

新疆彩霞山铅锌矿床硫、碳、氢、氧同位素地球化学

高景刚^{1,2}, 梁婷², 彭明兴³, 李玉林³, 王磊³, 高晓理²(1. 长安大学信息工程学院, 西安 710064; 2. 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安 710054;
3. 新疆地质矿产开发局第一地质大队, 昌吉 831100)

[摘要]文章通过对彩霞山铅锌矿床硫、碳、氢、氧同位素的研究,探讨了矿床成矿流体来源及演化,揭示了成矿作用过程中的某些重要信息。初步认为矿石中的硫主要来自同化了海水硫酸盐的岩浆硫,同时有少量生物还原硫参与;碳、氧同位素组成指示碳来源于壳幔混合。成矿流体以建造水为主,早期有岩浆水参与。

[关键词]彩霞山铅锌矿 地球化学 稳定同位素

[中图分类号]P618.42;P618.43;P632 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2007)05-0057-04

彩霞山铅锌矿床位于新疆鄯善县东南160km处,新疆地质矿产开发局第一地质大队于2002年发现,是东天山地区近年来新发现的一个具有较大规模的铅锌矿床,其中仅Ⅱ₃矿体Pb+Zn金属量达到30.64万t,Ag金属量为211.29t^①。随着其他矿脉勘查工作的不断深入,其储量有望达到大型规模。目前仅有研究者从铅同位素^[1]、流体包裹体^[2]对矿床的成矿物质来源进行了分析。为了更好地揭示矿床成因问题,文章拟通过对彩霞山大型铅锌矿床的硫、碳、氢、氧稳定同位素组成的研究,探讨矿床成矿流体的来源与演化,这不但具有重要的参考意义,也有助于下一步的地质找矿工作。

1 成矿地质特征

矿区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夹持的中间地块,即卡瓦布拉克中间地块。矿区内出露的地层为元古宇青白口系卡瓦布拉克群^①,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,分为两层,分布在F₂断裂两侧:断裂以北为卡瓦布拉克群第一岩性段第一层,主要由含炭变质粉砂岩、黝帘绢云板岩、粉砂质板岩及硅质夹含石墨多期活化、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)。

区内岩浆活动较为强烈。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。该岩体与矿体在地表没有显示出直接的接触关系,矿化带主要沿岩体南缘展布,带内中-基性岩脉也较为发育。

区内断裂构造发育,北部为阿其克库都克区域性大断裂,并伴随有次级断裂或派生断裂。按断裂分布方向大致可归为3组:北东东向、北北东-北东向、北西向。其中北东东向断裂F₁、F₂、F₃走向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,断裂带内较为刚性的岩石(白云石大理岩)呈碎裂角砾状,形成了导矿和容矿的空间。

彩霞山铅锌矿床目前共圈出4个矿脉、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群第一岩性段碎屑岩+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号矿脉中的Ⅱ₃矿体规模最大,由25个子矿体组成,矿体长200m,真厚度为5.67m。

矿石矿物组成主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等,其中以闪锌矿为主,含量10%~30%,其次为方

