

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2014.04.012

滇西喜马拉雅期斑岩型矿床 硫、铅同位素特征及地质意义

陆世才,李峰,吴静,王蓉,范柱国,刀艳

(昆明理工大学国土资源工程学院,昆明 650093)

摘要: 滇西地区的九顶山铜钼矿、北衙金矿和姚安铜矿是与喜马拉雅期斑岩有关的矿床。九顶山、北衙和姚安矿区的硫、铅同位素组成特征十分相似:各矿床的 $\delta(^{34}\text{S})$ 组成分布范围比较窄,在 $-2.4\times 10^{-3}\sim 4.5\times 10^{-3}$ 之间,平均值为 0.64×10^{-3} ,具有明显的塔式分布,说明硫主要为深部岩浆来源;各矿床的Pb同位素组成($N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$)相似,都比较稳定,依据构造模式判别及成因分类综合分析,铅具有深源性,主要来源于地幔和地下壳,显示造山带铅的特征。研究结果表明,滇西地区与喜马拉雅期斑岩有关的矿床具有相同的成矿物质来源,主要成矿物质都来自深部地幔。

关键词: 滇西;富碱斑岩;喜马拉雅期;斑岩矿床;同位素特征;云南省

中图分类号: P611.1;P597.2 **文献标识码:** A

0 引言

滇西是重要的多金属矿集区,主要矿产类型为铜、钼、金、铅、锌等,已发现的大型、超大型矿床主要有普朗铜矿,春都铜矿,北衙金矿,九顶山铜钼矿等。前人的研究工作表明,区内成矿多与富碱斑岩活动有关^[1];富碱斑岩的侵入活动持续时间长,与成矿相关的主要为印支晚期和喜马拉雅早期斑岩,其成矿物质来源一直受到学者的关注^[2-4]。

探讨成矿物质来源一直是矿床地球化学研究的一项重要内容,其中同位素示踪法是较为有效的研究手段^[5]。本文在前人研究的基础上,企望通过研究滇西地区与喜马拉雅期斑岩相关的九顶山铜钼矿、北衙金矿、姚安铜矿的硫、铅同位素组成特征来探讨其成矿系统中的成矿物质来源。

1 区域地质背景

滇西新生代(喜马拉雅期)岩浆活动强烈,富碱

斑岩主要分布于金沙江—红河断裂带。研究区位于三江褶皱带东部,地处印度板块与欧亚大陆碰撞造山带中的扬子板块西南缘,喜马拉雅期斑岩岩性主要为正长斑岩、花岗斑岩、碱性花岗岩等。受印度大陆与欧亚大陆中晚始新世碰撞造山作用的影响,金沙江—红河断裂带在始新世之后(35 Ma)发生了明显的左行走滑,滑移距离较大(吕伯西等,2011)。北衙金矿位于断裂带西北段,九顶山铜钼矿位于中段,姚安铜矿位于东南段(图1),从北衙到姚安喜马拉雅期斑岩均有分布,长约150 km。其中,研究程度最高的矿床为北衙金矿,其次为九顶山铜钼矿,姚安铜矿由于规模较小及发现较晚等原因,研究程度相对较低。

北衙矿区主要斑岩类型为石英正长斑岩、正长斑岩、黑云母正长斑岩,呈岩脉、岩墙和岩床产于三叠系中下统中^[6];九顶山矿区则以正长斑岩、石英正长斑岩、斑状花岗岩和花岗斑岩为主,呈岩株、岩脉、岩墙或岩床等产于下奥陶统中;姚安矿区斑岩主要为正长斑岩、石英正长斑岩、黑云母正长斑岩、石榴斑岩,呈不等轴状岩脉产于下白垩统中^[7]。研

收稿日期: 2013-11-08; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 陆世才(1987-),男,硕士研究生,矿产地质研究方向。通信地址:云南省昆明市五华区环城北路文昌巷1号,昆明理工大学莲花校区1栋B座614室;邮政编码:650093;E-mail:caiaa5210@163.com

