

铜官山铜矿床 新类型矿体的发现及矿床成因模式

——兼论其与区域铜矿复合模式的关系

杨 兵 王之田

(中国有色金属总公司矿产地质研究所)

铜官山铜矿在开采过程中新发现了有工业意义的石英脉型铜矿体。这一发现和早先在东石门五通石英岩中发现的斑岩型浸染状矿体,打破了本区矿床底板硅质岩中不含矿的传统认识,具有重要的实际和理论意义。上述两种新类型矿体的发现,表明传统上被认为是典型矽卡岩型的铜官山铜矿床的成矿特点与长江中下游区域成矿特点有惊人的相似性。

铜官山铜矿床是一个国内外学者做了大量工作的著名矿山,但对矿床成因的看法众说纷纭,主要有以下认识:①矽卡岩型矿床;②同生沉积矿床;③沉积-叠加改造型矿床;④层控矽卡岩型矿床。上述各种观点都有一定的地质事实和理论根据,但都还不能全面地概括矿床中矿体的各种成因类型。本文试图将上述几种观点统一起来,提出“铜官山铜矿成矿模式”,同时讨论其与长江中下游区域铜矿成矿特点的关系。

一、长江中下游区域铜矿成矿特征和成矿模式⁽¹⁾

铜官山铜矿位于长江中下游的铜陵地区。长江中下游在大地构造单元上属下扬子拗陷褶皱带,夹在两个由前寒武纪变质岩系组成的大型隆起之间。该区的铜矿床类型主要有:沉积-改造型、矽卡岩型、斑岩型和火山岩中的石英脉型铜矿床。它们在时间、空间和物质成分上的关系表现为成矿复合模式(图1)。

区内,在下石炭统滨海相砂页岩向中石炭统浅海相碳酸盐岩过渡的沉积层间产出一系列层状含铜、金或铅、锌的黄铁矿矿床。成矿物质,来自南、北古陆或海底热泉,在适宜的物化条件下沉淀在海盆中。

区内底辟作用导致燕山期中酸性火山喷发和岩浆侵入,侵入体除从富有成矿元素的前寒武系基底攫取金属元素外,还攫取了中、下石炭统及其下伏地层的金属元素。

燕山期侵入体活化、转移、叠加和再富集了早、中石炭统沉积物的金属元素,形成沉积-改造型铜、金或铅、锌矿床。当岩浆侵入在硅铝质的志留纪或泥盆纪地层时,岩体本身形成斑岩型铜(钼)矿床。在遇有寒武-奥陶系、二叠或三叠系有利的碳酸盐岩时,形成矽卡岩型铜矿床,有时岩体本身形成了斑岩或爆发角砾岩筒型铜(钼)矿床。最后,岩浆期后热液在侏罗系火山岩中形成了含铜石英脉和细脉。

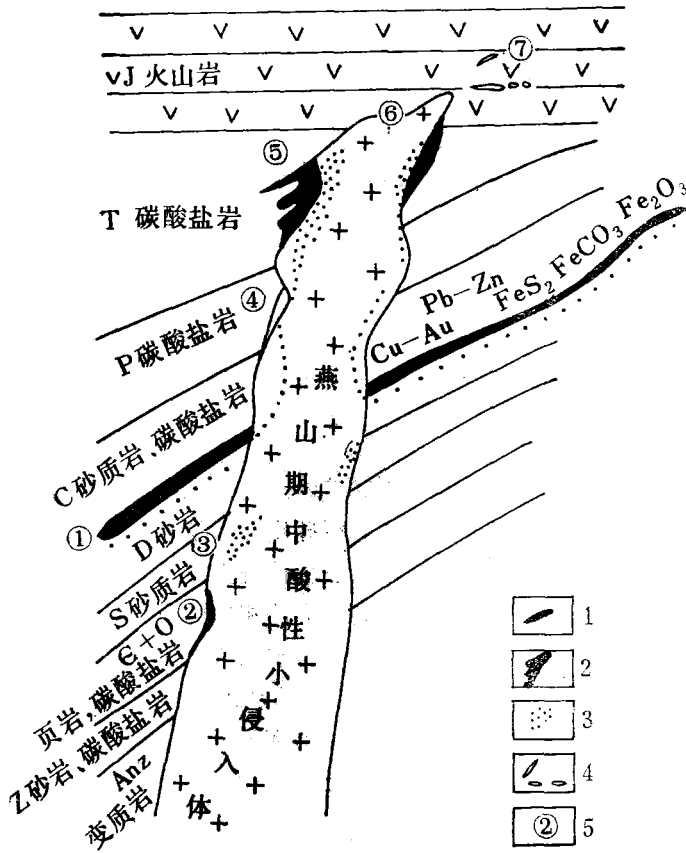


图 1 长江中下游铜矿成矿复合模式 (据王之田, 1982)

1—层状矿体; 2—块状矿体; 3—浸染状矿体; 4—脉状矿体; 5—矿床类型; ①沉积改造型; 西雷二山(赤铁矿); 黄梅(菱铁矿); 栖霞山(Pb-Zn); 龙角山、武山、城门山、铜山、铜官山松树山段、狮子山冬瓜山段、新桥、南陵、马山、莽麦山(Cu, Au-Cu); ②砂卡岩型; 滁县(Cu); ③斑岩型; 丁家山、舒家山(Cu); ④砂卡岩型; 狮子山老鸦岭段(Cu); ⑤砂卡岩型; 铁山、铜绿山、铜山口、石头咀、丰山碛、安庆、狮子山、凤凰山(Cu-Fe, Cu); ⑥斑岩型; 铜山口、丰山碛、城门山(Cu-Mo); ⑦火山岩型; 拔茅山、井边、大平山(Cu)

Fig.1. Integrated metallogenic model for copper ore deposits in the middle-lower Yangtze Valley.

