

文章编号 10258-7106 (2010) 01-0101-12

内蒙古拜仁达坝及维拉斯托银多金属矿床的 硫和铅同位素研究*

江思宏, 聂凤军, 刘翼飞, 云 飞

(中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘 要 拜仁达坝和维拉斯托是近年来在内蒙古东部地区发现的2个大型银多金属矿床, 文章对其开展了硫和铅同位素研究。结果表明, 拜仁达坝矿床矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.0\text{‰} \sim +1.6\text{‰}$, 维拉斯托矿床矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.8\text{‰} \sim +2.0\text{‰}$, 与岩浆热液型矿床的硫同位素值接近, 表明这2个矿床中的硫主要来自岩浆。拜仁达坝矿区43件金属硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $18.333 \sim 18.515$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.532 \sim 15.656$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $38.057 \sim 38.610$ 。维拉斯托矿区20件金属硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $18.304 \sim 18.377$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.520 \sim 15.610$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $38.112 \sim 38.435$ 。拜仁达坝东矿区矿石中的铅同位素组成与维拉斯托矿区相似, 变化范围小, 相对贫放射性铅同位素, 并且均为混合铅。矿石中的铅可能来自围岩地层及深源岩浆。

关键词 地球化学 硫同位素 铅同位素 成矿物质来源 拜仁达坝 维拉斯托 内蒙古

中图分类号: P618.52

文献标志码: A

Sulfur and lead isotopic compositions of Bairendaba and Weilasituo silver-polymetallic deposits, Inner Mongolia

JIANG SiHong, NIE FengJun, LIU YiFei and YUN Fei

(MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Bairendaba and Weilasituo ore deposits are two silver-polymetallic deposits discovered in eastern Inner Mongolia in recent years. Researches on the sulfur and lead isotopes of the sulfides from these two deposits are reported in this paper. It is shown that the $\delta^{34}\text{S}$ values of the sulfides from the Bairendaba and the Weilasituo deposit vary from -4.0‰ to $+1.6\text{‰}$ and from -0.8‰ to $+2.0\text{‰}$, respectively, close to the sulfur isotopic composition of the magmatic hydrothermal fluid, suggesting that the sulfur in both the Bairendaba and the Weilasituo deposit were mainly derived from the magma. Lead isotope studies of 43 sulfide separates from the Bairendaba deposit and 20 sulfide separates from the Weilasituo deposit demonstrate that the lead isotopic composition of sulfides from ores in these two deposits is characterized by low radiogenic values and narrow ranges of ratios, with $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ranging from 18.333 to 18.515 and from 18.304 to 18.377 respectively, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ from 15.532 to 15.656 and from 15.520 to 15.610 respectively, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ from 38.057 to 38.610 and from 38.112 to 38.435 respectively. It is thus inferred that the lead in ores from these two deposits might have mainly come from the wall rocks of gneiss and deep magma.

* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号: K0704)、全国危机矿山项目(编号: 20089948)和地质大调查项目(编号: 1212010911029)的联合资助

第一作者简介 江思宏, 男, 1968年4月生, 博士, 研究员, 主要从事金属矿床成矿规律研究。Email: jiangsihong1@163.com

收稿日期 2009-06-04; 改回日期 2009-07-24。许德煊编辑。

Key words: geochemistry, sulfur isotope, lead isotope, source of ore-forming materials, Bairendaba, Weilasituo, Inner Mongolia

拜仁达坝和维拉斯托是内蒙古地质勘查局所属地质队于本世纪初在内蒙古东部地区发现的 2 个大型银多金属矿床。拜仁达坝矿区已探明的银金属量达 4 000 多吨,铅+锌 100 多万吨,维拉斯托矿区已探明的银锌铜金属量亦达大型规模(郑翻身等, 2006)。前人对拜仁达坝银多金属矿床的发现及其勘查过程、地质特征、成矿流体及其形成条件等进行过报道或讨论(郭利军等, 2004; 2009; 郑翻身等, 2006; 孙丰月等, 2008; 王力等, 2008; 钟日晨等, 2008)。本文根据最新获得的硫和铅同位素数据,来

探讨拜仁达坝和维拉斯托这 2 个银多金属矿床的成矿物质来源。

1 地质背景

拜仁达坝和维拉斯托银多金属矿床位于华北板块与西伯利亚板块之间的古生代褶皱带内,锡林浩特微陆块的东端,大兴安岭西坡中南段成矿带内(赵一鸣等, 1997; 郭利军等, 2004; 2009; 郑翻身等, 2006)(图 1 中的小插图)。

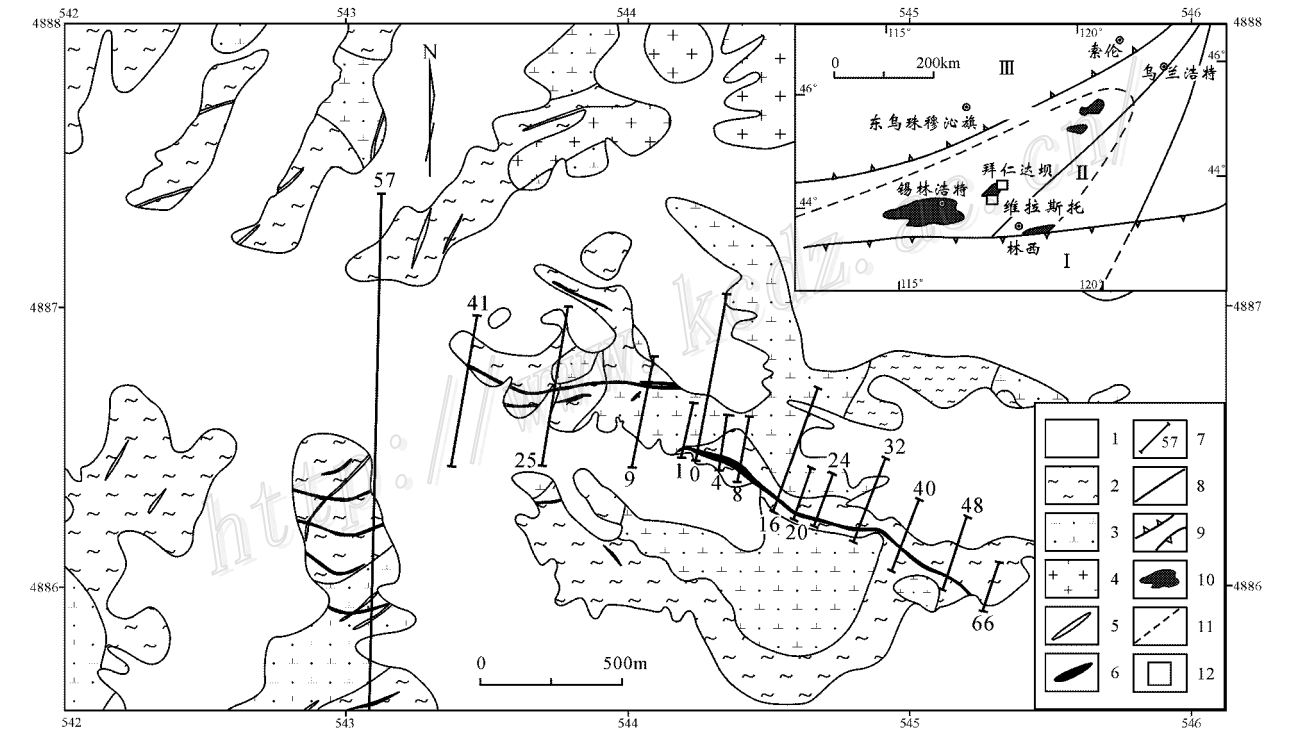


图 1 拜仁达坝矿区地质简图(引自内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院, 2003^①)
1—第四系; 2—黑云斜长片麻岩; 3—石英闪长岩; 4—花岗岩; 5—中基性脉岩; 6—银多金属矿体; 7—勘探线及编号; 8~12 为图中小插图的图例: 8—断层; 9—古板块缝合线; 10—前寒武纪变质岩地块; 11—锡林浩特中间地块推测边界; 12—研究区范围

