分类号_____ 学校代码：10616

U D C _____ 密级_____ 学号：2008020142

成都理工大学硕士学位论文

四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿地球化学特征及矿床成因初探

指导教师姓名及职称 钟康惠 教授

申请学位级别 硕士 专业名称 矿产普查与勘探

论文提交日期 2011年6月 论文答辩日期 2011年6月

学位授予单位和日期 成 都 理 工 大 学（ 年 月）

答辩委员会主席

评阅人

2011年6月

Y1959449

独创性声明

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。据我所知，除了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 成都理工大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的人员对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：李伟

2011 年 6月 8 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 成都理工大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 成都理工大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：李伟

学位论文作者导师签名：

2011年6月8日

四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿地球化学特征及矿床成因初探

作者简介：李伟，男，1985年6月生，师从成都理工大学钟康惠教授，2011年6月毕业于成都理工大学矿产普查与勘探专业，获得工学硕士学位。

摘 要

四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿位于康滇地轴东缘。矿床赋存在震旦系灯影组地层白云岩中。矿体呈似层状和脉状，在走向和倾向上表现尖灭再现与尖灭侧现的特点。矿石矿物有方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、黄铁矿、白铅矿等。围岩蚀变主要有硅化、白云石化等。通过对矿床的研究得出以下结论和认识：

铅锌元素含量特征：铅锌是矿床的主要有用元素。不同地段的铅锌含量不同，有的以锌为主，有的以铅为主，或许暗示了成矿热液存在差异和成矿的多期性。测试中发现铅锌含量不具有明显的正相关性，但是破碎带的地方两者含量都比较高，受构造破碎带控制明显。

有益伴生元素特征：矿石中有用伴生元素丰富。镉、镓、锗、铟、银等元素具有综合利用价值。

稀土元素特征：矿石、构造岩和围岩的稀土分布型式都是富集轻稀土，左高右低的特点，稀土含量均较高。不同期次的矿石的稀土分布型式略有不同。

微量元素特征：通过 Cr-Co-Ni 图解分析，发现围岩样品集中且与构造岩、蚀变岩、矿石不同。蚀变围岩居于矿石和构造岩之间。不同类型的矿石之间也存在的差异。

硫同位素特征：方铅矿和闪锌矿均具富重硫同位素的特征，结合区域的古地理等相关资料，认为矿床的硫质来源为灯影组地层中的硫。

碳同位素特征：矿石中的碳与围岩和蚀变围岩的特征显著不同，矿石中的碳具有岩浆碳或者深源碳的特征，围岩和蚀变围岩具有沉积碳酸盐的特征。

氢氧同位素特征：矿石中的氢氧同位素与围岩和蚀变围岩的特征明显不同，矿石中的氢氧同位素具有岩浆水的特征，围岩和蚀变围岩却具有变质水的特征。

铅同位素特征：矿石铅同位素具有明显的差异，在前人测试结果中铅同位素具有明显的异常铅特点，但是矿石的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 正线性相关性明显。将矿石铅同位素的△β值和△γ值与区域地层岩石对比，发现矿石与会理群比较相似，反映两者有一定的联系。

成矿流体特征：包裹体具有多期的特点，早期包裹体结晶较小；晚期矿物结

晶相对粗大，并且后期CO_2成分较多。成矿流体阴离子主要有Cl^-、SO_4^{2-}；成矿流体阳离子主要有Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}。部分包裹体中见到石盐及其透明的矿物结晶。

成矿温度：早期包裹体均一温度215～236℃；晚期矿物均一温度122～184℃。镜下观察发现具有指示中低温成矿温度的矿物特征和特殊矿物，多种证据表明矿床为中低温热液矿床。

成矿年龄：石英脉热活化HAESRDQ测年的年龄为109.3～5.8 Ma（晚燕山期-喜马拉雅期）。

有机质在成矿过程中具有重要作用。它可以帮助运移成矿物质，还可将碳酸盐岩中的硫酸根离子还原为S^{2-}，为硫化物沉淀提供条件。

特殊的岩性组合构成有利的物理、化学环境。容矿层的上覆地层筇竹寺组起到良好的屏蔽作用；容矿层提供有利的赋矿空间；观音崖组作为限制热液矿质下渗的封闭层。这一套夹心饼干式的岩性组合的地球化学特征依次为氧化（酸性）-弱还原（弱碱性）-还原（碱性）环境。

银厂沟-骑骡沟铅锌矿床是具有岩浆水特征的中低温热液矿床。

关键词：银厂沟-骑骡沟　铅锌矿床　地球化学　矿床成因

The Geochemical Characteristics and the Cause of Ore Deposit Formation in Yinchanggou-Qiluogou Lead-zinc Deposit, Ninnan, Sichuan

Biograghy: liwei, male, was born in July, 1985 whose tutor was Professor Zhong Kanghui .who was graduated from Chengdu University of Technology in mineral exploration and survey major and was granted the Master Degree in June, 2011.

Abstract

Yinchanggou-qiluogou Lead-zinc deposit situated in east of Xikang-Yunnan axis. The deposits occur in the dolomite of Sinian Dengying formation. The ore are stratiform and lode. The orebody is controlled by rupture, and have the characteristic of end to end alignment in both tendency and trend . ore mineral are sphalerite and galena, tetrahedrite , pyrite,white lead , et. al. Wall-rock alteration dominated by silicification and dolomitization. Through the study of the deposits, the following is conclusions summary:

Lead and zinc element content characteristic: the main useful elements are Lead and zinc. Lead and zinc content of different location is different, some with zinc is given priority to, some lead is given priority to, the cue for hydrothermal ore-forming the differences. Test samples with zinc content found in obviously positive correlation, but fracture zone both content is higher, by structural fracture zone control obvious.

Useful characteristics of beneficial associated elements: mineral rich associated element s: Silver, cadmium, gallium, Germanium, indium element is the comprehensive utilization of value.

Rare earth elements features: ore, structure,and wall rock are enrichment light portion of rare earth, left the characteristics of high right low, rare earth content were higher. The different ores have difference

Trace element characteristic: through Cr - Co - Ni diagram analysis, found that samples of wall-rock are concentrated and different from of tectonite、altered rock、and ore。altered rock are distributed between tectonite and ore.ores have differences。

Sulfur isotope characteristics: galena sphalerite all have heavy sulfur isotopes, combining the characteristics of regional paleogeography and related material, think deposits of sulfur source for the formation of sulphur.

Carbon isotope characteristics: the characteristics of the carbon in ore are different from wall rock and altered rock.The carbon of ore have the characteristic of magma carbon or deep source carbon, while wall rock and altered rock's carbon has

the characteristics of sedimentary carbonate.

Hydrogen and oxygen isotope characteristics: the hydrogen and oxygen isotope of ore ,which have characteristics of magmatic water ,are different from wall rock and altered rock which have characteristics of metamorphic water.

Lead isotope characteristics: Lead isotope of ore have obvious differences.There are anomalous lead In the previous test results . What are ^{206}Pb / ^{204}Pb-^{207}Pb / ^{204}Pb、^{206}Pb / ^{204}Pb-^{208}Pb / ^{204}Pb, have positive correlation. Through comparing with rock in district,we discovered that $\triangle\beta$ value and $\triangle\gamma$ value as well as huili formation,which prove that are related.

Ore-forming fluid characteristics: inclusions polyphasic characteristics, with smaller early inclusions crystallization; Mineral crystallization relatively bulky, the late late into and CO_2 composition more. Ore-forming fluid main composition is anion mainly Cl^-, SO_4^{2-}; Cationic mainly are Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+} , and part of inclusion are halite and transparent mineral crystallization.

Ore-forming temperature: early inclusions homogenization temperature 215 ~ 236℃; Late mineral homogenization temperature 122 ~ 184 ℃. Through observation by microscopy, discover reveal that the metallogenic temperature mineral features and special mineral, a variety of evidence that deposits belong to in low-temperature ore deposits.

Metallogenic age: quartz vein hot activation HAESRDQ dating age from 109.3 ~ 5.8 Ma (late yanshan period - the Himalayan period).

Organic matter plays an important role in ore-forming process. It can help migration of ore-forming materials, but also help carbonate sulfuric acid root ion reductive S^{2-}, provide the conditions with sulfide precipitation.

Ore-bearing stratum constitute a special lithology which of physical and chemical environment are use for mineralize. The overlying strata of ore-bearing is Qiongzuosi formation is a good shielding effect; ore-bearing stratumb provides the favorable mineragenetic space; Guanyinya formation is a limitation on hydrothermal mineral infiltration. This is a set of combinations of lithology double fudge sundae type is in turn the geochemical ladder for oxidation characteristics (acidity) - a reduction (alkalescent) - reduction (alkaline) environment.

To sum up,the features of Yinchanggou-qiluogou Lead-zinc deposit is magmatic water of mesothermal and epithemermal lead-zinc deposit..

Keywords: Yinchanggou-qiluogou Lead-zinc deposit geochemical the genesis of deposit

目 录

第1章 引 言 1
1.1 选题依据及研究意义 1
1.2 铅锌矿床研究现状 1
1.2.1 世界铅锌矿床现状 1
1.2.2 我国铅锌矿床现状 2
1.3 研究区概况 2
1.4 工作思路及研究内容 4
1.5 实际工作量 4
第2章 区域成矿背景 6
2.1 区域地质概述 6
2.1.1 区域地层特征 6
2.1.2 区域岩浆岩特征 8
2.1.3 区域构造特征 9
2.2 区域地球物理特征 10
2.3 区域地球化学特征 12
2.4 区域铅锌矿产分布特征 14
第3章 矿区地质 16
3.1 矿区地质特征 16
3.1.1 地层 16
3.1.2 构造 19
3.1.3 围岩蚀变 22
3.2 矿体地质特征 23
3.2.1 矿体产状 23
3.2.2 矿石组构 25
3.2.5 成矿期次 28
第4章 矿床地球化学特征 30
4.1 有用元素特征 30
4.1.1 主要有用组分 30
4.1.2 其他有用组分 31
4.2 稀土元素特征 32
4.3 微量元素特征 36
4.4 同位素特征 38

4.4.1 硫同位素特征 38
4.4.2 碳氧同位素特征 40
4.4.3 氢氧同位素特征 42
4.4.4 铅同位素特征 43
第 5 章 矿床成因 48
5.1 成矿物质来源 48
5.1.1 成矿金属来源 48
5.1.2 成矿硫质来源 53
5.2 成矿流体性质 54
5.3 矿质运移与沉淀富集机理 55
5.4 成矿时代及成矿温度 58
5.5 成矿机理 60
结 论 61
致 谢 63
参考文献 64
版图及说明 66
攻读学位期间取得学术成果 72

第1章 引 言

1.1 选题依据及研究意义

为了适应新时期矿山发展，扩大资源储量的需要，云南驰宏锌锗股份有限公司委托成都理工大学对银厂沟-骑骡沟铅锌矿床进行矿区及外围成矿规律和成矿预测研究。成都理工大学成立宁南项目组。我有幸在导师带领下对该地区进行野外地质调查和样品采集。野外地质调查给我提供学习和研究的机会。项目于2009年5月完成报告编写工作，2010年初顺利通过验收。

在区域上前人做了许多研究工作，论述论著较多，在矿床的成因上众说纷纭，并且前人对该矿床缺少系统的研究，只在少数文献有过零星提及。希望通过较为系统的地质工作，对该矿床以后的找矿工作有所帮助。

1.2 铅锌矿床研究现状

1.2.1 世界铅锌矿床现状

世界铅锌资源分布广泛，分布多达50多个国家和地区。基础储量较多的国家有中国、澳大利亚、美国、加拿大，这四个国家占世界总量的一半多。

世界上的铅、锌矿床产于不同时代地层中，尤以元古界和古生界最为集中，而中、新生界的铅锌矿床相对较少。世界上不少国家按容矿围岩和成因将铅锌矿床可划分为：①沉积岩容矿的海底喷流沉积矿床（Sedex）；②火山岩容矿的海底喷流沉积矿床（VMS）；③碳酸盐岩容矿的后生沉积矿床（MVT）；④砂页岩容矿的沉积或沉积-变质改造型矿床；⑤与岩浆岩有关的斑岩、矽卡岩、热液交代型矿床和陆相火山岩型矿床；⑥非硫化物铅锌矿床等。

目前世界铅锌资源的主要来源为沉积岩容矿的海底喷流沉积矿床、碳酸盐岩容矿的后生沉积矿床。回顾近几十年世界铅锌矿发现的历史，20世纪50年代和60年代发现的密西西比河谷矿床比较多，与50年代早期建立了密西西比河谷型矿床的成因模式；60年代中期到70年代发现的火山成因的黄铁矿型矿床较多，这与60年代早期火山成因模式的应用和现代航空地球物理技术的发展有关；70年代发现以沉积岩为容矿岩石的海底喷气矿床较多，这与多年大力研究和总结矿床的成矿模式和勘查模式有关[1]。现在人们普遍地认识到各类矿床的成矿地质环境不同总结相应的成矿模式，根据不同的矿床成因类型，采用相应的勘查标志和准则进行指导找矿工作。

1.2.2 我国铅锌矿床现状

我国是铅锌基础储量为最多的国家之一，截止2002年，铅、锌基础储量分别为3600万t和9200万t，占世界总量的20%。

我国铅锌资源特点如下：

①铅锌资源分布广泛。我国铅锌矿床（点）遍及全国，但铅锌资源主要分布在南岭铅锌成矿带、三江铅锌成矿带、华北地台北缘成矿带、秦岭成矿带、东南沿海铅锌成矿带、长江中下游成矿带、川滇成矿带、滇东南铅锌成矿带、大兴安岭成矿带、赣东北成矿带、阿尔泰成矿带和小兴安岭-张广才岭成矿带。

②贫矿多，富矿少。我国铅锌资源品位相对较低，铅平均品位1.60%，锌平均品位3.32%。铅矿品位集中在0.5～5%之间，大于5%的探明资源量仅占5.8%；锌矿品位集中在1～7.5%之间，锌矿品位在8%以上的探明资源量仅占13.6%。

③铅锌矿石具有锌含量高于铅的特点。矿石中锌：铅比为2.5：1；国外锌：铅比为1：1.2。

④与铅锌共生、伴生组分多，综合利用价值大。与铅锌共生、伴生的有用组分多达50余种，其中银、金、铜、镉、铟、锗、硫和萤石等均具回收价值。

⑤我国铅锌矿床类型多样，矿石类型复杂。

对于川滇成矿带铅锌矿床的成因类型，我国学者对于川滇黔地区铅锌矿床的成因观点仍存在很大的争议。早在20世纪50和60年代谢家荣认为是岩浆热液成因；80到90年代有关这类矿床的各种成因模型纷纷建立，如张位及提出沉积和沉积改造，廖文、陈士杰和赵准提出沉积改造；1993年陈进提出沉积-改造一叠加；柳贺昌和林文提出沉积一改造一后成的观点；1996年刘文周和徐新煌提出构造一成矿观点、管士平和李忠雄提出与峨嵋运动密切相关；2004年丙宗瑶认为扬子地台周缘隆起边缘的铅锌矿床为MVT铅锌矿床；2006年齐文等将该区的铅锌矿床划分为“热水沉积改造”和“热水沉积再造”两大类;张长青等和王奖臻认为川滇黔地区铅锌矿床为与盆地流体演化有关的MVT矿床。

1.3 研究区概况

四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿床，隶属于宁南县披砂镇和骑骡沟乡管辖。矿区位于宁南县城的北东方向，直线距离约5km（图1-1），矿区与外界有简易的乡村公路相连。

宁南一带位于金沙江断裂带附近，地形为溪沟相间的斜长分水岭高地，属高山深切峡谷型地形，山脉形成多与区域构造有关，呈北北西或近南北伸展。矿区及外围总体地势西高、东低，老君山海拔达3500m，而金沙江江面的海拔仅约

700m。由于受地形条件影响，区内气候变化较大。矿区附近居民多为彝族，主要从事农业、牧业，经济条件总体较为落后。

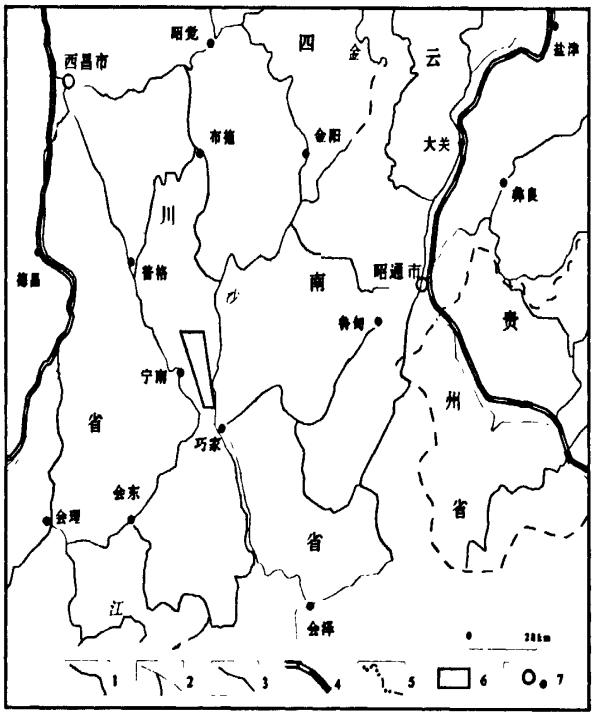


图 1-1 矿区交通位置图[2]

1.高速公路；2.镇道和乡道；3.河流；4.铁路；5.省界；6.矿区位置；7.市县

研究区范围面积约 16km^2，东经：278750~286000，北纬：2993500~3002900。项目组根据本次研究工作的需要和矿区工作程度的不同，将研究区共分成 6 个矿段，从北至南分别为：上务旭-中务旭矿段，银厂沟矿段，五四矿段，蔡家村-杨家村矿段，白岩子矿段和果木沟-二道坪矿段，其中银厂沟矿段和五四矿段工作程度相对较高，其余矿段工作程度相对较低。

宁南银厂沟-骑骡沟矿床处于位于扬子地块西南缘康滇地轴东侧。从矿床的发现以来，前人先后所做的主要工作有：

1955 年 8 月原地质部西南地质局银厂沟地质队发现银厂沟铅锌矿，并作了详查工作，1959 年完成勘探工作。

随后第一区测队、攀西地质队、404 地质队、109 地质队、物探队等单位先后进行过 1：20 万区域地质测量、区域化探扫面和不同程度的地质勘查工作，提供了地层、构造、岩浆岩和矿产等基础地质资料。

1981 年冶金 605 队在本区开展了化探扫面工作。

1982 年四川省地矿局攀西地质队在本区开展以铅、锌、磷矿为主的综合普查，新发现白崖脚铅矿点。

1999 年 8 月，凉山州矿业咨询服务部依据 1959 年《宁南银厂沟铅锌矿床最终储量报告》编制了《宁南县银厂沟铅锌矿储量计算说明书》。

2006 年云南驰宏锌锗股份有限公司资源部分别对银厂沟矿段、五四铅锌矿段的民采坑道进行地质调查。

1.4 工作思路及研究内容

本文的主要工作思路是在总结前人工作成果的基础上，针对矿床开展系统的地质观察、，采集岩石样品，进行显微观测和化学分析。通过对岩石矿物组合、蚀变矿化特征、物质来源和成矿环境等方面的研究，总结矿床成因。

依据工作思路，主要从以下方面着手：

(1)资料整理开发：对研究区的地质图及文献资料进行分析总结，归纳该地区研究中存在的问题，并对上述资料进行开发利用。

(2)野外地质调查：以矿区地质为基础，弄清矿体的分布、形态、赋矿岩石、矿化特征，与构造关系，同时采取样品。

(3)野外数据整理：对野外观测到的现象和数据进行综合整理，并绘制相关地质图件。

(4)显微观察：进行薄片、光片和包裹体片鉴定，重点观察蚀变、矿化特点、矿物组合和包裹体特征，进行成矿阶段的划分和成矿流体的研究。

(5)在分析矿床特征基础上建立矿床成因模型。

1.5 实际工作量

在老师指导下对该地区进行了较为详细的研究，现将论文完成过程简述如下：

1. 检索查阅相关文献资料。大致了解国内外铅锌矿成矿的空间分布规律、矿床的地质背景、矿床成因类型等。

2. 搜集了大量的川滇黔地区铅锌矿和宁南银厂沟-骑骡沟矿床的资料，并对这些资料进行研究。

3. 野外调查与室内研究相结合，对野外地质资料分析、归纳和综合，再到野外进行求证。

4. 切制各种类型的矿石、围岩的光片、薄片，以及完成同位素、微量元素、稀土元素和 ESR 测年等分析。

5. 室内综合研究，分析测试成果，编制相关图件，撰写论文。

具体工作量如表 1-1。

表 1-1 工作量统计表

类别	工作内容		数量	单位
	地质路线调查		10	km
	野外地质定点		170	个
	采集标本		95	件
	化学分析样品		82	件
	原生晕样品		40	件
	地质构造素描		40	幅
	野外地质照片		200	张
室内工作	资料搜集		400	份
	切制光、薄片		70	片
	ESR 测试样品		8	件
	ICP－MS 测试样品		14	件
	同位素测试样品		60	件
	矢量化图件		11	幅
	编制图件		18	幅
	室内拍照	标本照片	187	张
		镜下照片	97	张

第 2 章 区域成矿背景

2.1 区域地质概述

2.1.1 区域地层特征

宁南地区地层自前震旦系至第四系均有出露。前震旦系会理群通安组是区内出露最老的地层。古生界及中生界地层广泛分布于宁南地区，第四系地层沿河谷及缓坡地带零星分布。现将区域内地层从老到新简述如下：

中元古界会理群通安组

会理群通安组（Pt_1t）地层主要在骑骡沟背斜的轴部出露，且出露不全。岩性为灰-绿灰色砂质千枚岩、变质石英细砂岩、黑色炭质板状千枚岩，厚度大于600m。

震旦系

震旦系，缺失下统，上统可分为观音崖组和灯影组，与下伏会理群呈不整合接触。

观音崖组（Zbg），厚度为 17～142m，岩性为淡红色厚层状石英砂岩及长石砂岩，局部夹紫色页岩。

灯影组（Zbd）：厚度为 832～1389m，薄-厚层块状白云岩、藻纹层白云岩、灰质白云岩，含硅化岩石条带及角砾。灯影组的上部为铅锌矿的主要容矿层位，灯影组与下伏观音崖组呈整合接触。

寒武系

本区寒武系地层总厚度为 655～1378m，与下伏震旦系灯影组地层呈假整合接触。地层从老到新依次为：

筇竹寺组（ϵ_1q）：厚 258～339m，黑色泥质页岩夹黄色泥岩。

沧浪铺组（ϵ_1c）：厚 141m，灰至灰白色，中厚层状石英砂岩夹灰绿色及紫色页岩

龙王庙组（ϵ_1l）：厚 37～111m，主要岩性为深灰色厚层块状白云岩，夹厚层状白云质灰岩。在白云质灰岩中产三叶虫等化石。

大槽河组（ϵ_1d）：厚 29～84m，自下而上为黄绿色钙质页岩，灰色薄层状致密泥质灰岩，厚层块状含泥质条带灰岩及白云质灰岩。在钙质页岩中产三叶虫及腕足类化石。

西王庙组（ϵ_2x），厚 140～243m，岩性为紫红色层状细粒泥质砂岩、泥质粉砂岩，上部夹灰色致密状泥灰岩、灰质白云岩。

二道水组（$\epsilon_3 e$），厚154～512m，岩性为浅灰、深灰色中至厚层状泥砂质白云岩夹钙质页岩、钙泥质砂岩和泥质灰岩。上部岩石中含瓣鳃类和腕足类化石，二道水组与下伏西王庙组呈假整合接触。

奥陶系

地层总厚度525m，与下伏寒武系地层呈假整合接触关系。奥陶系分为下、中、上三统依次为

下统红石崖组（$O_1 h$）：为暗紫色页岩夹白色、红色砂岩及石英砂岩，厚282m。

中统巧家组（$O_2 q$）：为深灰色薄层状、团块状石灰岩及中厚层状虎皮灰岩，底部含鲕状赤铁矿，产正形介直角石、珊瑚等化石，厚约200m。

上统大箐组（$O_3 d$）：为浅灰至深灰色，薄层至厚层状结晶白云质灰岩，含燧石结核，厚43.3m。

志留系

该系发育中、上两统，总厚度为245～757m，区域上从西到东由厚变薄。与下伏奥陶系地层呈假整合接触关系。

中统石门坎组（$S_2 s$）：底部以黄绿、灰黄、紫红色页岩为主，富含钙质，并常富集成为泥灰岩、白云质灰岩夹层和透镜体；上部为灰绿色页岩，深灰色原层状泥质灰岩、泥灰岩夹紫红色页岩。厚245～607m，产珊瑚、三叶虫、腕足类、腹足类等化石。

上统（S_3）：下部岩性为紫红色页岩、粉砂岩夹灰绿色页岩，底部为一层褐黄色细中粒含铁质砂岩；上部为灰绿色厚层细粒钙质砂岩、钙质页岩与灰紫色厚层状细粒泥质砂岩、砂质泥岩互层，间夹少量泥灰岩。厚150m，在页岩和砂岩中产腕足类、腹族类、介形类及瓣鳃类等化石。

泥盆系

该区仅出露中统幺棚子组（$D_2 y$）：该组为一套砂岩-页岩-灰岩（白云岩）沉积，厚度为411m。炭质页岩含植物化石，砂岩和页岩中含腕足类化石。与下伏志留系地层呈平行不整合或微角度不整合接触。

二叠系

发育下统（P_1），分为梁山组、栖霞-茅口组两个岩组。与下伏地层呈微角度不整合接触。

梁山组（$P_1 l$）：厚1～14m，下部岩性为黄白色厚层状粗粒含砾石英砂岩、中厚层状中细粒石英砂岩、泥质砂岩；上部岩性为灰色页岩、铝土岩。常形成一定规模的粘土矿、铝土矿床。

栖霞-茅口组（$P_1 q+m$）：厚73～417m，下部岩性为浅灰至深灰色厚层块状致密石灰岩；上部岩性为深灰至灰色厚层状致密灰岩，含硅质结核。产蜓科、珊瑚、腕足等化石。

三叠系

三叠系（T）为一套紫红色河湖相沉积的泥岩、砂岩及砾岩，厚 253m。与下伏二叠系峨眉山玄武岩呈微角度不整合接触。

侏罗系

侏罗系（J）为灰色及黄绿色砂岩，夹黄灰、灰绿、紫黑色页岩，底部含泥煤或夹煤线，产苏铁柏木等植物化石，与下伏三叠系地层呈整合接触关系。

白垩系

白垩系（K）岩性主要为紫红色砂质泥岩、含钙泥岩为主。下部为紫红色底砾岩，砾石以石英为主，次为燧石、玄武岩、砂岩等，泥砂质胶结，局部具铜矿化现象；上部为砖红色块状砂质泥岩夹紫红色含钙石英细砂岩。产轮藻、介形虫等化石，厚度 1490～1800m，普遍以一层砾岩不整合于侏罗系地层之上。

