谨将此书献给第三十届国际地质大会

009

中国伴生金矿床

丁俊华　许文渊　吴厚泽　著

地质出版社

中国伴生金矿床

地质出版社

·北　京·

内 容 提 要

本书系统论述了中国伴生金矿床的类型划分，时－空分布规律及成矿物质来源与成矿机制，探索了扩大金资源，开展外围找矿的新途径；同时，提出了伴生金矿床的综合经济评价方法，并详细阐述了伴生金的赋存状态及工艺性质，提供了15个不同类型的典型矿床伴生金赋存状态的范例。

该书适合找矿勘探人员、矿山技术人员、地质科研工作者及地质院校师生阅读。

图书在版编目（CIP）数据

中国伴生金矿床/丁俊华等著。－北京：地质出版社，1996. 5
ISBN 7－116－01910－3

Ⅰ. 中… Ⅱ. 丁… Ⅲ. 金矿床－伴生矿物－中国 Ⅳ. P618. 510. 62

中国版本图书馆CIP数据核字（95）第08324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：叶 丹

* *

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：17.75 铜版图：4页 字数：425000

1996年5月北京第一版·1996年5月北京第一次印刷

印数：1－1000册 定价：30.00元

ISBN 7－116－01910－3

P·1486

目　　录

前　言

第一章　绪论 …… 1

第一节　伴生金及伴生金矿床的涵义 …… 1

第二节　伴生金在黄金资源中的地位 …… 3

第二章　伴生金矿床的类型 …… 9

第一节　概述 …… 9

第二节　伴生金矿床的成因类型 …… 9

第三节　伴生金矿床的工业类型 …… 13

第四节　值得重视的一些新类型 …… 16

第三章　伴生金矿床的成矿域、区、带 …… 18

第一节　概述 …… 18

第二节　伴生金矿床的成矿域、区、带 …… 18

滨太平洋成矿域 …… 19

古亚洲成矿域 …… 31

特提斯－喜马拉雅成矿域 …… 35

晋陕川黔（过渡区）成矿域 …… 38

第三节　成矿带的主次分类 …… 40

第四章　伴生金矿床的时－空分布规律 …… 42

第一节　不同大地构造单元中伴生金矿床的分布特征 …… 42

第二节　大地构造单元对伴生金矿床类型的制约作用 …… 46

第三节　深大断裂的区域性控矿作用 …… 48

第四节　岩浆活动的控矿作用 …… 61

第五节　地层的控矿作用 …… 66

第六节　伴生金矿床的成矿时代 …… 67

第七节　伴生金矿床的时－空制约关系 …… 70

第八节　伴生金矿床和单一金矿床的综合对比 …… 72

第五章　伴生金矿床的赋存特征与成矿条件 …… 78

第一节　伴生金矿床（田）的构造控矿特征 …… 78

第二节　伴生金矿床的围岩控矿特征 …… 79

第三节　成矿岩体的岩石化学特征 …… 87

第四节　伴生金矿床的同位素特征 …… 98

第五节　伴生金矿床的元素组合特征 …… 102

第六节　伴生金矿床的矿物组合特征 …… 110

第七节　伴生金在不同成矿期次中的矿化特征 …… 115

第六章　伴生金的赋存状态及工艺性质 …… 118

第一节　概述 …… 118

第二节　矿物态金 …… 119

第三节　分散金 …… 122
第四节　伴生金矿床中矿物金和分散金的比例 …… 125
第五节　伴生金矿床中自然金的成色特征 …… 125
第六节　伴生金矿床中自然金的粒度分布特征 …… 135
第七节　伴生金矿床中载金矿物含金性特征 …… 142
第八节　伴生金矿床中自然金嵌布特征 …… 150
第九节　伴生金矿床中金的配分 …… 153
第十节　矿石中金的单体解离度测定 …… 160
第十一节　金在矿体中的分布规律 …… 162
第十二节　金的赋存状态和工艺矿物学研究在生产实践中的意义 …… 170
第七章　伴生金物质来源与成矿机理 …… 175
第一节　伴生金物质来源 …… 175
第二节　成矿物质从岩浆中分离过程 …… 177
第三节　金的迁移形式 …… 178
第四节　伴生金的沉淀富集 …… 182
第八章　伴生金矿床的四个“三位一体”成矿方式——矿床外围找金探索 …… 191
第一节　控矿因素上的三位一体特征 …… 191
第二节　矿床类型上的三位一体特征 …… 195
第三节　伴生金矿化分带上的三位一体特征 …… 200
第四节　矿种组合上的三位一体特征 …… 202
第九章　伴生金矿床的综合经济评价 …… 205
第一节　生产矿山各回收组分的等值转换 …… 205
第二节　伴生金矿床的经济类型初探 …… 212
第三节　生产矿山综合经济指标初探 …… 215
第四节　扩大金资源开展表外矿石和含矿围岩的综合评价 …… 218
第五节　尾矿库中尾矿的综合评价 …… 221
第十章　典型矿床的伴生金赋存状态 …… 223
第一节　岩浆岩型矿床 …… 223
一、甘肃金川铜－镍矿 …… 223
二、新疆喀拉通克铜－镍矿 …… 224
第二节　矽卡岩型矿床 …… 227
一、湖北大冶铜录山铜矿 …… 227
二、安徽铜陵狮子山铜矿 …… 232
三、安徽滁州琅琊山铜矿 …… 236
第三节　岩浆热液型矿床 …… 239
一、湖南水口山矿田鸭公塘铅－锌－铜矿 …… 239
二、安徽铜陵天鹅抱蛋山硫－金矿 …… 242
第四节　斑岩型矿床 …… 246
江西德兴铜厂铜矿 …… 246
第五节　陆相火山岩型矿床 …… 249

江西银山铅－锌矿 …… 249
第六节　海相火山岩型矿床 …… 252
一、甘肃白银小铁山多金属矿 …… 252
二、内蒙古四子王旗白乃庙铜矿 …… 254
第七节　沉积改造型矿床 …… 255
南京栖霞山铅－锌矿 …… 255
第八节　沉积（火山）变质型矿床 …… 256
一、湖南溆浦龙王江锑－金矿 …… 256
二、山西篦子沟铜矿 …… 262
第九节　铁帽型矿床 …… 264
安徽铜陵长山头铁－金矿 …… 264
英文摘要 …… 268
主要参考文献 …… 269
图版及其说明 …… 270

Contents

Preface

Chapter 1 Introduction …… 1

1—1 Implications of associated gold and auriferous deposits …… 1

1—2 Importance of associated gold in gold resources …… 3

Chapter 2 Types of auriferous deposits …… 9

2—1 Brief introduction …… 9

2—2 Genetic types of auriferous deposits …… 9

2—3 Commercial types of auriferous deposits …… 13

2—4 Some new types …… 16

Chapter 3 Metallogenic domain, province and belt of auriferous deposits …… 18

3—1 Brief introduction …… 18

3—2 Metallogenic domain, province and belt of auriferous deposits …… 18

Circum-Pacific metallogenic domain …… 19

Paleo-Asiatic metallogenic domain …… 31

Tethys-Himalaya metallogenic domain …… 35

Metallogenic domain in transitional area of central China …… 38

3—3 Division of major and secondary metallogenic belts …… 40

Chapter 4 Time and space distribution of auriferous deposits …… 42

4—1 Distribution of auriferous deposits in various tectonic units …… 42

4—2 Controlling of tectonic units to types of auriferous deposits …… 46

4—3 Regional ore-controlling process by deep-seated faults …… 48

4—4 Ore-controlling process by magmatic activity …… 61

4—5 Ore-controlling process by strata …… 66

4—6 Metallogenitic epochs of auriferous deposits …… 67

4—7 Time-space constraint relationships of auriferous deposits …… 70

4—8 Comprehensive comparison between auriferous and unitary gold deposits …… 72

Chapter 5 Occurrence mode and ore-forming condition of auriferous deposits …… 78

5—1 Ore-controlling characters of auriferous deposits (fields) by structure …… 78

5—2 Ore-controlling characters of auriferous deposits by host rocks …… 79

5—3 Petrochemistry of ore-forming intrusions …… 87

5—4 Isotopic characters of auriferous deposits …… 98

5—5 Characters of element association in auriferous deposits …… 102

5—6 Characters of mineral assemblage in deposits …… 110

5—7 Mineralization of associated gold in various metallogenic stages ····· 115
Chapter 6 Existential forms and technological property of associated gold ····· 118
6—1 Brief Introduction ····· 118
6—2 Gold in mineral state ····· 119
6—3 Scattered gold ····· 122
6—4 Ratio of gold in mineral state and scattered gold in auriferous deposits ··· 125
6—5 Purity of native gold in auriferous deposits ····· 125
6—6 Grain size of native gold in auriferous deposits ····· 135
6—7 Gold content of gold-carrying minerals in auriferous deposits ····· 142
6—8 Characters of embedment of native gold in auriferous deposits ····· 150
6—9 Partitioning of gold in ores ····· 153
6—10 Measurement of dissociation degree of gold in ores ····· 160
6—11 Distribution of gold in ores ····· 162
6—12 Significance of studying on existential forms and technological mineralogy of gold for production ····· 170
Chapter 7 Material sources and ore-forming mechanism of associated gold ····· 175
7—1 Material sources of associated gold ····· 175
7—2 Separating process of ore-forming material from magma ····· 177
7—3 Migrating form of gold ····· 178
7—4 Sediment and enrichment of associated gold ····· 182
Chapter 8 Four aspects of "trinity" character in the metallogenesis of auriferous deposits——gold prospecting in the surrounding area of the deposits ····· 191
8—1 "Trinity" character in ore-controlling factors ····· 191
8—2 "Trinity" character in ore deposit types ····· 195
8—3 "Trinity" character in zoning of mineralization of associated gold ····· 200
8—4 "Trinity" character in mineral associations ····· 202
Chapter 9 Comprehensive economic evaluation of auriferous deposits ····· 205
9—1 Equal value transformation various recovered components in the producing mine ····· 205
9—2 Preliminary approaching to economic types of auriferous deposits ····· 212
9—3 Preliminary approaching to comprehensive economic index in producing mine ····· 215
9—4 Expansion of gold resources and development of comprehensive evaluation on substandard ores and ore-bearing country rocks ····· 218
9—5 Comprehensive evaluation on tailings in tailings reservoir ····· 221
Chapter 10 Occurrence modes of associated gold in typical deposits ····· 223
10—1 Magmatic deposits ····· 223
10—1—1 Jinchuan Cu-Ni deposit in Gansu ····· 223

10—1—2 Kalatongk Cu-Ni deposit in Xinjiang ····· 224
10—2 Skarn deposits ····· 227
10—2—1 Tonglushan Cu deposit in Daye, Hubei ····· 227
10—2—2 Shizishan Cu deposit in Tonglin, Anhui ····· 232
10—2—3 Langyashan Cu deposit in Chuzhou, Anhui ····· 236
10—3 Magmatic hydrothermal deposits ····· 239
10—3—1 Yagongtang Pb—Zn—Cu deposit in Shuikoushan, Hunan ····· 239
10—3—2 Tianerbaodanshan S—Au deposit in tonglin, Anhui ····· 242
10—4 Porphyry deposits ····· 246
Tongchang Cu deposit in Dexin, Jiangxi ····· 246
10—5 Volcanogenic deposits of continental facies ····· 249
Yinshan Pb—Zn deposit in Jiangxi ····· 249
10—6 Volcanogenic deposits of marine facies ····· 252
10—6—1 Xiaotieshan Polymetallic ore deposit in Baiying, Ganshu ····· 252
10—6—2 Bainaimiao Cu deposit in Siziwangqi, Inner Mongolia ····· 254
10—7 Sedimentary-reforming deposits ····· 255
Qixiashan Pb—Zn deposit of Nanjing ····· 255
10—8 Sedimentary (volcanic) metomorphic deposits ····· 256
10—8—1 Longwangjiang Sb—Au deposit, Xupu, Hunan ····· 256
10—8—2 Bizigou Cu deposit in Shanxi ····· 262
10—9 Gossan-type deposits ····· 264
Changshantou Fe—Au deposit in Tonglin, Anhui ····· 264
English abstract ····· 268
References ····· 269
plates and explanations ····· 270

第一章 绪 论

黄金是人类最熟悉、最珍贵的少数几种金属之一。占有黄金就意味着占有财富。五千年来人类一直对它孜孜以求，目前仍远远没有达到止境。人类为了找金已踏遍了地球上每一角落，历史上不少重大事件，如哥伦布发现美洲，美国西部的开发，无数早期的殖民战争，都与黄金有着千丝万缕的关系。而地质工作者更为此跋涉大漠戈壁、荒山野岭，历尽惊涛骇浪、酷暑严寒。实验室里，显微镜旁，更是“衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴”。话虽如此，但迄今为止，金本身性质和金矿床（两者存在着密切的因果关系）仍都存在着不少令人困惑的迷雾：金是地壳中分布最少的十个元素之一，其他九个都是默默无闻，但金却是世界上最引人重视、为之付出劳动最多的矿种；金是最分散的金属，但自然界却是最易达到高富集比的金属，金工业开采所要求的富集比，高达1000倍以上，相比之下铁只有7倍，风云一时的铀也仅200倍而已；金的化学性质最稳定，但金在成矿过程中的地球化学行为却很灵活，金的矿床类型也很复杂，在各式各样矿种中都存在着金的足迹；金的“成矿集中率”在各矿种中最高，以全球而言，小小南非兰德盆地中金矿床储量即占全球总储量的47.0%，但金矿床分布也最广泛，从太古代到新生代，从地台到地槽，从稳定的板块核部到活跃的缝合线上都有不容忽视的金矿床分布；金既是世界上矿床数最多的矿种，又是其他矿床中最常见的具有重要经济价值的伴生组分。研究这些高度分散又易富集的金的成矿规律，扩大其储量，合理利用，是广大地质工作者迫切的任务。

第一节 伴生金及伴生金矿床的涵义

（一）关于金矿床的分类

金及含金的矿床，以其产状分类，可分为岩金矿床、砂金矿床和伴（共）生金矿床。以工业类型划分可分为单一金矿床、共生金矿床和伴生金矿床。本书以地质因素、技术因素和经济因素为划分原则，将金矿床划出三种类型，其涵义表述如下：

1. 单一金矿床（岩金矿床与砂金矿床）

矿床中金为唯一或主要组分，其他组分仅供综合回收，其矿体的圈定严格按岩金规范要求进行。

2. 共生金矿床

矿床中金和非金组分都达一定工业指标，能以金为主或金与主金属并重的方式回收，并有可能生产金精矿的矿床。

根据金的品位和当前可利用情况，又可分为两个亚类：

①低品位共生金矿床：金品位1×10^{-6}—3×10^{-6}、能以金与主金属并重的方式回收、部分可生产金精矿的矿床。

②高品位共生金矿床：金品位在3×10^{-6}以上，在当前技术经济条件下，能以金为主的方式回收，能生产金精矿的矿床。

3. 伴生金矿床

矿床中金是次要组分，品位达不到工业要求，不具单独回收价值，仅在回收主产品时，作为副产品综合回收。

4. 伴（共）生金矿床

为应用方便，习惯把共生金矿床和伴生金矿床合称为伴（共）生金矿床，或广义地简称为伴生金矿床。本书所涉及矿床即包括共生金矿床和伴生金矿床。

（二）共生金矿床与伴生金矿床的判别标志

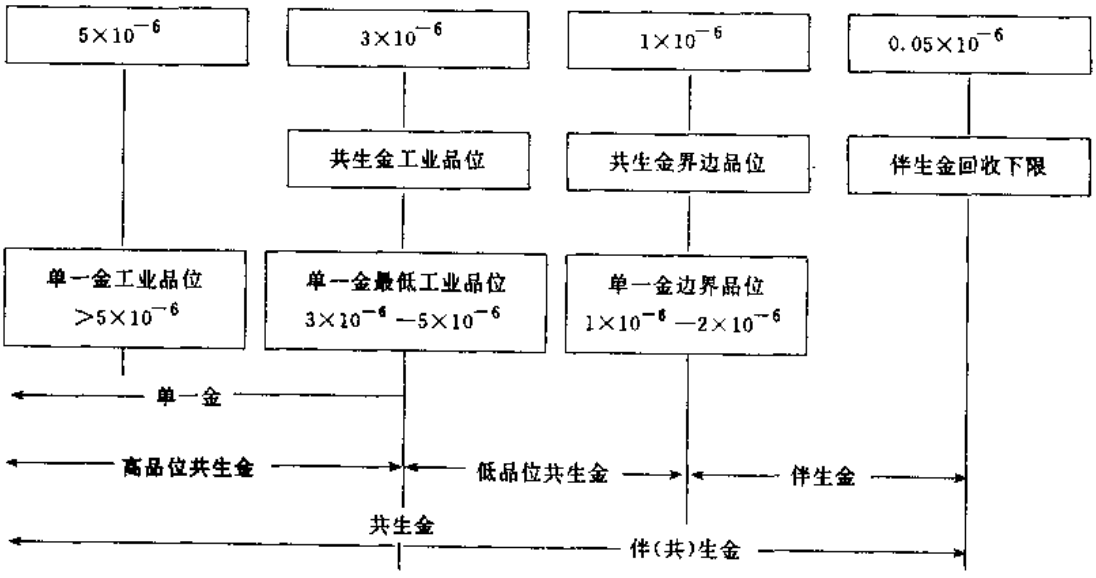
为便于金的综合勘探、综合评价和综合利用，将共生金矿床单独划出并进行重点研究，具有重要意义。它在伴（共）生金矿床中占有重要的位置，其矿床数和储量数都在1/4左右。因而将共生金矿床单独划出有利于提高勘探质量，提高金回收率并指导找矿。

共生金矿床与单一金矿床的最大差异是它具有可供综合评价的其他组分，与伴生金矿床（狭义）的最大差异是它具有以金为主或金与主金属并重，能生产金精矿的经济条件。下述的判别标志即以此为基础。

1. 品位标志

是判别共生金和伴生金最直观的标志，尤其是在地质勘探阶段。表1—1列出了单一金、共生金和伴生金品位界限，说明如下：

表1—1　单一金、共生金、伴生金品位界限



①将单一金矿床的边界品位1×10^{-6}作为共生金和伴生金界限。根据是：a.《岩金地质勘探规范》规定金的边界品位1×10^{-6}—2×10^{-6}，我们取1×10^{-6}作界限是因为共生金可供综合评价，而且随着国家对黄金需求量增加，实际上这一边界品位已被广泛采用；b. 国家储委试行方案规定“伴生金平均含量1×10^{-6}的，可按主元素评价”；c. 按1993年9月国家现行价格估计，矿石中1×10^{-6}金与0.6%铜等值。已略超铜的工业品位。因此，当矿床中$Au>1\times10^{-6}$时，就应按共生金进行综合评价。

②由于共生金品位变化较大，宜采用“二项品位指标体系”，即边界品位和工业品位。以单一金矿的边界品位作为区分共生金和伴生金的界限；以金的工业品位作为区分“低品位共生金”和“高品位共生金”界限。

③确定伴生金综合回收品位下限为 0.05×10^{-6}，是根据金在主金属精矿中是否具有经济价值而定。例如铜矿床，按规定，铜精矿金达 1×10^{-6}以上计价，而我国中条山铜矿峪、上海张捻铜矿，其金品位都只 0.05×10^{-6}—0.06×10^{-6}，但其铜精砂含金皆达到了 1.4×10^{-6}。这二个铜矿床是目前收集到的含金最低又能达到计价要求的伴生金矿床。为此取 0.05×10^{-6}为伴生金的回收下限品位。它相当于地壳克拉克值富集 10 倍，也就是说，凡含金在 0.05×10^{-6}以下的矿床，由于当前或今后相当长一段时间，难以综合回收或成本太高、回收不合算，对矿山目前尚无经济意义。

国家储委关于伴生金的试行方案中也规定金品位要求为 0.05×10^{-6}—0.2×10^{-6}，并指出，当 $Au>0.4\times10^{-6}$时可参与综合工业指标的计算，并综合圈定矿体（国储［1988］171 号文：“发送《矿产综合勘查综合评价研究报告》鉴定证书的函”），我们的判别下限与其一致。

2. 具有一定的储量规模：共生金矿床存在两种情况，一是全矿金品位$>1\times10^{-6}$，此无需细述；一是部分矿块（段）金品位$>1\times10^{-6}$。对于后者，则必需达到一定储量，具一定规模。因为共生金均与 Cu、Pb、Zn、S 共生，矿山可充分利用现有生产流程，同时具有成本分摊等优点。本着充分利用资源和有利可图原则，储量规模的要求应以分采分选所需最小资源量为标准，可低于小型规模。一般而言，高品位而又具一定规模的共生金矿块（段），如能分采分选，经济效益相当高。

3. 具有可采用以金为主或金与主金属并重，并有可能生产金精矿的生产条件：对于高品位共生金矿床，或金的价值大于其他金属的矿床，当前国内以金为主的回收工艺，多数是在浮选作业中直接生产金精矿或金混合精矿；或优先浮金，同时生产金精矿和铜精矿；或以选冶联合流程回收（如金－硫矿床）。对于低品位共生金矿床，即其价值低于其他金属的矿床，应以金与主金属并重的回收工艺，部分矿山可生产金精矿，如铜绿山矿（$Au1.15\times10^{-6}$、Cu1.78%）。这些工艺一般均现实可行。

4. 具有较大的经济价值：根据定义，金在共生金矿床中必须是主金属之一，判别是否为主金属，可通过计算矿床中各组分的经济价值来确定（见第十章）。根据当前金与有色金属价格计算，低品位共生金的价值大致为其他主金属的 50%－100%；高品位共生金的价值大致超过主金属价值。

总之，共生金的判别应在动态中进行，它具有阶段性、综合性特点，不应单凭某个指标轻易确定，更不宜用单一金矿的规范来评价。而应根据金与其他组分的价值比，根据全矿总的资源条件来确定，其最终目的是最大限度地利用矿山资源，提高经济效益。

第二节　伴生金在黄金资源中的地位

（一）我国伴生金资源概况

我国黄金储量占世界第四位（包括 D 级），可谓黄金大国。资源的最大特征是伴生金的储量比率很高，为 33.5%（表 1－2）。而全世界伴生金的储量只占 14.1%。以具体矿床而

言，我国12个最大的、金储量超过50t的矿床中，伴生金矿床就占了7个，而且第一、三、四、五位储量的矿床都是伴生金矿床。

表1—2　我国各类黄金资源储量比率（%）

类　型	1974年前	1980年底	1985年底	1988年底	1990年底
岩　金	46.90	43.5	44.2	44.8	52.0
砂　金	9.5	10.9	12.1	14.1	14.5
伴生金	43.6	45.6	44.2	41.1	33.5

表1—3　我国各省黄金资源的储量比和位次

地　区	岩金储量		砂金储量		伴生金储量		总金储量	
	储量比（%）	位次	储量比（%）	位次	储量比（%）	位次	储量比（%）	位次
北京	0.25	21	-	—	-	-	0.13	24
天津	0.02	23	—	-		-	0.01	27
河北	7.40	3	1.37	12	0.03	23	4.06	9
山西	1.20	14	0.12	20	4.18	8	2.04	16
内蒙古	4.28	7	4.87	6	1.45	12	3.42	12
辽宁	5.11	5	2.52	10	0.76	15	3.28	14
吉林	7.16	4	5.01	5	2.99	9	5.45	6
黑龙江	3.15	10	35.38	1	5.48	6	8.61	3
上海	—	-	—	-	—	—	--	—
江苏		--	--	--	2.05	10	0.69	22
浙江	1.42	16	—	—	0.36	18	0.87	20
安徽	1.93	14	0.53	17	9.36	3	4.22	8
福建	0.02	23	—	—	0.31	20	0.11	25
江西	3.11	11	5.13	4	36.40	1	14.55	2
山东	28.93	1	2.53	9	1.01	14	15.75	1
河南	11.83	2	1.34	13	0.40	17	6.34	4
湖北	3.51	9	0.79	15	11.05	2	5.64	5
湖南	4.15	8	0.52	19	7.21	5	4.65	7
广东	3.09	12	1.33	14	0.34	19	1.91	17
广西	1.33	15	1.62	11	0.31	20	1.03	19
海南	0.91	19	—	—	-	—	0.48	23
四川	0.72	20	18.35	2	1.05	13	3.39	13
贵州	2.17	12	—	—	0.18	21	1.19	18
云南	1.53	14	0.77	16	1.75	11	1.50	17
西藏	—	-	0.65	18	--	—	0.09	26
陕西	4.56	6	8.64	3	0.08	22	3.65	11
甘肃	1.11	17	4.37	7	7.89	4	3.85	10
青海	0.05	22	3.35	8	5.10	7	2.22	15
宁夏	0.02	23	—	—	-	—	0.01	27
新疆	1.04	18	0.68	17	0.66	16	0.86	21

据1990年全国储量平衡表统计。

我国伴生金资源分省概况：表1—3所列为各省三类金矿床储量比和名次，从中可看出：

1. 各省伴生金分布不平衡。江西、湖北、安徽、甘肃、黑龙江5省占伴生金储量的73.58%，加上青海、湖南、山西、云南、江苏共十省即高达91.75%；

2. 伴生金和单一金矿床（岩金+砂金）在前五省中没有一省重复，前十省中只有两省重复（吉林、黑龙江）。说明两类金的分布规律并不相同；

3. 伴生金储量占首位的江西和岩金储量占首位的山东，两者总金储量相当接近，分别占全国储量第二和第一位。

当然，上述统计不免受工作程度的影响，如表中无伴生金省份的河北、宁夏、海南、西藏，实际上是存在伴生金的。

有色金属矿山的伴生金，在我国黄金的储量和生产中占有很重要的地位，其储量占伴生金的91%，其余9%是与以Fe为主但与Cu共生的矽卡岩Fe（Cu）矿床有关。其产量，自建国以来，平均约占总产量的25.3%。

（二）国内外伴生金资源对比

国外伴生金矿床资料比较零星。为了概括了解国外情况以作借鉴，我们收集了世界主要产金国的有关伴生金资料和131个重要伴生金矿床地质资料，进行归纳分类，列表综合，在131个矿床中，只有47个有伴生金储量数据，其合计储量为3690.35t，占全球伴生金总储量的66%，下列表1—4，1—5，1—6，1—7，即是全球2/3伴生金储量的矿床统计结果。据此与国内伴生金矿床对比如下：

1. 伴生金比例对比

我国伴生金储量占全国总储量的33.5%（至1990年底），比世界平均数14.1%高。国外伴生金主要集中在美国、巴布亚新几内亚、原苏联、澳大利亚、菲律宾和加拿大，世界前十名黄金储量和黄金生产大国中，除南非伴生金资源很少外，其他各国其储量和产量都很可观（见表1—5）。

2. 成因类型对比

除斑岩型国内外都很重要以外，中国以矽卡岩型为主，而国外则是沉积改造型占第二位，火山岩型在国内外都是第三位。类型对比见表1—7和表2—1。

3. 成矿时代对比

伴生金成矿时代国外元古代远比中国重要。中、新生代国内外都重要，但中国集中于中生代，国外偏于新生代。对比见表4—7、表4—8和图4—13、图4—14。

4. 物质来源与成矿作用对比

大量研究表明，国内外内生伴生金矿的物质主要来自下地壳上地幔。主要成矿作用是岩浆作用。这在国内外都是一致的，但国外壳源型的外生伴生金显然要高得多。

5. 在大地构造单元上分布对比

将中国伴生金矿床与全球大地构造格局统一起来考虑，以便探讨国内外伴生金的内在联系。大量资料表明：包括中国在内，全世界主要伴生金矿床普遍受三大成矿域控制。首先，最重要的是环太平洋成矿域，它分成东带和西带。东带主要分布在北南美洲西海岸，北起阿拉斯加，南至智利南部，分布着大量斑岩型和火山岩型伴生金矿床。西带主要分布在亚洲大陆东部及其岛弧——又可分成两个亚带：内亚带属岛弧亚带，北起堪察加，经日本、菲律宾、巴布亚新几内亚、所罗门群岛至澳大利亚东海岸，该亚带南段出现一系列斑岩型

表 1—4　国外各矿种的伴生金比例

矿　种	矿床数	矿床数比（%）	储量（t）	储量比（%）
铜　矿	34	73.43	3468.09	93.98
铅锌矿	12	25.53	216.76	5.87
锑汞矿	1	2.13	5.5	0.15
合　计	47	100.00	3690.35	100.00

注：不包含中国。

表 1—5　国外主要产金国三类金矿床储量比

国　家	占世界金储量（%）	世界名次	三类金储量比（%）			伴生金位　次	伴生金品位（10^{-6}）
			伴生金	岩　金	砂　金		
南　非	59.4	1	<0.2	99.8	--		—
美　国	6.2	3	25	70	5	1	0.1—1.5
加拿大	3.3	4	27	72	1	5	0.3—2.5
巴　西	1.8	5	—	30	70	—	0.1—0.5
澳大利亚	1.8	5	70	29	1	3	0.1—2.5
巴布亚新几内亚	1.7	6	78	20	2	2	0.5—2.85
菲律宾	1.4	7	75	25	—	4	—

注：不包含中国、原苏联。

表 1—6　国外主要产金国三类金矿床产量比

国　家	世界金产量位　次	产量百分比（%）		
		伴生金	砂金	岩金
南　非	1	0		100
原苏联	2	10	60	30
加拿大	3	35	—	65
菲律宾	7	45	35	20
巴布亚新几内亚	6	100	0	0
美　国	4	40	60	

注：不包含中国。

表 1—7　国外各类型伴生金矿床比例

类　型	矿床数	矿床数比（%）	储　量（t）	储量比（%）
斑岩型	19	40.43	1568.84	42.51
火山岩型	20	42.55	853.92	23.14
岩浆热液型	5	10.64	49.11	1.33
沉积（改造）型	3	6.38	1218.46	33.02
合　计	47	100.00	3690.35	100.00

注：不包含中国。

伴生金矿床，规模巨大；北段以黑矿为主（如日本），伴生银增多，金减少。外亚带为欧亚大陆东部，北起俄罗斯楚科留半岛，经中国东北、华北、长江中下游至华南地区，中国燕山期大量斑岩型和矽卡岩型伴生金矿床分布于该亚带，是我国伴生金最主要集中区。其次是古亚洲成矿域，西起乌兹别克，进入中国北疆、蒙古、中国黑龙江，东至俄罗斯远东地区，形成了一系列海西期斑岩型铜钼伴生金矿床，一般金品位较低，我国多宝山斑岩型伴生金矿床位于此带。第三是特提斯-喜马拉雅成矿域，西起西班牙，经地中海北岸、中亚，东至中国西藏向东南方向折转经川滇西部伸入缅甸，这一成矿域形成了一些斑岩型、火山岩型伴生金矿床，如南斯拉夫、罗马尼亚、伊朗、我国玉龙等斑岩型矿床，包括由藏东向东南转折形成了我国西南新生代斑岩型矿床和铅锌矿床。

三大成矿域控制着全球性伴生金分布，而区域性分布及成因类型又受次一级构造和岩浆活动控制，使得全球伴生金大部分都分布在地台上，主要是北美地台、澳大利亚地台、中国地台、西伯利亚地台等。

综上对比认为，中国伴生金矿床与国外一样均受全球性三大断裂控制，所不同的是：①成因类型上矽卡岩型很重要，而国外新发现的沉积改造型的奥林匹克坝矿和风化壳红土型佩斯矿中国却未发现；②成矿时代上，中国伴生金集中于燕山旋回，而国外集中于新生代。这些特点在思考伴生金找矿问题上应予以重视。③国外发现很多斑岩体系外围金矿床，国内很少见，这很值得借鉴。

但无论是国内还是国外，在三类金矿床中，自19世纪起，生产重心已由砂金向岩金转移。可以预计，随着科学技术和生产工艺的发展，未来黄金生产的重心将向伴生金转移。其中一些发达国家，此种转移进展很快，如美国伴生金储量只占25%，但产量却占40%，加拿大和巴布亚新几内亚也是如此。总之伴生金在黄金资源和生产中地位正在日益提高，这是世界上一些发达国家的共同趋势，我国也不例外。

（三）我国伴生金利用概况

我国古代黄金的使用，有实物可考的距今已3700年左右（商代早期）。至于伴生金的开发利用的时间早已在历史尘埃中湮没无闻了，只能从一些断简残编中拼凑出一个大致轮廓：在战国时期（公元前475—221年），楚地号称多金，是最著名的产金诸侯国。当时已生产称为“郢爰”（Ying Yuan）的金币。但昔日楚国即现湖北及部分湖南、河南、江西、安徽，迄今未见可观的砂金，所以其黄金来源可能是当时全国最大的产铜基地——大冶铜录山和铜陵。此外，成书于战国名为“管子”的一书中写道：“上有丹砂者❶，下有黄金；上有磁石者，下有铜金”，这与铜录山矽卡岩型铜铁矿床和铁帽型伴生金矿床的产状特征极其相似。同时“禹贡”中也有“荆州贡金三品”（指金、银、铜）的记载。上述推断如属实，则伴生金的开发利用已有2200—2400年历史，可谓源远流长。

解放后，我国伴生金矿床的开发利用取得了明显的经济效益。建国以来，我国每年黄金产量约有1/4来自伴生金；“七五”期间伴生金的产量平均每年递增8.4%，大大地提高了矿山的资源价值和经济效益。不少矿山伴生金、银的产值可观，表1—8所列为部分矿山Au、Ag产值比，其中最高为银山矿，占32.8%。又如江西德兴斑岩铜矿，单靠回收品位为0.2×10^{-6}的伴生金，就可支付全矿职工的工资。

---

❶ 丹砂指氧化铁和氢氧化铁。

在矿种利用上比较集中，主要利用的是铜矿床，包括铜一镍矿床，铜一铁矿床；其次是铅一锌矿床和铜--铅--锌矿床。在回收方式上，绝大多数都是通过浮选，随主金属进入精矿，很少生产金精矿。

表 1—8　部分矿山金银经济效益

矿山名称	金银产值/矿山总产值（%）	矿山名称	金银产值/矿山总产值（%）
赤马山矿	25.0	银山矿	32.8
青城子矿	16.0	武山矿	14.2
德兴矿	20.0	红透山矿	10.6

第二章　伴生金矿床的类型

第一节　概　　述

伴生金矿床就是含金矿床，这一名称具有特定的含义。因为在此类矿床中，金只是一种伴（共）生组分，矿床中尚有其他主要组分存在。在各种各类矿床中，把含金矿床提取出来，冠以特定的名称“伴生金矿床”，目的是为了提高本类矿床的重要性，并有利于伴生金的生产回收。从矿床学角度观之，可把伴生金看成是一类特定金属矿床的标型元素。凡是含金矿床，它的成矿条件、物质来源、区域分布格局等方面均具有鲜明的共性，把其作为一个整体加以系统研究，实有必要。

因为伴生金矿床包括广泛，几乎包括了所有成因类型，也几乎包括了全部矿种。所以分类相当复杂。我们的分类原则是：

①切合实际，简单明了，便于总结规律，便于归类入座；

②对于类型有不同看法的矿床，根据本书观点归类，如将天鹅抱蛋山归入岩浆热液矿床；

③对于存在多种成因类型的矿床，按主要类型归类，如将城门山矿、丰山矿归入砂卡岩型矿床。

第二节　伴生金矿床的成因类型

此类矿床是一种或多种有用组分的富集体，它是各种成矿作用引起地质体中有用组分的活化－迁移－富集而成的。所以，成矿作用和物质来源是矿床分类的基础。本书的分类是以成矿作用为主，同时兼顾物质来源的分类。为此，将伴生金矿床划分为四大成矿作用和 3 个成矿系列，计 10 个成因类型。详细分类列于表 2－1，其特征按成矿作用和类型简单加以论述。

（一）岩浆作用形成的伴生金矿床

为了与火山作用形成的矿床有一明确界线，应更确切地称为“侵入岩浆作用”。而且岩浆作用也是广义的，既包括深成岩和浅成岩，也包括岩浆期和期后成矿作用所形成的矿床。

1. 岩浆热液型伴生金矿床

与伴生金关系最大的主要是岩浆熔离型铜镍矿床。世界著名的、与辉长岩有关的加拿大肖德贝里、美国顿卡河（Dunka River）、原苏联诺里尔斯克（Norolsk）是本类型中三个最大的矿床。另外，与基性—超基性杂岩有关的岩浆矿床，如南非帕拉特拉（Palabora）铜多金属矿、津巴布韦的恩普里斯（Empress）铜镍矿等也都含一定量的金。我国金川铜镍矿

表 2-1 伴生金矿床成因类型表

成矿作用	成矿系列	矿床类型	金品位范围	规模	伴生金储量占有率（%）	实例
岩浆作用	幔源系列	岩浆岩型	0.1—0.5	特大、小	8.4	金川、德尔尼、小南山、黄花滩、朱布、豌厂
	壳-幔源系列	矽卡岩型	0.3—1.00	特大、大、中小	29.4	武山、铜录山、丰山、凤凰山、狮子山、九华山、琅琊山
		斑岩型	0.1—2.0	特大、大、小	28.9	铜厂、富家坞、朱砂红、玉龙、雪鸡坪、多宝山
		岩浆热液型	0.2—3.0	特大、大、小	7.5	水口山、马山、天鹅抱蛋山、康家湾、七宝山
		陆相火山岩型	0.1—4.0	特大、中、小	9.0	银山、七宝山金线头
		海相火山岩型	0.4—1.0	大、中、小	7.7	白银厂、锡铁山、白玉、老厂、白乃庙
沉积作用	壳源系列	同生沉积型	—	特大	—	（奥林匹克坝）
		沉积-改造型	—	中、小	0.7	丹寨、栖霞山、石峡
变质作用		沉积（火山）变质型	3—7 0.1—0.5	特大、中、小	7.8	沃溪、篦子沟、红透山、龙王江、拉拉厂、大红山
表生作用		铁锰帽型	3.0—6.0	小	0.6	吴家、新桥、代家冲、长山头、龙王山

和红旗岭镍矿也都是典型实例。

本类伴生金矿床特点：金储量大，多属大型—特大型；品位普遍较低，0.1×10^{-6}—0.4×10^{-6}，且金品位高低与主金属铜镍成正比，与晚期硫化物多期叠加关系密切，Au/Ag 比很高。

2. 矽卡岩型伴生矿床

就全球范围而言，本类伴生金矿床所占储量不大，较著名的有：印尼的埃茨贝（Ertsberg）铁铜矿床（Au 0.75×10^{-6}，Ag 9×10^{-6}），与闪长岩有关；原苏联达利涅戈尔斯克（Dalnekorsk）多金属矿床；西班牙的卡拉（Cala）多金属矿床。但在我国，该类矿床则占有很重要的地位，伴生金储量最大，占第一位。矿床实例不胜枚举，最著名的有铜陵地区若干矿床，铜录山铜铁矿床，大冶铁山铁铜矿床，城门山铜矿等。

本类伴生金矿床特点：储量大中小型齐全；品位变化范围较大，普遍偏高，一般为 0.3×10^{-6}—1.0×10^{-6}。部分矿床或矿床中部分矿段含金较高，可达 2×10^{-6}—4×10^{-6}；Au/Ag 较高，相对低银；成矿母岩主要为中酸性的花岗闪长岩和石英闪长岩，较少闪长岩，一般与酸性花岗岩无关。

3. 斑岩型伴生金矿床

就全球范围而言，本类伴生金矿床所占储量最大，在我国亦占第二位，与矽卡岩型同为最重要的类型。全球或我国最重要的斑岩型矿床是斑岩铜矿，伴生金也几乎全部与斑岩铜矿有关。如巴布亚新几内亚的潘古纳矿（Panguna），金品位 0.81×10^{-6}，储量 450t；该国的佛里达矿（Frieda），金品位 0.22×10^{-6}—0.93×10^{-6}，储量 183t；菲律宾的圣托马斯 I 矿（Santo Tomas I），金品位 0.933×10^{-6}，储量 140t；美国的宾厄姆峡谷（Bingham

Canyan)，金品位 0.22×10^{-6}，储量 110t。我国著名的德兴铜厂、富家坞、朱砂红铜矿也是典型实例。

本类伴生金矿床的特点是：储量一般很大，多属大型、特大型矿床；金品位可分两种情况，在 Cu－Mo 型矿床中 Au 品位较低，为 0.1×10^{-6} -0.3×10^{-6}，如铜厂 0.145×10^{-6}，富家坞 0.1×10^{-6}；但在 Cu－Au 型矿床中则金品位较高，为 1×10^{-6}—3×10^{-6}，如巴布亚新几内亚的奥克太迪（Oktedi）3.1×10^{-5}，我国的小西南岔 2.33×10^{-6}。金的富集与围岩蚀变强弱成正比，斑岩中金品位一般是上高下低。

除斑岩铜矿外，其他斑岩型矿床也含一定量金，但规模明显较小。

4. 岩浆热液型伴生金矿床

本类型矿床最繁杂而不稳定，含义也较模糊。为此把火山热液型归入火山岩型，把改造、叠加矿床归入沉积－改造型。经此蚕食后，本类矿床所剩无几。较典型的实例有原苏联的阿尔马累克（Almalek）铅锌矿（Au1×10 $^{-6}$），加拿大的奥培米斯卡（Opemiska）铜矿（Au 1.58×10^{-6}），墨西哥的圣巴巴拉（Santa Barbara）铅锌矿（Au 0.68×10^{-6}）。我国则有康家湾铅锌矿（Au 3.65×10^{-6}），铜陵马山硫金矿（Au 6.63×10^{-6}），湖南铜山岭铜矿（Au 0.24×10^{-6}）等。

本类型伴生金矿床的特点是：储量一般较小，属大型者寥寥可数；金品位变化大，一般以硫铁矿中最高（Au 1×10^{-6}—2×10^{-6}），铜矿和含铜矿床次之（Au 0.3×10^{-6}—1×10^{-6}），单一铅锌矿中较低（Au $0.0n\times10^{-6}$—0.5×10^{-6}），而钨锡矿中则大致无金；矿石 Au/Ag 较低；成矿母岩一般为中酸性－中性岩体，与酸性岩体无关。

（二）火山作用形成的伴生金矿床

本类矿床对伴生金来说很重要，尤其近期以来火山活动的成矿作用已日益引人注目。所以，为生产实践需要，专列一类加以探讨总结实属必要。在本大类中并列陆相火山岩型和海相火山岩型两类。前者包括部分次火山岩矿床，但不包括斑岩矿床；后者包括寒武纪后地槽造山带火山活动所形成的矿床，而把前寒武纪矿床列入沉积（火山）变质型。另外，为便于归类，在本大类矿床和其他类型矿床之间划以明确界线，产于火山岩、火山沉积岩中伴生金矿床均归入此大类，而产于其他正常沉积岩中，虽可能与火山作用有关的伴生金矿床，则归入其他类型。这一划分虽欠严密，但实用上有此必要。

1. 陆相火山岩型伴生金矿床

本类型最重要的标志是矿体受火山机构控制。如加拿大的阿穆莱特（Amulet）矿，含 Au 1.5×10^{-6}，产于块集岩中，深部有蚀变岩筒，同国的米伦巴什（Millrnbach）矿，含 Au 0.8×10^{-6}，透镜状矿体产于安山岩中，网脉状矿体产于蚀变岩筒中，澳大利亚的恰尔莫斯（Mt Chalmers）矿，Au 1.87×10^{-6}，矿体受西山火山口控制，岩性为英安质熔岩；山东七宝山金铜矿，Au 3.31×10^{-6}，矿体赋存于一以爆发为主，兼有塌陷特征的角砾岩筒中。

本类伴生金矿床的特点是：规模多为中小型，少量大型，如银山矿；金品位一般较高，多在 0.8×10^{-6}—2×10^{-6}；矿石 Au/Ag 比相对较低，即较富银，有时银的价值可超过金；主要产于滨太平洋成矿域，属活化带同生矿床。

2. 海相火山岩型伴生金矿床

本类型最重要的标志是矿床产于褶皱基底的火山－沉积建造中，其矿化规模和强度都远超过陆相火山岩矿床。如原苏联的 Ychalensk 铜锌矿，Bleava 铜锌矿，后者金品位 1.5×

10^{-6}，储量 45t，产于石英角斑岩和细碧角斑岩相中。我国则有著名的白银厂折腰山、火焰山、小铁山矿，青海锡铁山矿，四川白玉呷村矿，内蒙古白乃庙铜矿等。火山沉积矿床为地槽造山期产物，属褶皱带型同生矿床。除太古代、元古代的火山岩矿床因经区域变质叠加改造（如红透山矿、拉拉厂矿、中条山矿）归入沉积（火山）变质矿床外，其他各构造旋回中形成矿床都归入此类。

（三）沉积－改造作用形成的伴生金矿床

本大类中包括沉积－改造型和同生沉积型。前者为地层内金经活化－迁移－富集作用而成矿，后者属狭义的沉积矿床。本类矿床对金矿来说是个很重要的类型，如著名的卡林金矿，我国的板其金矿都属此类，但对伴生金来说则很不重要。这说明单一金矿和伴生金矿成矿规律是很不同的。但是，本类矿床在我国虽寥寥可数，但在世界范围内又存在一个超大型的奥林匹克坝伴生金矿床。因此，对此类矿床不容忽视。

1. 同生沉积型伴生金矿床

国外此类矿床是举足轻重的重要类型，因为一个奥林匹克坝的伴生金储量就占全球伴生金储量的 16%。在国内，本类型伴生金微不足道。一般说，内生矿床中，Au－Cu，Au－Fe 共生关系很密切，但在外生条件下，它们之间无共生关系，如砂岩铜矿、宁乡式铁矿都不含金，但我国南方寒武系底部之碳质页岩中的某些 U－V－Ni－Mo 矿床中，含有 Au 和 Ag，因分布较广，应引起足够重视。

2. 沉积－改造矿床

本类型矿床数量亦不多。因为在本类型中已提去了与火山作用、岩浆热液作用、变质热液作用有关的矿床，所以剩下来的只是真正狭义的与地下水、地表水、卤水活动有关的矿床了。本类矿床的成矿物质来自地层本身，经上述环流的吸取--迁移－富集而成矿。在这样严格的限制条件下，在寥寥可数的矿床中，国外波兰 Lubin 铜锌矿（含伴生金）产于晚二叠世的白云岩、砂岩、页岩中，即属此类型矿床。另外，美国著名的上密西西比河谷区，密苏里东区的铅锌成矿区中，部分矿床亦含少量伴生金（如维伯纳姆矿），亦可归属本类型。

在我国，归属于“层控”的铅锌矿床中无伴生金，如全国最大的兰坪铅锌矿及桃林铅锌矿床都无金。但在沉积改造型的丹寨汞矿中已发现含较高的金，某些金铀矿床也可归入此类。典型矿床有南京栖霞山矿。

（四）沉积（火山）变质作用形成的伴生金矿床

本成矿作用形成的伴生金矿床只有一个类型，主要是指产于变质岩系，尤其是变质火山岩系，由区域变质或经区域变质作用叠加所形成的矿床。本类型矿床根据成矿作用的不同可分两个亚型，它们在物质来源、矿种、成矿条件、分布规律上均有差异，在以下各章中根据需要，有时分别讨论，有时合并讨论。

1. 火山变质（亚）型伴生金矿床

本亚类的特点是变质岩系原岩多为火山－沉积岩系，属优地槽型沉积。地层金丰度较高，矿床多沿断裂破碎带、层面、劈理面分布。其特点是金品位低，储量中小型，矿种多属铜矿，如中条山矿田、红透山矿、拉拉厂矿、云南大红山矿等。

2. 沉积变质（亚）型伴生金矿床

本亚类的特点是变质岩系原岩多为正常沉积岩（多少夹有火山物质），属冒地槽型沉积。它的分布，目前只限于湘西－桂西北，即江南台隆西端。其特点是金品位高，储量大，存

在一套独特的元素组合：Au－Sb－W 组合、Au－Sb－As 组合、Au－Sb 组合。典型矿床有湘西沃溪矿、鱼儿山矿、龙王江矿、龙山矿、西冲矿等。

必须指出，多数的沉积（火山）变质型矿床无金，如鞍山式铁矿、东川式铜矿、赞比亚的同类型铜矿均不含金。所以，本类矿床是否含金，似与原始火山－沉积建造是否含金或是否存在初级富集有关。而火山－沉积作用和变质作用对本类矿床成矿的“贡献”也各有主次：对火山变质亚类来说，火山－沉积作用成矿是主要的，变质作用成矿是次要的；对沉积变质亚类来说，变质作用成矿是主要的，沉积作用成矿是次要的。本类矿床的划分以分布于华北地台和扬子地台，时间上则以元古代和太古代的火山－沉积变质矿床为限，对于分布于古生代地槽褶皱系中矿床，则归属于海相火山岩型，如白银厂矿和白乃庙矿。

（五）表生作用形成的伴生金矿床

本类型矿床包括两个系列，一是与残坡积铝土矿有关的 Au－Al 型；另一是与硫化矿床氧化带有关的铁帽型。前者最重要的实例是澳大利亚的佩斯铝土矿，其特征见第四节，目前此类型在国内尚未发现。至于铁帽型在我国长江中下游及湘赣等省有广泛分布，如湖南龙王山、七宝山，湖北铜录山上部，安徽新桥、代家冲、长山头等矿，尽管储量不大，其经济意义不容忽视。

本类矿床的特点是：品位高，储量小。与原生硫化矿床相比，往往是金品位增高，粒度变大，从而提高了金的利用价值。但由于大量粘土矿物存在，造成金的分散，给回收利用增加了困难。

第三节　伴生金矿床的工业类型

关于伴生金矿床的分类，必须考虑理论与实用两个因素，即内在的特性与直观的表征并重。所以，本书除成因分类外，又辅以工业类型分类。而工业类型的划分，我们遵循“便于综合评价和便于采选利用”两个原则，建立了两种工业类型分类方式：一是按矿种组合分类；二是按品位分类，即共生金与伴生金。各类特征分述如下：

（一）按矿种组合分类

可划分五种类型（见表 2－2），即金铜型、金（银）铅锌型、金硫砷型、金锑汞型和金铁型。各种类型在矿种组合和金在选矿过程中的趋向等方面都具有各自的特征。

1. 金铜型

为伴生金的主要工业类型，几乎包括了所有成因类型，但金铜的这种紧密共生，也仅限于内生铜矿床，对于外生铜矿，一般不含金，如砂岩铜矿、东川式铜矿无金。

此类型特点是：分布广，储量大，其储量占伴生金的 82.19%，但品位不高，共生金（$>1\times10^{-6}$）只占 44.12%。金主要与铜矿物密切相关。在浮选中，金富集到铜精矿。当前我国伴生金的回收利用绝大部分来自金铜型矿床。

本书将矽卡岩型铁铜矿床伴生金归到金铜型，而不是金铁型，是基于此类矿床金的载体矿物和金的选矿过程中趋向与金铜型更为一致，即富集于铜精矿中。

2. 金（银）铅锌型

铅锌矿床的类型很多，但并非都含伴生金。简略之，铅锌矿床可分四类：与同熔型岩浆活动成矿有关的铅锌矿床；与海相和陆相火山活动成矿有关的铅锌矿床；与重熔岩浆活

表 2-2　伴生金矿床工业类型表

工业类型		所　含 成因类型	占伴生金总储量（%）		实　例
类型	亚　型				
金铜型	铜矿床	矽卡岩型、陆相火山岩型、海相火山岩型	27.38	82.19	铜录山、凤凰山、冬瓜山、红透山、中条山
	铜—镍矿床（钨）	岩浆熔离型	8.13		金川、德尔尼
	铜—钼（钨）矿床	斑岩型	26.66		富家坞、铜厂、朱砂红、玉龙、多宝山、莲花山
	铜　硫矿床	海相火山岩型	14.91		城门山、武山、火焰山、折腰山
	铜—铅　锌矿床	陆相火山岩型	4.10		赛什塘、小铁山
	铜—铁矿床	矽卡岩型	0.68		利国、铁山、前常
金铅锌型	铅—锌矿床	岩浆热液型 陆相火山岩型	6.69	10.16	银山、水口山、栖霞山、康家湾
	铅—锌—铜矿床	岩浆热液型	2.15		大宝山、天排山
	铅—锌—硫矿床	海相火山岩型	1.32		锡铁山
金硫砷型	硫矿床	岩浆热液型	2.71	2.71	马山、天鹅抱蛋山、巷子口
	硫—多金属矿床	岩浆热液型			七宝山
	硫—砷矿床	岩浆热液型			茶洞
金锑汞型	汞矿床	沉积改造型		3.87	丹寨、石峡
	汞—钨矿床	沉积变质型	3.13		湘西、西冲
	锑—砷矿床	沉积变质型	0.74		龙王江、龙山
金铁型	铁矿床	铁帽型	1.07		吴家、新桥、龙王山、长山头

动成矿有关的铅锌矿床；与变质热液或地下热卤水成矿有关的铅锌矿床。大量事实证明，前两类铅锌矿床含伴生金，如水口山鸭公塘矿、老鸦巢矿、康家湾矿和锡铁山矿、白银小铁山矿、孟思套力盖矿、江西银山矿；后两类铅锌矿床无伴生金，如香花岭矿、清水塘矿、黄沙坪矿、桃林矿和泗顶矿、兰坪矿、潘家冲矿、凡口矿，但亦有个别例外，如栖霞山矿属沉积改造型铅锌矿床，存在伴生金，其原因可能与围岩地层中含火山物质有关。总之，凡与深源岩浆（包括火山）活动成矿有关的铅锌矿床均含金，否则无金。

3. 金硫砷型

此类矿床所占比例不大，主要是硫化矿床和部分硫铜多金属矿床，而砷矿床则更少见。中国硫化矿很多，但含金的硫化矿床并不多见。研究结果表明，硫化矿床含金性与同熔型岩浆热液关系非常密切，如新桥矿、天鹅抱蛋山矿，而与重熔型岩浆热液或其他热液成因的矿床无关。此类矿床金品位较高，主要赋存在磁黄铁矿、黄铁矿和毒砂中，属难选矿石。

4. 金锑汞型

主要是一些高品位的共生金矿床。它包括 Au—Sb—W 矿床（沃溪矿）、Au—Sb—As 矿床（龙王江矿）和 Au—Hg 矿床（丹寨矿）。其成因类型主要是沉积变质型和沉积改造型。

5. 金铁型（铁帽型）

近年来陆续发现，主要分布在金属矿床氧化带，金品位高，规模小。此类矿床金的回收国外已过关，如澳大利亚用炭浆法回收金，回收率可达 90%，国内尚在试验研究中。

综上所述，可见内生矿床中，Au—Cu 共生是其主要特征，Au—Pb、Zn 共生是有条件的；外生矿床中，以 Au—Sb、Au—Hg 共生为主要特征。

（二）共生金矿床的分类及其特征

尽管共生金只是伴生金高品位的延伸，但它具有自己的特性，将之独立划出，并作深

入探讨，对勘探、找矿及回收利用都具有重要意义。为此，将我国共生金特征归纳如下：

1. 类型特征

根据矿种组合，共生金在金铜型、金（银）铅锌型、金硫砷型、金锑汞型和金铁型五种类型中都有出现，所含成因类型和所占比例见表 2－3。其类型特点是：主要工业类型是金铜型，占共生金储量的 44.86%，其次是金（银）铅锌型；主要成因类型是海相火山岩型矿床和岩浆热液型矿床。与国外相比，我国共生金缺乏象巴布亚新几内亚、美国、菲律宾等国大型的斑岩型金铜矿床。

表 2－3　共生金矿床（$>1\times10^{-6}$）类型储量比

工业类型	成因类型	占共生金储量（%）		工业类型	成因类型	占共生金储量（%）	
金铜型	矽卡岩型	28.32	44.88	金（银）铅锌型	沉积变质型	1.82	28.45
	斑岩型	8.85			矽卡岩型	0.23	
	岩浆热液型	1.74			海相火山岩型	6.10	
	陆相火山岩型	2.77		金硫砷型	岩浆热液型	8.73	
	海相火山岩型	3.20		金锑钨型	沉积变质型	15.43	
金（银）铅锌型	岩浆热液型	16.34		金铁型	铁帽型	2.51	
	陆相火山岩型	3.96					

2. 品位特征

我国共生金品位有二个特点，一是品位普遍较低，主要集中在金品位 1×10^{-6}—4×10^{-6} 范围（占共生金储量 71.68%，表 2－4）内；二是品位与类型储量比呈反消长关系，如金铜型储量比例大，但金品位低，而金锑钨型、金硫砷型、金铁型储量比例小，而金品位高。这些特点给金的利用带来了困难，特别是一些高品位的矿石，如铁帽型、金硫砷型属难选矿石，更增加了选矿难度。

表 2－4　我国共生金（$>1\times10^{-6}$）矿床品位分布

金品位间隔（$\times10^{-6}$）	矿床个数	矿床数比（%）	储量比（%）	主要类型
20—15	1	2.17	0.23	Au—Fe 型
15—10	1	2.17	0.26	Au—Hg 型
10—9	2	4.35	3.40	Au—Ag、Pb、Zn 型，Au—Cu 型
8—6	4	8.70	13.27	Au—Sb—W 型，Au—Pb、Zn 型，Au—Fe 型
6—5	2	4.35	3.71	Au—Sb 型，Au—Cu 型
5—4	3	6.52	7.45	Au—Cu 型，Au—Sb 型
4—3	7	15.22	19.24	Au—Cu 型，Au—Pb、Zn 型，Au—Sb—W 型
3—2	15	32.61	23.77	Au—Cu 型，Au—Cu、Pb、Zn 型，Au—S 型，Au—Ag、Pb、Zn 型，Au—Fe 型
2—1	11	23.91	28.67	Au—Cu 型，Au—Ag、Pb、Zn 型，Au—S 型
合计	46	100.00	100.00	

3. 规模特征

全国已查明有储量的共生金矿床46个，其中特大型一个（大冶铜录山矿），大型3个，中型15个，中型以上矿床储量占87.06%（见表2—5）。从表中看出，共生金在储量规模上的特点是：①以中型以上规模为主，其矿床数虽只占41.30%，但其储量占87.06%，小型矿床数虽过半，但其储量只占12.94%；②规模与品位关系，似有反消长关系，即金规模大的矿床，其品位不高，而品位高者，其规模又不大；③规模大者以金铜型为主，小而富的矿床有铁帽型，但却难选。

表2—5 我国共生金（$>1\times10^{-6}$）矿床规模与品位关系

矿床规模(t)	矿床数(个)	品位级别 (1) 1—3	(2) 3—5	(3) 5—10	(4) 10—15	(5) 15—20	矿床数比(%)	储量比(%)	主要类型	实例
特大型 (>50)	1	1					2.17	20.92	Au—Cu型(1)	铜录山矿(1)*
大型 (50—20)	3		2	1			6.52	26.30	Au—Pb、Zn型(2) Au—Sb—W型(3) Au—Cu型(2)	康家湾矿(2) 沃溪矿(3) 鸡冠咀矿(2)
中型 (20—5)	15	8	3	4			32.61	39.84	Au—Cu型(1、2、3) Au—Ag、Pb、Zn型(1) Au—S型(1) Au—Sb—W型(3)	小西南岔南山(3) 小西南岔北山(2) 鸡笼山(1) 小铁山矿(1) 天鹅抱蛋山矿(1) 鱼儿山矿(3)
小型 (<5)	27	17	5	3	1	1	58.70	12.94	Au—Cu型(1) Au—Ag、Pb、Zn型(1、3)	铜官山矿(1) 张弓岭矿(1) 老鸦巢矿(3)
合计	46	26	10	8	1	1	100.00	100.00		

*括号内数字为品位级别。

第四节 值得重视的一些新类型

国外有些典型伴(共)生金矿床的类型，但在国内却未发现。因此，有必要作些介绍，以引起重视。

1. 铝土矿型伴生金矿床

此类矿床最典型的实例，是西澳大利亚佩思南西的布丁顿铝土矿。它是目前世界上最大的属于表生作用的伴生金矿床，金品位3×10^{-6}—3.5×10^{-6}，储量80t。1987年8月投产，将成为澳大利亚第三大金矿山，年产量可达5.13t，估计可采15年。金矿化主要分布在顶部硬盖帽(氧化铁胶结的红土，约厚2—5m)和铝土矿带(灰红色三水铝石，厚8—10m)。剖面下部为含铁粘土层，厚18m，再下为风化安山岩。该矿具有四个特点，从而形成金的富集：①长期稳定的古老地台；②风化壳系由金丰度较高的太古代基性、超基性变质岩系风化而成；③属于风化淋滤残积的红土型矿床；④成矿期较新，属新生代产物。上述四点是佩思铝土矿伴生金的成矿条件。我国为数不多的三水型铝土矿，其原岩是玄武岩，金的克拉克值普遍较高，应注意对其伴生金的查定，我国是否有符合条件的铝土矿含金，有待进一步工作。

2. 同生沉积 Cu－U－Au 矿床

澳大利亚的奥林匹克坝矿床是目前世界上唯一的同生沉积的伴(共)生金矿床，该矿发现于 1975 年，属超大型矿床，矿石储量 20×10^8t，产于元古代末变质的含赤铁矿花岗质的角砾岩中。矿化被认为是在合适的沉积循流中形成的，如裂谷成因的地堑(也有观点认为，其角砾岩为热液成因)，元素组合比较复杂，除 Cu－U－Au－Ag 外，尚有 Fe 和稀土，金品位 0.6×10^{-6}，储量 1200t，约占全球伴生金总储量的 16%，Cu 品位 1.6%，铀氧化物 0.6×10^{-3}，Ag 6×10^{-6}。

从大地构造、地层时代看，我国内蒙古的白云鄂博群和川滇的昆阳群似具有类似的成矿条件，值得进一步探索。

3. 同生沉积黑色页岩 Ni－Mo－V、Ag－V 矿床

此类矿床国外正是热门课题，但在国内尚未引起足够重视。我国南方诸省(区)如湖南、湖北、广东、广西、江西、浙江、云南以及北方的陕西、河南等地，寒武系黑色页岩广泛分布。这些岩系在页岩和白云岩频繁交替地段，常有 Ni－Mo－V 矿床和 V－Ag 矿床分布，它们普遍伴生有 Au、Ag 和 Pt 族，且品位较高，综合利用价值前景可观，如湖北某地 Ni－Mo－V 矿床，V_2O_5 0.5%—1%，Mo 0.5%—10%，Ni 0.3%—6%，Pt 0.3×10^{-6}，Pd 0.3×10^{-6}，Au 2.5×10^{-6}。陕西黑色页岩系中发现金矿点和矿化点数十处，金品位 0.05×10^{-6}—0.84×10^{-6}。此类矿床的 Au，多是以银金矿出现，常与毒砂和黄铁矿关系密切。就全国而言，此类矿床目前所发现的只是一些零星矿点或矿化点，研究程度差。但由于此类矿床分布广，Au、Ag、Pt 族品位较高，综合元素多，便于开采，国外已广泛引起兴趣，进行了包括形成机理、开发利用的研究工作，我国不应忽视。

第三章　伴生金矿床的成矿域、区、带

第一节　概　　述

在漫长的地质发展史中，不同时期、不同区域，地壳常常显示出明显的演化和发展上的差异。这些差异的产生是由深刻的内涵因素和外赋条件决定的。它们包括地球本身的不均匀性、地幔对流、地球自转公转方式，以及由之而产生的板块的兴亡，构造－岩浆活动的盛衰等等。上述地壳演化发展史对伴生金矿床的成矿作用和时、空分布规律具有决定性意义。因此，根据大地构造单元、构造--岩浆旋回、沉积建造、区域地球化学背景等特征划分伴生金矿床成矿区、带，将同一或不同成矿区带的伴生金矿床的成矿作用、成矿时代、矿化特征等方面加以总结和对比，对丰富伴生金的成矿理论，对找矿都具有重要意义。

矿床是在特殊位置，特殊地质条件下形成的特殊地质体。全球性的大量事实表明，矿床并不均匀分布，矿种也并不彼此混杂，它们在分布上具有清晰的规律性，并不是星罗棋布地在大地上分散。如钨矿床就集中分布于我国（占世界总储量的53.69%），而华南的湘、赣、粤、闽四省就占全国储量的90%。这种矿产资源、矿种、矿床类型分布的不均匀性及规律性启示人们去划分成矿域、区、带，并探索它们的形成机制，从而把对单一矿床（田）、单一矿种的研究提升到一个更高的层次。国外对成矿域、区、带的研究早在20世纪初期即已开始，在50年代后逐渐引起各国地质学家的重视，如对巨型环太平洋成矿带和地中海成矿带的研究。在一个国家范围内，根据大地构造特征和矿床的区域性分布规律系统，全面进行划分的首推原苏联，如B. N. 斯米尔诺夫把全苏划分成：阿尔卑斯成矿省、基米里成矿省、海西成矿省、加里东成矿省、前寒武纪成矿省等五个“成矿省”，然后按地区再划分次一级“成矿区”。其最大特征是把成矿时代作为“一级”划分准则，而把地域作为“二级”划分准则。这一划分存在的问题是：大部分成矿省均为多旋回成矿，因此又划分出单旋回成矿省、双旋回成矿省、三旋回成矿省等，增加了划分的复杂程度。

在我国，自70年代以来亦有不少学者进行研究和划分，如郭文魁等（1987）、胡受奚等（1983）、芮宗瑶等（1984）、栾世伟等（1987）、赵一鸣等（1990）、王木清等（1991）。它们分别对我国的内生金属矿床或某一矿床类型或某一矿种进行了全面系统的划分。其中尤其是郭文魁先生，以构造－岩浆活动为主要因素，兼顾金属元素性能来进行划分。与原苏联学者不同，他以地域作为“一级”划分准则，而以成矿时代作为“二级”划分准则，划分了三大成矿域和成矿省，并划出了66个成矿区、带。

第二节　伴生金矿床的成矿域、区、带

从伴生金矿床的时－空分布特征来看（图3－1、3－2），最基本、最重要的控矿因素是

构造－岩浆活动。因此，首先以构造体系作为成矿单元的一级划分依据，划分四大成矿域：滨太平洋成矿域、古亚洲成矿域、特提斯－喜马拉雅成矿域、晋陕川过渡区成矿域。我国传统对构造域的划分是三分法。但从成矿学的角度视之，在太行山－武陵山以西、贺兰山--六盘山－龙门山－雅砻江－元江以东、内蒙古地轴（不含）以南、南盘江以北的广大地区（不含横穿中部的秦岭山脉），大地构造单元上大致包括鄂尔多斯台坳、山西断隆、四川台坳、上扬子台褶带、江南台隆西段等五个Ⅱ级构造单元。在此区域内，三大构造体系影响微弱，构造－岩浆活动贫乏，属三大构造体系之“三不管”区（过渡区），区内的矿床几乎全属古老的沉积（火山）变质矿床或沉积改造矿床。如中条山铜矿、湘西钨锑金矿及贵州的汞矿、金矿等。对伴生金矿床来说，在区内存在两个古老的元古代同生的成矿带（中条山成矿带、湘西成矿带）亦是有其鲜明特征的，难于依附于其它成矿域。因此，建立第四个成矿域，反映区域内的成矿特征，以与其他成矿域的成矿特征加以区别，实有必要。

次之，以Ⅰ、Ⅱ级大地构造单元（据黄汲清，下同）作为二级划分依据，划分8个成矿区。

第三，以伴生金矿床的分布特征，密集程度和矿床赋存区内的构造、地层、岩浆活动特征为三级划分依据，划分18个成矿带。总的来说，这是成矿单元最重要、最基本的划分。它包括：a）大--中型重要伴生金矿床密集区，如赣东北成矿带；b）目前虽无重要的伴生金矿床存在，但已有多个中—小型伴生金矿床，且具有较好远景地区，如康滇成矿带；c）虽只有个别大型伴生金矿床，但成矿条件相当好的地区，如金川成矿带。最后必须说明，虽然多数成矿带成带状延伸，但命名本身并不具有此含义，仅只表示其为成矿域、区、带划分中之Ⅲ级单元而已。

18个成矿带所包含的伴生金储量占总伴生金的92.82%（表3－1），这正说明伴生金矿床的高密集性，零散分布的矿床寥寥无几（图3－1）。

必须再次强调，本书成矿域、区、带，首先是以断裂构造体系作为划分基础的，所以对于少数处于作为大地构造单元界线的深大断裂两侧的伴生金矿床有时也划于同一成矿带内。它们在区域上分别处于两个Ⅱ级，甚至Ⅰ级大地构造单元。

滨太平洋成矿域

滨太平洋成矿域位于全球性巨型环太平洋成矿带西带中段。该带蕴藏的锡储量占世界的87.3%，锑储量占76%，钨储量占88.8%，铜储量占60%－65%，其他矿种亦莫不占有重要比例，实属世界范围内最重要的成矿带。我国滨太平洋成矿域属西滨太平洋成矿带外带，地域上为大兴安岭－太行山－武陵山－南盘江以东地区。大地构造单元上包括那丹霍特优地槽褶皱带、延边褶皱系、吉黑褶皱系、华北地台东部、秦岭褶皱系东部、扬子地台东部、华南褶皱系。滨太平洋成矿域的伴生金矿床最重要的成矿特点是绝大多数矿床的成矿时代为燕山期，成矿明显地与晚三叠世末开始的库拉板块－太平洋板块向欧亚板块俯冲有关。在侏罗、白垩纪，先是库拉板块，以NNW方向向欧亚板块俯冲，后是太平洋板块向NW方向俯冲，结果在我国东部不同大地构造单元上表现出类似的构造－岩浆活动。虽然这些构造－岩浆活动在时间上表现有脉冲式的叠加，但总的来说强度上东强西弱，时间上也是西早东晚。滨太平洋成矿域中伴生金矿床的分布就是在这种地质背景上产生的。当然，伴生金矿床的分布是受库拉－太平洋板块俯冲作用控制。这一结论可从两个方面去理

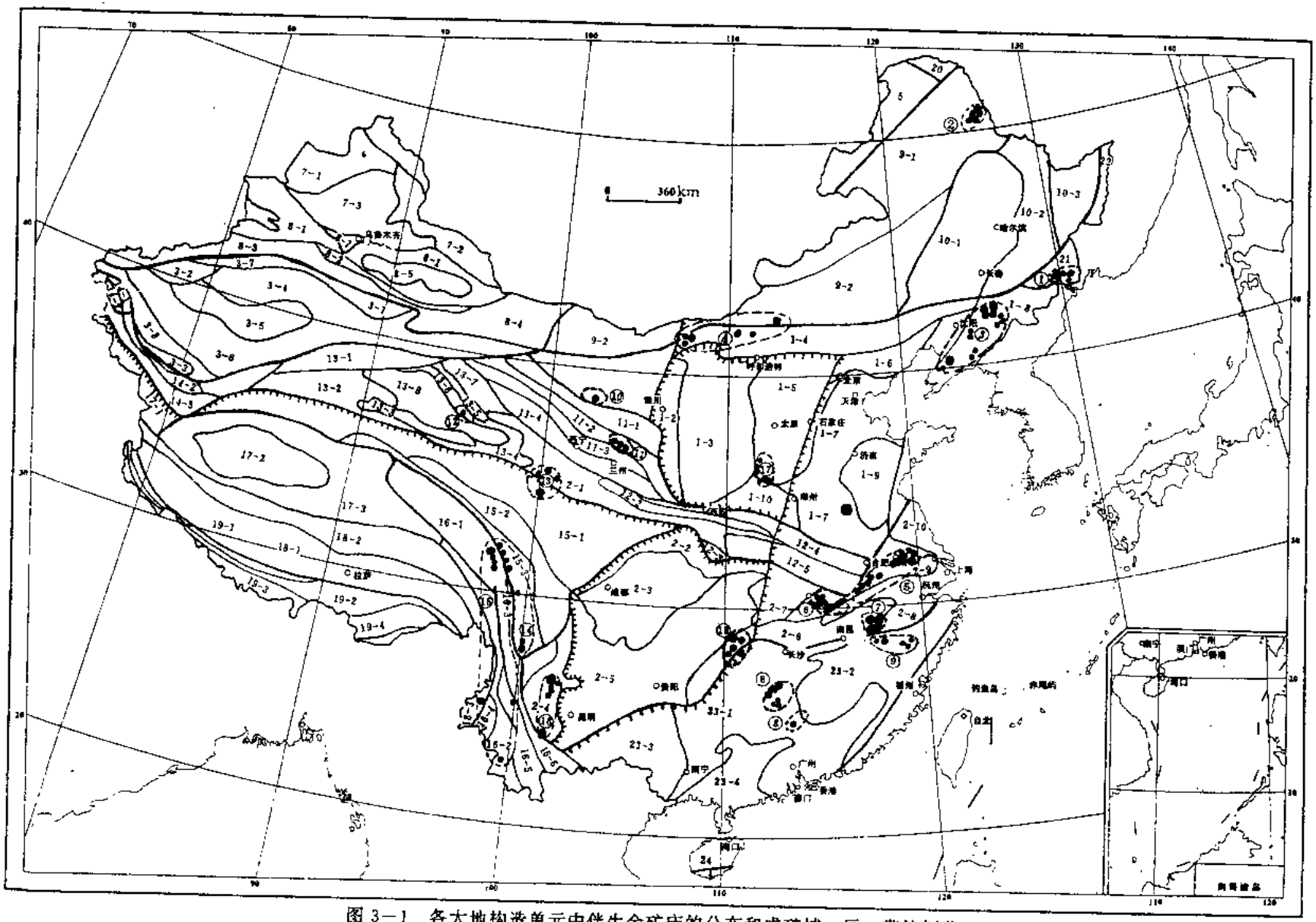


图 3—1　各大地构造单元中伴生金矿床的分布和成矿域、区、带的划分

中国主要构造单元简表

1. 中朝准地台：1—1. 阿拉善台隆；1—2. 鄂尔多斯台缘褶带；1—3. 鄂尔多斯台坳；1—4. 内蒙古地轴；1—5. 山西断隆；1—6. 燕山台褶带；1—7. 华北断坳；1—8. 胶辽台隆；1—9. 鲁西断隆；1—10. 豫西断隆。2. 扬子准地台：2—1. 盐源－丽江台缘褶带；2—2. 龙门－大巴台缘褶带；2—3. 四川台坳；2—4. 康滇地轴；2—5. 上扬子台褶带；2—6. 江南台隆（原称江南地轴）；2—7. 江汉断坳；2—8. 断西－皖南台褶带；2—9. 下扬子台褶带；2—10. 苏北断坳。3. 塔里木地台：3—1. 库鲁克塔格断隆；3—2. 柯坪断隆；3—3. 铁克里克断隆；3—4. 北部台坳；3—5. 中部台隆 3—6. 南部台坳；3—7. 库车山前坳陷；3—8. 昆仑山前坳陷。4. 南海地台。5. 额尔古纳褶皱系。6. 阿尔泰褶皱系。7. 准噶尔褶皱系。7—1. 西准噶尔优地槽褶皱带；7—2. 东准噶尔优地槽褶皱带；7—3. 准噶尔坳陷。8. 天山褶皱系：8—1. 北天山优地槽褶皱带；8—2. 天山中间隆起带；8—3. 南天山冒地槽褶皱带；8—4. 北山优地槽褶皱带；8—5. 吐鲁番－哈密山间坳陷；8—6. 伊犁山间坳陷；8—7. 乌鲁木齐山前坳陷。9. 内蒙古－大兴安岭褶皱系：9—1. 大兴安岭优地槽褶皱带；9—2. 内蒙古优地槽褶皱带。10. 吉黑褶皱系：10—1. 松辽坳陷；10—2. 张广才岭优地槽褶皱带；10—3. 佳木斯隆起。11. 祁连褶皱系：11—1. 走廊过渡带（冒地槽褶皱带）；11—2. 北祁连优地槽褶皱带；11—3. 祁连中间隆起带；11—4. 南祁连褶皱带。12. 秦岭褶皱系：12—1. 南秦岭冒地槽褶皱带；12—2. 礼县－柞水冒地槽褶皱带；12—3. 北大巴山褶皱带；12—4. 北秦岭褶皱带（包括秦岭地轴）；12—5. 武当－淮阳隆起。13. 东昆仑褶皱系：13—1. 阿尔金优地槽褶皱带；13—2. 祁曼塔格优地槽褶皱带；13—3. 东昆仑中间隆起带；13—4. 布尔汉布达优地槽褶皱带；13—5. 欧龙布鲁克隆起带；13—6. 柴达木北缘优地槽褶皱带；13—7. 达肯大坂褶皱带；13—8. 柴达木坳陷。14. 西昆仑褶皱系：14—1. 北昆仑冒地槽褶皱带；14—2. 西昆仑中间隆起带；14—3. 南昆仑褶皱带。15. 松潘－甘孜褶皱系：15—1. 巴颜喀拉褶皱带；15—2. 雅江褶皱带；15—3. 玉树－义敦褶皱带。16. 三江褶皱系：16—1. 乌丽－昂欠褶皱带；16—2. 澜沧江褶皱带；16—3. 金沙江优地槽褶皱带；16—4. 保山褶皱带；16—5. 兰坪－思茅坳陷；16—6. 哀牢山褶皱带。17. 喀喇昆仑－唐古拉褶皱系：17—1. 林齐塘冒地槽褶皱带；17—2. 羌塘隆起（羌塘地块）；17—3. 唐古拉冒地槽褶皱带。18. 冈底斯－念青唐古拉褶皱系：18—1. 拉萨褶皱带；18—2. 那曲褶皱带；18—3. 腾冲褶皱带。19. 喜马拉雅褶皱系：19—1. 雅鲁藏布江优地槽褶皱带；19—2. 北喜马拉雅优地槽褶皱带；19—3. 喜马拉雅辗掩构造带；19—4. 锡伐利克山前坳陷。20. 上黑龙江冒地槽褶皱带（属蒙古－鄂霍次克褶皱系）。21. 延边褶皱系。22. 那丹哈达优地槽褶皱带（属锡霍特褶皱系）。23. 华南褶皱系：23—1. 赣湘桂粤褶皱带；23—2. 华夏褶皱带；23—3. 右江褶皱带；23—4. 云开褶皱带。24. 东南沿海褶皱带。

表 3－1　伴生金矿床成矿域、区、带表

成矿域	成矿区	成　矿　带	占伴生金总储量(%)		
滨太平洋成矿域	小兴安-长白山成矿区	1. 珲春成矿带	2.96	8.40	70.33
		2. 多宝山成矿带	5.44		
	华北成矿区	3. 辽东成矿带	0.79	1.96	
		4. 内蒙古（地轴）成矿带	1.17		
	扬子成矿区	5. 南京－安庆成矿带	10.54	54.08	
		6. 九江－黄石成矿带	17.71		
		7. 赣东北成矿带	25.81		
	华南成矿区	8. 湘南－粤北成矿带	4.02	5.91	
		9. 北武夷成矿带	1.89		
古亚洲成矿域	秦岭－祁连成矿区	10. 金川成矿带	5.47	13.01	13.01
		11. 北祁连成矿带	2.53		
		12. 南祁连成矿带	1.05		
		13. 玛沁－兴海成矿带	3.96		
特提斯－喜玛拉雅成矿域	三江成矿区	14. 川西－滇北成矿带	0.22	2.71	2.71
		15. 藏东－滇西成矿带	0.12		
		16. 康滇（地轴）成矿带	2.37		
晋陕川黔（过渡区）成矿域	晋陕成矿区	17. 中条山成矿带	3.24	3.24	6.77
	川黔成矿区	18. 湘西成矿带	3.53	3.53	
合　计			92.82		

解：一是太平洋板块楔入大陆下地壳、上地幔后所引起的地质事件为岩浆活动--成矿作用提供了能源和物源；一是大洋板块的俯冲作用引起了大陆原有的深大断裂的复活（活化作用），如郯庐断裂系、赣东北深大断裂、长江断裂带，均在燕山旋回中强烈活动，导致了同熔型岩浆活动和伴生金矿床的成矿作用。

总之，滨太平洋成矿域是我国最重要的伴生金矿床富集区，其伴生金储量占全国总储量的 70.33%，其成矿机制中板块的俯冲作用是一大关键。

小兴安－长白山成矿区

本区虽有两个成矿带，但却分属两个 I 级大地构造单元，延边褶皱系和内蒙古－大兴安岭褶皱系，故命名上不与对应。本区属天山--兴安地槽褶皱区的东段。褶皱基底为一套古生代地槽型沉积。中—晚中华力西旋回后，沉积了二叠系或侏罗—白垩系的盖层。与伴生金矿床有关的华力西期岩体呈小型岩株产出，大都沿北北东或北东向断裂分布。

本区的伴生金矿床的工作程度较低，如大兴安岭优地槽褶皱带中的沿海拉尔断裂分布的一些矿床（乌奴克吐山矿、八大关矿、甲乌拉矿、查干布拉尔矿等），因资料太少和工作程度较低无法列一成矿带。

1. 珲春成矿带

本带位于吉林东部珲春－延吉一线，大地构造单元上属延边褶皱系，为华力西优地槽。成矿带位于牡丹江－珲春深大断裂南端。产出部位受五凤－小西南岔隆折带控制，区域中

火山岩和次火山岩大面积出露。褶皱系基底由下古生界变质岩系、二叠系浅变质岩系和华力西期中　酸性侵入岩体所组成；盖层由侏罗、白垩系之火山岩－火山碎屑岩组成。

成矿带沿东南向构造线展布，可分东西两段：东段有著名的小西南岔金铜矿及农坪矿、五道沟矿；西段有天宝山矿、杜荒岭矿、五星山九三沟矿。本类矿床有两个显著特点是：一是除天宝山外皆为铜金矿床，金的品位相当高，有的已达到独立金矿的品位；一是自东向西成矿温度、成矿深度依次降低，矿床类型也由斑岩型变为火山岩型（天宝山矿除外）。典型矿床有：

（1）吉林珲春小西南岔金铜矿

矿床产于牡丹江－珲春南北向断裂南端。矿区内出露地层为上二叠统（P_2）的斜长角闪片岩、黑云片岩、石墨片岩、红柱石板岩、砂质板岩、矽线石板岩等。成矿岩体为一复式岩体，华力西期闪长岩被燕山期二长花岗岩、斜长细晶岩、闪长玢岩切穿，成矿与后者有关。矿体主要赋存于中－细粒条带状闪长岩中，矿体主要受NWW向断裂控制，NNE向断裂次之，成单脉、复脉状或浸染状。围岩蚀变主要有绢云母化、硅化、绿泥石化。矿化与蚀变强度和宽度成正相关。矿体上部以Au、Cu矿化为主，深部出现Mo、Pb、Zn矿化，Au明显变贫。矿石中有用金属除Au、Cu外，尚有Ag、Mo、W可供综合回收。矿床类型属斑岩型矿床。矿石含伴生金Au 2.2×10^{-6}。

（2）吉林珲春农坪金铜矿

矿床位于吉黑褶皱系汪清－珲春内陆断陷盆地边缘隆起区。矿区出露地层由老到新为：泥盆系变质岩，包括片麻岩、斜长角闪片岩、云母石英片岩；二叠系变质岩，包括砂质板岩、泥质板岩、变质砂岩、砂质晶屑凝灰岩、变安山岩、角岩；侏罗系火山岩，包括安山岩、安山质火山岩等。断裂构造有NW、NE、EW三组，其中NW向断裂为控岩、控矿构造。成矿岩体为云英闪长斑岩和斑状云英闪长岩（农坪岩体）。矿体赋存于斑岩中，属斑岩型金铜矿床，成矿时代为燕山期。矿化与硅化、电气石化、水白云母化关系密切。此外，农坪岩体之Ⅱ号岩体南部及二部落Ⅰ号岩体亦已发现有金铜矿化，为找矿有利地段❶。金矿体含Au 3.03×10^{-5}—9.23×10^{-6}，铜矿体含伴生金Au 0.43×10^{-6}。

2. 多宝山成矿带

本带位于黑龙江省北部，大兴安岭和小兴安岭的衔接部位。大地构造上属内蒙古--大兴安岭褶皱系（Ⅰ级）的兴安岭优地槽褶皱带。褶皱基底为奥陶－志留系优地槽型沉积，直至二叠纪末结束。本带中的伴生金矿床一般形成于中、上石炭世和二叠纪。成矿带成NW向展布，中酸性岩浆岩广泛分布。

成矿带内有多宝山、铜山、小多宝山、极捷、跃进等斑岩型矿床（点）和三矿沟、育宝山等矽卡岩型矿床。本带伴生金矿床的显著特点是：a. 与我国的大多矿床不同，成矿于晚华力西期；b. 存在斑岩型－矽卡岩型成矿两位一体系列，它们在空间上并不连续，但可能反映了不同的成矿深度和不同的围岩条件。典型矿床有：

黑龙江嫩江多宝山铜矿（田）

多宝山铜矿田位于大兴安岭优地槽褶皱带、松辽坳陷、张广才岭优地槽褶皱带之聚合部位，嫩江断裂东侧。矿区出露地层以奥陶系为主，岩性为一套滨海相中性火山岩及凝灰

❶ 金尚林等：珲春农坪金铜矿床地质特征及找矿方向。

岩，夹有少量砂岩、粉砂岩（上奥陶统多宝山组）和正常海相沉积的粉砂岩及泥质板岩，夹有少量凝灰质砂岩和灰岩（中奥陶统关乌河组）。矿区北西向构造发育，矿体即产于NW向窝理河背斜西南翼之同向压扭性构造带中。构造带长达20余公里，西北部较窄，宽约3—4km，东南部较宽，约7—8km。走向亦由NW320°逐渐变为NW290°—300°，形成一条向东南撒开，向西南突出的弧形构造带。矿区除NW向构造外，尚存在NE、NNE向压扭性断裂和EW向压扭性断裂，矿体即产于上述两个系统断裂的交汇处。矿区出露的岩体为多宝山花岗闪长岩和花岗闪长斑岩复式岩体，成矿与后者有关。蚀变在平面上成椭圆形分布，自内向外为石英化核、钾化带、绢云母化带、青盘岩化带，其中绢云母化带的铜矿化最强。矿石含伴生金0.14×10^{-6}。

华北成矿区

本成矿区的命名与华北准地台（下称华北地台）对应，但具体范围却只包括胶辽台隆和内蒙古地轴两个Ⅱ级构造单元。它们之间的地质发展史各具特色，东部的胶辽台隆受太平洋板块影响，中生代以来构造—岩浆活动十分激烈，伴生金矿床的成矿与之有关；北部的内蒙古地轴则受古亚洲构造体系（北系）影响强烈，成矿与内蒙古地轴北缘深大断裂有关，多位于断裂两侧。本区中二个成矿带之共同点是：a. 俱位于自中晚元古代以来相对隆起地区；b. 俱位于地台边缘较活动、较易受其他构造单元影响的地区。所以，本成矿区更确切的命名似乎应是“华北地台周缘成矿区”。

华北地台是中国最古老地台，基底广泛出露，为太古界和下元古界之变质岩系。自中元古代之中条运动后形成地台，沉积了第一个盖层，活动性减弱。但至晚三叠世印支运动后，活动性又激烈增强，尤其是燕山运动，使边缘地区产生了广泛的构造—岩浆活动。所以，中条运动和燕山运动是本区伴生金矿床的两大成矿期。

3. 辽东成矿带

本带位于辽东半岛中部，大地构造单元上属华北地台之胶辽台隆（Ⅱ级）北段边缘，即位于著名的华北地台北缘巨型成矿带中段。带内褶皱基底为太古界和下元古界的变质岩系、混合花岗岩和混合岩。自中元古代和古生代，除汛河凹陷接受沉积外，其余地区均处于隆起状态。中生代三叠纪时由于印支运动的影响，成矿带处于活化阶段，有大面积印支期花岗岩侵入。燕山期由于受到库拉板块俯冲作用影响，断裂活动强烈，同时有中酸性岩浆侵入。

本带包括清原、青城子、桓仁—通化三个伴生金矿床矿化集中区。它们分别为：红透山、红旗山、树基沟、稗子沟矿、青城子、红石山、东胜、马麓沟矿、桓仁、复兴屯、通化矿。此外尚有华铜、八家子等矿。本带也是著名的金矿化集中区，无论岩浆岩系和变质岩系均具有富金背景，所以本带有色矿床中伴生金的远景相当好。成矿带的地质特征决定了带内伴生金矿床的类型和成矿时代的复杂性。如红透山矿、树基沟矿、大荒沟矿、稗子沟矿等成矿时代古老，为太古宙绿岩带的块状硫化物型矿床；青城子矿、东胜矿、北瓦矿、韭菜沟矿为下元古界变质岩系中的Pb—Zn硫化物矿床（经印支、燕山期花岗岩浆活动改造）；华铜矿、桓仁矿、岫岩矿、兰花岭矿为印支—燕山期岩浆成因的矽卡岩型、热液型矿床。典型矿床有：

（1）辽宁清原红透山铜矿

矿床位于胶辽台隆的铁岭—靖宇台拱。矿体赋存于下太古界变质岩系中，岩性为矽线

石黑云斜长片麻岩、矽线石黑云石英片麻岩夹薄层堇青石石英片岩、直闪石片岩。矿区层状岩石经历了多次变质作用，地层走向近东西向，南倾。矿体受褶曲构造轴部形态控制，成似层状，但分枝复合，膨胀收缩现象明显。围岩蚀变主要有透闪石化、硅化、金云母化、绿泥石化、滑石化、碳酸岩化。矿床属块状硫化物型矿床，有用组分除 Cu、Au、S 外，尚有 Ag、Cd、Se、In、Ga、Co 可供综合回收。矿石含伴生金 0.77×10^{-6}。

(2) 辽宁凤城青城子铅矿

矿床位于胶辽台隆之营口—宽甸台拱。矿体赋存于下元古界辽河群中，岩性主要为长石石英岩、细粒斜长角闪岩、方解石长英变粒岩、斜长石英片岩、含石墨薄层大理石及钙质碳酸盐岩组成。矿体主要成层状，次之为脉状，一般延深大于延长。围岩蚀变主要为硅化、白云石化为主，次之有绢云母化、黄铁矿化。层状矿体存在上铅下锌的分带现象。矿床为经印支—燕山期岩浆活动改造的同生矿床。矿区存在着强烈岩浆活动，花岗岩及其脉岩广泛分布，同生矿体经多次改造，表现为有用成矿组分的多次活化—迁移—再沉淀过程。因此，在矿体形态上出现脉状矿体，矿物成分、结构构造上亦出现了新的变化，成为本矿矿床成因上的最大特征。矿石含伴生金 0.43×10^{-6}。

4. 内蒙古(地轴)成矿带

本成矿带位于内蒙古地轴断裂系两侧。断裂系为两个Ⅰ级大地构造单元的分界线，南北两端的地质发展史不同，所以两端伴生金矿床的成矿条件也完全不同，但因为伴生金矿床成矿域、区、带的划分是以构造体系为基础，所以把槽、台两区的矿床合并成一个成矿带，而以两个矿化集中区分别论述。在台区一侧为狼山矿化集中区，狼山地区位于内蒙古地轴西端，为一由太古界五台群为核部，上元古界狼山群为两翼的复式背斜构造。矿床在空间上呈线型分布，受陆缘裂谷断陷盆地控制。矿体与围岩常呈同步褶曲，属火山（沉积）变质型矿床。本区代表矿床有东升庙矿、炭窑口矿、霍各乞矿、甲生盘矿。在后期，本区受燕山期构造—岩浆活动的叠加形成了几个目前尚属小型的 Cu－Au 矿床(欧布拉格矿、盖沙图矿)，寻找与燕山期火山岩有关的伴生金矿床，本区有良好远景。

在槽区一侧为白乃庙矿化集中区。大地构造位置属内蒙古—大兴安岭褶皱系之内蒙古优地槽褶皱带。区内出露地层为寒武系温都尔庙群、奥陶系白乃庙群、上志留统西别河组、上石炭统阿木山组、上侏罗统大青山组。区内 EW 向构造发育，本区是早古生代蒙古海洋板块南侧俯冲于华北地台之下的俯冲消减带，赋矿地层属火山岛弧型堆积。白乃庙矿就分布于 EW 向构造带上。属火山岩型矿床。

成矿带典型矿床有：

(1) 内蒙古霍各乞铜多金属矿

矿床产于内蒙古地轴狼山变质岩带北部边缘。狼山群为一套浅海相碎屑岩-碳酸岩建造。矿体赋存于第二岩组中，岩性为石英岩、白云岩、碳质板岩、碳质千枚岩、白云母石英片岩。千枚岩、片岩构成了霍各乞倒转背斜核部，也即是含矿围岩。矿化与碳质物有关，同时金属元素依岩性产生分带，铜、金富集于石英岩中，铅锌富集于碳质板岩中，硫铁富集于白云岩中。矿体成层状、似层状，局部成透镜状和不规则脉状。回收组分除 Zn、Pb、Cu、S 外尚有 Ag、Au、Co、Cd 可供综合利用。矿石含伴生金 0.16×10^{-6}。

(2) 内蒙古四子王旗白乃庙铜矿

矿床位于阴山东西向构造带中段。本区岩浆活动强烈，加里东—华力西期在东西向海

槽区产生了强烈岩浆活动，岩性早期为基性、中酸性火山熔岩（细碧一石英角斑岩）；后期为次火山岩类（花岗闪长斑岩）。矿体主要产于变花岗闪长斑岩中。矿区地层有寒武系温都尔庙群枕状熔岩、凝灰质沉积岩、泥硅质岩；奥陶系白乃庙群绿片岩；志留系上统西别河组凝灰质砂岩、结晶灰岩、硬砂岩、片岩；下二叠统三面井组火山岩、硬砂岩；上侏罗统大青山组火山岩、砂岩。围岩蚀变主要为石英一绢云母化、黑云母化。矿体因受后期NE白乃庙断裂错动，分成南北两矿带。矿床在成因上属海相火山岩型矿床，因受后期次火山岩浆活动的叠加，伴生金品位为 0.81×10^{-6}，远高于台区霍各乞矿（0.16×10^{-6} Au）。

扬子成矿区

本成矿区的命名虽与扬子准地台（以下称扬子地台）相对应，但范围却只包括下扬子台褶皱带、江南台隆等两个Ⅰ级大地构造单元，精确地说应是“东扬子成矿区”。扬子地台自中生代以来东受库拉一太平洋板块俯冲影响，西承印度板块俯冲影响，仅中部少遭波及。所以，整个扬子地台被划属于三个成矿域：东部划属滨太平洋成矿域，中部划属晋陕川黔（过渡区）成矿域，西部划属特提斯一喜马拉雅成矿域。三部分的地质发展史存在一定差别，构造一岩浆活动的差异使其在伴生金矿床的成矿作用、矿化强度上产生明显不同。

扬子地台东部即本成矿区是最主要的伴生金成矿区，伴生金储量占总伴生金的55.44%。本区的三大成矿带将是贯穿全书的重点。现分别予以概述如下：

5. 南京一安庆成矿带

成矿带位于扬子地台之下扬子台褶带，区内褶皱基底很少出露，均埋于古生代、中生代褶曲盖层之下。据邻区北部的淮阳台隆和南区的江南台隆的地层推测，成矿带的褶皱基底可能类似于上太古界的大别山群（片麻岩、角闪岩）、下元古界宿松群（片岩、大理岩、斜长片麻岩）、中元古界张八岭群（大理岩、千枚岩、凝灰岩、细碧角闪岩）。本区自扬子旋回转化成地台后，古生代、中生代盖层主要为碳酸岩建造及部分碎屑岩建造。其中石炭系中统黄龙组、船山组；二叠系上统大隆组；三叠系下统青龙组为主要含矿层位。自中生代以来，印支运动使本区盖层发生褶皱，形成所谓台褶带。燕山运动的影响则更为强烈，产生大规模的构造一岩浆活动，成为我国最主要的伴生金矿床成矿带之一。本带内的成岩一成矿作用主要受长江大断裂及次一级构造控制。所谓长江大断裂，我们的认识是：它实际上是NE向滨太平洋构造体系的一些断裂与NW—NWW向古亚洲构造体系南系东段的一些断裂交错汇合的结果。

南京一安庆成矿带是著名的伴生金矿床集中区之一。成矿带之东段有栖霞山、安基山、铜山、铜井、伏牛山等矿；中段有铜官山、狮子山、凤凰山、金口岭、天鹅抱蛋山、马山、冬瓜山、新桥等矿；西段有铜山、月山、笔山、铜牛井等矿。矿床类型主要为矽卡岩型，次之为岩浆热液型。

在本成矿带中，虽然已进行了较详尽的研究和找矿，但对寻找金口岭式金铜矿和天马山式（天鹅抱蛋山一马山）硫金矿等三位一体形式的矿床仍有较大远景。典型矿床有：

（1）安徽铜陵铜官山铜矿

矿床位于铜陵一戴家汇EW向基底断裂西段与NNE向铜官山背斜交汇处。矿体产于沿褶皱轴向展布的石英闪长岩体接触带上，分布有白家山、宝山、小铜官山、老庙基山、松树山、笔山、罗家村等八个矿段。区内主要地层为下石炭统高骊山组砂页岩、中石炭统黄龙组白云岩和船山组灰岩、下二叠统栖霞组灰岩和孤峰组硅质岩、上二叠统龙潭组砂页岩。

矿体赋存于接触带矽卡岩中，形态成层状、似层状（主要）、透镜状、囊状，另有赋存于斑岩中的浸染状矿体，赋存于硅质岩中的石英脉型矿体。矿体含金 1.15×10^{-6}。

（2）安徽铜陵狮子山铜矿床（田）

矿床位于铜陵－戴家汇 EW 向构造带中段与 NNE 向青山背斜的相交部位。成矿岩体为闪长岩 石英闪长岩相，下伏的大岩体沿 NNE、EW、NW 向断裂侵入，构成浅成－超浅成的岩墙--岩枝系，矿体就赋存于接触带及附近部位。计有：赋存于中石炭统黄龙组灰岩及其底部假整合面上的冬瓜山矿；赋存于上二叠统大隆组灰岩底部及层间滑动面上的老鸦岭矿；赋存于下三叠统殷坑组灰岩底部及层间滑动面上的大团山矿和岩体接触带上的胡村石山矿；赋存于下三叠统和龙山组灰岩及内接触带中的西狮子山矿；另有赋存于角砾岩筒中的东狮子山矿。矿体含金量亦因矿石类型不同而有较大差别，如冬瓜山矿 Au 0.24×10^{-6}，老鸦岭矿 Au 0.34×10^{-6}，大团山矿 Au 0.44×10^{-6}，西狮子山矿 Au 0.31×10^{-6}，东狮子山矿 Au 1.1×10^{-6}，胡村石山矿 Au 0.38×10^{-6}。

6. 九江－黄石成矿带

与南京－安庆成矿带一样，本带位于长江中游，有时合并称之为“长江中下游成矿带”。但两带比较虽然相似性不少，仍亦有较大差异。故在本书中分两成矿带，有时根据需要亦合并论证。成矿带大地构造单元属扬子地台之下扬子台褶带。本区褶皱基底亦很少出露，据邻区地层推断应为中元古界的冷家溪群。岩性为变质砾岩、变质砂岩、板岩、千枚岩（于成矿带南西部大幕山、九宫山出露）。九江--黄石成矿带的褶皱基底与南京－安庆成矿带比较，前者属冒地槽沉积，后者属优地槽沉积。本区自元古代扬子旋回后转化成地台，盖层沉积为震旦系碎屑岩、冰碛岩和碳酸盐岩；下古生界为碳酸盐岩和砂页岩；上古生界为砂岩—页岩建造，含煤建造和碳酸盐建造；在中生界的早、中三叠统为碳酸盐和陆相碎屑岩，其中大冶组为成矿带的主要含矿层位；上三叠统则为陆相盆地型沉积。自中生代以来，本区产生强烈的构造－岩浆活动，形成了丰富的伴生金矿床。如果把九江--黄石成矿带与南京－安庆成矿带联合起来观察，该区既为华北、扬子地台和秦岭褶皱系三大构造单元的交接部位，又为滨太平洋的构造体系与古亚洲构造体系南系的交错复合部位，具有优越的伴生金矿床成矿条件，为巨型滨太平洋成矿带外带的重要组成部分。

本成矿带同样是伴生金矿床密集区之一。它也可分成以西段为主的东、西两段。西段为铜录山、铁山、赤马山、龙角山、叶花香、陈盛、铜山口等矿；东段有城门山、武山、封山洞、鸡笼山、铜岭矿等。矿床类型主要为矽卡岩型或斑岩 矽卡岩“两位一体”型。

在本成矿带中寻找铜录山－鸡冠咀式或封山洞－鸡笼山式的铜－金、铜系列“三位--体”式矿床是有远景的。典型矿床有：

（1）湖北大冶铜录山铜矿

矿床位于古亚洲构造体系的 NW 向襄樊－广济深大断裂和滨太平洋构造体系的 NNE 向梁子湖深断裂的交接部位。矿区出露地层为中志留统坟头组粉砂岩；中石炭统黄龙群灰岩、白云岩；上石炭统船山群灰岩；下二叠统栖霞组含燧石灰岩和茅口组灰岩；上二叠统龙潭组页岩、粉砂岩、灰岩和大隆组硅质岩；下三叠统大冶群灰岩、白云岩；中上三叠统蒲圻群砂页岩；下白垩统灵乡组砂页岩和大寺组凝灰岩、火山角砾岩；上白垩统－第三系东湖群砂砾岩。含矿地层为大冶群灰岩、大理岩。矿体产于燕山期石英正长闪长玢岩的接触带矽卡岩中。矿床的蚀变－矿化分带明显，自内至外为：蚀变玢岩－辉钼矿化带，斜长

石岩－钼矿石带，矽卡岩化斜长石岩－铜矿石带，金云母透辉石矽卡岩－铜铁矿石带，矽卡岩化大理岩－铜矿石带。金属元素除 Cu、Fe 外，尚有 Au、Ag、Mo、Co、S 可供综合回收。矿石中伴生金 1.15×10^{-6}。

（2）江西瑞昌武山铜矿

矿床位于襄樊—广济深大断裂与郯庐断裂交接处。矿区出露地层为上志留统纱帽组砂岩、粉砂岩；上泥盆统五通组砂岩、粉砂岩、含砾石英岩；中石炭统黄龙组白云质灰岩、下三叠统大冶组灰岩、茅口组灰岩；二叠统长兴组灰岩、硅质岩；下三叠统大冶组灰岩。矿床由南、北两矿带组成，北矿带呈层状、似层状产于黄龙组中，为块状硫化物型铜硫矿床；南矿带分布于花岗闪长岩与围岩接触带上，呈环状、带状产出，为矽卡岩型矿床。与成矿有关的围岩蚀变北带为硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化；南矿带为矽卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化。矿床属“三位一体”式，即内带为矽卡岩型铜矿，外带为岩浆热液型铜矿，其成矿特征可与铜陵地区的铜官山—天马山矿（天鹅抱蛋山、马山矿）类比，差别只是后者外带低铜高金（武山矿北矿带 Cu1.28%、$Au0.43\times10^{-6}$；天马山 Cu0.1%、$Au2.45\times10^{-6}$）。矿床除 Cu、S 外，尚有 Au、Ag、Pb、Zn 可供综合回收。南矿带含伴生金 0.31×10^{-6}。

7. 赣东北成矿带

本带位于江西省东北部，大地构造单元上属扬子地台的江南台隆（Ⅰ级）。三级大地构造单元属万年－德兴隆起，它以北东向的赣东北深大断裂为界与浙西－皖南台褶带（Ⅰ级）的钱塘坳陷相邻。由于两个地块的长期反向垂直运动，沿断裂上盘展现了广泛的岩浆活动和成矿作用，形成了我国最大的伴生金成矿带。区内地层有前震旦系九岭群、漆工群浅变质火山－沉积岩系；震旦系上野组、志棠组、雷公坞组、西峰寺组火山－沉积岩系；下古生界为一套海相－浅海相沉积，一般为硅质、泥质、碳酸盐岩；上古生界为一套海—陆交替的碳酸盐岩和碎屑岩；中生界除三叠系下统大冶组为海相碳酸盐岩外，其余均为碎屑岩和火山碎屑岩。矿体赋存于前震旦系九岭群九都组中。以灰绿色、深灰色灰质板岩、凝灰质千枚岩为主，夹千枚岩和变质沉凝灰岩。区内与成矿有关的岩浆活动主要有燕山早期的浅成－超浅成中酸性斑岩－花岗闪长斑岩（与铜矿化有关）和中酸性火山岩、火山碎屑岩、次火山岩（与铅、锌、铜矿化有关）。在构造上，区域性 NW 向断裂控制了岩体—矿体分布。另外，成矿带中除主要的德兴铜矿集中区外，尚存在一个较次要的朱溪矿化集中区，包括朱溪、月形、下冲坞等矿。其分布受同为 NE 向的宜丰－景德镇断裂控制。成矿与花岗斑岩有关，围岩亦同为前震旦系九岭之浅变质火山－沉积岩系。虽现在尚未发现有一定规模的矿床，但具有较好的远景。

本成矿带为我国最重要的伴生金矿床的产出地，著名的铜厂、富家坞、朱砂红斑岩铜矿、银山火山岩型铅锌矿等四矿伴生金储量就占全国伴生金储量的 29.9%。典型矿床有：

（1）江西德兴铜矿床（田）

矿床位于江南台隆南缘边界赣东北深断裂上盘，NW—NWW 向横张断裂与 NE 向次级背斜状构造交错复合部位。矿区出露地层为前震旦系九岭群九都组，按岩性组可分上、下两段，下段以变质沉凝灰岩为主，夹凝灰质千枚岩、千枚岩、砂质千枚岩、变凝灰质粉砂岩、砂岩；上段以千枚岩和凝灰质千枚岩为主，夹变沉凝灰岩、粉砂质千枚岩、凝灰质粉砂岩。与成矿有关岩体为浅成－超浅成花岗闪长斑岩。德兴矿田的三个矿床均位于斑岩和

千枚岩接触带中，矿体约有1/2--3/4赋存于千枚岩中，其余赋存于斑岩体内，铜、金品位亦以千枚岩中较富。矿床存在明显的蚀变—矿化分带：从早到晚，从内（岩体）向外分别为钾长石化－硅化、绢云母化、绿泥石化--碳酸盐化、硫酸盐化。与铜矿化关系最密切为硅化、绢云母化、绿泥石化，次之为碳酸盐化。在空间分布上，矿化和蚀变强度以接触带为中心向两侧递降。矿石含伴生金情况：铜厂矿 $Au0.18\times10^{-6}$、富家坞矿 $Au0.06\times10^{-6}$、朱砂红矿 $Au0.10\times10^{-6}$，为我国储量最大的伴生金矿床。

（2）江西德兴银山铜铅锌矿床

与德兴铜矿田类似，银山矿床位于江南台隆与钱塘坳陷交接部位，两构造单元分界线·赣东北深大断裂NW侧。矿区出露地层亦为前震旦系九岭群砂质千枚岩和凝灰质千枚岩。古生代沉积缺失，上部覆盖了上侏罗统鹅湖岭组之千枚岩质砾岩。与成矿有关的岩浆活动是燕山早期的火山活动，根据岩性特征、相互关系、空间分布、矿化--蚀变类型可分三个火山旋回。第一旋回形成：流纹质块集角砾岩→角闪流纹岩→石英斑岩→爆破角砾岩→浸染型硫铁矿；第二旋回形成：英安质火山碎屑岩→英安质角砾熔岩、英安质凝灰岩→英安斑岩→爆破角砾岩→铜、铅、锌、硫矿；第三旋回仅在西山火山口内有安山玢岩存在。矿区主要矿化在第二旋回形成。矿床矿化蚀变分带明显，以英安斑岩体为中心，由内至外依次为：绢英岩化Cu、Au、S带（西山区、九区）；绢英岩化、绿泥石化Cu、Au、S带及Pb、Zn过渡带（九区）；绿泥石化Pb、Zn、Ag带（银山区、北山区、九龙上天区）。在垂直方向上则上部为Pb、Zn、Ag带，下部为Cu、Au、S带。矿石中伴生金含量：西山区 0.9×10^{-6}，九区 0.7×10^{-6}，银山区 0.16×10^{-6}，九龙上天区 0.08×10^{-6}，北山区 0.24×10^{-6}。

华南成矿区

本成矿区的命名与华南褶皱系相对应，是著名的钨、锡、钼、铋、铅、锌等有色矿床集中区，但对于伴生金矿床来说，迄今为止发现的尚不很多，其两个成矿带俱位于赣湘桂粤褶皱带和华夏褶皱带中。区内褶皱基底为前泥盆系的一套复理石建造，经轻度变质。志留纪末的晚加里东运动后进入地台阶段，盖层为碎屑岩建造和碳酸盐建造。本区自三叠纪以来，尤其在燕山期时产生了广泛的构造—岩浆活动，华南成矿区的伴生金矿床俱与之有关。

非常明显，本区的两个成矿带俱位于深大断裂带上，湘南粤北成矿带位于耒—临断裂和四会—吴川断裂带上（庐郯深大断裂的南延部分），北武夷成矿带位于萍乡—广丰断裂带上。

8. 湘南—粤北成矿带

成矿带位于湖南衡阳和广东韶关间。大地构造单元上属华南褶皱系赣湘桂粤褶皱带（Ⅰ级）之湘南粤北凹陷中。本区褶皱基底出露零星，最早为震旦系下统泗洲山组泥质板岩和上统天子地组粉砂岩、泥质板岩（湖南区调队1980年创建命名）。向上为寒武系塔山群石英砂岩、板岩；奥陶系石英砂岩、板岩、页岩；志留系缺失。本区自加里东期褶皱回返成为褶皱带中的凹陷区，在古生代接受了巨厚沉积；中泥盆统跳马涧组砂岩（粤北称桂头组）、棋子桥组灰岩；上泥盆统佘田桥组灰岩；锡矿山组灰岩、少量页岩；下石炭统孟公坳组灰岩、石磴子组灰岩、测水组砂岩、梓门桥组灰岩；中石炭统黄龙组灰岩；上石炭统船山组灰岩（合称壶天群）；下二叠统栖霞组灰岩、当冲组硅质岩、泥灰岩；上二叠统龙潭组含煤岩系、大隆组硅质岩；三叠系下统为大冶组灰岩、中上统为浅海—滨海湖泊相碎屑岩

沉积；侏罗系、白垩系、下第三系为海陆交互相和陆相沉积，分布零星，只在衡阳盆地出露较好。成矿带属巨型西太平洋成矿带外带西缘。成矿作用繁复。带内除大片出露燕山期与钨、锡成矿有关重熔型岩体外，沿深大断裂不时零星出露一些与伴生金成矿有关的深源浅成中酸性同熔型岩体。它们往往受深大断裂派生的次级构造控制，如水口山的老鸦巢、鸭公塘、康家湾矿位于倒转背斜核部，湖南宝山、广东大宝山则受断裂控制。本带伴生金矿床的含矿围岩均为泥盆、石炭系的碳酸盐建造。

本带为著名伴生金矿床成矿区，因构造—岩浆活动的差异，可分湘南矿化集中区和粤北矿化集中区。前者计有水口山之老鸦巢、鸭公塘、龙王山、康家湾和宝山、大坊等矿；后者计有大宝山等矿，是一个很有成矿远景地区，尤其是湘南矿化集中区的水口山—康家湾矿田和宝山铜矿外围（有东部铅锌、财神庙、西部铅锌）以及它们之间的断裂带两侧应作一定的探索。本带矿床的最大特点即伴生金绝大多数在铅锌铜矿床中，与长江中下游三大成矿带以铜为主差别很大。典型矿床有：

（1）湖南常宁康家湾多金属矿床

矿床位于衡阳盆地南缘，耒（阳）临（武）凹陷北部，矿区出露地层为侏罗、白垩系砾岩、砂岩粉砂岩，下伏有中、上石炭统的壶天群灰岩白云岩；下二叠统栖霞组灰岩、当冲组硅质岩、泥灰岩；上二叠统斗岭组碳质页岩。矿体受康家湾倒转背斜及位于倒背斜轴部的F_{22}断裂控制，赋存于下二叠统当冲组与下侏罗系高家田组底砾岩不整合面附近，在栖霞组及壶天群中亦有小规模产出，均为深埋于地下的盲矿体。矿床成南北延伸，呈似层状及不规则透镜状，成矿岩体现尚未揭露，仅在部分钻孔中具有花岗岩类小岩脉出现，估计深部应有沿倒转背斜侵入的岩体存在。围岩蚀变主要有硅化、绿泥石化、碳酸盐化。可供回收元素有 Pb、Zn、Cu、Au、Ag，其中金品位为 2.49×10^{-6}。