Fig. 1 Simplified geological map of the Bairendaba silver-polymetallic deposit
(after No. 9 Institute of Geology and Mineral Development of Inner Mongolia, 2003)
1—Quaternary; 2—Biotite-plagioclase gneiss; 3—Quartz diorite; 4—Granite; 5—Basic-intermediate dyke; 6—Silver-polymetallic ore body;
7—Exploration line and its serial number; The legend of 8~12 for the inset: 8—Fault; 9—Suture of ancient plate; 10—Precambrian metamorphic terrain; 11—Infered boundary of the Xilinhot terrain; 12—Study area

① 内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院. 2003. 内蒙古自治区克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告. 内部资料.

区域岩浆活动强烈,主要为海西期和燕山期的花岗岩类侵入体,呈岩株状或岩基状分布。区内出露地层有元古界、上石炭统、二叠系和侏罗系,以及第四系冲积层及风成砂土。区域褶皱和断裂构造发育,主要有米生庙复背斜和一系列呈NE向、NW向及近EW向的断裂。

2 矿区简要地质特征

2.1 拜仁达坝银多金属矿床

该矿床位于内蒙古赤峰市克什克腾旗境内,地理位置为东经 $117^{\circ}30'56''\sim 117^{\circ}34'15''$,北纬 $44^{\circ}05'54''\sim 44^{\circ}07'32''$,面积约 16 km^2 。

矿区内出露的地层简单,主要为中-新元古界锡林浩特杂岩系的黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩,以及第四系残坡积物和冲(洪)积物(图1)。断裂构造有NE向、NW向和近EW向,其中,近EW向和NWW向断裂控制着矿体的分布。矿区内的侵入岩主要为海西期石英闪长岩,构成主要赋矿围岩,另外,在矿区东北角还见有海西早期花岗岩。

以57勘探线为界,将拜仁达坝矿床划分为东、西2个矿区。东矿区已发现54个矿体(地表出露矿体20个,深部隐伏矿体34个),其中工业矿体有22个。1号脉为主矿体,其资源/储量占总资源/储量的84%;2号和39号矿脉规模较大,其余矿体规模较小。矿体大小不等,延长数十米至2000余m,倾向延伸数十米至1000余m,厚度一般为0.5m至几十米。矿体呈层状、似层状,走向近EW,倾向北,倾角 $10^{\circ}\sim 50^{\circ}$,个别矿体走向NW,倾向北东,倾角一般 $26^{\circ}\sim 34^{\circ}$ 。氧化矿带深度8~15m,其下为原生隐伏矿体。

拜仁达坝西矿区由167个矿(化)体组成(地表露头矿体7个,隐伏矿体160个),其中达到工业品位的矿体有47个。这些矿体中,3号为主矿体,其资源/储量占总资源/储量的65%,4、44、50、51、53、70、73、102、128号的规模中等,其余矿体的规模较小。矿区内各矿体大小不等,长数十米至1200余m,延深数十米至700余m,厚度一般为0.5m至十几米。矿体呈脉状、似脉状、透镜状,走向以近EW为主,倾向北,倾角 $8^{\circ}\sim 50^{\circ}$,个别矿体走向为NW向或NE向,倾向北东或北西,倾角一般 $26^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。

氧化矿中的金属矿物主要为褐铁矿、铅华,其次

是孔雀石、蓝铜矿、角银矿、闪锌矿等。脉石矿物有高岭石、石英、绢云母、长石、碳酸盐矿物等。原生硫化矿中的金属矿物主要有磁黄铁矿、黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿、闪锌矿、硫铅矿、黄铜矿、黝铜矿、辉银矿、自然银、毒砂等。脉石矿物为白云石、绿泥石、石英、绢云母、萤石、白云母和少量重晶石。主要有用元素为Ag、Pb、Zn,伴生有益成分为Cu等。矿床具有褐铁矿化、铅锌矿化、黄铁矿化、孔雀石化、硅化、高岭土化、萤石化等蚀变,均可作为该区的直接找矿标志。

矿石结构主要有半自形结构、他形结构、骸晶结构、交代结构、固溶体分离结构、碎裂结构。矿石构造主要为条带状构造、网脉状构造、块状构造、浸染状构造,其次为斑杂状构造和角砾状构造。

2.2 维拉斯托银多金属矿床

该矿床位于内蒙古自治区克什克腾旗境内,在行政区划上,隶属克什克腾巴音查干苏木管辖,其地理坐标为东经 $117^{\circ}28'30''\sim 117^{\circ}30'45''$,北纬 $44^{\circ}04'00''\sim 44^{\circ}05'45''$,矿区面积 10.79 km^2 。

矿区内出露地层单一,除广泛分布的第四系外,仅出露中-上元古界锡林浩特杂岩系的黑云斜长片麻岩(图2),另有少量NE向闪长岩脉分布。

该矿区内主要发育有NW及近EW向断裂,主矿体赋存于近EW向的'S'型压扭性断裂构造中,严格受构造控制。矿体的围岩主要为黑云斜长片麻岩,其次为隐伏的石英闪长岩。地表及浅部为氧化矿,氧化带为基岩下13.5m,深部及隐伏矿为硫化矿,矿体呈似层状,有分支复合、尖灭再现、膨大缩小现象。矿体总体走向为近EW向,呈舒缓波状,倾向北,倾角为 $8^{\circ}\sim 35^{\circ}$,平均 22° 左右,产状变化不大,总体平稳,在倾向上不平直,在总体倾角稳定的前提下波动,呈现膨大-缩小-膨大的变化趋势。

维拉斯托矿床由120个矿(化)体组成(地表露头体1个,隐伏矿体119个),其中达到工业品位的矿体有43个。1号矿体为主矿体,其资源/储量占总资源/储量的65.83%,7、17、27、33、43、46、66、67号矿体的规模中等,其余矿体的规模较小。矿区内诸矿体大小不等,延长数十米至1000m,延深数十米至900m,厚度一般为0.1m至十几米。其中,1号矿体走向长1060m,倾向延伸长945m,平均厚度4.58m。

