

文章编号 10258-7106(2007)06-0204-09

安徽铜陵冬瓜山铜矿床成矿流体特征及演化*

邱士东¹, 谢玉玲¹, 徐九华¹, 王葆华², 杨竹森³, 蒙义峰³

(1 北京科技大学土木与环境工程学院 北京 100083; 2 桂林工学院资源与环境工程系 广西 桂林 541004;
3 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037)

摘要 对安徽铜陵冬瓜山矿床内矽卡岩矿物、石英、方解石中的流体包裹体进行了岩相学和显微测温分析、群体包裹体气液相成分分析、单个包裹体气液相成分激光拉曼探针分析,探讨了成矿流体的特征及演化。研究表明,该矿床与燕山期岩浆热液有关的成矿流体,从早期矽卡岩阶段,经中期石英硫化物阶段,至晚期石英方解石阶段,是从高温、高盐度、富钾流体演化至中高温、中高盐度、富 CO₂(CH₄)流体再至中低温、低盐度流体。成矿流体中的主要挥发分为 H₂O、CO₂、CH₄, 并含少量 C₂H₆、H₂S、N₂ 等,液相成分中的阳离子以 Na⁺、K⁺ 为主,有少量 Ca²⁺、Mg²⁺ 等,阴离子除 Cl⁻ 外,SO₄²⁻ 的含量也较高。

关键词 地球化学, 流体包裹体, 富钾流体, 富 CO₂(CH₄) 流体, 冬瓜山铜矿床, 安徽

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

Characteristics and evolution of ore-forming fluids associated with Yanshanian magmatic activity in Dongguashan copper deposit, Anhui Province, China

QIU ShiDong¹, XIE YuLing¹, XU JiuHua¹, WANG BaoHua²,
YANG ZhuSen³ and MENG YiFeng³

(1 Civil and Environmental Engineering School, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China;

2 Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

3 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

Based on petrography, microthermometry and LRM analysis of fluid inclusions in garnet, diopside, quartz and calcite, this paper has discussed characteristics and evolution of ore-forming fluids in the Dongguashan copper deposit. The ore-forming fluids of Yanshanian magmatism evolved from high temperature, high salinity and K-rich fluids via moderate-high temperature and CO₂(CH₄) rich fluids to moderate-low temperature and low salinity fluids. The analytical results suggest that the dominant volatiles in the ore-forming fluids are H₂O, CO₂ and CH₄, with minor C₂H₆, H₂S, N₂ etc. Na⁺, K⁺ as well as Ca²⁺, Mg²⁺ are dominant cations whereas Cl⁻ and SO₄²⁻ are major anions. High K and CO₂(CH₄) constitute the main feature of the ore-forming fluids related to Yanshanian magmatism.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, potassic-rich fluid, CO₂(CH₄)-rich fluid, Dongguashan copper deposit; Anhui Province

* 本文得到国家自然科学基金项目(编号:40573035)和国家自然科学基金重点项目(编号:40234051)的联合资助
第一作者简介 邱士东,男,1975年生,在读博士生,主要从事矿产资源综合利用研究。E-mail: qjshidong@126.com
收稿日期 2006-03-29; 改回日期 2006-12-15。许德煊、张绮玲编辑。

冬瓜山铜矿床是狮子山矿田内埋藏最深、储量最大的大型铜矿床,单个矿体的铜金属量近 100 万吨,铜平均品位为 1.01 % ,硫(黄铁矿)也达大型规模,硫平均品位为 19.43 %。矿体沿走向长达 3 000 m,水平投影最大宽度为 882 m,平均视厚度 32.24 m,最大厚度为 84.29 m。其特殊的产出特征和重要经济意义,已引起地质学家的广泛关注(常印佛等,1991;刘裕庆等,1984;黄许陈等,1993;唐永成等,1998;顾连兴等,2002)。对该铜矿床的成因,前人已进行过大量的工作,积累了大量有意义的资料,但目前还存在不同的看法,有以下两种较具代表性的观点 ① 沉积矿胚层被燕山期岩浆活动叠加改造成因(常印佛等,1983;刘裕庆等,1984;黄华盛等,1985;温春齐等,1996);② 海底喷流沉积成因(王文斌等,1994;何金祥等,1995)。本文在综合前人研究资料的基础上,通过流体包裹体岩相学、包裹体显微测温分析、群体包裹体气液相成分分析、单个包裹体气液

相成分的激光拉曼探针(LRM)分析,对冬瓜山铜矿床与燕山期岩浆热液有关的成矿流体的特征及演化进行了讨论。

1 矿区地质概况

冬瓜山铜矿床位于安徽省铜陵市狮子山矿田的东部(图 1),是长江中下游铁铜成矿带的重要组成部分。该矿区处于扬子准地台东北缘,长江深大断裂南部。矿区内出露的地层主要为下、中三叠统,岩性为浅海-泻湖相微晶灰岩、页岩、含泥质微晶灰岩及白云质微晶灰岩;志留系高家边组,岩性为泥页岩。其深部则为上泥盆统至上二叠统。泥盆系由一套陆相石英砂岩、泥质胶结砂岩组成;石炭系下统为海陆交互泥质胶结砂岩、粉砂岩、含碳质页岩,石炭系中、上统为泻湖-浅海相微晶白云岩、微晶球藻灰岩;二叠系为浅海相含生物碎屑微晶灰岩、燧石岩、放射

