

文章编号: 1009-3850(2014)03-0096-10

西藏北部舍索与拉屋铜矿床硫化物铅同位素特征

李 运^{1,2}, 赵元艺²

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 本文在系统的野外地质工作基础上,对舍索与拉屋矿床的矿石硫化物铅同位素组成进行综合分析,进而示踪其成矿物质来源。结果显示,舍索矿区矿石硫化物铅的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值为 18.517~18.776,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值为 15.671~15.756,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值为 38.955~39.33;拉屋矿区矿石硫化物铅的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值为 18.651~18.757,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值为 15.707~15.823,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 值为 39.183~39.561。研究表明,舍索与拉屋矿床矿石硫化物铅同位素含量比值具有明显的上地壳特征,指示两个矿床成矿物质主要来自上地壳。其中舍索矿床成矿物质富集受燕山期岩浆作用影响,而拉屋矿床部分成矿物质由晚石炭纪地幔物质的喷流沉积作用提供。

关键词: Pb 同位素;成矿物质来源;拉屋;舍索

中图分类号: P597+.2

文献标识码: A

舍索铜多金属矿床位于西藏申扎县雄梅乡政府所在地以南 4 km 处,是一个小型矽卡岩型矿床;拉屋铜多金属矿床位于西藏当雄县境内,是喷流沉积-叠加改造型矿床;舍索与拉屋是藏北地区为数不多正在开采的两个矿床。舍索矿床位于冈底斯成矿带与班公湖-怒江成矿带的过渡地区,从成矿时间上来看更加接近于班公湖-怒江成矿带,为矽卡岩型铜多金属矿床,其研究程度相对较低。但由于该矿床的品位较高,并且正在开采,有较多的平硐等工程,使研究其地质特征具备良好的条件。前人已开展了年代学与地球化学特征^[1]、岩矿相学研究^[2]等。拉屋矿床是冈底斯构造岩浆成矿带中一个大型铜多金属矿床,自 1996 年被发现以来,前人从矿相学特征^[3]、矿床成因^[4]、成矿规律^[5]、流体包裹体、岩相学观察和显微测温,以及氢、氧同位素^[6]等

方面对其进行了研究,但其成因尚存在争议。前人大多认为是矽卡岩型矿床,但是何国朝、连永牢等人^[7-8]却认为它是喷流沉积-叠加改造型矿床^[9]。

由于前人缺少对这两个矿床的矿石铅(矿石矿物主要为硫化物)的研究,而矿石铅,尤其是硫化物铅却能很好的反应出铅源情况。为弥补前人工作的空白,本文在野外地质调查、室内岩矿鉴定的基础上,选择代表性样品,对这两个矿区的矿石硫化物铅同位素进行测试分析研究工作,进一步探讨这两个矿床的成矿物质来源问题。

1 矿床地质特征

1.1 舍索矿床

西藏申扎县舍索铜矿区位于西藏冈底斯成矿带与班公湖-怒江成矿带过渡地区的舍索-多巴铜多

收稿日期: 2013-11-18; 改回日期: 2013-11-26

作者简介: 李运(1990-),男,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: lywait@126.com

通讯作者: 赵元艺(1966-),男,研究员,从事矿床学、地球化学研究。E-mail: yuanyizhao2@sina.com

资助项目: 国家“973”项目《青藏高原南部大陆聚合与成矿作用》之课题三《青藏高原南部增生造山成矿系统发育机制》(2011CB403103)、国家科技支撑课题《西藏班公湖岛弧带铜、金、富铁矿评价与综合找矿技术方法示范研究》(2006BAB01A05)之专题《区域成矿模型与典型矿床成因模型研究》和中国地质调查局青藏专项《西藏班公湖-怒江成矿带找矿远景区评价》(1212010818097)联合资助

金属成矿亚带,其南部以狮泉河-纳木错蛇绿岩带为界,大地构造位置属昂龙岗日-班戈退化弧^[10]。

该矿床主要的赋矿层位为郎山组第一岩性段(K_1l^1)。矿体主要分布在复式背斜的南北两翼。复式背斜两翼不对称,北翼均由郎山组第一岩性段(K_1l^1)地层组成,在舍索山顶北侧由主背斜及次级

向斜褶皱,共同构成了复式背斜的核部。其上部与郎山组第二岩性段为断层接触,其下与岩体呈侵入接触(图1)。

矿区南侧出露有北西西向的狮泉河-纳木错蛇绿岩带,超基性岩呈带状展布,主要岩石类型为斜辉辉橄岩及纯橄岩、辉长岩,侵入时代为燕山晚期。

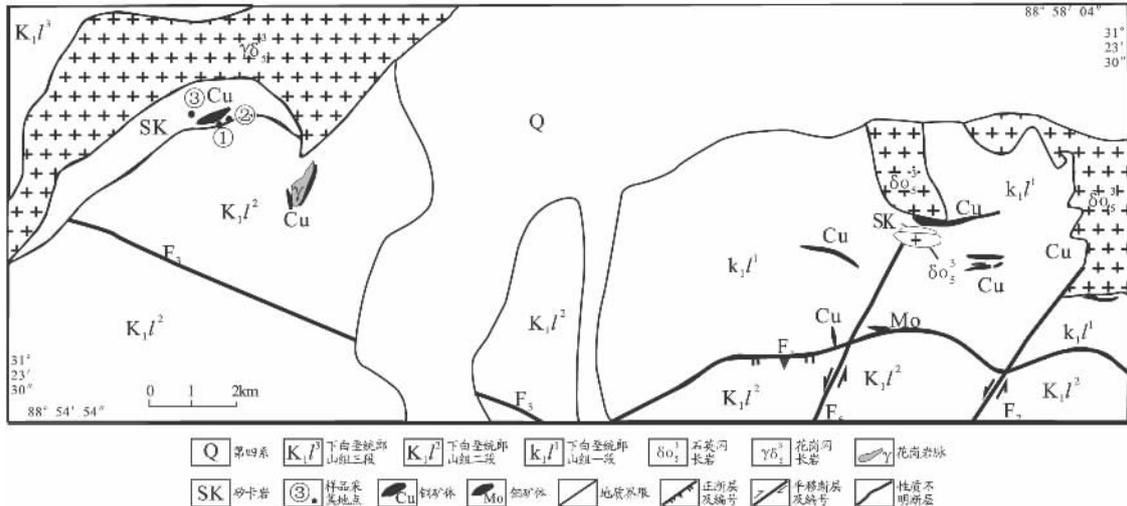


图1 舍所铜矿区地质简图^[10]