古近系-新近系

古近系-新近系（E-N），区内仅见一套胶结疏松的河湖相砂岩、层间砾岩及粘土岩，局部出露炭质粘土岩或泥炭。粘土岩中盛产植物化石。地层产状平缓，不整合于较老岩层及岩浆岩之上。

第四系

第四系（Q）,冲积层、洪积层沿河谷、沟口分布；坡积物、残积物沿谷坡及平缓的山脊、缓坡地带零星分布。该系以角度不整合于所有老地层及岩浆岩之上。

2.1.2 区域岩浆岩特征

据前人研究，四大块一带有沿骑骡沟背斜轴部侵入的斑状黑云母角闪石花岗斑岩产出。主要矿物为长石、石英；次要矿物为黑云母、普通角闪石、辉石等。花岗结构，块状构造，具原生条带，长石长轴沿北北西向排列，流向清楚，节理发育。在四大块及溜沙一带，斑状花岗岩沿跑马山-骑骡沟背斜轴部侵入，也见花岗闪长岩沿先成构造裂隙呈岩株或岩枝侵入下中奥陶统大箐组灰岩中，其侵入时代因缺少确切的年龄资料，尚难准确定论，现将有关文献记载分述于后：

银厂沟地质队根据区域主构造线切穿白垩系地层和郭文魁先生在会理一带研究结果认为区域近南北向构造亦切穿侏罗系、白垩系地层，岩体侵入的时代晚于骑骡沟背斜形成时期，即：四大块及溜沙一带花岗岩属燕山期岩浆活动的产物[3]。银厂沟地质队认为铅锌矿体与岩体关系密切（图 2-1）。

1：20 万区调报告述及宁南跑马乡花岗斑岩与下震旦统之间因掩盖而关系不清。但因其岩性、化学特征与摩挲营岩体（采自会理岔河，同位素年龄为 829Ma）边缘相的花岗斑岩也相同，认为下震旦统中的副矿物应来源于花岗斑岩，故跑马乡岩体与摩挲营岩体，均划为前震旦纪[4]。

贺光兴等在《地质找矿论丛》上撰文，称宁南跑马乡溜沙侵入岩，为三叠纪印支期霞石正长岩，该岩体是与铅锌矿有直接关系的岩浆岩[5]。岩体附近有一系

列铅锌矿点产出，并有极好的铅锌分散流组合异常，表明该异常与铅锌有极密切的关系。

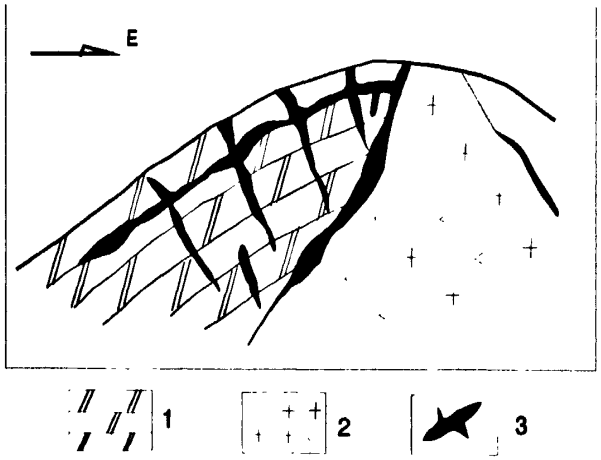


图 2-1 斑状黑云母角闪石花岗岩沿背斜轴部侵入示意图[3]
1.白云岩；2.斑状黑云母角闪花岗岩；3.铅锌矿体

2.1.3 区域构造特征

区域上褶皱的主要特点是：前期基底构造为呈 EW 向构造，后期盖层构造呈 SN 向构造[6]。前期 EW 向构造卷入的地层主要以元古界会理群为主的前震旦纪地层，构造类型以斜歪、同斜、倒转等紧闭褶皱为主；后期 SN 向构造卷入的地层主要以震旦系-中生界沉积盖层，向斜与背斜相间排列，呈条带状展布，且以正常的背斜为主，紧闭程度中等，背斜略较向斜开阔，矿区附近的骑骡沟背斜即具此特征。

矿区位于安宁河断裂的东侧，并处于几条区域性断裂的交汇部位（图 2-2），区域断裂主要有：小江断裂、天宝山-巧家隐伏大断裂、普格-宁南断裂、会理-宁南-金阳断裂。

小江断裂：走向近 SN，自甘洛之 WN、经宁南-巧家，南延入云南，全长 650km 以上，宁南以南倾向西，以北东倾，断面陡直。显生宙期间主要表现为张性正断层，控制了古生代的陆架裂陷和中生代陆内裂谷发育，晚二叠世峨眉山玄武岩大规模喷益，晚燕山期转变为走滑逆冲断裂。甘洛-小江断裂带控制着以铅为主的铅锌矿带的分部，是铅锌矿形成的导矿构造，与其配套的平行产出的次级断裂可能是良好的配矿构造及容矿构造。

天宝山-巧家隐伏大断裂：走向 EW，长约 100km。西段的天宝山断裂出露地表，长 15km 以上，走向 NWW-SEE，南倾 70～80°。南盘的天宝山组逆冲到北盘的震旦系和侏罗系之上，属逆断层性质。它截断 SN 向断裂，又为 SN 向断裂所截断。向东自马店到巧家，地表均无断层显示,但根据遥感图像资料认为是一条大的隐伏断裂带[7]。

会理-宁南-金阳断裂：为一逆断层，走向北东，倾向南东，在宁南巧家一带表现为不连续出露。

普格-宁南断裂：走向北西，在宁南-巧家一带与小江断裂以及会理-宁南-金阳断裂两两交汇形成构造三角结，为区域矿床的形成提供了良好的条件。

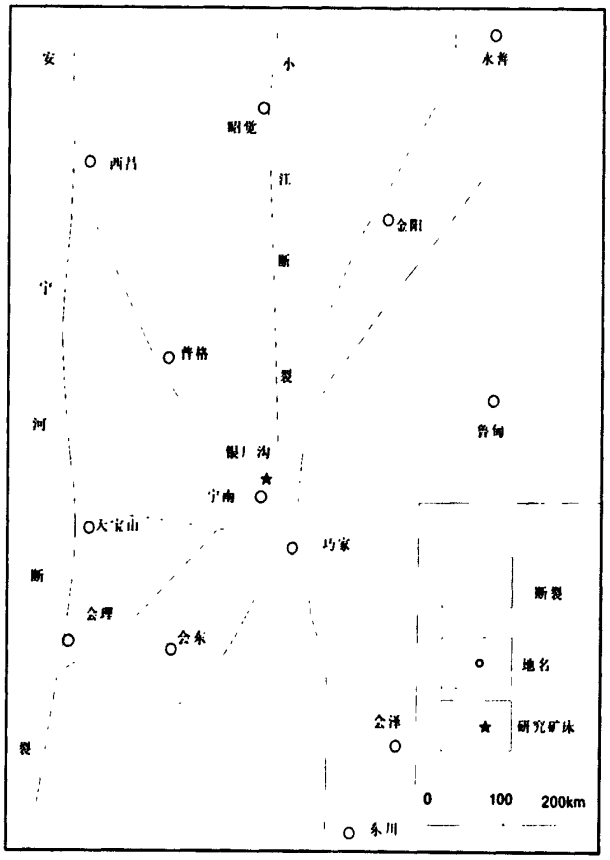


图 2-2 区域主要断裂图

2.2 区域地球物理特征

整个扬子地块西南地区的重、磁异常总体近 SN 向展布，与地壳厚度向西增厚有关[6]。在此背景上，在会理-东川一带出现呈 EW 走向的正重、磁异常带与走向 EW 的地幔隆起带，并因 SN 向重磁异常叠加而复杂化（图 2-3）。说明深部存在 EW 向构造带，其南、北边界为宝台厂-九龙和天宝山-宁南-巧家 EW 向断裂带。现代地壳厚度在会理-东川带轴部为 52~56km，向南北两侧增厚至 54~58km，处于其北缘的宁南一带为 56~58km 。区域构造演化先后经历 4 个阶段：元古代 EW 向会理-东川拗拉槽形成发展阶段；新元古代拗拉槽褶皱封闭阶段；震旦纪-古生代 SN 向陆架裂陷阶段；晚二叠世-中新生代 SN 向大陆裂谷发阶段展。宁南地区就处在 EW 向和 SN 向裂谷构造叠加的结点上[7]。

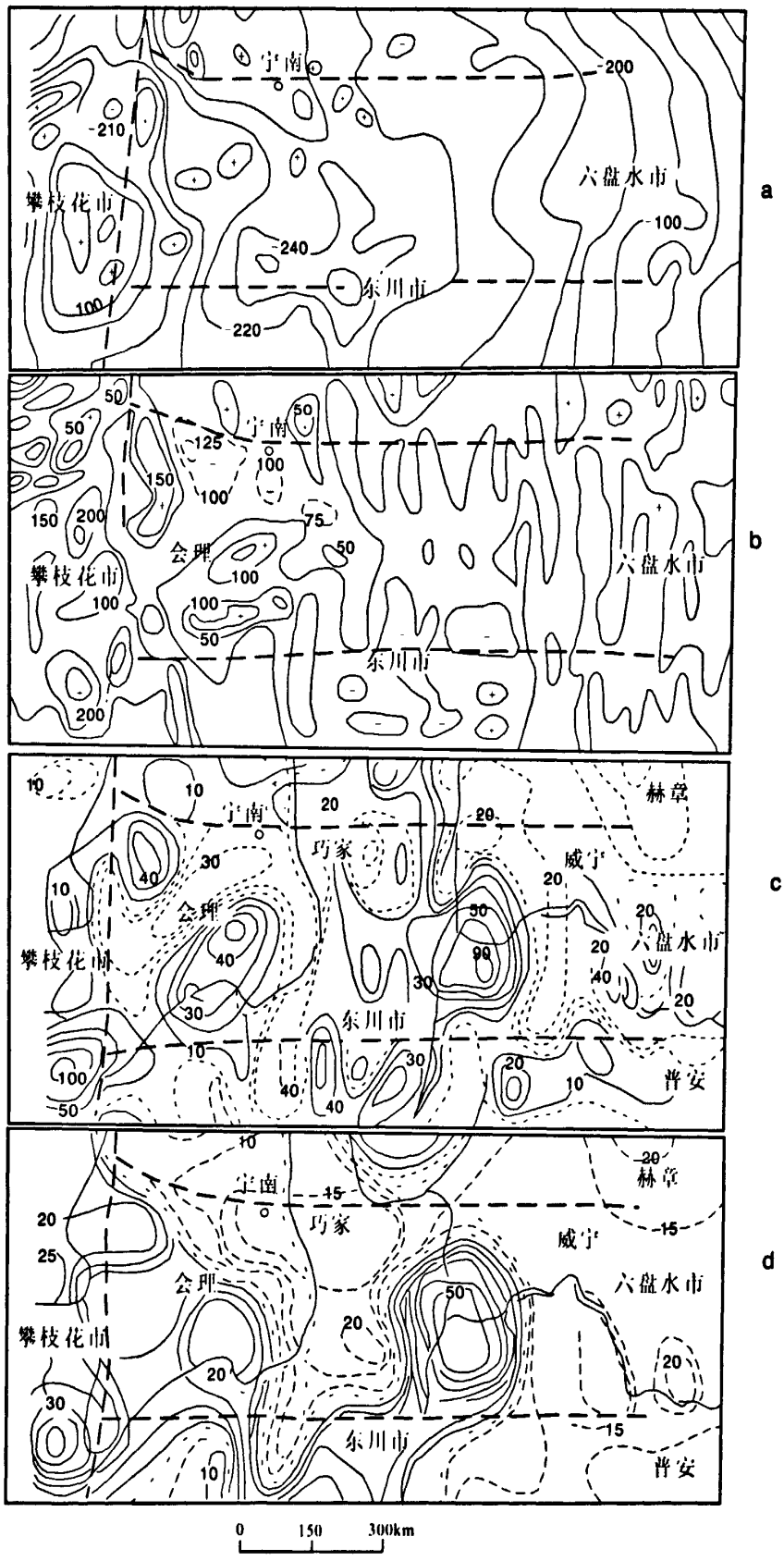


图 2-2 会理-东川拗拉槽重磁异常图[6]

a.布格重力异常图；b.航磁化极异常等值线图；c.航磁ΔT 化极上延 20km 等值线图；
d.航磁△T 化极上延 40km 等值线图；粗断线为拗拉槽边界断裂

2.3 区域地球化学特征

川滇铅区域上具有良好的成矿条件背景。宁南地区大大小分布着十几个铅锌矿，其中银厂沟铅锌矿属于比较大型的矿床。银厂沟铅锌矿床在区域上处于铅、锌、银、镉元素地球化学异常比较高的部位（图 2-3、图 2-4、、图 2-5、图 2-6），各个异常间套合很好。在区域上这四种元素地球化学异常套合比较好的地方有茂祖地区，茂祖地区有规模比较大的茂祖铅锌矿床。说明区域铅、锌、银、镉元素地球化学异常与矿床有着密切联系，能给找矿工作提供有益的参考和线索。

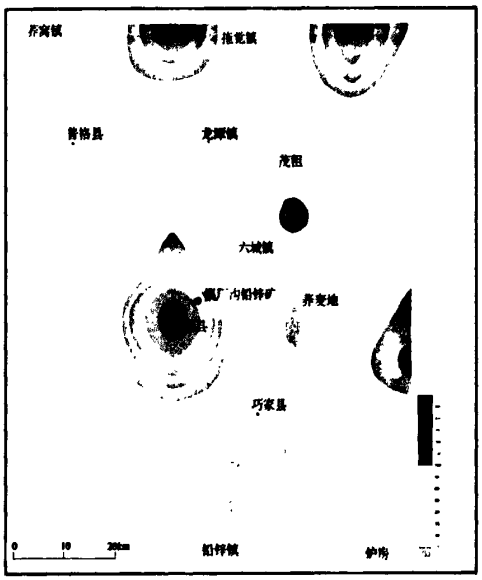


图 2-3 区域铅元素地球化学异常图

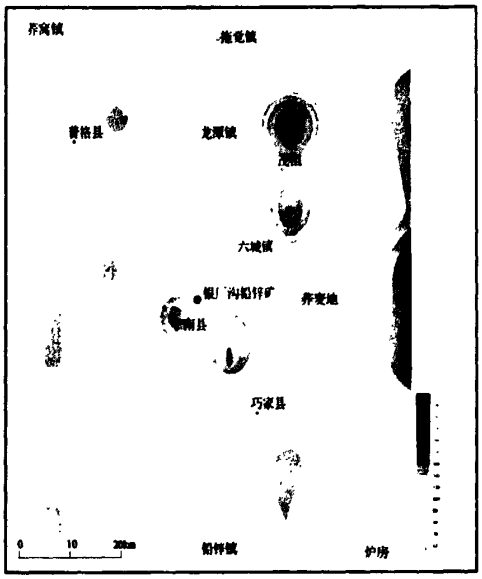


图 2-4 区域锌元素地球化学异常图

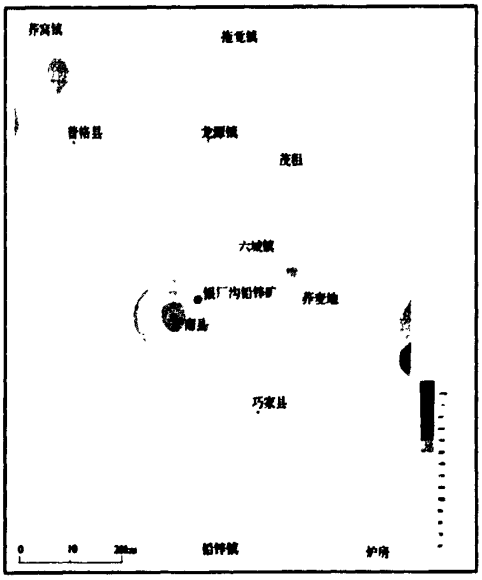


图 2-5 区域银元素地球化学异常图

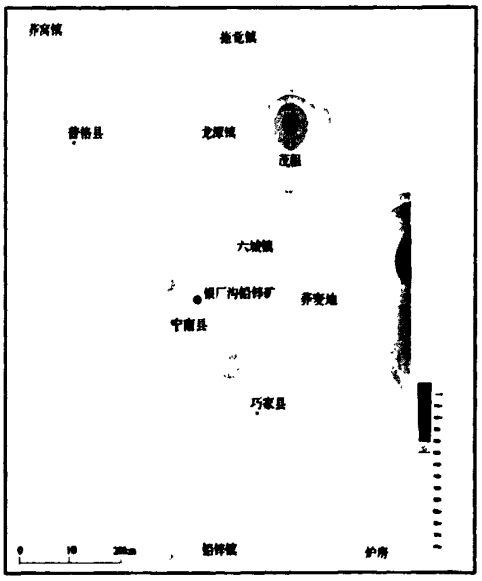


图 2-6 区域镉元素地球化学异常图

四川省区调队曾在矿区及外围做过水系沉积物测量，圈划出三个区域地球化学异常带（图 2-7），均为规模大、元素水平分布和元素浓集中心明显、形态完整的地化异常带[8]。各异常带特征简述如下：

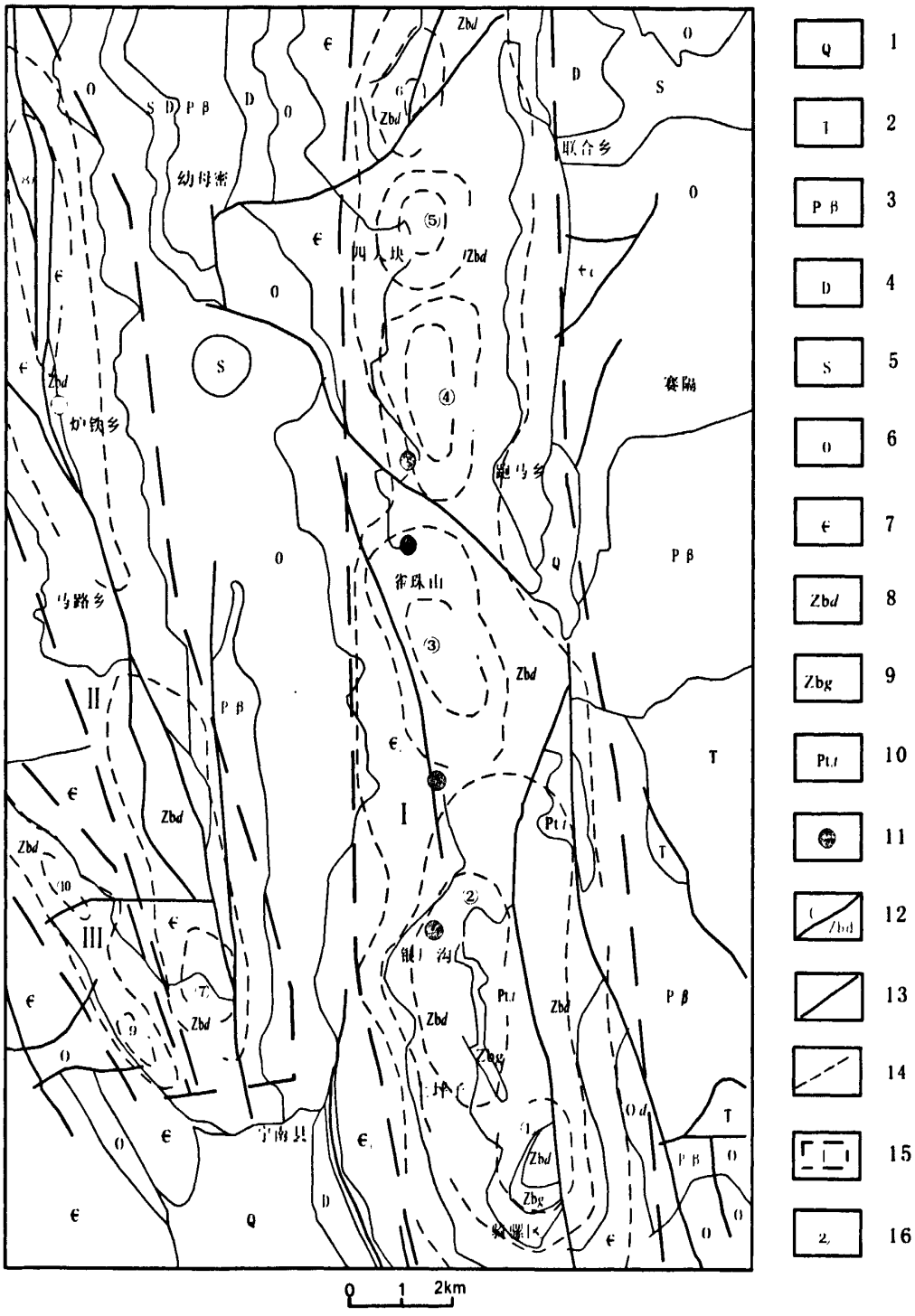


图 2-7 矿区及邻区 Pb、Zn 异常带分布图[8]

1.第四系；2.三叠系；3.二叠系；4.泥盆系；5.志留系；6.奥陶系；7.寒武系；8.灯影组；9.观音岩组；10.通安组；11.铅锌矿点；12.地质界线；13.逆断层；14.铅锌异常；15.异常带及编号；16.异常中心编号

Ⅰ号异常带：分布于骑骡区-四大块一带。该异常带呈SN走向，带状分布，长约30km，宽约6km，面积约为180km^2，南北两端均未闭合，带中有六个呈串珠状嵌布的Pb、Zn异常浓集中心，从南到北编号为①～⑥；

Ⅱ号异常带：分布于马路乡-炉铁乡一带。该异常带与Ⅰ号异常带近乎平行产出，走向NNW，长约29km，宽约2.5km，面积为约70km^2，北西端因测区所限尚未封闭，带中有两个不连续的Pb、Zn异常浓集中心，南面的编号为⑦，北面的编号为⑧；

Ⅲ号异常带：分布于宁南县城北西4km。该异常带呈NW走向，长约9km，宽约1.3km，面积约为12km^2，北西端尚未封闭，带中有两个规模较小的Pb、Zn异常浓集中心，南部的编号为⑨，北部的编号为⑩。

Pb、Zn异常浓集中心元素组合为（W）-Mo-Cu-Pb-Zn-Ag-As组合，边部为（Mo）-（Cu）-Pb-Zn-Ag-As-Ba组合，特别是Pb-Zn-Ag元素组合异常套合好、浓集曲线形态圆滑完整、强度高、规模大，常分布于褶皱、断裂发育地段，并与成矿构造和容矿岩层展布方向一致。

异常浓集中心附近有矿化点、矿点分布或有矿化显示，故Pb-Zn-Ag异常浓集中心与硫化矿物（矿化）有关，属与成矿作用有直接联系的矿致异常，是进一步找矿极为有利的远景地区。尤以Ⅰ号异常带（骑骡区-四大块一带）更为重要。此外，银厂沟一带的褶断带上，见有铅族、重晶石等中低温矿物组合重砂地球化学异常，这些异常均与已知矿（化）点分布基本吻合。

2.4 区域铅锌矿产分布特征

区域矿产丰富，矿（化）点很多（图2-5）。区域的铅锌矿具有如下特点：

矿床的分布大多数与构造关系密切。断裂控制地区性矿带的展布：整个成矿带内矿（化）点均沿断裂带展布，例如甘洛地区铅锌矿沿甘洛-汉源断裂展布；深大断裂的交汇地段及区域性背斜的倾伏端控制矿群或矿田的分布，最突出的是宁南-巧家矿群在不大的三角形地段集中了数十个大小矿（化）点；区域性背斜倾伏端矿（化）点也往往成群分布，如宁南境内的骑骡沟背斜南端分布有银厂沟、四大块、六铁等许多矿（化）点。

区域上铅锌矿主要产于上震旦系灯影组地层中。容矿围岩以白云岩为主，其次为白云质灰岩、硅质白云岩、灰岩。矿体形态复杂，矿体呈似层状、透镜状，还有脉状、陡立筒柱状等。矿体受不同型式的断裂构造或褶皱层间破碎带的控制。矿石矿物简单，主要为闪锌矿、方铅矿，常伴有白铁矿和胶状黄铁矿。脉石矿物主要有白云石、重晶石、石英、萤石等。

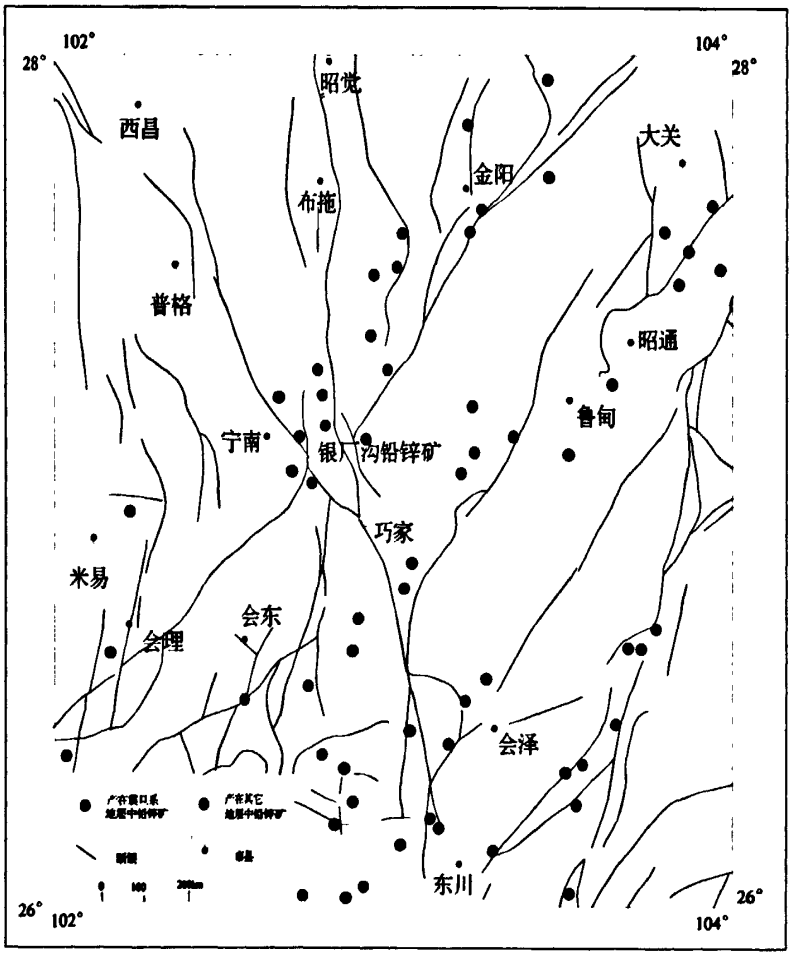


图 2-5 区域铅锌矿分布图

第3章 矿区地质

3.1 矿区地质特征

3.1.1 地层

银厂沟-骑骡沟矿区出露地层有前震旦系会理群、震旦系、寒武系及第四系地层。前震旦系会理群浅变质岩系分布于骑骡沟背斜核部，岩性为灰-绿灰色砂岩、千枚岩、变质石英细砂岩、黑色炭质板状千枚岩。顶部为紫红色（铁染）千枚岩。震旦系、寒武系地层构成骑骡沟背斜东西两翼。第四系沿河谷及缓坡地带零星分布（图3-1）。各地层、厚度、接触关系等详见表3-1。

