

## 安徽贵池铜山铜矿成矿地质条件及矿床成因

赵晓霞<sup>1,2</sup>, 戴塔根<sup>1,2</sup>, 张宇<sup>1,2</sup>, 李品杰<sup>3</sup>, 刘忠法<sup>1,2</sup>

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;
3. 铜陵有色金属集团控股有限公司 铜山铜矿, 铜陵 247127)

**摘要:** 从地层、构造、岩浆岩与成矿的关系入手, 对本区成矿地质条件进行分析, 指出石炭系中上统黄龙组和船山组为矿区最主要的赋矿层位, 其灰岩岩性是形成接触交代矿床的最有利的岩性, 且与泥盆系上统五通组和二叠系上统砂页岩构成了构造薄弱面——钙硅界面, 有利于矿液的运移和矿质的沉淀; 五通组石英砂岩为矿体定位起隔挡屏蔽作用; 断裂构造 F<sub>1</sub> 为矿液运移、矿体定位的关键因素; 燕山期的岩浆活动为成矿提供了物质来源、成矿流体和热能, 是成矿的第一要素。在此基础上, 结合本区成矿物质来源、形成条件、控矿因素、矿化形式以及成矿作用等方面的特征, 对铜山铜矿的矿床成因进行了探讨, 认为铜山铜矿包括多种矿化成因类型, 整体上属以矽卡岩型成矿作用为主的燕山期岩浆热液铜铁金硫成矿系列。

**关键词:** 成矿地质条件; 成矿过程; 矿床成因; 铜山铜矿

中图分类号: P611.1

文献标志码: A

## Ore-forming geological conditions and deposit genesis of Tongshan copper deposit in Guichi, Anhui Province, China

ZHAO Xiao-xia<sup>1,2</sup>, DAI Ta-gen<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu<sup>1,2</sup>, LI Pin-jie<sup>3</sup>, LIU Zhong-fa<sup>1,2</sup>

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geoscience and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Tongshan Copper Deposit, Tongling Nonferrous Metals Group Company Limited, Tongling 247127, China)

**Abstract:** The analysis of geological conditions was researched based on the relationship between mineralization and strata, structure, magmatite rock of Tongshan copper deposit. The results show that the C<sub>2h+3c</sub> limestone lithology which is beneficial to form contact metasomatic deposit and weak structure plane, Ca-Si interface, which is favorable for ore-forming fluid migration and ore-forming materials precipitation, is the main stratum containing orebody. The quartz sandstone in D<sub>3</sub>W is shielding for orebody location, the fault F<sub>1</sub> is the key factor of ore fluid migration and orebody location, the magma activity of Yanshanian is the first factor for offering material source, ore-forming fluid and heat energy. On this basis, the genesis of deposit was researched combining with the ore-forming material, formation conditions, ore-controlling factors, metallization form and mineralizing process. The results show that the Tongshan copper deposit includes variety metallization genesis types, including Yanshanian magmatic hydrothermal copper and iron sulfide gold mineralization series controlled by skarn type minerogenesis on the whole.

**Key words:** ore-forming geological conditions; ore-forming process; deposit genesis; Tongshan copper deposit

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB411405); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BA01B07); 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200911007-04); 国家危机办项目(20109901); 中南大学有色金属成矿预测教育部重点实验室发展基金资助项目

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-01-04

通信作者: 戴塔根, 教授, 博士; 电话: 13807311190; E-mail: dtg@mail.csu.edu.cn

贵池铜山铜矿属于长江中下游铁铜金成矿带中的安庆-贵池矿化集中区,大地构造位置处于华中地洼区北东向展布的铜陵-贵池褶皱束贵池背向斜的西端<sup>[1-4]</sup>。铜山铜矿开采和冶炼历史悠久,早在唐代冶炼就比较发达,20世纪50年代在本区开展了大量的地质工作。近年来,前人在本区做了包括矿床地球化学、成矿物质来源、关键控矿因素以及成矿年龄等方面的大量研究<sup>[5-8]</sup>,认为铜山铜矿为燕山期形成的矽卡岩型铜矿床,成矿物质具有多源性,控矿因素及成矿过程较为复杂。目前来讲,铜山铜矿资源面临枯竭的局面,已被列入危机矿山的范畴,因此,弄清本区成矿地质条件及矿床成因,对于完善本区成矿理论以及在本区寻找隐伏矿体、增加资源量具有重要的理论意义和现实意义。据此,本文作者从地层、构造、岩浆岩的角度对本区成矿地质条件进行了分析,结合分析测试,从成矿物质来源、矿床形成条件、控矿因素以及成矿作用等方面对本区的矿床成因进行了探讨,建立了铜山铜矿床的成矿模式,旨在为以后的找矿工作提供指

示信息和理论依据。

## 1 成矿地质背景

矿区内地层自志留系上统茅山组到三叠系下统扁担山组均有分布。志留系和泥盆系以砂岩、砂页岩为主,石炭系-三叠系主要以碳酸盐岩类岩石为主,其中石炭系黄龙-船山组和二叠系栖霞组是主要控矿层位。褶皱构造以姥山背斜和铜山向斜为主,轴向由近东西向逐渐转为北东向,断裂构造以多期次活动的北东向 $F_1$ 和 $F_2$ 为代表(见图1)。岩浆岩均为中酸性小侵入体,主要为一套燕山期同源演化形成的浅成高钾钙碱性花岗闪长斑岩-石英闪长(玢)岩组合,地表呈岩株、岩脉状产出,主要侵入体为铜山花岗闪长斑岩岩体。岩体周围矽卡岩化、大理岩化、角闪岩化等广泛发育,岩体中后期热液蚀变有硅化、黄铁矿化、高岭土化、碳酸盐化、绿泥石化、蛇纹石化等。

