

## 摘 要

本文作者首先概述阿尔哈达大型铅-锌-银矿床成矿地质背景、矿床地质特征,然后探讨矿床成因。该矿床发育于泥盆系上统安格尔音乌拉组浅海相火山沉积地层中,成矿受北东东向逆冲断裂构造与次级北西西-北北西向断裂构造带组成的‘λ’字型构造和印支至燕山期壳幔源型成因复式花岗岩岩体等控制。通过研究矿石硫、铅稳定同位素特征、微量元素特征,认为成矿物质来源为上地幔源和地壳源,认为阿尔哈达铅-锌-银矿床成因为与燕山期构造-岩浆活动有关的高中温热液脉状矿床。最后总结成矿模式与成矿模式、找矿标志和地物化找矿模型,进行成矿预测,指出矿区及外围多个找矿地段和潜在找矿地段。本文的主要工作包括:

1、简要地从区域构造、地层、构造、岩浆岩等方面介绍了矿床的成矿地质背景,着重成矿前控矿构造断裂构造,对矿区花岗岩结合区域岩浆岩成因特征,推断了岩体成因类型;从矿体、矿石、围岩蚀变等方面介绍矿床地质特征,通过统计方法研究矿体变化特征,通过矿相学和其它测试手段,研究矿石特征。

2、总结矿脉带的地质、地球物理、地球化学特征,地球物理为高充电率高极化率异常特征,地球化学为铜铅锌多元素组合异常特征。

3、分别论述了泥盆系火山-沉积岩地层、‘λ’字型断裂构造、印支-燕山期复式侵入岩体等地质条件控矿作用,强调燕山期构造岩浆活动联合控矿作用。在研究控矿地质因素基础上,总结矿化富集规律。

4、初步进行矿体矿化分带特征研究,根据 Pb/Zn 比值推断成矿热液从矿区下部 NWW 向上部 SEE 方向运移,为进行矿区深部成矿预测提供理论依据。

5、根据矿石硫、铅同位素特征和区域矿床特征,研究成矿物质来源,认为成矿物质来源为壳幔源混合来源。从成矿阶段、成矿方式、温压条件等方面研究成矿作用。认为热液成矿作用特征明显,探讨了矿床成因。

6、总结找矿标志,采用地质综合信息和地物化综合信息预测方法,在矿区及外围进行了成矿预测,指出多个找矿靶区。

**关键词:** 阿尔哈达, 铅锌银矿床, 地质特征, 矿床成因, 成矿模式, 成矿预测, 找矿方向

---

## ABSTRACT

In this article, the author summarizes ore-forming geological background and the geological characteristics of the Arhada large-scale Pb-Zn-Ag deposit, and then deeply discusses the deposit genesis. The deposit gets a good development in the shallow sea faces volcanic sedimentary strata in Angerinwula-group of Devonian up series. The mineralization is controlled not only by  $\lambda$  - type structure of thrust fault on NEE trending and fracture structure zone on NWW- NNW trend, but also by the composite granitic lithosome of crust-mantle genesis in Indosinian-Yanshanian period. According tested the isotope S-Pb of ore and studied the characteristics of microelement, and then the view that the resource of the ore is upper mantle and crust is proposed. Based on the above, the author thinks Arhada Pb-Zn-Ag deposit is mid-high temperature hydrothermal vein-type deposit of the structure-magmatism genesis in yanshanian period. Finally, the author concludes the ore-forming mechanism, ore-forming model, the indicator, and then makes a prediction. Applying these, the author puts forward several ore-finding areas and sub-finding areas.

This article's main task includes:

1、 Briefly introducing the deposit of the geological background in regional structure, strata, structure, and magmatite and so on. Mineralization controlling fault structure characteristics and the origin of the mining-area granite body are studied emphatically according to the region magmatic rock origin. Then geological deposit characteristics from the ore, ore body, country rock alteration, etc are introduced. Through statistical method ore bodies characteristics are studied. Ore characteristics are researched by mineralography and other test methods.

2、 Summarizes the ore-belt characteristics of geology, geophysics, and geochemistry. The Geophysics characteristics are abnormal high - charging rate and high-Polarizability. The geochemistry characteristic is the abnormal multi element combination of Cu-Pb-Zn.

3. Partly discusses volcano-sedimentary strata in Devonian, the  $\lambda$  type fracture structure and the composite lithosome in Indosinian-Yanshanian. The structure-magmatism mineralization controls is Emphasized. Then the ore-forming rules are concluded.

4、 Studies the feature of the ore body belt. Then according to the Pb/Zn rate,

---

the movement direction of the ore-forming hydrothermalism, which is from low-NWW to upper-SEE, is deduced and the theory basis is provided to predict in mining area.

5. Discusses the deposit genesis. Applying isotope S-Pb characteristics of ore, and then the resource of the ore-forming material being crust-mantle mixture is proposed. The mineralization is studied from mineralization stage 、 mineralization way 、 temperature pressure condition ,etc. The ore-forming genesis is hydrothermal mineralization.

6. Summarizes the indicator. An ore-forming prediction is made according to information of geology, geophysics, and geochemistry. Through ore-forming prediction, the prospecting target areas are pointed out. in Mining area and periphery

**Key Words: Arhada, Pb-Zn-Ag deposit, geological characteristics, deposit genesis, ore-forming model , ore-forming prediction , prospecting direction**

## 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： 彭玉马 日期： \_\_\_\_年\_\_月\_\_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： 彭玉马 导师签名： 洪金荣 日期： \_\_\_\_年\_\_月\_\_日

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

阿尔哈达铅-锌-银矿床是冶金地质工作者在中蒙边界东乌珠穆沁旗地区新发现的大型矿床, 2005 年在 I 号矿脉带 7 线-39 线地段内进行详查工作, 发现工业矿体 50 个, 其中有 47 个矿体参加了资源量/储量估算, 共获得资源量/储量 (333+332) 级 Pb+Zn 57.16 (万吨), Ag635 吨, 伴生组分储量: 硫 68.6 万吨、砷 17869 吨、镓 128 吨、铟 249 吨、镉 1029 吨、金 828 千克。在详查区东西两侧地段和在其它矿脉带上物化探异常发育地段进行了钻探工程验证, 显示了较强的矿化信息。为了提高阿尔哈达铅-锌-银矿床地质研究程度和下一步勘查工作, 第一冶金地质勘查院安排作者完成本文, 本文是在查阅历年阿尔哈达铅-锌-银矿床勘查资料基础上, 补充部分岩矿测试资料完成。

### 1.2 研究内容、方法

在研究阿尔哈达铅-锌-银矿床地质特征, 包括区域成矿地质背景、矿区地质、矿体(石)特征、围岩蚀变特征的基础上, 重点研究该矿床控矿地质因素、成矿作用, 成矿热液流动方向、成矿物质来源, 总结找矿标志和地物化找矿模型, 建立成矿模式, 探讨矿床成因, 进行成矿预测, 指出找矿方向。

采取的研究方法有地质观测、成矿构造研究、微量元素参数对比、矿相学光薄片及其它测试手段、硫铅稳定同位素、地质综合信息预测法、地物化综合信息成矿预测法等。

### 1.3 国内外铅锌矿床研究现状

铅锌矿床地质研究目前主要集中在以下几个方面:

1、典型矿床研究, 如海相火山岩硫化物型、陆相火山岩型、层控型、矽卡岩型、热液脉状等类型铅锌矿床的研究, 在指导铅锌矿勘查评价工作过程中取得很好的找矿效果。

2、国内成矿区带研究<sup>[1]</sup>, 找到勘探了众多铅锌矿床, 如在秦岭、狼山、南岭、桂北、湘中等成矿带; 对一些重要成矿区带铅锌矿床成矿条件进行了分析和总结, 促进了如扬子地台周缘、西秦岭、秦岭东段等地区铅锌矿床的找矿工作。

3、对一些资源危机矿山的重新认识,取得较好的找矿效果。如邓吉牛通过对锡铁山地区历年来所积累的地质资料的系统分析,更正了过去数十年关于锡铁山地区地层层序、构造、矿床成因等不正确认识,首次提出了这一地区地层倒转,控容矿构造为向斜,矿床成因类型为 SEDEX 型,矿体向南东侧伏,矿床剥蚀浅等一系列全新的认识,为锡铁山铅锌矿深部找矿取得巨大突破提供了理论基础<sup>[2]</sup>。

4、隐伏矿床和盲矿体的成矿预测。

5、成矿系统理论在铅锌矿研究中的应用,如在江西冷水坑矿田外围,以成矿系统理论为指导,结合地层、构造、岩浆岩等地质特征及其它找矿信息等,建立了“冷水坑矿田成矿模式”,寻找斑岩型和层控叠生铅锌矿床,取得较好找矿效果<sup>[3]</sup>。

6、铅锌矿床成矿动力学研究。

热液脉状铅锌矿床是国内外一个重要的铅锌矿床工业类型,研究报告很多,对本次研究都有很好的帮助作用。由于阿尔哈达铅-锌-银矿床在东乌珠穆沁旗中蒙边境地区属首次发现,所以展开地质研究,有助于该区进一步开展地质勘查工作。

## 1.4 本章小结

阿尔哈达大型铅-锌-银矿床是第一冶金地质勘查院在中蒙边界东乌珠穆沁旗地区新发现的,对该矿床进行地质研究,不仅能提高矿区的地质研究程度,为矿区及外围进一步勘查工作提供思路,还能够为区域成矿研究提供资料。经与第一地勘院协商,导师洪金益教授决定冀天方同学研究生毕业硕士论文在该矿区选题,确定了研究内容。研究内容主要包括三部分内容,其一,总结矿床成矿地质背景和矿床地质特征;其二,重点研究地质条件控矿作用和成矿作用,探讨矿床成因;其三,总结找矿标志、矿化富集规律和找矿模型,进行成矿预测,指出找矿地段。为完成本课题,查阅了矿区历年勘查资料,收集了邻区铅锌矿床研究资料,第一地勘院还补充矿石铅、硫同位素测试各 20 件。论文完成主要利用矿床学、矿相学、构造学、成矿规律与成矿预测学、地球物理、地球化学等学科知识,主要进行了岩矿测试、同位素数据处理、构造产状赤平投影、矿石品位 Pb/Zn 比值计算整理等工作。

## 第二章 成矿地质背景

### 2.1 区域地质

矿区位于内蒙古华力西晚期地槽褶皱带<sup>[4]、[5]</sup>(II)、东乌旗—二连浩特复背斜(III<sub>2</sub>)东乌旗褶皱束(III<sub>21</sub>)内,锡林浩特—东乌旗铜、铅、锌、金、银多金属成矿带东段。按地洼学说,矿区区域构造背景为东北地洼区内蒙地洼系<sup>[6]</sup>。

区域出露地层为古生界奥陶系-二叠系浅海相、滨海相火山沉积建造和侏罗系-白垩系断陷盆地陆相火山沉积建造。古生界地层呈北东向带状展布,为构成古生代陆缘增生带的主要组成部分,中生代火山岩主要分布在东乌珠穆沁旗的东部,为大兴安岭火山岩带的组成部分。区域构造为由北东东紧闭线性褶皱构造和断裂构造组成的复杂构造带(图 2-1),区域褶皱构造为额仁高毕-阿尔哈达紧闭线型复式向斜,由额仁高毕为起点,向北东 65° 方向延伸到矿区,断续延伸长度 80 公里,复向斜两翼地层发育规模不等而轴向近于平行的次一级背、向斜构造。区域断裂构造主要为北东东向、北北东向和北西向三组,而以北东东向和北西向最发育,北东东向断裂的规模较大,以逆断层为主,分布在褶皱构造的轴部或两翼并且与区域构造线方向一致,北西组与总体构造线方向近于垂直。区域主要断裂构造为北东东向阿尔哈达断裂和阿尔哈达北断裂。自华力西至燕山期,沿北东东-北东向褶皱断裂构造带,多期次岩浆岩侵入,构成构造-岩浆活动带。区域矿产主要为和印支至燕山期构造-岩浆活动有关的内生金属矿床,分别为岩浆分异熔离赫格熬拉 3765 铬铁矿、砂卡岩型朝不楞铁锌矿床、热液脉状吉林宝力格银矿床、沙麦石英脉-云英岩型钨矿床、燕山期火山(次)热液型小坝梁金铜矿床。

### 2.2 矿区地层

矿区出露地层<sup>[7]</sup>为泥盆系上统安格尔音乌拉组和侏罗系上统布拉根哈达组。

泥盆系上统安格尔音乌拉组(D<sub>3a</sub>):根据岩性划分为三个岩性段,下部岩屑砂岩段(D<sub>3a</sub><sup>1</sup>)出露于矿区南部,岩性为灰色岩屑细砂岩、深灰色含碳质细砂岩并夹有泥质板岩。产状相对稳定,走向 70° 左右,倾向北西,倾角 35° -60°, 厚度 225 米。中部泥硅质板岩段(D<sub>3a</sub><sup>2</sup>)出露于矿区中南部,范围较广,岩性以浅灰色泥硅质板岩为主,夹有粉砂硅质板岩、凝灰岩和基性火山岩,走向 60° -70°, 倾向北西, 倾角 25° -60°, 厚度 575 米。上部凝灰岩段(D<sub>3a</sub><sup>3</sup>)分布于矿区中北部,零星分布,在深部钻孔内见到较多,主要岩性为安山质晶屑凝灰岩、安山质凝灰岩、安山质岩屑凝灰岩、流纹质凝灰岩,局部和泥质板岩互层,厚度 622 米。

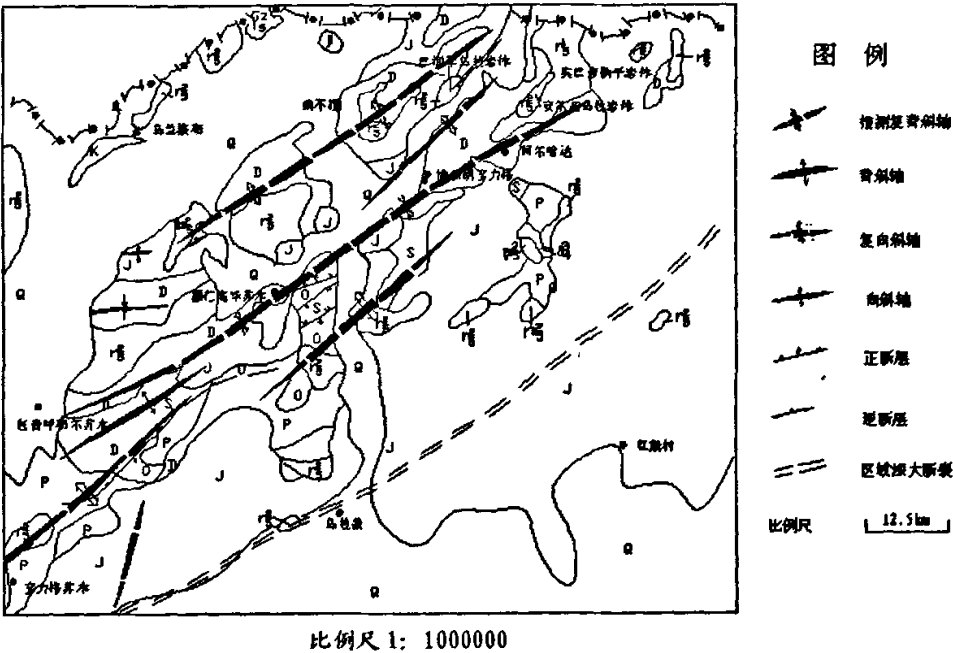


图 2-1 阿尔哈达区域构造纲要图（据详查报告缩编）

侏罗系上统布拉根哈达组（J<sub>3b</sub>）：分布于矿区西北部，出露面积约 0.6 平方千米，不整合于安格尔音乌拉组地层之上，岩石类型主要为复成分砾岩、含砾流纹质凝灰岩、流纹岩等。本组火山岩属盖层性质，基本没有经受蚀变矿化。

2.3 矿区构造

矿区内褶皱、断裂、节理、劈理等构造发育，后期（含成矿期）构造，对早期断裂构造的叠加改造作用强烈。

2.3.1 褶皱构造

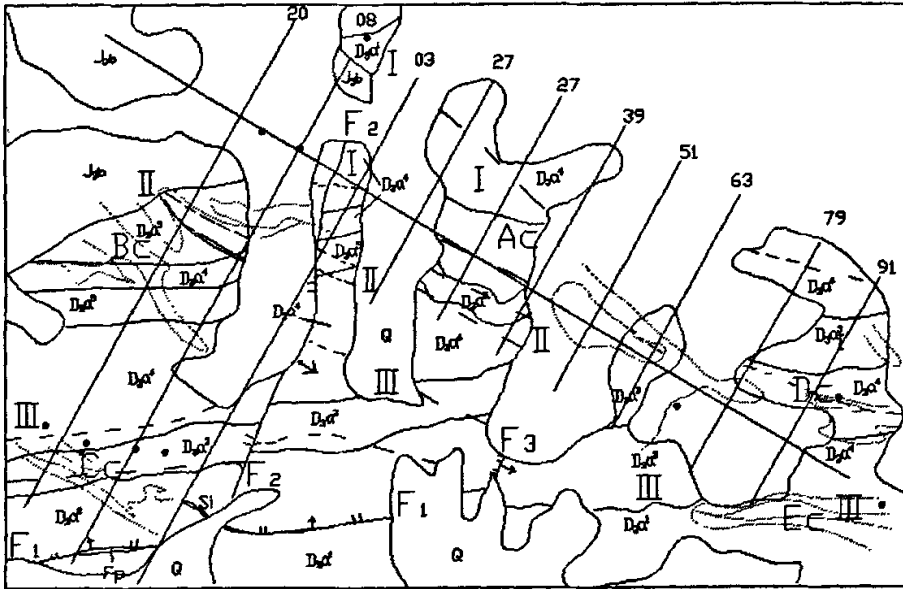
矿区大致位于区域额仁高毕复式向斜南翼，矿区褶皱为轴向北东东向北缓倾的单斜构造。地层总体产状倾向 340° -355°、倾角为 40° -65°，矿区南部局部地层，相反倾向。北东向 40° 轴向褶皱构造叠加在轴向北东东向褶皱构造上，在地层中形成了次级舒缓的褶皱构造和层间破碎等构造。0 线-39 线之间地段出现了由 4 组次级褶皱组成的复式褶皱构造，单一褶皱构造的褶皱波长 200-320 米左右。在一些地段，由于两组方向褶皱构造叠加，在地层中形成一些层间小褶曲构造（图版 I）。