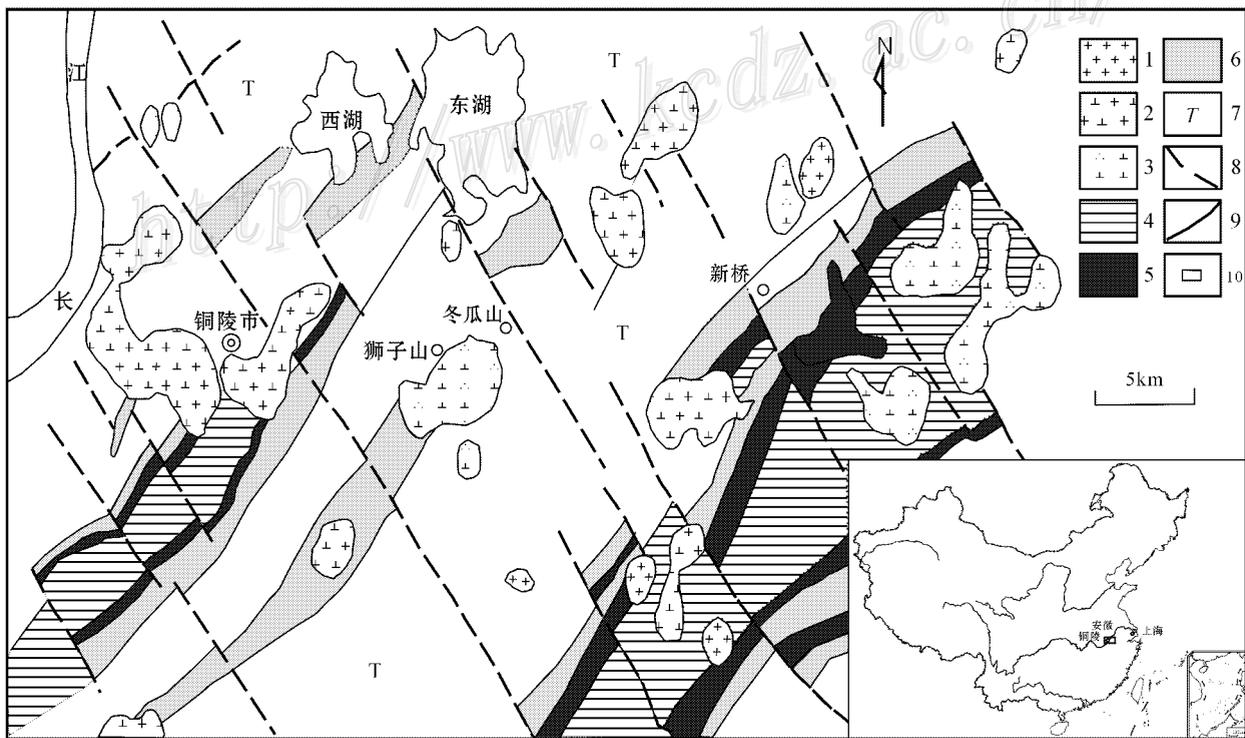


图 1 铜陵矿集区地质略图(据孙文珂等,1994 底图修绘)

- 1—花岗岩类 2—酸-中酸性岩类 3—中酸-中性岩类 4—志留系泥页岩 5—泥盆系砂岩 6—石炭系—二叠系灰岩 7—三叠系灰岩 8—断裂;
- 9—地质界线 10—研究区

Fig. 1 Sketch geological map of Tongling metallogenic area (after Sun Wenke et al, 1994)

- 1—Granites; 2—Granodiorites; 3—Diorites; 4—Silurian clay shale rock; 5—Devonian sandstone; 6—Carboniferous-Permian limestone;
- 7—Triassic limestone; 8—Fault; 9—Geological boundary; 10—Study area

虫硅质岩。青山背斜为矿区内的主要褶皱构造,呈“S”型展布,长约22.5 km,宽约8 km,枢纽向NE倾伏,NW翼较陡,SE翼较缓。矿床埋藏于青山背斜的深部。矿区内的断裂构造以NS向为主,次为EW向、NE向和NW向。区内出露的岩浆岩主要为燕山期中酸性侵入岩,出露面积约3 km²,多为浅成-超浅成侵入体,呈岩墙或岩枝状,岩性主要为石英二长闪长岩及石英二长闪长玢岩。

矿区内的容矿层位以石炭系中-上统黄龙组-船山组(包括泥盆系上统五通组界面)最为重要,其次为二叠系上统大隆组、三叠系下统小凉亭组下部、三叠系下统塔山组中上部等。矿体以似层状为主,部分呈透镜状,少数呈不规则状,构成该矿区独特的“多层楼”成矿结构(黄许陈等,1993)。矿体主要赋存于石炭系中上统黄龙组-船山组地层中,后期经历了热液叠加改造作用,在岩体接触带附近发育矽卡岩型矿化,形成热液叠加改造型叠生式层状铜矿床(顾连兴等,2002)。