1, bedded orebody; 2, massive orebody; 3, disseminated orebody; 4, veinlike orebody; 5, types of ore deposits; ①—sedimentary-reformation type; ②, ④, ⑤—skarn type; ③, ⑥—porphyry type; ⑦—volcanic type.

二、矿床地质地球化学特征和成因模式

铜官山铜矿床位于铜官山“S”状背斜中段的西北翼(图2)。背斜核部地层为志留系砂页岩, 向外依次出露上泥盆—中三叠统的碎屑岩及碳酸盐岩。主要含矿地层为中石炭统黄龙组白云岩。铜官山岩体的主体为石英闪长岩, 化学成分见表1, 绝对年龄为150Ma^①左右, 属燕山期。

表 1 火成岩岩石化学分析表 (%)

岩体类型	样数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	SO ₃	烧失量	总和
铜官山主体	2	63.65	0.61	15.82	4.73	0.09	1.74	4.84	4.84	2.79	0.29	0.56	—	—	0.32	100.28
东石门斑岩	1	65.76	0.45	16.20	2.55	0.02	1.15	2.68	5.06	1.91	0.13	—	—	0.54	3.32	99.82

资料来源: 铜官山主岩体来自桂林冶金地质所; 东石门斑岩体为本所。

① 据桂林冶金地质研究所资料。

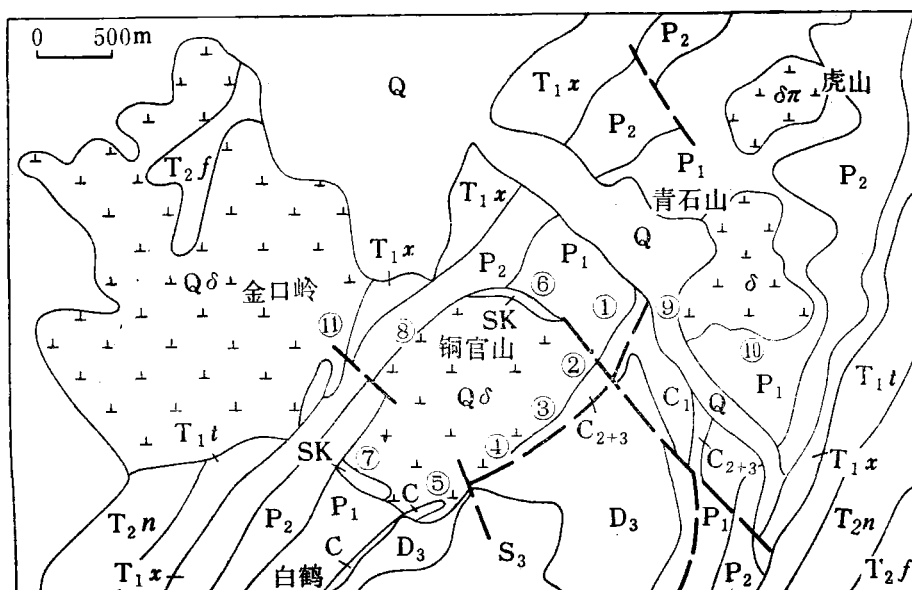


图2 铜官山矿区地质简图

(据铜陵有色金属公司资料)

Q—第四系; T—三叠系; T_{1x}—小凉亭组; T_{1t}—塔山组; T_{2n}—南陵湖组; T_{2f}—分水岭组; P—二叠系; P₁—孤峰组—栖霞组; P₂—大隆组—龙潭组; C—石炭系; C₁—高丽山组; C₂₊₃—黄龙、船山组; D₃—泥盆系五通组; S₃—志留系寨山组; Qδ—石英闪长岩; δ—闪长岩; δπ—闪长斑岩; SK—砂卡岩; ①—⑩—矿床代号; ①—松树山矿段; ②—老庙基山矿段; ③—小铜官山矿段; ④—老山矿段; ⑤—宝山矿段; ⑥—笔山矿段; ⑦—白家山矿段; ⑧—罗村矿段; ⑨—天鹅抱蛋山矿床; ⑩—马山矿床; ⑪—金口岭矿床

Fig.2. Diagrammatic geological map of the Tongguanshan ore district.

Q—Quaternary; T—Triassic; T_{1x}—Xiaoliangting Formation; T_{1t}—Tashan Formation; T_{2n}—Nanlinghu Formation; T_{2f}—Fenshuiling Formation; P—Permian; P₁—Gufeng Formation—Qixia Formation; P₂—Dalong Formation—Longtan Formation; C—Carboniferous; C₁—Gaolishan Formation; C_{2,3}—Huanglong—Chuanshan Formation; D₃—Devonian Wutong Formation; S₃—Silurian Zhaishan Formation; Qδ—quartz diorite; δ—diorite; δπ—diorite porphyry; SK—skarn; ①—⑩ refer to serial number of ore deposits.