### 2.3.2 断裂构造

成矿前断裂构造为北东东向逆冲断裂  $F_1$  及其上盘三条北西西-北北西向矿化蚀变断裂带组成的‘ $\lambda$ ’字型构造。

#### 1、主干北东东向 $F_1$ 断裂:

阿尔哈达断裂: 属于区域阿尔哈达断裂的一部分, 沿东乌旗褶皱束内的额仁高毕复式向斜的东南翼向东延伸, 延伸长度大于 15 千米, 向北东延伸到宾巴查勒干岩体南侧。断裂南侧为断陷盆地, 北部为古生界地层分布区, 断裂可能使矿区矿化地段抬升。断裂带整体走向  $70^\circ$ , 倾向北西, 陡倾角。断裂构造在地表表现为构造角砾岩、碎裂岩、碎裂板岩、次生硅化带等, 沿断层形成宽达数百米的破碎带和片理化带。该断层为多期活动断层, 早期为逆冲-平移性质, 华力西期为压扭逆冲性质, 印支期继续活动, 北西上盘和东南下盘作相对左形平移叠加旋扭运动, 燕山期构造复活‘脉动式’持续活动。



比例尺 1:24000

图 2-2 阿尔哈达铅-锌-银矿床地质探简图

图例: Q-第四系;  $J_{3b}$  侏罗系火山岩;  $D_{3a}^{1-3}$  泥盆系安格尔音乌拉组火山沉积岩;  $F_1-F_3$  断裂构造; Si 硅化带; Fp 破碎带; I-III 矿脉带; Ac-Ec 物探大功率充电率异常区; . 外围见矿孔

#### 2、‘ $\lambda$ ’字型次级北西向断裂

北西向断裂由一系列北西走向规模不等的断层、碎裂蚀变带、片理化带组成, 该组断裂带成群成带出现, 并且大多被铅锌矿脉交代充填。断裂构造带内的构造岩包括碎裂岩、糜棱岩、断层泥等。I、II、III 断裂带宽 100-600 米, 延长大于 3500 米。断

裂带总体走向 NW306°，倾向南西，倾角 15°-56°、总体 35°。其产状可能和印支期花岗岩侵入体有关。断裂带沿走向和倾斜方向呈舒缓波状，分支复合，可能和断裂构造主要由两组裂隙构造追踪或和褶皱构造叠加改造有关。该组构造形成于华力西晚期，在燕山期持续活动。构造性质较为复杂，具有旋扭挤压性质。该组构造是本区的主要容矿构造，在 F<sub>1</sub> 上盘密集雁行状成群成带分布，波状起伏。局部地段发育北西向反倾向张扭性共轭断裂构造。根据赤平投影，北东东向构造与北西向构造结合部位交线，产状 262° ∠ 23°。说明这些次级断裂构造的成生和 F<sub>1</sub> 断裂构造的逆冲平移旋扭活动有关。

成矿后构造为北北东向扭性剪切构造 F<sub>2</sub> 断裂和 F<sub>3</sub> 断裂，分布于矿区中部，大致形成于燕山晚期，对矿体起破坏作用，将矿脉带切割成阶梯状。

### 2.3.3 节理构造和劈理构造

在矿体旁侧某地段进行了 42 条节理产状统计，分为 6 组：（1）13°-35° ∠ 69°-78°；（2）40°-60° ∠ 62°-68°；（3）80° ∠ 56°；（4）153° ∠ 50°；（5）181°-201° ∠ 42°-51°；（6）335°-337° ∠ 42°-54°。节理为压扭性质，结构面平直光滑，进行力学性质配套，共发育 3 组共轭节理。将节理产状投影到吴氏赤平投影图上，矿区构造应力场共有三次变化，应力场分别是①， $\sigma_1$ ：近于直立， $\sigma_2$ ：近于水平，走向 100°， $\sigma_3$ ：近于南北向；②， $\sigma_1$ ：近于直立， $\sigma_2$ ：近于水平，走向 70°， $\sigma_3$ ：近于南北向；③， $\sigma_1$ ：5° ∠ 36°， $\sigma_2$ ：105° ∠ 54°， $\sigma_3$ ：230° ∠ 25°。在 III 号矿脉带 15 勘探线矿脉密集部位，对矿脉产状进行赤平投影得到相似的结论，反映了阿尔哈达断裂逆冲引起上下挤压应力场的变化情况。

矿区中部发育一条北东东走向的劈理构造带，劈理构造带内劈理密集发育，劈理产状走向 70°-80°，倾向北西，倾角 80° 左右，和矿区主要断裂 F<sub>1</sub> 基本一致。劈理构造带形成于华力西期，是岩石由褶皱变形为主向断裂破碎变形过渡地段典型构造特征，其走向垂直方向代表矿区区域构造主压应力方向，主压应力方向为北北西-南南东方向。

## 2.4 矿区岩浆岩

矿区东北部花岗岩体出露，北东约 3km 处发育印支期宾巴查勒干岩体 ( $\gamma_5^1$ ) 和燕山早期安尔基乌拉岩株 ( $\gamma_5^{2(2)}$ ) 组成的复式岩体，阿尔哈达铅锌矿床产于该岩体的西南侵入倾伏端。

### 1、岩体地质:

宾巴查勒干岩体 ( $\gamma_5^1$ )，为印支期侵入岩体，沿区域额仁高毕-阿尔哈达复式向斜

核部侵入, 岩体出露面积  $184 \text{ km}^2$ , 呈西南端较窄东北端较宽的梨形状岩基产出, 分为边缘相、过渡中心相两个相带, 边缘相岩性主要为细粒黑云母花岗岩、细粒似斑状花岗岩, 过渡中心相岩性为中粗粒花岗岩。

安尔基乌拉岩体 ( $\gamma_5^{2(2)}$ ), 侵入于印支期宾巴勒查干岩体北西边部边缘相, 位于矿区北东约 8 公里处, 呈北东向长轴椭圆状, 岩体宽 1.5-2.5 km, 长约 8 km, 出露面积约  $16 \text{ km}^2$ 。岩性主要为似斑状黑云母花岗岩、斑状黑云母花岗岩等。岩体局部发育流面流线构造发育, 流线方向  $54^\circ$ , 与岩体延伸方向一致; 流面倾向北西。根据岩石为斑状结构和流面流线构造特征说明岩体侵入深度较浅, 属中浅成岩体。岩体内硅化现象比较普遍, 在外接触带部位形成规模较大的接触变质带。次生硅化现象普遍, 说明岩体曾强烈分异出成矿流体。根据矿区蚀变特征和热接触变质作用, 矿区深部可能隐伏花岗岩体。

矿区西北约 10 公里处发育燕山早期巴润罕乌拉岩株 ( $\gamma_5^{2(2)}$ ), 呈北东东向长轴椭圆状, 岩性为黑云母花岗岩。

## 2 岩体矿物成分特征

似斑状黑云母花岗岩: 似斑状结构, 块状构造, 斑晶占 20~30%, 斑晶主要为石英、钾长石和斜长石组成, 基质占 70%, 由上述同成分矿物和次生硅化物组成。

斑状黑云母花岗岩: 斑状结构, 块状构造, 斑晶为斜长石和钾长石 30%左右, 基质占 70%由石英、黑云母、斜长石和不透明矿物组成。和华力西期岩浆岩相比, 燕山期花岗岩为黑云母花岗岩, 矿物成分钾长石增多, 暗色矿物较少, 从矿物成分推测岩石化学成分富钾钠, 贫镁铁钙。

## 3、花岗岩成因

根据岩体地质、矿物成份、产状以及区域岩浆岩成因<sup>[8]、[9]</sup>特征, 确定印支期宾巴勒查干岩体为壳源型花岗岩成因或 S 型重熔成因, 燕山期安尔基乌拉岩株为壳幔源型成因, 或 S+I 同熔成因。

## 2.5 矿区地球化学、地球物理特征

### 2.5.1 矿区地球化学特征

矿区展布于 Cu、Pb、Zn 金属量组合异常区<sup>[10]</sup>的南部, 异常面积约  $20 \text{ km}^2$ , Cu 的浓度显示为 I 级异常, 而 Pb、Zn 元素浓度为 II 级异常, 各元素的异常范围相互重叠。土壤地球化学测量矿脉带为 Ag、Pb、Zn、As、Sb 组合异常, 异常形态、规模和展布反映了矿脉带的分布、矿化等。

### 2.5.2 矿区地球物理特征

矿区电法异常强度和分布反映了矿脉带和含矿构造的分布特征,反映了热液蚀变矿化的范围和矿化强度,反映了矿脉带的特征。大功率电法采用美国 Zonge 公司 GPP32 大功率电法系统,用中梯法扫面,以视充电率 30ms 等值线圈定五个异常区,编号分别为 Ac-Ec (图 2-2),异常主要沿矿脉带和矿区南部断裂构造  $F_1$  发育。目前的详查区只是 Ac 号异常区的一部分,Ac 号异常区向详查区东西两侧尚未封闭。大多数矿脉带呈低阻高充电率高级化率特征,视充电率异常展布于低值视电阻率异常区边缘;个别视充电率异常与高阻异常对应,反映该异常处于围岩蚀变硅化较强烈地段的地质特征。

#### 1、视充电率异常特征

**Ac 号异常带:**分布于 16 线至 71 线之间,详查区位于 Ac 号异常区中部地段,以视充电率 30ms 等值线圈定异常区东西长 2000 米,最宽处达 500 余米,两个高强度异常中心呈北西向展布其中。Ac 和 Bc 号异常由 30ms 等值线连为一体,呈向东收敛的“>”形。

**Bc 号异常带:**分布于 Ac、Cc 号异常区之间,为 II 矿脉带的出露位置,仅在 24 和 32 线显示。以视充电率 30ms 圈定异常区长 200 米,宽约 200 米,异常向西尚未封闭。异常中心呈条带状,宽约 30 米,视充电率强度大于 32ms。

**Cc 号异常带:**分布于西部异常区南缘 20 线至 32 线之间,为 III 矿脉带西段和矿区断裂  $F_1$  南部出露位置,以视充电率 30ms 等值线圈定异常区东西延长达 2400 米,最宽处达 500 米。高异常中心分布于该异常区西段,40ms 以上异常为近于平行的两个异常带,宽度各宽 50 米左右。

**Dc 号异常:**分布于矿区西部,为 III 矿脉带的东部地段,Dc 号和 Ec 号两异常近于平行展布。以视充电率异常以 32ms 等值线圈定异常长约 450 米,宽约 150 米。异常中心区呈窄条状,强度大于 35ms。

**Ec 号异常:**分布于矿区南部,为矿区 NEE 断裂  $F_1$  东段和 III 矿脉带交叉部位地段,以视充电率 32ms 等值线圈定,异常区呈近东西长条状,延长约 800 米,最宽约 60 米,向东未封闭。

#### 2、激电和电阻率测深异常特征

从测深解释成果可看出,视充电率 30ms 以上的局部异常区,均呈形态、规模不一的透镜状、椭球状,中心强度一般在 50ms 以上,最高可达 100ms。异常空间分布一般分布于地表以下几十米至 300 米之间,个别可延深至 600 米左右。视充电率异常特征,反映了金属硫化物相对富集区的空间分布、产状等地质特征。

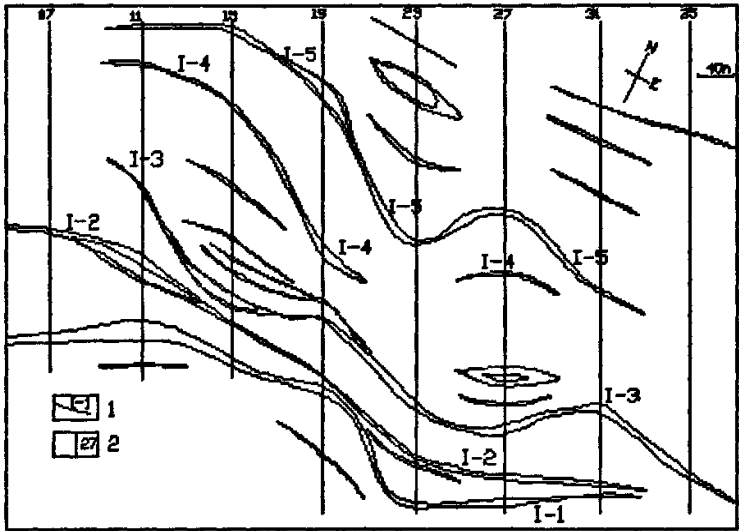
## 2.6 本章小结

首先收集区域地质文献资料,熟悉区域地质、区域构造演化<sup>[11]</sup>、区域矿化情况等,为进行地质条件控矿作用研究提供线索。

再而,通过矿区地质结合区域地质,对矿区构造首次提出‘λ’字型断裂构造观点,根据局部地段节理构造产状统计,利用赤平投影方法求解矿区成矿期的构造应力方向。首次提出矿区岩浆岩岩体成因为印支-燕山期壳幔源型成因复式岩体。在整理矿区物化探资料基础之上,总结矿脉带地质地球物理、地球化学特征,地球化学土壤测量为 Ag、Pb、Zn、As、Sb 组合异常区,地球物理电法物探异常呈现低阻高充电率高极化率异常特征。

第三章 矿床地质特征

矿区由北向南依次分布 I、II、III 号矿脉带<sup>[12]、[13]</sup>，一般宽 100-600 米，长 1500-3500 米。产状走向 325° -270°、由西向东由北西逐渐过渡到近东西向、倾向西、倾角 25° -67°（图 2-2、图 3-1、图 3-2）。地质特征主要表现为蚀变碎裂板岩、硅化蚀变岩、石英脉、片理化带等。围岩蚀变种类主要为褐铁矿化、硅化、黄铁矿化、高岭土化、



比例尺 1; 5500

图 3-1 阿尔哈达铅-锌-银矿床 808 水平断面图

图例：1-矿体位置编号；2-勘探线号

碳酸盐化、绢云母化等。I 号矿脉带是主要的含矿带，由一系列的近于平行分布的、规模不等的矿脉组成。在同一剖面上，最多可见到大小不等近似平行分布的矿脉 26 条，已控制矿脉带斜深大于 800 米（图 3-1、图 4-1）。

3.1 矿体特征

在 I 矿脉带 7 线-39 线范围内，共发现 50 个矿体，主要矿体为 I-1、I-2、I-3、I-4、I-5。矿体形态呈似层状<sup>[14]</sup>、脉状，沿走向呈群体平行、沿倾向平行叠瓦状展布，在倾向与走向矿体均呈舒缓波状(图 3-1、图 4-1)，沿走向波峰大于沿倾向波峰，波长 200-300 米，波峰高 30-60 米。单个矿体长 100-500 米，最大长度大于千米；矿

体延深 100-500 米，最大延深 665 米；矿体厚度 1-4 米，最大真厚度 21.45 米，矿体厚度的稳定程度属稳定—较稳定类型。对矿体产状进行统计处理见图 3-2，矿体走向  $300^{\circ}$  -  $310^{\circ}$  发育 13 个矿体；矿体走向  $316^{\circ}$  -  $330^{\circ}$  发育 17 个矿体；矿体走向  $335^{\circ}$  -  $340^{\circ}$  发育 11 个矿体；矿体走向  $20^{\circ}$  -  $65^{\circ}$  发育 3 个矿体。按矿体倾角统计，倾角  $24^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  发育 18 个矿体；矿体倾角  $36^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  发育 14 个矿体。矿体倾角  $46^{\circ}$  -  $55^{\circ}$  发育 7 个矿体。统计表明矿体的产状以倾角  $24^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ ，走向  $300^{\circ}$  -  $330^{\circ}$  为主。隐伏矿体和盲矿体较多，据统计隐伏与盲矿体有 23 个，地表仅在 3 条探槽揭露到矿体。矿头埋深一般在 50—80 米，矿尾埋深一般在 280-388 米，有少数矿体延深 600 米。矿体分支复合现象普遍。矿体平均品位：铅 2.11%、锌 3.07%、银  $57.06 \times 10^{-6}$ 。矿体的铅、锌品位变化系数在 (35-112) %，稳定程度属均匀—较均匀类型。矿床全部 650 件矿石样品和 I-1 矿体内的 93 件矿石样品分析结果分别进行统计<sup>[4]</sup>，矿石中银和铅品位分

