

# 内蒙古小坝梁铜金矿床的 硫、铅同位素特征和喷流沉积成因

孙艳霞<sup>1,2,3</sup>, 张 达<sup>1,2</sup>, 张寿庭<sup>1,2</sup>, 孙卫志<sup>2</sup>

- ( 1. 中国地质大学“地质过程与矿产资源”国家重点实验室, 北京 100083;  
2. 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室, 北京 100083;  
3. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队, 河南 洛阳 471023)

摘 要: 内蒙古小坝梁矿床是大兴安岭中南段的一个中型 Cu-Au 多金属矿床, 通过对矿床 S、Pb 同位素特征的系统研究, 并结合矿床地质特征, 认为小坝梁矿床在二叠纪沉积盆地演化过程中可能曾经有重要的喷流-沉积成矿作用发生。

关键词: 硫、铅同位素; 喷流沉积成因; 小坝梁铜金矿床; 内蒙古

中图分类号: P597.2; P618.41 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2009)04-0282-04

## 1 矿区地质特征

小坝梁铜金矿床位于内蒙古东南部中-晚华力西褶皱带的南东部, 该褶皱带是西伯利亚古板块与中朝古板块在晚泥盆世-早石炭世沿二连浩特-贺根山一线碰撞、隆升后, 于中石炭世又裂陷成海, 再经早二叠世末的晚华力西运动形成。早二叠世是大兴安岭中南段火山裂陷盆地全面发育期, 二叠纪火山岩带中产有重要的铜、铅、锌、银、金等矿产, 因而大地构造性质一直为许多研究者关注。王长明等研究成果<sup>[1-3]</sup>表明, 研究区的构造环境为裂谷拉张环境, 与大陆边缘裂谷的发育有关。该区火山岩(包括凝灰岩)的岩石组合特点表明, 二叠纪火山岩产于活动大陆边缘的裂陷槽环境。

矿区仅出露有下二叠统格根敖包组第二岩段的安山质凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩及少量粗安岩。其中以凝灰岩分布最广, 并构成矿体的围岩。凝灰质砂岩与凝灰质粉砂岩呈夹层分布于凝灰岩中。这一套岩石为海相火山喷发沉积而成。矿床产于东乌旗复背斜的南东翼。铜(金)矿体主要赋存于火山角砾岩及基性岩中, 表明矿化明显受层位控制,

沿着 EW 向火山喷发通道在后期又有构造叠加, 并于局部地段形成构造角砾岩。矿区内发育大量的火山岩, 除凝灰岩外, 尚有火山角砾岩、火山集块岩、粗玄岩、玄武岩、细碧岩、石英角斑岩、辉橄岩与辉长岩等。其中粗玄岩、玄武岩分别分布于矿区东部、西部, 二者皆呈 EW 向展布(图 1)。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿体形态、产状及规模

小坝梁铜金矿体在平面上呈透镜状、似层状和层状断续分布, 长度近 2 km, 宽约 200 m, 产于狭长带状的火山角砾岩及细碧岩内或其附近, 在剖面上则常呈楔状或漏斗状。矿体走向近 EW, 多数 S 倾, 少数 N 倾, 倾角为 60°~75°。铜品位为 0.30%~5.36%, 一般多为 0.7%~2%。

原生铜金矿体因风化作用而被剥蚀并受到氧化淋滤作用, 形成深达 60 m 的氧化带。在铜金矿体遭破坏的同时, 使伴生的非工业金逐渐富集成工业金矿体, 形成了小坝梁淋滤型金矿床。金矿体与铜矿体紧密伴生, 目前已圈出金矿体 17 个, 金品位一般为  $3 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$ , 最高  $12.72 \times 10^{-6}$ 。在铜矿

收稿日期: 2008-12-24; 改回日期: 2009-10-10

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(03178); 国家自然科学基金项目(40172036); 优秀博士生论文扶持基金及地质过程与矿产资源国家重点实验室基金(GPMR200644)联合资助。