[收稿日期]2006-06-05; **[修订日期]**2006-10-23。

[基金项目]中国地质调查局项目(编号:200420190004)和新疆地质矿产勘查开发局项目(编号:XCMB2004001)联合资助。

① 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Ⅱ₃号富矿体详查报告,2005。

[第一作者简介]高景刚(1974年—),男,2004年毕业于长安大学,获硕士学位,在读博士生,讲师,现主要从事矿产资源评价及预测工作。

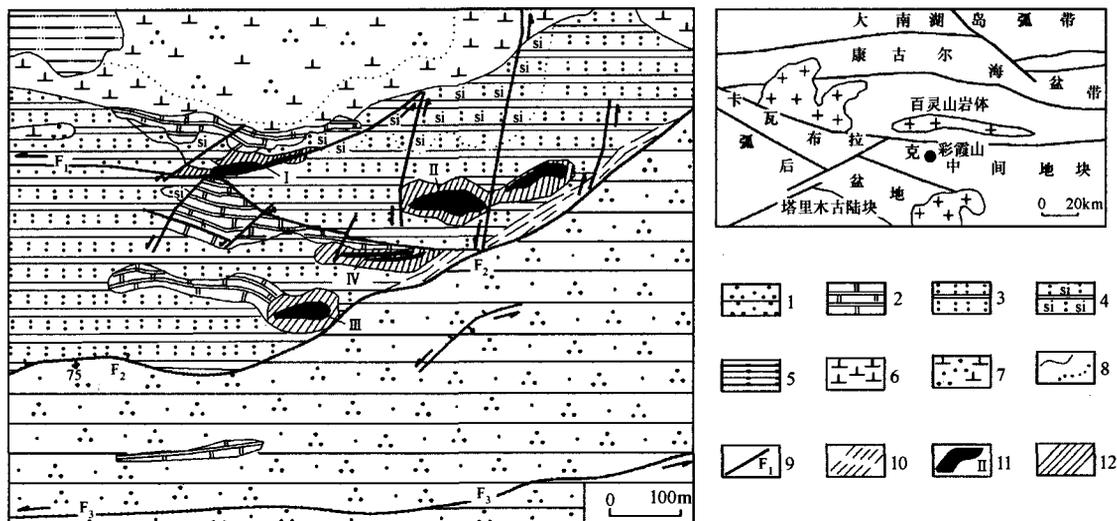


图1 彩霞山铅锌矿矿区地质简图及构造分区略图

(据新疆地质一大队资料整理)

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—长城系星星峡组二辉麻粒岩;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—断层及编号;10—糜棱岩化带;11—铅锌矿脉及编号;12—矿化蚀变带

铅矿,含量微量至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、微细粒结构和他形结构为主,毒砂及少量黄铁矿呈自形晶粒结构。矿石构造主要是脉状、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,发育有碳酸盐化、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,可将该矿床分为3个成矿期次和5个成矿阶段。

1) 热液成矿期: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。分为5个成矿阶段:①透闪石-石墨阶段,与华力西期构造热事件有关,形成矿化前的有关蚀变矿物,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硫盐-方铅矿阶段,可生成少量黄铜矿、黄铁矿。

2) 动力变质变形期: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。

3) 表生成矿期:成矿后经历了抬升剥蚀暴露地表,遭受氧化形成氧化矿。

2 样品分析方法

该次研究选用的稳定同位素测定样品均采自矿体,在室内将样品纯度提高到>99%。硫同位素测试分析流程为:以氧化铜和五氧化二钒作为混合氧化剂,在高温真空条件下与硫化物反应制取SO₂,采用MAT230C质谱仪测定SO₂的硫同位素组成,以V-CDT为标准,测定方法总精度为±0.2‰;氢采用加热爆破法从样品中提取原生流体包裹体中的H₂O,将提取的包裹体中的H₂O与Zn在400℃条件下反应30min制取H₂,在MAT-251质谱仪上测定H₂的δD,测试误差为±2‰;碳氧同位素组成采用100%磷酸法在MAT-251EM质谱仪上测试,分析精度为±0.2‰^[5]。

3 稳定同位素地球化学

3.1 硫同位素组成

在该次研究中硫同位样品选择黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等单矿物样品9件,分析结果见表1。

硫同位素是矿床成因和成矿物理化学条件的指示剂,主要有3个储存库,即幔源硫(δ³⁴S=0±3‰)、海水硫(δ³⁴S=20‰)和沉积物中还原硫,其中沉积物中还原硫的同位素值主要以具有较大的负值

为特征^[3-4]。

表 1 彩霞山铅锌矿硫同位素组成 ‰

样品号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$	平均值
Zk3402-b1	黄铁矿	16.8	3.1
Zk4604-b1	黄铁矿	-10.5	
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	
Zk3402-b2	闪锌矿	6.5	
Zk3801-b12	方铅矿	11.8	6.4
Zk3004-b2	方铅矿	6.2	
Zk3003-b7	方铅矿	1.2	

注:中国地质科学院矿产资源研究所稳定同位素实验室测试, 2005。

表 1 显示: $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围较大(-10.5‰ ~ 16.8‰), 平均值为 7.33‰, 极差达到 27.3‰, 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 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围分别为: 黄铁矿 -10.5‰ ~ 16.8‰, 均值为 3.1‰; 闪锌矿 6.5‰ ~ 14.7‰, 均值为 9.6‰; 方铅矿 1.2‰ ~ 11.8‰, 均值为 6.4‰。

据研究, 在低氧逸度情况下(以出现石墨和磁黄铁矿为标志), 磁黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大致相当于热液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值。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‰, 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。