矿体中已见有四种形态的矿体:

- a. 受中石炭统黄龙组 (C_{2h}) 严格控制的层状、似层状矿体。
- b. 产于岩体与上石炭统船山组 (C_{3c}) 和下二叠统栖霞组 (P_{1q}) 灰岩接触带中陡倾斜的透镜状、囊状矿体。
- c. 出现在上泥盆统五通组 (D₃) 石英岩中的楔形浸染状斑岩矿体。
- d. 产出在五通组石英岩或下石炭统高丽山组 (C_{1g}) 砂页岩中的石英脉型矿体。

上述四种形态的矿体分别代表了四种不同成因类型。现将它们的地质特征和成因分述如下:

1. 层状、似层状矿体: 是铜官山铜矿最主要的矿体类型, 占总储量的70%左右。铜矿体沿黄龙组稳定分布, 从宝山到松树山延长达2200m, 据ZK196孔资料, 向下延深已达到-1000m标高。不论是远离岩体的松树山矿段, 还是为褶皱断层所影响地段, 矿体始终稳定在这一层位。矿体与围岩呈整合关系(图3)。黄龙组中的层状黄铁矿层不受岩体控制, 从宝山—松树山—天鹅抱蛋山—马山, 连续分布长达4km(图2)。这层黄铁矿在整个长江中下

游地区均有不同程度的分布,具有区域上的稳定性。黄龙组以白云岩为主,厚17.7m,其中夹有数米厚的胶黄铁矿层。在白云岩和黄铁矿层中可见到石膏、硬石膏或它们的假象。黄龙组的下伏地层为高丽山组砂页岩,上覆地层为船山组灰岩。

在黄龙组的黄铁矿层中,可见到大量反映沉积作用特征的结构、构造。如在离岩体较远的松树山矿段-175m中段5号穿脉中发现有黄铁矿、磁铁矿与白云岩互层的皱纹状构造。

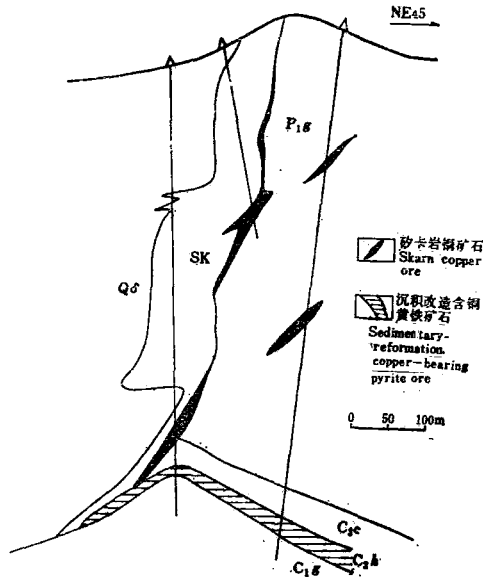


图3 笔山矿段13线地质剖面图
(据812队资料简化)

SK—砂卡岩; Qδ—石英闪长岩; P_{1g}—孤峰组; C_{3c}—船山组; C_{2h}—黄龙组; C_{1g}—高丽山组

Fig. 3. Geological section along line No. 13 of the Bishan ore sector.

SK—skarn; Qδ—quartz diorite; P_{1g}—Gufeng Formation; C_{3c}—Chuanshan Formation; C_{2h}—Huanglong Formation; C_{1g}—Gaoleshan Formation.

通过电镜还可见到沉积成因的草莓状黄铁矿^①。矿体内晶化的黄铜矿中有时可见到残留的同心环状结构,说明有部分铜质是同生沉积的。

本区在雪峰运动以后,转化为相对稳定的地台阶段,在加里东和海西期仅表现为振荡运动。从晚泥盆世开始直到早二叠世,本区发生了缓慢的持续海侵,形成了一套由石英砂岩(D₃)—砂页岩(C_{1g})—白云岩(C_{2h})—灰岩(C_{3c})—硅质岩(P_{1g})组成的海侵地层。这种相对稳定的环境,为物质的沉积分异创造了良好的条件。在早、中石炭世,由碎屑沉积向化学沉积过渡的层间,于相对咸化的局限台地中,来自古陆的含有多种金属(Fe、Cu、Au等)的可溶性物质(如胶体、络合物),在各种生物和化学作用下,发生沉淀,形成铜质初步富集的黄铁矿层。

中生代,地台开始活化。燕山期广泛的岩浆活动,带来了丰富的成矿物质,对本地区产生了不同程度的改造和叠加作用,对长江中下游铁铜矿带的形成起了重

重要作用。

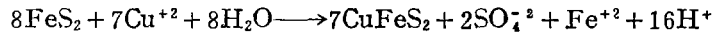
燕山期的岩浆活动,形成了铜官山岩体,并对同生沉积的含铜黄铁矿层及其上下地层进行了不同程度的改造和叠加成矿作用,在侵入体周围产生了石英闪长岩→石榴子石砂卡岩→透辉石砂卡岩→蛇纹滑石岩→角岩→石英岩的分带现象。同时由于温度和氧逸度的变化,矿物相也发生转变,由接触带向外依次出现磁铁矿→磁黄铁矿→黄铁矿→胶黄铁矿的水平分带。与之相应的矿石构造也发生变化,由块状→条带状→条纹状→层纹状。反映后期热液叠加成矿作用的结构构造,如网脉状构造、交代残余结构等比比皆是。

铜矿化与岩体关系密切,富矿体主要产在岩体接触带及其附近。随着远离岩体,铜品位有下降的趋势。铜官山岩体中铜含量为117ppm,大于克拉克值(50ppm),更大于闪长岩

① 据武汉地质学院北京研究生部研究生温春齐资料。

类的平均含铜量 (35ppm)。表明岩浆活动带来了大量的铜质。此外,矿床中存在斑岩型铜矿体,证明确实有岩浆期后的热液矿化。

黄龙组黄铁矿层铜含量可达0.1—0.01%。由于其氧化-还原电位低,能使亲硫元素形成硫化物,加之铜的亲硫性比铁强得多,因此当燕山期岩浆期后的含铜热液遇到黄龙组黄铁矿层时,其中的铜能交代黄铁矿形成黄铜矿,使黄铁矿层的铜量增加,其反应式为:



因此黄龙组即是矿源层,又是能使后来叠加成矿溶液中矿质沉淀的富集成矿层,对矿床的就位起着控制作用。

综上所述,在早、中石炭统由碎屑沉积向化学沉积的过渡层间,同生沉积了一层铜质初步富集的黄铁矿。后来,燕山期的石英闪长岩侵入体,可能从基底掳取一部分铜质,也可能自身带来部分铜质,对沉积形成的含铜黄铁矿层进行改造和叠加成矿作用,使铜质进一步富集达到工业要求,而形成了该类矿体。