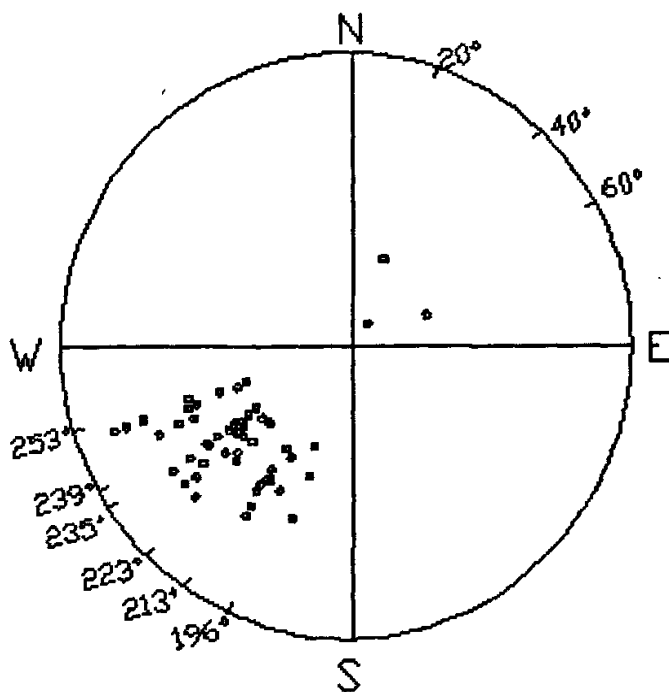


图 3-2 阿尔哈达铅-锌-银矿床矿体产状赤平投影图

图例：○ 矿体产状投影点

布基本为正态分布，其峰值与矿床的平均品位一致；锌品位分布为非对称正态分布，高值区间比较宽，体现了矿体锌品位比较高和稳定的特点。主要矿体的规模比较大，资源/储量集中，五条主要矿体获得资源/储量合计为 (333+332) 级 Pb+Zn44.3 万吨，

占详查区资源量/储量总量的 79.4%。

3.2 矿石特征

3.2.1 矿石结构构造

矿石结构为自形—半自形粒状结构、它形粒状结构、交代残余结构、碎裂结构、包含结构等。矿石构造主要为块状构造、角砾状构造、浸染状构造、脉状构造、条带状构造等。

3.2.2 矿石矿物、化学成分

由于大多数矿体隐伏在地下，所以矿石基本为原生硫化物矿石,经地质观察和原矿样 X 射线衍射谱显示（图 3-3），矿石主要金属矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然银、辉银矿等；次要金属矿物为毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿，在地表可见到褐铁矿、软锰矿、黄钾铁矾和铅锌矿物的氧化物（见图版 IV、V、VI、VII）。脉石矿物主要为：次生石英、绿泥石、绿帘石、高岭土、绢云母、方解石、白云石、长石、叶腊石、萤石等（见插图 3-3、图版 II、III）。

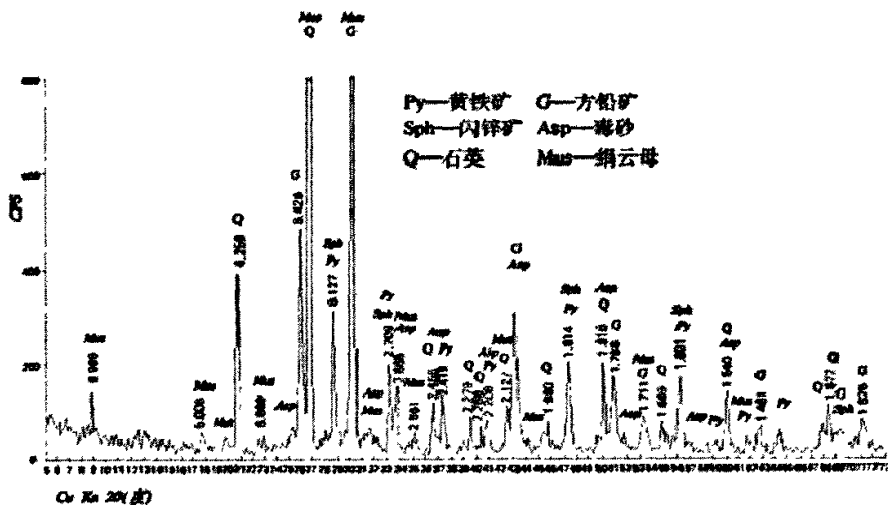


图 3-3 阿尔哈达铅-锌-银矿床原矿综合样 X 射线衍射谱  
图例：Q 石英;Mus 绢云母;Cln 斜绿泥石;G 方铅矿  
Sph 闪锌矿;Py 黄铁矿；Asp 毒砂

矿石主要化学成分元素为 Pb、Zn、Ag,经光谱半定量和组合分析确定伴生元素为 S、As、Ga、In、Cd、Au、Cu、Sn、Bi 等元素，阿尔哈达矿石 Ag 含量较高，与邻

区河北张宣地区蔡家营铅锌矿床和大兴安岭<sup>[11]</sup>地区铅锌床相比, 矿石微量元素特征基本一致。

### 3.2.3 主要矿物形态和嵌布特征

1、方铅矿 (PbS): 是矿石中最主要的金属矿物, 相对含量约 5.5%。主要嵌布特征如下:

- (1) 一般在矿石中呈中~粗粒状嵌布在脉石中或黄铁矿粒间;
- (2) 部分呈细脉状矿石裂隙中充填;
- (3) 部分与闪锌矿的关系较密切, 组成粒径大小不等的硫化物集合体。

(4) 方铅矿内部有各种细粒—极细粒的矿物包裹体, 经电镜背散射电子图像显示 (图 3-5), 包裹体多数是银矿物或含银矿物, 方铅矿是 Ag 最主要的载体矿物 (图版 V、VI)。

2、闪锌矿 (Zn, Fe)S: 相对含量 8%。典型嵌布特征<sup>[14]</sup>为:

- (1) 与方铅矿或黄铁矿等硫化物组成集合体;

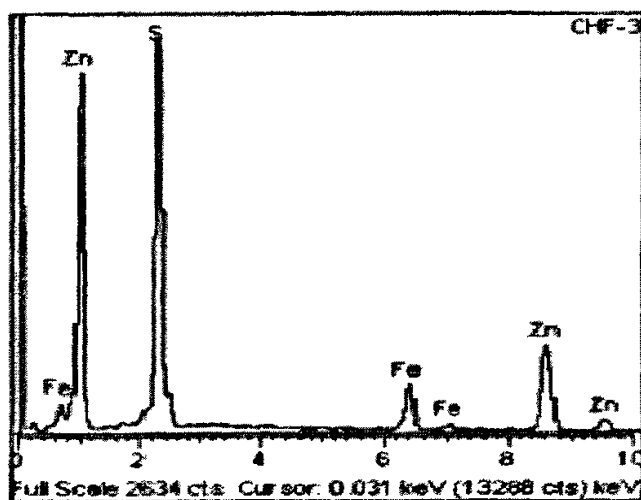


图 3-4 阿尔哈达铅-锌-银矿床闪锌矿 X 射线能谱图

- (2) 呈粒度大小不等的粒状或脉状分布在矿石中;

- (3) 部分闪锌矿内存在大量方铅矿、黄铁矿及黝锡矿等矿物包裹体。

(4) 图 3-4, X 射线能谱测试显示矿石矿物闪锌矿都是含显著数量 Fe 的亚种—铁闪锌矿, 能谱分析单矿物闪锌矿量含铁超过 10%。总体上说, 铁闪锌矿在矿石中的嵌布特征比方铅矿复杂。

3、黄铁矿 (FeS): 矿石中含量最多的硫化物, 含量 (3-10) %, 粒度 (0.1-2) mm, 呈自形—不规则的它形粒状、细脉状、浸染状和团块状分布。不同地质构造位

置黄铁矿颜色和结晶程度具有较大的差别, 嵌布特征可归纳为: (1) 呈稀疏浸染状分布于蚀变岩中。(2) 呈不规则的它形粒状集合体分布, 与闪锌矿、方铅矿共生。(3) 呈不规则细脉状或细脉浸染状沿裂隙分布。

4、毒砂 ( $\text{FeAsS}$ ): 在矿石中含量不均, 局部含量比较高, 含量 1—10%, 毒砂呈自形、半自形状分布, 结晶程度比较高, 粒度 (0.3-2) mm。嵌布特征主要为:

(1) 毒砂的嵌布特征与黄铁矿矿物基本相似, 一般呈粗粒与铅锌矿物或黄铁矿形成密切共生。

(2) 毒砂呈它形细—微粒状集合, 或稀疏浸染状分布于蚀变岩中 (见图版 IV、V、III)。

5、银矿物: 在方铅矿中呈独立银矿物细小包裹体分布, 矿物种类以辉银矿 ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), 含银黝锡矿 ( $(\text{Ag,Cu})_2\text{FeSnS}_4$ ) 为主, 在方铅矿和闪锌矿边缘偶见硫锑银矿 ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ) (见图 3-5、图版 V、IV)。

6、黄铜矿 ( $\text{CuFeS}_2$ ): 铜矿物除黄铜矿外还可见到少量辉铜矿, 辉铜矿形成较晚, 呈它形乳滴状在闪锌矿中分布 (图版 IV)。

### 3.3 围岩蚀变特征

本区围岩蚀变复杂, 蚀变种类多, 蚀变范围较广。蚀变种类主要为: 褐铁矿化、铁锰矿化、高岭土化、绢云母化、白云母化、绿泥石化、绿帘石化、硅化 (玉髓) 化、黄铁矿化、硅化 (石英矿化)、滑石化、碳酸盐化 (方解石化)、毒砂矿化、白云石化、萤石化等。

围岩蚀变具有大致分带现象, 但各带界线不明显, 由矿体中心向远矿围岩方向依次出现的蚀变种类大致是: 黄铁矿、毒砂矿化→硅化→碳酸盐化→萤石矿化→绢云母→绿帘石化→绿泥石化→滑石化→高岭土化→褐铁矿化、锰矿化。单个矿体围岩蚀变呈线形蚀变特征, 与成矿热液沿断裂构造活动有关。由于本区断裂构造带规模较大且其中次级小构造较为发育, 导致成矿热液活动和围岩蚀变范围较大, 从而在构造带中蚀变岩分布较为广泛。

围岩蚀变为热液成矿标志<sup>[15]</sup>, 围岩蚀变在构造带中可大范围降低岩石硬度, 易于成矿热液压力致裂动力成矿。在成矿过程中成矿热液交代围岩, 导致大量造岩矿物解体, 可释放出铁、镁、钛、铅、锌、银、铜等金属元素, 一方面这些元素加入到成矿热液中, 使成矿热液成矿组分浓度增高, 另一方面一些元素成分改变热液的性质, 如绢云母化、白云母化是长石蚀变的产物, 释放出  $\text{K}^+$  等离子, 绿泥石化和绿帘石化是黑云母和角闪石等暗色矿物蚀变的产物, 释放出  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等离子, 这些元素成分离子进入成矿热液, 引起成矿热液成系物化环境条件变化, 促使矿质析出成矿。据第一地勘院研究, 蚀变围岩较之于新鲜岩石, 成矿元素及其它微量元素含量具有明

显的降低,说明通过热液蚀变围岩成分释放出成矿物质,在考虑到整个热液活动区范围较大体积惊人,据计算这些成矿物质总量较大。

有些蚀变种类如沿断裂结构面发育的高岭土化和滑石化可能代表断裂构造的强烈挤压现象,经常在矿体的顶底板附近与绿泥石等矿物构成泥化带(断层泥),其厚度几—几十厘米,往往与控矿断裂多期次活动有关。

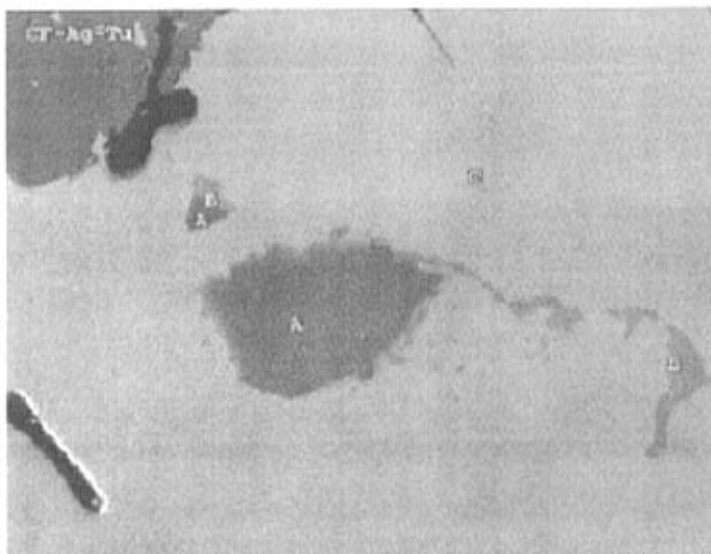


图 3-5 方铅矿(G)包体(A,B)扫描电镜背散射图象  
A 周围细小包裹体矿物含银黝锡矿  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ , B 为辉银矿  $\text{Ag}_2\text{S}$

### 3.4 本章小结

本章从矿体特征、矿石特征和围岩蚀变特征等方面概括矿床地质特征。

概括了矿体地质特征,统计说明矿体品位、深度、规模等清况。利用赤平投影方法投影矿体产状,从而了解矿体产状变化情况。

利用光薄片、X-射线能谱、扫描电镜、光谱半定量等方法研究矿石矿物化学成分、结构构造、镶嵌关系等,重点为矿物标型特征,为成矿作用研究提供矿物学资料。

主要根据野外观测和矿相学资料,确定了围岩蚀变类型和分带,探讨围岩蚀变对成矿过程的影响,认为经过围岩蚀变能降低围岩硬度,易于热液运移,间接利于成矿。认为通过围岩蚀变交代作用,部分成矿元素从围岩进入成矿热液。

## 第四章 控矿地质条件分析

### 4.1 地层控矿作用

地层因素是控矿地质因素之一,区域内大部分有色多金属矿床(点)赋存在上古生界地层中,泥盆系中统塔尔巴格特组(D<sub>2</sub>t)为大型朝不楞铁锌矿床赋矿围岩;泥盆系上统安格尔音乌拉组(D<sub>3</sub>a),为阿尔哈达铅锌矿床赋矿围岩;泥盆系地层为一套巨厚浅海相、滨海相碎屑岩、碳酸岩、中基性-酸性细碧-角斑岩火山岩性组合,其中发育多种金属元素均有浓集的朝不楞中型矿床,表明泥盆系地层与成矿有着十分密切的关系,是多金属矿化的矿源层<sup>[11]</sup>。矿石硫化物黄铁矿中Co、Ni含量及其比值具有较好的成因指示意义,一般认为沉积型黄铁矿矿物Co含量很低:Co/Ni比值<1;热液型黄铁矿矿物Co含量高;Co/Ni岩浆热液矿床黄铁矿矿物:<sup>[13]</sup>0.8-3.0;火山热液矿床黄铁矿矿物:3.0-5.0;层控型矿床黄铁矿:0.5-1.5。由于阿尔哈达矿床缺乏黄铁矿单矿物微量元素分析资料,又铅锌矿石中铜矿物含量较少,根据地球化学理论,镍主要和铜以类质同相形式在黄铜矿中存在,Co主要在黄铁矿中存在,所以以矿石微量元素含量代替黄铁矿单矿物微量元素含量进行Co/Ni计算是可行的。从分析结果看,阿尔哈达铅-锌-银矿床铅锌矿石Co/Ni比值一部分>1,一部分<1,从而说明部分成矿物质来源和泥盆系火山岩建造有关,该火山沉积建造为初始矿源层。虽然阿尔哈达铅锌矿床矿体明显地切穿地层,从成矿物质来源上看具有层控特征。

地层为成矿提供最有利的构造发育空间,地层岩性组合影响容矿断裂构造的发育。矿区地层岩性主要为凝灰岩和板岩,凝灰岩物理性质硬脆易裂,抗变形强度大,但脆性易发生断裂,形成较宽松的断裂构造;板岩则不同,塑性较强,抗变形强度低易于变形容易形成不协调褶皱、虚脱构造等构造。发育在凝灰岩中的控矿断裂构造空间较宽大,产状变化较大,矿体规模较大;发育在板岩和板岩与凝灰岩交互层位中的容矿断裂构造面平直,矿脉规模较小,矿体形态平直长度较长宽度较窄。

### 4.2 构造控矿作用

#### 4.2.1 区域构造与成矿

阿尔哈达铅-锌-银矿床发育在北东东-北东向区域断裂构造北西上盘次级断裂与宾巴查勒干复式岩体侵入倾伏端构造相叠加部位。构造条件是成矿元素富集成矿和矿体定位的关键。尤其是断裂构造,是重要的控岩控矿因素,多次继承性活动的断裂控