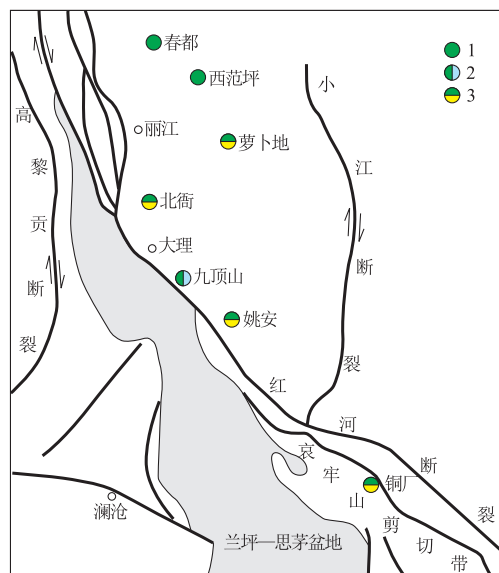


图1 滇西斑岩矿床分布图(据侯增谦 2003 资料修改)

Fig.1 Map showing the distribution of porphyry deposits in the west Yunnan province

1. 铜矿; 2. 铜金矿; 3. 铜金(银)矿

究表明,九顶山、北衙和姚安出露岩体具有富钾碱性的特征,不同矿床在成岩构造背景、成岩方式和成岩成矿时代上具有相似性^[4,6,8-10]。

2 硫、铅同位素特征及地质意义

2.1 硫同位素组成及地质意义

本次工作中采集了7件九顶山铜钼矿矿石样品,其硫同位素测试送南京大学采用Flash-EA与MAT-253质谱仪联机测试;北衙金矿、姚安铜矿的硫同位素据文献资料。结果见表1所述。

由表1可见,九顶山矿区的硫同位素($0.97 \times 10^{-3} \sim 3.77 \times 10^{-3}$, 平均 2.25×10^{-3})与北衙($-1.58 \times 10^{-3} \sim 4.5 \times 10^{-3}$, 平均 2.15×10^{-3})、姚安($-2.4 \times 10^{-3} \sim 3.2 \times 10^{-3}$, 平均 1.97×10^{-3})的硫同位素组成比较均一,分布范围窄,极差最大为 6.08×10^{-3} , $\delta(^{34}\text{S})$ 平均值低,最大平均值为 2.52×10^{-3} ,不同类型矿石及岩石之间的硫同位素组成相似性高。对表1所有样品进行统计,硫变化范围 $-2.4 \times 10^{-3} \sim 4.5 \times 10^{-3}$,极差 6.9×10^{-3} ,平均值 0.23×10^{-3} ;从分布直方图中可以看出具有明显的塔式分布特征(图2), $\delta(^{34}\text{S})$ 峰值在 $0 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$ 之间,接近原始岩浆硫。

根据硫同位素分馏效应,低温以及高氧逸度条件易导致成矿热液及熔体 ^{34}S 亏损,矿石和岩石的 ^{34}S 组成失去初始来源特征^[13]。研究区的各个矿床主成矿期普遍具有高温,低氧逸度等条件^[12,14-16],表明硫化物和岩体的平均 $\delta(^{34}\text{S})$ 值可近似代表成矿流体的总同位素组成。结合上述矿床硫同位素都具有变化范围小、均值接近零的特点,说明硫的来源比较单一,主要来自深部上地幔或下地壳,是典型的岩浆硫。

2.2 铅同位素组成及地质意义

在搜集前人铅同位素数据的基础上,本次选取九顶山矿区15件岩石及矿石样品送南京大学现代分析中心进行铅同位素测试,并计算相关参数,其结果如表2所述。

从表2中不难看出,各个矿床样品的铅同位素组成 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 值变化不大。九顶山矿区分别为 $18.345 \sim 19.128$, $15.615 \sim 15.718$, $38.629 \sim 39.240$;北衙矿区分别为 $18.355 \sim 18.569$, $15.440 \sim 15.643$, $38.329 \sim 38.840$;姚安矿区分别为 $18.109 \sim 18.443$, $15.510 \sim 15.613$, $38.421 \sim 39.065$ 。