3.2 碳、氧、氢同位素组成特征

该次研究分析碳、氧、氢同位素样品 5 件, 测试结果见表 2。

表 2 彩霞山铅锌矿床 C、O、H 同位素组成 ‰

样品号	样品名称	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$
ZK3802-b9	石英		18.2	-72	5~6
ZK3802-b9	方解石	-0.8	17.4	-82	7~8
ZK3801-b10	蚀变大理岩	0.1	19.1		
ZK3801-b20	蚀变大理岩	-2.4	17.8		
ZK3801-b22	蚀变大理岩	-1.3	14.7		

注:① 中国地质科学院矿产资源研究所稳定同位素实验室测试, 2005; ② 流体包裹体的均一温度测定(200℃ ±), 水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值计算公式为: $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = -3.40 + 3.38 \times 10^6/t^2$, $1000\ln\alpha_{\text{方解石-水}} = -2.89 + 2.78 \times 10^6/t^2$ 。

碳、氧同位素被广泛地用于追溯流体中 CO_2 来源研究, 是示踪地幔流体参与成矿作用的有效方法^[4-6]。表 2 中显示蚀变大理岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化于

-2.4‰ ~ +0.1‰ 之间, 均值为 -1.2‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 介于 14.7‰ ~ 19.1‰ 之间, 均值为 17.2‰。方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -0.8‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 17.4‰, 与蚀变大理岩的 C、O 同位素组成没有明显的差异, 表明其来源与容矿大理岩有关。 $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$ 图解显示, 方解石和蚀变大理岩的碳、氧同位素变化范围较窄, 投影点较为集中(图 2), 主要分布在原生碳酸岩与沉积碳酸盐之间, 而且近于线形形态, 反映了成矿流体与围岩的密切联系, 以及与地幔或深部流体的亲缘关系。

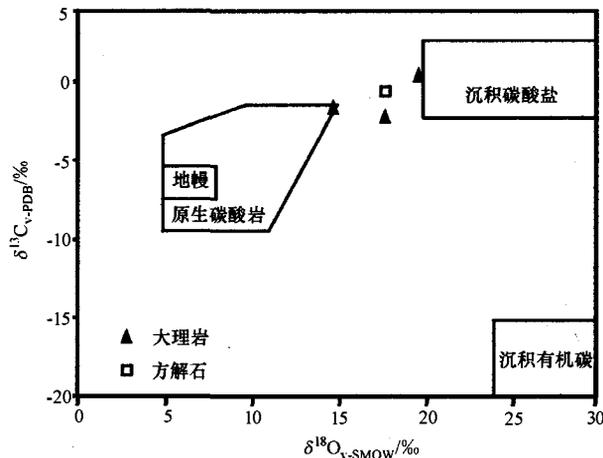


图 2 彩霞山铅锌矿床 $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$ 图解 (据刘建明等, 2003)

图 2 中三源区都可以通过不同的机制向流体提供 CO_2 , 即碳酸盐矿物的溶解作用和脱碳酸作用, 有机质的脱羟作用和氧化作用, 以及地幔岩浆的结晶分异作用与去气作用^[4,7-8]。对于该文图 2 中 C、O 同位素变化趋势, 前人常用沉积物混染作用或高温分异作用来解释^[9-11], 由于笔者测得脉石矿物方解石、石英的包裹体均一温度范围为 180℃ ~ 310℃, 最佳的成矿温度是在 190℃ ~ 220℃ 之间, 因而可以排除高温分异作用对方解石 C、O 同位素的影响。反映了在成矿过程中, 来自地幔或岩浆流体与周围的碳酸盐岩发生了同位素交换作用, 向 $\delta^{13}\text{C}$ 增高的方向漂移。也就是说, 彩霞山铅锌矿床成矿流体中的 CO_2 是壳幔混合。

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, 包含在方解石脉中。分析及计算结果见表 2。

在 H-O 图解(图 3)上, 石英的氢氧同位素值落入 Ohmoto (1986)^[12] 和 Sheppard (1986)^[13] 界定的岩浆水(5.5‰ ~ 9.5‰)和郑永飞等(2000)^[14] 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的特点^[15]。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, δD_{H_2O} 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。

