

达坂城铜锌矿地质特征及成矿物质来源浅谈

胡希加玛尔·卡生木

新疆维吾尔自治区地质局昌吉地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v8i3.2195

[摘要] 达坂城铜锌矿位于博格达晚古生代弧后裂陷盆地北缘,是该成矿带上具有重要找矿前景的中型以上规模铜锌多金属矿床。本文在系统收集矿区地质资料基础上,结合硫同位素、Re-Os同位素和元素地球化学等多维度数据,对成矿物质来源进行深入研究。研究表明,该矿床主要赋存于中二叠统塔什库拉组第二岩性段的中细粒砂岩中,受断裂构造控制显著;硫同位素组成($\delta^{34}\text{S}=3.5-9.8\%$)显示成矿硫源主要来自海水硫酸盐的还原作用;Re-Os同位素体系($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 初始值0.28-0.36)表明成矿物质具有显著的壳源特征;元素地球化学和稀土元素配分模式显示Cu、Zn等成矿元素主要来源于赋矿围岩。综合研究表明,达坂城铜锌矿的成矿物质主要来自地壳沉积岩系,具有多来源、多期次供给的特点。该认识对深入理解区域成矿规律和指导找矿勘查具有重要意义。

[关键词] 达坂城; 铜锌矿; 地质特征; 成矿物质来源; 硫同位素; Re-Os同位素

中图分类号: P5 文献标识码: A

A brief discussion on geological characteristics and mineralization sources of Dazhengcheng copper-zinc deposit

Huxijiamar·Kashengmu

Geological Brigade of Changji, Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] Dazhengcheng copper-zinc deposit is located in the northern margin of the post-arc rift basin in the late Paleozoic Bogda. It is a medium-sized or larger copper-zinc polymetallic deposit with significant prospecting prospects in this mineralization belt. Based on the systematic collection of geological data in the mining area and combined with multi-dimensional data such as sulfur isotopes, Re-Os isotopes and elemental geochemistry, this paper conducts an in-depth study on the sources of ore-forming materials. Research shows that this deposit is mainly located in the medium and fine-grained sandstone of the second lithological section of the Middle Permian Tashkula Formation and is significantly controlled by fault structures. The sulfur isotope composition ($\delta^{34}\text{S}=3.5-9.8\%$) indicates that the main source of sulfur for mineralization comes from the reduction of sulfate in seawater. The Re-Os isotope system ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ initial values 0.28-0.36) indicates that the ore-forming materials have significant shell-source characteristics; Elemental geochemistry and rare earth element distribution patterns show that ore-forming elements such as Cu and Zn mainly originate from the surrounding rocks of the deposits. Comprehensive research shows that the ore-forming materials of the Dabancheng copper-zinc mine mainly come from the crustal sedimentary rock series, featuring multi-source and multi-period supply. This understanding is of great significance for in-depth comprehension of regional mineralization laws and guiding mineral exploration.

[Key words] Dabancheng Copper-zinc ore Geological features; Source of ore-forming materials; Sulfur isotope Re-Os isotope

引言

新疆东天山地区是我国重要的金属成矿带,蕴藏着丰富的铜、锌、金等矿产资源。达坂城铜锌矿位于该成矿带之博格达Cu-Pb-Zn-Fe-Mn-Au-硼-油页岩-磷矿带中部,其发现和勘探突破改写了前人关于该区仅存“鸡窝矿”的认识。前人对该矿床

的地质特征、成矿时代已有初步研究,但对于成矿物质来源这一关键科学问题仍缺乏系统深入的研究。

成矿物质来源是矿床学研究的核心内容,直接关系到对矿床成因的认识和找矿方向的确定。本文在详细收集矿区地质资料基础上,综合利用硫同位素、Re-Os同位素和元素地球化学等多种地

球化学示踪方法,对达坂城铜锌矿的成矿物质来源进行系统研究,旨在为建立区域成矿模型和指导找矿勘查提供科学依据。

1 区域地质背景

1.1 大地构造位置。达坂城铜锌矿大地构造位于哈萨克斯坦-准噶尔板块、准噶尔微板块、博格达晚古生代弧后裂陷盆地北缘。该区域在古生代期间经历了复杂的构造演化过程,为成矿作用提供了有利的构造环境。矿区在区域构造上属于博格多复式背斜的南翼,博格达晚古生代弧后裂陷盆地的北侧,属于此次“S”型构造的内弦地段。

