中南大学

硕士学位论文

云南省蒙自县白牛厂银多金属矿床成矿地质特征及成矿模式

姓名：李晓波

申请学位级别：硕士

专业：矿物学、岩石学、矿床学

指导教师：刘继顺

20050331

摘 要

白牛厂银多金属矿床，位于云南省蒙自县老寨乡白牛厂村，是一个以银、铅、锌、锡、铜金属为主的超大型矿床。与其北西部的个旧锡多金属矿床及东南部的都龙锡多金属矿床共同构成滇东南锡-锌-铜-银-铅-钨多金属成矿带，系南岭钨锡成矿带之西延部分。

本文在系统收集白牛厂矿床现有文献资料和勘查与开采资料的基础上，通过地面和坑道地质调查与室内测试分析工作，开展了矿物岩石学、成矿构造学、矿床地球化学、同位素地球化学等方面的系统研究，基本弄清了白牛厂矿床的成矿地质特征，建立了白牛厂矿床的成矿模式。

详细的现场地质调查工作表明，白牛厂矿床的矿体主体呈缓倾、大体顺层的脉状，严格受F_3断裂带的控制；富矿体往往为陡倾的脉状，受F_3的侧羽裂隙及近南北向构造控制；矿石中的磁黄铁矿及铁闪锌矿的大量出现，预示着成矿温度较一般的层控铅锌矿床为高；矿石中存在沉积组构，说明同生沉积作用对于矿床的形成有着积极的作用。

矿床地球化学和同位素地球化学等研究表明，白牛厂矿床的成矿物质主要来自于中寒武统田蓬组及下伏地层，次为燕山期花岗质侵入岩；成矿流体是燕山期岩浆水与天水的混合物，晚期以大气降水为主；成矿流体循环的驱动力来自下伏岩浆岩侵入。

通过对白牛厂矿床矿床地质特征、成矿地质作用及成矿机理诸方面的综合研究，建立了白牛厂矿床的成矿模式：白牛厂矿床经历了加里东期同沉积成岩成矿作用和燕山期花岗质岩浆侵入叠加改造成矿作用。花岗质岩浆侵入作用不仅提供了热源、部分成矿流体及成矿元素，而且产生了接触带构造体系及滑脱构造，促进了长期的热水对流循环活动，使得被萃取的成矿物质迁移至有利的岩性构造部位淀积，形成工业矿床。因此，白牛厂矿床为一多因复成矿床。

关键词 白牛厂矿床，矿床地质特征，成矿作用，叠加成矿，成矿模式

The ore-forming geological features and metallogenic pattern of Bainiuchang poly-metal deposit in Mengzi county, Yunnan province

ABSTRACT

Located in Mengzi county, Yunnan province, Bainiuchang deposit is a super-large poly-metal deposit with silver, lead, zinc, tin and copper. It is one of the three large deposits in tin-zinc-copper-silver-lead-tungsten poly- metal metallogenetic belt at east-south part of Yunnan province which is the west part of Nanling tungsten-tin metallogenetic zone.

Based on the systematic collections to the former research and the data of prospecting and mining, the geological investigation to the ground and saps and the testing, the paper illustrated Bainiuchang deposit's ore-forming geological features and concluded its metallogenic pattern by the synthetical analysis to minerals and rocks 、ore-forming tectonics、geochemistry and isotope geochemistry.

The detailed local geological investigation indicated that the main ore-body of Bainiuchang deposit is a low dip vein which submitted to strata in general and was controlled strictly by F_3 fault belt. Rich ore-bodies are often high dip veins and were controlled by side-crannies of F_3 and approximate north-south structures. The abundant pyrrhotine and marmatite in ore showed that the ore-forming temperature was higher than normal strata-bound lead and zinc deposit. The fact that there are some sedimentary tectonics in ore revealed that the syn-sediment was helpful to the forming of the deposit.

The studies of geochemistry and isotope geochemistry indicated that the main ore-forming materials came from Tianpeng Group in the middle Cambrian and its under-strata and some from granite in Yanshan period; the ore-forming fluids which were driven by the heat of magma were the mixed solutions that contained the magmatic water and meteoric water and mainly meteoric water at late ore-forming stage.

By the studies to the deposit's geological characteristics, mineralizing processes and ore-forming mechanisms, the paper built up its metallogenic pattern that Bainiuchang deposit was formed by the superposition of syn-sediment in Galedoniod period and the intrusion of granitic magma in Yanshan period. The intrusion not only provided heat source, part ore-forming fluids and elements, but also resulted in contact-belt tectonic systems and slide faults and caused the long convective circulation of heat water which took leached ore-forming elements into the appropriate spaces to form ore-bodies. In a word, Bainiuchang deposit was a polygenetic compound deposit.

KEY WORDS Bainiuchang deposit, geological characteristics, mineralization, superposition mineralization, metallogenic pattern .

原 创 性 声 明

本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名：李晓波　　日期：2005 年 3 月 31 日

关于学位论文使用授权说明

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文；学校可根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文。

作者签名：李晓波　导师签名　　日期：2005 年 3 月 31 日

第一章 前言

白牛厂银多金属矿床，位于云南省蒙自县老寨乡白牛厂村，分为咪尾、白羊、穿心洞、对门山和阿尾五个矿段，是一个以银、铅、锌、锡、铜金属为主的超大型矿床。与其北西部的个旧锡多金属矿床及东南部的都龙锡多金属矿床共同构成滇东南锡-锌-铜-银-铅-钨多金属成矿带，系南岭钨锡成矿带之西延部分（陈毓川等，1998；程裕淇等，1995，翟裕生，1999）。

1．1 研究目的

蒙自矿冶有限责任公司在开发利用白牛厂矿床的过程中发现，虽然远景储量巨大，但由于控制程度过低，可采矿量锐减，现有经济及技术条件下可供利用的工业矿体急剧减少，对矿山的持续、稳定生产构成了严重威胁。为了全面、客观的认识白牛厂矿床的地质特征，分析其矿体赋存规律，特别是厚、富矿体的分布规律，为矿山地质找矿工作提供指导，为企业的持久、健康发展提供大吨位的可采矿量，在蒙自矿冶有限责任公司的邀请及资金支持下，开展了本次研究工作。

1．2 前人主要工作成果简述

白牛厂地区的矿产资源，早为探索者所瞩目。早在清末明初，白牛厂矿床已成为采矿炼银的基地之一。解放后，地质找矿工作断续进行，几经周折，终由云南省地质矿产局第二地质大队（以下简称“二大队”）获得突破。目前钻孔已经证实的储量达超大型规模，且矿体东、西、南三面尚未圈定，远景巨大。按照地质勘查程度及地质研究程度的不同，二大队先后提交了白羊矿段的勘探报告和咪尾、穿心洞、对门山、阿尾矿段的普查报告（二大队，1990，1994，1995，2000）。

随着白牛厂矿床地质勘查工作的深入，地质研究工作也相继展开。关于白牛厂矿床的成因，经过十多年的研究，先后提出过多种不同观点：一种为“岩浆热液成矿说”，以江鑫培等为代表（江鑫培，1990；二大队，1990等），认为白牛厂矿床产出于以寒武系为核心的构造隆起内，矿化主要沿不整合接触面上叠加逆冲断层的破碎带内充填分布，对围岩的交代作用不强，属岩浆热液矿床；一种为“海底喷流沉积说”，以中国地质科学院、陈学明等为代表（中国地质科学院，

1993；陈学明，2000等），认为该矿床是由中寒武世海底喷溢沉积作用形成，海底热液来源于裂谷盆地沉积物中超高压流体；薛步高则认为白牛厂矿床应为含锡花岗岩外带型银铅多金属矿床（薛步高，1995）。其它研究工作从不同侧面对白牛厂矿床进行了探讨（钟寿华，1992；江鑫培，1994；白金刚，1995等）。

以上研究从不同方面对白牛厂矿床的成因机制进行了探讨，取得了一定成果，但与相邻的个旧、都龙矿区（於崇文等，1988；彭张翔，1992等）相比，本矿床的研究程度较低，在矿床成因上仍有较大的争论。如目前有不少人持喷流沉积观点，但与典型的喷流沉积矿床（刘继顺，1995，1996；Kerr R. A. 1994；Bethke C. M. 1989等）相比，在白牛厂矿床中却未发现该类矿床所必须具备的某些证据（刘继顺，张洪培等，2003）。

1．3 研究方法与完成的实物工作量

本次研究野外工作时间长达一年多之久，对白牛厂矿床及其周边地区进行了详细的地质调研，着重研究了白牛厂矿床开采区段的井下地质现象。通过系统收集白牛厂矿床现有研究资料和有关的文献、专著和研究报告，在充分熟悉和全面把握白牛厂矿床矿床地质特征和成矿作用的基础上，运用成矿学的最新研究成果，通过野外地质调研、矿物岩石学、成矿构造学、矿床地质化学（常量元素、微量元素、稀土元素和流体包裹体地球化学）、同位素地球化学等方面的综合研究，论述了白牛厂矿床的成矿地质特征，建立了白牛厂矿床的成矿模式。

完成的主要实物工作量有：实测地质剖面 3500 米，坑道观察 4000 余米，槽探素描 235 米，采集岩（矿）石标本百余件，坑道地质编录 380 米，地质素描图 65 幅，地质图件修编 16 幅，单矿物分离 6 件，光、薄片磨制与鉴定 16 件，光、薄片显微照相 42 张，铅同位素分析 2 件，硫同位素分析 4 件，包裹体气、液相成分分析 2 件，包裹体氢氧同位素分析 1 件，矿物微量元素分析 5 件，处理数据 12000 余个（表 1-1）。

1．4 主要成果与认识

1 详细的现场地质调查工作表明，白牛厂矿床的矿体主体呈缓倾、大体顺层的脉状，严格受 F_3 断裂带的控制；富矿体往往为陡倾的脉状，受 F_3 的侧羽裂隙及近南北向构造控制；矿石中的磁黄铁矿及铁闪锌矿的大量出现，预示着成矿温度较一般的层控铅锌矿床为高；矿石中存在沉积组构，说明同生沉积作用对于矿床的形成有着积极的作用。

2 白牛厂矿床的成矿物质主要来自于中寒武统田蓬组及下伏地层，次为燕山

表 1-1 论文实物工作量一览表

序号	工作项目	单位	数量
1	实测地质剖面	米	3500
2	坑道观察	米	>4000
3	槽探素描	米	235
4	岩（矿）石标本	件	116
5	坑道地质编录	米	380
6	地质图件修编	幅	16
7	单矿物分离	件	6
8	地质素描图	幅	65
9	光、薄片磨制与鉴定	件	16
10	光、薄片显微照相	张	42
11	铅同位素分析	件	2
12	硫同位素分析	件	4
13	包裹体气、液相成份分析	件	2
14	包裹体氢氧同位素分析	件	1
15	矿物微量元素分析	件	5
16	处理数据	个	>12000

期花岗质侵入岩。加里东期同沉积成岩成矿作用形成了白牛厂矿床最主要的矿源层，及若干个成矿元素局部同生富集层。其中，田蓬组中上部的成矿元素局部同生富集层为最大的矿体 V_1 的基本位置。燕山期花岗质岩浆侵入成矿作用就是在这些同生富集层上叠加成矿的。

3 矿床断、褶构造特征、构造地球化学特征及矿体分布规律表明，构造对成矿有极其重要的控制作用：白牛厂矿床最大的矿体—V_1 矿体受到圆宝山复式向斜和 F_3 断层严格的控制，矿体的空间展布服从于复式向斜的变化趋势，F_3 沿着 V_1 主矿体的顶部或附近产出，尤其是在白羊矿段，矿体与破碎带的产状及其变化基本一致；阿尾花岗岩上侵所造成的放射状断层控制了阿尾矿段陡倾斜脉状矿体的产出。

4 主要控矿断褶构造是由深部隐伏岩体推挤上部及周围沉积岩层形成的。F_3 断裂为一低角度剥离断层，是花岗质岩浆上侵形成的数个拆离面之一。在 F_3 的下部还会出现大体平行的拆离面，并且会赋存有工业矿体。这些拆离面是寻找盲矿体的一个重要方向。F_4-F_7 是后期破矿断层，切割了 F_3 和 V_1 主矿体。

5 早期北东-北北东向褶皱和断层对本区矿体，特别是富矿体的分布起着重要

控制作用。从母鸡白下寨到白牛厂断续出露的辉绿岩脉显示了隐伏北东-北北东向断裂的存在。早期北东-北北东向褶皱与后期北西西向褶皱的叠加才形成了现今的构造格局，对门山矿段84线上的富矿体是这种叠加褶皱的有力例证。因此，这种构造叠加部位是寻找富矿体的重要线索。

6 通过对阿尾花岗岩产出形态、岩石学及地球化学特点、围岩蚀变等特征的分析，认为阿尾隐伏花岗岩的侵入是控制白牛厂矿床形成的关键因素，断控则是岩控的表现，理清了断控与岩控的相互关系，否定了层控的观点，纠正了以往认识上的错误，指明了找矿的方向。

7 流体包裹体及同位素地球化学研究表明，白牛厂矿床的形成是在燕山晚期；成矿流体富K贫Na，具有较高的SO_4^{2-}含量，同时$CO_2/(CO+CH_4)$比值高，是岩浆水与天水的混合物，成矿晚期以大气降水为主；成矿流体循环的驱动力来自下伏岩浆的侵入。

8 白牛厂矿床的形成主要与燕山期花岗质岩浆侵入活动有关。花岗质岩浆在燕山晚期上侵过程中分离出的含矿热液，与大气降水一起组成成矿流体，在对流循环过程中从深部及围岩中萃取出成矿物质，携带至有利岩性构造空间沉淀成矿。

9 通过对白牛厂矿床矿床地质特征、成矿地质作用及成矿机理诸方面的综合研究，建立了白牛厂矿床的成矿模式：白牛厂矿床经历了加里东期同沉积成岩成矿作用和燕山期花岗质岩浆侵入叠加改造成矿作用。花岗质岩浆侵入作用不仅提供了热源、部分成矿流体及成矿元素，而且产生了接触带构造体系及滑脱构造，促进了长期的热水对流循环活动，使得被萃取的成矿物质迁移至有利的岩性构造部位淀积，形成工业矿床。因此，白牛厂矿床为一多因复成矿床。

第二章 成矿地质背景

2．1 大地构造位置

白牛厂矿区位处华南加里东褶皱系（Ⅱ）（一级），滇东南褶皱带（$Ⅱ_1$）（二级），文山-富宁断褶束（$Ⅱ_1^3$）（三级），薄竹山拱褶（$Ⅱ_1^{3-1}$）（四级）的西南缘。西接扬子准地台（Ⅰ）（一级），南连越北古陆，位居三大构造单元的接合部位。因受相邻构造单元的影响，是一个地壳活动性较强，地质构造比较复杂的地区（图1-1）。

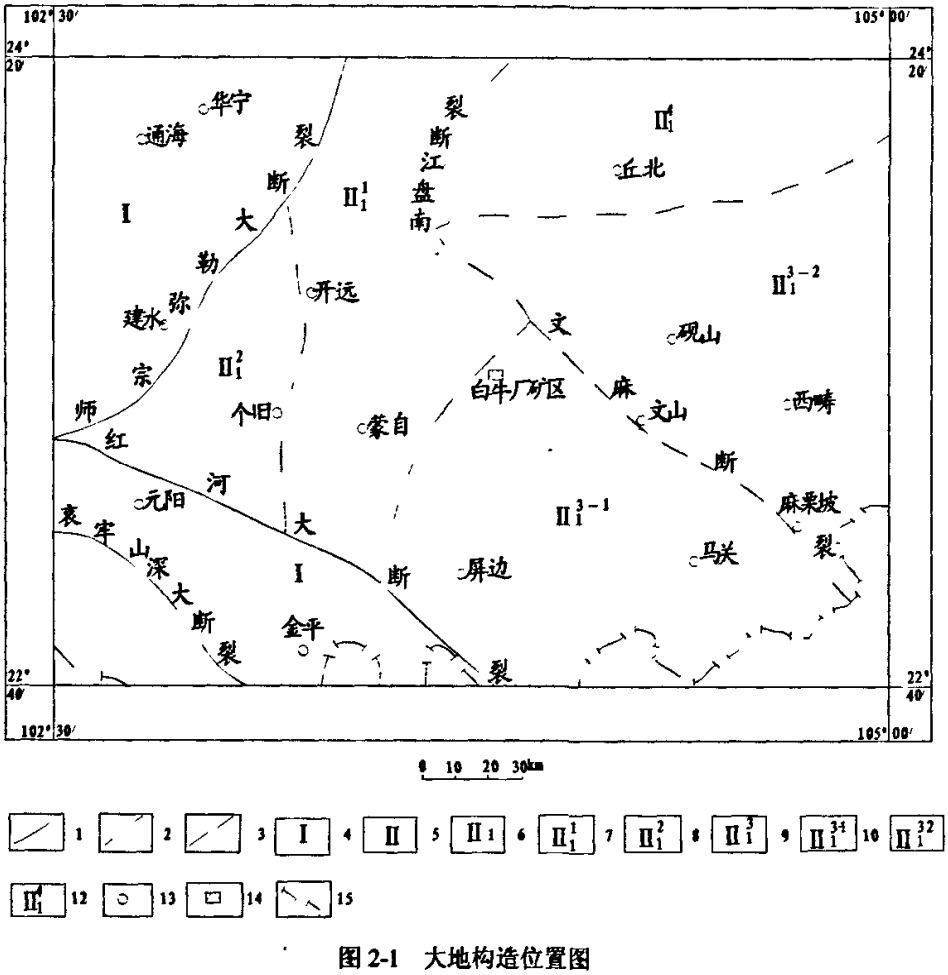


图 2-1 大地构造位置图

1.一次构造单元界线 2.三级构造单元界线 3.四级构造单元界线 4.杨子准地台 5.华南褶皱系 6.滇东南台褶带 7.罗平-师宗褶断束 8.个旧断褶束 9.文山-富宁断褶束 10.薄竹山拱褶 11.西畴拱褶 12.丘北-广南褶皱束 13.城镇 14.白牛厂矿区 15.国界线

2．2 构造层及沉积建造

区域内地层发育较齐全，从震旦系至三叠系，除缺失志留系外，其余均有出露，总的展布格局是南老北新。基底前震旦系出露于屏边和中越边境地区，为一套眼球状、条痕状花岗质片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、电气石角闪斜长片麻岩、变粒岩和石英云母片岩等所组成的深变质岩系，原岩应为地槽环境下沉积的火山碎屑岩建造，经变质而成。

盖层沉积由震旦系、寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、第三系所组成。依据构造旋回和地层接触关系可分为加里东、海西、印支、燕山、喜山等五个构造层。

2．2．1 加里东构造层

区内加里东构造层由震旦系、寒武系、奥陶系组成，较集中分布于白牛厂及其外围地区。

加里东早期，由于区域性的拉伸作用，在滇东南地区，形成一个近东西向、南深北浅的断坳海槽，沉积了震旦系—下寒武统富含绢云母的含砾砂岩、粉砂岩、泥岩和泥晶灰岩组成的冒地槽型类复理石沉积建造，沉积厚度达 6590-7058 米，富含有机质和成矿元素。

从中寒武世开始，海槽逐渐由沉降转为缓慢抬升，演化成浅海台地，直至早奥陶世，沉积了一套镁质碳酸盐岩和镁质碳酸盐岩与陆源碎屑岩互层的沉积建造。早奥陶世晚期，加里东运动，区域性的全面抬升，结束了加里东海槽发展演化的历史，并造成志留系缺失，下泥盆统超覆不整合于早古生界之上。

2．2．2 海西构造层

海西构造层由泥盆系、石炭系、下二叠统所构成。早奥陶世末发生了加里东运动，造成区域性的全面隆升，固结成陆。早泥盆世开始，固结地台活化，断、褶构造变动频频发生。在富宁—广南—邱北连线以南地区形成台、沟相间格局，而南盘江流域则逐渐发展成为裂陷海槽。构造运动所造就的古地理环境的差异性，通过沉积物质的差异性表现出来。早泥盆世早期，区内地壳由隆升转为沉降的初始阶段，大量粗碎屑物质短距离搬运沉积，形成了下泥盆统坡松冲组紫红色砾岩、砂岩、粉砂岩为代表的陆相粗碎屑岩建造。随着海侵面扩大，物源距离加长，沉积速度减慢，早泥盆世中期沉积了砂、泥质建造。从早泥盆世晚期开始至下二叠世，沉积环境分异增强，沉积建造亦出现多样化，南部地区，早泥盆世晚

表 2-1　区域地层简表

界	系	统	组	代号	厚度（m）	岩　性　描　述
新生界	第四系		、	Q	90	黄土、粘土、砾岩
	下第三系			E	530	钙质泥岩、砂岩、砾岩
中生界	三叠系	中统	法郎组	T_2f	155-705	棕色粉砂岩、粉砂质页岩
			个旧组	T_2g	1160-2494	上部为灰白色块状灰岩；下部为灰色白云岩、底部夹页岩、泥灰岩
		下统	永宁镇组	T_2y	64-1214	上部为深灰色灰岩；下部为深灰色薄层灰岩、泥灰岩夹黄灰色粉砂质页岩
			飞仙关组	T_1f	130-245	暗紫、灰绿色粉砂质页岩夹粉砂岩、泥质灰岩；下部为灰绿色钙质页岩
上古生界	二叠系	上统	龙潭组	P_2l	29-168	顶部为深灰色硅质岩；中上部为灰色粉砂岩、炭质页岩；下部为灰白色铝土岩
			玄武岩组	$P_2\beta$	286-455	玄武岩、凝灰岩夹硅质岩
		下统	茅口组	P_1m	291-563	灰、灰白色块状灰岩
			栖霞组	P_1q	0-333	灰白、灰色厚层-块状灰岩，中部为硅质灰岩，局部具硅质条带
	石炭系	上统		C_3	115-181	灰白色厚层状结晶灰岩
		中统		C_2	170-410	灰白、浅灰色块状结晶灰岩
		下统		C_1	0-451	灰、深灰色厚层-块状隐晶-结晶灰岩
	泥盆系	中统	东岗岭组	D_2d	334-1149	灰色厚层-块状灰岩、白云岩，局部为硅质岩；下部为泥质灰岩
		下统	芭蕉箐组	D_1b	>32	浅灰-深灰色薄-中厚层状灰岩夹泥质灰岩
			坡脚组	D_1p	366	浅灰色泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩
			坡松冲组			灰白、灰黄、紫红色砂岩夹泥岩、泥质粉砂，底部为含砾砂岩、砾岩
下古生界	奥陶系	下统		O_1	506	浅黄色石英砂岩夹页岩、灰岩
	寒武系	上统		$\in_3$	>716	灰-深灰色厚层状白云质灰岩与灰黄色、黄色薄层砂岩不等厚互层
		中统	龙哈组	$\in_2l$	217-346	灰色薄-中厚层状白云岩、砂质白云岩夹浅灰色、黄色白云质粉砂岩
			田蓬组	$\in_2t$	124-334	上部为暗灰色薄-中厚层粉晶白云岩及粉砂质白云岩；中部为灰色薄-中厚层粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩不等厚互层；下部为灰至深灰色薄-中厚层状生物碎屑灰岩、鲕状灰岩、核形石灰岩、泥质条带灰岩、粉砂岩、粉砂质泥岩不等厚互层
			大丫口组	$\in_2d$	440-650	灰黄色板岩、泥质粉砂岩互层，下部夹灰岩
		下统	大寨组	$\in_1d$	77	灰-深灰色薄-中厚层状泥质条带灰岩、鲕状灰岩夹灰色粉砂质板岩
			冲庄组	$\in_1ch$	>110	红黄色、灰绿色板岩、粉砂质板岩夹石英砂岩

期—中石炭世台地上广泛发育着碳酸盐建造，台沟内则为硅质—硅质碳酸盐建造和上石炭—早二叠世的碳酸盐沉积建造。

2．2．3 印支构造层

二叠纪中期喷发的大陆裂谷型碱性玄武岩不整合于下伏地层之上，而上二叠统龙潭组与下三叠统为连续沉积，说明本区在二叠世中晚期已进入了印支旋回，其沉积建造由下至上相继为晚二叠世早期的大陆裂谷型玄武岩喷发和晚期的砂泥质含煤建造。到三叠纪时，印支构造运动达到顶峰，沉积分异明显，南盘江流域拉张形成海槽，发育一套碎屑浊流沉积建造，而南部地区则为浅海台地砂泥质与碳酸盐建造，三叠纪末为陆相砂、砾岩建造。印支晚期构造运动，使本区褶皱回返，隆生成陆。

2．2．4 燕山构造层

本区缺失侏罗、白垩系，燕山旋回期，仍以断褶、隆升为主，并伴以酸性岩浆多期次的侵入活动，形成了薄竹山岩体和白牛厂深部隐伏岩体。

2．2．5 喜山构造层

喜山期，仍以断褶隆升为主，但由于区域性的北西向和北北东向断裂构造的复活，局部形成内陆湖盆，产生早期的磨拉石建造、随后的酸性岩浆侵入与喷溢，以及新第三纪的泥质含煤建造或红色膏盐建造。

2．3 岩浆岩

2．3．1 印支早期的玄武岩和基性脉岩

印支运动早期，随着拉伸作用的发生与发展，区域性北西与北东向断裂的继续深切，造成了二叠纪裂谷型基性岩浆喷发与侵入活动，造就了出露于老寨大黑山-五色冲-老回龙地区的玄武质火山岩和见于白牛厂地区、零星分布的辉绿岩脉。

玄武质火山活动，可划为两个喷发旋回。第一喷发旋回，厚 73.05 米，主要

岩石为橄榄玄武岩，夹一层火山碎屑岩，局部地段夹灰岩透镜体和硅质夹层，还有发育完好的枕状构造，应属海相喷发的产物。第二喷发旋回，火山岩总厚度局部达 1229 米，下部以火山碎屑岩、火山碎屑熔岩为主，中部为熔岩，上部由火山角砾岩、熔岩、火山碎屑岩等组成。本旋回中部的熔岩中，发育完好的柱状节理，顶部有氧化红顶存在，显示陆相喷发的标志特征。

2．3．2 燕山-喜山期的酸性岩浆侵入活动

燕山-喜山期，整个滇东南地区，造山运动强烈，伴以频繁的酸性岩浆侵入活动，在本区形成了薄竹山花岗岩基、白牛厂大尖坡-阿尾隐伏岩体及其派生脉岩-花岗斑岩。

薄竹山花岗岩体出露面积约 15 平方千米，呈北西轴向的纺锤状，侵入于薄竹山背斜核部，主要定位于中上寒武统内。据 1：5 万重力资料，薄竹山岩体向北西倾覆，与白牛厂隐伏花岗岩体连为一体（钟寿华，1992）。

薄竹山岩体、白牛厂隐伏花岗岩体、花岗斑岩的同位素年龄值为 114.09±0.23-0.48Ma（张世涛，陈国昌，1997），表明岩浆侵入活动时限为燕山晚期-喜山中期，较集中的年龄值段为 79-114Ma，时代在白垩纪。在岩石化学上，它们都属于铝过饱和类型钙碱性-碱性岩类，$K_2O>Na_2O$、$K_2O/Na_2O>1$。岩浆演化趋势是：岩石中 SiO_2 含量由早-晚递增，岩石化学特征显示从早到晚向富碱、贫铁镁方向演化。岩体富含 W、Sn、Pb、Zn、Cu、Fe、As、F 等元素，并在岩体内、外接触带形成小型-中型的矿床（点）。

2．4 区域矿产概况

区内矿产丰富，主要有白牛厂矿区的银、锡、铅、锌、铜多金属矿，茅山洞锑矿，水结黄铁矿等。环薄竹山岩体有与燕山-喜山期酸性岩浆侵入活动及成矿作用有联系的多种矿产，主要成矿元素组合有：钨、锡、铅锌、铁、铜、砷、锌、锡等形式，较集中分布于岩体的南西与北东缘的内、外接触带，多为交代矽卡岩型矿床。

2．5 大地构造演化

本区位处华南褶皱系、扬子地台、越北古陆三个 I 级大地构造单元结合部位，其大地构造演化经历比较复杂。元古代时本区与扬子地台、越北古陆连为一体，

同为优地槽性质，沉积一套火山碎屑岩建造。加里东早期（晋宁运动），扬子地台、越北古陆褶皱回返，固结演化成地台，而本区由于区域性拉伸作用，形成一个南深北浅的断坳海槽，成为新的沉降沉积区，接受了震旦系-下寒武统以砂泥质为主，具类复理石韵律层序的冒地槽型沉积建造，厚度达 6590-7058 米。加里东中期中寒武世开始，沉降幅度减小并逐渐转为缓慢隆升，地槽向地台方向转化，沉积了中寒武统-下奥陶统，浅至滨海环境的陆源碎屑岩和镁质碳酸盐岩互层的沉积建造及含矿建造。

早奥陶世，加里东运动使本区全面隆升为陆并伴以轻微褶断构造，造成中奥陶统-志留系的缺失，而白牛厂上隆早于外围地区，致使下泥盆统直接超覆在下、中寒武统之上。

海西中晚期，地台开始活化，在加里东隆起的边缘地带，逐步发展成断陷槽谷，至晚二叠世，沿槽谷断裂，产生裂谷型的基性岩浆喷发和侵入，区域拉张运动逐渐增强，至三叠纪达到高潮，在南盘江流域形成海槽，而南部地区亦成台沟相间的格局。

燕山构造运动，区内显示强烈，主要表现为大幅度抬升，造成侏罗、白垩系缺失，并伴以强烈的断褶构造。酸性岩浆沿北西和北北东向断裂脆弱带活动，侵位于背斜核部，在其内、外接触带，导致钨、锡、银、铅、锌、砷等多种元素的成矿作用。

喜山期新构造运动，继承燕山期抬升运动的趋势，局部形成内陆断陷小湖盆与第三系褐煤沉积。

第三章 矿区成矿地质特征

3．1 地层特征

3．1．1 主要沉积建造

矿区出露地层以寒武系中、下统为主，最老为下寒武统冲庄组和大寨组，中寒武统大丫口组、田蓬组和龙哈组整合覆盖其上。上寒武统和奥陶系在白牛厂矿区范围内缺失，早泥盆统坡松冲组以低角度不整合直接超覆于中、下寒武统之上。

寒武系分为五个组，自下而上分别为：

（1）冲庄组（$\in_1$ch）

冲庄组出露于牛作底河谷及白羊大沟，面积仅 1.06 平方千米。厚度大于 110 米。下部为灰绿-深灰色粉砂质板岩夹长石石英砂岩、砂岩及碳质粉砂岩；上部为灰、绿、黄绿色、浅灰色薄层、纹层状粉砂质、泥质板岩及泥质粉砂岩，局部夹灰岩透镜体。本组以沉积粒度极细、层理极薄为特征。具带状、纹层状水平层理，生物仅见三叶虫。

（2）大寨组（$\in_1$d）

大寨组见于牛作底河南岸，出露面积不足 0.2 平方千米。厚度约 77 米。下部为深灰色薄至中厚层泥质条带灰岩、核形石鲕状灰岩，间夹粉砂质板岩；上部为灰绿色粉砂质板岩、泥质粉砂岩；顶部为泥质条带灰岩、核形石鲕状灰岩。

（3）大丫口组（$\in_2$d）

大丫口组出露于牛作底附近及咪尾一带。厚度 440~650 米。下部为深灰色薄至中厚层泥质条带灰岩、核形石灰岩、鲕状灰岩、泥质条带粉砂岩互层，间夹粉砂质板岩及泥质粉砂岩；上部为灰黄色粉砂质板岩与薄层粉砂质泥岩、粉砂岩不等厚互层。

（4）田蓬组（$\in_2$t）

本区田蓬组为银多金属矿的重要容矿地层。从下往上分为三个岩性段：第一段厚度为 40~56 米，岩性为暗灰色薄至中厚层粉晶白云岩及粉砂质白云岩，局部含生物碎屑白云岩；第二段厚 42~142 米，为灰色薄至中厚层粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩不等厚互层，间夹绢云母粉砂岩、钙质粉砂岩、局部为粉砂质板