Fig.1 Simplified geological map of the Shesuo copper deposit (after Hu Zhenglong , 2004)

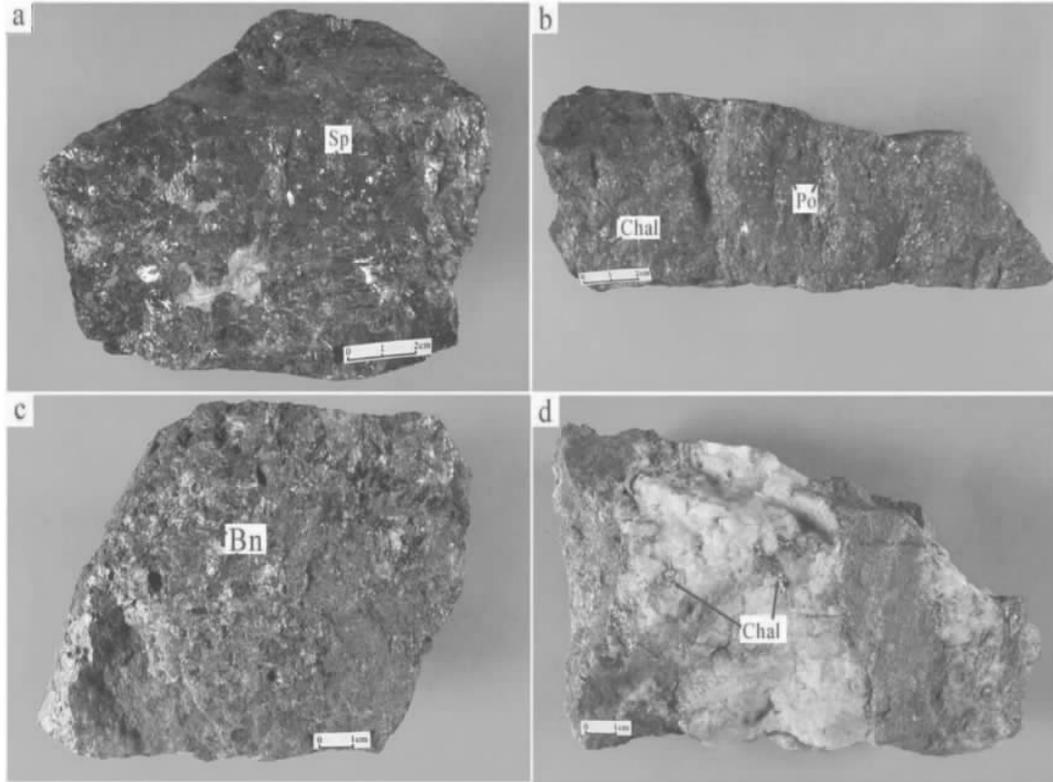


图2 舍索矿区典型标本照片

a. 铜锌矿石; b. 铜锌矿石; c. 铜铁矿石; d. 铜铁矿石; Mag. 磁铁矿; Cal. 方解石; Bn. 斑铜矿; Ccp. 黄铜矿; Sp. 闪锌矿

Fig.2 Representative samples from the Shesuo copper deposit

并有 I-S 过渡型花岗岩类呈岩株或岩基产出,构成退化弧中酸性侵入岩带,岩石类型主要有花岗闪长岩、石英闪长岩、似斑状黑云母花岗岩、花岗岩等。脉岩主要为石英闪长岩、花岗(斑)岩及蚀变辉绿岩脉等。

矿石以砂卡岩型含铜矿石为主,原生硫化矿石矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿、辉铜矿等(图 2)。脉石矿物主要有石榴子石、透辉石、透闪石、绿帘石、石英、方解石等。

原生矿石主要呈不等粒粒状变晶结构、柱粒状变晶结构、砂状变晶结构、角岩结构,次为碎裂结构、纤粒状结构,矿石构造以块状构造为主,次为条带状构造。氧化矿多为隐晶质结构,土状、薄膜状或皮壳状构造。金属矿物一般以细粒单矿物、细脉状及团块状集合体形式嵌布于脉石矿物颗粒之间。其中,黄铜矿多呈它形细粒浸染状、星点状分布,少量呈细脉状、团块状产出;斑铜矿一般呈星点状、细脉状、团块状产出;辉钼矿晶形完好,呈细-粗粒鳞片状集合体不均匀分布;磁铁矿、黄铁矿等金属矿物多呈半自形细粒星散状、团块状集合体分布。氧化矿物分布于矿石表面及节理裂隙中。

矿体围岩蚀变主要为透辉石-石榴石砂卡岩化、大理岩化、硅化、角岩化等,局部为发育不均匀的黄铜矿化、黄铁矿化等矿化蚀变。成矿期次可大致分为:砂卡岩(角岩)化期、石英硫化物期、石英-方解石硫化物期 3 个期次。舍索铜矿床共划分为 3 个矿体群,圈定铜矿体 16 个,矿化体 14 个。

1.2 拉屋矿床

西藏当雄县拉屋铜锌矿床位于冈底斯构造带中段北部,该区以纳木错-嘉黎断裂为界,以北属昂龙冈日-班戈-腾冲岩浆弧带,以南属隆格尔-工布江达弧背断隆带,纳木错-嘉黎断裂是狮泉河-申扎-嘉黎结合带的重要组成部分。

矿区出露地层单一,仅有石炭系旁多群来姑组地层,主要岩性为石英砂岩、长石石英砂岩、砂质板岩、泥质板岩、大理岩等,大致相当于旁多群中上部层位。矿区地层总体走向为北西西向,并构成以白云母二长花岗岩为轴部的不对称的背斜构造。矿区发育有北西向和北北东向两组断裂,其中北西向断裂以 F_3 断层为代表,该方向的断层为成矿前断裂,其内部分区段被矿体所充填(图 3);北北东向断裂地表未见出露,形成时间应在背斜形成之后和矿体形成之前^[12]。

