

安徽铜陵冬瓜山铜、金矿床两阶段成矿模式

陆建军, 华仁民, 徐兆文, 高剑峰, 李娟

(南京大学地球科学系, 成矿作用国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 冬瓜山铜金矿床包括层状硫化物矿体、矽卡岩型和斑岩型矿体。层状硫化物矿体具层状形态和层控特征, 矿石具块状、层纹状和揉皱状构造。燕山期岩浆岩及其岩浆流体对层状矿体进行了叠加和改造, 改变了其结构构造、矿物组合和矿石成分, 并在其上叠加蚀变和矿化。层状矿体中的铜是由含铜流体交代块状硫化物矿石形成的。冬瓜山铜金矿床经历了两次成矿作用: 第一成矿阶段, 在石炭纪中期, 海底喷流作用形成了块状硫化物矿床, 矿石成分以硫、铁矿为主; 第二成矿阶段, 燕山期岩浆侵入, 一方面岩浆热液与围岩相互作用发生矽卡岩化、硅化、钾长石化、石英绢云母化和青磐岩化, 形成矽卡岩型和斑岩型矿体, 另一方面岩浆流体对块状硫化物矿体进行叠加改造, 致使块状硫化物矿体富集铜等成矿物质。

关键词: 块状硫化物矿床; 岩浆热液成矿作用; 成矿模式; 冬瓜山铜金矿床; 安徽

中图分类号: P618.41; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7493(2003)04-678-13

在长江中下游断裂拗陷带中存在许多受石炭纪地层控制的含铜层状硫化物矿体及与其伴生的矽卡岩型铜、金矿床, 这类矿床有时还伴有斑岩型铜(金)矿体。冬瓜山特大型铜、金矿床便是其中之一。该矿床属于铜陵铜-金矿集区, 包括层状硫化物矿体、矽卡岩矿体和斑岩铜矿体。虽然对于冬瓜山矿床的专门性研究文章较少, 但许多学者在研究长江中下游地区铁铜矿床时都提到了该类矿床的成因。孟宪民(1963)首先提出铜陵地区这类矿床是同生沉积形成的; 徐克勤等(1978, 1980)研究认为长江中下游地区产于石炭系底部的铜矿床为沉积-叠加改造形成; 常印佛等(1983, 1991)认为安徽沿江地区该类矿床属层控式矽卡岩型矿床; 黄许陈等(1992, 1993)认为铜陵地区该类矿床的形成包括外生沉积成矿和热液交代充填成矿, 提出冬瓜山矿床是在原始沉积形成的胶状黄铁矿“矿胚”层基础上经岩浆热液作用形成的层控矽卡岩型矿床, 而唐永成等(1998)则认为该矿床的形成还包括矿浆的贯入作用; 凌其聪等(1998)提出该矿床是矽卡岩岩浆在演化过程中因发生液态不混溶作用形成的; 顾连兴等(1986b, 1993, 2000)认为该矿床属于块状硫化物矿床, 并受到燕山期花岗岩的侵入和改造; 李文达等(1989, 1997)、王文斌等(1994)、翟裕生等(1992, 1995)、刘裕庆等(1991)在研究长江中下游地区或铜陵地区此类矿床时把冬瓜山矿床归于沉积-叠加改造型矿床。

笔者近几年对冬瓜山铜、金矿床进行了考察, 对矿床地质、矿石结构构造和矿床地球化学作了详细研究, 提出层状矿体属石炭纪海底块状硫化物矿床, 其矿石成分以硫和铁为主, 而层状矿体中的铜及矽卡岩型和斑岩型铜(金)矿体则是由与燕山期岩浆岩有关的岩浆热液作用形成的。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043209)、高等学校博士学科点专项科研基金(1999028435)和国家自然科学基金(49873016)资助

第一作者简介: 陆建军, 男, 1962年12月生, 教授, 主要从事成岩成矿作用和矿床地球化学研究。E-mail: lujj@icprms.nju.edu.cn

1 矿床地质特征

冬瓜山矿床位于狮子山矿田的东部。矿区主要出露三叠系中、下统地层,上统地层零星分布,深部可见二叠系、石炭系和泥盆系上统地层。青山背斜是区内主要的褶皱构造,呈“S”型分布,长约 22.5 km,宽约 8 km,枢纽向北东倾斜,北西翼较陡,南东翼较缓。矿床埋藏于青山背斜的深部。断裂构造以近南北向断裂为主,次为东西向,以及北东向和北西向。矿区内岩浆岩出露面积约 3 km²,多为浅成-超浅成的小型侵入体,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和煌斑岩,岩石的 Ar-Ar 同位素年龄为 135.8 Ma (唐永成等, 1998)。

石英二长闪长岩呈浅灰、灰褐色,全晶质半自形粒状结构,主要矿物有中性斜长石、普通角闪石,次要矿物为钾长石、石英,见少量黑云母。岩石化学分析结果: SiO₂ 57.64%, Al₂O₃ 16.64%, Na₂O 4.33%, K₂O 3.17%, CaO 6.37%, MgO 2.63%, FeO 3.93%, Fe₂O₃ 1.25%, K₂O/Na₂O 比值为 0.73,属碱质偏高的钙碱性岩石。

石英二长闪长玢岩呈浅灰色,斑状-似斑状结构,块状构造;斑晶为中性斜长石、普通角闪石以及少量石英和黑云母,基质主要由石英、中性斜长石和钾长石组成。岩石化学分析结果: SiO₂ 59.28% ~ 63.70%, Al₂O₃ 15.16% ~ 17.06%, Na₂O 3.08% ~ 4.54%, K₂O 2.68% ~ 4.33%, CaO 3.24% ~ 5.60%, MgO 1.73% ~ 2.42%, FeO 2.39% ~ 3.56%, Fe₂O₃ 0.68% ~ 3.65%, TiO₂ 0.55% ~ 0.72%, MnO 0.04% ~ 0.12%, K₂O/Na₂O 比值为 0.63 ~ 1.41,属钙碱性岩石。

