

# 安徽铜陵凤凰山铜（金）矿床矽卡岩型与斑岩型复合成矿作用流体研究\*

## Fluid characteristics of the Fenghuangshan copper (gold) skarn-porphyry deposit in Tongling, Anhui Province

赖健清<sup>1,2</sup>, Guoxiang Chi<sup>2</sup>, 彭省临<sup>1</sup>, 杨斌<sup>1</sup>, 邵拥军<sup>1</sup>

(1 中南大学地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 2 Department of Geology, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada S4S 0A2)

LAI JianQing<sup>1,2</sup>, Guoxiang Chi<sup>2</sup>, PENG ShengLin<sup>1</sup>, YANG Bin<sup>1</sup> and SHAO YongJun<sup>1</sup>

(1 School of Earth Science and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2 Department of Geology, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada S4S 0A2)

**摘要** 凤凰山铜（金）矿床产于燕山晚期花岗闪长岩及石英二长闪长斑岩与三叠系碳酸盐岩的接触带，先后包括矽卡岩型和斑岩型两期矿化，并可细分为9个成矿阶段。矿石中广泛出现角砾状和细脉状、网脉状构造。流体包裹体特征及显微冷热台测温资料表明，成矿流体存在过沸腾和局部超高压等现象。两个成矿期都经历了从高温高盐度向低温低盐度的转变，成矿溶液的主要成分也由钾钠型变成了钠钙型。来源于岩浆热液的早期含矿流体与来自围岩的地下水热液的混合可以解释成矿流体的这种演化。

**关键词** 成矿作用；流体包裹体；凤凰山铜矿；铜陵

凤凰山铜（金）矿位于安徽省铜陵市东南部，新屋里复式岩体的西南接触带，是凤凰山矿田中规模最大的铜金多金属矿床。矿体主要赋存于燕山晚期花岗闪长岩与三叠系碳酸盐岩接触带附近的矽卡岩中，在矿区南部新发现与石英二长闪长斑岩有关的斑岩型矿化。角砾状和细脉浸染状是该矿的两个重要的矿石构造类型，反映了成矿流体的隐爆作用和液压致裂的特征。本文通过地质及矿物流体包裹体特征的分析，探讨成矿流体特征及其演化。

## 1 矿区地质背景

凤凰山铜（金）矿位于长江中下游铜铁成矿带中段的铜陵矿集区（常印佛等，1991；Pan et al.1999）。大地构造位置属扬子板块与华北板块的结合部位，受区域性的扬子深大断裂带的控制。矿区内出露地层主要为下三叠统和龙山组灰岩、南陵湖组灰岩、以及中三叠统月山组白云质灰岩、白云岩。岩浆活动以燕山晚期的花岗闪长岩、石英二长闪长斑岩侵入为主，主要出露为新屋里岩体及一些小型脉岩。新屋里岩体沿北东向延伸的复式向斜的核部侵入，呈近等轴状，出露面积约10 km<sup>2</sup>。围绕岩体分布有凤凰山、江家冲、清水塘、仙人冲、铁山头和宝山陶等铜矿床，共同构成凤凰山矿田（图1）。矿区内断裂构造复杂，主要为与褶皱轴向平行的NE向断层，其次为一些晚期的NW向、NNW向断层。