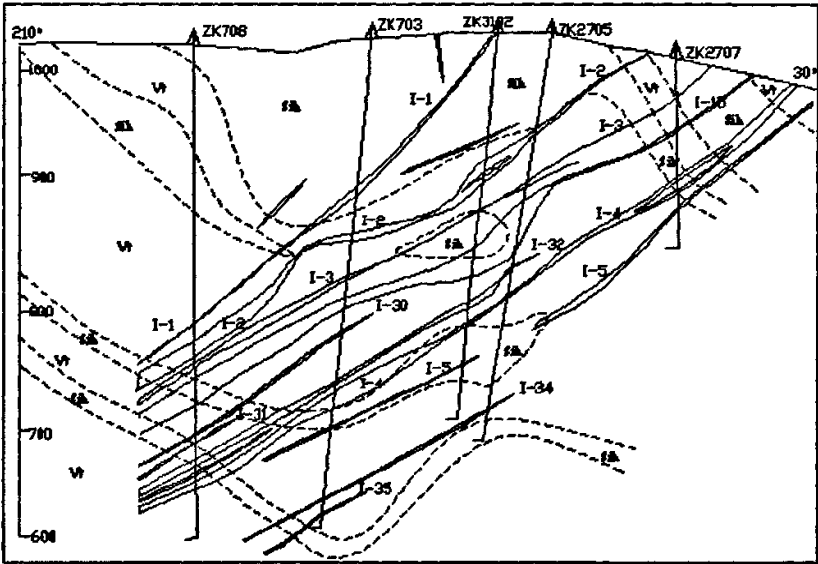
制着岩浆活动的空间位置、范围、延伸方向,岩浆性质则间接控制有关矿种。印支至燕山期构造-岩浆强烈活动和成矿关系密切,正是区域包括银、铅、锌等内生矿床生成于燕山期的主要原因<sup>[16]</sup>,和华北地台北缘<sup>[17]、[18]</sup>一样,本区也存在燕山期“成矿暴发”的现象。区域矿产主要受区域构造发展阶段控制,内蒙晚华力西期褶皱带二叠系中期地槽回返,形成和华力西期中酸性岩浆活动有关<sup>[19]</sup>的小规模铜铅锌矿化。华力西期构造运动结束至燕山期构造运动开始,属晚古生代褶皱带上升稳定地台时期,岩浆活动及热液成矿作用微弱。燕山期地台活化中酸性岩浆大规模活动,形成了区域众多的金属矿产。而到侏罗系晚期,区域只是发生局部断陷构造活动,在断陷盆地中形成非金属矿产。

#### 4.2.2 矿区构造与成矿

矿区构造是区域构造的重要组成部分,是区域构造的低级别和低序次构造形态<sup>[20]、[21]</sup>,是区域构造演化的具体体现。矿区成矿受构造控制作用明显,构造不但控制着岩浆岩的侵入,而且是成矿热液运移交代充填的通道和空间,对矿体的空间展布、矿体的形态、矿石质量、结构构造都有一定的控制作用。阿尔哈达铅-锌-银矿床发育于额仁高毕紧闭复式向斜南翼纵向断裂 $F_1$ 的上盘约1公里范围内, $F_1$ 断裂构造把深部和地壳浅部构造沟通,为导矿构造;‘λ’字型次级北西西-北北西向的弧形断裂带构造为容矿构造,容矿断裂构造带生成受到围岩中裂隙、层间破碎、次级褶皱和构造角砾岩带等的影响。矿区位于 $F_1$ 北东东向构造与北西向构造断裂带交叉部位,为热液的就位和矿体的形成提供了容矿空间,有利于成矿元素成矿。矿区北东东向断裂构造控制了矿带的展布,次一级北西和北东向断裂构造控制了矿床(体)的展布,断裂带中次一级断裂构造控制着矿体的展布、形态、产状和品位。在成矿过程中,容矿构造多次脉动,在矿体的主要顶底板的断层面上可见明显的擦痕、阶步构造,说明容矿构造具有扭性构造活动。在早期的铅锌矿体内可见到多种围岩角砾,显示成矿期构造具有张性构造活动特征(图版V、VII)。有部分铅锌矿石发育碎裂构造,并被其它晚期金属和非金属矿物多期充填胶结,显示成矿后期仍有构造活动。伴随着多期次热液充填交代成矿过程和种类繁多的围岩蚀变,最终形成矿区规模较大的矿脉带。成矿时容矿构造以压扭性为主的构造地段,为较封闭的构造环境,在成矿热液灌入时,热量和围压不易扩散,形成高温矿物组合和铁闪锌矿。

从矿区平面图2-2看,矿化富集地段展布正好为 $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$ 叠加褶皱方向,容矿断裂构造可能是从叠加褶皱构造引起的翼部拉伸、核部虚脱、层间滑动等构造部位通过,从而引起容矿断裂产状的复杂化。在矿区剖面图4-1上分析,发现控矿断裂构造产状变化较大,发育部位不同,则矿脉的控矿构造特征不同。有的矿体控矿构造为发育在叠加小褶皱上的向斜核部和背向斜之间的拉伸翼等构造部位,则平行脉较多,矿

化较好。根据统计，容矿断裂产状由陡变缓处，矿化较好。由于容矿断裂构造具有旋扭和挤压复杂性质，所以矿体普遍延深较大。



比例尺 1: 5500

图 4-1 阿尔哈达铅-锌-银矿床第 27 勘探线地质剖面图  
图例: S1h 片岩、板岩; Vt 火山凝灰岩; I-1 矿体位置及编号

4.2.3 构造演化与成矿

区域上构造运动频繁<sup>[22]、[23]</sup>，不同时期构造岩浆活动对成矿作用影响不同，运用矿区构造分析、褶皱分析、劈理分析、共轭剪节理，结合区域构造、断裂切错、级序关系、结合地层时代与角度不整合构造，确定构造应立场及其演化关系。

①：华力西期，区域上北北西南南东向主挤压应力作用明显，华力西期地层褶皱强烈，断裂构造发育，形成了一系列轴向东北、北东向紧闭线型褶皱、倒转褶皱和走向平行的 NE-NEE 逆冲断裂构造和横向北西向断裂带；进而隆起拉伸，三次大规模中酸性岩浆活动，区域西部侵入面积较大的中酸性岩体，此时的构造-岩浆活动表现为沿褶皱断裂带大规模中酸性岩浆侵入，起到活化成矿物质的作用，引起成矿物质运移，局部富集。

②：印支期，区域北北西南南东向主挤压应力仍在起作用，局部有东西向拉伸应力作用，在矿区东部花岗岩浆大规模侵入，形成和岩浆活动有关的构造，导致早期断裂构造的活化和北东向褶皱构造叠加改造，宾巴查勒干岩体侵入引起矿区北东东断裂逆冲断裂带复活经受改造和北西向次级断裂带的旋扭活动，形成矿区‘λ’字型构造。

同时矿区北东向褶皱构造叠加到北东东向褶皱构造上,因矿区向东下伏岩体界面越来越高,地层厚度越来越薄,故只能小规模局部发育。

③:在燕山运动早中期,强烈构造活动,使区域构造轮廓经受一次大的改造,上部形成一系列脆性断裂构造,深部可能是韧性变形带。燕山期安尔基乌拉黑云母花岗岩体沿印支期宾巴查勒干岩体边缘相侵入。燕山期构造运动以断裂构造升降复活叠加改造为主,进一步使矿区构造接受改造,为热液成矿提供较宽松构造空间。在成矿过程中,断裂构造递进变形持续活动,应力方向可能发生旋转,从而在北西-北北西向弧形断裂带内形成和主构造走向不一致的容矿断裂。构造应力差驱动成矿流体在运移过程中,分异演化在低围压次级构造内经过多次叠加成矿。

④:在燕山运动晚期,左旋力偶作用,形成北北东向断裂构造错断含矿断裂带。

### 4.3 岩浆岩控矿作用

阿尔哈达铅-锌-银矿床矿石银品位较高,说明成矿和岩浆热液有关<sup>[8]</sup>。阿尔哈达铅-锌-银矿床和燕山期早期花岗岩在时间、空间上、成因上有相关联系。区域上和钨铜多金属矿化有关的花岗岩体主要为壳源型成因花岗岩体,与铅锌矿有关的花岗岩体为壳幔源型成因花岗岩体。

#### 4.3.1 印支至燕山期壳幔源型成因复式岩体控矿作用

宾巴查勒干岩体与安尔基乌拉岩体组成壳幔源型成因复式岩体,自印支期至燕山期持续侵入活动。阿尔哈达铅-锌-银矿床位于北东走向宾巴查勒干岩体的西南侵入倾伏端。又据钻孔岩芯岩矿鉴定,矿区深部发育红柱石角岩和矽线石角岩,为岩体侵入接触变质高温烘烤的产物。据岩矿鉴定(图版 I、II),红柱石被黄铁矿、毒砂等矿物交代,这和岩浆侵入高温烘烤围岩形成角岩,然后成矿热液沿断裂裂隙构造灌入交代围岩顺序相一致,从而说明矿区深部可能隐伏花岗岩岩体,说明阿尔哈达铅锌矿床和燕山期花岗岩的距离不远的空间关系。矿体产在岩体倾伏端断裂构造发育地段是当花岗岩浆上侵时,特别是在外接触带叠加断裂构造部位,构造环境比较宽广,为构造薄弱地段,含成矿物质和挥发分的热液易向宽松构造环境运移,在岩体外接触带叠加断裂构造地段形成矿体。

从地球化学亲缘性看,安尔基乌拉岩体岩体内硅化现象比较普遍,在内外接触带部位形成规模较大的接触变质带,说明该岩体分异热液活动强烈,曾发生强烈的岩浆期后热液分异作用。再看区域上与矿化或异常有关的各(斑)岩体,其铅、锌、钨、锡、银等成矿元素的平均含量均高于维氏值几倍<sup>[11]</sup>,说明花岗岩为成矿提供部分成矿物质。

一般认为复式岩体含矿较好,印支宾巴查勒干岩体呈岩基,沿额仁高毕向斜核部大面积呈岩基侵入,为壳源S型重熔成因,形成深度浅,就地重熔,分异的期后热液不易集中,可能只是形成分散的矿化,但强大的热动力,促使初始矿源层矿成矿物质再次迁移富集。燕山期区域发生强烈构造活动和岩浆喷发侵入活动,大规模的火山喷发活动燕山期岩浆活动在燕山早期形成侏罗系大面积流纹质凝灰岩。与此同时,富含硅碱质花岗岩浆沿深大断裂或印支期花岗岩体边部上侵。区域成矿构造-岩浆活动具有明显的继承性,在印支期花岗岩重熔及侵位地段,更易再一次发生壳幔源型S+I型同熔成因花岗岩浆同熔与上侵,同熔花岗岩浆的生成在印支期S型重熔的更深构造位置处发生,沿印支期花岗岩侵入构造上升侵入,形成一些出露面积小的岩株,成为壳幔源<sup>[14]</sup>复式岩体。至少二次岩浆同一地段生成上侵,犹如多次“冶炼”,较之于一次花岗岩浆活动,多次分异演化、多次改造矿源层或矿源岩地段,多次对周围矿源层的淋滤萃取更能使成矿物质富集,可见壳幔源复式岩体与成矿作用关系密切。

成矿物质富集主要有两种机制,一种是由于花岗岩同熔于上地幔或下地壳,岩浆房形成深度较大,在同熔花岗岩浆运动过程中,岩浆岩沿控岩构造侵入,分异演化形成深源性含矿热流体。另一种是岩浆上升,在巨大的热梯度影响下,分散于地层中的成矿物质活化迁移,向热中心聚集。在矿区某一地段,经过多次岩浆构造活动,形成了矿化富集地段。

#### 4.3.2 成矿动力

成矿作用实际上与地壳演化阶段有关,成矿和地层、构造、岩浆活动有关,但在不同的阶段,控矿作用特点不一。岩浆活动是主要因素,但不应忽视构造因素。最重要的控矿因素是岩浆-构造活动,该矿床成矿不能简单地认为单一地质因素起作用。燕山期强烈的岩浆喷发侵入活动,东乌珠穆沁旗<sup>[17]</sup>地区火山沉积厚度可达4000米,可谓翻天覆地。区域强烈地质构造变动、岩浆活动和变质作用,都是成矿有利因素,成矿动力多种来源,包括热液内热动力、构造外力(构造和断裂挤压双重压力)、构造应力差、岩浆热能、大地热流等。成矿动力之一为构造中不同地段的应力差,应力差是热液活动重要动力,这种压力差与运移环境的构造压力直接相关,高压部位的热液在压力差的驱动下,向低压部位运移。成矿动力之二为地壳深部高温高压条件下的变形和构造应力作用,可能促使成矿元素活化发生迁移。成矿动力之三为岩浆活动产生的巨量热能。成矿动力之四为大地热流,致使地下水温升高,加快成矿物质活化迁移。总之,成矿热液运移聚集成矿需要能量,在燕山期构造岩浆带成矿动力主要来源

于构造-岩浆活动,成矿受构造活动和岩浆活动双重控制。

#### 4.4 矿化富集规律

根据矿床地质特征和构造控矿作用分析,总结矿化富集规律如下

1、区域上多金属矿化的形成似乎有等间距分布的规律,矿床(点)的分布间距约 40 公里左右,可能与北西和北东向构造的复合部位等距发育有关。

2、矿床受‘λ’字型旋扭构造控制,依构造序次控矿特点明显。

3、容矿断裂具有旋扭性质复杂,矿体延深较大。

4、根据构造叠加晕<sup>[10]</sup>研究方法,矿区可能存在多个矿化标高。首先确定主成矿元素为 Pb、Zn,前缘晕指示元素为 As、Sb。通过沿矿脉倾向由地表 TC18 和 ZK3101 取岩石样品分析,组成构造叠加晕剖面,前缘晕指示元素由地表向下逐渐增高(地表: As  $834 \times 10^{-6}$ 、Sb  $27.50 \times 10^{-6}$ ; 钻孔-70 米处: As  $9300 \times 10^{-6}$ 、Sb  $312 \times 10^{-6}$ ),而主成矿元素向下呈降低趋势(地表: Pb  $3900 \times 10^{-6}$ 、Zn  $1700 \times 10^{-6}$ ; 钻孔-70 米处: Pb  $1000 \times 10^{-6}$ 、Zn  $1000 \times 10^{-6}$ ); 根据前缘晕元素含量急剧升高的现象,说明该矿床的剥蚀程度比较浅,地表矿脉是浅部小规模矿体,下部可能存在另一标高成矿空间,还有规模较大的隐伏矿体存在。

5、发育在叠加褶皱、次级向斜构造核部、次级褶皱构造拉伸翼等构造部位的矿体矿化较好。

6、控矿断裂构造波状起伏,剖面上沿倾向倾角由陡变缓处矿体矿化较好。

7、成矿多阶段叠加地段矿化较好。多阶段成矿阶段叠加意味着控矿断裂构造多次活动和良好的构造空间环境,矿石易发育块状、角砾、细脉浸染等构造,出现高品位矿石。

#### 4.5 本章小结

本章主要研究了地层、构造、岩浆岩等地质条件的控矿地质作用。

从地层的微量元素丰度、区域赋矿层位、岩性组合影响控矿构造发育等方面,论述了地层控矿作用。从区域构造特征及演化、矿区构造特征等方面研究构造的控矿作用,认为区域矿产主要受区域构造发展阶段控制,强调矿区主干构造逆冲断裂  $F_1$  及其次级断裂带构造组成的‘λ’字型断裂构造、NEE 和 NE 叠加褶皱构造等构造的控矿地质作用。从空间位置、时间、成因联系等方面论述了印支-燕山期壳幔源型成因复式岩体和成矿的密切关系。最后总结了矿化富集规律。

第五章 矿床成因探讨

5.1 矿石硫同位素特征及来源

阿尔哈达铅-锌-银矿床中 20 件矿石硫化物硫同位素<sup>[24]、[25]</sup>样品测试结果见表 5-1，硫同位素（包括黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂）的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化范围为 1.2-8.6，平均 6.03；根据采样矿物分别统计，方铅矿  $\delta^{34}\text{S}$ ：变化范围 1.2-4.7，平均 4.0；闪锌矿  $\delta^{34}\text{S}$ ：变化范围 5.5-7.5，平均 6.8；黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$ ：变化范围 6.1-8.6 平均 7.1；毒砂  $\delta^{34}\text{S}$ ：6.4-6.8，平均 6.6；各种金属硫化物  $\delta^{34}\text{S}$  组成大体一致略有差异。阿尔哈达矿区缺乏地层、花岗岩体硫同位素测试数据，由于朝不楞铁锌矿床和阿尔哈达铅-锌-银矿床具有相同的区域构造背景和成矿地质条件，所以可用邻区朝不楞矿区有关数据替代阿尔哈达矿区有关数据进行讨论。据聂风军采自朝不楞铁锌矿区泥盆系中统塔尔巴格特组（D<sub>2</sub>t）变质砂岩黄铁矿样品  $\delta^{34}\text{S}$  平均值为 7.7，矿区黑云母花岗岩付矿物样品  $\delta^{34}\text{S}$  平均值为 2.2。通过对比可以看出，阿尔哈达矿床各种硫化物  $\delta^{34}\text{S}$  处于地层硫和岩浆岩硫同位素组成之间，反映成矿物质来源的多样性。由于矿石中不存在含重硫的硫酸盐矿物，因此可用矿石硫化物的硫同位素代表成矿热液的原始硫同位素的组成。在开始成矿时，成矿物质来源以深源为主，硫同位素组成接近于陨石硫，成矿与岩浆热液活动有关；到中晚期成矿阶段产出的硫化物则是岩浆热液和地层水对地层围岩进行蚀变交代，引起成矿热液硫同位素成分的变化，随着铅锌银成矿作用的延续进行，各种硫化物硫同位素都有所升高，逐渐接近地层硫同位素数据，可见矿床硫的来源于岩浆和地层。

