

文章编号: 1000-4734(2011)03-0322-06

# 川滇黔地区与峨眉山玄武岩有关的 自然铜矿床成因实验研究

王富东<sup>1,2</sup>, 朱笑青<sup>1\*</sup>, 韩涛<sup>1,2</sup>, 王中刚<sup>1</sup>

(1. 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; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 在室温和 pH 值为中性的开放体系下, 选用川滇黔地区与峨眉山玄武岩自然铜矿床相关的不同类型矿物, 对配制的铜胶体溶液和  $\text{Cu}^{2+}$  溶液进行吸附试验, 结果表明, 矿物对铜胶体和  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附率从高到低分别为硫化物、有机质(沥青)、粘土矿物、硅酸盐矿物。这一实验结果与川滇黔地区自然铜矿的赋矿围岩为玄武质角砾岩、铝土-粘土质沉积岩, 自然铜与有机质伴生等地质现象一致, 并表明有机质在自然铜成矿作用中不仅提供了还原条件, 而且是很好的吸附剂。文章还探讨了与峨眉山玄武岩有关的自然铜矿床中铜的迁移形式: 认为铜不仅能以离子或络合物的形式迁移, 还可能以纳米粒级单质铜的形式迁移。

**关键词:** 峨眉山玄武岩; 自然铜; 纳米; 矿床成因; 吸附实验

中图分类号: P579; P599; P618.4101 文献标识码: A

作者简介: 王富东, 男, 1982年生, 博士研究生, 研究方向矿床地球化学. E-mail: wolfdongigcas@sina.com

川滇黔地区与峨眉山玄武岩有关的自然铜矿床(矿化点)<sup>[1-6]</sup>, 是一种矿化范围广、有利于开采、经济价值高的非传统新类型铜矿床。自朱炳泉等<sup>[7-8]</sup>对滇东北地区发现的自然铜矿化作了报道以来, 该类型铜矿受到了人们的注意, 研究认为该类型铜矿类似基韦诺(Keweenaw-like)型铜矿床; 王砚耕等<sup>[9]</sup>将贵州二叠纪玄武岩中的铜矿类型称为玄武岩铜矿; 张正伟等<sup>[10]</sup>在峨眉山玄武岩上部发现了黄铜矿化, 显示出很好的找矿前景; 毛景文、李厚民等<sup>[11-12]</sup>研究了滇黔边界地区玄武岩中的铜矿, 他们认为铜矿化主要为后期成矿作用引起; 王晓刚、覃瑜等<sup>[5, 13]</sup>对四川地区的玄武岩铜矿也进行了划分, 并作了成矿预测。但截止目前, 对自然铜矿床中铜的赋存状态、铜的迁移形式以及铜的富集成矿的研究, 相关报道较少。在不同类型的铜矿床中, 特别是与热液有关的矿床, 矿床学家一般认为铜是以离子形式或络合物的形式在

热液中迁移。近年来, 金属元素在热液矿床中以气相形式迁移的报道也不少<sup>[14-18]</sup>。对于川滇黔地区与玄武岩有关的自然铜矿床, 其矿石矿物是以单质形式形成的自然铜, 自然铜的形成, 特别是其中铜质的迁移方式, 若用胶体迁移来解释, 并选取地质界中与其相关的矿物作为地球化学障来模拟吸附铜的成矿, 或许能从另外的角度很好的解释该类型铜矿床的成因。

## 1 地质背景

川滇黔地区与峨眉山玄武岩有关的自然铜矿床分布区构造上属于扬子准地台西缘之康滇隆起和滇黔拗陷, 为裂谷边缘克拉通内部局限海盆地(图1)。区内自晚太古代至今各个时代地层均有出露, 地质构造复杂、岩浆活动频繁、沉积建造多样、变质作用强烈, 是我国重要成矿带。自然铜矿的赋矿岩石为峨眉山玄武岩第四岩性段( $P_2^4$ )淬碎玄武质角砾岩、玄武岩喷发间歇期的含碳沉积岩<sup>[12]</sup>, 以及玄武岩顶部的铝土、粘土质含碳沉积岩<sup>[14]</sup>; 矿体产出多受构造破碎空间、倾斜断裂、向斜构造以及层位控制明显; 矿体形态有透镜状、脉状、似层状; 矿石矿物为自然铜、辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿以及氧化铜等, 多以自然铜、辉铜矿、斑铜矿为主; 脉石矿物有长石、沸石、绿泥石、绿帘

