国家攻关项目研究，拟定白云山式铜矿床综合找矿模型（表2-42）。

表 2-42　白云山式铜矿床综合找矿模型

Table 2-42　Comprehensive qxploration model for Baiyunshan-type copper deposit

	部　位		斑　岩	围　岩
地质	矿化种类		铜(钼)	铜硫
	成矿部位		岩体侵入端缘与中部	接触带附近破碎砂页岩中
	岩浆岩与地层		花岗闪长斑岩(SiO_2 55%～63%，碱值 4%～7%，K_2O Na_2O>2)属贫碱至适度富碱高钾铝过饱和中偏酸性岩类	下志留统高家边组砂页岩
	构造		近东西向构造	
	蚀变		钾化、硅化、石英绢云母化(绿泥石化)	硅化、石英绢云母化(褪色现象)
	矿物组合		黄铜矿(辉钼矿)	黄铜矿、黄铁矿
	矿体特征		透镜状、不规则状	脉状
	探测对象		目的物：花岗闪长斑岩	目的物：含铜斑岩
地球物理	物性	磁性	低磁性	弱磁性
		密度	中　低密度	高密度
		电性	低、中电阻率，中高极化	低电阻率、高极化
	地面异常		矿体上方有弱磁异常；重力呈局部异常，电法异常明显。自电、激电中梯、激电一极装置一种异常基本圈定岩体和矿化体范围，呈高极化，低一中阻自电负异常	
地球化学	原生晕	部位	矿上	矿中　　矿下
		指示元素	Hg、As、Zn、Ag(Pb、Au)	Cu、Ag(Mo)　　Bi、Mn、Co、Mo、W
		剖面特征	Cu、Ag、Mo、W 异常与含矿斑岩体密切，Cu 内带包裹矿体，中带反映岩体与蚀变带。Ag 内带包裹斑岩体，又在前缘上方蚀变破碎带出现。Mo 在岩、矿体下方尾缘，与 W 相近。Hg、As、Zn 在斑岩体前缘蚀及破碎砂页岩带	
		轴向分带	Hg—As　Ag^1- Zn　Cu—Ag^2　Bi　Mn　Co　Mo　W	
	地表异常		次生、原生异常均发育。浓度分级明显，形态规则，强度高，Cu、Ag、Mo、W、Zn 与矿化密切，Hg、As、Ag 分布斑岩前缘断裂破碎带中，Pb、Au 分布外缘砂页岩中	

第十节　江苏江宁县安基山铜矿床

一、大地构造单元

安基山铜矿床位于扬子准地台下扬子坳陷宁镇穹断褶束内。

二、矿区地质

(一) 含矿地层

安基山铜矿床的显著特征之一，是矿体常赋存于一定层位。主要赋矿层位为栖霞组、下青龙组、黄龙组、船山组（表 2-43）。另一特征是不同的赋矿层位常具有不同的矿化组合。

(二) 构造

矿区位于近 EW 向东葛-亭子体复向斜西端与射乌山断陷盆地东部边缘交接处，孟塘-东阳断裂带东侧，汤仑推覆西段前沿。由于受多期次构造运动的影响，矿区发育一系列 NEE 向和 NNW 向的褶皱及断裂构造，交织成网格状（图 2-56）。

控岩构造：区域上由近 EW 向、NNW 向、NE 向较深断裂的复合，控制着岩浆岩的分布。安基山岩体受前两种方向的条断裂所控制，沿该方位向两侧呈长椭圆形展布。安基山矿区位于岩体的东侧边缘。矿区受近 EW 构造及 NNW 向孟塘-东阳断裂带的东支次级构造控制。孟塘—东阳断裂带由三条以上 NNW 向断裂和裂隙构成破碎带，为岩浆的入侵提供上升通道和赋存空间。在浅部，花岗闪长斑岩的空间分布，除受 NNW 向断裂控制外，还受黎家山背斜轴部的复合控制（图 2-57），呈向东凸出的马

表 2-43　宁镇中段地区地层简表

Table 2-43　Stratigraphic scale in the middle part of Ningzhen area

界	系	统	地层名称		代号	厚度 m	主要岩性及成矿元素组合
中生界	三叠系	中统	周冲村组		T_2z	100～410	角砾状灰岩、泥质灰岩、泥灰岩夹粉砂质泥岩
			上青龙组		T_2s	>354	灰岩、瘤状泥质灰岩夹蠕虫状灰岩，Cu、S
		下统	下青龙组	上段	T_1x^2	192	灰岩、含泥质灰岩夹钙质泥岩
				下段	T_1x^1		含泥质灰岩与钙质泥岩互层，Cu、Mo
古生界	二叠系	上统	大隆组		P_2d	14～25	页岩、硅质页岩、泥粉沙岩，Zn（Pb），S
			龙潭组		P_2l	80～150	粉、细砂岩、炭质页岩夹灰岩
		下统	孤峰组		P_1g	60～80	细粉砂岩、粉砂质页岩、硅质页岩、燧石岩
			栖霞组		P_1q	144～202	含燧石结核、灰岩夹燧石岩，Cu、Mo、Zn、S
	石炭系	上统	船山组		C_3c	30～40	纯灰岩，Cu、Zn
		中统	黄龙组		C_2h	80～103	纯灰岩、粗晶灰岩，Cu、S（Fe）
		下统	老虎洞组		C_1l	7～16	白云岩
			和州组		C_1h	3～18	泥质灰岩、泥灰岩夹钙质泥岩
			高骊山组		C_1g	30～50	粉砂岩、粉砂质泥岩夹粘土岩、铁质砂岩，Cu、Fe

鞍形，以后石英闪长玢岩沿二组方位的交汇处再次入侵。矿区东侧近 SN 向裂隙控制着晚期石英闪长玢岩脉、煌斑岩脉的产出。

控矿构造：从区域上呈线状分布的铜矿床（点）（伏牛山、安基山、天津山、射乌山）看来，无不和 NW 向孟塘-东阳断裂有关，它不仅控制着含矿母岩的分布，而且控制着矿体的定位。

（三）侵入岩

1. 岩体的时代、产状

对矿区花岗闪长斑岩及石英闪长玢岩岩体，以提纯黑云母、角闪石以及全岩样品，作 K-Ar 法同位素年龄测定，花岗闪长斑岩为 115.2～130.9Ma，石英闪长玢岩为 106.8～92Ma，属燕山晚期产物。

杂岩体侵入的最新地层为象山群，将围岩吞蚀呈残块状捕虏体。岩体呈岩株状，略向北西西倾斜，矿区位置恰好是岩浆侵入的前锋部位。

矿区范围内岩体出露面积约 6km^2，其中花岗闪长斑岩约 1.6km^2，呈向东凸出的马鞍形。

岩体的剥蚀程度较浅，因而蚀变带及矿化带保存较好。

花岗闪长斑岩与石英闪长玢岩属于同期不同次的侵入岩。此外尚有晚期闪斜煌斑岩、闪长玢岩等脉岩。

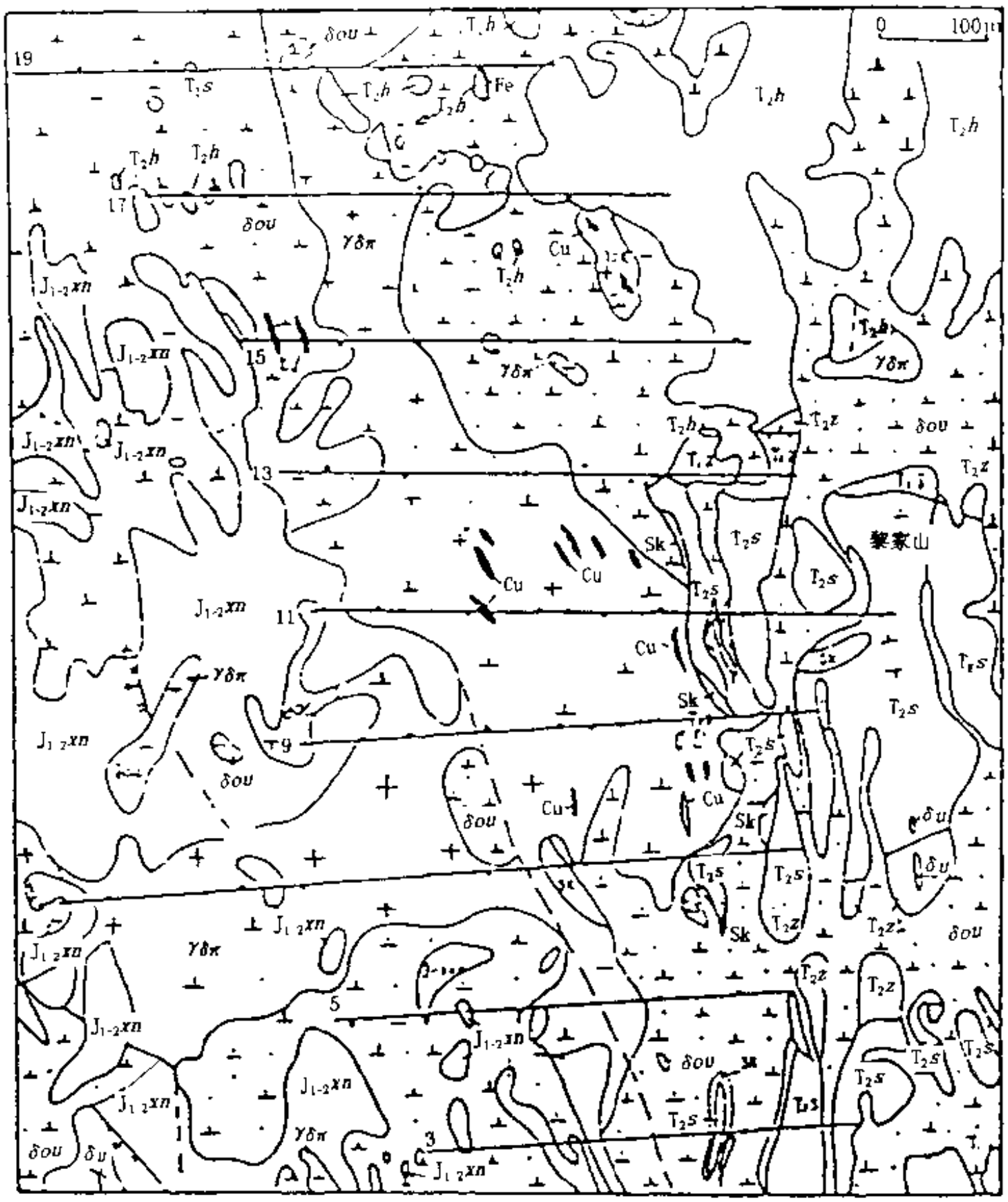
2. 主要岩石造岩矿物及岩石化学特征

花岗闪长斑岩：浅灰、微肉红色，全晶质，斑状—聚斑状结构。基质为微粒、细粒花岗结构，深部出现粗粒结构及似斑状结构，块状构造。斑晶主要由具环带构造的更-中长石、黑云母、石英，少量角闪石、钾长石组成，斑晶含量 40%～45%。基质主要由更-中长石、钾长石、石英组成。副矿物主要有磷灰石、锆石、金红石、磁铁矿等。

其过渡相斑状花岗闪长岩，呈似斑状结构，斑晶和基质颗粒大小呈过渡现象。矿物成分与花岗闪长斑岩相同，多出现在岩体的深部，它可能反映斑岩铜矿根部特征。

石英闪长玢岩：灰、浅灰色，全晶质，斑状—聚斑状结构，块状构造。斑晶主要有具环带构造的更-中长石、角闪石，少量黑云母、钾长石及熔蚀状石英组成，斑晶大小与花岗闪长斑岩中的斑晶相似，含量 40%左右。基质具微嵌晶、微晶、微嵌晶-微晶交织结构，主要由更-中长石、钾长石、角闪石、石英组成。副矿物主要有磷灰石、锆石、磁铁矿、榍石等。

上述两类岩石及两种脉岩的岩石化学成分见表 2-44。经计算对比，本区花岗闪长斑岩属铝过饱和类型，石英闪长玢岩属正常类型。前者的铜含量为 540×10^{-6}，后者的铜含量为 74×10^{-6}，表明花岗闪



1 $J_{1-2}xn$ 2 T_2h 3 T_2z 4 T_2s 5 δou 6 $\gamma\delta\pi$ 7 δu 8 9

10 11 12 13 Sk 14 Cu 15 Fe 16 17

图 2-56 安基山铜矿区基岩地质图

Fig. 2-56 Geological map of Anjshan copper district

1 象山群；2 黄马青组；3 -周冲村组；4 - 上青龙组；5- 石英闪长玢岩；6—花岗闪长斑岩；7 闪长玢岩脉；8 地层产状；9—实测地质界限；10- 正断层及产状；11- 逆断层及产状；12 推测断层；13 -夕卡岩；14 铜矿化；15 铁帽；16 勘探线及编号；17 -钻孔

长斑岩为主要含铜岩体。

三、矿床特征

（一）矿体的空间分布及产状

本区共有大小矿体 200 多个，其中 1、2、3 号矿体产于捕虏体和正接触带夕卡岩中，占总储量的 50%。全区斑岩型铜矿占总储量的 10%，夕卡岩型铜矿则占总储量的 90%。

夕卡岩矿体倾角大，呈透镜状，常分叉，厚度变化大。

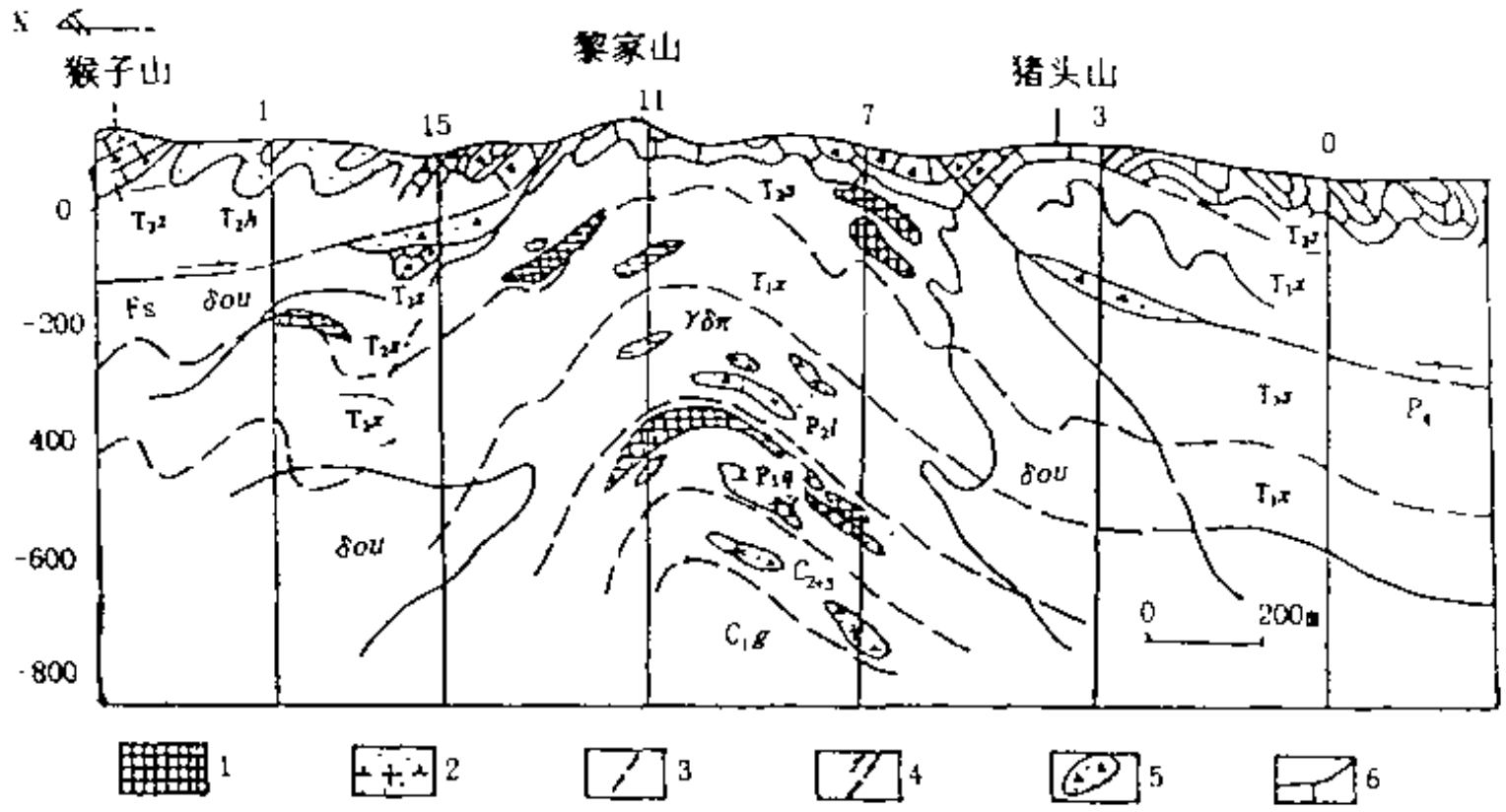


图 2-57　安基山铜矿纵剖面示意图

Fig. 2-57　Schematic profile of Anjishan copper deposit

1—夕卡岩型矿体；2—斑岩型矿体；3—推测地层界线；4—逆断层；5—构造角砾岩；6—勘探线；T_3h　黄马青组；T_3z　周冲村组；T_2g　上青龙组；T_1x　下青龙组；P_2l　龙潭组；P_1q　栖霞组；C_{2+3}　黄龙、船山组；δou　石英闪长玢岩；γδπ　花岗闪长斑岩

表 2-44　安基山矿区不同类型岩石平均化学成分表

Table 2-44　Average chemical composition of various rock types

化学成分 w_B/%	岩石名称及样品个数			
	花岗闪长斑岩（11）	石英闪长玢岩（11）	闪长玢岩（5）	闪斜煌斑岩（3）
SiO_2	64.49	63.79	54.07	48.61
TiO_2	0.39	0.45	0.91	0.98
Al_2O_3	15.62	16.30	16.00	15.99
Fe_2O_3	1.96	1.83	3.06	2.07
FeO	2.03	2.37	3.70	5.22
MnO	0.025	0.067	0.13	0.125
MgO	1.89	2.14	5.61	6.60
CaO	3.16	3.91	6.46	7.74
Na_2O	4.04	4.78	4.20	3.77
K_2O	2.92	1.81	1.41	2.66
P_2O_5	0.23	0.26	0.53	0.53
CO_2	0.47	0.18	0.44	1.80
S	1.46	0.63	1.34	0.33
H_2O	1.36	1.20	2.03	3.29
总量	100.13	99.75	100.10	99.91

正接触带内的夕卡岩型铜矿体，产于矿区中东部，受接触带和层间控制，产状陡、规模小，以捕虏体形式出现的夕卡岩型铜矿体，分布于7～17线中深部（图2-56及图2-58）的上、下青龙组、栖霞组捕虏体中。由于接触面弯曲圈闭，矿液集中，形成矿床的主矿体。如产于栖霞组中的1号矿体规模最大，占矿区铜金属总储量的37.4%。该矿体呈月牙形，位于8～13线，产出标高－300～－150m，以10线为中心向南北两端倾伏，向东倾，显示了背斜轴部形态。捕虏体倾角较陡，层位未发生较大的变

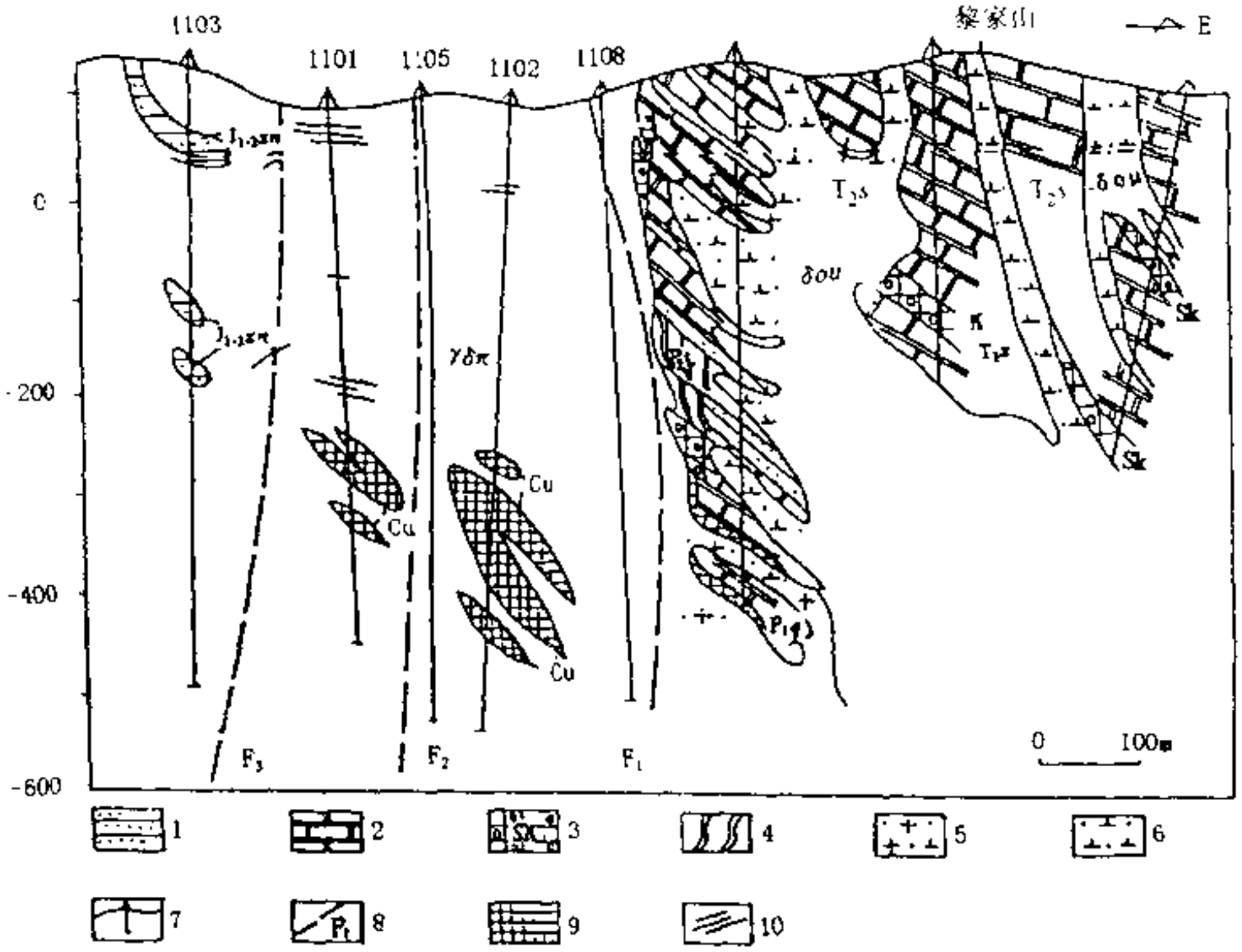


图 2-58　安基山铜矿 11 线勘探剖面示意图

Fig. 2-58　Schematic section of exploratory 11 in Anjishan copper deplsit

1　砂岩；2 -大理岩；3-- 夕卡岩；4—角岩；5　花岗闪长斑岩；6　石英闪长玢岩；7--钻孔；8 · 断层；9— 夕卡岩型铜矿体；10— 斑岩型铜矿体　$T_{1-2}m$ - 象山群；T_2y　上青龙组；T_1x - 下青龙组；P_2l - 龙潭组；P_1q— 栖霞组

化。产于上、下青龙组灰岩中的 2、3 号矿体，占矿区铜金属总储量的 12.6%，呈透镜状或脉状，位于 15～18 线，产出标高 −200～−300m，3 号矿体深达 −400m。这些矿体总体向 NEE 倾斜，倾角 49°，黄铜矿顺层或选择交代了捕虏体中夕卡岩。产于黄龙、船山组灰岩中的矿体，规模较小，受接触带和层面产状的复合控制，产状较陡。位于 7～9 线的 −600m 左右。

各铜矿体赋存的空间，上至地表，下至 −800m，高差近 900m。有上下小，中间大；上部铅锌铜，中部钼铜，下部铁铜的变化趋势。

1 号主矿体上下连续性较好，品位变化系数 28.2%，厚度变化系数 90.6%。

斑岩型铜矿体产于花岗闪长斑岩中，受微裂隙和水平节理控制。位于 7～11 线，1 号矿体的西侧，产在 −200～−400m 的深度，岩体在空间上微向东凸出，向西倾伏。岩体中产出的钼矿体略比铜矿体偏深。

（二）矿石的矿物成分

矿石的矿物成分已知有 50 多种，其中金属硫化物最多，以黄铁矿、黄铜矿为主，其次为闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、辉铜矿、磁黄铁矿；金属氧化物以磁铁矿为主，少量赤铁矿、假象赤铁矿、褐铁矿等；金属表生矿物有铜蓝、孔雀石、蓝铜矿、自然铜等。脉石矿物主要为钙铁榴石、透辉石、绿帘石、石英、斜长石，其次为硬石膏、方解石等。

矿石矿物成分的主要特点是：主要金属矿物成分简单，微量金属矿物成分较复杂；主要脉石矿物成分简单，蚀变矿物种类复杂。有些微量矿物如铬尖晶石、碳硅石都是原岩残留矿物，反映了花岗闪长斑岩及成矿物质来源于深部岩浆源。

（三）矿石类型、结构构造

以夕卡岩型的铜硫矿石为主（即块状的黄铜矿、黄铁矿矿石），次为含铜磁铁矿矿石，以及少量的黄铜矿硬石膏矿石。

铜硫矿石中铜含量<1%，硫13.67%，铅0.3%～1.5%，锌0.5%～3%，钼0.0037%，银10.5×10⁻⁶。

矿石的结构主要有结晶结构、充填交代结构、受压结构、固溶体分离结构。

夕卡岩型矿石以块状构造为主，次为条带状、细脉浸染状构造；斑岩型矿石主要为浸染状和细脉浸染状构造。

（四）围岩蚀变

矿区岩体（花岗闪长斑岩及石英闪长玢岩）和围岩的热液蚀变特征明显。矿区的蚀变种类很多，有钾长石化、黑云母化、夕卡岩化、黄铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、蒙脱石化、高岭土化、硬石膏化、角岩化、大理岩化等，其中黄铁矿化、绢云母化、硅化等贯穿整个热液活动过程。根据蚀变矿物组合，空间分布可划分为七个蚀变带。

1. 围岩接触变质

(1) 夕卡岩化　主要产于正接触带及岩体内捕虏体两个部位。前者见于矿体中东部，呈近南北向带状分布；后者产于主矿化带地段。浅部正接触带岩体与上青龙组灰岩接触交代产生夕卡岩，产状陡，接触面平直、接触带完整、含矿性较差。深部捕虏体中青龙组、栖霞组、船山-黄龙组灰岩中的夕卡岩，接触面弯曲，矿化集中，是主要矿体产出部位。

正接触带夕卡岩的标型矿物有钙铁榴石、钙铝榴石、透辉石。一般矿物为绿泥石、绿帘石、石英、方解石等。

捕虏体中的夕卡岩带的标型矿物是钙铁榴石、钙铝榴石、透辉石、绿帘石、透闪石、阳起石、符山石、硬石膏、半水石膏。一般矿物有绿泥石、石英、方解石、斜长石等。矿区内夕卡岩分带不明显，为混杂型。

钙铁—钙铝系列的石榴子石是矿区内夕卡岩的主要成分，尤其是栖霞组灰岩为围岩的钙铁石榴子石是黄铜矿选择交代的主要对象，构成主要矿体。

(2) 角岩化带　矿区中深部的象山群、黄马青组、下青龙组、龙潭组、高骊山组等地层中的砂页岩，一般变质成角岩。标型矿物主要为透辉石、石英，次为红柱石、硅灰石、黑云母。其中钼矿化发育，一般呈浸染状或细脉状充填于裂隙中。

(3) 大理岩化外接触带及岩体中的部分灰岩捕虏体，经热变质作用而变为大理岩。

2. 岩体热液蚀变

(1) 钾化带　出现在岩体内部，主要有钾长石化和黑云母化。标型蚀变矿物以钾长石、黑云母、硬石膏为主，其次为绢云母、石英、高岭石、方解石、天青石、绿泥石、黄铁矿等。有铜钼矿化。

(2) 石英绢云母化带　分布在钾化带的外侧，带内蚀变强弱也有差异，为斑岩型铜-钼矿主要赋存部位。标型蚀变矿物为石英、绢云母。一般蚀变矿物有方解石，少量黑云母、硬石膏、黄铁矿。

(3) 泥化带（高岭土化蒙脱石化带）　分布在石英绢云母化带外侧，发育强度不一，宽度不等。标型蚀变矿物为高岭石、蒙脱石，一般蚀变矿物有石英、方解石、绿泥石。

(4) 青磐岩化带（绿泥石、绿帘石化带）　分布于泥化带外侧，蚀变较弱。标型矿物为绿泥石、绿帘石。一般蚀变矿物有方解石、石英及少量绢云母、黄铁矿等。

（五）矿体物化探异常

本区含矿岩石的极化率是一般岩石的5～6倍。极化率η_s=6%～8%的异常带为矿化带的反映，η_s=12%～20%常是矿体的反映。配合激电测深可推断出含矿部位。

化探异常具有明显的分带性。结合元素趋势面分析，能为找矿提供可靠的方向。一般元素晕的浓集部位是矿体富集部位。金属量比值$w(Cu)/w(Zn)>100$为以铜矿为主的矿化带，100～10为外围矿化带；$w(Cu)/w(Ag)>3000$者为主矿化带，3000～10000为含银的外围矿化带。

四、成矿作用

通过对不同矿石类型黄铁矿、黄铜矿等7种矿物67件样品进行不同方法测温，并对7线和11线剖面做了系统测定，结果见表2-45。

表 2-45　矿物温度测定结果表

Table 2-45　Results of mineral-forming temperature

矿物名称	矿石类型	主要成矿温度 C	样品数	备　注
黄铜矿	夕卡岩型	240～320	7	
黄铁矿	夕卡岩、斑岩型	190～370，188～350	38	
闪锌矿	夕卡岩型	300～400	3	
方铅矿	夕卡岩型	310	1	
磁铁矿	夕卡岩型	350～490	3	
硬石膏	夕卡岩型	290～320	3	矿区“残纹层”硬石膏
石　英	斑岩型	445	1	
硬石膏	沉积型	无爆裂反应	1	周冲村组石膏层

成矿温度主要为 370～180 C，属中温热液范围。为证实硬石膏的来源问题，曾专门对周冲村组原生沉积型硬石膏进行了测温对比，后者无爆裂反应，说明矿区“残纹层”石膏仍应属中温热液产物。从 7 线和 11 线剖面等温线图可以看出，热液温度由西向东逐渐降低，说明热液来自西部深处，呈陡倾斜上升。

矿区硫化物的 $\delta^{34}S$ 值变化在 $-2.6‰$～$+3.1‰$，特征是范围窄，绝对值小，平均值近于零，与陨石硫的 $\delta^{34}S$ 值非常接近，因此认为安基山铜矿的硫主要来自深部。

矿物组合与成矿温度的关系表明，本矿床成矿作用分为五个阶段：夕卡岩阶段→磁铁矿阶段→硫化物阶段→硫化物碳酸盐阶段→表生阶段。总的矿化规律是：夕卡岩型矿化表现为相对封闭条件下的选择交代与富集，组合分带为 Cu（Fe、S）→Cu（Pb、Zn、S）；斑岩型表现为从中心→边缘呈现浸染状－细脉浸染状－细脉及大脉状；矿化蚀变分带为：钾化 Cu（Mo）→石英绢云母化 Cu（Mo、S）→泥化（Cu、S）→青磐岩化 Pb、Zn（S）。

构造对矿体的控制，集中表现在 4 个方面：

褶皱：短轴倾伏背斜的轴部及倾伏端，尤其是虚脱部位控制着矿体的定位。

断层：北北西向与近东西向断层的交会处，有利于导岩导矿，控制矿体的成群成带分布。

裂隙：两组构造裂隙交叉发育的密集带，有利成矿。

接触带：接触带两侧断层裂隙发育，控制着矿化富集带的空间展布。

安基山铜矿床的形成与江西城门山矿床大体相似，其区别是没有第二次石英斑岩的钼（铜）矿化叠加，而且已知的矿化都较分散。

第十一节　安徽庐江县沙溪铜（金）矿床

一、大地构造位置

矿区位于郯庐深断裂带与矾山-铜陵深断裂复合部位，在庐枞火山岩盆地的西北边缘。

二、矿床地质

（一）地层

矿区内出露的地层，主要有志留系高家边组（S_1g）、坟头组（S_2f）砂城岩和泥质粉砂岩和侏罗系磨山组（J_1m），罗岭组（J_2l）石英砂岩、沙页岩和泥质粉砂岩。矿区地层中志留系高家边组 Cu 含量高于维氏值可能对铜矿化富集提供部分成矿物质。

（二）构造

矿床位于一帚状构造中（图 2-59），可分出 1 个“旋扭带”，向北东方向撒开，向南西方向收敛，旋涡在内弧西侧。

（三）侵入岩

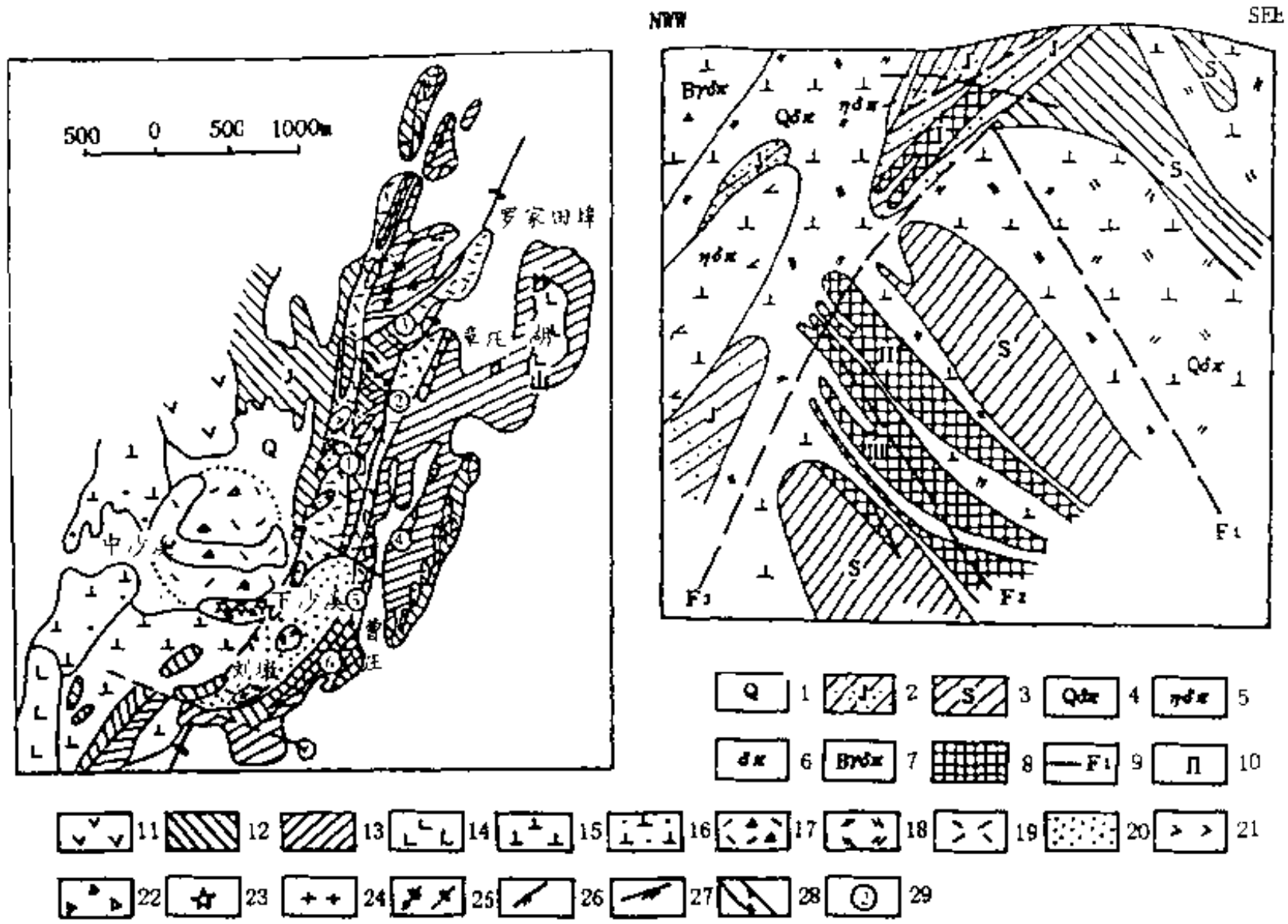


图 2-59 沙溪铜矿床控矿构造示意图

Fig. 2-59 Schematic map of ore-control structure in Shaxi copper deplsit

(平面图据董树文) (after DongShuwen)

1—第四系；2—侏罗系；3—志留系；4—石英闪长斑岩；5—角闪闪长斑岩；6—闪长斑岩；7—侵入角砾岩；8—铜矿体；9—推断断裂及编号；10—矿体编号；11—中生代火山岩；12—象山群砂页岩；13—高家边-坟头组砂页岩；14—辉石闪长岩；15—闪长玢岩；16—安山岩；17～19—早期成矿岩体；20～22—晚期不含矿岩体；23—爆破岩管；24—花岗斑岩；25—背向斜轴；26—旋扭带断裂面；27—压扭性断裂；28—张性断裂；29—矿体编号

出露一套碱钙系列同源不同期次的杂岩体，沿北北东向旋扭带呈岩枝状贯入于中志留统泥质粉砂岩（有呈捕虏体出现者）及中下侏罗统石英砂岩中，同位素年龄 173～123Ma，主要为燕山早期。侵入岩主体在菖蒲山，为闪长岩，大部分为红层覆盖。航磁有明显异常。含矿斑岩主要为石英闪长斑岩、可能系主岩体分异而成。

（四）矿体特征

区内从北而南分布有棋盘山、凤台山、铜泉山、鼓架山、断龙颈等矿床（点），以铜泉山矿床为主要。铜泉山铜矿体分布在长 1200m，宽 610m 的范围内，主矿体三个，以Ⅲ号矿体最大（占铜金属总量的 92%），另有 52 个小矿体，零散分布在地表至－600m 标高范围内。

上部矿体（Ⅰ）以充填交代象山群石英砂岩和泥质粉砂岩为主，部分产于岩体边部。矿体长 600m，最大厚度约 195m，最大延深为 290m，呈不规则透镜状，走向 NNE，倾向 NWW，倾角中等，向 SW 方向侧伏。铜品位偏低，含金小于 1×10^{-6}。

下部矿体（Ⅱ、Ⅲ）位于 F_3 断层之下，直接受 F_3 裂隙带控制。矿体产于志留系泥质粉砂岩作顶底板的岩体内，部分进入围岩。其中Ⅲ号主矿体长千余米，厚 4～197m，延深 77～680m，呈巨大板状-透镜状，倾向 SEE，倾角中等，向 SW 方向侧伏。含铜较高，矿石富集地段密集石英脉群，含大量细脉浸染的斑铜矿、黄铜矿，含铜 1%以上。此外，还有产于不同岩石构造破碎带或裂隙带内的小矿体。

（五）矿石组分

矿物组分：矿石矿物有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿、磁铁矿。脉石矿物有钾钠长石、石英、硬石膏、水云母、碳酸盐等。

矿石主要化学组分：矿石主要组分为，矿石含Cu平均0.6%。

伴生组分：Au主要赋存于黄铁矿内，最高含量达100×10⁻⁶，最低0.07×10⁻⁶，一般为（20～10）×10⁻⁶；在黄铜矿中最高含量22.69×10⁻⁶，最低含量1.28×10⁻⁶，一般（10～20）×10⁻⁶；在斑铜矿中最高含量24.5×10⁻⁶，最低含量12.77×10⁻⁶，平均15×10⁻⁶，现已圈出部分金矿体，平均品位3.15×10⁻⁶。

（六）围岩蚀变

矿床围岩蚀变从里向外主要有钾化带（Ⅰ号主要矿体所在部位大体吻合）、石英绢云母化带（矿化不强，几乎无矿体赋存）、泥化带（不甚发育）和青磐岩化带（无铜的矿化）。

三、成矿条件分析

（一）硫同位素

矿床中硫同位素$\delta^{34}S$为0.3‰～2.5‰，表明具有深部均一硫源特征。

（二）氧同位素

据傅斌（1996）对矿区脉石英单矿物测定氧同位素$\delta^{18}O_{(SMOW)}$为7.99‰～12.52‰，均值为10.05，计算得平衡水的$\delta^{18}O_{(SMOW)}$为3.51‰～5.52‰。说明成矿流体的氧同位素组成接近于岩浆热液。脉石英中流体包裹体水的氢同位素组成$\delta D_{(SMOW)}$为-60‰～-82‰，与岩浆热液相近。流体包裹体的盐度有二组：一组$w(NaCl)$为2.0%～10.0%，均值为6.5%；另一组$w(NaCl)$为-14.0%～20.0%，均值为18.2%。还有一组$w(NaCl)$很高，大于42%。高盐度流体包裹体常与气体包裹体紧密共生，构成“沸腾”包裹体群。氢氧同位素和流体包裹体测定数据表明，沙溪铜矿成矿热液具有岩浆流体为主，并混有少量大气降水组成。

（三）成矿温度

经测定成矿期脉石英爆裂温度为200～380℃，石英均一温度为190～355℃、黄铜矿为265℃、黄铁矿为220℃，属中温偏高。整个矿床显示了从高温（磁铁矿-黄铜矿组合）至中低温（铜、铅、锌硫化物、重晶石脉、含铜黄铁矿-碳酸盐脉）的长期活动特点。据不同矿物组合的空间分布特点，表明矿化有随深度增加成矿温度增高趋向。

（四）控矿条件

构造：成矿富集因素与帚状构造旋扭带有一定关系，一般靠近旋涡为强应力区，断龙颈一带多富集原子量与密度均较大的金，离旋涡稍远的中应力区铜泉山一带主要富集铜，离旋涡最远的弱应力区则以铅锌为主。此外NNE向与NW向次级断裂构造交汇处是矿体最有利的赋存部位，岩石裂隙发育程度、砂页岩层屏蔽等，也均为矿化富集重要条件。

岩体：铜矿化90%局限在石英斑岩体内，岩体酸度较低，矿化严格受侵入岩的岩体控制。

蚀变：钾化带特别发育，而绢云母化相对较弱，工业矿体赋存部位与钾硅酸盐蚀变带及叠加青磐岩化蚀变带一致，钾硅酸盐蚀变主要由岩浆流体作用所致。

（五）矿床成因类型

综合矿床特点及成矿条件表明沙溪铜矿为具有“闪长岩模式”的斑岩型矿床。

第十二节　福建上杭县紫金山铜金矿床

一、大地构造单元

紫金山矿区隶属环太平洋成矿带，位于闽西南上古生界坳陷之西南，云霄-上杭NW向深断裂带与宣和NE向复式背斜的交汇处，上杭NW向的白垩纪火山-沉积盆地的东缘。

二、矿区地质

（一）矿区地层

研究区出露地层有新元古界下震旦统楼子坝群、上泥盆统天瓦栋组，石炭系林地组、黄龙组—船山组，白垩系石帽山群和沙县组。

下震旦统楼子坝群（$Z_1l_1^1$）：是该区的基底地层，为一套海相细碎屑岩，受轻度区域变质作用，厚度大于500m。

天瓦栋组（D_3t）：下段（D_3t^1）为白色厚-巨厚层石英砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩等，厚305m；上段（D_3t^2）为紫红-紫灰色中薄层粉砂岩、泥岩夹石英砂岩、砂砾岩，厚562m，与下伏地层呈角度不整合接触。

林地组（C_1l）：下段（C_1l^1）为灰白色厚层石英砂砾岩、砂岩夹石英质泥岩及煤线，厚约290m，上段（C_1l^2）为白色中厚层砂岩、粉砂岩、泥岩、含砾石英砂岩及煤线，厚500m，与天瓦组呈断层接触。

黄龙组-船山组（C_2）：黄龙组（C_2h）下部为白色硅质岩、上部为灰白色大理岩，产蠖类化石，厚150m。船山组（C_2c）为白色—浅灰色厚—巨厚层中细晶大理岩、灰岩、产蠖类化石，厚318m。

黄龙组底部与林地组呈假整合接触，接触带附近常夹火山岩及铁锰、多金属矿层、矿化层，是福建省铁锰矿和邻省广东玉水一带铜矿赋矿层位。

石帽山群（K_1sh）：下组下部为紫红色厚层复成分砾岩夹杂砂岩、凝灰质砂岩、粉砂岩夹凝灰岩。上部为紫灰色凝灰岩、流纹岩、夹凝灰质泥岩、粉砂岩、英安岩、晶屑凝灰熔岩等；上组为粉砂质泥岩、紫红色流纹质含角砾凝灰岩、凝灰质砂砾岩等。

沙县组（K_2s）：上部为紫红色中厚杂岩与复成分砂岩互层，中部紫灰色薄层凝灰质粉砂岩夹凝灰质含砾杂砂岩，下部紫红色厚层复成分砾岩。

（二）矿区构造

断裂裂隙构造是紫金山矿区的特征性构造。可分为NE和NW向两个主要组，是矿床中主要的控岩和导矿构造，NW向组构造是最重要的容矿构造，其次尚见NNE和EW向组，其中NNE向组则属于破矿断裂。

（三）岩浆岩

燕山期岩浆岩出露于矿区的中部，是矿区主要岩类，亦是铜金矿床的主要围岩。岩浆岩为复式岩体，呈北东展布，长约8km，宽4km，由燕山早、晚两个不同构造岩浆旋回的多次侵入体组成。主体为燕山早期似斑状中粗粒二长花岗岩（$\gamma_5^{2(3)c1}$）、中粒二长花岗岩（$\gamma_5^{2(3)c2}$）、细粒花岗岩（$\gamma_5^{2(3)d}$）组成。似斑状中粗粒二长花岗岩全岩Rb-Sr同位素等时线年龄143Ma；中粒二长花岗岩锆石U-Pb同位素年龄（157±18）Ma。岩体中除石英外，其他原生矿物都已完全蚀变。中粒二长花岗岩也是最主要的矿化围岩。

燕山晚期岩体为花岗闪长岩类，Rb-Sr年龄为102.2Ma。主要分布在矿区北东部，呈小岩株、岩枝和岩脉产出。其主要特征为含角闪石，低硅、高铝、钙、镁，δEu亏损不明显，副矿物富含磁铁矿，锆石晶形较复杂。与之有成因联系的火山、次火山岩发育。

燕山早期复式花岗岩的成因属重熔型花岗岩；燕山晚期花岗闪长岩类成因则为同熔型花岗闪长岩。后者与区域白垩纪火山岩同期、同岩性、同岩源、同成因，与本区铜金矿化有成因关系。

（四）火山活动与火山机构

紫金山矿区的火山活动表现在明显的火山机构、次火山岩的广泛分布。隐爆角砾岩的倾角中等至缓，其发育程度随着与火山中心距离的增大而减弱。这些英安玢岩-角砾岩带与矿区主要铜金矿化带分布基本一致，控制了铜金矿带的展布。隐爆角砾岩内广泛发育明矾石、石英、地开石等热液矿物。英安玢岩和隐爆角砾岩相对集中发育地段［西北段3线（图2-60）和7段附近］，是铜金矿化发育的主要地段。因而，英安玢岩和隐爆角砾岩发育地段可作为重要的找矿标志之一。

矿区次火山岩发育，主要为英安玢岩，少量为石英斑岩。英安玢岩可分为4期：

多孔状强硅化英安玢岩：仅在火山机构中部呈岛弧状产出。

英安玢岩：灰—灰白色，该期次火山岩-英安玢岩规模最大，分布最广，主要产于岩筒中心，与隐爆角砾岩空间上紧密伴生，并有相近的产状，是本区铜、金矿化主要成矿期。

流纹斑岩：粉红色、脉状，切穿矿体。

黑云母英安玢岩：灰绿色，分布在火山机构中心北部，呈脉状侵入第二次玢岩和隐爆角砾岩中。

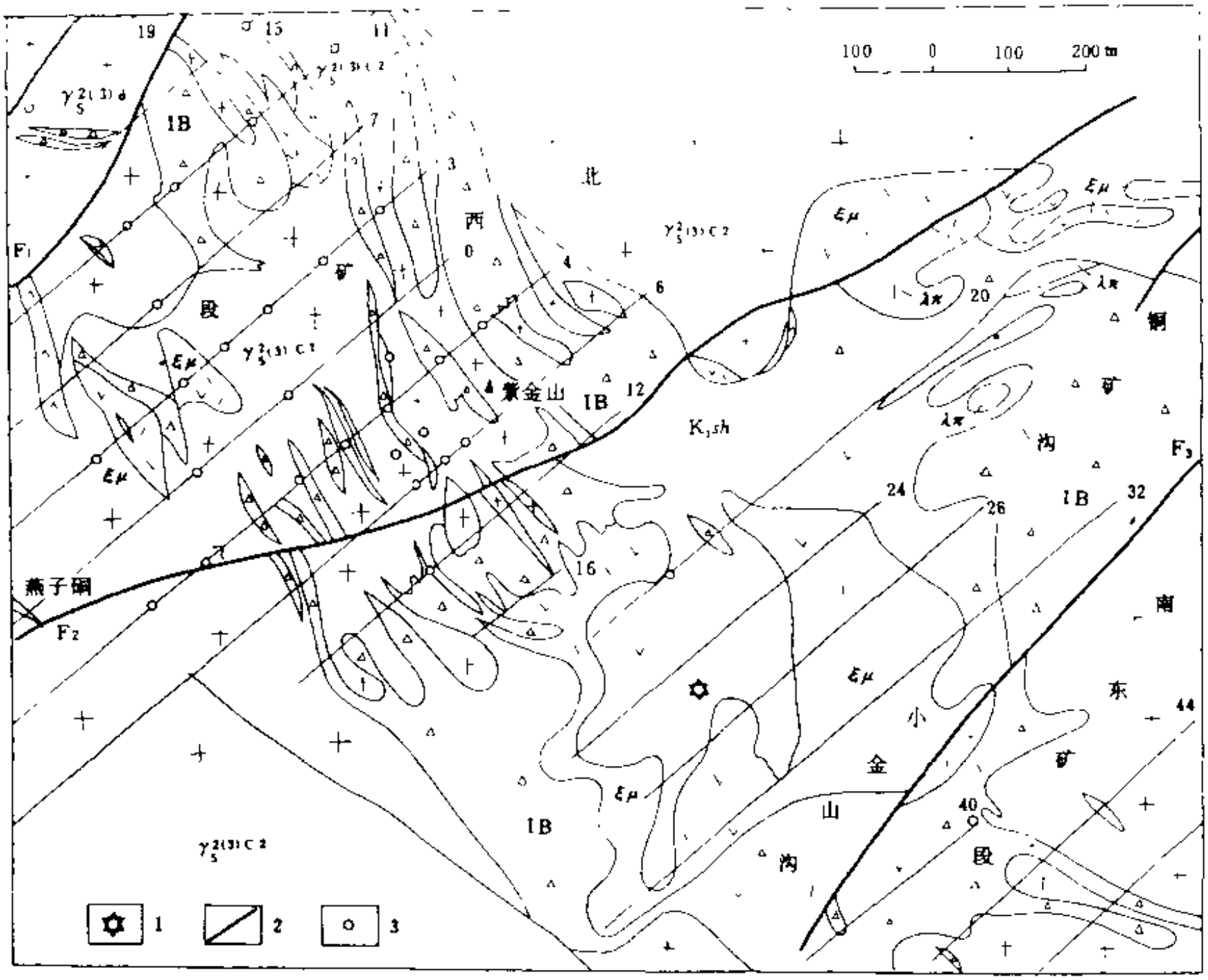


图 2-60 紫金山金铜矿床地质略图

Fig. 2-60 Geological sketch of Zijinshan gold-copper deposit

K_1sh 石帽山群中酸性火山岩；$\gamma_5^{2(3)d}$ - 燕山早期细粒白云母花岗岩；$\gamma_5^{2(3)c2}$ - 燕山早期中细粒花岗岩；*IB* 隐爆角砾岩；$\varepsilon\mu$ 英安玢岩；$\lambda\pi$—流纹斑岩．1 火山作用中心；2 -断层；3- 钻孔

（五）矿床地质特征

在紫金山铜金矿床（图 2-61）中，目前已发现金矿化带三个，金矿体 30 多个，铜矿化带四个，已圈出表内矿体 78 个。金矿化标高为 730～930m，铜矿化标高在 650m 以下。主要矿化地段在西北矿段 15～12 线之间。铜矿体长为 700～900m，延深与长度大致相当，为 900～1000m，最大延深达 1200m．

1. 金矿化带特征

金矿体主要分布在 1 号矿化带，赋存在 650m 高程以上的氧化带中，一般厚几十厘米至几米、延长几十米至百余米，延伸几十至二百余米，矿体边界用化学分析品位圈定呈脉状，部分呈扁豆状、透镜状。金品位一般（3～5）$\times 10^{-6}$，最高达 30.21×10^{-6}。各矿带具一定的右行斜列特点。

2. 铜矿化带特征

铜矿化带中铜矿体主要赋存于 650m 高程以下的原生带中，为隐伏矿体。矿带主要由一系列密集的网状铜矿组成。根据矿石组合，热液蚀变类型，产出部位和围岩性质，从南往北，自下而上分为 4 个矿化带。各带特征如下：

Ⅰ号矿化带：处于 0 矿化带的下盘，由于埋深大，目前尚未完全控制，仅在少数深部钻孔中见及。已知矿带的最大垂直厚度约 350m，矿体多在标高 0～350m，矿体的累计厚度 209.29m。矿体可能向北西延伸，与新屋下铜异常区相连接。矿体围岩主要为碎裂蚀变中细粒二长花岗岩。蚀变类型为石英绢云母化，次为石英明矾石化。该含矿带的发现，进一步证实了矿体呈右行侧列的产出规律。通过远景

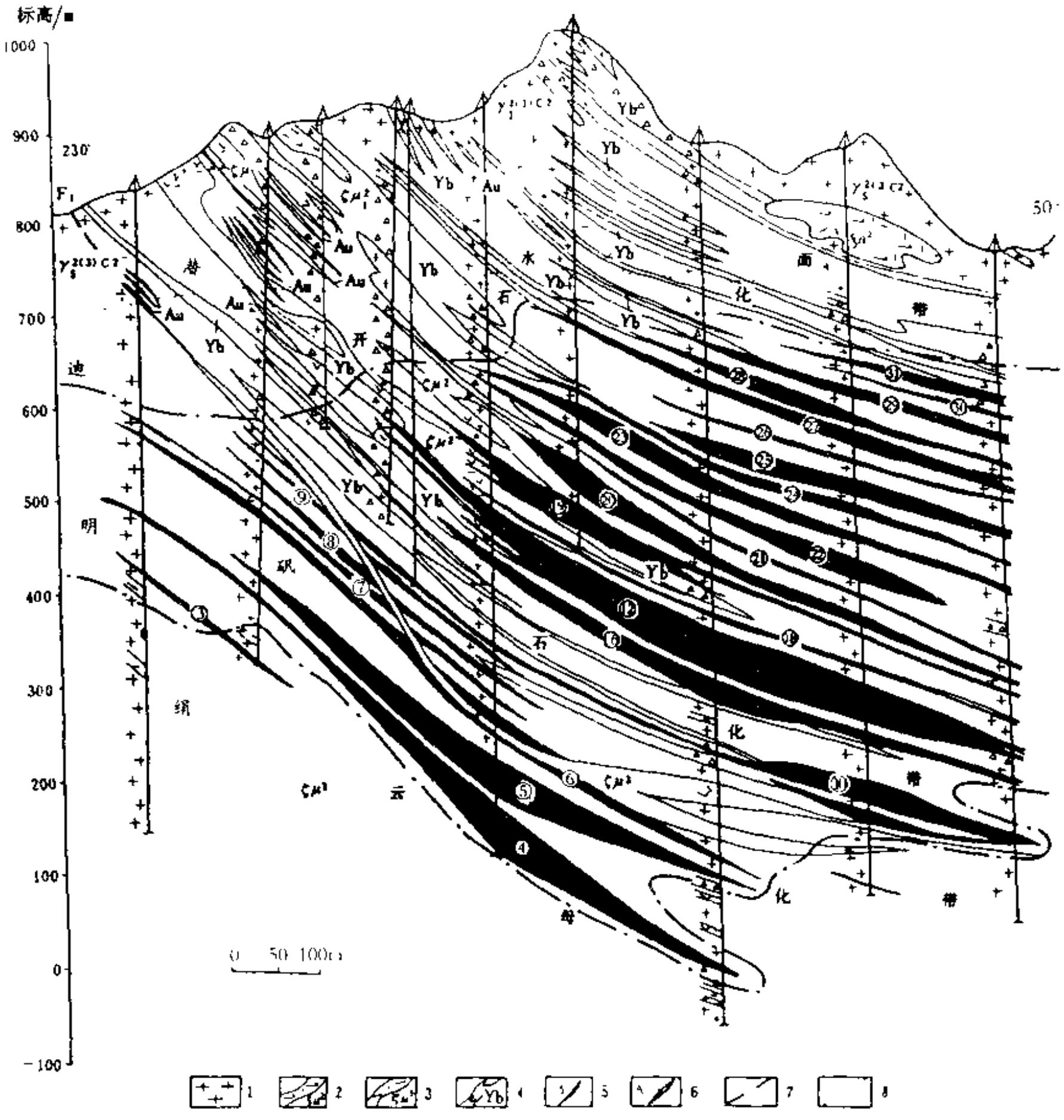


图 2-61 紫金山铜矿区西北矿段 3 线地质剖面图

Fig. 2-61 Profile of exploratory line 3 at northwest ore block of Zijinshan copper ore district

1—中细粒花岗（$\gamma\beta^{(3)c2}$）；2—第二脉动次英安玢岩（$\xi\mu^2$）；3—第三脉动次英安玢岩（$\xi\mu^3$）；4—热液角砾岩（Yb）；5—铜矿体；6—金矿体；7—蚀变分带界线；8—潜水面位置

钻孔，基本控制了紫金山铜矿床赋存的最深部位，远景乐观。

0 号矿化带：位于矿区英安玢岩和脉状隐爆角砾岩密集带的下盘，主要分布于 19～4 线间。矿化带中已圈定矿体 18 个，赋存标高 360～630m，主矿体位于 144～196m。矿化带厚度一般 200～280m，最大垂直矿化厚度 450m。矿化带中矿体累计平均厚度 51.57m，矿体间间隔 55～10m；走向长约 800m，延伸 600～800m，最大延伸 1200m，往深部和浅部矿化明显减弱。围岩主要为碎裂蚀变中细粒二长花岗岩，次为隐爆角砾岩。蚀变类型为石英明矾石化，次为石英绢云母化（明矾石、迪开石化）。该矿化带是西北矿段最主要的矿化带之一，其中铜矿金属储量约占全区的 23.33%。

Ⅰ号矿化带：主要分布于 15～4 线间的英安玢岩和脉状隐爆角砾岩密集带内。目前已控制矿化带长度约 700m，宽约 500m，矿带总厚度 210～250m。矿化带中已圈定 19 个矿体，矿体平均总厚度 10Cm，间隔 5～10m，延深一般 470～650m，最大延深 850m。往北西和南东及 200m 标高以下铜矿化明显减弱。

主要矿化标高为 100～700m，矿体围岩主要为碎裂蚀变中细粒二长花岗岩和隐爆角砾岩，次为英安玢岩。主要蚀变类型为石英明矾石化。该带铜金属储量约占全区 57.10%，是最主要含矿带。

Ⅱ区矿化带：该带规模相对较小，矿体层数少、规模小、间隔大，铜矿体埋藏较浅，目前带内已圈定大小铜矿体 20 个，主要分布于 15～1 线，往北东方向，部分矿体离地表仅 10～50m。产于英安玢岩和脉状隐爆角砾岩密集带的上部。矿化标高基本在 550～900m，矿化带厚度 180～318m，矿体间隔 15～22m，平均 17.5m，延深一般 191～600m，最大延深 650m，向东北有稀疏小矿体延伸并与中寮矿区相连。矿化围岩主要为碎裂蚀变中细粒二长花岗岩，少量隐爆角砾岩。蚀变类型主要为石英-绢云母-明矾石-迪开石化，次为石英明矾石化。该矿化带内已控制铜金属储量约占全区的 19.27%。

上述各矿化带中的铜矿体，一般呈似层状、透镜状。巨厚矿体沿走向和倾向具有分支复合现象，个别矿体局部膨大往两侧迅速变薄或消失。矿体总体走向呈 N 10°W，倾向 NE，倾角 20°～50°，一般25°～35°，个别 55°～15°。单个矿体一般为上部陡，下部缓。各矿化带中一般是浅部矿体缓，深部矿体陡。矿体厚大部分，在剖面上自上而下向南西侧伏，侧伏角大致为 15°～32°，总体为 23°～25°；平面上则呈 NEE—SSW 向展布，与矿化带的总体展布方向一致。

3. 矿石矿物成分

金矿石矿物成分比较简单，金属矿物总量约占 3%～5%，主要为铁的氧化物和氢氧化物，即褐铁矿、针铁矿和赤铁矿，系黄铁矿及其他硫化物氧化产物，占金属矿物总量的 95%以上；次为黄铁矿、自然金、方铅矿、自然铅、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝等，偶含黄铜矿、锡石和闪锌矿。脉石矿物主要为石英，以蚀变微晶石英形式出现；其次为迪开石、明矾石；有时还见有重晶石、绢云母、电气石及锆石、磷灰石、金红石等副矿物。

铜矿石中金属矿物总量一般为 3%～10%左右，属高硫次火山浅成低温热液矿床矿物组合，主要矿物为蓝辉铜矿、硫砷铜矿、铜蓝及黄铁矿等；次为斑铜矿、黄铜矿、砷黝铜矿、硫铜锗矿以及少量硫锗铜矿、锡黝铜矿、黝铜矿、似黄锡矿、硫锡铜矿、铁铜矿、硫铋铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铜矿等。脉石矿物主要为石英、明矾石和迪开石等；次要脉石矿物有白云母、绢云母、绿帘石、长石、重晶石和少量氯黄晶，副矿物有锆石、镜铁矿、磁铁矿、锐钛矿、金红石等。此外尚有少量砷华、自然金、水胆矾、孔雀石、铜蓝等。矿石成分基本为原生矿物。

紫金山西北矿段次火山浅成低温热液矿化期可划分为 4 个矿化阶段。

第一阶段为黄铁矿阶段。黄铁矿多成单一的黄铁矿脉。多与石英绢云母化相伴产出，见穿插早期石英脉。

第二阶段为硫砷铜矿阶段。矿物共生组合为硫砷铜矿（Ⅰ）-蓝辉铜矿（Ⅰ）-黄铜矿、斑铜矿-硫锗铜矿-硫铜锗矿-锡黝铜矿-砷黝铜矿-黝铜矿-硫锡铁铜矿-方铅矿-闪锌矿-辉钼矿。

第三阶段为蓝辉铜矿阶段。共生组合为蓝辉铜矿（Ⅱ）-硫砷铜矿（Ⅱ）-铜蓝-铁黄锡矿。

第四阶段为黄铁矿阶段。除黄铁矿外尚有少量迪开石、明矾石、重晶石、氯黄晶，主要以细脉充填于裂隙中，氯黄晶则多分布于孔洞中。

蓝辉铜矿、硫砷铜矿、铜蓝是主要的铜矿物。

4. 矿石结构构造

矿石结构主要有他形-自形粒状结构、包含结构、固溶体分离结构、环圈、揉皱、填隙结构等，矿石构造主要为脉状、次为脉状-浸染状、角砾状、斑点-斑杂状及浸染状。

5. 矿石化学成分

金矿石基本为氧化矿石，成分简单，17%的自然金赋存于充填裂隙的褐铁矿细、网脉的脉壁，易于回收。

铜矿石的主要有益组分为 Cu，含量变化于 42.73%～0.5%之间，单矿体 Cu 平均 0.59%～1.74%，全矿石平均 1.08%，有 99.28%的 Cu 呈蓝辉铜矿、铜蓝和硫砷铜矿产出。伴生组分为 Au（平均 0.17×10^{-6}），Ag（平均 2.8×10^{-6}）、Ga、S 等。有害组分 As 含量为 0.02%～0.05%。

6. 围岩蚀变

矿区热液蚀变强烈，蚀变范围达数平方公里，垂深可达千余米。矿区内几乎所有岩石都遭受了强烈蚀变，并具明显的“面型”和“线型”多期蚀变叠加特点，蚀变有硅化、地开石化、明矾石化、绢云母化和黄铁矿化等。

早期以“面型”硅化、绢云母化、地开石化为代表，形成次火山岩　英安玢岩火山口边缘的环状硅化帽，同时使矿区内花岗岩普遍强烈蚀变，形成以石英、地开石、明矾石、绢云母等蚀变矿物组成的蚀变岩石，绢云母则分布在低标高处。晚期以“线型”地开石、明矾石脉产出，主要分布于NW向构造裂隙带的角砾岩带及两侧，其中明矾石与铜矿化空间关系密切，是主要的近矿围岩蚀变。

热液蚀变具分带性，深部主要为石英 绢云母带，中间为石英-明矾石-地开石带，上部为硅化帽（图 2-62）。

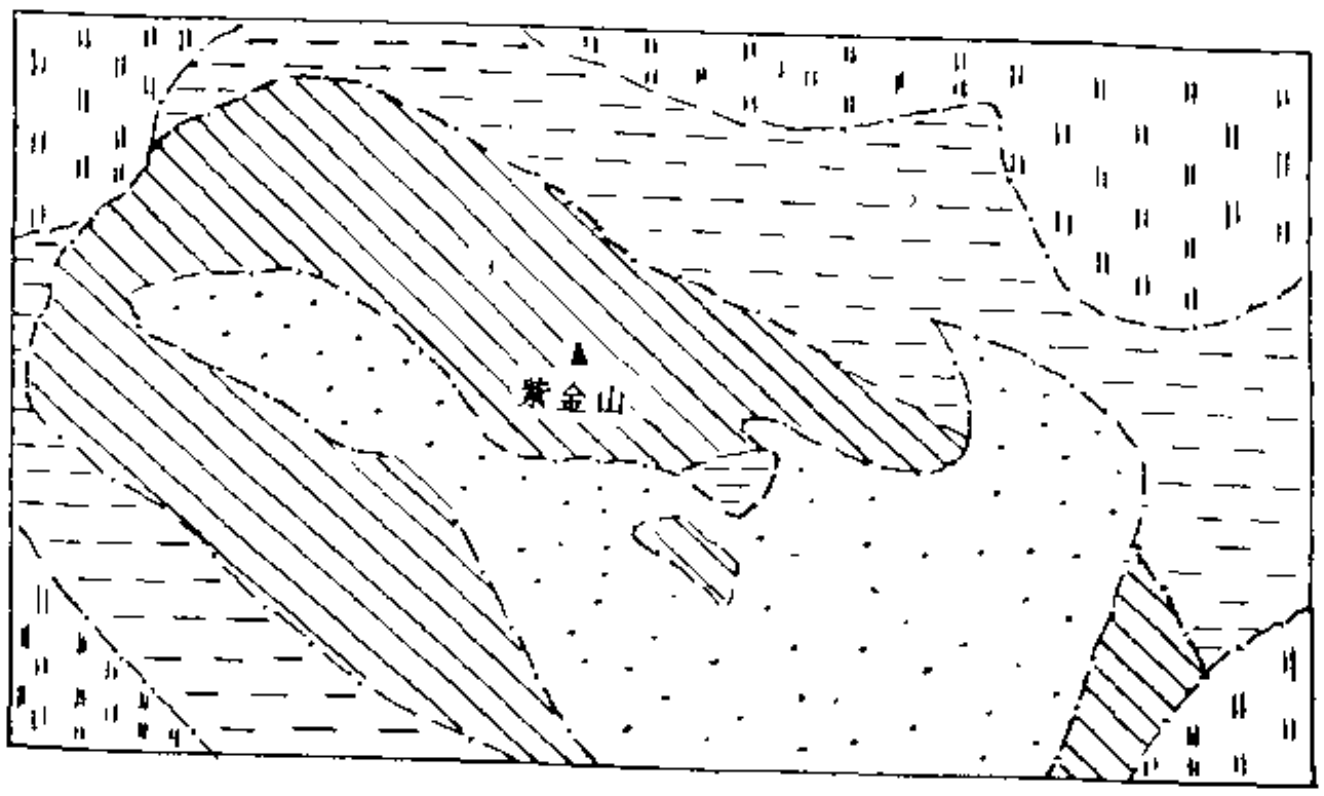


图 2-62　紫金山铜金矿区蚀变分带示意图

Fig. 2-62　sketch map of alteration zoning in Zijinshan copper and gold ore district

①强硅化带；②石英-地开石带；③石英-明矾石带；④石英 绢云母带

三、成矿条件

（一）稳定同位素

铅同位素：张德全等对紫金山矿床作的方铅矿、黄铁矿、闪锌矿矿石铅同位素组成测定结果表明，硫化矿物中的铅部分与中生代岩浆活动有关；还有一部分可能来自区域海西 印支构造层；Cu、Ag、特别是Cu，主要与燕山晚期中-酸性岩浆活动有关。

氧同位素：张德全等人和南京所的有关人员，曾对紫金山铜（金）矿床各类蚀变岩的氧同位素组成进行了测定。从中可以看出，英安玢岩石英斑晶中的$\delta^{18}O$与岩浆水热流体的$\delta^{18}O_{H_2O}$相差甚微，表明其为深成岩浆。在主矿化阶段大气降水不断混入，其矿化流体为岩浆水和天水的混合物，以天水为主，$\delta^{18}O_{H_2O}$出现负值。矿区氧同位素组成的这一特点，与矿区蚀变的垂直分带大体吻合。另一方面，从$\delta^{18}O$的数值来看，各蚀变带矿物与英安玢岩石英斑晶相比变化范围很窄，这也表明岩浆为深成岩浆，但成矿流体介质水主要是燕山晚期火山-次火山岩浆加热的大气降水。

硫同位素：硫同位素测定表明，$\delta^{34}S$值从明矾石—方铅矿依次降低。这种分配顺序与硫酸盐到硫化物的正常分析顺序是一致的。从黄铁矿的硫同位素组成来看，早期粗晶黄铁矿系晚期粉尘状黄铁矿，$\delta^{34}S$值逐渐降低，变化范围为5.1‰～－4.6‰，反映了本区岩浆岩主要为深成幔源型岩浆，但不排除有部分壳源重溶型岩浆的混入。

（二）流体包裹体及成矿温度

紫金山地区各矿床（点）各类岩石的石英矿物中，包裹体非常发育，主要分为气液包裹体（Ⅰ型），（气相<50%）；气体包裹体（Ⅱ型），（气相>50%）；含液态CO_2包裹体（Ⅲ型），液相包裹体

（Ⅱ型）4种类型。此外，还发育有沸腾包裹体群，它反映了流体曾有过突然沸腾的历史。

包裹体研究表明，矿体成矿温度范围为250～370℃，成矿流体具有低的盐度和pH值，w(NaCl)为0.87%～9.9%，pH值约3～4。成矿压力为9～80MPa。

（三）矿床成因

本区的铜金矿床位于火山构造附近，与次火山岩-英安玢岩及隐爆角砾岩带密切相关。矿区蚀变的二长花岗岩的全岩K-Ar同位素年龄为（91±2.7）Ma，这一热液蚀变年龄，结合铜矿化及脉状热液蚀变明显晚于成矿的次英安玢岩及隐爆角砾岩，说明紫金山铜金矿化的成矿作用相当于燕山晚期。铜金矿化与蚀变作用，发生在本区最发育的次火山岩及隐爆作用之后的火山热液作用阶段。原生铜矿物以**蓝辉铜矿**、**硫砷铜**矿为主；铜矿化以脉状为主；蚀变以硅化、明矾石化、地开石化为主。上述特征与斑岩铜矿类型的矿化构造控制、矿石和围岩蚀变类型、矿化体形态都有一定差异，因而，其成因类型可划归为燕山晚期陆相火山岩次火山岩-隐爆角砾岩期后热液脉状矿床。金矿则是在表生成矿期的次生富集成矿作用下形成的铁帽型金矿。

（四）找矿标志

区域背景标志：矿床位于NW向云霄-上杭深断裂，上杭白垩纪陆相火山-沉积盆地东缘。铜金矿化是白垩纪同期火山作用晚期次火山热液形成的。

深部岩浆标志：根据紫金山重磁异常，推测本地区可能隐伏有一个近百平方公里的中酸性岩体，该岩体应是现已出露的花岗闪长岩的主体部分（亦可为岩浆库）。前述花岗闪长岩同位素年龄相当于燕山晚期白垩纪，而花岗闪长岩与本区的火山岩、次火山岩-英安玢岩为同期、同成分、同源。因此这一深部的中酸性岩体（岩浆库）对本区强烈的围岩蚀变和矿化作用有密切联系。对长江中下游铜矿床和湘南一带的锡多金属矿床的物探资料研究表明，那里的矿床深部都有较大的岩浆库存在，而深部岩浆库范围基本包含了上部几个矿田和矿化范围。因此，紫金山地区物探推断的隐伏岩体的分布范围，是指导区域找矿的目标区。

地球化学标志：铜、金元素的化探异常，是最直接有效的Cu、Au找矿标志。

区域1∶20万水系沉积物研究表明，本地区存在显著的Au、Cu、Pb、Ag、Sn、Mo等地球化学异常，面积达几十平方公里，异常强度Cu（100～150）$\times10^{-6}$，最高300×10^{-6}，Au（10～100）$\times10^{-9}$，最高635.5×10^{-6}。元素异常值为背景值几倍至几十倍。上述异常基本围绕紫金山复式岩体分布（图2-63），浓集中心明显，多种异常互相重叠；Cu、Au异常分布范围大致反映了铜金矿田的分布范围。

中、大比例尺岩石地球化学异常可指示矿化带、矿体的位置。

矿区内岩石一般含铜$(50\sim40)\times10^{-6}$，最高达2000×10^{-6}，其中大于200×10^{-6}的异常14处，南东部异常尚未闭合（图2-64）。

西北部异常走向NW，与西北矿段展布一致。东南部异常值高，（400～800）$\times10^{-6}$高值异常围绕24线、28线，分布于16线、36线，呈两个北东方向的多中心高值带；24～28线是异常较低（$<200\times10^{-6}$）值范围，该位置恰为火山中心次英安玢岩岩筒分布区；16、36线可能为玢岩与花岗岩接触带；36线南端高值异常是全区面积最大的原生晕异常，位于隐爆角砾岩中。东南矿段工作程度低，异常强度大，与西北矿段类比，可望成为一个新的找矿区。

本区岩石大部分地段含Au$>10\times10^{-9}$，Au$<10\times10^{-9}$多为低标高地段。区内4个异常面积大，浓集中心明显，大于100×10^{-9}异常带均呈北西向展布（图2-65）。Sn、Pb、As、Bi、Mo和Ag可作伴生指示元素，综合元素组合异常，是Cu、Au矿化有利的地化标志。

火山构造和次火山岩标志：勘查证明，铜金矿床产于紫金山火山机构邻近，西北矿段的铜金矿带和围岩蚀变，受火山机构旁侧NW向衍生的脉状角砾岩和次英玢岩带控制。次英安玢岩与区域白垩纪火山岩有相同的岩石成分，成矿的次英安玢岩和隐爆角砾岩常是区内火山作用最发育的一次。因此，次英安玢岩和隐爆角砾岩发育的地段，是寻找这类矿床的重要标志。

断裂构造标志：矿区位于NE及NW两组断裂交汇处，尤其是两组断裂组成的格状断块是本区铜金矿化富集的有利地段。紫金山矿田即有数条NE、NW向断裂构造组成的NW走向的几个矿化段，现

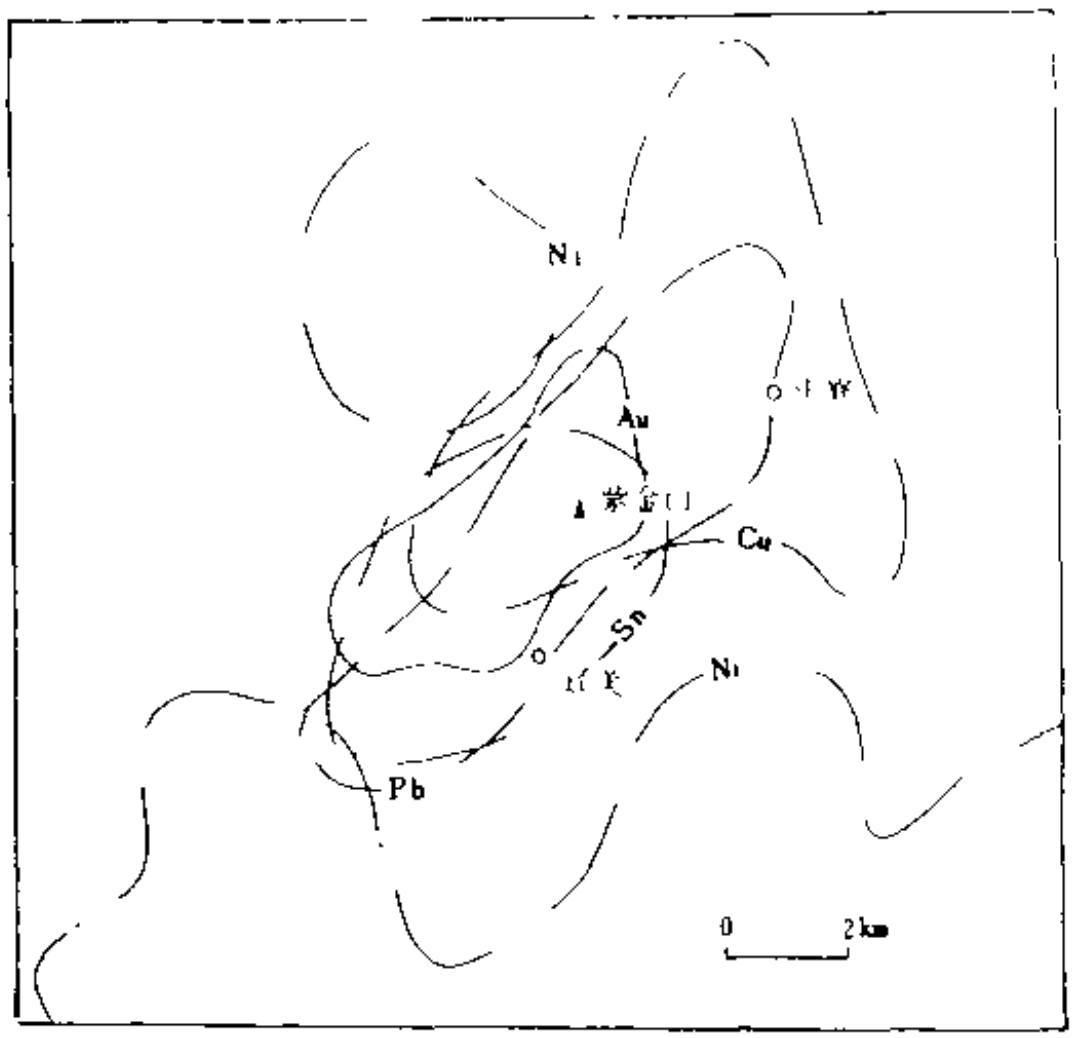


图 2-63　紫金山地区 Au、Cu、Sn、Pb、Ni 元素综合异常图

Fig. 2-63　Composite anomaly diagram of Au, Cu, Sn, Pb, Ni in Zijinshan area

（为水系沉积物测量成果）

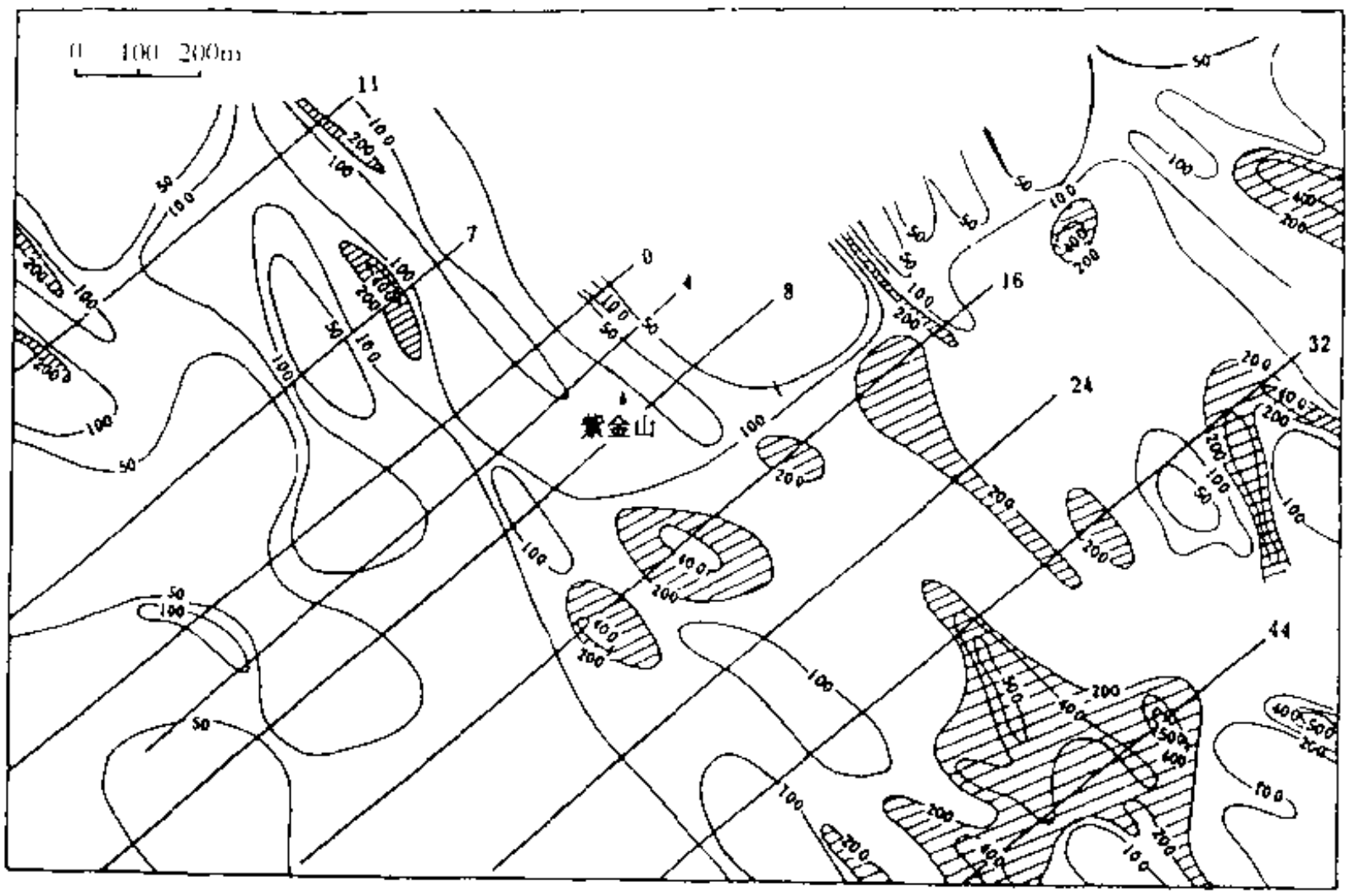


图 2-64　紫金山矿区岩石 Cu 异常等值线图

Fig. 2-64　Contour diagram of Cu anomaly in Zijinshan ore district

（等值线的数量级为 10^{-6}）

勘查的西北矿段仅是矿的一部分。西北矿段的矿化明显受一组 NW 向断裂-裂隙带控制，强烈矿化部分就成为 NW 走向的脉状矿体。NE 向断裂（F_1、F_2、F_3），可能对本区铜金成矿也起着重要作用。由图 2-60 看出，F_1 断裂上、下盘铜的矿化厚度大、较为富集，本区段的铜矿体主要分布在 15 线至 11 线范

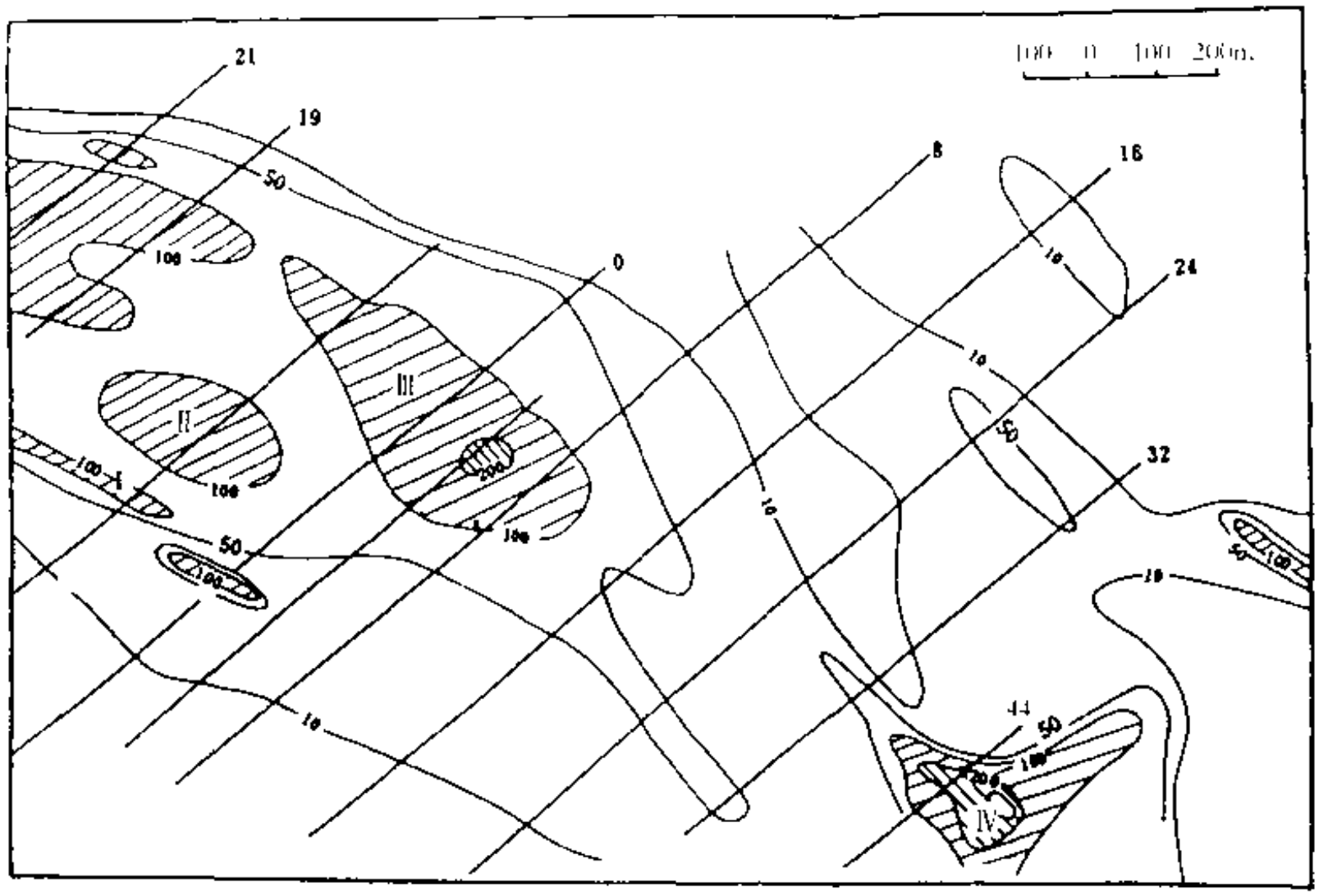


图 2-65　紫金山矿区岩石 Au 异常等值线图

Fig. 2-65　Contour diagram of Au anomaly in Zijinshan ore district

（等值线数量级为 10^{-9}）

围，亦即 F_1 至 F_2 断裂间，就是一个佐证。

蚀变标志：本区各种岩石蚀变强烈，蚀变范围广是矿化的宏观特征。有“面型”、“线型”蚀变形态；有多期硅化，地开石化、绢云母化、明矾石化等各种蚀变叠加。燕山晚期低温的硅化作用，是金矿化的重要标志；明矾石化蚀变是以蓝辉铜矿-硫砷铜矿为代表的铜矿化重要标志；绢云母化是以黄铜矿 斑铜矿为代表的铜矿化标志。

地表氧化带、硅化铁帽及古采矿遗迹：是本区找矿的重要标志。本区老硐已发现百余处，老硐的展布明显沿着矿化断裂、裂隙带展布，为找矿提供了一定的线索。

第十三节　山西垣曲县铜矿峪铜矿床[1]

一、大地构造单元

铜矿峪铜矿床位于华北陆块中的鄂尔多斯地块与河淮地块的接合带的南端。该接合带是在中朝克拉通前寒武纪三叉裂谷的基础上形成的马杏垣（1985）和郑超文（1986）认为该三叉裂谷发生于新太古代—元古宙（图 2-66）。

邢集善（1989）将山西前寒武纪克拉通古构造自北向南划分为六个构造单元，它们分别为：保德-右玉构造带、五台-吕梁古裂谷、系舟山古裂谷、离古 阳泉裂谷、中条山三叉古裂谷和左权-安阳古裂谷等，这些古构造对山西地质历史的发展具有明显的控制作用（图 2-67）。

孙继源等（1992）采用地震层析资料，来解释中条地区构造发展。他认为在中条和三门峡地区明显存在软流圈上涌现象。软流圈上涌柱是由低速体来反映的，该低速体宽 90～100km，深度 60～150km（未见底），顶部 60km，深处出现一个水平低速层，厚 15～20km，向南延伸至秦岭，向北延伸与塔儿山-二峰山下地壳连通（图 2-68）。

---

[1] 本文根据孙继源、翼树楷、真允庆等（1995）资料编写。

区内负布格重力异常和负磁异常以及TM遥感影像线性特征与区域深大断裂相吻合，NE向（解州-磨里）与NW向（桑林古朵地）两条深断裂以直角交汇，构成三叉裂谷的边界断裂。区内出露最老的地层为太古宙浅水杂岩，与五台山-太行山地区的阜平群、吕梁山地区的界河口群、秦岭地区的太华群可以对比，构成克拉通基底。

新太古代或古元古代进入一个全新时期，在太古宙克拉通刚性基底上发生拉张裂陷，同时软流层底辟上升发生海底火山作用，中条山拉张裂谷代表典型的构造景观，铜矿峪铜矿在这种构造背景上应运而生。

二、矿区地质

（一）地层

矿区地层简示如表2-46。

矿区出露地层主要有新太古界绛县群铜矿峪亚群骆驼峰组变火山沉积岩系，其上为西井沟组和竖井沟组的变超钾质火山岩系（表2-16）。

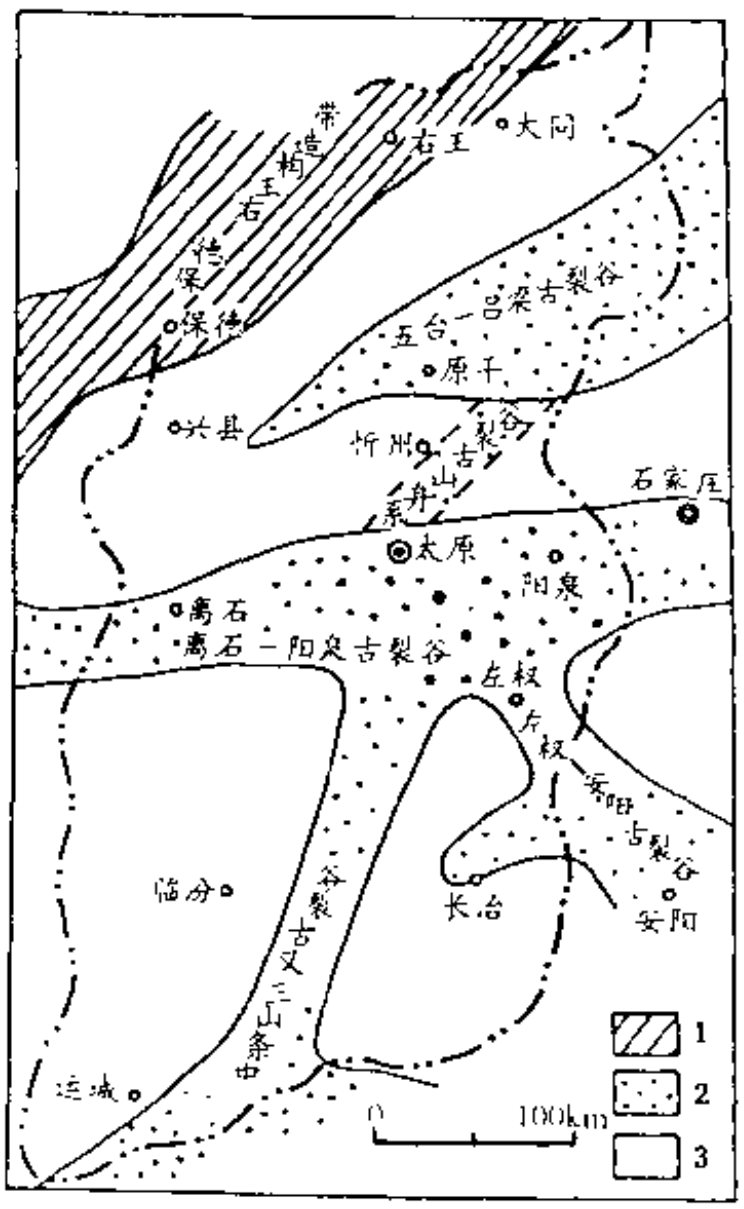


图2-67　山西古裂谷分布示意图

Fig. 2-67　Distribution sketch of paleorift in Shanxi province

（据邢集善等，1980年资料改编）

(after Xing Jishan et al., 1980, mended)

1　构造带；2　古裂谷；3—新隆起

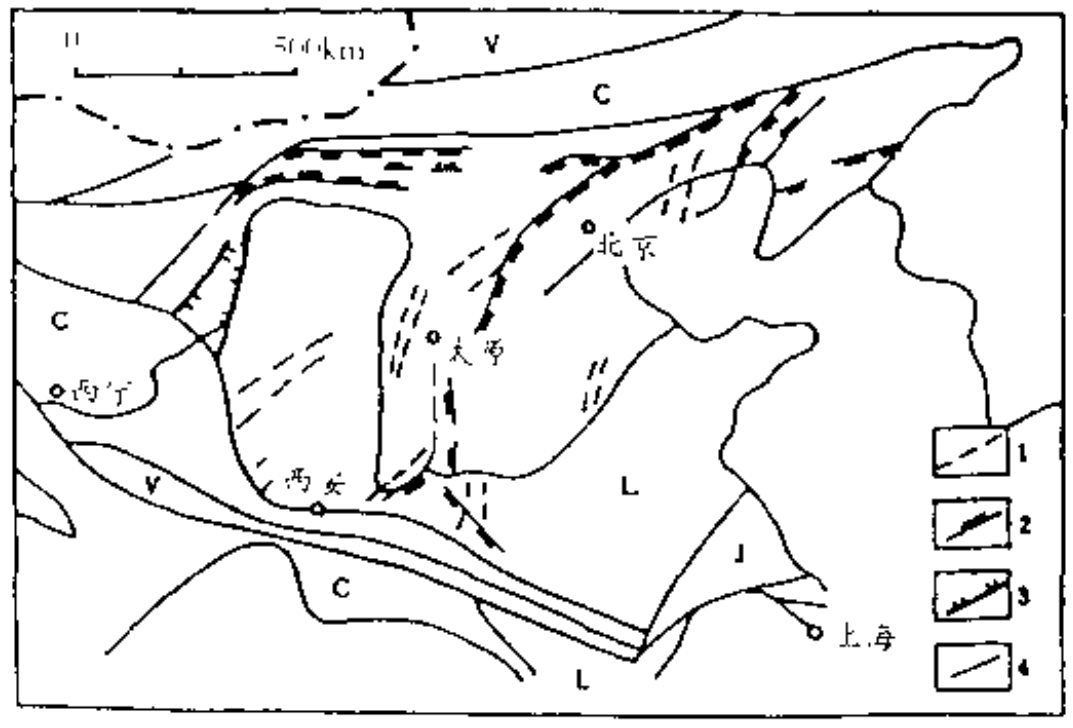


图2-66　中朝克拉通前寒武纪裂谷

Fig. 2-66　Pre-Cambrian rift in Sino-Korean Craton

（据马杏垣，1985资料改编）

(after Ma Xingyuan, 1985, mended)

1　新太古代—古元古代裂谷；2　中新元古代裂谷；3　古元古裂谷；4　晚古生代裂谷；L　吕梁中拓旋回；J　晋宁旋回；C—加里东旋回；V—华力西旋回

骆驼峰组为主要含矿岩石，属于一套陆源碎屑-火山沉积岩系。下部为滨海陆源碎屑沉积岩，经区域变质形成石英岩、绢英片岩和绢英岩；上部为海沟火山沉积岩，经变质形成绢英岩、蚀变碎斑岩、绢英片岩、电气石英岩等，与铜矿峪铜矿生成关系十分密切。

西井沟组位于骆驼峰组之上，主要岩石为石英绿泥片岩，又称为变质富钾基性火山岩，局部见绢云母绿泥片岩、角闪黑云母岩或黑云母岩。

竖井沟组主要由变质富钾质流纹岩和变流纹质凝灰岩组成。出露于矿区南缘，分别与担山石群和中条群界牌梁组石英岩接触。铜矿峪亚群的同位素年龄数据如表2-47。

（二）构造

矿区构造复杂，铜矿峪亚群为一倒转褶皱，北翼为正常翼，南翼为倒转翼。该倒转背斜轴部出露骆驼峰组。区内赋矿的骆驼峰组为一紧闭倒转同斜—半开阔的复式向斜。褶皱轴向为NE25°，向SW倾伏，轴面倾向NW，倾角60°。总体上说，本区为一个多期重褶系统（图2-69）。本区断裂构造亦很发育，最主要的折腰山正断层。延长800m以上，走向NW20°～40°，断层面倾向NE，倾角34°～68°。断层上盘向SE下滑，垂直断距160m，水平位移200m。该断层发生于主成矿期之后，斜切地层，使蚀变碎斑岩中的矿体受到位移及错碎。除此之外，区内还有一些逆冲断层和水平断层。

（三）侵入岩和有关火山岩

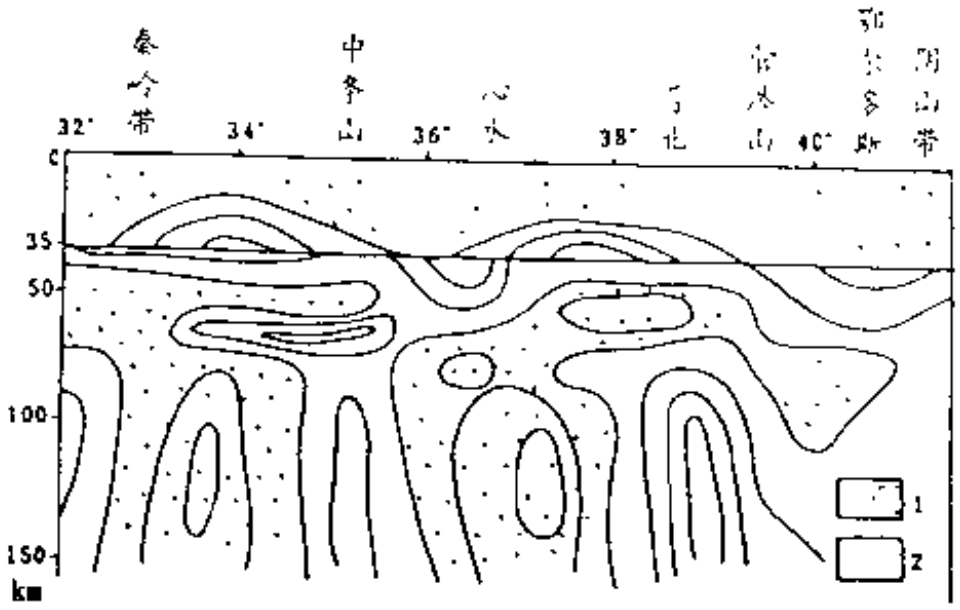


图 2-68 华北地台沿东经 112°CT 断面图

Fig 2-68 CT section along Longitude 112°E in Northern China platform

(据孙继源等，1992)

(after Sun Jiyuan et al., 1992)

1—高速体；2—低速体

变辉长辉绿岩，又称变基性岩。早期为一岩席状侵入体，后经构造变形分解成若干构造透镜体，呈"岩鱼"分布（图 2-70）。地表常见岩石有黑云角闪片岩、角闪黑云片岩、方柱石黑云片岩、绿泥石片岩等。变辉长辉绿岩呈块状，细-中粗粒，变余辉绿结构。主要矿物有普通角闪石和奥长石，次为黑云母及少量的斜黝帘石、绿帘石、鲕绿泥石、方解石、磁铁矿、钛磁铁矿、黄铁矿等。

变花斑英安岩，主要矿物为奥长石、石英、钾长石和黑云母，副矿物为钛磁铁矿、磁铁矿、黄铁矿、绿帘石、磷灰岩、金红石、锐钛矿和电气石等。显著特征是普遍具有显微文象结构或显微花斑结构。

蚀变石英二长斑岩，王植、闻广(1957)曾定名为变质花岗闪长斑岩。岩体与主要含矿围岩（蚀变碎斑岩）接触界线清楚。岩体含矿但较为次要。岩石呈块状构造，有时片理发育，斑状结构，斑晶含量约为全岩的 60%～70%，主要由石英、钠长石和正长石组成，尚有少量黑云母，呈他形片状或片状聚合体。副矿物主要为磁铁矿、赤铁矿、电气石、磷灰石、锆石、金红石、重晶石等。

表 2-46 铜矿峪铜矿床地层简表

Table 2-46 Stratigraphic scale of Tongkuangyu copper deposit

代	群	亚群	组	厚度/m	主要岩性描述	沉积环境	变质程度	主要矿床
中古元代	中条群		界牌梁组	150～200	砾岩、石英岩			
新太古代	绿县群	铜矿峪亚群	宋家山组	>200	泥砂质碎屑岩，偶夹碳酸盐岩，与基性火成岩互层	优地槽沉积建造	角闪绿片岩相	横岭关型简芭沟韧矿、洛家沟型、铜矿峪型、
			竖井沟组	>1200	变超钾质流纹凝灰岩，上部见石英岩夹层，中部有一层变质火山角砾凝灰岩，下部有一层变质凝灰质角砾岩			
			西井沟组	800	变超钾质基性火山岩，主要为黑云片岩和绿泥石片岩			
			骆驼峰组	500	绢英片岩、绢英岩、蚀变碎斑岩、电气石英岩			
			圆头山组	700	绢英片岩、绢英岩，底部有磁铁绿泥片岩			
			后山村组		黄白色石英岩，底部见薄层砾岩，不稳定			
		横岭关亚群	铜凹组	1331	石墨绢英片岩、十字石榴二云片岩、千枚岩、变质粉砂岩			
			平头岭组	42	石英岩，底部含砾石			
古中太古代	涞水杂岩(林山群)			>10000	混合花岗岩、混合岩、片麻岩、斜长角闪岩、浅粒岩、变粒岩、大理岩及石英岩、磁铁石英岩	古地核克拉通	麻粒岩相角闪岩相	白峪口型铜矿虎坪型

表 2-47　铜矿峪铜矿的铜矿峪亚组火山岩同位素年龄（Ma）

Table 2-47　Isotope age of volcanic rock in Tongkuangyu copper deplsit（Ma）

地层单元	样品岩性	常规锆石 (U-Pb)	蒸发 $^{207}Pb/^{206}Pb$	单颗锆石 U-Pb	离子探针质谱	Sm-Nd 等时线	Rb-Sr 等时线
	火山岩	2486±13	2231±	2166±26	2155±6	2554±35	2393±11
		2182±15	2139±	2371±77		2630±10	
			2506±				
			2736				

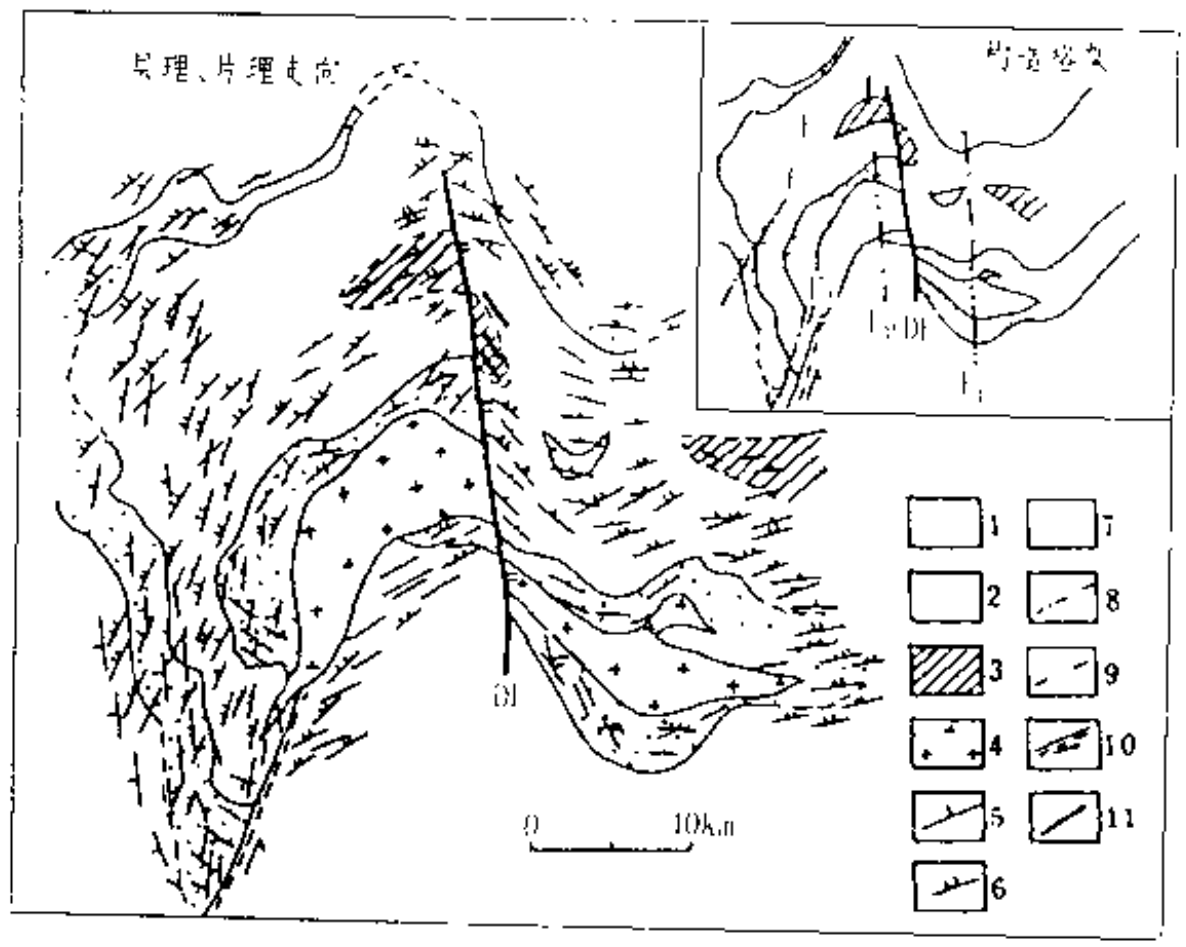


图 2-69　铜矿峪矿区构造格架及层片关系图

Fig. 2-69　Tectonic framework nd correation between ratification and Schistosity in Tongkuangyu ore district

（据路九如等资料改编）（after Lu Jiuru et al., mended）

1—绢英岩（电气石英岩）；2- 绢云片岩．3　绢云泥质片岩（板岩）；4　蚀变碎斑岩；5－S_0层理走向；6　片理；7　褶皱轴迹；8－F_2切褶皱轴迹；9　F_3褶皱轴迹．10　剥离断层；11　折腰山断层

辉绿岩，呈脉状产出，曾称闪长岩脉。一般沿近EW或SN向裂隙贯入，宽20～30m。主要矿物为易变辉石、斜长石、绿帘石、钛铁矿、方解石等。从区域地质资料看，系为与元古宇西阳河群安山岩同期产物。

（四）铜矿床地质

1. 矿体

本矿床已知矿体339个（1992年储量表为112个）。主要矿体仅有1、2、3、4、5、号五条矿体。其中以5、4号矿体规模最大，产于蚀变碎斑岩（Ma）内，两矿体的储量占整个矿体储量的85%以上。1、2、3号矿体规模较小，赋存在席状变辉长辉绿岩（Mb）内。矿体一般呈透镜体状、豆荚状。

5号矿体位于蚀变碎斑岩内（图2-70、图2 71）。矿体东起水窑沟，西至黑阴沟，沿走向长1100余米，最低控制标高575～700m，向下继续延深。整个矿体向南西侧伏。矿体呈扁平透镜体，中部厚达185m，边部变薄为6～61m不等。该矿体被折腰山断层分割为东西两部分，主体在断层西侧（图2-71）。

4号矿体位于5号矿体之上，与之相平行，为一隐伏矿体（图2-72）。矿体产在蚀变碎斑岩内，部

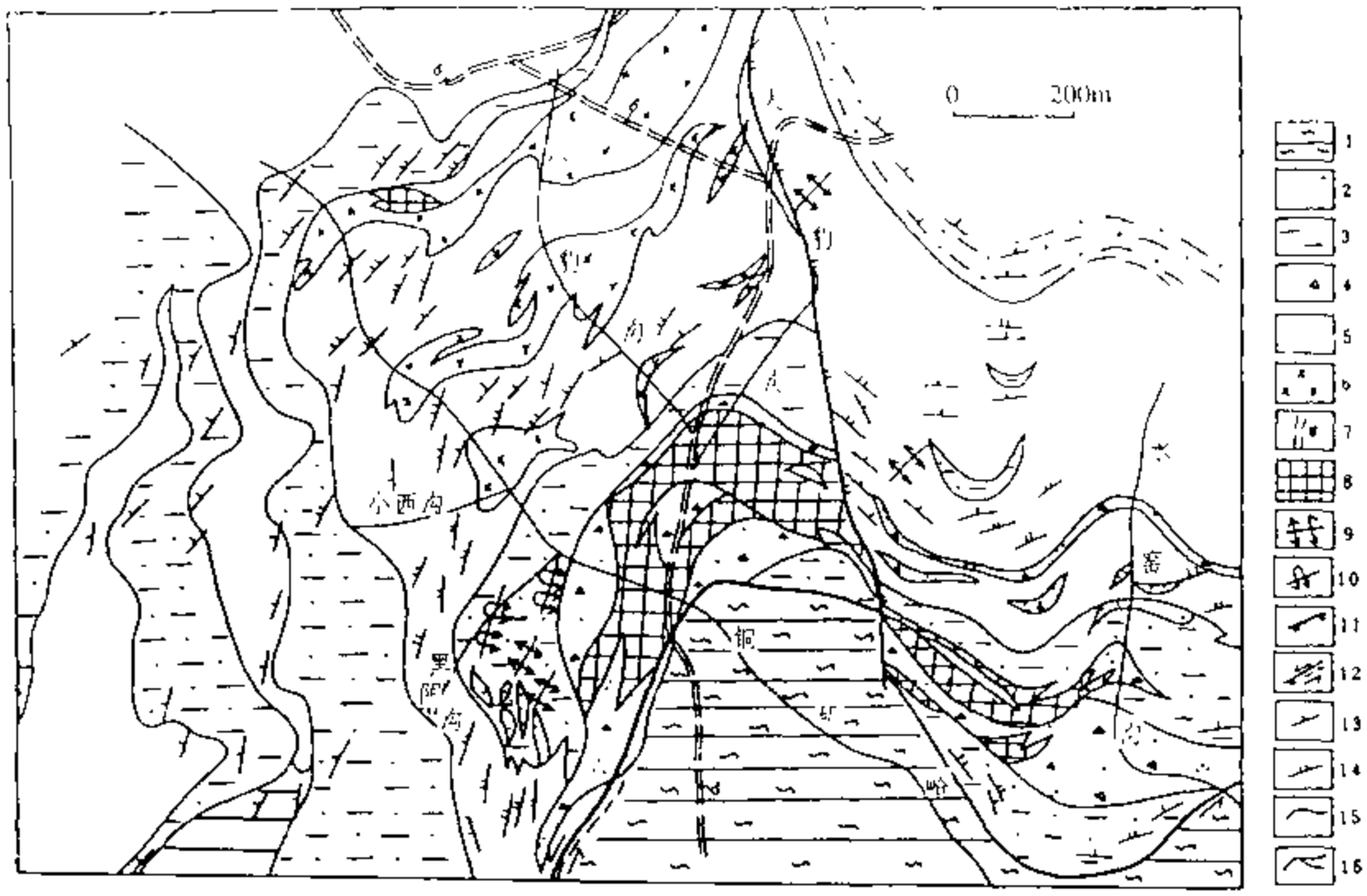


图 2-70 铜矿峪矿区地质略图

Fig. 2-70 Geological sketch of Tongkuangyu ore district

1 变基性火山岩；2 电气石英岩；3 绢英岩；4 蚀变碎斑岩；5 绢云片岩；6 基性侵入体；7 辉绿岩（闪长岩）；8 矿体；9 背斜褶皱轴迹；10— 向斜褶皱，轴迹；11 折断山断层；12 剥离断层；13 产状；14 片理；15 地质界线；16 水系

分赋存于上部的变辉长辉绿岩体中。矿体沿走向长 840m，沿倾斜延深大于 830m，倾角 10°左右。矿体向南西侧伏，侧伏角 22°。矿体厚 218～30m，呈中间厚，边部薄的扁平透镜体。

2. 矿石矿物

根据铜矿石的构造特征，可将矿石划分为细脉浸染型及脉型两种类型，大体代表了两个矿化阶段，早期以前者为主，晚期则以后者为主。细脉浸染型的金属矿物组合主要为黄铁矿－黄铜矿；黄铁矿·黄铜矿＋辉钼矿；黄铁矿＋黄铜矿＋辉钴矿；其次尚有少量斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿。脉石矿物以蚀变矿物为主，主要有石英、绢云母、方解石、电气石、钠长石、绿泥石、黑云母等。

脉型矿石一般为晚期矿化，按脉内矿物充填特征可细分为：纯金属硫化物矿脉，含有围岩残留体和碎块的石英-硫化物脉及含有不同矿化阶段主蚀变矿物的含硫化物-石英矿脉三种。脉型的主要含铜硫化物矿物为黄铜矿，次有斑铜矿和辉铜矿。其他金属矿物尚有黄铁矿、辉钼矿、辉钴矿、磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、金红石等。

3. 矿石储量、品位及伴生组分

该矿拥有铜储量 264.67 万吨，平均品位为 0.68%；拥有钼储量 9473t，平均品位为 0.0072%；拥有钴储量 21315t，平均品位为 0.0072%；拥有金储量 17.8t，平均品位为 0.06g/t。故该矿以铜为主，伴生的钴、钼和金可综合利用。

4. 主要容矿岩石特征

本矿床容矿岩石种类较多，有蚀变碎斑岩、绢英岩、绢英片岩、变辉长辉绿岩、钠长石英二长斑岩等，其中最主要的容矿岩石为蚀变碎斑岩。蚀变碎斑岩曾有过不同的名称：变质花岗闪长岩及变质花岗闪长斑岩（王植、沈其韩、白瑾等，1956），变质花岗闪长斑岩（王植、闻广，1957），变石英斑岩及变石英晶屑凝灰岩（《中条山铜矿地质》编写组，1978），变钠长花岗斑岩及变石英晶屑凝灰岩

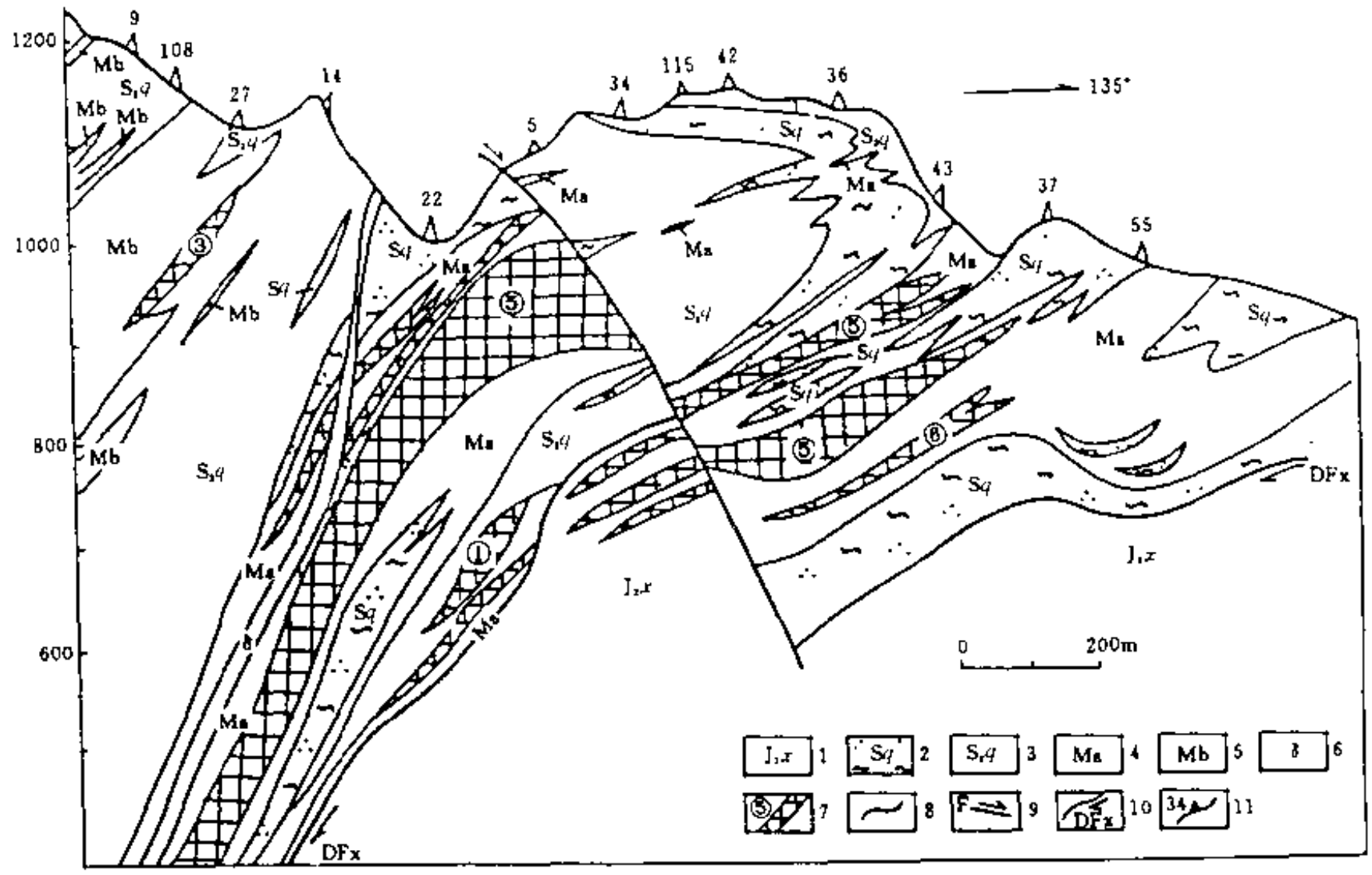


图 2-71　铜矿峪矿区第 11 勘探线剖面图

Fig. 2-71　Profile of exploratory line 11 in Tongkuangyu ore district

1—西井沟组变基性火山岩；2　绢英片岩；3　绢英岩；4　蚀变碎斑岩；5　变基性侵入岩；6　闪长岩；7　铜矿体及编号；8　地质界线；9　断层；10　剥离断层；11　钻孔位置及编号

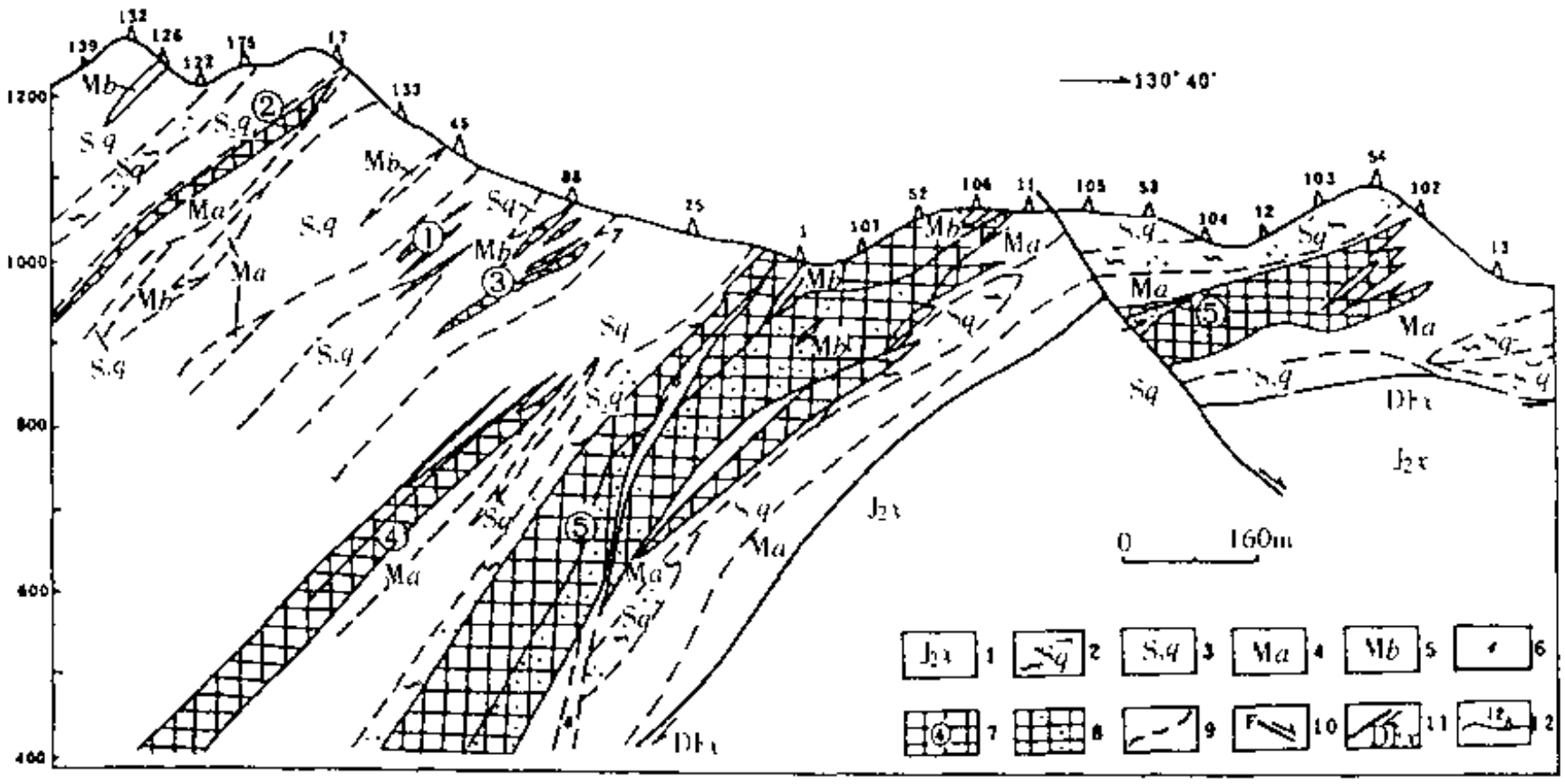


图 2-72　铜矿峪矿区第 9 勘探线剖面图

Fig. 2-72　Profile of exploratory line 9 in Tongkuangyu ore district

1—西井沟组变基性火山岩；2　绢英岩；3　绢英片岩；4　蚀变碎斑岩；5　变基性侵入岩；6—闪长岩；7—铜矿体及编号；8—铜钼矿体（钼品位>0.0032%）；9　地质界线；10　断层；11　剥离断层；12—钻孔位置及编号

（孙海田，1990）；钾交代花岗斑岩（路九如，1990）。

蚀变碎斑岩多为裂碎-碎斑结构及压碎结构、角砾状、碎屑状构造，有时显沉积细条带状构造。岩石呈灰色、浅灰白色，片理明显。岩石中的碎斑有两种：一种形似斑晶，主要由斜长石组成，为半自形板状，具钠式双晶的卡钠双晶，粒径 0.75～2.2mm；另一种为绢英岩或绢英片岩碎块，呈小透镜体

状，一般几毫米至几厘米。这些碎斑和原岩透镜体普遍钠长石化。此外尚有石英碎斑和钠长石碎斑。基质全部由细粒的石英、绢云母构成，粒度小于0.1mm。除此，碎基中尚见有正长石（10%～15%）、白云母（3%～2%）、黑云母（15%）及少量电气石、磷灰石、绿帘石等矿物。

蚀变碎斑岩（altered mortarite）是具有碎斑结构（mortar texture）的蚀变碎裂岩（alteredcataclasite）。原岩为海相偏碱性喷出岩次火山岩，即角斑岩 石英角斑岩及其凝灰岩，凝灰质岩和钠长斑岩以及喷流岩、硬砂岩等岩石组合。在区域低温动力变质作用下形成一套片岩系，包含有绢云母片岩、绢英片岩、绿泥绢云片岩、绿泥绢英片岩、方柱石黑云绢云片岩等，在强烈应力作用下，又发生强烈的碎裂岩化、糜棱岩化，其中尚残留一些较大的矿物碎块，外表很像"斑晶"。碎斑岩在形成过程中又遭受强烈的钾化、钠化、硅化，最后成为透镜体状构造蚀变岩。由于其原岩岩石复杂，当遭受变质、变形和热液蚀变后，更令人难以辨别。现只能根据其现存特征定名为蚀变碎斑岩。主要依据除在岩石学、岩石化学和构造岩石学方面的微观特征外，在宏观上还可补充下列几点：一是从产状上，蚀变碎斑岩与绢英岩和绢英片岩之间无明显接触界线，呈过渡关系；二是构造变形和产生节理与绢英岩和绢英片岩相同，不同于基性侵入体。该岩石一般产在褶皱构造透镜体的核部，向外过渡到绢英岩、绢英片岩，最外层为电气石石英岩，构成一个被后期改造了的紧闭复式背形褶皱构造透镜体，成为良好的容矿空间。三是矿区内岩层在强烈的韧性剪切应力作用下，发生紧闭褶皱和变形分解而形成系列构造透镜体，呈"岩鱼"状分布。

（五）围岩蚀变

区内围岩蚀变强烈。主要蚀变矿物有黑云母、绿泥石、钠长石、石英、电气石、方柱石、重晶石等。早期围岩蚀变有硅化、绢云母化、黑云母化、角闪石化，次为绿泥石化。晚期蚀变有硅化、绢云母化、电气石化、方柱石化、碳酸盐化、重晶石化、钠长石化。硅化、绢云母化、电气石化，贯穿于成矿作用的终始。主要矿体（1、5号矿体）的富矿岩石热液蚀变，即以硅化、绢云母化、电气石化为主，其次为碳酸盐化、钠长石化、黑云母化、方柱石化及绿泥石化。

（六）矿床物化探异常

铜矿峪铜矿产于中条山"人"字形三叉裂谷的三联点，含矿层位为上太古界骆驼峰组，该地层经受强烈的韧性剪切变形及断层剥离，容矿岩石为富钾双峰态火山沉积岩，矿化以细脉浸染型为主，矿石为铜（钼）建造，围岩蚀变以黑云母化、绿泥石化，钠长石化、硅化和电气石化等。找矿工作除重视上述地质特征外，还必须重视以下物化探异常特征。航磁异常特征：在区域上涑水杂岩的磁化率（κ）为 $450\times10^{-6}\times4\pi$ SI，绛县群、中条群的磁化率（κ）为（60～10）$\times10^{-6}\times4\pi$ SI。故区域正异常反映了涑水杂岩的分布，负异常则显示了绛县群和中条群。若在绛县群区域出现2～3个航磁正异常，则矿床分布在两个磁异常峰值之间的低缓正异常区域。

重力异常特征：由于矿区有变质基性火山岩及变基性岩等高密体的存在，故呈现重力高异常，峰值达$-46\mu m/s^2$。在矿区南部有一北东向重力梯度带，反映出铜峪沟一带的断裂构造带。

地球化学异常特征：矿床赋存地层为中 低背景区，Cu含量多数$<80\times10^{-6}$。在矿区近矿围岩含Cu较高，平均为294.6×10^{-6}。由矿体向外，Cu含量呈指数式降低。地表有大面积衬度异常，呈等轴状，元素组合为Cu、Zn或Cu、Zn、As、V等。最大衬度值为3.50。Cu<400～Zn>0.4为矿上晕（刘仁亮，1990）。Cu是找矿直接指示元素，Au、Ag、As为间接指示元素，在矿体隐伏的情况下，Cu异常反映了矿体的头，而由高峰的连结方向代表了矿体的倾向。As元素与Cu异常一致，只是异常衬度较低。Au、Ag二元素异常反映了Cu矿体的外带，它们脱离矿体，在离矿体的上方形成了异常，造成了Au、Ag与Cu峰值的不吻合。如4号矿体为一隐伏矿体，埋深120m，在矿体上方有清晰异常，依据Cu、Au的形态可将剖面由北向南分为3段。第Ⅰ段从矿体在地表垂直投影点向北西，矿体上盘地层内主要以Au、Ag异常重合为特征，Cu仅有微弱异常；Ⅱ段是为矿体在地表的投影处，该段以较宽的Ag异常为特征，Ⅲ段是矿体沿轴向延伸至地表的地段，主要是Cu异常，并伴有As、Ag等异常（图2-73）。

三、成矿条件

（一）稳定同位素

硫同位素：矿区金属硫化物硫同位素 $\delta^{34}S$ 变化范围为 $-4.5‰$～$+10.2‰$，其中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 为 $-2.2‰$～$-9.6‰$，黄铜矿 $\delta^{34}S$ 为 $-4.5‰$～$+10.2‰$，辉铜矿 $\delta^{34}S$ 为 $-4.2‰$～$+4.3‰$。金属硫化物硫同位素组成频率直方图具塔式分布特点（图 2-74）。$\delta^{34}S$ 较岩浆来源的铜、镍硫化物同位素组成具更大的变化范围，又不同于硫同位素组成变化大、具波浪式分布的沉积硫化物，表明硫为多源合成的混合硫。从早期细脉浸染硫化物硫同位素组成（$\delta^{34}S$ 为 $-4.5‰$～$+6.8‰$，图 2-73 铜矿峪 4 号矿体地表异常模式图平均 $+2.46‰$），到晚期脉状硫化物硫（Ⅰ、Ⅱ号矿上异常、Ⅲ号前缘异常）同位素组成（$\delta^{34}S$ 为 $-1.4‰$～$+9.6‰$，平均 $+3.27‰$）具升高趋势，亦显示晚期有外来硫的混入。

氢氧同位素：表 2-48 所示，与早期细脉浸染状硫化物共生的石英 $\delta^{18}O$ 为 $+9.57‰$～$+16.3‰$，变化范围较大。晚期的脉状矿石中石英 $\delta^{18}O$ 变化范围相对稍小，为 $+10.58‰$～$+14.25‰$。黑云母的 $\delta^{18}O$ 为 $+7.58‰$～$+11.10‰$。

晚期的赤铁矿 $\delta^{18}O$ 为 $+0.65‰$～$+3.33‰$，方解石的 $\delta^{18}O$ 为 $+12.31‰$～$+30.62‰$。

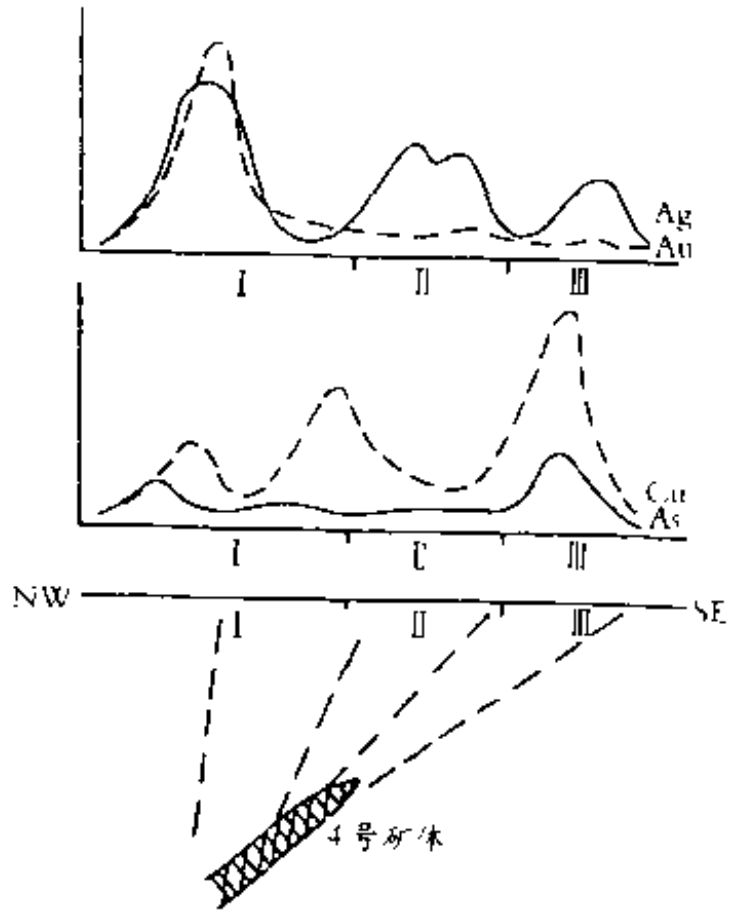


图 2-73 铜矿峪 4 号矿体地表异常模式图

Fig. 2-73 Surface anomaly model of ore body No. 4 in Tongkuangyu ore district

Ⅰ、Ⅱ—矿上异常；Ⅲ—前缘异常

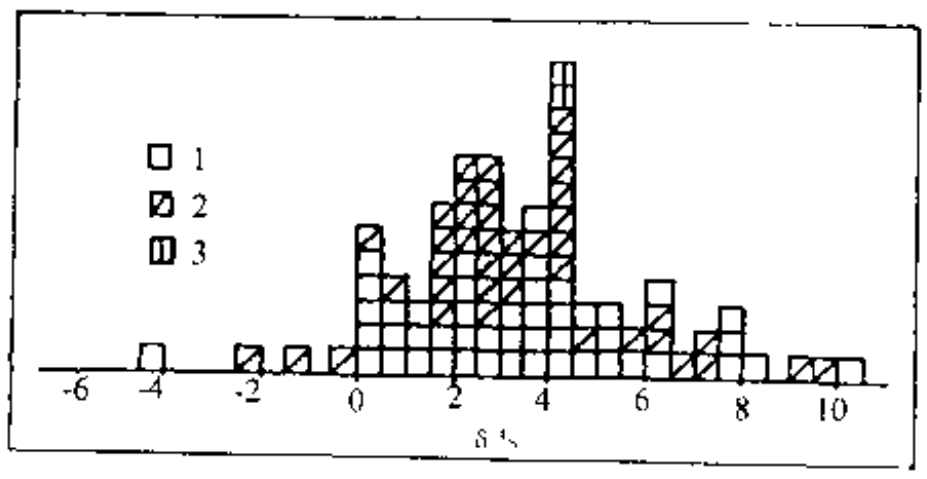


图 2-74 铜矿峪矿床金属硫化物硫同位素组成直方图

Fig. 2-74 $\delta^{34}S$ histogram of metallic sulfide in Tongkuangyu deposit

1—黄铜矿；2—黄铁矿；3—辉铜矿

石英矿物包裹体的氢同位素组成为 $-30.2‰$～$-123.2‰$。云母类矿物的氢同位素组成为 $-58.1‰$～$-90.90‰$。

以成矿温度为 350℃，将矿物的氢同位素换算成水的氧同位素组成，其 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 $+3.95‰$～$+10.5‰$。将对应矿物包裹体氢同位素组成一并投入 δD—$\delta^{18}O$ 相关图（图 2-75）中，表明成矿热液主要来源于岩浆水，同时有天水的加入。

碳同位素：方解石的 $\delta^{13}C$ 为 $-6.68‰$～$+1.05‰$（表 2 49）。碳同位素直方图（图 2-76）表明，碳同位素变化范围宽，无塔型分布特点。推测方解石脉的形成主要来源于岩浆，也不排除海水碳的加入。

铅同位素：铅同位素组成如表 2-50 所示，由表 2-50 可看出，黄铁矿和黄铜矿的铅同位素组成特征为 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值为 18.048～46.234；$^{207}Pb/^{204}Pb$ 值为 15.220～18.675；$^{208}Pb/^{204}Pb$ 值为 37.682～69.623。它们具有很大的变化范围，表明富含放射性成因铅。

锶同位素：4 个方解石样品的 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值变化于 0.714781～0.728464；1 个石英样品的 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值为 0.768452。3 个钠长石化花岗闪长斑岩的 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 值变化于 1.472095～12.295633，$^{87}Rb/^{86}Sr$ 值为 0.749649～1.055671。经过计算得出晚期斑岩年龄为 1161、1684、1984Ma，这与 K-Ar 法所测得的该岩体年龄（1401Ma）基本一致。将斑岩的初始锶比值投影于地球锶同位素演化图上，其初始锶比值属于大陆壳增长线之上，证明花岗闪长斑岩是由地壳物质重熔形成的。

（二）流体包裹体

铜矿峪铜矿的矿石和容矿岩石中含有 A、B、C、D 类流体包裹体，它们的基本特征如表 2-51。其中 A、B、C 三类常见，D 类少见。A 类流体包裹体气液比<15%，变化于 5%～15%的包裹体中所占

表 2-48　铜矿峪矿床矿物及包裹体中的氢氧同位素

Table 2-48　Hydrogen and Oxygen isotope of mineral and inclusion in Tongkuangyu deposit

样　号	产　状	矿物 $\delta^{18}O_{(SMOW)}$					$\delta D_{(SMOW)}$		矿物包裹体 $\delta D_{(SMOW)}$				温度℃	$\delta^{18}O_{水}$ (SMOW)	$\delta D_{水}$ (SMOW)
		Q	Bi	Ser	Hm	Cal	Bi	Ser	Q	Cal	Bi	Py			
8[illegible]-5147-1	脉状	13.1							64.3				350	7.3	64.3
87[illegible]-5141-2	脉状	12.13							52.8				350	6.3	52.8
8[illegible]-5145-1	脉状	10.64		9.15				59.1					350	9.84	[illegible]
8[illegible]-2-3	脉状	14.25							93.8			82.1	350	8.45	82
8[illegible]-5153-12	脉状								123.3				350		123.3
8[illegible]-21m-5	脉状	12.89	11.1				73.3						350	4.78(石英)	[illegible]
8[illegible]-5145-2	脉状	10.58											350	7.1	
8[illegible]-5153-10	脉状			0.65											[illegible]
8[illegible]-3-2	脉状				12.6				40.8				350	8.83	40.8
8[illegible]-21m-3	脉状				30.62				60				350	[illegible]	60
8[illegible]-3-1	脉状						58.1						350		
810-5139-4	脉状					12.31			46.1				350	8.54	46.1
870-5147-10	脉状				3.33	12.83				99.9			350	9.39	99.9
8[illegible]-5139-2	浸染状	16.3			0.9				84.9				350	10.50	−84.9
8[illegible]-5153-11	浸染状	13.26					90.9		−108.9				350	10.5	−84.9
870-5147-1	浸染状	9.75						60.7					350	3.95	
810-5153-13	浸染状	13.8							52.6				350	8	52.6
870-5141-6	浸染状	12.39							30.2				350	6.19	30.2
870-5147-11	浸染状	12.11							54.9				350	6.31	54.9
870-5141-4	石英斑岩	15.01							176.4						
TSX-3	石英斑岩	13.55							46.8				350	6.97	47
TSX-1		12.77							-47				350	11	−16.8
TSX-4		10.72	7.58						-58.8				350	4.92	58.8
TSX-6		11.91	9.98						46.8				350	6.11	46.8
TSX-7		13.24							65				350	7.44	−65

注　Q 石英；Bi 黑云母；Hm 赤铁矿；Ser 绢云母；Cal 方解石，Py 黄铁矿

比例最大，估计在 50%以上。B 类为多相包裹体，又可分为两个亚类：第 1 亚类为气相＋液相＋石盐子晶。第 2 亚类为气相＋液相＋石盐子晶 1～2 个未知子晶，气相所占流体包裹体体积一般<15%，变化于 5%～15%。子晶所占包裹体体积的比例变化较大，5%～50%不等。两亚类包裹体中第 2 亚类包裹体占比例较少，整个 B 类包裹体约占流体包裹体总数的 30%左右。C 类包裹体为含 CO_2 包裹体，一般很少见，所能见到的都很小（5μm）。多数含 CO_2 包裹体以 CO_2 为主，水溶液相不大，在室温下常见 CO_2 气泡剧烈跳动。D 类包裹体少见，直径一般达 15μm，气液比在 40%以上。D 类包裹体不多，表明成矿处于相对封闭状态或成矿环境较深，因此成矿流体较少沸腾。

11 个流体包裹体成分测试结果如表 2-52，由表 2-52 可以看出具有以下特征：

（1）成矿流体属子 $NaCl\text{-}CaCl_2$（KCl）$\text{-}CaSO_4\ H_2O$ 体系。

（2）主要阳离子浓度比：$w[K^+]/w[Na^+]$为 0.17～0.42；$w[Ca^{2+}]/w[Na^+]$为 0.35～1.03；$w[Ca^{2+}]/w[K^+]$为 1.16～16.8。

（3）主要阴离子浓度比：$w[Cl^-]/w[F^-]$为 13.9～396.3；$w[Cl^-]/w[SO_4^{2-}]$为 0.77～36.96，

表 2-49　铜矿峪矿床方解石碳同位素

Table 2-49　Carbon isotope of calcite in Tongkuangyu deposit

样品编号	阶段	矿物名称	$\delta^{13}C_{(PDB)}$ ‰	$\delta^{18}O_{(SMOW)}$ ‰
930-2	I	含矿方解石、石英脉	0.62	13.04
930-2-9		含矿方解石、石英脉	0.68	13.04
930		含矿方解石、石英脉	6.68	12.60
930-3-4		含矿方解石、石英脉	1.89	12.64
930-5145-1		含矿方解石、石英脉	3.57	12.27
810-5139-30		含矿白色方解石脉	-4.06	16.31
810-5139-10		含矿白色方解石脉	2.01	14.13
810-5153-12		含矿方解石、石英脉	2.84	17.09
810-5153-23		含矿方解石、石英脉	3.17	16.72
810-5147-8		含矿白色方解石脉	1.27	12.10
810-5141-7		含矿方解石、石英脉	3.59	12.17
930-5145-2		含矿方解石、石英脉	-1.37	12.39
			-1.23	
930-5139-4	I	粉红色含矿方解石脉	1.05	12.31
810-5139-5		粉红色含矿方解石脉	0.44	12.14
870-5147-9		粉红色含矿方解石脉	1.04	12.49
870-5147-10		粉红色含矿方解石脉	0.96	12.83

表 2-50　铅同位素组成特征

Table 2-50　Composition of Pb isotope

编号	矿物名称	$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}$	编号	矿物名称	$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}$
930-2-9-1	黄铁矿	20.062	15.893	39.256					
930-2 9-2	黄铁矿	18.450	15.624	37.682	810-5135-16	黄铜矿	19.578	15.716	38.469
930-2-9-3	黄铁矿	18.655	15.707	38.930	870-5147-10	黄铜矿	23.039	16.317	41.212
930-2-5	黄铁矿	46.243	18.675	69.623	TSX-1	黄铜矿	18.324	15.220	38.082
930-2106-3	黄铁矿	36.846	17.762	58.060	TSX-2	黄铜矿	18.326	15.716	38.507
930-2106-3	黄铜矿	18.703	15.653	38.290	TSX-9	黄铜矿	18.739	15.712	38.998
930-3-2	黄铁矿	24.325	16.355	45.253	TSX-4	黄铜矿	18.549	15.762	38.876
930-5145-2	黄铁矿	19.484	15.763	38.697	TSX-5	黄铁矿	21.401	16.056	43.298
930-5145-3	黄铜矿	18.151	15.565	38.093	TSX-6	黄铜矿	18.455	15.730	38.825
810-5139-2	黄铁矿	36.442	17.949	57.829	870 5141-4	长石	18.805	15.716	38.858
870-5141-6	黄铜矿	18.048	15.606	42.937	930-2-10	全岩(蚀变碎斑岩)	18.419	15.579	38.201
810-5135-9	黄铜矿	19.912	15.745	38.979	TSX-3	长石(蚀变碎斑岩)	18.307	15.662	38.534
870-5147-11	黄铁矿	28.355	16.808	42.937	SY-5	全岩(蚀变碎斑岩)	19.489	15.777	39.162
870-5147-1	石英	19.054	15.817	38.119	SY-2	全岩(蚀变碎斑岩)	34.994	17.426	42.663
810-5135-13	黄铜矿	23.315	16.263	42.489	SY-1	绢英片岩	29.309	16.700	44.389

表 2-51　铜矿峪矿床流体包裹体类型及主要特征

Table 2-51　Type and feature of fluid inclusion in Tongkuangyu deposit

类型 \ 特征	气液比	子矿物	形态	均一状态	均一温度 ℃	w(NaCl)	备注
A　气液相包裹体	<15%		扁圆、不规则状	加热时气泡缩小，均为液相	213～330	7.69～15.09	
B	含石盐子晶多相包裹体	<10%	石盐	扁圆、不规则状	加热气相先消失，后以石盐消失而均一		
B	含石盐子晶多相包裹体	<10%	石盐和1～2个未知子晶	扁圆、不规则状	加热气相先消失，后以石盐消失而均一，其余子晶不溶	195～613	31.65～70.1
C　含CO_2包裹体	<5%		扁圆状		150～250(?)		
D　气相包裹体(?)	>10%		不规则状			仅见一例	

表 2-52　铜矿峪矿床包裹体成分

Table 2-52　Composition of inclusion in Tongkuangyu deposit

编号	矿物	包裹体成分 μg·g⁻¹										
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2	CH_4	H^+	H_2O	Mg
870-5147-1	石英	29.88	118.8	45.6	0.759	10.241	5.43	66.49	0.45	5.19	1104	
870-5147-4	石英	2.8	14.85	16.1	0.388	34.621	20.362	49.2	0.24	2.28	546	
870-5147-10	方解石	0.622	5.244	200	0.613	17.511	31.674	43.99	0.41	0.46	1162	
810-5139-2	石英	6.8	28.4	114.5	0.302	87.753	113.686	51.15	2.82	0.19	561	
810-5153-12	石英	11.16	41.2	32.16	0.31	55.398	9.502	13.3	0.24	5.33	696	
810-5153-13	石英	18.72	70	34.6	0.276	114.616	6.787	85.93	0.35	0.36	928	
930-2-5	石英	18.9	59.636	70.182	0.238	94.615	9.255	91.6	0.3	0.14	821	
930-3-4-1	石英	15.091	71.273	21.691	0.627	91.172	2.468	1734.87	0.42	0.53	634	
930-3-4-2	方解石	19.673	46.436	22.727	0.314	86.831	104.893	2160.4	0.35	0.50	454	
930-2106-2	方解石	6.45	35.25	61.5	0.517	107.453	17.816	1906.72	0.3	0.35	725	
T-308	石英	8.92	32.48	5.492	0.632	71.232	0.5	618.34			180.746	0.03

注　方解石样品中Ca^{2+}离子浓度可能受上矿物影响(T-308由中国地质科学院矿床地质所包裹体组分析，其他样品均由中国有色金属工业总公司矿产地质研究院同位素室分析)。

(4) 气相成分 $w(CO_2)/w(CH_4)$为 18.1～301.9。

由此可见，铜矿峪矿床成矿流体中 Na^+、Ca^{2+} 占绝对优势，K^+次之。同我国其他斑岩铜矿阳离子以 Na^+、K^+为主，Ca^{2+}次之(喻铁阶，1981)有着明显差别。这一结果与包裹体中未见钾盐子晶矿物存在相一致。阴离子中以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主，而 F^-次之。气相中 CO_2 占绝对优势。

根据流体包裹体的均一温度，根据压力值校正后，A 型包裹体的温度在 150～340 C，B 型包裹体的温度在 266～933 C。又根据硫同位素地质温度计测出温度变化于 160～315 C，平均值为 236 C。再结合成矿地质条件和共生矿物组合一并考虑，成矿温度在 350～250 C 之间。

据包裹体压力计算，均一瞬间压力：A 型包裹体在(1.2～1.7)×10^7Pa，B 型包裹体在 5.0×10^7～

3.0×10⁵Pa。压力从高到低基本代表着热液演化特征。若成矿温度在250～320℃时，相应成矿压力估计 5.0×10^{7}～1.5×10^{8}Pa。

（三）成矿流体的其他物理化学条件

氧逸度：在250℃时早期细脉浸染型矿石的 $\lg(f_{O_2}/10^5Pa)=-31.6\sim-43.6$；晚期脉状矿石的 $\lg(f_{O_2}/10^5Pa)=-30.9\sim-43.8$。在300℃时早期细脉浸染型矿石的 $\lg(f_{O_2}/10^5Pa)=-27\sim-38.7$；晚期脉状矿石的 $\lg(f_{O_2}/10^5Pa)=-27.0\sim-38.9$。

硫逸度：在300℃时早期细脉浸染型矿石的 $\lg(f_{S_2}/10^5Pa)=-11.6\sim-4.8$；晚期脉状矿石的 $\lg(f_{S_2}/10^5Pa)=-11.6\sim-6.1$。

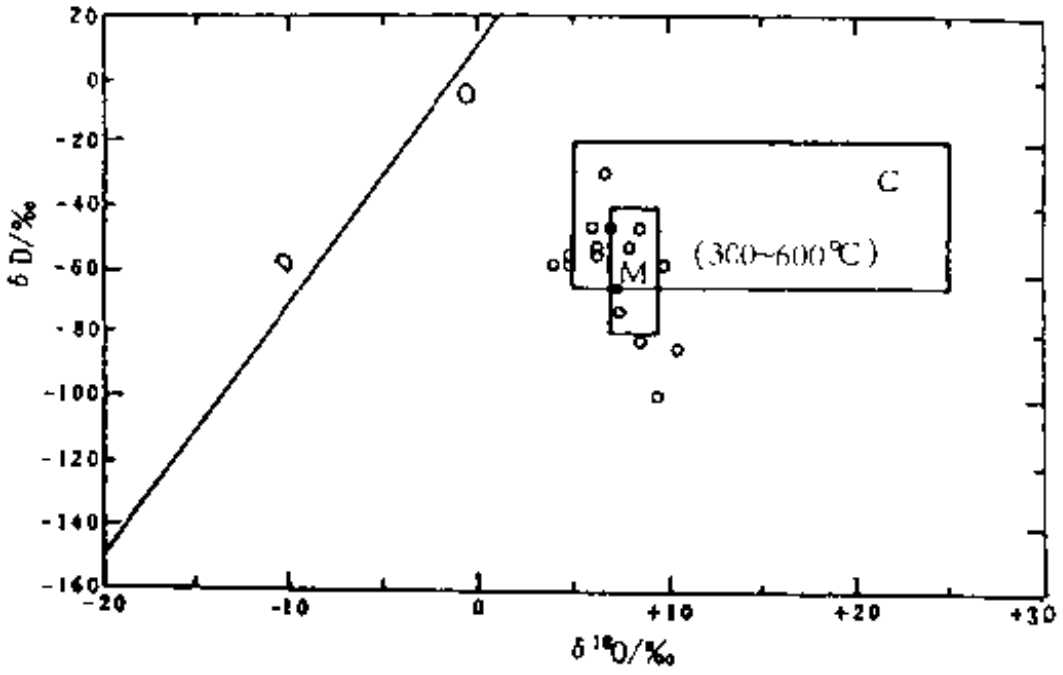


图 2-75 成矿流体 δD—δ¹⁸O 相关图

Fig. 2-75 δD—δ¹⁸O diagram of ore-forming fluid

二氧化碳逸度：在300℃，$m(NaCl)=3$ mol/kg 时，早期细脉浸染型矿石的 $\lg(f_{CO_2}/10^5Pa)=0.029\sim0.047$；晚期脉状矿石的 $\lg(f_{CO_2}/10^5Pa)=0.0066\sim0.597$。

pH：在300℃时早期细脉浸染型矿化流体的pH值为3.37～4.01；晚期脉状矿化流体的pH值为3.43～4.28。这表明矿化流体处于中酸性。

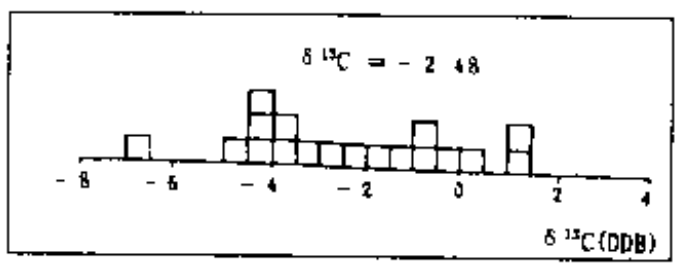


图 2-76 铜矿峪矿床碳同位素直方图

Fig. 2-76 $\delta^{13}C$ histogram in Tongkuangyu deposit

（四）矿床成因

铜矿峪铜矿的成因较为复杂，具有多元、多源、多期、多阶段复合成矿的特点。主要矿体呈层状，有人主张为层控铜矿（陈文明等，1998）；但矿化与复合斑岩体有一定联系，矿化特征为典型的细脉浸染状，矿石建造属于铜铝，又与斑岩型矿床相一致（王植、闻广，1957），故又称之为古老的斑岩铜矿。

第十四节 甘肃金塔县白山堂铜矿床

一、大地构造位置

白山堂铜矿床的区域构造位置处于天山-阴山褶皱系的北山华力西褶皱带内，柳园-音凹峡复向斜北缘。板块观点（左国朝、李茂松，1996）将本区列入塔里木-中朝板块边缘，辉铜山-音凹峡-白山堂伸展断陷盆地。

从早古生代开始，北山地体从塔里木板块中裂解，出现了若干再生洋盆。在志留纪公婆泉一带出现了具有岛弧带特征的一套完整火山沉积组合。早古生代末两大板块的聚敛，泥盆系为一套红色碎屑岩组成的磨粒石建造。晚古生代中期的陆内裂陷扩张，发生强烈的火山活动，直至海槽闭合。聚敛阶段导致大量的岩浆活动，为斑岩铜矿的形成提供了前提条件。

二、矿区地质

（一）矿区地层

矿区地层简单，仅见蓟县系平头山群，上侏罗统赤金堡群，二者为不整合接触。

蓟县系平头山群：为含矿浅成侵入体的围岩，在区域上可分为上部大理岩组及下部碎屑岩组。矿区出露主要为碎屑岩组，由下而上分别由绢云石英片岩、含钙质片岩、绢云石英片岩、石墨石英片岩组成，厚度大于2000m。

（二）矿区构造

矿区位于走向NW的石板泉背斜北翼，因背斜东南部为大面积的石板泉超单元（华力西中期二长花岗岩）占据72km²，矿区呈"单斜"构造。断裂构造以NE向控制主矿体的平移断层为主。（Ⅰ、Ⅳ矿带）由于含矿斑岩沿NE、NW向断裂侵入，构成一个半环状构造。

（三）岩浆岩

矿区内最主要的岩浆岩为海西中期的流纹斑岩（钾氩法测流纹斑岩同位素年龄值276～281Ma，相当早二叠世）组成的含矿次火山岩体。次火山岩由一个复杂的小岩体和不完整的环状岩墙组成。岩体处于环状岩墙的中心部位，面积约0.35km²，东部及北部被侏罗系覆盖，南部被海西期黑云母花岗岩截断，西部与平头山群呈侵入接触。岩体大致呈NE20°方向延伸，倾向SE，倾角40°～60°不等，在剖面上呈不规则的"Y"字形，岩体枝叉厚度一般10～20m，最厚约50m。环状岩墙出露在矿区西北部，距前述岩体约2km。呈NW突出的弧形，宽约60m，岩墙最宽可达150m。

次火山岩体由浅紫色流纹斑岩、英安斑岩、石英粗面岩及角砾熔岩组成。10%～20%角砾成分由英安斑岩、石英粗面岩组成，胶结物为流纹斑岩。

流纹斑岩具有熔岩外貌，岩体无冷凝边及气孔、杏仁构造，结构比较均一。岩石中无玻屑物质，斑晶的包体较多，暗色矿物无暗化边。铁的氧化指数低，捕虏体具轻微蚀变，说明岩体是在封闭条件下形成的次火山岩体。