（2）湖南桂阳宝山多金属矿床（田）

矿床位于耒临凹陷中部，NE 向茶陵—临武断裂带和 NS 向桃水—临武断裂带的交错复合部位，构造—岩浆活动十分激烈。矿区出露地层为上泥盆统—二叠系浅海相碳酸盐建造及少量海陆交互相碎屑岩建造。矿体赋存于下石炭统石磴子组灰岩、测水组砂页岩及梓门桥组白云岩中。矿田受坪宝复式倒转向斜北端的宝岭复式倒转背斜及 NE 向断裂（F_{103}、F_{147}）控制。其中 NNE 向次级断裂和宝岭倒转背斜控制了宝山铜钼矿与宝山东部铅锌矿产出；NE 向次级断裂和宝山次级倒转向斜控制了宝山西部铅锌矿的产出；NE 向次级断裂和财神庙倒转背斜控制了财神庙铅锌矿的产出。成矿岩体为细粒花岗闪长斑岩，围岩蚀变为钾长石化、绢云母化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化。矿田以宝山铜钼矿（伴生金 0.71×10^{-6}）为中心，西有西部铅锌矿（Au 0.76×10^{-6}），东有东部铅锌矿（Au 0.7×10^{-6}）、北有财神庙铅锌矿（Au 0.76×10^{-6}）。具有典型的三位一体矿化组合形式。

9. 北武夷成矿带

位于赣、浙、闽三省交界处，武夷山脉北段。大地构造位置上属华南褶皱系之华夏褶皱带（Ⅰ级）之武夷山隆起（Ⅱ级）。位于绍兴—江山—广丰—萍乡深断裂以南。成矿带内之褶皱基底为上元古界神山群细碧角斑岩、变凝灰岩、大理岩；震旦系千枚岩、板岩；下古生界变质砂岩、板岩、沉凝灰岩。加里东运动使本区褶皱回返，形成褶皱带。上古生界泥盆系缺失；中、下石炭统在北部为砂页岩，在南部为碳酸盐岩、碎屑岩，夹有凝灰岩、凝灰质砂岩、石英角斑岩、霏细角斑岩；上石炭统则为一套海相碳酸盐沉积；二叠系依次为

灰岩、页岩、粉砂岩，中生代则为一套陆相、浅海湖泊相沉积。本区岩浆岩广泛分布，华力西、印支及燕山期皆有活动，其中以燕山期活动最为强烈，岩性复杂，分布面积广，一般以较小的基性、超基性岩开始，以大面积侵入的酸性岩结束。其中斑状花岗闪长岩、似斑状黑云母花岗岩、石英斑岩、花斑岩等多以岩株、岩脉形态产出。陆相火山岩有流纹岩、凝灰岩；海相火山岩有石英角斑岩、霏细角斑岩等，皆广泛分布。成矿带的构造在褶皱基底中主要为NNE—EW向线形复式褶皱，盖层褶皱主要为NNE--NEE向。断裂以EW、NE、NNE向最为发育，为主要控矿构造。

成矿带与著名的赣东北成矿带相距不远，后者受赣东北深大断裂和襄樊—广济--上饶深大断裂的交错部位的构造—岩浆活动控制；前者则受绍兴—江山—萍乡深大断裂和襄樊—广济--上饶深大断裂的交错部位的构造--岩浆活动控制，但在成矿规模上目前尚无法相比，其原因可能是所处大地构造单元位置不同之故（当然也包括两者褶皱基底性质的差异）。成矿带迄今已发现的伴生金矿床多在江西境内，如铁砂街矿、永平矿、沙潭矿；在闽北则有管查矿、屏峰矿。典型矿床有：

（1）江西铅山永平天排山铜硫矿床

矿床位于扬子地台的江南隆起与华南褶皱系的华夏褶皱带交接部位（绍兴—江山—萍乡深大断裂）南侧，赋存于天排山倒转背斜东翼。矿区出露地层为震旦系—寒武系的黑云斜长片岩、片麻岩、斜长角闪岩，具有不同程度的混合岩化，构成褶皱基底。盖层为中下石炭统叶家湾组、上石炭统藕塘底组、船山组、下二叠统小江组、栖霞组、安洲组，岩性为浅（滨）海相碳酸盐岩，夹火山碎屑岩、含煤碎屑岩。其中藕塘底组为赋矿层位，岩性为灰岩、泥灰岩夹凝灰岩，及凝灰质砂岩矿区侵入岩为似斑状黑云母花岗岩，属复式岩体，时代为印支—燕山期。构造有EW、NE、NNE、NW向，矿体成NNE向展布，呈层状、似层状。围岩蚀变主要有矽卡岩化、硅化、绿泥石化。成因上属（火山）沉积变质型矿床。矿石含伴生金0.12×10^{-6}。

（2）江西弋阳铁砂街铜矿床

矿床位于江南隆起与华夏褶皱带交接部位的绍兴—江山--萍乡深大断裂南侧的北武夷山东西构造隆起带与信江凹陷的接壤带上。矿区出露褶皱基底为震旦系（自上而下）绢云母千枚岩、细碧角斑岩夹灰岩、泥质灰岩；盖层为侏罗系砂砾岩。侵入岩浆活动主要有燕山期中粗粒云母花岗岩（铁砂街岩体）及花岗斑岩、石英斑岩。构造形态主要表现为断裂，成EW向和NNE向两组，前者为控矿构造。围岩蚀变主要为绿泥石化、硅化、碳酸盐化、阳起石化。矿体赋存于碳酸盐岩中，成似层状、透镜状产出，属（火山）沉积变质型矿床，上述的细碧角斑岩系为矿源层，铜质来自深部古海底喷发火山，经后期叠加、改造而成。矿石中伴生金含量为0.57×10^{-6}。

古亚洲成矿域

古亚洲成矿域与古亚洲断裂体系的影响范围相对应。根据构造体系的展布特点，可把古亚洲构造体系分成南、北两系（亚体系），南系指分布于东、西昆仑褶皱系，祁连褶皱系及其外围的NW--NWW向断裂系统；北系指分布于西伯利亚地台以南，塔里木--华北地台以北的天山--兴安褶皱区及其外围的NWW—EW向断裂系统。目前因工作程度关系，北系尚无建立伴生金矿床成矿带条件，所以古亚洲成矿域只在南系建立了一个成矿区：秦岭—

祁连成矿区，故而我们的介绍也限制在这一范围。本区地质发展史十分复杂，黄汲清、任纪舜认为是一个在中国地台的基础上裂陷而成的地槽区，然后才逐步转化为褶皱区；张文佑认为本区是一个断褶系，是一个在晋宁基底上经多次挤压和拉开形成的东西向复杂构造带。板块论者则认为本区是一个裂谷系、陆缘带、板块缝合带、微板块的组合区。本区的四个成矿带分属三个褶皱系（Ⅰ级）：

东昆仑褶皱系：属华力西褶皱系。前震旦系为一套地槽型沉积，有片岩、片麻岩；震旦系为一套地台型的砾岩、砂岩、碳酸盐岩；下古生界地层在隆起区为地台型碳酸盐岩、页岩，在凹陷区则为地槽型的蛇绿岩套或浅变质火山－沉积岩系；上古生界下部为一套地槽型沉积，部分地区（柴达木北缘和布尔汉布达地区）则在石炭－二叠转化为地台型碳酸盐建造；中、新生界则为地台盖层型的磨拉石建造和陆相碎屑建造。

祁连褶皱系：属加里东褶皱系。褶皱基底在北祁连优地槽褶皱带，元古界为优地槽型沉积，震旦系则为盖层型的陆相－浅海相沉积，下古生界则复为优地槽型沉积；在祁连中间隆起带，元古界为片岩、片麻岩、大理岩、角闪岩，上覆碳酸盐岩和碎屑岩；在南祁连地槽带则为下古生界碎屑岩、火山岩建造。盖层则在上古生界和中新生界整个褶皱系由一套碎屑岩夹煤系和石膏层组成。

秦岭褶皱系：属加里东、华力西、印支褶皱系，但以印支褶皱系为主。出露的地层有上元古界为变质海相碎屑岩、火山岩、碳酸盐岩；上震旦统为碳酸盐岩；下古生界北部以火山岩为主，南部以碎屑岩、页岩、碳酸盐岩为主；上古生界沉积遍及秦岭中部，以碳酸盐和类复理石建造为主；下、中三叠统碳酸盐和复理石建造；上三叠统开始转向陆相沉积。

秦岭－祁连成矿区

本区地域广阔，包括了青海东、北部和甘肃中部的四个成矿带，它所囊括的矿床则较多，但却只有四个大型矿田（矿）：白银、锡铁山、德尔尼、赛什塘矿。其中金川成矿带位于华北地台与祁连褶皱系接触带上的台区一侧，德尔尼矿位于玛沁－略阳深断裂南侧，位置上属松潘－甘孜褶皱系，但与成矿有关的断裂本身可归属古亚洲构造体系，所以也归入本区。本区大体上是一个加里东、华力西、印支褶皱区。区内深大断裂成北西向排列，它们有北祁连断裂、秦岭地轴北缘断裂、青海湖－北淮阳断裂、玛沁－略阳断裂等。伴生金矿床的成矿与其有密切关系。上述的独特的多旋回地质发展史，使本区的岩浆活动亦十分复杂，与伴生金矿床成矿有关的岩浆活动主要有晚元古代超基性岩侵入活动形成的金川矿带；早加里东期火山活动形成的北祁连矿带；加里东－华力西期火山活动形成的南祁连成矿带；华力西期岩浆活动形成的玛沁－兴海成矿带。

10. 金川成矿带

成矿带位于甘肃中部，大地构造单元属华北地台之阿拉善台隆（Ⅱ级）南缘与祁连褶皱系的（河西）走廊冒地槽褶皱带接壤处。成矿带北侧凹陷区沉积了巨厚的侏罗系、白垩系、第三系砂岩、砾岩、粉砂岩地层。成矿带为一隆起区。出露的褶皱基底为下元古界白家咀子组大理岩、片岩、片麻岩、混合岩和塔马子沟组片麻岩、大理岩、片岩；上元古界薊县—长城系砂岩、灰岩；震旦系孩母山群灰岩、粉砂岩、千枚岩。其中白家咀子组为成矿超基性岩体的直接围岩。而东西向龙首山深断裂则控制了成岩、成矿作用。

本带迄今为止只有一个白家咀子铜镍矿床（金川铜镍矿）。矿体分布于侵入上元古界白家咀子组的超基性岩中，因受断裂切割而成Ⅰ－Ⅳ四个矿体。在上述接触线上尚继续分布

3 C 正中国

有十几个类似岩体，具一定成矿远景。含镍超基性岩体为一复式侵入体，主要岩相为含二辉橄榄岩、橄榄二辉岩、二辉岩、纯橄榄岩。矿体分四种类型，最主要为深熔—贯入矿体，赋存于纯橄榄岩中，次之为熔离矿体，赋存于（含）二辉橄榄岩中；第三为接触交代矿体，赋存于接触代围岩中；第四为晚期贯入矿体，赋存于深熔—贯入矿体或接触带中，富矿。与成矿有关的围岩蚀变有蛇纹石化、透闪石化、绿泥石化、碳酸盐化。有用元素除 Cu、Ni 外，尚可组综合回收 Au、Ag、Pt 族、Co、Se、Te。其中伴生金含量 0.14×10^{-6}。

11. 北祁连成矿带

成矿带位于甘肃中部和青海东部。大地构造单元为祁连褶皱系的北祁连优地槽褶皱带。按板块学说则属秦祁昆微板块（Ⅰ级）的祁连加里东板块片（Ⅱ级之北祁连裂谷带（Ⅲ级）（按刘增乾等）。区内出露地层：前震旦系下部为片岩、片麻岩、大理岩，上部为变质中基性火山岩、碳酸盐岩、板岩、石英岩；中、上寒武统为一套巨厚的碎屑岩和中酸性—中基性火山岩，局部夹细碧角斑岩；奥陶系亦为一套巨厚的中基性火山岩系灰岩和砂岩。这两套岩系黄汲清和任纪舜称之为蛇绿岩套。志留系则以碎屑岩、灰岩为主。加里东运动使本区褶皱回返，地台型盖层为：泥盆系为紫红色砂岩、砾岩；下石炭统为碎屑岩夹灰岩、煤层、石膏层；中上石炭统为煤系地层；二叠系为陆相碎屑岩；中新生界主要为陆相碎屑岩，夹煤层、盐岩。成矿带内花岗岩类侵入活动主要在加里东期：早期主要有斜长花岗岩、二长花岗岩、石英闪长岩；晚期以闪长岩、石英闪长岩为主。两者多以岩株形式产出。本区构造格局为 NW 向（N55°—65°W），以走廊南山复背斜为主要褶皱，褶皱轴部主要有寒武系、奥陶系地层组成。断裂则有北祁连北缘深断裂带、北祁连深断裂带，它们作为大地构造单元分界线纵贯全区。成矿带中火山活动和伴生金矿床的成矿作用的地域分布多受上述深大断裂及其次级断裂控制，如白银矿田位于马雅山－石青硐－白银厂断裂带上；红沟、浪力克、郭米寺等矿分别位于大板山断裂、红腰山深大断裂和黑河－祁连河深大断裂附近。

北祁连成矿带中伴生金矿床按地域可分两个矿化集中区：白银矿化集中区和红沟－郭米寺矿化集中区。前者有小铁山矿、折腰山矿、火焰山矿；后者有红沟矿（Au 0.38×10^{-6}），郭米寺矿（Au 0.39×10^{-6}），浪力克矿、弯阳河矿（Au 2.08×10^{-6}）、银灿矿等。它们均属早古生代火山作用形成的海相火山岩型矿床。典型矿床有：

（1）甘肃白银厂多金属矿田

矿田位于北祁连优地槽褶皱带东段，边千稻认为矿田处于北祁连褶皱、北秦岭断褶、贺兰山坳拉谷组成的三叉裂谷系中。矿田地层为前寒武皋兰群海相碎屑岩；中寒武统海相中酸性火山岩夹大理岩、变质砂岩；中下奥陶统细碧角斑岩（含矿层）；上三叠统延长群湖泊相砂岩、页岩；中下侏罗统砾岩、砂岩；下白垩统河口群砂岩、粉砂岩。侵入岩有花岗闪长岩、闪长岩株、岩枝。矿田总体上为一单斜构造，构造线方向为 NW40°—80°。其中短轴褶皱发育，计有折腰山短轴背斜、小铁山短轴背斜、铜厂沟－拉牌沟短轴向斜等。断裂有 NEE、NWW、NNE 三组。矿田中计有折腰山矿（伴生金含量 0.79×10^{-6}）、小铁山矿（伴生金含量 2.28×10^{-6}）、铜厂沟矿、四个圈矿等。

（2）青海门源红沟铜矿床

矿床位于北祁连优地槽褶皱带南缘，大板山深断裂附近。断裂南侧为祁连中间隆起带。矿区出露地层为：前震旦系云母石英片岩、斜长角闪片岩；上奥陶统钠质酸性—中基性火山熔岩和火山碎屑岩（属细碧角斑岩系）。盖层有三叠系红色砂砾岩。上奥陶统火山岩系可

分两个旋回：第一旋回自下而上为角斑岩、火山角砾岩、细碧岩、石英角斑质凝灰岩、层火山角砾岩、凝灰质砾岩、钙质页岩、灰岩；第二旋回自下而上为细碧岩、角斑质凝灰岩、层火山角砾岩。后者为主要赋矿层位。矿区岩浆活动频繁，自酸性至超基性，从深成、浅成到超浅成相均有发育，时代主要为晚加里东期，其侵入顺序大致为闪长岩→石英闪长岩→花岗闪长岩→超基性岩。矿石伴生金含量 0.38×10^{-6}。

12. 南祁连成矿带

成矿带位于青海中部，大地构造单元上属秦岭褶皱系的南秦岭褶皱带和东昆仑褶皱系的柴达木北缘优地槽褶皱带。因成矿带中矿床分布受控于柴达木北缘深大断裂和、青海湖－北淮阳深大断裂，故虽处不同Ⅰ级大地构造单元，仍划于一个成矿带内。成矿带可划分三个矿化集中区：同仁—共和矿化集中区、都兰矿化集中区、锡铁山矿化集中区。前两矿化集中区出露基底构造层主要是下古生界地层。计有中上寒武统泥旦山群和六道沟群硅质岩和细碧角斑岩；奥陶系之火山岩（细碧岩、角砾熔岩、安山岩、玄武岩等）、碎屑岩、硅质岩。盖层主要为泥盆系沙流水群紫红色砂岩；石炭、二叠系碎屑岩；中新生界主要为湖泊—河流相碎屑岩。后一矿化集中区出露基底构造层主要有上元古界达肯达板群片岩、片麻岩；震旦系全吉群砂岩、灰岩、白云岩；上奥陶统淮间山群海相火山—沉积岩系（含矿层位）；志留系赛什腾群碎屑岩、大理岩。盖层主要为泥盆系砾岩、砂页岩、火山岩—火山碎屑岩；石炭系碳酸盐岩、碎屑岩、中性火山岩；二叠系碎屑岩；中新生界为含煤建造及碎屑岩。本区的岩浆活动主要是加里东—早华力西期火山岩和侵入岩，在晚志留世的褶皱回返期有花岗岩侵入。构造线方向为NW—NWW，宗务隆山—青海湖南山深大断裂控制了本区伴生金矿床的产出。同仁—共和矿化集中区主要有拉水峡矿、夏布楞矿、双朋喜矿等；都兰矿化集中区主要有什多龙矿、野马南山矿、沙柳河矿；锡铁山矿化集中区主要有锡铁山矿。典型矿床有：

青海柴达木锡铁山矿

矿床位于柴达木北缘优地槽褶皱带中段南侧古生代凹陷中。矿区出露地层主要是上奥陶统淮间山群，岩性为一套海相火山—沉积岩系，其中含矿层自下而上可分三个岩段：中酸－中基性火山岩段，为斜长角闪片岩、变流纹岩夹绿泥石绢云母石英片岩及少量薄层大理岩；含矿岩段，由变火山碎屑岩、大理岩及陆源碎屑岩组成；火山碎屑沉积岩段，由拉斑玄武岩型熔岩、火山角砾岩及凝灰岩组成。其他地层尚有：上泥盆统阿木尼克砂页岩；下石炭统穿山沟组碳酸盐岩。锡铁山矿成矿主要与晚奥陶世火山活动有关，为典型的海相火山岩型矿床。矿体产状与主构造线一致，主要成层状、似层状、透镜状产出。矿石中伴生金品位 0.47×10^{-6}。

13. 玛沁—兴海成矿带

成矿带在玛沁—略阳深大断裂西端，断裂大致成东西向延伸，为昆仑—秦岭地槽褶皱区与滇藏地槽褶皱区分界线之一。成矿带可分两个矿化集中区：玛沁矿化集中区和兴海矿化集中区。前者在大地构造单元上属松潘－甘孜褶皱系的阿尼玛卿褶皱带，后者属东昆仑褶皱系的布尔汉布达优地槽褶皱带。玛沁矿化集中区属晚华力西地槽褶皱系，出露地层为二叠系—三叠系碎屑岩、火山岩、碳酸盐岩，并有侏罗系、白垩系、第三系含煤、含盐碎屑岩。区内沿深大断裂有超基性岩分布，成矿与其有关，主要矿床有德尔尼矿。兴海矿化集中区属华力西地槽褶皱系。区内出露的地层主要为：下古生界的黑云斜长片麻岩、角闪

斜长片麻岩、混合岩，夹有辉石斜长片麻岩及大理岩；下二叠统的长石石英砂岩、千枚岩、大理岩、片岩，为主要赋矿层位；上二叠统为中基性火山碎屑岩、变质安山岩，夹有变质细砂岩、千枚岩、大理岩、石英片岩；三叠系为海相碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩、火山碎屑岩。区内NW向构造控制了岩浆岩和铜、锌矿床的分布。区内侵入岩主要为印支早期石英闪长岩、闪长岩。主要矿床有赛什塘矿、铜峪沟矿（Au0.23×10^{-6}）。典型矿床有：

（1）青海玛沁德尔尼铜矿床

矿床位于积石山断裂—侵入岩带中、矿区构造线成NW向。由SW向NE依次出现复背斜—断裂带—断陷盆地。矿体就赋存于复背斜南翼靠近轴部位置的德尔尼超基性岩体中段。矿区出露地层为上石炭统大理岩夹角闪片岩及下二叠统下组的砂岩、炭质板岩、千枚岩。夹有凝灰质板岩、硅质岩和安山岩透镜体。与成矿有关岩体以辉橄岩为主体。其次为橄榄岩、纯橄岩、橄辉岩、辉石岩。矿体产于超基性岩体中部。围岩蚀变有碳酸盐化、蛇纹石化，次之有滑石化、绿泥石化、钠闪石化、硅化。矿石含伴生金0.53×10^{-6}。

（2）青海兴海赛什塘铜矿

矿床位于布尔汉布达山东段南缘，为东昆仑褶皱系，松潘—甘孜褶皱系、南秦岭冒地槽褶皱带三大大地构造单元的“三联体”附近。矿区出露地层为下二叠统，可分上、下两岩组。下组为一套浅变质滨海—浅海细碎屑岩、碳酸盐建造；上组为变质较深的碎屑岩及少量混合岩，夹薄层灰岩。矿体主要成似层状，其次为透镜状、细脉状，产状与地层基本一致，随地层褶曲起伏而呈舒缓波状。围岩蚀变简单微弱，有角岩化、矽卡岩化。矿石含伴生金0.31×10^{-6}。

特提斯—喜马拉雅成矿域

特提斯—喜马拉雅成矿域与特提斯—喜马拉雅断裂体系影响范围相对应，其范围在东昆仑南缘深断裂以南，雅鲁藏布江深断裂以北，龙门山深断裂和康滇地轴深断裂系以西。大地构造单元属滇藏地槽褶皱区和康滇地轴（也包括右江褶皱系西缘）。把康滇地轴并入本成矿域的原因是：自印支期以来，本区与伴生金矿床成矿有关的构造—岩浆活动深受古特提斯洋板块俯冲作用的影响，相对而言，太平洋板块俯冲作用的影响则相当弱。故以划入本成矿域较妥。

作为扬子地台西缘的康滇地轴，自早三叠世以来，自东而西、自早至晚由于地块的镶接作用相继形成了松潘—甘孜褶皱系（印支期）、三江褶皱系（印支期）、腾冲褶皱带（燕山期）。并相继形成了金沙江、怒江、雅鲁藏布江缝合线。这一情况类似于太平洋板块俯冲对扬子地台东缘、华南褶皱系所产生的作用。所以本成矿域对伴生金有相当好的成矿远景。因工作程度关系，本成矿域只在三江（怒江、澜沧江、金沙江）地区建立了一个成矿区——三江成矿区。本区出露地层可分槽区和台区分别描述。槽区主要是印支褶皱系，但亦分布有华力西、晚加里东褶皱系。出露最老地层为上元古界澜沧群、震旦系和下寒武统哀牢山群，前者为一套复理石建造，夹基性火山岩建造；后者为一套复理石建造，夹碳酸盐（砂泥岩）建造。下古生界主要为碳酸盐建造、复理石建造。部分地区有基性—中基性火山岩建造。上古生代主要为类复理石建造、碳酸盐建造，部分有中-中酸性火山岩建造。三叠系主要为火山岩建造、碳酸岩建造、碎屑岩建造，部分有含煤建造。侏罗、白垩、第三系则主要为红色碎屑岩建造、磨拉石建造。台区（康滇地轴）出露为前震旦系的康定群和大

红山群，岩性主要为石英片岩、变粒岩、斜长角闪岩、片麻岩及变火山岩、大理岩。

本区断裂构造十分发育，存在着怒江—澜沧江、金沙江—红河、玉龙—龙门深断裂系及康滇地轴深断裂系。一般为NNW、SN向，在南端散开，部分成NNE、NE向。伴生金矿床的成岩 成矿带都依此分布，与之密切相关。

三江成矿区

本成矿区包含地域为川西、滇西、藏东，处于三江（怒江、澜沧江、金沙江）地区。大地构造单元上分属松潘—甘孜褶皱系、三江褶皱系和康滇地轴。该地区经历了加里东、华力西、印支、燕山、喜山期各旋回构造运动影响。深大断裂成束状排列，断裂褶皱强烈，岩浆活动频繁，十分有利于伴生金矿床的生成。矿床的分布明显受一些深大断裂控制：金沙江－红河深大断裂、澜沧江深大断裂、怒江深大断裂等影响所及，引起了壳—幔源岩浆活动，从而也控制了斑岩型、火山岩型伴生金矿床的展布。

在本成矿区中我们也划入了康滇地轴中的伴生金矿床。依据是它无论从断裂--岩浆活动的特征来看，或从成矿作用和成矿时代来看，明显具有特提斯—喜马拉雅构造体系特征：主构造线方向为SN向，加里东、华力西、印支、燕山、喜山期各构造旋回都在该区有所显示。所以，把康滇（地轴）成矿带划入是较适宜的。这样，特提斯—喜马拉雅成矿域范围便稍有扩大，除它本区外还包括其影响所及地区。

14．川西—滇北成矿带

成矿带位于川西、滇西北，大地构造单元上属松潘—甘孜褶皱系（Ⅰ级）之玉树—义敦褶皱带（Ⅱ级）东段，为印支地槽褶皱带。区内出露地层最早为零星分布的前震旦系片岩、大理岩、震旦系石英岩及少量古生界变质碎屑岩；二叠系为一套火山—沉积建造，三叠系为一套浅海相－海相碎屑岩、碳酸盐建造，并有大量安山岩、流纹岩存在；中生界缺失侏罗、白垩系，新生界为零星分布的山麓堆积及河湖相沉积。成矿带中伴生金的成矿与金沙江俯冲带和稍后的甘孜—理塘俯冲带形成的沟—弧体系的火山活动有关。成矿带可分两个矿化集中区，北部为白玉矿化集中区（白玉呷村多金属矿），南部为中甸矿化集中区（雪鸡坪铜矿、红山铜矿）。典型矿床有：

（1）四川白玉呷村多金属矿

矿床位于玉树－义敦褶皱带中段的德格－乡城断裂带上，也即是处于俯冲作用形成的古火山岛弧带上。矿区出露地层为上三叠统呷村组，下段以碳酸盐岩为主，夹碎屑岩；中段以火山岩为主，夹碎屑岩、碳酸盐岩；上段以钙质泥岩为主，夹碳酸盐岩。其中火山岩系为赋矿层位，岩性为凝灰岩、英安流纹质角砾熔岩、流纹岩。矿体受呷村复式倒转向斜控制，分布于西翼次级褶皱内。矿体垂直分带明显：下部Pb、Zn，上部Cu、Pb、Zn、Ag、Au。水平分带也较明显。围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、绿泥石化、钡冰长石化、重晶石化。呷村矿成矿机制与日本黑矿类似，属海相火山喷流矿床（印支期）。可供回收组分除上述外，尚有Hg、Sb、S、Cd、Ga、重晶石等。伴生金含量0.51×10^{-6}。

（2）云南中甸雪鸡坪铜矿床

矿床位于松潘--甘孜褶皱系的玉树--义敦褶皱带南端与三江褶皱系和扬子地台的交接部位，区内构造—岩浆活动频繁，尤其火山、次火山岩分布广泛，构成一套包括喷出--超浅成—浅成的火山--岛弧建造。矿区出露地层为中、上三叠统类复理石建造及火山岩建造；中三叠统格咱组板岩、砂岩、灰岩；上三叠统雪鸡坪组板岩、砂岩夹凝灰岩、安山岩。区

内 NNW 向格咱深断裂为控岩－控矿构造。与成矿有关岩体为次火山岩相的石英闪长玢岩石英二长斑岩。围岩蚀变有钾化、石英化、青盘岩化。矿体分带明显：内带 Cu、Al，外带 Pb、Zn，中有过渡带，属（次）火山岩型矿床。

15. 藏东－滇西成矿带

成矿带位于藏东、滇西，大地构造单元上属三江褶皱系，属印支地槽褶皱带，但加里东、华力西、燕山、喜山期构造运动亦影响强烈。区内出露地层最老的是震旦—寒武系的哀牢山群，它由混合岩、片麻岩、变粒岩、片岩、斜长角闪岩、大理岩组成；下古生界为复理石建造，这些古老地层主要分布于金沙江深断裂西侧与扬子地台的接壤处；上古生界主要为一套碳酸盐建造、复理石建造、夹火山岩；三叠系是本区主旋回构造层，主要为一套红色岩系，夹火山岩、火山凝灰岩。本区构造－岩浆活动充分显示了多旋回特点。上述各期具存在伴生金矿床的成矿作用，成矿远景相当好。金沙江—红河、澜沧江、怒江等深大断裂控制了成矿带中深源岩浆活动的展布，也控制了伴生金矿床的分布。成矿带可分成三个矿化集中区：北段玉龙矿化集中区，包括玉龙矿、马拉松多矿、扎那尕矿、多霞松多矿；中段澜沧江矿化集中区，包括大洞厂矿、大矿山矿等；南段金平矿化集中区，包括安冲矿、白马寨矿等。典型矿床有：

西藏江达玉龙铜矿

矿床位于三江褶皱系的乌丽—昂欠褶皱带东端，金沙江深断裂西侧。矿区出露地层有下奥陶统干枚岩、板岩；上古生界主要为碳酸盐岩、碎屑岩，夹火山岩；三叠系分布广泛，为赋矿围岩，岩性为中酸性火山岩、火山碎屑岩、碎屑岩；中、下侏罗统、第三系为滨海相和陆相碎屑岩。矿体受 NNW 向夺盖拉复式向斜控制，分布于东、西两条逆—逆掩断裂间的次级背斜内。与成矿有关的岩浆活动为喜山期的玉龙二长花岗斑岩岩体。围岩蚀变由中心向外侧依次出现钾长石化→黑云母化→绢英岩化→青盘岩化。玉龙铜矿为典型的“三位一体”矿床；中心为斑岩型，中圈为矽卡岩型，外侧为热液型脉状矿体。矿石含伴生金 0.1×10^{-6}。

16. 康滇（地轴）成矿带

成矿带位于川南、滇中的会理－新屏一线，大地构造单元上属扬子地台的康滇地轴（Ⅱ级），地处扬子地台西缘。带内自震旦纪起一直是隆起区，分布有昆阳群、会理群、大红山群等变质岩系。晚华力西期以来，因受自冈瓦纳古陆裂离的羌塘、拉萨及印度板块俯冲影响，带内发育有广泛的构造－岩浆活动。所以，成矿带内存在着两种不同成因、不同类型、不同成矿时代的伴生金矿床，即元古代地台型同生矿床，如拉拉铜矿、大红山铜矿和活化带型后生矿床（印支、燕山、喜山旋回形成），如大铜厂铜矿、力马河镍矿。除上述矿床外，本带中尚有小青山铜矿、核桃树铜镍矿、阿尔铅锌矿、朱布铂矿。就远景和规模来说，以前者为主。典型矿床有：

云南新平大红山铁铜矿

矿床位于康滇地轴南端西侧，扬子地台和三江褶皱系分界线的红河深断裂东侧附近。矿区出露褶皱基底为元古界大红山群，为一套海相火山－沉积变质岩系，岩性主要为片岩、大理岩、火山角砾岩、变钠质熔岩、石英岩、板岩。其中中下部、中部的曼岗河组、大红山组为赋矿层位。控矿构造为近 EW 向的 F_1 断裂，它控制着海底火山喷发岩的展布。矿体产出明显受古火山喷发—沉积中心及火山机构的控制。矿区主要有 5 个含矿层位，矿种上可

分铁矿体和铜铁矿体，后者含伴生金 0.15×10^{-6}。

晋陕川黔（过渡区）成矿域

前已述及，我国中部地区，即太行山－武陵山以西，贺兰山－六盘山—龙门山—雅砻江—元江以东，内蒙古地轴(不含)以南，南盘江以北广大地区（不含横穿中部的秦岭山脉），大地构造单元上属大致包括鄂尔多斯台坳、山西断隆、四川台坳、上扬子台褶带、江南台隆西段等五个Ⅱ级大地构造单元。黄汲清、任纪舜（1981）称鄂尔多斯台坳和四川台坳为“稳定得出奇的刚性地块”，并认为它们“分隔了滨太平洋与特提斯—喜马拉雅断裂体系”。纵观全区后可知，自中条、扬子运动形成地台以来，过渡区一直相当稳定，尤其是印支、燕山期产生的太平洋－库拉板块、古特提斯－印度板块对欧亚板块的俯冲作用对本地区也甚少产生影响，构造—岩浆活动贫乏。过渡区内出露的褶皱基底主要出露在山西断隆和江南台隆西段。前者有太古界的阜平群、龙泉关群、界河口群、桑干群，元古界的五台群、滹沱群、吕梁群，岩性为一套中－深变质岩系，岩性为麻粒岩、辉石岩、角闪岩、片麻岩及片岩、大理岩、石英岩；后者主要为中元古界神农架群、四堡群、冷家溪群、梵净山群和上元古界板溪群、下江群、丹洲群，岩性为浅变质碎屑岩、火山碎屑岩、火山岩、夹碳酸盐岩。过渡区内盖层：鄂尔多斯台坳主要为陆海过渡相泥砂岩；四川台坳自印支运动后全面凹陷，主要为一套中、新生代陆相沉积；上扬子台褶带在古生界至中三叠统为海相碳酸盐沉积，上三叠统起则为陆相碎屑岩沉积。过渡区内五大构造单元自地台形成之后，以四川台坳和鄂尔多斯台坳最稳定，山西断隆、江南台隆次之，上扬子台褶带较差。构造运动主要表现为大规模的升降运动及开阔平缓的褶皱，印支、燕山期的岩浆活动贫乏，只在边缘地区略有存在。过渡区内金属矿床可分两大类型，一为古老的产于褶皱基底中的沉积（火山）变质型，一为产于盖层中的沉积、沉积--改造型。一般而言，沉积、沉积变质型铜矿无金（如东川铜矿、易门铜矿、滇中砂岩铜矿），而火山变质型铜矿有金（如中条山铜矿），至于沉积改造型则多数形成单一金矿（如黔桂地区的微粒浸染型金矿，不在本书论述范围）。另外，本区尚有一类介子沉积变质型和沉积改造型之间的矿床，即著名的湘西金锑钨矿。综合上述，我们在过渡成矿域内建立了两个成矿区和相应的成矿带。

晋陕成矿区

本区的大地构造单元属华北地台的山西台隆和鄂尔多斯台坳。两者构成了匀称的台背斜—台向斜结构。前者褶皱基底为太古界阜平群、界河口群和元古界的五台群、滹沱群。盖层为一套海陆交互相的含煤建造及陆相碎屑岩；后者的褶皱基底只零星出露。盖层主要为碳酸盐建造，海陆交互含煤建造及陆相碎屑岩。两者构造变动和岩浆活动都很稀少，仅山西台隆中存在著名的滹沱河—汾河地堑。本区仅有一个中条山成矿带。

17. 中条山成矿带

本带位子山西南部，大地构造单元上属华北地台的山西地台（Ⅱ级）的中条隆起（Ⅲ级）。带内褶皱基底包括下元古界的降县群、中元古界的中条群、夏县群、马村群、担石山群。带内线型褶皱发育，构造线走向主要为NE。岩性为典型地槽型沉积，复理石建造火山—沉积建造、碳酸盐建造均已中低级变质。盖层为上元古界震旦系的西阳河群、芮城群、罗圈组等，产状平缓，构造简单，为地台型沉积。带内的伴生金矿床均赋存于褶皱基底中。

矿床赋存于一定层位，与火山活动和区域变质作用有密切关系，而矿体产出部位又往

往受断裂控制。本类矿床可称为火山变质型矿床。本成矿带的矿床有铜矿峪、篦子沟、胡家峪、老宝滩等铜矿床，其它尚有白峪口、洞沟、横岭关、李巴沟、芦家坪等小型矿床和矿点。其显著特征之一是成矿时代为古老的中条旋回。典型矿床有：

山西垣曲篦子沟铜矿床

矿床位于山西南部，大地构造单元属扬子断隆的中条台拱。矿区出露地层为中元古界中条群，矿床赋存于该群中部的篦子沟组中。该组及上覆的余家山组底部及下伏的余元下组顶板为一含铜建造，岩性为大理岩、片岩、凝灰岩。矿体成层状、似层状、透镜状，与地层产状一致。围岩蚀变为钠长石化、硅化、碳酸盐化、黑云母化、绿泥石化，成因类型上属火山—沉积变质矿床。矿石伴生金含量 0.49×10^{-6}。

川黔成矿区

本区大地构造单元上属扬子地台的四川台坳，上扬子台褶皱带及江南台隆西段，其中江南台隆西段是相对隆起地区，出露一套元古代板溪群浅变质岩系；上扬子台褶皱带的褶皱基底为中上元古界的火山变质岩系，盖层自古生界至晚三叠统为碳酸盐建造，再后则为陆相碎屑沉积；四川台坳的褶皱基底深埋未见，盖层为一套陆相碎屑沉积。本区构造变动和岩浆活动均稀少，矿床多为一些沉积变质和沉积—改造型矿床，前者有湘西锑钨金矿，后者有丹寨汞矿。

18. 湘西成矿带

位于湖南湘西沅水流域，大地构造单元属扬子地台的江南台隆（Ⅱ级）西段的雪峰隆起（Ⅱ级）。成矿带基底为元古界冷家溪板溪群，岩性为浅变质砂砾岩、层凝灰岩及板岩，构成一复式背斜核部，其两侧则出现有白泥盆系至三叠系的盖层。主要含矿岩系为板溪的砂砾岩—板岩建造。本成矿带内褶皱断裂十分发育，但岩浆活动，尤其与成矿有关的岩浆活动则相当微弱。

本成矿带内的伴生金矿床类型相当独特，俱为产于元古界冷家溪群和板溪群内的沉积变质型矿床，即变质热液汲取地层中金和其他组分后迁移、富集再经后期改造而成矿。矿体沿层面、劈理面、断裂分布。元素组合为 Au—Sb—W、Au—Sb—As 组合。即使单一金矿，如漠滨金矿成因上也属此类型。本成矿带中的伴生金矿床有湘西沃溪金锑钨矿、龙王江金锑矿、鱼儿山锑金矿、符竹溪锑金矿、西冲锑金矿等。

与同属江南台隆的赣东北成矿带比较，两者的成矿作用、矿化类型、控矿条件等差异很大，太平洋板块俯冲作用的影响在前者十分巨大，是巨型太平洋金属成矿带的组成部分。但在本带则已强弩之末，无甚大影响。典型矿床有：

（1）湖南沅陵金锑钨矿床

矿床位于江南台隆的雪峰隆起中，南邻赣湘桂粤褶皱带，处于扬子地台和华南褶皱系两大构造单元交接线：溆浦—四堡深大断裂附近。矿区出露地层有元古界冷家溪群和板溪群板岩、千枚岩，震旦系砂岩、板岩，上白垩统陆相砂砾岩。赋矿层为板溪群马底驿组第二岩性段的紫红色含钙板岩。多数矿体顺层分布仅少数穿层。矿床产于区域构造线由 NE 转向 EW 的弧形转折部位，其中沃溪断裂为矿区控矿构造。矿床的金属元素组合独特，为 Au、Sb、W 组合，三者均达到工业品位。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化。矿石含金 6.19×10^{-6}，属共生金矿床。

（2）湖南溆浦龙王江金锑矿

矿床位于江南台隆的雪峰隆起中，溆浦—四堡深大断裂西侧附近的 NNE 向龙鼻桥—淘金坪复式背斜轴部及洞坪、黑土坡两断裂之间。矿区出露地层为元古界板溪群五强溪组（复背斜核部）及震旦系江口组、南沱组（翼部）。与沃溪矿不同，龙王江矿赋存于马底驿组上覆的五强溪组中。五强溪组由两个岩性段组成：下段由灰绿色条带状板岩、砂质板岩、凝灰质长石石英砂岩组成；上段由薄层含粉砂质板岩、板岩、钙质细砂岩组成。矿体可分含金、锑石英脉型及含金、锑蚀变板岩型两个类型，前者规模较大且富。矿体含金 0.4×10^{-6} 12×10^{-6}，属共生金矿床。

第三节　成矿带的主次分类

在本章中我们划分了 18 个成矿带，各成矿带所含的伴生金储量差别很大。从表 3—1 和表 3—2 的统计可知：

表 3—2　三类伴生金矿床成矿带表

成矿带类型	占储量比范围（%）	个数	成矿带名称	储量比（%）
主要成矿带	＞10	3	赣东北成矿带（25.81%） 九江-黄石成矿带（17.71%） 南京-安庆成矿带（10.54%）	54.06
次重要成矿带	3—10	6	多宝山成矿带（5.44%） 中条山成矿带（3.24%） 湘西成矿带（3.53%） 湘南-粤北成矿带（4.02%） 金川成矿带（5.47%） 玛沁-兴海成矿带（3.96%）	25.66
次要成矿带	＜3	9	珲春成矿带（2.96%） 辽东成矿带（0.79%） 内蒙古（地轴）成矿带（1.17%） 北武夷成矿带（1.89%） 南祁连成矿带（1.05%） 北祁连成矿带（2.53%） 康滇（地轴）成矿带（2.37%） 川西-滇北成矿带（0.22%） 藏东-滇西成矿带（0.12%）	13.10

①我国伴生金矿床最重要的成矿带是赣东北成矿带，九江—黄石成矿带、南京—安庆成矿带，它们占有全国伴生金总储量的 54.06%，其中尤以赣东北成矿带最大，占总储量的 25.87%；次重要成矿带 6 个，占总储量的 25.66%；次要成矿带 9 个，占成矿带数 50%，但储量仅占 13.10%。

②以成矿区而言，伴生金矿床最重要的是扬子成矿区，占伴生金总储量的 54.06%；次之为秦岭-祁连成矿区，占 13.01%；第三为小兴安岭-长白山成矿区，占 8.4%；第四则为华南成矿区，占 5.91%。其他四个成矿区的伴生金储量占有率均＜5%，四个合计仅占

11.34%。但必须说明：特提斯—喜马拉雅成矿域的三江成矿区目前的伴生金储量所占比率虽不大（2.71%），但却存在相当好的远景，如目前尚未上全国伴生金储量平衡表的西藏玉龙矿田，其伴生金即占全国总储量的3.56%。三江成矿区的地质条件复杂，兼有伴生金成矿条件优越的扬子成矿区和祁连—秦岭成矿区两者之长，也即是说该区既存在褶皱带型同生矿床（四川白玉呷村多金属矿、雪鸡坪铜矿）和地台型同生矿床（云南大红山铜矿、四川拉拉铜矿），又有活化带型后生矿床（西藏玉龙铜矿、力马河镍矿）。所以，无论就其成矿条件或已知矿床类型的分布情况来说，本区都应该是一个重要的伴生金成矿区。

③以成矿域而言，按重要性排列次序是：首先为滨太平洋成矿域；次之为古亚洲成矿域；第三是晋陕川黔过渡区成矿域；第四是特提斯—喜马拉雅成矿域。在四大成矿域中尚有少部分矿床未划入上述的成矿区、带中。归根到底，地质研究的结论都是“阶段性”的，随着成矿理论的深化和找矿技术的进展，新的矿床会不断地发现，新的成矿带会不断建立。在此我们提出三个远景成矿带。在这些远景成矿带中已发现了数个大、中、小型伴生金矿床，虽规模上尚不足建立成矿带，但具有建立的远景。它们的成矿条件依然具有深大断裂—板内同熔型岩浆活动—伴生金矿床的三位一体特征。这些远景成矿带是：滨太平洋成矿域中的闽南—粤东远景成矿带，计有上杭紫金山铜金矿、澄海莲花山斑岩钨矿、梅县丙村铅锌矿，成矿与政和—大浦—海丰深大断裂和莆田—陆丰深大断裂带有关；滨太平洋成矿域的海拉尔远景成矿带，计有八大关、八八一、乌奴克吐山、甲乌拉等斑岩型矿床（点），矿床位于额尔古纳褶皱系的交接带上，受德尔布干深大断裂控制；古亚洲成矿域的额尔齐斯远景成矿带，计有富蕴喀拉通克铜镍矿、索尔库都克铜矿，成矿与额尔齐斯深大断裂有关。

第四章　伴生金矿床的时-空分布规律

我国地域辽阔，自中生代以来又处于欧亚、印度、太平洋三大板块汇聚点上。各大地构造单元品类齐全、变化繁复。在此宏伟壮观的基础上来探讨伴生金矿床的时、空分布，令人兴趣盎然。众所周知，我国大地构造发展和演化最显著特征是多旋回和活化。从伴生金矿床成矿学的立场来理解，我们认为，对滨太平洋成矿域，成矿以“活化”为特征；对古亚洲和特提斯-喜马拉雅成矿域来说，成矿则以“多旋回”为特征；而晋陕川黔成矿域则两者兼而有之。从另一角度观之，台区的成矿以“活化”为特征，褶皱带的成矿则以“多旋回”为特征。我国四大成矿域的伴生金矿床的类型和分布格局就分别受此两大特征的控制约束。

第一节　不同大地构造单元中伴生金矿床的分布特征

为了能定量地表征各大地构造单元中伴生金矿床的分布情况，在建立《全国伴生金银矿床地质数据库》的基础上，进行了各种统计。

统计方法：统计伴生金矿床 352 个；储量一律按全国矿产储量平衡表（1990 年底）统计；未上储量平衡表者只统计矿床数；大地构造单元东部统计到Ⅱ级、西部统计到Ⅰ级；大地构造单元所占国土面积计算到Ⅱ级，但只统计有伴生金储量的Ⅱ级单元，其余合并计算。

统计内容：a. 统计各Ⅰ、Ⅱ级大地构造单元中伴生金的储量比和矿床数比（表 4－1）；b. 各大地构造单元所占面积不同，可相差一个数量级，所以表 4－1 内容未能完整表明各单元中伴生金分布特征。故另统计了单位面积中伴生金储量（g/km²）（表 4－2）；c. 统计了各大地构造单元中所属的成矿带（表 4－3）。所以上述的伴生金矿床数比、储量比、单位面积储量（g/km²）三个参数作为评价不同大地构造单元伴生金矿化强度的表征。现分别论述如下：

① 地台和褶皱带比较，前者的伴生金矿化强度占明显优势：地台中伴生金储量占总伴生金 73.83%，矿床数占 57.10 %，单位面积中伴生金储量为 409. 9 g/km²；而褶皱系中则分别为 26.17 %，42.90% 和 72.10 g/km²。充分说明前者矿化强度为后者的 6 倍。

②地台与地台相比较，三大地台活化程度顺次递降，即扬子地台→华北地台→塔里木地台；其伴生金的矿化强度亦顺次递降，即伴生金储量由高→低（分别为 61.78%→12.05%→0）；伴生金矿床数由多→少（分别为 36.52%→20.53%→0.29%）；单位面积中伴生金储量由大→小（分别为 775.7g/km²→119.6g/km²→0 g/km²）。从而明显可知，地台的活化程度对其伴生金矿床的分布具有决定性意义。

③地台内部相比较，具有以下两个特点：一是伴生金矿床多分布在地台边缘活动带，如华北地台和扬子地台中除了两个古老（元古代）成矿带——中条山成矿带和辽东成矿带外，

表 4-1 不同大地构造单元中伴生金储量和矿床数统计表

I级大地构造单元	I级大地构造单元	伴生金储量（%）		矿床数比（%）	
华北地台	阿拉善台隆	5.46	12.05	1.43	20.58
	鄂尔多斯台拗	--		0.29	
	内蒙古地轴	0.02		3.14	
	山西断裂	4.21		3.71	
	燕山台褶带	—		1.43	
	华北断拗	—		0.57	
	胶辽台隆	1.75		8.86	
	鲁西断隆	0.61		0.86	
	豫西断隆	--		0.29	
扬子地台	盐源—丽江台隆褶带	-	61.78	0.29	36.52
	四川台拗	—		0.57	
	康滇地轴	2.37		3.71	
	上扬子台褶带	0.07		4.00	
	江南台隆（原称江南地轴）	28.90		6.27	
	江汉断拗	-		0.29	
	浙西—皖南台褶带	0.27		3.43	
	下扬子台褶带	30.17		17.39	
	苏北断拗	—		0.57	
塔里木地台	--	—	—	0.29	0.29
额尔古纳褶皱系	--	-	—	0.29	0.29
内蒙古—大兴安岭褶皱系	大兴安岭优地槽褶皱带	5.60	6.96	1.14	2.00
吉黑褶皱系（含延边褶皱系）	内蒙古优地槽褶皱带	1.36	2.96	0.86	4.28
	延边褶皱系	1.72		1.43	
	松辽拗陷			0.57	
	张广才岭优地槽褶皱带	1.24		1.71	
	佳木斯隆起	—		0.57	
秦岭褶皱系	南岭冒地槽褶皱带	1.83	1.91	1.71	4.29
	北秦岭褶皱带（包括秦岭地轴）	0.08		2.29	
	武当—淮阳隆起	-		0.29	
华南褶皱系	赣湘桂粤褶皱带	4.93	7.60	7.14	16.29
	华夏褶皱带	2.55		5.43	
	右江褶皱带	0.11		2.29	
	云开褶皱带	—		1.43	
东南沿海褶皱系	--	—	—	2.00	2.00
准噶尔褶皱系	—	0.52	—	0.29	0.29

续表

Ⅰ级大地构造单元	Ⅱ级大地构造单元	伴生金储量比(%)		矿床数比（%）	
天山褶皱系	—	0.14	- -	0.86	0.86
东昆仑褶皱系	—	1.05	1.05	0.29	0.29
西昆仑褶皱系	—		—	0.29	0.29
祁连褶皱系	—	2.52	2.52	2.29	2.29
松潘-甘孜褶皱系	—	2.35	2.35	4.57	4.57
喀喇昆仑-唐古拉褶皱系	—	- -	—	0.29	0.29
三江褶皱系	- -	0.16	0.16	4.29	4.29
冈底斯-念青唐古拉褶皱系	—	—	—	0.29	0.29

表 4－2　不同大地构造单元单位面积中伴生金储量统计表

Ⅰ级大地构造单元	Ⅱ级大地构造单元	面　积 (10^3km^2)		面积百分比 (%)		单位面积中伴生金储量 (g/km^2)	
华北地台	阿拉善台隆	127.7	1384.3	1.33	14.42	588.8	119.6
	山西断隆	188.2		1.96		307.5	
	胶辽台隆	170.9		1.78		140.6	
	鲁西断隆	83.5		0.87		100.8	
	其　它	814.0		8.48		—	
扬子地台	康滇地轴	72.0	1096.3	0.75	11.42	452.7	775.7
	浙西－皖南台褶带	64.3		0.67		58.3	
	下扬子台褶带	83.5		0.87		4972.3	
	江南台隆（原称江南地轴）	106.6		1.11		3733.6	
	其　它	769.9		8.02		—	
塔里木地台	—	626.9	626.9	6.53	6.53	—	—
额尔古纳褶皱系	—	76.8	76.8	0.80	0.80	—	—
内蒙古－大兴安岭褶皱系	大兴安岭优地槽褶皱带	343.7	701.8	3.58	7.31	224.3	114.0
	内蒙古优地槽褶皱带	358.1		3.73		8.14	
吉黑褶皱系（含延边褶皱系）	延边褶皱系	56.6	536.6	0.59	5.59	419.3	75.9
	佳木斯隆起	79.7		0.83		159.9	
	其　它	400.3		4.17		—	
秦岭褶皱系	南秦岭冒地槽褶皱带	142.1	353.3	1.48	3.68	177.1	74.3
	北秦岭褶皱带（包括秦岭地轴）	73.0		0.76		15.1	
	其　它	138.2		1.44		- -	
东南沿海褶皱系	—	113.3	113.3	1.18	1.18	—	—

续表

准噶尔褶皱系	--	265.0	265.0	2.76	2.76	26.8	26.8
天山褶皱系	—	484.8	484.8	5.05	5.05	3.9	3.9
东昆仑褶皱系	-	367.7	367.7	3.83	3.83	39.2	39.2
祁连褶皱系	—	278.4	278.4	2.90	2.90	124.8	124.8
松潘—甘孜褶皱系	—	588.5	588.5	6.13	6.13	54.9	54.9
喀喇昆仑—唐古拉褶皱系	—	455.0	455.0	4.74	4.74	—	—
三江褶皱系	—	345.6	345.6	3.60	3.60	6.2	6.2
冈底斯-念青唐古拉褶皱系	--	552.0	552.0	5.75	5.75	—	—
其　它	—	522.2	522.2	5.44	5.44	—	—
合计或平均		9600		100.00		143.3	

表 4—3　不同大地构造单元中的成矿带

地台	华北地台	辽东成矿带
		中条山成矿带
		金川成矿带
		内蒙古(地轴)成矿带
	扬子地台	南京—安庆成矿带
		九江—黄石成矿带
		赣东北成矿带
		湘西成矿带
		康滇(地轴)成矿带
地槽褶皱系	内蒙古—大兴安岭褶皱系	多宝山成矿带
	延边褶皱系	珲春成矿带
	昆仑—秦岭褶皱系	北祁连成矿带
		南祁连成矿带
		玛沁—兴海成矿带
	华南褶皱系	北武夷成矿带
		湘南粤北成矿带
	滇藏褶皱系	川西-滇北成矿带
		藏东—滇西成矿带

其它七个成矿带俱位于地台边缘(图 4—3)：南京—安庆成矿带和九江—黄石成矿带位于扬子地台与秦岭褶皱系、华北地台交接线附近；赣东北成矿带和湘西成矿带位于扬子地台与华南褶皱系交接线附近；康滇（地轴）成矿带位于扬子地台西缘与三江褶皱系交接线附近；金川成矿带位于华北地台与祁连褶皱系交接线附近；内蒙古(地轴)成矿带位于华北地台与内蒙古—大兴安岭褶皱系交接线附近。

另一特征是伴生金矿床虽多位于地台的褶皱基底中（地台区的九个成矿带中有七个位于褶皱基底（台隆、地轴、断隆），仅两个位于盖层中），但它们的矿床数比分别为 28.84% 和 28.26%，几乎完全相同；而储量比前者为 42.91%，后者为 28.25%，褶皱基底较高，但单位面积中储量褶皱基底为 399.8 g/km^2，而盖层为 2834.4g/km^2，后者为前者的 7 倍。所以，总的来说地台的隆起区与拗陷区都存在伴生金矿床，但台褶带的矿化强度相对较好。

至于苏北断拗、江溪断拗等区因存在着巨厚的新生代沉积，几乎没有伴生金矿床，故略而不论了。

④褶皱系与褶皱系比较：从成矿学的角度出发，可把我国褶皱系分成三大类型：a. 滨太平洋褶皱系，包括吉黑褶皱系（含延边褶皱系）、内蒙古—大兴安岭褶皱系、华南褶皱系、东南沿海褶皱系等；b. 特提斯—喜马拉雅褶皱系，包括松潘—甘孜褶皱系、三江褶皱系等；c. 古亚洲褶皱系，包括祁连褶皱系、秦岭褶皱系、东昆仑褶皱系、天山褶皱系等。三大褶皱系的伴生金矿床的矿化强度是不同的：滨太平洋褶皱系＞古亚洲褶皱系＞特提斯—喜马拉雅褶皱系，它们分别占伴生金总储量的17.52%、6.14%和2.51%。当然，这样的统计有一定的误差，它同地质工作的程度很有关系。我们认为，特提斯--喜马拉雅褶皱系很有远景，玉龙、马拉松多、多霞松多、扎那尕等斑岩铜矿、白玉等火山型铜矿都有相当大的伴生金储量（目前已有储量，但未上平衡表）。所以，无论从现实情况或成矿的地质条件观之，其储量会超过古亚洲褶皱系。

⑤褶皱系内部比较：一般而言，优地槽褶皱带中伴生金矿床较其它单元为多，如祁连褶皱中最著名的白银厂矿位于北祁连优地槽褶皱带中，东昆仑褶皱系中唯一的锡铁山矿位于柴达木北缘优地槽褶皱带中。褶皱系中伴生金储量最大者为内蒙古—大兴安岭优地槽褶皱系（多宝山矿）。非常明显，上述情况仅对不受或少受后期构造--岩浆活动“干扰”的褶皱系而言是合适的，而对于深受太平洋板块和印度板块“干扰”的褶皱系，其伴生金矿床的矿化强度则完全受另一构造因素——深大断裂的制约，它将在下节中予以详细论述。

第二节　大地构造单元对伴生金矿床类型的制约作用

如上所述，不同大地构造单元中伴生金矿床的矿化强度有明显差别。不但如此，其矿床类型亦各具鲜明特征。

（一）地台区的伴生金矿床类型

地台是伴生金矿床的重要赋存区。我国三大地台，除其中的塔里木地台因本身的属性和工作程度问题，迄今尚未发现重要矿床故略而不论外，华北地台和扬子地台中伴生金矿床类型与褶皱带相比（表4—4，4—5）存在以下特征：

1. 地台中伴生金矿床类型的排列次序

如上所述，地台中伴生金储量占全国伴生金总储量的73.83%。在这大量的伴生金矿床中，最重要的矿床类型是矽卡岩型和斑岩型。它们分别占全国伴生金储量的27.57%和20.44%，占地台区伴生金的39.00%和28.67%（表4—4）。虽然前者较高，但基本上可谓平分秋色。著名的矿床分别有铜录山矿、城门山矿、冬瓜山矿、凤凰山矿、大冶铁山矿、狮子山矿和铜厂矿、富家坞矿、朱砂红矿、铜矿峪矿等。两种类型矿床有一个令人兴趣的相同点：它们之间的距离很近且十分密集；也有一个同样令人兴趣的相异点：斑岩型储量大但矿床数少；矽卡岩型储量相对较少但矿床数甚多。

地台中的次要矿床类型是陆相火山岩型、岩浆岩型、沉积变质型、岩浆热液型。它们占全国伴生金储量的3.41%--8.42%，占地台区伴生金的4.73%- 11.73%。著名的矿床，岩浆岩型有金川白家咀子矿；陆相火山岩型有江西银山矿。

沉积变质型有沃溪矿、鱼儿山矿、龙王江矿、篦于沟矿、红透山矿、拉拉矿、大红山矿；

岩浆热液型有天鹅抱蛋山矿、马山矿、栖霞山矿、铜井矿等。

至于同生沉积型、沉积改造型、铁帽型矿床很少，故略而不述。

2. 地台的褶皱基底和盖层中伴生金矿床类型的差别

地台的褶皱基底和盖层中的伴生金矿床类型截然不同。以伴生金储量举足轻重的相邻两个Ⅱ级构造单元为例：江南台隆中主要类型为斑岩型、沉积变质型、陆相火山岩型；而下扬子台褶带中主要类型则为矽卡岩型、岩浆热液型。前者成矿带有赣东北成矿带、湘西成矿带；后者中有南京—安庆成矿带、九江—黄石成矿带。褶皱基底和盖层中产生不同矿床类型的机制是很明显的，主要因围岩性质不同所致：前者为一套含火山物质的浅变质岩系（双桥山群或板溪群）；后者为泥盆、石炭纪的碳酸盐建造（属地台的第二套盖层）。正如南岭地区钨矿在赣南前泥盆纪变质岩系中发育为高温热液型矿床，而在湘南泥盆、石炭系碳酸盐岩中发育为矽卡岩型矿床（柿竹园、瑶岗仙等）同理。

3. 华北地台和扬子地台的伴生金矿床类型异同

表 4—4　两大地台中各类型伴生金矿床的金储量比

类　型	扬子地台		华北地台		合　计	
	占全国（%）	占本区（%）	占全国（%）	占本区（%）	占全国（%）	占本区（%）
岩浆岩型	0.03 (4)①	0.06	5.47 (9)	45.39	5.50 (13)	7.65
矽卡岩型	26.67 (51)	44.60	1.34 (18)	11.08	28.01 (69)	38.98
斑岩型	18.82 (4)	31.47	1.77 (5)	14.66	20.59 (9)	28.65
岩浆热液型	2.67 (34)	4.45	0.74 (12)	6.14	3.41 (46)	4.75
陆相火山型	7.56 (12)	12.65	0.86 (9)	7.15	8.42 (21)	11.72
海相火山型	— (4)	—	—	—	— (4)	—
同生沉积型	— (3)	—	—	—	— (3)	—
沉积改造型	0.67 (7)	1.12	—		0.67 (7)	0.93
沉积变质型	2.98 (16)	4.98	1.88 (14)	15.58	4.86 (30)	6.76
铁帽型	0.40 (8)	0.67	—	—	0.40 (8)	0.56

①括号内为矿床个数。

从上节所述可知，扬子地台伴生金的储量是华北地台的三倍。同时两者的矿床类型亦有很大差别，华北地台的岩浆岩型储量占全国伴生金的 5.50%，而扬子地台的岩浆岩型只占 0.03%，前者占绝对优势，为后者的 183 倍；矽卡岩型储量前者占 1.34%，后者占 26.67%，后者占绝对优势，为前者的 20 倍；斑岩型储量前者占 1.77%，后者占 18.82%，后者又占绝对优势，为前者的 10 倍。另外，各矿床类型在两地台中的排名次序也完全不同（表 4—4）。这些差别的产生主要是由于两地台的活化程度、活化机制不同所致，扬子地台东段受太平洋板块俯冲影响较华北地台东段强烈；扬子地台西段主要受印度板块俯冲影响，而华北地台西段受秦岭—昆仑地槽影响（也有学者认为它是华南地台向华北地台俯冲的古缝合线）。

（二）褶皱区的伴生金矿床类型

为了讨论方便，同样将以三大褶皱系——滨太平洋褶皱区、古亚洲褶皱区、特提斯—喜马拉雅褶皱区为单位论述。但将天山—兴安地槽褶皱区的东段（包括古黑褶皱系、内蒙古—大兴安岭褶皱系）划入滨太平洋区；西段（天山褶皱系）仍划入古亚洲区。

1. 褶皱系伴生金矿床类型的排列次序

褶皱系中最重要的类型为斑岩型矿床，占全国伴生金储量的8.54%和褶皱系伴生金储量的29.80%。虽然与地台区比较仅是1/3，但在褶皱系中却独占鳌头，远超过其他类型矿床。主要矿床有多宝山矿、小西南岔矿、玉龙矿、多霞松多矿。本区中次要矿床类型有火山沉积型、岩浆热液型、矽卡岩型、沉积变质型。它们占全国伴生金储量的2.94%—7.67%，占褶皱系的10.16%—26.75%。著名的矿床，火山变质型有锡铁山矿、白银折腰山矿、火焰山矿；岩浆热液型有康家湾矿、水口山矿；矽卡岩型有天排山矿、赛什塘矿；沉积变质型有龙山锑金矿（表4—5）。

表4—5　三大褶皱系中伴生金矿床类型比例表

类　型	滨太平洋褶皱系		特提斯—喜马拉雅褶皱系		古亚洲褶皱系		合　计	
	占全国（%）	占本区（%）	占全国（%）	占本区（%）	占全国（%）	占本区（%）	占全国（%）	占本区（%）
岩浆岩型	—	—	2.36(9)①	40.06	—	—	2.36(9)	8.37
矽卡岩型	0.56(21)	12.23	—	—	1.31(2)	23.60	3.36(23)	11.92
斑岩型	8.29(8)	46.16	3.50(8)	59.31	—	—	11.22(17)	39.81
岩浆热液型	4.06(33)	23.50	—	—	0.17(14)	3.10	4.11(47)	14.57
陆相火山型	0.30(10)	1.79	—	—	—	—	0.30(10)	1.06
海相火山型	0.97(5)	5.77	0.04(6)	0.63	4.05(8)	72.87	5.06(19)	17.92
同生沉积型	—	—	—	—	—	—	—	—
沉积改造型	—			—			—	—
沉积变质型	2.92(6)	9.50		—	0.02(3)	0.43	1.62(9)	5.73
铁帽型	9.17(3)	1.05	—	—	—	—	0.18(3)	0.62

①括号内为矿床个数。

2. 褶皱系的褶皱基底和盖层中伴生金矿床类型的差别

与地台区一样，褶皱系的褶皱基底和盖层中伴生金矿床的差别是明显的。赋存于不同时代褶皱基底的主要矿床类型为斑岩型、火山岩型、沉积变质型；赋存于盖层中的矿床类型有矽卡岩型、岩浆热液型。总之，无论地台或褶皱系，它们的褶皱基底或盖层中的矿床类型基本相似，但褶皱基底和盖层之间的差别却相当大。

3. 三大褶皱系伴生金矿床类型的异同

以滨太平洋、特提斯—喜马拉雅、古亚洲三大褶皱系而言，它们的伴生金矿床类型各具特色，滨太平洋褶皱系最重要的是斑岩型和海相火山岩型，两个共占本区伴生金储量的61.56%；特提斯-喜马拉雅褶皱系则几乎全部为岩浆岩型和斑岩型矿床，两者共占91.80%；古亚洲褶皱系则几乎全部为海相火山岩型和矽卡岩型矿床，两者共占87.06%（表4—5）。

第三节　深大断裂的区域性控矿作用

纵观我国伴生金矿床的分布情况，有一条清晰的线索可把表面上杂乱无章伴生金矿床

串联起来，使其有规律可循。这条线索就是断裂构造。我国的伴生金矿床，无论就区域性的分布格局而言，或就具体矿床（田）的产出部位而言，断裂控矿的特征十分明显。本节所述内容仅限于深大断裂的区域性控矿作用，至于具体矿床（田）产出部位的构造控矿作用（矿床构造）特征将在第五章中加以论述。

（一）我国伴生金矿床的区域性分布格局

众所周知，我国的深断裂可分三大体系。伴生金矿床的区域性分布格局明显地受此三大体系控制。滨太平洋断裂体系中的郯庐深断裂及其南北延伸部分；古亚洲断裂体系南系（我们将古亚洲构造体系以华北—塔里木地台为界分成南系、北系；又将南系以北淮阳隆起为界分成南系北段、南系南段）中的北祁连--北秦岭—北淮阳、柴达木北缘--青海南山-北秦岭—北淮阳、东昆仑--南秦岭--南大别山断裂系；特提斯—喜马拉雅断裂体系中的三江断裂系（包括受其影响的康滇地轴断裂系）。它们使我国的伴生金矿床的分布构成了横置的"下"字形格局（图 4－1）。在"下"字形分布格局中集中了全国总伴生金储量的 82.17%，也集中了全国 18 个成矿带中的 14 个成矿带。至于晋陕川黔过渡区成矿带中的伴生金矿床，也分别受三大断裂体系的控制。但这些矿床皆属沉积变质和沉积改造型矿床，构造因素只是提供成矿空间，而不起提供物质来源的作用。现分别述说此三大断裂系的控矿作用（表 4－6）。

表 4－6　各断裂系对伴生金控矿作用统计

断裂系名称	控制的成矿带	占有储量（%）
郯庐深断裂系 北段	珲春成矿带；辽东成矿带	3.75
郯庐深断裂系 南段	湘南粤北成矿带	4.02
郯庐和祁连—大别山深断裂系交汇处	南京—安庆成矿带；九江—黄石成矿带；赣东北成矿带；北武夷成矿带	55.95
祁连--秦岭--大别山断裂系	南祁连成矿带；金川成矿带；北祁连成矿带；玛沁-兴海成矿带	13.01
三江断裂系	康滇（地轴）成矿带 川西—滇北成矿带 藏东—滇西成矿带	4.96
合　计		81.69

（二）三大断裂系对伴生金矿床的控制

1. 郯庐断裂系对伴生金矿床的控制

著名的郯庐深大断裂是滨太平洋断裂体系中最重要的一条深大断裂。原先的命名只是断裂的中段，现已南伸至广济—黎塘和吴川—四会；北延至伊兰—伊通和沈阳-哈尔滨，构成横贯我国南北的三条最重要的断裂系之一。在断裂系附近的伴生金矿床的成矿带自北而南有珲春成矿带、辽东成矿带、九江—黄石成矿带、南京--安庆成矿带、湘南粤北成矿带。这些成矿带离郯庐断裂的距离一般小于 80km（图 4－1、4－2）。

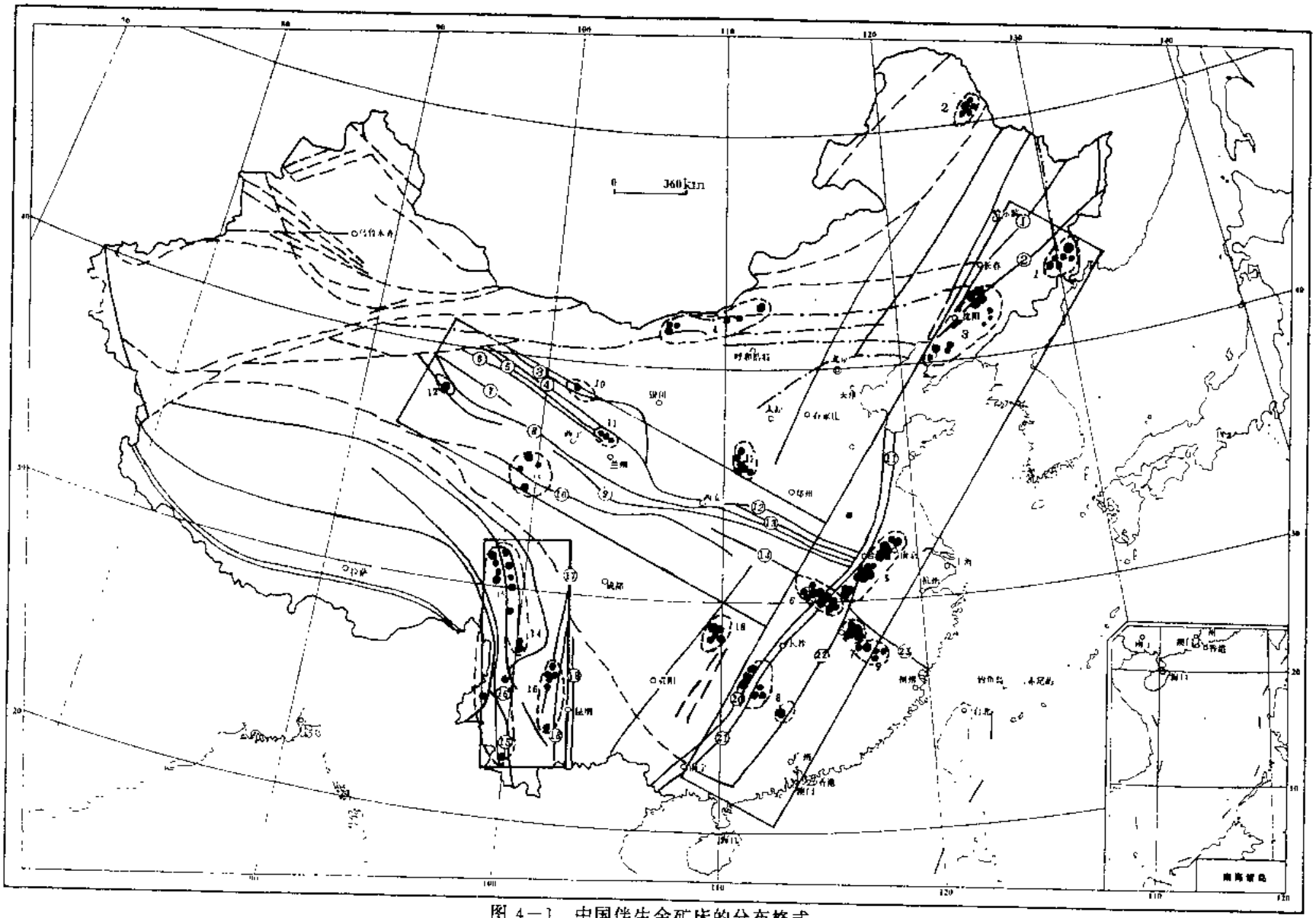


图 4—1　中国伴生金矿床的分布格式

①依兰－伊通；②抚顺－蓉山；③龙首山；④北祁连北缘；⑤北祁连；⑥中祁连北缘；⑦党河南山；⑧青海湖－北淮阳；⑨柴达木北缘－北淮阳；⑩东昆仑－南秦岭；⑪郯城－庐江；⑫秦岭地轴北缘；⑬秦岭地轴南缘；⑭襄樊　广济；⑮澜沧江；⑯金沙江－红河；⑰绿汁江；⑱安宁河；⑲小江；⑳广济－黎塘；㉑宿松－灵山；㉒赣江－关川　四会；㉓广济　丰饶

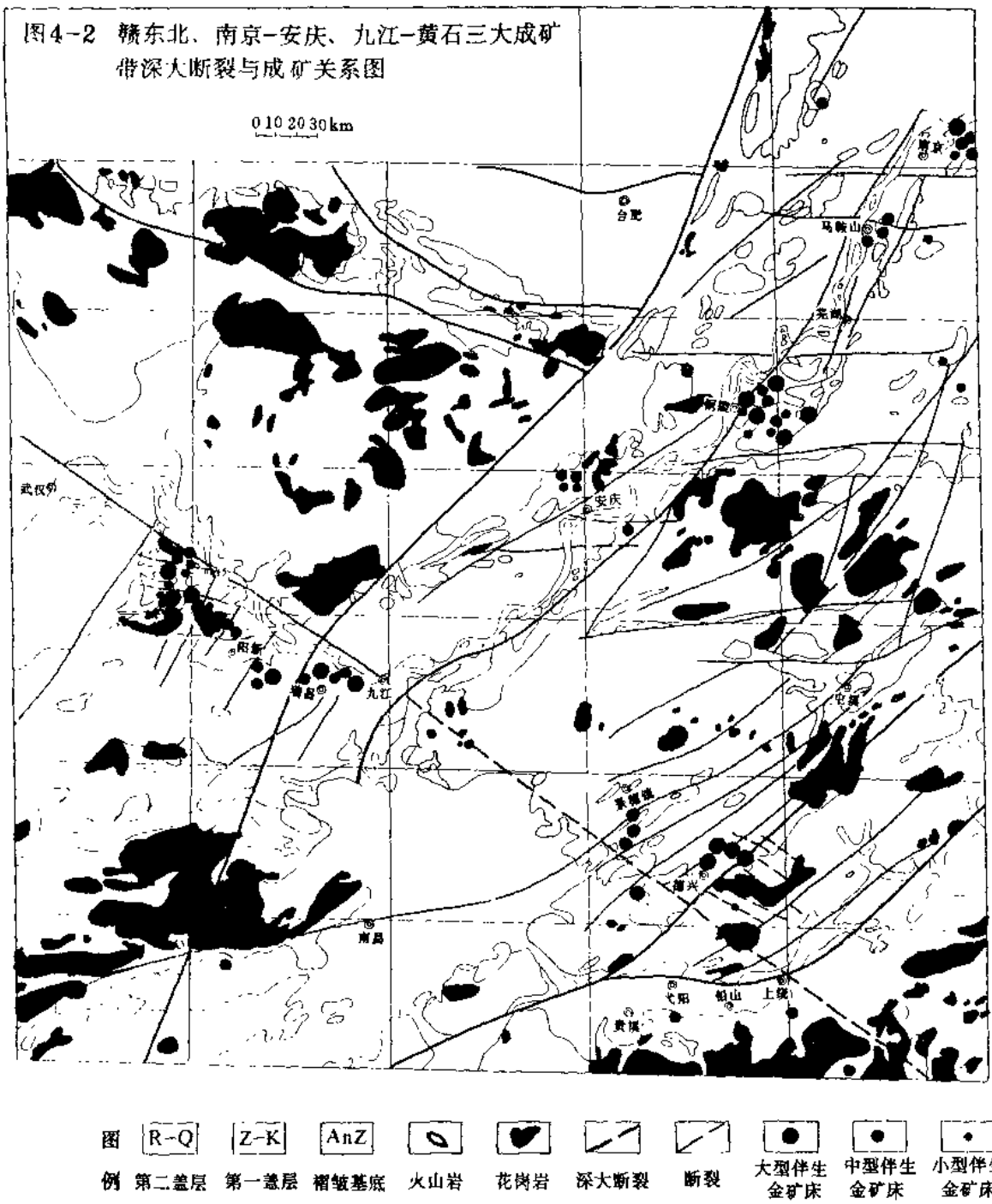


图 4－2　赣东北、南京－安庆、九江－黄石三大成矿带深大断裂与成矿关系图

郯庐断裂系由多条断裂构成，具有多旋回特征。它横穿四个Ⅰ级大地构造单元，包括地台和褶皱系，大致为一岩石圈断裂。伴生金矿床一般并不直接产出于断裂带上，多数产于派生的次级构造上。如湘南—粤北成矿带中的老鸦巢矿、鸭公塘矿、康家湾矿、宝山矿、大坊矿就位于南北向的衡临断裂中

郯庐断裂走向大致沿 NNE—NE 向，与库拉—太平洋板块俯冲带大致吻合，即与东太平洋岛弧链的展布方向一致。沿该断裂系附近燕山期深源岩浆活动频繁，近代地震也经常发生，其与成矿作用的关系值得深入系统研究。

2. 祁连—秦岭—大别山断裂系对伴生金矿床的控制

众所周知，本断裂系由多条深大断裂组成，属一长期活动、多旋回的古亚洲断裂体系南系，它向东切入滨太平洋构造体系中，两者的交错复合，在长江中下游引起一系列构造变动，对伴生金的展布格局产生了深刻影响。为了叙述方便，以贺兰山—六盘山—龙门山深大断裂为界，将其分为东西两段，东段将在下节论述，在此仅介绍西段情况，其所包含的断裂系已为上述。与目前已发现的伴生金矿床有关的深大断裂包括北祁连—北淮阳断裂系中的龙首山深大断裂（金川矿）、北祁连北缘深大断裂（白银厂矿）；柴达木北缘—北淮阳断裂系中的青海湖—北淮阳深大断裂（锡铁山矿）；东昆仑—南秦岭断裂系的玛沁—略阳深大断裂（德尔尼矿）。它们分属金川成矿带、北祁连成矿带、南祁连成矿带、玛沁—兴海成矿带。

构造系的走向为 NWW 和 NW，为古板块缝合线（也有认为是古代裂谷）。其伴生金矿床的类型、成矿时代、矿化特征等方面都与东段矿床有本质上的差别：东段主要为矽卡岩、斑岩型、岩浆热液型矿床；西段则为岩浆岩型、海相火山岩型矿床；成矿时代上东段主要是燕山期，西段主要是加里东期和华力西期；成矿特征上东段主要是活化带型同生矿床，西段主要是地槽型同生矿床（图 4—1）。

3. 三江断裂系对伴生金矿床的控制

同祁连—秦岭—大别山断裂系类似，三江断裂系亦由多条大致平行的深大断裂构成，属宏伟的特提斯—喜马拉雅构造体系之南段。构造带呈南北分布，包括澜沧江深大断裂，金沙江—红河深大断裂。沿该断裂分布的成矿带有川西—滇北成矿带和藏东—滇西成矿带。与三江断裂带有关的伴生金矿床主要是斑岩型、矽卡岩型、海相火山岩型。也就是说既具有受郯庐断裂系控制矿床的特点，又具有受祁连—秦岭—大别山断裂系控制矿床的特点，即兼有两者的成矿特点。本区的断裂构造格局受板块俯冲带控制，在时代上主要集中在印支、燕山、喜山期（图 4—1）。

康滇（地轴）成矿带虽位于扬子地台西缘，但从构造体系来看，应属特提斯—喜马拉雅构造体系。控制伴生金矿床的构造为安宁河深断裂和小江深断裂、绿汁江深断裂，全为南北向，应该说同受上述板块俯冲所致。当然，康滇（地轴）成矿带中部分矿床属于古老的晋宁期产物，但更多的矿床属华力西期，即与西侧的三江断裂系有关。

（三）古亚洲断裂体系南系和滨太平洋断裂体系的交汇—长江（中下游）的锯齿状流向—我国最重要的伴生金矿床成矿区三者的因果关系

如上所述，我国伴生金矿床的区域性分布格局受三大断裂系控制。另外，我国最大的伴生金成矿区（包括南京—安庆成矿带、九江—黄石成矿带、赣东北成矿带）就位于标题所述的两大断裂系交会处，此处的伴生金储量占全国伴生金总量的 54.06%（表 3—2）。从而可知，我国伴生金矿床分布格局之重心所在：遥望古亚洲断裂体系南系中的北祁连—北淮阳、柴达木北缘—北淮阳、东昆仑—南秦岭三大断裂系，沿雄伟高峻的昆仑山系、阿尔金—祁连山系逶迤西来，此起彼伏，在太白山受阻于鄂尔多斯台拗和四川台拗两个刚性地块，它们南北对峙，使断裂汇集并沿着秦岭山系的南北两麓延伸，至大别山又复沿其南北

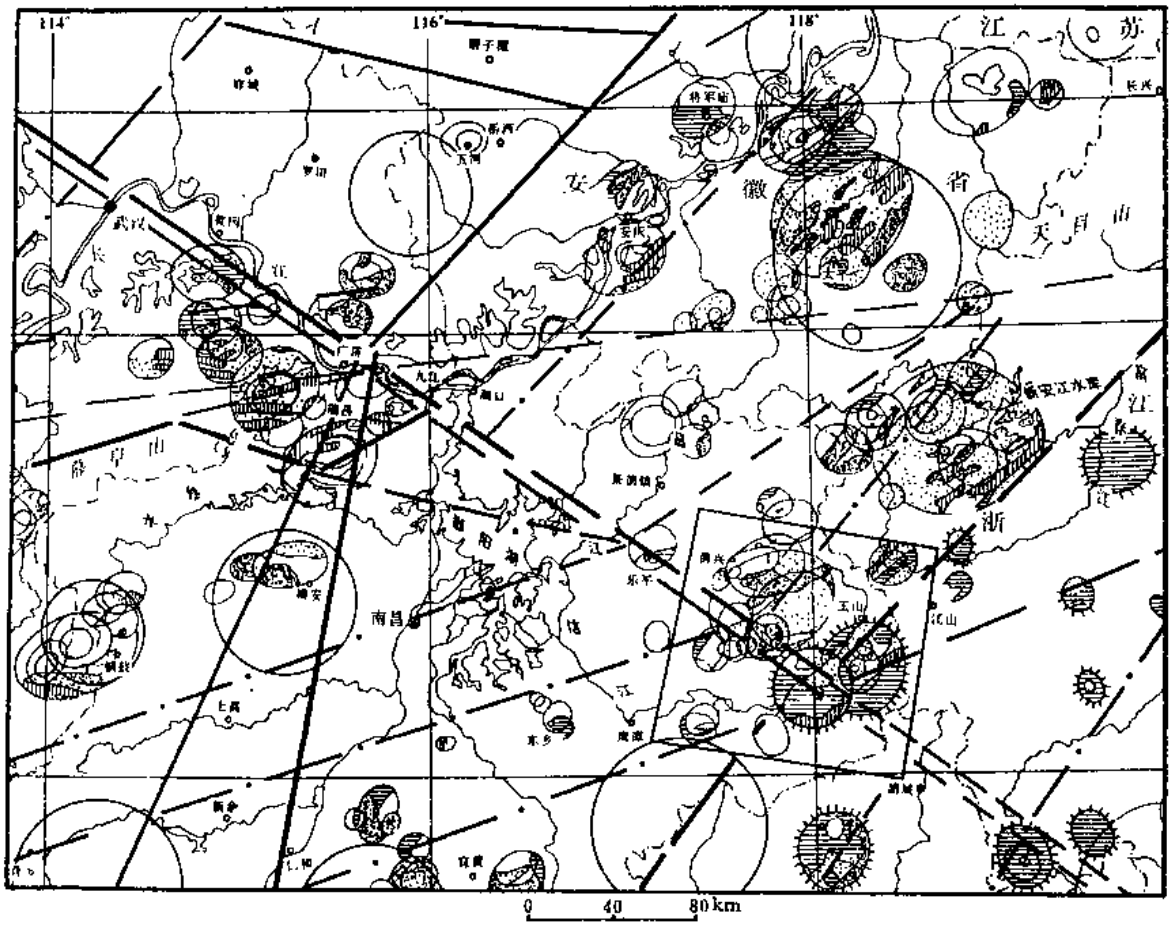


图 4—3　三大成矿带的卫星遥感图（据于志鸿等，1989，有修改）　　图例同图 4—2

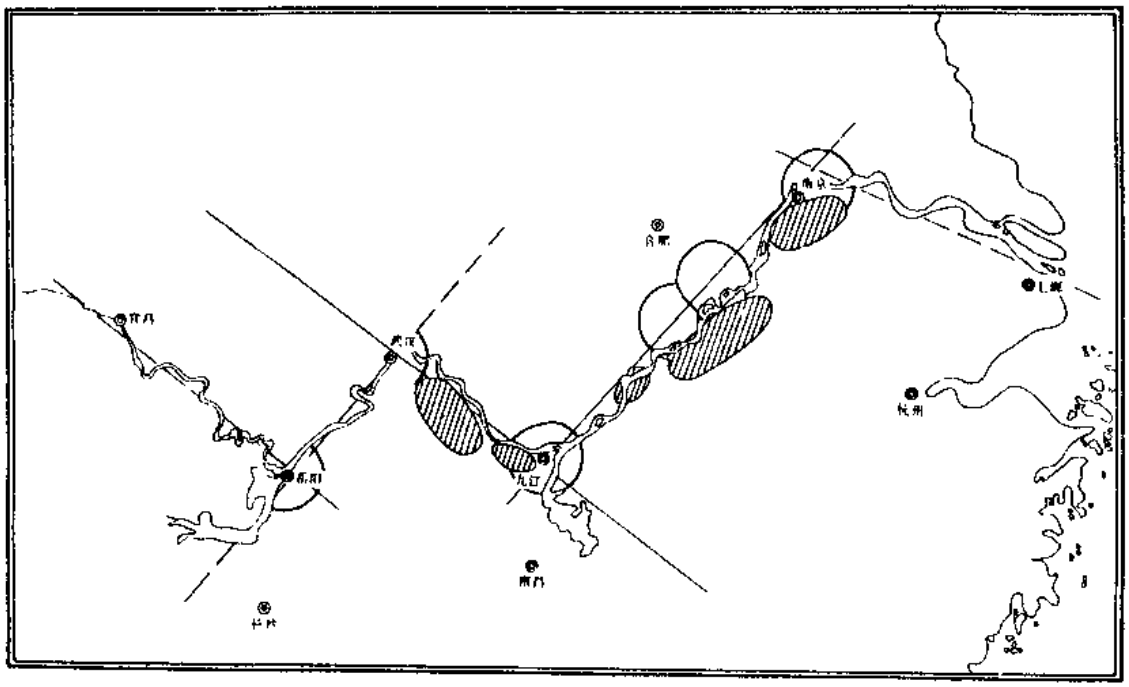


图 4—4　NW—NE 断裂交错—长江锯齿状流向—伴生金矿床成矿带关系示意图

两麓散开，其中青海湖－北淮阳断裂、秦岭北缘断裂、秦岭南缘断裂和襄樊—广济断裂与郯庐断裂分别相交于广济（南段）、庐江（北段）附近（图 4—1、4—2）。

古亚洲断裂体系南系的构造线方向为 NW—NWW，滨太平洋断裂则为 NE—NNE。自通过上述的鄂尔多斯、四川两大地块后，两类断裂构造互相交错、干扰，形成了复杂的菱格状断裂体系。古亚洲断裂体系南系至郯庐断裂后乍观似嘎然而止，不复东延。但众多迹象表明，实际似并不如此。在南段，据文献[20]的卫片解析，NW — NWW 向的襄樊—广济深断裂过江后仍然继续向南东延伸，构成广济－乐平—上饶深断裂（图 4—3）；在北段，秦岭地轴南北缘的深断裂以 NWW—EW 向与郯庐断裂交汇，但过江后似已隐伏于下扬子台褶带的褶皱盖层之下。它的存在和活动可从其烙印于盖层上的形迹：铜陵—宣城和南京—旌德间的一系列近 EW 向断裂上得到证实（图 4—4）。总之，以郯庐断裂为代表的，并位于其附近的滨太平洋断裂体系和以大别山南北麓断裂为代表的古亚洲断裂体系南系及其隐伏的东延部分，两者交汇构成了我国最重要的伴生金矿床集中区，集中区目前成一斜置的“T”字形，一横在黄石－上饶间，约长 340km；一竖在南京—九江间，约长 240 km（图 4—1、4—2）。

上述的 NE 和 NW 向构造交错、复合和相互叠加不但控制了该地区的伴生金矿床分布格局，而且也控制了宜昌以下的长江流向。只要仔细考察万里长江的流向后就可以发现，在宜宾以西受喜马拉雅—特提斯构造体系控制；在宜宾以东就受古亚洲和滨太平洋构造体系联合交错控制。尤其是宜昌以东江段，自上海－南京－九江—武汉—岳阳间构成了完美无暇的“锯齿状”流向（图 4—4）。它们分别成 NW 和 NE 向交替出现，彼此几乎平行。南京—九江间沿郯庐断裂，九江—武汉间沿襄樊—广济断裂。武汉－岳阳间沿武汉－湘阴断裂（壳断裂，据张文佑），岳阳—宜昌间沿天阳坪—监利断裂（前震旦纪基底断裂，中、新生代有复活表现，据《湖北省区域地质志》），而上海－南京间的断裂似已被巨厚的新生代沉积所湮没，但从宁镇山脉的一些断裂走向（NWW—NW）中可以窥知它与该段的长江流向是吻合的。长江大断裂是否存在，前人有过不同的意见，对此我们的认识是：所谓长江大断裂，实际上是属古亚洲断裂体系南系东段一系列断裂和滨太平洋断裂体系一系列断裂交错复合的结果。即长江大断裂是存在的，但分属两个不同构造体系。两大断裂系的交会所产生的巨大影响可从处于长江流向的 V 字形谷底的两大湖泊洞庭湖和鄱阳湖的产生和自中新生代以来的强烈拗陷及附近的不断地震中得出相应结论。也即是说，两大断裂的交汇使该区的深部或表层产生强烈的构造变动。由此及彼，可知九江—黄石成矿带和南京—安庆成矿带的出现绝非偶然，同样是上述两大断裂系交汇时产生的深大断裂——深源岩浆活动——伴生金矿床“三位一体”的地质事件的结果。同理可知，赣东北成矿带亦是如此（详述于下节）。

上述论述亦回答了为什么伴生金矿床集中于长江中下游并大致沿长江分布的原因。从而推论南京、九江、岳阳附近的石炭、二叠、三叠系褶皱盖层中是伴生金矿床的远景区。推而广之，凡是与长江交切的深大断裂附近亦应是远景区（图 4—4 中的圆圈区，斜线区为已知矿化集中区）。

（四）赣东北、九江—黄石、南京—安庆三大成矿带的构造控矿——深大断裂的控矿作用实例之一

在上文中，我们综合、归纳了全国伴生金矿床区域性分布格式，从而得出了深大断裂

控矿的结论，并强调了两大断裂系交汇处的成矿作用重要性。当然，上述结论并不意味着伴生金矿床直接产于这些大断裂中。实际上，它们切割极深，又具有多旋回长期活动的性质，故其影响范围往往是一个带状地段或一个区域（如上述的交汇处）。所以，伴生金矿床一般赋存于深大断裂所派生的次级、三级断裂中，而深大断裂本身却往往无矿。现以（广义的）长江中下游三大成矿带为例予以进一步论述。

1. 赣东北成矿带的断裂控矿作用（图 4－5）

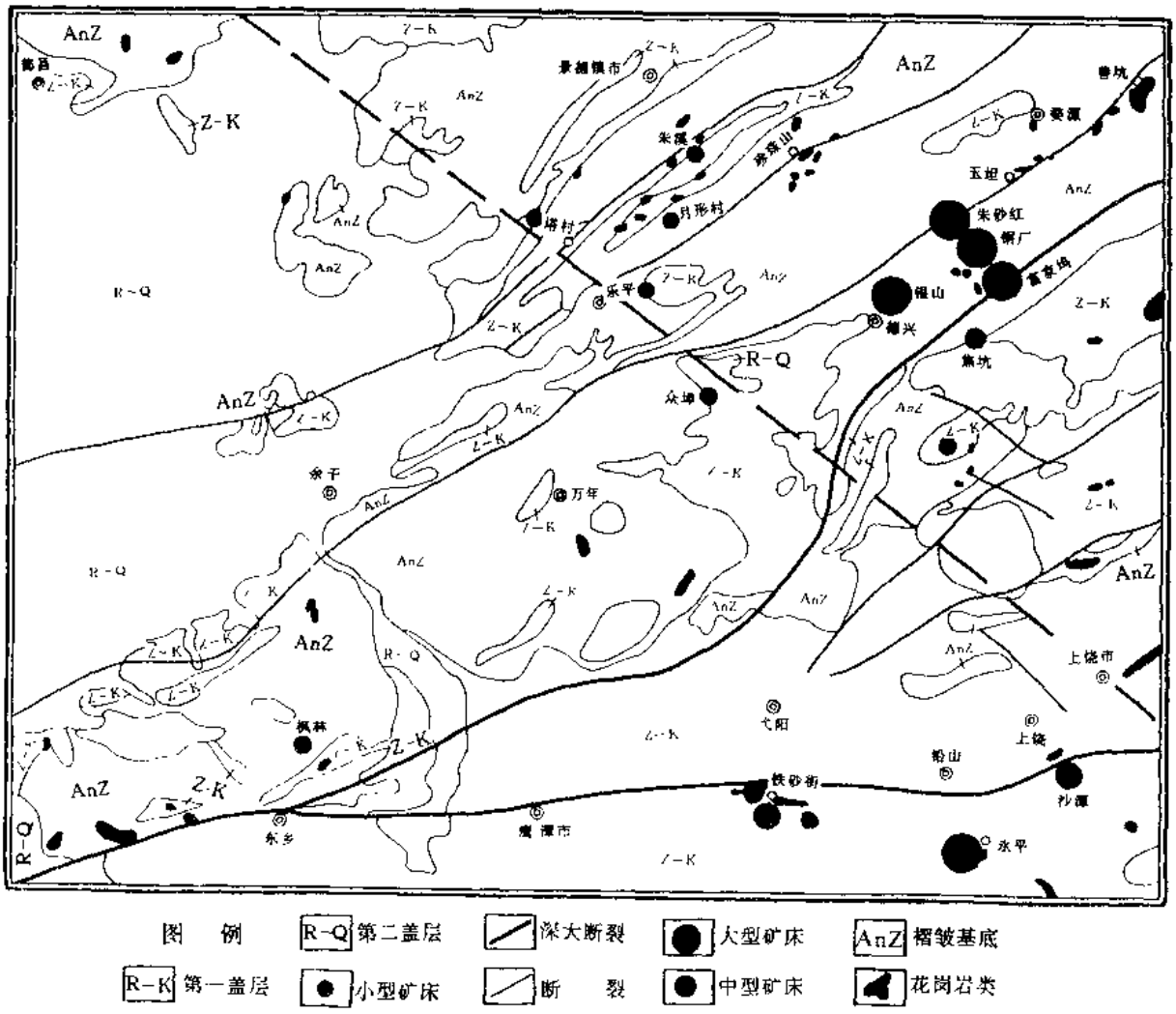


图 4－5 赣东北成矿带断裂－同熔型岩体－伴生金矿床关系图

以德兴铜厂、富家坞、朱砂红三个大型－超大型矿床为核心的赣东北成矿带，前人[13][18][19]已作了大量的卓有成效的研究，并取得了巨大成果。在本书中，企图从一个新的角度，对其构造控矿条件进行重新认识和论证。我们认为：NW 向的襄樊－广济深大断裂向 SE 延伸部分——广济—乐平—上饶深大断裂和赣东北深大断裂交汇控制了上述三大矿床的产出，其控矿重要性前者决不比后者差，也可能前者更重要一些。广济—乐平－上饶深大断裂现在看来似是古亚洲断裂系南系楔入东扬子地台（直至福建沿海福鼎，张文佑称之为九江－上饶断裂）中最值得重视的一条深大断裂，其存在和控矿的证据是：①卫星遥感

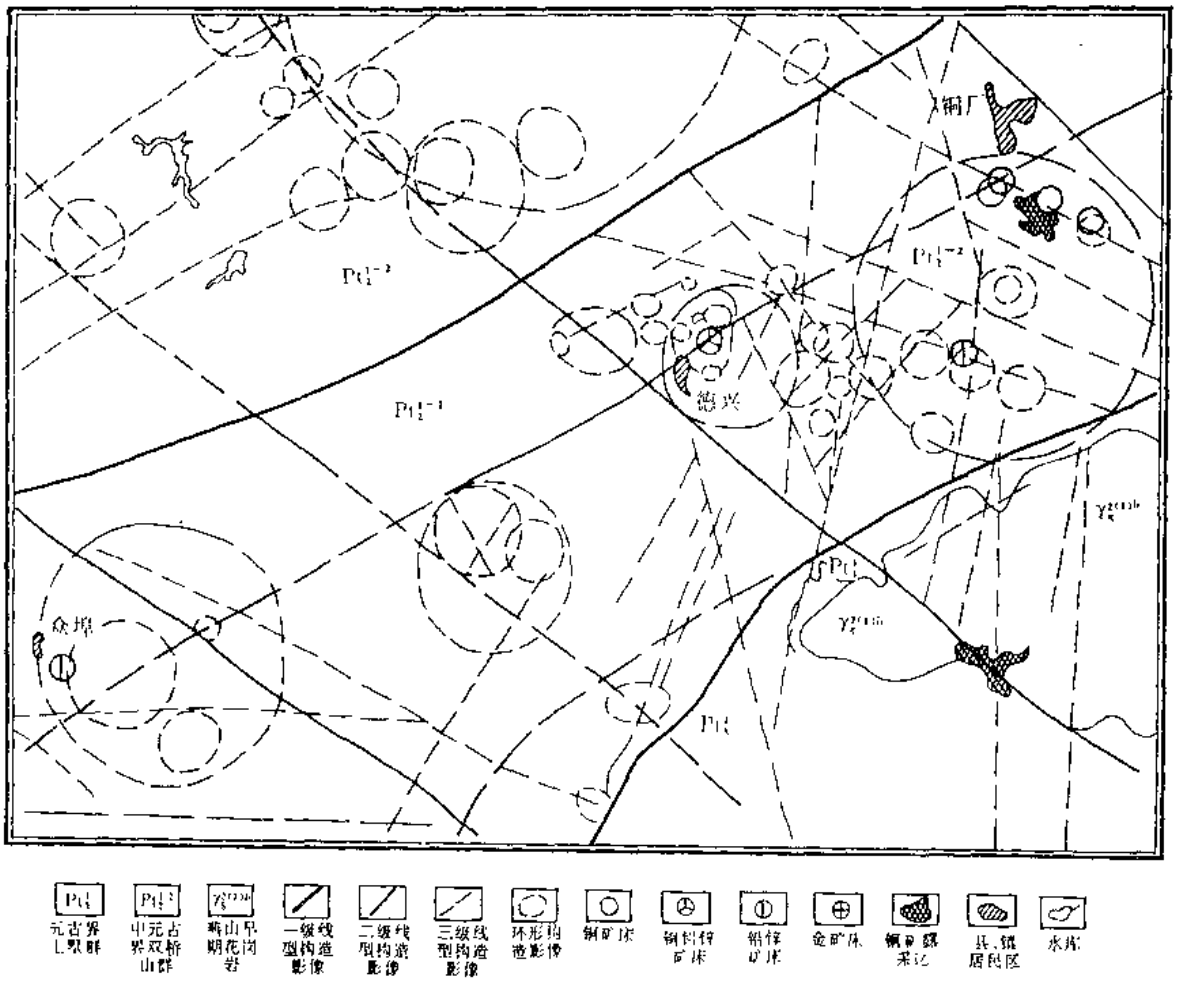


图 4—6　德兴—乐平铜（铅、锌）矿带构造控矿规律示意图

（据黄源英）

照片解译结果（图 4--3）同时亦可从侧旁的鄱阳湖的 NW 延伸方向中得到佐证；②从整个赣东北伴生金矿分布情况观之，襄樊—广济和郯庐断裂控制了瑞昌矿化集中区（包括城门山、武山、宝山、洋鸡山、丁家山、吴家等矿）；广济－上饶和宜丰－景德镇断裂控制了朱溪矿化集中区（包括朱溪、月形、下冲坞等矿）；广济－上饶和赣东北断裂控制了德兴矿化集中区（包括铜厂、富家坞、朱砂红、金山、银山等矿）；广济--上饶和绍兴--江山－萍乡断裂控制了永平矿化集中区（包括永平、铁砂街、沙潭、船坑等矿），它们全部分布于 NE 向的广济－乐平－上饶深大断裂两侧，清晰地显示这些矿床受此断裂系和 NE 向的深大断裂交汇处的控制；③从德兴矿化集中区观之，区内褶皱基底为中元古代双桥山群。断裂可分三组：NW 向、NW 向及 EW 向。属于广济--乐平--上饶断裂带的三条 NW 向断裂横切，属于赣东北断裂带的两条 NE 向断裂，构成了菱形断裂，德兴矿化集中区的三个矿田（铜厂斑岩铜矿田、银山铜铅锌矿田、乐华铅锌矿田）的展布就受其控制。从该区的遥感卫星照片解译（图 4－6）可知，两个深大断裂系间的北东向断裂和北西向断裂相交结点出现的环形构造—岩浆—矿化活动的叠加产物，是伴生金矿床的重要找矿标志；④从铜厂矿田观之，富家坞、铜厂、朱砂红三个成矿岩体的展布方向为 NW 向，蚀变带的展布方向亦为 NW 向

(图 4—7)。倾伏方向亦为 NW 向。

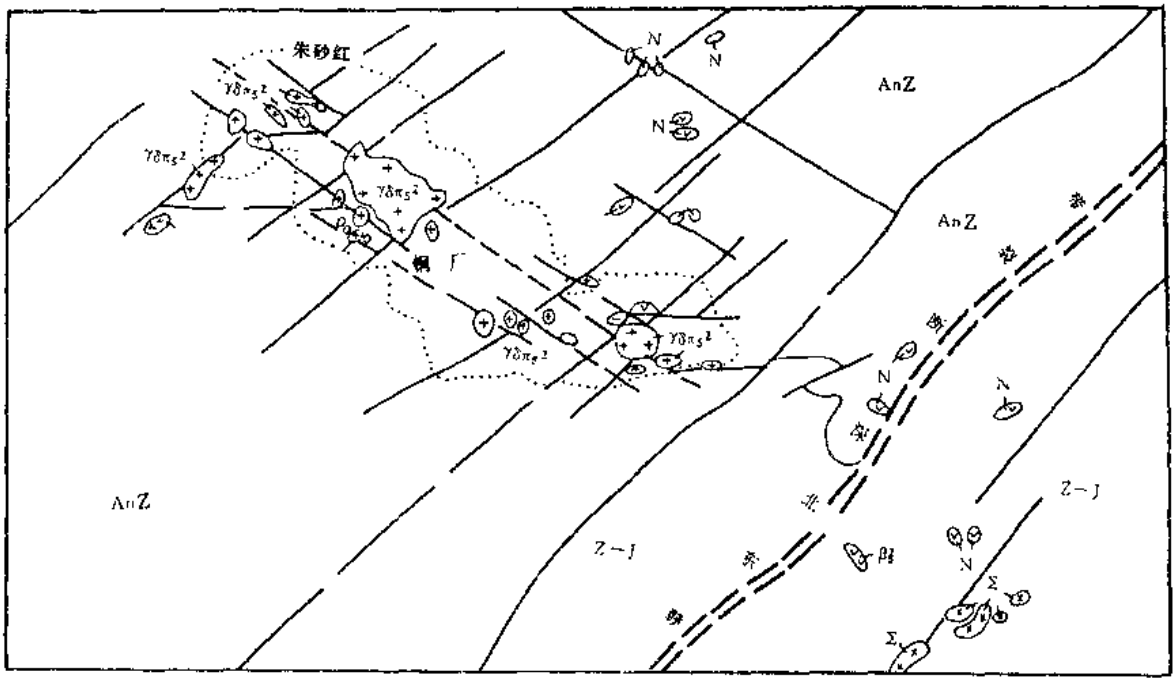


图 4—7 铜厂矿田构造—岩浆活动格式示意图

总之，在赣东北成矿带的控矿构造中，我们强调 NW 向广济—上饶深大断裂的控矿作用，更强调了它与宜丰—景德镇断裂、赣东北断裂、绍兴—江山—萍乡断裂(俱为 NE—NEE 向）交汇处的控矿作用。不言而喻，两条不同方向的深断裂交汇区的切割深度和所引起构造岩浆事件比其它部位深度更深，强度更大，具有更优越的成矿条件。必须说明，上述两组控矿深大断裂，在地表差别很大，NW 向断裂系属于隐蔽的基底断裂，只有靠遥感卫片解译和物质来源于深部的岩浆—成矿活动的分布格式中得到信息。

2. 南京—安庆成矿带的断裂控矿作用（图 4—8）

上文已述及南京—安庆成矿带的概况。古亚洲断裂体系南系北段 NWW 向的秦岭地轴北缘、秦岭地轴南缘、青海湖—北淮阳深大断裂（安徽境内分别称为肥中深断裂、六安深沉断裂、磨子潭深断裂）与郯庐断裂交汇后，似成为隐蔽的基底断裂，其存在的证据为：①区域内褶皱盖层上一系列近 EW 向的存在。这些断裂分别为罗昌河—马鞍山断裂、繁昌—朗溪断裂、贵池—港口断裂、江宁—古河断裂；②NWW 向金寨—舒城中生代火山岩带过江后似可与繁昌火山盆地联成一线，马鞍山—高淳—朗溪火山盆地也可联成一线(NWW 向)。它们与庐（江）—枞（阳）、和（江）宁—芜（湖）NNE 向火山带成菱格状相交，充分反映出区域内深部断裂分布格局（图 4—9)；③区域内侵入岩的延伸，分布格式也多成 NNE 和 NWW 向。

以上情况说明，与赣东北成矿带类似，NNE 向的湖口—马鞍山断裂与上述的一系列近 EW 向断裂相交汇控制了成矿带内的南京、马鞍山、铜陵、安庆四个矿化集中区。总之，区域内的 NE—NNE 向构造的控岩控矿作用是有目共睹的，但我们在此同样强调了长江以西的三条深大断裂东延的 NWW—EW 向的控矿作用，更强调了它们与 NE 向断裂交汇处的控矿作用。

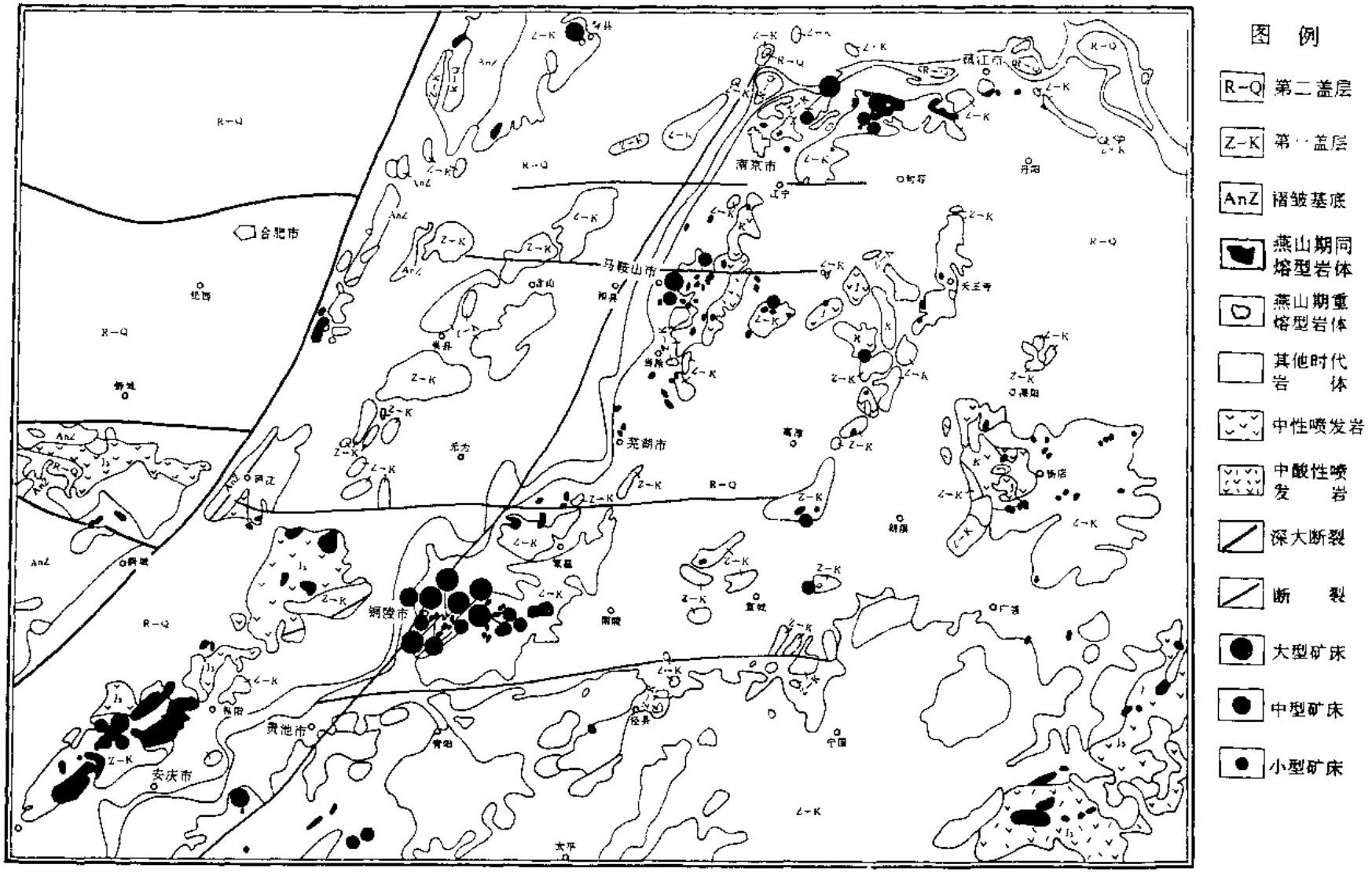


图 4—8　南京—安庆成矿带深大断裂—同熔型岩体—伴生金矿床关系示意图

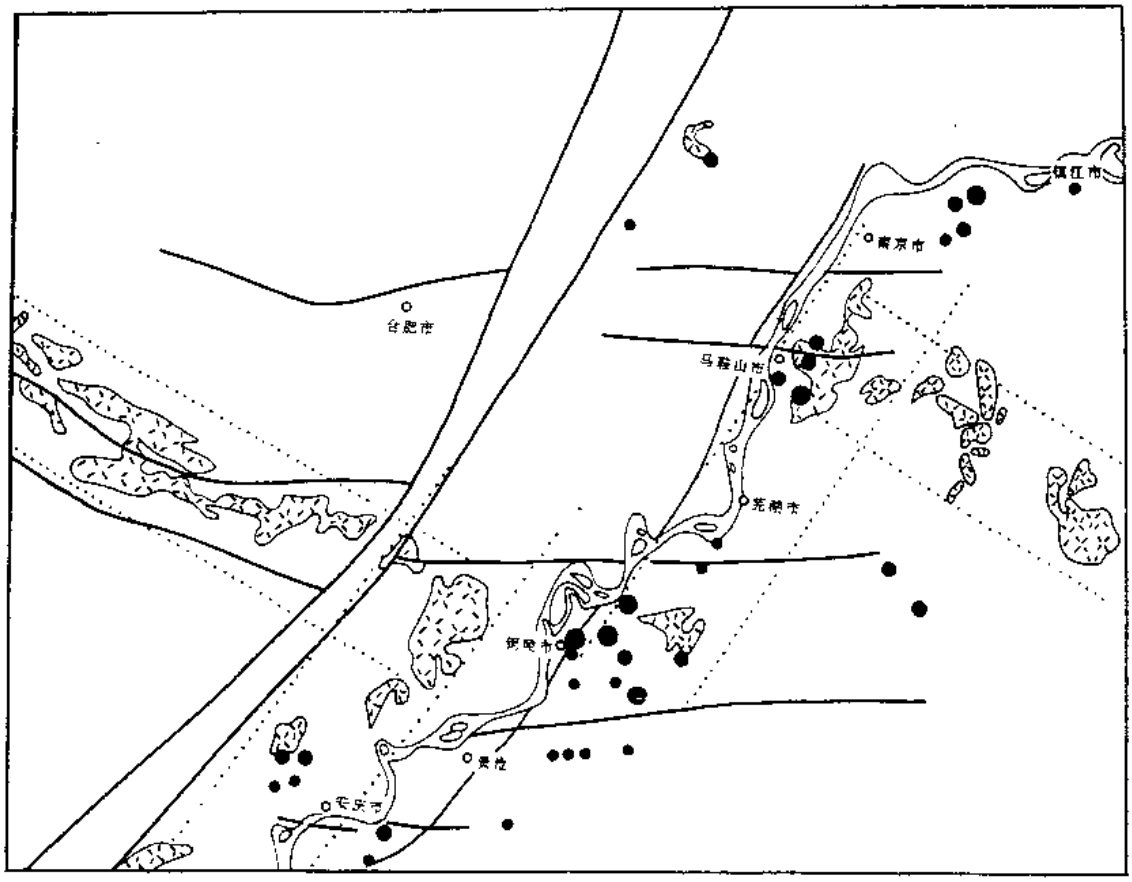


图 4—9　南京—安庆成矿带中四个 NW 和 NE 向火山岩带分布示意图

（图例同图 4—8）

昆仑—祁连—秦岭—大别山（北缘）一线的地质发展史极为复杂，经历了多旋回的地槽褶皱系发展过程，但从伴生金矿床成矿学角度，我们只强调二点：①相应的几条深大断裂切割极深，属岩石圈断裂，至少属壳断裂；②这些断裂穿越了郯庐断裂，在东扬子地台与滨太平洋断裂系交错叠加，引起了一系列构造—岩浆—成矿活动。③与滨太平洋断裂系一样，它们自燕山期以来活动强烈。