收稿日期: 2011-03-01

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目“华南陆块陆内成矿作用: 背景与过程”(973)(编号: 2007CB411401); 矿床地球化学国家重点实验室专项经费以及国家自然科学基金项目(编号: 40773035)

\* 通讯作者, E-mail: zhuxq@sohu.com

石、石英、方解石、沥青、黄铁矿以及粘土类矿物等;围岩蚀变主要有沥青化、方解石化、绿泥石化、阳起石化、沸石化等<sup>[1-7]</sup>。

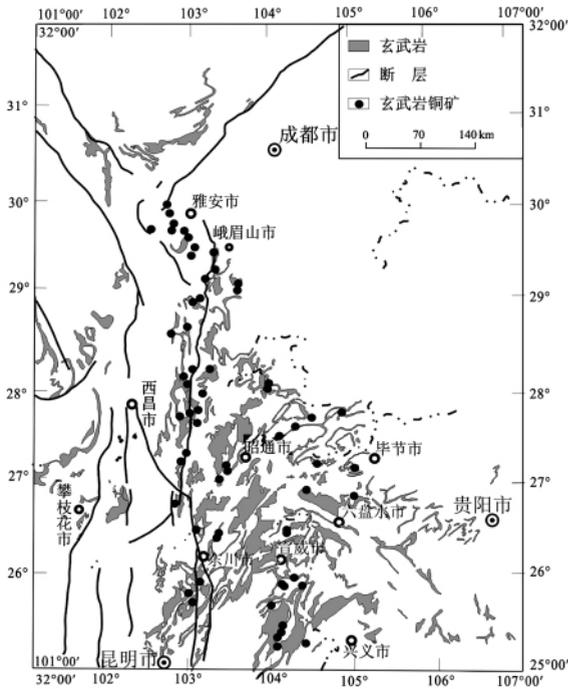


图 1 川滇黔地区峨眉山玄武岩铜矿床(矿化点)分布简图(据文献[12]修改)

Fig. 1. Locations of Emeishan basalt copper deposits (mineralization) in Sichuan-Yunnan-Guizhou area.

## 2 实验与结果

(1)  $\text{CuCl}_2$  溶液(铜离子/络阴离子溶液)的配制:准确称取 161.439 mg  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  置于 200 mL 容量瓶中,加入超纯水搅拌均匀,定容,配制成铜浓度为 300  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的溶液,待用。

(2) 纳米铜胶体溶液的配制:在聚乙烯吡咯烷酮(PVP)保护下,用水合肼还原  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,在 80 °C 和  $\text{pH} = 7.0 \pm 0.5$  条件下,制得比较稳

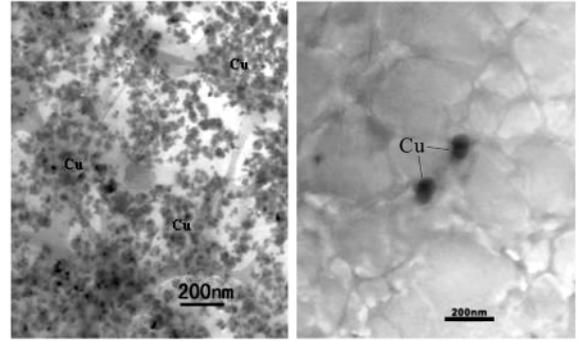


图 2 在透射电镜下观测到的纳米铜粒子

Fig. 2. Nanometer-copper particles under TEM observations.