三、矿床地质

矿区面积约10km²，由1个矿带组成（图2-77），矿区共有各类矿体77个，其中铜矿体50个，铜铅矿体7个，铅锌矿体1个，铜铅锌矿体1个。工业矿体分布在一、四矿带，其中一矿带1号矿体占全部矿量的87.3%。

（一）矿体形态、规模、产状

矿体主要产于流纹斑岩体下盘及其围岩中，多呈脉状、透镜状，矿体与围岩为渐变接触。

1号矿体规模最大，长1230m，厚128.6m，平均厚5.58m，倾向160°，倾角上部38°～50°，下部较陡55°～64°，延深大于740m（图2-78）。其他矿体均较小，长44～200m，厚0.9～5.53m，延深50～205m，产状可分4组：

（1）走向N40°～85°W，倾向NE，倾角45°～66°；

（2）走向N69°W，倾向NE，倾角60°～61°；

（3）走向N30°～20°W，倾向NE，倾角30°～45°；

（4）走向NE，倾向SE，倾角58°。

全矿区除1号矿体外，均为盲矿体。

（二）矿石矿物成分

主要金属矿物有黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿；次为赤铁矿、磁铁矿、方铅矿和毒砂；微量矿物有闪锌矿、铁硫砷钴矿、辉铜矿、辉锑矿、方黄铜矿、铜铁矿、镍黄铁矿、白铁矿、斜方硫砷铜矿等。非金属矿物以石英为主；次有绢云母、绿泥石、石墨、方解石；微量斜黝帘石、绿帘石、黑云母、萤石等。在氧化矿石中，见有孔雀石、赤铜矿、蓝铜矿、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿及少量自然铜，微量黄钾铁矾。

（三）矿石结构、构造

矿石结构：晶粒结构、固溶体分解结构、交代熔蚀、压碎、花岗变晶、胶状结构和放射结构等。

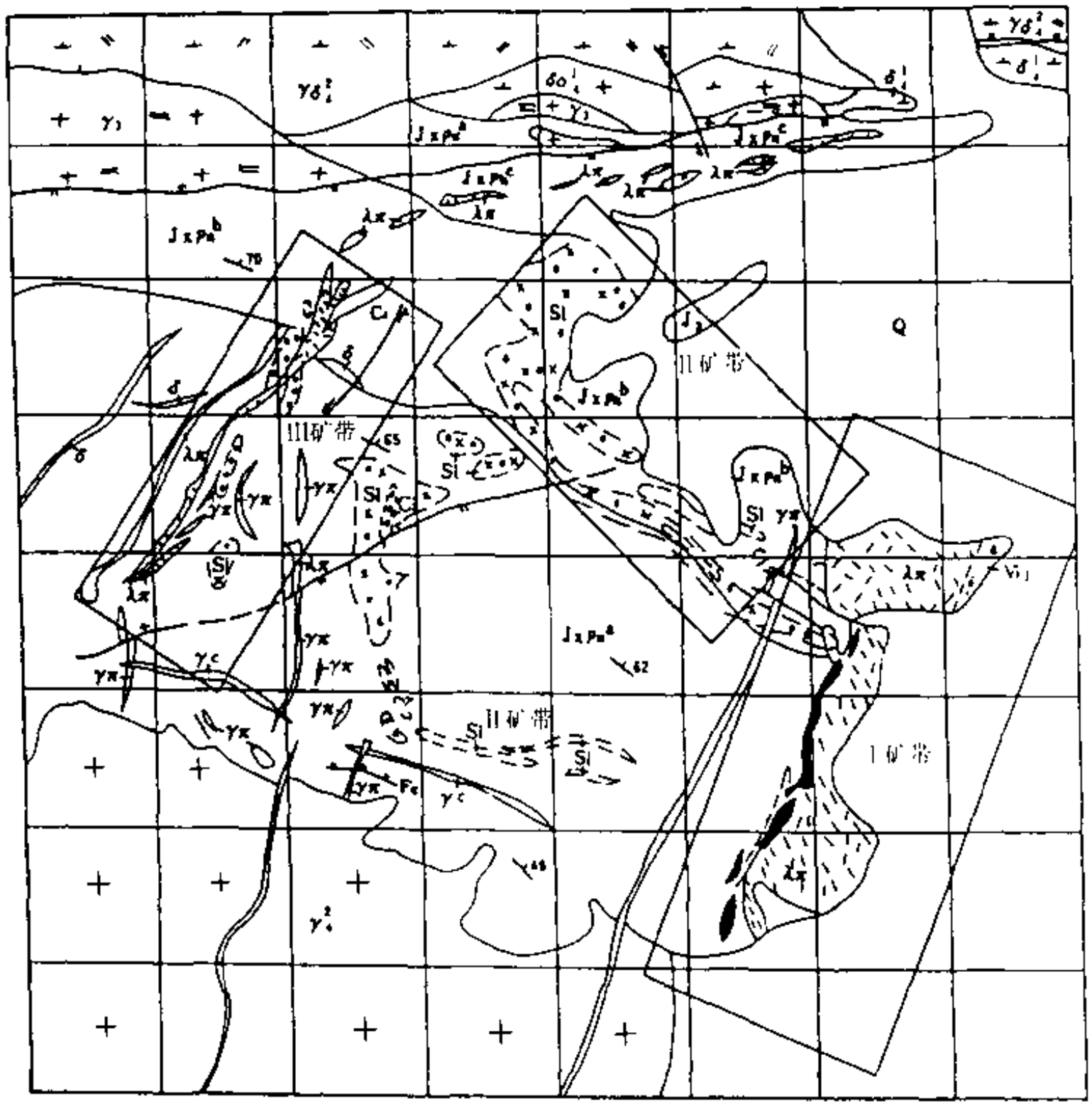
矿石构造：细脉浸染状、团块状、块状和交错构造等。

（四）矿石化学成分

矿区1号矿体铜品位0.84%～1.26%。矿区铜平均品位1.07%。共生铅品位1.36%～2.94%，伴生银（4～14）×10⁻⁶，钴0.01～0.023%。

铜、铅主要以独立矿物形式出现，钴以类质同象赋存于黄铁矿中，砷呈毒砂或以类质同象存在黄铁矿中。

（五）围岩蚀变



1—第四系；2—侏罗系上统砂岩、砂砾岩；3—蓟县系上部绢云母石英片岩；4—蓟县系中部钙质绿泥石石英片岩；5—蓟县下部绢云母石英片岩；6—花岗岩；7—花岗闪长岩；8—石英闪长岩；9 闪长岩；10 -片理化白云母花岗岩；11 -花岗斑岩脉；12—钠质花岗岩脉；13—闪长岩脉；14—次火山岩(华力西晚期)15—酸性熔岩角砾岩.16—次生石英岩带；17—硅化绿泥石化带；18—铜矿体；19—逆断层；20—正断层；21—平移断层；22—蚀变带界线

图 2-77 白山堂铜矿区地质图

Fig. 2-77 Geological map of Baishantang copper ore district

矿床中围岩蚀变广泛发育。靠近岩浆岩的平头山群中的绢云母石英片岩、石墨石英片岩、钙质石英片岩均受到硅化、次生石英岩化、绿泥石化、黄铁矿化、硫酸盐化、阳起石化、透辉石化、透闪石化、绢云母化、绿帘石化、黑云母化、赤铁矿化、夕卡岩化、蛋白石化等不同强度的蚀变。

1. 蚀变阶段与蚀变类型

不同阶段的蚀变，蚀变类型各异。

火山喷发阶段：形成全区性面型微弱黄铁矿化和硅化；

次火山岩侵入阶段：近次火山侵入体围岩角岩化。侵入后期一期后，在钙质围岩的接触带，形成夕卡岩化；次火山岩内部形成次生石英岩化、钾化和近侧的青磐岩化；在次生石英岩之上，叠加金属硫化物矿化。

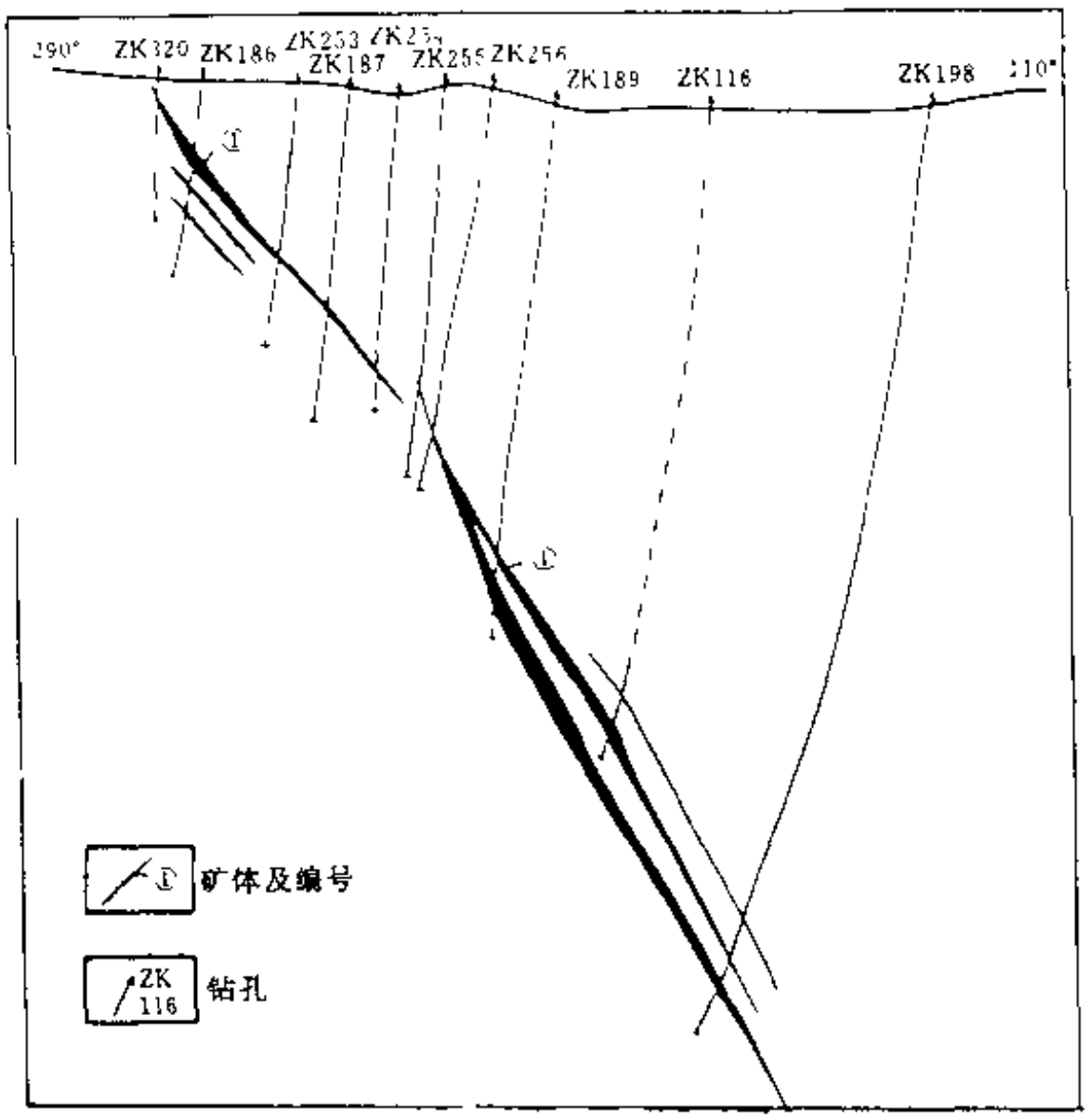


图 2-78　白山堂铜矿体一矿带 10 线储量计算剖面图

Fig. 2-78　Section of exploratory line 10 of ore belt No. 1 in Baishantang copper deposit

2. 蚀变分带

由斑岩体向外为：

次生石英岩带：为主要成矿部位。仅在接触带或沿裂隙分布，组成矿物有石英、绢云母、绿泥石、方解石、金属硫化物等。

暗色斑岩(相)带：仅见于小岩体内带，以黑云母化为主，伴以绿泥石化、硅化、黄铁矿化。

绿色蚀变带：受裂隙控制，由绿泥石、碳酸盐、黄铁矿、绿帘石组合，或阳起石、角闪石、绿泥石组合构成，常有 Cu、Pb、Zn 矿化或 Cu、Pb 矿化，局部形成工业矿体。

弱蚀变带(外带)：此带较宽，无明显界线。沿裂隙形成石英、绿泥石、方解石、黄铁矿交代脉。局部有零星 Cu 或 Pb、Zn 矿化。

(六)物化探异常特征

在各矿带均发现有化探异常，共发现异常 13 个。异常元素 Cu、Pb、Zn、As、Ni、Co、Ag、Mo、Sn。在平面上 Ni、Co 构成内带，As、Pb 中带，Cu、Zn 外带。在垂直方向上，Ni、Co、Sn 构成尾晕，Cu、Pb、Zn、Ag 于异常中部，前缘晕元素为 As、Pb、Zn、Cu。一般地说异常元素组分的多少与 Cu 异常强弱相关。凡元素组合复杂向简单变化，Cu 强度则逐渐变弱。

若为 Cu 单元素异常，矿体则趋于尖灭或仅为矿化。激电在矿体上有明显反映，但受到含炭质岩石的干挠。电测深效果较好。矿体中因含磁黄铁矿具有弱磁场。

四、矿床成因

白山堂铜矿床有如下特点：

1. 铜矿体赋存于华力西中期酸性次火山岩-流纹斑岩及紧邻的围岩中。流纹斑岩铜平均含量比一般酸性岩高 5 倍以上，近矿流纹斑岩比一般酸性岩高 57 倍。

2. 矿体的分布受构造控制，矿体呈脉状透镜状，但与围岩界线不清。

3. 围岩蚀变发育，近矿围岩蚀变主要为硅化及次生石英岩化，并由中心向外依次为硅化、钾化、绢

云母化、青磐岩化等分带蚀变，在接触带附近有夕卡岩化。

4. 区内岩浆活动演化序列为石英粗面岩→英安斑岩→流纹斑岩→花岗岩。斑岩中斑晶和基质矿物成分一致。

5. 矿区作硫同位素样品 8 件，矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿。$\delta^{34}S$ 0.7‰～5.20‰，^{3}S ^{34}S 值 22.105～22.03。类似陨石硫，与深源岩浆有关。

该铜矿床的成因，长期以来，众说纷纭，归纳起来主要有两种观点。一是甘肃地质矿产局叶永厚、胡思贵(1990)等认为矿床属斑岩型铜、铅共生矿床；二是甘肃有色地勘局张克俭(1982)认为该矿床属海西中酸性次火山岩有关的高中温热液矿床。

第十五节　甘肃肃北县公婆泉铜矿床

一、大地构造单元

公婆泉铜矿床位于天山-阴山褶皱系北山优地槽褶皱带，公婆泉复向斜与平头山大豁落山复背斜交切带内。板块构造观点认为公婆泉铜矿位于哈隆克斯坦板块与塔里木板块对接带，窑洞努如 公婆泉岛弧带(左国朝，1995)。

二、地质背景

(一) 地层

区内出露地层主要为中上志留统海相中酸性火山岩及下志留统类复理石建造，总厚在 1000m 以上。

下志留统：厚 1239.5m，分两个岩组。第一岩组以火山沉积岩、碳酸盐岩为主，夹中性、中基性熔岩；第二岩组为中性火山岩、火山沉积岩及砂岩、砾岩、大理岩。

中上志留统：公婆泉群，主要由岛弧火山岩组成，分 3 个岩组。第一岩组由爆发相安山质火山粗碎屑岩、集块岩夹安山岩组成，很少有沉积岩夹层；第二岩组为喷溢相中性、中酸性熔岩及爆发相中酸性火山碎屑岩和大理岩，英安岩中见多处铜矿化；第三岩组以喷溢安山岩为主，夹少量爆发相安山质火山碎屑岩、凝灰熔岩及大理岩透镜体，安山岩中常见铜矿化。中上统总厚度大于 1863m。

(二) 岩浆岩

区内岩浆活动具有明显多期性，可划分为 5 个岩浆活动期。

中新元古代岩浆活动：主要表现为比较微弱的中性岩浆喷溢活动和酸性岩侵入活动。前者为正常钙碱性安山岩，夹于长城系中，后者为斜长花岗岩和花岗闪长岩。同位素年龄值(Rb-Sr)727Ma，属 I 型花岗岩，为铝过饱和的钙性-钙碱性岩系列。

加里东晚期岩浆活动：以强烈的火山喷发活动及后期较弱的基性-超基性侵入活动为特征。早志留世以中基性间歇式喷发为主，火山岩浆分异程度较高，见有多处热液铜矿(化)点。中晚志留世以强烈的中性、中酸性火山爆发、喷溢活动为主。早期形成以角砾熔岩、集块熔岩夹凝灰岩为主的爆发相，晚期是安山岩、英安岩为主的喷溢相，铜矿化十分发育并形成公婆泉铜矿。志留系火山岩属正常钙碱性岩石，属岛弧玄武岩系列，形成于以陆壳为基底的水下岛弧。加里东晚期侵入岩呈基性、超基性岩墙或小岩株。

华力西早期岩浆活动：主要表现为浅成-超浅成斑岩和深成花岗岩类的侵入活动。斑岩体分布于公婆泉矿田中，有英安斑岩、石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩和斜长流纹斑岩。同位素测年值 336～435.4Ma，为正常钙碱性系列岩石。岩石中铜含量较高，为含铜斑岩体，含稀土元素总量中等，Eu 为弱负异常，属岛弧造山带高铝玄武岩系。本期花岗岩类侵入活动规模较大，分布广泛，以花岗闪长岩和斜长花岗岩为主，系碰撞造山期产物。前者构成公婆泉弧形构造-岩浆带，后者构成了受 NWW 深断裂控制的斜长花岗岩带。岩石成因类型为 S 型，岩浆的侵入为铜元素活化提供了热源条件。

华力西中期岩浆活动：早晚石炭世火山活动以中性、中酸性喷溢活动为主，晚期有少量中基性火山喷发，火山碎屑岩岩相变化较大。侵入活动表现了辉长岩-石英闪长岩 花岗闪长岩组合，分布较广，受 NWW 向断裂控制，同位素测年值 307～347Ma，为幔源型花岗岩。

华力西晚期岩浆活动：火山岩在区内出露零星，多受断裂控制，岩性为中基性→酸性→基性，岩相变化较大，但以二长花岗岩为主，侵入活动比较强烈，显现多期次、岩性复杂的特点。同位素测年值288.9Ma，岩石属钙碱性，成因类型为壳源S型花岗岩类。本期侵入岩与铜矿富集及铁铜矿的生成有关。

（二）矿田地质

地层：矿田内出露中上志留统公婆泉群、上侏罗统和第四系。与矿化有关的为公婆泉群火山沉积岩系。

构造：由于本区构造运动的多旋回性和岩浆侵入的多期性，造成本矿田断裂发育、褶皱残缺不全。

褶皱：有西北侧的黑石山向斜、东部的沙泉沟向斜和消泉沟北向斜，它们均被断层分割而不完整，在矿田东部，向斜轴翘起（图2-79）。

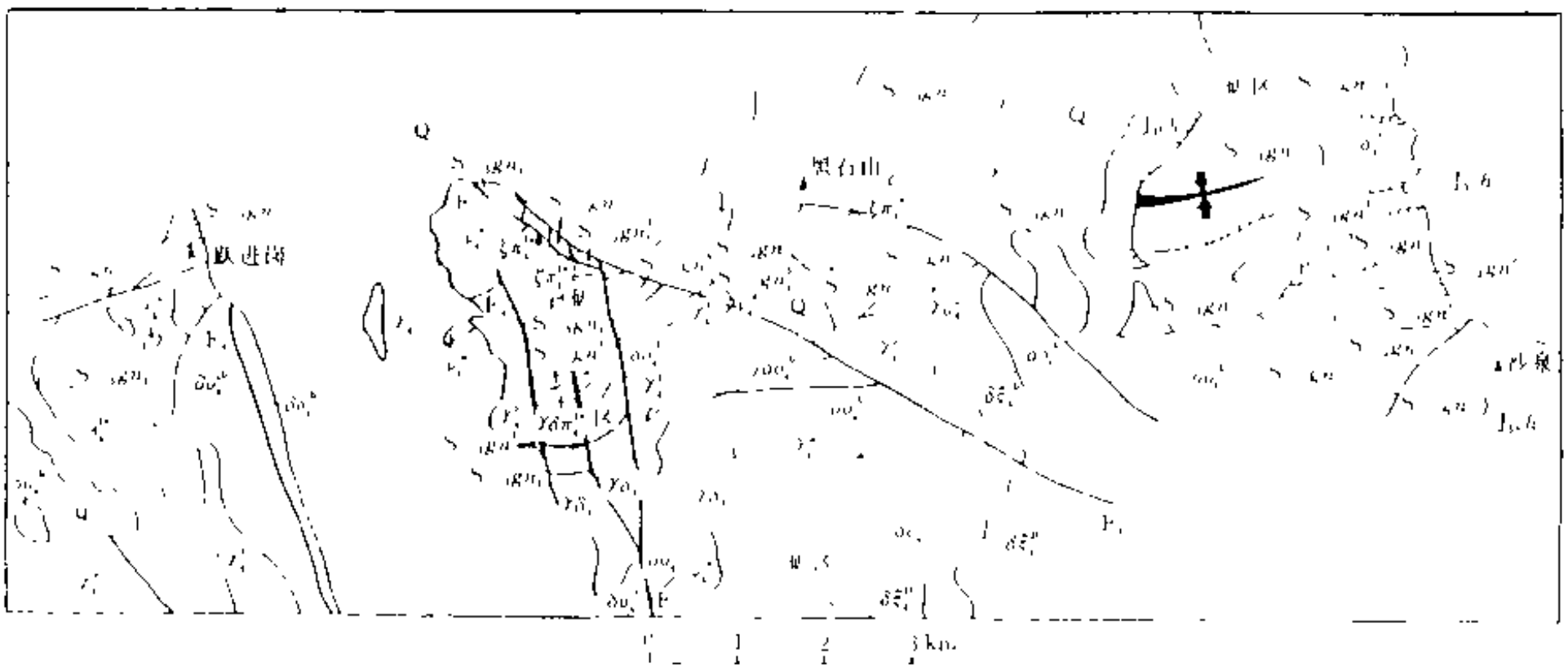


图2-79　公婆泉铜矿区地质略图

Fig. 2-79　Schematic geological map of Gongpoquan copper ore field

断裂：从老到新为近EW向逆断层、NW向逆断层和NNW、NE向平移断层。其中NW向逆断层规模最大，贯通全区；NNW和NE向断层延伸不长，但断距较大。

侵入岩：由老到新有华力西中期辉长岩、辉绿玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和华力西晚期二长花岗岩为主。以华力西晚期中酸性岩为主，它们常形成“复合岩体”，而且显示钾高的特征，其中测定花岗闪长斑岩同位素年龄为336Ma。中酸性侵入体大面积分布于矿田南部，如三矿区、沙泉沟等地。

矿区矿化类型有三种：

斑岩型铜矿化：呈细脉浸染状，一矿区中一、二矿段的矿化次英安斑岩和三矿段的矿化花岗闪长斑岩即属此类。

热液脉型铜矿化：位于斑岩体顶部，呈小脉或大脉，一矿区三矿段（角岩内）和二矿区即属此类。

接触交代型铜矿化：呈透镜状、不规则状，以夕卡岩化为特征，一矿区见于中酸性侵入体与围岩的接触带；外围亦具此类铜矿化，如419铜矿点等。

三、矿床地质

一矿区是矿田的主体，可分一、二、三矿段（图2-80），矿段的空间分布受古火山机构及F_1断裂带的控制。一、二矿段主要矿体都产于受F_1断裂带控制的石英闪长玢岩中或其接触带上。二矿区铜矿体产于

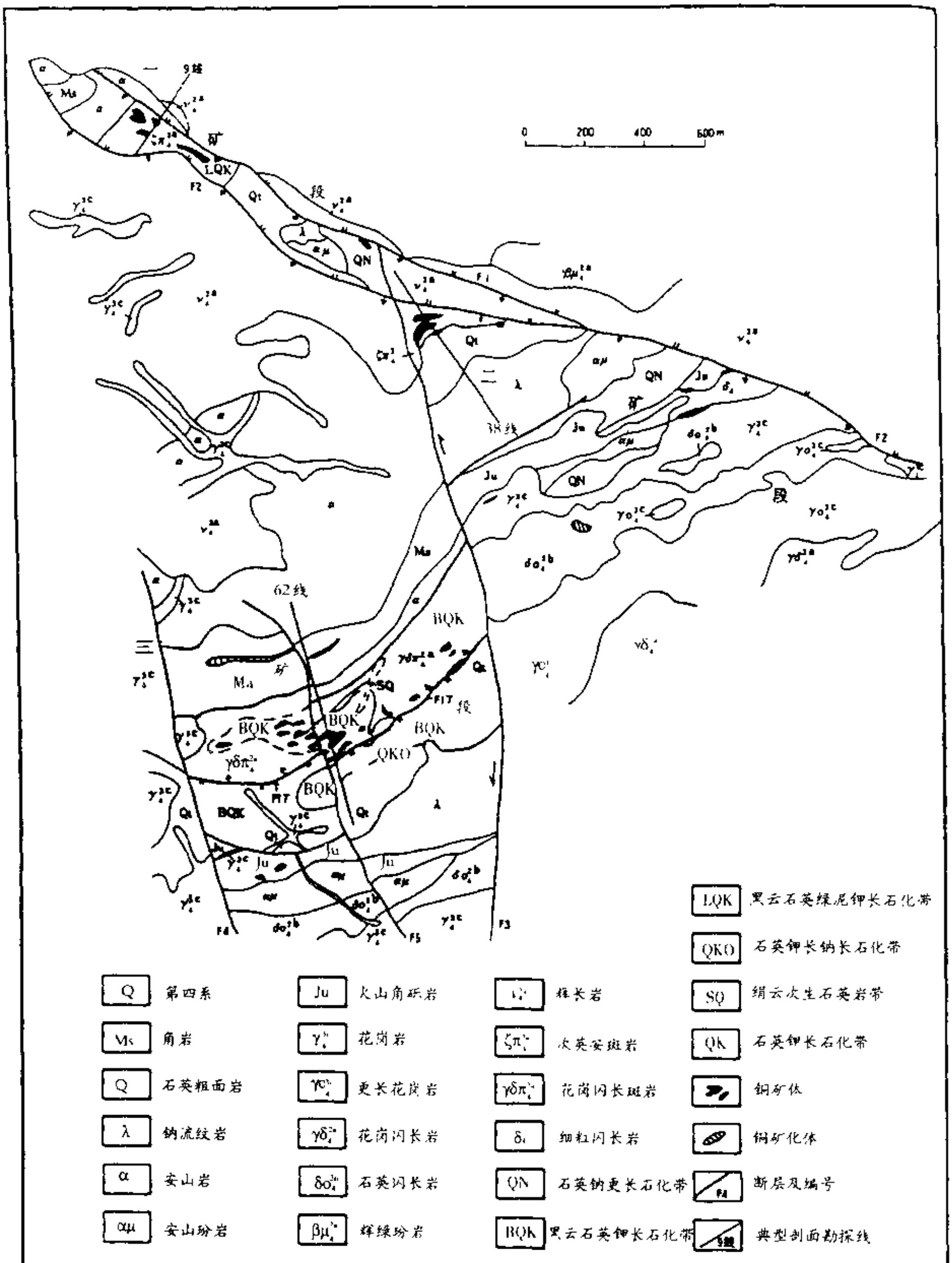


图 2-80 公婆泉铜矿一矿区地质略图

Fig. 2-80 Schematic geological map of ore district No. 1, Gongpoquan copper deposit

近东西断裂控制的英安斑岩体中。三矿区铜矿体产于浅成相花岗闪长斑岩体中，但在其围岩和石英闪长岩中亦有出露，其空间分布受 NWW 及 NE 向裂隙复合控制。

（一）矿体分布、形态、产状特征

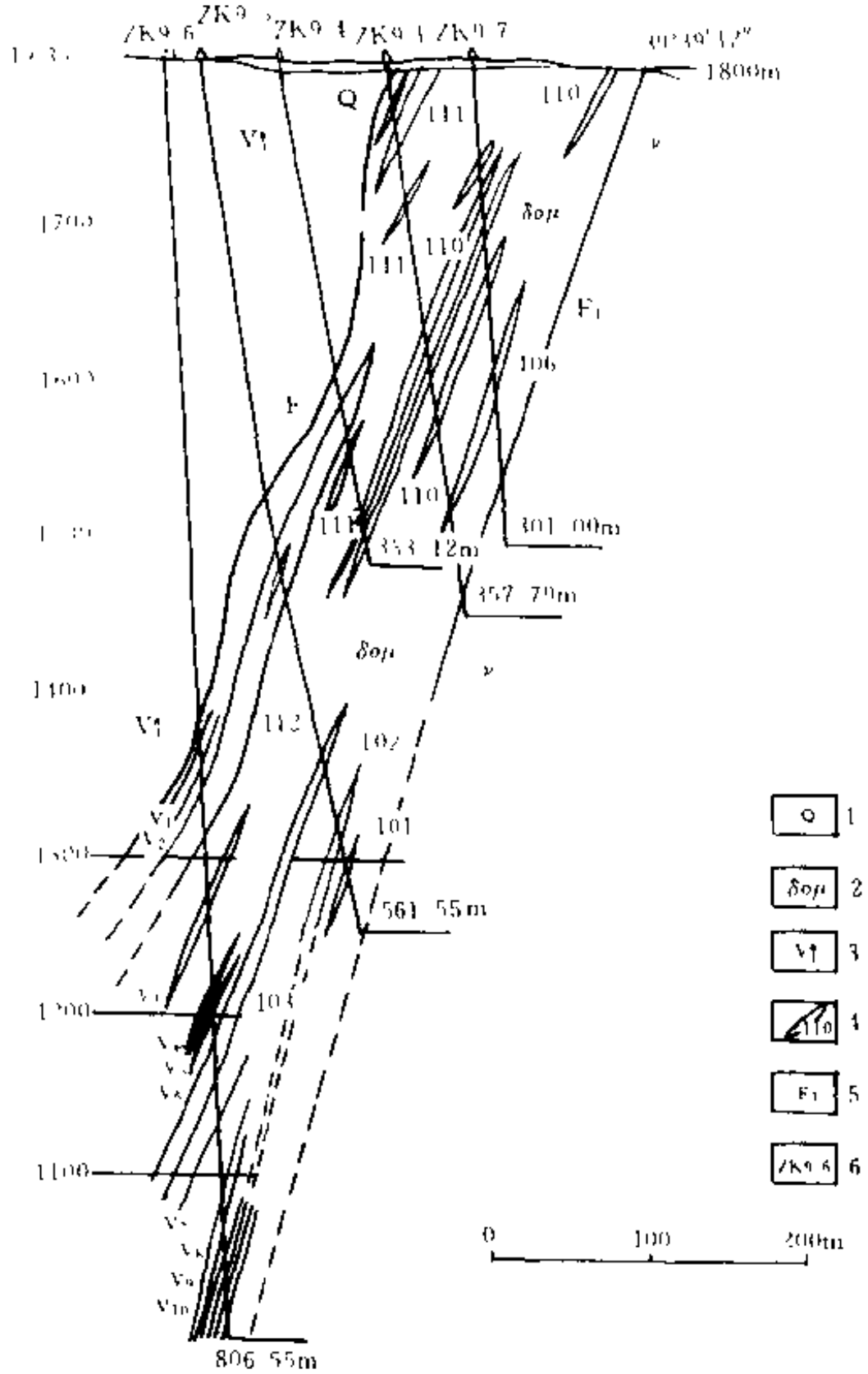


图 2-81 公婆泉铜矿一矿区一矿段 9 勘探线剖面图

Fig. 2-81 Profile of exploratory line 9 at ore district No. 1, Gongpoquan copper deposit

1—第四系；2—石英闪长玢岩；3—辉长岩；4—矿体及编号；5 断层及编号；6—钻孔及编号

矿田东西长 16km，南北宽约 5km，共圈出矿体 154 个，多数分布于一矿区。其中 50 个矿体产于石英闪长玢岩体中，77 个在花岗闪长斑岩体中，27 个在英安斑岩体中。矿体长几十至百余米，个别最长达 400m。厚几米至十几米，最厚 34.35m。矿带沿倾向最大延深可达 1000m（图 2-81）。矿体多陡倾，成板状、透镜状及不规则状。矿体走向一般 NW，向 SW 陡倾。火山热液铜矿化产于英安斑岩体近侧火山围岩中，走向 NE，倾向 SE。矿体呈透镜状或脉状，长数十米，厚数米。三矿区斑岩型铜矿小而分散，长仅数十米。一矿区圈定工业矿体 78 个，铜平均品位 0.69%，二矿区 5 个矿体，铜平均品位 0.66%。岩浆热液型铁铜矿为富铜矿，平均品位 1.45%，夕卡岩型铁铜矿化体铜含量很低。

（二）矿石矿物成分及结构构造

1. 矿石矿物成分

矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿；少量辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿；氧化带裂隙中有蓝辉铜矿、铜蓝、蓝铜矿、孔雀石等。脉石矿物主要是石英、钾长石、斜长石；次为黑云母、绿泥石、绢云母、水白云母、白云母、伊利石、电气石、红柱石、绿帘石、方解石等。矿物组合可划分三个带：

（1）生带的硫化物组合，主要由黄铜矿、黄铁矿组成；

（2）过渡带的硫化物-氧化物组合，由黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿组成；

（3）氧化带铜矿物组合，由孔雀石、蓝铜矿组成。

2. 矿石结构构造

矿石结构：主要有重溶（共生边）结构、片状、格状、乳滴状结构以及穿插或交代结构等。

矿石构造：全区主要是细粒浸染和细脉浸染状构造；局部见团块状、团斑状构造，以及细脉状、稠密浸染状、块状构造等。

矿石类型：其工业类型绝大部分为细脉浸染型矿石，少量石英-黄铁矿-黄铜矿脉状矿石和夕卡岩型矿石。

（三）围岩蚀变

围岩蚀变分带比较清楚(图 2-82),以斑岩为中心,向公婆泉群火山岩系扩展,可分为五个带:

绢云次生石英岩带:分布于斑岩体的核心部分,相当于石英核;

黑云石英钾长石化带:围绕细脉侵染状(主)矿体分布,形成深度距地表约 1～1.5km;

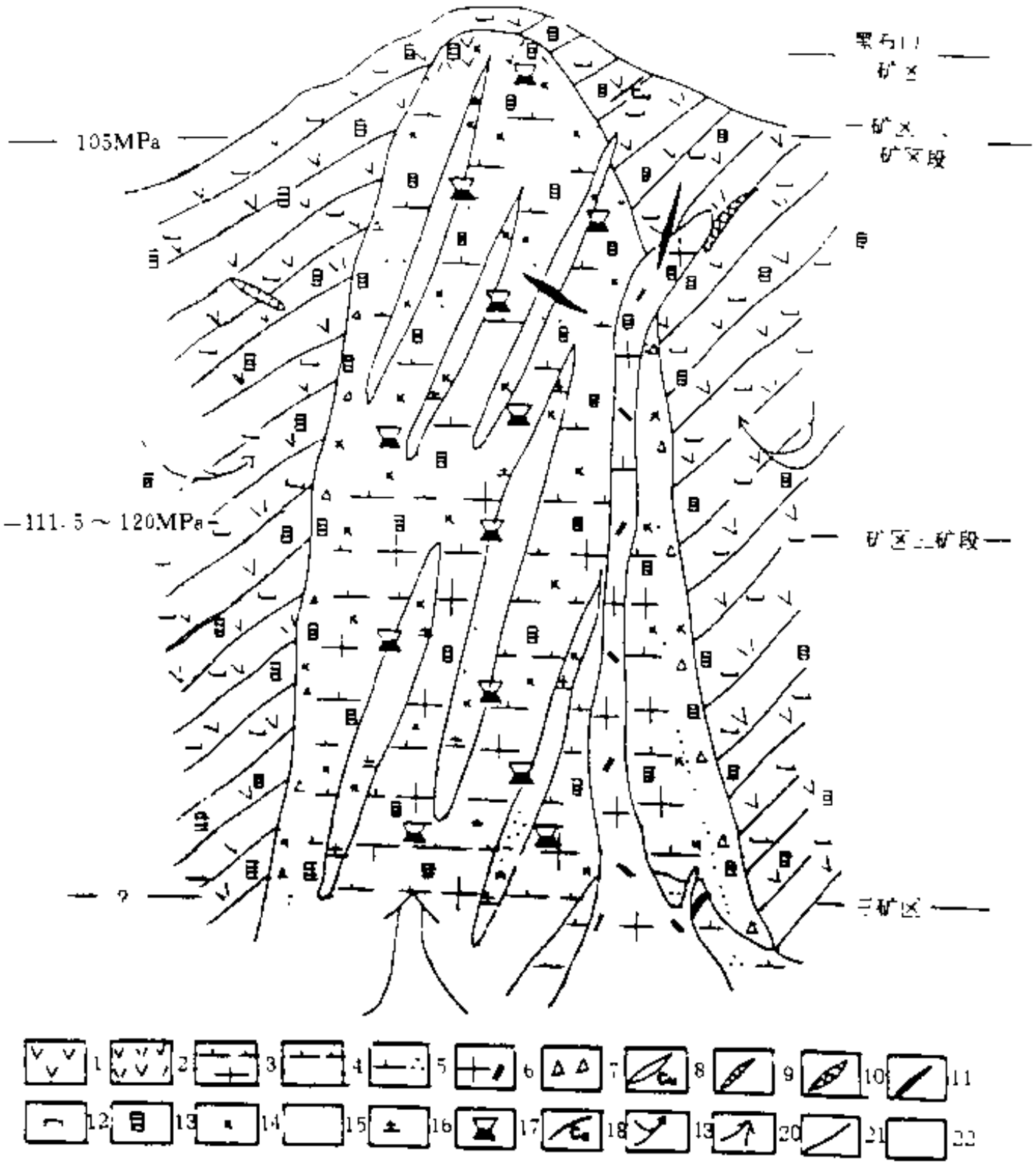


图 2-82　公婆泉铜矿区成矿模式图

Fig. 2-82　Metallogenic model of Gongpoquan copper deposit

1—志留系火山岩(以安山岩为主);2—次英安斑岩;3—花岗闪长斑岩;4—石英闪长玢岩;5—石英闪长岩;6—二长花岗岩;7—侵入角砾岩;8—斑岩铜矿(化)体;9—火山热液铜矿化体;10—夕卡岩型铁(铜矿化)体;11—岩浆热液(铁)铜矿化体;12—青磐岩化;13—黄铁矿化;14—钾硅酸盐化;15—石英-绢(白)云母化;16—泥化;17—金红石化;18—碳酸盐化;19—大气降水;20—携矿岩浆水;21—界线;22—渐变界限

青磐岩化带:分布于斑岩体之顶部,其中有裂隙充填热液脉型铜矿体,矿体形成深度距地表约0.5～1km;

角岩化带:仅见于一、二矿段北侧的火山岩中,其中也有热液脉型铜矿化;

石英钠长石化、夕卡岩化带:分布于小侵入体(斑岩、闪长岩)与火山岩之接触带,形成夕卡岩型矿化。

四、成矿条件

(一)流体包裹体特征

斑岩铜矿石石英中流体包裹体形状各异,其大小介于 0.n ～ 40μm 之间。包裹体有三种以上类型,即液相、气-液相、富 CO_2 的气-液和含 CO_2 的三相包裹体。气液相包裹体中 CO_2 含量 10%～30%不等,

包裹体中 $w(NaCl)$ 为 1.2%～11.2%。成矿流体密度 0.8～0.9，pH＝6.7～6.8，为弱碱性(殷纯椴，1980)。气液包裹体均一温度 155～315 C，三相包裹体的均一温度为 210～305 C。CO_2 包裹体测压为 105～120 MPa，相当 3.5km 埋深时的静水压力。

在一矿区石英绢云母蚀变岩中，石英包裹体成分中 CO_2 含量为(50～40)×10^{-6}，CO_2 含量甚微，推测成矿时氧逸度较高。H_2O 含量占包裹体成分之最。CH_4 变化大，H_2 含量甚微。Cl^- 浓度(3～5)×10^{-5}。$[K^+]$ $[Na^+]$比为 1.5～1.6。SO_4^{2-} 含量变化较大，由低于检出限至 10×10^{-6}。包裹体形成的氧逸度 10^{-17}和 10^{-22}，二氧化碳氧逸度为 10^{-1}Pa 和 10^{-5}Pa。根据氧逸度求其温度值为 450～500 C，根据二氧化碳求其温度值为 400～500 C(徐文圻，1991)。

用爆裂法对黄铜矿进行测温，爆裂温度 269～644 C，主要峰值在 400 C左右，估计斑岩铜矿中黄铜矿沉淀温度 250～500℃。

(二)同位素

硫同位素：斑岩铜矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$＝－0.86‰～－4.13‰，斑铜矿 $\delta^{34}S$＝－7.20‰～－8.63‰，次生斑铜矿 $\delta^{34}S$＝－24.71‰，方铅矿 $\delta^{34}S$＝－11.09‰。利用黄铁矿-黄铜矿计算其硫同位素平衡温度为 310 C。上述值表明成矿过程中幔源硫受到地壳硫的混染。但由于样品少，测定值的解释并不十分圆满。

氢氧同位素：斑岩铜矿石石英包裹体中，$\delta^{18}O_{H_2O}$＝8.43‰～11.31‰，δD_H＝－31‰～－58.6‰，石英包裹体水测定碳同位素 $\delta^{13}C_{CO_2}$＝－4.55‰～6.81‰，在成矿末期方解石中氧同位素值 $\delta^{18}O$＝－18.12‰，碳同位素值 $\delta^{13}C$＝－18.12‰。可以认为，斑岩铜矿床早期成矿流体以岩浆水为主，晚期以大气降水为主，中期则可能是混合热流体，与其他斑岩铜矿床大体相似。

(三)成矿时代

矿区已知 15 件铅同位素测定结果表明，金属来源于深部并受上地壳物质的叠加，其源区为造山带，计算其模式年龄均值为 342.93Ma。在矿区内花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩用 K-Ar 法测年值分别为 340～366.372Ma，蚀变岩中白云母年龄值为 364.5Ma，以上不同时间不同方法测龄结果相近，可视为上述结果接近成矿年龄，成矿时代为早泥盆世。志留纪末至早泥盆世，这一地区在陆壳基础上发展而成的岛弧体系，在碰撞造山中次火山岩浆侵入，形成了公婆泉斑岩铜矿床。

(四)地球化学地球物理特征

地球化学特征：主要含矿岩体及围岩中的铜及相关元素均高于地壳平均含量，与铜元素最密切相关元素为银，其相关系数为 0.86～0.92。铜的高含量区(高于区域背景值 7.8×10^{-6}的 10 倍)约 10km^2。在矿体上部铜含量在 750×10^{-6}，面积 0.1km^2，多元素组合异常浓度分带明显，Cu、Ag 组成异常内带，Pb、Zn、Mo、B 组成异常外带。斑岩型铜矿体上部铜异常形态呈带状，异常较窄，异常两侧含量值梯度大。热液铜矿其异常值梯度小，范围窄小，呈细条状，且元素单一。

地球物理特征：矿田内铜矿体磁性很弱，一般无地磁异常。时有激电异常及瞬变电磁异常，其强度最大可达 20mV。

(五)成矿模型

早古生代晚期，在窑洞努如-公婆泉岛弧带内发生，钙碱性岩浆为主的火山喷发活动，含少量铜元素的火山热液沿火山岩及火山碎屑岩的裂隙进行交代，形成规模不大的火山热液铜矿化，但并未形成工业矿体。早泥盆世造山期钙碱性岩浆上升，形成各类斑岩体，含矿斑岩体中含较多气态不稳定流体，在高温碱性介质条件下硫化物团粒细而分散，伴生的高三斜度钾长石表明其成矿过程较长而稳定，但随着时间的推移，气态物质的聚集，内压增加，又使这一封闭系统较为开放，若干三斜度为零无序的钾长石表明这一过程的突然性，至高温热液成矿期，流体成分表现为相对富钾、弱碱、低盐度、低密度、低气相等特点。大量的天水渗入，使长期生成的各类长石水解发生石英-绢(白)云母化蚀变、长石分解、流体中盐度增高，促进了金属离子的活化与聚集沉淀，即火山-潜火山岩浆热源矿化阶段。在两大板块碰撞并未完全焊接的情况下，深部形成熔浆上涌并与上地壳物质重熔改造而成含有较多铜的二长花岗岩浆，在侵入活动后期形成夕卡岩型铁铜矿化和岩浆期后热液铜矿化。

第十六节　云南中甸县雪鸡坪铜矿床

一、大地构造单元

矿区大地构造位置属西南"三江"褶皱系的义敦岛弧带，东侧与扬子地台相邻。义敦岛弧带是夹持于金沙江-哀牢山缝合线与甘孜 理塘缝合线之间的晚三叠世短暂岛弧；它的弧前区和主弧区分别位于措交玛 稻城花岗岩东侧和赠科-昌台-乡城之东。中甸雪鸡坪铜矿则位于弧后区，是弧后 1 个盆地最南的中甸盆地。

二、矿区地质

(一)地层

矿区及其外围出露中三叠统格咱组、上 三叠统雪鸡坪组、红山组，为 一套浅变质的类复理石和海底火山岩建造，厚近万米。矿区内只出露有雪鸡坪组，其岩性见表 2-53。

表 2-53　矿区地层表

Table 2-53　Stratigraphic scale of Xuejiping ore district

系	统	组	段	主要岩性	厚度 m
三叠系	上统	雪鸡坪组	上段	砂板岩夹安山岩、细碧岩，组成 4 个沉积 火山旋回	1985
			中段	安山岩、板岩夹砂岩，组成 8 沉积 火山旋回	1618
			下段	板岩、安山岩夹砂岩，组成 5 个沉积旋回	1550

此套火山沉积岩系共有 17 个沉积-火山旋回，每个旋回由砂岩、板岩-凝灰岩或砂板岩-熔岩或砂板岩-凝灰岩-熔岩组成。层面可见波痕、泥裂，属浅海相沉积。

(二)构造

区域构造线方向与金沙江-哀牢山缝合线一致，呈 NNW，由紧密的褶皱和高角度的断层组成。矿区位于格咱断裂东侧，格顶水-阿热背斜东翼。地层倾向 NE50°～70°。斑岩体群附近的岩层产状局部倒转，倾向 SW 约 80°。矿区内次级断层 15 条，其中 一组 NNW 向压扭性断层，生成稍早；另一组 NE 向张扭性断层稍晚，切割前者。

(三)岩浆岩

矿区内岩浆活动具有同源多期特征，为 一套由火山岩→次火山岩→侵入岩组成的序列。火山岩为上三叠统雪鸡坪组的安山岩、石英安山岩、安山质凝灰岩；次火山岩为石英闪长玢岩，与安山岩为渐变接触关系；侵入岩为石英二长斑岩、二长花岗斑岩，侵入于石英闪长玢岩中，最晚期还有石英闪长玢岩脉贯入。雪鸡坪铜矿主要赋存于石英闪长玢岩岩体中，Rb Sr 法测定石英闪长玢岩的黑云母年龄值为 224.6Ma，属印支期产物，与地层时代相吻合。

安山岩类火山岩为灰绿色，斑状结构或基质交织结构。斑晶以钠长石为主，占 30%～40%，次为普通角闪石及黑云母。基质由斜长石、微晶角闪石及少量玻璃质组成。副矿物为钛铁矿、白钛石、磷灰石。区域上安山岩按 $w(K_2O)$-$w(SiO_2)$ 投影主要落于钙碱亚系列区间，少数落入橄榄安粗岩亚系列。岩石光谱分析结果，安山岩含 Cu 达(70～120)×10 °，高出中性岩背景值 2～3 倍，Sn 含量也高于平均值。

含矿的雪鸡坪斑岩体虽以石英闪长玢岩为主，实际是一个由石英二长闪长玢岩到石英闪长玢岩再到石英二长斑岩、二长花岗斑岩的演化序列。岩体长 2.2km，宽 200～870m，面积 0.98km，呈岩株状产出，走向 NW，向 NE 陡倾。岩体东部、北部的围岩是石英砂岩，南部围岩是安山岩。岩体接触带常见片理化并含板岩角砾，岩体内部也常见有带状分布的围岩捕虏体。岩体成分随上述 4 种岩类作有规律的演化，自基性至中酸性，SiO_2 含量由 61.20%→66.685%，K_2O 含量由 2.07%→3.93%，$w(Na_2O)$-$w(K_2O)$ 由 1.7%→0.9%，岩浆自老到新向高硅富钾方向演化。各类岩性特征如下：

石英二长闪长玢岩：深灰色，斑状结构。斑晶由斜长石、角闪石组成，黑云母少见。

基质具微粒结构，包含霏细结构。当基质中无钾长石时则变成石英闪长玢岩。

石英闪长玢岩：灰色，斑晶以斜长石为主，黑云母次之，角闪石少见。基质为斜长石、石英。岩石结构随标高而变化，地表以下 200m 内，基质粒度<0.03mm，斑晶<2mm，常呈隐斑状，属微斑岩；地表以下≥200m 的更深部位，基质增大至 0.1mm，出现显斑结构，属正常斑岩。

石英二长斑岩：灰至肉红色，与石英闪长玢岩的区别是斑晶粗大，有时见钾长石斑晶。岩石结构也随海拔标高而变化，从地下 300m 以上到地表，暗色矿物斑晶以黑云母为主，300m 以下逐渐以角闪石为主。由于石英与长石镶嵌，也出现似斑状结构。接近地表，基质渐变成微粒状。钾长石分原生、次生两种。

二长花岗斑岩：呈脉状分布于岩体东侧。肉红-灰红色，显斑状，斑晶为斜长石、钾长石、角闪石、黑云母。基质粒度粗，呈包含微晶结构、微晶结构。

三、矿床地质

（一）矿体形态及规模

铜矿体呈透镜状赋存于石英绢云母化、钾化的石英二长斑岩及石英闪长玢岩中。产状与岩体一致，走向 NW，倾向 NE60°～70°。全区共有 6 个矿体群计 26 个矿体。以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号较大。矿体长 200～650m，平均厚 20～80m，延深 300～>450m，平均铜品位 0.3%～0.65%。其中最大的Ⅲ号矿体长 480m，厚 5～91m，延深 520m，平均含铜 0.63%（图 2-83、图 2-84）。

（二）矿石金属矿物

以黄铁矿、黄铜矿为主，辉铜矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿次之。黄铁矿呈星散状、斑点状，粒径 0.2～0.5mm，含量约 5%～10%。黄铜矿呈他形粒状，部分为斑点状、细脉状，粒径 0.02～0.3mm，含量 0.1%～0.55%。辉铜矿、辉钼矿多呈细脉状、不规则状。脉石矿物有石英、绢云母、钠长石、方解石、白云石、角闪石、黑云母。当富含石英脉条带时，铜品位加富。矿床氧化带不深，一般 5～10m。只在Ⅰ、Ⅱ号矿体的局部深处出现次生富集带。

（三）矿石结构构造

矿石以浸染状、细脉状构造为主。其结构主要为自形粒状结构、交代结构、少量乳滴状、脉状和似胶状结构。

（四）矿石化学成分

矿区铜主要属中贫矿石，富矿储量仅占 0.1%，富矿平均铜品位 1.38%。矿石中伴生组分不高，Mo 0.005%，Au 0.06×10^{-6}，Ag 1.46×10^{-6}。但采用铜优先浮选流程获得的铜、硫两种精矿，于铜精矿（Cu 21.70%）中，含 Mo 0.0735%，Se 0.0108%，Au 1.10×10^{-6}，Ag 42.06×10^{-6}；硫精矿（含 S 36.15%）中，含 Mo 0.028%，Se 0.091%，Au 0.21×10^{-6}，Ag 9.36×10^{-6}，均可综合利用。

（五）矿化分带

上述 6 个矿体群的周边均为铜矿化，如按 Cu 含量≥0.1%圈定，其矿化带长 1300m，宽 250m。

以铜矿为中心，按岩石中含黄铁矿的多寡可分成三个带：矿体部分一般含黄铁矿低于 5%；紧靠矿体外侧含黄铁矿大于 5%，最高可达 30%；再向外，黄铁矿明显减少，仅为 1%～5%。辉钼矿化分布零星，不成带。铅锌矿化主要见于矿区北部，与石英碳酸盐脉关系密切。钼、铅锌均未形成工业矿体。

（六）近矿围岩蚀变

矿区蚀变复杂，分面型和线型两种。线型是脉旁发生的局部蚀变，面型是主要的晕圈状蚀变。

由于受 NW 断裂带不同通道的控制，矿区出现两个热液活动中心。南部以石英二长斑岩为中心，出现以钾化（钾长石化、黑云母化和早期青磐岩化）为主的蚀变晕圈；北部以Ⅰ、Ⅱ号矿体为中心，出现以石英绢云母化为主的蚀变晕圈。两个蚀变晕圈向外是碳酸盐-伊利石化带，最外边是青磐岩化带。矿区主要矿体群与两个蚀变中心相重叠。现按蚀变矿物组合，形成顺序分别叙述：

1. 钾长石-黑云母化带

主要是早期的钾长石化、黑云母化、磷灰石化和青磐岩化，并叠加了稍后的石英绢云母化的地段。蚀变矿物有钾长石、黑云母、石英、磷灰石，次为绿泥石、斜长石、碳酸盐、绢云母。

渗透状钾长石化仅见于石英二长斑岩中。脉状钾长石化则受裂隙系统制约，分布广泛，甚至在地下

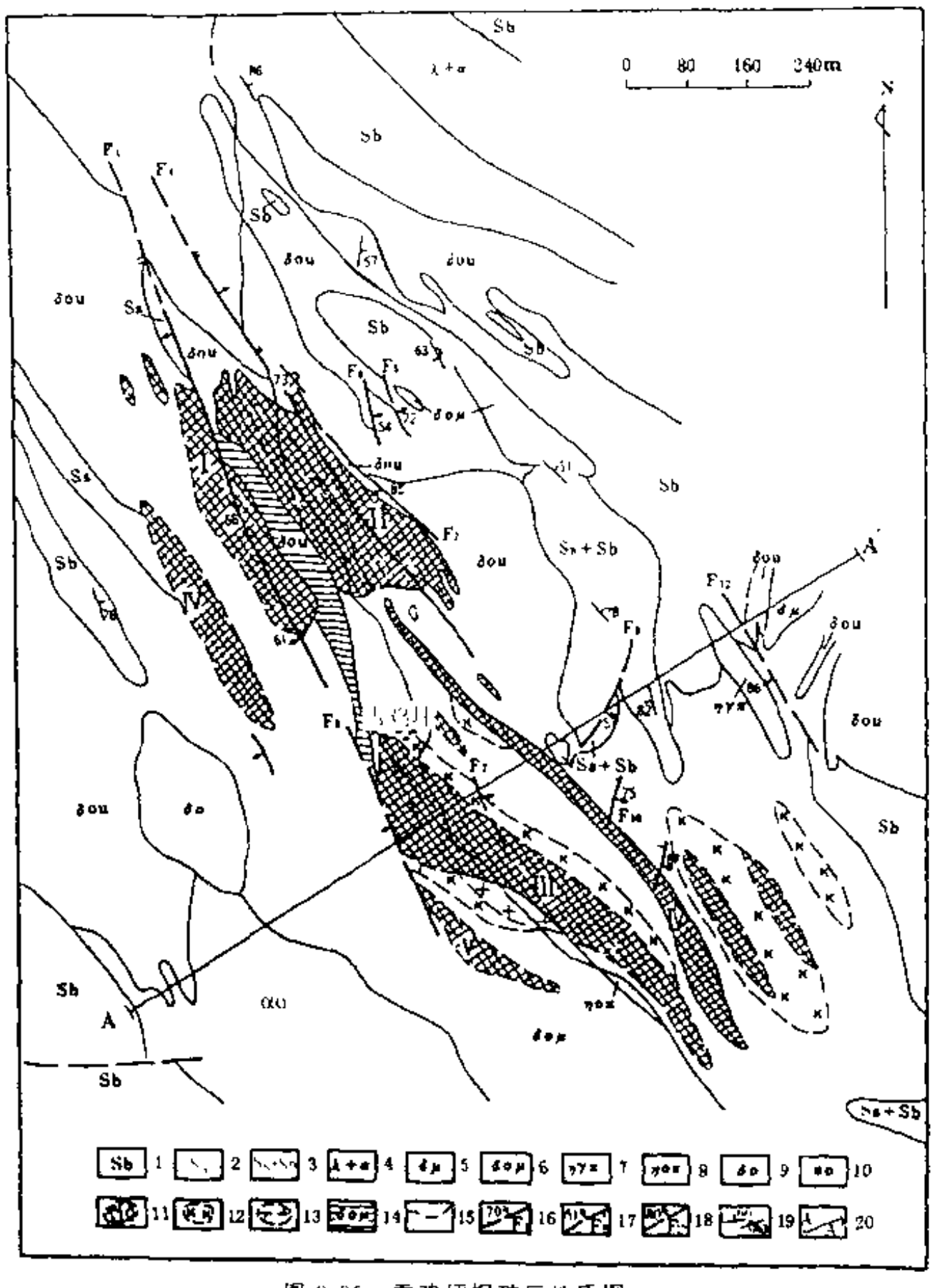


图 2-83　雪鸡坪铜矿区地质图

Fig. 2-83　Geological map of Xuejiping copper deposit

(据云南第七地质队)(after Geological Team 7 of Yunnan province)

1- 板岩;2--细粒砂岩;3- 砂岩夹板岩;4—凝灰岩夹安山岩;5　闪长玢岩;6- 石英闪长玢岩;7 —二长花岗斑岩;8—石英二长斑岩;9—石英闪长岩;10—石英安山岩;11- 实测及推测矿体及编号;12　钾化带;13- 石英绢云母化带.14—成矿后石英闪长玢岩岩脉;15—实测及推测地质界线;16　实测及推测逆断层及编号;17- 实测及推测正断层及编号;18—实测及推测性质不明断层及编号.19　正常及倒转岩层产状;20- A-A 剖面线

500m 的深处仍出现,但强度减弱。黑云母化的分布比钾长石化范围大,尤以矿区的浅部及北部明显,当其受稍后的石英绢云母化改造时,黑云母仅残存并出现新生的金红石。早期青磐岩化是暗色矿物的绿泥石化,绿泥石同样受稍后的白云母、绢云母所交代。

钾长石-黑云母化带形成于石英二长斑岩之后,沿石英二长斑岩侵位的通道强烈发育。

2. 石英-绢云母化带

本带的蚀变中心与钾长石 黑云母化带不同,它虽也受北西向断裂控制,但与铜的富集密切相关。其地表硅化强烈,富含硫化物的网脉状石英发育,深部形成含矿热液角砾岩。

从强硅化地段向外,依次出现强蚀变的黄铁绢云岩带,再外则为中等强度的石英-绢云母化带。

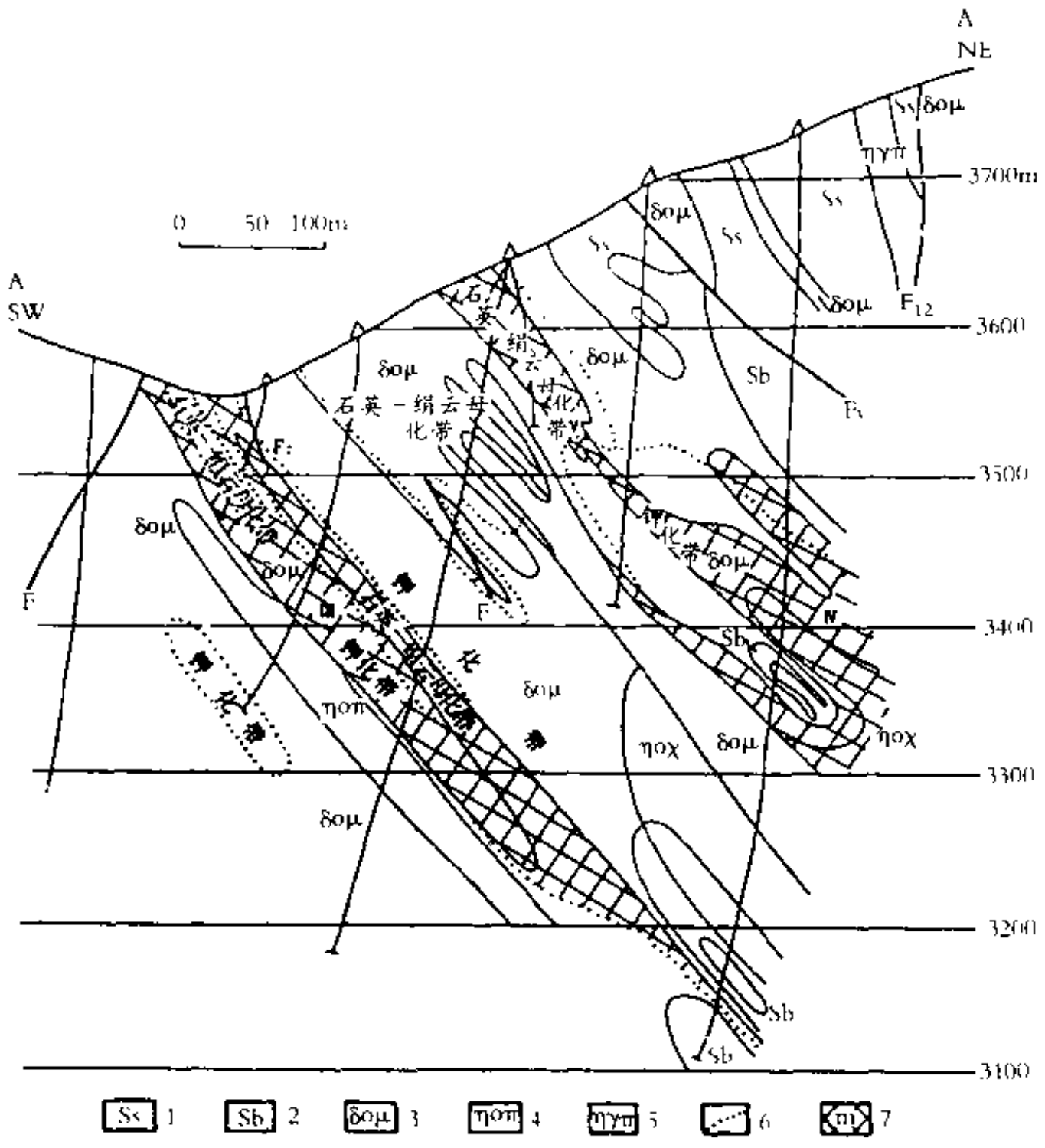


图 2-84 雪鸡坪铜矿 A—A′剖面图

Fig. 2-84 Profile A—A′ of Xuejiping copper deposit

(据云南第七地质队)(after Geological Team 7 of Yunnan province)

1—砂岩;2—板岩;3—石英闪长玢岩;4 石英 长斑岩;5—_长花岗斑岩;6—蚀变带界线;7—矿体及编号

蚀变矿物组合有石英-绢(白)云母-黄铁矿-铁白云石、石英-绢(白)云母-黄铁矿两种,次要有石英绢(白)云母、单一的石英组合。

3. 伊利石-碳酸盐化带

分布于石英-绢云母化带外围,矿物组合两者相似,属石英-绢云母化带的弱亚带。蚀变表现为斜长石的伊利石化、铁白云石化,暗色矿物的绢云母化、白云母化。

4. 青磐岩化带

系矿区最外圈的蚀变带,按共生矿物进一步分为两个亚带。内亚带:绿泥石-伊利石组合,系过渡性晕圈。外亚带:绿泥石-钠长石组合,是青磐岩化带的主体。

(七)矿区地球化学场

雪鸡坪成矿岩体的元素背景值为:Cu 92×10^{-6}、Pb 100×10^{-6}、Zn 136×10^{-6}、Mo 18×10^{-6}、W 13×10^{-6}、Sn 51×10^{-6}。对原生晕进行光谱分析,其结果是,伊利石-碳酸盐化带含 Cu 83.3×10^{-6},青磐岩化带 49.6×10^{-6},围岩的碎屑岩$(28.9\sim38.6)\times10^{-6}$。

水系沉积物在雪鸡坪构成 $4.2km^2$ 的 Cu-Mo-Pb-Zn 组合异常,平均含量为 Cu 664×10^{-6}、Mo 14.3×10^{-6}、Pb 222×10^{-6}、Zn 111×10^{-6}、W 2.5×10^{-6}、Sn 5.4×10^{-6}。

四、成矿条件

(一)稳定同位素

硫同位素：雪鸡坪矿区 20 件黄铁矿、黄铜矿、方铅矿的($\delta^{34}S$ 值变化于 -2.3‰～+1.3‰之间，平均 0.76‰。纯矿体到矿化体再到围岩(距矿体最大 26m，距岩体最大 19m)，其 6 件黄铁矿($\delta^{34}S$ 值除矿体为 -0.3‰外，其依次变化为 -1.0‰、-1.5‰、-0.5‰、-0.3‰、+0.4‰，表明硫质主要来自幔源，同时自矿体向外，重硫值作有规律但幅度很小的变化，可能反映围岩的混染。

铅同位素：矿区两件铅同位素值为 $^{206}Pb/^{204}Pb=17.8920\sim17.9131$、$^{207}Pb/^{204}Pb=15.5010\sim15.5275$、$^{208}Pb/^{204}Pb=37.8368\sim37.9079$，均属正常铅。图解落在岛弧铅范围。

铅模式年龄值 419～435Ma，其年龄比矿床老，说明铅和岛弧是在古老地壳上发展起来的。

锶同位素：对矿区磷灰石、全岩、全岩+磷灰石共 4 件样品测定，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7052～0.70601，明显属于幔源性质，且与地壳混染程度不高。

(二)包裹体测温及成岩成矿有关参数

斑岩体未蚀变的新鲜部分未做包裹体测温，按 5 种 :长石法计算成岩温度为 550～685℃；按岩石化学里特曼法计温为 718℃；按钾长石结构状态参数计温为 620℃。

青磐岩化带对石英包裹体的均一法温度有 288～306℃、200～220℃两组。对矿化蚀变的石英闪长玢岩中黄铁矿只取得爆裂法 200℃数据。对含钼含铜碳酸盐石英脉取得均一法 300～313℃数据。对含铜石英脉取得均一法 158～107℃数据。

由于测温数据不全，初步认为，雪鸡坪斑岩体主要形成于 620～718℃之间。钾化阶段属气成-高温期。从成矿高潮的石英绢云母化到伊利石碳酸盐化、青磐岩化为中温到低温的阶段，铜的成矿温度以 200～300℃最重要。

根据黑云母的研究结果，雪鸡坪岩体是在氧逸度较高、碱度较低、水饱和度较低的环境中形成。

雪鸡坪岩体的稀土特征：ΣREE 含量为 112.50～161.07、$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)=6.18\sim6.11$、$\delta Eu$ 1.03。稀土分配模式为向左陡倾斜曲线，铕亏损不明显，反映出岩浆源来自上地幔，具同熔型特点。

(三)成矿条件分析

雪鸡坪岩体的围岩为硅铝质岩，成矿环境属封闭-半封闭系统，故矿体只集中于斑岩体内。

该含矿斑岩体系沿层间破碎带被动侵入，属似层状岩株，其与火山岩系关系密切，具有高温快速冷凝的超浅成特点。

成铜强度总体上与斑岩体的蚀变分带有空间上关系，但下列规律明显：

矿化最强的部位是以网脉状石英硫化脉形成的热液角砾岩，一般 Cu 品位>2%。

矿化较强的部位是钾化与石英-绢云母化两者叠加的部位，Cu 平均品位达 0.18%，而单纯钾化或单纯石英-绢云母化者很少达工业品位，平均 Cu 仅 0.17%。

外围伊利石-碳酸盐化铜背景值仅 0.032%，青磐岩化铜更低，为 0.0035%。

面型蚀变的矿化方式均为浸染状、细脉浸染状；线型蚀变则多为细脉状、大脉状。

斑岩成岩及蚀变研究表明，虽然气成-高温阶段形成强烈的钾长石-黑云母化带，但铜在此第一成矿期并未能形成工业矿体，平均含铜仅 0.17%，黄铜矿细小(<0.01mm)。而第二成矿期即中低温阶段，岩体形成从石英-绢云母化到青磐岩化的三个蚀变带，但黄铜矿最重要集中于中温为主的石英-绢云母化带。第三成矿期为脉状重晶石、脉状方解石和蒙脱石化，低温阶段，仅铜、铅锌矿化或呈叠加矿体。

结合稳定同位素资料初步认为，成矿物质虽具多源性，但以上地幔来源为主；其水介质在早期阶段以岩浆水为主，铜仅初步富集，而成矿主要的中期阶段则有一定数量的大气降水与岩浆水参与。

由于含铜的矿物包裹体中多见有石盐子晶存在，可能反映成铜溶液具有较高的含盐度。

斑岩体受剥蚀程度不高。

总之，雪鸡坪铜矿床是一个与火山岩系有密切联系在超浅成条件下具明显蚀变分带的典型斑岩铜矿床。

五、找矿标志和矿床模式

区域上寻找类似雪鸡坪的斑岩铜矿床标志：

(1)晚三叠世弧后盆地，特别是由拉张性区域断裂所控制的火山岩喷溢活动中心。

(2)超浅成贯入的斑岩体，从中性到中酸性多期次的分异程度高的地域。

(3)蚀变分带的钾化、石英-绢云母化叠加地段，尤其是具隐爆或气液富集的热液角砾岩分布区。

(4)与中深成夕卡岩型铜矿区域上共生或者有斑岩型、夕卡岩型复合矿化的地带。

(5)水系沉积物、土壤、原生晕等地球化学场中铜异常分布区。成矿模式见图 2-85。

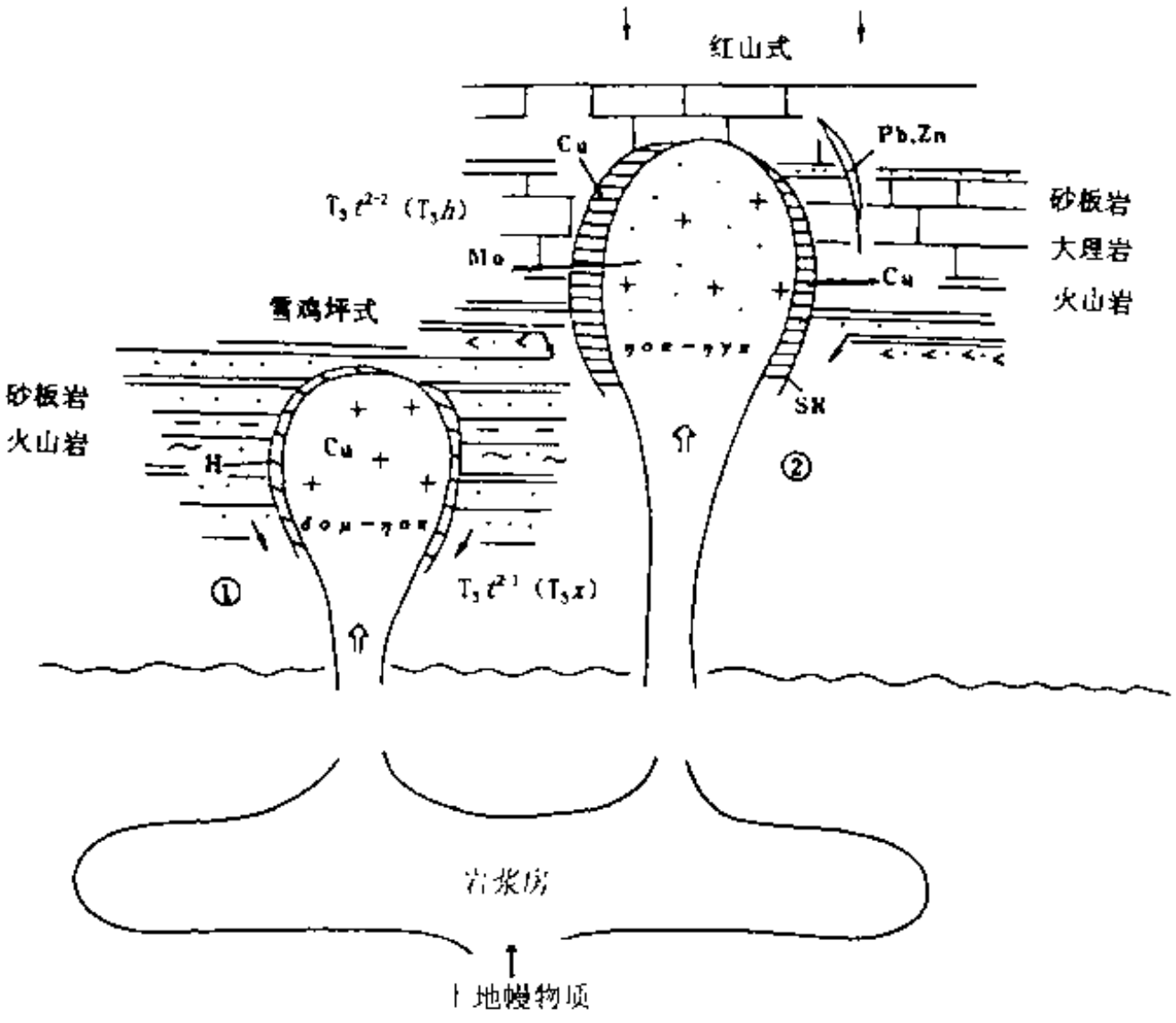


图 2-85　与印支期斑岩有关的铜矿床成矿模式图

Fig. 2-85　Metallogenic model of copper deposite related to Indosinian porphyry

$\delta o\mu$—石英闪长玢岩；$\eta o\pi$—石英二长斑岩；$\eta\gamma\pi$　.长花岗斑岩；T_3t^{2-1}(T_3x)—上三叠统图姆沟组上段下部(雪鸡坪组)；T_3t^{2-2}(T_3h)—三叠统图姆沟组上段上部(红山组)；H　角岩；SK　夕卡岩，单箭头　天水或地表水；双箭头　岩浆或混合热液；①雪鸡坪斑岩型铜矿；②红山(斑岩)夕卡岩型铜矿

第十七节　河北平泉县小寺沟铜钼矿床

一、大地构造单元

矿床位于华北陆台北缘隆起带和燕辽中元古裂谷带交接部位的裂谷带一侧，六沟-平泉-杨树岭断裂通过矿区北侧，成为承德隆起和平泉-兴隆复向斜的分界线，矿床赋存在复向斜的北东段。

二、矿区地质

(一)地层

矿区出露地层较单一，六沟-平泉-杨树岭断裂以北为太古宇迁西群跑马场岩组，南面为元古宇蓟县系雾迷山组和少量早白垩世的火山岩及第四系的松散堆积物(图 2-86)。跑马场组，为角闪斜长片麻岩及斜长角闪岩、变粒岩。雾迷山组出露的主要是其上部白云质灰岩与灰质白云岩，与迁西岩群呈断层接触。白云质灰岩受侵入岩体的影响而大理岩化和蛇纹石化，矿体就赋存在蚀变大理岩和白云岩中。上侏罗统主要为火山角砾岩、角砾凝灰岩、流纹岩等，在矿区内分布零星。

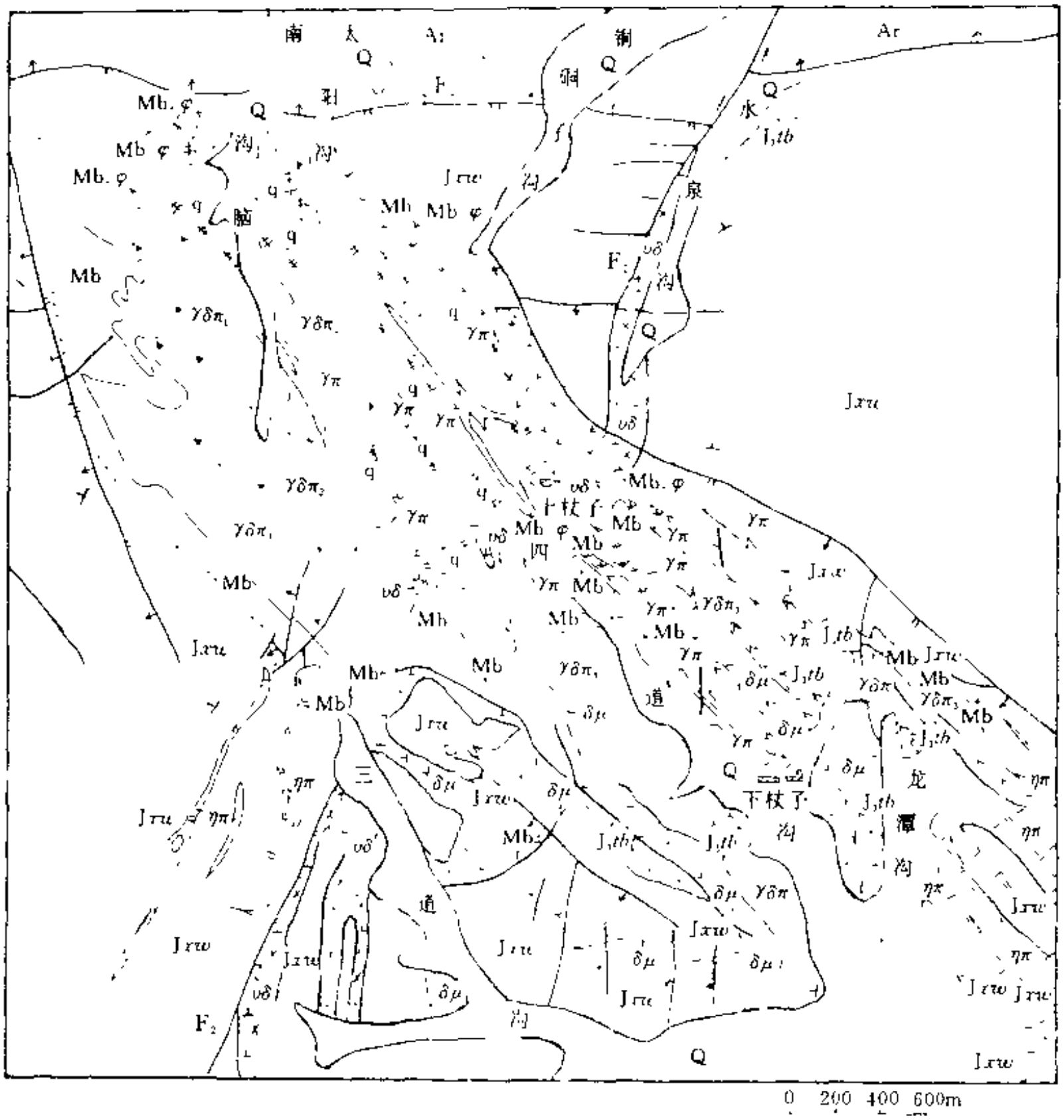


图 2-86 小寺沟铜钼矿床地质图

Fig. 2-86 Geological map of Xiaosigou copper-molybdenum deposit

1—第四系;2—上侏罗统火山岩;3—蓟县系雾迷山组白云岩;4—迁西群变质岩;5—大理岩;6—蛇纹石化大理石;7—破碎状岩;8—花岗闪长斑岩(Ⅰ相、Ⅱ相、Ⅲ相);9—绢英岩化岩;10—辉长闪长岩;11—闪长玢岩;12—二长斑岩;13—花岗斑岩;14—推测、实测地质界线;15—岩相界线;16—正、逆断层;17—产状

(二)构造

矿区断裂发育,褶皱不明显。断裂主要分为EW向、NW向及NE向三组。EW向断层(F_1)横贯矿区北部,为区域性深断裂之一段,为逆冲断层,使北侧的太古宇变质岩系逆冲在中元古界雾迷山组白云岩之上。F_1断层是区内时代老、规模最大,并在中生代复活的断层。在区域上控制着中晚元古界、古生界的分布,也控制了小寺沟岩体的西北边界。NEE向断裂(F_2)主要为平移正断层,切断EW向断层。NW向是区内最发育的一组断裂,它控制着小寺沟岩体的边界、蚀变带、矿体分布、岩脉及火山岩的分布。主要分为岩体东北边界断层和西南边界断层。东北边界断层北段控制了小寺沟岩体的东北边界,西南边界断层沿断层常有角砾岩、花岗斑岩或流纹斑岩岩脉充填。

(三)侵入岩

矿区岩浆岩发育。多以斑岩、脉岩形式出现，其次为火山熔岩及火山碎屑岩。可分为三个阶段：早期为辉长闪长岩，中期为小寺沟花岗闪长斑岩，晚期为酸性火山熔岩、火山碎屑岩。区内岩浆成分主要为中酸性，从早到晚有从中性→中酸性→酸性的演化趋势。岩石化学成分中 SiO_2、K_2O 也有从早到晚增高的趋势。岩体的矿化较普遍。小寺沟花岗闪长斑岩是矿区的主要含矿岩体，以富含铜、钼为特征。岩体主要分布在铜碾子沟、上杖子、下杖子一带。岩体的 K-Ar 年龄为 129Ma。岩体沿北西向断裂侵入于蓟县系雾迷山组，呈长轴为北西的不规则的椭圆状向南西倾斜的小岩株，局部超覆于白云岩之上，出露面积约 7km²，围绕岩体边缘有较多的捕虏体，大者数米或数十米，小者几十厘米，成分为白云岩或白云质灰岩，已重结晶，沿岩体接触带排列，长轴方向与岩体长轴一致。

小寺沟岩体由中心向边缘可划分出三个岩相带，各相带间为渐变过渡关系。矿区内以Ⅱ相带出露范围最广且与铜、钼矿化关系最密切。各相带主要造岩矿物成分和斑晶皆为斜长石，其牌号由中心向外逐渐增高，但都属酸性斜长石。石英由内向外逐渐减少，角闪石则与其相反。SiO_2 平均含量为 66.35%，K_2O 平均为 3.55%，Na_2O 平均为 4.15%，且 $Na_2O>K_2O$；属中酸性，为钙碱性系列。由二长温度计、石英-磁铁矿氧同位素分馏方程计算，小寺沟岩体的形成温度是 630～670℃，由黑云母成分计算得到岩体结晶时的水逸度 $f_{H_2O}=(1300\sim1955)\times10^5$Pa。

根据小寺沟岩体中 $w(Na_2O)>w(K_2O)$，$w(Al_2O_3)/w(Na_2O+K_2O+CaO)<1.1$，矿物组合是中酸性斜长石+富镁黑云母+角闪石+榍石+磁铁矿；磁铁矿含量为 0.5%～1.2%，未出现富铝矿物与钛铁矿；微量元素 V-Cr Co-Ni 组合，且含量高；黑云母处在 Ni-NiO 缓冲线之上；全岩氧同位素 $\delta^{18}O=7.3\sim8.2‰$ 等特征，可知小寺沟岩体是由下地壳的同熔型花岗岩浆所形成。

矿区内火山岩集中分布在小寺沟岩体南东边缘的龙潭沟、西沟、下杖子一带，以火山碎屑岩为主，夹少量熔岩。K-Ar 法测得流纹岩的全岩年龄为 112Ma。区内脉岩分布广泛，是岩浆晚期阶段的最后产物，以中酸性为主。花岗斑岩分布于岩体内，呈密集脉状产出，走向为北西，其次穿插在火山角砾岩及白云岩中。闪长玢岩脉分布在岩体边缘及围岩内，多呈北东向及近东西向。二长斑岩则在岩体、围岩及火山岩内部有分布。脉岩不含矿，为成矿后产物。

三、铜矿床地质

（一）矿体规模、形态及空间分布

小寺沟矿床是以铜钼为主伴有铅锌矿、铁矿，及伴生 Au、Ag、S、Re、Se 等元素的有色金属矿床。

铜矿体：铜矿化主要分布于小寺沟岩体外接触带上的变镁夕卡岩的蛇纹石蚀变岩和蛇纹石化白云岩中，其次是钙夕卡岩的石榴子石夕卡岩中。前者矿化强、范围大，构成主要铜矿体；后者分布局限，铜多以伴生元素形式存在。铜矿体主要分布于下杖子至铜碾子沟一带。矿体一般长 300～500m，最大达 1000m，平均厚 40m，延深 250～350m，最大达 570m。矿体形态呈似层状、狭长带状，与接触带产状一致。总体走向为 NW315°，倾向 SW，倾角 60°～80°。在接触带内侧由捕虏体构成的铜矿体，规模大小不等，一般长 200～300m，厚 1～10m，最厚 40m，形态为透镜状、脉状、扁豆状，总体走向 NW，倾角 30°～60°（图 2-87）。

钼矿体：钼矿化主要分布于岩体内蚀变带黄铁绢英岩中，次为钙夕卡岩的石榴石夕卡岩中。钼矿化强、范围广。有的钼矿化发生在内接触带边缘与铜矿体相接，形成钼铜矿。钼矿体分布于上杖子至南沟脑地段，矿体长 300～500m，厚 50～100m，延长 300～500m，呈厚大的透镜体，两端急剧收缩变薄并有分支。

另有小钼矿体，形态、规模变化较大，多呈脉状、扁豆状产出。

铅锌矿体：铅锌矿化或铅矿化主要分布在距小寺沟岩体较远的弱蚀变（青磐岩化）的结晶白云岩中，明显受岩石裂隙控制，形成脉状矿体。品位高，但规模很小。

铁矿体：主要分布在变镁夕卡岩中，规模小、矿体不连续，局部矿化地段受后期铜矿化叠加，形成含磁铁矿的铜矿体。

以上矿化和矿体的分布都受岩体接触带和蚀变带的控制，围绕小寺沟岩体形成环带状矿化晕。自岩体内接触带向外，依次是钼矿化→钼铜矿化→铁铜矿化→铜矿化→铅锌矿化→铅矿化。

（二）矿石物质组分

铜矿石类型有3种，即铜矿石、铁铜矿石和钼铜矿石。

铜矿石主要由黄铁矿、黄铜矿组成，并有磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿等伴生矿物。脉石矿物有蛇纹石、白云石、方解石、透辉石、金云母、硅镁石。这一类型矿石占铜金属储量90%以上。

铁铜矿石主要由黄铁矿、黄铜矿组成。脉石矿物有透辉石、硅镁石、白云石等。

钼铜矿石主要由辉钼及黄铜矿组成，含钼在0.01%～0.08%。这类矿石除含钼外其他特征皆同铜矿石。

（三）矿石结构构造

矿石结构：主要为他形粒状、交代结构，偶见熔离结构及压碎结构。

矿石构造：有浸染状、脉状和块状构造。铜矿石常呈细脉浸染状构造。

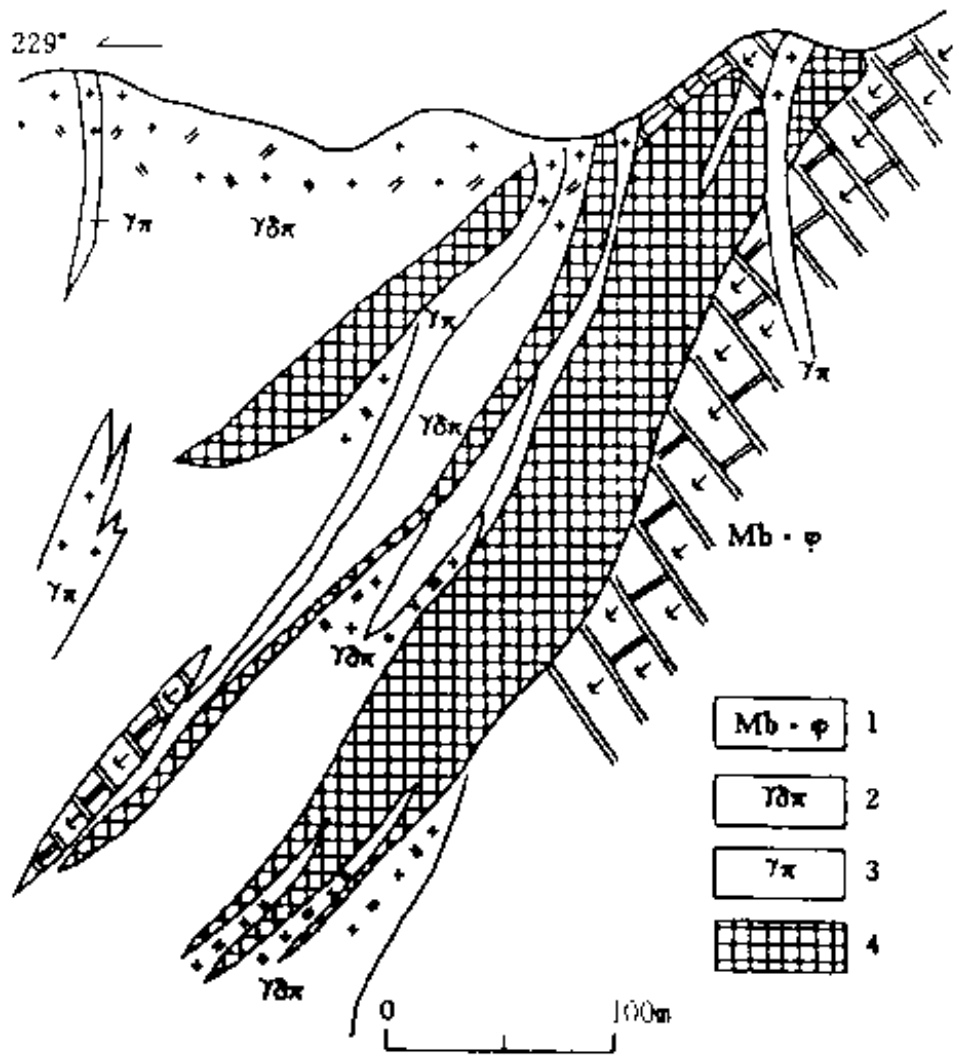


图2-87 小寺沟铜钼矿床9勘探线地质剖面

Fig. 2-87 Geological profile of exploratory line 9 in Xiaosigou copper-molybdenum deposit

1 蛇纹石化大理岩；2 花岗闪长斑岩；3 花岗斑岩 4 铜矿体

（四）围岩蚀变

矿区的围岩蚀变发育，主要有钾化（钾长石化、黑云母化）、黄铁绢英岩化、粘土岩化及夕卡岩化（含蛇纹石化）。蚀变岩在空间上呈有规律的带状排列。由岩体向外依次为花岗闪长斑岩-钾长石、黑云母蚀变带 黄铁矿、石英、绢云母蚀变带-（粘土岩化带）-钙夕卡岩带-镁夕卡岩、变镁夕卡岩带-蛇纹石化白云岩带-白云岩。其中主要含矿蚀变岩石是含钼黄铁绢英岩、石榴子石钙夕卡岩、含铜变镁夕卡岩和蛇纹石化白云岩。

矿床蚀变岩的形成具多期、多阶段特征。根据蚀变岩的矿物组合、岩石结构构造特征及蚀变矿物包裹体测温等资料，成矿阶段划分为：早期碱性阶段，形成钾化蚀变岩和夕卡岩，形成温度在400℃以上；酸性淋滤阶段，形成碳酸盐-硫化物组合的细脉，温度为350～280℃。

四、成矿条件

（一）硫同位素

金属硫化物的硫同位素数据 $\delta^{34}S$ 值变化范围为1.8‰～3.3‰。硫同位素特征与小寺沟岩体矿化的宏观特征都表明成矿物质来自下地壳。

（二）流体包裹体

小寺沟岩体蚀变带的石英、方解石中含有大量的流体包裹体，这些包裹体中气相含量较高，约占15%左右，与液相、固相共存。据对包裹体中子矿物的出现及其含量的统计，高盐度包裹体的出现地段与铜矿化地段相一致。包裹体中盐类矿物主要是NaCl和KCl。经测算，含矿溶液的总盐度为15.4%。对大量包裹体用均一法测温结果，其温度集中在320～360℃，它反映出这一温度范围内热液活动最强烈，也是辉钼矿的形成温度范围；黄铜矿-黄铁矿-石英脉的均一温度为280～320℃，它代表了铜的主要成矿温度。在此种盐度、温度条件下的水压为（300～500）$\times 10^5$Pa。

（三）成矿阶段

成矿作用经历了接触交代作用，硫化物和蛇纹石-碳酸盐形成过程，可具体划分以下几个阶段：

镁夕卡岩形成阶段：主要形成透辉石、拉长石、透闪石、橄榄石和尖晶石；

钙夕卡岩形成阶段：以形成石榴子石、符山石为主，部分透辉石的形成延续到本阶段；

含水夕卡岩形成阶段：金云母和蛇纹石形成占了主体地位，其次是绿帘石、黄铁矿、磁铁矿和部

分碳酸盐的形成：

石英-硫化物形成阶段：石英、辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿和绢云母的形成占主要位置，部分碳酸盐矿物也在此阶段形成；

蛇纹岩-石英-碳酸盐形成阶段：主要形成黄铁矿和碳酸盐矿物，其次是绿泥石。

从整体看，本区岩石蚀变的酸度演化可从早期碱性阶段（夕卡岩阶段）→中酸性阶段（晚期水化夕卡岩阶段）→晚期碱性阶段（蛇纹石-碳酸盐阶段），而铜钼矿形成于酸性的晚期阶段，即向碱性转变的过程中，进而说明铜钼矿化与酸度变化关系密切，晚期水化阶段是成矿作用强度发育的先决条件。

总之，小寺沟花岗闪长斑岩体的良好分异使得流体碱质、二氧化硅、矿质也相应得到较好分异，在岩浆结晶过程中伴随着饱和水的沸腾作用，使挥发组分、成矿物质聚集。同时钾质交代使分散在造岩矿物中的矿质迁出，当围岩经过强烈的酸性淋滤后，进入接触交代作用阶段，岩浆混入天水，使溶液酸度变化，随着岩石孔隙度增加，导致成矿元素聚集沉淀，形成了铜、钼矿床。小寺沟矿床的成因可归结为斑岩型铜矿床和接触交代型铜矿床。

五、找矿标志

岩浆岩条件：小寺沟含钼花岗闪长斑岩体属复式岩体，分黑云母花岗斑岩、花岗闪长斑岩、钾长石英闪长斑岩三个相带，矿化赋存在花岗闪长斑岩相中，是找矿的首要标志；

围岩条件：蓟县系雾迷山组白云岩空间上属矿化体的直接围岩。成矿作用过程中，是形成夕卡岩的基础，它与成矿作用直接有关。花岗闪长斑岩和雾迷山组白云岩接触带的夕卡岩，是找矿的直观标志；

构造条件：北西向的断裂构造除起到控岩作用外，尚有控矿和控制蚀变范围的作用。断裂与岩体、蚀变三者的结合，是矿体空间定位的条件，对找矿有指示意义。

化探异常：1∶20万化探扫面图上出现Cu、Mo、Au、Ag、Ni、Co的综合异常，指示了找矿的远景地段。

以上标志是区内寻找同类矿床的有效标志。

第十八节　河北涞源县木吉村铜钼铁矿床

一、大地构造单元

矿区位于山西断隆与燕山台褶带的接合部位，阜平变质核杂岩构造北西缘的乌龙沟-上黄旗深断裂带中。

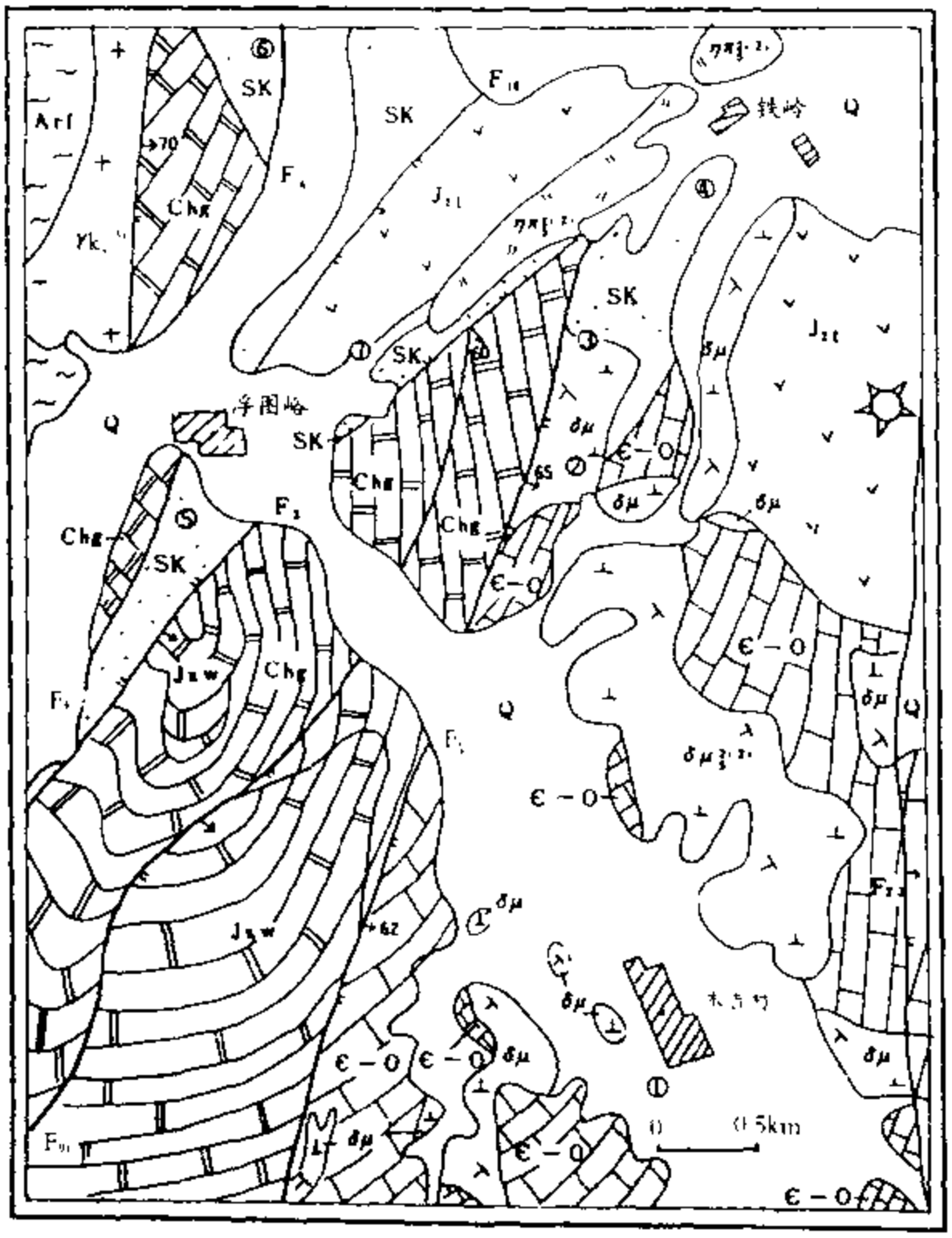
二、矿区地质

（一）地层

矿区出露有太古宇阜平群片麻岩，中新元古界、下古生界碳酸盐及碎屑岩，中生界火山岩。中元古界（高于庄组、雾迷山组）与下伏太古宇以剥离断层为界（有酸性岩床充填），属构造不整合。下古生界及中元古界的海相碳酸盐岩-碎屑岩建造和海相碳酸盐岩建造是主要赋矿围岩（图2-88）。

（二）构造

区内构造以断裂构造、古火山构造为主，矿区外围北窑沟有主剥离断层出露。断裂构造有NNE、NE、NEE、近SN、NW向多组，以NNE、NE向乌龙沟断裂系为主，继承性活动明显。F_4为主要控矿（岩）断裂，位于矿区中部小立沟-磨石沟一带，长5～6km，断距超过2km，走向N5°～15°E，倾向SE，倾角50°～70°，向深部变缓。其上盘为寒武-奥陶系灰岩、侏罗系火山岩，下盘为中元古界白云岩。F_4还是中生代火山断陷盆地的“边缘断裂”，区内木吉村、鸽子岭、小立沟、浮图峪、茅儿峪等矿床（段）均受其控制。F_4由于受F_3等断层的切割，错断为三部分（段）。古火山构造位于矿区东侧绵胡坨一带，属爆发型火山构造，放射状裂隙不发育，火山口范围0.6km^2，火山口为熔岩型灰流相—充结构，周围环以碎屑型灰流相（喷）〈爆〉溢相和断续分布的闪长玢岩、隐爆角砾岩等次火山岩。这些岩浆岩均属燕山早期鬐鬐山旋回产物，区内矿化均受其控制。古火山构造受后期断层（F_{23}）破坏明显，矿床



1 Q　2 J_2t　3 ε-O　4 Jxw　5 Chg　6 Arf　7 Yk　8 ηπβ₂³　9 δμ₂³　10 SK　11 F_4　12 F　13 ①

图 2-88　木吉村矿区地质略图

Fig. 2-88　Schematic Geological map of Mujicun ore field

（据章柏明等，1996）（after Zhang Baiming et al.，1996）

1－第四系；2－侏罗系碧鳌山组安山岩；3－寒武-奥陶系灰岩；4－蓟县系雾迷山组白云岩；5　长城系高于庄组白云岩；6－太古宇阜平群片麻岩；7－钾长花岗岩；8—闪长玢岩，9　—长斑岩；10—夕卡岩；11—逆、正断层；12　古火山口；13－矿床（段）：①木吉村铜钼矿；②鸽子岭铁铜矿；③小立沟铁铜矿；④铁岭铁铜矿；⑤浮图峪铁铜矿；⑥茅儿峪铁铜矿；⑦东沟铁铜矿

也受一定的影响。

（三）侵入岩

区内岩浆岩属涞源杂岩体的一部分。主要岩石类型有黑云母石英闪长岩、花岗闪长岩和斑状花岗闪长岩、粗粒斑状花岗岩、钾长花岗岩、二长斑岩和闪长玢岩。闪长玢岩是古火山构造的组成部分，为矿田主要成矿母岩。岩体呈“蘑菇状”，地表出露面积约 1.5km²。“蘑菇”顶盖展布明显受 F_4 及层间裂隙破碎带控制，呈岩枝、岩床状叠层产出，一般厚度 150～200m，主体“岩颈”长轴近南北，北界面总体南倾（约 45°），东西两壁陡立，长大于 600m（南界未控制），宽约 400m，呈扁桶状隐伏于木吉村及其以南古河床之下。岩体“蘑菇”顶盖划分为闪长玢岩相（主体相）和角砾状闪长玢岩、安山玢岩相。主体岩颈蚀变程度较深，难以识别其岩相。据闪长岩岩石化学成分及特征参数判断，该岩体属造山带的钙碱性系列，与区内安山岩类一致，它们为同源岩浆的分异产物。

三、铜矿床地质

矿区内共有中、小矿床七处，类型多样，它们是斑岩型铜钼矿床（木吉村）、夕卡岩型铜铁矿床（铁岭、东沟、浮图峪等）和热液叠加夕卡岩型铜（铁）矿床（小立沟、浮图峪、鸽子岭）。共有大、小矿体190余个，分布于闪长玢岩体及相关的构造夕卡岩带中，总体绕古火山构造呈带状展布（图2-88）。

（一）斑岩型铜（钼）矿床

1. 矿体及其分布

矿床分布于木吉村及其周围一带，受闪长玢岩控制，产于其主体“蘑菇柄”及其接触交代的夕卡岩中，共有斑岩-夕卡岩型铜、钼、铁、硫、锌等矿体62个，以斑岩铜（钼）矿体为主。矿体分布与蚀变带一致，具明显分带性。斑岩铜（钼）矿体分布于“岩柄”中下部钾化蚀变带中，钼矿体赋存在钾长石 石膏亚带，铜（钼）矿体主要产于黑云母亚带。而硫铁矿体产于硅化-青磐岩化带，还零星分布于玢岩枝体或边缘裂隙带中。主矿体为斑岩铜钼矿体，南北长750m，东西宽185～830m，厚度达200余米，为一分支复合膨缩剧烈的不规则体。矿体走向NNE，向SE倾，倾角20°～30°左右。

2. 矿石物质成分及组构

矿石有铜矿石、铜钼矿石、钼矿石和黄铁矿矿石四种类型。矿石中金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、辉银矿等。铜矿石中黄铜矿含量高，辉钼矿含量少；铜钼矿石则钼高铜低。非金属矿物主要有石英、绢云母、水云母、钾长石、斜长石等。矿石组构呈细粒结构，浸染状构造。主要成矿元素为Cu，伴生有Mo、S、Fe、Zn等。平均品位Cu为0.34%～0.55%，Mo为0.037%～0.142%。

（二）接触交代型铜铁矿床

1. 矿体及其分布

矿体分布受闪长玢岩“蘑菇顶盖”外带的钙（镁）夕卡岩带控制，赋存在透辉透闪石夕卡岩带，覆于热液叠加夕卡岩型铜（铁）矿床之上，沿舌状、分支状青磐岩化闪长玢岩—断裂（F_4）—夕卡岩带展布于鸽子岭 铁岭、浮图峪-茅儿峪一带。

矿体主要受原岩（寒武、奥陶系灰岩）层间构造控制，多呈似层状、透镜状、瘤状，部分受断裂带控制，呈脉状产出。矿体分支复合、膨缩剧烈，长度一般100～500m，宽50～200m，厚数米至数十米不等。矿体走向一般10°～40°，多向SE倾斜，倾角10°～20°左右，受断裂控制者倾角可达60°～80°（如茅儿峪矿体）。

2. 矿石物质成分

矿石分铁矿石、磁铁矿-黄铜矿矿石、铜矿石三种类型，以前两种为主。主要金属矿物为磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、自然铜、斑铜矿、闪锌矿，方铅矿少量。脉石矿物有透闪石、透辉石、石榴子石、蛇纹石、绿帘石、绿泥石、石英、方解石、滑石等。矿石具条带状、团块状、浸染状等构造。主要有用组分为Cu、Fe，其品位Cu 0.64%～0.76%，Fe 30.89%～34.98%。

（三）热液叠加接触交代型铜（镜铁）矿床

1. 矿体及其分布

矿体受“绿化”（绿泥石、绿帘石、透辉石化）夕卡岩带控制，产于夕卡岩铜铁矿体之下，沿F_1断裂带产出于鸽子岭-小立沟、浮图峪-茅儿峪一带（图2-89）。矿体呈脉状、囊状、不规则状，膨缩分支复合现象常见。最大延长可达800余米，一般50～360m，延深一般数米至200m，厚度由不足1m到32.96m不等。矿体产状受F_4控制，走向一般10°～37°，倾向SE，倾角40°～60°左右。在鸽子岭矿段，受围岩层面及层间构造控制，矿体呈层状、透镜状，倾角0°～20°左右。

2. 矿石类型

分铁铜矿石、铁矿石、铜矿石三种，以前者为主。具晶粒状、乳滴状、束状、交代等结构，条带状、块状、细脉浸染状构造。主要金属矿物为黄铜矿、镜铁矿、黄铁矿、磁铁矿、穆磁铁矿及少量硫钴矿、辉银矿、白钨矿等；主要非金属矿物为绿泥石、透辉石、绿帘石、石榴子石、透闪石、石英、方解石及蛇纹石、阳起石等。主要有用组分为铜，伴生有用组分为Fe、Au、Ag、Co、S等，Cu品位为

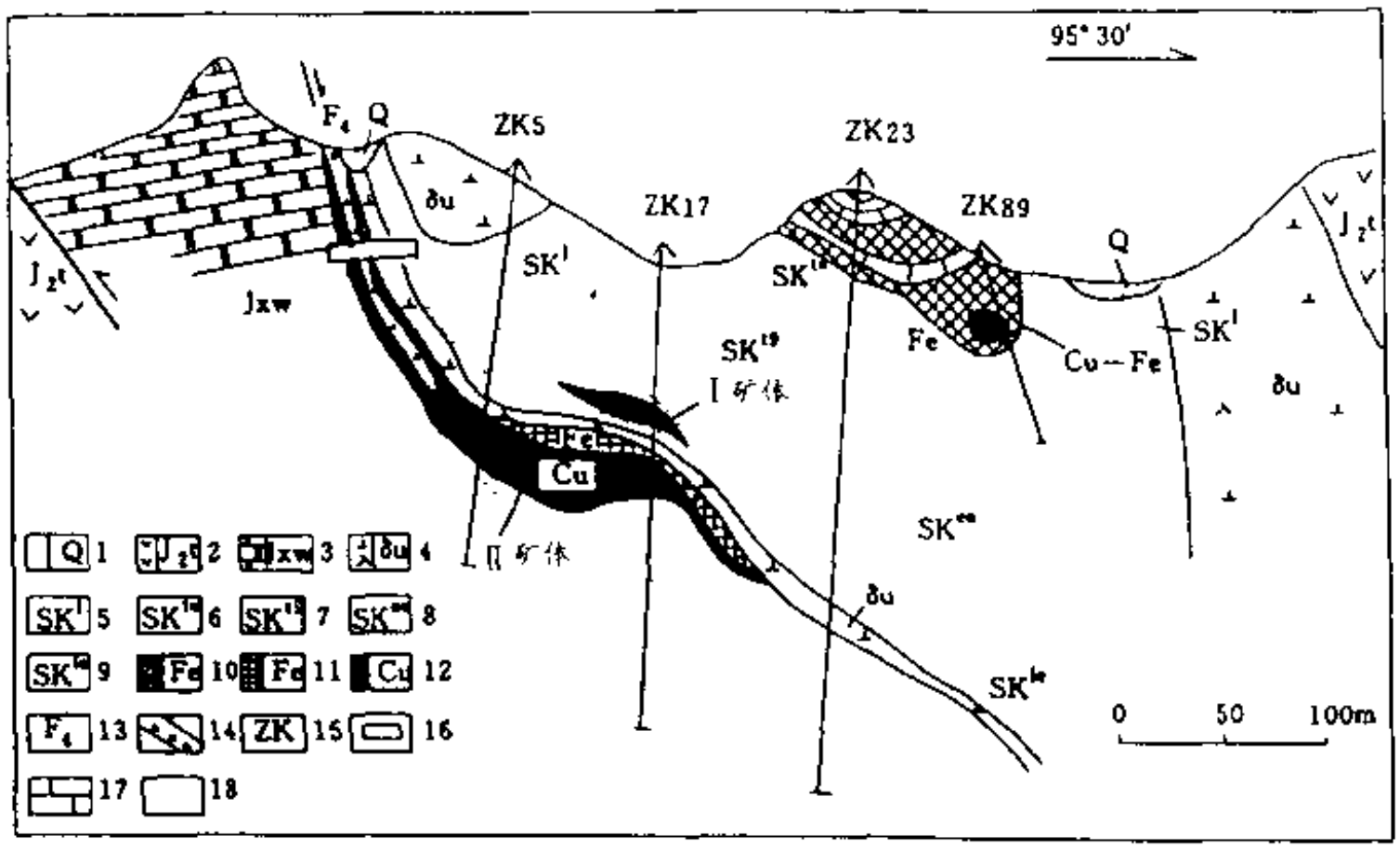


图 2-89 小立沟矿床（段）横剖面图

Fig. 2-89 Cross section of Xiaoligou Deposit

（据河北地质六队）(after Geological Team 6 of Hebei province)

1—第四系；2—侏罗系磨石山组安山岩、安山角砾岩；3—蓟县系雾迷山组白云岩；4—闪长玢岩；5 绿帘石夕卡岩，6 透闪石、透辉石夕卡石；7—透闪石、石榴子石夕卡岩；8—绿泥石、绿帘石、透辉石夕卡岩；9 绿泥石、绿帘石化夕卡岩，10 磁铁矿矿体；11—镜铁矿矿体；12—铜矿体；13 断层；14 断层破碎带；15 钻孔；16 坑道；17 寒武系灰岩；18—蚀变岩界线

1.15%～2.43%，TFe 含量为 18.89%～20.47%。

（四）近矿围岩蚀变

区内多期多阶段的构造-岩浆活动形成了多期多阶段的蚀变与矿化现象，主要的蚀变矿化与闪长玢岩有关。与闪长玢岩相关的热液蚀变类型区别于斑岩型热液蚀变和接触交代变质两类型。铜钼矿化受前者控制，铁铜及铅锌矿化受后者制约，二者既相对独立又相互联系，形成矿区复杂而又有规律的蚀变特征及分带现象（图 2-90）。

自岩体到围岩，由深而浅。其分带为石英核-钾化带-硅化带-青磐岩化带。钾化、硅化与斑岩型铜钼矿化关系密切。外蚀变带（接触交代类型）在闪长玢岩与寒武—奥陶系灰岩及灰质白云岩接触处形成一套钙质夕卡岩，沿断裂带（F_4）与白云岩接触处形成一套镁质夕卡岩，与泥质岩接触处则发生角岩化，以渗滤交代钙（镁）质夕卡岩为主。内夕卡岩不发育。其分带为夕卡岩带—蛇纹石化灰岩层（白云岩）带—石灰岩（白云岩）带。铁铜矿化主要与夕卡岩带相关。

四、成矿条件

（一）稳定同位素

硫同位素：矿区斑岩铜钼矿体（段）硫化物 $\delta^{34}S$ 为 0.4‰～2.6‰；夕卡岩含铜磁铁矿矿体（段）硫化物 $\delta^{34}S$ 为－3.3‰～0.6‰；热液叠加镜铁矿黄铜矿矿体（段）$\delta^{34}S$ 为 1.3‰～3.2‰，接近零值，在频率直方图上呈高塔式分布，显示单一深源岩浆硫特征，晚期热液铅锌矿的硫可能有沉积硫加入。

氢、氧、碳同位素：矿物包裹体的 δD 为－94.1‰～－148.4‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为－0.72‰～2.20‰，与岩浆水有一定偏离。

矿物的氧、碳同位素：外带夕卡岩成矿期 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 0.35‰～5.70‰，平均 3.01‰，与岩浆水接近；热液叠加成矿期镜铁矿阶段 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 0.57‰～－6.54‰，平均－4.53‰；硫化物阶段方解石（与黄铜矿共生）$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为－8.92‰～－10.64‰，平均－9.57‰；$\delta^{13}C$ 为－2.18‰～－2.94‰，平均－2.62‰，随成矿阶段推移，趋于降低，说明大气降水成分逐渐增加。

铅同位素：矿区铅同位素组成列于表 2-54。

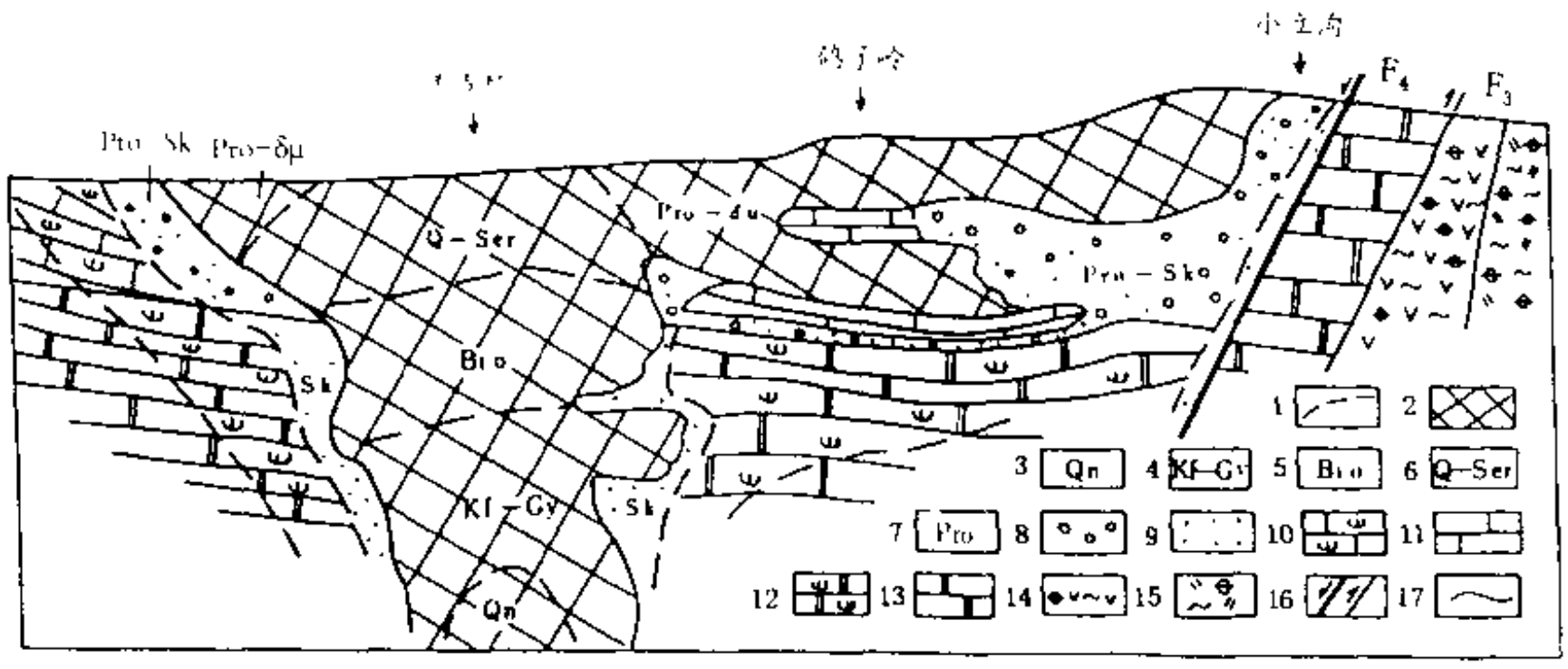


图 2-90　木吉村矿床蚀变分带模式图

Fig. 2-90　Sketch of alteration zoning in Mujicun deposit

1　蚀变带界线；2　蚀变闪长玢岩；3　石英核；4　钾长石-石膏亚带；5　黑云母亚带；6　石英绢云母带；7　青磐岩化带；8　"绿化"钙夕卡岩带；9　"绿化"镁夕卡岩带；10　蛇纹石化灰岩（∈）；11　-石灰岩（∈）；12　蛇纹石化白云岩（J_3zu　CH_g）；13　-白云岩（J_3zu　CH_d）；14　绿帘绿泥石化安山岩；15　绿帘绿泥石化二长斑岩；16　正、逆断层；17　构造不整合面为蚀变带（斑岩型热液蚀变类型）主要发育在闪长玢岩体内

表 2-54　矿区铅同位素组成

Table 2-54　Composition of lead isotope in ore district

样品位置	测定对象	产状			$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
本吉村	黄铁矿	内带	斑岩铜铝矿		16.336	15.195	36.292
茅儿峪	黄铜矿	外带	夕卡岩期	含铜磁铁矿体	16.860	15.031	37.109
	黄铁矿			含铜磁铁矿体	16.961	15.371	37.95
浮图峪	黄铜矿		热液叠加夕卡岩期	镜铁～黄铜矿体	17.072	15.378	37.272
	黄铁矿			镜铁～黄铜矿体	16.953	15.523	37.373
茅儿峪	辉铜矿			绿化夕卡岩铜铝矿体	16.709	15.209	36.672
周家叶	方铅矿		热液期	铅锌矿体	15.566	15.213	36.620
刺沟	方铅矿			铅锌矿体	16.576	15.248	36.718
茅儿峪	闪长玢岩	母岩		青磐岩化闪长玢岩岩枝	17.182	15.387	37.366

（据太行山科研队（1993），有改动）

铅同位素表明，矿床硫化物铅、闪长玢岩岩石铅均位于下地壳铅范围，表明其深源特点。

（二）包裹体成分及成矿介质条件

矿区内带斑岩型热液蚀变型硅化石英的包裹体中，热液成分阳离子以 K^+、Na^+ 为主，阴离子以 SO_4^{2-} 及 Cl^- 为主，气相成分以 H_2O 及 CO_2 为主。成矿介质为富含硫酸根和二氧化碳的高温（340℃）盐水体系，推测早期钾交代铜铝矿化阶段 K^+ 浓度会更高，这是钾化带异常发育的本质原因；外带接触交代夕卡岩阶段石榴子石包裹体成分以富钙（钠）、氯和水为特征，成矿介质为高温（450℃），中等盐度（12%）的弱酸性（pH 为 6.55）盐水体系；热液叠加期之镜铁矿、黄铜矿（方解石）包裹体成分更趋富钙、钠、氯，水仍是较主要组分，在镜铁矿、方解石中 HCO_3 上升为最主要组分；镜铁矿阶段成矿介质为高温（332℃）、高盐度（72%）的弱碱性（pH 为 7.58）溶液；硫化物阶段为中温（240～315℃）、中高盐度（7%～64%）的中—弱碱性溶液（pH 为 6.75～7.75），由包裹体成分及介质条件演变可以看出，接触交代系统从夕卡岩期到热液叠加期，介质成分中钙和碳酸氢根明显增加，钾、钠、氯、氟成

分减少，总盐度明显增加，碱性增强。介质条件变化受内带蚀变系统及围岩（寒武-奥陶系石灰岩）影响明显。

（三）成矿温度

1. 斑岩蚀变矿化类型（内带）

石英、绢云母及碳酸盐化温度范围为167～488℃，由于具工业意义的斑岩铜钼矿化主要与钾质蚀变相伴，其成矿温度应更高些，属高（中）温阶段。

2. 接触交代矿化类型（外带）

（1）夕卡岩期：温度范围为300～450℃，磁铁矿阶段为300～103℃（高温）。

（2）热液叠加（“绿化”）期：温度范围为177～386℃，镜铁矿阶段为328～386℃（高温），硫化物阶段为127～350℃（中温）。300～400℃、177～350℃两个高、中温阶段是外带成矿主期。因此，矿区主要成矿期为高温［内带斑岩型铜钼、外带夕卡岩型铁（铜）矿化］、中（高）温（外带热液叠加夕卡岩型镜铁-黄铜矿化）期，低温期在矿床外围发生热液脉型铅锌矿化。从早到晚，从岩体到围岩，由高温至低温，从斑岩型钼矿体-夕卡岩型铁（铜）矿体-热液叠加夕卡岩型铜（铁）矿体-热液脉型铅锌矿体，构成正向矿化序列。

五、成矿条件分析和矿床成因

（一）成矿时代

区内蚀变、矿化与古火山机构相伴并与次火山相闪长玢岩有成因联系。闪长玢岩成岩年龄（170Ma）可大致代表成矿年龄，故成矿时代为中侏罗世。

（二）成矿期次

木吉村铁铜钼多金属矿床主要属闪长玢岩蚀变矿化类型。斑岩铜钼矿化受内带斑岩型热液蚀变控制，从早到晚，由高温到低温可划分为钾交代（钾化）和氢交代（石英—绢云母化、青磐岩化）两个成矿阶段，钾交代阶段是铜钼矿主要成矿期。外带铁铜多金属矿化与接触交代有关，可划分为两个成矿期（夕卡岩期和热液叠加期），五个成矿阶段（夕卡岩阶段、磁铁矿阶段、镜铁矿阶段、石英 方解石-硫化物阶段、碳酸盐阶段）。夕卡岩期成矿组合为黄铜-磁铁矿，以铁为主，主要形成于磁铁矿阶段，与透闪石化相伴；热液叠加期成矿组合为镜铁-黄铜矿，以铜为主，主要形成于石英-方解石-硫化物阶段，与“绿化”相伴。总之，矿床以闪长玢岩为中心，自下而上，由内向外，形成斑岩型铜（钼、硫）-矿体-夕卡岩型铁（钼）矿体、热液叠加夕卡岩型铜（铁）矿体-热液型铅锌矿体的连续成矿系统，且出现正向分带的矿床组合，铜矿床应属斑岩型铜（钼）矿床。

六、找矿标志

本矿床是以斑岩型成矿作用为主的多成因复合矿床，其自身具有特殊的找矿标志，主要有：

岩浆岩标志：阜平变质核杂岩，“蘑菇状”闪长玢岩体以及与闪长玢岩同源的安山质火山岩建造（髫髻山组）与铜钼铁有直接的成因联系，视为找矿明显的地质标志。

构造标志：在强烈燕山运动影响下，太行山隆起加剧，乌龙断裂再次活动，在多组断裂控制下，形成了木吉村盆地和喷发型火山构造，它控制了岩体和矿化的定位，是找矿的有效标志。

地球化学标志：矿区内闪长玢岩Cu元素丰度达55×10^{-6}，各类岩石中黑云母铜元素丰度为150×10^{-6}，矿田内特有Cu、Mo、Au、Ag、Pb、W、Co的异常，有明显的浓集中心，是寻找同类矿床的直接标志。

地层标志：蓟县系雾迷山组和长城系高于庄组白云岩与闪长玢岩接触带及其夕卡岩指示了矿体的空间位置。

综上所述，本矿床是以斑岩型（Cu、Mo）为主的接触交代型（Fe、Cu）和热液型（铅锌）复合叠加的复成矿床，就铜矿床来说属斑岩型。

第十九节　内蒙古陈巴尔虎旗八大关铜矿床

一、大地构造单元

矿区位于额尔古纳兴凯地槽褶皱带西部中蒙边境的内蒙古一侧，乌审旗深断裂通过本区。沿额尔古纳河东侧，出露连绵达200余公里的海西—燕山期花岗岩带，矿床位于该花岗岩带中段的蓝山期花岗斑岩体中（$\gamma\pi_3^{3-1}$）。

二、矿区地质

（一）地层

矿区内仅见泥盆系上统大民山组（D_3d），呈NE—NEE向带状分布，倾向SE，倾角35°～50°。岩石主要有斜长片岩、流纹质凝灰熔岩、安山玢岩、凝灰角砾岩，并夹有薄层灰岩、黑色板岩。该地层遭受不同程度的区域变质作用，在构造-岩浆带附近，形成片理化变质晕。

（二）构造

矿区内以断裂构造为主，褶皱构造次之。断裂有NE和近EW向两组较发育，其交叉部位为成矿的石英闪长岩侵入的通道，为导浆导矿构造，旁侧的片理化带为储矿构造。

褶皱有八大关背斜，轴向NEE—近EW，核部为中泥盆统乌奴尔组，翼部为上泥盆统大民山组。海西晚期花岗岩及燕山早期石英闪长岩沿背斜轴部侵入。次一级褶皱为青石山向斜和八五八背斜，它对控矿作用不明显。

（三）侵入岩

矿区内侵入岩广泛发育，以华力西晚期为主，燕山早期次之，并有后期脉岩侵入。华力西晚期八大关花岗岩体，沿八大关背斜轴部侵入，总体走向北东东转向北东，长约8km，宽1.5～3km、面积约16km^2。岩石主要为花岗斑岩、花岗闪长岩和花岗岩。

花岗斑岩（$\gamma\pi_4^{3-1}$）是成矿母岩直接侵入的围岩，呈NE向展布，面积1.3km^2。岩石呈白色，细粒斑状结构，块状构造，由斜长石、石英、黑云母组成。岩石具石英化、绢云母化，黄铁矿化，且有较好的铜钼矿细脉。

花岗闪长岩（$\gamma\pi_4^{3-2}$）分布于成矿母岩的周围，出露面积9.7km^2。岩石呈灰白色、中细粒花岗结构，主要由斜长石、角闪石、黑云母和石英组成。副矿物有屑石、磷灰石、锆石。岩石片麻状构造发育，片理化和青磐岩化普遍，在其与成矿母岩接触带附近，因受动力和热液影响，具绢云母化、黄铁矿化，在有利地段构成矿体。

花岗岩（$\gamma\pi_4^{3-3}$）位于矿区西部和北部花岗闪长岩的边缘，岩石呈浅肉红色，中粒花岗结构，由长石、石英、黑云母等组成。副矿物有磷灰石、磁铁矿和少量榍石。岩石局部石英化、绢云母化、青磐岩化、Ⅲ号Ⅳ号矿化蚀变带位于其中。

燕山早期侵入岩——石英闪长岩（$Q\delta_5^2$）为成矿母岩，出露面积为2.18km^2，区内共见两处，分别为1号和2号岩体，1号岩体呈NEE转NE向延伸，长2500m，宽250m，出露面积0.96km^2，加上北东端的潜伏面积为1.87km^2。为中浅成侵入体，倾角较陡，岩石呈黄褐色，半自形近等粒结构，由斜长石、石英及暗色矿物组成。副矿物为磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石、金红石等。自变质广泛发育和蚀变分带明显，由中心向外缘，蚀变由强变弱。具石英化、绢云母化、伊利石化、水白云母化、青磐岩化、铜钼矿化。

2号岩体与1号岩体特征基本相似，但规模较小，长轴呈NEE向，长1500m，平均宽200m，面积0.31km^2。

（四）矿床地质

1. 矿化特征

1号与2号岩体几乎全岩矿化，矿石蚀变较强，但其原岩都是石英闪长岩。1号岩体中赋存的矿体与岩体相似，长达2300多米，出露厚度达200～250m；2号岩体中赋存的矿体长在1500～1200m之间，

宽约 200m 左右，铜钼矿体在岩体内以叠瓦状排列（图 2-91）。

矿床铜平均品位 0.4%～0.5%，钼 0.05%～0.065%。在每个矿化岩体中可以圈出若干个矿体，每个矿体的具体特征如下：

Ⅰ号带：位于矿区北部，走向 NE50°～60°，倾向 NW，倾角 60°，长 2300m，宽 80～350m，延深大于 500m。该带原岩为石英闪长岩和花岗闪长岩，蚀变分带明显，以钼矿为主，铜矿次之。钼矿体长一般 200m，厚度小于 1.5m，铜矿体长 200～150m，最厚达 5.3m。

Ⅱ号带：位于Ⅰ号带的南侧，走向 NEE，北部向 NW 倾，南部向 SE 倾，倾角 15°～60°。带长 400m 和宽 300～600m，延深大于 500m。该带北部地表出现分支，NE 向分支延长较远，NEE 向分支较短。西南端出现急骤尖灭。为八大关矿区铜钼矿体工业储量较多的一个矿带。

Ⅲ号带及Ⅳ号带：位于矿区西端，呈 NE 向带状分布，分别长 800m 和 500m，宽 250～300m、150～200m。矿化蚀变相对较弱，工业矿体少见。矿带特征请参见图 2-91。

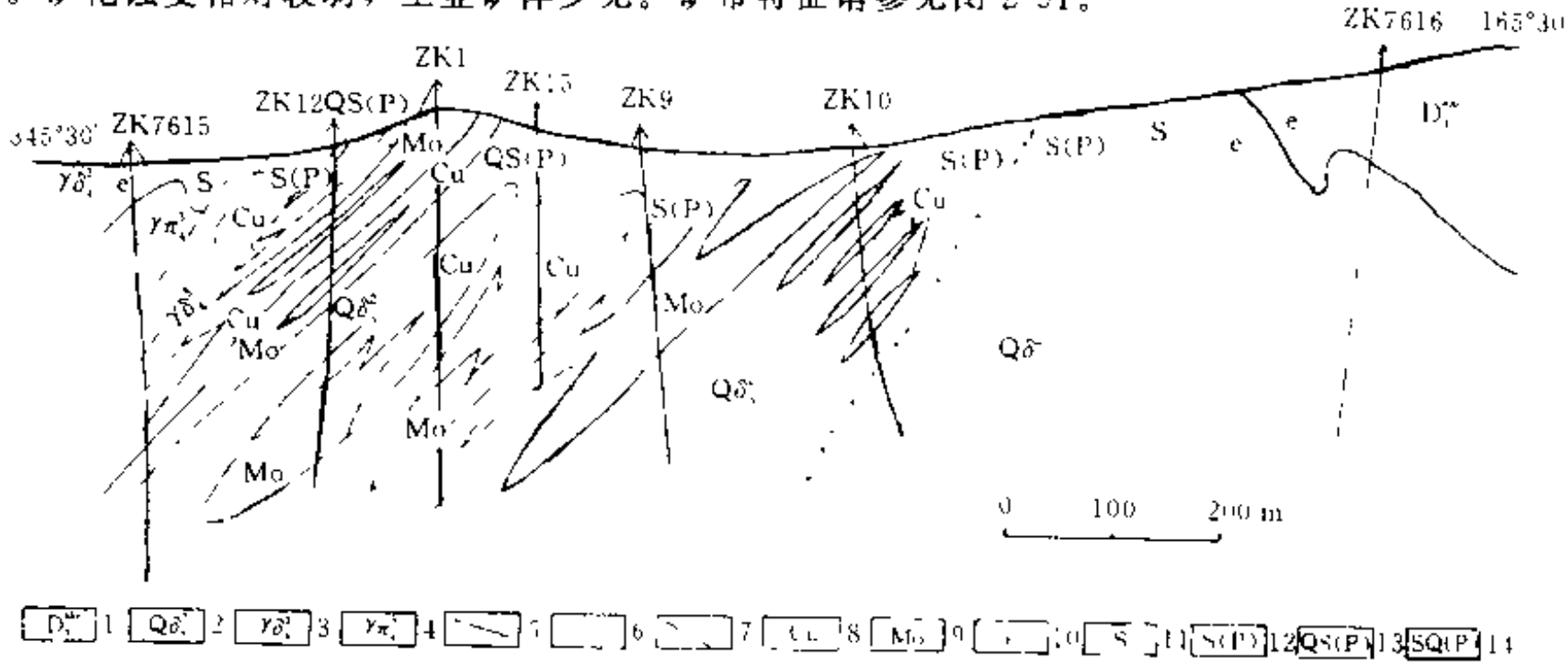


图 2-91 八大关 243 线剖面图

Fig. 2-91 Profile of exploratory line 243 in Badaguan deposit

（据内蒙古 116 队，1988）(after Geological Team 116 of Inner Mongolia, 1988)

1—中酸性火山岩；2—石英闪长岩；3—花岗闪长岩；4 花岗斑岩；5 地质界线；6—蚀变界线；7—断层；8—铜矿体；9—钼矿体；10—青磐岩化带；11 过渡带；12—浸染状褐铁矿石英绢云母化带；13 孔雀石褐铁矿石英细脉石英绢云母化带；14—褐铁矿石英大脉石英绢云母化带

2. 矿石矿物成分及结构构造

金属矿物：黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿；次生矿物：褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、辉铜矿等。

矿石具交代溶蚀结构、网状结构、自形结构、胶状结构，细脉状构造和浸染状构造。

3. 围岩蚀变

八大关铜钼矿床的蚀变有石英化、钾长石化、绢云母化、褐铁矿化、青磐岩化，蚀变具明显的分带性，从中心（石英闪和长岩）向外为：

内带（强硅化带）：孔雀石辉钼矿石英巨脉石英-绢云母化带（石英核）：位于石英闪长岩和花岗闪长岩中，其外缘为钼矿体主要赋存部位。

中带（石英-绢云母化带）：褐铁矿石英大脉石英-绢云母化带→孔雀石褐铁矿石英细脉-绢云母化带→浸染状褐铁矿石英-绢云母化带。位于石英闪长岩和花岗闪长岩中，为铜钼矿体的主要赋存部位，钼富集在该带内缘，铜富集在该带外缘。

外带（青磐岩化带）：分布于石英-绢云母化带的外围，位于花岗斑岩、花岗闪长岩、花岗岩及中酸性火山熔岩中。有弱的铜、铅、锌矿化。

4. 成矿条件

经硫同位素样品测定，$\delta^{34}S$ 在 0.5‰～3.0‰范围内变化，平均值为 1.9‰，具塔式图特征，说明硫

来源于深部，有较弱的分馏现象。

据石英包裹体爆裂温度测定，各种产状的石英包裹体均一化温度分为三组：第一组为 162～205℃；第二组为 257～336℃；第三组为 302～392℃。铜钼矿是在第二组温度下形成的。

黄铁矿爆裂温度，经 5 个样品测定结果，在 210～280℃，主要在大于 250℃，小于 300℃区间内变化

总之，该矿床具明显的蚀变分带现象，矿化母岩为来自深源被动侵位的小型中酸性岩体，其矿物组合和成矿元素组合特征，是典型的斑岩型铜钼矿床。

第二十节　内蒙古科尔沁右翼中旗布敦化铜矿床

一、大地构造单元

矿区位于新华夏系大兴安岭隆起带西南延伸的中段，与哈德营子—布敦化区域性东西向构造带的交汇部位。矿区包括北部孔雀山矿段和南部金鸡岭矿段。

二、矿区地质

（一）地层（图 2-92）

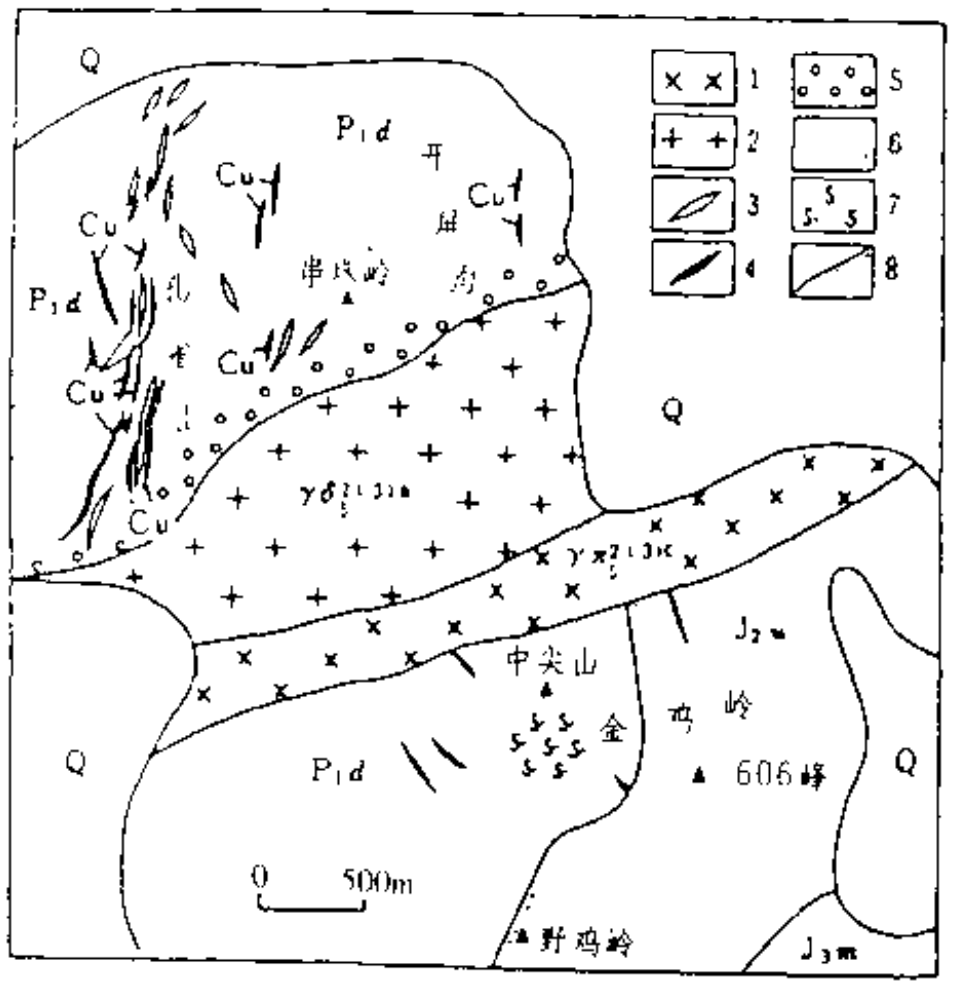


图 2-92　布敦化铜矿床地质图

Fig. 2-92　Geological map of Budunhua copper deplsit

（据内蒙古 115 队资料改编）

(adapted after Geological Team 115 of Inner Mongolia)

Q　第四系；J_2w—中侏罗统万宝组；J_3m—上侏罗统满克头鄂博组；P_1d—下二叠统大石寨组；1—燕山期花岗斑岩；2—燕山期黑云母花岗闪长岩；3—闪长玢岩脉；4—铜矿脉；5—角岩；6—角岩化；7—电英岩化；8—不整合界线

出露地层为下二叠系统的浅海相复理石建造、碎屑岩建造，火山岩及少量碳灰岩，分为青凤山组和大石寨组。

青凤山组（P_1q）是一套变质砂岩、板岩，中部夹有片理化凝灰变质砂岩，上部有结晶灰岩，韵律层较发育，出露厚度一般不小于 1400m，该组地层是孔雀山矿床主要围岩。

大石寨组（P_1d）为片理化凝灰质砂岩及火山凝灰岩和硅质岩组成，在本区出露厚度为 680m，主要分布在金鸡岭矿区。

中侏罗统万宝组（K_2w），主要岩性为厚层砂岩夹含砾砂岩、粗砂岩，上部为细砂岩、粉砂岩及泥岩，本区出露厚度为 900m，是金鸡岭矿床的主要围岩。

呼日格组（K_2h），下部中酸性含角砾晶屑凝灰岩夹流纹岩、凝灰质砂岩及安山岩，上部为角砾状凝灰熔岩夹凝灰质砂岩。

（二）构造

矿区构造以 EW 向与 NNE 向为主，形成三个挤压带，均呈 NE 向展布，由北至南分别为草格吐-查顺花挤压带、布敦化挤压带和五九山冲断带。分布在矿田中部的布敦化复式背斜，是布敦化挤压带的主要组成部分，其轴部为布敦化杂岩体，北西翼地层以青凤山组为主。南东翼地层以大石寨组为主，由于后期构造活动伴生有近 SN 向和近 EW 向的扭裂、NW 向的张裂构造。其中 SN 向复合破裂带及 NW 向扭张破裂带分别为孔雀山矿区和金鸡岭矿区的主要构造。

（三）侵入岩

布敦化杂岩体由黑云母花岗闪长岩、斜长花岗斑岩及花岗斑岩组成。斜长花岗斑岩隐伏于金鸡岭矿区下部。此外，中酸性脉岩闪长岩、闪长斑岩、安山岩等亦较发育。

1. 杂岩体的期次划分与岩体时代

布敦化杂岩体中的花岗斑岩呈岩墙状产出，与其北侧的黑云母花岗闪长岩呈侵入接触关系。而隐伏于金鸡岭矿区之下的斜长花岗斑岩与前者无接触关系。据 Rb-Sr 法同位素资料，三者年龄吻合，属同源不同期次产物，斜长花岗斑岩 Rb-Sr 等时线年龄为（166±2）Ma，相关系数 Y 为 0.9998。这三类岩石化学成分特征，如 Si、Al、Ti、Fe、Mg、Ca 及 Na/K 以及稀土元素也均表现出良好的演化关系。因此，可确定布敦化杂岩体的第一阶段为黑云母花岗闪长岩，第二阶段为斜长花岗斑岩，第三阶段为花岗斑岩。第一、第二阶段岩体伴有铜矿化，第三阶段未见明显的矿化。

区内中酸性脉岩，如闪长玢岩、安山玢岩及黑云母闪长岩等较发育，多数是成矿前形成的。

2. 岩石化学特征

岩石的硅酸盐全分析资料表明，各阶段岩体化学成分的演化有以下规律：

（1）SiO_2 含量呈增长趋势，显示岩浆向酸度方向演化；

（2）Al_2O_3 含量逐渐减少；

（3）岩浆向贫 Ti、Fe、Mg、Ca 方向变化；

（4）Na 含量变化不大，K_2O+Na_2O 含量为 7.%～7.24%，但 $w(Na_2O)/w(K_2O)$ 值则呈规律性下降，由 1.52→1.09→0.73。据等离子光谱、X 射线荧光光谱及化学方法的定量测定，各阶段侵入岩中 Cu、Pb、Zn 等元素丰度较高，尤以斜长花岗斑岩最高，与中性岩、酸性岩的维氏值相比，Cu 为 4～35 倍，Zn 为 6～14 倍，Pb 大于 13～15 倍，Ag、Au 也有较高的丰度，W、Sn、Nb、Ta、Co、Mo 的含量不高。

3. 稀土元素组成

区内黑云母花岗闪长岩、斜长花岗斑岩和花岗斑岩的 ΣREE 含量分别为 299.6×10^{-6}、177.65×10^{-6}和 134.63×10^{-6}，$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$分别为 2.66、3.05、3.75，轻稀土富集，球粒陨石标准化稀土分配型式呈右倾海鸥形曲线，其中斜长花岗斑岩和花岗斑岩铕的亏损较小，但黑云母花岗闪长岩具有较强的铕亏损。闪长玢岩、安山玢岩等脉岩具有相近的稀土分配型式。表现为轻稀土富集、δEu 为 0.78～0.98，$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$值为 2.4～4.6，稀土总量为 130×10^{-6}～160×10^{-6}（图 2-93）。

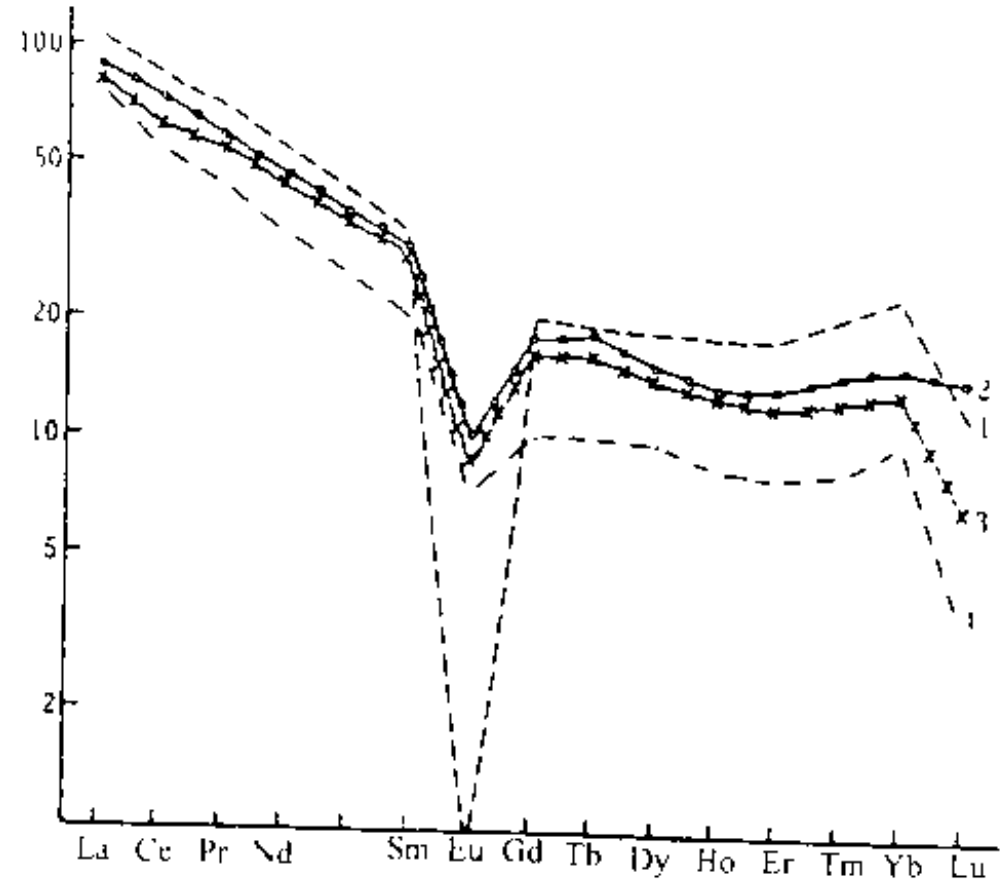


图 2-93 布敦化杂岩体的球粒陨石标准化 REE 分布型式

Fig. 2-93 Chondrite-normalized REE pattern of Budun Hua complex

1 黑云母花岗闪长岩；2、3—斜长花岗斑岩；4—花岗斑岩

三、矿床地质特征

布敦化铜矿床是一个与燕山期布敦化杂岩体有关的岩浆火山高-中温热液矿床，其成矿作用相当于斑岩型与火山热液型的过渡类型。空间上受构造控制。常与次火山岩相伴赋存。

布敦化铜矿床包括网脉浸染状铜矿体和脉状铜矿体两类，前者构成金鸡岭矿段，后者见于孔雀山等矿段。

（一）金鸡岭网脉浸染型铜矿段

金鸡岭矿段铜矿化东西长 3000m，南北宽 1500m，矿化较分散，矿石较贫，铜品位一般在 0.2%～0.5%。矿体埋深通常为 250～300m，最大埋深为 600m。

1. 矿体形态

矿体赋存于斜长花岗斑岩的内外接触带中，主要在外带（图 2-94）。矿体围岩除斜长花岗斑岩外，还有砂岩、含砾砂岩、凝灰质含砾砂岩等。矿化受斜长花岗斑岩形态及二叠系和侏罗系不整合面的控

制。在岩体突出与凹陷部位的外接触带矿化较好，尤其是在二叠系与侏罗系的不整合面上矿化富集（图 2-94）。矿化主要为浸染状及细脉状。据品位圈定矿体形态复杂，有透镜状、树枝状、网状等，常以脉带形式出现。单矿体长几十至百余米，厚 1～3m。

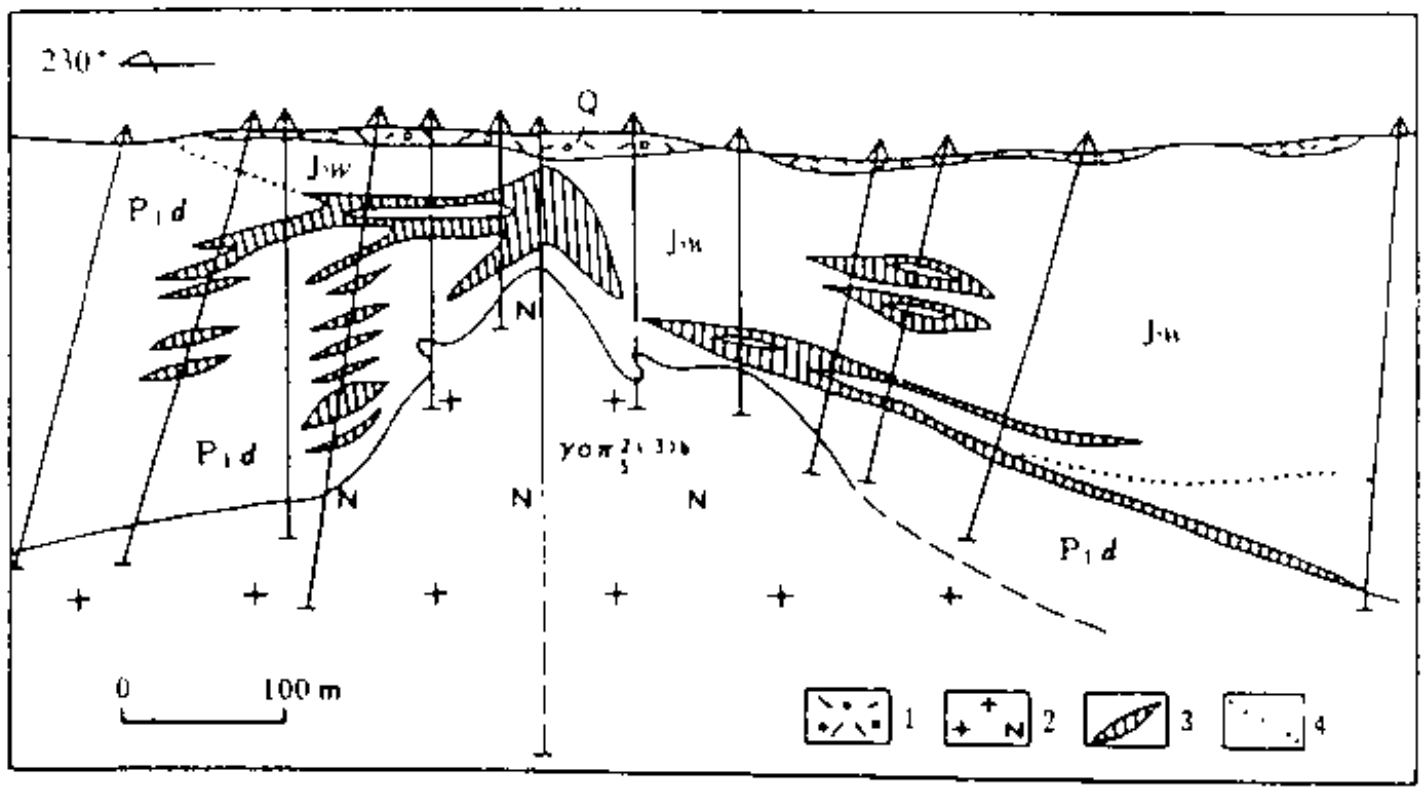


图 2-94　金鸡岭矿段地质剖面图

Fig. 2-94　Geological profile of Jinjiling ore block

（据内蒙古 115 队资料改编）(adapted after eological Team 115 of Inner Mongolia)

J_2w　中侏罗统万宝组；P_1d－下二叠统大石寨组；1　第四系；2　燕山期斜长花岗斑岩；3－矿体；4　不整合界线

2. 矿石物质组分

矿石矿物有黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、斜方砷铁矿、黄铁矿等。脉石矿物主要有石英、长石、角闪石、黑云母、绿泥石、方解石、电气石等。矿石含铜一般 0.3%～0.5%，伴生有益组分 Ag 达 17.5×10^{-6}，Au 0.48×10^{-6}，In 0.0052%。伴生元素常以类质同像形式赋存在黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等矿物中。

3. 矿石结构构造

矿石以半自形晶粒结构和交代熔蚀结构最重要，次为交代残余结构、变晶结构、固溶体分解结构等。矿石构造主要为细脉状和稀疏细脉浸染状，部分为斑杂状。

4. 成矿阶段

成矿作用可分 4 个阶段：

磁黄铁矿-黄铜矿阶段是最重要的铜矿化阶段；

磁黄铁矿-闪锌矿-方铅矿-黄铜矿阶段；

黄铜矿-黄铁矿阶段；

黄铁矿-碳酸盐阶段。

5. 围岩蚀变及其分带

区内广泛发育——套高温到中低温的蚀变，包括钾长石化、黑云母化、电气石化、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、高岭土化等。自岩体向外可分为下列蚀变带：

在斜长花岗斑岩体内有钾长石化、黑云母化、电气石化带；

在外接触带含砾砂岩、变质砂岩中靠近岩体处为硅化-电气石化带；

远离岩体为绢英岩化带；

绢云母-绿泥石-碳酸盐化带。其中绢英岩化带与矿化关系最为密切。

上述特征表明，金鸡岭铜矿段与国内的一些斑岩型铜矿床有相近的矿床地质标志。

（二）孔雀山脉型铜矿段

孔雀山矿段位于矿区西北，南北长 1.8km，东西宽 0.8km。脉状矿体产在离岩体 1~2km 的围岩中，赋矿围岩主要为角岩化的变质砂岩、板岩、黑云母角岩以及闪长斑岩、黑云母闪长岩等。孔雀山矿段内查明矿脉 12 条，大致呈南北向陡倾斜产出，矿体露头海拔最高 310m，最低 280m，一般 300m 左右。

1. 矿体形态与规模

矿体以不规则弯曲的大脉为主，在脉侧围岩中有广泛的网脉状矿化。矿体一般长数百米，最长达 1000 余米，一般延深 200～300m；矿体厚一般 3～5m，最厚可达 26m 以上。矿脉自南向北近于雁行排列，在铜矿体上部叠加有铅锌矿体。主矿体在 25 线以北向北侧伏，在矿体北面深部可能有新的矿体存在。

2. 矿石物质组分

矿石金属矿物以黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、斜方砷铁矿、毒砂为主，辉铋矿、自然铋、方铅矿、闪锌矿次之，墨铜矿、砷黝铜矿、辉铅铋矿、磁铁矿、钛铁矿、金红石等少量；脉石矿物以石英、长石、黑云母为主，角闪石、绢云母、绿泥石次之，红柱石、磷灰石、阳起石、绿帘石、碳酸盐、电气石、榍石、锆石、萤石、独居石、磷钇矿等少量。

常见矿物组合有斜方砷铁矿-毒砂-黄铜矿组合，脉石矿物以石英、钠长石-黑云母为主；磁黄铁矿-黄铁矿-黄铜矿组合，脉石矿物以石英为主；还有闪锌矿-黄铁矿-黄铜矿组合和磁黄铁矿-闪锌矿 辉铅铋矿-方铅矿-黄铜矿组合。以前两种共生组合为主，各矿脉均可见到。后两种组合分布较为局限。不同矿物组合反映多阶段成矿特征。

3. 矿石结构构造

矿石结构有细—中粒半自形粒状结构，交代残余结构，固溶体结构及包含结构等，其中以自形粒状结构和交代残余结构为主；矿石构造有网脉状、致密块状、斑杂状、角砾状及细脉浸染状等，其中以致密块状、斑杂状构造为主。