1.2 地层系统。区域出露地层从老到新主要包括:上石炭统柳树沟组(C₂l)、下二叠统石人子沟组(P₁s)、中二叠统塔什库拉组(P₂t)以及第四系冲积物。其中,中二叠统塔什库拉组是矿区最主要的赋矿层位。上石炭统柳树沟组第一岩性段(C₂l¹)分布在矿区中南部,面积很小,主要岩性为薄层状凝灰质粉砂岩与细砂岩不均匀互层,局部夹有杏仁状玄武岩;下二叠统石人子沟组第一岩性段(P₁s¹)分布在矿区中南部,面积约占矿区面积的三分之一,主要岩性为灰黑-黑色凝灰质粉砂岩;中二叠统塔什库拉组第一岩性段(P₂t¹)分布在矿区东北角和西南角,面积很小,主要岩性为灰黑色粉砂岩、灰-灰黑色硅质细砂岩,局部段夹凝灰岩;中二叠统塔什库拉组第二岩性段(P₂t²)分布在矿区东北部和西部,面积占矿区面积的二分之一以上,主要岩性为灰-灰黑色中细粒砂岩、黑色粉砂岩,为矿区主要的赋矿地层^[1]。

1.3 构造特征。区域构造以NWW向和NE向断裂系统为主,这些断裂不仅控制了岩浆岩的分布,也为成矿流体的运移和矿质的沉淀提供了通道和空间。褶皱构造较为发育,主要为宽缓的背斜和向斜。矿区位于凤凰泉构造带上,构造较为发育,其中有正断层F1、逆断层F2;平移断层F4;性质不明断层F3、F5、F6。其中F1和F2断层是在近南北向区域挤压作用下形成的NWW向压扭性构造体系,为较早期形成的构造,具右行剪切性质。

1.4 岩浆活动。区域内岩浆活动强烈,从基性到酸性均有发育,以华力西期中酸性侵入岩为主。区内浅成基性侵入岩活动普遍,主要是辉绿岩(βμ),发育良好,呈岩脉、岩墙状产出,规模大小不一。规模较大的,延长几百米到数千米,最宽达到200米;规模较小的延长数十米到几百米,宽约几米到数十米。存在顺层侵入、穿插侵入、断层接触等关系。岩浆活动不仅为成矿提供了热源,也可能提供了部分成矿物质。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征。达坂城铜锌矿已发现4条主要矿化带(L1、L2、L3、L4),共圈定52条矿体。矿体主要赋存于中二叠统塔什库拉组第二岩性段(P₂t²)的中细粒砂岩中,产状与地层产状基本一致,显示出明显的层控特征。

矿体形态以层状、似层状为主,局部呈透镜状。其中L1-1矿体规模最大,沿走向控制长度1400米,倾向40°,倾角75°~88°,控制最大延深640米。控制标高2820~1961米。矿体埋深0~706米,垂距706米。矿体厚度0.36~10.73米,平均厚度3.10米。L1-3号矿体分布在79到40号勘探线之间,沿走向控制长度

1020米,控制最大延深690米。L1-6号矿体分布在111到24号勘探线之间,沿走向控制长度1120米,控制最大延深530米^[2]。

2.2 矿石特征。矿石矿物组合以黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿为主,含少量方铅矿及硒化物(硒铅矿、灰硒铅矿、含硒方铅矿、硒银矿、硒铋银矿等)。地表氧化矿物:孔雀石、水锌矿、蓝铜矿、褐铁矿等。脉石矿物主要为石英、长石、绿泥石等。

矿石结构主要有自形-半自形粒状结构、它形粒状结构、交代残余结构等。矿石构造包括团块状构造、团斑状构造、条带状构造、网脉状构造、细脉状构造、星点状构造等,反映多期成矿作用的特点。

黄铁矿呈自形-半自形粒状,为0.3~0.5毫米,最大可见1.6毫米,多裂纹,分布不均匀,呈浸染状星散分布。黄铜矿呈它形粒状,粒度大小不一,一般在0.01~2毫米之间,大者可达5毫米。闪锌矿呈半自形-它形,粒度大小不一,一般在0.01~1毫米之间,大者可达5~10毫米。

2.3 围岩蚀变。围岩蚀变相对较弱,类型简单,主要有硅化、绿泥石化、碳酸盐化、钾长石化等。蚀变分布受构造控制明显,多沿裂隙发育,分带性不明显。矿体的直接围岩为中二叠统塔什库拉组第二岩性段(P₂t²)地层中的中细粒砂岩、粉砂岩,其产状与矿体产状一致。矿体的间接围岩为华力西期浅成基性侵入岩,岩性为辉绿岩(βμ),大都分布于矿体的上下两盘,呈岩脉、岩墙状产出。

