

黔西北威宁地区香炉山铜矿床地质地球化学特征及成因

李松涛^{1,2,3}, 刘建中¹, 何明友⁴, 夏勇², 张海⁵, 周光红², 王泽鹏¹,
谢卓君², 韦东田², 郭海燕², 何珊², 黄利平¹, 张兵强¹, 刘松¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 贵州贵阳 550018;

2. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州贵阳 550002;

3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 成都理工大学, 四川成都 610059;

5. 贵州省地质矿产勘查开发局 113 地质大队, 贵州六盘水 553001)

[摘要]黔西北威宁地区香炉山铜矿床赋存于峨眉山玄武岩组第三段($P_3\beta^3$)顶部与宣威组(P_3X)底部间的结合部位。本文采用主量元素、微量元素、稀土元素和扫描电镜分析方法对其地质地球化学特征进行了研究,并探讨了矿床成因。结果表明:区内玄武岩属高钛的拉斑玄武岩,主量元素物源区特征图和微量元素分析结果表明其成岩、成矿物质来源与峨眉山玄武岩密切相关,同时又受到地壳物质的影响;稀土元素表现出轻稀土富集、重稀土亏损的右倾分配模式, Eu 负异常以及 $\log(\delta Ce) > -0.1$ 表明矿床形成于还原环境;扫描电镜分析发现了 $\alpha + \beta - Zn - Cu$ 合金矿物,化学分子式为 $Cu_{0.78}Zn_{0.47}Fe_{0.06}$ 。结合区域地质背景和矿床地质特征,认为该铜矿床的形成不仅与火山作用和沉积成岩作用有关,而且还受到后期热液活动的影响。

[关键词] 香炉山铜矿床 峨眉山玄武岩 地球化学特征 黔西北威宁地区

[中图分类号] P618 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2016)05-0826-12

DOI:10.13712/j.cnki.dzykt.2016.05.003

Li Song-tao, Liu Jian-zhong, He Ming-you, Xia Yong, Zhang Hai, Zhou Guang-hong, Wang Ze-peng, Xie Zhuo-jun, Wei Dong-tian, Guo Hai-yan, He Shan, Huang Li-ping, Zhang Bing-qiang, Liu Song. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Xianglushan copper deposit in the Weining area, northwest Guizhou [J]. Geology and Exploration, 2016, 52(5): 0826-0837.

黔西北地区铜矿有着悠久的开采历史,新中国成立以来,不同地勘单位在区内发现了众多与玄武岩有关的铜矿床(贵州省地质矿产局,1987),结合区域成矿条件及同类矿床特征认为该区具有较大的找矿前景(张正伟等,2003)。前人在研究该类铜矿床的产出类型、物质来源、成矿过程及矿床成因后取得了一系列认识:刘远辉(2006)认为黔西北地区玄武岩型铜矿可分为断裂控制型铜矿、赋存于玄武岩内部铜矿和玄武岩间间断沉积型铜矿。钱壮志等(2006)认为该类铜矿物质来源于区内的玄武岩而非上部地壳。朱炳泉等(2005)认为该类矿床存在

两期成矿作用。李厚民等(2004,2011)认为该类铜矿为热液改造型矿床,其早期成矿流体主要为盆地卤水,后期普遍混入有机流体并逐渐向大气降水转变,铜质富集是不同性质成矿流体混合、对流循环、萃取、沉淀及有机质的还原与吸附作用的综合。笔者在威宁香炉山铜矿地质调查工作中发现了位于峨眉山玄武岩组顶部和宣威组底部的铜矿,在分析了矿床产出特征后认为应属于玄武岩型铜矿的范畴(李松涛等,2014)。调查表明,该含铜矿层位稳定、规模大、埋深浅;铜矿体呈层状、似层状产出,倾角较缓,连续性好,埋深小于 200m;矿石品位

[收稿日期]2015-10-18; [修改日期]2016-05-23; [责任编辑]郝情情。

[基金项目]中国地质调查局《贵州乌蒙山区优势矿产综合调查评价》[12120113052700]、中国地质调查局《贵州贞丰-普安金矿整装勘查区关键基础地质研究》[科(2014)04-025-053]、中国地质调查局《黔西南矿集区找矿预测》[科(2015)02-09-02-028]联合资助。

[第一作者]李松涛(1987年-),男,在读博士生,现主要从事矿物学、矿床学研究工作。E-mail: lisongtaozgh@163.com。

[通讯作者]刘建中(1966年-),男,研究员,现主要从事固体矿产勘查研究工作。E-mail: Liujianzhong868@sina.com。

0.20% ~ 2.50% 部分矿段含铁, 其品位达到了综合利用的工业要求。与之前, 钱壮志等 (2006) 在云南会泽地区也发现了该类玄武岩型铜矿与报导了其宏观地质特征, 但并未进行深入的分析研究。综上所述, 前人对产于玄武岩内部与周围构造中的铜矿进行了详细研究, 然而, 分布于峨眉山玄武岩组顶部和宣威组底部接触带的铜矿, 鲜有深入研究。因此, 本文以黔西北香炉山铜矿床为研究对象, 通过矿床地质学、矿物学、地球化学及扫描电镜等方法分析该类矿床的地质与地球化学特征、物质来源, 并探讨其成矿过程, 其对于该区铜矿勘查与研究具有重要的科学意义和实际价值。

1 区域和矿床地质特征

1.1 区域地质

矿区大地构造位置在扬子地台西南边缘Ⅲ级大

地构造单元内, 位于小江断裂带、师宗—弥勒断裂带与紫云—坝都断裂带所夹持的三角地带中 (图 1), 张志斌等 (2006) 认为这些深大断裂可能是地幔物质向上运移的通道。

区域地层发育齐全, 从震旦系至第四系均有出露, 古生代至晚三叠世中期主要沉积海相碳酸盐岩, 晚三叠世之后主要沉积陆相碎屑岩。火成岩主要为广泛分布的峨眉山玄武岩及少量辉绿岩 (图 1)。区内玄武岩主要为钙碱性拉斑玄武岩, 具有高铁钛、低镁、碱性度偏高、多旋回喷溢等特征, 其间夹有陆源碎屑沉积层, 分布面积达 $5 \times 10^5 \text{ km}^2$ (宋谢炎等 2005), 厚度为 200 ~ 1294m, 总体呈西厚东薄的舌形展布。根据前人的研究, 黔西玄武岩是峨眉山大火成岩省的重要组成部分, 形成于峨眉山热柱活动 (Peate *et al.* 2005)。Cu、Pb、Zn、Pt、Pd 元素地球化学异常与峨眉山玄武岩的空间分布密切相关。

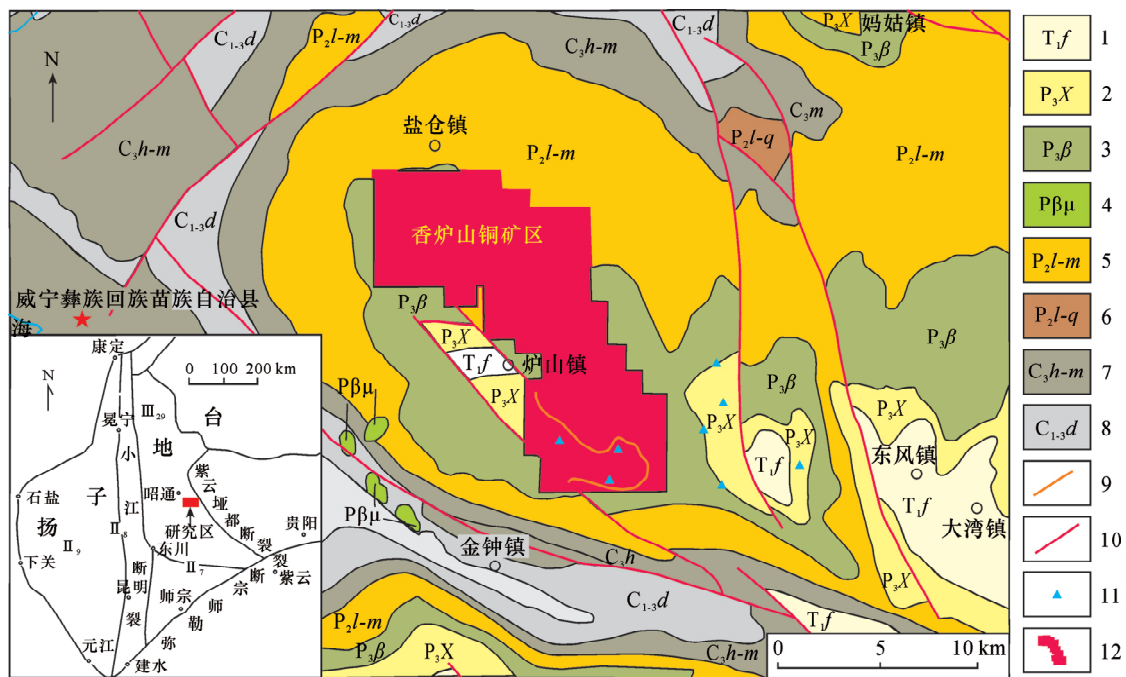


图 1 黔西北香炉山铜矿区地质简图 (据孟昌忠等 2015 修编)

