

文章编号:0258-7106 (2009) 01-0120-13

东疆中天山红星山铅锌(银)矿床地质特征 及区域成矿作用对比*

肖庆华¹, 秦克章¹, 许英霞^{1,2}, 三金柱^{1,3}, 马占鹿³, 孙赫¹, 唐冬梅¹

(1 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2 河北理工大学地质系, 河北唐山 063009; 3 新疆有色地质勘查局 704 队, 新疆哈密 839000)

摘要 红星山铅锌矿床位于东疆中天山地块的东段。矿体赋存于青白口系天湖群红星山组第三亚组地层内, 并受断裂构造的控制, 主要呈脉状、透镜状顺层产出, 含矿岩石为大理岩和碳质糜棱岩。金属矿物组合为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉银矿, 围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、白云石化、碳酸盐化。矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 8.76‰~12.65‰; 矿石的铅同位素组成与地层岩石铅的相似, 并具有较好的相关性, 显示出同源关系。流体包裹体的 t_h 集中于 220~250℃, 成矿流体的 $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 3.39%~11.81%。区域岩石地球化学特征表明, 青白口系天湖群内的大理岩、片麻岩及各类花岗岩中 Pb、Ag 的丰度值较高, 可能是该区铅锌矿的矿源层, 矿石的铅和硫同位素特征也指示成矿物质可能来源于地层。此外, 该区内华力西期中酸性岩浆活动也可能提供了部分成矿物质。通过与同一成矿带内的彩霞山铅锌矿床、玉西银(铅锌)矿床对比, 总结了东疆中天山地块内铅锌(银)矿的成矿特征及成矿规律。笔者认为, 区域内铅锌(银)成矿与前寒武纪基底变质岩关系密切, 矿体产于特定的地层层位和岩性建造(大理岩、含碳碎屑岩)内, 并受一定构造部位的控制, 华力西期岩浆活动对成矿具有改造变富作用, 矿床成因类型属沉积变质-热液改造型层控矿床。

关键词 地质学; 中天山地块; 铅锌(银)矿床; 前寒武纪; 结晶基底; 矿源层; 东疆

中图分类号: P618.42; P618.43; P618.52 **文献标志码**: A

A discussion on geological characteristics of Hongxingshan Pb-Zn (Ag) deposit in Middle Tianshan massif, eastern Xinjiang, with reference to regional metallogenesis

XIAO QingHua¹, QIN KeZhang¹, XU YingXia^{1,2}, SAN JinZhu^{1,3}, MA ZhanLu³, SUN He¹ and TANG DongMei¹

(1 Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China;

2 Department of Geology, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, Hebei, China; 3 No. 704 Geological Party, Xinjiang Geo-Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Hami 839000, Xinjiang, China)

Abstract

The Hongxingshan Pb-Zn (Ag) deposit is located in the eastern part of Middle Tianshan massif within eastern Xinjiang. Ore bodies are hosted by 3rd Subformation of Hongxingshan Formation in Tianhu Group of Qingbaikou System, with the host rocks composed of carbonaceous mylonite and impure marble. Ore bodies are mainly in the lenticular and veinlike forms, controlled by fracture structure. The ore mineral

* 本文得到国家和新疆维吾尔自治区矿产资源补偿费红星山铅锌矿项目和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-107)的资助

第一作者简介 肖庆华,男,1974年生,高级工程师,矿床学专业硕博连读生。Email: xjhmxqh@126.com

收稿日期 2008-07-11; 改回日期 2009-01-19。许德焕编辑。

assemblage comprises galena, sphalerite, pyrite, pyrrhotite and argentite. The main types of wall rock alterations are silicification, pyritization, dolomitization and carbonatization. $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides range from 8.76 ‰ to 12.65 ‰, and ores and strata show similar lead isotopic characteristics. Homogenization temperature and salinity $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ of fluid inclusions range from 220 °C to 250 °C and from 3.39 ‰ to 11.81 ‰, respectively. Regional petrogeochemical features indicate that the abundances of Pb, Zn, Ag in marble, gneiss and granite are relatively high, suggesting that the Tianhu Group strata might have served as the ore source bed and the Variscan intermediate-acid intrusion probably provided some of the ore-forming materials. Based on a comparison with Caixiashan and Yuxi deposits, the authors have summarized the ore-forming characteristics and regularity of Pb-Zn (Ag) deposits in this region. As the three typical deposits have some common characteristics, they must be governed by the same ore-forming regularity. The regional ore-forming process was closely related to the Pre-Cambrian crystalline basement. Ore bodies occurred in strata with favorable lithologic character (marble and carbonaceous clastic rock) and were controlled by certain structural positions, and mineralization resulted from the Variscan magmatic-hydrothermal activity. The Pb-Zn deposits belong genetically to the metasedimentary-hydrothermal reformed stratabound type. It is thus suggested that areas that have fracture structure in the Precambrian ore-bearing strata together with Variscan intermediate-acid magmatic activity are favorable places for ore prospecting.

Key words: geology, Middle Tianshan massif, lead-zinc (silver) deposit, Pre-Cambrian, crystalline basement, ore source bed, eastern Xinjiang

自 1999 年以来,对东疆中天山地块的找矿工作取得了一系列重要进展,先后发现和评价了红星山、玉西、彩霞山等铅锌(银)矿及白石泉、天宇铜镍矿等一批较有远景的矿产地(彭明兴等,2006;梁婷等,2005;吴华等,2005;2006;董连慧等,2007)。其中,彩霞山铅锌矿床的规模已达大型,这在很大程度上改变了对中天山前寒武纪地层内主要形成铁矿的认识(姜福芝等,2002)。本文对红星山铅锌矿床的成矿地质特征、硫及铅同位素地球化学、成矿规律等方面进行了研究和总结,在此基础上,探讨了成矿物质来源及矿床成因,并与区域内其他铅锌矿床进行了对比,旨在为东疆中天山地块中寻找同类铅锌矿床提供参考。

1 区域地质

东疆中天山地块夹持于塔里木板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间,其北以沙泉子断裂为界与觉罗塔格构造带相邻(陈富文等,2003),其南以托克逊-干沟断裂和星星峡断裂为界,分别与南天山北缘和北山裂谷北缘相邻(图 1)。

区域内出露地层有长城系星星峡群、蓟县系卡瓦布拉克群和青白口系天湖群,大致呈向南凸出的

弧形带状展布,组成中天山前寒武纪变质基底,即前人所称的中天山结晶轴(秦克章等,2002;2003)。

长城系星星峡群为一套浅海-滨海相碎屑岩、火山岩夹碳酸盐岩,变质程度深浅不均,主要有片麻岩、石英片岩,夹混合岩、大理岩等。蓟县系卡瓦布拉克群为一套浅海-滨海相富硅质碳酸盐岩建造,其下部以白云岩、大理岩为主,夹片岩及变质砂岩,上部以石英片岩、变质硬砂岩居多,夹砂砾岩、白云岩、大理岩及片麻岩,与长城系星星峡群整合接触。青白口系天湖群为一套海相火山熔岩、碎屑岩和碳酸盐岩建造,主要有片麻岩、石英片岩、白云质大理岩和白云岩等,与蓟县系卡瓦布拉克群呈断层接触。

据大量同位素测年数据(胡霁琴等,1986;高振家等,1993;李铨等,2002),中天山结晶基底主要形成于元古代,并在长城纪-震旦纪处于隆起状态,新元古代(10~8 亿年)的晋宁运动使其更加复杂化。中天山地块在前寒武纪与塔里木陆块相连,约从奥陶纪起,因北山裂谷的出现而逐渐与塔里木陆块分离,遂成为离散地体。奥陶纪-石炭纪末期间是塔里木板块与准噶尔板块汇聚的阶段,伴随着 NS 方向的强烈挤压,中天山地块内广泛发育 EW 向的断裂及褶皱构造,其北界沙泉子断裂在元古代已形成(周济元等,1996;马瑞士等,1997),东西长逾 1 000