定的胶体铜溶液,其颜色为酒红色,实验步骤参照文献[19]。用透射电镜和能谱仪对配制的纳米粒级铜胶体溶液进行检测,可观察到粒状结构的深灰色颗粒,其粒径为 20 ~ 80 nm,成分为铜的单质(图 2)。配制好的铜胶体溶液静置 15 d 后,其颜色仍为酒红色;将该溶液过滤,滤纸上无颗粒也无团块滤出,表明未发生沉淀作用。

(3) 选取单矿物样品:选取与峨眉山玄武岩及自然铜矿床中主要矿物类型有关的单矿物,分别是硅酸盐矿物、粘土矿物、硫化物、沥青等,在双目镜下仔细挑选,研磨后过 160 目筛备用。

(4) 各取 13 mL 纳米铜胶体溶液移至 15 mL 离心管中,取等体积各类矿物分别加入各离心管中,加盖,室温下放置 72 h 后,分别吸取离心管中的溶液,用原子吸收光谱法测定铜含量。结果如表 1、图 3 所示。

(5) 矿物对  $\text{Cu}^{2+}$ (离子/络阴离子)的吸附实验:各取 10 mL 含铜离子溶液移至 15 mL 离心管中,取等体积各类矿物分别加入各离心管中,加盖。将离心管放置 72 h,过滤后分别取出离心管中的溶液,用原子吸收光谱法测定铜的含量。结果如表 2、图 3 所示。

表 1 不同矿物对纳米铜胶体中单质铜的吸附实验结果

Table 1. Analysis results of nano-copper adsorption by deferent minerals in the solution

样品	$w(\text{Cu}) / 10^{-6}$		吸附率/%	样品	$w(\text{Cu}) / 10^{-6}$		吸附率/%
	初始溶液	吸附后溶液			初始溶液	吸附后溶液	
黄铁矿	258.94	86.19	66.71	蒙脱石	258.94	113.56	56.14
闪锌矿	258.94	102.80	60.30	凹凸棒	258.94	135.20	47.79
方铅矿	258.94	72.19	72.12	伊利石	258.94	196.30	24.19
辉锑矿	258.94	76.47	70.47	方解石	258.94	198.84	23.21
沥青	258.94	74.55	71.21	石英	258.94	223.67	13.62
沸石	258.94	127.71	50.68	斜长石	258.94	237.03	08.46
高岭石	258.94	142.84	44.84	橄榄石	258.94	233.41	09.86

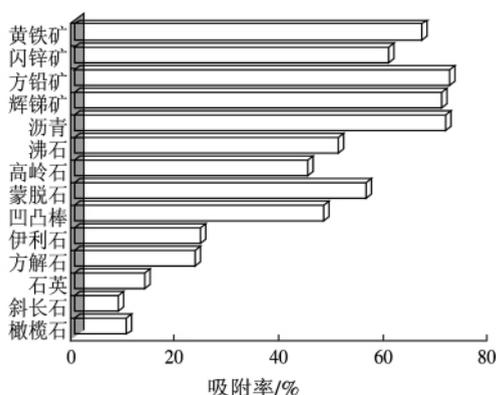
注:实验条件为室温  $\text{pH} = 7$ 。

表2 不同矿物对  $\text{CuCl}_2$  溶液(含铜离子/络阴离子溶液)中铜的吸附实验结果

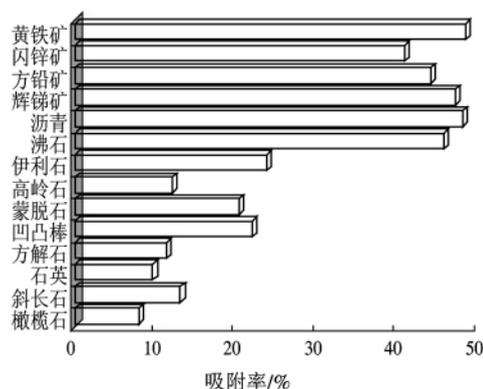
Table 2. Analysis results of copper ion/anion adsorption by diferent minerals in the solution

