

新疆可可塔勒铅锌矿成矿流体 稀土元素地球化学特征

王书来^{1,2} 王京彬² 彭省临¹ 郭正林³ 仇银江³

(1. 中南大学地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 北京矿产地质研究所, 北京 100012;
3. 新疆有色地质勘查局 706 大队, 新疆 阿勒泰 836500)

摘要: 本文采用四极等离子质谱仪(ICP-MS)方法测定了可可塔勒铅锌矿矿流体包裹体的稀土元素含量。研究表明, 成矿流体稀土元素配分模式均为轻稀土富集, Eu 具有明显正异常。矿石硫化物流体包裹体稀土特征具有 3 种稀土配分模式, 即平滑右倾型、平坦型、倒“V”字型, 矿体下盘围岩的稀土总量明显高于上盘围岩的稀土总量, 具有明显的 Eu 的负异常, 成矿流体具有多来源、成矿具有多阶段叠加特点, 具有双淋滤模式特征。

关键词: 流体包裹体; 稀土地球化学; 可可塔勒; 铅锌矿床

中图分类号: P595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)03-0308-07

可可塔勒铅锌矿床位于新疆富蕴县城西北 50 km 的西伯利亚板块阿尔泰陆缘火山岩带内的麦兹地区。矿区北西—南东长 5 km, 宽 1 km, 面积 5 km²。1986 年发现, 后经新疆有色 706 队普查勘探为大型铅锌矿床。矿区内铅锌矿化与下泥盆统康布铁堡组火山—沉积岩有关, 属于火山沉积块状硫化物矿床^[1]。尽管前人作了大量工作^[2-4], 包括对矿床矿石和围岩的稀土也作了不少工作^[1, 5], 但是对矿床成矿流体的稀土和微量元素地球化学方面的系统研究, 目前还很少。笔者通过对矿石矿物和脉石矿物流体包裹体的稀土元素地球化学研究, 探讨本区与海相火山沉积有关的块状硫化物矿床的形成机理。

1 矿床地质特征

可可塔勒铅锌矿床位于阿尔泰山南缘可可塔勒铅锌多金属成矿带麦兹泥盆纪火山沉积盆地内。可可塔勒矿带东起富蕴县卡拉先格尔断裂, 西至布尔津县冲乎尔乡北西, 全长约 250 km, 宽 10~30 km, 由麦兹、克朗、冲乎尔 3 个泥盆纪火山—沉积盆地组成。麦兹火山盆地(图 1)火山—沉积厚度巨大(>7000 m), 出露地层主要为下泥盆统康布铁堡组(D_{1k})和中泥盆统阿勒泰镇组(D_{2a}), 盆地的北部出露有奥陶系和志留系基底。康布铁堡组又分下亚组和上亚组, 岩性为变质的基性—酸性火山熔岩、火山碎屑岩和碳酸盐岩。下亚组地层组成复式向斜的两翼, 是铁的含矿层位, 产有蒙库大型火山岩

型铁矿床。上亚组则为一套变质的钙碱性英安—流纹质火山岩—砂泥质岩—碳酸盐岩建造, 上亚组地层分 3 个岩性段, 岩性包括变粒岩、大理岩、细砂岩、角闪片岩、斜长片麻岩等, 厚度 2 700~3 000 m。是铅锌多金属的含矿层位, 可可塔勒块状硫化物型铅锌矿床就产于该组的第二岩性段内。盆地中部分布中泥盆统阿勒泰镇组, 主要为变质碎屑岩—碳酸盐岩, 间夹少量变质火山岩, 岩性为灰黑色十字石榴夕线二云石英片岩, 与铅锌成矿关系不大。

可可塔勒矿床矿体主要富集在康布铁堡组上亚组第二岩性段中上部(D_{1k2}^{2b})黑云母石英片岩和黑云变粒岩互层中, 上亚组第二岩性段自下而上岩性为晶屑凝灰岩、晶屑凝灰粉砂岩、白色流纹质熔岩、黑云母片岩—角砾晶屑凝灰岩、条带状沉凝灰岩、(石榴石)黑云母变粒岩、铁锰质大理岩、凝灰质砂岩—晶屑凝灰岩、夹层夕卡岩、灰褐色大理岩、英安质凝灰岩等。矿体产于黑云母变粒岩、铁锰质大理岩、凝灰质砂岩中, 地层产状北西部为北西走向, 倾向北, 倾角陡; 东南部受褶皱转折端的影响走向转向近南北向(图 2)。矿体与地层产状一致, 7 号矿体为主矿体, 产于黑云母变粒岩中, 1 号矿体产于主矿体的上部铁锰质大理岩中。矿床具有层控特性, 矿石类型有块状硫化物型、条带状、浸染硫化物型和细脉稠密浸染型等, 矿石构造包括: 浸染状、块状、条带状、角砾状及网脉状等; 矿石结构有中细粒自形—半自形粒状结构、斑状结

收稿日期: 2004-02-06; 改回日期: 2004-03-18

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409806)和中国地质调查局国土资源大调查项目(200210200022)资助。

作者简介: 王书来, 男, 1968 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事矿床成矿定位预测研究; E-mail: wsl@bigm.com.cn。