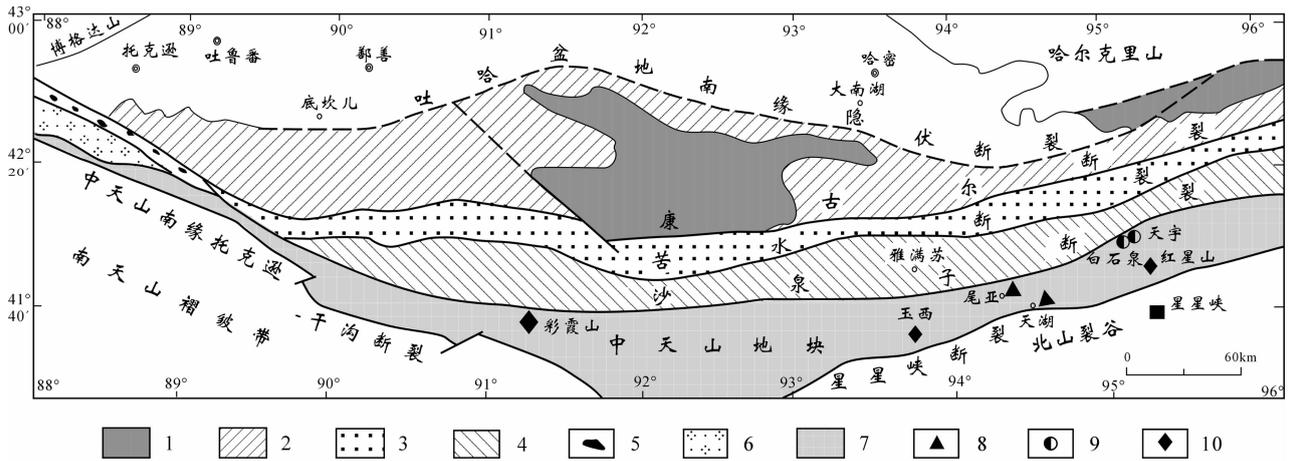


图1 东天山大地构造略图(据秦克章等,2002 修改)

- 1—大南湖-头苏泉泥盆纪-石炭纪岛弧;2—小热泉子-梧桐窝子石炭纪弧内盆地;3—苦水-干墩早石炭世边缘相带;4—觉罗塔格构造带;
5—早古生代干沟蛇绿岩带;6—志留纪干沟前陆盆地;7—中天山地块;8—铁矿;9—铜镍矿;10—铅锌(银)矿

Fig. 1 Tectonic sketch map of eastern Tianshan region (modified after Qin et al., 2002)

- 1—Dananhu-Tousuquan Devonian-Carboniferous island arc; 2—Xiaorequanzi-Wutongwozi Carboniferous intra-arc basin;
3—Kushui-Gandun Early Carboniferous marginal belt; 4—Joltag tectonic belt; 5—Early Paleozoic Gangou ophiolite complex;
6—Silurian Gangou foreland basin; 7—Middle-Tianshan Pre-Cambrian massif; 8—Fe deposit; 9—Cu-Ni deposit; 10—Pb-Zn(Ag) deposit

km,在后来的漫长地质过程中一直处于活动状态,并派生出一系列次级断裂,特别是在华力西期,其活动更加剧烈,沿沙泉子断裂及其派生的次级断裂,广泛发育中酸性岩浆侵入活动,该断裂对区域成矿具明显控制作用。

中天山地块内已发现的矿产主要有:与中元古界火山岩-变质碎屑岩有关的沉积-变质型铁矿,如天湖铁矿等(姜福芝等,2002);与侵位于基底岩系内的基性-超基性岩有关的矿床,如天宇、白石泉铜镍矿和尾亚钒钛磁铁矿;与元古界碳酸盐岩-碎屑岩建造有关的铅锌矿,如新发现的大型的彩霞山和红星山铅锌矿、玉西银(铅锌)矿等。这预示着中天山寒武纪地层具有巨大的铅锌(银)找矿潜力。

2 矿区地质

红星山铅锌矿床位于中天山地块的东部(图1),距哈密市南东约220 km。矿区内出露的地层主要为青白口系天湖群红星山组,呈NEE向展布,总体南倾。该组地层以 F_3 主干断裂为界,可分为2个亚组:北侧为第二亚组,以灰绿色黑云母片麻岩、斜长片麻岩为主,夹石英片岩、云母石英片岩及大理岩透视镜体;南侧为第三亚组,分为2个岩性段,中矿段不

纯大理岩带以北为第一岩性段,其岩性为碳质糜棱岩、绿泥石英片岩、绢云石英片岩、石英片岩、斜长角闪岩及大理岩等,以南为第二岩性段,其岩性为黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩夹变粒岩、大理岩透视镜体(图2)。

F_3 及 F_4 是该矿区内2条规模较大的断裂,总体上呈NEE向横贯矿区。 F_3 断裂位于矿区北部,长逾6 km,属压扭性逆断层,总体向南倾,倾角 $70\sim 82^\circ$,在地表形成宽 $25\sim 70$ m的破碎带、含碳破碎带,是该矿区主要的控岩、控矿构造,北矿段的铅锌矿体即产于该断裂内。 F_4 断裂的规模仅次于 F_3 ,长逾4 km,属压扭性质,呈中部向北凸出的弧形(图2),其东部走向NW,倾向SW,倾角 $60\sim 76^\circ$,西部走向NE,倾向SE,倾角 70° 左右。沿断裂带,岩石既可见韧性变形(如糜棱岩化),亦可见脆性破裂(表现为岩石中破裂裂隙和构造角砾发育),并且,沿断裂带还伴有华力西期岩浆侵入活动。

矿区内出露的岩浆岩主要有加里东期片麻状花岗岩,华力西期二长花岗岩和红色碎裂状钾长花岗岩,多呈岩株产于该矿区的东部和南西部(图2)。华力西期中酸性侵入岩主要沿 F_4 断裂侵入,紧临中矿段大理岩带南侧,经钻探证实,在中矿段深部有石英斑岩侵位于大理岩内。

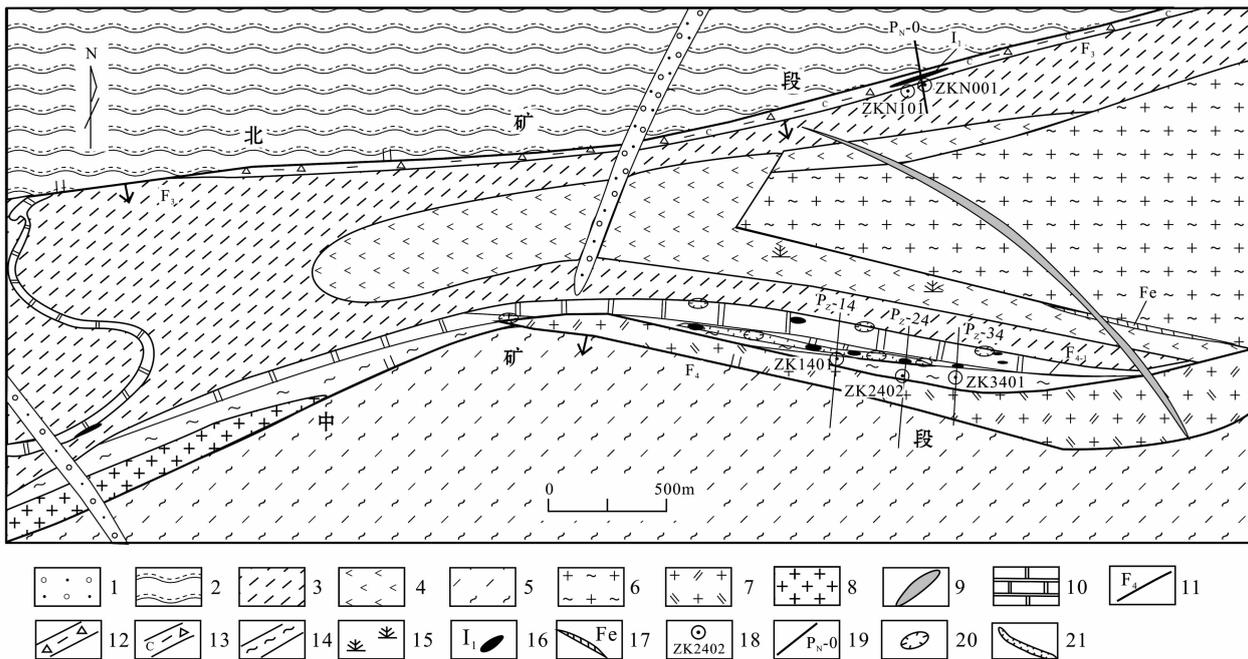


图 2 红星山铅锌矿区地质略图(据肖庆华等, 2005^①修改)