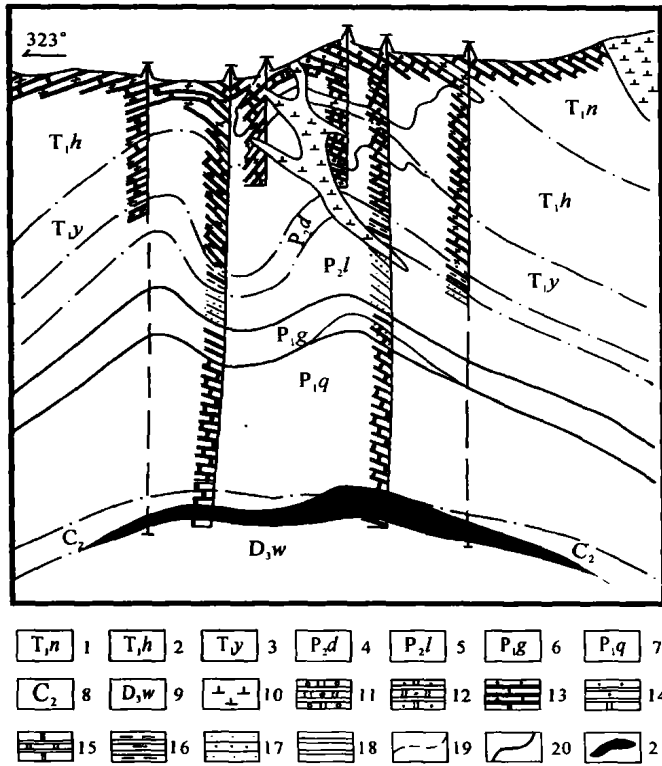
已探明冬瓜山矿床南段共有矿体 138 个,其中 I 号矿体为主矿体,约占南段铜储量的 99.27%。矿体总长约 3 000 m,宽 200~800 m,厚度一般在 35~45 m,埋深在 -700~-1007 m(唐永成等, 1998)。在靠近岩体或岩体接触带处,矿体顶板围岩除少数为石英二长闪长岩外,其余均为砂卡岩;远离岩体,矿体顶板围岩主要为大理岩或砂卡岩化大理岩。矿体底板围岩主要为五通组砂岩,偶见石英二长闪长岩。矿体中还有扁豆状、似层状及透镜状夹石,岩性主要为蛇纹石岩、石英二长闪长玢岩、石英二长闪长岩、砂卡岩等,夹石均有不同程度的矿化。矿石类型主要有含铜磁黄铁矿型、含铜蛇纹岩型和含铜砂卡岩型,次为含铜磁铁矿、含铜黄铁矿、斑岩型、含铜硬石膏岩和含铜粉砂岩型。矿石结构主要为自形粒状结构、半自形-它形粒状结构以及各种交代结构,矿石主要呈块状构造、浸染状构造、脉状构造、条带状构造和条纹状构造。金属矿物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、银金矿和自然金等,次为方黄铜矿、闪锌矿、菱铁矿和白铁矿等;脉石矿物主要为石榴子石、透辉石、蛇纹石、滑石、硬石膏、石英和方解石等。主要成矿元素为铜和金,伴有硫、铁和银。

2 海底沉积成矿作用

自震旦纪以来,长江中、下游地区由于地幔上隆地壳拉张,形成与深大断裂密切相关的断裂拗陷带(徐克勤等, 1978;顾连兴等, 1987)并形成了与海底喷流作用有关的石炭纪块状硫化物矿床(顾连兴等, 1986a)。冬瓜山铜、金、银多金属矿床中的层状硫化物矿体,即属于此类块状硫化物矿床。

2.1 矿体的层控和层状形态特征

层状硫化物矿体产于晚泥盆世五通组砂岩和石炭纪黄龙组碳酸盐岩之间,受地层层位控



- 1. 南陵湖组 (Nanlinghu Group); 2. 和龙山组 (Helongshan Formation); 3. 殷坑组 (Yinkeng Formation); 4. 大隆组 (Dalong Formation); 5. 龙潭组 (Longtan Formation); 6. 孤峰组 (Gufeng Formation); 7. 栖霞组 (Qixia Formation); 8. 壶天统 (Hutian Formation); 9. 五通组 (Wutong Formation); 10. 二长闪长岩 (monzodiorite); 11. 条带状夕卡岩 (banded skarn); 12. 层状夕卡岩 (stratiform skarn); 13. 角岩与大理岩互层 (interlayer of marble and hornberg); 14. 角岩夹大理岩 (hornberg with marble interlayer); 15. 大理岩 (marble); 16. 硅质页岩 (siliceous shale); 17. 砂岩 (sandstone); 18. 硅质岩 (silicite); 19. 地层界限 (strata border line); 20. 地质界限 (geological borderline); 21. 矿体 (ore body)

图1 冬瓜山矿床58线地质剖面图 (据唐水成等, 1998)

Fig. 1 Geological section along No. 58 line of the Dongguashan deposit (after Tang et al, 1998)

制明显, 主要呈层状、似层状产出。图1代表了冬瓜山块状硫化物矿床主要矿体的形态。矿体的层状形态是长江中、下游和华南块状硫化物矿床的重要特征之一(徐克勤等, 1978, 1980; 顾连兴等, 1986a)。

2.2 矿石具典型沉积结构构造特征

许多研究者(徐克勤等, 1978; 顾连兴等, 1986b; 王文斌等, 1994; 李文达等, 1997)对长江中、下游石炭系底部的层状矿体的沉积结构特征曾作过详细描述。冬瓜山矿床中的层状矿体以块状构造为主, 虽然受到了后期热液的叠加和改造, 但反映矿石沉积成因的结构构造依然存在。最典型的为层纹状构造, 它主要由硫化物矿物与含硫化物的石英碳酸盐等脉石矿物相互交替构成(照片1)。矿石形成后由于受到后期应力作用会发生变形, 层纹状构造演变成揉皱状构造(照片2)。胶状结构在层状黄铁矿层中普遍存在。在胶黄铁矿中还保留同心圆状结构。

2.3 特征的矿物和矿物组合

层状硫化物矿体的块状矿石中矿石矿物主要为胶黄铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿, 伴以少量白铁矿和闪锌矿, 脉石矿物主要为石英、碳酸盐、硬石膏等。由于受到后期热液作用的影响, 在层状矿石中还出现蛇纹石、绿泥石和滑石等矿物。

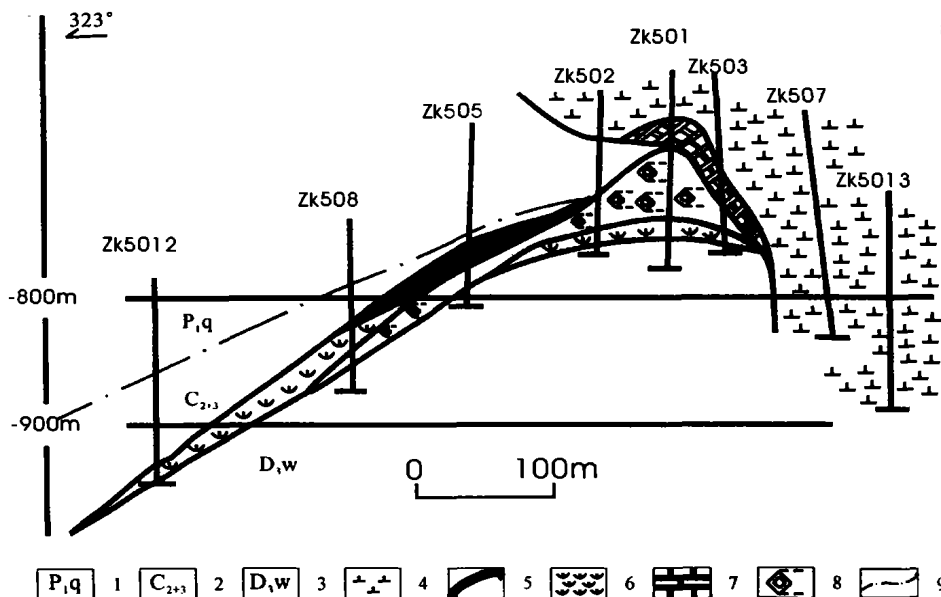
铁的硫化物是块状硫化物矿体中最常见的矿物之一(Ramdohr, 1980)。

在矿体底部或白云岩中常发育原始沉积的胶黄铁矿层, 呈层状、似层状, 与地层呈整合接触, 矿物组合为胶黄铁矿、菱铁矿和硬石膏, 由于受到后期热液作用的影响, 常出现黄铁矿、磁黄铁矿和蛇纹石等矿物。如 ZK342 钻孔中在黄龙组底部和上部分别有一层厚 11.08 m 和 12.26 m 的胶黄铁矿层(321 地质队等, 1995^①), 顺层产出。胶黄铁矿在主矿体南部和西部边缘比较多。在岩体接触带处胶黄铁矿较少, 远离接触带胶黄铁矿逐渐增多。胶黄铁矿常具有同

① 安徽省地矿局 321 地质队, 等. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究(上册).

