安徽铜陵冬瓜山层控矽卡岩铜矿床形成过程——来自磁黄铁矿的证据

杨 爽，杜杨松，曹 毅，张智宇，刘绍锋

（中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室，北京 100083）

摘要：冬瓜山铜矿床是安徽铜陵地区代表性的层控矽卡岩型铜矿床之一，磁黄铁矿是冬瓜山铜矿床中广泛分布的矿石矿物。野外调研与矿相学观察显示，该矿床中的磁黄铁矿矿石具有沉积、热变质和热液交代结构构造。矿物学研究表明，不同矿石中的磁黄铁矿成分差异较大，其Fe含量变化于57.78%～60.67%之间，分属高温六方相和低温单斜相，主要由黄铁矿变质脱硫而成。冬瓜山铜矿的形成可能经历了早期沉积作用、中期热变质作用和晚期岩浆热液交代作用等复杂成矿过程。

关键词：冬瓜山层控矽卡岩铜矿床；磁黄铁矿；形成过程；安徽铜陵

中图分类号：P578.2^{+}4；P618.41 **文献标志码**：A **文章编号**：1000－8527(2012)01－0054－07

Forming Process of Dongguashan Stratabound Skarn Cu Deposit in Tongling, Anhui Province—Evidence from Pyrrhotite

YANG Shuang, DU Yang-song, CAO Yi, ZHANG Zhi-yu, LIU Shao-feng

(*State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Dongguashan copper deposit is one of representative stratabound skarn Cu deposits in Tongling, Anhui Province, and pyrrhotite is a type of ore minerals widely distributed in the deposit. Field investigation and microscopic observation indicate occurrence of sedimentary, thermally metamorphic, and hydrothermal metasomatic textures and structures in pyrrhotite ores from the deposit. Mineralogic study shows large difference in composition of pyrrhotite from the different ores, with Fe content ranging from 57.78% to 60.67%. There occur hexagonal (high-temperature) and monoclinic (low-temperature) pyrrhotite mainly formed by desulfurization of pyrite. A complex metallogenic process of early sediment and middle thermal metamorphism followed by late magmatic hydrothermal metasomatism may be responsible for the formation of the Dongguashan copper deposit.

Key words: Dongguashan stratabound skarn copper deposit; pyrrhotite; forming process; Tongling in Anhui Province

0 引 言

安徽铜陵地区是我国重要的铜、铁、金、硫矿床富集区。冬瓜山铜矿床位于铜陵地区狮子山矿田的中部，是狮子山矿田内埋藏最深、储量最大的大型铜矿床。前人对冬瓜山铜矿床进行了大量的矿床学和矿床地球化学研究[1－7]，认为冬瓜山铜矿床是海西期同生沉积的块状硫化物矿胚受到燕山期岩浆热液叠加改造而形成的层控矽卡岩型矿床[8－21]。本文在前人研究的基础上，重点开展了冬瓜山铜矿床主要矿石矿物磁黄铁矿的结构构造和成分研究，旨在为深入了解矿床的形成过

收稿日期：2011－07－18；**改回日期**：2011－11－25；**责任编辑**：楼亚儿。

基金项目：国家自然科学基金项目(40672045)；中国地质调查局全国危机矿山接替资源找矿项目(20089938)。

作者简介：杨 爽，女，硕士研究生，1986年出生，矿物学、岩石学、矿床学专业，主要从事矿床资源评价与国土资源信息研究。Email：boa_100200@163.com。

程提供一些新的证据。

1　矿区地质概况

狮子山矿田位于铜陵地区的中西部(图 1(a)),矿田内岩浆岩广泛发育(图1(b)),出露面积约3 km^2,多为小型侵入体。与冬瓜山铜矿床关系最密切的岩体是青山脚岩体,岩性为石英闪长(斑)岩,锆石 U-Pb 年龄为(135.5 ± 2.1) Ma[22],属于燕山期产物。

矿区内出露有泥盆纪—三叠纪的地层。与冬瓜山铜矿床成矿关系最密切的地层有二叠系下统、石炭系以及泥盆系上统。矿体主要赋存于石炭系中上统,矿体分布在区域上受地层层位控制明显。

冬瓜山铜矿床是层控矽卡岩铜矿床。在矿床主矿体中,脉石矿物主要有蛇纹石、滑石等蚀变矿物和石榴石、透辉石等矽卡岩型矿物;矿石矿物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿。

