

# 铜官山层控矽卡岩型铜矿床的蚀变分带及其成因

崔 彬

(武汉地质学院北京研究生部)

铜官山铜矿床是长江中下游重要的铁铜矿床之一。近年来,随着深部开拓和对其沉积成矿作用、矿床组合特征的研究,使之成为区域上有代表性的典型矿床之一。

## 一、矿床地质

铜官山铜矿床位于铜陵—戴家汇东西向基底断裂西端,铜官山“S”形背斜的北西翼(图1)。沿北东向褶皱轴向展布的老庙基山石英闪长岩岩体接触带上(由南向北)分布有白家山、宝山、小铜官山、老庙基山、松树山、笔山和罗家村八个矿段。本次工作重点是研究主要含矿地段——松树山、老庙基山和小铜官山三个矿段。

区内主要含矿地层为石炭系高骊山组( $C_1g$ )砂页岩—黄龙组底部( $C_2h^1$ )赋含铜胶黄铁矿层的白云岩—黄龙组上部( $C_2h^2$ )和船山组( $C_2c$ )灰岩,表现出海进旋回的特征。各含矿岩性段的铜、铁、硫丰度如表1。

表1 主要含矿岩性段的Cu、Fe、S丰度(%)表

Table 1. Cu, Fe, S abundances of the major ore-bearing lithologic sector (in percentage)

含 矿 岩 性 段	Cu	Fe	S
$C_1g$ 碎 屑 岩 段	0.0150	3.10	1.23
$C_2h^1$ 白 云 岩 段	0.0628	20.91	13.87
$C_2h^2$ 灰 岩 段	0.0125	3.3	<1

(据铜陵有色公司地质队1979年资料)

老庙基山石英闪长岩岩体侵入后(同位素年龄为148—150Ma),主要以这三个岩性段为背景在空间上形成上、中、下部矿体,其特征如表2所示。其中主矿体——中部矿体产于 $C_1g$ 砂页岩与 $C_2h^2$ 灰岩段之间,严格受 $C_2h^1$ 白云岩段控制(图1)。矿体层位稳定,呈层状、似层状,纵向延深可达—500m以下,水平延伸从宝山—老山—小铜官山—老庙基山—松树山—天鹅抱蛋山—马山约4km,矿体最厚处可达17.5m。局部或与上部矿体合为一处(图1中II、III、IV、V、VI剖面),或与上部矿体分离(图1中I、VII剖面),从松树山矿段至小

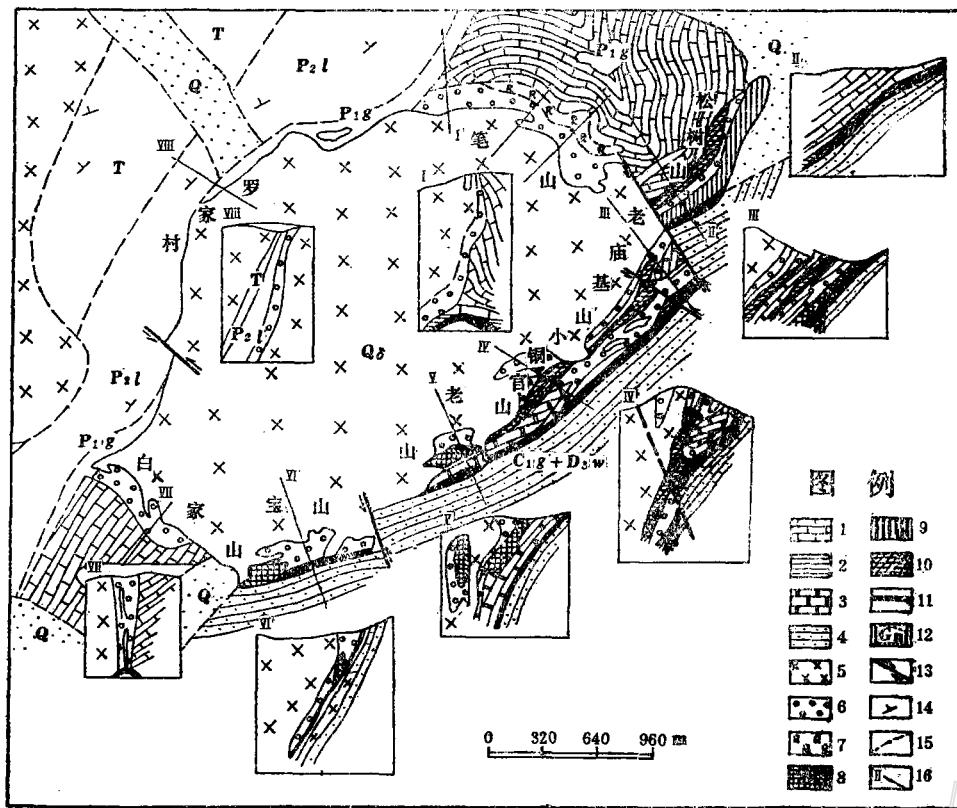


图1 铜官山铜矿地质图

(据翟裕生等1981年资料修改)