1—第四系; 2—红星山组第二亚组黑云母片麻岩、斜长片麻岩; 3—红星山组第三亚组第一岩性段碳质糜棱岩、绿泥石英片岩、绢云石英片岩; 4—红星山组第三亚组第一岩性段斜长角闪岩; 5—红星山组第三亚组第二岩性段黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩及大理岩; 6—加里东期片麻状花岗岩; 7—华力西期二长花岗岩; 8—华力西期钾长花岗岩; 9—花岗岩斑岩脉; 10—不纯大理岩; 11—断层及编号; 12—构造破碎带; 13—含碳破碎带; 14—糜棱岩化带; 15—孔雀石化; 16—铅锌矿体及编号; 17—铁帽带; 18—钻孔及编号; 19—勘探线及编号; 20—老硐; 21—浅采坑

Fig. 2 Geological sketch map of the Hongxingshan lead-zinc deposit (modified after Xiao et al., 2005)

1—Quaternary; 2—Biotite gneiss and plagioclase gneiss of 2nd Subformation of Hongxingshan Formation; 3—Carbonaceous mylonite, chlorite-quartz schist and sericite quartz-schist of 1st lithologic member of Hongxingshan 3rd Subformation; 4—Plagio-hornblendite of 1st lithologic member of Hongxingshan 3rd Subformation; 5—Biotite-plagioclase gneiss, hornblende-plagioclase gneiss and marble of 2nd lithologic member of Hongxingshan 3rd Subformation; 6—Caledonian gneiss granite; 7—Variscan monzonitic granite; 8—Variscan high-K granite; 9—Granite-porphry dike; 10—Impure marble; 11—Fault and its serial number; 12—Fracture zone; 13—Carbonaceous fracture zone; 14—Mylonitized zone; 15—Malachite; 16—Pb-Zn ore body and its serial number; 17—Gossan; 18—Drill hole and its serial number; 19—Exploratory line and its serial number; 20—Old workings; 21—Shallow pit

3 矿床特征

红星山矿区内的铅锌矿体主要分布于 F_3 和 F_4 断裂所挟持的区域内, 在空间上, 可分为北矿段和中矿段 2 个矿化带。

3.1 北矿段矿体特征

红星山组第三亚组第一岩性段下部为北矿段的主要含矿层位, 矿体产于 F_3 断裂东部的含碳构造带内。赋矿岩性主要为碳质糜棱岩(原岩为含碳细碎屑岩), 其间夹有石英片岩及碳酸盐岩薄层, 因受构

造影响, 岩石片理、裂隙较发育, 揉皱变形显著, 局部形成小的褶皱构造, 岩石中含大量碳质, 深部见鳞片状石墨及较多的黄铁矿细脉。含碳构造带在地表向东延伸, 长度大于 3 km, 宽 10~60 余 m, 延深大于 300 m, 初步圈定出 2 个矿体(图 3)。

I_1 号矿体 在地表, 其长度大于 400 m, 呈透镜状, 南倾, 倾角 72~78°, 其厚度为 4.12~53.40 m, 延深大于 80 m; Pb+Zn 平均品位为 1.78%, 最高为 11.80%, 伴生 Ag 的平均品位为 18.59×10^{-6} , 最高达 105.80×10^{-6} , 矿化较好的地段往往较发育石英细脉和网脉; 在空间上, 矿体由东向西有厚度变

① 肖庆华, 等. 2005. 新疆哈密市红星山矿区铅锌多金属矿普查报告. 新疆有色地质勘查局 704 队. 内部资料.

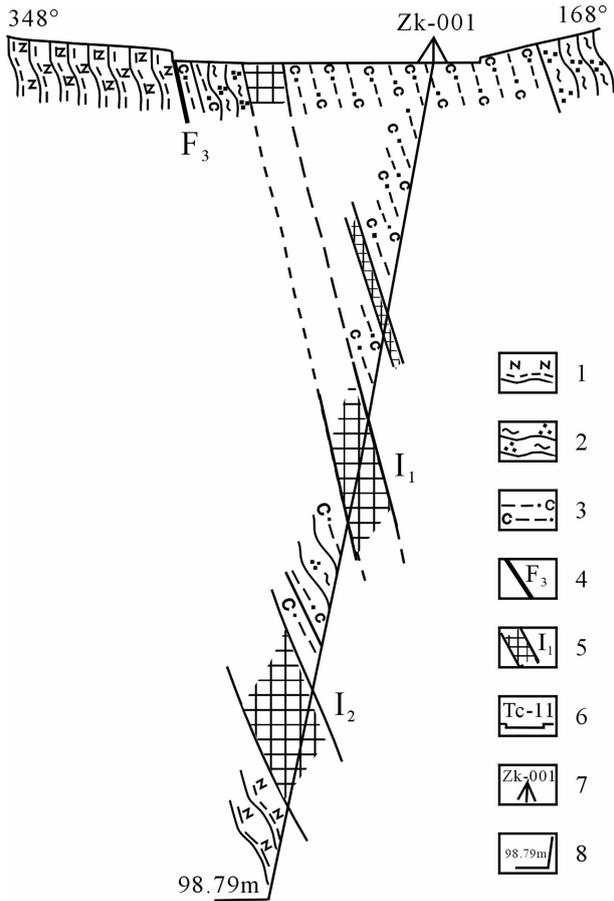


图3 红星山矿区北矿段0勘探线剖面图
(据肖庆华等,2005[●]修改)

- 1—黑云母斜长片麻岩;2—绿泥石石英片岩;3—碳质糜棱岩;
4—断层及编号;5—铅锌(银)矿体及编号;6—探槽及编号;
7—钻孔位置及编号;8—终孔深度

Fig. 3 Geological section along No. 0 exploration line in northern ore block of the Hongxingshan ore district
(modified after Xiao et al., 2005)

- 1—Biotite-plagioclase gneiss; 2—Chlorite quartz-schist;
3—Carbonaceous mylonite; 4—Fault and its serial number;
5—Pb-Zn (Ag) ore body and its serial number; 6—Trench and
its serial number; 7—Drill hole and its serial number;
8—Drill hole depth

大、品位增高的趋势,在地表,Zn品位偏低,但向深部明显增高。

I_2 号矿体 位于 I_1 号矿体的下方,为含碳构造带深部的隐伏富矿体,呈透镜状,其产状与 I_1 号矿体基本一致;目前,由2个钻孔沿走向初步控制的该矿体的长度大于100 m,钻孔见矿的视厚度为10.73~27.13 m;Pb+Zn平均品位为9.40%,最高

为34.17%,伴生银的平均品位为 55.77×10^{-6} ,最高为 212.79×10^{-6} 。

3.2 中矿段矿体特征

红星山组第三亚组第一岩性段上部的不纯大理岩带是中矿段的主要含矿层位,总体呈EW向展布,南倾,因受构造作用影响而形成中部向北凸的弧形矿化带。大理岩带的上下盘与围岩均呈断层接触,其中部较薄,宽度仅20余m,东部最宽达110 m。大理岩因普遍发生硅化而变硬。此外,主断裂带附近的大理岩较为破碎,并含有较多碳质。

铅锌矿体产于大理岩带的3种部位:①大理岩上盘与围岩接触部位的断裂带,是中矿段内最主要的含矿层位;②大理岩的层间破碎带,矿体规模一般较小;③大理岩下盘与围岩的构造接触带。沿大理岩上盘含矿层位,在地表断续见有古采老硐,沿矿体走向或倾向开挖,开口狭窄,洞深3~10 m不等,最深的老硐位于大理岩层间破碎带内,深逾20 m。

在中矿段,于地表共圈定出9个矿体,主要赋存于大理岩带上盘含矿层位中。矿体呈EW向顺层断续产出,其长度一般为20~130 m,宽2~5 m,呈脉状、透镜状、豆荚状、似层状,沿走向具分枝复合或尖灭再现的特点。经钻探初步证实,大理岩上盘含矿层位中的铅锌矿体在深部沿走向及倾向的变化相对稳定(图4),其厚度为4.83~12.14 m,Pb品位为0.78%~14.69%,Zn品位为1.14%~4.58%,Ag品位则普遍偏低,一般为 $(10 \sim 30) \times 10^{-6}$ 。此外,在大理岩带上盘的断裂带中,有数条含铅锌矿的石英脉,其中规模最大的脉宽约0.5~0.8 m,长逾60 m,延深大于20 m。

3.3 矿石结构、构造及围岩蚀变

北矿段

就 I_1 号矿体而言,在地表以下浅部约20 m范围内,主要为氧化矿石(仅石英脉中见原生铅锌矿石),具交代残留结构(黄铁矿被褐铁矿交代)、交代网状及胶状结构,矿石构造以淋滤胶状构造、土状构造为主,其次为角砾状构造和条带状构造,次生矿物有孔雀石、铜蓝、褐铁矿、赤铁矿、黄钾铁矾、铅矾等。

该矿段深部原生矿石的金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿及辉银矿、黄铜矿。矿石结构主要有4种:①半自形-他形细粒结构,方铅矿、闪锌矿、部分黄铁矿及黄铜矿呈半自形-他形粒

● 肖庆华,等. 2005. 新疆哈密市红星山矿区铅锌多金属矿普查报告. 新疆有色地质勘查局704队. 内部资料.