4. 成矿阶段与矿化分带

成矿可分 4 个阶段：

黄铁矿-黄铜矿阶段；

毒砂-黄铜矿阶段；

方铅矿-闪锌矿-黄铜矿阶段；

黄铁矿-碳酸盐阶段。矿化自下向上具有顺向分带现象，高温组合的矿化在下，低温组合的矿化在上；在黄铜矿-磁黄铁矿矿体的上部有方铅矿-闪锌矿矿体的叠加。

5. 围岩蚀变

以硅化、黑云母化、绢云母化、钠长石化为主，碳酸盐化、黄铁矿化、绿泥石化次之。以矿体为中心，形成与之相似的蚀变矿物晕。宏观上大致可划分两个蚀变带，即以矿体（矿化带）为中心的内带是强蚀变带，宽度一般几米至几十米，外带是弱蚀变带，宽度一般几十米。强蚀变带为黑云母硅化带，钠长石化亦较发育；弱蚀变带为绢云母硅化带，并有绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化等。

四、成矿条件

（一）矿物流体包裹体地球化学

1. 包裹体特征

对矿区内矿物流体包裹体研究和测定结果表明，孔雀山矿段与金鸡岭矿段矿物流体包裹体具有相似的特征。它们普遍存在液相、气相及具盐晶（子矿物）的三相型包裹体。包裹体气液比变化大，从 10%～90%，常见均一成气相与均一成液相包裹体并存，高气液比与低气液比的包裹体并存和高盐度与低盐度的包裹体并存的现象。资料表明在成矿过程中，温度在 170～198 ℃，184～208 ℃，420～430 ℃等区间成矿流体发生过沸腾。无疑，成矿流体的沸腾对金属元素在成矿流体中的沉淀富集起了有益的作用。

2. 成矿温度、盐度、密度和压力

区内包裹体均一温度和流体的盐度变化范围很大，均一温度为 600～100℃，盐度 w(NaCl)为 58.～5.1%。流体密度为 0.85～1.11g/cm³。均一温度直方图具有三个以上峰值。温度-盐度-流体密度关系图也具有三个集中区，表明成矿作用过程中至少有三次矿化活动，三者在温度、盐度上均有较大差异。第一阶段矿化活动，成矿温度主要在 520～560℃，盐度 w(NaCl)为 45%～50%，密度大于 0.9g·cm³，多数包裹体均一为气相，代表了成矿作用气成阶段的地球化学参数；第二阶段矿化活动发生在 470～310℃，盐度 w(NaCl)为 36%～58%，密度为 0.96～1.11g/cm³，代表了中高温热液矿化阶段的地球化学参数；第三阶段成矿温度较低，发生在 310～140℃，盐度 w(NaCl)也较低(19.3%～5.1%)，代表了中低温热液矿化阶段。区内金鸡岭矿段和孔雀山矿段的矿化形式虽然完全不同，(前者为网脉浸染状，后者以大脉状为主，但二者包裹体地球化学特征是一致的)。

据 NaCl-H_2O 体系 p-t-x 相图估算区内成矿时期的压力为 (110～400)×10⁵Pa，成矿初始压力较低，正反映了成矿是在近于开放系统中进行的。

3. 流体包裹体成分及据其计算的氧化还原参数

用气相色谱仪和液相色谱仪分析的流体包裹体结果看出，气体主要成分是水蒸气，H_2O 的摩尔百分数占总含量的 98%以上，排除最大含量的 H_2O 外，CO_2 占其他成分的 80%左右。因此，可以认为布敦化矿床是富 CO_2 型的成矿流体。

包裹体液相成分表明，成矿溶液中阳离子主要为 K^+、Na^+和 Ca^{2+}，阴离子主要为 F^-、Cl^-和 SO_4^{2-}，因此，成矿溶液属富 CO_2 的 NaCl-KCl-$CaSO_4$-H_2O 体系。

据流体包裹体成分资料计算得出的氧逸度 f_{O_2} 为 10^{-33}～10^{-32}Pa，成矿流体从弱还原环境的磁黄铁矿-黄铜矿阶段向中性环境的方铅矿-闪锌矿-黄铜矿阶段转变。

(二) 稳定同位素地球化学

硫同位素特征：矿床分析硫同位素样近 40 个，涉及黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂等。除个别晚期脉岩(闪长玢岩中-黄铁矿 $\delta^{34}S$ 为−9.27‰)和矿石中的黄铜矿、方铅矿有较大的负值外，绝大多数样品值 $\delta^{34}S$ 为−2‰～1‰，平均为−0.9‰，表明主要成矿期的硫源单一，来自深源，且成矿过程中介质的物理化学性质变化不大。

氢、氧、碳同位素特征：据矿石中石英的氢、氧、碳同位素分析，其 $\delta^{18}O_{SMOW}$为 7.9‰～11.5‰，计算的成矿流体 $\delta^{18}O$ 为 3.6‰～7.8‰，矿物包裹体水的 δD 为−73‰～−83‰，CO_2 气体的 $\delta^{13}C$ 为−14.2‰～−18.8‰。据王关玉研究结果，本区中生代平均大气降水的 $\delta^{18}O$ 为−16‰，并假定岩浆水的平均 $\delta^{18}O$ 为 7‰，由此从计算出成矿热液中大气降水在热液水中各阶段的比值，可以看出早期成矿阶段，也就是成矿的主要阶段(磁黄铁矿-黄铜矿)成矿热液中基本不含大气降水，而晚期方铅矿-闪锌矿-黄铜矿成矿阶段约有 20%的溶液来自大气降水。碳同位素有较大的负值也表明在成矿过程中有有机碳的掺入。

锶同位素：对布敦化斜长花岗斑岩、黑云母花岗闪长岩和花岗斑岩进行了 Rb-Sr 同位素测定。通过斜长花岗斑岩 5 个样品得出的初始$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.7055±0.00007，加上黑云母花岗闪长岩和花岗斑岩各一个样品得出的初始$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.7053±0.00016，同样具有良好的线性关系，相关系数仍可达到 0.9939。现今上地幔的$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值平均为 0.7037，一般认为初始$^{87}Sr/^{86}Sr$<0.705 者为幔源，>0.710者为壳源。把本区的锶同位素初始值投影在上地幔及大陆壳同位素的演化图中，其点落入玄武岩源区。因此，上述资料可表明：区内三类岩体是同源岩浆产物；区内岩浆岩可能属起源于上地幔的玄武岩源的演化产物。

铅同位素：对矿区三个方铅矿进行铅同位素测定，其结果见表 2-55。三个样品在铅同位素关系图上的投点均落在地幔线附近，单阶段铅模式年龄与斜长花岗斑岩的 Rb-Sr 年龄(166Ma)相比，其中二个样品小于斜长花岗斑岩的 Rb-Sr 年龄，一个则稍大于岩体的 Rb-Sr 年龄。三个样的平均模式年龄约 145Ma，可能基本代表了成矿年龄。

表 2-55　铅同位素组成表

Table 2-55　Composition of lead isotope

样号	^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	μm	Th/U	模式年龄 a
BK108	1.3730	25.1305	21.3007	52.1949	18.276	15.491	37.959	9.26	3.58	128
BK32	1.3767	25.123	21.3071	52.1931	18.248	15.476	37.911	9.21	3.37	130
806-125	1.371	25.075	21.301	52.253	18.290	15.537	28.113	9.35	3.65	176

（三）成矿作用与矿床成因

1. 布敦化铜矿的形成与燕山期中酸性杂岩体的演化密切相关。随着燕山期多次构造活动，具有地幔物质来源的深部岩浆房中经过充分分异的中酸性岩浆，沿着深大断裂系统多次上侵，形成浅成、超浅成布敦化杂岩体，并伴随着矿化作用。

2. 由于控矿构造因素上的差异，南北矿区在矿化形式上有明显的不同。在北矿区（孔雀山矿段）远离岩体的围岩中形成了受南北向破裂带控制的孔雀山脉状铜矿体；在南矿区（金鸡岭矿段）近岩体的围岩和岩体内部形成了受岩体接触面起伏和地层不整合面控制的金鸡岭网脉状和浸染状铜矿体。矿化特征基本上遵循着“岩体-网脉带-脉”这一斑岩矿床常有的矿化组合规律。

3. 布敦化铜矿成矿流体具有较高盐度 $w(NaCl)=5\%\sim50\%$ 和高密度（$>0.85g/cm^3$），基本上属岩浆水，成矿作用是在 600～150℃和压力（100～110）$\times10^5$Pa 条件下进行的。成矿时间为燕山早期（166～145Ma）。

4. 布敦化铜矿与我国著名的多宝山、德兴等斑岩型铜矿相比除成矿时代不同外，在成矿机制上有许多相似之处。因此，在成因类型上布敦化铜矿床属斑岩型铜矿床。

五、找矿标志

布敦化铜矿床的找矿标志可以概括以下几点：

1. Cu、Pb、Zn、Ag 等元素地球化学省的存在可视为Ⅰ级标志。据区域资料，大兴安岭隆起带的中段，包括哲盟北部、兴安盟和昭盟大部地区，达数千平方公里范围内主要为上二叠统分布区，地层中 Cu、Pb、Zn、Ag 等元素的背景高，一般高出地壳克拉克值的数倍，所以是 Cu、Pb、Zn、Ag 等金属重要成矿区。

2. 新华夏构造体系与东西向构造体系交汇部位是很好的控岩和控矿构造，可视为Ⅱ级找矿标志。

3. 燕山期多期次侵入-火山杂岩体发育地段，特别是分异性能好，富含挥发组分和成矿元素的岩体是直接找矿标志（Ⅱ级）。Ⅰ型浅成-超浅成相小岩体，在时间上往往与岩浆演化晚期阶段关系密切，常表现为一定成矿专属性。中酸性花岗岩以 Cu、Pb、Zn 为主。

4. 热液蚀变的发育程度，反映岩浆热液活泼的强度，蚀变矿物晕的范围与矿体规模成正比关系。无论在侵入岩的内带还是外带，（本区主要是外接触带）都是重要的赋矿靶区。

5. 浅成-超浅成中酸性岩脉常常与矿体伴生。除前述的构造关系外，还反映有成因上的联系。岩脉发育地段有矿体出现的几率高，也是找矿的重要标志。

第二十一节　内蒙古四子王旗白乃庙斑岩铜(钼)矿床

一、大地构造位置

白乃庙-温都尔庙地区位于徐尼乌苏与温都尔庙两大断裂之间的中新元古代岛弧南缘，华北陆块北缘的增生带（图 2-95）。

二、矿区地质背景

白乃庙群，岩石为具变余斑晶的绿片岩，经长春地质学院同位素实验室测得锆石 U-Pb 谐和年龄为（1130±16）Ma，属中元古代。

石英闪长岩呈块状或片麻状侵入于白乃庙群中（在白乃庙北），按其岩石化学和微量元素特征属

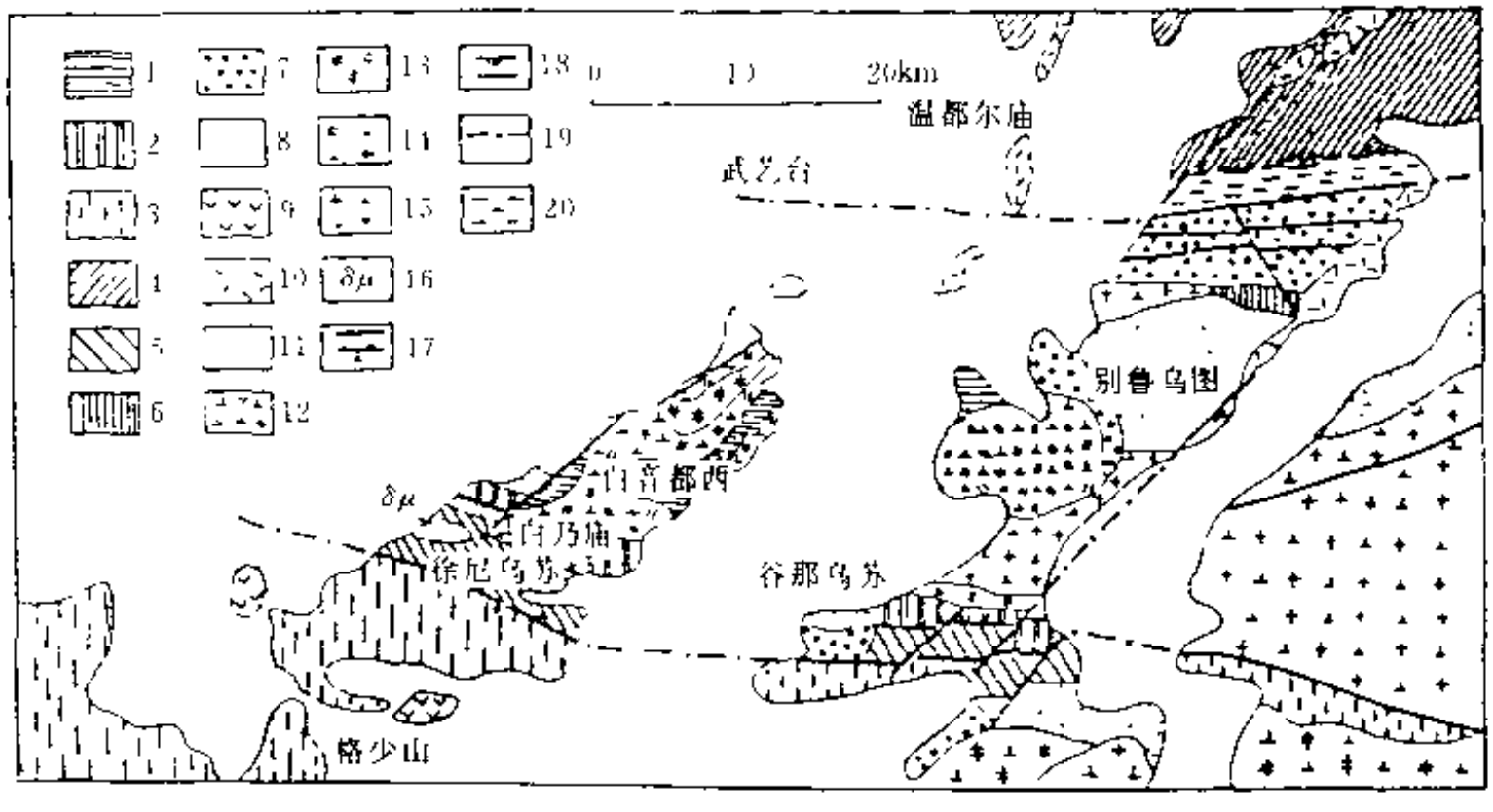


图 2-95 白乃庙-温都尔庙区域地质构造略图

Fig. 2-95 Regional tectonic sketch of Bainaimiao-Wenduermiao area

（据内蒙古 103 队修改）(after Geological Team 103 of Inner Mongolia)

1 中元古界白音都西群；2 中新元古界白乃庙群；3 中元古界白云鄂博群；4 下古生界温都尔庙群；5 - 中上志留统徐尼乌苏组；6—上志留统那清组；7 - 上石炭统；8 下 二叠统，9 上侏罗统；10 -中新世玄武岩；11 中新统；12 石英闪长岩；13—华力西期花岗岩；14--华力西期花岗闪长岩；15 - 燕山期花岗闪长岩；16 --安山玢岩；17--直立断层及逆冲断层；18--斜冲断层及性质不明断层；19 隐伏大断裂；20-- 韧性剪切带

CA 岩浆系列，测得的锆石 U-Pb 谐和年龄为（665±15）Ma，属新元古代。

白音都西群为新建群，主要呈规模不等的残块产于石英闪长岩中。其上、下为变粒岩段，中部为夕线石云母片岩段，属中低压角闪岩相。变粒岩等的原岩为长石杂砂岩-长石石英砂岩。整个白音都西群原岩应属于在不稳定陆壳基底上形成的过渡型陆屑建造。5 个斜长角闪岩平均 Sm Nd 模式年龄为 1226Ma（聂凤军取样，地科院地质所测定），基本上也属中元古代。

花岗闪长斑岩与白乃庙铜矿密切有关，呈小岩株透镜体侵入于白乃庙群中，其锆石 U-Pb 视年龄为 466～694Ma。

除上述岩石和地层外，这一地区还有华力西期的斜长花岗岩、中上志留统等较晚的岩石和地层。在白乃庙以东 8km 处和谷那乌苏，均可见到中上志留统不整合于白乃庙群之上。

三、矿床地质

白乃庙铜（钼）矿床产于白乃庙群的绿片岩系之中，铜矿化和花岗闪长斑岩均基本平行于绿片岩的叶理，呈近东西走向产出。主要工业矿体集中分布于白乃庙附近，白乃庙以东的谷那乌苏也见同类矿化。根据航磁解释推断，这两处含矿岩系在草原以下可能相联，并可西延至白乃庙以西 20km 左右（图 2-96）。

（一）地层

白乃庙群呈近东西走向，倾向南，其岩性大体可分为两类：一是绢云长英片岩，主要由石英、长石和绢云母等组成，构成从石英岩到绢云片岩多种岩石；一是绿片岩类，主要由阳起石、绿帘石、绿泥石、斜长石、石英等组成，构成多种绿片岩。两类岩石中有时含普通角闪石或斜长石斑晶，主要为变余成因。除两类岩石外，还偶夹有极少量的大理岩等。白乃庙群岩性变化频繁，即使在相邻勘探剖面之间小层也难于逐层对比。白乃庙群按 S_2 可分为三个构造岩性段，第一、三段为绿片岩段，第二段为绢云长英片岩段。矿区内还分布有中上志留统徐尼乌苏组、二叠系三面井组和侏罗系等。

（二）构造

1. 褶皱

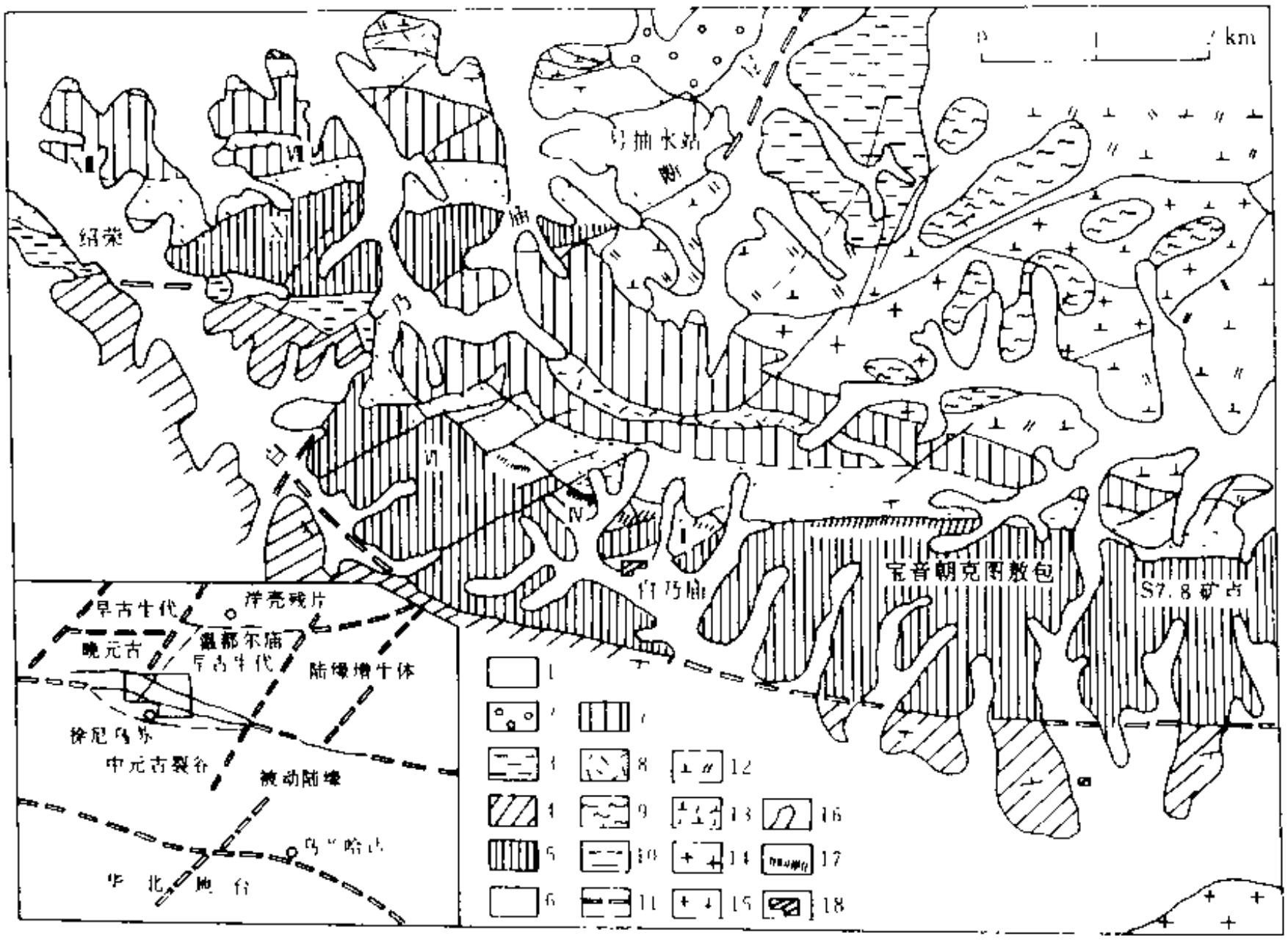


图 2-96 白乃庙铜矿区地质略图

Fig. 2-96 Schematic geological map of Bainaimiao copper ore district

1-第四系；2-上侏罗统大青山组；3—下二叠统_面井组；4 中上志留统徐尼乌苏组；5～7 白乃庙群；5 第 岩段；6—第二岩段；7—第一岩段；8- 未定斜长角闪岩；9 白音都西群；10 断层；11 隐伏于第四系之下的断层；12 石英闪长岩（δO_2）；13—花岗闪长斑岩（$\gamma\delta\pi_3$）；14- 斜长花岗岩（γ_4）；15 花岗闪长岩（$\gamma\delta_4$）；16 金矿脉；17 铜矿带及矿段编号；18 矿区大地构造位置示意图

白乃庙群的三期褶皱方向均为EW向，F_1、F_2、F_3基本平行，但F_1枢纽较分散。以相当于S_2的各构造岩性段界面为参考面，白乃庙断裂以西为一同斜背形，其枢纽为91°∠18°，向东至转折端枢纽变陡为91°∠54°；东部基本为一“单斜”，第二岩段向西变窄，产状也多变，有可能已近于转折端，但未能确证，故暂仍按单斜处理。

2. 断裂

主要有两条。一是白乃庙断裂，呈NE向斜贯全区，倾向NW，倾角50°～70°，部分近直立，是一条由于多期活动最终联成长达20km的断裂。中志留世以前为右旋压扭，水平断距为800m，并使东盘断裂带附近的白乃庙群因牵引走向转偏NWW，二叠纪以后为“右”旋张扭，水平断距约200m。另一条重要断裂是沿中上志留统底部不整合面发育的近EW向的脆韧性断裂，具滑脱推覆性质，也是多期活动的断裂。这两条断裂均与金矿化有关。

3. 韧性剪切带

白乃庙群普遍经历一次以韧性剪切带为特征的动力变质作用。这些韧性剪切带，一般平行S_2顺层展布。其特点是将原来已形成的变质矿物等塑变拉长，使岩石片理化、糜棱化，形成一系列拉伸线理。拉伸线理在原具有角闪石斑晶或变余杏仁构造的岩石中最为明显，肉眼即可辨认。剪切拉伸使大多数闪石类矿物c轴转为近平行线理，但也可见c轴与平行线理被斜向或横向拉长的。经研究，韧性剪切具为由南向北逆冲性质。花岗闪长斑岩也同样经历了这一期韧性剪切变形，形成一系列与围岩产状协调一致的韧性剪切带。矿区南缘中上志留统徐尼乌苏组不发育。所以韧性剪切作用发生于花岗闪长斑岩

之后，上志留统以前。

（二）侵入岩

矿区内有石英闪长岩、花岗闪长斑岩及斜长花岗岩分布。

石英闪长岩主要分布于矿区东北部，侵入于白乃庙群及白音都西群中。石英闪长岩呈灰绿色、灰色，块状构造，有时为片麻状构造，花岗结构。主要矿物成分为斜长石、石英、黑云母、角闪石及微斜长石，副矿物有磷灰石、金红石、钛铁矿，蚀变矿物为绿泥石、绿帘石和绢云母。

花岗闪长斑岩为白乃庙铜矿的成矿母岩，主要出露于矿区中部和北部，大致呈东西向延伸，地表大体以顺层的小岩体、岩枝、岩脉等形态产出，沿与F_3有关的层间构造带侵入。在岩层走向折转向北西的Ⅸ矿段出露面积最大，宽达400m，东西两侧出露渐少。在北矿Ⅻ、ⅩⅢ、Ⅷ矿段都见有花岗闪长斑岩的岩脉、岩枝穿切绿片岩。在南矿带Ⅴ、Ⅵ矿段，经镜下鉴定，有不少花岗闪长斑岩的岩脉、岩枝存在，由于岩体经受强烈的糜棱岩化，难以辨认，曾被定为斜长片岩。据钻探及坑道证实Ⅱ、Ⅲ等矿段深部都有花岗闪长斑岩的岩脉、岩枝存在。由此可以推断，矿区内南、北矿带的花岗闪长斑岩在深部应为一个岩体。花岗闪长斑岩呈灰绿色、灰褐色，风化面呈灰黄色、褐黄色。主要矿物成分有斜长石、石英、正长石、黑云母，其次为角闪石。副矿物有磷灰石、榍石、锆石和磁铁矿。岩石具斑状—似斑状结构。斑晶主要为斜长石，其次有正长石、石英和黑云母。区内花岗闪长斑岩普遍受到东西向韧性剪切带的影响，导致岩石“片理化”。

斜长花岗岩原定为白云母花岗岩，主要呈脉状侵入于矿区北部的白音都西群和石英闪长岩中，在金矿区中部有零星出露，与金矿化有密切的成因联系，以舌状、肠状穿切于绿片岩中。斜长花岗岩未受到韧性剪切带影响，为矿区内最年轻的岩浆岩。

上述侵入岩的化学成分如表2-56所示。

表2-56　白乃庙侵入岩主要化学成分表（$w_B/\%$）

Table 2-56　Chemical composition of intrusion in Bainaimiao ore district

岩石名称	样品数	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
石英闪长岩	8	61.54	0.568	16.46	2.24	3.21	0.204	2.74	5.10	3.37	2.59
花岗闪长斑岩	9	61.77	0.471	15.47	3.48	1.97	0.045	2.35	3.59	3.44	2.98
斜长花岗岩	5	69.37	0.274	15.49	1.56	1.35	0.045	0.98	2636	4.23	2.41

（据103队和聂凤军平均）

按角闪石、斜长石中钙的分配系数求得石英闪长岩的形成温度为575～608℃，利用二长石地质温度计求得斜长花岗岩的形成温度为406℃，利用Ab-Or-Q图解求得花岗闪长斑岩的形成温度为700～750℃。

（四）矿体产状及矿石物质成分

白乃庙铜矿体均产于韧性剪切带内，产状受韧性剪切叶理控制，但矿化最强的部分并不一定与变形最强的剪切带重合，同时韧性剪切带也并非都有矿化。矿区分南、北两个矿带。南矿带由Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅹ和Ⅺ矿段组成，矿体主要产于绿片岩内，即花岗闪长斑岩体的外接触带部位，呈似层状产出，其产状与围岩叶理基本一致。矿体走向一般为近EW—NW，倾向S—SW。北矿带由Ⅷ、Ⅸ、Ⅻ、ⅩⅢ等四个矿段组成，矿体主要赋存于花岗闪长斑岩体的内接触带，走向一般为近EW—NWW，倾向S—SSW。无论是南矿带，还是北矿带，均表现为典型斑岩矿床的矿化分带特征，钼矿体总是分布于整个矿体的中心部位，且偏靠下部（图2-97）。

南矿带的矿体长几十米至四百多米，厚几米至几十米。Ⅰ、Ⅴ矿段呈连续的似层状产出，厚度及品位沿走向，倾向均较稳定。Ⅲ矿段特别是Ⅵ、Ⅶ矿段以多层分布的小矿体为特征，矿体呈似层状、透镜状产出，具复合分叉尖灭再现现象。厚度及品位变化较大。

北矿带以Ⅷ矿段为最好，矿体规模较小，长几十米至二百余米，厚1 m至十几米。矿体的厚度和

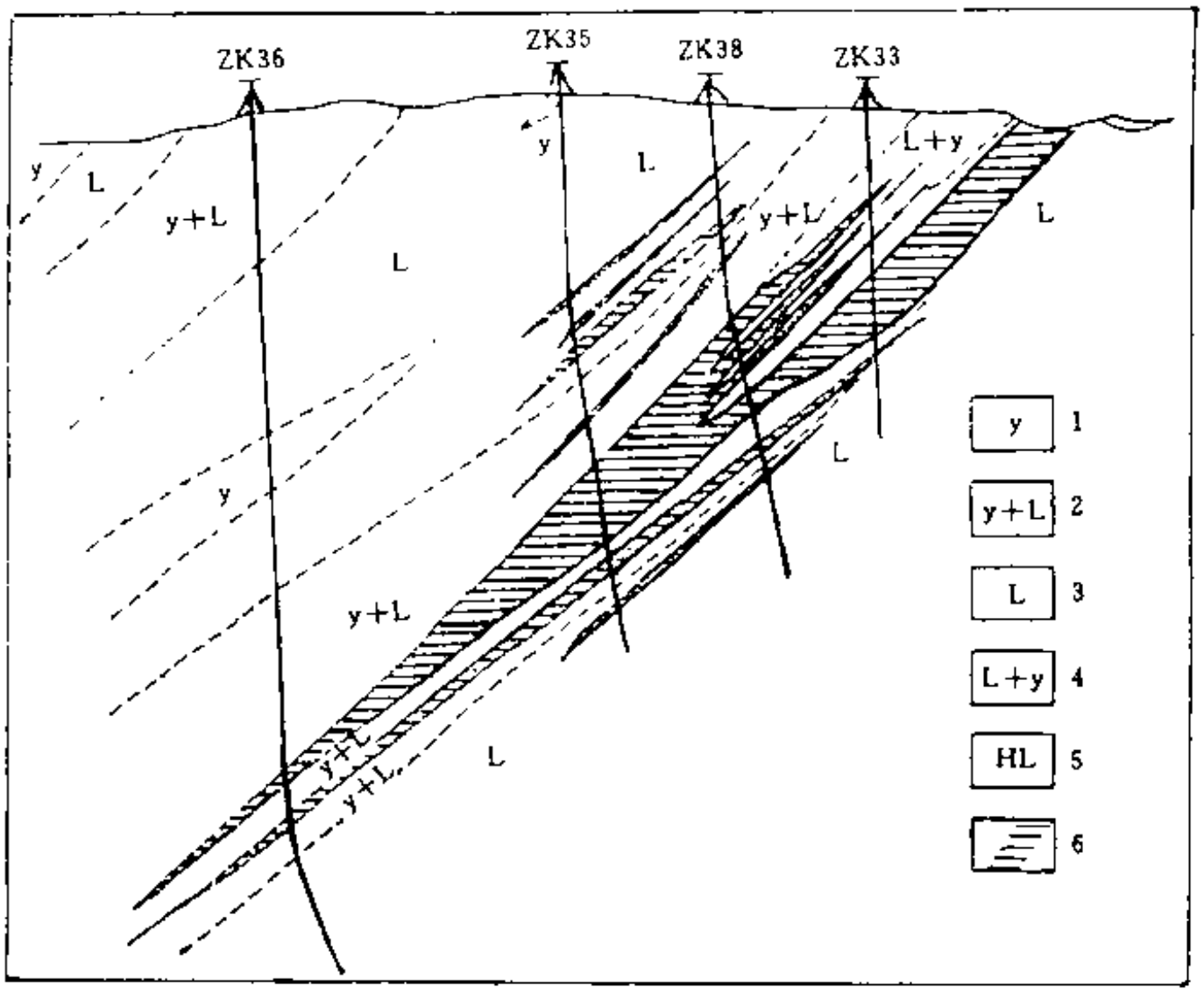


图 2-97　白乃庙南矿带六矿段 31 勘探线地质剖面图

Fig. 2-97　Geological profile of exploratory line 31 of ore block 6 at southern ore belt Bainaimiao

1—阳起斜长片岩；2—阳起斜长片岩夹绿泥斜长片岩；3　绿泥斜长片岩；4　绿泥斜长片岩夹阳起斜长片岩；5—黑云母绿泥斜长片岩；6　矿层

铜钼含量变化大，矿石品位较贫。

矿石可划分成花岗闪长斑岩型矿石和绿片岩型两种。矿石矿物成分达 40 多种，其中金属矿物有 17 种，非金属矿物有 20 多种。有用组分除 Cu 外，Mo、Au 均具重要意义。金属矿物以黄铁矿、黄铜矿为主，脉石矿物以石英为主。两种类型矿石矿物成分相同，它们的标型特征及矿物之间关系也都具一致的特征。两种类型矿石中黄铁矿都可分为粗粒及细粒两种。部分粗粒黄铁矿已被压碎，并被黄铜矿呈网脉状充填交代。细粒黄铁矿形成晚于粗粒黄铁矿，两者呈交代关系，且与石英、黄铜矿共生。辉钼矿晶粒弯曲变形普遍，具明显的波状消光，常与石英紧密共生。南、北矿带矿石在结构、构造上的特征基本一致，如有某些差别与不同岩性有关。此外，南、北矿带普遍具有碎裂、变形特点，说明它们都经受 EW 向韧性剪切带的影响。

北矿带的 Cu、Mo 含量高，Au 含量低（表 2-57），而南矿带则是 Cu、Au 含量高，Mo 含量低，即岩体内部 Cu、Mo 含量高，岩体外接触带绿片岩中 Cu、Au 含量高。这种 Mo→Cu→Au 的空间分布规律，与典型斑岩矿床元素分带是一致的。

（五）蚀变与矿化

白乃庙铜矿床具有典型斑岩矿床所特有的蚀变类型和蚀变分带，而且南、北矿带基本一致。

1. 蚀变类型

钾化：包括钾长石化和黑云母化。呈浸染状、团块状及脉状等。钾长石化主要发育在花岗闪长斑岩体内，绿片岩内很微弱。

硅化：很发育，是矿区内一种重要的蚀变类型。

此外，还有绢云母化、绿泥石化、绿帘石化及碳酸盐化。

以上各类蚀变，相互之间有先后交代关系。首先形成钾化，然后形成绢云母化，再后广泛硅化，在此基础上又绿泥石化和绿帘石化，最后碳酸盐化。

表 2 57　南、北矿带 Mo、Cu、Au 含量

Table 2 57　Mo、Cu、Au contents in Southern and Northern ore belt

矿带	矿段	元素含量		
		钼 %	铜 %	金 ×10⁻⁶
南矿带	Ⅰ	0.032	0.98	0.702
	Ⅱ	0.6017	0.71	0.75
	Ⅴ	0.022	0.49	0.13
	Ⅵ	0.043	0.30	0.07
	Ⅵ		0.55	0.14
	平均含量	0.0265	0.646	0.36
北矿带	Ⅵ	0.033	0.45	0.03
	Ⅶ	0.042	0.52	0.05
	Ⅷ	0.048	0.51	0.04
	平均含量	0.041	0.50	0.04

（据 103 队资料整理）

2. 蚀变分带

北矿带：以岩体为中心，向两侧形成钾长石化带（黑云母化带）→硅化带→绿泥石化、绿帘石化带。

南矿带：以矿体为中心，向外依次出现钾长石化带→硅化、黑云母化带→绿泥石化、绿帘石化带。

3. 蚀变与矿化

经研究表明：矿化只与硅化带有关，硅化与铜（钼）矿化紧密共生，且所有金属硫化物无例外地皆与石英共生，其含量随着石英含量的增加而增多。

4. 成矿作用

与花岗闪长斑岩有关的含矿热液对岩体及绿片岩进行一系列的交代，形成斑岩型铜矿床。矿床的成矿作用可划分成以下几个阶段：

钾长石黑云母阶段；

石英硫化物阶段，进一步分为辉钼矿亚阶段、黄铜矿亚阶段、方铅矿闪锌矿亚阶段；

绿泥石绿帘石阶段，分布于岩体边部或矿体周围。该阶段晚期产生碳酸盐化，形成方解石。

四、成矿条件

（一）稳定同位素研究

对南、北矿带分别进行 C、H、O、S 和 Pb 等稳定同位素组成研究的结果表明，它们具有相似的组成及变化特征，说明它成因的一致性。

铅同位素：白乃庙铜（钼）矿床铅同位素组成数据列于表 2-58。由表可知，花岗闪长斑岩钾长石微量铅与矿石铅有着相似的同位素组成特征，说明两者来自同一岩浆源，排除了南矿带形成与绿片岩有关的认识。铅既然来源于岩浆，则与铅共生的成矿元素铜也可认为来自岩浆。

表 2-58　铅同位素组成

Table 2-58　Composition of lead isotope

位置	编号	岩（矿）类型	测定矿物	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
Ⅴ矿段	4545-1	绿片岩型矿石	黄铁矿	17.967	15.626	37.327
金矿区西	4295	花岗闪长斑岩	钾长石	17.807	15.566	37.943

测试单位：长春地质学院同位素地质实验室

碳、氧同位素：成矿后碳酸盐阶段的方解石的碳、氧同位素组成。

北矿带2件样品，其$\delta^{13}C$范围为 $-4.90‰$～$-8.93‰$，均值为$-6.92‰$；其$\delta^{18}O$变化范围为$+6.72‰$～$+7.38‰$，均值为$+7.05‰$；相应$\delta^{18}O_{水}$在$-1.35‰$～$-5‰$，均值为$-4.68‰$。南矿带3件样品的$\delta^{13}C$变化范围在$-3.19‰$～$-7.38‰$，均值为$-1.98‰$；其$\delta^{18}O$变化于$+6.55‰$～$+6.73‰$，均值为$+6.65‰$；$\delta^{18}O_{水}$为$-4.99‰$～$-5.17‰$，均值为$-5.07‰$，因此，南、北两矿带碳、氧同位素组成是基本一致的，表明其成矿后的环境也是相似的。

硫同位素：南、北两矿带取硫同位素样品11件、其中黄铁矿10件，黄铜矿1件。其$\delta^{34}S$变化范围和均值，南矿带为$-2.50‰$～$-5.99‰$，均值为$-4.10‰$；北矿带为$-3.82‰$～$-6.48‰$，均值为$-4.63‰$，说明南、北矿带具有相同硫源。

南、北矿带$\delta^{34}S$都接近于零，变动范围很窄，说明它们的硫都来自岩浆或深部硫源。

氢、氧同位素：在南、北矿带分别采集2件石英样品，测定其中的氧同位素组成及其原生包裹体内氢同位素组成。

南矿带$\delta^{18}O$均值为$+10.02‰$，δD均值为$-114.11‰$，$\delta^{18}O_{水}$为$+2.69‰$。北矿带$\delta^{18}O$均值为$-9.72‰$，δD均值为$-102.52‰$，$\delta^{18}O_{水}$均值为$+2.41‰$。南、北矿带有着相似的氢氧同位素组成，表明成矿热液有同一来源。

成矿热液的氧同位素组成与小泰勒提出的$+5.5‰$～$+10‰$岩浆水氧同位素值是接近的，从而表明，矿床形成过程中岩浆水是主要的，有少量地下水参与（图2-98）。

由此可见，南、北矿带具有相似的碳、氢、氧、硫和铅同位素组成，说明它们具有一致的成因，其成矿物质和矿液主要来自岩浆。

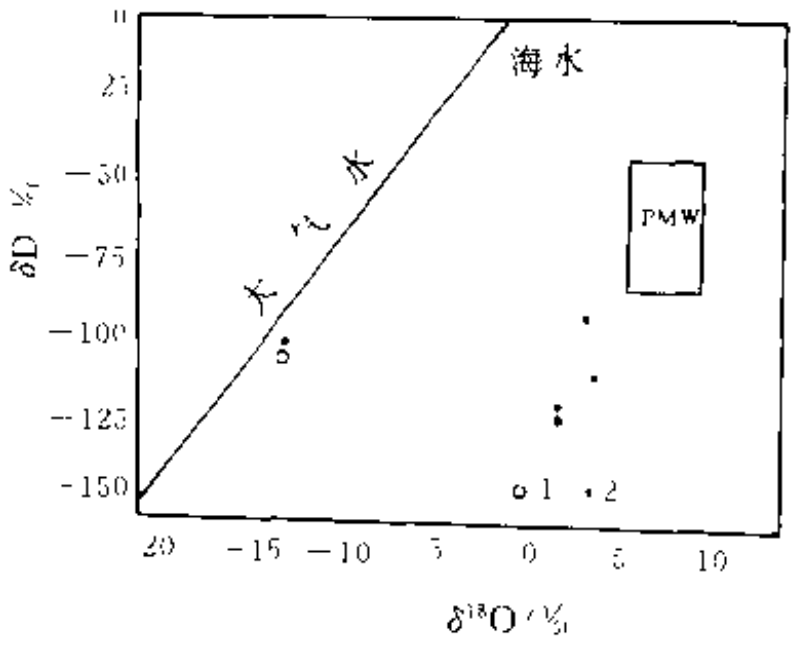


图2-98 氢氧同位素组成图

Fig. 2-98 δD—$\delta^{18}O$ diagram

1—地下水；2—成矿热液；PMW—原生岩浆水

（二）矿物包裹体研究

赵仑山测定的铜矿床形成温度为260～320℃，取其中间值为290℃。石英包裹体成分，南、北矿带具有相似成分，成矿热液中阳离子以钙和钠为主，且钙的含量大于钠，挥发组分以氯为特征。矿区典型矿物共生组合为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和石英。综上所述，成矿热液以富钙、硅、挥发组分氯及铜、钼矿质等为特征。

（三）矿床成因讨论

对白乃庙铜（钼）矿床的成因，各家看法不同，主要有两类观点：一是强调花岗闪长斑岩的意义，认为是斑岩铜矿，特别是北矿带；一是强调绿片岩的意义，认为是与海底火山作用有关的矿床、或者又经变质、斑岩侵入等事件改造富集。导致这种分歧的原因主要是，不论就单个矿带的规模和累计总储量，按目前勘探结果，都是绿片岩中的矿体大于斑岩中的矿体，而且绿片岩中的矿体基本平行叶理产出，“顺层”的特点比较明显。

认为斑岩铜矿的理由是：

（1）南、北矿带蚀变类型、蚀变分带有着极为相似的特征；

（2）南、北矿带主要金属矿物都是黄铁矿和黄铜矿，并且黄铁矿按粒径皆可分为粗粒和细粒两种，它们的晶形特征、粒径及生成顺序完全一致，它们的成矿作用也完全一样；

（3）南、北矿带黄铁矿中铜含量近似，且铅、锌含量也相似；

（4）南、北矿带矿化特征相同，矿化无例外地都与硅化有关，黄铜矿皆与细粒黄铁矿、石英共生，矿体都赋存于硅化蚀变带内；

（5）南、北矿带有着相似的碳、氢、氧、硫、铅同位素组成，说明它们的成矿物质和热液具有同一来源；

（6）南、北矿带成矿温度相近，包裹体成分一致；

(7) 南、北矿带成矿都受韧性剪切带控制，都有斑岩，只是南矿带斑岩较少、较小。

认为火山岩型（黄铁矿型）的理由是：

(1) 矿体的形成与火山喷发时的喷流作用有关，矿体产状与围岩一致，系与围岩同时生成。围岩从基性—酸性的流纹岩、英安岩、安山岩、玄武岩等火山岩经区域变质而形成的绿片岩，属于细碧角斑岩系；

(2) 具有含铜黄铁矿型的矿体特点。如黄铜矿体成雁行排列，成八字排列。

(3) 矿石的矿物成分与含铜黄铁矿型矿石矿物成分相似，一般矿石皆为黄铁矿，而铜矿层存在于黄铁矿层中。

(4) 含矿岩系具有火山变质岩的特点。如乌南地段薄片中见杏仁气孔状构造，并具变余斑状结构（基质为交织结构）。白乃庙南矿带二矿段见有晶屑凝灰岩透镜体，这些均为火山变质岩的佐证。

另有人认为该矿床是属火山-热液浸染型铜钼硫化矿床，系由多次矿化叠加而成。因为岩石中普遍含有浸染状-条带状的黄铁矿、磁铁矿等属早期喷发期的产物。而黑云母、磁铁矿、磁黄铁矿和辉钼矿属高温热液阶段的矿物。其中黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金和方解石等，属于中温热液矿化的特征；含金石英脉则为晚期热液矿化的产物，故证明该区矿化是由高温—中低温热液叠加于原火山喷发矿化之上，使其进一步富集形成较复杂的矿物组合和元素特征。

第二十二节　台湾奇美铜矿床

台湾省斑岩铜矿床主要产于闪长岩或安山岩中，有时也见于岩体与围岩的接触带上。属于该类型矿床的有奇美、都兰山与兰屿等矿床，其中奇美矿床较大，研究程度也较高。

一、矿床地质特征

奇美铜矿床（图 2-99）位于秀姑峦溪下游，发现于 1903 年。矿床主要地质特征概述如下。

（一）含矿围岩

矿区广泛出露的岩浆岩有火山岩和侵入岩，按其岩性可分为六类：

1. 火山岩

崩山安山岩：分布最广，岩石具斑状结构，斑晶由角闪石、辉石、长石及黄铁矿等组成，斑晶含量约占岩石的 1/4～3/4。基质主要为微晶状的绿泥石化铁镁矿物。该岩用 K-Ar 的年龄值为 17～19Ma。

天港安山岩：分布在矿区东部及西部局部地方。岩石具斑状结构，斑晶约占 30%，(其中长石约占 70%)，基质约占岩石的 70%以上。主要由长石及蚀变的铁镁矿物组成。同位素年龄为 22.3Ma。

凝灰质火山角砾岩：出露在矿区东部崩山安山岩和黑色安山岩边缘部分。岩石分选不好，层理不发育。角砾直径大部分为 1cm 以上，最大达 30cm。主要成分为安山玢岩、安山岩及蚀变的玻璃质。局部见有黄铁矿化及硅化。

2. 超浅成侵入岩

黑色安山玢岩：主要分布在矿区东南部。岩石具斑状结构，斑晶主要是长石，与基质几乎各占一半。岩石中还含有少量的黄铁矿及磁铁矿。蚀变微弱。

闪长岩：岩体侵入于矿区中南部的崩山安山岩和黑色安山玢岩中。岩石具斑状结构，斑晶约有 3/4 为长石和角闪石。基质主要为长石、角闪石。用 K-Ar 法测定年龄为 9～14Ma。岩石中见有浸染状黄铁矿、黄铜矿及磁铁矿矿化。含铜矿物除浸染状外，还呈网脉状及角砾状产出。

中性岩脉：岩脉侵入在闪长岩中。岩石呈暗绿色，具斑状结构，斑晶与基质的比例约 3∶2。斑晶中长石约占 3/4。暗色矿物主要为辉石，其次为绿泥石（约占 10%）。岩石蚀变较弱。

上述各类岩石中，以闪长岩与成矿关系最密切，而黑色安山玢岩和崩山安山岩次之。

关于本区安山岩的时代，目前有两种不同意见。一种认为它是属更新世的一个大侵入体，另一种认为它是喷出岩系的一部分，整合地伏于都兰山组之下，属中新世。但从同位素年龄为 17～22Ma 及热

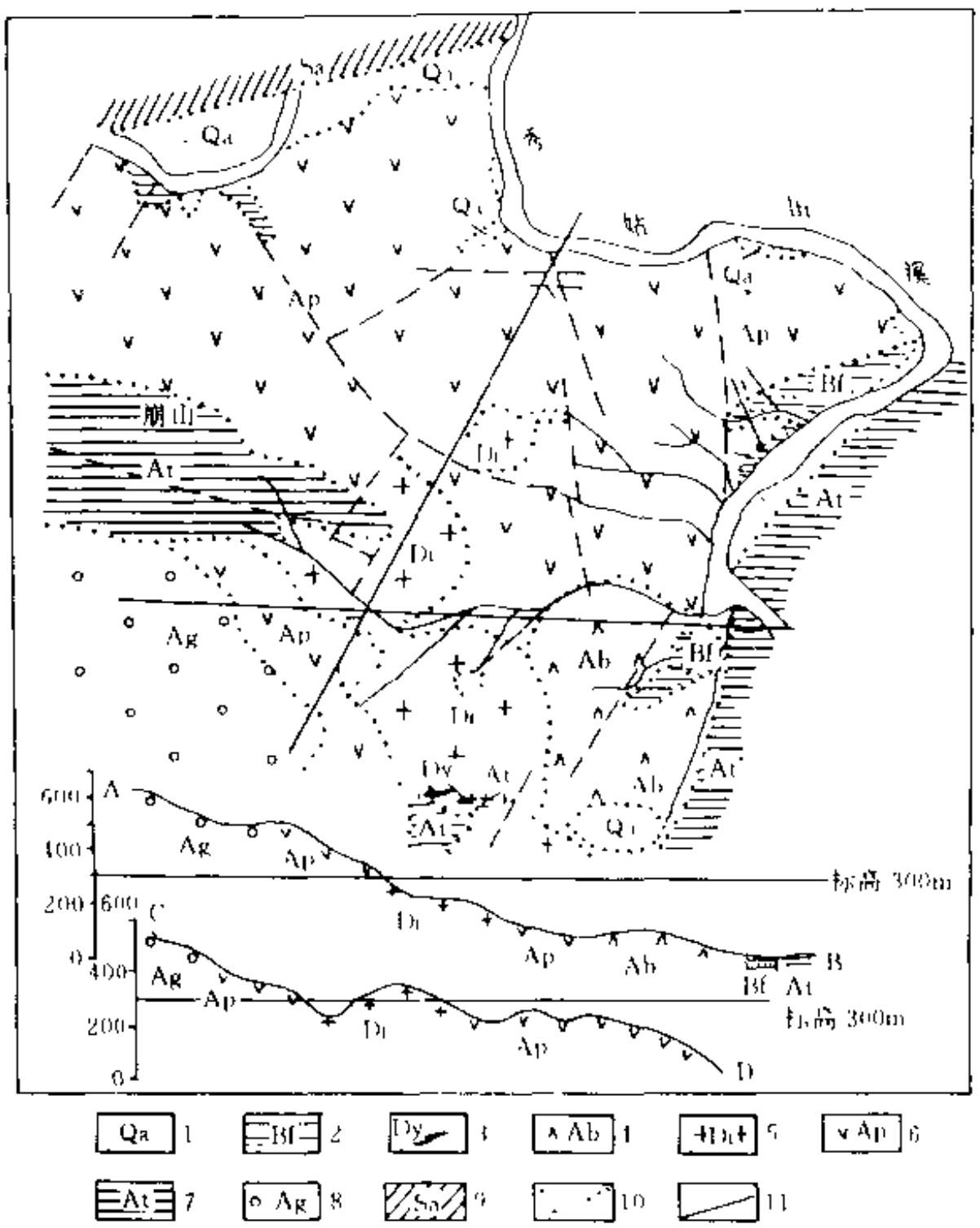


图 2-99　奇美铜矿床地质图

Fig. 2-99　Geological map of Qimei copper deposit

1－冲积层；2－火山角砾岩；3－中性岩脉；4　黑色安山玢岩；5－闪长岩；6－前山安山岩；7－天港安山岩；8－集块岩；9—沉积岩；10－地质界线；11—断层（实测断层和推断层）

液蚀变较弱的特点表明其应属中新世。

二、矿区构造

矿区构造主要为断层，一般走向为 NNW 或 NNE，长 2km 左右。褶皱不发育。

三、矿体、矿化和矿石的主要特点

铜矿化主要为闪长岩和安山岩中的网状石英脉，或者在硅化、黄铁矿化的闪长岩和安山岩内呈浸染状产出，有的还产于闪长岩与安山岩的接触带上。矿体南北长 130m，宽 1～20m，延深 50m。矿石中主要金属矿物是黄铁矿和黄铜矿，其次为少量铜的次生矿物如孔雀石、辉铜矿、铜蓝、硅孔雀石和斑铜矿。矿化带中黄铁矿与黄铜矿的分布无一定比例。在富铜地段，黄铁矿与黄铜矿的比例为 5∶1 至 10∶1，而在蚀变微弱的地方可达 50∶1。此外，在含矿带及蚀变带内均见有磁铁矿产出，有时其含量可达百分之几。

铜矿物 80%出现在网状石英脉中，其次呈细脉状和浸染状产出。矿石中 Cu 的含量为 0.75%，Au 的含量为 0.3×10^{-6}。

四、围岩蚀变与矿化关系

岩石蚀变强烈，主要为硅化、泥化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化及黄铁矿化，绢云母化也很常见。安山岩中大多数铁镁矿物均已蚀变为绿泥石或绢云母。泥化表现为高岭土化，深可达 250m，其

中常含有新鲜的黄铁矿，与高岭土化共生的还有石膏。

无论是网状石英脉中的铜矿化或是闪长岩和安山岩中浸染状铜矿化，它们和蚀变关系十分密切，在闪长岩内出现强烈的硅化和泥化的部位，铜矿化往往就富；安山岩中有青磐岩化、泥化和弱至中等硅化的地方，常常产出有铜矿化。

矿床氧化带深度达 10m，次生富集不明显。

五、矿床成因

根据奇美铜矿床的主要特征，可以认为该矿床属于斑岩型。其理由为：

1. 矿体产于中新世闪长岩（闪长玢岩）和安山岩中，而前者是铜质的主要来源。

2. 围岩蚀变具有青磐岩化（绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、硅化、黄铁矿化）、泥化（高岭土化）和千枚岩化（绢云母化、硅化）的特点；

3. 矿石主要为细脉浸染状，而细脉状的黄铜矿比浸染状的黄铜矿常见。矿石中主要含铜矿物为黄铜矿，大部分赋存于网状石英脉中。

第二十三节　新疆温泉喇嘛苏铜矿床

一、大地构造位置

温泉县喇嘛苏铜矿床位于赛里木地块次级单元库西姆契克元古宇吕梁期基底凸起与汉吉尔华力西期弧前盆地的结合部位靠老地层一侧，距博罗霍洛山北坡深大断裂约 10km。

二、矿区地质

（一）地层

出露有蓟县系（Jx*ks*）、青白口系（Qn*kl*）等一套浅海相碳酸盐建造；中上泥盆统（D_{2-3}）的浅海相类复理式变质碎屑岩建造；下石炭统阿恰勒河组（C_1a）海陆交互相碳酸盐、碎屑岩建造，下二叠统乌郎群（P_1wl），下部为安山岩、玄武岩及其火山碎屑岩建造；上部为陆相层凝灰岩-碎屑岩建造。

（二）构造

褶皱和断裂都很发育。主要褶皱构造走向为 EW 向或近 EW 向，褶皱构造表现为宽展的短轴背斜和向斜。断裂构造则表现为 NEE 向和 NWW 向压扭性特征，构成本区的主要构造骨架。

（三）岩浆岩

华力西旋回对全区有广泛的影响，最重要的是晚石炭世和早二叠世之间的第Ⅴ幕。伴随华力西构造运动有较强的岩浆侵入和火山活动，早期为英安斑岩、石英闪长岩；中期为花岗斑岩、斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英正长斑岩；晚期为闪长玢岩和辉绿玢岩等。最重要的是华力西中期的花岗岩类和中酸性浅成脉岩，为成矿元素的活化、迁移、富集成矿提供了有利条件。

三、矿床地质

（一）地层

喇嘛苏矿区出露的地层有中元古界蓟县系库西姆契克群（Jx*ks*）、下石炭统阿恰勒河组（C_1a）及少量下二叠统乌郎群（P_1wl）（图 2-100）。

库西姆契克群下亚群（Jxks^a）：主要由深灰色中厚层状、薄层状的碎屑灰岩组成，底部为灰黑色薄层状炭质灰岩，向北由互层状逐渐过渡为中厚层状微晶灰岩夹砾屑灰岩，普遍具有不同程度的黄铁矿化，偶见弱铜、铅矿化。上亚群主要由灰黑色片理化泥质砂质夹少量褐黄色千枚岩、板岩组成，沿走向不稳定。库西姆契克群下亚群分为 7 个岩性段（图 2-100）其中第三和第五岩性段是主要含矿地层。

第五岩性段（Jxks^{a-5}）：黄褐-褐灰色中厚层含砂屑砾屑微晶灰岩，夹层泥屑微晶灰岩互层。层内含大理岩及条带状夕卡岩透镜体和细粒褐铁矿，薄层理发育，还见微层理波痕及冲洗层理，厚 493.4m。

第三岩性段（Jxks^{a-3}）：灰色、暗灰色中厚层泥晶灰岩含薄层砾屑灰岩与泥、砂屑微晶灰岩互层，夹硅质条带及夕卡岩、大理岩透镜体。水平层理及斜层理发育，局部见细波纹层理，层面有褐铁矿砾屑分布，厚 383m。

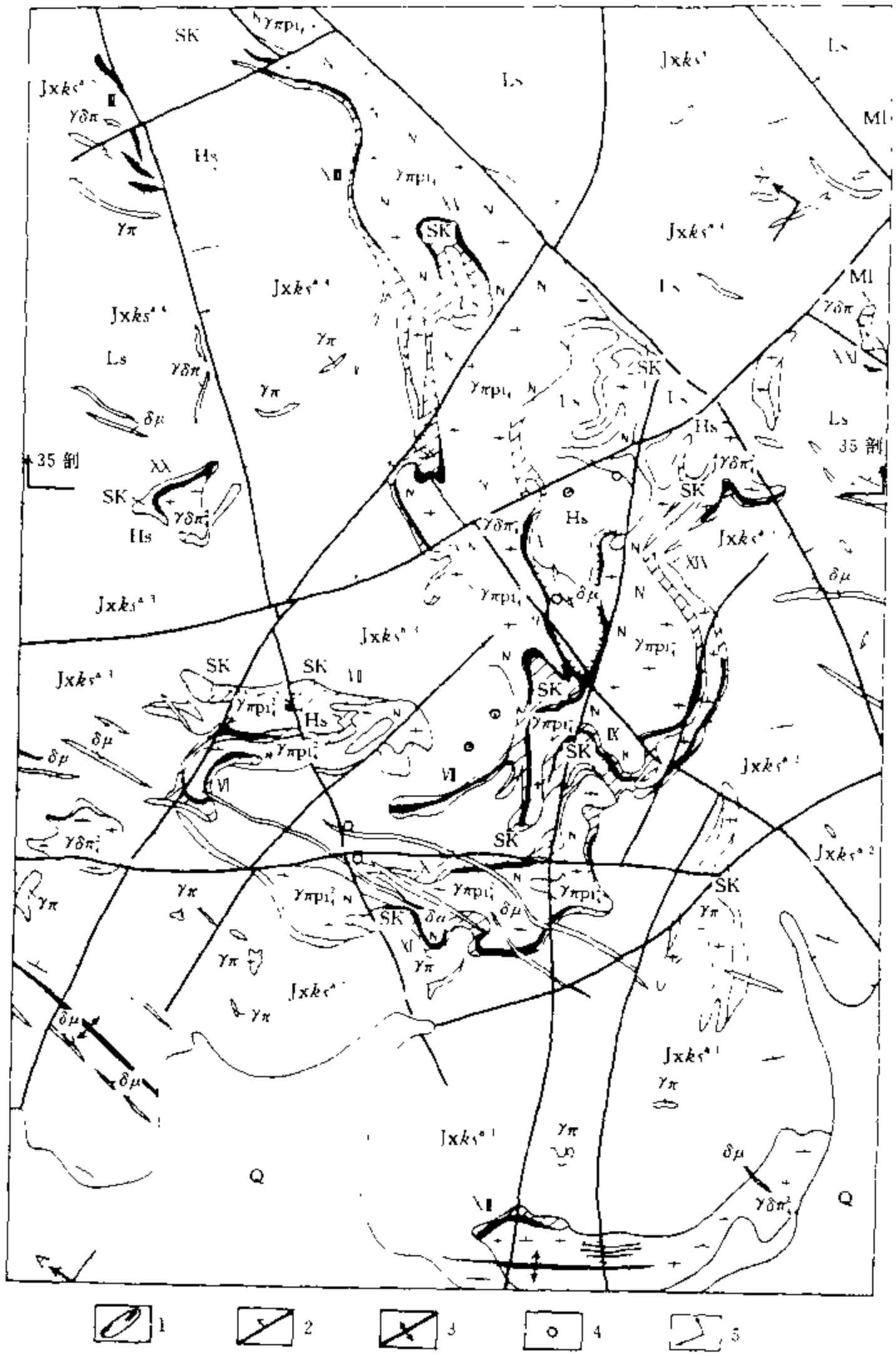


图 2-100　喇嘛苏铜矿床地质简图（1：10000）

Fig. 2-100　Geological sketch of Lamasu copper deposit（1：10000）

1—矿化体、矿体及其编号；2—断层及其产状；3　背斜；4　钻孔位置及其编号；5—剖面位置；Q—第四系；$Jxks^{4-5}$—蓟县系库西姆契克群下亚群第 5 岩性段；$Jxks^{4-4}$—下亚群第 4 岩性段；$Jxks^{4-3}$　下亚群第 3 岩性段；$Jxks^{4-2}$—下亚群第 2 岩性段；$Jxks^{4-1}$—下亚群第 1 岩性段；Ls—灰岩；Hs—夕卡岩化灰岩；Ml—大理岩；SK　夕卡岩；yj-tra—斜长花岗斑岩；$\gamma\delta\pi_4^2$—花岗闪长斑岩；$\delta\mu$—闪长玢岩、辉绿玢岩；$\pi\gamma\delta$—花岗斑岩脉；$\pi\delta\mu$—花岗闪长斑岩脉；$\delta\mu$—闪长玢岩脉

矿床地层岩石以内碎屑砂屑粉屑微晶灰岩为主，有少量亮晶砾屑灰岩。岩石结构以中厚层状为主，有少量薄层状。岩石构造以小型平行层理、交错层理、斜层理为主，偶见波痕冲刷面、鸟眼构造、包卷构造等现象。矿层中还可见粒序层理或递变层理。地层地球化学特征以低 Ti、Mn、高 Pb，远高于

有关碳酸盐岩的元素丰度值、w(Mn)/w(Ti)值为 55.11，成岩条件应属强酸还原条件。

（二）构造

矿区褶皱主要为南部的喇嘛苏背斜，呈向南东凸出的弧，轴部由蓟县系库西姆契克群下亚群的灰黑色薄层状炭质灰岩构成。矿区断裂非常发育，具多期性。早期断裂形成一系列 NNW 向近于平行的张扭性断裂和 NEE 向压扭性断裂，构成 NW 向菱形格状断裂破碎带，宽约 0.5～1km。该断裂带基本上控制了华力西中期中酸性浅成脉岩的空间展布。中期断裂基本走向为 290°～310°，倾向 NEE，沿断裂有华力西晚期的中基岩脉岩贯入。

晚期断裂继承了早期断裂的构造形迹，主体呈向 SE 渐展的带状，对矿体起了破坏作用。

早期断裂派生的 NW—NE 两组断裂为主要控岩控矿构造，前者倾向较缓，倾角约 150°～230°具压扭性质，后者倾角较陡约 210°～260°。

（三）岩浆活动

矿区岩浆活动以华力西中期的中酸性浅成脉岩和华力西晚期的中基性脉岩为主，主要岩性有斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、闪长纷岩、辉绿玢岩、石英正长斑岩及钠长斑岩等。此外有少量下石炭统酸性火山岩及下二叠统中基性火山岩分布。中酸性岩体的侵入时间约 260Ma。

本区岩体中微量元素 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Bi、Sn、W 一般高于同类岩石数倍至数十倍，Cr 平均达 60.3×10^{-6}，明显高于同类中酸性岩石的丰度，接近于岛弧玄武-安山岩。花岗闪长斑岩与围岩的微量元素含量有明显不同，含矿岩体的 Cu、Ag 含量高于围岩，围岩中的 V、Mn、Cr 高于岩体。

（四）围岩蚀变

岩浆活动所引起的围岩蚀变在靠近岩体的碳酸盐地层中为广泛的夕卡岩化。围绕岩体形成镶边状的夕卡岩带，其宽度与岩体规模和产状有关，在岩体内凹部位尤其强烈，可宽达数十米。早期夕卡岩化形成石榴子石等简单夕卡岩，有时形成符山石夕卡岩。中期夕卡岩化交代早期简单夕卡岩而形成含新生的石榴子石、透辉石、绿帘石、透闪石、绿泥石、绢云母、碳酸盐，磁铁矿及少量钾长石的含水复杂夕卡岩。在蚀变作用的晚期阶段有硫化物沉积，是喇嘛苏铜矿的重要成矿阶段。晚期蚀变作用主要是硅化，碳酸盐化和少量粘土化，伴随有白铁矿、黄铁矿产出，有时有少量方铅矿、闪锌矿。简单夕卡岩与灰岩的界线不清晰，往往保留原岩的小型交错层理，水平层理等原始构造。当灰岩成分不纯时，则形成条带状夕卡岩。

斜长花岗斑岩与花岗闪长斑岩的变质交代作用表现为钾化、钠化、水白云母化或绢云母化、绿泥石化、绿帘石化及粘土化。可为早、中、晚三期，早期是钾化，于岩体中部及下部较发育，可形成脉状钾长石和团块状片状黑云母，同时产出磁铁矿及磷灰石。地表岩体钾化分布零星，未构成独立的钾化带，但在较大的岩体中部，黑云母化还是很普通。在 ZK351 钻孔中的花岗闪长斑岩完全为钠长石所交代。中期蚀变表现为水白云母化，伊利石化、硅化及绿泥石化。在氢交代强烈处形成绢云母，使原岩结构模糊不清。硅化发育于斑岩节理和裂隙中，呈脉状、网脉状分布，在地表形成强烈的硅—F 铁带，其中褐铁矿化细脉错综交叉。绿帘石、绿泥石化在地表分布零星，仅见于个别地段。晚期蚀变以碳酸盐化为主，方解石一般呈细脉、网脉状分布。总的说来，矿区中酸性岩体的蚀变分带不很明显。此外，花岗闪长斑岩具有普遍的黄铁矿化，黄铁矿一般呈细小的晶体散布于岩石中。

（五）矿体特征

喇嘛苏铜矿地表矿化范围大而分散，矿化成因类型有接触交代型、斑岩型、层间破碎带充填型及脉型等几类，以接触交代型为主。矿体小、不连续，已圈出矿化体 21 个，钻孔中见有盲矿体。

1. 接触交代型矿体主要分布在斜长花岗斑岩与花岗闪长斑岩的外接触带的夕卡岩中，受岩体形态和产状控制。矿化范围和复杂夕卡岩带一致。矿体赋存于石榴子石透辉石夕卡岩中。在岩体顶部的围岩顶垂体中可形成厚大的富矿体。在剖面上矿体形态呈脉状、似层状及透镜体（图 2-101、图 2-102）。矿体产状受岩体控制亦有东西向和南北向两组，前者倾角约 15°～30°，后者倾角较陡而多变，矿体受层间裂隙带控制，产出有多层性，矿化不均。

2. 斑岩型矿化分布于花岗闪长斑岩的顶部及岩体内部的裂隙带中，地表矿体见于 6 号岩体，2 号

岩体矿化多呈线型分布，发育于石英网脉带或密集裂隙带中，钻孔中尚未发现工业矿体。

层间破碎带充填型矿化有南、北、中三带，受东西向压性片理化裂隙带控制，已发现有Ⅰ号、Ⅱ—Ⅳ号、Ⅵ—Ⅷ号等几个矿体，一般品位较富，Cu可达1%以上（图2-101、图2-102）。

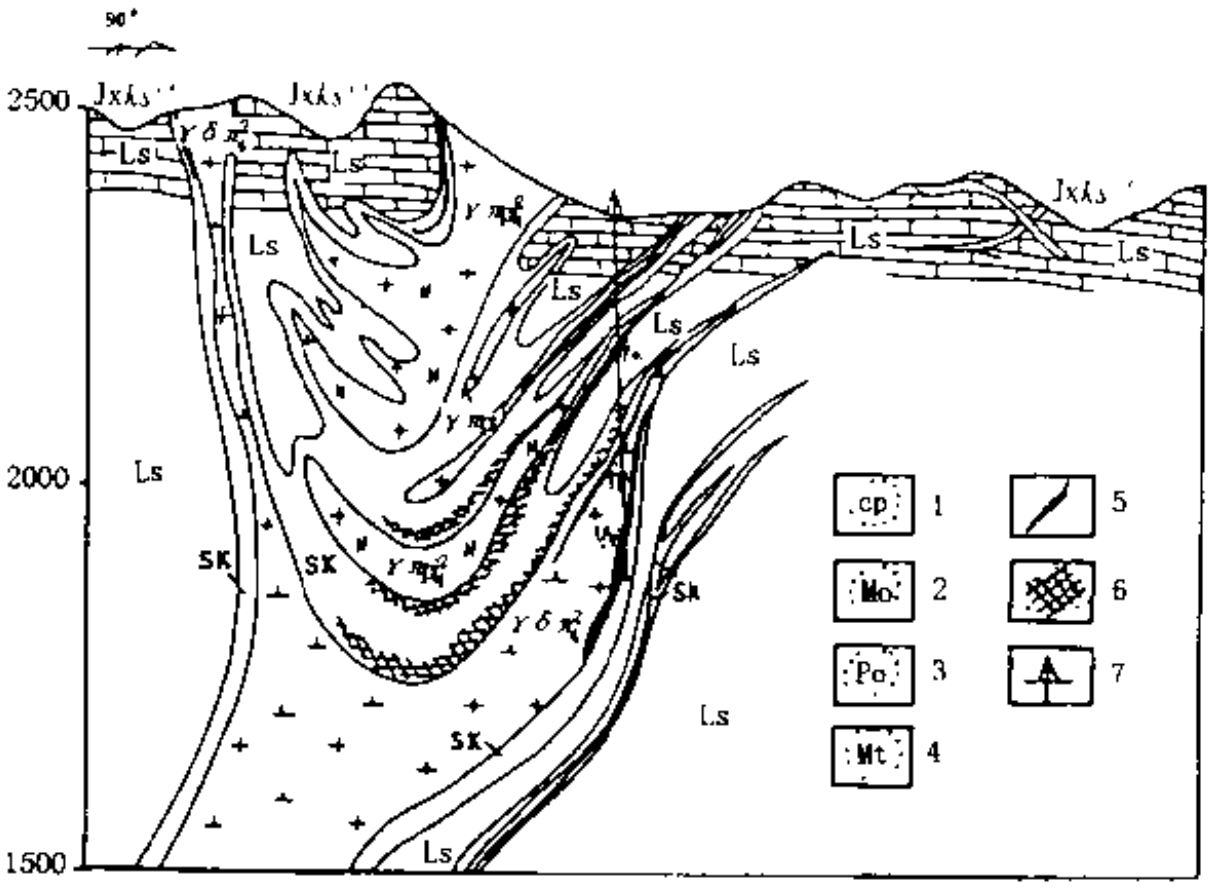


图2-101 喇嘛苏铜矿床35线剖面图

Fig. 2-101 Profile of line 35 in Lamasu copper deposit

1—黄铜矿；2—硅铝矿；3—磁黄铁矿、4—磁铁矿、5 矿体及其编号；6 矿化体范围及推测矿体位量；7 钻孔（其余的图例同图2-100）

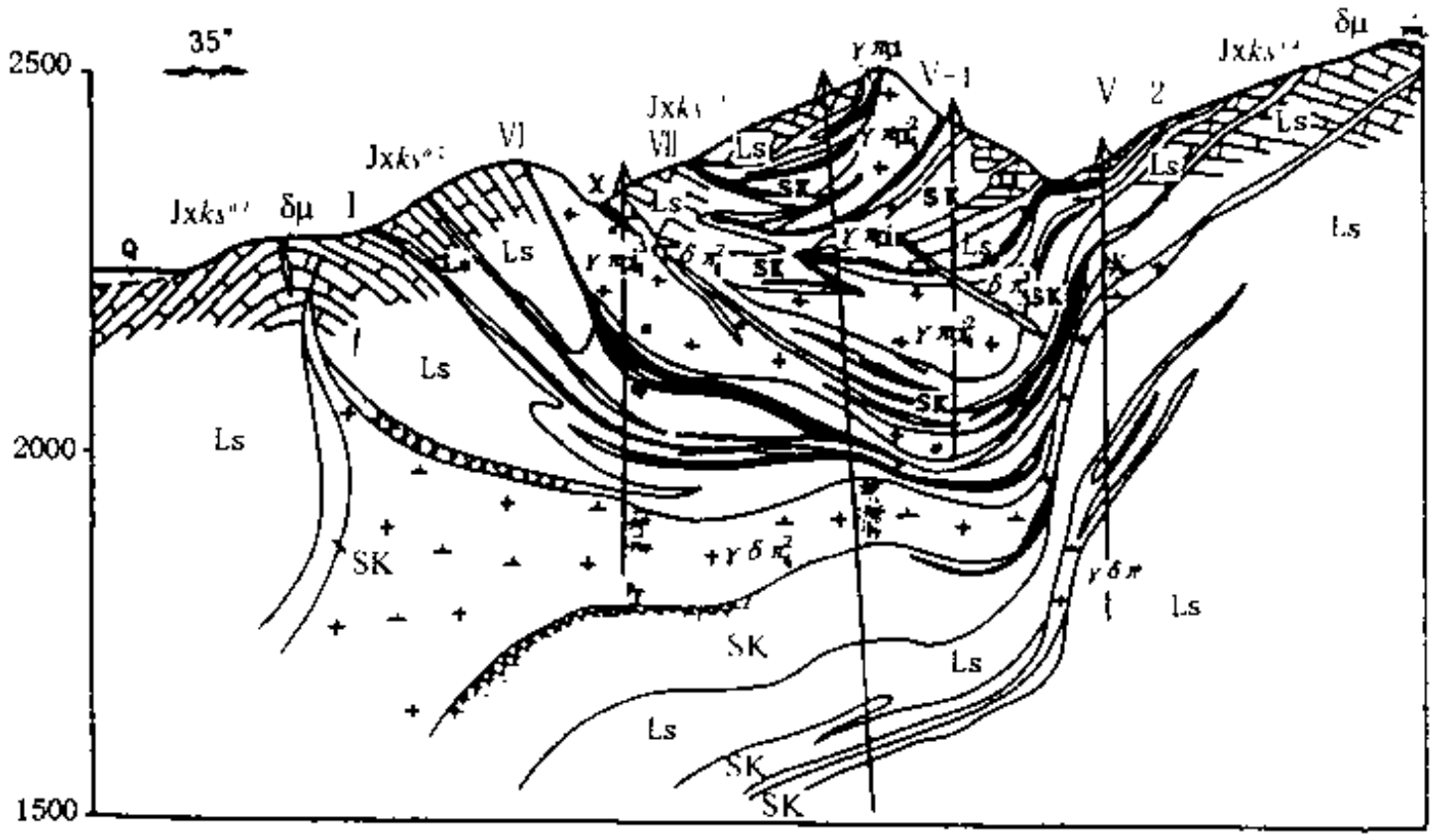


图2-102 喇嘛苏银矿床A—A′线剖面图

Fig. 2-102 Profile of A—A′ in Lamasu copper deposit

（图例同图2-101）

此外，还有含铜、铅矿化的石英脉，目前还达不到工业矿体的品位。

（六）矿石类型及矿石矿物

原生矿石有接触交代型和斑岩型两种。

斑岩型矿石金属矿物较简单，主要有黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿等。

接触交代型矿石主要金属矿物有黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、胶黄铁矿、磁铁矿，少量闪锌矿、方铅矿、方黄铜矿和白铁矿等。

在矿体顶部分布有氧化矿石，形成褐色铁帽。氧化矿石的矿物组合有褐铁矿、黄钾铁矾、孔雀石等。

黄铜矿是矿床中最重要的工业矿物，含量一般为1%～3%，个别可达10%，在矿石中呈不规则粒状、细脉状。在斑岩中常呈浸染状产出，与黄铁矿共生，有时伴生有辉钼矿；在夕卡岩中黄铜矿呈他形粒状，与黄铁矿、磁黄铁矿共生，组成连续细脉状产出。

辉钼矿主要见于花岗闪长斑岩体中部，常呈鳞片状聚晶与黄铁矿、黄铜矿共生，主要呈散染状及细脉浸染状产出。

磁铁矿主要见于地表及钻孔浅部，有时与磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿共生。

方铅矿和闪锌矿见于地表夕卡岩和石英脉中，有时和磁黄铁矿、黄铜矿共生，闪锌矿属高温成因的铁闪锌矿。石英脉中的方铅矿常呈良好晶形，属低温热液成因。

磁黄铁矿是夕卡岩交代带的常见矿物，致密块状的磁黄铁矿脉中含量可达60%～80%，多数情况下呈细脉聚斑状、条带状集合体及浸染状分布，与黄铜矿、黄铁矿组成连晶或包含黄铜矿。也常见到包含黄铁矿、磁铁矿、石英及其他夕卡岩矿物现象，并被黄铁矿、黄铜矿及闪锌矿所交代，或交代胶黄铁矿。

（七）矿石构造

矿石构造以块状、条带状和细脉浸染状为主，有时呈角砾状及聚斑状构造，氧化带以疏松土状结构为特征，有时也呈角砾状、块状。

四、矿床成因

喇嘛苏铜矿床黄铜矿的形成主要有三期，早期形成与磁黄铁矿共生的浸染状，较规则的黄铜矿；中期形成磁黄铁矿、黄铜矿细脉、网脉穿插于浸染状磁黄铁矿、黄铜矿石中；晚期形成黄铜矿石英脉又穿插前两期含黄铜矿矿石。斑岩中的黄铜矿则和后期斑岩体同时形成。

岩浆期后的夕卡岩化作用的氧化物阶段，形成少量的赤铁矿和磁铁矿，后期形成少量辉钼矿、磁黄铁矿等。总的说该阶段成矿作用不强烈，第三阶段铁铜硫化物和晚期硫化物阶段是主要成矿期。脉群控制，属浅成斑岩体铜矿化的斑岩型铜钼矿床和与斑岩体有关的接触交代型铜矿床。

五、找矿标志

找矿方向：在花岗闪长斑岩前缘凹部寻找斑岩矿体；在岩体转弯部位及石英脉密集带与片理化剪切带，即与砾屑砂屑灰岩交汇部位寻找改造型接触交代型富矿体；在含白云质灰岩与岩体交汇部位寻找层控型铅多金属矿体。

找矿标志：褐黄色铁帽是地表最明显的找矿标志；岩体产状变缓及超覆部位的石榴子石、透辉石夕卡岩厚大部位是成矿的有利部位；地表孔雀石化是的最明显找矿标志。

第三章　与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的接触交代型（夕卡岩型）铜矿床

接触交代型铜矿床通常称作夕卡岩型铜矿床，是指中酸性岩体侵入碳酸盐岩地层，与碳酸盐岩围岩接触，经双交代作用形成由钙硅质矿物组成的夕卡岩，夕卡岩被稍后的含铜等元素的热液交代而形成的铜矿床。接触交代型铜矿床在世界上不是一种主要的铜矿床类型，但在我国则是重要的铜矿床类型，其探明储量占全国铜金属储量约25.32%，仅次于斑岩型而居第二位。我国接触交代型铜矿床分布广（图2-103），但主要集中分布在长江中下游和燕辽等成矿带内。成矿时代主要为燕山期，其他时代也有少量产出。成矿主要受燕山期成超浅成钙碱系列中酸性侵入岩与碳酸盐岩接触带控制。矿体常成群出现、形态复杂，单个矿体规模大小不一，矿床的规模以中小型为主，但矿石铜品位较富。铜矿石成分复杂，矿石矿物常由钙铁、钙镁等夕卡岩矿物和铜铁的硫化物、氧化物组成，伴生铅锌等硫化物。矿石有益组分除Cu外，共生、伴生Fe、S、Mo、Au、Pb、Zn、Ag、Co、W、Sn等。矿石元素组合有Cu-Fe、Cu-Mo、Cu-Au、Cu-Pb-Zn-(Ag)、Cu W、Cu-W (Sn)、Cu-Fe-(Co)等。

这类矿床近矿围岩蚀变明显地为钙铁硅酸盐接触交代蚀变和高中温热液蚀变。与铜矿化有关的夕卡岩是透辉石（次透辉石）夕卡岩，金云母-透辉石夕卡岩和透辉石 石榴子石夕卡岩等。如果仅有早期的接触变质作用而其后的含水热液蚀变不发育，则铜矿化不好。

第一节　河北承德寿王坟铜矿床

一、大地构造单元

寿王坟铜矿床处于华北陆块北缘燕辽沉降带中的兴隆-朝阳坳陷区。寿王坟的北侧有黄土窑 赤城大庙-老虎山-哈尔套深断裂带，由西向东，由EW向转为NW向；寿王坟东侧有NNE向老哈河-平泉蓟县深断裂带。区内成矿背景总的为中生代构造岩浆活化带（芮宗瑶等，1991）。

二、矿区地质

（一）地层

矿区地层主要有蓟县系雾迷山组和中侏罗统后城组一段（表2-59）。雾迷山组岩性单 -主要为暗灰色、浅灰色厚层-中厚层白云岩、含燧石条带或结核灰质白云岩，分布在寿王坟岩体西南侧，呈NW转近EW向展布。后城组一段岩性主要为紫色凝灰质粉砂岩、粗砂岩及角砾岩，近东西向展布，与雾迷山组呈断层接触。

（二）构造

矿区位于兴隆台凹寿王坟断折凹陷之西南部。寿王坟复式倒转背斜奠定了矿区构造的总体轮廓。背斜轴向近于东西，轴面北倾，倾角60°～70°，背斜轴部出露有大红峪组石英岩，南北两翼分布有高于庄组下部的硅质白云岩和泥质白云岩，向斜内展布有洪水庄组、铁岭组及寒武系。复背斜之南翼，在寿王坟、三岔口等地则出露有雾迷山组白云岩。

区内断裂甚为发育，其走向多为东西或北东东，矿区东北部李家店-六道沟 -带，断层呈北西向延伸。在寿王坟本区的复式倒转背斜轴部断裂往往成群出现，规模较大，逆断层尤为发育，断层面均向北倾，倾角多在30°～60°，断层中段被寿王坟侵入杂岩所破坏，此组断裂对本区的成岩成矿具有重要意义。

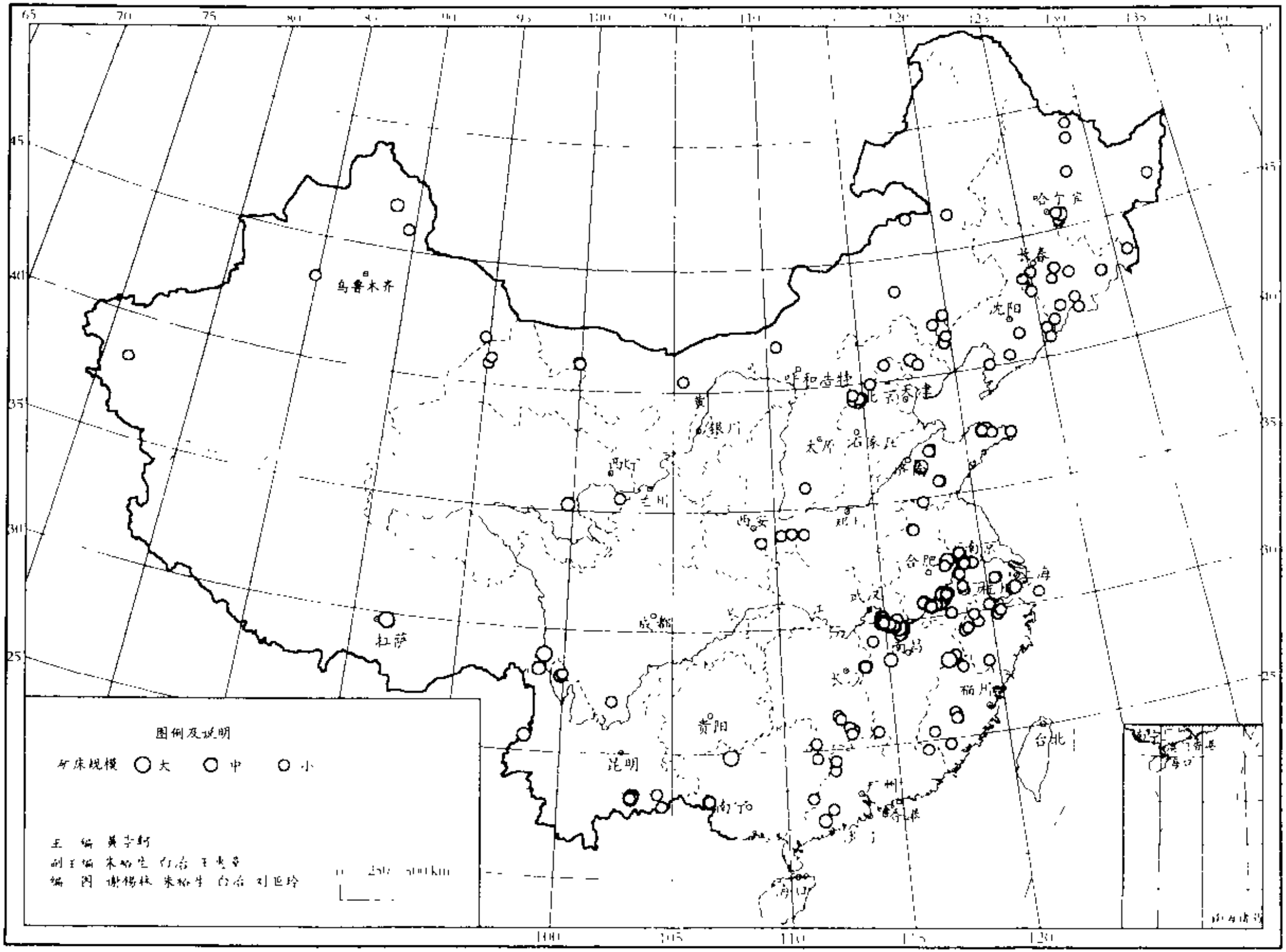


图 2-103 中国接触交代型铜矿床分布图

Fig. 2-103 Distribution plan of contact metasomatic copper deposits in China

表 2-59　寿王坟矿区地层表

Table 2-59　Stratigraphic scale in Shouwangfen ore district

界	系	统	厚度/m	主要岩性
中生界	白垩系	下统	427	砾岩、砂岩、粉砂岩和页岩
	侏罗系	上统	4413	上部为砂砾岩、油页岩夹煤层；下部为流纹岩、安山岩等
		中统	6050	砂砾岩、安山岩、集块岩、凝灰岩等
		下统	1747	砂砾岩、页岩夹煤层，有时为英安岩、粗安岩和玄武岩等
元古宇	青白口系		800	粉砂岩、泥质白云岩
	蓟县系		4500	燧石结核和条带状灰质白云岩、泥质白云岩、纸片状页岩、含镁白云岩和白云质灰岩等
	南口系		300	硅质白云岩、燧石条带状白云岩夹火山岩及页岩
	长城系		2000	砂砾岩、石英砂岩、粉砂岩、页岩、白云岩等

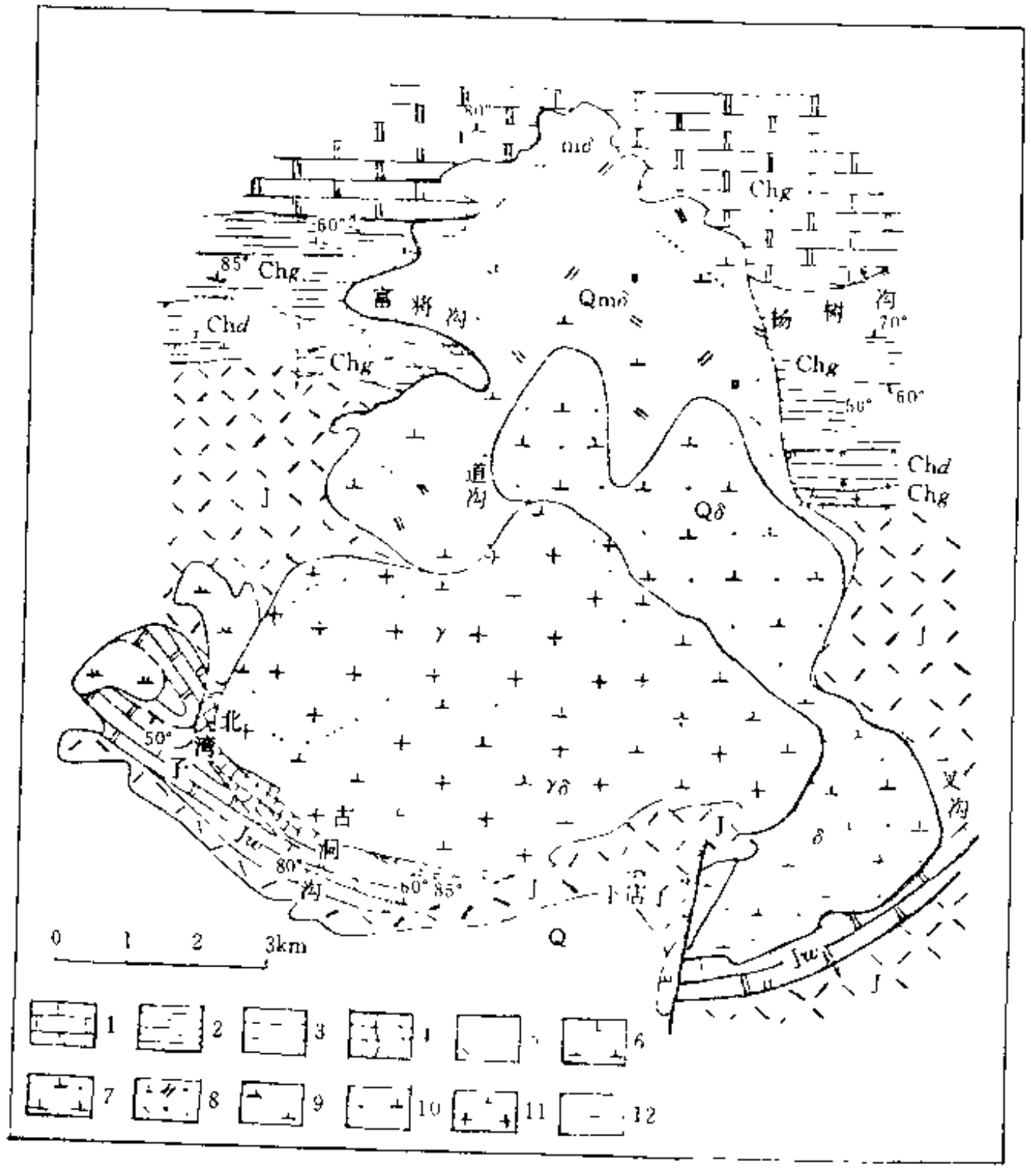


图 2-104　寿王坟矿区地质略图

Fig. 2-104　Geological sketch map of Shouwangfen ore district

(据冶金工业部 514 队 1965 年资料缩编) (after 514 Team, Ministry of Metallurgic Industry, simplified)

1—燧石白云岩；2—页岩；3—石英岩；4—角岩；5—侏罗纪火山岩；6—闪长岩；7—石英闪长岩；8—石英二长闪长岩；9—二长闪长岩；10—花岗闪长岩；11—花岗岩；12—石英粗面岩、粗面岩；Chg—长城系高于庄组；Chd—长城系大红峪组；Jxw—蓟县系雾迷山组

表 2-60　寿王坟复式岩体岩石化学成分(w_B/%)及其特征值

Table 2-60　Petrochemical composition (w_B/%) and eigenvalue of Shouwangfen multi-phase intrusion

序号	岩体名称	样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O	烧失	合计	K/Na+K	A/CNK	C/ACF	A/ACF	MF	岩石类型
1	后帮沟(δ)	8-24a	57.91	1.32	15.31	2.33	4.34	0.07	3.71	4.65	4.55	3.10	0.83	0.71	0.66	99.49	0.31	0.79	25.7	27.2	50.5	MI'
2	后帮沟(δ)	47-48	49.50	2.36	18.40	4.02	4.48	0.07	3.90	8.70	4.85	1.38	0.87	0.84	0.42	99.79	0.16	0.73	31.8	35.7	16.4	MI'
3	后帮沟(δ)	26-42	56.76	1.24	15.72	2.23	4.37	0.10	5.00	5.96	4.36	2.54	0.75	0.61	0.11	99.75	0.28	0.76	26.2	28.1	58.2	MI'
4	后帮沟(δ)	3-5	52.50	1.74	15.01	2.90	6.07	0.12	6.20	7.23	4.07	1.71	1.36	0.95	0.28	100.14	0.21	0.69	26.2	25.6	56.2	MI'
5	后帮沟(δ_0)	5.5-8	61.52	0.97	15.89	2.23	2.98	0.07	2.94	3.89	4.53	3.90	0.43	0.30	0.15	99.88	0.31	0.85	26.0	30.9	51.4	MI'
6	后帮沟(δ)	15-26	54.24	1.33	15.50	2.93	4.06	0.07	5.00	6.85	4.74	2.50	0.90	0.86	0.57	99.59	0.26	0.68	40.4	24.4	56.6	MI'
7	后帮沟(δ)	29-46	59.80	0.91	16.08	2.47	2.91	0.07	3.18	4.43	4.60	3.40	0.62	0.32	0.45	99.24	0.33	0.84	26.8	32.5	52.3	MI
8	窝哨沟(δ)	30-47	59.83	1.12	15.75	2.08	3.90	0.09	3.56	4.93	4.42	3.27	0.63	0.64	0.06	100.31	0.33	0.79	27.0	29.4	52.1	MI'
9	窝哨沟(δ)	35-54	60.74	0.86	18.45	1.67	2.95	0.09	1.29	3.43	5.67	4.28	0.28	0.39	0.33	100.43	0.33	0.90	27.2	40.2	34.4	MI'
10	窝哨沟(δ)	34-53	63.17	0.79	16.37	2.20	2.36	0.07	1.71	3.40	4.56	4.05	0.32	0.65	0.15	99.80	0.33	1.00	23.2	39.3	40.8	MI'
11	寿王坟($\gamma\delta$)	7-10	67.76	0.52	16.04	0.90	1.70	0.04	1.64	2.25	4.56	4.00	0.23	0.35	0.12	100.24	0.36	1.00	21.4	43.9	53.2	I
12	寿王坟($\gamma\delta$)	9-17	68.60	0.61	14.57	1.77	1.74	0.05	1.23	2.44	4.31	3.83	0.30	0.19	0.26	100.01	0.33	0.92	26.8	39.0	41.0	I
13	寿王坟($\gamma\delta$)	13-22	66.04	0.68	15.38	2.11	1.85	0.05	1.64	2.85	4.56	3.72	0.35	0.34	0.35	99.9	0.35	0.92	26.3	39.2	44.1	I
14	寿王坟($\gamma\delta$)	8-12	64.28	0.80	15.23	2.30	2.40	0.05	2.13	3.26	4.55	3.62	0.42	0.62	0.26	99.96	0.34	0.89	26.1	35.1	46.5	I
15	寿王坟($\gamma\delta$)	27-57	66.46	0.63	15.29	1.87	1.92	0.05	1.36	2.19	4.47	3.84	0.33	0.68		99.43	0.36	0.96	24.6	41.3	40.0	I

(据张德全、孙桂英,1988)

表 2-61　寿王坟复式岩体岩石稀土元素含量(w_B/10 $^{-6}$)及其特征值

Table 2-61　REE content(w_B/10 $^{-6}$) and eigenvalue of Shouwangfen multi-phase intrusion

序号	岩体名称	编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dg	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	δEu	La/Yb	Eu/Sm	La/Sm	ΣL/ΣH
1	后帽沟(δ)	15-26	83.58	158.60	17.93	63.11	10.71	2.67	7.32	0.69	5.03	0.77	2.52	0.25	1.70		20.47	254.88	336.60	18.28	0.95	49 2	0 25	7 8	18.4
2	后帽沟(δ)	18-24	66.40	124.00	14.26	49.95	8.38	2.33	5.71	0.63	3.89	0.61	1.97	0 17	1.36		15.91	279 71	265.32	14.39	1 07	48.8	0.28	7.9	18.4
3	后帽沟(δ)	47-88	65.36	126.50	15.14	57.26	10.11	3.40	7.08	0 74	4.29	0.66	1.98	0.18	1016		16.68	293.86	277.77	16.09	1.27	56.3	0.32	6.5	17.3
4	后帽沟(δ)	3-5	80.26	152.00	17.73	64.58	11.18	2.85	7.68	0.73	4.96	0.79	2.38	0.19	1.53	0.34	20.14	347.20	328.60	18.60	0.97	52 5	0.26	7.2	17.7
5	后帽沟(δ)	26-42	66.29	121.40	13.70	48 10	8.06	2.61	5.46	0.66	3.90	0.63	1.97	0.21	1.34		16.02	274.33	260.16	14.17	1.23	49.5	0.32	8 2	18 4
6	后帽沟	29-46	68.34	125.20	13.91	47.63	7.80	2.26	5.47	0 55	3.82	0.63	2.01	0.23	1.49		16.27	279.34	265.14	14.20	1.09	15 9	0 29	8.8	18 3
7	窝哨沟(η)	30-47	63.91	124 00	14.01	48.39	8.02	2.30	5.63	0 60	4 01	0.61	2.07	0 20	1.49		16 78	279 24	264 63	14.61	1 08	45 6	0 29	8 5	12 8
8	窝哨沟(η)	34-53	73.86	138.20	14.70	43.86	7.85	1.89	5.59	0.79	1 80	0.73	2.57	0 28	2.33		22.61	301 44	284 36	17.08	0 90	37 7	0 24	9.4	16 6
9	窝哨沟(包体)	34-54	71.49	139.50	15 18	50.96	8.63	2.00	6.18	0 79	5.51	0.85	2 56	0 33	2 21	0 47	23.74	306 46	287 56	18.90	0 87	32 4	0 23	8 3	15 2
10	窝哨沟(ηo)	35-54	65.86	119.30	13.28	44.06	7.52	2.13	6.06	0 71	5 17	0.91	2.98	0 36	2.64	0.61	24.56	271 62	252 15	19.47	10 2	21 9	0 28	8 8	12 9
11	寿王坟($\gamma\delta$)	7-10	47.50	84.83	8 95	29.84	4.41	1.29	2.84	0.32	1.93	0.26	0.74	0 11	0 64			183 70	176 86	6 84	1 13	74 2	0.29	10.8	25 9
12	寿王坟($\gamma\delta$)	9-17	54.72	98.23	10.62	35.53	5.51	1.47	3.38	0.29	2.30	0.32	0.96	0.09	0.79			211 31	206 18	8.13	1.05	69.3	0.27	9.9	25 4
13	寿王坟($\gamma\delta$)	13-22	56 07	101 40	11.06	36.95	5.79	1.61	3.63	0.40	2.59	0.35	1.05	0.12	0 92			221 94	212.88	9 06	1 08	60 9	0 28	9 7	23 5
14	寿王坟($\gamma\delta$)	8-12	57.22	103.60	11.41	39.28	6.17	1.70	4.10	0.54	2.72	0.36	1.13	0.08	0.93			229 24	219 38	9 86	1 06	61 5	0 28	9 3	22 2
15	寿王坟($\gamma\delta$)	37-57	54.52	101.00	10.87	36.61	5.53	1.55	3.50	0.40	2.54	0.33	1 03	0.11	0 90			218 89	210.08	8 81	1 09	60 6	0.28	9 9	23 8
16	寿王坟($\gamma\delta$)	11-17	40.78	72 69	7 45	24.61	3 70	1.03	2 35	0 21	1 54	0 22	0.62	0 06	0.53			155 83	150 26	5 57	1 08	72 3	0.28	11 0	26 97
17	寿王坟($\gamma\delta$)	14-23	60.31	111.50	12.64	42.56	6.62	1.77	4 25	0 43	3.06	0 43	1.61	0 15	1 08			246.41	235 40	11 01	10 4	55 6	0 27	9 1	12 30
18	寿王坟($\gamma\delta$)	39 61	57 69	102 90	10 66	34 93	5 16	1.35	3 13	0 24	2 30	0 32	0 97	0 13	0 83			220 60	212 69	7 91	1 03	69 4	0 26	11 2	26 90
19	寿王坟($\gamma\delta$)	39 62	34 01	54 80	5 59	17 69	2.61	0 83	1 91	0 26	1 31	0 19	0 30	0 08	0 72			120 72	111 56	9 16	1 18	47 9	0 32	13.0	22 40

(据张德全、孙桂英,1988)

（三）侵入岩

寿王坟岩体是由后帮沟石英闪长岩、窝哨沟二长岩和寿王坟（或上窝铺）花岗闪长岩等三个岩体三幕侵入组成的复式岩体。岩体长轴长约11 km，呈南北向延伸，短轴长4～9 km，出露面积约72 km^2，呈岩株状产出。该侵入杂岩侵入到上侏罗统的安山集块岩中，形成时代应为侏罗世末-白垩世初。依据各岩体的接触关系，可以判明其侵入顺序为闪长岩→二长闪长岩、石英二长闪长岩→花岗闪长岩。这三类岩石依其产出地质条件、结构构造特征可分别划分出内部相及边缘相，各岩相的空间分布见图2-101

应当说明，二长闪长岩、石英二长闪长岩原名为二长岩，但按岩石中碱性长石含量在国际岩石分类命名Q-A-P图解中，它位于二长闪长岩及石英二长闪长岩区，故改名为二长闪长岩等。

寿王坟杂岩体在岩石化学上突出地反映出相对富碱特点，尤其是早、中期侵入的闪长岩体和石英二长闪长岩体如此。由早期岩体至晚期岩体岩石酸度依次增高。

近年来，通过一系列同位素年代学研究已较为准确地确定后帮沟、窝哨沟和寿王坟三个岩体形成的先后顺序（张德全等，1988）。后帮沟岩体的黑云母K-Ar年龄为132.61Ma，全岩K-Ar年龄为133Ma，寿王坟岩体的黑云母K-Ar年龄为128.48～131.69Ma，Rb/Sr等时线年龄为129.9Ma。从二者同位素年龄值来看，后帮沟闪长岩形成略早。但窝哨沟岩体的黑云母K/Ar年龄为129.89Ma，与寿王坟岩体的年龄较接近。窝哨沟二长岩与后帮沟岩体的接触关系尚未弄清。

寿王坟复式岩体的副矿物组成为典型的锆石、榍石、磷灰石、磁铁矿和金红石等。

寿王坟复式岩岩石化学成分及其特征值如表2-60；稀土元素含量及其特征值如表2-61；几种微量元素含量如表2-62。

表2-62　寿王坟复式岩体岩石几种微量元素含量（$w_B/\times10^{-6}$）

Table 2-62　Content of trace element in Shouwangfen multi-phase intrusion（$w_B/\times10^{-6}$）

序号	岩体名称	样号	Rb	Sr	Rb·Sr	Ti×100/O·Si	K/Ca	Cu	Mo	W	Sn	Ba
1	后帮沟（δ）	3-5	45	1130	0.040			63	1.2	<4	1.6	
2	后帮沟（δo）	5-8	131	710	0.185			34	1.28	<4	1.8	
3	后帮沟（δ）	26-42	58	1030	0.056			57	1.75	<4	2.0	
4	后帮沟（δ）	18-2	93	900	0.103			63	2.00	<4	2.3	
5	后帮沟（δ）	47-88	46	2000	0.023			53	1.06	<4	1.3	
6	窝哨沟（δ）	30-47	86	720	0.119			39	2.28	<4	1.2	
7	窝哨沟（δ）	35-54	56	310	0.181			37	1.28	<4	3.6	
8	寿王坟（γδ）	7-10	109	600	0.182	0.62	2.10	25	4.08	<4	1.4	
9	寿王坟（γδ）	8-12	85	730	0.116	0.93	1.31	34	3.59	<4	2.4	1260
10	寿王坟（γδ）	90-17	103	560	0.184	0.70	1.86	30	2.52	<4	2.0	1110
11	寿王坟（γδ）	13-22	103	690	0.149	0.82	1.53	19	2.60	<4	1.6	1250
12	寿王坟（γδ）	37-57	81	550	0.147	0.72	1.86	19	2.60	<4	1.2	999
13	寿王坟（γδ）	39-61	90	520	0.173	0.71	1.87	12	2.40	<4	1.4	990
14	寿王坟（γδ）	39-62	90	340	0.265	0.32	3.08	28	1.34	<4	3.6	1010
15	寿王坟（γδ）	11-19	123	410	0.280	0.42	3.21	80	5.85	17	3.0	1210
16	寿王坟（γδ）	14-23	78	740	0.105	0.93	1.47	12	1.95	<4	1.7	1140
17	寿王坟（γδ）	37-56	118	620	0.190							

（据张德全、孙桂英，1988）

三、矿床地质

寿王坟铜矿床虽然储量不大，但作为镁夕卡岩铜矿床全国驰名。在112 km^2范围内，围绕燕山期寿

王坟中-酸性侵入杂岩体分布有不同类型的铁、铜、钼、铅、锌矿化。矿化主要分布于北湾子-小北沟、三岔口、朝梁子、碾盘沟 小店子、富将沟等地，构成寿王坟矿田。其中位于侵入杂岩西南部之北湾子 小北沟地段，产于镁夕卡岩中的铁、铜矿化尤为主要。它由西向东包括北湾子、火神庙、半截沟、龙潭沟、古洞沟及小北沟等矿段，全长3.5 km，称为寿王坟矿区（图2 101）。

（一）矿体

寿王坟矿区主要为隐伏矿体，赋存于花岗闪长岩与白云岩接触带。大小矿体10多个，都集中于寿王坟杂岩体西南部花岗闪长岩的凹入部位。在此凹部还有更小的凸凹现象。凹部位往往具有强烈的夕卡岩化，赋存有较大的矿体。在岩体凸部及平直接触面部位夕卡岩化轻微，矿化规模亦小。单一矿体走向延长约300～500 m，垂直延伸100～500 m，厚5～10 m，最大厚度可达40 m。此外尚有规模更小长仅30～50 m 的矿体，此类矿体数目众多，但储量甚微。矿体多呈不规则透镜状、扁豆状。产状与接触面产状基本一致，走向250°～300°，倾斜南西，倾角60°～70°（图2-105）。矿体主要由磁铁矿矿体及黄铜矿矿体构成。黄铜矿矿体常呈不完整的外壳包围于磁铁矿体外部，尤其在矿体两端更为富集；或以大小不同的扁

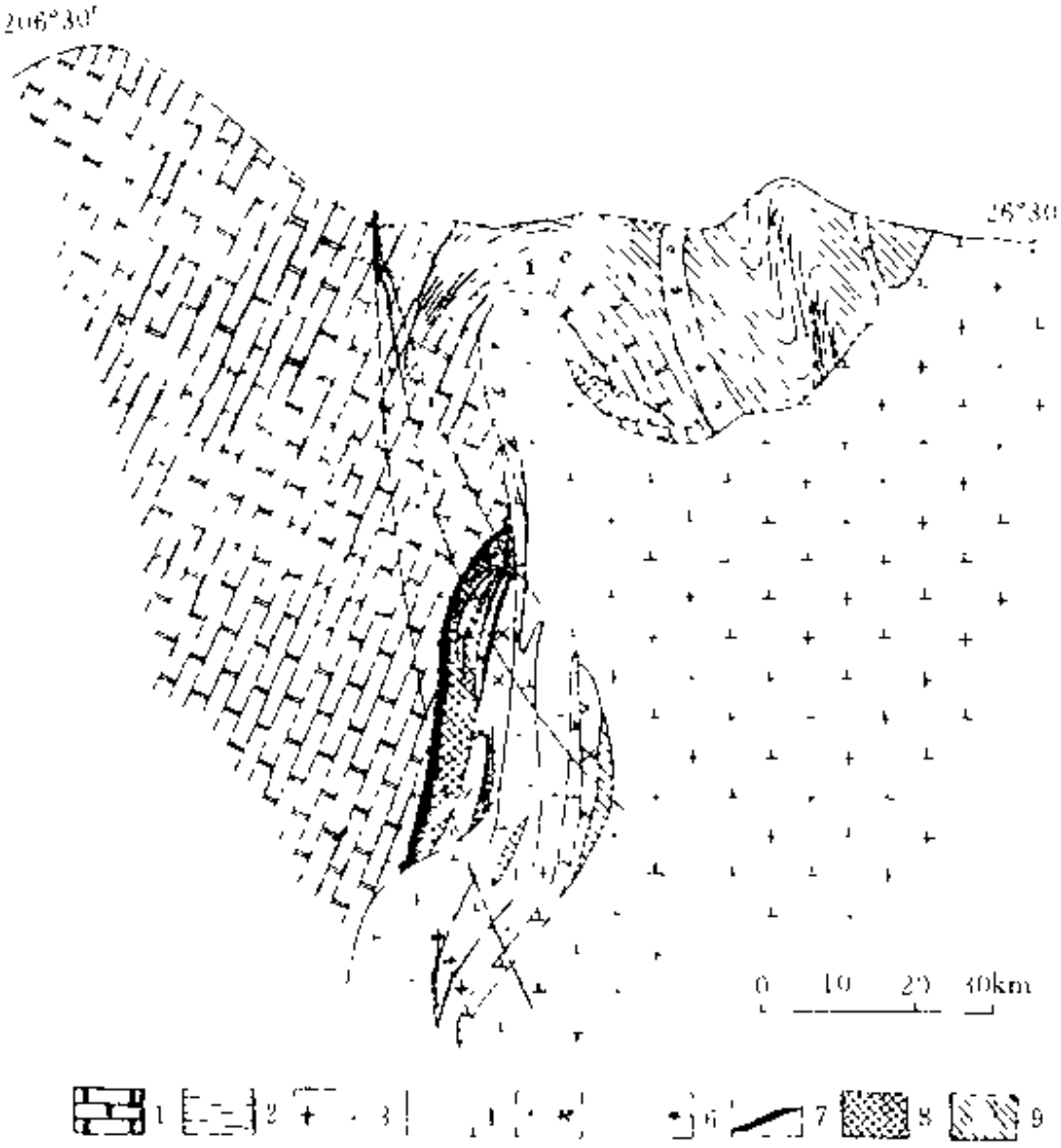


图2-105 寿王坟矿床16线地质剖面图

Fig. 2-105 Geological profile of line 46 in Shouwangfen deposit

（据514地质队资料简缩）(after 514 Team, Ministry of Metallurgic Industry, simplified)

1 白云质大理岩；2--角岩；3- 花岗闪长岩；4 细晶闪长岩，5 透辉石夕卡岩，6 石榴子石绿帘石夕卡岩；7 铁矿体；8 铜矿体；9 钼矿体

豆状赋存于磁铁矿矿体内部或切穿磁铁矿矿体（赵一鸣、林文蔚等1990）。

（二）矿石矿物成分

矿石中金属矿物为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿。非金属矿物为透辉石、镁橄榄石、粒硅镁石、金云母、透闪石-阳起石、绢云母、绿泥石、石英、蛇纹石、方解石、石榴子石、绿帘石等。黄铜矿常呈条带状、浸染状、脉状产于磁铁矿矿体及夕卡岩中，并交代磁铁矿、黄铁矿和磁黄铁矿。辉钼矿主要以星点状分布于蚀变花岗闪长岩、透辉石夕卡岩中，或沿白云岩层面展布。磁铁矿

是分布广泛的矿物，常呈致密块状、条带状、脉状、斑点状产出，与黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿相伴生。与磁铁矿伴生的脉石矿物为粒硅镁石、透闪石 阳起石、透辉石、镁橄榄石、蛇纹石。

（三）矿石结构构造

矿石发育有自形—他形粒状结构、骸晶结构、乳滴状、胶状及碎裂结构等，而以交代结构最为发育。夕卡岩中常见白云岩残留，晚期夕卡岩矿物普遍交代早期夕卡岩矿物。金属矿物除交代夕卡岩矿物外，金属矿物彼此之间也广泛存在各种交代现象，由此佐证了交代作用对金属矿物的形成具有重要意义。

矿石中多见块状、浸染状、斑点状构造。块状构造发育于磁铁矿矿石、磁铁矿-黄铜矿矿石、黄铁矿黄铜矿矿石中。夕卡岩及夕卡岩化白云岩中的磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿呈浸染状产出。脉状构造系指铜矿、磁铁矿在夕卡岩化白云岩中呈脉状产出、在磁铁矿矿体中有黄铜矿矿脉。

依据脉体大小和空间关系分为细脉及网脉。在粒硅镁石磁铁矿矿体中，磁铁矿与粒硅镁石相间排列组成特征的条带构造。这种条带构造还见于黄铁矿黄铜矿矿石和黄铜矿磁铁矿矿石中。

依据矿石矿物的不同组合和矿石的结构构造特征，将本区原生矿石划分为磁铁矿矿石、含铜黄铁矿石、含黄铁矿铜矿石、脉状铜矿石等。

（四）矿石化学成分

寿王坟矿石以铜为主，中型规模，矿石 Cu 品位0.61%；次为铁，Fe 品位29.82；伴生 Mo 平均品位0.125%。

（五）近矿围岩蚀变

矿区内沿燕山期侵入杂岩的周边部有强烈的蚀变和矿化现象。蚀变种类主要有夕卡岩化、绿泥石化、绢云母化、硅化、滑石化、蛇纹石化，而以夕卡岩化最为发育，并伴有 Fe、Cu、Mo 等金属矿化，夕卡岩中以镁夕卡岩矿物镁橄榄石、透辉石、粒硅镁石广泛发育为特征。镁夕卡岩的形成经历了岩浆期镁夕卡岩阶段和岩浆期后镁夕卡岩阶段，前者形成镁橄榄石、尖晶石等；后者镁橄榄石多蚀变为粒硅镁石生成金云母和磁铁矿，构成粒硅镁石磁铁矿矿体。在内接触带的花岗闪长岩及部分外接触带中形成方柱石、透辉石、石榴子石、符山石、绿帘石等钙夕卡岩矿物组合。在热液阶段透辉石广泛被阳起石、透闪石等矿物交代，嗣后叠加有绿泥石化、绢云母化，并伴有大规模金属硫化物沉积。它们多形成于磁铁矿体的边缘，组成绿泥石化、绢云母化含磁铁矿、黄铜矿的透闪石-阳起石透辉石夕卡岩和含磁铁矿、黄铜矿的粒硅镁石、镁橄榄石夕卡岩（赵一鸣、林文蔚等，1990）。从内接触带的花岗闪长岩至外接触带的白云岩夕卡岩具明显的分带现象。由于夕卡岩产出部位和地质环境不同，其分带也不尽相同。其综合分带为：

1. 花岗闪长岩

（1）碱性长石化、方柱石化花岗闪长岩。

（2）透辉石夕卡岩，宽2～15 m，主要由透辉石组成，叠加有透闪-阳起石化、绢云母化、绿泥石化、滑石化、硅化及金属矿化。

（3）透辉石镁橄榄石夕卡岩，宽5～20 m，镁橄榄石大部蚀变为粒硅镁石、金云母，并有透闪石 阳起石化、绿泥石化、蛇纹石化、滑石化叠加。此带中往往出现粒硅镁石磁铁矿含铜矿带，蛇纹石磁铁矿带和含铜透闪石阳起石粒硅镁石带。

（4）粒硅镁石镁橄榄石白云质大理岩带，宽2～7 m，此带中蛇纹石化强烈。

2. 白云质大理岩带

中低温热液蚀变有绿泥石化、绢云母化、硅化、蛇纹石化、碳酸盐化。绿泥石化、绢云母化主要发生于外接触带，多交代透辉石。蛇纹石化主要交代粒硅镁石和金云母。硅化则主要见于外接触带之大理岩中。

岩浆期镁夕卡岩叠加岩浆期后镁夕卡岩热液蚀变的强度和广度是本区铁和铜矿化直接找矿标志（赵一鸣、林文蔚等，1990）。

四、成矿条件及矿床成因讨论

（一）稳定同位素

寿王坟铜矿地质勘探时期较早，当时未作实验测试研究，目前只能收集到零星资料。

矿石中磁铁矿的 $\delta^{18}O‰$ 变化范围为3.5‰～1.0‰的侵入体（$\gamma\delta$）的初始锶值变化于0.7033～0.7057之间（张德全等，1988；王季亮，1983）。这些数据均有利于证明成矿物质来自较深地带（地幔）。

（二）矿床成因讨论

赵一鸣等（1990）的研究，认为寿王坟铜矿床属于典型的镁夕卡岩型矿床。矿床产于花岗闪长岩与白云岩接触带，矿体受接触构造的控制，绝大多数矿体赋存于夕卡岩中。成矿作用经历了岩浆期镁夕卡岩阶段→岩浆期后镁夕卡岩阶段、钙夕卡岩阶段→金属硫化物阶段→碳酸盐阶段。夕卡岩化与矿化具循序演化特点，磁铁矿开始形成于岩浆期镁夕卡岩阶段，都分布于透辉石镁橄榄石夕卡岩中。磁铁矿的大量沉积发生于岩浆期后镁夕卡岩阶段中，具有稳定的硅镁石磁铁矿组合。黄铜矿等金属硫化物形成于中低温热液阶段，它们广泛交代磁铁矿和夕卡岩矿物，特别是透辉石夕卡岩。矿床内各类交代结构非常发育，具有镁夕卡岩矿床典型共生组合和各交代建造的时空演化关系，交代分带明显。

张德全等（1988）研究了寿王坟成矿岩体与白家店的房山非成矿岩体后认为：岩体虽同属于燕山期，但寿王坟岩体形成时代略晚，且岩体中角闪石和黑云母约 MF 值高（即 Mg 高），包体中黑云母平均铜含量高。如果将闪长质包体看成为未熔的源岩残留体，那就很自然地认为寿王坟岩体的岩浆富含铜，且在岩浆结晶阶段并未分散于造岩矿物中而大量地被“消耗”掉，而是富集于高温气液流体中，与碳酸盐围岩发生交代作用时才富集成矿。

从黑云母和角闪石中分离出来的铜进入热液，与白云质灰岩或白云岩交代形成夕卡岩型铜铁矿床。铁与铜的富集具有垂直分带现象，即随着深度增加，铁的品位上升，铜的品位相对降低。

仔细考察一下寿王坟岩体及其周围铜的分布情况，会愈加相信铜主要来自深源岩浆及其源岩。离寿王坟南接触带愈近，无论是包体还是花岗闪长岩，其铜含量都有增加趋势，主岩体中 Cu 由25×10⁻⁶增至34×10⁻⁶，包体中由26×10⁻⁶增至28×10⁻⁶；从蚀变花岗闪长岩中 Cu 由56×10⁻⁶增至透辉石夕卡岩中 Cu 的885×10⁻⁶。总之，寿王坟岩体南接触带铜含量增高，不仅代表原始岩体铜丰度值高，而且后期还经过的迁移富集，最终方形成铜铁矿工业矿床。

第二节　辽宁桓仁县桓仁铜矿床

一、大地构造单元

桓仁铜矿床的大地构造单元属于华北陆块的辽东台背斜太子河浑江凹陷东端，其北部与铁岭-靖宇隆起相临，南部与营口-宽甸隆起接壤。本区前震旦纪时期为一个地槽区，相继沉积了巨厚的辽河群地层，其后受吕梁运动的影响，不仅结束了地槽深幅沉陷，而且产生了东西向褶皱回返，伴随区域性岩浆活动。加里东期本区表现为缓慢的升降运动，致使志留系-泥盆系缺失。华力西期本区表现为北西西向和北西向构造线，并伴随岩浆侵入。燕山期本区全面活化，构造-岩浆活动范围广、规模大，除东西向构造线复活外，主要产生广泛的北东向构造线，从而奠定了矿区的主要构造形态，伴随强烈的岩浆侵入和火山喷发。热液蚀变和多金属矿化主要受燕山期构造-岩浆活动的控制。

二、矿区地质

（一）地层

矿区地层如表2-63，描述简略。

（二）矿区构造

前震旦系构造线总体上呈 EW 向，华力西期构造线呈 NW 向，而燕山期构造线呈 NE 向。前期构造被后期构造复活和叠置，故矿区构造十分复杂。从对燕山期侵入岩体、岩脉、夕卡岩体和矿体赋存的控制来看，断裂比褶皱更为重要。

表2-63 桓仁铜矿地层简表

Table 2-63 Stratigraphic scale of Hengren copper deposit

系	统	厚度 m	主要岩性	分布位置
第四系		0.5～30	主要为冲积层和坡积层	沿水系和山坡分布
侏罗系	火山岩系	600～1000	斑状安山岩、辉石安山岩和安山岩等	在矿区南部大面积出露，被成矿闪长岩侵入
寒武系	中上部	300～1300	上部为厚层的白色、灰黑色灰岩夹条带状灰岩；下部为鲕状竹叶状灰岩，内夹薄层状页岩	上部为有利成矿的围岩，位于矿区的东北部，出露面积较广。岩层走向NW—NWW向，倾角50°±
	下部	50～150	灰紫色、灰褐色云母质和砂质页岩夹灰岩透镜体	分布于矿区东北部，见斑状花岗岩侵入其中
震旦系	桥头统	300～700	以泥质灰岩为主，夹石英岩和页岩	分布于矿区北西部
	南芬统	500～900	灰绿色-紫色灰岩为主，夹泥质灰岩和石英岩	倾角10°～60°
	钓鱼台统	50～150	石英岩	

1. 褶皱构造

北岔背向斜：由两个平行的短轴背斜和一个小向斜组成。中段为北东向断层错开，NW端及SE端各为NE向和EW向断层所截。延长大约600 m，走向为NW30°。背斜由下寒武统馒头组下段地层组成，东翼和西翼地层倾角分别为55°和65°，为一组轴面向NE倾斜的褶曲。

松兰单斜：位于矿区EW向逆断层之北，松兰到小河沿一带，由震旦系和下寒武统组成，岩层走向NE20°～30°，倾向SE，倾角30°～10°。

滚马岭复式背斜：为本区规模较大的背斜，被NE向断层截成两段，沿大背斜轴部又为北西向断层错断。背斜北西端延至区外，南东端为安山岩覆盖。背斜由寒武系组成。本区所见背斜延长达1800余米。背斜轴走向为NW20°～30°。背斜之SW翼由10个次级相互平行的背向斜组成，背向斜轴的走向亦为NW20°～30°。两翼岩层倾角通常为50°～60°，个别缓者达25°，陡者达75°。这些次级背向斜有时为NW和NE向断层切割和被闪长岩体侵入，遭到强烈破坏。该复式背斜南西翼的次级背向斜轴部往往成为发育夕卡岩体和矿化体的最有利的富集地段。如滚马岭和西岔寺都能见到这种现象。

2. 断裂构造

EW向断裂：EW向深断裂属于区域EW向深断裂的东延部分，是控制闪长岩侵入和夕卡岩矿床赋存的主要构造。北岔-松兰-滚马岭EW向逆断层也是本区重要的EW向构造。

NW向断裂：分布于矿区NW和NE端，在靠近斑状黑云母花岗岩的分布区，NW向断裂成组出现，多属于逆断层。它们常常被NE向断层切割。

NE向断裂：该组断裂在矿区特别发育，平行成组出现，是控制矿区中酸性岩脉侵入的主要构造。该组断裂切割了NW向和EW向断裂，形成相对较晚。

NNE向断裂：NEE向断裂切割了NE断裂组，故形成更晚。

（三）侵入岩

本区侵入岩主要包括斑状黑云母花岗岩、闪长岩和各种脉岩，现简略叙述如下：

斑状黑云母花岗岩：呈NE向不规则岩体产出，分布于松兰和影壁山等地，矿区出露面积为2.5 km^2。岩石呈粉红色至灰白色，斑状全晶质半自形-他形粒状结构。斑晶主要为斜长石，基质由石英、正长石和黑云母等组成，副矿物有锆石和磷灰石等。斑状黑云母花岗岩的时代，由于缺少同位素年龄数据，故众说纷纭，有吕梁期、华力西期和燕山期三种说法。根据穿插关系，认为黑云母花岗岩生成晚于早寒武世，早于侏罗—白垩纪，最有可能属于华力西期。

闪长岩：分布于矿区中部，东起倒木沟，西至马圈子一带，东西长约8.5 km，南北宽0.8～2.1 km，

分布面积12 km^2。该岩体北部与寒武系灰岩侵入接触，南部与侏罗纪火山岩系侵入接触。根据观察，该岩体是沿近东西向区域复活断裂侵位的。该岩体主体部位为灰白色-灰绿色等粒闪长岩，主要由自形粒状斜长石、粒状角闪石和少量黑云母组成。在等粒闪长岩体边缘为斑状闪长岩，灰色-暗灰色，斑晶主要为斜长石和少量角闪石，基质有中斜长石、角闪石、黑云母、正长石、辉石等，副矿物为磷灰石和磁铁矿。闪长岩侵位于燕山期，与夕卡岩化和矿化密切相关。

脉岩：包括碱性岩脉、中性岩脉和基性岩脉。碱性岩脉主要分布于矿区东部，成群出现，岩性有正长细晶岩、花岗斑岩和正长斑岩等，延长1000～5000 m 不等，宽10～60 m 不等，走向 NE- NEE，倾向NW，呈高角度产出。中性岩脉分布于闪长岩体接触带，岩性主要为闪长玢岩和安山玢岩，岩体分支复合，延长500～3000 m，宽10 m 左右，走向 NE—NEE，倾向 NW，以高角度产出居多。基性岩脉大多数分布于矿区西部，岩性有辉绿岩和煌斑岩两种，而辉绿岩主要分布于闪长岩体内部，延长100～500 m，宽10 m 左右，走向 NE—NEE，倾向 NW，倾角陡。

（四）火山岩

主要分布于矿区南部，时代暂确定为侏罗纪，为多期喷发产物，由中性喷发演化为酸性喷发，以安山岩占绝对优势，以层状堆积为主，少量呈脉状产出。岩性包括火山集块岩、安山角砾岩、凝灰质角砾岩、安山岩、火山碎屑岩和多斑角砾流纹岩。现将这些岩性作简略叙述：

火山集块岩：灰色-灰白色，集块直径变化于2～8 cm，大者达20～40 cm。成分以紫色-灰紫色安山岩为主，其次有斑状黑云母花岗岩、石英岩、片麻岩和火山灰等。

安山角砾岩：杂色，砾径2～10 cm，大者达10～20 cm。成分以紫色安山岩为主，砾石呈棱角状，分布于西岔沟口。

凝灰质角砾岩：杂色角砾状构造，角砾直径一般在约5～15 cm，角砾成分有斑状闪长岩、等粒闪长岩、正长斑岩和安山岩等。分布于西岔坑口等地。

安山岩：深灰色-灰黑色，厚层，呈致密状隐晶质，在矿区有两层，出露于西岔小学等地。

火山碎屑岩：在矿区有两层。一层分布于火山集块岩之下，另一层分布于多斑角砾流纹岩之上。成分以火山灰为主，含有大理岩和中酸性—基性脉岩的角砾。

多斑角砾流纹岩：粉红色，角砾状构造，为含大量斑晶的流纹岩层，分布于大西岔。

（五）矿床地质

1. 矿体

矿体产状严格受接触带及岩脉产状的控制。接触带矿体产状与接触带一致，走向大致为NW，倾向N，倾角40°～60°。岩脉两侧的矿体产状与岩脉一致，走向NE40°～60°，倾向NW，倾角50°～80°。矿体产于滚马岭、西岔、松兰和北岔四个地段（图2-105），它们的规模和数目如表2-64。

矿体在空间上出现的部位有以下三种：

（1）闪长岩与灰岩接触带赋存的矿体。其中铅锌矿体经常出现在蚀变灰岩与石榴子石夕卡岩接触带，常交代透辉石夕卡岩；铜矿体常出现在石榴子石夕卡岩中下部，交代夕卡岩呈浸染状矿体；含铜磁铁矿矿体出现部位与铜矿体相同，但分布不均匀。这类矿体呈扁豆状和脉岩，矿体规模相对较大，通常长50～150 m，最大延长300 m，延深100～200 m，宽2～6 m，矿体产状与接触带产状基本一致。

（2）中酸性岩脉两侧的矿体，多为铅锌体，规模相对较小，延长30～120 m，深50～100 m，厚1～8 m，矿体形态呈脉状，产状与岩脉一致。

（3）层间裂隙矿体，以较富的铅锌矿体为主，矿体形态呈似层状或脉状，矿体规模较小，通常延长30～80 m，延深30～60 m，厚0.5～3 m，产状与层理基本一致。

2. 矿石矿物

矿石矿物可以构成6个共生组合，如表2-65。主要矿石类型有3种：

铅锌型：主要由方铅矿、闪锌矿组成，伴生少量黄铜矿；脉石矿物有透辉石和石榴子石。主要分布于近地表的闪长岩外接触带。

铜锌型：主要由黄铜矿和闪锌矿组成，伴生少量方铅矿；脉石矿物为石榴子石、透辉石和阳起石。

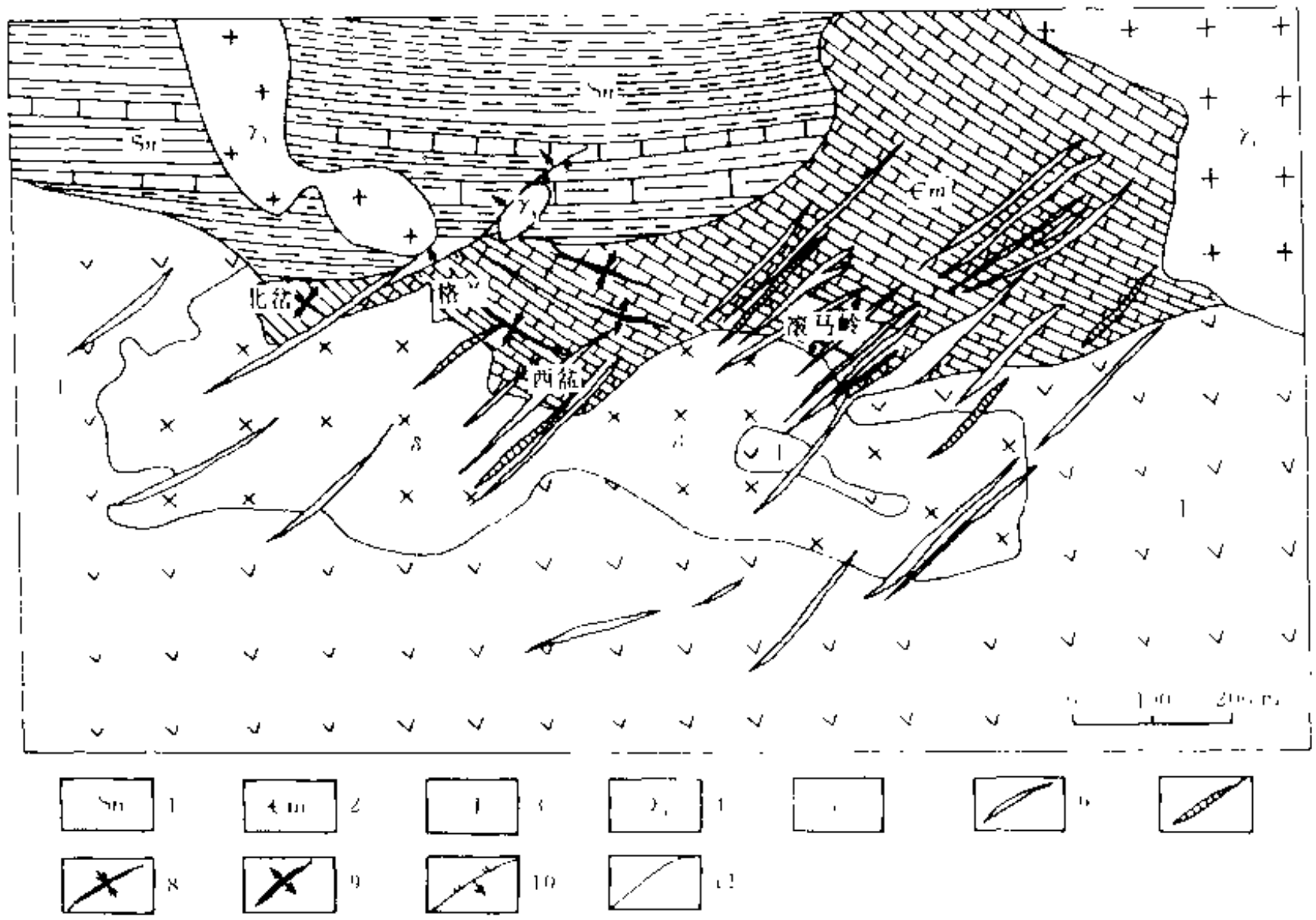


图2-106 桓仁铜矿床地质图

Fig. 2-106 Geological map of Hengren copper deposit

1 震旦系；2 寒武系；3 侏罗系；4 黑云母花岗岩；5 闪长岩；6 中酸性岩脉；7 中性岩脉；8 向斜；9 背斜；10 逆掩断层；11 地质界线

表2-64 桓仁铜多金属矿床矿体规模及品位一览表

Table 2-64 Dimension and grade of ore bodies in Hengren Cu-polymetal deposit

矿段	矿体个数	矿体规模 m			金属含量 %			
		长	宽	深	铜	铅	锌	铁
滚马岭	40	10～300	0.5～20	50～200	0.2～1.1 0.68	0.5～1.4 0.97	0.6～24.0 3.6	20～50
西岔	35	10～200	0.5～12	50～300	0.2～5.2 0.87	0.5～1.7 0.64	0.6～15.3 2.45	25～45
松	21	10～200	0.5～3	50～150	0.2～1.9 0.75	0.65～5.0 0.77	0.65～20 2.45	20～30
北岔	13	10～100	0.5～3	50～150	0.2～0.7 0.37	0.5～5.7 1.4	0.6～22 0.32	35～45

注：铜、铅、锌和铁含量（%）分子为变化范围，分母为平均值

主要分布于接触带中下部。

含铜磁铁矿：脉石矿物为石榴子石和少量阳起石。分布于接触带下部，铜品位变化较大。

3. 矿石结构构造

矿石结构主要有粒状结构、残留结构、浮浊状结构、次文象结构和边缘交代结构。主要矿石构造有块状构造、浸染状构造、交错状或网格状构造和带状构造等。

1. 矿石储量及品位

桓仁铜多金属矿床拥有铜储量101146t，保有铜储量45294t，铜品位0.71%；锌储量24494t，锌品位0.1%；铅储量4066t，铅品位0.07%。

（六）围岩蚀变

（1）夕卡岩化：主要分布于闪长岩体与灰岩接触带中，有时在成矿前的岩脉两侧及层间裂隙中亦

有夕卡岩化。夕卡岩常常形成单矿物交代岩，如石榴子石夕卡岩和透辉石夕卡岩。根据夕卡岩矿物含量变化可划分如下夕卡岩种类：绿帘石夕卡岩、透辉石夕卡岩、绿帘石 石榴子石夕卡岩、透辉石-石榴子石夕卡岩等。从闪长岩到灰岩具有明显的分带现象，大体上可以划分8个蚀变岩带：

表2-65 桓仁铜多金属矿床矿石矿物组合

Table 2-65 Mineral assemblage in ore in Hengren Cu-polymetal deposit

组合	金属矿物		Ⅱ金属矿物	
	主要的	次要的	主要的	次要的
1	方铅矿、闪锌矿		透辉石	石榴子石、绿帘石、方解石
2	方铅矿、闪锌矿	黄铜矿、黄铁矿	透辉石	石榴子石、绿帘石、方解石
3	闪锌矿、黄铜矿	方铅矿、磁铁矿、黄铁矿	石榴子石	透辉石、阳起石
4	黄铜矿、磁铁矿	闪锌矿、黄铁矿	石榴子石	透辉石、阳起石
5	磁铁矿	黄铜矿、闪锌矿	石榴子石	透辉石、阳起石
6	磁黄铁矿	磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿	石榴子石	透辉石、阳起石

蚀变闪长岩带；钾长石化闪长岩带；绿帘石夕卡岩带；石榴子石夕卡岩带；石榴子石-透辉石夕卡岩带；透辉石夕卡岩带；方铅矿闪锌矿矿体；蚀变大理岩带。

（2）硅化：主要出现在蚀变灰岩中。

（3）镁橄榄石化：出现在闪长岩与含镁灰岩接触带，镁橄榄石有时又重新蛇纹石化。

（4）铁锰碳酸盐化：一系列锰方解石、菱锰矿交代灰岩。

（5）绿泥石化：常出现在闪长岩和夕卡岩内，有时在矿体两侧和接触带的节理裂隙中常出现绿泥石的交代产物。

（6）钾长石化和钠长石化：这些碱质硅酸盐交代矿物常出现在闪长岩和中酸性脉岩中，有时接触带的夕卡岩中也常常见到钾长石和钠长石。

三、矿床成因讨论

金属硫化物常与夕卡岩共生，矿体产出部位虽有不同，但主要赋存于接触带。矿体向深部往往与夕卡岩体连成一体。虽然成矿稍晚于夕卡岩化，夕卡岩体与矿体不完全吻合，但二者在成因上和时空上关系十分密切，都应归于岩浆热液-构造演化的产物。从总体上说，应归结为接触交代型矿床。

第三节 黑龙江宾县弓棚子铜矿床

一、大地构造单元

矿区位于张广才岭隆起的西缘与松辽平原接壤处。

二、矿区地质

（一）地层

矿区出露地层自下而上为：

（1）下二叠统土门岭组：下部为砂板岩，夹薄层大理岩，厚180～220 m；中部以中酸性火山碎屑岩为主，间有正常沉积的泥质岩石，局部夹大理岩透镜体，厚110～180 m，上部以厚层大理岩为主，夹泥质岩石薄层，厚80～110 m。由于受接触变质作用的影响，火山碎屑岩和泥质岩石均变质成角岩。本组地层主要为赋矿层位。

（2）上侏罗统：帽儿山组上段地层，不整合覆盖于二叠系之上，在矿区内呈NNE向分布，在下部为中酸性凝灰熔岩，上部以流纹岩为主，夹凝灰质砂板岩及炭质板岩。

此外，河谷还分布有第四系冲积层（图2-107）。

（二）构造

本区构造处于NE向复式背斜之次级向斜轴部，NE向压扭性断裂的西侧，NW向张扭性断裂与向斜的交切处，矿区内褶皱及断裂构造十分发育（图2-107）。

1. 褶皱构造

矿区土门岭组地层构成NNE走向，轴面南倾的不对称倒转向斜。其岩层倾角上陡下缓，甚至反倾斜和倒转，层间断裂构造发育，铜锌矿体即赋存于大理岩与角岩的层间断裂构造中（图2-108）。

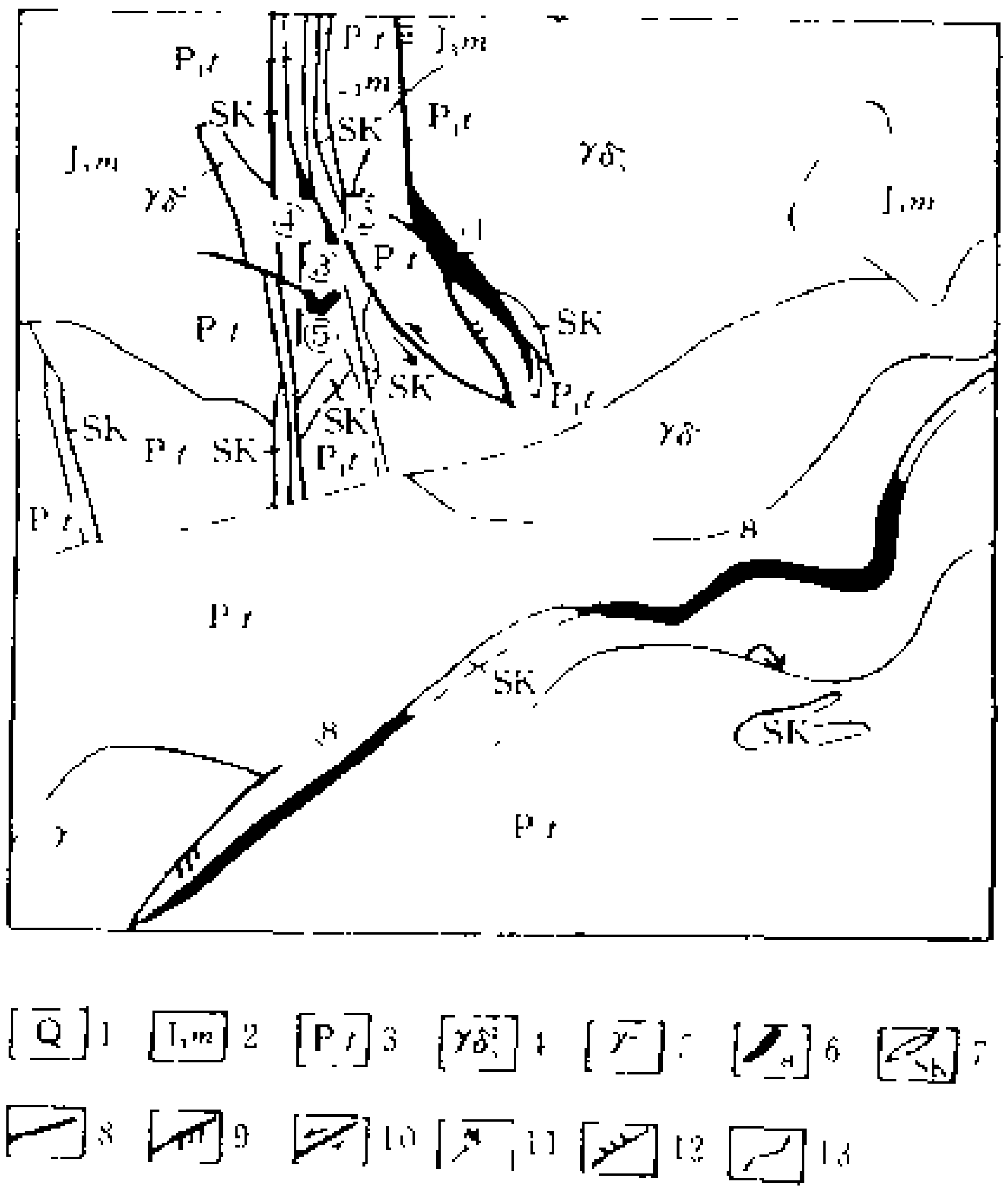


图2-107 弓棚子铜锌钨矿床矿区地质图

Fig. 2-107 Geological map of Gongpengzi Cu-Zn-W deposit

（据韩振新等，1995）（after Han Zhenxin et al.，1995）

1—大理岩；2—板岩；3—角岩；4—夕卡岩；花岗闪长岩；5—燕山期黑云母花岗岩；6—矿体及编号；7—夕卡岩；8—实测及推测断层；9—张扭性断层；10—扭性断层；11—倒转向斜；12—压扭性断层；13—地质界线

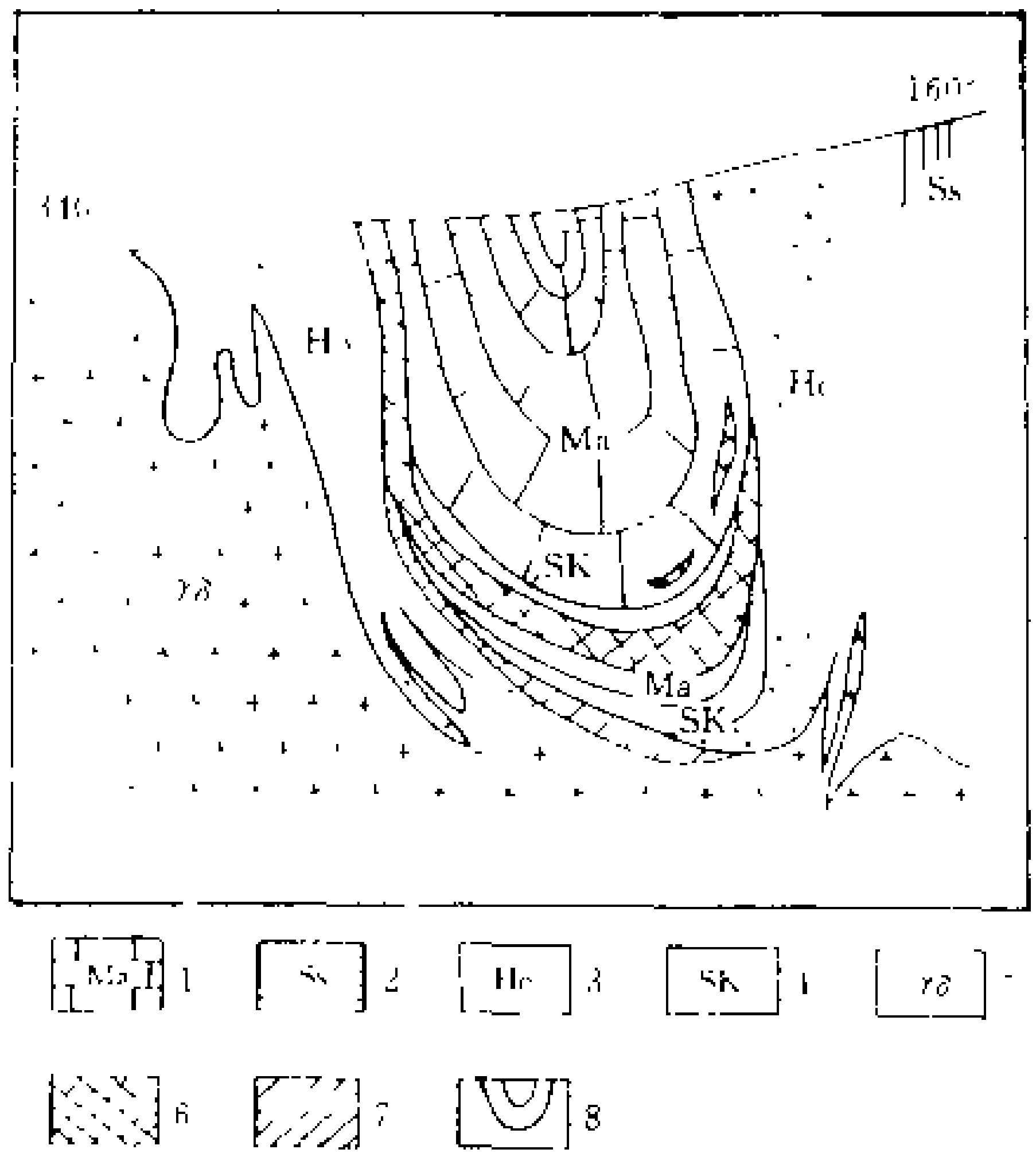


图2-108 弓棚子铜锌钨矿床1号勘探线剖面图

Fig. 2-108 Profile of exploratory line 1 in Gongpengzi Cu-Zn-W deposit

（据韩振新等，1995）（after Han Zhenxin et al.，1995）

1—第四系冲积层；2—帽儿山组；3—土门岭组；4—燕山期；5—花岗闪长岩；6—铜锌矿体；7—钨矿体；8—层理

2. 断裂构造

成矿前和成矿期断裂：花岗闪长岩南部的NNE向接触带，可能为一隐蔽的构造破碎带，为白钨矿的聚集提供了场所。外接触带的大理岩与角岩互层的层间断裂构造，系铜锌矿体的主要储矿构造，以NEE向为主，NWW向次之。

成矿后断裂，主要有两组：一组为NNE向扭断层，横切矿区东部，有脉岩沿此断续出露；另一组为NEE向张扭性断层，纵贯矿区中部，下盘西移，上盘东移并下降。其次为NNW向张力裂隙及NE、NW向的剪切裂隙，常穿切矿体及基性岩脉，裂隙本身被细晶岩脉所充填。

（三）岩浆岩

矿区内分布的火山岩主要为裂隙式喷发的流纹岩及流纹质凝灰熔岩。侵入岩有花岗闪长岩和黑云母花岗岩，二者无明显界线，深部相连，与土门岭组地层呈侵入接触。

（1）花岗闪长岩岩相变化较大，岩体内部为斑状中粒花岗闪长岩，边缘相为细粒花岗闪长岩，局部地段边缘浅成岩枝相为石英闪长斑岩及闪长斑岩。岩体属于铝过饱和系列，为贫碱和为硅酸所饱和的岩石。花岗闪长岩在空间和成因上与成矿关系密切。

(2) 脉岩有辉绿岩、闪斜黄斑岩、闪长玢岩、细晶岩等，走向以NEE向为主，NWW向次之。前者为成矿前产物，后者多穿切矿体。

(四) 铜矿床地质

1. 矿体特征

矿体产状与花岗闪长岩体的接触带方向基本一致，走向以NEE向为主，倾向有两组，主要一组倾向SE，倾角随岩体产状上陡下缓而变化；另一组倾向NW，倾角70°～80°。向斜北部的铜锌矿体，走向NNW，倾向西，倾角70°以上。全矿区共有十余个矿体，主要矿体（8号）赋存在花岗闪长岩的外接触带100～200 m范围内的大理岩与角岩层间破碎带内的夕卡岩中（图2-108），矿体长1312 m，厚2～5 m，Cu品位1.2%，延深大于380 m。矿体的产状与岩层产状一致，呈不规则脉状，各矿体的规模相差悬殊，其走向延长均大于倾斜延伸，其比值一般在2:1之间。矿体平均厚1～6 m，铜的平均品位1.21%、锌1.42%、铅0.22%。白钨矿主矿体赋存在铜锌主矿体之下的内接触带附近，呈不规则脉状，平均WO$_3$ 0.408%。并伴生有Au、Ag、Mo、Bi等金属（图2-108）。

铜锌矿体的变化特点是：

(1) 锌主体矿隐伏于河谷冲积层之下，上盘为大理岩，下盘为角岩。矿体上盘的矿化品位高，矿体下盘品位较低。此外，品位与厚度变化，一般呈正消长关系，厚度大，品位高，反之则低。

(2) 岩层走向和倾斜产状稳定处，矿体的产状和厚度稳定；岩层转折处，矿体有胀缩；岩层由陡变缓处，矿体变厚；褶皱收敛处，矿体多分支复合。

(3) 矿体纵向变化：一般地层陡倾角处矿体厚度较薄，缓倾角处厚度增大，即地层由陡变缓，矿体由薄变厚，并有急剧膨缩之趋势。

(4) 矿体横向变化：矿体产状东陡西缓，11线以西，出现了“靴子”型，表明矿体产状、形态变化较大。

2. 矿石矿物成分

铜锌矿体的矿物成分主要为黄铜矿（少量方黄铜矿）、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、白钨矿、磁黄铁矿、黄铁矿；其次为辉铜矿（少量方辉铜矿）、黝铜矿、辉钼矿、白铁矿、毒砂、辉铋矿；微量的有自然铜、辉银矿、车轮矿等；次生的矿石矿物为孔雀石、蓝铜矿、辉铜矿和胆矾等。非金属矿物以钙铁榴石及钙铝榴石、透辉石为主；钙铁辉石、硅灰石、透闪石、符山石、方柱石、阳起石、绿帘石次之；黑云母、绿泥石、石英、方解石少量。

黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、闪锌矿是组成铜锌矿体最基本的矿物。

3. 矿石结构构造

矿石结构以自形—他形粒状为主，此外有固溶体分离结构（乳滴状、叶片状）和各种交代结构（交代文象、环带、反应边等）。矿石构造主要为浸染状，在夕卡岩中裂隙发育地段出现网脉状及团块状构造，局部有角砾状构造。

4. 矿石化学成分

铜锌主矿体伴生有多种金属元素。其中Cu、Zn、W为主金属；Pb、Bi、Mo为伴生组分。矿石中呈分散状态存在的有益伴生组分有Au、Ag、Se、Te、In、Ga、Cd、Ge等。

5. 矿化分带

不同矿化类型赋存的地质位置和空间有较大差异，具有规律性的分布。白钨矿体赋存在接触带附近，而铜锌矿体在其上盘外带的大理岩中。二者相距很近，却构成迥然不同的两类矿体。主要金属的空间分布也突出了这一规律，即花岗闪长岩→钼、钨→铁、铜→铜、铅、锌→锌、铅→大理岩。

(五) 近矿围岩蚀变及其分带

夕卡岩化为主要近矿围岩蚀变。夕卡岩体呈不规则脉状及似层状产出，受接触带构造及外接触带层间构造控制。夕卡岩类型有石榴子石夕卡岩、石榴子石辉石夕卡岩、辉石夕卡岩、透闪石硅灰石夕卡岩和符山石夕卡岩等。铜锌矿化与石榴子石关系密切，钨矿化与辉石关系密切。

硅化主要分布在内接触带，具多期性。早期硅化呈石英粒状集合体，与辉石、石榴子石等伴生，在

内接触带形成宽几米至十几米的硅化带，带内有白钨矿体产出。此外有石英与钙铁辉石细脉穿插于花岗闪长岩及角岩中，脉中含有白钨矿。晚期硅化主要表现为石英细脉，不含矿。

此外，还有碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化等蚀变，但均较弱且不普遍。

围岩蚀变具分带性。内接触带为夕卡岩化花岗闪长岩带。外接触带由岩体向围岩方向依次为：钙铁榴石夕卡岩带；钙铁榴石透辉石夕卡岩带；透辉石钙铝榴石夕卡岩带；石榴子石硅灰石夕卡岩带；透闪石硅灰石夕卡岩带；夕卡岩化大理岩带。

三、成矿条件

（一）硫同位素

矿床中黄铁矿和黄铜矿的 $\delta^{34}S$ 值变化为 $+0.7‰ \sim +3.6‰$，7个样品的平均值为 $+2.03‰$。据赵一鸣（1990）对全国接触交代型多金属矿床进行系统研究后认为，$\delta^{34}S$ 接近于0的正值者与花岗闪长岩类侵入体有成因联系，硫源为地幔或地壳深部物质均一化的结果。本矿床 $\delta^{34}S$ 的特征与全国多金属接触交代型多金属矿床的值是一致的，其均一化程度较高，可能属岩浆来源。

（二）矿化阶段和矿床成因

矿化分五个阶段：

（1）早期夕卡岩阶段，主要形成石榴子石、辉石、硅辉石、透闪石和符山石；

（2）晚期夕卡岩阶段，形成石榴子石、辉石、阳起石、绿帘石、磁铁矿和石英等；

（3）早期石英-硫化物阶段，形成白钨矿、辉钼矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿和石英等；

（4）晚期石英-硫化物阶段，形成闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、辉铋矿、石英和方解石等；

（5）表生氧化阶段。铜多金属矿体主要形成于晚期石英-硫化物阶段。

综上所述，土门岭组与花岗闪长岩的接触带，易于矿液流通和发生交代作用，发生了不同阶段的矿化作用，在不同的夕卡岩带内，形成 W、Mo 矿化和多金属矿化。本矿床属接触交代型多金属矿床，成矿模式见图2-109。

