

# 滇东北地区峨眉山玄武岩铜矿成矿物质源示踪\*

## Tracer for ore-forming material sources of copper deposits in E'meishan basalt area of northeast Yunnan

钱壮志<sup>1</sup>, 章正军<sup>2</sup>, 姜常义<sup>1</sup>, 侯蜀光<sup>3</sup>, 唐冬梅<sup>1,4</sup>

(1 长安大学, 陕西 西安 710054; 2 云南省国土资源厅, 云南 昆明 6500111; 3 云南地质科学研究所, 云南 昆明 650011; 4 中国科学院矿产资源重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

QIAN ZhuangZhi<sup>1</sup>, ZHANG ZhengJun<sup>2</sup>, JIANG ChangYi<sup>1</sup>, HOU ShuGuang<sup>3</sup> and TANG DongMei<sup>1,4</sup>

(1 Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 Yunnan Bureau of Land and Resources, Kunming 6500113, Yunnan, China; 3 Yunnan Institute of Geological Sciences, Kunming 650011, Yunnan, China; 4 Key Lab of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China)

**摘要** 为了进一步探讨滇东北峨眉山玄武岩分布区铜矿成矿物质来源, 文章进行了矿石矿物和玄武岩围岩微量元素 Co、Cr、Ni、Pb、Th、U 以及铅同位素组成研究, 结果表明, 两者 Th、U、Pb 含量揭示了物源的相似性; Co、Cr、Ni 含量对比分析提供了成矿物质非上部地壳来源的信息; 铅同位素示踪显示了两者具有相同的铅源。由此判定了滇东北峨眉山玄武岩区 3 类铜矿的成矿物质是来自于该区的玄武岩。

**关键词** 滇东北; 铜矿; 物质来源; 玄武岩

依据产状, 可以将滇东北峨眉山玄武岩分布区目前发现的铜矿划分为 3 种类型, 这 3 种铜矿分别产于玄武岩中、玄武岩层内含碳沉积岩夹层中和玄武岩层上部古间断面上铝土质泥岩中。李厚民等 (2005) 将前两种的铜矿石分别称为沥青铜矿石和碳质铜矿石; 钱壮志等 (2006) 将第三种定为铝土质泥岩铜矿。李厚民等 (2004) 还对前两类铜矿石中部分矿物 (主要是脉石矿物) 和茅口灰岩进行了同位素示踪分析, 初步获得了矿石中矿物的铅的来源应是以上地壳源为主的上、下地壳混合的单一源区, 认为铜矿石中石英、方解石、沸石等的铅同位素组成与沥青、炭质相同也说明成矿物质来自地壳, 主要来自上地壳。但这一成果没有涉及玄武岩和铜矿石主要矿石矿物的铅同位素测试。基于此, 本文重点针对 3 类铜矿的成矿物质来源, 进行了玄武岩和矿石的铅同位素示踪以及主要微量元素对比研究。

## 1 矿床地质特征概述

### 1.1 铜矿化层位特征

研究区内现已发现的铜矿化层主要有 5 层, 自下而上分别为: 第一层, 位于峨眉山玄武岩第三岩性段上部紫红色凝灰岩层与第四岩性段下亚段接触带上, 矿化岩石为碳质沥青化沉凝灰岩。碳质及沥青多呈厚 1~25 cm 不等的条状、饼状、透镜状聚集, 大部分铜矿物 (自然铜等) 也富集在碳质及沥青层中。第二层, 位于峨眉山玄武岩第四段下部, 厚 6~10 m, 矿化岩石为沸石、碳酸盐化气孔 (含杏仁) 状玄武岩, 在地表半风化露头中偶见孔雀石化, 可见含粒状自然铜的沸石。第三层, 位于峨眉山玄武岩组第四段下亚段中部, 厚度变化在 2.9~33 m 之间, 矿化岩石与上述第二矿化层相似, 所不同的是该矿化层在地表露头上可见到呈

\*本文得到云南省自然科学基金重点项目 (2003D0016Z) 资助  
第一作者简介 钱壮志, 男, 1959 年生, 长安大学教授, 矿床学、构造地质学专业。