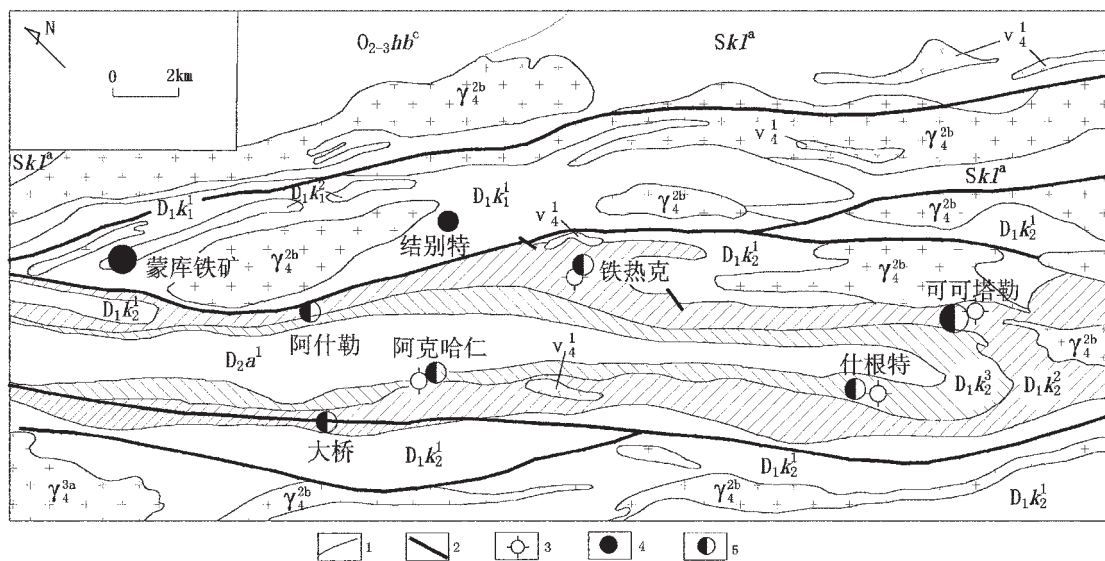


图 1 麦兹地区地质矿产略图(据姜齐节^①1992,修改)

D_{2a}^1 —阿勒泰组大理岩、变砂岩及底部十字夕线石榴云英片岩; $D_{1k_2}^3$ —康布铁堡组上亚组第三岩性段;
 $D_{1k_2}^2$ —康布铁堡组上亚组第二岩性段(重要含矿层位); $D_{1k_1}^1$ —康布铁堡组上亚组第一岩性段; $D_{1k_2}^1$ —康布铁堡组下亚组第二岩性段; $D_{1k_1}^2$ —康布铁堡组下亚组第一岩性段; SkI^a —库鲁木提群片麻岩-混合岩-变砂岩; $O_{2-3}hb^c$ —哈巴河群变砂岩-板岩-千枚岩-片麻岩-混合岩-变砂岩; γ_4^{3a} —华力西晚期黑云母花岗岩; γ_4^{2b} —华力西中期黑云母花岗岩; v_4^1 —华力西早期角闪岩;
 1—地层界线;2—断裂构造;3—火山活动中心;4—铁矿床;5—铅锌矿床(点)

Fig. 1 Geological sketch map of the Maizi area (modified after Jiang et al., 1992)

D_{2a}^1 —Middle Devonian Altay Formation marble and metasandstone with staurolite-sillimanite-garnet stilpnolite at base; $D_{1k_2}^3$ —Third Member of the Upper Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation; $D_{1k_2}^2$ — Second Member of the Upper Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation (important ore-bearing horizon); $D_{1k_1}^1$ — First Member of the Upper Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation; $D_{1k_2}^1$ — Second Member of the Lower Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation; $D_{1k_1}^2$ —First Member of the Lower Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation;
 SkI^a —gneiss, migmatite and metasandstone of the Silurian Kulumuti Group; $O_{2-3}hb^c$ —metasandstone, slate, phyllite, gneiss, migmatite and metagraywacke of the Middle Ordovician Habahe; γ_4^{3a} —upper Hercynian biotite granite ; γ_4^{2b} —middle Hercynian biotite granite; v_4^1 —lower Hercynian amphibolite. 1—Stratigraphic boundary; 2—Fault; 3—Volcanic center; 4—Volcanogenic Fe deposit; 5—Massive sulfide Pb-Zn deposit

构、交代结构、胶状结构、交代残余结构等。矿石矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿,次为毒砂、黄铜矿、硫锑矿、黝铜矿、白铁矿等;脉石矿物有石英、微斜长石、斜长石、白云母、金云母、方解石、透辉石、铁铝榴石、黑云母、角闪石、绿帘石等。矿化蚀变有硅化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化和钾长石化等。不同类型矿石的矿物组成存在明显差异,块状矿石一般为磁黄铁矿发育,浸染状矿石一般为黄铁矿发育。

2 矿床成矿流体稀土元素特征

2.1 样品的采集处理和分析

样品均采自可可塔勒铅锌矿区范围内,本次工作在可可塔勒矿床采集有代表性的块状矿石、浸染状矿石、条带状矿石以及脉状矿石等。其中 BK129、BK135 采自矿区 7 线采