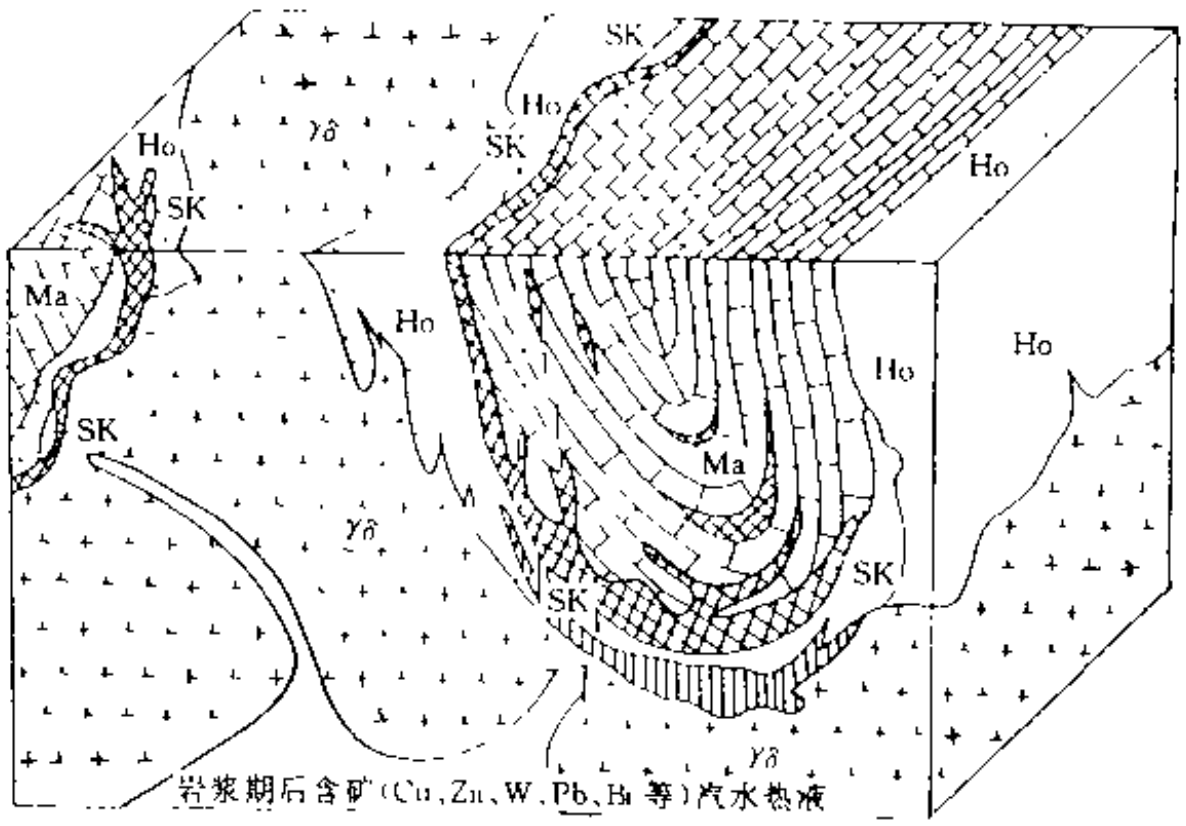


图2-109　弓棚子铜锌钨矿床成矿模式图

Fig. 2-109　Metallogenic model of Gongpengzi Cu-Zn-W deposit

（据韩振新等，1995）（after Han Zhenxin et al., 1995）

1—土门岭组大理岩；2—土门岭组角岩；3—夕卡岩；4—燕山期花岗闪长岩；5—钨（铜）矿床；6—铜锌（锌）矿体；7—断层

（三）找矿标志

（1）上古生界下二叠统土门岭组大理岩和角岩是找矿的地层标志，它们与花岗闪长岩的接触带是赋矿空间和找矿的直接标志。

（2）夕卡岩体是找矿的又一直接标志，夕卡岩体的带状分布和矿化分带的对应性是矿床的定位标志，无论矿体出露地表还是隐伏地下，它们都是指出了矿体的可靠位置；

（3）大理岩化、角岩化、夕卡岩化、硅化、黄铁矿化等围岩蚀变是主要的间接找矿标志；

（4）铁帽是地面找矿的重要标志。铁帽中如发育海绵状构造，表明含铜较高，预示深部可能有原生铜矿存在；

（5）物探异常是找矿的间接标志，是行之有效的手段。应用磁法找隐伏的接触带，感应法确定层间构造，激发电位法确定矿体赋存部位。

第四节　湖北大冶县铜录山铜矿床

一、大地构造单元

铜录山铜矿床位于扬子准地台下扬子台褶带，为一向南突出的似弧形断裂坳陷带的西端。

二、矿区地质

（一）地层（表2-66）

表2-66　铜录山地区含矿地层表

Table 2-66　Ore-bearing stratigraphic scale in Tonglushan Area

界	系	统	地层名称		代号	厚度 m	岩性特征
中生界	三叠系	下统	大冶群	第七段	T_1dy^7	150～300	去膏化粉晶云岩、层纹状云岩、砂砾屑云岩夹石膏
				第六段	T_1dy^6	70～200	厚层状含生物屑灰岩、含砂砾屑灰岩、含泥质硅质条纹条带
				第五段	T_1dy^5	97.5～232	薄层状去膏化泥晶云岩、去膏化云化层纹石灰石、云化晶洞灰岩
				第四段	T_1dy^4	80～320	砂砾屑灰岩、鲕砾灰岩、鲕粒核形石灰岩、晶洞灰岩
				第三段	T_1dy^3	85～100	薄层状泥晶灰岩、粉晶灰岩、夹钙质页岩
				第二段	T_1dy^2	10～90	中层状粉—微晶灰岩、砾屑灰岩与泥晶灰岩、页岩互层
				第一段	T_1dy^1	30～100	页岩、硅质粘土岩、含硅质页岩夹薄—中层状泥晶灰岩

矿体主要赋存于大冶群各岩性段与石英二长闪长玢岩接触带上。

（二）构造

矿区构造格架受区域构造和矿田构造制约，不同方向、不同时期、不同规模构造形迹普遍发育，尤其是褶皱变形和褶皱叠加的作用明显，断裂具有多期活动的特征。印支运动期形成的北西西向构造形迹奠定了本区构造格架的基础，燕山运动以来的北北东向构造（NNE向断裂、褶皱和伴生的NEE、NW向断裂）叠置于早期构造之上，它们彼此复合交织，构成矿区复杂而有规律的典型的新华夏应变图像。矿床矿体主要受北北东向断裂-接触破碎带控制。

1. 褶皱构造

轴向N22°E的倒转背斜，轴部为白色大理岩，两翼为白云质大理岩，其东翼岩层产状较陡。这个由中、下三叠统构成的褶皱，因中酸性岩浆岩侵入体的强烈破坏、切穿，仅于矿区南段有较完整的残存（Ⅰ矿体即产出于此倒转背斜轴部），其北仅存倾向南东的单斜构造（即背斜的东翼）。

2. 断裂构造

矿区内断裂构造的特点：

（1）主要发育于岩浆岩与大理岩的接触带、背斜轴部，其次为大理岩的层间；

（2）断裂破碎带产状与接触带相一致，仅个别斜交；

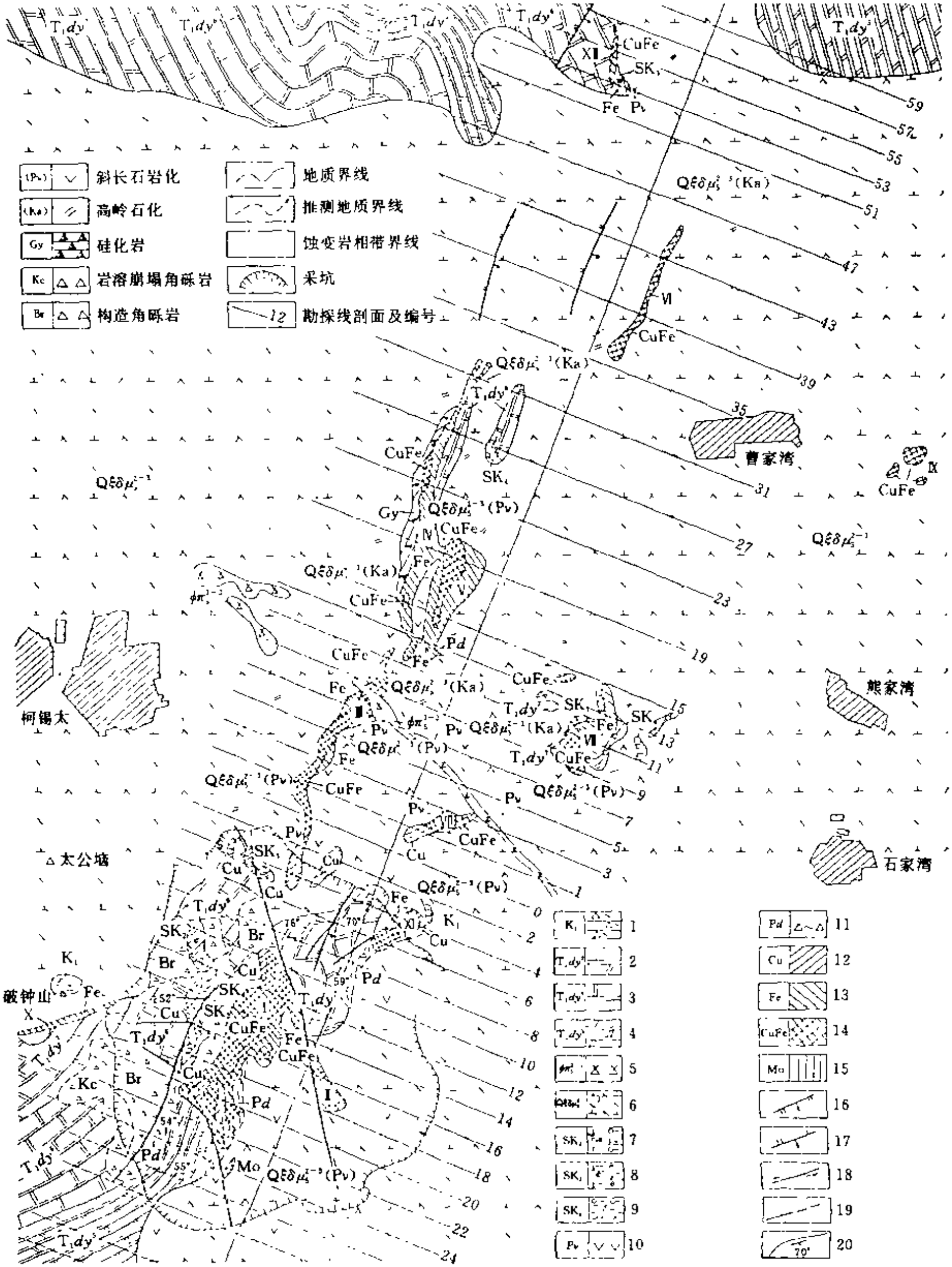


图2-110　湖北大冶铜录山铜铁矿床基岩地质图

Fig. 2-110　Geological map of Tonglushan copper-iron deposit in Hubei province

（据薛迪康，1997）（after Xue Dikang，1997）

1—安山质凝灰角砾岩；2—灰质白云石大理岩；3—大理岩；4—白云石大理岩；5—钠长斑岩；6—石英二长闪长玢岩；7—石榴子石透辉石夕卡岩；8—金云母透辉石夕卡岩；9—石榴子石夕卡岩；10—斜长石岩；11—构造破碎带；12—铜矿体；13—铁矿体；14—铜铁矿体；15—钼矿体；16—正断层；17—逆断层；18—平推断层；19—性质不明推测断层；20—地层分段界线及产状

（3）断裂中心部位，破碎强烈，沿走向或倾斜向两端逐渐变弱，有时则由破碎角砾过渡为强烈片理化；

（4）破碎带断距一般较小，角砾为附近岩石或矿石的角砾；

（5）此外，破碎带的规模，似与目前所见的大理岩块的规模有一定联系，即岩体内残存的大理岩块较大者，其破碎带规模亦较大，且赋存有较大的矿体。

Ⅰ、Ⅵ及Ⅸ等矿体为N22°E向构造线所控制，Ⅶ、Ⅷ矿体为N68°E向构造线控制（图2-110），矿区内的断裂构造可分为成矿前、成矿期和成矿后三期，成矿后的构造，多继承早期断裂而发育，致使矿体破碎，但断距较小，对矿体破坏程度不大。

（三）侵入岩

铜录山石英二长闪长玢岩体为燕山早期第三次岩浆侵入形成（Rr-Sr等时线法年龄127Ma），呈不规则短轴椭圆状，出露面积约11 km^2，为一向南超覆向南东倾斜的偏心蘑菇状岩株，属中浅成相，剥蚀深度极浅。岩体分异良好，由南至北可划分为上、中、下三个岩相带：上带（浅成相）为角闪石英二长闪长玢岩，中带（中-浅成相）斑状角闪石英二长闪长岩，下带（中深成相）为角闪石英二长闪长岩。铜录山矿区的铁铜矿化与岩体深度关系甚为密切：浅成相的岩石与碳酸盐类岩石接触带发生广泛接触交代作用，随着向中深成相的岩石过渡，交代作用减弱，同化作用增强。铜录山矿区所有工业矿体都局限于岩体的上部和中部带中。与角闪石英二长闪长岩的中浅-浅成相具有密切的空间关系。

出露于矿区附近的角闪石英二长闪长玢岩具斑状结构，斑晶为斜长石、角闪石，基质为石英、正长石、少量斜长石。斜长石以中长石为主（An32—An35），常发育有环带构造，正长石多呈斑晶产出，粒径5～20mm。

石英二长闪长玢岩化学成分以相对富钾、酸度较大、铁镁质较低为特点。微量元素特征：亲铁元素Mo偏高，Co接近、Ni低于维氏平均值；亲铜元素Cu、Ag偏高，铜平均含量67×10⁻⁶，较维氏值高2倍，Pb、Zn分别接近和低于维氏平均值；亲石元素Sr、Ba、Ti、V、Cr等含量均低于维氏平均值。矿区各主要岩类化学成分见表2-67。

表2-67　铜录山矿区侵入体主要岩类化学成分表

Table 2-67　Chemical composition of main type of intrusive rocks in Tonglushan ore district

岩石类型	w/B %															
	SO_3 S	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	H_2O^-	CO_2	烧失
$Q\eta\delta\mu$	61.64	0.53	16.84	2.205	2.485	0.063	1.28	5.725	4.325	2.78	0.255			1.585	0.08	0.313
$\pi Q\eta\delta$	64.897	0.52	15.55	2.385	1.29	0.061	1.645	4.54	4.304	3.425	0.226	0.037	0.09		0.071	0.22
$Q\eta\delta$	59.166	0.789	16.163	3.588	2.72	0.127	2.761	6.006	4.151	2.925	0.367	0.465	0.105		0.073	0.293

三、矿床地质

矿床由12个大小不等的矿体（群）组成（图2-110），矿体在空间上的展布明显呈三个矿带。

NNE向矿带（主矿带）沿N22°E方向延伸。由Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅸ、Ⅺ号七个矿体组成。矿带南起28线，北至59线，矿带长约2100 m，宽约300～350 m。主矿带矿体在平面上为一组出露深度不同的平行脉，具有尖灭再现现象。单脉呈狭长透镜状，具舒缓波状；在剖面上各矿体（群）大都以主矿体为中心，两侧伴有大致平行斜列状排列的多个矿体构成（图2-111），矿体倾向SE，倾角50°～80°不等。各矿体在地表互不连接，其间隔几米至百余米，在－125 m标高以下，Ⅲ、Ⅳ号矿体相连。此矿带以富矿体为主，埋深较大，南部Ⅰ、Ⅱ号矿体赋存于－250 m标高以上，Ⅲ号矿体埋深可达－700 m标高，Ⅳ号矿体在－800 m以下仍未尖灭，Ⅵ、Ⅶ号矿体赋存于－250 m以上，形成南北浅中间深，并以Ⅲ号矿体为中心的厚大矿体群。

NEE向矿带沿NE60°方向展布，由Ⅹ、Ⅷ、Ⅶ、Ⅸ四个矿体组成。矿带南西起破钟山，经大、小阴山至螺丝塘，长1850 m，宽约100 m。矿体呈不规则透镜状，倾向南东，倾角60°～70°。本矿带内矿体规

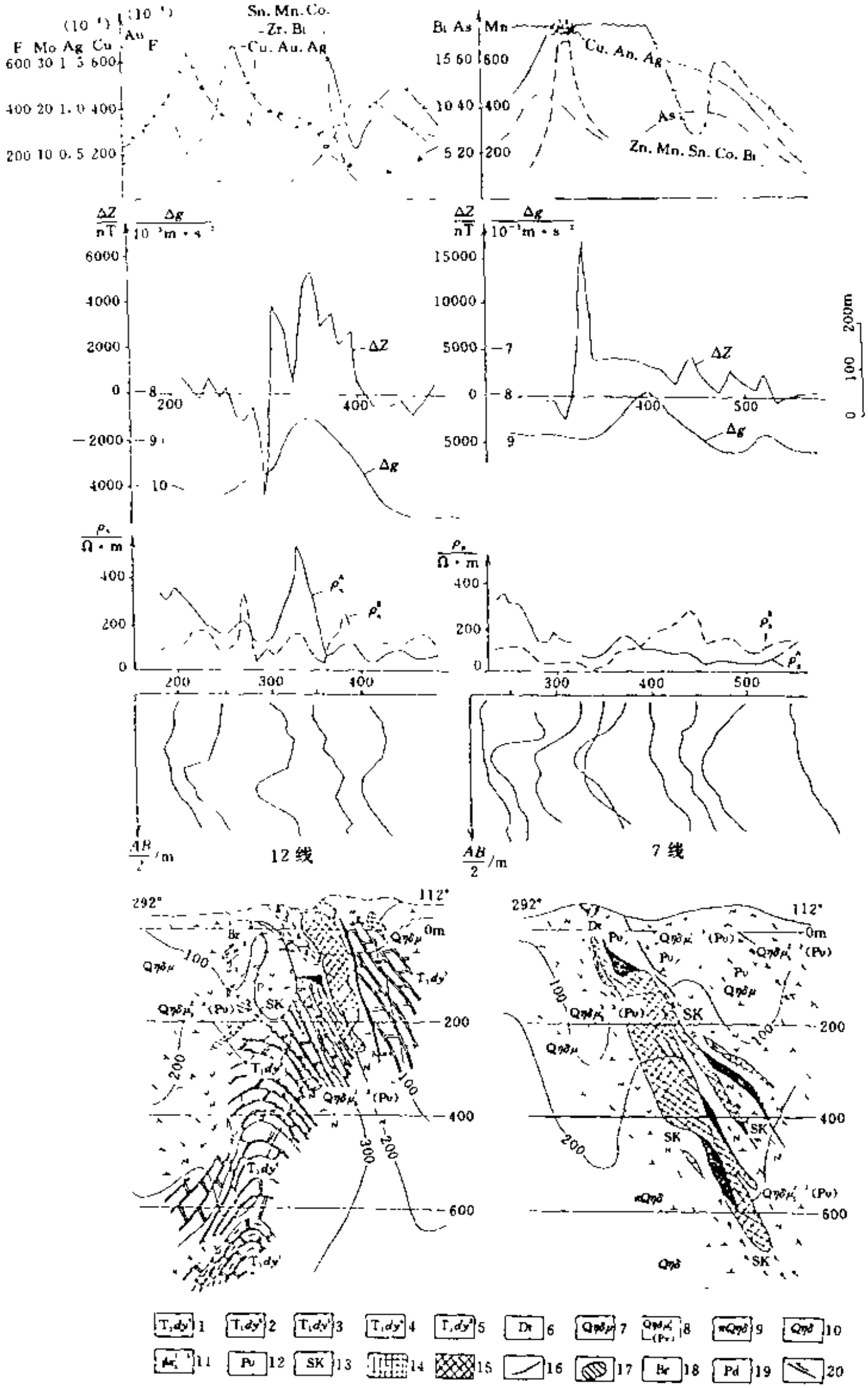


图2-111　大冶铜录山铜铁矿床12线、7线综合剖面图

Fig. 2-111　Integrated section of exploratory line 12 and exploratory line 7

(据薛迪康，1997) (after Xue Dikang, 1997)

1—白云石大理岩；2—大理岩；3—白云质大理岩；4—大理岩夹白云石大理岩；5—含泥质条带薄层状大理岩；6—白云质大理岩；7—石英二长闪长玢岩；8—斜长石岩化石英二长闪长玢岩；9—斑状石英二长闪长岩；10—石英二长闪长岩；11—钠长斑岩；12—斜长石岩；13—夕卡岩；14—铁矿体；15—铜铁矿体；16—铜矿体；17—钼矿体；18—构造角砾岩；19—溶崩角砾岩；20—断层及运动方向

模小，分布零星，连续性较差。

（一）矿体特征

在诸矿体中以Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ号矿体的规模最大，其形态、产状如下：

Ⅰ号（仙人座）矿体：位于矿区南部26～10线之间，矿体主要赋存于接触-断裂构造破碎带中。矿体的顶板主要为斜长石岩化石英正长闪长玢岩，矿体的底板为上叠系下统大冶群第五、第六岩性段条带状白云石大理岩、中厚层大理岩。由上部和下部两层矿体组成。上部矿体是Ⅰ号矿体的主体部分，矿体长1000 m，最大延深320 m，一般向下延伸32～270 m，厚10～60 m。在平面上（原地表）呈葫芦形，剖面上呈透镜状，矿体走向NE25°，倾向SE，倾角70°～80°。各剖面上的宽度与延伸长度不一致，呈钝角形尖灭。矿石类型主要为铜铁矿石，矿体上部的铜已淋失，变为富铁矿石，下部为铜铁矿石。由于氧化程度不同，在22～16线间全部为氧化矿石，在14～10线间可以划出氧化带和混合带。矿体规模比较大，探明铜金属储量占整个矿床的24%，平均品位Cu 2.31%；铁矿石储量占矿床25%，平均品位51.23%。下部矿体见于12～14线间主矿体下部，为一隐伏矿体，似层状，主要为铜铁矿石，次为铜矿石。矿体规模较小。

Ⅲ号（蛇山头）矿体：由两部分组成，上部出露地表，大部分已被侵蚀掉，下部为完整的大型隐伏矿体，两者一般相距35～64 m。矿体主要赋存于接触-断裂构造破碎带大理岩残留体和捕虏体内，顶底板围岩为蚀变斜长石岩。

Ⅲ号上部矿体：南起2线，北止于11线，长约375 m，宽1～54 m，整个矿体都位于0 m标高以上，走向NE25°，倾向NE，倾角50°～60°。矿体形态在平面上呈透镜状，剖面上呈楔形，向下延伸21～76 m，为低品位的结合式铜矿与氧化铜铁矿石组成，矿体规模较小。

Ⅲ号下部矿体：位于矿区中部0～13线间，为隐伏矿体，长350～400 m，矿体走向NE20°～30°，倾向SE，倾角60°～70°。呈透镜状、似层状。矿体在7线剖面规模最大，中心垂厚达110 m，向下延伸达815 m，尾部边界仍未圈定。矿石类型在5～13线剖面间主要为铜铁矿石，0～3线剖面间则以浸染状铜矿石为主。Ⅲ号矿体下部矿体为矿床中规模最大的一个矿体，探明铜金属量占矿床铜储量的39.37%，平均品位1.71%；铁矿储量占矿床铁储量的38.31%，平均品位TFe() 39.78%。

Ⅳ号（蛇山头西）矿体：位于矿区北部，南起13线北，北止39线，矿体由三部分组成，上部矿体为隐伏矿体，赋存于大理岩捕虏体的上接触带；中部矿体出露地表，主要赋存于接触-断裂构造带（大理岩捕虏体的下接触带）和大理岩的层间；下部矿体主要赋存于深部大理岩捕虏体上接触带。

中部矿体是Ⅳ号矿体的主要部分，15～19线剖面是矿体的主体部分，厚度大，向下延伸深。走向NE19°，倾向NE，倾角65°～75°。矿石类型以铜铁矿石为主，一般在铜铁矿体上盘见有浸染状铜矿石，19线以南以铜铁矿石为主，19线以北以铜矿石为主。矿石的氧化程度比较深，一般氧化深度达－5 m标高，最深达到－105 m标高，地表浅部铜大多流失，变为铁矿石。Ⅳ号矿体的规模仅次于Ⅲ号矿体，与Ⅰ号矿体相当。探明铜金属储量占矿床铜储量的24%，平均品位1.5%；铁矿石储量占矿床铁储量的24%，平均品位36.46%。

（二）矿石类型及矿石矿物成分

本矿床矿石类型及矿物组分复杂，可划分为5个工业类型、10个自然类型、14个矿石建造。矿石的矿物种类已知达130种以上，其中可被工业利用的矿石矿物有19种，常见的仅有19种，脉石矿物81种。铜录山铜铁矿床除主要伴生组分金、银、钴具工业价值外，还有硫、铟、碲、铼也具有综合利用价值。Au平均品位1.15×10^{-6}；Ag平均品位11.73×10^{-6}；Co平均品位0.0151%。

主要的金属矿物有：黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、孔雀石。次要的金属矿物有：辉铜矿、辉钼矿、白铁矿、闪锌矿、含钴黄铁矿、胶状黄铁矿、褐铁矿、蓝铜矿、赤铜矿、菱铁矿、自然铜、假孔雀石、磁赤铁矿。主要的脉石矿物是：方解石、白云石、石英、玉髓、透辉石、次透辉石、钙铝榴石、铁铝榴石、金云母。

（三）矿床蚀变矿化分带（内带—外带）

（1）钾硅化斜长石岩化石英二长闪长玢岩——辉钼矿化带；

（2）斜长石岩——（辉钼矿-黄铁矿）钼矿石带；

(3) 夕卡岩化斜长石岩- —（黄铜矿、黄铁矿）铜矿石带；

(4) 含金云母透辉石夕卡岩 - （黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿）铜铁矿石带。该带铜占总量76.66 、铁占总量的85.17%，为最主要的矿石带；

(5) 夕卡岩化大理岩—·（黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿）铜矿石带。

(四) 矿石的结构构造

矿石结构常见的主要为他形至自形晶粒结构及熔蚀交代结构，次要的为固溶体分解结构及胶状再结晶结构，主要的矿石构造特征如下：

致密块状构造：金属物含量大于75%，以磁铁矿矿石及铜铁复合矿石为主，磁铁矿达75%以上，并含有少量赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿等，局部亦见致密块状黄铜矿矿石和赤铁矿矿石。

浸染状构造：为含矿热液交代各类夕卡岩、大理岩及斜长石岩或交代早期晶出的金属矿物而成 包括稀疏浸染状中等浸染状和稠密浸染状。

脉状构造：金属矿物呈脉状交代夕卡岩、斜长石岩、大理岩或早期矿石。

角砾状构造：矿石被破碎呈角砾状，以磁铁矿及含铜磁铁矿矿石角砾多见，其胶结物为玉髓、方解石、白云石等。

粉末状、砂状构造：前者主要由矿体氧化带 ·混合带的矿石中磁铁矿、赤铁矿经风化作用而成 后者由矿体内强烈破碎而成。

(五) 接触交代作用及周岩蚀变

夕卡岩分带明显，按与岩浆岩接触交代的碳酸盐地层原岩性质不同，可划分为两种分带类型：即石英二长闪长玢岩与灰岩接触形成以钙夕卡岩类为主的分带，由岩体向外是：石英正长闪长玢岩 ·斜长石岩化石英正长闪长玢岩—斜长石岩—石榴子石夕卡岩 -透辉石石榴子石夕卡岩 ·石榴子石夕卡岩—石榴子石化大理岩—大理岩。石英二长闪长玢岩与白云岩接触形成以镁夕卡岩类为主的分带，其分带从岩体向外是：石英正长闪长玢岩—斜长石岩化石英正长闪长玢岩—斜长石岩- 石榴子石透辉石夕卡岩—金云母夕卡岩—金云母透辉石夕卡岩--透辉石夕卡岩—金云母化透辉石化白云石大理岩—白云石大理岩（或大理岩）。

主要的热液蚀变与矿化关系是：早期铁矿化是透辉石化、金云母化、钠长石化、钠质角闪石化、绿帘石化、蛇纹石化；早期钼矿化是硅化、钾长石化；中期铜矿化是钾长石化、硅化、菱铁矿化、硬石膏化、重晶石化、金云母化、绿泥石化；晚期铜矿化是碳酸盐化、硅化、高岭石化、沸石化。

(六) 矿床物化探异常（图2-111）

1. 地球物理异常

铜铁矿体，具高磁、高重、高极化和低阻的“三高 -低”特点；赋矿于大理岩捕虏体和夕卡岩，具高重、高阻、弱磁、弱极化的“两高两低”特点；成矿母岩——石英二长闪长玢岩，为低—中密度、中等磁性、中等电阻、微极化的物性特征。

地球物理异常特征按矿床所处构造部位不同分为两类：

(1) 产于岩体内大理岩捕虏体中（图2-111），其特征为强度大于500nT 的形态规则与成矿构造带 ·致的航磁异常；磁异常串球状叠置在北东向隐伏大理岩引起的低或负磁场背景上，单个异常形态规则，强度一般大于2000 nT ，梯度陡。地表矿与隐伏斜列矿叠加时，高值尖峰异常旁侧出现次级异常；重力异常呈北东向梯度带，矿体部位形成封闭状或舌状重力高，相对幅度 (0.2～1.0) $\times10^{-5}m/s^2$与磁异常吻合；有强度大于10%的形态规则的激电异常，极大值与背景值之比大于2；电测深曲线在矿体部位呈H 型或 KH 型，无矿岩体呈 A 型，断面上呈中高值背景的低阻凹陷或低阻中的相对高隆起。矿体多赋存中低阻凹陷和高低阻过渡带上。

(2) 产于岩体北缘接触带。该类矿床的航磁异常呈负磁场背景上局部抬高，相对幅度大于50nT，形态规则，与控矿断裂接触带复合构造带一致；浅部矿体表现为梯度带上异常叠置，呈封闭的高磁异常和局部重力高，形态规则，磁场强度大于2000 nT，梯度陡，外接触带大理岩有明显负极小值，重力相对幅度为0.6×10 $^{5}m/s^2$；深部矿体表现为梯度带上低缓重磁异常，磁等值线向岩体北侧膨胀外凸，强

度大于100nT，重力等值线局部扭曲或舌状重力高，剖面上呈台阶；当矿体埋深大于500 m，矿异常将被掩盖。若进行化极处理强化异常，则可出现弱异常；梯度带上相对低阻异常，电测深H型曲线和断面上的低阻凹陷，矿体多产于低阻凹陷带中，联剖曲线低阻正交点和激电低异常。

2. 矿床遥感特征

影像特征表明该类型矿床处于北北东向与北西向一近东西向及北东向三组线性构造交汇点上及其附近，同时受大型包容式环形构造控制，即大环内部包容许多小型环形构造。矿体大部分分布于大环内部或小环中心部位，属“三组交切型”构造。在彩色外航片上，矿床体位于内圈的中心。

3. 地球化学异常

矿床的元素组合为Cu、Au、Ag、Fe、Zn、Co、Ni、Bi、Mo、Pb、As、B、Mn、F、Cl、W、Sn、Sr、Ba等，形成规模、强度不等的地球化学异常，并具较高的衬值和原始衬度。Cu、Au、Ag、Bi的原始衬度可高达20倍以上，As、F、Co、Zn、Mo等在5～15倍，其他元素在1～3倍。地表铜草非常繁盛。

基岩地球化学异常具定向性，在不同矿床上或沿NNE、NE向或NW向呈带状展布，均与断裂-捕虏体复合构造带有关。在多组控矿断裂交汇部位，异常呈面状展布。浓度分级明显，强度高，规模大。一般Cu内带异常，Mo、Ag、Zn中带异常指示矿体赋存部位。矿床指示元素具明显横向水平分带，即从岩体→接触带（矿体）→大理岩，元素分带为Mo、W、Co、Bi、Sn、Mn、Zn→Cu、Ag、Au→B、As、F、Pb、Ba。钻孔原生晕特征：矿床的异常场以控矿构造和矿体为中心向两侧减弱，呈浓度分级明显的同心椭圆状分布。其中Cu、Ag、Au、Mo晕以矿体为浓集中心，中、外带异常矿上、矿下均发育。Zn、Mn、Bi、Co、Sn晕与矿体关系密切，其范围略大，包裹着矿体。As、Ba、F、Cl（Pb）晕主要分布于矿前缘和矿头部，与控矿构造关系密切，F、Cl晕范围大于As、Ba（Pb）。矿床原生晕垂向分带序列为（自上而下）：F—As--Au--Cu—Mn—Zn--Co--W（Mo）。

运用$50w(Cu)/w(Fe)$和$10^3w(Ag)/w(Cu)$两个组合标志可大致估计所处的矿体部位。$50w(Cu)/w(Fe)$值：矿上大于3，矿中为1～3，矿下小于1；$10^3w(Ag)/w(Cu)$值：矿上大于0.75，矿中为0.75～0.50，矿下小于0.50。

四、成矿条件

（一）稳定同位素

矿体内硫化物$\delta^{34}S$变化范围为－4.9‰～＋12.8‰，平均为＋2.42‰。频率图呈塔型，而其平均值与陨石硫同位素组成较为接近。同时，其$\delta^{34}S$变异特征与国外典型的斑岩铜矿床和国内接触交代型铜铁矿床硫同位素的组成亦近似，显然不同于变异范围大、频率图呈波状分布的沉积铜矿床、沉积变质铜矿床。这些充分说明铜录山铜铁床矿与我国斑岩铜矿床、接触交代型铜铁床具有相同的硫源，它们应主要来自岩浆分离体，推测成矿物质来自地壳下部或源自上地幔，成矿流体在向上运移过程中同化混染了含水的地壳上部成分。

根据矿物稳定同位素$\delta^{18}O$、$\delta^{13}C$测定值，经有关矿物-水平衡公式计算结果（表2-68）表明，铜录山矿床矿化水溶液主要来自混合岩浆水，成矿作用晚期阶段有部分雨水加入。

表2-68　铜录山铜铁矿床矿物-水同位素分馏平衡计算结果表

Table 2-68　Calculating results of mineral-water isotopic fractionation equilibrium

矿物名称	$\delta^{34}S_{2S}$ / ‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$ / ‰	$\delta^{13}C_{2C}$ / ‰	成因类型	样品数
硫化物	－6.1～＋5.9			混合岩浆水	52
磁铁矿		6.4～10.2		混合岩浆水	3
金云母		4.5～6.1		混合岩浆水	3
石　英		0.03～9.6		混合岩浆水＋雨水	2
方解石			19～－3.1		7

（二）包裹体成分

根据矿物包裹体成分的研究、交代后形成的矿物分析资料，铜录山铜铁矿床气液的成分主要为碱（Na—K）的氧化物和CO_2的水溶液，它的主导组分除H_2O、H^+、OH^-外，还有Cl^-、Na^+、K^+、CO_2，其次为F^-、B^-、SO_4^{2-}、H_2S、HCO_3^-、Ca^{++}等，此外尚有微量的Mg^{2+}、Pb^{2+}、Zn^{2+}等金属元素。成矿溶液本质上是富含氯的卤水。

（三）成矿条件分析

根据矿床矿物共生关系和矿物包裹体资料，说明矿床是在长时间和较大温度变化范围，以及多次气化-热液活动条件下形成的。成岩成矿作用比较复杂，具有多期多阶段的特点。成矿作用的过程可划分为3个成矿期、5个成矿阶段。

1. 夕卡岩期

（1）夕卡岩阶段：形成早期夕卡岩矿物石榴子石（710～590℃）、透辉石-次透辉石（695～502℃）及内接触带斜长石岩（717～515℃）。随着温度下降，接触带附近高温含矿气液大量聚集，继而形成金云母（450～426℃）、阳起石（470℃）、富镁铁闪石、符山石、方柱石等，并伴有少量磁铁矿与金云母、透辉石，呈共生结状，局部构成海绵陨铁结构。

（2）气化高温氧化物-磁铁矿阶段：由于夕卡岩早期无水硅酸盐阶段晶出石榴子石、透辉石，至晚期含水硅酸盐阶段晶出金云母、阳起石、富镁钠铁闪石。K、Na参与矿物晶格，指示环境由弱酸-弱碱性介质渐变为弱碱—碱性介质，这时大量的铁呈Fe^{2+}、Fe^{3+}的络合物存在于高温气液聚集体中，随缓慢降温含矿气液逐渐富集，并向铁亲和力强的铁镁钙质中粗粒状夕卡岩体渗透迁移。待温度降到磁铁矿临界点以下，就造成高温富铁气液大规模交代透辉石、金云母、石榴子石。随着氧化作用增强，赤铁矿晶出，并不断交代磁铁矿，使之形成磁铁矿-赤铁矿（420～360℃）矿石。在磁铁矿交代沉淀过程中伴随广泛钠化即蛇纹石化，钠长石及钠质角闪石的晶出加速铁的络阴离子和络化物在碱性氧化介质中的沉淀交代，指示碱性条件晶出的绿帘石化密切与磁铁矿伴生。上述表明，磁铁矿是继承夕卡岩形成后在碱质氧化介质中大规模连续而缓慢地交代夕卡岩（以透辉石为主）时形成的。氧化-磁铁矿阶段属继承型钠-铁系铁的成矿作用。

2. 石英-硫化物期

（1）高中温石英-硫化物阶段：磁铁矿成矿作用后，温度继续下降，SiO_2呈大量的石英（玉髓）晶出和硫化物大规模沉淀。磁铁矿沉淀后，含矿气液变为酸性，残余在含矿热液中的铁与硫结合组成高温含镍黄铁矿、磁黄铁矿及黄铁矿（爆裂测温350～360℃），随着含矿气液中钾质析出，有辉钼矿晶出。随后部分铁与铜、锌、硫结合分别形成（方）黄铜矿-铁闪锌矿（黄铜矿爆裂法测温290～260℃）及晚期两个世代的黄铁矿、黄铜矿（250～240℃）的晶出。铜矿化主要沿早期形成的铁矿体的裂隙及磁铁矿颗粒间呈细脉-浸染状、团块-块状交代充填，构成叠加于铁矿之上的铜铁复合矿体，并在铁矿体两侧夕卡岩化大理岩及斜长石岩裂隙中，交代形成细脉-浸染状单铜矿体。继黄铜矿、斑铜矿之后依次晶出的有辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、菱铁矿等，矿化过程中伴随广泛钾长石化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化等热液蚀变。总之，石英-硫化物阶段是在弱酸-酸性还原条件下产生，铜矿化晚于磁铁矿并叠加于磁铁矿之上。

（2）中低温碳酸盐硫酸盐阶段：硫化物成矿作用后温度下降，气液中未用完的硫呈SO_4^{2-}与Ca^{2+}、Mg^{2+}、Ba^{2+}、Sr^{2+}等结合形成硬石膏、重晶石、天青石；F^-与Ca^{2+}结合形成萤石，大量的CO_3^{2-}、HCO_3^-与Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}形成白云石、方解石、铁白云石、菱铁矿，并伴有石英（玉髓）晶出，此阶段仅有微量黄铁矿呈星点状晶出。

3. 表生作用

（1）氧化淋滤次生富集阶段：浅部矿体长期氧化淋滤作用，磁铁矿氧化成赤铁矿或褐铁矿，硫化物分解成硫酸铜、碳酸铜，在次生富带中常见自然铜、赤铜矿、黑铜矿、辉铜矿聚集。

经K-Ar、Rb-Sr同位素年龄测定：不同产状的金云母有不同的同位素年龄值。铁矿体附近的团块状金云母年龄值为151Ma（K-Ar法测定）；铁铜矿体中之金云母为142Ma、131Ma（Rb-Sr法）；晚期脉

状金云母为115Ma（Rb-Sr 法测定）、117Ma（K-Ar 法测定）。可见夕卡岩化及金属矿化的年龄与阳新角闪石英二长闪长岩年龄值（127～150Ma）十分接近，从而佐证了成矿作用与本区中酸性侵入岩的侵入活动具成因联系，并且反映出矿化的多阶段性与长期性。

综上所述，无论是从地质时代、岩体与成矿的空间关系、岩体与成矿元素丰度、稳定同位素（S、O、C）等方面资料，均说明铜录山石英二长闪长玢岩与铜录山铁铜矿床关系非常密切。矿体主要赋存在接触带，矿床的形成是蚀变交代作用一定阶段特定环境的产物。矿石具典型交代结构、矿石的物质成分、化学组分具有一定继承关系，矿石单矿物化学成分和微量标型元素均不同于其他成因类型，而具接触交代型矿床特征。所以，本矿床成因类型为岩浆期后气化-高温热液接触交代型铜铁矿床，即狭义的典型的夕卡岩型铜铁矿床。

五、成矿模式和找矿标志

（一）成矿模式

铜录山矿床位于鄂东南成矿区的中部。鄂东南中部的区域成矿模式表明（图2-112）：在下地壳20～25 km 深度内有闪长岩浆熔融带，上地壳10～15 km 内有中酸性岩浆房存在。由于燕山期 NWW 向与

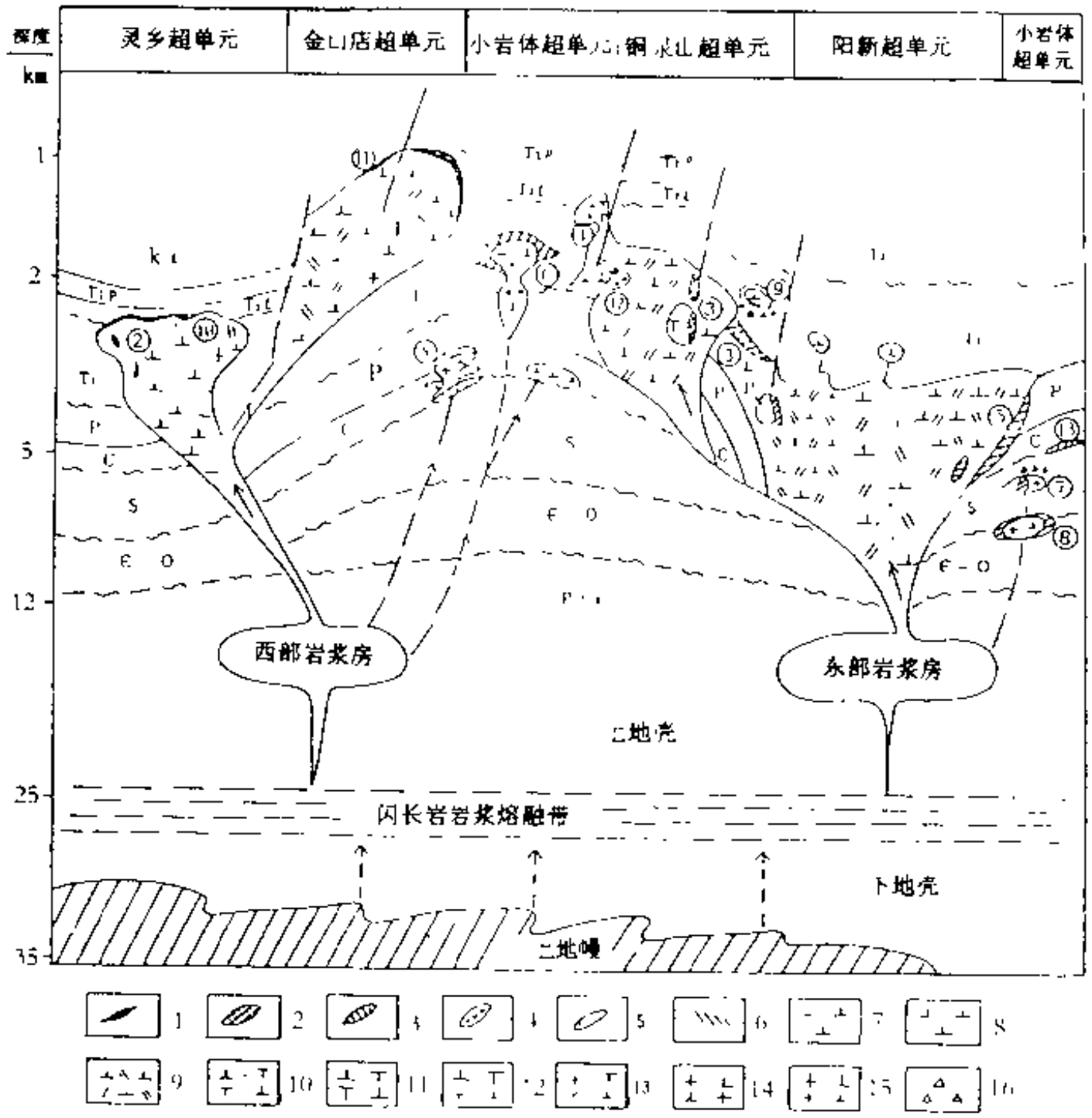


图2-112　鄂东南中区 Fe-Cu-Au-Pb-Mo 矿床亚系列成矿模式图

Fig. 2-112　Metallogenic model of Fe-Cu-Au-Pb-Mo deposit subsystem in the middle areas in Southeast Hubei province

（据薛迪康，1997）（after Xue Dikang，1997）

1—铁矿；2—铜铁矿；3—铜（钨钼）矿；4—钼矿；5—铅锌银矿；6　金矿；7　中细粒闪长岩；8　石英闪长岩；9—二长闪岩，10　细粒石英二闪岩；11—中粒石英二长闪长岩；12　石英二闪长岩玢岩；13—正闪长玢岩；14　花岗闪长岩；15—花岗闪长斑岩；16—隐爆角砾岩；①张福山式铁矿；②刘家畈式铁矿；③铜录山式铜铁矿；④鸡冠嘴式铜金矿；⑤叶花香式铜矿；⑥铜山口式铜（钼）矿；⑦白云山式铜矿；⑧龙角山-付家山式铜钨（钼）矿；⑨金井嘴斑岩金矿；⑩陈子山金矿；⑪下狮山铁矿；⑫猴头山铜矿；⑬银山银铅锌矿，K_1l—灵乡组；T_2p　蒲圻组；T_1l　陆水河组；T　大冶组；P　二叠系；C　石炭系；S　志留系，∈—O. 寒武—奥陶系；Pt_{2-3}　中新元古代。-·-·-构造滑脱面；→岩浆运移方向；⊥断裂；……单元界线

NE 或 NNE 向深断裂活动，岩浆大量侵位于地壳浅部，与奥陶系—三叠系接触，发生接触交代成矿作用，形成各种不同的夕卡岩型矿床。

（二）找矿标志

1. 地质标志

矿体产在石英二长闪长玢岩与下三叠统大冶群（T_1dy^1—T_1dy^3）碳酸盐岩的捕虏体组成的北北东向横跨背斜与叠加其上的同方向断裂构造上盘的次级断裂-接触带复合构造中。控矿构造为 NNE 向断裂接触带和层间破碎带构造。围岩蚀变发育，且分带现象明显，相应伴有矿化分带。矿石矿物组合较复杂，矿床组分以铜、铁矿为主，伴有金、钼、钴、硒、碲、铟、镓、硫、银等多种有用组分。矿床氧化带发育。在地表淋滤带铁帽之下，常有次生富集带的氧化铜富集段的存在。

2. 地球物理标志

矿床对应形态规则、范围大的航磁异常。重磁异常呈北北东向梯度带，反映矿体延伸范围。矿体上

表2-69　铜录山式铜铁矿床综合找矿标志

Table 2-69　Comprehensive ore-hunting indicator for Tonglushan-type copper-iron deposit

地层	部位		内接触带	外接触带
	矿化种类		钼→铁铜（金）	
	成矿部位		近岩体一侧，夕卡岩化蚀变发育部位	T_1dy^1～T_1dy^3接触带与层间破碎带
	地层			T_1dy大理岩、白云质大理岩、白云大理岩、含膏盐建造
	构造		解理裂隙带、矿化角砾岩带	NNE 向断裂接触带、层间剥离带
	岩浆岩		$Q\eta\delta\mu$高硅（$SiO_2$63.28%）、低铁镁、富碱$w(K_2O+Na_2O)=7.81\%$、$w(K_2O)/w(Na_2O)=0.6\sim1$	
	围岩蚀变		钾化→钾化带→斜长石岩带→金云母透辉石夕卡岩带→夕卡岩化大理石带	
	主要矿物组合		辉钼矿-磁铁矿、黄铜矿-黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿	
地球物理	探测对象		目的物：铜铁矿体	目的物：夕卡岩、大理岩捕虏体
	物性	磁性	强磁性，J：73A/m	微弱磁性
		密度	极高密度，相对岩体$\Delta\sigma=1.0\times10^3$kg/m^3	高密度，相对岩体$\Delta\sigma=0.3\times10^3$kg/m^3
		电性	低阻（ρ：1～300Ω·m）、高极化（$\eta_s>20\%$）	中高阻（ρ：$n\cdot10^2$～$n\cdot10^3$Ω·m）、低极化（$\eta_s=2^{\circ}$）
	地面异常		局部重力高异常，幅度大于1.0×10^{-5}m/s；正负伴生高值磁异常，$\Delta Z_{max}>10000$nT；岩体北部负磁场局部抬高，相对值100～200nT，联剖低阻正交点；点测深H型曲线；断面低阻凹陷或凹陷中相对高阻凸起	
地球化学	原生晕	部位	矿上	矿中	矿下
		指示元素	As、F、B、Ba、Pb	Cu、Au、Ag、Mo、Fe	Sn、Co、Zn、B、Mn、(W)
		Cu·50/Fe	>3	1～3	<1
		Ag·10^3/Cu	>0.75	0.75～0.5	<0.5
		剖面特征	异常沿断裂接触复合带展布，矿体上方Cu、Au、Ag、Mo、Fe、Zn、Co、Sn、Bi、As、F、B、Ba、Pb异常；矿体中Cu、Au、Ag、Fe、Zn、Co、Sn、Bi异常；Mo、W偏向岩体一侧，也在矿体部位出现	
		轴向分带	F　As—Au　Cu—Mn　Zn　Co　W（Mo）	
	地表异常		各指示元素均出现异常，沿北北东向构造带呈浓度分级明显的宽带状展布，并有Cu、Zn、Pb、SO_4^{2-}水化学异常	

方出现高的重磁异常，梯度陡，伴有明显的负磁异常和充电异常。断面上，点测深曲线呈H型或KH型，无矿地段呈A型。矿体多处于低阻凹陷带和高低阻过渡带。

3. 地球化学标志

矿体的各类（水系沉积物、土壤、岩石等）地球化学异常规模大，形态规则，浓度分级明显，沿北北东向控矿断裂构造呈宽带状展布。Cu、Au、Ag内带异常指示矿体赋存部位。

该矿床综合找矿标志详见表2-69。

第五节　湖北大冶鸡冠嘴铜金矿床

一、大地构造位置

鸡冠嘴矿床的大地构造位置属于扬子准地台下扬子台褶带的西端。

二、矿区地质

（一）地层

矿区地表绝大部分为第四系湖积粘土所覆盖，仅在西南部零星出露有火山沉积角砾岩，与成矿关系密切的地层主要为下三叠统大冶群第七岩性段。矿体绝大多数赋存于该岩性段层间破碎带或与铜录山岩株侵入体接触带内。该岩性段纵向呈"菱角"状悬垂于岩体内，横向上由于岩浆岩吞蚀形成形态各异、大小不一的捕虏体。据岩性特征及主要化学成分变化将该岩性段又划分为三个亚段：第一亚段（T_1dy^{7-1}）主要为灰质白云石大理岩，CaO含量为36.81%～38.57%，MgO含量7.51%～10.71%，其间夹少量大理岩；第二亚段（T_1dy^{7-2}）为主要赋矿层位，为白云质大理岩，黄褐色、肉红色、灰白色和灰黑色，中厚层至薄层状构造，CaO含量43.13%～50.75%，MgO含量为1.25%～5.60%，厚77～200 m；第三岩性段（T_1dy^{7-3}）以大理岩为主，夹少量白云质大理岩；厚层-块状构造，CaO含量51.28%～53.36%，MgO含量0.55%～1.54%，厚大于110 m。

（二）构造

矿床构造有4个隐伏背、向斜。其中北北东向隐伏背斜为横贯矿床的主体构造，长约900 m，宽200～600 m。背斜轴向约30°，轴面倾向北西，倾角75°～80°。背斜核部地层已被岩浆岩吞蚀，其南东翼仅见残存部，Ⅵ号矿体即产于其中。北西翼相对保留较为完整，为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号矿体群赋存部位。该背斜横跨叠置于三个北西向隐伏背、向斜之上（图2-113）。

区内断裂发育，有NNE向、NEE向和近NW向，具多期活动的特点。NNE向断裂破碎带分布于矿区南部，呈NE68°方向延展，全长900 m，宽10～20 m，破坏了先期形成的矿体。NNE向断裂（F_1）呈NE10°左右的方向波状延伸，推断长达3000余米。倾向NW，倾角75°以上，断裂带内广泛发育压碎岩、糜棱岩和角砾岩，宽几米至几十米。该断裂带被鸡冠山北东东向断裂破碎带所截切为南北两段，南段控制了细脉浸染型猴头山铜钼矿床，北段与鸡冠嘴捕虏体接触构造相复合，控制了鸡冠嘴铜金矿床。近东西向断裂分布于矿区南部，规模小，错断T_1断裂，系成矿后形成。

（三）岩浆岩

矿区岩浆岩属阳新复式岩体西北段铜录山石英二长闪长玢岩岩株的一部分。岩体侵入最新地层为中—上三叠统蒲圻群。有石英二长闪长玢岩、石英闪长岩、闪长岩、正长闪长玢岩和安山玢岩。与成矿作用有关的主要是燕山早期第三次侵入的石英二长闪长玢岩。其岩石化学成分与同类岩石相比，以高硅（SiO_2含量为63.075%），高碱[$w(Na_2O+K_2O)=8.07\%$]，低铁镁、挥发分高，铜丰度较高（Cu含量为52.4×10^{-6}）为特征。岩体内岩浆期后阶段钾硅质交代和钠硅交代都比较发育。

（四）蚀变作用

蚀变作用主要为热接触变质、接触交代、热液蚀变三种类型。其主要特点是：

碳酸盐岩受到热接触质作用，均变质成大理岩类。由接触交代作用形成的夕卡岩以接触带内侧为主，外侧夕卡岩化较弱或无夕卡岩化。夕卡岩一般以单一的透辉石、石榴子石或云母夕卡岩构成。

碱质交代作用广泛发育，以钠和钾质交代两种类型产出，而以前者为主。

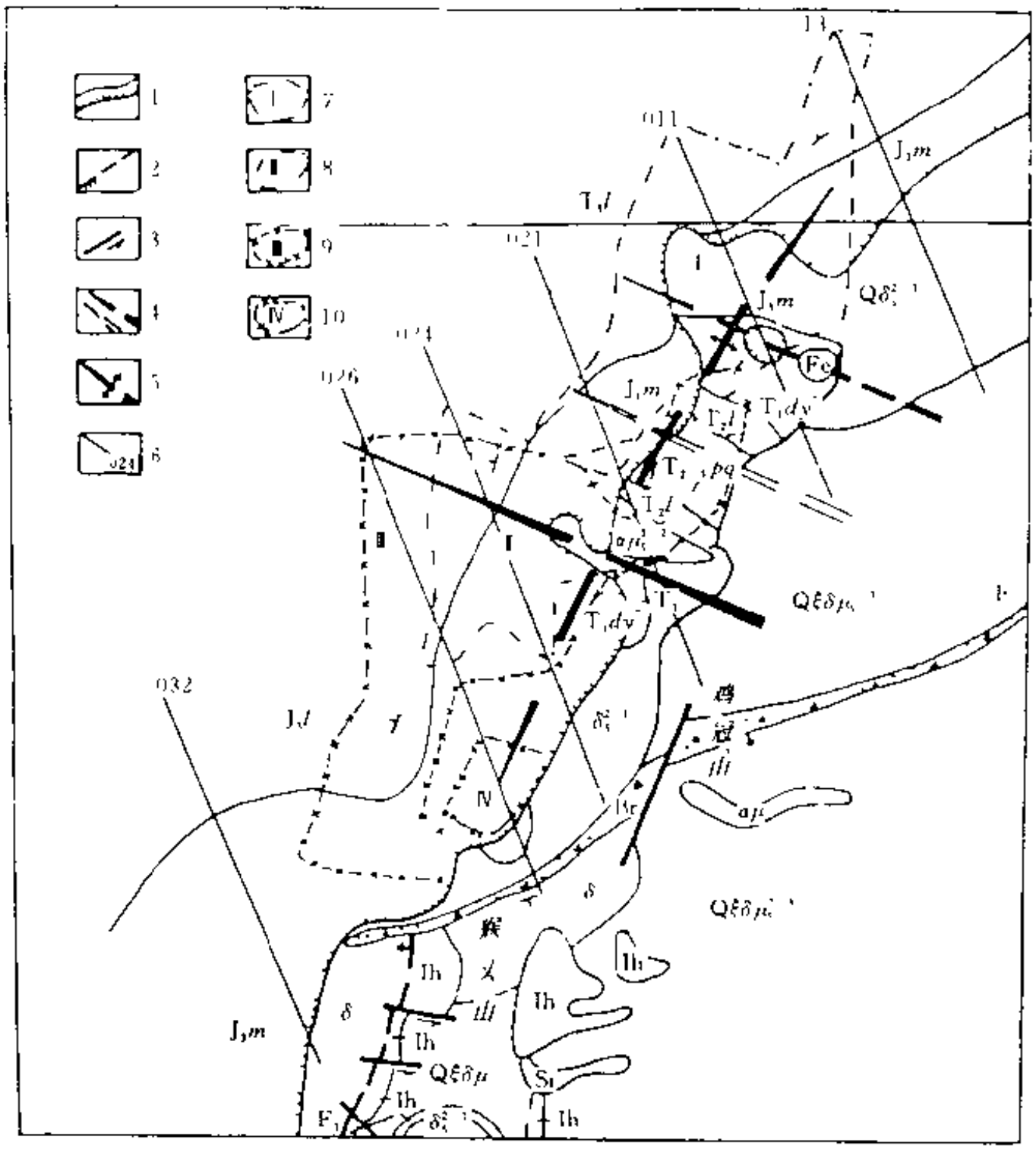


图2-113　鸡冠嘴铜金矿床地质平面略图

Fig. 2-113　Geological sketch map of Jiguanzui Cu-Au deposit

J_3l - 灵乡组；J_3m—马架山组；$T_{2-3}pq$—蒲圻群；T_2l　陆水河组；T_1dy^1　大冶群第七段；$a\mu_5^{2-2}$ -安山玢岩；δ_5^{-1}　闪长岩；$Q\delta_5^{2-3}$- 石英闪长岩；$Q\xi\delta\mu_5^{2-3}$　石英二长闪长玢岩；Ih --铁帽；Fe　铁矿体；Si—硅化岩；Br　破碎带；1—整合及不整合界限；2—推测或隐伏压扭性断层；3　扭断裂；4　北西西向背向斜；5　北北东向背斜；6- 勘探线及编号；7~10　矿体投影及编号

热液蚀变作用较强烈，主要有碳酸盐化（方解石化、铁白云石化和菱铁矿化）、硅化、粘土化（绢云母化、蒙脱石化、高岭石化），此外还有绿泥石化、透闪石化和蛇纹石化等。

蚀变分带：由内带向外大致有石英二长闪长玢岩（或闪长岩）；透辉石化石英二长闪长玢岩；斜长石岩或透辉石化斜长石岩；透辉石夕卡岩（含矿）、石榴子石夕卡岩；金云母透辉石夕卡岩或透辉石石榴子石夕卡岩（含矿）；夕卡岩化大理岩（白云质大理岩）。夕卡岩化叠加强烈的热液蚀变部位则是成矿最有利的部位。

三、矿床特征

（一）矿体的分布、形态、产状及规模

在长920 m，宽160～330 m 矿床范围内，具有工业规模的矿体（群）4个，由14个主要单矿体和36个零散小矿体组成，赋存于标高－5～－622 m。矿体形态呈透镜状、扁豆状、似鞍状、枝杈状等。单个矿体长50～670 m，厚1.2～83.57 m，最厚达103.23 m，斜深25～325 m。矿体总走向与主干构造方向一致，为NE35°，倾向以NW 为主，倾角一般为13°～56°，最大达83°，最小近于0°。矿体（群）空间展布在纵向上表现为自北向南，由浅而深的侧列，在横剖面上多呈平行的雁行式斜列（图2-114）。

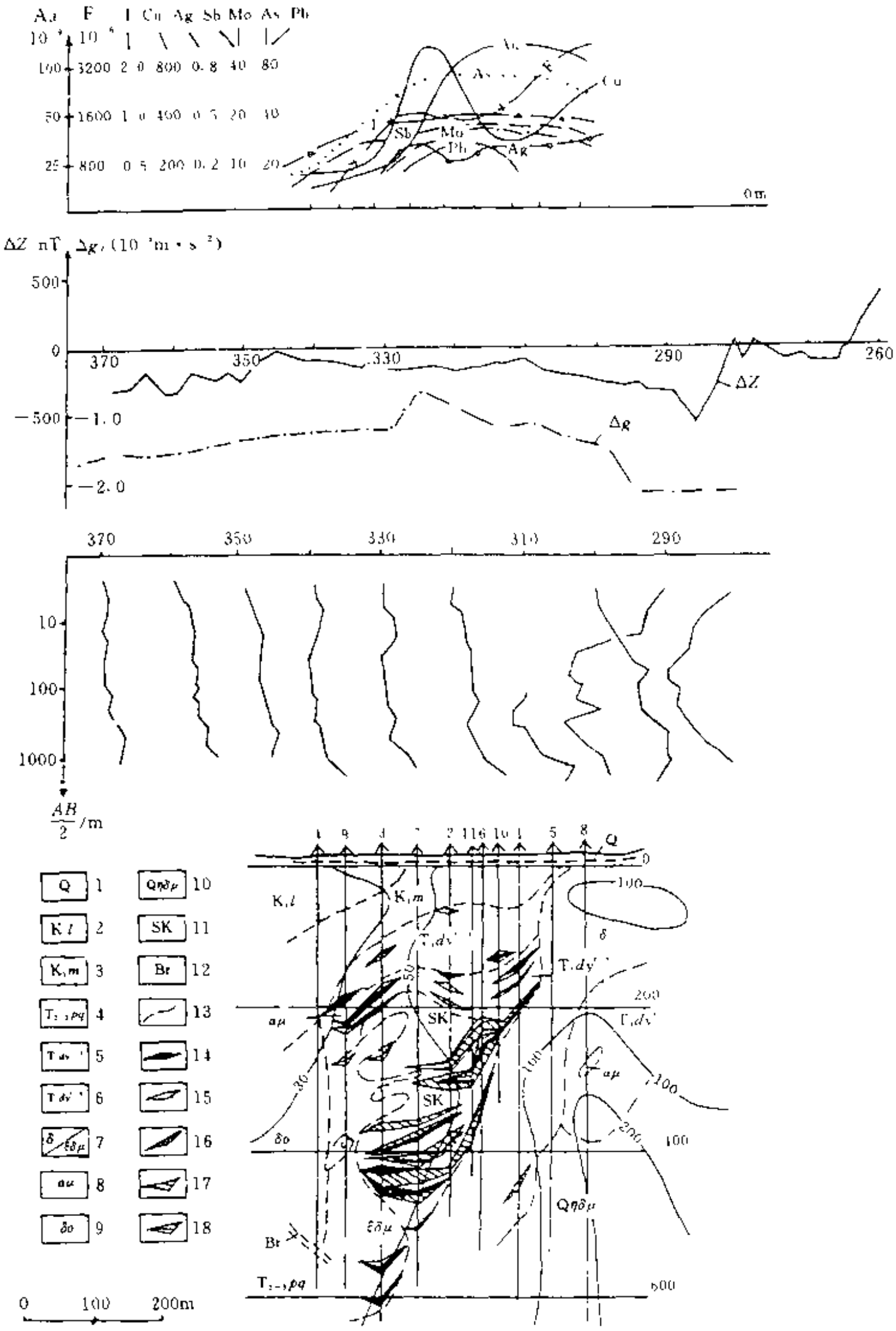


图2-114　鸡冠嘴024线综合剖面

Fig. 2-114　Integrated section of line 024 in Jiguanzui Cu-Au deposit

1—第四系；2—下白垩统灵乡组；3—下白垩统马架山组；4—中上三叠统蒲圻群；5—下三叠统大冶群7段3亚段；6—下三叠统大冶群7段2亚段；7—闪长岩/正长闪长玢岩；8—安山玢岩；9—石英闪长岩；10—石英二长闪长玢岩；11—夕卡岩；12—角砾岩；13—地质界线；14—铜矿；15—黄铁矿；16—金矿；17—含金铜铁矿；18—铅矿

（二）矿石的物质成分

矿石的矿物成分复杂，据初步统计，共有75种（表2 70），以硫化物的种类较多、硅酸盐次之，此外还有氧化物、碲化物、碳酸盐、自然元素等。

表2 70 矿石矿物成分表

Table 2-70 Mineral composition of ores

类别 / 矿物	金属矿物					脉石矿物
	自然元素	氧化物	硫化物	碲硒化物	碳酸盐	
主要	自然金、含银自然金	磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿	黄铁矿、胶黄铁矿、黄铜矿、白铁矿		菱铁矿	方解石、白云石、石榴子石、透辉石、金云母
次要	自然铜	磁铁矿	胶黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿			绿帘石、透闪石、高岭石、石英（玉髓）、绢云母、水云母、绿泥石、淡斜绿泥石、方柱石
微量	自然铋、银金矿	黑铜矿、赤铜矿	方黄铜矿、黝铜钴矿、方钴矿、闪锌矿、含银锡方铅矿、辉铋矿、硫铋铜矿、辉钼矿、辰砂、蓝铜矿	叶碲铋矿、辉碲铋矿、碲铋矿、红硒铜矿、辉硒铜矿	蓝铜矿、孔雀石	磷灰石、榍石、锆石、钠长石、钾长石、阳起石、蒙脱石、绿高岭石、多水高岭石、地开石、金红石、鱼眼石、沸石、萤石、皂石、电气石、刚玉、白钛石、角闪石

黄铜矿为矿床内铜金矿石、铜矿石最主要的含铜矿物，平物含量3%左右。一般为他形粒状，粒度变化范围较大(0.01～1 mm)。据其产出形式，可将黄铜矿晶出时间分四个世代。第一世代黄铜矿主要以交代石榴子石夕卡岩、大理岩形式产出，局部呈脉状、稀疏浸染状分布在闪长岩、石英二长闪长玢岩中；第二世代黄铜矿呈较粗的他形晶粒，交代第一世代黄铁矿，常见微量闪锌矿（固溶体分解产物），出现胶状黄铜矿、黄铜矿与黄铁矿、胶黄铁矿、白铁矿、斑铜矿、辉铜矿及菱铁矿、闪锌矿密切共生。这一世代黄铜矿是本区最重要的含金铜矿物，是铜金矿、铜矿石形成的主要时期；第三世代黄铜矿多呈细脉状产出，并穿切第二世代黄铜矿，黄铜矿细脉内偶见自然金包体；第四世代黄铜矿形成在碳酸盐阶段、呈胶状（皮壳状）沿围岩裂隙充填，不含自然金。

黄铁矿是矿床内最常见的矿石矿物，含量一般为10%～50%，晶形绝大多数呈不规则的破碎状、少数呈立方体，粒度一般为0.03～0.3mm。

自然金（包括含银自然金），细粒状（0.01～0.1 mm），主要呈包裹体金形式产出，其金的载体矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿。

矿床的主要成矿元素有 Cu、Au、S、Fe、Mo。各元素的平均品位为 Cu 1.76%，Au 4.30×10⁻⁶，S 21.30%，TFeO 42.68%，Mo 0.97%；伴生有益组分有 Ag、Go、Se、Ga 等，Ag 平均含量13.61×10⁻⁶，Go 0.021%，Se 0.0034%，Te 0.0032%，Ga 0.0017%。

（三）矿石的结构构造

矿石结构主要为他形至自形粒状结构及熔蚀交代结构，次为固溶体分离结构、胶状结构、压碎结构等；矿石构造主要有块状、浸染状、角砾状、网脉状等。

（四）矿石类型

矿床矿石类型复杂，按矿石中可被工业利用的主要金属元素构成的矿物共生组合，矿石工业类型分为七类：即铁矿石、金铁矿石、铜金矿石、金矿石、铜矿石、硫铁矿石及铅矿石。按矿石在自然状态下主要金属矿物和脉石矿物组合特征，又划分为17个矿石自然类型和20个矿物共生组合。其中铜金矿石为矿床内最主要的矿石类型，占铜总储量的79.03%，占金总储量的85.18%，多为交代夕卡岩和大理岩而成，均属原生铜金矿石。

（五）矿化分带和铜金富集规律

矿床主要金属矿物和成矿元素具有较明显的垂向分带规律（表2 71）。金矿化自下而上有增强趋势，铜矿化在矿床中心部位最强，向上或向下有减弱之势。而且上、中、下三带的矿石矿物组合，金铜和金银比值也有明显的变化规律。上带因受表生作用影响，部分黄铁矿氧化为赤铁矿和褐铁矿，金有明显的次生富集。矿化横向分带由内接触带至外接触带分带为钼-铜、金（铁）-铁（金）。各带之间一般呈过渡关系，普遍有复合现象，使矿石类型复杂。

表2-71 矿化垂向分带表

Table 2-71 Vertical zoning of mineralization

带 别	代表矿体	主要金属矿物	主要成矿元素	Au×10⁴/Cu	Au/Ag	铜平均品位 %	金平均品位 g·t⁻¹
上带	Ⅰ	赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿、辉铜矿、自然金	Fe、Cu、Au	4.32	0.68	1.22	5.27
中带	Ⅰ、Ⅱ	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、自然金、磁铁矿、辉钼矿	Cu、Au、S（Fe、Mo）	2.17	0.33	1.87	4.05
下带	Ⅳ	黄铁矿、黄铜矿	Cu、S	1.08	0.09	0.85	0.92

铜金一般在矿体中心部位较富，边缘较贫。铜与金的富集带大部重合，铜金共生的矿石都是铜矿体中的富矿石，铜金的相关系数为0.83。由于矿化受构造的控制，各主要矿体的铜金富集带有一定方向性，主要为北北东向和北东东向两组。

四、矿床成因及成矿条件分析

（一）成矿地质条件

矿床受北北东向断裂接触破碎带控制，矿体受接触带和层间破碎带控制，例如Ⅰ2矿体赋存于T_1dy^{7-3}大理岩与石英闪长岩接触带；Ⅱ2与Ⅲ1号矿体受石英二长闪长岩和闪长岩接触带与T_1dy^{7-1}白云质大理岩层间破碎带控制。Ⅲ2号矿体受T_1dy^{7-1}白云质大理岩层内破碎带控制（图2-114）。

矿床内主要矿体很大程度受三叠系下统大冶群第七岩性段碳酸盐地层的控制。由于该岩性段质纯富钙，适量含镁，岩石化学性质活泼，并且，厚层状与薄层状构造交替互层，受构造应力作用易产生层间破碎，这些性质为夕卡岩的形成和矿液充填交代造成了良好的物理化学条件，是矿区内成矿最有利层位。

矿床内与成矿作用有关的主要是燕山早期第三期侵入的石英二长闪长玢岩。岩石化学特征为富碱、低铁镁、挥发分高，含铜丰度较高。岩浆期后热液阶段钾硅质、钠硅质交代比较发育。该矿床无论从空间上，还是成因上，都与石英二长闪长玢岩有密切的地球化学的联系。

（二）成矿物质来源、运移和富集

该矿床与成矿关系最为密切的石英二长闪长玢岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始值为0.7054，$\delta^{18}O$为+10.62‰，属壳-幔同熔型岩浆岩系列。岩体中普遍存在熔体-流体包裹体，说明气液来源于岩浆演化后期。由于岩浆结晶作用转化为蒸馏作用析出（富含NaCl）高热气流体，随着温度下降至500～700 C，富含挥发分的热气流体聚集、汇合来自粒间的溶液，这种富含NaCl的溶液在高温状态下从岩浆岩中提取Cu、Fe等成矿元素，形成含矿气液。在向上运移过程中对围岩进行选择性交代。同时，围岩，特别是T_1dy含膏盐岩层中富含S^{2-}、Na^+、Cl^-、H_2S、SO_4、H_2O等的地下热卤水加入，不断地改变含气液的成分和性质，在一定的物理化学环境下形成金属矿床。

此外，据矿床硫化物36件硫同位素资料，$\delta^{34}S$值为1.73～9.8，说明硫及成矿物质可能来源于下地壳或上地幔，在其向上运移过程中同化混溶了含水的上地壳成分。综合矿床矿物稳定同位素$\delta^{34}S$、$\delta^{18}O$

测量结果和流体包裹体成分温度数据经有关矿物 水平衡公式计算结果表明，矿床热流体水溶液主要来自混合岩浆水。

从与邻区铜录山矿床的包裹体分析资料的对比来看，矿质的运移方向是由铜录山矿床向北西鸡冠嘴矿床运移的。矿床中铜铁硫化物是继承晚期磁铁矿的残余含矿热液，汇合来自岩浆结晶后的粒间溶液形成高盐度含矿热液。黄铁矿中包裹体液相成分分析，说明矿液富含 Na^{+}、Cl^{-}、SO_4^{2-}、CO_2，介质呈中偏酸性-酸性，适宜于铜、铁硫化物的晶出沉淀。整个晶出过程从高温-中温（350～200℃），介质处于还原条件。

矿床的金矿化发生在硫化物矿化阶段，金与铜、硫密切相关。金主要呈细粒金充填及包裹在黄铜矿、黄铁矿中。金的大量沉淀发生在硫化物阶段的中期，介质呈更酸性的还原条件下为最有利。金包裹在黄铜矿、黄铁矿中，说明它们是共同运移和沉淀集中的。

（三）成矿温度

以矿床中岩浆岩、夕卡岩与矿石矿物包裹体测温结果和含盐度对比，表明成矿期形成于热液阶段，与岩浆期后高盐度高温热液-高盐度中温热液阶段相当。它晚于夕卡岩期的金云母夕卡岩，而早于绿帘石的形成。矿床的成岩成矿温度是：成岩期，石英正长闪长玢岩为700～1080℃；岩浆期后高温气液阶段为480～700℃；夕卡岩阶段为320～560℃；氧化物磁铁矿阶段为320～350℃；硫化物阶段为200～350℃；碳酸盐阶段为140～260℃。

（四）成矿作用

综合矿床各种成矿地质特征，鸡冠嘴矿床成矿作用初步可划分三期六个阶段。成矿作用主要有以下两种方式：

（1）接触交代：石英二长闪长玢岩与碳酸盐岩接触交代作用形成夕卡岩体，磁铁矿和赤铁矿交代夕卡岩矿物，铜和其他硫化物的一部分叠加在铁矿体和夕卡岩之上，形成部分含磁铁矿和含铜（金）夕卡岩。

（2）热液充填交代：含矿高中温热液沿构造裂隙、角砾边缘充填交代由于矿化强度不等，形成一系列块状、脉状、浸染状的各类金属硫化物矿石。

综上所述，该矿床成因类型为岩浆期后高--中温气液接触交代型（复控式）铜金矿床。

五、矿床地质及物化探异常特征和综合找矿模型

（一）地质模式

富碱二长闪长玢岩蘑菇状小岩株呈超浅成相侵入于早期岩体和三叠系碳酸盐岩围岩或其捕虏体中，前锋接触带发育夕卡岩，岩颈根部边缘，存在隐爆角砾岩。成矿与斑岩小岩株关系密切。矿床以成矿斑岩小岩株为中心，形成斑岩型、角砾型、夕卡岩型矿体，具有典型的“多位一体”特征。成矿后浅部矿体曾遭受风化剥蚀，并部分受中基性火山沉积角砾岩的堆积、掩埋。本式矿床矿石组分以铜、金为主，伴有硫、铁、银、钼、硒、碲、铟等。

（二）地球物理模式

地表磁场反映矿体部位为平缓负磁场中局部磁场抬高。有明显局部重力异常。极化率较低。断面上电测深呈 KH 型曲线，ρ_s 等值线局部扭曲扩张，矿体在低阻凹陷带中。

（三）地球化学模式

地表水系沉积物、水化学、土壤和岩石测量均能圈定局部地球化学异常，浓度分级明显，强度较高，形态规则，规模较大，呈带状沿北东构造带展布。在断面上，矿床的地球化学原生晕为围绕球形高碱富钾小斑岩体呈现元素分带特征。由岩体向外，大体呈 Sn、W、Mo→Cu、Au→F→Hg 的变化。各种类型矿体上均有不同指示元素组合。夕卡岩型矿体和层控型矿体间还具有硫同位素组成和稀土元素特征的区别。

该矿床物化探异常特征见图2-111，综合找矿模型详见表2-72。

表2-72　鸡冠嘴式铜金矿床综合找矿模型

Table 2-72　Comprehensive prospecting model of Jiguanzui-type Cu-Au deposit

	特　征		斑　岩	内接触带	外接触带	
				夕卡岩	夕卡岩型矿体	层控型矿体
	矿化种类		钼硫（铜金）	钼铜（硫）	铜金硫（铁）	铁金铜（硫）
	成矿部位		球形体前缘和颈根部膨大	球形体前锋部位	T_1dy^1　1_2l层间	T_2l^1　T_2l^2层间
地质模型	地层				T_1dy^1和T_2l白云质大理岩	
	构造		前缘爆破裂隙和下部隐爆角砾	前缘接触带	捕虏体构造层间破碎带、层间裂隙	
			北西向构造带与北东向蚀变破碎带交汇处			
	岩浆岩		富碱高钾正长闪长玢岩，$SiO_2$56%，碱值9.69，$w(K_2O)/w(Na_2O)=2.92$			
	蚀变		钾化（钠化）	石榴子石、透辉石夕卡岩化	夕卡岩化病	
	主要矿物		辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿	辉钼矿、黄铜矿	黄铁矿、黄铜矿、自然金、磁铁矿	赤铁矿、黄铁矿、辉铜矿、自然金
	探测目标物		正长闪长玢岩	夕卡岩	铜金矿体与白云质大理岩组合	
地球物理模型	物性	磁性	微弱磁性	弱磁	矿石：弱至中等磁性，高级化赋矿大理岩，较高密度（剩余密度0.38×10^3 kg/m^3）	
		密度	中低密度	中高密度		
		电性	中高阻	中低阻、弱极化		
	地面异常		较明显的局部重力高（幅值约1.0×10^{-5} m/s^2）；增深加大200 m后异常消失；磁异常不明显，仅表现为负磁场中局部抬高（幅度100nT）；低极化，相对弱高阻，电测深KH，ρ_2断面等值线局部扭曲扩张			
地球化学模型		部位	矿　上	矿　中	矿　下	
	原生晕	指示元素	As、F、Hg、Sb（Bi）	Cu、Ag、Au、Mo	Zn、Mn、Bi、Co（Ni）	
		Au·As·Sb·10^{-6} Cu·(Co)^2	>1	0.1～1	<0.1	
		Ag·10^3/Cu	>2	0.2～2	<0.2	
		轴向分带	(AsFHg)　(SbB)－Ag　Au　Cu　Mo　Co　Bi			
	地表异常		矿体正方潮积物剖面，CO_2呈强度低，村值明显的"驼峰式"异常，并有Cu、Mo、Ag、Au等次生晕异常和Cu、Zn、SO_3^{2-}水化学异常			

第六节　湖北大冶石头嘴铜矿床

一、大地构造单元

石头嘴铜矿床位于扬子准地台下扬子台褶带大冶坳褶断束内，大冶复式向斜中部。

二、矿区地质

（一）地层

矿区内广为第四系覆盖，据工程揭露，主要地层为三叠系下统大冶群。

三叠系碳酸盐岩已变质为大理岩。由于受岩浆侵入影响，大理岩形成两种不同的产出形态，一种是被岩浆分割包围形成舌状体或捕虏体，分布于矿区西部；二是与岩浆岩成反"S"型陡倾斜接触，大面积分布在矿区东北部（图2-115）。从其岩性特征与区域地层对比，以及微量元素锶的变化特点，可基本确定为下三叠统下部灰岩组和上部的白云质灰岩及白云岩组。

灰岩组主要在矿区东北部负520 m标高左右，岩性为大理岩、含泥质条带大理岩，厚度约300 m左

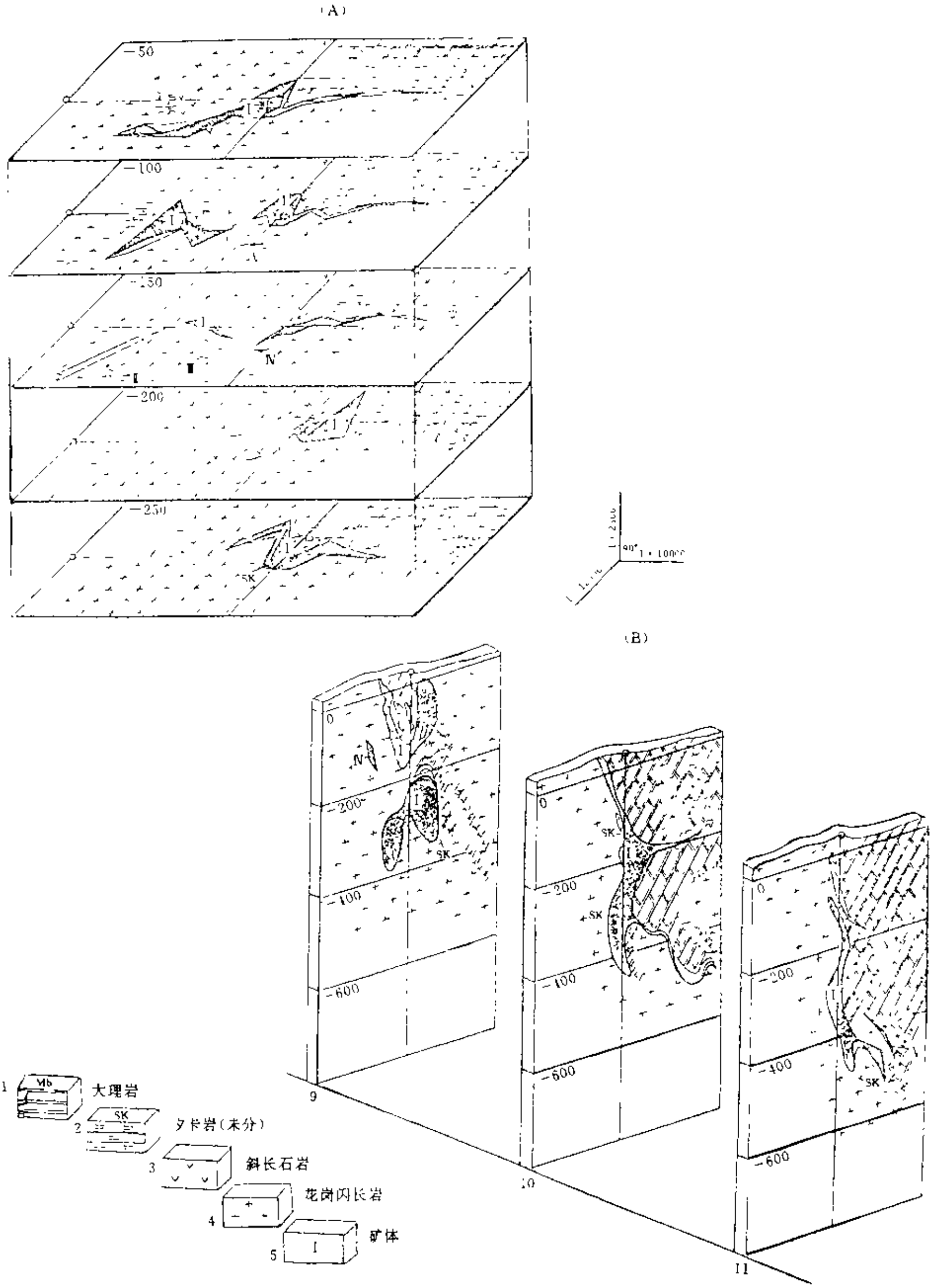


图2-115 石头嘴铜铁矿床水平断面图（A）及9、10、11线剖面图（B）

Fig. 2-115 Horizontal section (A) and profile of line 9, 10, 11 (B) of Shitouzui copper-iron deposit

1 -大理岩；2—夕卡岩（未分）；3 斜长石岩；4 花岗闪长岩；5--矿体编号

右。

白云质灰岩、白云岩组分布较广，其厚度随接触带向深部延伸而变化，最薄者仅数十米，最厚可达500 m。岩性自上而下为白云质或白云石大理岩、大理岩、白云质或白云石大理岩。

大理岩或白云质大理岩倾向南西，倾角约17°左右。

（二）构造

矿区位于复式向斜南翼及次一级褶皱鹿耳山倒转背斜的北翼。从岩层产状可认为矿区为一向南倾斜的单斜构造。从岩浆岩的分布形态，可较明显的看出，岩浆岩侵入受到NW57°和NE20°两组构造控制，形成两组接触带。8～9线即是两组构造的交叉部位，形成复杂的接触构造。9线和10线接触构造又截然不同即是一例。

勘探工程中所见主要为破碎带，据观察，可分为成矿前、成矿期、成矿后三次构造运动。前两次构造在时间上不同，在空间上基本上是重合的。尤其是沿接触带发生的破碎带是成矿的最有利部位。部分发生在碳酸盐岩中的成矿前破碎带，也控制单铜矿体的空间分布和产状，形成与主矿体相平行的小铜矿体或铁矿体。

成矿后构造有的沿前两期构造部位发生，尤以接触带部位显著，使矿石结构有所破坏，成为角砾状矿石，但未破坏矿体的完整性。

（三）侵入岩

为阳新侵入体西北端的北缘部分，岩性为花岗闪长岩，呈灰-深灰色，由奥-中长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石等组成。岩石具半自形粒状结构。奥 中长石，呈自形粒状，具环带状构造，常被蒙托石、绢云母等轻微交代；角闪石常被碳酸盐、绿高岭石交代；钾长石、石英呈他形充填于上述两矿物颗粒间。副矿物以榍石、磷灰石、磁铁矿为主，偶见锆石。岩石普遍发育钾长石化。部分地段岩石结构也发生变化，形成斑状或似斑状结构，使花岗闪长岩成为花岗闪长斑岩或斑状花岗闪长岩。

按花岗岩类谱系单位划分，矿区侵入体属于铜录山超单元的铜录山单元，为早白垩世的石英二长闪长岩（原定名花岗闪长岩）。

三、矿床地质

矿床内以铜、铁矿体为主。此外，还有单独的铁矿体、铜矿体和铅矿体，但规模甚小。

（一）矿体形态、产状

矿区共探明铜铁矿体有七个。以Ⅰ号矿体为主，其他为分布在主矿体顶、底板的一些小矿体。矿体的空间分布、形态和产状，严格受接触破碎带和破碎带两种构造控制。以前者为主，后者次之。前者又以北57°西方向的接触带控制成矿为主，主矿体均分布在此接触带构造线上，倾向北东，倾角1°～85°，而北东向构造线上，只探到一些规模很小的矿体。

Ⅰ号矿体最主要（图2-115）。探明储量：铜金属量占全区铜总储量的98.5%，平均品位1.27%；铁矿石量占全区铁矿总储量的97.9%，平均品位32.73%。矿体东起20线，西至3至1线间，全长900 m，其产出形态特征，受两种接触带构造类型所控制。9线以西为舌状体或捕虏体接触构造控制；9线以东为反“S”型主接触带构造控制，矿体产状随接触带产状变异。两种形态特征分述如下：

1. 舌状体或捕虏体矿体构造形态特征

主要分布于3～9线。以9线为例，碳酸盐岩被岩浆岩分割为上、下两个捕虏体，矿体即产于其中，形成上部矿体和下部矿体。上部矿体位于－170 m 标高以上，沿捕虏体接触带分布，形似一个正“凹”字型，捕虏体中间部位矿化微弱，只有小的铁矿体分布。下部矿体位于－182～－390 m 标高间，矿体形态似一个倒放的“凹”字型。

2. 主接触带构造控制矿体形态特征

分布于10～20线之间。矿体产于反“S”型主接触带上。在10～15线间，是矿区铁铜矿主要分布地段。主矿体由西向东侧伏，其顶端标高从10～15线，由正27 m 逐渐下降为－15 m。矿体在走向上，形似一个两端不对称的“V”字型，在“V”字型的最底部及其两翼上翘部位，矿体规模大、品位富。

综上所述，主矿体基本形态沿走向形似扁豆状、透镜状，沿倾向形似藕节状。

（二）矿床氧化带

矿区内氧化作用强烈，在地表浅部形成含铜铁帽，部分地段铜全被淋失，成为贫铁矿石。石头嘴矿床氧化带具有以下特征：

（1）全区氧化带发育不均一，主要分布在Ⅰ、Ⅳ号矿体中（Ⅳ号全为氧化矿石）。Ⅰ号矿体氧化带主要发育在7至13线矿体上部，氧化发育深度最大标高达－64 m，最浅标高是－15 m。

（2）铁帽类型复杂，具有四种类型，包括褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿铁帽，含铜褐铁矿铁帽，含铜褐铁矿赤铁矿铁帽及土状褐铁矿铁帽。

（3）有明显的次生富集带，以9线最为显著，氧化带发育较全。

（4）次生氧化矿物组合复杂，铜矿物主要为孔雀石，次有自然铜、辉铜矿、斑铜矿。

（三）矿石特征

1.矿石物质成分

本区矿石共有矿物60余种，金属矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉铜矿、赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿、菱铁矿等；次要的为辉钼矿、白铁矿；脉石矿物主要有方解石、白云石、透辉石、石榴子石、蒙托石、石英等。

2.矿石结构构造

（1）常见的矿石结构为交代结构、自形　他形晶粒结构、固溶体分离结构、胶状结构等。

（2）矿区最重要的构造是：浸染状—细脉浸染状、块状、脉状、角砾状和条带状构造等。

3.矿石类型及分布

矿区矿石按自然类型分类有铁矿石、铜铁矿石、铜矿石、钼矿石四种。以铜铁矿石为主，其他矿石次之。各类矿石所占储量比例见表2-73。矿石类型，全区可划分为三个不同的矿石分带，即铁矿石带（分布于矿区西段3～5线）、铜铁矿石带（分布于矿区中部5～15线间）、铜矿石带（分布于矿区东部17～20线间）。

表2-73　各类矿石储量所占比例统计表

Table 2-73　Statistic scale showing the reserve ratio of differential ores

矿床类型		占全区铁总储量数/%	占全区铜总储量数/%	备　注
铁矿石		9.21		属单铁矿石
铜铁矿石	氧化矿石	8.17	8.35	
	硫化矿石	82.59	84.38	
	合计	90.76	92.72	
铜矿石			7.28	属单铜矿石

1.矿石中有益伴生组分

矿石中有益伴生组分有金、银、钴、铼、镓等。

金主要分布在硫化铜铁矿石、硫化铜矿石中，其次在氧化铜铁矿石中。据组合分析资料统计，金在硫化铜铁矿石中最高含量为3.6×10^{-6}，一般为$(0.30\sim0.85)\times10^{-6}$。

银的分布规律与金相似，铜铁矿石中组合分析含银最高值为$(25\sim55)\times10^{-6}$，一般为$(3.2\sim17.5)\times10^{-6}$。

（四）接触交代作用与围岩蚀变

1.接触交代作用

经矿区主要部位7、10、12等剖面系统取样鉴定，夕卡岩有明显的分带现象。

一般自花岗闪长岩→碳酸盐岩石的分带如下：

内接触带分为：透辉石闪长岩或石英闪长岩（内接触带）；透辉石闪长岩或石英闪长岩；透辉石化斜长石岩；透辉石夕卡岩化斜长石岩（夕卡岩化作用特强时还可以分出：透辉石钙铝—钙铁石榴子石

夕卡岩带和透辉石夕卡岩带）；

外接触带分为：透辉石夕卡岩；金云母透辉石夕卡岩（主要含矿带）；金云母夕卡岩；金云母化大理岩或金云母化白云质大理岩；大理岩或白云质（白云石）大理岩。

2. 围岩蚀变

矿区内近矿体的岩浆岩、夕卡岩、大理岩都有显著的热液蚀变现象，种类较多。当多种蚀变叠加在一起时，对成矿有利，往往是蚀变种类多、范围大者，矿体规模也大。常见的蚀变种类有钾长石化、碳酸盐化、硅化、蛇纹石化、蒙托石化等。

（五）矿床物化探异常特征

石头嘴矿床处于阳新岩体西端北缘，在磁异常图上是正负磁异常过渡地区，由于含铜磁铁矿矿体的存在，形成叠加磁异常。在正值部位经磁性矿体叠加形成2000 nT 局部高值异常，及500 nT 呈葫芦状的次级磁异常；在负值部位往往叠加形成矿区东部负100～300 nT 的局部磁异常区。在勘探过程中，对剩余磁异常的研究和应用磁测井方法，是寻找隐伏矿体的有效方法。

四极对称电测深法，配合地质和磁法对了解侵人接触的分布及有利成矿部位、岩溶发育及分布状态等均有一定效果。在岩浆岩分布区，电阻率为中，A 型曲线；矿体分布地段，电阻率为低阻 H 型曲线；无岩溶大理岩分布区，为高阻 G 型曲线。

四、成矿作用

根据本矿床矿物的相互关系，岩石的结构构造和围岩蚀变，并与邻近的铜录山矿床类比，对本矿区成矿过程及成矿规律有如下几点初步认识：

（一）成矿过程

矿床形成经历了三个时期6个阶段：

1. 夕卡岩期

夕卡岩阶段：燕山期花岗闪长岩沿北西西向构造侵人，与三叠系碳酸盐类岩石接触发生重结晶而变质成为大理岩、白云质大理岩、白云石大理岩等，并发生硅、铝、铁、钙、镁等元素的双交代作用，产生了大量透辉石、钙铝-钙铁系列的石榴子石、金云母、硅镁石等夕卡岩。近夕卡岩的碳酸盐岩也已重结晶，有的则有微弱的夕卡岩化及褪色现象；近接触带的岩浆岩发生了同化混染，使原来的中性斜长石变为基性斜长石，角闪石变为透辉石，原生钾长石、石英消失，使原来的花岗闪长岩变成了透辉石斜长石岩。在岩浆基本固结后，残余岩浆中的钾、钠、硅、钛、磷相应的较为富集，形成了大量的普遍分布的钾长石化作用，局部的方柱石化和生成微量的榍石和磷灰石。

气化高温氧化物磁铁矿阶段：在夕卡岩形成之后，因构造的影响，使夕卡岩产生了节理与裂隙，局部有破碎现象。同时含矿溶液大量富集了氧化亚铁，其含矿溶液交代夕卡岩，形成了大量的磁铁矿及微量的赤铁矿，伴随着蛇纹石化。磁铁矿生成后，氢氧离子与硅酸盐较富集，形成角闪石、透闪-阳起石、金云母等矿物呈脉状产出并穿切矿石。

2. 硫化物期

黄铜矿阶段：磁铁矿形成后，含矿溶液中的硫化物富集起来，溶液沿磁铁矿和夕卡岩的压碎裂隙及颗粒间隙进行交代，形成了黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等浸染状构造，局部也可见块状构造的富集地段，与它伴随的有方解石化、白云母化、硅化、绿泥石化等。它在内接触带以辉钼矿为主，伴生有黄铜矿、黄铁矿；在外接触带的夕卡岩和磁铁矿中则以黄铜矿为主，伴生有辉钼矿及黄铁矿。本阶段处于高—中温的过渡阶段。

斑铜矿辉铜矿阶段：当黄铜矿形成后也受到构造的影响，产生了裂隙，局部变为角砾状，同时含矿溶液中铁离子大量减少，温度也在下降，形成斑铜矿、辉铜矿，并见有白铁矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、胶状黄铜矿、胶状黄铁矿、砷黝铜矿及石英 玉髓、碳酸盐等。磁铁矿氧化为赤铁矿，碳酸盐交代改造磁铁矿与赤铁矿而形成菱铁矿、铁白云石、含铁白云石等。在本阶段内见有三种共生组合，即①本阶段开始的斑铜矿-辉铜矿共生组合；②本阶段后期变为辉铜矿-黄铁矿共生组合；③局部为白铁矿 胶状黄铜矿共生组合。整个阶段是在中温条件下进行的。

碳酸盐与硫酸盐阶段：金属硫化物沉淀后，硫酸根离子和二氧化碳相对富集与围岩中的钙、镁、锶、钡作用，生成了大量方解石、白云石和部分重晶石、天青石、硬石膏及游离二氧化硅-石英玉髓等。

3. 表生期

氧化淋滤次生富集阶段：表生作用的结果，使上部近地表的矿体发生强烈的氧化作用，磁铁矿被氧化成赤铁矿、褐铁矿；硫化物被溶解、迁移，生成孔雀石、硅孔雀石、赤铜矿、蓝铜矿、自然铜、戴氏赤铜矿及粘土矿物、石英-玉髓等。使原生硫化物矿石变成氧化矿石和混合矿石。

（二）矿床成因

石头嘴矿床无论是岩体与成矿的空间关系，还是硫同位素特征（黄铁矿、黄铜矿15个样品，$\delta^{34}S$ 0.8‰～3.6‰，平均 $\delta^{34}S$ 1.97‰）均与岩浆侵入作用和深源物质关系密切。矿体赋存于接触带，是交代作用过程中的产物，是典型的接触交代矿床。因此，本矿床的成因是岩浆期后气化-高温热液接触交代型铜铁矿床，也可称之为铜录山式矿床，即典型的夕卡岩型铜铁矿床。其所在区域的成矿模式请参考铜录山矿床。

第七节　湖北大冶桃花嘴铜金矿床

一、大地构造单元

矿床位于扬子准地台下扬子台褶带西端，大冶坳褶断束内。

二、矿区地质

（一）地层

矿床全为第四系覆盖。据钻孔揭露，在第四系沉积之下见有火山碎屑岩、熔岩、碎屑岩及碳酸盐岩，按其岩性、沉积构造、化学成分等特征，并与区域沉积地层对比，分别归属下白垩统灵乡组（K_1l）、马架山组（K_1m）、中-上三叠统蒲圻群（$T_{2-3}pq$）、中三叠统陆水河组（T_2l）和下三叠统大冶群（$T_1d_{\text{小}}$）。与成矿有关的，是大冶群第五至第七岩性段，其特征如下：

1. 第五岩性段（T_1dy^5）

为Ⅱ号矿体群赋矿层位。分布于11～10线之间－466～－741 m 标高以下。为中厚层—薄层状灰质白云石大理岩和含灰质白云石大理岩，米黄色、褐红色、浅褐色，局部呈灰白色，中粗粒变晶结构，偶见条纹状及缝合线构造。岩石主要由白云石，次为方解石组成，局部见有石膏假晶。含 CaO 一般为 32.11%～37.97%，MgO 10.13～18.33%，Sr 含量为（200～500）$\times10^{-6}$。由于岩浆岩的吞蚀，该岩性段有底无顶或有顶无底，视厚度大于180 m。

2. 第六岩性段（T_1dy^6）

广泛分布于7～18线－200～－600 m 标高间，局部可达负740 m，未见顶，假厚度大于300 m。为Ⅱ号矿体赋矿层位。岩性为白云质大理岩、大理岩，呈灰白色，中粗粒变晶结构，中-厚层构造，质纯，具缝合线构造。主要成分为方解石，少量白云石。岩石化学成分：CaO 50.40%～53.84%，MgO 0.31%～3.11%，酸不溶物1.06%～6.92%，Sr（500～2000）$\times10^{-6}$。

3. 第七岩性段（T_1dy^7）

分布于矿区西部及中部3～4线间－135 m 以上，未见底，假厚度大于110 m。为Ⅰ号矿体赋矿层位。岩性为灰质白云石大理岩，呈浅灰色、黄褐色，细粒变晶结构，薄-中厚层构造，主要矿物为白云石，次为方解石等。岩石化学成分：CaO 33.21%～38.71%，MgO 11.46%～16.48%，酸不溶物3.14%～7.50%，Sr 200×10^{-6}。

（二）构造

1. 褶皱

经恢复，矿区存在三个隐伏褶皱构造，即 NW 向隐伏背斜和向斜及 NNE 向隐伏背斜，由于岩浆的侵入，各背向斜均不完整、不协调。

（1）NW 向隐伏褶皱　由一个背斜①和一个向斜②构成（图2-116），分别见于18～7线及7～11线的

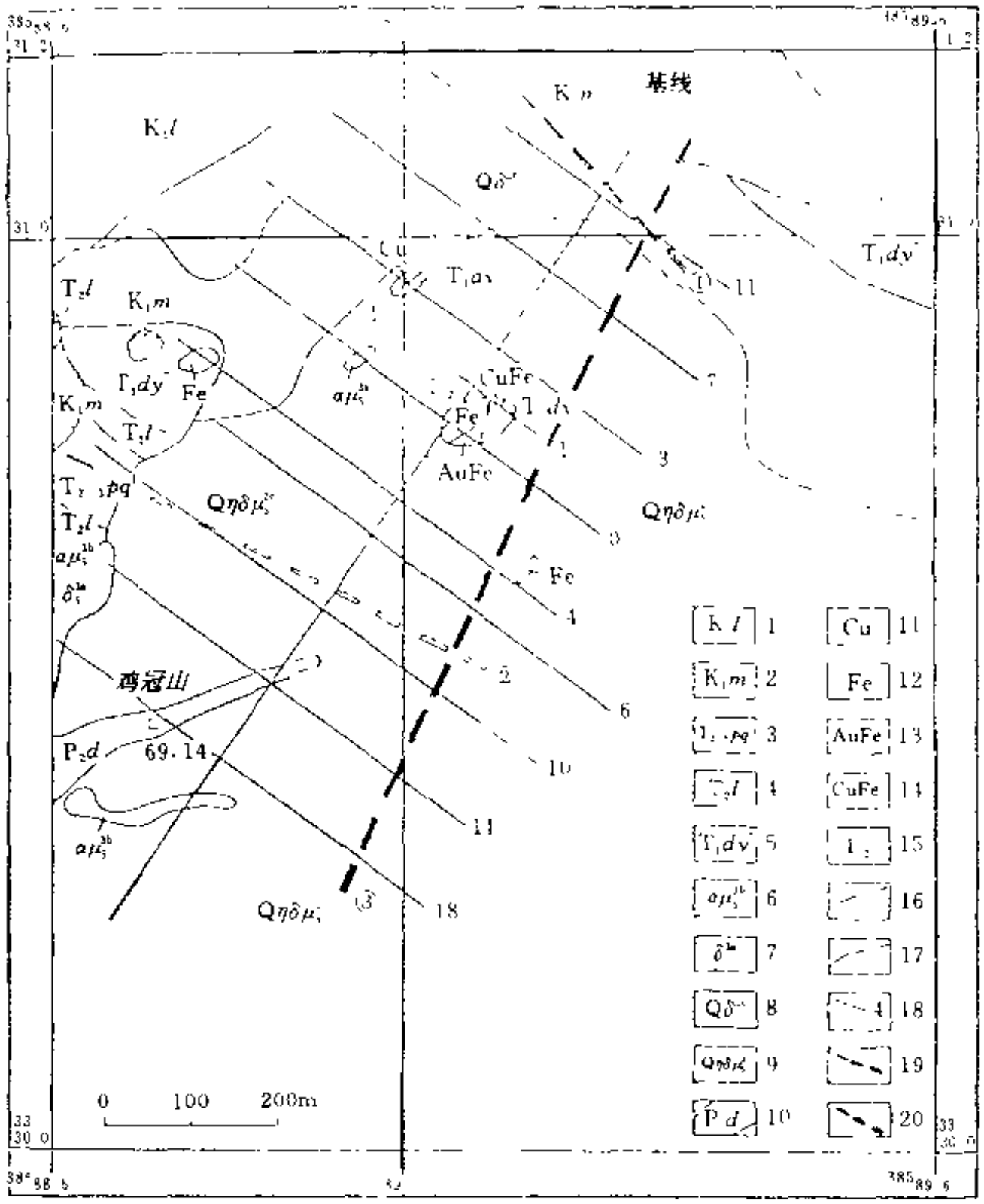


图2-116 桃花嘴矿区构造地质略图

Fig. 2-116 Geological sketch map of Taohuazui ore district

1—下白垩统灵乡组；2—下白垩统马架山组；3 中 上三叠统蒲圻群；4—中三叠统陆水河组；5—下三叠统大冶群；6—燕山晚期安山玢岩；7—燕山晚期闪长岩；8 燕山早期石英闪长岩；9—燕山早期石英二长闪长玢岩；10 破碎带，11 铜矿；12—铁矿；13—金铁矿；14—铜铁矿；15—矿体号；16 实测、推测地层不整合界线；17 实测、推测地质界线，18—剖面线位置及编号；19 隐伏背斜；20 隐伏向斜

北东部。由于岩浆的吞噬，两个褶皱均发育不全，其残留部分所见最新地层为中—上三叠统蒲圻群碎屑岩，最老地层为下三叠统大冶群第三岩性段碳酸盐岩，依次可见中三叠统陆水河组及下三叠统大冶群第四至第七岩性段。背斜轴向为NW42°，轴面倾向SW，倾角约88°；向斜轴向为NW62°，轴面倾向SW，倾角约88°。背斜和向斜比较，向斜相对宽缓。

（2）NNE向隐伏背斜 走向NE10°～35°，倾向NW ·NWW，倾角60°～70°，近轴部为下三叠统大冶群第三岩性段或第四岩性段岩层。由于岩浆侵入作用吞蚀、穿插，仅保留了背斜的北西翼部分岩层，SW段（0线以南）比较完整，NE段由南向北下三叠统大冶群第三岩性段至第六岩性段岩层依次减少以致消失于侵入体中。

2. 侵入接触构造

为由岩浆侵入作用所形成的捕虏体侵入接触构造。

捕虏体由下三叠统大冶群碳酸盐岩及其受接触交代作用而形成的夕卡岩组成。捕虏体大小不等，形态各异，为石英二长闪长玢岩所包裹。

捕虏体总体展布方向约为NE26°，与NNE向隐伏背斜轴向一致，倾向NW，倾角约50°～75°。捕虏

体在横向上呈雁行式平行排列，纵向上呈透镜状、元宝状和鞍状。捕虏体侵入接触构造是矿床主要的控矿构造，按其特征及其与成矿关系，大致可分为成矿前、成矿期和成矿后三期构造破碎，其总的特点表现为继承性、脉动性和多期性。

（三）侵入岩

桃花嘴紧邻鸡冠嘴铜金矿床，位于铜录山岩株体的西北缘，两矿床的成矿作用均与该岩株体密切相关。桃花嘴岩株体侵入D最新地层为中 上二叠统蒲圻群。岩石类型有石英二长闪长玢岩、石英闪长岩、闪长岩和安山玢岩。据区域岩浆岩研究成果，石英二长闪长玢岩和石英闪长岩为燕山早期第三次侵入的产物，两者呈相变关系。闪长岩、安山玢岩为燕山晚期第一、二次侵入活动的产物。矿区以石英二长闪长玢岩为主体，与成矿作用密切相关。

1. 主要岩石的矿物及化学成分

石英二长闪长玢岩（$Q\eta\delta\mu_5^{3c}$）：岩石呈灰白色-肉红色，斑状结构，块状构造。主要由更中长石（66.6%）、钾长石（11.0%）、石英（9.8%）、角闪石（3.7%）等组成。斑晶主要为更中长石，少量角闪石。更中长石呈自形、半自形板状，聚片双晶发育，环带构造常见。基质为细粒结构，主要由斜长石、石英、钾长石组成。岩石普遍有不同程度的蚀变，表现为更中长石的绢云母化、高岭石化。此外，钾长石化、钠长石化及碳酸盐化亦较普遍。绢云母、高岭石含量一般为2.2%；角闪石常被黑云母、方解石等取代，保留其假象，黑云母含量一般为3%。矿床中各矿体与此类岩石关系密切。

各类岩石与标准同类岩石（戴里值）化学成分相比，以富碱、低铁镁为特征，除安山玢岩外，Na_2O含量均高于K_2O，$w(Na_2O)/w(K_2O)$为1.18～1.65，在查氏数值特征上表现为a值高，b值略低，组合指数σ为2.46～3.32，属钙碱性岩石。

2. 副矿物

石英二长闪长玢岩的副矿物组合为磁铁矿-磷灰石-榍石-锆石型，以富磷灰石为特征。

3. 岩石微量元素

岩石微量元素见表2-74。

表2-74 桃花嘴石英二长闪长玢岩微量元素含量表（$w_B/10^{-6}$）

Table 2-74 Trace element content of Taohuazui quartz monzodiorite porphyry ($w_B/10^{-6}$)

亲铜元素	Cu	66	亲石元素	Be	2.8
	Pb	8.6		Ba	1032
	Zn	23.7		Sr	550
	Ag	0.15		Ti	1440
	Bi	2.9		V	42.9
	Sb			Cr	45.8
	Sn			Mn	348
亲铁元素	Co	6.0		W	2.4
	Ni	6.1			
	Mo	1.3			

（四）变质岩石及围岩蚀变特征

（1）矿区常见的接触交代变质岩有透辉石夕卡岩、透辉石石榴子石夕卡岩、石榴子石透辉石夕卡岩、石榴子石夕卡岩等，其空间展布和矿化类型具分带性（表2-75）。

（2）矿区近矿围岩蚀变强烈（表2-76），多种蚀变叠加，是找矿的重要标志。

表2-75　桃花嘴接触交代变质岩石及矿化类型分带表

Table 2-75　Zoning of contact metasomatic rocks and mineralization of type in Taohuazui deposit

带别	岩石名称	矿化类型
岩体	石英二长闪长岩	Mo
内带	夕卡岩化石英二长闪长岩	
	方柱石夕卡岩	
	绿帘石石榴子石夕卡岩	
外带	透辉石石榴子石夕卡岩	Cu、Au、Fe
	石榴子石透辉石夕卡岩	
	石榴子石夕卡岩	
	金云母夕卡岩	
	透辉石夕卡岩	
	夕卡岩化（白云石）大理岩	
围岩	（白云石）大理岩	Cu、Au

表2-76　矿区主要岩类围岩蚀变类型简表

Table 2-76　Alteration types of main wall-rocks

岩石类别	蚀变类型	
	主要	次要
碳酸盐岩	夕卡岩化、硅化	碳酸盐化
夕卡岩	碳酸盐化	绿泥石化、硅化
岩浆岩	钾长石化、钠长石化、夕卡岩化	碳酸盐化、粘土化

三、矿床特征

（一）矿体形态产状

矿床内共探明三个工业矿体群，由35个大小不等的矿体组成，集中分布于11～18线间，长750 m，宽57～260 m 的范围内，面积约0.12 km^2。

矿床总体分布受北北东向隐伏背斜控制，各矿体的延伸方向与其基本一致，为10°～35°。捕虏体与侵入岩接触带为矿体主要赋存部位（图2-117）。

矿体群赋存标高为7～－830 m。各矿体在剖面上呈雁行式平行排列；平面上则相互叠置。矿体倾向北西，倾角在49°～82°变化，一般为65°～75°，其规模（以铜金属量计）以Ⅰ$_4$号为最大，其次为Ⅱ$_3$号，分别占矿床铜金属储量的77.30%和15.37%。

Ⅰ号矿体主要分布在0、4线浅部；Ⅱ号矿群隐伏于中深部，主要分布于3～14线；Ⅲ号矿群埋深600 m，主要见于4～14线。

1. Ⅰ$_4$号矿体

分布于7～18线，为矿床中规模最大的矿体。矿体长550 m，宽40～112 m，倾向向下延伸135～374 m，厚度为4.38～239.96 m，厚度变化系数为76%，属稳定型。

矿体走向约为NE35°，0线以东向北偏转为NE10°左右，倾向NW—NWW，倾角上缓下陡，在34°～82°变化，一般为65°～70°。矿体形状为透镜状，赋存于－231～－617 m 标高间近上接触带部位。横向上，一般矿体头部薄，为4～34 m，尾部较厚，为40～154 m，6线达239 m。纵向上，矿体以6线为最厚，向两侧逐渐变薄，分别以56°和36°倾伏。

Ⅰ$_4$号矿体铜金属量占矿床总储量的77.30%，平均品位2.15%；金金属量占矿床总储量的78.70%，平均品位3.58×10^{-6}；铁矿石量占矿床总储量的89.32%，平均品位37.08%。

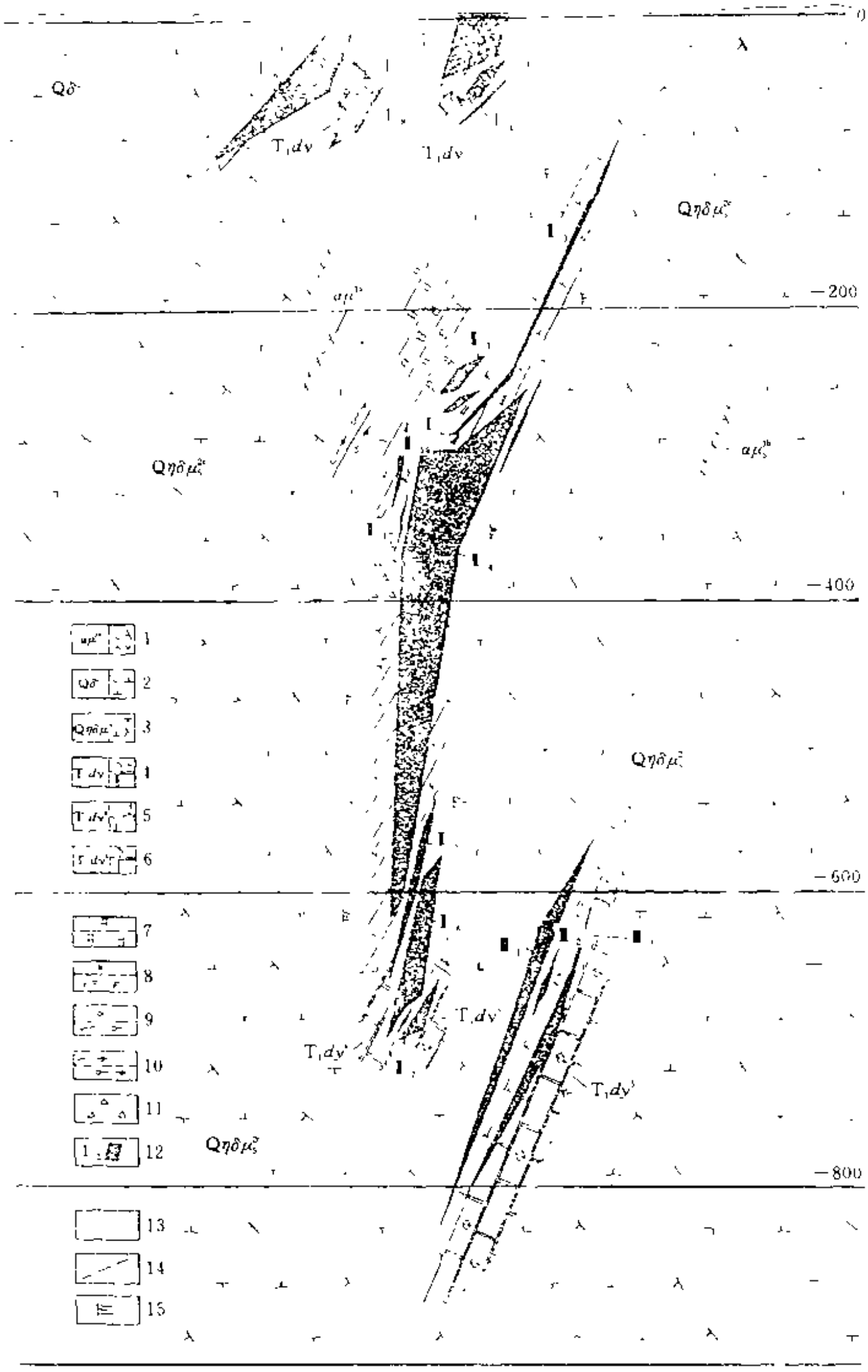


图2-117　桃花嘴铜金矿床0、4、6、10剖面组合图

Fig. 2-117　Combination map of section 0, 4, 6, 10 in Taohuazui copper-gold deposit

1　安山玢岩；2－石英闪长岩；3－石英二长闪长玢岩；4　白云石大理岩；5—大理岩；6－白云石大理岩；7—方柱石夕卡岩；8—透辉石夕卡岩；9—石榴子石夕卡岩；10　石榴子石绿帘石夕卡岩；11—构造角砾岩；12－矿体及编号；13—地质界线；14　地层界线；15　夕卡岩化

2. Ⅱ$_6$号矿体

为矿床中仅次于Ⅱ$_4$号矿体之另一规模较大的矿体。分布于0～14线间Ⅱ$_5$号矿体之下6～22 m 处。矿体长250 m，倾向向下延伸103～140 m，厚13.22～111.58 m。矿体走向 NE37°～60°，倾向NW—NNW，

倾角70°～80°，埋深－197～－768 m，呈透镜状产于接触带中下部夕卡岩中。矿体厚度、沿倾向向下延伸均由北东向南西逐渐增大。

铜金属量占矿床总储量的15.37%，平均品位3.18%；金金属量占矿床总储量的16.61 ，平均品位1.23×10 ；铁矿石平均品位13.90%。

（二）矿石类型及主要矿石矿物

1. 氧化矿石

包括铁矿石、金铁矿石、铜铁矿石、铜金铁矿石、铜矿石等五类矿石，集中分布于0～1线I_2、I_3号矿体中，铜、金、铁储量分别占矿床总储量的0.23%、1.26%和2.67%。

2. 原生矿石

铜金矿石：为矿床中最主要的矿石类型，其铜、金储量分别占矿床总储量的55.39%和68.91%。主要分布于I_4下部，II_8中部。

铜金铁矿石：为矿床主要的矿石类型，其铜、金、铁储量分别占矿床总储量的22.77%、29.80%和34.94%。矿石集中分布于0～6线II_4号矿体中部及10线矿体边部，6线II_6号矿体中下部。

铜铁矿石：为矿床次要的矿石类型，其铜、铁储量分别占矿床总储量的12.21%和13.59%。

铜矿石：为矿床中最常见的矿石类型，其铜储量占矿床总储量的9.31%。

铁矿石：为矿床中次要的矿石类型，其储量占矿床总储量的18.80%。

（三）矿石矿物

根据初步统计，矿石矿物约67种，其中矿石主要矿物为菱铁矿、赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿，次为斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿，微量金银系列矿物（主要是自然金、银金矿、金银矿、含银自然金等）。脉石矿物主要为方解石、透辉石、石榴子石、石英，次为白云石、金云母等。

（四）矿石结构构造

1. 矿石结构

矿石的结构种类较多，常见的有结晶结构、交代结构、固溶体分解结构。此外，还见有变余胶状结构、包晶结构、填隙结构等。

2. 矿石构造

主要是致密块状、浸染状、细脉状、角砾状、团块状、条带状、脉状、网脉状及粉末状和土状构造。

（五）矿床物化探异常特征

矿床处于负磁场抬高部位，具有重力梯度带明显、ρ_s低阻带、地表有Cu、Ag等元素组合等异常特征（图2-118）。

四、成矿作用及矿床成因

（一）成矿作用

1. 成矿期成矿阶段划分

根据矿物组合及矿石组构特征，将矿床成矿作用划分为三个成矿期、五个成矿阶段：

（1）夕卡岩期 ①干夕卡岩阶段，该阶段指石英二长闪长玢岩侵入于下三叠统碳酸盐岩时，发生接触变质交代作用，形成石榴子石、方柱石、透辉石等无水硅酸盐矿物；②湿夕卡岩-氧化物阶段，随温度降低，在381～434℃（磁铁矿爆裂温度）结晶作用进入湿夕卡岩-磁铁矿阶段，此阶段结晶出透闪石、绿帘石、金云母、阳起石等含水硅酸盐矿物及磁铁矿、赤铁矿等氧化物，该阶段的矿物对早期形成的无水硅酸盐矿物（石榴子石、透辉石）具明显的交代作用。

（2）硫化物-碳酸盐期 ①高中温热液阶段，为铜等的硫化物晶出阶段，成矿温度为272～371℃（黄铁矿爆裂温度342～374℃；黄铜矿爆裂温度272～321℃），形成的矿物有黄铁矿、胶黄铁矿、辉钼矿、石英、黄铜矿及少量斑铜矿、菱铁矿、方解石、绿帘石、绿泥石等，黄铜矿、（胶）黄铁矿、斑铜矿、菱铁矿等矿物穿插交代早期形成的磁铁矿、赤铁矿、石榴子石、透辉石、金云母等矿物颗粒间隙，硫化物晶出的大致顺序为辉钼矿→（胶）黄铁矿→黄铜矿→斑铜矿；②中低温热液阶段，这一阶段为

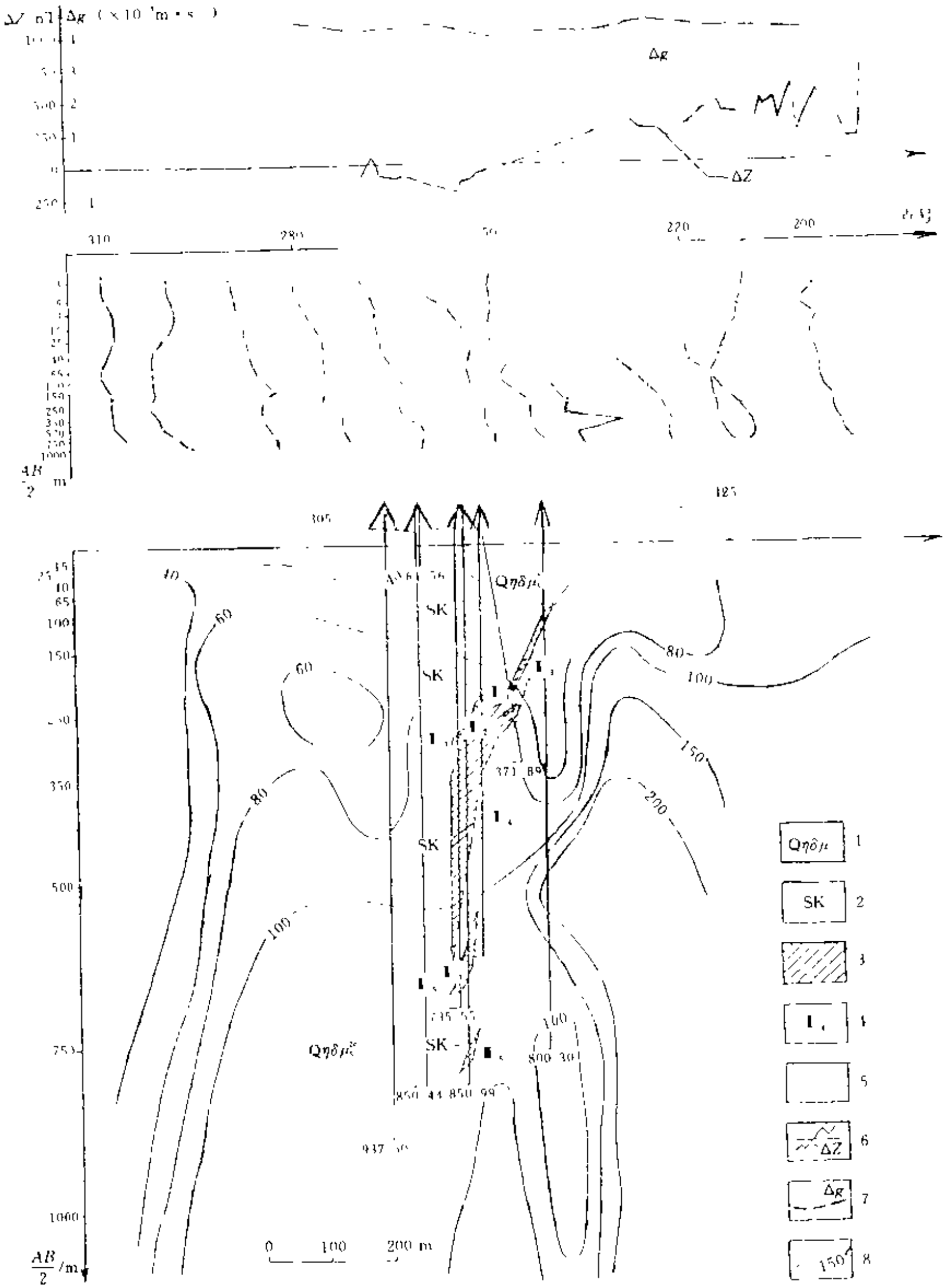


图2-118 桃花嘴矿区6线综合剖面图

Fig. 2-118 Comprehensive profile of exploration line 6 in Taohuazui ore district

1—石英二长闪长玢岩；2—夕卡岩；3—铜铁矿体；4 矿体编号；5—地质界线；6—磁法曲线；7 重力曲线；8 电测深曲线

矿床成矿的重要阶段，其特点是大量硫化物沉淀后，成矿溶液相对富铁，形成的矿物主要为菱铁矿、方解石、绿泥石、辉铜矿、蓝辉铜矿、斑铜矿及石英、玉髓、少量黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等，主要沿

早期矿物裂隙充填交代。

（3）表生期（阶段） 主要指成矿期后地表水对浅部矿体的氧化淋滤作用。表现为磁铁矿氧化为褐铁矿，铜矿物氧化为孔雀石、铜蓝、自然铜等。

综上所述，成矿作用始于岩浆期后夕卡岩期，铜、金矿化则形成于高中温硫化物热液阶段，延续至中低温碳酸盐阶段，后期表生作用使浅部矿体发生氧化作用，形成大量褐铁矿，并形成铜的氧化物。

2. 成矿作用方式

矿床成矿作用方式以接触交代作用为主，次为充填交代作用。

接触交代成矿作用，由渗滤-扩散交代作用形成的夕卡岩为主要矿化对象。矿化作用形式以晶隙交代为主，交代强烈者，形成块状矿石，稍弱者形成浸染状矿石。

充填交代作用，表现为铁、铜矿物呈宽窄不等的脉状或网脉状，沿夕卡岩或矿石的裂隙充填交代。

（二）矿床成因

由野外和室内所获大量资料表明，桃花嘴铜铁矿床主要赋存于石英二长闪长玢岩与下三叠统大冶群碳酸盐岩的捕虏体侵入接触带，经接触交代作用形成的夕卡岩及附近的岩石中。按矿床内各矿体的赋矿围岩而言，三个矿体群35个矿体均产于外接触带，仅26个零星矿体产于内接触带。矿体的形态、产状、规模严格受接触带控制。

矿床广泛发育接触变质交代作用和热液蚀变作用，具交代蚀变分带与矿化分带。矿石结构以交代结构为主。根据矿物测温资料，磁铁矿形成温度为381～134 C，属高温热液范畴；硫化物形成温度，黄铁矿为342～374 C，黄铜矿为272～324 C，属高—中温热液范畴。成矿作用方式以接触交代作用为主，次为充填交代作用，矿化特点是多序次（三期五阶段多世代）、多元素（Cu、Au、Fe、S、Mo、Ag、Co）继承、叠加、脉动式矿化。

综上所述，桃花嘴铜铁矿床的成因类型应为岩浆期后高中温热液接触交代型。

五、找矿标志

桃花嘴铜铁矿床为一隐伏矿床，地表层为第四系覆盖。矿床的发现是根据以往地球物理、地球化学资料的分析研究，并运用铜录山铜铁矿田及鸡冠嘴矿床成矿地质条件及控矿因素所总结的“岩体前缘区，构造复合带，灰岩存在处”这一成矿模式，在普查找矿实践中取得的又一硕果。其具体找矿指标可参考鸡冠嘴矿床找矿模型表。

第八节 湖北大冶县铁山铁铜矿床

一、大地构造单元

矿区属扬子准地台下扬子台褶带，为古生代—中生代三叠纪的坳陷带，是地幔上隆和地壳结构较薄弱的部位。

二、矿区地质

（一）地层

矿区内出露地层以中下三叠统大冶灰岩为主，次为二叠纪硅质页岩。中下三叠统大冶灰岩，由下而上按其岩性可分为三层：

（1）灰黑色薄层泥质灰岩与页岩互层，该层在接触带附近变为条带状石榴子石透辉石大理岩；

（2）灰黑色中厚层纯灰岩；

（3）含少量白云质(MgO 1.5%～5%)厚层灰岩，中夹数层厚约2030 m 的灰质白云岩(MgO 15%～18%)。第3层为铁山矿床主要成矿围岩，相当于嘉陵江组层位。上述碳酸盐围岩受岩浆侵入影响，发生接触热变质作用，不同程度地遭到大理岩化。

（二）构造

矿区的主体褶皱构造为铁山背斜，轴向 NWW，由一系列次级褶皱组成。由于断裂的破坏和侵入体的热动力作用，使褶皱形态复杂化，总的看来，南翼倾角较缓，北翼较陡，并由局部倒转和被后期 NNE

向褶皱叠加的现象（图2-119）。铁山矿床位于该复式背斜的北翼。断裂主要有两组，一组为NW—NNW向，具有多期活动的特点，以压性和压扭性为主，复合在铁山岩体南缘接触带的NW向断裂控制了铁山矿床矿体的展布。另一组断裂为NNE向，主要为压性，形成时间晚于NW—NNW向断裂，对矿体的控制作用也较弱。此外还有NE向和NEE向断裂。

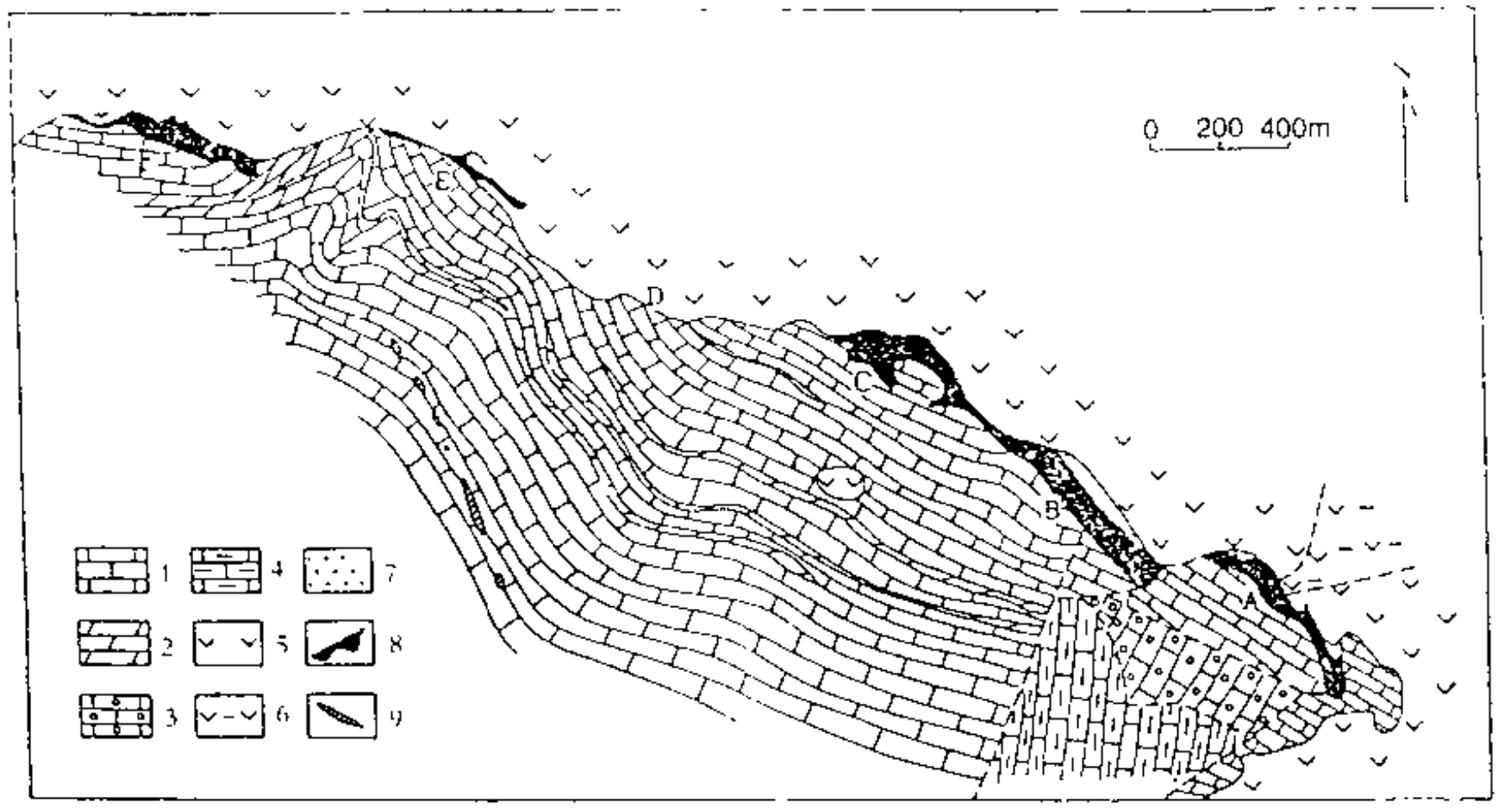


图2-119 大冶铁山铁铜矿床地质略图

Fig. 2-119 Schematic Geological map of Tieshan Iron-Copper Deposit, Daye

1 大理岩；2—白云质大理岩；3—条带状透辉石石榴子石大理岩；4 含角页岩条带之大理岩；5—含石英闪长岩；6 含黑云母辉石闪长岩，7—透辉石夕卡岩；8—铁（铜）矿体；9 铁锰矿体

（三）侵入岩

铁山岩体位于保安复式背斜和碧石渡向斜公共翼上，受NWW向和NE向断裂控制，沿下三叠统大冶群和上三叠统蒲圻群界面侵入（中统地层被岩体侵入占据），呈NWW向展布，长约27 km，宽1～8 km，出露面积145 km^2，为深部向四周扩大的岩基。

铁山岩体是由石英闪长岩、正长闪长岩（二长闪长岩）、闪长岩和花岗闪长岩等组成的多次侵入的中偏酸偏碱性侵入杂岩。各岩性分布具有一定规律，自中心向边缘呈环带分布：

（1）中心部分：由斑状花岗闪长岩组成，出露面积约6 km^2。岩石为浅灰-肉红色，不等粒斑状结构。斑晶为条纹长石和钾长石，基质为斜长石、石英、钾长石。副矿物有磷灰石、榍石、磁铁矿和锆石。

（2）过渡部分：为正长闪长岩和石英二长闪长岩，是岩体的主要岩相，其结构由内向外从粗中粒变为细粒，且具流线构造。岩石由更长石、条纹长石和角闪石组成。

（3）边缘部分：由石英闪长岩、斑状石英闪长岩和黑云母辉石闪长岩组成。前者分布于岩体南部。黑云母辉石闪长岩主要分布于铁山岩体南缘尖山、狮子山和铁门坎矿段的地表，其生成比石英闪长岩要晚，岩石外表为绿灰色，中-细粒结构，主要矿物有斜长石、条纹长石、单斜辉石、黑云母，含少量石英和角闪石。

铁山岩体是燕山期（同位素年龄128～165Ma）多次侵入的复式杂岩体。依各期侵入体的接触关系，参照同位素地质年龄资料，各类岩石的侵入顺序大致是：斑状含石英闪长岩、石英闪长岩→粗斑含石英闪长斑岩→黑云母辉石闪长岩→斑状花岗闪长岩。

铁山岩体不同岩石类型的岩石化学成分见表2-77。基于对铁山岩体150余个岩石化学分析资料的统计和详细岩相学研究，认为铁山岩体属富碱质的多阶段侵入杂岩，各期侵入岩岩石化学成分有循序演化的特点。岩系的皮克指数为54.7，里特曼指数 δ 介于3～6，表现出碱钙性岩系的特征。各类岩石查瓦

里茨基 α（每类岩石平均值）介于15.96～18.10，反映出铁山杂岩是富碱的岩浆体系。岩浆中低铁镁组分的特性，可视为我国夕卡岩铁矿床有关岩浆岩的共同特征，可以作为一种重要的找矿标志。这可能与岩浆演化过程中铁质较多地转移到流体相以及在蚀变过程中岩体铁质活化迁移的双重作用有关，铁山杂岩体早期岩相属正常系列，而燕山晚期侵入岩铝的含量增加，向铝饱和方向转化。

表2-77 铁山侵入体主要岩类化学成分（w_B %）

Table 2-77 Chemical composition (w_B %) of main rocks in Tieshan intrusion

№	1	2	3	4	5	6	7	8
岩石名称	花岗闪长岩		正长闪长岩		石英闪长岩		黑云母辉石闪长岩	
SiO_2	69.65	67.48	62.82	61.03	59.56	60.18	56.45	56.65
TiO_2	0.35	0.36	0.62	0.71	0.90	0.65	1.04	1.07
Al_2O_3	155.07	15.84	16.16	16.80	15.56	17.02	16.48	16.32
Fe_2O_3	1.24	1.71	2.70	2.79	2.86	2.77	3.32	3.26
FeO	0.71	1.36	1.58	2.52	2.25	2.66	3.10	2.96
MnO	0.03	0.06	0.07	0.10	0.07	0.08	0.12	0.09
MgO	0.93	0.86	2.25	2.64	3.75	1.98	3.45	3.51
CaO	1.80	3.04	3.51	4.74	5.08	4.56	6.41	6.74
Na_2O	4.54	4.39	5.33	4.64	5.00	5.32	5.38	5.28
K_2O	4.50	3.27	3.33	2.86	3.56	2.74	3.35	3.48
H_2O^+	0.70	1.16	0.78	1.31	0.16	0.31	0.73	0.28
H_2O^-	0.60	0.07	0.48	0.11	0.19	0.09	0.25	0.12
P_2O_5	0.20	0.02	0.29	0.39	0.50	0.25	0.49	0.41
F	0.03		0.08			0.08	0.09	0.12
Cl						0.03		0.03
总和	100.35	99.62	100.00	100.34	99.71	99.52	99.85	99.10
O=2F+2Cl	0.01		0.03			0.05	0.04	0.06
	100.34		99.97			99.47	99.81	99.04
资料来源	赵一鸣等			臧尧令		赵一鸣等		

化学组分

分析者：中国地质科学院岩矿测试技术研究所

通过不同侵入阶段的岩石岩相学和岩石化学特征的对比，可以看出，铁山杂岩是一个硅酸不饱和—弱饱和的岩浆正常演化系列，表现早期阶段富 Ca、Mg，燕山早期的晚期阶段富 Fe、Na，燕山晚期阶段富 Si、K、Na。Fe 在燕山早期的晚期阶段最高。铁山杂岩体具有高的 $[Fe^{3+}]/[Fe^{2+}]$ 值，反映出成岩过程中高的氧逸度环境，晚期岩体中 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$ 有所降低，这种特点决定了铁主要分布于氧化物相中，而晚期岩体中硅酸铁的比例有所增加，早期岩体具有高的 $w(Na_2O)/w(K_2O)$ 比，而晚期岩体 Na 含量锐减，这可能促使钠在岩浆演化的早期高温阶段就进入流体相，造成本区强烈的钠化。

三、矿床地质

（一）矿体形态分布及形态产状特征

铁山矿床共由六大矿体组成（图2-119），自东向西依次为尖山（A）、狮子山（B）、象鼻山（C）、尖林山（D）、龙洞（E）和铁门坎（F）。他们均产于蚀变石英闪长岩、黑云母辉石闪长岩与大理岩或白云质大理岩的接触带，连绵延长约5000 m。矿体形态变化较大，一般为似层状或透镜状，局部为囊状，后者是交代蚀变闪长岩中大理岩捕虏体的产物（图2-120）。六大矿体中除龙洞矿体向南倾斜和尖林山矿体呈平卧状外，其他都向北北东向倾斜，但在深部有的矿体又转向南倾斜，转折部位在0～－200 m 标高处。矿体沿倾斜长度多在100～450 m 不等，延伸最大是龙洞和狮子山矿段，分别为－620 m和－615 m

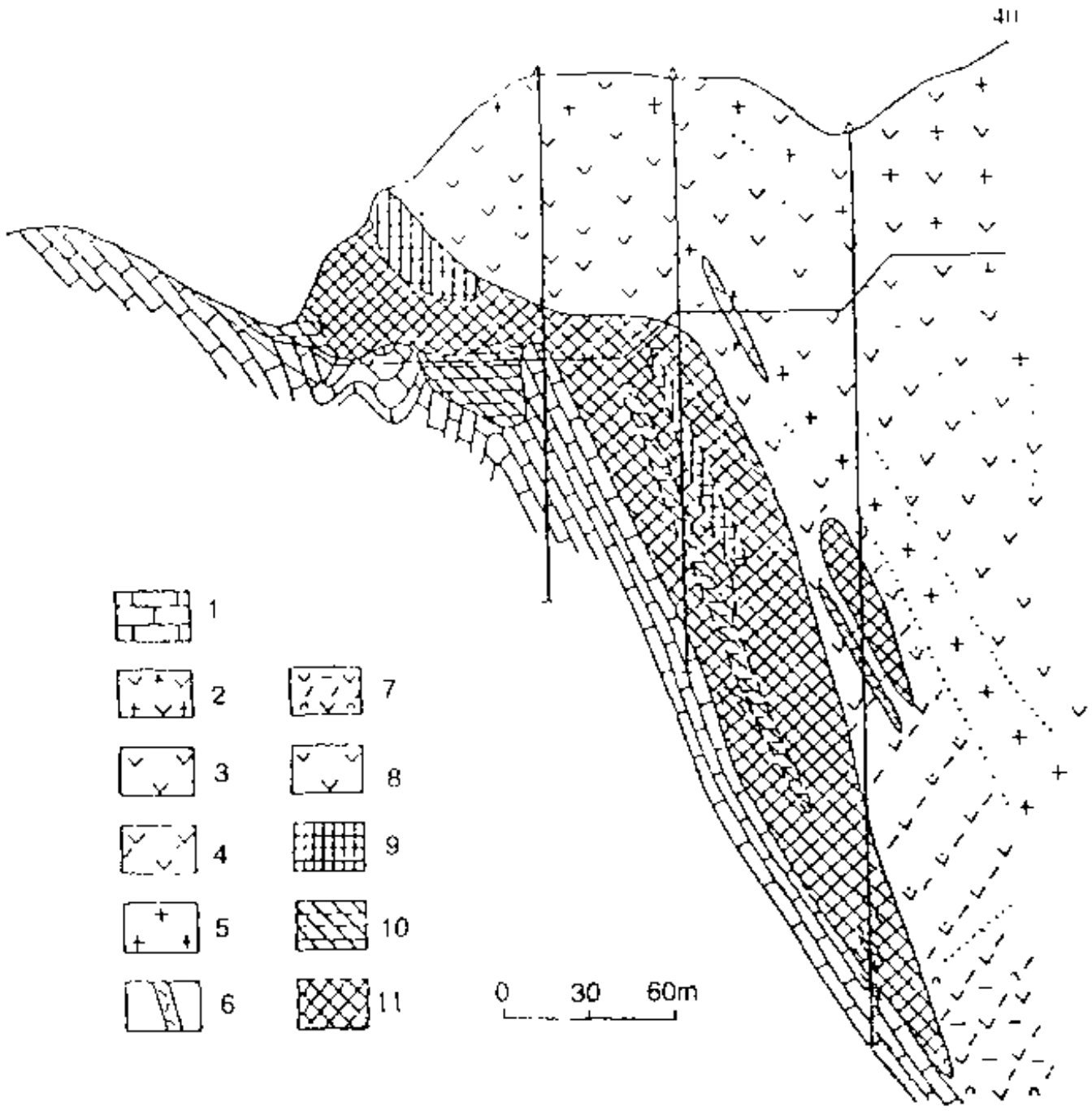


图2-120 大冶铁山狮子山矿体地质剖面图

Fig. 2-120 Geological Profile of Shizishan ore body in Tieshan Iron-copper deposit, daye

(据赵 鸣等，1965) (after Zhao Yiming, 1965)

1 大理岩；2－脉状钠长石化含石英闪长岩；3 钠长石化透辉石化含石英闪长岩；4 弱方柱石化钠长石化闪长岩；5 致密细粒透辉石钠长石交代岩；6—闪长玢岩岩脉；7 反条纹长石化、方柱石化含黑云母辉石闪长岩；8—碳酸盐化钠长石化闪长岩；9 高铜高硫磁铁矿石；10—含铜赤铁矿矿石；11—低铜磁铁矿石

标高，但最主要的矿体赋存在－100 m 标高以上。矿体厚10～80 m，局部可达180 m。

(二) 矿石类型、组分及矿床成因类型

矿石的金属矿物主要为磁铁矿，次为赤铁矿、假象赤铁矿、菱铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿，有少量斑铜矿、白铁矿、闪锌矿，在氧化带还有水针铁矿、孔雀石、铜蓝、辉铜矿、赤铜矿等。脉石矿物主要为绿色云母（含铁金云母）、透辉石（或次透辉石）、方解石、白云石、铁白云石和石英，局部有绿泥石、阳起石等。

矿石以致密块状构造为主，其次为浸染状和花斑状，局部见角砾状、条带状和多孔状构造。磁铁矿交代夕卡岩和大理岩、菱铁矿和金属硫化物交代磁铁矿的现象十分普遍，形成许多交代结构和构造。在象鼻山矿体中还有多孔状磁铁矿石，孔洞中有少量绿色云母和黄铁矿。这类矿石应属于高温富挥发分的含铁流体充填在张开裂隙中的产物，因为接触交代作用并不完全排除在一定围岩条件下在不同热液作用阶段局部可能发生充填作用。此外，在狮子山紧挨岩体处还可见到一角砾磁铁贫矿带，宽至数米，磁铁矿呈网脉穿插胶结被压碎的蚀变闪长岩角砾，角岩的棱角还十分清晰，说明矿石主要是以充填的方式生成的。

矿石的化学成分的特点是富铁高硫，并伴生 Cu、Co、Au、Ag 等有益元素，可供综合利用。铁矿石平均含 TFe 53%左右，铜品位0.5%～0.7%，钴是以类质同相的形式赋存于黄铁矿中。Co、V_2O_5、Ni

在10^{-4}量级，Mn 在10^{-3}量级。有害组分 S 较高，P、As、Zn、Pb 含量极低。

夕卡岩型矿石总稀土元素含量高于层孔状矿石1倍以上，前者与夕卡岩和闪长岩的总稀土含量相近，但稀土元素的分配很不相同，夕卡岩比闪长岩的轻、重稀土元素比值小得多，而浸染状矿石由于重稀土元素含量很低，轻、重稀土元素含量比值竟达38。层孔状矿石与大理岩的稀土元素含量和元素分配都有很大的相似性。

根据矿石的矿物组合、构造特征、产出地质部位及其所反映的生成条件，可大致划分5个矿床类型：①接触交代型含铜夕卡岩磁铁矿矿床；②高温气液充填型磁铁矿矿床；③高中温热液交代型含铜磁铁矿-菱铁矿矿床；④中低温热液充填型菱铁矿矿床；⑤风化淋滤型含铜褐铁矿矿床。其中以1、3类分布最广，是矿区内最重要的铁（铜）矿石。2、4类只在个别矿带发育，第5类仅见于尖山地表。上述1～4类矿床形成于同一成矿期的不同成矿阶段，相互之间有密切的时空成因联系，组成一个与燕山期中偏酸性侵入杂岩有关的铁（铜）成矿系列。

（三）围岩蚀变及夕卡岩类型

铁山矿区矿体附近的闪长岩类和碳酸盐围岩均遭强烈的接触交代作用和热液蚀变作用，形成各类夕卡岩、碱质交代岩和热液蚀变岩石。夕卡岩和碱质交代岩是接触交代作用阶段（夕卡岩阶段）的产物，其形成时间早于矿化作用，在空间上常具较明显的分带性。热液蚀变岩往往叠加在上述二类交代岩之上，但更紧挨矿体，在形成时间上则和矿化十分接近。各类夕卡岩的产出特征如下：

1. 透辉石（次透辉石）夕卡岩

这是矿区内主要的夕卡岩，主要分布于狮子山、尖山、龙洞等矿段的外接触带，并常被磁铁矿矿体所交代，局部也有在内接触带蚀变闪长岩中呈脉状产出。

2. 闪长岩中的脉状或网脉状石榴子石-透辉石-方柱石夕卡岩及其旁侧的碱质交代岩这类交代岩在铁山矿区分布较广，主要见于尖山、铁门坎和龙洞等矿段，在空间上和矿体关系极为密切，常在矿体附近闪长岩类内接触带产出。

3. 石榴子石夕卡岩

石榴子石夕卡岩是铁山矿区重要交代岩之一，按其成分大致可分为两大类：

钙铝榴石夕卡岩：主要产于尖山矿段内带，脉状产出和硅灰石透辉石共生，属于夕卡岩早期的渗滤交代产物。

钙铁榴石夕卡岩：以棕色为特征，常呈不规则脉状交代方柱石夕卡岩或透辉石夕卡岩，也有呈网脉状交代钠长石化闪长岩的。

4. 脉状硅灰石-钙铝榴石-透辉石夕卡岩

这类夕卡岩仅见于尖山矿段离矿体较远的网脉状夕卡岩带。色浅，常呈网脉沿闪长岩裂隙交代产出，形成角砾状构造。

矿床围岩蚀变比较发育。大理岩中的蚀变有石榴子石透辉石夕卡岩化，为近矿围岩蚀变，硅化、菱铁矿化和很弱的磷灰石化、赤铁矿化分布范围较广。细粒含石英闪长岩中蚀变包括强度不大的钠长石化、石英化、黑云母化、碳酸盐化和夕卡岩化。夕卡岩受到后期蚀变强烈改造，主要有透辉石化、绿帘石化、绿泥石化、石英化和碳酸盐化。黑云母辉石闪长岩中的蚀变一般比较易于识别，主要类型有钠长石化、方柱石化、金云母化、石榴子石化、透辉石化和一些夕卡岩矿物的蚀变及硅化和碳酸盐化等。钠长石化多受裂隙带控制，形成浅色蚀变网脉。夕卡岩化可以形成面型的夕卡岩，如尖山矿体，也可形成金云母-石榴子石-透辉石-方柱石组合的细网脉，可以分布于离矿体上百米的范围。

（四）矿床地球物理-地球化学异常特征（图2-121）

1. 地球物理特征

磁异常形态规则，强度大，梯度北陡南缓，北部局部出现负值，形成正负相伴的异常（如尖林山）。平面上等值线时疏时密（4000nT 以上密集，4000～2000nT 变稀疏，2000～1000nT 又密集，而1000nT 以下稀疏），反映了由深部磁性体（矿体）所引起的叠加异常特征

重力异常由南东到北西，由2～0 mg 的台阶式的叠加异常，矿体对应于重力异常过渡带。只有经过

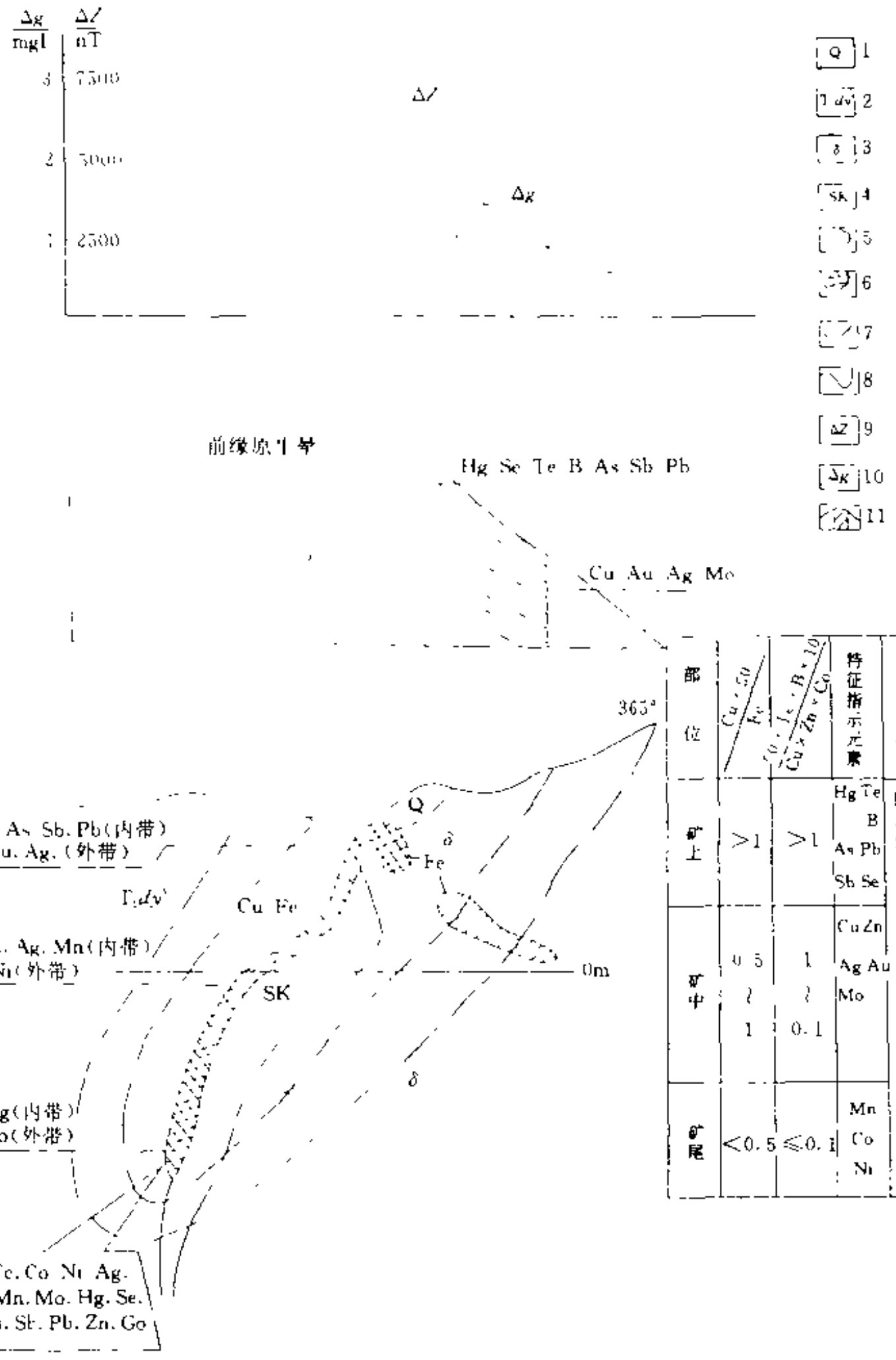


图2-121 铁山铁铜矿区地球物理-地球化学异常典型剖面

Fig 2-121 Geophysical and geochemical anomaly profile of Tieshan iron-copper ore district

1 -第四系残坡积层；2—大冶群第六段；3--闪长岩；4—夕卡岩；5- 铁矿体；6—铜铁矿体；7—原生晕范围；8 地质界限；9—磁法 ΔZ 曲线；10—重力 Δg 曲线；11—原生异常

正反演计算后，才能提取矿异常的剩余异常的价值。

2. 地球化学特征

矿前缘见强度高、浓度分级明显、形态规则的 Pb、Hg、As、Sb、Se、Te、B 异常；Cu、Au、Ag、Mo 为外带异常；近矿见有 Cu、Ag、Au、Zn、Mo、Mn 内带异常和 Pb、Co、Ni 外带异常；矿尾见有 Co、Ni、Mn、Ag 内带异常和 Cu、Au、Zn、Mo 外带异常。

原生晕轴向分带（自上而下）为：(Hg、As、Sb、B、Se)--Te—Au—Ag—Cu— (Fe、Co)。

简言之，矿前缘特征指示元素为：Hg、Pb、As、Sb、B；近矿特征指示元素为：Cu、Ag、Au、Zn、

Mo：矿尾特征指示元素为：Mn、Co、Ni。

四、成矿条件

（一）同位素研究与矿质来源

硫同位素：据石准立（1981）研究37个样可分为1种，早期致密块状矿石中硫化物 $\delta^{34}S$ 以 $-0.3‰$～$+2.9‰$为主；晚期粗晶磁铁矿共生硫化物 $\delta^{34}S$ 变化范围窄5.0‰～5.9‰，均属上地幔或地壳深部来源。硬石膏、天青石、透石膏中 $\delta^{34}S$ 变化范围在10‰左右，为氧逸度增高，H_2S 和 SO_2 发生同位素分馏而使 SO_2 富含重硫所造成的。而与碳酸盐共生之粗晶黄铁矿 $\delta^{34}S$ 为 $-3.2‰$～$-22.3‰$，故不排除其他硫混入的可能。

氧同位素：8个样品中矿石与岩浆岩中磁铁矿 $\delta^{18}O$ 相似，大理岩 $\delta^{18}O$ 为23‰，明显说明并非来自磁铁矿。与大理岩接触处磁铁矿 $\delta^{18}O$ 增到5.69‰～6.00‰，可能为混入碳酸盐发生同位素分馏结果。

金云母锶同位素：$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值为0.7000，显示为幔源；近期三个不同期岩浆岩6个样品测定比值均接近0.7030，也说明同样结论。

（二）流体包裹体及成矿温度

铁山矿区与主矿化阶段相近的脉石矿物，如石英、方解石、磷灰石、石榴子石、透辉石等的包裹体几乎只有气液包裹体，其气液比值为5%～15%，很少见高盐度的子矿物包裹体，表明成矿流体是盐度较低的稀流体。

磁铁矿的爆裂温度在300～700℃，以400～560℃为主，大于700℃为多峰爆裂样品。

矿化温度的上限可由石榴子石（58～640℃）、透辉石（545～683℃）的均一温度界定，下限由石膏的均一温度（320～340℃）和赤铁矿的爆裂温度（300℃±）界定。

（三）成矿阶段及矿床成因

野外和镜下研究，矿床的形成过程可以分为两期9个阶段：

（1）细粒闪长岩后第一期矿化　①夕卡岩化阶段（弱）；②细粒磁铁矿阶段（主矿化）；③粗粒磁铁矿阶段；④细粒硫化物阶段；⑤菱铁矿-赤铁矿阶段。

（2）黑云母辉石闪长岩后第二期矿化　⑥夕卡岩化阶段（强烈）；⑦中粗粒磁铁矿阶段；⑧中粗粒硫化物、石英、方解石阶段；⑨菱铁矿阶段。

该矿床的成矿方式较为复杂。一类是岩浆热液充填交代作用形成的接触交代型（夕卡岩型）矿体，含铜较富。在成岩和成矿过程中，岩体的早期钠化是铁质的就近来源之一，但铁质主要系由岩浆热液活动自深部带入。当岩浆侵入围岩，同化膏（盐）层后，使热液中钠、氯等组分增加。当含矿热液流动到岩体接触带与接触围岩发生水/岩交代作用，使含铁络合物沉淀，形成铁矿石。另外，在含矿岩浆的同化作用和分异过程中，在氟、氯等挥发组分的参与下，可有富铁熔浆从硅酸盐熔浆中熔离出来，沿着早期就位岩体接触带及附近裂隙充填贯入，形成矿浆贯入型富铁矿体。