心圆状结构。胶黄铁矿在长江中、下游其它块状硫化物矿床中也是常见的特征矿物之一(顾连兴等, 1986b; 王文斌等, 1994; 李文达等, 1997)。Joanna (1994) 在 Pinnacles 块状硫化物矿床中也发现了胶黄铁矿。

冬瓜山矿体中还存在沉积石膏层, 该层一般分布在胶黄铁矿层的上部。图 2 展示了冬瓜山矿床 50 线含铜硬石膏的分布。此层硬石膏层呈透镜状分布, 厚达 20 余米, 矿物组成主要以硬石膏为主, 伴以黄铁矿和黄铜矿。



1. 栖霞组(Qixia Formation); 2. 黄龙-船山组(Huanglong-Chuanshan Formation); 3. 五通组(Wutong Formation); 4. 石英二长闪长玢岩(quartz monzodiorite porphyry); 5. 块状硫化物矿石(massive sulphide ores); 6. 蛇纹石岩(serpentine); 7. 砂卡岩(skarn); 8. 硬石膏(anhydrite); 9. 地层界限(geological border line)

图 2 冬瓜山铜矿床 50 线矿体分布剖面图 (据 321 地质队等, 1995)

Fig. 2 Section of orebodies along No. 50 line of the Dongguashan deposit
(after Geological Team No. 321 et al., 1995)

2.4 特殊的矿物生成顺序

顾连兴等(1986a)研究得出, 在华南块状硫化物矿床中矿物生成顺序不是热液矿床中从高温到低温的沉淀顺序, 而是从低温到高温的变质反应顺序。冬瓜山层状硫化物矿体中也存在类似的现象。早期沉积形成的胶黄铁矿受热变质作用后转变为黄铁矿, 出现从胶黄铁矿到细晶黄铁矿直至粗晶黄铁矿的递变。黄铁矿可变质形成磁黄铁矿, 磁黄铁矿可进一步变质形成磁铁矿。从胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿的这种矿物生成序列是华南块状硫化物矿床中十分普遍的现象(顾连兴等, 1986a)。

2.5 硫同位素特征

胶黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 4.07‰ (唐永成等, 1998), 层状矿体中层纹状和块状矿石黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 4.1‰~5.2‰ (321 地质队等, 1995^①), 两者相近。含矿围岩黄龙组中结核状黄铁矿

① 安徽省地矿局 321 地质队, 等. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究(上册).

的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-0.6\text{‰} \sim -28.3\text{‰}$ (321地质队等, 1995^①), 表明地层中硫可能由海水中的硫酸盐通过细菌还原而来(Anderson et al, 1998)。层状硫化物矿体中黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值与其围岩中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值完全不同, 而与长江中、下游地区马山、武山、铜官山和新桥等块状硫化物矿床硫化物的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值(Gu et al, 2000; 李文达等, 1997)比较接近, 说明层状矿石中硫既不是来源于地层, 也不是与地层硫同源, 很可能与海底喷流作用有关。层状含黄铜矿硬石膏-黄铁矿矿石中硬石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $14.8\text{‰} \sim 20.5\text{‰}$ (唐永成等, 1998), 含矿围岩中沉积硬石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $20.5\text{‰} \sim 21.6\text{‰}$ (唐永成等, 1998), 两者均与晚古生代海底硫酸盐的硫同位素(Claypool et al, 1980; Sangster, 1976)接近, 说明硫酸盐矿物为当时海底沉积形成的, 显示出矿床的沉积特征。

以上特征表明, 冬瓜山矿床中层状硫化物矿体在成矿特征上与Sangster等(1976)和Franklin等(1981)提出的块状硫化物矿床的特征相似。富士谷等(1977)、徐克勤等(1980)、顾连兴等(1984)研究揭示, 在长江中、下游地区的新桥和武山块状硫化物矿床中存在石炭纪火山岩, 这说明长江中、下游地区的块状硫化物矿床与海底火山作用有密切的成因联系, 属火山喷气或海底喷流沉积成因。作为该类矿床之一的冬瓜山矿床中的层状矿体在成因上可能也与海底喷流作用有关, 是海底热液上升进入坳陷盆地后沉积形成的。冬瓜山矿床层状矿体中黄铁矿的S/Se比值为78 700(温春齐等, 1996), 明显小于200 000, 这也进一步说明矿床的形成可能与石炭纪海底热液有关。王文斌等(1994)、李文达等(1997)、Zhou(2000)等研究长江中、下游这类矿床时也把冬瓜山矿床中的层状硫化物矿体归属于海底喷流形成的块状硫化物矿床。顾连兴等(1986a)把这类矿床称之为“华南型”块状硫化物矿床。顾连兴等(1984; 1986b)研究得出长江中、下游块状硫化物矿床形成于中石炭世。李文达等(1997)的研究表明, 江西武山和新桥矿区层状矿体的形成年龄分别为328 Ma和313 Ma。由此推测冬瓜山矿床层状矿体可能也形成于石炭纪中期。

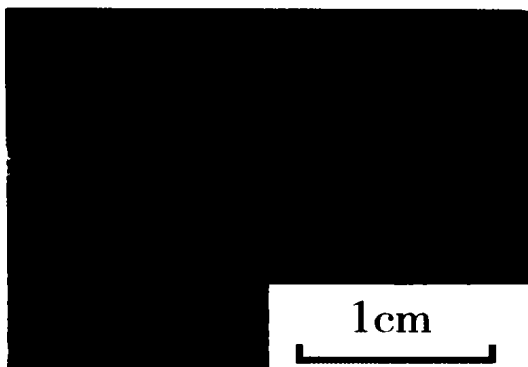
3 燕山期岩浆热液叠加-改造成矿作用

层状硫化物矿体形成后, 燕山期岩浆岩沿断裂上升侵入与层状矿体直接接触, 造成对层状矿体的改造和叠加。岩浆热液作用不仅形成了新的矽卡岩型和斑岩型铜(金)矿体, 而且致使层状矿体富集铜等成矿物质。