Fig. 1 Simplified geological map of the Xianglushan copper district in northwest Guizhou (modified from Meng *et al.* 2015)

Ⅱ₇ - 上扬子台褶带; Ⅲ₂₉ - 昭通 - 威宁断裂带; Ⅱ₈ - 康滇地轴; Ⅱ₉ - 丽江台缘褶皱带; 1 - 下三叠统飞仙关组 (泥岩夹粉砂岩); 2 - 上二叠统宣威组 (粉砂岩夹泥岩); 3 - 上二叠统峨眉山玄武岩 (玄武岩夹凝灰岩); 4 - 二叠纪辉绿岩; 5 - 中二叠统梁山组至茅口组并层 (灰岩夹砂岩); 6 - 中二叠统梁山组至栖霞组并层 (灰岩与砂岩); 7 - 上石炭统黄龙组与马平组并层 (灰岩夹白云岩); 8 - 石炭纪大埔组 (白云岩); 9 - 含铜矿层; 10 - 断层; 11 - 采样点平面位置; 12 - 矿区范围

Ⅱ₇ - Yangtze platform fold belt; Ⅲ₂₉ - Zhaotong - Weining fault zone; Ⅱ₈ - Xikang Yunnan axis; Ⅱ₉ - Marginal fold belt of Lijiang; 1 - Feixianguan Formation of lower Triassic (mudstone interbedded with siltstone); 2 - Xuanwei Formation of upper Permian (siltstone interbedded with mudstone); 3 - Emeishan basalt formations of upper Permian (basalt interbedded with tuff); 4 - diabase of Permian; 5 - Liangshan to Maping Formation of middle Permian (limestone interbedded with sandstone); 6 - Liangshan to Qixia Formation of middle Permian (limestone interbedded with dolemite); 7 - Huanglong and Maping formation of upper Carboniferous (limestone interbedded with dolemite); 8 - Dapu Formation of upper Carboniferous (dolemite); 9 - ore-bearing strata; 10 - fault; 11 - sample location; 12 - mining area

1.2 矿区构造

区内构造主要受炉山短轴向斜控制,向斜两翼宽约5km,地层倾向 $170^{\circ}\sim 240^{\circ}$ 和 $340^{\circ}\sim 10^{\circ}$,倾角为 $4^{\circ}\sim 15^{\circ}$;断裂多为炉山向斜的次级构造,主要发育有北西向的二塘沟-白泥田断层、浸水-管家沟断层、小河边断层,东西向周家坡-施家营断层、北东向小海都块断层、近南北向孔家坪子-七龙海子断层。

1.3 矿区地层

区内出露的地层主要为二叠系梁山组含煤碎屑岩、栖霞和茅口组碳酸盐岩,峨眉山玄武岩组玄武岩、火山碎屑岩,宣威组岩屑砂岩、粘土岩;三叠系飞仙关组粘土岩、粉砂岩(图1)。

1.4 含矿岩系特征

赋矿地层包含峨眉山玄武岩组第三段($P_3\beta^3$)顶部与宣威组(P_3x)底部层位,主要分布在香炉山短轴向斜的轴部及两翼(图1)。该铜矿层含量普遍较低,但层位比较稳定。其岩性自下至上依次为:火山凝灰岩、角砾岩、铁质(粘土)岩、泥质粉砂质、铝质粘土岩、碳质粉砂岩夹细砂岩、粉砂岩夹薄层泥岩。其中火山角砾岩、细碎屑岩为主要含铜矿(化)石。含矿岩系总厚度为5~15m,最厚可至数十米(图2)。

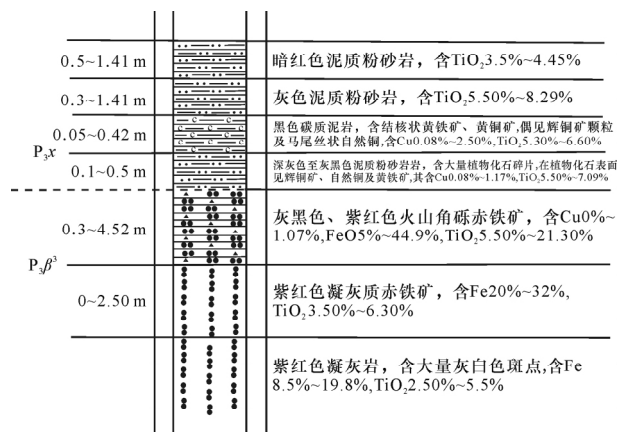


图2 香炉山铜矿区含矿岩系剖面地质地球化学特征
(据吕邵玉等 2015 修编)

Fig.2 Geological and geochemical characteristics of the ore-bearing rock series occurred in the Xianglushan copper deposit (modified from Lü *et al.* 2015)

1.5 矿体特征

区内包含6个含矿块段,铜矿主要分布在秋木沟I和妈鸡块V两个矿体中,其余块段铜含量不连续、不稳定,仅共生铁矿较为稳定。秋木沟I矿体位于矿区南部,呈不规则长方形,矿体长2600m,宽828

1500m,矿体厚1.00~1.14m,平均厚1.05m。矿石品位0.20%~2.50%,平均品位0.29%。埋藏深度在200m以内。矿体呈层状、似层状产出,连续性较好,产状与地层产状一致,倾向 $340^{\circ}\sim 10^{\circ}$,倾角 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。妈鸡块V矿体位于工作区东部,长度1811m,宽577m,矿体为层状、似层状产出,铜矿体厚度1.00~1.61m,平均厚1.50m。矿石品位0.20%~1.08%。矿体产状与地层产状一致,倾向 $165^{\circ}\sim 240^{\circ}$,倾角 $5^{\circ}\sim 14^{\circ}$ 。

1.6 矿石组构

矿物成分复杂,矿石矿物以辉铜矿、斑铜矿、自然铜为主,其次为黄铜矿、孔雀石、黝铜矿,脉石矿物主要为火山碎屑、赤铁矿、褐铁矿、方解石、白云石及粘土矿物(图3),具体特征如下。

矿石主要具如下结构构造:(1)隐晶质结构:主要由硅质、泥质矿物及炭质构成(图3a)。(2)火山角砾结构:火山碎屑和填隙物二组分构成,火山角砾约占样品总量86%,粒度 $< 64.00\sim 2.00$ mm,呈棱角状、次棱角状,角砾成分基本上为玄武质岩屑(图3b e j)。填隙物成分主要为火山灰、白云石、钛铁矿等。(3)凝灰结构:粒度 < 2.00 mm,碎屑成分基本上为玄武质岩屑。(4)浸点状结构:辉铜矿、斑铜矿、孔雀石呈它形粒状沿碎屑颗粒(火山角砾)的边缘或空隙中分布(图3d f h j)。(5)似文象连生结构:辉铜矿与斑铜矿文象连生(图3d)。(6)层状构造:主要为碎屑堆集速度和粒度不同而显示成层分布,部分为后期蚀变产物以集合体形式呈层产出。(7)风化蚀变构造:后期的风化蚀变作用产生不同程度的褐铁矿化、粘土矿化及白云石化(图3a b e h)。