网状分布的粉末状沥青,在深部有团块状沥青产出,该矿化层夹有呈透镜状展布的致密状玄武质岩,矿石矿物主要为片状及细粒状自然铜及少量辉铜矿。第四层,位于峨眉山玄武岩组第四段下亚段顶部,厚7~19 m,矿化岩石除具备上述第二、第三层特征外,可见含有碳质及碳化木,并有阳起石、透闪石等蚀变矿物。第五层,是云南地科所和作者研究新近发现和确立的矿化层(钱壮志等,2006),该层位于二叠系宣威组底部,下与峨眉山玄武岩第四段顶部致密状玄武岩呈突变接触,上与宣威组灰绿色泥岩或铝土质泥岩整合关系,厚2.0~3.5 m。含铜矿物有辉铜矿、黄铜矿等。

### 1.2 矿化类型特征

根据矿化表现,上述5个层位的矿化可分为3种类型:①玄武岩型,产于玄武岩层内,矿体呈透镜状、脉状及囊状,矿石矿物主要为自然铜及少量辉铜矿,地表见有孔雀石、赤褐铜矿、黑铜矿等,脉石矿物有沥青、方解石、沸石等,有明显的硅化、方解石化及绿泥石化、绿帘石化伴随,又称沥青铜矿石。②玄武岩中含碳沉积岩夹层型,产于玄武岩层间,矿体多呈层状或扁豆状,矿石矿物主要为自然铜及黑铜矿、赤铜矿、孔雀石等,还有辉铜矿和少量铜蓝;脉石矿物以石英、碳质和沸石为主,其次为方解石等,又称碳质铜矿石。③沉积间断面上铝土质泥岩型,产于玄武岩层之上的上二叠统宣威组底部,呈层状或似层状,矿石矿物有斑铜矿、辉铜矿、土状赤铜矿、黄铜矿、铜蓝,局部地段含较多的黄铁矿,氧化物为孔雀石、黑铜矿;脉石矿物主要有高岭石、一水铝石、蒙脱石、硅质水铝石等。

## 2 玄武岩和矿石微量元素地球化学特征

研究区玄武岩和矿石 Co、Cr、Ni、Pb、Th、U 测试结果见表1,与玄武岩相比,矿石的 Co、Cr、Ni 丰度变化范围大,平均含量低,分别为  $w_{Co} 1.4 \times 10^{-6} \sim 46.5 \times 10^{-6}$ , 平均  $23.54 \times 10^{-6}$ ;  $w_{Cr} 10.1 \times 10^{-6} \sim 43.3 \times 10^{-6}$ , 平均  $27.15 \times 10^{-6}$ ;  $w_{Ni} 3.4 \times 10^{-6} \sim 57.3 \times 10^{-6}$ , 平均  $30.9 \times 10^{-6}$ 。玄武岩和矿石 Pb 变化范围和平均丰度十分相似,玄武岩为  $w_{Pb} 5.87 \times 10^{-6} \sim 9.66 \times 10^{-6}$ , 平均  $7.87 \times 10^{-6}$ ; 矿石为  $w_{Pb} 4.7 \times 10^{-6} \sim 9.8 \times 10^{-6}$ , 平均  $7.13 \times 10^{-6}$ , 两者中铅的丰度均与 Turekian 等,总结的玄武岩铅平均浓度  $6 \times 10^{-6}$  接近。Th、U 在玄武岩和矿石中均很低, Th 平均丰度分别为  $5.27 \times 10^{-6}$  和  $6.27 \times 10^{-6}$ , U 平均丰度分别为  $1.16 \times 10^{-6}$  和  $0.97 \times 10^{-6}$ 。反映在 Th/U、U/Pb 和

表1 玄武岩和矿石主要微量元素含量 ( $w_B/10^{-6}$ )