本次测定铅同位素组成的特征矿物为斑晶长石、方铅矿和黄铁矿,由于长石、方铅矿和黄铁矿中的铀、钍含量较低,可以近似地把它们的铅同位素组成看作相应的初始铅同位素组成(李献华等,1987;张理刚,1988)。结果表明,不同矿床的铅同位素组成比较稳定,所有矿床的 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 值均大于18.000, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 值均大于15.300, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 值均低于39.000,显示所研究矿床均富含放射成因铅^[19]。岩石和矿石铅 μ 值除了2个九顶山样品外均不大于9.58。研究表明,具有低 μ 值(<9.58)的铅主要来自下地壳或上地幔,或是来自封闭的构造体系,具有高 μ 值(>9.58)的铅则来自上地壳^[20]。

将表2中的铅同位素数据投入铅构造演化模式图解(图3)。从图3可以看出,所有样品均落在了地幔与上地壳区域内,靠近地幔线,显示铅同位素的深源特征。

相对 Zartman 的构造演化模式图而言,朱炳泉提出的 $\Delta\beta-\Delta\gamma$ 分类图解因考虑了我国铅同位素数据而具有更好的示踪意义^[21]。将表2的铅同位素参数投入 $\Delta\beta-\Delta\gamma$ 图解中(图4)。从图4中可得出如下认识。

表 1 滇西地区与喜马拉雅期斑岩相关矿床的硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotope composition of the Himalayan porphyry-related ore deposits

矿床	样号	矿物/岩石	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	资料来源
九顶山铜铅矿	11JDS-012	黄铁矿	3.52	本文
	11JDS-169		2.28	
	11JDS-2570		3.77	
	11JDS-3	黄铜矿	1.58	
	11JDS-44		0.97	
	11JDS-051	辉钼矿	1.28	
	11JDS-49B		2.36	
北衙金矿	WS1	黄铁矿	0.49	肖晓牛等 ^[11]
	WS2		4.5	
	WS3		1.2	
	WS4		-1.58	
	WDS-1		2.7	
	WDS-5		2.2	
	WDS-10		3.6	
	ZK3-1		2.5	
	WD567-8		1.5	
	WD607-7		1.6	
	WD567-18		2.8	
	WD687-7	黄铜矿	1.2	
姚安铜矿	ST-10-(1)	岩体内矿脉	-2.4	毕献武等 ^[12]
	ST-10-(3)		1.2	
	ST-10-(5)		-0.4	
	LJ-14		2.4	
	LJ-12	角砾状矿石	0.8	
	ST-2	矿脉	-2.2	
	LJ-34	矿石	3.2	

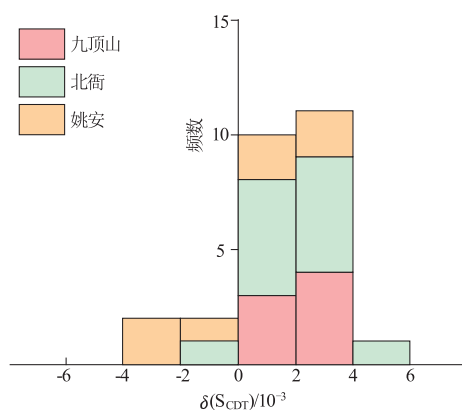


图 2 硫同位素分布直方图

Fig. 2 Histogram of sulfur isotope composition

(1) 九顶山矿区的铅同位素组成投点比较集中。分布在上地壳铅(2)、上地壳与地幔混合俯冲带铅(3a)和造山带铅(8)三个区域相接壤的三角区,大部分落在上地壳铅(2)和上地壳与地幔混合俯冲带铅(3a)接触边界上,少部分落入上地壳铅(2)范围,极个别落在上地壳与地幔混合俯冲带铅(3a)内。此现