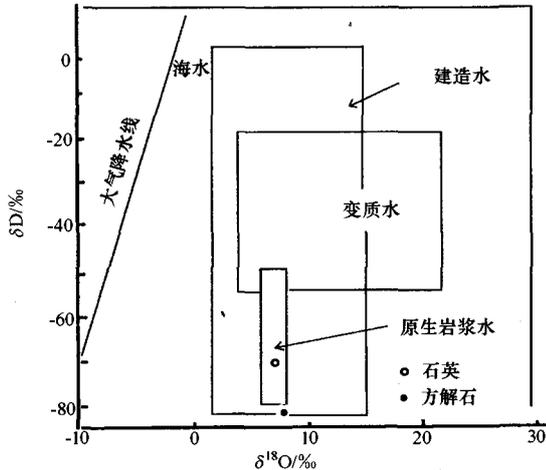


图3 彩霞山铅锌矿床成矿流体氢、氧同位素组成

4 结 语

1) 彩霞山铅锌矿床金属硫化物 $\delta^{34}S$ 值以正值为主,且变化范围(各单矿物 $\delta^{34}S$ 均值变化范围3.1‰~11.7‰)相对集中。推测硫源可能是同化了海水硫酸盐的岩浆硫,同时有少量生物还原硫参与。

2) 碳、氧同位素组成反映了成矿流体与围岩的密切联系,以及与地幔或深部流体的亲缘关系,成矿流体中的 CO_2 具有壳幔混合来源特点。

3) 氢、氧同位素显示,成矿流体以建造水为主,早期有岩浆水参与。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 毛景文,李晓峰,张荣华,等. 深部流体成矿系统[M]. 北京:中国地质大学出版社,2005:4.
- [4] Rollinson H R. Using geochemical data: evaluation, presentation interpretation[M]. New York: John Wiley & Sons, 1993: 1-352.
- [5] 毛景文,王志良,李厚民,等. 云南鲁甸地区二叠纪玄武岩中铜矿床的碳氧同位素对成矿过程的指示[J]. 地质论评,2003,49(6):610-615.
- [6] 刘建明,张宏福,孙景归,等. 山东幔源岩浆岩的碳-氧和铍-铈同位素地球化学研究[J]. 中国科学(D辑),2003,33(10):921-930.
- [7] 郑明华,刘家军,张寿庭,等. 萨瓦亚尔顿金矿东的同位素组成特征及成因意义[J]. 成都理工大学学报,2002,29(3):237-245.
- [8] 刘建明,刘家军. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[J]. 矿务学报,1997,17(4):448-456.
- [9] Reid D L, Cooper A F. Oxygen and carbon isotope patterns in the Dicker Willem carbonatite complex, southern Namibia [J]. Chem. Geol., 1992,94: 293-305.
- [10] Demyanov A, Ahijado A, Casillas R, et al. Crustal contamination and fluid/rock interaction in the carbonatites of Fuerteventura (Canary Islands, Spain): a C, O, H isotope study [J]. Lithos, 1998,44: 101-115.
- [11] Ray J S, Ramesh R. Evolution of carbonatite complexes of the Deccan flood basalt province: stable carbon and oxygen isotopic constraints [J]. Geophy Res, 1999,104(B12):29471-29483.
- [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] 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.
- [15] 李志明,刘家军,秦建中,等. 兰坪盆地白秧坪铜钴银多金属矿床成矿物质来源研究[J]. 地质与勘探,2005,41(1):1-6.

SULFUR, CARBON, HYDROGEN AND OXYGEN ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF CAIXIASHAN LEAD - ZINC DEPOSIT, XINJIANG

GAO Jing-gang^{1,2}, LIANG Ting², PENG Ming-xing³, LI Yu-lin³, WANG Lei³, GAO Xiao-li²

(1. College of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064;

2. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054;

3. No. 1 Geological Team, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration, Changji 831100)

Abstract: Sulfur, carbon, hydrogen and oxygen isotope of Caixiashan lead-zinc deposit were analyzed to discuss origin and evolution of ore-forming fluids, and to proclaim some useful genetic information for the mineralization. It is shown that sulfur of ores mainly comes from granitic magmas which assimilate sulfate in the sea, with involvement of small amount organic reductive sulfur. Composition of carbon and oxygen isotope indicates that origin of carbon comes from mixture of the crust and mantle. Ore-forming fluids are mainly made up of formational water, and comprised magmatic water in the early stage.

Key words: Caixiashan lead-zinc deposit, geochemistry, stable isotope