

# 西范坪铜矿成矿作用初步研究

## ——兼论还原硫对斑岩铜矿成矿的制约

王奖臻<sup>1,2</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 李泽琴<sup>2</sup>, 孙 燕<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 成都理工学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 对西范坪斑岩铜矿的蚀变作用、流体包裹体特征等进行了研究, 指出该矿床是由两期岩浆流体叠加作用所形成的。第一期热液作用形成了磁铁矿化和黑云母化, 并形成了无矿石英脉; 第二期热液形成了阳起石化; 早晚两期热液的混合引起了钾长石化及强烈的矿化。由于第二期流体的叠加, 将还原硫( $H_2S$ )带到浅部, 并与第一期富铜的高盐度流体相混合, 从而形成铜硫化物的沉淀。第二期富含还原硫流体的加入, 是西范坪斑岩铜矿床形成的重要控制因素之一。

**关键词:** 斑岩铜矿床; 还原硫; 叠加蚀变

中图分类号: P618.410.671 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2001)03-0183-04

近年来大量研究表明, 斑岩铜矿成矿岩浆结晶作用的晚期会产生以水为主的流体相的分馏作用; 在较低压力( $5 \times 10^8 \text{ Pa}$ )条件下, 析出的流体相又会进一步分为低密度气相和高盐度液相<sup>[1,2]</sup>。气相倾向于上升或者以火山喷气的形式散逸到大气中, 而高盐度流体引起矿化和蚀变<sup>[3,4]</sup>。进一步的研究表明, 斑岩铜矿成矿流体的分异过程中, 铜主要以氯络合物形式进入高盐度液相, 而硫则主要呈  $H_2S$  或  $SO_2$  形式进入气相<sup>[5]</sup>。气相中  $H_2S$  及  $SO_2$  的相对含量, 即  $H_2S/SO_2$  的比值主要受分异时的压力所控制, 较低压力下分馏出的气相以  $SO_2$  为主, 而较高压力下分馏出的气相以  $H_2S$  为主<sup>[6,7]</sup>。另外, 斑岩铜矿中的原生铜矿物都是以硫化物形式出现。由这些结果可以推断, 在岩浆-热液作用的早期, 即斑岩铜矿成矿的早期阶段, 铜和硫是分开搬运的; 而在成矿晚期又需要大量的硫才能形成铜的硫化物。因此, 从早期铜、硫的分离到晚期二者以硫化物形式沉淀成矿的演化机制, 或者说成矿晚期有无还原硫的加入及其加入的途径成了斑岩铜矿成矿的关键因素。

## 1 西范坪铜矿成矿过程中岩浆热液的叠加及硫加入的可能途径

### 1.1 岩体的侵入序次

四川省盐源县西范坪斑岩铜矿床位于扬子地台西缘, 成矿岩体属于哀牢山—金沙江喜马拉雅期富碱侵入岩带的组成部分<sup>[8]</sup>。区内出露的喜马拉雅期斑岩体主要为 56 号、88 号、98 号以及 80 号岩体(图 1)。前两个岩体的岩性为粗粒斑状黑云角闪石英二长斑岩, 98 号岩体为中细粒斑状黑云母石英二长斑岩。根据接触关系确定各岩体的侵入顺序为: 56 号岩体→80 号岩体→58 号岩体。80 号岩体为矿化主岩, 经钻孔揭露, 它是一个由两种岩性组成的复式岩体, 浅部(300 m 以上)为粗粒斑状黑云石英二长斑岩, 深部为粗粒斑状角闪石英二长斑岩; 根据二者的空间产出关系、涌动式接触关系与蚀变的叠加关系推断, 浅部的黑云石英二长斑岩比深部的角闪石英二长斑岩的侵位晚, 但相隔时间不长。