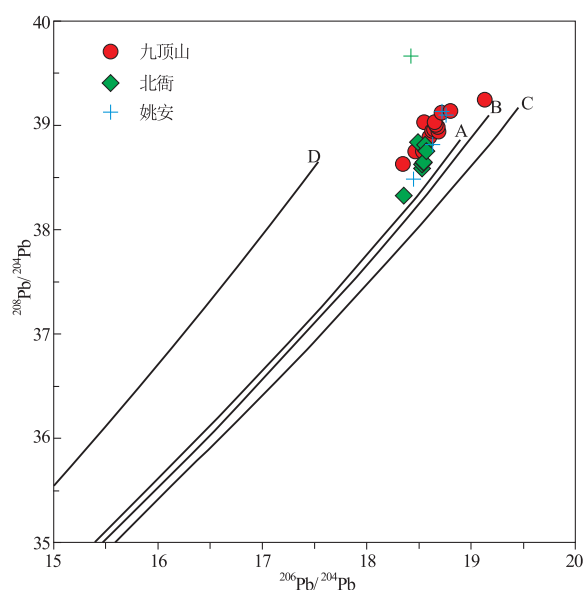


图 3 铅同位素构造演化模式图

(底图据 Zartman, 1981)

Fig. 3 Geotectonic evolution model of Pb isotope composition

A. 造山带; B. 地幔; C. 上地壳; D. 下地壳

表 2 滇西地区与喜马拉雅期斑岩相关矿床的铅同位素组成

Table 2 Lead isotope composition of the Himalayan porphyry-related ore deposits in the west Yunnan province

矿床	编号	岩石/矿物名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	△β	△γ	来源
九顶山 铜钼矿	J39	煌斑岩	19.128	15.653	39.240	9.50	20.80	47.21	本文
	J122	煌斑岩	18.644	15.645	38.981	9.53	20.50	42.59	
	J182	煌斑岩	18.556	15.615	39.021	9.48	18.68	44.86	
	J215	煌斑岩	18.797	15.638	39.131	9.50	19.87	44.31	
	J155	正长斑岩	18.651	15.631	39.031	9.50	19.49	42.92	
	J036	花岗斑岩	18.474	15.631	38.747	9.52	20.01	40.99	
	J152	二长斑岩	18.714	15.718	39.111	9.66	25.44	47.92	
	J36-01	花岗斑岩	18.539	15.674	38.755	9.60	22.89	41.50	
	J06	角闪矿石	18.610	15.618	38.901	9.48	18.71	40.05	
	J171-2	铜矿化矽卡岩	18.647	15.654	38.950	9.55	21.16	42.2	
	J171-3	铜矿化矽卡岩	18.642	15.629	38.963	9.5	19.41	41.32	
	J171-4	铜矿化矽卡岩	18.676	15.629	38.956	9.49	19.3	40.03	
	J025	细晶花岗斑岩	18.652	15.636	38.961	9.51	19.88	41.35	
	J037	细晶花岗斑岩	18.674	15.627	38.992	9.49	19.15	40.92	
	J37-03	细晶花岗斑岩	18.345	15.648	38.629	9.57	21.67	42.86	
北衙 金矿	B48-1	煌斑岩	18.495	15.643	38.840	9.54	20.78	43.45	徐兴旺等 ^[17]
	B49-1	煌斑岩	18.569	15.599	38.748	9.45	17.5	36.21	
	B01	石英正长斑岩	18.547	15.553	38.661	9.36	14.34	32.02	
	B46-1	石英正长斑岩	18.569	15.615	38.812	9.48	18.61	38.8	
	B47-3	石英正长斑岩	18.355	15.440	38.329	9.16	6.9	22.9	
	B3	石英钠长石斑岩	18.529	15.544	38.592	9.34	13.72	30.22	
	B6	石英钠长石斑岩	18.525	15.550	38.632	9.35	14.16	31.77	
	B13	石英钠长石斑岩	18.543	15.561	38.650	9.37	14.86	32.26	
姚安 铜矿	YAJ-27	黄铁矿	18.310	15.586	39.008	9.45	17.38	50.81	刘显凡等 ^[18]
	B082-1	黄铁矿	18.131	15.510	38.421	9.32	12.59	36.62	
	YA-2	正长斑岩	18.109	15.544	38.692	9.39	15.09	46.52	
	YAJ-8	正长斑岩	18.443	15.613	39.065	9.49	18.86	49.54	
	YAJ-13	蚀变斑岩	18.410	15.539	38.871	9.34	13.74	41.26	

象反映九顶山矿床铅来源极为复杂,与矿区别样
品铅高 μ 值的特点相吻合。结合构造演化模式图中
显示的深源特征,认为矿床主要的铅同位素是来自
深部壳幔混合带,受造山作用影响带有造山带铅特
征,后期成矿流体在上升中有部分地壳铅加入,使得
铅同位素组成存在差异,整个体系还是保持了较封
闭状态,铅同位素组成上没有表现出大的漂移,仍然
相对集中。