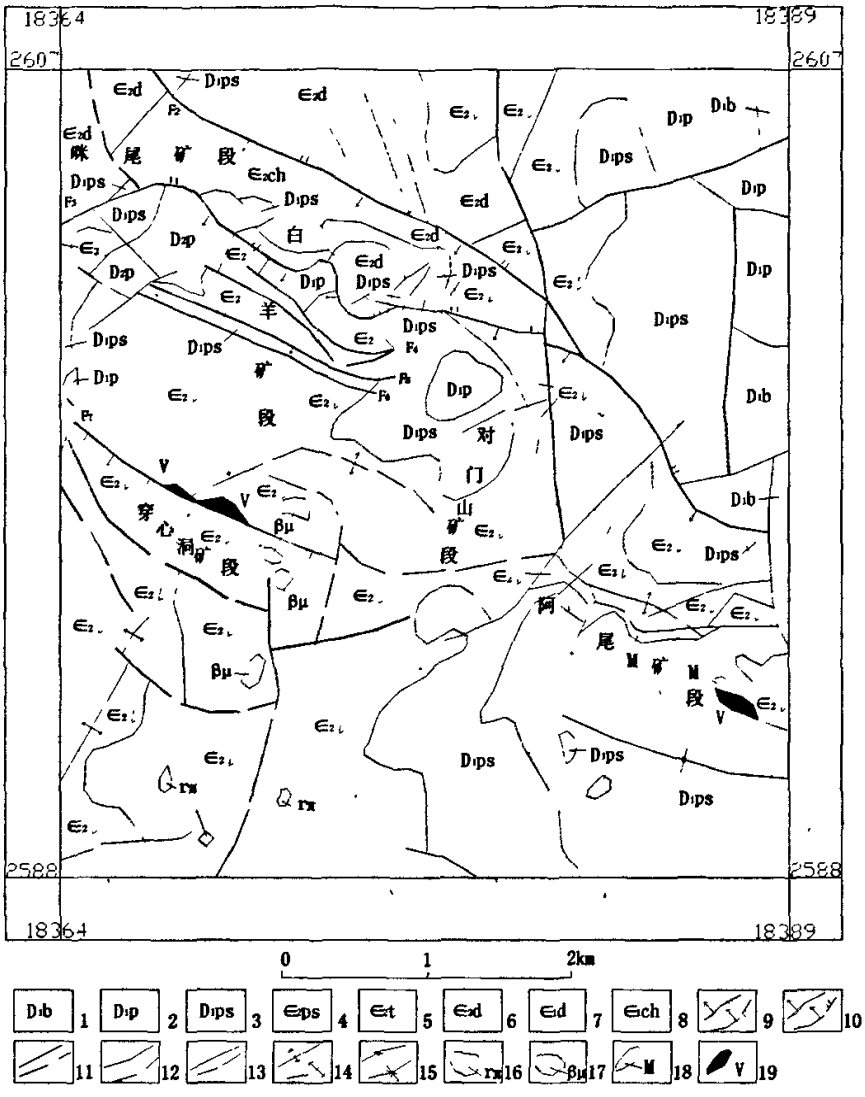


图 3-1 白牛厂矿区地质简图

1.芭蕉箐组灰岩 2.坡脚组粉砂质泥岩、泥质粉砂岩 3.坡松冲组粉砂岩、砂岩 4.龙哈组白云岩 5.田蓬组白云岩、灰岩、板岩、粉砂岩 6.大丫口组板岩、粉砂岩、灰岩 7.大寨组灰岩 8.冲庄组板岩 9.实测-推测逆断层 10.实测-推正断层 11.实测-推测性质不明断层 12.实测-推测不整合地质界线 13.实测-推测地质界线 14.背斜-隐伏背斜轴线 15.向斜-隐伏向斜轴线 16.花岗斑岩 17.辉绿岩 18.银多金属矿化带 19.银多金属矿

岩；第三段厚度为 42~136 米，岩性为灰至深灰色薄至中厚层状生物碎屑灰岩、鲕状灰岩、核形石灰岩、泥质条带灰岩、粉砂岩、炭泥质粉砂岩、粉砂质泥岩不等厚互层。

（5）龙哈组（$\in_2 l$）

龙哈组为白牛厂矿区主要出露地层，厚度 217~346 米。从下至上分为四个岩性段：第一段下部为中厚层状粉晶白云岩，富含有机质和菱铁质豆粒，上部为黄色、灰色至深灰色中厚层状白云岩、粉砂质白云岩夹白云质粉砂岩；第二段为灰

色中厚层状粉晶白云岩、粉砂质白云岩夹鲕状白云岩、白云质粉砂岩、粉砂岩；第三段为灰色、灰黄色薄层状粉砂质白云岩与中厚层状粉晶白云岩不等厚互层，夹含碎屑白云岩，水平层理、波状层理发育；第四段为灰色薄至中厚层状粉晶白云岩、球粒白云岩、含碎屑白云岩、薄层粉砂质白云岩，下部见食盐假晶、泥裂。

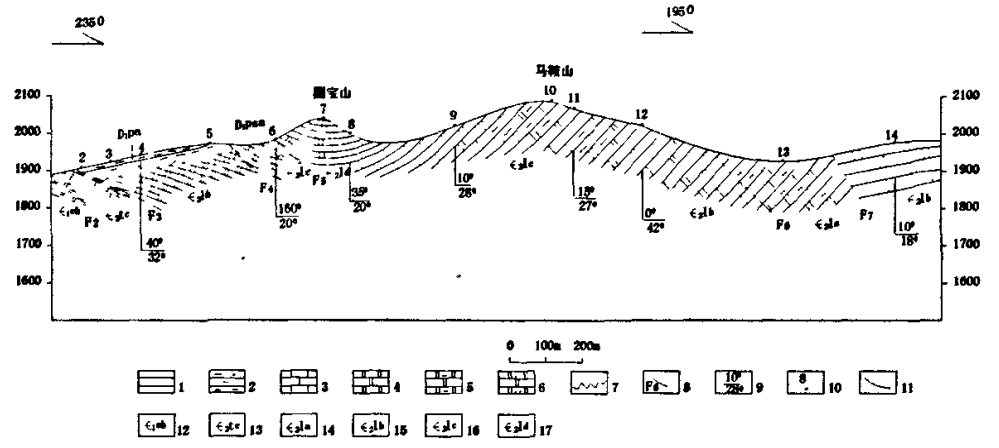


图 3-2　白牛厂矿区实测地质剖面图

1.粉砂岩　2.泥岩　3.灰岩　4.白云岩　5.泥质白云岩　6.粉砂质白云岩　7.不整合地质界线　8.断层及编号　9.岩层产状　10.GPS 定位点及编号　11.整合地质界线　12.下寒武统冲庄组　13.中寒武统田蓬组 c 段　14.中寒武统龙哈组 a 段　15.中寒武统龙哈组 b 段　16.中寒武统龙哈组 c 段　17. 中寒武统龙哈组 d 段

下泥盆统分为三个组，自下而上为：

（1）坡松冲组（D_1ps）：厚度 5~85 米，为灰白、灰黄、紫红色砂岩夹泥岩、泥质粉砂岩，底部为含砾砂岩、砾岩。

（2）坡脚组（D_1p）：厚度为 95~379 米，岩性为浅灰、灰黑、灰黄色泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹细砂岩，上部夹泥质灰岩、生物灰岩透镜体。

（3）芭蕉箐组（D_1b）：厚度大于 100 米，为浅灰色灰岩、含泥质灰岩、白云质灰岩，含竹节石、珊瑚化石。

3．1．2 岩石地球化学特征

（一）区域地层地球化学特征

对薄竹山—白牛厂地区区域岩石地球化学参数的统计（表 3-1）分析表明，区域地层有如下地球化学特征：

（1）与全区平均值相比，区域地层的元素含量均无显著的富集与贫化，元素含量的变化与岩性组合密切相关，同一地层单元中，不同岩性组合的元素含量差异较大。如中下寒武统中，碎屑岩组合 Cu 元素含量是碳酸盐岩组合的近 5 倍，其余元素也有类似特征。

（2）碎屑岩中元素的含量普遍高于碳酸盐岩。

（3）不同时代地层的碳酸盐岩组合的元素含量较为稳定，元素含量变化不大；而在碎屑岩中，不同时代的元素含量差异显著，如中泥盆统碎屑岩中的 Cu 含量是中下寒武统的 3 倍多。

（4）区域上，寒武系各元素均无明显富集，相反，中下寒武统碎屑岩中 Cu、Pb、Sn 贫化。

（5）不同岩类表现出不同的元素富集专属性，即玄武岩富 Cu、Zn，花岗岩富 Pb、Sn、W、Bi，其中 W、Bi 是花岗岩最具特征的诊断元素，矽卡岩富 Zn、Sn。这一特征与元素自身的地球化学行为相符，同时表明，花岗岩接触带具有形成多金属矿的地球化学条件。

表 3-1　薄竹山—白牛厂地区区域岩石地球化学参数统计表（ppm）

地质单元		$\in_{1+2}$		$\in_3$		O_1+D_1		D_2		D_3+C+P_1	P_2+C+T		玄武岩	花岗岩	矽卡岩	全区		
岩类		A	B	A	B	A	B	A	B	B	A	B				A	B	A+B
样品数		18	18	5	19	17	13	15	13	12	8	2	427	227	42	62	76	136
几何平均值	Cu	4.9	0.9	14.6	1.0	3.8	0.8	18.5	3.3	1.9	43.1	3.5	34.0	10.8	19.7	8.5	1.3	3.1
	Pb	5.4	2.4	10.2	1.4	5.9	0.9	14.0	1.2	0.5	8.6	0.5	2.3	24.9	12.2	7.7	1.2	2.7
	Zn	47.2	10.0	41.1	2.2	13.7	10.0	81.3	18.0	14.1	61.6	10.0	80.8	38.0	149.6	36.0	11.7	19.2
	Sn	0.7	0.2	1.8	2.9	2.1	0.2	2.5	0.3	0.4	1.3	1.2	1.1	5.7	47.3	1.5	0.3	0.6
	W					1.2		1.0		0.9				7.0				0.5
	Bi					1.2		0.9						8.7				0.3
	Mo	0.50				0.90		0.90		1.56	1.50		0.8	0.60				0.86

注：1 地质单元参见白牛厂地区地质图；2 A 代表砂岩、页岩、板岩等碎屑岩组合，B 代表白云岩、灰岩、泥灰岩及其过渡岩石组合；3 资料来源：a. 二大队，1993；b.云南省地矿局区调队，1991；c. 蓝朝华等,1991；d.陈元坤、吴上龙，1986

（二）白牛厂矿区地层地球化学特征

白牛厂矿区沉积岩的主要成矿元素平均含量见表 3-2。从表中可以看出，白牛厂矿区地层中的元素含量与区域上一致，大多数元素无明显富集，有如下特征：（1）田蓬组成矿元素含量相对较高，且碎屑岩成矿元素含量高于碳酸盐岩；（2）龙哈组中成矿元素含量相对都不高，只是其中下段含量较高；（3）龙哈组与下泥

表 3-2　白牛厂矿区沉积岩的主要成矿元素平均含量　（10^{-6},Ag 和 Au 为 10^{-9}）

层位	岩性	样品数	Sn	Pb	Zn	Cu	As	Sb	W	Mo	Ag	Au
D_1	砂岩、粉砂岩	4	1.98	16.8	35.0	8.8	8.3	8.01	2.4	1.90	80	0.58
	泥岩	2	1.50	21.0	61.0	11.5	12.7	6.68	2.2	0.52	95	1.10
	碳酸盐岩	1	0.51	17.0	11.0	7.0	6.2	3.72	0.2	0.24	76	0.80
$\in_2 l$	粉砂岩	1	1.30	25.0	23.0	7.0	8.4	4.40	2.1	0.33	118	1.20
	砂质粉砂质白云岩	12	1.11	20.5	13.5	3.5	9.0	3.75	1.5	1.40	101	1.19
	碳酸盐岩	18	1.95	19.8	12.1	0.6	5.6	3.74	0.7	1.69	82	0.89
$\in_2 t$	砂岩、粉砂岩	5	9.10	22.0	66.3	11.7	12.3	10.82	2.9	0.25	256	1.67
	板岩	4	7.13	75.0	87.0	16.0	10.2	3.13	2.4	0.15	266	1.80
	泥质灰岩	2	1.64	24.5	24.5	10.1	5.8	3.92	1.1	0.18	201	1.34
	碳酸盐岩	7	0.68	16.8	22.2	3.5	8.0	6.18	0.5	0.15	188	1.14

资料来源：二大队，1993

盆统接触部位，成矿元素含量明显增加，反映了后期地质作用的叠加；（4）Sn、Cu、Pb、Zn、Ag 等主要成矿元素累计含量，从上到下显示出由小到大的垂直分带现象，说明受到后期作用的影响。

钻孔岩石测量地球化学参数统计见表 3-3。由表可知：（1）矿区深部地层的元素含量显著高于区域背景值。钻孔中地层元素的平均含量，普遍高于或略高于地表岩石，其中 Cu、Pb、Zn、As、Sb 等元素的含量是地表的两倍以上（地表岩石中，这些元素含量为正常值或略高于背景值），这可能是地表岩石遭受风化，使成矿元素含量降低；（2）龙哈组除 Ag、Hg 含量略高于下伏地层，其余元素均低于下伏地层；（3）Sn 元素含量很高，为地壳克拉克值和区域上该套地层含量的数十倍甚至上百倍，说明由花岗岩浆分离出来的含矿热液渗透性很强，岩体外围数千米范围内的地层可能都遭受过岩浆热液的活化、萃取；（4）除 Ag、Hg 外，矿体下盘围岩（$\in_2t$）的成矿元素含量是上盘围岩（$\in_2l$）的 1.5~2 倍，表明矿区元素的富集主要集中于矿体下盘，即田蓬组（$\in_2t$）内，其次为田蓬组下伏地层（$\in_1+\in_2d$），上盘地层龙哈组（$\in_2l$）则相对贫化。

总之，本区寒武系成矿元素含量相对较高，为最主要的矿源层。按泰勒地壳丰度（孙鼐、彭亚鸣，1985）计算，田蓬组的成矿元素浓集系数为 1.1~4.8；龙哈组的成矿元素浓集系数为 0.2~2.9。细碎屑岩的成矿元素平均含量比碳酸盐岩的成矿元素平均含量高 1.5~15 倍，成矿元素主要富集于细碎屑岩中。

表 3-3　白牛厂矿床钻孔岩石测量地球化学参数统计表（10^{-6}）

层位	样品数	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Sb	Hg	Bi	W	Mo	Sn
$\in_1+\in_2d$	9	18.5	44.0	60.5	3.69	15.96	11.17	34.2	0.13	1.05	1.15	40
$\in_2t^1$	25	29.9	62.4	95.3	2 22	20.70	10.84	43.2	0.50	1.21	0.75	120
$\in_2t^2$	30	35.9	43.5	89.3	1.56	17.50	10.30	44.2	0.45	2.24	0.53	70
$\in_2l^1$	51	15.2	53.1	58.1	3.83	13.34	8.57	57.5	0.13	1.16	1.18	20
$\in_2l^{2+3+4}$	14	14.7	51.8	29.6	3.95	8.13	6.32	43.0	0.10	0.88	0.72	20
矿体上盘	146	20.6	57.6	64.0	2.72	11.97	6.43	58.9	0.16	1.25	0.87	310
矿体下盘	54	36.6	67.8	128.5	1.91	23.08	12.50	46.2	0.47	2.36	1.40	450

注：1 分析方法为光谱半定量；2 Sn 为算术平均值，其余为几何均值；3 资料来源：二大队

3．2　构造特征

3．2．1 矿区主要构造特征

白牛厂矿区以北西-北西西向的褶皱、断层和层间破碎带为主，北东向的褶皱、断裂穿插其间组成基本构造格局。其中北西西向构造是矿区的主要控矿构造

及容矿构造。

（一）褶皱

主要有圆宝山复式向斜和白牛厂背斜。

圆宝山复式向斜控制了主矿体的空间展布形态及产状变化趋势（图 5-1）。向斜枢纽走向北西西，轴部位于圆宝山一带。北翼受 F_3 断裂破坏，南翼发生次级褶皱。北翼倾角 17^0~30^0，南翼缓倾，10^0~24^0，枢纽向北西扬起，轴面产状 200^0 $\angle 66^0$。整个向斜呈一北西向展布的“船形”，为一轴面倾向南西的斜歪缓倾伏向斜。核部地层为龙哈组四段，两翼地层依次为龙哈组三段、二段、一段，其中北翼龙哈组之上超覆有泥盆系坡松冲组和坡脚组。

白牛厂背斜呈北西西向，轴长约 2000 米，中部枢纽近水平，东西两端倾没。中下寒武统地层（下寒武统冲庄组、大寨组及中寒武统大丫口组、田蓬组和龙哈组）呈椭圆状分布，以 20^0~40^0 的倾角由核部向四周撒开，为一南翼残缺的短轴背斜。

（二）断层

主要有 F_2、F_3、F_4、F_5、F_6、F_7。

F_2 位于咪尾村东侧牛作底河至阿尾中寨一线，走向北西—南东，断层面倾向南西，倾角 65^0。断层上盘地层在核桃冲以西为寒武系冲庄组、田蓬组，以东为龙哈组和泥盆系坡松冲组、坡脚组；下盘地层在核桃冲以西为大丫口组和田蓬组，以东为龙哈组、坡松冲组。核桃冲以东断层上盘相对上升，以西则相对下降。断层破碎带中既有棱角状构造角砾岩，也有断层泥、糜棱岩、构造透镜体，显示出断层具多期活动性，早期为张性断层，晚期则向压性断层转化。

F_3 为一条伸展低角度正断层，即白牛厂剥离断层，是矿区主要的控矿及容矿构造。位于咪尾矿段刀冲坡—白羊矿段狮子洞—核桃冲一带，沿 V_1 主矿体的顶部或附近产出，走向北西西—南东东，长大于 4 千米，倾向延伸大于 1000 米。断层面倾向南西西—南西，总体产状 200^0~$230^0\angle 9^0$~39^0（一般为 24^0），在走向、

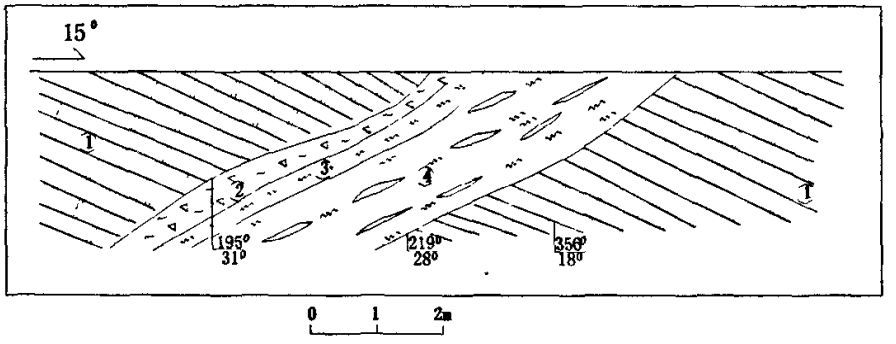


图 3-3　白牛厂矿床白羊矿段 1710 中段 219 米处 F_3 断层破碎带素描图

1.中寒武统龙哈组白云岩　2.断层泥夹断层角砾带　3.断层泥带　4.断层泥夹构造透镜体带

倾向上均呈舒缓波状（图 5-1），沿倾向起伏大。下盘地层为冲庄组、大寨组、大丫口组、龙哈组、坡松冲组，上盘地层为田蓬组、龙哈组、坡松冲组和坡脚组。断层破碎带内部构造岩发育并具分带现象（图 3-3）。上部为角砾岩化岩石—角砾岩化带；中上部为角砾岩、断层泥混合带；中下部为断层泥含少量角砾并夹构造透镜体；下部为角砾岩或角砾岩化岩石带。上述分带现象的发育程度视断层上、下盘岩性不同而有所差异。破碎带中的构造角砾根据其成份和形态特征大致可分为三类：（1）棱角状围岩角砾，较少见，常分布于破碎带中部，角砾大小混杂，排列无规则。成份为白云岩、粉砂岩，角砾间由断层泥及金属硫化物充填，角砾本身无矿化。（2）次圆状—次棱角状围岩角砾，最为常见，成分为白云岩、粉砂岩，局部尚见花岗斑岩角砾。角砾大小均匀，具定向搓碎特征，角砾间由断层泥及金属硫化物充填、胶结，角砾本身也无矿化。（3）矿石角砾，成分为金属硫化物矿石，呈浑圆状、透镜状、眼球状，角砾间由金属硫化物充填、胶结，形成眼球状、条纹—条带状、棱角状矿石构造。

F_4、F_5断层位于白羊矿段圆宝山北侧白羊沟—对门山一线，走向北西西—南东东，分别长 1.3 千米、1.5 千米。沿倾向延伸至与 F_3 复合的层间破碎带。断层走向、倾向与 F_3 一致，倾角较陡，为 30^0~60^0，但局部产状平缓（图 3-4、3-5）。断层面呈舒缓波状，主要断切了主矿体上盘的龙哈组白云岩和下泥盆统碎屑岩。据工程控制，两断层在龙哈组地层中局部表现为正断层，而在坡松冲组、坡脚组中则表现为逆断层，并使龙哈组逆推于坡松冲组、坡脚组之上，说明两断层也具多期活动性，早期为正断层，断距较大，晚期则转化为逆断层，但断距较小。

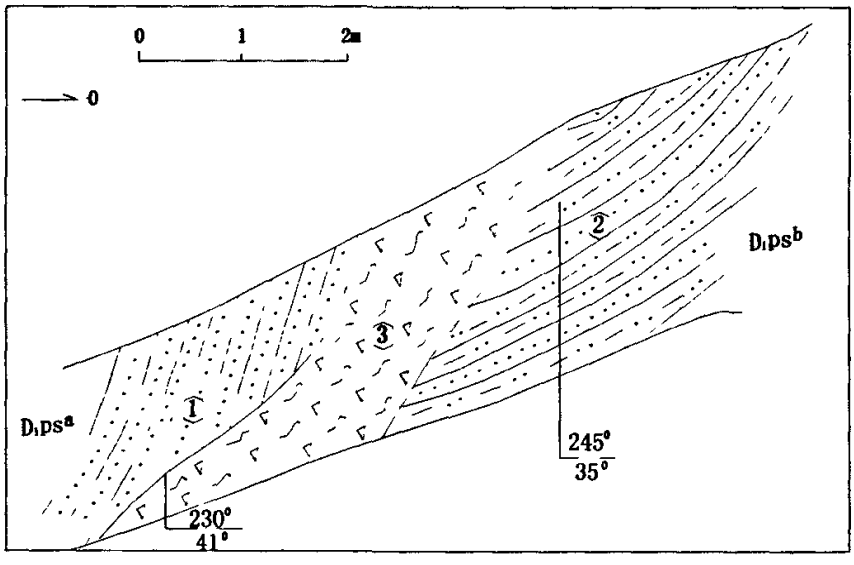


图 3-4　白牛厂矿床 TC56 东壁 F4 断层破碎带素描图

1.下泥盆统坡松冲组第一段砂岩　2.下泥盆统坡松冲组第二段泥质粉砂岩、砂岩　3.断层破碎带

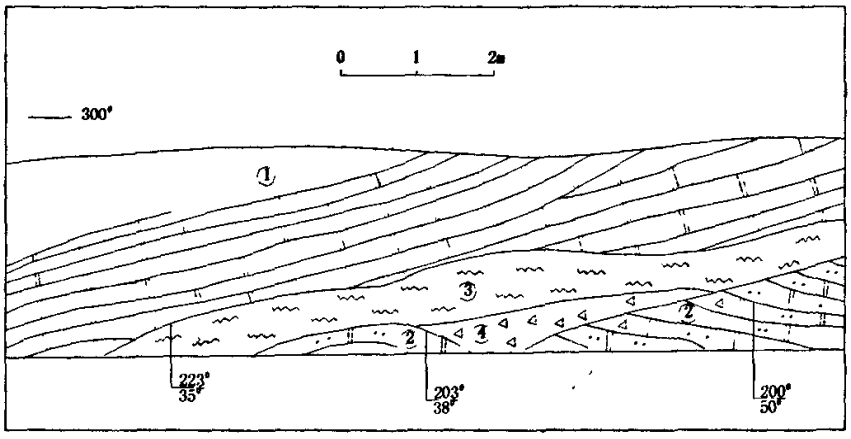


图 3-5　老中寨北部公路上 F5 断层素描图

1.中寒武统龙哈组第四段白云岩　2.中寒武统龙哈组第三段粉砂质白云岩　3.断层泥　4.构造角砾岩

F_6断层位于龙树脚-ZK110-4 以北一线，走向北西-南东，长约 1.7 千米。断层面倾向南西，倾角 30^0~35^0。上盘地层为龙哈组三段、四段，下盘地层为龙哈组二段、三段，上盘相对下降，为正断层。

F_7位于穿心洞—纵跃冲一带，走向北西西—南东东，长约 3.4 千米。断层面倾向南南西，产状 $208^0\angle34^0$~50^0（图 3-6）。断层上盘地层为龙哈组一段-四段，下盘地层为龙哈组一段、二段。上盘相对下降，为正断层，断距小于 130 米。断层破碎带厚 0.6~1.8 米，由构造角砾岩组成，局部见断层泥。角砾形态多呈棱角

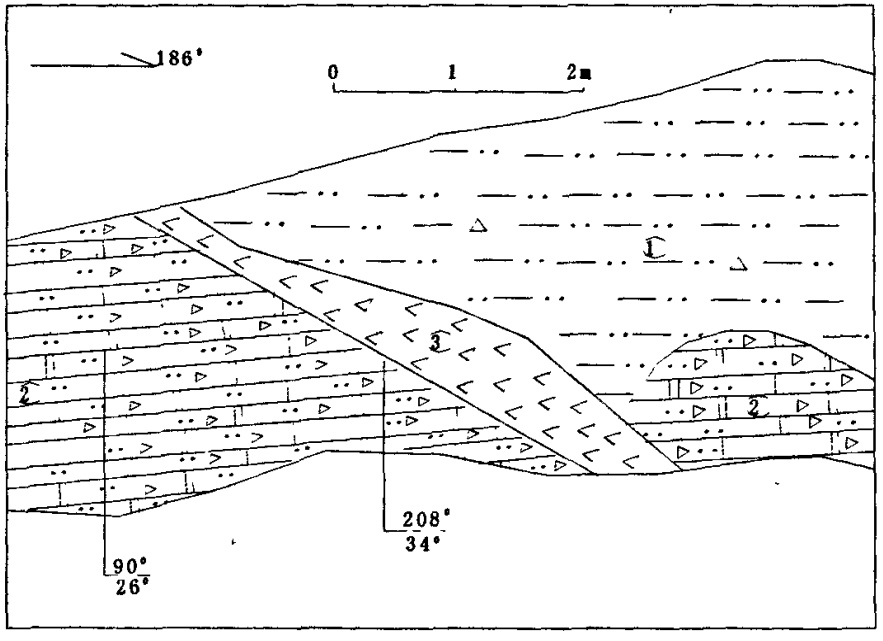


图 3-6　白牛厂矿区 TC106 中 F_7断层破碎带素描图

1.第四系粉砂质粘土　2.中寒武统龙哈组角砾岩化粉砂质白云岩　3.构造角砾岩

状，排列杂乱，部分角砾呈椭圆状，具定向排列。显示断层兼具张、压性特征。

此外，在矿区东部中寒武统、下泥盆统地层中尚有北东向的纵跃冲断层，老包山断层及南北向的核桃冲断层产出。两条北东向断层的断层面均倾向南东，属左行平移逆断层，核桃冲断层则为右行平移逆断层。

3．2．2 构造地球化学特征

（一）成矿元素的断裂构造地球化学特征

据 344 件断层岩样品分析结果（杨家瑞，1993）对白牛厂矿床主要成矿元素的含量分级及其矿化信息特点进行了研究（表 3-4），结果表明，锡元素矿化最强，其中矿化信息强或较强的样品占所有样品的 38.66%，其余元素矿化信息强或较强的样品占所有样品的 3.19%~13.37%，成矿元素的分布差异性明显。

表 3-4　主要成矿元素的含量分级及其矿化信息特点

成矿元素	无矿化信息	矿化信息弱	矿化信息较弱	矿化信息较强	矿化信息强
Pb	0 ~ 50 67.15(231)	50 ~ 100 22.67(78)	100 ~ 200 4.07(14)	200 ~ 1000 2.91(10)	> 1000 3.20(11)
Zn	0 ~ 50 50.29(173)	50 ~ 100 23.84(82)	100 ~ 200 12.50(43)	200 ~ 1000 8.72(30)	> 1000 4.65(16)
Ag	0 ~ 2 57.85(199)	2 ~ 4 22.97(79)	4 ~ 10 15.12(52)	10 ~ 20 2.03(7)	> 20 2.03(7)
Cu	0 ~ 25 57.27(197)	25 ~ 50 32.56(112)	50 ~ 100 6.98(24)	100 ~ 200 2.90(10)	> 200 0.29(1)
Sn	0 ~ 50 31.40(108)	50 ~ 200 17.44(60)	200 ~ 500 12.50(43)	500 ~ 1000 10.76(37)	> 1000 27.90(96)
Sb	0 ~ 10 77.32(266)	10 ~ 40 11.63(40)	40 ~ 100 5.81(20)	100 ~ 500 2.62(9)	> 500 2.62(9)

例：$\frac{0 \sim 50}{50.29(173)} = \frac{\text{分组界线} \times 10^{-6}}{\text{该组样品占所有样品之百分比（件数）}}$

（二）成矿元素的相关关系

利用多元素回归、多元逐步回归，对该矿区断裂中成矿元素的相关关系进行研究，其结果如下（二大队，1993）：

（1）各成矿元素的相关距阵

	Sn	Sb	Cu	Pb	Zn	Ag
Sn	1					
Sb	0.1698	1				
Cu	0.2060	0.6774	1			
Pb	0.1108	0.4888	0.7290	1		
Zn	0.1136	0.4544	0.7549	0.9784	1	
Ag	0.0639	0.3661	0.7198	0.9268	0.9545	1

（2）银与铅、锌、铜密切正相关，其相关系数分别为 0.9268、0.9545、0.7198。

（3）银与锡、锑关系不密切，相关系数分别为 0.0639、0.3661。

（4）铅与锌密切正相关，相关系数 0.9784；铅与铜亦密切正相关，相关系数 0.7290。

（5）银、铅、锌、铜表现出密切相关，而它们与锡、锑关系不密切。这可能在成矿上表现为银、铅、锌、铜常形成共生或伴生矿产，而锡、锑多与银、铅、锌、铜矿体相分离。在断裂构造地球化学剖面上，表现为银、铅、锌、铜的高、低值多数呈一致的同消长关系；锡、锑虽亦在总体上呈同消长关系，但其高、低值点常与银、铅、锌、铜的不一致。

（三）成矿元素组合特征

白牛厂矿区主要断裂中常见的元素组合为银铅锌铜组合，锡、锑多数以单独出现为主，有时亦可能与前一组合一起出现，这与聚类分析的成果是一致的。

聚类分析成果表明（图 3-7），在相似水平大于 0.73 时，铅、锌、银、铜为密切相关的元素组，锡、锑则独立成组。当相似水平为 0.5 时，锑进入铅锌银铜组合，说明锑亦可能出现于铅锌银铜组合中。但锡与它们的相关系数仅为 0.13，关系不密切，因此，锡多表现出与铅锌铜不协调变化的现象。