表3-1 银厂沟-骑骡沟矿区地层简表

界	系	统	组	代号	厚度（m）	岩性特征
新生界	第四系			Q	2~10	残破积及河流相沉积
古生界	寒武系	下统	龙王庙组	$\varepsilon_1 l$	371	为深灰色中厚层状泥质条带及虎皮灰岩，下部含雷氏三叶虫及及古杯海绵化石
		下统	沧浪铺组	$\varepsilon_1 c$	141	灰至灰白色，中厚层状石英砂岩夹灰绿色及紫色页岩
		下统	筇竹寺组	$\varepsilon_1 q$	136	黑色泥质页岩夹黄色泥岩
上元古界	震旦系	上统	灯影组 上段	Zbd^3	610~800	灰至深灰色中厚层状微晶、泥晶、白云岩夹浅灰色藻纹白云岩、浅灰岩亮晶白云岩
			灯影组 中段	Zbd^2	13~82	浅灰色中厚层状白云岩夹硅化条带及薄层硅化岩石，含藻类化石
			灯影组 下段	Zbd^1	360	浅灰至灰色中厚层状白云岩夹硅化条带白云岩
			观音崖组	Zbg	17~142	淡灰红色厚层状石英砂岩及长石砂岩，具交错层局部夹紫色页岩
元古界	会理群	下统	通安组	$Pt_1 t$	>600	灰-绿灰色砂岩、千枚岩、变质石英细砂岩、黑色炭质板状千枚岩。顶部为紫红色（铁染）千枚岩

注：_____为角度不整合；—— 为假整合（平行不整合）

震旦系自下而上分为观音崖组和灯影组，两者整合接触。

观音崖组（Zbg）：下部为灰白色中厚层状细至粗粒含砾泥质石英砂岩；上部为灰、深灰、紫红色中厚层状白云质泥质灰岩与灰、紫红色页岩互层，具泥质条带和泥质条纹，偶夹硅质结核、白云岩和粉砂岩，与下伏会理群角度不整合接触。

灯影组（Zbd）：主要发育白云岩，该岩组可分为下、中、上三个岩段：

灯影组下段（Zbd^1）：厚达 610～800m。下部为灰至深灰色中厚层状微晶、粉晶白云岩夹薄层粉晶白云岩、泥质白云岩；中部为浅灰至灰色中厚层状泥晶白云岩夹浅灰色藻白云岩，岩石中层纹藻、叠层藻等藻类化石较普遍；上部为浅灰至灰色中厚层状泥晶白云岩夹浅灰岩亮晶白云岩、藻纹粉晶白云岩、藻纹叠层白云岩，藻纹分布不均匀。

灯影组中段(Zbd^2)：厚度 13～82m，岩性为浅灰至灰色中厚层状粉晶白云岩夹硅化白云岩及薄层硅质岩，底部见薄层紫红色硅质岩、水云母粘土岩。

灯影组上段(Zbd^3)：是区内铅锌矿产出的主要容矿层位，地层厚度约 360m。该岩段分下、上两部分：下部（Zbd^{3-1}）为浅灰至灰色中厚层状白云岩夹呈链锁状结构的硅化岩石条带，沿断裂蚀变带有星散状铅锌矿矿体产出；上部（Zbd^{3-2}）为白云岩夹硅化岩条带及角砾，下部硅化条带不连续、不规则；中上部硅化条带密集，与白云岩互层产出，局部有串珠状、鞋底状等硅化岩石角砾分布，似层状、脉状铅锌矿体产出的主要部位；顶部硅化条带渐少，有零星铅锌矿化（体）。向上与筇竹寺组假整合接触。

在赋矿的灯影组上段岩层中广泛存在硅化白云岩，前人多将其视为同沉积的硅质岩条带，并作为矿区灯影组内部分层的标志。近年，又有较多的人将其视为热水喷流沉积硅质岩，认为它是川滇黔地区铅锌矿床为热水喷流沉积成因的铁证。

项目组在野外路线观察和剖面测量过程中，注意到在白云岩层中硅化白云岩，虽局部貌似水平层或水平纹层，给人以同生沉积或同生热水喷流沉积之感，但在较大尺度上，常见其向两端收敛、归并或分支、分叉现象（版图 1-3），部分硅化条带，出现切层的现象（版图 4）。总体具有顺层剪切构造的样式或形貌，具有后期热液沿先存顺层剪切构造贯入充填、交代特征（版图 5、6）。

对硅化白云岩和硅化矿石切制薄片，经镜下鉴定发现，二者除硅化矿石出较多金属矿物外，具有相似的组成和结构。硅化白云岩，主要出蛋白石、玉髓、石英组成；蛋白石、玉髓主要分布在靠近围岩（白云岩）一侧；干净且晶粒相对粗大的石英或梳状石英存在于中间部位，原因是中间部位空间相对较大，SiO_2有足够的时间和空间结晶。这证实所谓条带状硅化白云岩并非同生沉积或同生喷流沉积的硅质岩，而是先经历了韧性剪切作用形成裂隙空间（版图 7、8），后经热液充填交代形成。

下寒武统（ϵ_1）：包括龙王庙组、沧浪铺组、筇竹寺组。

龙王庙组（$\epsilon_1 l$）：主要分布于测区西侧李家村至四胡子垭口一带。主要岩性为灰至深灰色粉晶白云岩、泥质条带白云质灰岩、白云质灰岩夹中厚层粉晶白云岩及少量泥质灰岩、砂页岩。在泥质条带白云质灰岩风化表面，泥质条带多呈凸起状、不规则状分布，使岩石在风化表面多呈眼球状、角砾状显示。泥质条带宽1～2cm，泥质条带长轴方向与地层走向基本一致。

沧浪铺组（$\epsilon_1 c$）

主要分布于测区西侧。顶部为紫红色厚层石英砂岩、含砾铁质石英粗粒砂岩；上部为灰至深灰色、灰黑色薄层状至中厚层泥质条带、团块灰岩，时夹泥质灰岩、泥质白云岩；下部为紫红色、灰至灰绿色至中厚层石英粉砂岩、长石石英砂岩；底部为紫红色含泥质石英粉砂岩、粉砂质页岩。该层上部的泥质灰岩、泥质白云岩在四胡子垭口相变为石英砂岩、石英粉砂岩，其相变关系为犬齿交错。该层底部的紫红色含泥质石英粉砂岩、粉砂质页岩，可作为本组与筇竹寺组的分界标志。该层与下伏地层筇竹寺组粉砂质页岩呈整合接触关系。

筇竹寺组（$\epsilon_1 q$）

主要分布于测区西侧。上部为灰至灰白色中至厚层细粒至中粒长石石英砂岩、粉砂质页岩；中部为灰至深灰色、灰黑色薄层状至中厚层石英粉砂岩、含炭质钙质石英粉砂岩，页岩夹石英细砂岩。含炭质石英粉砂岩中，具微层理，并局部含磷；下部为灰至灰黑色薄至中厚层状含炭质、钙质石英粉砂岩，粉砂质页岩。前者具层纹状构造，并局部含磷。在底部见钙质石英粉砂岩与下伏震旦系薄层状泥质白云岩呈假整合接触关系。

3.1.2 构造

银厂沟-骑骡沟矿床位于骑骡沟复式背斜西翼。骑骡沟背斜轴向近SN向，长约20km，宽约7km。核部由元古界会理群通安组地层构成，两翼依次出露震旦系、寒武系等地层。背斜南段，蔡家村、陈家梁一带两翼地层出露完整，西翼地层西倾，倾角35~50°，东翼东倾，倾角70°。骑骡沟背斜的次级褶皱发育，按其轴向分为纵向和横向两种，主要集中在骑骡沟背斜西翼以及南部倾伏端。

矿区总体为一单斜构造，岩层走向变化受背斜控制。由北向南，上务旭为10°，向南340~350°，至四胡子垭口一带则为335~345°，骑骡沟附近达320°，在二道坪-果木沟一带转为近东西向；总体向南倾伏，倾角由西向东逐渐减缓，变化幅度在15~40°间。次一级纵向和横向的小挠曲构造较为发育。

矿区主要断裂按走向可分为为三组：北北西向与近南北向断裂、北东向断裂、东西向断裂：

（1）北北西向与近南北向断裂

为该区主要构造之一，走向北北西或南北，倾向北东或东，倾角45~70°。断层的性质以逆断层为主，地层伴随有较多的同向节理。一般断距不大，在5~10m之间。此类断层形成的时代较早，与该区铅锌矿生成有密切关系（图 3-2）。

（2）北东向断裂

为本区较发育的一组构造，断裂倾向以南东为主，北西次之，倾角在50~90°之间，其规模小，多以小断裂组成形式出现，此组断裂规模不如北北西组断裂。北东向断裂为成矿后断裂，局部切断与破坏矿带，如分布于银厂沟矿段 F_{b7}，F_{b4} 断层分别错断1号和2号矿带。

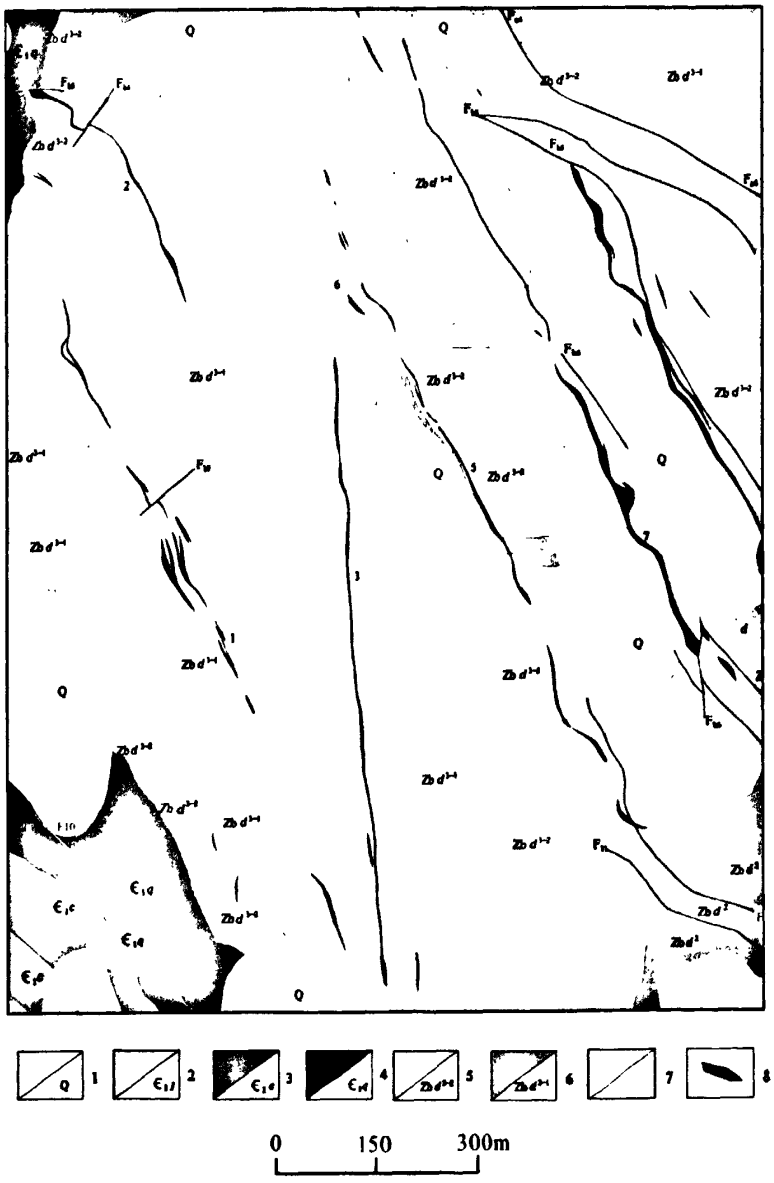


图 3-2 银厂沟矿段矿体分布图

1 第四系；2 龙王庙组；3 沧浪铺组；4 筇竹寺组；5 灯影组上段上部；6 灯影组上段下部；7 断层；8 矿体

（3）东西向断裂

一般该组断裂规模较小，走向近于东西，断距数米，但它对矿体影响比较大，见错断矿体的现象，如 F_{b3} 断层错断 2 号矿带的北段

通过野外路线地质调查、剖面测制、矿床地质调查以及室内综合分析，初步查明了银厂沟-骑骡沟铅锌矿床的控矿构造特征为：

本区小江断裂等区域大断裂为导矿构造；与小江平行的上盘次级断裂为配矿构造；北北西向、近南北向断裂及早期顺层剪切破碎带、横向和纵向小背斜为容矿构造；震旦系的白云石化、硅化碳酸盐岩为容矿岩层。

矿区有利于容矿的构造部位主要是：顺层剪切构造、张裂断裂、断裂与小背斜或小挠曲的交汇部位。

① 顺层剪切容矿构造特征

银厂沟-骑骡沟矿区的顺层剪切构造作用非常强烈，无论在地表露头还是在坑道内，都十分地发育。产状与地层产状近乎一致，局部有微小交角。以顺层剪切带内是否充填硅化物（石英、玉髓或蛋白石），可十分容易地将该类构造区分为两期（版图 15）。

第一期顺层剪切带主要发生在主成矿期之前。顺层剪切破碎带被热液硅化物所充填形成了矿区普遍发育的条带状硅化岩石。在银厂沟矿段储量最大的单矿体即为受顺层剪切带控制的似层状铅锌矿体，足见该期剪切作用与矿化的关系密切。

第二期顺层剪切带主要发生在主成矿期之后。第二期顺层剪切带形成的强度和规模较第一期顺层剪切构造作用要弱得多，但在矿区内分布却也较普遍。与前者的区别在于第二期顺层剪切作用由于形成的时间较晚规模也较小，在于破碎带内完全没有硅质物的充填，由构造碎裂岩和构造碎粉岩组成。

② 张裂断裂容矿构造特征

矿区内走向北北西的张裂断裂，倾向北东，倾角 45～55° 左右，具成群成组、近于等距产出的特征。两断裂之间相距 150～200m，断裂面粗糙，时呈锯齿状。该类断裂主要分布于震旦系灯影组上段地层中，其岩性主要是白云岩及含硅化白云岩，岩石性脆，受力易破碎。少数断裂可穿切到灯影组中段或下段，亦见个别断裂穿切到寒武系下统筇竹寺组地层中。

在长期地史发展过程中，此种断裂经历了从张裂→逆冲→右行正滑等演化过程，使断裂上、下盘岩石（特别是下盘岩石）发生强烈破碎和蚀变，形成宽约几十至百余米的蚀变破碎带，有利于含矿热液的充填和交代。破碎带中形成的铅锌矿体品位具有中心部位铅锌品位高，两侧品位低的特点。矿体产出具有侧列再现、尖灭再现的特点。

③ 两组构造交汇的容矿构造特征

早期构造作用形成的顺层剪切构造和次级背斜或挠曲构造形成层间滑动带、剥离带、破碎带等构造样式，控制着似层状、扁豆状矿体的产出。

早期构造作用与晚期形成张性构造两两交汇时，常构成似“入”字型构造时，为含矿热液运移创造了良好通道和矿质沉淀、储存的有利空间，控制着脉状、网脉状矿体产出。随着多阶段成矿作用，导致多期次矿化叠加，使这些构造交汇部位形成的矿体更加富集、规模扩大。

综上所述，晚燕山期形成骑骡沟背斜和脆韧性顺层剪切，随着富硅热液充填蚀变形成硅化白云岩，伴随硅化、白云石化，成矿热液充填交代（成矿）；喜马拉雅期骑骡沟背斜加剧褶皱，北北西（纵向）断裂形成并逆冲，纵向小幅褶皱，南北向小断裂形成，伴随碳酸盐化、硅化，成矿热液再次充填交代（成矿）；北北西向断裂左行正滑，南北向断裂左行逆冲，横向小褶皱形成，富硅热液充填交代（成矿）；北北西向断裂右行逆冲，南北向断裂右行正滑，富硅热液再次充填交代（成矿）；成矿后北东向断裂及近东西向断裂形成，并又发生第二期的顺层剪切作用。

3.1.3 围岩蚀变

围岩蚀变在矿区发育比较广泛，蚀变类型主要有硅化作用、白云石化作用、方解石化作用，局部可见重晶石化作用。不同围岩蚀变类型具有不同蚀变特征，与矿的关系也不太相同，现简述如下：

硅化作用

硅化作用在矿区十分发育，与矿的关系也十分密切。硅化作用在白云岩中构成条带状硅化白云岩和在矿体中或矿体附近产出石英脉。整个矿区的硅化作用，大体上可以划分为三个期次：

第一阶段的硅化作用

硅化作用是由于早期富硅质的流体沿顺层剪切构造作用形成的层间破碎带贯入交代在白云岩内形成了硅化岩石条带。硅化岩石条带主要由蛋白石、玉髓、石英组成。据前人资料和本次研究认为该期硅化作用的强度表现得十分强烈，含矿石英脉充填构造带边缘的白云岩，并且细粒石英交代原生白云岩后再结晶。伴随着石英的产出，铅锌硫化物形成稠密浸染状块状矿石，沿着有利构造空间形成具一定规模的似层状、扁豆状富厚矿体。

第二阶段的硅化作用

第二阶段的硅化作用发生在透镜状或脉状矿体内或附近的断裂破碎带、节理或裂隙中。在破碎带和裂隙中充填形成灰白-白色的石英细脉，有时也穿插在围岩之中。该期强烈的硅化作用与断裂破碎带的形成、成矿流体的贯入同时，并伴

随较为强烈的铅锌矿化，形成沿断裂破碎带分布的透镜状、脉状、网脉状铅锌矿体。

第三阶段的硅化作用

最晚期的硅化作用表现为石英呈较粗大而干净的晶簇状或脉状充填于岩石孔洞或节理、裂隙中，或呈梳状产出，并常常与粗大的方解石晶簇或方解石脉共生产出，铅锌矿化不明显。

白云石化

白云石化沿顺层剪切带形成的层间破碎带发育，并且形成白云石应当在第一阶段硅化作用发生之前。白云石化同样在断裂破碎带内或附近，即在矿体内及其附近发育，形成在矿区可见斑状白云石、似层状或小扁豆体或透镜体的结晶白云石、脉状白云石。白云石化是与硅化作用对矿物形成同样重要，白云石化和硅化作用是形成似层状矿体的前提。白云石化提高了原生白云岩的孔隙度和渗透率，为成矿流体的运移提供便利。对该类型铅锌矿床的形成具有非常重要的意义。

方解石化

矿区方解石化较为普遍。方解石化作用形成的方解石呈团块状，有着粗大的方解石晶体。方解石化作用在五四矿段5号和3号坑道内的矿体附近非常明显，与铅锌矿化紧密共生，属成矿期及晚期的产物。

重晶石化

重晶石化作用在银厂沟矿段7号矿带、14号矿带内矿体所在的断裂破碎带内发育，形成的重晶石一般表现为乳白色不透明的脉体或集合体，多产在铅锌矿石边缘，矿化十分微弱。因此重晶石的出现往往表示成矿晚期阶段的来临。

萤石化

萤石在局部地段呈脉状、不规则集合体产出，与石英和白云石共生，也与铅锌矿共生（版图27、28、34、35）。几乎与重晶石化同时发生，也是在成矿晚期出现。

3.2 矿体地质特征

3.2.1 矿体产状

银厂沟-骑骡沟铅锌矿床无论是已采尽的似层状矿体，还是受断裂控制的脉状矿体，几乎均产于震旦系灯影组上段(Zbd^3)地层中，显示出震旦系灯影组上段地层是银厂沟-骑骡沟铅锌矿床及其外围最主要的赋矿层位。银厂沟-骑骡沟铅锌矿床主要有两种矿体形态：一种是以层间剪切破碎裂隙带为主控制的似层状矿体；第二种是受断裂带控制的脉状、网脉状、透镜体状矿体。

似层状矿体的特征

该类型矿体产于层间剪切破碎裂隙带中,分布于银厂沟矿段中部一带。经几十年开采，已采殆尽，详细地质特征已无法直接观察，原勘探报告中获知：似层状矿体发育于震旦系灯影组上部（Zbd^{3-1}），与寒武系筇竹寺组（$\epsilon_1 q$）接触部位附近白云岩层间剪切破碎带中（图 3-3），相伴发育硅化岩石条带[9]。

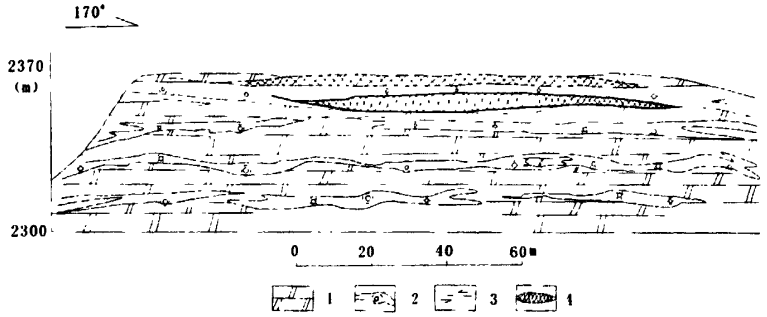


图 3-3 银厂沟铅锌矿床似层状矿体纵剖面图[9]

1. 白云岩；2.硅化条带；3.层间滑动带；4.似层状矿体

似层状矿体沿走向及倾向均为较大的透镜体或扁豆体组成，纵、横变化较大，仅局部地段可见断层角砾岩及断层泥。矿体产状一般与地层基本一致，走向 NNW，倾向南西西，倾角一般小于 50°，矿体平均厚度 2.42m，最大 9.64m，最小 0.6m，矿体平均品位铅 3.26%，变化范围 1.17～8.71%；锌 0.65%，变化范围 0.02～7.60%。该类矿体规模较大，占探明储量矿石量的 34%，铅储量的 41%，锌储量的 10%。

脉状矿体的特征

脉状、网脉状、透镜体状矿体产于断裂带中。常在接近寒武系筇竹寺组的震旦系灯影组上段中上部，形成脉状、网脉状、透镜体状矿体（图 3-4）。

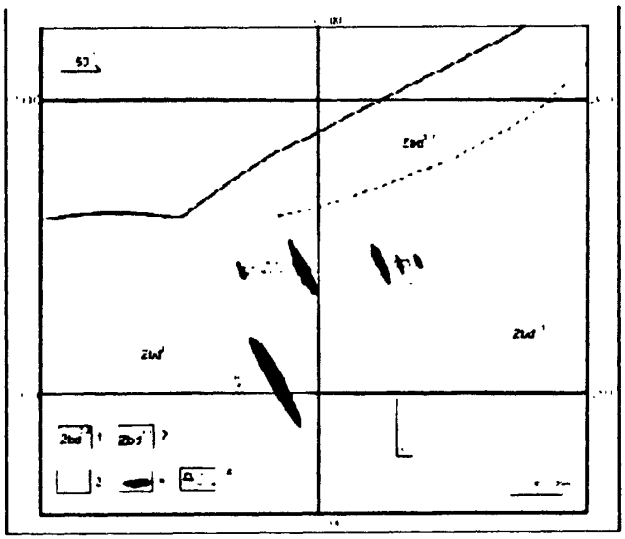


图 3-4 银厂沟矿段 1 号勘探线（NE 段）剖面图

1.上震旦统灯影组上段上亚段；2.上震旦统灯影组上段下亚段；3.断层及编号；4.矿体；5. 坑道编号及标高

这类矿体走向北西-北北西，倾向北东-北东东，倾角45～70°，其倾角大致与岩层倾角互为余角。目前已控制的17个矿体，走向长度13～100m，倾向延深14～76m，厚度为1～14.18m，平均厚度为3.15m，铅品位0.47～12.6%，平均品位6.89%；锌品位0.13～6.14%，平均品位2.27%。

矿区硫化物发生了氧化作用，银厂沟矿段铅矿石中的硫化物占35.30%，氧化物占64.7%，锌矿石中硫化物占18.85%，氧化物占81.15%，故矿石的自然类型均属氧化矿石。各矿带矿石氧化程度及氧化矿石存在的特点(表3-2)

表3-2 银厂沟矿段各矿带矿石氧化度统计表[3]

矿带编号		铅矿石（%）		锌矿石（%）	
		硫化物	氧化物	硫化物	氧化物
一号矿带	地表	32.59	67.41	19.78	80.22
	地下	34.72	65.28	23.23	76.77
二号矿带		34.12	65.88	12.87	87.13
三号矿带		37.00	63.00		
五号矿带		20.21	79.79	3.23	96.77
七号矿带	地表	16.31	83.69	14.93	85.07
	地下	56.92	43.08		
九号矿带		18.65	81.35	34.97	65.03
十四号矿带	地表	17.61	82.39	11.74	88.26
	地下	36.16	83.84	19.64	80.36
似层状矿体		47.54	52.46		
全矿段	地表	28.00	72.00	16.25	83.75
	地下	42.60	57.40	21.44	78.56

3.2.2 矿石组构

根据矿石的结构构造特点，可以划分四种矿石类型，即：致密块状矿石，网脉状（角砾状）矿石，细脉状矿石，浸染状矿石。

①致密块状矿石：是矿区内品位最高的矿石类型。主要由方铅矿、石英、少量闪锌矿、黄铁矿组成，个别样品显微镜下可见少量辉银矿成细小粒状嵌布在方铅矿晶粒间。该类矿石与围岩常呈不规则状接触，矿石内也时常保存围岩的残留体，说明该类矿石由充填和交代作用形成。主要分布在断裂破碎带内，不规则状、粗脉状或透镜状产出，延深不稳定，具有侧列再现的特点。该类矿石在五四矿段3号坑道和5号坑道，银厂沟矿段PY1坑道、LW2坑道、14KPT4坑道内都可以见到。

②网脉状（角砾状）矿石：同样是矿区内最主要的矿石类型。常常与块状矿石相伴随产出，发育在断裂破碎带内，是充填交代的产物。方铅矿呈网脉状分布，包绕围岩（白云岩或硅化白云岩）的角砾产出，是典型的构造角砾岩型矿石，在见矿坑道内都可以见到该类型矿石。

③细脉状矿石：多产出在主矿带的附近，即在块状矿石和网脉状矿石的附近。主要沿断裂破碎带附近的邻断节理或裂隙发育，同样为充填交代作用的产物，常常伴随浸染状矿石产出，与石英脉关系十分密切，方铅矿与石英晶粒紧密共生。

④浸染状矿石：微粒状或细粒状方铅矿或闪锌矿呈稀疏星散状嵌布在脉石矿物或围岩之中。矿石品位相对较低。

矿石矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、磁黄铁矿；脉石矿物主要有石英、方解石、白云石、重晶石、萤石；次生矿物主要有铅矾、白铅矿、菱锌矿、纤锌矿、铜蓝、针铁矿；以及一些极少量的特殊矿物，如异极矿等。