1.7 围岩蚀变

围岩蚀变主要为碳酸盐化、硅化、黄铁矿化,其次为绿泥石化、沸石化、沥青化。方解石、白云石、石英、黄铁矿多呈细脉、网脉状穿层分布,绿泥石、沥青呈星点状、团块状分布。

2 地球化学特征

2.1 采样及测试分析

本次研究在黔西北威宁县香炉山铜矿一带的溪街、结里地区采集10件岩、矿石样品,样品来自于香炉山向斜核部南东段的钻孔或探槽(平面投影位置如图1)。样品赋存于玄武岩组、宣威组地层及其结合部位的含矿岩系,按岩性分为玄武岩(2件)、凝灰岩(2件)、火山角砾岩(2件)、粘土岩(2件)、粉砂岩(1件)、细砂岩(1件)五种类型,其中宣威组底部

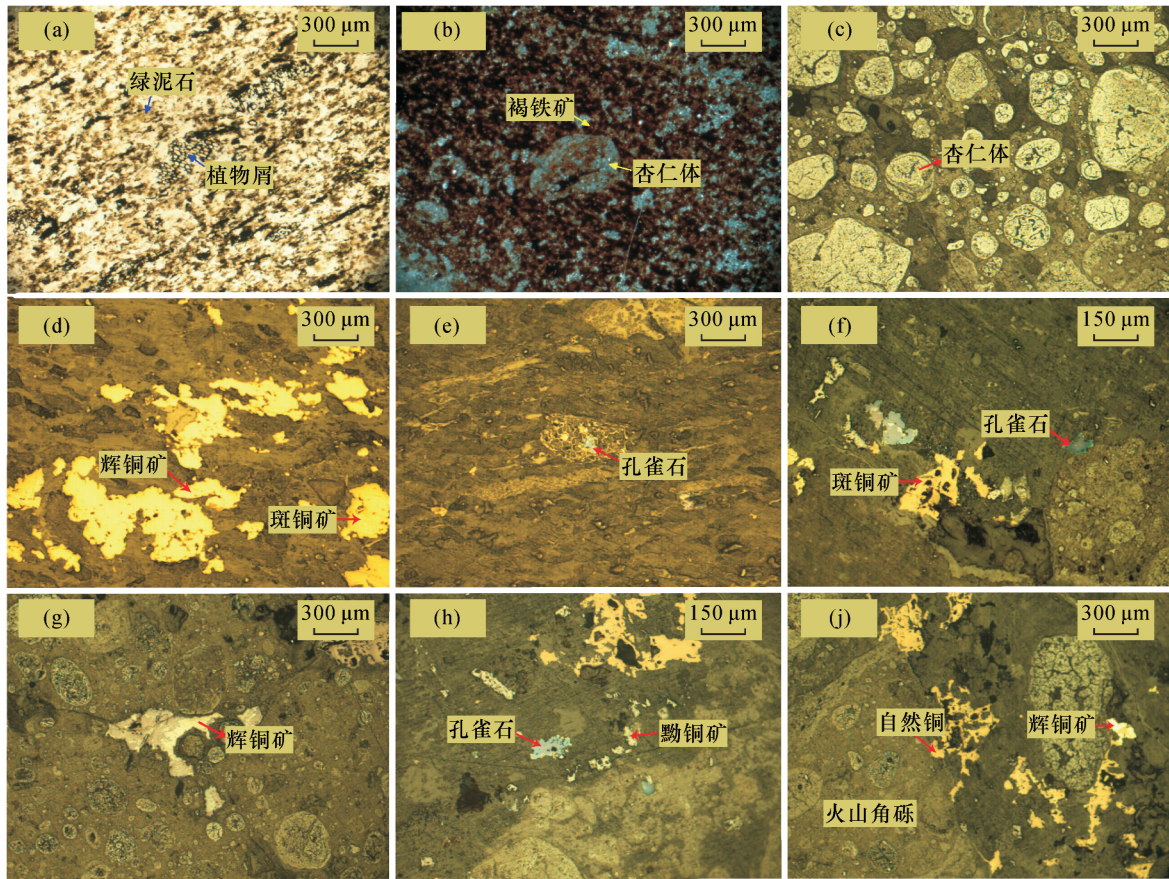


图 3 香炉山铜矿矿石显微特征

Fig. 3 Ore microscopic characteristics of the Xianglushan copper deposit

的细砂岩为铜矿石 ($Cu > 0.2\%$), 玄武岩组顶部的火山角砾岩为铜矿化岩石 ($Cu 0.05\% \sim 0.2\%$)。样品测试均在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成。主量元素在 X 射线荧光光谱仪 (XRF) 上采用玻璃熔片法测定, 采用 GSR-10 标样进行校正, 分析的灵敏度高于 $0.1wt\%$; 微量元素和稀土元素采用电感耦合等离子体质谱分析仪 (ICP-MS) 完成。

2.2 主量元素特征

各类样品主量元素含量如表 1 所示: K_2O 、 SiO_2 、 MgO 、 MnO 含量普遍较低, TiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 含量较高, 部分样品 TiO_2 含量超过 10% 。此外, 除玄武岩之外的其它样品含低 Na_2O 和 CaO , 其值小于 2% 。细砂岩 (矿石) 主要元素的含量与玄武岩及玄武质火山碎屑岩差别较大。铜矿化火山角砾岩 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 MnO 、 P_2O_5 含量与玄武岩呈现相反关系。

本区玄武岩里特曼指数大于 9, TiO_2 含量超过高钛玄武岩标准 ($TiO_2 > 2.8\%$) (Xu et al., 2004),

因此, 本区玄武岩属高钛的拉斑玄武岩, 比典型的拉

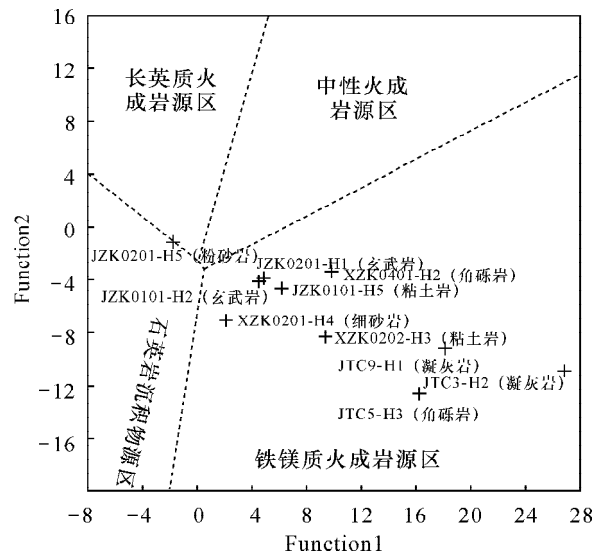


图 4 香炉山铜矿岩 (矿) 石主量元素限定物源区特征图解

Fig. 4 Defining provenance graph of main elements of the rocks (ores) from the Xianglushan copper deposit

斑玄武岩偏碱性。根据样品常量元素分析数据计算出 Funtion1、Funtion1 特征值,将其投在 Roser 限定物源区特征图解中(Rollinson *et al.*, 1993)(图 4)。从图中可以看出样品 JZK0201-H5(粉砂岩)投点

落在长英质火成岩源区与石英岩沉积物源区的边界处,可能是产于宣威组底部的粉砂岩由远距离物源组成,除此之外,其它样品数据均落在铁镁质火成岩区内。

表 1 香炉山铜矿岩(矿)石主量元素分析数据(wt%)

Table 1 Major element compositions of rocks (ores) from the Xianglushan copper deposit(wt%)