凤凰山矿床产于花岗闪长岩与中下三叠统不纯碳酸盐岩的接触带，岩体超覆于地层之上，使碳酸盐岩

\*国家“十五”科技攻关项目（编号：2001BA609A-06，2004BA615A-02）和国家留学基金项目资助

第一作者简介 赖健清，男，1964年生，博士，主要从事矿产地质与环境地质领域的教学和科研工作。E-mail: ljq@mail.csu.edu.cn

广泛变质形成大理岩及钙质矽卡岩。矿床的主要成因类型为矽卡岩型，晚期叠加与石英二长闪长斑岩有关的斑岩型矿化，主要矿石矿物为磁铁矿、菱铁矿、黄铜矿和斑铜矿等。

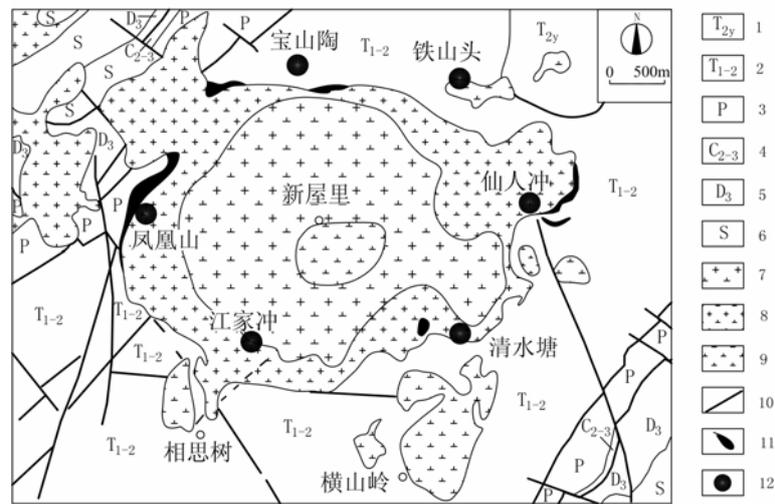


图1 凤凰山矿田地质略图

1—中三叠统月山组白云岩和白云质灰岩；2—中下三叠统灰岩，局部钙质页岩、白云岩；3—二叠系；4—中上石炭统；

5—上泥盆统；6—志留系；7—花岗闪长岩；8—花岗闪长斑岩；9—石英二长闪长斑岩；10—断层；11—矿体或铁帽；12—铜（金）矿床

## 2 成矿过程及矿物组合特征

矿区出现的2种成因类型分别与花岗闪长岩和石英二长闪长斑岩有关，前者所形成的矽卡岩被后者穿插，说明石英二长闪长斑岩晚于花岗闪长岩，两种矿化类型分别代表矽卡岩型和斑岩型两期成矿作用。矽卡岩型矿化发育于花岗闪长岩体与三叠系碳酸盐岩的接触带，根据矿脉和矿物的交切关系，可细分为干矽卡岩阶段（A1）、湿矽卡岩阶段（A2）、磁铁矿阶段（A3）、菱铁矿-硫化物阶段（A4）及硫化物-碳酸盐阶段（A5）等5个成矿阶段。斑岩型矿化发育于后期的石英二长闪长斑岩体或与之接触的先期矽卡岩中，可细分为石英绿泥石阶段（B1）、石榴子石阶段（B2）、石英硫化物阶段（B3）及碳酸盐阶段（B4）等4个成矿阶段。各阶段的矿物组合、生成顺序及主要构造特征见图2。

两期成矿作用都形成分布广泛的角砾状和细脉状、网脉状构造。细脉一般呈不规则弯曲状，多见分叉，以张性为主；角砾以棱角状为主，具可拼性，大小混杂，未见明显的压扁或定向排列。上述特征与液压致裂和隐爆作用形成的裂隙及角砾岩特征相仿（李建威等，1997）。

## 3 成矿流体特征

在两个成矿期7个阶段的石榴子石（A1和B2）、石英（A4、A5、B1、B3和B4）和方解石（A1、A5和B3）中发现了各种类型的流体包裹体。利用普通显微镜观察了包裹体的特征，显微热台测定了包裹体的均一温度，并通过水溶液包裹体的冰点温度、冰的初熔温度、二氧化碳笼合物的融化温度、石盐及钾盐的融化温度的测定，确定了流体类型，根据Brown（1989）的FLINCOR计算机程序，采用Brown等（1989）的等式计算了水溶液的盐度和压力（表1）。

A1阶段包裹体气液比变化大，存在富液和富气两个端元，前者含石盐及钾盐子矿物，后者常不含子矿物；均一温度范围大，且两端元最低值相近。这是一种典型的热液沸腾特征，最低温度（448℃）代表包裹体的捕获温度（Roedder et al. 1980；Diamond, 2003；卢焕章等，2004）。按照这一温度计算的捕获压力

为 42.3 MPa, 接近成矿时的静岩压力(据上覆地层厚度估算, 常印佛等, 1991)。流体类型是 K+Na 型, 盐度  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  达 40% 以上(表 1)。A4 和 A5 阶段流体的盐度、温度大大降低, 流体成分发生变化, 成为 Na+Ca 型(表 1)。

成矿期	矽卡岩期					斑岩期			
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4
石榴子石	■						■		
透辉石	■								
硅灰石	■								
阳起石	■	■							
绿帘石	■	■							
绿泥石	■	■				■			
磁铁矿			■						
菱铁矿				■					
黄铁矿				■					
黄铜矿				■				■	
斑铜矿				■				■	
闪锌矿				■				■	
方铅矿				■				■	
石英				■				■	---
方解石	■								■
主要构造类型	块状	细脉状, 角砾状	块状, 脉状, 假像	脉状	角砾状, 细脉状, 网脉状	团块状, 脉状	细脉状, 晶洞	细脉状, 网脉状, 角砾状, 块状	细脉状

图 2 凤凰山铜(金)矿床成矿期与成矿阶段

表 1 流体包裹体特征及均一温度、盐度和估算压力表

成矿阶段	主矿物	包裹体特征	均一温度/°C <sup>①</sup>	流体类型	盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	流体压力估算/MPa
A1	Gm+Cc	液相、气相水溶液包裹体, 含石盐、钾盐及不透明子矿物, 气液比 12%~90%	448~>600(103)	NaCl+KCl	41.4~71.5(64)	42.3
A4	Qz	液相水溶液包裹体, 气液比 10%~40%	222~325(11)	NaCl+CaCl <sub>2</sub>	11.7~18.5(14)	
A5	Qz+Cc	液相水溶液包裹体, 气液比 4%~40%	75~250(18) {122~218}	NaCl+CaCl <sub>2</sub>	4.7~12.4(14)	
B1	Qz	液相水溶液包裹体, 含石盐及不透明子矿物, 气液比 4%~14%	377~482(9) <sup>②</sup> 51~357(10) <sup>③</sup>	NaCl (+KCl)	45.0~57.4(10)	132~>652
B2	Gm	液相水溶液包裹体, 含石盐及不透明子矿物, 气液比 6%~32%	250~435(12)	NaCl (+KCl)	33.0~38.7(11)	
B3	Qz+Cc	液相水溶液包裹体, 气液比 8%~45%	112~>500 (29) {196~306}	NaCl+CaCl <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	3.4~27.2(19)	
	Qz	二氧化碳-水溶液包裹体, 碳质相占 25%~100%, 含方解石、苏打石和不透明子矿物	224~>500(29)		4.6~21.3(23)	12.0~41.1
B4	Cc	液相、气相水溶液包裹体, 气液比 5%~95%	131~>255(22) {162~247}	NaCl+CaCl <sub>2</sub>	3.4~10.7(9)	