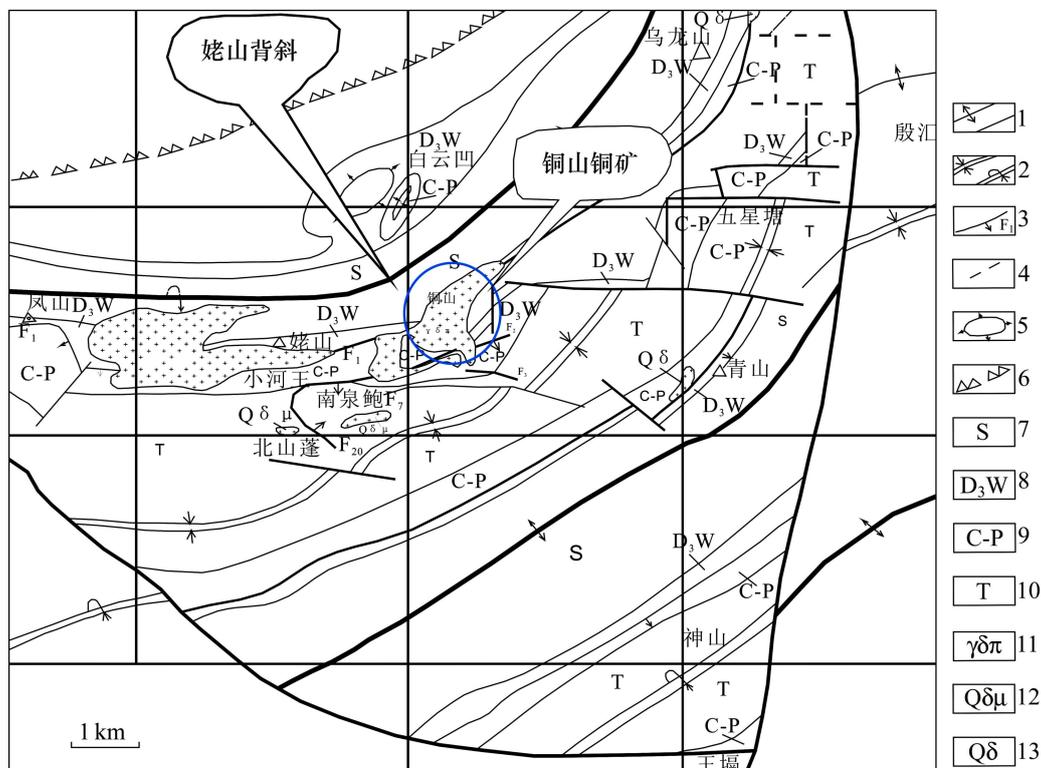


图1 铜山铜矿矿区地质简图:1—背斜轴和倒转背斜轴;2—向斜轴和倒转向斜轴;3—断层;4—推测定断层;5—穹窿构造;6—构造盆地;7—志留系;8—上泥盆统五通组;9—石炭至二叠系;10—三叠系;11—花岗闪长斑岩;12—石英闪长玢岩;13—石英闪长岩

Fig. 1 Geological map of Tongshan area of Anhui province: 1—Anticlinal axis and inverted anticlinal axis; 2—Synclinal axis and inverted synclinal axis; 3—Fault; 4—Supposed fault; 5—Domal structure; 6—Structural basin; 7—Silurian; 8—Wutong group of upper Devonian; 9—Carboniferous-Dias; 10—Triassic; 11—Granodioritic porphyry; 12—Quartz diorite porphyrite; 13—Quartz diorite

铜山铜矿矿体产于花岗闪长斑岩岩体与有利围岩的接触带内以及花岗闪长斑岩岩体中,在近矿围岩(燧石岩及大理岩)中亦有矿化现象。矿体的产状多倾向南,倾角变化较大,形态以似层状、透镜状为主,局部富集部位呈囊状、扁豆状等,主要集中分布于铜山、前山和前山南3个矿段。其中,铜山矿段的矿体产于铜山岩体、铜山岩枝与灰岩接触带中;前山矿段和前山南矿段(前山矿段之延深部分)的矿体产于铜山岩体西段的上接触带和岩体中。主要矿石类型包括含铜黄铁矿、含铜磁铁矿、含铜砂卡岩、含铜角砾岩等4种矿石。矿石的结构主要以交代结构、包含结构、他形结构、自形晶粒状结构、胶状结构为主,其次为镶边结构、压碎结构、共结边结构、网状结构等(见图2)。

矿石的构造主要为块状构造、浸染状构造、网脉状构造、条带状构造和角砾状构造等。

## 2 成矿地质条件分析

### 2.1 地层与成矿的关系

本区铜的赋矿地层为石炭系中上统、二叠系下统和三叠系下统,其中最主要的赋矿层位是石炭系中上统黄龙组、船山组和二叠系下统栖霞组。从岩性分析来看,石炭系中上统和二叠系下统、三叠系下统均以灰岩为主,而其下的泥盆系上统五通组和二叠系上统均为砂页岩,赋矿层位实际上处于“钙硅”岩性突变