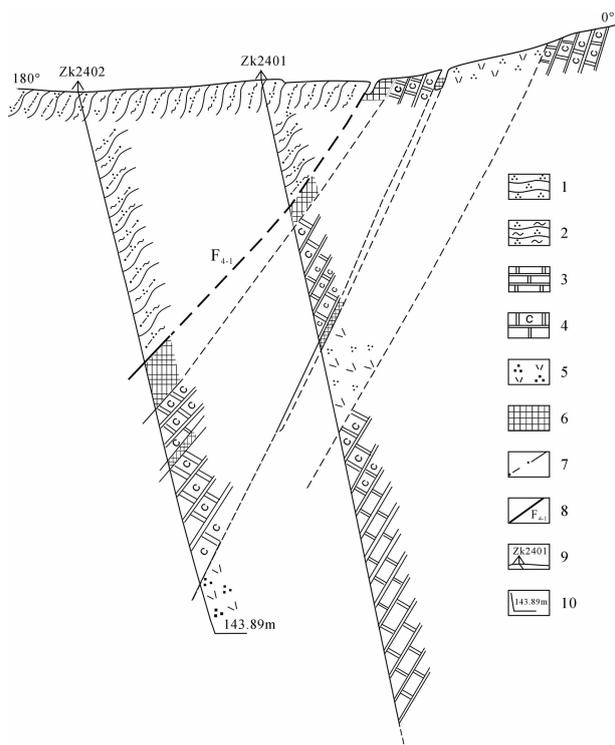


图 4 红星山矿区中矿段 24 勘探线剖面图

(据肖庆华等, 2005^①修改)

- 1—石英片岩; 2—绿泥石英片岩; 3—大理岩; 4—含碳大理岩;
5—石英斑岩; 6—铅锌矿体; 7—糜棱岩化; 8—断裂及编号;
9—钻孔及编号; 10—终孔深度

Fig. 4 Geological section along No. 24 exploration line in middle ore block of the Honxingshan ore district

(modified after Xiao et al., 2005)

- 1—Quartz-schist; 2—Chlorite quartz-schist; 3—Marble;
4—Carbonaceous marble; 5—Quartz porphyry; 6—Pb-Zn
ore body; 7—Mylonitization; 8—Fault and its serial number;
9—Drill hole and its serial number; 10—Drill hole depth

状; ② 自形结构, 主要为自形的黄铁矿, 其次有少量闪锌矿和方铅矿; ③ 交代溶蚀结构, 较典型的有方铅矿交代闪锌矿和黄铁矿, 闪锌矿交代黄铁矿; ④ 固溶体分离结构, 镜下可见黄铜矿、磁黄铁矿的包裹体沿闪锌矿的解理分布。矿石构造以星点状、浸染状和细脉状构造为主, 其次为块状构造。

围岩蚀变以黄铁矿化、硅化为主, 其次为碳酸盐化和石墨化。黄铁矿化在深部含碳糜棱岩中极为普遍, 以细脉状为主, 沿裂隙充填, 其次为浸染状和星点状, 与铅锌矿化关系不明显。硅化与成矿关系密切, 一般矿化较好处往往硅化相对较强, 主要表现为

石英细脉-网脉沿裂隙分布, 单个细脉较窄, 一般小于 5 cm, 规模较大的石英脉宽达 40~60 cm, 长大于 10 m, 呈透镜状, 含铅锌矿, 在多处探槽内, 可观察到不同方向的石英细脉相互截切的现象, 反映出可能存在多期热液活动。碳酸盐化和石墨化多见于钻孔岩芯, 碳酸盐多呈细脉状沿裂隙分布, 脉宽多小于 1 cm, 局部岩石片理面上见有鳞片状石墨。

中矿段

中矿段内矿石的矿物相对简单, 主要为方铅矿、闪锌矿及黄铁矿, 其次为白铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿和辉银矿。矿石主要为半自形-他形细粒结构和自形结构(主要为自形黄铁矿), 稀疏浸染状、细脉状、块状和角砾状构造。

围岩蚀变主要有硅化、白云石化、黄铁矿化、碳酸盐化、石墨化等。硅化最为普遍, 主要有 2 种情况: 早期硅化呈浸染状或弥散状, 石英晶粒交代大理岩内的方解石, 形成硅化大理岩, 与成矿无关; 晚期硅化主要沿断裂、裂隙发育, 表现为石英细脉充填岩石节理、裂隙或沿断裂带形成石英大脉, 与矿化关系密切, 沿含矿层位产出的石英大脉中多有铅锌矿化。

根据矿区内明显发育不同期次的石英脉和矿石中的黄铁矿具有多种形态(自形、半自形-他形及交代结构), 以及方铅矿、闪锌矿、黄铁矿之间交代及包裹关系等来判断, 该区的成矿热液活动具有多期性。

4 硫、铅同位素特征

硫、铅同位素分析测试工作在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完成。样品主要采自相对新鲜的钻孔岩芯, 部分样品采自矿区地表探槽。样品经破碎过筛后在双目镜下挑选出较纯的金属硫化物单矿物颗粒, 将硫化物单矿物样品破碎至 60~80 目, 全岩样品粉碎到 200 目。硫化物(方铅矿、黄铁矿、闪锌矿)的硫同位素分析在稳定同位素实验室内进行, 使用 Delta-S 型质谱仪, 采用国际 CDT 值标准。铅同位素分析在固体同位素超净实验室内完成, 根据样品采用不同的酸溶液溶解, 全岩采用 HF + HNO₃, 硫化物采用 HNO₃ 或 HCl 等, 然后通过阴离子交换树脂提取 Pb, 蒸干后以 1% HNO₃ 稀释备用, 测试仪器为德国 Finnigan 公司制造的 MAT-262 型质谱仪。

① 肖庆华, 等. 2005. 新疆哈密市红星山矿区铅锌多金属矿普查报告. 新疆有色地质勘查局 704 队. 内部资料.

4.1 硫同位素特征

红星山矿区矿石中主要硫化物的硫同位素组成如表1所示。诸硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为:方铅矿 8.76‰~10.40‰,平均 9.46‰;黄铁矿 11.48‰~12.65‰,平均 11.98‰;闪锌矿 9.36‰~10.86‰,平均 10.13‰。矿石中诸硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值均为大正值,变化范围相对较小,极差为 3.89‰,表明其具有共同的硫源。总体来看,该矿区的硫同位素组成以富集 ^{34}S 为特征。

表1 红星山矿区矿石硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotope composition of sulfides from the Hongxingsha lead-zinc ore district

钻孔号	样品编号	矿石类型	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})/\%$
ZK2402	Bt ₄ -2	浸染状矿石	黄铁矿	11.91
	b-2	浸染状矿石	方铅矿	8.76
ZK101	G ₂ -2	块状矿石	闪锌矿	9.36
	G ₃ -1	细脉状矿石	闪锌矿	10.86
	G ₄ -2	浸染状矿石	闪锌矿	10.16
	G ₄ -1	浸染状矿石	方铅矿	9.21
	bt-2	细脉状矿石	方铅矿	10.40
	G ₂ -3	块状矿石	黄铁矿	12.65
ZK001	bt-3	浸染状矿石	黄铁矿	11.86
	G ₃ -2	块状矿石	黄铁矿	11.48

测试单位: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。

热液矿床中的硫主要有3种来源,即幔源硫〔 $\delta^{34}\text{S}=(0\pm 3)\%$ 〕、地壳硫($\delta^{34}\text{S}$ 变化范围较大)、壳幔混合硫。红星山铅锌矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 在 8.76‰~12.65‰之间,表明其硫并非来源于地幔,而应来源于地壳。该矿区的铅锌矿体产于青白口系天湖