氧化矿中的金属矿物主要为褐铁矿、铅华及黑钨矿残余,其次为孔雀石。脉石矿物为高岭石、石英、

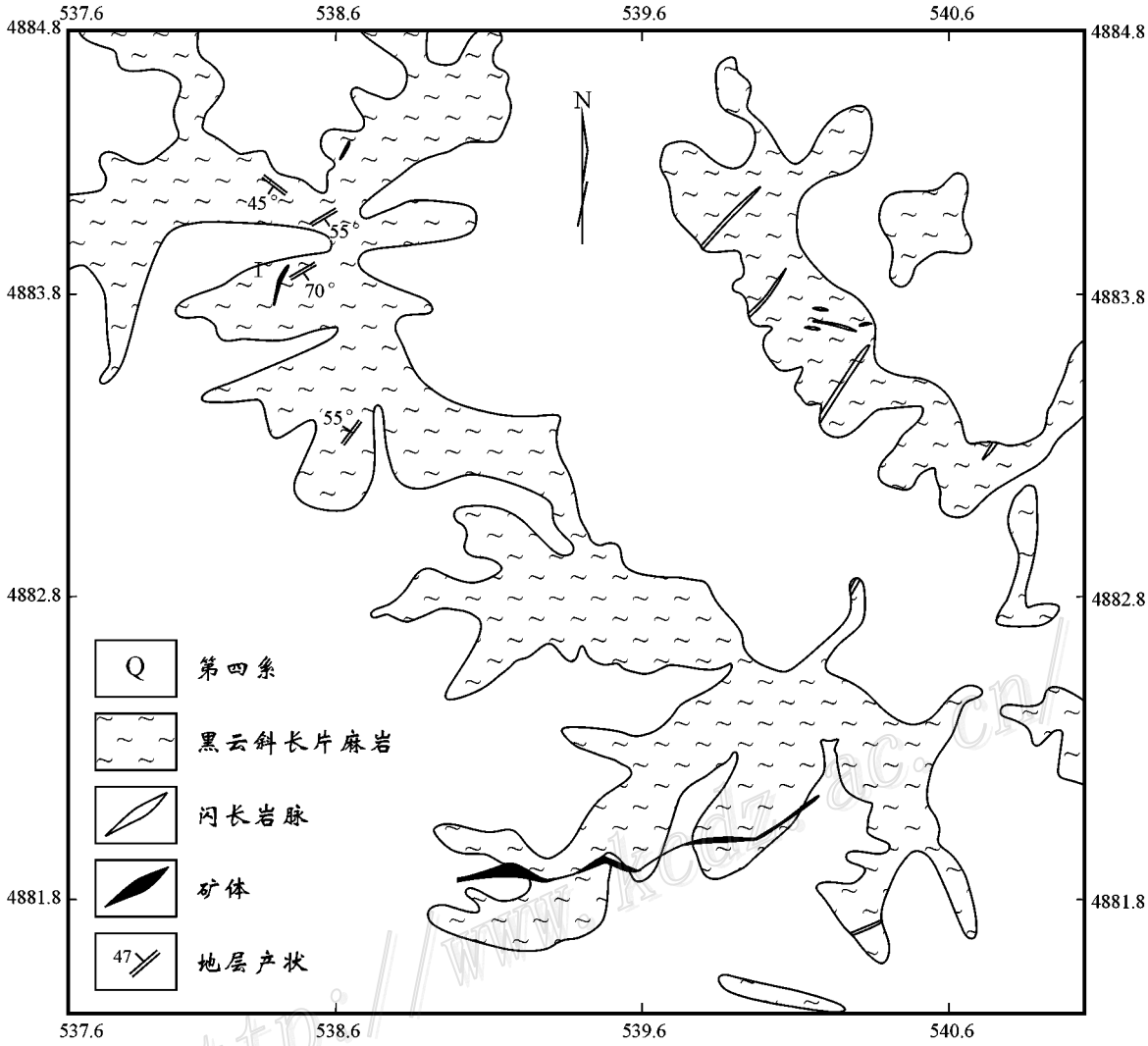


图 2 维拉斯托矿区地质简图(引自内蒙古地质勘查有限责任公司,2007^①)

Fig. 2 Simplified geological map of the Weilasituo silver-polymetallic deposit
(after Inner Mongolia Geological Exploration Co. Ltd., 2007)

绢云母、长石、碳酸盐矿物等。原生硫化矿中的金属矿物主要有磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿、白铁矿、磁铁矿、黑钨矿、白钨矿,其次为黄铁矿、方铅矿,还有少量辉钴矿、辉银矿。脉石矿物为石英、白云母、白云石、绢云母、粘土矿物、碳酸盐类矿物、长石、萤石。

矿石结构主要有半自形、他形粒状结构、交代结构、固溶体分离结构、包裹结构、胶状结构、残余结构。矿石构造有角砾构造、蜂窝状构造、网脉状构造、浸染状构造、斑杂状构造及块状构造等。

3 样品采集及分析方法

3.1 样品采集

本次研究的所有样品均采自拜仁达坝和维拉斯托矿区,采样地点见表 1。

3.2 样品分析方法

硫同位素测试工作是在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室 MAT251EM 质谱计上完成的。标准物质的日常分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

① 内蒙古地质勘查有限责任公司. 2007. 内蒙古自治区克什克腾旗维拉斯托矿区锌铜多金属矿详查报告. 内部资料.

表 1 拜仁达坝和维拉斯托矿区硫化物的硫同位素分析结果
Table 1 Sulfur isotope composition of sulfides from Bairendaba and Weilasituo deposits

原样号	采样位置	样品名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDP}}/\text{‰}$
拜仁达坝西矿区			
BC-03	拜矿 1250 m 水平,2 斜井车场向西 80 m	方铅矿	-1.3
		闪锌矿	-0.3
BC-04	拜矿 1225 m 水平,2 斜井车场沿沿脉向东 150 m	磁黄铁矿	-1.0
		闪锌矿	-1.7
BC-05	拜矿 1200 m 水平,10 线	磁黄铁矿	-0.8
		闪锌矿	-1.8
BK-02	拜矿 1200 m 水平,4 线,BK-01 点东 120 m,矿体底板	闪锌矿	-0.4
		黄铁矿	-1.3
BK-03	拜矿 1200 m 水平,6 线向西 10 m	磁黄铁矿	-3.6
		闪锌矿	-2.3
BK-04	拜矿 1200 m 水平,6 线附近	磁黄铁矿	-1.7
BK-05	拜矿 1175 m 水平,1 斜井向西 75 m	闪锌矿	1.2
BK-08	拜矿 1275 m 水平,2 斜井车场沿沿脉向西 150 m	方铅矿	-0.9
		闪锌矿	1.5
BK-11	拜矿 1225 m 水平,2 斜井车场沿沿脉向东 150 m	闪锌矿	-0.3
BK-12	拜矿 1200 m 水平,2 斜井车场与沿脉交汇点向西 10 m	磁黄铁矿	-2.9
	1200 m 水平,2 斜井车场与沿脉交汇点向西 10 m	闪锌矿	-1.1
BK-13	1200 m 水平,10 线	磁黄铁矿	-2.8
		闪锌矿	-1.3
BK-14	1175 m 水平,12 线	磁黄铁矿	-2.8
		闪锌矿	-1.6
BK-14-1	1175 m 水平,12 线	磁黄铁矿	-4.0
		闪锌矿	-2.7
BK-15	1175 m 水平,14 线	闪锌矿	-0.3
拜仁达坝东矿区			
YC-01-1	主斜井矿堆	磁黄铁矿	-1.7
		闪锌矿	-0.5
YC-02	斜井(44°06.784'N,117°32.739'E)	磁黄铁矿	-1.2
		闪锌矿	-1.4
YK-04	1250m 水平,23 线	磁黄铁矿	-1.2
		闪锌矿	-1.2
YK-06	主斜井矿堆	方铅矿	-1.4
		毒砂	0.9
YK-07	主斜井矿堆	闪锌矿	0.5
YK-08	斜井(44°06.784'N,117°32.739'E)	磁黄铁矿	0.5
		闪锌矿	0.9
YK-09	平硐 1286 m 矿堆	磁黄铁矿	-0.2
YK-11	竖井矿堆(44°07.007'N,117°32.718'E)	闪锌矿	-1.5
YK-12	竖井矿堆(44°07.007'N,117°32.718'E)	闪锌矿	0.2
YK-13	平硐 1273 m	闪锌矿	0.6
		毒砂	1.6
维拉斯托矿区			
WC-02	1300 m 平硐口矿堆	磁黄铁矿	0.2
		闪锌矿	0.1
		毒砂	1.2
WK-01	1275 m 水平 7 线	闪锌矿	1.8
		黄铜矿	0.4
WK-02	1275 m 水平 3 线	黄铜矿	-0.2
		毒砂	1.2
WK-03	1275 m 水平 1 线	磁黄铁矿	-0.3
		闪锌矿	-0.5
WK-04	1275 m 水平 3 线	闪锌矿	1.7
		黄铜矿	-0.8
WK-06	1300 m 水平 2 线	闪锌矿	2.0
		毒砂	-0.5
WK-08	1275 m 水平 12 线	闪锌矿	1.5
		毒砂	0.9
WK-10	1317 m 平硐口矿堆	闪锌矿	1.7
WK-11	1300 m 水平 0 线	闪锌矿	0.5
WK-12	1250 m 水平 17 线	黄铜矿	-0.1