方铅矿

在石英脉或方解石脉的裂隙或断裂破碎带中分布，呈极其不规则的块状、细脉状、网脉状或浸染状，与围岩或脉石矿物之间呈锯齿状接触。镜下多呈不规则他形粒状结构、半自形粒状结构，呈分散状嵌布于脉石矿物之间，其粒度在0.03～3.5mm之间，但多数在0.1～0.5mm之间，部分方铅矿中见到斜方辉铅矿（版图16）。一般方铅矿沿白云岩或方铅矿多分布在五四矿段和银厂沟矿段的一、五、七号矿带。

闪锌矿

多沿石英、白云石或白云岩的裂隙或断裂破碎带产出。与围岩多呈不规则的港湾状接触。镜下主要呈他形粒状结构、半自形粒状结构，呈分散状嵌布于脉石矿物之间，其粒度在0.05～1.2mm之间，一般为0.2mm左右。闪锌矿多呈暗褐色或橙黄色，在闪锌矿内常见许多呈星散状的黄铁矿嵌布其中，而表现成乳浊状结构。

黄铁矿

虽然含量较少，但分布较普遍。特别在银厂沟矿段，于十四号矿带的部分块状矿石中，常见非常细小的呈粉末状的黄铁矿分布。镜下多呈自形-半自形或他形粒状结构，但半自形黄铁矿较常见。多呈分散状嵌布在闪锌矿或铅锌矿体之边缘，晶粒细小，粒度在0.02～0.7mm之间。

黝铜矿

在手标本上几乎没有发现，镜下呈灰色，均质，凸起中等，多发育在闪锌矿或黄铁矿的边缘，是交代作用的产物（版图13）。

石英

石英是矿区最常见的脉石矿物之一，与铅锌矿的形成关系十分密切（版图18）。石英是成矿过程中硅化作用的产物，由成矿流体带入的硅质成分结晶沉淀形成，在矿石的薄片中表现出十分清晰的交代结构（版图21-24）。镜下常常呈半自形粒状、他形粒状的晶簇产出，多构成细脉状或晶簇状分布。石英晶粒大小悬殊，粒度一般在0.05～3.0mm之间，还可见石英具有环带状构造。石英集中分布

呈条带状，或团斑状，以不规则交叉结合的细粒石英为主，含不规则团斑分布的细粒微晶白云石（交代残余），中细粒不规则镶嵌的粒状石英集合体为充填形成的石英脉。有时石英与方解石紧密共生，充填在断裂破碎带内，形成十分粗大的石英和方解石脉体，往往这种情况出现时，在其附近一定会出现较好的铅锌矿体。

白云石

白云石是矿区最常见的脉石矿物之一。热液形成的白云石镜下呈脉状、斑状或透镜状出现，为浅灰白色或干净的白色，半自形-自形晶粒结构产出，晶面常常发生弯曲而成为鞍状白云石，是非常典型的热液白云石的特征。白云石的粒度一般在0.02～2.0mm之间，较多细粒白云石，无色，突起较明显，局部具菱形切面或菱形解理，不规则穿插交代细至微粒不规则粒状石英，含早期纤维隐晶粒状硅质残块，局部含少许细粒金属硫化物浸染。

方解石

方解石与铅锌矿形成的关系也十分紧密，仅次于石英和白云石。当方解石与石英紧密共生充填在断裂破碎带内形成方解石、石英脉体时，往往这种情况出现时，在其附近一定会出现较富的铅锌矿体。而那些十分粗大的干净的白色方解石，多充填在断裂破碎带晶洞内形成方解石晶簇，属于成矿作用最晚期的碳酸盐化的产物，无铅锌矿化，可作为成矿结束的标志。

重晶石

呈脉状、块状或斑点状产出，一般为乳白色，不透明板状晶体，在银厂沟7号矿带和14号矿带的部分地段可以观察到。

萤石

主要产出在银厂沟矿段10号矿带。无色不透明，晶形较好，多与石英、白云石脉共生。

铜蓝

铜蓝一般产于沉积矿床淋积矿床及中低温热液矿床等含铜硫化物矿床次生富集带中(由硫酸铜溶液交代黄铜矿、斑铜矿等硫化物而成)。在该矿床中是由于黝铜矿氧化而来的。

铅矾

多呈暗灰色，基本上都分布在方铅矿的边缘，镜下有时有乳白色内反射，有时与白铅矿同时发育。铅矾是方铅矿氧化后形成的（版图9）。

白铅矿

主要呈土状分布在氧化矿石中，常与褐铁矿伴生，镜下呈褐色或棕黄色，少数呈自形结构的晶簇产出，晶粒大小在1.0mm以下，普遍大小在0.1～0.5mm之间。而在硫化矿石中，白铅矿多呈细脉状结构，在方铅矿的边缘，粒度多为0.25～0.5mm之间。白铅矿由方铅矿氧化后得铅矾受到含碳酸水溶液作用而形成的次生产物（版图10）。

纤锌矿

灰色，多围绕闪锌矿形成镶边，在镜下表现为非均质，内反射色为褐黄色，具有纤维状内部结构（版图 11）。是十分典型的低温矿物，其形成温度比闪锌矿的形成温度还低。

菱锌矿

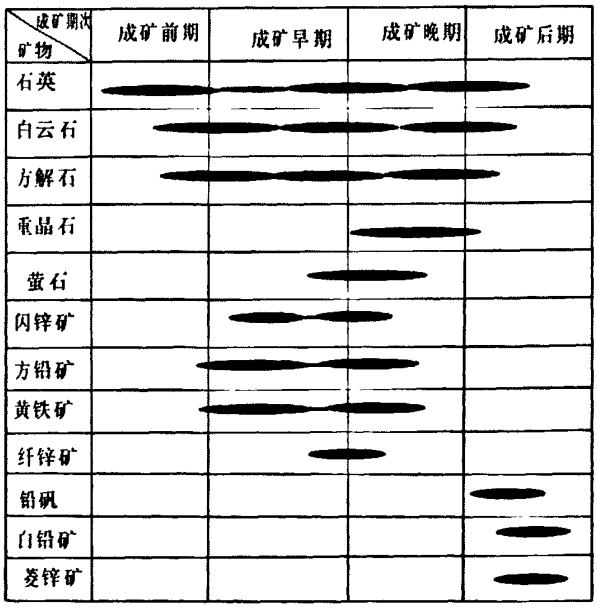
多出现在晶洞或裂隙之中，呈晶簇产出，部分为土状，沿裂隙充填成细脉状或浸染状构造，其粒度在 0.8～1.0mm 之间。镜下可见乳白色内反射，具有强的非均质性。有时可见菱形切面。菱锌矿由闪锌矿氧化分解所产生的硫酸锌，交代碳酸盐围岩或原生矿石中的方解石而成，属于氧化带次生矿物

异极矿在编号为 B1 光片中镜下可见暗灰色，反射率很低，反射率 R=6，均质，以白色内反射（强）为最大特点，往往与 sm 连生但凸起比 sm 稍高，局部可见胶状构造，粒径 100×300μm。异极矿一般产于铅锌硫化物矿床的氧化带，一般是闪锌矿氧化的产物（版图 14），与菱锌矿、白铅矿、褐铁矿等共生。稳定上限为 250° C，过此温度即转变成硅锌矿。

3.2.5 成矿期次

根据矿床产出的空间分布、矿石共生组合标志、铅同位素组成特征、石英 HAESRDQ 测年数据等方面的研究，证实矿床形成的过程具有多期次、多阶段、多方式的特征。本次项目组结合前人资料和镜下观察结果，按矿体的产出和矿物组合特征把成矿作用划分为早、晚两期（表 3-3），成矿晚期又可划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个阶段，分述如下：

表 3-3　主要矿物生成顺序表



成矿早期：矿石为稠密浸染状、致密块状石英白云石-方铅矿-闪锌矿型。这是似层状矿体的主要形成时期，这类矿石早已开采殆尽。据前人资料：石英与铅锌矿共生；白云石多呈斑状，常与铅锌矿物呈镶嵌结构。

成矿晚期第Ⅰ阶段：矿石为大团块（斑）状石英-方铅矿-闪锌矿型，方铅矿充填于造岩矿物晶间或裂隙中，形态不规则，呈填隙状。脉石组分以细粒不规则结合的石英为主，方铅矿充填于团斑状细粒石英集合体中。

成矿晚期第Ⅱ阶段：矿石为小团块（斑）状方解石-方铅矿（闪锌矿）型，镜下方铅矿多沿方解石晶间充填，方铅矿颗粒较粗。

成矿晚期第Ⅲ阶段：矿石为网脉状石英-方铅矿、闪锌矿型，多沿脉石矿物解理、裂隙或石英粒间充填。

成矿后期：成矿以后矿石发生次生氧化比较明显，生成了铅矾、 白铅矿、菱锌矿等矿物。

矿区各种地质现象表明，含矿热液曾经历多次上升活动，具多期次、多阶段、多方式成矿作用的特征。

第 4 章 矿床地球化学特征

在银厂沟-骑骡沟铅锌矿床地质特征研究的基础上，通过常量元素、稀土、微量元素、氢、氧、碳、硫、铅同位素等的地球化学特征的研究，分析矿床的微观特征，进一步确定矿床成因。

4.1 有用元素特征

矿区主要有用组分为铅、锌元素，并伴生有镉、锗、镓、铟、银等有用元素，具有综合利用价值。

4.1.1 主要有用组分

铅、锌元素主要存在于方铅矿和闪锌矿中，其次为方铅矿和闪锌矿的次生氧化物。主要矿带的矿石量和铅、锌金属量计算结果（表 4-1）。1 号、7 号、14 号矿带及盲矿带、层状矿体规模较大，15 号矿带、17 号矿带次之。不同矿带的铅、锌元素的含量不同，有的以铅为主，有的以锌为主。

表 4-1 矿床铅锌矿各矿带储量统计表[3]

矿带编号	矿石量（t）	铅金属量（t）	锌金属量（t）
1 号矿带	649655.01	21675.22	11966.92
2 号矿带	52206.81	1389.86	1369.47
3 号矿带	73059.02	3023.79	147.21
4 号矿带	3770.16	120.27	
5 号矿带	66703.44	1423.40	2648.54
7 号矿带	112262.83	4046.45	2237.07
9 号矿带	29463.64	486.15	589.27
14 号矿带	548359.93	6523.11	19346.64
15 号矿带	31126.46	880.88	1101.88
17 号矿带	6843.86	193.00	327.82
盲矿带	381754.90	16150.66	3019.94
脉状矿小计	1955206	55912.79	42754.76
层状矿体	1028736.96	39248.80	4711.88
合计（总量）	2983943	95161.59	47466.64
脉状/总量（%）	66	59	90
层状/总量（%）	34	41	10

项目组曾对矿区多个坑道进行地质编录，对铅锌含量进行测试分析。本文选择 5KPT1 坑道、14KPT1 坑道、LW 坑道、14KPT4 坑道、PY1 坑道中的铅锌含

量进行分析，铅锌元素两者的相对含量并不是明显正相关，有时候铅含量高，而锌含量偏低，增减不同步，但是断层处的铅锌含量都比较高(图 4-1)。

5KPT1坑道

样品数	30	元素含量趋势图
Pb(%)	1.25	
Zn(%)	1.75	
Pb+Zn(%)	3	

14KPT1坑道

样品数	136	元素含量趋势图
Pb(%)	0.48	
Zn(%)	0.466	
Pb+Zn(%)	0.946	

LW坑道

样品数	189	元素含量趋势图
Pb(%)	0.26	
Zn(%)	0.26	
Pb+Zn(%)	0.52	

14KPT4坑道

样品数	44	元素含量趋势图
Pb(%)	0.32	
Zn(%)	0.9	
Pb+Zn(%)	1.22	

图 4-1 矿区部分坑道铅锌元素相对含量变化趋势图

4.1.2 其他有用组分

银厂沟-骑骡沟铅锌矿伴生的有用组分十分丰富（表 4-2)。一般镉、镓、锗、铟、银、金等元素不单独出现，常以伴生组分的形成存在。

镉是矿床中分布较为稳定的元素，以晚期浅色闪锌矿含量最高，在 5 矿带中镉含量最富，平均镉含量为 0.033%。在锌矿石表面及细小裂隙中可见绿黄色次生薄膜，是镉高含量区的主要标志。

镓在矿床中以铅锌混合矿石品位较高地段含量最高，尤以 14 矿带含镓最富，含量达 0.0085%，其次为 5 矿带、7 矿带，而单独的铅或锌矿石的地段的镓含量较低。

锗主要赋存在高品位锌矿石中，一般低于 3%的锌矿石的锗含量甚微。14 矿带含锗最高，含量为 0.0029%，其次为 5 矿带。

表 4-2 伴生元素有用组分含量表[3]

矿带编号	Cd 平均含量	Ga 平均含量	Ge 平均含量	In 平均含量	Ag 平均含量
1 矿带	0.015	0.0037	微量		29.1
2 矿带					40.9
3 矿带	0.012	0.00017		0.0005	30.5
5 矿带	0.033	0.0015	0.00062	0.0004	20.8
7 矿带	0.0024	0.0036		0.00088	19.35
14 矿带	0.0085	0.0031	0.0029	0.0005	25.83
15 矿带	0.015				18.1
盲矿带		0.0025			45.4
似层状矿体					34.85

注：Ag 单位为 g/t，其它为%。

铟零星赋存在各矿带中，含量变化甚大。7 矿带锗含量相对较高，平均含量达 0.00088%，其次为 3 矿带、14 矿带、5 矿带。

银在各个矿带中含量都比较高。银多数不成单独出现，常常与其他矿物伴生。一般情况下银的含量与铅品位的高低成正比，铅品位 0.5～1%，银含量约 5.53g/t；铅品位 5～10%，银含量 38.4 g/t；铅品位＞10%，银含量约 80.7 g/t。在镜下可见辉银矿呈乳浊状与方铅矿共生。包相成教授在观察光片时指出：部分光片中黝铜矿，灰色，反射色率 R=30，均质，在方铅矿中显中等凸起（比一般黝铜矿稍低），含银黝铜矿比一般的黝铜矿的硬度偏低，说明矿床与区域上多数铅锌矿普遍含银黝铜矿一致。通过光片的镜下观察的结果，说明银主要与方铅矿和黝铜矿的关系密切。

金在矿石中含量甚微，含铅＞5%的矿石也仅有微量金存在，一般无利用价值，但铅精矿中金含量达 6.9g/t，可在冶炼中回收。

4.2 稀土元素特征

稀土元素具有独特的地球化学特性，被众多学者视为构造—成矿热液演化的示踪剂。本次将通过稀土元素组成特征和演化规律的研究，以期阐明该矿床稀土元素地球化学习性，进而为探讨成矿物质来源、成矿流体性质及成矿机理等重大问题提供必要依据。样品先后由中科院地质及地球物理研究所测试（表 4-3）。先后分析了围岩、构造岩、矿石这三类岩矿的稀土特征。

围岩稀土特征

矿区的围岩是灯影组的白云岩，生物碎屑白云岩，纹层状白云岩，硅化白云岩，现将矿区的几种白云岩进行对比。

通过对比发现生物碎屑白云岩和产在其中的硅化白云岩的稀土元素与其它白云岩有显著的区别（图4-2）。生物碎屑白云岩和产在其中的硅化白云岩这两种岩石稀土含量普遍较低，Eu异常都不明显。产在生物碎屑白云岩中的硅化白云岩具有明显正Ce异常，但稀土元素含量比生物碎屑白云岩低，一般海水常形成负Ce异常，说明硅化白云岩与其白云岩是不同环境形成的。其余几类的岩石的稀土元素含量相对比较高，分布形式比较相似，左高右低，有明显的负Eu异常。

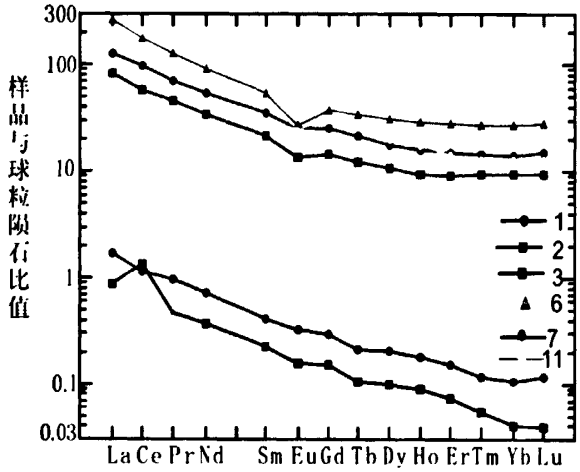


图4-2 矿区围岩稀土元素分布曲线图

1.生物碎屑白云岩；2硅化白云岩；3硅化白云岩；6硅化白云岩；7纹层状白云岩11白云岩

（编号同表4-3中序号）

构造岩热液稀土特征

在矿区选择一条构造剖面采样做稀土元素分析，借此研究稀土元素在构造热液活动中的分布规律，试图揭示稀土元素在构造活动的相关规律。先后在断层的上下盘以及破碎带，分别采取硅化白云岩和围岩样品，共计5个，试图了解稀土元素在构造热液活动中的行为特点。通过稀土分布图（图4-3），可以看出岩石的稀土元素特征与岩石类型和岩石所处的构造位置有关。硅化白云岩位于断层的上盘和下盘的分布形式相同，但上盘的含量相对略高；虽然破碎带中碎粉岩碎裂岩物理形态差异很大，但是稀土分布形式有着惊人的相似，两者含量相近，同时出现负Ce异常和负Eu异常，与附近围岩的稀土含量分布有显著的不同，说明破碎带的构造岩经历了构造热液的作用稀土含量和分布形式发生了改变，说明岩石中的稀土元素赋存状态具有稳定性，不轻易流失的特征。总体来说，硅化白云岩稀土含量大于围岩，上盘稀土含量大于下盘。受后期热液的影响破碎带的稀土含量偏低，且有显著的负Ce异常，轻重稀土分异明显低于上下盘的岩石。

表 4-3 矿区矿石及其岩石稀土含量

序号	样品编号	测试对象	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	RQLG76-1	生物碎屑白云岩	0.405	0.695	0.091	0.330	0.063	0.019	0.06	0.008	0.052	0.010	0.025	0.003	0.018	0.003
2	RQLG76-2	硅化白云岩	0.206	0.807	0.045	0.174	0.035	0.009	0.031	0.004	0.025	0.005	0.012	0.0014	0.007	0.001
3	RIH-01	硅化白云岩	19.516	34.789	4.388	15.9065	3.289	0.7749	2.995	0.46	2.688	0.537	1.500	0.241	1.579	0.239
4	RIH-02	碎粉岩	6.300	8.260	1.325	5.640	1.350	0.422	1.812	0.304	1.788	0.359	0.921	0.133	0.786	0.120
5	RIH-03	碎裂岩	6.231	8.487	1.325	5.965	1.327	0.424	1.85	0.306	1.768	0.3534	0.9383	0.1359	0.812	0.121
6	RIH-04	硅化白云岩	61.233	109.119	12.224	43.305	8.117	1.554	7.677	1.269	7.786	1.651	4.556	0.681	4.529	0.712
7	RIH-05	纹层状白云岩	30.443	59.59	6.754	25.3613	5.444	1.448	5.204	0.807	4.486	0.894	2.455	0.367	2.394	0.375
8	QMT3-2	大团块（斑）状矿石	9.759	8.311	1.786	7.689	1.644	0.455	1.912	0.283	1.625	0.322	0.84	0.123	0.72	0.105
9	QMT3-10	小团块（斑）状矿石	52.187	98.760	12.530	44.890	9.642	0.762	8.843	1.621	10.501	2.342	6.827	1.128	8.014	1.251
10	QMT2-6	网脉状矿石	14.300	25.896	3.219	12.670	2.800	2.217	2.808	0.472	2.984	0.655	1.883	0.298	1.981	0.303
11	QMT2-10	白云岩	43.147	85.815	9.902	36.2229	6.994	1.4266	6.374	0.928	4.932	0.947	2.364	0.336	2.186	0.326

注：稀土含量单位$\times 10^{-6}$

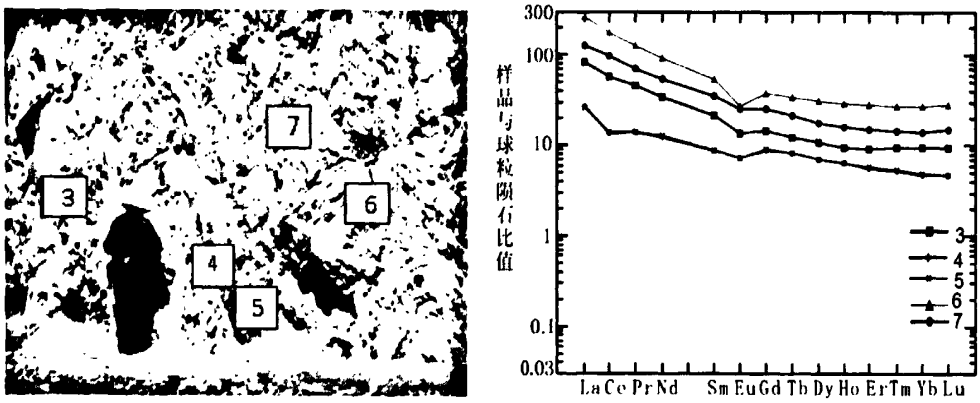


图 4-3 采样位置及受构造热液影响岩石稀土元素分布曲线图

3.硅化白云岩，4.碎粉岩，5.碎裂岩，6 条带状硅化白云岩；7 白云岩

（编号同表 4-3 中序号）

矿石稀土特征

本次对小团斑状矿石，大团斑状矿石，脉状矿石这三种矿石的共生脉石矿物进行稀土分析，其中大、小团斑状矿石测试的是石英，脉状矿石测试的方解石。从团斑状矿石与与脉状矿石稀土分布型式图中，我们可以看出矿石曲线都为右倾，表示轻稀土元素富集程度较高（图 4-4）。

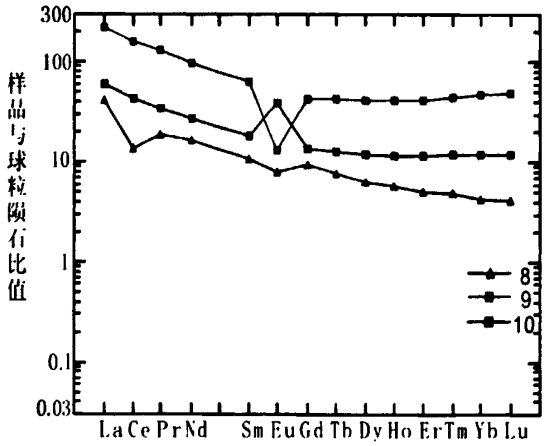


图 4-4 矿石稀土元素分布曲线图

8. 小团斑状矿石;9. 大团斑状矿石;10.网脉状矿石

（编号同表 4-3 中序号）

矿石稀土元素分布曲线图中，10 号网脉状矿石出现了明显的正 Eu 异常，与另两条曲线极不相同。10 号网脉状矿石测试的共生的方解石。这是因为 Eu 元素在天然体系中，Eu^{2+}容易进入斜长石、天青石、重晶石等含 Ca^{2+}、Sr^{2+}、Ba^{2+}的矿物中，相对于背景元素 Sm 和 Tb，Eu 富集，在这些物质中形成 Eu 的正异常；而在和这些矿物处于平衡的相，如岩浆或其它流体中，相对于背景元素 Sm 和 Tb，Eu 亏损，形成 Eu 的负异常。我们也知道方解石的化学式为 $CaCO_3$，在第五章将要提到有机质将 SO_4^{2-}还原成为 S^{2-}与络合物中 Zn^{2+}和 Pb^{2+}结合成矿的同

时，会有 Ca^{2+}与 CO_3^{2-}结合形成方解石和白云石的沉淀。在方解石形成的同时，稀土元素中的 Eu 相对于背景元素 Sm 和 Tb，Eu 富集，故出现于矿石共生的方解石出现明显正 Eu 异常。测试方解石矿物出现正 Eu 异常不能反映成矿流体当时处于正 Eu 异常，这是因为不同矿物对个别稀土元素有着特殊的习性。

除了 10 号样品测试对象为方解石形成正 Eu 异常异常外，我们发现测试同是石英的 8 和 9 号样品的的稀土元素特征也不同，9 号大团斑状矿石稀土含量明显比 8 号样品要高许多，并且出现明显的负 Eu 异常，Ce 异常不显著。与矿石共生的石英不同的稀土分布型式，反映了成矿时成矿流体的性质的差异。结合到野外和手标本观察，小团斑状矿石与大团斑状矿石属于两个不同的成矿时期，稀土元素特征再次反映了成矿的多期性。

4.3 微量元素特征

研究矿石矿物微量元素特征，以期探寻矿床类型和成因，深入了解矿区及外围地球化学背景。为了进一步探讨矿床成因及了解区域地球化学背景，本次主要对方铅矿矿石中微量元素进行研究。通过这些元素化学成分含量的变化和一些元素的比较来阐明银厂沟-骑骡沟矿床的类型和成因问题。

经银厂沟矿床 Cr-Co-Ni 图解（图 4-5）分析，图中可以看出：围岩白云岩的分布范围比较集中，并有区别于矿石、构造岩和蚀变岩，反映了由于热液的作用参与使矿石和构造和蚀变岩不同于矿石。4 和 5 为构造岩，分别为碎裂岩和碎粉岩，两者形态差异较大，但是稀土特征及其相似，反映了稀土特征几乎不随岩石的破碎程度不同而异。3 和 6 为蚀变岩，两者分布较散，但是都是分布在矿石和碎裂岩之间，说明了硅化白云岩与矿石和构造岩的构造热液作用具有密切关系。

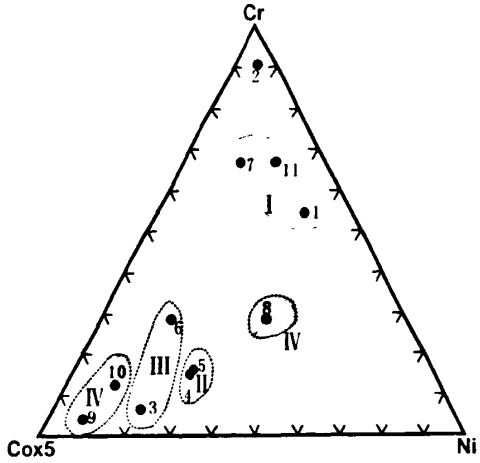


图 4-5　Cr-Co-Ni 图解

Ⅰ.围岩区；Ⅱ.构造岩区；Ⅲ.蚀变岩区；Ⅳ.矿石区

矿石区中的8、9和10样品，明显分成了两个分布范围，8号样品为小团块（斑）状方解石-方铅矿型矿石，属于成矿晚期第二阶段的产物，9和10为成矿晚期第一阶段和第三阶段的大团块（斑）状石英-方解石-方铅矿-闪锌矿型矿石和网脉状石英-方铅矿-闪锌矿型矿石。说明了不同期次阶段的矿液具有不同性质，反映了成矿的多期性。