2　样品采集与测试方法

2.1　样品采集

本文研究的样品采自冬瓜山铜矿床 -730 m 和 -760 m中段的两条 48 线穿脉的剖面。-730 m 中段选取的样品包括矿化石榴石矽卡岩(DG013,DG019)、矿化石英闪长岩(DG022)和含铜磁黄铁矿矿石(DG23 - 2,DG025,DG024)(图 2);-760 m中段选取的样品包括含铜蛇纹岩(DG034,DG048)、矿化石榴石矽卡岩(DG041)、含矿岩脉及含铜磁黄铁矿矿石(DG027),被包裹的黄铁矿变斑晶(DG028)(图 3)。

2.2　测试方法

所用样品经处理加工成薄片,用于矿相显微镜的观察和拍照。选取具有典型特征的磁黄铁矿光薄片进行电子探针的主量元素分析,电子探针分析在核工业北京地质研究院完成。仪器型号:日本电子 JXA -8100 电子探针分析仪;测试条件:加速电压20 kV,束流 1×10^{-8}A,束斑直径2 μm,定量分析 ZAF 校正。

3　磁黄铁矿矿石的结构构造

通过野外调研和室内矿相显微镜的观察,笔者发现,在冬瓜山层控矽卡岩铜矿床中的磁黄铁矿矿石具有原生沉积、多期热液交代和变质 3 种

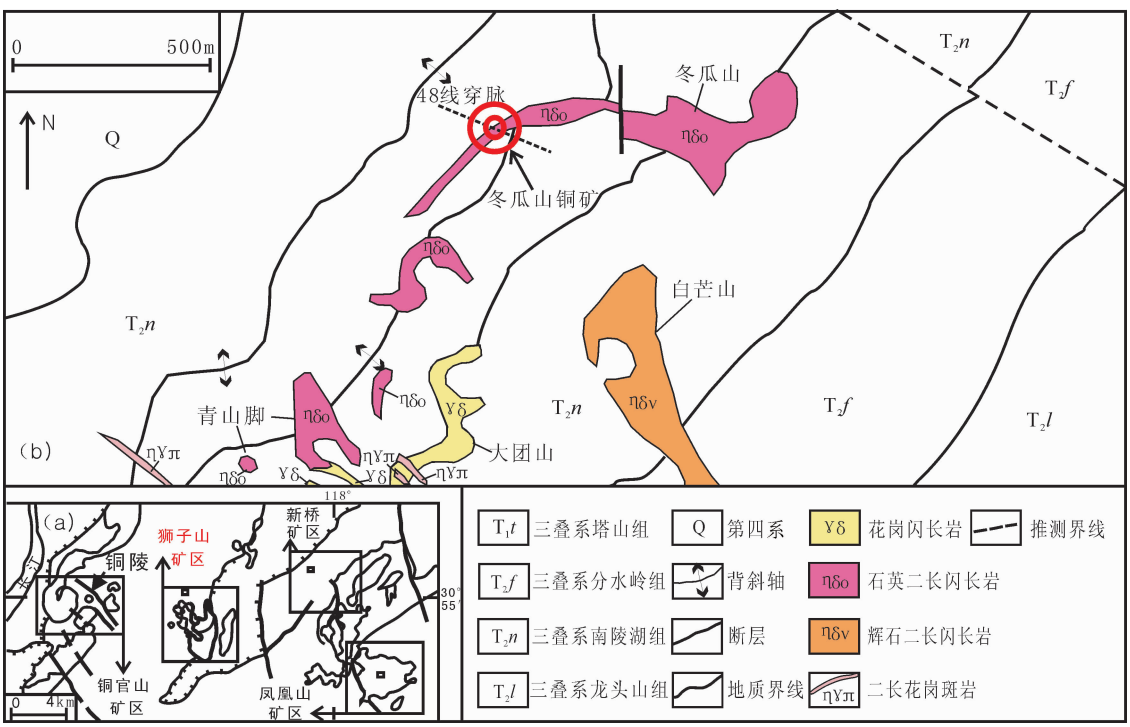

图 1　安徽铜陵狮子山矿田在铜陵地区位置(a)及其地质简图(b)((a)据文献 [23];(b)据①修改)

Fig. 1　Location of the Shizishan ore field in the Tongling district, Anhui Province (a) and its geological sketch map (b) ((a) after reference [23]; (b) modified from①)

①安徽省地质矿产局 321 地质队. 安徽冬瓜山铜矿报告. 1985.