样品	$w(\text{Cu})/10^{-6}$		吸附率/%	样品	$w(\text{Cu})/10^{-6}$		吸附率/%
	初始溶液	吸附后溶液			初始溶液	吸附后溶液	
黄铁矿	300	154.55	48.48	蒙脱石	300	238.97	20.34
闪锌矿	300	177.27	40.91	凹凸棒	300	233.79	22.07
方铅矿	300	167.27	44.24	伊利石	300	228.62	23.79
辉锑矿	300	158.18	47.27	方解石	300	265.86	11.38
沥青	300	155.46	48.18	石英	300	271.03	09.66
沸石	300	162.73	45.76	斜长石	300	260.69	13.10
高岭石	300	263.79	12.07	橄榄石	300	276.21	07.93

注: 实验条件为室温  $\text{pH}=7$  (分析单位: 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室)。



a. 不同矿物对纳米铜胶体的吸附试验结果

b. 不同矿物对  $\text{Cu}^{2+}$  离子的吸附试验结果图3 不同矿物对纳米铜胶体(a)和含  $\text{Cu}^{2+}$  溶液(b) 吸附实验结果Fig. 3. Experiment results of  $\text{Cu}^{2+}$  (a) and nano-copper (b) adsorption by diferent minerals in the solution.

### 3 讨论

(1) 在  $80\text{ }^\circ\text{C}$  和  $\text{pH}=7.0 \pm 0.5$  的还原条件下, 制得较稳定的胶体铜溶液, 此溶液静置 15 d 后无铜粒子沉淀产生, 并且可随溶液穿透滤纸, 透射电镜观察其大小为  $20 \times 10^{-9} \sim 80 \times 10^{-9} \text{ m}$ , 可以认为此溶液是一种胶体分散体系。本实验所配制的胶体溶液中,  $\text{Cu}$  含量为  $254.18 \times 10^{-6}$ , 与峨眉山玄武岩中  $\text{Cu}$  的平均含量(约  $200 \times 10^{-6}$ ) 相当。

(2) 在相同条件下, 矿物对纳米铜胶体的吸附率从高到低表现为硫化物(60%~80%)、沥青(71.21%)、粘土类矿物(40%~60%)、硅酸盐矿物(5%~20%), 沥青的吸附率与硫化物的吸附率接近, 而沸石的吸附率(50.68%) 落在粘土类矿物中(图3a)。

矿物对铜离子/络合物的吸附试验结果与含铜胶体溶液吸附类似, 从高到低仍然表现为硫化物(40%~50%)、粘土类矿物(20%~30%)、硅酸盐矿物(5%~15%), 不同的是总体吸附率下降 10%~20%; 沸石(45.76%) 对铜离子的吸附

率与硫化物类似, 高岭石(12.07%) 对铜离子的吸附有所降低(图3b)。

(3) 矿物对离子的吸附是通过离子在矿物表面配位、表面离子交换以及静电吸附等方式来实现的<sup>[20-24]</sup>, 矿物作为吸附剂与介质中物质发生各种不同的表面反应, 诸如: 表面配位、表面络合、表面氧化还原、表面离子交换和表面异位催化等<sup>[12, 25, 26]</sup>, 硅酸盐矿物如石英、长石、橄榄石等, 不带电荷, 只有质子化表面位(高岭石也有这样的特性); 沸石、粘土类矿物带恒电荷, 除质子化表面位外还有离子交换表面位, 表面反应模式为表面配位和层间离子交换并存, 故粘土类矿物离子吸附率均比硅酸盐矿物高; 碳酸盐矿物方解石具有阳离子和阴离子表面位, 表面反应主要为晶格离子交换和表面配位模式; 硫化物矿物, 含有质子化表面位以及和碳酸盐类矿物相似的表面位, 除此之外还存在电位吸附和氧化还原反应等, 表面反应模式为表面沉淀<sup>[27]</sup>, 所以硫化物的吸附率相对最强。沥青对金属离子的吸附可能是由于表面存在各种有机官能团, 可通过 O、N 原子与金属离