Q—第四系；T—三叠系；P<sub>2</sub>l—二叠系龙潭组砂页岩；P<sub>1</sub>g—孤峰组硅质岩；1—栖霞组(P<sub>1</sub>g)灰岩；2—船山组灰岩；3—黄龙组白云岩；4—高骊山组(C<sub>1</sub>g)砂页岩和五通组(D<sub>3</sub>w)石英岩；5—石英闪长岩；6—石榴石砂卡岩；7—透辉石砂卡岩；8—上部矿体(磁铁矿矿体)；9—下部矿体；10—上部矿体(磁黄铁矿和黄铁矿矿体)；11—中部矿体；12—铁帽；13—断层；14—岩层产状；15—地质界线；16—剖面线

Fig. 1. Geological map of the Tongguanshan copper deposit.

Q—Quaternary; T—Triassic; P<sub>2</sub>l—Siltstone and shale of Permian Longtan Formation; P<sub>1</sub>g—Silicites of Permian Gufeng Formation; 1—Limestone of Qixia Formation; 2—Limestone of Chuanshan Formation; 3—Dolomite of Huanglong Formation; 4—Sandstone and shale of Gailishan Formation and quartzite of Wutong Formation; 5—Quartz diorite; 6—Garnet skarn; 7—Diopside skarn; 8—Upper orebody (magnetite); 9—Lower orebody; 10—Upper orebody (pyrrhotite and pyrite); 11—Middle orebody; 12—Gossan; 13—Fault; 14—Attitude of strata; 15—Geological boundary; 16—Section line.

铜官山矿段，由以中部矿体为主渐变为上、中、下部三类矿体并存。中部矿体以其特有的莓球状、胶状和层纹状等构造特征与上、下部矿体相区别，显示了沉积成矿作用的存在。其变晶、交代、残余结构和条纹状、条带状、皱纹状构造则反映了后期变质叠加作用。

## 二、蚀变分带的主要类型

由于老庙基山岩体侵入作用带来的热能和含矿流体分别作用于不同性质的围岩，以及这两种作用强度的差异和叠加，使区内围岩蚀变较为复杂。为此，作者对主要蚀变岩石的矿物组合和蚀变矿物(石榴石、蛇纹石和云母等)的标型特征进行了研究。区内主要蚀变类型

表 2 铜官山铜矿床组合特征表  
Table 2. Composite characteristics of the Tongguanshan copper deposit

部位特征	上部矿体	中部矿体	下部矿体							
控矿因素 矿体形态 矿石构造 矿石结构 矿物生成顺序 围岩 蚀变特征 非晶质矿物	接触构造控制 透镜状、不规则状 块状、脉状 交代溶蚀、固溶体分离 Mt-Py-Po-Cp 不同时代流岩 砂卡岩化 石榴石、钙铁辉石、透辉石、透闪石	层位岩性控制 层状、似层状 瓣纹状、胶状、条带状 莓球状、胶状、变晶、残余 Kp-Py-Po-Mt-Cp 石英绢白云岩 滑石化、蛇纹石化 叶蛇纹石、利蛇纹石、金云母、滑石、白云石	收缩、侵入裂隙控制 脉状 细脉浸染状、块状 粗粒及固溶体分离 Cp-Py-Sp 闪长岩、角闪岩、石英岩 绢云母化、黑云母化 黑云母、绿泥石、石英							
矿石类型	Cu-Mt	Cu-Mt-Spt	Cu-δ							
	Cu-Pb	Cu-Pb-Spt	Cu-Kp-Do							
	Cu-Py	Cu-Py-Sp	Cu-Q							
	Cu-Sk									
矿石 微量 元素 含量 (ppm)	1625 10 1075 0.5 90 17.5 0.58 20 — 37.5	1530 6.25 112.7 1.55 50 7.5 3.75 11.67 25 8.83	1530 3.75 412.5 8.75 55 45.68 26.25 48.12 6.25 11.88	1180 2 160 12 41 84 3 9 10 21	1309 13.33 83.3 10 69.17 19.17 17.5 13.33 321.67 7.5	1160 17.5 275 6.88 15 11.25 3.75 5.00 675 5	1525 13.75 50 7.5 13.75 98.75 130 65 — 13.75	814.81 18.89 264.81 0.88 11.11 32.59 92.22 93.33 1.85 27.41		
Co/Ni 样品个数	5.11 4	6.67 12	6.00 7	1.89 5	1.21 8	0.52 3	3.61 6	1.88 4	0.14 4	0.34 27
结论	接触交代型砂卡岩									
	层控砂卡岩型									
	石英脉型									