表 5-1 阿尔哈达铅-锌-银矿床硫化物同位素组成 单位：‰

| 序号 | 样号   | 测试矿物 | $\delta^{34}\text{S}$ | 序号 | 样号   | 测试矿物 | $\delta^{34}\text{S}$ |
|----|------|------|-----------------------|----|------|------|-----------------------|
| 1  | TW1  | 方铅矿  | 1.2                   | 10 | TW10 | 闪锌矿  | 7.4                   |
| 2  | TW4  | 方铅矿  | 4.7                   | 11 | TW11 | 闪锌矿  | 7.0                   |
| 3  | TW7  | 方铅矿  | 5.3                   | 12 | TW2  | 黄铁矿  | 8.6                   |
| 4  | TW8  | 方铅矿  | 3.9                   | 13 | TW3  | 黄铁矿  | 7.0                   |
| 5  | TW9  | 方铅矿  | 4.2                   | 14 | TW5  | 黄铁矿  | 7.2                   |
| 6  | TW11 | 方铅矿  | 4.7                   | 15 | TW8  | 黄铁矿  | 6.1                   |
| 7  | TW7  | 闪锌矿  | 6.9                   | 16 | TW9  | 黄铁矿  | 6.6                   |
| 8  | TW8  | 闪锌矿  | 5.5                   | 17 | TW10 | 黄铁矿  | 7.0                   |
| 9  | TW9  | 闪锌矿  | 7.5                   | 18 | TW4  | 毒砂   | 6.8                   |
| 10 | TW10 | 闪锌矿  | 7.4                   | 19 | TW7  | 毒砂   | 6.6                   |

分析单位：中国地科院矿产资源所同位素实验室 分析人：许智 分析时间：2005.12

从图 5-1 中可知,阿尔哈达铅-锌-银矿床和蔡家营铅锌矿床相比,具有相似的矿石矿物成分和矿石硫同位素组成。与典型斑岩型冷水坑铅锌矿床及银山铅锌矿床硫同位素特征相比明显不同,阿尔哈达铅-锌-银矿床和蔡家营铅锌矿床均明显富集  $\delta^{34}\text{S}$ , 而冷水坑和银山铅锌矿  $\delta^{34}\text{S}$  值明显偏小,但变化范围较大。这说明阿尔哈达和蔡家营铅锌矿床具有类似的成矿特征和成矿物质来源。

5.2 矿石铅同位素特征和成矿物质来源

5.2.1 矿石铅同位素特征

为了查明矿床铅的来源<sup>[26]</sup>,采集了 20 件铅锌矿石进行铅同位素的测定,据统计,矿石铅同位素组成为:  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.174-18.431, 平均值为 18.274;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.37-15.602, 平均 15.446;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 37.673-38.213, 平均 37.875。按照矿石矿物统计铅同位素特征见表 5-2,所有这些数据离散性较小。根据 H-H(Holems-Houtermans)单阶段模式年龄计算公式计算,大多数模式年龄为负值,投影到  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  铅同位素增长图(图略)上大多投入 0 等时线右侧  $\mu=8$  和  $\mu=9$  区域,多阶段异常铅

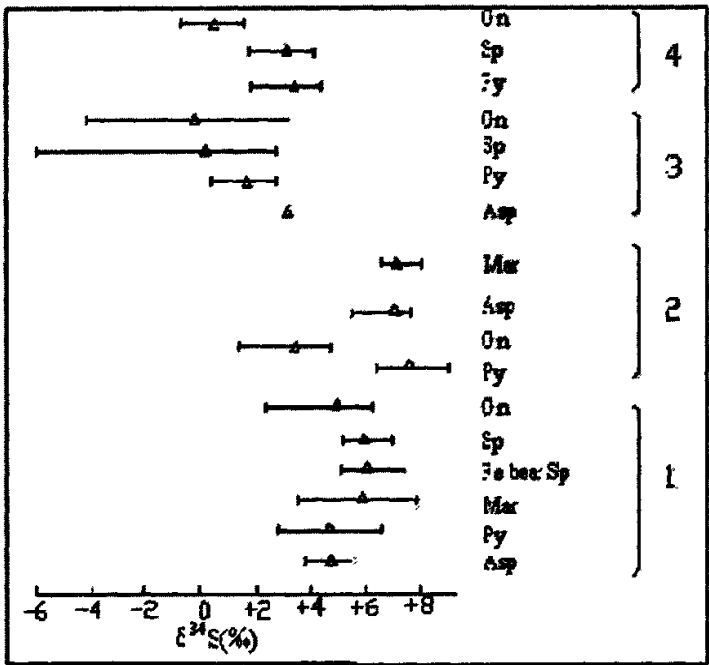


图 5-1 阿尔哈达铅-锌-银矿床与其它铅-锌-银矿床硫同位素对比图 (据黄典豪)  
图例: 1-蔡家营, 2-阿尔哈达 3-银山, 4-冷水坑, Gn 方铅矿  
Sp 闪锌矿, Py 黄铁矿, Asp 毒砂, Mar 铁闪锌矿, Δ-平均值

同位素特征明显,可能是放射性异常铅或非一个 U-Th-Pb 系统或其它铅来源混入所致,说明成矿铅来源不仅仅是单一来源。从表 5-2 看出,矿石各种硫化物铅同位素组成大体一致略有变化,阿尔哈达铅-锌-银矿床矿石硫化物铅同位素含量以毒砂最高,其次为方铅矿,再次为黄铁矿,最后为闪锌矿。阿尔哈达铅-锌-银矿床和蔡家营铅锌矿相比,铅同位素组成  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值明显偏高。

5.2.2 成矿物质及成矿介质来源

在图 5-2  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  上,阿尔哈达矿床铅同位素数据投影直线位于蔡家营铅-锌-银矿床铅同位素数据投影线右侧。据此,可对

表 5-2 阿尔哈达矿物铅同位素统计特征表 单位: 原子比率

| 矿区   | 样品名称 | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | 样品数 | 备注    |
|------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|-------|
| 阿尔哈达 | 方铅矿  | 18.303                            | 15.490                            | 37.937                            | 6   | 第一地勘院 |
|      | 闪锌矿  | 18.261                            | 15.456                            | 37.855                            | 5   |       |
|      | 黄铁矿  | 18.229                            | 15.490                            | 37.782                            | 6   |       |
|      | 毒砂   | 18.327                            | 15.509                            | 37.977                            | 3   |       |
| 蔡家营  | 矿床   | 16.841                            | 15.473                            | 37.723                            |     | 黄典豪   |

分析单位: 中国地科院矿产资源所同位素实验室 分析人: 许智 分析时间: 2005.12

不同构造环境的铅来源进行区分。阿尔哈达矿床矿石硫化物铅同位素均投入上地幔和下地壳铅演化曲线之间,并呈一条陡立的演化直线,反映矿石铅来源主要为上地幔和

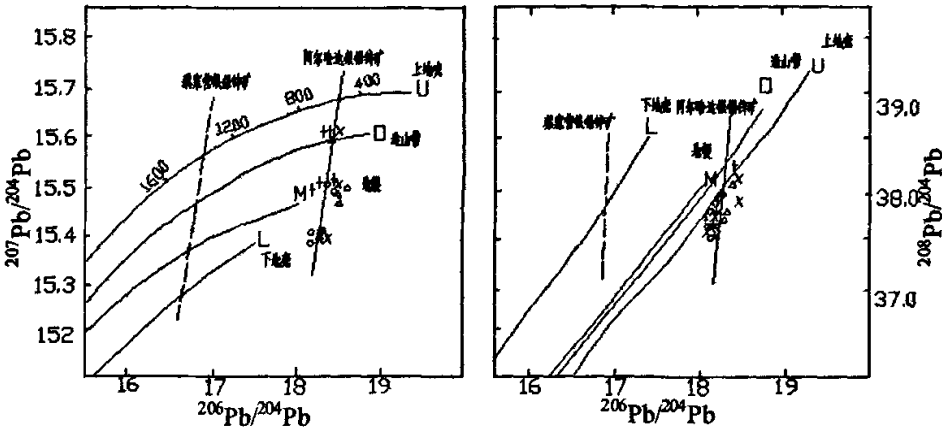


图 5-2 阿尔哈达铅-锌-银矿床铅锌矿石铅同位素图解 (据黄典豪)  
图例: + 方铅矿, x Sph 闪锌矿, ○黄铁矿, △ 毒砂

下地壳,成矿和燕山期壳幔深部同熔岩浆物质影响成矿过程有关,成矿物质铅来源既有地层中的铅,有又岩浆铅的混合,铅多来源叠加,反映了区域岩体(层)铀和钍的

高丰度值背景以及构造岩浆活动对 U-Th-Pb 同位素体系的影响。

从以上矿石铅同位素的研究,说明矿石大部分铅来源于上地幔<sup>[27]、[28]</sup>,部分来源于海洋环境岛弧火山沉积,成矿物质具有地幔和下地壳的混合来源的特征。

阿尔哈达铅锌矿床矿石铅同位素具有放射性异常铅的特征,一般认为铅的同位素比值的升高,是由于放射性元素衰变放射性成因铅所致,可以判断规模深源花岗岩体隐伏矿区下部<sup>[7]</sup>,部分放射性成因的铅同位素通过淋滤方式进入成矿热液,推测成矿热液介质在成矿过程中具有多种来源,既有岩浆来源,也有后来混入的地层建造、大气降水等。

### 5.2.3 区域构造环境

将阿尔哈达硫化物铅同位素投影到图 5-3 上,矿区大部分矿石硫同位素大部分落到火山岛弧区,少数落到原始岛弧区,泥盆系以前老地层沉积物代表原始岛弧沉积产物。通过矿石硫铅同位素差异特征,进一步研究阿尔哈达铅-锌-银矿床和周边地区同类矿床进一步进行比较研究,在  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $\delta^{34}\text{S}$  图(图略)上,阿尔哈达矿不同于蔡家营铅锌矿、大兴安岭地区甲生盘矿床,显示具有不同的区域成矿背景<sup>[29]、[30]</sup>。阿尔哈达矿床和蔡家营铅锌矿相比,两者  $\delta^{34}\text{S}$  相似,但  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  较高,反映阿尔哈达矿床铅同位素高放射性成因的特点,蔡家营铅锌矿成矿区域构造背景为华北活化地台北缘冀北断陷带,阿尔哈达铅锌矿成矿背景为内蒙古晚华力西地槽褶皱带之东乌旗一二连浩特复背斜北东部的东乌旗褶皱束或内蒙地洼系,区域放射性  $\gamma$  射线测量较强,而放射性来源主究其原因,可能和成矿区域岩体(层)具有 U、Th 较高的丰度有关。结合矿石硫铅同位素特征、地层控矿作用分析,说明阿尔哈达铅锌矿床成矿物质来源广泛,主要控矿因素为花岗岩构造活动。阿尔哈达铅-锌-银矿床和大兴安岭地区甲生盘铅锌矿相比,后者  $\delta^{34}\text{S}$  数值较高, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  数值较低的特点,反映大兴安岭地区燕山期火山(次)火山成矿背景。

## 5.3 成矿作用

### 5.3.1 热液矿化阶段

热液成矿以多阶段活动为特色,根据野外地质观测和岩矿鉴定,本矿床的形成经历了六个成矿阶段,①:早期绿泥石化、绢云母化成矿阶段,②:石英—黄铁矿成矿阶段,③:多金属硫化物成矿阶段,④:石英—硫化物成矿阶段,形成不规则硅化(玉髓化)脉,局部含少量金属硫化物,⑤:碳酸盐成矿阶段,方解石、白云石多呈不规则脉状和团块状分布,一般出现在铅锌矿化带内,⑥:次生氧化阶段成矿阶段。铅-锌矿

化主要发育在多金属硫化物阶段和石英-硫化物两个阶段。成矿作用以伴随控矿构造活动早期绿泥石、绢云母成矿阶段开始，以碳酸盐化阶段结束。根据围岩蚀变类型判断，成矿溶液性质在成矿过程中发生变化，推测成矿早期和晚期热液酸碱度为微碱性，而

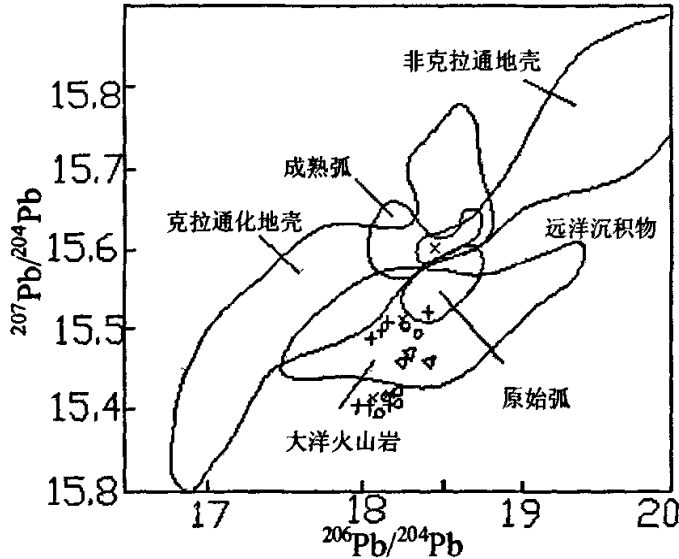


图 5-3 阿尔哈达铅-锌-银矿床铅锌矿矿石铅同位素环境投影图 (据黄典豪)

图例: + 方铅矿, x Sph 闪锌矿, O 黄铁矿, Δ 毒砂

成矿过程中热液酸碱度为微酸性，绢云母化、碳酸岩化 代表碱性环境，高岭土化、叶蜡石化代表热液酸性环境。据此说明碱质特别是钾离子参与成矿物质迁移、交代过程，在成矿过程中起到重要作用。

金属矿物一般的生成顺序为：毒砂→黄铁矿→闪锌矿+ 方铅矿 → 辉铜矿。  
脉石矿物生成顺序：绢云母→粘土矿物→绿泥石→绿帘石→硅化石英→白云石→萤石→方解石。

5.3.2 矿化分带和热液运移方向

主要有用组分铅锌银品位，沿矿体走向和倾向延深方向都有变化，锌比铅品位变化的幅度大；铅品位随矿体厚度的增加而增加，而锌品位与矿体厚度的关系不明显，反映了铅元素与锌元素在成矿过程中不同的特征，在相同的物理化学环境中具有不同的成矿地球化学行为。

笔者将 I-1 和 I-4 矿体的矿体矿石品位参数进行了简单的处理，单工程化验品位进行了算术平均数作为相应工程的品位，然后进行 Pb/Zn 比值计算，在矿体水平投影图上勾出等值线，虽然不像化探样品那样严格，但也能反映一些情况。从图 5-4 I-1 和 I-4 矿体 Pb/Zn 比值等值线图分析，铅银矿化在 15 线-23 线 150-250 米深部地段

和 23-27 线沿垂向富集, 27 线出现一个富集地段。锌矿化品位由浅部矿体向深部矿体

比例尺 1: 5000

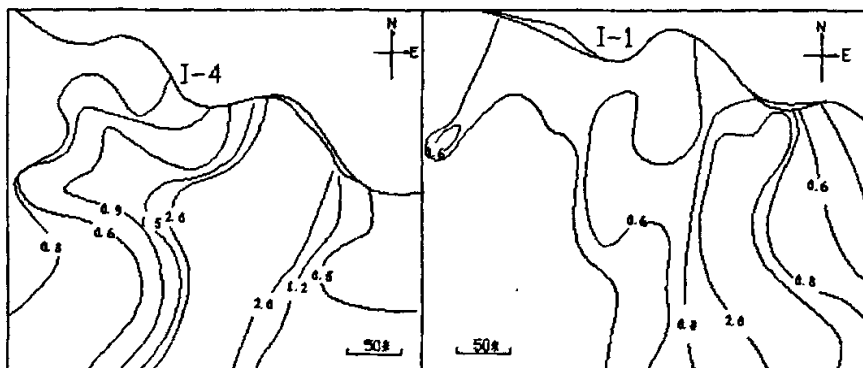


图 5-4 阿尔哈达铅-锌-银矿床 I-1 矿体 和 I-4 矿体 Pb/Zn 比值等值线图

图例: I-1 矿体号, Pb/Zn 比值

比铅品位有增加的趋势。矿化分带可能与控矿断裂构造的持续脉动活动有关, 也可能与成矿温度分带有关。

根据矿石矿相学研究, 银主要富集在方铅矿中, 铅银呈正相关关系, 而锌矿物大多为铁闪锌矿。铁闪锌矿从热液中沉淀较早, 成矿温度较高, 方铅矿从热液中沉淀较晚, 成矿温度较低, 从而矿体中出现铅银矿化和锌矿化温度分带现象。