### 1.2 矿化岩体的叠加蚀变作用

矿化岩体即 80 号岩体中共发育 3 期热液蚀变

收稿日期: 2001-04-28 收到, 05-29 改回

基金项目: 国家杰出青年科学基金(49925309)和中国博士后基金资助项目

第一作者简介: 王奖臻(1959—), 男, 汉, 副教授, 矿床地球化学专业。

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作用:早期蚀变、矿化蚀变和晚期蚀变。早期蚀变分布于 80 号岩体浅部的粗粒斑状黑云石英二长斑岩中,表现为磁铁矿化、黑云母化及硅化。磁铁矿化表现为细粒热液成因磁铁矿交代岩浆成因黑云母或基质,黑云母化表现为碎片状次生黑云母假象交代黑云母斑晶。根据黑云母镁质系数与温度的相关关系<sup>[9]</sup>,求得次生黑云母的形成温度为 650℃左右。早期硅化以形成纯的石英细脉为特征,石英细脉的脉壁弯曲不平,且连续性差,脉石英流体包裹体的均一温度达 600℃<sup>①</sup>。根据上述早期蚀变矿物的高温及早期石英脉的弯曲形态,推断早期蚀变可能是在第一期的粗粒斑状黑云石英二长斑岩尚处于塑性状态时发生的。

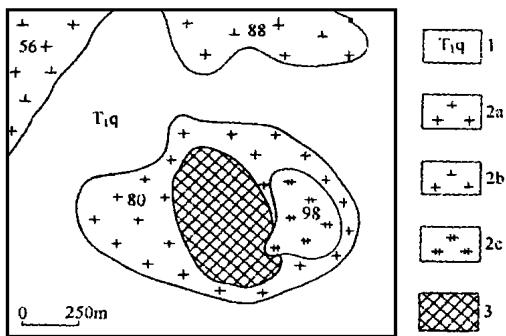


图 1 西范坪斑岩铜矿床地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Xifanping porphyry copper deposit

1. 下三叠统青天堡组; 2. 岩体及其编号(a. 粗粒斑状黑云石英二长斑岩, b. 粗粒斑状黑云角闪石英二长斑岩 c. 中细粒斑状黑云母石英二长斑岩); 3. 工业矿体

矿化蚀变包括钾硅酸盐化和阳起石化。钾硅酸盐化主要见于 80 号岩体上部的粗粒斑状黑云石英二长斑岩中,以形成细脉状黑云母+钾长石为特征,伴随大量黄铜矿及斑铜矿的沉淀,从而造成工业矿化。阳起石化是与第二期的粗粒斑状角闪石英二长斑岩的侵入有关的蚀变,主要表现为形成阳起石+石英+黄铜矿+黄铁矿细脉,以及阳起石交代角闪石与黑云母斑晶。阳起石化主要见于 80 号岩体深部,部分叠加于浅部的钾硅酸盐化蚀变之上,表现为阳起石+石英+黄铜矿+黄铁矿细脉切割了黑云母+钾长石+石英+黄铜矿+黄铁矿细脉。晚期蚀变

