

· 矿床地球化学 ·

安庆夕卡岩型铁铜矿成矿流体特征

杨光树^{1,2}, 温汉捷¹, 胡瑞忠¹, 秦朝建¹, 张贵山^{1,2}

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, 贵阳 550002;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039

摘要:通过对安庆夕卡岩型铁铜矿床中各成矿阶段的夕卡岩矿物、石英和方解石中流体包裹体的岩相学、显微测温及显微激光喇曼光谱成分分析等研究,认为矿床早期成矿流体可能为深部岩浆熔一流作用形成的岩浆热液,具高温高盐度和富 CH_4 等还原性挥发分的特征;在燕山期复杂构造活动影响下,成矿流体在温度为 220°C 左右,压力为 75 MPa 左右的条件下发生减压沸腾去气作用, CH_4 等气体大量逃逸,由于大气降水的不断混入,最终演化为低温、低盐度的混和流体。

关键词: 安庆; 流体包裹体; 均一温度; 激光喇曼光谱

安庆夕卡岩型铁铜矿床是长江中下游地区铜-金-铁成矿带的重要组成部分。由于其地质特征的典型性和特殊性,许多专家学者曾对矿床地质及与成矿密切相关的月山岩体岩石化学、稀土元素、同位素地球化学等进行过大量研究^[1~5]。在前人研究的基础上,笔者通过流体包裹体研究探讨了该矿床成矿流体来源及其演化特征。

1 矿区地质

安庆夕卡岩型铁铜矿床位于安庆市月山镇东北 2 km ,构造位置上属于扬子地台北缘沿江断裂带中段,月山岩体东枝北侧前缘地带,百子山背斜向北倾伏端与月山—总铺近东西向隐伏断裂交汇处。

矿区主要出露三叠系地层,月山岩体与铁、铜成矿作用密切相关^[1]。岩体主要由闪长岩、石英二长闪长岩和石英闪长岩等组成,其 Rb-Sr 同位素年龄在 $143\sim 147\text{ Ma}$ ^[2],角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 136 Ma ^[3],属燕山早期岩浆活动产物。矿区构造复杂,产于闪长岩体与大理岩接触带内的主矿体,被北西向产出的 F_1 断层分成东西两块,导致围岩呈舌状插入闪长岩岩体中,在剖面上呈 S 形弯曲,形成了由马头山—西马鞍山—东马鞍山分布的大型夕卡岩含铜磁铁矿体。成岩成矿具有多期次特征,据野外地质

调查、镜下矿物共生组合及穿插关系,结合前人研究,将矿床的成岩成矿作用分为两期:①夕卡岩期,为夕卡岩的造岩期,同时形成铁矿的主矿体。包括早期夕卡岩阶段、磁铁矿阶段和晚期夕卡岩阶段,主要围岩蚀变类型有石榴石化、(次)透辉石化、方柱石化、绿泥石化等。②石英—硫化物期,包括石英-硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段。石英-硫化物阶段为铜矿的主成矿阶段,形成了铜的硫化物矿床;石英-碳酸盐阶段,伴随少量的金矿化,该阶段形成的碳酸盐岩主要是细脉状充填于早期形成的夕卡岩型铁铜矿体裂隙中,蚀变类型主要为硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化等。

2 流体包裹体特征

研究样品分别采自安庆铜矿—520 m 中段 1 号线及—400 m、—510m、—580m 中段的部分钻孔。为了解成矿流体的时空演化规律,笔者挑选了从矿体到围岩的一系列含铜夕卡岩及石英、碳酸盐岩脉样品进行了流体包裹体研究。

按常温下包裹体中各相态成分、比例及组合^[6],将所观察到的流体包裹体分为含子晶三相包裹体(I型)、气-液包裹体(II型)和纯液体包裹体(III型)三类,其中 I 型包裹体据其产状及形态分为 I a 型

收稿日期:2006-03-31 收到

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX3-SW-125)

第一作者简介:杨光树(1980—),男,博士研究生,专业方向:矿床地球化学。

和 I b 型, II 型包裹体据其中气相和液相体积比又可分为富气相型(II a)和富液相型(II b)。I a 型包裹体主要发育于透辉石中,为原生包裹体,大小 12~20 μm ,多为不规则状,孤立产出,气泡普遍较大,平均约占包裹体体积的 25%左右,常含一个或多个较大子晶,反映出初始成矿流体具有高盐度特征。Ib 型包裹体主要发育于石英中,大小 6~14 μm ,形态不规则,或单独产出,或与 II 型包裹体共生,气泡小,气相体积分数为 5%~10%,只含一个小立方状石盐子晶。II 型和 III 型包裹体主要见于石英和方解石中,常成群分布。II a 型包裹体相对较大,一般在 9~18 μm ,气泡较大,气液比为 15%~30%,包裹体颜色发黑。II b 型一般不超过 10 μm ,气泡小,气液比小于 10%,II b 型和 III 型包裹体常成群分布于石英或方解石中,为后期流体活动的反映。