样号	JTC3 -H2	JTC5 -H3	JTC9 -H1	JZK01 01-H2	JZK01 01-H5	JZK02 01-H1	JZK02 01-H5	XZK02 01-H4	XZK02 02-H3	XZK04 01-H2
岩性	含角砾 凝灰岩	火山角 砾岩	凝灰岩	玄武岩	粘土岩	玄武岩	泥质粉 砂岩	细砂岩	凝灰质 粘土岩	火山角 砾岩
SiO ₂	22.80	23.40	31.60	44.50	38.90	47.20	43.10	60.10	31.00	33.70
Al ₂ O ₃	19.91	20.11	25.29	14.13	28.8	15.71	32.27	13.25	25.13	26.52
Fe ₂ O ₃	41.20	37.30	27.10	16.70	11.80	15.00	2.31	9.29	24.30	19.00
MgO	1.87	1.35	0.14	5.54	0.49	4.06	0.33	0.77	1.04	0.33
CaO	0.10	0.10	0.20	6.50	0.80	5.40	0.60	0.40	0.30	0.50
Na ₂ O	1.18	0.07	0.20	5.07	0.23	3.86	0.23	0.45	0.11	2.15
K ₂ O	0.07	0.04	0.06	0.34	0.13	0.39	0.08	0.63	0.05	0.08
MnO	0.20	0.18	0.07	0.58	0.05	0.53	0.02	0.08	0.15	0.05
P ₂ O ₅	0.13	0.03	0.23	0.54	0.28	0.55	0.13	0.10	0.02	0.15
TiO ₂	4.79	7.47	4.86	3.12	6.13	3.30	7.89	1.73	7.82	7.02
LOI	6.68	8.13	9.79	3.95	11.13	3.81	12.46	14.17	8.96	10.06
Funtion1	27.37	16.20	18.17	4.46	6.15	4.74	-1.87	2.04	9.43	9.77
Funtion2	-11.03	-12.81	-9.39	-4.18	-4.75	-4.05	-1.35	-7.22	-8.51	-3.52

注: Funtion1 = $-1.773\text{TiO}_2 + 0.607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T} - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.244\text{K}_2\text{O} - 9.09$; Funtion2 = $0.445\text{TiO}_2 + 0.07\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T} - 1.142\text{MgO} + 0.438\text{CaO} + 1.475\text{Na}_2\text{O} + 1.426\text{K}_2\text{O} - 6.861$ 。

2.3 微量元素特征

区内所采玄武岩样品铜含量为 $154 \times 10^{-6} \sim 522 \times 10^{-6}$ (表 2),总体上高于其它区域的大陆溢流玄武岩铜含量(170×10^{-6})(王晓刚等 2010)。

相对于原始地幔(Taylor *et al.*, 1985),除 JTC3-H2(含角砾凝灰岩)、JTC5-H3(火山角砾岩)样品 Co 含量偏高外,其它样品的 Cr、Co、Ni 过渡族元素含量显著偏低,显示亏损特征。相对于上地壳平均值(Taylor *et al.*, 1985),各样品分析结果均高于相应平均值,由此表明 Cr、Co、Ni 含量总体介于地壳与地幔之间。大离子亲石元素 K、Sr、Rb、Ba、Pb、U 含量高于原始地幔值,显示富集特征,据李厚民等(2009)研究认为该类型铜矿床为热液成因矿床,赵振华(1997)认为大离子亲石元素在有流体活动的系统中更活泼,因此不难理解这些地球化学活动性强的元素在此富集。不相容元素 Hf、Nb、Ta、Ti、Zr、Th 含量高于原始地幔值,显示富集特征。Zr 富集特征显著,同时各样品和原始地幔具有相近的 Th/U、U/Pb 和 Nb/Ta 特征值。

从矿(化)岩石与玄武岩微量元素原始地幔标准化蛛网图可以看出(图 5),相对于玄武岩,火山角砾岩与细砂岩显示更加明显的 Th、U、Ta、Pb、Zr、Hf 正异常,火山角砾岩显示更明显的 K、Nb、Sr、Sm 负异常,两者对于 Ti、Y 的变化呈现相反特征。

原始地幔标准化微量元素蛛网图表明(图 6),各类样品具 Th、U、Pb、Hf、Ta、Ti、Zr 正异常, Cr、Co、Ni 过渡族元素负异常,分配模式与 OIB 相似。Nb-Hf 各元素皆增,呈现 Rb-Th 峰。

2.4 稀土元素特征

稀土元素的地球化学特征、含量分配在地质过程中具有重要的指示作用和示踪意义(殷维翰, 1990)。本区稀土元素总体含量较高,主要是富含稀土元素的峨眉山玄武岩在风化蚀变后形成了高岭石等粘土矿物,然后以离子形式吸附这些稀土元素。稀土元素含量变化范围大(表 3), ΣREE 为 $52.9 \times 10^{-6} \sim 576.6 \times 10^{-6}$, ΣLREE 为 $46.7 \times 10^{-6} \sim 525.1 \times 10^{-6}$, ΣHREE 为 $6.2 \times 10^{-6} \sim 51.5 \times 10^{-6}$,表明本区为轻稀土元素富集类型。(La/Yb)_N 比为 3.14 ~

20.08, 平均值为 9.91, $(La/Sm)_N$ 比为 0.47 ~ 1.34, 平均值为 0.87, $(Gd/Yb)_N$ 比为 0.77 ~ 2.04, 平均值为 1.32, 表明轻、重稀土显著分馏, 轻稀土明显富集, 重稀土强烈亏损, 轻、重稀土各自也有一定程度

的分馏。该区样品 δEu 为 0.47 ~ 1.32, 普遍小于 1, 矿石样品 δEu 值低, 具负异常, 样品 δCe 为 0.67 ~ 1.67。

表 2 香炉山铜矿岩(矿)石微量元素分析数据($\times 10^{-6}$)
Table 2 Trace element compositions of rocks(ores) from the Xianglushan copper deposit($\times 10^{-6}$)

样号	JTC3-H2	JTC5-H3	JTC9-H1	JZK01-01-H2	JZK01-01-H5	JZK02-01-H1	JZK02-01-H5	XZK02-01-H4	XZK02-02-H3	XZK04-01-H2	原始地幔	上地壳
岩性	含角砾凝灰岩	火山角砾岩	凝灰岩	玄武岩	粘土岩	玄武岩	泥质粉砂岩	含泥质细砂岩	凝灰质粘土岩	火山角砾岩		
Cr	79.86	164.91	43.71	58.62	94.2	66.87	58.17	41.12	155.88	89.57	3000	35
Co	264	150	7.01	45	65.8	45.9	13.2	23.30	96.70	48.40	100	10
Ni	204	152	33.3	57.4	74.6	70.1	39.9	71.70	68.70	77.70	2000	20
Cu	781	1920	143	522	537	154	766	2180	677	1210	28.00	25
Ti	28720	44780	29140	18700	36750	19780	47300	10370	46880	42090	960	3000
Rb	0.26	0.78	1.2	2.35	2.64	2.73	1.56	6.49	0.82	1.13	0.55	112
Sr	36.30	26.90	34.10	4510	196	462	258	175	95.80	139	17.80	350
Zr	320	1370	284	153	372	237	540	1060	2350	494	8.30	190
K	581	332	498	2822	1079	3238	664	5230	415	664	180	28000
Ba	33.40	509	81.90	423	282	481	213	200	566	253	5.10	550
Nb	26.10	183.68	42.55	23.94	55.68	36.57	76.88	160.4	323.3	72.97	1.35	25
Hf	8.35	31.80	7.14	4.36	9.64	6.03	15	32.4	66.10	12.20	0.27	5.8
Ta	3.21	10.95	2.79	1.77	3.6	2.57	5.08	12.13	21.84	4.39	0.04	2.2
Pb	6.12	14.70	9.83	3.14	9.05	5.05	16.90	15.20	19.40	12.20	0.12	20
Th	6.88	34.60	5.68	3.15	6.94	5.32	8.98	23.70	65.90	8.89	0.06	10.7
U	1.80	5.78	1.46	0.82	1.41	1.33	2.25	7.99	11.60	3.47	0.02	2.8
Th/U	3.82	5.99	3.89	3.84	4.92	4.00	3.99	2.97	5.68	2.56	3.55	3.82
U/Pb	0.29	0.39	0.15	0.26	0.16	0.26	0.13	0.53	0.60	0.28	0.15	0.35
Nb/Ta	14.71	16.77	15.25	13.53	15.47	14.23	15.13	13.22	14.80	16.62	14.00	11.36