前人研究结果(曾普胜等,2005)表明,冬瓜山铜矿床的形成经历了海西期喷流沉积成矿期及燕山期岩浆热液成矿期。前一成矿期主要表现为分布规模巨大的层状-似层状、透镜状含铜黄铁矿层,常见层纹状黄铁矿(由于后期交代可呈层纹状磁黄铁矿-黄铁矿)、含浸染状硫化物蛇纹岩层、硫化物-石膏层和碳酸盐层等;燕山期岩浆热液叠加在海西期形成的层状矿层(或矿化层)上,对原层状矿体进行叠加和改造,并在岩体与灰岩接触带部位形成了接触交代矽卡岩型矿石,在岩体与层状矿的接触部位形成层状矽卡岩型矿石。后一成矿期可分为3个主要成矿阶段(黄顺生等,2003):①矽卡岩阶段,主要发育于中酸性侵入体(花岗闪长岩及石英闪长岩)与石炭系黄龙组碳酸盐岩的接触部位,以石榴子石矽卡岩为主(上部),有少量透辉石矽卡岩(下部),其主要矿物组合为石榴子石、透辉石、方解石、石英和硫化物(黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿);②石英-硫化物阶段,主要矿物组合为石英、黄铜矿、闪锌矿、辉钼矿等,是主要矿化阶段;③石英-方解石阶段,主要矿物组合为石英、方解石,石英常呈粗晶脉状,或呈自形晶簇状分布于晶洞中,矿化微弱。

2 流体包裹体岩相学和显微测温分析

本次研究的样品主要采自冬瓜山矿床730、790

和875中段的矽卡岩型矿石、石英脉和方解石脉等。经详细的显微镜下观察后发现,无论是矽卡岩矿物中,还是石英、方解石中,均发育有大量的流体包裹体。以下分别对矽卡岩矿物、石英及方解石中流体包裹体的类型、岩相学特征和显微测温结果进行讨论。包裹体显微测温在北京科技大学完成,所用冷热台的型号为Linkam THMS 600,温度测定范围为-196~+600℃,冷冻数据和均一温度数据的精度分别为±0.1℃和±1.0℃。

2.1 石英、方解石中的流体包裹体

石英和方解石中发育有大量的流体包裹体,大者可达20 μm以上,小者不足1 μm,以5~10 μm为多。包裹体形态多样,有负晶形状、透镜状、拉长状及不规则状等。根据流体包裹体在室温下的相态特征,可将其分为3类:

(1)气液两相包裹体(I类)(图2e)室温下由气相和液相组成,气相充填度小,一般小于10%,加热后均一为液相。该类包裹体多沿愈合裂隙发育,其形成晚于II类和III类包裹体。

(2)富CO₂(CH₄)包裹体(II类)(图2b、f)室温下由气相CO₂(或CH₄)和水溶液相组成,室温较低时可见含气相CO₂和液相CO₂的三相包裹体。气相充填度变化较大(20%~100%),加热后均一为气相、液相或临界相。

(3)含子矿物多相包裹体(III类)(图2a、c、d)由一个气相、一个子矿物相和一个水溶液相组成。从子矿物的形态、岩相学特征和溶化温度看,子矿物多为石盐。

由表1可见,石英、方解石中流体包裹体的均一温度范围为141~403℃。其中,I类包裹体的均一温度最低(141~278℃),II类和III类包裹体的均一温度范围(219~403℃)明显高于I类。I类包裹体主要为次生包裹体,沿矿化的石英脉和方解石脉中的愈合裂隙发育,或产于晚期的无矿方解石细脉中,可能代表了成矿后较晚阶段的流体特征。II类、III类包裹体主要为原生包裹体,产于矿化的石英脉和方解石脉中,代表了主要矿化阶段(石英-硫化物阶段)的流体特征。据高盐度包裹体内子矿物的溶化温度及无子矿物包裹体的冰点温度,估算了流体包裹体的盐度(表2)。由表2可见,其盐度较高,ω(NaCl_{eq})为18.0%~44.9%。由此可知,该矿床主成矿期的成矿流体为中高温、中高盐度、富CO₂(CH₄)的流体。