序号	样号	岩/矿石	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Th	U	Th/U	U/Pb	Th/Pb
1	LNP1	玄武岩	52.1	248	35.7	64.7	5.87	5.03	1.05	4.7904	0.1788	0.8569
2	LNP2	玄武岩	42.3	197	35.3	56.8	9.66	4.67	1.01	4.6237	0.1045	0.4834
3	LNP4	玄武岩	35.1	28.7	36	49.7	6.91	5.44	1.06	5.1321	0.1534	0.7872
4	LNP6	玄武岩	41.8	90	37	53.7	9.31	4.93	1.1	4.4818	0.1181	0.5295
5	LNP7	玄武岩	45.2	37.7	57.3	65.2	6.51	3.65	0.69	5.2898	0.1060	0.5606
6	LNP9	玄武岩	39.2	142	48.4	57.9	7.84	4.14	0.94	4.4042	0.1199	0.5281
7	LNP10	玄武岩	43.7	289	44.1	52.3	7.78	4.03	0.95	4.2421	0.1221	0.5180
8	LNP11	玄武岩	41.4	270	43.1	53.9	6.77	4.05	0.97	4.1752	0.1433	0.5982
9	LNP13	玄武岩	38.1	320	21.2	47.2	8.72	6.91	1.62	4.2654	0.185	0.7924
10	LNP14	玄武岩	41.4	119	20.1	51.8	7.51	6.11	1.35	4.5259	0.1797	0.8136
11	LNP15	玄武岩	40.6	129	23.4	56.7	9.41	6.74	1.52	4.4342	0.1615	0.7162
12	LNP17	玄武岩	38.9	208	31.2	48.6	8.21	7.58	1.66	4.5662	0.2022	0.9233
		平均	41.65	173	36.06	54.87	7.87	5.27	1.16	4.5431	0.1473	0.6692
13	DD9	沥青铜矿石	22.7		19	31.7	5.4	3.4	0.4	8.5	0.0741	0.62963
14	XTC20	沥青铜矿石	18.9		24.4	24.8	7.2	4.1	0.4	10.25	0.0555	0.5694
15	XTC21	沥青铜矿石	41.5		35.5	51.6	8.1	5.6	1	5.6	0.1234	0.6913
16	ML10	沥青铜矿石	16.2		16.9	19.3	4.7	2.2	0.3	7.3333	0.0638	0.4681
17	ML24	沥青铜矿石	41.8		40.4	54.9	7.9	6.9	1.2	5.75	0.1519	0.8734
18	SJQ6	沥青铜矿石	32.3		21.4	36.4	7.5	5	1.6	3.125	0.2133	0.6666
22	XTC23	沥青铜矿石	46.5		32.2	57.3	9.8	9.4	0.8	11.75	0.0816	0.9592
23	ML19	沥青铜矿石	18.5		43.3	25.9	8.8	5.4	0.3	18	0.0341	0.6136
19	Lyy12	碳质铜矿石	8.6		23.2	14.7	5.6	4.6	2.4	1.9166	0.4285	0.8214
20	Lyy16	碳质铜矿石	1.4		10.1	3.4	4.7	2	0.4	5	0.0851	0.4255
21	Ysd13	碳质铜矿石	10.6		32.3	19.9	8.8	20.4	1.9	10.7368	0.2159	2.3182
		平均	23.54		27.15	30.9	7.13	6.27	0.97	6.4639	0.1360	0.8794
		Turekian 等总结的玄武岩平均浓度					6	4	1	4	0.1667	0.6667

序号 1~12 为本文测试,其余据李厚民 2005。

Th/Pb 比值上, 玄武岩和矿石也具有十分相近的特征 (参见表 1)。由 Pb、Th、U 丰度分析, 显示了成矿物质源与玄武岩的密切关系。再就 Co、Cr、Ni 丰度对比分析, 虽然在矿石中有亏损显示 (李厚民, 2005), 但与上部地壳平均值 (上部地壳: Co  $10.0 \times 10^{-6}$ 、Cr  $35.0 \times 10^{-6}$ 、Ni  $20.0 \times 10^{-6}$ , 据 Rollison, 1993) 相比, 除矿石 Cr 略低外, 玄武岩和矿石的 Co 和 Ni 均大于上部地壳平均值, 这也提供了成矿物质非上部地壳来源的信息。