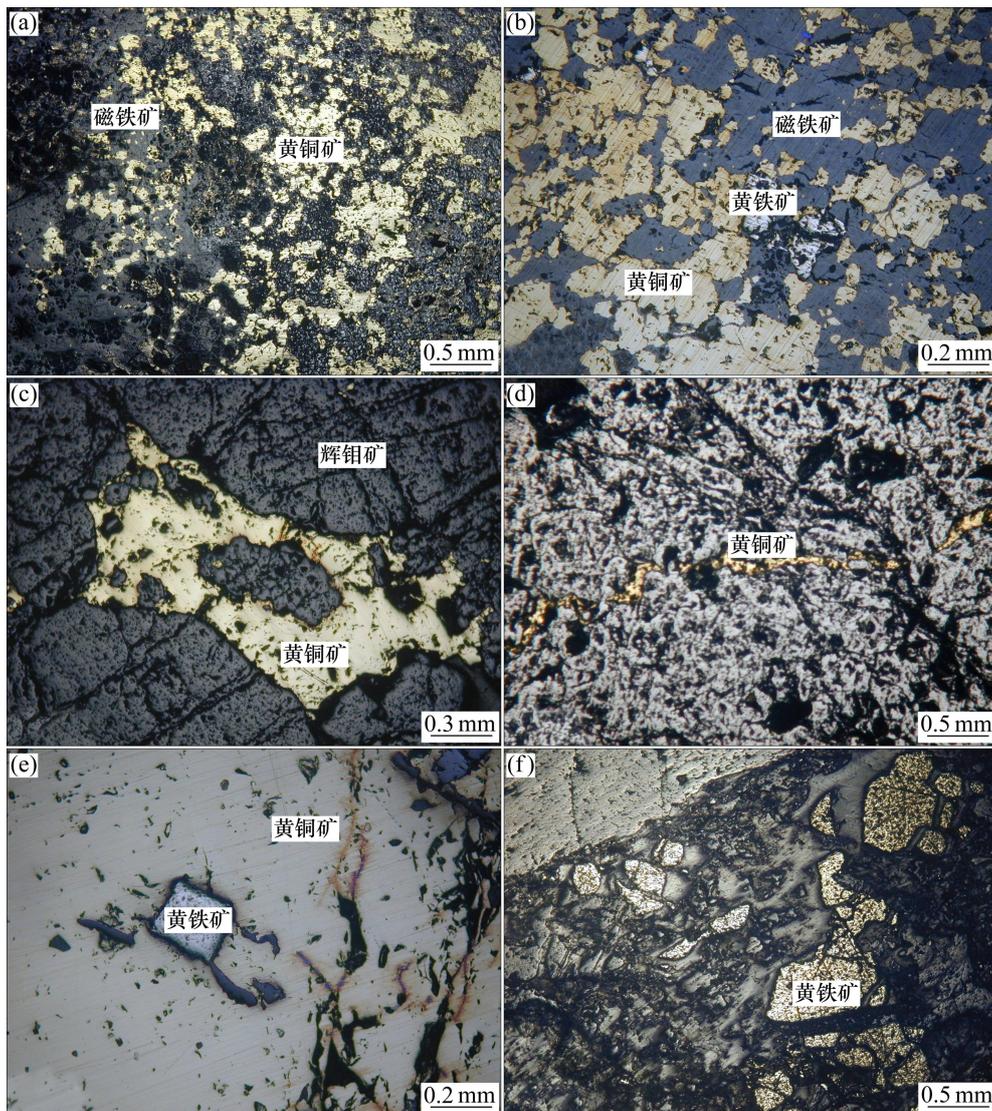


图2 铜山铜矿典型矿石结构((-代表显微镜的单偏光): (a) 交代溶蚀结构(-); (b) 交代残余结构(-); (c) 包含结构(-); (d) 脉状穿插结构(-); (e) 自形晶结构(-); (f) 他形粒状结构(-)

Fig. 2 Typical rock ore texture of Tongshan copper deposit: (a) Metasomatic attack texture (-); (b) Metasomatic relict texture (-); (c) Poikilitic texture (-); (d) Vein interspersed texture (-); (e) Idiomorphic crystal texture (-); (f) Allotriomorphic granular texture (-)

面附近。

前人对本区各地层中微量元素平均含量研究结果显示<sup>[5]</sup>, 含铜最高的层位是三叠系中统铜头尖组, 其次为二叠系上统大隆组和志留系上统茅山组, 而这些层位在本区基本上没有铜矿床(体)产出或仅局部有微弱的铜矿化。

尽管铜山铜矿目前产出的接触带型工业矿体位于石炭系中上统黄龙组、船山组和二叠系下统栖霞组灰岩中, 但由于成矿岩体是沿  $F_1$  大断裂和泥盆系五通组石英砂岩和石炭系中上统、二叠系下统栖霞组灰岩之间的层间薄弱面上侵的, 因而直接接触的围岩主要就是底板的泥盆系五通组石英砂岩和石炭系中上统灰岩以及顶板的二叠系下统栖霞组灰岩, 矿体依然属于花岗闪长斑岩体和碳酸盐岩的接触带上的矽卡岩型铜铁硫矿体, 远离接触带的地层中, 如果没有断裂裂隙发育, 还没有工业铜铁矿体的产出。

层状含铜黄铁矿型矿体产于泥盆系五通组与二叠系栖霞组的层间构造接触面(实际上也就是石炭系中上统黄龙组、船山组灰岩中)上, 受层位控制, 在区域上完全可以对比, 如安徽铜官山、冬瓜山铜矿床, 江西城门山、武山铜矿床, 南京栖霞山铅锌矿床等, 含矿层位空间分布的稳定性和对比性, 反映了原始沉积因素对成矿的控制<sup>[9-12]</sup>。

从物理化学性质看, 五通组由碎屑岩组成, 致密坚硬, 化学性质稳定, 不利于矿质交代; 石炭二叠系碳酸盐岩性脆、化学性质活泼, 且与五通组之间存在假整合面, 力学性能差异大, 在多次构造活动中由假整合面产生层间破碎, 为矿液的运移和沉淀提供了良好的空间, 构成了本矿床的主要容矿构造。

上述情况表明, 在成矿物质的来源上, 石炭系中上统黄龙组、船山组灰岩中有原始黄铁矿矿胚层, 为成矿提供了部分矿源, 其余大多数地层层位的含矿性与所存矿床(体)之间没有成因上的联系, 地层对成矿作用主要表现为以其有利的岩性(碳酸盐岩是接触交代矿床形成最有利的岩性)、岩性突变面(钙硅界面是构造薄弱面, 有利于矿液的运移和矿质的沉淀)和隔挡屏蔽效应(厚大的泥盆系五通组石英砂岩)对成矿起控制作用。

## 2.2 构造与成矿的关系

根据本区矿床的主要特征、构造与矿床以及岩浆活动的关系, 将区内主要的控岩、控矿构造分述如下:

控岩构造主要为 NE 向长江深大断裂带、NW 向长江扭曲断裂破碎带、NNE-SN 向殷汇—葛公断裂带、

NWW-EW 向吴田—王埭断裂带和矿区内张性断裂构造  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_{14}$  以及发育于泥盆系五通组石英砂岩之上的层间滑脱构造带<sup>[13-14]</sup>。

导矿构造主要为矿区范围内近东西向产出的具有多期活动特征的  $F_1$  张性断裂构造; 配矿构造主要为  $F_1$  张性断裂构造派生的次级张性断裂  $F_2$ 、 $F_{14}$ <sup>[13-14]</sup>。

整体而言,  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_{14}$  3 条断层, 既是浅部控岩构造、又是重要的控矿构造, 其作用在导矿、配矿和容矿方面均有显示。综合分析, 该组断层为一逆冲断裂系统, 主断面为  $F_1$  断层,  $F_2$ 、 $F_{14}$  断层是其侧枝, 在深部合为一体。该组逆冲断层是矿区内的主要控矿构造, 主要矿体赋存于沿断层带、地层(栖霞组和五通组顶部)及岩体侵入的复合部位。

容矿构造主要包括以下 5 种类型:

岩体侵入接触构造: 为矽卡岩型矿床的主要控矿构造, 矿区内大部分工业矿体都赋存于花岗闪长斑岩和二叠系栖霞组灰岩接触带中, 如 29<sup>#</sup>、30<sup>#</sup>矿体, 包括含铜矽卡岩型、含铜磁铁矿型以及含铜黄铁矿型。一般在岩体侵入接触面产状变化部位, 如对围岩的内凹、外凸(舌状体)、岛状体(捕虏体)等处有利于接触交代作用的进行而易形成富矿体; 当接触面倾向岩体时, 常形成岩体超覆接触构造, 有利于含矿热液充分聚集交代, 因此矿体发育良好; 当接触面背向岩体时, 只有在与围岩产状一致时, 才能形成较好的矿体; 如果围岩呈捕虏体存在于岩体中, 则对矿液的充分交代和富集极为有利, 常形成透镜状、扁豆状的矽卡岩富矿体。

层间滑脱构造: 主要沿地层的原生沉积间断面或岩性突变界面发育, 在构造应力作用下, 这些不整合面间常形成剥离空间, 形成层间滑脱构造带, 最具规模的是泥盆系上统五通组石英砂岩与石炭系中上统灰岩之间的滑脱构造。滑脱构造在成矿作用中有着十分重要的意义, 它们是矿液和岩浆运移的通道, 是矿区内最为重要的控矿和储矿构造, 如矿区范围内最大的 4<sup>#</sup>矿体就产于层间滑脱构造中。

角砾岩筒构造: 一种特殊控矿构造类型, 矿体呈盆形透镜体群, 相互平行产出, 与隐爆矽卡岩质熔流体固结时的板层状流动构造密切相关, 如铜山矿段露天采场产出的隐爆角砾岩型矿体。

层间破碎带: 由于围岩的物理、机械性质差异较大受构造变动时所产生的, 是含矿溶液运移和沉淀的良好场所, 常形成层状、似层状矿体, 如产于泥盆系五通组石英砂岩与二叠系栖霞组灰岩之间所夹的层间破碎带中所产出的层状含铜黄铁矿型矿体。

复合接触带控矿构造:包括侵入接触构造、断裂带构造、角砾岩筒构造、层间滑脱构造和层间破碎带等多种因素,有时包括两种因素如侵入接触—断裂带构造,有时包括多种因素如侵入接触—断裂带构造—层间滑脱构造。当多种因素叠加时常形成有利的容矿构造,是富矿体产出的主要场所,如侵入接触—断裂带构造—层间滑脱构造叠加时控制了本区4<sup>#</sup>、32<sup>#</sup>等层状、似层状富矿体的产出。

### 2.3 岩体特征及其与成矿的关系

#### 1) 岩石学及岩石化学特征

矿区内主要出露铜山岩体,呈岩株产出,出露面积约为2 km<sup>2</sup>,总体形态呈北东向延伸,其岩性主要为花岗闪长斑岩。

花岗闪长斑岩:灰白,略带肉红色,主要矿物成分为斜长石、石英、黑云母、角闪石和钾长石等,副矿物为磁铁矿、屑石、磷灰石和锆石等。具斑状结构(见图3),斑晶含量>50%,斑晶主要为斜长石和钾长石,其次为石英、角闪石、黑云母,基质主要为石英、斜长石、钾长石、石英及少量暗色矿物颗粒组成,粒度一般小于0.2 mm。

本次岩体全岩分析样品均采自钻孔新鲜岩体,全岩分析及岩石化学特征值见表1,岩体的SiO<sub>2</sub>含量(质量分数)为62.90%~65.05%,平均值为64.22%,略低于中国花岗闪长岩的平均值,岩石属中酸性侵入岩。

铜山花岗闪长斑岩的里特曼指数( $\sigma$ )值为2.17~3.91,平均值为2.33,碱度率平均为2.07,岩石属钙碱性岩石系列。 $w(K_2O+Na_2O)$ 平均值为7.00%,且 $K_2O/Na_2O$ 比值均小于1,具富碱高钠质特点。

$Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ 平均为1.46,即说明岩浆有向铝过饱和类型演化的趋势。应用晶体场理论,在岩浆演化到铝过饱和时,大量铝转入氧的六次配位位置,从而有效地阻止Cu<sup>2+</sup>元素在Mg、Fe硅酸盐中的

分散,使之在岩浆晚期向流体相中聚集,形成含矿热液,对铜矿化十分有利。

#### 2) 岩浆岩与成矿的关系

岩体的微量元素定量分析结果见表2。从表可知:岩体中Cu等成矿元素含量明显高于同类岩石的维氏值,显示出明显的富集性;而在地层中Cu等成矿元素含量均远低于同类岩石的维氏值,表明本区成矿物质主要来源于岩浆热液。岩体与成矿关系密切,是矿区范围内与燕山期岩浆侵入活动有关的成矿母岩。

铜山铜矿大量的同位素测年数据(142~137 Ma)<sup>[15]</sup>表明,本区成岩成矿主要发生于燕山早期140 Ma左右,成矿是在成岩之后相对较短的时间内连续发生的地质事件,铜钼铁工业矿体主要形成于岩浆期后中高温热液阶段,铅锌银形成于中低温热液阶段。

主要工业矿体以及矿化地段在空间上均与花岗闪长斑岩体密切相关。前山矿段位于铜山背斜南东翼,成矿受近东西向和北北东向断裂控制,矿体主要产于二叠纪栖霞组灰岩与铜山花岗闪长斑岩接触带上。前山南矿段位于铜山弧形构造转折端,铜山背斜南翼和北山蓬向斜北翼,受东西向和北北东向逆断层控制,矿体主要产于二叠纪栖霞组灰岩与铜山花岗闪长斑岩接触带或泥盆纪五通组砂岩中。铜山矿段矿体赋存于二叠纪栖霞组灰岩(或大理岩)与岩体的接触带中,且在栖霞组大理岩中和靠近接触带的花岗闪长斑岩之中亦有矿化形成矿体。

矿区内产出的铜矿床以矽卡岩型为主,其次为斑岩型、角砾岩型和热液型。主要的4种矿化类型及其成矿作用都毫无例外地与燕山期中酸性岩浆活动有密切的关系。大量的事实表明,岩浆活动的成岩作用和岩浆期后热液作用对矿床形成起主导性控制作用,主要表现为提供成矿物质、成矿流体和热能3个方面。岩浆岩不但控制着矿化的发育程度,而且还控制着矿化的时空分布。