Cp—黄铜矿, Sp—闪锌矿, δ—闪长岩, Q—石英岩, 其他岩石及矿物代号见图 3 图例说明

有：矽卡岩化（石榴石矽卡岩化和钙铁辉石-透辉石矽卡岩化）、蛇纹石化（叶蛇纹石化和利蛇纹石化）、云母化（金云母化、黑云母化和绢云母化）、滑石化、大理岩化、角岩化和硅化等。这些蚀变由于热场和流体场梯度的变化，在空间上出现较明显的分带性。主要蚀变分带类型如下：

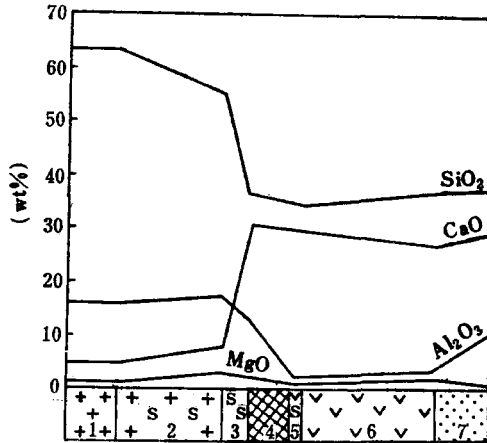


图2 小铜官山交代分带地球化学剖面  
1—石英闪长岩；2—蚀变石英闪长岩；3—石榴石矽卡岩；4—磁铁矿矿体；5—石榴石透辉石矽卡岩；6—透辉石矽卡岩；7—角页岩

Fig. 2. Geochemical section showing metasomatic zoning of Xiaotongguanshan.

1—Quartz diorite; 2—Altered quartz diorite;  
3—Garnet skarn; 4—Magnetite ore; 5—Garnet-diopside skarn; 6—Diopside skarn; 7—Hornfels.

在交代作用强烈的地段不出现大理岩带，如图2，矽卡岩带与角岩带直接接触。这类蚀变分带是岩体与灰岩接触交代的产物。岩体与灰岩的化学成分差异较大，其间存在着较高的化学位，且灰岩的化学活动性较强，十分利于交代反应的进行。如小铜官山交代分带的地球化学剖面（图2）中，元素迁移量较大，在内带表现为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的带出和 $\text{CaO}$ 的带出；外带则相反， $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 带入， $\text{CaO}$ 带出；而 $\text{MgO}$ 相对稳定，迁移量不大。同时，灰岩受热变为大理岩，具有较高的有效孔隙度（是石英岩的4倍）和较低的抗压强度（ $300\text{kg}/\text{cm}^2$ ），在构造应力作用下裂隙发育，提高了围岩的有效渗透率，为以流体为媒介的双交代作用提供了有利的空间。这些因素就决定了这种蚀变分带的主导因素是交代作用。

2. 变质分带 变质分带有两种类型，主要见于中、下部矿体中，它们具有不同的形成机制。

（1）岩体与化学惰性岩石相接触，见于下部矿体中。典型的蚀变分带为：①石英闪长岩。②黑云母化蚀变闪长岩，主要蚀变矿物为少铁黑云母， $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0.679$ ， $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Al}^{\text{VI}}) = 0.65$ ， $\text{Fe}^{2+}/(\text{MgO} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Al}^{\text{VI}}) = 0.31$ 。其中见有含铜石英细脉，脉宽0.1—5 cm，最高密集度为0.9条/cm，沿脉两侧向外黑云母化渐弱。③硅化角页岩（石英岩），下部矿体赋存其中。

岩体穿层侵入，在-175 m中段以下，岩体与高骊山组（ $\text{C}_{1g}$ ）砂页岩、五通组（ $\text{D}_{3w}$ ）

1. 交代分带 主要见于上部矿体中，蚀变产生于岩体与碳酸盐岩之间，受接触带构造控制，有如下分带现象：

①石英闪长岩：斜长石+角闪石+石英+钾长石。

②蚀变石英闪长岩：（方柱石+）黑云母+绿泥石+斜长石+石英，见有钙铝榴石（含钙铝榴石分子70.30%）矽卡岩脉。

③矽卡岩带：a) 钙铁榴石（含钙铁榴石分子67.29—99.59%）+次透辉石+方解石，一般宽几米至几十米；b) 磁铁矿+硫化物+方解石，磁铁矿呈粗粒状，局部具石榴石假象和环带；c) 透辉石+钙铁辉石+方解石，一般宽几米至几十米。