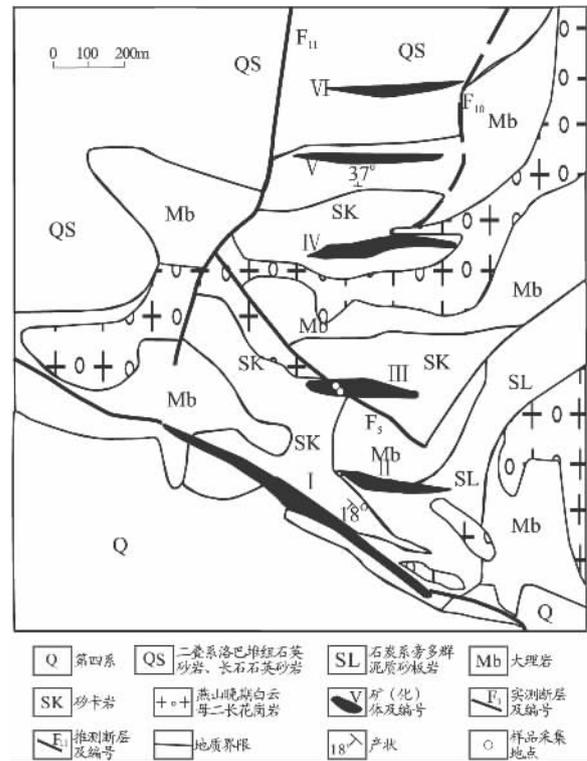


图 3 拉屋矿区地质图^[11]

Fig. 3 Simplified geological map of the Lawu copper deposit (after Cheng Wenbin et al., 2010)

矿区出露的岩体为白云母二长花岗岩,属于矿区东部日音拿岩体的西延部分,岩体出露面积约 6 km²,为燕山期的产物。岩体周围的地层普遍发生蚀变现象,接触带发育砂卡岩和大理岩。砂卡岩主要分布于背斜的核部与两翼,矿体主要赋存于砂卡岩中。拉屋矿区的矿体共为 6 条,主要分布于 F_3 断裂的北部,呈似层状或透镜状较为规整地东西向展布。矿体主要受断裂与砂卡岩的控制,矿体长度一般为 700 ~ 4900 m,厚度为 8.18 ~ 15.08 m,分布于矿区东西向背斜的两翼。

矿石具中-粗粒、自形-半自形粒状结构,块状、条带状、斑杂状及碎裂构造。矿石矿物为闪锌矿、黄铜矿、蓝铜矿、黄铁矿等(图 4),脉石矿物为钙铁石榴石、透辉石、纤闪石、方解石、石英。金属矿物中闪锌矿粒度较大,多为自形、半自形晶,与黄铜矿共生;黄铜矿呈它形粒状结构,以团粒状、星散浸染状嵌布于砂卡岩内,其近地表因氧化次生为孔雀石。矿石自然类型为原生硫化矿石,矿化较好的部位呈致密块状构造,边部矿化较弱的部位以浸染状、团粒状构造为主。

矿体围岩主要为砂卡岩、大理岩。围岩蚀变有硅化、砂卡岩化、绿泥石化及绿帘石化。

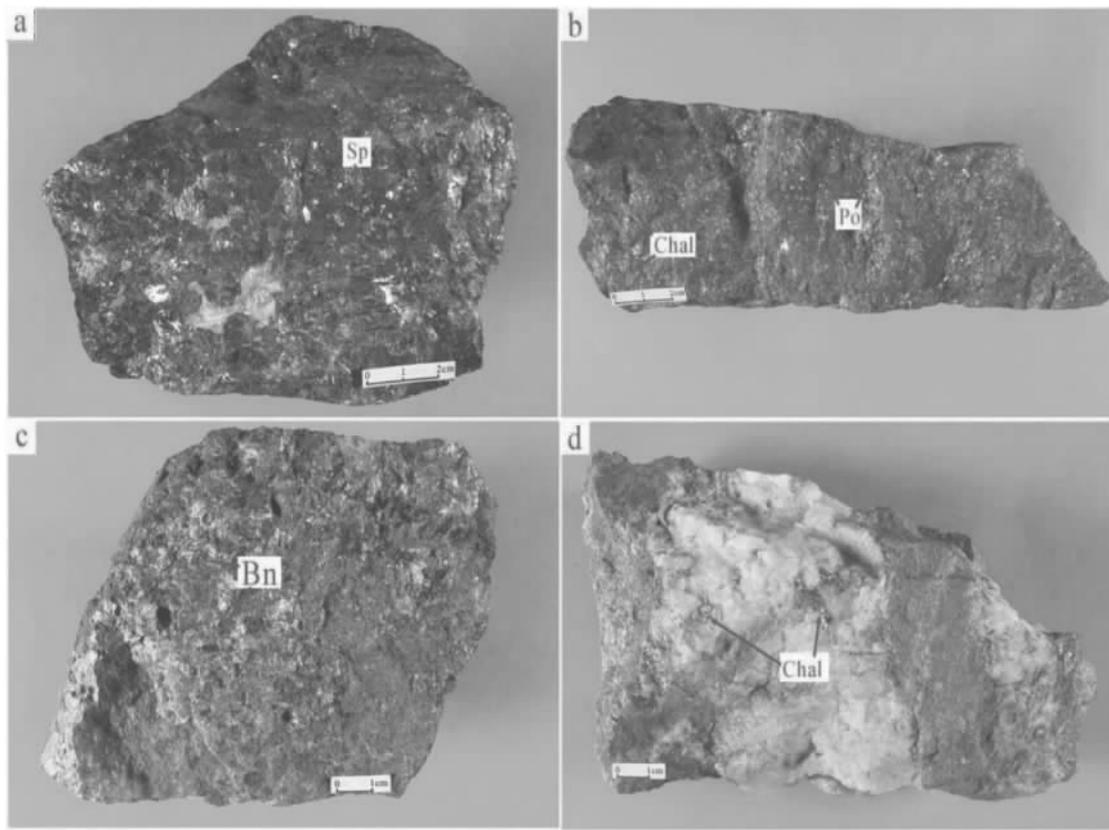


图4 拉屋矿区典型标本照片

a. 锌铜矿石; b. 石英脉型铜矿石; c. 铜锌矿石; d. 锌铜矿石; Sp. 闪锌矿; Chal. 黄铜矿; Po. 磁黄铁矿; Bn. 斑铜矿

Fig. 4 Representative samples from the Lawu copper deposit

2 样品采集与测试

2.1 样品采集

本文舍索矿床的样品产自矿区的第3矿体群,岩性为透辉石砂卡岩,辉钼矿呈团块状产出。拉屋矿床的样品产自拉屋矿床正在开采的Ⅲ号矿体4410平硐与4452平硐。采样方法为单点捡块采样,均为矿床典型样品。