注: 原始地幔数值来自 Taylor et al., 1985

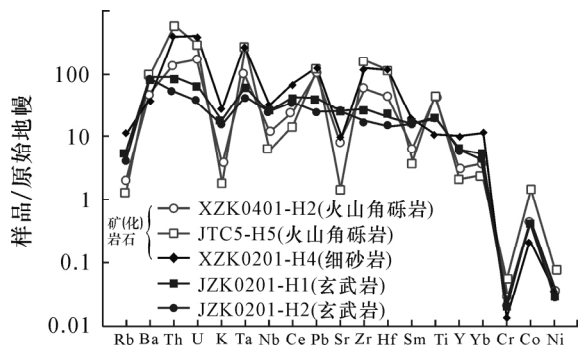


图 5 香炉山铜矿岩(矿)石与玄武岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 5 Primitive mantle normalized trace element spider diagram of ores (ores) from the Xianglushan copper deposit (normalized values from Sun et al., 1989)

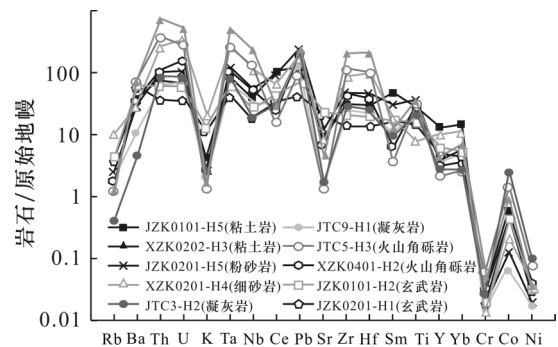


图 6 香炉山铜矿岩(矿)石微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准化值据 Sun et al., 1989)

Fig. 6 Primitive mantle normalized trace element spider diagram of the rocks (ores) from Xianglushan copper deposit (normalized values from Sun et al., 1989)

表 3 香炉山铜矿岩(矿)石稀土元素分析数据($\times 10^{-6}$)
Table 3 REE compositions of the rocks (ores) from the Xianglushan copper deposit($\times 10^{-6}$)

样号	JTC3 - H2	JTC5 - H3	JTC9 - H1	JZK01 01 - H2	JZK01 01 - H5	JZK02 01 - H1	JZK02 01 - H5	XZK02 01 - H4	XZK02 02 - H3	XZK04 01 - H2
岩性	含角砾凝灰岩	火山角砾岩	凝灰岩	玄武岩	粘土岩	玄武岩	泥质粉砂岩	含泥质细砂岩	凝灰质粘土岩	火山角砾岩
La	41.90	7.140	26.50	28.30	138	35.20	83.50	58.90	16.60	23.80
Ce	60.30	27.30	53.80	64.70	197	76.40	170	118	54.50	43.80
Pr	8.07	2.01	6.64	8.04	32.70	9.27	21.30	12.20	5.40	4.37
Nd	28.10	8.27	26.30	34.90	130	39.90	87.60	45.00	26.50	16.20
Sm	4.11	1.68	4.92	7.25	22.00	7.83	14.00	8.49	5.66	2.91
Eu	1.02	0.34	1.71	3.03	5.40	3.36	2.42	1.54	0.79	0.78
Gd	2.77	1.44	3.68	6.50	15.30	7.32	6.50	8.08	4.33	2.64
Tb	0.55	0.26	0.71	1.07	2.66	1.14	1.18	1.62	0.77	0.48
Dy	2.78	1.55	3.72	5.44	13.00	6.38	5.12	9.91	4.83	2.64
Ho	0.57	0.33	0.83	1.09	2.71	1.23	1.06	2.01	1.07	0.59
Er	1.63	0.99	2.54	2.93	8.23	3.48	3.30	6.28	3.42	1.83
Tm	0.22	0.17	0.38	0.37	1.13	0.45	0.45	0.89	0.52	0.26
Yb	1.41	1.26	2.59	2.26	7.35	2.70	2.95	5.76	3.57	1.86
Lu	0.21	0.17	0.40	0.33	1.15	0.39	0.44	0.77	0.51	0.27
Y	13.00	9.74	18.10	24.70	60.70	28.80	18.00	47.20	20.00	14.50
Σ REE	153.6	52.9	134.7	166.2	576.6	195.1	399.8	279.5	128.5	102.4
LREE	143.5	46.7	119.9	146.2	525.1	172.0	378.8	244.1	109.5	91.9
HREE	10.1	6.2	14.9	20.0	51.5	23.1	21.0	35.3	19.0	10.6
(La/Yb) _N	20.08	3.83	6.91	8.46	12.69	8.81	19.13	6.91	3.14	8.65
(La/Sm) _N	0.87	0.65	1.18	1.32	0.85	1.34	0.68	0.56	0.47	0.84
(Gd/Yb) _N	1.33	0.77	0.96	1.94	1.41	1.83	1.49	0.95	0.82	0.96
δ Eu	0.87	0.65	1.18	1.32	0.85	1.34	0.68	0.56	0.47	0.84
δ Ce	0.73	1.67	0.93	1.00	0.67	0.98	0.93	0.99	1.35	0.95
log(δ Ce)	-0.14	0.22	-0.03	-0.002	-0.17	-0.01	-0.03	-0.005	0.12	-0.02

注: 球粒陨石标准化值据 Sun *et al.*, 1989。

从球粒陨石标准化的稀土元素配分图可以看出(图 7), 各类样品稀土元素组成和分布模式与洋岛玄武岩(OIB)较为相似(毛德明等, 1992)。相对于玄武岩样品, 铜矿(化)石样品的稀土元素含量略有变化, 总体显示 Eu 负异常, Ce 异常也更加明显。总体而言, 各类样品与玄武岩的分配特征比较相似, 均为平滑右倾型, 属强轻稀土富集型, 表明它们在稀土元素组成上具有继承性。

3 扫描电镜分析

本次选取编号为 JTC5 - H3(火山角砾岩)、JZK0101 - H5(粘土岩)的样品在中国科学院地球化

学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成扫描电镜分析, 仪器型号为 JSM - 6460LV, 配套 EDAX 公司生产的 X 射线能谱仪, 能谱仪配套 EADGENE-SIS 软件。

通过微区形貌和能谱分析, 发现样品主要矿物成分为高岭石、铜矿物、钛矿物, 主要形态为团状、细脉状, 具有明显的沉积—改造特征。

黄铜矿、金红石主要以细小微粒嵌于在高岭石团块中, 有时也呈团块状、细脉状分布于赤铁矿中心(图 8ab, ef), 赤铁矿可能为黄铜矿后期氧化而来。根据能谱分析结果, JTC5 - H3 中 5 号点中 Cu 的质量分数为 35.09%, Fe 的质量分数为 30.07%, S 的

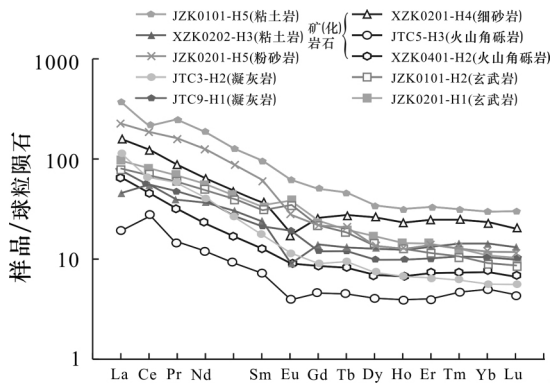


图 7 香炉山铜矿岩(矿)石稀土元素球粒陨石标准化图(标准化值据 Taylor et al., 1985)

Fig. 7 Chondrite normalized diagrams of the rock and ore from Xianglushan copper deposit (normalized values from Taylor et al., 1985)

质量分数为 33.04% ,含少量的 Cr ,质量分数为 1.11% ,其化学分子式为 $CuFeS_{1.87}$ 。JZK0101 - H5 中 16 号点可见黄铜矿溶蚀点 ,其表面可能是被逐渐混入的 Si、Al、Ca、O 腐蚀而变得粗糙 ,表明表生阶段辉铜矿的氧化溶解很容易进行。