场;BK139 采自矿区 9 线采场;BK140、BK142、BK143、BK144 采自矿区 15 线采场;BK127 采自矿区 ZK15-5 钻孔;B13S-3 采自矿床西南,为含有铜矿化硅化凝灰质泥岩。选取矿床最主要金属矿物磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和石英脉石矿物,在双目镜下人工挑选,单矿物样品经过清洗—爆裂—提取—测试,采用 Finnigan MAT 公司生产的 ELEMENT 四极等离子质谱仪测试^④,由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。矿体上下盘岩石样品由国家地质实验测试中心完成。

2.2 矿床成矿流体包裹体特征

可可塔勒铅锌矿床石英流体包裹体细小,常温条件下,流体包裹体大小一般在 3~10 μm 间,个别 20 μm 。流体包裹体形态以负晶型、椭圆形为多,气液比一般小于 10%,个别在

① 姜齐节,阿尔泰山南缘铜、铁、多金属成矿带地、物、化综合研究及找矿靶区优选,国家 305 项目办公室,1992。

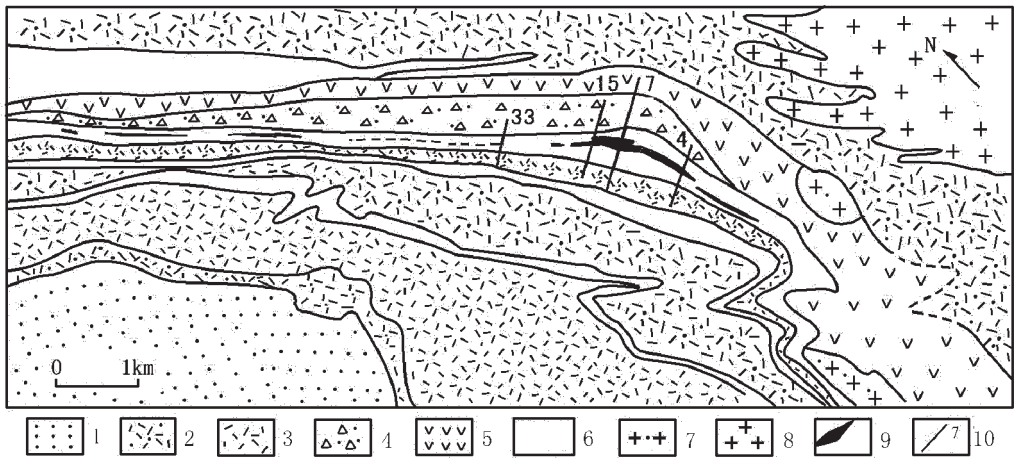


图2 可可塔勒矿区地质略图(据王京彬等^[1]1998,修改)

1—阿勒泰组沉积岩(变质为大理岩、变砂岩及云英片岩);2—康布铁堡组上亚组变流纹质晶屑凝灰岩;3—康布铁堡组上亚组凝灰岩;4—康布铁堡组上亚组流纹质角砾熔岩;5—康布铁堡组上亚组火山熔岩;6—康布铁堡组下亚组沉积岩系(变砂岩和大理岩、黑云变粒岩等);7—康布铁堡组上亚组变酸性熔岩;8—华力西晚期黑云母花岗岩;9—铅锌矿体;10—主要勘探线位置

Fig. 2 Geological sketch map of the Koktag Pb-Zn district (modified after Wang et al.^[1], 1998)

1—Middle Devonian Altay Formation sedimentary rocks (metamorphosed into marble, metasandstone and stlplnolite);2—Metarhylic crystal tuff of the Upper Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation;3—Tuff of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation;4—Rhyolitic breccia lava of the Upper Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation;5—Volcanic lava of the Upper Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation;6—Sedimentary rock series (metasandstone, marble and biotite leptynite) of the Lower Subformation of the Lower Devonian Kangbutiebao Formation;7—Meta-acid lava of the Upper Subformation of the Devonian Kangbutiebao Formation;8—Late Hercynian biotite granite;9—Pb-Zn orebody;10—Exploration line and No.

10%~20%间,基本为液相—气液相包裹体。个别可见含食盐子晶包裹体和含CO₂三相包裹体。通过对5件石英流体包裹体均一温度测量并结合前人资料^[1],矿床均一温度主要在190~380℃间,盐度一般在w(NaCl)=7.1%~22.71%间;对部分硫化物进行爆裂温度测量,存在3个温度区间,即290~340℃、160~250℃和小于130℃。根据流体包裹体均一温度分布与矿物共生关系、结构构造特征和两种测温综合考虑,矿床成矿温度在120~380℃范围间,推断矿床至少经历了两期热液活动,即早期的高温阶段(280~380℃)和晚期的低温阶段(<280℃)。成矿温度与火山岩容矿型块状硫化物(VHMS)矿床(如日本黑矿、塞浦路斯铜矿)一致,但盐度大大高于火山岩容矿块状硫化物(VHMS)矿床(盐度w(NaCl)一般小于5%)。可可塔勒铅锌矿与火山岩容矿的块状硫化物矿床(黑矿等)相比,成矿流体存在明显差异。