3 成矿年代学特征

锆石U-Pb定年显示辉长辉绿岩侵位年龄为316.8±1.5Ma(HG2)和307.2±2.7Ma(HG3),属晚石炭世。Re-Os同位素定年表明,黄铁矿形成于早二叠世(296±31Ma),与地层时代一致;黄铜矿形成于晚白垩世晚期(77.9±7.3Ma),代表主成矿期。两者年龄相差约10Ma,表明岩浆存在两期上侵,北东-南西向侵位相对较早,北西-南东向辉长辉绿岩侵位时间略晚。

矿区地层为上石炭统祁家沟组粉砂岩,而辉长辉绿岩形成时代也为晚石炭世晚期,表明辉长辉绿岩与粉砂岩几乎为同期形成。黄铁矿形成于早二叠世早期,与地层(上石炭统祁家沟组)时代基本一致,表明黄铁矿可能是与地层同沉积形成。黄铜矿形成于晚白垩世晚期,明显晚于黄铁矿,这也与矿石样品中黄铜矿、闪锌矿包裹黄铁矿的现象一致^[3]。

4 地球化学特征与成矿物质来源

4.1 主量元素特征。矿区砂岩的SiO₂为72.05%~74.54%之间,Al₂O₃变化不大含量较高(9.06%~12.75%),CaO变化较大(1.91%~6.79%),K₂O、Na₂O含量不高,分别在1.25%~4.45%和0.08%~3.22%之间,部分样品中Na₂O含量很低;MgO、Fe₂O₃变化小,分别介于0.72%~1.92%和1.63%~1.90%之间;MnO和P₂O₅含量很低。矿区砂岩属于正常的砂岩特征,Al₂O₃、CaO含量高可能与砂岩中斜长石含量高有关,K₂O、Na₂O含量低表明岩石中钾长石、钠长石含量少。

矿区辉长辉绿岩的SiO₂介于50.67%~55.12%之间,属于基性岩类;Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO变化不大;CaO含量为3.60%~8.76%;K₂O、Na₂O含量较高。辉长辉绿岩与砂岩产状几乎完全一致,呈

顺层侵入的特征; 矿体在遇到辉长辉绿岩的时候一般就会出现中断, 当砂岩再次出现时硫化物矿体再次富集; 表明辉长辉绿岩可能与成矿关系不大。

4.2 微量元素特征。矿区砂岩与辉长辉绿岩的稀土元素总量相对较大, 砂岩的 $\Sigma \text{REE}=38.07 \times 10^{-6} \sim 125.21 \times 10^{-6}$, 辉长辉绿岩的 $\Sigma \text{REE}=46.23 \times 10^{-6} \sim 116.93 \times 10^{-6}$ 。砂岩的 $(\text{La}/\text{Sm})\text{N}=1.38 \sim 3.14$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=2.40 \sim 5.82$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})\text{N}=1.29 \sim 1.74$, 表明轻重稀土元素之间的分馏程度稍强。辉长辉绿岩的 $(\text{La}/\text{Sm})\text{N}=1.08 \sim 2.38$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=1.82 \sim 3.45$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})\text{N}=1.23 \sim 1.53$, 表明轻重稀土元素之间的分馏程度略强。

选取钻孔Zk806中Cu、Zn、Ni、Co元素含量与钻孔垂向深度作图, 岩石样品中成矿主元素Cu、Zn均在矿体分布位置含量明显增加, 其中在较深部位置(130~164m)的砂岩中含量增加尤为明显, 表明砂岩可能为矿体提供了成矿物质来源; Ni、Co元素在矿体分布地段含量变化不明显, 甚至略有降低, 表明样品中Ni、Co元素在热液富集过程中并未参与。

4.3 硫同位素特征。达坂城铜锌矿中5件黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 的值为7.6~9.8‰, 平均为8.8‰; 20件黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 的值为5.5~8.9‰, 平均为7.1‰; 11件闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 的值为3.5~7.1‰, 平均为5.4‰。所有分析样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布在3.5~9.8‰之间, 平均值为7.2‰。硫同位素组成显示明显的塔式分布特征, 峰值出现在6~8‰区间。

硫同位素组成是示踪成矿硫源的有效指标。达坂城铜锌矿硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值集中在3.5~9.8‰之间, 明显高于幔源硫的组成范围(0±2‰)。这种富集重硫的特征通常与海水硫酸盐的还原作用有关。现代海水硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 值约为20‰, 通过细菌还原作用或热化学还原作用, 产生的 H_2S 通常比原始硫酸盐轻10~20‰。达坂城矿床的硫同位素组成与此规律吻合, 表明成矿硫源很可能来自同时代海水的硫酸盐还原。