3.1 热液成矿的结构构造特征

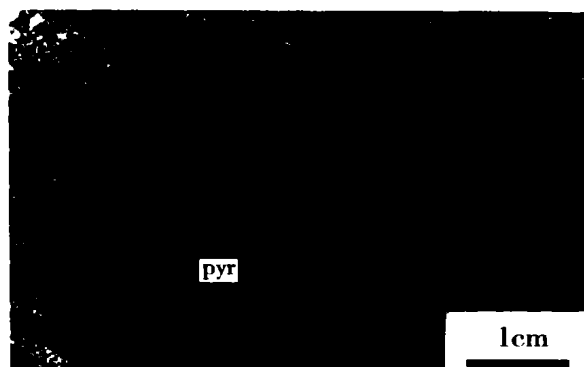
燕山期岩浆热液作用不仅形成了典型热液成因的矽卡岩型和斑岩型矿体, 而且对层状硫化物矿体进行了改造和叠加, 形成了脉状、环斑状、浸染状等具典型热液成因特征的结构构造。在层纹状硫化物矿石中, 常常见到细脉状、小脉状含黄铜矿的硫化物脉穿插其中。这种硫化物脉主要由磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和脉石矿物组成。在块状硫化物矿体中, 常见到方解石脉和含黄铜矿的硫化物石英脉叠加其上。照片3清楚地表明, 含黄铜矿的石英脉穿插于硫化物矿石之中。照片4显示了黄铜矿交代黄铁矿形成的环斑结构, 黄铜矿环绕黄铁矿周边分布, 黄铁矿被交代后呈似圆状。黄铜矿环边有时又被后期的脉石矿物石英和方解石脉交代蚕蚀(照片4)。这种环斑结构在磁黄铁矿矿石中尤其发育。在黄铁矿和磁黄铁矿的边缘常见到被黄铜矿交代溶蚀的现象。具同心园状结构的胶黄铁矿裂隙有时被黄铜矿充填。李文达(1989)在

① 安徽省地矿局321地质队, 等. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究(上册).



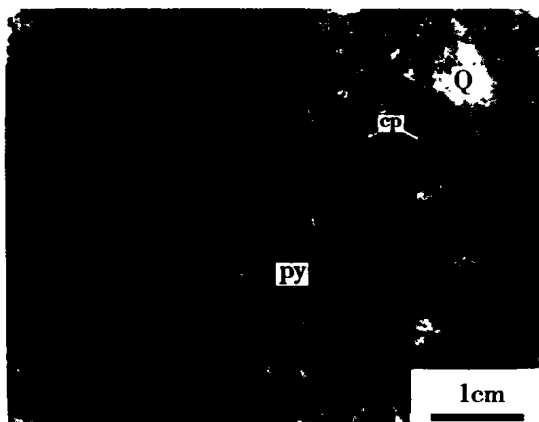
照片 1 块状黄铁矿磁黄铁矿矿石中的层纹状构造, 冬瓜山

Photo 1 Microbedding structure in the massive pyrite-pyrrhotite ores of the Dongguashan deposit. Polished section



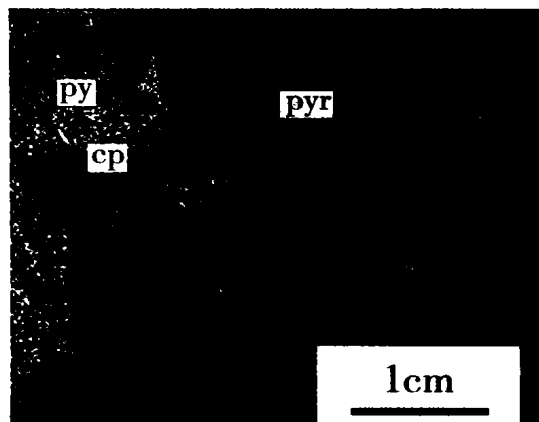
照片 2 块状黄铁矿磁黄铁矿矿石中的揉皱状构造
pyr-磁黄铁矿, 冬瓜山

Photo 2 Yielding structure in the massive sulphide ores of the Dongguashan deposit. pyr-pyrrhotite. Polished section



照片 3 黄铁矿(py) 黄铜矿(cp) 石英(Q)脉, 冬瓜山

Photo 3 Pyrite-chalcopyrite-quartz veinlet in the massive sulphide ores of the Dongguashan deposit. py-pyrite; cp-chalcopyrite; Q-quartz. Polished section



照片 4 黄铜矿(cp)围绕黄铁矿(py)构成环斑结构,
pyr-磁黄铁矿, 灰色部分为脉石矿物, 冬瓜山,

Photo 4 Ring texture in the massive sulphide ores of the Dongguashan deposit. cp-chalcopyrite; py-pyrite; pyr-pyrrhotite. Polished section

研究长江中下游这类层状矿体的矿石结构时也发现了大量黄铜矿交代其它硫化物和磁铁矿的现象, 例如: 黄铜矿细脉穿插磁铁矿; 被压碎的黄铁矿裂隙被黄铜矿、闪锌矿和方铅矿充填胶结; 黄铁矿、白铁矿莓球被黄铜矿交代; 在胶黄铁矿中有时可见黄铜矿微脉和星点状黄铜矿。王文斌等(1994)研究得出, 在武山、城门山和铜官山等矿床的层状矿体的矿石中, 黄铜矿呈细脉状穿插于变晶黄铁矿或磁铁矿中。温春齐等(1996)在研究铜陵地区石炭系铁铜矿床的矿石组构时也得出, 黄铜矿主要是充填和交代形成的。这些事实说明黄铜矿可能是含铜流体交代块状硫化物矿石形成的, 与岩浆流体的叠加密切相关。在闪锌矿中还可见到黄铜矿的乳滴。

这种黄铜矿乳滴在国外许多块状硫化物矿石的闪锌矿中十分常见。近几年许多学者研究认为其形成是由富铜流体对闪锌矿交代而成的,并把这种结构称之为“黄铜矿疾病”(Barton et al, 1987; Kojima, 1992)。