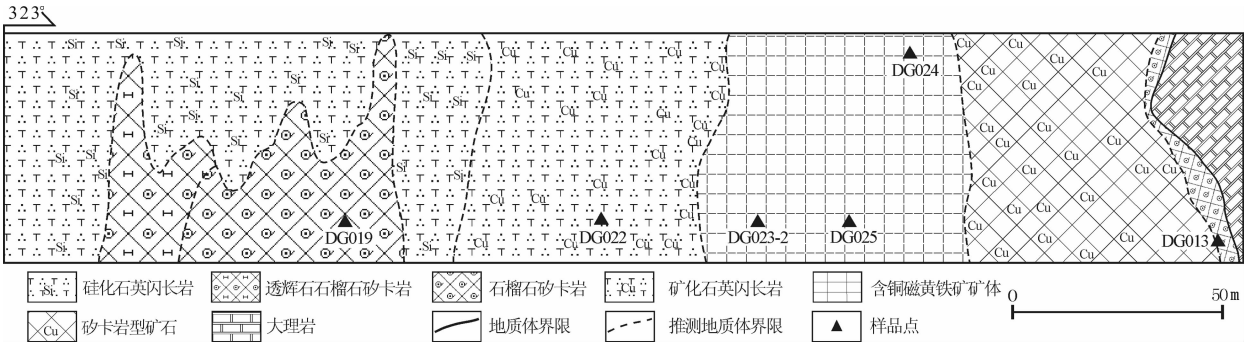

图 2 冬瓜山 -730 m 中段 48 线穿脉坑道示意图

Fig. 2 Schematic map of line 48 at level -730 m in Dongguashan Cu deposit

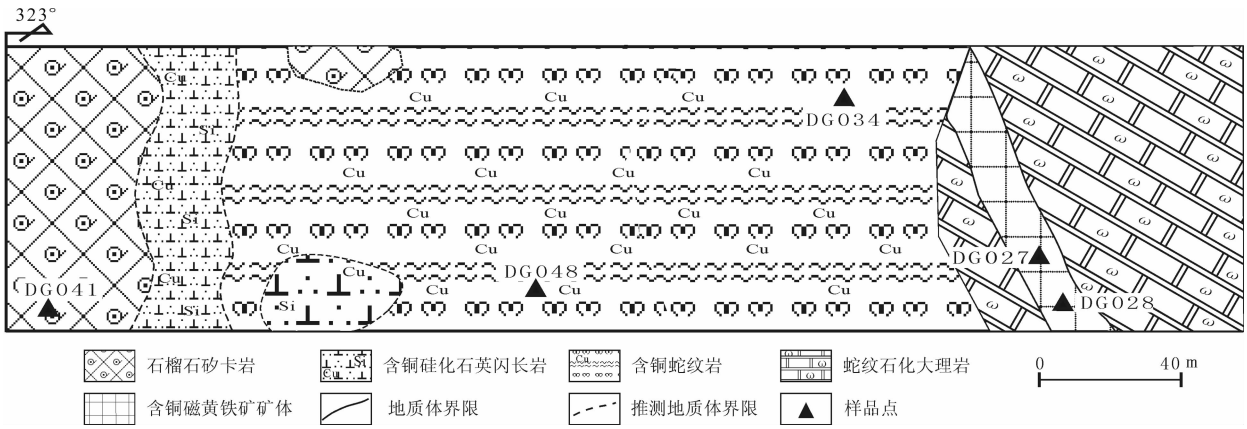

图 3 冬瓜山铜矿床 -760 m 中段 48 线穿脉坑道示意图

Fig. 3 Schematic map of line 48 at level -760 m in Dongguashan Cu deposit

不同的结构构造特征。

3.1 沉积结构构造

前人曾对冬瓜山层状矿体的结构构造特征做过大量描述，矿体产于晚泥盆世五通组砂岩与石炭纪黄龙组碳酸盐岩之间，受地层控制明显，呈层状或似层状产出，这种形态是长江中下游和华南块状硫化物矿床的重要特征之一[8,14]。冬瓜山层状硫化物矿石具有典型的沉积结构构造，多见纹层状构造，矿石形成后由于受到后期应力，发生变形而演变成揉皱状构造[9]或马尾丝状结构[20]。本文作者在层状矿体 -760 m 中段 48 线穿脉含铜蛇纹岩矿体中发现的矿石多呈条带状或纹层状沉积构造特征(图 4A，B)，由硫化物与蛇纹石、滑石等构成互层，交替分布。在矿相显微镜下，层状矿体的下部 -760 m 中段 48 线穿脉中的含铜蛇纹岩呈纹层状、多期热水回旋[20]的原生沉积结构(图 4A)。