2. 透镜状、囊状矿体:矿体赋存在岩体与船山组和栖霞组灰岩之间的接触带砂卡岩中,严格受接触带的控制。矿体与围岩为非整合关系。矿体下延与前述层状矿体相连,构成“Y”字形大而富的矿体(图3)。矿石类型以含铜砂卡岩和含铜磁铁矿为主。矿石呈浸染状、块状、角砾状。围岩蚀变主要为砂卡岩化。经包体测温,成矿温度为295—414℃,属高中温热液期。这类矿体具有典型的后生特征,其成因属砂卡岩型,是含矿侵入体与碳酸盐围岩的双交代作用及其后的含矿热液充填交代而成的。此外,由于岩浆的侵入,促使黄龙组的同生铜质活化转移到接触带这一有利部位沉淀。矿体下延接近层状矿体时有加厚变富的趋势(图3),可以说明同生铜质对成矿作用的贡献。

3. 斑岩型浸染状矿体:产于老庙基山东石门的五通石英岩中。斑岩体上窄下宽成楔形,近于直立。根据向下增宽的趋势看,下部可能与岩基相联。岩性与铜官山主岩体一致,也为石英闪长岩,化学成分见表1,呈似斑状结构。从表1可见,斑岩体和主岩体的主要化学成分非常接近。为了探讨和定量描述两者之间的关系,对两个岩体的微量元素做了相关分析(两个岩体的微量元素含量见表2),两类岩体的相关系数 $R(0.9521) > R_{\alpha=0.001}(0.6787)$,说明两者密切相关。我们认为它们是同一岩浆的不同分枝。斑岩体的铜含量高于主岩体,一

表2 火成岩微量元素分析结果表(全定量, ppm)

岩体 \ 元素	Mo	As	Se	Hg	Au	Pb	Ag	Ba	Ce	Co
主岩体	0.1	3.3	0.2	0.003	0.00	33	5.6	713.1	59.2	9.25
斑岩体	1.5	3	0.2	0.05	0.02	<10	6	391.8	58.7	10.01
岩体 \ 元素	Cr	Cu	Li	Sc	Sr	V	Y	Zn	Bi	Ni
主岩体	74.46	2393	23.37	18.2	205.2	104.6	21	140.4	17	24
斑岩体	72.4	2625	14.14	5	934	73.76	10.3	197.6	<3	<3

分析单位:本所

一般在0.2—0.01%之间，在-135m中段以上矿化较好，可以圈出矿体，品位为0.4—0.8%。斑岩体有钾长石化、黑云母化和硅化。据包体测温结果，其均一温度为239—356℃，说明主要为高、中温热液作用产物。据镜下观测，包体溶液中含有一定数量的CO₂等挥发分，另外还见有NaCl子矿物，其盐度可达41.5—43.5%（质量NaCl）。具有含子矿物的多相包体和气体包体，即沸腾包体群，这类包体群往往是斑岩铜（钼）矿的指示。上述这些特征均与斑岩铜矿比较类似，说明本类矿体属于斑岩型矿化。

4. 石英脉型矿体：产在老庙基山矿段的矿床底板五通石英岩或高丽山组角页岩中，脉厚几米到十几米不等，长约一百米。铜平均品位为1.1%，最高可达15%。金属矿物以黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿为主，有极少量的方铅矿、闪锌矿等。脉石矿物有石英、白云母、钾长石、方解石、绢云母等。矿石以网脉状构造为主，脉中发育有晶洞构造。该类矿体的一个较显著特征是，其中含有大量钾长石和白云母等含钾矿物，在脉旁的围岩中也可见到大量钾长石脉，这表明矿液中钾质和硅质含量高，因此，很可能与引起东石门斑岩体钾化、硅化及矿化的热液属于同源。根据对-215m中段矿体的包体研究，石英中包体的均一温度为228—392℃，主要为高中温气水溶液。根据镜下观测，包体中含有NaCl和KCl子矿物，其盐度可达47.3—48.2%（质量NaCl+KCl），多为35—44%（质量NaCl）。另外还见有金属子矿物，说明成矿流体富含重金属元素，同时还含有一定量的CO₂等挥发组分。据资料统计，有92%的斑岩铜矿床都有高盐度流体包体，气液包体共存现象也比较普遍。斑岩铜矿床与热液矿床的矿化流体有明显差别，前者主要是高盐度含水不饱和的矿化流体，后者是中盐度（多半在10%以下）含水饱和的矿化流体。另外在斑岩铜矿外围常发育石英脉矿体，因此形成石英脉矿体的高盐度成矿热液并非一般热液矿床的矿化溶液，而可能是与斑岩铜矿化有关的热液。

从上面的论述中可知，各类矿体的铜质来源是有差异的。为了探讨它们之间的关系，我们对四类矿体中的主要矿石矿物——黄铜矿的微量元素进行了相关分析，其结果也可反映出四类矿体间在成因上的亲疏关系。微量元素分析结果和相关分析结果分别列于表3、表4。

在前面的讨论中已经指出，矿体的铜质来源有二，即同生沉积和后来岩浆热液带来的。我们认为斑岩型矿体完全是由岩浆热液作用所形成的。下面就以这样一个假设为基础来讨论相关分析的结果。

由表4可见，石英脉型矿体与斑岩型矿体关系最为密切，相关系数 R_{ab} (0.99999)

表3 黄铜矿微量元素含量表(ppm)