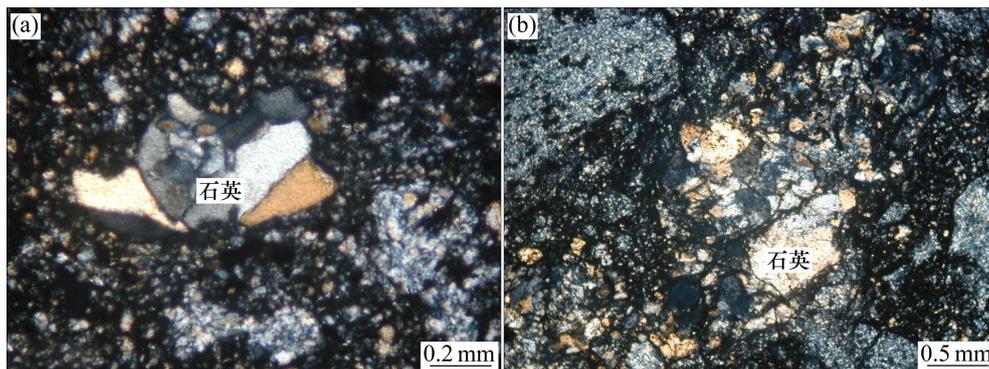


图3 铜山岩体显微照片:(a) 斑状结构(+); (b) 斑状结构(+)

Fig. 3 Microscope photographs of Tongshan intrusion: (a) Porphyritic texture (+); (b) Porphyritic texture (+)

表1 全岩分析及岩石化学特征表

Table 1 Whole-rock analysis and lithochemical features

样品参数	ZK-2	ZK-4	ZK-5	ZK-6	平均值	中国花岗闪长岩平均值
	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩		
w(SiO <sub>2</sub> )/%	62.90	65.05	64.25	64.67	64.22	64.98
w(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	15.98	16.07	16.16	16.04	16.06	16.33
w(TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	4.46	3.96	4.03	3.79	4.06	1.89
w(CaO)/%	4.81	3.67	3.87	3.80	4.04	3.70
w(MgO)/%	1.29	1.60	1.55	1.51	1.49	1.94
w(Na <sub>2</sub> O)/%	3.64	4.03	3.77	3.76	3.80	3.67
w(K <sub>2</sub> O)/%	3.07	2.88	3.46	3.37	3.20	2.95
w(TiO <sub>2</sub> )/%	0.56	0.51	0.52	0.50	0.52	0.52
w(MnO)/%	0.08	0.04	0.07	0.07	0.07	0.09
w(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	0.19	0.18	0.18	0.17	0.18	0.32
$\sigma$	2.37	2.17	2.49	2.42	2.33	1.99
w(K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O)/%	6.71	6.91	7.23	7.13	7.00	
w(K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O+CaO)/%	11.52	10.58	11.10	10.93	11.03	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / (K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O+CaO)	1.39	1.52	1.46	1.48	1.46	
A <sub>R</sub>	1.95	2.08	2.13	2.12	2.07	

注：中国花岗闪长岩和石英闪长岩平均值均据黎彤。测试单位：中国广州澳实矿物实验室。

Note: Chinese diorite average according to LI Tong. Test unit: ALS Minerals - ALS Chemex, Guangzhou, China.

表2 微量元素含量表

Table 2 Contents of trace elements

样品号	岩性	w <sub>B</sub> /10 <sup>-6</sup>							
		W	Bi	Cu	Pb	Zn	Cr	Co	Ni
岩体	ZK-2 花岗闪长斑岩	10.00	2.00	68.00	5.00	28.00	23.00	6.00	9.00
	ZK-4 花岗闪长斑岩	10.00	2.00	35.00	8.00	23.00	19.00	4.00	6.00
	ZK-5 花岗闪长斑岩	10.00	2.00	22.00	6.00	25.00	20.00	5.00	7.00
	平均值	10.00	2.00	41.70	6.30	25.30	20.70	5.00	7.30
围岩	257-4-8 大理岩	10.00	3.00	15.00	6.00	5.00	18.00	4.00	3.00
	257-4-9 大理岩	10.00	2.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00
	平均值	10.00	2.50	8.00	4.00	4.00	9.50	2.50	6.50
	维氏值(花岗岩类)	1.50	0.01	20.00	20.00	60.00	25.00	5.00	8.00

测试单位：中国广州澳实矿物实验室。Test unit: ALS Minerals - ALS Chemex, Guangzhou, China.

### 3 矿床成因分析

从成矿物质来源来看，本区花岗闪长斑岩微量元素测试结果表明<sup>[5-6, 16-18]</sup>，岩体中相对富集主成矿元

素铜，而地层中主要成矿围岩二叠系栖霞组碳酸盐岩中铜元素的含量相对较低，区域上与铜陵-贵池-安庆矿集区其它地段矽卡岩型铜铁矿床具有相似规律，成矿物质主要来自于燕山期中酸性岩浆，花岗闪长斑岩为矿区矽卡岩型矿化的母岩。氢氧同位素测定结果表明，成矿热液  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $4.51 \times 10^3 \sim 16.97 \times 10^3$ ，平均

值为  $11.09 \times 10^3$ , 其  $\delta^{18}\text{O}$  值基本变化在 Taylor 划分的花岗质岩石  $\delta^{18}\text{O}$  值范围( $6 \times 10^3 \sim 15 \times 10^3$ )<sup>[9]</sup>内, 成矿热液来源于岩浆<sup>[20]</sup>。区域上大量前期研究成果表明<sup>[2-3]</sup>, 长江中下游成矿带中与成矿有关的热事件主要为燕山期岩浆侵入活动, 加之矿区范围内大范围发育的大理岩化可以说明燕山期岩浆侵入活动是成矿所需能量的主要提供者。综上所述可以看出, 燕山期岩浆侵入活动不但是成矿所需能量的主要提供者, 也是成矿物质来源以及成矿热液的主要提供者, 是矿区范围内成矿的第一要素。

从形成条件来看, 矿区范围内出露燕山期中酸性岩浆岩—花岗闪长斑岩以及石炭—二叠系不纯碳酸盐岩, 底板为厚层泥盆系石英砂岩, 沿岩体与碳酸盐岩矽卡岩接触带叠加以张性断裂带、滑脱构造带、层间破碎带, 岩体周边广泛发育大理岩化、矽卡岩化、钾化、硅化、绢云母化、青磐岩化等蚀变, 地表附近发育断续铁帽以及黄铁矿化、黄铜矿化、磁铁矿化、褐铁矿化等, 并且处于长江中下游矽卡岩型铜铁金硫成矿带中段, 成矿条件优越, 具备形成大型—超大型矽卡岩型矿床的有利条件。