④大理岩带：硅灰石+透闪石+方解石，一般宽几米至几十米不等。

⑤角岩带：石英+黑云母+少量红柱石。

石英砂岩相接触, 围岩受热变为角页岩、石英岩。石英岩有效孔隙度低(为大理岩的1/4), 且性脆易破裂, 为流体活动提供了较多的裂隙空间, 但由于围岩为化学惰性岩石, 使交代作用不发育, 主要以充填作用为主。

(2) 岩体与高导热层岩石接触。如中部矿体, 岩体与平均厚度为4.89 m的含铜胶黄铁矿层接触, 由于胶黄铁矿层具有较高的热导性, 顺层发生强烈的热变质作用, 形成本区特殊的变质分带。典型的变质分带为: ①大理岩带; ②磁黄铁矿、黄铁矿矿层; ③含铜蛇纹岩带(蛇纹石+金云母+磁铁矿+磁黄铁矿+黄铁矿+黄铜矿), 随着远离岩体, 在横向上也出现规律性变化(详细讨论见后); ④角页岩(石英岩)带。

变质分带的典型特征, 表现为在垂向上沿矿体两侧分布典型的热变质岩带(大理岩带和角页岩带)。

上述两类蚀变带以不同强度相互叠加, 构成了区内以下两类常见的蚀变分带。

3. 变质-交代分带 受接触带构造及岩性差异控制, 交代作用明显, 并保存有变质分带的某些特征, 如老庙基山矿段。从岩体至围岩, 矿物分带较复杂, 垂向分带为:

- (1) 石英闪长岩
- (2) 蚀变石英闪长岩, 宽数米
- (3) 钙铁榴石矽卡岩带, 见有少量硫化物
- (4) 磁铁矿带: 钙铁榴石+磁铁矿+磁黄铁矿+黄铁矿
- (5) 磁黄铁矿带: 钙铁榴石+磁黄铁矿+透辉石+黄铁矿+方解石
- (6) 磁铁矿蛇纹岩带: 蛇纹石+磁铁矿+透闪石+绿泥石+黄铜矿
- (7) 金云母(蛇纹岩)带: 金云母+蛇纹石+滑石+石英+磁铁矿+黄铜矿+黄铁矿
- (8) 角页岩(石英岩)带: 见有黑云母化和白钨矿-石英脉, 局部含铜石英脉发育, 可构成矿体

以上分带只在某些地段发育其中的某些带

4. 交代-变质分带 这类分带一般离接触带较远, 后期热液蚀变不强, 保留较多的变质分带特征, 原始沉积组构的特征也保存得较完整, 垂向分带为:

- (1) 大理岩带
- (2) 磁黄铁矿带: 磁黄铁矿+黄铁矿+黄铜矿
- (3) 矽卡岩带: 钙铁榴石+磁铁矿+方解石+石英
- (4) 磁铁矿带: 磁铁矿+黄铁矿+黄铜矿+少量矽卡岩矿物, 磁铁矿微具定向
- (5) 含铜蛇纹岩带: 磁铁矿+磁黄铁矿+黄铁矿+黄铜矿, 蛇纹石与金属矿物相间构成条纹和条带
- (6) 角页岩(石英岩)带

各类蚀变分带与上、中、下部矿体密切伴生。以接触交代矽卡岩型矿体为主的小铜官山矿段, 主要为交代分带; 以接触交代型和层控矽卡岩型并存的老庙基山矿段, 主要为变质-交代分带和交代-变质分带; 以层控矽卡岩型矿体为主的松树山矿段, 主要为变质分带。由于三类矿体在空间上有规律的变化, 伴随三类矿化的蚀变分带在空间上也呈现规律性变化。在纵向上, 自岩体向底板, 以交代分带为主渐变为以变质分带为主; 在横向上, 自小铜官山矿

段→老庙基山矿段→松树山矿段, 由交代分带→变质-交代带→交代-变质分带→变质分带。

### 三、变质分带特征及成因

爱因奥狄 (Einaudi, 1982)<sup>[1]</sup>把矽卡岩的形成演化过程划分三个阶段: ①伴随岩浆侵入而发生的等化学接触变质作用; ②伴随岩浆结晶作用和矿液演化而发生的交代作用; ③伴随整个体系的最后冷却而发生的退化蚀变作用。其中②③两种作用与矿化关系密切, 为人们所重视。相反, 对接触变质作用的研究有所忽视。尤其, 像铜官山铜矿床中的中部层控矽卡岩型铜矿体, 经历了同生沉积成矿作用, 原始沉积的含铜胶黄铁矿层是热的良导体, 接触变质作用成为后生成矿作用的一个重要阶段。因此, 研究与这种变质作用有关的特殊变质分带及其成因十分必要。