3.2 矿物相转变和矿物组合特征

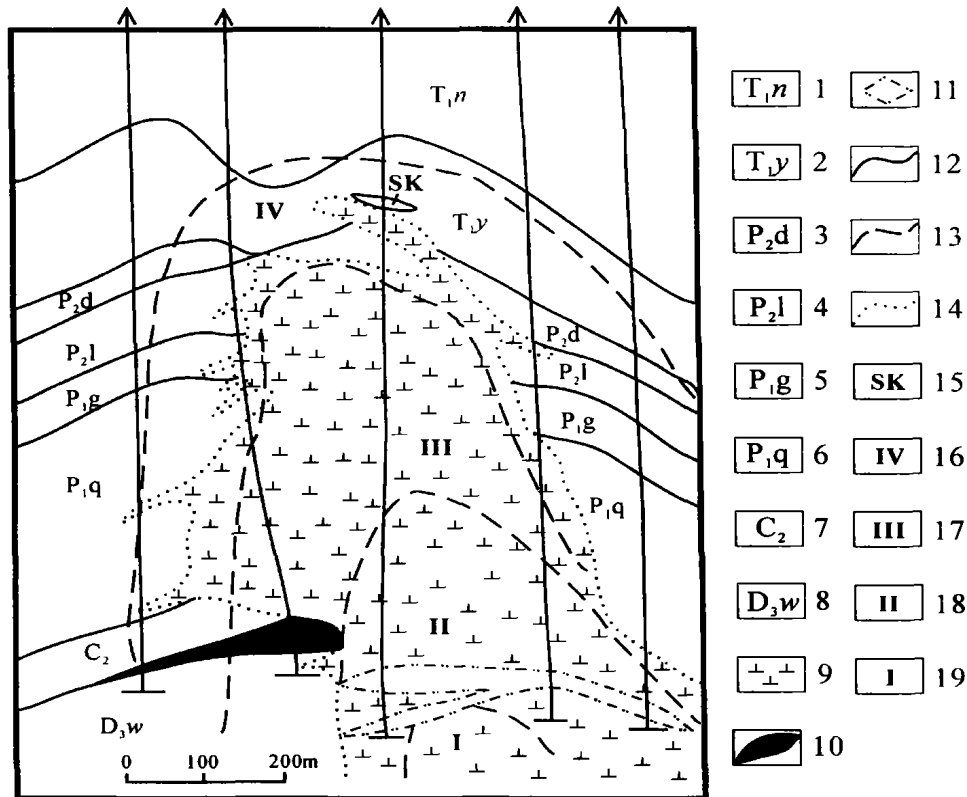
前已述及,在块状硫化物矿石中存在由胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿的矿物相变,这种相变可能是由岩浆侵入带来的热量使矿石发生变质形成的。同样由于受到热的作用,石膏可脱水转变成硬石膏。层状矿体中的石英、碳酸盐等脉石矿物与岩浆流体相互作用,可形成蛇纹石、绿泥石、高岭石、滑石等矿物。矿石组构及其矿物组合研究表明,流体的叠加-改造作用不仅改变了矿体的物质组成,而且使其富集铜等成矿物质。在层状硫化物矿体底部分布的含铜滑石-蛇纹石-硫化物层及与块状硫化物矿体伴生的含铜硬石膏-蛇纹石层,可能就是由原先的层状硫化物矿体和石膏层经岩浆流体叠加-改造转变而成,其中的铜等成矿物质也可能是含铜流体叠加形成的。含矿围岩中的沉积硬石膏层矿物组合简单,未受后期成矿流体的叠加,因此就不含黄铜矿。这一事实充分说明含铜硬石膏-蛇纹石中的铜是成矿流体叠加进去的。在胶黄铁矿层或主要受热变质重结晶的黄铁矿矿石中黄铜矿较少,黄铜矿主要分布在受流体叠加-改造强烈的含磁黄铁矿和磁铁矿的矿石中。在岩体接触带附近的矿石中黄铜矿较多,远离接触带矿石中黄铜矿逐渐减少直至完全变成黄铁矿层或胶黄铁矿层。

3.3 围岩蚀变

在冬瓜山矿床中,广泛发育矽卡岩化。矽卡岩是岩浆岩侵入到碳酸盐岩中通过交代作用形成的(Einaudi et al, 1981; 1982)。矽卡岩矿物主要包括石榴石、辉石、硅镁石、角闪石、橄榄石、方柱石、蛇纹石等。矽卡岩型矿体有2种产出特征:一种产于层状硫化物矿体的上部;另一种产于岩体与碳酸盐岩的接触带。层状硫化物矿体由于受到岩浆热液的叠加和改造,使矿石类型变得极其复杂。以58线矿体剖面为例(图1),从层状矿体底部向上,矿石类型依次变化为:含铜滑石-蛇纹石-硫化物型→含铜磁黄铁矿-黄铁矿型→含铜磁铁矿型→含铜黄铁矿-硬石膏型→含铜黄铁矿型→含铜矽卡岩型。层状矿体上部的这种矽卡岩型矿体可能是由岩浆热液作用形成的新的热液交代型矿体。这种新的矿体叠加在层状矿体之上,可使层状矿体加厚变富,使其更具有经济价值。产于岩体与碳酸盐岩接触带的矽卡岩型矿体是由岩浆热液交代碳酸盐岩形成的新的热液交代型矿体。这种矿体围绕岩体分布,既可以赋存在层状矿体附近岩体与黄龙组碳酸盐岩接触带,也可以分布在岩体与二叠纪及三叠纪碳酸盐岩的接触带。

在石英二长闪长玢岩中还发育石英化、钾长石化、石英绢云母化和铜矿化,在岩体的边部或围岩中发育青磐岩化。蚀变具明显的分带现象,从岩体向围岩蚀变分带依次为:石英化、石英钾长石化、石英绢云母化和青磐岩化(图3)。青磐岩化带有时与矽卡岩化带重叠。唐永成等(1998)、321地质队等(1995)对冬瓜山斑岩铜矿体作了初步描述和研究。斑岩型矿体主要在层状硫化物矿体的下部,埋深达890~1010m。主矿体有2个,北部矿体长约800m,厚25~97m,平均铜品位0.40%;南部矿体长约840m,宽约300m,厚18~71m,平均铜品位0.58%。矿石矿物以黄铁矿为主,其次为黄铜矿,少量磁黄铁矿、辉钼矿、磁铁矿、方黄铜矿,偶见银金矿和自然金。这类斑岩型成矿系统可能与McMillan等(1980)提出的经典类型类似。

蛇纹石、绿泥石等蚀变矿物在含磁黄铁矿和磁铁矿矿石中普遍可见。在块状硫化物矿体中还广泛发育脉状、网脉状的碳酸盐化和硅化等蚀变,这也进一步说明块状硫化物矿体受到了后期成矿流体的改造和叠加。在受到流体蚀变作用强烈的矿石中黄铜矿较富,而受流体蚀变



1. 和龙山组(Helongsan Formation); 2. 殷坑组(Yinkeng Formation); 3. 大隆组(Dalong Formation); 4. 龙潭组(Longtan Formation); 5. 孤峰组(Gufeng Formation); 6. 栖霞组(Qixia Formation); 7. 黄龙-船山组(Huanglong-Chuanshan Formation); 8. 五通组(Wutong Formation); 9. 石英二长闪长玢岩(quartz monzodiorite porphyry); 10. 层状铜矿体(stratiform copper-bearing ore); 11. 斑岩铜矿体(porphyry type copper-bearing ore); 12. 地层界限(stratigraphic borderline); 13. 蚀变带界限(alteration zone line); 14. 岩体界限(magmatic rock borderline); 15. 矽卡岩化带(skarnization zone); 16. 青盘岩化带(propylitization zone); 17. 石英绢云母化带(quartz-sericite zone); 18. 石英钾长石化带(quartz-potash feldspar zone); 19. 石英核(quartz zone)

图3 冬瓜山71线矿体剖面及蚀变分带图(据唐永成等,1998)

Fig.3 Alteration zoning along No.71 line of Dongguashan deposit (after Tang et al, 1995)