群浅海相变质碎屑岩和碳酸盐岩建造内,且其硫化物表现出明显富集重硫的特点,这与层控矿床的矿石硫同位素组成特征相一致。另外,该矿区的赋矿地层中均出现黄铁矿、磁黄铁矿、方解石及石墨等组合,反映出该区具有低 $f(\text{O}_2)$ 的成矿环境。据研究,在低 $f(\text{O}_2)$ 情况(以出现石墨和磁黄铁矿为标志)下,出现黄铁矿-磁黄铁矿-方解石-石墨组合,其黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大致相当于热液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值。该区黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均为 11.98‰,与岩浆硫相比,明显富重硫,结合其矿床地质特征,可认为该矿床的硫来源于含矿地层,即青白口系天湖群基底变质岩系,这些地层硫是由海水中的硫酸盐经还原作用而形成。

4.2 铅同位素特征

红星山矿区矿石和地层铅同位素组成见表2。8件矿石样品的铅同位素组成的变化范围为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.4129\sim 18.5338$,平均 18.4653; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.6185\sim 15.7321$,平均 15.6598; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.3137\sim 38.6812$,平均 38.4829。矿石铅同位素比值变化范围较窄,反映其铅同位素组成比较稳定; μ 值变化较小,为 9.50~9.71,平均 9.58,略大于地幔铅的值(8~9);Th/U值为 3.67~3.80,平均 3.73,略小于地壳的Th/U值(4),介于地壳与地幔之间。3件地层岩石样品的铅同位素变化范围为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.4973\sim 18.5730$,平均 18.5310; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.6721\sim 15.7610$,平均 15.7042; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.5312\sim 38.7144$,平均 38.6359。其 μ 值为 9.60~9.76,平均 9.66;Th/U值为 3.74~3.79,平均 3.77。以上数据反映出,该矿区矿石铅和地层岩石铅的同位素组成相近。

表2 红星山铅锌矿铅同位素组成及特征参数

Table 2 Lead isotopic composition and characteristic parameters of the Hongxingshan Pb-Zn ore district

样品	取样位置	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄/Ma	ω	μ	Th/U	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
方铅矿	ZK101孔	18.4129	15.6217	38.3137	192	36.20	9.51	3.68	75.58	19.57	30.78
方铅矿		18.4382	15.6237	38.3192	176	36.10	9.51	3.67	75.81	19.63	30.23
黄铁矿		18.5253	15.7321	38.6812	246	38.12	9.71	3.80	86.43	27.02	43.05
方铅矿	ZK2402孔	18.4471	15.6717	38.4792	229	37.15	9.60	3.75	80.47	23.00	36.84
方铅矿		18.4289	15.6499	38.4100	215	36.77	9.56	3.72	78.34	21.51	34.38
方铅矿		18.5338	15.6814	38.6744	179	37.57	9.61	3.78	81.58	23.40	39.89
大理岩		18.5730	15.7610	38.7144	247	38.27	9.76	3.79	89.31	28.91	43.99
黄铁矿	Zk002孔	18.5209	15.6791	38.6619	185	37.57	9.61	3.78	81.33	23.28	39.83
白铅矿	地表探槽	18.4149	15.6185	38.3235	187	36.20	9.50	3.69	75.27	19.33	30.80
大理岩		18.5228	15.6794	38.6622	184	37.56	9.61	3.78	81.36	23.30	39.80
绿泥石英片岩		18.4973	15.6721	38.5312	193	37.10	9.60	3.74	80.60	22.86	36.68

测试单位: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固体同位素实验室。

根据 Doe 等(1979)的 Pb 构造模式演化图解, 在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(图 5 A)中, 矿石铅和地层岩石铅的投点多落在造山带增长线与上地壳演化曲线之间, 只有 2 个样品落在上地壳演化曲线的上方, 在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(图 5B)中, 投点也主要落在上地壳和造山带演化曲线之间, 反映出其铅主要来源于上地壳, 可能有部分上地幔源铅的加入。另外, 在这 2 个图解中, 矿石铅和地层岩石铅均显示出良好的线性相关性, 暗示两者可能为同源关系。

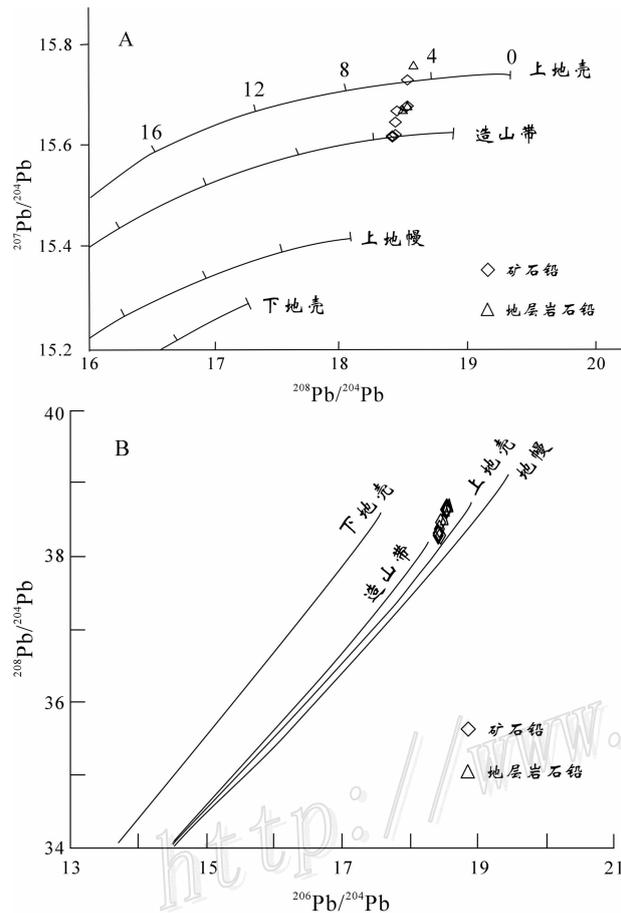


图 5 铅同位素构造模式图

A. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图; B. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图

Fig. 5 Plumbotectonics model of lead isotopes

落在该模式图中造山带曲线附近的铅, 实际上是上地壳、下地壳和上地幔 3 种储库 Pb 的混合。这种混合通常是以沉积作用、火山作用、岩浆作用、变质作用等方式, 把来源于地幔、上地壳、下地壳的铅混合形成具有均一 U/Pb、Th/Pb 的造山带铅。因此, 投影结果显示出该区的成矿物质铅并非单一来源, 而是具有壳幔混源的特征, 但该区矿石铅或地层岩石铅的同位素组成均相对富集放射性成因铅, 而

上地壳、下地壳和上地幔三者中, 只有上地壳以富集放射性成因铅为特征。因此, 反映出其铅主要来源于上地壳。

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, 对于地质过程和物质来源能提供更丰富的信息。通过计算矿石铅同位素与同时代地幔的偏差参数, 并投影在矿石铅同位素 $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$ 成因分类图解(朱炳泉, 1997)上, 可以看出, 其投点均落在上地壳与地幔混合的俯冲带铅范围内(图 6, 3a—岩浆作用), 并靠近上地壳范围区。

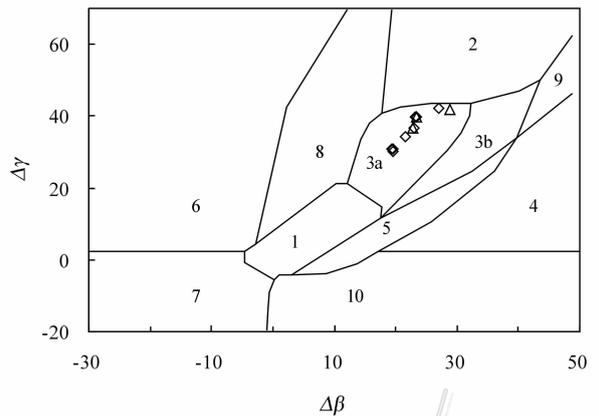


图 6 矿石铅同位素的 $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$ 成因分类图解

1—地幔源铅; 2—上地壳铅; 3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅 (3a—岩浆作用; 3b—沉积作用); 4—化学沉积型铅; 5—海底热水作用铅; 6—中深变质作用铅; 7—深变质下地壳铅; 8—造山带铅; 9—古老页岩上地壳铅; 10—退变质铅; \diamond —矿石铅; \triangle —地层岩石铅
Fig. 6 $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$ genetic classification of ore lead isotopes
1—Mantle lead; 2—Upper crust lead; 3—Upper crust and mantle mixed subduction zone lead (3a—Magmatism; 3b—Sedimentation); 4—Chemical sedimentary lead; 5—Submarine hydrothermal lead; 6—Lead of intermediate-deep metamorphism; 7—Lower crust lead of deep metamorphism; 8—Lead of orogenic belt; 9—Upper crust lead of old shale; 10—Lead of retrograde metamorphism; \diamond —Ore lead; \triangle —Lead in strata and rocks