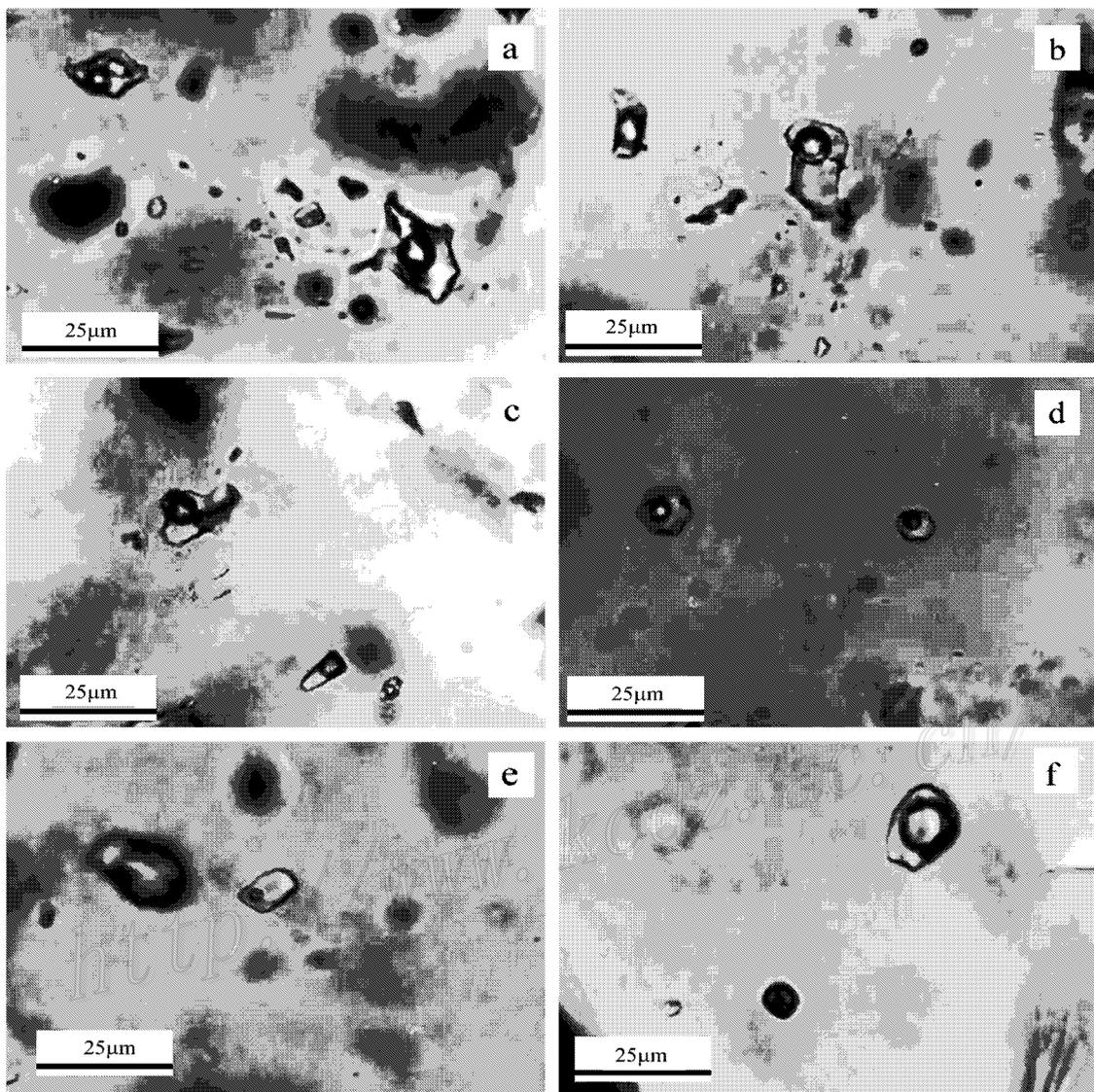


图 2 石英中包裹体的显微照片

a. 石英中富 CO_2 包裹体和含子矿物多相包裹体；b. 石英中富 CO_2 包裹体；c. 石英中含三角状硫化物子矿物的多相包裹体；d. 石英负晶形状含透明和不透明子矿物的多相包裹体；e. 石英中气液两相包裹体；f. 石英中富 CO_2 和纯 CO_2 包裹体

Fig. 2 Photos of fluid inclusions in quartz and calcite under microscope

a. Daughter minerals-bearing fluid inclusions in quartz；b. CO_2 -rich fluid inclusions in quartz；c. Sulfide daughter minerals-bearing fluid inclusions in quartz；d. Daughter minerals-bearing fluid inclusions in quartz；e. Aqueous-vapor fluid inclusions in quartz；f. CO_2 rich fluid inclusions in quartz

2.2 矽卡岩矿物中的流体包裹体

冬瓜山矿区内的矽卡岩主要为石榴子石矽卡岩和透辉石矽卡岩，其主要组成矿物石榴子石、透辉石中发育大量的流体包裹体。包裹体大小不等，大者可达 $40\ \mu\text{m}$ 以上，小者不足 $1\ \mu\text{m}$ ，形态以多边形状（图 3a）、负晶形状（图 3b）为主，也可见长圆状、浑圆状和不规则状。包裹体类型多样，据包裹体在室温下的相态特征，可将其分为 3 类：

(1) 气液两相包裹体(Ⅰ类) 室温下，由气相和液相组成。气相充填度一般为 $10\% \sim 20\%$ ，加热后均一为液相。

(2) 含子矿物多相包裹体(Ⅲ类) 室温下，由一个气相、一个液相及一个或多个子矿物相组成。子矿物有透明和不透明两类，前者多具立方体、长方体、菱面体、浑圆状或柱状晶形，后者主要为四面体、立方体和不规则状。从子矿物的形状、岩相学特征

表 1 石英、方解石中流体包裹体的均一温度

Table 1 Homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz and calcite

样品号	采样位置	矿物	包裹体类型	均一状态	测试数	$t_h/^\circ\text{C}$	
						范围	平均
D73054-31	730 中段 54 线	石英	II	L	1	284	284
D73054-31	730 中段 54 线	石英	III	L	5	234~315	275
D790-51-22-1	790 中段 51 线	石英	I	L	14	141~206	168
D875-52-1	875 中段 52 线	石英	I	L	11	214~278	243
D875-52-5-1	875 中段 52 线	石英	I	L	13	231~273	264
D875-52-5-1	875 中段 52 线	石英	III	C	4	320~368	338
D875-52-4	875 中段 52 线	石英	II	C	4	328~333	331
D875-52-6	875 中段 52 线	石英	II	L	7	212~266	244
D875-52-18	875 中段 52 线	石英	III	L	8	249~403	323
TL-63	矿石堆	方解石	II	L	5	219~286	245
TL-63	矿石堆	方解石	I	L	2	218~274	246