较弱或未受流体蚀变的矿石含黄铜矿较少或不含黄铜矿。

3.4 硫同位素特征

冬瓜山层状矿体含铜硬石膏-黄铁矿矿石中硬石膏和黄铁矿的硫同位素组成随着远离岩体而呈现出规律性变化。随着远离岩体,硬石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ 值(唐永成等,1998)由14.8‰→17.1‰→16.5‰→20.5‰,表现出逐渐升高的趋势,并最终与黄龙组中沉积硬石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ 值20.5‰~21.6‰(唐永成等,1998)接近;而黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值则表现出相反的演化趋势,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值从7.7‰→6.2‰→6.5‰→4.0‰(唐永成等,1998),并最终接近胶黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值4.07‰(唐永成等,1998)。硬石膏和黄铁矿的这种同位素变化与岩浆热液对层状矿体的改造有关。冬瓜山石英二长闪长玢岩全岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 值比较低,为4.0‰(唐永成等,1998)。在岩浆热液流体对硬石膏-黄铁矿层进行改造的过程中,矿物与流体之间发生同位素交换,流体与硬石膏相互

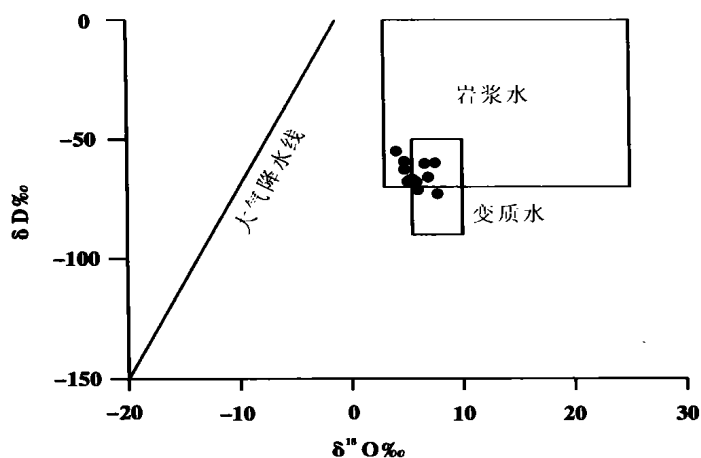


图4 成矿流体的氢、氧同位素

图解(仿 sheppard, 1986)

Fig. 4 Plot of H-O isotope compositions of Dongguashan deposit (after sheppard, 1986)

中的脉状石英进行了氢氧同位素分析。11个样品的同位素分析结果表明,石英的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $10.38\text{‰} \sim 14.1\text{‰}$,利用 Clayton 等(1972)石英-水分馏方程计算获得的与其平衡的成矿流体的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $4.10\text{‰} \sim 7.79\text{‰}$ (计算温度为 $297 \sim 348\text{ }^\circ\text{C}$)。石英矿物中包裹体中水的同位素 δD 值为 $-72.9\text{‰} \sim -55.0\text{‰}$ 。图4为成矿流体的氢、氧同位素投影图。从图4中可以看出,成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 δD 值主要落在 Ohmoto (1986) 提出的岩浆水范围和 Taylor (1979) 提出的变质水范围。研究区除在岩体周边的围岩发生热变质作用外,并未发生大规模的变质作用。因此可以认为叠加-改造型成矿流体主要来自岩浆水。

4 结论与讨论

冬瓜山块状硫化物矿床与 Sawkins(1976)提出的塞浦路斯型、黑矿型和苏利文型相比,在成矿特征和成矿地质背景上更类似于苏利文型。该类矿床中至今未发现火山岩(Lydon, 2000; Höy et al, 2000),被认为是陆内典型的 SEDEX 型块状硫化物矿床。冬瓜山块状硫化物矿床与苏利文矿床又存在明显的差异。在矿石成分方面,苏利文矿床以铅、锌和银为主,而冬瓜山块状硫化物矿床以铜、金、硫和铁为主。两者之间的另一重要差别在于苏利文矿床并未受到后期岩浆岩的改造和叠加,而冬瓜山矿床形成后又受到燕山期侵入岩及其成矿流体的叠加和改造。华南多数块状硫化物矿床都受到后期花岗岩类及其热液的强烈改造和叠加(徐克勤等, 1978, 1980; Gu et al, 1993),这已成为我国这类矿床的重要特色。然而,关于花岗岩类岩浆活动对块状硫化物中成矿物质的贡献却研究较少。翟裕生等(1992)在研究江西武山铜矿铜品位分布时曾提出早期沉积成矿作用形成的铜矿化占次要地位,铜矿化主要与后期岩浆热液作用有关;李文达(1989)、温春齐等(1996)在研究该类矿床的矿石组构时提出铜主要是后期热液

① 安徽省地矿局 321 地质队,等. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究(上册).

作用致使硬石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ 值降低,而使流体的 $\delta^{34}\text{S}$ 值升高,具较高 $\delta^{34}\text{S}$ 值的流体又与黄铁矿发生同位素交换,又致使黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值升高。对含黄铜矿硬石膏-黄铁矿层中的黄铁矿的硫同位素研究表明,细晶黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 3.3‰ ,而粗晶黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 5.4‰ (321地质队等, 1995^①),这表明流体的叠加改造作用确实可提高黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值。由于随着远离岩体温度逐渐降低,同位素的交换程度也随之降低,因而硬石膏和黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值也逐渐接近其沉积时的原始值。

3.5 叠加-改造型成矿流体的氢氧同位素特征

笔者对叠加于层状硫化物矿石

叠加形成的;Gu 等(2000)将华南块状硫化物矿石成分之间的差别主要归结于基底陆壳的成熟度;曾普胜等(2002)认为冬瓜山矿床是叠加了矽卡岩化的块状硫化物矿床。迄今为止,关于长江中、下游石炭纪地层底部层状硫化物矿体形成的主要观点是沉积-叠加改造,但不同研究者对沉积-叠加改造的理解却有着很大的差异。常印佛等(1991)、黄许陈等(1992;1993)、唐永成等(1998)认为石炭纪沉积仅仅形成了硫化物矿坯层,燕山期岩浆作用对其叠加改造形成层控矽卡岩型矿体;徐克勤等(1978)、顾连兴等(1986b)、王文斌等(1994)、李文达等(1997)、翟裕生等(1992)认为层状硫化物矿体属块状硫化物矿床,燕山期岩浆作用对其叠加改造,使其加厚变富。本文研究表明,燕山期的岩浆作用不仅可形成新的斑岩型和矽卡岩型铜矿床,而且可使块状硫化物矿石的结构构造、矿物组合和矿石成分发生变化,在硫化物矿石中叠加蚀变和矿化,产生铜的富集。黄铜矿的铜同位素研究表明(Lu et al, 2003),块状硫化物矿石中黄铜矿的铜同位素 $\delta^{65}\text{Cu}$ 值为 0.45‰~0.78‰,矽卡岩矿石中黄铜矿的铜同位素 $\delta^{65}\text{Cu}$ 值为 0.09‰~0.83‰,两类矿石的铜同位素非常一致,而且与高温岩浆热液形成的黄铜矿的铜同位素特征(Zhu et al, 2000)类似。这也进一步说明块状硫化物矿体中的铜可能来自于岩浆热液。众所周知,长江中、下游地区具工业价值的铜金矿床都与岩浆作用密切相关。因此,为了更准确地描述该类矿床的成因,本文通过冬瓜山矿床的研究提出了两阶段成矿模式。第一成矿阶段,在石炭纪中期,海底喷流作用形成了块状硫化物矿床,矿石成分以硫、铁矿为主;第二成矿阶段,燕山期岩浆侵入,一方面岩浆热液与围岩相互作用发生矽卡岩化、石英化、钾长石化、石英绢云母化和青磐岩化,形成矽卡岩型和斑岩型矿体,另一方面岩浆作用对块状硫化物矿体进行改造,岩浆流体叠加其上,致使块状硫化物矿体也富集了铜等成矿物质。