对于富铁矿浆的成因有不同认识，有的认为矿浆是在浅部开放性构造空间中，由于含矿介质的大量蒸发，使得流体中矿质浓集而成为浆状熔体。

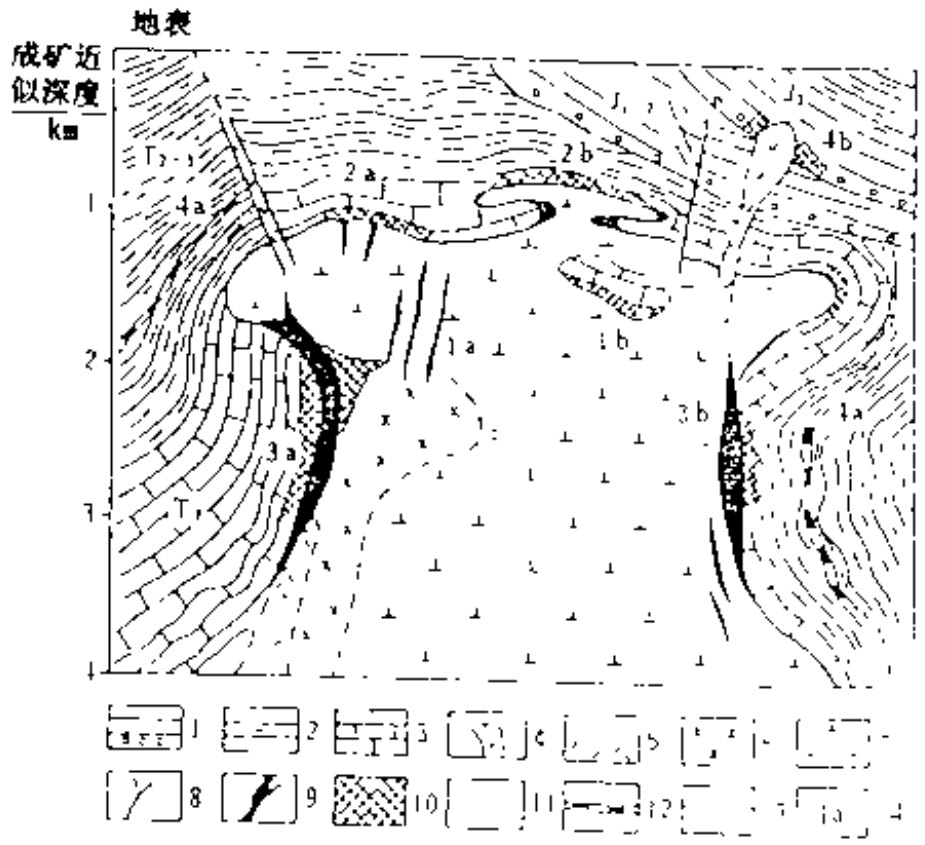


图2-122　陆内凹陷带中与中酸性侵入岩有关的（大冶式）铁（铜）矿床模式图

Fig. 2-122　Model showing Daye-type iron (copper) deposit related to medium-acid intrusion within intracontinental geotectogene

1　砂砾岩；2　粉砂岩和灰泥岩（蒲圻群）；3－大理岩（大冶群）；4　闪长玢岩；5－正长闪长岩及花岗岩；6　辉石闪长岩；7　闪长岩；8　热液充填交代矿床；9　矿浆矿床；10　接触交代矿床；11－蚀变带；12　沉积-接触变质改造矿床；13－断裂；14—矿体产状类型编号：1a、1b　矿体内部矿床（1a　矿脉；1b　捕虏体中矿体）；2a、2b　岩体顶部矿床（2a　单层矿体；2b　多层矿体）；3a、3b—岩体侧部矿床（3a　多期次接触带中矿体，3b　单期次接触带中矿体）；4a、4b　岩体外围矿床（4a—顺层矿体；4b—热液充填交代矿体）

（四）矿床模式

该类矿床成矿作用发生在中-中浅成侵入体与碳酸盐岩的接触构造带中；成矿方式既有接触交代，又有富铁矿浆贯入。在接触带构造系统的不同部位，成矿的性质、规模和矿体产状等均有不同。模式显示了与复式岩体岩浆热液活动及矿浆活动有关的各类矿体的空间组合形式（图2-122）。

五、控矿因素及找矿标志

1. 控矿因素

（1）燕山期富钠中性-中酸性岩产出地段；

（2）构造隆起区与坳陷区过渡地带的深断裂发育处；

（3）含有膏（盐）层的碳酸盐岩层，主要是中下三叠统大冶灰岩；

（4）储矿构造主要是岩体接触带和断裂-接触带以及附近的层间裂隙。

2. 找矿标志

（1）围岩蚀变，主要是夕卡岩化、磁铁矿化和钠化（浅色蚀变带）；

（2）航磁与地磁异常及重磁复合异常。

第九节　江西城门山铜硫铁矿床

一、大地构造单元

城门山铜硫铁矿床位于扬子准地台下扬子台褶带九江-瑞昌成矿区内。

二、矿区地质

（一）地层

矿区自南向北依次分布着志留系—三叠系。其含矿地层的岩性等特征见表2-78。

（二）构造

表2-78　城门山铜硫铁矿床含矿地层表

Table 2-78　Ore-bearing stratigraphic scale in Chengmenshan Cu-S-Fe deposit

地层单位			代号及接触关系	厚度/m	岩性描述	与成矿的关系
系	统	组				
二叠系	上统	龙潭组	P_2l	0.1～1.	上段：炭质页岩及炭质灰岩，有时夹硅质层 中段：炭质页岩，局部夹透镜状劣煤 下段：高炭质页岩，底部含透镜状黄铁矿结核	
	下统	茅口组	P_1m	450～500±	上段：灰白色燧石结核灰岩 下段：深灰色灰岩夹炭质页岩	第一矿带主要含矿层位
		栖霞组	P_1q	130～150	上段：深灰色含燧石结核灰岩 下段：深灰色-黑色含炭质灰岩，具沥青臭	第三矿带主要含矿层位
		梁山组	P_1l	0～5	黑色炭质页岩及含炭质粘土页岩，含黄铁矿	
石炭系	中统	黄龙组	C_2h	18～75	上段：灰白-肉红色致密厚层灰岩 下段：灰白-肉红色厚层白云质灰岩	第四矿带主要含矿层位
泥盆系	上统	五通组	D_3w	10～53	上段：灰白色含砾石英砂岩 中段：含绢云母砂质页岩、石英砂岩、含砾石英砂岩 下段：石英砂岩与石英砂砾岩互层	

矿床产于长山-城门湖背斜倾伏端北部。地层走向NE65°～80°，倾向NWW，倾角60°～70°。矿区南部由志留系中统构成背斜核部，翼部出露有志留系上统、泥盆系上统及石炭—三叠系碳酸盐类岩石，其中石炭系黄龙组、二叠系栖霞组、茅口组为重要矿化层位。区内断裂构造发育，以NE及NW向断裂为主，以位于矿区南部的F_1断层和矿区西南部F_2断层最为重要。F_1断层全长1500余米，走向NE，断层面倾向SE，倾角60°～80°，南盘逆冲，致使志留系 泥盆系砂岩局部超覆于黄龙、栖霞组之上，最大断距可达350 m，沿主断裂面和劈理面有强烈硅化和矿化活动，并在断裂下盘层间破碎带的基础上派生F、"人"字型断裂和"人"型褶皱（图2-123）。



图2-123 城门山矿区地质图

Fig. 2-123 Geological map of Chengmenshan ore district

（据黄恩邦等1980年资料编绘）

(after Huang Enbang et al., 1980, mended)

1 二叠系下统大冶组；2—二叠系上统长兴组；3 二叠系上统龙潭组；4 二叠系下统茅口组；5—二叠系下统栖霞组；6—石炭系黄龙组；7—泥盆系上统五通组；8—志留系上统纱帽组；9—花岗闪长斑岩；10 石英斑岩类；11—夕卡岩；12 - 铁帽；13—石灰岩；14—硅化灰岩；15—不整合，16—内生角砾岩；17—构造角砾岩；18—断层

（三）侵入岩

矿区内侵入岩形成于燕山期，同位素年龄为118～153Ma，是同源岩浆多期脉动侵入的产物。杂岩侵入于志留—三叠纪地层中，受NNW及NEE向的断裂控制，呈岩株状产出，出露面积约0.8 km^2，向NW倾伏，倾角70°～80°，由花岗闪长斑岩、长石石英斑岩、霏细石英斑岩、晶屑石英斑岩及云英闪长

岩、石英安山玢岩等6种不同的岩石组成，为同源二期6次侵入杂岩。伴随石英斑岩的侵入，有较强的侵入爆破作用，产生了各种类型的内生角砾岩。角砾岩中广泛发育钾、硅质蚀变及泥化、绢云母（水云母）化等，局部地段可构成铜矿体。

花岗闪长斑岩呈断续的环形，分布于杂岩体外围，环的最大宽度约500 m，与围岩常呈犬齿状接触，在各接触带上均产生了不同程度的蚀变、矿化及同化混染现象。石英闪长岩主要由霏细石英斑岩、晶屑石英斑岩组成。岩石中碎斑结构、角砾-似角砾状构造发育，岩体中或其边部有广泛的爆发现象及斑岩型铜、钼矿化。

岩石以富碱质，特别是富含钾质为特征（表2-79）。花岗闪长斑岩中$w(K_2O)/w(Na_2O)$平均为10.71，晶屑石英斑岩为16.10，爆发角砾岩中可高达17.10。

表2-79　城门山及武山岩浆岩岩石化学成分

Table 2-79　Chemical composition of magmatic rocks in Chengmenshan and Wushan areas

w_B / %	岩石名称及产地			
	花岗闪长斑岩 城门山（10个平均）	花岗闪长斑岩 武山（4个平均）	石英斑岩 城门山（3个平均）	安山岩 城门山（2个平均）
SiO_2	64.37	66.42	75.07	57.56
TiO_2	0.13	0.49	0.16	0.87
Al_2O_3	14.77	14.63	11.74	20.45
Fe_2O_3	2.57	1.07	2.97	5.197
FeO	1.66	1.38	0.03	3.06
MgO	1.76	1.38	0.37	2.22
CaO	2.31	4.32	0.44	2.05
Na_2O	2.09	3.61	0.30	0.13
K_2O	4.88	3.17	5.48	0.48
CO_2	1.21	1.61	0.49	0.15
H_2O	2.07	0.91	1.80	9.14
S	0.81	2.11	1.67	0.17
Cu	0.03	0.02	0.11	0.35
P_2O_5	0.18	0.13	0.06	0.55
合计	99.20	99.95	100.69	99.697

随着岩浆活动由早及晚，所形成的各类岩石存在着化学成分的规律性变异，岩石中Fe_2O_3+FeO、CaO、MgO、Na_2O含量由高至低，K_2O增多，与此相应岩石中斜长石和暗色矿物含量减少，钾长石增多，黑云母的镁度也有增高趋势。

三、矿床地质

（一）矿体的形态、产状及规模（图2-121）

根据主要控制因素可分为：

1. 接触带矿体

指产于花岗闪长斑岩、石英斑岩与茅口灰岩接触带上的Ⅰ、Ⅲ、Ⅵ矿带矿体而言。

此类矿体受接触带及围岩层间裂隙控制，多呈透镜状、扁豆状、囊状和不规则状产出。单个主矿体一般长300 m，厚20余米，延深200 m，铜硫品位较低，且变化较大。矿石含锌品位较高，但多富集在含铜夕卡岩中。局部有囊状磁铁矿矿体分布。

2. 内接触带矿体

指产于火成岩中Ⅱ矿带的矿体。此类矿体主要受火成岩中裂隙构造和围岩捕虏体控制，多呈透镜状、筒状和不规则状产出。单个主矿体一般长100～200 m，厚10～20 m，延深150～200 m。由于该带多

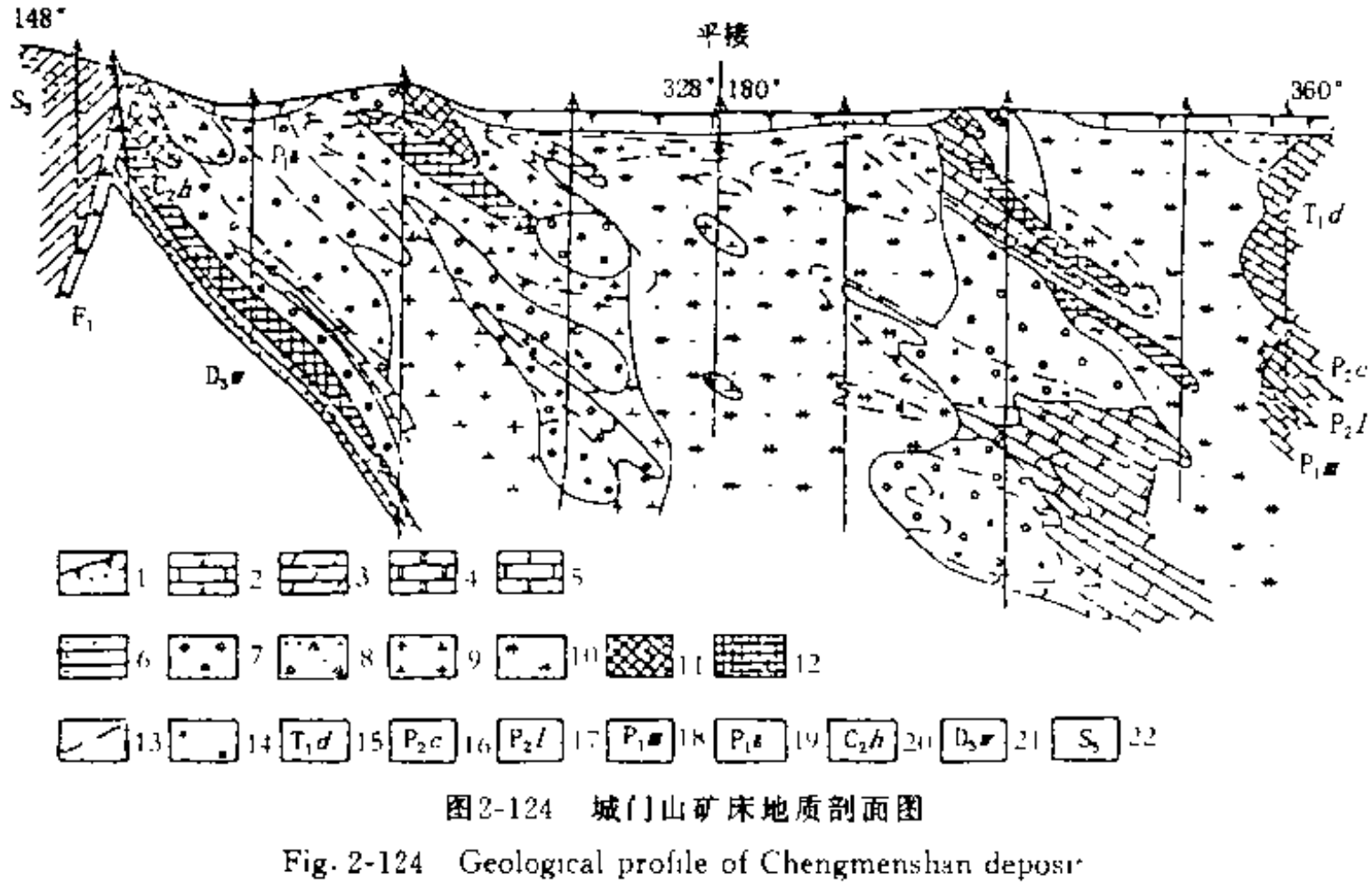


图2-124　城门山矿床地质剖面图

Fig. 2-124　Geological profile of Chengmenshan deposit

1—残坡积物；2—石灰石；3—炭质页岩；4—大理岩；5－硅化灰岩；6　石英岩；7－夕卡岩；8－角砾岩；9　花岗闪长斑岩；10—石英斑岩；11—铁帽；12－含铜黄铁矿及铜硫矿体；13　铜硫矿体边缘；14—铜矿化；15　大冶组；16　长兴组；17　龙潭组；18—茅口组；19　栖霞组；20—黄龙组；21　五通；22　纱帽组

为氧化和次生富集矿石，含铜品位较富但变化较大。

3. 外接触带矿体

指赋存于五通石英砂岩之上，栖霞灰岩之下的Ⅳ、Ⅶ矿带矿体以及产于断裂中Ⅴ矿带矿体。

此类矿体严格受“人”字型构造控制。

Ⅳ矿带矿体主要受F_2控制，在相当于黄龙灰岩层位上（局部交代了栖霞灰岩），含铜黄铁矿几乎全部充填交代了黄龙灰岩，只在东西两端才能见有黄龙灰岩之残余。矿体呈似层状，矿化较均匀，品位较富。此带矿体沿走向从西向东厚度由小变大，品位由高至低，沿倾向矿体厚度则由大变小，品位由高至低变化。

Ⅶ矿带属Ⅳ矿带的东延部位。经少量钻孔控制其规模远较Ⅳ矿带小，并含较多的铅锌矿。

Ⅴ矿带矿体受F_1主干断裂带控制，呈小透镜状产出。矿体规模小，品位低，变化大。主要为含铜黄铁矿，大多氧化成褐铁矿。

（二）矿石的矿物成分及结构构造

矿石矿物和脉石矿物共有77种之多，但主要的只有十余种。主要为磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、辉铜矿、辉钼矿、褐铁矿及石英、石榴子石、方解石、高岭石等。

常见的原生矿石结构为：半自形—自形粒状、隐晶偏胶状、乳滴状、格状、残余、变晶等。表生结构为多孔状、环带状、放射状等。

常见的原生矿石构造为：块状、稠密浸染状、胶状、脉状、团块状等。表生构造为土状、胶状、脉状、块状和浸染状。

（三）矿石类型及分布

根据矿物组合和化学成分，矿床矿石可分为五个类型，即褐铁矿矿石，含铜黄铁矿矿石（包括含铜磁铁矿矿石、含铜黄铁矿闪锌矿矿石、黄铁矿矿石等），含铜碳酸盐岩（包括含铜夕卡岩、含铜硅化灰岩、含铜灰岩等），含铜火成岩（包括含铜花岗闪长斑岩、含铜石英斑岩），以及含铜角砾岩（包括含铜构造角砾岩和含铜接触角砾岩）。

这几类矿石的分布情况是：接触带矿体主要由中细粒黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等构成，以浸染状、

块状的含铜碳酸盐岩石为主，以含铜火成岩、含铜黄铁矿矿石为次。内接触带矿体主要由褐铁矿、黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿等构成，以浸染状、块状、松散状含铜火成岩为主，以含铜碳酸盐岩、含铜黄铁矿为次。外接触带主要由黄铁矿、黄铜矿以及少量磁铁矿、闪锌矿等构成，以块状、松散状含铜黄铁矿矿石为主，以含铜碳酸盐岩矿石次之。

矿床热液成矿过程持续时间较长，且表现了明显的脉动成矿的特点。经过无矿的夕卡岩阶段后，首先沉淀了磁铁矿，相继就是大量粒状黄铁矿、黄铜矿及少量胶状黄铁矿、闪锌矿的出现，沿着有利成矿部位形成各矿带矿体的初貌。伴随石英斑岩的侵入，又带来了以形成黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿为特征的热液活动，对原矿化起富化作用，并在石英斑岩于花岗闪长斑岩接触带上及其他一些节理裂隙中形成细脉浸染状矿石。

（四）矿床氧化和次生富集作用

（1）氧化带特征：矿床的氧化作用较为发育，并表现出环接触带氧化较深，而中部氧化较浅的特点 氧化较深者一般达－50～－100 m 标高，氧化较浅者一般在0 m 标高左右。

根据氧化矿物之空间分布特征，大致可分三个亚带：

铁帽带：主要为块状赤、褐铁矿（含铜磁铁矿氧化而成）、多孔状、葡萄状褐铁矿（含铜黄铁矿氧化而成）以及土状褐铁矿（含铜夕卡岩氧化而成）组成，局部见少量孔雀石，一般分布于0 m 标高左右。

次生氧化物富集带：主要由蓝铜矿、孔雀石及少量辉铜矿组成，只在少数含铜花岗闪长斑岩矿体中见到。

自然元素富集带：以自然铜为主，次为自然金、自然银，多分布在湖区－50～－90 m 标高左右的含铜角砾岩及褐铁矿中。

（2）次生硫化物富集带特征

在矿床氧化带之下的次生硫化物富集带，出露宽度较窄，主要分布在矿区东西两端－10～50 m 标高的内接触带矿体中。

（五）伴生有益组分及其变化规律

1. 伴生有益组分的种类及其赋存状态

本区铜、硫、铁、锌矿石中含有金、银、硒、碲、铊、镓、钴、铟、钼、镉、锗、砷、铼等十余种有益元素，其中金、银、硒、碲、铊、镓分布较普遍，含量较高。而钴、铟、钼、镉、铼在含铜黄铁矿、含铜石英斑岩、闪锌矿、辉铜矿、黄铁矿中亦有一定含量。

2. 伴生有益组分之分布及其富集规律

伴生有益组分主要分布在铜硫矿石中，但在不同类型的铜硫矿石中，它们的分布和富集程度不同。

金主要分布在黄铜矿、磁黄铁矿、辉铜矿中；银、铟主要富集在黄铁矿、闪锌矿中；硒、碲、钴则受黄铁矿控制；铊在黄铜矿中含量较高。金在各类矿石中均有分布，但只在含铜黄铁矿含铜花岗闪长斑岩中含量大于0.1×10^{-6}；银在含铜黄铁矿、含铜角砾岩中为最高；硒、碲、铊在含铜角砾岩和含铜黄铁矿中含量较高。

伴生有益组分均富集于矿体边缘，这和黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿多富集于矿体上部和矿体边缘部位的规律是一致的。

（六）近矿围岩蚀变

伴随多次的岩浆-矿化活动，形成各类有序的交代矿化组合，并伴有特征的交代分带。以城门山杂岩体为中心，由内向外比较清晰地显示环形蚀变，并表现出下述总体的分带规律：

钾长石-硅化带（岩体内的中心带）；

黑云母-钾长石化带（岩体内的过渡带）；

粘土矿物-绢云母化带（岩体内的边缘带）；

粘土矿物-绢云母化带；

弱硅化、钾长石化-绿泥石带；

夕卡岩化带；

硅化大理岩带；

硅化绢云母化带（硅质围岩中）。

花岗闪长斑岩主要发育夕卡岩化，而石英斑岩中则以斑岩型蚀变为主。

城门山矿床内夕卡岩带不发育，但外夕卡岩带可宽达数百米。夕卡岩形成时要求 Si_2O、Al_2O_3、Fe_2O_3、FeO 等组分的大量带入，鉴于本区内夕卡岩带不发育的事实，南京大学等单位认为这些组分一部分可能来自深部岩浆，另一部分可能来自附近的沉积岩本身。本区斑岩型蚀变的显著特色在于钾长石化、黑云母化的广泛发育，泥质蚀变的普遍叠加，石英绢云母化带和青磐岩化带一般较窄。

（七）矿床的物化探异常

在矿床上方重力一般为低缓正异常，在厚大的矿体上方异常值最高；在杂岩体的上方为弱磁异常，局部由强磁异常叠加（受晚期脉岩影响），岩体上方一般异常值为30～70nT，强磁异常值为200～800nT。电异常在联合剖面方法出现低阻正交点，指示斑岩型改造矿体，激发极化法可圈定矿体（η_s 为5%～8%），电测深可区别矿体和矿化，在矿体中为低电阻高极化。化探：矿床及外围原生晕异常发育，面积大多呈环带状、半环状，异常为多组分组合，常见为Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W、Bi，组分分带明显。城门山铜矿综合物化探特征剖面见图2-125。

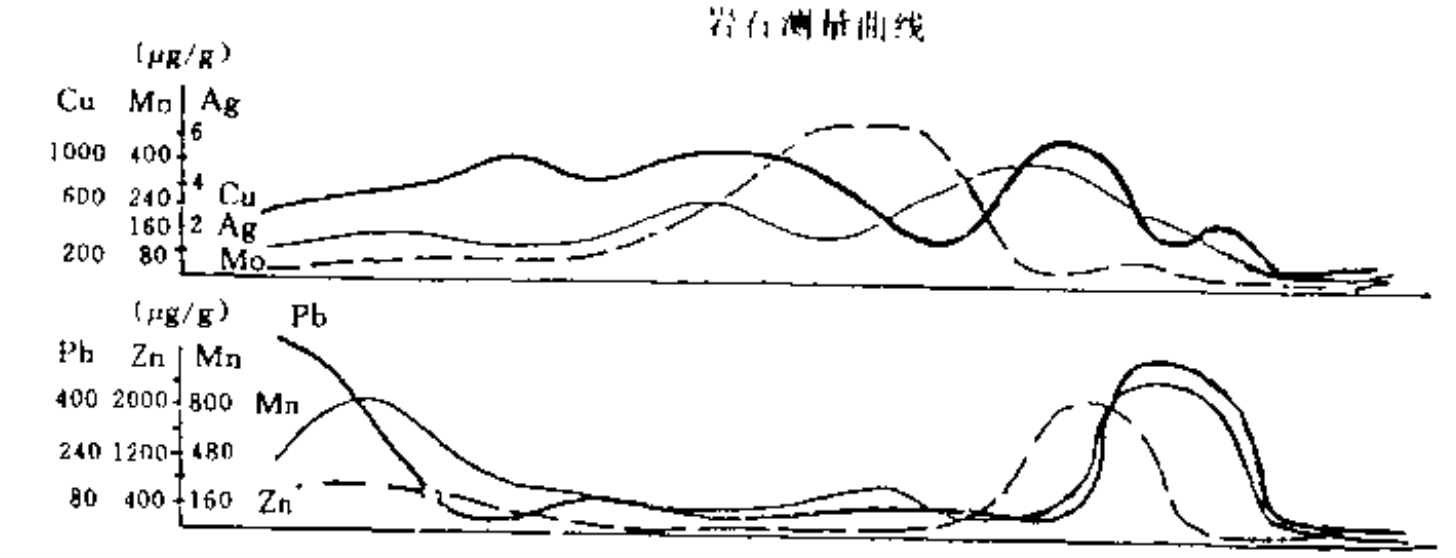


图2-125　城门山矿床综合物化探特征图

Fig. 2-125　Characteristics of geophysical and geochemical anomaly of Chengmenshan deposit

1—似层状铜矿；2—夕卡岩铜矿；3- 花岗闪长斑岩；4　灰岩；5—砂岩；6—石英斑岩；7—斑岩型铜矿

四、成矿条件

综观本区成矿作用的全部历程及29个黄铁矿测温资料，可划分如下成矿期和成矿作用阶段：

（1）夕卡岩成矿亚期：

无水夕卡岩阶段，温度高于475℃。

含水夕卡岩及早期铜、锌硫化物阶段，温度为350～475℃。

磁铁矿阶段，温度为310℃。

中期硫化物阶段，温度为160～330℃（主要为200～270℃）。

早期石英脉阶段，温度低于270℃。

斑岩型成矿亚期：

含辉钼矿石英脉阶段，温度为300～370℃。

晚期硫化物阶段，200～300℃（主要为200～280℃）。

末期硫化物、石英、碳酸盐阶段，温度低于260℃。

（2）多金属矿化亚期：

方铅矿、闪锌矿、黄铁矿阶段，此阶段尚未形成工业矿化。

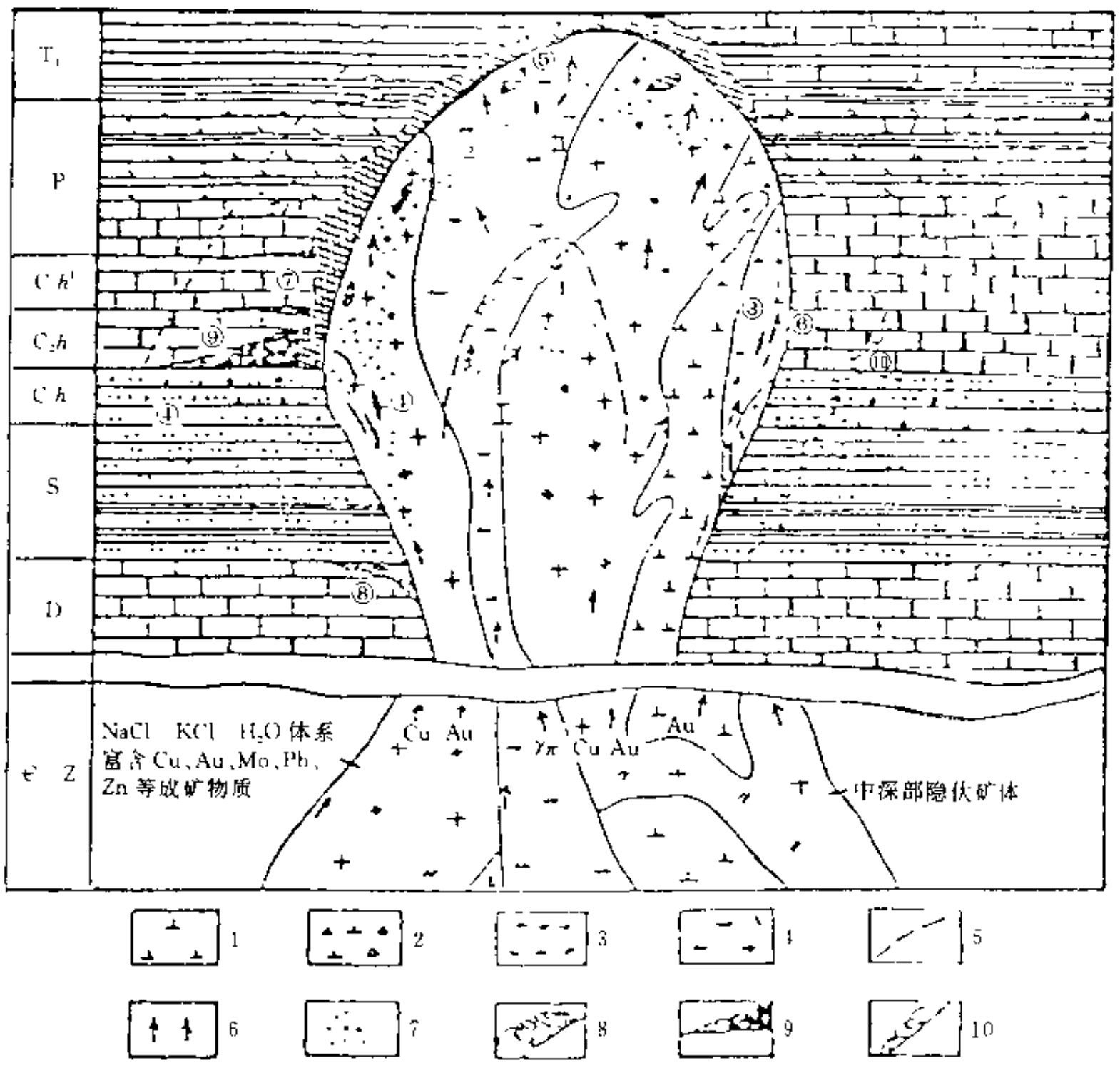


图2-126 九江瑞昌地区广义夕卡岩铜、金、硫成矿系列模式图

Fig 2-126 Model of broad-sense skorn-type Cu-Au-S metallogenic series in Jiujiang-Ruichang area

1—石英闪长玢岩；2—石英闪长玢岩；3 花岗闪长斑岩；4 石英斑岩；5 围岩蚀变带界限；6—矿液运移方向；7—斑岩型矿床；8 夕卡岩型矿床；9—层控矿床；10 硅化蚀变带型矿床；①斑岩型钼矿；②斑岩型铜矿；③玢岩型金银矿；④岩体中块状硫化物铜矿；⑤岩体中块状硫化物金银多金属矿；⑥夕卡岩型铜及金铜矿；⑦层控硫化物型铜矿；⑧层控金银多金属矿；⑨层控碳酸盐型铜矿；⑩破碎蚀变带型金矿；Ⅰ 钾化-硅化带；Ⅱ 硅化粘土化带；Ⅲ 夕卡岩带；Ⅳ 夕卡岩化大理岩带；Ⅴ 大理岩化带；Ⅵ 硅化绢云母化带

由上可见，城门山矿床是以夕卡岩矿床为主体的多种类型的复合矿床，或称为与燕山期浅成 超浅成相中酸性岩浆侵入活动有关的斑岩型 夕卡岩型 含铜层状黄铁矿型“三位 一体”的复合矿床。其区域成矿模式见图2-126。

硫同位素组成成分特征见表2 80。

表2-80 城门山矿床硫同位素组成表

Table 2-80 Sulfur isotope composition of Chengmenshan deposit

类 型	样数 (10个)	$\delta^{34}S$ ‰		^{32}S ^{34}S	
		变化范围	均值	变化范围	均值
斑岩型铜矿	10	+2 7～+1 3	+3 92	22 117～22.160	22 133
夕卡岩型铜矿	13	+3 2～+5 5	+4 3	22 097～22 150	22 124
块状硫化物型铜矿	5	+3.2～+4 5	+3 88	22.114～22.150	22 134
矿化灰岩	2	+3 3～+4.8	+4 05	22.115～22.146	22 130

第十节 江西瑞昌县武山铜矿床

一、大地构造单元

武山铜矿床位于扬子准地台，下扬子台坳的九江 瑞昌褶断带内。

二、矿区地质

（一）地层

矿区自北而南出露志留系至二叠系，其中石炭系、二叠系和三叠系为主要赋矿层位，志留系纱帽组上部及泥盆系五通组亦有局部矿化。矿区主要赋矿层位岩性特征，可参见城门山矿床地层一节。

（二）构造

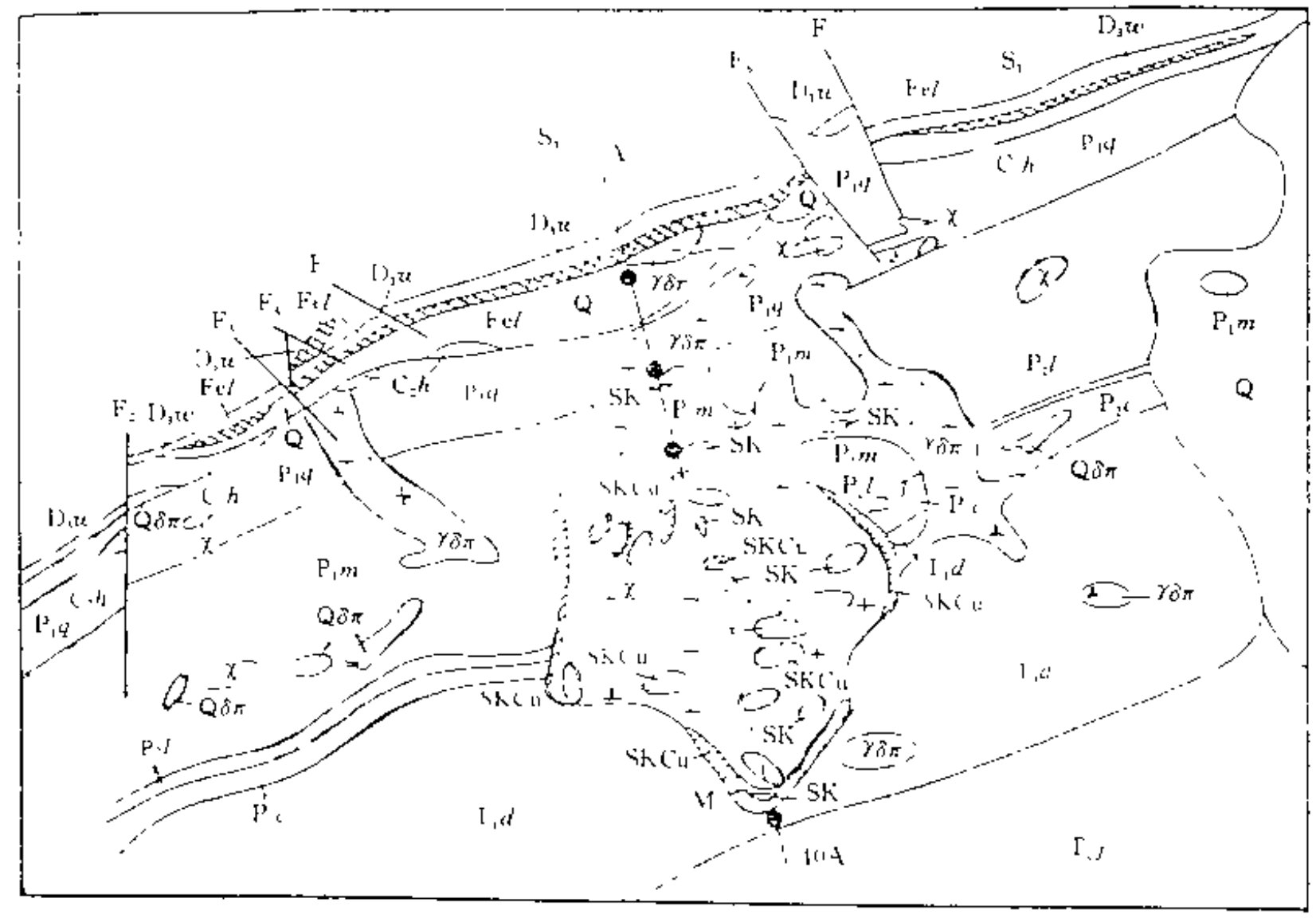
武山位于界首-大桥背斜倾伏端的南翼。矿区内以NEE向为主的断裂及层间挤压破碎带发育，其中以五通组与黄龙组之假整合面所形成的挤压破碎带尤为显著，为主要控矿构造之一，矿区北矿带即受此挤压破碎带所控制。其次是NW向断裂，具挤压平移特点，成组出现，控制岩株、岩墙或岩脉的空间展布，是矿区导矿构造之一。NE向断裂，亦是重要的控岩控矿构造。因此，NEE、NW、NE向等断裂及层间挤压破碎带相互配置是武山矿区控岩控矿构造的基本骨架。

（三）侵入岩

岩浆岩按其岩性特征及侵入先后顺序，有闪长岩、石英闪长岩、英安斑岩、花岗闪长斑岩、花岗细晶岩、煌斑岩。其中花岗闪长斑岩与成矿关系最为密切。花岗闪长斑岩出露面积约0.6 km^2，呈NNW—SSE向展布，上宽下窄，剖面上为筒状或花瓶状。大理岩带、夕卡岩带围绕岩体呈环带状展布，分带不明显。以南接触带为例，由内向外，依次为透辉石·石榴子石夕卡岩带；中-中粗粒变晶大理岩带；中-细粒变晶大理岩带，致密块状大理岩带（图2-127）。

花岗闪长斑岩的矿物成分和结构构造特征，与本区常见的花岗闪长斑岩大体相同，可作为特征的是钾长石，共有三个世代，其中第一世代的钾长石为粗大斑晶出现。第三世代的细粒钾长石，多与金属硫化物伴生。

据研究，武山岩体的筒状岩株是顶蚀侵位的岩体，而其北部的板状、似层状岩体是贯入侵位岩体。顶蚀侵位特征是，岩体规模不大。武山岩体在+50 m标高时面积为0.6 km^2，而在−900 m标高面积只有0.36 km^2，反映岩浆在向上运移过程中不断扩张，且运移距离较大；其中多含围岩包体，多分布在岩体的边缘或顶部。岩体接触带产状较陡，常呈波状变化，围岩局部变形；岩体边缘冷凝边较窄，叶理和线理不发育。岩体自中心向边缘SiO_2含量逐步降低，CaO含量逐步增加。成岩温度中心部位可达600℃以上，边缘一般在400～500℃；中心部位硫同位素$\delta^{34}S$值接近0‰，边缘部分为−2‰～+2‰，说



Q 1 T_2j 2 T_1d 3 P_2c 4 P_2l 5 P_1m 6 P_1q 7 C_2h 8 D_3w 9 S_1 10 $\gamma\delta\pi$ 11

$Q\delta\pi$ 12 M 13 L_s 14 CuPy 15 CuM 16 χ 17 SK 18 SKCu 19 Fel 20 F 22 CuMoSK 21

图2-127 武山铜硫矿床地质图及剖面图

Fig. 2-127 Geological map and profile of Wushan copper-sulfur deposit

1 Q 第四系；2—T_2j 嘉陵江组；3—T_1d 大冶组；4 P_2c 长兴组；5 P_2l 龙潭组；6—P_1m 茅口组；7 P_1q 栖霞组；8—C_2h 黄龙组；9 D_3w 五通组；10—S_3志留系上统；11 $\gamma\delta\pi$ 花岗闪长斑岩；12 $Q\delta\pi$ 石英闪长斑岩；13—M 大理岩，14 L_s 灰岩，15 CuPy 含铜黄铁矿；16—CuM 含铜大理岩，17 χ 闪斜煌斑岩；18 SK 夕卡岩；19 SKCu 含铜夕卡岩；20—Fel 铁帽；21 CuMoSK 含铜钼夕卡岩

明岩浆在向上运移过程中与围岩进行物质交换；岩体上部偏中心发育斜长石斑晶。同时，流体包裹体十分发育。

三、矿床特征

据矿体产状和空间分布，可将矿床划分为南、北两个矿带。

（一）北矿带

分布于矿区北部接触带外，呈似层状产出，产状155°～165°，与地层产状一致。自北而南由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号三个矿体组成，规模大，占全区铜总储量的51%，平均含铜1.54%。Ⅰ号矿体长2450 m，延深800 m以上，平均厚6.35 m（最大厚可达21.5 m），以含铜黄铁矿为主，向下渐变为含铜夕卡岩。Ⅱ号矿体长1500 m，延深400余米，平均厚9.25 m（最大厚可达26.5 m），以含铜黄铁矿为主。Ⅲ号矿体长500余米，延深200 m，厚2～3 m，主要为含铜铅锌矿石。

（二）南矿带

围绕岩体接触带，呈环带分布，由15个矿体构成。可分为：

正接触带矿体：与接触面产状一致，剖面上呈波状或弯曲蛇形，基本上由三个矿体连接而成，总长1525 m，延深大于600 m，平均厚15 m（最大厚可达45 m），平均含铜1.01%，矿石主要是含铜夕卡岩。

内接触带矿体：呈板状、透镜状、枝杈状插入地层或与地层呈互层产出，由十余个矿体组成，产状、形态均较复杂。平均长度200 m，最大为800 m，平均延深170 m，厚度平均10 m，平均品位0.945%，矿石类型亦为含铜夕卡岩。

外接触带矿体：主要产于大理岩中，呈透镜状，长140 m，延深151 m，厚7 m，含铜0.7%左右，矿石为含铜大理岩（图2-127）。

（三）矿石组分及类型

1. 矿石金属矿物

主要是黄铁矿、黄铜矿、白铁矿、辉铜矿、针铁矿，次要的有闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、胶状黄铁矿、斑铜矿、赤铁矿、硬锰矿、自然铜；脉石矿物主要是石榴子石、石英、方解石、白云石以及次生的高岭土类矿物。

南北矿带矿石的有益组分含量见表2-81。

表2-81　武山铜矿床矿石有益组分含量

Table 2-81　Content of beneficial components in Wushan copper deposit

元素 % / 矿带	Cu	S	Fe	Se	Te	Ga	Co	Au	Ag
南矿带	0.986～1.108			0.0019		0.0017	0.042	0.33	7.66
北矿带	0.872～1.71	21～25.85	39.79～40.17	0.00286	0.0072	0.0105	0.0075	1.05	25.1

Au、Ag的单位为$\times10^{-6}$

2. 矿石类型

北矿带主要为含铜黄铁矿矿石，南矿带主要为含铜夕卡岩。次要的有含铜高岭土、含铜大理岩、含铜花岗闪长斑岩及铜铅锌矿石。

（四）矿床矿化分带

矿床具有顺向分带特征。从岩体向外为Cu-Mo-Cu、S-Cu、S、Pb、Zn；北矿带自下向上为Cu、Mo、Fe-Cu、S-Cu、S、Pb、Zn。

（五）近矿围岩蚀变

围岩蚀变有夕卡岩化、透闪石化、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化以及碳酸盐化等。

（六）南北矿带矿床地质对比

前已述及，武山矿区具有“顶蚀”和“贯入”两类侵入体，并分别控制南、北矿带。据研究，九瑞地区与两类不同性质侵入体有关的矿床具有明显差异（表2 82），武山南区与顶蚀侵位岩体有关的夕卡岩矿床和北区与贯入侵位岩体有关的层控矿床最具代表性。

表2-82　九瑞地区两类矿床对比简表

Table 2-82　Comparison of two types of deposits in Jiurui area

矿床类型 / 特征	南　矿　带 与顶蚀侵位岩体有关的矿床	北　矿　带 与贯入侵位岩体有关的矿床
产出部位	岩体接触带及其裂隙	岩体及其围岩中断裂、不整合面
矿体形态	透镜状、囊状、似层状	似层状、脉状，延长长
矿化形式	浸染状、团块状、细脉状	细脉状、网脉状
产状	随接触带构造变化	稳定、直立
矿化分带	明显，水平分带强于垂直分带	不明显
主要矿物	石榴子石-透辉石 绿泥石（绿帘石）	石英-绿泥石-白云石-方解石
共生组合	黄铁矿-黄铜矿-辉钼矿	黄铁矿 方铅矿-闪锌矿-黄铜矿
主要成分	(Fe) -Cu Mo-Au	S Cu-Au-Pb Zn
矿石构造	浸染状	块状、条纹状
围岩蚀变	夕卡岩化、绿泥石化、钾化、黑云母化、大理石化	硅化、碳酸盐化、绿泥石化
形成温度	400～300℃	300～120℃
Co Ni	5.9～3 0	1.2～0 9
S Se	(1.9～0 2) ×10⁴	(1.59～1.11) ×10⁴
$\delta^{34}S$ (‰)	1 2～0.7（变化较小）	7.9～0.2（变化较大）
$\delta^{18}O$ (‰)	7.92～9 3	17.01～13.73

四、成矿作用

（一）成矿温度：据单矿物爆裂法测定，含铜黄铁矿（即块状硫化物型铜矿）中的黄铁矿形成温度是290～350℃，而含铜夕卡岩中的黄铁矿是310～370℃，花岗闪长斑岩中的黄铁矿是310～390℃。黄铜矿的生成温度是300℃左右。因此，该矿床的成矿温度主要在330～290℃。

（二）硫同位素特征

据矿床主要矿石类型中黄铁矿的测定（表2-83）。

表2-83　主要矿石类型中黄铁矿测定值

Table 2-83　Analysis of isotope of pyrite in main ore type

矿石类型	样品数	$\delta^{34}S$·‰		S^{32} S^{34}	
		变化	均值	变化	均值
含铜花岗闪长斑岩	5	+0 3～0.6	−0.12	22.213～22.233	22 233
含铜夕卡岩	15	+1 6～0.2	+0.50	22.184～22.224	22.204
含铜黄铁矿	23	+3 5～0 3	+1.55	22.142～22.226	22.134

该矿床硫同位素组成变化范围狭窄，绝对值小，更趋近于零值，反映出硫的深源特征，表明成矿作用是同岩浆活动息息相关的，其生成深度可能比同一成矿区的城门山铜矿床更大。

（三）矿床成因

根据矿床的基本特征，矿化与花岗闪长斑岩关系密切。北矿带受地层的控制明显，矿体呈似层状产出，具有一定的层控特征；南矿带则受接触带构造控制，矿体围绕岩体作环状展布，具接触式矿床特色。矿石结构以晶粒、交代结构为主，矿物组合主要是多金属硫化物，成矿温度在330～290℃，岩体年

龄在156～141Ma，方铅矿同位素年龄为136Ma。因此，将该矿床归属于岩控与层控联合控制的复控式接触交代型矿床。

另一些研究者认为，本区铜矿化主要与后期热液作用有关，其矿床大部分（71%）源于岩浆作用热液活动，少部分（26%）源于同生沉积期。因此，将武山矿床北矿带定名为同生沉积-热液叠加改造型层控铜矿床，南矿带为典型的接触带接触交代型矿床。

关于武山铜矿床的成矿模式，可参见城门山铜矿床。

第十一节　江西铅山县永平铜多金属矿床

一、大地构造单元

矿区位于武夷-云开褶皱带与武功-诸广褶皱带、江南地块三个构造单元交接的武夷-云开褶皱带一侧的饶南坳陷区内。

二、矿区地质

（一）地层

(1)震旦—寒武系混合岩组：主要为混合岩夹石英云母片岩、黑云斜长片麻岩，下部夹少量夕卡岩。厚大于1000 m（图2-128）。

(2) 石炭系中统叶家湾组：出露于矿区中部，呈向东凸出、南北延伸的狭长弧形条带分布。属一套滨浅海相碎屑岩、碳酸盐岩夹火山碎屑岩建造，为主要赋矿层位。下部为变质含砾石英砂岩、石英细砂岩、粉砂岩并夹灰岩透镜体，底部见英安霏细斑岩；中部为厚层状灰岩夹砂质页岩，局部夹流纹英安岩、安山质岩屑凝灰岩、层凝灰岩、凝灰质砂岩；上部为中粗粒石英砂岩、含砾石英砂岩、粉砂岩、砂质钙质页岩、千枚岩页岩夹砂岩透镜体，厚150～250 m。不整合覆于震旦—寒武系之上。

(3) 石炭系上统船山组-二叠系下统茅口组：亦为矿区赋矿层位。下部（相当于船山组）为灰白-白色厚层状结晶灰岩、大理岩，间夹少量砂页岩、石英砂岩及瘤状灰岩；中部（相当于栖霞组）为深灰色、灰黑色厚层状结晶灰岩，含较多燧石团块及条带，夹薄层炭质灰岩，局部夹页岩；上部（相当于茅口组），为隐晶质厚层状灰岩，含少量燧石并夹有薄层碳质页岩，顶部为硅质灰岩，厚150～210 m。

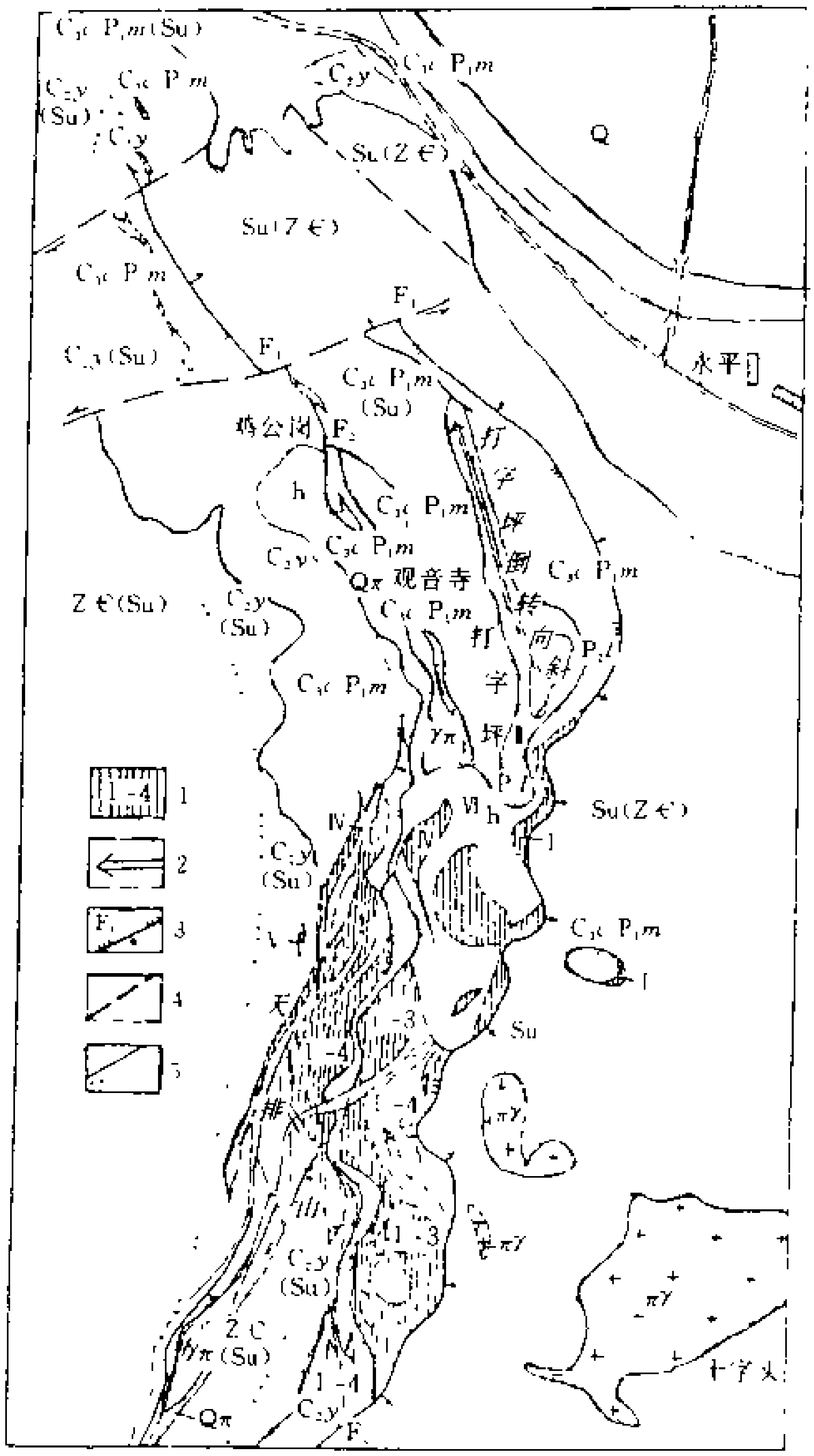


图2-128　铅山永平铜矿区地质平面图

Fig. 2-128　Geological map of Yongping copper ore district

Q　第四系；P_2l　上二叠统龙潭组；P_1l-　下二叠统李家组，C_3-P_1m　上石炭统船山组-下二叠统茅口组；C_2y　中石炭统叶家湾组，Z－∈　震旦系-寒武系；Su　混合岩；Ⅵ　含矿黑土及编号，πγ 花岗斑岩；Qπ -石英斑岩；1－矿体及编号；2　倒转向斜，3　实测逆断层及倾角；4　推断断层；5　实测、推测地质界线

(4) 二叠系下统李家组：深灰、灰黑色粉砂质页岩，含炭质页岩夹粉砂岩及薄层灰岩，分布于打字坪向斜两翼，厚75 m。

(5) 二叠系上统龙潭组：主要为浅灰色、灰黑色页岩和粉砂岩，其中尚有少量粉砂质页岩，厚大于100 m。

(6) 第四系：冲积、残坡积，亚砂土、亚粘土、

泥沙、卵石，局部有铁帽碎块及含矿黑土，厚达10 m。

（二）构造

1. 褶皱

天排山倒转背斜：位于矿区中部，轴向近南北，略有东西偏转，轴面倾向东，背斜向北收敛倾伏，向南翘起渐转为正常背斜。矿体赋存于东翼。

打子坪倒转向斜：位于天排山倒转背斜的东侧，轴向NNW，轴西倾向E，向斜向N倾伏。

2. 断裂

规模最大的为F_1、F_2逆冲断层，分别长7000 m和5000 m。走向SN，倾向南。F_1倾角浅部缓，深部陡，在20°～50°之间；F_2倾角达70°。层间破碎带控制铜矿体，矿体与断裂同步延展平行产出，在剖面上呈叠瓦状或“人”字形排列。

（三）矿区岩浆活动

中性-中酸性侵入岩：有闪长岩、石英闪长玢岩、黑云母花岗闪长斑岩等，多呈小岩脉零星产出，厚度一般数十厘米至数米，其产状多与围岩层理斜交。其中以黑云母花岗闪长斑岩的规模相对较大，分布于矿区南部，具强烈的绢云母化，侵入时代不明。

海西期火山-侵入岩：有英安岩、流纹英安岩、英安霏细岩、霏细岩等，赋存于石炭系中统叶家湾组。蚀变的英安质岩石，Cu、Pb、Zn、W、Mo、Ag等元素丰度较高。根据其产出层位，确定其为海西期火山-侵入活动产物。

燕山早期酸性侵入岩-花岗斑岩-十字头岩株主体岩石，浅成-超浅成相，侵入于震旦—寒武系混合岩组和中石炭统叶家湾组中，全岩K-Ar年龄161Ma，岩石中W、Cu、Ag、Mo、Pb等含量均高。其他的石英斑岩、花岗斑岩、中细粒黑云母花岗岩为成矿期后的侵入体，切过并破坏矿体。

混合岩：混合岩广泛出露在天排山倒转背斜轴部和护驾山-十字头一带，环抱叶家湾组，近SN向大面积展布。原岩基本是震旦-寒武系石英云母片岩、黑云斜长片麻岩。属混合花岗岩-均质混合岩-混合岩-混合岩化岩石。中石炭统叶家湾组局部也混合岩化。

（四）铜矿床地质

1. 矿体的分布、形态、产状及规模

永平铜矿床是一个以铜硫为主伴有W、Ag、Pb、Zn等的多金属矿床。主要工业矿体分布在天排山倒转背斜东翼（图2-128），大都赋存在石炭系中统叶家湾组中，少量在船山-茅口组和震旦-寒武系混合岩组中。矿体呈层状、似层状、透镜状产出，产状与赋矿地层一致（图2-129），走向近SN，倾向E—SNN，

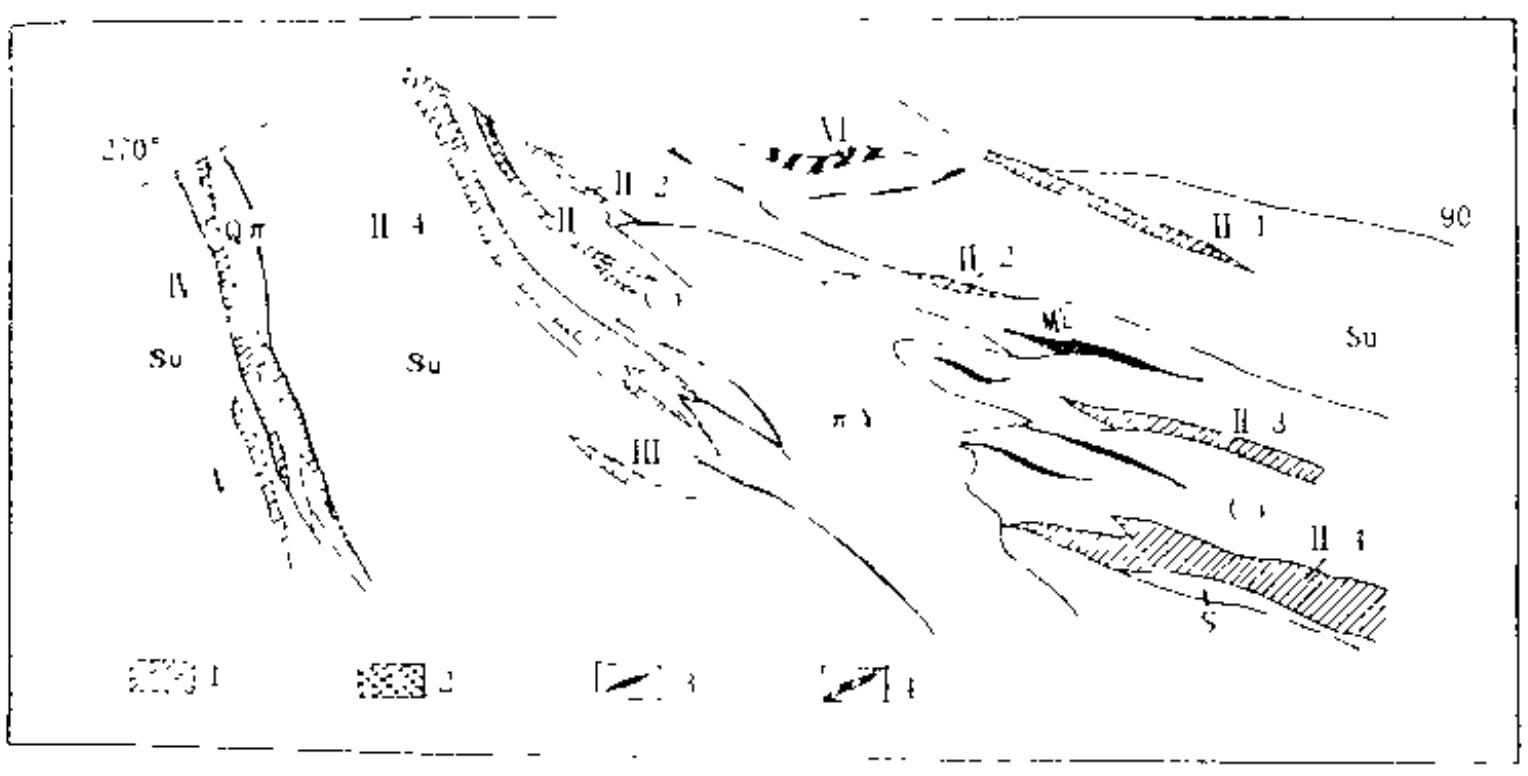


图2-129　永平矿区综合地质剖面示意图

Fig. 2-129　Integrated sketch section of Yongping ore distict

Su—混合岩；C_2y—叶家湾组；Qπ—石英斑岩；πγ—似斑状黑云母花岗岩；S—硫矿体；1—铜硫矿体；2—铁帽；3—铜矿体；4—含铜黑土

倾角20°～50°或60°～70°。

矿区有7个矿带，每个矿带由一个至多个矿体组成（表2-81）。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ矿带以铜硫矿体为主（Ⅲ、Ⅳ矿带为隐伏矿体），Ⅴ、Ⅵ矿带以硫铁矿体为主，Ⅶ矿带相当Ⅰ、Ⅱ2、Ⅱ-3矿体地表露头部位，为含铜黑土和次生淋滤堆积体。矿区以铜硫矿体为主。硫铁矿体较小，铁矿体属硫化物铁帽主要出露于Ⅱ矿带地表氧化带，铅锌矿体主要分布于矿区北部Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ矿带之中。铜硫矿体受断层控制，F_1断层控制了Ⅰ矿带，F_2断层控制了Ⅳ矿带，矿体厚度沿倾向变化，浅厚深薄；沿走向中部厚两边薄，厚度变化较大。

表2-84　各矿体产状规模一览表

Table 2-84　Table of ore bodies occurrences and scales

矿体编号	产状		规模 m					赋矿层位
	倾向	倾角	长	深	埋藏标高	般厚度	平均厚	
Ⅰ	SEE	10°～40°	1000	800	270～100	1.49～17.70	5.29	第三组　船山组
Ⅰ-2	SEE	25°～30°	600	750	270～285	0.66～39.68	9.28	叶家湾组
Ⅰ-3	SEE	20°～30°	1300	1100	350～350	1.12～30.79	12.48	叶家湾组
Ⅰ-4	SEE	20°～50°	2500	2000	470～640	0.66～100.93	17.97	叶家湾组
Ⅱ	NE	10°～40°	800	300	100～200	0.48～54.55	15.54	混合岩组
Ⅳ	SEE	70°	1400	610		0.85～120.85	14.21	叶家湾组
Ⅴ				150		1.18～15.83	13.22	混合岩组
Ⅶ						0.55～1.71	1.26	混合岩组
Ⅵ		10°～30°	1000	600		5.07～65.72	30.77	含铜黑土

Ⅰ矿带：纵贯全区，规模最大，为主矿带。产于叶家湾组中，顶底板为混合岩组、叶家湾组和船山茅口组。自上而下有Ⅰ-2、Ⅰ-3、Ⅱ-4三个矿体，其中Ⅱ-4矿体最大。Ⅱ-4矿体似层状顺层产出，倾角50°→20°→50°，与底板混合岩组顶面一致，走向延长2500 m，倾向延伸2000余米，矿体厚0.66～100.93 m，平均厚17.97 m。据采场平台所见，Ⅱ矿带粗晶黄铁黄铜矿层呈层状产于千枚岩页岩中，矿层产状与千枚状页岩页理完全一致。此外亦受似斑状黑云母花岗岩侵入的影响而随之拱起，向南作30°～40°倾伏下插、并发生明显的膨缩现象，褶皱轴部有明显的增厚、而靠近黑云母花岗岩体外接触带，矿体则分支尖灭、显示了矿体的后生变化。

2. 矿石物质成分

组成矿石的矿物计有140余种（表2-85），主要金属矿物有：黄铁矿、黄铜矿、胶状黄铁矿、磁黄铁矿。

表2-85　原生矿石矿物组成一览表

Table 2-85　Mineral composition in primitive ore

矿石类型	金属矿物			非金属矿物
	主要	次要	微　量	
含钨黄铜黄铁矿石	黄铜矿、黄铁矿	白钨矿	斑铜矿、闪锌矿、镜铁矿、辉铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、自然铋、银斑银矿	阳起石、透闪石、碳酸盐、石英、石榴子石、绿帘石
含钨黄铁矿石	黄铁矿	黄铜矿、白钨矿	磁黄铁矿、闪锌矿、辉铅铋矿、辉锑矿、斑铜矿、辉铋矿、自然铋、赤铁矿、硫锑铅银矿	石榴子石、石英、方解石、绿泥石
含钨黄铜矿石	黄铜矿	黄铁矿	闪锌矿、辉铋矿、磁铁矿、白钨矿	石榴子石、透闪石、石英、方解石、阳起石、
含银黄铁闪锌矿石	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿	斑铜矿、银斑铜矿	黄铜矿、磁黄铁矿、深红银矿、硫锑银矿	石英、方解石

矿石自然类型有：

氧化带：褐铁矿铁帽、夕卡岩铁帽、含铜黑土。

混合带：辉铜黄铜矿石。

原生带：含钨黄铜黄铁矿石、含钨黄铁矿石、含银黄铁闪锌矿石。

3. 矿石结构构造

矿石结构有：半自形—他形粒状结构、交代结构、压碎、胶状结构。

矿石构造有：浸染状、条带状、块状构造。此外还有角砾状、层纹状和网脉状构造。

4. 矿物化学成分

为 Cu、S、W、Fe、Pb、Zn、Mo 等，伴生有益组分 Au、Ag。在铜精矿中 Au、Ag 可富集回收，具综合利用价值。另外还有微量的 Ga、Ge、Te、In、Se 等元素（见表2-86）。

表2-86 Ⅱ-4矿体化学组分表（$w_B/\%$）

Table 2-86 Chemical composition in Ⅱ-4 orebody ($w_B/\%$)

矿体	Cu	WO_3	TFe	Pb	Zn	Mo	Au	Ag	Ga	Ge	Te
铜硫矿体	0.71	0.145				0.00094	0.085	27.30	0.00165	0.00187	0.00139
铁矿体	0.26		34.83	0.0786	0.0575						
				2.12	2.98						

注：Ag、Au 的单位为$\times 10^{-6}$

铜：主要含铜矿物为黄铜矿、辉铜矿、黝铜矿。铜硫矿体含铜品位一般在0.53%～1.16%，平均0.77%。沿倾向变化相对较稳定；沿走向则呈跳跃式变化。品位变化系数96.92，分布基本均匀，品位与厚度关系不明显。

硫：铜硫矿体含硫一般在6.00%～22.27%，平均15.16%。

钨：主要以独立矿物白钨矿形式赋存于夕卡岩内，与铜硫矿伴生产出。

银：主要以类质同象形式赋存于黝铜矿中，含量变化较大；银的独立矿物有辉银矿、硫锑铅银矿、硫铋银矿、深红银矿、含银辉铅铋矿等，充填在黄铁矿、方铅矿、黄铜矿裂隙处或孔洞中。矿体中银含量（2～500）$\times 10^{-6}$，平均27.30$\times 10^{-6}$，富集部位在矿区西北侧浅部和东侧深部，空间上与石英斑岩、花岗斑岩关系密切。银与铅锌呈正相关。

金：分布普遍但含量较低，一般在（0.03～0.05）$\times 10^{-6}$，最高达5.16$\times 10^{-6}$，金主要赋存在黄铁矿中。

铅锌：主要以方铅矿、闪锌矿独立矿物产出，赋存于铅锌矿体中。矿石品位一般是铅低锌高。含铜黑土含铅锌较高。

5. 矿化分带

水平铜矿床具有氧化带、混合带和原生带。原生带为矿体主体部分，主要为铜硫钨矿石、硫铁钨矿石和铅锌银矿石，基本由硫化物组成。

在水平方向上，自北向南依次为：含铜黑土→铅锌矿体→铜铅锌矿体→铜硫矿体和钼矿体→铜硫铅锌矿体。在垂直方向上，自下而上为：铁帽、含铜黑土、铜铁矿体→铅锌矿体、钼矿体→铜硫矿体夹铅锌矿体→硫矿体。

矿物组合沿走向自北向南依次为：含铜黑土、方铅矿、闪锌矿、菱铁矿→黄铁矿、黄铜矿、白钨矿、辉钼矿、磁黄铁矿→方铅矿、闪锌矿。沿倾向方向自上而下为：褐铁矿→黄铜矿、黄铁矿→白钨矿、辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿→闪锌矿、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿。

（五）蚀变作用

夕卡岩化：发育于叶家湾组的碳酸盐岩中，尤以不纯灰岩为甚，形成以石榴子石为主，次为透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石等夕卡岩矿物。夕卡岩化与矿化关系密切，当夕卡岩中绿帘石、透辉石、

透闪石、阳起石等矿物与石榴子石一起出现时，以黄铜矿 黄铁矿化为主，也可见到铅锌矿化；单一成分的石榴子石夕卡岩中，仅见黄铜矿和黄铁矿，且多呈细脉状或细脉浸染状出现。

绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化及碳酸岩化有不同程度的发育，其大致分带是：以矿带为中心，矿层中夕卡岩化最强，矿层内部及顶底板则以硅化为主，绿帘石化、碳酸岩化局部发育于矿带中，矿带附近则以绢云母化及其星散状黄铁矿化为主。

三、成矿条件

（一）稳定同位素

据硫同位素资料，混合岩、夕卡岩及铜硫矿体中 $\delta^{34}S$ 变化范围分别为2.7‰～4.14‰、2.9‰～4.10‰、2.4‰～4.10‰，相当于玄武岩硫，揭示有深源物质参与。

铅同位素值 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为17.941，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为15.522，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为38.3（叶庆同，1985）暗示下地壳或地幔成分较多，具深部来源特征。

（二）成矿温度

据矿物爆裂温度测定资料，细粒层状黄铁矿159～203℃，粗粒黄铁矿164～269℃，块状黄铜矿217～278℃，方铅矿225℃，磁黄铁矿274～305℃。变化为159～305℃，基本为中温范围。

（三）成矿期、成矿阶段划分

综观矿床形成的全过程可将其划分为同生沉积期、混合岩化期、岩浆期后热液期、表生期1个成矿期。其中混合岩化期、岩浆期后热液期是矿床形成的关键时期，可进一步划分为夕卡岩阶段，气化-高温热液阶段、低温热液阶段。

同生沉积成矿期：中石炭世，火山沉积作用带来了火山物质及Cu、Pb、Zn等成矿元素，以后在成岩作用过程中，生成以黄铁矿为主含微量黄铜矿等微量金属硫化物层或薄层。

混合岩化成矿期：夕卡岩成矿阶段：混合岩化作用形成夕卡岩，与此同时地层中的成矿元素发生活化转移、富集，部分转化为矿液在岩石中矿物间进行渗滤充填，形成稀疏浸染状磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等嵌于夕卡岩矿物的粒间或裂隙中，而大量的矿液沿着层间裂隙充填。早已形成的黄铁矿等金属硫化物普遍重结晶。

岩浆期后热液成矿期：①气化-高温热液成矿阶段，有少量磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿形成；②中温热液成矿阶段，为铜的主要矿化阶段，成矿方式以充填-交代为主，浸染状交代为辅；③低温热液成矿阶段，即铅锌银矿化阶段。

表生成矿期：矿床形成后，原生矿石遭受风化形成氧化带。

（四）成矿物质来源

叶家湾组Cu、Pb、Zn、W、Mo、Ag等丰度较高，含火山-沉积成分的叶家湾组是“矿源层”或“初始矿化层”。

震旦-寒武系混合岩组成矿元素丰度也较高，提供了部分成矿物质。

燕山早期十字头花岗斑岩，Cu、Pb的丰度，尤其是Mo、W、Ag丰度均较高，连同矿源层的物质进入含矿热液，充填交代，形成了热液型铜多金属矿床。

四、找矿标志

（1）与紧密褶皱协调一致的纵向断裂和层间破碎带，断裂交汇、复合部位，是找矿的宏观标志。

（2）石炭系中统叶家湾组，在英安质火山碎屑岩发育的前提下，常常含有较丰富的成矿物质，即是矿源层又是赋矿层，是找矿的直接标志之一。

（3）岩浆热液、混合作用及热能及充填交代，可使同生沉积初始矿化层改造，成矿元素活化、迁移、富集成矿。含矿岩体是找矿的重要标志。

（4）夕卡岩化、硅化、黄铁矿化与铜矿化关系密切，热液成矿后期阶段碳酸岩化出现与铅锌银矿化有关。

（5）褐铁矿铁帽，常常是硫化矿的氧化带产物，地表老窿和矿渣是寻找铜矿床的直观标志。

第十二节　安徽铜陵市铜官山铜矿床

一、大地构造单元

安徽铜官山铜矿床位于扬子准地台下扬子坳褶带中部，夹持在两个前寒武纪变质岩系组成的大型隆起之间。

二、矿区地质

（一）地层

与矿化有关的地层见表2-87。

表2-87　铜官山矿区含矿地层特征表

Table 2-87　Characteristics of ore-bearing strata of Tongguanshan ore district

地层单位			代号	厚度/m	岩性描述	矿化特征
系	统	组				
二叠系	下统	栖霞组	P_1q	161～259	厚层灰岩，偶夹硅质岩	与岩体接触带产出，陡倾斜及囊状矿体
石炭系	上中统	船山组 黄龙组	C_{2+3}	43～103	上部为厚层灰岩，下部为白云岩，底部有十几厘米厚的砾岩	C_3h 组严格控制层状、似层状矿体，C_{3c} 矿化特征同 P_1q
	下统	高骊组	C_1g	10～24	页岩、砂岩	砂页岩中产出石英脉型矿体
泥盆系	上统	五通组	D_3w	102	石英砂岩、石英岩	石英岩中产出楔形浸染状斑岩型矿体和石英脉型矿体

主要容矿岩层为石炭—二叠系碳酸盐岩层，其中最重要的是中石炭世黄龙组下部白云岩段，据矿区钻孔资料，白云岩段内及其与下伏五通组角岩间的假整合面上，出现1～3层铁矿，累计厚约5～6 m。胶黄铁矿见草莓状、团球状结构，含白云石和菱铁矿，并可见白云石与胶黄铁矿间组成的层纹状构造。结合近接触带矿体内的黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿矿石中见到此种莓球状胶黄铁矿变余结构和交代残余结构，以及磁黄铁矿、黄铁矿与胶黄铁矿在微量元素、物性参数、化学组成和硫同位素组成等方面均有一定差异等因素考虑，此种胶黄铁矿层有可能是同生沉积成因的。

（二）构造

铜官山矿区位于铜陵成矿区的西部。铜陵成矿区受铜陵-安顺北侧的东西向深断裂和贵池-木镇东西向深断裂与长江深断裂（NE向）和宣南盆地北西侧的NE向断裂所截，形成菱形断块控制。NE NNE向压扭性构造和NW、近NW向张扭性构造的复合部位，控制区域侵入体和矿床。

（三）侵入岩

铜官山岩体为燕山早期浅成侵入体（148～150Ma），沿着区域NWW向构造与NE向纵断裂交汇处作半漏斗状岩株侵入于晚泥盆世-早三叠世间各地层（主要为石炭—二叠系）中。岩体平面略呈“磨圆”三角形，出露面积约1.5 km^2。南东侧超覆于D_3w—C_2h之上，以中等倾斜与围岩近正交接触（或以小角度斜交），向深部有变陡的趋势；北侧及西侧以陡倾斜与C_2h—P_2l各层接触（深部亦有D_3w）；除西南一隅与围岩走向交截外，其余大部分均因侵入-热动构造（或热变蠕动）而呈假整合接触。综合岩体产状特征，可以认为岩株深部基本上直立或略向南东倾斜，上侵至浅部相对张开环境中，则伴有偏向NEE方向贯入的趋势。岩体主体由石英闪长岩组成，但其中常见有角闪闪长岩包体和二长岩贯入体，反映主体岩浆活动前后尚分别有略偏基性的和更富钾的岩浆活动。主体石英闪长岩由中心向边缘，SiO_2含量递减，CaO及深色矿物增加。岩石总碱量>7%，$w(Na_2O)/w(K_2O)>2$，CA（钙碱指数）=58，属较富碱的正常钙碱性系列。岩石的稀土分配曲线为下叠式，属轻稀土富集型。$\delta Eu=0.9302$，显示弱负铕异常。全岩（$^{87}Sr/^{86}Sr=0.7064$，$\delta^{18}O=0.71‰$），表明岩浆具有深源同熔特征。AFM图解及K-Na-Ca图

解显示岩浆向富钾方向演化。后期二长岩贯入体的出现以及主岩体深部边缘相的黑云母化，都可能显示此种演化趋势一直延续到晚期岩浆及热液活动。石英闪长岩含铜量较高，自中心向边缘由0.003%增至0.03%，一般0.01%左右。岩体岩石化学成分及微量元素见表2-88、表2-89。

表2-88 铜官山岩体岩石化学成分表（两个样品平均）

Table 2-88 Petrochemical composition of Tongguanshan intrusion

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3 +FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	H_2O^-	烧失量	总和
63.65	0.61	15.82	4.73	0.09	1.74	4.84	4.84	2.79	0.29	0.56		0.32	100.28

表2-89 铜官山岩体微量元素分析结果表（全定量，$w_B/10^{-6}$）

Table 2-89 Trace element content in Tongguanshan intrusion ($w_B/10^{-6}$)

元素	Mo	As	Se	Hg	Au	Pb	Ag	Ba	Ce	Co
含量	0.1	3.3	0.2	0.003	0.00	33	5.6	713.1	59.2	9.25
元素	Y	Bi	Ni	Cr	Cu	La	Sc	Sr	V	Zn
含量	21	17	24	74.16	2393	23.37	18.2	205.2	104.6	149.4

三、矿床地质

矿田内各矿床严格受接触带（包括捕虏体接触带）和黄龙组白云岩段（及层间滑动构造）控制，分别形成了接触矿体和似层状矿体（图2-130）。西接触带产出白家山、罗家村二矿床。北接触带则有笔山和

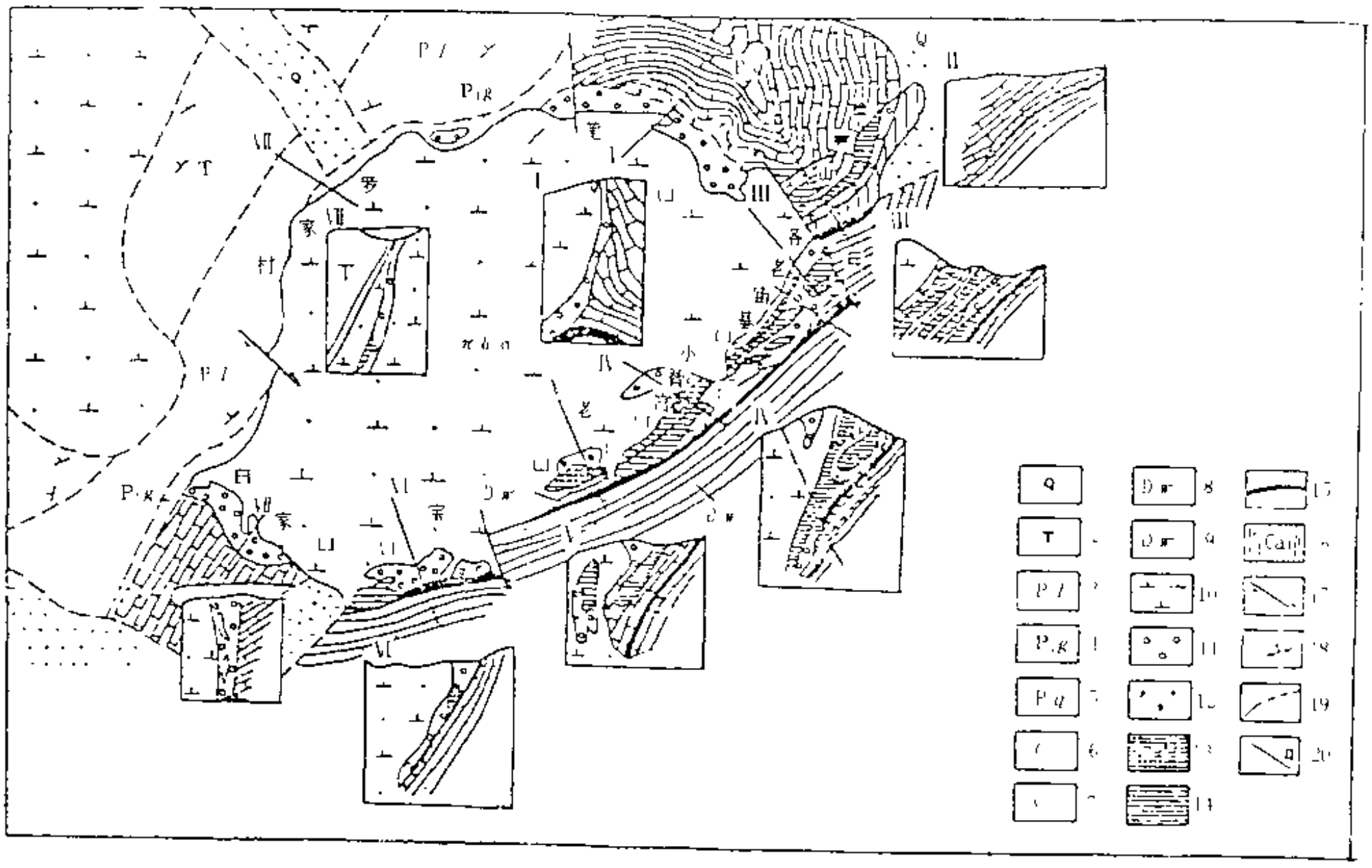


图2-130 铜官山矿田地质略图

Fig. 2-130 Schematic geological map of Tongguanshan ore field

1—第四系；2—三叠系；3—龙潭组砂页岩；4—孤峰组砂页岩；5—栖霞组灰岩；6—船山组灰岩；7—黄龙组白云岩；8—五通组上段砂质页岩；9—五通组下段石英岩；10—石英二长闪长岩；11—石榴子石夕卡岩；12—透辉石夕卡岩；13—磁铁矿矿石；14—磁黄铁矿矿石；15—含铜蛇纹岩；16—铁帽；17—断层；18—地层产状；19—地质界线；20—剖面线

东石门。都以接触带矿体为主，呈似板状-透镜状 不规则囊状和受接触带、岩层界面及断层构造综合控制的柱状矿体。南接触带由南西向北东依次出现宝山、老山、小铜官山和老庙基山等矿段的接触带矿体与似层矿体同时并存，乃至合为一体。老庙基山再向北东，似层状矿体即离开接触带而沿层位继续延展，是松树山矿段，相应地岩体另一侧宝山矿段向西在白家山深部亦见有似层状矿体，但铜含量过低。综上所述，本区各矿段（床）在平面上略作一"Q"形［即所谓"一圈一带（层）"］，剖面上则作"L"形或"Y"形（即所谓"剪刀式"）（图2-131）。值得注意的是，无论接触带矿体或似层状矿体均受成矿期断裂构造的控制而加富加厚。除接触破碎带及五通组顶板层间滑动破碎带外，最重要的不在岩体北东前缘附近的各头旺北西向断层组，断层附近的似层状矿体可扩及船山组及至栖霞组中。该断层在成矿后继续活动，使松树山与老庙基山错开成两段。

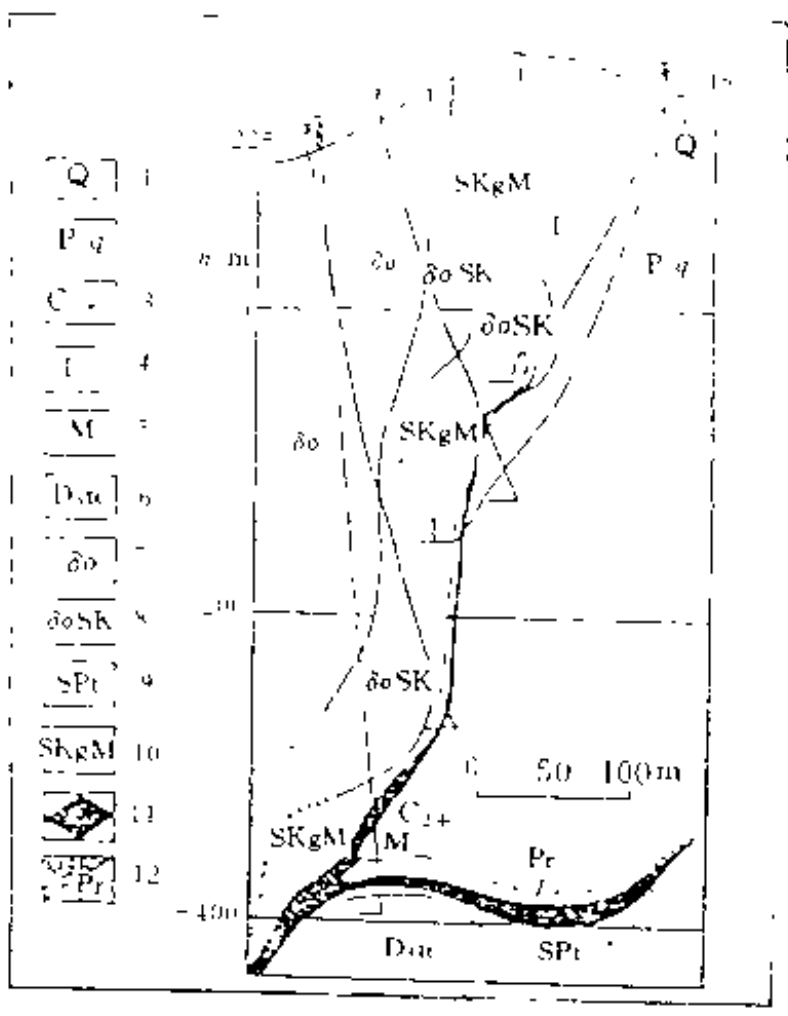


图2-131 铜官山矿田剪刀式（"L"形）矿体示意剖面图

Fig. 2-131 Schematic section of L-shape orebody in Tongguanshan ore field

1—第四系；2—栖霞组灰岩；3—黄龙组-船山组白云岩、灰岩；4 灰岩；5 - 大理岩；6—五通组石英岩；7—石英闪长岩；8—夕卡岩化闪长岩；9—蛇纹岩；10 块状石榴子石夕卡岩；11—铜矿体；12—磁黄铁矿

矿床矿石类型较复杂，就构成矿石的主矿物（或岩石）来划分，主要有①含铜夕卡岩，②含铜磁铁矿，③含铜磁黄铁矿-黄铁矿，④含铜滑石蛇纹岩。次要的有⑤含铜石英闪长岩，⑥含铜大理岩，⑦含铜石英脉-角岩。此外，还有含铜不够工业品位的黄铁矿-胶黄铁矿（单硫铁矿）。上述矿石类型之间，常因矿物含量的变化互相交替过渡。铜品位以②类矿石中最富，其次为①类及③类矿石，⑤及⑥类矿石中最贫，④及⑦类在次生富集带中很富，原生矿较贫。以白家山为代表的接触带矿体（白家山"亚式"）及以笔山为代表的接触带柱状矿体（笔山"亚式"）中主要为①②及③类矿石，其次为⑤及⑥类。在似层状矿体（松树山"亚式"）中主要为③及①类，近接触带处有①及②类。以小铜官山-老庙基山矿段为代表的复合矿体（即小一庙"亚式"），则①、②、③、④类均占重要地位，并且除胶黄铁矿单硫矿石外，各类矿石发育齐全。各头旺"亚式"中仅有第⑤类矿石。矿体规模以复合矿体和似层状体最大，由小铜官山-松树山连续长达千余米，延深达500 m 以下，厚度自10 m 以上至于100余米（复合矿体膨大部分），一般10～20 m，构成本矿区的主体。铜矿体向外（北部）还可见黄铁矿-胶黄铁矿单硫矿体继续延展。单一的接触带矿体一般都不大，很少能达到中型规模。矿石中除铜、硫、铁等主要有用组分外，还伴有数量可观的金、银、硒、碲及少量铂族元素。②及③类矿石还含有相当量的钴，①及⑤类矿石中有极不均匀的钼矿化。全区铜品位平均1%。各类矿石中微量元素含量见表2-90。

矿石结构构造

夕卡岩型矿石呈交代熔蚀、固溶体分离和半自形粒状结构，脉状、块状构造；复合型矿则具草莓状、变晶残余和交代结构，层纹状、皱纹状、条带状和块状构造；老庙基山石英脉型矿则主要为粒状和固溶体分离结构，细脉浸染状构造。

矿石矿物 矿石金属矿物主要有磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿等。

围岩蚀变 围岩蚀变主要有夕卡岩化、滑石蛇纹石化、黑云母化和绢云母化。

四、成矿作用

（一）接触变质

本区各矿段（床）均产在广泛发育的接触变质岩中。区内各类岩石均经受不同程度热变质，形成各种大理岩，角岩、石英岩及重结晶灰岩（白云岩）、角岩化砂页岩、重结晶硅质岩等，并出现含量不等

表2-90　铜官山铜矿各类型矿体中微量元素含量表（w_B/10⁻⁶）

Table 2-90　Average content of trace elements in different types of ore bodies in Tongguanshan Copper Deposit（w_B/10⁻⁶）

矿体类型	含铜石英闪长岩	含铜石英脉	含铜夕卡岩	似层状矿体
样品数	1	33	18	9
Mo	1.5	18.7	6.01	7.38
As	3	51.0	151.9	189.2
Se	0.2	2.47	0.93	1.59
Hg	0.05	0.10	0.048	0.0233
Au	0.02	0.111	0.233	0.0511
Pb	<10	41.7	51.83	69.9
Ag	6	10.12	8.19	5.3
Bi	<3	28.03	49.42	47.7
Ni	<3	22.0	25.33	34.2
Be	0.777	4.37	32.27	10.8
Co	10.01	29.1	74.99	37.4
Cr	72.4	64.8	17.25	37.8
Sr	934	116.5	25.75	80.7
V	73.76	94.1	95.98	84
Zn	197.6	454.1	479.8	550.3
Mn	360	894	2691	1646
Ti	4820	4516	773	1619
K	40790	34230	2430	12502

的硅酸盐矿物，基本上是一种等化学变质作用。变质晕最大的水平宽度可达500 m 以上。胶黄铁矿层可能也在此阶段向着热源方向递变为黄铁矿和磁黄铁矿。

（二）热液蚀变

接触交代作用取代了热变质作用，热流体沿黄龙组白云岩段（特别是其底部）生成镁夕卡岩。在灰岩与岩体接触带周围产生钙夕卡岩，环绕岩体周围呈环状分布，自内带向外带由夕卡岩化石英闪长岩-（内夕卡岩）—钙铁榴石夕卡岩—钙铁榴石、次透辉石夕卡岩—（透辉石±硅灰石夕卡岩）—夕卡岩化（硅灰石化-透闪石化）大理岩。早期夕卡岩化阶段矿化很微弱，但它对后续成矿作用的控制意义很大。

氧化物阶段：晚期夕卡岩化与磁铁矿化及白钨矿化相当。在钙夕卡岩中，阳起石、绿帘石等与磁铁矿（及少量硫化物）分别或集合充填于早期夕卡岩矿物晶隙间并交代它们。在镁夕卡岩中主要为金云母化、透闪石化-阳起石化及滑石化，亦有磁铁矿发育。磁铁矿体主要堆积在夕卡岩带外侧，交代或充填夕卡岩及大理岩而成。

石英硫化物阶段。硫化物阶段伴随的围岩蚀变很复杂，在岩体中表现为黑云母化、硅化（下部）及绢云母绿泥石化、硅化（上部），下部石英测温资料为380℃（均一法）。在钙夕卡岩中主要为绿泥石化、硅化，石英中包裹体测温资料为375℃（均一法）。碱性长石化（“红长石化”）在二者中均可见及。镁夕卡岩中蚀变较复杂，与早期蚀变叠加在一起自成一套组合，由接触带向外依次出现：（岩体边缘相）—金云母化—滑石化—蛇纹石化—未蚀变白云岩，相应的爆裂温度为（850℃）—540℃—380℃—340℃—无爆裂温度（以上测温资料均据黄华盛等，1981）。

石英硫化物阶段为本区硫化物的主要活动期，磁黄铁矿和黄铁矿为本阶段最主要的硫化矿物，分

布于整个接触交代-热液蚀变相带中，但有一定的富集地段。在接触带矿体中它们主要堆积于外接触带近大理岩一侧，可组成块状硫化物矿石，其中黄铁矿的富集又常较磁黄铁矿更靠外侧一些。在似层状矿体中情况类似，在磁铁矿-金云母带的外侧，依次出现（磁铁矿带）-磁黄铁矿带-黄铁矿带（胶黄铁矿层），伴有（滑石化）-利蛇纹石化-叶蛇纹石化的蚀变，但其分带水平宽度要较接触带矿体大得多。黄铜矿的主要沉淀期在磁黄铁矿期之后，其分布范围与之大体相当或略小。无论是接触带矿体或似层状矿体，它都以近接触带的磁铁矿带最富，而两侧逐渐减弱。

碳酸盐化阶段：与岩浆作用关系不明显，矿区边缘有些铅锌矿化可能与之有关。

上述不同阶段变质交代产物有规律地交替和叠加，可归纳为一个理想的综合分带模式：岩体→蚀变石英闪岩带→夕卡岩化石英闪长岩带→内夕卡岩带→外夕卡岩带（或金云母滑石蛇纹石）带→磁铁矿带→磁黄铁矿带→黄铁矿带→（夕卡岩化大理岩带→大理岩带）/（黄铁矿、胶黄铁矿→胶黄铁矿带）→灰岩（白云岩）。Cu矿化主要分布在外夕卡岩带至黄铁矿带或夕卡岩化大理岩带中，其次在蚀变石英闪长岩中。Mo矿化出现于蚀变石英闪长岩至外夕卡岩各带，Pb、Zn矿化偶见于黄铁矿带至大理岩带间。在离开接触带的似层状矿体中，由底板至顶板出现：角岩→滑石蛇纹石岩→磁铁矿→（夕卡岩）→磁黄铁矿、黄铁矿→大理岩的分带特征。以上各带在不同地段发育程度不一，可相互重叠或缺失，尤以“小-庙亚式”的复合矿体中情况最复杂。

五、成矿物质来源及热液流体性质及成矿特征

（1）铜矿化都富集在接触带中或层间滑动带近岩体一侧及其与断裂带交汇部位，显示了矿质从下部带入的面貌。围岩胶黄铁矿层含铜很低（0.01%），也不存在热液淋滤迹象，相关分析表明铜矿体中Cu与Fe、S的相关性远不及胶黄铁矿层，由此可以推论铜的主要来源不是胶黄铁矿层，也不是下伏志留系及泥盆系砂页岩，而是Cu主要来自深部岩浆。根据铜矿化在空间上与岩体密切共生，且围绕岩体有分带趋势，时间上矿化紧接着夕卡岩化之后而伴有强烈热液蚀变，岩体本身含铜丰度亦高（可达119×10^{-6}）。铅同位素年龄值矿化（204～150.5Ma）与岩体（150Ma）相近。铅同位素组成较低的μ值（9.36），含放射性铅少，显示了深源特征，与岩体锶同位素初始比值所表示的深源特征相符。所有这些资料均表明岩体和铜都是来自同一深源的推论的正确性。

（2）据硫同位素组成测定结果，并通过对矿液$\delta^{34}S_{\Sigma S}$的推算，各种产状的矿体及不同硫化物有如下关系（表2-91）。直方图呈塔式分布，但松树山具分散较宽特征。总体上讲自岩体向外重硫有增加趋势，

表2-91　矿体硫同位素组成表

Table 2-91　Sulfur isotope composition of ore bodies

矿体	$\delta^{34}S_{\Sigma S}$‰	$\delta^{34}S$（区间 平均）‰	黄铁矿	磁黄铁矿	黄铜矿
接触带矿体	2.7	1.05～3.74 2.44	3.76	2.4～2.86	
似层状矿体	6.0	2.29～7.14 3.8	3.17～4.47	2.29	
下部石英闪长岩矿体	3.47	2.85～3.46 3.21	2.85	3.32～3.46	

但具体情况仍很复杂。以松树山矿体中黄铁矿为例，平均$\delta^{34}S$值依粗晶-细晶-胶状顺序递增，但有时在同一地点测得的顺序恰巧相反。单就胶黄铁矿来说，远离岩体的单硫矿石中一般为4‰～6‰左右，但向着岩体方向进入铜矿体中时急降为+0.1‰～+1.6‰，低于同一地段的细晶及粗晶黄铁矿，甚至低于岩体中黄铁矿。对此可能作出不同解释。据黄华盛等（1985）的意见，本区可能有两种成因硫，早期沉积硫以胶黄铁矿为代表，$\delta^{34}S$在+5‰～+6‰，系海水硫酸盐（为石膏）还原产物，随着因接触变质而晶化增强，重硫递减；后期热液硫具较低的$\delta^{34}S$值（石英闪长岩两个样平均值为+2.35‰），两者相互

叠加作用而出现复杂的过渡状况。这一解释似可得到蛇纹石包体 SO_4^{2-} 含量的佐证，但对 Ca 含量的变化仍不能充分说明(表2-92)。关于两种硫在矿区中各自所占的比重目前尚难测算，如仅根据胶黄铁矿层厚度，它在铜矿体中很难超过1/4～1/2；至于热液硫是否还包括因岩浆-热液硫体吞蚀或地下水转移的沉积硫，也不应排除，但它们无疑地都卷入同一的岩浆-热液系统。

(3) 含矿流体性质　部分包裹体成分及氢氧同位素组成测定数据见表2-93。

表2-92　矿体流体包裹体成分表（mg/kg）

Table 2-92　Composition of fluid inclusion in ore

矿物	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
石英	0.8	8.9	1.2
蛇纹石	22.4	23.1	12
石英	6.1	46	1.5

表2-93　矿体包裹体成分及氢氧同位素组成表

Table 2-93　Features of ore-bearing fluids

样品位置	矿物	爆裂法温度 ℃	$\delta^{18}O_{矿}$ ‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$ /‰	δD_{H_2O} /‰	pH 值	E_h 值	盐度 ω(NaCl) %	Σ阳离子① mg·kg^{-1}
接触带矿体	石英	324	15.44	10.86					
	磁铁矿	510	3.84	9.94	-87.7	8.32	0.59V	4.17	12.9
	石榴子石	640	3.92	7.92					
似层状矿体	磁铁矿	540	5.85	11.77		8.00	-0.51V	14.66	30.5
	蛇纹石	425	7.97	9.87					
下部石英闪长岩体	石英	355	11.84	6.90	-68.0	8.22	-0.47V	19.71	60.8
岩体	石英	500	9.93	7.45					
	磁铁矿	550	1.49	7.36					

① 离子包括 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}（液相）

含矿流体具还原-偏碱性（主要指硫化物阶段），碱金属量较高，$w(CaO)>w(MgO)$，$w(Na_2O)>w(K_2O)$，并含多量的 H_2O、CO_2及 H_2、CH_4、N_2等。由下部向浅部，阳离子及 CO_2渐减，H_2O 渐增。水平方向上由岩体→夕卡岩→磁铁矿→热液蚀变矿物，温度递减，$\delta^{18}O$ 递增；垂直方向上由深部至浅部，同一期矿物中也出现同样趋势。根据 δD_{H_2O}及 $\delta^{18}O_{H_2O}$数据，深部点落在泰勒岩浆岩水范围内，浅部亦接近岩浆岩水范围，但具地下水（或建造水）混入性质。

六、成矿特征

(1) 接触变质阶段开始形成的热流体（包括加热活化的建造水），逐渐聚集在接触带及相邻改造带中，即过渡到接触交代阶段。由于温度降低，硅酸盐的大量晶出，成矿组分的进一步富集，热流体逐渐进入到热液成矿阶段。这和 Einaudi 等（1982）对夕卡岩形成演化过程的描述大体相当，它们组成了本区完整的夕卡岩体系。

(2) 整个热流体的活动过程既是连续的又是分阶段的。硅酸盐（夕卡岩）阶段形成于高温，向着高 fs_2、低 fs_2、弱碱性介质方向演化。氧化物阶段在空间上相对收缩，并向着 fs_2继续升高（但尚未达到赤铁矿大量堆积），fs_2略有升高，温度和碱度相对降低方向演化。硫化物阶段在空间上大规模扩展，并向着温度和 fs_2降低，高 fs_2，偏碱性方向演化。早期热液富铁、硫，不同形式的硫化铁矿物作前进式分带，但黄铜矿沉淀时则由退缩到以近接触带为中心。整个过程处于温度由高到低，空间上由收缩到扩展，

中碱性到碱性，fs_1与fs_2交替变化的演化条件中，形成了一系列矿物组合的带状分布和相互叠加。以岩体为热源的温度和硫、氧逸度的变化起着控制作用。

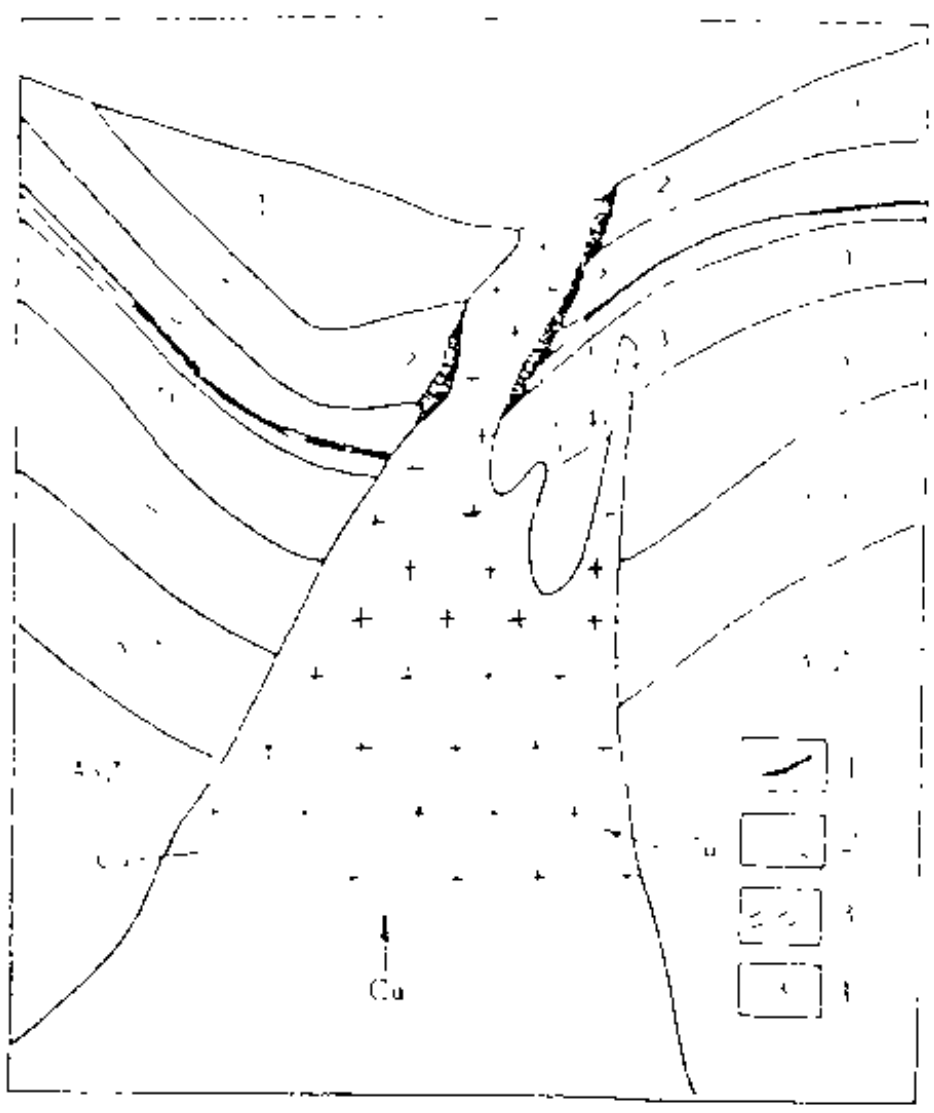


图2-132 铜官山成矿模式示意图

Fig. 2-132 Scheme of ore-forming model in Tongguanshan copper deposit

（据王之田等）(after Wang Zitian et al.)

1—块状矿体；2 浸染状矿体；3—脉状矿体；4 矿体类型：①沉积改造型：松树山、老庙基山、小铜官山、老山、宝山矿段；②夕卡岩型：笔山、罗村、白家山矿段；③斑岩型：东石门矿段；④石英脉型矿段：老庙基山矿段；其余为地层代号

（3）成矿物质主要来源于深部，与角闪闪长岩→石英闪长岩→二长岩钾质演化岩浆系列同源，部分硫铁矿及少量铜可能来源于黄龙组下部胶黄铁矿层。从早期到晚期、从内带向外带，从深部到浅部，含矿流体从以岩浆水为主到有部分地下水（建造水）的混入。石英硫化物阶段空间分布上的大规模扩展，可能与岩浆水大量进入围岩后与建造水的混合有关。晚期岩浆水逐渐枯竭，广泛存在的建造水乘虚而入，在碳酸盐阶段可能起着重要作用。但此时主要成矿期已经结束，因此就主矿体成矿作用而言，深源物质及岩浆水仍居主导地位，并以岩体为中心、以接触-断裂构造为通道、以有利岩层（包括胶黄铁矿层）为沉淀介质，形成了具有一定特色的“Q”—“Y”形交代矿化套。建造水及其携带物都卷入统一的热液系统中。但它的加入，对于改变系统的物理化学条件，促进矿石堆积可能有重要意义。

（4）从岩体向围岩方向，出现石英闪长岩中铜矿体→接触带铜（铁、硫）矿体→外接触带似层状铜、硫（铁）矿体的三元组合（套）；从深部向浅部，随着围岩层位及岩性的差异，则表现了石英闪长岩中及其与五通组接触带上的铜矿体（矿化）→中石炭统中铜、硫（铁）矿体→上石炭统—二叠系中铜（铁、硫）矿体的三元组合（套）。这两种“二位一体”模式尽管顺序不同，其实质则一，均系以岩体为中心的成矿作用的一个侧面。

（5）因而，本区是在典型夕卡岩体系中完成的成矿作用，在分类上置于夕卡岩型是合适的。

但这一作用不应孤立地局限于传统的岩浆-热液概念而排除成矿物质多源的可能性。相反地，应把此种多源性视为夕卡岩型矿化富集的正常途径，这已为许多矿床（包括某些接触式矿床）的研究所证实。同理，也不应因其多源而排斥其为夕卡岩型。从这一意义上讲，铜官山在夕卡岩型铜矿床成矿作用中也是具典型性的。其成矿模式见图2-132。

第十三节 安徽铜陵冬瓜山铜矿床

一、大地构造单元

冬瓜山铜矿床属铜陵地区狮子山矿田的一个最主要的铜矿床。铜陵地区大地构造单元属于扬子准地台下扬子台坳中部。

二、矿区地质

（一）地层

矿区地表为第四系覆盖，上泥盆统到中三叠统（D_3w—P_2d—T_1y—T_2d）均由钻孔揭露。矿田内赋矿层位多，自石炭系—三叠系各组地层均有规模不等的工业矿体产出，冬瓜山矿床的赋矿层位为石炭系中上统黄龙组和船山组（C_2）及三叠系下统殷坑组（T_1y）。赋矿地层的主要岩性特征简述如下：

1. 石炭系上统黄龙组、船山组（C_2）

该层是冬瓜山铜矿床主要矿体的赋矿部位，厚59～73 m。岩性特征为：下部暗灰色厚层白云岩，底部灰褐 棕灰色由泥砂质胶结的石英细粒岩，厚3～11 cm。中部为浅 深灰色中厚-厚层状灰岩。上部为灰白-浅灰色厚层状石英岩和深灰色具球状构造的石灰岩。下部变质后为灰白色白云质大理岩及白云石大理岩。中上部灰岩变质成糖粒状大理岩。变质强烈地段则分别蚀变为镁质夕卡岩及钙质夕卡岩。

2. 三叠系下统殷坑组（T_1y）

本组厚110～145 m。下部为青灰色薄层状泥灰岩、浅黄色钙质页岩夹薄层 中厚层及透镜状灰岩，上部以浅褐-黄褐色钙质页岩夹薄层-中厚层灰岩。顶部为灰色厚-巨厚层灰岩，厚8～30 m。变质后下部为灰褐色透辉石角岩、硅质角岩，夹大理岩、透辉石石榴子石夕卡岩，底部为黑云母角岩夹长英质角岩。上部为角岩夹大理岩，或由夕卡岩、角岩、大理岩三者组成不等厚互层；顶部为白色厚-巨厚层状大理岩，与岩体接触带附近常蚀变为块状夕卡岩。

（二）构造

矿田位于大通—顺安复向斜之次一级褶皱青山背斜北东段，与铜陵 -戴家汇东西向构造岩浆带的复合部位（图2-133）。背斜全长22.5 km，宽约8 km，为一不对称短轴褶皱，走向40°～50°，平面上呈"S"形。矿田部分背斜长约4 km，轴面倾向南东，北西翼较南东翼陡，受后期叠加构造影响，－400 m 标高以上，背斜轴部形态复杂，呈双峰或多峰，局部向 NW 斜歪或倒转，－400 m 标高以下逐渐舒缓开阔，形态简单。在背斜轴部及南东正常翼，岩性岩相差异较大的界面，发育虚脱构造和层间裂隙构造，垂向上由下向上规模依次递减。层间虚脱构造和裂隙构造是多层矿化的重要控矿构造，尤其是与 EW 向及 NNW 向横跨褶皱的叠加复合部位成矿更为有利。

矿田内不同时期的断裂构造发育，由 EW、SN、NNE 和 NW 向断裂，构成复杂的网格状断裂构造格架，不同时期和不同方向断裂的交汇处，控制了本区岩浆的侵位和岩体的分布。

（三）岩浆岩

矿田内岩体出露面积2.5 km^2，单个岩体最大为0.625 km^2。岩浆岩体受网格状构造控制，并在不同标高互相沟通，构成长3 km，宽约1 km 的浅成—超浅成相的网格状岩墙-岩枝系，浅部，中深部岩浆主要沿南北、北北东向断裂侵入，呈小岩枝及岩墙产出，推断深部为"母子式"复式大岩体。据 Sr、H、O、S 同位素组成特征（据全岩样分析结果，Sr 同位素初始比值为0.7095，$\delta^{18}O=9.90‰$，$\delta D=95.07‰$），推断岩浆来源于地壳深部，为壳幔同熔型岩浆。K-Ar 法同位素年龄147～160Ma。

侵入岩主要为钙碱性系列的石英二长闪长岩、花岗闪长岩，次为碱性系列的辉石二长闪长岩及石英二长闪长岩。晚期脉岩有闪长玢岩、花岗斑岩、花岗闪长斑岩、煌斑岩、辉绿岩。

钙碱系列侵入岩的 SiO_2 含量在59.01%～61.64%，碱性系列为50.81%～57.32%，其碱值均超过中国同类岩石的平均含量，且 Na_2O 含量大于 K_2O；碱度系数[$w(Na_2O+K_2O)/w(FeO+Fe_2O_3-MnO-MgO)$]介于1.1～1.4（前者略高于后者）。各岩体的微量元素丰度较高，亲铜元素中以 Cu、Au 丰度较高，Cu 在65×10^{-6}以上，最高达355×10^{-6}；Au 一般在（2～10）$\times10^{-9}$之间，最高达21×10^{-9}。

本矿田铜、金、硫矿床与岩浆岩关系密切，主要为钙碱性系列的石英二长闪长岩、闪长岩和花岗闪长岩，其次是碱性系列的辉石二长闪长岩和石英二长闪长岩。岩墙-岩枝网格所形成的封闭、半封闭构造，常为矿床就位空间。

三、矿床地质

（一）矿体特征

冬瓜山矿床平面上分布于大团山矿床之北，剖面上位于大团山的深部。

1. 矿体的分布、形态、产状及规模

该矿床是狮子山矿田内赋存于 C_2 层位中、规模最大的矿床（图2-134）。主矿体长3000 m，宽200～800 m，厚度一般30～45 m（在背斜轴部及岩体旁侧较厚，最厚达85 m），呈似层状，作缓倾斜产出。底板为 D_3w 粉砂质页岩（变质为角岩），顶界可跨至栖霞组（P_1q）的下部，底界下越五通组（D_3w）顶部。矿体产状与围岩一致，形态呈鞍状，沿走向受次级隆起的影响，呈波状起伏。向北东倾伏，倾伏角

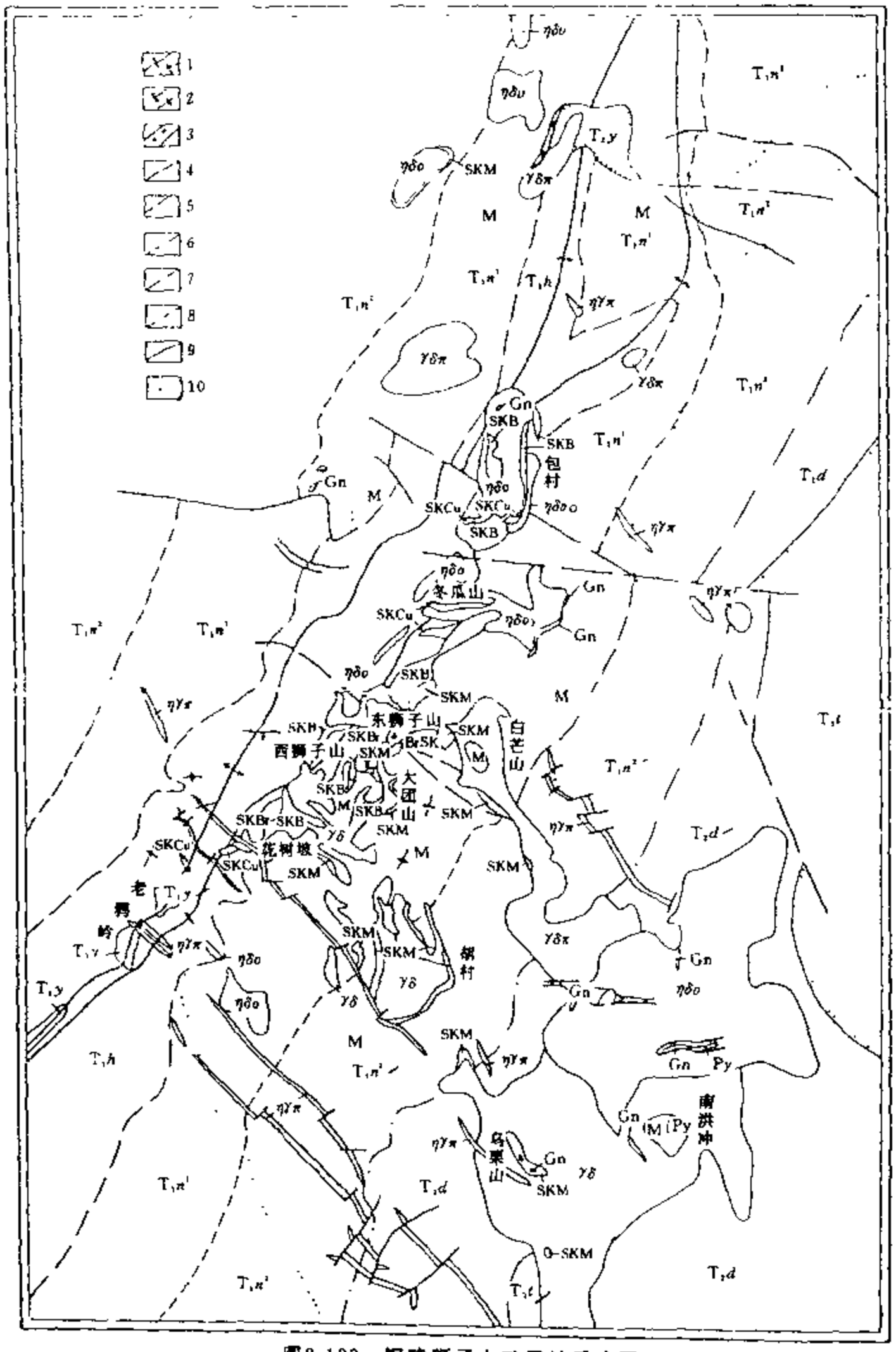


图2-133 铜陵狮子山矿田地质略图

Fig. 2-133 Geological map of Shizishan ore field in Tongling

T_2t—铜头尖组；T_2y—月山组；T_2d—东马鞍山组；T_1n^2—南陵湖组上段；T_1n^1—南陵湖组下段；T_1h—和龙山组；T_1y—殷坑组；$\eta\delta\upsilon$—辉石二长闪长岩；$\eta\delta o$—石英二长闪长岩；$\gamma\delta$—花岗闪长岩；$\gamma\delta\pi$—花岗闪长斑岩；$\eta\gamma\pi$—二长花岗斑岩；M—大理岩；SKB—条带状夕卡岩 SKM—块状夕卡岩；BrSK—角砾岩筒中夕卡岩；SKBr—角砾状夕卡岩；SKCu—含铜夕卡岩；Py—黄铁矿；Pr—磁黄铁矿；Gn—铁帽；1—青山背斜双峰褶皱轴；2—小型背、向斜轴；3—破碎带；4—断层；5—不整合界线；6—地层统界线；7—地层组界线；8—地层段界线；9—地质界线；10—大理岩化界线

6°～20°。矿体埋深－800～－900 m，矿床规模为大型。

2. 矿石类型及矿石结构构造

矿石类型复杂。由矿体底板→顶板大致为：含铜角岩型—含铜蛇纹石岩型—含铜磁黄铁矿型—含铜

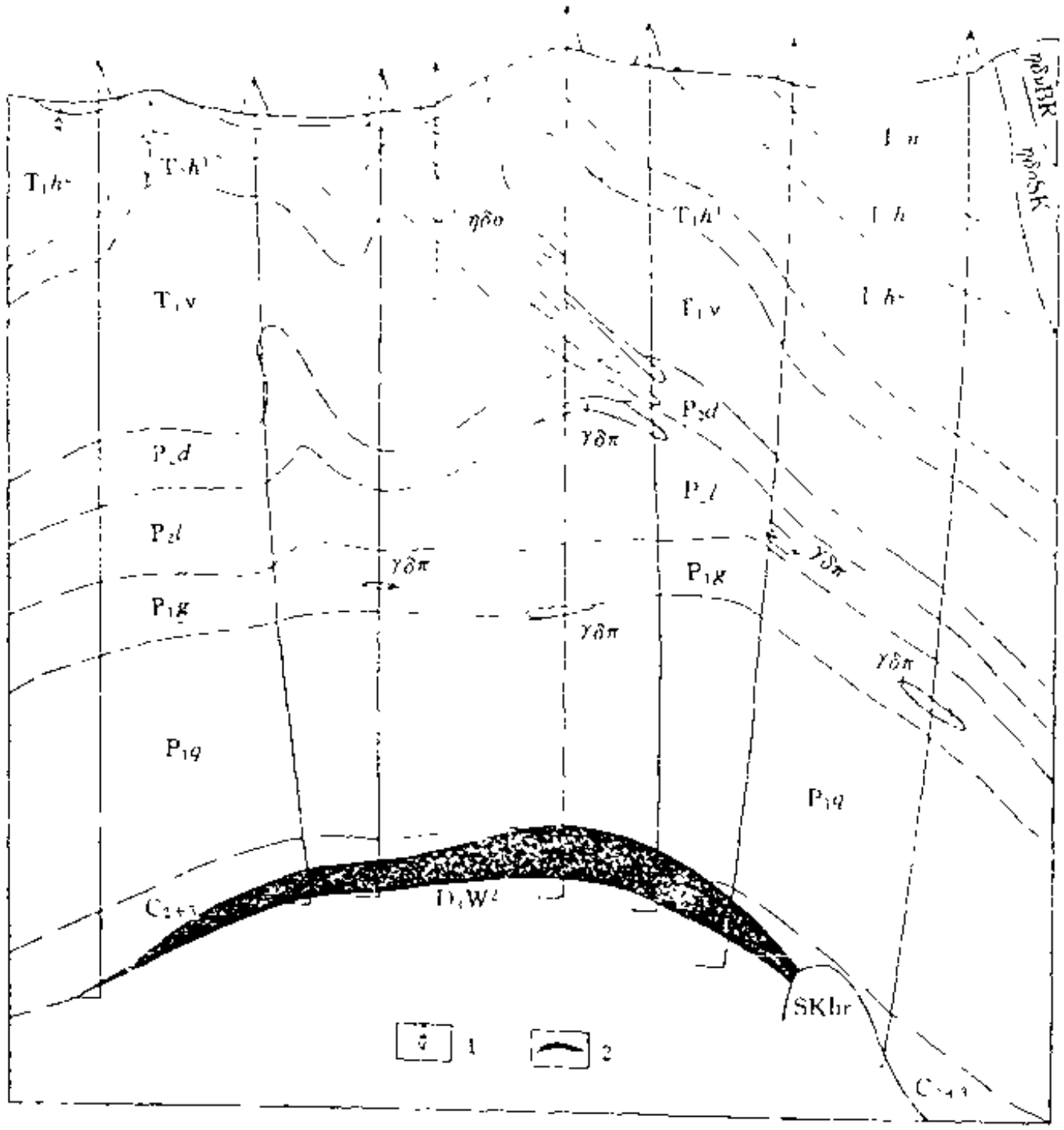


图2-134　冬瓜山铜矿58线剖面图

Fig. 2-134　Section of exploratory line 58 in Dongguashan copper deposit

Q—第四系；T_1n—南陵湖组；T_1h^3—和龙山组上段；T_1h^2—和龙山组中段；T_1h^1—和龙山组下段；T_1y—殷坑组；P_2d—大隆组；P_2l—龙潭组；P_1g—孤峰组；P_1q—栖霞组；C_2—黄龙+船山组；D_3w^2—五通组上段；$\gamma\delta\pi$—花岗闪长斑岩；$\eta\delta o$—石英二长闪长岩；$\eta\delta oSK$—夕卡岩化石英二长闪长岩；$\eta\delta uBr$—角砾状辉石二长闪长岩；SKBr　角砾状夕卡岩；1—破碎带；2　铜矿体

黄铁矿硬石膏岩型—含铜黄铁矿型—含铜夕卡岩型，在岩体边部出现含铜石英二长闪长玢岩型。含铜蛇纹石岩型稳定分布于矿体底部，沿C_{2+3}底部层位延伸，铜矿化减弱而渐变为黄铁矿层和蛇纹石化白云岩。含铜磁黄铁矿型、含铜磁铁矿型、含铜黄铁矿硬石膏岩型、含铜黄铁矿型相间出现或缺失其中一、二种类型，分布于矿体的中上部。含铜夕卡岩型主要发育于岩体旁侧，分布于矿体的顶部和中部。

矿石构造主要为层纹状、条纹状、块状、浸染状及网脉状。矿石结构有胶状、三联嵌晶、球粒、交代充填等结构。上述矿石类型的分带及矿石的结构构造显示了本矿床具有外生和内生叠加的特征。

3. 矿石物质成分

矿石矿物成分复杂，金属矿物主要有黄铜矿、磁黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿，次有穆磁铁矿、胶状黄铁矿、白铁矿、闪锌矿、方铅矿、菱铁矿及少量白钨矿、方黄铜矿、自然金、毒砂、赤铁矿、辉钼矿等。非金属矿物主要有石榴子石、透辉石、透闪石、蛇纹石、硬石膏、滑石、石英、方解石、白云石，次要矿物为金云母、阳起石、橄榄石、硅镁石、石膏、绿泥石、绿帘石、硅灰石等。

矿石组分以 Cu、S、Fe 为主，伴生 Au、Ag、Se、Te 等金属和稀散元素。矿体平均含铜1.01%，中部较富，向南西及北东方向逐渐变贫；近岩体富而远离岩体渐贫。金平均品位0.24×10^{-6}，银8.67×10^{-6}。铜在含铜黄铁矿硬石膏岩型、含铜黄铁矿型和含铜磁黄铁矿型矿石中较富，其他类型矿石中较贫。

金银主要富集于矿体中部，以含铜黄铁矿硬石膏岩型矿石中含量最高。

（二）接触变质与围岩蚀变

1. 接触变质

矿田内接触交代变质和热接触变质作用十分普遍，以中部最为强烈，形成近南北向的强变质中心，向四周随远离岩体变质程度逐渐减弱。在岩体与围岩接触带的附近，以接触交代变质为主，远离接触带则以热接触变质为主。矿区自岩体至围岩接触带大致可划分为：花岗闪长岩—夕卡岩化花岗闪长岩—内夕卡岩—块状夕卡岩—层状（条带状）夕卡岩—夕卡岩化大理岩（夕卡岩化角岩）—大理岩（角岩）—石灰岩（页岩）。围岩因其物理化学性质的差异，而有不同的变质矿物。一般砂岩变质为石英岩；白云岩、白云质大理岩变质为透闪石、橄榄石、硅镁石夕卡岩；灰岩变质为大理岩，局部为钙铁石榴子石夕卡岩；杂质灰岩变质为透辉石、石榴子石夕卡岩；泥质页岩、硅质岩变质为透辉石角岩、硅质角岩，变质强烈时为透辉石夕卡岩、硅灰石夕卡岩。

2. 热液蚀变

矿田内热液蚀变普遍，但分带不甚明显。主要蚀变有钾长石化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、绢云母化、高岭土化、蛇纹石化等，其中钾长石化、绿帘石化、绢云母化、高岭土化主要发育于接触带的岩体一侧。与铜金矿化关系较密切的蚀变主要有钾长石化、碳酸盐化、硅化、蛇纹石化等。

四、成矿作用

（一）成矿条件与成矿物质的富集

1. 沉积地层对铜矿化的控制作用

冬瓜山铜矿床主要赋矿地层 C_{2+3} 对成矿的控制作用主要有：存在有原始沉积矿层，有易被交代成矿的岩性和有利的岩性组合等三个方面。原始沉积矿层主要是中石炭世海侵初期沉积的黄龙组下部白云岩段中所夹的1～3层胶状黄铁矿层。胶状黄铁矿具草莓状、团球状结构，与白云岩相间组成层纹状构造。岩矿石微量元素 Q 型聚类分析，胶黄铁矿与同钻孔中的白云岩共群，也与远离岩体不含矿地层中的白云岩共群，其相关系数达90%。表明胶黄铁矿与白云岩为同时沉积。矿床内见有被交代残留的层纹状胶状黄铁矿，并出现硬石膏及少量的菱铁矿，胶状黄铁矿无疑是硫铁矿体的矿坯层。对铜矿体而言，则起到重要的沉淀剂或催化剂作用，促使岩浆期后的含铜热液交代沉淀而形成重要的铜矿体。碳酸盐岩是有利的成矿围岩，本矿区内白云岩、硬石膏层等蒸发岩，似乎比碳酸盐岩更为有利。D_3w-C_{2+3}-P_1q 的岩性组合为砂页岩-白云岩（硬石膏）-灰岩-页岩，易于交代的碳酸盐岩夹于顶、底板透水性差的砂页岩中，为有利于选择交代形成矿体的成矿层位。

2. 岩浆岩对铜矿化的控制作用

本矿床虽有原始沉积的胶黄铁矿层存在，但矿化主要受石英二长闪长岩体的控制，在包村及青山脚两个岩体的深部接触带，不仅 C_{2+3} 全层铜矿化，而且其上部 P_1q 灰岩及下部 D_3w 上段砂页岩亦部分夕卡岩化及铜矿化。岩体之间的矿体厚度增大，品位最富，厚度及品位均随离开岩体而递减变化。硫同位素 $\delta^{34}S$ 值也显示了逐渐降低的分带性，说明岩浆岩是矿液的携带者，为具有主导意义的矿化控制因素。

3. 构造的控矿作用

构造条件对成矿、矿体局部富集起着十分重要的控制作用。矿体主要受背斜轴部和北北东向扭转变形与层间滑脱面及东西向褶皱复合控制。背斜形成过程中伴生的顺层滑脱构造，经后期构造叠加，进一步扩大而成为贮矿空间。矿床底板 D_3w 与顶板 P_1q 标高的三次趋势面，均呈北北东向，矿体南北两端隆起，为东西向叠加褶皱的反映。P_1q 顶板趋势面轴向较 D_3w 底板轴向向北偏转较大，表明上岩层之间存在着差异滑动，层间滑脱面受到北北东向扭转复合，形成有利于矿化的虚脱空间。矿体厚度与品位的趋势面等值线，总体走向为27°和10°左右，与北北东向断裂带近于一致，说明矿化与富集受控于断裂带。陡立的断裂带、D_3w 与 P_1q 之间的层间滑脱构造、有利的物理、化学空间是形成厚度稳定、延伸大的矿体的重要构造控制因素。

综上所述，冬瓜山矿床的成矿条件是岩浆热液携带来铜矿物质，C_{2+3} 提供地球物理化学空间、硫及少部分铜源，北北东向构造应力场是矿液的上升驱动力，北北东向扭转变形和背斜轴部的滑脱面、东

西向构造的复合叠加，控制了矿液的分布及富集规律。

（二）成矿期、成矿阶段的划分

本矿床矿体的形成可划分为沉积成岩期和岩浆热液作用期，以后者为主，又可进一步划分为变质、夕卡岩化、氧化物、石英硫化物4个阶段。各阶段的矿物组合和元素组合具有较明显的差异。

沉积成岩期。中石炭世早期处于潮坪泻地环境，在岩相变化部位沉积了胶黄铁矿层及硬石膏层。在沉积成矿过程中，由于细菌的参与作用，形成了具球状、草莓状结构的黄铁矿，构成了本区成矿的基本条件。

岩浆热液作用期。本区广泛发育热变质晕，在此基础上叠加后继的接触交代和热液作用。

变质阶段：岩浆侵入使围岩发生变质作用，高位大岩体是主要热源，形成了大范围的变质晕。热梯度则取决于岩体的大小和形状。泥质岩经热变质形成角岩，灰岩形成大理岩，不纯白云岩则形成铁镁硅酸盐岩石等。原生胶黄铁矿受到改造，组构由胶状-细微晶-粗晶，纹层状-条纹，条带状-块状，在成分上则由胶黄铁矿-黄铁矿-磁黄铁矿-磁铁矿。

夕卡岩化阶段：随着岩浆的降温固结和气液热液体的聚集，接触交代作用取代了热液变质作用。热液体沿断裂构造、接触带、层间滑脱构造等活动，当热流体沿层间与钙镁质岩石发生交代作用，可形成层间夕卡岩，黄龙组底部白云岩段则生成镁夕卡岩。早期形成的镁橄榄石、透辉石，受后期热液影响常见金云母、蛇纹石、滑石等，随温度降低，H_2O 作用的增大，橄榄石向滑石、蛇纹石转化。热流体与灰岩交代则形成由石榴子石和透辉石组成成分简单的钙夕卡岩。层状夕卡岩的发育程度基本上取决于三个条件：含 SiO_2 的高温热液，以提高必要的 SiO_2 来源；有良好的空隙度和渗透率的易交代岩性；上、下层中有不透水层，以限制热液液体沿透水层作横向流动与围岩交代。

氧化物阶段：该阶段为高 f_{O_2} 低 f_{S_2} 环境，主要标志矿物为磁铁矿及含水硅酸盐类矿物，磁铁矿可构成独立的矿石自然类型，热液中 K_2O 增加则出现金云母，热液碳酸岩矿物，主要为方解石及少量铁方解石或菱铁矿。

石英硫化物阶段：为主要成矿活动阶段，含矿热液沿有利构造部位上升，由于温度降低，硫质加入和地层水等外来溶液的混合，促使成矿物质的络合物不稳定而沉淀。在还原条件下，含铜物质在磁铁矿、石榴子石等矿物中沉淀下来。矿物晶出的顺序主要为辉钼矿-磁黄铁矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿。其中磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿具多期性。伴生的蚀变矿物主要有石英、方解石、绿泥石、绢云母、蛇纹石、滑石、金云母、钾长石等。硫化物除浸染于夕卡岩及硬石膏夹层中外，在夕卡岩之外尚形成大量块状硫化物矿石。自岩体向外，磁黄铁矿-黄铁矿有互为消长的趋势，黄铜矿也随之相应递减；在垂向上，自下而上为角岩（或蚀变石英二长闪长岩）—滑石蛇纹岩—磁铁矿-块状硫化物（±硬石膏）-石榴子石夕卡岩（±硬石膏）。黄铜矿化主要分布于滑石蛇纹岩至石榴子石夕卡岩中，次为角岩或蚀变石英二长闪长岩。

（三）成矿物质和含矿流体来源

根据矿床和稳定同位素地球化学特征，本区铜矿成矿物质主要与岩浆作用有关，主要依据如下：

1. 冬瓜山铜矿床中黄铜矿与石英二长闪长岩、区域黄龙组（C_2h）白云岩中微量元素 Q 型聚类分析谱系图，表明黄铜矿与石英二长闪长岩相关，而与赋矿围岩白云岩关系不密切。

2. 冬瓜山铜矿床中方铅矿的铅同位素组成较均一，$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为18.032～18.271，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为15.648～15.592，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为38.030～38.610，斯塔夫法计算的模式年龄与岩浆岩侵入年龄相近。

3. 本区 C_2h 底部沉积的胶状黄铁矿层含铜0.1%左右，有微量黄铜矿共生。C_2h 铜元素的丰度值为18μg/g，低于区域背景值。

4. 据 Cu 品位筛分结果，代表岩浆岩来源的 B 总体占90%，代表地层来源的 A 占10%，即90% 的 Cu 来源于岩浆热液。

关于含矿流体来源，冬瓜山铜矿床石英硫化物阶段中，矿物流体包裹体的氢同位素组成特征，石英 δD_{H_2O} 为－86.3‰～－94.3‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为＋3.1‰～＋7.6‰，接近泰勒提出的岩浆水数，代表本区岩浆热液范围。矿石中胶状黄铁矿和方铅矿的氢氧同位素，δD_{H_2O} 为－133.2‰和－139.1‰，$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为

—17.9‰和—18.6‰，代表沉积时期及晚期热液的产物。由此认为，成矿流体早期以岩浆水为主，后期有地层水加入。含矿流体为有地下水混入岩浆水的混合循环液，成矿溶液pH值为4.91～6.26，早期偏碱性。

（四）成矿温度和压力

冬瓜山矿床各成矿阶段的包裹体测温资料为：

夕卡岩阶段：石榴子石爆裂温度410～425℃；氧化物阶段：石英均一法为350～400℃，磁铁矿爆裂温度为300～365℃。硫化物矿物以硫同位素平衡计算温度：黄铁矿-黄铜矿矿物对计算温度201～434℃、磁黄铁矿-黄铜矿矿物对为190～372℃。上述测温结果显示温度区间大，表明成矿时间长，热液

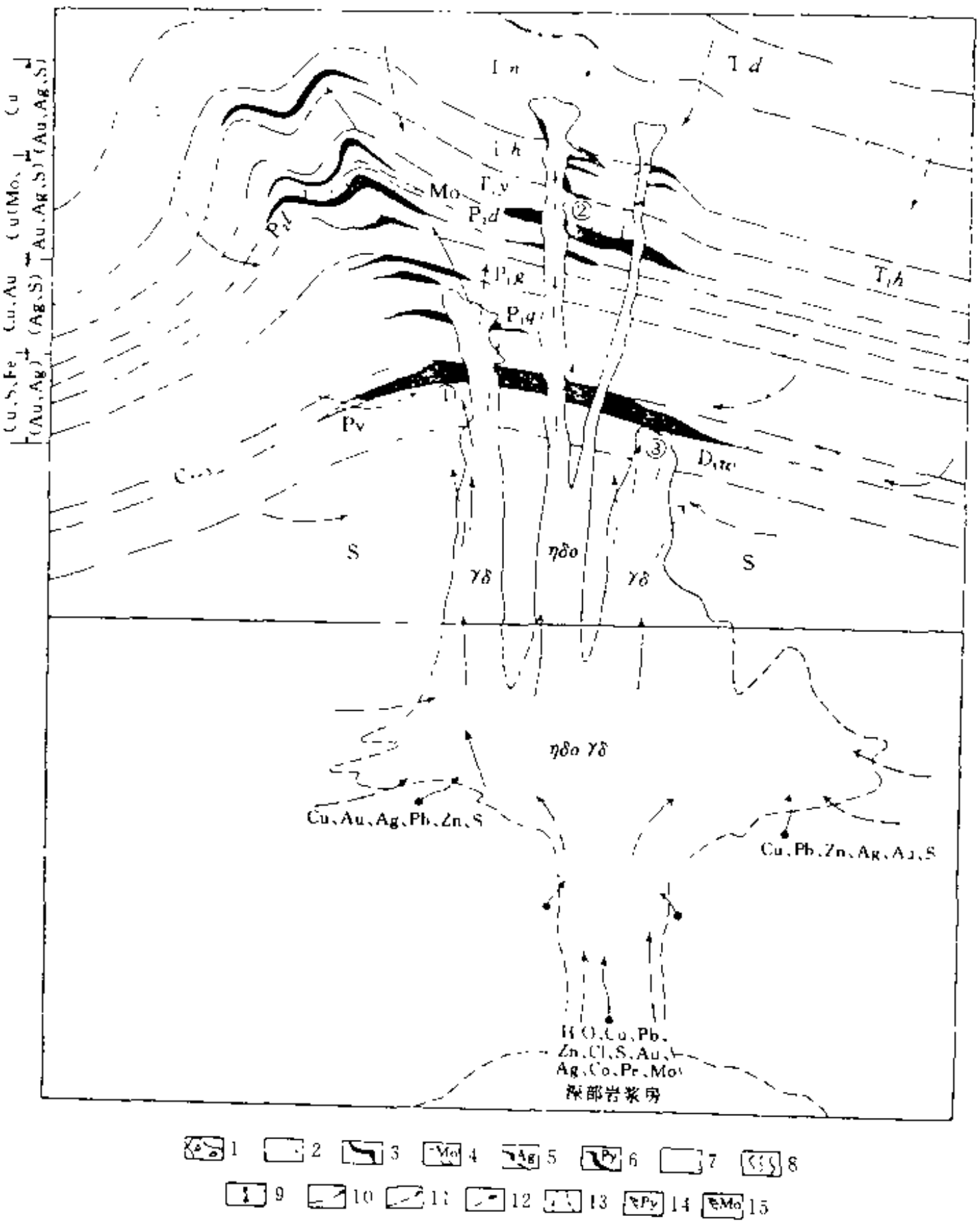


图2-135　安徽铜陵狮子山矿田成矿模式

Fig. 2-135　Metallogenetic model of Shizishan ore field in Tongling area

T_2d—东马鞍山组；T_1n—南陵湖组；T_1h—和龙山组；T_1y—殷坑组；P_2d—大隆组；P_2l—龙潭组；P_1g—孤峰组；P_1q—栖霞组；C_2—黄龙+船山组；D_3w^2—五通组上段；S—志留系；$\eta\delta o$　$\gamma\delta$-钙碱性系列；1—角砾岩筒；2—夕卡岩化范围；3-铜（金）矿体；4—钼矿体；5—银（金）矿体；6　黄铁矿矿体；7　细脉浸染型铜矿化；8—含铜石英脉；9—成矿元素；10-岩浆气液，11—地层水及天水；12—成矿流体；13—推测岩浆房；14-沉积黄铁矿层；15—沉积钼富集层；①—冬瓜山Cu、S、Fe、Au；②-大团山Cu（Au、S）；③-斑岩型铜矿化

阶段合理的成矿温度为400～200℃。

（五）矿床成因类型

鉴于成矿作用有一定的沉积物质基础，矿化主要发生在夕卡岩化之后的岩浆热液石英硫化物阶段，受层位控制特别明显，故将其成因类型确定为层控夕卡岩型。

（六）成矿模式

狮子山矿田按赋存层位，由下而上有冬瓜山、花树坡、老鸦岭、大团山、狮子山、胡村后山、鸡冠石等矿床。各矿床虽产出层位不同，但均受统一的构造、岩浆岩等因素所控制，形成“多位一体”或称“多层楼”式矿田模式（图2-135），由热液脉型、角砾岩筒型、层控夕卡岩型、夕卡岩型等组成。冬瓜山矿床代表了位于“多层楼”模式下部的层控夕卡岩型矿床。综观狮子山矿田的成矿模式具有以下主要特点：

1. 成矿主要受同熔型钙碱性中酸性岩控制，岩体浅部呈小岩枝及岩墙-岩枝状，深部为大岩体。

2. 构造在垂向上有较明显的分带现象，自深部到浅部为层间滑脱构造-接触带-角砾岩筒 断裂构造，不同构造相应控制了不同形态的矿体。

3. 成矿围岩主要为C_{2+3}—T_1h，不同的物理化学性质的岩石和岩层界面，为赋矿的有利层位。

4. 矿体以层状-似层状形态产出为主，成矿元素以Cu为主，各类型矿床间的元素组合尚有差别。

5. 矿质主要是岩浆作用的产物，含矿液体为岩浆水和地下水混合成矿液，含矿流体的驱动力主要是与岩浆侵入作用有关的热源。

五、找矿标志

（1）围岩蚀变标志：地表发育大理岩化、角岩化及夕卡岩化。硅化、钾长石化、滑石、蛇纹石化则是近矿围岩蚀变的重要标志。

（2）物化探标志：高重力（9.5×10^{-5}～$12\times10^{-5}m/s^2$）、中磁力（400～500nT）及低电阻率、高激化率等多种异常的叠加分布，高浓度分布的Cu元素与Ag、Pb、Zn、Mo、Co、Bi等元素组成的次生晕组合异常，是重要的物化探找矿标志。纵向发育程度远胜于横向的Cu原生晕，是层控夕卡岩型（冬瓜山）矿床的找矿标志。

（3）运用成矿系列的概念和狮子山矿田的成矿模式指导找矿。

第十四节　安徽铜陵狮子山铜矿床

一、大地构造单元

铜陵地区大地构造位置属扬子准地台下扬子台坳中部。

二、矿区地质

狮子山铜矿床所在地质位置参见冬瓜山矿床的矿田地质略图。

（一）地层

狮子山铜矿的赋矿地层主要是下三叠统的和龙山组和南陵湖组，其岩性及地球物理、地球化学特征见表2-94。

（二）构造

东、西狮子山矿床的地层围岩为不同力学性质的碳酸盐岩层。矿区处于大通-顺安复向斜中次级的青山背斜北东倾没端的南东翼更次级小背斜中（白芒山背斜）。沿小背斜的两翼有较大的纵向和横向断裂，他们控制了呈岩墙状的闪长岩体的分布。西狮子山矿床的西南部，纵横断裂的交汇处，是西狮子山闪长岩墙的主体赋存部位（图2-136）。小背斜的岩层组成，主要为中下三叠统条带状不纯灰岩和薄至中厚层灰岩。这些岩层在化学性质上是相近的，但其力学性质和构造性质上，则有明显的差异；在褶皱变动中，往往沿它们之间的界面产生层间破碎（剥离），形成层间破碎（剥离）带，为闪长岩枝的贯入以及接触变质-交代作用和叠加于其上的矿化作用的广泛发育创造了极为有利的条件，从而控制了沿层间破碎（剥离）带发育的似层状、透镜状（图2-136）和鞍状矿体的形成。由于不同性质碳酸盐岩层在剖面

表2-94 狮子山矿区地层（岩性）地质地球物理、地球化学参数一览表

Table 2-94 Stratigraphic scale with geophysical and geochemical parameters

地层时代				主要岩性	地层厚度/m	矿坏层	岩石密度/$g\cdot cm^{-3}$	微量元素 $w_B/10^{-6}$			
								Cu	Pb	Zn	Mo
叠系	中统	东马鞍山组	T_2d	白云质灰岩	192		2.67~2.70	20	5		17
				白云岩							
	下统	南陵湖组	T_1n	页岩（夹层）	429~569		2.58	17~25	1~52		
				薄-中厚层灰岩			2.67~2.72				
		和龙山组	T_1h	页岩	124~212	铜矿坏层	2.70	100			
				条带状灰岩			2.73~2.82	99~150	1~22	1~1.1	
		殷坑组	T_1y	页岩（夹层）	62~200		2.56~2.66	67	100	190	7.5
				砂岩（夹层）			2.20				
				薄-中厚层灰岩			2.69				

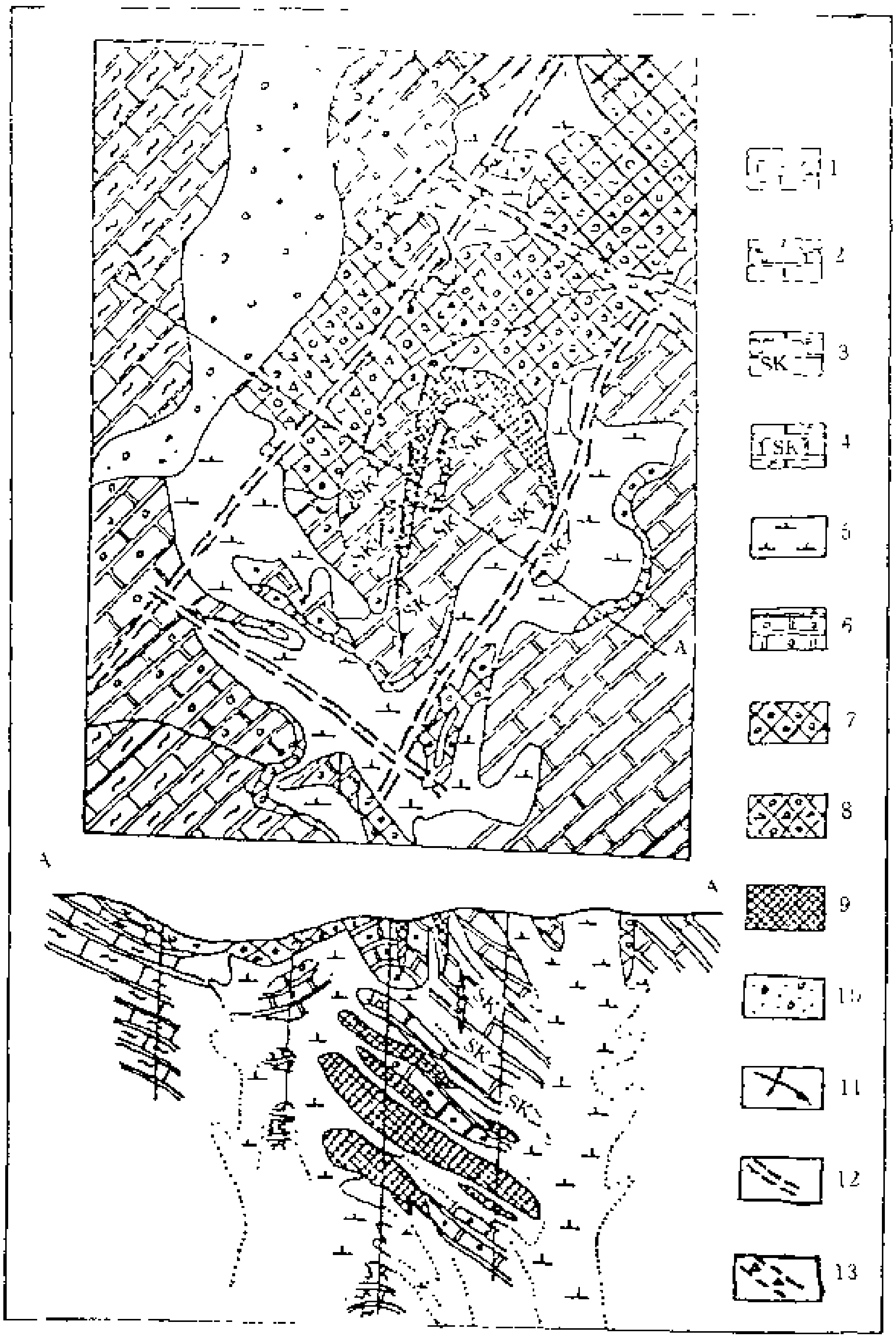


图2-136 西狮子山铜矿床地质图及剖面图

Fig. 2-136 Geological map and profile of Xishizishan copper deposit

1—大理岩化条带状灰岩；2—大理岩；3—夕卡岩化大理岩；4—夕卡岩化角岩；5—闪长岩；6—条带状夕卡岩；7—块状夕卡岩；8—夕卡岩化角砾岩；9—矿体；10—第四系；11—小背斜；12—早期断裂；13—成矿后断裂

上的交替，因而层间破碎（剥离）带及受它控制的矿体，在剖面上亦相应地呈多层次的平行排列。同时分布在条带状夕卡岩、角岩（或夕卡岩化角岩）中的张裂隙、剪切裂隙以及羽毛状裂隙，对矿脉的空间分布也有着重要的控制作用。当接触带构造与层间破碎（剥离）带成不整合关系时，矿体形态往往十分复杂，在围岩一侧常出现沿层间裂隙而发育的枝状矿体。

（三）侵入岩

本区岩浆岩沿网格状构造格架侵入，形成岩墙状侵入体及岩脉-岩枝群，在不同水平上互相沟通，组成具有特色的长达3 km，宽约1 km 的浅成 超浅成相的网格状岩墙 岩枝系。矿化均围绕此岩浆系统分布，并受这种网络控制。据深孔及物探资料推测，深部应有大岩体存在。岩浆岩为辉石闪长岩→石英闪长岩→晚期（石英）闪长岩，反映岩浆从中偏基性向中偏酸性富钾化方向演化趋势。主体含石英闪长岩属富碱的钙碱性系列，$w(SiO_2)=60\%$，$w(Na_2O+K_2O)=7\%\pm$，$w(Na_2O)/w(K_2O)<2$，$\sigma=4.82$，向深部 SiO_2 含量增高，钾化增强。K-Ar 法同位素年龄147～160Ma，个别值更大些，主体应属燕山早期，具同熔岩浆的某些特征。Sr 同位素初始比值0.7095，$\delta^{18}O=+9.90‰$，$\delta D=-95.07‰$（都为全岩样），东狮子山铜矿与辉石二长闪长岩有关，西狮子山铜矿受闪长岩制约。

三、矿床地质

（一）西狮子山矿床（图2-136）

1. 矿体产出特征

西狮子山矿床产于背斜东南翼和龙山组（T_1l）中，西南部超覆于大团山矿床之上。主矿体五层，平行产出，向东侧伏，最大者长300余米，宽200余米，厚度17 m，平均含铜1%以上。矿石主要为含铜夕卡岩，其次为含铜磁黄铁矿、含铜大理岩及含铜闪长岩等。矿床四面被闪长岩包围，派生大量岩枝，多作顺层贯入，形成巨厚的夕卡岩带，矿层即产于此种格架中。除地表有次要矿体出露外，主矿层均系地面100 m 以下盲矿体。

2. 成矿作用

矿田近20 km^2 范围内经受不同程度热变质，远超过岩墙-岩枝系范围，亦可佐证深部热源-大岩体的存在。在热变质基础上叠加的热液作用，可分为三个阶段。

（1）硅酸盐阶段。夕卡岩发育有以下特点：主要发育于岩墙-岩枝带内，以层间夕卡岩为主，西狮子山为层间反应交代夕卡岩。层间夕卡岩中，钙质夕卡岩成分简单，由石榴子石±辉石组成，水平方向基本不具分带性，垂直方向不同条带间可见不同矿物组合或粒度不同的细层带；镁夕卡岩多蚀变为滑石、蛇纹石岩，分带更不清楚。

（2）氧化物阶段。主要标志矿物为磁铁矿、白钨矿及含水硅酸盐类（绿帘石、阳起石、金云母等），活动既不广泛又不强烈。热液碳酸盐矿物（主要为方解石，可能包括菱铁矿或铁方解石）亦以此阶段活跃，反映此时高 fo_2 低 fs_2 环境。

（3）硫化物阶段是本区最主要的成矿阶段。按晶出顺序主要有辉钼矿→磁黄铁矿→黄铁矿→黄铜矿→闪锌矿→方铅矿。磁黄铁矿、黄铁矿及黄铜矿具多期次性，遍及全区。此外尚有毒砂、胶黄铁矿、白铁矿、方黄铜矿及斑铜矿等。伴生蚀变矿物主要有石英、方解石、绿泥石、绢云母、蛇纹石、滑石、金云母、钾长石等。在 P_2 及 T_1 各矿体中硫化物集合体主要分布于夕卡岩及其毗邻的侵入岩或热变质岩中，严格受夕卡岩化作用制约。和夕卡岩一样，矿物组合分带不明显，矿石类型也很单调（主要是夕卡岩型），说明是在物理化学条件相对稳定的条件下形成的，可能是一种散热缓慢而热液补给均匀的半封闭或近似封闭环境（如西狮子山的三面及四面为岩墙-岩枝圈闭）。就矿田总体而论，以上述岩墙-岩枝系为中轴，由以层间扩散夕卡岩型矿石为主，向外（主要为北西侧）变为以层间渗滤夕卡岩型矿石及块状硫化物矿石。沿走向在“中轴”中部有角砾岩筒式矿化（东狮子山，详见后文），向两端则以层间夕卡岩型矿化发育。在垂直方向上，C_2 为 Cu、S 组合，$P_1—T_1y$ 为 Cu、Mo 组合，T_1l 为单铜矿石。通过对贯通矿物磁黄铁矿的研究发现（黄民智等），下部（冬瓜山）块状硫化物中为六方相或六方相为主的双相结合，爆裂温度300～365 ℃，众值330～340 ℃；上部（指大团山。而狮子山矿床更浅些）夕卡岩矿石中以单斜相变种占优势，爆裂温度320 ℃±。且发现冬瓜山近岩体部分，有单斜相交代六方相者，蚀变温

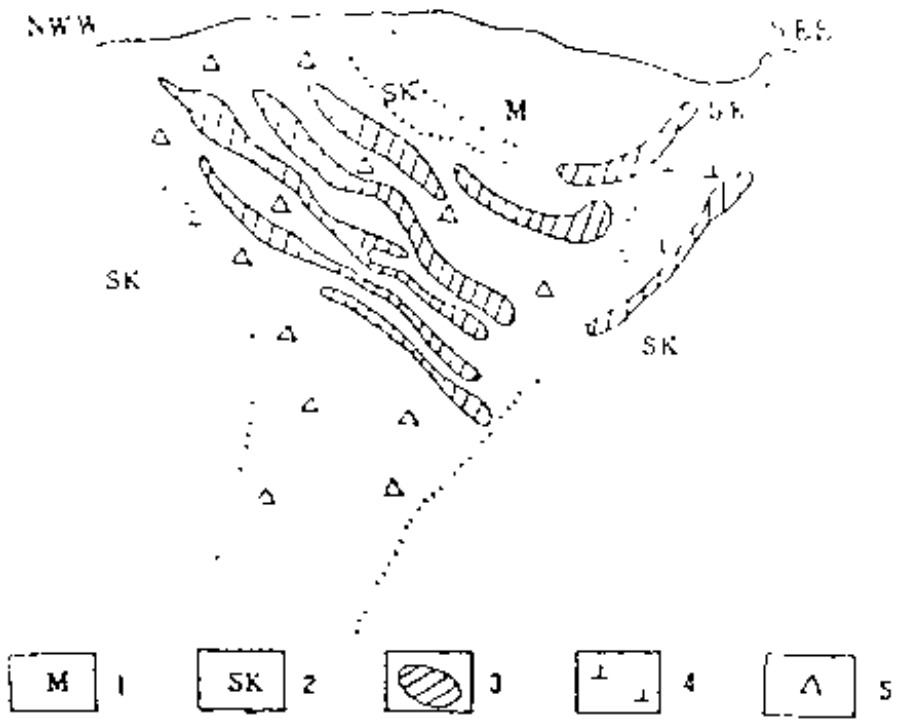


图2-137　角砾岩筒式夕卡岩矿床示意剖面图

Fig. 2-137　Sketch section of breccia chimney-type skarn deposit

1　大理岩；2　夕卡岩；3 -铜矿体；4—闪长岩；5　角砾岩筒

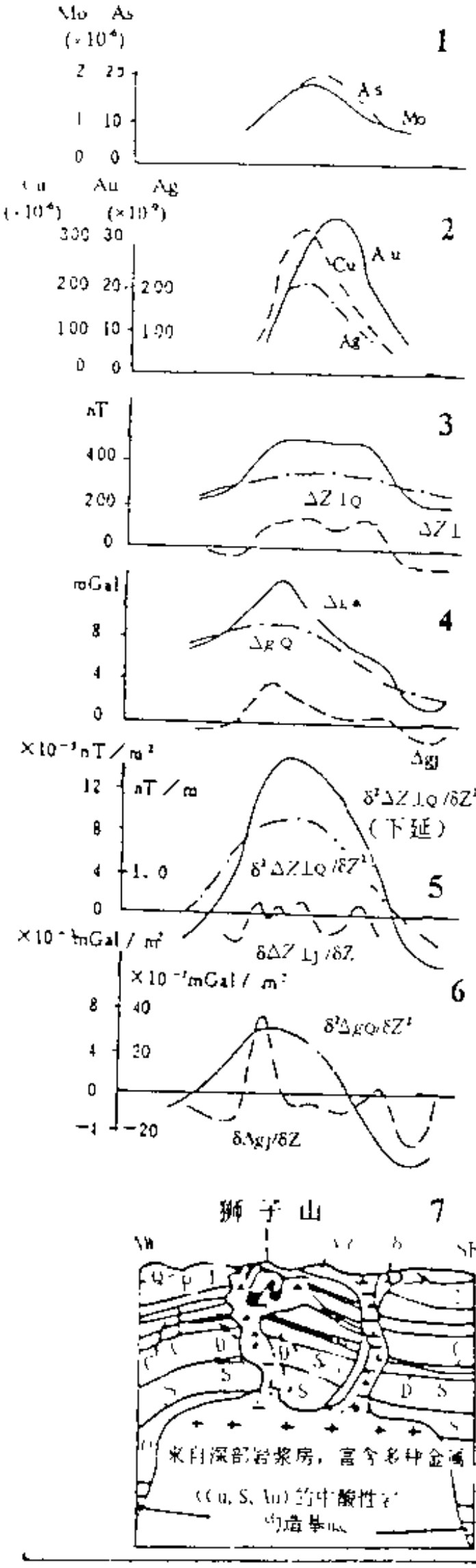


图2-138　狮子山矿床物化探异常剖面

Fig. 2-138　Section of geophysical and geochemical anomaly in Shizishan deposit

1—砷、钼元素异常；2—金、银、铜的剩余异常；3—航磁极化 $\Delta Z\perp$ 异常及其区域场、局部场；4—布格重力异常及其区域场、局部场；5—$\Delta Z\perp J$ 垂向一次导数、$\Delta Z\perp Q$ 垂向二次导数及下延2500米曲线；6—ΔgJ 垂向一次导数、ΔgQ 垂向二次导数；7—地质模型

