

# 江西德兴铜厂斑岩铜矿床 成矿金属物质的正岩浆来源\*

金章东 朱金初 李福春

(南京大学地球科学系, 南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京)

**提 要:** 在讨论了目前对德兴铜厂斑岩铜矿床外围铜含量降低场的过分强调而忽略对引发成矿作用的斑岩体的研究之后, 作者论述了 Rb/Sr 比值和 Sr 同位素组成自斑岩体中心至接触带的变化规律、铜品位空间分布分形结构以及流体包裹体研究等对 Cu、Mo 等金属成矿物质正岩浆模式来源的支持。

**关键词:** 斑岩铜矿 成矿元素 正岩浆来源 江西德兴

关于江西德兴特大型斑岩铜矿床的成矿金属物质的来源问题一直存在分歧<sup>[1,2,4]</sup>, 并且近几年来已由正岩浆模式逐渐偏向于围岩提供主要成矿物质的观点, 其中后者是以矿床外围 2~5 km 范围内围岩中铜含量降低场的存在为重要依据的。笔者根据近年来对斑岩铜矿和德兴铜厂矿床的研究和考察, 觉得目前有关对该矿床成矿金属来源研究存在一些误区, 而有些误区也是矿床成因研究中经常存在的。同时, 结合近来的一些研究新成果认为, 铜厂斑岩铜矿床符合正岩浆成因模式。

## 1 目前研究误区

### 1.1 关于降低场

元素地球化学异常场的存在表明在一定地质作用下某些元素发生了活化迁移, 于是德兴斑岩铜矿外围 2~5 km 铜含量降低场的存在成了成矿物质来自围岩论点的最直接证据。然而, 如果降低场的存在是由于浅成岩浆侵入和热液活动引起一定范围内成矿物质发生迁移变化的结果, 那么, 对于岩石层位和岩性完全相同的正常场和降低场之间铜的含量应是渐变的, 而不应该象断层一样的突变(见参考文献 [2] 中图 1-1-1)。同时, 作为铜含量降低场和正常场划分依据的围岩样品主要采自地表或近地表, 而矿体周围则由于勘探生产控矿的需要可得到大量深部钻孔样品, 于此, 对围岩铜含量降低场分布是否只是一个(近)地表的、片面的评估是值得怀疑的。而要系统地评价外围地层目前尚不可能, 因此该降低场至多只能限制地描述为“(近)地表降低场”。结合矿田范围内广泛存在的、由赣东北深大断裂衍生的北东—北北东向和北西向区域性 II 级断裂体系的产状特征, 该降低场极可能与断裂体系有关, 因为 II 级断裂体系不仅控制了铜矿化岩体的定位, 也控制了区域 Cu、Mo 等成矿元素地

\* 本文为国家自然科学基金资助项目(编号为 49733120)

金章东, 男, 27 岁, 博士生, 就读于南京大学地球科学系, 地球化学专业。邮政编码: 210093

球化学异常的分布形态,并且区域断裂体系骨架与降低场形态基本吻合。正常场和降低场之间的界线可以称为“地球化学降低场断层”或“地球化学断层降低场”。

另外,如果矿质确实来自所谓的外围铜含量降低场的千枚岩,并受岩浆热能作用大气降水侧向从围岩中淋漓出金属物质而在中心成矿,那么按照水-岩交换理论计算,受大气降水淋滤交换后的围岩应有较低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,向矿体中心蚀变岩石 $\delta^{18}\text{O}$ 值将有逐渐升高的现象。然而,季克俭等<sup>[2]</sup>提供的数据及张理刚等<sup>[3]</sup>在水-岩体系氢氧同位素演化研究中可以发现,铜厂斑岩铜矿体以南的千枚岩内并没有出现 $\delta^{18}\text{O}$ 值降低场,矿体以北反而出现 $\delta^{18}\text{O}$ 值升高现象,即蚀变围岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大于花岗闪长斑岩。因此,张理刚等<sup>[3]</sup>认为热液活动中水-岩交换反应是由斑岩体内5个低 $\delta^{18}\text{O}$ 值中心垂直向上并向外扩散进行的。

