

# 新疆彩霞山铅锌矿床地质及同位素地球化学特征

高景刚<sup>1</sup>, 彭明兴<sup>2</sup>, 梁婷<sup>1</sup>, 王磊<sup>2</sup>, 王登红<sup>3</sup>, 李玉林<sup>2</sup>

(1. 长安大学 地球科学与资源学院 陕西 西安 710054; 2. 新疆地质矿产勘查开发局 第一地质大队, 新疆 昌吉 831100; 3. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 对彩霞山铅锌矿床矿石矿物和围岩的硫、铅同位素及脉石矿物的氢、氧同位素地球化学特征进行了研究。分析结果显示, 成矿物质来源于地壳和地幔的混合; 硫来源主要为同化了海水硫酸盐的岩浆硫, 并有少量生物还原硫参与。氢、氧同位素指示成矿流体早期可能有岩浆热液, 主成矿期主要是地层中的建造水参与成矿。

**关键词:** 彩霞山; 矿床地质; 同位素; 地球化学; 铅锌矿床; 新疆

**中图分类号:** P618.41; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)02-0137-04

## Research on Geology and Isotopic Geochemistry of Caixiashan Pb-Zn Deposit in Xinjiang

GAO Jing-gang<sup>1</sup>, PENG Ming-xing<sup>2</sup>, LIANG Ting<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>2</sup>, WANG Deng-hong<sup>3</sup>, LI Yu-lin<sup>2</sup>

1. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. No. 1 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration, Changji 831100, Xinjiang,

China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract** The geochemical characteristic of S and Pb isotope compositions of the ore minerals and wall rocks, and H and O isotope compositions of gangue rocks from the Caixiashan Pb-Zn deposit in Xinjiang are studied. The results show that the metal is mainly derived from the mixture of mantle and crust, the magmatic sulfur, which assimilate silicon in the sea with a small amount of the sulfur made by biology in reductive condition. H and O isotopes reveal that the metallogenic fluid may has magmatic hydrothermal in early times and the formational water in the stratum participated the maineralization during the main metallizing phase.

**Key words:** Caixiashan; mineral deposits; isotope; geochemistry; Pb-Zn deposit; Xinjiang

## 0 引言

彩霞山铅锌矿床位于新疆鄯善县东南 160 km 处。近年来的勘查评价表明, 该矿床具大型规模, 其成矿地质背景、矿床地质特征较为独特, 但目前该矿床的研究资料较少。笔者拟从彩霞山铅锌矿床的地质及同位素地球化学特征入手, 探讨矿床成矿流体来源, 分析该矿床的成矿机理。这对认识该矿床的

成因类型和成矿作用具有重要意义, 也为进一步探讨东天山地区铅锌矿成矿作用及找矿提供依据。

## 1 矿区地质背景

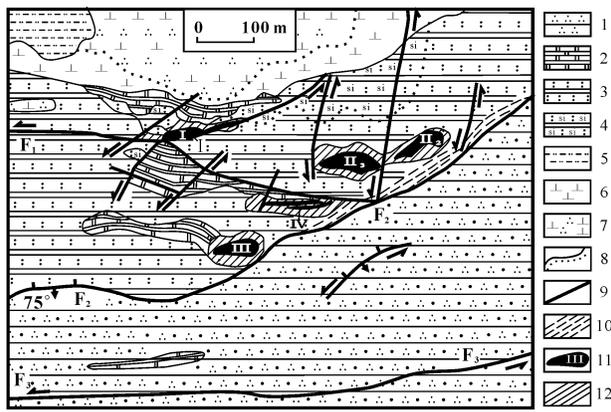
彩霞山铅锌矿床大地构造位于阿其克库都克区域性大型推覆断裂与卡瓦布拉克断裂之间夹持的中间地块, 即巴仑台—星星峡离散地体中。矿区内出露地层为元古界青白口系卡瓦布拉克群<sup>[1]</sup>(原

收稿日期: 2006-06-06

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(200420190004); 新疆地质矿产勘查开发局项目(XGMB2004001)