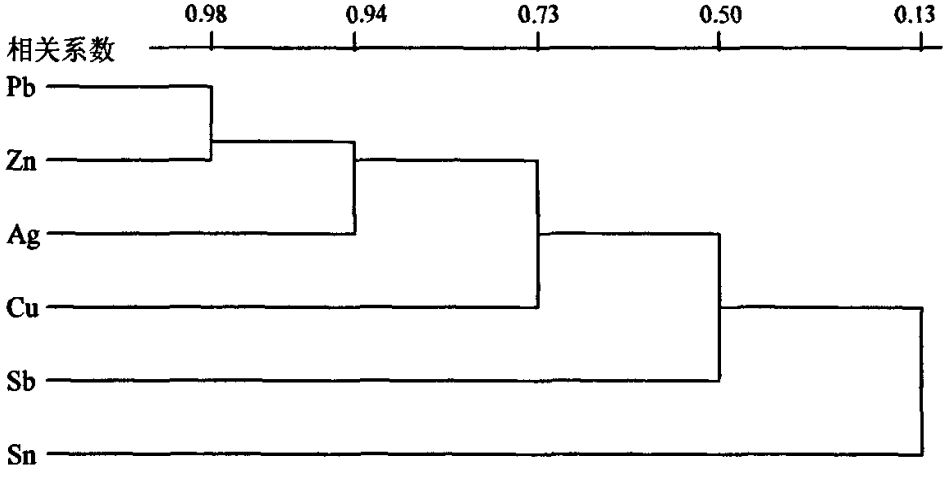


图 3-7 白牛厂矿区主要断裂中成矿元素谱系图（N=83）（二大队，1993）

3. 3 阿尾隐伏花岗岩特征

白牛厂矿区岩浆岩以燕山晚期酸性岩为主，基性岩不甚发育。酸性岩中又以阿尾隐伏花岗岩体与成矿关系最为密切。本文仅讨论该隐伏岩体。

3．3．1 阿尾花岗岩的基本特征

阿尾花岗岩体见于阿尾矿段 ZK126-10、ZK130-11 及 ZK130-14 三个钻孔中，已知最小埋深 637 米，顶界标高 1396 米，最高侵位于中寒武统田蓬组中，接触界线清楚。岩体的岩相分带清晰，由外向内依次为细粒黑云母花岗岩（边缘相，厚约 25 米）、细-中粒黑云母二长花岗岩（过渡相，厚约 41 米）、中粗粒黑云母二长花岗岩（中心相）。

中细粒黑云母二长花岗岩是钻孔中见到的花岗岩体主要组成，岩石呈白色、浅灰白色，中粒-细粒花岗结构，主要造岩矿物为钾长石、斜长石、石英和黑云母，矿物含量变化较大，由中心相至边缘相，粒度变细、钾长石含量增高，相应地斜长石含量降低（表 3-5）。斜长石主要为奥长石，呈自形、半自形粒状、板状，聚片双晶发育，有时见卡纳联合双晶。钾长石又分正长石和微斜长石，正长石呈半自形粒状，偶见条纹结构，微斜长石呈半自形粒状，格子双晶发育。黑云母呈片状集合体，有的晶形较完整，在镜下呈褐色，多色性明显，偶见绿泥石化。副矿物有磷灰石、锆石、电气石，金属矿物见白钨矿、锡石、黄铜矿、毒砂、方铅矿、铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿等(二大队，1993)。

表 3-5 阿尾花岗岩矿物含量表（据二大队）

矿物名称		黑云母二长花岗岩	
		中心相	边缘相
钾长石	正长石	15~25	50~60
	微斜长石	15~20	
斜长石		30~35	10~20
石英		20~25	25~30
黑云母		4~10	4~10

3．3．2 阿尾花岗岩的地球化学

阿尾隐伏花岗岩的岩石化学成分与薄竹山岩体的主体部分（黑云母二长花岗岩）十分接近（表 3-6），主要表现在 Si_2O、Fe_2O_3+FeO、Fe^{3+}/Fe^{2+}、Na_2O+K_2O、K_2O/Na_2O 、A/NKC 这些主要岩石学参数上的相似，Si_2O=65.47%~69.75%，（Na_2O+K_2O）=7.01%~8.18%，K_2O/Na_2O=1.40~1.61，A/NKC=1.16~1.29，DI=73.4~83.1，δ=1.83~2.80，AR=2.41~3.10，岩石化学成分及标准矿物计算结果见表 3-6。岩石富碱，二氧化硅过饱和，属铝过饱和系列，钾含量大于钠，Sr^{87}/Sr^{86} 初始值为 0.7144。据 Wright J B（1969）和 Pitcher W S （1993.）对花岗岩的分类，可以将它归入以沉积岩为主要源岩的花岗岩类，即 S 型花岗岩类。花岗岩黑云母 K-Ar 法同位素年龄为 87 百万年，Rb-Sr 全岩（5 件）及黑云母、钾长石等

时线年龄为 80 百万年（高子英，1996），属燕山晚期产物。

表 3-6　阿尾隐伏花岗岩的岩石化学成分

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
采样位置	ZK126-10				ZK130-11								薄竹山
SiO_2	68.22	68.19	65.47	67.64	69.87	66.40	64.75	62.96	65.64	69.75	66.46	67.23	67.55
TiO_2	0.57	0.57	0.67	0.42	0.48	0.65	0.42	0.49	0.34	0.52	0.61	0.49	0.46
Al_2O_3	14.27	14.63	15.03	15.51	14.27	14.71	14.67	15.29	15.51	13.97	15.29	15.16	15.01
Fe_2O_3	1.74	0.77	1.31	0.55	1.38	2.16	3.48	3.81	3.23	0.51	0.78	0.62	1.24
FeO	1.96	2.76	3.29	2.53	2.43	2.79	2.94	2.81	2.53	2.94	2.81	3.06	2.61
MnO	0.071	0.063	0.099	0.07	0.08	0.07	0.08	0.083	0.073	0.08	0.08	0.08	0.079
MgO	1.32	1.31	1.60	1.01	0.97	1.45	1.14	1.55	1.01	1.14	1.55	1.46	1.27
CaO	2.24	2.29	2.89	2.11	2.36	2.66	2.00	2.45	2.11	1.50	2.45	2.28	2.30
Na_2O	2.86	2.73	3.09	3.14	2.82	3.00	2.90	3.22	3.11	2.90	3.22	3.33	3.05
K_2O	4.40	4.54	4.33	5.02	4.19	4.40	4.97	4.89	5.32	4.97	4.89	4.85	4.44
P_2O_5	0.26	0.34	0.41	0.15	0.32	0.42	0.257	0.355	0.26	0.15	0.21	0.16	0.29
H_2O	0.92	1.06	1.13	0.60	0.84	1.00	0.34	0.50	0.60	0.64	0.50	0.56	0.88
K_2O+Na_2O	7.26	7.26	7.42	8.20	7.01	7.40	7.87	8.11	8.43	7.87	8.11	8.18	7.49
$FeO+Fe_2O_3$	3.76	3.53	4.60	3.08	3.81	4.92	6.42	6.62	5.76	3.45	3.59	3.68	3.85
Fe^{3+}/Fe^{2+}	0.80	0.25	0.36	0.20	0.51	0.70	1.07	1.22	1.15	0.16	0.25	0.18	0.43
C/NK	0.43	0.44	0.54	0.36	0.47	0.50	0.36	0.42	0.35	0.27	0.42	0.39	0.43
A/CNK	1.08	1.12	1.04	1.09	1.10	1.06	1.09	1.05	1.08	1.10	1.04	1.04	1.10
$\frac{K_2O}{(K_2O+Na_2O)}$	0.61	0.64	0.58	0.62	0.60	0.59	0.63	0.60	0.63	0.63	0.60	0.59	0.59
A	32.03	31.44	27.35	32.98	32.33	28.68	29.71	27.54	31.71	28.08	27.54	26.68	31.85
C	27.16	25.05	27.32	25.76	28.06	27.67	23.90	26.10	26.24	20.05	26.10	24.95	25.68
F	40.82	43.51	45.33	41.27	38.61	43.65	46.38	46.35	42.04	51.87	46.35	48.37	42.47

注：1 资料来源：二大队 2 薄竹山为 8 个样品平均分析结果

阿尾隐伏花岗岩的稀土元素组成及其特征值见表 3-7、表 3-8，可以看出，阿尾中细粒黑云母二长花岗岩之稀土含量与薄竹山黑云母花岗岩相比没有明显差异，稀土总量ΣREE=237.14~394.46×10^{-6}，LREE/HREE=7.73~10.33，属轻稀土富集型，δEu=0.46~0.49，表现出铕的弱负异常，Y/ΣREE=0.05~0.06，为富碱的壳型花岗岩；稀土配分的球粒陨石模式（图 3-8）也说明了它们的相似性。

表 3-7　阿尾中细粒黑云母二长花岗岩稀土元素含量表

№	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	TM	Yb	Lu	Y
1	52 62	104.37	9.96	35.93	6.23	0.86	4.28	0.47	3.19	0.63	1.65	0.24	1.50	0.13	15.08
2	93.46	179.33	16.88	59.30	9.52	1.14	6.32	0.65	4.16	0.76	2.11	0.30	1.80	0.16	18.57
3	63.0	122.38	11.75	42.26	7.19	0.99	5.08	0.55	3.35	0.63	1.62	0.18	1.25	<0.1	14.20
4	85.74	164.81	15.70	35.07	9.02	1.12	5.77	0.65	3.86	0.81	1.97	0.29	1.69	0.23	17.53
5	71.51	143.83	12.86	48.65	8.23	1.16	7.27	0.85	3.53	0.64	2.09	0.29	1.76	0.24	17.85
6	73.26	146.60	13.27	49.51	8.30	1.13	7.05	0.81	3.62	0.68	2.27	0.32	1.94	0.22	18.80
7	0.32	0.94	0.12	0.60	0.20	0.073	0.31	0.05	0.31	0.073	0.21	0.033	0.19	0.031	1 96

资料来源：二大队。前 4 个为阿尾中细粒黑云母二长花岗岩，后两个为薄竹山黑云母花岗岩，7 为 22 个球粒陨石与 1 个 9 个球粒陨石组合样的 26 次测定的平均值。

表 3-8 阿尾中细粒黑云母二长花岗岩稀土元素特征值

№	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	L/H	(La/Yb)	La/Sm	Gd/Yb	Ce/Yb	Sm/Nd	δEu
1	237. 14	209. 97	27. 17	7. 73	20. 83	5. 28	1. 75	14. 06	0.52	0. 52
2	394. 46	359. 63	34. 83	10. 33	30. 83	6. 14	2. 15	20. 14	0.48	0. 46
3	274. 53	247. 57	26. 96	9. 18	29. 93	5. 48	2. 49	19. 79	0.51	0. 52
4	344. 26	311. 46	32. 80	9. 50	30. 12	5. 94	2. 09	19. 71	0.77	0. 48
5	320. 76	286. 24	34. 52	8. 29	24. 12	5. 43	2. 53	16. 52	0.51	0. 49
6	327. 78	292. 07	35. 71	8. 18	22. 42	5. 52	2. 23	15. 27	0.50	0. 48

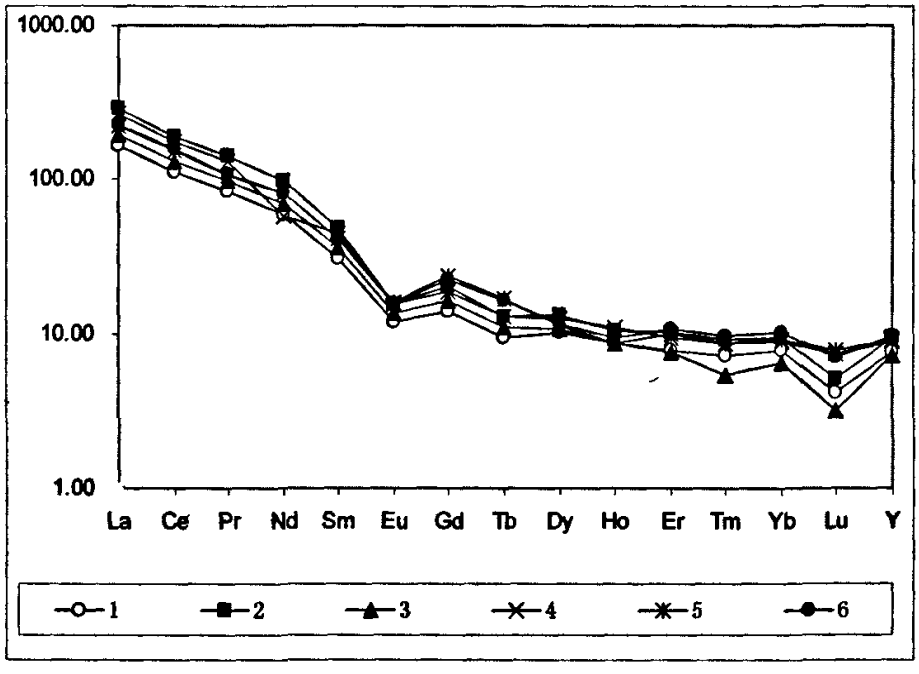


图 3-8 阿尾中细粒黑云母二长花岗岩稀土元素配分曲线

第四章 矿床地质特征

4．1 矿体的基本特征

据钻孔和坑道工程控制，白牛厂矿床已发现大小矿体近百余个，主体呈脉状。最大、最重要的是 V_1 矿体。

V_1 矿体分布于咪尾、白羊、穿心洞、对门山、阿尾五个矿段，倾向延长大于 5 千米，总体宽大于 2 千米，倾角 15^0-30^0。北界为 F_3 断裂，东、西、南均未圈闭，呈缓倾、大体顺层的脉状，严格受 F_3 断裂带的控制（图 4-1）。矿体厚度 2-10 米，局部达 24 米。矿体中银、铅、锌、锡、铜组分均可构成独立的工业矿体，这些矿体在空间上基本重合，组成多组分共生矿。银矿体、铜矿体和锡矿体大部分包于铅锌矿体中。在矿体北部，局部见四者重合，南部有个别工程亦见银矿体大于铅锌矿体。铜矿体主要位于南部，北部矿体中仅为伴生组分。V_1 矿体

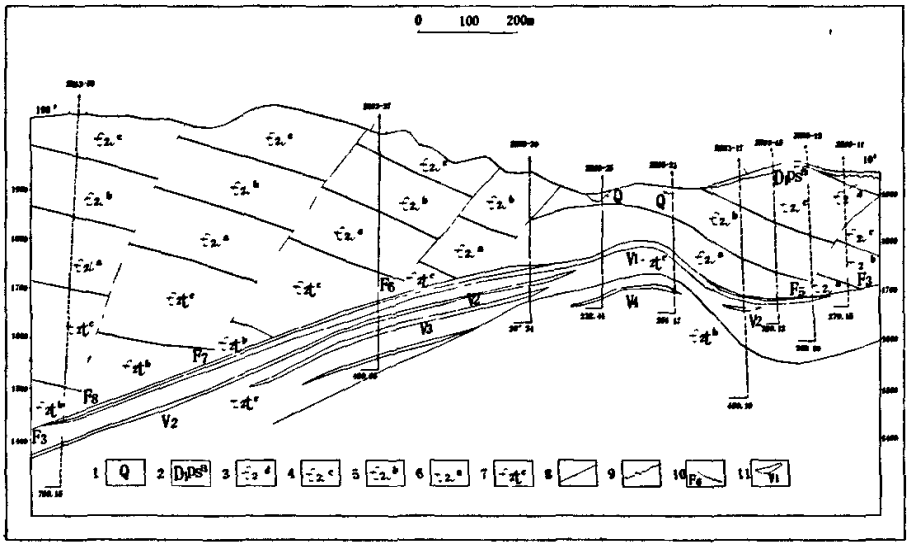


图 4-1 白牛厂矿床 63 线地质剖面简图

1 砂、砾、粘土 2 中至粗粒砂岩、含砾砂岩 3 粉晶白云岩、内碎屑白云岩 4 粉砂白云岩、白云岩 5 白云岩、粉砂质白云岩、蠕状白云岩 6 白云岩、粉砂质白云岩、白云质粉砂岩 7 灰岩、蠕状灰岩、核形石灰岩、粉砂岩 8 地质界线 9 不整合地质界线 10 断层及编号 11 矿体及编号

资料来源：二大队

中各成矿元素含量为：银含量范围 1.4~2000g/t，平均 180g/t 左右；锡含量变化范围 0%~10.27%，平均 0.38%；铅含量变化范围为 0.03%~24.88%，矿床平均 2.63%；锌含量 0.02%~22.14%，平均为 3.77%。V_1矿体主要由块状矿石、稠密浸染状矿石、脉状矿石、浸染状矿石、角砾状矿石及压碎条带状矿石组成。据粗略统计，以浸染状矿石为主，所占比例达 52%；其次为稠密浸染状矿石、脉状矿石和块状矿石，所占比例分别为 15%、15%和 12%。由东向西具有浸染状、稠密浸染状矿石为主—块状浸染状、脉状矿石为主—脉状、浸染状矿石为主的变化趋势。角砾状矿石和压碎条带状矿石常见于矿体厚大部位。块状矿石（富矿体）往往呈大小不等的陡倾脉体产出，在矿体中呈斜列式展布，其走向与主矿体斜交，倾角较主矿体陡，受 F_3 的侧羽裂隙及近南北向构造控制；剖面上随着矿体厚度的增大，块状矿石所占比例亦相应增加。从成矿元素的分布上看，具南铜、北银（锡）的矿化分带特征。北部富银、锡的铅锌矿石，由方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、锡石及银和锡的硫化物或硫盐矿物组成，以块状、角砾状、浸染状构造为主。南部富铜矿石，由磁黄铁矿、铁闪锌矿、毒砂、黄铁矿以及黄铜矿组成，多为浸染状矿石。

穿心洞脉状矿体产于穿心洞矿段 V_1矿体之上（图 4-2），围岩为田蓬组顶部和龙哈组底部的碳酸盐，矿体受北西西向张裂控制，呈脉状、透镜状产出，倾向南西 198^0-230^0，倾角 20^0-58^0，与地层层理面交角约 40^0。矿体长 340 米，厚 0.67-7.10

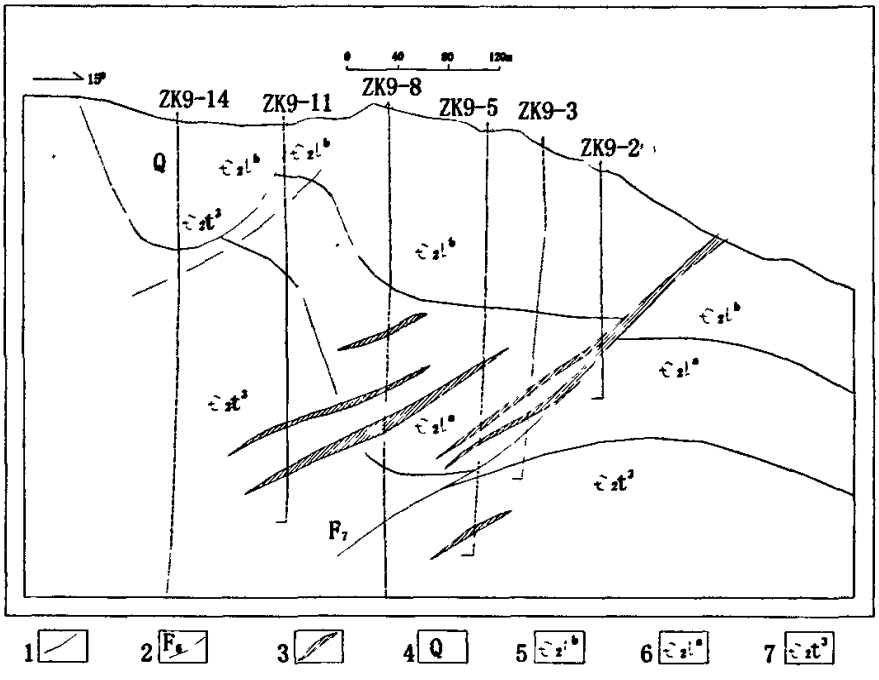


图 4-2　白牛厂矿区穿心洞矿段第 9 勘探线地质剖面简图（据二大队资料修编）

1 地层界线　2 断层及编号　3 矿体　4 第四系　5 龙哈组第二段　6 龙哈组第一段　7 田蓬组第三段

米，主要由浸染状、脉状、块状、角砾状矿石组成。矿石矿物有方铅矿、铁闪锌矿、黄铁矿、少量磁黄铁矿、锡石，还有黄铜矿和毒砂。

咪尾脉状矿体位于咪尾矿段 V_1 矿体之上，沿 F_3 断裂产出，走向长 100 余米，沿倾向延伸 300 余米，厚 0.66~1.22 米，倾角 30^0~50^0，矿体含银 317.13 克/吨，锡、铅、锌含量不高。断裂破碎带上盘龙哈组白云岩中见有两层似层状锑矿，其厚度为 1.79~1.88 米，含锑 1.08~1.46%。

此外，在阿尾隐伏花岗岩体顶部接触带，也见到一些脉状矿（化）体，其特征将在下一章中详述。

4．2 主要矿石类型

按矿石组构特征可划分为块状矿石、浸染状矿石、稠密浸染状矿石、脉状网脉状矿石、角砾状矿石和压碎条带状矿石。

根据主要矿石矿物可以分为黄铁矿-毒砂-磁黄铁矿-闪锌矿矿石、方铅矿-闪锌矿-黄铁矿-磁黄铁矿矿石、方铅矿-闪锌矿-白铁矿矿石、锡石矿石、磁黄铁矿-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿矿石、磁黄铁矿-黄铁矿-锡石-黄铜矿矿石、磁黄铁矿-黄铜矿矿石等。

按主要成矿元素组合特征可分为银矿石、银铅锌矿石（包括银铅矿石）、银铅锌锡矿石、银铜锌锡矿石、含银铜矿石、铅锌矿石、铅锌锡矿石等。其中最主要的矿石为银矿石、银铅锌矿石、银铅矿石和银铅锌锡矿石。

银铅锌锡矿石在矿体中所占储量比例大于 90%，为本矿床最主要的矿石类型。矿石中银品位 117~306g/t，锡品位 0.40~5.73%，铅品位 1.13~5.60%，锌品位 1.24~8.11%。矿石结构以粒状镶嵌结构为主，并可见包嵌结构、交代溶蚀结构、固溶体出溶结构以及变质作用形成的结构等。矿石构造有角砾状、浸染状、稠密浸染状、细脉网脉状、压碎条带状及块状构造等。矿石矿物主要有黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿、毒砂、锡石、硫锑铅矿等，脉石矿物有石英、方解石、铁白云石、绿泥石、绢云母等。

4．3 矿石组构特征

4．3．1 矿石结构

沉积结构：细-粗粒黄铁矿呈自形晶结构，白云岩及灰岩中偶见粗粒方铅矿

呈自形晶结构。

结晶作用形成的结构主要有（1）自形半自形粒状结构：自形毒砂、黄铁矿、锡石，半自形黄铁矿、白铁矿、它形方铅矿、铁闪锌矿、黄铜矿等彼此嵌布，呈规则或不规则连生；（2）纤维状、板状、束状、放射状结构：纤维状白铁矿、黄铁矿集合体呈束状分布在金属矿物粒间或脉石中。板条状白铁矿、黄铁矿交织分布呈放射状或格架，粒状金属矿物或脉石矿物充填于格架中；（3）各种包嵌结构：一种矿物嵌布或包含在另一种或几种矿物中，按其嵌布特征又可分为粒状包嵌结构、溶蚀状包嵌结构、边刺状包嵌结构等，主要是毒砂、细粒黄铁矿、锡石包嵌在其它几种硫化物如方铅矿、闪锌矿中；（4）包裹体结构：微细矿物呈包裹体包于另一种矿物中。

固溶体出溶结构主要有乳滴状结构、叶片状结构和格状结构。黄铜矿、磁黄铁矿在铁闪锌矿中呈乳滴状、叶片状、格状分泌物。

交代溶蚀作用形成的结构有（1）溶蚀结构：主要是毒砂、黄铁矿被其它金属硫化物溶蚀呈骸晶状、混圆状，方铅矿、铁闪锌矿被磁黄铁矿溶蚀呈不规则状；（2）交代脉状网状结构：方铅矿或铁闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿呈细脉穿切交代其它金属硫化物或脉石，黄铜矿沿铁闪锌矿裂纹交代呈网脉。

动力作用形成的结构有（1）碎斑结构：早期形成的黄铁矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、毒砂等，被挤压破碎，被晚期的矿物如闪锌矿、方铅矿、白铁矿等充填胶结；（2）糜棱结构：毒砂、黄铁矿呈糜棱状被磁黄铁矿胶结；（3）柔褶结构：硫化物细脉受挤压形成简单小褶皱，或白铁矿板状集合体受挤压形成弯曲皱纹状；（4）斑状变晶结构：自形黄铁矿、毒砂呈粗大变斑晶分布在白铁矿、磁黄铁矿基质中。

4．3．2 矿石构造特征

白牛厂矿床的矿石构造，可以分为四类：一类为沉积作用形成的构造；另一类为热液作用形成的构造；第三类为动力作用形成的构造；第四类为表生氧化构造，与矿床形成关系不大，本文不予讨论。

沉积作用形成的构造主要有稀疏-星散浸染状构造和层纹状构造。前者指磁黄铁矿、黄铁矿或铁闪锌矿等硫化物呈稀疏或星散状分布于砂、泥质或碳酸盐的条纹或条带中，后者指硫化物与砂、泥质岩石或碳酸盐岩构成纹层或条带。

热液作用形成的构造有（1）块状构造：主要由金属硫化物组成，脉石矿物很少。在银铅锌块状矿石中，黄铁矿和磁黄铁矿等常组成团块状、斑点状、板状等集合体，其间充填铅锌硫化物集合体和银的硫锑盐矿物，反映黄铁矿、磁黄铁矿等开始结晶较早，而铅锌银硫化物和硫盐矿物开始结晶相对较晚。在有的块状

矿石中，早期黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等集合体呈角砾状，被晚期铅锌银硫化物和硫盐矿物集合体胶结，反映了多阶段成矿特点；(2) 稠密浸染状构造：金属硫化物黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、铁闪锌矿等聚集成斑点状、团块状、花斑状分布在脉石中，含量50~80%，分布较广泛，为矿石的主要构造类型，在平面上的分布大致与块状矿石吻合；(3) 浸染状构造：金属硫化物呈星点状分布于脉石中，含量10~15%，为矿石重要的构造类型，在矿体中广泛分布，但主要集中于块状构造和稠密浸染状构造分布区的外缘呈不规则状环带分布；(4) 脉状和细网脉状构造：在矿床内很发育，由矿液充填形成，脉体大小不一，有脉状、细脉状、网脉状、交错脉状等，通常是在岩石的裂隙中形成脉体，有时是晚期矿脉充填在破碎了的早期矿石裂隙中。在细碎屑岩中，有时可见硫化物细脉充填于网脉状网状裂隙中，形成网脉状构造；(5) 条带状和条纹状构造：仅分布在局部地段，由硫化物组成的细脉与脉石矿物相间组成。有时，微细粒黄铁矿和磁黄铁矿集合体沿黑色板岩层理呈微层状分布；(6) 团块状构造：由硫化物集合体交代碳酸盐岩或碳酸盐岩中的鲕粒、生物碎屑、结核而成。

动力作用形成的构造有（1）角砾状构造：金属硫化物集合体充填在破碎带中，胶结构造角砾，或早期形成的矿石破碎成角砾，被晚期银铅锌硫化物组合胶结，形成角砾状构造；(2) 碎裂构造：早阶段的毒砂、黄铁矿、铁闪锌矿受挤压形成棱角状和透镜状被晚阶段的磁黄铁矿、白铁矿胶结而成；(3) 压碎条带状构造：毒砂、黄铁矿、铁闪锌矿呈压碎之不规则条带，被晚期形成的矿石胶结；(4) 柔皱构造：铅锌和铅锌银矿石遭受构造作用，受到挤压，黄铁矿、闪锌矿等发生碎裂，而方铅矿集合体发生柔皱甚至出现塑性流动，形成柔皱构造。

4．4 矿石中主要金属矿物特征

白牛厂矿床的矿石矿物成分复杂，但常见矿物种类不多，最主要矿石矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、锡石等。

方铅矿：方铅矿是白牛厂矿床各类矿体的主要金属矿物之一，也是最重要的银的载体矿物。从方铅矿微量元素分析结果（表4-1）可以看出，方铅矿中的银含量变化比较大。最低者仅8.3ppm，高者可达7000ppm。含银量的极大差异除类质同象因素外，方铅矿中往往含有较多柱状或针状矿物包裹体也是一个不可忽视的因素，据研究，这些包体矿物主要是硫锑铅矿、深红银矿等铅、银硫盐矿物（江鑫培，1994）。方铅矿呈粒状集合体或致密块状、细脉状、网脉状产出。粒状者多呈半自形-它形，粒径0.001~0.5mm，一般0.10~0.25mm。集合体大于1mm，含量约3.1%。半自形粒状者分布在黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿粒间，它形粒状者与磁黄铁矿、硫锑铅矿、黝锡矿、辉锑锡铅矿、黄铜矿等呈溶蚀状嵌

包于上述矿物以及银矿物、锡石等矿物中，亦见呈细脉、网脉穿切交代黄铁矿、白铁矿、铁闪锌矿及磁黄铁矿。方铅矿可分为两个世代：第一世代方铅矿与黄铁矿、磁黄铁矿及第二世代闪锌矿等共生，Sb/(As+Bi)<1；第二世代方铅矿与黄铁矿、白铁矿及第三世代闪锌矿、硫盐矿物等共生，Sb/(As+Bi)> 4.7。白牛厂矿床大部分的方铅矿含有较高的 Bi，含量 1.45~2.65wt%，且 Ag 和 Bi 含量呈显著正相关关系。

表 4-1 白牛厂银多金属矿床方铅矿微量元素化学分析结果表(ppm)

样号	样位	方铅矿产出特征	As	Sb	Bi	Cd	Mn	Ag	Hg	Se	Te	注
YD1	PD200-YD1 沿脉	条带状铅锌矿石	9700	52000	<0 5	26		569	0 1	0 2	<1	2
YD3	PD200-YD3 沿脉	条带状铅锌矿石	5600	2500	<0 5	115		1000	0.2	0 8	<1	2
L1-5	ZK77-3,151m	角砾状铅锌矿石	19000	1300	13	408		516	0 1	23	<1	2
L1-6	ZK77-3,151m	角砾状铅锌矿石	44000	1100	0 9	574		861	0 1	0 4	<1	2
B244	Zk78-3,151 3m	含锡铅锌矿石	19.2	100 6	21	35 4	214 3	5800	1 97			2
H33-2	PD210 矿石堆	铅锌矿石	735	1100	25	36.2	199 8	7000	1 06			2
白羊矿段矿石（均值）			13065	9683	3.250	229 1	207 05	2624	0 59			
A52	ZK13-4,168m	细脉状银矿石	125 5	107.2	64	101	32 8	24 6	0 34			2
H7	PD108 矿石堆	银铅锌矿石	47 4	326 5	2 8	40 9	200 6	368 6	1 17			2
H25	咪尾露头矿	氧化矿石	95.2	45 5	4 3	0 5	83 0	29 8	0 65			2
咪尾-穿心洞-阿尾矿段矿石（均值）			89.37	159 73	4.5	17 17	105 47	141 0	0 72			
B57	ZK57-13,117 2m	白云岩	96 4	89 3	5.1	8 4	47 9	58 1	0 55			2
B57	ZK57-13,117.2m	白云岩	32 5	417 5	3 6	31 5	215 3	170	1 58			2
B4	ZK57-17,419 7m	粉砂质泥岩	89 1	3000	4.3	33 9	206 5	4700	1 25			2
A5	ZK130-11,265m	角砾状白云岩	65 1	825 3	2 5	40 1	192 7	1500	2 43			2
H29	牛作底跑马山	灰质白云岩	102 2	102 4	4 5	0 5	76.2	8.3	0 76			2
D1-3	对门山 1780 中段	浸染状铅锌矿石	78	4200	6 31	0 093	0 055	2551 5	0 633			1
矿化岩石（均值）			77 6	886 9	4 0	22 88	147 72	1593 28	1 31			