2.2 分析测试

铅同位素的测定是在核工业北京地质研究院分析测试中心进行,采用的是MAT261质谱仪。采用HF酸在高温高压条件下将粉末样品完全熔融后,再蒸干样品溶液,用HCl酸将氟化物转化为氯化物,蒸干后用HBr酸提取样品,再分离提纯铅样品。铅同位素是采用热表面电离质谱方法测量的,相对湿度为20%,温度20℃,检测方法和依据是按照GB/17672-1999《岩石中铅铋钨同位素测定方法》进行的,测量仪器型号是ISOPROBE-T热电离质谱仪,仪器编号为7734,测量精度为对1μg铅其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 低于0.05%, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 一般不大于0.005%。铅同位素比值误差以2s计。分析方法及

步骤如下:

(1) 选取具代表性样品,经手工进行逐级破碎、过筛;

(2) 在双目镜下挑选40~60目、纯度>99%的单矿物样品5g以上;

(3) 将挑纯后的单矿物样品在玛瑙钵里研磨至200目,送实验室分析。

铅同位素组成除受放射性衰变和混合作用影响外,不会在物理、化学和生物作用过程中发生变化,即在矿质运移和沉淀过程中铅同位素组成保持不变^[13]。因此,铅同位素组成是示踪成矿物质来源最直接、最有效的方法之一,且被广泛应用于各种矿床的研究中。由于岩石一般含有一定量的U、Th,结晶以后U、Th所产生的放射性成因铅会对岩石的铅同位素组成产生一定的影响,故需要对其进行铅同位素组成校正。但是一般来说,金属硫化物中的U、Th含量很低,因而在其结晶以后通过衰变作用所产生的放射性成因铅的含量非常低,对硫化物铅同位素组成的影响可以忽略不计。

2.3 测试结果

舍索与拉屋矿床样品测试结果见表1。

表1 舍索与拉屋矿床样品硫化物铅同位素组成

Table 1 Lead isotopic compositions in the sulfides from the Shesuo and Lawu copper deposits

矿床	编号	样品名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ
舍索矿床	SZ-09-2	斑铜矿	18.766	0.001	15.746	0.001	39.295	0.003
	SZ-09-6	黄铁矿	18.776	0.001	15.751	0.001	39.33	0.003
	SZ-09-6	闪锌矿	18.517	0.003	15.671	0.002	38.955	0.006
	SZ-09-7	黄铜矿	18.771	0.002	15.751	0.002	39.322	0.005
	SZ-09-7	闪锌矿	18.748	0.002	15.721	0.002	39.228	0.004
	SZ-09-14	黄铜矿	18.738	0.002	15.741	0.002	39.258	0.005
	SZ-09-15	黄铜矿	18.767	0.002	15.749	0.002	39.311	0.004
	SZ-09-15	闪锌矿	18.762	0.002	15.744	0.001	39.293	0.004
	SZ-09-15	方铅矿	18.774	0.002	15.756	0.002	39.33	0.005
	SZ-09-16	黄铜矿	18.736	0.002	15.712	0.002	39.155	0.004
	SZ-09-16	方铅矿	18.752	0.003	15.729	0.002	39.235	0.006
	SZ-09-20	辉钼矿	18.576	0.003	15.691	0.003	39.058	0.007
	SZ-09-21	辉钼矿	18.776	0.002	15.739	0.002	39.275	0.004
拉屋矿床	LW-1-1	黄铁矿	18.651	0.002	15.722	0.002	39.2	0.005
	LW-2-2	黄铜矿	18.674	0.004	15.74	0.003	39.274	0.007
	LW-2-7	黄铜矿	18.707	0.001	15.751	0.001	39.339	0.003
	LW-2-14	黄铜矿	18.707	0.002	15.754	0.001	39.345	0.003
	LW-2-15	黄铜矿	18.757	0.004	15.823	0.003	39.561	0.008
	LW-2-2	方铅矿	18.752	0.004	15.822	0.003	39.544	0.008
	LW-2-7	方铅矿	18.694	0.003	15.736	0.002	39.269	0.006
	LW-2-15	方铅矿	18.718	0.002	15.774	0.001	39.407	0.003
	LW-2-7	闪锌矿	18.655	0.003	15.707	0.002	39.183	0.005
	LW-2-15	闪锌矿	18.675	0.002	15.735	0.002	39.289	0.005
	LW-2-2	闪锌矿	18.685	0.004	15.744	0.003	39.256	0.008
	LW-2-2	磁黄铁矿	18.677	0.002	15.737	0.002	39.236	0.005
	LW-2-14	磁黄铁矿	18.683	0.002	15.731	0.001	39.266	0.004
LW-2-15	磁黄铁矿	18.724	0.002	15.778	0.002	39.423	0.005	

3 铅同位素特征

舍索矿床硫化物中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值范围在18.517~18.776之间,极差0.259,均值18.728; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值范围为15.671~15.756,极差0.085,均值15.731; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 范围为38.955~39.33,极差0.373,均值39.234。拉屋矿床硫化物中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值范围为18.651~18.757,极差0.106,均值18.697; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值范围为15.707~15.823,极差0.116,均值15.754; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 范围39.183~39.561,极差0.378,均值39.328(表1)。利用H-H单阶段铅演化模式^[14-15],使用路远发开发的geokit软件计算得到舍索与拉屋矿床矿石硫化物铅同位素的相关参数(表2)。舍索矿床矿石铅同位素 μ 值集中在9.59~9.73范围内,极差0.14,均值9.688; ω 值范围为38.69~39.6,极差0.91,平均为39.23;

Th/U值范围为3.88~3.94,极差0.06,均值为3.92。拉屋矿床矿石铅同位素 μ 集中在9.65~9.87范围内,极差0.22,均值9.74; ω 值范围为39.21~41.31,极差2.1,平均为40.02;Th/U值范围为3.93~4.05,极差0.12,均值为3.98。