矿体类型	代号	样品数	Ag	Zn	Co	Ni	Sc	Te	资料来源
斑岩型	a	1	100	31100	50	40	19	12	铜陵有色金属工业公司设计院
石英脉型	b	4	74	22700	75	105	40	4	
沉积-改造型	c	6	54	766	234	683	49	38	桂林冶金地质研究所
矽卡岩型	d	7	74	3214	530	633	73	26	

$R_{0.001}$ (0.9507)，因此可以认为两者是由同一含矿岩浆热液形成的。矽卡岩型矿体与斑岩型矿体的相关关系次之，相关系数为0.9776，大于 $R_{0.001}$ (0.9507)。沉积-改造型矿体与斑

表4 四类矿体间的相关系数表

相关系数 矿体类型	矿体类型	a	b	c	d
a	a	1	0.99999	0.6761	0.9776
b	b		1	0.6782	0.9782
c	c			1	0.798
d	d				1

岩型矿体关系最不密切,即使在 $\alpha=0.1$ 的信度下, $R_{ac}=0.6761 < R_{0.1}=0.7293$,也不能认为是相关的。矽卡岩型矿体与沉积-改造型矿体有一定相关关系,在 $\alpha=0.1$ 的信度下, $R_{dc} (0.798) > R_{0.1} (0.7293)$,两者是相关的,但在 $\alpha=0.05$ 的信度下, $R_{dc} (0.798) < R_{0.05} (0.8114)$,则不能通过相关检验。因此相关与否是一个相对的概念,与置信度有关。相关系数只是定量地反映相关程度的一个统计量。所以我们认为,沉积-改造型矿体的铜质与岩浆热液的后期叠加相关程度最小,即这类矿体中有相当多的铜质与岩浆热液无关,是同生沉积的,但后期岩浆热液也叠加了一部分铜质,因为它与斑岩型矿体的相关系数达到了0.6761这样一个程度,不能说没有一点关系。矽卡岩型矿体即不象石英脉型矿体那样与斑岩型矿体关系极为密切,又不象沉积-改造型矿体那样与斑岩型矿体无关,而是与斑岩型和沉积-改造型矿体均有一定的相关关系,只是与前者相关程度高于后者,说明这类矿体的铜质大部来自岩体,小部分是由地层中的同生矿质活化转移而来。

对矿物包裹体的研究是了解成矿热液来源和演化的重要手段。根据包裹体成分分析(表5)和镜下观察的结果,可以得出以下几点认识。

表5 矿物包裹体成分表(ppm)

矿体类型	分析项目		相态	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	F ⁻	H ₂ O	总和
	矿物	矿物											
沉积-改造型①	蛇纹石	液		1.7	3.7	23.1	12	36.8	28.8	22.4	0.3	755.7	884.5
矽卡岩型②	石英	液		0.9	1.9	8.9	1.2	16.7	5.9	0.8	1.1	859	896.4
石英脉型③	石英	相		4.1	9.2	46	1.5	28.6	29.3	6.1	0.4	510	635
斑岩型④	石英	相						—	9.2	—	0.11	?	
矿体类型	分析项目		相态	CO ₂	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	H ₂ O	总和		
	矿物	矿物											
沉积-改造①	蛇纹石	气		20	—	—	—	0.4	—	—	20.4		
矽卡岩②	石英	气		19.34	1.64	—	0.92	0.22	—	73.78	95.9		
石英脉③	石英	相		26.38	0.34	—	1.85	0.5	—	167.4	196.5		
斑岩④	石英	相		12	0.045	—	5.3	0.85	—	240	257.7		

①—③ 据武汉地质学院北京研究生部崔彬; ④据本所。

1. 用子矿物消失温度测得的斑岩型和石英脉型矿体的包裹体盐度高达40%左右, 温度高于200℃, 应为岩浆热液。根据表5, 可求得矽卡岩型矿体中包裹体的盐度为4.17%, 大大低于上述斑岩型和石英脉型矿体中包裹体的盐度, 而且其 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 及 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{-2} 都很低。这可能是高盐度的岩浆水被低盐度的大气水稀释的结果, 即其成矿流体主要来自大气水和岩浆热液。由表6求得沉积-改造型矿体中包裹体的盐度为14.66%, 介于上述高盐度和低盐度包裹体之间, 另外流体中 SO_4^{-2} 、 Mg^{+2} 含量也大大高于其它几类矿体中的包裹体, 具有某些卤水的特征, 可能反映了原始沉积环境中沉积介质的特征。在矿区内, 黄龙组白云岩和黄铁矿层中可见到石膏、硬石膏, 在位于矿区以东5km的冬瓜山铜矿床同层位中, 经钻探发现多层稳定的石膏层, 并见有层纹状石膏与黄铁矿互层, 这表明沉积成矿是发生在与蒸发有关的相对封闭的环境。一般认为在浓的卤水中沉淀的原生硫酸钙的矿物是石膏, 当正常海水被蒸发而浓缩到原来盐度的3.55倍(30℃以下), 即海水盐度为12.43%时, 石膏开始沉淀, 这一盐度与包裹体盐度14.66%比较接近。因此我们认为流体可能主要是沉积形成的胶黄铁矿和白云岩层中封存的卤水受后期岩浆作用的叠加改造而形成。

2. N_2 即是难溶组分, 又未参与矿化和蚀变, 故可看作是成矿和蚀变前流体的原始组分。由表6可见, 从斑岩型→石英脉型→矽卡岩型→沉积-改造型矿体, 包裹体中 N_2 含量依次减少, 这也反映出成矿热液中原始的岩浆热液成分越来越少, 而后来加入的大气水成分越来越多的演化趋势。