主要有黄铁绢英化、钠长石化和绿泥石化。这些蚀变主要分布于 80 号岩体的边部,局部叠加于钾硅酸盐化和阳起石化之上。

由上述蚀变的时、空分布特征可以推断,80 号岩体中早期岩浆流体形成了早期蚀变,晚期岩浆流体形成了阳起石化,而两期岩浆流体的混合形成了钾硅酸盐化和矿化。

### 1.3 蚀变岩石的“额外”K<sub>2</sub>O 问题

西范坪斑岩铜矿床中,未蚀变的 56 号岩体的粗粒斑状黑云角闪石英二长斑岩的 K<sub>2</sub>O 及 Na<sub>2</sub>O 的含量分别为 3.64%~4.38%和 4.53%~5.91%,碱的总量为 8.62%~9.55%,Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O,且二者有一定的相关性(图 2)。而 80 号岩体中钾硅酸盐化的粗粒斑状黑云石英二长斑岩的 K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 的含量分别为 5.37%~9.56%和 2.22%~4.97%,碱的总量为 9.06%~11.88%,Na<sub>2</sub>O<K<sub>2</sub>O,且二者没有相关性(图 2)。这些特征表明,在钾硅酸盐化过程中,K<sub>2</sub>O 除了来自粗粒斑状黑云石英二长斑岩之外,尚有额外 K<sub>2</sub>O 的带入。从蚀变岩石的时、空分布特征来看,这些额外的 K<sub>2</sub>O 应来自 80 号岩体深部,即为粗粒斑状角闪石英二长斑岩分泌出的岩浆热液。这一推断与半开放体系的热液作用中钾比钠更活泼,因而更倾向于离开热源,并向上迁移的普遍规律<sup>[10]</sup>相一致。

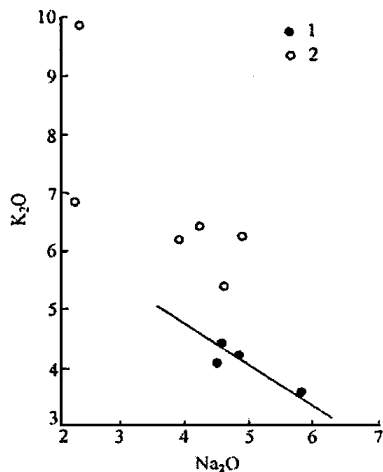


图 2 西范坪铜矿床 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O 变异图

Fig. 2 K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O diagram of altered rocks(2) and unaltered rocks in the Xifanping deposit  
1. 56 号岩体(未蚀变岩); 2. 80 号岩体(蚀变岩)

### 1.4 流体包裹体特征

流体包裹体特征研究表明,矿床中至少存在三种流体包裹体。早期蚀变形成的无矿石英细脉中,有大量含子晶的气液包裹体(A型)及少量富气相( $V_L > 80\%$ )的气液包裹体(B型)。A型包裹体中的子晶主要为石盐和钾石盐,偶见硬石膏,但没有硫化物子晶。这类包裹体的捕获温度大于 $600^\circ\text{C}$ 。而在钾硅酸盐化阶段形成的黑云母+钾长石+石英+黄铜矿+黄铁矿脉内石英中的流体包裹体(C型),虽然也是含子晶的气液包裹体,但是其子矿物为石盐和硫化物,捕获温度为 $300\sim 370^\circ\text{C}$ <sup>[11]</sup>。由此可以推断,早期成矿流体虽然含大量氯以及铜等成矿元素,但是由于缺乏还原硫,因而没有形成铜的硫化物,只形成了无矿石英脉。而在钾硅酸盐化阶段,成矿流体不仅含有大量铜,而且含有丰富的还原硫,从而形成了铜的硫化物。

## 2 成矿过程分析

喜马拉雅期伴随区域性拉张作用,含矿岩浆沿区内两组隐伏断裂的交汇部位上侵,首先形成了粗粒斑状黑云石英二长斑岩。由于岩浆定位较浅,在岩浆冷凝结晶过程中分泌出富含 $\text{SO}_2$ 的气体和富含铜的高盐度流体。由于岩体定位较浅,气相沿断层以火山喷气形式逸出地表(矿区残存有火山角砾),高盐度卤水引起早期蚀变。稍后第二次岩浆上侵,形成了粗粒斑状角闪石英二长斑岩,岩浆在冷凝过程中同样分泌出大量成矿流体。由于该岩体定位较深,所分泌出的流体以富含 $\text{H}_2\text{S}$ 的气相为主。这种以 $\text{H}_2\text{S}$ 为主的气相向上运移,并与第一期富含铜的高盐度流体混合,从而引起铜的大量沉淀,产生强烈矿化,并伴随钾硅酸盐化蚀变。与此同时,第二期流体中的液相部分在粗粒斑状角闪石英二长斑岩中引起了阳起石化与弱的铜矿化(图3)。

## 3 讨论与结论

西范坪斑岩铜矿成矿主岩80号岩体是一个由相隔时间很短的两期岩浆侵入事件形成的复式岩体。第一期岩浆侵入深度比较浅,形成粗粒斑状黑云石英二长斑岩。第二期岩浆侵入深度较大,形成