3.2 热液交代结构

燕山期岩浆热液作用不仅形成了典型热液成因的矽卡岩型和斑岩型矿体，而且对层状硫化物矿体进行了改造和叠加，形成了脉状、浸染状等具典型热液成因特征的结构构造。冬瓜山铜矿 -730 m中段 48 线穿脉的层状矿体中，发育有大量岩浆热液成因的矽卡岩型矿体。在靠近岩体附近和矽卡岩中，常常见到细脉状的由磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和脉石矿物组成的含铜硫化物脉(图 4C)，晚期硫化物呈脉状穿插于早期硫化物矿石中，最后交代矽卡岩形成浸染状矿石。图 4D 显示了矽卡岩里发现的被后期热液交代而形成的残余状的鲕状黄铁矿。此外，在 -730 m 中段 48 线穿脉含铜磁黄铁矿矿体中，黄铁矿被磁黄铁矿交代成港湾状(图 4E)；在 -760 m 中段 48 线穿脉中的磁黄铁矿被黄铜矿交代后呈不规则残余状(图 4F)。

3.3 变质结构

前人研究证实，含铜磁黄铁矿矿体在进变质过程中形成的结构主要为胶黄铁矿转变为黄铁矿以及进一步变质转变为磁黄铁矿、磁铁矿；而退变质过程则以磁黄铁矿的退火、黄铁矿变斑晶的生长和单纯六方磁黄铁矿的形成为特征[21]。本文