表 1 安庆铜矿各成矿阶段流体包裹体显微测温结果

成矿阶段	包裹体类型	大小/ μm	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	子晶熔化温度/ $^{\circ}\text{C}$	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	盐度(%)
夕卡岩阶段	Ia	12~20		315~385	482~560	39~45
石英-硫化物阶段	Ib	6~14		165~180	200~326	30~30.9
	IIa	9~18	-15.1~-20.3		187~265	18.2~22.6
	IIb	4~10	-3.9~-7.4		132~209	7.7~11
石英-碳酸盐阶段	IIb	4~8	-3.3~-6.5		124~205	5.4~9.9

测温结果显示,在铜矿成矿过程中,最初阶段成矿流体包裹体(Ia 型)的 T_h 为 482~560 $^{\circ}\text{C}$,盐度为 39%~45%(wt, NaCl, 下同),主要成矿阶段流体包裹体(Ib、II 型) T_h 为 177~326 $^{\circ}\text{C}$,盐度为 18%~30%,其中 Ib 型包裹体温度特征反映出成矿流体从夕卡岩阶段向石英-硫化物阶段的过渡演化。成矿晚阶段流体包裹体(IIb 型) T_h 为 124~209 $^{\circ}\text{C}$,盐度为 5%~11%,与 Ib 型包裹体共生的 II 型包裹体具有与之相近的 T_h 值,说明在铜成矿过程中曾发生过流体沸腾作用。在整个成矿过程中,从早期到晚期,成矿流体温度和盐度逐渐降低,其中从磁铁矿形成到铜的主要矿化阶段温度降低很明显。空间上,从深部到浅部,同一成矿阶段的流体温度逐渐降低。表明初始深源的高温高盐度成矿流体上升后,在区域构造活动影响下,温压条件突变,成矿流体发生沸腾,随着大气降水的加入,不断稀释成矿流体,最终形成了低温低盐度混合流体。

3.2 激光喇曼光谱分析

本次研究仪器为英国 Renishaw 公司生产的 in-

3 分析方法与结果

包裹体显微测温及激光喇曼光谱分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室完成。

3.1 显微测温

测温仪器为英国产 Linkam THM SG600 型冷热台,测温范围为 -196~600 $^{\circ}\text{C}$,对 I 型包裹体测定了均一温度(T_h)和子矿物消失温度(T_{ms});对 II 型包裹体测定了冰点温度(T_m)和均一温度(T_h)。I 型包裹体的盐度由子矿物熔化温度获得,II 型包裹体的盐度通过 H₂O-NaCl 体系盐度-冰点公式^[7]:

$$\text{wt} = 0.00 + 1.78T_m - 0.0442T_m^2 + 0.000557T_m^3$$
 (wt 为 NaCl 重量百分数, T_m 为冰点温度)得到,测温结果见表 1。

Via Reflex 型共焦显微激光喇曼光谱仪,激光波长 514.5 nm,扫描范围 100~4500 cm^{-1} 。笔者对各类包裹体进行了激光喇曼光谱峰值扫描,结果显示,包裹体液相成分主要为 H₂O,液相中常见阴离子主要有 F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 等。气相成分变化较大,成矿初期流体包裹体(Ia 型)气相富含 CH₄,部分为 CH₄ + H₂O 组合,少量包裹体还含有一定量 C₂H₆、CO、N₂ 等气体;成矿中晚期流体包裹体(Ib 和 II 型)气相成分则以 H₂O 为主,部分包裹还含少量 CH₄。测试结果表明,初始成矿流体为一种富含 CH₄ 等还原性挥发分的流体,同位素资料^[8]表明其为上地幔碱性玄武质岩浆熔-流分离作用形成的岩浆热液。随着成岩成矿作用的进行,温压降低,发生流体沸腾去气作用,流体中 CH₄ 不断逃逸,导致其含量持续减少,后期大气降水的混入使得成矿流体中 H₂O 含量不断增加。