(2)北衙矿区的铅同位素组成投点分布混杂,不
分群。见部分落在上地壳与地幔混合俯冲带铅(3a)
和造山带铅(8)的接触边界,部分落入上地壳与地幔
混合俯冲带铅(3a)范围内,少数落入造山带铅(8)和
上地壳铅(2)内。以上特征显示北衙铅同位素既有
造山带铅,又同时含有壳幔混合带铅及上地壳铅,铅
同位素来源较广。结合铅同位素的深源特征以及样
品投点大部分落入上地壳与地幔混合俯冲带铅范围
的特点,可知矿床铅同位素最初来自深部壳幔混合
带,在区域造山作用影响下^[3],有较多的造山带铅加

入,随着成矿流体逐渐运移,不同程度地混入少量地
壳铅。

(3)姚安矿区的铅同位素组成投点均落入造山
带铅(8)区域内,个别落在造山带铅(8)和上地壳铅
(2)的接触边界上。由于样品数目相对较少,不足以
完全说明姚安铅同位素仅仅来自造山带,且其整体
展布方向及演化趋势却与北衙矿床及九顶山矿床相
似,说明铅有多来源的可能,既可能有壳源和幔源
铅。结合有一投点落到造山带铅(8)与上地壳铅(2)
边界的事实,说明有上地壳铅来源的可能。推断姚
安矿床铅同位素最初来自深部地幔或壳幔混合带,
在区域挤压作用下带入大量造山带铅,在岩浆上侵
过程中从途经的上地壳围岩中获取少量铅同位素。

3 结论

研究表明,九顶山铜钼矿床与成矿相关的岩浆

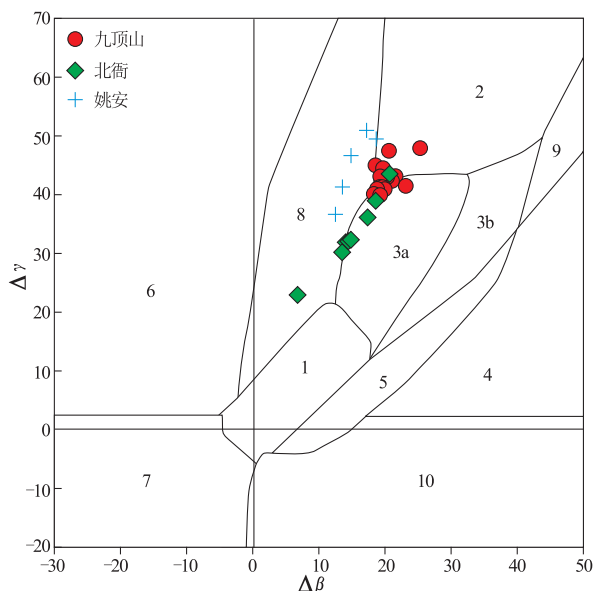


图4 铅同位素 $\Delta\beta$ — $\Delta\gamma$ 组成构造源区图解
(底图据文献[17])

Fig. 4 $\Delta\beta$ — $\Delta\gamma$ diagram of geotectonic setting
discrimination of Pb isotopic composition

1. 地幔源铅; 2. 上地壳源铅; 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

活动主要为Ⅱ期侵入的岩浆岩(36~33 Ma)^[4],北衙金矿床岩浆侵入主要在Ⅱ、Ⅲ期为主成矿期(36~32 Ma, 26~24 Ma)^[3],姚安铜矿床岩浆活动主要在36 Ma±^[7],3个矿床成矿时间一致。通过对上述矿床硫、铅同位素研究可知,九顶山、北衙和姚安矿区的成矿元素来源有相似性。硫同位素研究结果表明,研究区矿床的硫同位素组成特点较一致,均属于典型的岩浆硫,来源于地壳深部或上地幔;铅同位素研究显示铅均有深源特征,普遍具有造山带铅的特点,后期随着岩浆和热液上升运移有地壳段元组分的混入。显示九顶山铜钼矿床、北衙金矿床和姚安铜矿床成矿物质来源是相同的、均一的,都来自深部地幔。表明滇西喜马拉雅期斑岩型矿床成矿物质主要来自深部地幔。