3. 由斑岩型→石英脉型→矽卡岩型→沉积-改造型矿体, 包裹体中气相组分越来越少, 反映了成矿热液温度从高到低的演化过程。

4. 沉积-改造型矿体的包裹体中既无氧化剂 O_2 , 又无 H_2 、 N_2 、 CO 等还原剂, 表明其流体为中性, 而其它三类矿体的包裹体中均有 N_2 、 H_2 等还原剂而无氧化剂, 即其流体为还原性的。这种明显差异可能是外生与内生成矿环境的差异所造成的。

另据崔彬的资料, 石英脉型矿体的包裹体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ (6.9%), 与岩体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ (7.36—7.45%)十分接近, 并且 $\delta^{18}D_{H_2O}$ 值为-62.0%, 也具岩浆水性, 说明其成矿溶液以岩浆水为主。沉积-改造型矿体包裹体中, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为9.87—11.77%, 明显高于石英脉型矿体的包裹体, 表明含矿流体中已混入一定数量的变质水。矽卡岩型矿体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为10.66%, δD_{H_2O} 值为-87.7%, 属于混合水范围, 表明成矿溶液中加入大量大气水。

铜官山铜矿床中四种不同成因类型的矿体, 在上述地质特征、矿质来源和热液性质方面的联系和差异也可反映在矿床的某些地球化学特征上。现讨论如下:

1. 各类岩石中的元素分配(表6): 我们很难从表6的原始数据中得到元素分配的清晰情况, 如果将矿床中各类岩体的微量元素含量与相应岩类的平均成分相比, 元素的分配情况就明朗了。与碳酸盐岩和页岩的平均成分相比, 矿床中的白云岩、灰岩和砂页岩中Cu、Pb、Zn、Ag的含量高, 表明在沉积环境中这些元素是相对富集的。在铜官山主岩体和东石门斑岩体中, Cu、Pb、Zn、Ag的含量也较闪长岩的平均含量高, 所以这些元素亦为后期岩浆热液叠加的主要元素。这种同生沉积矿化和后期热液叠加矿化的一致性, 可以解释四种不同成因类型矿体之间在矿化特征方面显示的广泛相似性及主要金属矿物组合的相似性等。另外, 这种矿化元素组合也反映了整个长江中下游同层位(黄龙组)的矿化组合特征。在不同的矿区其主成矿元素可以有所不同, 如南京栖霞山和湖北银山等矿区主要成矿元素为Pb、Zn、Ag,

表6 铜官山铜矿各类岩石微量元素平均含量表(ppm)

岩石	样品数	Mo	Zn	Co	Ti	Pb	Sr	Mn	Cr	Ni	As	V	Cu	Ag	P	资料来源
石英闪长岩	24	1.17	120.8	4.2	2629.2	17.1	333.3	264.6	27.5	9.4	—	55	488.3	0.3	83.3	本所
石英闪长斑岩	2	1.1	155.7	7.54	3825	15	829	360	123.3	7.5	2.6	60.2	1409	3.55	2165	武汉地质学院北
灰岩(C ₄)	12	0.5	50	—	50	9.2	206.7	208.3	5	5	—	1.7	14.2	0.5	—	京研究生部
白云岩(C ₂)	1	0.5	100	5	50	30	100	10000	5	5	—	5	30	0.5	—	温春齐
砂页岩(C ₁)	6	0.68	1666.6	10.83	3333.3	50	116.6	1150	37.5	38.3	16.6	80	1116.6	0.75	—	—
大理岩	15	0.03	3.8	0.3	113.3	7	110	546.7	1.3	3.3	—	—	184	—	—	—
蛇纹岩	5	0.8	600	29	70	8	—	2509	2	31	—	30	940	0.7	—	—
石英角闪岩	4	7.0	122.3	4.4	5050	18	86.5	490	43.2	10.8	13.9	56.5	142.6	0.12	467.5	本所
标准闪长岩 维诺格拉多夫		0.9	72	10	8000	15	800	1200	50	55	2.4	100	35	0.0x	1600	中南矿冶学院
碳酸盐岩	涂里干	0.4	20	0.1	400	9	610	1100	11	20	1	20	4	0.07	400	“地球化学”教材
页岩	涂里干	2.6	95	19	4600	20	300	1500	90	68	13	130	45	0.07	700	—
地壳	泰勒	1.5	70	25	5700	12.5	375	950	100	75	1.8	135	55	0.07	1050	—

表7 铜官山铜矿各类矿体中微量元素平均含量(ppm)

矿体类型	样品数	Mo	As	Sc	Hg	Au	Pb	Ag	Bi	Ni	Be	Co	Cr	Sr	V	Zn	Mn	Ti	K
斑岩型	1	1.5	3	0.2	0.05	0.02	<10	6	<3	0.777	10.01	72.4	934	73.76	197.6	360	4820	40790	
石英脉型	33	18.7	51.0	2.47	0.10	0.111	41.7	10.12	28.03	22.9	4.37	29.1	64.8	116.5	94.1	454.4	894	4516	34230
砂卡岩型	18	6.01	151.9	0.93	0.048	0.236	51.83	8.19	49.42	25.33	32.27	74.99	47.25	25.75	95.98	479.8	2691	773	2430
沉积改造型	9	7.38	189.2	1.59	0.0233	0.0511	69.9	5.3	47.7	34.2	10.8	37.4	37.8	80.7	84	550.3	1646	1619	12502

分析单位：本所

表 8 单矿物中微量元素的含量 (ppm)