铜、锌互化物(黄蕴慧等 2000)为该矿区新发现的矿物(图 8c、d) ,能谱分析结果中 Cu 的质量分数为 49.54% ,Zn 的质量分数为 30.47% ,含少量的 Fe ,质量分数分别为 3.32% ,因此其化学分子式为 $Cu_{0.78}Zn_{0.47}Fe_{0.06}$ 。位于 Cu - Zn 合金相图中的 $\alpha + \beta$ 相(岳树勤 1982) ,为 $\alpha + \beta - Zn - Cu$ 合金矿物。

磷灰石颗粒呈珠串状、长柱状存在于高岭土矿物中(图 8eg) ,与黄铜矿、金红石相伴产出 ,其形成可能与热液活动有关 ,能谱分析结果中 O 的质量分数为 44.08% ,Al 的质量分数为 3.39% ,Si 的质量分数为 10.65% ,P 的质量分数为 14.21% ,Ca 的质量分数为 27.09% ,含少量的 S ,其质量分数分别为 0.57% ,其化学分子式为 $Ca_{4.43}(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ 。

钛氧化物富集程度较高(图 8e、h) ,这可能是该区巨厚的峨眉山玄武岩中金红石含量高 ,化学性质稳定而不易风化 ,故易于与碎屑颗粒共同沉积在火山凹洼盆地内。能谱分析结果中 O 的质量分数为 35.33% ,Ti 的质量分数为 50.2% ,Al 的质量分数为 3.97% ,Si 的质量分数为 4.23% ,Pt 的质量分数为 4.24% ,Fe 的质量分数为 1.68% ,Ca 的质量分数为 0.53% ,其化学分子式为 $TiO_{2.1}$ 。钛氧化物中含有 Pt 元素(图 8e、h)。

4 讨论

香炉山铜矿床位于峨眉山玄武岩组和宣威组的结合部位 ,下伏玄武岩铜背景值高 ,分布面积广 ,可为铜矿床提供丰富的物源。容矿岩石为火山角砾岩和细砂岩 ,其金属矿物自然铜、黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿主要呈他形粒状分布于碎屑之间 ,部分呈细脉状分布于绿泥石、石英等蚀变矿物内部裂隙中 ,因而具它形粒状、浸染状、细脉装等结构 ,与李厚民等(2004)、张乾等(2008)描述的热液型玄武岩铜矿的矿物学特征一致。

相对于玄武岩样品 ,细砂岩(矿石)的主要元素含量与之差别较大 ;铜矿化火山角砾岩的部分主量元素含量与之呈现相反关系 ,稀土元素含量也不一致 ,显示 Eu 负异常与 Ce 异常也更加明显 ,还具有更明显的 K、Nb、Sr、Sm 负异常。另外 ,矿(化)岩石表现出更加明显的 Th、U、Ta、Pb、Zr、Hf 正异常 ,而对于 Ti、Y 的变化呈现相反特征。殷维翰(1990)、赵振华(1997)认为后期地质作用叠加改造是造成元素变化的重要因素 ,因此 ,综合分析认为矿化是岩石遭受后期热液作用的结果 ,比如流体交代作用使化学性质活泼的 K、Sr 从角砾岩、砂岩中迁移流失 ,亦或使相容 K、Sr 的斜长石遭受蚀变、破坏 ,从而造成相应元素负异常。

主量、微量元素分析显示各岩石的 Ti 含量较高 ,与该区的高钛玄武岩具有一致性。通过微量元素蛛网图和球粒陨石标准化的稀土元素配分图都可以看出 ,无论是含矿岩石还是非含矿岩石 ,各类元素曲线型式与玄武岩类似 ,因而认为含矿岩系的物源与玄武岩密切相关 ,与刘军港等(2014)认为玄武岩铜矿床的铜来自于玄武岩本身的观点一致。

电子探针分析表明富集的钛氧化物中含有 Pt 元素(图 8eh) ,刘英俊等认为铂族元素的含量在地壳低 ,地核高 ,并从地壳到地核的含量是逐渐增高的 ,从超基性岩到酸性岩的含量是逐渐降低的 ,结合区内广泛分布的基性岩石—玄武岩 ,可以推断样品所代表的地层可能继承了峨眉山玄武岩的物源 ,这一结论与主量元素物源区特征投图也相吻合 ,图解分析显示成矿物质来自铁镁质火成岩 ,而研究区内玄武岩分布广泛 ,其 Cu、Fe、Ti、Pt 等含量高 ,是最有可能提供 Cu、Fe、Ti、Pt 与其它物源的地层 ,其中的金红石及所含的 Pt 元素因化学性质稳定而不易风化 ,易于与碎屑颗粒共同沉积在火山凹洼盆地内 ,最后得以保留下来。另外 ,含矿岩系中富含多金属元素

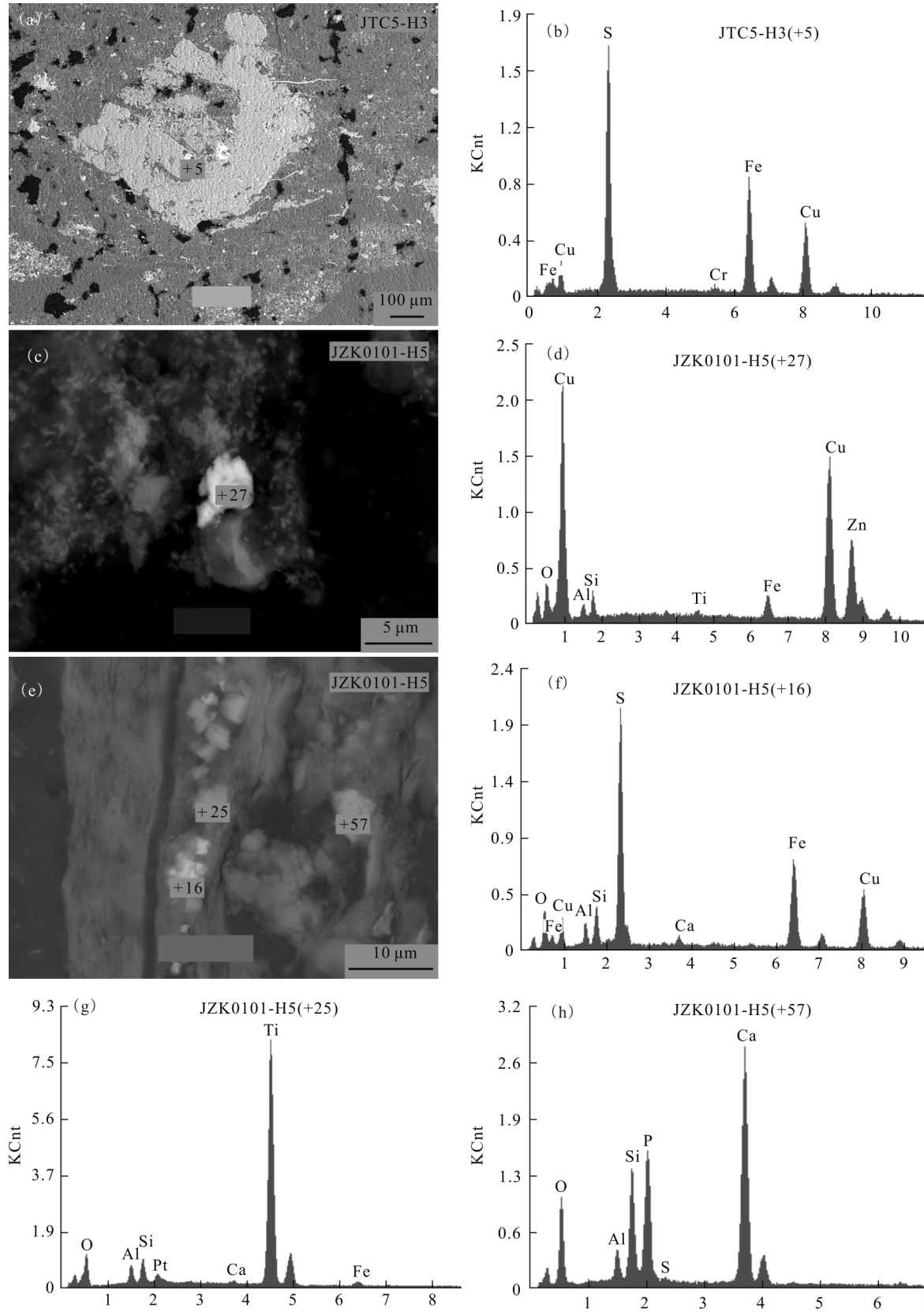


图8 香炉山铜矿岩(矿)石背散射图像及能谱分析

Fig.8 Back - scattering images and energy spectrum analysis of the rocks (ores) from the Xianglushan copper deposit