资料来源：1 本文（测试单位：有色金属桂林矿产地质测试中心，杨中平）；2 二大队，1993

闪锌矿：闪锌矿是白牛厂矿床的另一主要金属矿物，普遍颜色较深，一般呈半自形粒状，粒径 0.1~0.5mm，集合体 1.0~1.5mm，分布在磁黄铁矿、黄铁矿、白铁矿、毒砂晶粒间，亦有一部分呈 0.001~0.01mm 细小包体包于方铅矿、硫锑铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿、白铁矿等矿物中。闪锌矿可分为三个世代：第一世代闪锌矿与锡石、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等共生，铁含量 10.01%~14.38%，属于铁闪锌矿；第二世代闪锌矿与黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿等共生，铁含量 8.01%~9.89%，仍属铁闪锌矿；第三世代闪锌矿与黄铁矿、白铁矿、方铅矿、硫盐矿物等共生，铁含量 3.9%~4.80%，为闪锌矿。据叶庆同的研究，从第一世代至第三世代的闪锌矿，随铁含量由高至低，其矿化温度也逐步降低。每个世代闪锌矿的主元素，随着逐渐远离隐伏花岗岩体，或者从深部向浅部，作有规律的变化，即铁、锰、镉等含量降低，锌含量增高（表 4-2）。

对闪锌矿中微量元素分析结果（表 4-3）的统计分析表明，闪锌矿中微量元素含量变化较大，其规律不明显，不少闪锌矿有较高的银含量。徐国风（1979）的研究成果表明，低温闪锌矿中 Ga/In 比值平均为 0.015，中温闪锌矿 Ga/In 比值平均为 0.10，高温闪锌矿 Ga/In 比值平均为 11.0。白牛厂矿床的闪锌矿中富 In 低 Ga、Ge，Ga/In 比值为 0.01~0.82。说明本区闪锌矿多数属于中温闪锌矿。

表 4-2 白牛厂矿床闪锌矿化学成分表（常量%）

样号	采样位置	闪锌矿产出特征	Zn	Fe	Mn	Cu	Pb	S
A2	ZK130-11,231m	浸染状矿化白云岩	56.73	9.53	0.45	0.32	0.000	32.79
A11-1	Zk130-11,321m	大理岩化灰岩	54.24	11.87	0.24	0.00	0.00	32.79
A12	ZK130-11,323 m	浸染状矿石	55.09	11.34	0.15	0.00	0.00	32.90
A13-1	ZK130-11,327m	透闪石黑云母角岩	54.07	12.18	0.22	0.00	0.00	32.93
A52	ZK130-11,168 m	细脉状银矿石	58.85	8.15	0.10	0.24	0.00	36.62
B113	ZK57-1,200m	构造角砾岩	57.16	10.08	0.18	0.00	0.00	32 66
H25	咪尾矿体露头	氧化矿石	58.01	9.12	0.14	0.21	0.01	32 15
B162	ZK57-7,285 m	块状矿石	58.35	9.01	0.12	0.21	0.00	32.12
B130-2	ZK57-9,400 m	泥质条带石英砂岩	55.13	11.19	0.20	0.21	0.03	32.56
B45	ZK57-11,382 m	细脉浸染状矿石	59.06	8.01	0.09	0.18	0.00	32.55
B3	ZK57-17,414 m	矿化粉砂质泥岩	58.12	8.31	0.21	0.23	0.06	32.76
B5	ZK57-17,420 m	细脉浸染状矿石	59.22	8.63	0.15	0.25	0.00	32.10
B7	ZK57-17,461 m	粉砂岩	57.55	10.01	0.21	0.00	0.00	32.40
B8	ZK57-17,501 m	辉锑矿微晶白云岩	57.46	9.89	0.10	0.20	0.00	32.56
B211	ZK57-33,259 m	磁黄铁矿矿石	57.89	9.57	0.11	0.22	0.00	32.46
H33-1	PD210 矿石堆	铅锌矿石	55.56	10.29	0.21	0.34	0.26	32.85
H54	PD210 矿石堆	块状铅锌矿石	55.33	11.84	0.25	0.21	0.15	32 51
H58	PD210 矿石堆	棕色闪锌矿石	54.12	13.04	0.22	0.28	0.08	32.06
C34-1	ZK9-2,116 m	灰质白云岩	56.18	10.11	0.23	0.25	0.07	32.21
B13-1.1	穿心洞民采点	块状黄铁矿铅锌矿石	53.47	12.74	0.00	0.07	0.00	33.58
N14.4	ZK210-32,124 m	豆状黄铁矿闪锌矿矿石	56.59	9.63	0.00	0.00	0.00	32.93
N1-4.3	ZK210-32,124 m	豆状黄铁矿闪锌矿矿石	56.60	9.52	0.00	0.00	0.01	32.71
N1-6.1	ZK210-32,128 m	条带状黄铁矿闪锌矿矿石	55.66	10.36	0.11	0.04	0.16	32.65
L1-5	ZK77-3,151 m	角砾状铅锌矿石	50.59	14.60	0.00	0.15	0.02	33.41
L1-7	ZK77-3,158 m	角砾状铅锌矿石	49.70	15.26	0.00	0.04	0.00	34.87
L4-2	ZK58-6,190 m	角砾状铅锌矿石	51.45	13.78	0.00	0.06	0.06	34.46
III9-2	ZK74-42,190 m	浸染状矿石	57.53	11.98	0.00	0.03	0.05	34.70
III5-1	ZK74-42,426 m	条纹条带状磁黄铁矿矿石	54.49	10.40	0.00	0.00	0.00	33.79
A5	ZK130-11,765 m	大理岩化灰质白云岩	60.54	6.15	0.06	0.12	0.00	32.41
B4	ZK57-17,419.7 m	矿化粉砂质泥岩	62.44	4.80	0.06	0.10	0.07	32.58
B24-4	ZK78-3,151.3 m	含锡铅锌矿石	60.82	6.01	0.07	0.05	0.00	32.49
H50	PD210 矿石堆	块状铅锌矿石	63.33	3.99	0.06	0.10	0.00	32.50
C18	ZK9-8,164.5 m	浸染状矿石	58.21	3.69	0.16	0.15	0.00	32.47
I 5-2A	ZK79-42,,154 m	角砾岩化白云岩	60.75	2.74	0.00	1.59	0.79	30.89
I 11	ZK79-42.420m	绿泥石化粉砂质泥岩	57.38	5.52	0.00	0.47	0.00	34.07
III1-12	ZK74-42,312m	角砾状黄铁矿闪锌矿矿石	58.77	5.99	0.00	0.25	0.00	33.97
M1-1. 2	ZK94-36,183m	矿化角砾状白云岩	60.82	5.19	0.25	0.09	0.00	33.36
M4-3	ZK94-36,185m	矿化柔皱条带状白云岩	62.45	4.31	0.02	0.08	0.02	32.89
L4-4	ZK58-6,190m	角砾状铅锌矿石	56.51	7.91	0.00	0.02	0.00	33.29

资料来源:二大队，1993

表 4-3　白牛厂矿床闪锌矿微量元素化学分析成分表（ppm）

样号	样位	闪锌矿产出特征	Cd	Hg	Sb	Bi	Zn	Ga	Ge	Ag	Au	Se	Te	Ge/Zn
III3-4	ZK74-42,399m	条带状黄铁矿石	916				91	8		750	12	<1	<5	0 09
III1-1	ZK74-42,312m	角砾状铅锌矿石	3				191	5		128	13	<1	<5	0 03
I 13-34	ZK79-42,362m	条带状黄铁矿石	2				51	<1		439	14	<1	<5	
坑 1		块状铅锌矿石	2				51	<1		138	7	<1	<5	
L4	ZK58-6,189m	角砾状铅锌矿石	2				205	4		401	7	<1	<5	0 02
L1-6	ZK77-3,151m	角砾状铅锌矿石	1900				281			300	0	0	<1	0 02
A28	ZK126-6,269m	脉铅锌矿石	3				943	7		59	5	2	<5	0 01
A24	ZK126-6,353m	条带状闪锌矿	3				362	3		439	14	<1	<5	0 01
B244	ZK78-3,151m	含锡铅锌矿石	500	0	900	4	21	4	1	227	1			0 43
B211	ZK57-33,259m	磁黄铁矿石	2200	100	0	4	30	9	<1	74	2			0 30
B162	ZK57-7,286m	块状矿石	2100	100	100	3	55	9	<1	125	3			0 16
B45	ZK57-11,382m	细脉浸染矿石	1800	0	100	37	61	9	<1	68	1			0 15
B5	ZK57-17,420m	细脉浸染矿石	2500	0	0	6	21	11	<1	0	0			0 52
H50	PD210 矿石堆	块状铅锌矿石	1000	0	840	2	11	9	1	249	1			0 82
H58	PD210 矿石堆	棕色闪锌矿石	2820	1	1040	950	107	3	1	100	1			0 03
H54	PD210 矿石堆	块状闪锌矿石	2100	0	1200	100	1	0	0	0	0			
B33-1	PD210 矿石堆	铅锌矿石	3400	0	400	130	150	0	0	0	0			
B8	ZK57-17,501m	微晶白云岩	2000	100	0	1	37	8	<1	0	0			0 22
B7	ZK57-17,461m	粉砂岩	3600	0	100	110	120	0	0	0	0			
B3	ZK57-17,414m	粉砂质泥岩	2300	100	0	31	15	9	<1	0	0			0 60
B4	ZK57-17,419m	粉砂质泥岩	1000	0	500	2	22	9	1	0	0			0 41
B130-2	ZK57-9,400m	条带石英砂岩	3000	0	100	150	150	0	0	800	0			
B113	ZK57-1,200m	构造角砾岩	2700	0	100	100	140	0	0	0	0			
A52	ZK130-4,168m	细脉状银矿石	2400	0	200	30	25	6	<1	86	0			0 24
A12	ZK130-11,323m	浸染状矿石	2700	0	100	120	140	0	0	500	0			
A2	ZK130-11,231m	浸染矿化白云岩	3200	100	100	10	90	0	0	0	0			
A11-1	ZK130-11,321m	大理岩化灰岩	4700	0	100	90	100	0	0	0	0			
A13-1	ZK130-11,327m	透闪黑云母角岩	2100	0	0	100	15	0	0	600	0			
A5	ZK130-11,265m	大理岩化白云岩	1200	0	60	3	40	9	1	211	0			0.23
C18	ZK9-8,165m	浸染状铅锌矿石	1500	100	0	4	27	8	<1	110	1			0.30
C34-1	ZK0-2,116m	灰质白云岩	2450	133	390	2	2	8	<1	110	1			4
H25	喋尾露头矿	氧化矿石	2100	1	100	3	54	8	<1	96	0			0 15

资料来源：二大队，1993

黄铁矿：黄铁矿在白牛厂矿床中分布极广，含 Fe46.61%~47.64%、S 52.26%~52.92%、Sb 0.00%~0.07%、As0.00%~0.05%（江鑫培，1990），呈粒状、板条状及胶状等。粒状者呈自形-它形，常见正方形、五角形、长方形及不规则切面，粒径 0.01~2mm，以 0.1~0.5mm 为主；板条状者交织分布或构成格架被方铅矿、铁闪锌矿充填，有的沿磁黄铁矿边缘穿插呈边刺状；胶状者呈胶环状或团块状分布。集合体呈块状、团块状、浸染状、斑杂状、细脉状等。黄铁矿可分为

四个世代：第一世代黄铁矿为围岩蚀变产物，与石英、碳酸盐矿物等共生，呈立方体自形、半自形晶浸染状产出，有时呈细脉充填于裂隙中；第二世代黄铁矿与磁黄铁矿、黄铜矿、铁闪锌矿、毒砂、锡石等共生，呈立方体或立方体聚形，常破碎而被晚期矿物交代溶蚀；第三世代黄铁矿与磁黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿等共生，呈立方体、五角十二面体自形晶、半自形晶；第四世代黄铁矿与白铁矿、方铅矿、闪锌矿、硫盐矿物等共生。

黄铁矿中微量元素含量或比值已经被广泛用来研究黄铁矿的成因（白金刚、池三川等，1995）。通常情况下，与岩浆或火山热液有关的黄铁矿的Co/Ni>1，而沉积成因或改造成因的黄铁矿，其Co/Ni<1（涂光炽,1984,1987）。从表4-4可以看出，本区黄铁矿的Co/Ni均小于1，说明黄铁矿为沉积或沉积加改造成因。

表 4-4　白牛厂矿床黄铁矿微量元素分析结果

样号	样品位置	黄铁矿产出特征	Co	Ni	Se	Te	Bi	Sb	In	Ag	Au	Σ	Co/Ni
A2	ZK130-11，231m	浸染状矿化白云岩	12.5	46.7	82.3	22.4	0.8	4.5	7.6	10.5	<1.5	188.8	0.27
B18	ZK57-4,160 m	黄铁矿化粉砂岩	16.2	48.5	96.6	26.8	0.5	6.1	5.8	12.1	<1.5	214.1	0.34
B3	ZK57-17,413.5 m	矿化粉砂质泥岩	29.1	36.5	12.7	27.4	92.5	3.6	21.3	15.5	<1.5	240.1	0.80
B8	ZK57-17,500.5 m	浸染状脉状矿石	11.6	32.3	5.1	5.5	9.5	9.3	12.7	131.5	<1.5	218.9	0.36
H40	PD210 矿石堆	块状铅锌矿石	10.5	29.4	12.5	16.8	8.3	10.0	10.6	120.3	<1.5	219.9	0.36
H49	PD210 矿石堆	细脉黄铁矿矿石	17.2	28.4	31.1	50.0	93.9	3.9	20.5	16.0	<1.5	263.0	0.63
H58	PD210 矿石堆	棕色闪锌矿矿石	42.1	181.1	5.9	14.8	143.1	4.2	24.7	40.4	<1.5	457.8	0.23
H59	PD210 矿石堆	豆状黄铁矿矿石	11.0	18.2	23.3	22.9	0.4	46.3	9.5	111.2	<1.5	249.3	0.88
C22	ZK9-8,273.6 m	蠕状白云质灰岩	15.8	20.8	5.1	6.1	71.6	6.4	19.5	17.8	<1.5	146.6	0.76
C39	ZK9-11,269 m	灰岩	13.7	19.1	24.8	21.4	0.3	41.9	10.2	406.0	<1.5	538.9	0.72
A24	ZK130-2,8.3 m	碎屑灰岩	1.9	4.6	<1	<5			16.0		2.0	30.5	0.41
P6	ZK1-5,395 m	条带状磁黄铁矿矿石	34.0	86.0	12.0	<5			<3		3.4	143.4	0.40
I13-3A	ZK79-42,349 m	条带状磁黄铁矿矿石	21.0	11.0	<1	<5			<3		3.9	44.9	1.91
III1-1	ZK74-32,312 m	角砾状铅锌矿石	19.0	21.0	<1	<5			<3		2.9	51.9	0.90
L4	ZK58-6,189 m	角砾状铅锌矿石	6.8	7	<1	<5			10.0		3.0	33.4	0.89
L1-5	ZK71-3,151 m	角砾状铅锌矿石	24.0	38.0	1.7	<1			16.0		0.3	81.0	0.63
Y03	PD210,YD3	条带状铅锌矿石	3.0	23.0	0.2	<1			6.0		0.2	33.4	0.13
A26	ZK126-6,269 m	细网脉状铅锌矿石	24.0	151.0	2.0	<5			9.0		4.3	195.4	0.16
A28	ZK126-6,353 m	条带状黄铁闪锌矿石	1.9	4.6	<1	<5			16.0		2.0	30.5	0.41
B4-1	白羊 1710 中段	块状铅锌银矿石	9.6	20			26.2	12.6	18.4	389.8			0.48
D2-1	对门山 1780 中段	稠密浸染状铅锌矿石	11	18			27.5	14.0	34.9	361.8			0.61

资料来源：后两个样为本文（由有色金属桂林矿产地质测试中心杨中平测试），其余据二大队（1993）

磁黄铁矿在白牛厂矿床中分布极为广泛，呈板条状或粒状。板条状者粒度0.01mm×0.05mm~0.25mm×1mm，一般为0.01mm×0.15mm~0.01mm×0.50mm；粒状者呈半自形-它形，粒度0.01~1mm，一般为0.10~0.25mm，常与方铅矿、铁闪锌矿呈溶蚀状嵌布交生，有的与细小银矿物、黝锡矿连生包于方铅矿中，局部交代白铁矿呈板条状、束状假相。亦见其粒状集合体边缘被白铁矿、黄铁矿晶体呈边刺状穿插嵌布。集合体呈纤束状、纹带状和细脉状。分为两个世代：第一世代磁黄铁矿与黄铁矿、毒砂、黄铜矿、铁闪锌矿等共生，呈板状或自形粒状，常被白铁矿交代溶蚀；第二世代磁黄铁矿与黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿等共生，常被白铁矿、方铅矿、闪锌矿交代。与黄铁矿类似，由白牛厂矿床磁黄铁矿中的微量元素分析结果（表4-5）可以看出，本区磁黄铁矿中Co/Ni比值也均小于1，显示了它的沉积成因或沉积改造成因。

表4-5 磁黄铁矿微量元素分析结果（%）

样号	样品位置	样品名称	Co	Ni	Se	Te	In	Au	Σ	Co/Ni
I 13-5	ZK79-42,363m	条纹条带状黄铜矿或闪锌矿的磁黄铁矿矿石、块状铅锌矿石、浸染状铅锌矿石	0.0061	0.0101	0.0045	<0.0050	<0.0030	0.0034	0.0321	0.61
I 13-6A1	ZK79-42,365m		0.0056	0.0120	0.0055	0.0053	<0.0030	0.0053	0.0367	0.47
I 13-6A2	ZK79-42,365m		0.0077	0.0140	0.0450	<0.0050	<0.0030	0.0046	0.0793	0.55
I 14-1	ZK79-42,376m		0.0100	0.0290	0.0140	<0.0050	<0 0030	0.0430	0.1040	0.34
I 15-1、	ZK79-42,395m		0.0390	0.0056	0.0054	0.0058	<0.0030	0.0058	0.0646	0.70
P6	ZK1-5,395m		<0.0010	<0.0030	0.0044	<0.0050	<0.0030	0.0036	0.0200	
III3-4	ZK74-42,399m		0.0079	0.0320	0.0039	<0.0050	0.0030	0.0033	0.0551	0.25
B3-1	白羊1710中段		3.4	11			37.1			0.31
D3-2	对门山1780中段		4.1	14			2.32			0.29

资料来源：后两个样为本文（由有色金属桂林矿产地质测试中心杨中平测试），其余据二大队（1993）

锡石是白牛厂矿床重要的工业锡矿物。据白羊矿段选矿样的物相分析(二大队，1990)，矿石中的锡有84%以上是以锡石锡存在。按粒度分为粗粒级（0.05~0.25mm）和细粒级（0.001~0.01mm）两种，集合体大于0.80mm。粗粒级部分呈双锥柱状、长柱状及不规则粒状分布在铁闪锌矿、方铅矿、硫锑铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿粒间及方解石、白云石、石英、绢云母等矿物中，或呈细脉穿切交代上述矿物。细粒级部分呈包体产在黝锡矿、黝铜矿、方铅矿、硫锑铅矿、铁闪锌矿中。电子显微镜下常见锡石与细小银矿物、黝银矿包含在方铅矿、硫锑铅矿中，亦见方铅矿包裹锡石、黝锡矿，黝锡矿又包裹锡石等（江鑫培，1994）。锡石可分为两个世代：第一世代锡石呈褐-褐黑色，常为四方锥柱状，与石英、磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿等共生；第二世代锡石呈黄-褐黄色，常为双锥长柱状，与黄铁矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿等共生。

锡石化学成分电子探针分析结果见表 4-6。电子探针分析结果显示，锡石中 In_2O_3 含量平均达 2.748%，换算为铟的平均含量为 1.84%，远远高于滇东南和我国其他矿床锡石中的铟含量(杨世瑜，1990)。 铟在锡石中含量大于 0.1%时，便可能呈单矿物或类质同象形式存在。自然界中锡石的铟富集主要与压力有关，随压力减少铟含量而增加，白牛厂浅色富铟锡石的存在可能是低压和中低温成矿环境的指示剂。此外，矿区浅色富铟锡石常与银的富集有关，因而有可能为找银矿体提供线索。

表 4-6 白牛厂矿区锡石电子探针分析结果

样号	01	02	03	04	05	06
Na_2O	0.31	0.16	0.00	0.26	0.33	0.05
MgO	0.07	0.24	0.13	0.29	0.11	0.00
Al_2O_3	0.08	0.12	0.16	0.08	0.20	0.00
SiO_2	0.,23	0.00	0.02	0.17	0.00	0.05
K_2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO_2	0.14	0.00	0.02	0.48	0.00	0.59
MnO	0.07	0.00	0.06	0.00	0.01	0.04
Cr_2O_3	0.15	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00028	0.00	0.06	0.26	0.00
FeO	0.48	0.00	0.25	0.11	0.00	0.29
P_2O_5	0.00	95.17	0.15	0.00	0.21	0.00
SnO_2	95.11	3.00	94.18	95.58	91.75	94.06
In_2O_3	3.18	0.00	4.41	1.30	3.43	4.17
Nb_2O_5	0.00	0.00	0.02	0.00	0.22	0.00
Ta_2O_5	0.00	1.05	0.00	1.39	1.49	0.14
WO_3	0.17	0.00	0.42	0.00	2.00	0.42
SeO	0.13	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
Sb_2O_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V_2O_5	6.00		0.00	0.32	0.00	0.21
合计	100.03	100.03	100.02	100.03	100.02	100.02

资料来源：陈学明，1998。由中国地质大学（北京）电子探针室李树岩分析，锡石标样 00350 号，纯度 99.99%，铟标样 00156 号，纯度 99.99%)，

4．5 矿体中主要元素赋存状态

银：据白羊矿段选矿样的物相分析（表 4-7），可知银主要呈独立矿物状态存在于矿石中。目前已发现银及含银矿物近 20 种，主要有黝锑银矿、银黝铜矿、深红银矿、硫锑铜矿、辉锑银矿、脆银矿、辉锑铅银矿等，约占银矿物和含银矿物总量的 80%以上（江鑫培， 1990）。这些矿物一般呈半自形-它形粒状、板柱状晶体分布在方铅矿、铁闪锌矿、硫锑铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿、锡石等矿物和脉石中，亦有呈滴状、纺锤状、发状、叶片状沿方铅矿三角形解理分布或呈细脉状、网脉状穿插上述矿物。其嵌布形式以复杂不规则毗连嵌布型为主，粒度极细，一般为 0.0001~0.09mm，以 0.005~0.05mm 为主。主要载银矿物为方铅矿，少部分为铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄锡矿、毒砂及硫锑铅矿等。方铅矿中以晚期方铅矿含银量最多，分布率为 53.24%，其中有 90%以上的银呈独立矿物状态存在于方铅矿中（江鑫培， 1994），矿相显微镜下普遍见到深红银矿、黝锑银矿、辉锑银矿与晚期方铅矿连生或呈其包体。还有少量类质同象银赋存在晚期方铅矿中。因此，方铅矿为银的主要载体矿物。这一点也从精矿产品中得到证明：铅精矿（方铅矿、硫锑铅矿）中银的分布率为 67%，硫精矿（黄铁矿、磁黄铁矿等）约占 17%，锌精矿（闪锌矿）占 11%。

表 4-7 白牛厂矿床白羊矿段矿石中银的物相分析表

样品号 样品名称	项目	自然银	独立银矿物的银	类质同象的银	包裹银		总量 (g/t)
					黄铁矿磁黄铁矿	锡石脉石矿	
Yx-2	含量(g/t)	<2.6	79.86	13.98	28.60	32.50	157.76
银锡为主矿石	分布率（%）	1.65	50.56	8.87	38.82		100.00
Yx-3	含量(g/t)	8.70	66.60	1.70	12.70	16.0	105.70
铅锌为主矿石	分布率（%）	8.23	63.01	1.61	27.16		100.00

资料来源：二大队，1994

锡：矿石中锡以锡石为主，含锡量占 76.92%，分布率 81.08%。主要呈细粒不均匀嵌布，粒径一般 0.01~0.05mm，少数大于 0.15mm。其次为黝锡矿，约占 15.39%，粒径 0.01~0.5mm，以 0.15~0.25mm 为主（江鑫培，1990），嵌布形式比较复杂，呈粒状、不连贯的细脉状、细粒星散状嵌布在磁黄铁矿、铁闪锌矿中，也有呈微细的包裹体被方铅矿、铁闪锌矿包裹，或沿铁闪锌矿边缘裂纹交代形成环边或网脉，或被方铅矿、铁闪锌矿、锡石交代，显微镜下可见黄铜矿、黝铜矿、辉锑矿、毒砂等熔析物。此外，在褐铁矿中还见有微细粒的黝锡矿嵌布。其它锡矿物占 7.69%。锡在矿体中分布很不均匀，一般来说，锌品位高时，总会有低品位的锡出现。

铅矿物有方铅矿、硫锑铅矿、辉锑锡铅矿、车轮矿、硫锡铅矿、硫锑铋铅矿、自然铅、白铅矿等。铅矿物形态各异，嵌布复杂，粒度悬殊。粗粒级方铅矿与各种铅矿物和铁闪锌矿呈复杂的嵌布连生。部分细粒级方铅矿与锑、铜、锡、铋复硫盐铅矿物共生，呈细小包裹体包于铁闪锌矿中。铅矿物与黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿及脉石紧密共生。铅主要赋存在方铅矿中，分布率65%左右；其次为硫锑铅矿，分布率约26%；还有少量铅分散在辉锑锡铅矿、车轮矿、硫锡铅矿、硫锑铋铅矿及黄铁矿、白铁矿、毒砂、磁黄铁矿、磁铁矿、铁闪锌矿、锡石、脉石矿物等含铅矿物中。

锌主要为闪锌矿。闪锌矿普遍含铁，随生成温度而变化。高温闪锌矿含铁11.0~15.73%，生成温度在400~500^{0}C范围；中温闪锌矿含铁4.39%，生成温度约200^{0}C；还有少量低温不含铁而含银（1.21%）的闪锌矿，多属晚期，呈脉状产出，其中含镉量高达2.9%，形成温度低于200^{0}C（江鑫培，1990）。矿石中以第一世代和第二世代铁闪锌矿为主，第三世代闪锌较少见。还有少量锌则是分散在银硫盐和黄锡矿等矿物中。

铜主要以黄铜矿和黝铜矿形式产出。黄铜矿粒径0.001~0.50mm，以0.10~0.25mm为主，其嵌布形式有：呈它形粒状与银黝铜矿、方铅矿、硫锑铅矿、硫锑铜矿、车轮矿呈溶蚀状嵌布连生，常包裹叶片状银黝铜矿及细小的锑、铜、银矿物，又被方铅矿包裹；呈半自形粒状集合体分布在方铅矿、铁闪锌矿、磁黄铁矿粒间，或呈细脉网脉交代穿切在铁闪锌矿中。此外，尚有少量铜分散在铜、锑硫盐矿物中。

第五章　白牛厂矿床的成矿作用

5．1 沉积作用与成矿的关系

本区寒武系为封闭-半封闭的还原环境沉积产物，有利于成矿元素的同生富集。白牛厂矿区中下寒武统中，铅锌等元素的背景值较同类型沉积岩中的平均含量高出1~2倍，且岩石中尚发现沉积型方铅矿、黄铁矿。这表明本区中下寒武统岩石中确实存在成矿元素的原始同生富集，从而为本区银多金属矿的形成提供了部分物质来源。

白牛厂银多金属矿床的形成还有另外一种沉积作用-成矿元素局部同生富集对形成初始矿源层及叠加成矿起了很重要的作用。

从实际情况看，白牛厂矿区以北的牛作底铅锌矿化点为典型的沉积矿点（$\delta^{34}S$=19.48‰）。白牛厂矿床V_1矿体产于破碎带内，矿石为角砾状构造、柔皱构造等。有些钻孔样品低于工业品位，矿石角砾状构造、柔皱构造不明显，而沉积形成的构造保存完好，说明以同生富集为主。在V_1矿体之下的中下寒武统中，还产出多层矿体、矿化体，品位都不高，也说明它们以同生富集为主。可见，白牛厂-薄竹山地区中下寒武统中确实存在成矿元素的局部同生富集。

现代沉积学及现代地层学研究提出了“层序地层学”理论，将海平面上升时期沉积的产物称为“海侵体系域（TST）”，海平面相对静止-海平面下降时期沉积的产物称为“高水位体系域（HST）”，海平面下降至最低点、开始转为上升时，接受沉积的界面称为“最大海侵面（SB_2）”。海平面上升时期，陆源物质补给较少，海洋物质补给相对较多，故成矿元素相对较为富集。海平面上升至最高点时期，陆源物质补给最少，此时沉积的产物称“饥饿段（SS）”，成矿元素最为富集，最容易成为成矿元素局部同生富集层（Vail P. R. 1991，Posamentier H. W. 1992等）。

本区寒武系冲庄组至龙哈组可划分出三个高水位体系域（HST），三个海侵体系域（TST），两个Ⅱ型不整合面（SB_2）和三个饥饿段（SS）（蓝朝华等，1991）。第三个饥饿段（SS_3）就位于田蓬组中上部，为薄层状泥质粉砂岩，其上、下基本层序结构相反，白牛厂矿床V_1矿体所处的位置基本上与该饥饿段一致。此种划分是根据海平面上升-下降的最大幅度来分析的。其实，在大的海平面上升-下降周期内，可能还存在次一级的上升-下降，即除了上述三个可以局部富集成矿

元素的“饥饿段”外，可能还存在更多次一级的可形成局部富集成矿元素的“饥饿段”。

总之，同沉积成岩成矿作用形成了白牛厂矿床最主要的矿源层，以及数个成矿元素局部同生富集层。其中，中寒武统田蓬组中上部的成矿元素局部同生富集层成为最大的矿体 V_1 的基本位置。燕山期，与花岗质岩浆侵入活动有关的成矿作用对这些成矿元素局部同生富集层叠加改造，形成工业矿体。

5．2 构造作用与成矿

5．2．1 断褶构造形成机制

燕山晚期，花岗质岩浆向上侵位，推挤上部及周围地层形成接触带褶皱和断层，正上方的沉积岩层向四周下滑，构造岩性薄弱面得以优先发育为滑动面，滑距越来越大，最终形成几个大的拆离面（刘继顺，张洪培等，2003）。白牛厂矿床的主要控矿及容矿构造 F_3 即为这种滑动拆离面之一，在 F_3 的下部还会出现大体平行的拆离面。也就是说，F_3 为一低角度剥离断层，其形成时代为燕山期，是由于花岗质岩浆的侵位造成的。

白牛厂矿床的主矿体-V_1 矿体赋存在 F_3 中。因此，位于 F_3 之下，与其性质相同、产状大体平行的其它拆离面中，同样也会赋存有工业矿体。这些拆离面是寻找盲矿体的一个重要方向。

同理，圆宝山向斜及白牛厂背斜的形成也是与花岗质岩浆的侵入有关的。区域构造线方向为北东东向，而圆宝山向斜及白牛厂背斜的轴向为北西西向，两者交角近乎 70^0，其原因在于圆宝山向斜和白牛厂背斜是由深部隐伏岩体侵位形成的，花岗质岩浆从北西西向朝南东东向由深而浅侵入，推挤上部及周围沉积岩层才形成了圆宝山复式向斜和白牛厂短轴背斜。因此，其形成的时代与花岗质岩浆侵位的时代相当，同为燕山期。

位于 F_3 伸展低角度正断层上盘的 F_4 - F_7 断层，向下交于 F_3，工程证实为不含矿断层。由于 F_3 为成矿断层，因此，若 F_4-F_7 形成早于 F_3，那么在 F_3 断裂带附近的 F_4-F_7 断层带内应该含矿，由此可以断定 F_4-F_7 的形成要比 F_3 晚。F_4-F_7 是位于 F_3 剥离断层的上拆离盘，如果它们是同期形成的，是 F_3 的派生断层，那么它们也应该含矿，而现场地质调查及钻孔资料证实，F_4-F_7 是不含矿的，连细脉状矿体也未见到，因此，可以认为，F_4-F_7 切割了 F_3 和 V_1 矿体，是晚于 F_3 的破矿断层。