3. 九江—黄石成矿带的断裂控矿作用（图 4-10）

在此我们将论述长江中下游（广义）“三足鼎立”的成矿带中的最后一个。前文已述及的襄樊—广济深大断裂沿大别山南麓亦即北淮阳隆起南缘顺江东下，成 NWW 向与郯庐断裂本交于广济。整个成矿带的控矿断裂同样为 NWW—NNE 向。相对而言，前者比后者明显而强烈。成矿带内鄂城、铁山、金山店、灵乡、殷祖、白沙六个大型岩体的展布方向大都成 NWW 向（四个岩体），少量成 NE 向（二个），线型褶皱的方向也同为 NWW 向。以断裂而言，NWW 向断裂有鄂城断裂、铁山断裂、太和—铜录山断裂等；NEE 向断裂有富池断裂、太子庙断裂、白沙断裂、下陆姜桥断裂、梁子湖深断裂等。上述断裂交错复合组成控矿的菱形格状构造，我们认为这些格状构造的产出与襄樊—广济断裂和郯庐断裂（包括南延部分）有关，为其所派生。所以，对九江—黄石成矿带的控矿断裂来说，我们仍主张以前二个成矿带论述中的观点：襄樊—广济断裂控制了成矿带的展布，其派生的次级、三

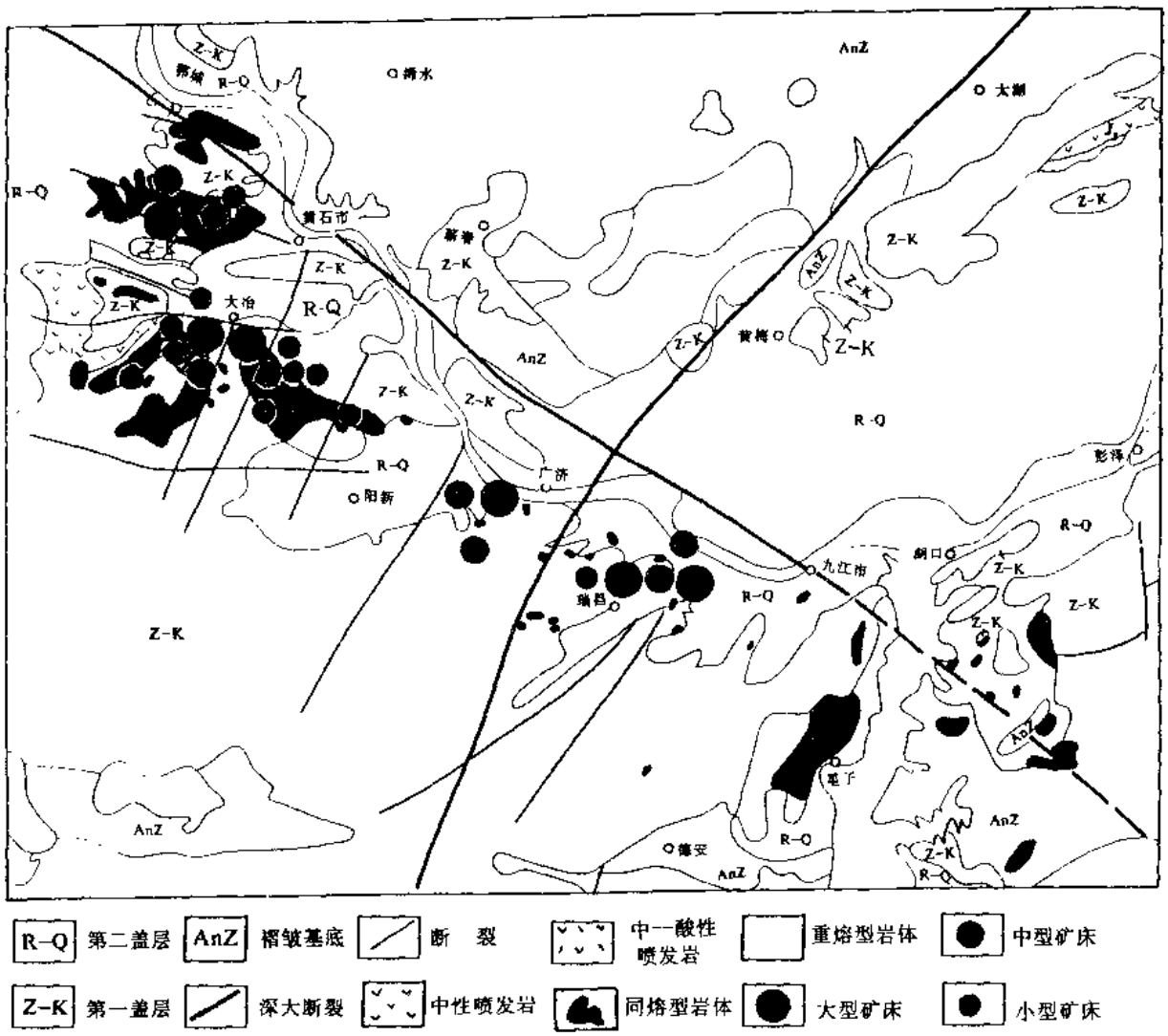


图 4－10　九江－黄石成矿带深大断裂－同熔型岩体－伴生金矿床关系示意图

级断裂的交错复合，控制了大冶、丰山、瑞昌三个矿化集中区和矿田的展布（图 4－10）。

现在回顾上文所述，我们作一简单的结论：深大断裂，尤其是深大断裂的交汇控制了上述伴生金矿床三大成矿带的分布。但如把它们作一横向对比后就可发现，NW－NWW 和 NE－NNE 两组断裂系在三大成矿带中的强度和控矿作用程度是不相同的，出现一些有规律的变化，自东向西，顺次为九江--黄石成矿带→赣东北成矿带→南京—安庆成矿带，其 NW－NWW 断裂系强度由强→弱；NE－NNE 断裂系由弱→强。这一规律性变化与两大断裂系产生的机制及其演化规律有关，在此不赘述。

（五）多宝山成矿带、内蒙古（地轴）成矿带、中条山成矿带、湘西成矿带的断裂控矿作用——深大断裂的控矿作用实例之一

在论述我国伴生金矿床的“下”字形分布格式时，我们略去了标题所列的四个成矿带，其中前两个属古亚洲断裂体系北断裂系（塔里木—华北地台以北），后两个属古老成矿带，故置于论述之外了。但归根到底前两个成矿带的成矿仍受深大断裂控制（图 4－1）。如多宝山成矿带受大兴安岭－太行山—武陵山断裂系的长冶—嫩江断裂控制；内蒙古（地轴）成

矿带受内蒙古地轴北缘断裂控制，所以成矿带中伴生金矿床虽位于断裂带附近，却分属不同的Ⅰ级大地构造单元：白乃庙等矿属内蒙古—大兴安岭褶皱系，东升庙等矿却属华北地台。至于中条山成矿带、湘西成矿带则属于沉积变质和火山变质型矿床，成矿作用产生于元古代，是经变质热液的叠加和改造而成。所以它们的深大断裂控矿因素不明显，但矿田展布，矿体产状等方面仍也明显地表现出受断裂控制。

第四节　岩浆活动的控矿作用

（一）与伴生金矿床成矿作用有关的岩浆岩成因分类

研究岩浆活动的控矿作用，可从两方面着手，一是研究与伴生金矿床有关的岩浆岩的时空分布规律，也即是说把岩浆岩放在特定的地质位置、特定的地质发展演化阶段来探讨其与成矿关系，使岩浆活动上承构造事件，下接伴生金成矿作用，成为它们之间的纽带和桥梁；二是探讨岩浆岩本身性质与成矿的关系，也即是说探索与伴生金矿床成矿有关的岩浆岩类型、岩石化学、矿物组成、同位素、稀散元素、岩体含金性等特征，同时把这些特征与伴生金的矿化强度联系起来。本节论述第一方面内容，第二方面内容将在第五章中论述。

对整个岩浆岩进行成因分类困难很大，主要原因是岩浆岩成因极端复杂，难于统一在一个模式之下。近年来，对岩浆岩中一部分花岗岩类的成因分类研究十分兴盛。为了能更好地探讨岩浆活动对伴生金的控矿作用，我们企图扩大花岗岩类成因分类方案范围，使其适用于整个岩浆岩。分类方案以成岩物质来源为基础，将岩浆岩分成：幔源型系列（包括超基性岩、基性岩、部分中性岩、少量酸性岩、碱性岩）；壳—幔源同熔型系列（包括部分酸性岩、部分中性岩、基性岩）；壳源改造—重熔型系列（包括部分酸性岩）。因为与伴生金成矿有关岩体大部分为其中的同熔型系列的花岗岩类和中性基性岩类（包括浅成，超浅成、喷出相）。仅少部分为地幔型系列的基性—超基性岩类。所以我们的讨论中将以前者为主，后者为辅进行论述。对于同熔型花岗岩类又按成岩机制和产出部位不同，分成板缘同熔型花岗岩类（简称板缘同熔型岩体）和板内同熔型花岗岩类（简称板内同熔型岩体）。这样，从成矿学角度可以把花岗岩类分成三个系列：

- 幔源型花岗岩类
- 同熔型花岗岩类
  - 板内同熔型花岗岩类
  - 板缘同熔型花岗岩类
- 改造—重熔型花岗岩类
  - 重熔型花岗岩类
  - 花岗岩化—混合岩化花岗岩类

其中除幔源型花岗岩类分布极少，成矿特征不详，故略而不论外，它们可分别对应四个成矿系列：板内同熔型花岗岩类为 Cu、Au（伴生金）、Mo、Bi、Pb、Zn、Ag 系列；重熔型花岗岩类为 W、Sn、Mo、Bi、Pb、Zn、Ag 系列。因为 Cu、Au（伴生金）和 W、Sn 对两类花岗岩系列来说非常特征（只有少数属同熔型的斑岩型 W、Sn 矿例外），可分别称为 Cu—Au（伴生金）矿床系列和 W—Sn 矿床系列。至于 Pb、Zn、Bi、Mo 等可说是“两栖”金属。既可在板内同熔型花岗岩成矿系列中出现，又可在重熔型花岗岩成矿系列中出现。如著名的铅锌产地湘南地区的东坡、香花岭、桃林、东冲等矿属于后者；水口山、康

家湾、宝山西部等矿属于前者。反之，这些矿床可用是否存在Cu、Au等伴生组分来判别成矿岩体属板内同熔型或重熔型，几乎百不失一。至于板缘同熔型花岗岩类系列则对应W、Sn、Be、RE系列（比起上述两个系列来，无论矿化规模和强度均远为不及）。而花岗岩化—混合岩化花岗岩类则对应Au（单一金），上述四个成岩—成矿系列最典型的实例分别是长江中下游；赣南—湘南；浙、闽、粤沿海和胶东半岛、小秦岭地区的岩体和矿床。本节的内容就是在此认识的基础上来论述的。必须说明，本节对岩浆岩和花岗岩类的分类是以伴生金矿床研究为目的而拟订的。以岩石学研究为目的分类则有待岩石学家的深入探讨。

（二）我国与伴生金矿床有关的深熔岩体的分布规律

通过对大量矿山的系统工作和对大量有关资料的综合归纳，我们确信：伴生金矿床的成矿与板内同熔型花岗岩类（包括浅成相）有关，而与板缘同熔型花岗岩无关，亦与重熔型花岗岩类无关。部分矿床与壳-幔源同熔型火山岩类、幔源型基性、超基性岩类有关。这样与伴生金矿床有关的岩体的成因类型为：

深熔岩体
- 壳-幔源板内同熔型花岗岩类
  - 深成相 * *
  - 浅成相 * * *
  - 喷出相 *
- 壳—幔源同熔型中、基性火山岩类（喷出相） * *
- 幔源型超基性、基性岩类（深成相） *

* 表示重要性程度

这些岩体为了叙述方便我们统称为深熔岩体。现分别论述如下：

1. 板内同熔型花岗岩类的分布规律

长期以来众多的地质学家和地质工作者对我国的花岗岩进行了大量深入研究，获得大量成果。我们本次的研究着重点有所不同，前人的工作是对整个花岗岩类，并未按成因类型分别研究，而且重点是重熔型岩体。而我们则仅对其中的板内同熔型花岗岩类进行研究（板缘同熔型花岗岩类的成矿性相对较差）。我们认为：以成矿作用的重要性而言，板内同熔型花岗岩决不比重熔型花岗岩差。

板内同熔型岩体分布的最显著特征是它们往往以岩株、岩瘤、岩墙的形式沿深大断裂分布。如重熔型岩体可称为“面型”分布的话，则它们属“线型”分布。在滨太平洋成矿域，板内同熔型岩体一般多沿中生代前的古俯冲带、古碰撞带、古走向滑动断层、古转换断层或其派生的次级断裂分布。在中生代时，这些断裂受库拉－太平洋板块俯冲作用影响而重新活动，这些切割很深的地壳薄弱带，正是分异的钙碱性岩浆有利的活动场所。这些断裂计有NNE-NE向的抚顺—密山断裂、依兰—伊通断裂、长冶—嫩江断裂、郯庐断裂（狭义）、大浦—政和—海丰断裂、广济—黎塘断裂；NEE—EW向的华北地台北缘断裂、马鞍山—湖口断裂、绍兴—江山—萍乡断裂、赣东北断裂；NW向的广济—上饶断裂。而板内同熔型岩体往往就沿着这些断裂或派生的次级、三级断裂成断续分布、构成以NE向为主，其他方向断裂为次的纵横交错格局。尤其在结点上岩浆活动更较强烈。而使伴生金矿床无论在区域性分布上或单个矿床的分布上亦都具有带状分布的特征，如长江中下游的九江—黄石成矿带、南京—安庆成矿带、赣东北成矿带的分布均具有此特征（详见下节）。

在特提斯—喜马拉雅成矿域既存在板内同熔型花岗岩类，也存在幔源型基性、超基性侵入岩和壳—幔源同熔型中、基性喷出岩。前者典型代表为藏东—滇西成矿带北段的玉龙、

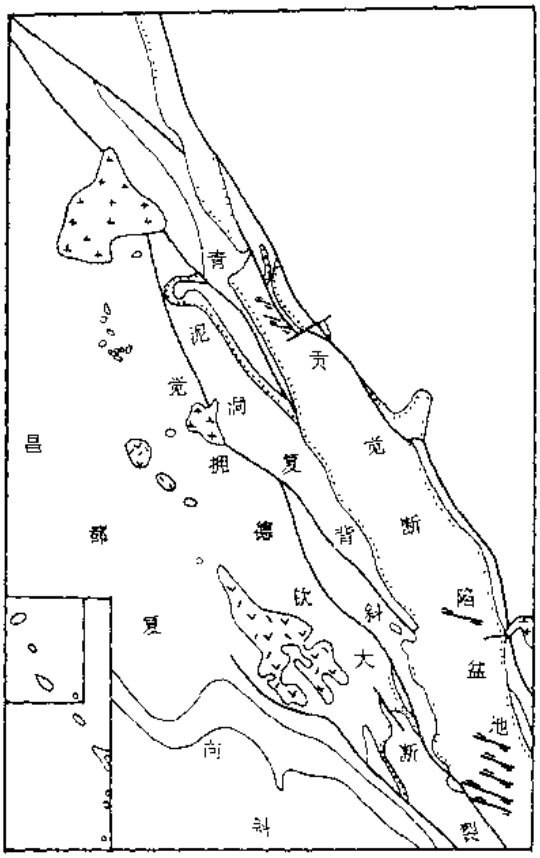


图 4－11　藏东－滇西成矿带北段同熔型岩体分布示意图

（据西藏地质 1 队）

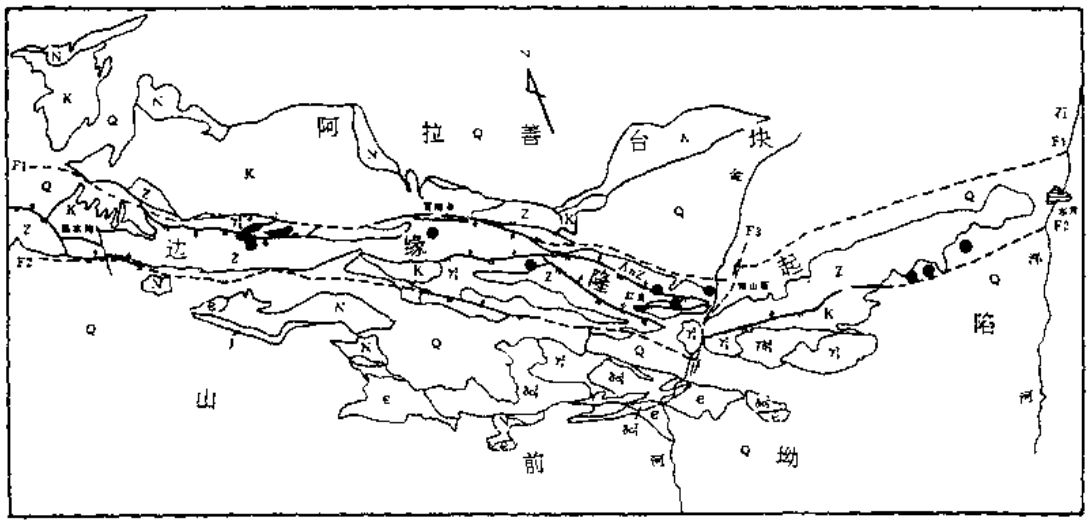


图 4－12　白家咀子铜镍矿区域地质略图

（据甘肃第六地质队）

马拉松多、扎那尕、多霞松多等斑岩铜矿（断裂—岩浆岩—伴生金矿床关系示于图 4－11 和图 4－12）。上述矿床均位于金沙江—红河深大断裂西侧的觉拥—德钦大断裂附近。二长花

岗斑岩带和成矿带的展布方向为 NNE，与深大断裂走向一致。成矿带南段的长安冲、铜厂阱等斑岩铜矿的成矿亦与转换为 NW 向的金沙江—红河断裂西侧的红河—金平板内同熔型岩带有关。金沙江—红河缝合线闭合于晚三叠世。至始新世，因受印度板块向欧亚板块碰撞影响而复活，形成了上述喜山期岩带。

2. 幔源型基性、超基性岩类和壳—幔源同熔型中、基性火山岩类的分布规律

与伴生金矿床成矿有关的基性、超基性岩类和中、基性火山岩类可分两类，一是深成岩相，多分布于古活动大陆边缘，如著名的龙首山岩带，岩性均为基性、超基性岩类；另一是喷出岩相，多分布于古火山岛弧带，如白银厂的细碧角斑岩系，岩性均为基性、中性岩类（包括分异作用产生的中酸性岩类）。在矿床类型上，前者属岩浆岩型矿床，后者属海相火山岩型矿床。其在各成矿域的分布规律是：在古亚洲成矿域的构造体系北系。深大断裂沿天山—兴安地槽褶皱区南缘分布，自古生代以来，西伯利亚板块、华北—塔里木板块曾与天山—内蒙古—兴安古海洋板块发生过多次俯冲，至晚二叠世，上述两大古陆才最终碰撞拼接。所以作为古俯冲带和碰撞带标志之一的深大断裂控制了与伴生金矿床成矿有关的地槽型基性、超基性侵入岩和基性、中酸性喷出岩的分布。前者有沿额尔齐斯深大断裂分布的属弧后盆地型的锡伯渡—克孜勒赛依基性岩带（喀拉通克矿），后者有沿川井—赤峰深大断裂（北纬 42°深大断裂）分布的火山岛弧型基性、中酸性火山岩（白乃庙矿）。在古亚洲构造体系南系的秦岭—祁连成矿带区，与伴生金矿床有关的幔源型基性、超基性岩带和壳—幔源型基性、中性火山岩亦均沿经多次张开—闭合的古碰撞带分布。前者有沿龙首山深大断裂分布的陆缘型龙首山岩带（金川矿）和沿积石山深断裂分布的积石山岩带（德尔尼矿）；后者有沿宗务隆山—青海湖南山深大断裂分布的基性、中性火山岩（锡铁山矿）和沿北祁连北缘深大断裂分布的细碧角斑岩系（白银矿田）。

在特提斯—喜马拉雅成矿域，与伴生金矿床成矿有关的幔源型基性、超基性侵入岩和壳—幔源同熔型基性、中性火山岩（包括其分异作用形成的中酸性喷出岩）一般沿金沙江—红河、怒江—澜沧江两条古缝合线分布。前者有沿金沙江俯冲带分布的金沙江岩带（长安冲矿、白马寨矿）和沿康滇地轴断裂分布的陆缘型康滇地轴岩带（力马河矿、朱布矿）；后者亦沿上述缝合线分布，在滇西南有沿澜沧江深大断裂分布的云县—景洪中、基性火山岩带（三达山铜矿、铜厂街铜矿、老厂铅锌矿）。在川西有沿怒江深断裂分布的火山岛弧型德格—乡城中酸性火山岩带（白玉呷村矿）。

在滨太平洋成矿域，与伴生金矿床成矿有关的幔源型基性、超基性岩分布零星，主要在内蒙古地轴北缘深大断裂附近有零星分布，计有黄花滩铂矿、小南山铜镍矿、红石湾铂矿、红旗岭镍矿。至于与壳—幔源型基性、中性火山岩有关的矿床则只有一个位于绍兴—江山深大断裂附近的西裘铜矿。

综合上述，我们的简单总结是：

①与伴生金矿床成矿有关的深熔岩体均沿深大断裂分布。它们有的可构成岩带，有的则零星分布未能构成岩带。

②在滨太平洋成矿域，与伴生金矿床成矿有关的岩浆岩主要是板内同熔型花岗岩类；在古亚洲成矿域，与成矿有关的岩浆岩主要是幔源型基性、超基性岩类和中、基性火山岩类；在特提斯—喜马拉雅成矿域，则板内同熔型花岗岩类、幔源型基性、超基性岩类和中、基性火山岩类兼有。

③在上节中我们强调了深大断裂的控矿作用，在本节中亦强调了板内同熔型岩体的控矿作用。在此我们更强调深大断裂—板内同熔型岩浆活动—伴生金矿床在空间位置上的一致性，也即是前两者对后者的控矿作用。

(三)几个重要成矿带中板内同熔型岩体和伴生金矿床在空间分布上的关系——岩浆活动控矿作用实例

1. 南京—安庆成矿带中板内同熔型岩体和伴生金矿床在空间分布上的关系

只要展图（图 4—8）就可发现在成矿带范围内醒目地显示有五条纵横交错的板内同熔型中酸性花岗岩带，NNE 向有南京—贵池板内同熔型岩带、天王寺—宣城板内同熔型岩带；NWW—EW 向有南京 -镇江板内同熔型岩带、马鞍山- 天王寺板内同熔型岩带、铜陵—宣城板内同熔型岩带。这些板内同熔型岩带与上述的区域性基底深断裂基本一致，也与伴生金矿床的展布一致，尤其是菱形结点上矿化更强。这一情况充分说明深大断裂引起深源的岩浆活动，最后导致伴生金矿床的生成。众所周知，可以作为地核和地幔替代者的陨铁和球粒陨石中金的丰度分别为 1.2025×10^{-6}（291 个样平均）和 0.2225×10^{-6}（246 个样平均），而地壳平均丰度则为 0.005×10^{-6}（均据 Boyle，1984）。从而表明，切穿下地壳和上地幔断裂所引起的板内同熔型岩浆活动相对富金是合理的。

成矿带中四条板内同熔型岩带中共有同熔型岩体约 129 个左右。特点是出露面积小，最大的也只有 $15km^2$，绝大多数俱在 $0.n$ -$4km^2$ 范围内，多为高侵位岩体。岩性为石英二长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩及其各浅成相。如铜官山矿的成矿岩体为闪长玢岩--安山玢岩、安基山矿为花岗闪长斑岩、月山矿为二长岩、沙溪矿为石英正长斑岩、凤凰山矿为花岗闪长岩、金口岭为石英闪长岩、狮子山矿为闪长岩。无论从总体观之或从具体的岩体--矿体产出关系观之，两者成因上的密切关系是明显的，如铜官山、狮子山、老鸦岭、金口岭全产于接触带上，实不胜枚举。

2. 九江—黄石成矿带中板内同熔型岩体和伴生金矿床在空间分布上的关系（图 4—10）

与南京 -安庆成矿带类似，本成矿带大冶—瑞昌间亦存在着板内同熔型岩带，成 NWW 向。两成矿带的特征大同小异，首先是两者的岩带均沿深大断裂分布，但方向不同，前者主岩带为 NNE 向，后者岩带方向为 NWW 向；次之是两者的岩带均由大量高侵位小岩体组成，但前者岩体多达 129 个，后者只有 34 个；第三，两者的岩体分布均具有一奇异的现象，两个主岩带中岩体的分布均成“哑铃”状，即岩带两端出现较大岩体，中间则为较小岩体，如前者在栖霞和贵池附近，后者在大冶和星子附近。其机制可用两组深大断裂交汇处的切割深度和作为岩浆侵位通道的地层破碎程度都较单一的深大断裂所能产生的影响更甚来解释，岩带两端正是 NNE 向和 NWW 向两大断裂系的交汇处，故产生“哑铃状”分布是有理可循的。

成矿带中岩体为花岗闪长岩、石英正长闪长岩、石英闪长岩、正长闪长岩及其各浅成相。如铜绿山矿的成矿岩体为石英正长闪长玢岩、铁山矿为黑云母透辉闪长岩、丰山矿为花岗闪长斑岩、鸡笼山矿为花岗闪长斑岩、城门山矿为花岗闪长斑岩--石英闪长斑岩。

3. 赣东北成矿带中板内同熔型岩体和伴生金矿床在空间分布上的关系（图 4—5）

赣东北成矿带亦存在三个板内同熔型花岗岩带：塔前—朱溪板内同熔型岩带，珍珠山板内同熔型岩带，玉坦-- 善坑板内同熔型岩带、众埠—铜厂板内同熔型岩带，这些板内同

熔型岩带一般延伸不长只 20—30km，成 NE 向展布。所以，与其说是上述四个岩带，不如说是一个巨型的广济—上饶板内同熔型花岗岩带更恰当一些。此岩带成 NW 向展布，与广济—乐平—上饶深断裂吻合。岩体密集于瑞昌、朱溪、德兴、永平四个点上，它也即是上节所述的两大断裂交汇处的四个矿化集中区，充分说明了它们在成因上的一致性。

岩带中约有 80 个板内同熔型岩体，岩性多为花岗闪长斑岩、花岗斑岩、石英斑岩、斜长花岗斑岩、闪长玢岩。如著名的铜厂、富家坞、朱砂红等矿的成矿岩体即为花岗闪长斑岩、朱溪矿为闪长玢岩、村前矿为斜长花岗斑岩。

第五节　地层的控矿作用

研究地层的控矿作用亦可从两方面着手，一是研究伴生金矿床赋存地层，尤其是伴生金矿床成矿带、矿化集中区中矿床赋存地层各阶段的演化特点与伴生金矿床的关系，一是研究伴生金矿床赋存地层的岩性特点及其与伴生金矿床的关系。依上例，在本节中所述为第一方面内容，另一内容将在第五章中论述。

（一）不同构造层的控矿作用

根据区域地质发展史、沉积建造特征和变质程度，一般把地层划分为褶皱基底和盖层两大单元以反映该区域在地质史上的演化发展特点。伴生金矿床在此两大构造层中的表现各有其特征，今以成矿带或矿化集中区为单位加以论述。

1. 褶皱基底中的伴生金矿床

褶皱基底中，以地层与矿床关系分类，存在着两类不同伴生金矿床，一类是“同生”矿床，一类是“后生”矿床。众所周知，基底构造层岩性多为地槽发展阶段的火山—沉积建造，它包括火山岩建造、复理石建造、类复理石建造等，在造山期经区域变质而成。上述的“同生”意即与地槽造山期同生。此类同生矿床与火山建造有密切关系，如中条山成矿带、北祁连成矿带、南祁连成矿带中各矿床以及其他成矿带中的部分矿床，如辽东成矿带的红透山矿、内蒙古（地轴）成矿带的白乃庙矿、康滇（地轴）成矿带的大红山矿、拉拉厂矿、川西—滇北成矿带的白玉呷村矿等。另有部分矿床则产于复理石建造中，如湘西成矿带中的各矿床。它们大都产于优地槽，只少数产于冒地槽中。在成因类型上，上述同生矿床有的属火山—变质型，有的属沉积—变质型。但有一共同点，与火山活动有成因上的联系。

另一类为后生矿床，即与后期的岩浆活动有关的矿床。本类矿床虽亦产于褶皱基底中，但与地层无成因上的联系，属岩控范畴，既可产于基底中，亦可产于盖层中；既可产于火山—变质建造、复理石—变质建造中，亦可产于碳酸盐建造中。著名的赣东北成矿带中矿床即属此类。

2. 盖层中的伴生金矿床

在我国盖层中的伴生金矿床只发现后生矿床，如著名的南京—安庆成矿带和九江—黄石成矿带中矿床即属此类。盖层中的同生矿床目前只个别发现，如栖霞山矿、丹寨矿，但在世界范围内却是举足轻重的类型，如澳大利亚的奥林匹克坝矿。总之，我国盖层上的伴生金矿床与地层无成因上的联系（仅个别例外）。

行文至此，我们可作下述结论：无论在褶皱基底或盖层中，地层对伴生金矿床的控矿

作用只限于产在褶皱基底中的部分“同生”伴生金矿床，它们在成因上几乎全与地槽造山期的火山活动有关，也即是说仍与深部的岩浆活动有关。这些火山岩经褶皱变质后已成为地层层序中的组成部分，所以赋存其中的矿床也可属于层控之列。而对于褶皱基底或盖层中的大部分“后生”伴生金矿床来说，虽然产于一定层位，如九江—黄石成矿带中矿床产于大冶灰岩中，赣东北成矿带中的矿床产于双桥山群中，但两者无成因上的联系，简单地说即是：地层并不控矿。

（二）地层含金性－金区域地球化学背景－伴生金矿床中金来源的继承、演化特点

在论述地层含金性时，将仍以伴生金矿床为中心，把地层分成“同生矿床容矿地层”和“后生矿床容矿地层”两类。我们认为，“地层含金性”的意义对两类矿床来说是不同的：对同生型伴生金矿床来说，有关地层含金高是具有成矿远景的标志；但对后生型伴生金矿床来说，却只表示伴生金的成矿具有继承演化的特征而已，也即是说，即使对广大太古宙或元古宙古老地层的后生伴生金矿床而言，地层中金虽含量较高，但也没有同化进入矿床中，它们并不是矿源层。这一结论除有大量的同位素、稀散元素数据予以支持外，另一宏观的有力证据是：后生伴生金矿床既可产在金丰度较高的元古界双桥山群中，如赣东北成矿带；又可产在上古生界含金一般的石磴子组、壶天群、栖霞组、茅口组，如湘南粤北成矿带；更可产生在含金较低的石炭系、二叠系、三叠系的黄龙组、船山组、栖霞组、大冶组中。如南京—安庆成矿带，九江—黄石成矿带。

总之，从较小范围观之，后生伴生金矿床似乎集中于某一地层层位，如九江—黄石成矿带中矿床集中于三叠系大冶组中。但从较大范围观之，后生伴生金矿床的围岩地层是多种多样的，似并不存在一个矿源层，可供汲取 Au、Cu 等金属而成矿。我们认为，后生伴生金矿床围岩金高的意义不在于它是否是金的矿源层，而在于它提示了该地区具有较高的金区域背景值。如赣东北成矿带的容矿地层双桥山群中的火山岩系含金较高，表明形成燕山期斑岩铜矿的深源岩浆活动与中元古界的深源岩浆活动之间存在着继承发展关系，即该地区如早期深源岩浆活动富金，则较晚期的岩浆活动将更富金。

第六节　伴生金矿床的成矿时代

我国伴生金矿床的成矿时代是一个相当复杂、但也令人感兴趣的问题。复杂原因在于：一是成矿时代难于确定；二是成矿过程中的叠加改造作用的干扰；三是矿床成因的不同观点波及成矿时代的认定。为此我们对少数矿床的成矿时代作了强制简化，即强调了主成矿期，如把沃溪金锑矿定为晚元古代而略去后期的改造作用等，以便得出明确的结论。

（一）我国伴生金矿床的成矿时代特点

根据我国大地构造演化特点，我们统计了全国 293 个伴生金矿床的成矿时代，所统计矿床的伴生金储量占全国总量的 98%。统计时代是按构造旋回划分。但在前寒武纪各旋回中因华北地台与扬子地台形成时间略有早晚，故归纳为阜平旋回、中条旋回、扬子旋回三大类。以使上述两个地台在早期演化阶段的同生矿床，如成矿于早元古代的中条山成矿带和成矿于晚元古代的湘西成矿带各矿床在时间上能予以区别。(但太古代旋回则不再分)。现将统计结果列于表 4－7 图 4－13。令人感兴趣的是伴生金矿床在八大构造旋回中“三峰三谷、螺旋形上升”的演化规律相当明显，曲线近乎完美形态。

表 4—7　各成矿时代中伴生金矿床储量比率

成矿期	矿床个数	储量百分比（%）
阜平旋回	5	1.55
中条旋回	18	8.94
扬子旋回	22	4.85
加里东旋回	13	5.18
华力西旋回	30	11.84
印支旋回	8	0.51
燕山旋回	193	63.18
喜山旋回	4	3.95
合　计	293	100.00

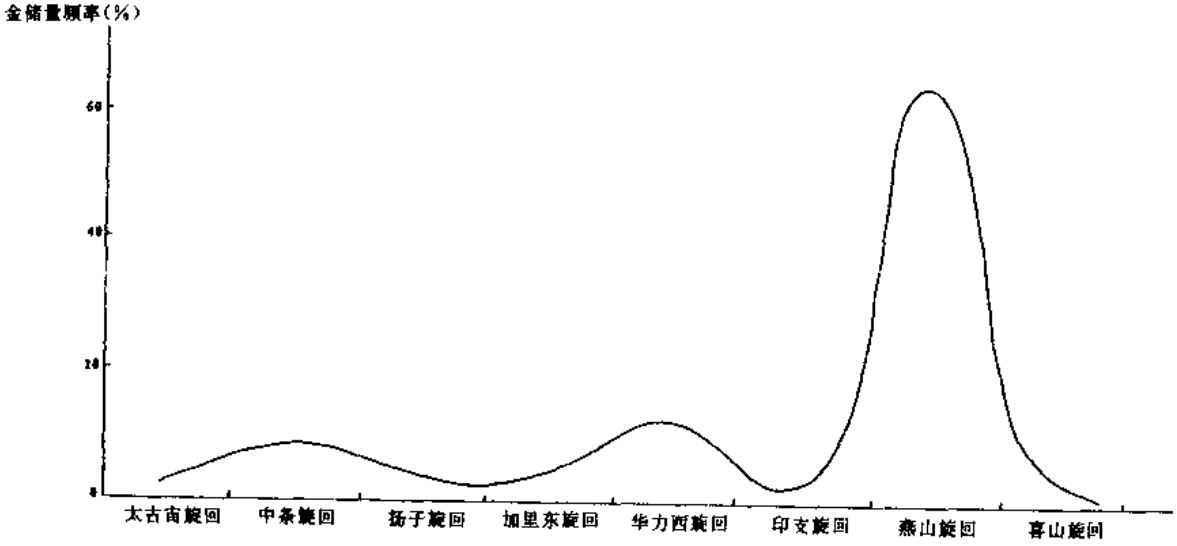


图 4—13　伴生金矿床成矿时代—储量曲线

（二）七大构造旋回中的伴生金矿床概况

1. 阜平旋回中的伴生金矿床

产于阜平旋回中的伴生金矿床不多，现只发现辽东成矿带中部分矿床，如红透山矿、树基沟矿等都属于此类成矿时代最老的矿床。矿床属海相火山—变质型，产于鞍山群红透山组中。研究表明，区内火山岩原岩为一套钙碱系列，以基性—酸性火山岩为主的沉积—火山建造．矿床产于中—酸性火山岩中，区域变质后成为浅粒岩、含电气石黑云变粒岩、角闪黑云变粒岩等。必须着重提出，本区矿床本属块状硫化物型矿床，所叠加的变质作用，仅使矿体形态和矿物组合产生变化而已。

2. 中条—扬子旋回中的伴生金矿床

与太古宙旋回比较，元古宙旋回中的伴生金矿床大量增加，为伴生金的三大成矿期的最早一个成矿期。但我国两大地台的形成时期略有早晚，而其演化发展上亦各具特色，所以，在华北地台的中条山成矿带形成于中条旋回，而扬子地台的湘西成矿带，康滇（地

轴）成矿带之大红山矿、拉拉厂矿俱形成于扬子旋回，前者与后者的成矿组分和伴生金的矿化强度亦有一定区别。

3. 加里东旋回中的伴生金矿床

相对而言，加里东旋回是伴生金矿床形成的低谷期，较大矿床屈指可数，仅有白银的小铁山、折腰山、火焰山矿，白乃庙矿，锡铁山矿。它们分别产出于古亚洲成矿域的几个具有多旋回特征的褶皱系中。而我国最重要的加里东褶皱系—华南褶皱系中却迄今尚未发现有加里东期伴生金矿床，这很可能与褶皱基底沉积建造中较少火山岩系有关。

4. 华力西旋回中的伴生金矿床

华力西旋回是伴生金矿床形成的第二个高峰期，主要亦产于古亚洲成矿域的几个褶皱系中，主要的伴生金矿床有多宝山斑岩型矿床、青海德尔尼矿、赛什塘矿、小西南岔矿等。它们多集中分布于吉黑褶皱系、秦岭褶皱系中。

5. 印支旋回中的伴生金矿床

印支旋回亦是一个低谷期，较重要只有一个引人注目的四川白玉呷村多金属矿，另有广西张弓岭矿则尚缺确切佐证。印支旋回在我国是一个重要的构造旋回，不但完成了三江、松潘—甘孜、秦岭地槽的全面褶皱回返，而且对华南褶皱系亦产生广泛影响。但与此旋回有关的伴生金矿床确尚无重大发现，上述的白玉矿可说是一个突破。所以，在上述三个印支褶皱系中找矿具有较好远景。

6. 燕山旋回中的伴生金矿床

燕山旋回是我国最重要的伴生金成矿期。三个最重要的成矿带——赣东北成矿带、南京—安庆成矿带、九江—黄石成矿带属燕山期。另外，湘南粤北成矿带、辽东成矿带部分矿床、北武夷成矿带部分矿床，康滇（地轴）成矿带部分矿床亦属燕山期。总之，自侏罗纪以来，我国东部大地构造发展至一个新的阶段，构造—岩浆活动广泛而又激烈，对伴生金矿床来说不但矿化强度上是空前的，而且矿床类型上亦与以前几个成矿期有明显不同，从以火山岩型、沉积（火山）变质型、岩浆岩型矿床为主，转变到以斑岩型、矽卡岩型、岩浆热液型矿床为主。

7. 喜山旋回中的伴生金矿床

喜山旋回中伴生金矿床目前只发现于特提斯—喜马拉雅成矿域。与该带地区大地构造演化特征密切相关，喜山期矿床有玉龙矿、多霞松多矿、马拉松多矿、扎乃尕矿。

（三）伴生金矿床成矿时代的纵横对比

所谓纵横对比是指我国与全球伴生金矿床成矿时代的对比和伴生金矿床与单一金矿床成矿时代的对比。供对比数据列于表 4—8，图 4—14。从图表可知：

①与单一金矿床对比，我国伴生金矿床成矿期具有鲜明特征，即全球性单一金矿床主要成矿期是前寒武纪，伴生金矿床则是中生代燕山期。

②与全球伴生金矿床对比，我国伴生金矿床主要特征有二，一是国外元古代成矿期很重要（主要是澳大利亚奥林匹克坝矿），我国元古代虽亦是一重要成矿期（占储量比为 13.79%），但储量占有率较低；二是国外新生代（喜山旋回）成矿期重要性远超过燕山期，而我国则相反。虽然这些差别的产生是由于我国大地构造演化发展特点不同于世界各国所致，但我们也可以从中得到启示，在古老的地台隆起区和位于西南边陲的喜山期褶皱带中寻找伴生金矿床具有一定远景，尤其后者更有希望。

表 4－8　国外各地质时代伴生金储量比

成矿时代	矿床数	矿床数比（%）	储量（t）	储量比（%）
太古代	1	8.70	347	9.43
元古代	7	15.22	1575.68	42.83
早古生代	3	6.53	56.45	1.53
晚古生代	5	10.87	80.35	2.18
中生代	9	19.56	263.73	7.18
新生代	18	39.12	1355.14	36.85
合计	16	100.00	3678.35	100.00

注：不包含中国

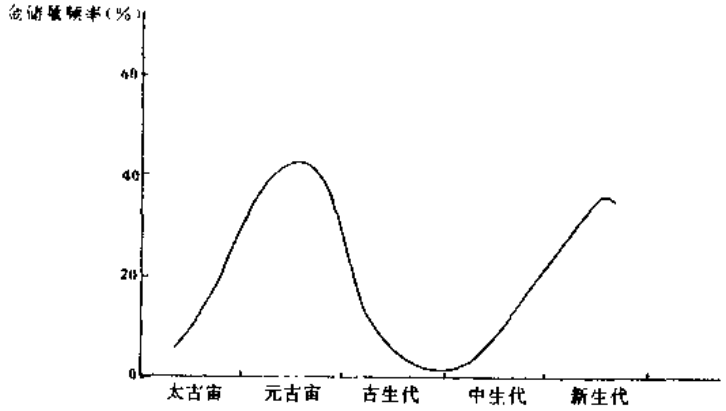


图 4－14　世界伴生金矿床成矿时代—储量曲线

第七节　伴生金矿床的时-空制约关系

上文已分别详述了我国伴生金矿床的空间分布规律和时间分布规律。现在则把它们置于一个时间—空间统一“场”中来进行探讨。直观地说，把伴生金矿床置于以大地构造单元分布为纵横坐标，以构造旋回为垂直坐标的立体坐标系中，来探讨其分布规律。现根据时—空分布特点，将伴生金矿床分成三类：

地台型同生矿床

褶皱带型同生矿床

活化带型后生矿床

所谓地台型同生矿床是指产于地台褶皱基底中并与地层建造同时形成的矿床。因为在地台盖层中，在国内到目前为止尚未发现较可观的同生矿床，所以略而不论。所谓褶皱带型同生矿床是指产于褶皱带中与地层建造同时形成的矿床。实际上两者俱成矿于地槽造山期，只不过因时间上早晚不同，致使其所处的大地构造单元有所差别而已；所谓活化带型后生矿床意义比较明确，是指因活化作用，在地台或褶皱带中后期产生的岩浆活动——伴生金矿床。至于这些活化作用，似受库拉—太平洋板块向欧亚板块俯冲（主要）或印度板块向欧亚板块俯冲（次要）影响所致。在上述三类矿床中，就重要性而言，活化带型后生矿床最重要，褶皱带型同生矿床次之，地台型同生矿床较差。

（一）我国伴生金矿床的时—空分布格式

在上节中我们论述了我国伴生金矿床在空间上构成了一个“下”字型分布格式（图4—1），现如加上时间坐标就构成了以下时—空分布格式：“下”字一横为燕山期的活化带型后生矿床，其中只有红透山矿化集中区为太古代成矿期地台型同生矿床叠加所致；“下”字形一竖为加里东—华力西期褶皱带同生矿床，其中金川矿床为元古代成矿期的活化带型后生矿床叠加所致；“下”字形一点较复杂，既有印支--燕山--喜山期褶皱带型同生矿床，又有同期的活化带型后生矿床，更叠加有康滇地轴中的元古代成矿期的地台型同生矿床——大红山矿化集中区。但总的来说以喜山期活化带型后生矿床为主，如玉龙、多霞松多、马拉松多等斑岩铜矿全属于此类，次之为印支期褶皱带同生型矿床。

除了“下”字形分布格式外，尚有两个令人注目的成矿带：中条山成矿带，湘西成矿带。它们同属元古代地台型同生矿床，但前者成矿较早（中条运动），后者较晚（扬子运动）。两个元古代地台型同生矿床分布处于华北地台南端和扬子地台南端，以秦岭褶皱系为轴南北遥遥相对。无独有偶，另有两个前寒武纪的地台型同生矿床：大红山矿化集中区和红透山矿化集中区亦分别位于扬子地台西南端和华北地台东北端，同样以秦岭褶皱系为轴遥遥相对。

（二）我国伴生金矿床的时--空分布格式与大地构造演化的关系

我国伴生金矿床时—空分布格式与我国大地构造演化格式紧密相关。上述的“下”字型三划分属于滨太平洋构造域、古亚洲构造域南系、特提斯—喜马拉雅构造域范畴。滨太平洋构造域自中生代以来地壳运动激烈频繁，断裂—岩浆活动广泛而又深刻烙印在这片既有地台，又有褶皱带的宽阔地块上。地块北界黑龙江、南至海南岛、东滨太平洋，西以大兴安岭--太行山--武陵山为界，长约3520km，宽约960km。过去在对本地区的花岗岩类成矿作用的研究中，对重熔型岩体及其成矿作用，即W—Sn成矿系列和Au成矿系列的研究确相当详尽，但对板内同熔型岩体及其成矿作用，即Cu—Au成矿系列的研究则尚待深入。其实，后者的重要性和经济意义决不低于前者。从本次工作的初步研究可知，本区域的燕山期板内同熔型岩体虽穿插在大片重熔型岩体出露的间隙中间，沿深大断裂成串珠状分布，但两者自成体系，互不相干。而伴生金矿化亦同板内同熔型岩体如影随形、密切相伴。上述的燕山期活化带型后生矿床时--空分布格式是建立在吉黑褶皱系、华北地台、扬子地台、华南褶皱系的广阔背景上的。所以其间存在着一些太古代地台型同生矿床，但规模较小，可存而不论。这些活化带型后生矿床的类型主要为斑岩型和矽卡岩型，次之为岩浆热液型和火山热液型。

古亚洲构造域包括北系天山—兴安褶皱区和南系昆仑—祁连—秦岭褶皱区，本文所论述到的只是南系东段，即祁连--秦岭褶皱系。它是一个典型的古生代多旋回褶皱系，横亘于华北—塔里木地台和扬子地台之间，总体上成NW—NWW向分布。与每一构造旋回对应，存在着一系列伴生金矿床。最早受秦岭—祁连地槽萌生期活动影响而形成的矿床为产于台槽接触带（龙首山断裂）上的是吕梁期活化带型后生矿床--金川矿，据现有资料，它是活化带型后生矿床中的最早一个伴生金矿床；次之为产于北祁连优地槽褶皱带的白银矿（包括小铁山矿、火焰山矿、折腰山矿等），为加里东期褶皱带同生矿床；第三为产于东昆仑褶皱系柴达木北缘优地槽褶皱带的锡铁山矿，亦为加里东期褶皱带同生矿床；第四为产于秦岭褶皱带和松潘—甘孜褶皱系接触带（玛沁—略阳断裂）上的德尔尼矿，为华力西期褶皱带型同生矿床。产于南岭冒地槽型褶皱带中，为华力西期活化带型后生矿床。上例说

明，秦岭—祁连地槽型褶皱系形成前的几个主要构造旋回，从地槽萌生到褶皱回返均有相应的典型矿床形成。矿床类型以海相火山岩型为主，次之为岩浆岩型。

特提斯—喜马拉雅构造域包括昆仑山脉以南，大巴山—龙门山—哀牢山以西的广大地区，但本文所论述到的只是松潘—甘孜褶皱系和三江褶皱系南段大致沿南北向延伸的狭长地区，并附加了康滇地轴中的矿床。这样，本区的成矿时—空分布特征就相当复杂。就康滇地轴成矿带的矿床而言，最早有晋宁期地台型同生矿床，如大红山矿、拉拉厂矿；有华力西期活化带型后生矿床如力马河矿。就三江褶皱系和松潘—甘孜褶皱系的川西—滇北成矿带，藏东—滇西成矿带而言，最早有加里东期褶皱带型同生矿床如九龙李伍铜矿；有华力西期活化带型后生矿床，如白马寨镍矿、中甸红山铜矿；有华力西期褶皱带型同生矿床，如老厂铅锌矿；有印支期褶皱带型同生矿床，如白玉呷村多金属矿；有燕山期活化带型后生矿床，如洞中达铅锌矿、供额措铅锌矿；有喜山期活化带型后生矿床，如玉龙、多霞松多、马拉松多斑岩铜、长安冲铜矿。

晋陕川黔构造过渡域的特征是上述的三大构造体系影响轻微，构造岩浆活动贫乏。所以，只分布有两个元古代的地台型同生矿床成矿带——中条山成矿带和湘西成矿带。但两者成矿时代亦有差别，前者为中条旋回，后者为扬子旋回，这分别与华北地台和扬子地台形成时期相吻合。总之，上述一南一北遥遥相对的两个成矿带虽矿种不同，所处的大地构造单元不同，成矿时代不同，但却也有许多共同点，即成矿物质来源类似、成矿作用类似。所以把乍看毫不相关的两个成矿带置于一起是有一定依据的。

第八节　伴生金矿床和单一金矿床的综合对比

（一）概述

在前述各章中已多次提到伴生金矿床和单一金矿床在成矿物质来源、成矿条件、成矿时代、区域性分布规律等方面均存在很大差别。如能加以综合对比，对丰富金的成矿理论，探索金的地球化学性质的两个侧面，扩大黄金资源均有一定意义。

根据单一金矿床和伴（共）生金矿床的定义，我们这里所指的“单一金矿床”是指金为唯一或主要组分，其他组分含量很低，无工业意义或仅供综合回收的矿床。这一概念较通用的“金矿床”为窄，它不包括金—锑—钨、金—锑矿床（如湘西沃溪矿、龙山矿）；不包括铁帽金矿（如湖南龙王山矿、安徽戴家冲矿）；也不包括一些金—铀矿床、金—铜矿床（如吉林小西岔矿、山东七宝山金线头矿）。这些矿床归入伴（共）生金矿床。但对于南非兰德金—铀砾型矿床，美国霍姆斯塔克硅铁型金矿床，我国东风山硅铁矿床。因前者铀仅为综合回收对象，后者在硅铁建造中金与铁不在同一层位，所以仍属单一金矿床。

（二）伴生金矿床和单一金矿床在物质来源上的对比

在讨论金的物质来源时必须首先讨论矿床成因类型。国内外对单一金矿床的成因分类方案很多，一般多按成矿物质来源、成矿作用、围岩建造、成矿温度分类。在“中国金矿床成因类型划分讨论会”（1983年）上，朱奉三、王鹤年、胡伦积、毋瑞身、郑明华、王秀章等均提出了各自的分类方案。最后，中国地质学会矿床专业委员会贵金属矿床专业组，综合各方见意，建立了以成矿作用为主，兼顾其他因素的分类方案——《中国金矿床成因类型划分方案》（第二稿修改稿，1983）。为了与伴生金矿床的成因类型统一，便于对比，我

们对贵金属矿床专业组的分类方案略作调整（表 4－9）。调整的内容主要有：① 方案兼顾成矿物质来源和成矿作用两大因素；② 删去属伴（共）生金矿床的类型。现将两类矿床分别进行对比（表 2－1，表 4－9）。

表 4－9　中国单一金矿床的成因类型

物质来源系列	类　型	实　例
幔源系列	（暂缺）	
壳—幔源系列	斑岩型 火山—次火山型 　火山岩型 　次火山岩型	祁雨沟 ～ 刺猬沟 团结沟
壳源系列	岩浆热液型 　重熔岩浆热液型 　混合岩化—重熔岩浆热液型	 峪耳崖、小秦岭 玲珑、焦家
	沉积—变质型 　硅铁型 　变质砾岩型	— 东风山 （南非兰德）、沉陵抚桑溪
	变质—热液型 　绿岩型 　变质碎屑岩型	— 夹皮沟、金厂峪 银洞坡、四道沟
	沉积改造型 　碳酸盐岩型 　碎屑岩型	— 二台子、叫漫、西昌 板箕、丫他
表生系列	机械沉积型（砂矿）	梓南、兴隆沟

1. 单一金矿床的成矿物质来源

无论世界范围或我国，单一金矿床最重要的类型是变质—热液型的绿岩型金矿和变质碎屑岩型金矿、混合岩化—重熔岩浆热液型的蚀变岩型和石英脉型金矿、沉积变质型金矿。元古代变质砾岩型的兰德金矿和沉积－改造成因的卡林型金矿则在我国尚未发现或发现较少，这些占全世界或我国单一金矿总储量的 80%－90%（砂金例外）以上的最重要单一金矿类型的成矿物质来源均属壳源系列。我国的一些最著名金矿如玲珑矿、焦家矿、三山岛矿、小秦岭矿、夹皮沟矿、金厂峪矿和全球范围内的一些最著名金矿，如绿岩型的美国霍姆斯塔克矿，加拿大的波丘潘矿，澳大利亚的卡尔利矿；变质—热液型的赫洛姆矿、穆龙套矿；砾岩型的南非兰德矿；沉积—改造型的卡林金矿，均属壳源系列。

属于壳—幔源系列的单一金矿在我国或全球范围均属次要的，它们均属中—新生代的火山－次火山岩型矿床。如我国的团结沟矿、刺猬沟矿、冶岭头矿、冷水坑矿；其他国家如日本的菱刈矿、美国科罗拉多锡尔费顿矿、菲律宾的阿罗约矿、美国德勒马矿、巴布亚新几内亚的利希尔岛矿，均属壳—幔源系，但相对壳源系列而言，所占储量比例是很次要的。

2. 伴生金矿床的成因类型和成矿物质来源

相对而言，伴生金矿床正好相反，壳—幔源系列是最主要的。无论我国或全球范围，伴生金矿床最重要的类型是斑岩型、火山岩型、矽卡岩型、岩浆热液型、岩浆岩型。这些占世界伴生金储量 80%，我国伴生金储量 90%以上的最重要伴生金矿床类型的成矿物质来源均属壳—幔源系列（表 2－1）。其中唯一例外是特大型澳大利亚的奥林匹克坝金—铜—铀矿床。该矿床属壳源型的同生沉积（或沉积改造型）矿床，它的存在使全球范围的壳—幔源

系列矿床的伴生金储量比低于我国的储量比。

属于壳源系列的我国大型－特大型伴生金矿床，我国只有一个湘西沃溪金锑钨矿，全球范围也只有一个澳大利亚奥林匹克坝铜铀矿（金品位 0.6×10^{-6}，储量 1200t）。

3. 小结

大量事实证明，无论在我国或全球范围，单一金矿床和伴生金矿床的成因类型和成矿物质来源是迥然不同的。两者虽有交错部分，如单一金矿中存在壳—幔源系列矿床，而伴生金矿床中也存在着壳－源系列矿床，但毕竟属次要的。单一金矿床中 80%—90%（储量）为壳源系列矿床，伴生金矿床中 80%—90%（储量）为壳－幔源系列矿床。就成矿物质来源而言，单一金矿中金主要由围岩汲取：沉积--成岩过程中层间水的分泌—汲取—富集；变质过程中变质热液的分泌—汲取—富集；混合岩化－重熔过程中的岩浆热液的分泌—汲取－富集，最终形成金矿床。而伴生金矿床中金则来自下地壳—上地幔的融熔岩浆。更简单地进行归纳，单一金矿的成矿物质来源特点是“浅”，伴生金矿床的特点是“深”，这是两者对比中的四大差异之一。

（三）伴生金矿床和单一金矿床的成矿机制和成矿过程的对比

前已述及，伴生金矿床的成矿主要与同熔型岩浆活动有关，成矿物质来源于下地壳和上地幔。岩浆侵位上升后多数形成斑岩、火山－次火山岩，即形成“深源浅成”岩体，在其后期因矿化作用而成矿；单一金矿床的成矿主要与壳源物质（金）在多次地质事件中的活化--迁移—富集有关。相比而言，其成矿机制及成矿过程远较伴生金矿床复杂，成矿作用也是多因素复合的结果。

因此，两类矿床的成矿机制差异很大。伴生金矿床成矿时间短，从同熔型岩浆侵位到最终矿床形成，大致只经历了几到十几百万年时间，成矿过程也相当简单；而单一金矿的成矿时间延续很长，金经历原始海底火山喷发—沉积作用、区域变质作用、混合岩化作用、改造—重熔作用等多次富集作用而成矿，成矿过程漫长而复杂。如夹皮沟金矿，即使不计显生宙的叠加，也持续了从早太古代（3300－3400Ma）到早元古代（1600—1800Ma）约 1400—1600Ma 的成矿过程；又如招—掖地区的石英脉型、蚀变岩型金矿床亦经历了晚太古代（2600Ma）的初始沉积富集，元古代的变质作用、混合岩化作用的再次富集，一直持续到燕山期重熔岩浆作用而最终富集成矿，约经历了 24Ma 的成矿过程，即使从变质作用成矿算起，也约经历了 1400－1600Ma 的成矿过程。更简单的进行归纳，伴生金矿床成矿时间“短”，成矿过程“简”；而单一金矿床成矿时间“长”，成矿过程“繁”，这是两者对比中的四大差异之二、三。

（四）伴生金矿床和单一金矿床的时—空分布规律的对比

在我国，伴生金矿床和单一金矿床区域性分布规律完全不同，这也反映出它们成矿物质来源、成矿条件、成矿机制上的差异。

1. 伴生金矿床和单一金矿床在地域分布上的对比

按分省统计，我国各类黄金资源的大省差异很大。表 4—10 列示了两类金矿床的前 10 位省区。从表可知：①伴生金矿床和单一金矿床省区前 5 名无一相同，前 10 名仅黑龙江、吉林两省相同，但位次差异很大：伴生金矿床中占第六位的黑龙江，第九位吉林，在单一金矿床中分别位居第二和第四；②前 10 位伴生金矿床大省占伴生金总储量的 91.96%，单一金矿床大省占 78.16%，这一情况说明，伴生金矿床和单一金矿床矿化均相当集中，规律

性明显。其中尤以伴生金矿床矿化集中程度更强烈，如三个最重要的伴生金大省江西、湖北、安徽占伴生金总储量的57.68%（单一金矿前三省山东、黑龙江、河南占42.89%），而单一金矿床则查对分散，矿化集中的规律性不强：前十省占总金储量的73.01%；前三省占38.89%；③在前十位黄金大省中，伴生金大省占了五位：江西、湖北、湖南、安徽、甘肃，单金大省占了五位：山东、黑龙江、河南、吉林、河北。其中黑龙江、吉林两省既是伴生金大省，又是单金大省。

表4—10　我国1—10位次的伴生金矿床和单一金矿床省区

位次	伴生金矿床		单一金矿床		总金矿床	
	省区	储量比（%）	省区	储量比（%）	省区	储量比（%）
1	江西	36.40	山东	23.17	山东	15.73
2	湖北	11.05	黑龙江	10.18	江西	14.55
3	安徽	9.63	河南	9.54	黑龙江	8.61
4	甘肃	7.89	吉林	6.69	河南	6.34
5	湖南	7.21	河北	6.08	湖北	5.64
6	黑龙江	5.48	陕西	5.45	吉林	5.45
7	青海	5.10	四川	4.56	湖南	4.65
8	山西	4.18	辽宁	4.54	安徽	4.22
9	吉林	2.97	内蒙古	4.40	河北	4.06
10	江苏	2.05	江西	3.55	甘肃	3.85
1—10	合计	91.96	合计	78.16	合计	73.01

2. 伴生金矿床成矿带和单一金矿床成矿带在大地构造单元上的对比

伴生金矿床成矿带的划分见第三章，单一金矿床成矿带的划分见表4—11（据核工业部北京地质研究院）。现按它们所处的大地构造单元分别论述。

①华北地台的伴生金矿床成矿带和单一金（岩金＋砂金）矿床成矿带的对比

华北地台是两类金矿床重要成矿带赋存区。华北地台中伴生金矿床四个成矿带（表3—5）在Ⅱ级大地构造单元的位置是：金川成矿带位于华北地台的阿拉善台隆，辽东成矿带位于华北地台的胶辽台隆，中条山成矿带位于华北地台的山西断隆，内蒙古（地轴）成矿带位于华北地台内蒙古地轴西段。单一金矿床的三个成矿带：胶辽成矿带（占单金总储量27%）位于华北地台的胶辽台隆，华北地台北缘成矿带（占单金总储量18%）位于华北地台的胶辽台隆、华北断拗、燕山台褶带、内蒙古地轴、山西断隆，华北地台南缘成矿带（占单金总储量13%）位于华北地台的豫西断隆、鄂尔多斯台隆。

表4—11　我国单一金矿床成矿带

名　称	典型矿床实例
黑（龙江）东北成矿带	韩家园子、吉龙沟、兴龙沟、团结沟、平顶山、东风山
胶辽成矿带	焦家、玲珑、三山岛、新城、夹皮沟、三道岔、刺猬沟
华北地台北缘成矿带	金厂峪、马兰峪、小营盘、张金庄、东风、长皋
华北地台南缘成矿带	文塔、东闾、老鸦岔、上宫、窑沟
秦岭成矿带	拉尔玛、九泉、东沟、银洞沟、徐家坡、二台子、双王
云开—大瑶山成矿带	河台、抱板、新州、龙头山
雪峰—九岭成矿带	黄金洞、漠滨、柳林汊、金塘、洋鸡山
准噶尔—阿尔泰成矿带	托里、巴里坤金山、小马庄、西岔河、卡拉塔斯、红墩

总之，华北地台中伴生金矿床成矿带与单一金矿床成矿带重叠区不多：金川成矿带，中条山成矿带与单一金矿的华北地台南缘成矿带，处于不同的Ⅱ级大地构造单元中；伴生金矿床的内蒙古(地轴)成矿带位于内蒙古地轴西端，而单一金矿床的华北地台北缘成矿带则位于内蒙古地轴东段；伴生金矿床的辽东成矿带与单一金矿床的华北地台北缘成矿带重叠，但该成矿带是次要成矿带，只占伴生金总储量的0.79%。

另外，以伴生金矿床而言，华北地台的矿化不强，是次重要的赋存区，仅占伴生金总储量的10.67%；而以单一金矿床而言，华北地台的矿化强烈，是最重要的赋存区，占单一金矿床总储量的58%。

② 扬子地台的伴生金矿床成矿带和单一金矿床成矿带的对比

扬子地台也是两类金矿床的重要成矿带赋存区。扬子地台中伴生金的5个成矿带（表3--5）在Ⅱ级大地构造单元的位置是：南京--安庆成矿带和九江—黄石成矿带位于扬子地台的下扬子台褶带，赣东北成矿带位于扬子地台的江南台隆东段，湘西成矿带位于扬子地台的江南台隆西段，康滇（地轴）成矿带位于扬子地台的康滇地轴；单一金矿床在扬子地台仅1个成矿带，即雪峰--九岭成矿带（占单一金矿床总储量的2%）位于扬子地台的江南台隆西段。

总之，对比中一大特点是：两类矿床成矿带在扬子地台Ⅱ级大地构造单元中的分布差别很大，仅一个湘西成矿带与雪峰—九岭成矿带重叠。而该区的矿床主要是伴生金矿床，单一金矿床不多，仅中型的漠滨矿、黄金洞矿等几处。扬子地台中金和含金矿床的另一特点是：该区是伴生金矿床的最大赋存区，所包含的五个成矿带占伴生金总储量的59.96%，但对单一金矿床来说却是次要赋存区，所包含的一个成矿带，仅占单金储量的2%。这也是华北地台与扬子地台成矿的最大差异。

③地槽褶皱系中的伴生金矿床成矿带和单一金矿床成矿带的对比

褶皱系中的伴生金矿床和单一金矿床总的来说不如地台中重要，但其中的昆仑—祁连—秦岭褶皱系、内蒙古--大兴安岭褶皱系、华南褶皱系，无论对伴生金矿床或单一金矿床来说均是较重要的：a. 昆仑—祁连—秦岭褶皱系中赋存有三个伴生金成矿带，北祁连成矿带位于祁连褶皱系的北祁连优地槽褶皱带；南祁连成矿带位于秦岭褶皱系的南秦岭冒地槽褶皱带和东昆仑褶皱系的柴达木北缘优地槽褶皱带；玛沁--兴海成矿带位于松潘—甘孜褶皱系的阿尼玛卿褶皱带和东昆仑褶皱系的布尔汉布达优地槽褶皱带；而该区单一金成矿带仅只有秦岭成矿带（占单一金矿总储量的8%），位于秦岭褶皱系的北秦岭褶皱带和礼县—柞水冒地槽褶带中，两类矿床成矿带在Ⅱ级大地构造单元中无一重叠。b.内蒙古--大兴安岭褶皱系和吉黑褶皱系中赋存的伴生金成矿带为多宝山成矿带，位于大兴安岭优地槽褶皱带；单一金矿成矿带为黑龙江东北成矿带（占单一金矿床总储量的9%），位于大兴安岭优地槽褶皱带、张广才岭优地槽褶皱带、佳木斯隆起等三个Ⅱ级构造单元，两个成矿带重叠。c. 华南褶皱系中赋存的伴生金成矿带有北武夷成矿带（位于华夏褶皱带）、湘南粤北成矿带（位于赣湘桂粤褶皱带）；单一金成矿带为云开—大瑶山成矿带（占单金总储量的4%）位于云开褶皱带。d. 其他褶皱带中的伴生金成矿带内，珲春成矿带位于延边褶皱系，川西--滇北成矿带和藏东—滇西成矿带位于滇藏褶皱系；无相应的单一金矿床成矿带；单一金矿成矿带有准噶尔--阿尔泰成矿带（占单金总储量1%），位于东准噶尔优地槽褶皱带和西准噶尔优地槽褶皱带。

总之，在地槽褶皱区中，两类矿床成矿带在各褶皱带中的Ⅰ级大地构造单元中的分布差别很大，其中仅伴生金矿床的多宝山成矿带与单一金矿床的黑（龙江）东北成矿带重叠，但后者基本上是砂金矿床。

3. 伴生金矿床和单一金矿床成矿时代的对比

我国伴生金矿床成矿时代，在八大构造—岩浆旋回中具有：三峰三谷，螺旋形上升的演化规律（表 4—9，图 4－14）。“峰”是指成矿作用高潮期，“谷”是指成矿作用低潮期。其中燕山旋回、华力西旋回、中条旋回是高潮期；印支旋回、加里东旋回、阜平旋回是低潮期。而单一金矿床则正好相反：最重要的成矿时代是太古代－元古代（阜平—晋宁期），次之是新生代（喜马拉雅期），主要是指砂金矿床，第三是中生代（印支—燕山期），第四是古生代（加里东－海西期），全球范围的金矿成矿时代亦大致类似（表 4—12，图 4—15，图 4—16）。

表 4—12　各地质时期的金储量表

地　质　时　代	世界范围储量比（%）	中国金矿储量比（%）
太古宙—元古宙（前寒武纪）	70	56.4
古生代（加里东—海西期）	5	7.4
中生代（燕山期）	15	10.6
新生代（喜马拉雅期）	10	25.3

据吴美德。

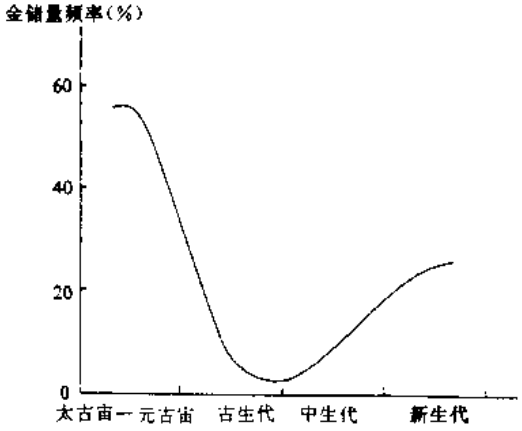


图 4—15　我国金矿床成矿时代--储量曲线

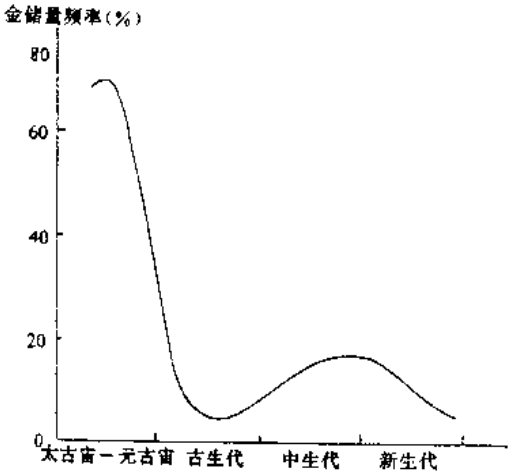


图 4—16　世界金矿床成矿时代--储量曲线

从上述可知，无论全球范围或在我国，单一金矿床成矿时代的特点是“老”，如南非兰德金矿床，美国的霍姆斯塔克金矿床、加拿大的戈尔登迈尔（Golden Mile）金矿床、赫姆洛（Hemlo）金矿床、巴西的莫洛韦罗（Morro Velho）金矿床，中国的金厂峪金矿床、小秦岭金矿床、夹皮沟金矿床，胶东的玲珑、焦家、新城、三山岛金矿床，如成矿从元古代的变质—混合岩化作用算起，也应属时代古老的金矿床；而伴生金矿床的成矿时代的特点是“新”，主要矿床皆成矿于燕山期。这也是两类矿床对比中的四大差异之四。

第五章　伴生金矿床的赋存特征与成矿条件

第一节　伴生金矿床（田）的构造控矿特征

在上章中我们系统论述了区域性构造对伴生金成矿带，矿化集中区的控制作用，在此我们继续论述构造对具体矿床（田）、富矿段的控制作用。不言而喻，虽两者同可称为“构造控矿”，但对象、范围、规模是不同的，前者属区域性构造，后者属矿区（田）构造范畴；前者为导岩，后者为容矿构造。现将有利于伴生金矿床成矿的构造特征例示于下。

1. 两组断裂交错的“井”字形、“X”字形、“入”字形断裂的控矿作用

两组断裂的交错复合是重要的成矿有利因素，著名的大冶矿化集中区的一些矿床即大致位于NWW－EW向和NNE－NE向几组断裂交错的“井”字形和“X”字形结点上。如铜录山矿的几个最重要的矿体就位于NNE、NE、NW向断裂结合部位的接触带、层间滑动破碎带上；铁山铁铜矿体位于NE向压性断裂和NWW向压扭性断裂的交错复合处。当然，几组断裂对成矿的作用有主有次，铜录山矿体主要分布于NNE断裂上（图5－8）；铁山矿体主要分布在NWW断裂上。其他如大宝山矿（图5－17）、德兴矿田（图5－13）、武山矿（图5－12）等也存在类似断裂条件。而其中大宝山矿为“入”字形断裂（SN和NE向）交错复合控矿的典型实例（图5－17）。

2. 层间断裂、滑动面的控矿作用

矽卡岩型矿床的矿体除沿接触带分布外，有不少矿体往往沿围岩的层间断裂、滑动面充填交代，成似层状分布。如南京－安庆成矿带中的铜官山矿，矿体沿泥盆系上统五通组硅质岩和二叠系下统栖霞组灰岩之间的不整合面分布（交代灰岩）（图5－5、图5－22）；铜陵新桥矿矿体沿石炭系下统高丽山组砂页岩与石炭系中统黄龙组灰岩之间的层间断裂—滑动面分布（交代灰岩）（图5－6，图5－24）；而天鹅抱蛋山矿和马山矿的四个主要矿体则分别分布在二叠系下统栖霞组灰岩和石炭系上统船山组灰岩之间（为Ⅰ号矿体）、石炭系上统船山组灰岩和中统黄龙灰岩之间（为Ⅱ号矿体）、石炭系中统黄龙组和下统高丽山组之间（为Ⅲ号矿体）、高丽山组角岩之上（为Ⅳ号矿体），矿体均成似层状分布。又如九江—黄石成矿带的武山铜矿似层状矿体也顺层分布于石炭系中统黄龙组灰岩中（图5－12，图5－20）；龙角山矿体则顺层分布于石炭系中统黄龙组和上统船山组之中（间）（图5－19）；丰山矿的部分矿体顺层分布于中三叠统嘉陵江组大理岩中（图5－10）。总之，层间断裂和滑动面、层面是矿液充填交代的良好场所。矿液除在接触交代形成矽卡岩外，也顺层流动形成似层状矿体，相对而言，后者成矿温度较低，更有利于金的富集。

3. 构造破碎带的控矿作用

构造破碎带对矿体的控制也很明显。对一些同生矿床来说，断裂破碎带的存在为有用组分的活化—迁移—再富集过程创造了良好的场所；而对后生矿床来说，则是一个良好的矿液通道和沉淀场所。如白乃庙矿的东西向积压破碎带和逆掩断层对矿体分布具有明显的控制作用（图 5—3）。小西南岔金铜矿 11 号主矿体中广泛发育有含矿角砾岩（图 5—1）；玉龙矿的似层状铜、钨矿体就产于三叠系的波里拉组和甲丕拉组的层间破碎带中（图 5—21）；城门山矿的块状硫化物型铜矿体产于 F_2 层间破碎带中（图 5—11）；著名的铜绿山矿体就赋存于接触—断裂构造破碎带大理岩残留体内（图 5—8）。另外，在一个矿床中，成矿前的断层破碎带往往是含金较富的地段。因为破碎带往往是高—中—低矿化叠加的场所，有利于金的沉淀。如天鹅抱蛋山矿的破碎带位于 5m 中段Ⅲ号矿体西侧边界外侧，属矿化大理岩。经取样测定，全部 36 个样平均 Au 为 3.44×10^{-6}，已达工业品位。湖北鸡笼山矿，破碎带中的雌黄—雄黄—自然金组合的矿石是高金地段。

4. 背斜轴部，倾伏背斜的控矿作用

背斜轴部和倾伏端往往是断裂比较发育地段，岩浆岩也往往沿之侵位，所以往往也是成矿有利地段。如铜陵的几个著名矿床：金口岭矿和铜官山矿、狮子山矿、老鸦岭矿和大团山矿、凤凰山矿、仙人冲矿就分别位于北东向的三个背斜轴部（图 5—5）。天鹅抱蛋山矿就位于铜官山背斜倾伏端上（图 5—4）。

5. 倒转背斜轴部的控矿作用

倒转背斜轴部控矿的最著名实例是水口山矿田的三个矿床。在水口山矿田范围内分布着一系列轴向 SN 的倒转背斜—倒转向斜，自西向东，鸭公塘、老鸦巢、康家湾矿就分布于鸭公塘倒转背斜、老鸦巢倒转背斜、康家湾倒转背斜轴部。由二叠系栖霞组、茅口组、乐平组组成。前两矿体赋存于二叠系栖霞组和茅口组接触部位，康家湾矿体则位于侏罗系高家田组底砾岩和下二叠统茅口组不整合面上。岩体侵入背斜轴部，前两个矿床位于接触带，康家湾则顺层分布，离岩体较远（图 5—15）。

6. 火山机构的放射状—环状断裂的控矿作用

典型实例为江西银山矿。矿体分布于西火山口东侧，其产出部位受 EW、NE、NW 向放射状、羽状裂隙控制，裂隙似由火山喷发活动产生。矿体的上述产出形态和细脉、微脉、网脉状构造表明它在成矿过程中经历了多次的叠加、富集作用，裂隙便成为优良的容矿场所（图 5—14）。

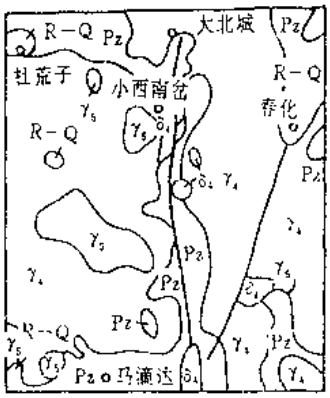
本节简介了有利于伴生金矿床的成矿构造，实际上也仅是举其大概而已。在此需要说明的是：①一个矿床的形成与产出是多种因素综合作用的结果；②即使仅谈构造控矿，也仍是多种构造因素综合作用的结果，如水口山的老鸦巢、鸭公塘矿的产出既受倒转背斜轴部控制、又受岩体接触带控制，同样受位于背斜轴部并与之直交的东西向断裂控制。

第二节　伴生金矿床的围岩控矿特征

伴生金矿床可产于地层中或（和）成岩母岩中。但在此我们仅对前者进行论述，而对作为围岩的火成岩将在下节论述

（一）岩性特征

地层围岩的岩性大体可分为碳酸盐岩、碎屑岩、变质岩及火山岩四类。它们所含伴生


R－Q Pz
大北城
Pz
杜荒子
小西南岔
R－Q
春化
R－Q
Pz
Pz
Pz
R－Q
Pz
Pz
Pz

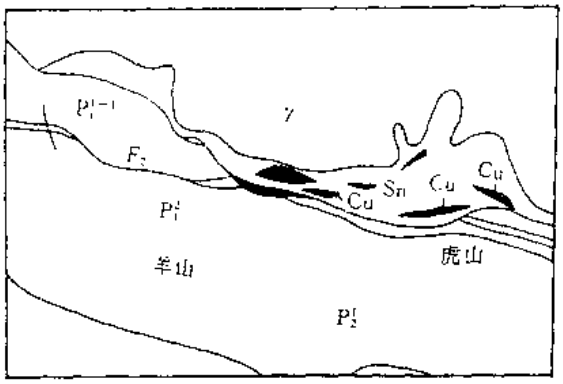


图 5－7　江苏铜山矿构造－岩浆－矿床关系图

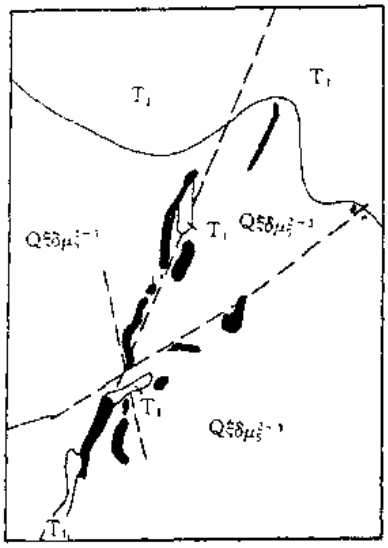
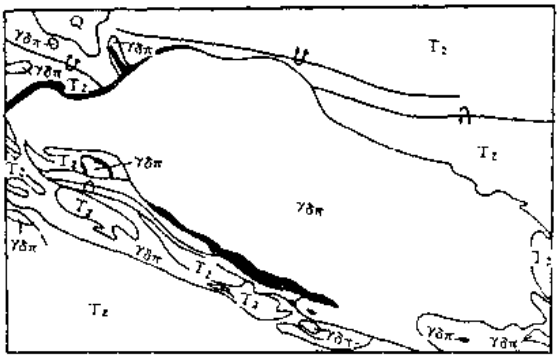


图 5－8　铜录山矿构造－岩浆－矿床关系图


Q
T₂
T₂
T₂

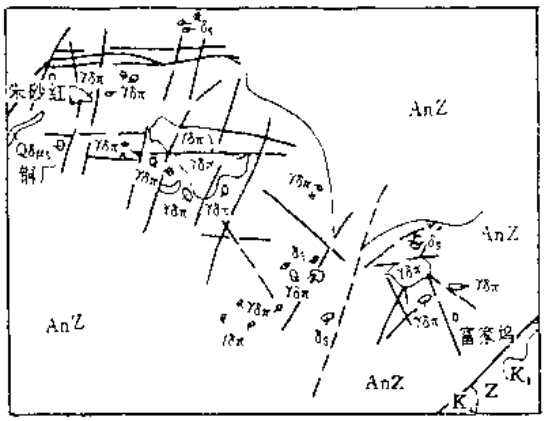


图 5－13　德兴矿田构造－岩浆－矿床关系示意图

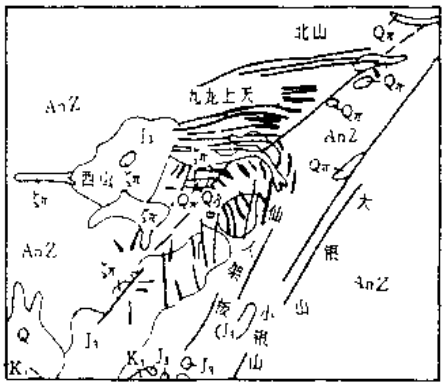


图 5－14　银山矿田构造－岩浆－矿床关系示意图

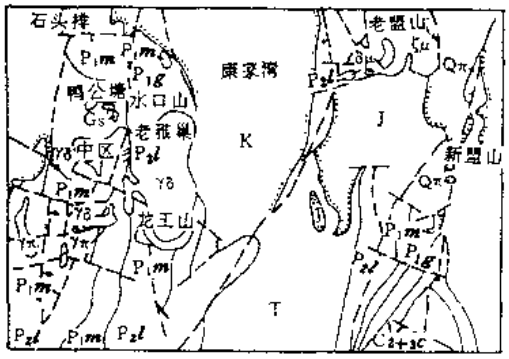


图 5－15 水口山矿田构造－岩浆－矿床关系示意图

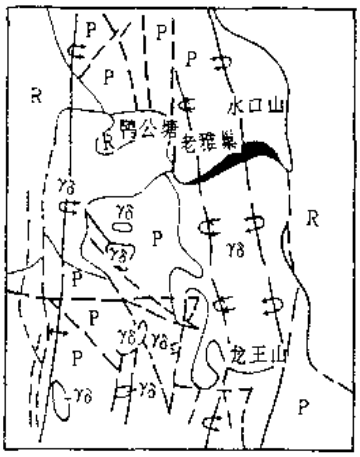


图5－16 水口山矿田构造－岩浆－矿床关系示意图

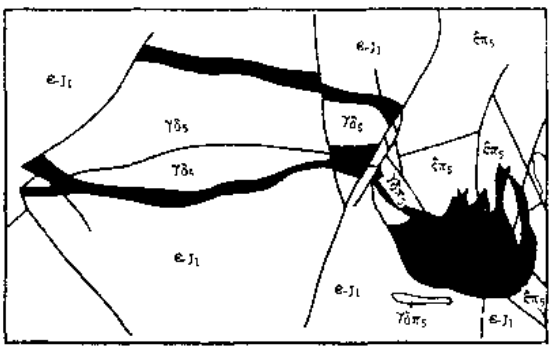


图 5－17　大宝山矿构造－岩浆－矿床关系示意图

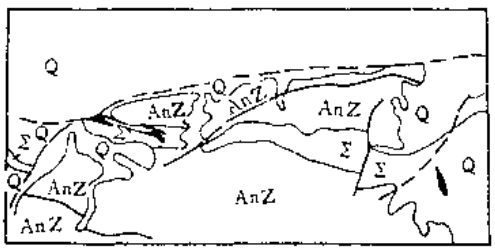


图 5－18　金川矿田构造－岩浆－矿床关系示意图

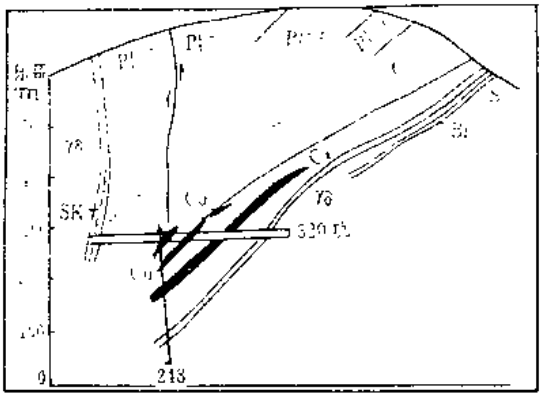


图 5－19　龙角山 25 勘探线剖面图

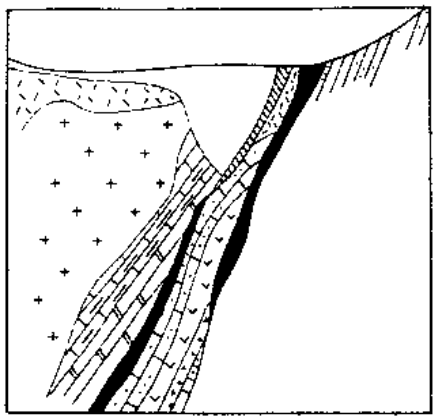


图 5－20　武山铜矿地质剖面图

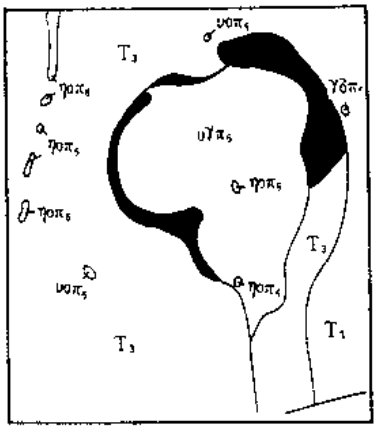


图 5－21　玉龙矿田构造－岩浆－矿床关系图

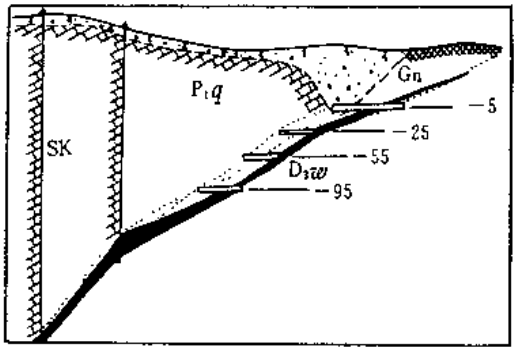


图 5－22　铜官山 15 勘探线剖面图

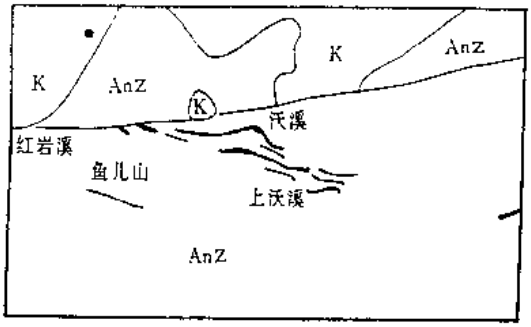


图 5－23　湘西金矿构造－岩浆－矿床关系图

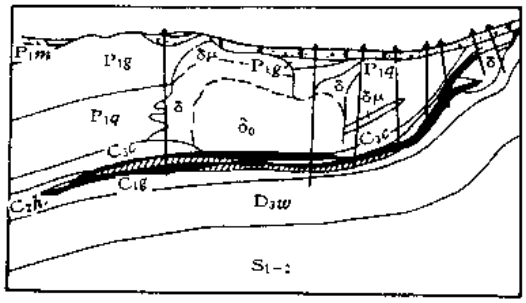


图 5－24　新桥硫金矿地质剖面图

金矿床的金储量约占全部伴生金储量的50%(其余产于火成岩中)。各类地层围岩中的伴生金储量如表5—1，由表可见，不同岩性的地层围岩与伴生金的关系差异极为明显，绝大多数伴生金矿床均以碳酸盐岩为其直接围岩，次为火山岩。而赋存在碎屑岩中的伴生金矿床很少。在矿床类型上，赋存在碳酸盐中的伴生金矿床为矽卡岩型和岩浆热液型。典型的实例如铜录山矿，矿体产于岩体与三叠系大冶组灰岩接触带及外带的大理岩中，部分矿体赋存在岩体中的灰岩捕虏体内（如图5—8)；在武山矿，自岩体至围岩，矿床类型由产于岩体内的斑岩型矿床、接触带的矽卡岩型矿床、灰岩破碎带中的块状硫化物矿床，金品位由0.27$\times10^{-6}$—0.46$\times10^{-6}$；赋存在火山岩中的矿床类型为海相火山岩及陆相火山岩型，如浙江西裘矿，矿床赋存在火山碎屑岩和火山熔岩中；又如甘肃白银厂矿，矿床赋存在加里东期形成的火山岩中；赋存在变质岩中主要为沉积变质型，如湘西沃溪矿、龙王江矿，赋存于元古界板溪群浅变质岩系中；在碎屑岩中，主要为沉积改造型，如江苏昆山铀金矿，矿床赋存在中生代的砂岩、粉砂岩中。

表5—1　各类地层围岩中伴生金储量

项目	碳酸盐岩	火山岩	变质岩	碎屑岩	合计
储量（t）	400.46	77.79	49.78	12.88	540.91
占全部伴生金（%）	36.97	7.18	4.60	1.19	49.93
矿床类型	矽卡岩型岩浆热液型	海相火山岩型 陆相火山岩型	沉积变质型	沉积改造型	

（二）围岩的含金性

在4—6节中已经论及，除少数属于“同生型”的沉积变质型和沉积改造型伴生金矿床外，大多数伴生金矿床的地层围岩与矿床并无成因上的联系。在这里，我们将进一步看到，地层围岩的含金性高低与伴生金矿床也无明显的联系。

正如表5—2统计所示，对滨太平洋成矿域的后生矿床来说，如赣东北成矿带、南京—安庆成矿带中地层金背景值是极低的，一般与克拉克值（4.0×10^{-9}）在同一级别，在局部含火山物质较多的层位，金的含量较高，如双桥山群山田组的变细碧岩，含金量可达16×10^{-9}，但看来亦与德兴矿田成矿无关。在“同生型”伴生金矿床分布的地区，如辽东地区，金的背景值明显增高，红透山组的斜长角闪岩含金量高达0.42—0.5(10^{-6})，而辽东成矿带中一些矿床如红透山矿、东胜矿也含较高的金。上述现象说明，除“同生型”矿床外，地层围岩并不提供伴生金矿床的金源。

（三）围岩蚀变特征

伴生金矿床的围岩蚀变与矿床的类型、围岩的性质有关，各类矿床的主要围岩蚀变如表5—3，可见，其围岩蚀变从高温的矽卡岩化、透辉石化等至低温的硅化、碳酸盐化等都有，但与金关系密切的主要是中低温蚀变，如硅化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化等。现将典型矿床的围岩蚀变特征例示如下：

1. 岩浆岩型矿床围岩蚀变

①甘肃金川矿：主要的围岩蚀变有蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化、滑石—碳酸盐化，次之有伊利石化、绿云母化、绿高岭石化、绿帘石—黝帘石化、葡萄石化。总体而言，金

表 5—2　不同地区不同含矿层位的含金性

地区	含矿层位		岩性	金丰度 (10^{-6})（样数）	资料来源
辽东地区	辽河群	盖县组	凝灰质千枚岩	0.179	辽宁冶金107队（1982）
			变质砂岩	0.162	
		高家峪组	碎屑状千枚岩	0.122（119）	
			变质砂岩	0.107（110）	
			含砾云母片岩	0.029（121）	
	鞍山群	红透山组	斜长角闪岩	0.5—0.42	关广岳（1989）
铜陵地区	铜头尖组		—	0.0016（2）	中科大和812队（1988）
	东马鞍山组		—	0.0010（1）	
	殷坑组		—	0.0041（2）	
	大隆组			0.0018（1）	
	龙潭组		—	0.0156（2）	
	孤峰组		—	0.0030（2）	
	栖霞组		—	0.0031（4）	
	船山组		—	0.0015（1）	
	黄龙组		—	0.0036（14）	
	高丽山组		—	0.0056（6）	
	五通组		—	0.0019（2）	
	茅山群		—	0.0063（1）	
赣东北地区	双桥山群上亚群（中元古宙晚期）	山田组	变细碧岩	0.016（6）	周平（1986）
			变石英角斑岩		
			变细碧岩	0.002（3）	
			变细碧角斑岩	0.001（14）	
			变细碧岩	0.004（20）	
			变角斑岩		
		董家组	含黄铁矿变沉凝灰岩	0.002（6）	
			变凝灰质粗碎屑岩	0.001（16）	
			变沉凝灰岩		
			超铁镁质熔岩	0.005（5）	
		漆工组	超镁铁质熔岩	0.016（15）	
			变拉斑玄武岩		
			变超镁铁质-镁铁质熔岩	0.003（18）	
湘西地区	板溪群		黄绿色板岩	0.001（11）	
			褐红色板岩	0.002（22）	
			灰绿色板岩	0.004（24）	
			千枚状板岩	0.001（10）	
湘南地区	二叠系	当冲组	—	0.04（2）	钟东球（1986）
		栖霞组	—	0.0297（3）	
	石炭系	壶天群	—	0.0016（5）	
		梓门桥组 上段	—	0.022（19）	
		梓门桥组 中段	—	0.005（14）	
		梓门桥组 下段	—	0.007（1）	
		测水组	—	0.0073（4）	
		石磴子组	—	0.005（2）	
金川地区	太古界	白家咀子组	—	0.01（13）	甘肃第六地质队（1984）

川矿，也即是岩浆岩型矿床的围岩蚀变与矿化关系不似其他类型矿床那么密切。一般情况下蛇纹石化与矿化有一定关系：含矿岩石较不含矿岩石蛇纹石化程度为高，富矿地段较贫矿地段蛇纹石化要强。而透闪石化刚好相反：含矿岩石较不含矿岩石透闪石化较弱。

②青海德尔尼矿：主要围岩蚀变有蛇纹石化、碳酸盐化，次之有滑石化、绿泥石化、钠闪石化、硅化、透闪石化。与矿化有关的主要是蛇纹石化。

2. 矽卡岩型矿床围岩蚀变

①湖北大冶铜录山矿：早期围岩蚀变为透辉石化、金云母化、钠长石化、绿帘石化、蛇纹石化，与铁矿化有关；中期围岩蚀变为钾长石化、硅化、菱铁矿化、重晶石化、金云母化、绿泥石化，与铜、金矿化有关；晚期围岩蚀变为碳酸盐化、硅化、高岭石化、沸石化，与铜、金矿化有关。

②安徽铜陵铜山矿：围岩蚀变具有分带性，岩体中的钾长石化、硅化带；接触带中的矽卡岩化（石榴石矽卡岩→透辉石矽卡岩→透闪石、硅灰石矽卡岩），并叠加有滑石化、蛇纹石化、绢云母化、硅化；围岩中的大理岩化、角岩化、石英岩化。矿体主要产于接触带的矽卡岩中，部分产于蚀变石英闪长岩中和角岩中。

3. 斑岩型矿床围岩蚀变

①铜厂矿：矿区从斑岩体中接触带向两侧形成近乎对称的蚀变带，石英一绢（白）云母化带、绿泥石一水白云母化带、绿泥（帘）石一水云母化带。Au—Cu 矿化强度与蚀变强度成正比，矿体的分布无论在斑岩或千枚岩中大致与石英一绢（白）云母化带一致，沿内外接触带分布。

②吉林小西南岔矿：矿床由脉状矿体群组成，最大为 11 号矿体。矿体中间蚀变强，主要为硅化、绢云母化。向两侧蚀变渐弱，主要为绿泥石化。蚀变类型因岩石性质不同而变化，在闪长岩、斜长花岗岩、细晶岩中以硅化、绢云母化为主；在角岩中则以绿泥石化、硅化为主。Au—Cu 矿化强弱与蚀变强弱成正比。

4. 岩浆热液型矿床围岩蚀变

①湖南水口山矿：围岩蚀变具有明显的分带性，岩体中有钾长石化、绢云母化，与矿化关系不大；接触带中有矽卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化，与铜矿化、硫矿化有关；碳酸盐围岩中以大理岩化为主，与 Pb、Zn、Au 矿化关系最密切，主要矿体均赋存于此；砂、泥质围岩中以角岩化、绢云母化为主；断裂破碎带中以绿泥石化、碳酸盐化、硅化为主，与 Pb、Zn、Au 矿化关系最为密切。

②安徽铜陵天鹅抱蛋山一马山矿：与邻近的铜官山矿、金口岭矿不同，岩体接触带只有零星分布的矽卡岩，且与 Au—S 矿化关系并不密切。围岩蚀变中大理岩化最显著，具有顺层分布、延伸漫长（大于 1000m）的特点，与矿化在空间分布上一致。其它近矿围岩蚀变有硅化、白云石化、碳酸盐化、透闪石化、蛇纹石化。

5. 陆相火山岩型矿床围岩蚀变

江西德兴银山矿围岩蚀变存在明显分带性。在水平方向以 3#、8#、1#岩体为中心，由内向外依次出现的蚀变带和矿化带为：黄铁绢云岩化一铜硫金带（Ⅰ带）；黄铁绢英岩化、绿泥石化一铜硫金铅锌银重叠带（Ⅱ带）；绿泥石化一铅锌银带（Ⅲ带）；碳酸盐化一铅锌银带（Ⅳ带）。围岩蚀变一矿化的垂直分带也同样明显：由深部→浅部，由Ⅰ带→Ⅳ带。

6. 海相火山岩型矿床围岩蚀变

①甘肃白银矿田折腰山矿：主要围岩蚀变有绿泥石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化、重晶石化，其中绿泥石化、碳酸盐化与铜金矿化有关，矽化、重晶石化与铅锌矿化有关。一般而言，靠近矿体蚀变强烈，且多种蚀变重叠，离开矿体，蚀变逐次减弱。

②青海红沟矿：围岩蚀变主要有绿泥石化、硅化、绿帘石化、钠长石化、碳酸盐化、黄铁矿化。其中绿泥石化、硅化与矿化关系密切，绿泥石化一般分布于紧靠矿体的细碧岩中，蚀变宽度不超过 3m；硅化一般分布于绿泥石化外侧，蚀变宽度不超过 2m，两者构成蚀变带。蚀变带如叠加硅化、黄铁矿化时则矿化强烈。

7. 沉积（火山）变质型矿床围岩蚀变

①辽宁红透山矿：主要围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、透闪石化、堇青石化。蚀变分带不明显，常呈现叠加。蚀变强度与范围，常与矿体厚度、矿石类型有关，厚矿体、块状矿石则蚀变强，蚀变带也较宽。

②山西中条山篦子沟矿：围岩蚀变主要有钠长石化、硅化、碳酸盐化、黑云母化、绿泥石化。它们的特点是：a. 蚀变种类与岩性有关，如钠长石化只在钠长浅粒岩和钠长绢云母石英片岩中发育；b. 蚀变矿物年龄与变质年龄一致；c. 在矿化富集地段往往伴随着强烈蚀变。以上情况说明，无论蚀变作用或矿化作用均与区域变质作用有关，两者关系密切。

小结：

①各类型伴生金矿床均存在着不同程度的围岩蚀变（表 5－3），但蚀变的种类、强弱及与矿化的关系均不相同。一般而言，矽卡岩型、斑岩型矿床的围岩蚀变与矿化的关系密切，是一种相当好的找矿标志；岩浆热液型、海相火山岩型、陆相火山岩型矿床的围岩蚀变与矿化关系次之，强弱变化也差别很大；岩浆岩型、沉积（火山）变质型矿床的围岩蚀变与矿化关系较差。

②在不同类型矿床或同一类型矿床间围岩蚀变均存在差别。而在同一矿床中亦往往存在不同成矿阶段的围岩蚀变的叠加。如矽卡岩型矿床中不但有简单的石榴石矽卡岩化上叠加复杂的透辉石－硅灰石矽卡岩化、阳起石－绿帘石矽卡岩化等，而且尚叠加有矽化、绿帘石化、碳酸盐化等中－低温蚀变。从对大量矿山研究结果证明，伴生金的矿化与中－低温蚀变作用的关系较密切（参看本章 5－5 节、5－6 节）。

表 5－3　各类伴生金矿床的围岩蚀变特征

QA矿床类型	围岩蚀变种类
岩浆岩型	蛇纹石化、绿泥石化、角闪石化、透辉石化、碳酸盐化、滑石化
矽卡岩型	矽卡岩化、碳酸盐化、硅化、绿泥石化、绢云母化
斑岩型	石英-绢云母化、绿泥石化、硅化
岩浆热液型	绿泥石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化、大理岩化
陆相火山岩型	硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化
海相火山岩型	绿泥石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化
沉积（火山）变质型	硅化、绿泥石化、碳酸盐化、伊利石化

第三节　成矿岩体的岩石化学特征

（一）概述

伴生金矿床的成矿岩体按其矿床类型可分为：与岩浆岩型铜镍（铂钯）矿有关的超基

性－基性岩体；与斑岩型、矽卡岩型及岩浆热液型伴生金矿床有关的中－酸性岩体；与火山岩型伴生金矿床有关的玄武－流纹质火山岩类。本次工作共测定和收集整理了约 100 个伴生金矿床的 300 多个岩石化学数据，兼收了某些典型的不含金矿床的成矿岩体的岩石化学数据，对成矿岩体岩性变化者一般仅取与成矿有关的岩体的数据，对火山岩型及岩浆岩型伴生金矿床，一般列出了本岩石系列的岩石化学数据。

岩石化学数据的处理包括：

1. CIPW 标准矿物计算：我们采用刘昌实（1987）提出的有黑云母参与的标准矿物计算方法，对钠长石、钙长石、钾长石采用简化的里特曼长石共存图分配斜长石及碱长石。

2. 岩石化学参数计算：

①全碱 $ALK = Na_2O + K_2O$ 以质量分数计

②里特曼指数：$\sigma = ALK^2 / (SiO_2 - 43)$

③赖特碱度率：$AR = [Al_2O_3 + CaO + ALK] / [Al_2O_3 + CaO - ALK]$，

当 $2.5 > K_2O/Na_2O > 1$，ALK 以 $2Na_2O$ 代替；

④钾钠比：$K/Na = K_2O/Na_2O$；

⑤氧化系数：$OX = FeO / (FeO + Fe_2O_3)$；

⑥分异指数：$DI = Q + Or + Ab + Ne + Lc + Kp$

即石英、钾长石、钠长石、霞石、白榴石及钾霞石的 CIPW 标准矿物之和

⑦固结指数：$SI = MgO / (MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$

⑧戈蒂尼指数：$\tau = (Al_2O_3 - Na_2O) / TiO_2$

⑨皮尔斯判别指标：$Pear f_1 = 0.0088\ (SiO_2) - 0.00774\ (TiO_2) + 0.0102\ (Al_2O_3) + 0.0066\ (FeO) - 0.0017\ (MgO) - 0.0143\ (CaO) - 0.0155\ (Na_2O) - 0.007\ (K_2O)$

$Pear f_2 = -0.0130\ (SiO_2) - 0.0185\ (TiO_2) - 0.0129\ (Al_2O_3) - 0.0134\ (FeO) - 0.0300\ (MgO) - 0.0204\ (CaO) - 0.0481\ (Na_2O) + 0.0715\ (K_2O)$

$Pear f_3 = -0.022\ (SiO_2) - 0.0532\ (TiO_2) - 0.036\ (Al_2O_3) - 0.0016\ (FeO) - 0.0310\ (MgO) - 0.0237\ (CaO) - 0.0614\ (Na_2O) - 0.0289\ (K_2O)$

⑩拉森指数：$LDI = 1/3SiO_2 + K_2O - (MgO + FeO)$

⑪勒·曼特尔特征向量：系勒·曼特尔对火山岩岩石化学进行分类的三个特征向量。

（二）成矿岩体的岩石类型

对超基性－基性岩体、中－酸性岩体的岩石类型的划分和命名，我们采用 24 届国际地质学会通过的深成岩定量矿物分类方案。对火山岩的分类，由于尚无较统一的分类方案，我们仅按文献资料给出其岩系名称。此外，我们还按目前流行的几种花岗岩成因分类方案，对中－酸性岩体进行成因分类。

1. Q－A－P 图解、Ol－Opx－Cpx 图解

根据 CIPW 标准矿物的计算结果（含黑云母），按矿床类型投影到 Q－A－P 三角图及 Ol－Opx－Cpx 三角图上（图 5－25－图 5－28）。由图可知：

①在矽卡岩型伴生金矿床中，成矿岩体的投点区域包括花岗岩（主要是二长花岗岩）、花岗闪长岩、石英二长岩、石英二长闪长岩、二长闪长岩区，但其投点集中区则位于二长花岗岩、石英二长闪长岩与花岗闪长岩的交界部位（图 5－25）。

②斑岩型伴生金矿床的成矿岩体集中在二长花岗岩与花岗闪长岩的过渡区（图 5－

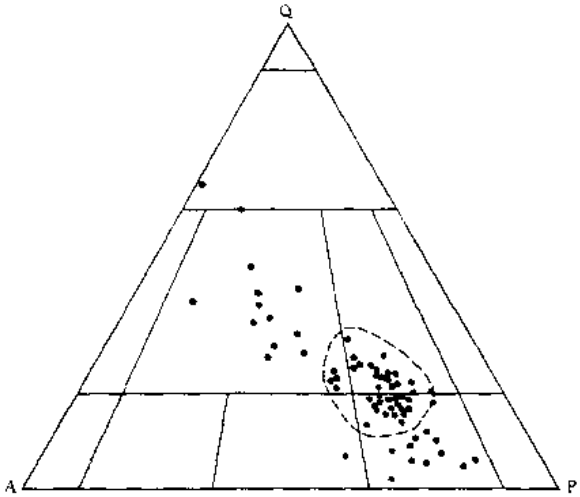


图 5-25　矽卡岩型矿床成矿岩体 Q－A－P 图
（Q－石英；A－碱长石；P－斜长石）

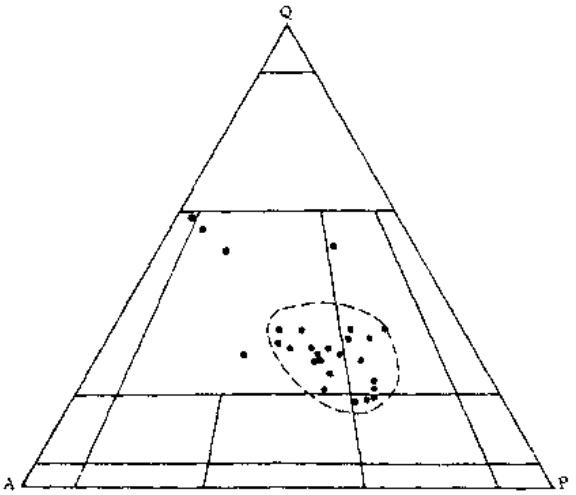


图 5-26　斑岩型矿床成矿岩体 Q－A－P 图
（Q－石英；A－碱长石；P－斜长石）

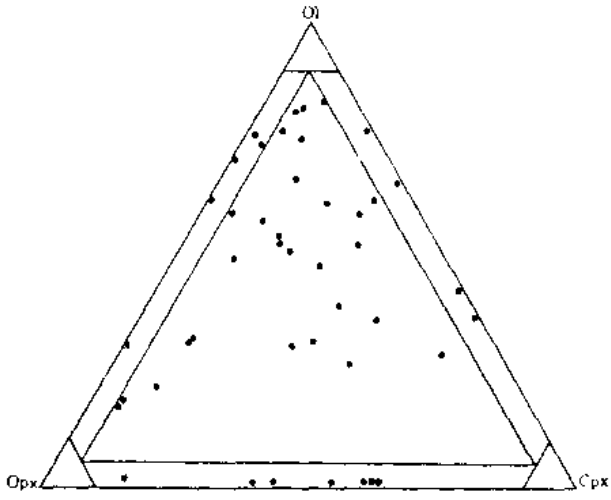


图 5-27　热液型矿床成矿岩体 Q－A－P 图
（Q－石英；A－碱长石；P－斜长石）

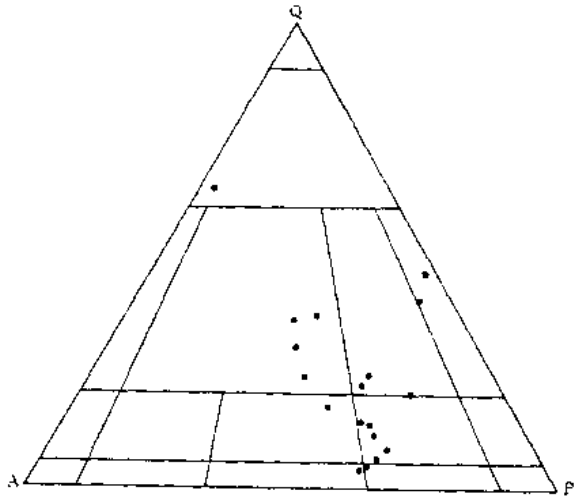


图 5-28　岩浆岩型矿床成矿岩体 Ol－Opx－Cpx 图
（Ol－橄榄石；Opx－斜方辉石；Cpx－单斜辉石）

26）。

③岩浆热液型伴生金矿床的成矿岩体投点较为分散，水口山矿田的康家湾矿、老鸦巢矿、鸭公塘矿、桂阳大坊矿及浏阳七宝山矿俱位于二长花岗岩及石英二长岩区，而山东五莲七宝山矿、邹平王家庄矿等矿床则落入花岗闪长岩、石英二长闪长岩及二长闪长岩区内（图 5－27）。

④在超基性－基性成矿岩体的 Ol－Opx－Cpx 图（图 5－28）上，投点甚为分散，岩石类型包括斜辉橄榄岩、二辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄榄二辉岩及二辉岩，实际情况也是同一岩体往往存在自辉石岩至橄榄岩的整个岩石系列。

⑤我们试图用 Streicksen（1979）提出的 Q－A－F－P 图来进行火山岩的分类（图 5－29），但明显可以看出，其投点极为分散，同一系列的岩石的投影相差很大，由此而进行的分类命名难以准确地反映火山岩的岩性变化。为此，我们采用勒·蔓特尔的三个特征向量