均一状态 L—液相均一 C—临界均一。

表 2 石英、方解石中流体包裹体的盐度

Table 2 Salinity of fluid inclusions in quartz and calcite

样品号	采样位置	矿物	包裹体类型	测试次数	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	
					范围	平均
D875-52-19-1	875 中段 52 线	石英	II	4	20.3~20.4	20.4
TL-63	矿石堆	方解石	II	4	18.0~19.9	19.2
D790-51-22-1	790 中段 51 线	石英	III	2	36.9~37.8	37.4
D875-52-1	875 中段 52 线	石英	III	1	33.3	33.3
D875-52-18	875 中段 52 线	石英	III	7	31.8~44.9	38.1
TL-63	矿石堆	方解石	III	2	36.8~36.9	36.9
D73054-31	730 中段 54 线	石英	III	5	33.5~38.9	35.6

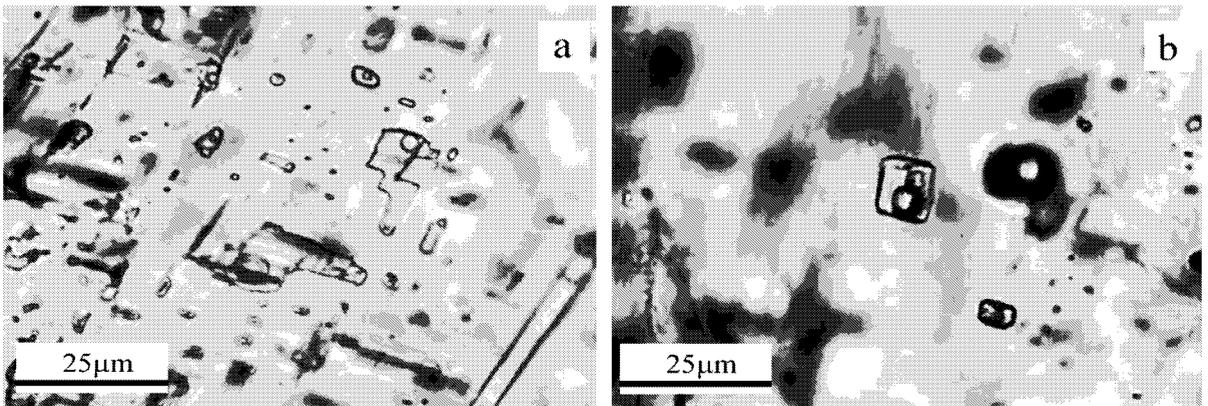


图 3 矽卡岩矿物中流体包裹体的显微照片

- a. 浅棕色石榴子石中具斜角多边形和方解石负晶形状的气液两相流体包裹体(I 类); b. 透辉石中负晶形状含子矿物多相流体包裹体(III 类)

Fig. 3 Photos of fluid inclusions in skarn minerals under microscope

- a. Two-phase aqueous inclusions in garnet; b. Daughter minerals-bearing fluid inclusions in diopside

及溶化过程看,透明子矿物以钾石盐为主,也有些为石盐,不透明子矿物以黄铁矿和黄铜矿为主。此类包裹体在矽卡岩中极为发育,尤其是透辉石中,几乎全部包裹体均属此类。在加热过程中,先是透明子矿物溶化,然后,气泡消失;不透明子矿物加热至 600℃ 仍不溶化。

(3) 纯液相包裹体(Ⅳ类) 室温下,由单一液相组成。主要为次生包裹体,是成矿后流体活动的产物,与矿化无关,故未进行显微测温分析。

由表 3 可见,石榴子石中发育有Ⅰ类和Ⅲ类包裹体,前者的均一温度范围为 210~464℃(平均 237~380℃),后者的均一温度范围为 261~412℃,高于Ⅰ类包裹体。据Ⅲ类包裹体中子矿物溶化温度估算的盐度($w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$)为 35.3%~45.1%。透辉石中流体包裹体的均一温度(309~530℃)盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) = 35.3\% \sim 55.9\%$,较石榴子石中的略高,但低于谢玉玲等(2004)所报导的铜官山矽卡岩矿物中流体包裹体的均一温度(575~885℃)。值得注意的是,在冬瓜山矽卡岩型矿石内的浅棕色石榴子石中,发育有大量Ⅰ类包裹体,其形态以具方解石负晶形或斜角多边形为特征,其均一温度和盐度均较低。该类石榴子石的颜色具明显的外深内浅的环带,深色环带中发育以Ⅲ类包裹体为主的高温、高盐度包裹体,而内部浅色环带中主要发育Ⅰ类包裹体。笔者认为,这一现象是由于原来的碳酸盐矿物被富 Si 流体交代为矽卡岩矿物时交代不完全所致,其中呈方解石负晶形状的包裹体可能是由原方解石矿物中的包裹体改造而成,因此,其均一温度、盐度均明显低于透辉石和深色石榴子石中的Ⅲ类包裹体,表明形成矽卡岩的原岩为碳酸盐岩,同时,从另

一个侧面验证了矽卡岩的交代成因。

3 流体包裹体成分分析

3.1 单个包裹体气液相成分的激光拉曼探针(LRM)分析

激光拉曼探针(LRM)分析在中国地质科学院矿产资源研究所进行。测试仪器:Renishaw 2000,测试条件:激发功率 20 mW,激发波长 514.5 nm。对冬瓜山铜矿床内石英、方解石、透辉石中的流体包裹体进行了包裹体气液相成分的 LRM 分析,将部分谱图列于图 4。由图 4 可见,包裹体气相成分中除水外还有 CO_2 和 CH_4 ,液相成分以水为主。从不同样品的情况看,在透辉石内包裹体的气液相成分中,均只测出了水,但在与燕山期岩浆热液有关的热液石英中,多测出含有一定量的 CO_2 和 CH_4 ,表明主成矿期的流体富 CO_2 和 CH_4 。透辉石中含子矿物多相包裹体及大量钾石盐子矿物的发现,表明流体具高盐、富钾的特征,反映出岩浆热液的特点。