如前所述, 主矿体——中部层控矽卡岩型铜矿体, 在沉积成矿期为—含铜胶黄铁矿层, 在岩浆侵入时, 发生强烈的接触变质作用, 从松树山矿段至老庙基山矿段, 随着接近岩体 (图3), 矿石类型发生转化, 从含铜胶黄铁矿白云岩型→含铜黄铁矿蛇纹岩型→含铜磁黄铁矿蛇纹岩型→含铜磁铁矿金云母岩 (蛇纹岩) 型。对各类矿石进行了野外和室内光、薄片观察和电镜、微量元素、红外光谱和硫同位素等方面的研究, 其金属矿物、非金属矿物、结构和构造均呈现规律性变化, 即:

金属矿物变化: 由胶黄铁矿 (Kp)→黄铁矿 (Py)→磁黄铁矿 (Po)→磁铁矿 (Mt)。其特征如表3。由表3可见, 上述金属矿物演化序列中, 硫含量逐渐降低, 说明原始沉积的胶黄铁矿受热发生晶化和相变时有大量的硫释放出, 硫同位素均一化程度增高, Co、Ni 在黄铁矿和磁黄铁矿中的分配出现明显差异。B. 康伯对不同成因类型磁黄铁矿中 Co、Ni 分配差异的研究表明: 黄铁矿和磁黄铁矿由于变质重结晶作用, Ni 在磁黄铁矿中富集, 而 Co 在黄铁矿中富集。铜官山层控矽卡岩型铜矿床中黄铁矿的 Co/Ni 比 (10.88—12.61) > 磁黄铁矿的 Co/Ni 比 (5.67), 说明这种黄铁矿和磁黄铁矿的形成经历了较强的变质重结晶作用。

经镜下鉴定和红外光谱系统分析, 非金属矿物随着接近岩体 (从松树山矿段→老庙基山矿段) 由白云石→叶蛇纹石→利蛇纹石→金云母 (蛇纹石、滑石)。根据共生矿物组合  $P-T$  图解, 在压力为  $1000 \times 10^5 \text{Pa}$ — $2000 \times 10^5 \text{Pa}$  的条件下, 滑石与蛇纹石的转变温度为  $500^\circ\text{C}$ 。铜官山层控矽卡岩型铜矿床中与滑石、蛇纹石共生的磁铁矿的爆裂温度为  $540^\circ\text{C}$ , 与上述转变温度近于一致, 说明温度是这一相变的主要因素之一。

矿石结构变化: 由胶状 (莓球状) 结构→变晶结构→残余结构。胶黄铁矿具胶状环带和胶裂纹。局部见有莓球状黄铁矿, 粒径一般为  $2-130\mu\text{m}$ , 在扫描电镜下可见其由  $<0.2\mu\text{m}$  的黄铁矿微粒组成。与白云岩中藻类生物结构对比, 初步认为该莓球状黄铁矿可能为生物成因。变晶结构普遍发育, 特别是黄铁矿有从隐晶→细晶→粗晶的变化趋势。多处见到磁铁矿中的黄铁矿、磁黄铁矿残余, 磁黄铁矿中的黄铁矿残余, 黄铁矿中的胶黄铁矿残余。残余结构所显示出的矿物生成顺序为胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿→黄铜矿, 与上部矿体出现的金属矿物形成顺序 (磁铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→黄铜矿) 不同。这说明中部层控矽卡岩型铜矿体不同于上部接触交代矽卡岩型铜矿体, 是以变质作用为主的产物。