将舍索与拉屋矿床矿石铅同位素测试分析的数据投影到 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增长线和构造模式图解中^[18](图5、6)。

朱炳泉等在广泛搜集世界各地不同时代和成因的铅同位素资料基础上,根据构造环境与成因不同,提出将铅的3种同位素表示成同时代地幔的相对偏差 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$,并通过 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图解,追踪矿石铅源区^[19]。该模式消除了时间因素的影响,理论上比全球性的演化模式具有更好的示踪意义。舍索矿床 $\Delta\beta$ 范围为22.45~28,均值26.36, $\Delta\gamma$ 范围为44.66~54.71,均值53.14;拉屋

矿床 $\Delta\beta$ 范围为 25.69 ~ 30.33 ,均值 28.75 , $\Delta\gamma$ 范围为 59.42 ~ 65.91 ,均值 63.34。两个矿床 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$ 值均属于上地壳取值范围(表 2)。再将样品点计算所得数值投影到矿石铅的 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图解上(图 7)。

为了反映 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$ 在空间上的关系,朱炳泉进一步提出了三维空间拓扑投影图解,同时应用

3 种同位素组成来判别,并避免原坐标平面投影产生的重叠现象^[19]。通过 V_1 - V_2 成因分类图解,进一步指示矿石铅的源区。舍索矿床 V_1 范围为 73.45 ~ 89.11 , V_2 范围为 53.07 ~ 63.72 ,均值 61.62;拉屋矿床 V_1 范围为 97.04 ~ 108.86 ,均值 101.65 , V_2 范围为 67.78 ~ 71.29 ,均值 69.36(表 2),再将分析数据投影在 V_1 - V_2 成因分类图解上(图 8)。

表 2 舍索与拉屋矿床样品铅同位素特征参数及地壳圈层特征参数^[16-17]

Table 2 Characteristic parameters for the lead isotopic compositions in the sulfides from the Shesuo and Lawu copper deposits (after Liu Tingting et al., 2011; Wang Yanjuan et al., 2011)

	编号	样品名称	t(Ma)	μ	ω	Th/U	V_1	V_2	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
舍索矿床	SZ-09-2	斑铜矿	92	9.71	39.41	3.93	88.01	63.17	90.17	27.35	53.77
	SZ-09-6	黄铁矿	91	9.72	39.54	3.94	89.11	63.38	90.75	27.67	54.71
	SZ-09-6	闪锌矿	178	9.59	38.71	3.91	73.45	53.07	75.71	22.45	44.66
	SZ-09-7	黄铜矿	95	9.72	39.54	3.94	88.79	63.23	90.46	27.67	54.5
	SZ-09-7	闪锌矿	74	9.67	39	3.9	85.93	62.47	89.13	25.72	51.98
	SZ-09-14	黄铜矿	106	9.71	39.37	3.92	86.4	62.1	88.55	27.02	52.78
	SZ-09-15	黄铜矿	95	9.72	39.5	3.93	88.42	63.11	90.23	27.54	54.2
	SZ-09-15	闪锌矿	92	9.71	39.41	3.93	87.86	62.95	89.94	27.22	53.72
	SZ-09-15	方铅矿	98.6	9.73	39.6	3.94	89.05	63.4	90.64	28	54.71
	SZ-09-16	黄铜矿	71	9.65	38.69	3.88	83.87	62.49	88.43	25.13	50.02
	SZ-09-16	方铅矿	80.8	9.68	39.08	3.91	86.2	62.77	89.36	26.24	52.17
	SZ-09-20	辉钼矿	160.1	9.63	38.99	3.92	77.44	55.26	79.14	23.76	47.42
	SZ-09-21	辉钼矿	76	9.7	39.21	3.91	87.78	63.72	90.75	26.89	53.24
拉屋矿床	LW-1-1	黄铁矿	145	9.68	39.44	3.94	97.35	67.78	98.93	26.67	59.88
	LW-2-2	黄铜矿	150	9.71	39.79	3.97	99.74	68.5	100.28	27.85	61.88
	LW-2-7	黄铜矿	140	9.73	39.97	3.98	102.17	69.66	102.22	28.57	63.64
	LW-2-14	黄铜矿	144	9.74	40.03	3.98	102.32	69.66	102.22	28.76	63.8
	LW-2-15	黄铜矿	192	9.87	41.31	4.05	108.86	71.29	105.17	33.27	69.64
	LW-2-2	方铅矿	194	9.86	41.26	4.05	108.32	71.21	104.88	33.2	69.18
	LW-2-7	方铅矿	131	9.7	39.62	3.95	100.14	69.46	101.46	27.59	61.75
	LW-2-15	方铅矿	161	9.77	40.41	4	104.11	69.97	102.87	30.07	65.48
	LW-2-7	闪锌矿	123.1	9.65	39.21	3.93	97.04	67.83	99.16	25.69	59.42
	LW-2-15	闪锌矿	143.4	9.7	39.8	3.97	100.13	68.27	100.34	27.52	62.29
	LW-2-2	闪锌矿	147.3	9.72	39.69	3.95	99.59	69.34	100.93	28.11	61.4
	LW-2-2	磁黄铁矿	144.34	9.7	39.59	3.95	98.9	69.01	100.46	27.65	60.86
	LW-2-14	磁黄铁矿	132.7	9.69	39.62	3.96	99.78	68.83	100.81	27.26	61.67
	LW-2-15	磁黄铁矿	161.1	9.78	40.48	4.01	104.65	70.18	103.23	30.33	65.91
上地壳				12.24	41.861					>18	>45
下地壳				5.89	35.222						
壳幔混合										12 ~ 40	20 ~ 45
地幔中				8.92	31.844					-5 ~ 15	-5 ~ 20
造山带				10.87	39.567						