3.2 群体包裹体的四极质谱和离子色谱分析

气相成分分析采用四极质谱法,测试仪器为 RG202 四极质谱仪,测试流程为:将清洗干净的样品放入石英试管内,然后,逐步升温到 100℃ 时抽真空,待分析管内真空度为 6×10^{-6} Pa 以下时,测定气相成分,直至以 1℃/3s 的速度升温到 500℃ 时分析完成。具体的测试方法和流程详见朱和平等(2001)。

液相成分分析采用离子色谱法,测试流程为:清洗干净的样品放入石英管后,在 500℃ 条件下爆裂 15 分钟,冷却后加 5 ml 水,再超声震荡 10 分钟,最后,用日本岛津公司的 HIC-6A 型离子色谱仪进行测定。

表 3 矽卡岩矿物中流体包裹体显微测温结果

Table 3 Microthermometric results of fluid inclusions in skarn minerals

样品号	采样位置	矿物	包裹体类型	气相充填度/%	$t_h/^\circ\text{C}$		$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	
					范围	平均	范围	平均
D73052-12	730 中段 52 线	透辉石	Ⅲ	10~20	461~530(11)	505	38.8~55.9(9)	45.0
D73052-19	730 中段 52 线	石榴子石	Ⅲ	10~25	261~412(7)	337	37.1~42(3)	39.9
D73052-19	730 中段 52 线	石榴子石	Ⅰ	20	231~261(2)	246	—	—
D73054-31	730 中段 31 线	石榴子石	Ⅰ	10~15	330~464(3)	380	—	—
D79051-9	790 中段 51 线	透辉石	Ⅰ	10~15	309~310(3)	310	—	—
D79051-9	790 中段 51 线	透辉石	Ⅲ	15	415~435(4)	423	35.3~43.1(7)	39.1
D79051-9	790 中段 51 线	石榴子石	Ⅰ	10	210~322(11)	237	—	—

注:圆括号内数字为测试数。

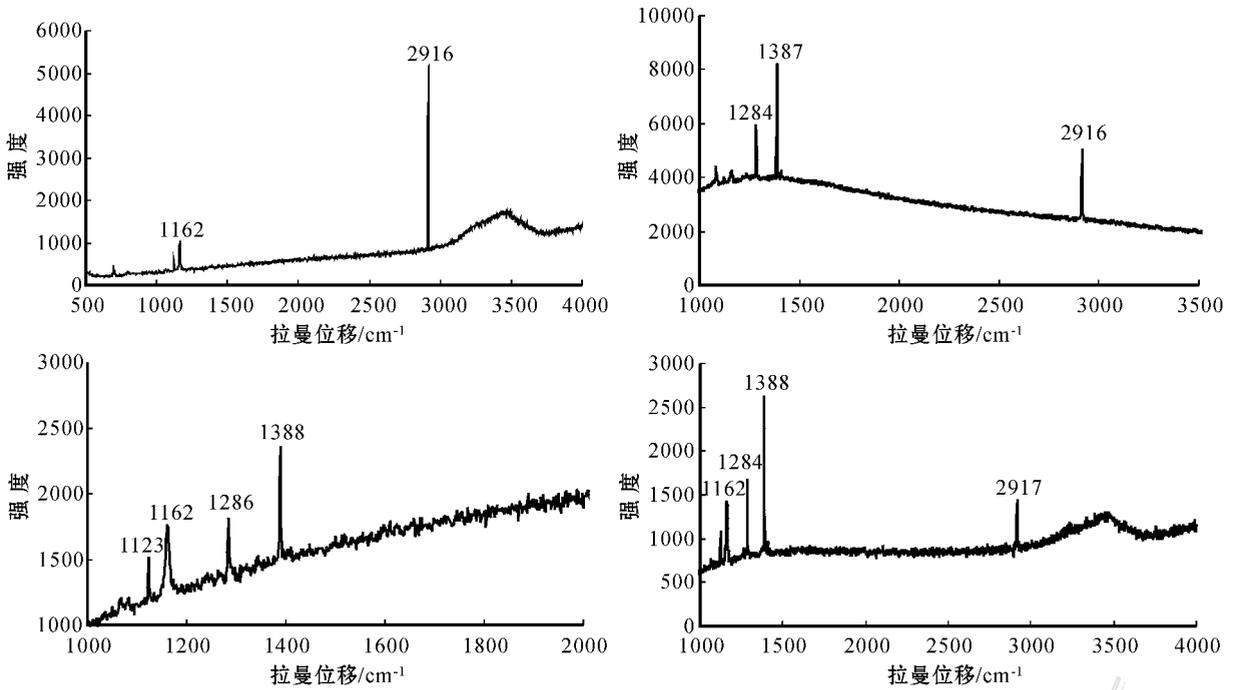


图4 流体包裹体中气液相成分的激光拉曼谱图

a. 包裹体气相中 H₂O 和 CH₄(样品号 D790-51-22-3); b. 包裹体气相中 CH₄ 和 CO₂(样品号 D875-52-18); c. 包裹体气相中 CO₂(样品号 D790-51-22-1); d. 包裹体气相中 CH₄、CO₂ 和 H₂O(D790-51-22-2) 主矿物均为石英