从矿石和地层岩石的铅同位素组成及诸图解可以看出, 该区矿石铅和地层岩石铅具有相似的同位素组成, 图解中也表现出较好的线性关系, 显示出其同源特征, 铅主要来源于上地壳, 并有部分幔源铅的加入, 表明铅来源可能与地层和岩浆侵入活动有关。

5 流体包裹体特征

流体包裹体测温工作在中国科学院地质与地球

物理研究所流体包裹体实验室完成。测温用的仪器为英国 Linkam 公司生产的 THMSG-600 冷热台,其温度控制范围为 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷冻和加热数据的精度分别为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

由于红星山铅锌矿床内的脉石矿物中流体包裹体较少且较小,加之,北矿段矿体中含有较多碳质,因而,本次研究仅测得 16 个流体包裹体(中矿段 13 个,北矿段 3 个)的温度参数(见表 3)。所测矿物为伴生有硫化物的石英,其所含包裹体较少且分布不均匀,多呈星散状或成群杂乱分布,大小一般为 $2\sim 4\text{ }\mu\text{m}$,大者 $5\sim 8\text{ }\mu\text{m}$,以浑圆状和椭圆状为主,其次为长条形和不规则状。室温下观察,其流体包裹体可分为 2 类:一类为纯液相包裹体;另一类为气液两相包裹体,气相所占比例一般小于 10%,随升温逐渐均一到液相。16 个样品的均一温度 t_h 在 $190\sim 340\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,主要集中于 $220\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$,冰点 t_m 值为 $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim -8.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,据 Bodnar(1993)总结的盐度-冰点关系图,得出其成矿流体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $3.39\%\sim 11.81\%$ (表 3)。

产于同一成矿带内的玉西银(铅锌)矿床和彩霞山铅锌矿床,其流体包裹体的特征与红星山铅锌矿床的相类似。玉西矿床内流体包裹体的 t_h 为 $210\sim 232\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $2.43\%\sim 11.13\%$ (周济元等,1999);彩霞山矿床内流体包裹体的 t_h 为 $180\sim 330\text{ }^{\circ}\text{C}$,主要集中于 $190\sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $7.43\%\sim 15.47\%$ (高晓理等,2006)。红星山矿床内流体

包裹体的 t_h 范围与这 2 个矿床相近,基本上反映出该区铅锌矿主成矿阶段的流体属中低温及中低盐度成矿流体。

6 矿床成因探讨

6.1 成矿物质来源

星星峡地区 1/10 万区域化探扫面成果显示,该区前寒武纪地层分布区是以 Pb、Zn、As、Au、Ag、Cu 为主的地球化学异常区,并有 Cr、Mn、Co、Ni、V 等异常。其中,Pb-Zn-Ag-Au-Cu-As 组合异常集中分布于红星山地区,异常区面积大于 10 km^2 ,Pb 异常规模大、峰值高(385.6×10^{-6})、浓集中心明显,在青白口系天湖群红星山组第三亚组地层中形成明显的中、外带异常,表现出较好的分带特点和富集趋势,反映出红星山地区的地层岩石中具有较高的 Pb、Zn、Ag 背景值。

根据星星峡地区不同类型岩石中 Pb、Zn、Ag 的丰度值(表 4)可知,青白口系天湖群的大理岩、片麻岩及各类花岗岩中 Pb、Ag 丰度值较高,大理岩的 Pb 丰度值最高,为克拉克值的 2.64 倍,而中酸性侵入岩如石英闪长岩及各类花岗岩中 Zn 的丰度值高于地层。这表明,区域内青白口系天湖群大理岩、片麻岩及各类花岗岩有可能为该区铅锌(银)成矿提供了物质来源,但区域内各类岩石的 Zn 丰度值总体偏低,均低于克拉克值,这也可能是该区锌矿化不强的原因之一。

表 3 红星山铅锌矿床流体包裹体特征表

Table 3 Characteristics of fluid inclusions of the Hongxingshan Pb-Zn deposit

样品号	矿物	包裹体类型	粒径/ μm	$t_h/\text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_m/\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	流体体系	备注
ZK2402-bt4	石英	纯液相/气液相	2~8	192.6~338.5	-3.4~-8.1	5.56~11.81	H ₂ O-NaCl	9 组数据
Zk2401-bt1	石英	纯液相/气液相	2~5	230.2~248.7	-2.0~-5.3	3.39~8.27	H ₂ O-NaCl	4 组数据
ZK101-bt2	石英	纯液相/气液相	2~5	223.4~243.2	-3.1~-4.2	5.11~6.74	H ₂ O-NaCl	3 组数据

表 4 星星峡地区主要岩石中成矿元素的丰度

Table 4 Ore-forming element contents of major rocks in Xingxingxia area

岩性	样数	统计特征	Ag/ 10^{-9}	Pb/ 10^{-6}	Zn/ 10^{-6}	
华力西期中 酸性侵入岩	花岗岩及斑状花岗岩	125	平均值	92	23.75	45.54
	闪长岩及石英闪长岩	39	平均值	70	21.51	46.33
	含金花岗岩	6	平均值	230	23.33	47.00
青白口系天湖群	片麻岩及混合岩	55	平均值	90	24.10	43.23
	石英岩	41	平均值	90	23.00	23.82
	大理岩	35	平均值	100	32.94	30.91
	各类片岩	90	平均值	80	24.16	42.96
地壳“克拉克”值(泰勒,1964)			70	12.5	70.00	

数据来源:1988~1989 年新疆有色地勘局物探队所采集的 391 件原生晕样品的分析结果。

红星山铅锌矿床产于青白口系天湖群内,其矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值在 8.76‰~12.65‰ 之间(表 1),表明其硫并非来源于地幔,而是来源于地壳。其矿石铅和地层岩石铅具有相似的同位素组成(表 2),且表现出较好的相关性,显示出同源特征。因此可认为,青白口系天湖群基底岩系是该区铅锌矿的矿源层。

6.2 控矿因素

地层 青白口系天湖群红星山组第三亚组是该区铅锌矿的控矿层位,碳质糜棱岩和大理岩是铅锌矿的容矿岩石,矿体主要呈脉状、似层状、透镜状顺层产出,产状与赋矿地层基本一致,明显表现出受地层层位及岩性控制的特点。区域岩石化学特征显示,变质基底地层内 Pb、Zn、Ag 等成矿元素的丰度值相对较高,是铅锌(银)矿的有利矿源层,硫及铅同位素地球化学特征也指示成矿物质主要来源于赋矿地层。

构造 红星山铅锌矿床北矿段的矿体产于 NEE 向 F_3 断裂带东部的碳质糜棱岩带内,中矿段的矿体主要产于大理岩带上盘与围岩接触部位的断裂带内,其次产于大理岩层间破碎带内以及大理岩带下盘与围岩的构造接触带内,矿体无一例外地分布于构造破碎带或断裂带中。因此,该矿区内的 NEE 向主断裂及次级断裂对成矿具有明显控制作用。断裂构造一方面为成矿流体的运移和沉淀富集提供空间场所,起到地球化学障的作用,另一方面,断裂构造活动也为地层中成矿物质的活化迁移提供热源和驱动力。该区断裂带附近的大理岩中,破裂裂隙发育并普遍含有碳质,反映出强烈的构造剪切或挤压作用所产生的热能致使岩石中 CO_3^{2-} 离子分解析出碳质。断裂构造还控制了该矿区内的华力西期中酸性岩浆侵入活动。