子配位,形成金属有机络合物等形式<sup>[28]</sup>,吸附率也相对较高。

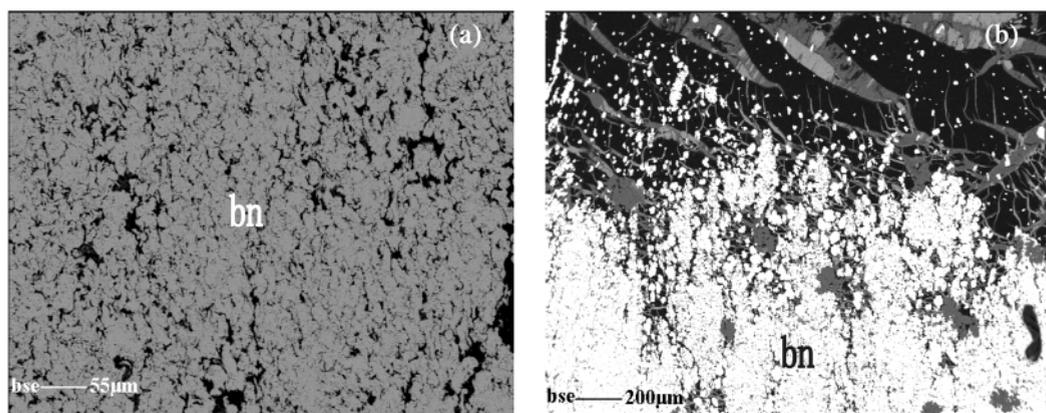
纳米物质有巨大的比表面积和高占有率的表面原子,因而具有很强的吸附性<sup>[29,30]</sup>。本实验的结果表明:相同条件下,矿物对纳米铜的吸附高于对铜离子/络合物的吸附10%~20%,证明了纳米级粒子具有较强的吸附性能,这是因为纳米胶体具有小尺寸效应、表面与界面效应<sup>[31]</sup>,较大的比表面增强了其被吸附与吸附作用;除此之外,不同类型矿物对纳米铜的吸附机理也遵循不同类矿物对铜离子/络合物的吸附机理。本实验的结果与川滇黔地区自然铜产于玄武质角砾岩、有机质和粘土岩中的地质现象一致。

(4) 元素以纳米物质形式迁移是一种重要的迁移方式<sup>[30,32]</sup>,其在溶液中是以溶胶或胶团簇形式存在,在气相中则为气溶胶或纳米级颗粒存在。前人在火山气体和火山凝结物中测得高含量金属成矿元素,并认为这些金属元素是以气相形式迁移<sup>[33-37]</sup>;董纯菡<sup>[38]</sup>用仪器在地气物质中观测到纳米级的Cu、Zn、Cr、Au、Si、S等元素颗粒;国外地质学家还在火山喷发气中发现纳米级的金属元素<sup>[39,40]</sup>,说明金属元素在气相中不仅以络合物或离子的形式迁移,也有可能是以纳米级颗粒迁移。另外,块体金的熔点是1064.4℃,而纳米级的金熔点只有327℃<sup>[30]</sup>,块体铜的熔点为1083.4℃<sup>[41]</sup>,而纳米铜的熔点小于500℃<sup>[42]</sup>。由于纳米级金属的这些奇异效应,可以推断:在岩浆分异、地幔脱气作用形成的气体中,纳米级金属元素(比如铜)的存在是有可能的,这些金属元素随

着峨眉山玄武岩的喷发,同挥发分一起喷出地表后,缓慢沉淀于沉积物和水体中,其被粘土和有机质等吸附,在有利的环境中形成铜矿床。比如在玄武岩喷发间歇期形成的沉积型铜矿和在峨眉山玄武岩顶部宣威组中形成的“马豆子”铜矿(另外发表),在“马豆子”式铜矿床矿石样电子探针BSE图形中,观察到金属矿物呈胶体絮凝状存在是一有利证据(图4)。