矿石构造变化: 由层纹状 (胶黄铁矿与白云石相间组成厚度  $<1\text{mm}$  的细层, 如图3中照

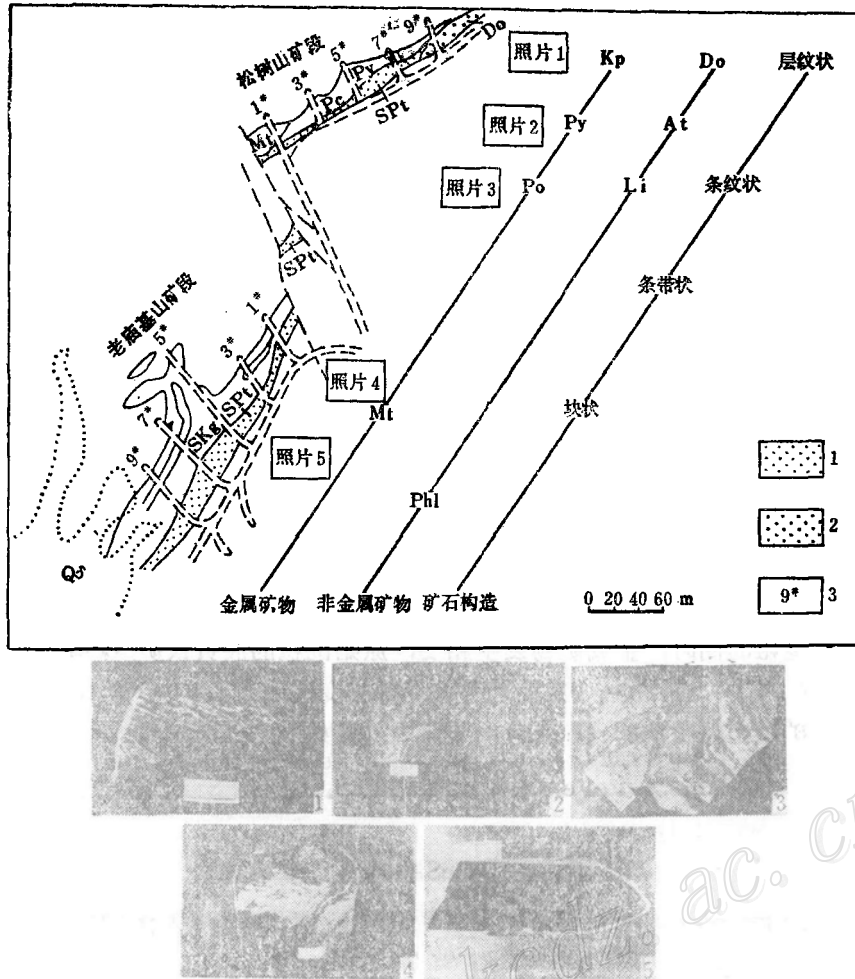


图3 铜官山层控砂卡岩型铜矿床变质分带示意图

1—蛇纹岩 (Spt); 2—白云岩 (Do); 3—坑道编号; Kp—胶黄铁矿; Py—黄铁矿; Po—磁黄铁矿; Mt—磁铁矿; Do—白云石; At—叶蛇纹石; Li—利蛇纹石; Phl—金云母

Fig. 3. Schematic diagram showing metamorphic zoning of the Tongguanshan stratabound skarn type copper deposit.

1—Serpentinite (Spt); 2—Dolomite (Do); 3—Serial number of the gallery; Kp—Kappa-Pyrite; Py—Pyrite; Po—Pyrrhotite; Mt—Magnetite; Do—Dolomite; At—Antigorite; Li—Lizardite; Phl—Phlogopite.

片1)→条纹状 (黄铁矿、磁黄铁矿与蛇纹石相间组成厚度为1—5mm的细层, 如图3中照片2)→条带状 (磁黄铁矿、黄铁矿与蛇纹石相间组成宽度>5mm的条带, 如图3中照片3)→块状 (细粒磁铁矿呈致密块状, 中间夹有金云母岩和蛇纹岩, 如图3中照片4、5)。

上述金属矿物、非金属矿物、矿石结构和构造规律性变化的基础是原始沉积的含铜胶黄铁矿层。胶黄铁矿的累积平均厚度为4.89m (青石山5线ZK6孔中含铜胶黄铁矿层厚达16.17m), 纵向延深—500 m以下, 横向延伸约4 km。这样巨厚的含铜胶黄铁矿层具有较高的热导率, 在岩浆侵入时, 首先发生强烈热变质。具有莓球状和胶状的胶黄铁矿受热晶化, 重结晶

表3 层控砂卡岩型铜矿床金属矿物特征对比表  
Table 3. Composition characteristics of metallic minerals from the stratabound skarn type copper deposit

产出部位	测定矿物	样号	元素及含量(%)						Co/Ni	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
			S	Fe	Co	Ni	Mo	Ti		
地层	胶黄铁矿	S <sub>175-4-3</sub>	52.24	45.02	<0.002	0.0024	0.006	0.0023	<0.83	3.74
	黄铁矿(细晶)	27-1' ①	52.76	46.28	0.0068	0.034	—	—	0.20	3.2
	黄铁矿	27-1 ②	53.42	46.90	0.0170	0.056	—	—	0.30	0.1
矿体	黄铁矿(无磁)	S <sub>175-5</sub>	48.31	45.13	0.037	0.0034	0.0025	0.00004	10.88	3.17
	黄铁矿(无磁)	S <sub>175-5</sub>	46.31	45.02	0.029	0.0023	0.0043	0.0002	12.61	3.17
	磁黄铁矿	S <sub>175-5</sub>	35.93	53.34	0.034	0.006	<0.0025	0.0001	5.67	2.29
	磁铁矿	L <sub>175-5</sub>	0.10	65.57	0.0072	0.0034	—	—	2.12	—
岩体	黄铁矿	L <sub>1-L2-1</sub>	52.45	45.02	0.071	0.037	0.028	0.00009	1.92	4.5