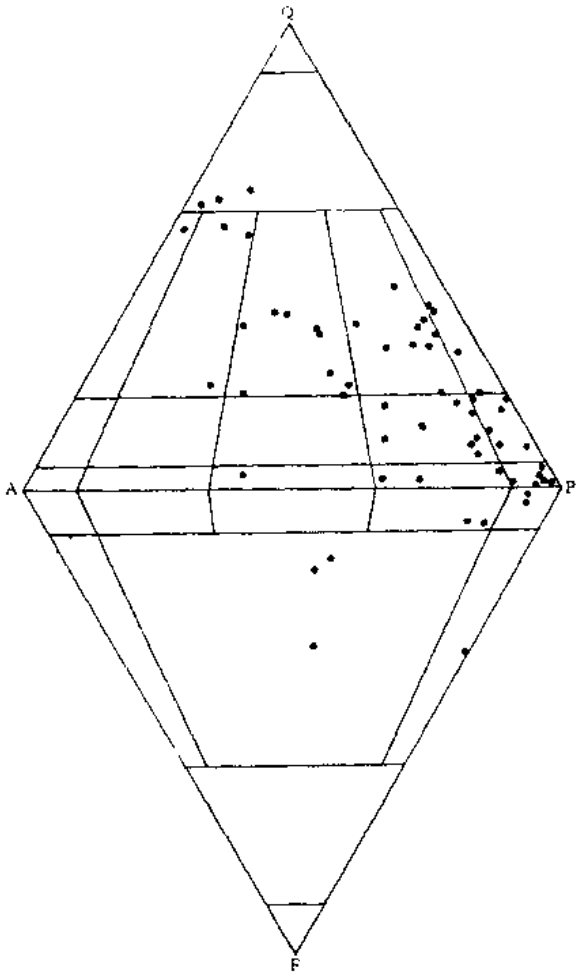


图 5－29　火山岩 Q－A－P－F 图

（Q－石英；A－碱性长石；P－斜长石；F－似长石）

把火山岩四分为玄武岩、安山岩、英安岩及流纹岩（图 5－30），从图可知，其岩性变化范围相当大，从玄武岩至流纹岩均有，但从投点的密度来看，岩性主要落入安山岩和英安岩的范围。与矽卡型、斑岩型及岩浆热液型伴生金矿床的成矿岩体相比，火山岩型成矿岩体稍偏于基性。

从前述可知：我国与伴生金矿床有关的火山岩大致可分为三类，一是以江西银山矿、浙江大岭口矿为代表的中生代陆相火山岩一次火山岩类，岩性为中一酸性的英安斑岩一流纹岩，与之有关的矿床属陆相火山岩型；二是以白银厂矿、西裘矿等为代表的古生代海相细碧角斑岩系，岩性主要为中一基性的玄武岩、安山岩、英安岩，与之有关的矿床属海相火山岩型；三是以大红山矿、红透山矿、霍各乞矿等为代表的前寒武纪变质火山岩系，岩性主要为玄武岩一安山岩，与之有关矿床属火山（沉积）变质岩型。

2. 伴生金矿床成矿岩体的成因类型

在本书第四章 4－4 节中，我们根据伴生金矿床研究的需要，对岩浆岩作了成因分类的探索，同时按徐克勤的方案，对花岗岩类作了论述和补充。通过对大量伴生金矿床的系统

研究和对大量有关资料的综合归纳；通过大量的同位素、岩石化学、稀散元素分析结果的整理运算；通过对大量成岩－成矿作用的地质环境综合分析，我们再次在此强调，与伴生金矿床成矿有关的岩浆岩仅有两类：一为板内同熔型花岗岩类，二为幔源型超基性、基性、中性、酸性岩类。对伴生金的重要性而言，前者远超过后者，为此我们的工作重点亦集中于对前者的研究。根据岩石化学参数特征与伴生金矿床成矿有关的花岗岩类可分成两类，我们分别命名为：

①扬子式板内同熔型花岗岩类，以低铝高钠、出现标准矿物透辉石分子、酸度较低为特征。广泛分布于扬子地台的扬子成矿区。

②华南式板内同熔型花岗岩类，以高铝低钠、出现刚玉分子、酸度较高为特征。对这两类岩体的几种主要成分的判别表明（表5－4），花岗岩类成矿岩体80%以上均属扬子式。进一步的分析表明，不同类型伴生金矿床中，成矿岩体的岩石化学成分有一定差异，矽卡岩型伴生金矿床的成矿岩体绝大部分（85%以上）具有扬子式的成分特征，仅有少数具有华南式的特征，但它们主要分布在华南成矿区内，如江西村前，广西钦甲等；斑岩型伴生金矿床的成矿岩体具有华南式特征的明显增多（占32%）；热液型伴生金矿床的成矿岩体具华南式特征的更多。在不同成矿区，成矿岩体的类型有明显的差异，扬子成矿区、华北成矿区的成矿岩体绝大部分为扬子式，而华南成矿区则主要为华南式。上述差异与伴生金矿床的主金属组合密切相关，在扬子成矿区，华北成矿区内广泛分布的伴生金矿床的元素组合为Cu、Cu－Fe、Cu－Mo、Cu－Au等，而华南成矿区内伴生金矿床的元素组合则为Pb－Zn－Cu、Pb－Zn。

表5－4　板内同熔型岩体两种系列的统计结果

类型 \ 系列 \ 数量		扬子式		华南式	
		岩体数（个）	所占百分比（%）	岩体数（个）	所占百分比（%）
岩石化学参数	CIPW刚玉分子	60	74	21	26
	w_{Na_2O}（%）	67	83	14	17
	Al/（Na+K+Ca/2）	61	75	20	25
	ACF图解	63	78	18	22
矿床类型	矽卡岩型	49	88	6	12
	斑岩型	13	68	6	32
	岩浆热液型	6	60	4	40
成矿区	扬子成矿区	42	91	4	9
	华南成矿区	3	38	5	62
	华北成矿区	12	80	3	20

注：扬子式和华南式划分标准分别为：CIPW刚玉分子为0和>0；Al/（Na+K+Ca/2）为<1和>1%；w_{Na_2O}为>2.2%和<2.2%；透辉石分子为有和无；ACF图解为高铝低钠区和高钠低铝区。

扬子式和华南式岩类差异的产生可能与物质来源深度有关：前者主要是上地幔分异产物，后者主要来源于下地壳；或两者同来源于上地幔，但前者混入壳源物质较少，而后者混入了较多壳源物质之故；它也可能与引起岩浆侵位的深大断裂切割深度有关：华北、扬子成矿区切割较深，华南成矿区则切割较浅，致使岩体在成分上存在上述差异。

3. 磁铁矿型及钛铁矿型

磁铁矿型与钛铁矿型是石原舜三根据花岗岩中不透明矿物的含量及种类提出的两种花

岗岩成因类型：磁铁矿型花岗岩是在还原条件下由地壳下部或上地幔生成的岩浆形成，以富含磁铁矿（0.1%－2%）为特征；钛铁矿型花岗岩是在氧化的环境下，由陆地中、下部生成的岩浆，在有含硫的变质沉积物混入的条件下形成的，以富钛铁矿为特征。

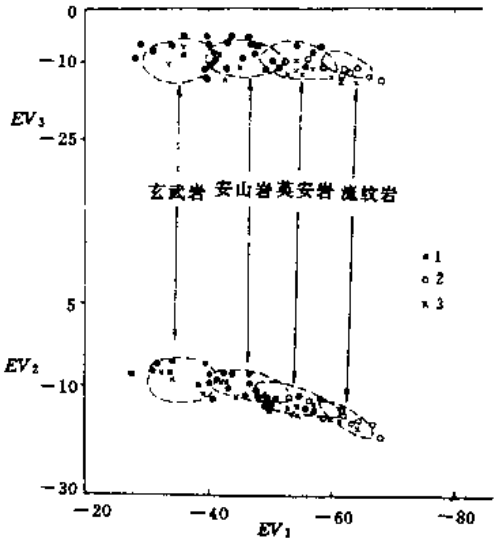


图 5－30　火山岩 EV_1-EV_2，EV_1-EV_3 图

1－前寒武纪变质火山岩；2－中生代陆相火山岩；3－古生代细碧－角斑岩

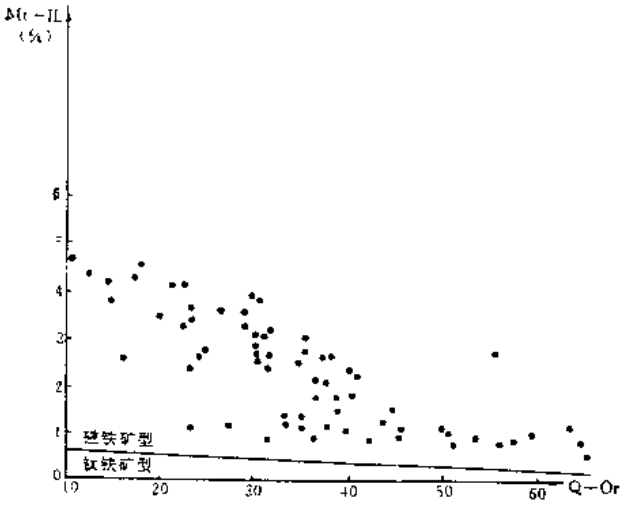


图 5－31　成矿岩体 Mt＋IL－Q＋Or 图

我们统计了伴生金矿床成矿岩体的副矿物磁铁矿、钛铁矿的含量（表 5－5）。并进行其 Mt＋IL－Q＋Or 图解（图 5－31），结果表明，这些成矿岩体明显具有磁铁矿岩体的特征。同样证明了伴生金矿床成矿岩体的深源特征。所以磁铁矿型大致与同熔型相当。

表 5－5　成矿岩体磁铁矿、钛铁矿含量

类　型	岩体数	磁铁矿%	钛铁矿%
矽卡岩型	55	1. 37	0. 81
斑岩型	19	1. 28	0. 59
岩浆热液型	10	2. 30	0. 86

（三）成矿岩体岩石化学特征与矿床的含金性关系

1. 岩石酸度与矿床的含金性关系

统计我国伴生金矿床成矿岩体的 SiO_2 含量与矿床的含金情况（火山岩型未参与统计），结果示于表 5－6 和图 5－32。从表可知，总体而言，在 $SiO_2<70\%$ 的区间，矿床的金品位及储量均随 SiO_2 含量的增加而增加，以 SiO_2 60%－70% 的区间矿床的含金量及金储量达到最大；在 $SiO_2>70\%$ 的区间，尚未见到具一定规模的伴生金矿床。在不同类型伴生金矿床中（表 5－7，图 5－33），矽卡型、斑岩型及岩浆热液型的成矿岩体主要集中在 SiO_2 60%－65% 的含量区间，矿床的金品位及储量均在此区间呈现峰值。在同样的 SiO_2 含量区间，矽卡岩型矿床的金品位明显高于斑岩型矿床的金品位（图 5－33）。

就 SiO_2 含量的分布而言，岩浆热液型矿床成矿岩体绝大部分都分布在 SiO_2 60%－65% 的范围；矽卡岩型成矿岩体的 SiO_2 变化在 50%－70% 的范围，但在 60%－65% 的区间集

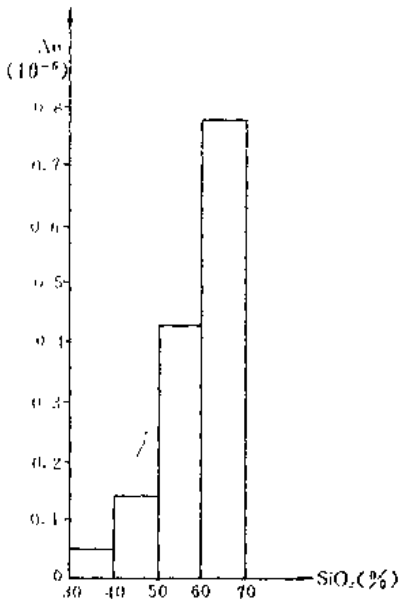


图 5－32　成矿岩体 SiO_2 含量与矿床的金品位分布直方图

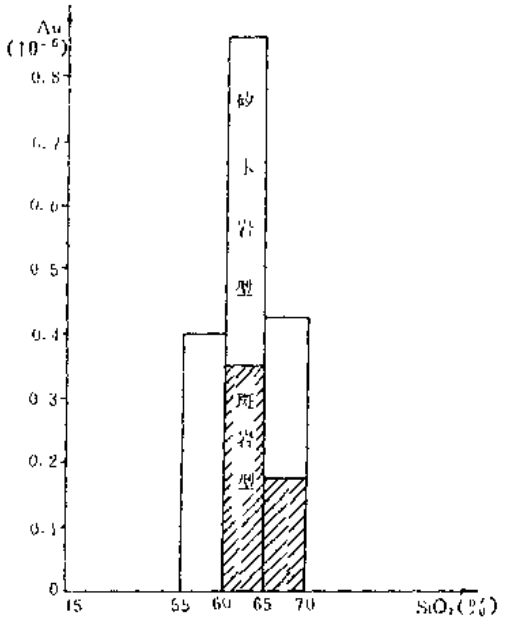


图 5－33　砂卡岩型、斑岩型成矿岩体的酸度与矿床金品位分布直方图

中；斑岩型成矿岩体的 SiO_2 范围在 60%－70%，并以 60%－70%为主。岩浆岩型的岩体 SiO_2 主要分布在 40%－50%的范围。

上述事实说明，伴生金矿床成矿岩体的酸度对矿床的含金性有明显的控制作用，随着 SiO_2 含量由超基性向中酸性方向变化，矿床的含金量明显增高，最有利于金富集的岩体 SiO_2 含量为 60%－65%。

表 5－6　成矿岩体酸度分布与矿床的含金性

SiO_2含量（%）	30－40	40－50	50－60	60－70	>70
矿床数（个）	3	7	7	70	1
矿床金品位（10^{-6}）	0.05	0.14	0.43	0.78	—

表 5－7　不同类型成矿岩体酸度与矿床的含金性

类　型	SiO_2 含量（%）	55－60	60－65	65－70
砂卡岩型	矿床数（个）	6	23	19
	金品位（10^{-6}）	0.43	0.68	0.46
	金储量（t）	18.76	164.43	121.66
斑岩型	矿床数（个）	0	9	10
	金品位（10^{-6}）	0	0.38	0.19
	金储量（t）	0	347.87	80.19

2. 岩石碱度与矿床含金性的关系

在伴生金矿床成矿岩体的硅－碱图（图 5－34）上（基性－超基性岩体除外），其投影主要落入里特曼指数 $\sigma=1.8-3.3$ 的钙碱性区，仅有少数落入碱钙性区及钙性区，说明伴生金矿床成矿岩体主要为钙碱性系列岩石。

对中－酸性成矿岩体及有关矿床的统计表明（图 5－36），伴生金矿床的含金量在里特

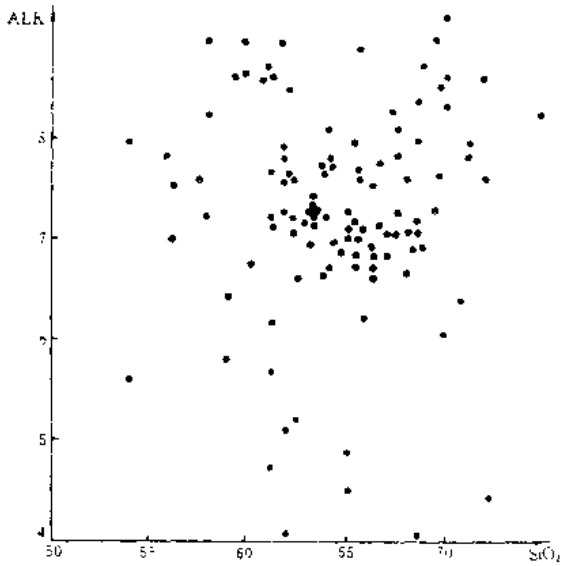


图 5－34　成矿岩体 ALK－SiO_2 分布图

曼指数为 2.5－3 的区间存在高峰值，说明最有利于伴生金矿床金富集的成矿岩体的里特曼指数介于 2.5－3，如我国著名的伴生金矿床铜录山矿、丰山矿、铜官山矿等，其里特曼指数均位于此区间。

值得指出的是，与矽卡岩型铁铜矿有关的伴生金矿床的成矿岩体，其里特曼指数一般较高，如金山店矿（3.85）、冯家山矿（3.62）、陈盛矿（3.95）、铁山矿（3.53），一般大于 3.5，而与铜、铅－锌矿床有关的成矿岩体，里特长曼指数一般较低，如康家湾矿（1.48）、村前矿（1.87）、钦甲矿（1.45）等，里特曼指数小于 2。

3. K/Na 比与矿床含金性的关系

在 K/Na－SiO_2 图上，伴生金矿床成矿岩体的投影明显集中在 K/Na＝0.5－1 的区域（图 5－35），根据对岩体的 K/Na 比与矿床含金性的统计（表 5－8，图 5－37、38），明显可见，无论在金品位还是金储量上，伴生金矿床的成矿岩体均在 K/Na＝0.5－1 的范围出现峰值。

在不同成矿区内，成矿岩体的 K/Na 比差异明显（表 5－9）：扬子成矿区与华北成矿区内的 K/Na 比集中在 0.5－1 的范围，而华南成矿区内成矿岩体 K/Na 比明显偏高，大多大于 1。与之对应在成矿元素组合上，扬子成矿区、华北成矿区的伴生金矿床以 Cu（Fe、Mo）为主，而华南成矿区的伴生金矿床以 Pb、Zn 为主。

成矿岩体的 K/Na 比在一定程度上反映了岩浆源的深度，一般认为 K/Na 比低的岩体其来源深度较深，而 K/Na 比高的岩体来源浅。伴生金矿床成矿岩体的 K/Na 比的变化特征表明，成矿岩体的岩浆源较深；且不同成矿区，成矿岩体的来源深度不同，扬子成矿区、华北成矿区的成矿岩体来源深度比华南成矿区成矿岩体的来源深度大，这与上述成矿区成矿岩体的酸度所揭示的规律是一致的。

4. 氧化系数与矿床含金性的关系

我们统计了各类伴生金矿床成矿岩体的氧化系数，结果示于表 5－10。从表可知，大多数成矿岩体的氧化系数均位于 0.4－0.6 之间。从岩浆热液型、矽卡岩型、斑岩型到岩浆岩

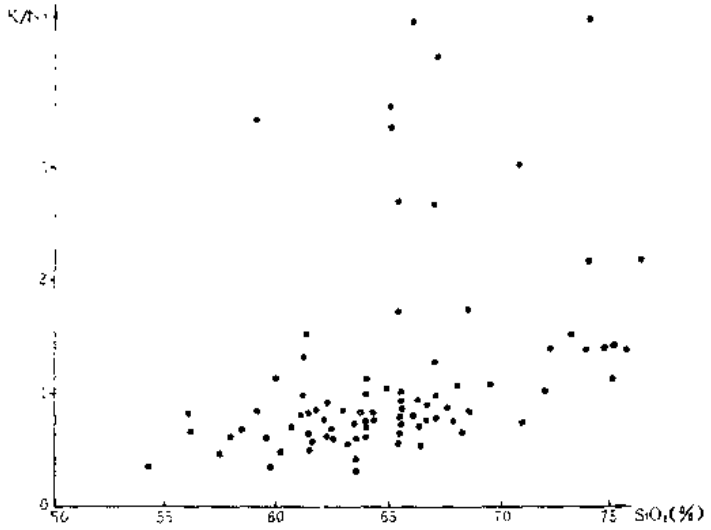


图 5－35　成矿岩体 K/Na－SiO_2 变异图

型，成矿岩体的氧化系数是增加的，显示岩体形成时的氧逸度是降低的。由前述可知，从岩浆热液型→矽卡岩型→斑岩型→岩浆岩型，伴生金矿床的金品位呈减小的趋势。因此上述成矿岩体氧化系数的变化规律也反映了岩体形成时的高氧逸度条件有利于矿床中金的富集。

表 5－8　K/Na 比与矿床的含金性

K / Na	0—0. 5	0. 5—1	1—1. 5	1. 5—2	＞2
矿床数（个）	6	42	13	4	12
储量（t）	27.21	458.47	143.35	87.77	55.47
平均品位（10^{-6}）	0.51	0.58	0.30	0.25	0.38

表 5－9　不同成矿区成矿岩体的 K/Na 比分布统计

K / Na	0—0. 5	0. 5—1	1—1. 5	1. 5—2	＞2
扬子成矿区	6	32	4	1	3
华北成矿区	0	9	4	1	1
华南成矿区	0	1	4	1	7

表 5－10　成矿岩体氧化系数统计

矿床数 \ 区间 / 矿床类型	0—0.2	0.2 0.4	0.4—0.6	0.6—0.8	0.8—1	平　均
矽卡岩型	0	5	31	15	3	0. 53
岩浆热液型	2	2	12	3	0	0. 51
斑岩型	0	0	17	9	1	0. 61
岩浆岩型	0	0	0	4	9	0. 82

为了更深入地探讨氧化系数与矿床的含金性，我们统计了不同氧化系数区间内，矿床中金的平均品位，结果如表 5－11、图 5－39。明显可见，矿床金的品位在成矿岩体氧化系数为 0.4—0.6 的区间存在高峰，说明最有利于伴生金矿床中金富集的成矿岩体的氧化系数为 0.4—0.6。

表 5－11　成矿岩体氧化系数与矿床的金品位

氧化系数	0－0.2	0.2－0.4	0.4－0.6	0.6－0.8	0.8－1
矿床金品位（10^{-6}）	0.15	0.46	0.63	0.38	0.20

据 113 个矿床统计

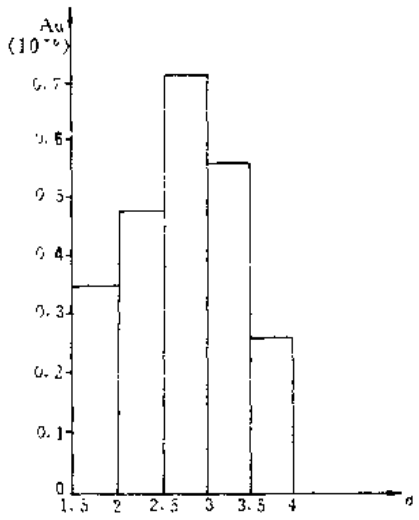


图 5－36　成矿岩体里特曼指数与矿床金品位分布图

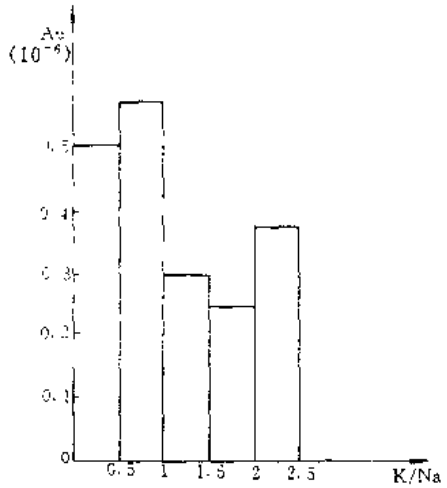


图 5－37　成矿岩体 K/Na 比与矿床金品位分布图

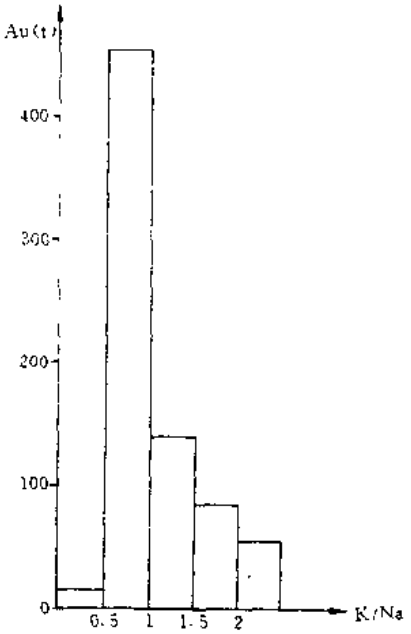


图 5－38　成矿岩体 K/Na 比与矿床金储量分布图

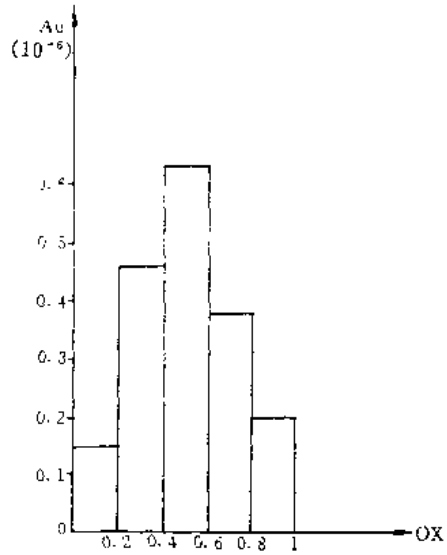


图 5－39　成矿岩体氧化系数与矿床金品位分布图

5. 分异指数与矿床含金性的关系

岩体的分异指数、拉森指数可反映岩体的分异程度，在 *DI*－*LDI* 图上，二者有正相关关系（图 5－40），我们统计了各类伴生金矿床成矿岩体的分异指数，结果如表 5－12，图

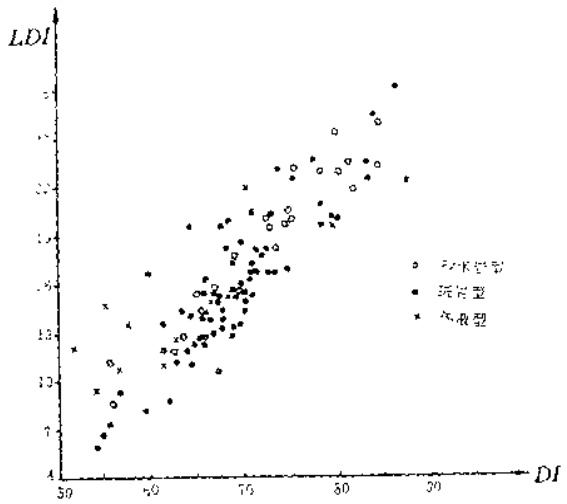


图 5－40　成矿岩体分异指数与拉森指数分布图

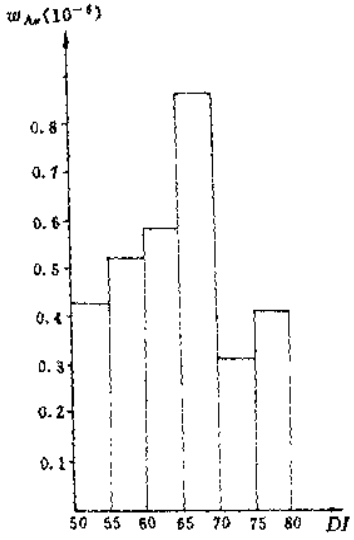


图 5－41　成矿岩体分异指数与矿床金品位统计分布图

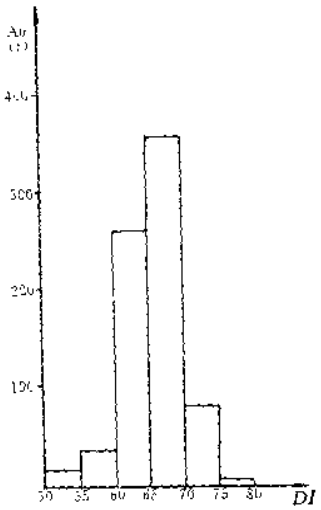


图 5－42　成矿岩体分异指数与矿床金储量分布图

5－41、42。从表可知，成矿岩体的分异指数主要集中在 60－70 的范围。对分异指数与矿床的金品位及储量的关系表明，伴生金矿床的金品位及金储量均在分异指数为 60－70 的范围出现高峰，说明有利于矿床中金富集的岩体分异指数条件是 60－70。

（四）小结

根据以上分析可以认为，伴生金矿床的成矿岩体、在成因类型上，属于深源的板内同熔型岩体；在岩石化学成分上，有利于矿床中金富集的 SiO_2 含量为 60%－70%；岩石里特

表 5—12　成矿岩体分异指数统计表

分异指数 / 岩体数 / 类型	50—55	55—60	60—65	65—70	70—75	75—80	平　均
矽卡岩型	2	4	7	25	13	4	68
岩浆热液型	1	2	4	2	1	—	63
斑岩型	0	0	3	5	6	3	72
金品位 (10^{-6})	0. 43	0. 52	0. 58	0. 86	0. 31	0. 41	—
金储量 (t)	16. 19	36. 25	251. 07	354. 08	85. 99	5. 64	—

曼指数为 2.5—3；K/Na 比为 0.5—1；分异指数为 60—70；氧化系数为 0.4—0.6。岩石化学成分的研究还表明，华北成矿区、扬子成矿区的成矿岩体与华南成矿区的成矿岩体在岩石化学、成矿元素组合上都有一定的差异，前者属于扬子式板内同熔型花岗岩类，岩浆来源较深；后者多属于华南式板内同熔型花岗岩类，岩浆来源较浅。

幔源型超基性、基性、中性、酸性岩类（包括侵入岩和喷出岩）亦与伴生金成矿有关。

第四节　伴生金矿床的同位素特征

矿床的同位素组成是揭示其物质来源、成矿作用方式及成矿物理化学条件的最重要的标志，本次工作收集了国内 70 个伴生金矿床的同位素资料，这些资料，部分是我们自己的工作成果，部分则来自各种文献资料，现分述于下。

（一）伴生金矿床硫同位素组成特征

1. 矽卡岩型伴生金矿床的硫同位素组成

由图 5—43 可知，我国某些典型的矽卡岩型伴生金矿床的硫同位素组成具有以下特点：①矿床的硫同位素组成 $\delta^{34}S‰$ 变化范围为 −2.9—17，各矿床 $\delta^{34}S‰$ 平均值位于 0—6.71，$\delta^{34}S‰$ 的极差 0.9—10.2（多数小于 6.5）。说明其同位素组成较为均一，硫源具有深源的性质。②矽卡岩型伴生金矿床的硫同位素组成与其成矿岩体的硫同位素一致，而与其围岩的硫同位素明显不同，如表 5—13，说明矿床中的硫源主要来自岩浆岩，而非其地层围岩。

表 5—13　某些矽卡岩型和岩浆热液型伴生金矿床的硫同位素组成

矿床类型	矿　区	矿床 $\delta^{34}S‰$	岩浆岩 $\delta^{34}S‰$	围岩中沉积硫化物
矽卡岩型	武　山	+0. 8	−0. 1	−33. 2
	城门山	+2. 4	+2. 0	−32. 7
	丁家山	+4. 1	+3. 6	—
	铜官山	0. 3	0	—
	铜　山	+5. 1	+5. 1	−17. 8
岩浆热液型	马　山	+6. 3	+5. 1	−27. 3
	新　桥	+0. 2	0	−15. 1
	冬瓜山	+4. 8	+5. 8	−22. 5

2. 斑岩型伴生金矿床的硫同位素组成

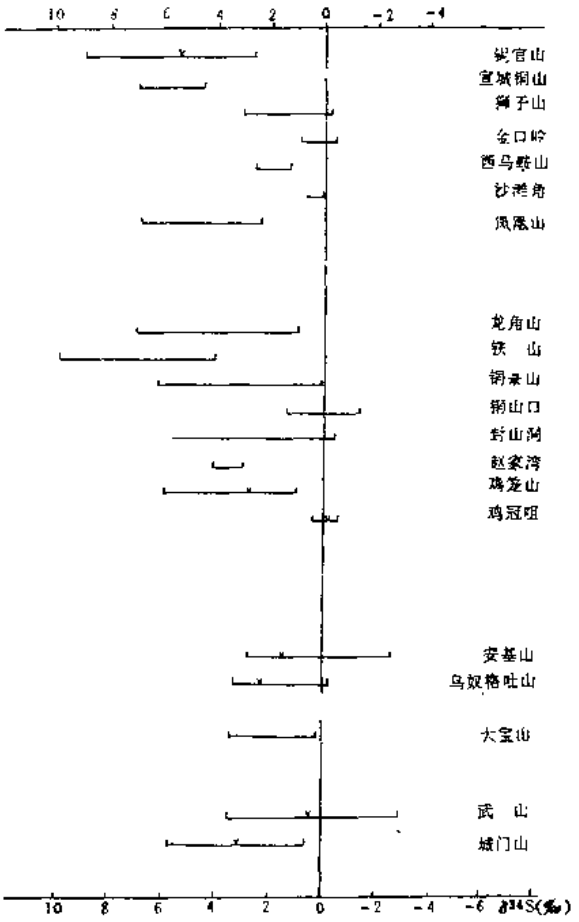


图 5—43 矽卡岩型伴生金矿床硫同位素组成

由图 5—44 可见，我国斑岩型伴生金矿床的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 为—2.8—5.5，其平均值主要位于—0.25—3.98，$\delta^{34}S$ 极差一般均小于 6。说明矿床中硫源具有深源性质，主要来自上地幔或下部地壳。

3. 岩浆热液型伴生金矿床的硫同位素组成

岩浆热液型伴生金矿床的硫同位素组成变化较大，可分为二类，一类是与火成岩关系密切的矿床，其 $\delta^{34}S‰$—3.11—8.2，$\delta^{34}S‰$平均值 0.72—4.10，极差一般小于 7.41，如水口山矿、浏阳七宝山矿、宝山矿等；另一类是与岩体距离较远的矿床，如桂阳大坊矿、八家子矿等，其硫同位素组成特点是 $\delta^{34}S‰$变化范围大，极差一般大于 10（图 5—45）。说明前一类矿床中硫具有深源性质，而后一类矿床中硫部分从围岩汲取。

4. 火山岩型伴生金矿床的硫同位素组成

火山岩型伴生金矿床的硫同位素组成极其复杂，反映其硫源是多来源的。以银山矿为代表的陆相火山岩型伴生金矿床的硫同位素组成变化极小，且接近陨石硫标准，其平均值 0.86，说明其硫源主要来自火山热液。以西裘矿、白银厂矿、锡铁山矿等为代表的古生代海相火山岩型矿床亦具有类似的特征，但更富重硫，其 $\delta^{34}S‰$平均值 1—4.7（图 5—46）。

5. 岩浆岩型伴生金矿床的硫同位素组成

此类矿床的硫同位素组成特征可分为两类（图 5—47），一是具有典型的陨石硫特征，如

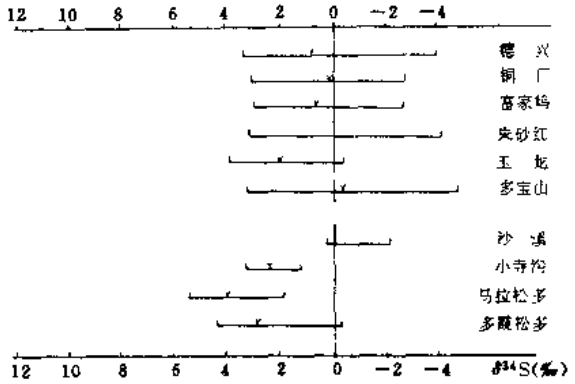


图 5－44　斑岩型伴生金矿床硫同位素组成

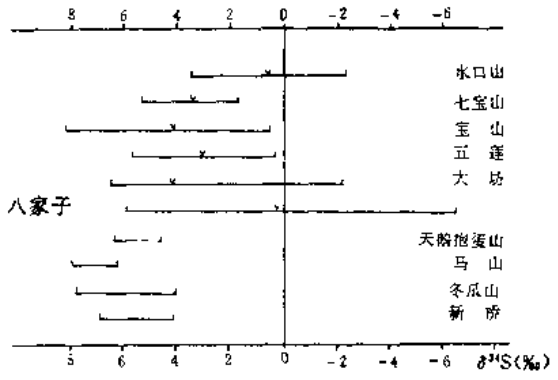


图 5－45　热液型伴生金矿床硫同位素组成

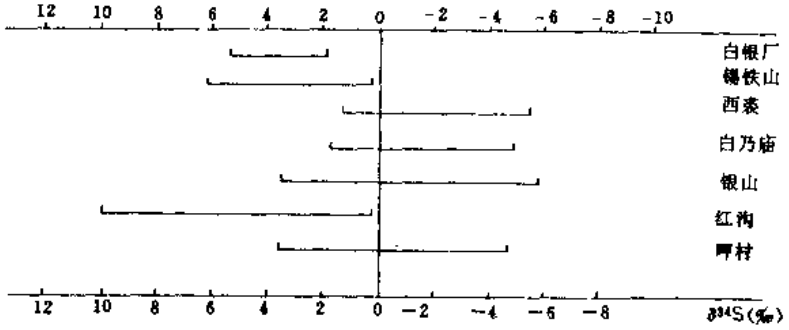


图 5－46　火山岩型伴生金矿床硫同位素组成

金川矿、红旗岭矿等，其 $\delta^{34}S‰$变化范围很窄（小于 5.7），平均值位于零值附近（0－2.4）；另一类是偏离陨石硫较大者，如德尔尼矿，其 $\delta^{34}S‰$－4.6－5.93，极差 10.53。前者反映其硫源为上地幔，成矿直接与岩浆作用有关。后者则可能反映多种成矿作用的参与，如德尔尼，可能存在火山成矿作用。

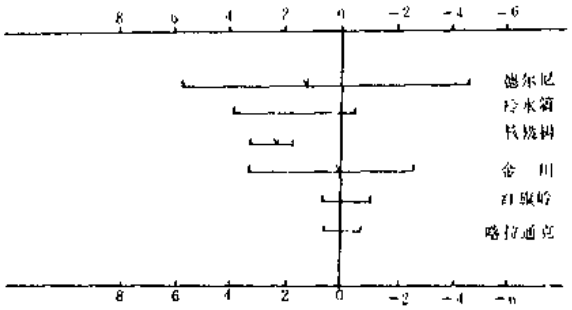


图 5－47　岩浆岩型伴生金矿床硫同位素组成

6. 沉积（火山）变质型伴生金矿床的硫同位素组成

由图 5－48 可见，沉积变质型矿床的硫同位素组成特点是 $\delta^{34}S‰$变化范围－14.3－6.8，较富集轻硫，$\delta^{34}S‰$平均值一般小于 0，其极差 4.2－12.1，反映其硫同位素组成仍比较均一。而大多数前寒武纪火山变质型伴生金矿床的硫同位素组成变化极其复杂，$\delta^{34}S‰$－6.3－37.3，平均值 2.35－29.4，极差大于 15，反映其硫源主要来源于海水硫酸盐细菌还原而成。

（二）伴生金矿床铅同位素组成特征

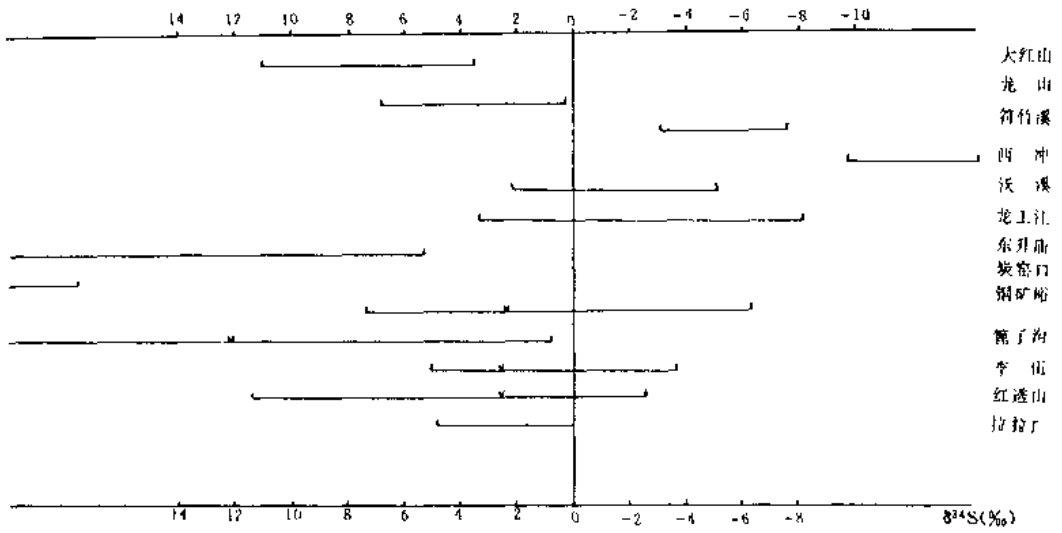


图 5－48　沉积（火山）变质型伴生金矿床硫同位素组成

从现有有限的资料分析，我国伴生金矿床的铅同位素组成具有以下特征（图 5－49）：

①与中生代板内同熔型岩浆活动有关的矽卡岩型、岩浆热液型伴生金矿床的铅同位素多为现代正常铅，在$^{207}Pb/^{204}Pb$—$^{206}Pb/^{204}Pb$ 图上，其投影落入太平洋西岸岛弧铅的范围．$^{206}Pb/^{204}Pb$为 17.60－18.40；$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.40－15.60。其单阶段模式年龄 0－300Ma，接近于其成矿岩体的同位素年龄。

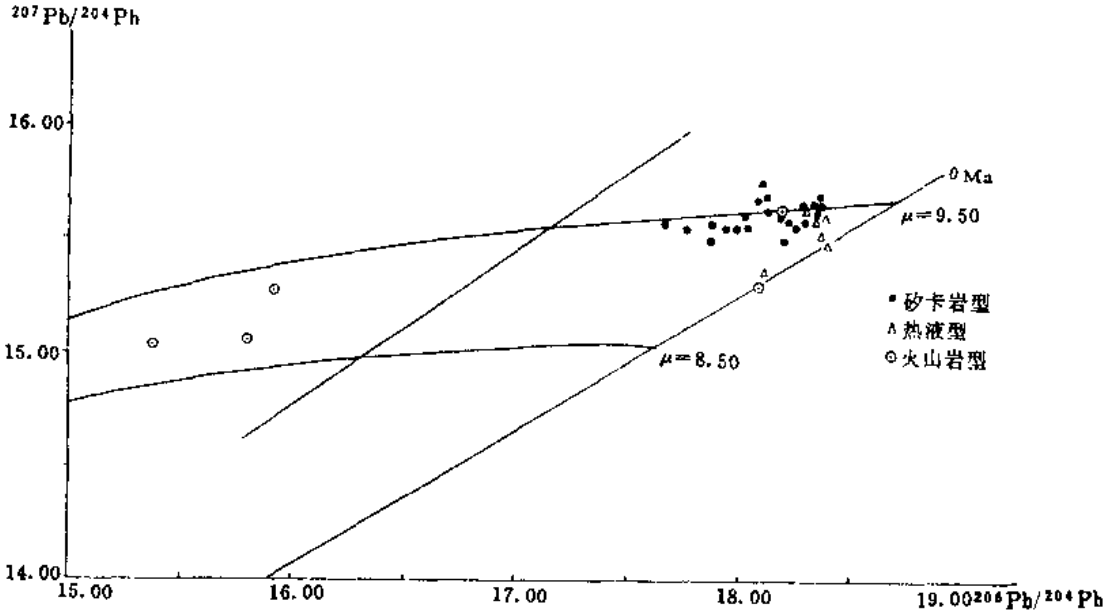


图 5－49　伴生金矿床铅同位素$^{207}Pb/^{204}Pb$—$^{206}Pb/^{204}Pb$ 图

②产于前寒武纪变质火山岩中的火山变质型矿床，其矿石铅多属古老正常铅，其模式年龄为 1100－1686Ma，接近于其赋矿地层。

③与中生代陆相火山岩有关的矿床其矿石铅属稳定的正常铅，模式年龄与火山活动时间一致。

④产于元古界变质岩系中的沉积变质矿床，多以稳定的正常铅为特征，其模式年龄往往反应了与成矿作用有关的沉积岩或变质作用的年龄，如湘西赋存于冷家溪群、板溪群中的金－锑矿床，矿石铅的模式年龄可分为900－1000，500－600，100－200Ma三组，显示成矿经历了雪峰、加里东、燕山三个地史时期。

第五节　伴生金矿床的元素组合特征

伴生金矿床类型多、矿种多，元素组合相当复杂，其特征可从多方位进行探讨。在讨论中我们将矿床中元素组合形式分成三类：a.“共生而又相关”的元素组合，即两种组分不但在同一矿床中共存，而且其含量成正比；b.“共生而不相关”的元素组合，即两种组分在同一矿床中共存，但其含量无相关性；c.“既不共生又不相关”的元素组合，即两种组分一般不在同一矿床中出现，其含量也无相关性。以Pb-Zn-Cu-W为例：铅锌往往在同一矿床中共生，而且一般铅高锌也高，反之亦然，所以铅和锌是“共生而又相关”；而铜亦经常在铅锌矿床中出现，但其含量并不随铅锌增高而增高，所以铜和铅锌是“共生而不相关”；

表5－14　各矿床类型中金与主金属相关关系表

矿床类型	矿种	Au/M		矿床（个）数	R	$y=a+bx$
		所比金属	比值			
岩浆岩型	铜矿床	Au－Cu	0.00004	9	0.428	$y=0.099+0.22x$
	含铜矿床	Au－Cu	0.00008	11	0.889	$y=0.075+0.285x$
	镍　矿	Au－Ni	0.00004	18	0.288	$y=0.08+0.207x$
矽卡岩型	铜矿床	Au－Cu	0.00009	48	0.205	$y=0.206+0.47x$
	含铜矿床	Au－Cu	0.00009	6	0.653	$y=-0.654+2.565x$
	铅锌矿床	Au－Pb	0.00004	6	0.093	$y=0.649\pm0.063x$
		Au－Zn	0.00002		0.930	$y=-6.507+0.65x$
	含钼矿床	Au－Mo	0.0015	11	0.398	$y=0.472+3.782x$
斑岩型	铜矿床	Au－Cu	0.00004	10	0.725	$y=-0.555+1.714x$
	含钼矿床	Au－Mo	0.0008	10	0.082	$y=0.13+0.127x$
岩浆热液型	铜矿床	Au－Cu	0.00008	18	0.114	$y=0.954\pm0.158x$
	含铜矿床	Au－Cu	0.00005	8	0.706	$y=0.386+0.155x$
	铅锌矿床	Au－Pb	0.00003	12	0.246	$y=0.409+0.179x$
		Au－Zn	0.00004	11	0.073	$y=0.832+0.04x$
海相火山岩型	铜矿床	Au－Cu	0.00020	6	0.207	$y=1.311\pm0.168x$
	铅锌矿床	Au－Pb	0.00007	6	0.202	$y=0.211+0.538x$
		Au－Zn	0.00006		0.324	$y=-0.575+0.796x$
陆相火山岩型	铜矿床	Au－Cu	0.00007	14	0.755	$y=0.93+0.071x$
沉积变质型	铜矿床	Au－Cu	0.00004	16	0.892	$y=-1.134+1.544x$
未分类统计矿床	（含）钨矿床	Au－W	0.0014	11	0.279	$y=3.337\pm1.647x$
	（含）锑矿床	Au－Sb	0.00062	8	0.812	$y=7.595\pm0.869x$

至于钨则一般不在铅锌矿床中出现，所以钨和铅锌是“既不共生又不相关”。下文即按此进行论述。

（一）金和主金属元素的组合特征

1. Au—Cu 组合特征

Au—Cu 组合是全部元素组合中最重要的一组。众所周知，两者的化学和地球化学性质虽有差异，但亦有不少共同之处。在伴生金矿床中它们充分显示了既有差异性，又有共同性的特点。在对大量矿床 Au—Cu 关系作全面研究后，我们的结论是：内生矿床中 Au—Cu 组合是共生而又相关，但矿床类型不同相关性有高有低。Au—Cu 相关性可从两个方面来阐述：

不同内生矿床间 Au—Cu 关系存在以下规律：①各类型矿床中，含铜矿床间的 Au—Cu 相关系数高于单一铜矿；②各矿床类型以斑岩型、火山（沉积）变质型、海相火山岩型的相关性最高，岩浆岩型次之，矽卡岩、岩浆热液型、陆相火山岩型最低；③各类型矿床之间 Au—Cu 比以陆相火山岩型最高，矽卡岩型、岩浆热液型、海相火山岩型次之，岩浆岩型、斑岩型、沉积（火山）变质型最低（表 5—14）。

在同一矿床中金铜关系相当复杂。一般而言，以岩浆岩型、矽卡岩型相关性最高，岩浆热液型、斑岩型次之，火山变质型和沉积变质型则不相关。在同一矿床不同矿石类型之间 Au—Cu 相关性差别亦很大，如德兴铜厂矿中，斑岩型矿石相关系数为 0.676，而千枚岩型矿石为 0.277；丰山矿北缘 501 号矿体相关系数为 0.212，南缘 1 号矿体为 0.506，而 558

表 5—15　部分矿床中 Au—Cu、Au—Ag 相关系数表

矿床名称	类　型	分析数	R_{Au-Cu}	R_{Au-Ag}
金川矿	岩浆岩型	167	0.636	0.750
喀拉通克矿	岩浆岩型	24	0.894	0.465
琅琊山矿	矽卡岩型	2667	0.381	0.682
铜录山矿	矽卡岩型	330	0.524	0.639
丰山矿	矽卡岩型	687	0.535	0.720
九华山矿	矽卡岩型	135	0.714	0.570
狮子山矿	矽卡岩型	286	0.697	0.668
铁山矿	矽卡岩型	364	0.506	0.720
铜山口矿	矽卡岩型	239	0.755	0.816
武山矿	矽卡岩型	—	0.745	0.831
德兴铜矿（斑岩矿石）	斑岩型	277	0.676	0.314
德兴铜矿（千枚岩矿石）	斑岩型	601	0.277	0.171
天鹅抱蛋山矿	岩浆热液型	331	0.200	0.480
乐华矿	岩浆热液型	—	0.914	0.025
拉拉矿	火山变质型	148	0.100	—
铁砂街矿	沉积变质型	—	−0.089	0.477

号矿体为0.667。总之，Au—Cu关系除少数矿床外，大体而言，是正相关，但不同类型、不同矿床或同一矿床中相关性有高有低（表5—15）。

以上是内生矿床的Au—Cu组合特征。而在外生矿床中，Au—Cu组合是“既不共生又不相关”。如砂岩铜矿（云南大姚六苴铜矿、凹地苴铜矿）、沉积变质型铜矿（云南东川铜矿、易门铜矿）均无金。

2. Au—Pb、Zn组合特征

Au Pb、Zn关系在不同类型矿床中差别不大，通过参照大量矿床所作Au—Pb、Zn相关系数计算，我们的结论是：Au—Pb、Zn关系在不同类型矿床之间差别不大，全为相关性不高。相对而言，Au—Pb相关性大于Au—Zn相关（表5—14）。总之，Au—Pb、Zn组合是“共生而不相关”，即铅锌矿中可能有金，但铅锌高时金不一定高。这一规律在不同矿床间或同一矿床中全部存在。如水口山矿和黄沙坪矿均为富铅锌矿，但前者含金甚高，而后者却不含金。其他矿床中Au—Pb、Zn相关性亦各不相同（表5—16）。

表5—16 部分矿床中Au—Pb、Au—Zn相关系数表

矿床名称	类 型	分析数	R_{Au-Pb}	R_{Au-Zn}	R_{Au-Ag}
宝山矿	岩浆热液型	132	0.321	0.276	—
东坡蛇行坪矿	岩浆热液型	43	0.116	0.225	0.307
东坡横山岭矿	岩浆热液型	48	0.006	−0.107	0.444
铁砂街矿	沉积变质型	—	0.717	0.234	0.477
乐华矿	岩浆变质型	—	0.153	0.051	0.025

3. Au—S组合特征

Au—S关系相当明确，“共生而不相关”，仅有少数铜矿床如狮子山矿、九华山矿相关（表5—17）。我国硫铁矿床和黄铁矿型铜矿床中普遍含金，但金含量相差甚大，且与矿床中黄铁矿—磁黄铁矿含量高低无关，即与硫的高低无关。

表5—17 部分矿床中Au—S、As、Sb、Fe、Mo相关系数表

矿床名称	分析数	R_{Au-S}	R_{Au-As}	R_{Au-Sb}	R_{Au-Fe}	R_{Au-Mo}
江东湾矿	111	—	0.912	—	—	—
泥潭冲矿	128	—	0.939	0.074	—	—
白竹坪矿	16	—	0.928	0.778	—	—
铁砂街矿	—	0.347	0.608	—	0.235	—
乐华矿	—	0.771	0.294	0.279	—	—
德兴铜厂矿	237	−0.193	0.189	—	—	−0.022
大冶铁山矿	465	−0.150	—	—	—	—
铜山口矿	239	0.332	—	—	—	—
天鹅抱蛋山矿	331	0.170	0.140	—	—	—
狮子山矿	286	0.661	—	—	—	—
九华山矿	135	0.534	—	—	—	—

注：江东湾矿、泥潭冲矿、白竹坪矿属龙王江矿田。

4. Au—Ni组合特征

主要是指岩浆岩型矿床，无论在不同矿床间或同一矿床中，Au—Ni组合是“共生而不

相关”(表 5-14)。如金川矿中金一般赋存于铜矿物中不赋存于镍矿物中，Ni 与 Au 无相关性 ($R=0.067$)。

5. Au—Mo 关系组合特征

Au—Mo 关系比较复杂，在钼矿床中金与钼组合是“既不共生又不相关”。如杨家杖子钼矿，金堆城钼矿中均无金。但在许多含钼矿床（如铜矿床），金与钼则是“共生而不相关”。如湖南宝山钼铜矿、德兴斑岩铜矿、湖北丰山铜矿均同时含金和钼。但两者却似存在“互克”关系：在同一类型矿床中，如斑岩铜钼矿低金，而斑岩铜金矿低钼，Au—Mo 负相关(表 5—17)；在同一矿床中钼矿石低金，铜矿石高金(如宝山铜钼矿的钼矿体含 Au0.270 $\times10^{-9}$，铜矿体含 Au0.713$\times10^{-6}$)。

6. Au—Fe 组合特征

在地球化学性质上，金是亲铁元素。其亲铁性充分表现在铁陨石的含金量（Au 为 1.2025$\times10^{-6}$）上。但在内生矿床成矿物理化学条件下，金并未显示有亲铁性质，金与铁是“既不共生又不相关”。如岩浆岩型的攀枝花铁矿无金，矽卡岩型的河北邯郸铁矿、福建马坑铁矿无金，火山一次火山岩型的安徽梅山铁矿、凹山铁矿无金。至于沉积或沉积变质型铁矿亦无金（东风山钴金矿层和铁矿层虽同属下元古界东风山群，但分属不同层位)。唯一例外是矽卡岩型铜铁矿（湖北大冶铁山矿，安徽淮北铁矿)，但金矿化与铜矿化有关，而与铁矿化无关，是 Au—Cu 矿化叠加于 Fe 矿化所致。总之，Au—Fe 关系是否可以这样认识：在地核中（相当于铁陨石形成条件)，Au—Fe 是“共生而又相关”，逐渐向上由地幔、地壳、地表，Au—Fe 密切关系逐渐降低，由“共生而不相关”变至“既不共生又不相关”。

7. Au—Sb 组合特征

Au—Sb 关系比较复杂。锑矿床中无金，Au—Sb 组合是“既不共生又不相关”，如著名的锡矿山锑矿无金；但在 Au—Sb—W、Au—Sb、Au—Sb—As 等沉积变质型矿床中，Au—Sb 关系是“共生而不相关”（如湖南溆浦龙王江金锑矿）或“共生而不相关”（如湘西沃溪金矿）（表 5—17)。这种共生组合特征上的差别似与成矿物质来源差别有关。

8. Au—As 组合特征

Au—As 关系类似于 Au—Sb 关系。根据对 14 个矿床的 Au—As 含量计算相关系数为 0.139，无相关性（表 5—18)。但在同一矿床中，Au—As 相关性随矿床类型不同而不同，如沉积变质型矿床，尤其是 Au—Sb—As 矿 Au—As 是强正相关，但在斑岩型德兴铜矿中 Au—As 是弱正相关；岩浆热液型天鹅抱蛋山硫金矿中 Au—As 是弱正相关。总之，在同一矿床中，Au—As 是共生而又相关，但相关性强弱随矿床类型不同而不同（表 5—18)。

9. Au—Sn、Au—W 组合特征

在绝大多数钨、锡矿床（这些矿床均与重熔型花岗岩类有成因联系）中无金，Au—W、Au—Sn 组合是“既不共生又不相关”，如南岭地区的众多钨矿、锡矿中均无金。但有两个例外：一是湘西沃溪金锑钨矿中 Au—W 组合是“共生而不相关”；二是斑岩型钨矿（如莲花山矿）中 Au—W 组合是“共生而不相关”。这种共生组合上的差异同样似与成矿物质来源差别有关（表 5—14)。

小结：

①金与主金属元素的共生关系，首先取决于两者具有类似或相近的地球化学性质，如金与铜在周期表上属同一亚族，性质十分类似，故密切共生。而 Au 与 W、Mo、Sn 的化学

表 5—18　金与其它稀散组分相关系数表

矿床类型	Au / M		矿床数	R	$y=a+bx$	实　例
	所比金属	比值				
岩浆岩型	Au — Co	0.0007	15	0.328	$y=0.076+0.04x$	金川、源河川、德尔尼、杨柳坪
	Au — Pt	0.73	10	0.458	$y=0.038+0.592x$	金川、杨柳坪、源河川
	Au — Pd	1.78	6	0.950	$y=-0.014+1.485x$	金川、源河川
矽卡岩型	Au — Co	0.0047	9	0.810	$y=-0.304+0.606x$	铜录山、凤凰山、武山、前常
沉积(火山)变质型	Au — Co	0.0020	6	0.338	$y=0.538\pm0.116x$	拉拉厂、大红山
未分类统计矿床	Au — As	0.00003	14	0.139	$y=1.522+0.035x$	锡铁山、马山、银山九区、铁砂街、沃溪
	Au — In	0.0264	6	0.768	$y=-0.007+0.591x$	银山、管查、杉树林
	Au — Ge	0.0088	6	0.444	$y=0.222+0.077x$	银山、武山、钦甲
	Au — Se	0.0170	6	0.933	$y=-0.017+2.156x$	武山、鸡冠咀、富家坞、李伍、大团山
	Au — Cd	0.0059	5	0.329	$y=0.248+0.01x$	银山、李伍、杉树林

性质差别甚大，故不共生；次之取决于它们在成矿溶液中是否共存。如斑岩钨矿中有金，而岩浆热液型钨矿、矽卡岩型钨矿中无金的原因即是由于前者成矿物质来源于富有金的同熔型岩浆活动，后者则来源于无金的重熔型岩浆活动之故；第三，取决于成矿物理化学条件，如在内生成矿条件下 Au—Cu 共生，而在外生成矿条件下 Au—Cu 分离（矽岩铜矿无金）。

②金和主金属元素是否相关，归根到底取决于该金属组成的矿物中金配分率：如金在该矿物中配分率高则相关性高，反之则低或不相关；而不取决于该矿物中金的含量，因为如果该矿物在矿石中含量很低，配分率也必很低，故相关性也低。典型实例是两个含砷矿床：天鹅抱蛋山矿和龙王江矿，虽然其毒砂含金量是所有矿物中最高者，但前者毒砂(FeAsS)中金配分率为 11.87%，后者为 87.96%，所以前者 Au—As 相关系数为 0.14，后者为 0.91—0.94，两矿完全不同。

从上述可知，矿床间或矿床中元素间共生和相关性特征，是互有联系但又存在明确区别的两个概念。讨论中必须分别对待。

（二）金和微量元素的组合特征

伴生金矿床中金和微量元素的组合特征很有意思。首先是 Au—Te、Au—Se、Au—Pd 组合，两者关系是“共生而又相关”。它们的相关系数分别为 0.985（据丰山铜矿中测定 10 个样）、0.933、0.950。次之为 Au—Co 组合，可分两种情况，在矽卡岩型铜矿床中，Au—Co 组合是“共生而又相关”，但在岩浆岩型、火山变质型矿床中 Au—Co 组合是“共生而不相关”。另外 Au—Pt 组合是“共生而不相关”。至于 Au—Cd、Au—Ge、Au—In 则均属“既不共生又不相关”之列（表 5—18）。

总之，在金与微量元素的共生组合特征中，我们特别提出 Au—Pd、Au—Te、Au—Se 组合，这一特殊组合可以把 Pd、Te、Se 作为金的标型元素，反之，亦可把 Au 作为它们的标型元素，以在 Au—Cu 矿床中发现并回收 Pd、Te、Se。

（三）伴生金矿床中的金银比和金银相关性

1. 不同类型矿床的金银比特征

伴生金矿床类型中金银比可分三类：高金银比矿床类型计有沉积（火山）变质型；中金银比矿床类型计有斑岩型、岩浆热液型、陆相火山岩型、海相火山岩型；低金银比矿床类型计有岩浆岩型、矽卡岩型（表 5—19）。上述各矿床类型的金银比具有相当清晰的规律：

表 5—19　各矿床类型的金银比

矿床类型	矿床数	Au / Ag
岩浆岩型	8	0.043
矽卡岩型	49	0.064
斑岩型	15	0.096
岩浆热液型	42	0.075
海相火山岩型	20	0.071
陆相火山岩型	10	0.086
沉积（火山）变质型	6	0.356
铁帽型	3	0.130
平均值*	153	0.084

* 按矿床数加权平均。

①成矿温度较高的矿床类型金银比相对较低，成矿温度较低的矿床类型金银比相对较高。

②成矿作用相对单一，矿化期次相对简单，金银分异作用不完善的矿床类型金银比低；成矿作用复杂，多次成矿叠加，矿化期次繁复，金银分异作用完善的矿床类型金银比高。如岩浆岩型矿床一般由较单一的岩浆熔离—侵入作用形成。金银分异（离）作用不完善，而使它们共存于同一地质体（矿床）中而形成低金银比；而沉积变质型矿床，金银在原岩沉积成岩前已经历过多次分异（离）作用，在变质过程中又经几次分异—迁移—富集过程，而使金银并不共存于同一地质体（矿床）中，形成高金银比。

据博伊尔（1979），陨硫铁中硫化物相的金银比为 0.054，岩浆岩型矿床与之接近，透示出该类矿床的物质来源的信息。又据栾世伟（1987），地壳平均金银比 0.0438、上地幔平均金银比 0.0833、下地幔平均金银比 0.1000、地核平均金银比 0.2600。表 5—19 所列的除岩浆岩型外的全部内生矿床的金银比均位于地壳和上地幔平均金银比之间，平均金银比为 0.072，也间接透示了伴生金矿床物质来源信息。

在全部伴生金矿床中，金银比平均值为 0.084。金银比的频率直方图示于图 5—50，其中最高频率为 0.05—0.01 范围。

2. 同一类型矿床中金银比特征

在同一类型伴生金矿床中金银比有较好的相似性。各类型的金银比频率峰均在 Au/Ag＝0.05—0.01 范围，向两侧逐渐降低。一般而言，同一类型矿床，如矽卡岩型、海相火山岩型等，成矿物质来源及成矿条件均较相似，故它们的金银比频率的类似是合理的（表 5—20、图 5—50）。

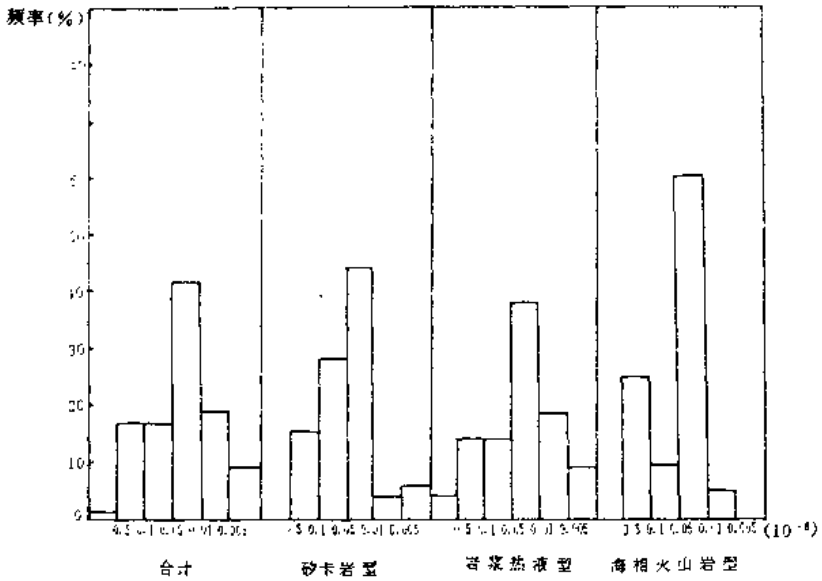


图 5－50　伴生金矿床金银比值频率分布直方图

表 5－20　伴生金矿床和主要矿床类型的金银比频率分布

矿床名称 / 金银比范围	全部矿床		矽卡岩型		岩浆热液型		海相火山岩型	
	矿床数	频率(%)	矿床数	频率(%)	矿床数	频率(%)	矿床数	频率(%)
>0.5	3	1.82	—	—	2	4.76	—	—
0.5－0.1	29	17.58	8	16.32	6	14.29	5	25.00
0.1－0.05	29	17.58	14	28.58	6	14.29	2	10.00
0.05－0.01	70	42.42	22	44.90	16	38.10	12	60.00
0.01－0.005	18	10.90	2	4.08	8	19.04	1	5.00
<0.005	16	9.70	3	6.12	4	9.52	—	—
合　计	165	100.00	49	100.00	42	100.00	20	100.00

表 5－21　部分伴生金矿床中的金银比频率分布

矿床名称 / 金银比范围	喀拉通克矿		狮子山矿		铜录山矿		老鸦岭矿	
	分析数	频率(%)	分析数	频率(%)	分析数	频率(%)	分析数	频率(%)
>0.5	—	—	1	0.1	29	5.38	4	1.30
0.5－0.1	3	1.76	41	4.04	354	64.01	30	9.74
0.1－0.05	6	3.53	146	14.38	115	21.34	55	17.86
0.05－0.01	138	81.18	721	71.03	44	8.16	178	57.79
0.01－0.005	18	10.59	94	9.27	2	0.37	38	12.34
<0.005	5	2.94	12	1.18	4	0.74	3	0.97
合　计	170	100.00	1015	100.00	539	100.00	308	100.00

3. 同一矿床中的金银比特征

在同一矿床中金银比的出现频率比较收敛，频率的峰值相对较高。每个矿床的金银比最高频率范围基本与该类矿床的范围一致，均为 0.05－0.01（表 5－21、图 5－51）。

在对伴生金矿床的金银比特征进行研究时，我们统计了两个参数：一是金银比的算术平均值和加权平均值（论述全部伴生金矿床金银比时），二是金银比的频率分布及最高频率范围。这样就可全面了解全部伴生金矿床、矿床各类型及部分具体矿床的金银比值及金银比变化幅度。必须说明，各类金银比的平均值与金银比最高频率范围并不重合，其原因是金银比并不严格地按正态分布所致。

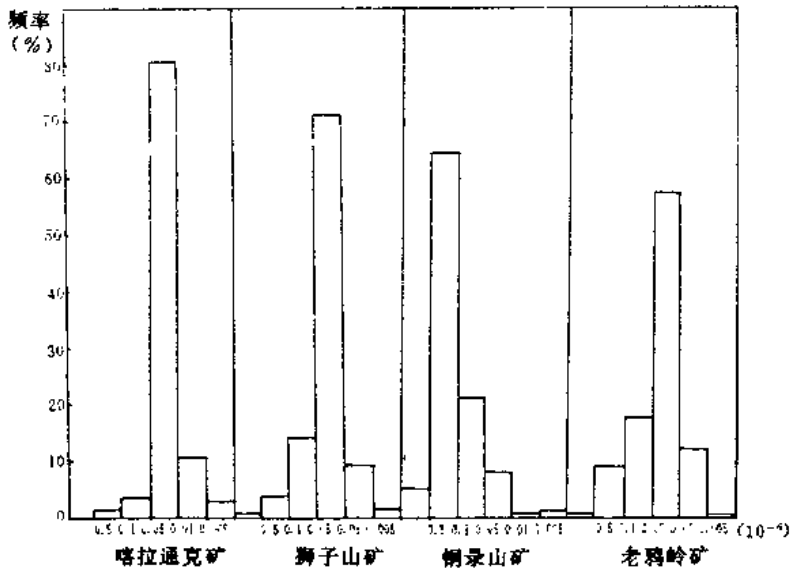


图 5－51　典型矿床金银比值频率分布直方图

4. 伴生金矿床金银比与单一金矿床金银比的差异

我们对大量数据进行的统计结果表明，我国单一金矿床的金银比范围为 0.027－128.2，平均为 2.03（据 124 个大、中型矿床统计结果）。其中蚀变岩型矿床为 0.948（据 30 个矿床统计结果），石英脉型矿床为 2.37（据 94 个矿床统计结果）。国外单一金矿的金银比也相当高：绿岩带矿床中加拿大耶洛奈夫矿金银比为 5，布拉洛恩矿为 5.5，克尔克罗矿为 11.5，德尔奈特矿为 11，切斯特维尔矿为 18，兰德矿为 5－20；斑岩型的霍韦矿为 3.0，俄巴列伊矿田为 1.25－5.0，邦戈夫矿为 1.1－1.5（均据 R.W. 博伊尔）。而国外的一些伴生金矿床，经我们统计：斑岩型矿床为 0.165（据 7 个矿床统计），火山岩型矿床为 0.075（据 10 个矿床统计），火山变质岩型矿床为 0.152（加拿大希布加莫矿），岩浆岩型矿床为 0.03（加肖德贝里矿）。从国外统计结果可知：伴生金矿床的金银比远低于单一金矿床，相差约 1－2 个数量级。如以国内矿床比较，相差为 25 倍。这一差异产生的原因似主要与成矿物质来源和成矿作用的不同有关。

5. 伴生金矿床中金银的相关性

伴生金矿床中 Au－Ag 相关性很复杂。在同一类型的不同矿床间，矽卡岩型、岩浆热液型有较好正相关；岩浆岩型、海相火山岩型、火山（沉积）变质型则为低正相关；斑岩型、陆相火山岩型则不相关（表 5－22）。至于在同一矿床中，情况与各矿床类型相似，矽

卡岩型矿床、岩浆岩型矿床、火山（沉积）变质型矿床中为较好正相关；斑岩型矿床为低正相关；至于岩浆热液矿床则变化不规则，有的矿床正相关，有的不相关（表5—15）。但在同一矿种中则相关性相对较好（表5—23）。

表5—22 各伴生金矿床类型Au—Ag相关系数

矿床类型	矿床数	R
岩浆岩型	13	0.60
矽卡岩型	49	0.46
斑岩型	16	0.28
岩浆热液型	48	0.65
海相火山岩型	19	0.44
陆相火山岩型	12	0.21
沉积改造型	13	0.05
沉积（火山）变质型	12	0.64
合　计	182	—

表5—23 各矿种中Au—Ag相关系数

类　型	矿床个数	R
铜矿床	104	0.358
铅锌矿床	38	0.505
硫铁矿床	5	0.898

第六节　伴生金矿床的矿物组合特征

元素组合和矿物组合既有联系又有区别。联系是组成该矿物的元素与金相关性高低，必然会影响该矿物与自然金的关系疏密程度；区别是元素组合特征主要是表现在该元素与金的相关性高低，而矿物组合特征主要表现在矿物含金量高低及其与自然金的共生疏密程度上，故彼此无法替代。两者有联系的实例，如Au—Cu相关，自然金与铜矿物亦相关；两者相异性实例如Au—As在天鹅抱蛋山矿和德兴矿中为弱正相关，但自然金与毒砂关系则很密切，属于密切共生矿物。

所谓伴生金矿床的矿物组合特征，实质上就是矿床中自然金与其他矿物的共生组合关系。为了能严密地论述矿物间的共生关系，我们将“共生”理解为在同一物质来源、同一成矿作用、同一成矿阶段、同一空间中形成的矿物组合，称之为共生组合。在此我们特别强调的是“同一成矿阶段”的概念。如铜录山矿的内生成矿过程可简单地分为四个阶段：矽卡岩阶段、磁（赤）铁矿阶段、石英硫化物阶段、碳酸盐—硫酸盐阶段，但金的沉淀只在石英—硫化物阶段，所以自然金与磁铁矿、赤铁矿、矽卡岩矿物无共生关系。虽在显微镜下曾见到自然金嵌布于磁铁矿边缘，但仅是伴生而已。

必须说明，我们在下述描述中所提到的共生组合的重要性程度，是指在矿床中该共生组合出现的频率，亦即是指该共生形式的金占矿石中总金量的比例大小，频率高、比例大，

则重要性大，反之则小。至于自然金的共生序列则是指自然金与共生矿物疏远一密切程度的顺序。故在论述中即按此两个层次分别说明。如在含金和砷的各种矿床中，毒砂总是含金最高的矿物，但在这些矿床中，毒砂含量往往不高（0.n%—n%），故对整个矿床而言，自然金－毒砂中金的占有率往往不高，所以自然金—毒砂组合在矿床中的重要性往往不是首位的，而在共生序列中则毒砂排在首位（因在全部共生矿物中其含金量最高）。以铜陵天鹅抱蛋山矿为例，矿床中毒砂含金 29.25（10^{-6}）是全部载体矿物中含金最高的，但矿石中毒砂含量仅占 1.2%，故毒砂中金亦仅占总金的 11.87%，而磁黄铁矿中金却占总金的 58.67%。所以该矿中，如以共生形式的重要性而言，以自然金－磁黄铁矿为首；而以共生序列而言，则以毒砂为首。现将自然金共生组合特征和共生序列分别述说于下。

（一）自然金共生组合特征

1. 铜矿系列中自然金的共生组合特征

①自然金－黄铜矿－黄铁矿组合：这一组合是分布最广泛而又最常见的组合。在矽卡岩型矿床（铜录山矿、狮子山矿、凤凰山矿等）、海相火山岩型矿床（白银折腰山、火焰山矿、拉拉矿等）、斑岩型矿床（德兴铜厂矿等）、火山变质型矿床（红透山矿、中条山篦子沟矿等）中均是最主要的共生组合。

②自然金－斑铜矿－辉铜矿组合：这一组合形式的分布广度不及上述组合，属于次要的共生形式。曾在湖北丰山矿、铜陵凤凰山矿、贵池铜山矿、德兴铜厂矿、江西武山矿发现，它们在矿物生成顺序上，即结晶温度上略晚（低）于自然金－黄铜矿－黄铁矿组合。

③自然金－方铅矿－闪锌矿组合：在铜矿床中方铅矿和闪锌矿是少量矿物。这一组合的分布广度远不及上两组合，属于少见的共生形式。曾在安徽贵池铜山矿、凤凰山矿、宝山铜钼矿等发现。

④自然金－方解石组合：成自然金－方解石微脉（宽 2×10^{-5}—2×10^{-4}m）穿插于矽卡岩或黄铁矿、黄铜矿等硫化物中，属最晚晶出的共生组合。曾在许多矽卡岩型、海相火山岩型、斑岩型、火山变质岩型铜矿床中发现，是仅次于自然金－黄铜矿－黄铁矿组合的次重要共生形式。

2. 铅锌矿系列中自然金的共生组合特征

①自然金－黄铁矿－（磁黄铁矿）组合：这是铅锌矿中最重要的共生组合，几乎全部铅锌矿均不例外，如在岩浆热液型的水口山矿、湖南宝山铅锌银矿、湖南东波矿；沉积改造型的南京栖霞山矿；海相火山岩型的白银矿床中均为最重要共生组合。

②自然金－方铅矿－闪锌矿组合：属次重要共生组合，曾在水口山矿、宝山铅锌银矿、栖霞山矿、天宝山矿、乐华铅锌矿、丙村铅锌矿等矿床中发现。

③自然金－黄铜矿组合：一般在含铜铅锌矿床中出现，其重要性随铜品位高低而增减。如康家湾矿、东波矿、水口山鸭公塘矿等矿床中均曾发现。一般而言，为次要的组合形式。

④自然金－方解石组合：成自然金－方解石微脉（宽 2×10^{-5}—2×10^{-4}m）穿插于脉石或硫化物中，属最晚期晶出之组合。虽数量不多，但分布广泛，属次重要的共生形式。

3. 硫（砷）矿系列自然金的共生组合特征

①自然金－毒砂组合：在硫砷矿床中它属次重要的共生组合。这是一组很著名的共生组合，著名原因是由于毒砂中金含量高，往往远超过其他矿物，因此往往形成硫铁矿中金多在毒砂中的错觉，但实际往往并不如此（见本节概述）。这一组合形式曾在天鹅抱蛋山矿、

新桥矿、湖南浏阳七宝山矿等矿床中发现。

②自然金—黄铁矿—磁黄铁矿组合：属最重要的共生组合。硫铁矿中，最重要的矿石矿物是磁黄铁矿、黄铁矿。它们的含金量一般而言黄铁矿较高些，但相差不多，至于两矿物中金赋存状态则相差甚大，黄铁矿中金多为亚显微分散态，而磁黄铁矿中金则多为显微金，其原因似与两矿物晶出温度上差别有关。

③自然金—方解石组合：属次重要的共生组合，往往成微脉穿插于块状硫化物微裂隙及晶粒边缘。

4. 锑、钨（砷）矿系列自然金的共生组合特征

①自然金—石英组合：在Au—Sb—W型矿床中属最重要的共生组合，在Au—Sb—As型矿床中属次重要的共生组合。呈含金石英脉分布于断裂破碎带、层间剥离带或蚀变岩中，湘西沃溪矿、龙山矿、龙王江矿中均常见此形式。

②自然金—辉锑矿组合：属次重要共生组合，在沃溪矿、龙山矿、龙王江矿常见此形式。

③自然金—毒砂—黄铁矿组合：在Au—Sb—As型矿床中属最重要的共生组合，在Au—Sb—W矿床中属次要共生组合。至于黄铁矿和毒砂的重要程度则随矿床不同而不同，在前一类矿床中毒砂重要，在后一类矿床中黄铁矿重要。

（二）自然金的共生矿物序列

上文我们简单论述了伴生金矿床中自然金的共生组合种类及在各矿床中的分布情况。在此我们进一步将这些共生矿物与自然金的疏远—密切程度按序排列。“序列”将回答：自然金最“喜欢”与哪些矿物共生，与哪些矿物关系一般，与哪些矿物“相克”而不共生。最后我们再次重复说明，某一矿物与自然金关系密切并不等于这一共生组合在矿床中是重要的。如该矿物在矿石中含量很低，即使金含量很高（与金关系密切），该共生组合在矿床中仍是不重要的。现将自然金的共生矿物序列排示于下，在矿床中存在两种或两种以上矿物时，金将优先与排于前列的矿物共生。

①金属矿物共生序列

毒砂—黝铜矿—斑铜矿—辉铜矿—黄铜矿—黄铁矿—磁黄铁矿—方铅矿—闪锌矿—辉锑矿—磁铁矿—赤铁矿—辉钼矿—白钨矿—黑钨矿—锡石

实际上，金属矿物的共生序列可分三段：前段自毒砂至磁黄铁矿为“密切共生段”；中段方铅矿至辉锑矿为“有限共生段”，即一部分矿床中不共生，一部分矿床中共生；后段磁铁矿至锡石为“克生段”（不共生段），即它们与自然金不共生。

②脉石矿物共生序列

方解石—石英—绿泥石—绢云母—粘土矿物—硅灰石—透辉石—透闪石—石榴石

（三）自然金的“标型”组合

在深入研究伴生金矿床时，我们发现存在一系列具有标型意义的共生组合。它们深切地反映了矿床中伴生金成矿时的物理化学环境。我们特称之为“标型组合”。它们与自然金嵌生或共生，成微脉状分布（图版28、29）或两者共同交代主金属矿物（图版30、32）。

①自然金—脆硫铜铋矿组合：两矿物嵌生，共同交代斑铜矿或黄铜矿，或成微脉状穿插于斑铜矿中。在琅琊山矿、铜录山矿曾见。

②自然金—硫镉矿—脆硫铜铋矿组合：三矿物共生成微脉（2×10^{-5}—2×10^{-5}m）分布

于斑铜矿微裂隙中。在琅琊山矿曾见。

③自然金—碲金银矿—碲银矿（Ag_2Te）组合：两矿物嵌生共同交代斑铜矿。在德兴铜厂矿、天宝山矿、琅琊山矿曾见。

①自然金—硫碲银矿（Ag_4TeS）组合：两矿物嵌生共同沿斑铜矿边缘交代。在琅琊山矿曾见。

⑤自然金—硫铜钴矿组合：两矿物嵌生或前者被后者包裹，共同交代黄铜矿。在铜绿山矿、琅琊山矿、武山矿、凤凰山矿曾见。

⑥自然金--自然铋组合：两矿物共生交代绢云母、方解石。在天鹅抱蛋山矿曾见。

⑦自然金--辉碲铋矿（Bi_2Te_2S）组合：两矿物嵌生，交代磁黄铁矿、黄铜矿。在铜陵狮子山矿中曾见。

⑧自然金—（砷）黝铜矿—（方解石）组合：两矿物共生，成微脉（宽 1×10^{-4}—3×10^{-4}m）穿插于黄铁矿中，常见于龙王江矿中，亦曾见于湖南宝山矿、江西东乡矿中；两矿物嵌生，交代黄铜矿、黄铁矿，在武山矿、丰山矿、德兴铜厂矿中曾见。

⑨自然金—硫钴矿组合：两矿物嵌生沿黄铜矿边缘交代。在铜矿峪矿曾见。

⑩自然金—针硫铋铅矿〔$Pb(Cu, Ag)BiS_3$〕组合：两矿物嵌生，沿黄铜矿边缘交代黄铜矿。在德兴铜厂矿、水口山鸭公塘矿曾见。

⑪自然金--硫铋铜铅矿组合：两矿物嵌生成微脉（宽 3×10^{-5}—6×10^{-5}m）穿插于闪锌矿中。在水口山鸭公塘矿曾见。

⑫自然金—辉铋矿—自然铋组合：三矿物嵌生，交代磁黄铁矿、黄铜矿。在铜陵狮子山矿曾见。

⑬自然金—硫银铋矿组合：两矿物嵌生，交代磁黄铁矿、黄铜矿。在铜陵狮子山矿曾见。

⑭自然金—块硫镍铁矿〔$(Ni, Co)_3S_4$〕组合：两矿物嵌生，共同交代黄铜矿。在南京伏牛山矿中曾见。

⑮自然金--硫碲铋矿 B（Bi_4Te_2S）—方解石组合：三矿物共生，成微脉（脉宽 6×10^{-5}—10×10^{-5}m）穿插于磁黄铁矿中。少量互相嵌生，交代磁黄铁矿或方解石。在天鹅抱蛋山矿曾见。

⑯自然金 -楚碲铋矿（BiTe）组合：两矿物共生成微脉穿插于磁黄铁矿中。在天鹅抱蛋山矿曾见。

小结：

①伴生金矿床中自然金的标型组合深切反映了自然金成矿的物理化学条件。这些标型组合的共生矿物绝大多数是硫盐和碲化物，更具体地说主要是锑、铋、铅、铜硫盐和碲化物，显示了这些标型组合是在中低温、偏碱性的条件下沉淀结晶。

②根据自然金的共生组合和标型组合特征，可以把矿床中自然金划分三个世代：早期自然金与毒砂、黄铁矿共生，多成亚显微状态，少数成包裹金；中期自然金与黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等共生，多成包裹金或粒间金；晚期自然金与上述硫盐、碲化物、方解石共生，多成裂隙金，少数为粒间金。一般而言，伴生金矿床中以晚期金最重要，中期金次之，早期金最少。即使硫铁矿中亦是如此。唯一例外是湖南龙王江 Au—Sb—As 矿，以早期自然金为主。

③在16种标型组合中，较常见的是自然金－黝铜矿组合、自然金－碲金银矿－碲银矿组合、自然金－硫铜钴矿组合。至于其他组合相对较少见，但相当普遍，可在许多矿床中见到。

（四）伴生金矿床的标型矿物

上节中我们论述了伴生金“标型”组合，在此我们进一步论述反映伴生金矿床的成矿物质来源及成矿地质环境的“标型矿物”，以与第三章中所述：“伴生金矿床成矿物质来源于深源岩浆活动论点互补”。伴生金的标型组合与伴生金矿床的标型矿物在概念上有所不同：①前者标识了伴生金成矿（晶出）的物理化学条件，而后者标识了整个矿床成矿的地质条件（物质来源、矿床成因等）和物理化学条件，在范围和对象上有所不同；②前者的矿物均与自然金嵌生或同一微脉中共生，后者的矿物并不一定与自然金嵌生或共生于同一微脉中，但为伴生金矿床独有的矿物。现将标型矿物和标型矿物群述说于下。

①自然铝

铝是典型的两性元素，化学性质活泼，一般在地壳环境中很难存在，在既往的时间中，自然界中自然铝的发现寥寥可数。但我们在研究金、银矿物的同时顺带发现不少矿床中，尤其是矽卡岩型和斑岩型矿床中都存在自然铝，含量虽极端稀少但却相当普遍，除表5－24所列的矿床外，在铜录山矿、铜山口矿、贵池铜山矿俱有发现。我们发现的自然铝在化学成分上相当典型，存在Cr、Mg、Cu、Zn、Mn、Si等元素，与人工铝制品完全不同，光片中可能被误认为自然银。矿石中多被黄铜矿或脉石包裹（图版1－33）。它所提供的有益信息是：矿床物质来源于深部，形成于低氧逸度而又相对封闭系统。所以，自然铝的普遍存在，证实了前述的伴生金矿床物质来源深部的论点，为典型的标型矿物之一（表5－24）。

表5－24　自然铝化学组成（%）

矿床名称	样品数	分析元素							
		Al	Fe	Si	Cr	Mg	Cu	Zn	Mn
陕西诸碱铜金矿	1	89.42	—	2.56	3.20	—	2.73	1.81	—
浙江五步铅锌矿	7	84.29	—	7.65	0.667	0.465	—	—	—
甘肃白银厂	4	77.58	0.578	3.48	2.37	0.288	1.927	—	0.466
湖北丰山矿	2	75.36	1.034	—	2.507	—	6.055	—	—
江西德兴铜矿	3	87.583	0.62	1.307	0.273	—	2.055	—	—
安徽铜山铜矿	2	62.511	22.096	4.200	0.952	—	7.059	—	—
铝制品	—	99	无	无	无	无	无	无	无

电探波谱测定，郑巧荣提供。

②碲钯矿

伴生金矿床另一标型矿物为碲钯矿，我们在铜录山矿、大冶铁山矿、德兴铜厂矿都曾经发现过（表5－25）。众所周知，在基性－超基性岩浆矿床以存在铂族矿物为特征，如肖德贝里和金川矿，它们主要以铂为主，而与中酸性岩体有关的伴生金矿床，则以钯为主，两者明显不同。碲钯矿包裹于黄铜矿（图版1－34）、黝铜矿中，它的存在也证明了伴生金矿是深源岩浆分异产物。

③碲化物

表 5--25 碲钯矿化学组成（%）

矿床名称	Pd	Ag	Sb	Bi	Te
铜录山	26.47	2.54	0.50	2.30	68.11
	26.10	2.00	0.56	2.27	68.95
	25.81	1.79	0.54	2.73	69.07
	25.93	1.92	0.58	1.96	69.68
德兴铜厂	31.86				68.39

电探波谱测定。

伴生金矿床的重要标型矿物群是碲化物，在大量矿床中发现。它们有：碲金矿（喀拉通克铜镍矿）、碲金银矿（Ag_2AuTe_2，琅琊山矿、喀拉通克矿）、碲银矿（德兴铜厂矿、铜陵狮子山矿、大冶铜山口矿、南京栖霞山矿、天宝山矿）、硫碲银矿（琅琊山矿、八家子矿、天宝山矿）、辉碲铋矿（Bi_2TeS，狮子山矿、湖南宝山矿、天宝山矿、德兴铜厂矿、南京九华山矿）、硫碲铋矿（Bi_4TeS，天鹅抱蛋山矿）、楚碲铋矿（BiTe，天鹅抱蛋山矿）、碲铋矿（Bi_2Te_3，琅琊山矿、狮子山矿）、硫碲铋铅矿（$BiPb_2Te_2S_3$，湖南宝山矿、喀拉通克矿）、硫碲铋铜矿（大冶铜山口矿）、碲钯矿（德兴铜厂矿、铜录山矿）、等轴碲铋钯矿（PbBiTe，喀拉通克矿）、碲铋银矿（$AgBiTe_2$，喀拉通克矿）、碲镍矿（喀拉通克矿）、碲铅矿（南京栖霞山矿、金川矿、湖南宝山矿）。

上述 15 种碲化物中以地幔型基性—超基性岩中岩浆矿床发现最多（8 种），矽卡岩型、斑岩型矿床次之（各为 7 种和 6 种），岩浆热液型矿床最少（3 种），这一情况大致表明碲化物的多寡与成矿物质来源深度成正比。

第七节 伴生金在不同成矿期次中的矿化特征

大量资料表明，无论何种类型伴生金矿床，金的成矿阶段主要集中于中低温阶段，对于具有矿化分带的或矿化叠加的矿床来说，金亦集中于中低温矿带。现按各类型的典型矿床分别叙述。

1. 金川矿（岩浆岩型）伴生金的矿化期次

金川矿的矿化期次可按如下划分：

- 成矿期次
  - 岩浆期
    - 早期岩浆熔离型矿体（铜、镍矿化）
    - 中期岩浆熔离—侵入型矿体（铜、镍矿化）
    - 晚期岩浆侵入型矿体（弱金矿化，铜、镍矿化）
  - 气化—热液期
    - 早期气液交代叠加型矿体（强金矿化，铜镍矿化）
    - 中晚期热液穿插叠加型矿体（强金矿化，铜镍矿化）

金川矿的一个成矿特点是较晚期的成矿作用多次叠加于较早期成矿作用之上，从早到晚呈现由富镍转为富铜，由低硫化物转为高硫化物的趋势。而金的矿化主要集中于富铜过程中，尤其是经气化—热液交代和穿插叠加作用使金变富。如Ⅰ矿区中位于 6—14 行间富铜的富矿体下部的①号富金、铂矿块（延伸 400m，长 500m，最大厚度 47m），含金 5.1×10^{-6}（铂 2.4×10^{-6}，钯最高 2.32×10^{-6}，银 26.8×10^{-6}），较Ⅱ号矿区平均金品位高 36 倍；又如Ⅰ矿区中位于硫化镍顶盘与硫化铜富矿接触破碎带两侧的富金、铂矿块含金最高达 9.48×10^{-6}（铂 6.15×10^{-6}，钯 1.83×10^{-6}，银 19×10^{-6}）。这些富金矿块主要与晚期的富 Au--Cu 的矿化叠加有关。

岩浆期后的热液中，金、铂等有益组分大量富集，作为主金属的铜也明显富集。这一阶段矿化特征是构造发育、岩石破碎、蚀变强烈、矿石结构构造复杂、明显富自然金和黄铜矿。

2. 铜录山矿（矽卡岩型）伴生金的矿化期次

铜录山矿是矽卡岩型矿床，但具有明显的后期热液叠加。它的矿化期次可归纳如下：

矽卡岩期
- 矽卡岩阶段
  - 简单矽卡岩亚阶段
  - 复杂矽卡岩亚阶段
- 气化－高温气化物－磁铁矿阶段

硫化物－自然金阶段
- 高中温石英－黄铁矿阶段（弱金矿化、铜矿化）
- 中温黄铜矿－自然金阶段（强金矿化、强铜矿化）
- 中低温方解石－自然金阶段（最强金矿化）

碳酸盐－硫酸盐阶段－低温阶段（无矿化）

表 5－26　德兴铜厂矿各成矿阶段的金银品位

成矿期	成矿阶段		脉体名称	Au (10^{-6})	Ag (10^{-6})
热液早期	无矿阶段		早期石英脉	0.04	0.33
	黄铁矿化阶段		黄铁矿脉	0.12	0.60
			辉钼矿－黄铁矿－石英矿	0.06	0.34
热液中期	石英－硫化物阶段	早	石英脉	0.2	1.34
		中	黄铁矿－黄铜矿－石英脉	0.7	2.50
		晚	砷黝铜矿－黄铁矿－黄铜矿－石英脉	2.23	1.42
	纯金属硫化物阶段	早	黄铁矿脉	0.90	3.31
		中	黄铁矿--黄铜矿脉	6.4	15.40
			黄铜矿脉	13.54	—
			黄铁矿－黄铜矿－镜铁矿脉	1.1	45.80
		晚	黄铁矿－镜铁矿脉	0.29	2.53
	碳酸盐硫化物阶段	早	黄铁矿－石英－碳酸盐脉	6.39	3.34
		中	砷黝铜矿－黄铁矿－黄铜矿－石英－白云石脉	4.87	5.950
			方铅矿－黄铜矿－砷黝铜矿－黄铁矿－铁白云石脉	8.03	109.5
			黝铜矿－黄铁矿－黄铜矿－铁白云石－重晶石脉	8.32	136.03
			砷黝铜矿－黄铁矿－黄铜矿－菱铁矿－白云石脉	1.20	13.99
		晚	黄铜矿－石英－白云石脉	0.36	2.55
			辉钼矿－黄铁矿－黄铜矿－石英－白云石脉	0.48	1.55
	硫酸盐硫化物阶段		黄铜矿－黄铁矿－硬石膏脉	0.45	12.14
			辉钼矿－黄铁矿－黄铜矿－硬石膏脉	0.10	17.53
热液晚期	铜铅锌矿化阶段		方铅矿－闪锌矿－碳酸盐脉	0.03	7.21
	无矿化阶段		梳状石英脉	0.04	—
表生期	初期阶段		含金辉铜矿－黄铁矿脉	4.16	95.36
	含金		褐铁矿脉	2.95	1.45

据江西省地质局实验室（1977）。

在上述矿化期次中，矽卡岩阶段没有产生矿化作用；在气化－高温阶段主要是铁矿化；在高中温阶段形成黄铁矿，并有弱的金矿化和铜矿化；中温黄铜矿－自然金阶段是最重要的金、铜矿化阶段，自然金主要成包裹金和粒间金的形式出现；中低温方解石－自然金阶段，主要以方解石－自然金微脉穿插于黄铜矿、脉石裂隙中，是最重要的金矿化阶段，自然金主要成裂隙金的形式出现。

3. 德兴铜厂矿（斑岩型）伴生金的矿化期次

铜厂矿是典型的斑岩型矿床，虽然总体上属中温热液矿床，但细分后可知，自然金主要产出于中低温阶段。从表 5－26 可知，在矿化过程中，少量金于热液早期黄铁矿化阶段和热液中期的石英－硫化物阶段析出，析出的自然金多以包裹金形式赋存于黄铁矿、黄铜矿及石英中，粒度细小、形态规则多成圆粒状。随着温度、矿液浓度、pH 值、Eh 值等物理化学的变化，成矿进入热液中期纯金属硫化物阶段，此时温度约为 150－250℃，是铜、金的主要成矿期，自然金以包裹金、粒间金的形式赋存于黄铜矿、黄铁矿、脉石中或其粒间。当经历了铜和金的成矿高峰阶段后，成矿进入热液中期碳酸盐－硫化物阶段，这也是金的主要成矿阶段之一。自然金主要以裂隙金或粒间金的形式产于黄铜矿、黄铁矿、黝铜矿、方铅矿、斑铜矿、脉石的粒间或上述矿物的微裂隙中。

第六章　伴生金的赋存状态及工艺性质

第一节　概　　述

（一）金的化学性质和地球化学性质

金是贵金属中最重要的一员，在元素周期表中属IB族，与铜、银同族，合称铜族元素。所以，在伴生金矿床中，它们是最普遍分布的元素组合。金原子序数79，原子量196.97，原子核由79个质子和118个中子组成。金的原子半径为1.44×10^{-10}m，具有很高电离势和负电性。金呈金黄色，熔点1064℃，沸点2707℃，比重19.31g/cm³，硬度3.7(摩氏)，具有延展性、导电性、导热性。金的价态有0价、正1价、正3价等三种，亦有正2价和正5价金，其中最重要的是0价金，它在自然界中可能占99.99%以上，另有少量正1价金，其他就微不足道了。金的同位素有23个，但仅有^{197}Au在自然界中有稳定同位素，其他均为人工同位素。

在自然界中，金主要以自然金的形式存在。相对于各种金属而言，金的惰性最大。化学性质很稳定，既不受水和大多数酸影响，也很难溶于碱金属硫化物溶液和碱金属硫代硫酸盐溶液中。但事物的性质往往是两方面的，在一般条件下它是极端惰性，但在特定条件下它也相当活泼。在研究金的赋存状态机制时，不能忽略金的后一种特性。这一特性就是：金在王水（$1HCl+3HNO_3$）和热H_2SO_4中易溶，易与卤素和氰化物溶液（氯水、溴水、氰化钾等）起反应，金在有空气存在时，易于在碱金属氧化物溶液中溶解，易溶于含MnO_2之类强氧化剂的硫酸溶液和盐酸溶液中，在有氧化剂存在时金也微溶于三氯化铁、硫酸铁、氯化铜溶液中；金可在一些细菌或腐植质的作用下活化并被溶解。另外，微粒（$<0.05\times10^{-6}$m）金在水中可能有一定的溶解度。

自然界中金的丰度值各家的数据相当一致。经综合考虑，提议地壳中金的丰度为0.004×10^{-6}大概是可以接受的。数据充分表明，与地壳中金的丰度相比，单一金矿床的金富集比是很高的，一般可达1000—5000倍。即使是伴生金，其富集比也很高，一般可达100倍以上，高者可达1000倍以上。

（二）金的赋存状态及工艺性质

1. 金的赋存状态分类

伴生金矿床中金的赋存状态研究对于提高金的选矿回收率和探讨金的富集规律等方面都有重大意义。所谓金赋存状态也即是金在矿石中的存在形式，它一般可分：

- 金赋存状态
  - 矿物金
    - 自然金（明金、显微金）
    - 金化合物
  - 分散金
    - 亚显微金
    - 类质同象金
    - 吸附金

2. 金的赋存状态研究内容

①测定矿石中矿物金和分散金比例，如条件允许，则进一步研究分散金的种类及分布状况；

②研究矿物金的种类（除极个别矿床外，一般均为自然金）、自然金的成色、粒度、形态；

③研究矿石中自然金嵌布特征（分裂隙金、粒间金、包裹金三类）及共生组合特征，测定三类嵌布形态的比例；

④研究金的载体矿物的种类，测定其含金量；

⑤研究金在矿石中的配分，测定配分率；

⑥研究矿床中金的分布特征，即金和主金属的关系，金在不同矿体、不同矿石类型中分布规律、金的空间分布规律等。

3. 金的工艺性质研究内容

①研究矿石中金的品位和分布特征；

②研究金的赋存状态；

③考查金在选矿、冶炼产品中的赋存状态，考查金在选、冶过程中的趋向，考查金损失原因。

金的工艺矿物学同生产关系密切，有人誉之为“选矿的眼睛”。在矿石中只有对之进行认真的研究，才能针对矿石性质，提出切实可行的选矿措施，从而提高金的回收率。

伴生金的工艺矿物学与赋存状态两者关系非常密切。确切地说，前者的内容要广泛一些。后者是前者的一个重要组成部分。同时，即使是伴生金的工艺矿物学，也应包括对整个矿石性质的了解。

第二节 矿物态金

（一）金矿物

自然界的金矿物相当简单。最重要的是自然金、银金矿。其他还有少量碲化物、硫化物、锑化物、硒化物等，但其经济意义都不大。现将各种金矿物列于表6－1。

1. 自然界中Au－Ag系列矿物的命名原则及其特征

一般认为，自然界中Au－Ag是一个连续的矿物系列。这一系列中各组分的界线和命名，目前尚无通用的规定。根据我们多年的工作提出了下列定名方案：

分类方案主要按王濮（1982）等的《系统矿物学》，但根据实际需要作了进一步细分。Au－Ag系列矿物的命名确存在一定程度之紊乱，在没有更恰当的命名以前，只好根据通用名称，作广义和狭义之限制。另外，矿物命名原则应按原子数比更恰当，但通用是按Au、Ag重量比，故仍按后者划分，以使不引起更多的紊乱。书中，“自然金”具广义性，指金含量＞50%的Au－Ag系列矿物。同时考虑到系统的完整性，为数不多的金含量＜50%的Au－Ag系列矿物亦合并讨论。对于含Au＞90%的自然金，我们在名后注明金含量以示区别。

Au－Ag 系列矿物命名和分类方案

Au－Ag 系列	自然金类	自然金	Au＞90%，Ag＜10%
		含银自然金	Au90%－80%，Ag10%－20%
		银金矿	Au80%－50%，Ag20%－50%
	自然银类	金银矿	Au50%－80%，Ag50%－80%
		含金自然银	Au80%－10%，Ag80%－90%
		自然银	Au＜10%，Ag＞90%

注：理想组成，杂质不计，如实际存在杂质的情况下，自然金类以含金量为准，自然银类以银含量为准。

为了在科技文献中能更严密地进行论述，本书以“金”作为元素的专称，以“自然金”作为矿物的专称，以“黄金”作为经人工处理后的金属的专称，不笼统地合称为“金”。

2. 其他金矿物

其他金矿物列于表 6－1。本书作者专题研究中，发现铜陵狮子山矿有硫金银矿[$(Ag_{3.35}Au_{0.50})_{3.85}(Sb_{0.1}S_{1.9})$]（许文渊），在湘西沃溪矿发现方锑金矿 [$Au_{1.04}Sb_{1.96}$]（张振儒）；在铜矿峪矿中发现了碲金银矿 [（$Au_{0.50}$、$Ag_{1.41}$）Te]（何双梅）；在莲花山矿发现黑铋金矿 Au_2Bi（化学成分：Au68.14%－71.72%，Bi26.86%－30.48%，Ag6.35%—0.49%）；在银山矿发现了碲金矿（成分：Au33.67%，Te65.32%）（郑秀中）；在琅琊山矿发现碲金银矿 Ag_3AuTe（Au26.52%，Ag40.80%，Te32.68%）（蔡劲宏）。但这些矿物含量均很少，仅有矿物学的意义。总之在伴生金的赋存状态研究中，所谓矿物态金，实际上只指 Au－Ag

表 6－1 金矿物表

矿物种类	分子式	矿物种类	分子式
自然元素和金属互化物：		硫金银矿	Ag_3AuS_3
		碲化物：	
自然金	Au	碲金矿	$AuTe_2$
银金矿	(Au、Ag)	白碲金银矿	(Au、Ag) Te_2
金银矿	(Ag、Au)	亮碲金矿	(Au、Sb) Te_2
铜金矿	(Au、Cu)	碲金银矿	Ag_3AuTe_2
钯金矿	(Au、Pd)	杂碲金银矿	(Ag、Au) Te
铑金矿	(Au、Rh)	针碲金银矿	(Au、Ag) Te_4
铱金矿	(Au、Ir)	碲金铜矿	$AuCuTe_4$
铂金矿	(Au、Pt)	叶碲金矿	$Pb_5Au(Te、Sb)_4S_5$
铋金矿	(Au、Bi)	锑化物：	
金汞齐	Au_2Hg_3 (?)	方金锑矿	$AuSb_2$
黑铋金矿	Au_2Bi	硒化物：	
金铜矿	$AuCu_2$	硒金银矿	Ag_3AuSe_2
硫化物			

系列矿物，尤其只指自然金、含银自然金、银金矿三项，其他矿物因非常稀少，所以都不予考虑。

（二）自然金的形态特征

自然金的形态变化多端，但在磨矿分离过程中往往被压成片状而失去原貌。所以我们处理样品时一般只通过老虎口、对辊破碎、筛分，然后直接用淘洗—酸溶以获得自然金单矿物。用双筒镜并辅以扫描电镜对其形态进行研究。自然金形态计有等轴粒状、麦粒状、圆粒状、长条状、树枝状、微蜂窝状（图版 13，29）、片状（图版 24、25）、肾状、蘑菇状、弯钩状、串珠状（图版 1，2）。另有少量的八面体晶体（图版 29）和雪花状晶体（图版 13）。在自然金形态中有三种情况值得注意，一是“溶蚀”现象（图版 30），表示自然金晶出后又经历了活化—迁移过程；二是具有“胶状结构”的肾状、树枝状、蜂窝状自然金的存在（图版 13，29），表示部分金的胶状沉淀机理；三是弯钩状、蘑菇状等不规则形态自然金的存在（图版 24，25），表示部分金沿微裂隙及其他矿物界面交代的晚期沉淀机理；四是圆粒状、麦粒状微粒自然金的存在（图版 4，23，25），表示金的固熔体的解析—归并机理。

现将一些典型矿山：狮子山铜矿、银山铅锌铜矿、喀拉通克铜镍矿的自然金形态统计例示于表 6—2。从表可知，自然金主要形态为圆粒状、麦粒状、长条状、不规则状。

（三）自然金中杂质

自然金的成分相当复杂，含有许多少量和微量元素。其中以 Ag、Cu、Fe 最常见。其他尚有 Li、Na、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Zn、Cd、Hg、B、Al、Ga、In、Se、Si、Ge、Sn、Pb、Ti、Zr、As、Sb、V、Se、Te、Cr、Mo、W、Mn、Co、Ni、Rh、Pd、Ir、Pt、U、Th 等。我们认为，上述元素相当大一部分可能是测定试样不纯或存在着微粒包裹体所致。从元素的地球化学性质看，自然金中进入晶格组分的元素为 Ag、Cu、Fe、Hg、Sb、Bi、Te、Pd、Ph、Pt、Pb，其它元素的可能性都不大。

表 6—2　部分伴生金矿床中自然金形态统计

形　态	狮子山矿		银山矿		喀拉通克矿	
	粒数	颗粒(%)	粒数	颗粒(%)	粒数	颗粒(%)
圆粒状	78	10.6	10	14.5	34	11.0
麦粒状	267	36.3	16	23.2	75	24.4
等轴粒状	215	29.2	11	15.9	18	5.8
长条状	106	14.4	13	18.8	99	32.1
片　状	13	1.8	3	4.4	8	2.6
蜂窝状	2	0.3	—	—	3	1.0
树枝状	6	0.8	13	18.8	8	2.6
不规则状	49	6.6	3	4.4	63	20.5
总　计	736	100.0	69	100.0	308	100.0

伴生金矿床自然金的某些杂质的定量数据列于表 6--3，其中最重要的杂质是 Ag、Cu、Fe，几乎在每一粒中都存在。尤其是铜矿床中，自然金中铜的含量最高，最高可达 5.23%，一般多在 0.4% 2.0%左右。铁则在高铁矿床，如铜铁矿（铜录山、大冶铁山）、块状硫化物矿床（天鹅抱蛋山矿、长山头矿）中较高。其它杂质值得提出的为 Pt、Pd、Te，前两项富集于岩浆岩型矿床自然金中，后一项富集于火山岩型矿床自然金中。

表 6--3 各类伴生金矿床中自然金的杂质含量表

成因类型	矿床数	样数	杂质元素含量（%）
岩浆岩型	5	15	Cu0.7—5.2；Pt0--8.7；Pd1.7—4.4；Rh0—1.5；Bi8—9.9
矽卡岩型	12	210	Cu0.01—1.90；Fe0.1—3.65
斑岩型	7	45	Cu0.06—2.52；Fe0.12—1.50；Bi0.005；K0.12；Na0.26；S0.01
岩浆热液型	12	107	Cu0.05—1.04；Fe0.2—2.55；Te0.157；W0—0.01；Pb0.005—3.07；Sb0--0.1；Mo0—0.01
火山岩型	6	30	Cu0.62—5.23；Te0.2；Sn0.08
沉积变质型	3	64	Cu0.13—2.15；Fe0.04—2.68
铁帽型	2	33	Cu0.1—1.5；Fe0.03—3.00

第三节 分散金

如上所述，从生产需要的角度出发，我们将粒度小于 1μm、均匀分布在载体矿物中而用机械选矿方法无法分离的金，都称为“分散金”，而分散金的本身仍是很复杂的，根据需要和可能，尚可细分为：亚显微金、类质同象金、吸附金三种。现分别述说于下。

1. 亚显微金

所谓亚显微金是指用最高倍的显微镜无法分辨的金，按理论计算（据公式：$L=0.6\lambda/N\cdot A$），显微和亚显微粒子的界限为 0.2μm。但在实际应用上，即使光性很特征，相当容易辨认的自然金，最小的鉴定下限也只是 1.0μm 左右。即是说，当自然金小于 1.0μm，在显微镜下即使能分辨，也无法鉴定了。所以，我们取鉴定的下限 1.0μm 作为界限，而不取分辨的下限 0.2μm 作为界限。

据有关文献和我们的实际测定，所谓亚显微金，实际上仍属自然金。其透射电镜的电子衍射图象也与一般自然金完全一致。所以，显微金和亚显微金之间唯一的差别只是粒度不同而已。但它们在（选冶）工艺性质上却有很大的差异，其工艺性质与其说与显微自然金接近，不如说更与晶格或吸附金接近。所以在赋存状态分类中我们将其归类于分散金。亚显微金可以存在于各种载体矿物中。这些载体矿物既可是金属矿物，如黄铁矿、毒砂等；也可是非金属矿物，如石英、粘土矿物，在专题研究中我们对亚显微金进行了大量探索，取得了一定成果。（成果主要由张振儒完成），现简述于下。

①黄铁矿中亚显微金：用透射电镜（H—800型）进行复膜萃取制样，研究结果表明，亚显微金呈小圆球状或不均匀地分布沉淀在黄铁矿的晶面上，成包裹体夹层分布（图版2—17…2—24），这些小圆球状的亚显微金已经被同视域的透射电镜的电子衍射（图版2—22）结果所证实。其衍射环 d 值的计算，根据公式：

$$d=L\cdot\lambda\frac{1}{Rn}$$

式中 d 为面网间距（10^{-10}m），λ 为电子束的波长，L 为样品至荧光屏的距离（10^{-3}m），Rn 为各衍射环的半径（10^{-3}m）。各衍射环的 d 值数据（表6—4）。经EDAX能谱仪分析，具有金的 $L\alpha$ 能谱（Au$L\alpha$=9.712keV），故属自然金，成色较高（含金988.8‰，含银11.2‰）。如内蒙东升庙黄铁矿中就存在微裂隙中充填小圆球状及链状的亚显微金。经透射电镜研究，早期金矿化弱，晚期金矿化强，可见晚期自然金微脉切穿微脉的现象。一般而言，黄铁矿中亚显微金相当普遍，是重要的赋存形式，所以矿石中黄铁矿含量高，则分散金比例也高。

②方铅矿中亚显微金：经H—800型透射电镜进行复膜萃取制样，研究结果表明，方铅矿中的亚显微金呈小的圆球状或链状，不均匀地充填在方铅矿的立方体［100］解理中，呈规则的线状分布，这些小圆球的亚显微金，已被同视域的电子衍射结果所证实，这里不再重复。

表6—4　黄铁矿中次显微金的电子衍射数据表

衍射环编号	实测数据			自然金的JCPDS卡片		
	环半径（mm）	d（10^{-10}m）	I/I_0	d（10^{-10}m）	I/I_0	hkl
1	9.2	2.353	100	2.355	100	111
2	10.6	2.042	55	2.039	52	200
3	15.2	1.424	35	1.442	32	220
4	17.5	1.237	36	1.230	36	311
5	23.2	0.933	25	0.9358	23	331

③粘土矿物中的亚显微金：伊利石在透射电镜下呈板条状、眼球状或带尖角的片状等，在其破碎晶体的边缘或港湾处，常吸附小圆球状或球粒状集合体的亚显微金。前者如湖北崇阳县伊利石粘土吸附3.5×10^{-6}的金，并经EDAX能谱仪分析属金银矿（Au=43%，Ag=57%），成色较低（430）；后者如湖南沃溪金锑钨矿，构造破碎蚀变带中的白色伊利石粘土，吸附小圆球状集合体的亚显微金（图版2-18），含金15.67×10^{-6}，金的成色较高（平均985.75）。一般而言，除少数伴生金矿床外（如Au—Sb—W—As矿床），粘土矿物中亚显微金含量是微不足道的。

④石英中亚显微金：石英不仅是伴生金矿床中常见的脉石矿物，而且可能含金，是载金矿物之一。在湖南沃溪金锑钨矿床中，亚显微金呈小圆球状或链状充填在石英的微裂隙中或沿石英的菱面体解里面充填。引起上述情况的机制是：石英中常有微量Al^{3+}替代Si^{4+}形成铝氧四面体，因而产生电荷补偿而进入石英晶格中。而这种离子态金活度较大、不稳，在后期热事件中易于释放出来，凝聚归并成亚显微金（或显微金及可见金），沿石英的微裂隙和菱面体〔101〕解里面分布。为了达到最稳定状态，必须使其表面降低到最小。所以，

亚显微金常呈较小圆球状（或小圆球组成的链状）形式产出，因为球状体的表面积最小，故最稳定。一般而言，除少数矿床外（如沃溪矿），石英中金绝大多数是显微金。在总体上，石英中亚显微金是极低的。