的特征与扬子地台黑色岩系类似(王聚杰,2015),可与其中富含的有机质有关。

各样品 Zr 富集特征显著,与原始地幔具有相近的 Th/U、U/Pb 和 Nb/Ta 特征值,暗示成岩、成矿物质可能最终源于地幔。各类样品稀土元素组成和分布模式与洋岛玄武岩(OIB)较为相似(毛德明等,1992),可能由于它们都起源于软流圈,并受岩石圈一定程度的混染。另外,Nb-Hf 元素皆增,呈现 Rb-Th 峰,Cr、Co、Ni 含量总体介于地壳与地幔之间。综上认为矿源岩是玄武岩浆侵位到上部地壳时受到岩石圈物质的同化混染所致,即为地幔柱和岩石圈相互作用的产物。

该区样品 δEu 为 0.47~1.32,普遍小于 1,矿石样品 δEu 值低,具负异常,Drake 认为 δEu 值和 f_{O_2} 存在反比关系,从而指示矿床形成于还原环境,这与 $\log(\delta\text{Ce})$ 值所反映的结果是一致的,即该区矿石样品 $\log(\delta\text{Ce}) > -0.1$,而 Wright. et(1987)认为当 $\log(\delta\text{Ce})$ 值大于 -0.1 时,主要指示还原环境,结合李厚民等(2004)对区域铜矿形成过程的研究,认为这一环境是由于该区存在大量的碳质碎屑与沥青,它们腐烂、分解之后产生了还原性有机流体。

5 成因初探

前人普遍认为该区铁铜矿床为风化壳型铁铜矿床,笔者结合区域地质背景与本文研究认为该区铜矿床沉积及成矿热液活动特征明显,应为同生沉积后生再富集型铁铜矿床。提出该铁铜矿床的形成不仅与沉积成岩作用有关,而且还与火山期后地下热液活动有关,是火山期后地下热液作用使之富化的结果。其成矿过程大致如下:

首先,结合区域地质背景可以推断在早二叠世晚期和晚二叠世早期,由于紫云—亚都、弥勒—师宗这些区域性深大断裂拉张、下陷,峨眉山地幔热柱强烈活动导致基性岩浆喷溢,在贵州西部形成一套高低起伏的玄武岩及其同源的辉绿岩脉。峨眉山玄武岩浆喷溢形成的火山高地成为蚀源区,不断产生岩屑—坡积物并向湖泊沼泽环境搬运。火山洼地则大量接受源自蚀源区的碎屑物,并发生沉积成岩作用,形成矿源岩。

其后,沉积物中部分 Cu 元素被带入同生流体,形成含 Cu 流体,该流体迁移至孔隙度较高的火山角砾岩、岩屑砂岩时,通过沉淀形成铜矿床成矿的重要物质基础—含铜沉积岩系。

另外,以大气降水为主的热液与含铜岩系产生

物理化学反应,使得含铜火山角砾岩和岩屑砂岩中的 Cu 元素发生活化、再富集。一方面,对富 Cu 贫 S 元素的成矿环境而言,可以形成贫 S 矿石矿物:辉铜矿、斑铜矿;另一方面,丰富的有机质腐烂、分解而成的 CH_4 及 H_2S^- 等还原剂很容易与含铜地层中 Fe、Cu 元素发生氧化—还原反应,形成富 S 的矿石矿物:辉铜矿、黄铜矿、自然铜。

6 结论与建议

(1) 香炉山铜矿属玄武岩型铜矿,产于峨眉山玄武岩组第三段($P_3\beta^3$)顶部与宣威组(P_3x)底部的火山角砾岩和细砂岩中,铜矿物主要为自然铜、黄铜矿、铜锌合金、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、孔雀石。

(2) 元素地球化学分析结果表明该区铜矿成矿物质源于下伏铜高背景值的幔源玄武岩,矿床形成于还原环境。

(3) 铜矿床的形成不仅与火山作用、沉积成岩作用有关,而且还与后期热液活动有关。

(4) 铜矿床伴生的 Fe、Ti、Co、Pt 等元素含量较高,其富集与铜矿形成过程一致,建议进一步综合研究与开发利用。黔西北地区玄武岩分布广泛,具有较好的成矿潜力,建议继续加强勘查与深化研究。

[References]

- Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. 1987. Regional geology of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 317-321(in Chinese)
- Huang Yun-hui, Yue Shu-qin, Qin Shu-ying. 2000. Elementary substance and compounds of native element[M]. Beijing: Geological Publishing House: 197-233, 401-421(in Chinese)
- Li Hou-min, Mao Jing-wen, Zhang Chang-qing. 2004. The composition, texture and origin of organic matter in Basalt-type copper deposits in the Northeastern Yunnan-Western Guizhou area [J]. Journal of Geology, 04: 519-526(in Chinese with English abstract)
- Li Hou-min. 2009. Three ore-forming fluids of Basalt copper deposits in Emeishan [J]. Journal of Minerals, S1: 219-220(in Chinese with English abstract)
- Li Song-tao. 2014. Geological and geochemical characteristics of Iron-Copper deposits in Lushan area, WeiNing, Northest Guizhou [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology: 1-72(in Chinese with English abstract)
- Liu Jun-gang, Zhang Bao-lin, Shen Xiao-li, Hai Lian-fu, Liu Rui-lin. 2014. Geological characteristics and ore-forming material sources of the Shuicaogou copper deposit in the Jianshui area of Yunnan province [J]. Geology and Exploration, 05: 840-854(in Chinese with English abstract)
- Liu Yuan-hui. 2006. Characteristic of copper deposits associated to the basalt in the southwest of Guizhou and forecast of prospecting [J]. Journal of Guizhou Geology, 01: 57-61(in Chinese with English ab-