化学成分由广州有色金属研究院测定, 硫同位素由北京铀矿地质研究所测定, ①②据温春齐1982年资料

形成变晶结构, 继而部分重溶形成交代溶蚀结构和交代残余结构。同时, 重结晶作用使原始沉积的层纹状构造改造为条纹状构造, 条纹合并构成条带, 最终重溶形成块状构造。在矿石组构发生由细变粗的同时, 金属矿物发生相变, 原始沉积的胶黄铁矿 ( $\text{FeFe}_2\text{S}_4$ ) 晶化为晶质黄铁矿 ( $\text{FeS}_2$ ), 并且有由细变粗的趋势, 局部相变为磁黄铁矿 ( $\text{FeS}$ ), 以至在接触带附近的老庙基山矿段出现磁铁矿 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), 其反应过程如下:



此外, 非金属矿物也伴随这种热场梯度呈现由白云石→叶蛇纹石→利蛇纹石→金云母的规律性变化。

矿物从非晶质→晶质, 从低温型→高温型, 从硫化物→氧化物的变化规律, 表明温度和氧逸度是这一变化的主要因素。为此, 测试了胶黄铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿和磁铁矿的爆裂温度, 并计算了岩体边缘相和中心相的结晶温度, 依次为无爆裂温度—340℃—380℃—540℃—851℃—987℃。根据有黄铁矿存在而无磁铁矿时的氧逸度<sup>[2]</sup>确定了黄铁矿(主要分布于松树山矿段)的氧逸度。应用任意温度下自由能近似公式计算了磁铁矿(主要分布于老庙基山矿段)的氧逸度。又根据卡迈克等(Carmichael, 1982)岩浆岩氧逸度计算公式<sup>[3]</sup>, 计算了岩体边缘相和中心相的氧逸度( $f_{\text{O}_2}$ )依次为  $<10^{-14}\text{Pa} \rightarrow 10^{-10}\text{Pa} \rightarrow 1.74 \times 10^{-9}\text{Pa} \rightarrow 5 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 。磁铁矿所在的老庙基山矿段与岩体边缘相接触, 二者氧逸度计算结果十分接近, 说明计算方法是可靠的。

实验进一步证实, 在密闭的高温炉中掺碳焙烧黄铁矿, 黄铁矿经历膨胀、崩解、粉化, 在400℃时黄铁矿开始转变为磁黄铁矿。矿区胶黄铁矿中含有大量碳酸盐矿物, 当岩体侵入后,



首先晶化为黄铁矿, 继而, 晶化黄铁矿转变为磁黄铁矿, 其转变温度为 380℃, 与实验相变温度 400℃ 十分接近。表明本区该过程发生于与实验相似条件下, 温度是这种相变的主导因素之一。

热变质作用是铜官山层控矽卡岩型铜矿床形成的一个主要因素, 原始沉积的含铜胶黄铁矿层在岩体侵入时受热变质, 使原来分布于胶黄铁矿表面的薄膜状黄铜矿重结晶并初步富集。同时, 根据方程 (2)、(3), 在热变质阶段有大量的硫释放出来, 提高了该地段的硫逸度, 为后期含矿流体的叠加成矿提供了有利条件和场所。因此, 它不仅是矿源层而且是有利的储矿层。

总之, 铜官山层控矽卡岩型铜矿床的形成是原始沉积的含铜胶黄铁矿层经历了强烈热变质, 在造成有用元素初步富集基础上, 由后期含矿流体叠加而成。因此, 除在交代作用强烈的岩体与碳酸盐岩接触带附近, 沿接触带找矿外, 还应重视在原始沉积胶黄铁矿层的变质分带上顺层找矿。变质分带中的某些组构和矿物特征及演化规律可能成为寻找这类矿体的某些标志。

本文为硕士论文的一部分, 成文过程中得到了朱上庆教授、黄华盛、李忠文和池三川副教授等的指导, 在此表示感谢。

### 主要参考文献

- [1] Einaudi M. T. and Burt, D. M. 1982, *Economic Geology*, Vol. 77, No. 4, pp. 745—754.  
 [2] David J. Vaughan and James R. Craig, 1978, *Mineral Chemistry of Metal Sulfides*.  
 [3] Xiao Mo and Carmichael I. S. E et al., 1982, *Mineralogical Magazine*, Vol. 45, pp. 237—245.