单矿物	成因类型	样品数	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn	V
磁铁矿	沉积-改造型	4	29.75	22.75	337	46.7	332	92
磁铁矿	砂卡岩型	3	11.67	19	302	29.7	269	241
磁铁矿	平均值	7	22	21	322	39.4	305	155
黄铜矿	沉积-改造型	4	725				780	
黄铜矿	砂卡岩型	4	474				4300	
黄铜矿	石英脉型	4	105			355	22700	40
黄铜矿	斑岩型	1	40			180	31100	40
黄铜矿	平均值	13	404			320	10700	40
磁黄铁矿	沉积-改造型	4	5		688.8		200	
磁黄铁矿	砂卡岩型	4	172.5		4210		877.5	
磁黄铁矿	平均值	8	88.75		2449		538.7	
黄铁矿	沉积-改造型	4	5		1210		275	
黄铁矿	砂卡岩型	4	296		6503		2763	
黄铁矿	平均值	8	151		3857		1519	

单矿物	Ti	Se	Te	Mo	Co	Ag	Bi	资料来源
磁铁矿	111.5	5.2	0.23	30.4	62.25			武汉地质学院北京 研究生部崔彬
磁铁矿	310	46	0.3	16.2	15.67			
磁铁矿	196.6	22.7	0.26	24.3	42.29			
黄铜矿		37.5	27.5	8.9	272.3	59.5	172	桂林冶金地质研究 所
黄铜矿		105	18.25	7.5	119	85.5	37	
黄铜矿	2463	40	4	52	75	156.5		铜陵有色金属公司 设计研究院
黄铜矿	4800	19	12	微	50	441.9		
黄铜矿	2930	57.6	16.2	22.8	147	126.8	105	桂林冶金地质研究 所
磁黄铁矿		16.9	8		173.5	2.1	10	
磁黄铁矿		17.9	27.6		355	66.75	133.3	
磁黄铁矿		17.4	17.8		264.3	34.4	71.7	
黄铁矿		8.25	6		132	4.1	14	
黄铁矿		29.25	39.7		724	91	190	
黄铁矿		18.75	22.85		428	47.6	102	

而铜陵一带则为Cu、(Au)。

2. 各成因类型矿体中微量元素含量 (见表7): 特定的微量元素组合可以反映矿体的成因特征。由表7可见, 沉积-改造型矿体中, 相对富集As、Pb、Zn等层控矿床的特征元素; 而高温元素Bi、Au和气成元素Be、Se则在砂卡岩型矿体中含量较高; 在石英脉型矿体中相对富集易迁移元素Hg、Ag等; 在斑岩型矿体中亲石元素Ti、Cr、K、Sr比较富集。

3. 某些元素在单矿物中的分配 (见表8): 在这里我们选择了矿床中的主要金属矿物黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和磁铁矿, 来说明与成矿有关的某些微量元素的分配情况。由表8可见, Pb、Ni、Zn、Se、Ag、Bi在黄铜矿中含量最高, 因此它们与成矿关系非常密切。Cu、Te、Co在黄铁矿中含量较高。磁铁矿中亲硫元素含量最低。磁黄铁矿中微量元素含量则介于磁铁矿和黄铜矿及黄铁矿之间。这反映了硫逸度对微量元素行为的影响, 也反映了热液作用的演化过程。

由于该矿床的多成因性，我们对不同成因类型的单矿物分别进行了统计（表8），以了解微量元素在各种成矿作用中的行为。由表8可见，沉积-改造型黄铁矿、磁黄铁矿中的微量元素含量比矽卡岩型的低得多，前者反映了沉积特征，而后者则反映了岩浆热液特征。矽卡岩期的矽卡岩型磁铁矿比沉积-改造型磁铁矿的微量元素含量低得多，这说明在矽卡岩期没有大量微量元素析出。

根据上面对矿床中四种成因类型矿体的地质特征、成矿物质来源和它们之间的关系的认识，我们提出了“铜官山铜矿床成矿模式”（图4）。在中石炭世相对成化的局限台地中，由古陆提供物质，形成了一层铜质初步富集的黄铁矿层。中生代时期，地台开始活化，发生剧烈的隆起、褶皱和断裂，同时伴随大规模岩浆活动。燕山期岩浆沿着EW向基底构造和NE向构造的复合部位侵入，形成了铜官山岩体。同时也有一些岩浆挤入褶皱翼部的NNE向断裂中，由于规模小，热量少，因而降温快，形成了一些枝状、脉状小斑岩体。在岩浆侵入过程中，可能从基底掳取成矿物质，也可能从深部岩浆房带来成矿物质。当含矿岩浆侵入到黄龙组时，对同生含铜黄铁矿层进行改造和叠加，使铜质进一步富集，成为沉积-改造型矿体。在岩体与栖霞灰岩接触处，

矽卡岩化后的含矿热液在这一有利构造部位沉淀成矿，黄龙组中的同生矿质也可能部分活化转移到此沉淀，形成矽卡岩型矿体。如果含矿岩体侵入到化学活性差封闭性好的泥盆系硅质岩中，矿液被封闭在岩体内，沿着原生裂隙运移，在岩体内一定部位形成斑岩型矿体；若硅质围岩裂隙比较发育，则矿液可进入围岩，沿裂隙充填而形成石英脉型矿体。伴随岩浆侵入而发生的热力变质作用，使围岩发生大理岩化、角岩化和石英岩化。在岩浆侵入的晚期，高温气态热液沿接触带上升，使岩体和碳酸盐围岩之间发生矽卡岩化，在离岩体较远的地方，热液沿黄龙组白云岩与高丽山组砂页岩之间的层间断裂运移，使白云岩蚀变成蛇纹滑