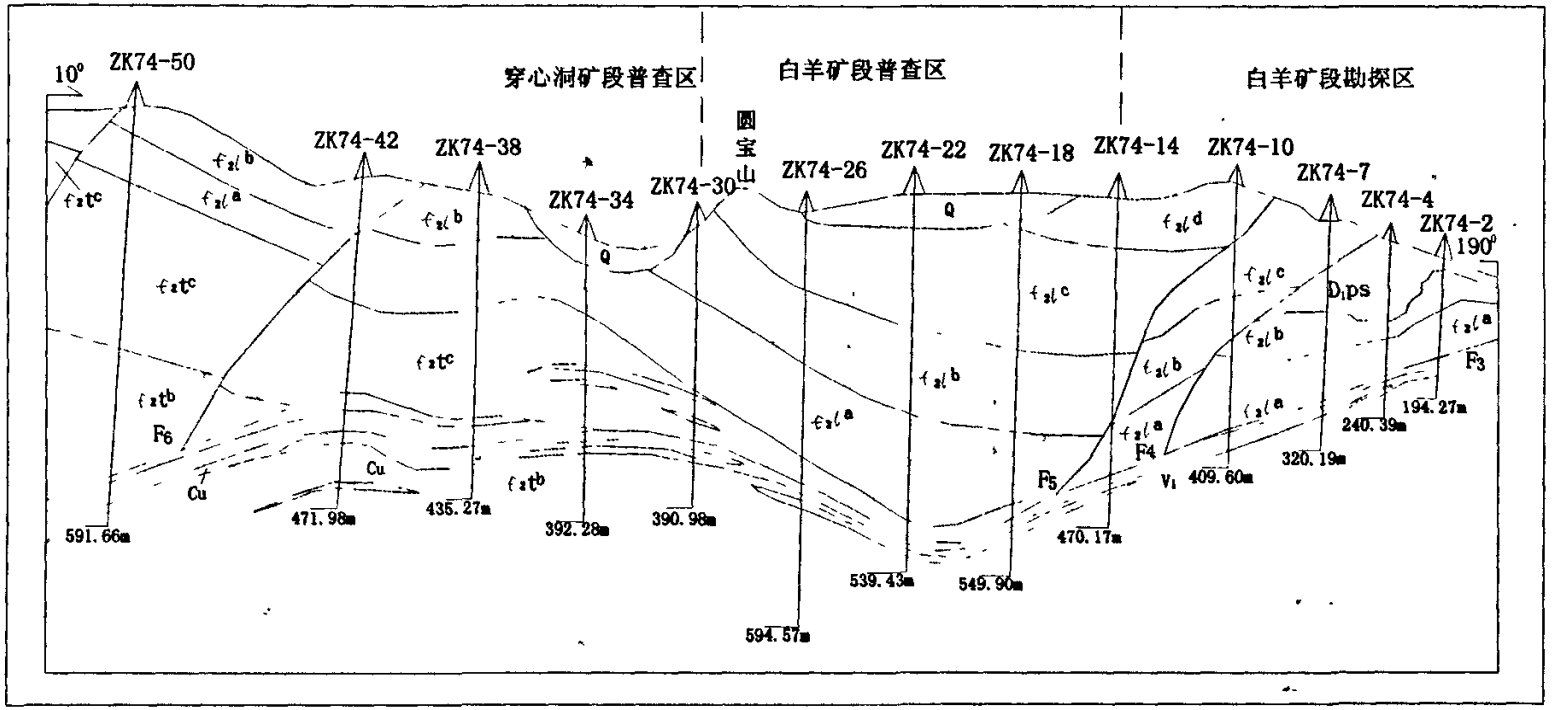


图5-1 白牛厂银多金属矿区74号勘探线剖面图

1 Q 2 D_1ps 3 f_{2l}^{d} 4 f_{2l}^{c} 5 f_{2l}^{b} 6 f_{2l}^{a} 7 $f_{2}tc$ 8 $f_{2}tb$ 9 10 F_3 11 12 V_1

1第四系 2坡松冲组 3龙哈组第四段 4龙哈组第三段 5龙哈组第二段 6龙哈组第一段 7田蓬组第三段 8田蓬组第二段 9地质界线 10断层及编号 11不整合地层界线 12矿体及编号

5．2．2 构造对成矿的控制作用

褶皱对成矿的控制作用主要表现为白牛厂矿床最大的矿体—V_1 矿体受到圆宝山复式向斜较严格的控制（图 5-1），矿体主要赋存于中寒武统田蓬组中上部或龙哈组底部，部分矿体底板可能为下寒武统冲庄组或中寒武统大丫口组。尤其是从$\in_1 l$ 与$\in_2 t$ 地层界面标高立体图（图 5-2）和 V_1 矿体底板标高立体图（图 5-3）中可以看出，矿体的形态、方位，几乎与地层界面所表示的褶皱形态、方位完全一致，矿体的空间展布服从于复式向斜的变化趋势，随着褶皱的弯曲起伏而呈波状延伸，仅局部地段矿体与地层有一定交切。在圆宝山向斜的鞍部，矿体的厚度略有增大现象。矿体主要产于碳酸盐岩与细碎屑岩的交互部位。据 159 个含矿部位的统计，产出于碳酸盐岩中为 103 个，占 64.8%，产出于粉砂岩等中的为 56 个，占 35.2%。说明含矿部位主要产于碳酸盐岩中。以上特征表明，中寒武统田蓬组中上部这一富含有机质的碳酸盐岩层为一构造岩性薄弱面，不仅沿该层位形成了白牛厂矿床最主要的控矿断裂破碎带-F_3 低角度伸展剥离断层，而且由于该层为还原性质，成矿流体易与之发生反应，因此是成矿物质沉淀成矿的最有利场所。

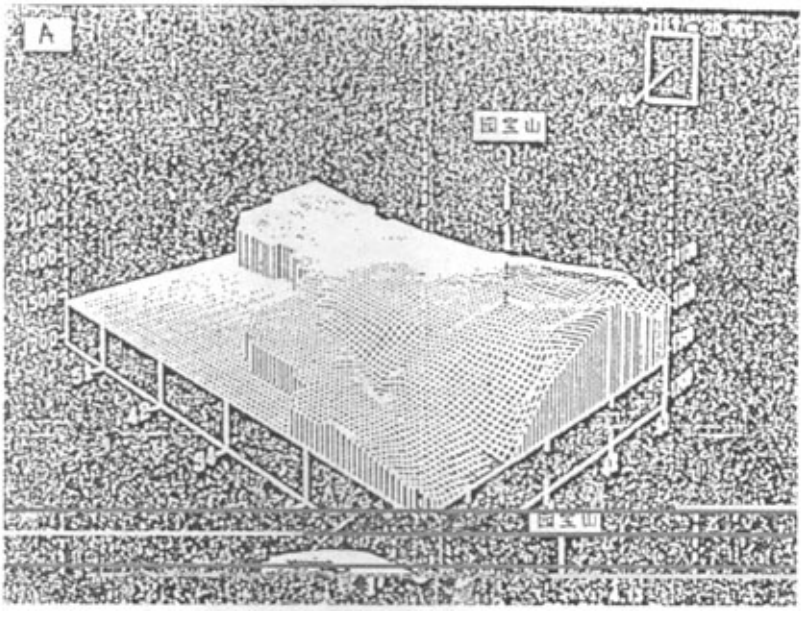


图 5-2 中寒武统龙哈组与田蓬组界面立体图（二大队，1993）

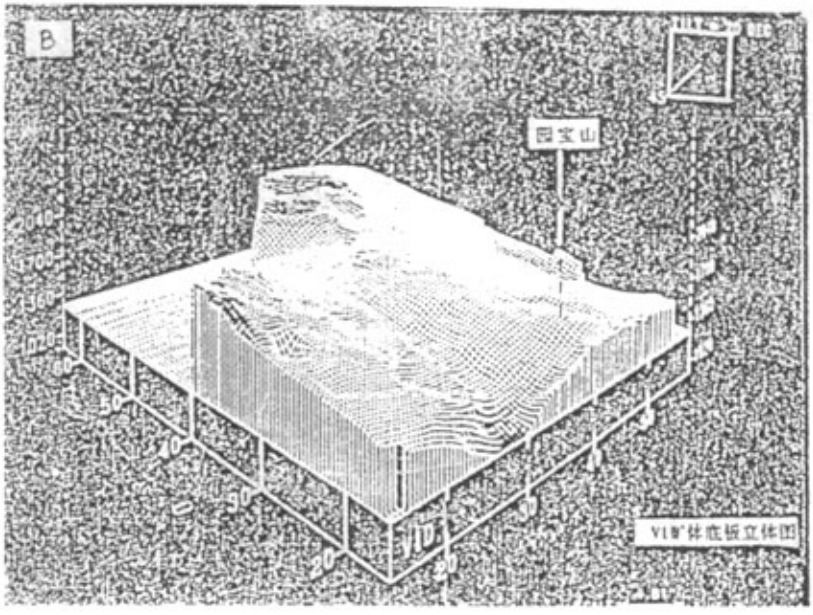


图 5-3 白牛厂矿床 V1 矿体底板立体图（二大队，1993）

断裂对成矿的控制作用表现在白牛厂矿床主矿体-V_1矿体受F_3断裂带的严格控制及阿尾花岗岩体上侵所造成的放射状断层控制了阿尾矿段陡倾斜脉状矿体的产出。F_3沿着 V_1主矿体的顶部或附近产出，尤其是在白羊矿段，矿体与破碎带的产状及其变化基本一致。花岗质岩浆上侵，在岩体顶部及四周形成很多放射状断层，成为成矿流体充填成矿的有利场所。

断裂对成矿的控制作用还表现在主断裂F_3的侧羽裂隙控制了富矿体的产出。虽然从总体来看，白牛厂矿床矿体的品位变化系数和厚度变化系数不算很大，但从对门山、穿心洞和阿尾矿段的情况来看，矿体的厚度和品位变化还是很大的：铅锌品位可从<1%急变为 10%以上，个别达 20%；富矿体产状也由缓变陡，富矿体的走向与主矿体（V_1矿体）不同，两者可有 20^0 至 40^0 的交角。对门山矿段 ZK102-41 孔见到厚大富矿体，品位 Pb6.19%、Zn7.36%，厚度 22.96 米，而其相邻勘探线两个加密钻孔-ZK100-39 品位 Pb1.43%、Zn1.94%，厚度 3.30 米，ZK100-43 品位 Pb0.91%、Zn0.78%，厚度 3.56 米，都未见到该富厚矿体。经开采证实，本矿体严格受两条 $NW340^0$ 走向、倾角近 90^0 的断层控制，宽约 20 米，走向长约 100 米，延深约 70 米，呈上宽下窄的透镜体，为主矿体的分枝矿体，即受到主断裂 F_3 的侧羽裂隙控制，故其产状较主矿带陡，走向上与主矿带有一定的夹角（图 5-4）。

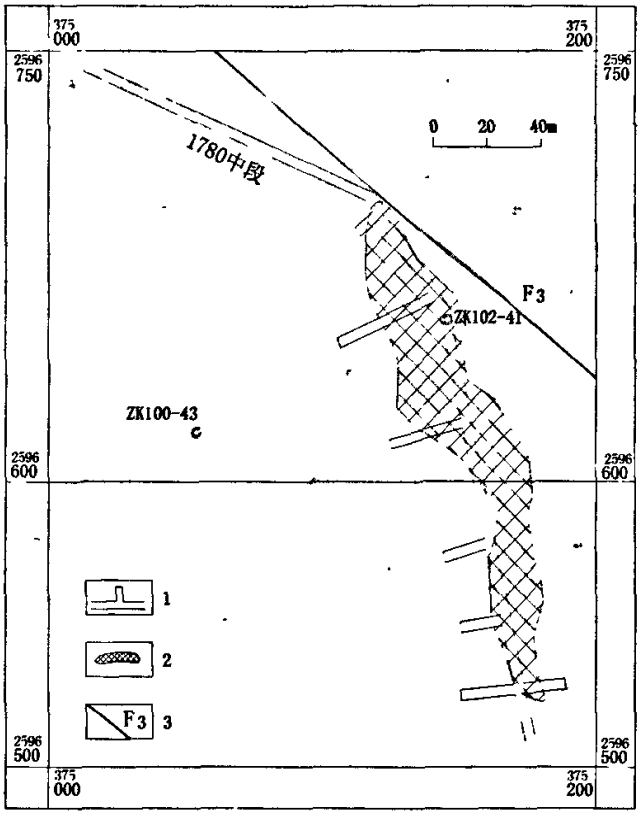


图 5-4 对门山矿段 1780 中段富厚矿体平面分布示意图

1 1780 中段平巷　2 富厚矿体　3 F_3 断裂破碎带

5. 2. 3　构造作用与成矿的关系

加里东期—印支期长时间的北西—南东向挤压，致使白牛厂—薄竹山地区产生一系列北东向的褶皱和断层，即白牛厂矿田区域构造线方向为北东-北北东向。这些早期的北东-北北东向的断、褶构造为后来的花岗质岩浆侵位创造了条件。同时，从母鸡白下寨到白牛厂以断续出露的辉绿岩脉表现出来的隐伏北北东向断裂和北东-北北东向褶皱对白牛厂矿床的矿体，特别是富矿体的分布起控制作用。早期北东-北北东向褶皱与后期北西西向褶皱的叠加才形成了现今的构造格局。背斜与背斜叠加更加隆起，向斜与向斜叠加更加凹陷，向斜与背斜叠加处于中间。在对门山矿段 84 线上，V_1 矿体见矿标高突然抬高，矿化也变好，正是这种叠加褶皱的体现。因此，这些构造叠加部位是寻找富矿体的重要线索，研究和探索其分布规律，对寻找富矿体有重要的指导意义。

燕山晚期，花岗质岩浆上侵，在岩体四周形成大量张性放射状断层，并使先前形成的断层、构造破碎带和裂隙活化，成为导矿、控矿或容矿构造。在白牛厂

地区，岩浆侵位较低，岩浆侵位形成的断裂和先前形成的断裂致使花岗质岩浆演化以液态分离（熔离）为主，直接分离出大量成矿流体。

在花岗质岩浆提供的热动力的驱动下，多来源的成矿流体在循环、迁移中进入成矿前和成矿时的各种构造空间，或形成工业矿体，或留下较强的成矿元素踪迹，表现出含矿地段沿断裂构造带的成矿元素异常特性。它们一方面为找矿工作提供了直接的找矿信息，同时又说明了构造与成矿关系密切。

5．3岩浆侵入成矿作用

5．3．1 阿尾花岗岩的围岩蚀变与矿化

围绕隐伏花岗岩体形成了强烈的接触变质带。花岗质岩浆的侵入，首先发生热接触变质作用，使碳酸盐岩围岩大理岩化、碎屑岩围岩角岩化。随后，岩浆热液又对已形成的大理岩、角岩矽卡岩化。由于围岩是大理岩与角岩互层，在角岩与大理岩之间发生双交代作用，形成矽卡岩，并使两者之间的界线淡化。阿尾花岗岩体的接触蚀变带可大致划分为云英岩化、角岩化、大理岩化和矽卡岩化四个带（图5-5）。

云英岩化发育于花岗岩体内接触带，垂直厚度约20-30米，沿花岗岩的节理裂隙呈细脉状断续分布，与细粒黑云母二长花岗岩呈渐变过渡，脉中可见有花岗岩残余。见到有少量的白钨矿、锡石等矿物。单脉宽数毫米，分布稀疏。

角岩化见于云英岩化带之上，垂直厚度约110米，主要岩性有石英钾长石角岩、黑云母石英角岩、含阳起石角岩等。岩性特征受原岩性质控制，仅见少量黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿化。

大理岩化垂向分布范围较宽，常与角岩交替出现。主要有两类：一类是由灰岩接触变质形成的大理岩，它主要由等粒方解石组成；另一类由白云岩接触变质而成，其组成除白云石外，尚有透闪石、透辉石、绿泥石、金云母等，偶见符山石。

矽卡岩化见于角岩和大理岩带之间，多呈脉状或透镜状产出。主要类型有石榴石透辉石矽卡岩、透辉石矽卡岩、透辉石透闪石矽卡岩及少量的阳起石绿泥石矽卡岩等。其中见辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等微弱的硫化物矿化。

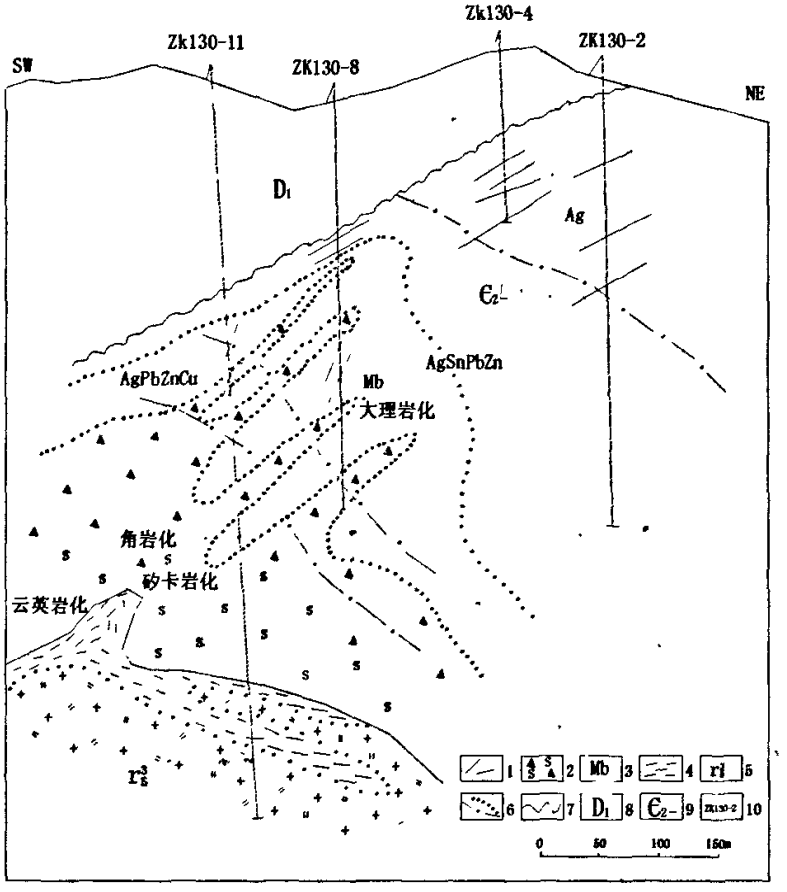


图 5-5　白牛厂矿床阿尾矿段 130 线地质剖面简图

1.脉状矿　2.角岩及矽卡岩化　3.大理岩化　4.云英岩化　5.黑云二长花岗岩　6.接触变质带界线、矿化分界线　7.地层不整合界线　8.下泥盆统　9.龙哈组　10.钻孔及编号

据钻孔资料，在阿尾隐伏花岗岩体顶板围岩中，有一个东西长约 400 米，南北宽近 400 米，垂直厚度 200-400 米的脉状、网脉状矿化带，主要分布于 1750-1950 米标高范围，围绕花岗岩体显示出了矿化元素分带现象，从内向外依次为岩体内接触带与云英岩化相伴的钨、锡矿化-钨、钼、锡、铜矿化-角岩中的铜、锌、铅矿化-外接触带大理岩中的锡、锌、铅、银矿化-最外层的铅、锌、银矿化。在 ZK130-11 孔中相对富铜（Cu：0.02-1.17%），ZK130-8 相对富锡（Sn：0.01-0.39%），ZK130-4 和 ZK130-2 以银、铅、锌矿化为主。矿化脉体以裂隙充填型为主，与围岩界线清楚，单一脉幅 1-5 毫米，少数达数厘米。主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、锡石，其次为辉铜矿、黄铜矿等。此外在 ZK130-11 的云英岩化带中，见辉钼矿和白钨矿化。这些矿物伴有硅化、绿泥石化等蚀变。

5．3．2 阿尾花岗岩的成矿作用

花岗岩浆在地壳中形成时，其体系是平衡的。若不发生迁移，仍处于平衡状态下结晶，则形成几乎未发生分异作用的岩体，一般也不会成矿。如果岩浆上侵，则其物理化学条件业已改变，岩浆必然要发生分异才能平衡结晶。若为偏酸性的岩浆，则会分离出大量富含挥发成分的岩浆热液，并携带有大量稀有、稀碱金属元素，对成矿有利。

阿尾花岗岩为偏酸性岩浆上侵形成，并富含 Sn 等成矿元素，因此，其肯定要分离出富含 Sn 等成矿元素的岩浆热液-含矿流体。花岗岩浆中的石英含有大量均匀分布的原生流体包裹体，也证明了这一点。

锡元素是本区断裂中分布范围最广、最为富集、矿化信息最强的成矿元素。除了矿区内已知有锡矿化产出的部位外，在外围茅山洞地区、龙潭西、小寨东，甚至其它元素矿化信息较弱的北东向 F_{16}、F_{17} 断裂带上，都有大量锡元素富集。344 件断层岩样品分析结果（杨家瑞，1993）表明，含量大于 1000ppm、矿化信息强的样品有 96 个之多，占样品总数的 27.9%；矿化信息较强的（500~1000ppm）有 37 件，占 10.17%；无矿化信息的仅有 108 件，占 31.4%。锡石为白牛厂矿床的主要含锡矿物，锡石又为高温岩浆热液产物。因此，佐证了花岗质岩浆确实分离出了大量含 Sn 等成矿元素的岩浆热液，这种热液渗透性较强，几乎渗进了当时存在的所有断裂中。

花岗质岩浆的侵入，产生了接触带构造体系和滑脱剥离断层，并使先前产生的断层、裂隙、构造破碎带活化，这些断层对花岗质岩浆的液态分异产生了积极作用。同时，这些构造还成为成矿有利构造，特别是龙哈组与田蓬组之间的 F_3 构造破碎带，成为成矿流体大量进入的有利空间，为白牛厂矿床最大的矿体-V_1 矿体的叠加改造提供了良好的条件。

花岗质岩浆上侵后，由于先前存在的许多断裂及岩浆上侵过程中形成的断裂与岩浆连通，致使岩浆压力突然降低，体系极不平衡，这样就发生了液态分异作用，所分离出来的含矿岩浆热液富含挥发份，必然要继续向压力更低的断层内运移，这样，岩体接触带反而未留下更多的成矿流体，未形成工业矿体。

由花岗质岩浆分离出来的的含矿热液，与大气降水一起组成成矿流体，在花岗质岩浆所提供的热动力的驱动下对流循环，从深部及围岩中萃取出成矿物质，携带至有利岩性构造空间沉淀成矿，形成了围绕隐伏花岗岩体的矿化元素分带现象，即自深部到浅部、自矿区南东部侵位中心阿尾矿段到远离侵位中心的北西部咪尾矿段及外围茅山洞锑矿点，显示出锡、铜-铅、锌、银-银-锑的矿化分带。

5．3．3 围岩性质与岩浆侵入成矿作用的关系

白牛厂矿床矿体的围岩有龙哈组白云岩、田蓬组灰岩、粉砂岩、炭质粉砂岩、泥岩等以及断层破碎带中的断层角砾岩、糜棱岩、断层泥等。

围岩的性质对矿体的形成方式有明显影响。产于灰岩、白云岩中的矿体，一般以交代作用为主，形成浸染状、稠密浸染状和块状矿石，矿体与围岩呈渐变过渡关系。这是由于这类岩石的物理化学性质决定的，它们除了具有脆性、孔隙度、连通性等有利的性质外，镁质、钙质组分较高，可以增大溶解度，经过化学反应大量放出CO_2，提高了岩石孔隙度和渗透性。产于粉砂岩、泥岩中的矿体，则以充填作用为主，形成脉状和网脉状矿石，矿脉与围岩界线清晰。构造岩石中的矿体主要表现为矿液的多次充填交代，而形成角砾状矿石和压碎条带状矿石，以断层角砾岩含矿性最好，糜棱岩和断层泥主要起阻挡作用，矿化均在其下进行，但本身含矿性差或不含矿。

5．4 围岩蚀变

花岗质岩浆侵入所形成的围岩蚀变前文已有论述，不再重复。

燕山期成矿流体进入有利构造空间，与早期成矿元素局部同生富集层反应、沉淀成矿时，围岩也随之发生蚀变。主要为硅化、绿泥石化、碳酸盐化和泥化。

1．硅化：为主要蚀变类型，见于矿体和矿体旁侧，以粉砂岩最为发育。主要表现为中-细粒石英呈自形-它形不均匀分布。靠近矿体较强烈，在矿体旁侧数米至数十米即消失。

2．碳酸盐化：广泛分布于矿体旁侧及附近围岩，以铁白云石化、方解石化为主，呈细至网脉状分布。局部见重结晶现象。

3．绿泥石化：在矿体旁侧局部产出，分布不均匀，主要见于砂泥岩中，呈片状和鳞片状集合体产出。距矿体数米至数十米。

4．泥化：大量分布于矿体围岩中。在灰岩和白云岩中以断续的不规则条带状分布。与沉积条带的不同点是其中含较多的铅锌硫化物。

上述蚀变除泥化分布范围较广外，硅化和碳酸盐化一般与构造破碎带或断层影响带重合分布。

5．5 成矿期和成矿阶段

根据矿石的结构构造及矿物共生组合关系，结合断裂中成矿元素的相关关系及组合特征，将白牛厂矿床分为四个成矿期：矽卡岩成矿期、中温热液成矿期、

低温热液成矿期和表生期。其中中温热液成矿期是最重要的成矿期，可分为锡石-硫化物阶段、硫化物阶段和硫化物-硫盐阶段，与花岗质岩浆关系密切。

（一）矽卡岩成矿期：在岩体外接触带交代作用形成浸染状矿体，主要矿物组合为石榴石-透辉石-石英-锡石-黄铁矿。

（二）中温热液成矿期

锡石-硫化物阶段：是锡、砷的主要矿化阶段，以自形柱状褐黄色锡石、自形毒砂和自形细粒黄铁矿等矿物组合为特征，脉石矿物为石英、绿泥石。

硫化物阶段：主要矿物组合为铁闪锌矿-磁黄铁矿-黄铜矿-黄锡矿-银黄锡矿-银黝铜矿-方铅矿。以铁闪锌矿大量出现为标志。铁闪锌矿常包裹早阶段锡石、毒砂和黄铁矿，而其本身可见黄铜矿、磁黄铁矿包体，但量少。在白羊矿段 V_1 矿体中，常见这一阶段的黄铁矿、铁闪锌矿遭受断裂挤压，被搓碎成定向不规则条状、透镜状、圆化角砾和糜棱条带，又被晚成矿阶段的磁黄铁矿、硫锑铅矿、白铁矿等矿物沿空隙充填胶结、溶蚀和交代。

硫化物-硫盐阶段：主要矿物组合为黄铁矿-磁黄铁矿-方铅矿、闪锌矿-白铁矿。以磁黄铁矿大量出现为特征。磁黄铁矿交代已结晶出来的黄铁矿和磁黄铁矿而生成白铁矿。此阶段矿石矿物组合常见沿先前的裂隙通道或构造压碎空间充填，构成多阶段重合矿体。闪锌矿含铁量较早阶段铁闪锌矿低，而包裹体则相应增多，主要为磁黄铁矿、黄铜矿、黄锡矿等。方铅矿结晶粒度较细，伴生有较多的银矿物，主要呈细脉状或网脉状沿早阶段铁闪锌矿、黄铁矿、毒砂解理或裂隙充填分布。

（三）低温热液成矿期：主要矿物组合为辉锑矿-石英-方解石，在咪尾矿段、外围茅山洞地区形成锑矿体（化）。

（四）表生期：见有铅钒-白铅矿-褐铁矿-锡石共生组合，银、铅、锡有次生富集现象，但氧化作用不强烈，氧化带不深，分布也不明显，故仅有局部意义。

表 5-1　白牛厂矿床成矿期、成矿阶段和矿物生成顺序表

成矿期 / 矿物	矽卡岩期	中温热液成矿期			低温热液成矿期	表生期
		锡石-硫化物阶段	硫化物阶段	硫化物-硫盐阶段		
石榴石	———					
透辉石	———					
透闪石		———				
符山石		———				
黑云母	———					
斜长石	———					
绢云母		———				
绿泥石		———				
绿帘石		———				
石英	——	———	———	——	———	
方解石			——	———	———	
白云石				———	———	
锡石	——	———	———	——		
白钨矿		———				
毒砂		———				
黄铁矿	——	———	———	———	——	
磁黄铁矿	——	———	———	———		
白铁矿				———	——	
闪锌矿		——	———	———		
方铅矿			———	———	——	
辉铋矿		——				
黝锡矿		——	——	———		
硫锡铅矿		——				
硫锑铅矿				———		
斜硫锑铅矿				———		
脆硫锑铅矿				———		
车轮矿				——		
深红银矿			——	——		
脆银矿				———		
硫银锑铅矿				———		
银黝铜矿				———		
辉锑银矿				———		
自然银				——		
辉锑矿				——	———	
白铅矿						———
褐铁矿						———
铁锰质粘土						———

注：1 同沉积成岩成矿期未列入表内；2 锡石-硫化物阶段部分矿物属高温热液产物

第六章 成矿机制与成矿模式

6.1 成矿机制的研究

6.1.1 矿物流体包裹体研究

流体包裹体研究是了解白牛厂矿床成矿作用过程的窗口。流体包裹体温度的高低直接反映了成岩成矿环境，盐度数值反映了成矿流体的变化过程，综合成分分析可以确定成矿流体的性质及其来源，分析包裹体中水的氢、氧同位素更能判别水的来源。

A 流体包裹体的类型和特征 白牛厂矿床的流体包裹体有气体包裹体、气液包裹体、液体包裹体、多相包裹体四种类型。气相包裹体由气相和液相组成，气相百分数大于 50%，大小 10~25μm，形态呈圆形、椭圆形和不规则椭圆形。加热气相扩大，最终均一成气相。该类包裹体主要见于阿尾矿段的矽卡岩、锡石石英脉和黑钨矿石英脉中。气液包裹体也由气相和液相组成，气相百分数小于 50%，大小 8~15μm，形态比较规则，呈椭圆状、长豆荚状等，加热气相缩小，最终均一成液相。此类包裹体在阿尾、穿心洞矿段中，含量多且个体大，在白羊、咪尾矿段，它们的含量少且个体小。液体包裹体主要由液相组成，气相极少，个体大小为 4~8μm，少数 1~2μm，呈椭圆状、不规则状，主要见于白羊和咪尾矿段。多相包裹体由气相、液相和子矿物组成，子矿物种类有钾盐、方解石、白云石等。大小 12~18μm，个别达 25μm，呈不规则椭圆状、椭圆状和长条状，分布很广，但含量很少。可见，距花岗岩体越近，包裹体气相越高，个体越大；反之，离岩体越远，包裹体气相含量越低，个体越小。

B 流体包裹体的温度、盐度和密度 由白牛厂矿床流体包裹体测定结果（表 6-1）及 465 个样品的爆裂温度测定结果（二大队，1993）可知，白牛厂矿床的成矿温度为 51°C~520°C，主要集中在 150°C~320°C 范围内。从阿尾到对门山、穿心洞、白羊、咪尾，显示出成矿温度逐渐降低的趋势。黄铁矿的温度范围最宽，并显示出三个峰值，代表至少三个成矿期或结晶世代的特征。其中，矽卡岩成矿期成矿温度 470°C~520°C，与花岗岩中的流体包裹体温度相近。中温热液成矿期的锡石-硫化物阶段成矿温度 224°C~346°C（部分属高温热液成矿温度）；硫化物阶段成矿温度 163°C~275°C；硫化物-硫盐阶段成矿温度则为 108°C~215°C。该成矿期三个成矿阶段成矿温度出现过渡现象。距花岗岩体越近，成矿温度越高；

反之，距花岗岩体越远，成矿温度越低。距岩体越近，黄铁矿爆裂温度越高，距岩体越远，黄铁矿爆裂温度越低。低温热液成矿期锑成矿阶段成矿温度则为 51^{0}C ~154^{0}C。