2.3 矿物流体包裹体稀土元素特征

2.3.1 硫化物流体包裹体稀土元素特征

硫化物流体包裹体稀土总量为 $20.62 \times 10^{-9} \sim 6180 \times 10^{-9}$;LREE/HREE为1.36~31.08;(La/Yb)_N为0.76~228.4;δEu为0.839~2.074。矿床的硫化物流体包裹体稀土均相对富集轻稀土,稀土配分曲线具有较明显的右倾(表1、图3)。其中黄铁矿流体包裹体稀土总量在 $131.2 \times 10^{-9} \sim 6180 \times 10^{-9}$ 间;LREE/

HREE为2.36~16.26;(La/Yb)_N为1.53~103.1;δEu为0.839~1.06。磁黄铁矿稀土总量在 $69.5 \times 10^{-9} \sim 1650 \times 10^{-9}$ 间;LREE/HREE为4.18~31.08;(La/Yb)_N为6.32~228.4;δEu为0.92~1.054。闪锌矿稀土总量在 $20.62 \times 10^{-9} \sim 610.6 \times 10^{-9}$ 间;LREE/HREE为1.36~8.93;(La/Yb)_N为0.76~12.45;δEu为1.22~2.074。方铅矿稀土总量为 35.67×10^{-9} ;LREE/HREE为6.1;(La/Yb)_N为3.79;δEu为1.24。黄铁矿流体包裹体稀土总量相对高于磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿流体包裹体稀土总量,黄铁矿和磁黄铁矿流体包裹体铕异常不明显,而闪锌矿和方铅矿流体包裹体稀土具有较明显的铕正异常。闪锌矿流体包裹体稀土配分曲线可以分成两种,一种(sbk127和sbk135)曲线呈倒V字型,另一种(sbk140和sbk144)曲线呈右倾,较缓;而方铅矿(fb143)曲线与闪锌矿后一种曲线相似,黄铁矿流体包裹体稀土配分曲线也可以分成两种,一种(hbk142)曲线平坦,另一种(hbk139和hb144)曲线呈明显右倾。

从图3和表1可以看出不同矿石类型稀土特征存在明显差异,块状矿石矿物流体稀土总量为 $19.73 \times 10^{-9} \sim 610.6 \times 10^{-9}$,浸染状矿石矿物流体的稀土总量为 $26.0 \times 10^{-9} \sim 6180 \times 10^{-9}$,条带状矿石矿物流体的稀土总量为 $42.98 \times 10^{-9} \sim 171.08 \times 10^{-9}$ 。同一矿石类型,不同矿物中流体稀土差异较大,就矿物本身来说黄铁矿比磁黄铁矿流体包裹体稀土总量高

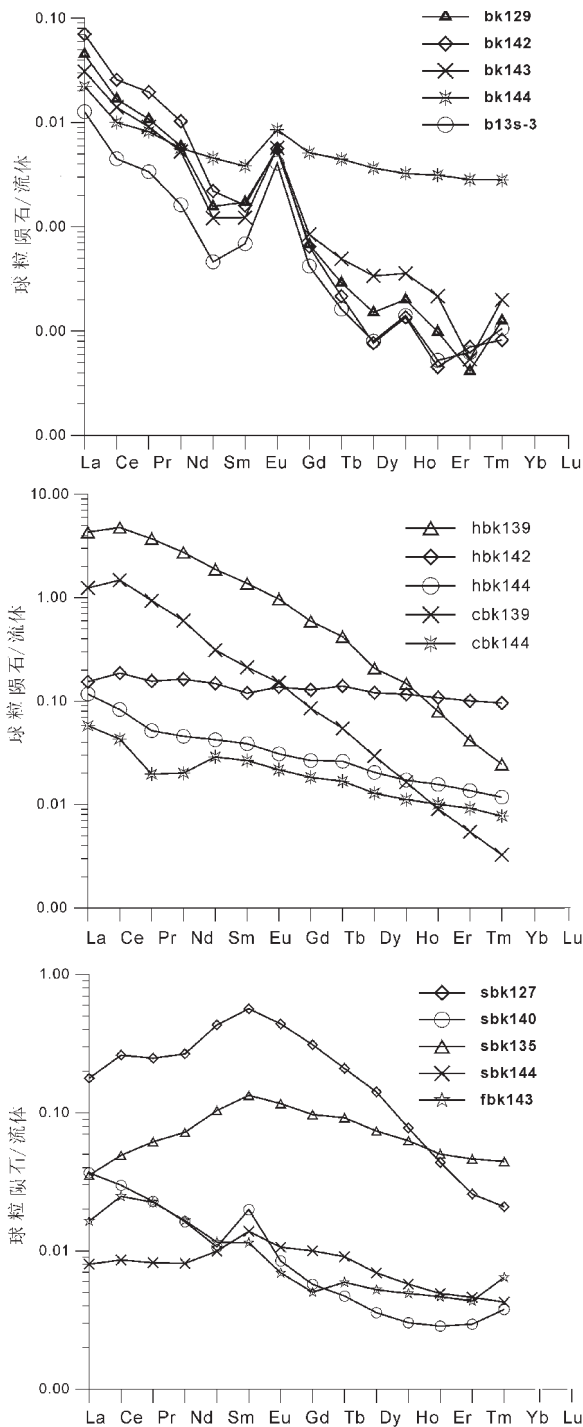


图 3 可可塔勒矿床硫化物、石英流体包裹体稀土元素配分模式(样品号见表 1)