从控矿因素来看, 中酸性岩浆岩—花岗闪长斑岩为其成矿母岩, 主要含矿围岩为二叠系下统栖霞组碳酸盐岩, 主要控矿构造为复合接触带, 包括简单接触带、断裂接触带、滑脱构造带、层间破碎带。主要隔挡层为厚层泥盆系上统五通组石英砂岩。

从矿化形式来看, 根据矿化产出部位、容矿构造、形态、产状、矿石矿物、组合、结构构造、围岩蚀变等特征的不同, 铜山铜矿床可以划分为 4 种矿化类型, 即层状含铜黄铁矿型、含铜矽卡岩型、含铜角砾岩型和含铜斑岩型。层状含铜黄铁矿型矿体呈似层状产于花岗闪长斑岩附近泥盆系五通组与石炭二叠系地层的构造接触面上, 矿体分布整体呈近 EW 向, 并与地层走向一致。含铜矽卡岩型矿体分布在花岗闪长斑岩附近矽卡岩带中, 在五通组与石炭系、二叠系地层的构造接触面上与层状含铜黄铁矿型矿体合二为一。含铜角砾岩型矿体, 主要为石炭二叠系碳酸盐岩地层伸入花岗闪长斑岩体中半岛体的前缘部分, 工业矿体在角砾岩中呈不连续的透镜状, 并叠加有金、硫矿化。含铜斑岩型矿化分布在花岗闪长斑岩体内, 主要位于近地表浅部, 以脉状、网状呈面型分布于岩体边部, 矿化不均匀, 矿体不连续。

从成矿作用来看, 接触交代矽卡岩型作用为其主要成矿作用, 其次为斑岩型成矿作用、热液型成矿作

用以及隐爆角砾岩型成矿作用, 均与燕山期中酸性岩浆活动引发的大规模成矿流体活动有关, 显现了岩浆热液成矿作用在不同围岩环境下有不同具体表现。

综上所述可以看出, 铜山铜矿包括多种矿化成因类型, 整体上构成以矽卡岩型成矿作用为主的燕山期岩浆热液铜铁金硫成矿系列。

## 4 成矿过程探讨

铜山铜矿隶属长江中下游成矿带安庆—贵池矿集区, 位于俯冲板块撕裂或折断处相对应的大陆边缘弧后伸展部位, 与 I 型或埃达克质花岗岩具有密切的关系, 成岩成矿时代为  $142 \sim 137 \text{ Ma}$ <sup>[14]</sup>。

印支期由于太平洋板块活动逐渐增强, 形成南东—北西挤压构造应力场, 造成本区北东向盖层褶皱构造格局, 并伴生有北东向纵张断裂和北西向横张断裂。燕山早期叠加有东西向盖层褶皱以及伴生近东西向纵张断裂和近南北向横张断裂。

在太平洋板块向欧亚大陆俯冲过程中, 由于俯冲板片撕裂, 导致软流圈沿裂开处上涌, 以至于发生壳幔相互作用, 形成来自深源的由俯冲板片重熔而成的富含铜和铁等成矿元素的具有埃达克岩石性质的 I 型花岗质岩浆, 矿区范围内以花岗闪长斑岩—铜山岩体为代表, 包括小河王石英闪长岩等, 是长江中下游成矿带安庆—贵池矿集区  $140 \text{ Ma}$  左右时限成矿的代表性中酸性成矿岩体, 以广义矽卡岩型 Cu-Fe-Mo-Au 矿化组合为特点。

在北东向和东西向基底断裂以及北西向和近东西向盖层断裂的联合控制下早期石英闪长岩岩浆上升侵位, 就位于盖层的泥盆系五通组碎屑岩与石炭系、二叠系碳酸盐岩的岩性薄弱面、滑脱构造带、层间断裂面以及北西向和近东西向张性断裂带中。

岩浆在上侵过程中, 成矿物质不断富集于岩浆热液中, 并在成矿有利部位形成含铜磁铁矿和含铜矽卡岩型铜铁矿体。随着基底断裂活动的加强, 深源岩浆进一步向酸性方向演化, 造成规模较大的第二次花岗闪长岩岩浆的上侵, 在岩浆由石英闪长岩质向花岗闪长岩质演化过程中, 大量的铜铁钼锌等成矿物质不断向流体富集, 在岩体侵入接触构造带、层间滑脱构造带、层间破碎带、简单接触带以及复合接触带等有利容矿构造中形成充填型含铜磁铁矿、层控型含铜黄铁矿、接触带型含铜矽卡岩等典型矿体。

由于安庆—贵池矿集区位于大别—苏鲁造山带的东缘,在造山过程及造山后伸展期,除产生规模较大的张性断裂带( $F_1$ )外,沿厚大的泥盆系五通组石英砂岩与二叠系栖霞组灰岩地层不整合面之间出现规模宏大的构造滑脱面,而夹于泥盆系五通组石英砂岩与二叠系栖霞组灰岩地层之间的薄层石炭系黄龙组和船山组灰岩地层则形成广泛的层间破碎带。

当岩浆侵位时大量成矿流体迅速堆积在这些有利的层状空间中,形成大规模层状矿体,沿层间裂隙发育层状矽卡岩型矿体( $C_{2h+3c}$ ,常见沉积成因灰黄色胶状黄铁矿,常混杂较多泥炭质杂质且常常光泽较暗,晶形不明显,与岩浆流体交代成因的亮黄白色且立方体晶形明显的黄铁矿形成鲜明对比)或层控矽卡岩矿体(五通组与栖霞组之间)。成矿不仅发育于矽卡岩阶段,而且更加广泛出现在退化蚀变阶段,常见铜多金属与阳起石—透闪石、绿泥石和绿帘石(由钙质矽卡岩蚀变而成)或透闪石—镁绿泥石—滑石—蛇纹石(由镁质矽卡岩蚀变而成)共生。

在燕山早期的后期阶段,由于基底断裂活动逐渐减弱,仅产生规模较小的二长花岗岩岩浆的上侵,岩浆在由石英闪长岩、花岗闪长斑岩向二长花岗岩的演化过程中,流体成分越来越多,在二长花岗岩岩浆上侵前缘上部形成隐爆角砾岩筒,伴随有含铜角砾岩型和斑岩型细脉浸染状铜钼矿化以及相对远离岩体的受构造裂隙控制的热液型Pb、Zn、Ag、Cu、Au矿化。