Fig. 4 Raman spectra of vapor phase and aqueous phase in fluid inclusions

a. H₂O and CH₄ in vapor phase(D790-51-22-3); b. CO₂ and CH₄ in vapor phase(D875-52-18); c. CO₂ in vapor phase(D790-51-22-1); d. CH₄, CO₂ and H₂O in vapor phase(D790-51-22-2); Host minerals are quartz

表4 冬瓜山铜矿床流体包裹体气相成分分析结果

Table 4 Gaseous composition of fluid inclusions in the Dongguashan copper deposits

样品号	矿物	产状	x(B)%							CO ₂ /H ₂ O	CO ₂ /CH ₄
			CH ₄	H ₂ O	N ₂	C ₂ H ₆	H ₂ S	Ar	CO ₂		
D875-52-18	石英	矿化石英脉	0.299	93.262	0.807	0.324	0.049	0.081	5.178	0.056	17.318
D875-52-19-2	石英	矿化石英脉	0.217	96.069	0.594	0.477	0.035	0.101	2.507	0.026	11.553
D-875-52-9	石英	矿化石英脉	0.739	91.959	1.266	0.659	0.133	0.286	4.957	0.054	6.708

测试单位及测试者:中国科学院地质与地球物理研究所矿物资源探测中心 朱和平。

表5 冬瓜山铜矿床流体包裹体水标准化的液相成分分析结果

Table 5 Aqueous composition of fluid inclusions in the Dongguashan copper deposits

样品号	矿物	产状	x(B)10 ⁻⁶							K/Na	F/Cl	Ca/Mg
			F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺			
D875-52-18	石英	矿化石英脉	0.025	4.800	8.940	1.685	6.345	0.030	0.665	0.265	0.005	22.167
D875-52-1-1	石英	矿化石英脉	0.050	7.350	5.800	0.525	7.380	0.080	0.445	0.071	0.007	5.563
D875-52-19-2	石英	矿化石英脉	0.050	10.750	11.050	5.685	9.770	-	0.445	0.581	0.005	-

测试单位及测试者:中国科学院地质与地球物理研究所矿物资源探测中心 朱和平。“-”表示在检出限以下。

测试结果表明,冬瓜山主要矿化阶段石英中流体包裹体的气相成分(挥发分)主要为 H_2O (91.959% ~ 96.069%) 和 CO_2 (2.507% ~ 5.178%), 还有少量的 CH_4 、 C_2H_6 、 N_2 、 H_2S (表 4), LRM 分析也证实了 CO_2 和 CH_4 的存在。其 CO_2/CH_4 为 6.708~17.318。其包裹体气相成分中 $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ 的含量高于新桥、峙门口两矿区(谢玉玲,未发表资料)。液相成分中的阳离子以 K^+ (0.525~5.685)、 Na^+ (6.345~9.77) 为主, 还有少量的 Ca^{2+} (0.445~0.665)、 Mg^{2+} (0.03~0.08); 阴离子主要为 SO_4^{2-} (5.8~11.05) 和 Cl^- (4.8~10.75), 还有少量 F^- (0.025~0.05) (表 5)。总体而言, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量较低。流体包裹体群体成分中, 较高的 CO_2 、 CH_4 和 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 含量, 与包裹体显微测温及 LRM 分析等结果相吻合。

4 结论

(1) 在冬瓜山铜矿区, 与燕山期岩浆热液有关的成矿流体, 从早期矽岩阶段至中期石英硫化物阶段再至晚期石英方解石阶段, 其演化过程为从高温、高盐度、富钾流体, 至中高温、中高盐度、富 CO_2 (CH_4) 流体, 再至中低温、低盐度流体。从矽卡岩阶段到石英硫化物阶段, 成矿流体的温度、盐度下降, CO_2 (CH_4) 含量增高。

(2) 流体包裹体群体成分分析结果及单个包裹体气液相成分的 LRM 分析表明, 主成矿阶段成矿流体中的主要挥发分为 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 , 含有少量 C_2H_6 、 H_2S 、 N_2 等, 液相成分中的阳离子以 Na^+ 、 K^+ 为主, 还有少量 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等, 阴离子除 Cl^- 以外, SO_4^{2-} 的含量也很高。

致谢 野外工作中得到合肥工业大学周涛发教授、安徽省地质调查院杜建国研究员、石家庄经济学院李红阳教授等的诸多帮助, 在激光拉曼探针分析中, 得到中国地质科学院矿产资源研究所徐文艺博士的大力协助, 在论文评审阶段, 范宏瑞研究员对论文进行了修改, 并提出了宝贵意见。在此一并致谢。

References

Chang Y F and Liu X G. 1983. On stratabound skarn deposits [J]. Mineral Deposits, 2(1): 11~20 (in Chinese with English abstract).
Chang Y F, Liu X P and Wu Y C. 1991. Fe-Cu metallogenic belt in the