4 讨论与结论

刘斌^[9,10]根据实验数据推导了 NaCl-H₂O 体系

不同盐度流体密度的精确计算公式:

$$\rho = A + B \times t + C \times t^2,$$

ρ 为流体密度 (g/cm^3), t 为均一温度 ($^{\circ}\text{C}$), A 、 B 、 C 为无量纲参数, 不同盐度流体对应不同值。由该公式计算得到成矿流体密度在 $0.83 \sim 0.96 \text{ g}/\text{cm}^3$, 与多数岩浆热液流体密度 ($< 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$) 相当, 说明在整个成矿过程中, 岩浆热液流体起着主导作用。一般认为, 流体沸腾时捕获的包裹体, 其均一温度和压力 (最小值) 即为形成时的温度和压力, 无需温度和压力校正, 而从均匀流体中捕获的包裹体, 其均一温度和压力仅代表其形成时温度和压力的下限^[11]。本次研究中, 在铜的主成矿阶段 (石英-硫化物阶段) 石英颗粒中发育有许多沸腾包裹体, 平均均一温度在 220°C 左右, 由 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系温度-盐度-密度-压力图^[7] 可获得其形成时的压力约为 75 MPa , 由平均岩石密度 ($2.7 \text{ g}/\text{cm}^3$) 理论上可计算其形成深度约为 2.78 km 。同样还可获得平均均一温度在 520°C 左右的夕卡岩期流体包裹体 (Ia 型) 捕获压力为 80 MPa 左右, 以及晚成矿阶段 (石英-碳酸盐阶段) 形成的流体包裹体 (主要为 IIb 型) 捕获压力为 73 MPa 左右。

前已述及, 安庆夕卡岩型铁铜矿床早期成矿流体不同于传统夕卡岩型矿床的热水溶液, 而是一种由深部岩浆发生熔-流作用形成的类似于岩浆性质, 具有高盐度及富含 CH_4 等还原性挥发分特征的流体, 上升过程中温压条件逐渐降低, 透辉石、石榴石等矿物首先结晶出来, 形成早期夕卡岩, 与围岩不断发生水/岩交换作用使得成矿热液体系的 t 、 f_{O_2} 、 pH 等发生改变^[12], 磁铁矿大量沉淀; 随着成岩-成矿作用的进行与演化, 燕山期复杂构造活动的影响, 成矿流体发生沸腾去气作用, 大气降水的混入使得

成矿流体盐度降低, 金属硫化物在从流体中沉淀出来, 叠加于早期形成的夕卡岩和磁铁矿体上, 或以石英-硫化物脉等形式形成充填于构造裂隙中; 随着大气降水比例增大, 成矿流体进一步被稀释, 形成了一系列不含矿碳酸盐脉。

参考文献:

- [1] 周涛发, 岳书仓. 安徽月山地区成岩成矿作用关系研究[J]. 火山地质与矿产, 1995, 16(2): 55-66.
- [2] 董树文, 邱瑞龙. 安庆月山地区构造作用与岩浆活动[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 15-141.
- [3] 陈江峰. 安徽月山岩体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及与其有关的成矿时代估计[J]. 现代地质, 1991, 5(1): 91-99.
- [4] 周涛发, 袁峰, 岳书仓, 刘晓东, 赵勇. 安徽月山矿田夕卡岩型矿床形成的水岩作用[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 1-7.
- [5] 束学福. 安庆夕卡岩型铁铜矿床地质地球化学特征及铁质来源研究[J]. 矿物岩石地球化学报, 2004, 23(3): 219-224.
- [6] Touret J L R. Fluid inclusions in metamorphic rocks[J]. Lithos, 2001, 55: 1-25.
- [7] Bodnar R J, Vityk M O. Interpretation of micro thermometric data for $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ fluid inclusions [A]. DeVivo B, F rezotti M L, eds. Fluid inclusions in minerals, methods and applications[C]. Blacksberg: Virginia Tech., 1994. 117-130.
- [8] 周涛发, 岳书仓. 月山地区铜成矿作用同位素地球化学研究[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 341-350.
- [9] 刘斌, 段光贤. $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345-352.
- [10] 刘斌. 中高盐度 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 地质论评, 2001, 47(6): 617-622.
- [11] Redder E. Fluid inclusions reviews in mineralogy[M]. Mineral Society of America, 1984, 12: 644.
- [12] 周涛发, 岳书仓, 柯韵徽. 安庆铜矿床成矿流体演化与矿田成岩-成矿模式[J]. 安徽地质, 1998, 8(4): 1-3.