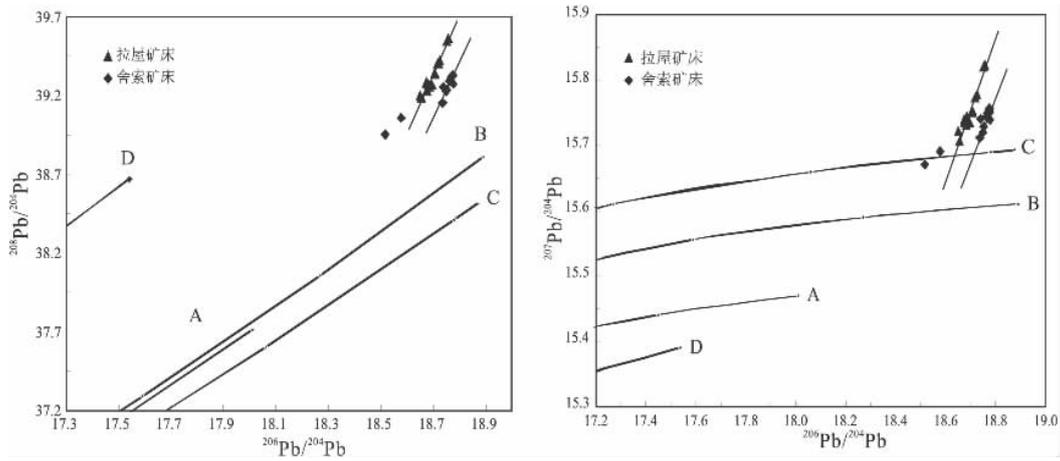


图5 舍索与拉屋矿床 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增长线图
A-地幔; B-造山带; C-上地壳; D-下地壳

Fig. 5 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ plots for the Shesuo and Lawu copper deposits

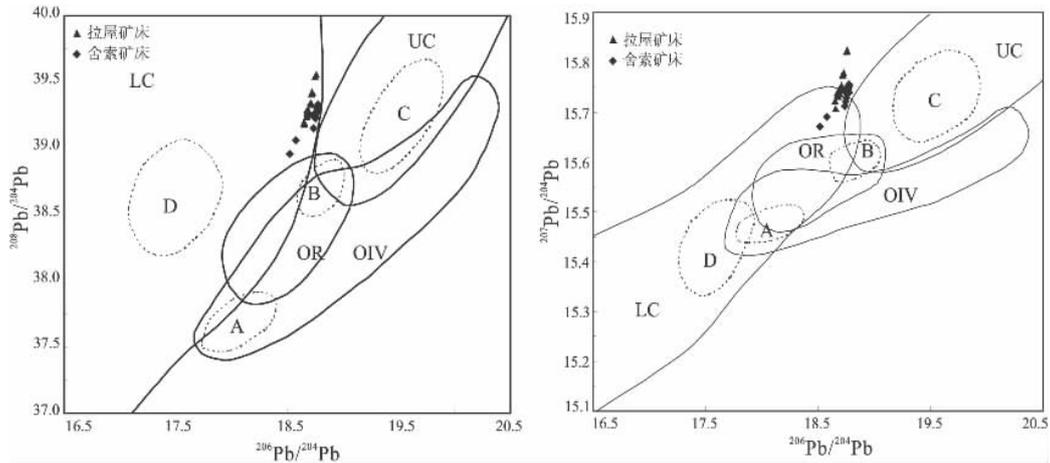


图6 舍索与拉屋矿床 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造环境演化图
LC-下地壳; UC-上地壳; OIV-洋岛火山岩; OR-造山带; A, B, C, D 分别为各区域中样品相对集中区

Fig. 6 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ plots showing the tectonic evolution of the Shesuo and Lawu copper deposits

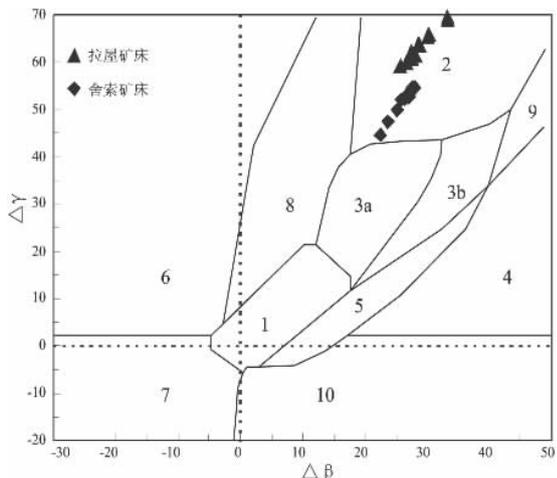


图7 舍索与拉屋矿床 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 图

Fig. 7 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ diagram for the Shesuo and Lawu copper deposits

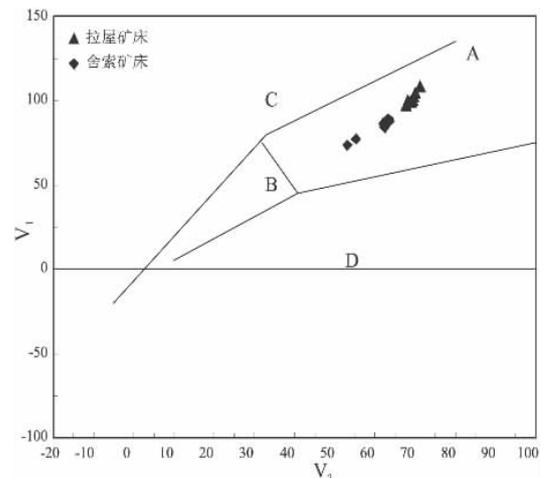


图8 舍索与拉屋矿床 V_1 - V_2 图

Fig. 8 V_1 - V_2 diagram for the Shesuo and Lawu copper deposits

4 讨论

4.1 矽卡岩型矿床与喷流沉积型矿床的铅同位素组成

舍索矿床与拉屋矿床的矿石铅同位素有许多相似之处:铅同位素比值十分稳定,变化范围较小,显示含有放射性成因铅,即富有钷铅和铀铅, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 具有造山带特征,而 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 具有上地壳特征^[20]。舍索与拉屋矿床矿石铅同位素特征参数中 μ 值非常集中,均高于9.58,并且 ω 值和Th/U值也较高(表2)。再通过 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{2067}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增长线图(图5)可以看出,舍索与拉屋两个矿床的矿石铅样品点大体位于靠近造山带的上地壳演化线上,而在其构造模式图(图6)中,两个矿床样品点位于上地壳和造山带之间,其中拉屋矿床样品点投影结果与杜欣文中有8个数据点^[21]投影在上地壳演化曲线附近是一致的;并且两个矿床样品点具有明显的线性相关性,线性相关系数达0.95以上。而在 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 图上(图7),两个矿床所有样品点均落在上地壳来源铅的区域内(图7)。