白牛厂矿床成矿流体的盐度变化在 3.7~21.3wt%NaCl 之间，变化范围较大。从均一温度-盐度关系图（二大队，1993）上可以看出，从早阶段到晚阶段，流体的盐度逐渐降低；同一矿段中流体包裹体的盐度和均一温度具显著相关，即伴随着成矿流体均一温度变化，流体盐度也发生相应的变化，其相关系数 r 范围为 0.66~0.96。

成矿流体密度与流体介质浓度或含盐度有关。在一定物理化学条件下,流体盐度、温度与流体密度存在函数关系。根据已测得的均一温度和盐度数值，可以得到白牛厂矿床成矿流体的密度数值，其变化在 0.7762~0.9990g/cm^3 之间，且伴随着成矿温度降低，流体的密度也相应增大。

表 6-1　白牛厂矿床流体包裹体测定结果

样号	采样位置	地质特征		母体矿物	冰点 ^{0}C	盐度 %wtNaCl	均一温度 ^{0}C	密度 g/cm^3
H5	PD108 矿石堆	穿心洞矿段铅锌矿石		石英	-8	11.5	268	0.8588
H73	PD210 矿石堆	白羊矿段	铅锌矿石	石英	-4	6.4	225.6	0.8554
H70	PD210 矿石堆		铅锌矿石	石英	-5	7.9	228	0.8892
H72	PD210 矿石堆		铅锌银矿石	石英	-2	3.7	109.9	0.9982
H64	PD210 矿石堆		毒砂矿石	石英	-9	13.2	299	0.8572
H62	PD210 矿石堆		毒砂矿石	石英	-8	11.5	295	0.8511
B76	ZK57-13,480m		矿体下盘砂岩中硫化物脉	石英	-9	13.2	250	0.9896
B222	ZK51-35,510 m		含铜磁黄铁矿矿石	石英	-6	9.3	285	0.8316
B211	ZK51-35,434 m		铅锌磁黄铁矿矿石	石英	-11.5	16.4	358	0.7625
B219	ZK60-28,222 m		毒砂磁黄铁矿矿石	石英	-8	11.5	329	0.8194
B220	ZK60-28,275 m		毒砂磁黄铁矿矿石	石英	-8	11.5	319	0.8241
B217	ZK60-24,257 m		辉绿岩中含铜石英脉	石英	-9	13.2	327	0.8405
B218	ZK60-24,258 m		辉绿岩中含铜石英脉	石英	-10	14.5	345	0.8193
B215	ZK63-25,207 m		花岗斑岩	石英	-9	13.2	304	0.8552
B216	ZK63-25,215 m		花岗斑岩	石英	-6	7.9	297	0.8042
A8	ZK130-11,273 m	阿尾矿段	细脉浸染状矿化石英脉	石英	-12	17.1	260	0.9192
A10	ZK130-11,280 m		硫化物石英脉	石英	-8	11.5	223	0.9381
A15	ZK130-11,427 m		大理岩中闪锌石英脉	石英	-10.5	15.1	224	0.9513
A23	ZK130-11,632 m		硫化物石英脉	石英	-11.5	16.4	290	0.9115
A17	ZK130-11,502 m		透辉石透闪石矽卡岩	透辉石	-13.5	19.0	470	0.8023
A20	ZK130-11,550 m		透辉石石榴石矽卡岩	石榴石	-15	21.3	491	0.7995
A21	ZK130-11,575 m		透辉石石榴石矽卡岩	石榴石	-14	19.8	482	0.7762
A20	ZK130-11,550 m		矽卡岩中含锡石英脉	锡石	-7	10.4	462	0.7143
A22	ZK130-11,583 m		矽卡岩中含锡石英脉	锡石	-6	9.3	491	0.6928

资料来源：二大队，1993

C 流体包裹体化学成分　矿物中的原生包裹体是在成岩过程中形成的，原生包裹体中所捕获的气、液相成分反映了成岩和成矿时的温度、压力、成分以及同位素平衡的地球化学环境。因此，包裹体化学成分分析对于探讨矿床形成时的物理化学条件、确定成矿物质来源、探索成矿机制、建立成矿模式等可以提供重要信息和科学依据。

表 6-2　白牛厂矿区流体包裹体成分分析结果表

样号	测试矿物	液相成分								
		Na^+	K^+	Ca2+	Mg^{2+}	Cl^-	F^-	SO_4^{2-}	Br^-	NO_3^-
H7	方铅矿	0.27	15.47	3.57	0.53	0.73	0.9	20.65	0.00	0.00
H70	闪锌矿	1.54	13.33	2.00	0.36	8.11	0.10	30.28	0.00	0.00
H71	闪锌矿	1.39	7.57	2.27	0.61	8.32	0.30	19.99	0.00	0.00
B39	黄铁矿	2.89	6.25	4.16	1.24	11.30	0.40	>100	0.00	0.00
B1-3	方铅矿	3.251	9.319	13.416	11.401	4.657	0.67	3177.418	0.00	0.00
D3-4	磁黄铁矿	4.883	12.427	17.814	17.008	5.075	1.49	4738.15	0.00	0.00
H62	毒砂	0.75	17.64	0.00	0.73	13.62	0.66	79.28	0.00	3.69
H63	毒砂	1.07	15.49	2.33	0.69	10.41	0.63	73.57	0.00	3.02
H67	毒砂	1.36	7.40	4.44	0.46	28.44	0.22	68.77	0.00	1.44
H68	毒砂	2.45	50.55	15.96	2.38	7.35	0.28	>300	0.00	12.10
B228	碳酸盐	0.17	0.36		1.93	0.50	1.17	3.56	0.00	0.00
B231	碳酸盐	0.17	0.37		2.54	0.52	0.07	81.45	0.00	0.00
B203	碳酸盐	5.31	5.76		41.90	14.24	4.53	>200	0.0	0.29
B240	碳酸盐	17.69	14.58		2.43	50.62	0.14	33.00	0.00	0.00
B225	碳酸盐+石英	0.85	5.09		16.58	8.58	1.54	65.81	0.00	0.00

			气相成分（ug/10g）						
PO_4^{3-}	Na^+/K^+	Cl / F	CO_2	CO	H_2	N_2	CH_4	H_2O	注
0.00	0.0298	4.20	24.775	0.087	0.043	0.173		351.96	2
0.00	0.1973	5.58	64.583	1.146	0.441	0.706	1.843	422.36	2
0.00	0.3135	14.69	18.302	0.369	0.440	0.542	0.021	295.499	2
0.00	0.7895	15.19	94.384	0.986	0.432	3.323	2.212	318.343	2
0.00	0.3456	7.63	655.019		2.304		0.866	178	1
0.00	0.3929	3.41	868.923		3.124		1.052	248	1
0.00	0.0726	10.97	48.751	0.623	0.025	9.240	4.646	15.568	2
0.00	0.1179	8.91	96 808	2.003	0.065	0.233	0.042	14.006	2
0.00	0.3138	26.83	99.917	2.784	0.123	1.009	0.396	121.512	2
0.00	0.0828	13.80	49.668	0.314	0.057	0.238	0.580	125.192	2
0.00	0.7845	3.75	40.874	0.120	0.081	0.459	2.209	793.491	2
0.00	0.8063	2.23	67.453	0.374	0.100	1.067	4.013	975.727	2
0.00	1.5740	1.69	92.929	3.037	0.073	0.297	0.257	1632.431	2
0.00	2.0716	20.40	79.114	0.713	0.126	1.762	0.803	2737.712	2
0.00	0.2581	2.99	58.857	1.377	0 093	2.123	3.271	268.325	2

资料来源：1 本文（测试单位：中南大学地质研究所）；2 二大队，1993

本次研究的流体包裹体化学成分的测试工作由中南大学地质研究所包体室完成。采用美国戴安公司生产的DX-120 Ion Chromatograph(美国)离子色谱仪和美国瓦里安公司生产的 3400 型气相色谱仪对所选单矿物进行了流体包裹体的气、液相化学成分分析。

由白牛厂矿床流体包裹体成分分析结果（表6-2）可知，按离子含量相对大小，白牛厂矿床的成矿流体包裹体成分中液相成分的相对含量为：$SO_4^{2-}>K^+>Cl^->Ca^{2+}>Na^+>Mg^{2+}$，气相成分以$CO_2$为主，含少量CO、$CH_4$、$H_2$、$N_2$。其最显著的特点为（1）矿液明显富K贫Na，$Na^+/K^+$比值小于1；（2）矿液具有较高的$SO_4^{2-}$含量，同时$CO_2/(CO+CH_4)$比值高，表明成矿流体是偏于氧化的。J.W.Lydon（1983，1984）认为，偏氧化型溶液不能搬运大量Ba，这在白牛厂矿床的矿物学方面得到了很好的印证，白牛厂矿床中的脉石矿物几乎不含重晶石，而富含钾长石、绢云母和绿泥石等富钾矿物。

6．1．2 稳定同位素研究

A 硫同位素：白牛厂矿床硫化物硫的$\delta^{34}S$值变化范围为-9.4‰～+10.95‰（表6-3），其频率分布见图6-1，呈塔式分布。各矿物的$\delta^{34}S$平均值依次为黄铁矿>磁黄铁矿>方铅矿>闪锌矿。黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等的$\delta^{34}S$值变化范围较宽（表6-4），说明部分物源来自地层，同时还说明成矿是多阶段的，因而在矿床总体上不存在硫同位素分馏平衡关系。从不同矿段来看，硫同位素仍然是不平衡的。这进一步说明，矿石是多阶段共生组合的重叠（表6-5）。

总之，白牛厂矿床的硫，是多阶段成矿叠加的结果，是多来源的，既有来自花岗质岩浆的，也有来自地层的。

表6-3　白牛厂矿区硫同位素组成

样号	采样位置	测试矿物	地质特征	$\delta^{34}S$	样号	采样位置	测试矿物	地质特征	$\delta^{34}S$
C22	ZK9-8,274m	黄铁矿	鲕状白云质灰岩	8 1	L3-6A2	ZK79-42,364m	磁黄铁矿	条带状磁黄铁矿石	2 1
C34-1	ZK9-2,116m	闪锌矿	灰质白云岩	-9 4	L13-3A	Zk79-42,362m	磁黄铁矿	条带状磁黄铁矿石	2 6
B92	ZK57-21,414m	黄铁矿	砂质白云岩	4 8	E2-3	Zk118-2,118m	磁黄铁矿	条带状铅锌矿石	5.2
B106	ZK57-1,66m	黄铁矿	砂质白云岩	5.3	E2-3	Zk118-2,118m	黄铁矿	条带状铅锌矿石	3 7
B125	ZK57-9,280m	黄铁矿	碎裂岩化白云岩	8 6	E2-3	Zk118-2,118m	方铅矿	条带状铅锌矿石	3 0
B200	ZK57-13,14m	磁黄铁矿	粉砂质白云岩	4 4	E2-3	Zk118-2,118m	闪锌矿	条带状铅锌矿石	5.7
L6	ZK72-1,320m	黄铁矿	黑色炭质板岩	3 1	III2-1	ZK74-42,356m	黄铁矿	浸染状磁黄铁矿石	1.3
B22	ZK57-4,197m	黄铁矿	粉砂质泥岩	3 7	YD1	CD200,YD1	黄铁矿	条带黄铁闪锌矿石	3 0
B155	ZK57-3,276m	黄铁矿	绢云母粉砂岩	2 3	YD1	CD200,YD1	方铅矿	条带黄铁闪锌矿石	2.3
B155	ZK57-3,276m	磁黄铁矿	绢云母粉砂岩	5 3	YD1	CD200,YD1	闪锌矿	条带黄铁闪锌矿石	4.3
B76	ZK57-13,480m	辉锑矿	含炭质粉砂岩	0 4	I -6A1	ZK74-42,364m	磁黄铁矿	穿切磁黄铁矿脉	2 5
B69	ZK57-13,372m	黄铁矿	粉砂岩	0.2	III1-1	ZK74-42,321m	方铅矿	细网脉状矿石	2.2
B93	ZK57-21,426m	黄铁矿	白云质粉砂岩	1 5	A28	ZK126-6,269m	磁黄铁矿	细脉状磁黄铁矿脉	4 7

B93	ZK57-21,426m	磁黄铁矿	白云质粉砂岩	2 1	C7-3	ZK134-2,356m	磁黄铁矿	脉状磁黄铁矿化	5 1
B96	ZK57-21,513m	磁黄铁矿	砂质白云岩	2 1	C18	ZK134-2,390m	磁黄铁矿	脉状闪锌矿石	4 1
B97	ZK57-21,526m	黄铁矿	砂质白云岩	2 6	C18	ZK134-2,390m	闪锌矿	脉状闪锌矿石	3 1
B151-1	ZK57-5,182m	闪锌矿	构造角砾岩	-2 2	C9-3	ZK134-2,417m	闪锌矿	方铅闪锌矿脉	4 1
B163	ZK57-7,293m	辉锑矿	泥质条带灰岩	-0 2	C9-3	ZK134-2,417m	方铅矿	方铅闪锌矿脉	3 3
B212	ZK57-33,287m	辉锑矿	白云岩	-0 4	K11-4	ZK102-41,165m	黄铁矿	网脉黄铁闪锌矿石	2 6
H59	PD210 矿石堆	黄铁矿	豆状黄铁矿矿石	3.2	K11-4	ZK102-41,165m	方铅矿	网脉黄铁闪锌矿石	2 9
N1-5	ZK210-32,127m	黄铁矿	豆状闪锌黄铁矿	2 3	K11-4	ZK102-41,165m	闪锌矿	网脉黄铁闪锌矿石	4 0
N1-5	ZK210-32,127m	闪锌矿	豆状闪锌黄铁矿	3 2	L4	ZK58-6,189m	毒砂	角砾状闪锌矿石	3 7
H49	PD210 矿石堆	黄铁矿	粗粒黄铁矿矿石	4 7	坑 1	矿石堆	方铅矿	角砾状方铅矿石	3 6
H58	PD210 矿石堆	黄铁矿	棕色闪锌矿石	0 6	L1-b	Zk77-3,160m	方铅矿	角砾状铅锌矿石	3.2
H58	PD210 矿石堆	闪锌矿	棕色闪锌矿石	-3 9	L1-b	Zk77-3,160m	闪锌矿	角砾状铅锌矿石	4 3
B75	ZK57-13,463m	磁黄铁矿	块状磁黄铁矿石	4 6	M9	茅山洞锑矿点	辉锑矿	块状辉锑矿石	-0 1
B162	ZK57-5,286m	黄铁矿	块状黄铁矿石	2 4	M10	茅山洞锑矿点	辉锑矿	块状辉锑矿石	-2 1
B222	ZK51-35,510m	硫锑铅矿	铅锌磁黄铁矿石	0 92	M11	茅山洞锑矿点	辉锑矿	块状辉锑矿石	0 8
H52	PD210 矿石堆	硫锑铅矿	块状铅锌矿石	2 9	M12	茅山洞锑矿点	辉锑矿	块状辉锑矿石	1 04
H7	PD108 矿石堆	方铅矿	块状铅锌银矿石	4 1	M13	茅山洞锑矿点	辉锑矿	块状辉锑矿石	-1 9
H33	PD210 矿石堆	方铅矿	块状铅锌矿石	3 1	B20	茅山洞锑矿点	辉锑矿	块状重晶石辉锑矿	-4 5
B13-1	穿心洞	方铅矿	块状铅锌矿石	5 4	B20	茅山洞锑矿点	重晶石	块状重晶石辉锑矿	13 9
H28	牛作底	方铅矿	含方铅矿白云岩	23 4	H30	牛作底	方铅矿	含方铅矿白云岩	18 6
H29	牛作底	方铅矿	含方铅矿白云岩	22.3	I 16-5	Zk79-42,447m	毒砂	花岗斑岩中矿化	4 9
B1-1*	白羊 1710 中段	方铅矿	块状铅锌银矿石	3 4	B3-3*	白羊 1710 中段	磁黄铁矿	块状铅锌银矿石	4 0
D1-1*	对门山 1780 中段	方铅矿	稠密浸染状铜铅锌矿石	2.5	D3-1*	对门山 1780 中段	磁黄铁矿	稠密浸染状铜铅锌矿石	3.2

资料来源：标“*”者为本文（由国土资源部矿产资源研究所测试，硫化物矿样以 Cu_2O 作氧化剂制样，质谱计型号为 MAT 251 E，采用的国际标准为 CDT，分析精密度为±2‰），其余据二大队（1993）

表 6-4　白牛厂矿区各矿物硫同位素组成变化范围（‰）

矿床（点）	测试矿物	样品数	变化范围	平均值
白牛厂	黄铁矿	24	+0.2~+8.6	+3.58
	磁黄铁矿	14	-1.2~+5.3	+2.27
	闪锌矿	16	-9.4~+4.54	+0.94
	方铅矿	13	-2.0~+10.95	+1.90
	硫锑盐	2	+0.92~+2.9	+1.91
	辉锑矿	3	-0.40~+0.40	-0.03
	平均	68	-9.4~+10.95	+2.18
牛作底	方铅矿	3	+18.6~+23.4	+21.43
茅山洞	辉锑矿	6	-4.5~+1.04	-1.13

6-5 白牛厂矿床各矿段硫同位素组成特征表（‰）

测试矿物	阿尾矿段			白羊矿段			穿心洞矿段		
	样品数	变化范围	平均值	样品数	变化范围	平均值	样品数	变化范围	平均值
黄铁矿	3	1.0~3.82	2.81	17	0.2~8.6	3.50	4	3.04~8.1	4.50
磁黄铁矿	2	-1.2~0.4	-0.4	8	0.3~5.3	2.86	2	2.32~2.85	2.95
闪锌矿	5	-1.4~4.50	2.33	7	-3.9~3.0	0.28	4	-9.4~4.54	0.35
方铅矿	2	-2.0~10.95	4.48	7	-1.99~4.1	0.82	2	2.89~3.36	3.13
硫锑铅矿				2	0.92~2.9	1.91			
辉锑矿				3	-0.40~+0.40	-0.03			
平均值	12	-2.0~10.95	2.42	44	-3.9~8.6	2.08	12	-9.4~8.1	2.57

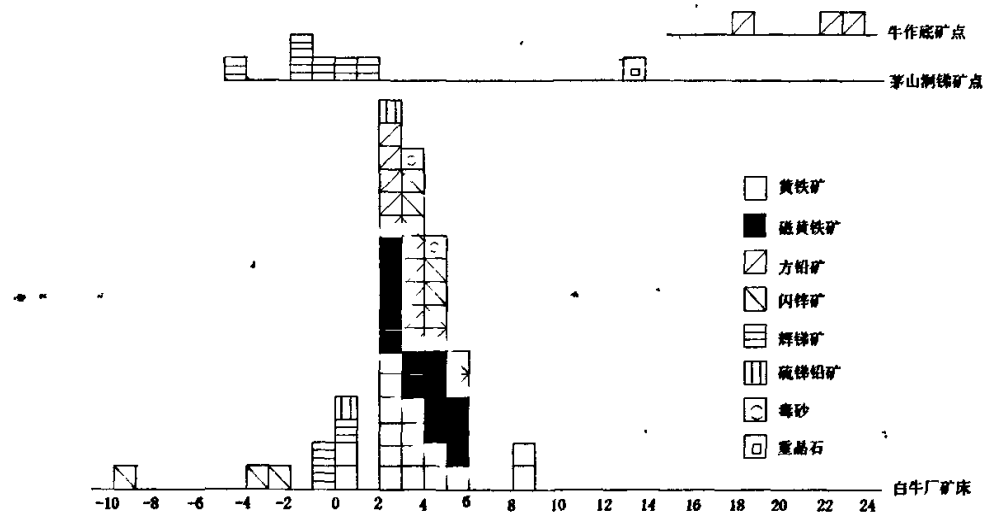


图 6-1 白牛厂矿床硫同位素分布频率统计直方图

B 铅同位素地球化学：铅的四个同位素 ^{204}Pb、^{206}Pb、^{207}Pb、^{208}Pb 中，除 ^{204}Pb 是非放射性成因外，其余三个分别是 ^{238}U、^{235}U、^{208}Th 经过一系列放射性衰变而产生的最终产物。因此，可以用 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 的比值来反映放射成因铅的增长情况，其演化与源区特征有关，所以铅同位素年龄和某些比值参数可以研究成矿物质来源，如值高的铅来自上地壳，值低的来自下地壳或上地幔。

表 6-6　白牛厂矿区沉积岩及花岗岩类铅同位素组成表

样品编号	采样位置及地质特征	U ppm	Pb ppm	$^{206}Pb/^{204}Pb$ (‰)	$^{207}Pb/^{204}Pb$ (‰)	$^{208}Pb/^{204}Pb$ (‰)	年 龄 (Ma)
B-30	阿尾银矿体露头,含银碳酸盐	151	2655	18.260	15.487	37.927	255.3
H600002	ZK57-3,62m,粉砂岩			18.57	15.66	39.14	122.1
H600003	ZK57-3,117.5m,砂质白云岩			18.64	15.81	39.96	254.7
H600005	ZK57-3,186m,泥质灰岩			18.62	15.77	39.19	218.7
ZK57-17-17	ZK57-17,267m,白云岩			21.26	16.09	50.49	
ZK57-17-26	ZK57-17,422m,灰岩			18.565	15.718	38.97	197.6
ZK57-17-30	ZK57-17,460m,灰岩			18.616	15.704	39.286	255.5
ZK57-17-34	ZK57-17,490m,灰岩			18.455	15.704	38.972	144.3
Ⅰ9-3	ZK79-42,295m,鲕状灰岩	2.13	6.47	18.597	15.632	38.463	71.2
Ⅲ9-3	ZK74-42,178m, 鲕状灰岩	2.98	3.90	18.683	15.720	38.781	120.1
CD5-1	PD200 坑道,矿体下盘条带状灰岩	3.29	7.80	18.620	15.625	38.529	79.10
L6	ZK72-7,320m,碳质板岩	9.84	9.28	18.647	15.680	38.530	96.0
P2-1	ZK1-5,553m, 碳质板岩	34.28	6.47	19.229	15.653	38.578	100
C12	Zk134-2,500m,透辉石化大理岩	1.76	7.70	18.607	15.639	38.501	73.0
J31	Zk84-43,510m,透辉石透闪石化大理岩	7.96	1.30	18.682	15.703	38.587	120
DTB-160	矿区外围浪木桥组碳质页岩(含黄铁矿)	30.9	5.38	29.387	16.308	38.855	
DTB-152	矿区外围浪木桥组含碳化物纹层板岩	9.07	15.78	18.619	15.651	38.530	249
TW2-21	ZK130-11,662m,花岗岩			18.255	15.596	38.234	268.3
TW2-20	ZK130-11,645m,花岗岩			17.952	15.366	37.724	203.6
H600016	ZK130-11,640m,花岗岩			18.54	15.73	39.11	217
H30	豺狗坡,TC1,花岗斑岩			18.53	15.690	39.143	187
H31	渔塘,TC1,花岗斑岩			18.665	15.799	39.512	224
G23	ZK130-11,677m,阿尾花岗岩	3.15	11.88	18.727	15.751	39.651	126
G24	ZK130-11,725m,阿尾花岗岩	3.77	14.48	18.732	15.736	38.660	104
Ⅰ16-1	ZK79-42,434m,白羊矿段蚀变花岗斑岩	8.20	34.35	18.716	15.733	38.627	112
Ⅰ16-6	ZK79-42,445m,黑云母花岗斑岩	4.70	61.36	18.727	15.747	38.654	122

资料来源：二大队，1993

表 6-7　白牛厂矿区矿石中硫化物铅同位素组成表

样品编号	采样位置及地质特征	样品种类	$^{206}Pb/^{204}Pb$(‰)	$^{207}Pb/^{204}Pb$(‰)	$^{208}Pb/^{204}Pb$(‰)	年　龄(Ma)	资料来源
Ⅰ13-3A	ZK79-42,362m,条带状铅锌矿石	方铅矿	18.384	15.624	38.664	239.2	2
E2-3	ZK118-2,118m,条带状铅锌矿石	方铅矿	18.114	15.448	38.767	421.3	2
Ⅲ1-1	ZK74-42,312m,网脉状铅锌矿石	方铅矿	17.756	15.175	37.289	432.8	2
K11-4	ZK102-41,265m,网脉状铅锌黄铁矿石	方铅矿	17.851	15.296	37.333	231.5	2
C9-3	ZK134-2,417m,网脉状铅锌矿石	方铅矿	17.264	14.843	36.481	453.2	2
坑-1	角砾状铅锌矿石	方铅矿	18.349	15.634	38.709	243.9	2
L4	ZK58-6,189m,角砾状磁黄铁铅锌矿石	方铅矿	17.799	15.295	37.797		2
TW2-03	ZK57-3,157m,块状方铅矿闪锌矿矿石	方铅矿	18.265	15.588	38.613	253.7	2
TW2-02	ZK9-5,177m,浸染状方铅矿闪锌矿矿石	方铅矿	18.307	15.623	38.699	265.9	2
TW2-01	ZK130-8,188m,块状方铅矿闪锌矿矿石	方铅矿	18.035	15.4009	38.150	198.8	2
TB06	牛作底东 1 千米	方铅矿	18.125	15.655	38.223	433.0	2
TB02	穿心洞矿段 LD3 洞中	方铅矿	18.244	15.769	38.509	481	2
TW2-16	ZK57-7,278.8m,方铅矿矿石	方铅矿	18.342	15.632	38.645	247.9	2
TW2-17	ZK57-7,289.45m,方铅矿矿石	方铅矿	18.322	15.630	38.646	260.5	2
TW2-18	ZK126-6,467m,方铅矿矿石	方铅矿	18.298	15.616	38.578	261.0	2
TW2-15	ZK57-13,367.5m,方铅矿矿石	方铅矿	18.240	15.728	38.945	302.1	2
TW2-19	ZK130-11,633.38m,铁闪锌矿矿石	闪锌矿	18.333	15.629	38.443	250.9	2
H53	白羊矿段 PD210 矿石堆	方铅矿	18.379	15.687	38.874	292.5	2
B1-2	白羊矿段 1710 中段	方铅矿	18.3907	15.7006	38.9176	296.3	1
D1-2	对门山矿段 1780 中段	方铅矿	18.3553	15.6976	38.9050	259.6	1
H29	牛作底跑马山含方铅矿钙质白云岩	方铅矿	18.293	15.805	38.56	488.8	2
H7	穿心洞矿段 PD108 矿石堆	方铅矿	18.359	15.668	38.828	257.2	2
B20	白羊矿段 ZK57-4,183.3m	辉锑矿	18.766	15.665	38.754	98.0	2

资料来源:1 本文（由中国地质科学院地质研究所同位素地质年代学实验室杨淳分析，误差为 2σ）；2 二大队（1993）

表 6-8　白牛厂铅同位素组成变化范围

类别	$^{206}Pb/^{204}Pb$(‰)		$^{207}Pb/^{204}Pb$(‰)		$^{208}Pb/^{204}Pb$(‰)	
	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值
矿石(22)	17.264~18.766	18.191	14.843~15.805	15.549	36.481~38.945	38.383
围岩(14)	18.26~19.229	18.628	15.487~15.81	15.679	37.927~39.96	38.815
花岗岩(9)	17.952~18.732	18.538	15.366~15.799	15.683	37.724~39.651	38.813

白牛厂矿区各类样品的铅同位素组成见表 6-6、6-7，其变化范围见表 6-8。由表 6-6 中对 9 个沉积岩和 4 个花岗岩类中的铀含量的测定结果可知，本区沉积岩和花岗岩中，尤其是下部的碳质板岩，均含有较多的铀。它的锐变必然影响岩矿石中铅同位素的组成。

如果按单阶段演化的的正常铅来考虑，中寒武统铅模式年龄为 79~255Ma，与地层时代不吻合，花岗岩的模式年龄为 104~268Ma，也与燕山晚期不一致，矿石铅模式年龄为 98~488Ma，变化范围大，既不能反映成矿时代，也不能确切阐明铅源，说明铅是多来源的，既来自花岗岩浆，也来自地层，成矿也是多阶段的。

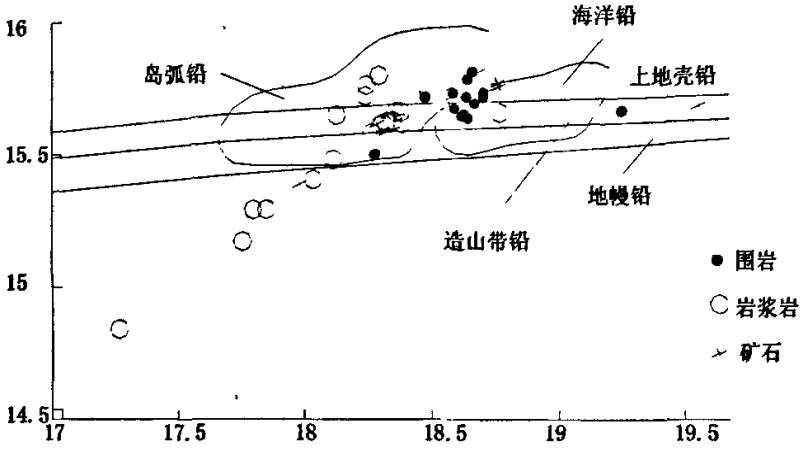


图 6-2　$^{207}Pb/^{204}Pb-^{206}Pb/^{204}Pb$ 构造环境图解

将白牛厂矿床铅同位素组成投影于 $^{207}Pb/^{204}Pb-^{206}Pb/^{204}Pb$ 构造环境图解（图 6-2），从图中可以看出：（1）本区铅同位素组成投影点大部分落在造山带和上地壳范围内，说明它们有大致相同的铅源和大致相同的演化历史。但是，也要注意到，有相当一部分铅同位素组成投影点不在造山带和上地壳范围内，说明铅的来源是多方面的，白牛厂矿床最终的铅同位素组成是多种因素共同协作的结果；（2）矿石和花岗岩的铅同位素投影点大多落在岛弧铅范围，反映了深部来源；沉积岩围岩的铅同位素投影点多落在海洋化学沉积铅范围内，即以沉积来源为主；（3）矿石中铅同位素组成变化范围很大，投影点穿越上地壳、岛弧直到地幔的演化曲线以下，说明矿石中铅的来源是很广泛的；（4）地层和岩浆岩的铅与矿石铅相比，更富含放射成因的的铅 $^{206}Pb/^{204}Pb$，这与前述铀的蜕变产物的积累有一定关系；（5）在图 6-2 中，花岗岩铅分布范围大致介于矿石铅和沉积铅之间，说明花岗岩浆热液可能具有一定程度的“桥梁”作用，即花岗岩浆热液一方面提

供了部分铅质，另一方面又萃取了围岩铅使之成为组成成分之一。

从以上分析可以看出，白牛厂矿床的铅有两个来源，即花岗质岩浆和地层。

C 碳、氧同位素：从白牛厂矿区碳、氧同位素组成表（表 6-9）及白牛厂矿床 $\delta^{13}C_{PDB}$ - $\delta^{18}O_{SMOW}$ 图解（图 6-3）中可以看出，龙哈组白云岩与田蓬组相比，具有相对较高的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$，其 $\delta^{13}C_{PDB}$ 介于 -3.7‰～-0.4‰之间，$\delta^{18}O_{SMOW}$ 则为+16.3‰～+22.2‰。龙哈组白云岩中重碳、氧同位素的富集，与潮坪泻湖相环境中的蒸发作用、较轻的 ^{12}C 和 ^{16}O 逸失有关。与龙哈组相比，田蓬组中的碳、氧同位素组成略低，$\delta^{13}C_{PDB}$ 分布于 -5.3‰ ～ -1.0‰之间，$\delta^{18}O_{SMOW}$ 则介于+14.6‰～+19.5‰之间，这与田蓬组的沉积环境有关。田蓬组早期属封闭、还原的深水环境，晚期虽水深变浅，仍属潮坪洼地相，蒸发作用的影响小，其 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 基本代表了与有少量有机物参加的正常海水处于平衡的同位素组成。