### 1.2 关于成矿物质来源的实验材料和条件

有关铜厂斑岩铜矿成矿物质来源的实验<sup>[4]</sup>证明围岩中金属元素在一定条件下可以活化,并以 $(\text{CuCl})^0$ 、 $[\text{HM}_6\text{O}]^+$ 等稳定络合物形式迁移,为成矿物质可能多来源、热液成矿金属可以从围岩中来的新概念提供了实验依据,具有开拓性和启迪意义。然而,该实验仅能证明围岩中的成矿物质可以在一定条件下活化迁移,具备提供金属储量的能力,并不能确定现存矿体中的金属是来自围岩的,更不能断言降低场围岩即是矿源层。同时,采用取自斑岩体内“未矿化蚀变”的花岗闪长斑岩样品,以它们代表母岩浆成分,并用来讨论Cu、Mo、Pb、Zn等成矿金属的活化量也是不完全恰当的。因为在上侵冷却结晶过程中,原始岩浆的挥发分、金属物质的组分和赋存形式都发生过变化。特别是矿化斑岩岩浆这种富含金属、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、Cl、F等强溶解性挥发组分的体系,在上侵岩浆流体演化及成矿过程中金属成分、挥发分及含水量等都将因迁移、富集而完全改变原始岩浆的组成<sup>[5-8]</sup>。其实,矿化还是未矿化只是一个生产性质的名词,对成因机制的探讨并非要进行严格划分,相反类似的名词归类常会形成误导,如常将岩体下部“未矿化”的岩石当作未发生任何变化、代表原始岩浆成分的代名词。

对于该实验所选择的实验参数包括温度 $250\sim 400^\circ\text{C}$ 和反应溶液的pH值 $1.5\sim 4.5$ <sup>[4]</sup>,也是值得进一步斟酌的。对于矿体主要赋存在以绢云母化、硅化为主的强蚀变带、向外矿化和蚀变强度均显著减弱不构成矿体的斑岩铜矿床,在远离斑岩体 $2\sim 5\text{ km}$ 范围即所谓的铜含量降低场内,并且以绿帘石化、伊利石化等低温蚀变为主的围岩能否达到该实验所设定的高至 $400^\circ\text{C}$ 、 $\text{pH}=1.5$ 的强酸性环境是需要进一步考虑的。根据包裹体测温资料,成矿流体主要呈碱性—弱碱性。

### 1.3 关于对斑岩体研究的忽略

在接受上述“(近)地表铜含量降低场”的地质证据之后,目前对该矿区的研究主要侧重于围岩和接触带的探讨,而严重忽略了对引发成矿作用、并提供成矿物质包括金属物质、水、热源等的斑岩体的研究。当然,对斑岩体的研究存在许多障碍,如温度场、流体演化、金属迁移途径和形式等,其中能否得到代表母岩浆的原始组成包括金属元素含量、挥发分组成等是最困难的,因为在岩浆侵入结晶期间各种组分已发生了许多复杂的变化,但这并不表明允许我们忽略对斑岩体本身的研究。相反,对于斑岩体形成过程中热液流体的演化行为和铜等金属元素的迁移形式以及与地下水混合机制,是一个很有意义的研究方向,将有助于解决成矿金属物质来源问题。笔者目前正在参与有关的国家自然科学基金研究课题,近来已取

得不少的新成果。

## 2 斑岩体成矿流体和金属来源研究的新认识

### 2.1 Rb/Sr 比值和锶同位素对铜迁移途径的指示意义

大量研究表明,热液体系中锶同位素与铜等成矿金属的表现行为基本一致,因此,可利用 Rb/Sr 比值和锶同位素的空间变化规律来指示斑岩铜矿等与岩浆有关矿床形成期间成矿元素的迁移行为。通过对铜厂斑岩体及围岩的一系列样品分析测试表明,Rb/Sr 比值、锶同位素与铜含量的变化具正相关关系。由斑岩体中心至围岩接触带,Rb/Sr 比值和铜含量均呈增高趋势。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值的变化完全不是受外来物质的混染,而是斑岩体(侵入年代为  $1.50 \times 10^8 \sim 1.63 \times 10^8 \text{ a}^{[1]}$ )自形成以来放射性成因 Sr 叠加作用的结果。围岩中靠近接触带 Rb/Sr 比值的变化明显大于区域千枚岩 Rb/Sr 组成的变化,表明斑岩体中部分 Sr 在流体演化过程中由岩体向接触带发生了迁移,从而说明铜等金属物质是从岩体中心迁移至主要成矿部位——接触带的<sup>[8]</sup>,这符合斑岩铜矿床的正岩浆模式。同时也表明锶同位素是研究或推测古热液流体体系演化的有用工具。

### 2.2 铜品位空间分布的分形结构

那么作为表征热液流体成矿作用最主要的函数变量——铜品位本身在铜厂斑岩体内又有何特征呢?首先,铜厂花岗闪长斑岩的 Cu、Mo 等成矿元素的平均含量均明显高于正常花岗闪长斑岩(如 Cu 的平均含量达  $230 \times 10^{-6}$ ,比正常高出 15 倍以上),并且铜含量由斑岩体上部至下部的变化具渐变性,且十分缓慢,如 ZK006 自 45.49 m 至 484.11 m 铜含量从 0.44% 降至 0.11%。其次,在侵入岩浆演化结晶过程中,作为来自单一体系的、易于进入热液流体中富集、迁移的成矿元素如 Cu、Mo 等,它们的空间分布特征应具有分形结构,如果有外来铜的掺入将从铜品位分形的精细结构特征中表现出来。通过对基本控制了铜厂斑岩体产状的七个钻孔铜品位空间分布的分形结构研究表明,该斑岩体铜品位空间分布结构具统计自相似性或标度不变性。铜品位分数维值由斑岩体南东侧(下盘)向北西侧(上盘)逐渐增大(1.39→3.75),并在上盘表现为双重分维结构,表明铜厂斑岩体内的铜主要来源于自身岩浆体系,围岩矿质只掺入于斑岩体上盘底部的低品位区,并且围岩对成矿物质的贡献是很小且局部的,而不是矿源层。铜品位分形结构特征还表明,因流体固有的垂向、侧向流动的方向性流体势,越靠近斑岩体上盘,分维值越大,矿化越好。这与实际的矿床地质特征相吻合。