舍索矿床与拉屋矿床的铅同位素数据与图解也有区别,在增长线与构造模式图上(图5,图6),舍索矿床投影点更加靠近于上地壳和造山带,其中Sz-09-06闪锌矿与Sz-09-20辉钼矿两个样品最为明显(在造山带与上地壳之间),而拉屋矿床投影点倾向性相对不明显。在 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 图上(图7),舍索矿床更加靠近于岩浆作用的俯冲带铅;在 V_1 - V_2 图上(图8),舍索矿床样品点靠近上地壳和造山带,而拉屋矿床所有样品点落在靠近地幔和上地壳的区域内,这与杜欣文中有两个数据点^[29]位于造山带演化曲线和地幔演化曲线之间也是一致的。计算两个矿区矿石铅的单阶段模式年龄 t ,其中舍索矿区为71~178 Ma,平均为101 Ma,跨度范围大,偏离辉钼矿Re-Os测年所得的115.7 Ma^[22-23];拉屋矿床矿石铅的单阶段模式年龄为123~194 Ma,平均为151 Ma(表2),明显小于Re-Os年龄($309 \pm 31\text{Ma}$)^[24-25]而大于白云母二长花岗岩K-Ar全岩年龄($109 \pm 1.3\text{Ma}$)。因而铅同位素模式年龄一般不具有成矿时代的意义,但具有较好的参考价值,其模式年龄可能代表了铅同位素脱离体系的年代,也反映出铅源的多样性和成矿作用的复杂性。

4.2 成矿物质来源

舍索矿床矿石铅同位素组成相关的增长线图

和构造模式图反映其矿质铅源靠近上地壳和造山带,特征参数 μ 值可判断其在异常铅的范围之内, ω 值和Th/U值反映铅源物质成熟度高。而在 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 和 V_1 - V_2 图上又反映出矿质富集也曾受岩浆活动的影响。可以看出舍索矿床矿石硫化物铅主要源自上地壳,且因岩浆作用而进一步富集成矿,这与舍索矿区辉钼矿中Re含量具有上地壳特征^[22-26-30]而其S同位素显示主要为岩浆硫^[1]的结论是一致的。

在铅同位素源区特征参数中, μ 值的变化可提供地质体经历地质作用的信息,反映铅的来源,具有高 μ 值(大于9.58)的铅或者位于零等时线右侧的放射成因铅通常被认为是来自U、Th相对富集的上部地壳物质^[31-33]。

拉屋矿床矿石铅同位素组成反映其矿石铅主要来自于上地壳,特征参数 μ 值在异常铅的范围之内, ω 值和Th/U值也反映铅源物质成熟度高,相关的增长线图又反映出矿质可能部分来自于造山带。在构造模式图上,投影点倾向性不明显,表明其矿质来源更为多样,成矿作用更为复杂,而用 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 和 V_1 - V_2 图可进一步判断有部分铅来自于地幔。因此可以确定拉屋矿床矿石铅为壳幔混源,这与拉屋矿区磁黄铁矿中Re、Os具有壳幔混源特征^[24-35-36]而其S同位素^[36-37]分析显示硫源较为复杂但主要为岩浆硫的结论是一致的。

5 结论

(1) 舍索与拉屋矿床铅同位素都显示出明显的上地壳特征,但舍索矿床矿石铅可能与岩浆活动有关,而拉屋矿床矿石铅可能与地幔物质有关。

(2) 舍索矿床成矿物质主要为壳源,矿质富集受到晚燕山期岩浆活动的影响,导致壳源花岗闪长岩重熔,提供大量矿质。拉屋矿床部分成矿物质应由喷流沉积作用带来的幔源物质、燕山期白云母二长花岗岩以及海底热液共同提供。