粗粒斑状角闪石英二长斑岩。伴随岩浆侵入先后分泌出了两期岩浆热液,第一期热液形成了早期磁铁矿化及黑云母化,以及无矿石英脉,第二期热液形成了阳起石化;早晚两期热液的混合引起了钾硅酸盐化及矿化。第二期热液所提供的还原硫( $\text{H}_2\text{S}$ )是造成铜从热液中沉淀的主要原因。由于流体的叠加,将深部岩体分泌出来的 $\text{K}_2\text{O}$ 带到浅部,从而造成粗粒斑状黑云石英二长斑岩 $\text{K}_2\text{O}$ 含量的大幅度升高。

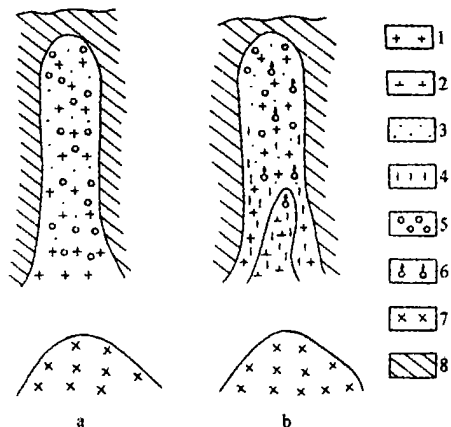


图3 西范坪铜矿两阶段岩浆流体叠加成矿模式

Fig. 3 The deposit model on superimposition of fluids for Xifanping deposit

1. 粗粒斑状黑云石英二长斑岩; 2. 粗粒斑状角闪石英二长斑岩; 3. 深部岩浆房; 4. 磁铁矿黑云母化; 5. 第一期富铜热液; 6. 第二期富 $\text{H}_2\text{S}$ 流体; 7. 阳起石化; 8. 下三叠统青天堡组(a. 为第一阶段, b. 为第二阶段)

根据西范坪斑岩铜矿床中铜矿物和全部硫化物的数量比,估计矿床形成时成矿体系中总的 $\text{Cu S}$ 约为 $1:1\ 000$ 。设原始长英质岩浆的比重为 $2.5\ \text{g}/\text{cm}^3$ 、硫含量为 $500 \times 10^{-6}$ <sup>[12]</sup>,那么要形成这个50万t的铜矿床,所需的硫为 $5.0 \times 10^4$ 万t,而提供这样多的硫所需的长英质岩浆的最小体积为 $280\ \text{km}^3$ 。这一体积远远大于现在所见到的矿床主岩(80号岩体)的体积,可能比矿床深部岩浆房的体积大得多。由此可以推断矿床的硫不可能全部来源于已出露的长英质斑岩,亦不可能全部来自深部的长英质岩浆房,而应该有“外来硫”的加入。结合矿床中硫化物的硫同位素与陨石硫的相近( $1.56\text{‰}$ )<sup>①</sup>,以及内有同时代的基性岩浆侵入活动<sup>[13]</sup>的事实推断,矿床的硫大

①成都理工大学. 四川盐源西范坪喜马拉雅期斑岩铜(金)矿综合评价研究报告. 1997

部分是由同时活动的玄武质岩浆的排气作用所提供。

在斑岩铜矿成矿过程中,不仅要求有足够的铜,而且要求有大量的硫从岩浆中分离出来进入流体相。由于在分异过程中,铜倾向于进入液相,而硫倾向于进入气相,因此大多数的铜与硫是分离迁移的。因而要形成矿床,就必须具备能使两者相结合的条件。基于此,可以将斑岩铜矿的成矿环境划分为两类:一类是在岩浆活动过程中,成矿岩体的侵入较深,没有发生火山喷气作用,岩浆中所分泌出的硫不会散失,并都能用于成矿;这种情况下往往可以形成大型乃至超大型矿床如玉龙斑岩铜矿。另一类是在成矿岩浆侵入过程中伴有火山作用,从而导致早期分泌出的硫大量散失,因此这种情况下只能形成中、小型矿床如西范坪铜矿。

#### 参考文献:

[1] Hedenquist J W, Lowenstem J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits [ J ] . *Nature*, 1994, 370: 519—527.