银厂沟-骑骡沟矿床成矿热液中不相容元素、相容元素和高场强元素等21种元素的含量变化情况（表4-4、图4-6）。图中Li、Rb、Sr、Pb、Zn、Cs、Y、Th、Hf、Ta、Cu等11种元素含量均高于上地幔值，也高于克拉克值，占21种微量元素的52%；高于上地幔值，低于克拉克值的有Ba、Zr、Nb、Ga等4种元素；与上地幔值和克拉克值接近的有Zn、V元素；既低于上地幔值，又低于克拉克值的有Co、Ni、Cr等3种元素，值得特别指出的是这3种元素的克拉克值也远远低于上地幔值。上述事实说明，成矿热液单一来源特征不明显，可能多种成矿热液经混合后形成的混源热液。

表4-4 银厂沟-骑骡沟铅锌矿床化学元素丰度特征表

元素	矿石平均值	上地幔值	维氏克拉克值	峨眉山玄武岩	分类
Li	52.1	3.9	32.0		不相容元素
Be	4.5		3.8		
Rb	174.3	1.2	150.0	60.9	
Sr	354.2	42.3	340.0	516	
Pb	44.4	0.3	16.0	8.44	
Zn	98.2	63.0	83.0		
Cs	14.9	0.1	3.7		
Ba	394.5	13.0	650.0	624	
Co	11.1	91.0	18.0	42.8	相容元素
Ni	11.1	1610.0	58.0	135	
V	69.0	110.0	90.0	275	
Cr	10.9	1969.0	83.0	277	
Y	31.3	9.3	29.0	28	
Zr	85.2	27.0	170.0	313	高场强元素
Nb	15.5	2.0	20.0	40.9	
Th	20.9	0.2	13.0	7.62	
Hf	3.1	0.7	1.0	7.4	
Ta	2.6	0.1	2.5	2.61	
Ga	9.7	7.0	19.0		其他元素
Cu	141.3	31.0	47.0		
Se	6.8		0.1	28	

注：单位：$\omega \times 10^{-6}$。

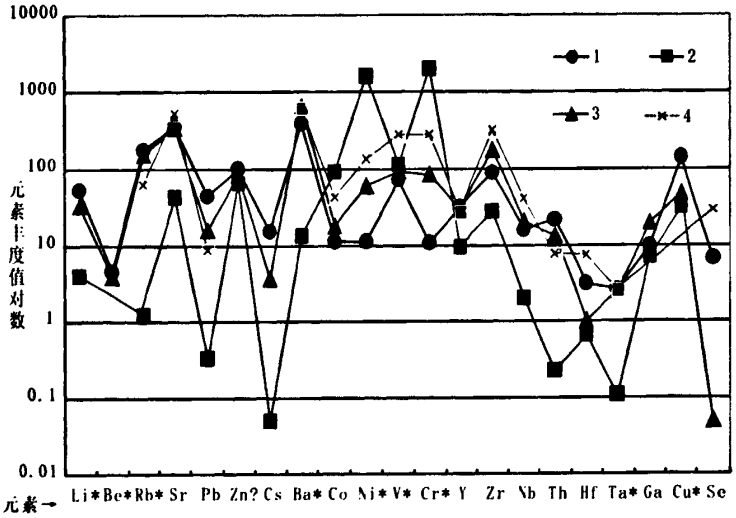


图 4-6 银厂沟-骑骡沟铅锌矿床化学元素变化特征对比图
1.矿石平均值；2.上地幔值；3 维氏克拉克值；4.峨眉山玄武岩中岩区

图中还可以看出不相容元素 Li、Be、Rb、Sr、Pb、Zn、Cs、Ba 的含量均高于克拉克值，也高于上地幔值；总体趋势是接近地壳克拉克值而又略高于地壳克拉克值；相容元素 Co、Ni、V、Cr 的含量均低于上地幔值和克拉克值，其中 V 元素含量接近上地幔和克拉克值；高场强元素 Zr、Nb 含量低于上地幔值和克拉克值，Th 含量高于上地幔值和克拉克值，Hf 含量高于克拉克值，而 Y、Ta 含量却与上地幔值和地壳克拉克值具有相似性。此外峨眉山玄武岩通常被学者们认为是地幔部分熔融的产物，因此本次也采用了本区广泛出露的源于地幔的峨眉山玄武岩有关组分，以近似地代表该区幔源流体成分与银厂沟矿床中的部分微量元素进行了对比。对比结果同样反映出银厂沟矿床和峨眉山玄武岩两者微量元素具有相同或相近性。

4.4 同位素特征

4.4.1 硫同位素特征

本次采集硫同位素样品 8 件，其中方铅矿矿石样 4 件，闪锌矿矿石样 4 件。经中科院地质与地球物理研究所测试结果为：方铅矿矿石 $\delta^{34}S$ 值为 13.37～20.32‰，平均为 16.19‰，误差 0.002～0.008‰；闪锌矿矿石 $\delta^{34}S$ 值为 13.045～18.29‰，平均为 14.96‰，误差 0.002～0.008‰。另搜集前人矿石硫同位素测试结果 9 件，其中方铅矿样 8 件，$\delta^{34}S$ 值变化范围 13.0‰～17.8‰，平均 15.2‰；闪锌矿样 1 件，$\delta^{34}S$ 值为 10.2‰。本次和前人测试结果（表 4-5），表明方铅矿和闪锌矿这两种矿物 $\delta^{34}S$ 值在 10～20‰之间变化，全为正值，均表现出富重硫特征（图 4-7），说明矿床中硫可能有共同来源。

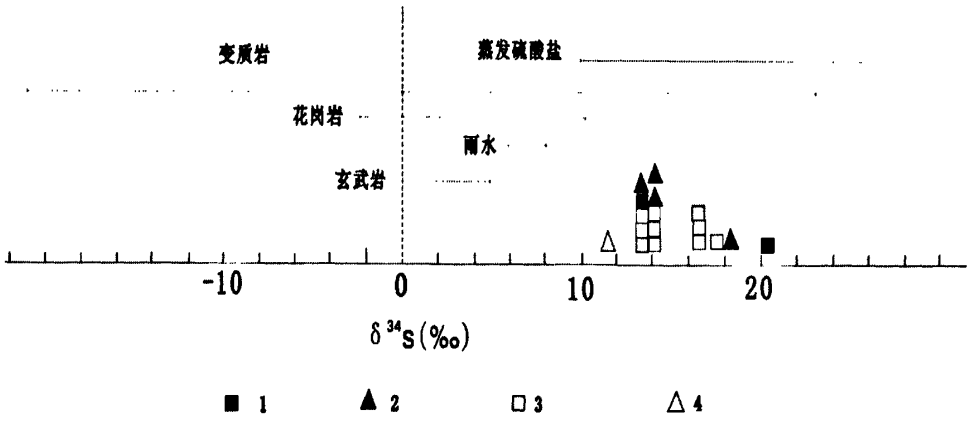


图 4-7 铅锌矿石中硫同位素组成直方图

1 方铅矿(本次测试)；2 闪锌矿(本次测试)；3.方铅矿(前人资料)；4.闪锌矿(前人资料)

方铅矿和闪锌矿中的硫同位素正常情况下，应该满足共生矿物硫同位素平衡序列：$\delta^{34}S$ 黄铁矿 > $\delta^{34}S$ 闪锌矿 > $\delta^{34}S$ 方铅矿[12]。但是本次和前人测试结果都出现 $\delta^{34}S$ 闪锌矿 < $\delta^{34}S$ 方铅矿现象。本次对编号为 14KPT4S-5 的样品同时挑方铅矿和闪锌矿单矿物，反映了两者未达到硫同位素平衡，因此利用硫同位素进行测温计算，但是它暗示了矿床成矿的多期次。

表 4-5 硫同位素组成特征表

序号	样品号	样品描述	测定矿物	$\delta^{34}S$‰	资料来源
1	QMT3-2	方铅矿矿石	方铅矿	13.37	本次测试
2	QMT3-10	含方铅矿矿石	方铅矿	20.32	
3	QMT2-4	含矿石英脉白云岩	闪锌矿	14.36	
4	YMT14-2	块状方铅矿矿石	闪锌矿	14.13	
5	RQD002-1	含矿石英脉白云岩	闪锌矿	18.29	
6	14KPT1S-16	方铅矿矿石	方铅矿	16.72	
7	14KPT4S-5	方铅矿矿石	方铅矿	14.4	
8	14KPT4S-5	闪锌矿矿石	闪锌矿	13.05	
9		矿石	闪锌矿	10.2	宋兴田[10]
10		矿石	方铅矿	13.0～17.8	
11		矿石	方铅矿		
12		矿石	方铅矿		
13		矿石	方铅矿		
14		矿石	方铅矿	13.04～16.41	刘文周[11]
15		矿石	方铅矿		
16		矿石	方铅矿		
17		矿石	方铅矿		

4.4.2 碳氧同位素特征

本次采集碳、氧同位素样品7件，其中矿石样1件。经中科院测试结果为：6件白云岩样 $\delta^{13}C$ 为-2.635～+1.882‰，误差0.002～0.009‰，并搜集前人资料[13]（表4-6）。矿石中的 $\delta^{13}C$ 为-5.431‰，$\delta^{18}O$(PDB)为-15.369‰；硅化白云岩 $\delta^{13}C$ 为-1.146～1.882‰，平均值0.114‰，$\delta^{18}O$(PDB)为-4.666～-7.815‰，平均值-6.406；围岩 $\delta^{13}C$ 为-3.19～1.68‰，平均值-0.027‰，$\delta^{18}O$(PDB)为-10.75～-5.17‰，平均值-7.749‰。

通过分析，我们可以发现矿石与硅化白云岩、围岩白云岩的碳、氧同位素同位素的组成分布差异很大，三者含量的关系大致如下：

$\delta^{13}C$ 平均值：　矿石(-5.431‰)<硅化白云岩(0.114‰)>围岩(-0.027‰)

$\delta^{18}O_{PDB}$ 平均值：　矿石(15.369‰)>硅化白云岩(-6.406)>围岩(-7.749‰)

一般认为热液矿床成矿溶液中碳质来源有三种：①岩浆碳或者深源碳，其同位素为-7‰(-8～-5‰)；②沉积碳酸盐碳源，其同位素为0‰左右；③沉积岩、变质岩和火成岩中有机碳源，其同位素为-25‰左右[12]。矿石、硅化白云岩、围岩的碳同位素的组成分布差异反映了三者碳同位素来源具有差异。成矿热液的具有岩浆碳的特征，与围岩白云岩来源不同。

本区铅锌矿石矿物常与白云岩共生在一起，可利用碳酸矿物的碳氧同位素组成来探讨与之共生的矿石矿物的成因。据前人研究总结，通过投 $\delta^{13}C$-$\delta^{18}O$ 图解来探讨矿床成因，阐述矿石矿物形成的地球化学环境（图4-8）。将本次碳氧同位素测定数据投点于毛景文绘制的 $\delta^{13}C$-$\delta^{18}O$ 图解[14]，6个围岩样点数据均落在海相碳酸盐岩一侧，矿石样数据点落在热液多金属矿化区，这说明成矿热液的 $\delta^{13}C$ 特征与围岩的 $\delta^{13}C$ 特征截然的不同，反映了灯影组地层并不是成矿物质的主要来源。

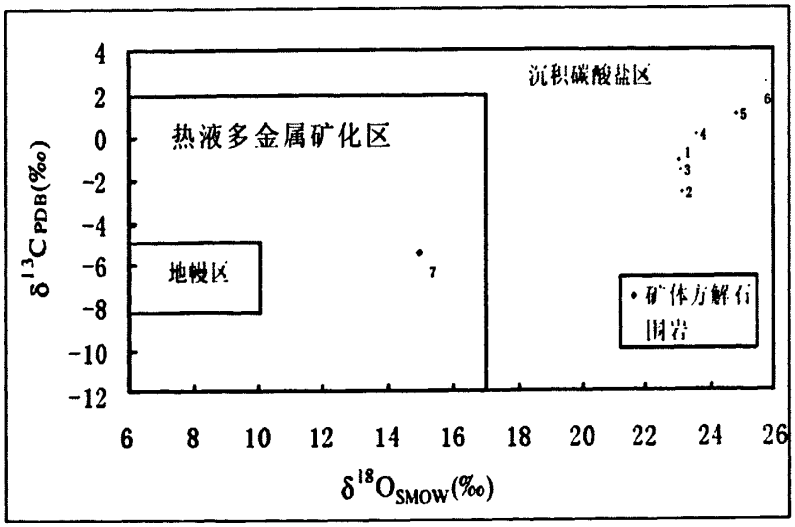


图 4-8 银厂沟-骑骡沟矿床 $\delta^{13}C$-$\delta^{18}O$ 图解

表4-6 碳、氧同位素组成测定结果表

序号	样品号	样品描述	测定矿物	$\delta^{13}C‰$	$\delta^{18}O‰$ (PDB)	$\delta^{18}O‰$ (SMOW)	资料来源
1	RI-02	硅化白云岩	石英	-1.146	-7.815	22.804	本次测试
2	RI-04	微晶白云岩	全岩	-2.635	-7.146	23.493	
3	RI-11	硅化白云岩	燧石	-1.507	-7.474	23.155	
4	RI-12	白云岩	石英	-0.007	-6.99	23.654	
5	RI-18	硅化白云岩	石英	1.227	-5.667	25.018	
6	RIH-04	硅化白云岩	石英	1.882	-4.666	26.050	
7	QMT2-6	方铅矿	方解石	-5.431	-15.369	15.017	
8	PM114-34b1	白云岩	全岩	2.86	-10.75	19.778	余光模[13]
9	PM114-32H2	白云岩	全岩	-2.26	-8.41	22.190	
10	PM114-30H1	白云岩	全岩	-2.58	-8.73	21.861	
11	PM114-29H1	白云岩	全岩	-3.19	-8.47	22.129	
12	PM114-27b1	白云岩	全岩	-1.84	-7.82	22.799	
13	PM114-24b1	白云岩	全岩	-1.42	-8.15	22.458	
14	PM114-23b1	白云岩	全岩	-1.49	-10.27	20.273	
15	PM114-21H1	白云岩	全岩	0.5	-6.77	23.881	
16	PM114-19H1	白云岩	全岩	0.88	-5.17	25.530	
17	PM114-18H1	白云岩	全岩	1.11	-7.48	23.149	
18	PM114-15H1	白云岩	全岩	1.36	-7.05	23.592	
19	PM114-14b1	白云岩	全岩	1.25	-6.72	23.933	
20	PM114-12b1	白云岩	全岩	1.68	-7.4	23.232	
21	PM114-10b1	白云岩	全岩	0.95	-7.58	23.046	
22	PM114-7b1	白云岩	全岩	0.82	-7.58	23.046	
23	PM114-6b1	白云岩	全岩	1.18	-7.71	22.912	
24	PM114-5H1	白云岩	全岩	1.02	-7.04	23.603	
25	PM114-4b1	白云岩	全岩	0.68	-6.86	23.788	
26	PM114-3H1	白云岩	全岩	0.49	-7.73	22.891	
27	PM114-2H1	白云岩	全岩	0.04	-8.66	21.933	

注：$1\delta^{18}O‰_{(SMOW)}=\delta^{18}O‰_{(PDB)}\times 1.03086+30.86$

4.4.3 氢氧同位素特征

氢氧同位素测定结果，$\delta^{18}O$ 为 20.02～24.18‰，平均为 22.45‰，误差为 0.005～0.010‰均为正值，比较集中，偏离 O 值线较远。本次采集的 9 件矿物氢同位素样品，其中围岩样 8 件，矿石样 1 件，经中科院地质与地球物理研究所测试，8 件围岩样 δ DV-SMOW 变化范围在-58.38～-70.11‰之间，平均为-65.09‰，误差为 0.017～0.026‰；1 件矿石样 δ DV-SMOW 为-48.69‰，误差为-0.020‰（见表 4-7）。由于本次测试的对象为石英、白云岩、方解石等含氧而不含氢矿物，可实测矿物中的氢同位素，实测矿物的氧同位素并通过矿物-水的氧同位素分馏方程计算流体水的 $\delta^{18}O$ 值[12]。

常用矿物流体水的计算公式为

$$\delta^{18}O_{矿}-\delta^{18}O_{水}=A\times10^6/T^2+B$$

即：$$\delta^{18}O_{水}=\delta^{18}O_{矿}-A\times10^6/T^2-B$$

式中：A 和 B 为特定常数，与矿物种类有关；T 温度（K）。

通过包裹体测温和矿物特征的研究，包裹体均一温度为 90~236℃，并考虑到均一法测温偏低的特点，本次计算温度为 225℃，即 T=498K。A 和 B 为特定常数的确定情况如下：

石英-水：A=3.38；B=-3.4

（温度适用范围 200~500℃，资料源于 RN Clayton 等）

方解石-水：A= 2.78；B=-3.39

（温度适用范围 0~800℃，资料源于 JR ONeil andHP taylor 等）

根据公式计算出相关流体水的氧同位素。

表 4-7 矿物氢、氧同位素测定结果表

序号	样品号	样品描述	测定矿物	δD V-SMOW（‰）	$\delta^{18}O$‰	$\delta^{18}O_{水}$‰
1	RI-02	硅化白云岩	石英	-60.58	21.88	11.65
2	RI-04	微晶灰岩	全岩	-58.38	20.02	9.79
3	RI-11	硅化白云岩	燧石	-59.79	21.57	11.34
4	RI-12	硅化白云岩	石英	-65.36	23.02	12.79
5	RI-18	硅化白云岩	石英	-68.22	24.04	13.81
6	RIH-04	硅化白云岩	石英	-68.89	24.18	13.95
7	QMT2-6	方铅矿矿石	方解石	-48.69	15.07	7.25
8	RQLG76-1	白云岩	白云岩	-69.38		
9	RQL76-2	硅化白云岩	白云石	-70.11		

通过在 S.M.Sheppard 绘制的 δ D- δ 18O 水同位素投图（图 4-9）可以看出，矿石氢氧同位素的点分布在变质水的范围内的岩浆水区域内；硅化白云岩和围岩氢氧的同位素点均在岩浆水以外的变质水区域内。硅化白云岩和围岩之间氢氧的同位素点分布整体没有什明显的区别，硅化条带与附近的围岩的氢的同位素特征及其相近，如 8 和 9 号样品。矿石、硅化白云岩和围岩的氢氧同位素的点分布具有一定的线性关系，呈负相关性。

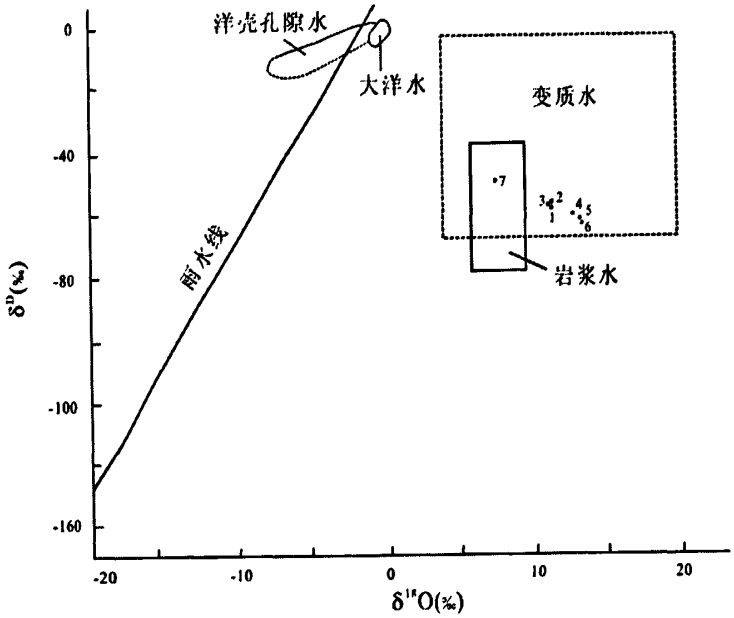


图 4-9 银厂沟-骑骡沟铅锌矿床 δ D- δ ^{18}O 水同位素组成图

矿石氢氧同位素的点分布在变质水的范围内的岩浆水区域内，说明了含矿热液的性质与岩浆水性质相近，但也可能为变质水。联系到矿床区域构造特征和成矿时代为晚燕山期-喜马拉雅期，认为矿床的热液具有岩浆水的特征。

4.4.4 铅同位素特征

铅同位素组成特征是成矿物质来源的示踪剂，通过铅同位素示踪分析研究，有利于探索铅锌矿成矿金属的物质来源及其演化。本次采集 6 件铅同位素样品，矿石样品均测定闪锌矿中的铅同位素组成，由中科院地质与地球物理研究所测试。并搜集矿区前人的测试资料 5 件，列表如下（表 4-8）

通过将该矿区的铅同位素组成 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb / ^{204}Pb$ 数据分析和做图解，可以发现以下现象：

这 11 个数据 $^{206}Pb / ^{204}Pb$ 与 $^{207}Pb / ^{204}Pb$、$^{206}Pb / ^{204}Pb$ 与 $^{208}Pb / ^{204}Pb$ 具有良好的线性关系（图 4-10），亦有良好线性关系,回归方程是：

$^{207}Pb/^{204}Pb=0.8333\times(^{206}Pb/^{204}Pb)+0.4933$ $R^2 = 0.9761$

$^{208}Pb/^{204}Pb=2.1611\times(^{206}Pb/^{204}Pb)-0.8899$ $R^2 = 0.9752$

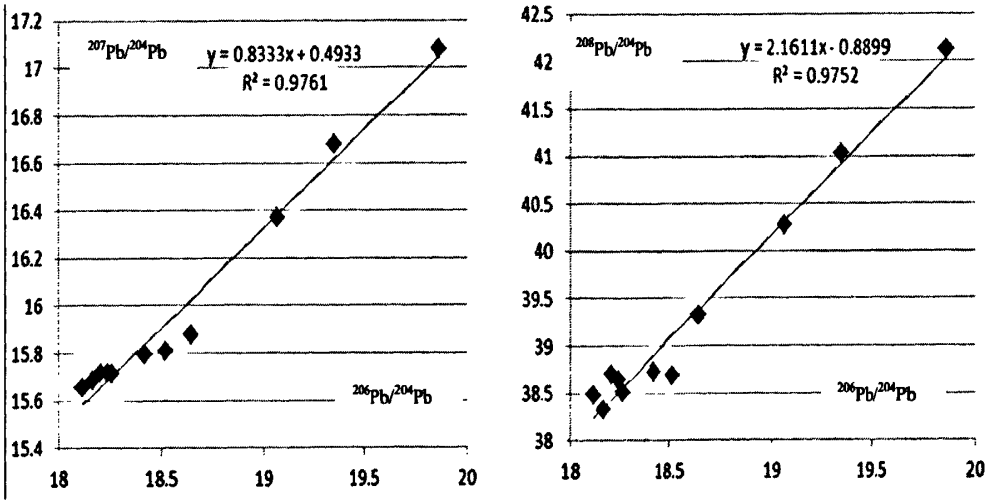


图 4-10 铅锌矿床 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$-$^{208}Pb/^{204}Pb$ 图（一）

第一个样品第一个是硅化白云岩，如果将其剔除，$^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 具有更好的线性关系（图 4-11），回归方程是：

$$^{207}Pb/^{204}Pb=0.8342\times(^{206}Pb/^{204}Pb)+0.4916 \quad R^2=0.9862$$

$$^{208}Pb/^{204}Pb=2.1611\times(^{206}Pb/^{204}Pb)-0.8899 \quad R^2=0.9755$$

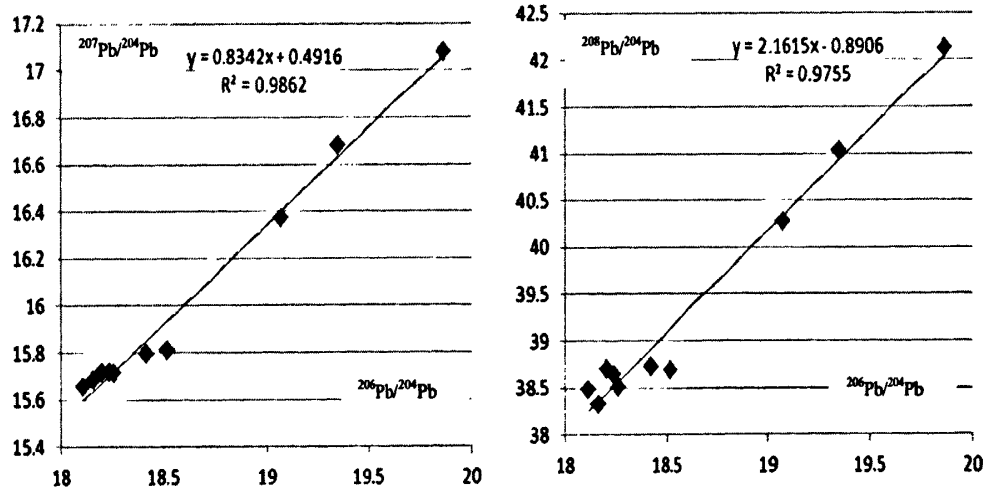


图 4-11 铅锌矿床 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$-$^{208}Pb/^{204}Pb$ 图（二）

剔除第一个样品是岩石样品，其余都是矿石样品，$^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{206}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 线性相关性增强。而且排除不同批次测试的系统误差，它在本次测试中 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 三项比值都要比矿石铅要偏大些。说明硅化白云岩铅同位素与矿石铅有极强的相似性，或许有相似的铅源，但是它们之间存在明显差异。在野外的观察也发现，硅化白云岩的地方不是处处有矿化，有矿化的地方常常见到硅化白云岩。

表 4-8 银厂沟-骑骡沟铅锌矿床矿石与围岩铅同位素组成表

序号	样品号	样品描述	206 / 204	207 / 204	208 / 204	t(Ma)	资料来源
1	QMT2-4	硅化白云岩	18.6365	15.8771	39.3241	338	本次测试
2	RQD002-1	铅锌矿化	18.2553	15.7116	38.5097	412	
3	RQLG29-1	闪锌矿矿石	18.1585	15.6837	38.3283	447	
4	YMT14-2	方铅矿矿石	18.234	15.7179	38.6369	434	
5	14RKPT6-1	方铅矿矿石	18.1107	15.6585	38.4787	452	
6	RQLG32-1	网脉状矿石	18.1973	15.7169	38.6981	458	
7		矿石	19.07	16.37	40.27	580*	宋兴田[11]
8		矿石	19.86	17.08	42.12	771*	
9		矿石	19.35	16.68	41.03	707*	
10		矿石	18.517	15.809	38.692	122*	刘文周[12]
11		矿石	18.417	15.795	38.729	187*	