度280～340 C，因此上部矿体不但温度较低，时间也可能较晚。此外本区深部岩体中发现有细脉浸染状矿化。表明"三位一体"式三元组合，在本区也可能以其特有的形式出现。西狮子山矿床应是层间式夕卡岩型矿床，与大团山矿床属同一类型，其成矿模式，可参见冬瓜山矿床。

（二）东狮子山矿床

东狮子山铜矿为仅知的角砾岩筒式矿床。该矿位于狮子山矿田中心角砾岩筒及其外围，受近东西向及北东向断裂控制，地表出露不规则，直径150 m。剖面为一漏斗状，延深500 m 以上(图2-137)。角砾岩筒岩性复杂，角砾成分为闪长岩、石榴子石夕卡岩及少量大理岩、角岩。角砾边界明显，多具棱角，排列杂乱。胶结物已变质为石榴子石夕卡岩（外带）和方柱石夕卡岩（内带），有时见交代残余闪长岩。筒外破碎带围岩和部分闪长岩体均有强烈夕卡岩化。

角砾岩筒的形成与闪长岩侵入有关，在早期岩浆外壳凝固后，残余岩浆大量气体聚集，形成气泡（室），造成爆发，围岩崩塌，使早期闪长岩、夕卡岩与围岩破碎成角砾，被后续熔浆胶结，同时热流体使整个角砾岩筒夕卡岩化，并以大量含挥发组分的方柱石为特征，属爆发-崩塌角砾岩筒型。夕卡岩之后，尚有晚期闪长岩脉贯入，以富含磷灰石副矿物为特征，说明残浆内气液交替频繁。

继夕卡岩化及晚期岩脉的矿化作用遍及全筒（一般含铜0.1%～0.2%），并沿不规则的原生裂隙富集成透镜状-囊状矿体群，与岩筒喇叭形产状大体一致。筒外

夕卡岩则沿着由于崩塌作用引起的次一级小背斜形成鞍状矿体群。矿石组分与西狮子山的相似，但筒内含铜低（0.7%）而含毒砂高，向筒外则含铜高（1%）含毒砂渐减，这反映爆发成矿作用的某些特点。

东狮子山矿床的成矿作用尽管规模不大，筒内矿体为小型，连筒外矿体一起才达到中型，但它在成因上却具有特殊意义。狮子山矿田乃至整个铜陵地区（甚至整个长江中下游）内夕卡岩一般都不很发育，厚度很少超过10～20m。而本角砾岩筒全部内长岩胶结物几乎都变质成方柱石-石榴子石"内夕卡岩"。与城门山角砾岩筒也有较大差别，一方面表明它是夕卡岩的一个特殊类型（硅夕卡岩），另一方面也表明夕卡岩型铜矿与斑岩型铜矿的形成条件不完全决定于围岩性质，更重要的是热流体的物理-化学条件。这也许是本区与城门山相区别的内在原因。

另据中国地质大学（武汉）张淑贞（1993）等研究，认为东狮子山铜矿床具有下列独特的特征：

（1）夕卡岩是高温、高密度、粘稠的岩浆熔融体；

（2）夕卡岩体与辉石二长岩体具有同源性；

（3）矿体与夕卡岩体具有同源性；

（1）成矿物质来源于岩浆源，硫同位素测定的绝对值小于5‰；

（5）夕卡岩矿物开始结晶温度为920℃、可见熔融包裹体，成矿温度为620℃；

（6）成矿压力相当于1～2 km 深度条件；

（7）矿石、夕卡岩具有典型的矿浆矿床结构构造。据以上特点，东狮子山铜矿床不同于一般的接触交代型铜矿床，而为夕卡岩浆型铜矿床。

（三）矿床物化探异常

狮子山矿床岩（矿）石磁性较弱，甚至无磁性，导电性亦较差，但化探异常明显，在化探找矿研究 Cu 晕异常时，应综合分析 Cu、Pb、Zn、Ag、As、Mo、Co、Ni、Au、W、Sn、Se 等元素。化探方法配合激发极化法效果比较好。在矿床上方磁、重异常弱，但经过求导演算，岩（矿）体上方异常明显（图2-138），结合化探异常，可确定找矿靶区。

第十五节　安徽铜陵药园山铜矿床

一、大地构造单元

药园山铜矿床位于扬子地台下扬子台坳内贵池-繁昌凹断褶束的中段。

二、矿区地质

（一）地层

凤凰山矿田铜的赋矿地层是三叠系下统和龙山组（T_1h）、南陵湖组（T_1n）和三叠系中统东马鞍山组（T_2d），其中以南陵湖组最为重要，药园山矿床即与该层位密切相关。

和龙山组（T_1h）：为薄至中厚层灰岩夹泥岩，厚130～180 m，其下为殷坑组（T_1y）钙质泥岩夹薄层灰岩。其上是南陵湖组。

南陵湖组（T_1n）：上段（T_1n^2）为厚层灰岩夹砾屑灰岩及薄层灰岩；下段（T_1n^1）为中厚层灰岩夹瘤状灰岩，厚84～625 m。

东马鞍山组（T_2d）：为白云质灰岩夹灰岩，厚＞215 m。其上为月山组砂岩、粉砂岩。

（二）构造

药园山矿床位于印支期形成的北东向新屋里向斜轴部偏北翼，凤凰山岩体西部的接触带上。

新屋里向斜轴部最新地层为三叠系中统东马鞍山组，向北西和南东两翼依次为下三叠统、二叠系、中上石炭统的碳酸盐岩及上泥盆统和中上志留统的碎屑岩、页岩（图2-139）。

从区域应力场分析，总体呈北东向展布的褶皱，受印支期南北向力偶作用，早期的近东西向断裂重新活动，并发生右行平移，使区域褶皱在平面上显示"S"形弯曲，在褶皱枢纽的弯曲部位，并有燕山期东西向断裂构造叠加其上，构成构造薄弱带，为岩浆上侵提供通道，在区域上形成近东西向的岩浆带，该带自西向东近乎等距出露铜官山、狮子山、矶头、凤凰山、沙滩脚等岩体。

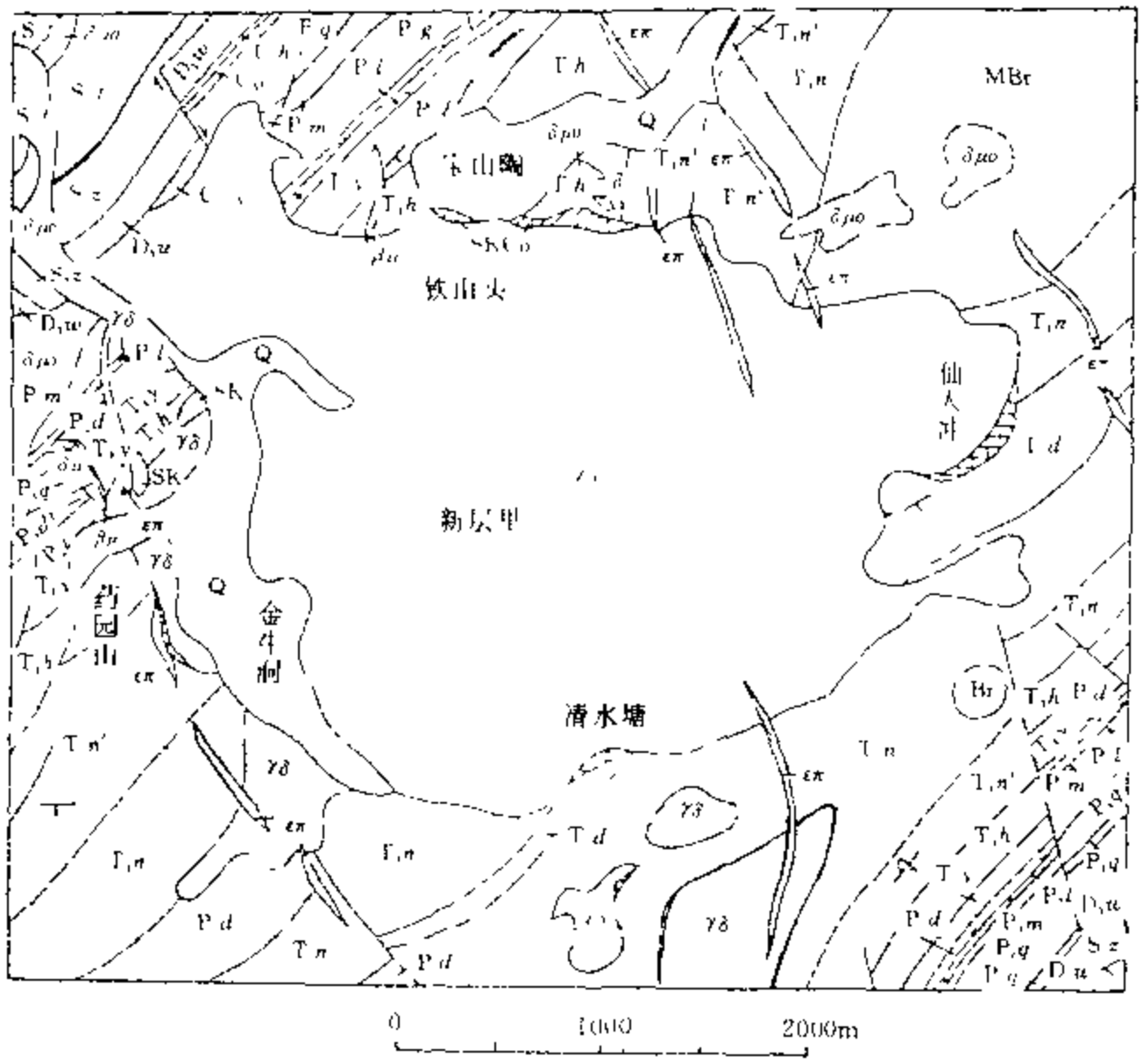


图2-139 安徽铜陵凤凰山矿田地质略图

Fig. 2-139 Geological map of Fenghuangshan ore field in Tongling, Anhui province

1 第四系冲、残、坡积层；2—三叠系中统东马鞍山组；3—三叠系下统南陵湖组上段；4—三叠系下统南陵湖组下段；5—三叠系下统和龙山组；6—三叠系下统殷坑组；7—二叠系上统大隆组；8 二叠系上统龙潭组；9—二叠系下统孤峰组；10—二叠系下统茅口组；11 二叠系下统栖霞组；12—石炭系中、上统黄龙、船山组；13—泥盆系上统五通组；14—志留系上统寒山组；15—志留系中统坟头组；16—花岗闪长岩；17 闪长岩；18 闪长玢岩；19—石英闪长玢岩；20—辉绿岩；21—正长斑岩；22—角砾状大理岩；23—角砾岩；24—含铜夕卡岩；25—矿体；26—实测推测地质界线；27—地层产状；28 接触面产状；29—实测、推测性质不明断层；30—推测逆断层

控制药园山矿床的主要构造是F_1（图2-140）断裂。F_1断裂发育自矿床的北部，经虎形山、药园山矿段出图，长约数公里，呈北北西走向。断裂上部倾向北东、下部转向南西倾斜，倾角较陡。断裂通过之处，构造角砾岩发育，角砾成分有大理岩、花岗闪长岩、铁矿石及铜矿石等，角砾具棱角状或次棱角状，大小混杂，显张性兼扭性力学性质。构造角砾岩宽数米到数十米不等，最宽处为药园山地段，达百余米。F_1断裂成矿前、成矿期及成矿后均有活动。药园山段（F_1与F_9交汇附近）矿体的厚度及延深最大，钼含量最高，可能是成矿活动的中心部位。

（三）侵入岩

凤凰山岩体沿新屋里向斜轴部侵入。据区域地质资料和物探资料表明，凤凰山岩体沿东西向隐伏断裂和南北向构造的交汇部位侵入。在时间上是燕山晚期北北东向构造活动迁就和改造北东向褶皱和东西向、南北向断裂构造，发生张性或张扭性活动，沟通深部岩浆源，使岩浆上侵就位。岩体呈北东东向椭圆形，面积11.5 km^2。主体为花岗闪长岩体，岩体中黑云母的K-Ar法年龄为133Ma，呈细粒结构，主

要矿物成分斜长石53%（An=32～38、27～28），钾长石13%、石英25%、角闪石2%、黑云母3%。岩石的副矿物为磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石。

凤凰山岩体岩相分带明显呈环状分布，由近接触带向岩体内部依次出现混杂闪长岩、石英闪长岩（石英二长岩）和花岗闪长岩。

岩体同生含铜量（180～220）×10⁻⁶，比无矿岩体的背景含量40×10⁻⁶高出数倍。

花岗闪长岩岩石化学成分：$SiO_2$63.44%、TiO_2 0.65%、$Al_2O_3$16.04%、$Fe_2O_3$2.75%、FeO 3.24%、MnO 0.10%、MgO 1.37%、CaO 4.21%、Na_2O 4.21%、K_2O 3.02%、$P_2O_5$0.00%、H_2O 0.79%。其$w(Na_2O)/w(K_2O)$为0.72，里特曼指数（σ）2.56，碱度率（AR）2.11，分异指数（DI）70.88，表明凤凰山岩体为钙碱性正常系列岩石。凤凰山岩体稀土元素总量为265.96×10^{-6}，其中轻稀土元素总量231.77×10^{-6}，重稀土元素总量34.19×10^{-6}，轻重稀土元素总量比值为6.8，δEu1.03（>0.7），属轻稀土富集型，可能是基性岩浆分异产物。据岩体锶同位素初始值（I_0）为0.7070和岩体年龄值（t）133Ma投入t—I_0图，说明凤凰山岩体为壳幔混合型（MC），其幔源物质含量达39.1%。岩体的氧同位素值$\delta^{18}O$ 10.76‰，落在同熔型花岗岩类范围。

成矿后辉绿岩、正长斑岩脉发育，呈NNW向、近SN向。

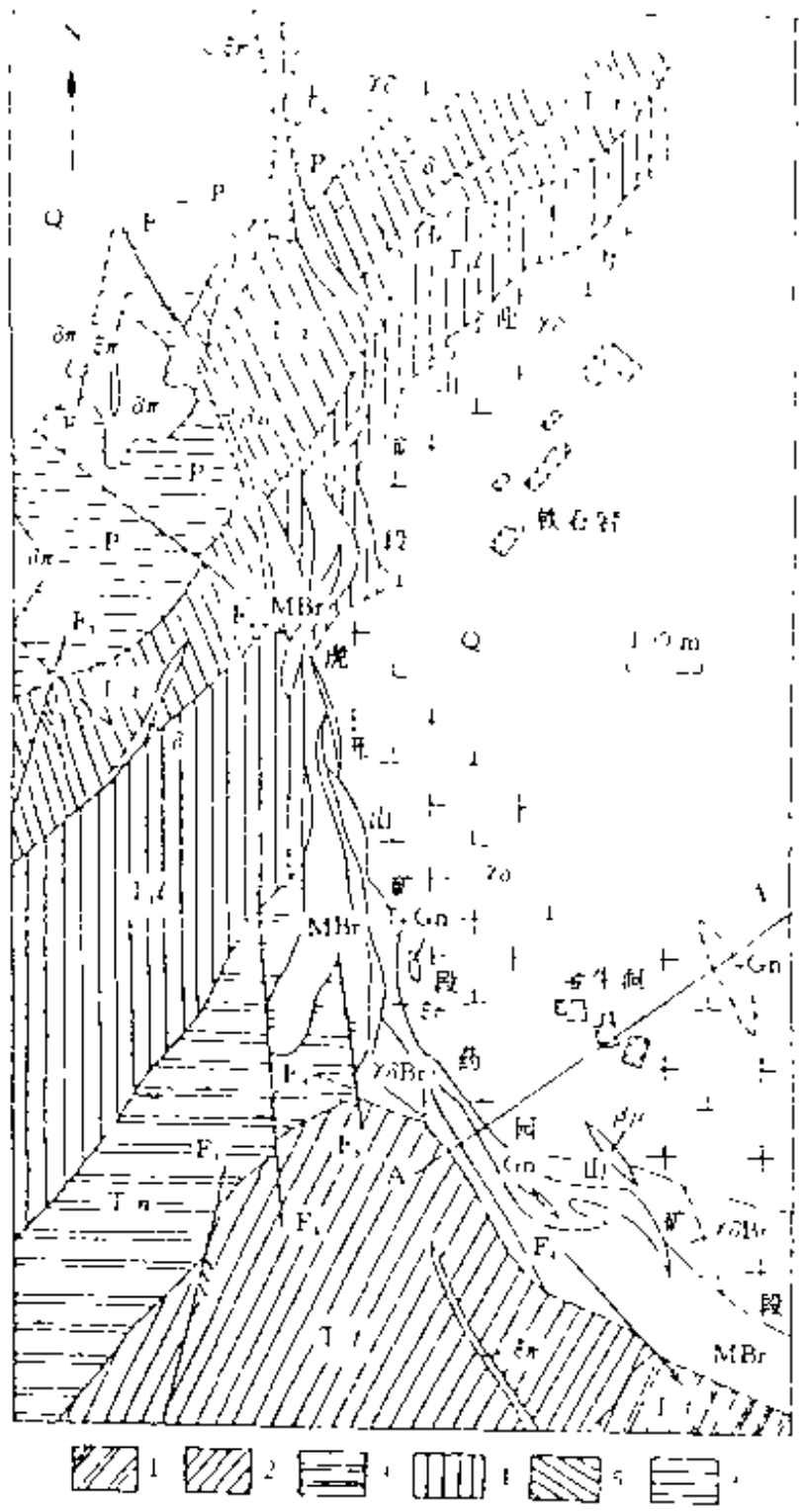


图2-140 药园山铜矿床地质略图

Fig 2-140 Schematic Geological map of Yaoyuanshan copper deposit

1、2 中－叠统中、厚层状大理岩；3 中－叠统薄层状大理岩、4 下－叠统薄层大理岩、角岩；5 下－叠统角岩 大理岩，6 叠系砾、炭质页岩、粉砂岩；MBr 角砾状大理岩，$\beta\mu$- 辉绿岩；$\xi\pi$ 正长斑岩；$\delta\pi$ 闪长斑岩；$\pi\gamma_5^3$ - 燕山期花岗闪长岩，$\gamma\delta$Br--角砾状花岗闪长岩；F 断层；Gn 铁帽

三、矿床地质

矿床位于凤凰山岩体的西部接触带上，包括万迎山、虎形山、药园山矿段，共有大小矿体80余个，其中主要的矿体有4个，由南向北依次为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ。Ⅰ、Ⅲ走向北西、Ⅱ号北西西（图2-141、图2-142）。Ⅳ号矿体走向北北西转向北东，整体上为向西突出的弧形，Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ号矿体出露地表。矿体形态呈透镜状、扁豆状和似板状。矿体倾向北东，倾角陡直；Ⅱ号矿体到深部倾向转为南西。Ⅰ号矿体沿走向有膨胀收缩现象，自北而南及向深部厚度逐渐变薄以至尖灭，总长500 m，厚度最大44 m，平均14.8 m，最大延深360 m；Ⅱ号矿体向北西倾伏，可见膨缩现象，矿体长358 m，最大厚度88 m，平均35.2 m，最大延深435 m；Ⅲ号矿体长321 m，最大厚度21 m，平均8.9 m，最大延深343 m；Ⅳ号矿体产状平直，局部变化大，随接触带的形态趋于复杂，矿体长986 m，最大厚度30 m，平均10.2 m，最大延深330 m。

（一）矿体特征

药园山矿床明显存在两期成矿作用，早期发生接触交代变质作用，形成接触交代型铜矿床。晚期沿接触构造破碎带（包含部分已成矿体）矿液再次充填交代成矿。两类矿体既有相似的一面，又有差异的一面（表2-95）。

矿石经组合大样分析，其化学成分见表2-96。

金银主要呈独立矿物如自然金、银金矿等出现，金矿物粒度一般为20～50 um，主要见于含铜磁铁

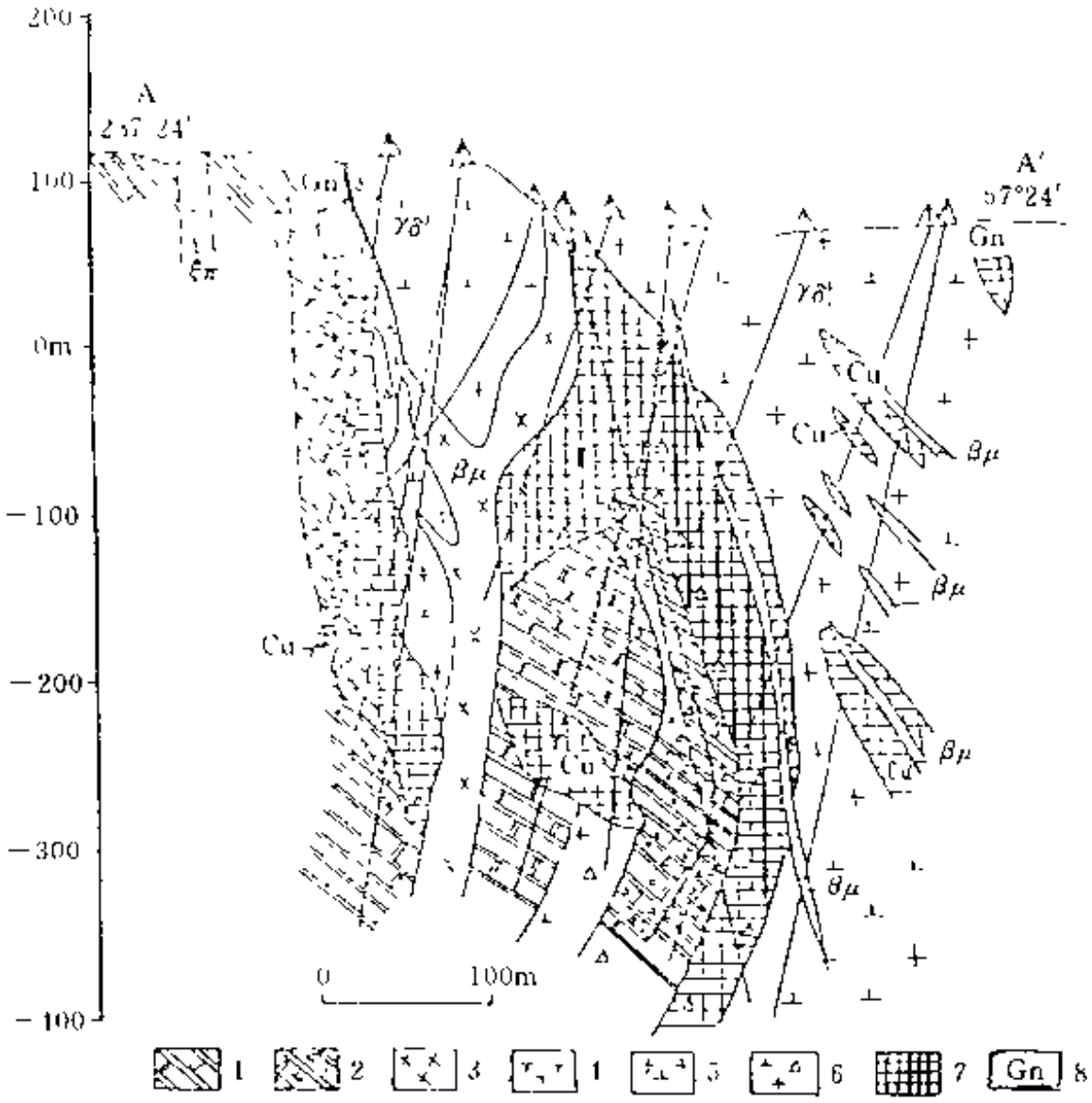


图2-141　药园山铜矿床 A-A′地质剖面图

Fig. 2-141　Geological section A-A′ in Yaoyuanshan Copper Deposit

（据321队改编）

(adupted from Team 321)

1　薄层大理岩；2—角砾状大理岩；3—辉绿岩；4－ 正长斑岩；5　花岗闪长岩；6 －角砾状花岗闪长岩；7— 矿体编号；8—Gn 铁帽

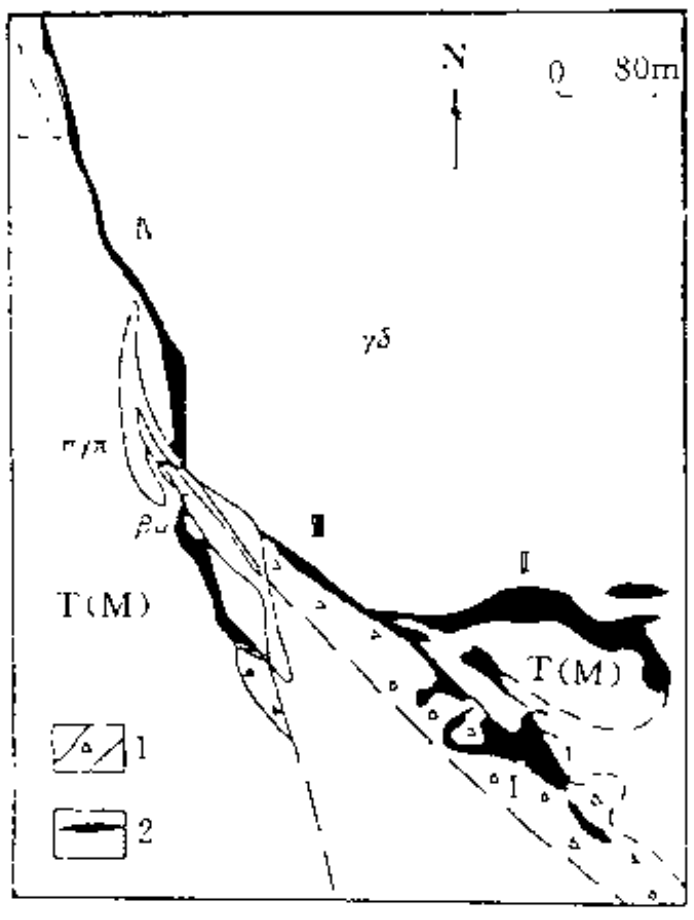


图2-142　药园山铜矿床－120 m 中段地质构造图

Fig. 2-142　Structural plan of Level－120m in Yaoyuanshan

T(M)　三叠系大理岩；γδ—花岗闪长岩；ηγπ·βμ 长花岗斑岩，辉绿岩；1　断层破碎带；2　矿体

矿矿石中，呈裂隙金、包体金和粒间金产出，金银含量最高的载体矿物为斑铜矿，次为黄铜矿。

（二）矿体物化探异常

由于矿体埋藏浅，矿石主要类型是含铜磁铁矿、含铜黄铁矿及含铜夕卡岩，所以应用磁法、自电和激发极化发等物探方法均有明显的反映（图2-143）。在Ⅰ、Ⅱ号矿体上方分别出现两个宽度不大的叠加磁异常。由于Ⅰ号矿体出露地表，磁异常强度大，达4000nT，Ⅱ号矿体有一定埋深，磁异常强度降为2000nT，但均比较明显。位于接触带Ⅰ、Ⅱ号矿体上方出现高极化，低电阻异常。同样自电异常在Ⅰ号矿体比较明显。因此，在药园山铜铁矿床应用上述物探方法相互配合，再结合化探方法，能大致确定矿体的位置。

四、成矿作用

（一）物质来源

$\delta^{34}S=3‰\sim4.1‰$（岩浆水<10‰，为5‰～6‰），$\delta^{13}C=-1.3‰\sim4.4‰$，$\delta^{18}O=1.51‰\sim15.9‰$，铅同位素组成具有较低的 U 值（U=3.82），含放射性铅少，显示了硫、铅的深源特征。

由此可见，形成矿体的物质主要来源深部岩浆，花岗闪长岩为成矿母岩。

表2 95　药园山矿床两类矿体特征

Table 2-95　Characteristics of two types of ore bodies in Yaoyuanshan deposit

矿体类型 / 矿体特征	交代型矿体	充填型矿体
空间位置	靠上部	靠中、下部
矿体形态	透镜状、不规则状	透镜状、似板状
围岩	下三叠统和龙山组条带状灰岩	下三叠统南陵湖组块状灰岩
蚀变类型	夕卡岩化强烈（主要为外夕卡岩）蚀变岩具有带状分布特点	夕卡岩化微弱，为内夕卡岩。钾化、绢云母化、碳酸盐化在矿体内侧发育，蚀变岩无带状分布特点
矿石构造	条带状、浸染状、细脉状等构造	致密块状、团块状、角砾状、脉状等构造
矿石结构	交代熔蚀、交代残余结构	半自形、他形粒状、固熔体分解、碎裂等结构
金属矿物	黄铜矿、黄铁矿及少量斑铜矿、磁铁矿	磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿及少量磁黄铁矿
非金属矿物	钙-铁石榴子石、透辉石、透闪石、方解石	钙-铁-铝石榴子石、方解石、绢云母、绿泥石、斜长石、钾长石
矿石类型	含铜夕卡岩矿石、大理岩夕卡岩角岩互层矿石、含铜大理岩矿石	含铜黄铁矿矿石、含铜磁铁矿、赤铁矿矿石、含铜角砾岩矿石、含铜花岗闪长岩矿石

表2-96　药园山矿石组合大样的多元素分析结果

Table 2-96　Multi-element analysis of bulk ore sample in Yaoyuanshan deposit

元素	Cu	Fe	S	Pb	Zn	As	Sb	Co
含量（w_B/%）	1.07	42.59	4.57	0.010	0.051	0.012	<0.001	0.018
元素	Au	Ag	Se	Te	Cd	Ga	In	
含量（$w_B \cdot 10^{-6}$）	0.41	15.4	6.7	1.5	<10	22	4.4	

（二）流体性质

（1）形成两类矿体的流体性质相似，均富含 K^+、Na^+、Cl^-、F^-、Ca^{2+}、Mg^{2+}。盐度、矿化度较高，属于 Na（K）-Ca-Cl 型卤水，这种卤水有利于矿质的迁移和沉淀。

（2）形成交代矿体的流体富含 Na^+、Cl，而贫 K^+、F 等离子，而形成充填型矿体的流体则恰好与上相反。

（3）从包裹体成分特征值 $[Na^+]/[K^+]$、$[Na^+]/([Ca^{2+}]+[Mg^{2+}])$ 推断成矿流体除主要来自岩浆水外，还混入了少部分大气降水。

（4）从包裹体内富含 F^-、Cl^- 等阴离子及 Ca^{2+}、Mg^{2+} 阳离子，推断矿质在成矿流体中的搬运形式主要以卤化物的配合物或硫氢配合物进行搬运，在迁移过程中由于环境的变化（温度、压力的下降或围岩 Ca^{2+}、Mg^{2+} 的加入）使配合物不稳定，发生分解，从而使矿质沉淀而成矿。

（三）矿体形成的物理化学条件

通过对两类矿体上覆地层厚度的测量，下伏成矿母岩——花岗闪长岩形成时水压的估算以及矿床的矿物组合来推断矿床形成深度在1.5 km 左右，成矿压力在15～55 MPa。

由两类矿体某些矿物的爆裂法测温、矿物共生组合等分析，两类矿体形成温度略有不同，交代型矿体形成温度较高，范围在420～180℃，而充填型矿体形成温度较低，范围在320～120℃。

通过对矿物包裹体成分进行有关物理化学参数计算，结果表明：

（1）两类矿体形成时的物理化学条件相似，均处于碱性、弱还原的条件下；

（2）交代型矿体的形成环境与充填型矿体相比，前者处于更碱性、还原的环境。

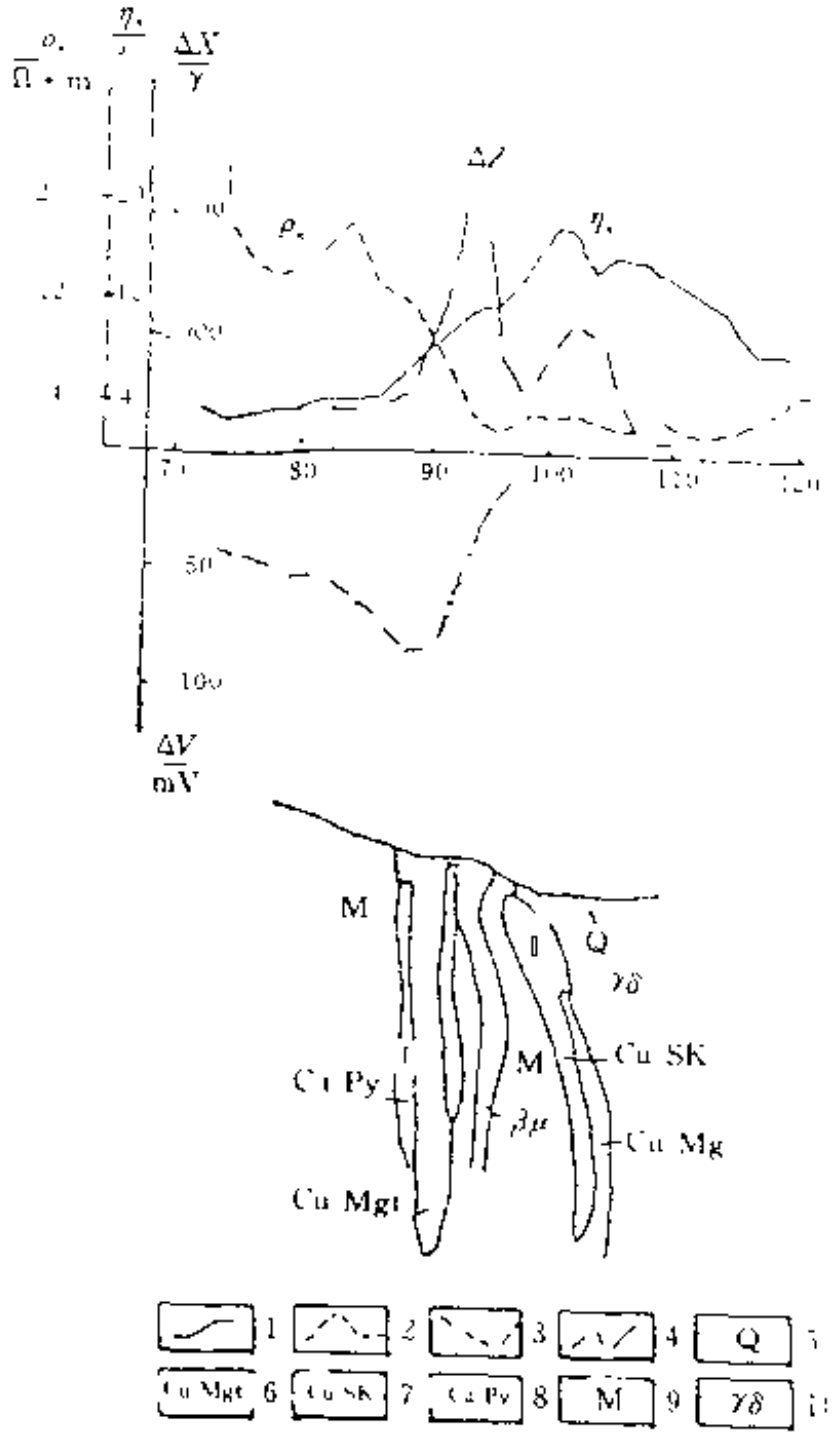


图2-143　药园山铜矿39线综合物探地质剖面图

Fig. 2-143　Geophysical and geological profile of line 39 in Yaoyuanshan copper deposit

1—视极化率曲线；2—视电阻率曲线；3—自电曲线；4　垂直磁力曲线；5—第四系；6—含铜磁铁矿；7—含铜夕卡岩；8　含铜黄铁矿；9—大理岩；10—花岗闪长岩

综上所述，矿区内存在两类特征既相似又相异的矿体，它们的形成与区内岩浆岩有关，成矿物质主要来自深部岩浆。携带丰富成矿物质的含矿流体在不同的构造部位、相似的地质环境，以接触交代和热液充填两种成矿方式形成两类矿体，两者是同一成矿"体系"中不可分割的两部分，在成因上应属于"广义"的夕卡岩矿床。

另据侯光久（1991）从控矿构造、矿石结构构造和元素地球化学分析，认为药园山一带矿体复杂多样、广泛发育多成分的、被铜铁硫化物矿液胶结的角砾状矿石。角砾状矿石的形成，正是F_1断裂通过，将先成的矿体、岩体或围岩破碎，再经含矿热液充填胶结（交代）而成，反映温度较高的钼元素的分布，在药园山段（F_1与F_9交汇处附近）达到最高值，由此往北或往南逐渐减弱，方迎山矿段钼含量甚微，F_4断裂与F_1断裂交汇处附近，矿体最厚，延深最大。

另外，Ⅰ、Ⅱ号矿体及部分Ⅱ号矿体结构构造复杂，矿化强烈，矿物共生组合多样，磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿和胶状黄铁矿、辉钼矿及粗晶黄铁矿均很发育。而由此地段向北或往南，矿物种类变得简单，说明这一地段成矿具有多期性，而且后期从地下岩浆析出的含矿溶液成分发生显著的变化，钙、钾含量大大减少，而镁含量增加，含矿溶液中钼、铜、铁等元素含量增高，硫离子浓度增大，遂沉淀出一定量的钼铜硫化物。该阶段矿化分布范围较大，不仅限于接触带，也可沿构造裂隙进入岩体或围岩中去，是重要的成矿阶段。从以上事实不难看出，F_1断裂是药园山矿床热液成矿期的导矿构造，F_4断裂与F_9断裂交汇处附近是矿液上升的中心。

综上所述，成矿母岩的产出空间，是由东西向（北西西向）与南北向构造复合限定的，而岩浆上侵的驱动力是新华夏系应力场。在接触交代成矿以后，由于新华夏系的再活动，产生一系列脆性破裂构造（也有少量塑性变形），为后期构造热液成矿创造了条件。所以，该矿床实为接触交代型经构造改造、后期热液充填的叠加型矿床。即前者是交代型矿，后者是充填型矿体。

第十六节　安徽铜陵大团山铜矿床

一、大地构造单元

大团山铜矿床属铜陵地区的铜矿床，铜陵地区在大地构造单元位置上属于扬子准地台下扬子台坳中部。

二、矿区地质

（一）地层

大团山铜矿位于冬瓜山和狮子山铜矿床之南，其赋矿地层是二叠系上统大隆组和三叠系下统殷坑组。

1. 二叠系上统大隆组（P_2d）

该层是大团山铜矿床部分次要矿体的赋矿部位，本组厚36～52 m。下部以灰黑—黑色硅质页岩，硅质岩为主，夹灰黑色炭质泥质页岩和石灰岩透镜体。底部有一层厚2.5～8 m 分布稳定的泥质灰岩。上部为黑色含钙硅质页岩，硅质岩，夹薄层状或透镜状泥质灰岩。变质后，下部为硅质角岩、透辉石角岩，底部为硅质大理岩或透辉石夕卡岩；上部为透辉石角岩、硅质角岩、长英角岩，夹少量黑云母角岩。

2. 三叠系下统殷坑组（T_1y）

本组厚110～145 m，岩性参阅冬瓜山铜矿床。

（二）构造

矿田位于大通-顺安复向斜之次一级褶皱青山背斜北东段，与铜陵-戴家汇东西向构造岩浆带的复合部位，参见冬瓜山矿床及图2-144。

（三）岩浆岩（参阅冬瓜山铜矿床）

三、矿床地质

（一）矿体分布、形态及产状

本矿床是狮子山矿田内成矿层位跨度最大（P_2d 底部—T_1h 上段）的矿床（图2-144）。主矿体赋存于 T_1y 的下部，长1000 m，厚度最大69.47 m，平均厚度近30 m，凡矿体鼓起、下凹或倾角变化大的部位矿体增厚。矿体斜深150～650 m，平均450 m，埋藏标高－300～800 m；矿体呈似层状，靠近岩体的矿体头部，局部有分支复合现象。产状与岩层基本一致，走向30°～35°，倾向南东，倾角一般30°～50°。受横跨褶皱的叠加影响，沿走向及倾向其形态均为舒缓波状起伏。矿体向北东侧伏，侧伏角一般10°～20°。次要矿体分布于主矿体底板 P_2d 的下部、中部和上部及主矿体的顶板，分布较稳定，形态及产状与主矿体近一致。矿床规模中型。

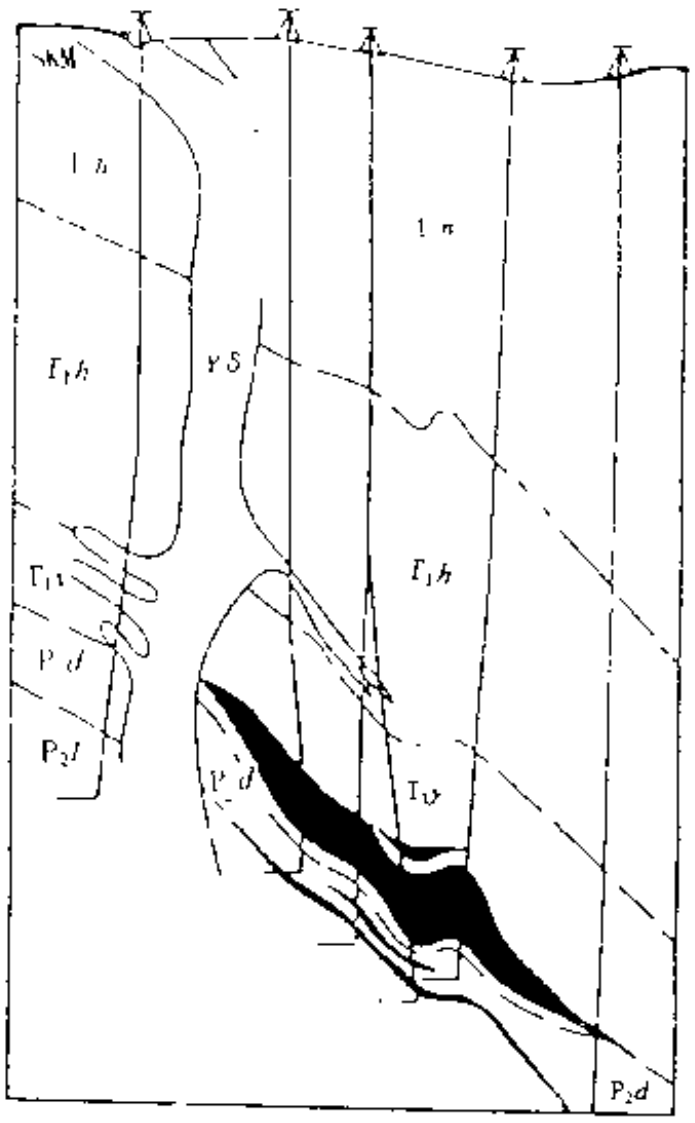


图2-144　大团山铜矿床39线地质剖面图

Fig. 2-144　Geological profile of line 39 in Datuanshan copper deposit

T_1n—南陵湖组；T_1h—和龙山组；T_1y　殷坑组；P_2d　大隆组；P_2l—龙潭组；$\gamma\delta$—花岗闪长岩；SKm—块状夕卡岩

（二）矿石类型及矿石结构构造

矿石类型主要有含铜夕卡岩型、含铜夕卡岩夹角岩型、含铜角岩夹夕卡岩型、含铜角岩型及少量的含铜磁黄铁矿夕卡岩型、含铜大理岩型、含铜硅质岩型、含铜花岗闪长岩型，前三者占矿床的80%以上。含铜夕卡岩与含铜角岩成条带状或不等厚互层产出，含铜硅质岩型主要分布于 P_2d 层位的矿体中，其他类型零星分布在各矿体。

矿石构造主要为条带状构造，次为浸染状、块状构造。条带状构造主要由金属硫化物及脉石矿物钙铁辉石、石榴子石与透辉石石榴子石夕卡岩或角岩带平行相间构成。主矿体中上部出现脉状网脉状构造，脉体为晚期石英--硫化物脉（含铜金-石英硫化脉、含硒碲铋多金属石英硫化物脉），脉中含黄铜矿、银金矿等有用矿物成分，由于晚期细脉的叠加矿石的铜、金品位增富。

矿石结构有：自形—他形粒状结构、片状—鳞片状、填隙结构；乳滴状、格状、次文象结构、共边、周边、包含结构；充填交代结构、选择交代结构、交代残余结构、交代反应边结构等。

（三）矿石物质成分

矿石矿物成分复杂，金属矿物主要有黄铜矿、磁黄铁矿，次有方黄铜矿、黄铁矿、白铁矿、闪锌矿、辉钼矿、磁铁矿、少量方铅矿、毒砂、辉砷钴矿-镍辉砷钴矿、自然铋、自然金、银金矿、白钨矿及硒碲铋类矿物。脉石矿物主要有透辉石-钙铁辉石、钙铁石榴子石、石英、斜长石，次为硅灰石、透闪石—阳起石、符山石、钾长石、方柱石，少量的绢云母、红柱石、堇青石、绿泥石、绿帘石、黝帘石

等

矿石组分以Cu为主，伴生Au、Ag、S等，局部含Mo。全矿床平均Cu品位1.02%，产于P_2d层位中的矿体，Cu品位高于三叠系各层位中的矿体。主矿体平均品位0.99%，向北东沿走向Cu品位逐步增高。各矿体中普遍含Au，但分布不均匀，T_1h层位的矿体Au平均品位（0.1～0.79）×10⁻⁶；T_1y层位矿体普遍含Au，主矿体平均0.16×10⁻⁶，局部富集可达5×10⁻⁶。银在主要和次要矿体中分布较均匀，平均品位在11×10⁻⁶。

（四）接触变质与围岩蚀变

请参阅冬瓜山铜矿床。

四、矿床的成矿作用

（一）成矿作用与成矿物质的富集

1. 地层及岩性组合对矿床的控制

矿床主矿体赋存与殷坑组（T_1y）下部易交代的碳酸盐岩夹于不易交代的钙质页岩中，其下为具屏蔽性能的大隆组硅质页岩，构成了有利成矿的岩性组合。经接触变质交代作用所形成的条带状夕卡岩为有利的成矿介质，铜矿化往往选择性沿夕卡岩条带及层间裂隙交代充填富集成矿。透镜状灰岩在接触带附近形成夕卡岩，常被矿液交代成富矿块。此外，在殷坑组中含有较多的星散状、结核状黄铁矿，具有促使含铜热液交代沉淀而形成矿体的作用。

2. 岩浆岩对成矿的控制

岩浆是成矿的主要条件。矿田内的岩浆侵入岩属同熔型钙碱性的石英二长闪长岩-花岗闪长岩，亲铜元素丰度较高，铜一般为（40～110）×10⁻⁶，为含铜岩体。铜矿化与岩浆岩密切的空间关系表现在矿床的西侧及北东、南西两端，均有岩墙包围，铜矿化常在岩墙的接触带附近富集，并顺层延伸。相互重叠的Cu、Au、Ag、Zn、Bi各元素的原生晕异常亦主要发育于岩墙接触带及附近围岩中。接触带处的异常强度高，规模大，并包含了全部铜矿体，从下至上沿接触带呈串珠状分布，轴线顺岩层延伸，远离接触带异常的前缘收敛或出现分支。此为岩浆期后热液交代晕的特征，充分表明成矿物质来源于岩浆，岩浆岩是成矿的主要条件。

3. 构造对矿化的控制与富集作用

构造是控制矿化的重要因素，尤其对矿化的局部富集有较明显的控制。本矿床的主矿体受NNE向扭转变形与T_1y/P_2d层间滑脱面及东西向构造复合控制。矿体深部走向与岩体接触带平行，呈NE向，铜品位4次趋势面亦明显反映为NNE向，并有两个叠加富集区。沿走向矿体波状起伏，在叠加富集中心相对应的弯凹部位，矿体厚度大。由此可见，主矿体受控于由断裂控制的岩体所构成的半环状"圈闭"式构造、半环状"圈闭"式构造及其内部层间滑脱、断裂构造、接触带及小型褶皱等多重构造的复合处，是成矿物质富集的最有利的场所。此外，沿北西向构造断裂大量发育的晚期石英-硫化物细脉，穿插于早期岩体及夕卡岩矿体中，使铜矿石中金趋于富化。

综上所述，大团山矿床的成矿条件是燕山期的岩浆携带成矿物质，NNE向构造应力场驱动矿液的上升和顺层运移，NNE向构造与层间滑脱面及东西向褶皱构造的复合叠加控制了矿液的沉淀，聚集在T_1y地层中的地球化学空间中富集形成工业矿体。多重构造的复合处控制了矿化富集。

（二）成矿期、成矿阶段的划分

本矿床广泛发育接触变质晕，在此基础上叠加后继的接触交代及热液作用。成矿阶段大致可分为三个主要阶段：

1. 变质阶段

半环状的岩墙—岩枝网络及其深部大岩体，形成了较大面积的变质晕。钙质页岩形成角岩，并出现少量透辉石等硅酸盐矿物。灰岩变质为大理岩。该阶段一般没有外来物质的加入，基本上是一种等化学变质作用。在夕卡岩形成过程中，接触变质作用是交代作用的先导，一般虽不形成矿石矿物，却是形成后期矿石富集的一个必不可少的阶段。

2. 夕卡岩阶段

随着岩浆的降温及气液体的聚集，接触交代作用相继发生，气液沿着断裂构造、接触带及层间裂隙活动，形成两种夕卡岩：一是接触带附近的双交代夕卡岩，二是热液流体沿层间裂隙活动过程中，使原岩中泥质和钙质条带的组分相互扩散反应交代，形成层间扩散交代的夕卡岩。此种夕卡岩为由石榴子石及透辉石组成的简单钙夕卡岩，不具水平分带性，垂向上可见条带间不同矿物组合或粒度的细层带，后续的氧化物阶段活动不强烈，仅见透闪石、阳起石等蚀变矿物。

3. 石英-硫化物阶段

是本矿床的主要成矿阶段，可进一步划分为两个亚阶段。早期亚阶段，主要晶出辉钼矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿（方黄铜矿）、闪锌矿、方铅矿。磁黄铁矿、黄铁矿和黄铜矿具多世代，是铜的主要成矿阶段。晚期亚阶段，主要是石英-硫化物细脉，其中含有黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、银金矿、自然金及少量的辉铋矿、辉碲铋矿等。这些情况表明有多期矿化，而晚期较为重要。早阶段形成的硫化物集合体主要分布于夕卡岩及其毗邻的侵入岩和角岩中，受夕卡岩化作用制约。矿物组合分带不明显，矿石类型较简单，主要为夕卡岩型。

五、矿床成因

（一）成矿物质和含矿流体来源

根据矿床和稳定同位素地球化学特征，本区铜矿成矿物质主要有与岩浆作用有关的岩浆岩和沉积地层两方面的来源，主要依据如下：

（1）铜矿化与岩体在空间上密切伴生。

（2）岩石地球化学异常围绕岩体分布，Cu^{2+}浓度由岩体向外呈递减的梯度带。

（3）大团山铜矿床含铜夕卡岩矿石的稀土元素为轻稀土富集型，ΣREE 含量为（72.13～124.98）·10^{-6}，总量虽较岩浆岩低，但分配模式均为右斜型，与岩浆岩的分配模式近似。

（4）本区 C_2h 底部沉积的胶状黄铁矿层含铜0.1%左右，有微量黄铜矿共生。C_2h 铜元素的丰度值为 18×10^{-6}，低于区域背景值。可视为成矿物质的地层来源。

综上所述，成矿物质来源于岩浆岩及地层，其中以岩浆岩来源为主。据 Cu 品位筛分结果，代表岩浆岩来源的 B 总体占90%，代表地层来源的 A 总体占10%，即90%的 Cu 来源于岩浆热液。

（二）成矿温度与压力

夕卡岩阶段石榴子石爆裂温度为435～507℃，石英硫化物阶段石英的均一温度为320℃。

据地层静压估计法和闪锌矿中 FeS 含量的热力学计算结果推断，大团山成矿压力为505×10^5Pa。

（三）矿床成因类型

大团山铜矿床的成矿作用于岩浆密切相关。成矿物质主要来源于岩浆岩，从岩浆侵位到矿化作用是一个连续的演化过程，矿化作用同样在夕卡岩化之后的石英硫化物阶段，成矿活动时间长并具多期次活动的特点。矿化受以 T_1y 为主的地层即岩性组合的控制，矿体呈似层状，其成因类型属夕卡岩型，因其不存在原始沉积的成矿物质基础，故进一步将其划分为层间夕卡岩型铜矿床。其成矿模式参见冬瓜山矿床。

六、找矿标志

1. 模式标志：鉴于本区找矿主要是寻找盲矿体，因此应充分运用狮子山矿田的成矿模式及其特征，以模式指导找矿具有实际意义。

2. 围岩蚀变标志：地表发育大理岩化、角岩化及夕卡岩化。硅化、钾长岩化、滑石、蛇纹石化则是近矿围岩蚀变的重要标志。

3. 物化探标志：高重力（9.5×10^{-5}～12×10^{-5}m/s²）、中磁力（400～500nT）及低电阻率、高激化率等多种异常的叠加分布，高浓度分布的 Cu 元素与 Ag、Pb、Zn、Mo、Co、Bi 等元素组成的次生晕组合异常，是重要的物化探找矿标志。沿接触带并顺层插入岩层、呈串珠状分布的原生晕，则是层间式夕卡岩型（大团山）矿床的找矿标志。

第十七节　安徽铜陵新桥铜矿床

一、大地构造单元

新桥铜硫矿床位于扬子准地台下扬子台坳东部，属铜陵成矿区。

二、矿区地质

（一）地层

矿区主要含矿地层列于表2-97。

各层石灰岩的化学成分列于表2-98。

表2-97　新桥铜矿含矿地层表

Table 2-97　Ore-bearing stratigraphic scale in Xinqiao copper deposit

地层单位 系	统	组	代号	厚度 m	岩性描述	接触关系
二叠系	下统	栖霞组	P_1q	198	灰至灰黑色厚层燧合线灰岩，厚层灰岩含燧石结核、条带状灰岩，厚层臭灰岩，底部砂页岩	假整合
石炭系	上统	船山组	C_2c	60	浅灰色厚层灰岩，具球状结构，厚层灰岩	
		黄龙组	C_2h	30	灰白花斑生物碎屑灰岩，白色厚层灰岩，白云质灰岩，石英细粒岩	
	下统	高骊山组	C_1g	30	灰褐色砂质页岩及页岩夹数层石英岩	

表2-98　新桥矿区主要石灰岩层化学成分表

Table 2-98　Composition of main limestone layers in Xinqiao ore district

成分 % / 地层名称	MgO	MgO+CaO	$Al_2O_3+SiO_2$
黄龙灰岩	7.75～18.32	50.07	2.07
船山灰岩	9.04～10.95	50.94	2.17
栖霞灰岩	0.24～8.85	45.16	19.94

从表2-98中可以看出，黄龙、船山灰岩含镁较高，含硅铝较低，因而利于矿液交代，是本矿区的成矿有利层位。

（二）构造

矿区内主要褶皱方向呈NE—SW向。

1. 褶皱

2. 矿区的褶皱构造由舒家店背斜、大成山背斜和盛冲向斜组成（图2-145）。

舒家店背斜是一个不对称短轴背斜，轴向NE，西北翼地层倾角30°～50°，南东翼地层70°左右。大成山背斜是个对称的线状背斜，轴向NE，两翼地层倾角20°～30°，向NE方向倾没。由于以上两个背斜相向倾没，其间形成盛冲向斜，两翼地层倾角均较缓。

矿床位于舒家店背斜与大成山背斜相向倾没的交汇地带。

3. 断裂

矿区内有两组断裂：

（1）层间断裂：主要发生于高骊山组与黄龙组（或船山组）之间，为成矿主要构造，是矿液流动

和沉淀的良好空间。

赋存于此层间破碎带中的似层状主矿体，上部倾斜较陡，下部则趋平缓。这两部分虽然在构造性质上均相同，但其原岩的构造破碎程度略有差异。在层间破碎带倾斜角度较大的部分，黄龙、船山层位基本被矿体所占据，并在一些钻孔中，见到靠近矿体处有栖霞灰岩底部层位岩石或船山灰岩的角砾，在矿体中亦有角砾被成矿物质胶结的现象；而层间破碎带的平缓部分，矿体仅占黄龙层位，矿体上盘很少见有角砾岩。

层间断裂在倾斜部分表现较强，在平缓部分表现较弱；它虽然发生在成矿前，但成矿过程中仍有活动。

(2) 横断层：有三条，皆系成矿前断层，走向NW10°～53°，其中走向NW28°，倾向NE的一条断层控制了矿体的延伸。

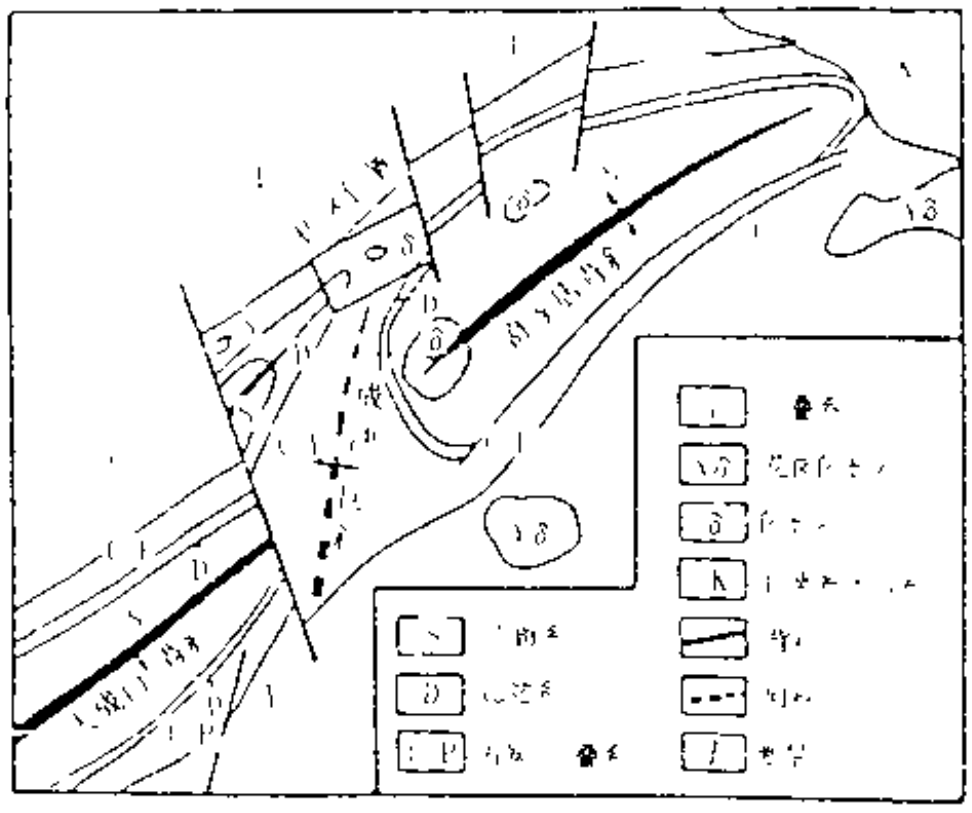


图2-115 区域地质构造略图

Fig. 2-115 Schematic map of Regional structure

（三）侵入岩

1. 石英闪长岩侵入体

主要出露于矶头和牛山（据K-Ar法同位素地质年龄168Ma，桂林冶金地质研究所，1971）。

矶头岩株：平面呈不规则椭圆形，空间形态为复杂的岩株体。在不同地段常见其分出不少岩枝，岩株出露面积0.3 km^2，位于矿区中部。该岩株大体可分三个岩相：中心相为石英闪长岩；过渡相为闪长岩；边缘相为闪长玢岩。

牛山岩枝：为石英闪长岩，形态不规则，沿横断层侵入，伸向背斜轴部和其北西翼，长约800 m；另一北东向的分支长达500 m。

2. 脉岩

闪长斑岩岩脉及闪斜煌斑岩岩脉，为成矿期后的脉岩。

三、矿床特征

（一）矿体形态及产状

矿床由40个矿体组成，其中Ⅰ号矿体最大，为“主矿”，占总矿石量的88%。主矿体为铜、硫、铁（包括铁帽）的综合矿体，受层间断裂控制，呈似层状（图2-116），走向NE，倾向NW，倾角0°～15°。总的看来，沿走向中间厚，两端薄，倾斜部分略比平缓部分为厚，底板倾角由陡变缓处，矿体也明显增厚。

此外主矿体厚度与岩体产状亦有密切关系，即岩体超覆部分及东西两侧向围岩扩展部分，矿体厚而稳定（图2-146）；岩体北侧产状较陡，则矿体较薄。

次要矿体均为透镜状或不规则脉状，延长与延伸的比例为1.5:1；厚度变化是中间厚，向边部变薄、较快尖灭。

（二）矿石的矿物成分（表2-99）及其分布

根据不同矿石类型组合特点，可将矿床分为三个带：

氧化带：分布于海拔140 m（17线）～60 m（15线）。矿石矿物以褐铁矿为主，次为赤铁矿、辉铜矿、斑铜矿等。含铜矿石以松散黄铁矿型铜矿石为主，次为块状褐铁矿型铜矿石。

过渡带：分布在海拔25 m（7线）～210 m（15线），全部为黄铁矿型铜矿石，以松散状为主，少量块状。

原生带：一般分布在－10 m标高以下，铜平均品位0.84%。矿石矿物以黄铁矿为主，次为黄铜矿，

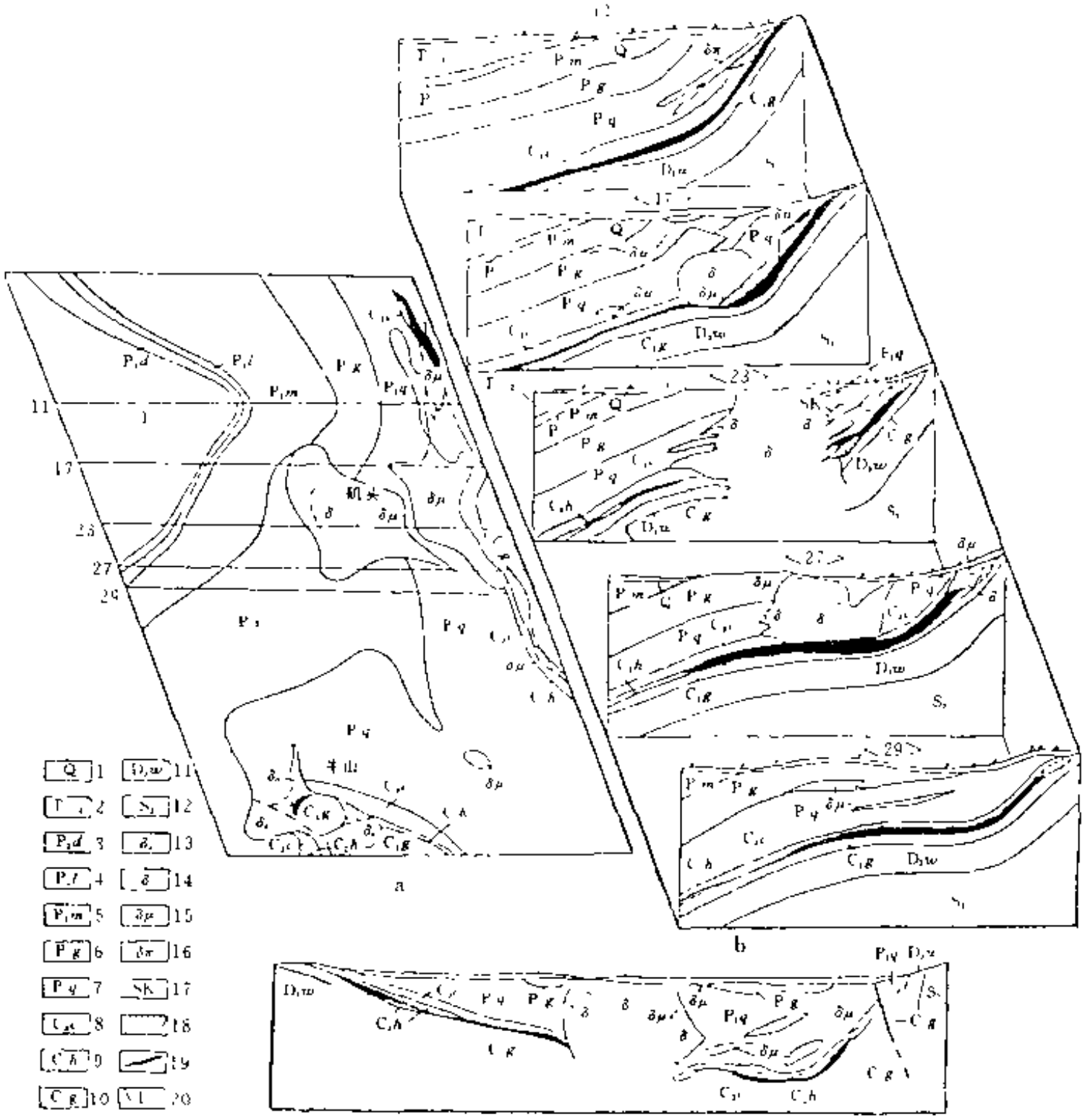


图2-146　新桥矿区地质平面及剖面图

Fig. 2-146　Geological plan and cross-sections of in Xinqiao ore district

1－第四系沉积物；2—三叠系青龙组；3—上三叠统大隆组；4　上二叠统龙潭组；5　下二叠统茅口组；6 －下二叠统孤峰组；7 －下二叠统栖霞组；8—上石炭统船山组；9　中石炭统黄龙组；10—下石炭统高骊山组；11 －上泥盆统五通组；12—上志留统；13—石英闪长岩；14—闪长岩；15—闪长玢岩；16－－闪长斑岩脉；17—夕卡岩；18 －黄铁矿；19—铜硫铁矿；20　断层

局部有磁铁矿、方铅矿、闪锌矿。含铜矿石以黄铁矿型铜矿石为主，次为磁铁矿型铜矿石，少量浸染型铜矿石。在黄铁矿型铜矿石中，黄铜矿呈乳滴状、细脉状、网脉状。前者在闪锌矿中，后两者产在黄铁矿、磁黄铁矿裂隙内，并溶蚀交代黄铁矿。在磁黄铁矿型铜矿石中，黄铜矿均呈细脉充填磁铁矿裂隙内。浸染状者呈他形粒状产于方解石、石英等脉石矿物中。不同原生矿石类型在空间上具一定的水平分带，铅锌矿主要在矿体边缘部分，向内为黄铁矿型铜矿，侵入体附近磁铁矿和黄铁矿型铜矿相互叠加。

铜、硫、铁系本区三种主要成矿元素。铜在矿体中分布普遍，靠近岩体局部较富集，离岩体远则分布零星。在下部近岩株100～300 m 的范围内一般较富集，含硫原生矿石一般为块状胶状黄铁矿石。铁矿石有两种类型：一为褐铁矿，占铁矿总量的69.71%，由黄铁矿氧化而形成铁帽，是构成工业铁矿石的主要部分。二是磁铁矿石，主要分布在Ⅰ号矿体近岩体附近。除上述三种主要成矿元素外，在矿体两端有时可见到达工业品级的铅锌矿化、方铅矿常交代闪锌矿。伴生有益组分较丰富，主要是金、银，其次是铟、铬、硒、镓、锗、铋等。特别在矿床氧化带金品位较高，具有很大的回收价值。

表2-99 矿石物质成分、结构、构造特征

Table 2-99 Composition, structure and texture features of ore

矿石带	矿石自然类型	矿石结构、构造	矿物组合		
			金属矿物		脉石矿物
			主要	次要	名称
氧化矿石	褐铁矿矿石（铁帽）	块状、松散状、蜂窝状、角砾状构造；放射状、胶状结构	褐铁矿 针铁矿 纤铁矿 赤铁矿	硬锰矿 黄铁矿	方解石 重晶石 石　英
	褐铁矿型铜矿石	块状、微环带状构造；微晶状结构	褐铁矿 针铁矿 纤铁矿 赤铁矿 赤铜矿	菱铁矿 磁铁矿 黄铁矿	方解石 石　英
原生矿石	浸染型铜矿石（为含铜砂页岩含铜闪长岩含铜灰岩）	细脉浸染状构造	黄铁矿 黄铜矿	铜　蓝 斑铜矿	石　英 长　石 方解石
	黄铁矿型铜矿石	块状、角砾浸染状构造；他形、半自形、粒状结构，乳浊状，压碎状结构、粒状花岗变晶结构	黄铁矿 黄铜矿	磁铁矿 铜　蓝 辉铜矿 黝铜矿 闪锌矿	石　英 方解石 白云石
	磁铁矿型铜矿石	致密块状构造；他形晶（粒状）结构	磁铁矿 黄铜矿	黄铁矿 赤铁矿	石　英 方解石 白云石
	黄铁矿矿石	块状，胶状、同心圆状、条带状、浸染状构造；自形粒状，他形粒状、碎裂结构	黄铁矿 胶黄铁矿 白铁矿 磁铁矿	黄铜矿 赤铁矿 褐铁矿 铜　蓝 方铅矿 闪锌矿	方解石 石　英 长　石 白云石
	磁铁矿矿石	致密块状，条带状构造，环带状构造；他形粒状、压碎结构	磁铁矿 黄铁矿	赤铁矿 黄铜矿 褐铁矿	透辉石 石　英 方解石
	铅锌矿矿石	块状、条带状、浸染状构造；他形粒状、乳浊状或乳浊状固熔体分解结构	铁闪锌矿 黄铁矿 方铅矿	磁黄铁矿 黄铜矿	方解石 白云石 石　英

根据矿物组合和化学成分，将矿石划分为铜、硫、铁、铅四种工业矿石和八个自然类型，即褐铁矿矿石、褐铁矿型铜矿石、浸染型铜矿石、黄铁矿型铜矿石、磁铁矿型铜矿石、黄铁矿矿石、磁铁矿矿石、铅锌矿矿石。

（三）伴生有益组分的含量及其变化规律

矿床伴生有益组分，计有13种：金、银、硒、碲、镓、锗、铟、镉、钴、镍、铋、钒、锑。

1. 金、银在各工业类型矿石中分布普遍，含量相差不大。单矿物分析表明，金、银与黄铜矿、黄铁

矿关系密切，与磁铁矿关系次之。银在铁闪锌矿、方铅矿中含量高。金、银与铜、硫成同消长关系。

2. 硒、碲、镓在铜矿石、黄铁矿石，铟、镉在铅锌矿石中最为富集。

3. 铟、镉、银、碲含量高于克拉克值10～1120倍，最为富集；硒、镓、锗含量高于克拉克值3～9倍，较为富集；镍、钴、钒低于克拉克值，趋于分散。

4. 伴生有益元素金、银、硒、碲之含量与主要组分铜、硫、铁成同消长关系。金与银，硒与碲，铟与镉均成同消长关系；碲与镓，镉与镓成反消长关系。

（四）围岩蚀变

1. 热液蚀变

矿区热液蚀变种类较多，强度中等，分带现象不太明显。

石英闪长岩侵入体普遍碳酸盐化，边缘相更为强烈。岩体的超覆部分和靠近围岩部分，有程度不同的夕卡岩化、高岭土化、绿泥石化，局部见绢云母化，硅化。随着程度增加，蚀变强度减弱。

岩体与石灰岩接触，在岩体超覆部分的上下接触带，或以岩枝状插入于石灰岩的地段，形成以夕卡岩化为主的蚀变带，即硅灰石化、石榴子石化、绿帘石化、硅化、绿泥石化。其中绿泥石化较普遍地出现在矿体上盘，碳酸盐化、硅化分布于矿体内。

2. 热力变质

主要表现为侵入体附近围岩退色和重结晶，尤以岩体上部或边部的孤峰组硅质岩为突出，已变为石英角岩。

总之，绿泥石化常出现在矿体上盘，可作为找矿标志；孤峰组硅质岩受热力影响而重结晶，往往指示深部或旁侧有岩体存在，可起到间接找矿标志作用；闪长岩体夕卡岩化、绿泥石化、高岭石化，说明有热液活动，也应予以注意。

需要指出的是，从牛山露天采场揭露的情况看，在含铜黄铁矿底盘及边部的所谓黄龙组灰岩经显微镜鉴定均系硅质岩，由他形细粒石英及少量白云母组成，石英含量高达90%以上，甚至很难发现原生碳酸盐岩残迹。可见矿体的直接容矿岩石不是灰岩而是硅质岩。这是由强硅化作用形成的蚀变岩，还是原生硅质岩，尚需进一步研究。但无论什么原因，该特征对于整个矿床的认识无疑具有主要的意义

四、成矿条件及矿床成因

到目前为止，对该矿床形成机理有如下各种认识：

（1）矿体与中-弱酸性小侵入体伴生，矿床产在碳酸盐岩层内且有某些夕卡岩化相伴，认为矿床属接触交代型铜矿床（安徽冶金地质局803地质队，1972）。

（2）根据矿石的矿物共生组合、蚀变特征，认为该矿床属于高 中温热液型矿床。

（3）南京大学地质系几位学员1975年通过牛山矿体地质剖面研究，认为其中有厚达20余米的火山碎屑岩，认为系海底火山喷出岩。另外在“闪长玢岩”岩脉内局部发现似枕状构造团块，大小约0.2～0.5 m，呈椭圆状，含有似杏仁状的碳酸盐圆形颗粒，似为海底火山喷发岩的枕状构造及气孔-杏仁构造，并进一步论证了牛山及新桥矿区为海底火山喷发沉积矿床。

（4）矿床中的早期黄铁矿、部分胶状黄铁矿、菱铁矿及冬瓜山矿床中硬石膏层均为同生沉积形成，而整个矿床是经过后期热液叠加和改造的产物。

第十八节　安徽贵池县铜山铜矿床

一、大地构造单元

贵池地区位于扬子地台下扬子台坳内贵池-繁昌坳断褶束的西段。

二、矿区地质

（一）地层

矿区出露地层有志留系上统茅山组，泥盆系上统五通组，石炭系中上统黄龙组、船山组，二叠系下统栖霞组、孤峰组，上统龙潭组、大隆组，三叠系下统殷坑组、龙山组、扁担山组及第四系。栖霞组

是主要含矿层位，已遭受强烈的大理岩化。

栖霞组下部为青灰色方柱石、硅灰石大理岩，上部为灰白色硅灰石结核大理岩及硅质结核大理岩，厚218～236 m。

大理岩中 Cu 的平均含量52.4×10 $^{-6}$，高出同类岩石平均含量的13倍。

（二）构造

姥山背斜为本区一系列紧密线型褶皱之一。该背斜总体轴向 NE30°，而西段走向近 NW，东段走向 NE，矿区位于姥山背斜轴向转折处的南翼。背斜两翼呈明显的不对称性，北陡南缓、北翼局部地段倒转，南翼受 NEE 向走向断裂破坏，地层重复，产状紊乱，角砾岩发育。

矿区断裂构造发育，主要有 EW 向、近 NW 向和 NNW 向3组，前两组断裂是控岩控矿构造。

（三）侵入岩

铜山侵入体主要岩石类型为花岗闪长斑岩，出露面积约2 km^2。岩石系钙碱性系列，碱值、尤其是 K_2O 含量明显偏高。岩体侵入时代属早白垩世，年龄134 Ma。

矿区内还发育少量的闪斜煌斑岩脉。

岩体的围岩为志留、泥盆及二叠系，岩体内围岩捕虏体较多，大小不等。这些围岩的接触带及附近，均遭受了不同程度的接触变质、接触交代及热液蚀变作用。

岩体中 Cu 元素平均含量68.49×10 $^{-6}$，变异系数大于150%，表明岩浆在冷凝过程中 Cu 元素发生了局部富集。

三、矿床地质

（一）矿体基本特征

铜山铜矿田主要包括前山和小铜山两个矿床，均为铜、硫、铁综合矿床，伴生金、银、钴、钼、硒、锌、镓可供综合利用。现以前山南段铜硫矿床为例作一介绍。

1. 主要矿体的形态特征

该矿段共有矿体98个，其中主要的矿体只有三个，编号1、29、32号，其成矿部位见图2-147、图2-148。

4号矿体为不规则大透镜体，膨胀收缩较显著，矿体形态变化较大。从中段图看，矿体走向近 NW 向，倾向 S—SE，倾角一般30°～40°，浅部平缓。矿体长350 m，最大延深590 m，厚度一般8～15 m，平均厚8.3 m。4号矿体主要受栖霞灰岩和花岗闪长斑岩的接触带或栖霞灰岩与五通组之间的构造带控

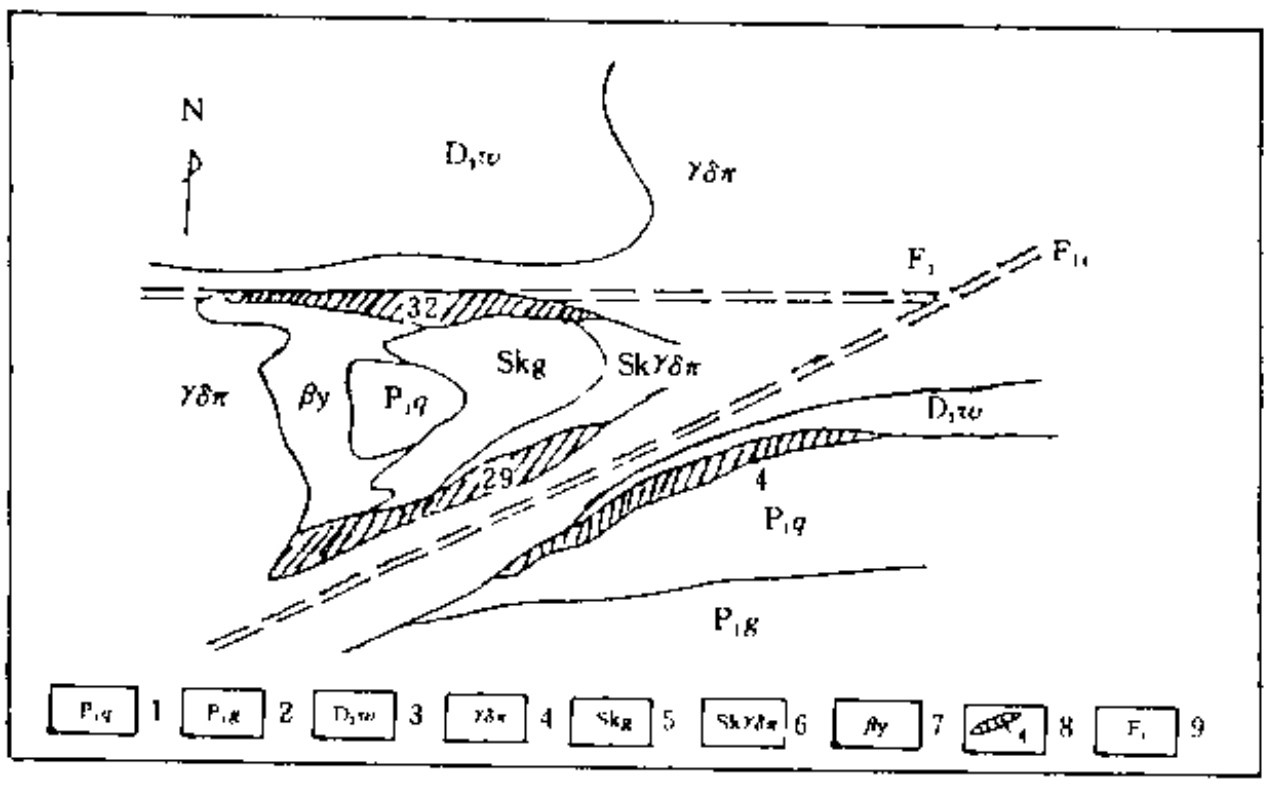


图2-147　前山-前山南段成矿部位示意图

Fig. 2-147　Sketch map showing mineralization in Qianshan-south Qianshan ore block

（据安徽省地矿局三二四地质队）（after geological Team 324, Anhui province）

1- 孤峰组；2—栖霞组；3—五通组；4 -花岗闪长斑岩；5　石榴子石夕卡岩；6　内夕卡岩；7　角砾岩；8- 矿体及编号；9　断层及编号

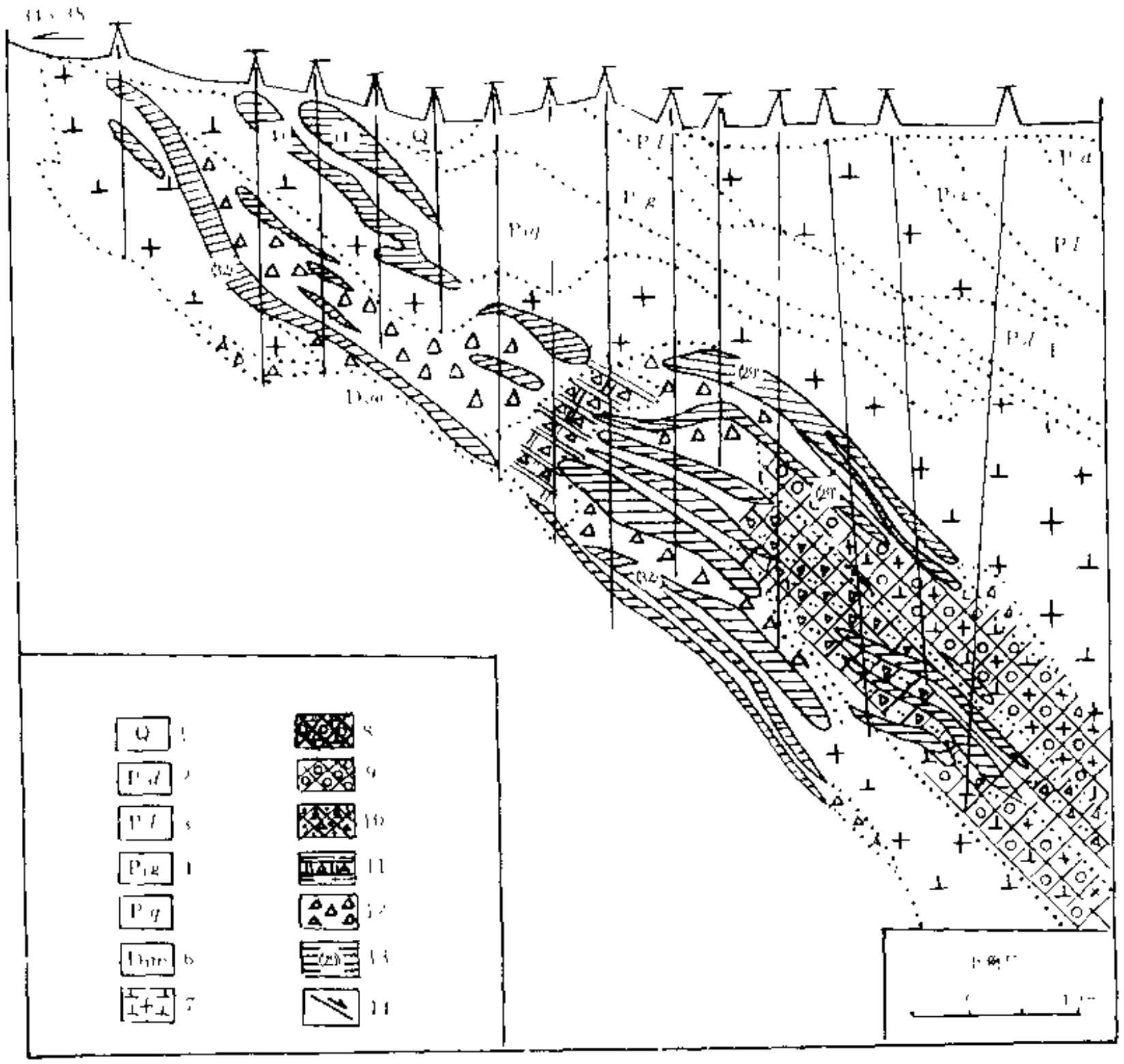


图2-148　前山-前山南段矿段剖面图

Fig 2-148　Profile of breccia zone in south Qianshan ore block

(据安徽省地矿局 _ 四地质队)

(after geological Team 324, Anhui province)

1--第四系;2--二叠系大理岩;3--二叠系龙潭组;4　_叠系孤峰组;5　_叠系栖霞组;6--泥盆系五通组;7　花岗闪长斑岩;8　内夕卡岩;9—夕卡岩,10—角砾状热液石英岩;11　角砾状大理岩;12　-角砾岩;13- 矿体及编号;14--断层及编号

制，东部层控条件明显。

29号矿体产于捕虏体的上接触带，其顶板为花岗闪长斑岩，东部底板为夕卡岩化花岗闪长斑岩，西部主要为角砾岩。以角砾岩为底板的矿体分支分岔，形态复杂，矿体为不规则的透镜状、扁豆状、囊状体，膨缩、分岔、尖灭现象明显。矿体走向北东，倾向南东，倾角35°～50°，长290 m，最大斜深110 m，平均厚度30.94 m。矿体厚大部位在－200～－100 m 标高。

32号矿体受捕虏体下接触带控制，其深部矿化随含矿地层（栖霞灰岩）被 F_{11} 截断而终止，并由岩体取代其空间。矿体比较稳定，呈透镜状、扁豆状。矿体东部顶板为夕卡岩，底板为岩体，西段顶板仍为夕卡岩，底板以五通组石英（砂）岩为主，层控条件比较明显。矿体呈 EW 走向，倾向 S，倾角浅部缓，12°～40°，深部陡，45°～60°，矿体长290 m，最大延深220 m，平均厚14.97 m。矿体主要部分分布于－300～－100 m 标高。

2. 矿石类型、矿石成分

矿床的矿石类型有四种，其矿物成分及主要有用组分含量如下：

含铜白（黄）铁矿矿石：主要矿物成分是白铁矿、黄铜矿，石英、碳酸盐（主要是方解石，下

同），其次是黄铁矿。本类型矿石是矿床主要矿石类型，占全区铜矿石总储量的73.72%、铜平均品位1.29%。

含铜磁铁矿矿石：主要矿物成分是磁铁矿、黄铜矿，石英及碳酸盐，次要的有白铁矿、黄铁矿。这种铜铁型矿石占全区铜矿石总储量的19.88%，铜品位0.97%。

含铜夕卡岩矿石：主要矿石矿物是黄铜矿、透辉石、石榴子石，次要的有磁铁矿、黄铁矿、碳酸盐。其铜的平均品位0.69%，在铜矿石储量中仅占6.40%。

硫铁矿矿石：主要矿物为黄铁矿、白铁矿、石英及少量的碳酸盐。全区硫铁矿矿石平均品位S 29.06%，属二级品，占全区硫铁矿矿石储量的13.96%；三级品平均品位S 16.60%，占全区硫铁矿矿石储量的86.04%。

3.矿石结构构造

铜矿石的结构主要有自形 他形晶粒状结构、球颗状（变胶状）结构和包含结构。铜矿石的构造主要为团块状构造，其次为浸染状、条带状及少量角砾状构造。

（二）夕卡岩带的分带、围岩蚀变及矿化特征

铜山夕卡岩发育地段，宽约百余米，延伸数百米，矿体赋存于夕卡岩带中。从大理岩到花岗闪长斑岩可依次划分为10个带：①方解石大理岩带；②黄英岩化夕卡岩化大理岩带；③透辉石石榴子石夕卡岩带；④含铜碳酸盐化石榴子石夕卡岩带；⑤钙铁榴石夕卡岩带；⑥透辉石石榴子石夕卡岩带；⑦钙铝榴石夕卡岩带；⑧钾长石化石榴子石夕卡岩带；⑨含铜夕卡岩化花岗闪长斑岩带；⑩花岗闪长斑岩。

夕卡岩的主要特征为：一是以石榴子石为最主要矿物（约占70%～90%），并多呈均质性的致密块状体；二是夕卡岩带碳酸盐化发育，并具多阶段性。透辉石、石榴子石多呈假像，为显微粒状方解石集合体所交代；三是钙铁榴石夕卡岩发育在夕卡岩带外侧，钙铝榴石夕卡岩发育在内侧。

根据微量元素与稀土、放射性元素变异特征，认为夕卡岩与花岗闪长斑岩具有亲缘性。本区组分的富集中心在夕卡岩的第6分带，该处应为大理岩与花岗闪长斑岩的正接触带，即接触断裂构造主通道上。而第3夕卡岩带可能是次级构造通道。

铜及亲铜元素富集于主通道两侧的第4和第9分带，铜与锌呈正相关关系。

矿床的围岩蚀变主要为钾长石化、碳酸盐化、黄英岩化。钾长石化主要发育在夕卡岩内带，黄英岩化主要发育于夕卡岩外带。碳酸盐化则具有广泛性和多阶段性。碳酸盐化以方解石为主，可划分为5个阶段，其中以早期硫化物阶段细粒状或显微粒状方解石与铜矿关系密切，常见绿泥石、绢云母与之共生。方解石化学成分中的Mn、Fe含量较高，$\delta^{18}O$值及$^{87}Sr/^{86}Sr$值也较高。

（三）矿床化探异常特征

由矿体中组合元素特征得出，铜矿化的指示元素为：Cu、Ag、Sn、Ni、Co、Zn；金矿化的指示元素为：Au、As、Sb、Bi。

矿区铜矿化主要集中在含铜碳酸盐化夕卡岩带和含铜夕卡岩化花岗闪长斑岩带，在这两个带内Cu、Zn、Co、Ni含量明显增高。两带$w(Cu)/w(Zn)$值大幅增加，与无矿夕卡岩带形成鲜明对比，可作为找矿标志。

四、成矿作用

（一）成矿阶段

碳酸盐化与成矿关系密切，经对方解石的研究，碳酸盐化可划分5个阶段。

夕卡岩化晚期阶段（Ⅰ）：方解石呈单晶体产出，充填于夕卡岩晶洞或空隙，可见纤闪石、绿帘石、钾长石交代单晶方解石，晚期石榴子石沿其裂隙充填。其包裹体测温为400～600℃。

磁铁矿生成晚期阶段（Ⅱ）：方解石结晶颗粒大，透明度低，产于脉状磁铁矿石中，共生矿物组合为方解石、磁铁矿、赤铁矿和菱铁矿，常为黄铁矿等硫化物方解石脉切穿。包裹体均一温度300～400℃，平均温度为344℃。

早期硫化物阶段（Ⅲ）：方解石呈细粒状或显微粒状集合体，与其共生的矿物有黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、斑铜矿，以及绢云母、绿泥石等。方解石呈灰、淡黄色，其生成温度200～300℃。

晚期硫化物阶段（Ⅳ）：方解石常与黄铁矿、石英共生，呈粗至中细粒，往往以脉状穿切夕卡岩及铜铁矿体，其生成温度150～250℃。

碳酸盐最后一次活动：显微粒状方解石常与玉髓、显微状石英及高岭土共生，分布广泛，强烈交代透辉石、石榴子石呈假像。

（二）方解石的同位素组成

1.C、O、Rb、Sr 同位素值列于表2-100和表2-101，表中反映热液流体生成的方解石 $\delta^{18}C$ 均为负值，明显低于大理岩。夕卡岩（Ⅰ）及磁铁矿（Ⅱ）生成期的方解石 $\delta^{18}O$ 较低，与花岗岩类的 $\delta^{18}O$ 变动范围（+7‰～+13‰）相一致；而硫化物期（Ⅲ、Ⅳ）方解石的 $\delta^{18}O$ 均较高。Ⅰ、Ⅱ两阶段方解石 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值与花岗闪长斑岩（初始值为0.7073±0.002）相吻合。因此，利用氧同位素和锶同位素资料综合判定，Ⅰ、Ⅱ阶段形成方解石的有关热液主要来自岩浆水，与花岗闪长斑岩岩浆中的水属同一源区；Ⅲ、Ⅳ阶段方解石有关热液则由来自岩浆源区的水和大量混入的雨水组成。

表2-100　铜山铜矿热液方解石碳氧同位素组成

Table 2-100　Carbon and oxygen isotope of hydrothermal calcite in Tongshan copper deposit

样品编号	生成阶段	$\delta^{18}C_{PDB}$/‰	$\delta^{18}O_{SMOW}$ ‰
TS002	Mb 夕卡岩化大理岩	+3.65	19.02
TS021		+1.16	22.51
TS023		+1.72	14.18
TS055	第一阶段（Ⅰ）	3.00	9.86
IC-1		2.82	10.39
IC-2		2.24	10.53
TS051	第二阶段（Ⅱ）	5.73	7.92
SP008		-1.10	9.77
SP012		-4.25	9.80
TS066	第三阶段（Ⅲ）	2.44	16.27
TS067		-3.09	16.15
TS069		2.25	16.04
TS054	第四阶段（Ⅳ）	-5.01	16.93

注：SMOW 与 PDB 换算采用 Craig、Clayton et al.（1965）公式

表2-101　铜山铜矿床热液方解石锶锶同位素组成

Table 2-101　Rubidium and strontium isotope of hydrothermal calcite in Tongshan copper deposit

样品编号	生成阶段	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$^{87}Rb/^{86}Sr$	Sr（×10⁻⁶）
TS053	花岗闪长斑岩	0.708004	0.349605	508.0
TS075		0.708515	0.601669	360.0
TS055	Ⅰ	0.708781	0.26921	297.39
IC-2		0.708636	0.13819	273.71
TS051	Ⅱ	0.708140	0.02479	219.00
SP008		0.708551	0.00677	217.12
TS052	Ⅲ	0.712423	0.062507	161.33
TS054	Ⅳ	0.710147	0.019136	372.17

2. 硫同位素组成：岩体中的 $\delta^{34}S$ 平均值为3.09‰；外接触带夕卡岩 $\delta^{34}S$ 平均值为3.11‰，十分接近，均未超过5‰，变化幅度小，属岩浆成因的热液硫化物。

（三）矿床成因

从上述分析表明，本矿床是由岩浆期后的残余熔浆分馏所形成的热液，沿正接触带断裂构造通道上侵，交代围岩及充填构造裂隙形成夕卡岩型铜、硫、铁矿床。

第十九节　安徽安庆市西马鞍山铜矿床

一、大地构造单元

矿区大地构造单元属于扬子准地台下扬子坳褶带，位于郯庐断裂与“沿江断裂带”之间的怀宁断褶束东段。

二、矿区地质

（一）地层

赋矿地层主要是三叠系。三叠系分布于月山岩体周缘，主要是下统扁担山组，岩性为钙质页岩、泥灰岩；中统月山组和铜头尖组，岩性为中厚层、薄层灰岩和粉砂岩，与成矿的关系最为密切。月山组中顺层产出的膏溶角砾岩（又称同生角砾岩）、膏盐层、层间剥离带，对岩体顶底面的控制以及对铜、铁矿床的就位和空间展布有极为密切的关系。铜头尖组则在一定程度上起到屏蔽层的作用。

（二）构造

区域构造的展布受控于区域岩浆底辟变质、变形体系和白子山—月山推覆体的制约。西马鞍山矿区位于月山岩体的东部，区内褶皱断裂比较发育，根据各类构造行迹的空间展布及其成生联系，可以分为近 EW 向、近 SN 向、NE 和 NW 向构造。

（1）近 NW 向构造：西马鞍山-月山复背斜位于月山岩体东支南缘接触带，成生时间较早，受后期近 SN 向褶皱叠加，控制了岩体东支南缘接触带及矿体形态。同时，沿岩体东支南缘接触带，发育有隐伏至半隐伏的 EW 向断裂构造，该断裂成矿前及成矿期均有活动。

（2）近 SN 向构造：是矿区内最发育的构造，以断裂构造为主，褶皱次之。褶皱构造以中小型为主，以龟形山褶皱组最具代表性，其中以 NNW 向龟形山倒转背斜规模较大，是控制安庆铜矿的重要构造。近 SN 向断裂构造规模大小不等，成带出现，由平行排列、近等距分布的压扭性断裂组成，规模较大的有 F$_1$ 断裂，位于龟形山背斜东侧，成矿后活动明显，是典型破矿构造。

（3）NE 向构造：位于月山岩体北支和东支交汇处的铁铺岭向斜，该向斜是很好的容矿构造。

（4）NNE 向构造：具代表性的是铜牛井断裂，位于岩体北支的闪长岩内，是重要的控矿、储矿构造。

（5）NW 向构造：以断裂为主，成矿期为张性、张扭性，控制安庆铜矿的部分矿体及成矿后的脉岩。

（三）侵入岩

月山岩体为燕山早期侵位的闪长岩体，岩体出露呈“十”字形，展布在铜牛井、刘家凹、东马鞍山一带，以大排山为中心，南北长5.5 km 左右，东西宽6.3 km 左右，地表出露面积约11 km^2。月山岩体为向 NNE 倾斜的似层状岩体。岩体东支接触带产状变化较大，北接触带产状与地层产状基本一致，随围岩起伏而变化，南接触带产状变化较大。北支东缓西陡；西支北缓南陡；南支东接触带浅部向东倾斜，深部向西倾斜。与岩体接触的围岩主要是中、上三叠统。

纵览月山岩体接触带产状和构造特征，推测月山岩体的这种“十”字形态可能是深部岩浆先沿着北东向基底断裂上侵，到达浅部后沿着 T$_{1-2}$y 间的层间断裂带贯入，同时又受到近南北向和北西向断裂的控制而形成的。

据1972年国际地科联中酸性侵入岩分类方案，月山岩体－400 m 以上的上部，岩石以闪长岩为主，与长江中下游地区含铜铁岩体相比，钾长石含量相同，石英偏低。因此，月山岩体是一个由闪长岩向二长闪长岩和石英二长岩过渡的碱高、偏酸、色率偏低的中性岩。

新鲜闪长岩（或二长闪长岩）呈灰色，岩石具全晶质等粒结构、似斑状结构，主要造岩矿物为斜长石、角闪石、钾长石，其次为石英和黑云母。另外，该岩体内还见到一种呈大的团块状分布于闪长岩中的由长石、透辉石、方柱石组成的岩石，呈灰绿色，具半自形粒状结构，而且透辉石、方柱石都是原生的。

月山岩体副矿物组合的磁铁矿-榍石 磷灰石 锆石，属磷灰石-榍石型。在不同类型岩石中，磁铁矿、榍石、锆石、黄铁矿的含量有明显的差异。磁铁矿主要集中在闪长岩和二长闪长岩中，榍石则在透辉石、方柱石闪长岩中含量较高，而锆石在二长岩中的含量是其余两种岩石中含量的两倍。另外，岩体中普遍含白钨矿和稀土矿物褐帘石、蓝晶石、刚玉等，稀土具强选择铈族配分型。

月山岩体岩石化学成分及岩石化学参数平均值见表2-102。

表2-102　月山岩体化学成分百分含量表（w_B/%）

Table 2-102　Chemical composition (w_B/%) of Yueshan intrusion

岩石类型	样数	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
闪长岩	5	58.57	0.71	17.15	2.59	2.30	0.056	2.75	5.57	6.20	2.01
二长闪长岩	21	59.51	0.67	16.25	2.97	2.56	0.066	2.68	4.47	5.13	3.28

1. 岩体平均化学成分特点

Al_2O_3、SiO_2、K_2O、Na_2O+K_2O 含量比黎彤值略高，FeO、Fe_2O_3、MgO、Na_2O、CaO 含量比黎彤值低，为富碱偏酸性的中性岩。

2. 微量元素特征

微量元素种类及含量与 A. H. 维诺格拉多夫1926年统计的中性闪长岩相比较，具有以下特征：

铁族元素种类（Cr、Co、Ni、V）普遍存在，与维氏值相比，Co 含量偏高，Cr、Ni 偏低。该族元素具有同步消长的变化规律。

亲铜元素（Cu、Pb、Zn）与维氏值相比，Zn 偏低，Cu、Pb 偏高，Cu 平均含量为65×10^{-6}，较维氏值高0.85倍，反映了原始岩浆含铜较高。

稀土元素（Be、Nb、Y、Yb、La）含量低，无明显异常。Ba、Sr、Zr 广泛出现，含量略高于维氏值，Ga 含量与维氏值相同，Ag、Bi 含量较低。

三、矿床地质

月山矿田内矿体主要分布在月山岩体与三叠纪地层接触带、捕虏体接触带及其附近，少量分布于岩体内裂隙中。矿床在空间上的排列反映矿化的规律，以有用组分富集的地质环境和产出的状态不同，主要的矿化类型有接触交代型-铜（铁）矿床；石英脉型铜-钼矿床。矿床在矿田内的分布，由东向西依次为安庆铁铜矿床、马头山铜矿床、铁铺岭铜矿床、刘家凹铁铜矿床、铜牛井铜钼矿床、学田铁矿点、刘家大排铁矿床（图2-149）。

矿床在空间上由东向西依次排列为，矿浆型（安庆铜矿）→过渡型（刘家凹）→热液型（刘家大排）。

矿床埋藏深度也有一定规律，矿浆型在深部−280～−620 m，过渡型在中部−280～−60 m，热液型在上部−60～0 m。

安庆铁铜矿位于月山岩体东支前锋，大小有40余个矿体，其中主要矿体有两个，分别称为Ⅰ号和Ⅱ号矿体。矿体产在接触带舌状体构造部位，形状受舌状体构造控制（图2-150）并被后期断层切割，矿体与围岩界线截然清楚。

（一）矿体特征

1. Ⅰ号矿体赋存于矿区 NE 部，东西长1200 m 左右，南北宽400 m，面积0.28 km^2。矿体形态简单，中心厚，两侧逐渐变薄、尖灭，为一变化不大的透镜体，埋深−210～−800 m，矿体一般厚50 m，最大厚度115 m。

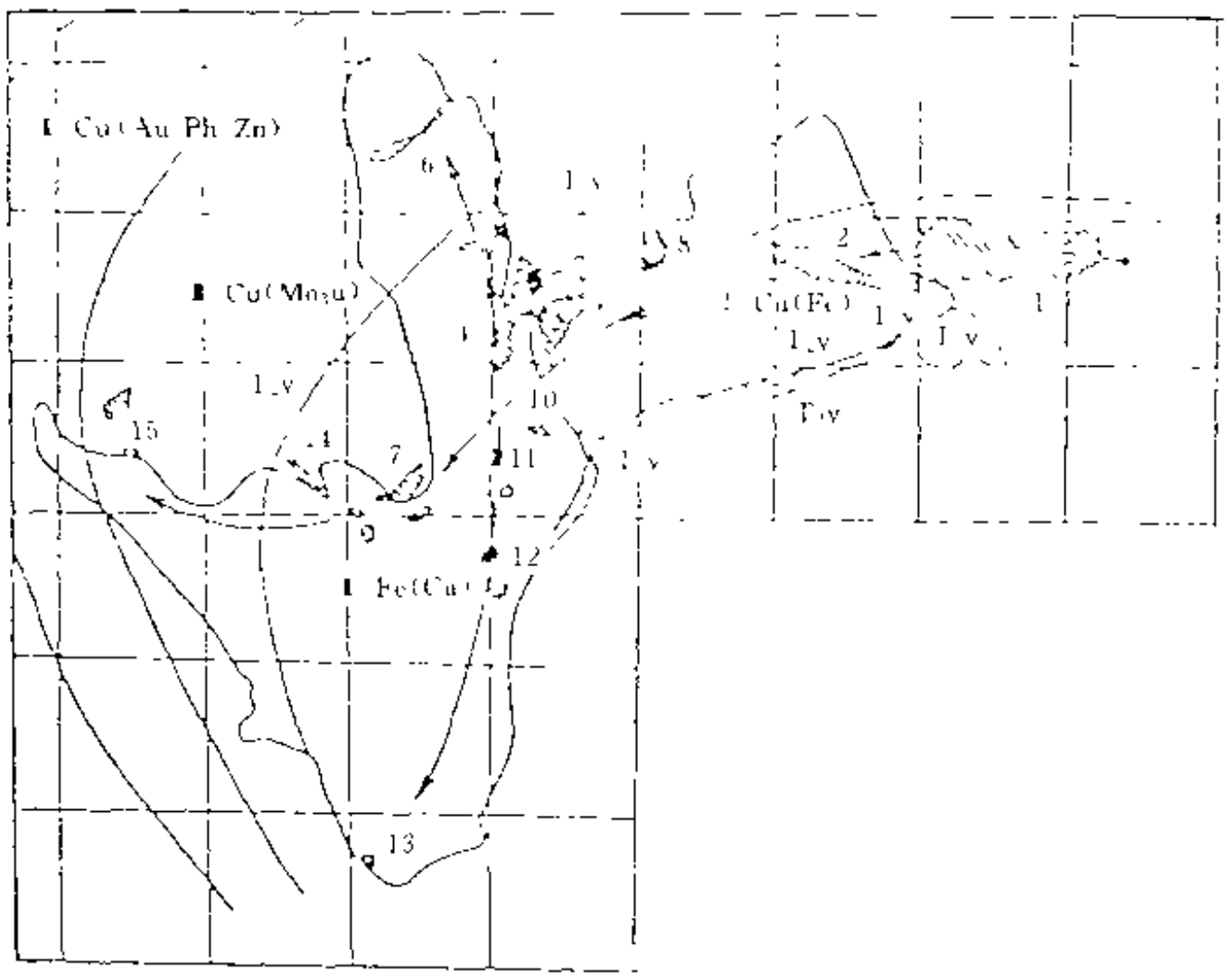


图2-149　月山矿田矿点分布图

Fig. 2-149　Location of mineral occurrence in Yueshan ore field

（据安徽省地矿局 . 六地质队）

(after geological Team 326, Anhui province)

1—安庆铁铜矿床；2—马头山铜矿床；3—龙门山矿床；4- 刘家凹铁铜矿床；5—铁铺岭铜矿床；6—铜牛井铜铅矿床；7—刘家大排铁矿床；8—黎彤钨矿点；9　学田铁矿点；10　团内山铜铁矿点；11—刘岗岭铁矿点；12　章河湾铜铁矿点；13—刘家岭铁铜矿点；14　洪屋铁矿；15—横湾铜铀矿点

2. Ⅱ号矿体位于Ⅰ号矿体的西侧。在F_1断层上盘，主要赋存于－280～－520 m间，最浅处为－236 m，最大埋深－600 m，面积约为0.17 km^2。规模次于Ⅰ号矿体，厚度比Ⅰ号矿体小。一般厚15～40 m，最大厚度48 m，最小厚度1.5 m，平均厚度19.4 m。矿体形态似一张开的蚌状。在0线－460 m以下，矿体走向急剧变化，普遍具分叉、尖灭、复合现象。

Ⅰ号和Ⅱ号矿体，主要产于三叠系与月山岩体接触带内。整个矿体与围岩界线清楚。

（二）矿石特征

1. 矿石类型及结构构造

矿石分为铁矿石、铜铁矿石、铜矿石；或分为接触交代型铁矿石、磁铁矿型矿石、接触交代型铜矿石、闪长岩型铜矿石。

矿石结构主要有自形—半自形、海绵陨铁结构及包含结构。

矿石主要构造有致密块状、浸染状、脉状及团块状构造。

2. 矿石成分

（1）矿物中主要金属矿物有磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿及磁黄铁矿，次要金属矿物为斑铜矿、辉铜矿、赤铁矿。非金属矿物有石榴子石、透辉石、方柱石、斜长石，还可见有少量磷灰石、榍石、阳起石、方解石、绿泥石。

（2）矿石的化学成分：主要化学成分以Cu、Fe为主，伴生组分有S、Co、Au、Ag，次要的组分有Pb、Mo、Ce、Ga、Se、Te、In、稀土及放射性元素。

全矿区平均品位：Fe46.69%，Cu1.32%，S3.07%，Co 0.011%，Au 0.13×10^{-6}，Ag 3.96×10^{-6}。

（三）围岩蚀变

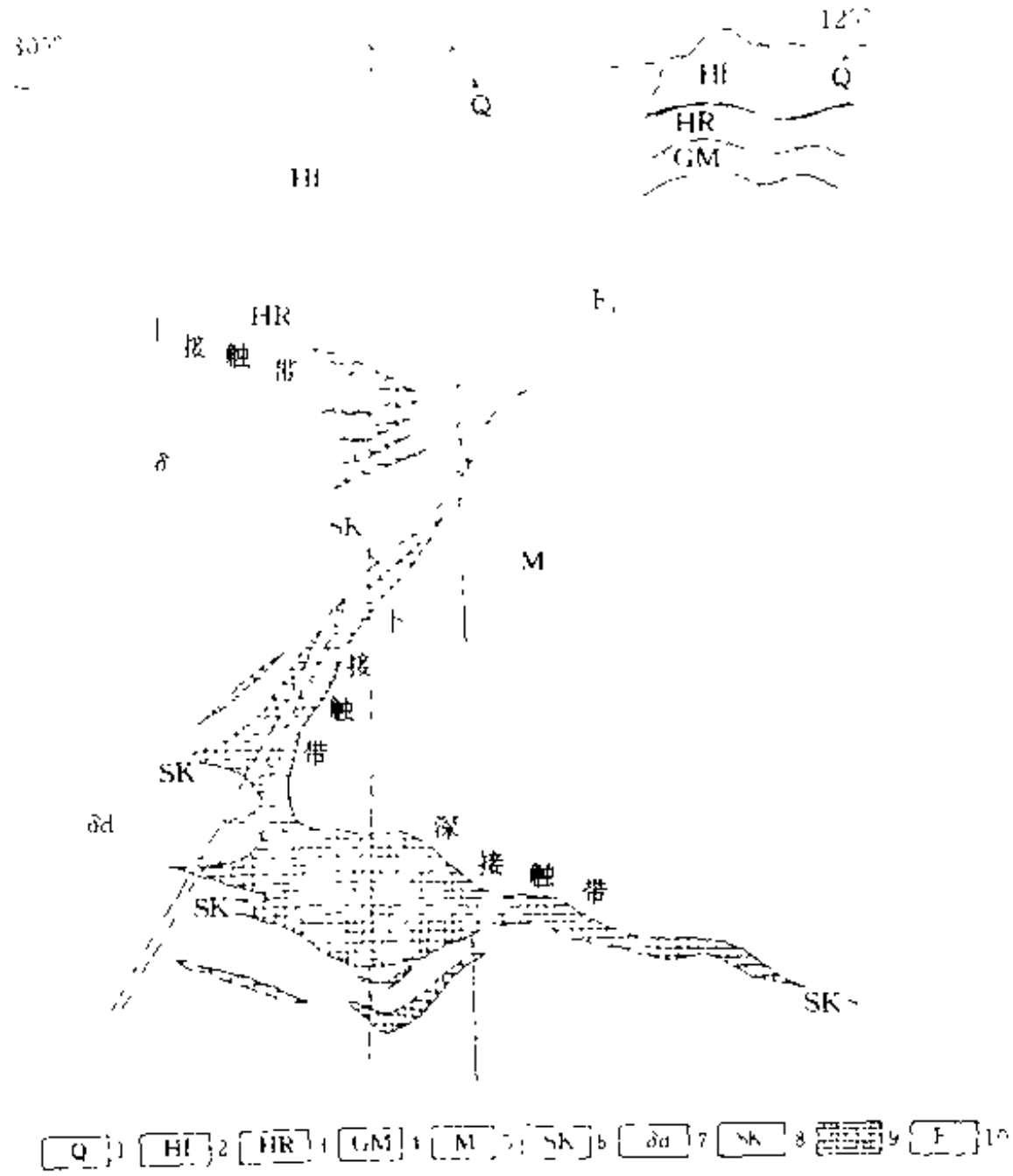


图2-150　安庆铜矿床纵0线地质剖面示意图

Fig. 2-150　Schematic profile of line 0 in Anqing copper deposit

（据安徽省地矿局 ，三六队简化）

(simplified from geological Team 326, Anhui province)

1—第四系；2—三叠系上统黄马青群角岩；3—三叠系上统黄马青群钙质角页岩；4—三叠系上统黄马青群角砾状大理岩、5—三叠系中统大理岩；6—闪长岩；7—透辉石化闪长岩；8—夕卡岩，9—矿体，10—断裂破碎带

矿区围岩蚀变很弱，大理岩几乎完全没有蚀变。钾质和钠质交代微弱，自交代夕卡岩发育。见有气成高温期钠质角闪石（钠铁闪石）化。

四、成矿条件

从成矿物质来源、成矿物理化学条件和成矿流体性质等方面，本矿田接触交代型铁铜矿床属于矿浆到热液的过渡型矿床系列。

（一）成矿物质来源

1. 岩石、矿石稀土元素地球化学特征

月山岩体稀土丰度 ΣREE 平均值为225.57×10⁻⁶，高于地壳平均值（161×10⁻⁶）。与中性岩（196×10⁻⁶）、宁芜地区同熔型岩浆岩（196.30×10⁻⁶）和鄂东地区岩浆岩（192.11×10⁻⁶）相近。

$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$平均值为8.90，远高于华南地区重熔型岩浆岩（1.19），与鄂东（5.86）、华南（5.41）和宁芜（5.82）同熔型岩浆岩相近。属于 ΣCe 富集型。

δEu 为0.90，Eu 弱副异常富集分配模式，与鄂东（0.98）、华南（0.86）和宁芜（1.03）同熔型岩浆岩相似，但明显高于华南（0.20）重熔型岩浆岩。

2. 月山岩体成因类型的归属

从月山岩体稀土参数及其图解可以看出，月山岩体稀土特征值都在同熔型岩浆岩区内。

3. 矿石稀土地球化学特征

矿田内接触交代型矿床矿石的稀土元素（ΣREE）丰度值具有以矿浆型矿石到过渡型矿石到热液型

矿石依次减小的趋势，$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$在矿田内各成因类型矿石中均大于1，表明它们都是轻稀土富集型。

综上所述，本矿田内矿浆型矿石与闪长岩岩石具有相似的稀土元素含量特征，热液型矿石具有与大理岩相似的稀土元素含量特征，从而说明成矿流体与闪长岩浆（月山岩体）可能具有同源关系。

（二）岩（矿）石微量元素特征分析

本区微量元素在矿石中的含量与岩体中的含量既具有相似性又具有一定的差异性。如矿石中的亲石元素 Cs、Li，亲铁元素 Cr、Ni，亲铜元素 Pb、Zn，挥发分元素 S、F 及部分常量元素与闪长岩岩体中的基本一致，而 Ba、Sr、Rb、Mn、V、Co、Cu、Ga 及部分常量元素 Fe、Al、Ca、Mg 与闪长岩岩体中的相应元素之间存在着明显的差异。矿石与闪长岩岩体中微量元素的一致性说明成矿物质与成岩物质可能具有相同的来源，其差异性是由于深部岩浆在分异过程中，地球化学性质存在明显差异的微量元素分别富集在不同的流体（K、Na 硅酸盐熔浆和含矿夕卡岩浆）中造成的。另外，这些微量元素在不同成因类型矿石中的差异可能说明成矿流体性质的差异以及可能受了围岩（大理岩）的影响。

（三）同位素地质特征

（1）氧同位素地质特征：本矿田矿床中 $\delta^{18}O$ 在7.18‰～9.31‰，说明本矿田成矿介质是由初生水与部分地壳水混合而成的。区内磁铁矿的矿物 $\delta^{18}O$ 2.10‰～2.81‰，与鄂东部分地区（小包山、脑窖）深源铁矿床中磁铁矿的矿物 $\delta^{18}O$ 2.4‰～3.2‰和月山岩体中磁铁矿 $\delta^{18}O$ 1‰～3‰一致。说明本矿田铁铜矿床的成矿物质是深源的。夕卡岩中石榴子石矿物的 $\delta^{18}O$ 为7.33‰，与铁山夕卡岩中石榴子石矿物 $\delta^{18}O$ 5.7‰～8.56‰一致，说明了与本区铁铜矿密切相关的夕卡岩同样具有深源特征。

（2）硫同位素：月山矿田 $\delta^{34}S$ 变化范围在1.5‰～13.1‰，其中矿浆型矿床中硫化物 $\delta^{34}S$ 在1.5～2.7‰范围内，基本接近陨石硫组成，说明其物质来源有幔源岩浆的特点，而过渡型矿石中硫化物 $\delta^{34}S$ 的变化范围在11.7‰～15.2‰，既高于陨石的 $\delta^{34}S$，又明显低于原生沉积的碳酸盐中的 $\delta^{34}S$，这一特征可能是月山组膏盐层中硫酸盐或地下水提供了较多的重硫造成的。

（四）成矿的物理化学条件

1. 成矿温度和成矿压力的估算

（1）成矿温度　矿田中主要成因类型矿石中，包裹体以原生气液包裹体为主，个别样品中偶见熔融包裹体。液相包裹体，在矿区内一般为3～8 um，气相比总体积的10%～20%，均一温度在590～640℃。熔融包裹体存在于块状、条带状接触交代型磁铁矿及粉砂岩内石榴子石夕卡岩脉中，主要矿物为石榴子石、透辉石、阳起石，大小在5～8μm 范围内，气相为黑色，个别包裹体中有子矿物出现，均一温度在280～1020℃。

区内磁铁矿爆裂温度区间很大，从411～720℃。

本矿田均一温度具有从深部到浅部，从东到西（即从矿浆型到热液型矿石）逐渐降低的变化趋势。

（2）成矿压力的估算　根据邻区地层厚度来推测岩浆就位时上覆地层的总厚度。这样估算出的闪长岩形成深度约3 km。本区矿体主要分布于岩体顶缘浅部，矿化顶面与闪长岩顶面标高基本一致，成矿是成岩的继续，因此，基本上可以认为岩浆侵位深度与矿体形成时的深度一致。这样间接估算内生成矿期的主要成矿阶段时压力值为80～900 MPa（按每3.3 km 产生静压力约100 MPa 计算）。

2. 氧逸度的估算

由于本区成矿物质来源于深部，成矿流体具有从矿浆到热液过渡的性质，因此，根据 Sack（1980）在实验的基础上提出了计算氧逸度值。计算结果可以看出本矿田铁铜矿床成矿流体氧逸度值[$\lg(fo_2/10^5\ Pa)$]具有从矿浆型的－21.9526～－22.8731到过渡型流体到热液型的－20.1289～－20.3442，有逐渐增大的趋势。

（五）矿床的成因类型

月山矿床的成因类型有两类：一类是接触交代型铁铜矿床，另一类是石英—方解石脉型铜钼矿床，二者总体上分离，而局部重叠（如刘家凹）。

矿田中接触交代型铁铜矿床与通常接触交代型矿床显著不同，其特点有二：同时型和夕卡岩浆型。

1. 同时型

同时型矿床的特征在于夕卡岩矿物与磁铁矿和硫化物为同阶段形成，其依据主要为：

(1) 豆状构造发育，它表现为磁铁矿石中有石榴子石＋磁铁矿组成的豆体。豆体内磁铁矿与主体磁铁矿的特征一致，在透辉石夕卡岩中有磁铁矿和硫化物的豆体。

(2) 包含互包含结构发育，透辉石与硫化物互相包裹，常见透辉石与磁铁矿的互包现象，也是二者同时形成的证据。

(3) 海绵陨铁结构，结状结构等均反映了夕卡岩与磁铁矿、硫化物同阶段形成的特征。

需要指出的是，月山矿田中接触交代型铁矿属同时型矿床，而接触交代型铜矿床为同时型一叠加型，且以叠加型为主。

2. 夕卡岩浆型

矿田中形成的夕卡岩的流体为一浆一液过渡系列，这与通常认为夕卡岩仅为热液作用是不同的，作为岩浆成因夕卡岩的依据主要有：

(1) 夕卡岩呈充填一贯入状穿入大理岩中。

(2) 夕卡岩既可穿入大理岩，也可穿入砂岩中。

(3) 夕卡岩除以石榴子石、透辉石为主外，还有石英、长石、磷灰石、榍石、锆石等一套花岗岩的矿物组合，有时还在夕卡岩中形成花岗伟晶岩囊。

(4) 夕卡岩中发育气孔构造，气孔壁上夕卡岩矿物晶体明显粗大。

(5)夕卡岩中发育有粗晶夕卡岩矿物所组成的囊状体。这种粗晶乃至伟晶囊状体的存在表明形成夕卡岩的流体中挥发分是不均匀的，正是由于这种局部的挥发分相对集中，促使形成粗大的矿物晶体。

(6) 熔离条带的发育。矿石中发现由透辉石与磁铁矿组成的条带，一种形式为韵律状构造，一种为磁铁矿与透辉石各呈细条带相间而成。

(7) 豆状构造发育。

(8) 熔融包裹体的存在，在石榴子石、透辉石、石英、阳起石中多次发现有熔融包裹体或熔体 流体包裹体。

上述证据均表明月山矿田中一部分夕卡岩为岩浆成因，尤其在西马鞍山表现最为明显，因此安庆西马鞍山铜矿的成因类型可定为夕卡岩浆型铜铁矿床。从矿田空间分布看，无论是形成夕卡岩的流体还是成矿流体都具有东浆西液的特征，即从安铜向西成矿流体由浆逐渐变为热液，至刘家大排则形成热液交代型矿床。

西马鞍山的成矿模式可参考铁山矿床。

第二十节　上海金山张堰铁铜矿床

一、大地构造矿单元

矿区位于一复向斜向东北延伸部分，北为古生代断块隆起带，南为中生代凹陷带。两个构造单元之间为NE向区域性大断裂，它与浙江省境内广泛发育的新华夏方向断裂属同期产物，并受后期NE向和NW向断裂所改造，这些断裂体系控制了多期岩浆活动，造成了本区为成矿有利的地带。

二、矿区地质

(一) 含矿岩系

区内为厚达160余米的第四系覆盖的平原区，经钻探揭露可见以下几类岩层（图2-151)。自上而下为：

1. 凝灰质砂岩

灰白色、紫红色，砂状结构，局部具层理构造。沉积物中长石占0%～50%，石英占 3%～10%，火山碎屑物占12%，其他占33%～54%。钻孔穿层最大视厚度69 m，与下伏地层为不整合接触。

2. 流纹斑岩、流纹质凝灰角砾岩

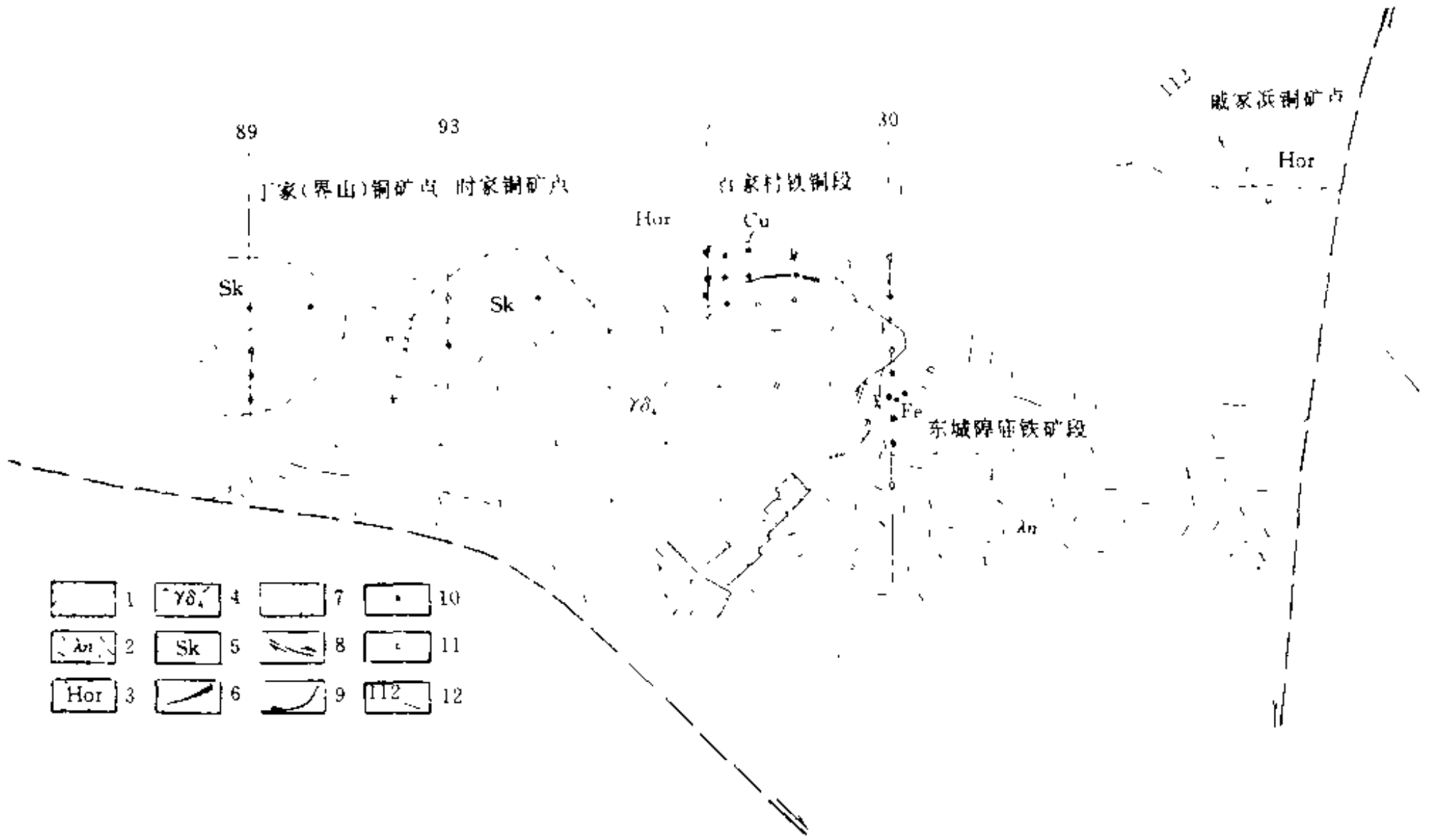


图2-151　张堰铁铜矿区基岩地质推断图

Fig. 2-151　Inferential plan of solid geology in Zhangyan Fe-Cu ore district

1　凝灰质砂岩；2－流纹斑岩；3－角岩；4－花岗闪长岩；5　夕卡岩；6－铜矿；7　矿体水平投影范围；8　平推断层；9　不整合界线；10－见矿钻孔；11　未见矿钻孔；12－剖面线及编号

浅灰色、红色，致密、坚硬，局部呈流纹构造，斑状结构，斑晶为石英和微纹长石，基质由脱玻化隐晶质物质组成。部分浅灰色的岩石，斑晶往往以石英为主，钾长石次之，定名为石英斑岩。局部层位夹有流纹质凝灰角砾岩。见有绢云母化、硅化、少量高岭土化、红柱石化。钻孔穿层最大厚度196 m，与下伏地层可能为不整合接触。

3. 角岩

深灰色、致密、坚硬，微晶花岗变晶结构。主要矿物成分为石英、更长石、黑云母，属接触变质岩石。具黑白相间条带构造和揉皱构造，条带构造产状变化剧烈，一般均为陡立。黑色条带主要为黑云母类矿物，定向排列组成片理构造。浅色条带主要有石英、微晶长石类矿物组成。可分为黑云母斜长角岩、黑云母革青石角岩、石英长石角岩等。钻孔穿层视厚228 m。角岩中广泛夹有数层灰黑色、白色结晶大理岩，有的视厚度达110 m。角岩的原岩初步认为主要由一套下古生界泥质粉砂质岩层经热变质而成，也可能有火山岩成分。

4. 夕卡岩

为本区主要的含矿层，一般产于花岗闪长岩体的外接触带中，在岩体内边缘处和角岩中也见有夕卡岩并呈交互锯齿状产出。夕卡岩带产状受控于岩体形态，呈楔状、透镜状体。一般可见厚度100余米。夕卡岩岩性有绿帘石夕卡岩，具强烈碳酸盐化；石榴子石夕卡岩，含黄铜矿、磁铁矿；有的与透辉石等矿物呈条带状出现。

（二）侵入岩

花岗闪长岩为中浅成的侵入体，与成矿关系最为密切。局部渐变为石英闪长岩，组成矿物有斜长石（50%～59%）、石英（14%～19%）、钾长石（10%～23%）、角闪石（5%～8%）、黑云母（5%～7%）；副矿物有榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿及钛铁矿，次生矿物有绿泥石、绢云母、白钛石、高岭石及方

解石等。岩石化学分析结果见表2-103。分析结果表明花岗闪长岩体属微饱和至过饱和贫碱到富碱的正常成分的岩石。

表2-103 岩体岩石化学成分表 (w_B/%)

Table 2-103 Petrochemical content (w_B /%) of intrusive rocks

岩石名称	编号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O
花岗闪长岩	520 349	64 06	0.66	16.14	1 88	2 70	0 072	2.3	3 8	1 5	2.58	0 199	2 72
	523 350	63.30	0.684	16.27	1.97	2 8	0.059	2.48	4 18	4.22	2 39	0.204	0 42
	526 372	64.26	0.608	15.78	1.68	2 65	0.066	2.3	3.3	4.16	2.81	0.195	0 35
石英闪长岩	73-58	59 17	1.06	17.01	3 03	3.96	0.2	3.05	1.68	4.42	2 6	1 1	0 27
	552 445	62.20	0 756	16 47	2 47	2 91	0.072	2.34	4 67	4.1	2 21	0 27	1 1
花岗闪长岩		65 01	0.57	15 94	1 74	2.65	0 07	1.91	4.42	3 7	2 75	0 2	1 04
		58.9	0.76	16 47	2.89	4.04	0.12	3.57	6 11	3.46	2 11	0 27	1 27

岩体节理裂隙比较发育。一般见有二组节理，一组倾角45°，一组倾角85°以上。在陡倾斜这组节理上普遍见有较好的铜钼矿化；同时，凡有钾长石化出现的地方，就见到铜矿化及对早期矿物进行明显交代的现象。

还有闪长玢岩、次闪石辉绿玢岩、角闪玢岩、正长斑岩、辉绿岩和细晶岩等脉岩产出。

三、矿体产状、形态及赋存部位

矿区共有百家村铁铜矿、东城隍庙铁矿和时家、丁家、戚家浜等铜矿点（图2-151）。

（一）百家村铜铁矿

矿体产于花岗闪长岩体北侧接触带夕卡岩中。为陡倾斜"整合"接触带控制的矿体，由大小数个铜矿体和数个铁矿体组成。矿体呈透镜状和楔状，走向近东西，向北倾，倾角约45°～65°。铜矿体主要分布在夕卡岩带的上部，距岩体边界50 m左右，厚度由上向下逐渐变薄，最大厚度达76.63 m。铁矿体与铜矿共生在一起，主要分布在夕卡岩带的内侧，距岩体边界较近。厚度由上向下逐渐变薄，最大厚度约38 m（图2-152）。在花岗闪长岩体内有铜钼矿化，呈细脉浸染状，厚几米至10多米。

（二）其他矿床（点）

（1）丁家（界山）铜矿点：位于花岗闪长岩体西北端接触带上，与时家铜矿体不相连。铜矿体主要分布在阳起石石榴子石夕卡岩带中，少量分布在灰黑色大理岩内。矿石类型以接触交代型铜矿为主，矿石构造主要为浸染状、斑点状。目前共发现有四层铜矿体，单层厚度20 m，铜矿品位达工业要求。矿体形成后又被后期正长斑岩、闪长玢岩的侵入所破坏。

（2）时家铜矿点：矿体产于花岗闪长岩体北接触带上的绿帘石石榴子石夕卡岩中。矿体厚度近20 m。

（3）戚家浜铜锌矿点：在戚家浜低缓小异常上，经钻孔揭露为角岩、夕卡岩化角岩和夕卡岩，并在孔深560～660 m处发现数层闪锌矿层，含少量黄铜矿，伴生钴，厚度20余米，部分为富矿，主要为浸染状和块状矿石，赋存于夕卡岩中。

（三）矿石物质成分

金属矿物主要有磁铁矿、黄铜矿、赤铁矿、辉钼矿，其次为磁赤铁矿、穆磁铁矿，闪锌矿、铜蓝、黄铁矿、镜铁矿等。

非金属矿物主要为石榴子石、透辉石、透闪石、辉石、绿帘石、方解石、闪石、蛇纹石、石英等，其次为阳起石、绿泥石、金云母、石棉、玉髓、蛋白石等。

部分样品经光谱和化学分析，证实含有较多的达到工业品位的银等有益元素。

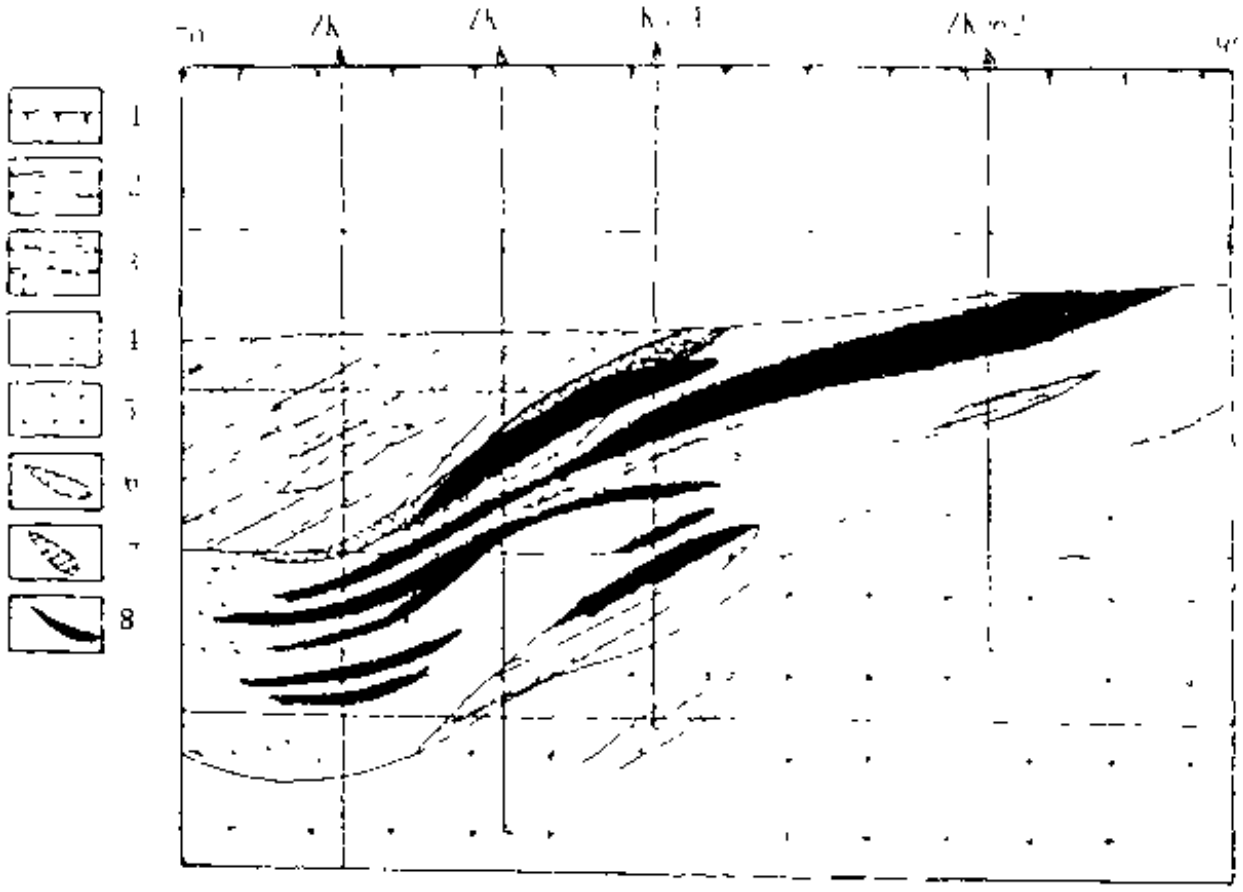


图2-152　百家村铁铜矿段纵剖面示意图

Fig. 2-152　Schematic cross section of Baijiacun Fe-Cu ore block

1—第四纪覆盖层；2—角岩；3—大理岩；4　夕卡岩；5　花岗闪长岩；6　钼矿体；7　铁矿体；8　铜矿体

（四）矿石结构与构造

矿石结构有自形—他型晶粒结构、网格状结构、似文象结构等。

矿石构造有块状、浸染状、细脉状、斑点状、条带状构造。

（五）围岩蚀变

（1）热变质形成一套黑云母斜长角岩、斜长石石英角岩及大理岩等热力变质岩石。角岩化程度随远离岩体而逐渐变弱，并过渡到正常岩石。热力变质作用影响范围，距岩体边缘一般有100～200 m。

（2）热液蚀变：本区围岩蚀变种类较多，分带现象虽不十分明显，但也有一定的规律性。

远矿围岩蚀变：从岩体至夕卡岩、角岩及上覆酸性火山岩地层中均存在不同程度的硅化现象，但在夕卡岩，角岩及凝灰岩中硅化作用比较强烈，在局部地段形成次生石英岩。同时在夕卡岩和角岩中常伴有明显的碳酸盐化和绿泥石化。在上覆的酸性火山岩地层中高岭土化、绢云母化发育。

近矿围岩蚀变：以百家村铁铜矿段为例，从花岗闪长岩体到角岩逐次出现：蚀变花岗闪长岩，岩体中大部分斜长石已遭高岭土化、钾长石化，暗色矿物遭受绿泥石化，一般蚀变程度较弱，基本上保留原岩结构。蚀变强烈的局部地段，原岩结构已不甚明显，高角度节理比较发育，为铜钼矿细脉充填，有的地段铜钼含量达到工业品位。

透辉石夕卡岩带，细晶致密，与岩体交互出现，一般矿化不甚发育。

石榴子石夕卡岩带，靠近透辉石夕卡岩带，且与之成渐变关系。是本区铁铜矿体主要赋存的部位，

蚀变角岩带普遍见硅化、黄铁矿化、绿泥石化，局部见夕卡岩化等，一般与矿无关。

（六）矿化作用

（1）矿化具多期性：早期铁矿化位于接触带部位，形成浸染状显微似文象结构的铁矿石，而晚期铁矿化沿接触带所叠加的破碎带和微裂隙充填、交代钙镁质夕卡岩，从而形成大量的各种交代结构的铁矿石。之后，铁矿体、夕卡岩带遭到破碎，含Cu、Mo、Zn等含矿热液沿各类岩层的裂隙充填交代铁矿体和夕卡岩带，形成含铜磁铁矿、含铜夕卡岩及铜钼矿脉等复杂矿物组合的矿石。

（2）矿化分带：本区矿化具有明显的分带性。从花岗闪长岩体到围岩一般表现为：岩体内以中低温黄铜矿、辉钼矿矿化较发育，次为黄铁矿；夕卡岩中以磁铁矿、镜铁矿矿化较发育，并叠加中低温黄铜矿，均构成具有工业价值的矿体，并伴随有闪锌矿、黄铁矿；在角岩和酸性火山岩地层中，黄铁矿比较发育。

四、关于成矿控制因素的几点认识

(1) 构造对成矿的控制：北东向区域性断裂带的反复活动，并受北西向局部断裂带改造，是本区构造的主要特点，它不但控制了区内岩浆活动，而且也控制了成矿带及各类矿化活动。

岩体内和角岩中的构造裂隙、层间裂隙及不同岩层的结合面等，都是不可忽视的控矿构造条件。

(2) 侵入体对成矿的控制：花岗闪长岩是本区铁铜矿床的成矿母岩。在花岗闪长岩与钙镁质围岩接触带上形成接触交代型铁铜矿，在岩体内形成了细脉浸染型铜钼矿化（这种矿化也常见于夕卡岩带和角岩带中）。因此花岗闪长岩体与铁铜等矿化在成因上有着密切的联系，是成矿的内因。

(3) 围岩岩性对成矿的控制：由于在接触带中广泛发现含镁橄榄石大理岩，广泛分布着透辉石夕卡岩带、石榴子石夕卡岩带及角岩带等，这就充分说明原岩为富含钙镁质的岩层及砂泥质岩层。由于夕卡岩本身相对孔隙度大，裂隙发育，从而为含矿热液造成易于充填交代的有利岩性条件。

五、矿床成因类型

经综合分析认为该铁铜矿床应属于夕卡岩型。

第二十一节　云南个旧县卡房锡铜矿床

一、大地构造单元

本矿床位于个旧断褶束内，属华南加里东褶皱系最西段的二级构造单元。盖层沉积包括泥盆系—三叠系，但以中三叠统坳陷最深，燕山运动是最重要的盖层褶皱和成矿时期。板块学派认为本区处于环太平洋造山带与特提斯造山带的交接处。地质力学学派将本区认作云南山字型的前弧，并受越北古陆反射弧的复合。

二、矿区地质

(一) 地层

矿区紧靠个旧老厂锡铜矿床之南，区域地层请参阅老厂锡铜矿中表2-10-1，卡房本部主要出露个旧组的下部卡房段。其详细划分为6层，主要锡铜矿体赋存于第1层（$T_2k_1^1$）底部和第2层（$T_2k_1^2$）与第3层（$T_2k_1^3$）的交界面上。其岩性是第1、3、5层为灰岩，第2、4、6层为灰岩与白云岩互层。含矿层位大体与老厂接触带锡铜矿体（$T_2k_1^1$、$T_2k_1^2$）相当或稍低。

但与老厂、松树脚、马拉格等不同的是，卡房矿区于$T_2k_1^1$层中贯入一层变辉绿岩，它既有火山活动的地层层序意义，也构成卡房铜质富集的重要条件。

(二) 构造

紧靠南北向的个旧断裂东侧，由两条东西向断层（老熊硐断层、仙人硐断层）所夹持。该两断层延长都在10k m 左右，深切达花岗岩体。它们既是卡房矿区3个矿段（新山、鸡心脑、龙树脚）的分隔断层，有的还是直接容矿断层。区内次级背斜呈北东向，但产状平缓，地表出露新山花岗岩株沿背斜轴部侵位，更次一级短轴背、向斜轴向为北西，其倾伏端恰为北东连线。

(三) 侵入岩

卡房的花岗岩株地表只出露于新山，面积约0.3 km^2。物探反映深部与老厂岩体相连，称"老卡岩体"，总面积10 km^2。有关个旧地区花岗岩类的分期、分异演化、岩石系列、成岩环境等请参阅老厂锡铜矿有关部分。在此仅补列从燕山早期到燕山晚期中阶段两类花岗岩（混染型、侵入型）代表性岩体的一些参数对比，从中可见卡房花岗岩母岩的若干特征（表2-10-1）。

老卡岩体以灰白色细中粒等粒状或含斑浅色花岗岩为主体，广泛穿插有微晶花岗岩、细晶质花岗岩、花岗斑岩、细晶岩、煌斑岩、钠长石岩、钾长石岩等岩脉。由于后期改造强烈，形成规模很大的白岗岩，最大厚度达百余米。浅色花岗岩石英含量高达30%～40%；钾长石主要为中等微斜长石，含量35%；斜长石为钠—更长石，含量30%；黑云母很少，一般2%～3%。花岗岩类普遍受绢云母化、白云母化、绿泥石化、黄玉化、沸石化。

表2-104　个旧地区两类花岗岩特征简表

Table 2-104　Characteristics of two kind granites in Gejiu district

（据戴福盛）（after Dai Fusheng）

成因类型		混熔型（斑状）花岗岩		侵入型（粒状）花岗岩	
岩石		偏基性（粗、斑状）云母花岗岩	正常斑状黑云母花岗岩	粗粒等粒状黑云母花岗岩	中、细粒等粒状（浅色）花岗岩
代表性岩体		龙岔河岩体	马拉格岩体 松树脚岩体	神仙水岩体 白沙冲岩体	老卡岩体 卡房岩体
岩石结晶年龄		117±3	马拉格103±2 松树脚100±2	神仙水84.1±1.1 白沙冲81±2	新山84±2 老卡81±1.9
主要分异指标	TiO_2 Ta		383～520	93～169	7～20
	FL=Rb/Sr+Ba	29.4	193	1037～2211	4155～5158
氧化系数	$Fe^{3+}/Fe^{3+}+Fe^{2+}$	29.4	16	15～39	46
固结指数	$\frac{(100MgO)}{(MgO+FeO+Fe_2O_3+Na_2O+K_2O)}$	4.89	4.11	神仙水1.437 白沙冲2.90	2.3
长英质指数	$\frac{100(Na_2O+K_2O)}{(Na_2O+K_2O+CaO)}$	81.50	83.71	神仙水96.07 白沙冲90.27	90.45
铁镁指数	$\frac{100(FeO+Fe_2O_3)}{(FeO+Fe_2O_3+MgO)}$	85.58	82.68	神仙水93.07 白沙冲85.78	97.39
钠钾比	Na_2O/K_2O	0.53	0.72	0.69	1.73
铝指数	A/CNK	1.003	1.04	1.135	1.013
氟氯比	F/Cl	0.725/0.037=1.96	0.162/0.03=5.4	0.127/0.031=4.1	0.323/0.027=8.26
铷锶比	Rb/Sr	0.259～0.966	0.849～1.44		2.98～63.88
锶初始比	($^{87}Sr/^{86}Sr$)	0.7102±9	0.7142±8（马）	0.7102±8（神）	0.7107±59
氧同位素	$\delta^{18}O$（‰）	4.8～10.41 （平均7.822）	10.09～11.65 （平均11.115）	8.43～10.74 （平均9.90）	11.57～12.32 （平均12.89）
硫同位素	$\delta^{34}S$（‰）	7.3	（2.12），8.3	7.81～4.7	（2），8.3
矿化类型		Pb-Zn硫化物 Pb-Mo氧化物	锡石～硫化物	Pb-Zn硫化物 锡石-硫化物 （锡石-石英）	锡石-硫化物 锡石-石英
岩体中富集的主要成矿元素		Pb、Zn、W、Sn、Bi、Sb、Nb除Zn外，富集系数较低	Sn、W、Bi、Pb、Sb、Nb、Ta、W、Bi、Sb富集系数显著增大	Sn、W、Pb、Zn、Bi、Nb、Ta；Sn富集系数显著增大	Sn、W、Pb、Zn、Bi、Sb、Nb、Ta、Sn、W、Bi富集系数最大
成矿作用强度		中、小型	大型、特大型	中、小型、局部大型	特大型
成矿元素组合		Pb－Zn　Mo－Cu	Sn　Bi　Cu　Pb－Zn	Sn－W－Bi　Pb－Zn	Sn　W　Bi　Cu　Pb　Zn　Ta　HREE

副矿物含量少，一般<0.1%，主要为锆石、磷灰石、榍石，偶见独居石、磷钇矿。

老卡岩体中的淡色花岗岩中其微量元素平均值（10^{-6}）为：Sn 27、W 13.91、Be 9.6、Nb 57.56、Ta 13.51、$TR_2O_3$278、Zr 103.64、Cu 22.33、Pb 91、Zr 13、Li 200.93、Rb 1033、Sr 230、U 31.16、Th 29、B 30、F 2500，普遍高于一般花岗岩平均值和本区早期的混染型斑状花岗岩。

（四）次火山岩

变辉绿岩以超浅成岩床状贯入于个旧组下部的卡房段，厚数米至20余米，出露范围不大。虽然个旧组内也无火山岩报导，但相邻的开远、富宁、丘北等相邻区比较，卡房矿区的变辉绿岩很可能是中上三叠统火山旋回的次火山相超浅成贯入体，并提供了铜质的部分来源。据统计，老卡岩体有关的铜矿储量占个旧地区的73%，而空间上与卡房变辉岩体密切相关的铜矿约占8.7%。

三、铜矿床地质

（一）矿体特征

卡房矿区有三种矿体群：一是产于花岗岩蘑菇状突起百下凹陷带的夕卡岩中铜锡矿；二是变辉绿岩中铜金矿；三是东西向陡倾斜断裂中的锡多金属矿。前两者集中分布于新山矿段（图2-153、图2-154），后者以龙树脚矿段为代表。

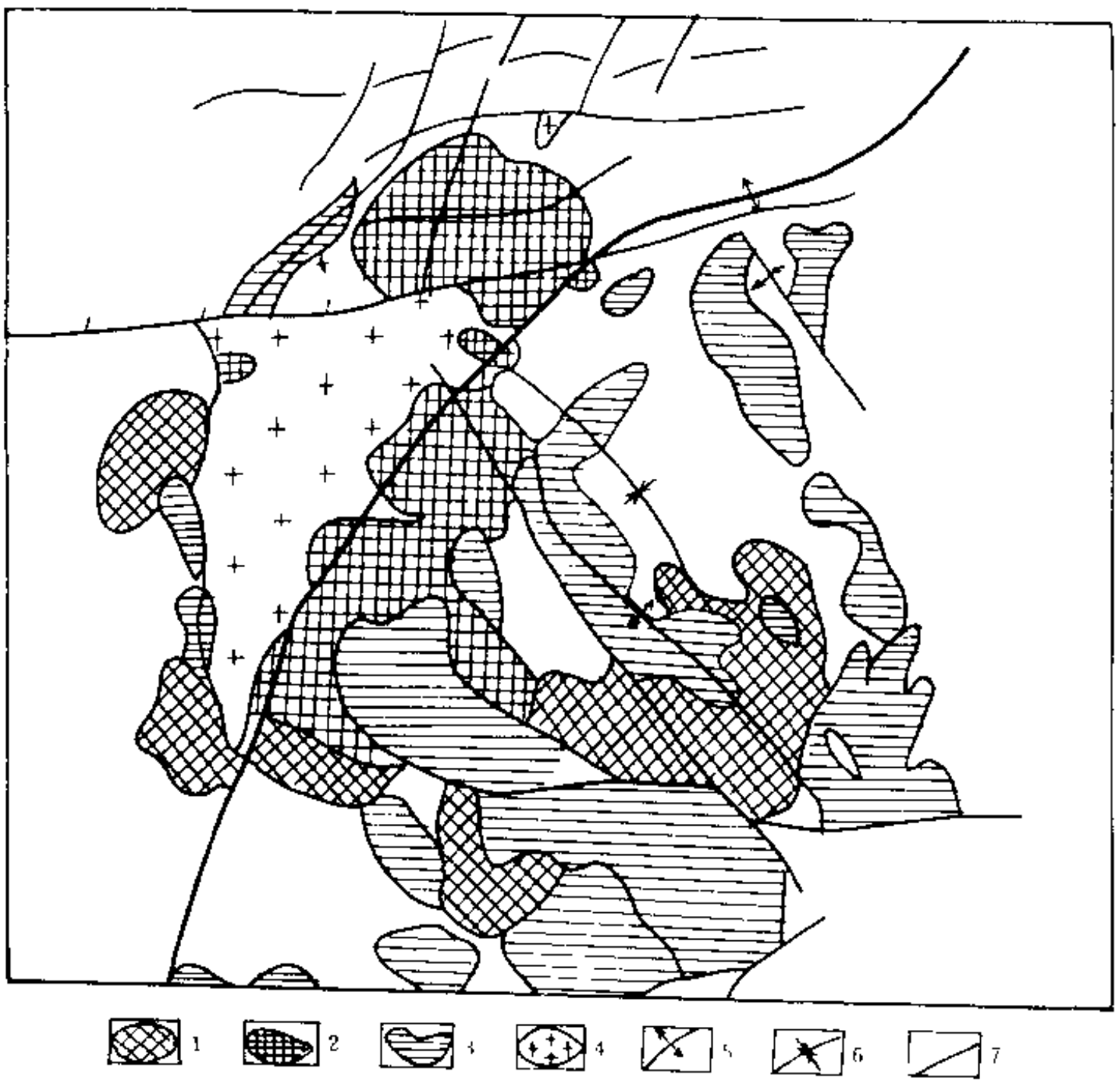


图2-153 卡房新山矿段平面（投影）示意图（约1:2万）

Fig. 2-153 Schematu level plan of of Xinshan ore block in Kafang

（据黄廷燃）(after Huang Tingran)

1—层间硫化物；2 -接触带硫化物；3- 层间氧化物；4 花岗岩株（地表出露）；5 背斜；6 --向斜；7 断裂

新山矿段有主要矿体4个。由于花岗岩顶部突出似一蘑菇状，故连接正常接触带与蘑菇状岩盖则有4种产出部位，产出有4种形态不同的矿体：

（1）盖顶矿体：岩盖顶部平坦，突起部位矿体呈厚大的透镜状，长200 m，宽40 m，厚5～40 m。以铜为主，属氧化矿石。平均含铜1.19%，含锡0.08%。

（2）盖下底缘矿体：岩盖下盘接触处的夕卡岩铜锡矿体，硫化矿石为主，长200 m，厚1～20 m，仍以 Cu 为主，平均含铜1.39%，含锡0.1%～0.3%。

（3）颈部矿体：连接岩盖与正常接触带之间的硫化物矿体，矿体状如燕尾状分支多。宽30～80 m，

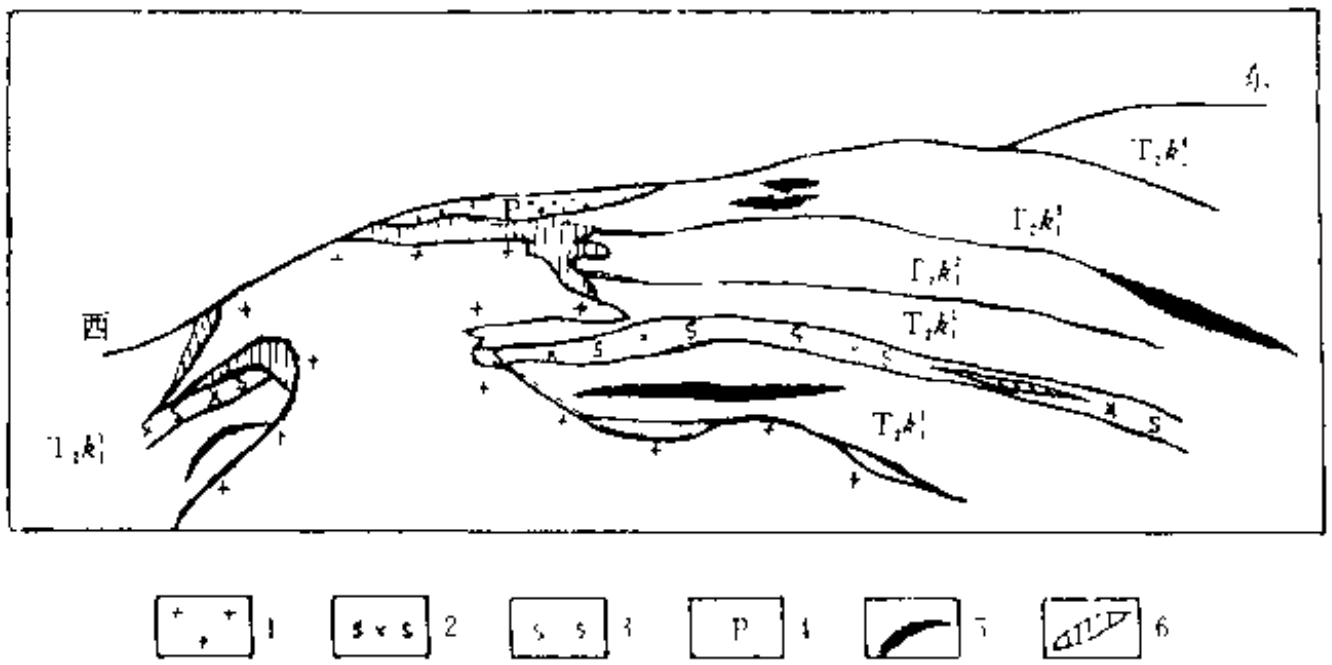


图2-154　卡房新山矿段剖面示意图（1:2万）

Fig. 2-154　Diagrammatic sketch of profile of Xinshan ore block in Kafang

（据黄廷燊）(after Huang Tingran)