2. 类质同象金

金以类质同象置换形式进入载体矿物晶格。在实际工作中，往往发现某些硫化物（如毒砂、黄铁矿）含有大量的金，有时可高达 $2\times10^{-4}-4\times10^{-4}$，但却没有发现有自然金或亚显微金。它们均匀分布，加热后没有产生金的归并增大现象。同时，载体矿物的晶格常数产生变化，电子顺磁共振谱上产生超精细谱线和各向同性的 G 因子（2.000±0.001）。所以至少部分毒砂和黄铁矿中金为类质同象金。另有一部分金存在于载体矿物空穴或晶格缺陷中，亦并入类质同象金一类。这些金在晶格中的结合强度弱于类质同象置换的金，但强于吸附态金。

目前研究较多的含类质同象金的载体为毒砂和黄铁矿。但总的来说，伴生金矿中类质同象金的比例是微不足道的。

3. 吸附金

胶体成因的矿物如褐铁矿、锰氧化物、玉髓、蛋白石等在生成过程中吸附了金离子（很快被还原为金原子），或矿物的晶格间隙中的静电力的作用下吸附了金离子，这种以原子或离子的方式存在于载体矿物中的金叫吸附金。与上述两种分散金比较，具有以下特点：一是极为微细，只一个原子或几个原子组成；二是不进入载体矿物晶格，容易析出（被淋滤）；三是不稳定，往往逐渐的归并增大成亚显微金，甚至显微金。总体而言，伴生金矿床中吸附态金更微不足道。

4. 分散金的形成机理和分散金→自然金的转换过程

分散金的形成机理可能有四种途径：一是矿物（尤其是胶体成因的矿物）在生长过程中带正电荷的表面对金的络阴离子的吸附，然后被还原成金原子；二是共沉淀作用使金与载体矿物一起沉淀，如与金络阴离子作用生成自然金和黄铁矿：

$$[AuCl_4]^- + Fe^{2+} + S^{2-} \rightarrow FeS_2\downarrow + Au\downarrow + 4Cl^-$$

三是进入矿物晶格或缺陷中，构成类质同象金；四是高温时的固熔体，在温度降低时产生固体熔体分离，金在载体矿物中以出熔体的形式存在。如毒砂或黄铁矿中金可能一部分以此方式形成。

分散金转换自然金的过程相当复杂，目前尚处于探索阶段。一般来说，下列的转换示意图是比较可信的：

晶格金——固熔体分离、归并
吸附金——解析、归并
→亚显微金—归并→显微金

上述转述过程，在对伴生金矿床进行系统工作时，是不难发现的。我们在研究大冶铁铜矿和龙王江矿中的伴生金时，往往可见到一粒较大的自然金周围聚集着一些 1--2μm 的微粒金。如将其置子扫描电镜下观察，还可见到有不少粒的亚显微金。最多一群共计有 34 粒自然金。很显然，这是归并增大过程的中间状态的情况（图版 2—24）。

上述的转换过程中的归并作用，实际上是金在矿床中的活化—迁移—再分配作用，矿床中的金在沉淀后，在温度、压力、应力作用或后期的成矿作用下，有可能再次活化成胶状金的形式迁移，或是以固体扩散的形式迁移，从而产生了归并作用。所以，上述转换过

程的最后一个阶段－显微金－尚可细分：

包裹金→粒间金→裂隙金

这种矿床中金粒度由细到粗，分布由分散到集中的过程十分有利于金的回收。一般来说，多期次多阶段成矿的矿床的金粒度较大、分散金比例小、裂隙金比率高，如成矿期次单一则反之。

第四节　伴生金矿床中矿物金和分散金的比例

伴生金矿床中分散金和矿物金的比例各不相同，但总的来说，除块状硫化物矿床中分散金较高外，其它矿床中分散金的比例都不高，一般大致占1%--10%左右。我们曾对铜录山矿、狮子山矿、喀拉通克矿、栖霞山矿、琅琊山矿、丰山矿、天鹅抱蛋山矿、铜山口矿、长山头矿、贵池铜山矿、篦子沟矿、龙王江矿等十几个矿床中的黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、磁铁矿、褐铁矿等单矿物做Au－Cu、Au－Fe相关性溶解试验，结果表明，它们中的分散金除天鹅抱蛋山矿（分散金占24.01%）和龙王江矿（分散金占72.17%）外，其他都微不足道。

对金属矿物而言，最主要载金矿物黄铜矿、斑铜矿、磁黄铁矿中都无分散金；方铅矿和闪锌矿、辉锑矿、辉铋矿无分散金；磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿中无分散金，它们中金全以矿物金（自然金）形式存在。而黄铁矿中金则较复杂，一部分矿床如矽卡岩型矿床、斑岩铜矿、热液铅锌矿床中的黄铁矿中金主要以自然金形式存在；而块状硫化物型矿床，黄铁矿型铜矿的黄铁矿中金则主要以分散金形式存在，如天鹅抱蛋山硫金矿中黄铁矿中含金可达9.17×10^{-6}，但经几百片光片鉴定没有发现一粒金。至于毒砂中金一般以分散形式存在，如天鹅抱蛋山矿和龙王江矿含金可分别高达65.5×10^{-6}和332×10^{-6}（平均为29.25×10^{-6}和184×10^{-6}），但没有发现有显微自然金，但某些铜矿床的晚期脉状毒砂中可见到显微自然金，如狮子山矿。

对脉石矿物而言，重要的矿物石英和方解石中大部分以自然金形式存在，但也有一部分分散金，如湘西金矿、湖北鸡笼山矿中都曾找到过分散金（亚显微金）（图版2－21—24）。

小结：

伴生金矿床分散金从总体来说具有以下特征：a. 绝大部分铜矿床、铅锌矿床、铁铜矿床中分散金极少，可忽略不计；b. 绝大部分金硫矿床、黄铁矿型铜矿床中分散金比例较高，但仍以显微自然金为主，如天鹅抱蛋山矿；c. 金锑砷矿（分布于湘西、桂北）是唯一以分散金为主的矿种，如龙王江矿；d. 分散金中以亚显微金为主，类质同象金次之，吸附金很少；e. 以载体矿物而言，存在分散金最多、最普遍的是毒砂和黄铁矿，其他金属矿物（铜矿物、铅锌矿物、磁黄铁矿等）的分散金可忽略不计。除少量矿床外，脉石矿物（方解石、石英等硅酸盐矿物）中分散金也可忽略不计。

第五节　伴生金矿床中自然金的成色特征

自然金的成色具有重要标型意义，亦是金的工艺矿物学研究的重要内容。深入查明伴

生金矿床中自然金的成色特征，对探讨金的成矿条件及金赋存规律均具有重要意义。在对我国40余个矿床研究工作中，我们测定了近1000个自然金成色数据，现以此为依据进行总结。

自然金的纯度称“成色”，以自然金中金含量的千分数表示，如成色878即表示含金为87.7%，其余12.3%为银和杂质。

（一）伴生金矿床中自然金成色特征

1. Au－Ag系列矿物特征

Au－Ag系列是一个连续的类质同象系列，在测定的958个电子探针微区分析数据中全部找到了系列中代表性矿物，计有中条山篦子沟矿的自然银（Au0.00‰），湖南水口山矿的自然银（Au0.00‰，6.00‰），东坡矿的自然银（Au1.20‰、2.96‰、29.22‰），辽宁红透山矿的自然银（Au5.09‰、54.60‰）；铜陵狮子山矿的自然银（Au66.5‰、82.50‰、98.40‰），甘肃金川矿的含金自然银（Au138‰），大冶铜山口矿的含金自然银（Au165‰）；大冶铜录山矿的金银矿（Au216‰），狮子山矿的金银矿（Au217‰、248‰）；湖北鸡笼山的金银矿（Au359‰），狮子山矿的金银矿（Au326‰、323‰、377‰、398‰），江西武山矿的金银矿（Au411‰），贵池铜山矿的金银矿（Au439‰），大冶丰山矿的金银矿（Au454‰），安徽琅琊山矿的金银矿（Au472‰、491‰）。至于自然金成色在500以上者则不胜枚举，其中成色最高者为湖南沃溪矿自然金（Au997‰）。

另外，深入察看自然金成色分布频率直方图（图6－1）后，可发现伴生金矿床中自然金成色的三大特征：一是Au－Ag系列矿物中自然金类分布频率很高，达93.63%，自然银类分布频率很低，仅6.37%，银主要以银硫盐形式存在，自然银较少见。这一规律表明，自然金晶格中Au允许较小原子半径的Ag（1.40×10^{-10}m）置换，而自然银晶格中Ag却极难于被原子半径较大的金（1.44×10^{-10}m）置换；二是金端元矿物（Au＝1000‰）未发现，最高者沃溪矿的自然金成色997；而相比之下银端元矿物（Ag1000‰）则较常见。所以，单从Au考虑，Au－Ag系列类金成色频率以单峰形式出现，众值强烈偏向金端；如以Au、Ag综合考虑，则整个系列的频率以双峰形式出现：金端“峰”高而宽，银端“峰”窄而低；三是自然金最高频率在Au800‰—900‰间，自然银最高频率在Ag1000‰上。

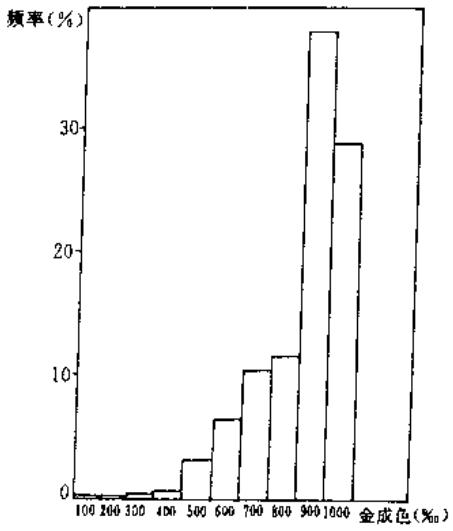


图6－1　伴生金矿床中自然金成色分布频率直方图

2. 各成因类型伴生金矿床中自然金成色特征

根据我们测定的大量数据统计表明（表6--5，表6－6）不同成因类型矿床中自然金成色存在一定差异，沉积—变质型矿床金成色最高（平均931），铁帽型及斑岩型矿床次之（分别为874、834），陆相火山岩型及岩浆热液型矿床第三（分别为798、786），海相火山岩型及矽卡岩型矿床第四（分别为768、760），岩浆岩型矿床最低（717）。从成矿作用来看，沉积—变质作用及表生作用形成的矿床自然金成色较高，火山作用和岩浆

作用形成的矿床自然金的成色相对偏低。但斑岩型矿床是个例外，其原因可能与该类矿床的 Au/Ag 比值较高有关。另外，伴生金矿床中自然金的平均成色为 795（表 6－5），与岩金矿床自然金的平均成色 845（据我国 24 个主要岩金矿床自然金成色平均）相比，前者的成色相对偏低。

各成因类型矿床间自然金的成色频率变化随成矿的地质条件和物理化学条件的不同而不同（图 6－2，图 6－4），从图可知，成色变化较大的成因类型为海相火山岩型、矽卡岩型、岩浆热液型，而沉积－变质型、斑岩型、铁帽型则变化较小。综观各成因类型矿床自然金的成色平均值和成色频率分布特征可知，平均成色的高低控制着成色频率变化的大小，平均成色较高的变化较小，反之，变化较大。

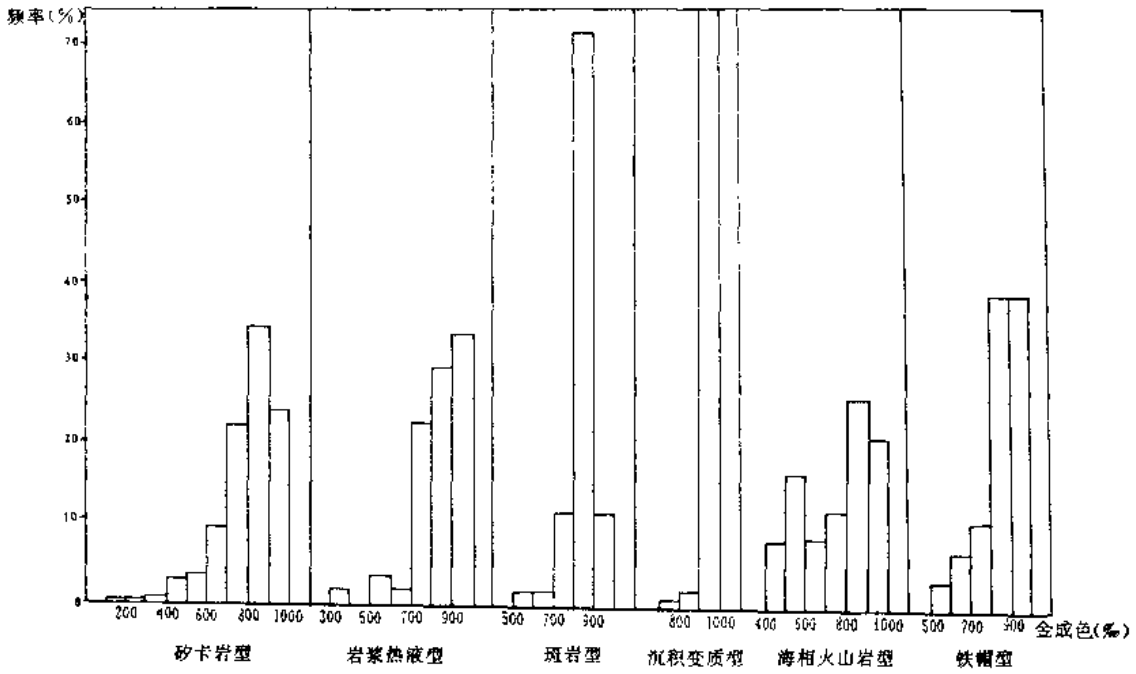


图 6－2　各成因类型矿床中自然金成色频率分布直方图

3. 各矿种中自然金成色特征

各矿种中自然金的成色也是不同的，据我们统计（表 6－7），Au－Sb－（W）－（As）矿系列自然金成色最高，如龙王江矿平均成色高达 947，沃溪矿为 990；S－Au 矿系列次之，如天鹅抱蛋山矿为 905；铁（铁帽）矿系列第三，如长山头矿为 851；Cu 矿系列第四，如铜录山矿为 808、德兴铜厂矿为 827、白乃庙矿为 776；Pb－Zn 矿系列自然金成色最低，如小铁山矿为 756、锡铁山矿为 708、东坡矿最低为 144，已属含金自然银范畴，但铜矿系列中的 Cu－Ni 矿床是个例外，其较低的成色（平均 717）值是与岩浆岩型 Cu－Ni 矿床较低的 Au/Ag 比值相对应。至于成色的频率分布则具有以下特征：Au—Sb—（W）－（As）矿和 S—Au 矿的成色频率最集中，成色 900—1000 者分别占 91.90%和 78.70%；铁（铁帽）矿次之，集中于 800—1000 间，占 80.00%；铜矿和 Pb—Zn 矿则较分散，多数在 500—1000 间（图 6－3，图 6－4）。

表 6—5　各成因类型矿床中自然金成色

成矿作用	矿床成因类型	矿床数（个）	分析数（个）	平均[①]成色（‰）	Au/Ag	代表矿床
岩浆作用	岩浆岩型	2	41	727[⑧]	0.043[⑧]	金川、喀拉通克
	矽卡岩型	15	421	760[⑦]	0.064[⑦]	铜录山、狮子山
	斑岩型	7	158	834[⑤]	0.096[③]	铜厂、多宝山
	岩浆热液型	8	123	786[⑥]	0.075[⑤]	天鹅抱蛋山、水口山
火山作用	海相火山岩型	6	73	768[④]	0.071[⑥]	白乃庙、小铁山
	陆相火山岩型	2	18	798[④]	0.086[④]	银山、洋鸡山
沉积—变质作用	沉积—变质型	3	64	931[①]	0.356[①]	龙王江、东川落雪
表生作用	铁帽型	3	60	874[②]	0.130[②]	长山头、戴家冲
合计或平均		46	958	795	0.0841[②]	—

①按矿床平均，圆圈内数字系高低顺序；②按矿床数（153个）加权平均。

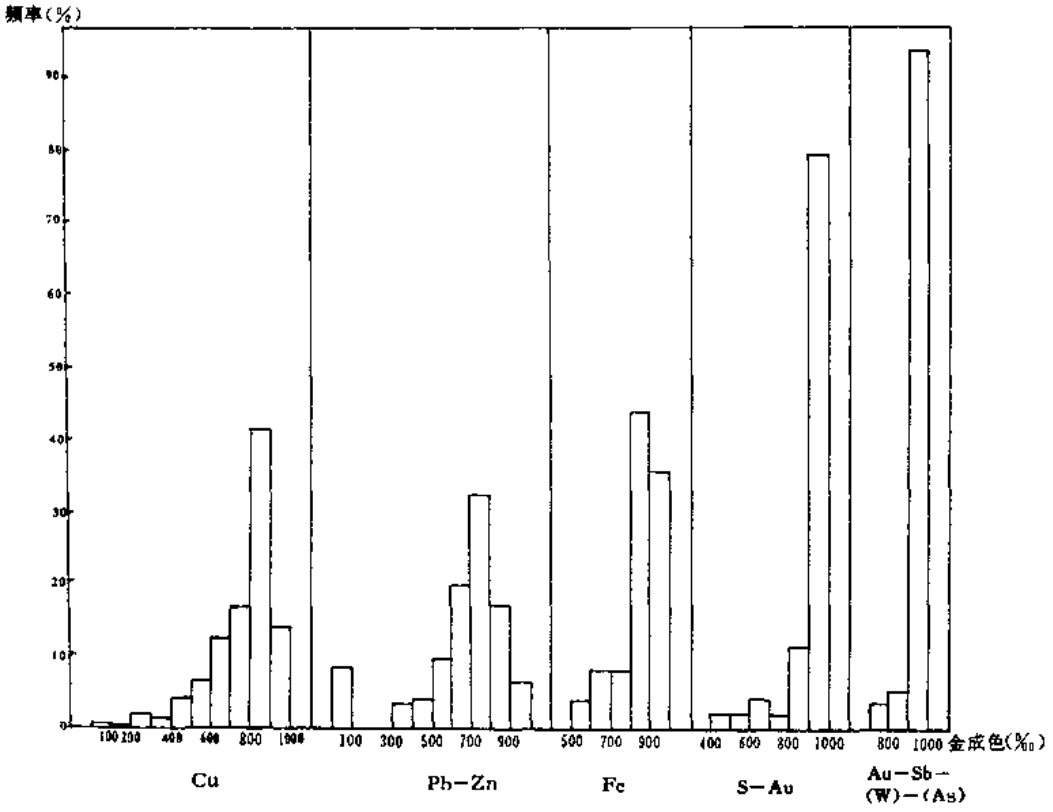


图 6—3　各矿种自然金成色频率分布直方图

4. 同一矿床中自然金成色特征

同一矿床中自然金成色亦变化多端，图 6—4 所示为一些典型矿床实例。一般而言，矿床中出现频率最高的是含银自然金和银金矿，自然金（Au＞900‰）、金银矿出现较少。自然金（Au＞900‰）出现频率最高的是龙王江矿，为 90.32%；含银自然金频率最高的是德兴铜厂矿为 82.61%；银金矿频率最高是狮子山，为 62.96%；金银矿频率最高亦为狮子山

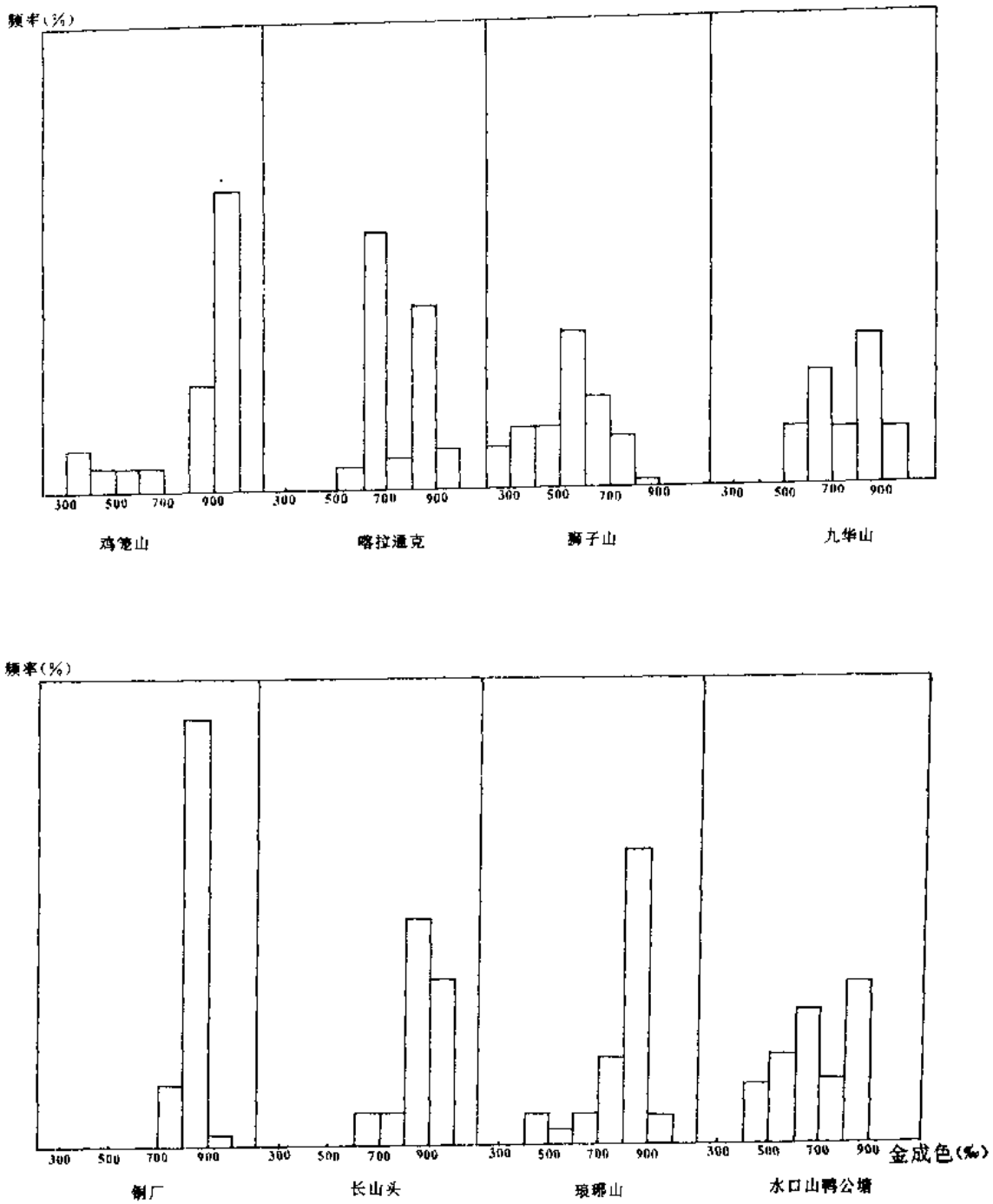


图 6—4　典型矿床自然金成色频率分布直方图（1）

矿，为 29.63%。另外，各矿床中自然金成色频率分布以单峰为主，少数矿床出现双峰式分布，如喀拉通克矿，水口山鸭公塘矿、九华山矿成色频率集中出现在 800—900 和 600—700 两个区间，表明自然金的生成可能存在两个世代。对于单个矿床，平均成色的高低对成色

变化频率的控制仍然存在。平均成色较高的矿床成色变化较小，反之，变化则较大。

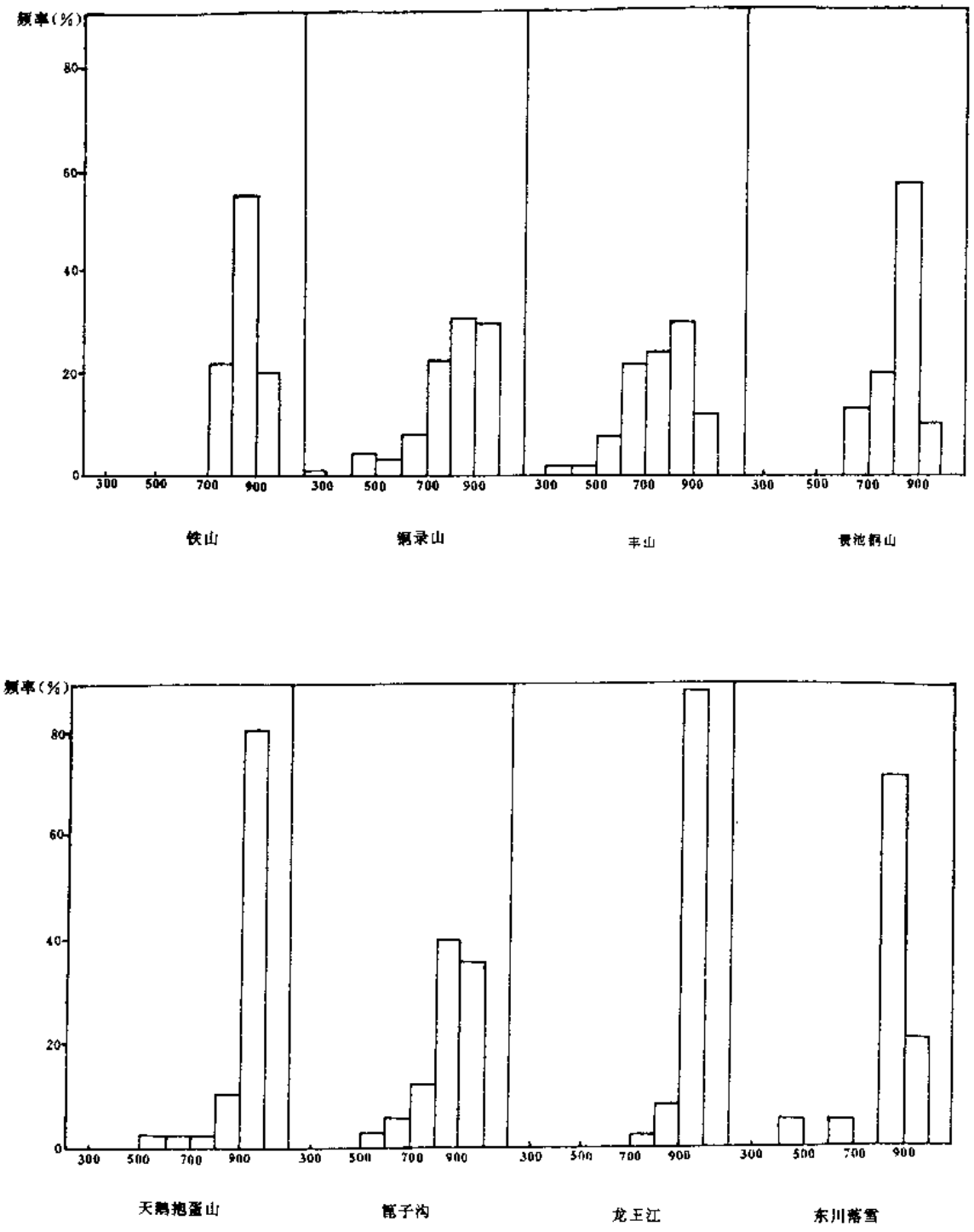


图 6－4　典型矿床自然金成色频率分布直方图（2）

表 6—6　各矿床中自然金的成色及金银比

成因类型	矿床名称	分析数	自然金成色（‰）			Au/Ag 比值
			最高	最低	平均	
岩浆岩型	金川矿 *	7	967	138	695	0.038
	喀拉通克矿	34	986	593	723	0.022
矽卡岩型	丰山矿	70	945	454	751	0.019
	铜录山矿	110	977	216	808	0.098
	铜山口矿	7	916	165	721	0.012
	铜山矿	47	966	606	841	0.050
	鸡笼山矿	24	988	359	843	0.077
	琅琊山矿	23	933	472	769	0.040
	武山矿	11	850	277	604	0.040
	凤凰山矿	9	935	605	731	0.049
	狮子山矿	54	873	67	536	0.023
	九华山矿	15	876	558	674	0.030
	铁山矿	51	948	719	842	0.096
斑岩型	莲花山矿	11	988	589	820	0.147
	铜厂矿	138	935	709	827	0.165
	铜矿峪矿	9	974	768	822	—
岩浆热液型	天鹅抱蛋山矿	41	975	527	905	0.357
	乐华矿	4	774	616	716	0.051
	棉土窝矿	21	994	741	848	0.014
	水口山矿	16	834	589	732	0.030
	德保矿	18	961	710	849	0.067
	宝山矿	6	759	678	732	0.004
	大宝山（南部矿）	12	970	533	754	0.011
	东坡矿	6	378	1	144	0.001
	湖南七宝山矿	5	990	425	753	0.038
海相火山岩型	白乃庙矿	5	782	753	776	0.205
	小铁山矿	11	986	552	756	0.018
	锡铁山矿	5	760	673	708	0.009
陆相火山岩型	银山矿	16	942	636	804	0.033

续表

成因类型	矿床名称	分析数	自然金成色（‰）			Au/Ag比值
			最高	最低	平均	
沉积—变质型	龙王江矿	37	986	736	947	2.05
	篦子沟矿	32	956	580	852	0.050
	红透山矿	13	816	509	641	0.021
	东川落雪矿	24	957	489	856	0.087
	拉拉矿	4	950	866	883	0.090
	沃溪矿	3	947	985	990	>2
沉积—改造型	栖霞山矿	4	767	722	745	0.047
铁帽型	长山头矿	31	922	620	851	0.476
	戴家冲矿*	29	972	794	929	5.41（?）

有*号者据文献统计，其他均实测。

表6—7 各矿种中自然金成色

矿种		矿床数（个）	分析数（个）	平均成色（‰）	代表矿床
铜矿系列	铜矿床	26	635	794	铜录山、德兴
	Cu—Ni矿床	2	41	717	金川、喀拉通克
	Cu—Fe矿床	2	57	860	铁山、前常
Pb—Zn矿系列	Pb—Zn矿床	5	36	743	银山、水口山
	Pb—Zn—S矿床	1	5	708	锡铁山
	Pb—Zn—Cu矿床	2	14	756	小铁山、赛什塘
铁（铁帽）矿床系列		2	60	874	长山头、戴家冲
S—Au矿床		2	42	905	天鹅抱蛋山、马山
Au—Sb—（W）—（As）矿床		4	37	947	龙王江、沃溪

5. 同一颗粒自然金成色特征

同一颗粒自然金成色变化存在三种情况：一是变化较小，基本均一，如喀拉通克、铜山口、龙王江、篦子沟、小铁山等矿同一粒自然金成色分别为：630、638，913、916，969、973，937、930，579、576，变化微小，表示金成矿时物理化学条件较稳定或自然金形成后，经历了晶格内部以“固体扩散”形式进行自我调整而使其成色趋于均一。二是变化较大，一

部分自然金颗粒中部成色较高，向四周边缘带逐渐降低，如铜录山矿、铁山矿、狮子山矿同一粒自然金由中心向边缘成色分别为976、839、462；861、849、846、839、821；692、585、412。产生这种现象的原因可能是金的结晶分异作用所致，随着温度逐渐降低而趋向富银。三是同一颗粒中成色无规律变化，如狮子山矿某一自然金粒自中心向外成色为721、320、279、295、743，其原因可能是银的后期交代或自然金晶出过程中矿液内Au、Ag浓度脉动变化所致。

（二）影响自然金成色的因素

1. 成矿时代对自然金成色的影响

各成矿时代中形成的矿床，不仅在矿床类型、规模、数量上有所不同，而且自然金成色特征亦各具特色（表6—8）。

表6—8 各成矿时代矿床中自然金成色

成矿时代	矿床数（个）	分析数（个）	平均成色（‰）	典型矿床
元古代	5	97	905	龙王江、篦子沟、沃溪
早古生代	3	24	788	小铁山、白乃庙、锡铁山
晚古生代	4	38	777	多宝山、赛什塘、喀拉通克
中生代	30	629	775	铜录山、铜厂、狮子山

各成矿时代中，元古代形成的矿床虽然数目不多，但单个矿床规模较大，从矿床类型来看，主要为沉积（火山）变质型，自然金成色最高；早古生代是海相火山岩型矿床重要的成矿期，矿床规模较大，自然金成色较高；晚古生代形成的矿床类型主要有斑岩型、矽卡岩型和岩浆岩型，矿床规模较大，但数目不多，自然金成色较早古生代为低；中生代形成的矿床无论从矿床类型、规模、数量上均超过前者，绝大多数矽卡岩型、斑岩型、岩浆热液型、陆相火山岩型、铁帽型床形成于该时代，自然金成色略低于晚古生代。可见，成矿时代越新的矿床，自然金成色越低，并且其下降幅度随成矿年代间隔的趋短而变缓。

古老地层的变质作用也对自然金的成色产生影响，一般来说，时代愈老，变质程度愈深，重结晶作用愈明显，自然金成色愈高，其原因是由于在变质过程中，因银具较高的活动性而易被排除，使自然金“纯化”而成色增高。如沉积变质型的龙王江矿平均成色947、沃溪矿990、东川落雪矿856，均高于其它矿床。

2. 成矿的温度对自然金成色的影响

有色金属矿床中自然金成色与矿床形成温度的关系同原生金矿床是相反的。即自然金成色随成矿温度的增高而降低，这一规律与矿床Au/Ag比值随成矿温度的增高而降低的规律一致。表6—5中，成矿温度最高的岩浆岩型矿床自然金的成色和Au/Ag比值都是最低的；成矿温度居中的矽卡岩型、斑岩型、岩浆热液型、海相火山岩型、陆相火山岩型矿床自然金成色及Au/Ag比值亦居中；成矿温度偏低的沉积（火山）变质型矿床自然金成色及Au/Ag比值最高。低温表生作用形成的铁帽型矿床，自然金成色较高，其原因似由于硫化矿床在氧化过程中，金产生活化—迁移—再沉淀作用，Ag活动性较大而淋失，致使次生自然金纯度增大所致。

3. 矿化阶段的多寡对自然金成色的影响

矿床中矿化阶段复杂，意味着金经历了多次活化一富集作用，致使自然金的成色偏高。如湖北大冶铜录山矿，是一个矽卡岩型矿，其矿化阶段可归纳为：矽卡岩阶段、气化高温氧化物－磁铁矿阶段（铁矿化）、高中温石英－黄铁矿阶段（弱金矿化）、中温黄铜矿－自然金阶段（强金矿化）、中低温方解石－自然金阶段（最强金矿化）等五个矿化阶段，该矿自然金成色偏高，为808；相反，矿床中矿化阶段单一，则自然金的成色偏低。如安徽铜陵狮子山铜矿，同是矽卡岩型矿床，但其矿化阶段较为简单，仅有矽卡岩阶段、中温黄铜矿－自然金阶段，故该矿自然金成色较低，仅为536。

4. 围岩蚀变的强度对自然金成色的影响

蚀变作用将导致化学组分的带出和带入，从而影响到自然金成色。一般来说，围岩蚀变较强，自然金成色较高，反之，则较低。如江西德兴铜厂斑岩铜矿，强蚀变斑岩和千枚岩矿石中自然金成色均明显高于弱蚀变斑岩和千枚岩矿石中自然金成色（表6－9）。

表6－9　铜厂矿不同蚀变强度矿石中自然金成色

蚀变强度	矿石类型	分析数（个）	平均成色（‰）
强	斑岩矿石	23	857
	千枚岩矿石	24	845
弱	斑岩矿石	4	814
	千枚岩矿石	12	790

5. 不同载体矿物对自然金成色的影响

不同载体矿物中自然金的成色变化是有规律的。总的来看，脉石矿物中自然金的成色较高，黄铁矿和毒砂中自然金成色次之，黄铜矿中自然金成色较低（表6－10）。

表6－10　不同载体矿物中自然金成色

矿床名称	载体矿物	分析数（个）	平均成色（‰）
铜录山矿	脉石矿物	4	929
	黄铁矿	2	831
	黄铜矿	4	691
丰山矿	脉石矿物	2	908
	黄铁矿	3	918
	黄铜矿	9	539
铁山矿	黄铁矿	11	918
	黄铜矿	4	833
龙王江矿	脉石矿物	1	986
	毒　砂	6	957
	黄铁矿	2	935
德保矿	脉石矿物	3	901
	毒砂	4	862
	黄铜矿	4	742

6. 不同嵌布形式对自然金成色的影响

嵌布形式是指自然金在矿石中的存在位置及其与其他矿物颗粒的接触关系。一般可分为三类：①自然金沿显微裂隙成微脉状分布称裂隙金；②自然金位于其他矿物的颗粒间称粒间金，以上两种金多为充填交代产物，形成时间多较周围矿物为晚；③自然金产于其他矿物中称包裹金，其成因多为出熔体或由分散金归并而成。从表 6－11 可知，不同嵌布形式自然金成色变化存在这样的规律：裂隙金成色较高，粒间金次之，包裹金成色较低。包裹金－粒间金－裂隙金成色由低到高的规律是由这三种嵌布形式的自然金晶出的时间和温度决定的，晶出时间较早、温度较高的包裹金成色较低；晶出时间较晚、温度较低的裂隙金、粒间金成色则较高。

表 6－11　不同嵌布形式自然金成色

矿床名称	平均成色（‰）		
	包裹金	粒间金	裂隙金
铜录山矿	781 (9)①	913 (5)	930 (5)
丰山矿	670 (4)	838 (9)	910 (5)
铜山矿	763 (8)	862 (3)	820 (7)
琅琊山矿	677 (10)	839 (13)	
长山头矿	809 (7)	—	871 (15)
龙王江矿	951 (4)	953 (7)	966 (7)
喀拉通克矿	631 (2)	649 (9)	733 (7)

① 括号内为分析样数

7. 矿床的金银比对自然金成色的影响

矿床的金银比代表了成矿溶液中金银的相对浓度，不言而喻，它对自然金的成色产生基本影响，表 6－5 所列的各矿床类型的自然金平均成色与金银比，两者存在相当清晰的规律，自然金的成色与矿床金银比成正相关。所以，两者均对矿床成因及成矿条件有标型意义。

第六节　伴生金矿床中自然金的粒度分布特征

1. 概述

伴生金矿床中自然金粒度分布研究具有两方面意义：首先，矿床中自然金的粒度分存特征对金的工艺回收意义重大：粒度粗易于回收，粒度细难于回收；次之，矿床中自然金的粒度分布特征传递了矿床成因及成矿物理化学条件的信息。为此，我们对 22 个矿床，约 3000 块光片，约 1.2 万个自然金粒度测定数据作了统计和归纳，测定粒度间隔大致按筛孔尺寸划分，如 7×10^{-5}m 对应 200 目，1×10^{-4}m 对应 150 目，2×10^{-4}m 对应 65 目等。自然金的粒度是一个复杂问题，所获结论可信度高低关键在于统计的粒数和试样的代表性，我们的工作力求能满足这一要求。

2. 各矿床类型中自然金粒度分布特征

①岩浆岩型矿床自然金粒度分布特征：本类型矿床粒度差别较大，如金川矿自然金粒

度细小，小于 4×10^{-5}m 者占 80%以上，喀拉通克矿粒度较粗，大于 4×10^{-5}m 者占 84.60%，粒度的粗细似与矿床的金品成正比（金川矿 Au0.13×10^{-6}，喀拉通克矿所研究的特富矿石 Au0.48×10^{-6}）。总的来说，岩浆型矿床中自然金粒度分布较大，如喀拉通克矿从 4×10^{-5}—6×10^{-4}m 中每一间隔的频率分布大致相似，表明该矿粒度范围很宽（表 6—12，图 6—5（1—8））。

表 6—12　各矿床类型中的自然金粒度分布

矿床类型	矿床数（个）	粒级（μm）占有率（%）						
		0—10	10—20	20—40	40—70	70—100	100—200	200—600
岩浆岩型	1	1.90	2.61	10.89	26.62	17.08	20.70	20.20
矽卡岩型	11	8.23	12.78	28.16	22.76	10.84	10.56	6.67
斑岩型	1	4.92	7.65	25.15	44.21	15.55	4.52	-
岩浆热液型	3	20.74	19.90	24.83	14.97	5.85	9.72	3.99
海相火山岩型	1	1.23	6.73	11.48	5.18	8.60	16.26	50.52
陆相火山岩型	1	24.92	20.64	25.40	19.05	—	—	—
沉积（火山）变质型	3	17.26	8.81	18.01	15.28	10.70	16.62	13.32
铁帽型	1	1.19	7.63	32.60	33.65	13.41	7.82	3.70
平均	22	12.92	12.58	16.90	22.99	11.13	13.69	9.89

②矽卡岩型矿床的粒度分布特征：与岩浆岩型相比，本类型矿床的粒度分布较均一，金品位较低（Au<0.3×10^{-6}）者粒度 20—40μm 的分布频率最高，如大冶铁山矿、枫林矿；金品位较高（Au>0.5×10^{-6}）者，粒度 40—70μm 的分布频率最高，如铜录山硫化矿、狮子山矿、凤凰山矿、九华山矿；金品位较高者（Au>2×10^{-6}），粒度 100—200μm 的分布频率最高如金口岭矿。总的来说，绝大多数矽卡岩型矿床自然金粒度一般在 20—100μm 范围，粒度变化不大（表 6—12，图 6—5①—⑪）。

矽卡岩矿床自然金粒度与金品位成正比，表 6—13 列示了 10 个矽卡岩型矿床的自然金 70μm 的占有率和金品位。粒度与品位成正比的规律性相当好，其中凤凰山矿是唯一例外，但其 40—70μm 的占有率高达 48.98%，粒度仍然是较粗的。

③斑岩型矿床：斑岩型矿床只测定了德兴铜厂矿一个，但其规模大，数据充分，似可代表该类型。斑岩型矿床粒度分布亦较均一（表 6—12，图 6—5㉒）。同其他类型相比，斑岩型矿床（斑岩金铜矿例外）的金品位是较低的，一般均在 0.1—0.2×10^{-6}，但其自然金粒度则相对较粗。

④岩浆热液型矿床：该类矿床所包含的矿种较多，既有铜矿床、铅锌矿床，又有硫铁矿床，金的品位变化大，自然金的粒度亦粗细不均，从 1—200μm 均有一定占有率。一般而言，该类矿床自然金粒度分布特点是：按矿种而言，铜矿床粒度较粗，铅锌（铜）矿床次之，硫铁矿较细；同一矿种中，则金品位高，粒度较粗，品位低则细（表 6—12，图 6—5，⑫—⑭）。

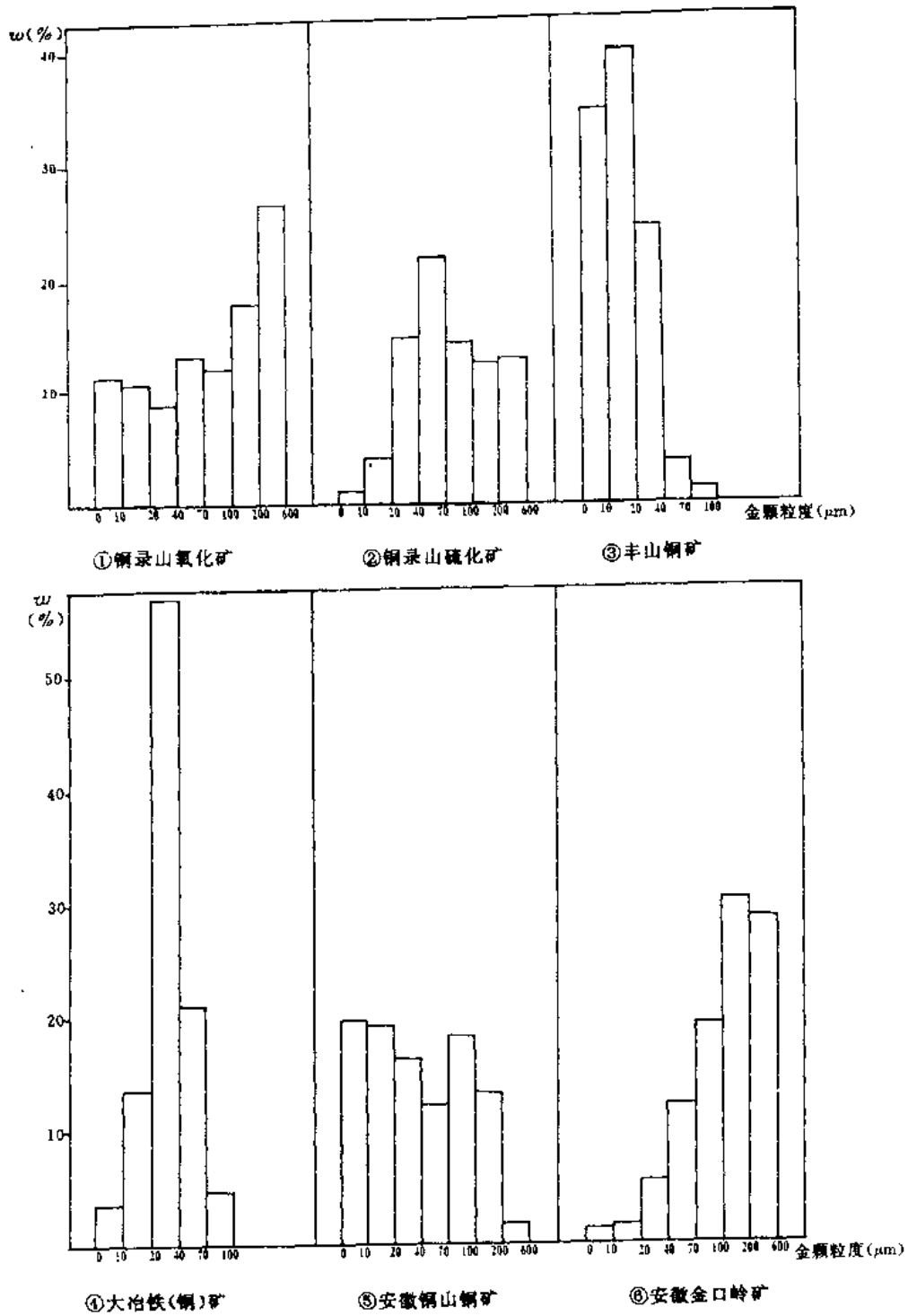


图 6－5　伴生金矿床中金的粒度分布直方图（1）

⑤火山岩型矿床：无论海相火山岩型或陆相火山岩型，自然金的粒度变化均较大（表 6－12，图 6－5⑲－⑳）。前者如小铁山矿，粒度分布在 2×10^{-5}—8×10^{-4}m 范围，总的来说，粒度较粗；后者如江西银山矿，粒度分布在 1×10^{-6}—7×10^{-5}m 范围。总的来说，粒度较细。其粒度粗细亦与金品位成正比（小铁山矿 Au2.28×10^{-6}，银山矿 Au0.40×10^{-6}）（表 6－12，图 6－5⑲－⑳）。

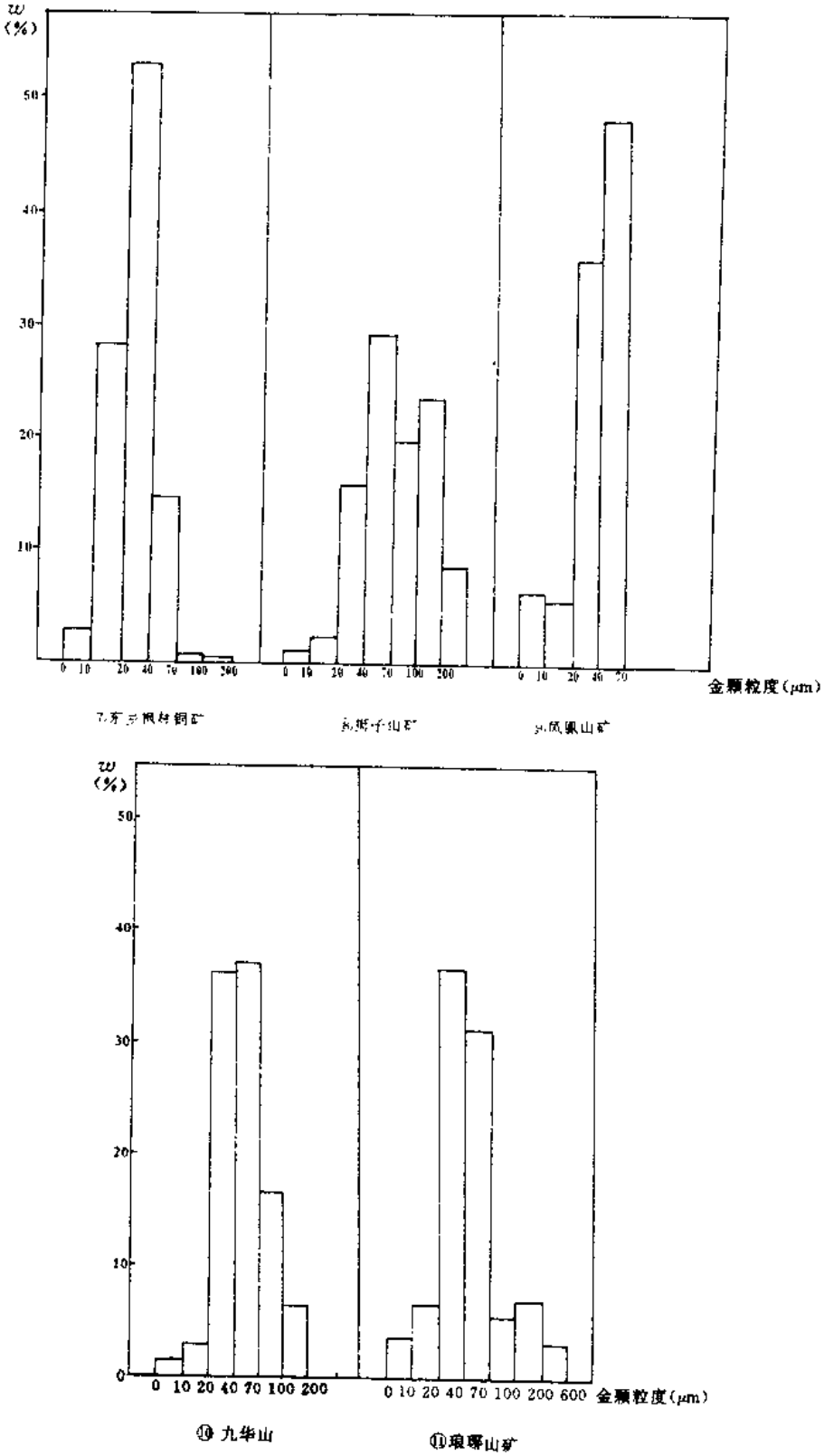


图 6－5　伴生金矿床中金的粒度分布直方图（2）

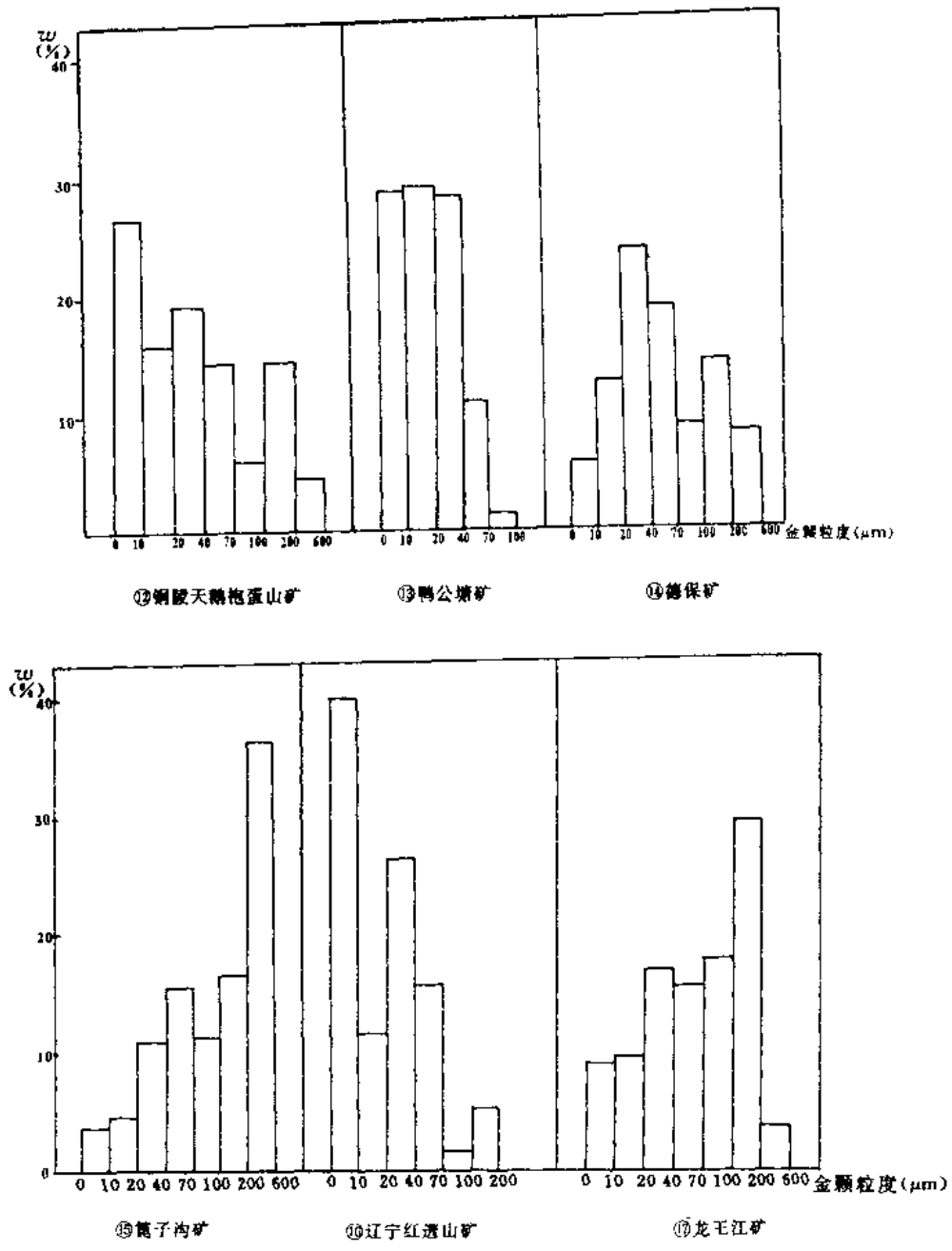


图 6－5　伴生金矿床中金的粒度分布直方图（3）

⑥沉积（火山）变质型矿床：无论沉积变质或火山变质型矿床，自然金的粒度变化均较大。一般而言，前者金品位高，粒度粗，如溆浦龙王江矿、湘西沃溪矿；后者金品位低，粒度较细，如红透山矿、中条山篦子沟矿。与其他类型相比，在金品位大致相当时，本类矿床的自然金粒度明显较粗（表 6—12，图 6－5⑮—⑰）。

⑦铁帽矿床：本类矿床自然金粒度变化很大，从 1×10^{-6}—6×10^{-4}m 均有一定占有率。粒度亦明显较其他类型粗（表 6－11，图 6－5⑳）。

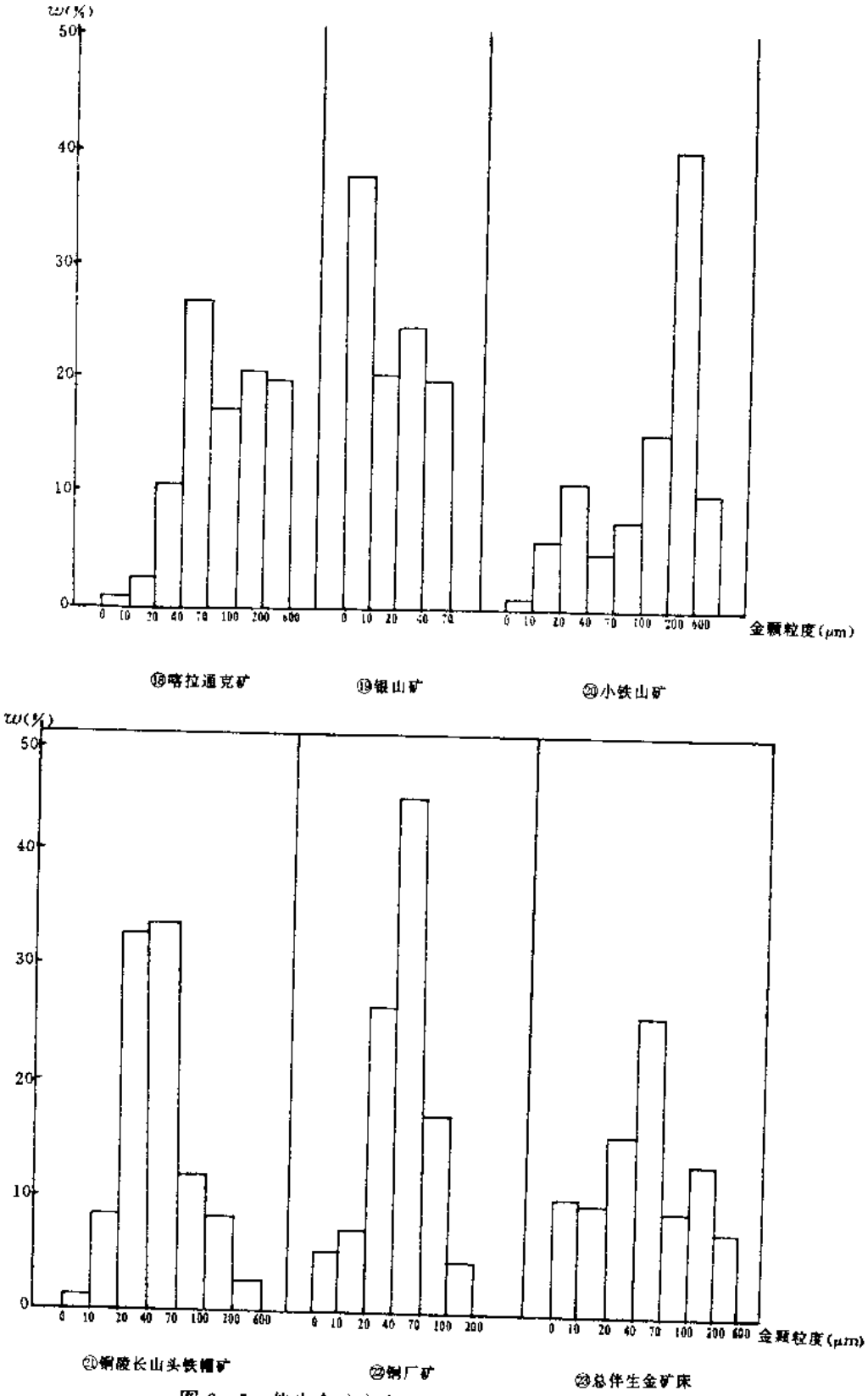


图 6—5　伴生金矿床中金的粒度分布直方图（4）

表 6－13　矽卡岩型矿床自然金粒度与金品位关系表

矿山名称	大于 7×10^{-5}m 占有率%	金品位 (10^{-6})
金口岭矿	75.04	2.57
狮子山矿	52.18	1.07
铜录山矿	37.70	1.15
铜山矿	26.88	0.82
九华山矿	21.10	0.57
琅琊山矿	20.33	0.66
大冶铁山矿	4.48	0.28
丰山矿	0.94	0.21
枫林矿	0.85	0.16
凤凰山矿	0	0.69

小结：

一般而言，矽卡岩型矿床、岩浆岩型矿床、斑岩型矿床的自然金粒度较均一，变化范围较小，频率大致成正态分布，但众值随矿床的不同而不同；岩浆热液型矿床、海相火山岩型矿床、沉积（火山）变质型矿床、铁帽型矿床的自然金粒度变化大，各粒级的频率分布较匀，一般不成正态分布。

总体而言，伴生金矿床中自然金总体粒度分布为正态分布，众值在 4×10^{-5}－7×10^{-5} m（表 6－12，图 6－5㉓）。

3. 影响自然金粒度分布的因素

①金品位较高的矿床，自然金粒度较粗，这一规律相当明显，适用于各类型矿床。如金口岭矿、狮子山矿、铜录山矿、小铁山矿等粒度较粗的矿床均是金品位较高。

②按矿种而言，铜矿床或含铜矿床的自然金粒度较粗，铅锌矿床次之，而硫铁矿床的粒度较细。而铁帽型矿床的粒度亦较粗。

③毒砂和黄铁矿含量较高的矿床自然金粒度较细。原因是此两矿物中不但亚显微金含量较高，而且其余亦多属包裹金，粒度偏细。典型实例是铜录山矿和天鹅抱蛋山矿，按金品位而言，前者比后者低，但粒度分布却前者粗，后者细（图 6－5①、②、⑫）。

④金属矿物中金和脉石矿物中自然金比较，后者中的自然金较粗。一般而言，脉石矿物中多粒间金、裂隙金或以自然金一方解石微脉、自然金一石英微脉充填于裂隙中，故粒度较粗。

⑥裂隙金、粒间金占有率较高的矿床自然金粒度较粗。一般而言，矿床中包裹金晶出较早，似多属固熔体分离产物（图版 4）。亦即是说它与载体矿物同时生成，而粒间金看来多属中一晚期交代生成，至子裂隙金则更晚，属晚期裂隙充填产物。

⑦在同一矿床中，高温阶段析出的自然金粒度较细，低温则较粗。一般而言，即使在高温的矽卡岩型矿床中，高温阶段析出的矿物含金很低，包裹的金矿物都很细，如矽卡岩矿物和磁铁矿中金既少又细；中温阶段如与黄铜矿同时析出的金则稍粗；至低温阶段金与

石英、方解石、硫盐矿物（图版 27－32）同时析出时，则其粒度明显变粗。如铜录山矿、大冶铁矿、丰山矿（图 6－5①—④）都存在此规律。

⑧多次矿化叠加或成矿时间延续很长的矿床自然金粒度较粗。如沉积变质型的湘西沃溪矿成矿于元古代，经后期多次叠加、富集，故自然金粒度明显偏粗；而主要成矿于中生代的沉积改造型的栖霞山矿的自然金则较细。

⑨表生作用形成的矿床自然金粒度较粗，铁帽中自然金粒度一般比原生硫化矿粗，如铜录山矿氧化矿和原生矿、长山头矿（铁帽）和天鹅抱蛋山矿（原生矿）均是很好的实例（图 6－5①、②和图 6－5⑫、㉑）。

第七节　伴生金矿床中载金矿物含金性特征

在伴生金矿床中，自然金是微量组分，在矿石中它与主金属矿物含量之比一般在 1：10000—1：50000 范围，而与脉石矿物含量之比则高达 7 位数了。所以，矿石中自然金一般均非常疏稀地嵌布于矿石矿物和脉石矿物中。这样，凡是嵌布有自然金或含有分散金的矿物可称之为金的载体矿物或载金矿物。在第五章 5－5，5－6 节中我们已详细论述了自然金与其他矿物的共生序列，列于前段的矿物实际上就是金的载体矿物。在此，我们从金的赋存状态及工艺性质角度定量地进行论述。在研究工作中我们测定了约 60 个矿床，650 个左右的单矿物含金量数据，结果列于表 6－13。从表可知：

1. 铜矿物的含金性

铜矿物是最重要而最普遍分布的载金矿物。在铜矿床中，铜矿物中金的配分率均超过其他矿物而居首位。其含金性由高→低顺序为：砷黝铜矿－黝铜矿—辉铜矿—斑铜矿－黄铜矿。

①黄铜矿的含金性：在伴生金矿床中几乎全部黄铜矿均含金，但它的含金量在不同矿床中变化甚大，高者如赵家湾矿中黄铜矿 $Au2.416\times10^{-5}$，小西南岔矿中黄铜矿 $Au2.50\times10^{-5}$，天鹅抱蛋山矿中黄铜矿 $Au1.88\times10^{-5}$；低者如武山矿中黄铜矿 $Au7\times10^{-8}$，棉土窝矿中黄铜矿 $Au3.5\times10^{-8}$。全部 43 个矿床，131 个黄铜矿单矿物平均值 $Au3.90\times10^{-6}$。大体而言，金品位高的矿床中黄铜矿含金量高，低者含金量亦低。按矿床类型而言，斑岩型矿床黄铜矿含金量最高，如德兴铜厂矿金品位只 1.8×10^{-7}，但黄铜矿 $Au7.91\times10^{-6}$。陆相火山岩型、岩浆热液型、海相火山岩型、矽卡岩型矿床次之，沉积（火山）变质型矿床较低。总的来说，矿床金品位对黄铜矿含金性起主要作用，而矿床类型是次要的。

②斑铜矿、辉铜矿的含金性：斑铜矿、辉铜矿含金量超过黄铜矿。在不同矿床中其含量变化很大，如赵家湾斑铜矿 $Au5.235\times10^{-5}$，辉铜矿 3.74×10^{-5}；东川落雪矿稀铁矿段斑铜矿 $Au6.7\times10^{-7}$。一般而言，自然金与斑铜矿、辉铜矿主要均在中低温阶段晶出，比黄铜矿略晚，如丰山矿黄铜矿 $Au3.9\times10^{-6}$，斑铜矿 $Au2.998\times10^{-5}$，金更趋向富集于后者。同样，其含金量与矿床金品位成正比。斑铜矿平均含 $Au1.335\times10^{-5}$（6 个矿床，12 个样），辉铜矿平均含 $Au2\times10^{-5}$（2 个矿床）。它们的含金性高低主要决定于矿床品位。

③黝铜矿、砷黝铜矿的含金性：两矿物产于火山岩型、沉积（火山）变质型、斑岩型矿床，在矽卡岩型矿床中极少见。它们是含金最高的铜矿物，一般在 $Au2\times10^{-5}$—4×10^{-5}。其中黝铜矿平均含 $Au3.257\times10^{-5}$（2 个矿床），砷黝铜矿平均含 $Au3.260\times10^{-5}$（2 个矿

床)。其含金性高低主要取决于矿床类型，如铜厂矿金品位不高（Au1.8×10^{-7}），但砷黝铜矿含金量却是该矿所有载体矿物中最高的。

2. 铁硫砷矿物的含金性

铁硫砷矿物是重要的载金矿物，其中黄铁矿几乎存在于每一矿床中。尤其在高硫高砷矿床中，它们的含金性对金的回收起关键作用。其含金性由高→低顺序为：毒砂—黄铁矿—胶黄铁矿—磁黄铁矿—白铁矿。

①毒砂的含金性：在伴生金矿床中，毒砂是含金最高的矿物。含金量变化很大，最高者如龙山锑金矿中毒砂 Au3.202×10^{-4}，低者如石景冲矿中毒砂 Au6.40×10^{-6}，平均含 Au9.051×10^{-5}（10 个矿床，39 个样）。按矿床类型而言，沉积变质型的 Au—Sb—W 和 Au—Sb—As 矿床中毒砂含金最高，矽卡岩型、岩浆热液型、斑岩型矿床次之，沉积改造型较低。总的来说，矿床类型对毒砂含金高低起主要作用，而矿床中金品位因素是次要的。

②黄铁矿的含金性：在伴生金矿床中黄铁矿是最普遍分布的矿物，也是含金较高的矿物。但含金量高低变化很大，高者如龙山矿的黄铁矿 Au1.139×10^{-4}，低者如武山矿的黄铁矿 Au9×10^{-8}，平均含 Au1.341×10^{-5}（43 个矿床，166 个样）。大体而言，金品位高的矿床的黄铁矿含金高，低者含金量亦低。按矿床类型而言，沉积变质型矿床的黄铁矿含金量高，如龙山矿、沃溪矿、乐华矿、龙王江矿；矽卡岩型和岩浆热液型、海相火山岩型的黄铁矿含金性高低变化很大，而岩浆岩型、斑岩型、火山变质型（红透山矿、铁砂街矿等）的黄铁矿含金一般不高。总的来说，黄铁矿的含金高低既决定于矿床类型，又决定于矿床金品位，两者兼而有之。

③磁黄铁矿、白铁矿和胶黄铁矿的含金性：三矿物的含金量普遍较低，最高是狮子山矿，磁黄铁矿含 Au2.05×10^{-6}，最低是喀拉通克矿，磁黄铁矿含金 Au5×10^{-8}；狮子山矿的白铁矿含金 6×10^{-8}。平均磁黄铁矿含 Au6.3×10^{-7}（13 个矿床，57 个样）。白铁矿含金 8×10^{-8}（2 个矿床，2 个样）。大体上，磁黄铁矿的含金量高低主要决定于矿床含金品位，似与矿床类型无关。

胶黄铁矿的含金性较特殊，测定了两个矿床的单矿物，这两个矿床的金品位均较高，小西南岔矿 Au3.44×10^{-6}，天鹅抱蛋山矿 Au2.98×10^{-6}，但胶黄铁矿含金量却高低悬殊，前者为 3.10×10^{-5}，后者为 2.9×10^{-7}。因数据太少，无法下明确结论。只能说，胶黄铁矿含金性高低差别很大。

3. 方铅矿和闪锌矿的含金性

①方铅矿的含金性：方铅矿的含金性高低差别较大，高者如鸡笼山矿，方铅矿含 Au4.565×10^{-5}，低者如东坡矿，方铅矿含 Au5×10^{-8}，老厂矿方铅矿含 Au6×10^{-8}，平均含 Au7.19×10^{-6}（21 个矿床，25 个样）。大体而言，方铅矿含金性高低主要决定于矿床金品位和矿床类型，两个因素兼而有之，如鸡笼山矿和龙山矿金品位高（分别为 4.565×10^{-5} 和 2.112×10^{-5}），但德兴铜厂矿金品位低（Au1.8×10^{-7}），但方铅矿含 Au2.370×10^{-5}。另一特殊现象是：含金高的方铅矿不存在于单一铅锌矿床中，而分布于铜矿床（如铜厂、鸡笼山）、金锑矿床（如龙山矿）和铜铅锌矿床（如小铁山矿）中。其原因可能与成矿溶液本身含金量高低有关。

②闪锌矿的含金性：与方铅矿相比，闪锌矿的含金较低，起伏亦较小。高者如鸡笼山

矿，闪锌矿含 Au6.08×10^{-6}，低者如云南老厂矿，闪锌矿含 Au3×10^{-8}，平均含 Au1.14×10^{-6}（22 个矿床，32 个样）。大体而言，闪锌矿的含金性高低主要决定于矿床金品位。它亦同方铅矿一样，铜和含铜矿床中闪锌矿含金较高，而单一的铅锌矿床含金较低。

4. 其他硫化物的含金性

其他硫化物中，镍黄铁矿含金不高，平均 Au1.3×10^{-7}（2 个矿床，4 个样）；辉钼矿含金不高，平均 Au9.0×10^{-7}（4 个矿床）；辉铋矿含金亦不高，平均含 Au9.7×10^{-7}（2 个矿床）。但辉锑矿情况特殊，在沉积变质型 Au—Sb—As 和 Au—Sb—W 矿床中辉锑矿含金很高，高者如湘西沃溪矿中辉锑矿含 Au8.077×10^{-4}，平均含 Au3.249×10^{-4}（3 个矿床，9 个样）。而其他类型矿床如金堆城矿、锡矿山矿的辉钼矿均不含金，这是一个矿床类型对含金性起决定作用的最典型实例。

5. 其他金属矿物的含金性

①磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿的含金性：在这些矿物中，磁铁矿含金不高，高者如拉拉矿磁铁矿含 Au4.2×10^{-7}，低者如寿王坟矿磁铁矿含金 1.6×10^{-8}，平均含 Au1.45×10^{-7}，（16 个矿床，51 个样）；赤铁矿含金不高，高者如长山头铁帽矿中赤铁矿含 Au5.2×10^{-7}，低者如铜录山矿 9×10^{-8}，平均含 Au2.3×10^{-7}（5 个矿，9 个样）；菱铁矿的含金量变化很大，高者如铜井矿中菱铁矿含 Au2.18×10^{-6}，低者如铁山矿中菱铁矿含 Au5×10^{-8}，平均含 Au1.12×10^{-6}（2 个矿）；褐铁矿的含金性比较复杂，高者如铜录山氧化矿中褐铁矿含 Au2.39×10^{-6}，低者如东乡矿中褐铁矿含 Au5.2×10^{-7}，平均含 Au1.40×10^{-6}（3 个矿，32 个样）。我们曾系统研究过长山头铁帽矿中褐铁矿的含金性，发现不同结构的褐铁矿含金性变化很大：土状褐铁矿（含 Fe50%）含 Au5×10^{-8}—1.00×10^{-5}，平均 2.15×10^{-6}（15 个样）；蜂窝状褐铁矿（含 Fe54%）含金 2.8×10^{-8}—1.12×10^{-6}，平均 6.3×10^{-7}（15 个样）；块状褐铁矿含 Au4×10^{-8}—1.5×10^{-7}，平均 1.6×10^{-7}，（9 个样）；结晶程度最好的针铁矿含 Au9.3×10^{-8}。总之，褐铁矿的含金性高低与结晶程度成反比，也就是说，氢氧化铁胶体在沉淀过程中吸附了较多的金，但在晶化过程中部分金被析出，部分金仍保留其中，但被归并，由分散金变成显微自然金。曾在镜下发现，没有找到自然金的含金（10^{-4}）黄铁矿，经氧化成褐铁矿（具有黄铁矿假象，中心残留有黄铁矿）后，却发现有较多自然金。证明在氧化过程中金曾发生过活化—归并作用。

②孔雀石、白钨矿的含金性：含金白钨矿，仅在沉积变质型湘西沃溪矿、斑岩型莲花山矿存在。前者白钨矿含 Au6.89×10^{-6}，后者白钨矿含 Au3.23×10^{-6}，平均 5.06×10^{-6}。其他类型矿床如瑶岗仙白钨矿，柿竹园矿中白钨矿均无金；孔雀石中金很低，如铜录山氧化矿中孔雀石含 Au6×10^{-8}（6 个样），大姚铜矿中孔雀石无金。这一情况证明，原生硫化矿床的 Au—Cu 共生，在表生作用时使 Au—Cu 分离。

6. 脉石矿物的含金性

①矽卡岩矿物的含金性：石榴石、方柱石、蛇纹石、透辉石的含金量均不高，Au3×10^{-8}—2.4×10^{-7}，平均 7.0×10^{-8}（6 个矿床，11 个样）。另有硅灰石、方柱石含金较高，前者为 Au6.1×10^{-7}（丰山矿），后者为 Au4.9×10^{-7}（狮子山矿）。

②其他硅酸盐矿物的含金性：橄榄石含 Au1.0×10^{-7}、透闪石含 Au3.0×10^{-7}、铬尖晶石含 Au9×10^{-8}（均为金川矿）；云母含 Au1×10^{-8}—2.6×10^{-7}，平均含 Au1.3×10^{-7}（6 个矿床，7 个样）。

表 6—14　各矿床中载体矿物含金量表

矿物	矿床类型	矿床名称		含金量 (10^{-6})
黄铜矿	岩浆岩型	金川		0.90
	岩浆岩型	喀拉通克		3.94(8)
	矽卡岩型	铁山		2.95(4)
	矽卡岩型	贵池铜山矿		3.23(12)
	矽卡岩型	铜录山	氧化矿	4.17
	矽卡岩型	铜录山	原生矿	5.36(19)
	矽卡岩型	铜山口		0.66(12)
	矽卡岩型	麻姑山		1.17
	矽卡岩型	大冶铜山		3.79
	矽卡岩型	寿王坟		2.34
	矽卡岩型	凤凰山		4.09
	矽卡岩型	城门山		2.66
	矽卡岩型	狮子山		3.68(2)
	矽卡岩型	九华山		3.00(5)
	矽卡岩型	琅琊山		1.25
	矽卡岩型	鸡笼山		12.70
	矽卡岩型	丰山		3.90
	矽卡岩型	武山		0.07
	矽卡岩型	赵家湾矿		24.16
	斑岩型	富家坞		1.90
	斑岩型	铜厂		7.91(16)
	斑岩型	小西南岔		25.00
	斑岩型	多宝山		0.38
	岩浆热液型	棉土窝		0.035(2)
	岩浆热液型	新桥		1.90
	岩浆热液型	铜井		11.00
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山		18.80(2)
	岩浆热液型	大宝山		0.90
	岩浆热液型	七宝山		0.65(2)

矿物	矿床类型	矿床名称	含金量 (10^{-6})
黄铜矿	岩浆热液型	八家子	5.75
	岩浆热液型	东坡	0.06
	岩浆热液型	德保	0.27
	岩浆热液型	东乡	0.24
	海相火山岩型	小铁山	3.37
	海相火山岩型	白乃庙	4.62
	海相火山岩型	西裘	5.63
	海相火山岩型	老厂	2.18(2)
	陆相火山岩型	银山	7.64(2)
	沉积(火山)变质型	地虎	1.64
	沉积(火山)变质型	拉拉	2.23
	沉积(火山)变质型	篦子沟	0.67(15)
	沉积(火山)变质型	红透山	1.57(3)
	沉积(火山)变质型	铁砂街	0.85
	沉积(火山)变质型	东川落雪	0.55
	平均		3.90(131)
斑铜矿	矽卡岩型	大冶铜山	2.60
	矽卡岩型	凤凰山	1.45
	矽卡岩型	琅琊山	16.30
	矽卡岩型	赵家湾	52.35
	矽卡岩型	东乡	1.09
	岩浆热液型	赵家湾	52.35
	斑岩型	多宝山	2.38
	沉积(火山)变质型	东川落雪	0.67
	平均		13.35(12)
辉铜矿	矽卡岩型	赵家湾	37.40
	矽卡岩型	大冶铜山	3.60
	平均		20.00(2)

续表

矿物	矿床类型	矿床名称		含金量 (10^{-6})
黝铜矿	陆相火山岩型	银山		23.45
	沉积(火山)变质型	地虎		41.69
	平均			32.57(2)
砷黝铜矿	陆相火山岩型	银山		20.50
	斑岩型	铜厂		44.70
	平均			32.60(2)
硫砷铜矿	陆相火山岩型	银山		9.00
黄铁矿	岩浆岩型	金川		0.90
	矽卡岩型	铁山		0.47(4)
	矽卡岩型	贵池铜山		4.17(9)
	矽卡岩型	铜录山	氧化矿	13.68
	矽卡岩型		原生矿	8.60(9)
	矽卡岩型	铜山口		0.16(3)
	矽卡岩型	麻姑山		0.79
	矽卡岩型	寿王坟		8.28
	矽卡岩型	凤凰山		0.65
	矽卡岩型	城门山		0.24
	矽卡岩型	狮子山		13.62(2)
	矽卡岩型	九华山		13.00(4)
	矽卡岩型	琅琊山		0.69
	矽卡岩型	鸡笼山		40.90
	矽卡岩型	丰山		1.15(36)
	矽卡岩型	武山		0.09
	斑岩型	富家坞		0.29
	斑岩型	铜厂		1.92(6)
	斑岩型	莲花山		5.17
	斑岩型	小西南岔		219
	斑岩型	多宝山		1.13
	斑岩型	棉土窝		0.083(2)

矿物	矿床类型	矿床名称	含金量 (10^{-6})
黄铁矿	岩浆热液型	新桥	0.18
	岩浆热液型	铜井	21.72
	岩浆热液型	内村	8.45
	岩浆热液型	天娥抱蛋山	1.81(39)
	岩浆热液型	大宝山	1.42
	岩浆热液型	七宝山	0.65(2)
	岩浆热液型	东乡	0.20
	岩浆热液型	八家子	0.23
	岩浆热液型	宝山	1.94
	岩浆热液型	水口山	1.84(2)
	岩浆热液型	东坡	0.49
	岩浆热液型	德保	2.10
	海相火山岩型	西裘	0.66
	海相火山岩型	小铁山	3.74
	海相火山岩型	锡铁山	1.67
	海相火山岩型	白乃庙	16.41
	海相火山岩型	拉拉	3.25
	陆相火山岩型	银山	4.75
	沉积(火山)变质型	沃溪	60.40
	沉积(火山)变质型	龙王江	29.9(5)
	沉积(火山)变质型	篦子沟	3.61(3)
	沉积(火山)变质型	红透山	0.13(5)
	沉积(火山)变质型	铁砂街	0.67
	沉积(火山)变质型	乐华	35.42
	沉积(火山)变质型	龙山	113.90
	沉积改造型	栖霞山	1.58
	沉积改造型	石景冲	4.80(2)
	平均		13.41(166)
白铁矿	岩浆岩型	金川	0.10
	矽卡岩型	狮子山	0.06
	平均		0.08(2)

续表

矿物	矿床类型	矿床名称	含金量 (10^{-6})
磁黄铁矿	岩浆岩型	金川	0.15
	岩浆岩型	喀拉通克	0.05(5)
	矽卡岩型	铜山口	0.05
	矽卡岩型	城门山	1.51
	矽卡岩型	狮子山	2.05(2)
	矽卡岩型	鸡笼山	0.10
	矽卡岩型	丰山	0.41(2)
	矽卡岩型	武山	0.003
	斑岩型	莲花山	0.26
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山	2.84(31)
	岩浆热液型	东坡	0.05
	沉积(火山)变质型	篦子沟	0.63(2)
	沉积(火山)变质型	红透山	0.02(5)
	平均		0.63(57)
胶黄铁矿	斑岩型	小西南岔	31
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山	0.27(3)
	平均		7.95(4)
毒砂	矽卡岩型	狮子山	72.70
	斑岩型	莲花山	50.70
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山	29.25(11)
	岩浆热液型	大宝山	15.60
	岩浆热液型	德保	10.34
	沉积(火山)变质型	龙王江	161.95(18)
	沉积(火山)变质型	龙山	320.20
	沉积(火山)变质型	铁砂街	26.98
	沉积(火山)变质型	沃溪	211(2)
	沉积改造型	石景冲	6.40(2)
	平均		90.51(39)
方铅矿	矽卡岩型	麻姑山	2.10
	矽卡岩型	城门山	1.00
	矽卡岩型	鸡笼山	45.65
	斑岩型	铜厂	23.70
	岩浆热液型	丙村	2.35
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山	0.17(3)
	岩浆热液型	大宝山	0.48
	岩浆热液型	七宝山	0.12
	岩浆热液型	八家子	3.89
	岩浆热液型	宝山	0.23
	岩浆热液型	水口山	0.09(2)
	岩浆热液型	东坡	0.05
方铅矿	海相火山岩型	小铁山	39.70
	海相火山岩型	锡铁山	0.41
	海相火山岩型	老厂	0.06
	陆相火山岩型	银山	0.65(2)
	沉积(火山)变质型	地虎	0.36
	沉积(火山)变质型	铁砂街	0.86
	沉积(火山)变质型	乐华	7.77
	沉积(火山)变质型	龙山	21.12
	沉积改造型	栖霞山	0.30
	平均		7.19(25)
闪锌矿	矽卡岩型	麻姑山	0.22
	矽卡岩型	城门山	0.50
	矽卡岩型	狮子山	0.17
	矽卡岩型	九华山	1.00(5)
	矽卡岩型	鸡笼山	6.08
	岩浆热液型	丙村	0.75
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山	0.87(5)
	岩浆热液型	大宝山	1.26
	岩浆热液型	七宝山	0.32(2)
	岩浆热液型	宝山	0.12
	岩浆热液型	水口山	0.14(2)
	岩浆热液型	东坡	0.25
	海相火山岩型	锡铁山	0.32
	海相火山岩型	西裘	0.74
	海相火山岩型	小铁山	0.28
	海相火山岩型	老厂	0.03
	陆相火山岩型	银山	1.15(2)
	沉积(火山)变质型	地虎	0.91
	沉积(火山)变质型	红透山	0.06(2)
	沉积(火山)变质型	铁砂街	0.39

续表

矿物	矿床类型	矿床名称		含金量 (10^{-6})
闪锌矿	沉积(火山)变质型	乐华		8.88
	沉积改造型	栖霞山		0.60
	平均			1.14(32)
镍黄铁矿	岩浆岩型	金川		0.17
	岩浆岩型	喀拉通克		0.093
	平均			0.134
辉铜矿	矽卡岩型	城门山		0.75
	斑岩型	铜厂		0.63
	斑岩型	多宝山		1.55
	斑岩型	棉土窝		0.68
	平均			0.90(4)
辉锑矿	沉积(火山)变质型	沃溪		80.77(3)
	沉积(火山)变质型	龙王江		1.90(5)
	沉积(火山)变质型	龙山		14.80
	平均			32.49(9)
辉铋矿	斑岩型	棉土窝		1.42
	岩浆热液型	七宝山		0.52
	平均			0.97(2)
雌雄黄	矽卡岩型	丰山		2.00
磁铁矿	矽卡岩型	贵池铜山		0.02(10)
	矽卡岩型	铜录山	氧化矿	0.32(3)
	矽卡岩型	铜录山	原生矿	0.34(17)
	矽卡岩型	铜山口		0.024
	矽卡岩型	大冶铜山		0.15
	矽卡岩型	寿王坟		0.016
	矽卡岩型	凤凰山		0.25
	矽卡岩型	城门山		0.10
	矽卡岩型	九华山		0.02(2)
	矽卡岩型	琅琊山		0.06

矿物	矿床类型	矿床名称		含金量 (10^{-6})
磁铁矿	矽卡岩型	丰山		0.07(8)
	岩浆热液型	新桥		0.18
	岩浆热液型	八家子		0.08
	岩浆热液型	东坡		0.21
	岩浆热液型	德保		0.12
	海相火山岩型	拉拉		0.42
	平均			0.145(51)
赤铁矿	矽卡岩型	铁山		0.12
	矽卡岩型	铜录山	氧化矿	0.33(3)
	矽卡岩型	铜录山	原生矿	0.09(2)
	矽卡岩型	凤凰山		0.24
	斑岩型	铜厂		0.11
	铁帽型	长山头		0.52
	平均			0.23(9)
褐铁矿	矽卡岩型	铜录山氧化矿		2.39
	岩浆热液型	东乡		0.52
	铁帽型	长山头		1.30(30)
	平均			1.40(32)
菱铁矿	矽卡岩型	铁山		0.05
	岩浆热液型	铜井		2.18
	平均			1.12(2)
孔雀石	矽卡岩型	铜录山氧化矿		0.06(4)
白钨矿	斑岩型	莲花山		3.23
	沉积(火山)变质型	沃溪		6.89
	平均			3.06(2)
石榴子石	矽卡岩型	铜录山氧化矿		0.03
	矽卡岩型	铜山口		0.025
	矽卡岩型	麻姑山		0.24
	矽卡岩型	丰山		0.06(6)
	平均			0.09(9)

续表

矿物	矿床类型	矿床名称	含金量 (10^{-6})
方柱石	矽卡岩型	狮子山	0.49
蛇纹石	矽卡岩型	寿王坟	0.026
硅灰石	矽卡岩型	丰山	0.61
透辉石	矽卡岩型	丰山	0.04(3)
橄榄石	岩浆岩型	金川	0.10
透闪石	岩浆岩型	金川	0.30
锆尖晶石	岩浆岩型	金川	0.09
云母	矽卡岩型	寿王坟	0.11
	斑岩型	莲花山	0.26
	斑岩型	铜厂	0.11
	沉积(火山)变质型	地虎	0.26
	沉积(火山)变质型	篦子沟	0.02(2)
	沉积(火山)变质型	红透山	0.01
	平	均	0.13(7)
方解石	矽卡岩型	贵池铜山	0.002
	矽卡岩型	铜录山原生矿	0.46(2)
	矽卡岩型	琅琊山	0.10
	斑岩型	铜厂	0.17
	岩浆热液型	天鹅抱蛋山	0.043(5)
	沉积(火山)变质型	沃溪	0.42
	沉积(火山)变质型	篦子沟	0.08(4)
	平	均	0.18(15)
蛋白石	铁帽型	铜录山氧化矿	0.96(3)
叶蜡石	沉积(火山)变质型	沃溪	0.33
伊利石	沉积(火山)变质型	沃溪	8.34
石英	矽卡岩型	铜录山原生矿	1.07(2)
	矽卡岩型	铜山口	0.035
石英	矽卡岩型	琅琊山	0.07
	斑岩型	铜厂	0.11
	斑岩型	莲花山	0.18
	岩浆热液型	钼井	3.82
	陆相火山岩型	银山	0.01
	平	均	0.76(8)
绿泥石	沉积(火山)变质型	沃溪	1.55
	沉积(火山)变质型	地虎	0.35
	平	均	0.95(3)
滑石	铁帽型	长山头	0.62
水云母	铁帽型	长山头	0.10(2)
碳质物	沉积改造型	栖霞山	3.12
脉石	矽卡岩型	鸡笼山	0.10
	矽卡岩型	武山	0.036
	岩浆热液型	八家子	0.034
	岩浆热液型	宝山	0.047
	岩浆热液型	水口山	0.17(2)
	岩浆热液型	东坡	0.04
	岩浆热液型	德保	0.08
	海相火山岩型	拉拉厂	0.02
	海相火山岩型	小铁山	0.03
	海相火山岩型	锡铁山	0.02
	海相火山岩型	白乃庙	0.08
	沉积(火山)变质型	篦子沟	0.044
	沉积(火山)变质型	红透山	0.03
	沉积改造型	栖霞	0.07
	平	均	0.057(15)

③方解石含金性：除少数矿床外，方解石含金不高，一般在 Au2×10^{-9}—1.7×10^{-7}范围，平均含 Au1.8×10^{-7}（7 个矿，15 个样）。方解石含金性高低与矿床的金品位有关，如铜录山矿中方解石含金 4.6×10^{-7}，湘西沃溪矿中方解石含 Au4.2×10^{-7}；也与方解石形成世代有关，形成于中低温与金主要成矿阶段同时的方解石含金性高，形成于成矿末期或期后的脉状方解石含金甚低或不含金，如天鹅抱蛋山矿中前一类方解石含 Au1.5×10^{-7}，后一类方解石含 Au1.4×10^{-9}（2 个样）。

④石英、蛋白石的含金性：石英的含金性高低相差较大，高者如铜井矿中石英含 Au3.82×10^{-6}，低者如银山矿中石英含 Au1×10^{-8}，平均含 Au7.6×10^{-7}（7 个矿，8 个样）。大体而言，石英含金量高低与矿床的金品位有关。蛋白石含金大致同石英的水平。

⑤蚀变矿物的含金性：蚀变矿物的含金量差别很大，湘西沃溪矿的伊利石含 Au8.34×10^{-5}，栖霞山矿的碳质物含 Au3.12×10^{-6}，绿泥石含 Au9.5×10^{-7}（2 个矿，3 个样），长山头矿滑石含 Au6.2×10^{-7}，湘西沃溪矿叶腊石含 Au3.3×10^{-7}，长山头矿水云母含 Au1.0×10^{-7}。大体而言，这些矿物含金高低与矿床金品位有关。

⑥脉石总体含金性：从金回收工艺的需要而言，脉石矿物的总体含金性远比单个脉石矿物的含金性重要。总的来说无论何种类型矿床，脉石总体含金性较低，起伏也不大，大致在 Aun×10^{-8}范围。据 14 个矿床 15 个样平均含 Au5.7×10^{-8}。

第八节　伴生金矿床中自然金嵌布特征

1. 自然金在矿石中嵌布形式的分类

嵌布状态是指自然金在矿石中的存在方式、存在位置及其与其他矿物颗粒的关系，一般可分三类：

①裂隙金：自然金沿显微裂隙成微脉状分布，一般成单一自然金微脉、自然金－石英微脉、自然金－硫盐－方解石微脉、自然金－方解石微脉等。微脉宽 n－100μm，连续性差；

②粒间金：自然金位于其他矿物的颗粒间，既可以是同种矿物粒间，也可以是异种矿物粒间。以上两种金多为充填交代产物，形成时间多较周围矿物为晚。粒度粗细变化很大，一般较粗；

③包裹金：自然金产于其他矿物中，其成因多为出熔体，或由分散金归并聚集而成，粒度一般较细。

2. 三类嵌布关系在各伴生金矿床中的分布特征（图版 2—32）。

各类矿床中的裂隙金、粒间金、包裹金的占有率变化很大，为了使测定数据具有一定代表性，需要对大量光片中自然金逐粒进行统计，图 6—6 中所列的 15 个矿床的嵌布关系直方图是根据 1500 片以上光片统计结果而得。总的来说，伴生金矿床中自然金的嵌布关系具有以下特征：

①金品位高，裂隙金多。从图 5—5 中明显可见，金品位较高的矿床如长山头矿、天鹅抱蛋山矿、铜录山矿的金品位为 6.0×10^{-6}—1.1×10^{-6}，其裂隙金占有率为 73%—45%；而安微铜山矿、丰山矿、大冶铁铜矿的金品位为 2.7×10^{-7}—5×10^{-7}，其裂隙金占有率则为 40%—50%。

②矿化期次复杂，裂隙金多：矿化期次复杂意味着金经历了几次活化—富集作用或归并作用（图版 2—24），金的粒度由细变粗，裂隙金由少变多，如铜录山矿存在五个矿化阶

段：矽卡岩阶段、高温氧化物—磁铁矿阶段（铁矿化）、高中温石英—黄铁矿阶段（弱金矿化）、中温的自然金—黄铜矿阶段（强金矿化）、中低温的自然金—方解石阶段（强金矿化）；湖北鸡笼山矿至少经历了四个矿化阶段：磁铁矿—矽卡岩阶段，自然金—黄铜矿阶段，自然金—石英阶段，自然金—雄（雌）黄阶段。故裂隙金占有率比其他矿为高，而两者之中鸡笼山矿更高。以铜录山矿而言，其氧化矿叠加了表生氧化阶段，其裂隙金占有率又比硫化矿高（图6—6）。

③中低温矿化为主的矿床裂隙金多。如天鹅抱蛋山矿为一中温矿床，其裂隙金占有率高于矽卡岩型铜录山矿。

④三类嵌布形式自然金的粒度特点：自然金的三类嵌布形式在粒度分布上有明显差别，裂隙金粒度粗，粒间金次之，包裹金最细。以粒间金而言，金属矿物和脉石矿物间的粒间金较粗，异种硫化物（如黄铜矿和黄铁矿）间的粒间金次之，同种矿物间的粒间金较细；对包裹金而言，黄铜矿、斑铜矿中包裹金较粗，黄铁矿中较细。图6—7列示一些主要类型的

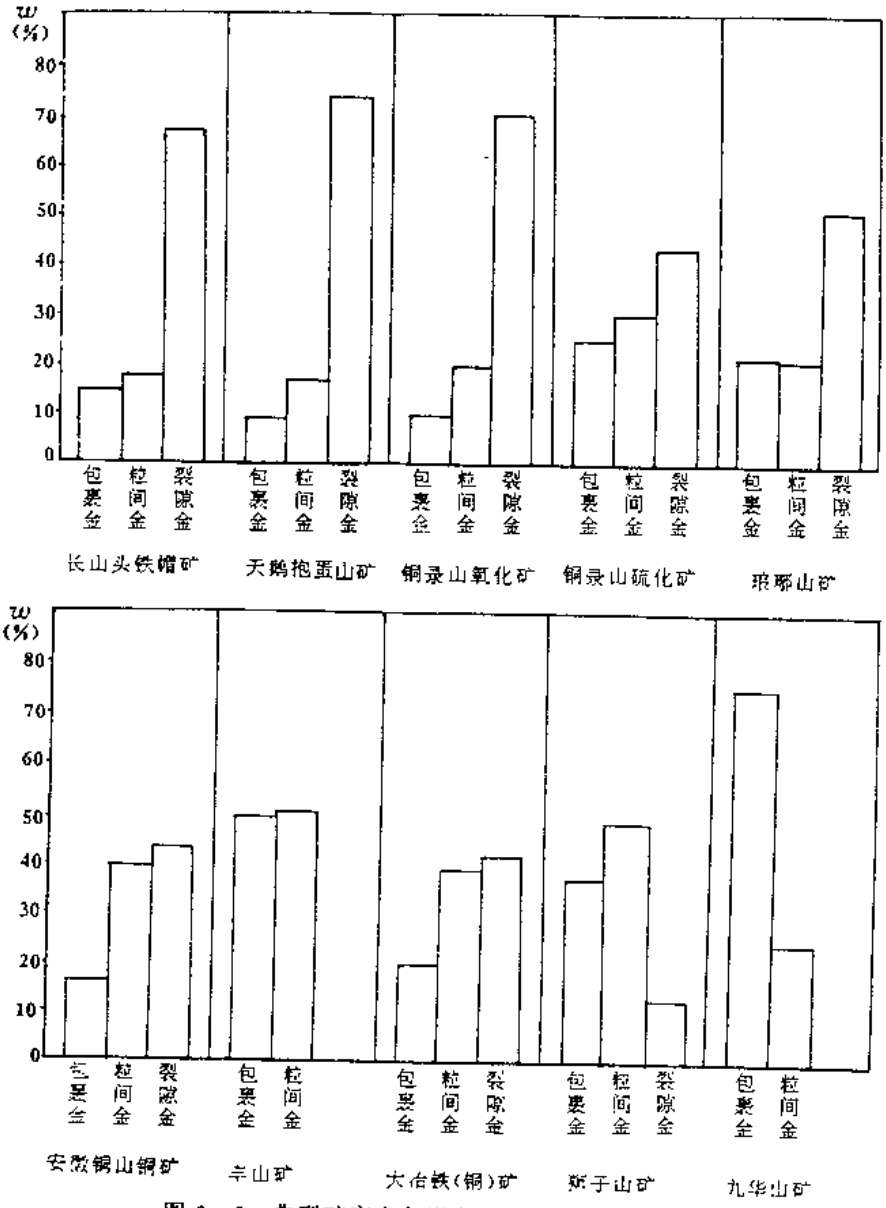


图 6—6　典型矿床中各嵌布形式分布直方图（1）

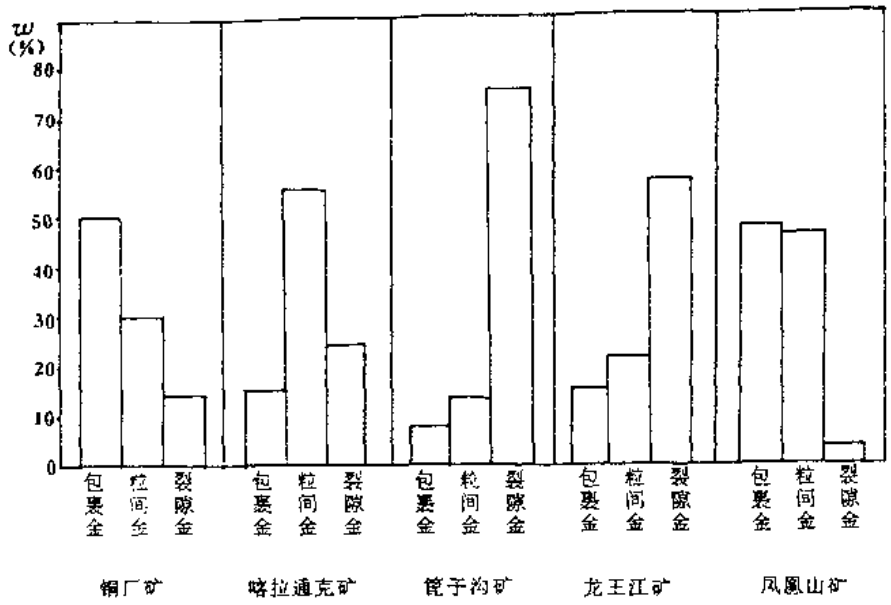


图 6—6　典型矿床中各嵌布形式分布直方图（2）

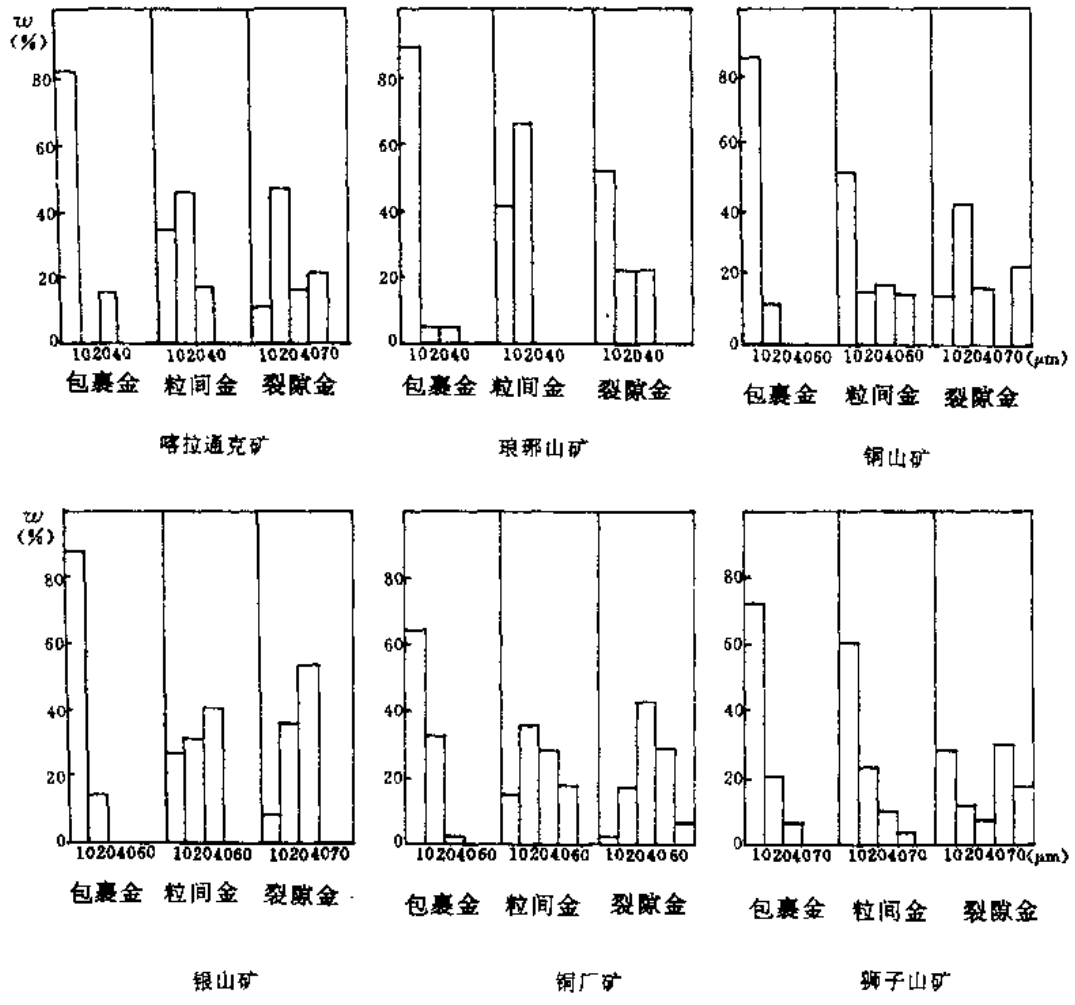


图 6—7　典型矿床中各嵌布形式粒度分布直方图

典型矿床中三类嵌布形式自然金的粒度分布频率。一般而言，包裹金分布频率最高者是1—10μm，粒间金分布频率最高者是10—20μm，少数为1—10μm或20—40μm，裂隙金分布频率最高者变化多端，10—70μm均有分布，但总体而言，较前两者为粗。

⑤以金的载体矿物而言，毒砂中一般无裂隙金和粒间金，少见包裹金，主要是分散金，如龙王江矿、天鹅抱蛋山矿；黄铁矿中多数为分散金和包裹金，粒间金较少，裂隙金更少，如天鹅抱蛋山矿、丰山矿、篦子沟矿、贵池铜山矿；磁黄铁矿中除包裹金和粒间金外，大量出现裂隙金，如天鹅抱蛋山矿、银山矿；黄铜矿中包裹金很少，以粒间金、裂隙金为主，如铜录山矿、丰山矿、鸡笼山矿；斑铜矿中则以裂隙金为主，粒间金次之，包裹金很少，如丰山矿、鸡笼山矿；方铅矿、闪锌矿中主要是粒间金、包裹金，不见裂隙金，如广东丙村矿、江西乐华矿、大冶铁山矿；褐铁矿中主要是裂隙金、粒间金，如长头山矿、铜录山氧化矿、湖南七宝山矿；磁铁矿中主要是裂隙金如铜录山矿、大冶铁山矿；石英、方解石中几乎全是粒间金。

第九节　伴生金矿床中金的配分

（一）金的配分定义和配分方法

金的配分也称“金的分配”或“金的平衡配分”。意即金在矿石各组分（矿物）中的分配率。金的配分测定步骤：①测定矿石中各矿物的百分含量；②测定矿石中各单矿物的平均含金量，然后通过简单计算即可求得矿石各组分的金配分率和平衡系数。后者的意义是：通过配分计算的矿石金品位和矿石实际金品位之比，用以检验配分的准确程度。现将计算方法举例说明如下。

一般而言，金的配分计算有两个系统：一是列出裸露金，称金的工艺配分；一是不列裸露金，称金的地质配分。前者是指经破碎磨矿后矿石各组分中金的配分状况（因为只有在破碎磨矿后才产生裸露金）（表6—15）；后者是指在地质体—矿体各组分中金的原始配分状况（表6—16，图6—6）。两者的测定方法也有差别，前者需在特定磨矿粒度（一般采用选厂的磨矿粒度）下分选单矿物；后者则在通过小于2mm老虎口破碎后分选单矿物（此时

表6—15　琅琊山矿金的平衡配分表

矿物名称	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	配分率（%）	金理想回收率 %
裸露金			0.40	55.50	92.18
黄铜矿	7.5	1.25	0.09375	13.01	
斑铜矿	1.0	16.3	0.16300	22.62	
黄铁矿	1.1	0.69	0.00759	1.05	
磁铁矿	23.2	0.055	0.01276	1.77	
脉石矿物	67.1	0.065	0.04361	6.05	
合　计	99.9		0.72071	100.00	

平衡系数 $K=\frac{0.72072}{0.58}\times100\%=124.26\%$

注：磁铁矿项中包括赤铁矿。

金一般尚无单体)。另外，前者需用化学物相分析先测定裸露金数量。两种配分方法的用途不同，列出“裸露金”系统对选矿有指导意义；不列“裸露金”系统则对地质上有指导意义。所以在实际应用时可根据需要而选定一种。

(二) 金的配分和金的理想回收率

矿石中金的配分结果可用以计算金的理想回收率。一般对其他金属理想回收率的计算需考虑两个方面：一是回收对象在入选磨矿细度下的单体分离度，一是该金属在矿石中的赋存状态。相对而言，前者是主要的。如计算铜矿中铜理想回收率时，对原生矿而言，全部铜矿物均是回收对象，因此不必考虑铜的赋存状态，只考虑铜的单体解离度即可；但对于氧化矿，则不但要考虑单体解离度，而且必需考虑铜的赋存状态；又如计算矽卡岩型铁矿的铁理想回收率时，除主要考虑铁矿物的单体解离度外，尚需考虑脉石中铁的配分率。但对伴生金来说，问题更复杂。由于金品位低、粒度细，其单体解离度远较主金属差，故选金工艺必须以选裸露金和载金矿物并重。所以，计算伴生金矿床的金理想回收率时必需考虑：裸露金的配分、载体矿物中金的配分——它包括进入金计价产品组分的（如铜矿物、铅矿物等）金的配分和进入金不计价产品组分的（如硫铁矿、闪锌矿等）金的配分、进入脉石（硅酸盐、碳酸盐）的金的配分。总之，所谓伴生金的理想回收率就是：在理想状态下，全部计价回收对象（矿物）的金配分率之和，也即是假定全部金计价回收对象（矿物）进入精矿产品时的金回收率。对具体矿床来说，可分几种情况：

①生产单一铜精矿的铜矿床：矿石中其他硫化物含量低，均收入于铜精矿中，金的理想回收率就是该矿全部硫化物中金配分率之和。如琅琊山矿（表6—15）。

②生产铜精矿和硫精矿的铜矿床：矿石中硫铁矿含量较高，矿山生产两个精矿。因为硫精矿中金不计价，所以金理想回收率不应算入硫铁矿的金配分率，如辽宁红透山矿生产硫精矿和锌精矿，则黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿中金就损失了（表6—16）。

表6—16 红透山矿金的配分率计算结果表

矿物名称	矿物含量 (%)	金含量 (10^{-6})	金金属量 (10^{-6})	配分率 (%)	金理想回收率 %
黄铜矿	5	1.570	0.0785	64.61	64.61
黄铁矿	18	0.125	0.0225	18.52	
磁黄铁矿	36	0.019	0.0068	5.60	
闪锌矿	5.5	0.059	0.0032	2.63	
脉石矿物	35	0.039	0.0105	8.64	
合 计	99.5		0.1215	100.00	

平衡系数 $K=\frac{0.1215}{0.1400}\times100\%=86.79\%$

③铅锌矿床：铅锌矿床的情况比较复杂，铅精矿中金计价，锌精矿中金因需在炼锌残渣中回收，故目前暂不计价。对同时生产硫精矿的矿山，硫精矿中金也不计价。所以，金理想回收率不应算入闪锌矿和硫铁矿中金，如表6—17所列的宝山矿。一般而言，目前铅

表 6—17　湖南宝山铅锌银矿金的平衡配分

矿物名称	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	配分率（%）	金理想回收率（%）
裸露金	—		0.33	40.24	46.80
方铅矿	9.20	0.23	0.021	2.56	
闪锌矿	17.58	0.12	0.021	2.56	
黄铁矿	21.87	1.94	0.424	51.71	
脉 石	50.40	0.047	0.024	2.93	
合 计	99.05		0.82	100.00	

平衡系数 $K=\frac{0.82}{0.88}\times100\%=93.18\%$

锌矿床中金回收率均较低，与铜矿比较相差甚大，根本原因就在于金不计价的硫铁矿和闪锌矿中金的配分率的损失，唯一措施就在于冶炼矿渣中回收金，同时对这些产品中金适当计价，以提高矿山对回收金的积极性。

（三）各矿床类型的金配分特征

1. 岩浆岩型伴生金矿床的金配分特征

岩浆岩型矿床中金主要配分于硫化物中，如喀拉通克矿为 96.02%，金川矿为 89.76%。但黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿的配分却相差甚大，随矿床不同而不同。所以，它们的金理想回收率和实际回收率差别很大，在理想状态时，如金川矿金除 10.24%收率损失于尾矿外，尚有 25.41%损失于硫精矿中；而喀拉通克矿尾矿中损失为 3.98%，硫精矿中损失为 7.03%。这样，喀拉通克矿的金理想收率应高于金川矿。

2. 矽卡岩型矿床金的配分特征

矽卡岩型矿床中金的配分相当复杂，大体而言，可分两种情况，一是高硫矿床，特点是黄铁矿中金配分率相当高，有的甚至超过黄铜矿中金配分率，如丰山矿、安徽铜山矿、九华山矿（图 6—8）；二是低硫矿床，特点是黄铜矿、斑铜矿中金配分率最高，如铜录山原生矿、大冶铁山矿、琅琊山矿、狮子山矿。本类矿床的另一特点是脉石矿物中金配分率较低，矽卡岩矿物含金很低，如铜录山矿石榴石 Au3.2×10^{-8}，丰山矿石榴石 Au3.2×10^{-8}，所以它们的金配分率低。

3. 斑岩型矿床金的配分特征

斑岩矿床的典型是德兴铜厂矿，金的配分相当复杂，斑岩矿石和千枚岩矿石有一定差别，前者黄铜矿中金配分率为 36.5%，黄铁矿为 30.7%，脉石为 32.8%（两个样平均）；后者黄铜矿中金配分率为 53.0%，黄铁矿为 24.6%，脉石为 22.4%（四个样平均）。即使在同一类型矿石中也有差别，如中强蚀变斑岩矿石黄铜矿中金配分率为 44.9%，而中弱蚀变斑岩矿石为 28.6%；又如中弱蚀变千枚岩型矿石黄铜矿中金配分率为 46.4%，而中蚀变千枚岩为 55.4%。但总体而言，该矿金配分的特点是：①黄铜矿中金配分率大于黄铁矿，②与其他类型相比，黄铁矿和脉石中金配分率较高（图 6—8）。