Fig. 3 REE distribution patterns of fluid inclusions in sulfide and quartz from the Koktag deposit

的多,如浸染状矿石黄铁矿(hbk139)和磁黄铁矿(cbk139)的流体包裹体稀土。同一矿物不同矿石类型,其配分曲线存在差异,如磁黄铁矿流体包裹体稀土,浸染状磁黄铁矿流体包

裹体的配分曲线呈右倾,块状磁黄铁矿配分曲线表现平缓。这说明成矿流体存在不同来源,或者说浸染状矿化的流体稀土分馏程度高于块状矿化的流体。

2.3.2 石英流体包裹体稀土元素特征

石英矿物流体包裹体的稀土元素总量在 $7.74 \times 10^{-9} \sim 40.1 \times 10^{-9}$, LREE/HREE 为 3.62~31.85; $(La/Yb)_N$ 为 7.84~1048.5; δEu 为 0.307~0.583。石英流体包裹体均相对富集轻稀土,配分曲线具有左高右低,较明显的右倾(表 1、图 3),轻重稀土分馏强烈。具有 Eu 负异常,有明显 Gd 的富集。只有 bk144 样品比较平缓,可能与不同期次的成矿热液有关。石英流体包裹体稀土总量比硫化物的稀土总量低。具有很明显的 Gd 富集可能与石英矿物多阶段结晶有关。

2.3.3 矿体上下盘的围岩和矿化蚀变岩石稀土特征

矿体的上下盘围岩和矿化蚀变岩石主要为含有不同比例火山物质的沉积岩石,从表 2、图 4 可知,矿体上盘围岩的稀土总量为 28.65×10^{-6} , LREE/HREE 为 1.88; $(La/Yb)_N$ 为 1.18, δEu 为 0.24; 矿体下盘围岩岩石的稀土总量为 $91.92 \times 10^{-6} \sim 205.72 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 1.88~8.59, $(La/Yb)_N$ 为 1.27~9.08, δEu 为 0.31~0.5; 矿化蚀变岩石的稀土总量为 $54.43 \times 10^{-6} \sim 1160.66 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 4.78~39.79, $(La/Yb)_N$ 为 4.26~102.78, δEu 为 0.65~0.98。下盘围岩的稀土总量明显高于上盘围岩的稀土总量,它们都具有明显的铕的负异常,中间矿化蚀变岩石的稀土总量变化较大,铕异常不明显,配分曲线为右倾型,具有左高右平特点。与本区的酸性火山熔岩类和沉积岩类相似^[6]。与硫化物流体包裹体稀土配分曲线比较,轻重稀土分馏较弱,负的铕异常明显。

3 讨论

由于稀土元素地球化学性质的相似性,在热液活动中一般不发生变化,可作为良好的成矿流体示踪剂^[7]。一般稀土元素是不以类质同象形式进入黄铁矿等金属硫化物和石英晶格的,黄铁矿等金属硫化物和石英对稀土元素不具备选择性,所以不同矿石类型和不同矿化阶段的稀土元素特征的差异可能代表不同来源的成矿流体或流体混合比例不同。成矿流体的混合作用在成矿物质沉淀中的重要作用已越来越为人们所认识,流体的混合作用可以造成流体冷却降温或流体的稀释效应,造成硫化物的沉淀。还可以通过改变氧逸度和 pH 值,产生还原作用以及导致流体的不混溶作用引起矿石的沉淀。因此,流体的混合作用常常被认为是形成大型—超大型矿床的重要机理。同一成矿热液中结晶的矿物其稀土元素特征应该具有相似性,同一成矿阶段形成的矿物具有相似的稀土模式(虽然它们的稀土总量存在差异),如 bk144、bk139 两样品中的黄铁矿流体包裹体和磁黄铁矿流体包裹体的配分曲线相似,这也与矿石结构、构造相吻合。bk135 和 bk127 样品的闪锌矿流体包裹体的配分曲线相似,可能代表相同的成矿流体来源。不同成矿阶段的成矿流体的稀土特征

表 1 可可塔勒矿床流体包裹体稀土元素分析 (ng/g)

Table 1 REE analysis of fluid inclusions in sulfide and quartz from the Koptag deposit (ng/g)