作者简介: 孙艳霞(1972-), 女, 黑龙江绥化人, 工程师, 主要从事金属矿床的研究工作。

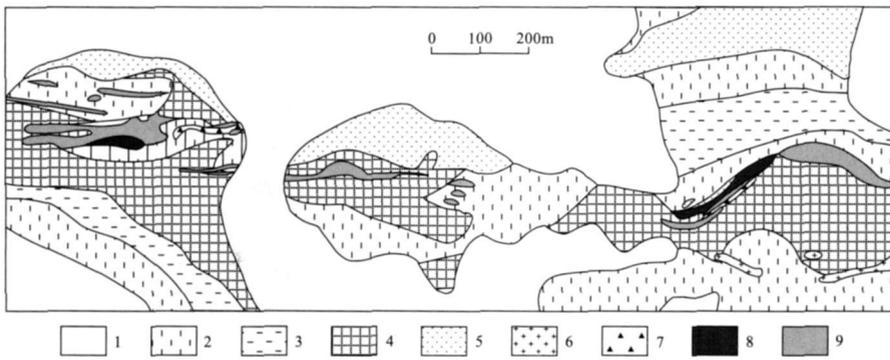


图 1 小坝梁铜矿床地质简图(据内蒙古第九地矿院, 1994)

Fig. 1 Simplified geological map of the Xiaobaliang Cu deposit

1. 第四系 2. 凝灰岩 3. 砂岩、粉砂岩 4. 细碧岩  
5. 石英角斑岩 6. 辉长岩 7. 角砾岩 8. 硅质岩 9. 铜金矿体

体中伴生金的品位为  $0.5 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ , 一般为  $1 \times 10^{-6}$  左右。金矿石类型以角砾状氧化矿石及土状氧化矿石为主, 块状或浸染状原生矿石居次。

## 2.2 赋矿岩石类型及围岩蚀变

矿体的直接围岩有晶屑岩屑凝灰岩、细碧岩、火山角砾岩和构造角砾岩, 有时矿体也赋存于细碧岩与凝灰岩的接触带上。

围岩蚀变有绿泥石化、绢云母化、次闪石化、硅化、碳酸盐化, 即相当于青磐岩化。铜金矿体周围常被绿泥石化细碧岩所环绕。由小坝梁矿区细碧岩蚀变带化学成分的变化可以看出, 绿泥石-石英交代岩带入的化学组分为  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ , 这些组分是随含矿热液一起参与蚀变和矿化作用的。因此, 亦可将细碧岩的绿泥石化与硅化作为含矿岩体的判别标志之一。

## 2.3 矿石物质组分与结构构造

矿石的自然类型可划分为原生矿石与氧化矿石, 前者的金属矿物成分为黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、白铁矿、闪锌矿、方铅矿及自然金; 后者的成分为孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、黑铜矿、褐铁矿、赤铁矿、黄钾铁矾及自然金。脉石矿物有绿泥石、石英、方解石、长石、辉石等。

矿石结构有粒状结构、同心环带结构、压碎结构、交代残余结构; 构造有块状构造、浸染状构造、填隙状构造及细脉状构造。

# 3 同位素地球化学特征

## 3.1 硫同位素

小坝梁矿床硫化物的硫同位素组成由中国科学

院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室稳定同位素实验室测试分析, 收集前人的测试成果一并列表 1 中, 可以看出小坝梁矿区硫化物的硫同位素均为正值, 且变化范围较窄 ( $\delta(^{34}\text{S}) = 0.83 \times 10^{-3} \sim + 3.90 \times 10^{-3}$ ), 平均值为  $1.96 \times 10^{-3}$ , 十分接近不同矿区、不同地质环境下现代海底热液系统中硫化物的  $\delta(^{34}\text{S})$  值 ( $2.5 \times 10^{-3} \sim 5.6 \times 10^{-3}$ ), 明显比洋中脊玄武岩中硫化物 ( $0 \sim 0.5 \times 10^{-3}$ ) 富含重硫。