1-花岗岩株（地表出露）；2　变辉绿岩；3-夕卡岩；4　砂锡矿；5　锡矿；6-铜矿；$T_2k_1^4$、$T_2k_1^3$ 为灰岩层，$T_2k_1^2$ $T_2k_1^4$ 为灰岩、白云岩组合层

厚1～10 m。以铜为主，锡次之。

（1）正接触带矿体：沿花岗岩株主接触面起伏，厚度较薄，扁豆状为主。铜品位一般1.0%左右，类似于新山矿段的金光坡矿段则以主接触带部位成矿为主，共8个矿体，最长650 m，宽100～500 m，厚0.7～2 m 构成似层状。平均含铜1.16%，含金0.32%。

另外，新山矿段产于变辉绿岩中的铜金矿体，顺层透镜状，规模不大。含铜1.34%，含金1.57×10^{-6}。作为东西向断层直接容矿的龙树脚矿段，圈定有3个矿体，最长3800 m，平均厚1.91 m，不含铜，仅含铅、锡，铅平均品位3.77%，锡品位0.84%。

（二）矿石矿物组分

硫化矿石分磁黄铁矿硫化物矿石和毒砂硫化物矿石。前者在个旧各矿区普遍存在，后者只在卡房发育。磁黄铁矿硫化物矿石由磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、锡石、白钨矿、自然铋、铁闪锌矿组成；脉石矿物有黑云母、萤石、石英、方解石、绿泥石、阳起石、透闪石、透辉石、方柱石。毒砂硫化物矿石由毒砂、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、锡石组成；脉石矿物有萤石、黑云母、绿泥石、石英、方解石、透辉石及次生的葱皇石。

（三）矿石结构构造

一般分细脉浸染的夕卡岩和致密块状硫化物矿石两种。细脉和散点浸染状多为黄铁矿，黄铁矿以不等粒状分布于磁黄铁矿中；块状矿石多由磁黄铁矿组成。在块状粗粒结构的毒砂硫化物中，毒砂结晶完整而粗大，锡石粒度达1～5 mm，并呈棱柱状、膝形双晶。条带状构造，由锡石硫化物与夕卡岩矿物互成条带。

（四）矿石伴生有益组分

除 Cu、Sn 外，新山矿段和金光坡矿段伴生的 WO_3 平均0.13%～0.23%、Bi 0.12%～0.16%、Mo 0.08%、Pb1.75%、Ag 20.64×10^{-6}、Au 1.87×10^{-6}。主金属及伴生元素选矿效果很好，属易选矿石。入选原矿含铜1.515%，浮选后铜精矿品位达19.85%，尾砂含铜0.15%，选矿回收率88.55%。

（五）近矿围岩蚀变

刘锦新、李希璜[1]总结个旧各锡铜矿床特点，将夕卡岩分为内带和外带。内夕卡岩以钾长石为主、次为透辉石、角闪石、方柱石、绿泥石。外夕卡岩自内向外分为透辉石-方柱石带、透辉石 钙铁榴石带、透

[1] 刘锦新、李希璜，云南个旧锡矿的特点及成矿规律，西南地质勘探公司地质研究所编《锡矿地质参考资料》1980年。

辉石带。卡房矿区靠近花岗岩部分，以正符山石、钙铁榴石为主，其次为方柱石、透辉石；向上则透辉石、普通角闪石逐渐增多，直至形成以透辉石为主的夕卡岩带。致密硫化物体主要集中于夕卡岩上盘；细脉浸染状矿体则多赋存于夕卡岩与大理岩的接触部位。

熊秉信[1]指出，卡房白沙冲的石英电气石脉穿切花岗岩时，脉壁出现云英岩化；当石英矿脉穿切硫化物时，脉壁出现绢云母化。另外，绿泥石化、硅化、菱锰矿化、褪色也经常出现，惟强度不等。

（六）矿床物化探异常

区域重力低异常对于圈定隐伏花岗岩体的规模、形态有重要意义。个旧地区重力异常达--180×10⁻⁵ m s⁻²以上。卡房矿区花岗岩主要隐伏于地下，也达$-170\times10^{-5}m/s^2$。其异常形态为圆形、椭圆形，水平梯度变化较大，一般每公里$0.6\times10^{-5}\sim1.5\times10^{-5}m\ s^2$。由于花岗岩不具磁性，而夕卡岩及磁黄铁矿硫化物矿石具弱磁性，因此环带状低磁（航磁、地磁）的出现值得注意。卡房地区一般具18～30nT 以上的异常。

电测深剖面出现50～1000Ω·m 的低阻区，是个旧地区确定隐伏花岗岩起伏的有效手段。卡房地区水系，土壤金属量测量中出现较强的 Sn Cu Pb Zn As 异常，包括卡房在内，个旧各矿床都是锡石、白钨矿等重砂矿物高值区。

四、成矿条件

（一）稳定同位素

（1）硫同位素：老卡岩体有关的矿床 $\delta^{34}S$ 值变化在$-1.8‰\sim+8.3‰$。但比较而言，卡房锡铜矿的众值更集中于$+2‰\sim+3‰$，反映出硫主要来自地壳深部，以岩浆源为主，有少量外生硫的混入。

（2）氢氧同位素：卡房花岗岩岩体中包体的 δD 值测定为$-77‰\sim-95‰$，与个旧东区的马拉格 δD 为$-95‰$相近，也类似于个旧西区龙岔河、神仙水岩体的$-58.5‰\sim-99‰$。

卡房矿区4件花岗岩 $\delta^{18}O$ 平均值+11.93‰，与老厂（−11.85‰）和马拉格（−11.12‰）十分接近，略高于龙岔河（+7.82‰）和神仙水（+9.50‰）。

氢氧同位素值特征反映卡房成矿物质来自大陆壳层，比个旧西区还富^{18}O，表示岩浆重熔更均一，混染程度更低。

（3）铅同位素：卡房龙树脚矿段铅同位素测定值为：$^{206}Pb/^{207}Pb$ 1.182，$^{206}Pb/^{204}Pb$ 18.67，$^{207}Pb/^{204}Pb$ 15.80，$^{208}Pb/^{204}Pb$ 40.29，与老厂锡铜矿十分接近。一是反映出卡房矿床矿石异常铅稍高，说明燕山晚期成矿花岗岩钍含量有增高的趋势。二是说明成矿物质主要来自地壳深部的深熔岩浆外，尚有一部分围岩同化混染的外来铅。这点认识也与硫同位素结果一致。

（二）流体包裹体及花岗岩成岩成矿温度

卡房矿区缺少包裹体的系统研究，在此仅引述汪志芬[2]对个旧地区的一些综合资料。马拉格花岗岩包裹体均一温度＞800℃；老厂云英岩化花岗岩包裹体爆裂温度为630℃，中粒花岗岩包裹体爆裂温度615℃；神仙水岩体成岩包裹体的均一温度620～720℃。鉴于卡房与老厂属同一阶段侵位的岩体，其成岩温度约610～630℃，是个旧地区相对较低者。

对成矿有关包裹体取得的测温数据如下：老厂从成矿岩体中测定包裹体爆裂温度310～360℃，伟晶岩为411℃，云英岩为348℃，绿柱石长石脉为335℃；早期夕卡岩包裹体均一温度125～126℃；锡石硫化矿中萤石均一温度296～388℃；老厂硫化矿中锡石爆裂温度355℃；卡房、龙树脚等以铅锌为主的矿体，其锡石包裹体测温出现300～375℃、275～290℃两个区间。概言之，卡房锡铜矿床主体的接触带锡石硫化物矿床成矿温度以300～390℃为主，而裂隙充填的锡多金属矿体成矿温度为275～290℃。个旧地区包裹很小，含盐度变化大。少数样品包裹体盐度 $w(NaCl)$为5.7%～26.3%。

（三）成矿条件分析

（1）卡房锡铜矿体主要集中于中三叠统个旧组下部的卡房段，尤其是卡房段的 $T_2k_1^1$、$T_2k_1^2$ 与 $T_2k_1^3$

---

[1] 熊秉信，滇东南陆台活化带的成矿规律及找矿方向的初步意见，西南地质勘探公司地质研究所编《锡矿地质参考资料》。

[2] 汪志芬，个旧锡矿成矿作用的几个问题讨论，西南地质勘探公司地质研究所编《锡矿地质参考资料》，1980年。

交界面两个部位。这种容矿层位反映卡房段较纯灰岩与白云石互层的岩性条件适宜于成矿，同时层间剥离是一种有利的构造条件，易于被（变）辉绿岩贯入与成矿热水的沿层渗透。卡房段的矿体占个旧地区96%的铜储量、90%的锡储量、44%的铅储量绝非偶然的现象。

（2）卡房锡铜矿与个旧地区其他矿床不同之点在于铜、金富集浓度高，变辉绿岩床在花岗岩接触带的出现以及变辉绿岩床内形成矿体等，表明在成矿花岗石侵位前，基性岩浆的次火山活动为铜、金的来源作了一定储备。

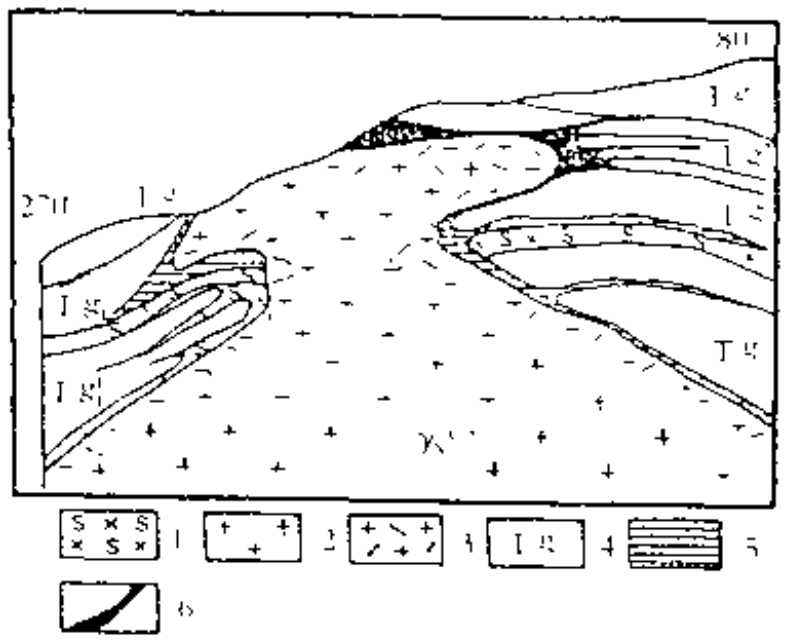


图2-155　卡房岩体形态及接触带矿体图

Fig. 2-155　Profile of the shape and contact of Kafang intrusion

1　辉绿岩；2　中细粒黑云母花岗岩；3　浅色花岗岩，4　个旧组卡房岩性段；5　原生锡-铜矿体；6　氧化矿体

（3）成矿花岗岩是燕山晚期较后的产物，其演化程度高、酸度高、挥发分丰富，中深成环境有利于夕卡岩带的发育。卡房矿区不同于老厂具有相对开放成矿环境所形成矿床的多样性与完整的垂直分带，也不同于松树脚具有比较封闭成矿环境形成环带状厚大锡石硫化物矿床，它的特点是蘑菇状岩盖突起。岩株顶部向四周呈舌状伸出，岩盖之下的岩颈形成狭窄通道，这些次级复杂形态使矿体形态变化多样（图2-155）。

（4）卡房矿区以SN向的个旧断裂和两条NW向断层（老熊硐、仙人硐）作为边界断裂。在这交切块体上，盖层的NE向及NW向褶曲仍然以短轴倾伏的形式表现出来，因此，缓倾斜的波状层间滑脱（剥离、穹状隆起）与陡倾斜的导矿、容矿断层（以龙树脚为代表）相互配合极有利于热液的上升与聚集。

（5）在成矿建造上，卡房有4个特点：①是较个旧其他矿床，夕卡岩白钨矿建造更发育，这些夕卡岩矿石在卡房白沙坡由于风化作用还形成砂矿；②是毒砂硫化物型的矿石在卡房比较发育；③是夕卡岩硫化物矿床中萤石的储量比例高，松树脚为1:9.7，老厂为1:13.5，卡房新山达1:31.6，说明成矿挥发分中氟占重要地位；④是金、铜的丰度高，构成独立的铜金矿体。

（6）在成矿阶段划分上，卡房矿区虽在白沙坡有伟晶岩型绿柱石、锡石矿脉，也有云英岩型的小型锡矿体，但主矿床主要包括3个成矿阶段。即接触变质及岩浆期锡的氧化物阶段，形成夕卡岩白钨矿建造，成矿温度约为400～426 C；硫化物阶段，早期形成富含萤石的毒砂硫化物建造和磁黄铁矿硫化物建造，以富铜、金为特征，成矿温度300～390 C，晚期形成铅锌硫化物建造，以富银、锡等特征，如龙树脚矿段出现成串分布的囊状、柱状富锡矿体，成矿温度约275～290 C；最晚的碳酸盐阶段，只有小的矿体或矿化。

（7）卡房锡铜矿床无疑属于与花岗岩类有关的锡石硫化物矿床，在成因上无大的异议。但有些研究者对独立的铜金矿体，强调变辉绿岩的成矿作用。

五、矿床模式和找矿标志

（一）矿床模式

卡房锡铜矿许多特点既与个旧地区其他矿床有别，也与滇东南地区的锡、钨、铜、铅锌、银矿床等不同，故在矿床类型式上单独命名为卡房式，作为滇东南地区与花岗岩浆有关的成矿系列中10种矿床类型式之一。

（二）找矿标志

（1）中三叠统个旧组，尤其是卡房段的分布区；

（2）印支期基性火山岩、次火山岩的超浅成贯入体；

（3）燕山晚期富锡、富挥发分的高侵位分异良好的花岗岩体；

（4）隐伏、半隐伏岩株的突出部位，特别是岩盖、岩盘、凹兜等岩体形态变异地段；

（5）EW向陡倾斜断层、NE向与NW向次级褶曲、多种构造有利配置的地段；

(6) 夕卡岩化、云英岩化、绢云母化、电气石化、铁锰碳酸化、大理岩化、褪色带等多种蚀变发育的地区；

(7) 低重力异常、环状中等 弱磁异常、电测深低阻带、Sn-W Cu-Pb Zn-Ag-As 组合化探异常、重砂异常区；

(8) 矿硐、炉渣、采矿废石、与古人采矿有关的地名。

第二十二节　云南个旧市老厂锡铜矿床

一、大地构造单元

矿区处于 NW、SN、EW 三大构造体系的复合部位，位于华南加里东褶皱系最西段的个旧断褶束内，其西端受红河断裂所截，与三江褶皱系相接，北面与扬子准地台相邻。出露巨厚的三叠系和部分上古生界构成的盖层褶皱，印支运动结束海相沉积，燕山运动是本区最主要的陆内变形。

二、矿区地质

(一) 地层 (表2-105)

表2-105　个旧地区地层表

Table 2-105　Stratigraphic scale of Gejiu area

界	系	统	组	主要岩性	厚度 m
新生界	第四系			湖泊、河流及山麓的残坡积，冲积层，砂锡矿广泛分布	0～30
	第三系	中新统	小龙潭组	沼泽沉积，粘土、泥灰岩、砂砾岩夹褐煤	100～600
		始新统渐新统		砂页岩、粘土层	0～530
……不整合……					
中生界	三叠系	上统	火把冲组	杂色砂页岩夹透镜状煤层，轻微变质	911
			鸟格组	石英砂岩、粉砂岩夹炭质页岩	387
		中统	法郎组	薄层灰岩、粉砂岩夹锰矿层	124～200
			个旧组	白泥硐段，中厚层灰岩夹白云岩：	171～309
				马拉格段：中厚层白云岩夹灰质白云岩：	265～389
				卡房段：灰岩、泥灰岩夹白云质灰岩，中下部泥质较多	951～2054
		下统	永宁镇组	泥质灰岩、砂页岩	500
			飞仙关组	黄绿色页岩夹泥质灰岩、粉砂岩	300～500
古生界	二叠系	上统	长兴组	灰色灰岩，硅质灰岩	数米至10
			龙潭组	灰绿色砂岩、炭质页岩夹劣煤层	168
			峨眉山玄武岩组	含杏仁状玄武岩，底部夹凝灰质页岩	440
		下统	茅口组	浅灰色灰岩夹白云质斑块灰岩	312
			栖霞组	深灰色厚层灰岩	31～68

个旧组是主要容矿层位，岩性变化大，化石稀少。其中，马拉格段细分4层，为马拉格锡矿床容矿层位；卡房段细分6层，为老厂、卡房、松树脚锡铜矿床容矿层位。

(二) 构造

区域褶皱系越北古陆北缘弧形构造的组成部分，北东向的五指山复背斜是个旧地区一级褶皱，全长10 km。老厂锡铜矿处于次级的北东向湾子街背斜上。东西向与南北向构造主要为断裂。前者属于南岭构造体系，主要呈密集成群的容矿断层；后者属于川滇构造体系，以纵贯全区的个旧断裂为界，西部出露花岗岩大岩基，矿化较弱，东部出露一系列的隐伏花岗岩岩株，老厂等主要锡铜矿床均位于东

部。北西向构造属三江褶皱系叠加复合的构造，表现为短轴褶皱和与北东构造复合、改造的形迹，往往是控制矿体、矿带富集的场所。总之，个旧地区以盖层褶皱为主，产状平缓，多方位的构造叠加，断块加穹隆的特点十分突出。

（三）侵入岩

个旧地区岩浆活动十分强烈，侵入岩主要有三期（图2-156）。全区共有10个主要岩体，出露面积400 km^2。

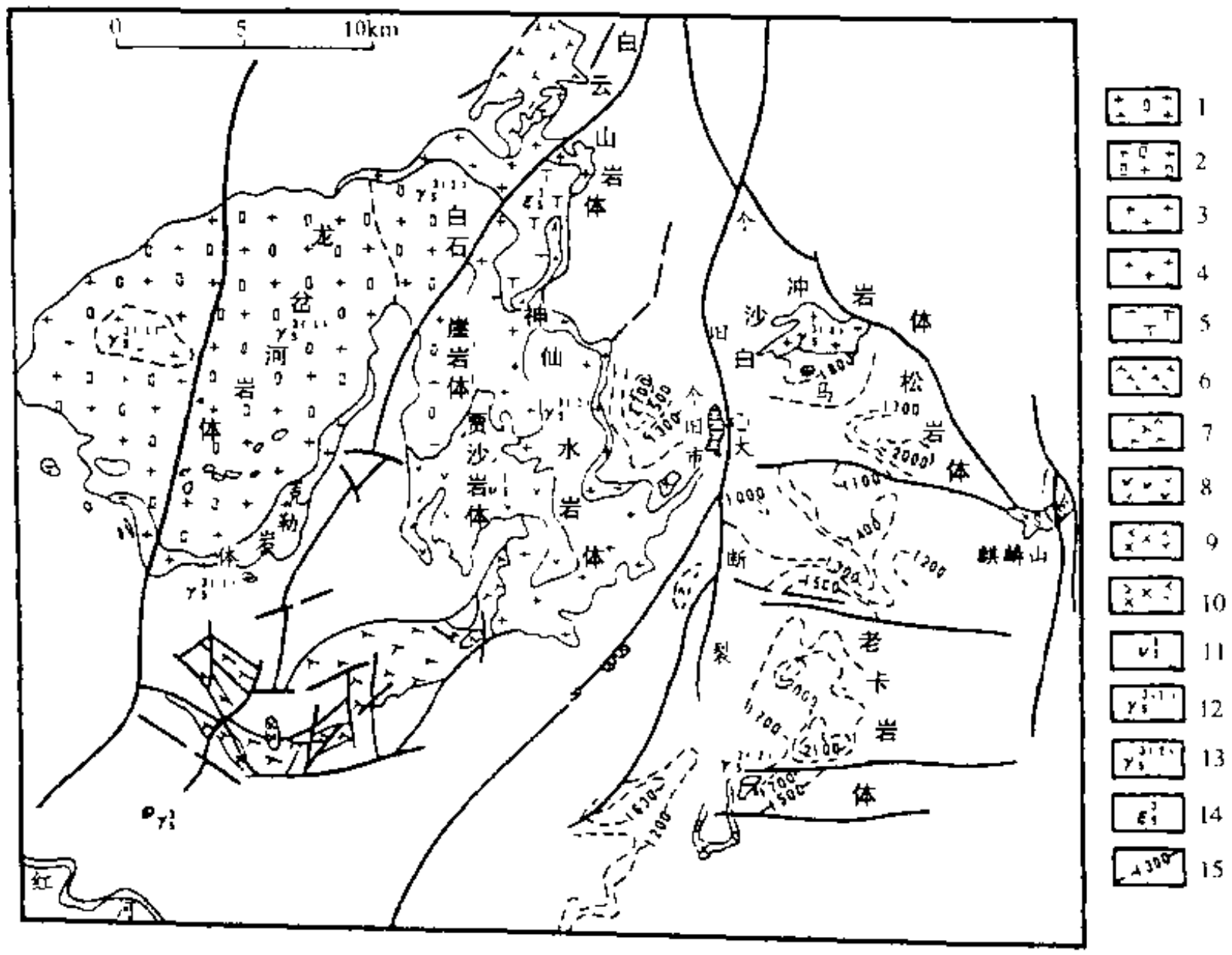


图2-156　个旧地区岩浆岩分布略图

Fig. 2-156　Sketch of magmatic rock distribution in Gejiu area

1—大斑状黑云母花岗岩；2—中斑状黑云母花岗岩；3—中粒黑云母花岗岩；4—细粒黑云母花岗岩；5—碱性正长岩；6—霞石正长岩；7—火山岩；8—辉长-二长岩；9—辉绿岩；10　变辉绿岩；11—印支期辉长岩；12—燕山早期花岗岩；13—燕山晚期花岗岩；14—燕山晚期正长岩；15—花岗岩等深线

印支期形成贾沙岩体，为辉长—二长岩。燕山早期形成龙岔河岩体，是个旧西区复式岩基的主体部分，岩性为偏基性的粗斑状黑云母花岗岩，同位素年龄值147Ma±3Ma。由于岩体中分布较多的角岩、闪长质花岗岩的包体，斜长石成分是拉长石、中长石、更长石并存，锶同位素初始值0.7102±9，属混染型花岗岩浆阶段产物。燕山晚期的花岗岩类最重要。按其时序又分3个阶段。晚期早阶段形成马松岩体，为正常斑状黑云母花岗岩，同位素年龄值（100～103）±2Ma。锶同位素初始值0.7142±8（马拉格）、0.7088±5（松树脚），仍属岩浆演化未达到均一程度的混染型花岗岩。晚期中阶段形成神仙水、白沙冲、老厂、卡房、新山等岩体，包括粗粒等粒状黑云母花岗岩和中-细粒等粒状浅色花岗岩两种组合，同位素年龄值（84.4±1.1）～（81.0±2）Ma。锶同位素初始值0.7102～0.7108；岩体中不含暗色包体；岩石化学以高硅富碱、贫铝低镁、No_2O 含量大于 K_2O 为特征，为岩浆处于均一程度高的花岗岩。

燕山晚期末阶段形成白云山岩体，为正长岩、霞石正长岩，其 Rb-Sr 年龄值为93.3Ma±2.4Ma，在宏观上与侵位接触关系有矛盾；而 K-Ar 法年龄值59.5～62Ma，似为喜马拉雅期。其锶同位素初始值0.7038～0.7099，属幔源岩浆系列的分异产物。

从上述印支期中基性岩类演化到燕山晚期中阶段的超酸性岩类（没考虑白云山等碱性岩），其稀土特征演化很有规律：ΣREE 含量由910.6×10⁻⁶依次递减为195.52×10⁻⁶，其中老厂岩体为218.28×10⁻⁶；LREE 含量由905.77×10⁻⁶依次递减为71.16×10⁻⁶（老厂）；HREE 由30.17×10⁻⁶依次增至143.82×10⁻⁶（老厂）；w(LREE)/w(HREE)由30.02依次降低为0.52（老厂）；δEu 值由0.76依次降低到0.03（老厂）。可见，老厂锡铜矿是花岗岩类高度分异的结果。

老厂花岗岩体与燕山早期和燕山晚期早阶段的混染型斑状花岗岩体相比较，其岩石分异众多指标均反映其高度分异特征。w(TiO₂)/w(Ta)值早期岩体为2200，老厂为7～20；$F[w(La+Rb)\ w(Sr\cdot Ba)^{-1}]$值早期为193，老厂为6607～21563；长英质指数早期为81.50，老厂为90.45；w(Na₂O)/w(K₂O)早期为0.53，老厂为0.73；铝指数（A/CNK）早期为1.003，老厂为1.013；w(F)/w(Cl)比值早期为1.96，老厂为8.26；w(Rb)/w(Sr)比值早期岩体为0.259～0.966，老厂为2.98～63.88。老厂岩体平均含 Sn 达25×10⁻⁶，F 平均达3750×10⁻⁶，远高于一般花岗岩。

个旧地区花岗岩类侵入体最大的特点之一是后期形成的岩体主要隐伏于个旧断裂之东，自北向南形成马拉格、松树脚、老厂、卡房等大型锡铜矿床，这些岩体规模小-中型，以岩株、岩突为主，顶面起伏大，故上述图2-156专门将花岗岩顶面的等深线标出。

三、铜矿床地质

（一）矿体形态及规模

矿区面积5.7 km²，为一个北东东向复式背斜，东、西两侧分别为两条北东向断裂（黄泥硐断裂、坳头山断裂）所控制；北、南两侧分别为两条东西向断裂（梅雨冲断裂、忆苦冲断裂）所夹持。由于矿区主要矿床受隐伏花岗岩体控制，现选有代表性的地下中段（据坑道及控制点资料编制）锡铜矿床的水平断面（投影）如图2-157。除地表砂锡矿外，在垂直剖面上（图2-158）自下而上出现下列矿体：最深部是花岗岩接触带的含矿夕卡岩或锡石硫化物矿体；中部是层间破碎带及部分脉状氧化矿体；浅部是矿化大理岩。沿花岗岩株突起处，在中、浅部形成电气石细脉带矿体。全区大小矿体274个。

在上述各类矿体内，锡普遍达工业价值，但主要铜矿仅局限于花岗岩接触带的锡石硫化物矿体中，不同伴生元素的垂直分带为：花岗岩内云英岩化富集 Sn、Be、W、Nb、Ta；花岗岩接触带富集 Sn、Cu；中部氧化矿富集 Sn、Pb；浅部氧化矿及矿化大理岩富集 Pb、Ag、Sn；细脉带矿体富集 Be、W、Sn、Li、Rb。作为最重要的锡铜矿体其形态随花岗岩起伏而变化，矿化规模大，矿体厚度及结构变化也大，以似层状为主，次为透镜状、似脉状、柱状、不规则状（图2-159）。长100～500 m，宽25～250 m，厚6～16 m，局部膨大部位达30 m。平均含 Sn 0.3%～1.2%，富矿达2%～3%；

Cu 平均1.18%，富矿达2%～3%。伴生的 W、Bi、Be、Zn、Pb、Ga、In、Ag，有综合利用价值。最主要的湾子街矿段平均 WO_3 0.26%、Bi 0.03%、Be 0.127%、Zn 3.72%、Pb 4.91%、Ag 50.93×10⁻⁶。

（二）矿石矿物成分

主要金属矿物有毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、锡石、黄锡矿、白钨矿、自然铋。

脉石矿物为透辉石、钙铁榴石、钙铝榴石、符山石、透闪石、方柱石、萤石、石英、方解石。

在其他以锡为主的氧化矿体、细脉带矿体等中，铜含量低，多呈赤铁矿、褐铁矿中的结合氧化铜或孔雀石。

（三）矿石结构构造

矿石主要为粒状、变晶状、不规则状结构。局部发现由磁黄铁矿交代的胶黄铁矿残粒组成的鲕状、豆状结构。

矿石构造主要为致密块状、浸染状、斑杂状、网脉状。

（四）共生伴生有益组分

老厂锡铜矿床的伴、共生有益组分很多，不同类型矿体存在着不同元素组合的空间分带。据统计，铜（及钨）具工业价值的矿体分布距花岗岩体在300 m 以内，锡矿体在200～600 m，铅锌银矿体多在500～1300 m。

当老厂锡铜矿床沿岩株突起部位形成细脉型矿带的垂直分带时，其他元素组合变化规律为：下部

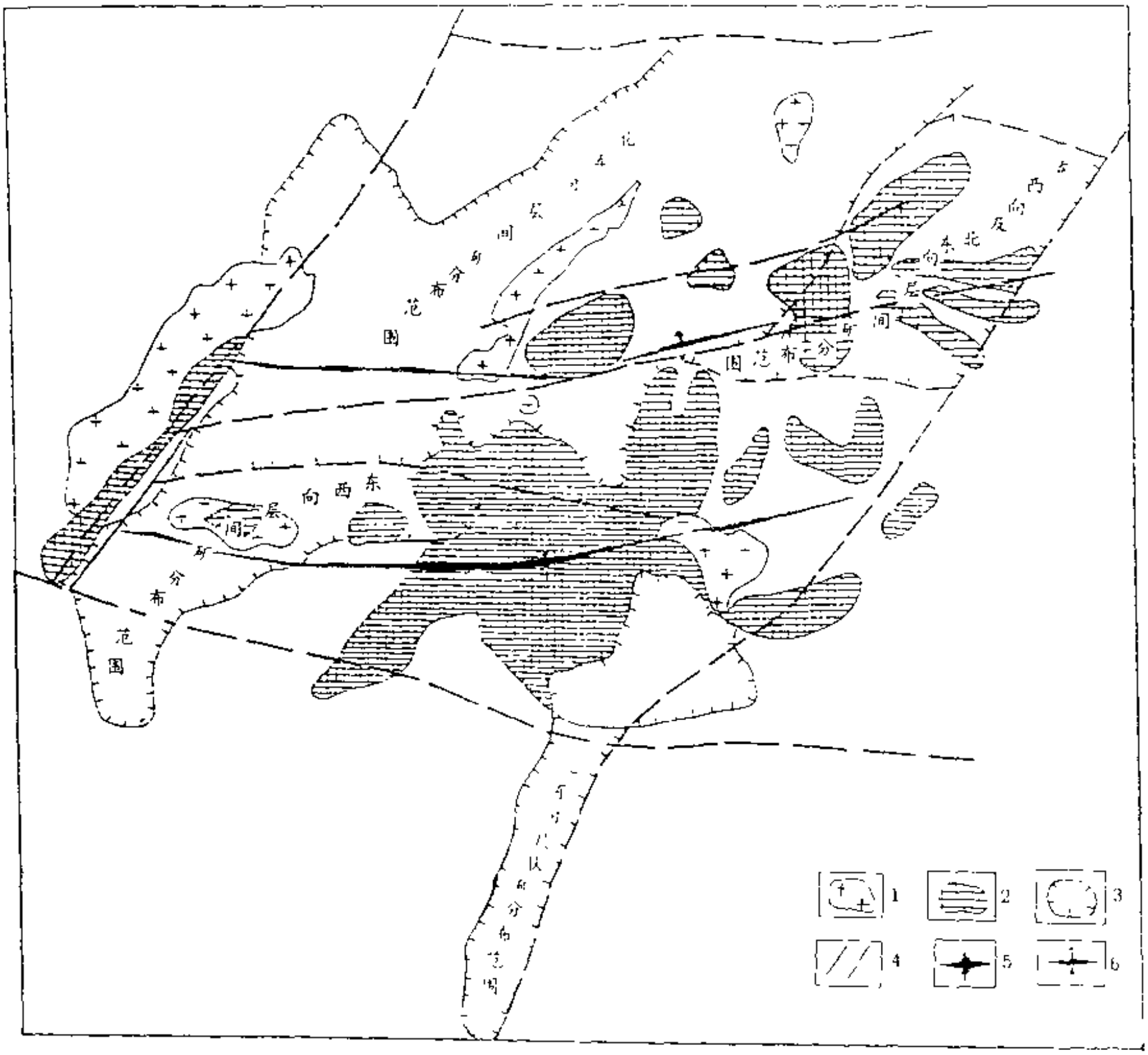


图2-157　老厂锡铜矿床水平切面示意图（1:20000）

Fig. 2-157　Horizontal cross section of Laochang Sn-Cu Deposit

（据黄廷燃）　(after Huang Tingran)

1--隐伏花岗岩；2—花岗岩接触带硫化物，3- 层间矿床分布范围；4　断裂；5　向斜；6　背斜

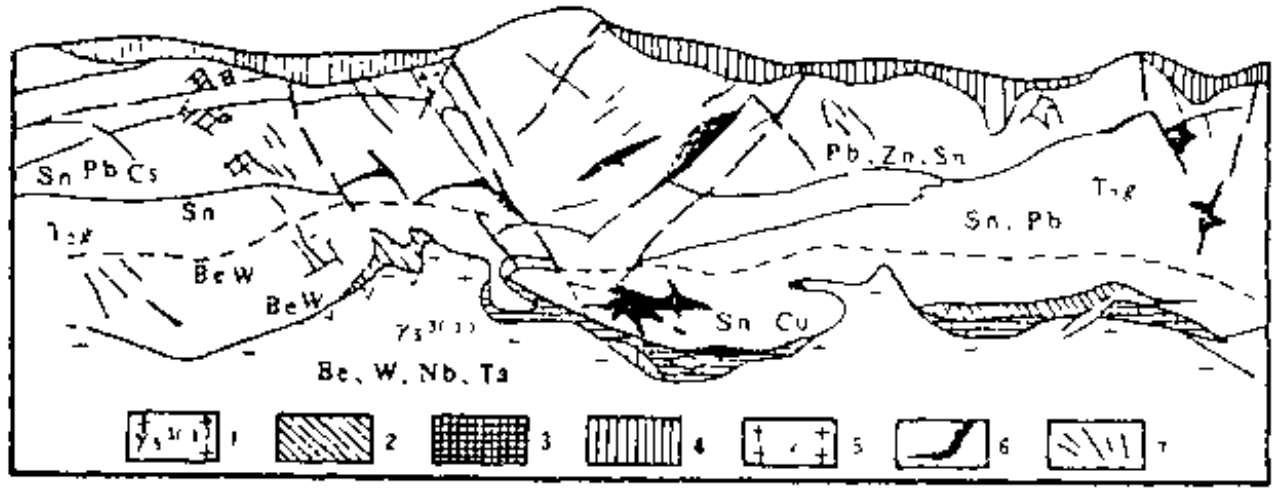


图2-158　老厂各类矿床垂直分带示意图

Fig. 2-158　Profile showing Vertical zoning of mineralization in Laochang

1—燕山中晚期花岗岩；2- 夕卡岩；3　接触带硫化矿；4　矽矿，5　云英岩化；6　氧化矿，7　电气石细脉型

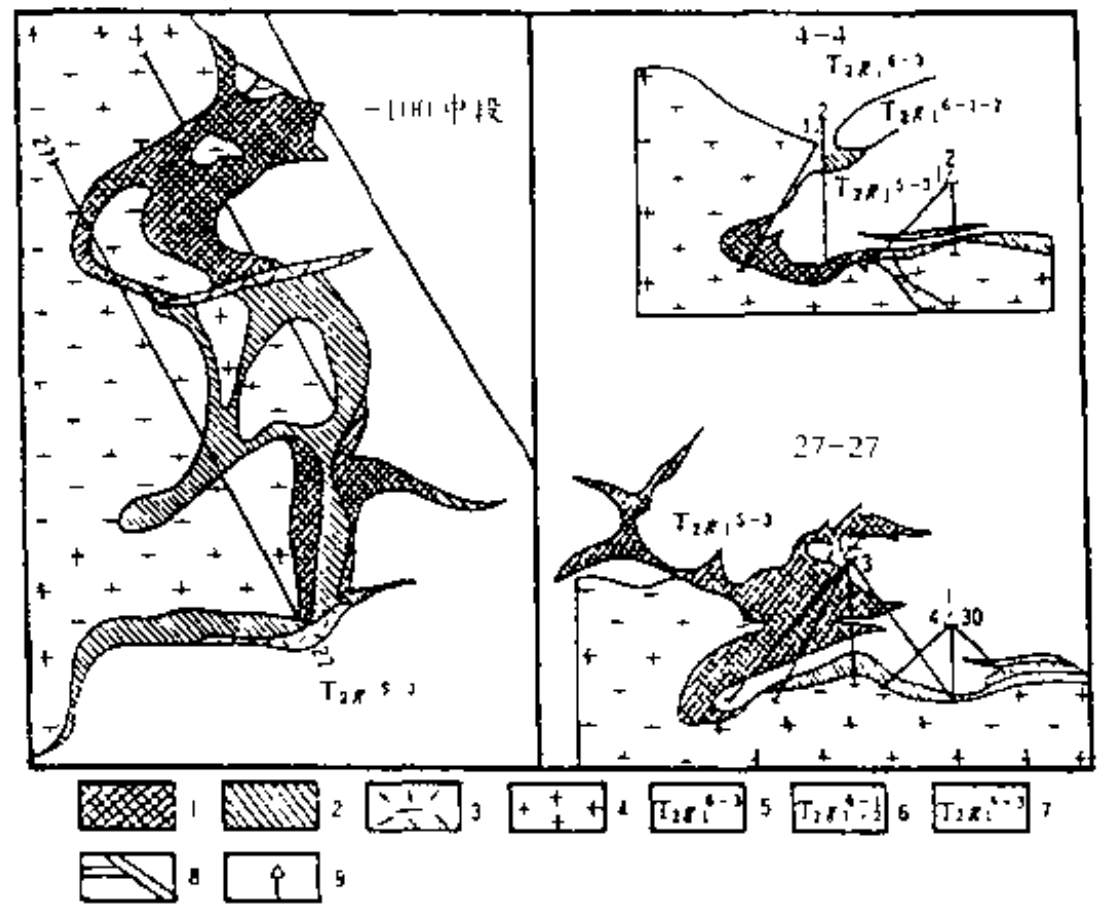


图2-159　老厂接触带矿体形态图

Fig. 2-159　Sketch showing shapes of orebodies at contact of Laochang Deposit

（据《个旧锡矿地质》1984）

(after (Geology of Tin Ore in Gejiu), 1984)

1　锡矿体；2—夕卡岩；3- 长英岩；4　花岗岩；5　大理岩；6　大理岩与灰质白云岩互层；7　大理岩；8　坑道；9　钻孔

富集 Be、W，伴生 Cu、Mo；中部富集 Sn、B、F；上部富集 Li、Rb、Cs，伴生 Pb、Zn、Ag。

（五）近矿围岩蚀变

有用元素组合与隐伏花岗岩株有一定的空间关系的同时，蚀变分带也与岩体有相应的依存关系。碳酸盐围岩夕卡岩化发育于距岩体300 m 以内；黄铁矿化、金云母化等，距岩体可达500 m；面型大理岩化由粗晶过渡到细晶以及广泛分布的褪色带距岩体可600 m 以上。

花岗岩体内普遍钾长石化；岩体边缘和顶部突起有显著的钠长石化和淡色云母，出现厚数米至数十米的自变质淡色碱长花岗岩；在有些地方，有分布不甚广泛的云英岩型锡矿体出现（如1021区）。

作为锡铜矿主要矿体的围岩蚀变无疑是夕卡岩化。接触变质阶段广泛形成无水夕卡岩和含水夕卡岩，只在个别地段叠加其上出现含锡磁铁矿夕卡岩，绝大多数直接叠加为锡石—硫化物矿体。早期的无水岛链状钙硅酸盐类构成的简单夕卡岩很少形成工业矿体；后期的含水硅酸盐类构成的复杂夕卡岩是个旧地区50%的锡石-多金属硫化矿床赋存的主要容矿岩。

萤石化、电气石化是近矿蚀变的重要标志，其范围可叠加于夕卡岩带的锡铜矿体内，也可随裂隙带向上运移较远，尤以不同类型的电气石脉为甚。

黄铁矿化、金云母化、大理岩化、褪色带等离锡铜矿体可达数百米距离，也是找矿标志。

其他如黄玉化、绿柱石化、锂云母化、褐铁矿化、锰土化等在上述主要蚀变分带内仅有次要的指示意义。

（六）矿床物化探异常

重力测量对于判断隐伏花岗岩体的规模、产状、厚度等效果较好。图2-160系个旧地区重力异常图，西区花岗岩基为主要重力低，东区老厂、马拉格等隐伏花岗岩株构成等值线较复杂的重力低。在岩基、岩株突起部，等值线梯度缓，四周梯度陡。

电测深法对于进一步确定花岗岩界面的起伏十分有效。

土壤测量及原生晕主要依据矿床分带从追索远距离的 Pb、Zn、Ag 异常和近矿的 Sn、W、Cu 异常对找矿更直接。

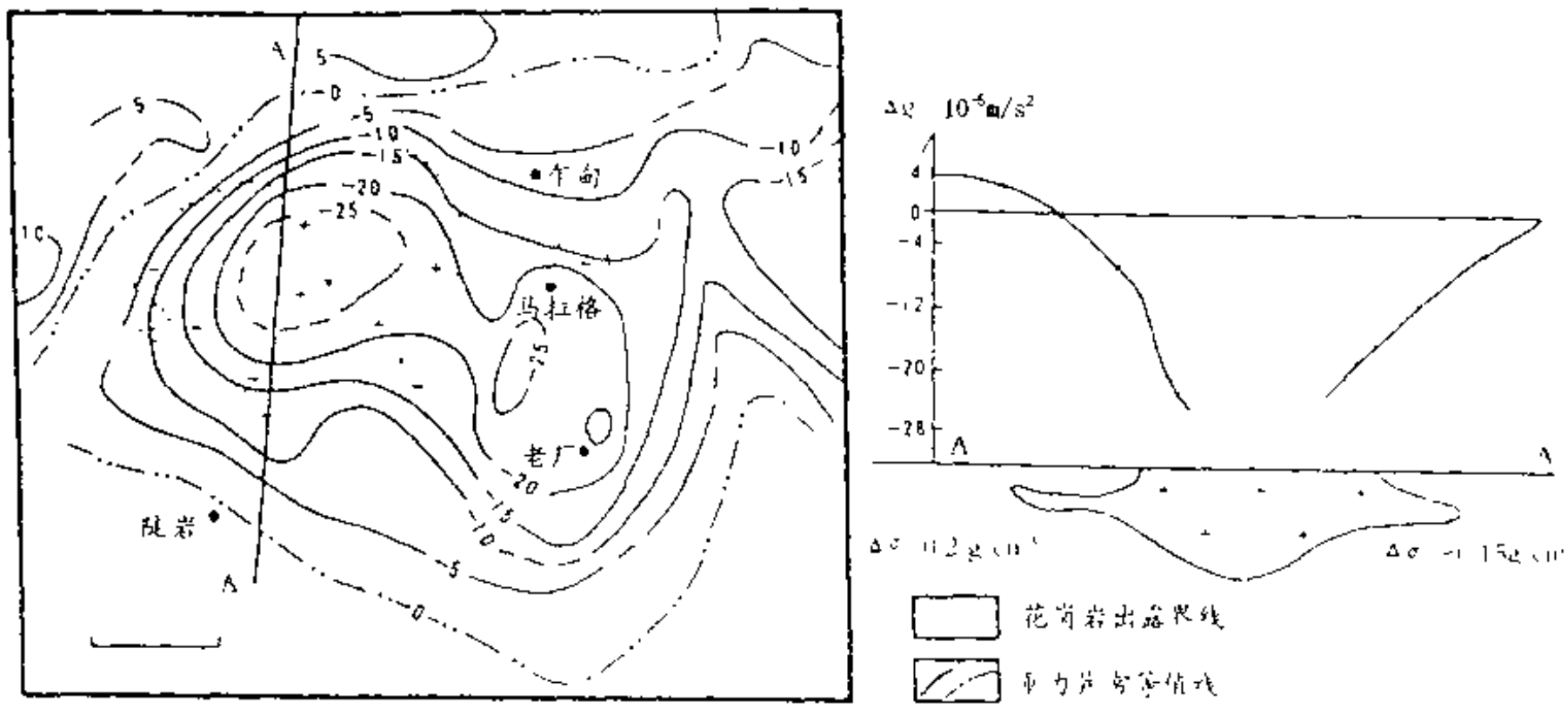


图2-160 个旧矿区重力异常图

Fig. 2-160 Gravity anomaly of Gejiu ore district

(据李杏林) (after Li Xinglin)

重砂沿水系、土壤的异常对发现 Sn、W 的地表显示及远距离搬运有较好的指示价值。

五、成矿条件

(一) 稳定同位素

(1) 硫同位素：老厂的黄铁矿、方铅矿 $\delta^{34}S$ 变化不大，众数在0～1‰，平均值十分靠近陨石硫，充分反映岩浆成因的特点。

凡是个旧东区与燕山晚期各阶段花岗岩有关的锡、铜、银矿床，包括松树脚、双竹等，其 $\delta^{34}S$ 均在－2‰～＋8‰之间。比较而言，变化幅度以老厂最小，平均值也最靠近0轴。个旧西区与燕山早期或更前的混染型花岗岩有关的成矿硫化物的 $\delta^{34}S$ 平均值＞8‰，变化于－1‰～＋22‰之间，显示有较多外生硫的加入。

(2) 氢、氧、碳同位素：老厂1件全岩 $\delta^{18}O$ 平均值为＋11.85‰，与个旧东区各矿区的马拉格(＋11.12‰)、卡房 (＋11.93‰) 十分接近，而个旧西区较早形成的混染花岗岩却有一定变化，为＋7.82‰～＋13.55‰，但总的具富 $\delta^{18}O$ 的特征，系上地壳部分熔融的产物。

老厂矿区未作氢同位素测定，但与其相似的马拉格包裹体水 δD 值－95‰，卡房包裹体水－77‰～－95‰，与个旧西区的龙岔河、神仙水岩体的包裹体水 δD 值－58.5‰～－99‰也大体接近。

初步认为，凡早于主要硫化物阶段的成矿流体，主要为岩浆水，大气降水不足1/5；而主要硫化物阶段及碳酸盐阶段的成矿流体则以大气降水为主，尤其是碳酸盐阶段其大气降水占3/4左右。老厂锡铜矿床没有测定碳同位素。个旧西区的龙岔河岩体对其包裹体 CO_2 测定的 $\delta^{13}C$ 值为－5.0‰～－28.2‰。初步认为，这既显示来源于深部碳，也有沉积围岩中有机碳的加入。老厂矿区在热液成矿阶段、夕卡岩化及大理岩化过程中脱碳的加入也是十分可能的。

(3) 铅同位素：老厂矿区方铅矿 $^{206}Pb/^{207}Pb$ 1.188，与东区其他矿区的比值1.18相近；$^{208}Pb/^{204}Pb$ ＝18.55，与东区其他矿区18.43～18.67一致；$^{207}Pb/^{204}Pb$＝15.62，与东区其他矿区15.08～15.67相似；$^{208}Pb/^{204}Pb$＝39.46，与东区其他矿区39.98～10.29近似。上述数据说明，铅同位素组成相当均匀，反映岩浆源和成矿物质都来自地壳较深部位，并经受高度的熔融与均一化。铅同位素 μ 值8.8～9.0，也是地壳源铅的特征。

(二) 包裹体测温及副矿物特征

老厂岩体的副矿物为独居石、磷钇矿，具S型花岗岩特征，形成锡矿。而个旧东区的马松岩体的副矿物为褐帘石、榍石、磁铁矿、磷灰石，具I型花岗岩特征，也形成锡矿。两者的区别除成岩时代、岩

体基性程度、演化阶段外，可能正如姚金炎（1961）所指出，老厂矿区的岩体侵入于开放环境，除锡石硫化物外，锡石-石英矿系大量发育；而松树脚矿区岩体侵入于相对封闭环境，只形成锡石硫化物矿体。个旧的实例说明，S型和I型花岗岩可以共存，I型花岗岩也可具有成锡专属性。

老厂岩体的包裹体爆裂法测温为615～655℃。据曾骥良等（1981）的熔化实验结合地层盖层厚度推算，老厂锡铜矿的花岗岩形成于2.5～1 km深处，其压力条件为1500～3000kg/cm^2，初熔温度为621～631℃。

臧福盛（1996）测定石榴子石夕卡岩的流体包裹体均一法温度为101℃；老厂黄铁矿爆裂法温度为386℃；闪锌矿（测自松树脚）均一法温度180～257℃，平均220℃；方解石包裹体均一法温度204～217℃。

石平方（1986）认为，磁黄铁矿生成时，硫逸度fs_2=（8.6×10^{-7}～6×10^{-5}）Pa，α_{Fe}=0.55～0.65；铁闪锌矿生成时，硫逸度fs_2=（1.0×10^{-4}～3.6×10^{-5}）Pa。

包体中没有发现含盐子矿物，说明溶液处于盐度不饱和状态。包体成分贫碱性组分（K^+、Na^+、Mg^{2+}、Al^{4+}等）而富酸性组分（CO_2、H_2O、CH_4、N_2、HF等），成分较单一。

（三）成矿条件分析

（1）个旧组下段（卡房段）是最重要的容矿层位。原生矿中90%的锡、96%的铜、11%的铅储量均赋存于卡房段内。

个旧组碳酸盐岩按化学成分包括4种，其中锡铜矿主要富集于钙质碳酸盐岩、钙镁质碳酸盐岩中；铅主要富集于镁质碳酸盐岩中；铜主要富集于含硅铝质碳酸盐岩中。个旧组内发现多层含膏（盐）蒸发盐的碳酸盐岩，其褪膏化、褪白云化、膏溶角砾岩、隐藻碳酸盐岩、富碳及生物碎屑灰岩对容矿十分有利。岩性交互层次越多、不同岩性突变界面、围岩物性变异处常是矿化强度增加的场所。

（2）老厂锡铜矿化的花岗岩母岩是区内侵位阶段最晚、分异程度最高、具典型壳源重熔特征的岩体。岩体偏酸性、富碱、贫钙镁、富含挥发分、有益元素背景值高等特点对成矿十分有利。隐伏花岗岩株盖层不厚，但剥蚀程度低，各类型矿床得以保存。岩株顶面波状起伏的形态对矿体的控制与富集十分重要。图2-161将隐伏花岗岩的突起形态和锡铜矿体等的分布规律相对照，直观地反映两者的密切关系。其中，一系列NE向的多峰式背状次级突起带（拱王山-菊花山-蓝蛇硐、晒鱼坝-05、103-1021、1111突起等）是老厂锡铜矿聚集最重要条件之一。

（3）老厂矿床锡铜等资源的汇聚除得益于南岭东西带、川滇南北带、三江特提斯带三者的复合外，矿区还受到北东向华夏体系或环太平洋带的叠加，多种应力场的彼此交织与平衡，造成了本区短轴褶皱、穹窿、层间滑脱、次级断层的有利配置，构成形态多样的容矿构造。

（4）巨厚的不纯碳酸盐岩受中等深度花岗岩的侵位，造成广泛发育的接触变质和热液蚀变晕圈，铜和锡矿最为富集的是由硅铝质、钙质、钙镁质三类碳酸盐岩形成的透辉石、钙铝榴石类夕卡岩。

富水、挥发分溶液的上升、改造导致含水夕卡岩与锡石硫化物密切共生。老厂矿区多种热液蚀变，尤其是电气石化、萤石化、方柱石化、云英岩化、锂云母化、硅化、碳酸盐化、褪色等既呈面型分布，又具典型的垂向分带，是成矿作用有序演化的表征。

（5）综合老厂各类原生矿体特征，其成矿阶段分为：接触变质的硅酸盐阶段，只形成含白钨矿的夕卡岩，成矿温度400℃左右；氧化物阶段形成云英岩型、黑钨矿石英脉型、电气石细脉带型、含铍花岗岩等矿体，成矿温度350～380℃；硫化物阶段是区内锡、铜及多金属成矿期，成矿温度260～350℃；碳酸盐阶段矿化弱，以多金属和低品位锡矿为主，成矿温度200～260℃或更低。

（6）成矿元素的多样性也反映老厂矿床的一个特点。除与稀有、稀土、分散元素如Li、Be、Nb、Ta、Rb、Cs、B等形成独立矿物或类质同象外，产出种类繁多的稀少矿物。例如：羟铍石、木锡矿、水锡石、黄锡矿、硼钙锡矿、水镁锡矿、辉锑锡铅矿等，有些矿物在国内罕见。另外，硫盐矿物不发育也是本区特点。

（7）不难看出，老厂锡铜矿是与花岗岩类有关的典型的锡石硫化物矿床。但在成因上仍有一些有待进一步研究之处，一是层间氧化矿有无其他成因的叠加（去膏盐化、岩溶或其他），二是个旧地区超大型锡质的汇聚有无三叠统半封闭盆地沉积初始富集的因素。

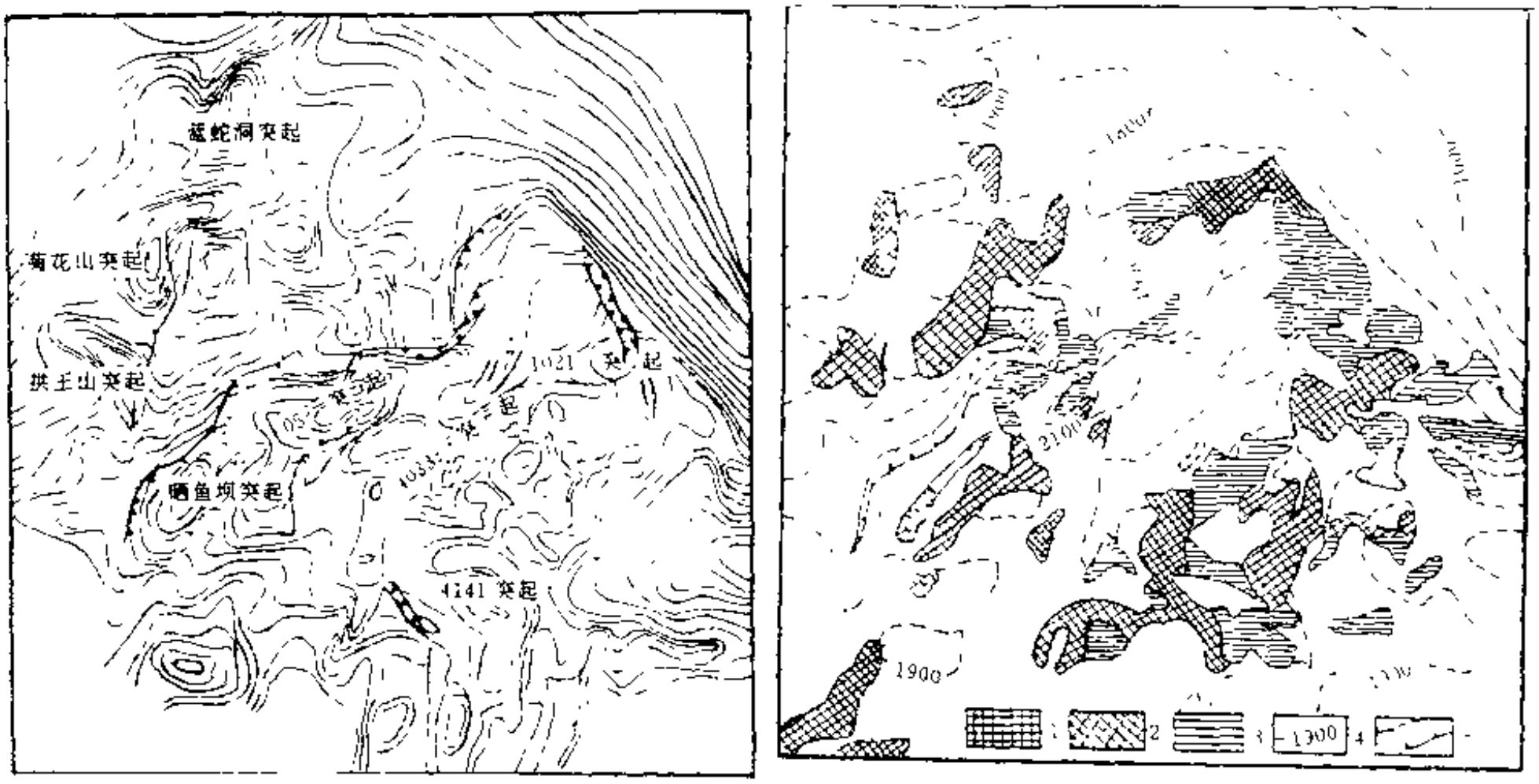


图2-161 老厂花岗岩形态（a）与锡石-硫化物型矿床（b）空间关系示意图

Fig. 2-161 Schematic maps sketch of spatial correlation between shape of Laochang granite (above) and cassiterite-sulfide-type orebodies (below)

a—隐伏花岗岩等高线图；b—接触带矿体分布图；1—锡矿体；2—锡铜矿体；3—钨矿体；4 隐伏花岗岩顶面突起等高线；5 花岗岩凹陷带

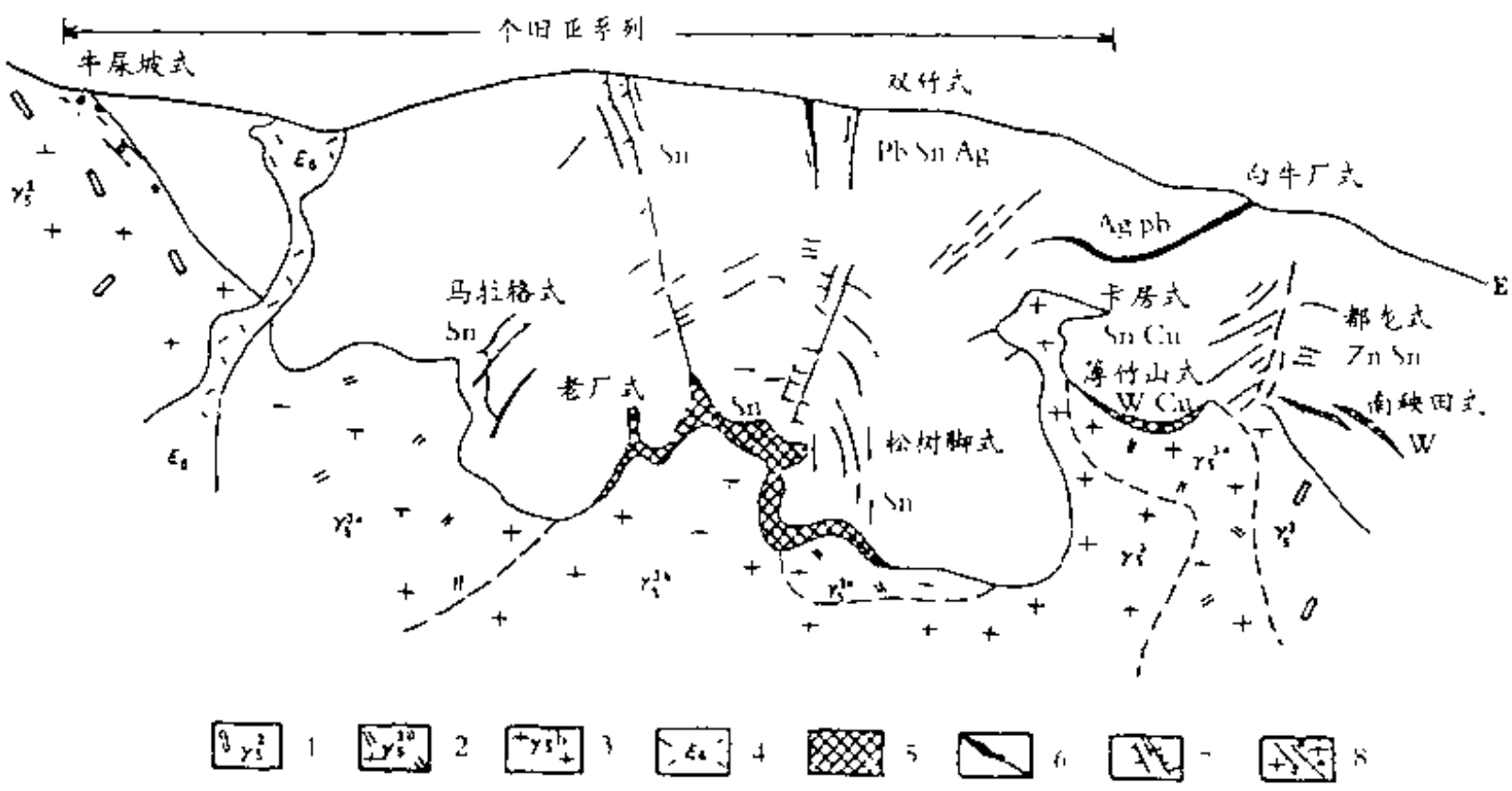


图2-162 滇东南锡钨铅锌银矿床区域成矿模式

Fig. 2-162 Metallogenic model of Sn-W-Pb-Zn-Ag deposits in Southeast Yunnan province (据罗君烈) (after Luo Junlie)

1—燕山早期花岗岩；2—燕山晚期第Ⅰ阶段花岗岩；3—燕山晚期第Ⅱ阶段花岗岩；4 喜马拉雅期碱性岩；5 夕卡岩中硫化矿体；6—似层状、脉状氧化矿、硫化矿体；7 网状矿体；8 蚀变花岗（斑）岩中矿体

六、矿床模式和找矿标志

（一）矿床模式

由于滇东南地区是我国著名的锡、钨、铜、银、多金属成矿区之一，属于燕山期与花岗岩有关的

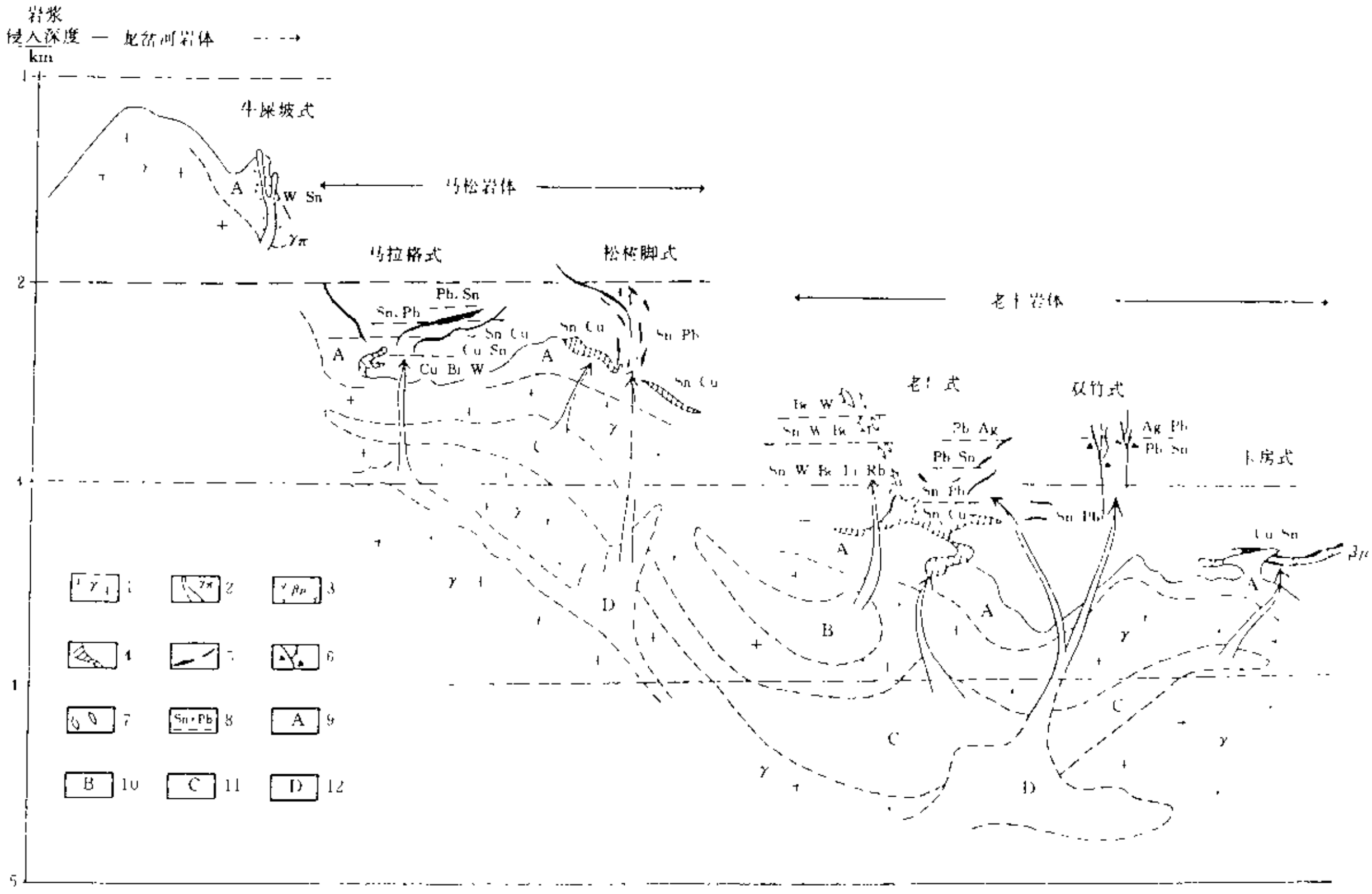


图 2-163　个旧地区锡矿 6 种类型成矿模式

Fig. 2-163　Metallogenic model of six typed tin deposits in Gejiu area

(据罗君烈)(after Luo Junlie)

1　花岗岩;2　花岗斑岩;3　变辉绿岩;4　矽卡岩中的磁化矿体;5　氧化矿体;6　断裂带及氧化矿体;7　锡石-电气石网脉带外围含锡白云岩;8　矿化元素分带;9　顶部富挥发分的熔浆;10　氧化物硅酸岩富集的熔浆;11　早期硫化物富集的熔浆;12　晚期硫化物富集的熔浆

成矿系列。为比较老厂锡铜矿床与其他矿床的异同，在此引述罗君烈（1995）总结的本区区域成矿模式（图2-162、图2-163）和10种矿床类型。其中，牛屎坡式是变花岗斑岩的锡钨矿床；松树脚式是接触带的夕卡岩型为主的锡矿床；马拉格式是近接触带脊筒状氧化矿脉群的锡矿床；卡房式是接触带与辉绿岩交汇带的似层状铜锡矿床；双竹式是远离接触带受断层控制的脉带多金属锡银矿床；老厂式是垂直分带发育最全的包括云英岩型、锡石硫化物型、层间氧化矿、细脉带型锡铜矿床；南秧田式是层控夕卡岩白钨矿床；薄竹山式是面型夕卡岩铜钨矿床；白牛厂式是热水沉积叠加花岗

岩高中温热液再生的银多金属矿床；都龙式是可能有火山沉积初始富集的层控锡多金属矿床。前面6种矿床类型都在个旧地区单独构成一个成矿亚系列。

（二）找矿标志

上述成矿条件及矿床特征已清楚看出其找矿标志可概括为：

（1）燕山晚期多阶段、高侵位的岩株、岩突发育区，尤其是分异程度高的酸性、超酸性岩体；

（2）多种构造体系及多方向构造成分复合的地段，尤其是穹隆、短轴褶曲、层间剥离、次级断裂有利配置的地域；

（3）个旧组（尤其是卡房段）巨厚不纯碳酸盐岩系并有多层膏盐化、隐藻、生物碎屑、富炭质等相变界面发育的地区；

（4）花岗岩体背状突起带、凹兜、岩舌等顶面波状起伏处；

（5）花岗岩体自变质、夕卡岩化、多种热液蚀变分带发育；

（6）矿化组合复杂但作有序分布的区段；

（7）重力低、具有电测深异常、锡钨铜多金属化探异常、重砂异常等显示区；

（8）古代采硐、矿渣等遗迹。

第二十三节　云南中甸县红山铜矿床

一、大地构造单元

矿区位于西南“三江”褶皱系义敦岛弧带的弧后区，是4个弧后沉积盆地中最南面的中甸盆地。其东邻扬子地台的盐源-丽江台缘坳陷，其西以金沙江-哀牢山断裂为界与蓝坪-思茅中坳陷相接。在中甸地区出现西、中、东三条斑岩（及夕卡岩）铜矿亚带中，红山铜矿属于中亚带。

二、矿区地质

（一）地层

矿区内出露上三叠统红山组，其岩性组合为砂板岩夹结晶灰岩，并有中-酸性火山岩，属类复理石建造。区域地层对比，红山组相当于图姆沟组，矿区只出现其上段，图姆沟组系卡尼克阶上部至诺利克阶下部沉积。矿区外围，红山组之下为上三叠统雪鸡坪组（区域上相当曲嘎寺组，为卡尼克阶沉积）和中三叠统格咱组（或尼汝组）。这套类复理石 火山沉积建造厚度巨大，超过10000 m，其层序及岩性变化大，研究程度低。

矿区正处于由板岩为主向以大理岩为主的过渡层序中，层控含铜夕卡岩恰赋存于夹多层大理岩透镜体的板岩部位。

（二）构造

矿区位于乡城-格咱断裂东侧，黑水塘背斜西翼，为一单斜构造。区域地层走向北北西，倾向240°，倾角60°～80°。

由于岩性组合交替频繁，岛弧带在印支期迴返强烈，因此层间剥离构造、碎裂化及构造角砾岩十分发育。地层的区域变质程度不深，以千枚岩、板岩、结晶灰岩、大理岩为主，容矿部位大片出露角岩。

（三）侵入岩

区内侵入体出露面积不大，但种类颇多，以小型岩墙、岩枝等为主。辉石橄榄岩，零星分布于东南部。中酸性岩类在地表出露闪长玢岩、石英二长斑岩，深部钻探发现更偏酸性的二长-碱性长石花岗斑

岩。这三种岩类具同源多期的关系，系成矿母岩。闪长玢岩出露规模稍大，顺层侵入为主，呈岩墙、似岩床，长度可大于1 km，宽数十至数百米。闪长玢岩多是中酸性岩体边缘相，其边部同化混染强烈。岩石化学成分属正常钙碱性系列。石英二长斑岩主要出露于矿区西部，规模极小。由于其常含3%～4%的普通辉石，因此也包括斑状辉石石英二长岩。Rb-Sr同位素年龄值214Ma，属印支期，并可与雪鸡坪含铜斑岩体对比。在副矿物特征上，与雪鸡坪相比，磁铁矿含量偏低，而榍石、磷灰石、锆石含量偏高，红山矿区的斑岩还出现石榴子石、电气石，甚至有独居石、磷钇矿，说明岩体更偏于酸性且形成深度较大。

花岗斑岩在深部的出现有重要意义。它呈岩枝状穿插于Ⅱ号矿群及角岩中。向浅部，岩枝变小变薄，岩石基性程度增高，变为石英二长斑岩；向深部，岩枝变厚且条数增多，岩石酸性程度增高，形成花岗斑岩。斑岩主要矿物为斜长石（$An=18\sim25$）、钾长石、石英。斑晶0.1～8 mm，基质0.05～0.3 mm，并具显微花岗结构。局部受轻微硅化、绢云母化。岩石分析表明，岩体在浅部受同化混染强，属铝过饱和系列，岩体在深部渐变为正常系列。

三、矿床地质

（一）矿体形态及规模

矿体赋存于夕卡岩、角岩中，两者构成一个长约1.5 km，宽约800 m的含矿带。矿体顺层呈似层状、

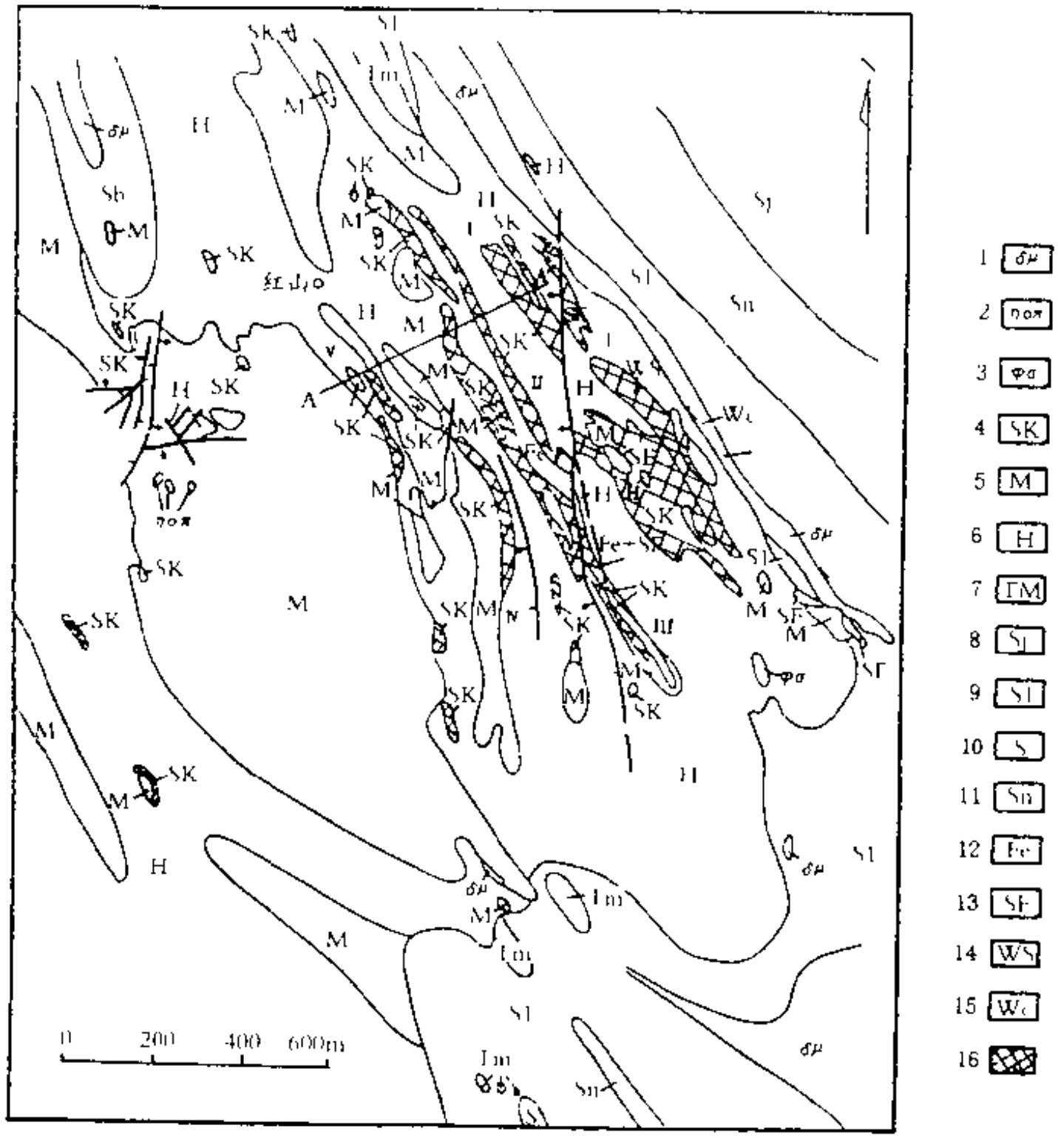


图2-164　红山铜矿地质图

Fig. 2-164　Geological map of Hongshan Copper Deposit

（据云南第七地质队）（after Geological Team 7 of Yunnan Province）

1—闪长玢岩；2　石英二长斑岩；3—辉长辉绿岩；夕卡岩；4　大理岩；5　角岩；6　结晶灰岩；7—石英绢云母板岩；8　石英绢云母板岩；9—板岩；10—变质石英砂岩；11　变质长石石英砂岩；12—含铜磁铁矿；13—含铜磁磁铁矿黄铁矿；14—含钙夕卡岩；15　含铜白钨矿；16　矿体群及编号

透镜状产出，倾向200°～190°，倾角60°～85°。由于其成群集中，共构成10个矿体群，计20个矿体，较大者10个。矿体中有一个为斑岩型铜矿，赋存于岩枝状的石英二长斑岩中；有一个为夕卡岩钼矿体；一个为夕卡岩铜钨矿体，其余为夕卡岩铜矿体（图2-164、图2 165）。

矿体一般长30～1223 m，厚3.92～19.56 m，斜深20～330 m，单矿体平均含铜0.86%～1.76%，矿区平均含铜1.01%。最大的Ⅱ-1矿体长1223 m，平均厚13.29 m，斜深140～330 m。富矿储量占矿区的11.61%，平均含铜品位1.54%。

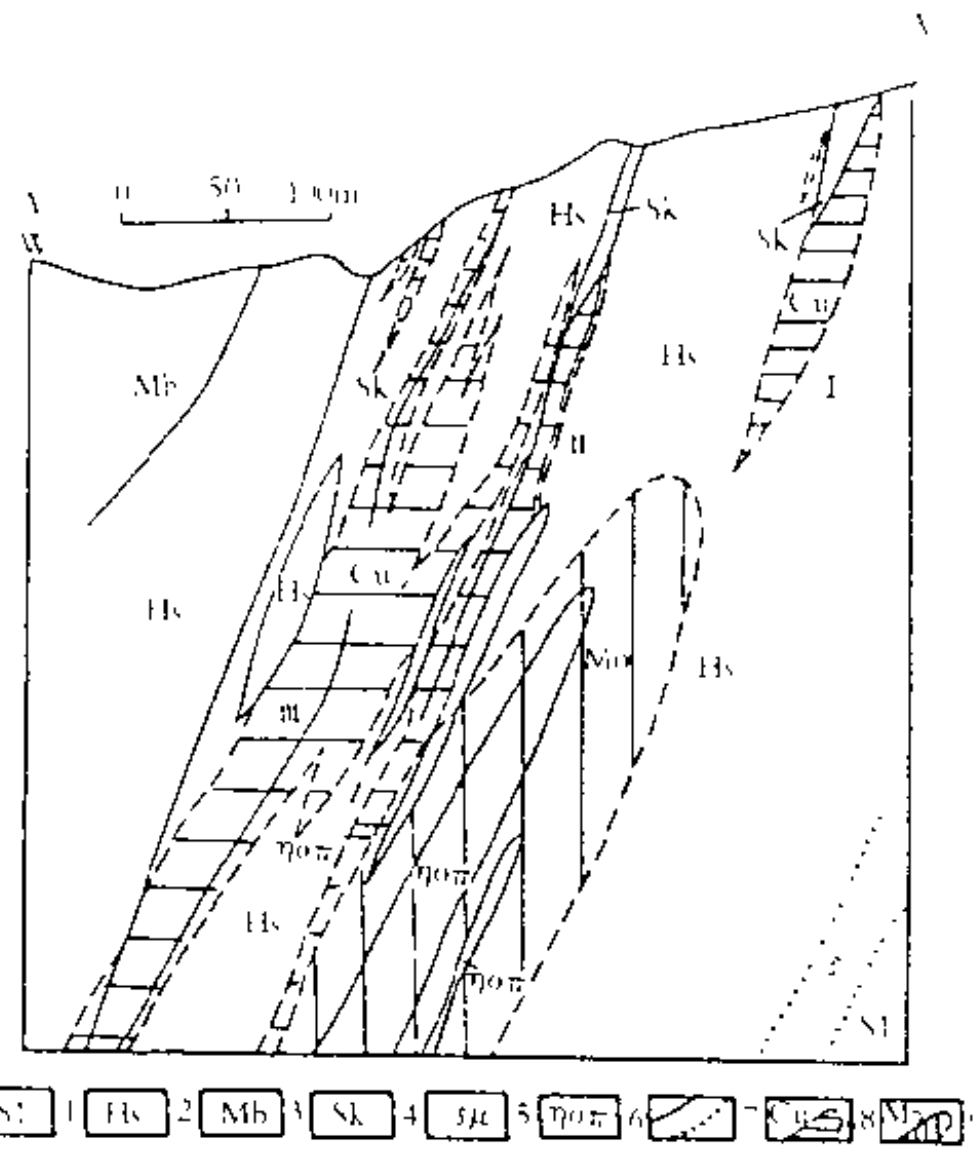


图2-165 红山铜矿 A-A′剖面图

Fig. 2-165 Profile A-A′ of Hongshan Copper Deposit

（据云南第七地质队）

(after Geological Team 7 of Yunnan Province)

1 板岩；2 角岩；3 大理岩；4 夕卡岩；5 闪长玢岩；6 石英长斑岩；7－地质界线；8 铜矿体群及编号；9 钼矿体

（二）矿石类型及矿物组分

矿区共有六种矿石类型。含铜夕卡岩型矿石，是区内最主要的铜矿石。分布于钙铁石榴子石夕卡岩和透辉石富铝石榴子石夕卡岩中，主要金属矿物为黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿。脉石为石榴子石、透辉石、斜长石。

含铜变夕卡岩型矿石　是区内最富的矿石，最高含铜达2.57%～13.95%。分布于次透辉石、石榴子石、夕卡岩及钙铁石榴子石夕卡岩中。变夕卡岩系由绿泥石、阳起石、次闪石、绿帘石等强烈交代次透辉石、石榴子石而成。含铜变夕卡岩常富集于含铜夕卡岩的顶部。金属矿物为黄铜矿、黄铁矿，少量磁铁矿、闪锌矿、方铅矿。脉石为透辉石、绿泥石、阳起石、绿帘石。

含铜角岩型矿石　实为条带状似夕卡岩及蚀变角岩，分布于夕卡岩体下盘或夕卡岩体的角岩夹层中，为贫铜矿石。矿物组成与含铜似夕卡岩型矿石相同，惟脉石多硅泥质。

含铜磁铁矿型矿石　主要金属矿物为磁铁矿，次为磁黄铁矿、黄铜矿。脉石为石榴子石等。

含铜辉钼矿型矿石　分布于隐伏的花岗斑岩体及蚀变围岩中。靠近花岗斑岩的接触带较富，远离者变贫，矿化厚达90 m 以上。钼在花岗斑岩中呈石英脉产出，脉厚数至数十厘米。金属矿物为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、白钨矿。

含铜方铅矿闪锌矿型矿石　分布于残留大理岩与夕卡岩的接触带。金属矿物为方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿。脉石为方解石、白云石、石英。

（三）矿石结构构造

矿石结构呈粒状、陨铁状、乳浊状固溶体等结构。

矿石主要呈块状、浸染状、脉状构造，次为条带状构造。块状构造包括致密块状、斑块状、花斑状、环斑状；浸染状构造包括稠密浸染状、浸染状、星散状；脉状构造包括细脉状、网脉状。

（四）矿石化学组分

除铜以外，独立的钼矿体平均含钼0.017%，其中石英二长斑岩含钼0.051%，角岩含钼0.016%，独立的铅锌矿体含铅0.5%～12.02%，平均1.875，含锌1.13%～18.04%，平均0.337%。伴生的铜品位0.23%。另外，可综合利用的银平均6.856×10⁻⁶，钴0.00419%，铋0.016%，铟0.000611%，硫10.66%。简单流程的选矿均可对有益组分进行回收。

（五）近矿围岩蚀变

夕卡岩化、角岩化是最主要的近矿围岩蚀变。夕卡岩不直接产在与侵入岩体接触处而产在与黑云角岩、大理岩的顺层接触带，这充分反映其形成在泥质岩石向钙质岩石过渡的双交代带内。夕卡岩两侧可以都为黑云角岩，也可以是一侧为黑云角岩、另一侧为大理岩。其靠角岩一侧形成的是透辉石富铝石榴子石夕卡岩；其靠大理岩一侧则形成钙铁石榴子石夕卡岩、次透辉石钙铁石榴子石夕卡岩。透辉石富铝榴石夕卡岩普遍含榍石、磷灰石、锆石，局部具符山石、方柱石。钙铁石榴子石夕卡岩是主要类型的夕卡岩，不含榍石、锆石、磷灰石等副矿物。次透辉石钙铁石榴子石夕卡岩多分布于钙铁石榴子石夕卡岩与大理石之间，厚数十厘米至2m，含少量钙铁辉石。当夕卡岩再受富水硅酸盐交代时，则形成类夕卡岩带，这些富水硅酸盐包括硅化、绿泥石化、绿帘石化、阳起石化、次闪石化、钾长石化和碳酸盐化。

除上述夕卡岩、类夕岩的主要组成矿物外，还见有符山石、硅灰石、方柱石、绢云母、斜长石。角岩以黑云母岩为主，也有堇青石斜长石透辉石角岩。

（六）化探异常

红山铜矿区的水系沉积物中出现面积7.1 km^2的异常，其组合为Cu-Mo-Pb-Zn-Sn。元素平均含量$\times 10^{-6}$：Cu 1129、Mo 10.2、Pb 138、Zn 82、Sn 15.7、W 22.5。向北有地苏嘎异常，向南有独哥、普朗异常，这些异常都成带分布。

四、成矿条件

（一）包体测量及含盐度

经对矿区石英二长斑岩、蚀变石英二长斑岩的包体测定，其含盐度高，$w(NaCl)$达32.3%～75%。除常见钠盐子晶外，经常同时有钾盐子晶产出。上述岩体所测均一法温度也高。已测定的23个数据中，192～579℃有2个，330～420℃有10个，220～190℃有10个，仅1个为156℃。说明成矿作用以气成-高温阶段为主，延续到中温阶段。

（二）蚀变分带

在夕卡岩与角岩相间排列宽达800 m的矿化带中，空间分布有下列两种规律：

(1) 石英黑云母角岩＋蚀变黑云母角岩→透辉斜长岩＋透辉富铝石榴子石夕卡岩→钙铁石榴子石夕卡岩＋次透辉石钙铁石榴子石夕卡岩→含硅灰石、透闪石、透辉石大理岩＋大理岩。

(2) 石英黑云母角岩→蚀变黑云母角岩→透辉斜长岩＋透辉富铝石榴子石夕卡岩→钙铁石榴子石夕卡岩＋次透辉石钙铁石榴子石夕卡岩→透辉富铝石榴子石夕卡岩＋透辉斜长岩→蚀变黑云母角岩→石英黑云母角岩。

（三）成矿阶段

当夕卡岩及角岩经成矿热液再蚀变时，夕卡岩变成类夕卡岩，角岩变成堇青石斜长石透辉石角岩，其成矿阶段如下：

高温的硅化、钾钠长石化，为磁铁矿形成期；高中温的硅化、早期碳酸盐化阶段，为磁黄铁矿、辉钼矿、白钨矿形成期；中温的阳起石化、绿泥石化、绿帘石化阶段，为以黄铜矿、黄铁矿为主的硫化物形成期；低温的晚期碳酸盐化、沸石化阶段，为方铅矿、闪锌矿形成期。

因此，自夕卡岩向大理岩，金属矿物呈带状分布：下部为磁铁矿，依次为磁黄铁矿，再上为黄铜矿、黄铁矿，最上部为方铅矿、闪锌矿。

（四）矿床成因

铜矿床属远离岩体接触带的层控夕卡岩型铜矿。由于隐伏的石英二长斑岩及花岗斑岩岩脉全岩钼矿化，因此也有人将中甸红山作为斑岩-夕卡岩复合的铜钼矿床。

五、找矿标志和矿床模式

寻找类似中甸红山的铜矿床，其主要标志是：岛弧带的钙碱性岩浆活动区，尤其是弧后环境的相对稳定拉伸地区；类复理石建造的泥质岩石向不纯碳酸盐沉积的过渡层位；夕卡岩和角岩发育，特别是再遭受含水硅酸盐叠加蚀变的地段；剥蚀程度低，有隐伏中酸性岩体存在并具矿化（钼、钨、铜）者；区内较好的铜钼铅锌组合化探异常。

中甸红山铜矿与雪鸡坪铜矿形成条件的区别有二：①是红山斑岩体侵位于砂板岩夹碳酸盐岩中，成

矿条件属相对开放系统；雪鸡坪斑岩体侵位于硅铝质围岩中，成矿条件属相对封闭系统；②是红山斑岩体形成于中深成环境；雪鸡坪斑岩体形成于超浅环境；③是红山矿区夕卡岩、角岩十分发育，铜质运移较远。以夕卡岩和角岩为容矿岩石，岩体内为钼矿化；雪鸡坪矿区岩体蚀变晕圈发育，铜质仅赋存于岩体内，不出现钼独立矿体。

为对比中甸红山与雪鸡坪两者成矿条件的差别，红山铜矿床成矿模式请参阅雪鸡坪铜矿床。

第二十四节　广西德保钦甲铜锡矿床

一、大地构造单元

矿床位于华南褶被系右江褶皱带南缘的钦甲等轴背斜（或穹隆）西翼。区内出露地槽型沉积（$\in$）、地台型沉积（D-T_1）和类复理石沉积（T_2）三套构造层，经历了地槽、地台和地台活化三个演化阶段。

二、矿区地质

钦甲铜锡矿床赋存在侵入于钦甲穹隆中心的钦甲花岗岩北缘的外接触带的寒武系中，地质构造较复杂。

（一）地层

矿区内出露地层有下古生界寒武系，上古生界泥盆系（图2-166）。寒武系属地槽型沉积的碎屑岩夹

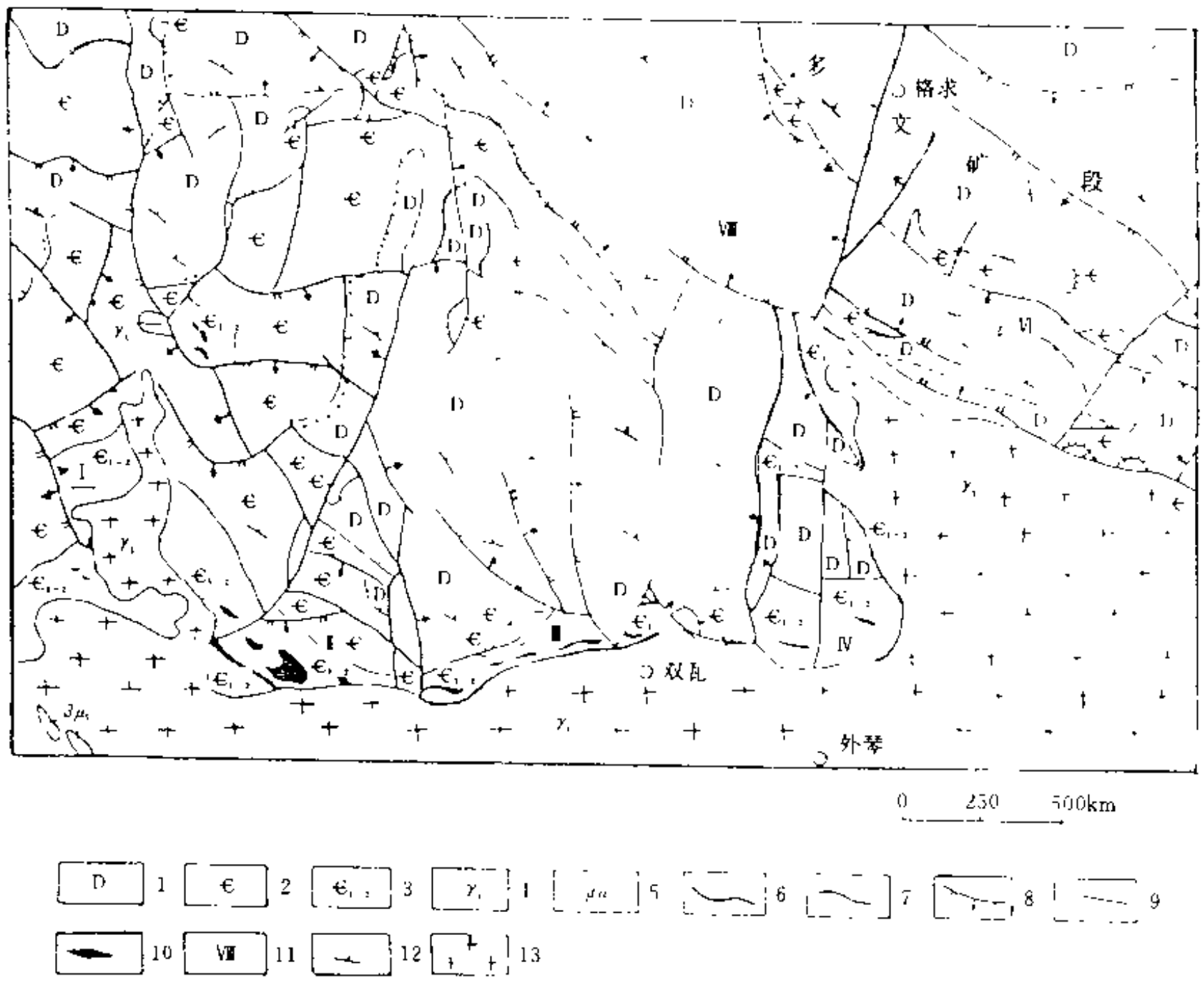


图2-166　德保钦甲铜锡矿矿区地质图

Fig. 2-166　Geological map of Qinjia copper-tin ore district, Debao area

1　泥盆系；2 -寒武系第二段至第八段；3　寒武系第一段至第二段；4—加里东期花岗岩；5 -燕山期基性岩，6—沉积岩层的不整合界线；7—地层界线；8- 正断层；9—性质不明的断层；10- 铜锡矿体；11　矿段编号；12—地层倾向及倾角；13　花岗岩体

碳酸盐岩类复理石建造，分布在钦甲穹隆的核部，在花岗岩类侵入作用的影响下，遭受不同程度的变质，它控制了铜锡矿床和黄铁矿、铁矿、重晶石矿床的分布。在钦甲矿区范围内，寒武系分为八个岩性段18层，与铜锡矿床有关的是3、4、5、7、8、9六层，以泥岩、灰岩、泥质灰岩、钙质页岩、泥质沉积岩类岩石，受侵入体的影响变质成大理岩、夕卡岩和角岩类。

泥盆系从下至上有莲花山组、那高岭组、郁江组、塘丁组、纳标组、东岗岭组。均系地台型沉积，与本矿床的关系不密切。莲花山组与下伏的寒武系呈不整合接触。

（ ）矿区构造

矿区位于黑水河大断裂旁侧的寒武系单斜地层内，断裂在矿区内极为发育（图2-167）。区内共有四

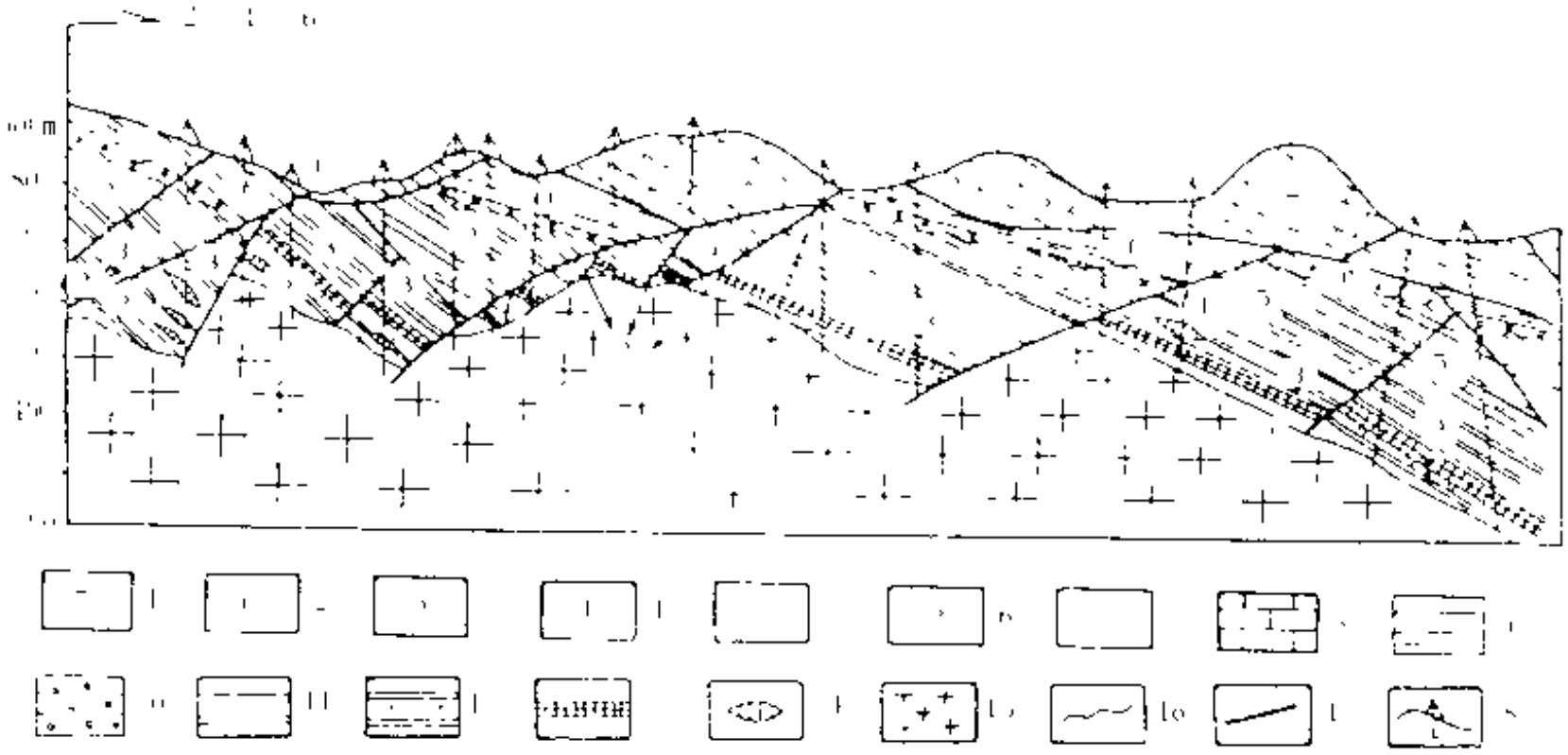


图2-167　德保钦甲铜锡矿区第50勘探线地质剖面图

Fig. 2-167　Geological profile of exploratory line 50 in Qinjia copper-tin ore district

、中泥盆统；2　下泥盆统；3　寒武系8~18分层，4　寒武系9分层中的矿体；5　寒武系5~7分层；6　寒武系3~4分层，7　加里东期花岗岩；8　灰岩；9　泥岩、粉砂岩泥岩；10　底砾岩，11　变质砂岩；12　角岩及斑点角岩；13　 　分层主要矿体；11　3、4、9分层中透镜状矿体，15　花岗岩，16　地层不整合；17　断层；18　钻孔

组断裂，即SW、SE、SN、EW向，其中的SE、SN向两组为压扭性，EW组为张性断裂，SW向为先张后被压扭性所改造；SW和SE向两组在成矿过程中起到导矿的作用，但SW向断裂在成矿后的压扭活动中切过对成矿有利的的寒武系地层，对矿起破坏作用（图2-168）。

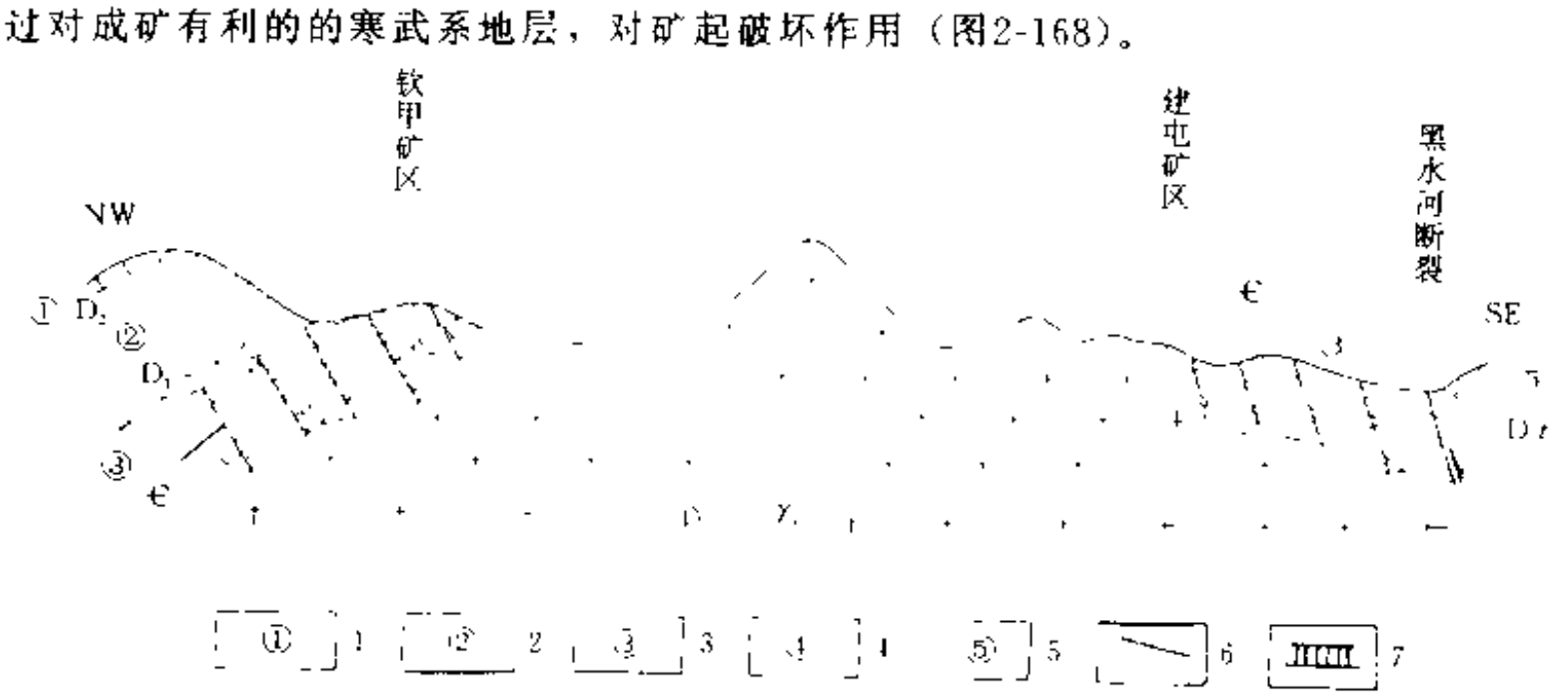


图2-168　矿区加里东期断裂对铜锡矿体分布影响示意剖面图

Fig. 2-168　Sketch section showing control of Caledonian fracture on distribution of Cu-Snore bodies in Qinjia copper-tin ore district

1　中泥盆统灰岩；2　下泥盆统底砾岩、泥岩；3　寒武系变质砂岩、角岩、夕卡岩、大理岩；4　加里东期花岗岩；5　下泥盆统灰岩；6　加里东期（岩体侵入前）断层；7　有利成矿的寒武系5、7分层

（三）侵入岩

矿区内出露的侵入岩有加里东黑云母花岗岩、燕山期石英斑岩、辉绿岩等。

（1）加里东期黑云母花岗岩，又称钦甲岩体（γ_1），与寒武系地层呈明显的接触关系，岩体呈岩株，与围岩呈波状接触，向四周倾斜。该岩体为铝过饱和型。岩体中 Sn、Nb、Ta、B 在边缘相高，Cu、As、Li、F 在过渡相高。Cu、Sn、As、Bi 等成矿元素是加里东期花岗岩丰度值的6～10倍。Rb-Sr 法测定的同位素年龄为526Ma（宜昌地科所，1982，5），属加里东期花岗岩。按查佩尔、怀特标准判断，岩体为"S"型花岗岩，与铜锡矿床有直接的成因联系。

（2）石英斑岩和辉绿岩分布于矿区西南，用 K-Ar 法测得辉绿岩同位素年龄为115～181Ma，属燕山期产物。用 U-Pb 法测得石英斑岩中锆石年龄为90～102Ma，也应属燕山期。

三、矿床地质

（一）矿区内，矿体有赋存在外接触带和断裂带中两类矿体。前者赋存地层为第三分层钙质页岩夹泥质灰岩；第四分层泥岩类钙质页岩、泥岩和灰岩透镜体；第五分层灰岩、泥质灰岩夹钙质页岩；第七分层泥岩、灰岩、泥质灰岩互层或透镜体；第八分层泥岩、钙质页岩或泥质灰岩透镜体；第九分层钙质页岩夹灰岩、泥质灰岩等分层中，但以第五、第七两个分层为主，岩层均已夕卡岩化。矿体在分层中呈似层状、透镜状、扁豆状；在断裂带中的矿体呈脉状、串珠状。矿体倾向 NW 和 NE，倾角20°～50°。共27个矿体，单个矿体长750～50 m，倾斜长20～800 m，厚度1～5 m，一般2.5～4 m。Cu 品位0.12～1.64%，Sn 在0.2%～0.79%，Fe 在34%～43%。赋存在5、7两分层中矿体的探明储量占矿区铜、锡总储量分别为96.17%和95.3%。

（二）矿石矿物成分

按矿物的共生组合，可将原生矿石分为：阳起石夕卡岩铜锡矿石、石榴子石夕卡岩铜锡矿石、磁铁矿夕卡岩铜锡矿石、方解石-石英脉铜锡矿石、块状硫化物矿石等5类。其中，阳起石夕卡岩铜锡矿石分布最广，是矿区主要类型。次为石榴子石夕卡岩铜锡矿石和磁铁矿夕卡岩铜锡矿石，两者是矿区常见的矿石，与前者混合产出，无明显的分界，但磁铁矿夕卡岩铜锡矿石往往位于矿体的上部或顶部，有的地方向上渐变为单纯的磁铁矿体。方解石-石英脉铜锡矿石，比较稀见，它多呈大小不等的脉体，穿插在上述三种矿石之中。块状硫化物矿石偶尔可见，主要分布在断裂交汇和密集的地方，多呈不规则团块状产出。

氧化带由原生矿石氧化而成的氧化铜锡矿石组成，矿石中的锡比原生矿富而且易选，是矿区目前采锡的主要对象。

矿石矿物共37种，主要矿物为黄铜矿、锡石、磁铁矿、毒砂、黄铁矿等；次要矿物有磁黄铁矿、铁闪锌矿、白铁矿、硫化锡矿、辉铋矿、锡矿、辉铜矿、赤铁矿、黄铜矿、蓝铜矿等；非金属矿物有阳起石、普通角闪石、透辉石、钙铁榴石、石英、长石、绿泥石、符山石和粘土类矿物。

（三）矿石结构构造

原生矿石的结构有：交代熔蚀结构、自形它形粒状结构、共边、含包和充填结构等。氧化矿石有胶状、放射状和纤维状等结构。

原生矿石构造有致密块状，团块状、星点状、条带状、脉状和角砾状等构造。氧化矿石有皮壳状、葡萄状、网格状、孔洞状等构造。

（四）矿石化学成分

矿区矿体各类矿石的化学成分见表2-106。

在各类矿石中 Cu 的富集度均很高，而在石榴子石夕卡岩铜锡矿石中 Cu 的品位最高。锡只在磁铁矿夕卡岩铜锡矿石中最富集。各类矿石中都伴生有金、银等元素。

矿石中主要有害组分是 As，其平均含量达0.37%，个别可达16.031%。它以毒砂形式存在，主要赋存在石英脉和硅质成分较高的矿石中。

表2-106　矿区不同矿体各类矿石化学成分表

Table 2-106　Chemical composition of different-type ores

矿体层位	矿石类型	w(B)/%						
		Cu	Sn	Fe	S	As	Au	Ag
五分层	石榴子石夕卡岩铜锡矿石	2.68	0.15	21.71	5.11	0.018	0.09	28.12
	阳起石夕卡岩铜锡矿石	1.69	0.1	26.62	2.52	0.24	0.65	14.3
	磁铁矿夕卡岩铜锡矿石	1.47	0.66	30.92	9.33	0.35	0.15	16.25
七分层	阳起石夕卡岩铜锡矿石	1.131	0.37	20.73	7.55	6.9	0.09	12.5

金、银为$<10^{-6}$

矿石中主要组分的相互关系为：

（1）矿体中锡的矿化范围比铜大，在铜矿体中锡的含量较高，可达0.1%～0.2%，而锡矿体中铜含量甚微。

（2）在水平方向上Cu、Sn分带现象不明显。

（3）矿石中的伴生金与铜矿中的铜含量不具相关关系，但于Ag元素的相关性较明显，相关系数达0.63～0.95。

（4）Sn、Cu品位在倾向上变化较大。品位与厚度之间关系不密切。

（五）围岩蚀变

主要围岩蚀变有：

（1）夕卡岩化：主要分布于岩体与寒武系接触带附近（离岩体1～2 km范围内）。按矿物组合分为石榴子石、透辉石、符山石等简单夕卡岩和由石榴子石、阳起石、普通角闪石、符山石、绿帘石、透辉石等组成的复杂夕卡岩。前者矿化甚微，后者是区内铜锡矿体的主要矿化岩石，在多数复杂的夕卡岩体中本身就是铜锡矿体。

（2）大理岩化、碳酸盐化：分布于岩体外接触带寒武系质纯且单层厚度较大的碳酸盐岩石中，呈透镜状、条带状，与夕卡岩和夕卡岩化角岩呈同层交替产出。它本身不具矿化，但它们往往发育在铜锡矿体或矿化强烈地段的附近，是夕卡岩化的外带。

（3）角岩化：在钦甲穹隆附近、寒武系的泥质岩石中普遍存在。矿区的角岩可划分出三个不同的相带，即黑云母或含黑云母角岩带，斜黝帘石、透闪石角岩带、钾长石或含钾长石角岩带。

（4）硅化：主要分布于岩体内和寒武系原岩中含硅质高的岩石中，矿体附近硅化明显，硅化越强铜锡矿石品位越富。

（5）钾化或钠化：分布于岩体外接触带，寒武系夕卡岩附近钾、钠化强烈地段，往往矿化较好。

（6）磁黄铁矿化：分布于矿体外接触带寒武系中，尤以黑云母角岩带及斜黝帘石角岩带中较为强烈。

四、成矿条件

（一）硫同位素

对不同类型矿石和围岩、岩体等所测定稳定同位素硫的特征如下：

（1）矿石中硫同素$\delta^{34}S$由$-10‰$～$+7.1‰$，多数为$-1‰$～$+1‰$平均为$0.85‰$，偏差$2.4‰$，并具以$\delta^{34}S=0‰$～$+0.2‰$为中心的塔式效应。反映了硫同位素较为均一，分馏不显著。

（2）黄铁矿中$\delta^{34}S$值普遍高于黄铜矿、毒砂，这表明它符合硫同位素已达平衡。

（3）$\delta^{34}S$值分布范围与离岩体远近关系密切。如岩体附近4～7分层当中$\delta^{34}S$多集中于$-0.2‰$～$+1‰$和岩体相似。而离岩体稍远点的14、17分层$\delta^{34}S$值分布疏散，并离零值较远，在$-2‰$～$-6‰$；断裂带中$\delta^{34}S$均趋于极大的负值，为$-26.7‰$～$-31.9‰$。这些特征说明，成矿是在高温条件下（与测温资料相符），也间接说明了成矿的热源来自钦甲花岗岩。成矿中的硫质不一定都是来自岩体，而相当部分是由成矿岩层本身和附近围岩供给的。断裂带中的硫，显然与成矿的硫既不同源也不同期，它可能是

在成矿后低温条件下有细菌硫参与产生的。

（二）氧同位素

对矿石中共生的磁铁矿、石英矿物对和岩体全岩氧同位素测定的结果（图2-169）。由图2 169可见：

（1）钦甲花岗岩应属“S”型花岗岩，为基底碎屑沉积岩石重熔而成。矿体中的磁铁矿和石英均表现为地面源矿（沉积变质）特征；

（2）对矿石中磁铁矿-石英矿物对氧同位素计算结果获得成矿温度在279～382℃，表明成矿是在高中温条件下，与原同生沉积的硫同位素达到同位素均一化，使 $\delta^{34}S$ 值趋于零即近似陨石硫：

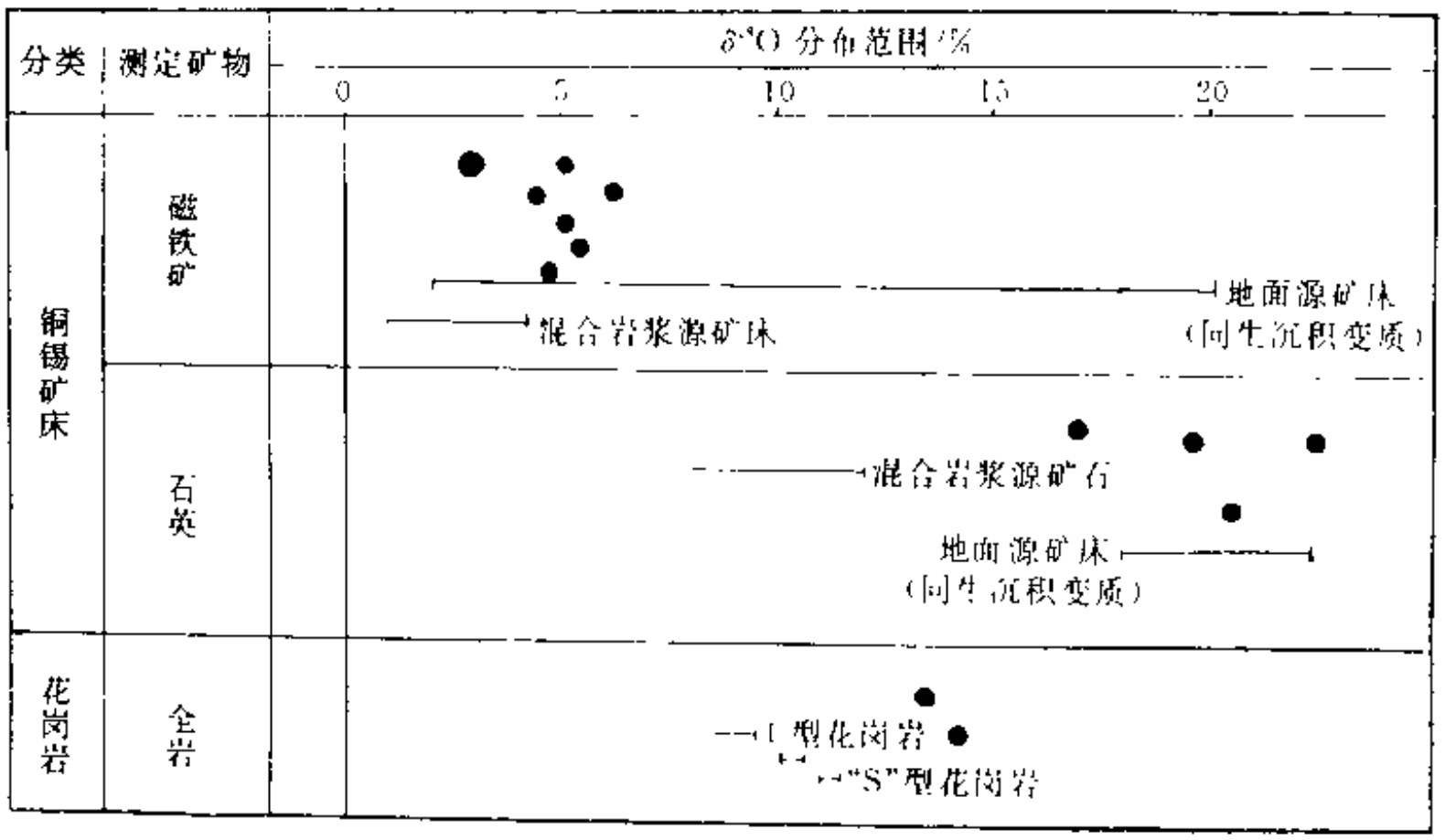


图2-169 矿体、岩体氧同位素（^{18}O）分布图）

Fig. 2-169 Composition of Oxygen isotope in ores and rocks

样品分布位置：一一 不同源矿体、矿物^{18}O分布范围（据同位素地质学资料下册张理刚和Olfed等人）

（3）氧同位素研究表明成矿溶液水为变质水，并非岩浆水（杨巽民、颜成贤等，1981）。进一步证明成矿过程中与沉积岩发生过同化和交代作用，有沉积成因的矿物或大气降水参与了成矿作用。这表明成矿物质是多来源的。

（三）成矿温度

对矿体进行了方解石、石英矿物包裹体的均一法测温，磁铁矿、锡石矿物爆裂法测温及磁铁矿、石英共生矿物对氧同位素地质温度计算等。几种测温方法所获成矿温度为200～450℃，属高温-中温阶段，说明钦甲铜锡矿床属热液矿床的范畴。其中对锡石包裹体成分的研究认为，锡石成矿温度范围较大，从高温到中温，属夕卡岩期后，所以它多充填于夕卡岩矿物的晶格、裂隙间，不但被其他金属矿物所包裹，同时它又包裹有石英，磁铁矿等矿物。磁铁矿成矿温度偏低，可能与它主要是来自原沉积菱铁矿经变质而成有关。

（四）成矿阶段和成因认识

本矿床矿石矿物的形成分五个阶段，即早期夕卡岩阶段，晚期夕卡岩阶段、磁铁矿锡石阶段（氧化物）阶段、硫化物阶段、碳酸盐阶段。在第一、二阶段形成温度350～550℃，以 Fe^{3+} 为主，f_{O_2}高，主要形成一些硅酸盐和部分氧化物。第三、四阶段温度在350～700℃以 Fe^{2+} 为主，f_{O_2}低，主要形成的是硫化物和部分氧化物硅酸盐溶蚀；第五阶段温度＜200℃，主要形成碳酸盐及部分硫化物和极少的氧化物。

通过上述分析，本区铜锡矿床的形成，主要经历了：

（1）加里东期钦甲“S”型花岗岩侵入。岩体中富含 Sn、Cu、Bi、Be、B、As、及 Nb、Ta 等成矿

元素。它与矿石所含的成矿元素及微量元素基本一致，属对锡矿成矿有利的侵入体，可能为本矿床提供了部分成矿物质；

（2）钦甲岩体的侵入，使区内寒武系等岩石经受了接触交代作用，形成了石榴子石夕卡岩铜锡矿石、透辉石夕卡岩铜锡矿石、磁铁矿夕卡岩铜锡矿石。接触交代作用形成夕卡岩的形成与锡铜矿石的形成同步进行，说明夕卡岩形成阶段的成矿作用占主导地位；

（3）钦甲岩体的侵入和侵入后的岩浆热液作用把原来富含在基岩中的沉积 Fe、S、Sn、Cu、Au、Ag、Ca、Mg 等元素进一步集中，为接触交代阶段成矿（即早、晚二期夕卡岩形成阶级）提供了部分成矿物质。

（4）矿石中硫同位素接近于零，且远离岩体的矿物中硫同位远离零值，$\delta^{34}S$ 值与离岩体的距离成反比，说明成矿物质和成矿热液来源于岩体。磁铁矿、石英、锡石等矿物的氧同位素特征说明成矿物质的岩浆源占主导地位，而混合岩浆源和同生沉积源也占有一定的地位，这也说明在接触交代变质和岩浆热液活动过程中地层成矿物质和热液成矿物质的加入在矿床形成中起到一定作用。

本矿床的成因历来有不同的认识。在1976年提交的矿区勘探报告中提出，本矿床属“岩浆期后热液交代夕卡岩型”矿床。洗柏琪在“再论广西层控锡矿床的形成条件”一文中提出本矿床属“沉积变质热液叠加改造矿床。”而由杨冀民、颜成贤为主编的“德保钦甲铜锡矿床地质研究”矿床专著（1984）中提出“沉积变质-岩浆热液矿床”的新认识。但对本矿床目前的认识而论，“接触交代型铜锡矿床”已为广大学者所认可。

（五）找矿标志

据本矿床的成矿条件和特征，总结以下找矿标志。

1. 地层标志

寒武系3～9分层的钙质泥岩、钙质页岩夹泥灰岩或灰岩透镜体呈互层产出的层位是矿床的赋矿层位。该地层一旦具有明显的薄层、微层岩性不一的互层时，对矿体的形成更有利。

2. 加里东期花岗岩体及其接触带

即花岗岩体与寒武系特定层位（即3～9分层）接触带是矿体定位标志，具体表现在：

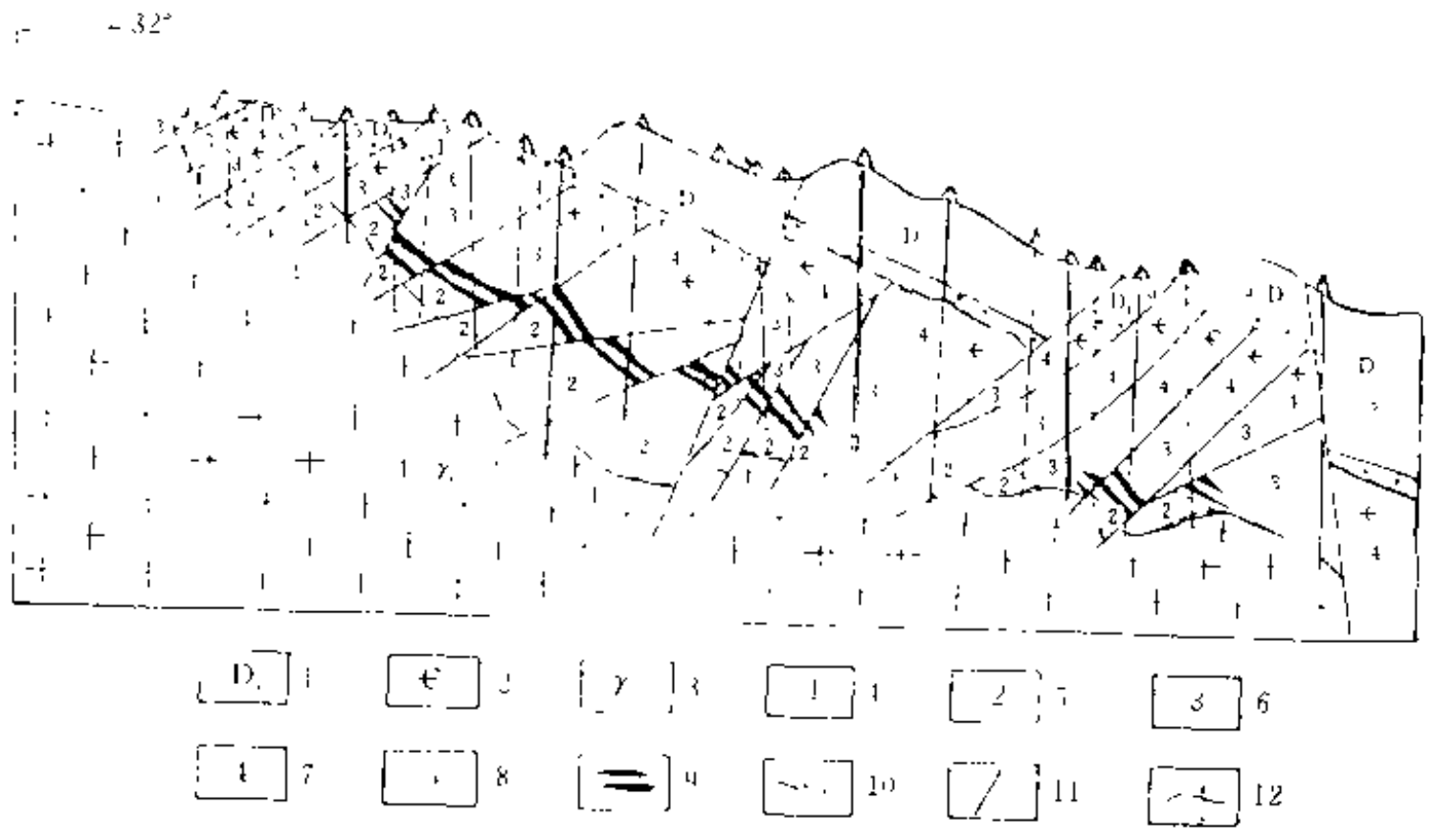


图2-170　矿区第107勘探线岩体与围岩接触面和矿体赋存部位图

Fig. 2-170　Sketch section of exploratory line 107 showing contact of graniteand host rock and location of ore bodies

1—下泥盆统；2—寒武系；3—加里东期花岗岩；4—黑云母花岗岩；5—寒武系第3～4分层；6—寒武系第5～9分层；7—寒武系第10～18分层；8—砂、泥岩；9—第5、7分层中铜锡矿体（下为第5分层，上为第7分层）；10—泥盆系底砾岩；11—断层；12—钻孔位置

（1）矿体赋存在在距岩体接触带数十至200 m范围内；

（2）在平面上，岩体凸向围岩（如岩岳、岩枝、岩株）的前缘和两侧部位，岩体与接触界线呈蛇形弯曲地段，陡缓转折凹兜部位矿体最为集中（图2-170）。

3. 构造是矿体定位的先决条件，控制了矿体的展布

钦甲岩体侵入于钦甲穹隆核部，岩体整体向北东方向倾斜，在其倾斜侧上部的寒武系地层中，SW和SE向断裂发育，在此两组断裂交汇处，是矿体具体的定位条件，也是找矿最有利的地段。

4. 水系沉积物圈定的化探综合异常

在1∶200000化探扫面图上有高背景高异常区，化探异常的元素组合为Cu、Sn、Mo、Pb、Zn、Cr、Ni、V，各元素异常套合较好，浓集中心明显，强度大，是寻找该类矿床的明显标志。

第二十五节　新疆富蕴县索尔库都克铜（钼）矿床

一、大地构造单元

矿床位于哈萨克斯坦-准噶尔板块与西伯利亚板块碰撞带额尔齐斯大断裂南侧的加波萨尔复背斜西段南翼的阿尔曼泰弧后盆地中。

二、矿区地质

（一）矿区地层（图2-171）

1. 泥盆系

（1）下泥盆统托让格库都克组（D_1t）　分为两个亚组，第一个亚组（D_1t_1）为浅海相类复理石建造，主要岩性为生物碎屑灰岩、粉砂质灰质、中粗粒长石岩屑砂岩、含砾岩屑粗砂岩、凝灰质钙质砾中粗粒砂岩、凝灰质砾岩等夹玄武玢岩。第二亚组（D_2t_1）为浅海—滨海相中基性、中酸性火山岩-火山碎屑沉积岩建造，主要岩性有灰岩、凝灰砂岩、凝灰砾岩、安山质火山角砾岩、集块岩、安山岩、安山玢岩、玄武岩、玄武玢岩等。具爆发相与喷溢相相互更替的特点。

（2）中泥盆统北塔山组（D_2b）　分为三个亚组：第一亚组（D_2b_1）岩性主要为凝灰岩、凝灰质岩屑砂岩、英安岩、石泡流纹岩、角砾凝灰岩、火山角砾岩等；第二亚组（D_2b_2）火山岩很发育，由玄武玢岩、辉石安山岩、玄武岩、英安斑岩、流纹岩、凝灰岩、火山角砾岩、熔结凝灰岩、凝灰砂岩等组成；第三亚组（D_2b_3）为生物碎屑灰岩、泥灰岩，尚有少量的中细粒砂岩、钙质中细粒长石砂岩、泥质硅质岩、粉砂硅质岩等。北塔山组与铜矿的成矿关系密切，索尔库都克铜（钼）矿即赋存于第二亚组及其与正长花岗岩的接触带和相应地层中。

（3）上泥盆统卡希翁组（D_3k）　该组属上统下部，区内呈断块出现，未见顶、底，与下伏地层呈断层接触。下部为湖泊--沼泽相泥岩建造，主要岩性有硅质粉砂质泥岩、碳质粉砂质泥岩，夹薄层状硅质岩、灰岩小透镜体及赤铁矿结核和薄层。上部为海陆交互相沉积，由砂质泥岩，含同生砾泥质粉砂岩组成。

2. 第三系

属老第三系，为一套内陆河流—湖泊相碎屑沉积，岩性为泥岩、粘土岩、砂岩、砂砾岩等，不整合覆盖于上古生界及华力西中期岩体之上。

3. 第四系

分布广泛，覆盖于各种基岩之上，大致分为更新统洪积层、全新统洪积层，洪积—坡积层、风积层。

（二）矿区构造

矿区内出现的主要构造是索尔库都克背斜，长9.5 km，宽4.5 km，总体走向310°。矿床所在的背斜SW翼的倾向为230°，倾角30°～50°，轴面略偏向NE。索尔库都克背斜控制了成矿作用及其矿床的定位。矿区内断裂构造发育，共有32条，其中重要的有F_1（NW）和F_4（NE）两组。另有F_{15}将F_1平推，为成矿后断裂。

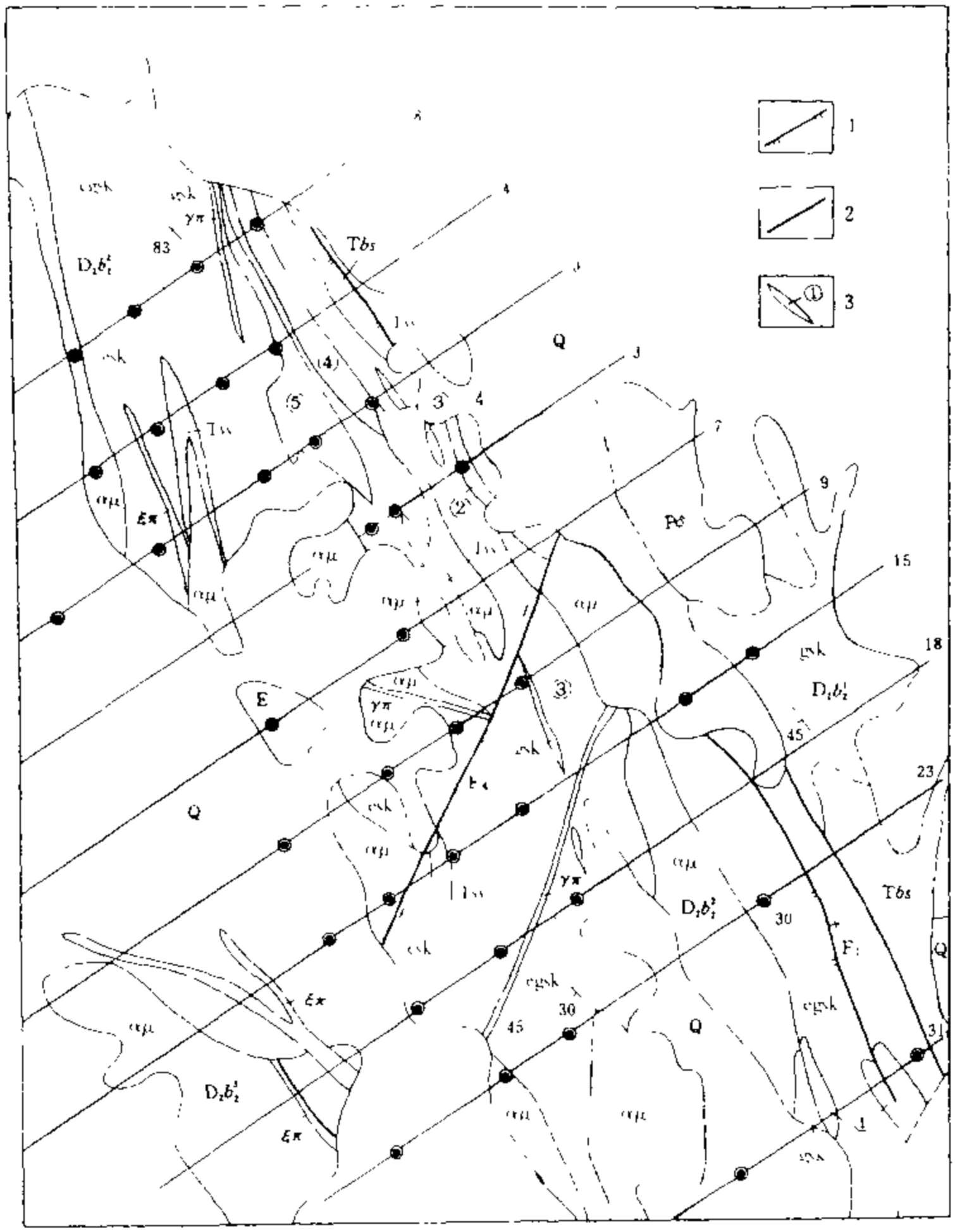


图2-171　索尔库都克铜（钼）矿床矿区地质略图

Fig. 2-171　Geological sketch of Suoerkuduke Cu (Mo) Deposit

（据新疆地矿局第　区调大队，1993）

(after Regional Geological Survey Team No. 2, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources)

Q　第四系；E—第三系；Ts　凝灰质砂岩；Tbs　凝灰质含砾砂岩；$\alpha\mu$　安山岩、安山岩粉岩；$\gamma\pi$-　花岗斑岩；esk　绿帘石夕卡岩；gsk　石榴子石夕卡岩；egsk　绿帘石石榴子石夕卡岩；dsk　透辉石-钙铁辉石夕卡岩；$\rho\delta$—辉石闪长岩；$\xi\pi$　英安岩、英安斑岩；$\upsilon\pi$　霏细斑岩。1　断层；2　岩性段界线；3　铜矿体及编号

（三）侵入岩

矿区内发育有碱长花岗岩（$\xi\pi_3^3$），花岗斑岩（$\gamma\pi_3^3$），英安斑岩（$\xi\pi$）、安山玢岩（$\alpha\mu$）、霏细斑岩（$\upsilon\pi$）及安山岩类。其中的安山玢岩与本矿床有直接的成因联系（图2 172），矿体赋存在安山玢岩外接触带的凝灰岩中，安山玢岩自身也具矿化。

三、铜矿床地质

（一）矿体特征

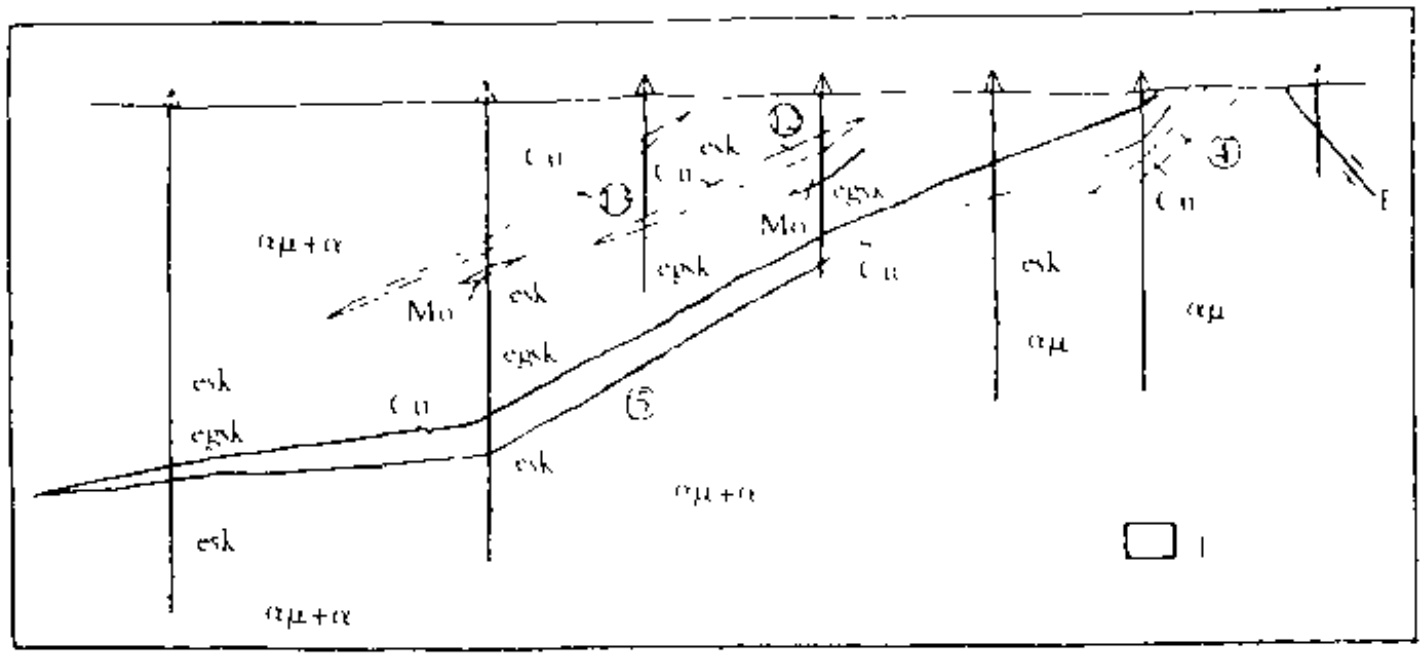


图2-172　索尔库都克铜矿区第4勘探线剖面图

Fig. 2-172　Profile of exploratory line 4 in Suoerkuduke copper ore district

α　安山岩；αμ—安山玢岩；esk　绿帘石夕卡岩；gsk　石榴子石夕卡岩，egsk　绿帘石石榴子石夕卡岩，Cu　铜矿体，Mo　钼矿体；F　断层，5　铜矿体编号；1　夕卡岩带界线

矿体集中分布于矿区中部，主要赋存于安山玢岩与中泥贫统北塔山组第二岩性段的凝灰岩外接触带中。矿体产状与地层产状基本一致。主要矿体常产在绿帘石石榴子石夕卡岩带或石榴子石绿帘石夕卡岩这类复矿物夕卡岩中。矿带长2550 m，宽900 m，呈330°～350°方向展布，倾向SW。矿体倾角大多为30°～40°。按工业指标已圈定并计算储量的有铜矿体10个，钼矿体21个。钼矿体为盲矿，常产于主要铜矿层之上。

矿区已提交的40个铜矿体中长度大于400 m的有5个。最大的两个为4号和5号矿体，占提交总储量的80%。5号矿体最长为1000 m，(地表出露516 m)，垂深最大330 m，最厚64.43 m，倾向SW，倾角11°，Cu品位0.7%。其他依次为4号、9号、10号、7号、11号矿体。矿体形态均较简单，为似层状，透镜状，仅在矿体趋向尖灭部位有的出现分支现象。矿体产状平缓。钼矿体的形态、产状与铜矿体基本相似（图2-172）。

（二）矿石矿物成分

矿石的金属矿物有39种，主要为黄铜矿和黄铁矿，其次为闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、白铁矿、磁黄铁矿，再次为硒银矿、自然金、银金矿、孔雀石等。非金属矿物由于蚀变强弱不等，种类较多，含量变化亦大。主要有绿帘石、石榴子石、辉石、阳起石、方解石、绿泥石、钾长岩、绿高岭石、次闪石、斜长石、黑云母、石英、透辉石及碳酸盐矿物等。

（三）矿石结构构造

矿石结构：稀疏浸染状黄铜矿矿石和稀疏浸染状辉钼矿黄铜矿矿石均以他形微粒结构为主，他形细—微粒结构和他形不等粒结构较少。稀疏浸染辉钼矿矿石为片状结构。

矿石构造：分为星散浸染状构造、稀疏浸染状构造，细脉浸染状构造、细脉状构造，个别见有中等浸染状构造。

（四）矿化分带

矿床的矿石矿物主要赋存在各类夕卡岩中，夕卡岩的分带特征展示了矿化分带和成矿元素在空间的变化。按夕卡岩的矿物组合，矿区的夕卡岩基本上分成4带：

(1) 石榴子石夕卡岩带：位于矿区中部，5号矿体西侧。该带由石榴子石（70%～90%），次透辉石(10%±）组成。原岩较难恢复，其中产有14号钼矿体。

(2) 石榴子石绿帘石夕卡岩带：位于石榴子石夕卡岩带两侧，该带北部有较多的凝灰质砂岩残留体，南部有较多安山玢岩的残余，残留体受较强的夕卡岩化。该带由绿帘石（30%～40%），石榴子石(30%～50%)，次透辉石（10%～15%）组成，是主要的含矿围岩。其中产有5、4、2号主铜矿体，还含有2、3、9号钼矿体。

(3) 绿帘石夕卡岩带：分布于矿体的两侧，走向上常不连续，在东侧宽仅5～15 m，零星分布，绿帘石含量为60%～65%，最高达85%～95%。3、1、2、9、10号铜矿体分布于该带中。

(4) 辉石夕卡岩带：分布于矿床东部，出露长度600 m，宽100～200 m。原岩为凝灰质砂岩和部分安山玄武岩。次透辉石含量10%～65%，最高达85%，绿帘石5%～10%，石榴子石10%～20%。

从空间位置看，中心带石榴子石夕卡岩的分布受一近南北向的断裂控制。断裂带被后期花岗斑岩脉充填，推测该断裂带可能是热液流体的上通道，代表热液活动中心。热液流体经此通道时，顺着岩层界面渗滤交代，从而形成了似层状夕卡岩。

(五) 矿石地球化学特征

(1) 夕卡岩中的铜含量为696.06×10⁻⁶，是地壳克拉克值的11.81倍，在土壤中的铜含量为11.37×10⁻⁶，是地壳克拉克值的2.05倍。

(2) 矿区泥盆系北塔山组第二亚组(D_2^2)地层中Cu、Mo等元素含量高于其他地层和岩体，且变异系数极大(>90%)。该地层与成矿、赋矿有着密切的关系。

(3) 通过岩(矿)心测量统计分析，矿体主要赋存的绿帘石夕卡岩中的Cu、Zn、Ni、Co、Mo、Au元素含量高，且变异程度为不均匀到极不均匀。根据聚类分析结果表明，Cu、Zn、Pb、Co、Ni、Mo元素属于同一组合群。Cu、Pb、Zn二元素正相关属自然共生组合。而Cu与Ni、Co、Mo共生，说明铜的成矿与该区Ni、Co、Mo含量较高的北塔山第二亚组(D_2^2b)地层有着密切关系。因此，除Cu外、Zn、Ni、Co、Mo、Pb元素是该区寻找铜矿床的主要指示元素。

(4) 矿石中的Cu、Mo、Ca、Fe、Mn、Pb、Zn、Cr、Co、Ti、Ta和V的含量都高于安山玢岩围岩中的相应元素含量，而Si、Na、K和Nb的含量都低于安山玢岩。说明成矿溶液富含Cu、Mo、Pb、Zn、Fe、Mn、Cr、Co、Ca和Ti等元素，贫Si、Na、K、Nb等元素，矿体主要由安山岩类岩与D_2^2b交代作用形成的。

化探土壤测量结果，有明显的Cu元素异常，并与伴生元素组成Mo、Co、Ni、Cr、Pb、Zn、Au、Zn、Ag综合异常，浓集中心明显，元素之间相互套合，且与接触带相对应。

五、成矿条件

(一) 稳定同位素

(1) 硅同位素：花岗岩和安山玢岩的硅同位素$\delta^{30}Si$值为0‰，与丁悌平等(1992)所统计的花岗岩类$\delta^{30}Si$完全吻合。石英脉的$\delta^{30}Si$值为0.1‰，与花岗岩完全一致，反映其成矿物质来源的一致性。认为本矿区形成石英脉所需的SiO_2来自花岗岩或火山岩。

(2) 硫同位素：对索尔库都克铜(钼)矿石的黄铁矿和黄铜矿)测定结果为$\delta^{34}S$值变化范围为-3.1‰～1.5‰。平均值为-1.8‰，接近陨石硫，说明硫源主要来自深部幔源。硫同位素组成呈明显的塔式分布特征，反映了成矿硫体可能经高温作用，使硫同位素达到高度均一化，这是夕卡岩矿床的有力证据之一。另外，黄铁矿的$\delta^{34}S$值总体上大于黄铜矿，显示二者之间达到了硫同位素平衡。同典型夕卡岩矿床的硫同位素组成相比，大多数夕卡岩型矿床的$\delta^{34}S$均为偏向正值的塔式分布，而本矿为偏向负值的塔式分布。这可能反映火山沉积岩中的部分地壳硫的参与及热液作用，经夕卡岩化高温阶段，部分地壳硫与深源硫达到均一，而后形成金属硫化物。

(3) 氢氧同位素：经测定，石英包裹体水的$\delta D=-101‰～-102‰$，$\delta^{18}O_{H_2O}=2.3‰～5.6‰$，其值落入原生岩浆范围的左下方，反映其成矿流体属于被天水混合的岩浆水。而黄铜矿与其密切共生的绿帘石氢氧同位素的值$\delta D=-63‰～-87‰$，$\delta^{18}O=2.39‰～5.49‰$，与相应的岩浆水范围($\delta D=-40‰～-80‰$，$\delta^{18}O=5.5‰～6.5‰$)相近，但同火成岩的氢氧同位素($\delta D=-5‰～-90‰$，$\delta^{18}O=5.5‰～10‰$)相比，氧同位素明显偏低，显示了大气水混染的结果。

(4) 碳氧同位素：对矿石中方解石的碳氧同位素测定值为：$\delta^{13}C=-5.8‰～-3.3‰$，$\delta^{18}O=7.5‰～8.2‰$，基本上落在火成碳酸盐区及其附近，说明流体中的碳质主要由深源岩浆带来的，这与本区缺少海相碳酸盐存在相吻合。

根据Y. Bottinga (1969)的CO_2和方解石之间的碳同位素交换方程式：$1000\ln\alpha_C=-2.4612+$

$(7.666\times10^{3}/T)-(2.9880\times10^{6}/T^{2})$，由流体包裹体均一温度获得的方解石的形成温度平均值为292℃，可以估算矿石的$\delta^{13}C_{CO_2}$为−2.9‰～−0.1‰，它们可近似看作成矿热流体的$\delta^{13}C_{\Sigma}$值。由此可见，矿区的碳属于正常热液碳酸盐范围。

（二）成岩成矿温度

对流体包裹体的测温工作均在冷热台上进行，所获得的参数包括冰点、子晶消失温度，CO_2部分均一温度和均一温度。一般地用均一温度代表成矿流体温度下限，亦即成矿温度。

从索尔库都克矿床的均一温度看出，成矿温度的峰值为160～200℃，相当于石英-碳酸盐相主要温度范围；绿帘石的形成温度从560～300℃，代表含水硅酸盐阶段温度范围，标志着长石类矿物开始分解，同时伴生有黄铜矿等金属硫化物的形成。因此，可以推测辉石-石榴子石无水硅酸盐阶段的温度在560℃以上，亦即夕卡岩的主要形成温度。

石英-碳酸盐相的形成温度从300～100℃，主要集中于200～110℃之间，推测石英-阳起石相的形成温度大致为300～200℃。石榴子石中所见包裹体多呈线性排列、成群分布，其包裹体的捕获物明显晚于石榴子石矿物的形成且沿裂隙分布，属于次生包裹体；其形成温度为210～100℃，主要集中于200～160℃，相当于石英-碳酸盐相，同时伴随黄铁矿等硫化物的形成。

（三）成矿时代

据胡霭琴等（1991）的研究资料，索尔库都克矿区内安山岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$全熔年龄值为274Ma，安山玢岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$全熔年龄值为52.7Ma；另外粗面岩的$^{40}Ar/^{39}Ar$平均年龄谱记录了热事件发生的时间：在1300℃时视年龄值为332.7Ma，接近岩石的形成年龄；1200℃时视年龄值为260Ma，1065℃时视年龄值为244Ma，260Ma和244Ma代表受热事件影响的时间。于学元等（1989）测定了矿区安山凝灰岩的K-Ar稀释法年龄值为274.99Ma。

刘光海、陈仁义等（1995）分别在矿区东部19勘探线东端石榴子石透辉石夕卡岩带和矿区外围克泽塔勒斯正长花岗岩体采集2个样品（S1906和B927），做了全岩和钾长石的K-Ar法同位素年龄值测定。年龄值分别为313.69Ma±27.09Ma，和285.69Ma±4.51Ma（表2-107）。其中B927花岗岩样品为新鲜岩石，镜下未见热液蚀变的痕迹，基本上代表岩石的形成年龄（285Ma）。

表2-107　索尔库都克夕卡岩和外围岩体K-Ar法同位素年龄值

Table 2-107　Result of K-Ar dating for skarn and host rocks in Suoerkuduke ore district

样品	样品名称	采样位置	测试对象	样品量 g	K %	^{40}K含量	^{40}Ar含量	$^{40}Ar/^{40}K$	年龄值 Ma
S1906	石榴子石-辉石夕卡岩	矿区19勘探线	全岩	0.0496	0.10	2.97×10^{-9}	5.92×10^{-11}	0.01991	313.69±27.09
B927	正长花岗岩	矿区外围泽塔勒斯岩体	钾长石	0.02522	7.46	2.23×10^{-7}	4.01×10^{-9}	0.01799	285.69±4.51

据刘光海、陈仁义，1994。样品由地科院地质研究所张思红、罗修泉测试

据上述多方面的年龄测定值，认为332.7～313.69Ma基本上代表索尔库都克夕卡岩的形成年龄，大致相当于早石炭世晚期，区域上处于海盆闭合后褶皱造山运动的鼎盛时期，正值广泛造山花岗岩侵入。造山晚期，在区域上有广泛碱长花岗岩侵入，索尔库都克外围出露大面积该时期（华力西中晚期）的碱长花岗岩，促使该矿床普遍再次遭受热事件影响。其年龄范围大致为285～244Ma，相当于中晚石炭世至早二叠世。

（四）成矿条件分析

（1）据稳定同位素，测温和地质观察可将本矿床的成矿流体划分为四个阶段，即夕卡岩阶段（>560℃），含水硅酸盐阶段（560～300℃），石英-阳起石阶段（300～200℃），和石英-碳酸盐阶段（200～100℃）。在夕卡岩阶段晚期伴生有辉钼矿，黄铜矿主要形成于含水硅酸盐阶段，热液晚期

(<300℃)主要伴生有黄铁矿、闪锌矿和方铅矿等硫化物。该矿床所见的黄铜矿和主要呈浸染状分布于石榴子石、绿帘石夕卡岩中，少量见于绿帘石夕卡岩或石榴子石夕卡岩中。黄铜矿的主要形成温度为560～300℃。而辉钼矿常与石榴子石夕卡岩关系密切，因此推测辉钼矿的形成温度相对较高，在560℃左右即大量沉淀。

(2) 成因探讨：综上所述，索尔库都克铜（钼）矿床具有一般夕卡岩矿床的地质特征，又具有其独特性，本矿的最大特点是夕卡岩属于类夕卡岩，是交代凝灰碎屑岩和安山玢岩而成的。围岩中没有碳酸盐岩。另外，我国东部的夕卡岩矿床绝大多数为造山期后矿床，而本矿则为造山期矿床。从夕卡岩铜矿的构造背景看，我国绝大多数已知的中大型矿床产于东部成矿域的相对隆起区内的坳陷带，常与中生代断陷盆地相伴随；而索尔库都克铜钼矿床则产于造山带中，其成矿环境比较独特（表2-108）。

表2-108 索尔库都克铜矿床与典型夕卡岩矿床对比

Table 2-108 Correlation between Suoerkuduke copper deposit and typical skarn deposit

	国内典型夕卡岩铜矿	索尔库都克铜矿
构造背景	多产于偏硅铝质地壳，以活化期台褶相对隆起区的坳陷带为主	华力西褶皱带，属弧后盆地环境
成矿时代	以燕山期为主，多属造山期后矿床	华力西中晚期，造山期矿床
成矿岩体	中酸性侵入体	安山玢岩
含矿围岩	均为碳酸盐岩，一般以含较多白云质石为特征	凝灰岩、凝灰质砂岩和安山岩为主
夕卡岩	次透辉石、钙铁榴石为主	次透辉石少量、钙铁榴石和绿帘石为主

综上所述，索尔库都克铜（钼）矿床属类接触交代型矿床。但王新源等认为它是具有接触交代夕卡岩化的火山热液矿床。

(五) 找矿标志

(1) 中泥盆统北塔山组第二亚组基性火山岩建造和安山玢岩接触带是找矿的地质前提。

(2) 石榴子石夕卡岩、透辉石夕卡岩、绿帘石夕卡岩化的岩石是找矿的重要标志。

(3) NW、NE向断裂构造对岩浆活动和矿床的形成起着明显的控制作用，两组断裂构造的交叉部位是成矿的有利部位。

(4) 重磁异常是研究成矿地质环境的重要资料。高磁、低重力异常是圈定岩体的标志，而高磁异常带中的低磁带和重力高与低的过渡带是寻找铜（钼）矿的有利地区。

(5) 化探是本区寻找铜（钼）矿的直接方法，在矿区内铜元素异常的强度和分布面积都较大、浓集中心明显，伴随有Zn、Co、Mo、Ni、Au、Ag等组合异常。

第二十六节 青海省兴海县赛什塘铜矿床

一、大地构造单元

矿床位于西倾山中间地块和东昆仑南坡断隆交接部位，也是EW向构造线向NW向构造偏转的转折端。

二、矿区地质

(一) 地层

赛什塘矿区（图2-173）的含矿地层属于下二叠统a岩组（P_1^a）中上部，为一套由砂质、泥质和碳酸盐岩所组成的滨海—浅海相沉积建造，变质程度达千枚岩相。岩性及厚度多变，各种岩性的岩石频繁地尖灭再现。由于大面积被第四系和第三系所掩盖，仅在沟谷及山脊可见含矿的下二叠统a岩组，未见顶与底，其组成岩石表现出6个稍大的沉积韵律，依此划分出6个岩性段（$P_1^{a^2}$～$P_1^{a^7}$）。由下往上表现为碎屑岩的粒度渐次变细、碳酸盐岩夹层渐次增多和加厚、显示海侵序列的特点。

(二) 构造

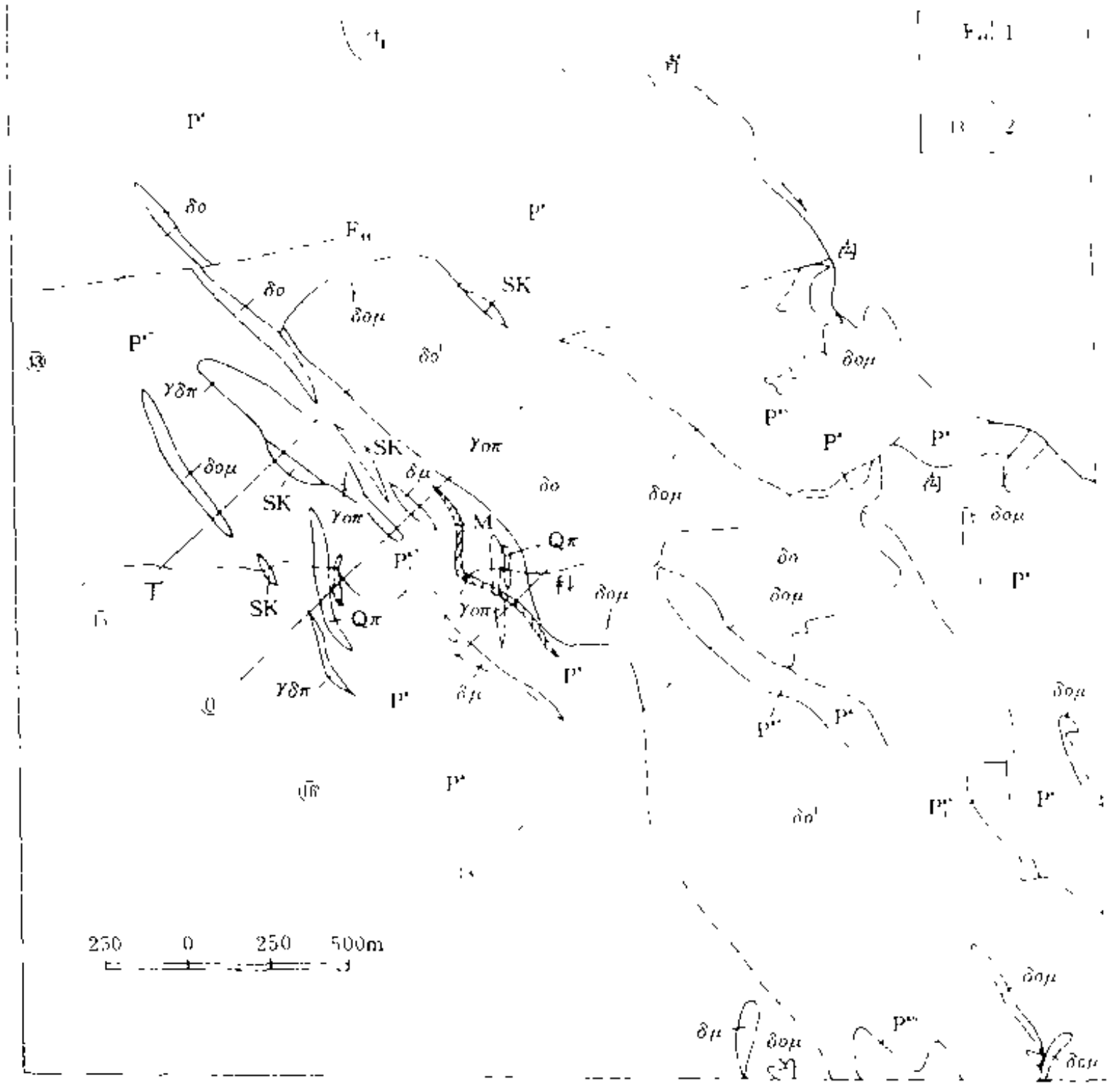


图2-173 赛什塘铜矿区基岩地质示意图

Fig. 2-173 Geological sketch map of Saishitang copper deposit

P_1^{s1}—千枚岩、变质砂岩、大理岩；P_1^{s1b}—千枚岩夹大理岩及砂岩；P_1^{s1} 千枚岩、变质砂岩；δo 石英闪长岩，$\delta\mu$ 闪长玢岩；$\delta o\mu$ 石英闪长玢岩；$\gamma\delta$—花岗闪长岩；$\gamma\delta\pi$ 花岗闪长斑岩；$\gamma o\pi$ 斜长花岗斑岩；$Q\pi$—石英斑岩；SK—夕卡岩；M 矿体；1—推测隐伏断层及编号；2 勘探线及编号