参考文献:

- [1] 谢应雯, 张玉泉, 胡国相. 哀牢山—金沙江富碱侵入带地球化学与成矿专属性初步研究[J]. 昆明工学院学报, 1984(4): 1-17.
- [2] 杨帆, 邹国富, 吴静, 等. 中甸春都铜矿区岩体成岩时代及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(2): 307-314.
- [3] 薛传东, 侯增谦, 刘星, 等. 滇西北北衙金多金属矿田的成岩成矿作用: 对印-亚碰撞造山过程的响应[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 457-472.
- [4] 郭晓东, 王治华, 王梁, 等. 云南马厂箐岩体(似)斑状花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质, 2011, 38(3): 610-622.
- [5] 张本仁, 傅家谟. 地球化学进展[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 250-257.
- [6] 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 等. 滇西北衙金多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1301-1310.
- [7] 程锦, 夏斌, 张玉泉. 云南姚安碱性杂岩体的岩石学和地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 118-125.
- [8] 李勇, 莫宣学, 喻学惠, 等. 金沙江—哀牢山断裂带几个富碱斑岩体的锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 189-200.
- [9] 王登红, 屈文俊, 李志伟, 等. 金沙江—红河成矿带斑岩铜矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(4): 345-349.
- [10] 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 姚安和马厂箐富碱侵入岩体的地球化学特征[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 113-124.
- [11] 肖晓牛, 喻学惠, 莫宣学, 等. 滇西北衙金多金属矿床成矿地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 170-179.
- [12] 毕献武, 胡瑞忠, D. H. Cornell. 富碱侵入岩与金成矿关系: 云南省姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 264-272.
- [13] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 220-224.
- [14] 黄智龙, 王联魁, 朱成明. 云南马厂箐矿区煌斑岩地球化学及成因探讨[J]. 矿物岩石, 1996, 16(2): 82-89.
- [15] 胡瑞忠, 毕献武. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(6): 503-508.
- [16] 肖晓牛, 喻学惠, 莫宣学, 等. 滇西北衙金多金属矿床流体包裹体研究[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 250-261.
- [17] 徐兴旺, 蔡新平, 宋保昌, 等. 滇西北衙金矿区碱性斑岩岩石学、年代学和地球化学特征及其成因机制[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 631-642.
- [18] 刘显凡, 刘家铎, 张成江, 等. 滇西富碱斑岩型矿床岩体和矿脉同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(1): 32-39.
- [19] 燕施, 张静, 袁万明, 等. 川西甘孜—理塘结合带嘎拉金矿床同位素特征及成矿作用研究[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1347-1357.
- [20] 沈渭洲. 稳定同位素地质[M]. 北京: 原子能出版社, 1987: 346-353.
- [21] 朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 216-235.

S, Pb isotopic characteristics of alkaline-rich porphyry deposits in Western Yunnan and the geological significance

LU Shicai, LI Feng, WU Jing, WANG Rong, FAN Zhuguo, DAO Yan

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology,

Kunming 650093, China)

Abstract: Jiudingshan Cu-Mo deposit, Beiya Au deposit and Yaoantong Cu deposit in west Yunnan province are all related to the Himalayan porphyry. The paper describes their S, Pb isotopic characteristics. The S isotope composition is similar with tower distribution style and narrow value interval of $\delta(^{34}\text{S})$ of $-2.4 \times 10^{-3} \sim 4.5 \times 10^{-3}$ and average of 0.64×10^{-3} characterized by deep magmatic source. The Pb isotope composition is stable and ($N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$, $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$) similar characterized by deep source, mainly from mantle and the lower crust and orogenic belt according to geotectonic setting discrimination model and comprehensive analysis of genetic classification. The results indicate that the ore-forming materials of alkaline-rich porphyry deposits in western Yunnan are of the same source, mainly originated from mantle and lower crust.

Key Words: western Yunnan; alkaline-rich porphyry; Himalayan period; isotopic characteristics; Yunnan province