一般认为成矿元素锌、铜、金在热液中首先沉淀, 成矿元素铅和银在成矿热液中浓度逐渐富集, 在物理化学条件发生改变时, 从成矿热液中沉淀出铅银矿物, 从而根据矿石 Pb/Zn 比值判断成矿温度的变化规律和判断热液运移方向。阿尔哈达铅锌矿化主要为第二期矿化细粒浸染状矿化和第三期矿化粗粒状方铅矿矿化沿裂隙构造或细粒浸染状矿体两侧地段发育, 成矿热液从 Pb/Zn 比值低值向高值方向运移。从图 5-4 可以看出, Pb/Zn 比值等值线形态较为复杂, I-1 矿脉 Pb/Zn 比值等值线图高值区近于近直立略向东南侧伏分布, 在矿体北西段深部约 150-250 米 Pb/Zn 比值等值线高值区水平展布。I-4 矿脉 Pb/Zn 比值等值线图高值区近于近直立略向西南侧伏分布, 在矿体北西段深部约 150-250 米 Pb/Zn 比值等值线高值区较之于 I-1 水平展布面积较大。I-1 和 I-4 两者 Pb/Zn 比值等值线形态极为接近, 证明该等值线图基本反映实际情况。据图判断成矿热液<sup>[31]、[32]</sup>大致从下部 SWW 方向向上部 NEE 方向运移, 并在上升的过程中沿容矿断裂构造中部地段倾向和走向方向流动, 流速较快, 在容矿断裂产状变化等构造空间较宽广部位中逐渐向容矿断裂两端扩散渗透, 渗透途经断裂构造部位较为紧闭。热液从导矿构造 F<sub>1</sub> 和深部隐伏花岗岩体的叠加断裂侵入接触构造上升至成矿地段, 进入 F<sub>1</sub> 浅部构造及其次级构造充填交代成矿。

从矿化特征和热液移动方向表明矿区深部是成矿热液通过地段, 仍有较大的找矿空间。根据矿床学成矿系列的观点, 下部矿体同时可能有两种情况, 一是成矿温度逐

渐增高,矿化类型过渡为含黄铁矿较多的铜锌多金属矿化;二是因为成矿过程中容矿构造多期次脉动、多阶段成矿特点明显,深部出现逆向温度分带现象,发育大规模粗粒含银方铅矿矿化。

### 5.3.3 成矿方式

矿石矿物成分和化学成分复杂,成矿方式为充填成矿作用和交代成矿作用成矿。充填成矿作用形成的矿石结构为自形一半自形、它形粒状结构,方铅矿呈立方体自形晶或半自形晶,黄铁矿、毒砂呈长方型和菱形自形晶或半自形晶(图版 III、IV);黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿呈它形粒状紧密镶嵌或单独产出(图版 IV)。充填成矿作用形成的矿石构造为脉状构造和条带状构造,如黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等矿物呈细脉或网脉状充填于脉石裂隙中;如方铅矿、闪锌矿可单独充填形成细脉状矿石(图版 V、VII);也可在矿石中也可见萤石脉和方铅矿、闪锌矿以细微脉状充填在脉石裂隙中。

交代成矿作用形成的矿石结构为交代残余结构,早期黄铁矿、毒砂被晚期矿物交代呈残余晶体,如自形粒状黄铁矿交代了毒砂,黄铁矿被方铅矿、闪锌矿、黄铜矿交代形成残晶,以及石英、钾长石、碳酸盐矿物对围岩矿物、岩屑的交代(图版 III、IV)。交代成矿作用形成的矿石构造为浸染状构造,如自形或它形的方铅矿、闪锌矿、黄铁矿呈稀疏—稠密的不均匀粒状分布于凝灰岩或蚀变岩中(图版 VI、VII)。块状构造可能二种成矿作用兼而有之。

### 5.3.4 热液成矿温度、压力条件

#### 1、矿物标型特征、围岩蚀变组合确定成矿温度

阿尔哈达铅-锌-银矿床呈现高中低温矿物和蚀变组合特征。成矿早期形成毒砂、铁闪锌矿、黄铜矿、绢云母等矿物;到主要成矿阶段形成黄铁矿、方铅矿、中细粒毒砂、绿泥石等代表性矿物;到成矿晚期形成玉髓、蛋白石、白云石等代表性矿物。毒砂化为高温蚀变类型,绢云母化、绿泥石化为中温围岩蚀变类型,高龄土化、白云石化、玉髓化为低温蚀变类型。

根据单矿物闪锌矿  $\text{TFe}(\%)$  研究矿床成矿温度,一般认为高成矿温度闪锌矿  $\text{TFe}(\%)$ : 10-20, 中等成矿温度闪锌矿  $\text{TFe}(\%)$ : 3-10, 低成矿温度闪锌矿  $\text{TFe}(\%)$ : 1-3, 阿尔哈达单矿物闪锌矿  $\text{TFe}(\%)$  为 11.65, 说明成矿开始成矿温度较高。萤石的颜色标型特征和发育锰银矿化,说明成矿晚期成矿温度较低。矿石脉状萤石为浅蓝色,表明萤石出现时成矿温度小于  $175^{\circ}\text{C}$ 。部分矿石锰含量较高,锰和银伴生,在成矿晚期同时成矿,锰和银成矿温度均较低。综上所述,热液成矿温度从高温开始,以中低温结束。

## 2、硫同位素矿物对成矿温度计算

据矿物硫化物统计,多金属矿物 $\delta^{34}\text{S}$ 富集顺序为 $\delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿) $\delta^{34}\text{S}$ 闪锌矿) $\delta^{34}\text{S}$ 毒砂) $\delta^{34}\text{S}$ 方铅矿,整体上 $\delta^{34}\text{S}$ 逐渐减少,是成矿物理化学条件(如成矿温度)逐渐降低而引起的硫同位素分馏的结果,说明硫同位素达到了平衡。据矿相学光片鉴定,黄铁矿与方铅矿、方铅矿与闪锌矿密切共生,从而可以利用硫化物同位素矿物对计算成矿温度。根据硫同位素平衡分馏状态下平衡共生矿物对温度计<sup>[33]</sup>进行温度计算:

黄铁矿-方铅矿矿物对:  $T=(1.01\pm 0.03)*103/\Delta_{1/2}$ ;  $\Delta=\delta^{34}\text{S}^{\circ}/_{\infty}\text{黄铁矿}-\delta^{34}\text{S}^{\circ}/_{\infty}\text{方铅矿}$  (1)

闪锌矿-方铅矿矿物对:  $T=(0.85\pm 0.04)*103/\Delta_{1/2}$ ;  $\Delta=\delta^{34}\text{S}^{\circ}/_{\infty}\text{闪锌矿}-\delta^{34}\text{S}^{\circ}/_{\infty}\text{方铅矿}$  (2)

采用黄铁矿-方铅矿矿物公式(1)对计算的温度高415℃,采用闪锌矿-方铅矿矿物对公式(2)计算温度为390℃-180℃,反映了成矿早期第二石英—黄铁矿成矿阶段温度较高,从矿液中首先沉淀毒砂和铁闪锌矿;随着热液成矿的进行,而到第三多金属硫化物阶段和第四石英—硫化物阶段,成矿温度从高温逐渐降低到中低温度,成矿晚期热液温度较低,从成矿热液中结晶出大颗粒自形-半自形方铅矿矿物和玉髓等矿物。

## 3、成矿深度

根据矿石矿相学资料可知,矿石金属矿物结晶程度较高,矿石具有固熔体熔离结构,黄铜矿在闪锌矿中呈乳滴状,结合与成矿有关的花岗岩具有隐伏发育的特征,从而认为成矿深度中等深度。

### 5.3.5 成矿时代

阿尔哈达矿床矿体主要赋存在上泥盆系地层中,并未切穿上覆侏罗系上统地层,加之控矿因素分析成矿和燕山期早中期花岗岩浆活动关系密切,从而认为成矿时代应为燕山早中期。

## 5.4 矿床成因类型

对阿尔哈达银-铅-锌矿床成因类型<sup>[34]</sup>的正确确定对建立成矿模式和指导找矿起到较好作用。通过前面介绍,阿尔哈达银铅锌矿床的区域地质背景和矿床地质特征,明

显不同于层控型、陆相火山、海相火山硫化物等类型铅锌矿床。阿尔哈达铅-锌-银矿床成矿作用具有多热液成矿阶段单成因、成矿物质和成矿介质具有混合来源的特点。成矿主要和印支至燕山期岩浆-构造活动有关。阿尔哈达铅锌矿与其它类似矿床相比,具有明显不同的成矿地质背景、成矿特征和矿床成因。

## 5.5 成矿机制

阿尔哈达铅、锌、银矿床的形成经历多次强烈构造-岩浆活动叠加改造<sup>[35]、[36]</sup>,形成过程大致为以下四个地质作用阶段:

### 1) 初始矿源层和层状矿化形成阶段

加里东运动时期,火山活动强烈,基性和细碧角斑岩成分火山岩浆从地壳深部携带了丰富的铅、锌、银等成矿元素,在地槽环境下形成成矿元素丰度较高的中基-中酸性火山岩和火山碎屑沉积岩沉积火山建造。也可能在原始岛弧构造环境中成矿热液直接喷流形成似层状铅锌银矿体。

### 2) 华力西期成矿物质活化阶段

华力西运动时期,西伯利亚板块、古蒙古洋壳、和华北陆台之间的长时期和多阶段俯冲-碰撞作用,地壳抬升、褶皱挤压和隆起拉伸同时发生,内蒙地槽褶皱回返,岩浆活动以大规模中酸性岩浆侵入活动为主,并伴随小规模多金属矿化。伴随着地层强烈的褶皱构造活动,古生代地层发生了广泛的区域浅变质作用,安格尔音乌拉组地层经区域变质作用,形成了厚度较大的浅变质板岩、片岩、变质砂岩岩性组合,根据岩矿鉴定结果,有部分岩石的变质程度达到千枚岩相。地层中的成矿物质受区域变质、构造应力、岩浆热力等动力驱使初步活化,使成矿物质及成矿介质从片岩变质相向构造薄弱地段或区域变质相对较低的地段或岩体周边地段运移,从而导致使铅、锌、银等成矿物质初步富集,形成矿源层或富集地段,属成矿阶段预富集阶段。同时,华力西运动也形成区域构造额仁高毕复式向斜和北东东向主要断裂构造  $F_1$  及其上盘的次级构造的雏形。

### 3) 华力西-印支之间矿化微弱阶段

中生代早期内蒙晚古生代华力西期褶皱带上升,进入大地构造活动微弱相对稳定地台时期,上升遭受侵蚀,构造岩浆活动及内生矿化作用微弱。

### 4) 印支至燕山壳幔源型成因复式岩体侵入、成矿热液成矿阶段

印支运动时期,区域岩浆构造活动,花岗岩大面积岩基上侵,挤压矿区地层,在  $F_1$  北西上盘形成三条北西西-北北西弧形断裂带,与主构造组成‘ $\lambda$ ’字型构造,构成矿区主要的控矿构造格局。印支期花岗岩成因为地壳围岩大面积重熔 S 型成因,岩浆热液不易集中,但作为热源驱动古生界地层中的多金属成矿物质在地层水等介质的

携带下再次迁移,可能形成局部成矿元素富集地段。

燕山期是构造岩浆活动强烈时期和重要成矿期。燕山早期的构造运动对本区的影响巨大,岩浆侵入及火山活动剧烈,构造复活、叠加改造,经历先压、后扭、再张扭,再而扭等构造活动过程。在同一个构造地段,多次发生强烈岩浆构造活动。在上地幔和下地壳深部,Ⅰ型成因花岗岩浆同熔上升侵位,分异出充沛的成矿热液,和地层水等成矿介质混合并循环运动,使矿源层含有的成矿物质不断被活化和萃取,逐渐聚集到含矿热液中,促使成矿物质在成矿热液中进一步富集。成矿热液沿断裂带多次运移上升。

在含矿热液流体演化的早期阶段,金属离子与各种不同的阴离子形成含水的稳定络合物,通过岩石粒间空隙微细裂隙运移,在构造有利地段充填方式成矿,此时成矿物质主要来自岩浆,介质主要为岩浆水,硫同位素组成接近陨石硫。随着成矿过程的进行,大气降水、围岩组分都可能参加到成矿过程中来,通过成矿热液对围岩淋滤交代作用,围岩释放出金属组分进入到成矿热液,同时围岩失去金属组分变为蚀变矿物。当含矿热液沿构造带上升到近地表地段时,随着高温矿物毒砂以交代围岩的方式析出,在成矿热液中成矿元素浓度不断增高,当成矿热液温度逐渐降低,氧逸度逐渐升高,且成矿热液酸碱度发生变化时,铅锌等元素矿物从热液中析出沉淀,在容矿构造空间中形成了一系列的工业矿体和矿脉带。随着成矿作用的进行,成矿热液的酸碱度发生变化,在成矿晚期,成矿热液酸碱度逐渐从微酸性转变为微碱性,形成碳酸盐等中低温蚀变矿物。成矿概念模式是成矿模式文字描述<sup>[22]</sup>类型,阿尔哈达铅-锌-银矿床成矿概念模式见图 5-5,用简单明了的方法说明成矿过程、机制等。

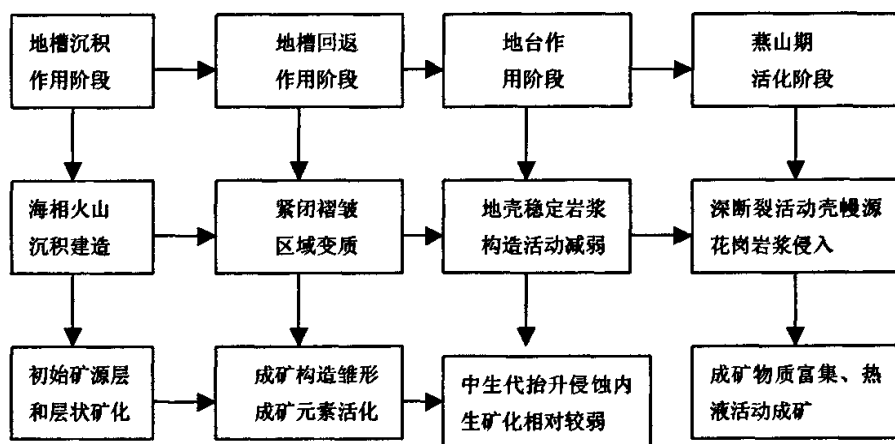


图 5-5 阿尔哈达铅-锌-银矿床成矿概念模式图

根据阿尔哈达铅-锌-银矿床地质特征、和成矿作用研究,认为阿尔哈达铅-锌-银矿床是在内蒙古晚华力西褶皱构造带或内蒙地洼系背景上,与燕山期构造-岩浆带活动有关的高中温热液脉状铅-锌-银矿床。

## 5.6 本章小结

本章主要研究成矿物质与成矿介质来源、成矿作用，确定矿床成因。

通过对比研究发现，阿尔哈达矿床硫同位素特征明显地不同于江西冷水坑、银山、内蒙甲生盘等与次火山岩有关的铅锌矿床的硫同位素特征，而与邻区河北蔡家营铅锌矿床硫同位素特征一致，其数值介于陨硫硫与区域地层硫之间。结合矿石铅同位素特征，认为物质来源为深部地壳和上地幔混合来源，成矿物质进入成矿热液主要是通过印支-燕山期壳幔源型成因复式岩体的侵位，分异出成矿热液和地层沉积建造水混合，淋滤矿源层，致使成矿物质在成矿热液中不断浓集，成矿热液沿导矿构造  $F_1$  上升，进入 NWW-NNW 向容矿断裂构造地段成矿。

阿尔哈达矿床热液成矿特征明显，成矿作用可分为 6 个阶段。根据 I-1 矿体和 I-4 矿体 Pb/Zn 比值等值线图，推断成矿热液沿控矿断裂带结构面从下部 NWW 向上部 SEE 方向流动。通过围岩蚀变组合、矿物标型特征和硫同位素矿物温度计计算确定成矿温度为高中温度。根据地层覆盖关系和成矿与燕山期壳幔源型成因花岗岩体的密切关系，认为成矿深度为中等深度。总结成矿机制和成矿概念模式。综上所述，认为矿床成因为在内蒙古晚华力西褶皱构造带或内蒙地洼系背景上，与燕山期构造-岩浆带活动有关的高中温热液脉状铅-锌-银矿床。

## 第六章 成矿预测和找矿方向

### 6.1 成矿预测理论和方法

前述矿床成因探讨和总结成矿模式,为进行成矿预测<sup>[37]、[38]</sup>进行了理论上的准备。本区成矿预测工作以相似类比理论、地质异常致矿理论等成矿预测理论为指导,以成矿条件、矿化标志、矿化富集规律、矿脉带地球物理地球化学特征、探矿工程见矿情况等为依据,采用地质综合信息法和地物化综合信息预测法进行预测,指出找矿方向。

地质综合信息法就是根据岩石、矿物、构造、矿床等学科提供的地质信息进行成矿预测。地物化综合信息预测法,就是总结矿床的地质、物探、化探综合找矿模型,着重于矿床成矿条件的分析、找矿标志和成矿规律的总结,不受矿床成因研究争论的影响,结合物化探等穿透性信息进行成矿预测,因而具有很大的客观性和实用性。

### 6.2 找矿标志

根据矿床地质特征、矿床成因等,确定找矿标志为:

1、古生界泥盆系地层是主要的赋矿地层,粗火山碎屑岩和凝灰质砂岩是找矿的岩性标志。

2、燕山期中小型中酸性侵入体是找矿的岩体标志。连续条带升高封闭型的航磁正值异常,指示了有隐伏侵入体的存在。

3、物探电法测量在构造蚀变带及矿体上形成低阻高充电率高极化率异常。

4、地表褐铁矿化、锰矿化、硅化破碎带(石英脉)是多金属矿化存在的直接标志,铁锰矿化发育在铅锌矿化较强部位。

5、区域化探铜、铅、锌多金属元素异常叠加区,为成矿元素的浓集区域,为寻找银铅锌多金属矿的有利地段。在矿脉带上土壤地球化学测量可形成银、铅、锌、砷、锑等多元素组合异常。