岩浆岩 华力西期中酸性侵入体主要沿 F_4 断裂侵入,在空间上紧临中矿段大理岩带南侧,并且侵入于大理岩内部。在中矿段,大理岩中白云石化和硅化以及铅锌矿体中硅化均较为普遍,不同期次的石英细脉穿插,并有石英大脉出现,大量含硅的热液蚀变反映出可能有岩浆热液活动的参与。矿石铅同位素特征也显示,铅具有壳幔混源特征,可能与岩浆侵入活动有关。另外,该区华力西期中酸性侵入体的 Pb、Zn、Ag 丰度值相对较高,有可能提供了部分成矿物质。

综上,有利的矿源层和特定的岩性建造,以及一定的断裂构造部位和华力西期岩浆热液活动,是控

制该区铅锌成矿的主要因素。

6.3 矿床成因

红星山铅锌矿床与青白口系天湖群红星山组变质基底地层关系密切,矿体赋存于碳质糜棱岩(原岩为含碳细碎屑岩)和不纯大理岩中,并受一定的断裂构造部位的控制,成矿物质主要来源于赋矿地层,含矿热液属中低温及中低盐度流体,华力西期岩浆热液活动可能提供了部分成矿物质。因此可认为,红星山铅锌矿床属沉积变质-热液改造型层控矿床。

中天山地块处于塔里木板块与准噶尔板块的聚合区。区域研究成果表明,奥陶纪至石炭纪末,是塔里木板块与准噶尔板块汇聚的阶段,伴随着南北方向的强烈挤压,在中天山前寒武纪地块内,广泛发育了 EW 向断裂及褶皱构造,并导致地壳发生部分熔融而形成中酸性岩浆,华力西期的岩浆活动尤为强烈,导致形成大量同构造花岗岩(闪长)岩。红星山铅锌(银)矿床可能是在基底岩系沉积成岩而形成矿源层(矿胚层)和贫矿层的基础上,经区域变质作用、岩浆作用和构造活动等,使矿源层中的成矿物质活化、迁移,在有利的构造部位沉淀富集而形成矿床。另外,华力西期岩浆热液活动也可能携带部分成矿物质沿构造裂隙充填、交代矿体和围岩,导致矿体叠加变富和广泛的围岩蚀变。

7 区域铅锌成矿作用对比

通过与区域内彩霞山铅锌矿床和玉西银(铅锌)矿床进行对比(表 5),可以看出,这 3 个矿床在区域成矿地质背景、控矿因素、矿化特征及同位素地球化学等方面均具有可比性,反映出中天山地块内铅锌(银)成矿具有相似的成矿地质条件及成矿规律,现简要总结如下。

(1) 铅锌成矿与前寒武纪变质基底地层关系密切,地层控矿特征明显。红星山铅锌矿床产于青白口系天湖群内,彩霞山铅锌矿床和玉西银(铅锌)矿床均产于蓟县系卡瓦布拉克群内。区域岩石地球化学特征表明,基底地层中 Pb、Zn、Ag 等成矿元素丰度值相对较高,(周济元等,1996;彭明兴等,2006),反映出中天山前寒武纪结晶基底岩系是铅锌(银)矿的有利矿源层。

(2) 富镁碳酸盐岩和含碳碎屑岩为有利含矿岩性。红星山铅锌矿床的含矿岩石为碳质糜棱岩和大理岩;彩霞山铅锌矿床的含矿岩石为白云质大理岩

表5 中天山地块典型铅锌(银)矿床成矿特征对比

Table 5 Comparison of ore-forming characteristics between typical lead-zinc deposits in Middle Tianshan massif

主要特征	彩霞山铅锌矿床	玉西银(铅锌)矿床	红星山铅锌矿床
构造背景	中天山地块	中天山地块	中天山地块
赋矿地层	蓟县系卡瓦布拉克群第一岩性段	蓟县系卡瓦布拉克群下亚群	青白口系天湖群红星山组
矿体产出部位及赋矿岩性	白云质大理岩与下盘含碳质粉砂岩接触带内,其次产于白云质大理岩内	条带状含碳大理岩	白云质大理岩与围岩接触带内、大理岩层间破碎带内、碳质糜棱岩带内
主要控矿构造	白云石化大理岩下盘构造破碎带	大理岩上盘硅化破碎带、大理岩层间破碎带	大理岩上盘构造破碎带、大理岩层间破碎带、碳质糜棱岩带
矿体形态	顺层产出,倾向南,脉状、似层状为主,其次为透镜状	顺层产出,南倾,脉状为主,其次为透镜状、似层状	沿接触带或破碎带顺层产出,南倾,透镜状、脉状为主
主要矿物组合	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿和磁黄铁矿	辉银矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉银矿
围岩蚀变	透闪石化、硅化、白云石化、碳酸盐化、绿泥石化、石墨化	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、白云石化、石墨化	硅化、黄铁矿化、白云石化、碳酸盐化、石墨化
矿石硫同位素	$\delta^{34}\text{S}$ 为-10.5‰~16.8‰,以大正值为主,且相对集中	$\delta^{34}\text{S}$ 为-2.64‰~15.60‰,以大正值为主,且相对集中	$\delta^{34}\text{S}$ 为8.76‰~12.65‰,均为大正值,且相对集中
矿石铅同位素组成	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为17.7090~17.2025 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.5214~15.5277 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为36.9921~37.0187	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.586~18.673 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.589~15.646 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.394~38.592	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.4129~18.5338 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.6185~15.7321 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.3137~38.6812
岩石铅同位素组成	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为17.1839~17.2255 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.5272~15.5314 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为37.0132~37.0829	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.673 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.591 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.490	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为18.4973~18.5730 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.6721~15.7610 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为38.5312~38.7144
流体包裹体	气液两相包裹体, t_h 为190~220℃, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为7.43%~15.47%	气液两相包裹体, t_h 为210~232℃, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为2.43%~11.13%	气液两相包裹体, t_h 为220~250℃, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为3.39%~11.81%
岩浆岩	华力西期石英闪长岩、微晶闪长岩、石英二长岩	华力西中期黑云母斜长花岗岩、二长花岗岩	华力西期二长花岗岩、钾长花岗岩、石英斑岩

注:彩霞山铅锌矿床的铅同位素数据引自梁婷等(2005),硫同位素数据引自彭明兴等(2007);玉西银(铅锌)矿床的数据引自周济元等(1999)。

和含碳粉砂岩;玉西银(铅锌)矿床的含矿岩石主要为条带状含碳大理岩。

(3)近EW向断裂构造对成矿具有明显控制作用。红星山铅锌矿床主要产于NEE向 F_3 断裂带东部的含碳糜棱岩带、大理岩与围岩接触部位的 F_{4-1} 断裂带内或大理岩层间破碎带内;彩霞山铅锌矿床主要产于白云石大理岩下盘与含碳粉砂岩接触部位的破碎带内;玉西银(铅锌)矿床主要产于条带状含碳大理岩中的构造破碎带内。

(4)这3个矿区均发育有华力西期中酸性侵入岩。红星山矿区内的侵入岩主要有二长花岗岩、钾长花岗岩、石英斑岩;彩霞山矿区,主要为石英闪长岩、微晶闪长岩、石英二长岩;玉西矿区,主要有黑云母斜长花岗岩和二长花岗岩。后2个矿区的氢氧

同位素数据表明,成矿流体内有岩浆水的加入(周济元等,1996;高景刚等,2007),反映出华力西期岩浆活动对成矿有一定贡献。

(5)铅锌(银)矿化及围岩蚀变特征相似。矿体均赋存于地层内且顺层产出,以似层状、脉状、透镜状为主,且主要矿石矿物组成和结构构造特征相似。围岩蚀变主要为硅化、白云石化、碳酸盐化、石墨化、透闪石化等,以硅化最为普遍。

(6)矿石的硫、铅同位素组成及流体包裹体特征相似。矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值以大正值为主,且相对集中,矿石铅同位素组成与地层的相似,显示出具有同源性。成矿流体均属中低温和中低盐度流体。这些特征均反映出这3个矿床具有相似的成矿物质来源和成矿过程。

综上所述,东疆中天山地块内的铅锌矿与前寒武纪变质基底关系密切,矿体产于特定的地层层位和岩性建造(大理岩、含碳碎屑岩)内,并受一定构造部位的控制,华力西期岩浆活动对成矿具有改造变富作用。其矿床类型应属沉积变质-热液改造型层控矿床。沿卡瓦布拉克群及天湖群浅海相碳酸盐岩-碎屑岩层位,发育有断裂构造并有华力西期中酸性岩浆活动的地段,是有利的找矿靶区。

志 谢 新疆有色地质勘查局 704 队对本项目的野外工作给予了大力支持,彭晓明教授级高工也参与了本次野外工作;室内测试工作得到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王秀丽老师和张福松老师的悉心指导。在此表示衷心感谢!