由不同产出部位的碳酸盐脉中的碳氧同位素组成分析结果可知，无（或弱）矿化及蚀变围岩中的碳酸盐脉，$\delta^{13}C_{PDB}$ = -6.6‰～-1.4‰，其值与地层相当，而 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 则介于+11.1‰ ～+17.3‰之间，多数样品的值较低，反映了有轻的氧同位素的加入；矿化及蚀变围岩中的碳酸盐脉则有所不同，其 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值介于 -4.3‰ ～ -8.3‰之间，绝大多数值较低，且它们的碳、氧同位素组成具明显的线性相关，其相关系数达 r = 0.95，这类蚀变围岩多属阿尾隐伏花岗岩体顶部的大理岩、矽卡岩类，其碳、氧同位素组成的线性相关与温度控制下的水、岩间的同位素平衡交换作用有关。

在 $\delta^{13}C_{PDB}$ - $\delta^{18}O_{SMOW}$ 图解（图 6-3）中，围岩的投影点大部分都落在沉积岩范围内，仅少数蚀变明显的碎裂岩化白云岩样品的投影点落在蚀变碳酸盐岩范围内。矿石中的碳酸盐矿物和碳酸盐脉的投影点，基本上都分布在蚀变或再沉淀碳酸盐岩区域，说明碳主要来自围岩，部分碳来自花岗质岩浆。矿石中的碳酸盐矿物和碳酸盐脉的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 与正常沉积岩相比，$\delta^{13}C$ 变化范围不大，而 $\delta^{18}O$ 明显降低。这表明，在成矿过程中，碳酸盐岩不同程度地遭受相对贫 $\delta^{18}O$ 的流体蚀变或者被贫 $\delta^{18}O$ 的流体溶解再沉淀。根据矿物的 $\delta^{18}O$ 值和均一温度，通过矿物与水的平衡关系式，估算了矿物沉淀时流体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值，其变化范围为 -10.9‰ ～ -3.9‰，与流体包裹体测定的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 相近，均为负值，说明成矿流体中有大气降水的参与，而且可能在成矿的某些阶段，水的来源以大气降水为主。

通过以上分析，可以认为，白牛厂矿区不同产出形态的碳酸盐，是在不同的碳、氧系统中形成的，包括正常海水、蒸发相海水和天水。它们反映了本区地质环境的变迁过程，在白牛厂矿床发育的不同历史阶段，以不同的形式起作用。

表 6-9　白牛厂矿区碳、氧同位素组成

样品编号	采样位置及地质特征	样品名称	$\delta^{13}C_{PDB}$ (‰)	$\delta^{18}O_{PDB}$ (‰)	$\delta^{18}O_{SMOW}$ (‰)	均一温度(°C)	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (‰)
B170	ZK57-25,36 2m,龙哈组砂质白云岩	全岩	-1 9	-8 4	+22 2		
B175	ZK57-25,149 0m, 龙哈组砂质白云岩	全岩	-0 4	-9 8	+20 8		
B179	ZK57-25,198 7m,龙哈组碎裂白云岩	全岩	-3 7	-14 1	+16 3		
B183	ZK57-25,268 0m,龙哈组碎裂白云岩	全岩	-2 2	-14 1	+17 3		
ZK57-17-5	ZK57-17,80 0 m,龙哈组白云岩	全岩	-1 4	-8 8	+22 0		
ZK57-17-12	ZK57-17,174 0 m,龙哈组白云岩	全岩	-1 0	-8 6	+22.2		
ZK57-17-17	ZK57-17,281 0 m,龙哈组砂质白云岩	全岩	-1 1	-9 7	+21 0		
ZK57-17-21	ZK57-17,372 0 m,龙哈组粉砂质白云岩	全岩	-1 5	-11 1	+19 6		
ZK57-17-26	ZK57-17,425 0 m,田蓬组泥质条带灰岩	全岩	-2 5	-15 5	+14 9		
ZK57-17-30	ZK57-17,463 7 m,田蓬组白云质粉砂岩	全岩	-3 3	-11 0	+19 5		
ZK57-17-34	ZK57-17,511 0 m,田蓬组白云质粉砂岩	全岩	-3 1	-15 8	+14 6		
B186	ZK57-25,359.2 m,田蓬组钙质粉砂岩	全岩	-3 6	-14 1	+16 3		
I 9-3	ZK79-42,295 0 m,田蓬组鳊状灰岩	全岩	-1 0	-15 3	+15 0		
III9-3	ZK74-42,178 m,田蓬组核形石灰岩	全岩	-1 4	-15 0	+15 4		
CD5-1	PD210 坑道壁,田蓬组条带状灰岩	全岩	-5 3	-14 6	+15 8		
ZK57-17-6	ZK57-17,96 0 m,龙哈组白云岩中白云石脉	铁锰白云石	-2 1	-17.5	+12 8	116	-6 3
B231	ZK57-29,182 5m,田蓬组泥质白云岩中白云石脉	铁锰白云石	-4 1	-18 8	+11 5	104	-9 0
B176	ZK57-25,163 0m,构造破碎带中方解石	方解石	-2 0	-18 9	+11 4	95	-10 2
B203	ZK57-33,88 8m,龙哈组白云岩中方解石脉	方解石	-6 6	-13 7	+16 7	101	-4 1
B225	ZK57-29,87.2m,龙哈组粉砂质白云岩中方解石脉	方解石	-1 4	-13.2	+17.3	87	-5 4
B228	ZK57-29,152 0m,田蓬组白云岩中方解石脉	方解石	-2 0	-19.2	+11 1	92	-10 9
B240	ZK57-29,338 0m,田蓬组泥质粉砂岩中方解石脉	方解石	-3 6	-13 4	+17 0	87	-3 9
M4	ZK94-36,185 0m,田蓬组深水灰岩具滑塌柔皱	方解石	-8 2	-19 1	+11.2		
A3	ZK130-11,257 6m,大理岩化白云岩中脉	铁锰白云石	-4 3	-15 4	+15 2	102	-5 61
A4	ZK130-11,262 0m,大理岩化白云岩中脉	铁锰白云石	-6 4	-15 9	+14 6	115	-4 7
A21	ZK130-11,575 0m,透闪透辉石矽卡岩中脉	铁锰白云石	-8 3	-18 0	+12 3	112	-9 3

资料来源：1 李纯杰，1994；2 二大队，1993

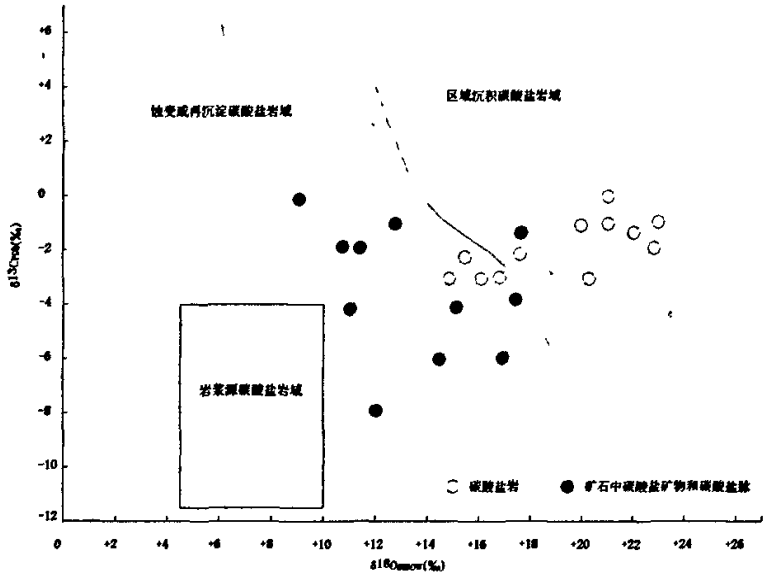


图 6-3 白牛厂矿床 $\delta^{13}C_{PDB}$ - $\delta^{18}O_{SMOW}$ 图解

D 氢-氧同位素：成矿流体按其成因和来源不同可分为雨水（大气降水）、海水、原生水（建造水、封存水）、变质水、原生岩浆水（幔源）、混合岩浆水等，其 H－O 同位素组成因其来源不同而有所区别。

将白牛厂矿区氢—氧同位素组成分析结果（表 6-10）投影于在 $\delta^{18}O_{H2O}$ - δD_{SMOW} 相关图（图 6-4）上。从图中可以看出，硫化物阶段的投影点介于大气降水和岩浆热液水之间，反映了该成矿阶段的成矿流体为这两者的混合流体；硫化物-硫盐阶段和低温热液成矿期的投影点偏向大气降水一侧，反映了成矿晚阶段介质水以大气降水为主。

表 6-10 白牛厂矿区氢-氧同位素组成

序号	样品号	采样位置及地质特征	测试矿物	δD_{SMOW} (‰)	$\delta^{18}O_{H2O}$ (‰)	资料来源
1	H58	白羊矿段 PD210 矿石堆，棕色闪锌矿铅锌块状矿石	闪锌矿	-53	+0.1	2
2	B75	ZK57-13，463m，块状磁黄铁矿矿石，条纹状构造	磁黄铁矿	-50	+1.2	2
3	H7	穿心洞矿段，PD108 矿石堆，方铅矿、闪锌矿矿石	方铅矿	-84	-2.1	2
4	B106-1	ZK57-1，66m，砂质白云岩，黄铁矿呈浸染状	黄铁矿	-122	-11.3	2
5	B151-1	ZK57-5，182.0m，角砾岩， 闪锌矿呈浸染状	闪锌矿	-61	-9.3	2
6	ZK57-17-1	ZK57-17，90m，白云岩，铁锰白云石呈细脉状分布	铁锰白云石	-95	-10.2	2
7	M9	茅山洞锑矿石，呈囊状矿体充填于断裂破碎带中	辉锑矿	-88	-10.9	2
8	D3-5	对门山矿段 1780 中段稠密浸染状铅铅锌矿石	磁黄铁矿	-76	-12.0	1

资料来源：1 本文（测试单位为国土资源部同位素实验室，分析方法为爆裂法取水，锌法制氢，质谱计型号为 MAT 251 EM，采用的国际标准为 SMOW，分析精密度为±2‰）； 2 二大队（1993）

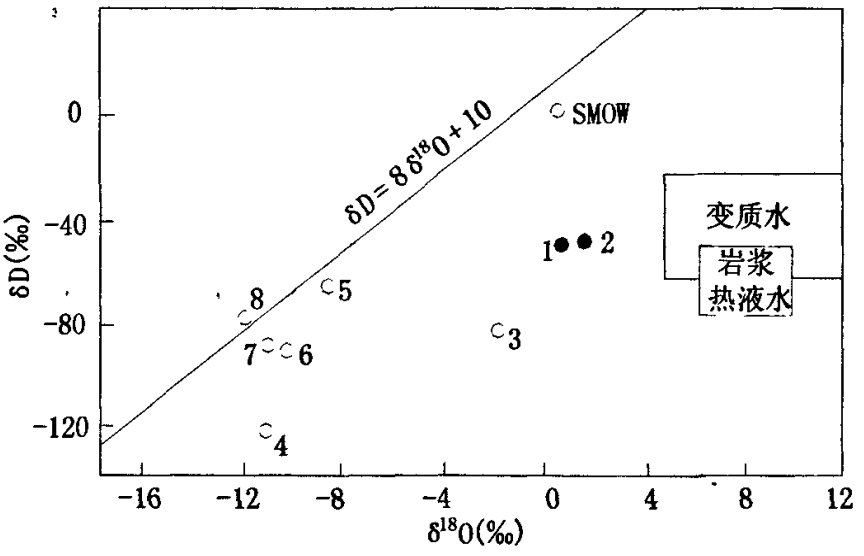


图6-4 白牛厂矿床 $\delta^{18}O_{H2O}$ - δD_{SMOW} 相关图

6.1.3 成矿流体的 PH 值和 Eh 值

根据白牛厂矿床流体包裹体中的 H_2O、CO_2、CH_4、H_2、CO 等组份特征，以及有关研究成果（徐文忻,陈民扬等，1985；卢焕章，李秉伦，1990；华仁民，1993），可以计算出白牛厂矿床成矿流体的 pH 值和 EH 值。

计算结果表明，从成矿早期到晚期阶段，白牛厂矿床成矿流体的 Eh 值明显递增，成矿环境趋于还原：锡石-硫化物阶段 Eh = -0.83 ~ -0.69；硫化物阶段 Eh = -0.71 ~ -0.57，硫化物-硫盐阶段 Eh = -0.48 ~ -0.36。

根据成矿溶液盐度和矿液成分计算出矿液的 pH 值范围在 4.4 ~ 6.5，偏酸性。

6．2 成矿作用过程与成矿模式

6．2．1 成矿作用过程

白牛厂矿区地处华南加里东褶皱系滇东南褶皱带西北缘，位于三大构造单元的结合部位，因受相邻构造单元的影响，地壳活动性较强，各次构造运动的形迹在区内均有表现，对白牛厂矿床形成均有不同程度的影响。

本区寒武系为封闭-半封闭的还原环境沉积产物，有利于成矿元素的同生富

集。白牛厂矿区中下寒武统中，铅锌等元素的背景值高出同类型沉积岩中的平均含量的1～2倍，且岩石中发现沉积型方铅矿、黄铁矿。特别是中寒武统中，形成了具有黄铁矿微细层纹状、条带状、球粒状构造的，有机炭含量高达0.04%～0.32%的还原性碳酸盐岩、细碎屑岩沉积。由于富硫的还原环境和有机炭对成矿元素的吸附作用，有利于矿质的沉淀。这表明，本区中、下寒武统岩石中确实存在成矿元素的原始同生富集，从而为本区银多金属矿的形成提供了物质来源。另外，沉积作用还形成了数个成矿元素局部同生富集层。其中，中寒武统田蓬组中上部的成矿元素局部同生富集层是燕山期叠生成矿的有利部位。

加里东期-印支期长时间的北西-南东向挤压，致使白牛厂-薄竹山地区产生一系列的北东向褶皱和断层，使本区显得“支离破碎”，为后来的花岗质岩浆侵位及成矿创造了条件。

燕山期，整个滇东南地区，造山运动强烈，伴以频繁的酸性岩浆侵入活动。燕山晚期，由于整个地区全面抬升，致使白牛厂地区深部岩浆上侵，从而促成了白牛厂矿床的岩浆侵入成矿作用。

燕山运动晚期，随着花岗质岩浆从北西西向朝南东东向由深而浅侵入，推挤上部及周围沉积岩层，形成圆宝山复式向斜和白牛厂短轴背斜。同时，正上方的沉积岩层向四周下滑，构造岩性薄弱面得以优先发育为滑动面，滑距越来越大，最终形成几个大的拆离面，即伸展低角度剥离断层。这些断、褶构造为岩浆结晶分异、成矿流体的形成和运移及矿质沉淀创造了有利条件。花岗质岩浆上侵，在岩体四周也形成了大量放射状断层，并使先前形成的断层、层间破碎带和裂隙活化。

花岗质岩浆上侵后，围岩首先发生蚀变，产生矽卡岩化、角岩化，即矽卡岩成矿期。矽卡岩中主要是钙铝榴石-透辉石-方解石-石英组合，含少量锡石、黄铁矿和磁黄铁矿。在角岩中，主要是黑云母-斜长石-石英共生组合。该阶段未形成成矿元素的工业富集。

由于燕山期形成的断层、先前形成的断层（燕山运动使其活化）和岩浆上侵所产生的放射状断层的影响，上侵岩浆的压力降低，岩浆内部物理化学条件不平衡，产生结晶分异作用，分离出岩浆热液（成矿流体）。分离出的岩浆热液（成矿流体）几乎沿所有的断层、层间破碎带和裂隙渗透、充填，即中温热液成矿期的锡石-硫化物成矿阶段，锡主要在这个阶段形成。成矿流体向穿层裂隙-层间破碎带渗透时，锡石结晶温度较高，一离开岩体即可结晶。因此，锡石在整个矿体中均有分布。其它矿物结晶温度相对较低，等矿液运移到离岩体一定距离时才开始结晶。这样，在距岩体较近的地段形成锡石-石英共生组合，远离岩体则形成锡石-硫化物共生组合。在花岗岩体接触带中，锡石-石英组合形成时，伴随有透

闪石-阳起石化、绿泥石化、绿帘石化、符山石化、碳酸盐化，产出白钨矿。在远离接触带的围岩中，锡石-石英共生组合形成时，伴随有绢云母化、绿泥石化和黄铁矿化。锡石-硫化物共生组合中，首先结晶出石英和锡石，继而晶出毒砂、黄铁矿和磁黄铁矿，最后结晶出黄铜矿和铁闪锌矿等。在空间上，由近岩体向外，磁黄铁矿有所减少，黄铁矿和毒砂有增加的趋势。铁闪锌矿中有黄铜矿乳滴状出溶物，局部还出现辉铋矿、自然铋、深红银矿等。本阶段为较重要的成矿阶段，锡主要在这个阶段富集，并已接近或超过工业品位。

来自花岗质岩浆的含矿热液充填、交代成矿的同时，与大气降水一起近源萃取了裂隙-破碎带上下地层中的某些成矿元素，然后充填、交代成矿，即硫化物成矿阶段。主要矿物组合为铁闪锌矿-磁黄铁矿-黄铜矿-黄锡矿-银黄锡矿-银黝铜矿-方铅矿，以铁闪锌矿大量出现为标志。该组合穿插破碎了先前形成的锡石-硫化物共生组合，并有交代溶蚀早阶段矿物的现象。这个共生组合中没有出现毒砂，铁闪锌矿中很少见黄铜矿出溶物，并产出方铅矿。该成矿阶段为较次要的成矿阶段，基本上未形成某种成矿元素的大量富集。

花岗质岩浆上侵时，可能通过物理或化学反应使所经过地层中的有用元素加入到花岗质岩浆的组分中，丰富了花岗质岩浆的有用元素组分。燕山晚期，白牛厂地区已为陆地，此时的地下水以大气降水为主。岩浆热液与以大气降水为主的地下水一起组成混合成矿热液流体，在花岗质岩浆的热驱动力作用下对流循环，又进一步萃取了裂隙、破碎带周围岩层中的成矿物质，使成矿元素的浓度不断提高。V_1矿体上盘的龙哈组地层孔隙、裂隙发育程度较低，对成矿流体起到了屏蔽作用，致使成矿流体在向上渗透时，遇到龙哈组后就难以前进，而是就此充填、交代成矿，形成了硫化物-硫盐成矿阶段。主要矿物组合为黄铁矿-磁黄铁矿-方铅矿、闪锌矿-白铁矿。以磁黄铁矿大量出现为特征。产出矿物种类很多，主要有方解石、白云石、黄铁矿、白铁矿、闪锌矿、方铅矿、硫锑铅矿、斜硫锑铅矿、脆硫锑铅矿、脆银矿，其次有黝锡矿、硫银锑铅矿、柱硫锑铅银矿、脆硫锑铅银矿、硫铜银矿、银黝铜矿、黝锑银矿、辉锑银矿、硫锑铜银矿、辉锑矿等，另外还含少量锡石、磁黄铁矿、深红银矿、车轮矿、自然银等。该阶段矿石矿物组合常见呈脉状穿插了早阶段矿物共生组合，或胶结早阶段矿物共生组合角砾，构成多阶段重合矿体。该组合中的闪锌矿和方铅矿，不仅本身含量高，而且还包裹有硫盐矿物。磁黄铁矿交代已结晶出来的黄铁矿和磁黄铁矿生成白铁矿。本成矿阶段为最重要的成矿阶段，银、铅、锌主要在这个阶段形成。

成矿流体沿构造通道运移时，与周围岩层发生物质成分的交换，萃取成矿物质进入矿液，同时也使成矿流体的性质发生变化，从而有利于矿质的沉淀。进入容矿空间后，成矿流体一方面由于压力降低，一方面与中寒武统成矿元素局部同

生富集层相互作用，改变了溶液的性质，使成矿物质沉淀成矿。在使业已存在的同生富集层中的成矿元素得到进一步富集、成为工业矿体的同时，又在有利的成矿构造空间，如主断裂F_3剥离断层的侧羽裂隙、早期北东-北北东向构造与后期北西西向构造叠加部位，形成以块状构造富矿石为主的局部厚大富矿体。

至此，矽卡岩成矿期和中温热液成矿期结束，花岗质岩浆基本固结成岩。这时，由于燕山运动尾声的影响，大气降水对地层中的成矿元素进行活化、萃取，形成了含锑等成矿元素的低温液体，在有利的成矿空间内充填成矿（化），即低温热液成矿期的锑成矿阶段。本成矿阶段形成了辉锑矿-石英-碳酸盐组合，主要由辉锑矿组成，其次有石英、方解石、白云石和重晶石，含少量黄铁矿、白铁矿和方铅矿。

花岗质岩浆固结成岩后，热驱动影响消失，成矿流体逐渐停止流动，与花岗质岩浆侵入活动有关的成矿作用结束，白牛厂矿床形成。

表生期，虽局部地段可见银、铅、锡有次生富集现象，但氧化作用不强烈，氧化带不深，分布也不明显，故仅有局部意义。

6．2．2 成矿模式

通过前述对白牛厂矿床地质特征、成矿作用及成矿过程的讨论，可以认为，燕山期花岗质岩浆的侵入活动是形成白牛厂矿床的关键控制因素，断控是岩控的表现。白牛厂矿床经历了加里东期同沉积成岩成矿作用和燕山期花岗质岩浆侵入叠加改造成矿作用。花岗质岩浆侵入作用不仅提供了热源、部分成矿流体及成矿元素，而且产生了接触带构造体系及滑脱构造，促进了长期的热水对流循环活动，使得被萃取的成矿物质迁移至有利的岩性构造部位淀积，形成工业矿床。因此，白牛厂矿床为一多因复成矿床。白牛厂矿床的成矿模式见图6-5。

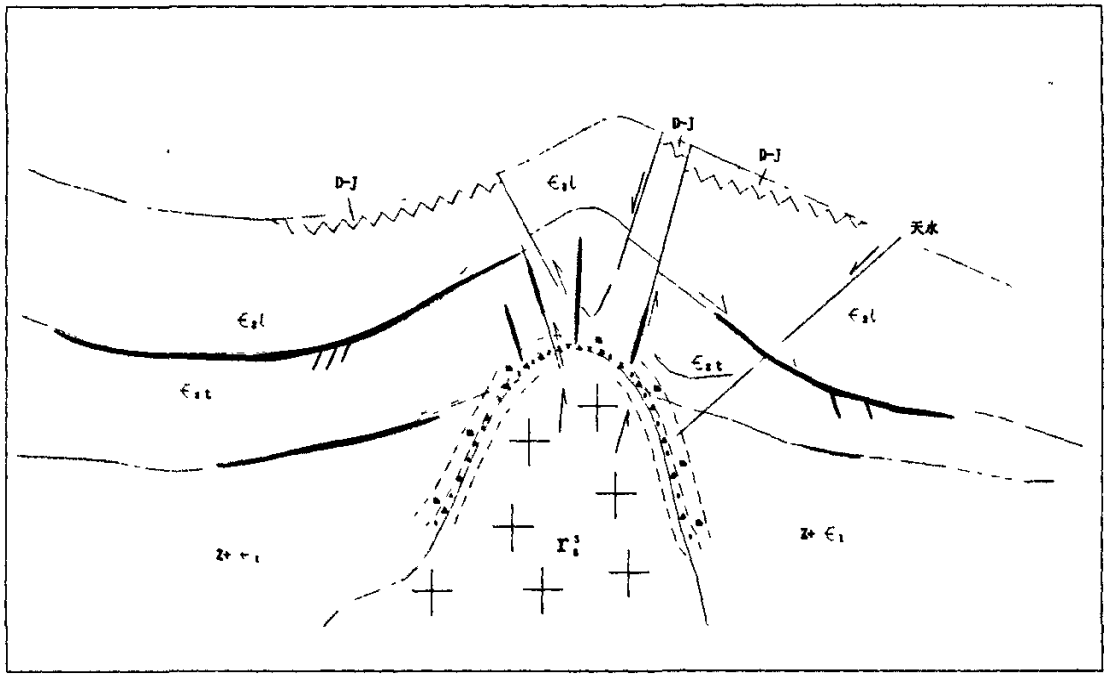
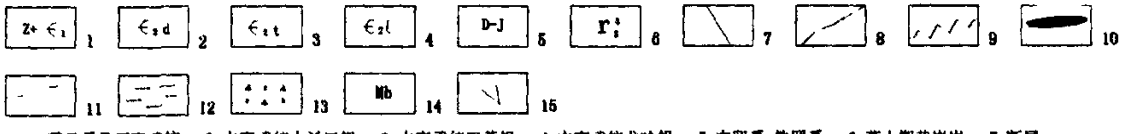


图6-5 白牛厂矿床成矿模式示意图



1 震旦系及下寒武统 2 中寒武统大丫口组 3 中寒武统田蓬组 4 中寒武统龙哈组 5 志留系-侏罗系 6 燕山期花岗岩 7 断层

8 整合地层界线 9 不整合地层界线 10 矿体 11 接触变质带界线 12 云英岩化 13 角岩化-砂卡岩化 14 大理岩化 15 流体运移方向

第七章　主要结论及存在问题

本次工作在系统收集白牛厂矿床现有文献资料和勘查与开采资料的基础上，通过地面和坑道地质调查与室内测试分析工作，开展了矿物岩石学、成矿构造学、矿床地球化学、同位素地球化学等方面的系统研究，基本弄清了白牛厂矿床的成矿地质特征，建立了白牛厂矿床的成矿模式。取得的主要成果与认识如下：

1 详细的现场地质调查工作表明，白牛厂矿床的矿体主体呈缓倾、大体顺层的脉状，严格受 F_3 断裂带的控制；富矿体往往为陡倾的脉状，受 F_3 的侧羽裂隙及近南北向构造控制；矿石中的磁黄铁矿及铁闪锌矿的大量出现，预示着成矿温度较一般的层控铅锌矿床为高；矿石中存在沉积组构，说明同生沉积作用对于矿床的形成有着积极的作用。

2 白牛厂矿床的成矿物质主要来自于中寒武统田蓬组及下伏地层，次为燕山期花岗质侵入岩。加里东期同沉积成岩成矿作用形成了白牛厂矿床最主要的矿源层，及若干个成矿元素局部同生富集层。其中，田蓬组中上部的成矿元素局部同生富集层为最大的矿体 V_1 的基本位置。燕山期花岗质岩浆侵入成矿作用就是在这些同生富集层上叠加成矿的。

3 矿床断、褶构造特征、构造地球化学特征及矿体分布规律表明，构造对成矿有极其重要的控制作用：白牛厂矿床最大的矿体—V_1 矿体受到圆宝山复式向斜和 F_3 断层严格的控制，矿体的空间展布服从于复式向斜的变化趋势，F_3 沿着 V_1 主矿体的顶部或附近产出，尤其是在白羊矿段，矿体与破碎带的产状及其变化基本一致；阿尾花岗岩上侵所造成的放射状断层控制了阿尾矿段陡倾斜脉状矿体的产出。

4 主要控矿断褶构造是由深部隐伏岩体推挤上部及周围沉积岩层形成的。F_3 断裂为一低角度剥离断层，是花岗质岩浆上侵形成的数个拆离面之一。在 F_3 的下部还会出现大体平行的拆离面，并且会赋存有工业矿体。这些拆离面是寻找盲矿体的一个重要方向。F_4-F_7 是后期破矿断层，切割了 F_3 和 V_1 主矿体。

5 早期北东-北北东向褶皱和断层对本区矿体，特别是富矿体的分布起重要控制作用。从母鸡白下寨到白牛厂断续出露的辉绿岩脉显示了隐伏北东-北北东向断裂的存在。早期北东-北北东向褶皱与后期北西西向褶皱的叠加才形成了现今的构造格局，对门山矿段 84 线上的富矿体是这种叠加褶皱的有力例证。因此，这种构造叠加部位是寻找富矿体的重要线索。

6 通过对阿尾花岗岩产出形态、岩石学及地球化学特点、围岩蚀变等特征

的分析，认为阿尾隐伏花岗岩的侵入是控制白牛厂矿床形成的关键因素，断控则是岩控的表现，理清了断控与岩控的相互关系，否定了层控的观点，纠正了以往认识上的错误，指明了找矿的方向。

7 流体包裹体及同位素地球化学研究表明，白牛厂矿床的形成是在燕山晚期；成矿流体富 K 贫 Na，具有较高的 SO_4^{2-} 含量，同时 $CO_2/(CO+CH_4)$ 比值高，是岩浆水与天水的混合物，成矿晚期以大气降水为主；成矿流体循环的驱动力来自下伏岩浆的侵入。

8 白牛厂矿床的形成主要与燕山期花岗质岩浆侵入活动有关。花岗质岩浆在燕山晚期上侵过程中分离出的含矿热液，与大气降水一起组成成矿流体，在对流循环过程中从深部及围岩中萃取成矿物质，携带至有利岩性构造空间沉淀成矿。

9 通过对白牛厂矿床矿床地质特征、成矿地质作用及成矿机理诸方面的综合研究，建立了白牛厂矿床的成矿模式：白牛厂矿床经历了加里东期同沉积成岩成矿作用和燕山期花岗质岩浆侵入叠加改造成矿作用。花岗质岩浆侵入作用不仅提供了热源、部分成矿流体及成矿元素，而且产生了接触带构造体系及滑脱构造，促进了长期的热水对流循环活动，使得被萃取的成矿物质迁移至有利的岩性构造部位淀积，形成工业矿床。因此，白牛厂矿床为一多因复成矿床。

白牛厂矿床的形成经历了复杂的过程，没有长期认真、仔细的研究工作是不可能完全认识清楚的。本次工作虽然取得了一定的成果，但由于时间及作者本人的水平有限，本文难免存在一些缺陷甚或谬误，敬请阅者斧正。

参考文献

[1] 陈毓川，裴荣富，宋天锐. 中国矿床成矿系列初论. 北京：地质出版社，1998.

[2] 程裕淇，宋天锐. 关于中国矿床成矿系列. 国外矿床地质，1995，(4)：4-5.

[3] 翟裕生. 区域成矿学. 北京：地质出版社, 1999.

[4] 云南省地质矿产局第二地质大队. 蒙自白牛厂矿区白羊矿段银多金属矿详查地质报告. 1990.

[5] 云南省地质矿产局第二地质大队. 云南省蒙自县老寨乡白牛厂银多金属矿区白羊矿段勘探区勘探地质报告（标高1580米以上）. 1994.

[6] 云南省地质矿产局第二地质大队. 云南省蒙自县白牛厂银多金属矿区对门山矿段普查地质报告. 1995.

[7] 云南省地质矿产局第二地质大队. 云南省蒙自县白牛厂银多金属矿区咪尾—穿心洞矿段、阿尾矿段普查地质报告. 2000.

[8]刘继顺. 海底火山作用和火山岩的若干特点. 有色金属矿产与勘查，1995，4 (1)：35~37.

[9]刘继顺. 喷流沉积成矿作用研究的若干问题. 矿产与地质，1996，10 (1)：6~10.

[10]江鑫培. 蒙自白牛厂银多金属矿矿床特征和成矿作用探讨. 云南地质，1990，9 (4)：291~308.

[11]云南省地质矿产局第二地质大队. 云南省白牛厂银铅锌矿床地质特征及控矿因素研究报告. 1990.

[12]钟寿华. 1：5万重力测量在蒙自县白牛厂地区寻找隐伏花岗岩的效果. 云南地质，1992，11 (1)：101-103.

[13]云南省地质矿产局第二地质大队. 云南省蒙自县白牛厂地区大比例尺成矿预测报告. 1993.

[14]江鑫培. 蒙自白牛厂银多金属矿床银赋存形式及其矿物特征. 1994，13 (1)：74~84.

[15]白金刚、池三川等. 云南白牛厂超大型银多金属矿床黄铁矿的标型特征及其成因意义. 云南地质，1995 (4)，302-306.