参考文献:

- 常印佛,刘学圭. 1983. 关于层控式矽卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例. 矿床地质, 2(1): 11-20.
- 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,1-379.
- 富士谷,阎学义,袁成祥. 1977. 长江中、下游成矿带石炭纪海底火山-喷发沉积黄铁矿型矿床的地质特征. 南京大学学报(自然科学), (1):43-67.
- 顾连兴,徐克勤. 1984. 江西武山中石炭世海相火山岩和块状硫化物矿床. 桂林冶金地质学院学报, 4(4):91-102.
- 顾连兴,徐克勤. 1986a. 论大陆地壳断裂拗陷带中的华南型块状硫化物矿床. 矿床地质, 5(2):1-13.
- 顾连兴,徐克勤. 1986b. 论长江中、下游中石炭世海底块状硫化物矿床. 地质学报, 2:176-188.
- 顾连兴,徐克勤. 1987. 长江中下游断裂拗陷带的构造发展及成矿作用. 桂林冶金地质学院学报, 7(4):243-251.
- 黄许陈,储国正. 1992. 铜陵地区矿床类型、成矿系列与成矿特征. 安徽地质, 2(4):53-61.
- 黄许陈,储国正. 1993. 铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式. 矿床地质, 12:221-230.
- 李文达. 1989. 论扬子型铜矿床及其成因. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 10(2):1-14.
- 李文达,王文斌,范洪源,等. 1997. 长江中下游铜(金)矿床密集区形成条件和超大型矿床存在的可能性. 火山地质与矿产, 20(增刊):1-131.
- 凌其聪,程惠兰,陈帮国. 1998. 铜陵东狮子山铜矿床地质特征及成岩成矿机理研究. 矿床地质, 17(2):158-164.
- 刘裕庆,刘兆廉. 1991. 铜陵地区层状铜(铁、硫)矿床同位素地球化学和矿床成因研究. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1:47-114.
- 孟宪民. 1963. 矿床分类与找矿方向. 矿床学论文集. 北京:科学出版社,1-72.
- 唐永成,吴言昌,储国正,等. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京:地质出版社,351.
- 王文斌,李文达,董平,等. 1994. 论长江中下游地区含铜黄铁矿型矿床成因. 火山地质与矿产, 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组构组分特征. 成都理工学院学报, 23(2):7-15.
- 徐克勤,朱金初. 1978. 我国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)-热液叠加类铁铜矿床成因探讨. 福建地质科技情

报, (4):1-68.

- 徐克勤, 朱金初, 任启江. 1980. 论中国东南部几个断裂拗陷带中某些铁铜矿床的成因问题. 国际交流地质学术论文集, 第二集, 北京: 地质出版社: 49-58.
- 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 等. 2002. 安徽铜陵地块沉积-喷流块状硫化物矿床. 矿床地质. 21(增刊): 532-535.
- 翟裕生. 1995. 陆缘拗陷带中与中酸性侵入岩有关的(铜陵式)铜(金)矿床模式. 见: 裴荣富主编. 中国矿床模式. 北京: 地质出版社, 265-267.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社, 235.

References:

- Anderson I K, Ashton J H, Boyce A J, et al. 1998. Ore depositional processes in the Navan Zn-Pb deposit, Ireland. *Econ. Geol.*, 93: 535-563.
- Barton P B Jr, Philip M and Bethke P M. 1987. Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epidemiology. *Am. Mineral.*, 72: 451-467.
- Chang Yinfu and Liu Xuegui. 1983. On strata-bound skarn deposits. *Mineral Deposits*, 2(1): 11-20 (in Chinese with English abstract).
- Chang Yinfu, Liu Xiangpei and Wu Yanchang. 1991. The Copper-Iron Belt of the Lower and Middle Reaches of the Changjiang River. Beijing: Geological Publishing House, 1-379 (in Chinese with English Abstract).
- Claypool D E, Mullins H T, Sakai I R, et al. 1980. The age curves for sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation; *Chemical Geology*, 8: 173-174.
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. *Journal of Geophysical Research*, 77: 3057-3067.
- Einaudi M T, Burt D M. 1982. Introduction, terminology, classification and composition of skarn deposits. *Econ. Geol.*, 77: 745-754.
- Einaudi M T, Meinert L D, Newberry, R J. 1981. Skarn deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniv. Volume, 317-391.
- Franklin J M, Lydon J W and Sanster D F. 1981. Volcanogenic massive sulphide deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniv. Vol., 458-627.
- Fu Shigu, Yan Xueyi and Yuan Chengxiang. 1977. Geology of the pyrite-type copper deposits in the Middle-Lower Yangtze belt. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, (1): 43-67 (in Chinese).
- Gu Lianxing, Hu Wenxuan and He Jinxiang, et al. 1993. Geology and genesis of the Upper Palaeozoic massive sulphide deposits in south China. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*. Section B: Applied Earth Science, 83-96.
- Gu Lianxing, Hu Wenxuan and He Jinxiang, et al. 2000. Regional variations in ore composition and fluid features of massive sulphide deposits in south China: implications for genetic modeling. *Episodes*, 23: 110-118.
- Gu Lianxing and Xu Keqin. 1984. The Middle Carboniferous marine volcanics and the origin of the bedded ores at Wushan, Jiangxi Province. *Journal of the Guilin College of Geology*, 4(4): 91-102 (in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing and Xu Keqin. 1986a. On the South China-type massive sulphide deposits formed on marine fault depression troughs on the continental crust. *Mineral Deposits*, 5(2): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing and Xu Keqin. 1986b. On the Carboniferous submarine massive sulphide deposits in the lower reaches of the Changjiang (Yangzi) River. *Acta Geologica Sinica*, 2: 176-188 (in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing and Xu Keqin. 1987. The tectonic development and related metallogenesis of the lower Yangtze fault depression belt. *Journal of Guilin College of Geology*, 7(4): 243-251 (in Chinese with English abstract).
- Höy T H, Anderson D and Turner R J W, et al. 2000. Tectonic, magmatic, and metallogenic history of the early synrift phase of the Purcell basin, southeastern British Columbia. In: Lydon J W, Höy T H, Slack J F, et al, eds. The Geological Environment of the Sullivan Deposit, British Columbia. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, No. 1: 32-60.
- Huang Xuchen and Chu Guozheng. 1992. Types of ore deposits, metallogenetic series and characteristics, Tongling. *Geology of*