(5) 玄武岩浆从深部高温高压区往地表运移过程中,岩浆分异、脱气作用形成超临界的流体<sup>[41,43-46]</sup>,除部分金属元素可能以纳米级形式(如纳米粒级的铜具有低熔点)存在于流体中之外,硅也可能是以SiO<sub>2</sub>纳米级形式存在。因为峨眉山玄武岩普遍经历了深部富硅流体成矿作用<sup>[9,41]</sup>,该流体还有可能是还原性的流体(如流体中存在H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>)<sup>[47]</sup>,并与峨眉山地幔柱有关。深部流体运移至地表浅部与地下水相遇,改变了流体的临界点,纳米级的铜以自然铜形式析出,流体中的还原性气体(H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>)还原了流体中以离子或络合物形式存在的铜,也形成自然铜;硅则以二氧化硅胶体的形式形成玉髓和玛瑙,充填在玄武岩气孔中<sup>[48]</sup>。特别强调的是该流体还可能与浅部较冷的有机流体或古石油相遇,古石油受热变质为沥青<sup>[12]</sup>,同时,沥青的形成成为流体中络合物或离子形式存在的铜提供了还原条件,也为单质铜的吸附沉淀起了促进作用。比如产于淬碎玄武岩质角砾岩中的自然铜矿,自然铜呈饼状、薄片状穿插于沥青中。

根据以上讨论,本实验结果与峨眉山玄武岩



a. 粘土中凝胶状斑铜矿

b. 沥青中絮凝状斑铜矿

图4 “马豆子式”铜矿中的斑铜矿(bn)

自然铜矿形成的地质现象相符,有机质不仅可以为自然铜的形成提供还原环境,而且能起到吸附沉淀成矿的作用。

## 4 结论

(1) 矿物对铜胶体和铜离子的吸附具有相同的趋势,吸附率从高到低依次是硫化物类矿物、有机质(沥青)、粘土类矿物、硅酸盐岩类矿物。矿物对纳米铜的吸附率比矿物对铜离子的吸附率高10%~20%。

(2) 峨眉山玄武岩中自然铜矿的形成,铜可能以纳米粒级的形式迁移,深部流体携带了大量的铜,与地表浅部卤水、雨水或古石油相遇,改变流体临界点,部分纳米粒级形式存在的铜直接呈自然铜析出;古石油受热解形成沥青,并对流体中以离子或络合物形式存在的铜起到了还原和吸附作用。