作者简介: 高景刚(1974-), 男, 内蒙古通辽人, 讲师, 博士研究生, 从事矿产资源评价及预测研究。E-mail: jggao@chd.edu.cn

1 : 20 万区域地质图中为大城系星星峡群)。该群在区域上分为两个岩性段, 第一岩性段为矿区主要出露地层, 分为二层, 分布在  $F_2$  断裂两侧: 以北为卡瓦布拉克群第一岩性段第一层, 主要由含碳变质粉砂岩、黝帘绢云板岩、粉砂质板岩及硅质岩夹含石墨多期活化、透闪石化矿化白云石大理岩透镜体等组成, 含铅锌矿化体就赋存在该层多期活化含微晶石墨白云石大理岩岩层之中; 断裂南部为卡瓦布拉克群第一岩性段第二层, 岩性以普遍遭受糜棱岩化的变质石英砂岩、变质粉砂岩为主, 局部亦见微晶白云石大理岩透镜体(图 1)。



1—糜棱岩化石英砂岩夹透镜状大理岩; 2—白云石大理岩; 3—粉砂岩、泥岩、硅质岩互层; 4—硅化粉砂岩、硅质岩、泥岩互层; 5—长城系星星峡群二辉麻粒岩; 6—石炭纪闪长岩; 7—石炭纪石英闪长岩; 8—地质界限及相变界限; 9—断层; 10—糜棱岩化带; 11—铅锌矿脉及编号; 12—矿化蚀变带

图 1 彩霞山铅锌矿矿区地质简图<sup>[2]</sup>

Fig. 1 Sketch of Caixiashan Pb Zn Deposit in Xinjiang

矿区内岩浆活动较强烈, 侵入岩主要分布在矿区北部, 为华力西中期石英闪长岩、闪长岩、闪长玢岩、石英二长岩、辉长岩等组成的复式岩体。岩体与矿体在地表没有显示直接的接触关系, 矿化带主要沿岩体南缘展布, 带内中、基性岩脉较为发育。

区内断裂构造发育, 北部为阿其克库都克区域性大断裂, 伴随次级断裂或派生断裂。按断裂分布方向可归为: 北东东向、北北东—北东向、北西向, 其中, 北东东向断裂  $F_1$ — $F_3$  与地层走向大致一致, 为顺层断裂, 两侧糜棱面理发育, 糜棱面理走向与断裂走向一致。

由于挤压应力的减弱, 断裂后期继续活动, 表现为左行走滑和脆性特征, 断裂带内较为刚性(白云石大理岩)的岩石呈碎裂角砾状, 形成了导矿和容矿空间。

## 2 矿床地质特征

彩霞山铅锌矿床目前共圈出 4 个矿脉(图 1)、11 个矿体和 13 个矿化体。矿体主要赋存于青白口系卡瓦布拉克组第一岩性段碎屑岩+碳酸盐岩组合之中, 受碳酸盐岩和构造破碎带控制。矿体形态主要为脉状、透镜状, 其中  $II_3$  矿体规模最大, 由 25 个子矿体组成, 矿体长度 200 m, 真厚度 5.67 m。

矿石矿物组成主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等, 以闪锌矿为主, 其质量分数为 10%~30%, 其次为方铅矿微量至 20%左右。地表氧化矿物为铅矾、褐铁矿、黄钾铁矾、白铁矿、菱锌矿等, 原生矿石矿物以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和磁黄铁矿为主, 脉石矿物主要由白云石、透闪石、滑石、石英、方解石等组成。矿石结构以细粒结构、微细粒结构和它形结构为主, 毒砂及少量黄铁矿呈自形晶粒结构。矿石构造为脉状、网脉状、角砾状、块状和交代残留。

围岩蚀变较发育, 岩石呈碎裂状, 发育碳酸盐化、黝帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、磁黄铁矿化、透闪石化及绢云母化等。由细脉、网脉状碳酸盐脉、石英脉充填于构造裂隙中。各种矿化蚀变与矿体混合赋存, 不存在分带性。

根据矿体的产出状态、矿物组合及共生关系, 将该矿床分为 3 个成矿期次和 5 个成矿阶段。

### 2.1 热液成矿期

该成矿期与侵入岩浆活动相伴的热液活动、断裂活动相匹配, 形成多阶段热液成矿作用, 成矿阶段分为:

(1)透闪石-石墨阶段: 与华力西期构造热事件有关, 形成矿化前有关的蚀变矿物, 如透闪石、活化白云石、活化石英、重结晶石墨等。

(2)黄铁矿阶段: 主要指与黄铁矿相关的块状黄铁矿矿石, 它们很可能是沉积成岩黄铁矿或经历热液改造后的产物。

(3)毒砂-磁黄铁矿阶段: 脉状磁黄铁矿穿切交代早期黄铁矿。

(4)黄铁矿-闪锌矿阶段: 可含少量黄铜矿、方铅矿等。

(5)硫酸盐-方铅矿阶段: 可生成少量黄铜矿、黄铁矿。

### 2.2 动力变质变形期

该期成矿后, 固态矿石又遭受剪切变形, 形成一系列与剪切变形有关的矿石矿物组合与组构。

### 2.3 表生成矿期

该期成矿后经历了抬升剥蚀暴露地表, 遭受氧化形成氧化矿。

## 3 同位素地球化学

### 3.1 铅同位素组成

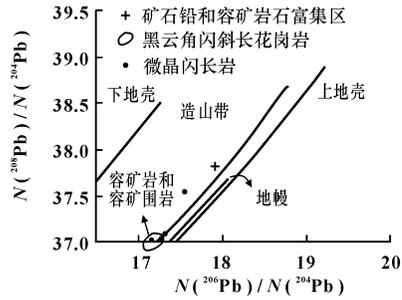
铅同位素是示踪成矿物质来源的重要手段之一。据文献[3], 彩霞山铅锌矿矿石铅  $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 、 $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 、 $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$  分别为 17.709 0~17.202 5、15.521 4~15.527 7、36.992 1~7.018 7, 地层围岩中分别为 17.183 9~17.225 5、15.527 2~15.531 4、37.013 2~37.082 9; 脉岩体中分别为 17.284 7~17.961 3、15.526 7~15.567 6、37.079 0~37.159 2。通过计算得出特征参数  $\mu$ 、 $w$ 、 $w(\text{Th})/w(\text{U})$  的值, 矿石矿物中分别为 9.49~9.50、36.61~36.85、3.73~3.75; 围岩中分别为 9.50、36.69~36.80、3.74~3.75; 脉岩体中分别为 9.45~9.50、36.14~37.32、3.74~3.79。上述结果反映无论矿石铅、地层岩石铅还是岩浆岩石铅同位素组成都很近似。

从构造模式可见, 投影点在  $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})-N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$  上落在造山带增长线与下地壳演化曲线之间如图 2(a),  $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})-N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$  上则落在造山带增长线附近如图 2(b), 表明铅为壳幔混合来源。而矿石铅  $\mu$  值变化于 9.49~9.51, 岩石铅  $\mu$  值变化于 9.45~9.53, 说明铅的来源为壳幔混合铅。 $w(\text{Th})/w(\text{U})$  相对均一, 为 3.73~3.76, 也反映出铅为壳幔混合铅。

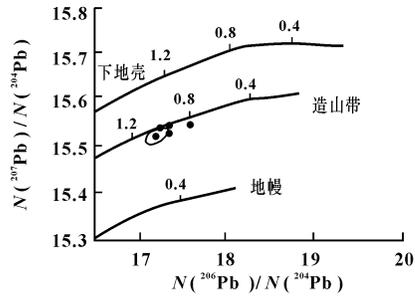
### 3.2 硫同位素组成

硫同位素分析结果显示(表 1):  $\delta^{34}\text{S}$  变化较大, 为  $(-10.5 \sim 16.8) \times 10^{-3}$ , 平均为  $7.33 \times 10^{-3}$ , 极差达  $27.3 \times 10^{-3}$ , 除一个样品为负值外, 其余全部为正值, 且相对集中。各种硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  变化分别为: 黄铁矿  $(-10.5 \sim 16.8) \times 10^{-3}$ , 平均为  $3.1 \times 10^{-3}$ ; 闪锌矿  $(6.5 \sim 14.7) \times 10^{-3}$ , 平均为  $9.6 \times 10^{-3}$ ; 方铅矿  $(1.2 \sim 11.8) \times 10^{-3}$ , 平均为  $6.4 \times 10^{-3}$ 。在平衡条件下热液硫化物富集  $\delta^{34}\text{S}$  的顺序为, 黄铁矿 > 磁黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿。测样中, 不同矿物的平均值与此顺序基本一致, 黄铁矿一个样品  $\delta^{34}\text{S}$  例外, 例外可能表明矿体存在硫同位素分馏不平衡现象, 可能由不同硫源引起<sup>[4-6]</sup>。