矿物 矿石类型	石 英			黄 铁 矿			磁 黄 铁 矿		闪 锌 矿			方铅矿			
	浸染状	块状	脉状	浸染状	块状	块状	浸染状	块状	块状	条带状	块状				
样品号	bk129	bk142	bk143	bk144	b13S-3	hbk139	hbk142	hbk144	cbk139	cbk144	bk144	bk127	bk140	bk135	fbk143
La	10.6	16.5	7.25	5.22	2.99	1013	36.1	27.4	292	13.6	1.88	41.6	8.61	8.27	3.86
Ce	10.1	15.5	8.47	6.06	2.71	2883	112	50.0	895	25.9	5.18	157.2	18.0	29.6	15.0
Pr	0.962	1.750	0.809	0.728	0.301	331	13.9	4.61	83.3	1.75	0.730	22.1	2.03	5.48	2.00
Nd	2.68	4.66	2.39	2.56	0.736	1241	73.7	20.7	271	9.10	3.67	121	7.34	32.6	7.50
Sm	0.230	0.324	0.178	0.672	0.068	277	21.7	6.22	45.8	4.24	1.46	63.4	1.57	15.2	1.70
Eu	0.096	0.090	0.069	0.214	0.039	77.0	6.68	2.17	11.9	1.49	0.775	31.6	1.11	7.46	0.642
Gd	1.08	1.11	1.12	1.68	0.802	190	26.9	6.07	29.7	4.26	2.09	86.2	1.66	22.8	1.36
Tb	0.025	0.023	0.031	0.186	0.015	21.5	4.66	0.966	3.09	0.663	0.363	11.3	0.21	3.51	0.182
Dy	0.071	0.052	0.120	1.08	0.040	102	33.9	6.36	13.2	4.08	2.20	50.7	1.14	22.3	1.44
Ho	0.008	0.004	0.019	0.203	0.004	11.5	6.69	1.14	1.63	0.714	0.385	7.85	0.198	4.08	0.291
Er	0.032	0.022	0.057	0.516	0.022	23.5	18.5	2.73	2.61	1.77	0.913	12.3	0.480	9.94	0.781
Tm	0.002	0.001	0.005	0.076	0.001	1.92	2.61	0.379	0.219	0.243	0.119	1.05	0.069	1.21	0.113
Yb	0.007	0.011	0.009	0.461	0.010	6.80	16.3	2.21	0.885	1.49	0.748	4.18	0.479	7.50	0.705
Lu	0.003	0.002	0.005	0.068	0.003	0.596	2.33	0.286	0.079	0.188	0.104	0.507	0.092	1.08	0.156
Σ REE	26.0	40.1	20.53	19.73	7.74	6180	376.3	131.2	1650	69.5	20.62	610.6	42.98	171.08	35.67
LREE/HREE	18.52	31.85	14.03	3.62	7.62	16.26	2.36	5.51	31.08	4.18	1.98	2.51	8.93	1.36	6.1
(La/Yb)N	1048.5	1038.5	557.7	7.84	207	103.1	1.53	8.58	228.4	6.32	1.74	6.89	12.45	0.76	3.79
δ Eu	0.487	0.41	0.357	0.583	0.307	0.965	0.839	1.06	0.92	1.054	1.35	1.3	2.074	1.22	1.24

注:由中国科学院地质与地球物理研究所流体包裹体实验室分析。

表 2 可可塔勒矿床矿体上下盘岩石稀土元素分析 (μg/g)

Table 2 REE analysis of hanging wall and footwall rocks in the Koptag deposit (μg/g)

样品分布	矿体下盘岩石					矿化蚀变岩石			矿体上盘岩石
样品编号	bk101	bk102	bk103	bk105	bk107	bk110	bk113	bk116	bk121
La	23.6	36.6	11.6	16.4	32.7	13.3	288	10.9	4.12
Ce	42.2	81.7	25.2	35.4	66.4	30	545	22.9	8.45
Pr	5.13	10.7	3.42	4.55	8.29	3.54	59.8	2.67	1.09
Nd	20.4	41.9	13.7	17.7	29.3	14.6	215	9.34	4.32
Sm	6.13	12.3	5.18	4.56	6.05	2.81	20.4	1.7	0.64
Eu	0.86	1.07	0.84	0.81	0.93	0.99	4.01	0.38	0.07
Gd	5.93	7.55	5.55	5.84	5.07	3.33	15.9	1.74	1.2
Tb	1.1	1.11	1.26	1.18	0.8	0.59	1.04	0.31	0.27
Dy	6.6	5.16	8.8	7.89	4.48	3.84	4.69	1.68	2.5
Ho	1.38	0.99	1.86	1.83	0.94	0.8	0.89	0.35	0.63
Er	4.22	2.96	6.18	5.64	2.89	2.25	3.42	1.15	2.23
Tm	0.61	0.38	0.95	0.76	0.41	0.31	0.25	0.16	0.37
Yb	3.71	2.79	6.34	5.05	2.97	2.16	1.94	0.98	2.41
Lu	0.54	0.51	1.04	0.72	0.42	0.36	0.32	0.17	0.35
Y	43.9	26.5	52.5	45.2	22.5	22	21.6	8.86	16.2
Σ REE(Y)	166.31	232.22	144.42	153.53	184.15	100.88	1182.26	63.29	44.85
Σ REE	122.41	205.72	91.92	108.33	161.65	78.89	1160.66	54.43	28.65
LREE/HR									
EE	4.08	8.59	1.88	2.75	7.99	4.78	39.79	7.32	1.88
(La/Yb)N	4.4	9.08	1.27	2.25	7.62	4.26	102.78	7.7	1.18
δ Eu	0.43	0.31	0.47	0.48	0.5	0.98	0.65	0.67	0.24