## THE ALTERATION ZONING AND ORIGIN OF THE TONGGUANSHAN STRATABOUND SKARN TYPE COPPER DEPOSIT

Cui Bin

(Beijing Graduate School, Wuhan College of Geology)

### Abstract

The Tongguanshan copper deposit is one of the major iron and copper deposits in middle and lower valley of the Yangtze River. According to the location of occurrence, its orebodies might be divided into upper, middle and lower parts with the alteration zonation consisting mainly of four portions, i. e., metasomatic, metamorphic, metamorphic-metasomatic and metasomatic-metamorphic zones. Of these three parts, the middle one is the main orebody, which is layered or stratoid in form and is confined strictly to the dolomite member

of  $C_2$ . Due to the effect of thermometamorphism, it exhibits characteristic metamorphic zoning towards the intrusive body in order of kappa-pyrite→pyrite→pyrrhotite→magnetite for metallic minerals, dolomite→antigorite→lizardite→phlogopite for nonmetallic minerals, lamellar→ribbon→striped→massive for ore structure and colloidal(strawberry-shaped pyrite)→blastic→relict for ore texture.

The zonation of metallic minerals implies a variation series of minerals from noncrystalline→crystalline, from lower temperature assemblage to high temperature one and from sulfides to oxides. The inclusion thermometry and the geothermometry indicate that the temperature varies from no decrepitation→340℃→380℃→540℃→851℃→987℃ and  $f_{O_2}$  from  $<10^{-14}$ → $10^{-10}$ → $1.74 \times 10^{-9}$ → $5 \times 10^{-4}$  Pa. Based on these data, it may be reasonably considered that the temperature and oxygen fugacity are chief factors bringing about these variations. As temperature is dependent on thermometamorphism caused by intrusion, the metamorphic zonation must be a product of metamorphism.

(上接34页)

状硫化物矿床24篇, 花岗岩与矿化13篇, 一般矿床地质16篇。现将会议上重点论文的主要内容及我们的体会简述如下:

1. 在开幕式四篇论文中, 第一篇为英国 R. H. Sillitoe 的“火山中的矿床”, 其余三篇均为挪威、瑞典、芬兰三国和芬诺斯堪的纳维亚地区的前寒武纪矿床。

在“火山中的矿床”一文中, 对世界上常见的含有或紧密伴生有色金属、贵金属和亲石元素矿化的成层火山、流穹杂岩、破火山口和低平火山口的成矿提出了一些新的看法。例如: (1)安山质成层火山形成的下部常伴有含铜斑岩岩株的侵位; (2)强调了潜水-水气混合岩浆喷发作用对浅成热液贵金属成矿的重要意义; (3)专属于火山流穹杂岩中的绢云母化和冰长岩化是在其下部出现高硅流纹岩浆的Climax型铜矿的标志, 等等。这对我们在东南沿海火山岩带中继续深入进行铜、钼和贵金属的勘查与评价有重要参考作用。

对芬诺斯堪的纳维亚地区前寒武纪矿床的主要认识是: (1)从区域沉积-火山岩岩性和岩相的不同, 以及伴随的不同金属组合划分成矿区, 分区指出找矿方向; (2)从大范围的地壳运动——板块构造研究前寒武纪矿床的控矿作用, 并按所形成的古弧-沟构造控矿系统指导找矿; (3)强调了元古代是太古代和显生代的过渡带, 是地质历史上最富矿化的时期; (4)指出晚元古代(文德期)和加里东期推覆体的发育, 以及推覆构造系统控矿的重要意义, 等等成矿概念。这对我国华北和西北等地区的前寒武纪地块的成矿认识, 特别是当前重点研究的华北陆台北缘的成矿作用具有重要参考意义。

2. 闭幕式论文是英国Strathclyde大学M. J. Russell的“SEDEX矿床的成因模式”。SEDEX矿床是指数量上占地球最大矿体的沉积-喷气矿床(Sedimentary-exhalative Deposits)。这类矿床不仅在世界分布最广(如Broken Hill, Mt. Isa, Sullivan, Naven, Meggen), 储量也最大, 也是这次会议交流的重点和芬诺斯堪的纳维亚成矿区的主要类型矿床。故以SEDEX矿床成因模式做为本届大会的闭幕演讲。该论文认为SEDEX矿床主要是在250℃的长期热水系统作用下形成的, 其形成环境与同构造的大型坳陷盆地有关。坳陷盆地促使海进、蒸发, 形成萨布哈和层状盐类停滞海。停滞海通过构造断裂的热卤水对流, 可以汲取直径

(下转56页)