[2] Lowenstem J B. Dissolved volatile concentrations in an ore-forming magma [ J ] . *Geology*, 1994, 22: 893—896.

[3] Dilles J H. Petrology of the Yerington batholith, Nevada: Evidence for evolution of porphyry copper ore fluids [ J ] . *Econ. Geol.*, 1987, 82: 1750—1789.

[4] Gammons C H, Williams-Jones AE. Chemical mobility of gold in the porphyry-epithermal Environment [ J ] . *Econ. Geol.*, 1997, 92: 45—59.

[5] Heinrich C A, Gunther D, Audetat A, *et al.* Metal fraction between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions [ J ] . *Geology*, 1999, 27: 788—758.

[6] Giggenbach W F. The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems [ A ] . Bames H L, *et al.* *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 3<sup>rd</sup> ed [ C ] . New York: Wiley Interscience, 1997. 737—796.

[7] Fournier R O. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment [ J ] . *Econ. Geol.*, 1999, 94: 1193—1211.

[8] 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽, 袁牢山. 金沙江带富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究 [ J ] . *岩石学报*, 1987, (1): 17—25.

[9] Wones D R, Eugster H P. Stability of biotite, Experiment, theory, and application [ J ] . *American Mineralogist* 1965, 50: 1228—1272.

[10] 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理——重论热液作用和岩浆作用 [ M ] . 北京: 科学出版社, 1996. 140—230.

[11] 肖渊甫, 孙燕, 陆彦, 等. 西范坪斑岩铜矿床流体包裹体地球化学特征 [ J ] . *地质地球化学*, 2000, (1): 53—57.

[12] Whitney J A, Stover J C. Igneous sulfides in the Fish canyon tuff and the role of sulfur in calc-alkaline magmas [ J ] . *Geology*, 1983, 11: 99—102.

[13] 邓万明, 黄董, 钟大赉, 等. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因 [ J ] . *地质科学*, 1998, 33: 412—425.

## A Study on Mineralization of the Xifanping Deposit

### ——The Role of Reduced-Sulfur in the Formation of Porphyry Copper Deposit

WANG Jiang-zhen<sup>1,2</sup>, HU Rui-zhong<sup>1</sup>, LI Ze-qin<sup>1,2</sup>, SUN Yan<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou, Guiyang 550002, China;*

2. *Chengdu Institute of Technology, Sichuan, Chengdu 610059, China*)

**Abstract:** It has been proved that a large amount of reduced-sulfur is necessary for the formation of porphyry copper deposit. At shallow crustal depths, the magma fluid will be partitioning into two phases: liquid and vapor (eg. Hedenquist and Lowenstem, 1994). Sulfur tend to get into vapor, while copper tend to get into liquid along with chlorine (eg. Heinrich et al, 1999). So it is very important to understand how the two fluids mix and make the copper to precipitate as sulfides, which have been seen in all of the porphyry copper deposits. The ore body of the Xifanping porphyry copper deposit is centered in two porphyry intrusions. One is exposed, another is covered about 300 meters under the surface. The former intruded earlier than the later. Each of them secreted fluid during their ascent and cooling. The vapor from the earlier fluid escaped from intrusion into air. But the liquid from the earlier fluid did not leave the site of intrusion. When the later fluid superimposed on the earlier one, it provide reduced-sulfur. As a result, a intensive mineralization occurred. And actinolite alteration superimposed on the potassium-silicate alteration. Some fluid inclusion evidences were provided in the paper, which proved the role of the later fluid in the mineralization.

**Key words:** porphyry copper deposit; alteration; induction of reduced-sulfur