Hekinian and Fevrier<sup>[4]</sup> 等研究表明在海水热水系统中火山喷气-沉积成因矿床的硫一般有正  $\delta(^{34}\text{S})$  值 ( $+ 1 \times 10^{-3} \sim + 10 \times 10^{-3}$ )。某些岩浆岩来源硫的同位素组成分布在 0 值附近极为狭窄的范围内<sup>[5]</sup>, 值得注意的一点是, 硫的同位素组成分布变化范围狭窄并不一定说明硫是岩浆成因。可以推断, 其硫来源可能为海底热液系统中硫和火山硫的混合, 这一点与我国著名的白银厂块状硫化物矿床<sup>[6]</sup>、呷村块状硫化物矿床<sup>[7]</sup>、火山岩块状硫化物矿床的硫同位素<sup>[8-10]</sup> 可以对比。白银厂矿田海相细碧-角斑岩型含铜黄铁矿和铅锌矿的  $\delta(^{34}\text{S})$  也是在 0 附近的正值, 平均为 + 4%, 是由海水与火山岩进行热反应产生的结果。在 Sangster (1976)<sup>[11]</sup> 层状硫化物矿床平均硫同位素比值与同时代海水硫酸盐硫同位素比值图解上 (110 个块状硫化物矿床 2 300 个硫同位素数据绘制而成), 小坝梁矿床形成时代和硫同位素的组成和图解十分吻合 (图 2)。

表 1 小坝梁铜金矿硫同位素分析结果表

Table 1 Sulfur isotopic compositions of the Xiaobaliang Cu+Au deposit

序号	样品号	矿石类型	测试矿物	$\delta(^{34}\text{S}) / 10^{-3}$
1	X200F-G <sub>1</sub>	层状铜金矿石	黄铁矿	2.00
2	(25)-X	层状铜金矿石	黄铁矿	2.80
3	X-G <sub>1</sub>	层状铜金矿石	黄铁矿	3.90
4	XBL6-1	层状铜金矿石	黄铁矿	0.83
5	XBL6-2	层状铜金矿石	黄铁矿	1.09
6	XBL6-3	层状铜金矿石	黄铁矿	1.56
7	XBL8-1	层状铜金矿石	黄铜矿	1.56
8	XBL8-2	层状铜金矿石	黄铜矿	1.96

资料来源: 1~3 号样品据陈德潜等, 1995; 4~8 号样品由中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室稳定同位素实验室测试, 2007。

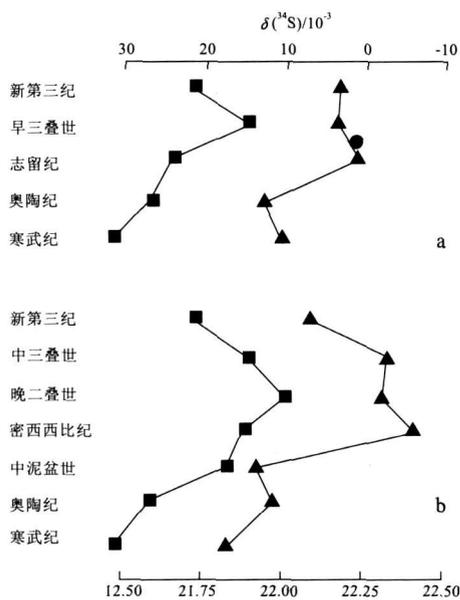


图2 层状硫化物矿床平均硫同位素比值与同时代海水硫酸盐硫同位素比值(Sangster, 1976)