注：*为搜集资料的原作者计算的年龄；

$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{206}Pb/^{204}Pb$ 与值的变化不大，分别在 16 和 19 附近变化，而 $^{208}Pb / ^{204}Pb$ 变化比较大，变化范围从 38 到 42（图 4-12）。总体而且造成变化的主要是 7、8、9 号样品，但是他们的 $^{207}Pb/^{204}Pb$-$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{206}Pb / ^{204}Pb$-$^{208}Pb / ^{204}Pb$ 与其他样品线性关系都十分良好。这三个资料测试的比较早，数据 1983 年才出现，可能早期测试采集的是矿区早开发似层状矿体或者是早期测试系统误差。

将本矿床的铅同位素组成（除 $^{208}Pb / ^{204}Pb$ 值>19 的点外）投影陈毓蔚绘制的铅同位素示踪图上（图 4-13）：多数据点均落在太平洋沿岸岛弧铅范围内，仅有少部分数据点分布于岛弧铅边缘，且数据点均落在大陆火成岩铅倾向线附近。虽然康滇地区与太平洋沿岸岛弧的地质情况一样，但矿区的铅同位素与其有相似之处。铅同位素分布多数相对集中，部分分散，但沿着大陆火成岩铅倾向线分布，说明铅同位素不同时期带入到矿体中的结果。研究铅源区 μ、ω 值的变化，是确定铅同位素类型及探讨铅来源的重要参数。本次测试结果所计算的铅源区特征参数 μ 值的变化范围为 9.609131～9.978385，显示铅源区 μ 值部分接近、部分大于

正常铅μ值8.686～9.238的变化范围；铅源区ω值变化范围为38.23184～41.54615，在正常铅ω值35～41的变化范围内。

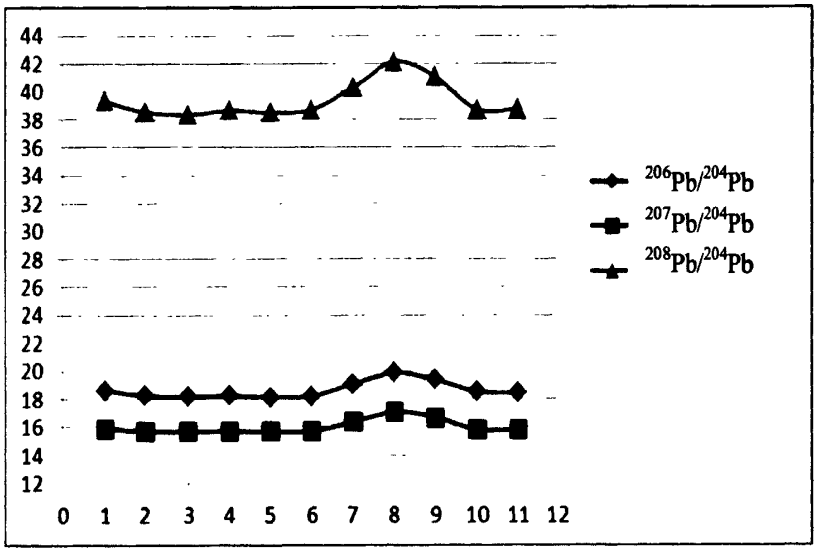


图4-12 铅锌矿床 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 分布图

将本次的测试的6个样品的铅同位素组成投图（图4-14），除1个数据点远离其它各点且落在地壳铅的演化曲线之上外，其余各数据点分布较为集中，均落在上地壳及造山带铅的演化曲线附近或之间，大致分为两组，2、4、6为一组分布在上地壳演化曲线上，3、5为另一组分布在上地壳演化曲线下方，靠近造山带的铅演化曲线，说明该矿床铅的来源既具有造山带铅特征，又具有上地壳成因铅的特点。在一个矿床中具有两种不同成因铅的存在，显示矿床金属物质来源具多源性特征。

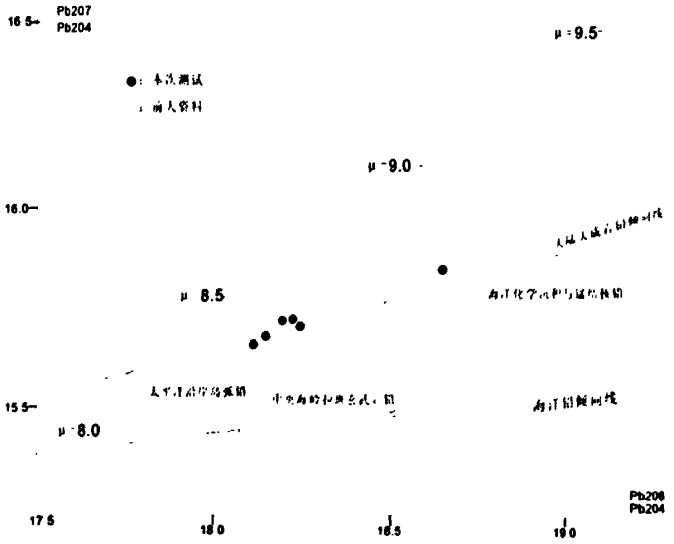


图4-13 银厂沟-骑骡沟铅锌矿床铅同位素示踪图

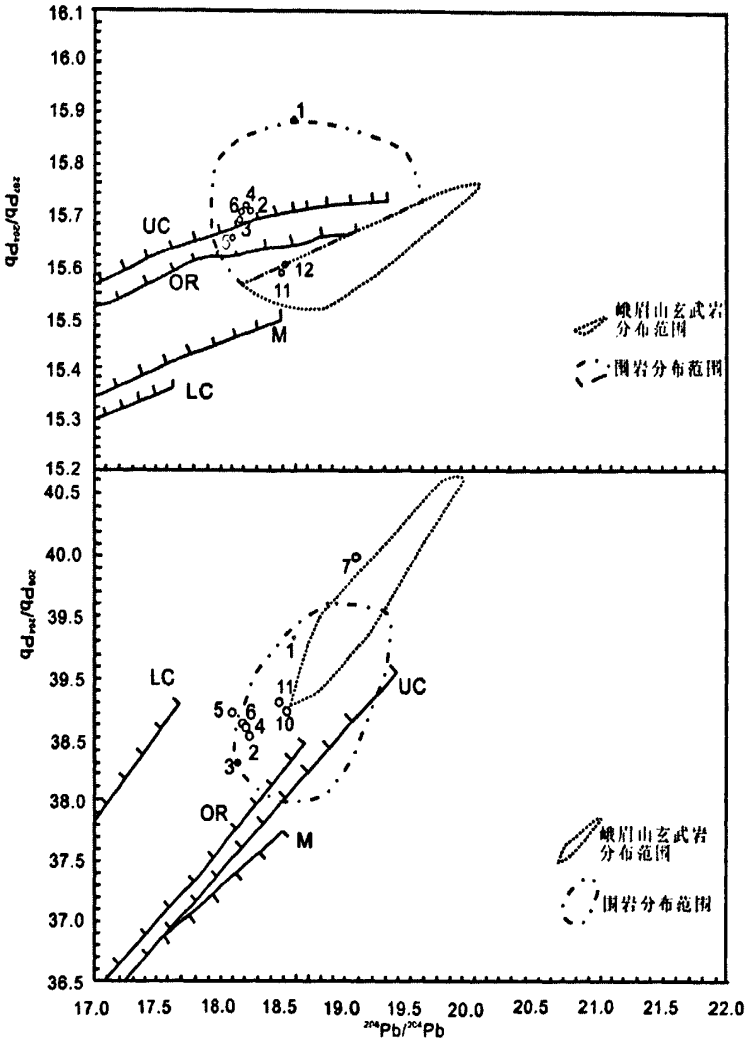


图 4-14 铅锌矿床铅同位素构造演化曲线图

UC 为上地壳，OR 为造山带，M 为地幔，LC 为下地壳演化曲线

第5章 矿床成因

5.1 成矿物质来源

5.1.1 成矿金属来源

长期以来，许多学者对康滇地轴的铅锌矿进行研究，在矿床的成因方面提出了不同的认识和看法：

上世纪60年代以来，出现了沉积成因与热液成因的争论；

上世纪60年代谢家荣认为是岩浆热液成因；

1980年王则江提出沉积-改造的观点；

1981年曾忻耕、曾宪教等采用叶连俊的“陆源汲取成矿论”来阐述层状矿体的形成，并认为脉状矿石由于层状矿自上向下溶滤改造迁移形成的；

1982年蔡之衡提出“侧分泌”成因的见解；

1985年宋兴田在会东-布拖地区铅锌磷矿成矿远景区规划中将矿床分为三类，并将银厂沟矿床归为沉积改造矿床；

1986年巩章禄提出分为两个类型：沉积改造型矿床和沉积再造型矿床；

1986年王小春、徐新煌对灯影组中的矿床提出了“沉积-成岩期初步聚集与后生热卤水富集”的两期成矿作用的观点；

1993年陈进提出沉积-改造-叠加；

柳贺昌和林文提出沉积-改造-后成的观点；

1996年刘文周和徐新煌提出构造-成矿观点；

2001年管士平和李忠雄提出与峨嵋运动密切相关；

2004年丙宗瑶认为扬子地台周缘隆起边缘的铅锌矿床为MVT铅锌矿床；随后张长青等和王奖臻认为川滇黔地区铅锌矿床为与盆地流体演化有关的MVT矿床；

2006年齐文等将该区的铅锌矿床划分为“热水沉积改造”和“热水沉积再造”两大类。

尽管对成矿作用方式的看法多样，多数学者的观点认为成矿物质来自赋矿地层或者临近的地层。不同学者有不同的理解和观点：有人认为是灯影组地层提供成矿物质来源；有人认为下伏地层岩石提供物质来源；也有人认为这与二叠纪峨眉山玄武岩喷发有密切关系。

灯影组地层Pb、Zn元素区域背景含量相对较高，分别为44ppm，100ppm，高于同类岩石平均含量4.4倍和5倍，有成为矿床提供成矿金属的条件[18]。为此，有学者认为康滇地轴东缘铅锌矿是沉积成因或者是沉积改造成因，但在会东地区

灯影组地层 Pb、Zn 元素丰值测试，结果出乎意料，无矿化地段 Pb、Zn 元含量相对较低（一般<100pm），与区域背景含量相近，而且从底部到顶部含量较稳定；而有矿地段 Pb、Zn 含量显著增高，相对无矿段的 2-3 倍[20]。用沉积成因或沉积改造成因的观点解释区域矿床成因，就会发现结果与理论出现矛盾。如果在灯影组地层改造迁移 Pb、Zn 形成一定规模的矿床，必然使矿床附近灯影组地层中的 Pb、Zn 丰值明显下降。结合到碳同位素资料中矿石中的碳同位素与围岩的分布截然不同和氢氧同位素投图表明矿床的的水来自于岩浆水，灯影组的铅锌矿床的成矿物质的主要来源不是来自灯影组地层，必然有外源富含 Pb、Zn 元素的成矿流体通过断裂系统或者地层渗透扩散参与成矿。

通过搜集和阅读区域相关资料时发现学者认为：矿石中所含的高放射成因铅应与基底会理群等富含铀钍放射性的地球化学背景特征有内在联系，并且褶皱基底岩石的铅锌丰度值及丰度系数均较高，且发现了小石房大型矿床和三台厂等矿点产出[20]，显示褶皱基底具有为盖层成矿提供丰富矿质的物质基础，区域上沿甘洛-小江断裂、峨边-雷波断裂等断裂带铅锌矿床呈串珠状，带状线性分布的特征，说明了深远成矿和深大断裂导矿的反映。因此认为下伏地层可能为灯影组中矿床提供了成矿物质。

矿区的同位素特征也是具有部分铅同位素含有放射性铅的特征，矿区也有会理群的出露。为此进一步查阅资料试图了解基底（会理群）岩石与成矿是否有关系。通过区域地光谱分析资料显示：会理群岩石中 Pb 含量为 37~129ppm，最高达 10000ppm；Zn 含量为 67~300ppm，最高达 8000ppm。会理群地层 Pb、Zn 元素最低丰度值多已超过四川省地矿局物探大队在本区米易幅所确定的异常下限（Pb：17.6ppm、Zn：160ppm）[20]，说明会理群确实有条件为灯影组中的铅锌矿床金属来源的基础。

有学者还认为认为：区域的铅锌矿床的形成与二叠纪的峨眉山玄武岩岩石有密切联系[24-25]，为此特意将矿区的铅同位素组成和稀土元素与玄武岩和会理群相关岩层对比。由于矿区的样品相对区域的 μ 值比较，有明显异常铅的加入。矿石铅与岩石铅的深入研究表明,钍铅的变化以及钍铅与铀铅同位素组成的相互关系对于地质过程与物质来源能提供更丰富的信息。为了突出这种变化关系,将 3 种同位素表示成同时代地幔的相对偏差。计算公式如下：

$$\Delta\alpha=[(^{206}Pb/^{204}Pb)d(t)/(^{206}Pb/^{204}Pb)m(t)-1]\times1000$$

$$\Delta\beta=[(^{207}Pb/^{204}Pb)d(t)/(^{207}Pb/^{204}Pb)m(t)-1]\times1000$$

$$\Delta\gamma=[(^{208}Pb/^{204}Pb)d(t)/(^{208}Pb/^{204}Pb)m(t)-1]\times1000$$

通过采用宜昌所路远发研究员开发软件，将区域的收集的和矿区的铅同位资料，计算出 Δα、Δβ 和 Δγ。参数选择 $^{232}Th/^{238}U=4.04$，T=4.57Ga，$(^{206}Pb/^{204}Pb)_0=9.307$，$(^{207}Pb/^{204}Pb)_0=10.294$，$(^{208}Pb/^{204}Pb)_0=29.476$。由于 $^{206}Pb/^{204}Pb$，

因为对时间比较敏感，不采用△α 值投影，所以选择△β 值和△γ 值投影[27]。通过将本矿床矿石铅同位素与区域的岩石的计算出的△β 值和△γ 投影在朱炳泉绘制的矿石铅同位素△β-△γ 的成因分类图解（图 5-1）。

我们投图可发现，矿床矿石铅同位素与会理群岩层的偏差参数在△β-△γ 图中的分布及其相近，矿石点 5 个都有会理群与其对应的，而且硅化白云岩与会理群的分布也十分相近，硅化白云岩也多个个点与会理群分布相近。矿石铅与玄武岩的分布差异比较大。

将区域的岩石与矿石的稀土元进行对比分析。由于本次项目组将矿物作为稀土元素测试对象，但引用的数据大量是全岩的测试值，考虑到各个矿物对同一体系的稀土元素分布型式也不相同，比如斜长石和方解石等含钙矿物对 Eu 比较富集，所以本文在此重点不在于某个稀土元素的富集亏损，只考虑稀土元素分布型式及其总体含量的特征。

在对比区域岩石的过程中，发现二叠纪玄武岩和会理群的岩石稀土元素特征与铅锌矿石最为接近（表 5-1），矿区矿石的稀土含量经过球粒陨石标准化后，各个稀土含量主要集中在 10~100 之间，左高右低分布，会理群和玄武岩也是如此分布（图 5-2，图 5-3）。两者铅锌的背景值都高，分布也将为广泛，有条件为矿区提供物质来源。

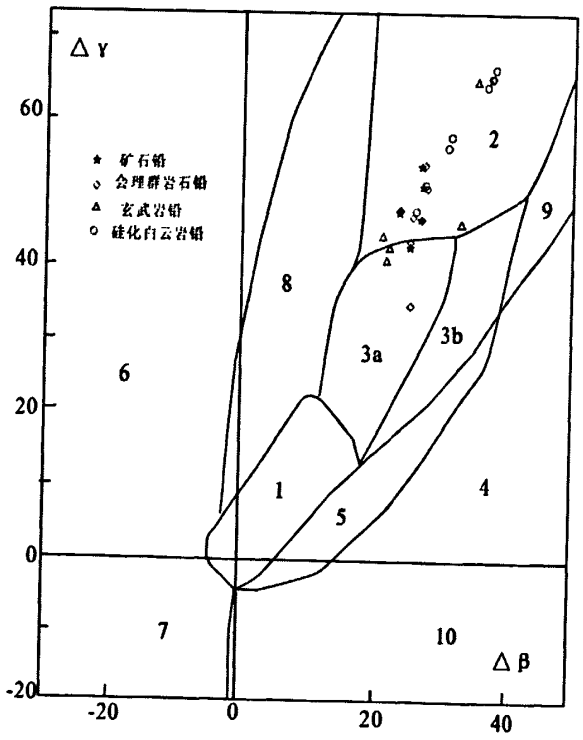


图 5-1 △β-△γ 成因判别图

1.地幔源铅；2.上地壳源铅；3.上地壳与地幔混合俯冲铅(3a 岩浆作用,3b 沉积作用)；4.化学沉积；5.海底热水作用铅；6.中深变质作用铅；7.变质作用下地壳铅；8.造山带铅；9.古老页岩上地壳铅；10.退变质铅

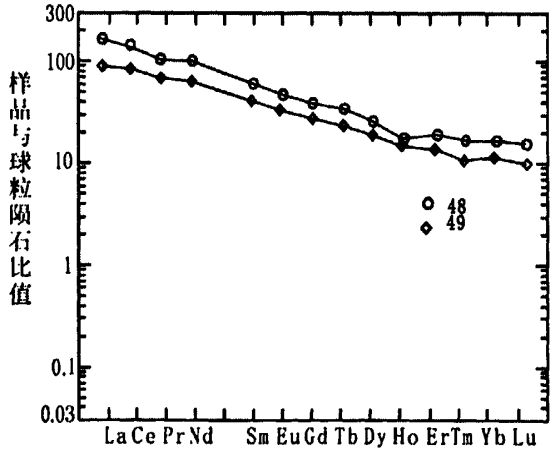


图 5-2 玄武岩稀土元素分布曲线图

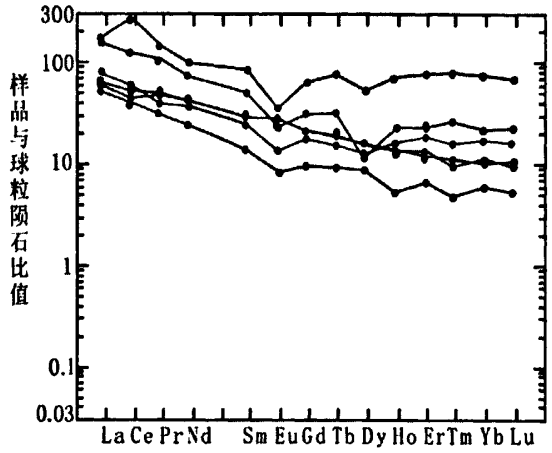


图 5-3 会理群与矿石稀土元素分布曲线图

这似乎应证灯影组矿床的成矿物质来源是下伏地层。我认为灯影组矿床的成矿物质是部分来自于下伏地层，但不是主要的成矿物质来源。首先，氢氧同位素显示成矿流体具有岩浆水的特征，说明成矿物质有部分来自于岩浆。其次，矿床铅同位素确实含有部分异常铅，如引用宋兴田的铅同位素显示含有极高的射成因铅，但是本次测试和刘文周测试结果反映异常铅不明显。如果按照类型复杂和具极高的射成因铅的特点的会理群铅同位素混合后而形成矿床，解释区域上不同铅同位素组成矿床很好的，但很难解释同一个矿床具有截然不同的铅同位素组成。最后，区域上矿床分布与构造紧密联系的特征并不能说成矿物质就是下伏地层，只能说如果是可以从下部迁移上来。区域大断裂如小江断裂，最大深度可达 820km[5]，断裂深度已经超过下伏地层如会理群，因为它控制古生代陆架裂陷和中生代陆内裂谷的发育，峨眉山玄武岩的喷溢。因此，导矿系统带来的成矿物质并不全是下伏地层的物质。

结合本矿床的地质特征和下伏地层和玄武岩与矿石某些方面有相似的特点，认为成矿物质主要是岩浆的期后热液，热液在向上运移的过程中，汲取了部分周围岩石的成分，因而在个别方面具有一定程度的相似性。

表 5-1　矿石与不同层位岩石稀土含量表

编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	资料来源
13	千枚岩	20.7	41.1	4.31	19.6	4.24	0.91	4.13	0.67	3.84	1.06	3.48	0.47	3.25	0.49	管士平[24]
14	石英闪长岩	14	27.3	3.4	13.1	2.52	0.58	2.36	0.41	2.61	0.36	1.34	0.15	1.21	0.17	
15	变火山云	45.2	176	14.6	51	14.3	2.23	14.6	3.1	14.8	4.46	14	2.17	13.2	1.98	
16	绿泥片岩	41.2	84.6	10.9	38.1	8.7	1.52	7.16	1.31	3.4	1.51	4.42	0.74	4.25	0.67	
17	千枚岩	11	19	3.6	17	3.9	1.9	3.9	0.46	3.2	0.53	1.7	0.18	1.3	0.19	
18	绢云母片岩	17.1	31.7	5.18	22.2	4.93	1.82	5.04	0.72	5.03	0.88	2.61	0.29	2.12	0.3	
19	绿片岩	16.8	37.4	5.45	21.6	4.96	1.9	4.88	0.84	4.59	0.86	2.37	0.33	2	0.32	
20	碳质板岩	72.4	106	13.8	44.3	6.61	1.31	7.78	2.05	6.44	2.61	8.21	1.24	7.14	1.06	
22	方铅矿矿石	9.759	8.311	1.786	7.689	1.644	0.455	1.912	0.283	1.625	0.322	0.84	0.123	0.72	0.105	本次测试
23	含方铅矿矿石	52.187	98.76	12.53	44.89	9.642	0.762	8.843	1.621	10.501	2.342	6.827	1.128	8.014	1.251	
24	方铅矿矿石	14.3	25.896	3.219	12.67	2.8	2.217	2.808	0.472	2.984	0.655	1.883	0.298	1.981	0.303	
48	致密状玄武岩	43.7	96	10.7	50.4	10	2.98	8.69	1.42	7.25	1.06	3.51	0.48	2.72	0.39	管士平[24]
49	菊花状玄武岩	24.6	56.8	7.19	32.9	7.03	2.1	6.21	0.98	5.37	0.97	2.56	0.32	2.13	0.31	

注：单位为 10^{-6}

5.1.2 成矿硫质来源

前一章节介绍方铅矿和闪锌矿这两种矿物 $\delta^{34}S$ 变化范围在 10～20‰之间，均表现出富重硫特征。硫同位素的分布落在变质水和蒸发硫酸盐的 $\delta^{34}S$ 分布范围，两者可能为矿的硫质来源。为了进一步探讨成矿的硫质来源，搜集区域相关的铅锌矿床的硫同位素资料，做对比参考(图 5-4)。矿区及其区域铅锌矿硫同位素直方图。

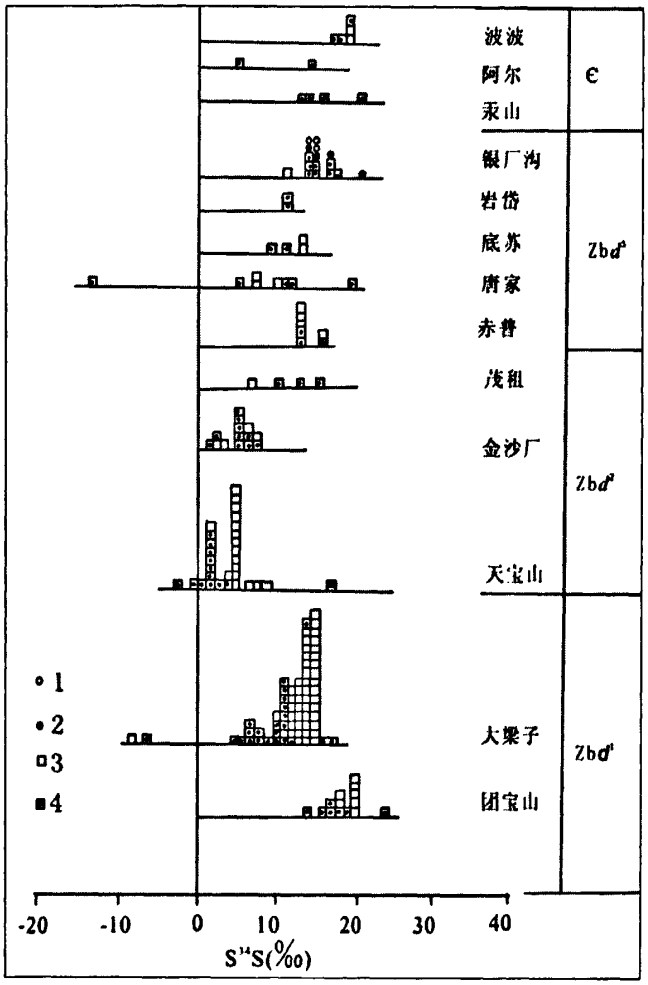


图 5-4 矿区及其区域铅锌矿硫同位素直方图

1 闪锌矿(本次测试)；2 方铅矿(本次测试)；4 闪锌矿(前人资料)；5 方铅矿 (前人资料)；

区域上 $\delta^{34}S$ 有三种类型：第一类是 $0<\delta^{34}S<5‰$,相当于玄武岩硫同位素组成,属幔源硫,代表性矿床是金沙厂； 第二类是 $5‰<\delta^{34}S<25‰$,相当于硫酸盐的硫同位素组成,代表性矿床是银厂沟、团宝山、赤普、茂祖等；第三类是 $\delta^{34}S$ 值为负值,硫的组成包含部分细菌参与还原硫酸盐的硫，代表性矿床是唐家、天宝山、大梁子。整体而言，分布在灯影组上段的矿床除了唐家铅锌矿的一个负值外，其余 $\delta^{34}S$ 都在 10‰~20‰范围。

区域上灯影组早期沉积时，形成以宁南为中心的宁南-会理沉积凹陷区，广泛发育潮下泻湖及潮间坪沉积环境；晚震旦世-早寒武世处于海湾潮坪泻湖环境，晚震旦世膏盐层分布广泛,如长宁、镇雄、金沙、甘洛、峨边等的灯影组都有石膏、芒硝或膏盐假晶产出。黑马地区在观音岩中产出中型沉积石膏矿床[20]，其 $\delta^{34}S$ 为 13.5‰，赤普矿区的含矿层位中也有膏盐假晶的发育。矿物包裹体中普遍存在 SO_4^{2-} 离子[20]。因此，认为成矿硫质主要来自盖层地层中的海相沉积膏盐层。