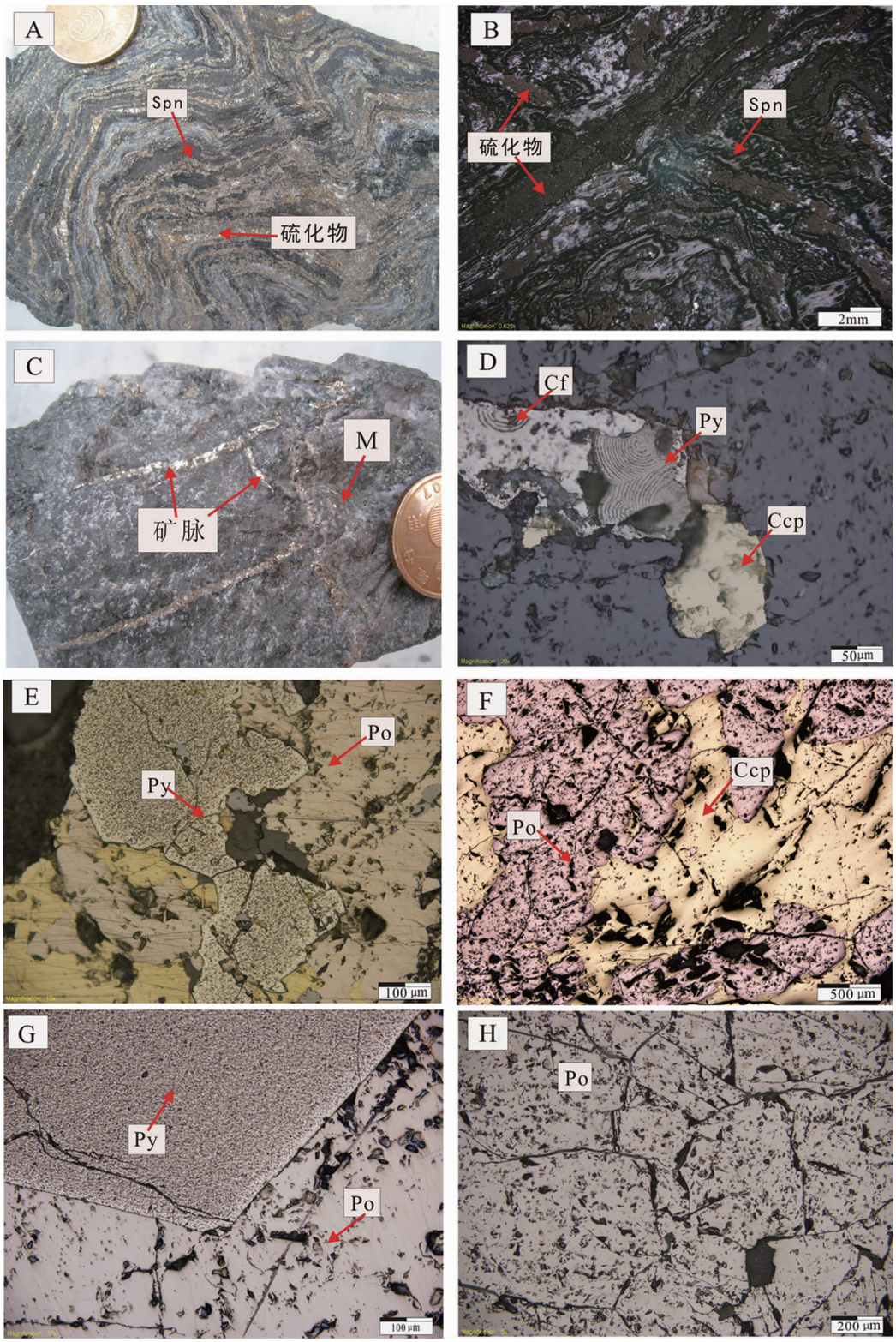

图 4　冬瓜山层控矽卡岩铜矿床硫化物矿石结构构造

Fig. 4　Structures and textures of sulfide ores in Dongguashan stratabound skarn copper deposit

A. 纹层状硫化物与蛇纹石(Spn)互层(DG034)；B. 多期热水回旋结构(DG048)；C. 大理岩(M)中硫化物沿细微裂隙或脉状充填(DG022)；D. 胶黄铁矿(Cf)中残余状鲕状结构的黄铁矿(Py)(DG041)；E. 黄铁矿(Py)被磁黄铁矿(Po)交代成港湾状(DG025)；F. 磁黄铁矿(Po)被黄铜矿(Ccp)交代成不规则残余状(DG027)；G. 黄铁矿(Py)与磁黄铁矿(Po)共生边结构(DG025)；H. 磁黄铁矿(Po)三晶嵌接显微结构(DG027)

表 1 冬瓜山层控矽卡岩铜矿床磁黄铁矿电子探针分析结果(w_B/%)

Table 1 Electron microprobe analyses of pyrrhotite from Dongguashan stratabound skarn copper deposit

样品号	结构类型	Se	Fe	S	Pb	Zn	Au	Co	Mo	Ni	Bi	总量
DG019	围岩中热液交代型	–	59.20	39.16	0.14	0.07	–	0.09	0.50	–	0.19	99.36
DG013	围岩中热液交代型	–	57.78	39.05	0.06	–	–	0.06	0.62	0.04	0.32	98.02
DG023 – 2	矿体中热变质型	–	60.67	38.57	0.14	0.04	–	0.10	0.64	–	0.17	100.46
DG025	矿体中热液交代型	–	60.03	38.99	0.10	–	0.22	0.13	0.48	–	–	100.05
DG025	矿脉中热液交代型	0.03	59.83	38.27	0.08	0.04	0.15	0.07	0.69	–	0.14	99.41
DG025	图 4E 热液交代型	–	60.09	39.27	0.02	–	–	0.05	0.54	–	0.13	100.10
DG025	图 4G 热变质型	–	60.47	39.04	0.08	–	0.13	0.06	0.05	–	0.06	100.40
DG024	矿体中热液交代型	–	58.16	39.00	0.11	–	–	0.07	0.57	0.02	0.30	98.31
DG024	矿体中热液交代型	0.04	59.69	38.02	0.08	–	–	0.11	0.76	–	–	98.72
DG027	图 4F 热液交代型	–	59.43	39.51	0.05	–	–	0.06	0.55	0.02	–	99.64
DG027	图 4H 热变质型	–	59.52	39.16	0.07	–	–	0.08	0.56	–	0.06	99.43
DG028	矿体中热变质型	–	59.10	37.99	0.16	–	–	0.04	0.58	–	0.26	98.23