岩浆活动过程中,由于岩体具有强大的热动力,使周围地下水受热,加入到岩浆热液中,并使地层中的成矿物质活化(主要是铁和硫,其次铅和银),向流体中迁移最终在岩体接触带附近形成多个阶段叠加的铜铁金硫矽卡岩型富矿体,在其周边沿断裂裂隙富集形成成矿温度相对较低的热液型铅锌银矿体。由于后期的岩浆活动较弱、规模较小,叠加的矿化作用并不强烈,因而保留原有的矿化类型特征,形成矽卡岩型、斑岩型、角砾岩型以及热液型复合型工业矿体,体现了燕山期岩浆热液铜铁金硫成矿系列和同源多位一体的成矿模式(见图4)。

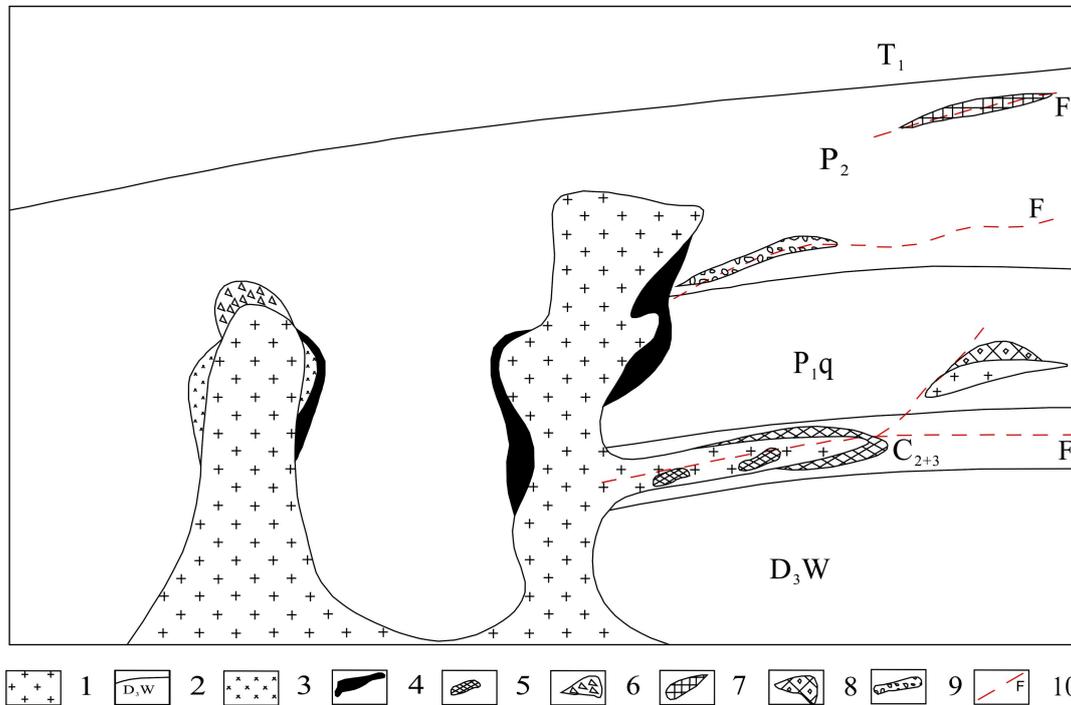


图4 铜山铜矿成矿模式图: 1—花岗闪长斑岩; 2—层间滑脱构造带; 3—斑岩型铜钼金矿化; 4—矽卡岩型铜铁金硫矿化; 5—层控矽卡岩型铜铁矿化; 6—隐爆角砾岩型铜金矿化; 7—热液型铅锌银矿化; 8—热液型—矽卡岩复合型铜铁硫矿化; 9—层间破碎带型铜铁硫矿化; 10—断裂构造

Fig. 4 Metallogenetic mode diagram of Tongshan Copper Deposit: 1—Granodioritic porphyry; 2—Interlayer gliding structural belt; 3—Cu-Mo-Au mineralization of porphyry; 4—Cu-Fe-Au-S mineralization of skarn type; 5—Cu-Fe mineralization of strata bound skarn type; 6—Cu-Au mineralization of cryptoexplosion breccia type; 7—Pb-Zn-Ag mineralization of hydrothermal type; 8—Cu-Fe-S mineralization of compound type of hydrothermal type and skarn type; 9—Cu-Fe-S mineralization of interlayer fracture zone type; 10—Fault structure

## 5 结论

1) 黄龙组 and 船山组灰岩为接触交代矿床形成的最有利岩性,其层位为矿体主要的赋存层位,且其与泥盆系上统五通组 and 二叠系上统砂页岩构成的构造薄弱面—钙硅界面,有利于矿液的运移和矿质的沉淀。厚大的泥盆系五通组石英砂岩化学性质稳定,对成矿流体起隔挡屏蔽作用,也有利于成矿作用的进行。矿体主要定位于花岗闪长斑岩体侵入接触构造、层间滑脱构造、角砾岩筒构造、层间破碎带、复合接触带控矿构造中。断裂构造  $F_1$  为矿液运移、矿体定位的关键因素。岩浆活动的成岩作用和岩浆期后热液作用对矿床形成起主导性控制作用,为成矿的第一要素,为成矿提供了充足的物质来源、流体来源及热能。

2) 从成矿物质来源、形成条件、控矿因素、成矿作用以及矿化形式方面分析可以得出,铜山铜矿以矽卡岩型为主,包括斑岩型、角砾岩型以及热液型等多种成因类型,体现了燕山期岩浆热液铜铁金硫成矿系列和同源多位一体的成矿模式。