5.2 成矿流体性质

项目组测试的矿物包裹体样为 4 个方解石，2 个闪锌矿。测试的包裹体分布多呈线状、带状、杂乱状和孤立状。线状与带状分布的包裹体形态主要为不规则状，部分呈似菱形状、似多边形状，沿主矿物裂隙分布显示次生包裹体的特征，且呈大角度相交分布，显示出至少有两期成矿活动；杂乱状和孤立状包裹体形态规则，多为菱形或似菱形状，分布随机，孔径较大，显示原生包裹体的特征。同时还发现异常包裹体的存在，所谓异常包裹体就是包裹体发生了多次捕获而形成，反应多期热液活动的特征。包裹体类型为气液两相，种类简单，气相组分以 H_2O 为主，CO_2 次之。包裹体气/液比多在 5～10%之间，个别达 85%。包裹体体积大小不一，以 H_2O 气相组分为主的包裹体，粒径为 2～3μm，呈无色透明；个别以为 CO_2 气相为主的包裹体相对比较大，粒径可达 30～40μm，呈浅黑色。早期流体包裹体矿物结晶较细小，均一法温度为 215～236℃，平均为 225℃；晚期流体包裹体矿物结晶相对粗大，均一法温度为 122～184℃，平均为 142℃。本次还搜集了前人零星的流体包裹体的资料：银厂沟包裹体类型为液体、含 CO_2 液体，气/液<8%，大小<10μm，均一温度 90～180℃，包裹体的颜色呈无色或灰色，并且在部分包裹体中见到了石盐及其透明的矿物结晶，反映成矿流体的局部含盐度较高，可达 30~35wt%，阴离子主要有 Cl^-、SO_4^{2-}；阳离子主要有 Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}。PH 值变化范围 6.0～6.8，平均为 6.5；Eh 值变化范围 350.4～410.4，平均为 375.9；还原系数变化范围 0.079～1.317，平均为 0.522；矿化度变化范围 31.28～282.30，平均为 85.56；含盐度变化范围 2.47～12.64wt%，矿床矿质沉淀时的条件为弱还原弱碱性环境。

前人和本次分别测试了闪锌矿、石英、方解石，结果反映了包裹体为液体和含 CO_2 液体，液体包裹体的大小一般特别小，包裹体气/液比多在 5～10%，均一温度较低，晚期方解石的包裹体中气体成分相对较多，或许反映了随着成矿作用的进行，流体中残留的 CO_2 含量逐渐增多。据此可以认为银厂沟-骑骡沟铅锌矿属于浅成中-低温热液矿床。

5.3 矿质运移与沉淀富集机理

银厂沟-骑骡沟铅锌矿床的形成受到岩性的控制。从上到下依次为遮挡层、容矿层、封闭层，其岩性具有不同的物理化学性质，在赋予矿体形成特有的时空环境的同时，形成一个地球化学障。

矿质在成矿流体中运移的形式，怎么运移到上述成矿环境当中去呢？有关铅锌矿在成矿流体中存在和运移，不少学者进行了大量的研究，并提出不少的观点：

1981 年 T.H.杰俄兰等提出有机质络合物搬运形式；

1984 年 H.C.赫尔杰森等提出氯化物络合物搬运形式；

1985 年 H.L.巴勒斯等提出二硫化物络合物搬运形式。

通过硫同位素分析，硫同位素来源是盖层地层中的海相沉积膏盐层，但是金属与 SO_4^{2-}的溶解度极低，不易搬运，而且矿床属于热液矿床，并且成矿物质并不是主要来自于灯影组，显然另有承担搬运矿质的载体。

在矿床研究中，我们发现矿区地层中有机质的分布十分广泛。在宏观方面，无论是野外的岩石露头还是在坑道内都可以见到有机质的存在。在微观方面，矿石的矿物组分显微鉴定结果表明：在镜下常常见到有机质与铅锌矿物一起出现。光片为 5KPT1S-1 镜下古铜色，可见双反射率，反射率 R=8~12，强非均质（说明变质程度深），沿脉石矿物晶间或方铅矿（gl）周边分布。在光片 RD2950-1 中可见炭质物不仅表现为古铜色和双反射色，而且还有波状消光，片状晶体，变质程度相当于了镜煤，其与金属矿物共生。通过包裹体的研究，我们知道包裹体成分为液体和含 CO_2 液体，而且发现晚期方解石的包裹体中 CO_2 气体成分相对较多的现象。有机质能不能是承担搬运矿质任务呢？

近年来 Disnar[45]、Sireau[45]、庄汉平[37、38.39.42]、卢家烂[37、38.39.41]、叶连俊[36.40]、Giuliani[46]、夏林[43]、张景廉、Bierlein i[47]、Gustkiewicz i[47]、Coveney、Paava、李厚民[44]、Glikson i[47]等地质学家关注生物有机质在金属成矿中的作用。由于金属矿床中有机质演化程度较高、保存条件较差，人们往往通过矿床中残余的有机质进行有机地球化学研究，研究有机质与成矿的关系，为矿床的物质来源、搬运及其演化史提供依据，有机地球化学研究结果将有助于了解金属矿床的形成过程[38]。有机质及其演化产物铅锌矿床中的重要组分，矿床形成过程中起了积极的作用，主要表现在金属元素富集、活化、运移沉淀以及成矿环境等在成矿过程中起到重要作用[38]。

一般情况下金属元素(M)、有机质(C)和硫酸盐(SO_4^{2-})这三种组分很难共存于同一流体系统中[48]。因此最可能的组合方式只有两种：

①金属离子以氯化物络合物方式与硫酸盐(SO_4^{2-})将成矿金属物质一共同迁移，尔后与含有机质的溶液中混合成矿；

②金属离子以氯化物络合物方式或有机络合物的形式迁移，尔后与含硫酸盐(SO_4^{2-})溶液反应成矿。

本文认为第二种的可能性比较大，首先矿床的硫同位素资料表明，硫质为海相沉积的硫即来自于灯影组地层。矿床的地质特征多次证明矿床是热液矿床，如果以硫酸盐形成将成矿物质带来，很容易将其它特征的硫带入。其次在破碎带的有机质含量往往要比岩石中的要高，反映了部分有机质随流体迁移过来的，因此，成矿流体中 Pb、Zn 的迁移方式最大可能是以上述的第二种方式。结合到前人的流体资料，矿床的成矿流体中阴离子以 Cl^-为主，次之为 SO_4^{2-}，认为有机质和氯化物的络合物为金属的矿质运移的不可或缺的载体，即以$(Pb\ Cl_2)^{2-}$、$(Zn\ Cl_4)^{2-}$、$(Pb\ Cl_3)^-$、$(Zn\ Cl_3)^-$、$(PbCl_2)$、$(Zn\ Cl_2)$等氯化物络合物以及有机络合物的方式迁移。

关于矿质怎么从络合物载体上卸载的问题，上世纪 60 年代国外有学者 Zobell 曾提出硫酸盐和有机物作用产生矿石沉淀的反应：

$$SO_4^{2-}+R:CH_2 \rightarrow H_2S+CO_3^{2-}+R:O$$

式中 R：CH_2 代表某种有机物，R:O 为氧化作用产物，譬如 CO_2 或 H_2O。

我国学者林兵(1990)通过有机质成矿模拟实验证实,在较高温压(200℃，20 MPa 以上)条件下,有机质可氧化分解析出黑色无定形碳质。在此过程中热液中 SO_4^{2-}可被还原生成 S^{2-},并使金属形成硫化物而沉淀。

利用上述有机反应机理结合到本区矿床的实际情况，将有机质还原硫酸盐成 S^{2-}进而促进矿质沉淀形成的方程式为：

$$SO_4^{2-}+R:CH_2+M:X+Y^{2+}+2OH^-=MS\downarrow+YCO_3\downarrow+R:O+2H_2O+X^{2+}$$

式中 R：CH_2 代表某种有机物，X 为搬运成矿物质络合物（有机质络合物和氯络合物），M 为成矿物质（Pb 或 Zn），Y^{2+}为 Ca^{2+}或 Mg^{2+}，XS 为金属矿物（方铅矿 PbS 或者闪锌矿 ZnS）；YCO_3 为方解石 $CaCO_3$ 或者白云岩 $CaMg(CO_3)_2$，R:O 为氧化作用产物，譬如 CO_2 或 H_2O

在适当的条件下有机质反应作用的结果是：SO_4^{2-}被还原成 S^{2-}并与 Pb^{2+}或 Zn^{2+}结合形成闪锌矿或方铅矿，有机质部分氧化为 CO_2 和水，CO_3^{2-}与溶液中的 Ca^{2+}或 Mg^{2+}结合形成白云石或者方解石。

这就可以解释许多现象：

1 为什么在成矿后期的包裹体中气体组分（CO_2）变多；

2 成矿时期形成矿石为大团块（斑）状白云石-石英-方铅矿-闪锌矿共生组合和小团块（斑）状方解石-方铅矿（闪锌矿）共生组合；

3 金属矿物质怎么在有机质参与下，运移沉淀了；

4 灯影组岩石呈弱碱性，而包裹体 PH 值为 6.6 呈中性略偏弱酸性。

在矿区我们可以发现，矿床主要分布于灯影组上段。说明灯影组上段有着独特环境，使矿质就此成矿。通过研究发现灯影组具有特殊的地层岩性组合有密切联系。

将区域的不同地层中岩矿有机质对比分析（表5-2），地层中有机碳的含量和有机质含量：前震旦系>灯影组>古生界，但从氯仿沥青和有机质转化率来看：灯影组>古生界>前震旦系；破碎带的有机质的有机质含量明显要高，而且层位从老到新，含量有逐渐递减的趋势。因此，有学者认为，有机质很可能来自深部，成矿流体在从深部上来同时带来有机质。我们注意到灯影组中段是一个富藻的层位，但在中段很少见到矿，说明有机质还不能单独决定矿质的沉淀。

常用氯仿沥青（A）与有机碳（C）的比值（即A/C值）表示有机物质向油气的转化程度。氯仿沥青（A）值用被抽提出来的沥青物质重量与岩样重量之比表示。氯仿沥青能比较准确的代表岩样中溶于氯仿的沥青物质含量，与酒精—苯沥青相比，氯仿沥青的烃类含量较高，在成分上更接近石油。因此，在有机物质相同的情况下，氯仿沥青的含量愈高，说明有机物质向石油转化的程度愈高。

表5-2 不同地层岩矿有机质平均含量表[20]

层位	岩矿类别	有机碳（C%）	氯仿沥青A（%）	有机质转化率A/C(%)
古生界	地层岩石	0.01065	0.0035	32.8638
	矿石	0.1212	0.0003	0.2995
灯影组	地层岩石	0.0261	0.0083	44.7987
	碳化岩石	0.1285	0.0019	1.694
	破碎带	0.2478	0.0009	0.3632
	矿石	0.1053	0.0017	3.0287
前震旦系	地层岩石	0.2871	0.0012	2.0425
	断裂带岩石	11.5351	0.0126	1.0923

通过对灯影组地层组合的分析，发现震旦统灯影组为容矿提供了良好的空间和物理化学环境。

灯影组上覆地层为寒武系筇竹寺组，岩性以杂色粉砂岩、灰黑色含碳质页岩及钙质泥岩为主，岩石致密均一，孔隙率、渗透性、化学活动性极低，为不透水层，属强还原、碱性环境，对含矿热液的继续上升起到极好的阻挡作用；灯影组下伏地层为下震旦统观音崖组，岩性为灰-浅红色砂、页岩夹泥质、白云质灰岩，岩石结构一般较致密，渗透性、化学活动性均较低，属氧化、酸性环境，起到防止含矿热液下渗的作用。

灯影组的岩性主要为白云岩，局部含条带状、角砾状硅化条带。该组岩石结构较均一，为中等孔隙度、中等渗透率、化学活动性强的一套地层，属弱还原、弱碱性环境。尤其灯影组上段（Zbd^3）层系中白云岩与硅化条带互层的岩性段，

由于两种岩石软硬相间，塑脆性相伴，在构造应力作用下极易产生断裂活动，促使岩石加剧破碎，为含矿热液运移和矿质沉淀形成良好的通道和空间。顺层断裂造就的层间滑动带、破碎带和剥离空间，派生的小断层、裂隙（缝）穿切不同层系，并与节理等彼此相互交织，组成网络状小构造系统，把多孔隙层段和低孔隙层段串联在一起，形成良好的渗储环境。

成矿流体随着破碎带在灯影组中上移过程，物理化学环境发生在改变。随着成矿流体向上运移，有机质和 SO_4^{2-} 发生反应生成 S^{2-} 与处于有机质和氯化物络合物的铅锌元素进行结合相差闪锌矿和方铅矿逐渐开始沉积，逐渐减缓运移速度，慢慢地就运移到了灯影组上段的容矿空间里，并因为上有筇竹寺组阻挡而在灯影组上段沉淀成矿。

5.4 成矿时代及成矿温度

本次采集测年样品 8 件，其中矿石中的石英样 4 件，围岩中的石英样 4 件，经成都理工大学应用核技术研究所石英脉热活化 HAESRDQ 测年（表 5-3），结果为：方铅矿石中石英的 HAESRDQ 年龄为 99.4±0.0～5.8±5.0Ma；围岩中石英的 HAESRDQ 年龄 109.3±10.0～12.9±1.3Ma。

表 5-3 HAESRDQ 测年结果表

序号	样品编号	样品名称	测年矿物	顺磁中心浓度（E*15Spin/g）	铀当量(μg/g)	年龄（Ma）
1	RQLG32-1	方铅矿矿石	石英	0.835	1.68	99.4±10.0
2	RQLG29-1	白云岩	石英	0.301	0.76	79.2±8.0
3	14RKPT6-1	方铅矿矿石	石英	0.06	2.06	5.8±5.0
4	QMT3-2	方铅矿矿石	石英	0.31	4.2	14.7±1.5
5	QMT3-10	含方铅矿矿石	石英	0.89	4.22	42.2±4.2
6	RI-12	纹层状白云岩	石英	0.95	1.73	109.3±10.0
7	RI-02	硅化白云岩	石英	0.14	2.17	12.9±1.3
8	RIH-04	硅化白云岩	石英	0.18	2.27	15.9±1.6

根据HAESRDQ测年资料，结合区域地质构造特征，特别是容矿的骑骡沟背斜褶皱及相关构造形成于晚燕山-早喜马拉雅期褶皱造山运动，工业矿体成矿时间为晚燕山期-喜马拉雅期。在4件矿石的HAESRDQ数据中，有3件年龄在42.2～5.8Ma，表明成矿主要发生在晚始新世-中新世，属区域上晚燕山-早喜马拉雅期褶皱造山末期至后造山隆升伸展期。银厂沟-骑骡沟矿床成矿时间比震旦系灯影组白云岩成岩时间（543Ma）晚了近500Ma，有力地说明该矿床成矿作用非“沉积”成因，也非“沉积-改造”成因，而是属于晚燕山期（109.3～99.4Ma，晚白垩世）-喜马拉雅期（12.9～5.8 Ma，新近系-中新世）热液成矿活动的产物。

本次项目先后切制许多光片，通过镜下对矿物的观察发现，不少矿物的特征和特殊矿物可以反映矿床形成的温度信息和矿化信息。现将其简述如下：

方铅矿，有些可见三角孔和直角形解理发育，有的三角孔和直角形解理极不发育。三角孔和直角形解理反映方铅矿的颗粒比较粗大，而三角孔和直角形解理极不发育说明方铅矿颗粒细小，形成温度低。同一矿床有的出现，而有的极不发育，说明粗粒和细粒方铅矿的形成温度不同，暗示着方铅矿的矿化属多期形成。

闪锌矿可见浅褐色内反射，并且内反射随处可见，见编号B3光片。闪锌矿内反射富铁闪锌矿为深红色至红棕色，贫铁闪锌矿为棕黄色，黄色至黄白色。内反射的明显程度随着铁含量的降低而升高。一般认为低铁闪锌矿的形成温度较低。

车轮矿在编号为B7光片中镜下可见车轮矿呈灰白色(稍带显棕)，比方铅矿稍暗，在方铅矿中稍显凸起，弱非均质，可见双晶（版图17）。车轮矿广泛分布在中温和低温热液矿床中，但数量不大；主要在铅锌和多金属矿床中，与较晚的硅化阶段有关。车轮矿提供了矿床为中低温矿床的又一证据。

纤锌矿是闪锌矿的一个变体，将闪锌矿加热后快速冷却就可变成纤锌矿。镜下纤锌矿呈灰色,，非均质，可见褐黄色内反射，并有纤维状内部结构，围绕闪锌矿周围，在正交偏光下清晰的界线，纤锌矿是个典型的低温矿物（比透明闪锌矿的形成温度还低）。这说明成矿后期的温度低。

磁黄铁矿是一种分布很广泛的矿物，常产于岩浆铜镍铂硫化物矿床和矽卡岩、热液、沉积、变质矿床中。一般认为磁黄铁矿是温高矿物。该矿床光片中常见乳浊状磁黄铁矿分布在浅褐黄色内反射闪锌矿中，据包相成教授称，有资料称“透明贫铁闪锌矿与磁黄铁矿同时形成是低温形成的标志”。本次观察到的是单斜晶系的磁黄铁矿，它的晶系反映了成矿温度可以很低，最低可以是几十度。

黄铜矿，呈黄铜色，矿物的补色（颜色）主波长λd=575mμ±，颜色饱和度：Pe=0.3±，反射率R=32 ，维克硬度：Hv=520kg/mm2 颜色指数都是目估的。经数字中可看出颜色深较暗说明成矿温度不高。

结合矿床的包裹体均一法测温，早期流体包裹体矿物结晶较细小，均一法温度为215～236℃，平均为225℃，晚期流体包裹体矿物结晶相对粗大，均一法温

度为122～184℃，平均为142℃。另搜集资料矿床的均一温度90-180℃[20]。矿床的矿物特征和两次包裹体测温反映了矿床是多期成矿的中低温热液矿床。

5.5 成矿机理

银厂沟-骑骡沟矿区位于扬子地块西南缘。区域经历过多期裂谷（陷）演化历史，并于晚燕山-早喜马拉雅期发生褶皱造山。矿床具有明显的热液成矿特点。矿床物质来源中的成矿金属为岩浆期后热液以及运移过程中汲取围岩中的成矿物质；硫质主要以膏盐层为主；成矿流体具有岩浆水的特点。含矿溶液在构造动力的驱动下，沿着断裂通道向上运移。当含矿热液运移至有利岩性并伴随有利构造部位（北西向顺层滑动带、剥离带、破碎带及南北向断裂，背斜轴部及倾没端、挠曲等），加之有利的屏蔽-容矿岩石组合（上部有砂页岩、泥岩遮挡层、中部为碳酸盐岩容矿层、下部有砂页岩封闭层）和有利的地球化学圈闭系统（氧化 、酸性→弱还原、弱碱性→还原、碱性地球化学梯度变化带）三者耦合地段形成顺层剪切带中产出的似层状、扁豆状矿体和在张裂断裂带产出的切层脉状、网脉状矿体（图5-5）。

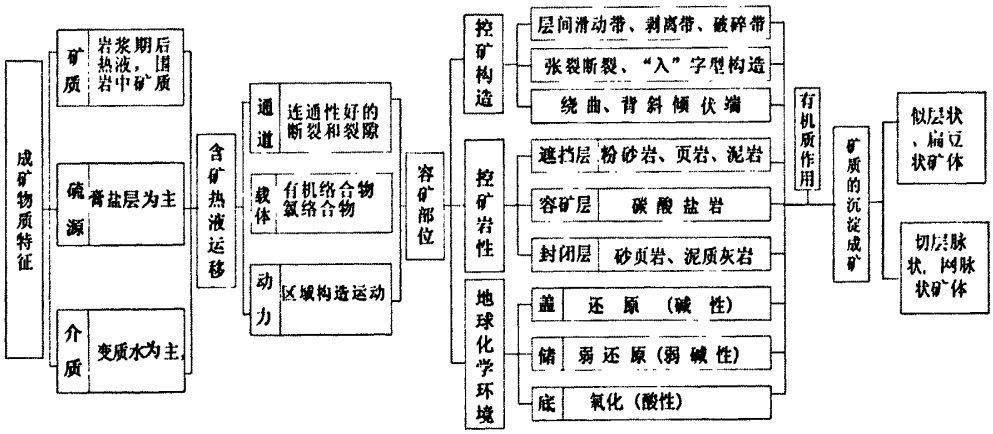


图5-5 银厂沟-骑骡沟铅锌矿床成矿模式图

通过对银厂沟铅锌矿床的成矿控制因素和富集条件的研究以及成矿物质来源的探讨，认为似层状、扁豆状矿体和脉状、网脉状矿体，尽管他们的形态和产状不同，但均属于同一成因类型。

通过岩、矿石稀土元素、微量元素、铅稳定同位素、C、H、O同位素等的系统研究，结合岩、矿物质成分、组构特征、围岩蚀变类型等进行综合分析研究，认为该类型矿床为具有岩浆水特征的中-低温热液铅锌矿床。

按照矿床成因属热液型铅锌矿床，矿床的找矿方向的重点为利于构造部位：顺层剪切构造、张裂断裂、断裂与小背斜或小挠曲的交汇部位。

结 论

通过较系统搜集和整理矿区及区域的地质资料，从区域和矿区的地球化学特征入手，结合野外地质观察和室内镜下鉴定成果，分析矿床的地质特征，探讨矿床成因机理。

项目组在本次研究工作中填补矿床基础研究的多项空白，首次对矿床进行碳同位素、氢同位素、氧同位素、稀土微量元素等测试，并补充了矿床硫同位素、铅同位素以及石英脉热活化 HAESRDQ 测年资料。项目组通过测试和分析等研究工作，取得以下成果和认识：

矿体产出呈似层状和脉状，在走向和倾向上表现尖灭再现与尖灭侧现的特点，受构造的控制比较明显。不同地段的铅锌含量不同，有的以锌为主，有的以铅为主。矿石中伴生有镉、锗、镓、铟、银等元素，具有良好的经济价值。

“硅质岩条带”两端收敛、分枝复合、膨胀狭缩、穿插切层等现象和室内工作证实“硅质岩条带”为硅化白云岩，由热液沿先存顺层剪切构造和张裂断裂构造充填、交代形成的，是热液作用的产物，并不是热水喷流沉积的产物。

矿石的氢氧同位素和碳氧同位素，反映了矿床的具有深源碳（或岩浆碳）和岩浆水的特征。矿石的稀土微量元素与围岩显著不同，并且不同类型的矿石也存在着差别，反映了矿石形成时的热液具有差异。

矿石的硫同位素具有富重硫的特征。结合区域在震旦纪为潮下泻湖及潮间坪沉积环境，与蒸发岩富含重硫的特征吻合，矿石中的硫为地层中的硫。

矿床的铅同位素具有异常铅的特点，铅同位素组成具有良好的线性关系。投点反映出，矿石与围岩铅同位素组成存在差异，并且矿石的铅同位素的$\triangle\beta$与$\triangle\gamma$特征与区域会理群

成矿流体的主要成分为 Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}。包裹体中异常包裹体资料表明矿床具有多期热液活动的特征。通过包裹体测温和矿物特殊特征，表明成矿温度不高，包裹体均一温度为 122～236℃。.

矿区广泛发育的有机质对成矿有积极的重要，作为载体运移成矿物质，还可以在一定条件下将碳酸盐岩中的硫酸根离子还原 S^{2-}，为硫化物沉淀提供条件。

项目组首次提出矿床为晚燕山期-喜马拉雅期热液成矿活动的产物。结合矿床地质特征和石英脉热活化 HAESRDQ 测年资料将成矿作用分为三期： 晚燕山期（79～109Ma）、始新世末（42Ma）、中新世（5.8～15.9Ma）。在燕山期-喜山期运动的作用下含矿热液运移，在运移的过程中汲取周围岩石的成矿物质并混合，移动到容矿部位（灯影组上段）就位成矿。矿床具有良好的控矿岩性组合：筲竹寺组起到屏蔽作用；灯影组上段含硅化岩石条带的碳酸盐岩提供有利的赋矿空间；观音崖组作为限制热液矿质下渗封闭层。这是一套的岩性组合正的地球化

学特征依次为氧化（酸性）-弱还原（弱碱性）-还原（碱性）环境。这套岩石组合为成矿物质容矿层中形成充填、交代矿床起到定位作用。

众多地质事实证明矿床为热液矿床，成矿具有多期性，受构造控制明显。

致 谢

在论文完成之际，感谢三年中所有给予帮助和关心的人！

首先感谢我的导师钟康惠教授。导师谆谆教诲与指导不厌其烦的指正讲解都深深的印在我脑海中。以严谨的治学态度，敏锐的学术眼光，不畏艰辛的探索精神，豁达仁厚的处世原则以及乐观积极的生活态度潜移默化的影响着我。

感谢刘肇昌教授、刘清双教授、包相臣教授悉心指导。

感谢地球科学学院、能源学院和研究生院所有曾经帮助过我的老师和同学。

感谢宁南县三鑫矿业开发有限公司领导和工作人员的帮助！

感谢寇林林硕士、周惠文硕士、杨红英硕士、解波硕士、白景国硕士、李磊硕士、秦覃硕士、罗明非硕士、任飞硕士、严毅发硕士、周德来硕士、宿虎硕士、闫国强硕士、钟婉婷硕士、魏栋硕士、蔡露明硕士、冉明佳硕士、郑高峰硕士、宿虎硕士、宋小琴硕士、赵德坤硕士、刘可欣硕士等同门师兄弟。

感谢辛劳的父母，正是您们的勤劳和大力支持，给了我莫大的鼓舞。

最后，向匿名评审论文的各位专家致敬!感谢他们在百忙中审阅作者的论文，并提出宝贵意见和建议。

参考文献

[1] 戴自希.世界铅锌资源的分布、类型和勘查准则[J].世界有色金属.2005(3)

[2] 钟康惠等.四川宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿矿区及外围成矿规律成矿预测[R].成都理工大学.2010

[3] 杨文宗，等.宁南银厂沟铅锌矿床最终储量报告[R].四川省地质局银厂沟地质队.1959

[4] 四川省地质局.米易幅区域地质测量报告[R].地质部四川省地质局，1966

[5] 贺光兴，等. 四川省宁南县跑马铅锌矿成因浅析[J].地质找矿论丛.2006（21）

[6] 刘肇昌，等. 扬子地台西缘构造演化与成矿[M]. 电子科技大学出版社.1996.

[7] 张树铭,邓志明.利用遥感图象对攀西地区线性及环状影象的地质意义探讨[J].大自然探索.1985(03)

[8] 旦贵兵，杨大宏，等.四川宁南雀珠山地区铅锌矿床特征与找矿远景[J].四川地质学报.2007.27(2)：96-98

[9] 陆彦. 川滇南北向构造带的两开两合及成矿作用[J].岩石矿物.1998（18）

[10] 宋兴田，钱国平.康滇地轴中段东缘铅锌矿床硫铅同位素地质特征与成矿机理[J].云南地质.1985:4(2)

[11] 刘文周，王奖臻，等.康滇地轴东缘铅锌矿床地球化学特征[J].矿床地质.2002:22增刊

[12] 温春齐，多吉.矿床研究方法[M].2009.成都：四川科技技术出版社

[13] 余光模，梁斌，等.攀西宁南地区上震旦统灯影组麦地坪段C、O同位素特征和震旦系-寒武系界线的划分[J].2010:29(6)

[14] 毛景文，宋叔和，等.桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列[M].北京科学技术出版社.1988

[15] 王则江. 康滇地轴北段东缘晚震旦世沉积-再造铅锌矿床成矿地质特征[J].地质与勘探.1981（10）

[16] 曾忻耕等,康滇地轴中段东缘脉状铅锌矿床的地质特征及其成矿作用[J].地质论评.1982(5)

[17] 蔡之衡.滇东北铅锌矿床的基本地质特征与矿床成因的初步探讨[J].地质论评.1982(4)

[18] 巩章禄.四川铅锌成矿机理和成矿模式的简要分析[J].四川地质学报.1986 (02)

[19] 徐新煌,刘文周.康滇地轴东缘的构造控矿作用[J].矿床地质.1994(S1).