- stract)
- Lü Shao-yu, Zhang Hai, Meng Chang-zhong, Huang Tai-zhong, Liu De-hua, Wang Biao, Zhou Li-fang. 2015. Geological characteristics of the Lushan copper deposit, Weining County, Guizhou Province [J]. Geological Survey of China 03: 49 - 53 (in Chinese with English abstract)
- Mao De-ming. 1991. Trace Elements geochemistry of the Emeishan Basalts Guizhou of Western [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House: 4 - 321 (in Chinese with English abstract)
- Meng Chang-zhong, He Ming-you, Zhang-Hai, Guo Pei-pei, Li Zai-yong, Ge Wan-ting. 2015. Mineralogy and petrology of Iron - Copper bearing strata in Weining, Northwest Guizhou [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 05: 1058 - 1063 (in Chinese with English abstract)
- Peate I U, Bryan S E. 2008. Re - evaluating plume - induced uplift in the Emeishan large igneous province [J]. Nature Geoscience, 1: 625 - 629
- Qian Zhuang-zhi, Hou Shu-guang, Zhang Zheng-jun. 2006. Discovery of a Bauxitic Mudstone - hosted copper deposit in the Huize Area, Northeastern Yunnan, China [J]. Geological Bulletin of China, 49: 492 - 495 (in Chinese with English abstract)
- Rollinson H. R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation [J]. Longman Singapur Press: 208
- Song Xie-yan, Zhang Cheng-jiang, Hu Rui-zhong, Zhong-hong, Zhou Mei-fu, Ma Run-ze, Li You-guo. 2005. Genetic links of magmatic deposits in the Emeishan large Igneous Province with dynamics of mantle plume. [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 04: 35 - 44 (in Chinese with English abstract)
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [M]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 42: 313 - 345
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. The continental crust: its composition and evolution [M]. Oxford: Blackwell 05: 310 - 315
- Wang Ju-jie, Zeng Pu-sheng, Ma Jing, Dai Yan-juan, Gou Rui-tao. 2015. Black rock series and associated minerals: An example of the Yangtze platform [J]. Geology and Exploration, 04: 677 - 689 (in Chinese with English abstract)
- Wang Xiao-gang, Li-rong, Cai Li-peng. 2010. Metallogenic geological characteristics and prospecting of the Chuan - Dian - Qian Emeishan Basalt - type copper deposits [J]. Journal of sichuan geology, 11: 174 - 182 (in Chinese with English abstract)
- Wright J, Schrader H, Holser W T. 1987. Paleoredox variations in ancient oceans recorded by rare earth elements in fossil apatite [J], Geochimica et Cosmochimica Acta, 51: 637 - 644
- Yan Wei-han. 1990. The utility of rare earth elements of geochemistry evaluation [J]. Earth, 05: 17 (in Chinese)
- Yue Shu-qin, Wen-ying, Liu Jin-ding. 1989. Study of the Danbaite [J]. Chinese Science Bulletin 27(22): 1383 - 1386 (in Chinese)
- Xu Yi-gang, He Bin. 2004. Geologic, geochemical, and geophysical consequences of plume involvement in the Emeishan flood - basalt province [J]. Geology, 32: 917 - 920
- Zhang Qian, Wang Da-peng, Fan Liang-wu, Zhu Xiao-qing, Zhang Zheng-wei. 2008. Ore - forming regularly and prospects of Emeishan basalt - type native copper - chalcocite deposits in the adjoining area of Yunnan - Guizhou Provinces [J]. Geology and Exploration 02: 8 - 13 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Zheng-wei, Chang Xiang-yang. 2003. Discovery of the chalcocopyrite on the upper Permian series basalt group in Qianxi [J]. Journal of Mineralogy, 23(2): 102 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhi-bin, Li Chao-yang, Tu Guang-zhi. 2006. Geotectonic evolution background and ore - forming process of Pb - Zn deposits in Chuan - Dian - Qian area of southwest China [J]. Journal of Geotectonics and Metallogeny, 01: 343 - 354 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Zhen-hua. 1997. Principles of geochemistry of trace elements [M]. Beijing: Science Press: 126 - 127 (in Chinese)
- Zhu Bin-quan, Dai Tong-mo, Hu Yao-guo. 2005. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and U - Th - Pb dating for native copper mineralizations of two stages from the Emeishan flood basalts in the Northeastern Yunnan Province, China [J]. Geochimica, 34(3): 253 - 247 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 贵州省地质矿产局. 1987. 贵州省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社: 317 - 321
- 黄蕴慧, 岳树勤, 秦淑英. 2000. 中国矿物志 第一卷: 自然元素单质及其互化物矿物 [M]. 北京: 地质出版社: 197 - 223, 401 - 421
- 李厚民, 毛景文, 张长青, 许虹, 陈毓川. 2004. 滇黔交界地区玄武岩铜矿有机质的组成、结构及成因 [J]. 地质学报, 04: 519 - 526
- 李厚民. 2009. 峨眉山玄武岩铜矿的三种成矿流体 [J]. 矿物学报, S1: 219 - 220
- 李松涛. 2014. 黔西北威宁炉山地区铁铜矿地质地球化学特征研究 [D]. 成都: 成都理工大学: 1 - 72
- 刘军港, 张宝林, 沈晓丽, 海连富, 刘瑞麟. 2014. 云南建水水草冲铜矿矿床地质特征及成矿物质来源 [J]. 地质与勘探, 05: 840 - 854
- 刘远辉. 2006. 贵州西南部与玄武岩有关的铜矿特征及找矿前景 [J]. 贵州地质, 01: 57 - 61, 28
- 吕绍玉, 张海, 孟昌忠, 黄太忠, 刘德华, 王彪, 周丽芳. 2015. 贵州省威宁县炉山铜矿床地质特征研究 [J]. 中国地质调查, 03: 49 - 53
- 毛德明, 张启厚, 安树仁. 1992. 贵州西部峨眉山玄武岩及其有矿产 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社: 4 - 321
- 孟昌忠, 何明友, 张海, 郭佩佩, 李再勇, 葛婉婷. 2015. 黔西北威宁地区含铁铜地层及其矿物岩石学特征 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 05: 1058 - 1063
- 钱壮志, 侯蜀光, 章正军, 姜常义, 徐章宝, 唐冬梅, 高宏光. 2006. 滇东北会泽地区发现铝土质泥岩铜矿 [J]. 地质通报, 04: 492 - 495
- 宋谢炎, 张成江, 胡瑞忠, 钟宏, 周美夫, 马润则, 李佑国. 2005. 峨眉山火成岩省岩浆矿床成矿作用与地幔柱动力学过程的耦合关系 [J]. 矿物岩石, 04: 35 - 44
- 王聚杰, 曾普胜, 麻菁, 代艳娟, 苟瑞涛. 2015. 黑色岩系及相关矿产——以扬子地台为例 [J]. 地质与勘探, 04: 677 - 689
- 王晓刚, 黎荣, 蔡俐鹏, 杨峻. 2010. 川滇黔峨眉山玄武岩铜矿成

- 矿地质特征、成矿条件及找矿远景[J]. 四川地质学报, 02: 174 - 182
- 殷维翰. 1990. 实用稀土元素地球化学评价[J]. 地球, 05: 17
- 岳树勤, 王文瑛, 刘金定. 1982. 丹巴矿的研究[J]. 科学通报, 27 (22): 1383 - 186
- 张乾, 王大鹏, 范良伍, 朱笑青, 张正伟. 2008. 滇 - 黔相邻地区峨眉山玄武岩型自然铜 - 辉铜矿床的成矿规律及成矿前景分析[J]. 地质与勘探, 02: 8 - 13
- 张正伟, 常向阳. 2003. 黔西上二叠统玄武岩组上部发现黄铜矿化[J]. 矿物学报, 23(2): 102
- 张志斌, 李朝阳, 涂光炽, 夏斌, 韦振权. 2006. 川、滇、黔接壤地区铅锌矿床产出的大地构造演化背景及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 03: 343 - 354
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社: 126 - 127
- 朱炳泉, 戴樟谟, 胡耀国等. 2005. 滇东北峨眉山玄武岩中两阶段自然铜矿化的⁴⁰Ar/³⁹Ar与U-Th-Pb年龄证据[J]. 地球化学, 34 (3): 235 - 247

Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of the Xianglushan Copper Deposit in the Weining Area, Northwestern Guizhou

LI Song-tao^{1,2,3}, LIU Jian-zhong¹, HE Ming-you⁴, XIA Yong², ZHANG Hai⁵, ZHOU Guang-hong², WANG Ze-peng¹, XIE Zhuo-jun², WEI Dong-tian², GUO Hai-yan², HE Shan², HUANG Li-ping¹, ZHANG Bing-qiang¹, LIU Song¹

- (1. Geological Party 105, Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development Guiyang, Guizhou 550018; 2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry Institute of Geochemistry, Chinese Academy of sciences, Guiyang, Guizhou 550002; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059; 5. Geological Party 113, Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development Liupanshui, Guizhou 553001)

Abstract: The Xianglushan copper deposit of the Weining area, northwestern Guizhou lies in the conjunction between the top of the third section of the Emeishan basalt Formation and the bottom of the Xuanwei Formation. On the basis of analyses of major elements, trace elements, rare earth elements and SEM observations, we have studied the geochemical characteristics and genesis of this deposit. The results show that the basalt belongs to thioite with high Ti. The provenance graph of the main elements and the trace element analysis show that the sources of diagenetic and ore-forming materials were closely related to the Emeishan basalt, meanwhile affected by crustal material. The REE distribution patterns are of a rightward deviation characterized rich LREE and deplete of HREE. Negative anomalies of Eu and $\log(\delta Ce) > -0.1$ suggest a reduction setting of mineralization. $\alpha + \beta - Zn - Cu$ alloy minerals were revealed with SEM, of which chemical molecular formula is $Cu_{0.78}Zn_{0.47}Fe_{0.06}$. Combined with the regional geological background and the geological characteristics of the deposit, it is concluded that the genesis of this copper deposit is not only related to the volcanism and sedimentary diagenesis but also related to the late hydrothermal fluid activity.

Key words: Xianglushan copper deposit, Emeishan basalt, geochemical characteristics, Weining area, Northwestern Guizhou