- Anhui*, 2(4): 53-61 (in Chinese with English abstract).
- Huang Xuchen and Chu Guozheng. 1993. Multistory metallogenic model of the Shizishan orefield in Tongling, Anhui Province. *Mineral Deposits*, 12(3): 221-230 (in Chinese with English abstract).
- Joanna P. 1994. The preservation of pre-metamorphic colloform banding in pyrite from the Broken Hill-type pinnacles deposit, New South Wales, Australia. *Mineralogical Magazine*, 58: 461-471.
- Kojima S. 1992. The nature of chalcopyrite inclusions in sphalerite: exsolution, coprecipitation or "disease"? —a discussion. *Econ. Geol.*, 87: 1191-1192.
- Li Wenda. 1989. On the Yangtze type copper ore deposits and its origin. *Bulletin of the Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, 10(2): 1-14 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenda, Wang Wenbin, Fan Hongyuan, et al. 1997. The conditions to form copper (gold) ore deposit concentrated areas and the possibilities to discover supergigantic copper (gold) ore deposits in middle-lower Yangtze area. *Vocanology and Mineral Resources*, 20 (Suppl.): 1-131 (in Chinese with English abstract).
- Ling Qicong, Cheng Huilan and Chen Bangguo. 1998. Geological characteristics and ore-forming and rock-forming mechanism of the Dongguashan copper deposit in Tongling, Anhui Province. *Mineral Deposits*, 17(2): 158-164 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuqing and Liu Zhaolian. 1991. Isotope geochemistry and genesis of the stratiform copper (iron-sulfur) deposits in Tongling area, Anhui Province. *Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences*, 1: 47-114 (in Chinese with English Abstract).
- Lu Jianjun, Hua Renmin and Jiang Shaoyong. 2003. Copper isotope study of copper and gold deposit of Dongguashan, China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Special Supplement: A260.
- Lydon J W. 2000. A synopsis of the current understanding of the geological environment of the Sullivan deposit. In: Lydon J W, Höy T H and Slack J F, et al, eds. The Geological Environment of the Sullivan Deposit, British Columbia. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, No. 1: 12-31.
- McMillan W J, Panteleyev A. 1980. Ore deposits models. 1. Porphyry copper deposits. *Geosci. Canada*, 7: 52-63.
- Meng Xianmin. 1963. Classification research of ore deposits. In: Collection of Papers for Mineral Resources Research. Beijing: Science Press, 1-72 (in Chinese).
- Ohmoto H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. In: Valey J W, Taylor H P, O'Neil J R, eds. Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. Reviews in mineralogy, vol 16. *Min. Soc. Am.*, 491-559.
- Ramdohr P. 1980. The ore minerals and their intergrowths. Frankfurt: Pergamon Press, 1207pp.
- Sangster D F. 1976. Sulfur and Lead Isotopes Studies in Strata-Bound Deposits of Calc-Alkaline affiliation. Geol. Assoc. Canada. Spec. Paper, 14: 154.
- Sangster D F and Scott S D. 1976. Precambrian strata-bound massive Cu-Zn-Pb sulphide ores of North America. In: Wolf K H, ed. Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits, 6: 2130-2222.
- Sawkins F J. 1976. Massive sulphide deposits in relation to geotectonics. In: Strong D F, ed. Metallogeny and Plate Tectonics. Geol. Assoc. Canada Spec. Publ., 14: 221-242.
- Sheppard S U F. 1986. Characterization and Isotopic Variations in Natural Waters. *Reviews in Mineralogy*, 16, Min. Soc. Am: 165-183.
- Tang Yongcheng, Wu Yanchang and Chu Guozheng. 1998. Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits in the Along-Changjiang Area of Anhui Province. Geological Publishing House. 351 (in Chinese).
- Taylor H P. 1979. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 2nd edn. New York: John Wiley & Sons, 236-277.
- Wang Wenbin, Li Wenda, Dong Ping, et al. 1994. The genesis of copriferous pyrite deposits, Middle-Lower Yangtze area, eastern China. *Vocanology and Mineral Resources*, 15(2): 25-34 (in Chinese with English abstract).
- Wen Chunqi, Huang Huasheng and Liu Zhaolian. 1996. Ore fabric characteristics of copper-iron deposits in Tongling district, Anhui, China. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 23(2): 7-15 (in Chinese with English abstract).
- Xu Keqin and Zhu Jinchu. 1978. Origin of the sedimentary-(or volcanosedimentary-) iron-copper deposits in some fault depression

- belts in Southeast China. *Fujian Geology*, 4: 1-68 (in Chinese).
- Xu Keqin, Zhu Jinchu and Ren Qijiang. 1980. Origin of some iron and copper deposits in the fault depressions of Southeast China. In: Collection of Geological Papers for International Exchange. Beijing: Geological Publishing House, 49-58 (in-Chinese).
- Zeng Pusheng, Pei Rongfu, Hou Zengqian, et al. 2002. Sedex-type massive deposits in Tongling Block, Anhui, China. *Mineral Deposits*, 21(Suppl.), 532-535 (in Chinese).
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Lin Xinduo, et al. 1992. The Genesis of Copper-Iron (Gold) Deposits of Middle-Lower Yangtze Area. Beijing: Geological Publishing House, 1-235 (in Chinese).
- Zhai Yusheng. 1995. Model of copper-gold deposits (Tongling style) related to intermediate-acid intrusive rock in the depression zone of continental margin. In: Pei Rongfu, ed. Mineral Deposit Model of China. Beijing: Geological Publishing House, 265-267.
- Zhou Taofa, Yuan Feng and Yue Shucang, et al. 2000. Two series of copper-gold deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River area (MLYRA) and the hydrogen, oxygen, sulfur and lead isotopes of their ore-forming hydrothermal systems. *Science in China*, 43 (suppl.): 208-218.
- Zhu X K, O'Neil R K and Guo Y, et al. 2000. Determination of natural Cu-isotope variation by plasma-source mass spectrometry: implications for use as geochemical tracers. *Chemical Geology*, 163: 139-149.

A Two-Stage Model for Formation of the Dongguashan Cu-Au Deposit

LU Jian-jun, HUA Ren-min, XU Zhao-wen, GAO Jian-feng, LI Juan

(State Key Laboratory for Mineral Deposit Research and Department of Earth Sciences,
Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The Dongguashan Cu-Au deposit includes stratiform sulphide orebodies, and skarn and porphyry type orebodies. The stratiform orebodies occur between the Late Devonian sandstones and the Middle to Late Carboniferous carbonates. Detailed field and laboratory investigations revealed that these stratabound orebodies are massive sulphide deposit. The Late Jurassic magmatic rocks were brought to be in contact with the massive sulphide orebodies and caused them to be transformed and hydrothermally superimposed. The copper-bearing magmatic fluids replaced massive sulphides ores and formed chalcopyrite in them. A two-stage model for the formation of the Dongguashan deposit can be established. In the first ore-forming stage during the Middle Carboniferous period, submarine exhalation sedimentation caused the formation of massive sulphide orebodies which contain dominantly pyrite, pyrrhotite, and some gangue minerals, but little copper-bearing sulphides. In the second stage at the Late Jurassic, magmatic hydrothermal fluids, on the one hand, formed the skarn and porphyry type of ore bodies, on the other hand, overprinted the earlier massive sulphide orebodies, and induced enrichment of large amounts of copper in the stratiform sulphide ores.

Key words: massive sulphide deposit; magmatic hydrothermal metallogenesis; two-stage metallogenetic model; Dongguashan copper and gold deposit; Anhui Province

(收修改稿日期:2003-10-17)