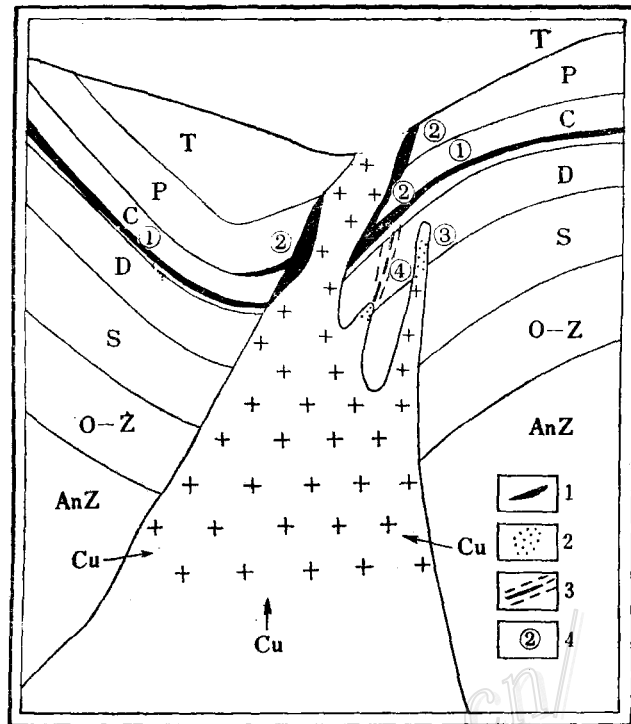


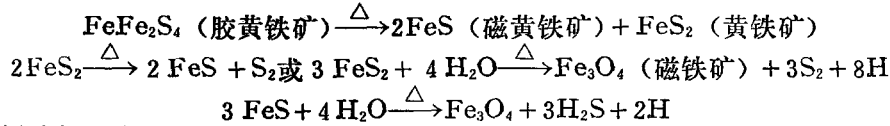
图4 铜官山铜矿成矿模式示意图

1—块状矿体；2—浸染状矿体；3—脉状矿体；4—矿体类型；①沉积-改造型：松树山、老庙基山、小铜官、老山、宝山矿段；②矽卡岩型：笔山、罗村、白家山矿段；③斑岩型：东石门；④石英脉型：老庙基山矿段；其余为地层代号

Fig. 4. Metallogenic model for the Tongguanshan copper deposit.

1. massive orebody; 2. disseminated orebody; 3. veinlike orebody; 4. type of orebodies; ① sedimentary-reformation type; ② skarn type; ③ porphyry type; ④ quartz vein type. Other symbols refer to different strata.

石岩, 形成了矿床的蚀变分带。同样, 同生的黄铁矿层受岩浆的热力和氧逸度的影响, 依次发生矿物相的转变:



构成了金属矿物的分带现象。

从上述可见, 铜官山铜矿是一个成矿物质多来源、多成因、多成矿阶段的复合矿床, 这正是由于本地区由地槽到地台至地洼大地构造发展的多阶段性所造成的, 因而它与长江中下游区域成矿特点具有很多相似的地方。

三、铜官山铜矿成矿模式与长江中下游区域铜矿成矿模式的关系

一个矿床的形成, 并不是一个孤立的地质现象, 而是所在区域全部地质作用的总和。某个矿床可能集中反映区域的成矿特点, 代表了整个区域内同类矿化的成矿过程。铜官山铜矿就正是这样一个矿床 (图 4)。它的成矿模式与长江中下游铜矿的区域成矿特点和模式具有一定的相似性, 主要表现在: ①长江中下游主要铜矿类型都可以在铜官山铜矿中见到它们的缩影; ②同一类型矿体都有相似的成矿条件, 如围岩、构造、岩浆岩、岩相等; ③矿床的形成也是相似的, 表现在成矿物质多来源、多成因, 多成矿阶段; ④矿床与矿化的地球化学场是相似的, 矿化元素组合为 Cu、Pb、Zn、Ag、Au。

铜官山铜矿的成矿模式与长江中下游区域成矿复合模式的一致性为建立区域成矿模式提供了有力的证据和支持。

参 考 资 料

- [1] Wang zhitian, 1982, Complex model of copper metallogeny in middle-lower Yangtze Valley and its significance for ore exploration, SCIENTIA SINICA (Series B), Vol. XXV, NO. 7, pp.765-776.

THE DISCOVERY OF A NEW TYPE OREBODY AND THE METALLOGENIC MODEL OF THE TONGGUANSHAN COPPER DEPOSIT WITH A DISCUSSION ON ITS RELATIONSHIP TO THE COMPLICATED REGIONAL COPPER METALLOGENIC MODEL

Yang Bing and Wang Zhitian

(Beijing Research Institute of Mineral Resources and Geology, CNNC)

Abstract

The discovery of the economic quartz vein type copper orebody, together

with the previously discovered porphyry type dissemination orebody, makes the metallogenic characteristics of the Tongguanshan copper deposit, which has been traditionally considered as a typical skarn type deposit, astonishingly similar to complicated regional metallogenic model of copper ores in Middle Lower Yangtze Valley.

In all, there exist four types of orebodies in the Tongguanshan copper mine, i. e., sedimentary-reformed type, skarn type, quartz vein type and porphyry type. On the basis of investigations on their geological, geochemical and inclusion characteristics, the following metallogenic model is suggested:

In Middle Carboniferous, a copper-bearing pyrite bed deposited in a confined salinized platform with the ore-forming substances derived from the old lands lying on the south and north. In Yenshanian period, the intermediate to acidic magma intruded, which extracted metallic elements not only from the Precambrian basement but also from the Lower-Middle Carboniferous series and its underlying strata. The Yenshanian intrusion activated, transferred, superposed and re-enriched the metallic elements previously present in the Early to Middle Carboniferous sediments, thus forming the sedimentary-reformed copper orebodies. When the magma encountered the Permian carbonate rocks, the skarn copper orebodies were formed. When the magma intruded into the Devonian silicic strata, the porphyry copper orebodies were formed within the intrusive mass. Where fractures were developed in the silicic country rocks, the post magmatic hydrothermal solutions of the intrusive would give birth to the copper-bearing quartz veins and veinlets.