注:“–”为未检出项;测试在核工业北京地质研究院完成。

研究表明,磁黄铁矿在变形之后发生重结晶和初期退火时,黄铁矿与磁黄铁矿的接触边界平直,呈共生边结构产出(图 4G);在进一步变质和退火过程中,磁黄铁矿产生了退火平衡结构——三晶嵌接显微结构(图 4H),这显示了磁黄铁矿经历了显著的退火及重结晶作用[24]。

4 磁黄铁矿的成分

本文选取了矿体中 –730 m 和 –760 m 中段的 48 线穿脉中部分样品对磁黄铁矿的元素赋存状态进行了电子探针测试分析(表 1)。由分析测试结果可知,测试样品中的磁黄铁矿 Fe 含量范围为 57.78% ~ 60.67%,S 含量范围是 37.99% ~ 39.51%,Mo 类质同像置换 Fe。

依据前人研究[25-30],Fe 原子百分比大于 46.5%的磁黄铁矿结构相对稳定,在 46.5% ~ 48.0%之间的磁黄铁矿存在很好的晶型对应关系。结合成因矿物学研究,本文将磁黄铁矿晶型与其成分之间存在的对应关系分类[30],并将磁黄铁矿的晶型及成分特征与生成温度进行了高低温划分(表 2)。

表 2 磁黄铁矿样品中 Fe 原子百分比与晶型及温度对应关系

Table 2 The percentage of atoms for Fe in pyrrhotite in relation to crystal form and temperature

采样位置	样品号	成因类型	Fe 原子百分比/%	晶系	温度
–730 m 中段围岩	DG019	热液交代型	46.3	单斜	低温
	DG013	热液交代型	45.8	单斜	低温
–730 m 中段矿体	DG023 – 2	热变质型	47.3	六方	高温
	DG025	热液交代型	46.8	单斜	低温
	DG025	矿脉中热液交代型	47.2	六方	高温
	DG025	热液交代型(图 4E)	46.7	单斜	低温
	DG025	热变质型(图 4G)	47.0	六方	高温
	DG024	热液交代型	46.0	单斜	低温
	DG024	热液交代型	47.2	六方	高温
–760 m 中段矿体	DG027	热液交代型(图 4F)	46.4	单斜	低温
	DG027	热变质型(图 4H)	46.5	单斜	低温
	DG028	热变质型	47.1	六方	高温

5 讨 论

矿相学研究表明,冬瓜山铜矿床中的主要矿石矿物磁黄铁矿兼有沉积、热液交代和变质的结构构造特征,反映了冬瓜山铜矿床的形成经历了沉积作用阶段、热液交代成矿阶段和热变质作用阶段。蛇纹岩中的纹层状构造和热水回旋结构都是典型的沉积成因结构构造;在热液交代过程中,出现了黄铁矿被磁黄铁矿交代而形成的港湾状(图 4E)新生结构,当交代作用强烈时,形成了具有交代残余的特征结构(图 4F)。图 4D 中的黄铁矿虽然被后期热液交代破坏了原有的形貌,但仍清晰可见部分保存下来的鲕状特征,它既保留了早期的部分沉积结构特点,也显示了后期多次热液交代的过程。冬瓜山铜矿床属于华南型块状硫化物矿床,在长江中下游地区的同类型层状硫化物矿床中普遍存在胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿这种从低温到高温的变质反应顺序[8]。冬瓜山矿床在变质作用期间退变质作用显著,退变质初期,出现了大量的黄铁矿与磁黄铁矿平直的接触边界[31-32](图 4G);进一步退变质后,达到了

退火平衡，形成三晶嵌接结构(图 4H)。矿床从深部至浅部，磁黄铁矿含量增多，矿石构造由纹层状变为致密块状，分析原因可能是磁黄铁矿在燕山期岩浆作用过程中，由深部靠近岩体的大规模层状黄铁矿矿体变质脱硫的产物[20]。

此外，在野外工作中也发现，在大理岩中发育有顺层侵入的含铜磁黄铁矿矿体，它与大理岩呈整合关系，且接触界线截然(图 3)，这种现象与曾普胜[20]描述的特征相似，大理岩中未见明显的脉体穿插显现和熔融的重结晶现象，表明变质作用的温度并未高到使方解石熔化的程度，与大理岩整合接触的磁黄铁矿，所需的熔化温度更高。由此判断，这种整合产出的块状磁黄铁矿不是熔融态形成的，而是原地物质固态条件下遭受热变质的“角岩化”的结果。