### 2.3 流体包裹体研究

作为反映岩浆及流体演化不同状态和阶段的最直接证据——岩浆熔体包裹体、流体包裹体一直是斑岩铜矿床研究过程中关注的对象,近年来已取得了越来越多的突破性成果。然而,在注意时间上演化阶段研究的同时,始终没有结合空间上的变化性,从而造成许多无法解释或相互矛盾的现象。在最近的研究过程中,作者特别重视样品在斑岩体中的空间位置,争取做到更合理地解释岩浆流体演化的时间-空间函数变化规律,并越来越感到该因素的重要性。

在研究中发现,靠近斑岩体中心和下部的样品易于找到熔体包裹体和多相包裹体,而靠

近上部和接触带的多为两相包裹体如气液两相包裹体或含  $\text{CO}_2$  包裹体, 过渡带则多为中间状态, 也较为复杂。其中, 熔体包裹体和多相包裹体的研究将有助于对岩浆初始状态的认识, 而岩浆演化的不混溶流体则可以在共存的高温 ( $500 \sim 600^\circ\text{C}$ )、高盐度 ( $40\% \sim 60\% \text{NaCl}$ ) 流体包裹体和富含  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$  等挥发分的低盐度 ( $1\% \sim 2\% \text{NaCl}$ ) 流体包裹体之间的共生关系得到证实。其实, 不同空间部位流体包裹体的赋存特征也可以反映热液流体时间上的演化规律。反之, 对于各岩浆体系中不同类型包裹体的研究可以针对性地在岩体不同部位进行采样分析。在铜厂斑岩铜矿包裹体样品的研究过程中, 高盐度的流体包裹体内总可以发现富含铜的暗色子矿物与石盐、钾盐共存现象, 这表明铜等成矿元素可能以某种形式随气液流体进行迁移、富集<sup>[8]</sup>。此与有关  $\text{Cu}$ 、 $\text{Mo}$  在熔体与  $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$  超临界流体之间<sup>[9]</sup>和人造花岗岩- $\text{H}_2\text{O-HCl}$  及人造花岗岩- $\text{H}_2\text{O-HF}$  体系中<sup>[10]</sup>易于以  $(\text{CuCl})^0$ 、 $(\text{CuCl})^-$ 、 $(\text{HMoO}_4)^+$  等稳定络合物形式与  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  等一起进入热液流体发生迁移的配分实验结果相吻合。有关该类型包裹体和富含铜的暗色子矿物的形成机理及成因意义正在进一步探讨中。

#### 参 考 文 献

- 1 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶等. 德兴斑岩铜矿. 北京: 地质出版社. 1983, 1~336.
- 2 季克俭, 吴学汉, 张国柄. 热液矿床的矿源水源和热源及矿床分布规律. 北京: 北京科学技术出版社. 1989, 3~22.
- 3 张理刚, 刘敬秀, 陈振胜等. 江西德兴铜厂铜矿水-岩体系氢氧同位素演化. 地质科学, 1996, 31 (3): 250~263.
- 4 梁祥济. 江西德兴斑岩铜矿成矿物质来源的实验研究. 地质论评, 1995, 41 (5): 463~471.
- 5 Cline J S and Bodnar R J. Can economic porphyry copper mineralization be generated by a typical calc-alkaline melt? JGR, 1991, 96: 8113~8126.
- 6 Hedenquist J W and Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature, 1994, 370: 519~527.
- 7 Keith J D and Shanks W C. Chemical evolution and volatile fugacities of the Pine Grove porphyry Molybdenum and ash-flow tuff system, Southwestern Utah. Canadian Mining and Metallurgy, 1988, 39: 402~423.
- 8 Lowenstern J B, Mahood G A, Rivers M L et al. Evidence for extreme partitioning of copper into a magmatic vapor phase. Science, 1991, 252: 1405~1409.
- 9 Candela P A and Holland H D. The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids. Geochim. Cosmochim. Acta., 1984, 48 (2): 373~386.
- 10 Keppler H and Wyllie P J. Partitioning of Cu, Mo, Sn, W, U and Th between melt and aqueous fluid in the systems haplogranite- $\text{H}_2\text{O-HCl}$  and haplogranite- $\text{H}_2\text{O-HF}$ . Contrib. Mineral Petrol., 1991, 109: 139~150.