铅同位素分析是在核工业北京地质研究院分析测试中心 MAT261 质谱计上完成的。其分析流程是 ① 称取适量样品放入聚四氟乙烯坩埚中,加入氢氟酸及中、高氯酸溶样。样品分解后,将其蒸干,再加入盐酸溶解、蒸干,加入 0.5 N HBr 溶液溶解样品进行铅的分离。② 将溶解的样品溶液倒入预先处理好的强碱性阴离子交换树脂中进行铅的分离,用 0.5 N HBr 溶液淋洗树脂,再用 2 N HCl 溶液淋洗树脂,最后用 6 N HCl 溶液解脱,将解脱溶液蒸干备质谱测定用。③ 用热表面电离质谱法进行铅同位素测量,仪器型号为 ISOPROBE-T,对 1 μg 的 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 测量精度 $\leq 0.005\%$ 。NBS981 标准值: $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.1681 \pm 0.0008$; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.91464 \pm 0.00033$; $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.059042 \pm 0.000037$ 测量值 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.165247 \pm 0.000069$; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.914510 \pm 0.000056$; $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.059200 \pm 0.000013$ 。以上测量精度以 2σ 计。整个流程的 Pb 空白本底为 0.1 ng。

4 样品分析结果

4.1 硫同位素

拜仁达坝矿区矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.0\text{‰} \sim +1.6\text{‰}$ (40 件样品,表 1,图 3),平均为 -0.98‰ 。其中,东矿区矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.7\text{‰} \sim +1.6\text{‰}$ (16 件样品),平均为 -0.32‰ 。闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.5\text{‰} \sim +0.9\text{‰}$ (8 件样品),磁黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.7\text{‰} \sim +0.5\text{‰}$ (5 件样品),方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -1.4‰ (1 件样品),毒砂的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+0.9\text{‰} \sim +1.6\text{‰}$ (2 件样品)。而西矿区矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值则为 $-4.0\text{‰} \sim +1.5\text{‰}$ (24 件样品),平均为 -1.43‰ ;闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-2.7\text{‰} \sim +1.5\text{‰}$ (13 件样品),磁黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.0\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$ (8 件样品),方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.3\text{‰} \sim -0.9\text{‰}$ (2 件样品),黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -1.3‰ (1 件样品)。

维拉斯托矿区矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.8\text{‰} \sim +2.0\text{‰}$ (18 件样品,见表 1、图 3),平均为 $+0.6\text{‰}$ 。其中,闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.5\text{‰} \sim +2.0\text{‰}$ (8 件样品),磁黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.3\text{‰} \sim +0.2\text{‰}$ (2 件样品),黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.8\text{‰} \sim +0.4\text{‰}$ (4 件样品),毒砂的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.5\text{‰} \sim +1.2\text{‰}$ (4 件样品)。

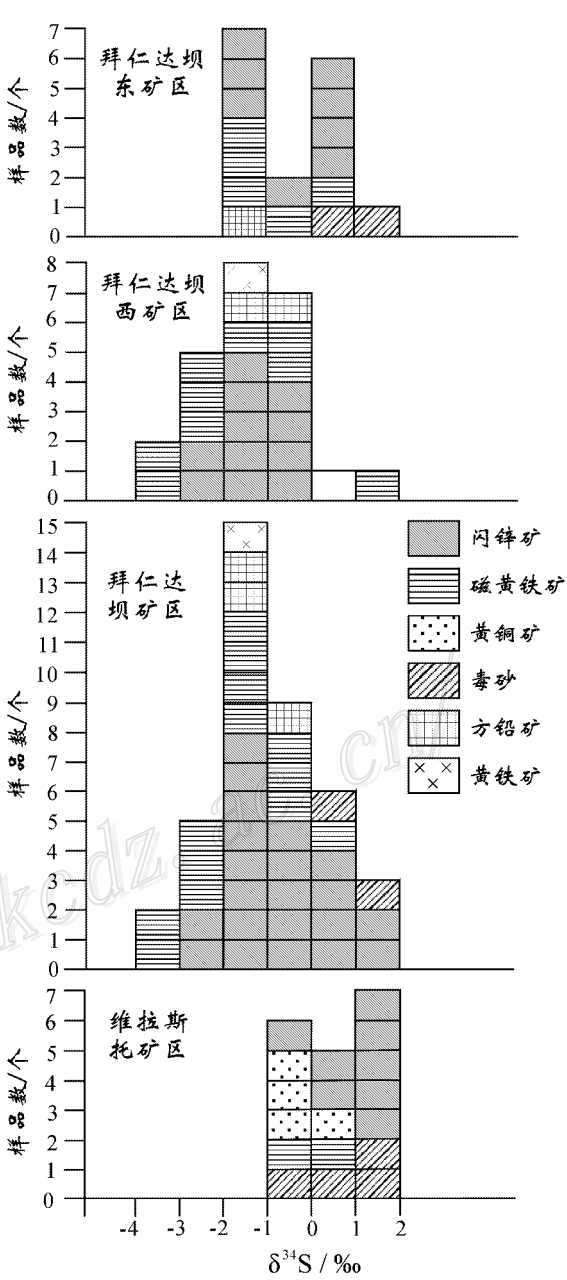


图 3 拜仁达坝和维拉斯托矿床的硫同位素组成直方图
Fig. 3 Histogram of sulfur isotopic compositions of ores from Bairendaba and Weilasituo deposits

4.2 铅同位素

拜仁达坝矿区矿石中 43 件金属硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $18.333 \sim 18.515$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.532 \sim 15.656$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $38.057 \sim 38.610$ (表 2)。其中,闪锌矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $18.333 \sim 18.485$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.539 \sim 15.646$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $38.057 \sim 38.548$ 。磁黄铁矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $18.337 \sim 18.515$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.538 \sim$