综合磁黄铁矿成分范围(表 1)和晶系及温度对应关系(表 2)，在冬瓜山铜矿床的矽卡岩矿石及其围岩中的磁黄铁矿多以单斜相形式存在，表明矽卡岩及围岩中的磁黄铁矿形成于较低的温度阶段；与此不同的是，在含铜磁黄铁矿矿体中磁黄铁矿则以单斜相与六方相混合存在，反映了冬瓜山 -760 m、-790 m 中段主矿体中的磁黄铁矿形成于两个不同阶段，即低温阶段和高温阶段。同时，位于 -760 m 中段 48 线穿脉中靠近大理岩附近的磁黄铁矿以高温六方相为主。在变质作用过程中，高温的六方相磁黄铁矿形成于早期重结晶阶段和初期退火阶段，而退变质后期则不仅出现了高温的六方相磁黄铁矿，也出现了低温的单斜相磁黄铁矿。依据 Arnold[25]的研究表明，六方磁黄铁矿在高温条件下缓慢冷却会使磁黄铁矿有足够的时间出溶黄铁矿，在过剩的硫完全以黄铁矿出溶后，温度下降将不能再出溶单斜磁黄铁矿，形成单纯的六方磁黄铁矿；但如果经历了高温时的快速降温，六方磁黄铁矿中多余的硫未能以黄铁矿的形式完全出溶，那么当温度下降到 254 ℃以下，将会有单斜磁黄铁矿的出溶。所以，冬瓜山铜矿床中的低温热变质成因单斜磁黄铁矿的存在，表明矿床形成不仅经历了一段缓慢的降温过程[21]，局部也出现了快速降温过程。

6　结　论

(1)冬瓜山矿床 -730 m 中段和 -760 m 中段 48 线穿脉中的磁黄铁矿矿石具有沉积、热变质、多期热液交代结构构造特征。

(2)冬瓜山层控矽卡岩铜矿床的形成过程为早期经历了沉积作用，在矿床底部形成了大量具有纹层状构造的矿体；后经燕山期岩浆侵入，温度升高，变质作用发生；变质作用之后，岩浆热液叠加对早期形成的产物进行了多期次的改造，最终形成了层控矽卡岩铜矿床。

(3)冬瓜山层控矽卡岩铜矿床中磁黄铁矿的成因可能是早期纹层状矿体中的黄铁矿在燕山期岩浆侵入后，遭到强烈变质作用脱硫而成。主矿体中的磁黄铁矿在形成过程中不仅经历了缓慢的降温过程，局部也存在一个快速降温过程。

致谢：冬瓜山铜矿技术部、安徽省地质矿产局 321 地质队在野外工作中给予了诸多的帮助；李胜荣教授热情地指导了本文研究；文章撰写过程中得到了许康康、滕传耀、张爱萍、赵栋等的帮助，在此一并致以衷心的感谢。

参考文献：

[1] 刘裕庆，刘兆廉，杨成兴. 铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究 [M]. 矿床地质研究所. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊. 第 1 号. 北京：地质出版社，1984：70 -101.

[2] 杜杨松. 铜陵地区岩浆岩和有关矿床的成岩成矿作用机制 [J]. 矿物岩石地球化学通讯，1991，10(2)：38 -40.

[3] 姜章平，陈邦国，陆现彩，等. 与冬瓜山叠生式层状铜矿有关岩体地质地球化学特征 [J]. 江苏地质，2001，25(2)：87 -91.

[4] 凌其聪，刘丛强. 冬瓜山层控矽卡岩型铜矿床成矿流体特征及其成因意义 [J]. 吉林大学学报：地球科学版，2002，32(2)：219 -224.

[5] 凌其聪，刘丛强. 层控矽卡岩及有关矿床形成过程的稀土元素行为——以安徽冬瓜山矿床为例 [J]. 岩石学报，2003，19(1)：192 -200.

[6] 黄顺生，徐兆文，倪培. 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，2003，18(1)：34 -38.

[7] 徐兆文，陆现彩，高庚，等. 铜陵冬瓜山层状铜矿同位素地球化学及成矿机制研究 [J]. 地质论评，2007，53(1)：44 -51.