Lower Yangtze River [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 263~269; 309~318 (in Chinese with English abstract).
Gu L X, Chen P R, Ni P, Xu Z W, Xiao X J, Qiu J S, Zhang Z Z and Zhang G H. 2002. Comparative research on ore-forming fluid for the main types of hydrothermal copper-gold deposits in the Middle and Lower Reach of the Yangtze River [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 38(3): 392~407 (in Chinese with English abstract).
He J X, Xu K Q, Gu L X and Hu W X. 1995. Contrast of characteristics of massive sulfide deposits between Nanling and Lower Yangtze districts [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 31(4): 625~634 (in Chinese with English abstract).
Huang H S, Shi Q Z, Cui B and Wen C Q. 1985. The origin and the geological assemblage feature of the Tonggunshan copper deposit [J]. Mineral Deposits, 4(2): 13~22 (in Chinese with English abstract).
Huang S S, Xu Z W and Ni P. 2003. Inclusions geochemistry of Dongguashan hydrothermal superimposition copper deposit in the Tongling Area, Anhui [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18(1): 34~38 (in Chinese with English abstract).
Huang X C and Chu G Z. 1993. Multistory metallogenic model of the Shizishan ore field in Tongling, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 12(3): 221~230 (in Chinese with English abstract).
Liu Y Q, Liu Z L and Yang C X. 1984. Stable isotope studies of the Dongguashan copper deposit in Tongling Prefecture, Anhui Province [J]. Bull. Institute of Mineral Deposits, CAGS, (1): 70~101 (in Chinese with English abstract).
Sun W K, Ding P F and Chen Y M. 1994. Synthesize methods of geological mapping and investigation for mineral resources [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 185~216 (in Chinese).
Tang Y C, Wu Y C, Chu G Z, Xing F M, Wang Y M, Cao F Y and Chang Y F. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the Along-Changjiang area of Anhui Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 231~251 (in Chinese with English abstract).
Wang W B, Li W D, Dong P and Xie H G. 1994. The genesis of cupiferous pyrite deposit, middle-lower Yangtze area, east China [J]. Volcanology & Mineral Resources, 15(2): 25~34 (in Chinese with English abstract).
Wen Q C, Huang H S and Liu Z L. 1996. Ore fabric characteristics of copper-iron deposits in Tongling district, Anhui, China [J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 23(2): 7~15 (in Chinese with English abstract).
Xie Y L, Xu J H, Yang Z S, Meng Y F, Xu W Y, Qiu S D and Wang B H. 2004. SEM/EDS study of daughter of fluid in garnet and diopside from Tongguanshan copper deposit [J]. Mineral Deposits, 23(3): 375~382 (in Chinese with English abstract).
Zeng P S, Pei R F, Hou Z Q, Meng Y F, Yang Z S, Tian S H, Xu W Y and Wang X C. 2005. The Dongguashan deposit in Tongling mineralization cluster area, Anhui: A large-sized super in position type copper deposit [J]. Acta Geologica Sinica, 79(1): 106~113 (in Chinese with English abstract).
Zhu H P and Wang L J. 2001. Analysis of gas composition in fluid inclusions by quadrupole mass spectrometry [J]. Science in China (Series D), 31

(7):586~590 (in Chinese).

附中文参考文献

- 常印佛,刘学圭. 1983. 关于层控式矽卡岩型矿床[J]. 矿床地质, 2(1): 11~20.
- 常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铜陵成矿带[M]. 北京:地质出版社. 263~269,309~318.
- 顾连兴,陈培荣,倪培,徐兆文,肖新建,邱检生,张遵中,张光辉. 2002. 长江中下游燕山期热液铜-金矿床成矿流体[J]. 南京大学学报(自然科学),38(3):392~407.
- 何金祥,徐克勤,顾连兴,胡文瑄. 1995. 南岭与下扬子区块状硫化物矿床特征的对比[J]. 南京大学学报,31(4):625~634.
- 黄华盛,师其政,崔彬,温春齐. 1985. 铜官山铜矿床的组合特征及成因[J]. 矿床地质,4(2):13~22.
- 黄顺生,徐兆文,倪培. 2003. 安徽铜陵冬瓜山热液叠加改造型铜矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 地质找矿论丛,18(1):34~38.
- 黄许陈,储国正. 1993. 铜陵狮子山矿床多位一体("多层楼")模式[J]. 矿床地质,12(3):221~230.

- 刘裕庆,刘兆廉,杨成兴. 1984. 铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所刊(1):70~101.
- 孙文珂,丁鹏飞,陈员明. 1994. 地质填图和矿产调查的综合方法[M]. 北京:地质出版社. 185~216.
- 唐永成,吴言昌,储国正,邢凤鸣,王永敏,曹奋扬,常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社. 231~251.
- 王文斌,李文达,董平,谢华光. 1994. 论长江中下游地区含铜黄铁矿型矿床成因[J]. 火山地质与成矿,15(2):25~34.
- 温春齐,黄华盛,刘兆廉. 1996. 铜陵地区石炭系铁铜矿床的矿石结构组分特征[J]. 成都理工学院学报,23(2):7~15.
- 谢玉玲,徐九华,杨竹森,蒙义峰,徐文艺,邱士东,王葆华. 2004. 铜官山铜矿床矽卡岩矿物中流体包裹体及子矿物的扫描电镜研究[J]. 矿床地质,23(3):375~382.
- 曾普胜,裴荣富,侯增谦,蒙义峰,杨竹森,田世洪,徐文艺,王训诚. 2005. 安徽铜陵矿集区冬瓜山矿床:一个叠加改造型铜矿[J]. 地质学报,79(1):106~113.
- 朱和平,王莉娟. 2001. 四极质谱测定包裹体中气相成分[J]. 中国科学(D辑),31(7):586~590.

<http://www.kcdz.ac.cn/>