注: ①小括号中为测定数, 大括号中为数据集的范围; ②为完全均一温度, 即石盐熔化温度; ③为气液均一温度, B1 阶段石英中包裹体的气液均一温度低于石盐熔化温度。Gm—石榴子石; Qz—石英; Cc—方解石。

B1 阶段流体也具有高温 (>377°C) 和高盐度  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  为 45%~57% 的特点, 系岩浆期后热液。由于气液相均一温度低于石盐熔化温度, 取石盐熔化温度作为最低捕获温度, 对应的最低捕获压力达 132

MPa, 大大高于静岩压力。B2 阶段温度和盐度略为降低, 但到 B3 和 B4 阶段, 温度和盐度大大降低, 成分也发生变化, 成为 Na+Ca 型流体, 其中在 B3 阶段还出现大量的 CO<sub>2</sub> 相。

## 4 讨论及结论

矽卡岩型和斑岩型矿化中广泛出现的液压致裂角砾岩和含矿细脉说明成矿流体内部压力大大高于围压。A1 阶段的包裹体具有沸腾流体的特征, 计算出的压力值 42.3 MPa (表 1) 相当于 1.5 km 上覆岩层的静岩压力, 而本区成矿时的上覆地层累积厚度仅 900 m, 因此流体压力有可能代表静岩压力或高于静岩压力, 存在局部的超高压。随后的 A2 阶段和 A5 阶段都出现角砾状构造, 尤其是 A5 阶段, 大规模的角砾岩化和不规则裂隙表明流体压力超过了岩石的抗张强度, 出现液压致裂现象。B1 阶段测到了非常高的瞬时高压 (132~大于 652 MPa, 见表 1), 大大高于静岩压力, 并造成岩石的隐爆和碎裂。上述两期成矿作用都是以流体压力积聚和超高压为开端, 以岩石碎裂为高潮, 并在角砾空隙和裂隙空间中沉淀出矿石矿物。从流体成分来看, 两期成矿作用都是从高温和高盐度的 Na+K 型流体开始, 代表岩浆热液来源。这种热液形成的包裹体中普遍含有金属子矿物, 可能说明具有很高的含矿性, 是成矿物质的主要来源。随后, 流体温度、盐度降低, 成分由 Na+K 型向 Na+Ca 型转变。这种变化无法用单纯的热液冷却来解释, 可能反映低温低盐度地下水的掺入或 (和) 热液与围岩之间的水岩反应。主要成矿阶段 A4、A5 和 B3 都以温度、盐度大大降低和流体成分发生显著变化为特征, 表明流体成分及物理化学条件的变化是矿石矿物沉淀的重要原因。

综上所述, 凤凰山铜 (金) 矿床的两期成矿作用具有相似的流体特征及演化。由于成矿深度较小, 围压不大, 岩浆期后热液快速沸腾并造成局部超高压, 导致广泛的液压致裂和隐爆作用。这种作用可能为地下水的加入提供了通道, 并提供了水岩反应及矿物沉淀的空间。岩浆热液与地下水热液的混合, 造成了成矿热液温度、盐度的迅速降低及成分的突变, 使主要来源于岩浆热液的成矿物质得以集中成矿。

**致谢** 本文的岩矿显微镜鉴定及流体包裹体研究工作均在加拿大里贾纳大学地质系的地质流体实验室完成。野外工作得到铜陵有色金属公司及凤凰山铜矿的大力支持和协助。在此谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社. 379.
- 李建威, 李先福. 1997. 液压致裂作用及其研究意义, 地质科技情报, 16(4): 29~34.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧习光, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社. 487.
- Brown P E. 1989. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, 74: 1390~1393.
- Brown P E and Lamb W M. 1989. *P-V-T* properties of fluids in the system H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 1209~1221.
- Diamond LW. 2003. Systematics of H<sub>2</sub>O inclusions: In: Samson I, Anderson A and Marshall D, *Fluid Inclusions, Analysis and Interpretation*, Chapter 3. Mineralogical Association of Canada. 55~79.
- Pan Y and Dong P. 1999. The lower Changjiang (Yangze/Yangtze River) metallogenic belt, eastern central China: intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. *Ore Geol. Rev.*, 15: 177~242.
- Roedder E and Bodnar R J. 1980. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Ann. Rev. Earth & Planet. Sci.*, 8: 263~301.