[20] 杨应选，柯成熙，等.康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M].成都：四川科学技术出版社.1994.

[21] 张立生.康滇地轴东侧的铅锌矿床与铅同位素地球化学[J].四川地质学报.1993:13(2)

[22] 吴开兴,胡瑞忠,等.矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述[J].地质地球化学.2002:30(3)

[23] 胡耀国,李朝阳,等. 川滇黔接壤处铅锌银矿床中银矿物特征[J]. 矿物岩石地球化学通报.2000:19(4)

[24] 管士平,李忠.雄康滇地轴东缘铅锌矿床铅硫同位素地球化学研究[J]. 地质地球化学.1999:27(4)

[25] 管士平,李忠雄.康滇地轴东缘岩石与铅锌矿石稀土元素地球化学研究[J]. 地质地球化学.1999:27(3)

[26] 邵世才,李朝阳.扬子地块西缘灯影组层控铅锌矿床成因的地球化学论证[J] 矿物岩石地球化学通报.1994:16(1)

[27] 朱炳泉.地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化[M].北京:科学出版社,1998,152-174,216-235

[28] 李吕年.四川攀西裂谷带峨眉玄武岩的岩石学及其成因研究[J].地球科学.1986:11(6)

[29] 朱中一,等.四川龙舟山玄武岩的岩石学特征及成因探讨[J].地球科学.1986:11(6)

[30] 王中刚,等.稀土元素地球化学[M].科学出版社.1989

[31] 晏子贵，夏传见，等.四川省宁南县跑马铅锌矿地质特征及找矿前景分析[J].地质找矿论丛.2006(21)

[32] 陆琦等.上地幔不相容元素的显交代作用[J].地球科学.1996:21(5)

[33] 柳贺昌，林文达.滇东北铅锌银矿床规律研究[M].云南大学出版社.1999

[34] 沈渭洲.稳定同位素地球化学[M].北京:原子能出版社.1987

[35] 张长青.川滇黔地区MVT铅锌矿床分布-特征及成因研究[D].2005

[36] 叶连俊主编.生物有机质成矿作用和成矿背景[M].海洋出版社.1998

[37] 庄汉平，卢家烂，等.黔西南卡林型金矿床中岗体有机物质的有机岩石学研究[J].地质科学.2000:35(1)

[38] 庄汉平，卢家烂.与有机质有成因联系的金属矿床[J].地质地球化学.1996 (4)

[39] 庄汉平,卢家烂，等.热液成矿流体中的有机物质[J].地质地球化学.1997(1)

[40] 叶连俊,卢家烂，等.生物有机质成矿作用[M].北京:海洋出版社,1996.

[41] 卢家烂,袁白强.有机质络合物及其稳定性实验研究[J].地球化学.1986(1)

[42] 庄汉平,卢家烂，等.热液成矿流体中的有机物质[J].地质地球化学,1997(1).

[43] 夏林.有机质与沉积铅锌矿床成因关系的几个基本问题[J].云南地质.2000:19(2)

[44] 李厚民，毛景文，等.滇黔交界地区玄武岩中有机质的生物标志物特征及其地质意义[J].地质论评.2005:51(5)

[45] Disnar Jean Robert and Sureau.Organic matter in ore genesis, progress and perspectives[J]. Organic Geochemistry.1990(6)

[46] Giulisni G,Lanoed C F,et al.Sulfate reduction by organic matter in Colombian emerald deposits: Chemical and stable isotope (C, O, H) evidence[J]. Economic Geology. 2009(5)

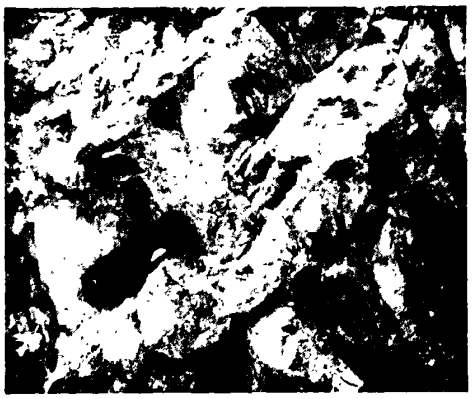
[47] Glikson M,Golding S D,et al.Thermal evolution of the ore-hosting isa superbasin: Central and northern lawn hill platform[J]. Economic Geology, 2006(1)

[48] Anderson G M and Macqueen R W.Mississippi Valley type lead-zinc deposits. In Roberts RG and Sheahan PA, eds. Ore Deposit Models. Geoscience Canada, 1987

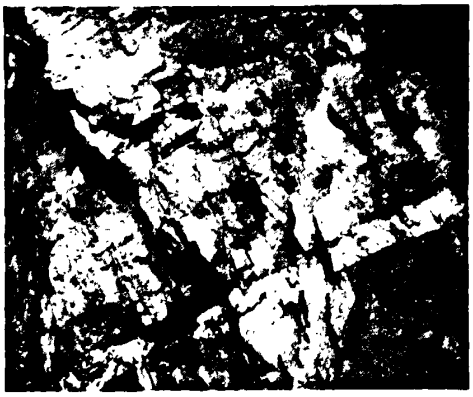
版图及说明



版图 1 条带状硅化白云岩切层，有扭曲现象



版图 2 白云岩中硅质条带面貌，硅质条带逐渐变稀疏，颜色变浅，硅质条带出现明显的分叉现象



版图 3 条带状硅化白云岩中条带复合成环的面貌



版图 4 条带状硅化白云岩朝岩层上方生长，切割沉积的白云岩层，并尖灭



版图 5 条带状硅化白云岩具有由两侧向中央凝生长的特征，并伴有出现晶洞的趋势。



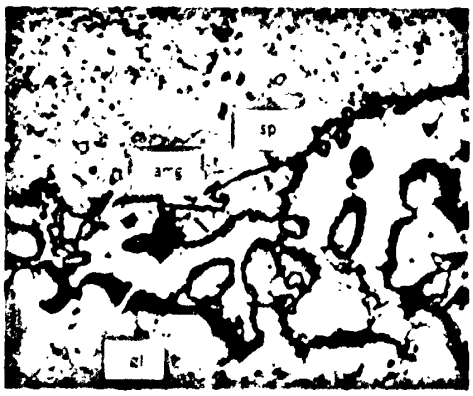
版图 6 条带状硅化白云岩上可见晶硐，晶硐内出现硫化物



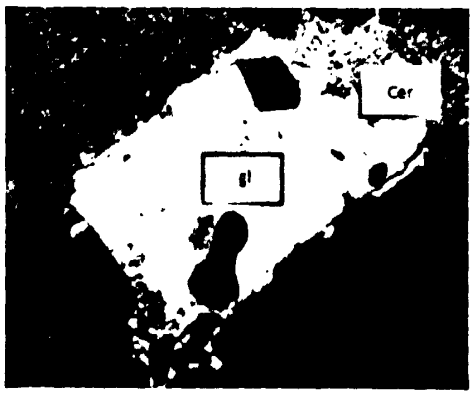
版图 7 顺层剪切构造样式，可见三期，早期裂隙被硅质充填，中期裂隙没被充填，晚期出现碎粉化



版图 8 顺层剪切构造样式，顺层剪切带的局部膨大



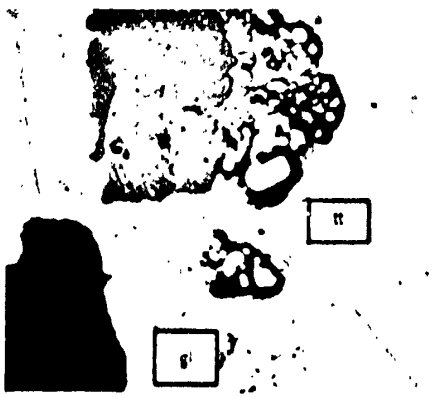
版图 9 铅矾(amg)分布在方铅矿(gl)边缘，显得脏(50)



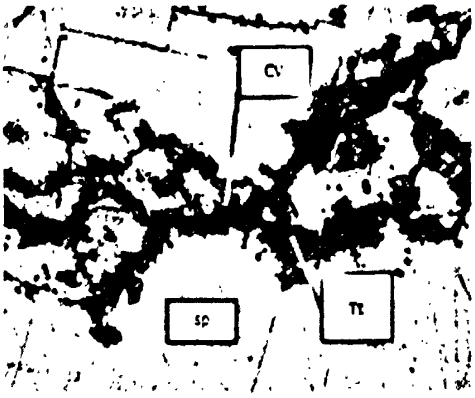
版图 10 方铅矿(gl)周围发育白铅矿(Cer)（200）



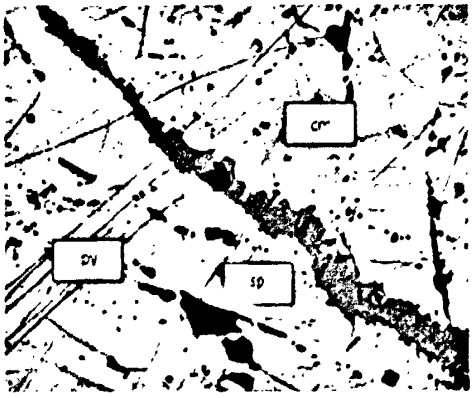
版图 11 闪锌矿（sp）周围发育纤锌矿（sm）(200+)



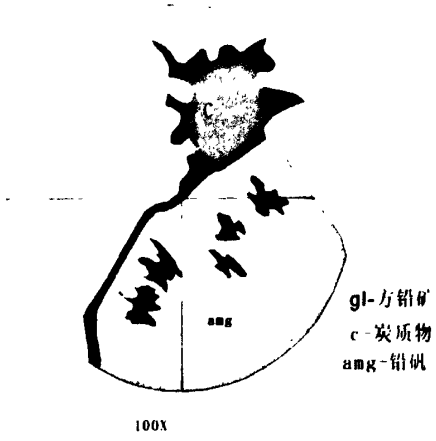
版图 12 方铅矿（gl）中分布黝铜矿（tt）(500)



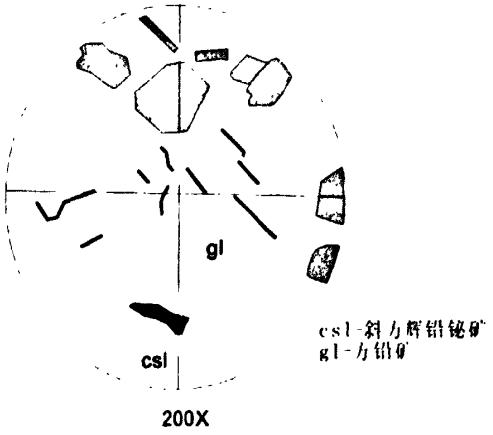
版图 13 黝铜矿(tt)氧化后沿裂隙发育铜蓝(cv)(200)



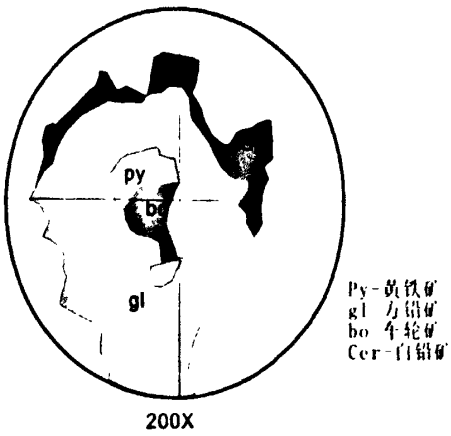
版图 14 异极矿（cm）发育闪锌矿（sp）裂隙（200）



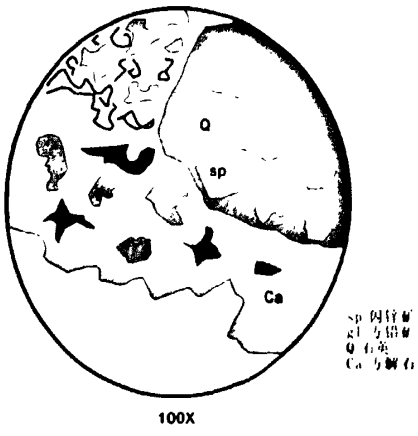
版图 15 碳质物分布方铅矿周围（5KPt1s-1）



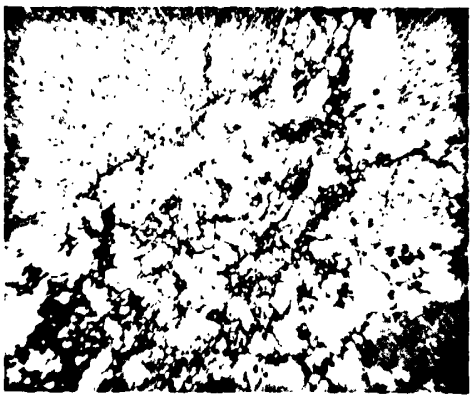
版图 16 斜方辉铅矿位于方铅矿中（14KPT1S-16）



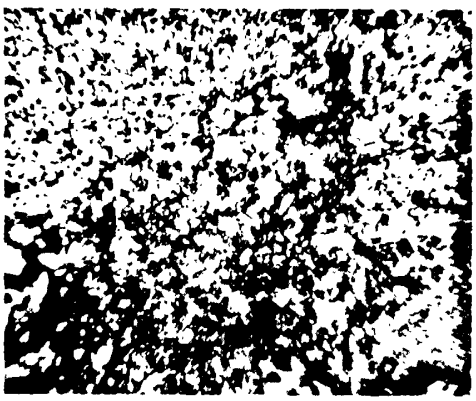
版图 17 车轮矿发育与黄铁矿与方铅矿中（B7）



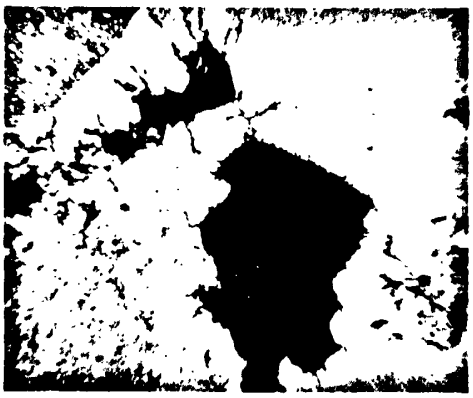
版图 18 石英与闪锌矿共生（QMT3-1）



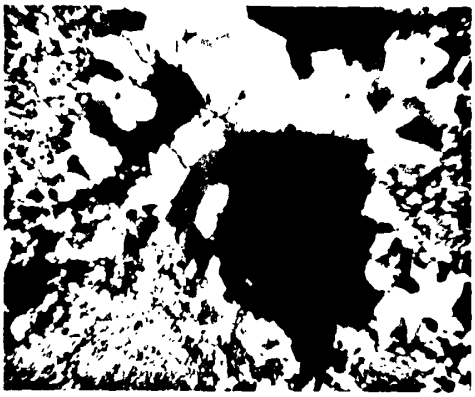
版图 19 细粒碳酸盐岩（左上角及右上角灰色碎屑），粒间主要被细粒石英充填（灰白色）岩粒间微裂隙被网状金属硫化物（黑色）充填，D=5.2mm，P （YMT14-2,7045，）



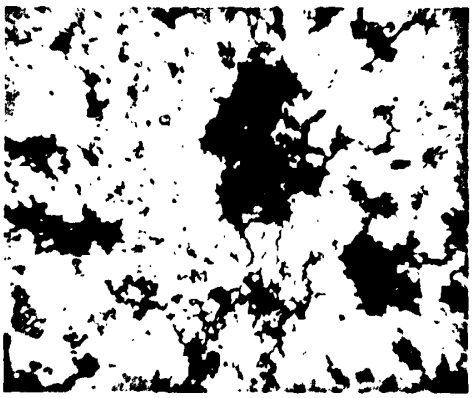
版图 20 矿化碳酸盐岩砾屑硅质岩，同上图正交镜下对照，D=5.2mm，C（ YMT14-2,7046，）



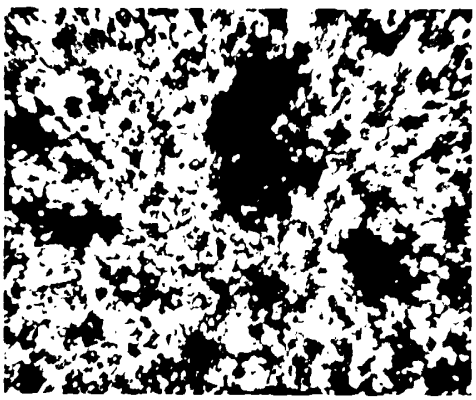
版图 21 主要矿化（灰色半透明闪锌矿及黑色黄铁矿）与侵入硅质部分的石英脉共生（中粗粒灰白色粒状集合体），D=5.2mm，C （YMT14-2,7047，）



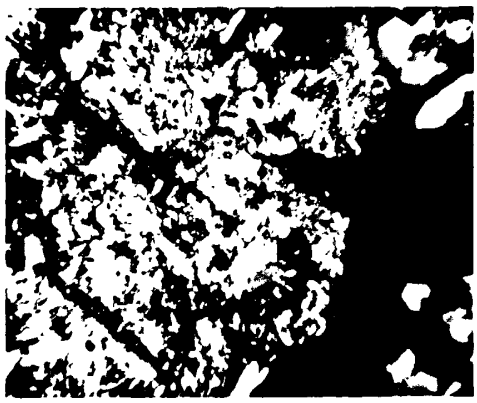
版图 22 矿化碳酸盐岩砾屑硅质岩，同上图正交偏光镜间与上图对照（灰白色中粗粒脉石石英含较多细粒气液状包体），D=5.2mm，P （YMT14-2,7048，）



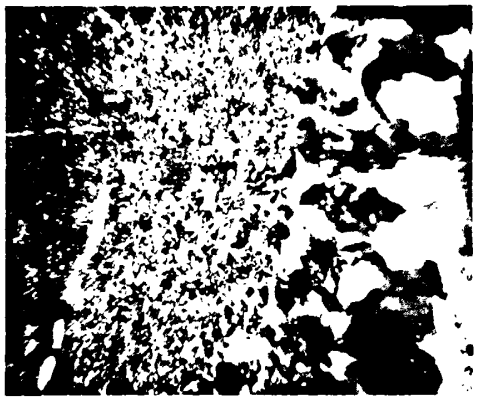
版图 23 铅锌矿化细粒硅化白云岩，矿化主要沿硅质带发育，以灰褐色半透明闪锌矿化为主，D=5.2mm，P（14KPT1S-16,7051，）



版图 24 铅锌矿化细粒硅化白云岩，同上图，正交镜间与上图对照，矿化围岩主要由细粒石英组成，D=5.2mm，P（14KPT1S-16,7052，）



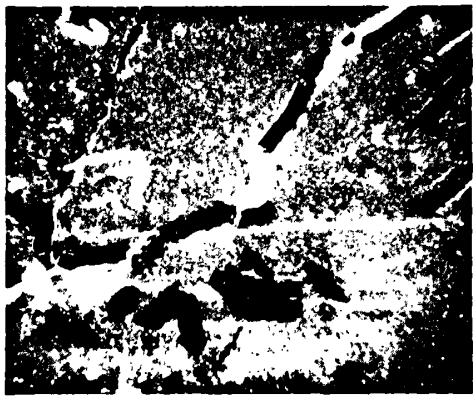
版图 25 含萤石中细粒硅化白云岩，粗大而不规则萤石脉主要沿石英脉侧发育（黑色）并侵入硅化白云岩及石英脉（偶见于闪锌矿共生），D=5.2mm，C（B-3,7076,）



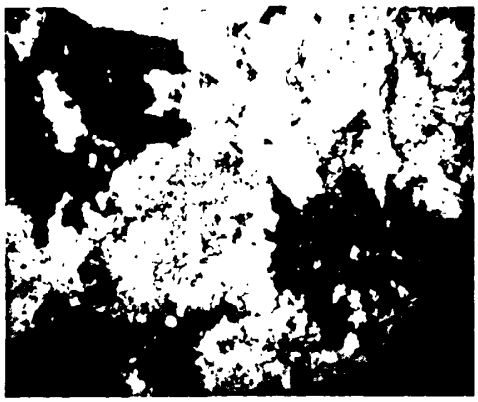
版图 26 岩石组分全部由显微隐晶质硅质组成（图左侧，干涉色灰黑色，隐晶质集合体），局部被含碳酸盐（彩色）的石英脉（图右侧）侵入，沿接触带硅质岩具明显重结晶，具随远离接触带粒度变细， D=6.5mm；（Zp6129，RD2800-1，）



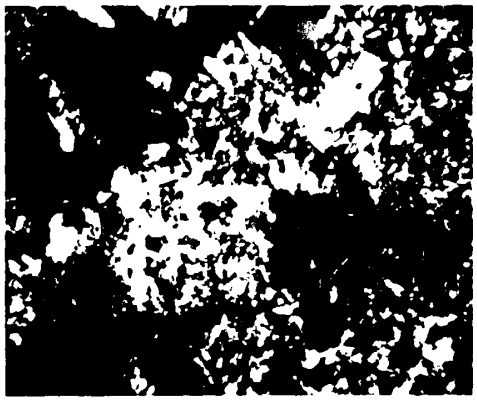
版图 27 呈细脉状金属硫化物（黑色条带）常与碳酸盐脉共生（脉侧白色透明部分）穿插于团斑状萤石（灰白色，解理发育）中



版图 28 同上，较偏光镜间对照观察，（灰色部分为萤石，白色条带为方解石脉）



版图 29 无序散布于石英岩中的闪锌矿（暗灰色半透明不规则团斑），外围呈细脉状充填于石英粒间，边部带具较狭的碳酸盐环边（团斑边部深灰色狭边），照片中下部突起明显的不规则粒状矿物集合体为碳酸盐，D=3.2mm ，C



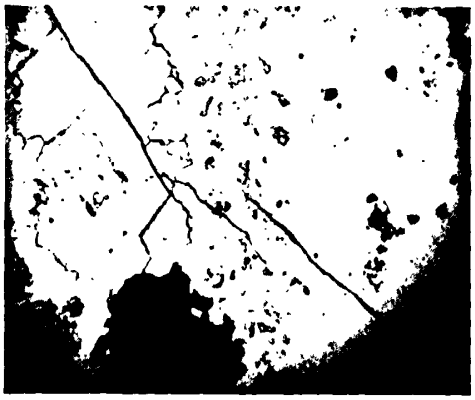
版图 30 同 29，正交镜对照观察，见围绕闪锌矿（黑色）边缘的碳酸盐环带（灰色）及穿插于闪锌矿中的碳酸盐环边（灰色）及穿插于闪锌矿中的碳酸盐细脉（浅色细小条带）中下部浅色粒状矿物为分布于石英岩中的细粒碳酸盐集合体 D=3.2mm ，P



版图 31 碎裂结构，碎裂的微晶白云岩粒间被黄褐色细粒碳酸盐化萤石充填和胶结，局部交代岩屑，局部会少许细粒石英（灰色细粒）及金属硫化物（色深，不太清晰）D=3.2mm ， C



版图 32 充填于岩屑粒间的萤石胶结物（浅灰色，解理发育）具不规则网状裂隙（灰黑色裂纹）实为黄褐色褐铁矿等的泥晶碳酸盐充填形成，局部含金属硫化物（照片下方的黑色团斑）D=3.2mm ， P



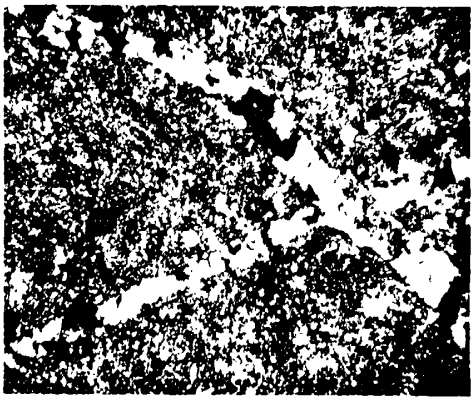
版图 33 无色透明致密状硅质岩（照片右侧无色透明部）不规则裂隙被萤石充填（左侧浅灰色突起较明显部位）局部星状矿化（下部黑色斑块状矿化）



版图 34 沿碳酸盐化硅质裂隙被萤石充填（照片中下部灰白色部分）围岩接触带边缘碳酸盐结晶粗大且自形（图中上部具菱形切面），灰黑色半透明矿物为闪锌矿。D=3.2mm ， P



版图 35 同 34，正交偏光镜下对照观察，黑色部分为萤石和闪锌矿，无色或粉色干涉色及具菱形切面为碳酸盐。D=3.2mm ， C



版图 36 岩石组分主要由微晶粒状白云岩组成，据不规则斑状重结晶，形成细粒亮晶白云石，含少量硅质岩屑（细砾级砂状陆源碎屑—灰色砂质及细砾质集合体）沿“X”裂隙被方解石细脉（中粒亮晶集合体）穿切。D=3.2 mm, C

攻读学位期间取得学术成果

[1]李伟. 四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿床矿物特征及其意义[J] .现代矿业.2010（11）：55-59.

[2]李伟,钟康惠，宿虎，等 四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿床的控矿构造特征[J].地球科学与环境学报.2010(32)增刊.

四川省宁南县银厂沟-骑骡沟铅锌矿地球化学特征及太床成因初探

作者：李伟
学位授予单位：成都理工大学

本文读者也读过(10条)

1. 张遵遵 西藏蒙亚啊矽卡岩型铅锌矿床地质地球化学特征研究及成矿物质来源探讨[学位论文]2011
2. 欧阳海松 海南儋州南江铅锌矿地质地球化学特征及成因探讨[学位论文]2011
3. 朱飞霖.陶琰.胡瑞忠.廖名扬.王银喜.李玉帮.ZHU Fei-lin.TAO Yan.HU Rui-zhong.LIAO Ming-yang.WANG Yin-xi.LI Yu-bang 云南镇康芦子园铅-锌矿的成矿年龄[期刊论文]-矿物岩石地球化学通报2011,30(1)
4. 戈菲 职业经理人控制权与薪酬激励对中小企业技术创新绩效影响研究[学位论文]2011
5. 王卓卓.陈代钊 南宁地区泥盆系硅质岩地球化学及沉积构造背景[期刊论文]-云南地质2006,25(4)
6. 赖生华.孙来喜.陈洪德.LAI Sheng-hua.SUN Lai-xi.CHEN Hong-de 南盘江坳陷泥盆系层序地层格架及古地理环境[期刊论文]-西南石油学院学报2005,27(2)
7. 杨治仁 硫醚氧化和手性吲哚酮合成探索[学位论文]2011
8. 杨昔林 德兴银山铜铅锌矿地质特征与深部勘查评价[学位论文]2011
9. 崔力升 G/S模式下分布式文件系统中数据高度的应用研究[学位论文]2011
10. 刘宇 改性炭化秸秆处理含磷废水的吸附机理研究[学位论文]2011

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1959449.aspx