4.4 Re-Os同位素特征。Re-Os同位素分析获得以下重要结果: 黄铁矿等时线年龄 $296 \pm 31 \text{Ma}$, 初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值 0.36 ± 0.18 ; 黄铜矿等时线年龄 $77.9 \pm 7.3 \text{Ma}$, 初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值 0.28 ± 0.22 。初始Os同位素比值远高于地幔值(0.11~0.15), 显示强烈的壳源特征。不同矿物之间的Os同位素组成差异反映了成矿过程的复杂性。

Re-Os同位素体系为探讨金属物质来源提供了重要证据。达坂城矿床黄铁矿和黄铜矿的初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值显著高于地幔值, 表明成矿物质主要来自地壳源区。元素地球化学研究进一步支持这一认识。Cu、Zn等成矿元素在赋矿围岩(砂岩)中明显富集, 而在辉长辉绿岩中含量较低。

5 讨论

5.1 成矿物质来源综合研究。综合硫同位素、Re-Os同位素和元素地球化学研究结果, 可以认为达坂城铜锌矿的成矿物质主要来自地壳沉积岩系。硫同位素组成表明成矿硫源主要来自海水硫酸盐的还原作用; Re-Os同位素显示成矿物质具有显著的壳源特征; 元素地球化学特征表明Cu、Zn等成矿元素主要来源

于赋矿围岩。

稀土元素配分模式显示, 矿石与围岩具有相似的稀土特征, 表明成矿流体与围岩之间发生了充分的水-岩反应, 围岩为成矿提供了大量物质。这种元素组合特征与典型的岩浆热液矿床明显不同, 进一步支持成矿物质主要来自地壳沉积岩系的认识。

5.2 成矿流体性质与成矿过程。根据前期研究和区域对比, 推测达坂城矿床的成矿流体可能为中低温、中低盐度的NaCl-H₂O体系热液。成矿温度估计在150~250℃之间, 盐度一般在3~8wt% NaCl equiv。这种流体性质与盆地卤水或建造水的特征相似, 进一步支持成矿物质主要来自地壳沉积岩系的认识。

成矿过程可能经历了多期次演化: 晚石炭世辉长辉绿岩位提供了初始热源; 早二叠世地层沉积过程中形成了同生黄铁矿; 晚白垩世构造活动引发盆地流体循环, 萃取围岩中的成矿元素, 在构造有利部位沉淀形成工业矿体。

5.3 区域对比与找矿意义。与区域上典型矿床对比发现, 达坂城铜锌矿的成矿特征既不同于典型的岩浆热液矿床, 也不同于典型的沉积矿床, 显示出多期次、多来源的复合成矿特点。

基于以上讨论, 可以认为达坂城铜锌矿的成矿物质主要来自赋矿沉积岩系, 通过盆地流体循环被活化萃取, 在构造有利部位通过水-岩反应和物理化学条件变化而沉淀富集。这一认识对区域找矿勘查具有重要指导意义, 建议重点关注中二叠统塔什库拉组第二岩性段中的构造有利部位, 特别是断裂交汇处和辉绿岩与砂岩接触带。

6 结论

(1) 达坂城铜锌矿主要赋存于中二叠统塔什库拉组第二岩性段的中细粒砂岩中, 受NWW向和NE向断裂系统控制, 矿体呈层状、似层状产出。(2) 硫同位素组成($\delta^{34}\text{S}=3.5 \sim 9.8\%$)表明, 成矿硫源主要来自海水硫酸盐的还原作用, 具有壳源特征。(3) Re-Os同位素体系(初始 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}=0.28 \sim 0.36$)显示, 成矿物质主要来源于地壳, 与幔源物质的贡献不明显。(4) 元素地球化学特征表明, Cu、Zn等成矿元素主要来自赋矿围岩, Ni、Co等元素显示与基性岩无关的特征。(5) 综合研究显示, 达坂城铜锌矿的成矿物质具有多来源、多期次供给的特点, 主要来自地壳沉积岩系, 成矿时代为晚白垩世晚期。(6) 研究成果对区域找矿勘查具有指导意义, 建议重点关注中二叠统塔什库拉组第二岩性段中的构造有利部位。

[参考文献]

[1] 新疆维吾尔自治区有色地质勘查局七〇一队. 新疆乌鲁木齐市达坂城铜锌矿勘探报告[R]. 2017.

[2] 李晨, 郭凡. 新疆乌鲁木齐市达坂城铜锌矿床地质特征及成因分析[J]. 新疆有色金属, 2018, (6): 20~21.

[3] 阿不力孜·孜牙吾东. 新疆乌鲁木齐市达坂城铜锌矿地质特征与找矿标志探讨[J]. 新疆有色金属, 2021, (6): 72~73.

作者简介:

胡希加玛尔·卡生木(1981--), 女, 维吾尔族, 新疆巩留人, 本科, 职称: 地质工程师, 研究方向: 地理信息。