4. 岩浆热液型矿床金的配分特征

岩浆热液型矿床的矿种较多，包括铅锌矿、铜矿、硫铁矿，故该类矿床金的配分也相

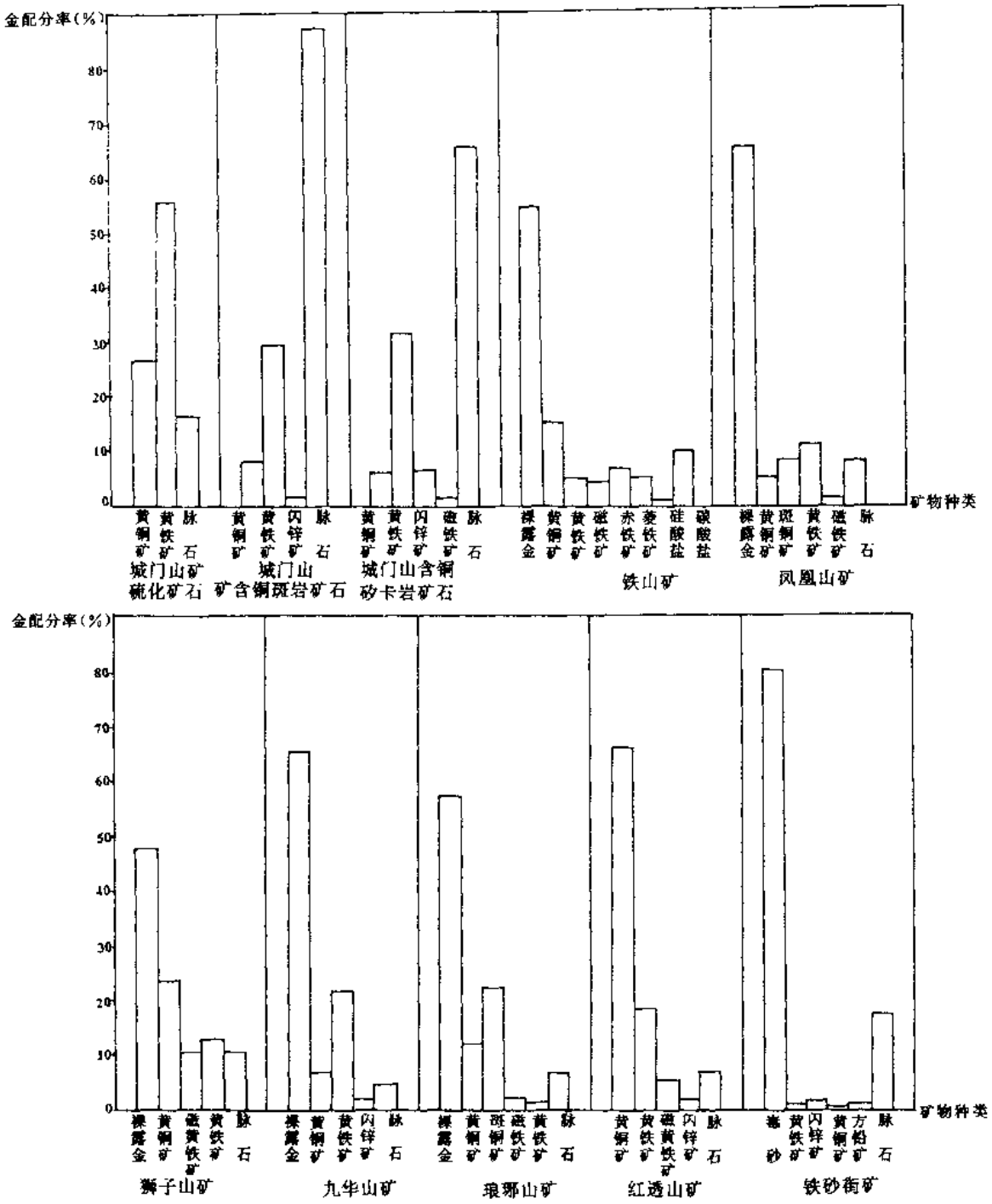


图 6—8　各类型矿床金的配分直方图（1）

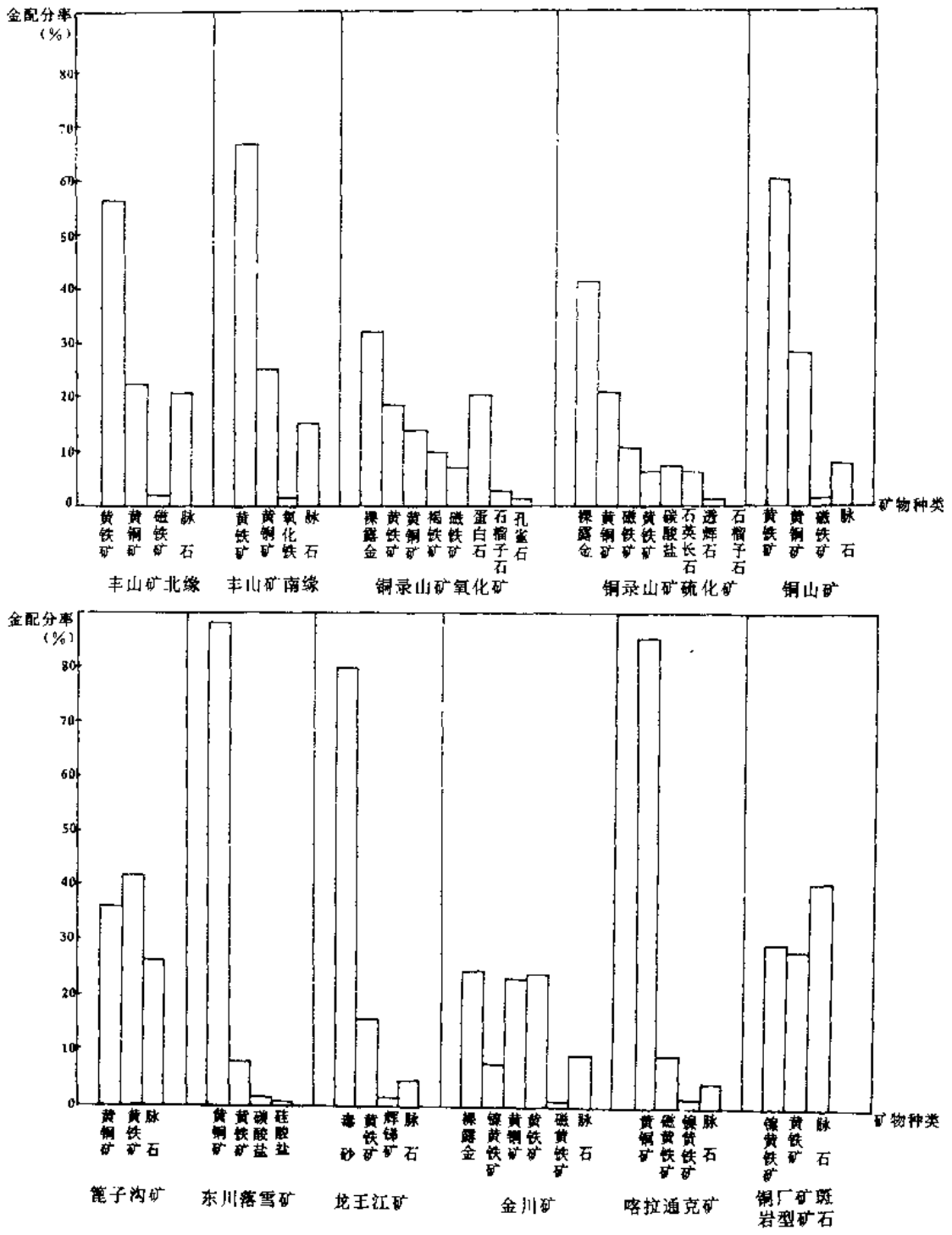
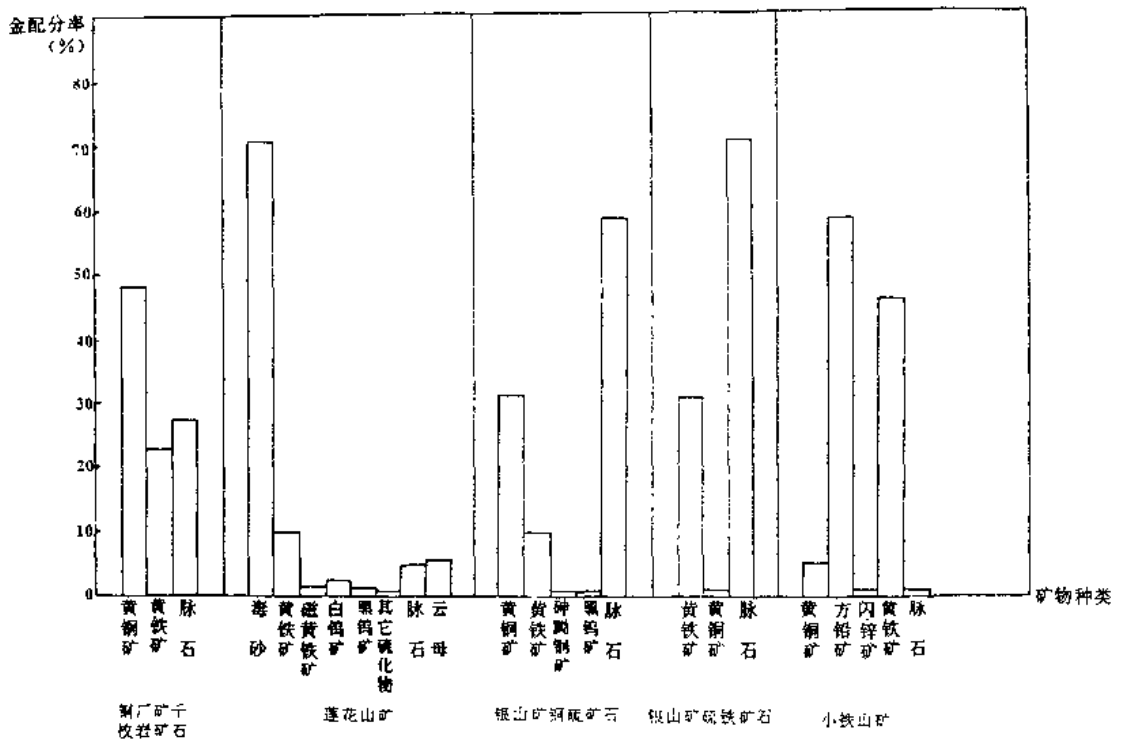


图 6—8　各类型矿床金的配分直方图（2）



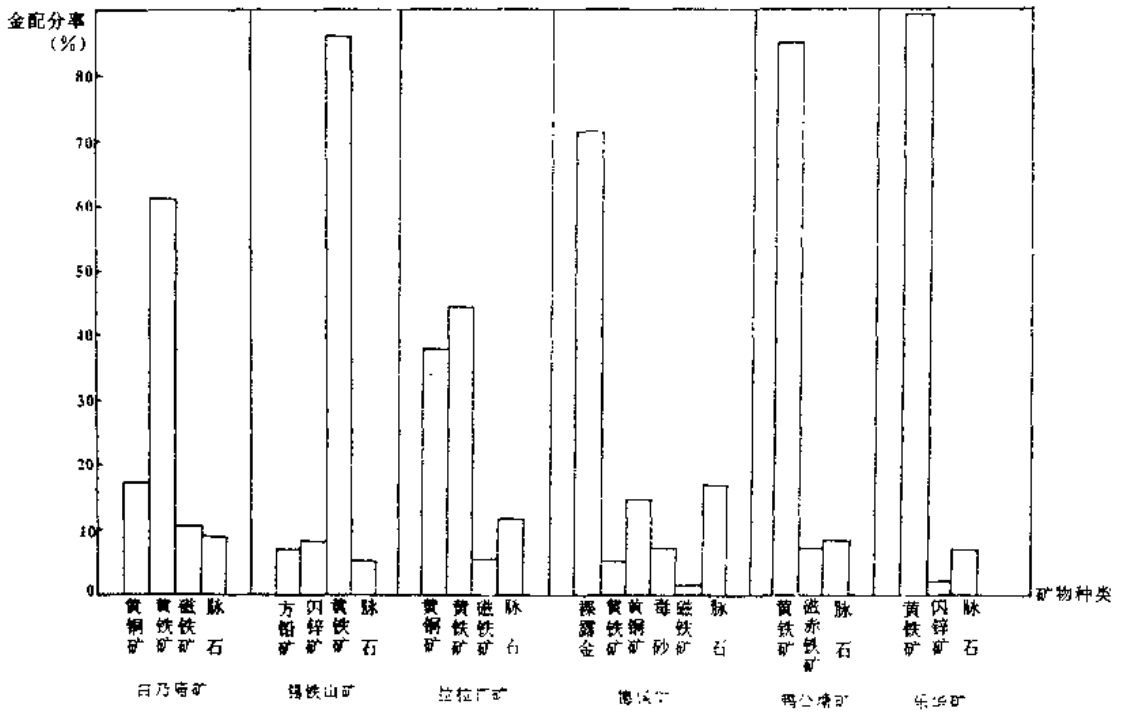


图 6—8　各类型矿床金的配分直方图（3）

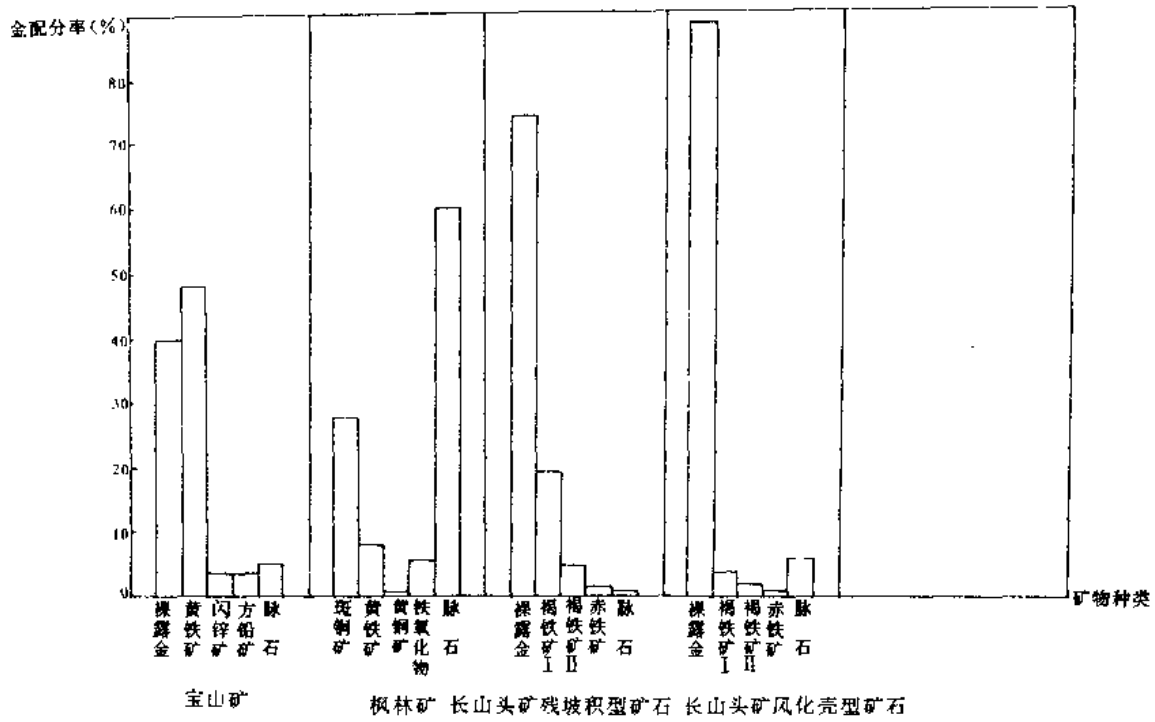


图 6－8　各类型矿床金的配分直方图（4）

当复杂：①对铜矿床而言，该类型矿床一般高硫，所以黄铁矿中金配分率相当高，如城门山块状硫化物矿体；②对铅锌矿床而言，金配分率最高者为黄铁矿，如水口山鸭公塘矿为83.4%，次之为方铅矿、闪锌矿；③对硫铁矿而言，磁黄铁矿、黄铁矿中金配分率最高，如存在毒砂（天鹅抱蛋山矿），则亦有较高的金配分率（图 6－8）。

5. 海相火山岩型和陆相火山岩型矿床金的配分特征

火山岩型矿床可分两类：铜矿床和铅锌矿床。两者的共同特点是黄铁矿中金配分率很高，这对于生产硫精矿的矿山来说，是金回收率不高的重要原因，如白乃庙铜矿黄铁矿中金配分率为 63.24%，锡铁山铅锌矿为 86.41%，小铁山铜铅锌矿为 36.06%，银山铅锌矿为 56.14%。对铅锌矿床来说，另一特点是方铅矿的金配分率变化很大，高者如小铁山矿为57.40%，低者如锡铁山矿为 4.85%，而闪锌矿的金配分率一般较低，如小铁山矿为 0.81%，锡铁山矿为 5.58%，银山矿为 17.54%（图 6－8）。

6. 沉积（火山）变质型矿床金的配分特征

本类矿床可分两个亚类，金的配分特征差别较大，火山变质型主要是铜矿床，金配分率以黄铜矿为最高，黄铁矿次之，如拉拉矿的黄铜矿为 36.18%，黄铁矿为 43.22%；篦子沟矿分别为 64.23%和 18.70%；红透山矿分别为 64.23%和 18.70%。例外者为江西铁砂街矿，金主要赋存于毒砂中，配分率高达 77.67%。另一亚类沉积变质型矿床目前仅指分布于江南台隆西段湘西成矿带之 Au－Sb－W 和 Au－Sb－As 矿床。前者金主要配分于石英、辉锑矿中，如湘西沃溪矿；后者金主要配分于毒砂中，如龙王江矿（图 6－8）。

（四）金配分计算中几个关键问题的探讨

伴生金矿床中金配分测定无论在理论上或生产上具有一定意义，但在实际测定过程中

却存在一定困难，这些困难从根本上影响了测定的精度，现分别予以讨论。

①因为金在载体矿物中以机械混入物的形式存在，金主要赋存形式仍是自然金，破碎细度不同，单体分离金的数量也就不同，载体矿物的含金量也随粒度磨细而降低。我们曾作过试验，同一矿石从不同粒级中分选出来的黄铜矿含金量差别很大，甚至可相差10倍（表6－18）。所以金配分测定应当限定磨矿细度，对配分中列出“裸露金”的工艺配分，应以矿山选厂入选粒度为标准，如德兴矿选厂磨矿粒度为－200目占60%，则单矿物亦应以此条件分选，单体解离度测定亦如之；对配分中不列“裸露金”的地质配分，问题比较复杂，因为分离单矿物必须在破碎后进行，前提是破碎不产生单体金。通过试验，建议以通过小老虎口（<2mm）为分选单矿物的标准。工艺配分中的裸露金主要来源于黄铜矿（德兴矿的黄铜矿在磨矿前后金配分率从44.9%降至5.2%）；部分来源于脉石矿物和其他硫化物。这一结论亦大致适用于其他矿床（表6－18）。

表6－18　德兴铜厂矿矿石磨矿前后金配分率变化

矿　物	矿物含量（%）	磨矿前①		磨矿后（－200目占60.6%）	
		金含量（10^{-6}）	金配分率(%)	金含量（10^{-6}）	金配分率(%)
黄铜矿	0.84	7.78	44.9	0.80	5.2
黄铁矿	4.63	1.10	35.0	0.77	27.6
裸露金②	—	0	0	—	48.9
脉石	94.53	0.0293	20.1	0.0623	18.3
合计	100.00		100.0		100.0
平衡系数 K		104%		92.3%	

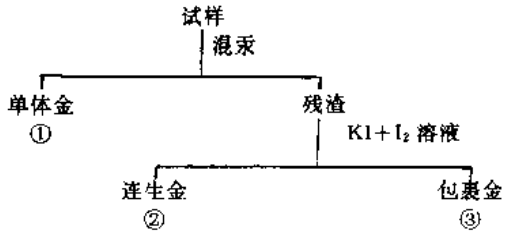
①通过老虎口，粒度控制在20—40目；②化学物相分析测定。

②单矿物中金测定的代表性问题：因为金无论在矿石中或载体矿物中分布极不均匀，如长山头矿褐铁矿含金最低0.52×10^{-6}，最高100×10^{-6}。故代表性问题至关重要。所以单矿物必须在平均试样中挑选或取10－20个单矿物样的平均值。

③配分率的准确度讨论：从配分的计算方法可知，配分的准确度决定于矿石中矿物含量和单矿物含金量测定的准确度，并以平衡系数K作为准确度的检验标准。对伴生金矿床来说，$K=80\%—120\%$即认为达到要求，如某矿金品位5×10^{-7}，配分的合计金品位（即金属量合计值）为4×10^{-7}或6×10^{-7}，即K值为80%或120%，可认为配分合乎要求。一般而言，矿石中矿物含量的测定是较准确的。所以，配分率的准确度主要决定于单矿物的分选纯度（主要是不混入单体自然金）和单矿物的代表性。

第十节　矿石中金的单体解离度测定

因为伴生金矿床中金的特殊性（含量低，粒度细），无法用通常的镜下测定方法。故一般常用化学物相分析方法，原则流程如下：



通常把①和②合称“裸露金”。单体解离度的测定一般以选厂入选粒度为准。

现将一些典型矿山的测定结果列于表 6－19。从表可知金的单体分离度决定于以下因素：

①在一定磨矿条件下金单体分离度高低决定于金的粒度大小，如篦子沟金的粒度大于红透山矿（图 6－5），其裸露金比率就前者高于后者。

②在一定磨矿条件下金单体分离度高低决定于三种嵌布形式（裂隙金、粒间金、包裹金）占有率，裂隙金、粒间金占有率高，单体分离度亦高，反之亦然。如琅琊山矿和狮子山矿（图 6－6）。

③矿石中金的单体分离度决定于矿物金和分散金的比率。因为后者无单体分离可言。如矿物金占有率大，则单体分离度就高。如天鹅抱蛋山矿分散金比例较高（占20.98%），裸

表 6－19　部分矿床的金解离度测定

矿床名称	金品位 (10^{-6})	裸露金 (%)	包裹金 (%)
凤凰山矿	0.41	55.81	44.19
东川落雪矿	0.08	58.33	41.67
九华山矿	0.35	68.39	31.61
琅琊山矿	0.58	55.50	44.50
德兴斑岩矿	0.14	45.70	54.30
德兴千枚岩矿	0.18	61.30	38.70
武山矿	0.27	53.16	46.84
东狮子山矿	1.15	43.45	46.55
西狮子山矿	0.30	50.00	50.00
丰山矿	0.13	52.80	47.20
大冶铁山矿	0.27	58.00	42.00
安徽铜山矿	0.38	51.39	48.61
篦子沟矿	0.28	68.35	31.65
红透山矿	0.14	31.52	68.48
栖霞山矿	0.75	31.88	68.12
宝山铅锌矿	0.88	40.24	59.76
水口山矿	1.00	57.22	48.78
乐华矿	—	39.60	60.40
天鹅抱蛋山矿	2.98	43.95	56.05

露金的占有率就相当低。

④一般而言，铜矿床的金单体解离度较高，而铅锌矿床和硫铁矿床的单体解离度则较低（表 6—19）。

在此必须说明：a. 用化学法测定金单体分离度在方法上尚存在不少缺陷，再加上微量金（$n\times10^{-8}$）测定迄今仍误差较大，所以测定结果可靠性较低；b. 因为各种原因，目前的测定中往往不分单体金和连生金，而合并一起称以“裸露金”。实际上，裸露金占有率概念同单体分离度不同，但因为金的浮游性能很好，在浮选过程中，颗粒中只要有金暴露在表面，一般能被选入精矿，所以两者也通用了。

第十一节　金在矿体中的分布规律

1. 金在矿体中分布的不均匀性

伴生金矿床中金分布的重要特征之一就是分布不均匀性，矿体中按正规取样（刻槽样或岩芯样）金品位差别很大，可达 8600 倍以上（表 6--20 的铜录山原生矿）。从各矿的金品位分布直方图（图 6—9）可知，金在矿石中存在两种分布形式：

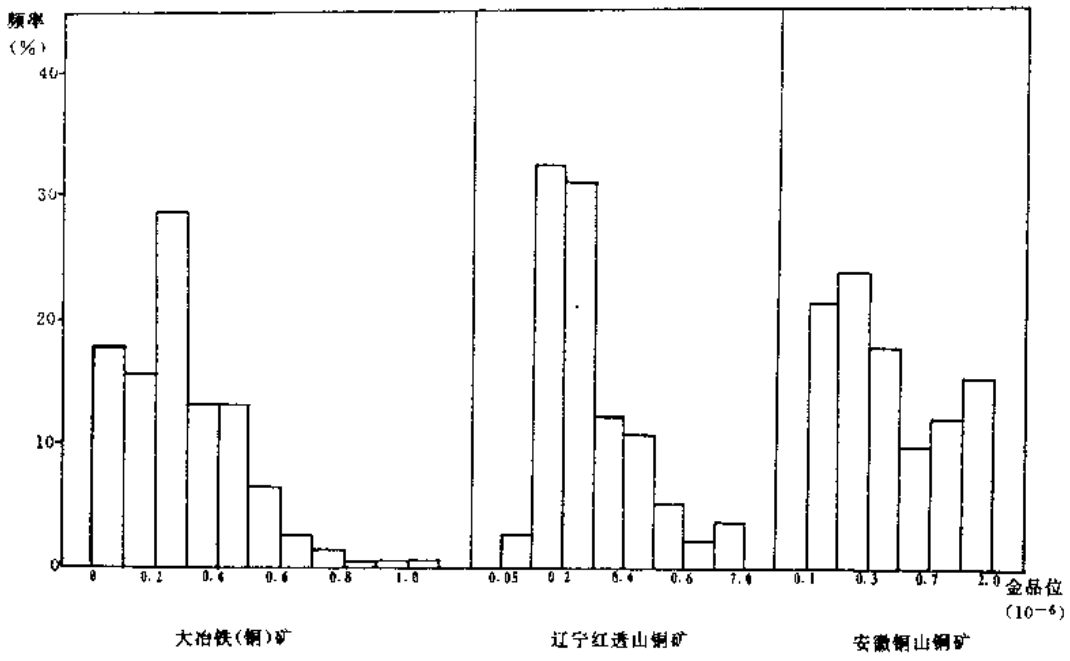
①峰式分布：金在矿石中呈单峰式或双峰式分布。前者如大冶铁山矿、喀拉通克矿；后者如琅琊山矿、九华山矿、贵池铜山矿、白乃庙矿。双峰分布一般有强有弱，可能表示着两次矿化。

②单倾式分布：金在矿石中分布向一侧倾斜（高品位方向）。如铜陵天鹅抱蛋山矿、铜山口矿、东狮子山矿、拉拉矿。

从直方图上可知，部分矿床，如铜录山矿（包括氧化矿和硫化矿）、天鹅抱蛋山矿、龙王江矿，都可圈出Au＞3×10^{-6}的独立金矿段，故在生产过程中应特别重视富金矿段中金的

表 6—20　部分伴生金矿床中金变化范围

矿床名称		样数	金品位（10^{-6}）		
			最高	最低	平均
铁山矿		465	23.3	＜0.03	0.27
天鹅抱蛋山矿		759	51.15	＜0.1	2.45
铜录山	氧化	116	6.43	0.0094	1.20
	原生	727	26.7	0.0031	1.06
丰山矿	南缘	364	8.00	0.0043	0.38
	北缘	40	1.35	0.044	0.26
铜山口矿		239	0.18	＜0.001	0.06
安徽铜山矿		123	1.74	0.10	0.40
长山头矿		132	30.76	0.06	--
红透山矿		187	7.00	0.093	0.77
龙王江矿		732	162	0.10	--



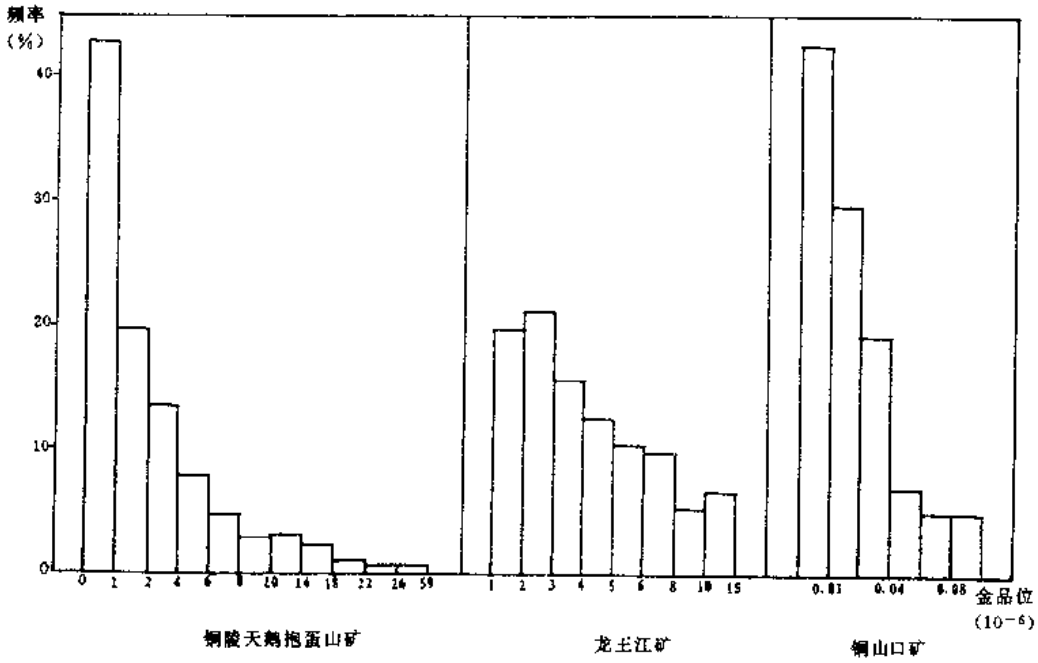


图 6—9　伴生金矿床中金的品位分布直方图（1）

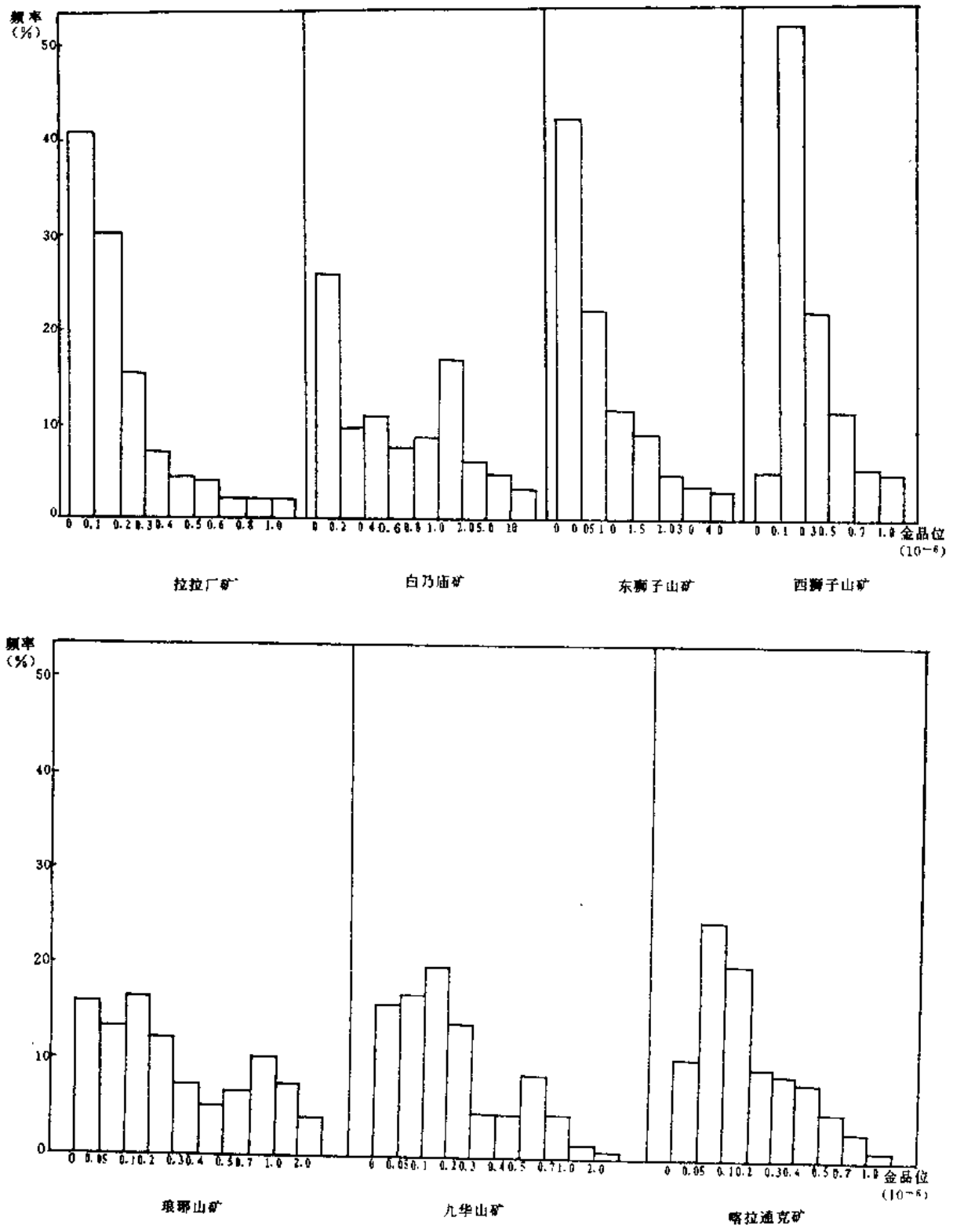


图 6－9　伴生金矿床中金的品位分布直方图（2）

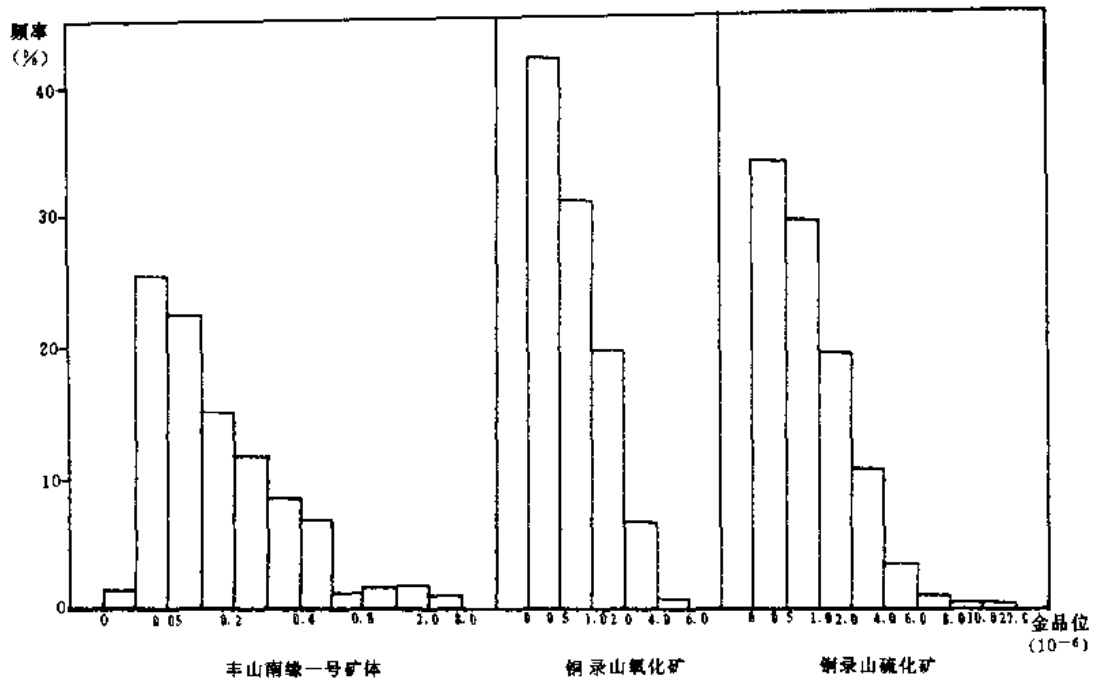


图 6—9　伴生金矿床中金的品位分布直方图（3）

回收。

2. 金在矿体各矿石类型中的分布规律

金在矿体各矿石类型中的分布变化多端（表 6—21）。从大量数据统计和对光片的鉴定测试结果来看，存在以下趋势：

①中温—中低温矿物组合的矿石中金高于高温—高中温矿物组合矿石。如天鹅抱蛋山矿中，磁黄铁矿石（Au4.11×10^{-6}），黄铁矿矿石（Au2.49×10^{-6}）中金高于磁铁矿矿石中金（Au5.5×10^{-7}）；丰山矿的硅灰石矽卡岩中金（Au9.5×10^{-7}）高于石榴石矽卡岩（Au1.5×10^{-7}）、透辉石矽卡岩中金（Au2.0×10^{-7}）。

②高铜矿石中金高于低铜矿石中金，如铜录山矿中铜铁矿石（Au1.61×10^{-6}）和单铜矿石 Au1.13×10^{-6}中金大于单铁矿石（Au3.7×10^{-7}），大冶铁山矿的黄铜矿矿石（Au4.90×10^{-6}）中金大于黄铁矿矿石（Au1.3×10^{-7}）和单铁矿石（Au1.2×10^{-7}）。

③矿物组合复杂的矿石类型中金高于组合简单矿石类型中金。矿物组合复杂表示着多期次矿化，有利于金的富集（图版 3—30）。如铜录山矿的铜铁矿石的金品位高于单铜矿石的金品位。

3. 金在矿体中的空间分布规律

在此主要讨论伴生金矿床中金在矿体深度上分布规律。这一问题相当复杂，根据系统研究的 21 个矿床（体）统计，从浅→深，金由高→低的矿床有 13 个；金由低→高的矿床有 8 个（表 6—22）。我们倾向性意见是：伴生金矿床中金的品位上高下低，但有不少例外。不过总的来说，这一重要分布规律尚有待进一步探索。

表 6－21　典型伴生金矿床中各矿石类型的含金性

矿床名称	矿石类型	金品位（10^{-6}）
铜录山氧化矿	Cu－Fe矿石	0.87
	单Cu矿石	0.53
	单Fe矿石	0.95
铜录山硫化矿	Cu－Fe矿石	1.61
	单Cu矿石	1.13
	单Fe矿石	0.37
丰山南缘一号矿体	透辉石—石榴石矽卡岩矿石	0.20
	石榴石—硅灰石矽卡岩矿石	0.95
	透辉石矽卡岩矿石	0.23
	石榴石矽卡岩矿石	0.15
安徽铜山铜矿	含Cu磁铁矿矿石	0.88
	含Cu矽卡岩矿石	0.71
	含Cu黄铁矿矿石	0.48
	含Cu燧石层	0.25
铜陵天鹅抱蛋山矿	磁黄铁矿矿石	4.11
	黄铁矿磁黄铁矿矿石	2.88
	磁黄铁矿黄铁矿矿石	2.84
	黄铁矿矿石	2.49
	磁铁矿矿石	0.55
	磁黄铁矿磁铁矿矿石	0.74
	磁铁矿磁黄铁矿矿石	1.18
	磁铁矿黄铁矿矿石	3.69
龙王江矿	矿化板岩	3.86
	辉锑—石英脉型矿石	5.65
	黄铁—石英脉型矿石	8.33
大冶铁（铜）矿	黄铜矿矿石	4.90
	黄铁矿矿石	0.13
	原生铁矿石	0.56
	混合铁矿石	0.12

续表

矿床名称	矿石类型	金品位 (10^{-6})
金川矿	海绵陨铁状特富矿石	0.11
	海绵陨铁状富矿石	0.30
	稀疏浸染状贫矿石	0.07
喀拉通克矿	致密块状富铜镍特富矿石	5.38
	致密块状铜镍特富矿石	0.48
	稠密浸染状富铜贫镍矿石	0.21
	稀疏浸染状贫铜镍矿石	0.09
力马河矿	致密块状矿石	0.10
	海绵陨铁状矿石	0.20
核桃树矿	稠密浸染状矿石	1.43
	稀疏浸染状矿石	0.80
红透山矿	块状富铜锌矿石	0.32
	块状铜锌矿石	0.098
	块状单锌矿石	0.087
	浸染状铜锌矿石	0.023
德兴矿	中强蚀变斑岩矿石	0.330
	中弱蚀变斑岩矿石	0.176
	中强蚀变千枚岩矿石	0.264
	中蚀变千枚岩矿石	0.135
拉拉矿	浸染状斑铜黄铜矿石	2.609
	条带状黄铁黄铜矿石	0.446
	条带浸染状黄铜矿石	0.349
	浸染状黄铁黄铜矿石	0.221
锡铁山矿	方铅闪锌黄铁矿石	0.66
	方铅闪锌矿石	0.63
	闪锌黄铁矿石	0.33
	黄铁矿石	0.32

表 6—22　伴生金矿床中金在深度上的分布规律

矿床类型	矿床名称	深　度	Au (10^{-6})	金趋向	备　注
矽卡岩型	铜录山矿	露天采矿	1.20	↑*	Ag：6.5
		−125 水平	1.10		Ag：6.5 (10^{-6})
		−185 水平	1.04		Ag：13.0
	鸡笼山矿	地表	5.00	↑	
		1#矿体	2.14		
	丰山矿南缘	小于 30m	0.30	↑	据 135 个数据平均
		小于 100m	0.14		
	寿王坟矿	下六中段	0.36	↑	Ag：9.68 (10^{-6})
		下七中段	0.21		Ag：11.05
	九华山矿	+60 中段	0.319	↓	据 135 个数据平均
		+20 中段	0.376		
	武山矿	−40 中段	0.330	↑	
		−80 中段	0.223		
	铁山矿	上段	0.23	↓	据 582 个数据平均
		中段	0.26		
		下段	0.32		
	安徽铜山矿	−80 中段	0.44	↓	据 84 个数据平均
		−127 中段	0.47		
		−170 中段	0.48		
		−214 中段	0.60		
斑岩型	莲花山矿	330m 以上	1.08	↓	
		330−240m	1.21		
		240−170m	1.92		
	德兴铜厂斑岩矿体	200 台阶	0.646	↑	据 1079 个数据平均
		185 台阶	0.502		
		170 台阶	0.421		
		155 台阶	0.383		
		140 台阶	0.401		
		125 台阶	0.322		
	德兴铜矿千枚岩矿体	200 台阶	0.536	↑	
		185 台阶	0.582		
		170 台阶	0.477		
		155 台阶	0.480		
		140 台阶	0.478		
		125 台阶	0.486		

续表

矿床类型	矿床名称	深　度	Au (10^{-6})	金趋向	备　注
岩浆热液型	德保矿	862水平	0.13	↓	据176个数据平均
		750水平	0.57		
	天鹅抱蛋山矿	+5m	3.52	↑	据759个数据平均
		−55m	2.08		
	大坊矿	220m	3.19	↑	Ag：150.87 Ag：334.06 (10^{-6}) Ag：181.00
		150m	1.53		
		70m	1.48		
	银山矿	−258.3m	8.90	↓	硫铁矿石 铜硫矿石
		−461.7m	25.90		
	江苏铜井矿	上带	2.25−8.83	↓	Ag：5.05—15.40 Ag：9.84--12.55 (10^{-6}) Ag：6.28--7.7
		中带	2.77--4.28		
		下带	3.23−4.59		
	山东七宝山矿	上部	3.65	↑	
		中部	2.33		
		下部	1.93		
沉积变质型	红透山矿	九中段	0.15	↑	据187个数据平均
		十中段	0.08		
	龙王江矿	242中段	8.23	↑	据566个数据平均
		219中段	5.72		
	地虎矿	440中段	9.28	↑	
		420中段	1.48		
		400中段	0.84		
铁帽型	长山头矿	上　段	0.89	↓	
		中　段	1.68		
		下　段	13.15		

*箭头指高金方向。

第十二节　金的赋存状态和工艺矿物学研究在生产实践中的意义

金在矿石中是微量组分，赋存状态和工艺性质的研究具有重要意义。金回收率的提高有赖选矿流程的改善，改善的基础就必须建立在对本矿金赋存状态和工艺性质的系统研究上。当然，影响金回收率的因素是多方面的，它大致可分两类：一是选矿工艺的因素，它包括磨矿细度、浮选药剂制度及其他工艺条件。以铜矿为例，矿石中铜、金矿物差异程度很大，不但品位上高低悬殊，而且在粒度、单体分离度、嵌分形式等方面亦迥然不同，形成彼此互相约束、互相牵制的局面：如入选粒度较粗，使铜不致过粉碎，对选铜有利，但对金则单体分离度过低，不利于回收；如入选粒度较细，则情况正好相反，不利于铜的回收。又如浮选时适度提高石灰用量，使 pH 较高，有利于铜回收而抑制了金；反之，则抑制铜。所以，为了最大限度地提高矿山经济效益，必须同时兼顾两者，探求最佳工艺（参考第九章）。二是矿石本身的因素。它包括矿石中金的品位、自然金和分散金的比例、自然金的粒度、成色、嵌布形式及载金矿物的种类和含金量。这些因素对金回收率的影响是综合而又各具特色的，下面将分别加以讨论。

（一）自然金的成色对金回收率及精矿中金品位的影响

正如在选矿回收时辉铜矿石的铜回收率和精矿铜品位高于黄铜矿石一样（辉铜矿中 Cu79.83%，黄铜矿中 Cu34.57%），高成色矿床中金回收率和精矿中金品位高于低成色矿床，从表 6--6 可知，在相同的选矿效率下，龙王江矿自然金平均成色比乐华矿高 30%，所以前者的精矿中金品位将比后者高 30%；同属矽卡岩型铜矿的铜录山矿自然金成色比狮子山矿高 51%，所以前者的精矿中金品位将比后者高 51%。同时，高成色的矿床金回收率一般也较高，其原因是因为矿床中高成色自然金多属裂隙金、粒间金，粒度较粗且易于单体分离，故易于回收；而低成色自然金多属包裹金粒度较细难于回收。故金成色高的矿床比成色低的矿床有较高的回收率。表 6—6 列示了各类型伴生金矿床的自然金的平均成色。从表可知，在相同的选矿效率时，沉积变质型、铁帽型矿床具有较高的金精矿品位。实际上，这两类矿床的金品位一般较高，多数已属共生金矿床，它们的金回收率均较伴生金矿为高，前者如沃溪矿、龙山矿、西冲矿，后者如载家冲矿、新桥矿、鸡冠嘴矿等。

（二）矿石中自然金和分散金的比例对金回收率的影响

大多数伴生金矿床中分散金的比例是微不足道的（参阅 6—4 节），它们包括绝大多数铜矿床、Pb—Zn 矿床、Cu—Fe 矿床。所以这些矿床无必要在此进行讨论。但是，对于大多数 Au—S 矿床、Au—Sb—（As）—（W）矿床以及含黄铁矿、毒砂较高的矿床（如黄铁矿型铜矿等），它们分散金的比例较高，并对金回收率产生影响，故在生产中回收时必须进行考虑。一般而言，分散金的载体矿物如是选矿回收对象，分散金的比例高有利于金的回收；如不是回收对象，则有碍于金的回收。现分别进行讨论：

①硫铁矿中分散金对金回收率的影响：我国部分硫铁矿含金较高或已达到工业品位。这些矿床主要组分是磁黄铁矿、黄铁矿，后者的金多以分散态存在，一部分含毒砂，亦均以分散金形式存在。所以，如欲在该类矿床中金硫分离生产金精矿，则金的回收率必较低，如天鹅抱蛋山矿金回收率为 52%（低砷矿石），福建王母山矿为 22.32%。所以理想的工艺

是在制酸后硫铁矿烧渣中回收金（烧渣金品位可比硫精矿金品位提高70%--100%）。现以天鹅抱蛋山矿为例说明之，它的硫金矿金品位2.98×10^{-6}，可从中圈出独立金矿体，金品位5.947×10^{-6}，储量占全矿总储量65.87%。经研究，黄铁矿和毒砂中分散金占总金的24.01%。其中尤以高砷的Ⅰ、Ⅱ矿体分散金比例达43.78%和50.10%。所以，如生产金精矿，实行Au－S、As分离并假定全部（显微）自然金进入精矿，而全部黄铁矿、毒砂、脉石中金进入尾矿时的金回收率为理想回收率，则高砷矿体的理想回收率为49.38%和41.94%；低砷矿体为74.02%和57.34%（表6－23）；全矿为60.67%，总的来说回收率相当低，由之可见高比例分散金对回收率的影响。当然，上述情况仅指机械选矿而言，如是选冶联合流程，改变了矿石性质则又另作别论了。

表6－23　天鹅抱蛋山矿中自然金和分散金比例

赋存状态	Ⅰ矿体（高砷）（%）	Ⅱ矿体（高砷）（%）	Ⅲ矿体（低砷）（%）	Ⅳ矿体（低砷）（%）	全矿（%）①
自然金	56.27	49.90	89.51	82.68	75.99
分散金：	43.73	50.10	19.49	17.32	24.01
黄铁矿中分散金	8.81	15.21	9.58	16.17	12.14
毒砂中分散金	34.92	34.89	0.91	1.15	11.87
金理想回收率	49.38	41.94	74.02	57.34	60.67

①矿石量加权平均。

②Au--Sb—As矿床中分散金对回收率的影响：对于Au－Sb－As矿床或Au--As矿床来说，它们的分散金的比例是相当高的。这些矿床中的（显微）自然金的比例不大，如单用机械选矿工艺回收自然金，经济损失很大，所以必须以选冶联合流程或以水冶方式回收。以溆浦龙王江矿田为例。据研究，矿田中各矿的分散金比例高达72.17%--93.17%（表6－24），这些分散金均赋存于毒砂中，所以收金必须收砷（毒砂）。先生产金砷精矿，然后以焙烧方式使Au--As分离。

③高硫的Cu、Pb－Zn矿床中分散金对金回收率的影响：我国部分铜矿床和铅锌矿床中的硫化铁含量较高，属块状硫化物型矿床。相应地，这些矿床中分散金比例也较高。原因是因为黄铁矿中金多数是以分散金形式存在。当然，并不是所有矿床的黄铁矿中金全为分散金，在研究工作中曾在许多矿山，如贵池铜山矿、丰山矿、水口山鸭公塘矿、红透山矿、栖霞山矿均曾在黄铁矿中发现过包裹（自然）金和粒间（自然）金，但数量很少，与黄铁

表6－24　龙王江矿自然金和分散金比例

矿区	矿区金品位（10^{-6}）	分散金（%）	矿物金（%）
泥潭冲	5.75	72.17	27.83
江东湾	3.51	92.74	7.26
白竹坪	4.16	93.17	6.83
江溪垄	6.37	75.93	24.07

矿的含金量不相称。从对大量高硫矿床进行统计，这些矿床的黄铁矿中金的一部分或大部分为分散金，分散金的比例随矿床不同而不同。

这些高硫的 Cu、Pb－Zn 矿床均生产硫精矿，分散金进入硫精矿（也有一部分细粒的，没有单体分离的自然金也进入硫精矿）而损失在硫精矿中金不计价，从而降低了金回收率。表 6－25 中我们列出了部分矿山的有关数据供参考，为了对比也列入部分低硫矿床。从表可知，高硫与低硫 Cu、Pb－Zn 矿床的金回收率差别很大，尤其是高硫 Pb－Zn 矿床金回收率更低。主要原因是由于硫精矿中损失了大量的金（主要是分散金）所致。如硫铁矿烧渣中回收金的工艺有所突破，则这些矿床的选冶总回收率将会大幅度提高。而低硫矿床金回收率较高原因之一是不生产硫精矿，黄铁矿进入铜精矿，分散金也随之进入铜精矿所致。所以，除少量矿床外（如大冶铁山矿、丰山矿），大多数生产硫精矿的矿山金回收率一般不高。

（三）自然金粒度分布特征对金回收率的影响

①伴生金矿山的选厂磨矿细度必须兼顾主金属和金：伴生金矿床中自然金粒度分布在金赋存状态研究中是重要环节，具有重要意义。首先，自然金的粒度大小，对金的生产回收具有决定性意义。在伴生金矿床中金的回收依附于主金属的回收，工艺流程以主金属为主。一般而言，主金属的矿物粒度均远大于自然金的粒度，如铜录山矿中黄铜矿粒度大致在 0.2－$n$mm 范围。这样，在选矿厂以黄铜矿最佳入选粒度为依据所设计的磨矿细度下，一部分细粒自然金因没有单体分离而流入尾矿。它提示我们，对伴生金矿床，尤其是金品位较高的矿床，设计入选粒度时必须兼顾自然金的粒度分布。这一要求对生产单一精矿的矿山（如铜陵狮子山矿、琅琊山矿、南京九华山矿、大冶铜山口矿、江西德兴矿等只生产铜精矿）尚属次要，因为即使金粒度较细，包裹在铜矿物中金亦同样进入铜精矿。但对生产

表 6－25　高硫矿床和低硫矿床金回收率对比

	矿床名称	黄铁矿含量（%）	黄铁矿中金含量（10^{-6}）	金回收率（%）
高硫矿床	红透山矿	18.0	0.125	43.87
	武山矿北矿带	55.2	0.26	37.00
	贵池铜山矿	15.0	1.50	47.20
	九华山矿	13.0	0.68	49.50
	锡铁山矿	21.3	1.67	铅精矿 24.05 锌精矿 17.29
	宝山铅锌银矿	21.9	1.94	铅精矿 28.93 锌精矿 10.53
	水口山矿	28.9	2.06	铅精矿 26.46 锌精矿 11.25
	栖霞山矿	26.7	1.58	铅精矿 8.10
低硫矿床	铜录山矿	1.1	0.22	63.87
	大冶铁山矿	3.1	0.47	62.56
	狮子山矿			64.09
	德兴铜厂矿	3.3	1.91	62.39

两种或两种以上精矿产品的矿山则很重要，如大冶铁山矿、铜录山矿生产铜精矿和铁精矿；贵池铜山矿、辽宁红透山矿生产铜精矿和硫精矿；水口山康家湾矿、白银小铁山矿生产铅、锌、铜三种精矿。对于这些精矿来说，可分二种情况：一是金可在冶炼过程中回收，如铜精矿和铅精矿，一是冶炼过程中不能回收，如硫精矿、锌精矿（虽然在渣中可回收部分金，但金品位要求高、工艺复杂、费用较高）。这样，测定矿石中自然金的粒度分布，在选矿工艺设计时兼顾金粒度，使金尽量多地进入铜精矿、铅精矿等在冶炼过程中能顺便回收金的产品，从而提高伴生金的选—冶回收率实具有巨大经济意义。

②对金品位高、粒度粗的矿山提高金回收率的措施：提高金回收率的措施很多，包括适当细磨、改善药剂制度、适当降低主金属精矿品级等等。但对于自然金粒度粗、金品位高的矿床来说，最佳方案应当是优先浮金、生产金精矿的技术方案。如铜录山矿，该矿金品位 1.14×10^{-6}，自然金粒度也较粗，大于 7×10^{-5}m 占 58.82%，大于 4×10^{-5}m 占 80.49%，吉林冶金研究所（1982 年）曾作过氧化矿的优先浮金作业试验，金精矿的金品位 1.2927×10^{-4}，金作业回收率 46.50%，总回收率 82.27%，铜回收率略有增加（增加约有 1%）的好成绩。该工艺流程不变动选矿结构和设备，只将浮选作业安排加以调整而已。所以，对于金品位较高（$>1\times10^{-6}$）、粒度较粗的矿山，如鸡笼山矿、金口岭矿、狮子山矿、四家湾矿、华铜矿等矿均有条件生产金精矿。

（四）自然金嵌布特征对金回收率的影响

如前所述，我们把自然金在矿石中的嵌布状态分成三类：裂隙金、粒间金、包裹金。三类状态的占有率对金的回收也是重要参数之一。一般而言，在选厂磨矿过程中，金的单体分离度高低主要决定于自然金的粒度和嵌布状态，就后者而言，产生单体金的难易程度按下列次序排列：从难→易为包裹金→粒间金→裂隙金（金的粒度由细→粗）。如铜录山矿的包裹金低于丰山矿，就意味着达到同样的金单体分离时丰山矿的磨矿粒度必须细于铜录山。同理，长山头铁帽磨矿粒度必须细于铜录山氧化矿（图 6—5）。总的来说，裂隙金和粒间金，尤其是前者占有率高的矿山，如铜录山矿、琅琊山矿、大冶铁山矿、狮子山矿均有条件实现高回收率（图 6—6，6—7）。

（五）金的配分特征对金回收率的影响

金的配分率是计算金理想回收率的基础，对于伴生金来说，回收主要通过两个途径：回收单体金和回收金载体矿物。前者十分简单无庸论述；后者的情况则较复杂，矿山回收对象中金如果计价（如铜精矿、铅精矿等），则该矿物的金配分率应计入理想回收率；矿山回收对象中金如果不计价（如硫精矿、铁精矿等），则该矿物的金配分率不应计入理想回收率；第三种情况是，如不计价的回收对象（如黄铁矿、磁黄铁矿）在矿石中含量较低，合并进入其他精矿（如铜精矿）则也应计入理想回收率。例如铜录山矿金的配分和理想回收率原生矿为 80.68%，氧化矿为 57.84%（表 10—14、表 10—15）。该矿中黄铁矿被收入铜精矿，故计入理想回收率；又如大冶铁山矿计算结果（表 6—26），该矿中进入硫精矿、铁精矿中金无法回收，故不计入金理想回收率。

总之，用配分率结合矿山生产实际来计算金理想回收率是合理的。对进入不计价产品（如硫精矿、铁精矿、锌精矿）或损失于尾矿中金较多的矿石来说，提高回收率，减少金在这些产品中损失唯一办法是适当细磨，提高金单体分离度，以尽可能多地使金进入计价产

品。对于存在下列情况的矿山更应如此。

①脉石中金配分率较高的矿山：脉石中金如不单体分离，将进入尾矿。德兴铜厂矿、城门山矿、篦子沟矿、江西银山矿、东乡枫林矿的脉石中金配分率均较大（图 6－8），只有适当细磨，提高脉石中金的单体分离度，才能有较高的回收率。

②黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂中金配分率较高，生产硫精矿的矿山：对于该类矿山，适当细磨只能解决部分问题：使这些矿石中的少部分显微自然金单体解离。因为这些矿石中金相当大的一部分是分散金或粒度只有 $n\times10^{-6}$m 的自然金，细磨不能大幅度提高金单体解离度。唯一办法是在硫精矿制酸后烧渣中回收金。如乐华矿、城门山矿北矿带、栖霞山矿、锡铁山矿均是硫铁矿中金配分较高的矿山（图 6－8），它们的金回收率均不高。

表 6－26　大冶铁山矿金的配分表

矿物	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	分配率（%）	金理想回收率（%）
裸露金			0.16	53.69	69.46
黄铜矿	1.6	2.95	0.047	15.77	
黄铁矿	3.1	0.47	0.015	5.03	
磁铁矿	29.4	0.041	0.012	4.03	
赤铁矿	18.4	0.12	0.018	6.02	
菱铁矿	23.6	0.052	0.012	4.02	
脉石矿物	23.5	0.315	0.0342	11.44	
合计	99.8		0.293	100.00	

平衡系数 $K=\frac{0.293}{0.26}=114\%$

对于硫铁矿床或高砷矿床，如天鹅抱蛋山矿、龙王江矿、弋阳铁砂街矿、莲花山矿（图 6－8），则只能以选冶联合流程处理。

（六）金的单体解离度对金回收率的影响

对伴生金矿床来说，单体分离度对回收率的作用远较其它金属次要。因为归根到底，伴生金的回收率高低除依赖子金单体解离外，还主要依赖于载金矿物的是否回收及回收率高低。但对部分金品位高，粒度较粗并有条件生产金精矿的矿山或脉石、黄铁矿、毒砂中金配分率较高的矿床来说，则单体解离度对回收率起主要作用（表 6－19）。

（七）载体矿物的种类和含金性高低对金回收率的影响

十分明显，如果选矿回收和计价对象（矿物）含金性越高，对金的回收越有利；如进入尾矿和不计价产品的矿物含金性高，对金回收不利，这一原则对伴生金的回收率十分重要。黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、方铅矿等含金性高，对金回收有利；黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿含金性高，对金回收不利；磁铁矿、赤铁矿、脉石矿物含金性高，对金的回收更不利（表 6－14）。

第七章　伴生金物质来源与成矿机理

第一节　伴生金物质来源

伴生金有内生与外生两大类，本章只涉及内生矿床。

内生伴生金矿床，包括岩浆型、矽卡岩型、岩浆热液型和火山岩型。其金物质来自岩浆或地层？若来自岩浆是深源或壳源？根据大量地质资料和实验数据，我们得出如下结论：①内生伴生金成矿物质来源于岩浆，与地层无关；②该岩浆来自上地幔下地壳，属深源岩浆，与壳源岩浆无关。

（一）内生伴生金矿床物质来源于岩浆活动

1. 绝大部分伴生金矿床具有明显的岩浆岩成矿专属性。岩浆型伴生金只与超基性岩—基性—中性岩有关，矽卡岩型或热液型只与中酸性岩有关。

2. 成岩与成矿时间上的一致性。这一特点已被大量同位素地质年龄所证实，如与中生代同熔型岩浆活动有关的矽卡岩和岩浆热液型伴生金矿床，其铅同位素均属现代正常铅，模式年龄为 0—3×10^2Ma，接近于成矿岩体的成岩年龄；与中生代陆相火山岩有关的伴生金矿床，其矿石铅属稳定正常铅，模式年龄也与火山岩活动时间一致；斑岩铜矿若干矿床的成岩、成矿一致性如表 7—1（据《中国斑岩铜矿床》，1984）。这些实例都表明成矿是岩浆活动演化的结果。

表 7—1　部分斑岩型矿床的成岩—成矿年代

年　代	富家坞	铜　厂	城门山	多宝山
成岩年龄(Ma)	163±5	163—150	120—118	283
成矿年龄(Ma)	163±5	163—150	120—118	240

3. 成矿空间上的“多位一体”。在总结伴生金分布特点时发现，许多矿床普遍存在“多位一体”规律。它们以岩体为中心，在空间分布上或共存或分带，例如矿床类型上的“三位一体”——斑岩型-矽卡岩型-热液型共存（如玉龙铜矿）；矿床分带上的“三位一体”——由内向外伴生金—共生金-独立金空间分带（如铜录山—鸡冠嘴矿）；矿种组合上的“三位一体”——由内向外 Cu-Pb、Zn 或 Cu-S、As 分带（如银山）。这些空间上分布规律表明它们应是同一岩浆源的演化产物。

4. 不存在内生伴生金矿床的“矿源层”。地层一般包括褶皱基底和盖层，大量资料证实我国盖层上伴生金矿床与地层含金性无内在联系（表 4—2），也就是说，内生伴生金矿床既可产在金的丰度高的地层（如元古界双桥山群），也可产在金丰度低的地层（如石炭系、二

叠系、三叠系船山组、黄龙大隆组、大冶组)。大量同位素资料还证实，内生伴生金矿床的地层金并没有被活化进入矿床中，因此不存在伴生金的“矿源层”问题，由此反证了伴生金的物源应来自岩浆。当然褶皱基底的伴生金多与火山活动有关，它已属岩浆演化的范畴了。

(二) 伴生金成矿岩体来自深源熔浆

大量资料揭示了伴生金物质来源于上地幔下地壳的熔浆，包括了幔源型的基性超基性岩类、壳一幔型的中性、基性火山岩类和板内同熔型花岗岩类，而与来自上地壳的重熔型岩浆无关，与板缘同熔型花岗岩类（W、Sn、Be、稀土系列）无关。这一结论的主要事实依据是：

1. 硫同位素组成接近于陨石硫。通过大量伴生金矿床硫同位素研究，其硫同位素组成比较均一，$\delta^{34}S$ (‰) 变化范围较小，其中矽卡岩型为－2.9—17，斑岩型为－2.8—5.5，岩浆热液型为－3.11—8.2，岩浆型变化范围很窄，<5.7，这都表明其硫源具有深源性质。

2. 金丰度深源岩明显高于地壳。据黎彤 (1979) 资料，金丰度全球是 8×10^{-7}，地壳 4×10^{-9}，上地幔与下地幔 5×10^{-9}，地核 2.6×10^{-6}，说明金主要蕴藏在地球深部。近期玄武岩熔体金地球化学实验研究表明，金主要富集在金属铁中，其次为陨石硫铁，在缺乏铁的情况下，金几乎全部进入硫化物相中，而很少进入硅酸盐中。地壳金的浓度从超基性岩 (6×10^{-9}) —基性岩 ($4\times$ ^{9}) —酸性岩 (4×10^{-9}) (据 A. Venogratof) 降低，表明内生金物质来源是与深层基性岩浆演化有成因联系的，一般说，基性岩体尽管金丰度大，但金是分散的，至酸性岩阶段，由于热液作用，使金沉淀富集成矿。

另从 Au/Ag 比值特征看，地壳平均为 0.0433，上地幔为 0.0833，下地幔为 0.1000。据我们统计，内生伴生金 Au/Ag 比为 0.043—0.096，平均 0.084 (表 5—19)，介于地壳和地幔之间，也间接提供了金物质来源的信息。

据文献资料报道，近年不断在幔源岩中发现了自然金，如西藏红区幔源超镁铁岩中发现了自然金，印度洋深部幔源超镁铁岩的斜辉橄榄岩中和前苏联卡列里一科拉地区的苦橄玢岩中也都发现了自然金。研究者认为，在地幔的还原条件下，金是相对稳定的，它赋存于含硫化物的镁铁岩和超镁铁岩中，在深部地幔分异过程中可带出相当于原始含量 50%的金至地壳氧化环境中金重新分配到超基性—酸性岩中，从而完成岩浆的分异演化和金的重新分配过程。

3. 伴生金岩体严格受深大断裂控制。我国伴生金矿床的分布，受郯庐断裂、祁连－秦岭—大别山断裂和三江断裂三大深断裂控制而呈“下”字型格局（包括深大断裂派生出的二级、三级断裂)，使得我国伴生金分布出现了板内同熔岩体—深大断裂—伴生金三位一体，而且总是成串、成线、成带分布。不难设想，深源岩浆沿着切穿上地幔下地壳的深大断裂上升，伴之产生岩浆分异演化，便在不同深度形成中性—中酸性—酸性岩体的成矿作用。例如我国赣东北成矿带、南京—安庆成矿带、九江 -黄石成矿带，无数伴生金矿床毫无例外都与一系列同熔型岩体一同分布在其深大断裂或次一级的深断裂侧旁，构成线状分布特征，这与不含伴生金矿床的重熔型岩体呈“面状”分布是截然不同的。

4. 岩石化学成分和矿物组成具深源特征

①我国伴生金岩体化学成分能反映物质来源深度的有二个特征，一是铝/碱比低，$Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+1/2CaO)$ 属低铝高钠型；二是 K/Na 比低，属贫钾岩体（第四章 4

—3 节)。关于铝/碱比反应岩浆物质源深度问题是由澳大利亚地质学家查佩尔和怀特提出，他们认为澳洲东部 I 型花岗岩 $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+1/2CaO)$ 比值（0.83—1.03）明显低于 S 型岩体（0.95—1.21）。我国扬子成矿区和华北成矿区的铝/碱比明显低于华南成矿区，表明前者的浆源深度大于后者。原桂林冶金地质研究所矽卡岩专题组和斑岩铜矿专题组早在 70—80 年代就指出，与我国矽卡岩型铜矿/斑岩型铜矿和岩浆热液型铜矿有关的岩体都是相对贫钾的侵入岩体，而与锡矿床和钼矿床有关的岩体都是相对富钾的岩体。统计了我国伴生金岩体 K/Na 比值，在华北和扬子成矿区为 0.5~1，华南地区大都>1，这规律与铝/碱比相似，一致地反映了岩体的深源性。

②我国伴生金岩体矿物组成都具有磁铁矿含量明显高于钛铁矿特征（第四章 4—3—2 节），说明了岩体的深源特征，这与石原舜三提出的磁铁矿型花岗岩是还原条件下由下地壳上地幔形成、而钛铁矿型花岗岩是氧化条件下由地壳中、下部形成的观点相一致。

另外含金矽卡岩矿床和斑岩铜矿床中多处发现了自然铝，它的普遍出现也揭示了伴生金矿床岩体的深源性，因自然铝形成环境是低氧逸度的还原环境和相对封闭的系统。此外在岩浆矿床中，普遍发现自然金与铂族矿物共生，在矽卡岩矿床中，自然金与碲钯矿共生，这都有力地证明了伴生金物质来源是深部岩浆。

总之，上述大量地质资料充分证实了伴生金物源是来自上地幔下地壳的深部岩浆。反之，也可以说，与幔源型或板内同熔型岩体有关的 Cu、Pb、Zn 矿床，它们一般也是伴生金矿床。这些规律具有普遍意义，在伴生金的找矿、评价上，具有重要的指导作用和实用价值。

第二节　成矿物质从岩浆中分离过程

当上地幔下地壳物质在深断裂切割到其所在位置时，在深大断裂内，压力突然降低，原来处于高温高压下的固体物质，开始部分熔融，首先熔化的是富含 Li、Na、K 碱金属的硅酸岩物质，然后熔化的为钙铁质硅酸岩物质，最后熔化的为镁铁质硅酸岩物质。这些熔化了的岩浆沿着深大断裂通道上升。在上升过程中，不断从周围带进了含有各种盐类的水溶液及其他挥发分。并与上升的岩浆混合，尤其是岩浆通过蒸发岩地层时，则有更多的盐类混入岩浆中。由于岩浆中水、挥发分和盐类存在，降低了岩石熔化与凝固温度，使成矿物质从岩浆分离出来成为可能，从实验得知，影响花岗岩初始熔化温度的因素是：多余水存在（或水压增加），挥发分增加，基性程度降低，都会使熔化温度降低。从大量地质事实看，几乎所有内生伴生金矿床都与中酸—酸性岩浆有关，都有强烈蚀变，都富含水矿物和挥发分，这都为成矿物质从岩浆分离出来创造了良好条件。

积聚在深大断裂内的含盐水溶液与岩浆混合时，岩浆中的 SiO_2、Al_2O_3 等易于与盐类中的碱金属如 NaCl、KCl 反应生成长石类矿物，其反应式为：

$$6SiO_2+Al_2O_3+2NaCl+H_2O=2NaAlSi_3O_8+2HCl$$

钠长石

$$6SiO_2+Al_2O_3+2KCl+H_2O=2KAlSi_3O_8+2HCl$$

钾长石

析出的 HCl 在有水气水存在时，化学性质特别活泼，极易与熔体的成矿金属的氧化物如

Au_2O、Au_2O_3、CuO、Fe_3O_4、Ag_2O、PbO、ZnO 等反应，生成氯化物。其反应式为：

$$Au_2O+2HCl=2AuCl+H_2O$$

$$Au_2O_3+6HCl=2AuCl_3+H_2O$$

$$CuO+2HCl=CuCl_2+H_2O$$

$$PbO+2HCl=PbCl_2+H_2O$$

$$ZnO+2HCl=ZnCl_2+H_2O$$

这些金属氯化物也包括部分 NaCl、KCl，在高温高压条件下，具有极强的气化能力，随着熔浆不断结晶固结，它们逐渐集中在岩体周围的裂隙中，形成含伴生金的成矿热流体，完成了成矿物质从岩浆分离出来的过程。

第三节　金的迁移形式

（一）均一流体相迁移阶段

1. 成矿物质的均一相迁移

人们往往把成矿组分的迁移只理解为液相迁移，而忽略了均一相中的迁移。故往往以热液条件下的迁移形式，代替了均一流体相中的迁移形式。实际上，岩浆与盐水溶液反应生成多种成矿金属氯化物如 AuCl、$AuCl_3$、$CuCl_2$、$PbCl_2$、$ZnCl_2$、$FeCl_2$ 等，还有部分 NaCl、KCl 都象 H_2O、CO_2、H_2S 一样易于挥发，形成伴生金的均一成矿热流体。这种热流体最大特征就是其任何部分，成分都相同，显示出均一性。这种均一性特征一直保持到其临界点，这也是岩浆热液演化迁移过程中的一个重要阶段。

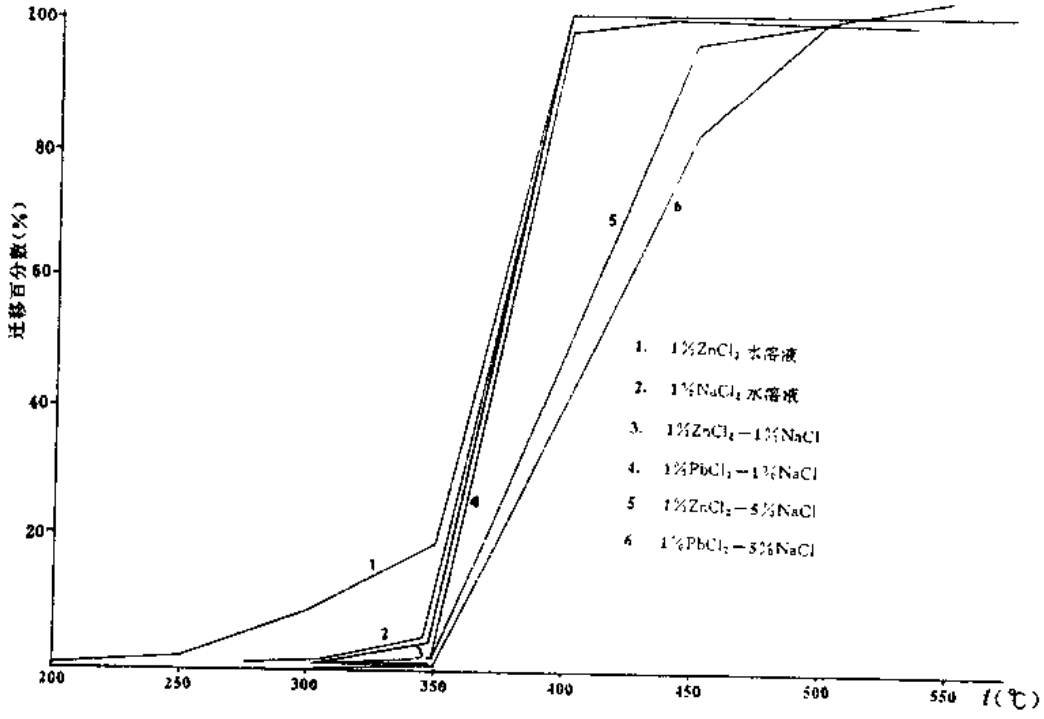


图 7－1　各种化合物在不同温度下在气相中迁移能力曲线

图 7－1 为各种氯化物水溶液在升温升压条件下，逐步转变成为均一热液流体相的过程。1%$ZnCl_2$ 及 1%NaCl 水溶液约在 390 C达到临界点，1%$ZnCl_2$＋1%NaCl 及 1%$PbCl_2$＋1%NaCl 水溶液约在 400℃达到临界点，1%$ZnCl_2$＋5%NaCl 及 1%$PbCl_2$＋5%NaCl 水溶液约在 450℃达到临界点。这些水溶液到达临界点后，转化成既不是液相也不是通常气相的均一热流体，在图 7－1 的曲线上显示出水平方向延伸的特征。

表 7－2 是 $AuCl_3$ 水溶液在不同温度压力下，气体迁移能力实验数据。表中数据显示 $AuCl_3$ 在 250 C已有 33.09%气化，到 350 C接近了临界点了，说明 $AuCl_3$ 确实在高温条件下可以气化迁移，而且其气化能力很强，在 250℃至 300℃就有相当一部分的 $AuCl_3$ 气化，说明其临界点低，即临界温度、临界压力不高。反过来说，在伴生金成矿流体中，$AuCl_3$ 在很低温度低压下才转入到液相中。

通过图 7－1 及表 7－2 分析，证实伴生金矿床的成矿组分在高温高压条件下，确实可以气化迁移，形成一种含矿的均一热流体。这种热流体处在临界状态中。这个阶段还没有液相出现。所以称作成矿物质均一相迁移阶段。也是成矿物质迁移过程中的第一阶段。

2. 均一流体相中迁移形式

由此可见，在临界点以上的均一成矿热流体中，金和其成矿金属离子的迁移形式，应该是以金属氯化物形式迁移，即金以 AuCl 和 $AuCl_3$ 形式迁移，因为在均一流体相阶段，金属氯化物气化迁移能力极强，从图 7－1 中的 NaCl、$ZnCl_2$ 及 NaCl＋$ZnCl_2$ 和 NaCl＋$PbCl_2$ 的水溶液气化曲线的形态看，1%NaCl＋1%$ZnCl_2$，1%NaCl＋1%$PbCl_2$ 以及 5%NaCl＋1%$ZnCl_2$ 和 5%NaCl＋1%$PbCl_2$ 混合水溶液中的 NaCl 与 $ZnCl_2$，NaCl 与 $PbCl_2$ 都能一起气化迁移，单一的 NaCl 或 $ZnCl_2$ 水溶液也能气化迁移而且迁移的速度比混合水溶液中的NaCl 与 $ZnCl_2$ 及 NaCl 与 $PbCl_2$ 迁移速度更快。这就说明金属氯化物在气相中的迁移形式不是氯化物的络合物而是简单的氯化物。

在均一流体相迁移阶段，由于温度高，还没有出现液相，硫主要以 H_2S 形式产出。金属离子以 $[Au(HS)_2]^-$、$[AuS]^-$、$[Au(H_2S)]^0$ 及 $[Cu(HS)_2]^0$、$[Cu(HS)_3]^-$、$[Fe(HS)_2]^0$、$[Fe(HS)_3]^-$、$[Pb(HS)_3]^-$、$[Zn(HS)_2]^0$、$[Zn(HS)_3]^-$ 等形式迁移的可能性很小。因为这些硫氢络合物只有在碱性很强的热液中才能稳定，而这时根本就不存在液相，另外这些硫氢络合物气化能力极差，无法气化迁移。所以金属离子在均一流体中以硫氢络合物形式迁移的可能性很小，以简单氯化物形式迁移的可能性很大。

3. 由均一相向不均一气液相迁移的转化过程

随着含矿均一热流体向上向外迁移，温度、压力也随之下降。当温度、压力越过临界点，原来处于均一状态的含矿热流体就开始转化成不均一的含矿热液体系。其转化方式有两种：一种为等容转化，另一种为增容转化。所谓等容转化就是含矿均一热流体的体积不变，温度、压力同步缓慢下降，热流体中的 NaCl、KCl、$PbCl_2$、$ZnCl_2$、$CuCl_2$ 等到这时已经过量，有一部分盐沉降到热流体底部，开始出现含盐度较高的液相和含盐度低的气相共存的不均一热液体系。当然，由于温度压力是同步缓慢下降，所以盐类也是逐步沉淀的。反映到包裹体盐度上，就是没有出现盐度突变现象。这是在一个相对封闭稳定的地质构造环境迁移的结果。另一种转化为增容式。所谓增容式转化就是均一热流体的体积扩大，温度、压力不同步下降。压力下降速度快，梯度大，温度还在临界点，而盐类则迅速沉淀，形成高盐度液相和低盐度气相共存的极不均一的热液体系。反映到包裹体盐度上，就出现富含

表 7—2　金的气相形式迁移试验

π型釜编号	温度（℃）	压力（105Pa）	时间（h）	支管	溶液量（ml）	介质	金含量(10^{-6}) 加热前	金含量(10^{-6}) 加热后	回收率（%）
9—2	250	10	9.5	1	1.19	$AuCl_3$	78.73	21.37	40.40
				2	1.17	0.1molHCl	0.00	10.57	
314—1	300	60	9.5	1	1.58	$AuCl_3$	78.73	18.89	57.62
				2	1.52	0.1molHCl	0.00	27.52	
314—2	300	50	9.0	1	1.19	$AuCl_3$	78.73	13.69	30.81
				2	1.14	0.1molHCl	0.00	10.98	
302—1	350	18	9.5	1	1.50	$AuCl_3$	78.73	35.46	73.37
				2	1.41	0.1molHCl	0.00	28.15	
9—1	400	28	9.5	1	1.58	$AuCl_3$	78.73	32.79	62.83
				2	1.56	0.1molHCl	0.00	16.89	

子矿物的盐度特别高的液相。这就是热液“沸腾”作用。在斑岩型伴生金矿床中，成矿热流体在迁移过程中，常发生温度压力不同步下降，较多地出现“沸腾”现象，也就是较多产生增容转化。

（二）热液迁移阶段

均一的成矿流体在临界点以下，金属氯化物逐渐转入热液中，开始液相阶段的迁移。金在热液中的迁移形式，据大量实验和矿物包裹体研究，结论是可能呈氯络合物、硫络合物或羟基络合物形式迁移。至于内生伴生金矿床的金以何种形式迁移，经研究，我们认为主要以氯络合物形式，而不大可能呈硫络合物或羟基络合物形式迁移。此为热液迁移的第二阶段。

1. 影响金迁移形式因素

矿物包体研究表明，影响金迁移形式的因素主要是溶液性质，包括 pH、Eh 和盐度，根据 Julia（1991）研究，一些高价金属离子在不同 pH 值的热液中，可以形成复合化合物。复合化合物的种类也随 pH 值变化而变化。图 7—2 为 Julia 用 Raman 光谱测定了含 10^{-2}mol Au＋1molNaCl 水溶液中 Au^{3+} 随 pH 值变化而形成不同的复合化合物分布情况。在 pH 小于 6.2 时，水溶液中，除有一定量的 AuCl 外，占优势的为 $[AuCl_4]^-$ 而没有任何 AuOH 显示。pH 值在 6.2—8.5 之间，除了 AuCl 有显示外，还有 AuOH 显示，占优势的离子复合化合物为 $[AuCl_3(OH)]^-$。pH 值在 8.5—10.8，除了 AuCl、AuOH 有显示外，占优势的为 $[AuCl_2(OH)_2]^-$。pH 值大于 10.8 时，占优势的为 $[AuCl(OH)_3]^-$ 或 $[Au(OH)_4]^-$。另外 Chateau（1966）及 Bjerrum（1948）根据 pH 与 Cl 的总量的平衡常数计算划分了 Au^{3+} 不同复合化合物与 pH 值关系图。Baes and Mesmer（1976）则用计算平衡常数方法作出了 pH 与 Au^{3+} 复合物的关系图。以上这些研究结果，都表明了 Au^{3+} 的复合化合物的形成与种类与 pH 值关系极为密切。一般说，pH 值低时，金以简单氯络合物形式迁移；而 pH 中性时，则以氯和羟基的复合络合物形式迁移；pH 值高时，则出现氯和羟基的复合络合物和羟基络合物共存，表现出随 pH 值升高，金的迁移形式愈复杂的趋势。

巴拉诺娃（1981）通过实验以及热力学计算，对各种不同形式的金的稳定性进行了研

究，作出了在 $\Sigma c_{Cl}=1$，$\Sigma c_S=10^{-1}$，$\Sigma c_{Au}=10^{-5}$，温度为 150℃，压力为 506625Pa 条件下 Eh－pH 与各种形式金稳定性关系（图 7－3）。从图 7－3 中可知，金的氯化物络合物及羟基络合物以及它们的复合化合物都是位于图的上方，处在氧化还原电位较高的区域。

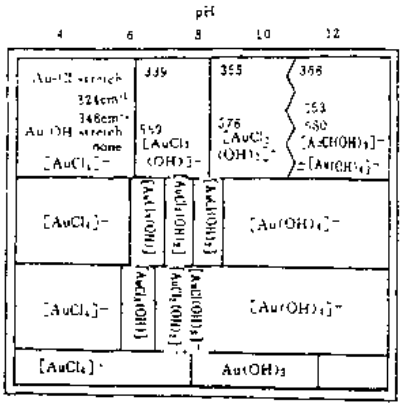


图 7－2　含 10^{-3}mol Au 的 1mol NaCl 水溶液中 Au^{3+} 优势区域
［引自 Julia1991］

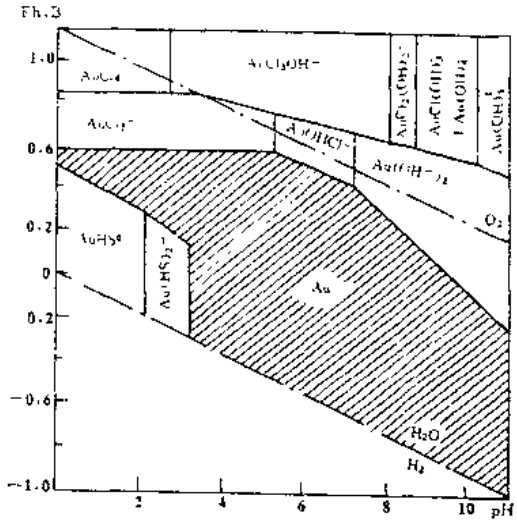


图 7－3　在 Eh－pH 坐标系中不同形式金的稳定性
条件：$\Sigma c_{Cl}=1$，$\Sigma c_S=10^{-1}$，
$\Sigma c_{Au}=10^{-5}$；
克离子/1000 克 H_2O　　温度 150℃，
$p_{总}=506625$Pa
［引自巴拉诺娃，1981］

热液的温度和溶液中阴离子和其他络阴离子浓度，也直接影响了金的迁移形式。因为没有一定的阴离子或络阴离子浓度就不可能形成金属络合物。由于各种络合物稳定性受温度制约，就造成不同温度下会有不同迁移形式。如氯络合物在高－中温下容易形成而且稳定，而硫络合物只在低温条件下而且有足够硫浓度时才形成。

2. 内生矿床中伴生金热液迁移形式

伴生金热液特点，首先是富 Cl。从大量包体研究结果可知，矽卡岩 Fe－Cu 矿床、斑岩 Cu 矿床、热液 Pb、Zn 矿床，其成矿热流体均富含氯，如斑岩 Cu 矿床氯含量一般为 $5\times103\times10^{-6}-n\times104\times10^{-6}$，氟含量为 $n\times102\times10^{-6}$，其 F/Cl 都很低；例如大冶铁铜矿床 F/Cl0.088—0.344；德兴斑岩铜矿床 F/Cl0.014—0.034，另多宝山矿、八大关矿、八一矿 F/Cl0.021—0.059；而某些钨锡和铌钽矿床则富 F，F/Cl 比一般在 3—5。这些情况说明 Cl 在伴生金矿床成矿过程中起着重要作用。第二是包裹体的含盐度高，如斑岩型富家坞等 5 个矿床含盐度为 2.06%—16.22%。第三是溶液的 pH 值偏低。从伴生金矿化总是跟随围岩蚀变—硅化或石英—绢云母化发生，从而可推测其为弱酸性或酸性环境，且其温度也较高，多处于氧化态环境。这些条件使得金和其他金属很易形成氯络合物。这与 Seward（1984）通过实验得出的结论："K 硅酸盐化和有关矿化的高温、高盐度和氧化态流体有利于金和铜氯化物络合物的迁移"相一致。这时 $AuCl_3$ 络合成 $[AuCl_4]^-$，AuCl 络合成 $[AuCl2]^-$，其

他金属也分别络合成 $[CuCl_3]^-$、$[ZnCl_3]^-$、$[PbCl_3]^-$、$[AgCl_2]^-$等。已有大量的实验资料予以证实。

第四节　伴生金的沉淀富集

（一）伴生金沉淀因素及沉淀机制

伴生金在热液中迁移的主要形式为$[AuCl_2]^-$、$[AuCl_4]^-$。当热液迁移阶段行将结束时，$[AuCl_2]^-$及$[AuCl_4]^-$将离解而沉淀。促使伴生金沉淀的因素主要是热液的物理化学条件的改变。其中包括温度、压力、pH、Eh及热液成分的变化，这些因素都会引起伴生金沉淀。

①成矿热液中的pH值升高，酸度下降时，金的氯化物络合物分解，引起金的沉淀，其反应为：

$$3[AuCl_2]^- = [AuCl_4]^- + 2Au\downarrow + 2Cl^-$$

这一反应引起大部分金沉淀，但仍有一部分金以$[AuCl_4]^-$络合物形式存在于热液中。

②成矿热液的氧化—还原电位变化也会产生络合物分解，引起金的沉淀：

$$[AuCl_4]^- + 3e^- = Au\downarrow + 4Cl^-$$

金的惰性在金属中是最大的，在元素氧化—还原电位序列中居最低位置，可以被所有金属及绝大多数金属离子还原成金属。

部分金属的电位值

$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	$E^0 = -0.337V$
$Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^-$	$E^0 = -0.771V$
$Ag \longrightarrow Ag^+ + e^-$	$E^0 = -0.799V$
$Mn^{2+} + 2H_2O \longrightarrow MnO_2 + 4H^+ + 2e^-$	$E^0 = -1.23V$
$Au \longrightarrow Au^{3+} + 3e^-$	$E^0 = -1.50V$
$Au \longrightarrow Au^+ + e^-$	$E^0 = -1.68V$

③成矿热液压力下降，尤其是下降梯度大时，可以引起金属氯化物的分解而沉淀。

$$[AuCl_4]^- \longrightarrow Cl^- + AuCl_3$$

$$AuCl_3 \longrightarrow AuCl + Cl_2\uparrow$$

$$2AuCl \longrightarrow 2Au\downarrow + Cl_2\uparrow$$

④成矿热液随温度下降，尤其降到300℃以下（图7—4）时大量的H_2S转入热液中，离解成硫离子。S^{2-}与热液中的Fe^{2+}、Cu^{2+}、Pb^{2+}、Zn^{2+}反应生成硫化物沉淀。

在大量的硫化物形成与沉淀过程中，也有一部分$[AuCl_2]^-$、$[AuCl_4]^-$分解与硫化物同时沉淀。由于大量硫化物沉淀，热液中的成矿金属离子急剧减少，而金属离子的浓度则相对地大大增加。另外，从表7—2中可知，$AuCl_3$在250℃就开始气化，说明AuCl、$AuCl_3$的临界点比较低。在大量的金属氯化物转入热液中，甚至在H_2S也转入热液，形成大量硫化物沉淀时，AuCl、$AuCl_3$仍然有相当一部分在气相中，直到250℃以下，才全部转入热液中来。所以使得伴生金矿在低温成矿期，金还很丰富，甚至在斑岩型伴生金矿床外围，还可以形成有工业价值的金矿化。归纳起来，伴生金矿沉淀机制为：a. AuCl、$AuCl_3$的临界点比伴生金矿床中其他成矿金属氯化物的临界点低，当其他成矿金属氯化物到达临界点后，转

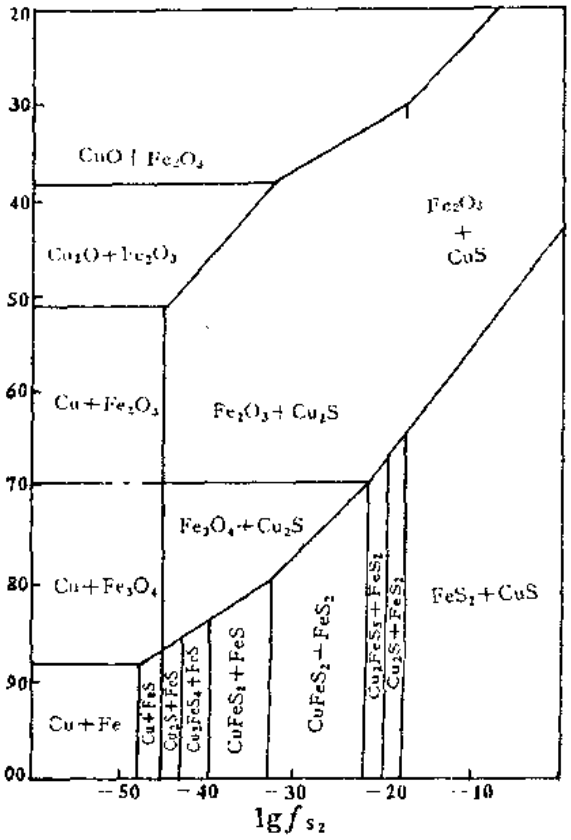


图 7－4　Fe－Cu－O－S 体系矿物共生关系图

入了液相，H_2S 也大量转入热液中形成了大量硫化物沉淀时，而 AuCl、$AuCl_3$ 仍有一部分在气相中，到了 250℃以下，才全部转入液相，所以晚期热液富集金。b. AuCl、$AuCl_3$ 在伴生金矿成矿热液中的浓度极低，占很次要位置，但在大量硫化物在热液中沉淀后，热液中的成矿组分大大减少，AuCl、$AuCl_3$ 在热液中的相对浓度则大大增加。c. 早期的 AuCl 在分解沉淀时，产生歧化反应：$3AuCl \longrightarrow 2Au\downarrow + AuCl_3$，大部分金沉淀，但还有一部分 AuCl 转变成 $AuCl_3$，继续保存在热液中。以上三者使得伴生金矿床成矿热液在晚期的硫盐阶段更富金。这一结论与大量伴生金矿床实际情况一致（第五章）。

（二）伴生金沉淀的模拟实验

1. 伴生金沉淀作用的实验条件

我们做了系统实验，合成了与伴生金紧密共生的矿物组合 Fe－Cu－S、Fe－As－S、Cu－As－S、Pb－Zn－S 四个三元体系矿物共生关系图。另外，通过热力学计算作出了 Fe－Cu－S－O、Fe－As－S－O、Cu－As－S－O、Fe－Pb－Zn－S－O 体系矿物共生与硫氧逸度关系图（图 7－4、图 7－5、图 7－6、图 7－7）。从图可知，与伴生金共生的主要矿物生成时的 f_{O_2} 在 10^{-113}—10^{-35}，f_{S_2} 在 10^{-34}—10^{-33} 范围内是稳定的。实验中使用 NNO 即 Ni－NiO 作缓冲剂，硫砷矿物生成时的 f_{O_2} 控制在 10^{-50}—10^{-33} 范围内。

根据伴生金矿床包裹体测温资料，伴生金的主要成矿期在 300－200 C，压力 1.96×10^7—1.96×10^8Pa，介质主要为氯化物水溶液，所以实验条件选择为：

①温度 350－150 C。

②压力 1.96×10^{7}—9.81×10^{5}Pa。

③介质为含金的氯化物水溶液。

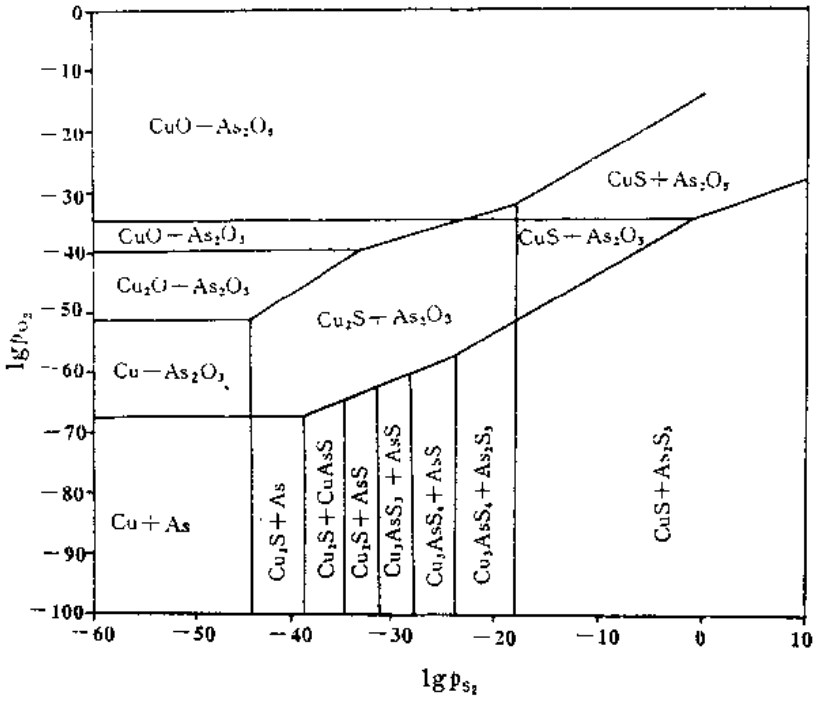


图 7—5　Cu—As—S_2—O_2 体系矿物共生关系图

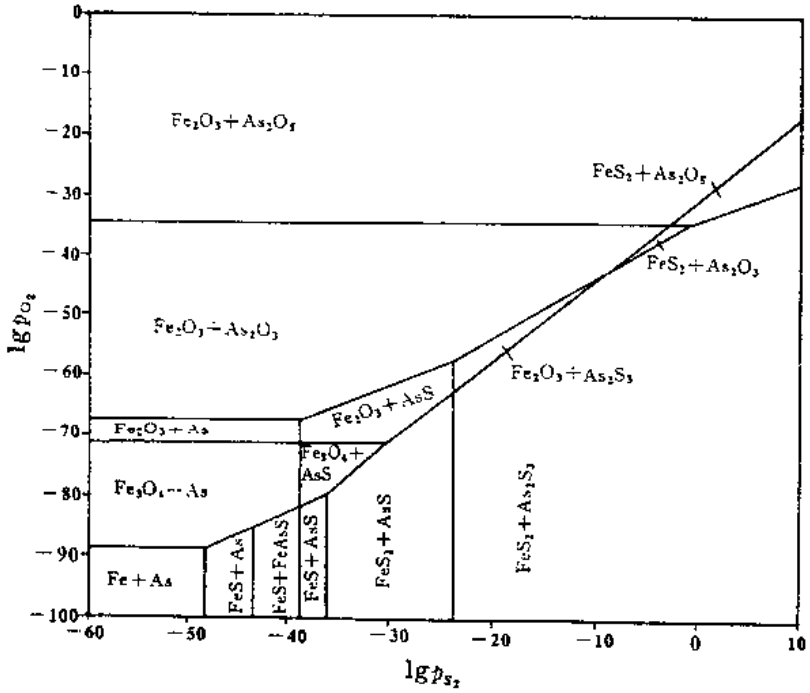


图 7—6　Cu—As—S_2—O_2 体系矿物共生关系图

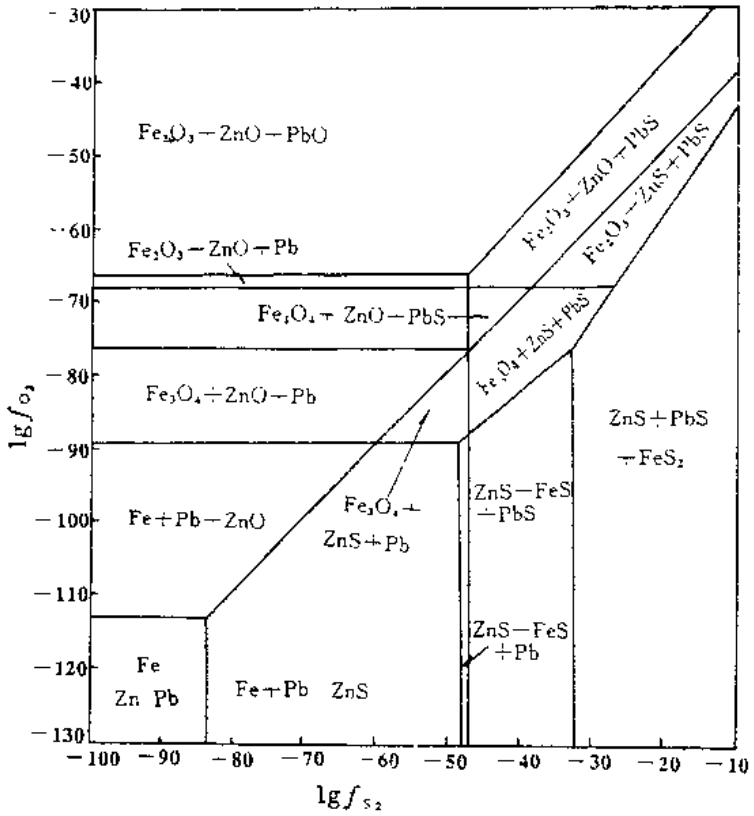


图 7－7　Fe－Pb－Zn－O－S 体系矿物共生关系图

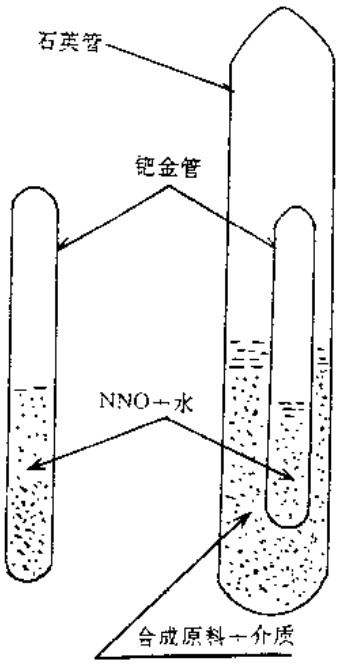


图 7－8　铂金管与石英管结构图

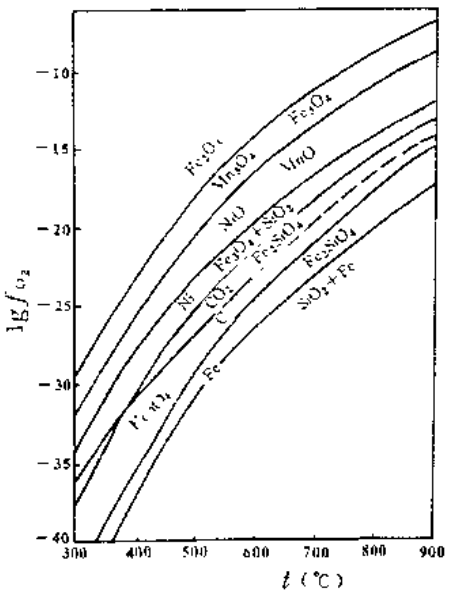


图 7－9　各种缓冲剂 f_{O_2} 曲线图

④原始试料为分析纯的 Fe、Cu、Pb、Zn、As、S 粉，金则为 888×10^{-6}的 $AuCl_3$ 水溶液。

⑤10NNO 缓冲剂，放在 50%Pd，50%Au 的钯金管中。

⑥实验全部用石英管作衬套，图 7—8 所示。

合成硫砷矿物及自然金时，f_{O_2}为 $10^{-34.5}$（图 7—9）。

2. 实验中金的共生组合

在选择的实验条件下，通过 40 次实验合成 14 种矿物，它们是自然金（Au）、黄铁矿（Py）、磁黄铁矿（Po）、黄铜矿（Cp）、斑铜矿（Bn）、辉铜矿（Cc）、铜兰（Cv）、方铅矿（Ga）、闪锌矿（Sp）、毒砂（Ap）、砷黝铜矿（Tn）、硫砷铜矿（En）、雄黄（Re）、雌黄（Op）。其中毒砂、雄黄、雌黄、砷黝铜矿及硫砷铜矿均为国内首次水热合成。同时也合成了 14 个矿物组合。实验条件与部分实验结果见表 7—3。合成的 14 个矿物组合见表 7—4。在合成矿物后的水溶液的 pH 及含金量见表 7—5。

表 7—3　实验条件与部分结果表

编号	原始成分(mg)							温度(℃)	压力(9.81×10⁴Pa)	pH		恒温时间(h)	缓冲剂类型	实验产物(由多到少)
	Fe	Cu	Pb	Zn	As	S	$AuCl_3$ (10^{-6})			前	后			
1	411.7	273.2				330.9	355.2	300	200	1.5	4.5	159	NNO	Po+Bn+Co+Au
2	492.7	168.2				356.1	355.2	300	200	1.5	5.0	159	NNO	Po+Bn+Cp+Au
3	711.4	404.8				927.9	355.2	300	200	1.5	5.0	183	NNO	Py+Bn+Cp+Au
4	913.0	80				1065.4	355.2	300	200	1.5	3.0	159	NNO	Py+Po+Cp+Au
5	472.5				211.4	322.3	355.2	300	200	1.5	2.5	333	NNO	Po+Py+Ap+Au
6	414				111	489.3	355.2	300	200	1.5	6.0	333	NNO	Py+Re+Ap+Au
7	312				209.7	496.9	355.2	200	51	1.5	1.5	333	NNO	Py+Re+Op+Au
8	330				178	516.6	355.2	300	200	1.5	2.0	333	NNO	Py+Op+Au
9		769			18.9	218.4	355.2	300	200	1.5	2.0	333	NNO	Co+In+Cv+Au
10		657.2			105.7	244.1	355.2	300	200	1.5	2.0	333	NNO	Co+In+Re+Au
11		442.9			209	358.4	355.2	300	200	1.5	2.0	333	NNO	En+In+Re+Au
12	492.7	168.2				349.3	355.2	200	51	1.5	6.0	333	NNO	Po+Co+Bn+Au
13	456.5	40				518.6	355.2	200	51	1.5	2.5	333	NNO	Py+Po+Cp+Au
14	83.7		414.4	130.8		260.5	355.2	200	51	1.5	2.0	578	NNO	Ca+Sp+Py+Au
15	83.7		414.4	130.8		260.5	355.2	150	30	1.5	2.5	720	NNO	Ca+Sp+Py+Au
16	黄铁矿						1661.1	300	60	1.5	2.0	141		Py+Au
17	方解石						1012	200	30	1.5	6.0	191		Calite+Au

在各个实验的产物中，都合成了自然金，多数自然金粒径在 5×10^{-7}—1.0×10^{-6}m 之间，少数在 3×10^{-6}m 以上，个别达 10^{-5}m。自然金多数呈小星点状、乳滴状、枝叉状等。有时见到自然金的集合体。

3. 实验合成的自然金三种嵌布形式

合成的自然金中，绝大部分为粒间金，产于各种硫、砷矿物之间。产于辉铜矿物颗粒

表 7—4　合成的矿物共生组合

编　号	共　生　组　合　形　式
1	自然金＋磁黄铁矿＋辉铜矿＋斑铜矿
2	自然金＋磁黄铁矿＋斑铜矿＋黄铜矿
3	自然金＋黄铁矿＋磁黄铁矿＋黄铜矿
4	自然金＋黄铁矿＋斑铜矿＋黄铜矿
5	自然金＋磁黄铁矿＋黄铁矿＋毒砂
6	自然金＋黄铁矿＋毒砂＋雄黄
7	自然金＋黄铁矿＋雄黄＋雌黄
8	自然金＋雌黄铁矿＋雌黄
9	自然金＋辉铜矿＋砷黝铜矿＋铜兰
10	自然金＋辉铜矿＋砷黝铜矿＋雄黄
11	自然金＋硫砷铜矿＋砷黝铜矿＋雄黄
12	自然金＋方铅矿＋闪锌矿＋黄铁矿
13	自然金＋黄铁矿
14	自然金＋方解石

表 7—5　合成矿物后溶液中含金量

编　号	溶液体积(ml)	pH 值	含金量 Au(10^{-9})
2	0.6	5.0	6.6
5	0.2	2.5	21.6
6	0.04	6.0	67.0
7	0.2	1.5	8.6
8	0.2	2.0	3.4
9	0.2	2.0	1.8
10	0.2	2.0	13.6
11	0.04	2.0	42.0
12	0.06	6.0	19.7
13	0.2	2.5	9.8
16	5.1	2.0	0.97(10^{-6})
17	4.9	6.0	56.2(10^{-6})

之间的自然金粒较大，达 9×10^{-6}m。包裹金很少，它又相对地较多出现在黄铜矿中（图版 31）。辉铜矿（图版 34）、硫砷铜矿（图版 33）及砷黝铜矿（图版 34）中的自然金，粒径达 10^{-5}m，为这次实验所见到的最大一粒。总之，关于伴生金在硫化物中的三种嵌布形式：粒间金、包裹金和裂隙金，这次都全部合成出来，其形成过程大致如下：

包裹金：主要形成于铜的硫化物及硫砷化物中。因为 Au^{+}、Au^{3+} 与 Cu^{2+} 属于铜型离

子，性质相似而骤集在一起，金的浓度局部相对增大，当 Cu^{2+}、Fe^{2+} 与 S^{2-} 反应生成硫化物或硫砷化物时，Au^{+}、Au^{3+} 也随之沉淀，一部分沉淀在铜铁硫化物或硫砷化物晶面上，由于 Cu^{2+}、Fe^{2+}、S^{2-} 的浓度大，晶体生长的速度快，金的浓度低，数量少，很容易被铜铁硫化物或硫砷化物所遮盖，最后被包围在硫砷化物中，形成了我们所见的包裹金。

粒间金：由于金的亲硫和亲铁性，在热液中 Au^{+}、Au^{3+} 即向 Cu^{2+}、Fe^{2+}、S^{2-} 等靠拢，而相对富集。当 Fe^{2+}、Cu^{2-}、S^{2-} 反应生成硫化物时，金也随之沉淀，当沉淀在硫砷化物晶面上而又被包围在硫砷矿物之中则成为包裹金；当金沉淀在硫砷矿物之间，则成了粒间金。

裂隙金：由于 AuCl、$AuCl_3$ 在 250℃以下，全部转入液相中，增加了金的浓度。加上大量的成矿金属离子与 S_2^- 反应生成硫化物沉淀，热液中金属离子浓度大大降低，而金离子浓度相对增大。另外，前期金离子沉淀时，发生歧化反应，$3Au^{+} \longrightarrow 2Au\downarrow + Au^{3+}$。即有相当大的部分沉淀，而有小部分 Au^{+} 变成 Au^{3+}，继续保留在热液中。所以伴生金矿床的成矿热液到了晚期，金的浓度还是比较大，再加上金的亲铁亲硫性质，金离子聚集在黄铜矿等硫化物的周围，当早期的黄铜矿受到碎裂后，金离子就会充填于裂隙中，形成裂隙金。

4. 自然金粒度分布的控制因素

关于金的粒度大小受什么因素控制，到目前为止还不很清楚。但金粒度受热液中金的浓度、温度及时间因素的影响是明显的。

①温度对金粒度的影响：在一个伴生金矿床中，高温成矿阶段形成的矿物如毒砂、黄铁矿中的自然金都比中低温期形成的金颗粒小，尤其是低温期，形成的裂隙金粒度比高、中温期的金的颗粒都大。

②金浓度对金粒度的影响：热液中金的浓度大小对金形成颗粒的大小很有关系。在成矿早期高温阶段，即在 350℃以上，AuCl、$AuCl_3$ 主要还在气相中迁移，热液中金的浓度低，在早期与黄铁矿、毒砂同时形成的金的粒度就显得小。随着成矿热液的温度下降，到了 350℃以下，气相中的 AuCl、$AuCl_3$ 大部分转入热液中，金的浓度增大，加上金的亲硫亲铁性，聚集在 Cu^{2+}、Fe^{2+}、S^{2-} 的周围，当黄铜矿、磁黄铁矿形成时，金也沉淀。由于金的浓度增大，所以晚期形成的自然金，不论是粒间金还是包裹金，在数量上和粒度上均比早期多而大。

成矿晚期，在 250℃以下，AuCl、$AuCl_3$ 全部转入热液中，增加了金的浓度，再加上大量的成矿金属离子形成硫化物沉淀之后，热液中金的相对浓度增大了，所以能形成粒度很大的裂隙金、微脉金等。

③时间因素对金粒度的影响：一般来说，金离子沉淀时，粒度都很小，如果成矿时间长，热液中金离子浓度大并不断沉淀下来，金的晶体生长就会大些，如果金离子浓度小，成矿时间短，没有足够的成矿物质，金的晶体就长不大。另外，成矿热液多期活动，先期形成的金晶体，再吸收后期热液中金的微粒继续生长，金晶体变得更大，热液活动期次越多，金的粒度将明显增大。

（三）伴生金沉淀富集特点

1. 时间上多期次叠加富集

在成矿热液中，早期沉淀生成的毒砂和黄铁矿等矿物，由于大部分 AuCl、$AuCl_3$ 还在气相中，热液中金的浓度极低，而 $[FeCl_3]^-$、$[CuCl_3]^-$、$[PbCl_3]^-$、$[ZnCl_3]^-$ 等浓度甚大，$[AuCl_2]^-$、$[AuCl_4]^-$ 没法富集，只能伴随着其他金属离子与 H_2S 结合形成硫化物沉淀而混

在其中。形成少量粒度极细的分散金。这个成矿期的温度约 400—350℃，属高—中温成矿期。

随着早期沉淀成矿后，热液的温度继续降低，到了 350℃以下，尤其降到 300℃时，H_2S 大量转入热液中，形成大量硫化物沉淀，这时热液中金的浓度相对增大，能形成粒度较大的独立金矿物出现，多数为粒间金（图版 35）。此外，也有少量的包裹金（图版 31、图版 32）。粒间金与包裹金相比较，粒间金占绝大部分。这个时期形成的伴生金粒度明显比早期形成的分散金粒度大，数量也增多。这个成矿期温度在 350—250℃。为中温成矿期。