[16]白金刚，池三川，覃功炯. 云南白牛厂沉积喷流型银多金属矿床沉积环境分析. 有色金属矿产与勘查，1996，5 (3)：140~145.

[17]薛步高. 含锡花岗岩外带的银铅多金属矿床地质特征. 矿产与地质，

1995（12）：499-503.

[18]高子英.蒙自白牛厂银多金属矿床的成因研究.云南地质，1996，15(1)：91~101.

[19]周建平，徐克勤，华仁民等.滇东南锡多金属矿床成因商榷.云南地质，1997，16（4）：309~349.

[20]赵波，高子英.点储量的概念及应用.云南地质，2000，19(1)：97~101.

[21]陈学明，邓军，白金刚.云南白牛厂矿区古生代沉积盆地的成矿流体系统.现代地质，2000，14(2)：173~178.

[22]黄廷然.个旧原生锡矿典型矿床概论.云南地质，1984，3（1）：36~46.

[23]李家和.个旧花岗岩特征及成因研究.云南地质，1985，4(4)：327~352.

[24]彭程电.试论个旧锡矿成矿地质条件及矿床类型模式.云南地质，1985，4（1）：17~32.

[25]彭张翔.个旧锡矿成矿模式商榷.云南地质，1992，11（4）：362~368.

[26]於崇文等.云南个旧锡-多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系.1988，中国地质大学出版社。

[27]刘继顺，张洪培，李晓波.关于开展阿尾矿段深部探矿的建议（内部资料）.2003.

[28]张世涛，陈国昌.滇东南薄竹山复式岩体的地质特征及其演化规律.云南地质，1997，16（3）：222-230.

[29]云南省地矿局部区调队.云南省蒙自县白牛厂地区区域地质调查报告.1991.

[30]蓝朝华等.1：5万老寨街幅区域地质调查报告.1991

[31]陈元坤，吴上龙.云南省区域物化探资料综合研究报告.1990.

[32]孙鼐，彭亚鸣主编.火成岩石学.北京，地质出版社，1985.

[33]杨家瑞.云南省蒙自县白牛厂地区大比例尺成矿预测构造及构造地球化学研究.1993.

[34]何镜宇，孟祥化.沉积岩和沉积相模式建造.北京，地质出版社，1987.

[35]涂光炽等.地球化学.上海，上海科学技术出版社，1984

[36]涂光炽等.中国层控矿床地球化学(第2卷）.北京，科学出版社，1987

[37]杨世瑜.滇东南锡矿时空分布特征及成矿模式.地质科学，1990（2）：138~140.

[38]刘继顺，张洪培，李晓波.关于白牛厂矿田矿产勘查的总体设计方案（内部资料）.2003.

[39]陈学明.云南白牛厂超大型银多金属矿床叠加成矿的地质地化特征.地

质科学，1998，33（1）：115~124.

[40]华仁民.流体在金属矿床形成过程中的作用和意义—水岩反应研究进展系列评述.南京大学学报，1993，5（3）：351~360.

[41]魏菊英，王关玉编.同位素地球化学.地质出版社，北京，1988.

[42]李纯杰，史洪岳.云南蒙自县白牛厂银多金属矿床成矿机制的探讨，第五届全国矿床会议论文集.北京，地质出版社，1994.

[43]卢焕章，李秉伦，沈昆.包裹体地质化学.北京，地质出版社，1990.

[44]徐文忻，陈民扬，喻铁阶等.矿物包裹体成分数据的热力学计算方法及应用.矿产地质研究学报，1985，1:35-50.

[45]Kerr R. A. German Super-Deep Hole Hits Bottom. Science, 1994, 266, 28. Oct. 545.

[46]Wright J.B. A simple alk alinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. Geol. Mag. 1969, 106(4): 370~384.

[47]Pitcher W.S. The nature and origin of granite. Chapman & Hall. London. 1993.

[48] Jonasson I.R. and Walker D.A. Microorganisms and their debris ás sustrates for base metal sulfide nucleation and accumulation in some mid-ocean ridge deposits. EOS. Trans. Amer. Geophys. Union68. 1987, 1546.

[49] Baross J. and Deming J.W. The role of bacteri in the ecology of black smoker environments. Bull. Bio. Soc .Wash. 1985, 6, 355~371 .

[50] Juniper S.K. and Thompson J.A. and Calvert S.E. Accumulation of minerals and trace elements in biogenic mucus at hydrothermal vents. Deep-sea Research. 1986, 33, 339~347.

[51] Alt J.C. A hydrothermal/bacteria iron deposits from a seamount near 21°N , EPR. EOS. Trans. Amer. Geophys. Union 18. 1986, 526.

[52] Lonsdale P. and Becker K. Hydrothermal plums, hot springs, and conductive heat flow in the southern Trough of Guaymas Basin. Earth Planetary Science Letters, 1985, 73, 211~225.

[53] Roedder E. Reviews in mineralogy. Vol. 12: Fluid inclusion [M]. Mich- igan: Book Crafters, Inc. Chelsea . 1984.

[54] Lydon J.W. Chemical parameters controlling the origin and deposition of sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits [A] .Sangster D F ed. Sediment-hosted stratiform lead-zinc

deposits[R] .Min. Assoc. Can. Short Course Handb. 8, 1983.

[55] Lydon J. W. Volcanogenic massive sulfide deposits (Part 2) .Geoscience Canada, 1984 , (11): 195~202.

[56] Bethke C. M. A numerical model of compaction-driven ground-water flow and heat transfer and its application to the paleohydrology of intracratonic sedi- mentary basins. Journal of Geophysical Research, 1985, 90(B8): 6817~6828.

[57] Bethke C. M. Modeling subsurface flow in sedimentary basin .Geologishe Rundschau. 1989, 78: 129~154.

[58] Ridley. The relations between mean rock stress and fluid-flow in the crust, with reference to veined lode-style gold deposits. Geol Reviews, 1993, 8:23~27.

[59] Bluth G. J. and Ohmoto H. Sulfide-sulfate chimneys on the east Pacific rise, 11° and 13°N latitudes. Part Ⅱ: Sulfur isotopes Canada. Mineral, 1988, 26, 505~515.

[60] Shanks W. C. H. and Seyfried W. E. Stable isotope studies of vent fluids and chimney minerals, southern Juan de Fuca Ridge: Sodium metasomatism and seawater sulfate reduction. J. Geophys. 1987, Res. 92, 11387~11399.

[61] Lydon J. W. Volcanogenic massive sulfide deposits (Part 2) .Geoscience Canada, 1988 , (15): 43~65.

[62]Juniper S. K. and Fouquet Y. Filamentous iron-silica deposits from medem and ancient hydrothermal sites. Can Mineral. 1988, 26, 859~869.

[63]Alt J. C. The chemistry and sulfur isotope composition of massive sulfide and associated deposits on Green Seamount, eastern Pacific. Econ. Geol. 1986, 83, 1026~1033.

[64]Karl D. M. and Brittain A. Microbiology of Loihi seamount hydrothermal vents. NOAA Symp. Series for Undersea Res. 1988, 6(2) .

[65]Peter J. M. and Scott S. D. Mineralogy, composition, and fluid-inclusion microthermometer of seafloor hydrothermal deposits in the Southerm Trough of Guaymas basin, Gulf of Califonia Canadian Mineralohist vil. 1988, 26. 567~587.

[66]Jacquin, T et al. Systems tracts and depositional sequences in a carbonate setting: a study of continuous out crops from platform to basin

at scale of seismic lines. Marine and Petroleum Geology, 1991, 8

[67] Vail. P. R. Audemard. F, Bowman S. A. Cycle and events in stratigraphy: the stratigraphic signatures of tectonics, Eustay and Sedimentary—An Overview, 1991, 617~659

[68]Posamentier H. W. Variations of the sequences stratigraphic model: past concepts , present understandings, and future direction. AAPG, 1991, 75(3) :655~656

[69] Posamentier H. W. High resolution sequence stratigraphic - the cast coulee delta, Alberta, Journal of sedimentary petrology, 1992, 62(1/2) :310~317

[70]Weimer R. J. Development in sequence stratigraphy: Foreland and Cratonic basins. AAPG, 1992, 76(7) :965~982

[71]Thomas Aigner, Gerhard M Bachmann. Sequence-stratigraphic framework of the German Triassic. Sedimentary Geology, 1992, 80(1/2): 115~133

[72]Stano O. Tari G Early Miocene basin evolution in northern Hungury: tectonics and ecstasy. Tectonophysics , 1993, 226:485~502

致 谢

本文是在导师刘继顺教授的悉心指导下完成的。导师严谨的治学作风、渊博的地学知识、求实的科学态度使我受益匪浅。

在论文工作过程中，无论是从论文选题、研究思路和方法的确定，到有关资料的收集、野外调研、室内的岩矿鉴定，还是从资料的综合整理、数据的处理，到图件的编制等各项工作，导师都给予了精心指教；在论文初稿完成后，又多次仔细审阅全文，并提出了非常中肯的修改意见。

本次工作得到了蒙自矿冶有限责任公司的资金支持。野外工作期间，得到了蒙自矿冶有限责任公司董事长黎家足先生、总经理黎维中先生、副总经理张洪培先生及公司其它领导和各位员工的大力帮助和支持、云南有色地调院杨金富高工的无私帮助。

攻读学位期间，受到地质所的胡祥昭、吴湘滨、奚小双、赖建清和朱余德等各位老师的亲切指导和帮助；高珍权、舒广龙、匡文龙、胡江春、张洪培、马光、戴国汉、黎明、周余国、刘德利、韩海涛、郭军、熊赞民、董燕君等师兄弟及学友给了我诸多的帮助和启发，在共同学习的过程中我们结下了兄弟般深厚的友谊，这将是我终生宝贵的财富。

在此我要特别感谢我的父母和妻儿，是他们无私的奉献和默默的支持使我得以顺利完成学业。

感谢所有给予我支持、关心和帮助的人们!

攻读学位期间主要研究成果

[1] 李晓波，刘继顺．小秦岭东段大湖金矿床控矿构造特征．2003 年湖南矿物岩石地球化学论丛，中南大学出版社，135~140.

[2] 李晓波，刘继顺．小秦岭大湖金矿床的矿化分带规律及其指示意义．地质找矿论丛，2003，18（4）：243~248.

[3] 李晓波，刘继顺．小秦岭东段金矿化的垂向分带规律探讨．黄金，2004，25（1）：8~10.

[4] 李晓波，刘继顺，张洪培，马光．云南省蒙自县白牛厂银金属矿床控矿因素分析．地质找矿论丛，2005，20（2）.

[5] 张印飞，李晓波．陕西双王金矿床地质特征及找矿标志．2004 年湖南矿物岩石地球化学论丛，中南大学出版社，162~165.

[6] 张洪培，刘继顺，李晓波，马光．白牛厂银多金属矿床的岩浆活动与矿化的关系．2004 年湖南矿物岩石地球化学论丛，中南大学出版社，117~1120.

[7] 张印飞，李晓波．陕西双王金矿床边界品位和最低工业品位的计算及意义．黄金科学技术，2004，12（6）：23~26.

图 版

图版说明

图版 I

1 地表龙哈组刀砍状白云岩
2 白云岩中方解石脉(地表龙哈组)
3 地表龙哈组中层间构造挠曲现象

图版 II

1 白羊矿段 1680 中段 7 号穿脉口北沿脉壁揉皱构造,由硅质条带组成
2 白羊矿段 1700 中段 F3 断层破碎带内挤压小褶皱
3 白羊矿段 1700 中段 F3 断层顶板白云岩中黑色细脉状方铅矿、闪锌矿细脉

图版III

1 白羊矿段 1700 中段 F3 断层破碎带内的构造透镜体
2 白羊矿段 1700 中段粉砂岩地层中碳酸岩脉被平移断层错动
3 对门山矿段 1760 中段断层破碎带内碎裂岩及断层泥

图版IV

1 黄铜矿、方铅矿呈细脉状分布
2 稠密浸染状构造：方铅矿、闪锌矿呈稠密浸染状分布
3 粗粒黄铁矿中包有残晶状方铅矿 （反光）×100

图版V

1 碳酸盐脉切穿黄铁矿集晶 （反光）×100
2 黄铁矿呈筛孔状结构 （反光）×100
3 闪锌矿中的石英细脉 （反光）×100

图版VI

1 方铅矿交代溶蚀纤维状白铁矿 （反光）×50
2 纤维状白铁矿的柔皱结构 （反光）×100
3 早期黄铁矿的碎裂结构 （反光）×100

图版VII

1 闪锌矿和方铅矿交代白铁矿和磁黄铁矿 （反光）×50
2 闪锌矿中固溶体分泌物黄铜矿呈乳滴状分布 （反光）×100
3 自形粒状细粒黄铁矿呈浸染状构造 （反光）×100

图版VIII

1 细粒白云岩中的有机质呈脉状分布 （—）×50
2 细晶白云岩的微细层理 （+）×50，加石膏试板
3 白云岩的鲕粒结构 （—）×50

图版 I



1

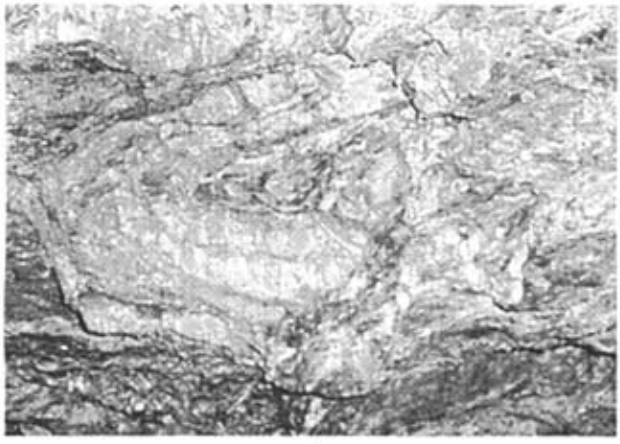


2

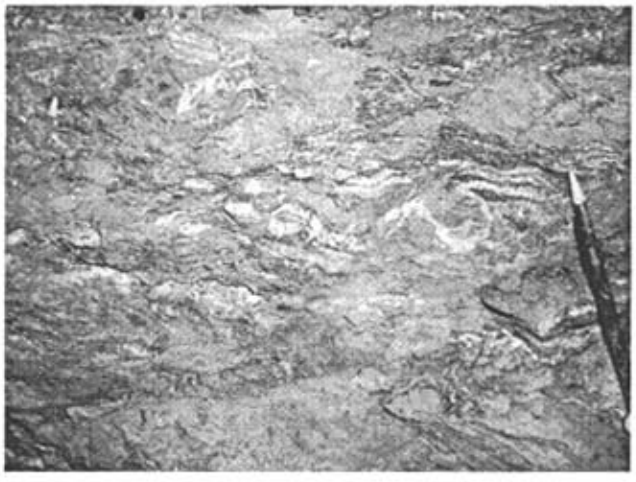


3

图版Ⅱ



1

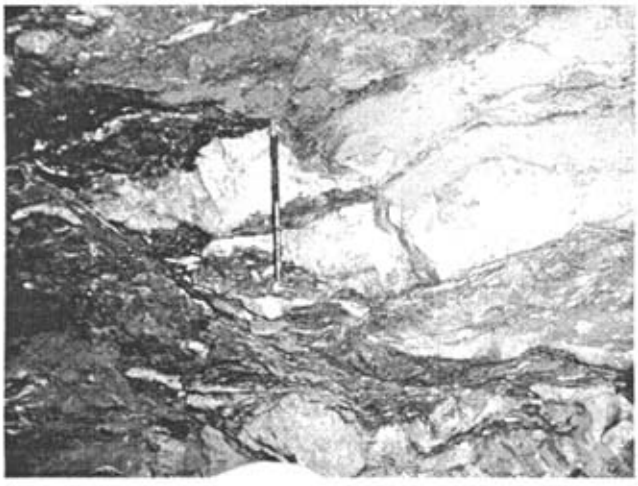


2

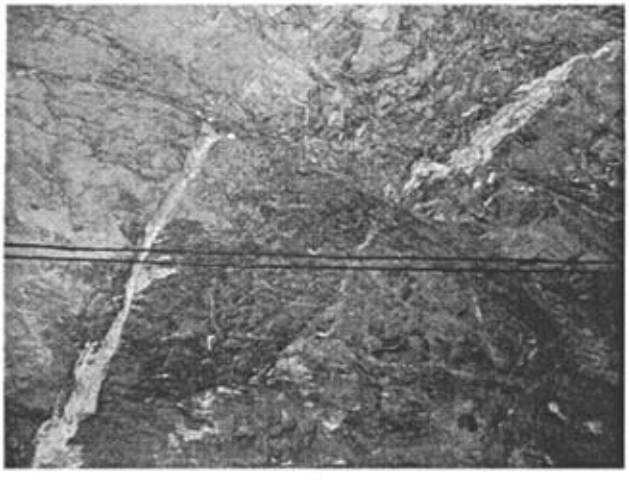


3

图版III



1

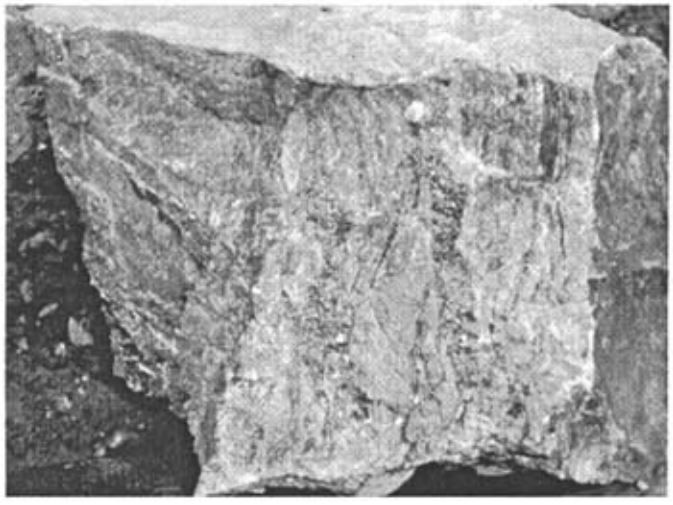


2

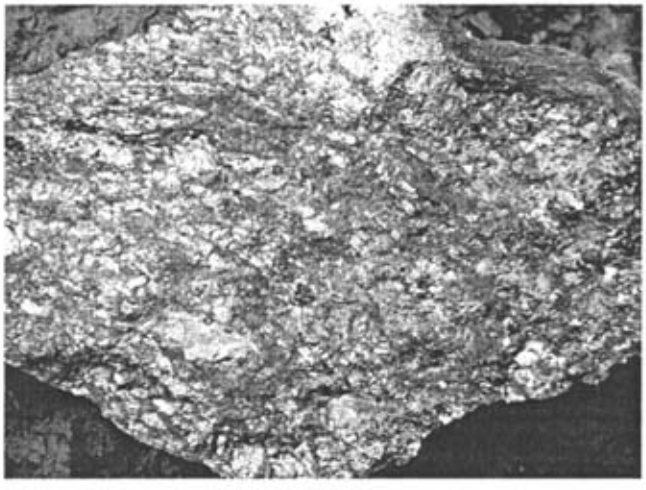


3

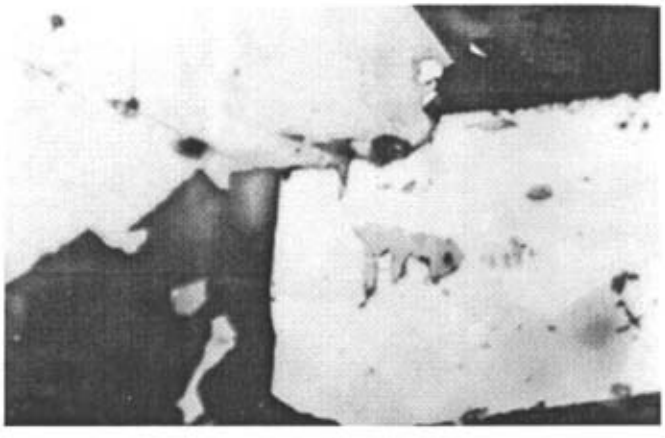
图版Ⅳ



1

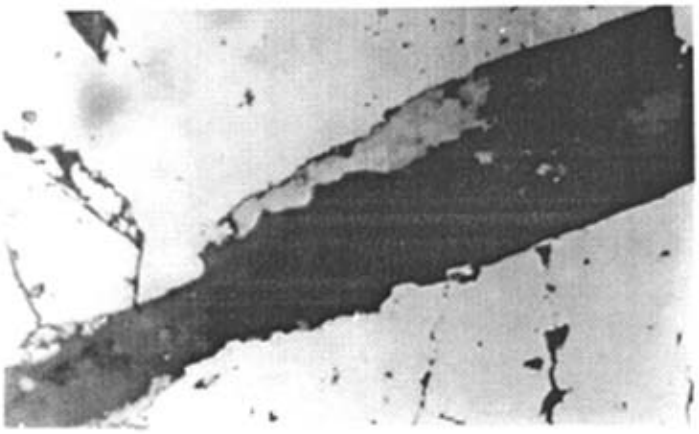


2

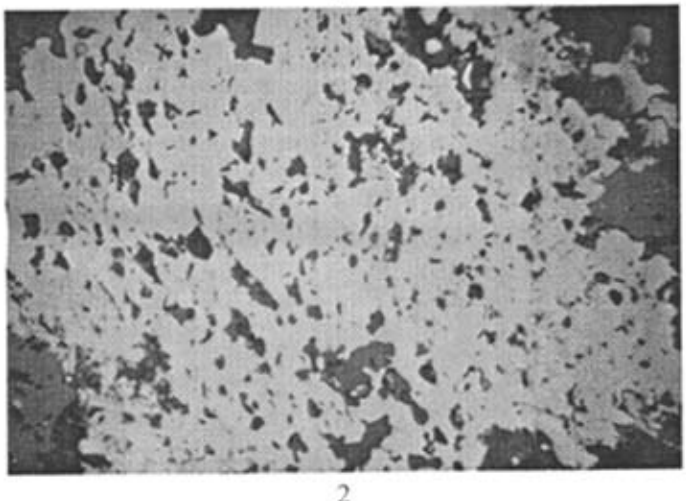


3

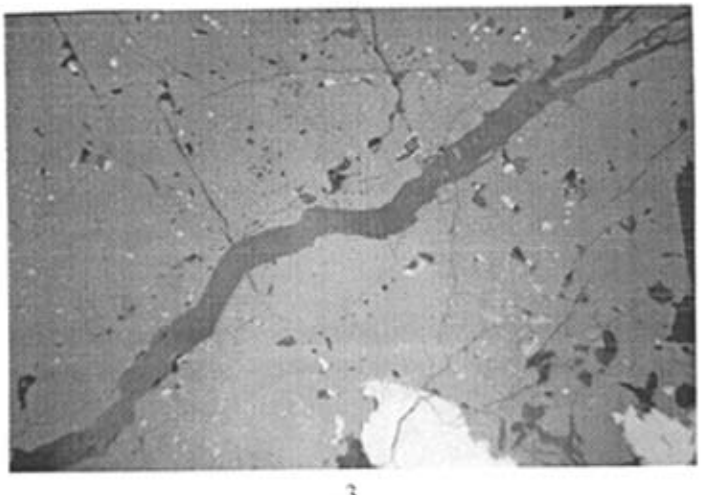
图版V



1

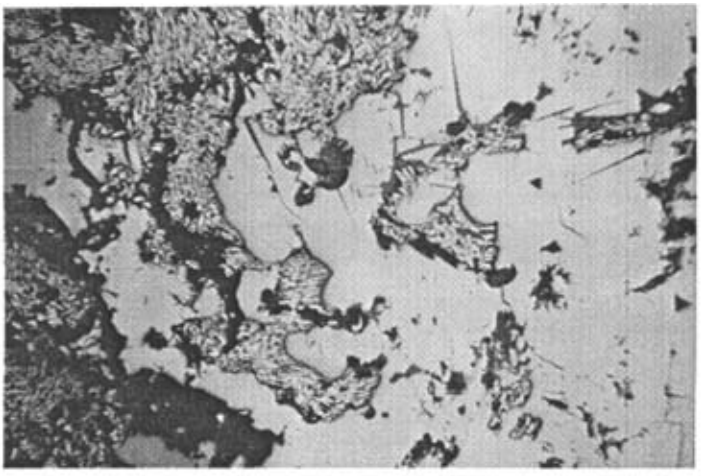


2

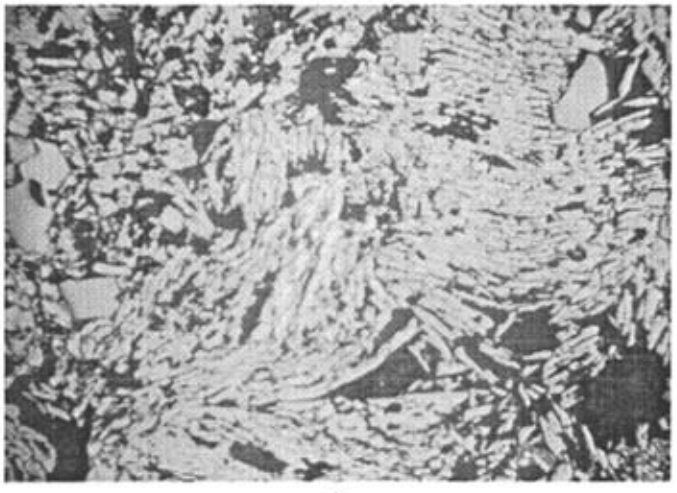


3

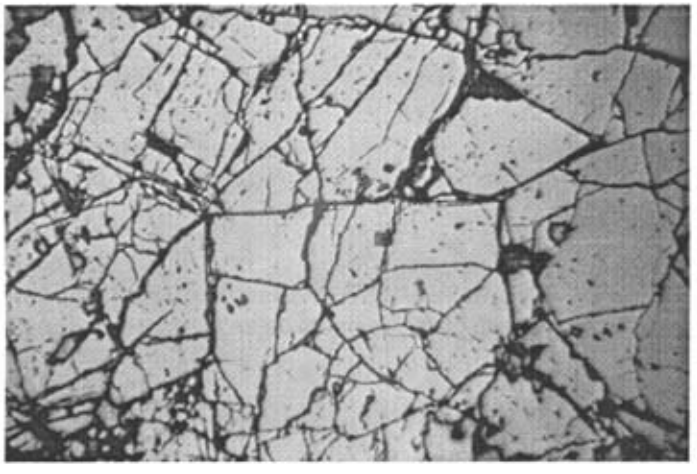
图版VI



1

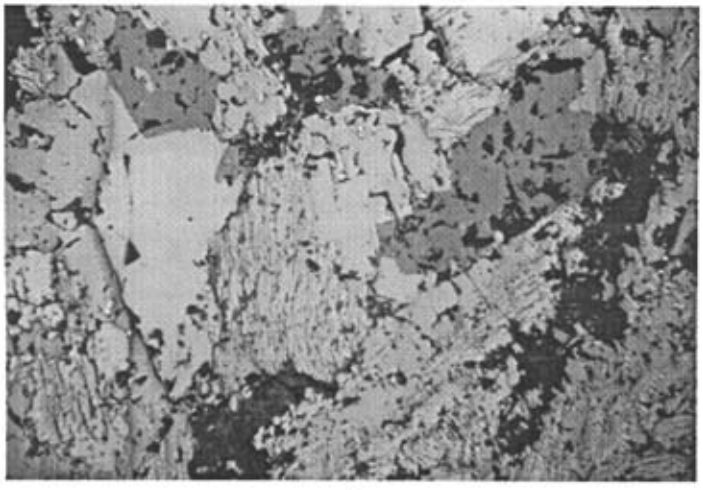


2

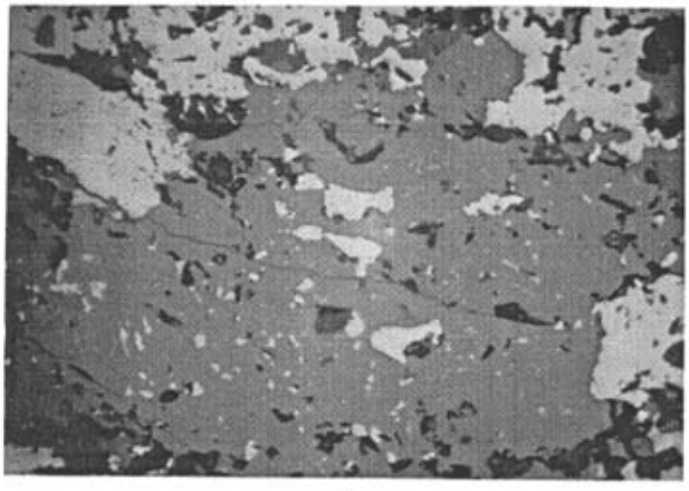


3

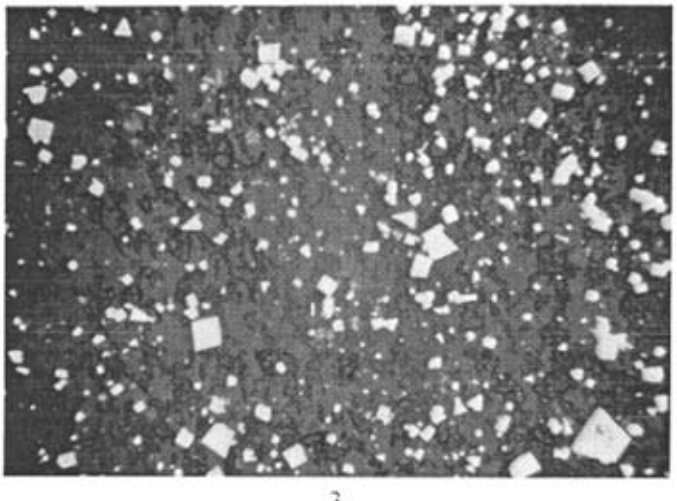
图版Ⅶ



1

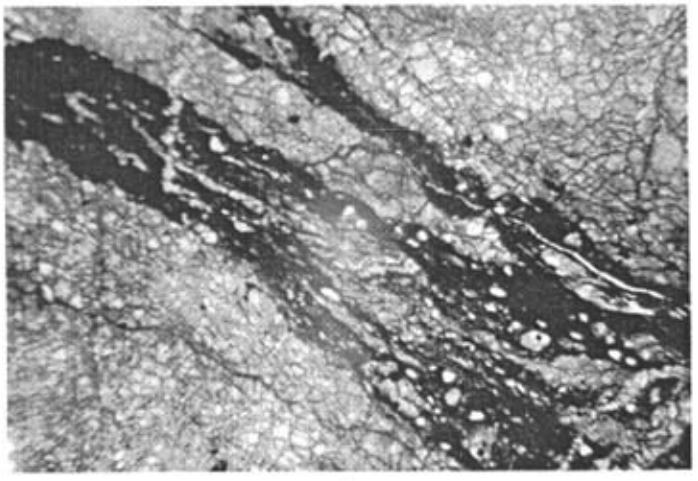


2

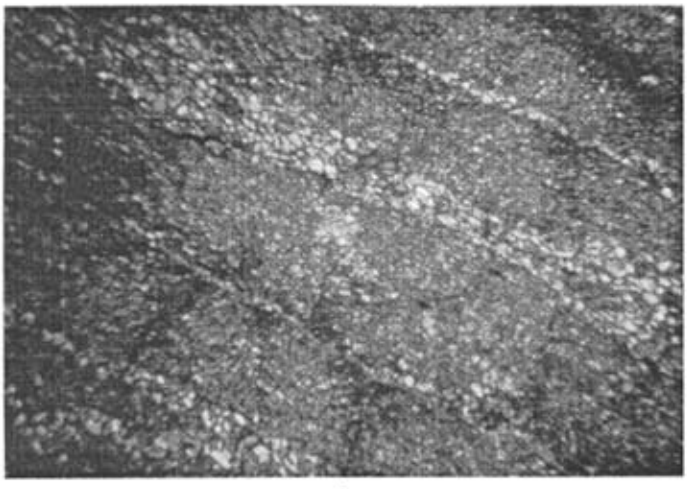


3

图版Ⅷ



1



2