注:由国家地质矿产测试中心王苏明分析。

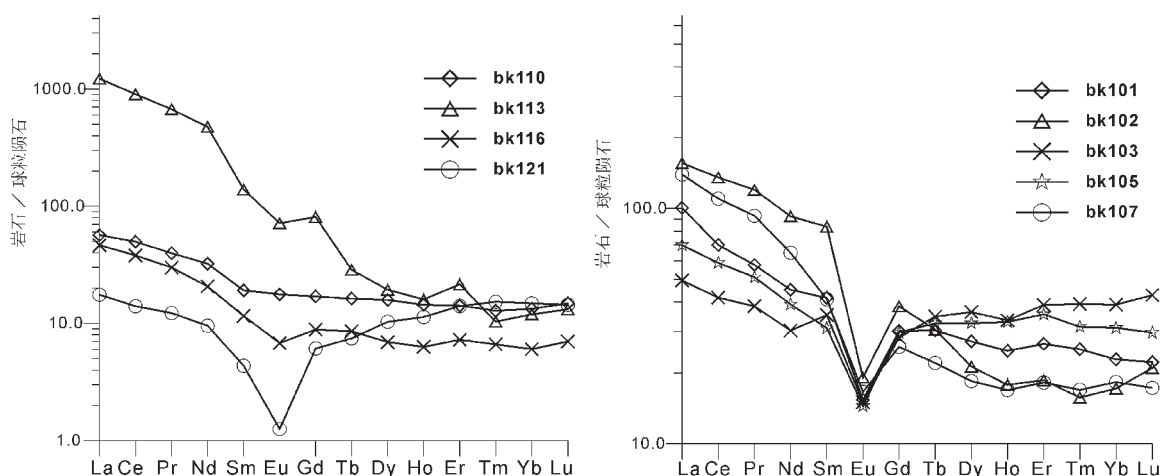


图 4 可可塔勒矿床矿体围岩稀土元素配分模式(样品号见表 2)

Fig. 4 REE distribution patterns of wall rocks of the Koktag deposit

存在明显差异,如早期的黄铁矿和磁黄铁矿与晚期的闪锌矿和方铅矿流体包裹体稀土特征的差异。这也符合该矿床 7 号主矿体多阶段叠加成矿的特点。即早期高温阶段形成黄铁矿和磁黄铁矿(温度大于 280℃),成矿流体可能与火山喷流沉积有关,晚期低温阶段(温度小于 280℃),形成闪锌矿、方铅矿及黄铁矿,成矿流体可能与浅海热水喷流沉积有关。

近年的研究也揭示在强烈的热液作用中稀土分布模式也会发生变化,对热液蚀变与矿化具有一定指示作用,如具有强烈蚀变的矿体上下盘的同类型岩石稀土模式存在差异,特别是矿体下盘围岩在矿化蚀变过程中有富集轻稀土的矿物生成。本矿床的硫化物流体包裹体存在铈的正异常,特别是闪锌矿和方铅矿流体包裹体,表明有海水参与成矿,结合本区矿床地质特点,可能与成矿流体淋滤矿体下盘的火山岩有关(火山岩富含长石)。含矿热水溶液与火山岩发生水岩反应,长石释放铈,同时围岩性质和水-岩主反应带压力也可能影响 REE 含量及 Eu 异常的不同,使成矿流体具有正的铈异常,淋滤带岩石则具有负的铈异常。佐证了双淋滤模式成矿机理,即矿床产于火山-沉积岩系中,成矿作用发生于火山活动的间隙期,由下盘深部的岩浆活动所驱动的热液循环而形成,岩浆活动所提供的热能加速了流体与火山岩及下覆泥盆纪地层的水/岩交换反应,使之成为富含金属成矿元素的热液,沿一定的通道(如同生断层)向上运移,在有利部位沉淀成矿。支持该模式成矿的还有铅同位素和硫同位素方面证据,铅锌等成矿物质主要来源于下伏的火山岩^[1]。早泥盆世康布铁堡组第二火山旋回晚期,下渗的海水升温淋滤矿体下盘火山岩(矿体下盘存在铅锌成矿元素亏损带),沿火山蚀变岩筒(矿区 0—7 线间)喷流成矿。至于 $(La/Yb)_N$ 都大于 1,可能是由于矿物或微粒表面的吸附作用所致。本矿床的流体稀土特征不同于黑矿型矿床(如四川的呷村矿床)^[10],成矿流体

的盐度明显高于火山岩容矿块状硫化物(VHMS)矿床(如日本黑矿、塞浦路斯铜矿)^[10]。可可塔勒矿床的流体包裹体具有中高盐度、中温的特点。产于下泥盆统康布铁堡组火山沉积硫化物矿床与其容矿围岩(特别是下盘火山岩)有一定内在联系。

4 结论

(1) 硫化物的成矿流体具有多来源、成矿具有多阶段叠加特征;早期高温阶段形成黄铁矿和磁黄铁矿(温度大于 280℃),成矿流体可能与火山喷流沉积有关,晚期低温阶段(温度小于 280℃),形成闪锌矿和方铅矿及黄铁矿,成矿流体可能与浅海热水喷流沉积有关。