据研究, 在低氧逸度情况下(以出现石墨和磁



(a) 为  $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})-N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$  关系



(b) 为  $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})-N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$  关系

图 2 铅同位素构造模式<sup>[2]</sup>

Fig. 2 Plumbotectonics Model of Pb Isotopic

黄铁矿为标志), 磁黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  大致相当于热液的  $\delta^{34}\text{S}$ 。该矿床的矿石矿物组合反映了这一成矿环境, 磁黄铁矿硫同位素组成为  $11.7 \times 10^{-3}$ , 该数值与岩浆硫比较, 略富重硫, 结合矿床地质特征, 认为与海相硫酸盐有关, 它们可在岩浆形成过程中被均一化。综合分析推测, 矿床的硫源主要是同化了海水硫酸盐的岩浆硫, 并有少量生物还原硫参与<sup>[7-11]</sup>。

表 1 彩霞山铅锌矿硫同位素组成

Tab. 1 S Isotope Composition of the Caixiashan Pb-Zn Deposit

样品号	矿物	$\delta^{34}\text{S})_{\text{V-CDT}}/10^{-3}$	$\delta^{34}\text{S})_{\text{av}}/10^{-3}$
Zk3402-b1	黄铁矿	16.8	3.1
Zk4604-b1	黄铁矿	-10.5	3.1
Zk3004-b3	磁黄铁矿	11.7	11.7
Zk4601-b3	闪锌矿	14.7	9.6
Zk3801-b14	闪锌矿	7.6	9.6
Zk3402-b2	闪锌矿	6.5	9.6
Zk3801-b12	方铅矿	11.8	6.4
Zk3004-b2	方铅矿	6.2	6.4
Zk3003-b7	方铅矿	1.2	6.4

注: 2005 年由 中国地质科学院 矿产资源研究所 测试

### 3.3 氢氧同位素组成

氢氧同位素分析选择含矿样品中脉石矿物石英和方解石进行, 其中石英形成较早, 在方解石中呈残

留,方解石与铅铋硫酸盐共生。测试结果见表 2。

表 2 彩霞山铅锌矿床的氢氧同位素组成

Tab. 2 H and O Isotope Compositions of Caixiashan Pb-Zn Deposit

样品号	矿物	$\delta(D)_{V-SMOW}/10^{-3}$	$\delta(^{18}O)_{V-SMOW}/10^{-3}$	$\delta(^{18}O)_{H_2O}/10^{-3}$
Zk3802-b9	石英	-72	18.2	5~6
Zk3802-b9	方解石	-83	17.4	7~8

注: 2005 年由 中国地质科学院矿产资源研究所测试

笔者测试的石英、方解石包裹体的均一温度为 200 °C 左右。采用石英分馏方程

$$1000 \ln a_{\text{石英-水}} = -3.40 + 3.38 \times 10^6 / T^2$$

将矿物氧同位素换算为与其平衡的水的氧同位素, 得到热液水  $\delta(^{18}O)_{H_2O}$  大致在 5~6 之间; 采用方解石分馏方程

$$1000 \ln a_{\text{方解石-水}} = -2.89 + 2.78 \times 10^6 / T^2$$

计算可得到热液水  $\delta(^{18}O)_{H_2O}$  值在 7~8 之间。石英的氢氧同位素值落入 Ohmoto<sup>[12]</sup> 和 Sheppard<sup>[13]</sup> 界定的岩浆水(5.5~9.5)×10<sup>-3</sup>和郑永飞等<sup>[10]</sup> 界定的建造水范围内; 方解石的氢氧同位素值位于建造水的下限值, 与岩浆水的下限值接近, 显示成矿流体具有建造水与深部岩浆流体混合特点。结合矿床地质特征, 可初步认为: 热液流体很可能是岩浆水和建造水随成矿演化,  $\delta(D)$  逐渐减低, 建造水起了更重要作用, 即成矿流体早期可能有岩浆热液, 主成矿期主要是地层中的建造水参与成矿<sup>[8-10]</sup>。