Fig. 2 The average isotopic ratio of the bedded sulfide ore deposits VS the average isotopic of sulfate in the cotemporary sea water

a. 与火山岩有关的喷流沉积矿床

b. 与沉积岩有关的喷流沉积矿床

▲. 硫化物矿床 ■. 海水硫酸盐 ●. 小坝梁硫化物矿床

### 3.2 铅同位素

铅同位素作为示踪矿床成矿物质来源的工具一直得到广泛的使用,为了深入了解小坝梁铜金矿床成因,对层状铜金矿石样品进行采样分析,同位素组成列于表2,可以看出<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb变化于17.531~

17.718,均值为17.637,极差为0.106;<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb变化于15.389~15.580,均值为15.484,极差为0.096;<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb变化于37.094~37.517,均值为37.327,极差为0.233。以上的铅同位素组成的极差均小于1,说明铅同位素组成相当均一。在Doe和Zartman<sup>[12]</sup>铅同位素构造模式图上投点(图3),样品一部分投点于造山带演化线附近,另一部分投点于上地幔演化线附近,总体显示出壳幔混合铅的特征。

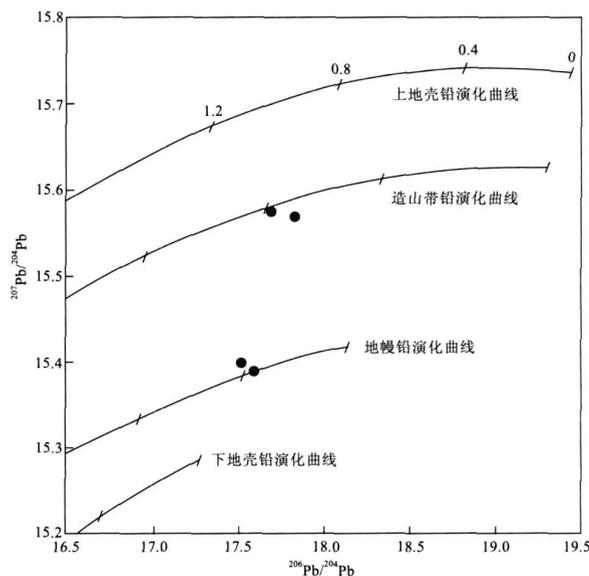


图3 小坝梁矿床铅同位素构造模式图

Fig. 3 <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb versus <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb diagram for the the Xiaobaliang deposit

表2 小坝梁铜金矿铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic composition of the Xiaobaliang Cu-Au deposit

序号	样品	矿石	测试矿物	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
1	X-Cu-6-1	层状铜金矿石	黄铁矿	17.531	15.397	37.094
2	X402-1	层状铜金矿石	黄铁矿	17.601	15.389	37.189
3	XBL6#-3	层状铜金矿石	黄铁矿	17.718	15.569	37.508
4	XBL6#-1	层状铜金矿石	黄铁矿	17.699	15.580	37.517

备注: 1-2号样品据陈德潜等,1995; 3-4号样品由核工业北京地质研究院同位素试验室测试,2007。

### 4 成因浅析

王长明等<sup>[13]</sup>对小坝梁细碧-角斑岩系做了深入的研究,在岩石化学上表现为SiO<sub>2</sub>集中于45.58

%~53.77%和69.28%~71.04%两个区间,分别以49.38%和70.48%为峰值,表现为基性火山岩和酸性火山岩共生,缺乏SiO<sub>2</sub>=54%~61%之间的中性火山岩,表现出双峰式火山岩的特征,为裂谷(裂隙槽)拉张时火山作用的产物。矿区出现流纹质玻璃屑晶屑凝灰岩,即有火山爆发作用发生,暗示它不

是典型深海环境下的产物。以上特点均与大陆裂谷火山岩系性质相同。同时, 本区火山岩与洋岛双峰式火山岩不同, 因为后者以碱性和拉斑玄武岩为主, 无长英质部分; 亦不同于以钙碱性岩石为主的岛弧弧间盆地双峰式火山岩; 亦不同于大陆溢流玄武岩(拉斑质的, 含少量酸性或碱性火山岩)。这套岩系本身及其地球化学特征, 加之共生硅质岩组合, 甚至超镁铁质岩的伴生产出, 均暗示其古构造环境可能是大陆裂谷(裂陷槽)发育较为成熟的阶段, 具有独立的演化历史和造山的特殊性。