[8] 顾连兴，徐克勤. 论长江中下游中石炭世海底块状硫化物矿床 [J]. 地质学报，1986，60(2)：176 -188.

[9] 陆建军，华仁民，徐兆文，等. 安徽铜陵冬瓜山铜、金矿床两阶段成矿模式 [J]. 高校地质学报，2003，9(4)：678 -690.

[10] 翟裕生，姚书振，林新多，等. 长江中下游地区 Fe -Cu(Au)成矿带 [M]. 北京：地质出版社，1991：1 -235.

[11] 翟裕生，姚书振，林新多，等. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律研究 [J]. 矿床地质，1992，11(1)：1 -12.

[12] 常印佛，刘学圭. 关于层控式夕卡岩型矿床——以安徽省内下扬子坳陷中一些矿床为例 [J]. 矿床地质，1983，2

(1): 10 - 16.

[13] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铁铜成矿带 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 2 - 48.

[14] 徐克勤, 王鹤年, 周建平, 等. 论华南喷流—沉积块状硫化物矿床 [J]. 高校地质学报, 1996, 2(3): 241 - 256.

[15] 唐永成, 吴言昌, 储国正, 等. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1 - 351.

[16] 徐兆文, 陆建军, 陆现彩, 等. 安徽省铜陵冬瓜山铜金矿床地质特征及成因 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 233 - 234.

[17] 陈邦国, 姜章平, 张卫平, 等. 安徽冬瓜山叠生式层状铜矿热液改造型流体研究 [J]. 江苏地质, 2002, 26(2): 65 - 69.

[18] 曾普胜, 裴荣富, 蒙义峰, 等. 铜陵矿集区铜金矿床叠加改造过程中的排金效应 [J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 216 - 224.

[19] 曾普胜, 蒙义峰, 杨竹森, 等. 安徽铜陵矿集区与块状硫化物矿床有关的热水沉积岩 [J]. 矿床地质, 2004, 23(3): 334 - 343.

[20] 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 等. 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, 2005, 79(1): 106 - 113.

[21] 郭维民, 陆建军, 章荣清, 等. 安徽铜陵冬瓜山矿床中磁黄铁矿矿石结构特征及其成因意义 [J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 405 - 414.

[22] 徐晓春, 陆三明, 谢巧勤, 等. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其成因意义 [J]. 地质学报, 2008, 82(4): 500 - 510.

[23] 杜杨松, 李顺庭, 曹毅, 等. 安徽铜陵铜官山矿区中生代侵入岩的形成过程——岩浆底侵、同化混染和分离结晶 [J]. 现代地质, 2007, 21(1): 71 - 77.

[24] Craig J R, Vokes F M. Post-recrystallisation mobilisation phenomena in metamorphosed stratabound sulphide ores [J]. Mineralogical Magazine, 1993, 57: 19 - 28.

[25] Arnold R G. Equilibrium relations between pyrrhotite and pyrite from 325 ℃ to 743℃ [J]. Economic Geology, 1962, 57: 72 - 90.

[26] 祝向平, 汪名杰, 姚鹏, 等. 四川黑牛洞铜矿床磁黄铁矿的标型特征及成矿指示意义 [J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 562 - 567.

[27] 魏宁, 方维萱, 陈家玮, 等. 云南个旧大白岩铜锡矿床铜锡与共伴生组分赋存状态研究 [J]. 矿物学报, 2010, 30(1): 115 - 122.

[28] 周喜文, 李宪洲. 老柞山金矿磁黄铁矿的标型特征及其矿化指示意义 [J]. 世界地质, 2001, 20(2): 133 - 141.

[29] 丁奎首, 秦克章, 许英霞, 等. 东天山主要铜镍矿床中磁黄铁矿的矿物标型特征及其成矿意义 [J]. 矿床地质, 2007, 26(1): 109 - 119.

[30] Carpenter R H, Desborough G A. Range insolution and structure of natural occurring troilite and pyrrhotite [J]. American Mineralogist, 1964, 49: 1350 - 1365.

[31] Gu L X, McClay K R. Pyrite deformation in stratiform lead-zinc deposits of the Canadian Cordillera [J]. Mineralium Deposita, 1992, 27: 169 - 181.

[32] Gu L X, Zheng Y C, Tang X Q, et al. Advances in research of sulphide ore textures and their implications for ore textures [J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(2): 1007 - 1021.