### 3 成矿物质来源铅同位素示踪

铜矿石中矿物和玄武岩铅同位素组成分析见表 2。铜矿石中辉铜矿、自然铜、黄铁矿、方解石、石英、沸石的铅同位素组成变化均较小,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 17.855~18.923, 平均 18.344;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.535~15.694, 平均 15.6202;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.2441~39.18, 平均 38.6539。玄武岩与铜矿石中矿物铅同位素组成非常相似,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.6375~19.0915, 平均 18.8053;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.6093~15.644, 平均 15.6027;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 39.0589~39.5725, 平均 39.2508。

表 2 玄武岩和铜矿石中矿物铅同位素组成

样品号	样品	产地	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	样品号	样品	产地	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
LNP2	玄武岩	闹鹰岩剖面	18.6637	15.6175	39.0589	Zht-2	方解石	苏家箐铜矿石	18.078	15.581	38.576
LNP4	玄武岩	闹鹰岩剖面	18.8739	15.6093	39.4112	Hst8	方解石	黑山坡铜矿石	18.493	15.577	38.619
LNP6	玄武岩	闹鹰岩剖面	18.6375	15.611	39.0589	DD5	方解石	大地铜矿石	18.748	15.69	38.547
LNP7	玄武岩	闹鹰岩剖面	18.7599	15.6217	39.1526	ML2	石英	茂林铜矿石	18.404	15.661	38.702
LNP14	玄武岩	闹鹰岩剖面	19.0915	15.644	39.5725	Zht11	石英	苏家箐铜矿石	18.086	15.575	38.332
HD 辉-4	辉铜矿	大黑山	18.3022	15.6458	38.5813	Shuic4	石英	水槽子铜矿石	18.29	15.655	38.68
HD 辉-5	辉铜矿	大黑山	18.8045	15.658	39.1151	ML27	石英	新寨铜矿石	17.855	15.566	38.399
LN 辉-3	辉铜矿	闹鹰岩	17.9652	15.6265	38.2441	Zht1	石英	苏家箐铜矿石	18.133	15.603	39.021
LN 辉-4	辉铜矿	闹鹰岩	18.6723	15.6206	39.18	ML6	石英	新寨铜矿石	18.923	15.694	39.036
自-1	自然铜	闹鹰岩	18.1717	15.6416	38.4344	XTC12	石英	铜厂铜矿石	18.001	15.556	38.293
自-2	自然铜	闹鹰岩	18.1591	15.6391	38.4284	Zht-8	沸石	苏家箐铜矿石	18.611	15.617	39.012
Tch2	黄铁矿	铜厂河铜矿石	18.328	15.535	38.401	Lyy9	沸石	闹鹰岩铜矿石	18.517	15.644	38.823

样号为 LNP、HD、LN 和自开头的 11 件为本文测试, 其余据李厚民 2004。

根据矿石和玄武岩中 Th、U 含量均很低, 结合李厚民等 (2005) 对铜矿石中矿物铅同位素组成研究为正常铅结果, 以及在霍尔姆斯-侯特曼斯模式的图解图中, 玄武岩与铜矿石中矿物的投点主要集中在  $\mu$  值为 9 的生长曲线附近, 并靠近  $t=0\text{Ga}$  的等时线 (地球等时线) 分析, 玄武岩与铜矿石中矿物的铅均为正常铅, 遵循单阶段演化模式。

在铅构造模式图 1 (左) 中, 玄武岩与铜矿石中矿物铅源大都集中在造山带附近或造山带与地幔之间区域; 在图 1 (右) 中, 主要落入下地壳和造山带之间。由此可见, 铜矿石中矿物 (脉石矿物和矿石矿物) 与玄武岩具有相同铅源的特征。单从矿石矿物和玄武岩在图 1a 中的分布来看, 更是显示了这一特点, 且在图 1 (左) 和图 1 (右) 中, 表现出很好的线性关系。综合分析上述铅同位素组成特征, 很好的示踪了研究区铜矿的成矿物质来源, 可以判定前述滇东北峨眉山玄武岩区 3 类铜矿的矿源岩是该区的玄武岩, 正是玄武岩为该铜矿直接提供了成矿物质, 这也与该区 3 类矿层分布于玄武岩层内或之上邻近层位的宏观地质事实相一致。