## 4 矿床成因探讨

从区域成矿地质背景、矿床地质特征以及同位素地球化学研究结果等综合分析, 彩霞山铅锌矿床经历了比较复杂的成矿演化过程:

(1) 矿床中矿物组合反映成矿与中低温构造热液活动有关。矿石矿物发育一套与中低温热液活动有关的矿物组合, 如方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等, 脉石矿物主要是碳酸盐矿物。围岩蚀变发育碳酸盐化、黝帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、磁黄铁矿化、透闪石化及绢云母化等。

(2) 流体包裹体研究表明, 包体成分富含 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和 CH<sub>4</sub>, 盐度变化大、贫氟, 成矿流体主要为均一的、低盐度的 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系。均一温度范围为 180 °C~310 °C, 最佳成矿温度为 190 °C~220 °C, 属中低温矿床<sup>[14]</sup>。

(3) 硫铅同位素数据特征反映成矿物质的壳幔

混源特点。矿石铅、岩石铅(侵入岩和地层)都具有壳幔混合来源的特点, 其形成与造山环境, 反映华力西期中酸性侵入岩浆活动为成矿作出了重大贡献。硫同位素研究显示硫的来源主要为同化了海水硫酸盐的岩浆硫, 并有少量生物还原硫参与。

(4) 氢氧同位素指示成矿流体早期可能有岩浆热液, 主成矿期主要是地层中的建造水参与成矿。

## 5 结语

彩霞山铅锌矿的形成与华力西期构造岩浆活动关系密切, 岩浆活动为成矿作用提供了充分的热源和部分物源, 驱动地层中不同来源的流体沿剪切带循环, 萃取地层和基底中古老的成矿物质, 在容矿地层的有力部位成矿。由于容矿地层和断裂活动的良好匹配, 导致富矿体主要就位于碎屑岩和大理岩之间, 偏向化学性质活跃的大理岩一侧。

### 参考文献:

- [1] 新疆地质一大队. 新疆彩霞山—金山一带靶区优选及资源潜力评价[R]. 新疆昌吉: 新疆地质一大队, 2002.
- [2] 彭明兴, 李玉林, 王强, 等. 新疆维吾尔自治区鄯善县彩霞山铅锌矿床 II<sub>3</sub> 号富矿体详查报告[R]. 新疆昌吉: 新疆地矿局第一地质大队, 2005.
- [3] 梁婷, 王磊, 彭明兴, 等. 新疆彩霞山铅锌矿床的铅同位素地球化学研究[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(3): 337-340.
- [4] 薛春纪, 陈毓川, 杨建民. 金顶铅锌矿床地质地球化学[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 270-278.
- [5] 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 西秦岭三个典型金矿床稳定同位素地球化学特征[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 78-84.
- [6] 朱广彬, 刘国范, 姚新年, 等. 东秦岭铅锌银金铂多金属成矿带成矿规律及找矿标志[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(1): 44-52.
- [7] 刘建明, 张宏福, 孙景归, 等. 山东幔源岩浆岩的碳-氧和锶-钡同位素地球化学研究[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(10): 921-930.
- [8] 毛景文, 李晓峰, 张荣华, 等. 深部流体成矿系统[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2005.
- [9] 郑永飞, 周根陶, 龚冰. 碳酸盐岩矿物氧同位素分馏的理论研究[J]. 高校地质学报, 1997, 3(3): 241-245.
- [10] 郑永飞, 徐宝龙, 周根陶. 矿物稳定同位素地球化学研究[J]. 地学前缘, 2000, 7(2): 299-320.
- [11] 朱笑青, 张乾, 何玉良. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铜矿床成因研究[J]. 矿床地质, 2004, 23(1): 52-61.
- [12] Ohmoto H. Stable Isotope Geochemistry of Ore Deposits[J]. Rev Mineral, 1986, 16: 491-559.
- [13] Sheppard S M F. Characterization and Isotopic Variations in Natural Waters[J]. Rev Mineral, 1986, 16: 165-183.
- [14] 高晓理, 彭明兴, 王磊, 等. 彩霞山铅锌矿流体包裹体研究[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 25-31.