不同类型热水沉积岩的地球化学特征不完全相同, 但也具有相似的典型特征。Edmond<sup>[14]</sup>提出可把 MgO 质量分数的升高作为海水对热水体系混染或混合的指标, 并认为低镁是海底热液活动的标志。小坝梁铜金矿热水沉积岩的  $w(\text{MgO}) = 0.02\% \sim 0.03\%$ , 与海底热水体系的沉积物类似。Bostrom<sup>[15]</sup>提出, 海相沉积物中  $\text{Fe}/\text{Ti}$  值、 $(\text{Fe} + \text{Mn})/\text{Ti}$  值和  $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$  值是衡量沉积物中热水沉积含量的标志, 三者的值分别为:  $> 20$ ,  $> 20 \pm 5$  和  $< 0.35$ 。小坝梁铜金矿硅质岩的  $\text{Fe}/\text{Ti}$  值、 $(\text{Fe} + \text{Mn})/\text{Ti}$  值和  $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$  值分别为  $46.00 \sim 137.00$ ,  $47.00 \sim 138.00$  和  $0.11 \sim 0.21$ , 由此可见研究区硅质岩属于热水沉积物<sup>[13]</sup>。

综上所述, 小坝梁矿床形成于大洋中脊离散板块的边缘, 其成岩成矿作用均发生在蛇绿岩套构造背景之上。西伯利亚古板块与华北古板块的拼合发生于古生代中期, 直至早二叠世, 本区仍属残余海构造背景。由于区域张应力作用而发生了源自地幔的中、基性火山-次火山活动, 岩浆沿 EW 向断裂上侵, 开始为中性岩浆喷发、沉积, 形成一套凝灰岩地层; 稍后又有地幔重熔富钠质的基性岩浆喷发, 形成一套以细碧岩为主体的基性岩组合; 最后, 由基性岩浆分异形成富钠质的酸性岩浆喷发, 形成了石英角斑岩。铜(金)矿化主要发生于细碧岩形成阶段, 即伴随裂隙式火山喷发活动, 在火山角砾岩与细碧岩中, 由火山热液带来的矿质以及从凝灰岩中活化转移的部分矿质, 在有利的构造部位及物理化学条件下富集成矿, 从而形成了 VMS 型小坝梁铜(金)

矿床。

## 参考文献:

- [1] 王长明, 张寿庭, 邓军. 大兴安岭中南段构造演化与成矿[C]. 见: 中国地质大学. 2006 年全国博士生学术论坛论文集. 北京: 地质出版社, 2006: 199-204.
- [2] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991: 136.
- [3] 徐志刚. 内蒙古东南部铜多金属矿床成矿构造背景[C]. 见: 张德全, 赵一鸣. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集. 北京: 地震出版社, 1993: 20-42.
- [4] Hekinian R, Fevrier. Sulfur deposits from the East Pacific Rise 21°N[J]. Science, 1980, 207.
- [5] 候增谦, 韩发, 夏林圻, 等. 现代与古代海底热水成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1-225.
- [6] 王兴安. 甘肃白银厂铜矿床硫铅同位素地球化学研究[J]. 西北地质, 1999, 32(1): 18-23.
- [7] 朱维光, 李朝阳, 邓海琳. 四川西部呷村银多金属矿床硫铅同位素地球化学[J]. 矿物学报, 2001, 21(2): 219-223.
- [8] 韦昌山, 杨振强, 付建明, 等. 河南桐柏刘山岩铜锌矿床成因及古大地构造环境[J]. 地质科技情报, 2004, 23(2): 25-30.
- [9] 韦昌山, 杨振强, 战明国. 河南火山岩铜锌型块状硫化物矿床流体包裹体研究[J]. 华南地质与矿产, 2002, (2): 47-53.
- [10] 韦昌山, 杨振强, 魏君奇, 等. 火山岩矿床矿石的稀土元素和硫、铅同位素的地质意义[J]. 华南地质与矿产, 2002, (4): 41-46.
- [11] Sangster D F, Scott S D. Precambrian stratabound, massive Cu-Zn-Pb sulfide ores of North America[C]. In: Wolf K H. Handbkook of strata-bound and stratiform ore deposits. Amsterdam: Elsevier, 1976: 129-222.
- [12] Doe B R, Zartman R E. Plumb tectonic, The Phanerozoic [C]. In: Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York: Wiley-Interscience, 1979: 22-70.
- [13] 王长明, 邓军, 张寿庭, 等. 内蒙古小坝梁铜金矿床的地质特征与喷流沉积成因[J]. 黄金, 2007, 28(6): 9-12.
- [14] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭寒武系金矿床中硅岩的地质地球化学特征及其沉积环境意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 145-154.
- [15] Bostrom K. Genesis of ferromanganese deposits-diagnosis criteria for recent and old deposits [C]. In: Rona P A. Hydrothermal processes at sea floor spreading centers. New York: Plenum Press, 1983: 1-473.