致谢:野外采集样品时得到了中国地质大学(北京)崔玉斌的帮助,样品测试由核工业北京地质研究院分析测试中心刘宇昂和崔健勇完成,在论文撰写过程中得到青海大学地质工程系彭杨伟和张天继老师的指导。谨对以上单位和个人表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 赵元艺, 崔玉斌, 吕立娜, 等. 西藏舍索砂卡岩型铜多金属矿床年代学与地球化学特征及意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(7): 2132-2142.
- [2] 刘妍, 赵元艺, 王瑞江, 等. 西藏拉屋铜多金属矿床岩矿相学特征及意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(6): 1054-1077.
- [3] 程柳, 周玉泉, 何建毅. 拉屋铜锌矿床矿石矿物及结构构造特征[J]. 矿产与地质, 2010(24), 1: 52-54.
- [4] 杜欣, 刘俊涛, 王亚平. 西藏拉屋铜铅锌多金属矿床地质特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2004, 18(5): 410-414.
- [5] 郝军, 喻亨祥, 谢洪顺. 西藏当雄县拉屋铜铅锌矿成矿规律浅析[J]. 中国科技信息, 2007(11): 21-23.
- [6] 吕鹏瑞, 程文斌, 吴程赞, 等. 西藏拉屋铜多金属矿床的成矿流体特征与成矿机制研究[J]. 现代地质, 2013, 27(1): 24-36.
- [7] 何国朝, 赵延朋, 原惠慧, 等. 西藏拉屋铜锌矿床成因探讨[J]. 矿产与地质, 2009, 23(2): 147-151.
- [8] 连永牢, 曹新志, 燕长海, 等. 西藏当雄县拉屋铜铅锌多金属矿床喷流沉积成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(5): 1041-1046.
- [9] 徐文妍, 李衡, 张永忠, 刘辉辉. 海底热水沉积矿床硫同位素证据(1). 矿物学报, 2009 增刊: 333-334.
- [10] 胡正龙. 西藏自治区申扎县舍索铜矿普查地质报告[R]. 西藏自治区地质矿产勘查开发局, 2004.
- [11] 程文斌, 顾雪祥, 唐菊兴, 等. 西藏冈底斯一念青唐古拉成矿带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征一对成矿元素组合分带性的指示[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3350-3362.
- [12] 刘延勇. 西藏拉屋多金属矿床的成矿元素分带规律[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(6): 66-69.
- [13] 张理刚. 长石铅和矿石铅同位素组成及其地质意义[J]. 矿床地质, 1988, 7(2): 55-64.
- [14] FAURE G, MENSING T M. Isotopes: Principles and Applications [M]. New York: John Wiley & Sons, 2005. 256-283.
- [15] DOWNES P M, SECCOMBE P K, CARR G R. Sulfur and lead isotope signatures of orogenic gold mineralisation associated with the Hill End Trough Lachlan Orogen, New South Wales, Australia [J]. Miner. Petrol., 2008, 4: 151-173.
- [16] 刘婷婷, 唐菊兴, 刘鸿飞, 等. 西藏墨竹工卡县洞中拉铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及成矿物质来源[J]. 现代地质, 2011, 25(5): 869-876.
- [17] 王艳娟, 胡援越, 申俊峰, 等. 太行山南段北洛河铁矿 S、Pb 同位素组成及其对成矿物质来源的示踪[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 846-852.
- [18] ZARTMAN R E, DOE B R. Dismantling tectonics: the model [J]. Tectonophysics, 1981, 75: 135-162.
- [19] 朱炳泉. 固体地球科学的同位素体系理论[M]. 北京: 科学出版社, 待出版.
- [20] SCHIAVI F, KOBAYASHI K, NAKAMURA N, TIEPOLO M, VANNUCCI R. Trace element and Pb-B-Li isotope systematics of olivine-hosted melt inclusions: insights into source metasomatism beneath Stromboli (southern Italy) [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2012, 163: 1011-1031.
- [21] 杜欣. 西藏念青唐古拉地区铅锌多金属矿成因类型及成矿规律研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013. 126-127.
- [22] 赵元艺, 宋亮, 樊兴涛, 等. 西藏申扎县舍索铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1150-1158.
- [23] DU ANDAO, WU SHUQI, SUN DEZHONG et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 2004, (28) 1: 41-52.
- [24] 崔玉斌, 赵元艺, 屈文俊, 等. 西藏当雄地区拉屋矿床磁黄铁矿 Re-Os 同位素测年和成矿物质来源示踪[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1283-1293.
- [25] ARNE D C, BIERLEIN F P, MORGAN J W et al. R-Os dating of sulfides associated with gold mineralization in central Victoria, Australia [J]. Economic Geology, 2001, 96(6): 1455-1459.
- [26] STEIN H J, MARKEY R J, MORGAN J W, HANNAH J L, SCHERSTEZN A. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works [J]. Terra Nova, 2001, 13(6): 479-486.
- [27] 代军治, 毛景文, 杜安道, 谢桂青, 白杰, 杨富全, 屈文俊. 辽宁肖家营子钼(铁)矿床 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2007, 81(7): 917-923.
- [28] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 西藏冈底斯成矿带驱龙铜矿 Re-Os 年龄及成矿学意义[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 660-666.
- [29] 毛景文, 张作衡, 张招崇, 杨建民, 王志良, 杜安道. 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义[J]. 地质论评, 1999, 45(4): 412-417.
- [30] 李厚民, 叶会寿, 毛景文, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钨定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(4): 417-424.
- [31] 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述[J]. 地质地球化学, 2002, 30(3): 73-79.
- [32] CHEN JIANGFENG, YU GANG, XUE CHUNJI, QIAN HUI, HE JIANFENG, XING ZHI, ZHANG XUN. Pb isotope geochemistry of lead, zinc, gold and silver deposit clustered region, Liaodong rift zone, northeastern China [J]. Science in China Ser. D Earth Sciences, 2005, 48(4): 467-476.
- [33] LUCASSEN F, FRANZ G, ROMER R L, PUDLO D, DULSKI P. Nd, Pb and Sr isotope composition of Late Mesozoic to Quaternary intra-plate magmatism in NE-Africa (Sudan, Egypt): high- μ signatures from the mantle lithosphere [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2008, 156: 765-784.
- [34] 丰成友, 张德全, 屈文俊, 等. 青海格尔木骆驼沟喷流沉积型钴(金)矿床的黄铁矿 Re-Os 定年[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 571-576.
- [35] BERZINA A N, SOTNIKOV V I, ELIOPOULOS M E, ELIOPOULOS D G. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia [J]. Ore Geology Reviews, 2005, 26(1-2): 91-113.
- [36] 崔玉斌. 西藏拉屋铜多金属矿床地质地球化学特征及成因[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012. 37-39.
- [37] ZHAO K D, JIANG S Y, NL P, LING H F, JIANG Y H. Sulfur, lead and helium isotopic compositions of sulfide minerals from the Dachang Sn-polymetallic ore district in South China: implication for ore genesis [J]. Mineralogy and Petrology, 2007, 89: 251-273.

Lead isotopes in the sulfide ores from the Shesuo and Lawu copper deposits , northern Xizang

LI Yun^{1 2} , ZHAO Yuan-yi²

(1. *School of the Geosciences and Resources , China University of Geosciences , Beijing 100083 , China*; 2. *Institute of Mineral Resources , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100037 , China*)

Abstract: The emphasis in the present paper is placed upon the lead isotopic compositions and their origins in the sulfide ores from the Shesuo and Lawu copper deposits , northern Xizang. The analytical results include $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 18.517 to 18.776 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 15.671 to 15.756 , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 38.955 to 39.33 for the Shesuo copper deposit , while $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 18.651 to 18.757 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 15.707 to 15.823 , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 39.183 to 39.561 for the Lawu copper deposit. The above-mentioned lead isotopic values for the sulfide ores indicate the upper crustal origin of the ore-forming matter in the Shesuo and Lawu copper deposits. More precisely , the ore-forming matter in the Shesuo copper deposit may come mainly from the remelted crust during the Yanshanian , while those in the Lawu copper deposit may be locally originated from the mantle matter during the Late Carboniferous. In the Shesuo-Duoba metallogenic belt in Gangdise , the skarn-type deposits could be found in the contact zones between the Lower Cretaceous carbonate-clastic rocks and moderately acidic rocks , whereas in the Nyainqentanglha area , SEDEX type deposits may be hosted in the Upper Carboniferous Laigu Formation.

Key words: Pb isotope; origin of ore-forming matter; Lawu; Shesuo