表 2 拜仁达坝和维拉斯托矿区硫化物的铅同位素分析结果

Table 2 Lead isotope composition of sulfides from Bairendaba and Weilasituo deposits							
样品编号	样品名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	误差	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	误差	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	误差
拜仁达坝西矿区							
BC-3	方铅矿	18.442	0.002	15.656	0.002	38.610	0.004
BC-3	闪锌矿	18.369	0.002	15.576	0.002	38.321	0.005
BC-4	磁黄铁矿	18.366	0.001	15.570	0.001	38.316	0.002
BC-4	闪锌矿	18.427	0.012	15.646	0.01	38.548	0.026
BC-5	磁黄铁矿	18.353	0.001	15.554	0.001	38.257	0.001
BC-5	闪锌矿	18.421	0.01	15.641	0.009	38.539	0.021
BC-5	黄铜矿	18.359	0.001	15.565	0.001	38.303	0.002
BK-2	闪锌矿	18.399	0.013	15.585	0.011	38.356	0.028
BK-2	黄铁矿	18.349	0.001	15.558	0.001	38.291	0.003
BK-3	磁黄铁矿	18.370	0.002	15.571	0.002	38.291	0.006
BK-3	闪锌矿	18.369	0.003	15.571	0.003	38.294	0.006
BK-4	磁黄铁矿	18.515	0.006	15.594	0.005	38.325	0.013
BK-5	闪锌矿	18.399	0.003	15.606	0.002	38.438	0.005
BK-8	方铅矿	18.359	0.001	15.563	0.001	38.296	0.002
BK-8	闪锌矿	18.359	0.002	15.560	0.002	38.287	0.005
BK-11	闪锌矿	18.368	0.002	15.570	0.002	38.319	0.004
BK-12	磁黄铁矿	18.337	0.001	15.544	0.001	38.225	0.003
BK-12	闪锌矿	18.355	0.002	15.569	0.001	38.295	0.003
BK-13	磁黄铁矿	18.354	0.001	15.547	0.001	38.237	0.002
BK-13	闪锌矿	18.391	0.003	15.589	0.003	38.371	0.006
BK-14	磁黄铁矿	18.357	0.001	15.549	0.001	38.233	0.002
BK-14	闪锌矿	18.427	0.005	15.617	0.005	38.456	0.013
BK-14-1	磁黄铁矿	18.398	0.005	15.587	0.004	38.201	0.009
BK-14-1	闪锌矿	18.485	0.014	15.641	0.01	38.057	0.024
BK-15	闪锌矿	18.368	0.001	15.564	0.001	38.302	0.003
拜仁达坝东矿区							
YC-01-1	磁黄铁矿	18.357	0.001	15.550	0.001	38.243	0.002
YC-01-1	闪锌矿	18.358	0.001	15.552	0.001	38.248	0.003
YC-02	磁黄铁矿	18.348	0.001	15.538	0.001	38.207	0.003
YC-02	闪锌矿	18.358	0.001	15.560	0.001	38.282	0.002
YC-04	磁黄铁矿	18.338	0.001	15.540	0.001	38.223	0.002
YC-04	闪锌矿	18.349	0.001	15.544	0.001	38.223	0.002
YC-06	方铅矿	18.341	0.001	15.542	0.001	38.218	0.002
YC-06	闪锌矿	18.354	0.001	15.552	0.001	38.249	0.002
YC-06	黄铜矿	18.345	0.001	15.543	0.001	38.215	0.003
YC-06	毒砂	18.363	0.001	15.563	0.001	38.284	0.002
YC-07	闪锌矿	18.367	0.001	15.572	0.001	38.314	0.002
YC-08	磁黄铁矿	18.360	0.001	15.559	0.001	38.275	0.003
YC-08	闪锌矿	18.355	0.001	15.554	0.001	38.263	0.003
YC-09	磁黄铁矿	18.350	0.001	15.551	0.001	38.250	0.002
YC-11	闪锌矿	18.333	0.001	15.539	0.001	38.202	0.002
YC-12	闪锌矿	18.344	0.001	15.546	0.001	38.227	0.002
YC-13	闪锌矿	18.358	0.001	15.561	0.001	38.281	0.003
YC-13	毒砂	18.337	0.001	15.532	0.001	38.189	0.003
维拉斯托矿区							
WC-02	磁黄铁矿	18.365	0.002	15.555	0.001	38.251	0.003
WC-02	闪锌矿	18.351	0.007	15.551	0.007	38.263	0.016
WC-02	毒砂	18.358	0.002	15.549	0.002	38.226	0.005
WK-01	闪锌矿	18.376	0.003	15.602	0.003	38.409	0.009
WK-01	黄铜矿	18.337	0.003	15.544	0.003	38.198	0.006
WK-02	黄铜矿	18.326	0.001	15.530	0.001	38.163	0.003
WK-02	毒砂	18.373	0.003	15.5860	0.003	38.252	0.007
WK-03	磁黄铁矿	18.350	0.002	15.550	0.001	38.112	0.003
WK-03	闪锌矿	18.377	0.015	15.610	0.014	38.435	0.035
WK-04	闪锌矿	18.349	0.003	15.564	0.003	38.267	0.008
WK-04	黄铜矿	18.304	0.001	15.520	0.001	38.131	0.002
WK-05	黄铜矿	18.327	0.001	15.538	0.001	38.184	0.002
WK-06	闪锌矿	18.326	0.002	15.543	0.001	38.205	0.003
WK-06	毒砂	18.351	0.001	15.566	0.001	38.274	0.003
WK-08	闪锌矿	18.353	0.001	15.576	0.001	38.321	0.003
WK-08	毒砂	18.317	0.001	15.526	0.001	38.152	0.003
WK-10	闪锌矿	18.369	0.004	15.581	0.003	38.304	0.008
WK-10	黄铜矿	18.325	0.002	15.534	0.002	38.177	0.005
WK-11	闪锌矿	18.337	0.005	15.551	0.004	38.204	0.011
WK-12	黄铜矿	18.338	0.003	15.549	0.003	38.207	0.008

15.594, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.201~38.325 方铅矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.341~18.442, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.542~15.656, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.218~38.610; 黄铜矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.345~18.359, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.543~15.565, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.215~38.303; 毒砂的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.337~18.363, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.532~15.563, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.189~38.284; 黄铁矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.349, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.558, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.291。

拜仁达坝东矿区 18 件金属硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.333~18.367, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.532~15.572, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.189~38.314(表 2); 西矿区 25 件金属硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.337~18.515, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.544~15.656, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.057~38.610(表 2)。

维拉斯托矿区 20 件金属硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.304~18.377, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.520~15.610, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.112~38.435(表 2)。其中, 闪锌矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.326~18.377, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.543~15.610, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.204~38.435; 磁黄铁矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.350~18.365, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.550~15.555, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.112~38.251; 黄铜矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.304~18.338, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.520~15.549, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.131~38.207; 毒砂的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.317~18.373, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.526~15.586, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.152~38.274。

无论是拜仁达坝矿床, 还是维拉斯托矿床, 其金属硫化物铅同位素数据均构成较好的线性关系(图 4), 表明这 2 个矿床的铅都不是正常铅, 而是异常铅, 因此, 不能采用单阶段模式定年。