伴生金矿热液降到 250℃以下时，在气相中的 AuCl 及 $AuCl_3$ 已经全部转入液相中。原来热液中的成矿组分都形成了硫化物沉淀了。这时的成矿热液中的 $[AuCl_2]^-$、$[AuCl_4]^-$ 浓度更加增大了，金离子与残余在热液中的 Cu、Pb、Sb 等离子和 H_2S 继续反应，生成铜、铅、锑硫盐等低温矿物，金离子也随着沉淀，沉淀在早中期沉淀的硫化物裂隙里，形成裂隙金。表 7—5 中的 16 实验，是在 $AuCl_3$ 水溶液中加入黄铁矿，在 300℃、5.986×10^6Pa 条件下，通过 141 小时的反应，$AuCl_3$ 有 99.94%沉淀在黄铁矿的表面。虽然没有形成微脉金即裂隙金，但是含金的氯化物热液与黄铁矿接触时，$AuCl_3$ 确是沉淀下来了，这是事实。另外，表 7—5 的实验 17 为晚期自然金—方解石脉形成条件的实验。在 $AuCl_3$ 水溶液中加入方解石，在 200℃、1.962×10^6Pa 条件下，反应 191 小时，有 94.45%的 $AuCl_3$ 沉淀在方解石的表面结晶成自然金。这也说明含金氯化物热液与碳酸盐作用时，可以形成自然金—方解石微脉。

伴生金矿的成矿作用可分为早中晚三个成矿期，或称为高- 中温、中温、低温三个成矿期。高—中温期形成的毒砂、黄铁矿的金多为极细的亚显微金。中温成矿期形成的矿物多为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿等，与其伴生的金多为粒间金及包裹金。以粒间金为主，属显微金。低温期的矿物主要为硫盐矿物，脉石矿物有方解石、高岭土等，与其伴生的金以裂隙金为主、或自然金—方解石微脉产出，还可以高岭土等矿物伴生。

2. 空间上远距离搬运富集

由于 $[AuCl_2]^-$、$[AuCl_4]^-$ 沉淀温度比主金属更低、搬运更远。因此，往往造成伴生金富集地段与主金属矿体在空间位置上既可以重叠，也可以分离，甚至可能分布在围岩中。这也是形成伴生金—共生金—独立金三位一体的原因。

3. 沉淀环境上选择性沉淀富集

在硅酸盐 -氧化物 -硫化物 碳酸盐中，金主要选择在硫化物中沉淀。从大量矿物伴生金分配结果看，硫化物中 Au 约占 70%--90%，脉石（包括硅酸盐和碳酸盐）Au5%—25%，氧化物 Au<5%。由于金元素地球化学性质界于亲硫和亲铁元素之间，既有一定的亲硫性，也有一定的亲铁性，所以一般随硫化物富集而富集。从金与主金属搬运形式、沉淀条件的相似性，看出二者紧密共生的必然性。我们这次实验，用含 $AuCl_3$ 水溶液作为金的原始试料，在各个硫化物组合的合成中，几乎全部的 $AuCl_3$ 都沉淀形成了自然金。实验后的水溶液经测定含金极微，即使是 pH 值很低的水溶液，金的含量也很微（表 7—5）。所以说，在选择的条件下，$AuCl_3$ 与硫化物的共沉淀是很彻底的。

在硫化物组合中，金主要选择沉淀富集在铜硫化物及硫砷化物中，尤其是砷黝铜矿、硫砷铜矿及黄铜矿中。在同一个矿物组合中，如表 7—3 中的实验 3，合成的矿物以黄铁矿为主，次为斑铜矿及黄铜矿，自然金主要在黄铜矿中（图版 31）。又如实验 10，合成以辉铜矿为主，次为砷黝铜矿及雄黄，包裹金则多产子砷黝铜矿中。当砷黝铜矿与硫砷铜矿共存

时，两者均包裹有自然金。实验结果与自然界观察是一致的，即组合中当有黄铜矿时金主要分布在黄铜矿中，当无黄铜矿时，金集中于黄铁矿中，这与单一金矿床中金主要集中在黄铁矿中（因缺乏黄铜矿）有明显区别。概括起来，金在硫化物中富集程度是砷黝铜矿＞黄铜矿＞黄铁矿＞方铅矿＞闪锌矿。原苏联学者 A. Г. Миронов (1979) 在 500℃，9.81×10^7Pa 下，配料中加入 5×10^{-4}金的原始标样，实验结果发现硫化物含金量随不同组合而变化（表 7—6）。这与我们的实验和观察的结果是一致的。金元素与铜元素二者的密切关系，看来与它们在周期表上同属 IB 付族，当它失去一个或三个电子后，均属铜型离子有关。

表 7—6 共生组合中的矿物含金量

编 号	矿 物 组 合	金 品 位 (10^{-6})
Au3	黄铁矿	653
	方铅矿	73
Au4	黄铁矿	263
	黄铜矿	280
	闪锌矿	55
Au5	黄铁矿	180
	黄铜矿	480

第八章　伴生金矿床的四个“三位一体”成矿方式——矿床外围找金探索

通过对大量矿山系统研究证明，伴生金矿床在成矿方式上具有若干鲜明特点，这些特点经综合深化后可归纳成以下几条：在控矿因素上具有“深大断裂—板内同熔型岩浆活动伴生金矿床”的三位一体特征；在矿床类型的空间分布上具有“斑岩型矿床- 矽卡岩型矿床　岩浆热液型矿床”的三位一体特征；在金的矿化分带上具有“伴生金矿床—共生金矿床—独立金矿床”的三位一体特征；在矿种组合上具有“铜—铅锌—硫砷”的三位一体特征。当然，所谓“三位一体”是取其约数而言，实际上也可能是“两位一体”或“四位一体”。后三个三位一体彼此既有区别又有联系，矿床类型、金的矿化分带、矿种组合之间存在互为因果、互相依存关系。本书强调伴生金矿床的上述四个“三位一体”成矿方式之目的为了扩大和深化“就矿找矿”“外围找矿”的思路，所以在以下的论述中我们将力求对找矿实践有所探索。

第一节　控矿因素上的三位一体特征

“深大断裂－板内同熔型岩浆活动－伴生金矿床”的三位一体概念已在时 -空分布规律一章中有所阐述，但在此予以系统论证。在涉及伴生金矿床的物质来源问题时，我们是坚定的深源论者，即成矿物质来源于上地幔和下地壳的岩浆活动。即使一些古老的太古代、元古代同生矿床如辽宁红透山矿、四川拉拉矿、云南大红山矿、山西中条山矿的成矿元素亦

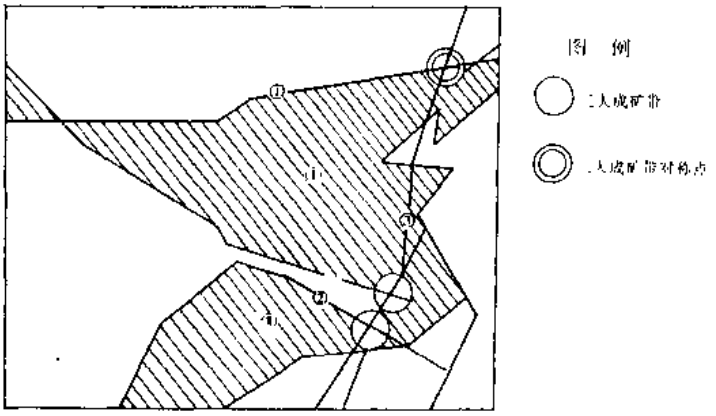


图 8－1　三大成矿带对称点示意图

Ⅰ－华北地台；Ⅱ－扬子地台；①－古亚洲断裂体系北系；②－古亚洲断裂体系南系；③－郯庐断裂系

来源于当时地槽造山运动时的火山—岩浆活动。在此认识的基础上便可顺理成章地建立上述三位一体概念。当然，所谓三位一体并不意味着板内同熔型岩体和伴生金矿床直接位于断裂线上。实际上后两者往往产出于深大断裂所派生的次级、三级断裂中。可以这样设想：深源的相对较基性的岩浆沿着切穿地壳和上地幔的深大断裂上升，至一定深度后复以次级、三级断裂为分枝通道向上延展，随之而产生的分异作用便在不同深度上形成中性—中酸性—酸性的深成—浅成—喷出岩体，配合围岩性质形成了对应的各类型伴生金矿床。

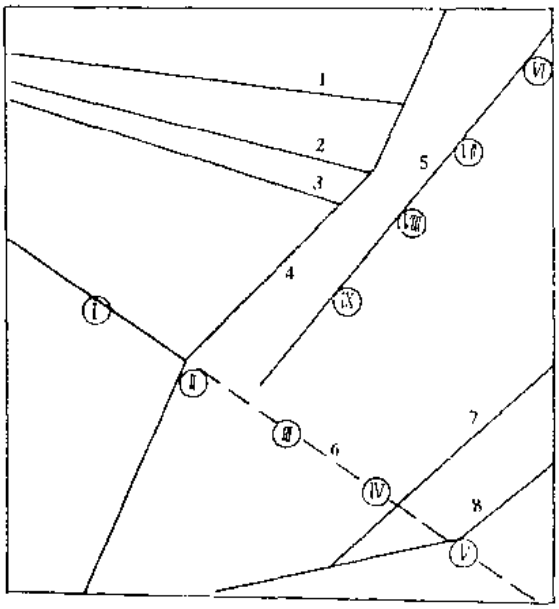


图 8－2　三大成矿带中远景区示意图（按矿化等距原则）

1—肥中断裂；2—六安断裂；3—磨子潭断裂；4—郯庐断裂；5—马鞍山—湖口断裂；6—襄樊—广济—上饶断裂；7—赣东北断裂；8—绍兴—江山断裂；Ⅰ—大冶集中区；Ⅱ—瑞昌集中区；Ⅲ—阳储岭远景区；Ⅳ—德兴集中区；Ⅴ—永平集中区；Ⅵ—南京集中区；Ⅶ—马鞍山远景区；Ⅷ—铜陵集中区；Ⅸ—安庆集中区

（一）赣东北成矿带的“深大断裂—板内同熔型岩浆活动—伴生金矿床”三位一体控矿因素

如把赣东北成矿带置于扬子成矿区中来观察，它是属于襄樊—广济—上饶深大断裂—巨型板内同熔型岩带中段。带中聚集了九江—黄石成矿带、赣东北成矿带、北武夷成矿带。从北西向南东，在大冶—阳新、瑞昌—星子—景德镇、德兴—上饶间陆续分布着数以百计的同熔型小花岗岩体，它们分布并不均匀，多集中于广济—上饶深大断裂与郯庐断裂、宜丰—景德镇断裂、婺源—丰城断裂、赣东北断裂、绍兴—江山—萍乡断裂的交汇处，这五个交汇处同时也是伴生金矿床矿化集中区。从目前已知矿床的分布情况观之，其中三个交汇所形成的德兴、瑞昌、永平三个矿化集中区以充分显示了它的水平，而另外两个交汇所形成的朱溪矿化远景区和众埠矿化远景集中区应该认为尚具有巨大的潜力，值得充分重视（图 4－5，图 8－2）。

（二）南京—安庆成矿带的“深大断裂、板内同熔型岩浆活动、伴生金矿床”三位一体控矿因素

存在于南京—安庆成矿带中的断裂似全属壳断裂范畴，但我们的认识是：古亚洲断裂

体系南系北段，在安徽境内称为肥中深断裂、六安深断裂、磨子潭深断裂。它们过郯庐断裂后似成为隐蔽的 EW 向基底断裂，从北到南分别对应着南京—镇江板内同熔型岩带、马鞍山—天王寺板内同熔型岩带、铜陵—宣城板内同熔型岩带、安庆—泾县板内同熔型岩带与长江深大断裂（对应着南京—贵池板内同熔型岩带）交汇处，即是岩体、矿床的集中区。与赣东北成矿带的分布格局类似，其中四个矿化集中区的两个：南京、铜陵矿化集中区已充分显示了它们的高密集度矿化水平；但另两个：马鞍山、安庆矿化集中区目前虽规模不大但看来尚有相当大的远景，值得充分重视（图 4—8，图 8—2）。

马鞍山、安庆矿化远景区目前已分布有几个一定规模的伴生金矿床，前者有铜井、谷里、横山等矿；后者有铜山、铜牛井、月山、西马鞍山等矿，但与另两个矿化集中区比较则差距很大。另外从“矿化等距性”原则观之，四个矿化集中（远景）区各相距约 90km，等距性规律相当完美。这是在马鞍山—当涂间、贵池铜山矿外围找伴生金矿床的又一论据（图 4—8，图 8—2）。需要特别提出的是：成矿带中伴生金矿床虽大多数位子长江南岸，但从区域控矿条件来看，在长江北岸，上述四个矿化集中区、矿化远景区对应点上亦存在相似的成矿条件。实际上，安庆矿化集中区的矿床就主要分布于北岸，而南岸相对较次要。所以，在下扬子台拗的沿江拱断褶带（按《安徽省区域地质志》）范围内，南京矿化集中区对应的滁县—全椒；铜陵矿化集中区对应的庐江；安庆矿化集中区对应的贵池—石台均具有伴生金矿床的成矿远景。这些对应区目前已存在一些中小型矿床或矿点，如滁县的琅琊山矿、全椒的东孙家矿、庐江的何家小岭矿、石门庵矿、罗昌河矿、贵池的铜山矿、黄山岭矿、安子山矿等。

成矿带的Ⅰ级控矿断裂和控矿带是 NE 向的长江深断裂和南京—贵池岩带，它控制了成矿带的分布。Ⅱ级控矿断裂则是上述四条 NWW—EW 向基底断裂。它们实质上是祁连—秦岭—大别山亚断裂体系的几条大断裂向东楔入扬子地台的产物，它们控制了矿化集中区的分布；最后Ⅲ级控矿构造则是 NNE 向褶皱和断裂。如著名的铜陵矿化集中区，区中的铜官山、狮子山、凤凰山三个矿田联线与 NWW 向基底断裂构造一致，Ⅲ级断裂展布于北东向次级背—向斜构造核部（图 8—3）。同时板内同熔型花岗闪长岩—石英闪长岩体亦依次在背—向斜核部出露。上述三个矿田展布亦明显地符合“矿化等距性”原则，如果推定大成山附近为一远景区，则它们之间的距离恰巧是 7km。在本区，所谓“矿化等距性”实际上依附于对称背—向斜的等距性，所以在同处于背斜核部的大成山几个岩体与石炭、二叠系接触带上找伴生金矿床值得探索。

（三）九江—黄石成矿带的“深大断裂—板内同熔型岩浆活动—伴生金矿床”三位一体控矿因素

与上述两大成矿带相比较，九江—黄石成矿带的构造—岩浆活动相对较简单，与襄樊—广济—上饶深大断裂相对应的是大冶—瑞昌—都昌（阳储岭）板内同熔型岩带，而且在方向上恰与南京—贵池岩带共轭；一成 NW 向，一成 NE 向。在此断裂—岩浆岩带中存在三个岩体集中区：大冶集中区，瑞昌岩体集中区、阳储岭岩体集中区。前两区同时也是著名的矿化集中区，但第三区迄今只有一个阳储岭矿。我们认为它是一个矿化远景区。又从“矿化等距性”原则看，大冶、瑞昌、德兴、永平矿化集中区之间，如能补上一个阳储岭矿化集中（远景）区恰巧成等距排列，距离也约为 90km，所以，这也是将它列为远景区的又一论据（图 8—2，图 4—2）。

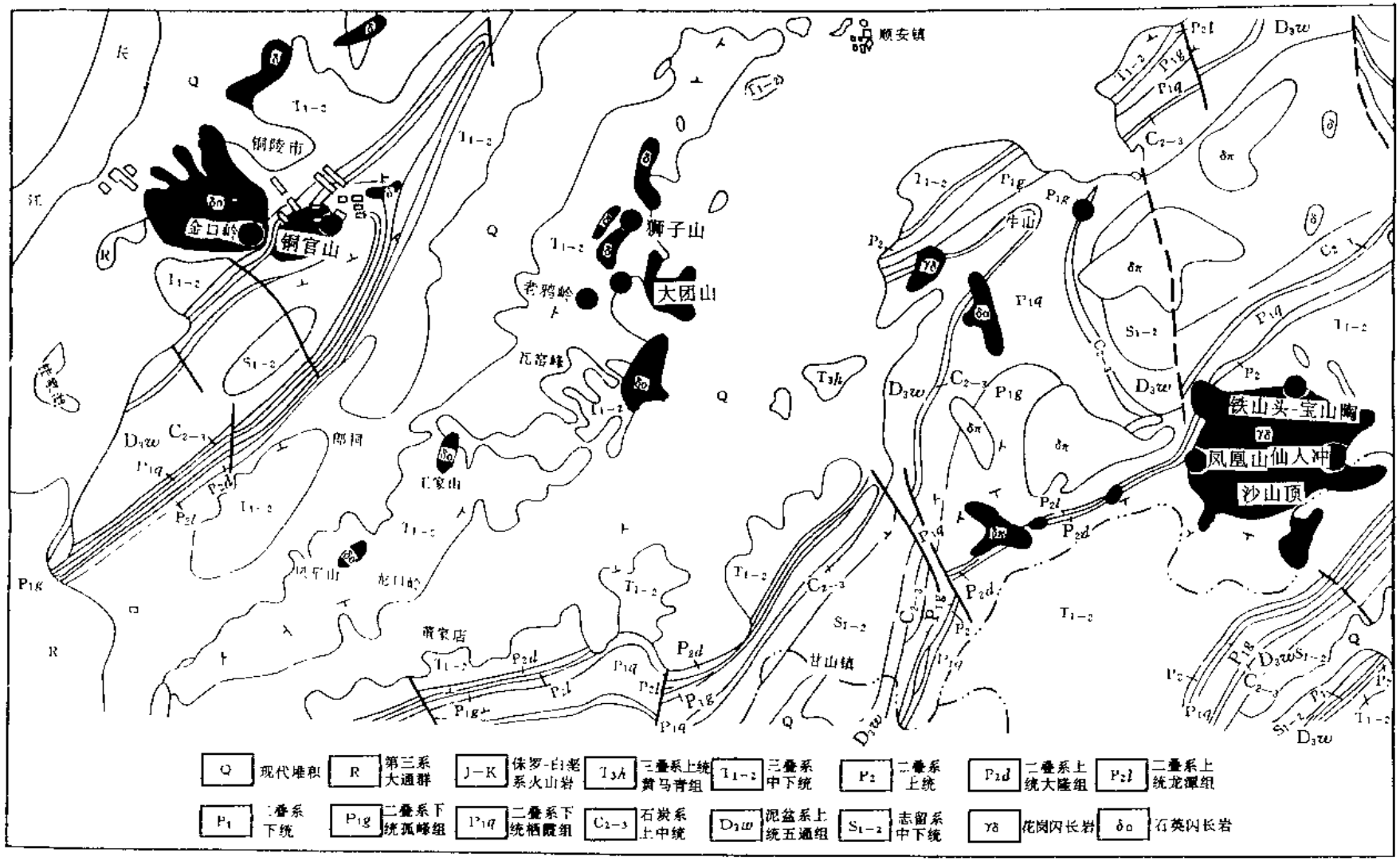


图 4—8　南京－安庆成矿带深大断裂－同熔型岩体－伴生金矿床关系示意图

行文至此，我们已可根据“三位一体”和“矿化等距性”原则，将上述三大成矿带中的成矿远景区作一归纳：沿襄樊—广济—上饶断裂排列的五个矿化集中区（其中一个为阳储岭矿化远景区）和沿长江断裂排列的四个矿化集中区（其中两个为马鞍山、安庆—贵池矿化远景区）之间的距离恰巧各约90km。所以，上述三个矿化远景区的提出，对总结成矿规律、扩大找矿思路是有益的（图4－2、图8－2）。

（四）三大成矿带在滨太平洋成矿域中的“对称点”——一个有待论证的假设

在系统研究，反复论证伴生金矿床的三大成矿带的成矿条件后，我们一直被一个问题困惑着：在辽阔的国土上能否再找到一个如此超大型的矿化集中区，亦即是否存在一个成矿的断裂—岩浆活动条件与三大成矿带类似的“对称点”。众所周知，我国大地构造格式最大特征之一是槽台等距分布（西伯利亚地台—大兴安岭—天山褶皱系—华北地台—祁连、秦岭褶皱系－扬子地台－华南褶皱系－印支—南海地台）也即是说存在超巨型“等距性”原则。在古亚洲断裂系北系的内蒙古经长期踌躇后我们认为：地轴北缘断裂与郯庐断裂系北段的依兰—伊通、抚顺—密山断裂交汇处，亦即是华北地台北缘东端地区关门山－天宝山—小西南岔一线的断裂－岩浆活动与三大成矿带有不少相似性（图8－1）。值得做一些基础地质工作以为初步探索：从研究区或深大断裂和同熔型岩浆活动的分布着手，再选择有利地段进行系统工作，以在古老克拉通区和华力西褶皱带中寻找印支—燕山期后生矿床。

第二节　矿床类型上的三位一体特征

在研究江西铜矿的成矿规律时，江西地质研究所提出了“多位一体”概念，主要内容是指矿床类型上的“多位一体”，如城门山、武山被称为：细脉浸染型—爆破角砾岩—矽卡岩型—脉型－似层状型等五位一体。我们在本节论述中部分利用了他们的成果，现举例说明如下。

1．城门山铜矿在矿床类型上的三位一体特征

城门山铜矿由围绕着城门山杂岩体的一组不同类型的矿体组成。从岩体中心向外分布着斑岩钼矿—斑岩铜矿—矽卡岩铜矿－块状硫化物铜矿。三种类型在空间上有序排列，成因上同出一源：来自上地幔下地壳的成矿物质沿深大断裂上升，在不同的围岩条件下形成了不同类型的矿床（图8－4）。

各类型中Au、Ag的赋存规律：据表8－1，赋存在块状硫化物铜矿与含铜矽卡岩中的伴生Au、Ag最为重要，而含Cu石英斑岩中的Au含量较低。据不同矿石类型单矿物金银分析资料可知，金银的富集主要与金属硫化物有关，主要分布在黄铜矿之中，Au由4.5×10^{-7}—1.1×10^{-5}，平均2.66×10^{-6}，银由5.43×10^{-5}—1.345×10^{-4}，平均8.63×10^{-5}。通过配分计算，不同矿床类型中金银分配情况较为悬殊，在块状硫化物中，绝大部分Au、Ag分配在黄铁矿、黄铜矿中，而以黄铁矿的占有率最高；在含铜矽卡岩中，Au、Ag在金属矿物和脉石矿物中的配分比接近相等，仍以黄铁矿的占有率较高；在含钼斑岩中，因金属硫化物所占比例显著减少，脉石量相应增大，所以Au和Ag在金属矿物中的配分比显著减少，而在脉石矿物中配分比则明显提高。配分结果表明，Au、Ag的富集与金属硫化物黄铜矿、黄铁矿密切相关（表8－1）。

2．武山铜矿在矿床类型上的三位一体特征

表 8－1　各类矿石中 au、ag 含量表

矿　石　类　型	含量(10^{-6})	
	au	ag
块状硫化物	0.49	14.61
含 Cu 矽卡岩	0.23	9.78
斑岩 Cu 矿(含 Cu 花岗闪长斑岩)	0.22	6.63
斑岩 Mo 矿	0.049	1.03
褐铁矿矿石	0.40	16.78

武山是一个大型铜矿，与矿床有关的武山杂岩体，由闪长岩、花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩等组成，属燕山早期产物（图 8－5）。

矿区由南、北两个矿带组成。北矿带为块状硫化物型铜矿，南矿带属矽卡岩型铜矿体，它们的特点各异，现分别予以阐述：

①北矿带

北矿带规模大，铜储量占全区总储量的 58%～59%，平均含铜品位为 1.28%。呈层状、似层状产于黄龙组中，与地层产状基本一致，倾向 155°—165°，倾角 60°，二者呈同步褶曲。北矿带由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号矿体组成。Ⅰ号矿体底板及下伏上泥盆系、上志留统砂岩中广泛发育以细脉为主的细脉浸染状铜硫铅锌矿化。浅部经次生富集作用，在20—60线可构成长

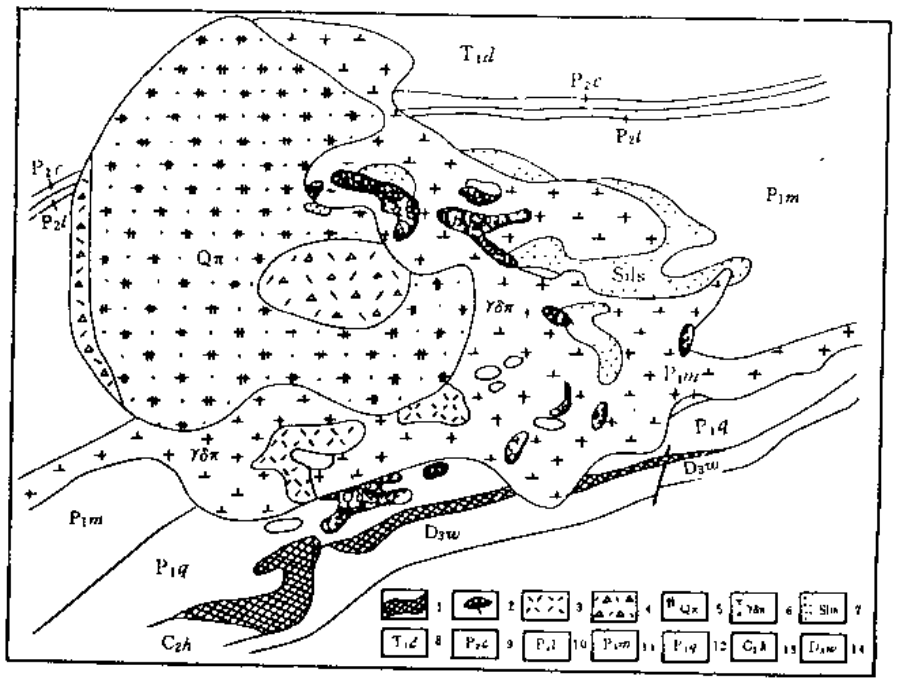


图 8－4　城门山矿区地质略图

1－似层状铜矿；2－矽卡岩铜矿；3－细脉浸染状铜矿；4－爆破角砾岩筒铜矿；5－矿化石英斑岩；6－花岗闪长斑岩；7－硅化灰岩；8－下二叠统大冶组；9－上二叠统长兴组；10－上二叠统龙潭组；11－下二叠统茅口组；12－下二叠统栖霞组；13－中石炭统黄龙组；14－上泥盆统五通组

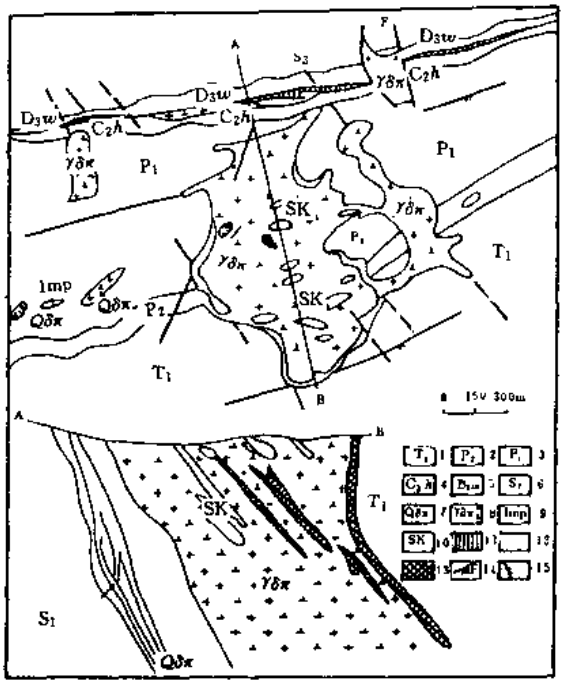


图 8—5　武山铜矿区地质图

1—下三叠统；2—上二叠统；3—下二叠统；4—上石炭统；5—上泥盆统；6—上志留统；7—石英闪长斑岩；8—花岗闪长斑岩；9—煌斑岩；10 矽卡岩；11—铁帽；12—块状含铜黄铁矿体；13—矽卡岩铜矿体；14—压（扭）性断层；15—张扭性断层

20—150m、宽 1—2m 的铜矿体（李启全），其中矿石矿物主要是黄铜矿、黄铁矿，与南矿带相比特征性矿物有胶黄铁矿、胶白铁矿、高岭石等，菱铁矿、方铅矿、闪锌矿等也较南矿带多见。北矿带的矿化分带特征是：

纵向上：矿化中心为 Cu、S、(W、Fe)，向两侧为 Pb、Zn、Cu、S，最外侧为 S。与之相对应的矿物组合为胶黄铁矿、胶白铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、菱铁矿、白钨矿—黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿—黄铁矿。

横向上：矿带下部为 Cu、S、(W、Fe)，上部为 Cu、Pb、Zn，最上部为 S。

垂向上：由 I 号矿体至 I 号矿体，Cu 的含量由高到低，Pb、Zn、Ag 含量由低到高。

②南矿带

南矿带分布在矿区南部花岗闪长斑岩与围岩的接触带，矿体呈环状、环带状、透镜状围绕接触带产出，主要由二十四个矿体组成，其中 8Cu、9Cu 为主要矿体，占南矿带铜储量的 82%（赣西北地质大队，1984）。

按矿体产出空间位置及形态可进一步划分为正接触带、外接触带矿体。

花岗闪长斑岩体内也有浸染状铜矿化，铜含量一般在 0.3%—0.4%，最高达 70%，可谓细脉浸染型矿体，但因品位低，分布零散，难以圈出工业矿体。南矿体的矿化分带特征是：

矿化围绕岩体呈环状分布，在水平分带上从内向外为 S→Cu、S→Pb、Zn、Cu、S→S；垂直分带上由深到浅为：Cu、Mo→Pb、Zn→S。

武山矿亦是大型伴生金矿床，Au 储量达几吨。北矿带块状硫化物型铜矿含 Au 4.6×10^{-7}；南矿带矽卡岩型铜矿含金 2.7×10^{-7}（图 8—5）。

3. 玉龙铜矿在矿床类型上的三位一体特征

玉龙铜矿是一个典型的三位一体矿床。自内向外随着矿化围岩性质不同而变化：产于黑云母花岗二长斑岩中是斑岩铜钼矿，产于岩体碳酸盐岩接触带中为矽卡岩型铜铁矿，产于层间破碎带中为铜钨矿（低品位），产于外围裂隙中为铅锌矿（图 8—6）。

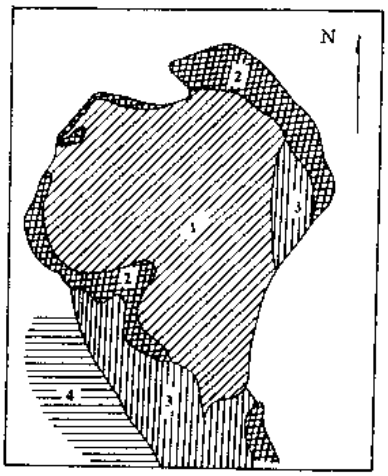


图 8—6　玉龙矿矿床类型上四位一体示意图

1—斑岩铜钼矿；2—矽卡岩型铜矿；3—似层状铜钨矿；4—脉状铅锌矿

①斑岩铜矿

其形态规模与含矿斑岩体一致，矿体平均厚度为 331.5m，为典型的细脉浸染状矿石。斑岩体中心部位在标高 4700m 以下进入无矿核。金属组分主要为铜，次为钼，有益伴生组分有 Au、Ag、Re、铂族。金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿。其次是辉铜矿、蓝辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石、赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿、赤铜矿、自然铜等，非金属矿物与斑岩和蚀变岩的矿物组成相同，含金较低。

②矽卡岩型铜矿

成环状包围斑岩岩体，但主要分布于 NE 和 SW 接触带上，产状较陡。矿体厚度大，品位低，同时有铁矿化，远离接触带则逐渐变薄，含金较高。

③似层状铜钨矿

似层状矿体产于甲丕拉组之间的层间破碎带中。金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等。

④脉状铅锌矿

产于远离岩体地段，矿化弱，品位低，目前尚难利用。

4. 小结

矿床类型上的三位一体问题，可分两种情况，一是实例玉龙矿、城门山矿所述那样，三位一体形式以一个岩体为中心不同类型的矿体由内向外、由下向上排列，可称为“玉龙式”；一是实例武山矿所述那样，三位一体形式是：以一个较大岩体为中心，周围分布着一些小岩体，这几个岩体距离相近，岩性相似，矿化可比较，很可能深部相联，为同一岩浆源的产物。而不同类型矿体分别依附于这几个岩体而成矿，较大岩体形成较高温的矿床类型，较小岩体形成较低温的矿床类型，可称为“武山式”。现着重探讨后者的找矿意义，在

…个较大型矿床周围往往存在与成矿岩体相似的小岩体，其构造条件也往往近似。从三位一体的角度观之，往往可能是寻找“武山式”伴生金矿床的远景区，如湖南宝山矿外围的许多小岩体（图 8－7），铜陵铜官山矿外围的小岩体（图 8－8）都是很好的实例。

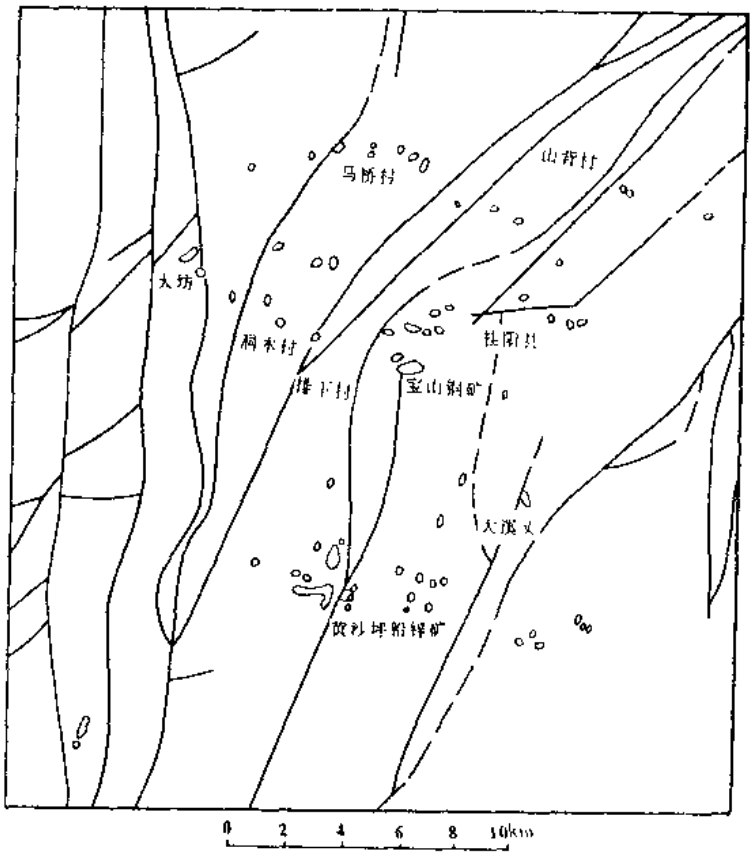


图 8－7　宝山矿外围断裂—同熔型岩体分布图

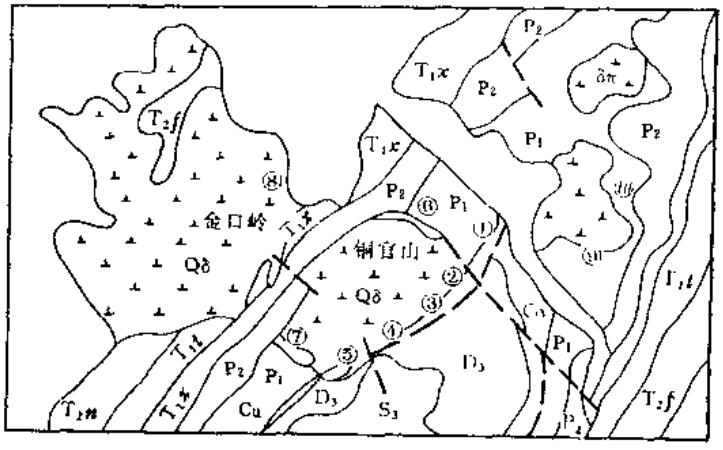


图 8－8　铜官山矿区地质简图

①—松树山矿段；②—老庙基山矿段；③—小铜官山矿段；④—老山矿段；⑤—宝山矿段；⑥—笔山矿段；⑦—白家山矿段；⑧—金口岭矿床；⑨—天鹅抱蛋山矿床；⑩—马山矿床

第三节　伴生金矿化分带上的三位一体特征

所谓伴生金矿化分带上的三位一体特征即是在一个矿床（田）范围内往往由中心向外顺次排列着伴生金矿床--共生金矿床—独立金矿床。更简单地说即是：在一个含金较高的大型伴生金矿床外围，往往可以找到较小型的含金更高的共生金或单一金矿床。众所周知，金的成矿温度一般在中低温，设想在高温的矽卡岩型矿床外围，在合适的成矿条件下形成的中低温矿化，则金的矿化强度肯定会超过高温矿床。现举例说明如下：

1. 铜录山 · 鸡冠咀矿金矿化分带的三位一体特征

铜录山矿是一个特大型铜矿，也是一个特大型伴生金矿床。全矿金品位为 1.15×10^{-6}，在矿体中尚可圈出一定储量的 $Au>3\times10^{-6}$ 的高品位共生金矿段。从而表明，在成矿物质来源中富含有大量的金。鄂东南地质大队在其专著 [1] 中以大量事实证明成矿与铜录山岩体——石英正长闪长玢岩（简称玢岩，下同）有关。岩体为燕山早期第三次岩浆侵入形成，东西长 4000m，南北宽 3500m，面积约 $11km^2$，呈不规则椭圆状，总体上成向南超复，向东南倾斜的蘑菇状岩株，矿体产于玢岩的中偏北部。鸡冠咀金铜矿距铜录山矿 1.7km。矿床中具有工业规模的四个矿体，集中分布在长 790m，宽 270m 范围内，埋藏深度 50 --520m。主要矿体均赋存在玢岩体内的大理岩捕虏体层间及接触带内外。Au 品位 3.38×10^{-6} 达到高品位共生金矿床要求。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、自然金，次为斑铜矿、辉铜矿、银金矿、白铁矿、赤铁矿和磁铁矿；脉石矿物主要有方解石，其次为石英、石榴石、白云石、阳起石等。金矿物成色高，为 625－998，约占 61%的金赋存在黄铁矿中，铋盐矿物中金约占 35%，铜矿物中约占 4%。与铜录山矿比较，后者的矿物组合，自然金的成色（410—960）及金的配分（黄铜矿中占 23%，黄铁矿中占 6%，磁铁矿中占 12%，裸露金占 40%，其余赋存于脉石中）等充分说明，鸡冠咀矿成矿温度较低，而铜绿山矿则较高。

在铜录山玢岩岩体周围，目前已有不少中小型铜铁矿床，如石头咀矿（$Au0.5\times10^{-6}$），下四房矿（$Au0.20\times10^{-6}$），鲤泥湖矿（$Au0.81\times10^{-6}$），猴头山矿（$Au0.49\times10^{-6}$），它们都或多或少含伴生金。所以在上述矿床中或接触带其他部位找富金矿床或矿段是大有远景的。

2. 内蒙古白乃庙铜矿…白乃庙金矿的金矿化分带的三位一体特征

白乃庙铜矿产于白乃庙群中，岩性主要为基性—中酸性火山岩--变质岩系，成因类型上属海相火山岩矿床。矿床受东西向构造控制，陆续分布在东西长 10km 南北宽 1km 狭带内。矿物组成主要为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿等。经我们取样（200 个样）分析，矿床中金变化很大，最高可达 $20\times10^{-6}Au$，而且连续性相当好，有可能圈出 $>3\times10^{-6}$ 的高品位共生金矿体（全矿 $Au0.81\times10^{-6}$ 储量 12.57t）。白乃庙金矿位于铜矿北西约 1.5km 处，处于同一构造带，同赋存于大断裂的次一级构造中，同产于基性—中酸性火山—变质岩系中，属于同一成因类型。石英脉中 Au 品位可达 3×10^{-6}，个别高达 443.8×10^{-6}。主要金属矿物除自然金外，可见黄铜矿、黄铁矿。在铜矿与金矿之间在留下的探槽中可见一定程度矿化。

3. 铜陵铜官山矿—天鹅抱蛋山矿--马山矿的金矿化分带三位一体特征：

铜官山矿是典型的矽卡岩型矿床，矿体分布于铜官山石英闪长岩体南东侧接触带上，依

次由松树山、老庙基山、小铜官山、笔山、罗家村、宝山、白家山、老山、东石门等九个矿段组成。矿体产状为似层状、囊状、柱状、脉状，分别受层间剥离--破碎带、断裂、裂隙控制。主要金属矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、白铁矿、辉铅矿、辉铜矿等。Au 品位 5.6×10^{-7}，Ag 品位 1.85×10^{-5}，与其他矽卡岩型矿床比较，Ag 品位相对较高。在铜官山矿东侧依次有天鹅抱蛋山（天山）硫金矿、马山硫金矿，产于铜官山背斜的东翼天鹅抱蛋岩体的接触带上。铜官山背斜走向北东并逐渐倾伏，在平面上呈 S 形，地表岩层倾向南东和北东，倾角 25°—45°，但到小于 200m 以下，产状变陡，倾角 60°—70°，深部小于 600m 以下岩层产状倒转，倾向北西，矿床就以小于 600m 为界，以上称天山矿床，以下称马山矿床。矿床产于黄龙、船山、栖霞组中，金属矿物两矿相似，主要为磁黄铁矿、黄铁矿、胶黄铁矿、毒砂、黄铜矿、自然金等。全矿金品位天山矿为 2.4×10^{-6}，储量几十吨；马山矿为 6.63×10^{-6}，储量几吨。前者同样可圈出 $Au>3\times10^{-6}$的高品位共生金矿段，经估算，－55m 以上矿段，单金储量可达几吨。

经大量事实推断，铜官山岩体和天鹅抱蛋山岩体应为同一岩体的浅部分枝，从矿床类型、矿化特征、矿物组合来看，铜官山矿成矿温度较高，天马山矿较低，金的矿化分带也从伴生金—共生金—独立金矿过渡，成典型的三位一体排列（图 8—8）。

4. 湖北阳新丰山—鸡笼山矿金矿化分带的三位一体特征

矿田处于九江—黄石成矿带东段，已知伴生金矿床有丰山矿、鸡笼山矿、李家湾矿。虽然在地表与成矿有关的岩体有三个，但深部应是同一岩体的派生分异产物，因分枝小岩体与基岩距离有差异，所以上述三矿的成矿温度，矿物组合亦有差异。矿床排列从西→东成矿温度高→低，金品位从低→高：丰山矿 0.38×10^{-6}→李家湾矿 0.82×10^{-6}→鸡笼山矿 2.10×10^{-6}。为此，我们推断在丰山矿外围找共生金矿体是有远景的，证据是在该矿外围存在金矿化的迹象；对丰山铜矿内部而言，金富集于硅灰石矽卡岩带和硅灰石透辉石矽卡岩带，部分样品金可达 22.14×10^{-6}和 28.58×10^{-6}。所以，应在上述矽卡岩带发育地段寻找富金矿块，并予以圈定；对丰山矿近矿外围而言，金矿化是矿山在基建付井中发现的，它位于北矿带 501 号矿体北部下盘围岩中，距 501 号矿体约 200m，平面上位于 16—17 线间，垂直方向上位于－140m 到－250m 范围内。据矿山对 80 个样品的分析，金品位 0.3×10^{-6}—6.2×10^{-6}，平均为 1.4×10^{-6}，矿化连续性较好。矿化位于角砾状大理岩中，同时共生有雌（雄）黄，与鸡笼山矿类似。我们初步认为：a. 据矿区构造特征，金矿化带应呈东西向；b. 付井东部远景大于西部；c. 围岩地层倾向南，倾角约 60°。所以地表的矿化异常区估计约在付井北 160—200m 范围。

对丰山外围的鸡笼山矿而言，现在开采的金铜矿体主要集中分布在鸡笼山岩体的西段北缘和南缘，即 32 线以西。由于岩体是由东（南）向西（北）多期次侵入，成矿溶液亦由东（南）向西（北），而且由下面上运移，在有利的地质条件和物理化学条件转变的时机，如构造破碎带的发育；交代矽卡岩造成 pH 值和 Eh 值的降低；或温度降低氧逸度增高均可能引起金的分阶段沉淀，形成金矿体。因此，我们预测在 32 线以东地区相对较深的部位，岩体与三叠系嘉陵江组第三段灰岩接触的位置，尤其是构造破碎发育的部位可能有金的矿体产出，特别在东部岩体自西北方向斜上侵入的转折部位，可能赋存矿体。鸡笼山金铜矿的成矿地质条件主要有三个：一是燕山期的花岗闪长斑岩成矿岩体，具有多期次侵入特点；二是三叠统嘉陵江组含铁较高，含硅、镁、铝较低的脆性石灰岩层，其上下地层均为含膏

盐层的白云质灰岩；三是褶皱构造十分发育，复式褶皱、倒转褶皱十分常见，造成岩石破碎和层间滑移的构造角砾岩带。当由三叠系嘉陵江组第三段灰岩地层形成的褶皱轴部与岩体直接接触部位，最有利于成矿。根据这样的地质条件分析，鸡笼山矿的南西部应是比较理想的外围找矿基地。从区域构造看，南部有木石港复式背斜，与鸡笼山—苗母复式倒转向毗邻。地层褶皱、倒转亦很发育，在此范围内，并广泛分布有三叠系嘉陵江组第三段灰岩地层。如果能注意在该地区找寻隐伏的花岗闪长岩体，则发现金铜矿床的可能性极大。

小结：有色矿床中的金矿化分带的三位一体特征，不单在上述四个矿床（田）中存在，其他伴生金矿床中也经常产生，如铜陵狮子山矿等。它可以给予我们两点启示：a. 在高伴生金的有色矿床外围有可能找到共生金，甚至独立金矿床；b. 金的矿化分带按成矿温度排列，在近矿外围，特别在表外矿石中有可能找到富金矿段，这一规律与金在成矿过程中的地球化学行为一致。

第四节　矿种组合上的三位一体特征

本节所论述的不过是传统的金属矿床矿化分带而已，但我们论述中将着重探索金在主金属分带过程中的趋向。从岩浆成矿的观点来说，分带的基础是从岩体向外存在温度梯度、浓度梯度所致。而此两因素同样对伴生金的迁移—富集起决定作用。现举例说明如下。

1. 江西银山矿的矿种组合上的三位一体特征

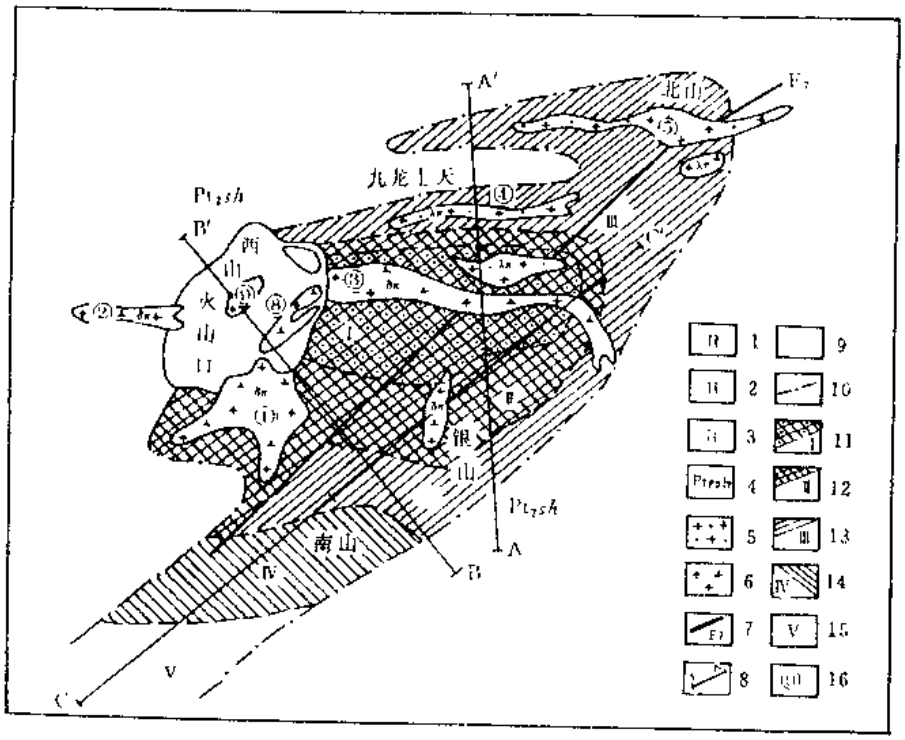


图 8－9　银山矿区 50M 中段矿化蚀变分带示意图

1－上侏罗统上部火山熔岩、火山碎屑岩；2－上侏罗统中部集块角砾岩；3－上侏罗统下部千枚质砾岩夹砂岩；4－中元古界双桥山群千枚岩；5－石英斑岩；6－英安斑岩；7－断层；8－剖面线位置；9－矿带界线；10－无矿边界线；11－黄铁绢英岩化、铜硫金带；12--黄铁绢英岩化、绿泥石化，铜硫金铅锌银重叠带；13－绿泥石铅锌银带；14－碳酸盐脉铅（锌、银）带；15－无矿带；16－岩体编号

银山矿区位于扬子地台江南台隆与钱塘拗陷的衔接部位，赣东北深断裂带的北西侧及德兴—乐平中生代火山盆地的东北边缘，是德兴成矿区著名特大型多金属金银矿床。目前已取得金储量几十吨，银储量几百吨（图 8—9）。

区内分布中元古界双桥山群千枚岩，侏罗系末在盆地边缘火山喷发，陆相火山碎屑岩和熔岩堆积在火山口周围地层中，火山岩体主要为燕山早期英安斑岩，Cu、S、Pb、Zn、Au、Ag 矿化与其密切有关，以英安斑岩岩体为中心，矿化蚀变分带明显，由内至外依次为：绢英岩化铜硫金带（西山区、九区）—绢英石化、绿泥石化铜金硫带及铅锌银过渡带（九区）—绿泥石化铅锌银带（银山区、北山区、九龙上天区）。在垂直方向上，上部为铅锌银矿带，下部为铜硫金带。

矿体呈脉状产于岩体内外接触带，明显受断裂、隐爆角砾岩、层间不整合面控制，矿石平均含 Cu0.87%、Pb1.3%、Zn1.77%，主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、砷黝铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿，脉石矿物为石英、碳酸盐、重晶石及绿泥石等。

与英安斑岩体密切相关的铜、硫、金、铅、锌矿大致可以分为三个成矿阶段，黄铁矿—石英阶段，黄铁矿（晚期）—铜矿物—闪锌矿—方铅矿阶段，以及碳酸盐阶段。金银矿物主要在第二阶段富集成矿。在第二阶段早期为金富集，到晚期则具银相对富集。金主要富集在黄铁矿及各种铜矿物之中，而银则富集于二阶段末的方铅矿、闪锌矿之中，形成硫铁矿带—铜硫矿带—铅锌矿带。

金银元素在矿石中分布及其赋存规律：矿区主要金银矿物为自然金、银金矿、碲金矿、硫锑铅银矿、深红银矿、辉银矿、自然银、碲银矿等。金主要富集于九区和西山铜硫矿带，而银富集于银山、九龙上天区、北山区铅锌矿带（表 8—2）。

西山区、九区的铜硫矿带矿石可以划分为铜硫型和硫铁型两类。早阶段形成黄铁矿化，晚阶段形成铜矿化，在铜矿化作用强烈处，铜矿物呈团块状分布形成铜硫矿石，而铜矿化微弱处多为硫铁型矿石，在垂直空间分布上铜硫型矿石位于下部，硫铁型矿石位于上部呈现逆向分带的特征。

表 8—2　银山各矿带矿石中金银含量（10^{-6}）及 Ag/Au 比值

元素 \ 矿化带	西山区	九　区	银山区	九龙上天区	北山区
Au	0.9	0.7	0.76	0.08	0.24
Ag	15.0	6.0—8.0	133.76	72.50	113.56
Ag/Au	16.67	3.57—11.43	1148.5	906.25	473.17

2. 湖南桂阳宝山矿矿种组合上的三位一体特征

宝山铜矿及其外围是一个大有远景的地区。矿床明显受宝岭倒转背斜和层间破碎构造的控制，花岗闪长斑岩与成矿关系密切，围岩蚀变主要为矽卡岩化，次为绿泥石化、长石化、金云母化、绢云母化、大理岩化、矽化、白云石化、方解石化、黄铁矿化等。矿床类型属以铜、铅为主的矽卡岩型多金属矿床。

铅铜铋钨综合矿分布在测水组砂页岩、火成岩及石磴子组顶部的炭质灰岩中。铜矿体分布在石磴子组灰岩中。矿区主要有铜矿体 4 个，铅矿体 4 个。铅矿体主要分布于倒转背斜顶部西翼，呈新月形，马鞍形及似层状。铜矿体主要分布于背斜中部队，呈扁豆状或不

规则状。金属矿物有黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、银等。其他金属矿物有黄铁矿、白铁矿、赤铁矿等。

矿区外围环绕铜钼矿床分布着四个铅锌矿床：东部铅锌矿床，北部财神庙铅锌矿、西部铅锌矿、大坊铅锌矿，是一个中心铜钼，边缘铅锌的成矿系列。无论是铜钼还是铅锌，都以存在伴一共生金为重要特征，总的来说，外围的金相对较高。

小结：上述两例全是 Cu－Pb、Zn 矿系列。另外如 Cu－S－As 矿系列已在铜官山－天鹅抱蛋山－马山一段（见本章第三节）详予介绍，不赘述。在此着重提出的是：围绕成矿岩体，在矽卡岩型铜矿外围或浅部寻找热液型铅锌矿床（体），反之，在铅锌矿内侧和深部寻找铜矿床（体）；在矽卡型铜矿外围寻找含铜硫化物矿床，反之，在含铜硫化物矿床内侧寻找矽卡岩型矿床，应该说是一个被实践证实了的就矿找矿的方法之一。从这一角度出发，我们认为：铜陵金口岭、湖南浏阳七宝山矿、水口山老鸭巢、鸭公塘、康家湾矿都是具有较好远景的地区。但必须说明，上述实例全是指与板内同熔型岩体有关的成矿系列，也就是指伴生金矿床，而与重熔型岩体有关的矿床是不在论述范围。一般而言，与重熔型岩浆活动有关的矿床虽亦多见矿化矿床类型和矿化分带上的三位一体现象，但全部矿化分带中均不含金，如湖南香花岭矿的 Be－Sn－PbZn 组合中均无伴生金。

第九章　伴生金矿床的综合经济评价

第一节　生产矿山各回收组分的等值转换

随着经济改革的深化，矿山中的伴生金日益受到重视，目前已有条件对之作再评价了。过去，评价伴生金的方法多以精矿为对象，如铜精矿中金品位多少，一年回收若干千克，并以此确定金的价值。但这一方法并不完全恰当，它受铜、金回收率的制约，而现在铜矿山的金收率远低于铜收率，故使两者的产值比甚低。为了引起对矿山中伴生金的重视，必须从资源本身的角度探讨主、副金属（如 Cu、Au）之间相对价值。为此，推导了两个公式，以对它们价值的大小作判断。

$$T_{M_1M_2}=\frac{w_{M_1}\cdot P_{M_1}}{w_{M_2}\cdot P_{M_2}} \tag{9—1}$$

$$Y_{M-2}=T_{M_1M_2}\cdot Y_{M_1} \tag{9—2}$$

式中：M_1 为综合回收组分（如 Au），M_2 为主组分（如 Cu），P_{M_1}为综合回收组分的现行价格；P_{M_2}为主组分的现行价格，w_{M_1}和 w_{M_2}分别为综合回收组分（如 Au）品位和主金属品位（如 Cu）。$T_{M_1M_2}$为 M_1（如 Au）相对于 M_2（如 Cu）的等值转换率，简称为 M_1-M_2（如 Au—Cu）等值转换率；Y_{M_1}为 M_1（如 Au）回收率，Y_{M_2}为与 Y_{M_1}等值的 M_2（如 Cu）回收率。

（9—1）式可称为矿石的主、副金属之间的“等值转换率公式”；（9—2）式可称为主、副金属选矿回收率的“等值转换公式”（简称等值回收率公式）。

例如：某矿山为一含伴生金的铜矿。铜品位 0.9%，金品位 0.4×10^{-6}。铜精矿现行（1993 年）价格 12000 元/t 金属，金现行价格 90 元/g。现以 1t 矿石中的铜金价值为标准进行计算，则：

$$T_{AuCu}=\frac{0.4\times90}{0.009\times12000}=0.33$$

$$Y_{Cu}=0.33YAu$$

通过计算表明，矿石中 Au—Cu 等值转换率 $T_{AuCu}=0.33$，即矿石中金的价值是铜价值的 0.33。按等值回收率公式（9—2）1 个金回收率与 0.33 个铜回收率等值，5 个金回收率与 1.67 个铜回收率等值。换言之，即假定金提高 5%回收率，允许降低 1.67%铜回收率，此时经济效益不变。

在伴生金矿床中铜型矿床伴生金储量占总储量的 79.84%，所以公式（9—1）、（9—2）以 Au—Cu 双组分的形式建立。对于三组分或多组分的矿床则应用公式时存在三种计算方法：

1. 分别计算金与各主金属的“等值转换率”及“等值回收率”；

$$T_{M_1M_2}=\frac{w_{M_1}\cdot P_{M_1}}{w_{M_2}\cdot P_{M_2}}\quad,\qquad T_{M_1M_3}=\frac{w_{M_1}\cdot P_{M_1}}{w_{M_3}\cdot P_{M_3}}$$

$$T_{M_1M_4}=\frac{w_{M_1}\cdot P_{M_1}}{w_{M_4}\cdot P_{M_4}}$$

$$Y_{M_2}=T_{M_1M_2}\cdot Y_{M_1}\quad,\qquad Y_{M_3}=T_{M_1M_3}\cdot Y_{M_1}$$

$$Y_{M_4}=T_{M_1M_4}\cdot Y_{M_1}$$

式中：符号 M_1 为所计算金属（如金），M_2，M_3，M_4 分别为主金属。如某含金铜铅锌矿，品位分别为 Pb3.15%、Zn3.70%、Cu0.50%、Au0.8×10⁻⁶。现行价格(1993 年)分别为 Pb1700 元/t 金属、Zn2600 元/t 金属、Cu12000 元/t 金属、Au90 元/g。则：

$$T_{AuPb}=\frac{90\times0.8}{1700\times0.0315}=1.33;\quad Y_{Pb}=1.33Y_{Au}$$

$$T_{AuZn}=\frac{90\times0.8}{2600\times0.0370}=0.75;\quad Y_{Zn}=0.75Y_{Au}$$

$$T_{AuCu}=\frac{90\times0.8}{12000\times0.005}=1.20;\quad Y_{Cu}=1.20Y_{Au}$$

计算表明，该矿金的价值虽低于锌，但高于铅、铜；1 个 Au 回收率与 1.33%Pb、0.75%Zn、1.20%Cu 回收率等值，故金应成为主金属之一（价值居第二位）进行生产。

2. 计算金和主金属总价值的“等值转换率”及“等值回收率”：

$$T_{M_1M_{(2+3+\cdots+n)}}=\frac{w_{M_1}\cdot P_{M_1}}{w_{M_2}\cdot P_{M_2}+w_{M_3}\cdot P_{M_3}+\cdots+w_{M_n}\cdot P_{M_n}}$$

$$Y_{M_{(2,3,\cdots,n)}}=T_{M_1M_{(2,3,\cdots,n)}}\cdot Y_{M_1}$$

式中：$2+3+\cdots+n$ 为主金属总数之和。如对上述某矿山进行计算：

$$T_{Au(Pb+Zn+Cu)}=\frac{90\times0.8}{1700\times0.0315+2600\times0.0370+12000\times0.005}=0.34$$

$$Y_{(Pb+Zn+Cu)}=0.34Y_{Au}$$

即该矿金的价值为全部主金属总价值的 0.34，1 个金回收率与全部主金属 0.34 回收率等值。

3. 计算金和主金属平均价值的“等值转换率”及“等值回收率”，实际上即金价值与主金属平均价值：$(w_{M_2}\cdot P_{M_2}+w_{M_3}\cdot P_{M_3}+\cdots+w_{M_n}\cdot P_{M_n})\ /\ (n-1)$ 之比：

$$T_{M_1M_{(2,3,\cdots,n)}}=\frac{(n-1)\cdot w_{M_1}\cdot P_{M_1}}{w_{M_2}\cdot P_{M_2}+w_{M_3}\cdot P_{M_3}+\cdots+w_{M_n}\cdot P_{M_n}}$$

$$Y_{M_{(2,3,\cdots,n)}}=T_{M_1M_{(2,3,\cdots,n)}}\cdot Y_{M_1}$$

式中：$M_{(2,3,\cdots,n)}$ 指除 M_1 以外全部有价金属，n 指参加计算的组分数。仍以上述某矿加以例述（Au，Pb，Zn，Cu 四组分矿山）：

$$T_{Au(Pb,Zn,Cu)}=\frac{3\times90\times0.8}{1700\times0.0315+2600\times0.0370+12000\times0.005}=1.02$$

$$Y_{(Pb,Zn,Cu)}=1.02\times Y_{Au}$$

计算表明，该矿金的价值已超过三个主金属的平均价值，无疑金应成为主金属之一。

4. 计算金与价值最大主金属的“等值转换率”和“等值回收率”：

$$T_{M_iM_{max}}=\frac{w_{M_i}\cdot P_{M_i}}{w_{M_{max}}\cdot P_{M_{max}}}$$

$$Y_{M_{max}}=T_{M_iM_{max}}\cdot Y_{M_i}$$

式中：M_{max}为主金属中价值最大的组分，仍以上述某矿山为例（主金属中锌价值最大）

$$T_{AuZn}=\frac{90\times 0.8}{2600\times 0.0370}=0.7$$

$$Y_{Zn}=0.7Y_{Au}$$

计算表明，该矿中 Au 的价值是价值最大的主金属（锌）的 0.7，1 个金回收率与 0.7 锌回收率等值。

对于多组分矿山来说，上述四个计算方法可根据需要进行选择。一般而言，金与主金属平均值、金与价值最大的主金属之间的等值转换率和等值回收率的计算是较有意义的（表 9--3 至 9—7）

当然，上述公式（9 -1）和（9—2）也同样适用于矿山中其他金属之间的换算。

公式（9—1）和（9—2）的意义和作用：

公式（9--1）用于判断是金铜矿还是铜金矿：如大于 1，表示矿石中金价值大于铜；小于 1 则铜价值大于金。公式（9--2）用于进行：为了提高金的收率，可以有条件地降低铜的收率，降低多少经济上才合算的判断。例如铜录山矿金品位 1.15×10^{-6}，铜品位 1.61%，则公式（9—1）：

$$T_{AuCu}=\frac{1.15\times 90}{0.0161\times 12000}=0.536$$

即金的价值为铜的 0.536 倍，铜价值大于金。据公式（9—2），假定金回收率可提高 10%，与之等值的铜收率为 5.36%；金回收率提高 5%，与之等值铜回收率为 2.68%。所以，从理论上讲，在提高金回收率的同时，如铜回收率的降低小于等值转换所允许的幅度，对矿山的经济效益是有利的。当然，在实际应用上，完全有可能提高金回收率而不降低铜回收率和铜精矿品级达到更佳的经济效益。

矿山为了获得最佳经济效益，在提高伴生金回收率的过程中，可采取三种方式：一是在提高金回收率的同时不降低主金属（如铜）回收率和精矿品级，此最理想，可不谈；二是在提高金回收率的同时适度降低主金属（如铜）回收率，允许降低幅度可通过公式（9—1）和（9—2）计算而得；三是为了提高金回收率而适当降低精矿品级，这一方式实施简便，具有很大的现实意义。从许多矿山的金赋存状态和工艺性质研究结果可知，金主要赋存于铜矿物中，部分赋存于非铜硫化物中，对不生产硫精矿的矿山，选厂在选铜过程尽量多回收黄铁矿、磁黄铁矿；对生产硫精矿的矿山，尽量多回收含有金连生体的黄铁矿、磁黄铁矿（金比硫铁矿易浮）。这样，铜精矿品级降低，实际上只降低了不同品级之间的差价，而

表 9—1　铜陵凤凰山矿精矿品级—金回收率关系表

铜精矿品位			铜精矿产率	金属回收率		
Cu (%)	Au (10^{-6})	Ag (10^{-6})	(%)	Cu (%)	Au (%)	Ag (%)
20.27	8.52	160.68	6.10	91.00	75.94	60.92
19.62	8.46	161.92	6.28	92.49	78.42	62.93
18.43	8.12	155.95	6.65	92.20	78.17	63.67

铜、金、银回收率均有一定提高，所以经济意义相当大。铜陵有色设计研究院对此曾作过实验，结果列于表 9—1。

虽然试验数据过少尚需进一步工作，但生产实际亦已表明这一规律是存在的：据凤凰山矿对 1990.1— 1990.8 月生产的铜精矿品级和“吨铜销售收益”统计（表 9—2）表明：当铜精矿品级较低时有较好的经济效益。

表 9—2　凤凰山矿铜精矿品级　吨铜收益关系表

月份	铜精矿品位（Cu%）	吨铜销售（Cu+Au+Ag）收入
1	17.1	6360.59
2	17.65	6055.17
3	20.14	5933.05
4	22.68	5900.17
5	20.26	5891.58
6	21.02	5768.20
7	21.70	5692.91
8	19.35	5849.25

表 9—3　双组分矿山 Au-Cu 等值转换率表

矿床名称	品　位		等值转换率	$Y_{Au}=5$ 时的
	Au（10^{-6}）	Cu（%）	（T_{AuCu}）	Y_{Cu}（%）
七宝山金线头矿	3.91	0.44	7.33	36.65
华铜矿	3.20	0.53	4.53	22.65
红石山矿	4.70	0.81	4.35	21.75
小西南岔矿北山区	3.44	0.63	4.10	20.50
小西南岔矿南山区	8.02	1.89	3.18	15.90
洋鸡山矿	5.11	1.32	2.91	14.55
复兴屯矿	2.30	0.62	2.78	13.90
铜井泵泉矿	2.46	0.70	2.64	13.20
鸡冠咀矿 I 号矿体	3.38	1.03	2.46	12.30
金口岭矿	2.57	0.85	2.27	11.35
铜井矿	1.97	0.77	1.92	9.60
鸡冠咀矿 I —IV号矿体	4.13	1.86	1.67	8.35
铜井山子洞矿	1.61	0.78	1.55	7.75
赵家湾矿	2.04	1.48	1.03	5.15
四家湾矿	2.86	2.13	1.01	5.05
巷子口矿	1.15	0.90	0.96	4.80
鸡笼山矿	2.10	1.66	0.95	4.75
铜井龙头胜矿	0.93	0.80	0.87	4.35
长安冲矿	0.25	0.22	0.85	4.25
新桥矿	0.78	0.78	0.75	3.75
怀溪矿	1.45	1.45	0.75	3.75

续表

矿床名称	品位		等值转换率	$Y_{Au}=5$ 时的
	Au (10^{-6})	Cu (%)	(T_{AuCu})	Y_{Cu} (%)
劳马古矿	1.73	1.78	0.73	3.65
银山矿九区	0.73	0.80	0.68	3.40
白乃庙矿Ⅰ、Ⅱ矿体	0.81	0.92	0.66	3.30
新民矿	0.86	1.01	0.63	3.15
克克乃克矿	0.80	1.01	0.59	2.95
管查矿	0.80	1.07	0.56	2.80
白银厂矿区折腰山矿深部	1.10	1.53	0.54	2.70
铁砂街矿	0.75	1.06	0.53	2.65
铜录山矿	1.15	1.78	0.49	2.45
李家湾矿	0.48	1.37	0.46	2.30
丰山涧矿 南缘	0.38	0.97	0.29	1.45
丰山涧矿 北缘	0.21	0.94	0.16	0.80
冯家山下四家矿	0.20	0.88	0.17	0.85
石头咀矿	0.51	1.27	0.30	1.50
鲤泥湖矿	0.84	1.30	0.49	2.45
猴头山矿	0.49	0.85	0.43	2.15
铜坑矿Ⅰ—Ⅳ矿体	0.22	0.95	0.17	0.85
陈盛Ⅰ号矿体	0.34	0.81	0.31	1.55
陈盛Ⅱ号矿体	0.37	0.74	0.38	1.90
陈盛Ⅲ号矿体	0.37	0.81	0.34	1.70
城门山矿	0.25	0.76	0.25	1.25
朱砂红矿	0.10	0.42	0.18	0.90
富家坞矿	0.06	0.50	0.09	0.45
铜厂矿	0.18	0.45	0.30	1.50
天排山矿	0.12	0.72	0.13	0.65
武山北矿带	0.43	1.18	0.27	3.50
武山南矿带	0.27	1.04	0.20	1.00
铜山矿	0.49	1.15	0.32	1.60
麻姑山矿	0.24	1.04	0.17	0.85
狼娜山矿	0.66	1.31	0.38	1.90
月山龙门山矿	0.14	2.01	0.05	0.25
铜牛井矿	0.22	1.33	0.12	0.60
西马鞍山矿	0.16	1.32	0.10	0.50
凤凰山矿	0.69	1.12	0.46	2.30
仙人冲矿	0.26	0.79	0.25	1.25
冬瓜山矿	0.24	1.01	0.18	0.90
大团山矿	0.38	1.13	0.25	1.25
狮子山矿	0.41	1.07	0.29	1.45
岭后矿	0.47	2.32	0.15	0.75
石耳山矿	0.17	1.83	0.07	0.35

续表

矿床名称	品位		等值转换率	$Y_{Au}=5$ 时的
	Au (10^{-6})	Cu (%)	(T_{AuCu})	Y_{Cu} (%)
西裘矿	0.49	1.00	0.37	1.85
谷里矿	0.26	1.50	0.13	0.65
横山矿	0.65	1.17	0.42	2.10
钟腾矿勘探区	0.05	0.77	0.05	0.25
钟腾矿普查区	0.08	0.56	0.11	0.55
锦溪矿	0.04	0.70	0.04	0.20
观山矿	0.19	1.07	0.13	0.65
大红山矿东段	0.08	0.78	0.08	0.40
大红山矿西段	0.15	0.75	0.15	0.75
采山坪矿	0.24	0.56	0.32	1.60
雪鸡坪矿	0.06	0.63	0.07	0.35
瑶家山矿	0.11	1.57	0.05	0.25
李伍矿	0.47	2.50	0.14	0.70
拉拉矿落凼区	0.16	0.92	0.13	0.65
拉拉矿老羊汗滩沟	0.31	1.01	0.23	1.15
王家庄矿	0.31	1.01	0.23	1.15
铜矿峪矿	0.06	0.68	0.07	0.35
筐子沟矿	0.49	1.47	0.25	1.25
南和沟矿	0.19	1.06	0.13	0.65
桐木沟矿	0.22	1.04	0.16	0.80
铜矿岭矿小西沟	0.06	0.65	0.07	0.35
老宝滩矿深部	0.11	1.14	0.07	0.35
闹牛山矿	0.17	0.92	0.14	0.70
刘家坪矿	0.29	0.95	0.23	1.15
白银厂矿区折腰山矿	0.71	2.84	0.19	0.95
白银厂矿区火焰山露采区	0.82	1.28	0.48	2.40
白银厂矿区火焰山深部	0.81	1.35	0.45	2.25
三矿沟矿	0.39	1.35	0.22	1.10
付地营子矿	0.64	2.22	0.22	1.10
多宝山矿	0.14	0.47	0.22	1.10
红透山矿	0.77	1.72	0.46	2.30
桃园矿	0.18	0.70	0.19	0.95
铁岭矿	0.04	1.53	0.02	0.10
浮图岭矿	0.04	1.52	0.02	0.10
小立沟矿	0.09	2.37	0.03	0.15
铁岭鸽子岭矿	0.19	1.96	0.07	0.35
铜矿坡矿	0.81	1.74	0.35	1.75
红沟矿	0.38	3.66	0.08	0.40
德尔尼矿	0.43	1.23	0.26	1.30
大铜厂矿	0.20	1.20	0.13	6.50

表 9—4　三组分矿山 Au··Pb—Zn 等值转换率表

矿床名称	品位			等值转换率		$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{(Pb,Zn)}$ (%)	$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{M_{max}}$ (%)
	Au (10^{-6})	Pb (%)	Zn (%)	$T_{Au(Pb,Zn)}$	$T_{M_{max}}$		
柴古垅矿	8.07	2.36	3.45	12.16	9.15	60.80	45.75
二股东山矿	1.25	0.80	2.31	3.37	2.12	16.85	10.60
张弓岭矿南带	1.35	2.21	2.29	2.69	2.30	13.45	11.50
水口山矿鸭公塘区	2.00	2.50	4.22	2.58	1.85	12.90	9.25
蛇形坪矿	0.57	3.28	3.22	0.79	0.69	3.95	3.45
大滩槽子沟矿	0.44	1.58	4.23	0.64	0.41	3.20	2.05
大魏家屯矿	0.27	0.56	3.58	0.53	0.30	2.65	1.50
枫溪江矿	0.17	4.54	0.86	0.32	0.20	1.60	1.00
灵山矿	0.09	1.04	2.75	0.20	0.13	1.00	0.65
甲生盘矿	0.12	1.32	3.78	0.20	0.12	1.00	0.60

表 9—5　四组分矿山 Au—Ag—Pb··Zn 等值转换率表

矿床名称	品位				等值转换率		$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{(Ag,Pb,Zn)}$ (%)	$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{M_{max}}$ (%)
	Au (10^{-6})	Ag (10^{-6})	Pb (%)	Zn (%)	$T_{Au(Ag,Pb,Zn)}$	$T_{M_{max}}$		
大岭口矿东段	8.16	92.82	1.09	1.67	16.79	9.89	83.95	49.45
水口山矿老鸭巢区	6.58	44.70	2.85	1.16	16.02	12.22	80.10	61.10
绿卵坪矿	4.55	30.00	1.90	1.20	13.37	12.68	66.85	63.40
张弓岭矿初洞区	2.18	54.54	1.98	1.22	5.59	4.50	27.95	22.50
水口山矿康家湾区	3.65	86.80	3.92	4.48	4.12	3.19	20.60	15.95
顶头山矿	4.55	300.00	1.90	1.20	4.10	1.71	20.50	8.55
大坊矿	1.39	98.43	1.84	1.83	2.47	1.59	12.35	7.95
小贺矿	0.59	45.00	1.60	1.40	1.78	1.65	8.90	8.25
甘家巷矿	1.71	66.95	3.91	6.64	1.69	1.01	8.45	5.05
尚洞矿	2.30	238.00	6.01	4.57	1.56	1.09	7.80	5.45
栖霞山矿虎爪山区	0.66	75.39	2.64	4.86	0.82	0.53	4.10	1.50
满汉土矿	0.54	178.7	1.44	1.08	0.76	0.34	3.80	1.70
铁炉子道岔沟矿	0.56	72.69	3.59	3.75	0.74	0.58	3.70	2.90
锡铁山矿中间沟区	0.33	42.34	1.81	3.02	0.59	0.43	2.95	2.15
银山矿银山区	0.40	86.53	1.72	4.21	0.55	0.37	2.75	1.85
青城山矿	0.36	96.65	3.06	2.58	0.52	0.42	2.60	2.10
银山矿北山区	0.29	78.40	1.51	2.87	0.51	0.42	2.55	2.10
下湖矿	0.20	60.80	2.86	0.73	0.47	0.37	2.35	1.85
锡铁山矿锡铁山区	0.47	42.90	4.16	4.86	0.46	0.38	2.30	1.90
孟恩套力盖矿	0.22	93.00	1.02	2.30	0.41	0.27	2.05	1.35
天字号矿	0.13	55.34	2.56	1.10	0.31	0.26	1.55	1.30
凡口矿	0.09	101.39	4.88	9.77	0.06	0.04	0.30	0.20

注：列入的矿山 $Ag>30\times10^{-6}$。

表 9－6　四组分矿山 Au—Cu—Pb—Zn 等值转换率表

矿床名称	品位				等值转换率		$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{(Ag,Pb,Zn)}$ (%)	$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{M_{max}}$ (%)
	Au (10^{-6})	Ag (10^{-6})	Pb (%)	Zn (%)	$T_{Au(Cu,Pb,Zn)}$	$T_{M_{max}}$		
大宝山矿	1.27	0.71	0.22	0.61	3.33	1.34	16.65	6.70
银山矿西山区	0.90	0.60	1.31	0.85	2.41	1.13	12.05	5.65
下柳沟矿	0.42	0.85	1.67	2.05	0.64	0.37	3.20	1.85
赛什塘矿	0.31	1.13	1.40	2.59	0.38	0.21	1.90	1.05
从江九星矿	0.30	0.95	2.75	6.91	0.25	0.17	1.25	0.85

注：列入的矿山 Cu>0.5%。

表 9－7　五组分矿山 Au－Ag－Cu－Pb－Zn 等值转换率表

矿床名称	品位					等值转换率		$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{(Cg,Pb,Zn)}$ (%)	$Y_{Au}=5$ 时的 $Y_{M_{max}}$ (%)
	Au (10^{-6})	Ag (10^{-6})	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	$T_{Au(Cg,Pb,Zn)}$	$T_{M_{max}}$		
望宝山矿	2.37	35.95	0.74	1.12	2.65	3.79	2.40	18.95	12.00
从江地虎矿	2.51	175.95	1.24	1.84	4.04	2.16	1.03	10.80	5.15
弯阳沟矿	2.08	45.11	0.94	3.54	5.27	1.91	1.54	9.55	7.70
小铁山矿	2.28	126.15	1.29	3.39	5.33	1.88	1.32	9.40	6.60
月形矿	0.73	33.36	1.09	1.39	1.28	1.07	0.50	5.35	2.50
下沟矿	0.81	34.98	1.22	3.70	4.47	0.70	0.50	3.50	2.50
郭米寺矿	0.39	52.82	1.08	2.01	3.72	0.48	0.27	2.40	1.35
铜峪沟矿	0.23	31.48	1.25	3.48	2.59	0.23	0.14	1.15	0.70

注：列入的矿山 Cu>0.5%，Ag>30×10^{-6}。

第二节　伴生金矿床的经济类型初探

根据上述公式，按主、付金属的相对经济价值大小将伴生金矿床进行分类。分类目的是提高伴生金组分（如金、银）在矿山中的地位，最大限度地增加矿山的经济效益。仍以 Au—Cu 矿山为例：

1. 以金为主的矿山（$T_{AuCu}>1$）

该类矿山金的价值大于铜，应以金为主进行选矿，允许降低铜回收率和降低铜精矿品级，生产金精矿和铜精矿（优先浮金，再浮铜）。

在有色金属矿山中，金价值大于铜的不多（表 9－4），亦已引起一定重视，但如以金矿山的金回收率（>90%）来衡量，还存在一定差距。这些矿山的金回收率一般在 65%—75% 范围，大体比金矿山低 20%，所以大幅度提高该类矿山中金回收率经济效益可观，在工艺上也是可行的。

2. 全矿以铜为主，但部分矿段（块）以金为主（$T_{AuCu}>1$）的矿山

该类矿山伴生金品位相当高，其中部分矿段（块）金的价值已超过铜。对于这类矿石

应当加以圈定，以金为主进行分采分选，以适合于金的选矿工艺进行处理，如条件允许则生产金精矿，而铜则作为第二产品，可允许降低铜的回收率及铜精矿品级。进行圈定的金边界品位应定出一个客观指标，它可以从公式（9－1）导出：

令
$$T_{AuCu}=\frac{w_{Au}\cdot P_{Au}}{w_{Cu}\cdot P_{Cu}}=1$$

则：

$$sw_{Au}=\frac{w_{Cu}\cdot P_{Cu}}{P_{Au}} \tag{9-3}$$

式中 sw_{Au} 为金、铜等值品位（加 S 以区别于全矿金品位）。例如某矿金品位 0.4×10^{-6}，铜品位 0.9%，铜价格 12000 元/t 金属，金价格 90 元/g，则：

$$sw_{Au}=\frac{0.009\times12000}{90}=1.20\ (\times10^{-6})$$

说明 1.20×10^{-6} 为金、铜等值时的金品位，金边界品位的圈定以此为准。通过实际工作，我们列出了部分存在以金为主（$T_{AuCu}>1$）矿段（块）的矿山（表 9－5）。这一圈定方法对部分大型矿山具有巨大经济意义。我们曾与铜录山矿合作进行研究，在该矿生产中段－185 水平以上矿体（占全矿铜储量的 11%）刻槽取样 841 个，进行 Au、Ag 测定。据公式（9－3）进行计算，以 $sw_{Au}=2.92\times10^{-6}$（－180 水平以上的矿体）为边界品位，估算得金储量几吨，金品位为 5.363×10^{-6}。如能分采分选，经济效益巨大。

3. 金铜并重的矿山（$T_{AuCu}=0.5-1.0$）

该类矿山金的价值为铜的 50%－100%，金应从伴生金属的地位上升到主金属地位，如铅锌矿的铅锌并重一样，实行金、铜并重进行选矿，允许降低精矿品级或适当降低铜回收率。该类矿山无论铜矿床或铅锌矿床中均分布较广，但不同矿山之间，同一矿山不同中段之间的金铜等值转换率（T_{AuCu}）变化较大，应根据具体矿山分别计算，严格掌握主金属（如铜）的精矿品级和回收率的降低幅度。如白银厂折腰山矿 5%金回收率与 3.6%铜回收率等值，所以，如能提高 5%金回收率而降低了 1%－2%铜收率，在经济上是合理的。

对于本类矿山应当积极重视以公式（9－1），（9－2）和生产成本为基础的经济核算，根据矿石中 Cu、Au 的出矿品位和市场上的 Cu、Au 价格变化，不断调整 Cu、Au 回收率，以达到“动态平衡”。改变以前的生产流程和药剂制度一经确定而长期不变的情况。实际上，要实行 Cu、Au 回收率的“动态平衡”，达到最佳经济效益，在工艺上并不复杂，一般仅要适时调整浮选药剂制度即可。在研究矿山中金的分布规律时发现，在同一矿山中不同中段、不同矿块、不同矿石类型中金品位变化很大（参见第 6 章 6－10 节），因此“动态平衡”具有现实意义。

4. 以铜为主的矿山（$T_{AuCu}<0.5$）

该类矿山铜价值大于金，金铜等值转换率（T_{AuCu}）小于 0.5。金仍属综合回收组分。应当在不降低主金属（铜）回收率和铜精矿品级的情况上设法提高金回收率。不得已时，通过经济核算少量降低铜精矿品级或铜回收率。

必须说明，上述的“经济类型”分类准则对含金多金属矿山同样适用。一般采用金与主金属平均值或金与价值最高的主金属的“等值转换”率为标准进行划分。

对伴生金矿床中金作综合经济评价之目的归根到底是为了提高金的经济价值。以上述公式为基础，对提高金选矿回收率，提出四个建议：

①对于金价值大于铜、铅锌的矿山则以金为主进行选矿。如白乃庙矿、鸡笼山矿、四家湾矿、小西南岔矿南山区和北山区，铜井矿、金口岭矿、山东七宝山金线头矿、水口山老鸦巢矿。

②对于金矿虽价值小于铜（铅锌），但部分富金矿块应以公式（9—3）进行圈定，被圈出矿块金价值大于铜，进行以金为主的分采分选，以大幅度提高金回收率，如铜录山、小铁山、康家湾矿。

③为了提高金回收率，通过公式（9—2）进行经济核算如经济上合理，应当允许适当降低主金属回收率或精矿品级。通常矿石中金粒度远较铜矿物粒度细，如能适当细磨，适当改变浮选药剂制度提高金的回收率是有可能的。此时主金属回收率不降低当然最理想，但如不能兼顾时则应当根据经济上合理性有所取舍。

④对金品位较高、金粒度较粗或现行磨矿过程中金单体分离度较高的矿山可生产金精矿，以提高金回收率。自然金的比重是一般金属矿物的 3.5—4 倍，如粒度较粗，浮选时将易于沉底而不进入泡沫产品（精矿），如能用优先浮金再浮铜的流程，经济上将是合理的，如铜录山矿、白乃庙矿、狮子山矿、鸡笼山矿、天鹅抱蛋山矿等都宜于生产金精矿。

对于以金为主或金、铜（铅锌）并重的矿山采用优先浮金或强化选金工艺以大幅度提高金回收率（适当降低铜精矿品级或铜回收率），通过以上论述证明在经济上是有益的。同时在工艺流程上亦有先例，如山东七宝山金线头矿、江苏铜井矿、山东汞泉铜矿、山东山子涧矿、山东龙头旺矿等采用以金为主的选矿工艺，金回收率已达到 79.26%—95.08%，铜回收率亦达到高水平。表 9—8 列示了金品位相近，但分别以金为主和以铜为主进行选矿的矿山金回收率的差距，以供对比。另外，铜陵金口岭矿亦曾达到金回收率 85%（近年因外购矿石增多已降至 63.09%）。惜乎上述均属小型矿山，影响不大，如能在大型矿山有所突破并大力推广，则我国伴生金的回收将步上一个新的台阶（目前伴生金回收率大致在 50%—60%水平）。

表 9—8　两类不同选矿工艺的矿山金回收率比较

矿　床	金品位 (10^{-6})	Cu，Pb，Zn，Sb 品位（%）	金回收率（%）	Cu，Pb，Zn，Sb 回收率（%）
江苏铜井铜金矿	1.97	Cu0.77	98.30	Cu95.80
七宝山金线头铜金矿	3.91	Cu0.44	89.58	Cu96.02
山东汞泉铜矿	1.61	Cu0.70	82.00	Cu89.98
地虎铜铅锌矿	2.51	Cu1.24	79.26	Cu82.62
沂南冶官墓矿	1.26	Cu0.14	81.00	—
沂南山子涧铜矿	1.61	Cu1.35	82.00	Cu85.60
湖南西冲锑金矿	2.96	Sb3.96	95.08	Sb92.99
铜录山铜矿	1.59	Cu1.78	62.34	Cu71.76
金口岭铜矿	1.08	Cu0.85	63.09	Cu90.35
华铜铜矿	3.33	Cu0.53	65.85	—
四家湾铜矿	2.79	Cu2.13	73.78	Cu67.50
水口山铅锌矿	1.33	Pb2.85；Zn1.16	37.71	Pb82.00；Zn93.50
湖北鸡笼山铜矿	2.35	Cu2.10	75.30	Pb73.54；Zn71.96

现将我国部分主要矿山的 Au—Cu，Au—Pb、Zn，Au—Pb、Zn、Cu，Au—Pb、Zn、Ag，Au—Pb、Zn、Cu、Ag 的等值转换、等值回收率列于表 9—3—表 9—7。从表可知，金

价值大于主金属（$T_{AuM}>1$）和金价值大于1/2主金属（$T_{AuM}>0.5$）的矿山约占1/3。这些矿山如能采用优先选金或金铜并重的选矿工艺，经济效益将是十分巨大的。

第三节　生产矿山综合经济指标初探

矿床是一个含有多种有用组分的地质体。随着经济技术的发展，人类对这些地下宝藏的要求也在日益增加和多样化，对于矿床的概念也在不断更新之中。现在已可以这样说：没有一个矿床是单一回收组分的。所以，在对一个矿床作经济评价时，必须对其全部可供综合回收对象作全面考虑。

矿山中伴生组分的经济价值已日益引起重视，目前许多生产矿山的利润主要靠伴生组分（金、银）获得，充分表明伴生金、银的回收在矿山经济效益中是举足轻重的。但是目前有相当大的一部分生产矿山对伴生组分的回收仍尚未达到应有水平。伴生组分回收水平不高的原因是多种多样的，有技术上原因，有设备上原因，但无可讳言也有管理上原因。现行矿山经济效益指标从地质角度考察只有两项：主金属回收率、精矿品位。它在一定程度上忽视了伴生组分，使它们只处于“收多少，算多少”的地位。使伴生组分的经济效益与整个矿山的经济效益处于脱钩或半脱钩状态。为了提高伴生组分在矿山经济效益上的地位，在本章上节中以金为例提出了有色金属矿山中的Cu－Au转换公式，中心思想是：通过公式计算，只要经济上合算，可允许适当降低铜精矿品级，甚至铜回收率，以较大幅度地提高伴生金回收率。这一建议与矿山现行经济效益指标产生矛盾。如实行后，虽然矿山的利润指标会有所提高，但铜的回收率指标和精矿品级指标却可能会有所下降，当然，从Au、Cu矿物赋存关系和嵌布特征来看，也完全可以即提高Au回收率而不降低铜回收指标，从而不致于影响矿山总的经济效益指标。归根到底，矿山在生产过程中，经济效益指标应当是主要的、第一位的，其他指标则处于从属地位，为经济效益这一基本目标服务。为此，我们提出一个新的矿山经济指标方案。

①吨矿潜值：一个矿床，只要其有用组分含量能供工业利用，矿石本身即具有一定经济价值。我们将一吨矿石未开采前所具有的价值称之为吨矿潜值。用公式表示则为：

$$V_0=P_{M_1}w_{M_1}+P_{M_2}w_{M_2}+P_{M_3}w_{M_3}+\cdots\cdots \tag{9-4}$$

式中：V_0为吨矿潜值，单位：元/t。P_{M_1}、P_{M_2}、P_{M_3}分别为矿石中可供回收组分1、2、3的现行价格，单位：元/t金属。w_{M_1}、w_{M_2}、w_{M_3}分别为矿石中可供回收组分的品位。

②吨矿效益：一吨矿石经开采回收后的价值。它不但与吨矿潜值有关，同时亦与回收工艺有关（回收率的高低和回收组分的多寡）。用公式表示则为：

$$V=P_{M_1}w_{M_1}Y_{M_1}+P_{M_2}w_{M_2}Y_{M_2}+P_{M_3}w_{M_3}Y_{M_3}+\cdots\cdots \tag{9-5}$$

式中：V为吨矿效益，单位：元/t；Y_{M_1}、Y_{M_2}、Y_{M_3}分别为该组分的回收率。

③纯吨矿效益：一吨矿石的价值减去一吨矿石的生产成本，所得余额即为纯吨矿效益。用公式表示则为：

$$Vp=V-C \tag{9-6}$$

式中：Vp为纯吨矿效益，单位：元/t；C为1吨矿石的生产成本，单位：元/t。

④比吨矿效益：不同矿山因成矿条件的差异，可供回收组分品位高低相差悬殊，甲矿矿石的吨矿潜值、吨矿效益、纯吨矿效益可以是乙矿矿石的1－2倍，甚至3－4倍。如某

矿铜品位为0.6%，而另一矿铜品位为2.25%，两者相差为3.75倍。衡量一个矿山经济效益的高低归根到底应建立在工艺水平、管理水平等因素上。为了获得同一数量的金属，高品位矿山的一吨矿石可相当于低品位矿山的三吨矿石，它们的吨矿效益和纯吨矿效益亦相差三倍。所以在实际上，目前矿山的经济效益高低主要决定于自然条件——矿石可供回收金属品位的高低，而工艺水平、管理水平反而处于次要地位。为了改变这一情况，使矿山的工艺水平和管理水平成为矿山的经济技术指标的主要因素，我们提出了“比吨矿效益”概念。所谓比吨矿效益就是假定在相同品位（标准品位）条件下，矿山生产一吨矿石所获得的经济效益。如以最低工业品位（如铜为0.5%，铅为1.0%，锌为1.5%，Au0.5×10^{-6}，Ag50×10^{-6}）作为该金属的标准品位，则：

$$V_r=k_{M_1}P_{M_1}w_{M_1}Y_{M_1}+k_{M_2}P_{M_2}w_{M_2}Y_{M_2}+k_{M_3}P_{M_3}w_{M_3}Y_{M_3}+\cdots\cdots$$

式中：k 为矿石中该金属实际品位与标准品位比的倒数：

$$k=\frac{1}{w_1/w_S}=\frac{w_S}{w_1}$$

式中：w_S 为该金属的标准品位，代入上式即得：

$$V_r=P_{M_1}w_{S_1}Y_{M_1}+P_{M_2}w_{S_2}Y_{M_2}+P_{M_3}w_{S_3}Y_{M_3}+\cdots\cdots \qquad (9-7)$$

从公式（9—7）可知，在计算时 P_M、Cs 不变，为定值，所以比吨矿效益只与矿山各组分选矿回收率高低和回收组分多寡有关，而与矿山各回收组分的实际品位无关。它比目前的主要经济技术指标——回收率更全面，因为比吨矿效益不但与主金属回收率有关，也与回收其他组分的多寡和这些组分的回收率高低有关。这样，作为矿山经济效益技术指标之一的比吨矿效益与上述的其他几个经济技术指标本质上的不同是：它完全排除了矿山自然资源的优势和劣势，使各矿山的比吨矿效益的高低完全取决于工艺水平和管理水平，处于平等的竞争地位。如两个矿山，甲矿原矿铜品位为0.5%，金品位为0.2×10^{-6}；乙矿铜为1.0%，金为0.4×10^{-6}，乙矿为甲矿的一倍。而甲矿铜回收率为85%，金回收率为60%，乙矿铜为80%，金为50%，则乙矿的吨矿效益、纯吨矿效益、总利润等均高于甲矿（如吨矿效益乙矿为124元/t，甲矿为61.8元/t）。但其比吨矿效益则乙矿为70.5元/t，甲矿为78元/t，甲矿优于乙矿。这一情况表明，乙矿的经济技术指标比较高的原因是其在自然资源上的优势，而管理水平及工艺技术则甲矿优于乙矿。

实际上，金属回收率本来就是矿山最主要的经济技术指标之一。我们在此提出吨矿效益、纯吨矿效益、比吨矿效益（吨矿潜值作参照，对比之用）概念，并建议作为矿山经济技术指标之一的目的在于引起矿山综合回收的重视，把综合回收组分按其本身价值定位，成为决定矿山经济技术指标的重要因素。另一目的即是：使矿山的决策者能根据公式作最佳经济效益的选择。其要点是：

①不但要使主金属达到最高选矿指标，同时也要尽量多地回收综合回收组份（如Au、Ag），并尽量使其达到最高选矿指标。

②在主金属和综合回收组分的最高指标两者无法兼顾时，通过公式计算可适当降低精矿品级，不得已时亦可适当降低主金属回收率。

③为了适应市场经济的需要，应当根据市场变化和本矿山资源特点，不断调整生产工艺，达到所谓“动态平衡”，使本矿山经济效益达到最佳水平。

现举例说明上述几个参数：某矿山铜品位1.1%，金品位0.7×10^{-6}，银品位25×10^{-6}；

现行价格（1993年）：铜12000元/t金属，金90元/g，银0.8元/g；选厂现回收率：铜78%，金50%，银40%；生产总成本130.50元/t，并以Cu0.5%、Au0.5×10^{-6}、Ag5.0×10^{-5}作为标准品位，则按公式（9—4）—（9—7）

吨矿潜值 $V_0=90\times0.7+0.011\times12000+25\times0.8=215$（元/t）

吨矿效益 $V=90\times0.7\times0.5+0.011\times12000\times0.78+0.8\times25\times0.4=142.46$（元/t）

纯吨矿效益 $V_p=142.46-130.50=11.92$（元/t）

比吨矿效益 $V_r=90\times0.5\times0.5+12000\times0.05\times0.78+0.8\times50\times0.4=85.3$（元/t）

如适当调整浮选药剂制度，Au回收率提高7%，银回收率提高10%，铜回收率降低1.5%，其吨矿效益变为：

$V=90\times0.7\times0.57+12000\times0.011\times0.765+0.8\times25\times0.5=146.89$（元/t）而吨矿效益的差额为：146.89—142.46=4.43元/t，该矿年处理矿石3Mt，因此年增产值132.9万元。

表9—9 我国部份铜矿山吨矿潜值、吨矿效益、比吨矿效益表

矿床名称	Cu		Au		吨矿潜值（V_0）	吨矿效益（V）	比吨矿效益（V_r）
	品位（%）	回收率（10^{-6}）	品位（10^{-6}）	回收率（%）			
狮子山矿	1.07	95.53	0.67	62.06	188.78	160.06	85.25
铜官山矿	0.66	85.86	0.49	42.45	123.30	86.72	70.62
凤凰山矿	1.12	92.84	0.80	61.62	206.40	169.14	83.43
铜山矿	0.85	88.53	0.38	47.29	136.20	106.47	74.40
琅琊山矿	1.31	96.31	0.66	72.10	216.60	194.23	90.23
武山矿北山区	1.18	74.50	0.43	35.73	142.04	119.32	60.78
洋鸡山矿	1.32	84.49	5.11	75.25	618.30	479.91	84.56
铜 厂 矿	0.45	84.15	0.18	63.44	70.20	55.71	60.76
银山矿九区	0.80	88.89	0.73	54.97	161.70	121.45	78.07
鸡笼山矿	1.66	92.12	2.10	75.30	388.20	325.82	89.16
铜录山矿	2.19	79.17	1.59	63.39	405.90	298.77	76.03
七宝山金线头矿	0.44	96.02	3.91	89.58	404.70	365.93	97.93
铜井矿	0.77	95.80	1.97	89.30	269.70	246.85	105.00
求泉铜矿	0.70	89.98	2.46	82.80	305.40	258.90	91.25
山子洞矿	0.78	89.98	1.61	82.00	238.50	203.04	90.89
龙头旺矿	0.80	85.60	0.90	74.00	177.00	142.12	84.66
篦子沟矿	1.47	93.83	0.49	55.93	201.07	190.18	81.47
南和沟矿	1.06	95.60	0.19	48.96	144.30	129.98	79.39
铜矿峪矿	0.68	88.66	0.06	23.03	87.00	73.59	63.56
白乃庙矿（Ⅰ—Ⅰ）	0.92	91.00	0.81	67.00	183.30	149.31	84.75
白乃庙矿（Ⅴ—Ⅺ）	0.67	85.61	0.12	44.29	91.20	73.61	71.30
红透山矿	1.72	91.16	0.77	43.82	275.70	218.52	74.42
华铜矿	0.53	80.27	3.20	66.80	255.98	243.44	78.22
东流水矿	1.00	92.58	0.27	60.47	144.30	125.79	82.76

表9—9所列为部分矿山的吨矿潜值、吨矿效益、比吨矿效益计算结果供参考。

第四节　扩大金资源开展表外矿石和含矿围岩的综合评价

为了充分利用矿石资源，必须对一些矿床中的低品位表外矿石和含矿围岩进行经济评价，现将评价公式及评价原则分述如下。

1. 综合品位及其运用

综合品位指多组分矿体或块段，将各种伴生组分的品位按其价值折算成主金属的品位。计算公式：

$$w_M = w_{M_0} + \sum_{i=1}^{n} k w_{M_i} \tag{9-8}$$

式中：w_M 为综合品位（%）；w_{M_0} 为主金属品位（%）；n 为形成产品的伴生金属数目；w_{M_i} 为第 i 种伴生金属品位（%）；k 为品位换算系数。

品位换算系数 k 的计算，一般采用价值法：

$$k = \frac{P_{M_i}}{P_{M_0}} \cdot \frac{Y_{M_i}}{Y_{M_0}} \tag{9-9}$$

式中：k 表示伴生金属可回收的单位价值与主金属可回收的单位价值之比值；P_{M_i}、P_{M_0} 为伴、主金属的价格（元/t 金属）；Y_{M_i}、Y_{M_0} 为伴、主金属的选矿回收率。

综合品位计算实例：

广东某矿石 105# 矿体主要组分为 Pb3.2%，伴生组分 Zn1.8%，Ag250×10^{-6}，Au1.2×10^{-6}；Pb、Zn、Ag、Au 回收率分别为 80%、70%、75%、30%；价格分别为 P_{Pb}=1800 元/t 金属，P_{Zn}=2800 元/t 金属，P_{Ag}=1000000 元/t 金属，P_{Au}=81000000 元/t 金属。则该矿体以铅为主金属的综合品位可分两段计算：

求伴生组分转换 Pb 的转换系数 K：

$$k_{Zn-Pb} = \frac{2800\text{ 元/t}}{1800\text{ 元/t}} \times \frac{70\%}{80\%} = 1.36$$

$$k_{Ag-Pb} = \frac{1000000\text{ 元/t}}{1800\text{ 元/t}} \times \frac{75\%}{80\%} = 520.83$$

$$k_{Au-Pb} = \frac{81000000\text{ 元/t}}{1800\text{ 元/t}} \times \frac{30\%}{80\%} = 16875$$

将各伴生组分品位转换成 Pb 品位：

$$w'_{Pb} = 1.36 \times 1.8\% + 520.83 \times 0.025\% + 16875 \times 0.00012\%$$
$$= 2.44\% + 13.02\% + 2.02\% = 17.48\%$$

综合品位 = 3.2% + 17.48% = 20.68%

通过综合评价，折算成以铅为主金属的综合品位达 20.68%，大大超过原以单一铅评价的指标，这就大幅度地提高了矿体的经济价值。

在运用综合品位时，关于伴生金的参与综合品位计算的上、下限问题，说明如下：

①伴生金综合品位下限

指矿床中伴生金品位达到可参与计算综合品位并圈定矿体的品位下限。云南储委

(1988) 建议采用 0.4×10^{-6}作为伴生金参与计算综合品位的下限。但根据我国多数伴生金矿山实际情况，定为 0.4×10^{-6}似乎偏高，德兴铜矿含 Au0.182×10^{-6}，大冶铁山铁铜矿床 Au0.28×10^{-6}。我们认为伴生各组分参与计算综合品位的最低品位下限，应该根据各矿床矿石性质具体决定，难以确定一个具体指标。因为折算成主金属的综合品位求出后，还要再按一般求最低工业品位和边界品位的方法求出综合最低工业品位和综合边界品位，它是按加工多组分的矿石全部成本计算的，以主组分表达的经济临界品位，也是确定表内和表外储量的分界品位。故要具体确定某一伴生组分参与计算的最低品位下限就应具体分析，既要考虑矿石性质，又要考虑矿种组合和金赋存状态，一般说，铜矿石可比铅锌矿石低，富含 As、S 矿石，应要求高。

②伴生金综合品位上限

指伴生金块段金品位达到某一指标即使不通过综合品位计算，也显示了其潜在价值并可单独圈定金矿体。根据我国伴生金资源情况，我们确定以高品位共生金下限 3×10^{-6}作为金参与计算综合品位上限，也就是说，当矿体或块段伴生金品位达 3×10^{-6}时，金可作为主金属单独评价。

2. 表外矿石—含矿围岩综合评价

伴生金矿床中金与主金属关系可构成同体伴（共）生和异体伴（共）生，即金与主金属圈定范围既可重合，也可不重合。无论何种形式，金在表外矿石或含矿围岩中价值，都存在三种情况：一是富集达到共生金工业品位；二是达到综合品位要求；三是达不到综合品位要求。属一类显然有利用价值，可划入为表内矿石，应进行系统查定和补勘查定；属二、三类只有通过综合品位计算，才能进一步判断能否划为表内矿石加以利用。因此综合品位的实用价值有两个方面：一是作为表内矿石的各组分的综合指标，以提高矿山总体经济价值；二是作为表外矿石和含矿围岩各组分综合指标，以判断它们有否利用价值，如综合品位达到要求，即可使其转为表内矿石。本节的实例计算着重说明后一个问题。

①金达到综合品位指标，表外矿升为表内矿。如某斑岩铜矿东矿段表外矿，含 Cu0.604%，Au0.5×10^{-6}，Ag5×10^{-6}；Cu、Au、Ag 回收率分别为 85%、50%、45%，求其综合品位。

已知：$w_{Cu}=0.604\%$，$w_{Ag}=0.5\times10^{-6}=0.00005\%$，$w_{Ag}=5\times10^{-6}=0.0005\%$

$Y_{Cu}=85\%$，$Y_{Au}=50\%$，$Y_{Ag}=45\%$；$P_{Cu}=1200$ 元/t 金属

$P_{Au}=90000000$ 元/t 金属，$P_{Ag}=1000000$ 元/t 金属

计算 k 值：（以 Cu 为主金属）

$$k_{Au-Cu}=\frac{90000000}{12000}\times\frac{50\%}{85\%}=4411.76$$

$$k_{Ag-Cu}=\frac{1000000}{12000}\times\frac{45\%}{85\%}=44.1176$$

求综合品位：

$$\begin{aligned}w_{综}&=w_{Cu}+k_{Au-Cu}\cdot w_{Au}+k_{Ag-Cu}\cdot w_{Ag}\\&=0.604\%+4411.76\times0.00005\%+44.1176\times0.0005\%\\&=0.604\%+0.221\%+0.022\%=0.847\%\end{aligned}$$

该矿床按 Cu0.8%作为工业品位圈定表内矿石，运用综合指标 Cu0.847%，对该矿段进

行了调整，将设计时的表外矿石调整为表内矿石开采。

②表外或围岩中金达不到综合品位，其表外或围岩仍无法利用的。如某矿山的含矿围岩含 Cu0.302%，Au0.4×10^{-6}，Zn0.373%，Cu、Au、Zn 的选矿回收率分别为 88%，56%，70%，以铜作为主金属求其综合品位。

已知：$w_{Cu}=0.302\%$，$w_{Au}=0.00004\%$，$w_{Zn}=0.373\%$

$Y_{Cu}=88\%$，$Y_{Au}=56\%$，$Y_{Zn}=70\%$；$P_{Cu}=12000$ 元/t 金属

$P_{Au}=90000000$ 元/t 金属，$P_{Zn}=2600$ 元/t 金属

求 k：

$$k_{Au-Cu}=\frac{90000000}{12000}\times\frac{56\%}{88\%}=4772.7$$

$$k_{Ag-Cu}=\frac{2600}{12000}\times\frac{70\%}{88\%}=0.1724$$

求综合品位 $w_{综}$

$$\begin{aligned}w_{综}&=w_{Cu}+k_{Au-Cu}\cdot w_{Au}+k_{Zn-Cu}\cdot w_{Zn}\\&=0.302\%+4772.7\times0.00004\%+0.1724\times0.373\%\\&=0.302\%+0.191\%+0.064\%=0.557\%\end{aligned}$$

其综合品位为 Cu0.557%，达不到该矿工业品位（0.6%）要求，故围岩经评价仍是不能利用。

③特殊情况下的灵活运用：金尚未达到综合品位上限 3×10^{-6}，但达到了共生金边界品位的下限，在特殊情况下，可圈入矿体。如东乡铜矿，自 1988 年以来，就开展了对围岩的勘查工作，发现了其硅化围岩含金较高，普遍大于 1×10^{-6}，矿山即将此硅化围岩当矿石开采，与铜矿石配矿，使金的入选品位，由原来的 Au0.1×10^{-6}提高到 0.157×10^{-6}，铜精矿含金由原来的 0.8×10^{-6}—0.9×10^{-6}提高到 1.63×10^{-6}，改变了长期精矿达不到计价标准的状况，大大地提高了矿石的经济效益。因此该块段（原围岩）可划入为表内矿石，不管综合品位是否达到要求。

总之，计算出综合品位后，对所评价的块段（表外矿石或含矿围岩）的圈定，一般仍遵循“以主金属为主原则”，即凡是主金属价值大于各伴生组分价值，以主金属圈定，若主金属品位变化较大时，亦可用其他伴生组分混圈的办法，即只要有一种组分品位达到指标要求，就可圈入矿体，或者用算出的综合品位圈定，种样圈定的矿体既有完整性，又可使各组分资源得以充分利用。

3. 扩大金资源“就矿找矿、矿中找矿”

这也是矿山金资源评价的重要内容之一。在开展矿山生产区段金查定的同时，对有找金地质条件的外围、地段，应开展找金勘探工作，以扩大金的地质资源。因老矿田研究程度高，掌握了丰富的地质资料和大量的综合信息，能比较迅速和经济有效地取得找矿效果，在这类地区找到了新点，可充分利用原矿山生产能力，其效益更加显著。对生产矿山大幅度地提高金的产量有重要意义。例如铜官山铜矿是一个资源枯竭，面临闭坑的矿山，为解决接替，对其临近的天鹅抱蛋山结合生产开拓和生产探矿，开展了金矿勘查，经四年工作，提交了天鹅抱蛋山硫金矿床地质勘探中间报告，为矿山生产和扩建设计，提供了可靠资源。又如开展了铜官山选厂南侧的铁山头铁帽的勘探找矿，发现了铁矿石中局部有高金地段，

Au 品位达 6.64×10^{-6}，经三年详查，探明了一个铁帽型铁金矿床。辽宁华铜矽卡岩型铜矿，在铜矿采完后，对低品位铜矿区进行了工作，发现了三个独立金矿体，圈出了 7 个含金矽卡岩带。这些例子充分说明在伴生金资源评价中，“就金找金、矿中找金”是一件很有意义的工作，是伴生金评价的一项重要内容，这已被广大矿山地质工作者所认识了。

第五节　尾矿库中尾矿的综合评价

选矿厂长期排出的尾矿作为二次矿产资源的评价和利用，愈来愈引起人们的重视。如南非金矿的尾矿，每年处理 21Mt，产金 6.5t，铀 180t，硫酸 360kt，其经济价值是相当可观的。因它具有多种有用组分，易开采，易加工。但目前对尾矿的评价和回收试验，并没有引起足够重视。这些尾矿有的规模大，有的品位高，亟待我们去评价和回收。表 9—10 列出了我国部分矿山尾矿资源情况，并附有原矿金品位、矿床金规模和金回收情况，以提供对尾矿资源评价时参考。从表中看出，这些矿山的尾矿金的含量普遍偏高，金的回收率有的达不到 50%，特别是一些大—特大型矿山，如铜录山、武山、凤凰山尾矿的潜在价值很大，亟待尽快开发利用。

对尾矿金等各组份评价，一般应通过工程系统取样，查清各种有用组分含量和矿物成分，对金而言，应查明其品位变化、粒度分布、嵌布特征、解离情况、金矿物表面特性，最终进行选矿回收试验。对当前正在进行评价、试验或已完成试验，正在建厂的矿山情况，简介如下：

①铜录山尾矿：现有尾矿 7.43Mt，各组分含量：$Au0.32\times10^{-6}$，$Ag3.1\times10^{-6}$，Cu0.57%，Fe22%。该矿于 1985 年设计了一座年处理尾砂 396kt 的强磁选铁系统，并已投产，然而其强磁尾又返回尾矿库堆存，形成了三次资源，其中 Au、Ag、Cu 品位再次富集：Cu0.8%，$Au0.83\times10^{-6}$—1×10^{-6}，$Ag6\times10^{-6}$—10×10^{-6}，Fe21%。经物质组成研究，强磁尾矿金主要呈自然金类矿物存在，粒度较粗：中粒级和粗粒级占 61%，属可浮粒级范围，单体金达 29.55%。金主要载体矿物是褐铁矿，金的表面普遍有氧化膜覆盖，因此通过再次磨矿使部分金解离，并消除复膜，利于浮选。广州有色院采用再磨—重选—磁选工艺流程，获得铜精矿和铁精矿，其中铜精矿含金 25.07×10^{-6}，金回收率 62.71%。目前正在建厂。

表 9—10　我国部分矿山尾矿金等资源情况

矿　山	原矿金品位 (10^{-6})	金规模	回收情况		尾矿组成			
			精矿 Au	回收率	Au	Ag	Cu	其　他
沂南铜井汞泉铜矿	2.46	小型	21.11	82.80	0.26			
沂南铜井山子涧铜矿	1.61	小型	82.0	82.0	0.25			
沂南铜井龙头胜铜矿	0.93	小型	17.0	74.0	0.16			
四子王旗白乃庙铜矿	0.12	小型	2.83	44.29	0.08	1.0	0.06	Mo:0.0034
户县车流水铜矿	1.146（入选品位）	小型	12.1	60.47	0.28	2.5		
瓦房店望宝山多金属矿	2.37	小型	4.68	46.50	0.16			Pb:0.06,Zn:0.21
白家咀子铜镍矿 1 矿区	0.13	小型		52.88	0.1		0.163	Pt:0.1