致谢:感谢审稿人对本文提出的修改意见。

## 参考文献:

- [1] 王居里,郭建,刘忠奎,张云峰,张蓉,王伟涛,冯士信,冯娟萍,井继峰,李领军. 滇东北峨眉山玄武岩区的沉积型铜矿床[J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 663-671.
- [2] 刘远辉. 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, 2006, 23(1): 57-61.
- [3] 廖震文,胡光道. 一种非传统铜矿资源——黔西北地区峨眉山玄武岩铜矿地质特征及成因探讨[J]. 地质科技情报, 2006, 25(5): 47-56.
- [4] 钱壮志,侯曙光,章正军,姜常义,徐章宝,唐冬梅,高宏光. 滇东北会泽地区发现铝土质泥岩铜矿[J]. 地质通报, 2006, 25(4): 26-30.
- [5] 王晓刚,黎荣,蔡俐鹏,杨俊. 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, 2010, 30(2): 174-182.
- [6] 李厚民,毛景文,张长青,许虹,陈毓川,王登红. 滇黔交界地区玄武岩铜矿同位素地球化学特征[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 232-240.
- [7] 朱炳泉,张正伟,胡耀国. 滇东北发现具工业价值的火山凝灰角砾岩层控型铜矿床[J]. 地质通报, 2002, 21(829): 21.
- [8] 朱炳泉,常向阳,胡耀国,张正伟. 滇黔边界鲁甸沿河铜矿床的发现与峨眉山大火山岩省找矿新思路[J]. 地球科学进展, 2002, 17(6): 912-917.
- [9] 王砚耕,王尚彦. 峨眉山大火成岩省与玄武岩铜矿——以贵州二叠纪玄武岩分布区为例[J]. 贵州地质, 2003, 20(1): 5-10.
- [10] 张正伟,朱炳泉,常向阳,胡耀国. 黔西上二叠统玄武岩组上部发现黄铜矿化[J]. 矿物学报, 2003, 23(2): 102.
- [11] 毛景文,王志良,李厚民,王成玉,陈毓川. 云南鲁甸地区二叠纪玄武岩中铜矿床的碳氧同位素对成矿过程的指[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 610-615.
- [12] 李厚民,毛景文,张长青. 滇东北峨眉山玄武岩铜矿研究[M]. 北京:地质出版社, 2009: 22-25.
- [13] 覃瑜,周存中. 四川攀西地区铜矿主要类型、地质特征找矿标志与成矿预测[J]. 四川地质学报, 2009, 29(4): 422-425.
- [14] Drummond S E, Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems [J]. *Econ Geol*, 1985, 80: 126-147.
- [15] Hedenquist J W, Simmons S F, Giggenbach W F, Eldridge C S. White Island, New Zealand, volcanic-hydrothermal system represents the geochemical environment of high-sulfidation Cu and Au ore deposition [J]. *Geology*, 1993, 21(8): 731-734.
- [16] Hanley J J, Mungall J E, Pettke T, Spooner E T C, Bray C J. Ore metal redistribution by hydrocarbon-brine and hydrocarbon-halide melt phases, North Range footwall of the Sudbury Igneous Complex, Ontario, Canada [J]. *Mineralium Deposita*, 2005, 40(3): 237-256.
- [17] 张生,熊小林. 成矿元素的气相迁移与实验研究[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 68-75.
- [18] 冷成彪,张兴春,王守旭,秦朝建,吴孔文,任涛. 岩浆-热液体系成矿流体演化及其金属元素气相迁移研究进展[J]. 地质论评, 2009, 1(1): 100-112.
- [19] 夏树伟,高林娜. 高分子保护金属铜胶体催化剂的制备[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(1): 131-134.
- [20] Parks G A. Surface energy and absorption at mineral-water interfaces: An introduction [J]. *Review in Mineralogy*, 1990, 23: 133-175.
- [21] 吴大清,刁桂仪,魏俊峰. 矿物对金属离子的竞争吸附实验研究[J]. 地球化学, 1997, 26(6): 25-32.
- [22] 魏俊峰,吴大清. 矿物-水界面的表面离子化和络合反应模式[J]. 地球科学进展, 2000, 15(1): 90-96.
- [23] 吴大清,刁桂仪,魏俊峰. 矿物表面基团与表面作用[J]. 高校地质学报, 2000, 6(4): 225-232.
- [24] 张世柏,吴大清. 不同类型黄铁矿对金的吸附实验[J]. 地球化学, 1996, 25(1): 84-92.
- [25] 吴宏海,吴大清,彭金莲. 重金属离子与石英表面反应的实验研究[J]. 地球化学, 1998, 27: 523-531.
- [26] 吴宏海,吴大清. 微量元素与矿物表面反应研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(3): 191-196.