5 讨论

5.1 硫同位素

在区域上, 查干布拉根银多金属矿床矿石的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.43\text{‰} \sim +6.71\text{‰}$, 具有明显的塔式分布效应, 反映出硫来自深源(解成波等, 2001); 孟恩陶勒盖矿床硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.7\text{‰} \sim +4.6\text{‰}$, 表明其硫为岩浆成因(朱笑青等, 2004); 白音查干银多金属矿床内硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为

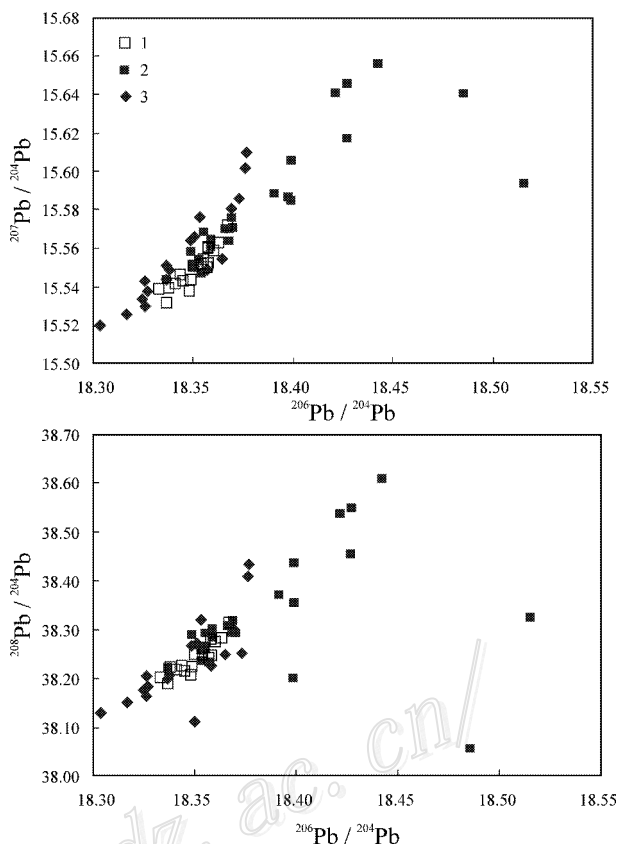


图 4 拜仁达坝及维拉斯托矿区 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图

1—拜仁达坝东矿区的硫化物; 2—拜仁达坝西矿区的硫化物;
3—维拉斯托矿区的硫化物

Fig. 4 Diagrams of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ for ores from the Bairendaba and Weilasituo deposits

1—Sulfides from the eastern part of the Bairendaba deposit;
2—Sulfides from the western part of the Bairendaba deposit;
3—Sulfides from the Weilasituo deposit

$+1.3\text{‰} \sim +4.8\text{‰}$, 其变化范围及平均值与岩浆热液金属矿床中的同种硫化物相似, 表明在银多金属矿化带的形成过程中, 岩浆热液流体发挥了重要作用(聂凤军等, 2007); 内蒙古额仁陶勒盖银矿床内硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-3.96\text{‰} \sim +4.45\text{‰}$, 说明其硫来自深源岩浆(陈祥, 2000); 大井锡多金属矿床内硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.8\text{‰} \sim +3.8\text{‰}$, 其硫来自于岩浆(储雪蕾等, 2002)。拜仁达坝和维拉斯托银多金属矿床矿石的硫同位素组成范围($\delta^{34}\text{S}$ 值分别为 $-4.0\text{‰} \sim +1.6\text{‰}$ 和 $-0.8\text{‰} \sim +2.0\text{‰}$) 与上述诸矿床相似, 表明其硫主要来自岩浆热液。

与拜仁达坝矿区(金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为

-4.0‰~1.6‰)相比,维拉斯托矿区内金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值(-0.8‰~2.0‰)明显较高,而且变化范围更小(图3)。这种差别可能与成矿物质来源、温度、流体的性质等均有关系。

在拜仁达坝矿区,东矿区与西矿区金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值也有差别(图3)。东矿区内金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相对较高,为-1.7‰~1.6‰,平均为-0.32‰,而西矿区内金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值则相对较低,为-4.0‰~1.5‰,平均为-1.43‰。这说明东、西矿区之间在成矿物质来源、温度、流体的性质等方面存在一定的差别。

在平衡条件下, ^{34}S 的富集顺序是黄铁矿>磁黄铁矿>闪锌矿>黄铜矿>方铅矿。在拜仁达坝矿区,硫同位素显然没有达到平衡。而在维拉斯托矿区,尽管在同一件样品中(表1),可以看到磁黄铁矿>闪锌矿,闪锌矿>黄铜矿,可能反映硫同位素平衡,但是,根据硫同位素对计算出WK-01和WK-04两个样品的硫化物形成温度,结果分别是54℃和-28℃,这显然是不对的,说明硫同位素还是没有真正达到平衡,可能反映了成矿物质快速沉淀的特点。

总的来说,拜仁达坝矿区和维拉斯托矿区硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值在0值附近,与岩浆热液流体所形成的矿床的硫同位素值接近(Ohmoto et al., 1979; Taylor, 1987),尤其是拜仁达坝东矿区和维拉斯托矿区,它们更接近0值,说明它们可能距离成矿岩体更近。而拜仁达坝西矿区由于距离成矿岩体较远,流体在运移过程中可能有大气降水的参与以及围岩斜长片麻岩中硫的加入,导致其 $\delta^{34}\text{S}$ 值相对较低。

5.2 铅同位素

与拜仁达坝矿区相比,维拉斯托矿区矿石中金属硫化物的铅同位素组成变化范围较小,相对贫放射性铅同位素(图4)。而在同一个矿区内,拜仁达坝东矿区与西矿区硫化物的铅同位素组成差别也较大。相比较而言,其东矿区的铅同位素组成变化范围要小,而且相对贫放射性铅同位素,与维拉斯托矿区铅同位素组成相似,并且比其变化范围更小。

为了探讨矿石铅的来源,应用矿区围岩的全岩铅同位素组成和铀、钍、铅含量及成矿年龄($t=133\text{ Ma}$,成矿期蚀变绢云母 Ar-Ar 法测年结果,薛怀民, 2009,私人通讯),计算出岩石的 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ 比值,并据此进一步计算出围岩的初始铅同位素比值(表3)。结果表明,在 $t=133\text{ Ma}$ 的条件下,

就拜仁达坝矿区来说,其硫化物的铅同位素组成无论是与直接赋矿围岩(石英闪长岩、变质岩、脉岩),还是与矿区外围花岗岩,均有部分重叠(图5),说明这些岩石可能提供了高 μ 值的铅,而作为低 μ 值铅的来源,目前尚不清楚,可能来自深部岩浆。

就维拉斯托矿区而言,其硫化物的铅同位素组成与石英闪长岩差别明显(图5),显然,其成矿与石英闪长岩关系不大,而与其他岩石,如变质岩、花岗岩和脉岩,具有部分重叠,这些岩石可能提供了高 μ 值的铅,而作为低 μ 值铅的来源,目前尚不清楚,也可能来自深部岩浆。