### 6.3 找矿概念模型

阿尔哈达铅-锌-银矿床找矿概念模型包括地质模型、化探模型、物探模型。

地质模型:阿尔哈达铅-锌-银矿床为与构造-岩浆带活动有关的高中温热液脉状铅-锌-银矿床。受北东东向挤压逆冲-平移复杂性质断裂构造及其北西上盘北西西-北西向次级断裂构造组成的‘λ’字型构造、印支-燕山期壳幔源型成因复式岩体等控制,矿脉严格受断裂的空间展布、产状、规模等控制。矿化以铅锌银矿化为主,伴有金、

铜、铟、镓、锗、硫、铋、锡等矿化，围岩蚀变种类多，蚀变范围较广。蚀变种类主要为：褐铁矿化、铁锰矿化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、硅化（玉髓）化、黄铁矿化、硅化（石英矿化）、碳酸盐化（方解石化）、毒砂矿化、萤石化等。

化探模型<sup>[39]</sup>：矿区展布于 Cu、Pb、Zn 金属量组合异常区的南部，异常面积约 20km<sup>2</sup>，Cu 的浓度显示为 I 级异常，Pb、Zn 元素为 II 级异常，各元素的异常区相互重叠。异常分布范围正好是区域控矿断裂阿尔哈达断裂和印支-燕山期宾巴查勒干壳幔源型成因复式岩体西南倾伏端交叉斜接部位，反映了成矿热液较大的活动范围。土壤地球化学异常矿脉带为 Ag、Pb、Zn、As、Sb 组合异常。

物探模型：大多数矿脉带呈低阻高充电率高极化率异常特征，视充电率异常均展布于低值视电阻率异常区边缘；个别视充电率异常与高阻异常对应，反映该异常处于岩石硅化程度较高地段。平面展布反映了矿脉带和含矿断裂构造分布特征。测深视充电率异常呈形态、规模不一的透镜状、椭球状，一般分布在地表以下几十米至 300 米之间，个别可延深至 600 米左右。视充电率异常特征，反映了金属硫化物相对富集区的空间分布、产状等特征。

## 6.4 找矿方向

### 6.4.1 矿区预测区

矿区主要采用地物化综合信息预测法也就是地物化找矿模型法进行成矿预测。

#### 1、I 号矿脉带的深部预测区

特别是在 27-39 线地段，从矿体矿化分带和成矿热液运移方向上看，矿区深部是成矿热液必经之路。地表地球物理 Ac 号异常明显（图 2-2），容矿构造属于缓倾斜地段，根据矿化规律可能有富矿存在，加之 27 线（图 4-1）深部见矿钻孔见矿仍没有控制封闭，应加大矿区探矿深度。根据本区燕山期花岗岩壳幔源型成因特点和矿床学成矿系列观点，深部矿化可能为含黄铁矿较多的铜锌多金属矿化或以第三成矿阶段为主的铅银矿化，而向旁侧地段，随成矿温度下降，可能过渡到金银矿化。根据构造地球化学构造叠加晕剖面的研究，矿区深部可能发育多个矿化空间。

#### 2、I 号矿脉带 27-39 线东西两侧预测区，

预测区 I 号矿脉带东西两侧是本区主要的矿脉带分布区，地表蚀变明显，大功率充电率异常明显，为 Ac 号异常的两侧和 Dc 号异常地段（图 2-2），个别普查验证孔见矿。北西向容矿断裂构造带发育，具有很大的成矿构造空间。

#### 3、矿区南侧预测区

II 号矿脉带：是矿区主要的矿脉带之一，地表蚀变强烈，糜棱岩化、片理化发育，地表分布北西走向倾向相反的铅锌矿脉，个别地表工程见到高品位矿体，并处于地球

物理电法 Cc 号异常区。

I 矿脉带东段和 III 矿脉带：主要的矿脉带分布区，地表蚀变强烈，可见硅化带分布，处于地球物理电法大功率充电率 Bc 号异常区，异常验证钻探工程见到高品位矿体。再从成矿构造条件看，III 矿脉带和  $F_1$  在平面上呈小角度交叉，在剖面上呈 Y 字形展布，并且可能是深部热液沿  $F_1$  上升距离最近的容矿充填构造地段。

矿区主要构造  $F_1$  地段：地表蚀变明显，片理化等发育并穿插石英脉，且处于地球物理电法大功率充电率 Bc 和 Ec 号异常区，物探异常呈串珠状沿断裂带分布。地表分布铅锌矿脉。从控矿构造条件上看， $F_1$  是区域构造阿尔哈达断裂带的一部分，是矿区主干控矿构造，连同深部和岩浆岩侵入构造，为导运矿构造；容矿构造包括  $F_1$ 、浅部地段、相同产状据  $F_1$  200 米范围内的次级构造、和次级 NWW-NNW 构造带交叉部位等（图 2-2）。

#### 6.4.2 矿区外围预测区

区域上成矿预测主要采用综合地质信息类比法进行区域成矿预测。

##### 1、矿区北西向阿尔哈达北断裂预测区

北西走向阿尔哈达北断裂发育区位于阿尔哈达矿区北约 10 公里处，断裂带走向  $330^\circ$ ，延伸长度大于 5 千米。地质特征为破碎蚀变带，局部糜棱岩化，硅化和铁锰矿化较普遍。从遥感图像上看，西部穿过巴润罕乌拉燕山早期花岗岩株。区域地球化学金属量测量多金属异常明显，说明预测区具有较高的区域地球化学背景和成矿热液活动迹象。再从成矿条件组合上看，该区和阿尔哈达铅-锌-银矿床成矿地质条件相似，巴润罕乌拉燕山早期花岗岩株可能为壳幔源型成因类型，有关的矿化为应铜铅锌矿化。

##### 2 东乌旗成矿带预测区

预测区处在东乌旗钨、铜、铅、锌、金、银多金属成矿带上，已发现包括阿尔哈达铅-锌-银矿床在内的数个大中型矿床，出露地层为奥陶系-二叠系火山沉积建造，构造为北东东-北东向褶皱断裂构造带，沿该构造带华力西至燕山期多期次岩浆岩侵入，组成构造-岩浆活动带。已发现的矿产主要为和印支至燕山期构造-岩浆活动有关的内生金属矿床类型。区域内还分布几个地球化学金属量测量异常区，且北东向展布的航磁异常十多个，显示较为丰富的矿化信息。据构造、岩浆岩成矿条件分析应寻找斑岩型、接触交代、火山岩热液型等矿床成因类型<sup>[23]</sup>，和壳源成因中酸性岩体有关矿种为钨、铜多金属矿，和壳幔源型的花岗岩体有关的矿种为铜铅锌矿化，和侏罗系火山活动有关的矿化为铜金矿化。根据地层条件，本区分布大面积泥盆系-二叠系地层，可找到和火山岛弧海底火山-沉积建造有关的似层状碎屑岩型、SEDEX 等硫化物矿床类

型，在矿区外围东乌旗成矿带上继续找矿具有美好的前景。

## 6.5 本章小结

概括矿床地质特征和探讨矿床成因为进行成矿预测工作提供理论基础。成矿预测工作以相似类比、地质异常致矿等理论为指导，采用地质综合信息法、地物化综合信息法，以找矿标志、矿化富集规律、矿脉带地球物理地球化学特征、工程见矿情况等为依据，进行成矿预测，指出找矿方向。

在矿区内，指出详查区深部及东西两侧地段、II 矿脉带、主干断裂  $F_1$  和其北西盘次级断裂构造斜接部位为重点找矿地段。

在矿区外围，指出在矿区北约 10km 北西向断裂构造发育地段具有寻找铅-锌-银矿床的地质条件；根据成矿岩浆岩、构造条件，指出东乌旗岩浆岩发育地段应寻找斑岩型、接触交代型、火山岩热液型成因类型矿床；根据成矿地层条件，指出在古生代地层分布地区应寻找层状碎屑岩型、SEDEX 等硫化物矿床类型矿床。

## 第七章 结束语

内蒙二连浩特-东乌旗成矿带是我国近几年多金属矿产勘查的热点地区,在二连浩特中蒙边境线北侧蒙古国内约 80 公里,Ivanhoe Mines 公司发现了世界级的 Oyu Tolgoi 斑岩型铜金矿床,在中蒙边界东乌旗境内东北部冶金地质勘查总局第一地质勘查院发现了大型阿尔哈达铅-锌-银矿床。开展阿尔哈达铅锌矿床的研究工作,可以提高阿尔哈达铅-锌-银矿床地质研究程度,为该区铅锌银及多金属矿勘查提供新的思路。相对于阿尔哈达 2005 年 7-39 线详查报告,本文主要取得下述几点成果:

1、提出阿尔哈达铅-锌-银矿床的区域地质背景为华力西晚期褶皱带或内蒙地洼系;提出矿区控矿构造为‘λ’字型构造;提出矿区宾巴查勒干花岗岩体与安尔基乌拉花岗岩体岩体组成壳幔源型成因复式花岗岩体。印支期花岗岩体成因为 S 型,和成矿有关的燕山期花岗岩体为 I+S 型同熔成因。燕山期花岗岩分异演化彻底,具备多金属成矿能力。根据成矿系列的观点,认为阿尔哈达铅锌矿深部矿化可能过渡为铜铅锌矿化。

2、总结了矿脉带的地质、地球物理、地球化学特征。对矿体的矿化分带提出了新的见解,根据矿石品位 Pb/Zn 比值推断成矿热液运移方向,判断热液可能来自深部,从而判断深部仍可能有矿化。

3、通过研究矿石硫铅同位素特征、微量元素特征等,认为成矿物质来源为壳幔源混合来源,成矿于燕山早中期,热液成矿特征明显,构造-岩浆活动是重要的控矿地质因素,成矿具有多来源单成因的特点,提出新的阿尔哈达铅-锌-银矿床成因为到晚华力西褶皱带上或内蒙地洼系构造背景上,与燕山期构造-岩浆活动有关的高温热液脉状矿床。

4、总结找矿标志和地物化找矿模型,进行成矿预测,指出重点找矿部位为矿区深部及其东西两侧、矿区南部 I、II 矿脉带、主干断裂  $F_1$  和其北西盘次级断裂构造斜接部位等地段,还指出在区域上可能找到斑岩型、矽卡岩型、碎屑岩型、SEDEX 等新成因类型矿床。

由于时间有限,研究工作存在许多不足,如花岗岩岩石地球化学资料没有收集到,缺乏成矿热液包裹体成分测试资料,对区域成矿作用研究不足等。

## 参考文献

- [1] 涂光炽. 中国矿床(上册)[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 119~120
- [2] 文贻炜, 侯德强, 邓吉牛: “点石成金”[R]. 经济参考报, 2005-5-20(2)
- [3] 涂义宏. 托起银色的梦[N]. 江西地质矿产报, 2006-8-1(4)
- [4] 内蒙地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[R]. 北京: 地质出版社, 1991. 10-15
- [5] 内蒙区域地质测量队. L-50-X V III、X I 幅地质调查报告[R]. 北京: 地质出版社, 1978. 34-41
- [6] 陈国达. 成矿构造研究法[M]. 北京: 地质出版社, 1985. 292~293
- [7] 王东方, 陈从云. 古中朝古陆北缘边缘地质的演化[J]. 中国地质科学院院报, 1990, (20): 124-123
- [8] 杨仕道, 胡祥昭. 冀北银多金属矿成矿规律研究[J]. 矿产与地质, 1999, 13 (72): 217
- [9] 王守光. 一条值得注意的成矿带[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 249-251
- [10] 徐智. 内蒙古自治区东乌珠穆沁旗阿尔哈达矿区 I 号带 7—39 线铅锌矿详查报告[R]. 2005. 5~8
- [11] 向伟东, 阎鸿铨. 大兴安岭西坡及邻区银铅锌矿床成矿作用若干问题的讨论[J]. 铀矿地质, 1998, 14(6): 344-350
- [12] Stanton R L. Ore Petrology [M]. New York: Craw hill, 1972. 713-716
- [13] 张庆华. 湖南水口山铅锌银矿田地质特征和找矿思路[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(3): 141-144
- [14] 黄典豪. 蔡家营铅-锌-银矿床专辑[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 100~102
- [15] Kirby S H. Chemical effects of the water on rock deformation [J]. Journal Geophysical Research, 1984, 89: 3991-3996
- [16] 洪金益, 彭省临. 张宣地区的燕山运动与金矿床成因[J]. 矿床地质, 1994, 13(增): 88-89
- [17] 金岩, 刘玉堂. 内蒙东乌旗地区岩浆活动与多金属成矿的关系[J]. 华南矿产与地质, 2005, (1): 8-9
- [18] 肖成东, 张忠良. 东蒙地区燕山期花岗岩 Nd、Sr、Pb 同位素及其岩石成因[J]. 中国地质, 2004, 31 (1): 57-61
- [19] Hedengui J W, Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposit [J]. Economic Geology, 1994, (370): 519-529
- [20] 满守坡. 邓家山铅锌矿床褶皱构造控矿特征及找矿前景分析[J]. 甘肃冶金, 2003, 25 (3): 46-49
- [21] 朱笑青. 内蒙古孟恩陶勒盖铅锌矿床成因研究[J]. 矿床地质, 2004, 23(1): 50-52

- [22] 黄典豪. 古隆起带上与陆相火山活动有关的(蔡家营式)脉状铅-锌-银矿床模式[C]. 见: 裴荣富, 编. 成矿模式. 北京: 地质出版社, 1995. 283-285
- [23] 张亚雄, 朱慧超, 陈松岭, 胡祥昭. 石湖金矿成矿规律与找矿预测[J]. 中南工业大学学报, 1995, 26 (5): 570-572
- [24] Doc B, Zarman R E. The Application of the lead to the problems of ore genesis and ore prospect valuation [J]. *Econ. geol.* 1974, 69:757-776
- [25] Sangster D F. Surfer and lead isotopes in strata-bound deposits of calc-alkaline affiliation [J]. *Geol. Assoc. Canada*, 1976, 9:14-15
- [26] Disnar J R, Sureau J F. Organic matter in ore genesis: progress and perspectives [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(1-3): 580-599.
- [27] Beeson R. Broken Hill-type lead-Zinc deposits - An Overview of their occurrences and geological setting [J]. *The Institution of Mining and Metallurgy Transactions*, 1990, 99(B): 163-175.
- [28] Sangster D F. Mississippi valley-type lead-zinc deposit [J]. *Geol. Surv. Canada*, 1996, (8): 253-261
- [29] Morris H T. Descriptive model of polymetallic replacement deposits [J]. *U. S. Geological Survey*, 1986, 1693: 90-91.
- [30] Ennui M T, Burt. D M. Classification and composition of skarn deposits [J]. *Economic Geology*, 1982, 77: 745-754.
- [31] 范永香. 成矿规律和成矿预测学[M]. 北京: 地质出版社, 1981. 50-52
- [32] 刘家远. 隐伏矿床预测的理论和方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006. 38-40
- [33] 戴塔根. 应用地球化学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005. 100-102
- [34] Sun Haitian. A general review of volcanogenic massive sulphide deposit on China [J]. *Ore Geology Review*, 1992, 7:44-75
- [35] Bethke C M. Brine migrations across North America- the plate tectonics of grand water [J]. *Annul. Rev. Earth Planet Sci.*, 1990, 18: 287~315
- [36] Qin K. Z., Wang Z. T. Magmatism and metallogenic systematics of the Southern Ergun Mo-Cu- Pb-Zn- Ag belt, Inner Mongolia [J]. *Resource Geology*, 1995, (18): 159-170
- [37] 曾钦旺. 综合方法在柳塘隐伏铅锌矿床的应用效果[J]. 物探与化探, 2002, 26 (3): 181-184
- [38] Beaus A, Gregorian S V. Geochemical exploration methods for mineral deposits [M]. Wilmette, Illinois, USA: Applied publishing Ltd, 1975. 122-128
- [39] 吕国安. 成矿区带地球化学异常评价方法[M]. 北京: 冶金出版社, 2002. 23-45

## 致 谢

经过近二年多研究生学习，在毕业来临之际，首先，我向导师洪金益教授表达最诚挚的感谢！在工程硕士研究生的学习生涯中，洪金益教授始终对我给予学习上的指导，在长沙期间给与生活上的关怀，亦师亦兄。洪老师知识渊博、视野开阔、思维敏捷、治学严谨，使我受益非浅。

再而感谢地学院领导和全体教职员工，为工程硕士们提供良好的学习环境，为工程硕士进行精彩的授课。许多教授主讲的课程使我们开阔了眼界，拓展了找矿思路，也从教授们各自精彩的找矿经历中领会到成功的快乐和地质人生的自豪，为我们面对矿产勘查深度增加和难识别矿增多新的找矿形势，打下了较坚实的地质矿产勘查理论基础。

还要感谢母校中南大学，国内最早提出并实施创新的大学，拥有许许多多项引以为豪的创新成果，在思想上深刻影响着从生产单位进校深造的包括我在内的许多工程硕士生们，就是在今后的工作中积极创新锐意进取，工程注重实效，理论联系实际。

再而，非常感谢我的工作单位中国冶金勘查总局第一地质勘查院，为我提供宝贵的学习机会。在学习和论文写作过程中，得到了马文嵘院长、陈军峰总工、高云桥主任、梁田教授级高工、刘本浩教授级高工、李博林分院长等专家的指导以及徐智、张奇、李继红、夏广清等同志的热情帮助。