References

- Bodnar R J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57:683-684.
- Chen F W, He G Q and Li H Q. 2003. Tectonic attribute of the Jueluotage orogenic belt in the East Tianshan Mountains, northwestern China[J]. *Geology in China*, 30(4): 361-366 (in Chinese with English abstract).
- Doe B R and Zartman Z E. 1979. Plumbotectonics, the Phanerozoic [A]. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*[M]. New York: Wiley. 22-70.
- Dong L H, Zhuang D Z, Feng J and Zhang L C. 2007. The stratabound lead-zinc deposits of Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 25(4): 339-344 (in Chinese with English abstract).
- Gao J G, Liang T, Peng M X, Li Y L, Wang L and Gao X L. 2007. Sulfur, carbon, hydrogen and oxygen isotope geochemistry of Caixiashan lead-zinc deposit, Xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 43(5): 57-60 (in Chinese with English abstract).
- Gao X L, Peng M X., Hu C A, Wang D H, Liang T and Gao J G. 2006. Research on fluid inclusion of the Caixiashan lead-zinc deposit[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 28(2): 25-29 (in Chinese with English abstract).
- Gao Z J, Chen J B and Lu S N. 1993. Precambrian geology about north of Xinjiang[J]. *Precambrian Geology*, 6(2): 1-171 (in Chinese with English abstract).
- Hu A Q, Zhang Z G and Liu J Y. 1986. Age and evaluation of Precambrian metamorphic rock series of the eastern Tianshan Mountains lifted belt; Study on U-Pb chronology [J]. *Geochemistry*, 15(1): 23-35 (in Chinese with English abstract).
- Jiang F Z, Qin K Z, Fang T H and Wang S L. 2002. Types, geological characteristics, metallogenic regularity and exploration targets of iron deposits in eastern Tianshan Mountains[J]. *Xinjiang Geology*, 20(4): 379-383 (in Chinese with English abstract).
- Li Q, Yu H F and Xiu Q Y. 2002. On Precambrian basement of the eastern Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 20(4): 379-383 (in Chinese with English abstract).
- Liang T, Wang L, Peng M X, Hu C A, Wang D H and Gao X L. 2005. Characteristics of lead isotope for Caixiashan mountain Pb-Zn deposit in Xinjiang[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 25(3): 337-340 (in Chinese with English abstract).
- Ma R S, Su L S and Sun J Q. 1997. Tectonic evolution and metallogenetic of metallic deposits in Eastern Tianshan[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 163-173 (in Chinese).
- Peng M X and Sang S J. 2007. Forming analysis of the Caixiashan lead-zinc deposit Xinjiang and comparison with the MVT deposit forming[J]. *Xinjiang Geology*, 25(4): 373-378 (in Chinese with English abstract).
- Peng M X and Wang J L. 2006. Geological characteristics and building about prospecting model of the Caixiashan lead-zinc deposit in the Shanshan[J]. *Xinjiang Geology*, 24(4): 405-411 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Fang T H, Wang S L, Zhu B Q, Feng Y M, Yu H F and Xiu Q Y. 2002. Plate tectonic division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW-China [J]. *Xinjiang Geology*, 20(4): 302-308 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Peng X M, San J Z, Xu X W, Fang T H, Wang S L and Yu H F. 2003. Types of major ore deposits, division of metallogenic belts in eastern Tianshan, and discrimination of potential prospects of Cu, Au, Ni mineralization[J]. *Xinjiang Geology*, 21(2): 143-150 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R. 1964. Abundance of Chemical elements in the continental crust: A new table [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1273-1285.
- Wu H, Li H Q, Mo X H, Chen F W, Lu Y F, Mei Y P and Deng G. 2005. Age of the Baishiquan mafic-ultramafic complex and its significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(4): 499-502 (in Chinese with English abstract).
- Wu H, Xu X W, Mo X H, Liang G H, Chen S L, Qin K Z, Li J, Zhang B L, Wang J, Xiao Q B, Han Z J, Jin C M and Li J X. 2006. Exploration by combined geophysical methods and location prediction of buried Cu-Ni deposits in the Baishiquan area, eastern Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 33(3): 672-681 (in Chinese with English abstract).
- Zhou J Y, Zhang B, Zhang C W, Wei G Y, Lu Y, Xia J, Cui B F, Wang C Y and Li B H. 1996. *Geology of Ag, Re-Mo, Au and Cu deposits in the paleo-epicontinental margin of eastern Tianshan Mts*[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 70-100 (in Chinese).

- Zhou J Y, Cui B F and Lu Y. 1999. Characteristics and genesis of the Yuxi silver deposit in Hami, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 18 (3): 218-224 (in Chinese with English abstract).
- Zhu B Q. 1997. The theory and application of the isotopic systematics in the earth science[M]. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈富文,何国琦,李华芹. 2003. 论东天山觉罗塔格造山带的大地构造属性[J]. 中国地质,30(4):361-366.
- 董连慧,庄道泽,冯京,张良臣. 2007. 新疆层控铅锌矿[J]. 新疆地质,25(4):339-344.
- 高景刚,梁婷,彭明兴,李玉林,王磊,高晓理. 2007. 新疆彩霞山铅锌矿床硫、碳、氢、氧同位素地球化学[J]. 地质与勘探,43(5):57-60.
- 高晓理,彭明兴,胡长安,王登红,梁婷,高景刚. 2006. 新疆彩霞山铅锌矿床流体包裹体研究[J]. 地球科学与环境学报,28(2):25-29.
- 高振家,陈晋镏,陆松年. 1993. 新疆北部前寒武系[J]. 前寒武纪地质,6(2):1-171.
- 胡霁琴,章振根,刘菊英. 1986. 天山东段中天山隆起带前寒武纪变质岩系时代及演化—据 U-Pb 年代学研究[J]. 地球化学,15(1):23-35.
- 姜福芝,秦克章,方同辉,王书来. 2002. 东天山铁矿床类型、地质特征、成矿规律与找矿方向[J]. 新疆地质,20(4):379-383.
- 李铨,于海峰,修群业. 2002. 东天山前寒武纪基底若干问题的讨论[J]. 新疆地质,20(4):346-351.
- 梁婷,王磊,彭明兴,胡长安,王登红,高晓理. 2005. 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,25(3):337-340.
- 马瑞士,舒良树,孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京:地质出版社. 163-173.
- 彭明兴,桑少杰. 2007. 新疆彩霞山铅锌矿床成因分析及与 MVT 型矿床成因对比[J]. 新疆地质,25(4):373-378.
- 彭明兴,王君良,虞文英,张征,张阆,王文娟. 2006. 新疆鄯善县彩霞山铅锌矿床地质特征及找矿模型建立[J]. 新疆地质,24(4):405~411.
- 秦克章,方同辉,王书来,朱宝清,冯益民,于海峰,修群业. 2002. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质,20(4):302-308.
- 秦克章,彭晓明,三金柱,徐兴旺,方同辉,王书来,于海峰. 2003. 东天山主要矿床类型、成矿区带划分与成矿远景区优选[J]. 新疆地质,21(2):143-150.
- 吴华,李华芹,莫新华,陈富文,路远发,梅玉萍,邓刚. 2005. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性-超基性岩的形成时代及地质意义[J]. 地质学报,79(4):499-502.
- 吴华,徐新旺,莫新华,梁光河,程松林,秦克章,李军,张宝林,王杰,肖骑彬,韩照举,金长明,李金祥. 2006. 东天山白石泉矿区地球物理多方法联合探查与隐伏铜镍矿定位预测[J]. 中国地质,33(3):672-681.
- 周济元,张斌,张朝文,卫管一,陆彦,夏军,崔炳芳,王崇云,李保华. 1996. 东天山古大陆及其边缘银、铍、金和铜矿地质[M]. 北京:地质出版社. 70-100.
- 周济元,崔炳芳,陆彦. 1999. 新疆哈密玉石西银矿床特征及成因[J]. 矿床地质,18(3):218-224.
- 朱炳泉. 1997. 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.

<http://www.kcdz.com.cn/>