尽管拜仁达坝和维拉斯托矿区外围燕山期花岗岩的形成年龄(SHRIMP 锆石年龄为140 Ma, 另文发表)与成矿年龄(133 Ma, 薛怀民, 2009,私人通讯)相近,但是,铅同位素研究(图5)显示,燕山期花岗岩以明显富集放射性铅为特征,与拜仁达坝和维拉斯托矿区的矿石明显贫放射性铅形成了鲜明的对比,说明其矿石中的铅以其他来源为主,高 μ 值的铅可能主要来自围岩地层,但也有可能来自深部的变质基底岩石或矿源层。

5.3 成矿物质来源讨论

无论是拜仁达坝矿区还是维拉斯托矿区,其矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值均不大,尤其是维拉斯托矿区和拜仁达坝矿区东部,其硫同位素组成是相对比较均一的,显示成矿流体可能来自拜仁达坝矿区的东部,而维拉斯托矿区的成矿流体可能与拜仁达坝东矿区的成矿流体具有相同的来源。铅同位素组成的特征其实也为这个推断提供了比较有利的证据,因为,维拉斯托矿区和拜仁达坝矿区东部的铅同位素组成变化范围小(图4),放射性铅的含量低,而拜仁达坝西矿区的铅同位素组成变化范围明显增大,放射性铅的含量高,显示有更多的围岩物质加入。因此,进一步证实了上述推断。在拜仁达坝和维拉斯托矿区南面约10 km处有一个花岗岩基,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为140 Ma(另文发表),与成矿时代接近(133 Ma, 薛怀民, 2009,私人通信)。因此,认为拜仁达坝和维拉斯托这两个银多金属矿床的成矿与燕山期的岩浆活动关系密切。

6 结 论

(1) 拜仁达坝银多金属矿床矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-4.0‰~1.6‰,维拉斯托银多金属矿床

表 3 拜仁达坝及维拉斯托矿区主要围岩的 Pb 同位素分析结果及其特征值

Table 3 Pb isotopic composition of the main wall rocks in Bairendaba and Weilasituo deposits										
样品编号	岩石名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\text{Pb}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$\text{U}/10^{-6}$	$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$	$(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$	$(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$
BB-04	片麻岩	18.612	15.614	38.904	22.3	15.4	1.99	18.4751	15.6073	38.566
WB-01	片麻岩	18.763	15.640	39.085	10.9	9.52	1.44	18.5594	15.6301	38.6555
WB-02	片麻岩	18.603	15.565	38.871	13.6	10.5	1.12	18.4768	15.5589	38.4936
WB-03	片麻岩	18.977	15.598	38.894	8.66	9.27	1.09	18.783	15.5885	38.3677
WB-04	片麻岩	18.911	15.650	39.762	10.9	16.9	2.72	18.522	15.631	38.991
WB-05	片麻岩	18.826	15.643	39.278	15.4	15	2.01	18.6241	15.6332	38.7973
WB-06	片麻岩	18.486	15.575	38.784	11.8	9.83	0.825	18.3792	15.5698	38.3779
YH-02	海西期花岗岩	18.391	15.614	38.452	20.6	3.94	0.654	18.3427	15.6116	38.3592
YS-02	海西期花岗岩	18.478	15.588	38.531	26	8.23	1.2	18.4077	15.5846	38.3772
WH-01	燕山期花岗岩	19.464	15.566	38.851	34.6	61.2	10.4	18.9982	15.5433	37.9766
BS-13	英云闪长岩	19.230	15.658	39.825	13.2	20.8	4.46	18.7006	15.6322	39.0374
YS-03	石英闪长岩	19.174	15.615	39.276	6.59	8.55	1.69	18.7756	15.5956	38.633
YS-04	石英闪长岩	18.701	15.616	38.342	9.98	1.01	1.26	18.5085	15.6066	38.2928
YS-05	石英闪长岩	18.705	15.609	38.359	16.7	2.13	2.34	18.4914	15.5986	38.297
YX-01	中基性脉岩	18.685	15.607	38.547	8.11	2.57	1.06	18.4853	15.5973	38.3925
WJ-01	中基性脉岩	18.453	15.554	38.356	6.44	1.12	0.441	18.349	15.5489	38.2718
WX-01	中基性脉岩	18.543	15.610	38.510	10.7	2.4	0.781	18.4317	15.6046	38.4009
BX-01	中基性脉岩	18.945	15.628	38.418	3.43	0.601	0.64	18.6593	15.6141	38.3324

注: 表中 $t = 133 \text{ Ma}$ 。

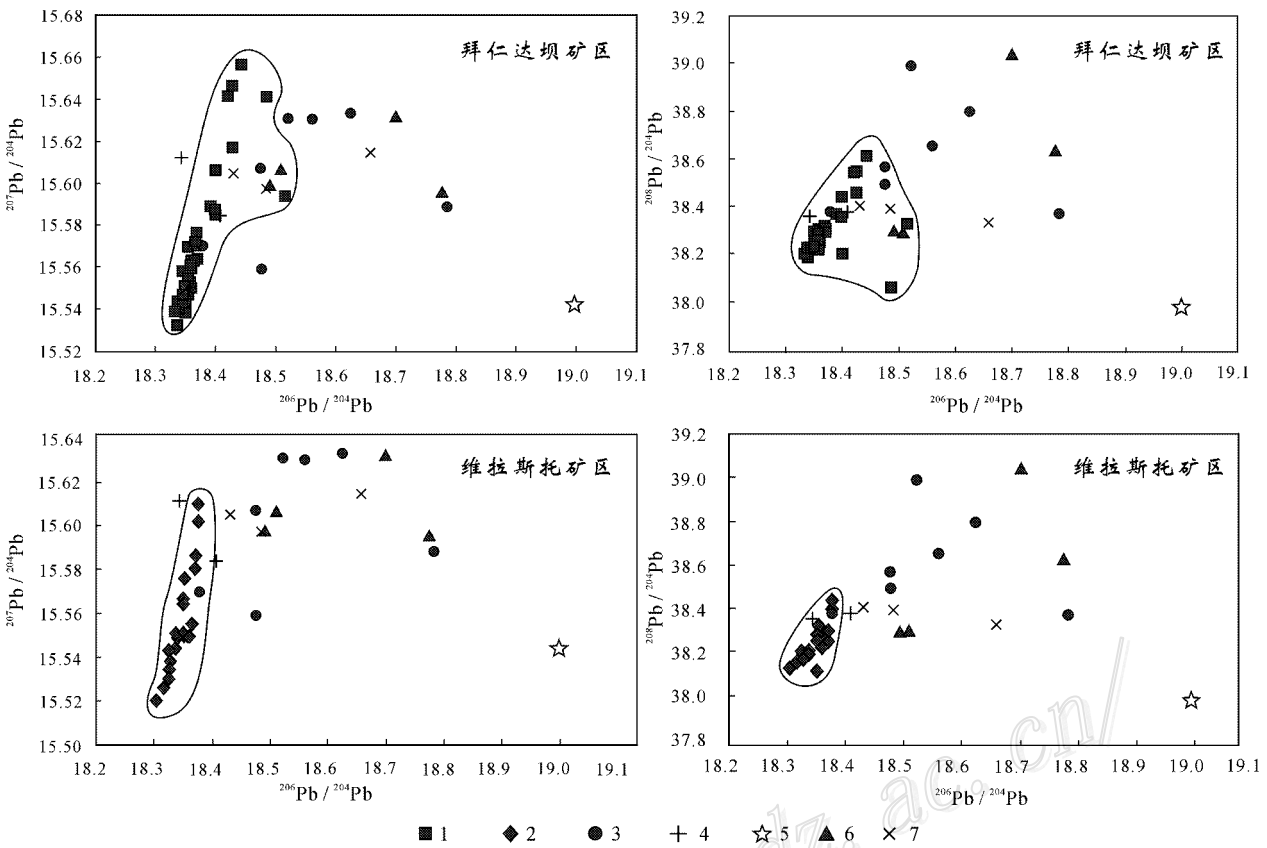


图 5 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ - $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 和 $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ - $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 图
1—拜仁达坝矿区的硫化物；2—维拉斯托矿区的硫化物；3—片麻岩；4—海西期花岗岩；5—燕山期花岗岩；6—石英闪长岩；7—中基性脉岩
Fig. 5 Diagrams of $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ versus $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ and $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ versus $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$
1—Sulfides from the Bairendaba silver-polymetallic deposit；2—Sulfides from the Weilasituo silver-polymetallic deposit.；3—Gneiss；
4—Hercynian granite；5—Yanshanian granite；6—Quartz diorite；7—Basic-intermediate dyke

矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.8\text{‰} \sim 2.0\text{‰}$ ，与岩浆热液型矿床的硫同位素值接近，表明这两个矿床中的硫主要来自岩浆。

(2) 拜仁达坝东矿区矿石的铅同位素组成与维拉斯托矿区相似，但变化范围要小、相对贫放射性铅同位素，并且均为混合铅。赋矿围岩可能提供了高 μ 值的铅，但低 μ 值铅的来源尚不清楚，可能来自深部岩浆。

志 谢 野外地质调查工作得到了银都矿业公司、拜仁矿业公司和维拉斯托矿业公司的大力协助，在此深表谢意。

References

Cheng X. 2000. Diagenetic-metallogenic model of Erentaolegai silver deposit in Inner Mongolia[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 20(1): 12-20 (in Chinese with English abstract).

Chu X L, Huo W G and Zhang X. 2002. S, C and Pb isotopes and sources of metallogenetic elements of the Dajing Cu-polymetallic deposit in Linxi County, Inner Mongolia, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 566-574 (in Chinese with English abstract).

Guo L J, Ge C B, Feng Z, Bai Y Y, Zhang Z F and Zhao Y. 2004. The exploration process and prospects of the Bairendaba Ag-Pb polymetallic deposit in eastern Xilin Hot, Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 28(5): 394-397,401 (in Chinese with English abstract).

Guo L J, Xie Y L, Hou Z Q, Wang S, Chen W, Li Z, Li Y X, Xue H M, Tong Y, Pan X F and Zhou X W. 2009. Geology and ore fluid characteristics of the Bairendaba silver polymetallic deposit in Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(1): 26-36 (in Chinese with English abstract).

Nie F J, Wen Y W, Zhao Y Y, Jiang X Y, Jiang S Hand and Zhang W Y. 2007. Geological features and prospecting directions of Bayanchagan silver polymetallic mineralized area in Xi Ujmqin Banner, central-eastern Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 26(2): 213-220 (in Chinese with English abstract).

- Ohmoto H and Rye R O. 1979. Isotopes of sulfur and carbon [A]. In : Barnes H L, ed. Geo-chemistry of hydrothermal ore deposits [C]. 2nd edition. New York : John Wiley and Sons. 509-567.
- Sun F Y and Wang L. 2008. Ore-forming conditions of Bairendaba Ag-Pb-Zn polymetallic ore deposit, Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 38 (3) :376-383 (in Chinese with English abstract).
- Taylor B E. 1987. Stable isotope geochemistry of ore-forming fluid [M]. Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook. 13 : 337-445.
- Wang L and Sun F Y. 2008. Geological characteristics of Bairendaba Ag-Pb-Zn polymetallic ore deposit in Inner Mongolia [J]. Global Geology, 27 (3) :252-259 (in Chinese with English abstract).
- Xie C B and Liu M. 2001. Geological features and genetic type of the Chagabulagen Ag, Pb, Zn (Au) deposit [J]. World Geology, 20 (1) :25-29 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M and Zhang D Q. 1997. Metallogeny and prospective evolution of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan mountains and its adjacent regions [M]. Beijing : Seismological Press. 318p (in Chinese).
- Zhen F S, Cai H J and Zhang Z F. 2006. The discovery of superlarge silver-lead-zinc deposits in Bairendaba and Weilasitulo, Inner Mongolia, and its ore-prospecting significance [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 30 (1) :13-20 (in Chinese with English abstract).
- Zhong R C, Yang Y F, Shi Y X and Li W B. 2008. Ore characters and ore genesis of the Bairendaba Ag polymetallic ore deposit in Keshiketeng Banner, Inner Mongolia [J]. Geology in China, 35 (6) :1274-1285 (in Chinese with English abstract).
- Zhu X Q, Zhang Q, He Y L and Shao S X. 2004. Genesis of Meng 'entaolegai Ag-Pb-Zn-In polymetallic deposit in Inner Mongolia [J]. Mineral Deposits, 23 (1) :52-60 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈 祥. 2000. 内蒙古额仁陶勒盖银矿床成岩成矿模式 [J]. 桂林工学院学报, 20 (1) :12-20.
- 储雪蕾, 霍卫国, 张 翼. 2002. 内蒙古林西县大井铜多金属矿床的硫、碳和铅同位素及成矿物质来源 [J]. 岩石学报, 18 (4) :566-574.
- 郭利军, 葛昌宝, 冯 贞, 白义勇, 张振法, 赵 云. 2004. 内蒙古锡林浩特东部拜仁达坝银铅多金属矿勘查过程及远景评述 [J]. 物探与化探, 28 (5) :394-397.
- 郭利军, 谢玉玲, 侯增谦, 王 硕, 陈 伟, 李 政, 李应棚, 薛怀民, 童英, 潘小菲, 周喜文. 2009. 内蒙古拜仁达坝银多金属矿床地质及成矿流体特征 [J]. 岩石矿物学杂志, 28 (1) :26-36.
- 聂凤军, 温银维, 赵元艺, 姜美义, 江思宏, 张万益. 2007. 内蒙古白音查干银多金属矿化区地质特征及找矿方向 [J]. 矿床地质, 26 (2) :213-220.
- 孙丰月, 王 力. 2008. 内蒙拜仁达坝银铅锌多金属矿床成矿条件 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 38 (3) :376-383.
- 王 力, 孙丰月. 2008. 内蒙拜仁达坝银铅锌多金属矿床地质特征 [J]. 世界地质, 27 (3) :252-259.
- 解成波, 刘 明. 2001. 查干布拉根银铅锌(金)矿床地质特征及成因类型 [J]. 世界地质, 20 (1) :25-29.
- 赵一鸣, 张德全. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价 [M]. 北京 : 地震出版社. 318 页.
- 郑翻身, 蔡红军, 张振法. 2006. 内蒙古拜仁达坝维拉斯托超大型银铅锌矿的发现及找矿意义 [J]. 物探与化探, 30 (1) :13-20.
- 钟日晨, 杨永飞, 石英霞, 李文博. 2008. 内蒙古拜仁达坝银多金属矿区矿石矿物特征及矿床成因 [J]. 中国地质, 35 (6) :1274-1285.
- 朱笑青, 张 乾, 何玉良, 邵树勋. 2004. 内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铜矿床成因研究 [J]. 矿床地质, 23 (1) :52-60.