最后再次向我的导师洪金益教授、各位领导、各位老师及前辈们表示感谢！

## 攻读硕士学位期间主要研究成果

### 发表论文

[1] 冀天方, 洪金益. 河北青龙望头山金矿床地质特征及找矿方向[J]. 2006 年湖南矿物岩石地球化学论丛, 2006 :42-49

### 参加勘查项目

1. 内蒙古扎鲁特旗色布尔铜多金属矿普查
2. 河北省青龙县二道沟-苇子沟金矿普查



矿区工作现场

矿区老炸药库采石揭露局部褶皱构造

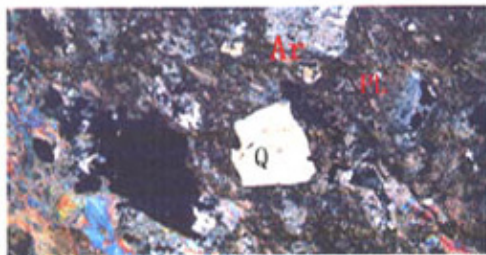




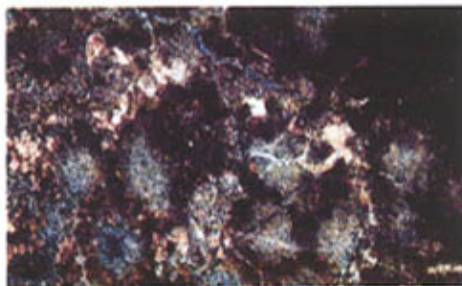
ZK1902—b4 安山质晶屑凝灰岩 晶屑凝灰结构, 斜长石晶屑 (PL)。偏光镜 2.5×6.3(+)



ZK1108—bS 强烈蚀变凝灰岩(硅质交代) 残留凝灰结构, 蚀变长石晶屑和已脱玻化的玻屑。4×6.3(+)



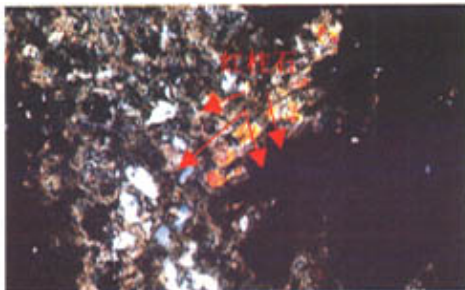
SJ1—b4 矿化流纹质凝灰岩: 残留凝灰结构, 石英晶屑 (Q), 蚀变钾长石晶屑 (Ar) 和蚀变斜长石晶屑 (PL), 以及矿化现象。2.5×6.3(+)



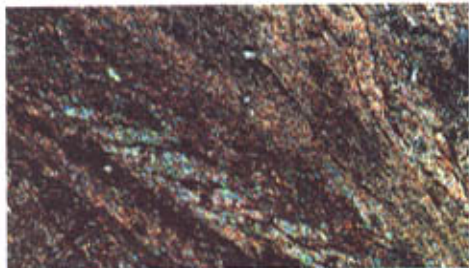
ZK2309—bor 白云石化矿化红柱石斑点板岩: 斑点状构造 2.5×6.3(+)



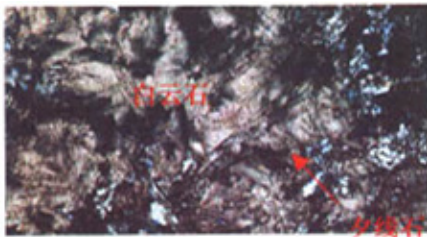
ZK2308—b1 蚀变安山(玢)岩 半自形板柱状结构。6.3×6.3(+)



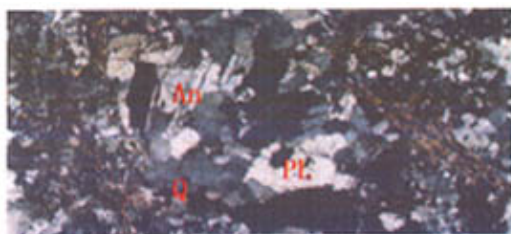
ZK2308—b3 强烈硅化夕线石红柱石角岩: 绢云母-粘土矿物和碳酸盐矿物交代的红柱石残晶。6.3×6.3(+)



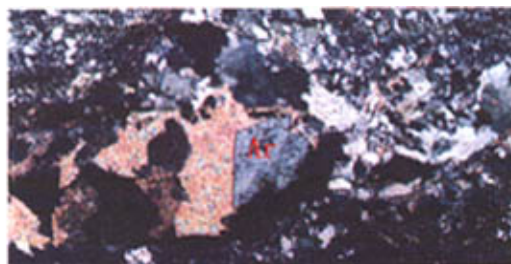
ZK003—b8 千枚岩, 千枚状构造。6.3×6.3(+)



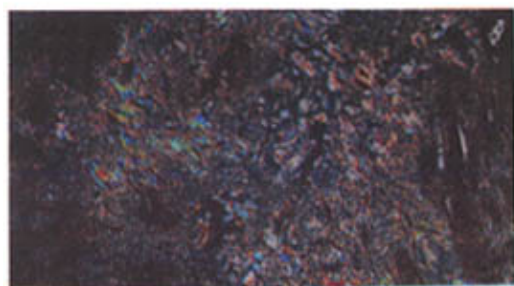
ZK3108—b1 硅化白云石化夕线石红柱石角岩: 已被白云石交代, 残留纤柱状夕线石晶体的轮部。6.3×6.3(+)



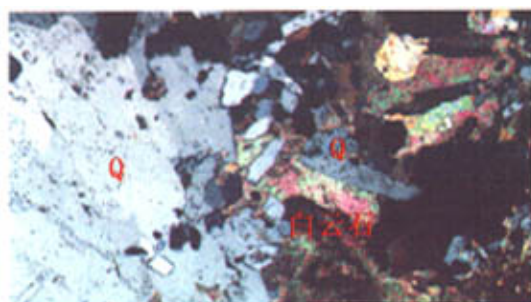
ZK1508—b<sub>03</sub> 钠长石化硅化岩：钠化或钠硅化作用形成的钠长石。石英(Q)、斜长石(Pl)钠长石(An)。4×6.3(+)



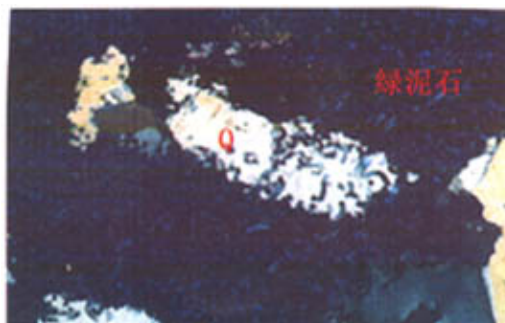
ZK005—b<sub>2</sub> 矿化蚀变千枚岩：钾硅化脉中的钾长石(Ar)晶体。6.3×6.3(+)



ZK2309—b<sub>3</sub> 蚀变红柱石角岩：白云母-绢云母化现象。6.3×6.3(+)



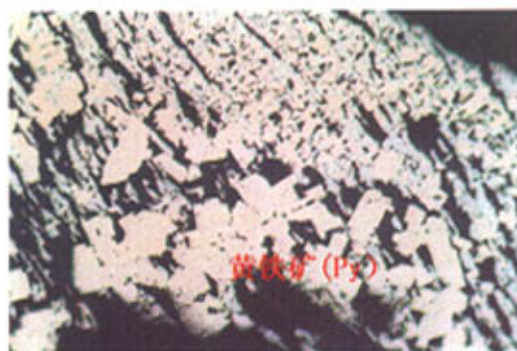
ZK1508—b<sub>01</sub> 矿化凝灰岩：两期硅化石英特征：早期硅化石英呈粗晶状，晚期硅化石英呈长柱状小晶体与矿化关系密切。石英(Q) 6.3×6.3(+)



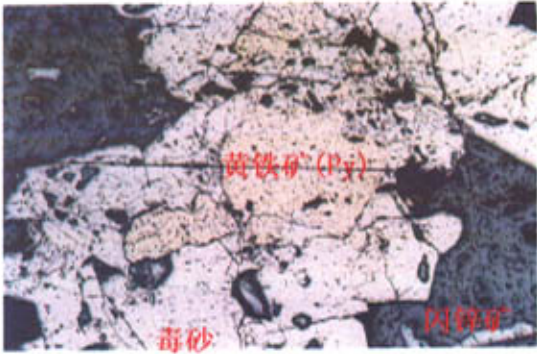
ZK2308—b<sub>1</sub> 蚀变安山(玢)岩，硅化石英晶体中分布着蠕虫状绿泥石。石英(Q) 6.3×6.3(+)



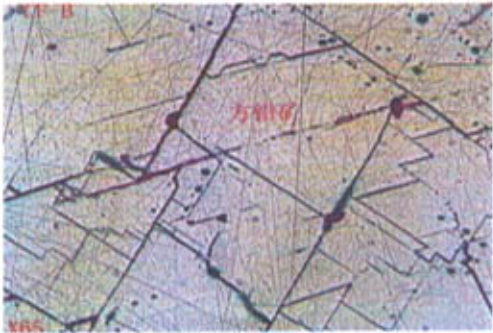
SJ<sub>1</sub>-b<sub>3</sub> 黄铜矿-毒砂-闪锌矿矿石，两期毒砂：早期毒砂呈微粒状集合体，晚期毒砂呈自形粗晶。10×6.3(反光)



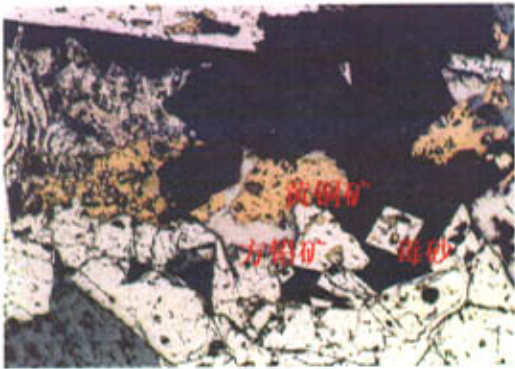
ZK2309—g<sub>2</sub> 闪锌矿矿石，自形粒状黄铁矿交代毒砂微晶现象。32×6.3(反光)



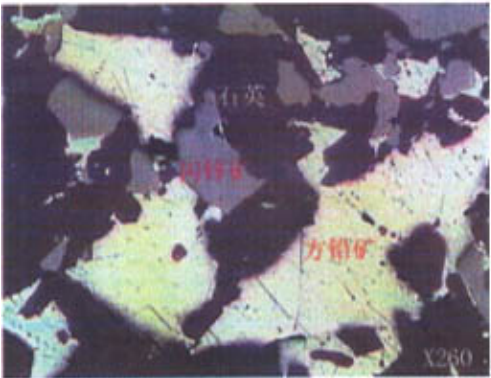
SJ<sub>1</sub>-b<sub>3</sub> 黄铜矿—毒砂—闪锌矿矿石，自形粒状毒砂晶体色裹交代黄铁矿现象。5×6.3(反光)



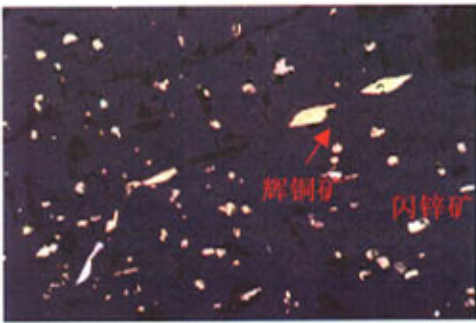
矿石中常见的呈粗粒嵌布的方铅矿，显示有发育完整的立方体解理。×65 (反光)



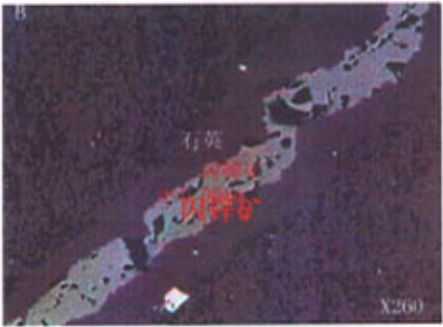
SJ<sub>1</sub>-b<sub>3</sub> 黄铜矿—毒砂—闪锌矿矿石，黄铜矿和方铅矿交代晚期毒砂晶体的现象。10×6.3(反光)



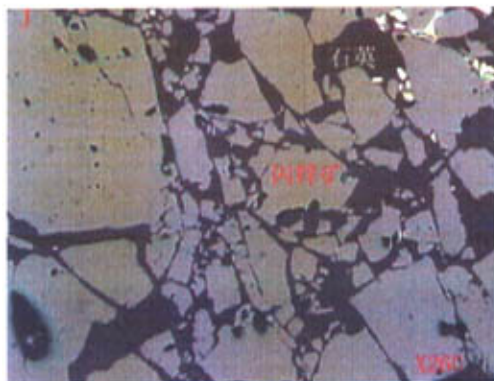
方铅矿—闪锌矿在脉石（石英）中呈不等粒嵌布。×260(反光)



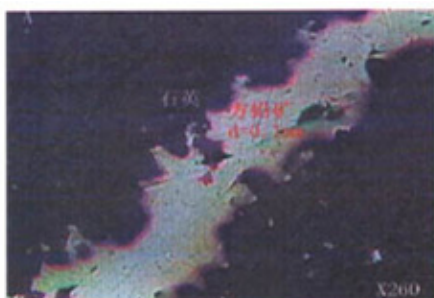
ZK1506-b<sub>03</sub> 黄铜矿—毒砂矿石，闪锌矿中的辉铜矿小晶体。32×6.3(反光)



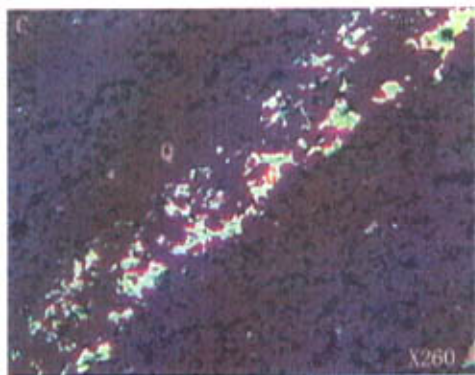
在脉石裂隙中呈细脉状嵌布的闪锌矿。×260(反光)



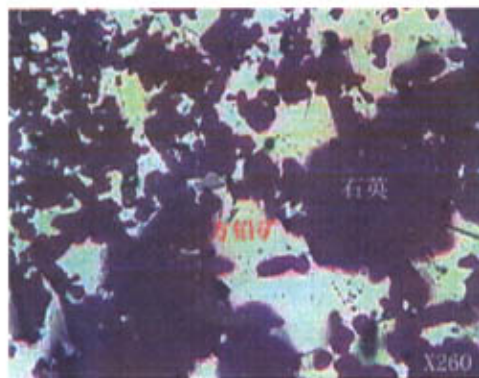
粗粒状嵌布的铁闪锌矿经压碎后粒间为石英充填，部分颗粒的粒度仅几微米。×260(反光)



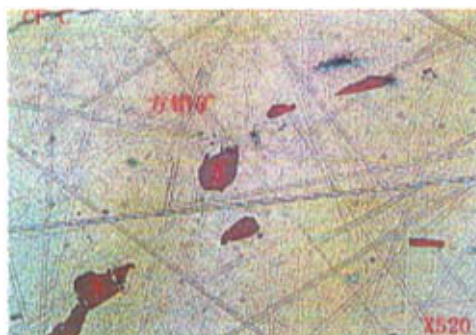
方铅矿在以石英及绢云母为主要组成的脉石裂隙中呈细脉状充填。×260(反光)



它形细粒状方铅矿和硅质(Q)一起充填在脉石裂隙中。×260(反光)



在石英中呈它形细粒状嵌布的方铅矿。×260(反光)



在方铅矿中常见有粉红色~黄褐色的细小包体A，经测试证明它是黝锡矿；实际上它周围常有更细的共生包体。×520(反光)



在脉石中呈它形细粒状嵌布的闪锌矿-方铅矿(亮白色)集合体。×260(反光)



含萤石脉铅锌矿矿石



角砾状铅锌矿 ZK3103, 161 米



角砾状方铅矿 ZK3101



矿化角砾岩。ZK5501, 55.05 米



条带状铅锌矿。ZK2309, 222 米



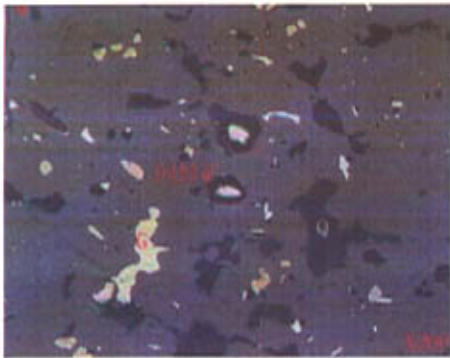
稀疏浸染状铅锌矿矿石。



细脉浸染状铅锌矿矿石。Zk3108



角砾状铅锌矿。ZK2309, 180 米



部分铁闪锌矿内存在大量脉石及硫化物细小包体如石英 (Q)、方铅矿 (G)、黄铁矿和黝锡矿、磁黄铁矿等，粒度一般在 20 微米以下。×260(反光)



块状铅锌矿石



稠密浸染状方铅矿、闪锌矿矿石



含黄铜矿的铅锌矿矿石



块状铅锌矿石



含毒砂浸染状铅锌矿矿石