(2) 矿床硫化物流体包裹体稀土特征具有 3 种稀土配分模式,即分馏较弱的平滑型(bk139)、平坦型(bk144 的黄铁矿和磁黄铁矿 bk142 的黄铁矿)及倒 V 字型(bk135 和 bk127 的闪锌矿),早阶段的黄铁矿和磁黄铁矿流体包裹体稀土具有明显的铈的正异常。成矿具有双淋滤模式特征。

(3) 下盘围岩的稀土总量明显高于上盘围岩的稀土总量,都具有明显的 Eu 的负异常,可能与蚀变矿化,及经过淋滤使原岩富含 Eu 的矿物蚀变淋失进入成矿流体有关。造成成矿流体存在明显的 Eu 的正异常,而淋滤区的火山围岩具有明显 Eu 的负异常。中间矿化蚀变岩石的稀土总量变化较大, Eu 异常不明显。

参考文献(References):

- [1] 王京彬,秦克章,吴志亮,等.阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M].北京:地质出版社,1998.61~92.
Wang Jingbin, Qin Kezhang, Wu Zhiliang, et al. Volcanic-Exhalative-Sedimentary Lead-Zinc Deposits in the Southern Margin of the Altai, Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.61~92(in Chinese with English abstract).

- [2] Wang Jingbin, Zhang Jinhong, Ding Rufu, et al. Tectonometallogenic system in Altay orogenic belt, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(3): 485~491.
- [3] 秦克章, 王京彬, 张进红, 等. 阿尔泰山南缘可可塔勒式大型铅锌矿床的成矿条件[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1998, 7(2): 65~74.
Qin Kezhang, Wang Jingbin, Zhang Jinhong, et al. Metallogenic conditions for the Keketale-style large-scale Pb-Zn deposit on the southern margin of Altay, Xinjiang [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1998, 7(2): 65~74 (in Chinese with English abstract).
- [4] 廖启林, 戴塔根, 刘悟辉, 等. 阿尔泰山南缘典型块状硫化物矿床成矿环境浅析[J]. *地质与勘探*, 2000, 36(6): 23~26.
Liao Qilin, Dai Tagen, Liu Wuhui, et al. Preliminary study on metallogenic environment of typical massive sulfide deposits in southern margin of Altay mountains [J]. *Geology and Prospecting*, 2000, 36(6): 23~26 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张西平, 陈伟民. 新疆可可塔勒铅锌矿床稀土元素地球化学的初步研究[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1995, 4(4): 219~222.
Zhang Xiping, Chen Weimin. Preliminary research on REE geochemistry of the Keketale lead-zinc deposit, Xinjiang [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 1995, 4(4): 219~222 (in Chinese with English abstract).
- [6] 朱和平, 王莉娟. 四极质谱测定流体包裹体中的气相成分[J]. *中国科学(D辑)*, 2000, 31(7): 586~590.
Zhu Heping, Wang Lijuan. Determining gaseous composition of fluid inclusions with quadrupole mass spectrometer [J]. *Science in China*, 2000, D31(7): 586~590 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王中刚. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
Wang Zhonggang. *Geochemistry of Rare Earth Element* [M]. Beijing: Science Press, 1989. (in Chinese).
- [8] 别风雷, 侯增谦, 李胜荣, 等. 川西呷村超大型黑矿型矿床成矿流体稀土元素组成[J]. *岩石学报*, 2000, 16(4): 575~580.
Bie Fenglei, Hou Zengqian, Li Shengrong, et al. Composition characteristics of rare earth elements in metallogenic fluid of the Gacun superlarge "Kuroko"-type deposit [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16(4): 575~580 (in Chinese with English abstract).
- [9] Lydon, J W. Ore deposit models-8 volcanogenic massive sulphide deposits part I: A descriptive model [J]. *Geoscience Canada*, 1984, (11)4: 1~11. (in Chinese with English abstract).

REE geochemistry of ore fluids in the Koktag lead-zinc deposit, Xinjiang

WANG Shu-lai^{1,2}, WANG Jing-bin², PENG Sheng-lin¹,
GUO Zheng-lin³, QIU Yin-jiang³

(1. School of Earth Science and Environmental Engineering, Central-South University, Changsha 410083, Hunan, China;

2. Beijing Institute of Geology and Mineral Resource, Beijing 100012, China;

3. No.706 Geological Party, Xinjiang Bureau of Non-ferrous Metal Geological Exploration, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract: The REE content in fluid inclusions of minerals in the Koktag lead-zinc deposit was determined by the ICP-MS. The results indicate that the ore fluids are LREE-enriched and have pronounced positive Eu anomalies. Ore sulfide fluid inclusions have three REE distribution patterns, i.e. gently right-inclined type, flat type and inverted "V" type. The total REE content of the footwall rocks of the orebody is notably higher than that of the hanging wall rocks, and they have pronounced negative Eu anomalies. The ore-forming fluids have the features of multiple sources and multi-stage overlapping and show the feature of the double leaching model.

Key words: fluid inclusion; REE geochemistry; Koktag; lead-zinc deposit