- [27] 姜泽春, 莫德明, 陈大梅. 极性矿物对纳米金的吸附实验[J]. 矿物学报, 1999, 19(3): 358-361.
- [28] 王敏, 孙晓明. 华南黑色岩系铂多金属矿床地质地球化学及成因[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(5): 98-102.
- [29] 朱笑青, 王中刚. 纳米粒子 胶体溶液 吸附作用 对某些金属矿床成因的探讨[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 82-85.
- [30] 章振根, 姜泽春. 纳米矿床学——一门有前途的新科学[J]. 矿产与地质, 1993, 7(3): 161-165.
- [31] 张小平. 胶体界面与吸附教程[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2008.
- [32] 朱笑青, 章振根, 姜泽春. 黔西南卡林型金矿成因的实验研究[J]. 科学通报, 1998, 43(22): 2431-2433.
- [33] Joron J L, Le Guern F, Treuil M. Geochemical study of elements condensed during cooling of a gaseous volcanic phase: Mount Etnain, 1976 [J]. *Bull Volcanol*, 1982, 45(3): 167-172.
- [34] Olmest I, Finnegan D L, Zoller W H. Iridium emissions from Kilauea Volcano [J]. *J Geophysical Research*, 1986, 91(B1): 653-663.
- [35] Quisefit J P, Toutain J P, Bergametti G, Javoy M, Cheynet B, Person A. Evolution versus cooling of gaseous volcanic emissions from Momotombo Volcano, Nicaragua: Thermochemical model and observations [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(10): 2591-2608.
- [36] Hedenquist J W, Aoki M, Shinohara H. Flux of volatiles and ore-forming metals from the magmatic-hydrothermal system of Satsuma Iwojima volcano [J]. *Geology*, 1994, 22: 585-588.
- [37] Taran Y A, Bernard A, Gavilanes J, et al. Native gold in mineral precipitates from high-temperature volcanic gases of Colima volcano, Mexico [J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15: 337-346.
- [38] 董纯菡, 李巨初, 葛良全. 地气物质纳米微粒的实验观测及其意义[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(2): 153-156.
- [39] Symonds R B, Rose W I, Reed M H, Lichte F E, Finnegan D L. Volatilization, transport and sublimation of metallic and non-metallic elements in high temperature gases at Merapi Volcano, Indonesia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51(8): 2083-2101.
- [40] Wilkinson J, Herrington R and Nolan J. The Behavior of Colloidal Gold and Silica in Hydrothermal Systems: An Experimental and Field Study Annual report of Imperial College of Science [J]. *Technology and Medicine*, 1992, 25: 30-31.
- [41] 刘显凡, 刘家铎, 张成江, 吴德超, 李佑国, 阳正熙. 地幔柱和地幔流体作用与深部找矿应用研究[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 93-102.
- [42] 刘伟, 邓晓燕, 张志. 纳米铜粒子的热稳定性研究[J]. 理化检验-物理分册, 2004, 40(2): 64-67.
- [43] 杜乐天. 当代地球科学的一项重大前沿课题——幔汁研究[J]. 地球科学进展, 1990, 1(1): 42-48.
- [44] 曹荣龙, 朱寿华. 地幔流体与成矿作用[J]. 地球科学进展, 1995, 10(4): 323-329.
- [45] 杜乐天. 地幔流体与玄武岩及碱性岩岩浆成因[J]. 地学前缘, 1998, 5(3): 145-157.
- [46] 刘伟, 张玲, 赵百胜, 熊曼, 蔡志超. 超临界成矿流体研究及其展望[J]. 矿产与地质, 2003, 17(6): 663-668.
- [47] 张铭杰, 王先彬. 地幔流体组成[J]. 地学前缘, 2000, 7(2): 401-412.
- [48] 朱笑青, 王富东, 黄艳, 张正伟. 滇黔临近地区与峨眉山玄武岩有关铜矿的多样性与特殊性[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(增): 250-251.

## An Experimental Study on Genesis of Emeishan Basalt-Related Native Copper Deposit in the Sichuan-Yunnan-Guizhou Area

WANG Fu-dong<sup>1,2</sup>, ZHU Xiao-qing<sup>1</sup>, HAN Tao<sup>1,2</sup>, WANG Zhong-gang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** This study selected deferent minerals from Emeishan basalt-related native Cu deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou area for colloid Cu and Cu<sup>2+</sup> solution adsorption investigations under room temperature and neutral pH conditions. Adsorption rate of colloid Cu and Cu<sup>2+</sup> solution by different minerals decreases according the order of sulfides, organic matters (bitumen), clay minerals and silicates. The adsorption result is consistent with the fact that native Cu in the Sichuan-Yunan-Guizhou area is mostly hosted in basaltic breccias and aluminous-clayey sedimentary rocks. Native Cu is generally associated with organic matters, which are ideal adsorbent, indicating reducing conditions during ore forming stage. This study also discussed Cu migrating ways in the Emeishan basalt-related Cu deposits. Cu can migrate not only in forms of ions or complexes, but also in nanometer-level simple substances.

**Key words:** Emeishan basalt; native copper; nano; genesis of ore deposit; adsorption experiment