- 量识别[J]. 中国海上油气, 2004, 16(6): 382-386.
- [6] 倪新锋, 田景春, 陈洪德, 等. 应用测井资料定量识别沉积微相——以鄂尔多斯盆地姬塬白豹地区三叠系延长组为例[J]. 成都理工大学学报, 2007, 34(1): 57-61.
- [7] 文政, 雍世和, 王中文. 应用测井资料定量识别沉积微相[J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 40-45.
- [8] 王仁铎. 利用测井曲线形态特征定量判别沉积相[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(3): 303-309.

## APPLICATION OF THE NEURAL NET-DISCRIMATED MICRO-SEDIMENTARY FACIES —A CASE OF BLOCK Z241

WU Yong-liang<sup>1</sup>, TIAN Jing-chun<sup>1, 2</sup>, ZHU Ying-tang<sup>1, 2</sup>

(1. Sedimentary Institute of Chengdu University of Technologies, Chengdu 610059, China; 2. The State Key Lab of Oil-gas Reservoir and Engineering Development of Chengdu University of Technologies, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Study on sedimentary facies is a main subject of the oil-gas exploration. Neural net discrimination of micro-sedimentary facies is first applied to block Z241. The neural net-discriminated results can be correlated with the well-logged micro-sedimentary facies and meet completely the need of the study thus provides a new thought and a technique for micro-sedimentary facies division under close exploration well net condition. The technique is playing an important role in improving efficiency and accuracy of analysis and interpretation of the micro-sedimentary facies.

**Key Words:** neural net; micro-sedimentary facies

(上接第 285 页)

## S, Pb ISOTOPIC CHARACTERISTICS AND EXHALATIVE-SEDIMENTARY GENESIS OF XIAOBALIANG CU-AU DEPOSIT, INNER MONGOLIA

SUN Yan-xia<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Da<sup>1,2</sup>, ZHANG Shou-ting<sup>1,2</sup>, SUN Wei-zhi<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, 2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobation Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. No. 1 Geological Surveying Team, Henan Bureau of Geology and mineral Exploration and Development, Luoyang 471023, Henan, China)

**Abstract:** The Xiaobaliang deposit in Inner Mongolia Autonomous Region of China is a medium Cu-Au deposit in the southern section of the Da Hinggan area. S and Pb isotopic characteristic and geological characteristics reveal that at the Xiaobaliang deposit exhalative-sedimentary mineralization occurred during the Permian basin evolution.

**Key Words:** S isotope; Pb isotope; exhalative-sedimentary genesis; Xiaobaliang Cu-Au deposit; Inner Mongolia