## REFERENCES

- [1] 陈国达. 地洼学说—活化构造及成矿理论体系概论[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996: 340-387.  
CHEN Guo-da. Diwa theory—Outline on activated tectonics and metallogenic theoretic system [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996: 340-387.
- [2] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 309-319.  
CHANG Yin-fo, LIU Xiang-pei, WU Yan-chang. The copper, iron mineralization belt in the middle and lower reaches of the Yangzi River Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 309-319.
- [3] 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1-351.  
TANG Yong-cheng, WU Yan-chang, CHU Guo-zheng, XING Feng-ming, WANG Yong-min, CAO Fen-yang, CHANG Yin-fo. Geology of copper-polymetallic deposits along the Yangtze River of Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1-351.
- [4] WU Cai-lai, WANG Zhi-hong, QIAO De-wu, LI Hai-bing, HAO Mei-ying, SHI Ren-deng. Types of enclaves and their features and origins in intermediate-acid intrusive rocks from the Tongling district, Anhui Province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74: 56-67.
- [5] 周余谔, 张宜勇, 苏其树. 安徽铜山铜矿床地球化学特征及其成因[J]. 安徽地质, 1996, 6(2): 54-68.  
ZHOU Yu-e, ZHANG Yi-yong, SU Qi-shu. The geochemistry and genesis of the Tongshan copper ore deposit, Anhui Province [J]. Geology of Anhui, 1996, 6(2): 54-68.
- [6] 周曙光. 安徽铜山矿床成矿物质来源及成矿作用探讨[J]. 矿产与地质, 2003, 17(5): 610-612.  
ZHOU Shu-guang. Matter source of the Tongshan deposit and its mineralization [J]. Mineral Resources and Geology, 2003, 17(5): 610-612.
- [7] 邵拥军, 郑明泓, 刘悟辉, 李品杰, 刘忠法, 刘清泉. 安徽铜山铜矿关键控矿因素及成矿定位规律研究[J]. 矿物学报, 2009(S): 555-557.  
SHAO Yong-jun, ZHENG Ming-hong, LIU Wu-hui, LI Pin-jie, LIU Zhong-fa, LIU Qing-quan. Research of ore-controlling factors and mineralization rule of orientation [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009(S): 555-557.
- [8] 陈红谨, 张静, 贾鹏飞, 李大鹏, 张智宇, 王通其. 安徽铜山铜矿床硫化物 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(6): 1779-1784.  
CHEN Hong-jin, ZHANG Jing, JIA Peng-fei, ZHANG Zhi-yu, WANG Yu-qi. Re-Os isotopic dating of sulfides from the Tongshan copper deposit, Anhui Province and its geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(6): 1779-1784.
- [9] 孙家福. 长江中下游成矿带成矿系列及其地质背景[J]. 大地构造与成矿学, 1992, 16: 155-156.  
SUN Jia-fu. Metallogenic series of the middle and lower Yangtze mineral belt and its geological sating [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 1992, 16: 155-156.
- [10] 王文斌, 李文达, 范洪源, 程忠福. 长江中下游铜矿集中区地层、岩相、古地理控制条件[J]. 火山地质与矿产, 1994, 15(3): 33-41.  
WANG Wen-bin, LI Wen-da, FAN Hong-yuan, CHENG Zhong-fu. Controlling conditions of strata, lithofacies and paleogeography to copper-deposit concentration regions in middle-lower Yangtze river [J]. Volcanology & Mineral Resource, 1994, 15(3): 33-41.
- [11] 翟裕生, 姚书振, 林新多, 金福全, 周珣若, 万天丰, 周宗桂. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律[J]. 矿床地质, 1992, 11(1): 1-12.  
ZHAI Yu-sheng, YAO Shu-zhen, LIN Duo-xin, JIN Fu-quan, ZHOU Xun-ruo, WAN Tian-feng, ZHOU Zong-gui. Metallogenic regularity of iron and copper deposits in the middle and lower valley of the Yangtze River [J]. Mineral Deposits, 1992, 11(1): 1-12.
- [12] 邓吉牛, 曲丽莉. 长江中下游地区层控矽卡岩型铜矿床控矿地质因素新探[J]. 有色金属矿产与勘察, 1995, 4(5): 257-264.

- DENG Ji-niu, QU Li-li. New knowledge on ore- controlling factors of stratabound skarn copper deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Geological Exploration For Non-ferrous Metals, 1995, 4(5): 257-264.
- [13] 张开均, 施央申. 长江中下游多金属成矿带逆俯冲推覆构造的控制作用初探[J]. 江苏地质, 1996, 20(3): 172-176.
- ZHANG Kai-jun, SHI Yang-shen. Ore-controlling of thrust nappe in polymetallic metallogenic belt in the lower and middle Yangtze reaches [J]. Geology of Jiangsu, 1996, 20(3): 172-176.
- [14] 刘绍谦. 长江中下游成矿带区域构造格局及其演化[J]. 中南冶金地质, 1997(2): 8-15.
- LIU Shao-lian. Regional tectonic framework and evolution of Yangtze River metallogenic belt [J]. Central South Metallurgical and Geological, 1997(2): 8-15.
- [15] 胡瑞忠, 毛景文, 毕献武, 彭建堂, 宋谢炎, 钟宏, 陶琰, 谢桂青. 浅谈大陆动力学与成矿关系研究的若干发展趋势[J]. 地球化学, 2008, 37(4): 344-352.
- HU Rui-zhong, MAO Jing-wen, BI Xian-wu, PENG Jian-tang, SONG Xie-yan, ZHONG Hong, TAO Yan, XIE Gui-qing. Several developing directions of relationship between continental geodynamics and mineralization [J]. Geochimica, 2008, 37(4): 344-352.
- [16] 俞沧海, 袁小明. 贵池铜山岩体岩石化学与地球化学特征[J]. 安徽地质, 1999, 9(3): 194-198.
- YU Chang-hai, YUAN Xiao-ming. The petrochemical and geochemical characteristics of the Tongshan intrusion, Guichi [J]. Geology of Anhui, 1999, 9(3): 194-198.
- [17] 任进, 周珣若. 长江中下游地区花岗岩潜在含矿性特征的研究[J]. 现代地质, 1995, 9(1): 42-51.
- REN Jin, ZHOU Xun-ruo. Ore-forming potentialities of Mesozoic granites in middle-lower reaches of Yangtze River [J]. Geoscience, 1995, 9(1): 42-51.
- [18] 丁宗炜. 安徽铜山铜矿床地质地球化学特征及成因分析[D]. 长沙: 中南大学, 2009: 37-64.
- DING Zong-wei. The analysis of geochemical characteristics and the genesis of ore deposits in Tongshan copper deposit, Tongling, Anhui Province [D]. Changsha: Central South University, 2009: 37-64.
- [19] TAYLOR H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore [J]. Economic Geology, 1974, 69: 843-883.
- [20] 俞沧海. 贵池铜山铜矿床成因探讨[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2): 12-16.
- YU Cang-hai. Study on the genesis of Tongshan copper ore deposit in Guichi [J]. Geology and Prospecting, 2001, 37(2): 12-16.

(编辑 李艳红)