区域构造线自东向西，逐渐由近EW向NW偏转。矿区内侧以NW向构造为骨架，主要展示为褶皱、断裂次之。

1. 褶皱构造

矿区内褶皱构造主要为雪青沟复式背斜，其南西翼次级的赛什塘背斜与矿体关系更为密切。

雪青沟复背斜位于赛什塘矿区东南部，向NW延伸，轴向315°左右，长约10 km，背斜向NW倾伏。赛什塘背斜是雪青沟复式背斜南西翼上的一个次级褶皱。背斜呈NW向，轴线长约4 km，背斜西北段轴向335°，轴面倾向SW 80°左右。沿轴部有石英闪长岩体侵入。另外，其上的次级褶皱较发育，背斜西北段被F_{84}断层切割。赛什塘矿区则赋存在背斜南西翼及北西倾伏端。

2. 断裂构造

矿区发育有NW向、NNE向、NEE向、EW向和SN向断层数十条，规模大小不一，但总的规模都比较小，断层多为成矿后断裂。

（三）岩浆岩

矿区内印支中晚期侵入岩较为发育，以中 中酸性石英闪长岩体为主，其次为中-酸性岩脉。岩浆活动大致可以分为四次侵入活动，其中以第二次侵入活动规模最大，形成了赛什塘复合岩体的主体——石英闪长岩体及其分支岩脉；其次为闪长玢岩、斜长花岗斑岩、石英斑岩、花岗斑岩、花岗岩等岩脉。

（1）石英闪长岩体：石英闪长岩体沿赛什塘背斜核部侵入，受NW向隐伏断裂控制，长7.5 km，宽0.35～0.8 km，面积约4 km^2。岩体中可见透辉石夕卡岩角砾，说明该岩体明显晚于夕卡岩的形成时间。矿床则赋存于岩体北端舌状倾没部位的两侧围岩中。

（2）脉岩：矿区内脉岩种类和数量较多，以中性-中酸性的闪长玢岩脉、石英闪长玢岩脉较为发育。酸性的斜长花岗斑岩脉、石英斑岩脉、花岗斑岩脉、花岗岩脉等数量较少。各种脉岩主要分布在矿区的中部和南部，多顺围岩层理侵入或沿石英闪长岩体的原生节理贯入。脉岩侵入的时间顺序具有先中性后酸性的演化特点。

（四）铜矿床地质

1.矿体特征

矿体较集中地分布于控矿背斜的南西翼和倾没端，南西翼的矿化地段垂向厚度为150～250 m。矿体产状与地层产状基本一致，并同步褶皱。

矿体多达162个，其中，M_1—M_{111}为铜矿体或铜硫矿体，M_{112}—M_{137}为硫矿体，M_{138}—M_{160}为铅锌矿体，为M_{161}—M_{162}为铁矿体。除M_1和M_2、M_4等矿体在丁科沟中局部出露外，其余矿体均为隐伏矿体

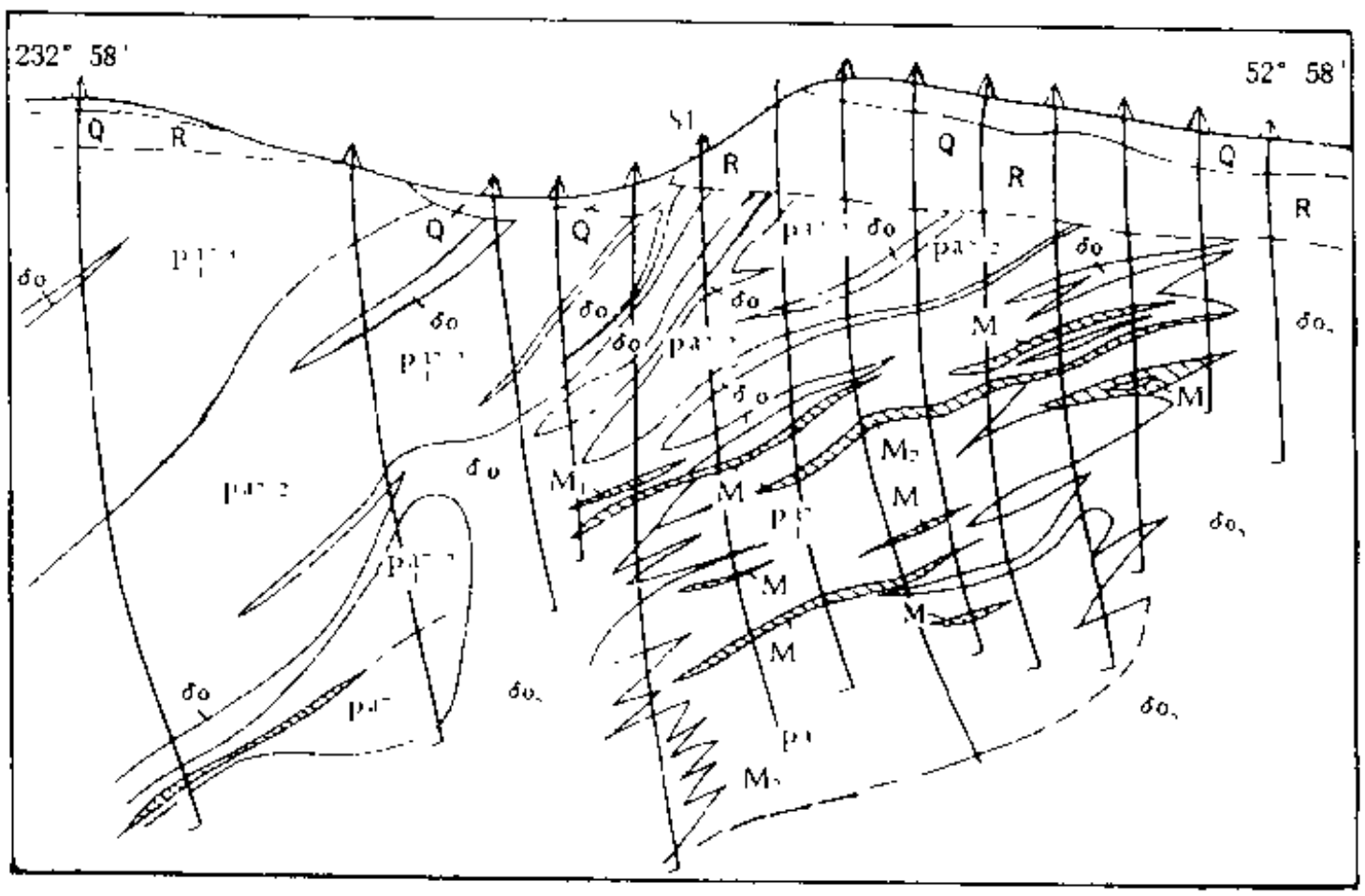


图2-174　赛什塘铜矿0勘探线示意剖面图

Fig. 2-174　Sketch section of exploratory line 0 in Saishitang Copper Deposit

Q—第四系砂砾岩；R—第三系红色砂砾岩夹泥岩；$P_1^{st\ 3}$-千枚岩及大理岩；$P_1^{st\ 2}$—黑云母千枚岩；$P_1^{st\ 1}$—变质粉砂岩、黑云母千枚岩夹变质砂岩；δo_5^1—石英闪长岩；M_1—矿体及编号

（图2-174）。在控矿背斜的南西翼上，诸矿体构成以规模最大的M_2矿体为主体的矿体群，M_2矿体之上有50个矿体，M_2矿体之下有88个矿体，其次为M_1和M_4这三个矿体的铜储量占矿区总储量的90%。M_2矿体长2250 m，倾向延伸160～405 m，最大达960 m。一般厚度在5～15 m，最大厚度为39 m。铜品位0.36%～3.63%，平均品位1.07%。M_1矿体长2175 m，倾向延伸58～490 m，厚1～10 m，最大厚度达12.40 m，铜平均品位1.27%。M_4矿体长475 m，最大达215 m，厚1～14 m，最大厚度达51.49 m，铜平均品位0.78%。

各矿体的顶底板围岩主要为大理岩、条纹（带）状变质粉（细）砂岩、石榴子石钙铁辉石夕卡岩、

黑云母千枚岩。在与岩体的接触带附近，顶、底板围岩还有石英闪长岩。顶、底板围岩为石榴子石钙铁辉石夕卡岩和条纹（带）状变质粉（细）砂岩的矿体边界是渐变的，需用化学分析样品才能圈定，而顶、底板围岩为大理岩、黑云母千枚岩的矿体，与围岩多呈突变关系。如主矿体M_2，一般以大理岩、变质粉砂岩（已夕卡岩化）或石榴子石钙铁辉石夕卡岩为直接顶板，直接底板则为变质粉（细）砂岩、云母千枚岩、在岩体接触带附近，构成M_2顶底板围岩还有石英闪长岩。M_1矿体，顶、底板围岩多为大理岩，局部是夕卡岩、变质粉（细）砂岩及少量黑云母千枚岩。M_4矿体，顶底板围岩为变质粉砂岩、或黑云母千枚岩。其余各矿体顶底板围岩亦多是条纹（带）状变质粉（细）砂岩、黑云母千枚岩、少量夕卡岩及石英闪长玢岩。规模较大的矿体在不同地段其围岩岩性略有变化。

2. 矿石矿物成分

矿石的矿物成分比较复杂。金属矿物主要有黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、少量胶黄铁矿、斑铜矿、方黄铜矿、毒砂、白铁矿、白钨矿、黝锡矿、锡石。据青海地矿局地质二队1983年资料，矿石中偶见辉铜矿、辉钼矿、墨铜矿、自然铋、硫铋铜矿、银黝铜矿、淡红银矿、深红银矿、辉铜银矿、硫铋镍矿、硫镍钴矿等。次生矿物为褐铁矿、孔雀石，少量铜蓝。

脉石矿物主要有单斜辉石（透辉石 钙铁辉石系列）、石榴子石（钙铁榴石系列）、石英、方解石、次为斜长石，绿帘石、阳起石、绿泥石、铁白云石、菱铁矿、绢云母，少量方柱石、黝帘石、橄榄石、透闪石、黑云母、钾长石、符山石及粘土矿物等。

从主要矿石类型组合分析结果可以看出，铜硫矿石中有用元素主要为Cu、S，少量Zn、Se、Cd、Ag、Au、Ga；铁铜矿石中有用元素主要为Cu，少量S、Se、Ga；铅锌矿石中有用元素主要为Zn、Pb，少量Ag、S、Cd。各种矿石中除Cu、S、Zn、Pb外，还有Ag、Au、Se、Cd、Ga、W、Sn、Bi、Mo等有益组分及As、F、Mg等有害组分。

Cu主要以黄铜矿产出，少量以斑铜矿、方黄铜矿、偶尔以辉铜矿、墨铜矿、孔雀石、铜蓝等矿物产出。S主要以磁黄铁矿、黄铁矿产出，主要分布在M_1、M_2的局部及M_{112}—M_{137}中。Zn、Pb、Fe、Mo分别以闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、辉钼矿产出。在伴生有益组分中，Ag含量一般为（2.7～14.13）·10^{-6}。银的赋存状态有两种：一种是以银和含银的单矿物出现，如自然银、淡红银矿、深红银矿、硫铋银矿等；其二是以类质同象或显微包裹体产出。银多赋存在方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿中。Au含量一般为（0.14～0.48）$\times10^{-6}$。目前尚未发现金的独立矿物，金与黄铜矿关系最为密切。W以白钨矿产出，与磁铁矿关系密切，WO_3含量一般为0.005%～0.032%。Sn含量一般为0.01%～0.09%，主要以黝锡矿产出，与闪锌矿共生或在其中呈乳滴状固溶体分解物。Bi以硫铋铜矿、自然铋产出，呈微细粒嵌裹在黄铜矿、磁黄铁矿中。Se、Cd、Ga均以分散状态存在，其中Cd明显分散于闪锌矿中，Cd含量为（5～50）$\times10^{-6}$。

有害元素As主要呈毒砂产于方铅矿-闪锌矿-黄铁矿-石英脉中。含量很低，一般为0.007%～0.065%。

3. 矿石结构构造

矿石结构有他形--自形粒状结构、共结边结构、交代熔蚀结构、交代残余结构、镶边结构、定向变晶结构、碎裂结构、乳浊状和包含结构。

主要构造有浸染状、稠密浸染状、块状、脉状及细脉浸染状构造。

1. 矿石类型

赛什塘矿床矿石类型比较简单。原生矿石以硫化矿石为主，占总储量的99.53%。少量混合矿石，氧化矿石主要分布在主矿体M_2、M_1、M_4的浅部。

工业类型主要为铜矿石、铜硫矿石，其次为铁铜矿石、铁硫铜矿石、铅锌矿石和铁矿石。

按围岩类型矿石主要有夕卡岩黄铜矿石、夕卡岩磁黄黄铜矿石，并有少量变质粉砂岩黄铜矿石、石英闪长岩黄铁黄铜矿石、闪长玢岩黄铁黄铜矿石。

5. 矿床化探异常

与矿体（床）对应的土壤化探异常有Cu、Sn、Ag、Pb、Zn，异常元素含量高，衬度大，有明显

的浓集中心，并以 Cu、Sn 为核心，Ag、Pb、Zn 在其外围，最外有 Mn、F、As、Cd、B 等。

三、成矿条件

（一）稳定同位素

（1）硫同位素：矿石硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 为 $-7.47‰$～$5.57‰$，极差13.04‰，平均为 $-0.27‰$，较陨石略富集 ^{32}S。矿石硫 $\delta^{34}S$ 变化范围较宽，有较大的离散程度，显示出沉积硫的特点；多数样品的 $\delta^{34}S$ 在 $-0.27‰$附近，接近于塔式分布，表明矿石硫经过了较为强烈的混合、改造与均一化，主体反映了参加改造物质的组成和来自地壳的特征。

（2）碳同位素：赛什塘矿区围岩大理岩中方解石 $\delta^{13}C$ 为2.6‰～5.2‰，平均值为4.2‰，石英脉状铅锌矿石中方解石 $\delta^{13}C$ 为 $-5.2‰$～$8.4‰$，平均值为 $-6.8‰$。围岩大理岩中方解石的 $\delta^{13}C$ 组成与海相碳酸盐岩的数值（$\delta^{13}C=-2‰$～$5‰$）相吻合。

（3）硅同位素：赛什塘矿区黑云母千枚岩中顺层石英脉的硅同位素组成 $\delta^{30}Si$ 为 $-0.3‰$，晚期矿化石英脉的 $\delta^{30}Si$ 为 $-0.2‰$，两者 $\delta^{30}Si$ 组成相同，显示出两者具有同源的特点，即夕卡岩中的硅与地层沉积中的硅具有一致性。

（4）铅同位素：铅同位素测定结果，可将正常铅 H、H 模式年龄大致可分为两组：233～259Ma、317～448Ma，两组年龄值反映了铅的两组直接来源。年龄值345～448Ma 的铅形成时期早于本区地层的时代，它可以来自沉积源区的地质体，也可以来自深部地质体。

年龄值233～259Ma 的铅形成时代与含矿地层时代相同，它主要来自含矿地层或含矿地层沉积时出海底热水活动带来的深源铅（矿坯层中的铅）。

由此可见赛什塘矿区铅的直接来源为深部地质体和沉积源区地质体。

（5）氢氧同位素：将本矿区矿体的围岩中的3组 $\delta^{18}O_{H_2O}$、$\delta^{18}D_{H_2O}$值投绘到氢氧同位素组成图上，可以看出，千枚岩中顺层石英脉的样品落在变质水的范围内，说明千枚岩中石英脉是变质作用的产物；夕卡岩中石英样品落在变质水范围内，但靠近岩浆水区，说明形成夕卡岩的热液主要为变质水。

（二）成矿阶段

成矿作用分为热水喷溢沉积阶段（浅海陆源裂陷槽）；成矿-变质作用阶段，形成夕卡岩和矿化体；造山改造期阶段，印支中晚期，大规模造山运动，大型推覆体的运移和石英闪长岩体的侵入形成各类矿体；表生作用阶段，在剥蚀、风化和淋滤作用下，使浅部铜矿体品位下降，同时形成少量的氧化矿物。

（三）矿床成因

据上所述，矿床成因属接触交代型矿床。由于对本矿床的基础地质研究不够深入，存在较大分歧而影响了对矿床的探讨和归属的共识。例如李福东等认为赋矿围岩属下三叠统，从而影响到成矿时代的定位。另一种意见认为本矿床为“沉积-变质热液及岩浆弱改造型层控铜矿床”。也有人定为沉积变质改造型层控矿床等。但无论哪种认识，夕卡岩（类）的存在和伴随有矿化是共同肯定的事实，将其划归为"接触交代型矿床”与矿床的实际是吻合的。

（四）找矿标志

（1）下二叠统 a 岩组不仅是主要赋矿层位，同时也是层控夕卡岩形成的层位，两者的耦合提供了找矿的层位空间；

（2）背斜构造是矿床有利的储矿构造，对找矿提供了有利的地质依据；

（3）类夕卡岩及相应的透闪石化、阳起石化、电气石化及碳酸盐化；

（4）地球化学异常，矿前晕为 Cu、Ag、Sn、F，在平面上呈长条状。矿体晕为 Cu、Sn、Ag、Pb、Zn、Cd、F、B，各元素相互扣合。土壤化探异常 Cu、Sn、Ag、Pb、Zn 峰值高，相互叠合，中心为 Cu、Sn，外缘为 Ag、Pb、Zn，它指示了矿体的存在；

（5）地球物理异常，与矿体对应的是低缓的磁异常。

第二十七节　湖南浏阳七宝山铜多金属矿床

一、大地构造单元

七宝山铜多金属矿床位于九岭-衡东隆起带中段的近东西向反"S"构造的永和-七宝山倒转向斜的东端。

二、矿区地质

（一）矿区地层

区内除缺失下古生界奥陶系和志留系外，从元古宇到中生界均有出露，地层层序和相互之间的关系见表2-109。

（1）冷家溪群（Pt*ln*）：冷家溪群是本区最老的基底岩层，分布于向斜两侧，组成隆起带，是一套具有复理石建造特征的浅海相变质碎屑岩、变质粘土岩系。

（2）震旦系（Z）：分布在永和-七宝山向斜的两翼。上统灯影组、陡山沱组，下统南沱组、莲沱组。

（3）泥盆系（D）：出露零星，分布在向斜边缘及南西端。整个泥盆系超覆不整合在前泥盆纪地层与雪峰期岩体之上。

（4）石炭系（C）：主要分布在向斜中，出露有中上统壶天群、下统大塘阶。其中与本矿床的形成有直接关系的壶天群浅海相碳酸盐岩沉积，由泥晶灰岩，中粗晶白云岩组成。当印支期花岗斑岩侵入该地层时，产生大理岩化、铁锰碳酸盐化和夕卡岩化，并形成铜多金属化。该系与下伏岳麓山组成假整合接触，向东由于泥盆系缺失而超覆不整合在老地层之上。其他二叠系及中生界地层分布零星，详见表2-109。

表2-109　七宝山矿区地层表

Table 2-109　Stratigraphic scale of Qibaoshan ore district

界	系	统	层（组）	代号	主要岩性	厚度 m
中生界	白垩系	上统	东塘组	K_2dt	长石石英砂岩、细砂岩、泥质砂岩	1070
			戴家坪组	K_2d	砾岩含钙砂类、泥岩、砂质泥岩	1027.76
	侏罗系	中统	跃龙组	J_2	砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	291.8
	三叠系	上统	安源组	T_3	燧石石英砂岩黑色粉砂岩粉砂质泥岩	953.7
上古生界	二叠系	中统	长兴组 龙潭组	P_2	碳酸盐岩和含煤碎屑岩、泥岩	214.62～286.1
		下统	茅口组 栖霞组	P_1	灰岩、生物灰岩、泥灰岩、黑色硅质岩	821.2
	石炭系	中、上统	壶天群	C_{2+3}	浅海相碳酸盐岩、白云岩、白云质灰岩及其与花岗闪长斑岩、花岗斑岩接触带形成 Fe、Cu 矿体	>898.3
		下统	大塘阶	C_1z	炭质页岩、细晶白云岩、薄层灰岩	>35.9
	泥盆系	上统	余田桥组等	D_3	含屑碳酸盐岩夹砂质页岩页岩和碎屑岩	138.2
		中统	茅冲组	D_2m	碎屑岩夹泥灰岩、黑色页岩状泥灰岩及炭质泥灰岩互层	216
上元古界	震旦系			Z	从上至下为泥晶-粉晶灰岩、炭质页岩夹白云质磷块岩、砾岩和粗粒石英砂岩	1000左
中元古界		冷家溪群第3岩组 第2岩组第1岩组		Pt_2ln^3 Pt_2ln^2 Pt_2ln^1	青灰色含硅质绢云母板岩 青灰色粉砂质板岩绿泥石绢云母板岩，含凝灰质岩 浅灰、浅灰绿色粉砂质板岩	>6.51 >5119 >2419

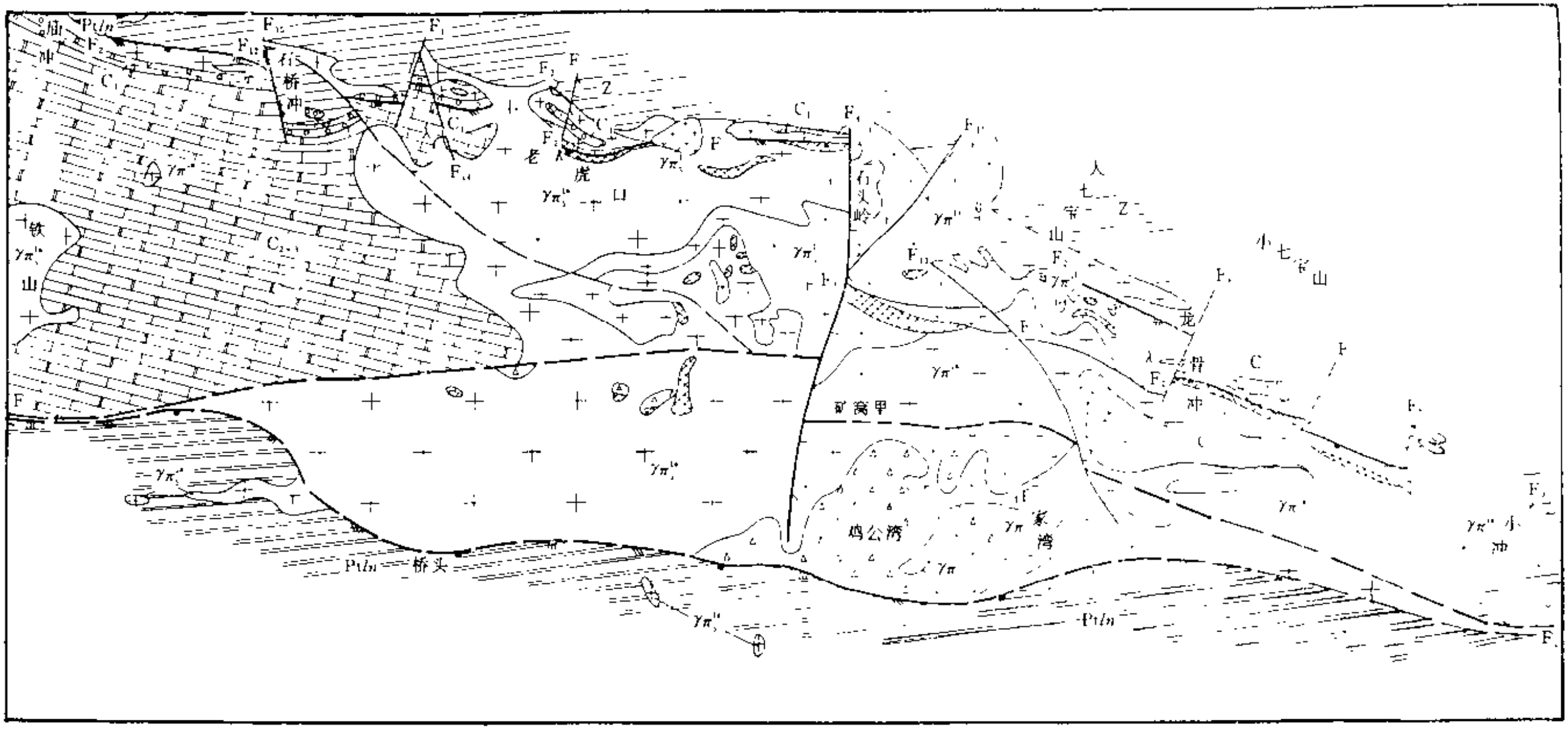


图 2-175　七宝山矿区地质示意图

Fig 2-175　Geological sketch map of Qibaoshan ore district

1　中上石炭统壶天群；2　下石炭统大塘阶；3　下震旦统；4　前震旦系冷家溪群；5　印支期第二次侵入花岗斑岩；6　印支期第一次侵入花岗斑岩；7　印支期第一次侵入花岗斑岩；8—花岗斑岩岩脉；9—酸性岩脉；10—破碎板岩、角砾岩；11—矿体；12　(F_1F_2)早期东西向扭性断层，印支燕山期转化为张扭性断层，后期压性断层叠加；13　(F_4、F_5)早期张性断层，晚期张扭性断层；14　张扭性断层；15　扭性断层；16　隐伏断层；17　性质不明断层；18　地质界线；19　不整合界线

（一）矿区构造

矿区位于永和-七宝山倒转向斜东段的倾伏端附近，断裂和褶皱发育（图2 175）。

1. 断裂构造

矿区内已知断裂有EW、SN、NW、NNW和NE向五组，其中EW和NWW向是区内的主要断裂，可能与成矿作用有重要的联系。

2. 褶皱构造

矿区为铁山-横山向斜呈NWW向延伸的西宽东窄的楔形，南翼被断层切割、破坏、岩层倾角较陡（60°～70°）；北翼较缓（30°左右），由SSW转向南西倾斜。

（三）侵入岩

七宝山岩体为岩株，出露面积约2 km^2，岩相分带不清，岩株的侵位明显受构造控制，属中酸性浅成侵入体。按其相互穿插关系呈现三次侵入。

第一次侵入（1a5）是七宝山岩体的主体，呈一椭圆状的蘑菇形。岩体与大塘阶及壶天群接触，其外接触带以围岩角砾为主；内接触带以自成角砾为主。岩体东西长约6000余米，南北宽10～1000 m，面积约1.7 km^2，属花岗斑岩，具斑状结构，岩株受白云母化（绢云母）、高岭土化强烈，属硅铝过饱和过碱性到弱碱性岩石。

岩体中含微量元素达26种，而稀有分散元素（Nb、Ta、Be、Li等）均无显示；成矿元素（W、Sn、Mo、Bi）含量均高，是相应岩类丰度值的数倍至数百倍。

第二次侵入（1b5）亦为花岗斑岩，基本上继承了第一次侵入上升的通道，就位于1a5的中心部位，并隐伏在其下部。

第三次侵入（1c5）属后期脉岩。

三、矿床地质

（一）矿体产状

七宝山矿床赋存在七宝山岩体与壶天群和大塘阶的内外接触带上，共有大小矿体200多个。

它以矿体的赋存部位多变及伴生的贵金属、稀散元素多而且量大为显著特色。按成矿作用可分为种不同类型，即接触交代作用形成的夕卡岩型矿体，热液成矿作用形成的充填型矿体和风化作用形成的残余型矿体（图2-176），构成了三位一体的铜多金属矿床。

1. 充填型矿体

充填型矿体呈近东西向延伸，形态简单，一般向南或南南西倾斜。下延深度相差较大，在0～—600 m标高之间，有的还继续向下延深（图2 177）。

2. 夕卡岩型矿体

由接触交代作用形成的夕卡岩型矿体，形态复杂，产状多变，与围岩界线不清，呈渐变过渡关系，主要赋存在夕卡岩与围岩之间，呈环带状、囊状及小透镜状。矿体走向北西 南东，向南西倾斜，倾角变化很大。矿体走向长350～450 m，平均29.36 m。矿体斜长200～350 m，个别长达622 m。矿体中夹石较多，一般厚3～11 m。

3. 残余型矿体

风化残余型矿体赋存在基岩（白云质灰岩及少量花岗斑岩）之上的第四系残坡积层中。矿体呈层状、似层状、透镜状，局部有分叉现象。东西长1450 m，南北宽75～565 m，出露面积0.7 km^2。矿体厚度受地形控制比较明显，最厚45.63 m，最小1.66 m，平均10.36 m，矿石最高品位：Pb3.98%，Au 2.27 $\times 10^{-6}$，Ag 119.54$\times 10^{-6}$，Zn 9.54%，Mn 16.29%，Fe17.98%，最低品位：Pb 0.15%，Au 0.38 $\times 10^{-6}$，Ag 1.15$\times 10^{-6}$，Zn 0.06%，Mn 0.03%，Fe 7.03%；平均品位：Pb 1.87%，Au 0.99 $\times 10^{-6}$，Ag 银43.58$\times 10^{-6}$，Zn 0.8%，Mn 4.39%，Fe 18.55%。

（二）矿石矿物成分

矿体中主要金属物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、白铁矿、磁铁矿、菱铁矿、异极矿、褐铁矿、复水锰矿、锂硬锰矿；次要矿物有辉铋矿、软锰矿、水锰矿、铅硬锰矿、黑锌锰矿等：

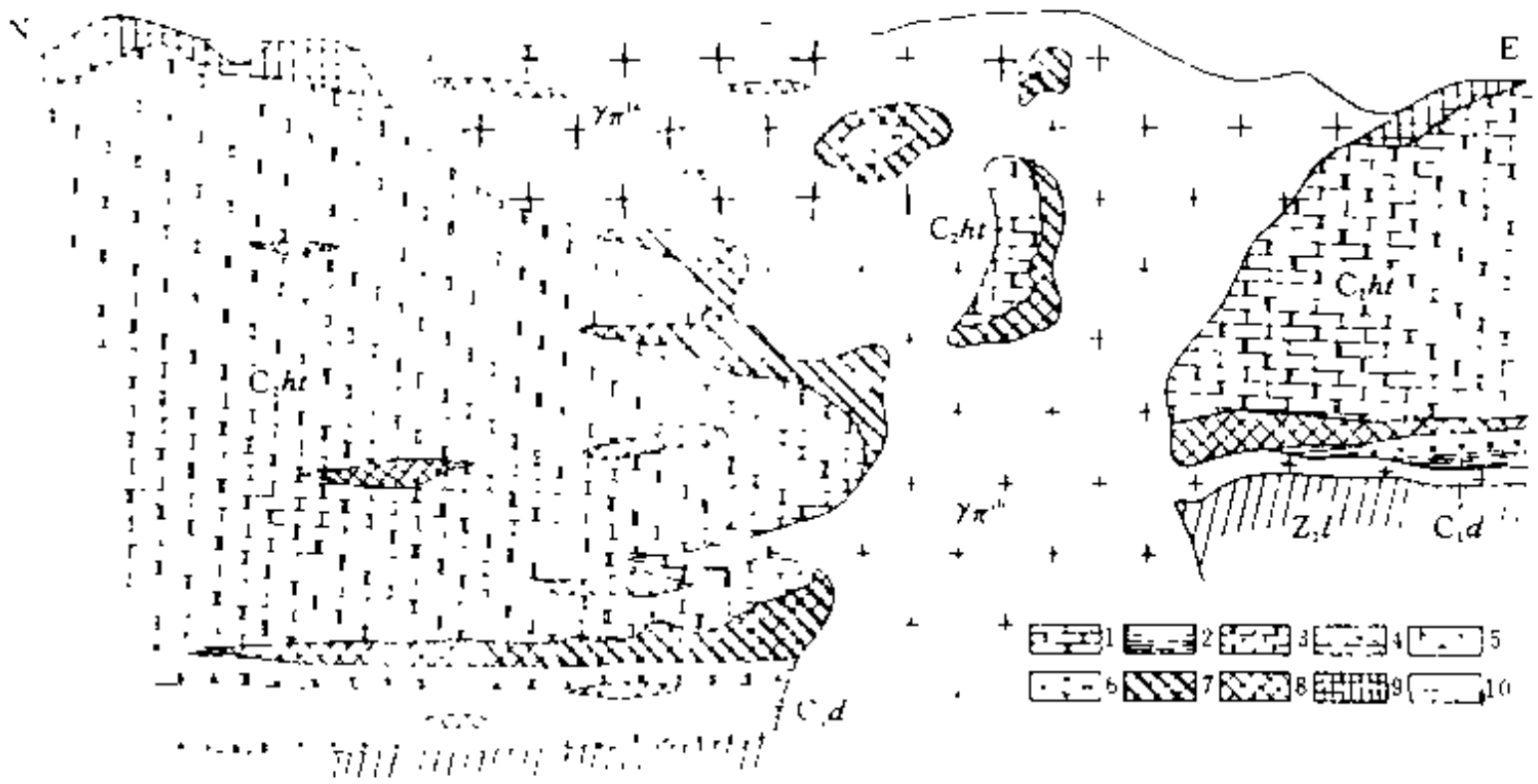


图2-176　各类型矿体赋存部分图

Fig. 2-176　Sketch section showing location of different types of ore bodies

1　壶天群白云质灰岩；2—大塘阶页岩；3—大塘阶砾岩；4　震旦系砂岩；5—花岗斑岩；6—夕卡岩；7　夕卡岩型矿体形；8　热液充填型矿体；9　风化残余型矿体；10　不整合

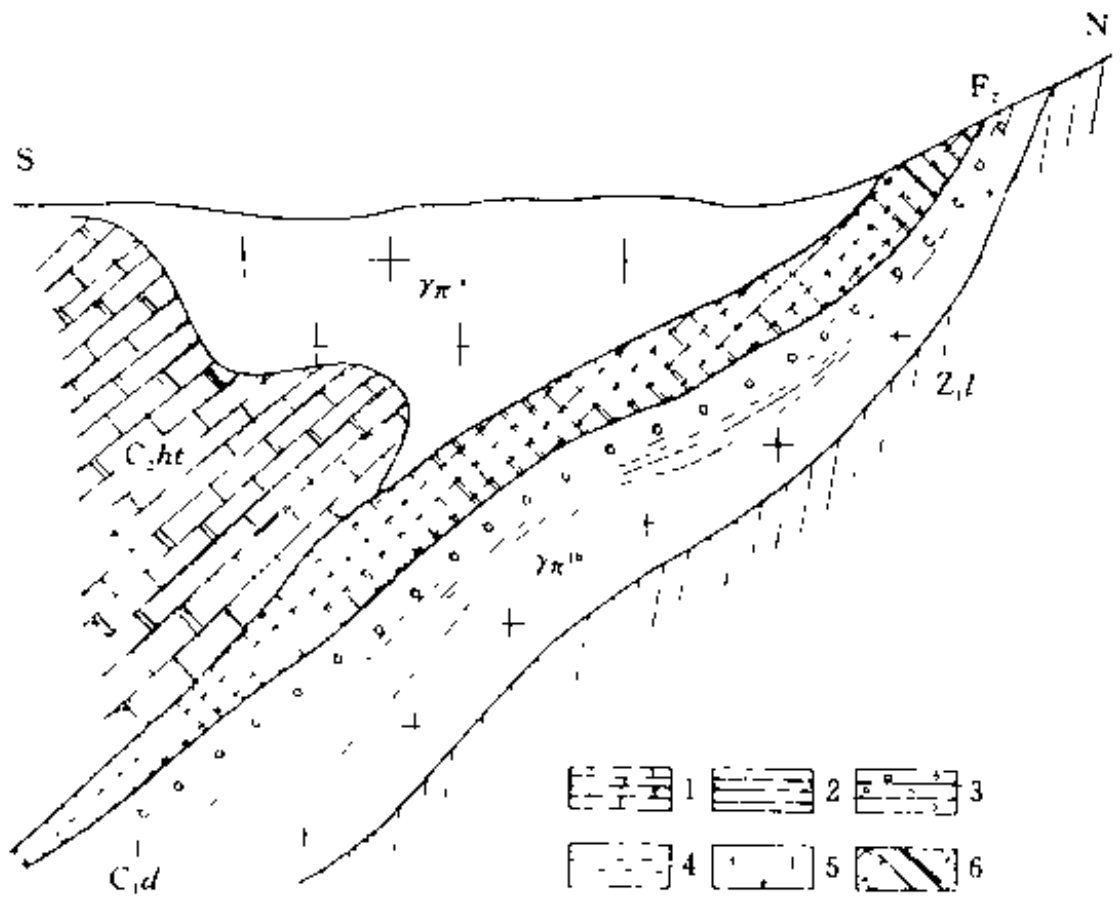


图2-177　矿体形态特征示意图

Fig. 2-177　Sketch section showing shape of ore body

1—壶天群白云质灰岩；2—大塘阶页岩；3　大塘阶砾岩；4—震旦系砂岩；5—花岗斑岩；6—矿体

微量矿物有斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、赤铁矿、磁黄铁矿、硫酸铜矿、蓝辉铜矿、锡石、墨铜矿、辉碲铋矿、白铅矿、砷铅矿、毒矿、铜蓝、自然金、银金矿、臭葱石、独居石、磷氯铅矿、密陀僧等40余种。脉石矿物有石英、白云石、方解石、蛇纹石、辉石、粒硅镁石、石榴子石、水铝英石、高岭土、蒙脱石、伊利石、埃洛石等26种以上。矿区的矿石类型归纳为九种：黄铁矿矿石，黄铜-黄铁矿矿石，闪锌-黄铁矿矿石，方铅-黄铜、闪锌-黄铁矿矿石，方铅-闪锌矿矿石，磁铁矿矿石，磁铁-黄铁矿矿石，氧化锌矿石，氧化铅-铁锰土矿石。以上各种矿石类型围绕七宝山岩体成环状或带状较有规律的分布，显示出成矿元素的分带性，铁矿石离侵入中心最近，铅锌矿石及硫铅锌矿石分布在远离侵入中心的矿区两

端。

不同成矿作用形成矿体的矿物组合各种不相同。充填型矿体，其矿物较单一；交代作用和风化残余作用形成的矿体，矿物种类相当复杂；风化残余矿体，次生矿物及粘土矿物种类甚多，在30种以上。风化残余型矿体中金的富集程度最高，达0.99×10⁻⁶，方铅矿中银达1199.85×10⁻⁶。

（三）矿石结构构造

根据矿物集合体的形态表现出的成因特点，本矿区矿石构造主要有块状、散粒状、浸染状、条带状、土状构造，其次有角砾状、脉状、网脉状构造。

矿石结构分为晶粒结构、乳浊状、交代结构，其次还有格状结构、斑状压碎结构。

（四）主要矿物化学成分

矿石化学成分见表2-110。

表2-110 矿石主要化学成分表（w_B/%）

Table 2-110 Chemical composition of ores

矿石类型	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	TFe	S
黄铁矿矿石	0.01	0.07	0.2	0.005	0.001	12.1	15.6
黄铜-黄铁矿矿石	0.569	0.16	0.18	0.002	0.216	15.28	51.34
闪锌-黄铁矿矿石	0.538	0.59	16.30	0.002	0.031	32.70	44.78
方铅-黄铜、闪锌-黄铁矿矿石	1.21	0.87	1.78	0.0015	0.02	12.03	15.65
方铅 闪锌矿矿石	0.37	9.78	14.28	0.001	0.007	27.23	3290
磁铁矿矿石	0.063	0.21	0.19	0.001	0.035	54.30	1.92
氧化铅-铁锰土矿石	0.02	0.3	0.3	0.0005	0.001	29.3	0.252

（五）围岩蚀变

（1）夕卡岩化：主要发育于侵入中心附近的侵入体与碳酸盐岩的接触带中。有简单夕卡岩和复杂夕卡岩。

内蚀变带形成少量夕卡岩化花岗斑岩，正接触带浅部形成石榴子石-透辉石夕卡岩、绿帘石夕卡岩、透闪石-阳起石夕卡岩；深部形成镁质夕卡岩、蛇纹石岩。

（2）硅化：在各类岩石中均明显发育，并叠加在早期的夕卡岩化岩石之上。

（3）绢云母化：在变质岩和侵入岩中都有绢云母化。

（4）碳酸盐化：属晚期热液蚀变，主要发育在花岗斑岩及碳酸盐岩中。

（5）其他蚀变有高岭土和铁锰碳酸盐化，前者在地表浅部发育，后者在远离侵入中心的矿区西部的白云岩和白云质灰岩分布区较强烈。

（六）矿化阶段

矿床整个矿化作用可主要分为三个时期，六个阶段：

（1）夕卡岩化时期，又可分为三个阶段，即早期夕卡岩化阶段，以形成石榴子石为标志；晚期夕卡岩化阶段，以形成绿帘石为其特征，氧化阶段，主要形成磁铁矿和石英。

（2）石英硫化物时期，又分为两个阶段，早期硫化物阶段，主要形成黄铁矿、黄铜矿、铁闪锌矿、辉铋矿、石英绢云母、毒砂等；晚期硫化物阶段，形成黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、铁闪锌矿、碲金银矿、自然金、金银矿、绿泥石、菱铁矿等。

（3）表生作用期，主要形成褐铁矿，硬锰矿，自然金等氧化物、氢氧化物及自然元素。

（七）矿床物化探异常

地面物化探勘查确定了七宝山地区的异常，它是多种元素、多种异常的重合复合，分别有铜、铅、锌、银、钨、锡、钼、铋、锑、砷等元素的金属量异常；黄金、黄铁矿、铜矿物、白钨矿、泡铋矿等重矿物异常及航磁、地磁、激电等物探异常航磁、地磁异常面积1.25 km²，复合在以上异常之中。ΔT_{max} =2000nT，ΔT_{min} — —1000nT，ΔT_{max} — 21010nT，ΔZ — —9110nT。地磁异常 ΔZ 幅度及梯度变化均很大。化探从异常区中心向外，元素组分以铁 钨 锡 钼 铋 银 铜-铅 锌 砷-锑的顺序展布，呈现高温到低温元素的完整系列。

四、成矿条件

（ ）矿床稳定同位素组成

（1）硫同位素组成特征：整个矿床中，各种类型矿体的硫同位素组成均为正值 $\delta^{34}S$ 值的变化范围在1.8 ～5.1‰之间，离差3.3‰。其中主体矿体中 $\delta^{34}S$ 范围更窄，2.19‰～4.89‰，离差更小为2.49 。硫同位素组成的共生效应为：黄铁矿—闪锌矿—黄铜矿—方铅矿。

（2）铅同位素组成特征：矿床中铅同位素组成较稳定，变化在0.5‰之内，铅正好落在正常铅增长曲线和岩浆成因矿床的范围内。

（3）氢氧同位素组成特征：利用石英 黑云母、石英-磁铁矿内部计温法求得成岩温度700℃（平均值），再利用矿物-水平衡计算法求得岩浆热水 $\delta^{18}O$ 为9.15 ～11.3 ，利用氧同位素内部计算法求得矿物生成温度500℃，再利用矿物 水平衡计算法求得矿液的 $\delta^{18}O$ 为11.1‰，11.3‰。据此可知同熔型岩浆的 $\delta^{18}O$ 和携带金属物质的介质水溶液的 $\delta^{18}O$ 值基本 致。

（ ）成矿温度

（1）矿床形成温度：对包裹体应用均 法，爆裂法测得石英温度区间在300～380℃；

（2）计算硫同位素交换平衡温度在215～382℃；

（3）计算氧同位素交换平衡温度500～800℃（平均700℃）。

据此认为：岩浆上升造岩矿物晶出时成岩温度为586～800℃，接近平均值700℃；在夕卡岩阶段磁铁矿晶出温度为500℃；热液阶段石英晶出温度为320～400℃；最后当硫化物晶出时温度为210～300℃。而充填型矿体的形成温度略低于交代型矿体矿成温度。

（三）成矿流体的性质

据矿石的化学成分和石英中气液包裹体的成分表明：成矿流体的主要组分是 H_2O、Na^+、K^+、Mg^{++} 金属成矿元素为 Cu、Pb、Zn、Fe，溶解的气体有 CO_2、N、CO、CH_4，其他微量元素有 Ga、In、Ge、Cd、Te、Au、Ag 等，属 Ca-K Cl 型。

（四）矿床成因

矿床形成与花岗斑岩侵入有关。矿区内发育有高温蚀变，成矿作用发生在夕卡岩阶段及其以后的热液阶段。同位素资料证明成矿热液属混合岩浆水，说明本矿床属接触交代型矿床。其成矿模式图见图2-178。

五、找矿标志

（一）地层标志

下石炭统大塘阶与中上石炭统壶天群两种不同岩性的界面是构造薄弱部位，也是寻找充填型矿体的有利部位。中上石炭统壶天群与印支期花岗斑岩接触，是寻找夕卡岩型矿体的前提。

（二）构造标志

（1）南北、北北东与东西向构造交汇部位是控制矿床的有利部位。

（2）与成矿有关的岩柱往往产在几组断裂构造的交叉部位。

（3）早期压性断层经后期张开后，是形成规模较大矿体的良好空间。

（三）岩浆岩标志

（1）花岗岩中铜、铅、锌的丰度标志。其丰度值都高出维氏平均值数倍至数百倍，平均含量 Cu 0.0213%，Pb 0.0077%，Zn 0.0165%。

（2）呈岩柱状产出的中酸性复式花岗斑岩体是寻找多金属矿床的基础。

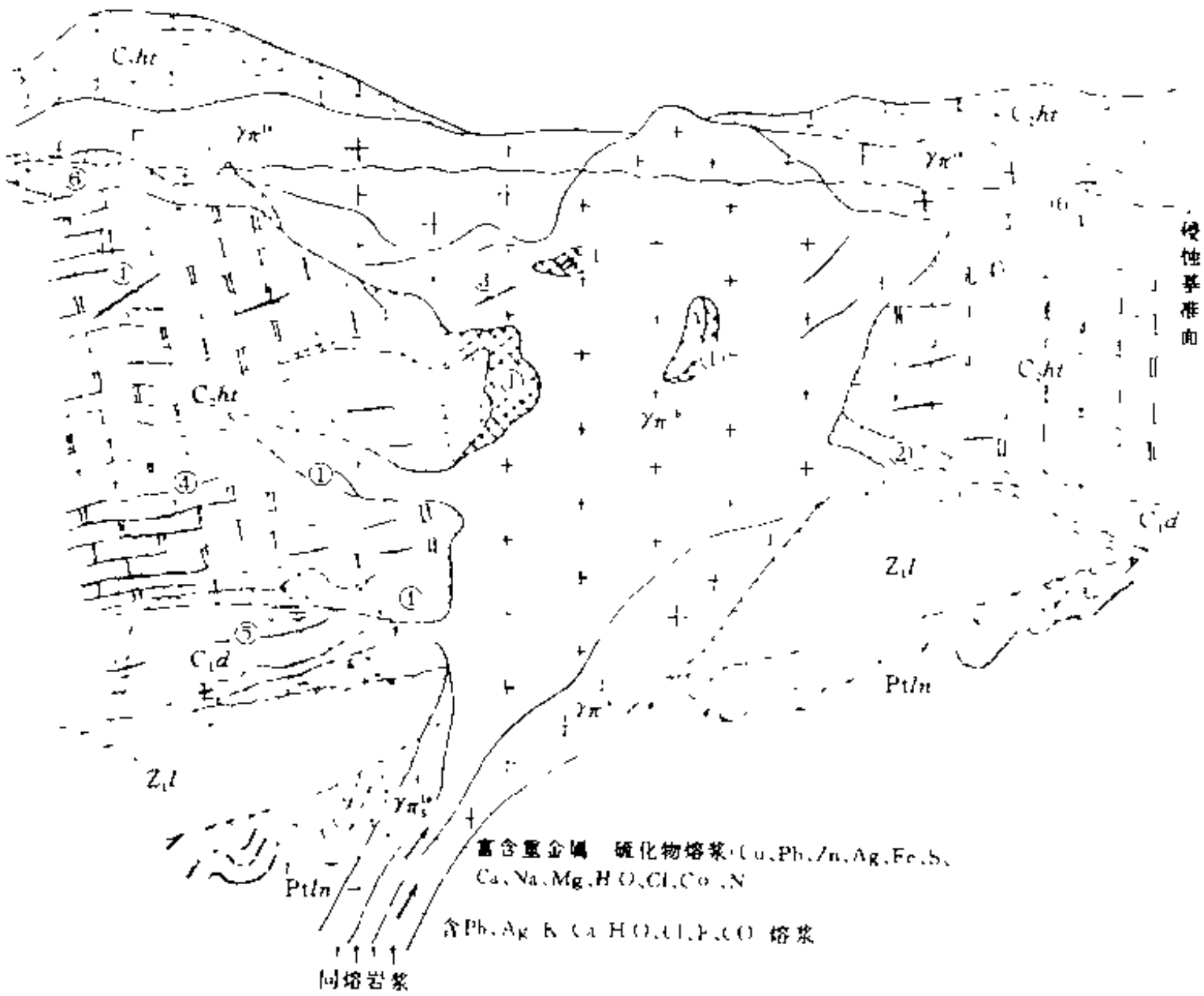


图2-178 成矿模式图

Fig. 2-178 Metallogenic model

①夕卡岩型铜、铁、硫矿；②似层状硫、铜矿体；③脉状硫、铜矿体；④脉状硫、锌矿体或铅锌矿体；⑤脉状硫矿体；⑥风化残余型矿体

（四）矿化标志

较普遍的黄铁矿化是找矿的直接线索。

（五）围岩蚀变标志

夕卡岩化和硅化、黄铁矿化。

（六）物化探异常标志

（1）重砂异常标志：铜矿物、铅矿物、黄铁矿、黄金等重砂异常与矿体吻合，是寻找多金属矿床的标志。

（2）金属量异常标志：铜、铅、锌金属量含量高出背景值数倍至数十倍。可作为原生铜、铅、锌矿床存在的信息。

本矿床虽然多次进行勘查工作，并已开采多年，但对成因的系统研究工作不多，1974年湖南四〇二队在“湖南七宝山铜-多金属矿床地质特征”一文中提出本矿床属“与夕卡岩有关的高、中温热液裂隙充填交代型多金属矿床”。后来在陆玉梅、何泗威等（1984）撰写的《湖南省浏阳县七宝山多金属矿床地质特征及成矿规律》的矿床专著中提出本矿床属“混合岩浆流体成岩期后高中温热液充填交代型矿床”。个别报告中称为“原生-表生矿”。随着测试资料的增加和深入研究，全面分析已有资料后认为，七宝山铜多金属矿床受多种地质因素控制，成矿条件多样，从接触交代期开始，经历了高、中温热液成矿阶段，成矿作用由三期6阶段组成，就整体来讲应属接触交代型矿床，并有高、中温热液成矿作用叠加，形成了铜多金属复合矿床。

第二十八节　山西襄汾县四家湾铜铁矿床

一、大地构造位置

矿区位于塔儿山-二峰山地区的中心，属汾河断陷中构造相对隆起部位。

二、矿区地质

（一）地层

区内地层简单，主要为中奥陶统马家沟组第2、3段灰岩，地层倾向NW，倾角25°～80°。

（二）侵入岩

区内侵入岩大面积出露，主要为二长岩及少量闪辉二长岩、含石英二长岩、正长岩和呈岩枝或岩脉状产出的二长斑岩、正长斑岩等，岩体呈复杂的岩盘状，与围岩呈侵入接触。据桂林冶金地质所的资料，二长岩的K-Ar法年龄值为138Ma，正长斑岩为92Ma，均属燕山期。与铁矿成矿有关的为二长闪长岩类岩体，而与铜矿成矿有关的为石英二长岩类岩株。

三、矿床地质

铜铁矿床主要产于二长岩体的边缘相和中奥陶统碳酸盐岩接触处。铁矿体多数赋存于围岩与岩体的接触带，而铜矿体则往往赋存于岩体内部与围岩捕虏体的接触带部位（图2-179）。

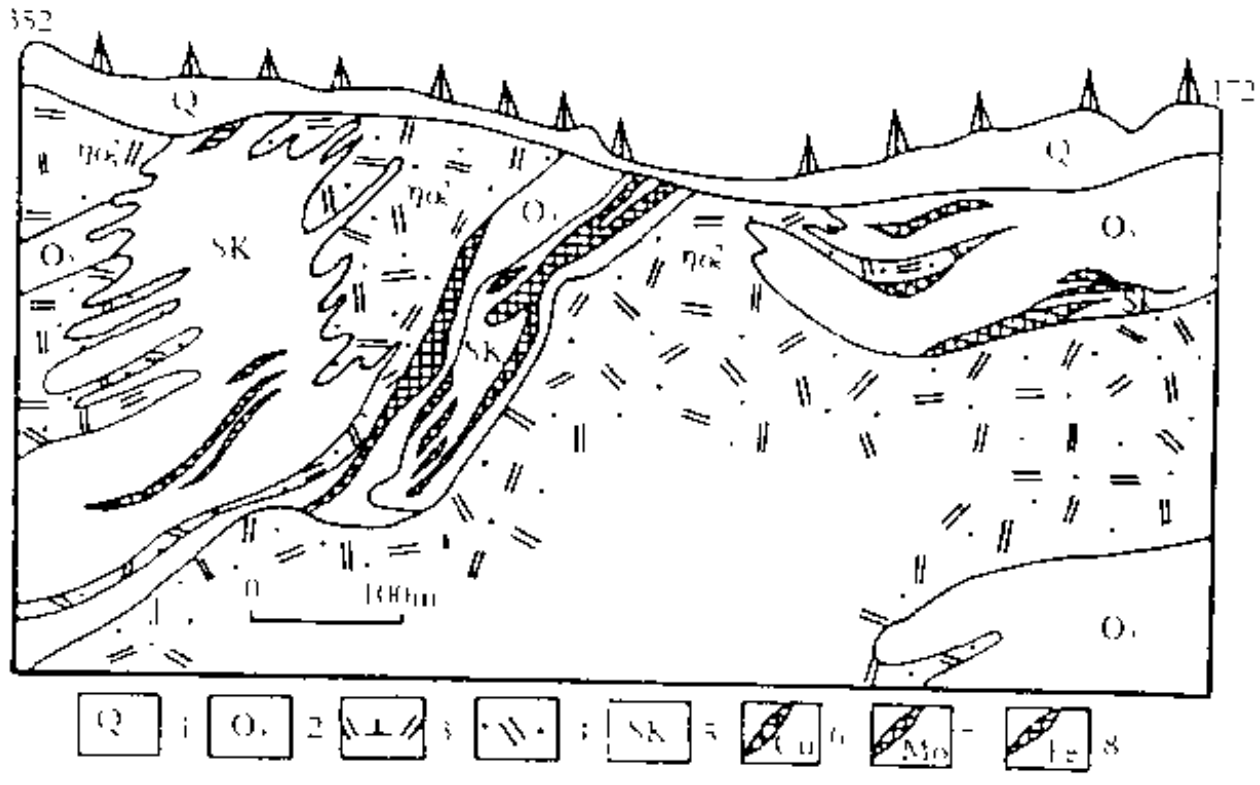


图2-179　四家湾铜、铁矿床21～40线剖面图

Fig. 2-179　Section along line 21～40 in Sijiawan copper, iron deposit

1-第四系；2-中奥陶统马家沟组灰岩；3　斑状　长闪长岩；4　石英　长岩；5　夕卡岩；6　铜矿体；7　钼铜矿体；8　铁矿体

（一）矿体特征

矿床分南北两个矿带，南矿带有铜矿体10个，铁矿体32个；北矿带有铜矿体62个，铁矿体14个，而以1、19和29号铜矿体为主，它们的铜金属储量占全区铜储量的95.5%，铁矿石储量占全区铁矿石储量的44.3%。1号铜铁矿体长150 m，延深130 m，厚0.5～92.95 m，呈短轴透镜状，倾向北西，倾角45°～70°。矿体赋存在超覆夹持侵入体接触构造上部，平均含铜2.13%，含伴生金2.85×10^{-6}，银21.43×10^{-6}。矿体在空间的分布，在水平方向上常围绕二长闪长岩岩体（铁矿）或石英二长岩岩体（铜矿）呈不完整的环带状分布，向上铁低铜高。多数铜矿体或铜钼矿体主要形成于侵入体与上马家沟2、3段的接触带部位；而铁矿体则多赋存在岩体与下马家沟组2段及上马家沟组1段的接触带部位及上马家沟组2、3段接触带。铜铁在铜、铁、金、银复合矿体中，单独的铜矿体多数分布在上部，中下部通常为薄层铜矿与厚层铜铁矿体。铁矿体一般上富下贫。

（二）矿石矿物

金属矿物主要为黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿和假象赤铁矿等；次要的为闪锌矿和黄铁矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、褐铁矿等；少量有硫钴矿、黝铜矿、方铅矿、赤铁矿等，偶见自然银、自然铜、赤铜矿等。非金属矿物主要有透辉石、方解石、石榴子石和金云母等；次要的有蛇纹石、绿泥石、透闪石、阳起石、硅灰石、石英等。

（三）矿石自然类型

分为透辉石-斑铜矿矿石、石榴子石、透辉石 斑铜矿矿石；云母、透辉石 闪锌矿、磁铁矿、斑铜矿、黄铜矿矿石，方解石、石英-黝铜矿矿石，透辉石、云母或石榴子石 透辉石 象赤铁矿、磁铁矿矿石。

（四）矿石结构构造

矿石结构主要为自形、他形晶粒结构，固溶体分离结构等；

矿石构造主要有浸染状、块状、充填交代状和条带状等构造。

（五）围岩蚀变

矿区内蚀变交代作用发育，分为碱质交代、钙质交代、夕卡岩化和热液蚀变等四种。碱质交代出现在近矿的岩体中，近矿的二长岩均蚀变为灰白色、浅灰绿色的具似斑状结构的含辉石的钠长石岩，有时还叠加后期的夕卡岩化。钙质交代出现在夕卡岩旁侧内接触带，以透辉石化为主；近矿的碳酸盐岩一般均蚀变交代成金云母透辉石夕卡岩、金云母岩、蛇纹石化大理岩等；蛇纹石化、碳酸盐化、白云石化、绿泥石化、透闪石-阳起石化和萤石化等。局部地段还发育含黝石分子的辉石岩。蚀变分带比较明显，并具有厚度不等的对称性。

矿化与蚀变有明显和空间关系，块状、浸染状的磁铁矿主要赋存于外接触带的金云母透辉石夕卡岩、透辉石岩、金云母岩和蛇纹石化大理岩中。铜矿化除重叠于铁矿体外，还以浸染状、细脉状分布于接触带的透辉石钙铁榴石夕卡岩、富钙铝的钙铁榴石夕卡岩中。铜矿化的范围一般较铁矿化大。

四、成矿作用

（一）成矿温度

测温资料表明：

（1）磁铁矿的形成温度为400～550 C，多数在150～500 C，相当于高温热液阶段。

（2）铜矿石中广泛发育着斑铜矿-黄铜矿的固溶体分离结构。实验资料表明，这些结构形成温度多在450 C左右，说明铜矿化也是高温阶段的产物，而且是在磁铁矿形成后不久。

（3）根据原生银金矿的成色和脉石英、重晶石包体测温资料，金矿化的温度为113～391 C，属中温热液阶段。

（二）硫同位素

硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 平均值为4.96‰，硫同位素组成与岩浆硫同位素组成十分相近或一致，但也可能有围岩的部分硫酸盐硫。表明本区的铁、铜、金（钼）矿床的形成，与中偏碱性侵入杂岩有直接成因联系。

（三）成矿阶段

矿区成矿阶段可分为：

（1）气成热液阶段：为接触交代铁矿的主成矿期，可进一步分为早期钠化无水硅酸盐和晚期夕卡岩磁铁矿等两个阶段。

（2）高中温热液阶段：为硫化物矿化期，形成黄铁矿、黄铜矿以及斑铜矿、辉铜矿、闪锌矿和辉钴矿等金属硫化物，是铜矿化的主要阶段。

（3）中低温热液阶段：主要是金矿化期。形成富含金的黄铁矿脉或方解石脉。

（四）矿床成因

综合矿床的各种成矿条件和控矿因素，四家湾铁铜矿床总体上应属接触交代型矿床。

第二十九节　湖南江永县铜山岭铜多金属矿床

一、大地构造单元

铜山岭多金属矿床位于南岭纬向构造带北缘、NNE 向的道县-富阴坳陷内、大源岭复式背斜 NE 倾没端的西翼（图2-180）。

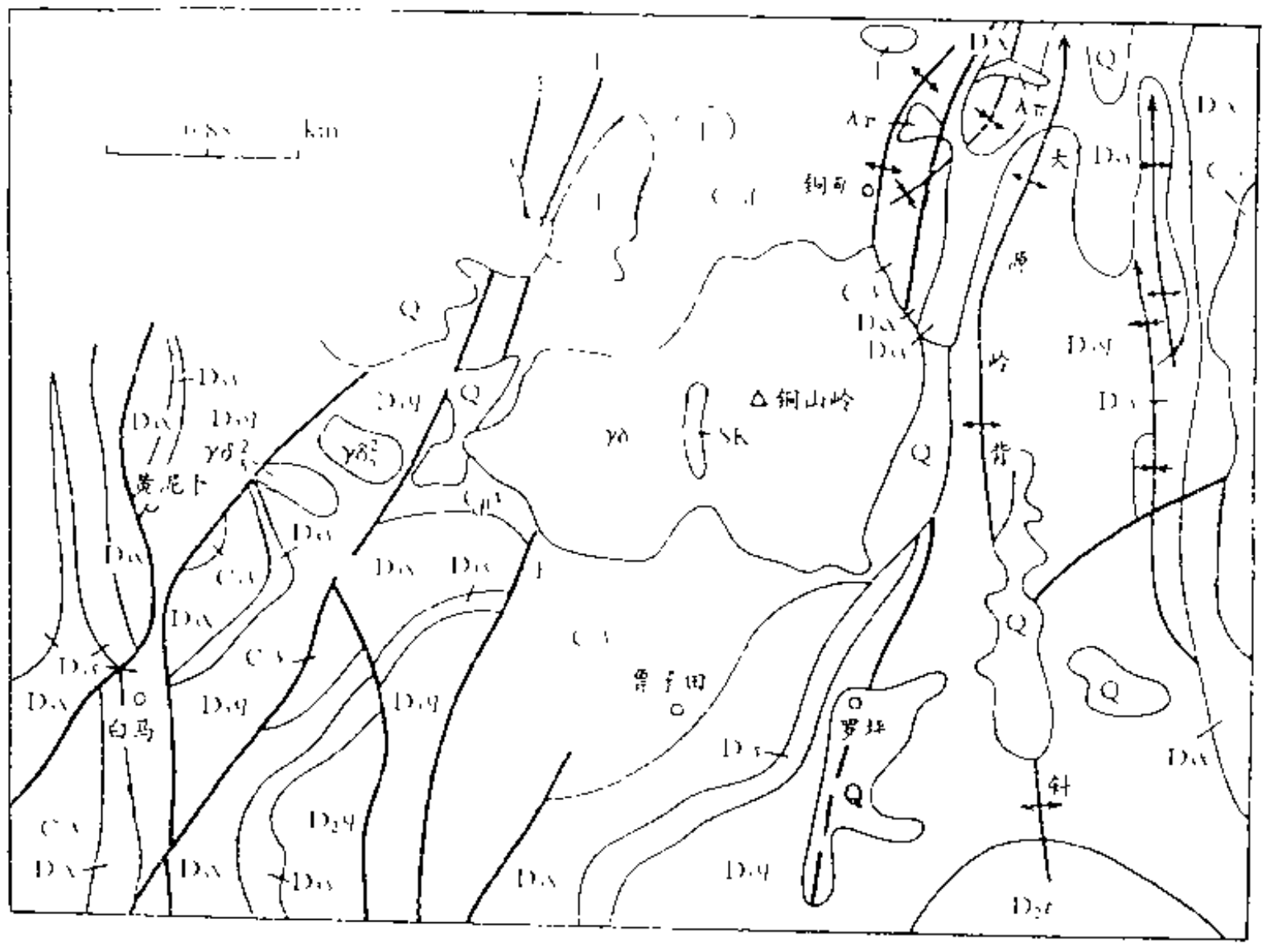


图2-180　铜山岭矿田地质略图

Fig. 2-180　Geological sketch of Tongshanling ore field

Q　第四系；J_1－下侏罗统；C_1－下石炭统；C_1d　大塘阶；C_1y　岩关阶；D_2-D_3－中、上泥盆统；D_2t　跳马涧组，D_2q　棋梓桥组；D_3s－余田桥组；D_3x－锡矿山组；$\gamma\delta_1^3$　斑状花岗闪长岩；$\lambda\pi$—石英斑岩，SK—夕卡岩

二、矿区地质

（一）矿区地层

区内出露地层主要为泥盆系中统棋梓桥组（D_2q）和跳马涧组（D_2t），泥盆系上统余田桥组（D_3s）和锡矿山组（D_3x），石炭系下统大塘阶（C_1d）和岩关阶（C_1y），为一套巨厚的碳酸盐岩沉积。与成矿有关的主要为棋梓桥组和锡矿山组。

棋梓桥组为巨厚碳酸盐岩层，其下为白云岩层（厚达210 m）夹生物白云岩（厚15 m）。生物白云岩呈中薄层状，粗粒自形-半自形结构，并具有成岩白云岩的雾心亮边结构；富含层孔虫、珊瑚等生物化石，并见核形石和叠层石；无蚀变。

锡矿山组碳酸盐岩厚达300 m，底部有30～50 m 厚泥灰岩。泥灰岩自下而上细分三层：

（1）砾屑灰岩：中薄层状，砾屑呈扁平状、次椭圆状沿层定向排列；

（2）含矿藻灰岩：呈微晶结构，层纹状构造；

（3）泥灰岩：灰黑色，鳞片泥晶结构，薄-中薄层状构造，中夹微薄层钙质页岩及透镜状灰岩。

多金属硫化物矿体主要产于棋梓桥组生物白云岩及锡矿山组泥灰岩中。

（二）矿区构造

区内褶皱和断裂均发育，以 NNE 向构造为主。

（二）岩浆岩

本区岩浆岩均为燕山期岩浆活动之产物，铜山岭似斑状花岗闪长岩呈岩株状分布于矿区南西，与棋梓桥组和佘田桥组接触处有夕卡岩及多金属硫化物矿体（即接触带夕卡岩型矿体），沿NNE向和NW向断裂常有花岗闪长岩小岩株和石英斑岩岩脉充填。

（四）矿床地质

铜山岭多金属矿床是一夕卡岩型含银的铜铅锌矿床。按矿体产出形式划分为接触带夕卡岩型和外接触带层间夕卡岩型和石英硫化物脉型矿体，以层间夕卡岩型最重要。本文介绍的是层间夕卡岩型矿体。

1. 矿体产出特征

矿体主要产于距花岗闪长岩岩体700 m远的棋梓桥组及锡矿山组围岩中。

矿体的产出明显受层位和岩性控制。在巨厚的棋梓桥组碳酸盐岩层中，工业矿体仅见于棋梓桥组下

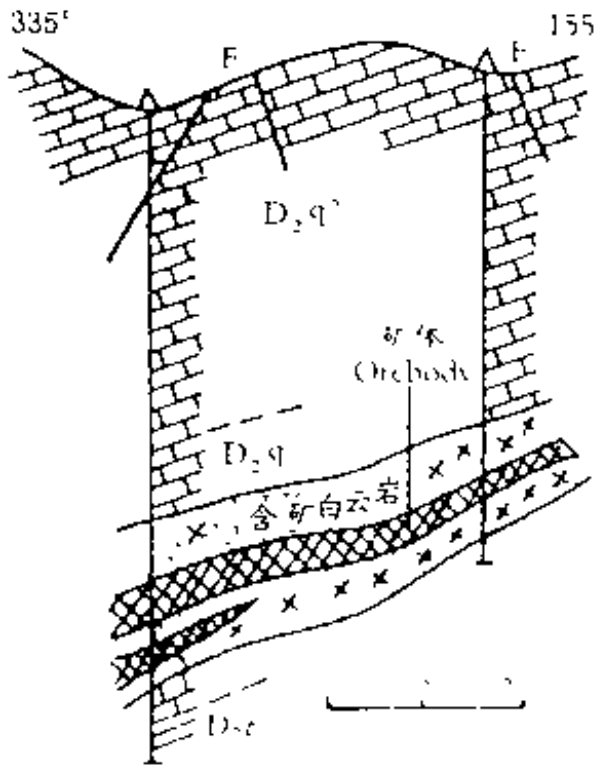


图2-181　105线地质剖面图

Fig. 2-181　Geological profile of exploratory line 105

（图例同图2-180）

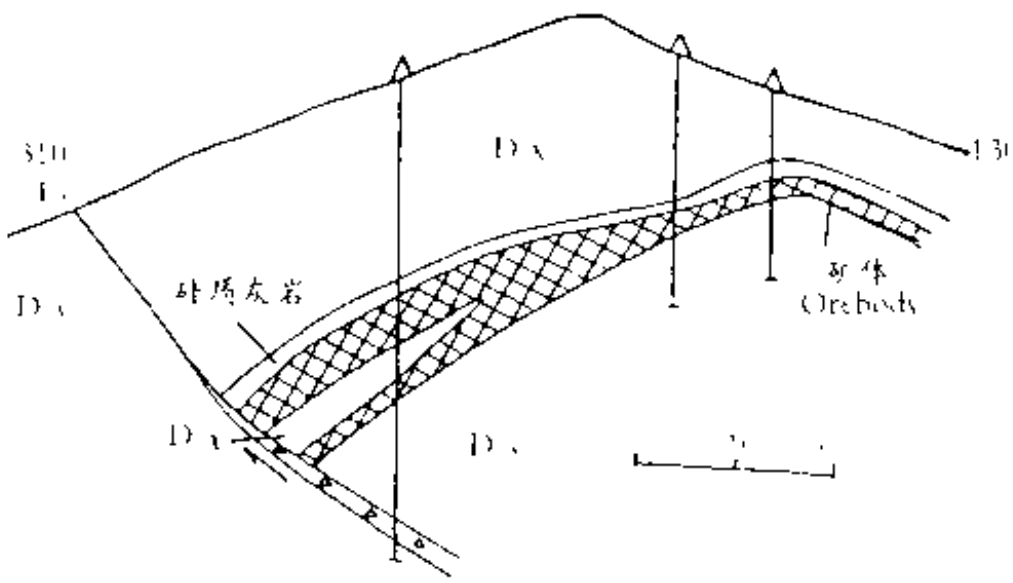


图2-182　3线地质剖面图

Fig. 2-182　Geological profile of exploratory line 3

（图例同图2-180）

部的浅灰色生物白云岩（图2-181）层和锡矿山组底部的泥灰岩层中（图2-182）。生物白云岩的含矿性与岩石的粒度、孔隙度、生物含量等有关。当粒度由粗变细、生物由多变少、孔隙度降低时含矿性由强变弱。锡矿山组泥灰岩中砾屑灰岩的含矿性与砾屑和胶结物的比例有关，当其比为3:2时，矿化最佳，否则一般为贫矿；藻灰岩的含矿性与藻体的发育程度有关，藻体愈发育，含矿性愈好，否则一般为贫矿；泥灰岩的含矿性与泥质含量多寡有关，泥质过高（如钙质页岩）或过低矿化都不好，此层一般为富矿。三层矿似具序列性排列。

矿体可分为主矿体和脉状矿体。主矿体呈层状、似层状沿层展布，产状与地层一致，延深延长较稳定，规模较大，品位较富。脉状矿体以充填为主，受层内裂隙或次级断裂控制，常贯穿主矿体，品位虽富但不稳定，变化大，规模小。

2. 矿石矿物组成

层间夕卡岩型和脉型矿石的矿物组成比较简单：金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿，次为黄铜矿、黄铁矿及铅铋矿；脉石矿物由方解石、石榴子石、透辉石和石英组成。而接触带夕卡岩型矿物组成比较复杂：金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、铅铋矿、白钨矿、毒砂和磁铁矿；脉石矿物有石榴子石、透辉石、符山石、阳起石、绿帘石、石英、方解石等。

产于锡矿山组的矿体，金属硫化物沿层呈带状分布。砾屑灰岩中以闪锌矿为主，伴有黄铁矿和方铅矿；含矿藻灰岩中为黄铁矿、闪锌矿及方铅矿组合；泥灰岩中由下往上依次为闪锌矿-方铅矿-黄铜矿。

3. 矿石结构构造

矿石结构主要有：

微粒结构：见于贫矿石中，矿物粒度为0.01～0.001 mm，经热液改造粒度变粗，达0.1～2 mm以上。

草莓状结构：贫、富矿石中均可见，但分布局限，由微粒、细粒的球状黄铁矿组成，或呈分散状，或呈小团块状集合体，草莓间有其他硫化物分布。

胶状结构：见于藻类结核状矿石中，黄铁矿、黄铜矿具此结构。

生物结构：硫化物沿层孔虫内部或围绕腕足类外壳分布，形成生物或生物环边结构，在藻类结核状矿石中金属硫化物沿藻体格架分布，形成藻架结构

矿石构造主要有：

砾屑构造：砾屑灰岩中，硫化物等构成砾屑的胶结物。

层纹状构造：由微细粒硫化物的层纹和泥晶方解石的微细薄层彼此交替形成。

核形石构造：见于藻灰岩中的层纹状贫矿的底部，由泥晶方解石等作核心，含硫化物的波状藻层和泥晶方解石组成宽窄不等互相交替的同心环状。

结核构造：结核由硫化物、方解石、硅质和泥质岩组成，粒径15～200 mm不等，见于泥灰岩矿体中，常构成富矿石。

还有条带状和斑点状构造等。

三、矿床成因分析

铜山岭矿床按产出部位可分为产于花岗闪长岩与围岩接触带的含铜矿夕卡岩矿体、外接触带层间含铜、铅锌夕卡岩矿体和硫化物石英脉矿体。从成矿作用总体分析其成因应为与燕山期花岗闪长岩有关的夕卡岩型金银铜多金属矿床。外接触带层间含铜铅锌夕卡岩矿体的成因，围岩对成矿具一定控制作用。湖南有色金属地质勘探公司二〇六地质队陈臻经对铜山岭层间夕卡岩型矿体的研究认为，该矿中的层间夕卡岩型矿体不具夕卡岩型矿床特征，而应为沉积-热液改造的层控矿床。其主要根据是：

（1）成矿物质来源　区内似斑状花岗闪长岩、锡矿山组及其他有关地层的微量元素含量对比（表2-111）说明：

表2-111　岩体与有关碳酸盐建造微量元素（w_B 10^{-6}）

Table 2-111　Content of trace elements (w_B 10^{-6}) in massif and concerned carbonate facies formation

剖面	时代	Cu	Pb	Zn	Ag	Mn	Sn	As	Mo	Ni	Co	V	Sr	Ti	Be
岩体[1]	γ_5^3	37	68	70	0.06	650	19	24	29	8	6	51			
院子地	D_2x	228	161	838	3.5	325	32	112					263	161	75
290中段近矿围岩	D_2x	77	210	23	0.26		5	20		0～3	0～10	微	100	26	微
手家岭	D_3s	65	21	65	0.18	158	11						177	120	微
潭水	D_2q^3	29	13	0	痕	201							80	114	4
停路南	D_2q	32	15	0	0.6								79		12
木林	D_2l^1	36	35	125	0.12	511							132		2
下东	C_1x^3		225											45 31	
碳酸盐岩[2]		1	9	20	0.0n	1100	0.n	1	0.4	20	0.1	20		40	19
克拉克值		100	16	50	0.1	900	10	5	3	80	30	150		6000	5n0

分析者湖南冶金地质研究所分析室。[1]据长沙大地构造研究所张湘炳1981年资料；[2]据涂干甲、费德波1961年资料

锡矿山组（D_3）的特征元素组合为Cu、Pb、Zn、Ag，它们的含量高出地壳碳酸盐岩的克拉克值数十倍，也大大高于岩体，其中Cu高出6倍，Pb高出7倍，Zn高出12倍，Ag高达66倍。这说明地层可为成矿提供丰富来源。

近矿上下含矿层中的Cu、Pb、Zn、Ag含量比远离岩体5000 m的院子地剖面低。其中Pb低1倍，Cu、Zn、Ag降低3～13倍。这说明含矿层中Cu、Pb、Zn、Ag元素发生了活化转移。龙汉春（1981）对区域（宁远）、矿区外围（千家岭等）、矿区矿层顶底板围岩（D_2g C_1）中微量元素进行了统计，估算东区2.7 km²、厚1 km的碳酸盐地层中Cu、Pb被活化转移的金属量分别为91300t、59950t。表明地层是成矿物质的部分提供者，而岩体的热源，促使了成矿元素Cu、Pb、Zn、Ag的活化转移。

（2）矿体近矿围岩蚀变不强，且仅限于锡矿山组底部的泥灰岩中，钙铝榴石和透辉石不均匀分布于其中，泥晶方解石微弱重结晶，局部见大理岩化，岩石具典型的角岩结构特征，故认为其围岩蚀变是热变质产物，而非接触交代产物。

（3）矿石结构均反映了沉积-热液叠加改造特征。

（1）微量元素组成特征

矿体及近矿围岩的Co含量均大于Ni，$w(Co)/w(Ni)$值为2～5，具有海相沉积成因特征，而岩体的Co、Ni含量均甚微，且Ni高于Co，$w(Co)/w(Ni)$值为0.75。

据研究（T. R. Jonassan，1978）闪锌矿的$w(Zn)/w(Cd)$值与矿床成因有关。矿体中闪锌矿的$w(Zn)/w(Cd)$为130，与宋学信的研究对比结构中的热液矿床闪锌矿的Cd含量和$w(Zn)/w(Cd)$值相当，这是热液改造成因的依据。

闪锌矿中Fe的含量亦反映形成条件。一般夕卡岩型闪锌矿含Fe量较低，层控型者含Fe量则较高，矿体中的闪锌矿比接触交代夕卡岩型闪锌矿的含铁量至少高10倍。

此外，在矿体中，Sr、Ba的某些沉积化学行为也较明显，如Sr常通过生物途径的沉淀性，表现在藻层贫矿相对较高，含量为（100～200）×10⁻⁶。Ba易被粘土矿物吸附，使其仅分布在泥质富矿之中，含量达（150～350）×10⁻⁶。藻层的Ba和泥质层的Sr含量却从零至极微量。

（5）该类型矿体中黄铁矿明显分为两期，其特征见表2-112。反映矿床形成经历了沉积成岩期和热液叠加期。

表2-112　黄铁矿的标型特征

Table 2-112　Typomorphic characteristic of pyrite

生成期 / 物性	沉积成岩期	热液叠加期
晶态	晶形不完整，对称度低，有胶体沉淀	晶形完整，对称度高
粒度 mm	粒度较均匀<0.08	大小不均0.1～1
偏光性	极弱非均质　均质	均质
显微硬度	1181	1403
反射率	S　516:52.27	S　516:53.57
形成温度 ℃	145	280～300
包体杂质	碳质、方解石等	闪锌矿等
结构构造	半自形—他形、莓球状、胶状结构，生物环边、层纹状、条带状构造	自形、半自形、立方体、交代溶蚀结构、浸染状、脉状构造
分布	较广泛，多在贫矿层中呈层纹状及碳屑填隙物产出	较局部，多在富矿层与脉状矿中呈浸染状、块状产出

（6）对矿体中贫矿和富矿的金属硅化物分别进行了温度测定（爆裂法），结果表明贫矿中方铅矿和黄铁矿的形成温度（140～145 ℃）明显低于富矿中方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿的形成温度（260

~[illegible]℃，多为270℃左右），这也反映了成矿的多阶段性特点。

（7）硫同位素特征

该矿的黄铜矿、闪锌矿、方铅矿硫同位素组成特征，与其富集轻硫的层控矿床（白云铺）比较，$\delta^{34}S$全是正值（与陨石硫比，富集重硫$\delta^{34}S$），表明成矿物质来源富含海水硫酸盐，这和矿源层Ba含量高于地壳碳酸盐岩近8倍有一定的吻合性。而与富集重硫的层控矿床（凡口）对比，$\delta^{34}S$值又有较集中、分布范围较窄、偏离0值较近的特点，这些恰好又与层控改造型矿床（黄家坝、铁渣市、方园）极为相似，可能是矿床在后期改造富集过程中，导致了硫同位素均匀化所致。

第三十节　湖北阳新鸡笼山铜矿床

一、大地构造单元

鸡笼山铜矿床位于封山洞以西，同属于封山洞矿田，在大地构造位置上属于下扬子台褶带、通山—瑞昌坳褶断束。

二、矿区地质

见图2-183。

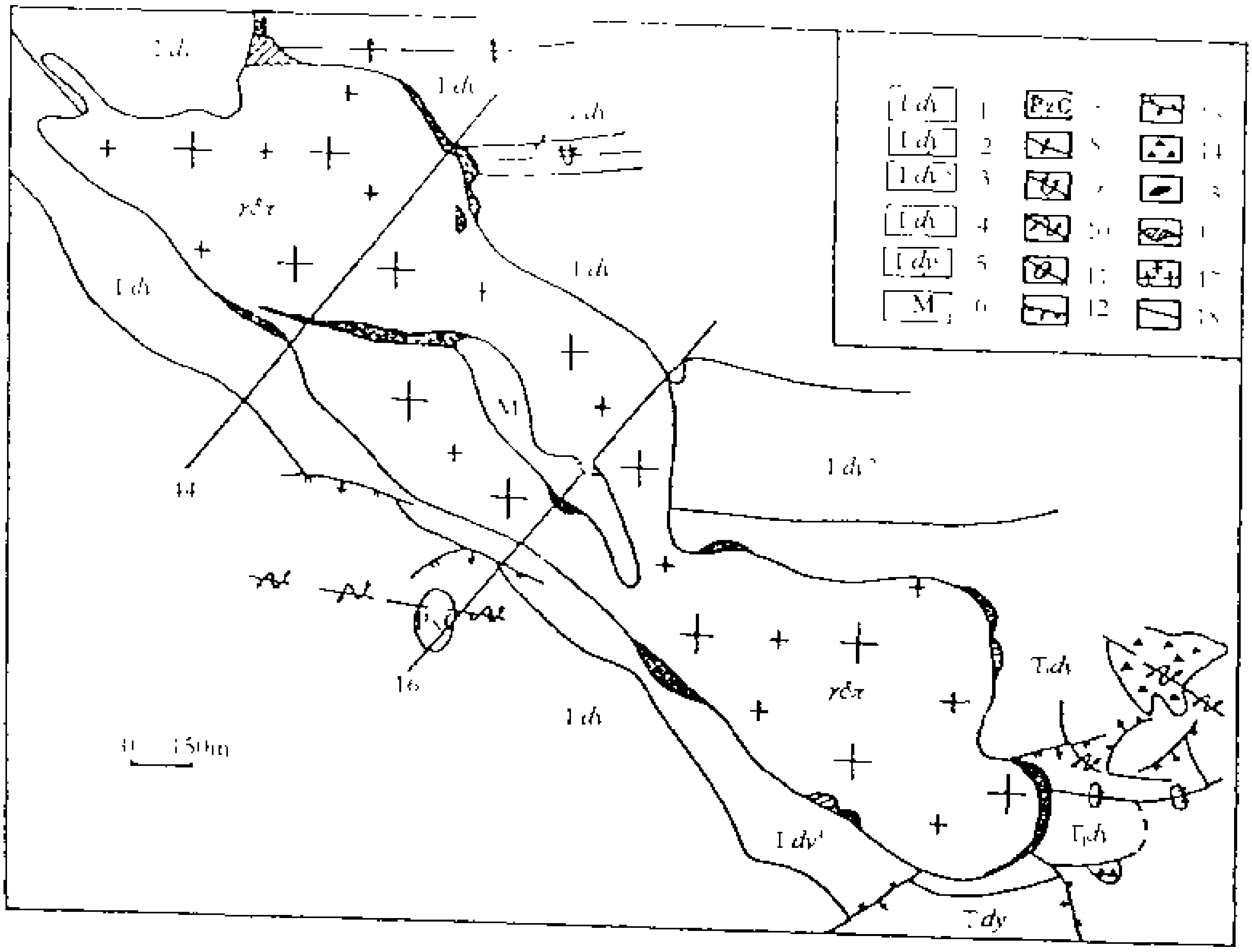


图2-183　鸡笼山铜金矿床地质图

Fig. 2-183　Geological map of Jilongshan Cu-Au deposit

1—大冶群七段厚层白云质灰岩、白云岩；2—大冶群六段薄—厚层灰岩；3—大冶群五段含石膏条带白云质灰岩、白云岩；4—大冶群四段厚层白云质灰岩；5—大冶群一段薄层灰岩；6—大理岩；7—二叠系长兴组灰岩；8—背斜；9—倒转背斜；10—翻转背斜；11—翻转向斜；12—正断层；13—逆断层；14—角砾岩；15—矿体；16—夕卡岩；17—花岗闪长斑岩；18—勘探线剖面

（一）地层

矿区出露的地层主要是下三叠统大冶群一至七段（T_1dy^1—T_1dy^7）。与矿床关系密切的主要是T_1dy^4、T_1dy^5、T_1dy^6，其岩性特征和厚度与前述封山洞矿床一致。

（二）构造

矿区褶皱构造是鸡笼山-苗母山复式倒转向斜核部的次级褶皱，由北至南有柯家塘倒转背斜、竹林塘倒转向斜、桂家山倒转背、向斜和鸡笼山倒转背斜等。断裂构造主要呈NW向、EW向和NE向，其中NW向和EW向的是主要控岩控矿构造。

（三）侵入岩

鸡笼山岩体，长2800 m，宽200～600 m，出露面积约1.2 km^2。岩体呈NW向展布向SW倾斜，倾角30°～60°（向SE侧伏，SE段延深大，说明岩体是由东向西侵入的），岩体形成深度小于1 km，是一个浅成--超浅成相岩株。

岩体主要岩性为花岗闪长斑岩，斑状结构，斑晶含量约10%～50%，其中斜长石15%～50%，角闪石20%～25%、石英15%、黑云母10%，此外有少量的微斜长石（<5%）。基质50%～60%，具显微花岗结构，主要成分为长石和石英等，副矿物有磷灰石、磁铁矿、榍石等。花岗闪长斑岩局部相变为石英二长斑岩，还有后期的闪长玢岩脉、煌斑岩脉等。

岩石化学成分：本区花岗闪长斑岩SiO_2含量60.64%～61.74%，平均61.78%；Na_2O+K_2O含量6.93%～7.60%，平均7.18%；$w(K_2O)/w(Na_2O)=0.98\%～1.48\%$，平均1.19%；$w(Fe_2O_3)$，$w(Fe_2O_3+FeO)=0.29\%～0.66\%$，平均0.48%，与中国同类岩石比较，$SiO_2$、$Na_2O$、$K_2O$略偏高，$w(Fe_2O_3)$ $w(Fe_2O_3+FeO)$偏高，SL偏高，而FL与之近似，MF偏低，为2.11%～3.27%，平均2.75，属于钙碱性岩系列。

岩体中成矿元素Au含量高出中国同类岩石9.3倍，Cu高出2.2倍，Ag高出0.5倍，Mo高出2.1倍。

三、矿床地质

见图2-184。

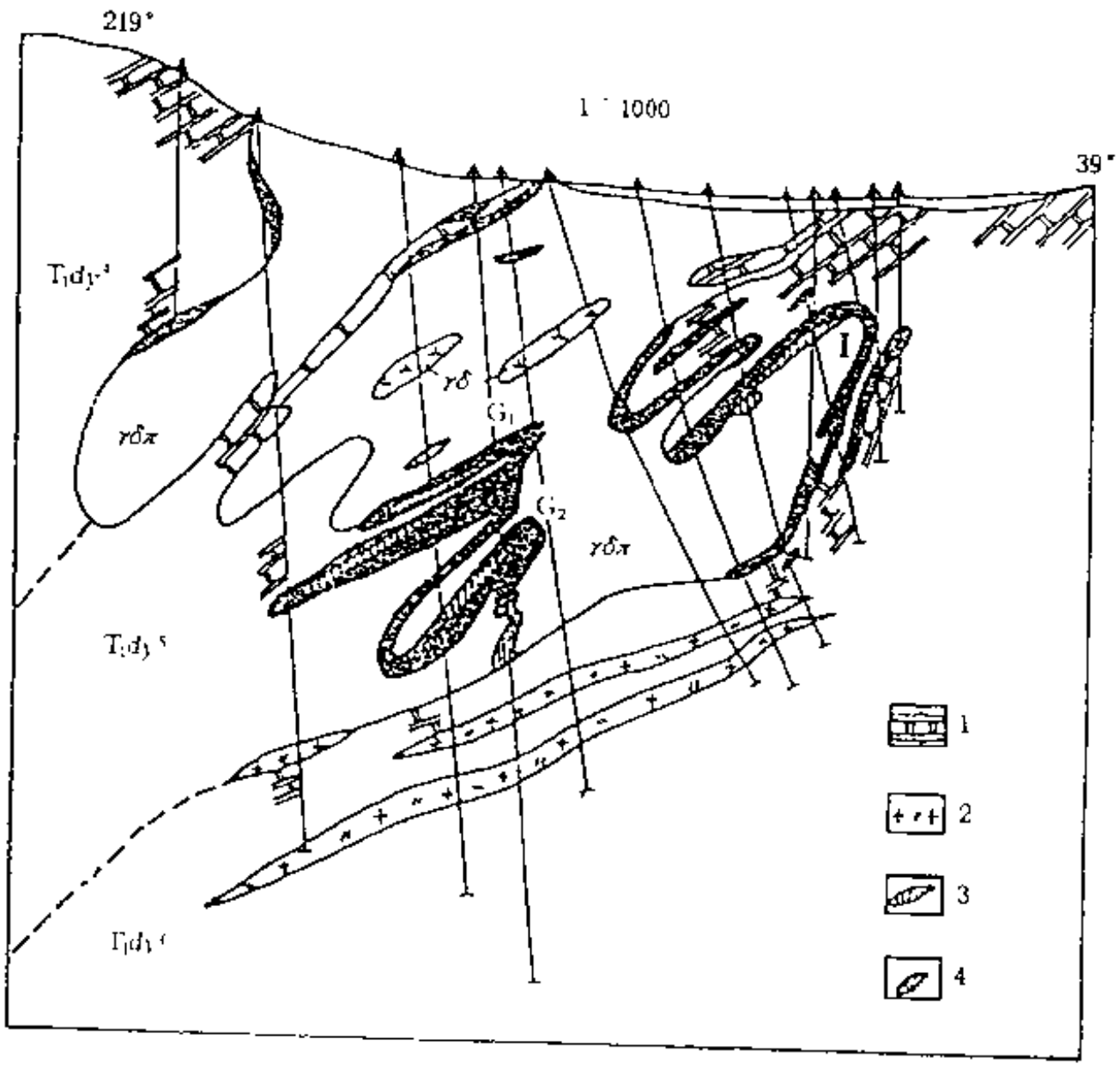


图2-184　鸡笼山矿区36线剖面图

Fig. 2-184　Profile of line 36 in Jilongshan ore district

G_1—含Au、Ag、Pb、Zn；G_1—Cu-Au共生矿体；G_2—Cu-Au共生矿体；1—白云质灰岩及白云岩；2—岩床；3　夕卡岩；4—矿体

（一）矿体形态、产状

矿床由11个矿体组成，但最主要的矿体是Ⅰ、G_1和G_2三个矿体。这三个矿体的铜、金储量分别占矿床储量的70%和94%。

Ⅰ矿体分布在岩体北缘接触带上，呈似层状，NW向延伸，倾向SW，向SE侧伏，长550 m，平均厚4.3 m，延深250～300 m，是一个伴生金、银、铅和锌的铜矿体。

G_1矿体赋存在岩体南缘大理岩舌状体接触带上，大理岩舌状体端部矿体厚大，矿体尾部呈分支状延伸于大理岩层间。矿体为似脉状或蝌蚪状，长600 m，平均厚6.33 m，延深80～300 m，倾向SW，向SE侧伏，倾伏角20°左右。该矿体为铜金共生矿体（局部为铜伴生金矿体）。

G_2矿体分布于G_1矿体下部另一个凹部与大理岩舌状体接触带上。矿体为月牙形或似脉状，长300 m，平均厚5.24 m，延深60～200 m，倾向SW，向SE侧伏，侧伏角30°左右。该矿体为铜金共生矿体。

（二）矿石特征

1.矿石矿物

矿石的矿物成分较复杂（表2-113）。主要的铜矿石矿物是黄铜矿和斑铜矿，主要的金矿石矿物是自然金、银金矿和金银矿。

表2-113 矿物组成表

Table 2-113 Mineral composition of ores

	金属矿物	金矿物	非金属矿物
主要	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、雌黄、雄黄	自然金、银金矿、金银矿	石榴子石、透辉石、硅灰石、方解石、白云石、石英
次要	辉钼矿、磁铁矿、赤铁矿、白铁矿、黝铜矿、白铅矿、菱锌矿、磁黄铁矿、铜蓝、菱锰矿、辉铜矿、砷黝铜矿	铜金矿、含银自然金、含金铜银矿、碲金矿	绿泥石、绢云母、绿帘石、萤石、透闪石、阳起石、金云母、硬石膏、蛇纹石、滑石、叶蜡石、高岭石

2.矿石结构

矿石结构有自形、半自形、他形粒状结构、交代结构、固溶体分离结构和骸晶结构等。

3.矿石构造

矿石构造主要有细脉浸染状、脉状-网脉状、块状、角砾状和斑杂状等。

4.矿石品位

矿石含多种成矿元素，以Cu、为主。以Ⅰ号矿体为例，Cu平均1.64%（0.31%～11.3%）、Au平均2.14×10^{-6}（$0.39\sim2.03$）$\times10^{-6}$，Ag平均27.4×10^{-6}（0.725×10^{-6}）。此外，Pb 3.26%、Zn 5.16%、Mo 0.118%。

金的分布比较广，在花岗闪长斑岩、夕卡岩和外接触带角砾状大理岩中都有分布，由岩体向外可以分为含金花岗闪长斑岩—金铜矿石（夕卡岩中）—金铅锌矿石（外接触带）—金砷矿石—含金角砾状大理岩。其中以夕卡岩中的金铜矿石为主，可构成铜金共生（部分伴生）矿体。在外接触带，Au与铅锌或雌黄、雄黄共生，构成“单独”金矿体，在斑岩体局部地段也可圈出“单独”金矿体，但这类“单独”矿体的金品位低，规模很小，金含量与铜含量相关系数为0.66。

金矿物以自然金为主，少量含银自然金和银金矿，偶见碲金矿。金呈不规则粒状、蠕虫状、片状及球粒状、链状的次显微金。金主要充填交代含金矿物的裂隙，或包裹在黄铜矿之中。

（三）围岩蚀变及矿化分带

1.围岩蚀变及分带

围岩蚀变主要有夕卡岩化、石英-绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化，局部见高岭石化和蛇纹石化，岩体中偶见微弱的钾长石化。这些蚀变在空间上往往重叠，但具有一定的分带趋势。由岩体中心向外，大致可分为：（钾长石化）—石英绢云母化—绿泥石、绿帘石化—夕卡岩化--

(蛇纹石化大理岩)。黄铁矿化和碳酸盐化分布广泛，从岩体到大理岩中都有，但黄铁矿化在斑岩体中较发育，碳酸盐化则在外接触带较发育。

2. 矿化分带

本区矿化以在夕卡岩带中为主，但在岩体内和外围岩中也有分布。由岩体内向外，可分为：Cu-Mo(Au)、Cu-Au-Ag、Au-Pb-Zn、Ag-Au(As)等矿化带。金含量由内至外逐渐增高，而矿化规模则以Cu-Au-Ag带和Au-Pb-Zn-Ag带最大。

四、成矿作用

鸡笼山矿床的成矿过程是多阶段的，可分为气液期和热液期。气液期主要形成夕卡岩，在气液期末，有辉钼矿和磁铁矿形成（磁铁矿成矿温度367℃）。热液期延续时间较长，可分为铁铜硫化物阶段、铅锌硫化物阶段（296～300℃）和砷硫化物阶段（198～202℃）。

成矿热液从高温向低温发展过程中，pH值呈5.609→7.59→8.11的变化趋势，即由酸性—中性—弱碱性发展；pH值呈氧化～还原—氧化的变化趋势。

表2-114　鸡笼山式金铜矿床综合找矿模型

Table 2-114　Comprehensive prospecting model for Jilongshan-type Au-Cu deposit

模型	特征		斑岩	夕卡岩	角砾大理岩	大理岩
地质模型	矿化种类		钼（铜硫）铜金（铁）→金铜→金银铅锌			
	成矿部位		斑岩体边缘	接触带	斑岩丘状体前缘	层间裂隙
	地层				T_1dy大理岩、白云质大理岩	
	构造		爆破裂隙	接触带构造	隐爆角砾构造	层间破碎带
			北西向断裂带和东西向向斜交汇控岩，后期北北西向张剪性断裂复合控岩构造带控矿			
	岩浆岩		花岗闪长斑岩$w(SiO_2)$60%～63%，碱值6.5%～7.56%，$w(K_2O)/w(Na_2O)$=0.75～1.48			
	围岩蚀变		黄铁绢英岩化→钙铁榴石-钙铝榴石、透辉石夕卡岩→硅灰石夕卡岩、绿泥石化、硅化、碳酸盐化、雄黄、雌黄			
	主要矿物组合		辉钼矿（黄铜矿、黄铁矿）	黄铜矿、自然金、斑铜矿（磁铁矿）	自然金、方铅矿、闪锌矿	
地球物理模型	探测对象		目的物：金铜矿体	目的物：花岗闪长斑岩	赋矿围岩	
	物性	磁性	微弱磁性	弱磁性	微磁性	
		密度	高密度	中低密度	角砾状大理岩：中低密度；大理岩：中密度	
		电性	中-高电阻、高-中极化	中高阻、弱极化	高电阻、弱极化	
	地面异常		斑岩体上Δg相对重力低，相对幅值（1～2）$\times10^{-5}m/s^2$；铁矿体部位，ΔZ点异常；金铜矿体自电低阻异常			
地球化学	原生量	部位	矿上	矿中	矿下	
		指示元素	As、Sb、Ba、Sr、Pb	Cu、Au、Ag	Cu、Mo、W	
		$Au\times10^3/Cu$	>2	2～0.8	<0.8	
		Pb/Cu	>1	1～0.05	<0.05	
		剖面特征	岩体为Cu外带异常；局部Mo异常；接触带Cu、Au、Ag异常；外接触带As、Ba异常			
		轴向分带	As-Mn1-Ba-Pb-Ag-Au-Zn-Mo-Mn2-W			
	地表异常		次生异常较原生异常范围大，Cu、Au、Ag、Mo、Pb异常发育，强度高			

矿石中和花岗闪长斑岩中硫化物的硫同位素值接近，$\delta^{34}S$变化范围为－2.54‰～＋6.1‰，表明成岩成矿的硫源主要来自与深部。

根据上述矿床地质和成矿条件，本矿床应为中低温热液叠加的斑岩-夕卡岩型矿床。

五、鸡笼山式斑岩-夕卡岩型金铜矿床综合找矿模型

（一）地质模型

花岗闪长斑岩沿NW向断裂破碎带多次侵入，在三叠系碳酸盐岩组成的EW向向斜部位，从早到晚、从上到下呈形态复杂的小岩株斜列叠置。同时在岩株舌状体前端外接触带形成隐爆角砾岩。岩体接触带形成形态复杂的夕卡岩金铜矿体，并斜接复合于控岩构造上的后期NNW向张剪性断裂带上。中低温热液作用沿有利围岩和断裂复合地段活动，使成矿叠加，矿化更富集。围岩蚀变发育，并对应矿化分带出现。矿石组分以金、铜为主，上部岩体中伴有铁矿等，下部岩体附近伴生银、铅锌等。

（二）地球物理模型

地面磁异常处于平稳场中。岩体上有低重力异常。电法异常明显，自电低阻异常反映矿体。

（三）地球化学模型

岩体分布区形成范围大、强度高、浓度分级明显的元素地球化学异常。Cu的外带异常包裹整个岩体，Au、Cu的中带异常包裹矿体。Mo晕分布接触带，在下部岩体中较发育。As异常除分布金铜矿体上外，还分布于岩体前端外接触带。

该矿床综合找矿模型详见表2-114。

第三十一节　长江中下游铜矿床的基本特征

长江中下游铁铜（金）成矿带是我国铜矿的最主要成矿带之一，其成矿特征、成矿规律和成矿系列已有较深入而系统的总结（常印佛等，1991年，1998年；翟裕生等，1992，1996年）。了解长江中下游铜矿的矿床特征和研究成果，对指导铜矿找矿具有重要的参考意义。长江中下游已知大—中型铜矿、铜铁矿、铜金矿床20个，其成因类型主要有以下几种：

1. 矿浆型及矿浆-热液过渡型铁-铜矿床，例如铁山、西马鞍山矿床；

2. 夕卡岩（夕卡岩）型铜-铁、铜-金矿床，例如铜录山、鸡冠嘴、鸡笼山、石头嘴、风凰山、桃花嘴；

3. 斑岩或斑岩-接触交代型铜-钼（金）矿床，例如铜山口、封三洞、白云山等矿床；

4. 复合型铜-钼-硫（金）矿床（包括层控-接触交代型、层控-斑岩-接触交代型），例如铜官山、狮子山、冬瓜山、大团山、新桥、城门山、武山、安基山、铜山（贵池）等矿床。

上述4个类型20个大—中型以铜为主的矿床特征对比如表2-115。这些矿床主要形成于中生代陆内变形阶段与燕山期构造-岩浆作用有关的内生铜、铁、金、钼、硫成矿系列，具有以下特性。

（1）它们与岩浆岩有着密切的成因关系，常与岩浆岩体紧密伴生，是长江中下游断裂坳陷带内燕山期中酸性到中基性岩浆活动持续演化的产物；

（2）成矿物质主要来自岩浆（中酸性火山 深成岩组合是矿质主要来源），部分矿质由矿旁侵入岩受碱质交代作用而析出，还有部分矿质为沉积或火山-沉积矿源层中的矿质的活化而提供；

（3）矿床常处在断陷火山盆地及旁侧隆起区内或两者的过渡带中；

（4）成矿方式有三类，主要为热流体充填交代作用，其次为矿浆贯入，再次为沉积矿源层或矿层的构造、岩浆的叠加改造作用，包括接触热变质及热液改造作用。

上述共同特征及成矿系列主要是由区域的印支、燕山期的构造、岩浆、成矿的演化历史决定的。从T_3末到K_1末（约210～90Ma），本区的构造演化有断块运动加剧，深断裂及裂陷程度逐步增强的趋势，与此相适应，岩浆的来源深度也逐渐增加，幔源物质所占比例增加，从而使与Fe、Cu有关的火山-侵入岩也由高碱富钾中酸性岩亚系列向富钠偏中基性岩亚系列演化，导致在总体上铜或铜铁矿化时间较早、铁较晚的递变性。同时由于岩浆活动中心有从褶皱隆起区向断陷火山岩盆地逐渐转移的趋向，导致铁铜成矿空间也随之转移（表2-116）。

表2-115　长江中下游铜矿床类型特征表

Table 2-115　Features of various of copper deposits in middle　lower-reach Area of Yangtze River

质特征 矿床类型	构造背景	地层岩性	岩浆岩	主要组分	主要矿物组合	主要蚀变类型	成矿温度 (	成矿年龄 Ma	成矿作用	实　　例
矿浆型及矿浆热液过渡型	隆坳过渡区	1．碳酸盐岩为主	闪长岩类为主，高碱富钠常伴有分异的钠长岩类	Fe、Cu、S（Co）	磁铁矿（含V磁铁矿、磁铁矿、黄铜矿、阳起石、磷灰石	阳起石化、钠质角闪石化、绿帘石化、夕卡岩化	500～720， 般 300～600	140～100	充填贯入为主	铁山、西马鞍山
夕卡岩（夕卡岩）型	隆坳过渡区	C、P、1，碳酸盐岩为主	石英闪长岩、石英二长闪长玢岩、花岗闪长斑岩	Cu、Fe、Au（Co、Mo）	磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿、斑铜矿、自然金、黄铁矿、辉钼矿、	夕卡岩化、蛇纹石化、金云母化、碳酸盐化	260～580	140～120	夕卡岩为主	铜录山、鸡冠嘴、桃花嘴、石头嘴、冶龙山、纯园山
斑岩或斑岩接触交代型	褶皱隆起区	S、T，碎屑岩及碳酸盐岩为主	花岗闪长斑岩	Cu、Mo、Au	黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、斑铜矿	钾化、青磐岩化、石英绢云母化	150～450	150～120	充填、交代、隐爆作用	封　洞、铜山口、凤凰山
复合型	多种地质环境	C、P、T为主	一般复式岩体	Cu、Mo、Au、S等	铁铜矿物、辉钼矿、黄铁矿、自然金	复杂，常伴有叠加蚀变	150～600	170～100	多种成矿作用叠加	城门山、武山、狮子山、冬瓜山、大铜山、铜官山、新桥　铜山安基山

表2-116　长江中下游含铁铜火山-侵入岩系列

Table 2-116　Fe-Cu-bearing volcanic-intrusive rock series in middle—lower-reach Area of Yangtze River

含矿岩浆岩亚系列		高碱富钾中酸性岩亚系列	高碱富钠中酸性岩亚系列	富钠偏基中性岩亚系列
岩石组合		闪长岩、石英闪长岩、石英正长闪长岩、花岗闪长（斑）岩、石英斑岩	辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、石英二长闪长岩、花岗岩	辉石闪长玢岩-闪长岩、橄长岩、粗安岩等；辉石粗安玢岩-玄武粗安岩粗面岩、正长岩等
就位时代		170～130Ma	160～120Ma	130～90Ma
构造背景		褶皱隆起区	隆起与坳陷过渡区	断陷火山岩盆地
侵位深度		3～1km	3～1.5km	<1.5km
主要围岩		ϵ—T_2	J_1　T_2	J　K_1
$w(SiO_2)$	区间	56.44～65.83	59.33～70.23	50.44～51.11
	平均	63.16	61.18	52.15
$w(K_2O+Na_2O)$	区间	6.79～8.30	7.56～9.10	6.13～7.02
	平均	7.73	8.23	6.61
$\frac{w(K_2O)}{w(Na_2O)}$	区间	0.56～1.21	0.33～0.81	0.23～0.54
	平均	0.88	0.61	0.37
钙碱指数		54～56	55～58	53
成矿元素		Cu、S、Mo、Au、Fe、Pb、Zn、Ag、W	Fe、Cu、S、Co、Au	Fe、S、P、V、Ti、后期Au、Cu
矿床类型		接触交代型、斑岩型、热液型	接触交代型、矿浆型、矿浆热液过渡型、热液型	次火山气液型、矿浆型、伟晶型、热液型
成矿亚系列		接触交代型、斑岩型Cu-Mo-Au成矿亚系列	接触交代型Fe及Fe Cu成矿亚系列	玢岩铁矿成矿亚系列
分布地区		铜陵、九瑞、大冶、阳新、宁镇	贵石、安庆、繁昌、当涂	宁芜、庐枞

在岩浆系列演化的活动机制上，表现为以侵入作用为主向火山-次火山作用为主的转变，因而，矿床类型也发生变化，铁矿床由以接触交代型为主转变为以矽岩型为主。此外，由于同一亚系列的岩浆侵位深度有由深变浅的变化趋势，所以铜矿床也有由接触交代型向斑岩型（及角砾岩筒型）转变的趋势。

根据一定地质发展阶段内的构造-岩浆-成矿演化的特点、矿床的成矿构造-岩石环境及矿石建造的差别，本成矿系列划分为三个亚系列：①接触交代型-斑岩型铜-钼-金成矿亚系列；②接触交代型铁和铁-铜成矿亚系列；③矽岩铁矿成矿亚系列。

很显然，表2-115中的2、3、4类矿床应属于第1亚系列，表2-115中的1类矿床属于第2亚系列。这两个亚系列铜或铜铁矿床的基本特征为：

一、夕卡岩-斑岩型铜-钼-金成矿亚系列

该亚系列矿床有接触交代型铜、铜铁、金铜矿床，斑岩型铜（钼）、金铜矿床，以及复合型矿床，而以复合型矿床最发育。它们各有特色，但又有一定的内在联系，主要表现在以下几个方面：

（一）区域控矿构造特征

此亚系列矿床主要分布在褶皱隆起带，NWW和近EW向岩石圈断裂是控制此亚系列矿床形成和分布的主导因素之一，它们起着导岩、导矿作用。已知的含矿岩体和矿床均沿NWW和近EW向岩石圈断裂展布。如沿金山店-阳新、瑞昌岩石圈断裂和沙溪-南陵岩石圈断裂等形成的Cu、(Mo)、Au成矿亚带。一些基底断裂和盖层大断裂是控制矿田和岩浆活动中心分布的主要因素，是含矿岩浆由深部到达成岩成矿部位的通道。如九瑞地区深部岩基受NW向和NE向两组基底断裂控制，浅部含矿斑岩体也基本上沿NW和NE向呈串珠状展布。阳新含矿大岩体明显受NW向基底断裂和近EW向盖层大断裂联合控制，而含矿小岩体的就位及其形态产状则受次一级断裂和褶皱构造的联合控制，有的产在叠加褶皱与断裂复合部位呈岩株状（如铜山口），有的受骨架状断裂和层间破碎带联合控制形成网格状岩墙（脉）群（如狮子山矿田），或“十”字型（如月山岩体）以及其他形态等。

（二）含矿岩体特征

（1）本区与Cu、Cu（Mo）、Au矿床有关的侵入岩，属高碱富钾的中酸性亚系列。主要岩石类型有石英闪长岩、闪长岩、石英正长闪长（玢）岩（即石英二长闪长玢岩，下同）、花岗闪长（斑）岩及石英斑岩等。这些岩石的SiO_2含量变化范围56.11%～65.83%，平均63.16%，全碱含量较高（6.79%～8.30%），平均7.73%，$w(K_2O)/w(Na_2O)$值为0.56～1.21，平均为0.88，明显高于两个含铁岩石系列（表2-116）。

（2）一些较大的含矿岩体出露面积通常为3～15 km^2（铜官山、凤凰山、月山等），个别达214 km（如阳新岩体），就位深度通常为2～3 km，向下延伸可达4～5 km或更深。岩性主要为石英闪长岩、石英正长闪长（玢）岩、二长闪长岩和闪长岩等，具细粒—中细粒结构、似斑状结构等。岩体边部常出现同化混染带。岩体周围热变质作用较强烈，大理岩化、角岩化发育。在这类岩体接触带附近以形成接触交代型Cu、Cu（Fe）矿床为主。与斑岩型或斑岩-夕卡岩复合型Cu（Mo）、Cu（Au）矿床有关的含矿岩体多为花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、石英斑岩等小岩体，出露面积常在1 km^2左右，侵位深度浅，多在距地表1.5 km以内，呈岩株、岩脉或不规则状体产出。由于形成深度小，构造环境变化，岩石具细粒斑状结构，岩株体内部裂隙高度发育，形成细网脉密集带，又常伴有角砾岩筒。岩体边部的同化混染带不发育，围岩热动力变质作用相对较弱（如铜山口、丰山洞、城门山等岩体）。

（3）含矿岩体，除个别为单期次侵入体（如铜官山）外，绝大多数为多期次侵入的复式岩体，如阳新、铜山口、丰山洞、城门山、武山、安基山岩体等。岩浆多期次侵入活动是浅部就位岩体与深部岩浆房长期反复沟通的表现，能促使热液系统的形成和使之保持长期活动，并提供深部分异出的随岩浆和气液流体上来的更多的矿质参与成矿活动，对形成大型矿床有利。但同一复式岩体中，各期次侵入岩对成矿的贡献是不同的。如阳新复式岩体有四次侵入，从早到晚为细粒黑云母透辉石闪长岩→中细粒石英正长岩（153～156 Ma）→石英正长闪长玢岩（150Ma）→花岗闪长岩（118Ma），伴随的矿化则从无矿化→接触交代型Fe（Co、W）矿→接触交代型Cu、Au（Fe）矿（主要矿化）→接触交代型Au（Cu）矿。铜山口斑岩体亦有四次侵入和矿化作用发生，早期花岗闪长斑岩株侵入（146Ma）生成夕卡

岩-斑岩型Cu（Mo）主矿体，中期形成花岗闪长斑岩脉及微弱Cu（Mo）矿化，晚期形成石英二长斑岩隐爆角砾岩筒（127～122Ma），局部具Mo（Cu）工业矿化；末期形成花岗斑岩脉而无矿化显示。

（4）对岩体形态、产状、地球物理资料及遥感影像的综合研究，发现含矿岩体常具有明显的"三层"结构，即浅部为含矿岩体，中深部为岩浆柱，深部为隐伏岩基。隐伏岩基受深断裂控制，岩浆柱受盖层主要断裂尤其是断裂交汇部位控制（如阳新岩体西北端），而小斑岩体群则环绕岩柱体产出（如丰山洞）。大型Cu（Mo）、Au（Cu）矿床通常靠岩柱体附近的接触带或在小斑岩体内产出，如铜录山接触交代型Cu（Fe、Au）矿床，鸡冠嘴、鸡笼山Au、Cu矿床，丰山洞、武山等斑岩-夕卡岩复合型Cu（Mo）、Cu矿床以及狮子山矿田的主要接触交代型Cu矿床等。说明岩浆柱在成岩成矿时，是深部岩浆房分异出的岩浆及含矿流体上升到成矿部位的主要通道。

（三）围岩对成矿的影响

Cu-Mo-Au成矿亚系列矿床的赋矿层主要有志留系、上泥盆统、石炭系、二叠系和下三叠统。按岩性可分为碳酸盐质岩石和硅铝质岩石，它们对成矿具比较显著的影响。

当含矿斑岩体侵位于以碳酸盐岩为主的层位中时（如C_2-T_1），在接触带附近常发生较强的夕卡岩化作用并形成接触交代型Cu（Fe、Au、Mo）矿体，在斑岩体内部则形成钾化、石英绢云母化带，而在石英绢云母化带内形成斑岩型Mo（Cu）矿体或单Mo矿体，构成夕卡岩-斑岩复合型矿床。但两种矿化中夕卡岩Cu（Mo）矿石往往占较大的比例，如丰山洞、铜山口等矿床。有时矿体只分布在夕卡岩中，如武山矿床南矿带。当含矿岩体侵位于志留系砂岩、泥质粉砂岩、页岩中时，接触面外侧形成青磐岩化及次生石英岩化带，矿化受岩体内外裂隙带及角砾岩筒控制，主要形成斑岩型矿化，如白云山Cu矿。单一的接触交代型铜、铜铁（金）矿床则主要产于中-中浅成岩体与碳酸盐岩及钙质碎屑岩的接触带上，如铜录山矿床。当含矿岩浆岩侵位于沉积矿层或矿胚层中时，在有利的地质条件下，可以形成多种复合型矿床，如层控-夕卡岩复合型矿床（武山、铜官山、冬瓜山）和层控-斑岩-夕卡岩复合型矿床（城门山）等。

（四）蚀变及矿化特征

这一成矿亚系列中，各类矿床的矿化蚀变各具特色。

1. 接触交代型（夕卡岩型）矿床

接触交代型Cu、Cu-Fe或Cu-Au矿体，多产在中-中浅成中酸性侵入体与石炭系—下三叠统的接触带附近，矿体受接触带构造、大理岩捕虏体、层间裂隙带控制，矿体呈似层状、透镜状及不规则状产出，并与夕卡岩密切共生。断裂-接触带控制的矿体产状通常较陡（50°～80°），向下延伸较深，有时可达800余米（如铜录山Ⅲ号矿体）。在某些矿田（床）中，存在多个利于成矿的层间裂隙带，通常是地层假整合或岩性差异界面，当它们与岩体接触带相连接时可形成多层的似层状矿体，如铜陵的狮子山矿田出现的"多层楼"结构。

该类矿床夕卡岩化发育，在岩体与大理岩和白云质大理岩（白云岩）接触带上，可形成不同类型的夕卡岩，前者以钙夕卡岩为主，后者以镁夕卡岩为主，并且有明显的分带性。湖北铜录山铜铁矿床的石英二长闪长玢岩与大理岩接触带的蚀变分带表现为：①内接触带（由内向外）为石英二长闪长玢岩、斜长石化石英二长闪长玢岩、斜长石岩、钙铝-钙铁石榴子石夕卡岩；②外接触带（由内向外）为石榴子石夕卡岩、透辉石夕卡岩、石榴子石夕卡岩、石榴子石夕卡岩化大理岩；除夕卡岩化外，还有硅化、碳酸盐化、绿泥石化等。

岩体与白云质大理岩相接触时，其蚀变分带为：①内接触带（由内向外）为石英二长闪长玢岩、斜长石化石英二长闪长玢岩、斜长石岩、石榴子石透辉石夕卡岩；②外接触带（由内向外）为金云母夕卡岩、透辉石夕卡岩、金云母化透辉石化白云质大理岩、白云质大理岩（或白云岩）；除夕卡岩化外，还有金云母化、蛇纹石化、绿泥石化、碳酸盐化等。

岩体内部常有钾钠长石化，但缺乏斑岩型矿床中典型的石英-绢云母化带。

这类矿床中组成矿石的矿物成分复杂，各矿床中主要金属矿物组合有一定差别，常见的有黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿-磁铁矿，黄铜矿-斑铜矿-黄铁矿-磁铁矿，黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿，黄铜矿-辉铜矿

斑铜矿 黄铁矿、黄铜矿 辉钼矿 黄铁矿 磁黄铁矿等组合。在接触交代型铜金矿床中，自然金和银金矿常为主要金属矿物。主成矿元素为 Cu、Cu Au 或 Cu Fe；伴生元素种类较多，主要有 Mo、Au、Ag、Co、Se、Te、In、Tl、Re、S 等。

该类矿床的矿石类型复杂，铜（铁）矿床以含铜夕卡岩型矿石广泛发育为特征，常见的矿石类型还有含铜黄铁矿-磁黄铁矿型、含铜磁铁矿型、含铜滑石蛇纹石型、含铜大理岩型及含铜角岩型和含铜闪长（玢）岩型等。矿石构造主要有浸染状、块状、斑点状、条带状等。各种矿石类型在不同矿床中所占比例不同。值得注意的是，在接触带附近的岩体中细脉浸染状含铜（钼）闪长（玢）岩矿石或矿化的出现（如铜官山、铜录山、冬瓜山、李家湾、武山等矿床），显示出接触交代型矿床与斑岩型及斑岩-夕卡岩复合型矿床之间可能存在着过渡关系。

2. 斑岩型及斑岩-夕卡岩复合型矿床

斑岩型及斑岩-夕卡岩复合型矿床均与浅成-超浅成的斑岩体密切共生，由于围岩条件不同，矿化蚀变特征有一定差异。

围岩为硅铝质岩石的斑岩型矿床（狭义斑岩型矿床），在区内发现得较少，仅湖北白云山及安徽沙溪铜矿床较为典型。燕山期石英闪长斑岩侵位于志留系泥质粉砂岩和侏罗系石英砂岩中。矿床蚀变分带与典型斑岩铜矿相同，从岩体内向外依次为钾质蚀变带、石英-绢云母化带、泥化带和青磐岩化带。矿体主要产在石英-绢云母化带下部和钾质蚀变带上部，呈透镜状产出，少部分产于围岩裂隙中。矿石以细脉浸染状为主，主要金属矿物组合为黄铜矿 黄铁矿 辉钼矿 磁铁矿。

斑岩-夕卡岩复合型矿床是长江中下游很具特色的矿床类型。这类矿床的成矿岩体大多是燕山期花岗闪长斑岩体，且多伴有隐爆角砾岩体产出。围岩为石炭系—下三叠统碳酸盐岩。矿体基本有三种类型，一是接触带上夕卡岩型矿体，通常垂深较大；二是斑岩体内的斑岩型矿体或角砾岩筒矿体，垂深较小；三是沿层间裂隙带分布的似层状矿体，具有“三位一体”组合的特点（如铜山口）。若出现脉状矿体或沉积-改造型矿体，则出现“四位一体”或“五位一体”组合。

这类矿床蚀变强烈，通常具有清楚的面型分带。大多数情况下，从岩体中心向外有：①钾质蚀变带，蚀变矿物主要有钾长石、黑云母、石英、绢云母、硬石膏，有时该带上部钾长石石英脉很发育（如铜山口），可划分出一个钾硅化亚带；②石英绢云母化带，蚀变矿物主要有绢云母、石英、绿泥石和黄铁矿等，蚀变强烈时可出现含黄铁矿的次生石英岩；③泥化或粘土化蚀变带，蚀变矿物主要有高岭石、蒙脱石、绢云母、绿泥石、石英等，但在大部分矿床中不太发育；④夕卡岩化带，蚀变矿物主要有石榴子石、透辉石、硅灰石、透闪石、绿帘石等，夕卡岩类型随围岩成分而变化，在大理岩接触带上形成钙夕卡岩，在白云岩、白云质灰岩接触带上形成镁夕卡岩，与接触交代型矿床比较，其内夕卡岩不发育，可分为两个亚带，块状夕卡岩亚带一般较窄（几米至十几米），而网脉状夕卡岩化大理岩带很发育，宽度可达几十米到上百米（如铜山口矿床）；⑤绿泥石蛇纹石碳酸盐化带，主要呈细脉状产出，除绿泥石、蛇纹石和碳酸盐外，玉髓、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿矿物均较发育。

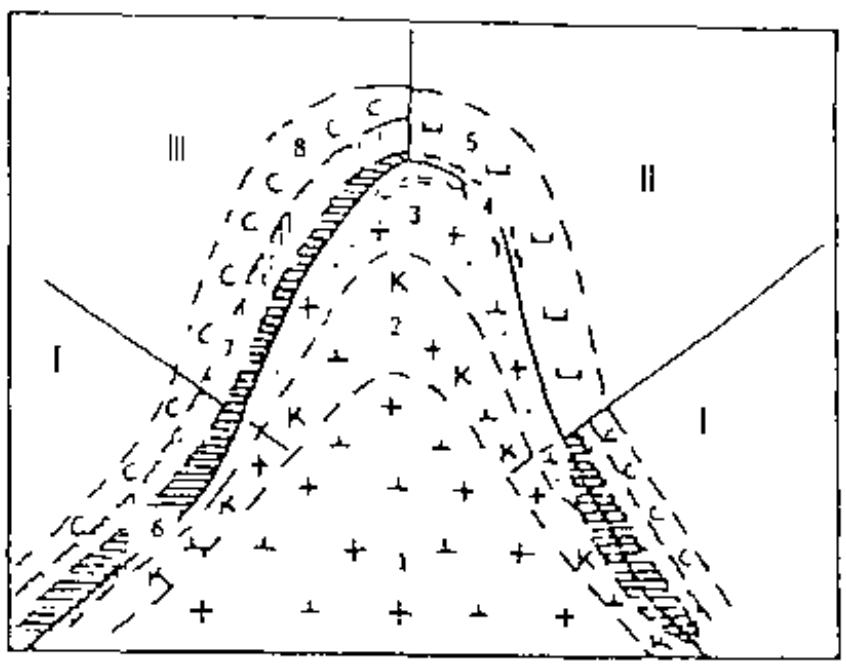


图2-185 长江中下游接触交代型（Ⅰ）、斑岩型（Ⅱ）及其复合型（Ⅲ）铜矿床蚀变分带对比图

Fig. 2-185 Alteration zoning Correlation diagram of contact metasomatic, porphyry and compoundtype copper deposits in middle—lower-reach area of Yangtze River

1—未蚀变石英闪长（玢）岩、花岗闪长斑岩；2-钾质蚀变带；3—石英绢云母化带；4—泥化带；5-青磐岩化带；6、7 夕卡岩化带；6-块状夕卡岩亚带；7-网脉状夕卡岩亚带；8 绿泥石蛇纹石碳酸岩化带

对比斑岩型、接触交代型和斑岩-夕卡岩复合型三类矿床的围岩蚀变（图2-185），可以看出，后者具有前两者的双重特点又分别与前两者有一定的差异。斑岩-夕卡岩复合型矿床与斑岩型矿床相比，岩

体内蚀变类型及分带基本相同，外接触带则多出个夕卡岩化带，其外侧的绿泥石蛇纹石碳酸盐化带与典型的青磐岩化带的矿物组合也有明显差异。这些不同点主要是围岩性质差异引起的。斑岩-夕卡岩复合型矿床与接触交代型矿床的围岩蚀变呈递变或过渡关系，主要差别是：①前者的钾质蚀变带和石英绢云母化带厚大，后者较薄或缺失；②前者的夕卡岩化带中脉状、网脉状构造较发育。造成这些差别的原因可能是斑岩-夕卡岩复合型矿床比接触交代型矿床形成深度浅、构造裂隙、原生裂隙（冷缩裂隙及流体热动力作用产生的裂隙等）发育，以及与含矿岩浆气液及地下水热液混合循环的机制和部位不同所致。铜山口斑岩-夕卡岩复合型铜钼矿床深部斑岩体内的石英-绢云母化带逐渐尖灭，钾质蚀变带逐渐变窄，一些地段的蚀变分带与典型夕卡岩矿床的十分相似。围岩蚀变的递变或过渡关系研究，对确定矿床的成矿机制及预测隐伏岩体具有重要意义。

斑岩-夕卡岩复合型矿床的工业矿体主要赋存在夕卡岩带和石英-绢云母化带中，部分赋存在钾质蚀变带上部（即钾硅化亚带），如铜山口、城门山等矿床。主要矿石矿物为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿，其次有斑铜矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿等。矿石类型主要有斑岩型铜矿石、钼矿石及铜钼矿石、角砾岩型钼（铜）矿石、接触交代型铜钼矿石、铜矿石，以及含铜（钼）块状硫化物矿石等。矿石构造常见的有细脉浸染状、网脉状、角砾状、斑点状、浸染状、块状和条带状等。

从岩体到围岩，矿物共生组合为辉钼矿 黄铁矿 黄铜矿→黄铜矿 斑铜矿 辉钼矿-黄铁矿 →方铅矿 闪锌矿-黄铁矿-黄铜矿；矿化元素组合为 Mo（Cu）→Cu、Mo→Pb、Zn（Cu）。

该类矿床伴生元素丰富，主要有 Pb、Zn、Re、Au、Ag、S、Se、Te 和 In。

在 Cu-Au 矿床中（如鸡笼山矿床），矿化分带表现为：从岩体向外，依次出现 Au 矿化（含矿花岗闪长斑岩）→Au Cu 矿化（接触交代型伴生 Au）→Au、Pb、Zn 矿化→Au As 矿化→Au 矿化（含金角砾状大理岩）。单独金矿体仅见于角砾状大理岩及岩体中。

除此之外，各类矿床，特别是斑岩型及斑岩-接触交代型矿床中，在主矿体外部常出现一些含 Cu、Pb、Zn 的碳酸盐-石英脉，有时产出有含 Cu（Mo）块状硫化物矿脉（铜山口）。它们本身虽工业意义不大，但可作为寻找隐伏矿床的标志。

（五）控矿构造

该亚系列矿床中矿体的产出均受侵入接触构造体系的控制，主要构造要素有：①接触带特别是多期次侵入接触构造和断裂-接触带复合构造最有利于成矿；②大理岩捕虏体；③层间破碎带和层间虚脱，特别是在叠加褶皱处的不同岩性界面附近（如 C_2/D、P_1/C、P_2/P_1、T_1/P_2、T_1^3/T_1^4、T_1^4/T_1^5之间）常出现有利于成矿的层间破碎带和层间虚脱；④岩体冷缩裂隙；⑤流体热动力构造，包括含矿热流体强大内压力作用于岩石产生的裂隙构造和气体爆发作用形成的角砾岩体构造及其伴生的裂隙；⑥变形生成的裂隙。其中⑤仅在斑岩和斑岩-夕卡岩复合型矿床中出现。由于不同类型中构造发育特点不同和各矿床构造组合差异，本区矿化分布出现多种组合样式。

斑岩型矿床形成深度较浅，流体热动力产生的网状裂隙和角砾岩构造是主要的构造类型，矿体呈透镜状、板状及筒状。

断裂-接触带构造、捕虏体构造对生成于中 中浅成岩体接触带附近的接触交代型矿床最为重要，此外，靠近岩体的不同岩性界面附近的层间裂隙带和虚脱构造也具有重要意义。矿体产出有的“一带多体”，即沿接触带和捕虏体有多个矿体产出，如安庆月山铜（铁）矿床、湖北铜录山铜铁矿床，矿体的形态产状则随接触带和大理岩捕虏体的形态产状而变。有的以层间构造控矿为主，呈现“多层楼”结构，如安徽狮子山矿田深部。

斑岩-接触交代型复合矿床形成深度也较浅，但由于有易被交代的围岩，所以其控矿构造最复杂，包括前述的六种主要构造矿体产出。常为“多位一体”，如受流体动力裂隙和冷缩裂隙控制的斑岩型矿体，角砾岩筒中的矿体，接触带控制的环状接触交代型矿体及受断裂裂隙构造控制的大脉状矿体［如铜山口、丰山洞铜（钼）矿床］。

根据上述认识，绘出本区以 Cu-Mo-Au 为主的成矿亚系列模式图（图2-186），以反映它们空间分布及成矿控制因素。

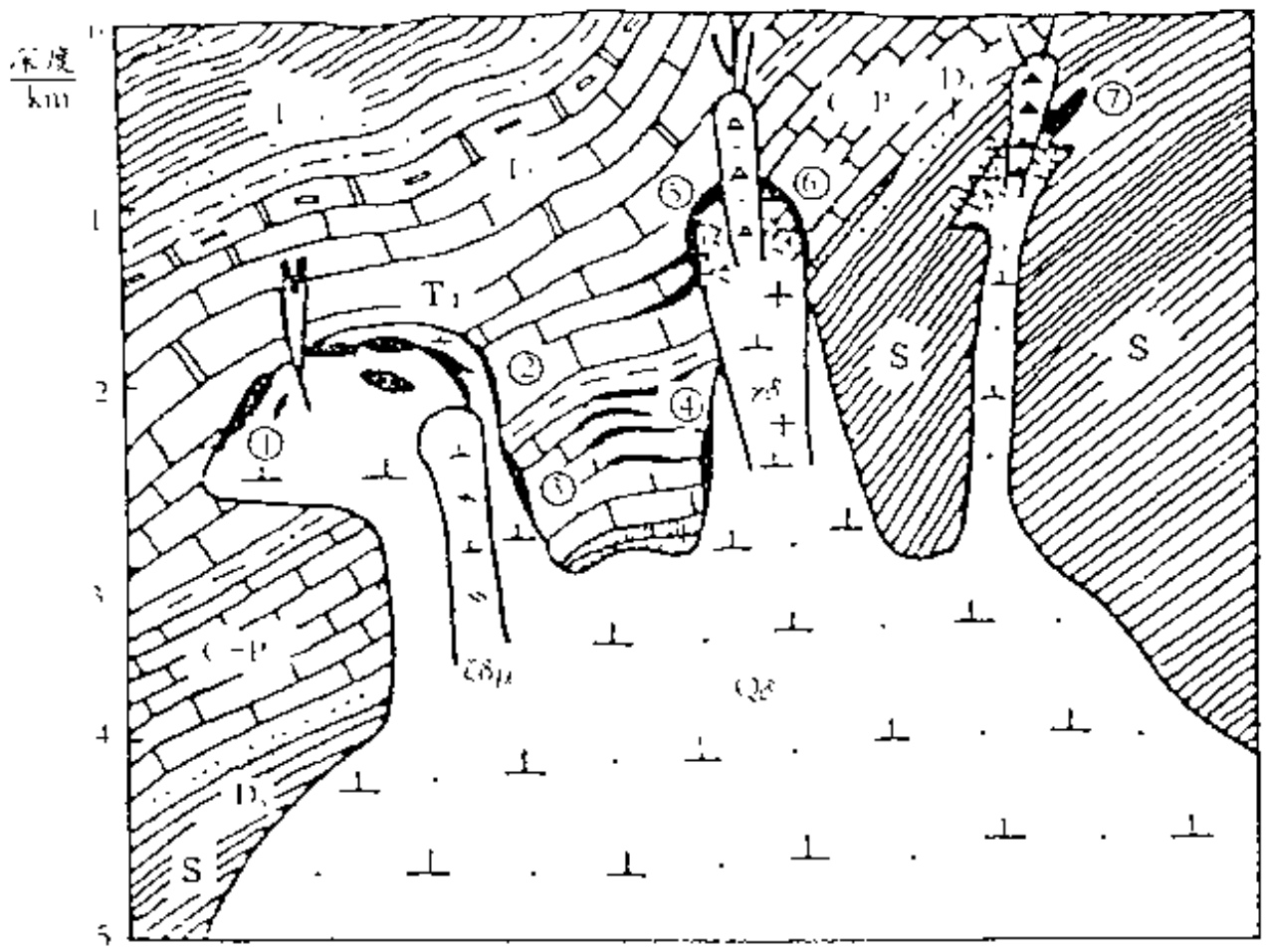




图2-186　长江中下游Cu-Mo-Au成矿亚系列模式图

Fig. 2-186　Model of Cu-Mo-Au metallogenic sub-series in middle—lower-reach area of Yangtze River

1. 夕卡岩型；2. 斑岩型；3. 角砾岩型；4. 脉型；5. 层控（沉积改造）型；6. ①石头嘴；②铜录山；③叶花香；④狮子山；⑤铜山口、丁山洞；⑥城门山；⑦沙溪、白云山、洋鸡山

（六）斑岩-接触交代型复合型铜矿床的找矿方法

（1）在断褶隆起区和隆坳过渡区寻找含Cu在10^{-2}～10^{-1}以上的（复式）中酸性小侵入体，注意与碳酸盐岩接触时的夕卡岩化，在碎屑岩中注意石英绢云母化。

（2）判别含矿化岩体是否为高碱富钾的中酸性岩亚系列，计算硅碱比值关系，研究成矿专属性的分带规律，同位素年龄大致为170～130Ma。

（3）矿化围岩首先是注意以五通组石英岩为底板的石炭二叠系，和中下三叠统碳酸盐岩中的矿化蚀变，其次是二叠系硅质、炭质地层与碳酸盐岩的界面以及早古生代地层中的矿化蚀变现象，特别要重视“多层楼”矿化组合。

（4）地质背景为断褶隆起区，构造上注意深断裂带状网络系统的结点、层间虚脱、背斜倾没等控矿构造，值得特别注意的是270°～290°方向的断裂构造以及北北东横跨背斜叠加并复合北西西向接触构造带的有利部位。

（5）注意收集研究岩相古地理资料及早石炭世地层缺失范围，并了解层控矿床元素组合的递变方向和趋势，在岩浆活动微弱地段要研究赤铁矿-菱铁矿-硫化物各相之间的变化关系及富集条件。

（6）运用磁重（铜铁共生时）电、化探等物化探手段，结合其他先进技术方法所得到的综合信息进行综合研究。

二、接触交代型铁、铁（铜）成矿亚系列

这一成矿亚系列的铁矿、铁（铜）矿床，是长江中下游成矿带中主要的铁矿和铁（铜）矿床类型之一。它们主要形成在燕山期中酸性侵入岩与碳酸盐岩接触带附近，其成因比较复杂，有夕卡岩、矿浆贯入和矿浆-热液过渡性流体成矿等，本文涉及的铁山、西马鞍山铁-铜矿床属于接触交代型、矿浆贯入型、矿浆-热液过渡型，现就该两个矿床的成矿地质条件、矿床基本特征概述如下：

（一）区域构造条件

矿床多产在褶皱隆起带与侏罗纪—白垩纪继承型断陷火山岩盆地之间的过渡部位，即隆坳过渡带上。含矿岩体和矿床往往呈NNE向的串珠状展布，构成以接触交代型铁矿、铁铜矿为主的成矿亚带，如鄂城-灵乡成矿亚带。这种空间分布特征与本区隆坳过渡带的地质构造条件有密切的关系。

这一构造部位通常靠近NNE向的岩石圈断裂。这些断裂切割深度不大，在燕山早期多为压剪性，到燕山中晚期逐渐转化为张剪性，利于深源含矿岩浆上升。同时区内的一些基底断裂和盖层大断裂也多次活动，为含矿岩浆和含矿流体到达成岩成矿部位创造了有利条件。

此外，这一构造部位，在印支期弧形褶皱的基础上，又有燕山期NNE向褶皱叠加和改造，形成大型NNE向隆起带，在隆起带中叠加褶皱高点，出现规模较大的短轴背斜。在这些部位，特别是中、下三叠统膏盐层、蒲圻组及相当层位（T_{2-3}）砂岩与下伏大冶群（T_1）含膏碳酸盐岩之间的界面附近不同岩性段之间的层间剥离构造十分发育，它们为含矿岩体的就位提供了有利空间。典型实例是鄂东南的接触交代型富铁矿床，它们均位于金牛-保安断陷火山盆地东侧的鄂城-大磨山NNE向隆起带上，西侧发育有团麻（梁子湖）岩石圈断裂和鄂城 金牛壳断裂。含矿侵入岩带呈NNE向展布，单个岩体则受基底或盖层断裂与叠加褶皱高点控制，呈近EW向（鄂城、铁山、金山店等）或NE向展布，形成多个大中型接触交代型铁、铁（铜）矿床（田），构成了一个NNE向以夕卡岩铁矿为主的成矿亚带。

（二）含矿岩体特征

矿床的形成与燕山期岩浆侵入活动有密切的成因联系。含矿岩体主要形成于157～126Ma。岩石类型有辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、花岗岩等。岩石具中细粒结构，似斑状构造等。SiO_2含量较高，变化较大，为59.33%～70.23%，平均为61.18%；全碱含量高，K_2O+Na_2O为含量7.56%～9.10%，平均为8.23%；$w(K_2O)/w(Na_2O)$比值小(0.33～0.81)，平均0.61；钙碱指数大(55～58)，为高碱富钠中酸性岩。

含矿岩体侵位深度多在1.5～2 km，向下延伸可达4～5 km，出露面积较大，多为16～140 km²。围岩多为中、下三叠统含膏碳酸盐岩及中、上三叠统砂页岩，少数为侏罗系砂页岩、钙质砂岩，或石炭系、二叠系碳酸盐岩。大型岩体接触带附近的围岩热动力变质构造发育（如铁山岩体），岩体顶侧多见围岩捕虏体。

本区与大型接触交代型铁（铜）、铁矿床有关的侵入体均为多期次侵入的复式岩体，岩性从中性向中酸性或酸性演化。伴随着多期岩浆侵入，成矿也具有多期次，但各岩体的成岩成矿演化有一定的差异。例如铁山岩体岩浆侵入和矿化作用复杂：燕山早期有含石英闪长岩侵入并在南缘接触带生成矿浆-热液过渡型富铁矿体，是铁山大型富铁（铜）矿的主体；燕山中期，第一次岩浆侵入形成黑云母透辉石闪长岩，在南缘接触带上形成接触交代型矿体并与早期矿化叠加，成为铁山主矿体的一部分，第二、三、四次侵入分别形成正长闪长岩、斑状含石英闪长岩、斑状花岗闪长岩，均无明显矿化；燕山晚期又有斑状正长闪长岩和长石斑岩脉产出，伴随生成小型富铁矿床，主要产在岩体顶缘接触带附近。如大小洪山，岩体侵入活动表现为复杂的“侧移式”。

通过地质、遥感及物探资料的对比分析发现，在接触交代型富铁（铜）成矿区，岩浆岩生长系统也同样具有“三层”结构，即浅部成矿复式岩体、中间的岩浆柱及深部浅位古岩浆房（隐伏岩基），它们在卫星遥感解译图上有明显的反映。岩浆柱环与接触带交切部位，是接触交代型矿床产出的有利部位，如铁山铁铜矿床。

（三）地层对成矿的影响

本区主要接触交代型铁矿产于岩体与中下三叠统含膏碳酸盐岩接触带附近，它们的矿石储量约占接触交代型铁矿床矿石总储量的90%，少部分矿床（体）的围岩为中、上石炭统碳酸盐岩或中、上三叠统砂页岩及侏罗系砂页岩或钙质砾岩层。在接触交代型铁矿中，成矿早期较普遍发育夕卡岩化，其类型受围岩岩性影响较明显。在岩体与富镁碳酸盐岩接触带上形成以透辉石方柱石为主的夕卡岩，在大理岩为主的接触带附近则形成以石榴子石为主的夕卡岩。如鄂东南地区接触交代型铁铜矿的夕卡岩带以透辉石方柱石夕卡岩为主（铁山），主要与下三叠统大冶群白云岩、白云质大理岩（T_1dy^{2-3}）围岩有关，局部石榴子石夕卡岩较发育，其围岩主要是大理岩（T_1dy^4）（如铁山尖山）。而砂岩岩层（如$T_{2-3}pq$）在

岩体侵入过程中常变成角岩，无明显的夕卡岩化，它们在成矿过程中常起遮挡层作用。在成矿过程中，先期形成的夕卡岩和夕卡岩化大理岩、白云岩等有利于含矿流体的交代，成为重要的容矿岩石，接触交代型铁矿床的矿体受其控制。矿浆贯入型矿床中，矿体受成矿期断裂构造控制更明显，既可叠加在早期夕卡岩化带上，又可穿入大理岩或闪长岩之中（如铁山铁门坎），并且无论何种围岩其矿旁同期蚀变均很微弱。矿浆-热液过渡型矿体则具有上述双重特点。

（四）蚀变及矿化特征

在该成矿亚系列中，除热液充填交代型矿床外，几个主要成因类型中矿化蚀变有共性又有特点。其共性主要表现为：

（1）成矿元素以 Fe 为主，Fe、Cu 共生，伴生元素以 Co、Ni、Ga、S 为主。矿石多为低磷高硫的 Fe-Co 矿石。

（2）矿石中金属矿物以磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿为主，其次为菱铁矿、黄铁矿及少量穆磁铁矿、镜铁矿等。非金属矿物以夕卡岩矿物和热液蚀变矿物为主。

（3）矿床中围岩蚀变常见有钠长石化、夕卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化等。常见的夕卡岩矿物有透辉石、石榴子石、符山石、方柱石、金云母、透闪石、阳起石等。夕卡岩化分带不明显。

（4）铁、铜共生矿床铁与铜的形成有叠加型和同时型两种形式，而以前者为主。例如铁山矿床成矿作用的第一期（矿浆成矿作用）和第二期（夕卡岩成矿作用）均以磁铁矿矿化为主，第三期硫化物热液期才是大量铜（钼）矿化和相应硫酸盐、碳酸盐矿物叠加在铁矿体上（即叠加型），形成复合矿床。西马鞍山铜铁矿床，经研究其矿石结构构造等特征认为夕卡岩矿物、磁铁矿和硫化物是同一阶段形成的，称为同时型。不过西马鞍山也有叠加型的夕卡岩铜矿。

不同成因类型矿床中矿化蚀变特征各具特色：

（1）接触交代型　这类矿床有明显的交代特征，是含矿热液在接触带附近交代夕卡岩和有利层位成矿的。矿体呈似层状、透镜状、鞍状或不规则状，紧靠接触带或在大理岩捕虏体中产出，矿体在水平方向较长，垂向较短。矿体旁岩浆岩普遍有钠长石化，而且愈接近铁矿体蚀变愈强烈。与矿化密切的蚀变有金云母化、阳起石化、透闪石化、绿泥石化、碳酸盐化等，它们叠加在早期夕卡岩化带上，并向外有一定的扩展。由岩体向外可形成钠长石（方柱石）化带→夕卡岩化和热液蚀变叠加带（主矿体）→碳酸盐化带。矿石类型主要为接触交代型和碳酸盐型。矿石构造有块状、浸染状、条带状、细层纹状、斑点状等，有时可见交代角砾状矿石。矿体与围岩及矿体内各类矿石带之间均呈渐变过渡关系。磁铁矿爆裂温度为300～500℃，表现出明显含气液交代的特点，如铁山尖山矿体。

（2）矿浆贯入型　这是一类铁铜矿床，矿体主要产于断裂-接触带和岩体内外的断裂裂隙中，矿体呈脉状、透镜状产出。它们与接触交代型矿床（体）有明显的不同，主要表现在：①矿体不受围岩岩性影响，与围岩界线截然清楚，在矿体边部常有挤压片理和对大理岩的熔蚀现象，如出现弧形焊接边构造等（如铁山铁门坎）；②矿石主要为致密块状矿石（含金云母、透辉石等），在矿体边部和上部，常见气孔状矿石，长圆形气孔（管）排列有序，孔壁常有粗晶磁铁矿和金云母生长，有时气孔被磁铁矿、黄铁矿及石英填满呈“杏仁状”构造（程潮、铁山、小包山等）；③矿体中常含有闪长岩、长石斑岩角砾，它们有的为板状，呈定向排列，上部角砾小，下部角砾大，显示一定的重力分选现象；④有的矿体中发育有冷缩横张裂隙，但仅限于矿体内；⑤矿体形成时的同期蚀变微弱，在大理岩一侧有时只出现几厘米厚的绿泥石化或稠密浸染状矿化镶边；⑥矿石中主要矿物为磁铁矿、黄铜矿和赤铁矿，而以前者为主，与磁铁矿共生的透辉石均一温度为560～680℃（铁山），有时在与磁铁矿共生的石榴子石、透辉石等矿物中见熔融包裹体和熔流包裹体，其形成温度为780～1020℃（如安庆月山铜矿），磁铁矿爆裂温度较高，为550～800℃（程潮、铁山、小包山）。上述特征可与其他类型夕卡岩矿床加以区别。

（3）矿浆-热液过渡型　矿浆-热液过渡型矿床的矿体产在断裂-接触带和断裂-大理岩捕虏体复合构造部位，矿体形态有似层状、斗篷状。这类矿床具有矿浆型矿床和接触交代型矿床的双重特点，围岩蚀变比矿浆型发育，主要为透辉石化，其次有方柱石化、金云母化，并伴随有较弱的阳起石化、透辉石化、绿泥石化等。矿体与围岩界线沿走向或倾向常由清楚突变接触渐变为过渡关系。矿石类型复杂多

样。矿化通常具有明显分带，从成矿流体中心向上、向两侧由矿浆型矿石带渐变为接触交代型矿石带，彼此之间并无穿切关系。磁铁矿生成温度范围大，为300～700℃，同一样品爆裂温度可出现2～3个温度峰值，显示由矿浆成矿到高温热液成矿的自然演化，其成矿介质可能是比较复杂的矿浆-热液过渡性流体，为突出其特性，这种矿床被称为矿浆-热液过渡型矿床。

需要指出的是，在某些矿田中，以上二类矿床可同时出现，有时在一个矿床中两种或两种以上的矿体叠加或伴生，形成复合型矿床，如铁山。

（五）控矿构造

以接触交代型铁矿为主的成矿亚系列的矿床主要受中-中浅成侵入-接触构造体系的控制，而这一侵入-接触构造体系与斑岩-接触交代型铜（钼）矿床及矽卡岩铁矿的均有所不同。因岩体规模大形成的深度也较大，所以围岩热动力变质作用强烈，不出现隐爆角砾岩体，岩体内裂隙化强度也较小。该类矿床最重要的控矿构造主要有：①断裂-接触带构造；②多期次侵入接触带构造（热动力变质作用强，有断裂复合）；③岩性圈闭接触带构造；④叠加褶皱接触带及⑤断裂构造等。以鄂东南为例，不同类型矿床的构造-矿化特征及其空间分布可参见铁山矿床图。

（六）矿浆型、矿浆-热液过渡型矿床的找矿方法

（1）在隆坳过渡区，一般是在断陷火山岩盆地外缘有较大（复式）中性侵入体出现时，要注意接触带的接触变质现象和重、磁（ΔT 和 ΔZ）异常重合处，特别要重视岩体外凸和内凹部位且有良好的屏蔽层叠加时，可能存在矿体。

（2）岩体硅碱比值归属高碱富钠的中酸性岩亚系列，同位素年龄常为为150～100Ma。

（3）注意地层是否为中下三叠统的周冲村组或陆水河组和大冶组岩石，并考察其蚀变现象，注意地层中膏（盐）层对成矿的影响。

（4）构造上注意附近的带状网络断裂构造系统、层间虚脱，特别有北北东向的横跨褶皱叠加并复合接触带等有利部位。

（5）注意夕卡岩化、钠化、透闪石化、绿帘石化、碳酸盐化、角岩化等近矿围岩蚀变。

（6）运用磁（地面、井中）、重、电法、金属量测量（与硫化物共生时）等物化探手段，并结合其他先进技术开展工作。

[General Information]
书名=中国铜矿床　　（上册）
作者=
页数=371
SS号=0
出版日期=
Vss号=53393721

封面
书名
版权
前言
目录
目录
前言
第一篇概论
第一章　中国铜矿床勘查开发简况
第二章我国铜矿床基本特点
第三章铜矿床资源形势
第二篇铜矿床各论
第一章　与基性、超基性侵入岩有关的岩浆熔离型矿床
第一节　甘肃金昌市金川铜镍矿床
第二节　新疆富蕴县喀拉通克铜镍矿床
第三节　新疆哈密市黄山东铜镍矿床
第四节　新疆哈密市黄山铜镍矿床
第五节吉林磐石县红旗岭铜镍矿床
第六节吉林通化县赤柏松铜镍矿床
第七节青海玛沁德尔尼铜钴矿床
第二章　与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的斑岩型铜矿床
第一节　江西德兴县铜厂铜矿床（含朱砂红矿区）
第二节　江西德兴县富家坞铜矿床
第三节　西藏江达县玉龙铜矿床
第四节西藏察雅县马拉松多铜矿床
第五节　黑龙江嫩江县多宝山铜矿床
第六节　内蒙古新巴尔虎右旗乌奴格吐山铜矿床
第七节　湖北阳新丰山洞铜矿床
第八节　湖北大冶县铜山口铜矿床
第九节　湖北阳新县白云山铜矿床
第十节　江苏江宁县安基山铜矿床
第十一节　安徽庐江县沙溪铜（金）矿床
第十二节　福建上杭县紫金山铜金矿床
第十三节　山西垣曲县铜矿峪铜矿床
第十四节　甘肃金塔县白山堂铜矿床
第十五节　甘肃肃北县公婆泉铜矿床
第十六节　云南中甸县雪鸡坪铜矿床
第十七节　河北平泉县小寺沟铜钼矿床
第十八节　河北涞源县木吉村铜钼铁矿床
第十九节　内蒙古陈巴尔虎旗八大关铜矿床
第二十节　内蒙古科尔沁右翼中旗布敦化铜矿床
第二十一节　内蒙古四子王旗白乃庙斑岩铜（钼）矿床
第二十二节　台湾奇美铜矿床
第二十三节　新疆温泉喇嘛苏铜矿床
第三章　与中酸性浅成、超浅成侵入岩有关的接触交代型（夕卡岩型）铜矿床
第一节河北承德寿王坟铜矿床
第二节辽宁桓仁县桓仁铜矿床
第三节黑龙江宾县弓棚子铜矿床
第四节　湖北大冶县铜录山铜矿床
第五节　湖北大冶鸡冠嘴铜金矿床
第六节　湖北大冶石头嘴铜矿床
第七节　湖北大冶桃花嘴铜金矿床
第八节　湖北大冶县铁山铁铜矿床
第九节江西城门山铜硫铁矿床
第十节　江西瑞昌县武山铜矿床
第十一节　江西铅山县永平铜多金属矿床
第十二节　安徽铜陵市铜官山铜矿床
第十三节　安徽铜陵冬瓜山铜矿床
第十四节　安徽铜陵狮子山铜矿床
第十五节　安徽铜陵药园山铜矿床
第十六节　安徽铜陵大团山铜矿床
第十七节　安徽铜陵新桥铜矿床
第十八节　安徽贵池县铜山铜矿床
第十九节　安徽安庆市西马鞍山铜矿床
第二十节　上海金山张堰铁铜矿床
第二十一节　云南个旧县卡房锡铜矿床
第二十二节　云南个旧市老厂锡铜矿床

第二十三节　　云南中甸县红山铜矿床
第二十四节　　广西德保钦甲铜锡矿床
第二十五节　　新疆富蕴县索尔库都克铜（钼）矿床
第二十六节　　青海省兴海县赛什塘铜矿床
第二十七节　　湖南浏阳七宝山铜多金属矿床
第二十八节　　山西襄汾县四家湾铜铁矿床
第二十九节　　湖南江永县铜山岭铜多金属矿床
第三十节　　湖北阳新鸡笼山铜矿床
第三十一节　　长江中下游铜矿床的基本特征
第四章　　与海相火山喷发－沉积作用有关的海相火山气液型铜矿床
第一节　　甘肃白银厂折腰山－火焰山铜矿床
第二节　　甘肃白银厂小铁山多金属矿床
第三节　　青海孟源县红沟富铜矿床
第四节新疆哈巴河县阿舍勒块状硫化物铜锌矿床
第五节　　新疆托克逊县可可乃克铜矿床
第六节　　四川会理县拉拉厂铜矿床
第七节　　四川白玉县呷村铜多金属矿床
第八节　　山西垣曲县落家河铜矿床
第九节浙江绍兴市西裘铜矿床
第十节甘肃文县筏子坝铜矿床
第十一节陕西略阳县铜厂铜矿床
第十二节广东梅县玉水铜多金属矿床
第十三节　　海相火山气液型铜多金属矿床的基本特征
第五章　　与陆相火山作用有关的陆相火山气液型铜矿床
第一节　　江西德兴县银山铜多金属矿床
第二节广东惠来县钟丘洋铜矿床
第三节　　山西灵丘县刁泉铜金矿床
第四节　　内蒙古林西县大井锡铜多金属矿床
第六章　　热液型铜矿床
第一节　　吉林珲春小西南岔铜金矿床
第二节江西东乡县枫林铜多金属矿床
第三节　　山东福山县王家庄铜矿床
第四节　　广东曲江县大宝山铜多金属矿床
第五节　　山西绛县凉水泉铜矿床
第六节　　内蒙古突泉莲花山铜银矿床
第七节　　浙江建德县岭后铜矿床
第八节　　台湾金瓜石金铜矿床
第九节青海兴海县铜峪沟铜矿床
第十节广西武鸣县两江铜矿床
第七章海相沉积型铜矿床
第一节云南东川市落雪铜矿床
第二节云南东川县汤丹铜矿床
第三节　　云南东川县稀矿山铜铁矿床
第四节　　云南易门县三家厂铜矿床
第五节云南禄丰县大美厂铜矿床
第六节云南武定县迤纳厂铜矿床
第七节　　内蒙古乌拉特后旗霍各乞铜矿床
第八节　　内蒙古乌拉特后旗炭窑口铜矿床
第九节　　内蒙古乌拉特后旗东升庙铜矿床
第八章陆相沉积铜矿床
第一节　　云南大姚县六苴含铜砂岩矿床
第二节　　云南大姚县老青山铜矿床
第三节云南牟定县郝家河铜矿床
第四节　　湖南麻阳县九曲湾铜矿床
第五节　　四川会理县鹿厂铜矿床
第六节　　云南兰坪县金满铜矿床
第九章受变质型铜矿床
第一节辽宁清原县红透山块状硫化物铜－锌矿床
第二节　　山西垣曲县胡家峪铜矿床
第三节山西闻喜县篦子沟铜矿床
第四节　　云南新平县大红山铜铁矿床
第五节　　四川九龙县李伍铜矿床
第六节甘肃嘉峪关桦树沟铜矿床
第十章　　与表生作用有关的铜矿床
第一节　　广东阳春县石录铜矿床
第三篇　　中国铜矿床成矿规律的探讨
第一章　　中国铜矿床的时空分布规律

第二章　　中国铜矿床与岩浆岩的关系
第三章　　中国铜矿床与构造的关系
第四章铜矿床的成矿与地层的关系
第四篇　　中国铜矿找矿方向
第一章铜矿成矿区带的划分
第二章铜矿找矿方向探讨
第三章铜矿找矿途径
主要参考文献