续表

矿　　山	原矿金品位 (10^{-6})	金规模	回收情况		尾矿组成			
			精矿 Au	回收率	Au	Ag	Cu	其　他
瓦房店华铜铜矿	3.20	小型	58.5	66.80	1.10		0.11	
抚顺红透山铜矿	0.77	中型	4.7	43.82	0.394	8.477	0.072	Zn：0.373
铜陵狮子山铜矿	0.736（入选品位）	中型	8.53	47.06	0.406		0.049	
铜陵凤凰山铜矿	0.69	中型	8.75	65.0	0.19		0.096	
铜牛井铜矿	0.22	小型	7.2	88.0	0.06		0.029	Mo：0.009
琅琊山铜矿	0.658	中型	6.8	72.10	0.123		0.045	
武山铜硫铁矿北矿带	0.837（入选品位）	大型	2.68	35.73	0.563	19.79	0.453	
洋鸡山金铜矿	5.11	中型		75.25	0.68	12.7		
铜录山铜矿	1.15	特大型	13.65	63.87	0.32	3.1	0.57	Fe：22
鸡笼山铜金矿	2.10	中型	21.11	75.30	0.63	7.10		Pb：0.18，Zn：0.22
德兴铜矿	0.292	特大型	8.93	62.39	0.06—0.074			
水口山龙王山金矿	6.42	小型	5.64	85.02	0.91			
水口山老鸦巢金矿	6.58	小型	144	80.40	0.79			Pb：0.3，Zn：0.3

Au、Ag、Pt品位为10^{-6}，其他为%。

②凤凰山铜矿尾矿：尾矿各组分含量：Au0.19×10^{-6}，Ag4.3×10^{-6}，Cu0.13%，Pb0.036%，Zn0.06%，Fe24.3%，S2.42%。金呈自然金类矿物存在，以中—细粒级为主，单体金占总金量47.42%，包裹金占52.58%，主要包裹在黄铁矿中，而单体金和黄铜矿中金占尾矿总金量的48.99%，若通过再磨使包裹于黄铁矿中和脉石中的金解离出来，在金铜精矿中回收率有可能达75%。经试验，采用重选—再磨—浮选工艺，从磁选尾矿中可选出含Au5.48×10^{-6}，Ag7.5×10^{-5}的精矿产品，金回收率可达65%—77%。

③大冶铁铜矿尾矿：现存有尾矿量达12Mt，各组分含量：Au0.1×10^{-6}，Ag4.9×10^{-7}，Cu0.258%，Fe24.26%，并含有Co和S。通过回收试验，可选出铜精矿、铁精矿和钴硫精矿，其中铜精矿含Cu11.83%，Au12.46×10^{-6}，Ag14.01×10^{-6}。

④红透山铜矿尾矿：存有尾矿9Mt，各组分含量：Au0.23×10^{-6}—0.394×10^{-6}，Ag4.9×10^{-6}—8.477×10^{-6}，由于金粒度较细，解离度差，原矿选矿回收率只有43.82%，采用再磨浮选工艺，可从尾矿中再回收50%以上的Au、Ag。

⑤赤马山铜矿尾矿：尽管含金只0.1×10^{-6}，但采用螺旋溜槽予先富集，再浮选出铜精矿，其Cu达27.74%，Au8.47×10^{-6}。

⑥德兴铜矿尾矿：一选厂尾矿金0.06×10^{-6}，二选厂尾矿金7.4×10^{-6}。经查定尾矿中大于0.246mm级含金比较高，多呈包裹金和连生金，但占有率不大，而在－0.1—＋0.104mm级中，含单体解离金较多，为从尾矿中提取金提供了基础资料，目前正在试验中。

第十章　典型矿床的伴生金赋存状态

我国伴生金矿床数量众多、类型复杂、分布广阔，所包括的矿种亦各式各样。因此，对具体矿床的伴生金赋存状态进行研究不但对提高伴生金矿床的经济效益有重要意义，而且对丰富成矿理论、探索伴生金在成矿过程中的地球化学行为也是十分有益的。为此我们在本章中根据历年科研成果有选择地对各类型矿床中伴生金赋存状态进行了描述，以备参考。

第一节　岩浆岩型矿床

一、甘肃金川铜一镍矿

金川矿是一个特大型铜镍矿床，也是一个特大型伴生金矿床。金品位 0.13×10^{-6}—0.54×10^{-6}。金及含金矿物计有：自然金（含金 967‰），银金矿（含 Au571‰—754‰），含铂金银矿（含 Au138‰—297‰），钯金矿（含 Au876‰），铂金矿（含 Au860‰），铂铜金矿（含 Au623‰），锑金铂矿（含 Au67‰—104‰），含金自然铂（含 Au40‰—50‰），是伴生金矿床中金矿物种类最复杂的一个矿床。其中最主要的是银金矿和金银矿，其次为自然金、金铂、金钯互化物，锑化物很少。金矿物粒度一般为 0.02—0.06mm，主要与硫化物，尤其与黄铜矿密切共生，与氧化物和脉石矿物关系均不密切（表 10—1）。

表 10—1　金川矿主要矿物含金量

矿物名称	Au (10^{-6})	Ag (10^{-6})
黄铜矿（方黄铜矿）	0.9	2.1
镍黄铁矿	0.17	0.0
黄铁矿	0.4	0.0
白铁矿	0.1	0.0
磁黄铁矿	0.15	0.08
铬尖晶石	0.1	0.0

为了对金川矿的金理想回收率进行探索，根据金川镍钴研究所和甘肃第六地质队的有关资料进行了矿石中金的配分计算，结果列于表 10—2 和表，从表可知：

①矿石中金矿物粒度较细，在入选粒度（—200 目占 53.47%）时单体金仅占 24.69%。这一部分金在选矿时进入精矿。

②金属硫化物中包裹金和连生体金占 65.07%，占矿石中金的最主要部分，它们在选矿

表 10—2　金川矿一矿区富矿石原矿及尾矿中金的配分

	矿物名称	矿物含量（%）	含金量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	配分率（%）	备注
原矿	裸露金			0.02815	24.69	①脉石含金量系以尾矿含金量减去尾矿中镍、铜、硫化物含金量而得 ②“其他”项中主要的磁铁矿、赤铁矿、铬尖晶石等 ③原矿金品位以 0.114 ×10^{-6}计算。
	镍黄铁矿＋紫硫镍铁矿	4.54	0.17	0.00772	6.77	
	黄铜矿＋方黄铜矿	2.39	0.9	0.02610	22.89	
	黄铁矿＋白铁矿	9.68	0.4	0.03872	23.97	
	磁黄铁矿	1.09	0.15	0.00164	1.44	
	其他	9.38		—	—	
	脉石	72.92	0.016	0.01167	10.24	
	合计	100.00		0.114	100.00	
尾矿	镍黄铁矿	0.61	0.17	0.001040	4.50	①尾矿金品位以 0.023 ×10^{-6}计算
	黄铜矿＋方黄铜矿	0.42	0.9	0.00378	16.43	
	黄铁矿	0.48	0.4	0.00192	8.30	
	磁黄铁矿	0.47	0.15	0.00071	3.07	
	脉石	98.02	0.016	0.01568	67.79	
	合计	100.00		0.02313	100.00	

时亦随硫化物进入精矿。

③脉石矿物中（分散）金相当少，仅占 10.24%。这一部分金将不可避免的进入尾矿。

④矿石中金的理想回收率为 89.76%，与实际选矿收率 85.18%比较相当接近。所谓金理想回收率的定义是：假定金矿物和包裹有金矿物的硫化物全部进入精矿，而分散于脉石中的金全部进入尾矿时的回收率。显然，实际回收率只能接近而无法达到，仅籍以判断金的回收水平。

⑤尾矿中金有 32.21%因金属硫化物的进入尾矿而损失。这些金属硫化物在尾矿中含量为 1.98%，其损失原因：75%因属连生体而损失，20%因过粉碎而损失，5%因工艺问题而损失（据金川钴镍研究所资料计算综合）。

⑥在达到金理想回收率时，尾矿中金品位为 0.016×10^{-6}，比实际尾矿金品位（0.023×10^{-6}）低 30%，所以尾矿金品位尚有可能降低。

二、新疆喀拉通克铜一镍矿

喀拉通克矿是一个大型铜镍矿床，对伴生金来说是一个中型矿床。矿石中伴生金的赋存状态具有以下特征：

1. 矿石中矿物态金和分散态金的比例

从主要含金矿物黄铜矿的 Au—Cu 相关溶解曲线证明，黄铜矿在溶解过程中随时间增加其溶解度明显增加，最终几乎全部溶解（为 95.63%），而金的溶解度则无起伏，最终亦仅为 1.02%。所以，喀拉通克矿中金成自然金形式存在，分散金可忽略不计。

2. 金矿物

①金矿物种类和形态

主要为自然金、含银自然金、银金矿，少量碲金矿。自然金的形态主要为麦粒状、圆粒状、棒状、片状（表 10—3）。

表 10－3　喀拉通克矿自然金形态统计

形　态	粒　数（个）	颗粒（%）
圆粒状	34	11. 0
麦粒状	75	24. 4
等轴粒状	18	5. 8
不规则粒状	63	20. 5
长条状	99	32. 1
片　状	8	2. 6
蜂窝状	3	1. 0
树枝状	8	2. 6
总　计	308	100. 0

②自然金的嵌布特征

金在矿石中嵌布特征是伴生金综合回收的重要参数，也具有矿床成因上意义，通过对光片中自然金的统计（表 10—4）表明，该矿中自然金以粒间金占主导，裂隙金次之而包裹金最少。

表 10－4　喀拉通克矿自然金嵌布状态表

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	12	24. 57
粒间金	53	56. 86
包裹金	35	18. 57
合　计	100	100. 00

影响自然金嵌布状态分布的因素：影响自然金嵌布状态分布的因素是多方面的，但我们认为金品位、矿物金同分散金的比例、矿化期次是主要因素。如一个矿床中矿物态金占绝大多数而又具多期矿化，则裂隙金出现可能较多，在以上两者兼得的条件下，金品位越高，越有利于裂隙金的产出。

由于喀拉通克铜镍矿床矿化期次相对单一，因而该矿床中裂隙金相对较少面以粒间金为主。

③自然金的粒度分布

矿物粒度是其工艺性质的重要参数之一。喀拉通克矿测定结果列于表 10－5。观表可知，该矿自然金粒度变化较大，在各粒级中均有分布，无明显集中现象。但总体来说，粒度偏粗，大于 200 目的占 58.00%，大于 100 目的占 24.97%，其粒度之粗，在金品位偏低的岩浆岩型伴生金矿床中独树一帜，即使同高品位的其他类型伴生金矿床金粒度相比，亦毫不逊色。

④自然金的成色和杂质

自然金中主要组分为 Au、Ag，亦存在少量 Cu、Fe。电子探针测定结果列于表 10—6。从表中可知，矿床中出现最多的是银金矿，次为含银自然金，自然金和金银矿都较少。这说明在该类型矿床中金成色分布较均匀。为了对不同嵌布状态及不同粒度大小的自然金成色有所了解，我们对喀拉通克矿自然金做了相应的成色测定，结果表明：该矿裂隙金成色较粒间金、包裹金高，前者为 757.9（10 颗平均），后者分别为 635.1（11 颗平均）、643.6（2 颗平均）。而同种嵌布状态但不同粒度大小的自然金成色变化不大，同时，对较大粒金不

表 10－5　喀拉通克矿自然金粒度分布

粒级		质量分数（%）
（目）	（mm）	
35 — 40	0.50 — 0.40	5.52
40 — 60	0.40 — 0.25	8.70
60 — 100	0.25 — 0.15	10.75
100 — 150	0.15 — 0.11	8.43
150 — 200	0.11 — 0.07	24.60
200 — 400	0.07 — 0.04	26.62
400 — 700	0.04 — 0.02	10.87
700 — 900	0.02 — 0.01	2.61
— 900	＜0.01	1.91
合　计	100.00	

同部位的成色测定亦表明金在同一颗粒中分布是均匀的。全矿平均成色为 727.8。

表 10－6　喀拉通克矿自然金成色及杂质含量

定　名	分析数	Au（%）	Ag（%）	Cu（%）	Fe（%）
自然金	1	97.95 ① 97.95	1.63 1.63	0.24 0.24	0.18 0.18
含银自然金	12	83.63 80.33 — 89.96	14.16 9.05 — 19.67	1.47 0.82 — 3.17	0.74 0.37 — 1.75
银金矿	19	64.60 59.34 — 79.10	31.68 20.90 — 35.33	1.69 0.51 — 2.53	2.03 3.43 — 0.42

① 平均值 / 变化范围

自然金中杂质：与其它类型伴生金矿床相同，该矿床自然金中杂质仍以 Cu、Fe 为主，但含有一定量的 Pt、Pd、Ni，表现出该类伴生金矿床自然金中杂质的特殊性。

3. 金载体矿物

喀拉通克矿金品位较低，金是作为综合回收组分而进入主金属精矿。所以，金在载体矿物中含量是决定选矿回收率高低的重要因素。现将测定结果列于表 10－7。从表可知，金属矿物中以黄铜矿含金量最高，变化范围也大，镍黄铁矿和磁黄铁矿均较低，变化范围亦小，脉石含金量亦很低。这一情况与金川矿类似。

表 10－7　喀拉通克矿载体矿物含金量

矿物名称	测定个数	Au（10^{-6}）
黄铜矿	3	3.94① 0.66 — 14.50
镍黄铁矿	3	0.092 0.014 — 0.250
磁黄铁矿	5	0.049 0.011 — 0.120
脉　石	2	0.006 0.002 — 0.010

① 平均值 / 变化范围

4. 矿石中金的平衡配分

喀拉通克矿金的配分列于表 10－8。从表可知，矿石中金主要分布于黄铜矿中，脉石中金分布不多。金的理想回收率应为 96.02%。从上述情况可知，该矿金品位虽低（特富矿石 $Au0.28\times10^{-6}$，富矿石 $Au0.18\times10^{-6}$，贫矿石 $Au0.082\times10^{-6}$），但自然金粒度相对较粗，且金在载体矿物中集中而不分散，所以可望有一个高回收率。

表 10－8　喀拉通克矿中金平衡配分

矿物种类	矿物量（%）	含金量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金配分率（%）
黄铜矿	2.63	3.94	0.1036	87.80
磁黄铁矿＋黄铁矿	16.90	0.049	0.0083	7.03
镍黄铁矿＋紫硫镍铁矿	1.51	0.092	0.0014	1.18
脉　石	78.96	0.006	0.0047	3.98
合　计	100.00		0.118	100.00

平衡系数：$K=\frac{0.118}{0.116}\times100\%=101.7\%$

5. 金在矿体中的分布规律

①金在矿体中分布的不均匀性：根据 277 个刻槽样分析结果，矿石中金品位分布直方图如图 6－9 所示。从图可知，该矿中金品位呈较好的单峰式分布，且局限于较小的变化范围内，品位相差最大为 100 倍，表明该矿金的矿化还是较为均匀的。从各品位区间占有率视之，该矿金品位明显偏低，（0.6×10^{-6}以下者占 87.76%，0.3×10^{-6}以下者占 60.33%），且两中段金品位分布亦有所不同，710 中段金品位较 650 中段为高。

②金在各类矿石中的分布规律：从致密块状矿石－海绵陨铁状矿石－稠密浸染状矿石－稀疏浸染状矿石金品位依次递减。另一个特点是，各种类型矿床中，以 Cu/Ni 比值较高者金品位相对较高。

③金在矿体深度上的分布规律是上高下低。

第二节　矽卡岩型矿床

一、湖北大冶铜录山铜矿

铜录山铜（铁）矿是一个特大型矿床，对伴生金矿床来说也是一个特大型伴生金矿床，金品位也较高，达 1.2×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

从主要含金矿物黄铜矿和黄铁矿的 Au－Cu，Au－Fe 相关溶解曲线证明，无论黄铜矿或黄铁矿在溶解过程中随时间增加其溶解度明显增加，最终几乎全部溶解（分别为 97.55% 和 98.51%）。而金的溶解度则无起伏。这一情况证明，载体矿物中金绝大部分为自然金。所以整个矿石中分散金仅占 0.n%，可忽略不计。

2. 自然金

铜录山矿的 Au－Ag 系列主要为含银自然金、银金矿和少量自然金（Au＞900‰）、金银矿。

①自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的统计表明（表 10－9），该矿中以裂隙金

表 10—9　铜录山矿自然金嵌布状态表

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	23	56.87
粒间金	46	25.36
包裹金	105	17.77
合　计	274	100.00

为主，粒间金次之，包裹金最少。这一特征有利于磨矿过程中金的单体分离。从自然金的嵌布特征可知，多期次、多阶段矿化叠加有利于粒度较粗的裂隙金的形成。铜录山矿是一个矽卡岩型矿床，其矿化期次可归纳于下：

- 矽卡岩期
  - 矽卡岩阶段
    - 简单矽卡岩亚阶段
    - 复杂矽卡岩亚阶段
  - 气化高温氧化物—磁铁矿阶段（铁矿化）
- 硫化物—自然金期
  - 高中温石英—黄铁矿化阶段（弱金矿化）
  - 中温黄铜矿—自然金阶段（强金矿化）
  - 中低温方解石—自然金阶段（最强金矿化）

铜录山矿是一个因多矿化期次增强了金的矿化，改变了金的粒度分布和嵌布关系，使其向着有利于选矿回收的方向发展的典型实例：在高中温石英—黄铁矿阶段，自然金主要以包裹金的形式存在，粒度较细，多在 1－10μm 范围，金矿化也相对较弱；在中温黄铜矿—自然金阶段，则主要以粒间金的形式存在，粒度较粗，多在 20－50μm，为主要金矿化阶段，亦是最主要铜矿化阶段；在中低温方解石－自然金阶段，主要以裂隙金的形式存在，粒度较粗，多在 70－600μm，多呈自然金—脆硫铜铋矿—方解石微脉和自然金—方解石微脉分布，它们有时可见穿插于黄铜矿中。

②自然金的粒度分布：粒度分布是影响回收率的重要因素。铜录山矿测定结果列于表 10－10。从表可知，该矿自然金粒度变化较大，最粗金粒达 0.65mm，最细则仅有 0.0005mm（扫描电镜测定）。两者相差为 1300 倍。自然金在各粒级中均有分布，且相当均匀。但与其他矿床相比较，该矿金的粒度是相当粗的，＋200 目的金占 57.92%，＞10μm 的占 95.31%。这一特征有利于金的选矿回收，并有可能生产金精矿。

③自然金的成色和杂质：铜录山矿中自然金的成色变化相当大，Au－Ag 系列矿物中存在着自然金（Au＞900）、含银自然金、银金矿、金银矿（表 10－11）。当然其中以自然金（Au＞900）含银自然金（Au80%－95%）出现频率最高，共达 60.19%，银金矿（Au50%－80%）为 34.25%。而金银矿则相对较低，为 5.56%，至于含金自然银和自然银则未发现（表 10－12）。矿石中 Au－Ag 系列矿物成色变化大的特征不但表现在不同的自然金间，即使同一颗粒中成色变化也相当显著，一般存在两种形式：一是成色自中心向边缘降低（电子探针测定分别为 93.8%—93.5%－90.9%Au）；一是成色自中心向边缘成次高—→高

表 10—10　铜录山矿自然金粒度分布

粒级 (目)	粒级 (mm)	质量分数 (%)	
16—32	0.65—0.5	3.98	3.98
32—60	0.5—0.4	0.96	12.00
	0.4—0.25	11.04	
60—100	0.25—0.15	14.92	14.92
100—150	0.15—0.10	14.53	14.53
150—200	0.10—0.09	3.60	12.49
	0.09—0.08	4.96	
	0.08—0.07	3.93	
200—400	0.07—0.06	6.64	18.83
	0.06—0.05	5.21	
	0.05—0.04	6.98	
400—700	0.04—0.03	6.49	12.61
	0.03—0.02	6.12	
700—900	0.02—0.01	5.95	5.95
—900	0.01—0.001	4.50	4.69
	< 0.001	0.19	
合　计		100.00	100.00

注：据 986 粒自然金统计。

表 10—11　铜录山矿自然金成色及杂质含量表

定名	分析数 (个)	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)	Fe(%)
自然金	8	95.77① / 95.07 — 97.66	4.00 / 1.40 — 4.82	0.157 / 0.001 — 0.858	0.235 / 0.073 — 1.264
含银自然金	57	90.35 / 80.05 — 94.96	9.81 / 3.69 — 18.73	0.502 / 0.021 — 1.887	0.411 / 0.009 — 1.086
银金矿	36	69.05 / 51.25 — 79.45	26.55 / 19.58 — 45.97	0.417 / 0.001 — 1.446	0.794 / 0.011 — 1.867
金银矿	7	39.90 / 21.64 — 48.78	57.62 / 49.34 — 76.37	0.411 / 0.139 — 0.819	0.910 / 0.322 — 1.421
总计	108	80.60 / 21.64 — 97.66	18.06 / 1.40 — 76.37	0.442 / 0.001 — 1.887	0.558 / 0.009 — 1.867

① 平均值 / 变化范围

—→低分布（电子探针测定分别为 83.89%—93.66%—46.19%）。其成因似前者为“自生”作用形成，即自然金在结晶过程中随着温度降低逐渐富银；后者为“他生”作用形成，即自然金晶出后经交代作用形成。

3. 金的载体矿物

铜录山矿金的载体矿物相当复杂。因为矿石金品位较高，所以几乎全部主要矿物均含金。根据单矿物测定结果（表

表 10—12　铜录山矿自然金成色统计

成色范围	频率(%)
1000—900	29.63
900—800	30.56
800—700	22.22
700—600	8.33
600—500	3.70
500—400	4.63
400—300	-
300—200	0.93
200—100	---
100—0	-

注：据 108 个成色统计。

10—13)，可把这些矿物分成四类：硫化物类含金最高，与金的共生关系最密切；碳酸盐和石英类中低温矿物次之；铁氧化物又次之；矽卡岩类矿物最低。上述情况阐明了一个明显规律：自然金与矿床中的中、低温矿物共生关系密切，而与高温矿物的共生关系较差。至于褐铁矿则因为它仅存在于氧化带中，是黄铜矿和黄铁矿的氧化产物，铜被淋滤后沉淀成孔雀石，而铁、金则残留形成含金褐铁矿，故其含金量与其原生矿物（黄铜矿）基本类似；而孔雀石则因 Cu、Au 在氧化带中地球化学行为差异而含金银低。

表 10—13　铜录山矿载体矿物含金量

矿物名称	测定个数	Au (10^{-6})
黄铜矿	20	$\frac{6.08^{②}}{0.76-28.00}$
黄铁矿	6	$\frac{8.05}{0.22-13.68}$
磁铁矿	24	$\frac{0.21}{0.005-0.99}$
赤铁矿	13	$\frac{0.28}{0.042-0.82}$
褐铁矿①	3	$\frac{6.05}{2.39-7.91}$
孔雀石①	4	$\frac{0.06}{0.019-0.11}$
石　英	2	$\frac{0.54}{0.004-1.07}$
玉髓—蛋白石	3	$\frac{0.96}{0.043-1.36}$
方解石	4	$\frac{0.23}{0.002-0.96}$
石榴石	1	$\frac{0.032}{0.032}$
透辉石	3	$\frac{0.033}{0.002-0.092}$

①赋存于氧化带中；　②$\frac{\text{平均值}}{\text{变化范围}}$。

4. 矿石中金的平衡配分

铜录山矿可分原生矿和氧化矿两类。两类矿石中不但铜的赋存状态不同，金的赋存状态也有一定的差异。现将其金的配分分别列于表 10—14、表 10—15。从表中可知，在原生矿石中金的理想回收率为 80.68%，氧化矿石则为 57.85%，两者相差甚大的原因主要是金

表 10—14　铜录山矿原生矿金的配分

矿物名称	矿物量 (%)	含金量 (10^{-6})	金金属量 (10^{-6})	金配分率 (%)
裸露金	—	—	0.40	39.60
黄铜矿	5.5	6.08	0.3344	33.11
黄铁矿	1.0	8.05	0.0805	7.97
磁铁矿、赤铁矿	46.0	0.21	0.0966	9.56
方解石	23.0	0.23	0.0529	5.24
石榴石、透辉石等	17.0	0.03	0.0051	0.51
石英、长石	7.5	0.54	0.0405	4.01
合　计			1.01	100.00

平衡系数 $K=\frac{1.01}{1.10}=91.8\%$。

在氧化过程中部分被次生矿物——褐铁矿、玉髓、蛋白石吸附所致，它们在选矿时进入铁精矿和尾矿，目前尚未能利用回收。

表 11—15 铜录山矿氧化矿金的配分

矿物名称	矿物量 (%)	含金量 (10^{-6})	金金属量 (10^{-6})	金分配率 (%)
裸露金	--	—	0.36	30.54
黄铜矿	2.8	4.17	0.1168	9.91
黄铁矿	1.5	13.6	0.2040	17.31
孔雀石	1.9	0.06	0.0011	0.09
褐铁矿	2.0	6.05	0.1210	10.26
磁铁矿、赤铁矿	35.7	0.23	0.0821	6.96
石榴石、透辉石	11.9	0.032	0.0038	0.32
方解石、白云石	18.4	0.23	0.0423	3.59
玉髓、蛋白石	25.8	0.96	0.2477	21.02
合　计	100.00		1.1788	100.00

平衡系数 $K=\frac{1.18}{1.20}=98.3\%$。

5. 金在矿床中的分布规律

①金在矿石中分布的不均匀性：铜录山矿原生矿中金品位直方图如图 6--9 所示，成单峰式分布（据 734 个样品统计），其变化范围大，不均匀，最低品位为 Au0.0031×10^{-6}，最高为 Au26.7×10^{-6}，两者相差达 8600 倍。从各品位区间出现频率观之，Au>1×10^{-6}者占 37.33%，其中 Au>3×10^{-6}者占 8.46%，可作为独立金矿体圈定。据计算，其平均品位可达 5.36×10^{-6}，储量经估算可达××t；铜录山矿氧化矿 Au 品位分布直方图示于图 6—9（据 116 个样品统计），总体上与原生矿类似，但相对而言品位相对集中，高品位较少。

②不同矿体和不同矿石类型的含金性比较：铜录山矿由 12 个大小悬殊的矿体组成。主要矿体为Ⅱ、Ⅰ、Ⅳ号矿体，它们合计约占全矿铜储量的 87%，铁储量的 88%。所以，在论述中以它们为主，并适当列入其他矿体。表 10—16 所示为Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ矿体的金品位。从表可知各矿体金品位差别不大。一般而言，大矿体的金品位高于小矿体。

铜录山矿的矿石类型主要如表 10—17 所示，从表可知，氧化矿石的金含量一般低于对应的原生矿石；铜铁矿石含金量大于单铜矿石或单铁矿石；作为含矿围岩的矽卡岩、大理岩、粉岩均有一定程度金矿化，其中以矽卡岩含金最高。

表 10—16 铜录山矿主要矿体和中段金品位比较（10^{-6}）

矿体 / 中段	Ⅰ矿体	Ⅱ矿体	Ⅳ矿体	Ⅴ矿体	Ⅵ矿体	平均①
露天采场	1.067 (53)②		1.012 (9)	0.762 (34)	0.916 (20)	0.947 (116)
−150 中段		1.20 (166)	1.414 (14)			1.217 (180)
−185 中段	1.235 (27)	1.020 (268)	1.174 (122)			1.079 (417)
平均①	1.124 (80)	1.089 (434)	1.187 (145)	0.762 (34)	0.916 (20)	1.092 (713)

①. 样品数加权平均；② 样品数。

表 10－17　铜录山矿各矿石类型中金的分布规律

类型		金含量范围 (10^{-6})	平均含量 (10^{-6})	样品数
氧化矿石	铜铁矿石	0.009－6.43	0.869	56
	单铜矿石	0.017－3.63	0.525	2
	单铁矿石	0.002－3.12	0.945	33
原生矿石	铜铁矿石	0.005－26.7	1.480	424
	单铜矿石	0.019－7.62	1.031	103
	单铁矿石	0.003－4.75	0.651	62
矽卡岩		0.009－0.79	0.149	44
大理岩		0.007－0.26	0.071	33
粉岩		0.005－0.013	0.090	17

③矿床中金的空间分布规律：所谓空间分布规律即是指金在矿体三度空间上的分布特征。对铜录山矿而言，金在矿体长度、宽度、垂直方向上的分布均为两侧低，中间高。如在垂直方向上露天采场（<10—<88m）平均金含量为 0.947×10^{-6}；-150 中段为 1.217×10^{-6}；<188 中段为 1.079×10^{-6}（表 10—16）。

二、安徽铜陵狮子山铜矿

狮子山矿为一大型铜矿床，伴生金品位也较高：东狮子山矿为 1.15×10^{-6}，西狮子山矿为 0.30×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

从主要含金矿物黄铜矿和磁黄铁矿的 Au－Cu 与 Au－Fe 相关溶解曲线表明，无论磁黄铁矿或黄铜矿在溶解过程中随时间增加而溶解度明显增加，而金的溶解度始终很低。这一情况证明，这些载体矿物中金绝大部分是自然金。

此外，在东区还发现有硫金银矿，其成分经电子探针分析为：Au18.6%—24.2%，Ag46.5%—67.7%，Sb1.4%－2.3%，S11.4%，标准化学分子式为 $(Ag_3Au)_4S_8$；并经 X－射线粉晶分析确证。其产状除了呈乳滴状与磁黄铁矿毗连外，还围绕银金矿颗粒周围，形成一环边结构，通常易把它当成银金氧化包膜。含量少，不具实用价值，但有成因意义。

2. 自然金

①自然金的形态特征：矿石大样经酸溶——淘洗而得自然金粒，大致保持了原始形态（虽然破碎过程中产生一定影响，但不大），经镜下统计，结果列于表 10－18。从表中可知，首先，自然金形态变化多端，但以圆粒状、等轴粒状、麦粒状、长条状为主，占重量百分率之 84.1%；次之，可见少量蜂窝状、树枝状、肾状自然金，表明金成矿过程中部分存在胶状沉淀的特征；第三，在不规则粒状中包括了肾状、蘑菇状、弯钩状等特殊形态，表明了自然金具有晚期成矿的特征，系自然金沿微裂隙充填或沿早生矿物粒间交代所致。

②自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系的统计表明（表 10—19），矿石以粒间金为主，裂隙金次之，包裹金最少。与铜录山比较，该矿的裂隙金明显较少。与之对应，该矿的矿化期次也明显较单一，缺少高温的磁铁矿阶段和中高温的黄铁矿阶段，金矿化主要形成于中温的黄铜矿—磁黄铁矿—（黄铁矿）阶段，次之形成于中低温的方解石—自然金阶段。前者以粒间金、包裹金为主，后者以裂隙金为主。裂隙金多以微脉（宽 $n\times$

10μm）或沿两种矿物接触界面分布，多成自然金－辉铋矿－自然铋、自然金－硫银铋矿、自然金－辉锑铋矿、自然金－方铅矿、自然金－方解石组合。

表 10－18　狮子山矿自然金形态统计

形　态	粒数（个）	颗粒分数（%）	质量分数（%）
圆粒状	78	10.6	8.7
等轴粒状	215	29.2	25.1
麦粒状	267	36.3	31.9
长条状	106	14.4	18.4
片状	13	1.8	1.3
蜂窝状	2	0.3	0.6
树枝状	6	0.8	1.7
不规则粒状	49	6.6	12.3
总　计	736	100.00	100.00

表 10－19　狮子山矿自然金嵌布状态表

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	67	37.53
粒间金	177	48.01
包裹金	73	14.46
合　计	317	100.00

③自然金的粒度分布：矿石中自然金的粒度分布是影响金回收率的重要因素。狮子山矿粒度分布测定结果列于表 10－20。从表可知，自然金的粒度粗细变化甚大，最粗为 0.35mm，最细为 0.001mm。相对而言，粒度分布较粗，＞200 目者占 49.38%。而且粒度分布比较集中，其中 60—400 目（0.25－0.04mm）占 79.59%。而小于 0.01mm 者仅占 2.79%。总的来说该矿的粒度分布情况利于金的选矿。在粒度分布中，以裂隙金的粒度最粗，异种矿物接合面上的粒间金次之，黄铜矿和磁黄铁矿同种矿物接合面上的粒间金第三，包裹金最细。

④自然金成色和所含杂质：a. 狮子山矿 Au－Ag 系列矿物主要是银金矿（平均成色 626.4）和金银矿（平均成色 356.3），少量含金自然银（平均成色 82.5）。全矿平均成色为 536.1（其中东狮子山为 460.4，西狮子山为 611.8）（表 10－21），远低于铜录山矿，属于低成色的伴生金矿床，其原因可能与矿化期次简单有关；b. 对于不同粒度大小的自然金，细粒者成色高而均一，粗粒者成色较低而不均一；c. 同一颗粒中大部分金成色是均一的，但少量自然金成色不均一：中间高，边缘低或无规律变化的情况均可见到，有的变化范围较大，已影响定名。如经多点电子探针微区分析，边缘－中间－边缘，其成色分别为 278.5→679.8→728.9→705.0→256.6 和 540.5→691.5→584.5→411.6；变化无规律者，如 440.3→702.6→648.5→872.9 和 702.3→476.9→759.7→743.1→446.1。这种同一颗粒中成色变化的原因前者似由于晚期交代产生。银较金活泼，较易于从自然金中析出。d. 黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、脉石中包裹金的成色变化不大，表明载体矿物种类对金成色基本无影响。e. 不同嵌布类型的自然金成色变化规律是，包裹金成色相对较高，而粒间金和裂隙金成色

相对偏低。f. 自然金中杂质除银外，自然金中普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.28%，后者为 0.14%。个别含锌（3.61%），似为亚显微包裹体所致。

表 10－20　狮子山矿自然金粒度分布

粒级		质量分数（%）
（目）	（mm）	
32－48	0.50－0.30	0.35
48—60	0.35—0.25	2.65
60　100	0.25—0.15	11.41
100—150	0.15—0.11	9.45
150—200	0.11—0.07	25.52
200—400	0.07—0.04	30.21
400—700	0.04－0.02	14.71
700—900	0.02－0.01	2.91
－900	－0.01	2.79
合计		100.00

表 10－21　狮子山矿自然金成色频率

成色范围(‰)	频率（%）
1000—900	—
900—800	1.85
800—700	14.81
700—600	18.52
600—500	29.63
500—400	11.11
400—300	11.11
300—200	7.41
200—100	—
100—0	5.56

注：据 57 个成色统计。

3. 金的载体矿物

狮子山矿金的矿物组成相当简单，矿石矿物除黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿外，其他均为少量或微量（含量少于 0.1%），脉石矿物因含金量很低，故合并测定。这样，金的载体矿物就只有四种（表 10－22）。从表可知，与矿体的金品位一致，东狮子山载体矿物的含金量高于西狮子山矿，尤其是黄铁矿中金高出甚多。除东狮子山中黄铁矿中金特高外，其他硫化物含金量基本相近，脉石矿物的含金量甚低，但东狮子山脉石含金量似偏高。

4. 矿石中金的平衡配分

狮子山矿有两个矿体，东狮子山和西狮子山，两矿体金的品位相差很大，所以平衡配分需要分别计算。现将结果示于表 10－23，表 10－24。

从配分结果表明，在现选矿厂的磨矿粒度下，矿石中约有 50%是裸露金，其余的金大

部分在硫化物中，脉石中金仅占10%左右。对东狮子山来说，虽然黄铁矿中金高达2.46×10^{-6}，但因矿物含量很低，故分配率也仍低于黄铜矿。

表10—22 狮子山矿载体矿物含金量

东狮子山		西狮子山	
矿物名称	含金量（10^{-6}）	矿物名称	含金量（10^{-6}）
黄铜矿	4.50	黄铜矿	2.85
磁黄铁矿	3.00	磁黄铁矿	1.10
黄铁矿	24.60	黄铁矿	2.64
脉石	0.11	脉石	0.026

表10—23 东狮子山矿金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金分配率（%）
裸露金	—	—	0.418	43.45
黄铜矿	4.2	4.50	0.189	19.65
磁黄铁矿	2.7	3.00	0.081	8.42
黄铁矿	0.7	24.60	0.172	17.88
脉石	92.4	0.11	0.102	10.60
合计	100.00	—	0.962	100.00
平衡系数 $K=0.962/1.15=83.65\%$				

表10—24 西狮子山矿金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金分配率（%）
裸露金	—	—	0.153	50.00
黄铜矿	2.8	2.85	0.080	26.15
磁黄铁矿	2.8	1.10	0.031	10.13
黄铁矿	0.7	2.64	0.018	5.88
脉石	93.7	0.026	0.024	7.84
合计	100.00	—	0.306	100.00
平衡系数 $K=0.306/0.30=102\%$				

5. 金在矿床中的分布规律

①金在矿床中分布的不均匀性：狮子山矿金的分布具有以下特征：a. 金在矿体中分布变化很大，品位最高为18.37×10^{-6}，最低为0.03×10^{-6}，相差达612倍；b. 金的品位频率受金矿品位高低控制，东狮子山品位高，品位集中于0.03×10^{-6}—3.0×10^{-6}区间，占92.98%，西狮子山品位低，品位集中子0.03×10^{-6}—0.8×10^{-6}区间，占92.52%；所以就金品位的“集中程度”而言，西狮子山大于东狮子山；但以金品位的“高低差别”而言，也是西狮子山大于东狮子山，前者品位范围为0.03×10^{-6}—18.37×10^{-6}，后者为0.03×10^{-6}—7.35×10^{-6}（见表10—25）；c. 东狮子山存在富金矿块。在461个刻槽样品中，Au>1×

10^{-6}者有 165 个，占 35.79%，平均金品位为 2.31×10^{-6}；Au＞2×10^{-6}者有 68 个，占 14.8%，平均金品位为 3.50×10^{-6}，可作为独立金矿体圈定，如条件允许，可以金为主进行选矿；d. 东、西狮子山金品位相差甚大，其原因似与铜品位高低有关（东狮子山铜品位为 1.46%，西狮子山为 0.96%）。

②金与其他组分的相关性：狮子山矿中金与铜、银、硫均为较好的正相关。这一情况表明矿体中的金主要集中于硫化物中，而脉石矿物内分布较少。这一特点有利于金的回收。

表 10－25　狮子山矿金品位分布频率

品位区间 (10^{-6})	东狮子山		西狮子山	
	粒数（个）	质量分数（%）	粒数（个）	质量分数（%）
＞10	0	0	3	0.50
10.0—9.0	0	0	0	0
9.0—8.0	0	0	0	0
8.0—7.0	1	0.22	1	0.16
7.0—6.0	5	1.08	1	0.16
6.0—5.0	6	1.30	0	0
5.0—4.0	8	1.73	0	0
4.0—3.0	17	3.69	1	0.16
3.0—2.0	31	6.73	1	0.16
2.0—1.0	97	21.04	21	3.50
1.0—0.8	23	4.99	17	2.84
0.8—0.6	48	10.41	43	7.17
0.6—0.4	61	13.23	79	13.17
0.4—0.2	95	20.61	222	37.00
＜0.2	69	14.97	201	35.18
合计	461	100.00	600	100.00

三、安徽滁州琅琊山铜矿

琅琊山矿为--中型铜矿床，主要矿石类型为矽卡岩型、闪长岩型、磁铁矿型、大理岩型。含金量分别为 0.85×10^{-6}、0.20×10^{-6}、0.45×10^{-6}、0.85×10^{-6}，全矿金品位 0.58×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

主要含金矿物黄铜矿、斑铜矿的 Au－Cu 相关溶解度表明，即使黄铜矿或斑铜矿在溶解过程中随时间增加而溶解度明显增加，金的溶解度却始终很低。如随时间增加，黄铜矿铜的溶解度从 20.01%升至 95.05%，而金的溶解度仅从 0.08%升至 0.32%；斑铜矿的溶解度从 20.10%增至 95.21%，而金的溶解度仅从 0.03%升至 0.06%。可见这些载体矿物中金绝大部分是自然金。从以上两个最主要的载金矿物来看，矿石中分散金是极少的。

2. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系的统计表明（表 10－26），矿石

以裂隙金为主，粒间金、包裹金次之。裂隙金呈宽 $n\times10\mu m$ 的微脉或沿矿物接触面分布；粒间金主要分布于黄铜矿、斑铜矿、脉石间。裂隙金、粒间金多成自然金—脆硫铜铋矿、自然金—硫碲银矿、自然金—碲银矿—碲金银矿、自然金—硫镉矿—脆硫铜铋矿、自然金—方解石组合。

表 10—26　琅琊山矿自然金嵌布状态表

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	27	52.57
粒间金	21	23.65
包裹金	74	23.78
合　计	122	100.00

②自然金的粒度分布：矿石中自然金的粒度分布是影响金回收率的主要因素。琅琊山矿自然金粒度分布测定结果列于表 10—27，从表可知，该矿自然金粒度分布主要集中在 0.07—0.02mm 间（占 67.11%），>0.07mm 者占 20.34%，<0.02mm 者仅占 12.55%。总的来看，该矿自然金粒度偏细。其中裂隙金、粒间金粒度相对较粗，多数大于 0.01mm，包裹金粒度相对偏细，一般小于 0.01mm。

表 10—27　琅琊山矿自然金粒度分布表

（目）	（mm）	质量分数（%）
60—100	0.25—0.15	6.90
100—150	0.15—0.10	5.50
150—200	0.10—0.07	7.94
200—400	0.07—0.04	30.28
400—700	0.04—0.02	36.83
700—900	0.02—0.01	8.28
<900	<0.01	4.27
合计		100.00

表 10—28　琅琊山矿自然金成色频率

成色范围(‰)	粒数（个）	频率（%）
1000—900	1	4.35
900—800	13	56.51
800—700	4	17.39
700—600	2	8.70
600—500	1	4.35
500—400	2	8.70

③自然金成色和所含杂质：琅琊山矿 Au—Ag 矿物系列中最主要为含银自然金（平均成色 850.9），银金矿次之（平均成色 696.2），兼有少量金银矿（平均成色 481.3）。全矿平均成色为 768.5（表 10—28）；对于不同粒度大小的自然金偏粗者成色较高，偏细者成色较低。如大于 0.01mm 的自然金平均成色为 840.5（据 16 个分析数据平均），小于 0.01mm 的自然金平均成色为 604（据 7 个分析数据平均）；不同嵌布类型自然金成色变化规律是：包裹金成色偏低，平均 676.9（据 10 个分析数据平均）；粒间金、裂隙金成色偏高，平均 839（据 13 个分析数据平均）；自然金中杂质：除银外（平均为 21.30%Ag），自然金中普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.97%，后者为 0.44%。

3. 金的载体矿物

琅琊山矿各载体矿物的含金量见表 10--29。从表可知，矿石矿物中，含金量最高为斑铜矿，其次为黄铜矿，脉石矿物的含金量甚低，其中碳酸盐矿物含金量较其它脉石矿物为高。

表 10—29　琅琊山矿载体矿物含金量

矿物名称	Au (10^{-6})
黄铜矿	1.250
斑铜矿	16.300
黄铁矿	0.690
磁铁矿	0.055
石　英	0.069
石榴石	0.058
碳酸盐	0.100
长　石	0.034

4. 矿石中金的平衡配分

琅琊山矿金的平衡配分结果列于表 6—15。配分结果表明，在现选厂的磨矿粒度下，矿石中有 55.5%的裸露金，其余的金大部分集中于硫化物中，如斑铜矿、黄铜矿中金配分率达 35.63%。脉石中金分配率较低，仅占 6.05%。

5. 金在矿床中的分布规律

①金在矿床中分布的不均匀性：琅琊山矿金的分布规律具有以下特征：金在矿体中分布变化很大，品位最高者 12.00×10^{-6}，最低为 0.009×10^{-6}，相差达 1333 倍；从金的品位频率分布（表 10—30）来看，金在矿石中呈多峰分布，品位变化范围大，表明金矿化极不均匀，在各品位区间均有一定分布率。如 0.5×10^{-6}—1.0×10^{-6}区间占 17.15%，0.1×10^{-6}—0.2×10^{-6}区间占 16.49%，$<0.05\times10^{-6}$者占 15.27%。

②金在各矿石类型中的分布规律：查看表 10—30 可知，矽卡岩型矿石中金品位分布与全矿金品位分布具一致性，表明金在矿石中的分布主要由矽卡岩型矿石决定；金在闪长玢岩型矿石中的含量较低，不超过 2.0×10^{-6}，在大理岩型矿石中的含量亦低，不超过 1.0×10^{-6}；从金品位分布频率来看，矽卡岩型矿石中尚有部分金品位$>3\times10^{-6}$的矿石，可圈定出独立金矿段。

表 10—30　琅琊山矿全矿及各类型矿石中金品位分布频率

品位区间 (10^{-6})	样数（个）	全矿占有率（%）	矽卡岩型中占有率（%）	闪长玢岩型中占有率（%）	大理岩型中占有率（%）
<0.05	113	15.27	14.96	14.95	27.78
0.05—0.1	100	13.51	11.38	23.36	27.78
0.1—0.2	122	16.49	14.80	26.17	16.67
0.2—0.3	90	12.16	11.87	14.02	11.11
0.3—0.4	53	7.16	7.15	7.48	5.55
0.4—0.5	46	6.22	6.67	4.67	—
0.5—1.0	130	17.57	19.67	6.54	11.11
1.0—2.0	52	7.03	7.97	2.80	—
2.0—3.0	13	1.75	2.11	—	—
>3.0	21	2.84	3.41	—	—
∑<0.05—>3.0	740	100.00	100.00	100.00	100.00

③矿床中金的空间分布规律：所谓空间分布规律即是指金在矿体三度空间上的分布特征，在矿体走向上，金表现出在矿体中部富，向两端逐渐变贫的规律；金在矿体上下盘中的分布，普遍存在下盘高于上盘的趋势，其原因是下盘是接触带部位，亦是主金属富集的部位。如据四个主要矿体上下盘金品位加权平均所得出的金品位，上盘为 0.588×10^{-6}，下盘 0.799×10^{-6}；金在垂向上的分布，总的趋势是深部高于浅部，如表 10—31 所列三个钻孔，随着深度的增加，总的趋势是金品位增高，但也存在局部起落现象。

表 10—31　琅琊山矿金在垂直方向上的分布

工程号	孔深 (m)	Au (10^{-6})	工程号	孔深 (m)	Au (10^{-6})	工程号	孔深 (m)	Au (10^{-6})
CK469	224.85	0.48	CK235	41.14	0.24	CK208	311.06	1.21
	229.33	0.36		77.11	0.98		318.65	2.08
	261.42	0.36		133.27	0.97		326.69	1.21
	285.62	3.29		261.53	1.55		367.77	1.21
	291.99	6.95		280.25	1.21		401.27	1.95
	—	—		487.07	3.40		410.53	1.94

④金与其它组分的相关性：琅琊山矿中金与铜、银均具较好的正相关，Au—Cu、Au—Ag 的相关系数分别为 0.381、0.681（2667 个数据），表明矿体中的金主要集中于硫化物中，在脉石矿物内分布很少，这一特点有利于金的回收。

第三节　岩浆热液型矿床

一、湖南水口山矿田鸭公塘铅—锌—铜矿

鸭公塘矿为一岩浆热液型 Pb—Zn—Cu 矿床，伴生金储量可达中型。我们工作的主要矿体：1、7 号矿体，金品位分别为：0.89×10^{-6}，1.00×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

为了测定矿石中自然金和分散金的比例，我们对1、7号矿体最主要的载金矿物黄铁矿做了Au—Fe相关溶解性试验。在溶解过程中，随时间增加1、7号矿体黄铁矿的溶解度分别从20.00%、19.88%升至93.86%、99.90%，而金的溶解度分别保持在0.30%、1.30%。可见黄铁矿中金大部分是自然金，分散金极少。

2. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对7号矿体光片中64颗自然金的嵌布关系的统计表明（表10—32），矿石中以包裹金为主，粒间金、裂隙金次之。包裹金主要分布于脉石中，粒间金、裂隙金各矿物中均有分布。

表10—32 鸭公塘矿7号矿体自然金嵌布状态

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	4	11.51
粒间金	13	34.90
包裹金	47	53.58

②自然金的粒度分布：据鸭公塘矿1、7号矿体自然金粒度分布测定结果（表10—33）表明，矿石中自然金粒度较细，主要集中在<0.04mm，占86.32%，>0.04mm仅占13.67%。很明显，矿石中自然金粒度较细的原因与包裹金占有率较高有关。

表10—33 鸭公塘1、7号矿体自然金粒度分布

（目）	（mm）	质量分数（%）
150—200	0.10—0.07	2.51
200—400	0.07—0.04	11.16
400—700	0.04—0.02	28.22
700—900	0.02—0.01	29.13
<900	<0.01	28.98
合计		100.00

注：据183粒自然金统计

表10—34 鸭公塘矿1、7号矿体载体矿物含金量

矿物名称	含金量（10^{-6}）	
	1号矿体	7号矿体
黄铁矿	2.06	1.62
方铅矿	0.11	0.07
闪锌矿	0.08	0.20
黄铜矿	0.11	—
磁赤铁矿	1.75	--
脉石	0.11	0.23

③自然金成色和所含杂质：鸭公塘矿1、7号矿体Au—Ag系列中主要为银金矿（平均成色668.3），含银自然金次之（平均成色813.9）；全矿自然金最高成色834，最低成色576.8，平均成色为710（据14个数据平均）；自然金中杂质：除银外（平均15.8%），自然金中普遍含铜、铁，前者平均含量为0.38%，后者为0.40%。

3. 金的载体矿物

鸭公塘矿各载体矿物的含金量见表10—34。从表可知：矿石矿物中，含金量最高的是黄铁矿，此外，1号矿体中的磁赤铁矿含金量也较高，其它矿石矿物含金量极低；脉石矿物的含金量较高，与方铅矿、闪锌矿、黄铜矿的含金量相似，个别甚有过之。

4. 矿石中金的平衡配分

配分结果表明，鸭公塘1、7号矿体金主要分配于黄铁矿中，其配分率分别达76.54%、90.18%，1号矿体磁赤铁矿中金具一定分配率，达14.74%，其它矿石矿物金配分率极低。脉石矿物金分配率较低，1、7号矿体中分别为7.18%、9.71%（见表10—35，表10—36）。

表10—35 鸭公塘矿1号矿体金的平衡配分

矿物名称	质量分数(%)	金含量(10^{-6})	金金属量(10^{-6})	金配分率(%)
黄铁矿	28.96	2.062	0.597	76.54
方铅矿	1.99	0.112	0.002	0.26
闪锌矿	5.05	0.084	0.004	0.51
黄铜矿	5.83	0.107	0.006	0.77
黝铜矿	0.22	—	—	—
磁赤铁矿	6.58	1.75	0.115	14.74
脉石	51.36	0.11	0.056	7.18
合计	100	—	0.78	100
平衡系数 $K=0.78/0.89=87.64\%$				

表10—36 鸭公塘矿7号矿体金的平衡配分

矿物名称	质量分数（%）	金含量(10^{-6})	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
黄铁矿	55.35	1.62	0.897	90.24
方铅矿	0.49	0.07	0.000	
闪锌矿	0.61	0.20	0.001	0.10
黄铜矿	0.31			
黝铜矿				
磁赤铁矿	0.98			
脉石	41.84	0.23	0.096	9.66
合计	100		0.994	100
平衡系数 $K=0.988/1.00=98.8\%$				

二、安徽铜陵天鹅抱蛋山硫一金矿

天鹅抱蛋山矿为一岩浆热液型硫金矿床，伴生金储量可达大型，伴生金品位 2.98×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

经用镜下鉴定、Au—Fe 相关溶解度测定、电子探针测定等方法研究证明，与其他伴生金矿床不同，天鹅抱蛋山矿中金有相当大一部分是分散金（亚显微金）。以矿物而言，毒砂和黄铁矿中金为分散金，而磁黄铁矿及其他硫化物中金为显微自然金。从矿体而言，Ⅰ矿体分散金为 43.73%，Ⅱ矿体为 50.10%，Ⅲ矿体为 10.49%，Ⅳ矿体为 17.32%，全矿为 24.01%，Ⅰ、Ⅱ与Ⅲ、Ⅳ矿体中分散金占有率的差别主要是与含砷的高低有关：高砷矿体分散金高，低砷矿体分散金低，所以，机械选矿方法是无法达到 Au—As 分离。下述的矿石中自然金粒度、成色、嵌布关系等特征均指显微自然金，不包括分散金。

2. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对矿体光片中 395 颗自然金的嵌布关系的统计表明（表 10—37），矿石中以裂隙金为主，粒间金次之，包裹金较少。

表 10—37　天鹅抱蛋山矿自然金嵌布状态

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	258	73.69
粒间金	85	17.21
包裹金	52	9.10
合计	395	100.00

②自然金的粒度分布：据天鹅抱蛋山矿粒度分布测定结果（表 10—38）表明，矿石中自然金粒度偏细，<0.07mm 者占 75.08%，<0.01mm 者占 26.27%，但亦有一部分较粗，>0.07mm 者占 24.92%，似可考虑先用重选以回收较粗粒金。

表 10—38　天鹅抱蛋山矿自然金粒度分布

（目）	（mm）	质量分数（%）
35—40	0.5—0.4	2.68
40—60	0.4—0.25	1.93
60—100	0.25—0.15	3.27
100—150	0.15—0.10	11.13
150—200	0.10—0.07	5.92
200—400	0.07—0.04	14.16
400—700	0.04—0.02	19.08
700—900	0.02—0.01	15.57
<900	<0.01	26.27
合计		100.00

注：据 634 粒自然金统计

③自然金成色和所含杂质：天鹅抱蛋山矿 Au—Ag 系列中最主要为自然金（平均成色 930.6），含银自然金（平均成色 888.5）、银金矿（平均成色 658.7）很少，全矿平均成色为 905.0，属高成色伴生金矿床（表 10—39）；对同一自然金颗粒不同位置的金成色进行了测定，其成色分别为 929.4、925.0、917.1，变化不大，表明矿石中自然金的成色高而稳定；自然金中杂质：除银外（平均 9.56%），自然金中普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.57%，后者为 0.827%。

表 10-39 天鹅抱蛋山矿自然金成色频率

成色范围	频率（%）
1000—900	82.93
900—800	9.76
800—700	2.44
700—600	2.44
600—500	2.44

注：据 41 个测定结果统计。

3. 金的载体矿物

天鹅抱蛋山矿各载体矿物的含金量见表 10—40。从表可知：矿石矿物中，含金量最高为毒砂和黄铜矿；黄铁矿、磁黄铁矿次之；闪锌矿、方铅矿、胶状黄铁矿含金量较低，脉石矿物方解石含金量极低。

表 10—40 天鹅抱蛋山矿载体矿物含金量

矿物名称	分析数（个）	含金量范围（10^{-6}）	含金量（10^{-6}）
黄铁矿	39	0.043—9.11	1.81
磁黄铁矿	31	0.03—29.8	2.84
毒砂	11	8.4—65.5	29.25
胶状黄铁矿	3	0.13—0.51	0.27
闪锌矿	5	0.06—2.61	0.87
方铅矿	3	0.04—0.37	0.17
黄铜矿	2	1.74—36.02	18.8
方解石	5	0.0012—0.15	0.043
阳起石	1	—	0.0065

4. 矿石中金的平衡配分

天鹅抱蛋山矿金的平衡配分结果列于表 10—41，从配分结果可知，矿石中金主要分配于磁黄铁矿中（分配率达 58.67%），其次是黄铁矿和毒砂（分配率分别为 12.14%、11.87%），其它金属矿物中金分配率较低，但脉石矿物中金分配率较高，达 12.36%。

表 10—41　天鹅抱蛋山矿金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
磁黄铁矿	61.6	2.84	1.7494	58.67
黄铁矿	20.0	1.81	0.3620	12.14
胶状黄铁矿	1.3	0.27	0.0035	0.12
毒砂	1.2	29.25	0.3540	11.87
黄铜矿	0.3	18.8	0.0564	1.88
氧化铁	4.1	2.15	0.0882	2.96
脉石矿物	11.0	3.35	0.3685	12.36
合　计	99.5			100.00

平衡系数 $K=\frac{2.98}{2.98}=100.00\%$

5. 金在矿床中的分布规律

①金在矿床中分布的不均匀性：天鹅抱蛋山矿金的分布具有以下特征：金在矿体中分布变化很大，矿石中金最高品位为 51.15×10^{-6}，最低为 0.1×10^{-6}，两者相差达 511 倍；从金品位频率分布（表 10—42）来看，该矿高金品位样频率较高，大于 1×10^{-6}者占 57.31%，大于 5×10^{-6}者占 20%，大于 20×10^{-6}者占 2.08%。

表 10—42　天鹅抱蛋山矿矿石中金品位分布频率

品位区间（10^{-6}）	样 数（个）	占有率（%）
< 1.00	324	42.69
1.00 — 5.00	283	37.31
5.00 — 10.00	89	11.72
10.00 — 15.00	31	4.09
15.00 — 20.00	16	2.11
20.00 — 25.00	8	1.04
25.00 — 30.00	4	0.65
> 30.00	3	0.39

②金在各矿体中的分布规律：天鹅抱蛋山矿除零星小矿体外，共有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个矿体，现将这四个矿体平均金品位及赋存地层层位列于表 10—43。从表可知，金在矿体赋存层位中为下低上高，这意味着矿液自下而上流动时，早期温度较高，金沉淀少；晚期温度较低，金沉淀较多。

表 10—43　天鹅抱蛋山矿不同地层层位的矿体中金的分布规律

矿体	金品位（10^{-6}）	地　层　层　位
Ⅰ	3.25	栖霞组（P_1q）—船山组（C_3）
Ⅱ	3.62	船山组（C_3）--黄龙组（C_2）
Ⅲ	2.84	黄龙组（C_2）—高骊山组（C_1g）
Ⅳ	2.79	高骊山组（C_1g）角岩

③金在各矿石类型和岩石类型中的分布规律：天鹅抱蛋山矿的不同矿石、岩石类型的含金量是不同的，现将1379个样品的统计结果列于表10—44。从表可知：各矿石类型中，按磁黄铁矿矿石——→黄铁矿磁黄铁矿矿石——→磁黄铁矿黄铁矿矿石——→黄铁矿矿石排列，金品位由高而低；矿化围岩（部分属表外矿石）中亦有一定量金。其中以矿化大理岩最高，平均达1.21×10^{-6}，大于边界品位，个别达3.36×10^{-6}，大于工业品位；矽卡岩、闪长岩、大理岩如没有矿化叠加，则含金量一般较低。表中矽卡岩中含金达0.30×10^{-6}—0.44×10^{-6}，是由于后期轻微的黄铁矿化引起。简单矽卡岩属高温蚀变产物，含金低是必然的。

④矿床中金的空间分布规律：在矿体走向上，金表现出南北两侧低，中间高的规律；在矿体倾向上，金于各中段顺倾向西高东低；金在垂直方向上的分布，据天鹅抱蛋山矿现已开拓的三个中段（>27m、>5m、<55m）统计，>27m中段平均金品位2.90×10^{-6}（298个样平均），>5m中段平均金品位3.53×10^{-6}（579个样平均），<55m中段平均金品位2.08×10^{-6}（74个样平均）。可见，矿体中金品位中部高，上、下两端低。

表10—44　天鹅抱蛋山矿各矿石、岩石类型含金量

矿石类型	样品个数	Au (10^{-6})
磁黄铁矿矿石	487	4.11
黄铁矿、磁黄铁矿矿石	344	2.88
磁黄铁矿、黄铁矿矿石	136	2.84
黄铁矿矿石	129	2.49
矿化大理岩	15	1.21
矿化角岩	5	0.56
矿化蛇纹岩	4	0.56
矿化闪长岩	22	0.54
矽卡岩	20	0.37
其中：透辉石矽卡岩	13	0.30
石榴子石矽卡岩	3	0.44
闪长岩	1	0.16
大理岩	3	0.094

⑤金与其它组分的相关性：根据838个样品，2894个分析数据统计了天鹅抱蛋山矿金同其它组分的相关关系，按相关系数大小顺序排列为：Ag、Cu、S、As，其相关系数分别为：0.48、0.20、0.17、0.14。与其它有色矿床伴生金不同，Au与Cu、S、As的相关性并不高，这一现象具深刻原因，一是金的赋存状态方面的原因，除毒砂和黄铁矿外，其余以显微自然金的形式存在，既使在毒砂和黄铁矿中，金也以显微自然金的形式存在，分布不均匀；二是金嵌布形式方面的原因，金大部分以裂隙金的形式存在，它以浸染状或微脉状自然金、自然金—方解石微脉、自然金—石英微脉、自然金—硫碲铋矿—方解石微脉形式存在，充填于微裂隙中，与矿物种类无直接关系；三是金的后期矿化方面原因，一般早期为较高温成矿期时，金与毒砂、黄铁矿同时生成，并分散于它们之中，中期金与磁黄铁矿同时生成，而最重要的晚期金矿化则在上述硫化物生成后，与方解石、晚期石英、硫碲铋矿一起沿裂隙充填交代而成。故Au与As、S、Cu相关性不高。

第四节　斑岩型矿床

江西德兴铜厂铜矿

德兴铜矿为一特大型斑岩铜矿床，伴生金储量亦为特大型，伴生金品位 0.18×10^{-6}。

1. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系的统计表明（表 10－45），斑岩型矿石和千枚岩型矿石中自然金的嵌布特征虽均以粒间金、包裹金为主，但前者的包裹金相对较低。两类矿石中裂隙金均较少。其中，包裹金主要分布于黄铜矿中，粒间金主要分布于黄铜矿与黄铁矿及脉石间，裂隙金主要分布于黄铁矿裂隙中。

表 10－45　德兴铜矿自然金嵌布状态

嵌布状态	质量分数（%）	
	斑岩型矿石	千枚岩型矿石
裂隙金	8.28	11.81
粒间金	49.90	36.46
包裹金	41.82	51.73

注：据 331 粒自然金统计。

②自然金的粒度分布：对德兴铜矿自然金粒度分布测定结果（表 10－46）表明，矿石中自然金粒度总体偏细。斑岩型矿石和千枚岩型矿石中自然金粒度比较，前者明显较后者为细，如斑岩型矿石中自然金粒度＞70μm 占 9.65%，＞50μm 占 22.07%，相应的千枚岩型矿石中自然金粒度分别占 18.41%、38.44%，明显粗于前者。

表 10－46　德兴铜矿自然金粒度分布

粒级（mm）	质量分数（%）	
	斑岩型矿石	千枚岩型矿石
＞0.07	9.65	18.41
0.07－0.06	4.39	5.95
0.06－0.05	8.03	14.08
0.05－0.04	11.92	18.51
0.04－0.03	9.75	16.60
0.03－0.02	29.93	13.16
0.02－0.01	25.42	5.24
＜0.01	0.91	8.08
合计	100.00	100.00

注：据 833 粒自然金统计。

③自然金成色和所含杂质：德兴铜矿 Au－Ag 矿物系列中绝大多数为含银自然金（平均成色 858.6），少量银金矿（平均成色 782.9），全矿平均成色为 827（138 个分析数据平

均），属成色频率分布较集中的伴生金矿床（表 10—47）；对比斑岩型和千枚岩型矿石中自然金成色，发现两类矿石中自然金成色差别不大；自然金中杂质除银（平均 16.13%）外，普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.74%，后者为 0.43%。

表 10—47　德兴铜矿自然金成色频率

成色范围(‰)	频率（%）
1000—900	1.45
900—800	82.61
800—700	15.94

注：据 138 个测定结果统计。

2. 金的载体矿物

德兴铜矿各载体矿物的含金量见表 10—48。从表可知，矿石矿物中黄铜矿含金量最高，黄铁矿次之；脉石矿物含金量极低。对比斑岩型和千枚岩型矿石，前者不论是矿石矿物还是脉石矿物，含金量均较后者为高。

表 10—48　德兴铜矿载体矿物含金量

矿物名称	含金量 (10^{-6})	
	斑岩型矿石	千枚岩型矿石
黄铜矿	9.04	7.34
黄铁矿	2.22	1.76
脉　石	0.15	0.06

3. 矿石中金的平衡配分

德兴铜矿斑岩型和千枚岩型矿石金的平衡配分结果列于表 10—49、表 10—50。从配分结果可知，斑岩型矿石中脉石矿物金配分率较高，已超出单个矿石矿物的金配分率，矿石矿物中黄铁矿和黄铜矿的金配分率相近；千枚岩型矿石中黄铜矿配分率最高，脉石矿物和黄铁矿次之。总的来看，德兴铜矿金配分率最大特点是脉石矿物金配分率较高，这一特征对金的回收率不利。

表 10—49　德兴铜矿斑岩型矿石金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	含金量 (10^{-6})	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
黄铜矿	1.15	9.04	0.104	30.06
黄铁矿	4.51	2.22	0.100	28.90
脉石	94.34	0.15	0.142	41.04
平衡系数 $K=0.34/0.398=86.93\%$				

表 10—50　德兴铜矿千枚岩型矿石金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	含金量 (10^{-6})	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
黄铜矿	1.33	7.34	0.098	48.28
黄铁矿	2.67	1.76	0.047	23.15
脉石	96.00	0.06	0.058	28.57
平衡系数 $K=0.203/0.204=99.51\%$				

4. 金在矿床中的分布规律

①金在矿床中分布的不均匀性：从德兴矿金品位频率分布表 10—51 来看，该矿金品位较低，大于 1×10^{-6} 者仅占 1.05%，总体呈单峰式分布，峰值出现在 0.1×10^{-6}—0.2×10^{-6} 间。

表 10—51　德兴矿矿石中金品位分布频率

品位区间 (10^{-6})	占有率 (%)
＜0.1	20.03
0.1—0.2	45.78
0.2—0.3	21.15
0.3—0.4	6.04
0.4—0.5	2.25
0.5—1.0	3.70
＞1.0	1.05
合　计	100.00

②金在各矿石类型中的分布规律：德兴铜矿不同矿石类型中金含量是不同的，从表 10－52 可知，斑岩型矿石金品位较千枚岩型矿石高。同时，蚀变越强的矿石类型金品位越高。

③矿体中金的空间分布规律：金品位在水平面上的变化，对于 200 至 125 六层台阶中的每一层台阶，均表现出在离开接触带两侧方向上，金的台阶品位随距接触带的远近不同而变化。大致规律是距接触带愈远，金的台阶品位就愈低，反之则高。接触带近两侧的含金品位较高，其中，近内侧高于近外侧（近内侧中—强蚀变带的台阶品位达 3.4×10^{-7}，个别台阶——200 台阶达 5.6×10^{-7}）；在垂直方向上，斑岩型矿石金品位表现出因地面台阶向深部台阶逐渐降低的趋势，而千枚岩型则变化不大（表 10—53）。

④金与其它组分的相关性：据 1268 个分析数据统计的德兴铜矿 Au—Cu、Au—Ag 相关系数分别为 0.32、0.24，呈现正相关关系。

表 10—52　德兴铜矿各矿石类型中金含量

矿石类型	含金量 (10^{-6})
中—弱蚀变斑岩型矿石	0.14
中—强蚀变斑岩型矿石	0.66
中—强蚀变千枚岩型矿石	0.40
中—弱蚀变千枚岩型矿石	0.14

表 10—53　德兴铜矿金品位在垂直方向上的分布

台阶	金含量 (10^{-6})	
	斑岩型矿石	千枚岩型矿石
200	0.56	0.22
185	0.37	0.21
170	0.36	0.18
155	0.27	0.13
140	0.26	0.16
125	0.22	0.17

注：据 1439 个数据统计。

第五节　陆相火山岩型矿床

江西银山铅—锌矿

银山矿为一陆相火山岩型铅锌矿床，伴生金储量可达大型，银山矿银山区、北山区、九龙上天区、西山区伴生金品位分别为：0.21×10^{-6}、0.29×10^{-6}、0.73×10^{-6}、0.90×10^{-6}。

1. 自然金

①自然金的形态特征：矿石大样经过酸溶-淘洗而得的自然金颗粒大致保持了原始形态（虽然破碎过程中产生一定影响，但不大），经镜下统计，结果列于表10—54。从表可知，首先，自然金形态变化多端，但以麦粒状、圆粒状、等轴粒状等规则粒状形态为主，占53.6%；次之，长条状、树枝状自然金亦占有一定比例（37.6%），表明部分自然金是沿矿物裂隙及粒间充填交代而成。

表10—54　银山矿自然金形态统计

形态	粒数（个）	质量分数（%）
圆粒状	34	14.5
麦粒状	16	23.2
等轴粒状	11	15.9
长条状	13	18.8
片状	3	4.4
树枝状	13	18.8
不规则状	3	4.4
总　计	93	100.00

②自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系的统计表明（表10—55），矿石中以包裹金为主，裂隙金、粒间金次之。包裹金主要分布于黄铁矿中，裂隙金和粒间金则分布于黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿裂隙或粒间。

表10—55　银山矿自然金嵌布状态

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）
裂隙金	10	28.95
粒间金	13	25.44
包裹金	46	45.61
合计	69	100.00

表 10－56　银山矿自然金粒度分布

粒级（mm）	质量分数（%）
0.04－0.03	10.12
0.03－0.02	16.20
0.02－0.01	23.68
＜0.01	50.00

③自然金的粒度分布：据银山矿光片中自然金的粒度统计表明（表 10－56），矿石中自然金粒度极细，小于 10μm 的占 50%。另外，自然金的粒度大小与载体矿物之间具一定关系，其粒度按黄铁矿－黄铜矿－砷黝铜矿－黝铜矿顺序依次变粗。

④自然金成色和所含杂质：银山矿 Au－Ag 系列中大多数为银金矿（平均成色 715.6，4 个样），其次为含银自然金（平均成色 879.2，2 个样），自然金（成色 941.6）较少；不同载体矿物中自然金成色按黄铁矿－黄铜矿－砷黝铜矿顺序依次递减；不同嵌布状态中，包裹金成色较高，裂隙金、粒间金成色较低。

2. 金的载体矿物

银山矿各载体矿物的含金量见表 10－57，从表可知，铜矿物（包括黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿）含金量最高，黄铁矿次之，方铅矿、闪锌矿含金量较低；从各矿化分区来看，铜硫矿化的各矿带载体矿物含金量较高是与其较高的金品位相对应的，铅锌矿化的各矿带金品位偏低，其载体矿物含金量亦较低；脉石矿物含金量各矿带均较低。

表 10－57　银山矿载体矿物含金量

分区		含金量（10^{-6}）				
		铜矿物①	黄铁矿	方铅矿	闪锌矿	脉石
铜硫矿化	九区铜硫矿带	28.76	1.51			0.031
	银山西区铜金矿带	34.30	3.20			0.084
	西山北东段铜硫矿带	17.14	2.01			0.018
铅锌矿化	北山铅锌矿带		0.19	0.14	0.14	0.05
	九区铅锌矿带		0.73	0.33	0.15	0.05
	银山铅锌矿带		1.16	0.34	0.22	0.05

①铜矿物包括黄铜矿、砷黝铜矿、黝铜矿。

3. 矿石中金的平衡配分

银山铅锌矿带金的平衡配分结果列于表 10－58，从表中可知，该矿带金主要分配于黄铁矿中，其它金属矿物方铅矿、闪锌矿及脉石矿物中金的配分率均不高，且较为近似。

表 10－58　银山矿银山铅锌矿带金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	含金量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金配分率（%）
黄铁矿	11.05	1.16	0.128	56.14
方铅矿	8.54	0.34	0.029	12.72
闪锌矿	18.11	0.22	0.040	17.54
脉石	62.30	0.05	0.031	13.60
平衡系数 $K=0.228/0.21=108.57\%$				

4. 金在矿床中的空间分布规律

①金银沿水平方向的分布规律：银山矿田伴生金银含量在不同的矿化系列有明显的差异，金在铜硫矿化系列中高，银则在铅锌矿化系列中高。在平面上，金银含量沿 SW—NE 向和 SN 向呈现有规律的分布。SW—NE 向，如图 10—1，即沿银山背斜—断裂方向，自银山西区铜金矿带、九区铜硫矿带、北区铅锌矿带，金品位曲线呈下降趋势；另外，在 NW—SE 方向由银山背斜—断裂带向两侧，金含量呈下降趋势，这种变化规律与银山背斜—断裂带是本矿田的控岩控矿构造有关；银山东区 S—N 向，即沿银山铅锌矿带由南段 7 线至北段 26 线，金品位逐渐升高。如图 10—2。

②垂直分布规律：银山矿田内由于南北空间上矿化特征的差异，在北山铅锌矿带、九区铜硫矿带以及银山西区铜金矿带，由上往下金品位逐渐上升；在银山铅锌矿带，金品位略有升高，这一变化规律与水平分布有一致性。

③金与其它组分的相关性：银山矿 Au—Cu、Au—S 的相关系数分别为 0.72、0.58，呈现较好的正相关关系。

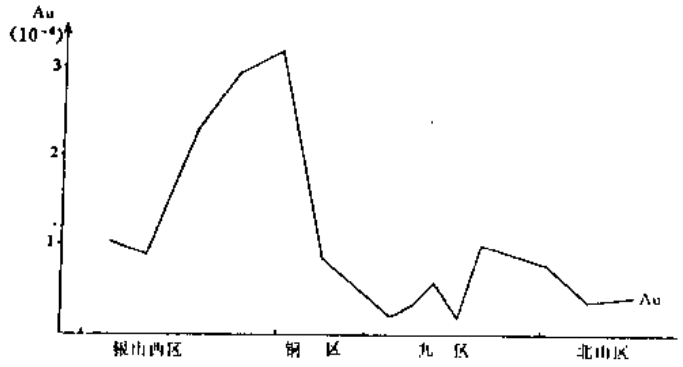


图 10—1 银山矿各矿区金品位曲线图

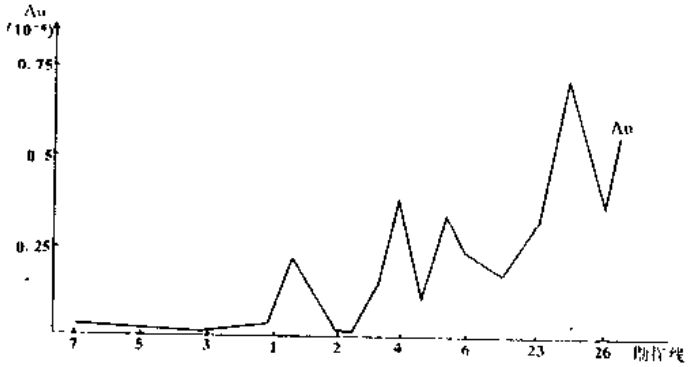


图 10—2 银山东区 S—N 向金品位曲线图

第六节　海相火山岩型矿床

一、甘肃白银小铁山多金属矿

小铁山矿为一大型海相火山岩型多金属矿床，伴生金储量亦可达大型，伴生金品位 2.28×10^{-6}。

1. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系的统计表明（表10—59），矿石中以裂隙金占多数，粒间金次之，而包裹金较少。其裂隙金所占比例较高是与矿石较高的金品位与多期次矿化相对应的。

表10—59　小铁山矿自然金嵌布状态

嵌布状态	粒数(个)	质量分数（%）
裂隙金	3	79.12
粒间金	12	13.62
包裹金	26	7.26
合计	41	100.00

②自然金的粒度分布：据小铁山矿自然金粒度统计结果表明（表10—60），矿石中自然金粒度变化范围较大，与其它伴生金矿床相比，其粒度是相当粗的，＞0.07mm者占75.38%，＞0.15mm者占50.52%，这一特征有利于金的选矿回收，并有可能生产金精矿。其粒度较粗与该矿较高的品位和裂隙金占有率有关。

表10—60　小铁山矿自然金粒度分布

粒度（mm）	质量分数（%）
0.70—0.4	22.51
0.4—0.25	28.01
0.25—0.15	4.21
0.15—0.10	12.05
0.10—0.07	8.60
0.07—0.04	5.38
0.04—0.02	11.48
0.02—0.01	6.73
＜0.01	1.23
合　计	100.00

注：据449粒自然金统计。

③自然金成色和所含杂质：小铁山矿 Au－Ag 系列中最主要为含银自然金（平均成色 827.1）和银金矿（平均成色 662.5），及少量自然金（平均成色 945.2），全矿平均成色 664。（表 10－61）；对同一自然金颗粒不同位置的金成色进行了测定，其成色分别为 579.0、576.0、551.9，变化不大，表明矿石中自然金的成色较稳定；自然金中杂质：除银外（平均 33.15%），自然金中普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.20%，后者为 0.25%。

2. 金的载体矿物

表 10－61　小铁山矿自然金成色频率

成色范围(‰)	频率（%）
1000－900	21.43
900－800	28.57
800－700	21.43
700－600	7.14
600－500	21.43

注：据 14 个样统计。

表 10－62　小铁山矿载体矿物含金量

矿物名称	含金量（10^{-6}）
黄铜矿	3.70
黄铁矿	3.74
方铅矿	39.70
闪锌矿	0.28
脉石矿物	0.03

小铁山矿各载体矿物的含金量见表 10－62，从表可知：矿石矿物中方铅矿含金量最高，黄铜矿、黄铁矿次之，闪锌矿含金最低，脉石矿物含金量极低。

3. 矿石中金的平衡配分

小铁山矿金的平衡配分结果列于表 10－63，从配分结果可知，矿石中金主要分配于方铅矿和黄铁矿中，其它硫化物及脉石中分配率较低。

表 10－63　小铁山矿金的平衡配分

矿物种类	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
黄铜矿	3.72	3.70	0.138	5.10
方铅矿	3.91	39.70	1.552	57.40
闪锌矿	8.01	0.28	0.022	0.81
黄铁矿	26.08	3.74	0.975	36.06
脉石矿物	56.28	0.03	0.017	0.63
合　计	100.00	—	2.704	100.00
平衡系数 $K=2.704/2.28=118.60\%$				

二、内蒙古四子王旗白乃庙铜矿

白乃庙矿为一中型海相火山岩型铜矿床，伴生金储量亦可达中型，伴生金品位 0.81×10^{-6}。

1. 自然金

白乃庙矿自然金多数以裂隙金和粒间金的形式分布于黄铜矿、黄铁矿、脉石矿物的裂隙及粒间，少数包裹于黄铁矿、黄铜矿中，自然金的粒度较为细小，均小于 0.15mm，其中，粒度小于 0.07mm 者约占 80%。该矿 Au—Ag 矿物系列中全部为银金矿，平均成色（5 个样）775.5，不同的载体矿物对自然金成色影响不大，自然金中杂质除银外（平均 19.23%），普遍含铜、铁，前者平均含量为 1.19%，后者为 2.03%。

2. 金的载体矿物

白乃庙矿各载体矿物的含金量见表 10—64，从表可知，矿石矿物中黄铁矿含金量最高，黄铜矿、磁铁矿次之，脉石矿物含金量极低。

表 10 64 白乃庙矿载体矿物含金量

矿物名称	含金量（10^{-6}）
黄铜矿	4.62
黄铁矿	16.41
磁铁矿	2.90
脉石矿物	0.08

3. 矿石中金平衡配分

白乃庙矿金的平衡配分结果列于表 10—65，从配分结果可知，矿石中金主要配分于黄铁矿中，黄铜矿、磁铁矿及脉石矿物中金分配率不高。

表 10—65 白乃庙矿金的配分

矿物种类	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金配分率（%）
黄铜矿	2.65	4.62	0.122	15.68
黄铁矿	3.00	16.41	0.492	63.24
磁铁矿	3.06	2.90	0.089	11.44
脉石矿物	91.29	0.08	0.075	9.64
合计	100.00	—	0.778	100.00
平衡系数 K=0.778/0.810=96.05%				

4. 金在矿床中的分布规律

①金在矿床中分布的不均匀性：白乃庙矿金的分布具以下特征，金在矿体中分布变化很大，品位最高者 60.50×10^{-6}，最低为 0.001×10^{-6}，相差达 6000 倍；从金品位频率分布（表 10—66）来看，金在矿石中呈双峰式分布，两个峰值分别出现在＜0.2×10^{-6}及 1×10^{-6}—2×10^{-6}间，各占 25.78%及 17.58%，表明金具多期次矿化；对于不同矿石类型来说，绿片岩型矿石伴生金品位相对较高，花岗闪长岩型矿石伴生金品位相对偏低。

表 10—66　白乃庙矿金品位分布

品位区间（10^{-6}）	样数（个）	占有率（%）	累计占有率（%）
＞30.0	1	0.30	0.30
30.0—15.0	2	0.60	0.90
15.0—8.0	2	0.60	1.50
8.0—3.0	17	5.15	6.65
3.0—1.0	68	20.61	27.24
1.0—0.8	34	10.30	37.56
0.8—0.6	28	8.48	46.04
0.6—0.4	47	14.24	60.28
0.4—0.2	46	13.94	74.22
＜0.2	85	25.78	100.00
合 计	330	100.00	—

②金在垂直方向上的分布规律：白乃庙矿金品位在垂直方向上的分布据现已开拓的二、三中段来看，平均金品位分别为 0.90×10^{-6}、1.55×10^{-6}，呈现向深部金品位升高的趋势。

③铜金矿石储量估算：所谓铜金矿石是指金价值大于铜的矿石。白乃庙矿中，经我们系统取样（200 个样）结合勘探工程组合样（130 个样）分析，矿床中局部地段金品位较高且连续性相当好，按公式（10—3）：$SC_{Au}=1.23\times10^{-6}$，即矿段中金品位大于 1.23×10^{-6} 时矿石中金的价值大于铜价值。因此，我们以 1.23×10^{-6} 为边界品位对铜、金矿石（段）进行了圈定并进行了储量估算，结果 Au 储量达几吨，超过了中型规模。

第七节　沉积改造型矿床

南京栖霞山铅—锌矿

栖霞山矿为一大型沉积改造型铅锌矿床，伴生金规模可达中型，伴生金品位 0.75×10^{-6}。

1. 自然金

①自然金的共生嵌布特征：栖霞山矿自然金的共生组合以银金矿—黄铁矿—闪锌矿，银金矿—闪锌矿—方铅矿组合为主，嵌布形式以包裹金为主，裂隙金、粒间金较少。

②自然金的粒度分布：自然金的粒度大小，直接影响金的选矿回收。栖霞山矿矿石中自然金粒度较细小，最大粒径为 0.07mm，最小粒径为 0.001mm，平均 0.023mm。

③自然金成色和所含杂质：栖霞山矿 Au—Ag 系列为银金矿，成色变化在 767—722 间，平均成色 744.9；自然金中杂质：除银外（平均 24.11%），普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.20%，后者为 0.55%，个别含锌（1.02%），似为亚显微包裹体所致。

2. 金的载体矿物

栖霞山矿各载体矿物的含金量见表 10—67，从表可知，金属矿物中黄铁矿含金量最高，其次是闪锌矿，方铅矿含金较低；脉石矿物中，碳质物含金量较高，达 3.12×10^{-6}，这可

能是由于碳具较强的吸附力，在矿化过程中，吸附了许多金原子所致。其它脉石矿物含金量很低。

表 10—67 栖霞山矿载体矿物含金量

矿物名称	黄铁矿	方铅矿	闪锌矿	石英	碳酸盐	碳质物
含金量(10^{-6})	1.58	0.30	0.60	0.03	0.14	3.12

3. 矿石中金的平衡配分

栖霞山矿金的平衡配分结果列于表 10—68，从配分结果可知，在选厂现有磨矿粒度下，矿石中金有 29.60%解离出来；金属矿物中，黄铁矿金配分率最高，占 56.98%，其它金属矿物及脉石矿物金配分率均较低。

表 10—68 金的平衡配分表

矿物种类	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
裸露金	—	--	0.22	29.60
黄铁矿	26.72	1.58	0.4222	56.98
方铅矿	2.29	0.30	0.0069	0.93
闪锌矿	6.72	0.60	0.0403	5.44
碳质物	0.24	3.12	0.0075	1.01
脉石矿物	63.87	0.069	0.044	5.94
合计	99.875	--	0.7410	100.00

平衡系数 $K=\frac{0.7410}{0.75}\times 100\%=98.80\%$

4. 不同矿石类型中金的分布规律

栖霞山矿不同矿石类型中金的分布见表 10—69，从表可知，块状铅锌硫矿石、角砾状铅锌硫矿石、单硫矿石中金品位分别为 0.54×10^{-6}、0.574×10^{-6}、0.535×10^{-6}，变化较小，且与 Au、Pb、Zn、S 无相关性。

表 10—69 栖霞山矿各矿石类型中金品位分布

品位	块状铅锌硫矿石	角砾状铅锌硫矿石	单硫矿石
Au (10^{-6})	0.54	0.574	0.535
Ag (10^{-6})	201.14	207.00	600.50
Pb (%)	3.17	1.312	1.455
Zn (%)	7.96	2.668	1.05
Cu (%)	0.056	0.149	0.012
S (%)	18.03	9.94	25.29

第八节 沉积（火山）变质型矿床

一、湖南溆浦龙王江锑—金矿

龙王江矿为一中型沉积变质型锑金矿田，包括泥潭冲、江东湾、江溪垄、白竹坪四个矿区，共生金品位分别为 6.14×10^{-6}、10.9×10^{-6}、6.37×10^{-6}、3.00×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

经用 Au－Fe 相关溶解度测定、金物相分析、X—射线衍射、EPR 谱等方法研究证明，龙王江矿田中金主要以分散金（亚显微金）的形式存在（泥潭冲矿分散金占 72.17%，江东湾矿占 92.74%，白竹坪矿占 93.17%，江溪垄矿占 75.93%），是伴生金矿床中罕见的以分散金为主的矿床。下述的矿石中自然金成色、粒度、嵌布状态等特征均指显微自然金，不包括分散金。

2. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系统计表明（表 10—70）：矿石中以裂隙金为主，粒间金次之，包裹金较少；裂隙金一般呈脉状、粒状沿黄铁矿、毒砂等矿物的裂隙分布，共生矿物主要为黝铜矿，常见自然金与黝铜矿组成细脉沿黄铁矿裂隙穿插，有的自然金产于黝铜矿内，裂隙金粒度较粗，一般大于 0.02mm；粒间金呈不同形态的粒状产于毒砂、黄铁矿、石英等矿物粒间，并见交代毒砂的现象，粒间金粒度亦较粗，一般亦大于 0.02mm；包裹金产于粗粒自形毒砂、黄铁矿中，粒度极细，小于 0.01mm。

表 10—70　龙王江矿自然金嵌布状态

嵌布状态	粒数（个）	质量分数（%）	粒度范围（mm）
裂隙金	126	57.66	0.02—0.22
粒间金	120	39.92	0.01—0.20
包裹金	42	2.42	0.001—0.015
合 计	288	100.00	

②自然金的粒度分布：龙王江矿自然金的粒度分布测定结果列于表 10—71。从表可知，自然金的粒度粗细变化甚大，最粗为 0.30mm，最细为 0.0005mm；总的来说，该矿自然金粒度较粗，＞0.07mm 者占 49.89%，有利于金的选矿。

表 10—71　龙王江矿自然金粒度分布

粒 级（mm）	粒数（个）	质量分数（%）
0.500—0.400	0	—
0.400—0.250	1	3.45
0.250—0.150	4	9.26
0.150—0.100	16	19.66
0.100—0.090	2	2.07
0.090—0.080	6	4.93
0.080—0.070	12	10.52
0.070—0.060	3	2.36
0.060—0.050	11	9.08
0.050—0.040	7	3.83
0.040—0.030	14	5.21
0.030—0.020	36	11.37
0.020—0.010	48	9.19
0.010—0.001	167	9.05
合　计	327	100.00

③自然金成色和所含杂质：龙王江矿 Au－Ag 矿物系列主要是自然金（平均成色

959.0)，含银自然金（平均成色 886.6），银金矿（平均成色 736.4）均很少，全矿平均成色 947.2，是自然金成色最高的矿床（表 10—72）；各嵌布状态金成色按裂隙金—粒间金—包裹金顺序依次减少（表 10—73）；对于不同载体矿物来说，脉石矿物中成色较高，黄铁矿中金成色相对偏低（表 10—74）；对于不同矿石类型来说，氧化石英脉矿石自然金成色相对偏低，平均 899.4，含砷板岩型矿石自然金成色相对偏高，平均 979.0；自然金中杂质：除银外（平均 3.89%），普遍含铜、铁，前者平均含量 0.70%，后者为 0.69%。

表 10—72　龙王江矿自然金成色频率

成色范围(‰)	频率（%）
1000—900	90. 32
900—800	6. 45
800—700	3. 23

注：据 37 个测定数据统计。

表 10—73　龙王江矿自然金嵌布状态

嵌布状态	分析数(个)	平均成色(‰)
裂隙金	7	966
粒间金	7	953
包裹金	4	951

表 10—74　各载体矿物中自然金成色

载体矿物	分析数(个)	平均成色(‰)
毒砂	6	957
黄铁矿	2	935
脉石	1	986

3. 金的载体矿物

①毒砂：龙王江矿各矿区及各矿石类型毒砂含金量分别列于表 10—75、10—76，由表可知，各矿区毒砂含金量无明显差异，其中白竹坪区毒砂含金量稍高，但对不同矿石类型，毒砂的含金量却有明显差异，产于矿化板岩中的粗粒自形毒砂的含金量明显高于石英脉矿石中细粒毒砂的含金量。

表 10—75　龙王江矿各矿区毒砂含金量

矿物名称	矿区	样数（个）	含金量（10^{-6}）
毒砂	泥潭冲	22	166. 00
	江东湾	3	155. 00
	白竹坪	5	204. 00
	江溪垄	3	173. 00

表 10—76　龙王江矿不同矿石类型中毒砂含金量

矿物名称	矿石类型	含金量 (10^{-6})
毒　砂	矿化板岩型	184
	石英脉型	73

毒砂中金的赋存状态：经用镜下鉴定、X—射线衍射、EPR 谱、Au—Ag 相关溶解度测定等多种手段研究，证明绝大部分以亚显微分散金形式存在，而不以晶格金或显微自然金形式存在。同时存在少量后期交代成因的显微自然金。

②黄铁矿：龙王江矿不同结构构造的黄铁矿含金量变化很大，达 1×10^{-6}—102×10^{-6}（表 10　77），产于石英脉中的块状黄铁矿明显高于矿化板岩中及围岩内细脉—浸染状黄铁矿，前者 5.84×10^{-6}—102×10^{-6}，后者仅约 1×10^{-6}。

③辉锑矿：龙王江矿辉锑矿含金量变化很大：3×10^{-6}—100×10^{-6}（表 10—78）。当与黄铁矿、毒砂共生时，其含金量很高，可达 100×10^{-5}，系其中存在显微金所致。无黄铁矿、毒砂共生的辉锑矿，其含金量较低；同时，块状矿石中辉锑矿含金量最高，板岩型矿石中辉锑矿含金量次之，石英脉型矿石中含金最低。

表 10—77　龙王江矿黄铁矿含金量

类　型	Au (10^{-6})
块状黄铁矿	102
块状黄铁矿	5. 84
细脉状黄铁矿	1. 23
块状黄铁矿	39. 4
浸染状黄铁矿	1. 04

表 10—78　龙王江矿辉锑矿含金量

类　型	Au (10^{-6})
块状矿石中辉锑矿	100
石英脉型矿石中辉锑矿	0. 3
石英脉型矿石中辉锑矿	0. 24
板岩型矿石中辉锑矿	6. 67
板岩型矿石中辉锑矿	0. 4

④脉石矿石：脉石矿石含金 0.1×10^{-6}—1×10^{-6}，在硫化物—石英脉型矿石中，含金量相对偏高，可达 0.5×10^{-6}左右。

4. 矿石中金的平衡配分

龙王江矿各矿区金的平衡配分结果列于表 10—79、10—80、10—81 中，从配分结果可知，泥潭冲、江东湾、白竹坪矿区毒砂中金的配分率分别为 79.25%、90.57%、94.05%，

可见金绝大部分分布于毒砂中，其它矿物，黄铁矿、辉锑矿、脉石矿物金的配分率均较低。因此，决定金的回收的关键在于毒砂的回收和 Au－As 分离。

表 10－79　龙王江矿泥潭冲矿区金的配分

矿物	矿物含量（%）	矿物含金量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金配分率（%）
毒砂	2.7	166	4.482	79.26
黄铁矿	2.0	40	0.84	14.85
辉锑矿	3.0	1.9	0.057	1.01
脉石矿物	92.0	0.3	0.276	4.88
合计	99.7		5.655	100.00
平衡系数 $K=5.655/5.75=98.35\%$				

表 10－80　龙王江矿江东湾矿区金的配分

矿物	矿物含量（%）	矿物含金量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金配分率（%）
毒砂	2.1	155	3.255	90.57
黄铁矿	0.8	13.89	0.111	3.89
辉锑矿	2.0	1.90	0.038	1.06
脉石	95.0	0.2	0.190	5.28
合计	99.9		3.594	100.00
平衡系数 $K=3.594/3.51=102.39\%$				

表 10－81　龙王江矿白竹坪矿区金的配分

矿物	矿物含量（%）	矿物含金量（10^{-6}）	金金属量（10^{-6}）	金配分率（%）
毒砂	1.9	204	3.876	94.05
黄铁矿	1.0	13.89	0.139	3.37
辉锑矿	0.5	1.9	0.01	0.24
脉石	96.0	0.1	0.096	2.33
合计	99.4		4.121	100.00
平衡系数 $K=4.121/4.16=99.06\%$				

5. 金在矿床中的分布规律

①金在矿床中分布的不均匀性：从金品位频率分布表 10－82 来看，龙王江矿金的分布具有以下特征：金品位较高，变化范围在 1×10^{-6}—18×10^{-6}间；泥潭冲矿区金品位主要集中于 1×10^{-6}—6×10^{-6}，占 75.08%；江东湾矿区金品位主要集中于 1×10^{-6}—5×10^{-6}，占 80.87%；白竹坪矿区金品位主要集中于 1×10^{-6}—4×10^{-6}，占 69.23%；金品位呈多峰式分布，表明金存在多期次的矿化作用。

表 10—82　龙王江矿金品位频率分布

品位区间（10^{-6}）	泥潭冲矿 频率（%）	江东湾矿 频率（%）	白竹坪矿 频率（%）
1—2.0	16.96	24.35	38.46
2.01—3.0	17.49	26.09	16.92
3.01—4.0	16.96	12.17	13.85
4.01—5.0	12.19	18.26	7.69
5.01—6.0	11.48	6.96	10.77
6.01—7.0	6.36	3.48	3.08
7.01—8.0	4.77	3.48	3.08
8.01—9.0	4.06	1.74	6.15
9.01—10.0	2.65	0.9	
10.01—11.0	1.41	2.61	
11.01—12.0	2.30		
12.01—13.0	1.24		
13.01—14.0	1.06		
14.01—15.0	1.06		
合　计	100.00	100.00	100.00

表 10—83　龙王江矿不同矿石类型中金的分布

矿石类型	矿化板岩	辉锑矿—石英脉	黄铁矿—石英脉
金含量范围（10^{-6}）	1—15	1—162	1—78
平均含量（10^{-6}）	4.45	8.45	7.00
Au/As 比	3—6	＞7	＞7

②金在各矿石类型中的分布规律：从表 10—83 可知，各矿石类型中，按辉锑矿—石英脉型→黄铁矿→石英脉型→矿化板岩型排列，金品位由高到低；矿化板岩型矿石 Au/As 比值较低，金品位变化范围较小，辉锑矿—石英脉型及黄铁矿—石英脉型矿石 Au/As 比值较高，金品位变化范围较大。

③矿体中金的空间分布规律：龙王江矿区内已发现的矿脉多达二十余条，大多数矿脉连续性较差，我们对矿化较连续的几条矿脉中金的空间分布规律归纳如下：

a. 泥潭冲 V3 脉：V3 脉在地表沿东西向断续分布，并呈现多个分支脉（V3—1，V3—2，V3—3），金在垂深方向的变化，从 V3—1 分枝的金品位来看，在地表（LD3）为 6.02×10^{-6}，在 242 中段为 8.25×10^{-6}至 219 中段为 8.08×10^{-6}，并无明显减小趋势，但从各中段平均结果来看，242 中段（TD4）为 8.23×10^{-6}，219 中段为 5.72×10^{-6}，呈减小趋势。从矿化组合来看，地表及 242 中段均有锑矿体，但在 219 中段无锑矿体出现，亦说明锑矿化强度向深部减弱。

b. 江东湾 V9 脉：V9 脉沿北东向展布，矿体产于剪切带中。该矿脉矿化不同于泥潭冲 V3 脉之处，是剪切带中无支脉或细脉与之相交，无富矿包出现。在垂深方向上，金平均品位在 340 中段为 4.38×10^{-6}，在 317 中段为 3.38×10^{-6}，在 290 中段为 5.49×10^{-6}，有向下增高趋势。

④金与其它组分的相关性：对区内一千多个样品的 Au、As、Sb 分析结果统计分析表明，Au—As 之间存在较明显的正相关关系。不同矿石类型中，矿化板岩的 Au—As 相关性最好，r=0.972（438 个样），黄铁矿—石英脉型矿石相关性次之，r=0.466（141 个样），而辉锑矿—石英脉型矿石中 Au—As 基本上不相关，r=0.185（97 个样）。相关系数大于 0.9 的各工程的 Au—As 回归方程基本上都是过零点的直线，其斜率变化（Au/S）在 3—5 之间，相对于毒砂的含金量为 150×10^{-6}—250×10^{-6}，这与本区毒砂的含金量的实际分析值是一致的，也证明了矿石中金绝大部分赋存于毒砂中的结论。在硫化物—石英脉矿石中，Au—As 回归方程不再是过零点的直线，而出现较大的截距，显然这是因为该类矿石中存在一部分显微自然金所致。Au—As 相关性沿矿脉延深方向亦有一定的变化，近地表的 Au—As 相关系数小于矿脉深部的 Au—As 相关系数，前者为 0.7—0.85，后者多大于 0.9，沿矿脉走向，西侧的 Au—As 相关性明显比矿脉东侧的 Au—As 相关性好，前者的 Au—As 相关系数均大于 0.9，而后者的 Au—As 相关系数为 0.239—0.281。

Au—Sb 之间的相关性：从全区的统计结果来看，$r=0.021$—0.194，大致不相关。但据区内金、锑品位统计，锑矿富集地段必出现金的富集。这可能与金的多期矿化及叠加有关：早期金的矿化导致矿化板岩中金的富集，金呈亚显微金赋存在毒砂内，晚期金矿化作用与锑矿化作用叠加，形成含金辉锑矿—石英脉，但脉中金并不与锑共生，而呈显微自然金的形式与黄铁矿、黝铜矿等共生。

二、山西篦子沟铜矿

篦子沟铜矿为一中型沉积变质型铜矿，伴生金储量亦可达中型，伴生金品位 0.24×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

从主要含金矿物黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿的 Au—Cu、Au—Fe 相关溶解度表明，各矿物在溶解过程中随时间增加溶解度明显增加，而金的溶解度始终很低，如黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿 Cu、Fe 的溶解度分别从 23.20%、26.16%、21.93%升至 88.61%、97.44%、98.86%，而金的溶解度仅为 4%。可见这些含金矿物中金绝大多数是以自然金的形式存在，分散金是极少的。

2. 自然金

①自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系的统计表明（表 10—84），矿石中以裂隙金为主，粒间金次之，包裹金较少。裂隙金主要分布于斑铜矿与脉石矿物的接触处或黄铜矿的裂隙中，其粒度粗大，可达数百至 1 千微米；粒间金主要分布于斑铜矿和黄铜矿与脉石矿物粒间，或脉石矿物粒间，粒度多数在 10—30μm 间；包裹金主要分布于黄铜矿中，粒度较细小，多数粒度在 1—10μm 间。

表 10－84　篦子沟矿自然金嵌布状态表

嵌布状态	粒数(个)	质量分数(%)
裂隙金	5	75.28
粒间金	11	15.98
包裹金	25	8.74
合 计	41	100.00

②自然金的粒度分布：篦子沟矿自然金粒度分布结果列于表 10－85。从表可知，自然金粒度粗细变化甚大，最粗者达 0.38mm，最细者为 0.001mm，自然金粒度主要集中于 150－400 目(占 56.78%)。总的来看，全矿粒度分布较粗，＞0.07mm 者占 55.74%，＜0.01mm 者占 0.79%。

表 10－85　篦子沟矿自然金粒度分布

粒 级 (mm)	质量分数 (%)
0.4－0.25	2.78
0.25－0.15	10.03
0.15－0.10	12.23
0.10－0.07	30.70
0.07－0.04	26.08
0.04－0.02	14.23
0.02－0.01	3.16
＜0.01	0.79
合　计	100.00

③自然金成色和所含杂质：篦子沟矿 Au－Ag 系列中最主要为含银自然金（平均成色 859.2）和自然金（平均成色 929.4），银金矿次之（平均成色 683.5）。全矿平均成色为 851.5（表 10－86），属成色变化较少的矿床，成色在 800－1000 者，频率占 78.12%。对同一颗粒自然金不同位置的金成色进行了测定，其成色分别为 930.2、937.4，变化不大，表明金的成矿条件相对稳定；自然金中杂质：除银外（平均 14.18%），普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.45%，后者为 0.22%。

表 10－86　篦子沟矿自然金成色频率

成色范围(‰)	频率 (%)
1000－900	37.50
900－800	40.62
800－700	12.50
700－600	6.25
600－500	3.13

注：据 32 个测定数据统计。

表 10—87　篦子沟矿载体矿物含金量

矿物名称	分析数	含金量 (10^{-6})
黄铜矿	15	0. 67
黄铁矿	3	3. 61
磁黄铁矿	2	0. 63
石英	1	0. 005
方解石	4	0. 08
云母	2	0. 02

3. 金的载体矿物

篦子沟矿各载体矿物的含金量见表 10—87，从表可知，矿石矿物中，含金量最高为黄铁矿，而黄铜矿、磁黄铁矿次之；脉石矿物普遍含金很低，其中方解石含金相对较高。

4. 矿石中金的平衡配分

篦子沟矿金的平衡配分结果列于表 10—88。从配分结果可知，矿石中金主要分配于黄铜矿中（配分率达 31.70%），其次是黄铁矿（配分率为 14.85%）。此外，脉石矿物中金的配分率较高，达 53.95%。表明磨矿过程中如脉石中金单体解离度低，则将有较多的金进入尾矿而损失。

表 10—88　篦子沟矿金的平衡配分

矿物名称	矿物含量（%）	金含量 (10^{-6})	金金属量(10^{-6})	金配分率（%）
黄铜矿	4.6	1.56	0.0718	31.70
黄铁矿	0.9	3.61	0.0325	14.85
脉石矿物	94.0	0.13	0.1222	53.95
合计	99.5		0.2265	100.00
平衡系数 $K=0.2265/0.2400\times100\%=94.38\%$				

第九节　铁帽型矿床

安徽铜陵长山头铁—金矿

长山头矿为一铁帽型矿床，矿石类型可分风化壳型金铁矿石、残坡积型金铁矿石、风化壳型单铁矿石、残坡积单铁矿石等四种类型。伴生金品位分别为：8.50×10^{-6}、11.0×10^{-6}、1.00×10^{-6}、0.60×10^{-6}。

1. 矿石中自然金和分散金的比例

对四种矿石类型中主要含金矿物褐铁矿的 Au、Fe 相关溶解度表明，各矿石类型褐铁矿 Fe 的溶解度随着溶解时间的增加分别从 26.11%→97.41%、26.57%→97.16%、23.91%→92.92%、21.03%→89.10%；而相应的 Au 的溶解度始终为 2.00%、2.00%、3.00%、4.00%。可见随着时间增加，褐铁矿溶解殆尽，而金的溶解度始终很低，说明褐铁矿中金

主要为自然金，分散金极少。

2. 自然金

①自然金的形态和被膜：矿石中金的形态主要为粒状、片状、浑圆粒状和棒状几种形态。此外，在不经破碎磨矿自然金中发现90%以上的颗粒表面有一层铁质被膜，被膜厚度一般为1－5μm，被膜成分为褐铁矿。被膜的形成可能是由原生硫化矿石氧化成褐铁矿石时，被褐铁矿污染形成的。根据金颗粒表面铁质被膜的包裹程度，可分为全包裹式被膜、半包裹式被膜、星点式被膜三种类型。这一情况对该矿金的回收有重大影响。

②自然金的嵌布特征：通过对光片中自然金的嵌布关系统计表明（表10－89），矿石中以裂隙金为主，粒间金、包裹金次之。裂隙金主要分布于褐铁矿的裂隙中，少量分布在脉石矿物裂隙中，粒度多数大于0.02mm；粒间金主要分布于褐铁矿之间或褐铁矿与脉石间，粒度多数为0.01－0.02mm；包裹金主要分布于褐铁矿中，少量分布于脉石矿物中，粒度多数为0.001－0.01mm。

表10－89　长山头矿自然金嵌布状态

嵌布状态	粒数(个)	质量分数（%）
裂隙金	34	66.92
粒间金	23	18.09
包裹金	57	14.99
合 计	114	100.00

③自然金的粒度分布：对长山头矿残坡积型金铁矿石和风化壳型金铁矿石自然金粒度分布测定结果分别列于表10－90。从表可知，风化壳型金铁矿石自然金粒度较细，主要集中分布于0.07－0.02mm间，占79.92%，＞0.07mm者仅占6.81%；残坡积型金铁矿石自然金粒度相对较粗，主要集中分布于0.10－0.04mm间，占62.78%，＞0.07mm者占43.04%。

表10－90　长山头矿自然金粒度分布

粒级（mm）	质量分数（%）	
	风化壳型金铁矿石	残坡积型金铁矿石
0.4－0.25	2.13	2.87
0.25－0.15	-	4.79
0.15－0.10	2.18	11.06
0.10－0.07	2.50	24.32
0.07－0.04	28.85	38.16
0.04－0.02	51.07	14.16
0.02－0.01	11.52	3.73
＜0.01	1.75	0.62
合 计	100.00	100.00

④自然金成色和所含杂质：长山头矿 Au－Ag 系列中主要为含银自然金（平均成色880.3），全矿平均成色为 842.1，属自然金成色较高的伴生金矿床（表 10－91）；各矿石类型中，残坡积型金铁矿石和风化壳型金铁矿石自然金成色分别为 832.8 和 851.4，较为接近；不同嵌布状态中，裂隙金平均成色为 871（据 15 个分析数据），包裹金平均成色为 807（据 7 个分析数据），前者成色较后者为高；自然金中杂质：除银外（平均 14.21%），自然金中普遍含铜、铁，前者平均含量为 0.38%，后者为 1.20%。

表 10－91　长山头矿自然金成色频率

成色范围(‰)	频率（%）
1000－900	36.36
900－800	45.45
800－700	4.55
700－600	4.55

注：据 22 个测定结果统计。

3. 金的载体矿物

长山头矿各载体矿物的含金量见表 10－92。从表可知：金属氧化物中，土状褐铁矿含金量最高，其次为赤铁矿和磁铁矿，块状和蜂窝状褐铁矿含金量较低；金属硫化物黄铁矿含金量最高；脉石矿石含金量较低，但含铁滑石的含金量相对较高。

4. 矿石中金的平衡配分

长山头矿各矿石类型金的平衡配分结果列于表 10－93，表 10－94，配分结果表明各矿石类型中裸露金配分率均较高，如残坡积型金铁矿石和风化壳型单铁矿石中裸露金的配分率分别高达 87.48%、87.74%；土状褐铁矿石中金的配分率远高于块状褐铁矿和其他金属矿物的配分率，脉石矿物中金的配分率不高。

表 10－92　长山头矿载体矿物含金量

矿物名称	分析数	含金量 (10^{-6})
块状褐铁矿	6	0.16
土状褐铁矿	15	2.15
蜂窝状褐铁矿	9	0.63
平　均	30	1.296
赤铁矿	4	2.08
磁铁矿	1	1.44
黄铁矿	1	4.15
含铁粘土	2	0.09
含铁滑石	1	0.62

表 10—93　风化壳型金铁矿石和残坡积型金铁矿石中金的平衡配分

种　类	风化壳型			残坡积型		
	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	配分率（%）	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金配分率（%）
裸露金			72.5			87.48
土状褐铁矿	43.98	4.60	20.11	35.08	1.06	3.39
蜂窝及块状褐铁矿	29.31	1.75	5.08	21.09	0.45	0.87
赤铁矿	7.61	2.41	1.82	6.38	1.09	0.64
磁铁矿	少量	1.44		少量	4.15	
脉石矿物	18.20	0.27	0.49	36.10	2.31	7.62
合　计	99.09		100.00	98.66		100.00
平衡系数 $K=1.0069/8.50=118\%$				平衡系数 $K=10.951/11.0=99.56\%$		

注：脉石矿物，包括粘土矿物、石英、方解石等，下同。

表 10—94　风化壳型单铁矿石和残坡积型单铁矿石中金的平衡配分

种　类	风化壳型单铁矿石			残坡积型单铁矿石		
	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	配分率（%）	矿物含量（%）	金含量（10^{-6}）	金配分率（%）
裸露金			87.74			61.67
土状褐铁矿	47.71	0.236	10.66	44.18	0.997	32.31
蜂窝状褐铁矿	36.86	0.028	0.94	33.47	0.09	4.41
脉石矿物	14.9	0.05	0.66	21.30	0.05	1.61
合　计	99.39		100.00	99.03		100.00
平衡系数 $K=1.060/1.0=106.0\%$				平衡系数 $K=0.681/0.60=113.5\%$		

AURIFEROUS DEPOSITS OF CHINA

Abstract

Associated gold occupies an important place in gold resources of China. The associated gold and auriferous deposits of China are taken as object for study in this book. Macroscopically they are classified into different types and metallogenic domains, provinces and belts, with their time-space distribution and the ore-forming condition summarized. Microscopically the existence forms and the technological properties of associated gold are systematically studied and the metallogenic mechanism of the associated gold is experimentally approached.

The oretically, the regional distribution pattern of "F"shape in space and "three peaks and three valleyes" in time are summarized for the auriferous deposits. On the classification of metallogenic domains, provinces and belts, Central China (Transition Area)metallogenic domain is identified besides the three traditional metallogenic domains, i. e. circum-Pacific, Paleo-Asiatic and Tethys-Himalaya metallogenic domains. On the metallogenic form, four items of "trinity law" are suggested, especially the "trinity" of deep-seated faults-syntectic magmatism-auriferous deposits is emphisized. The controlling of the criss-cross of Paleo-Asiatic and Circum-Pacific fault systems — the saw-tooth shape flowing direction of Yangtze River upon the three metallogenic belts of auriferous deposits, i. e. northeastern Jiangxi, Nanjing-Anqing and Jiujiang-Huangshi, metallogenic belts is suggested. The principle of "equidistance of mineralization" on different scale in the concentration area of auriferous deposits is pointed out, by which prospecting targets of mineralization could be inferred. The syntectic magmatic rocks associated with the mineralization of associated gold are divided into two systems of Yangtze and south-China types, the former is characterized by Cu-Au, and the latter by Pb-Zn-Au. Ore controlling condition of the auriferous deposits by structure, magma rocks and strata is systematically dealt with. Comprehensivly summarized are the characters of petrochemistry, isotope and rare element of the ore deposits and metallogenic magmatic rocks; the characters of element association, mineral assemblage, typical minerals and Au-Ag ratio, as well as the characters of existence forms of associated gold in the different types of auriferous deposits and the distribution characters of associated gold in the orebodies, including the systematical summarization of the ratio of native gold and scattered gold, Au purity and grain size of native gold

and its embedment relationship, gold-carrying minerals, partitioning of gold in ore, space distribution patterns of gold in orebody. Furthermore, the relations between technological properties of associated gold and the ore dressing-recovery of gold are discussed in detail.

Methodologically, comprehensive plan about economic evaluation for auriferous deposits is put forward, three formulas on economic evaluation and calculation formulas on comprehensive grade of deposits are introduced in this book.