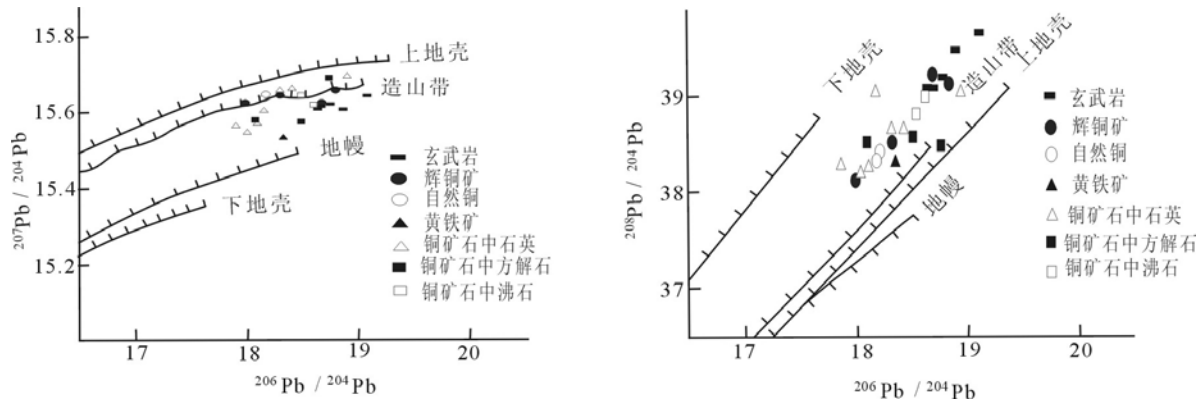


图1 玄武岩与铜矿石中矿物的铅构造模式图

## 4 结 论

(1) 研究区玄武岩和铜矿石 Pb、Th、U 含量测试结果, 显示了相似的组成特征, 且两者 Th、U 含量均很低, Th/U、U/Pb 和 Th/Pb 十分相近, 揭示了两者物源的相似性。

(2) Co、Cr、Ni 含量对比分析, 虽然在矿石中有亏损, 但与上部地壳平均值相比, 除矿石 Cr 略低外, 玄武岩和矿石也都均大于上部地壳平均值, 从而提供了成矿物质非上部地壳来源的信息。

(3) 铅同位素示踪研究, 玄武岩与铜矿石中矿物显示了具有相同铅源的特征。结合该区铜矿相对玄武岩而言具有后生成矿的诸多证据, 以及 3 类铜矿又与玄武岩紧密相随的空间关系等区域地质背景分析, 可以判定滇东北峨眉山玄武岩区 3 类铜矿的成矿物质是来自于该区的玄武岩。

## 参 考 文 献

- 李厚民, 毛景文, 王登红, 等. 2005. 滇黔交界地区峨眉山玄武岩铜矿的 PGE 及微量元素特征. 矿床地质, 24(3): 85~291.
- 李厚民, 毛景文, 张长青, 等. 2004. 滇黔交界地区玄武岩铜矿同位素地球化学. 矿床地质, 23(2): 233~240.
- 钱壮志, 章正军, 侯蜀光, 等. 2006. 滇东北会泽地区发现铝土质泥岩铜矿. 地质通报, 25(4): 26~30.
- 朱炳泉, 常向阳, 胡耀国, 等. 2002a. 滇—黔边境鲁甸沿河铜矿床的发现与峨眉山大火成岩省找矿新思路. 地球科学进展, 17(6): 912~917.
- 朱炳泉, 胡耀国, 张正伟, 等. 2002b. 滇黔地球化学边界似基韦诺(Keweenaw)型铜矿床的发现. 中国科学(D 辑), 32(增刊): 15~162.