

11-27

长江中下游层控铜矿床的成矿作用

徐恒诚

(安徽省冶金矿山公司)

P 618.410.5

提 要 对长江中下游铜铁矿床的成因和成矿作用的认识至今众说纷纭。作者据多年在该区找矿勘探实践和成因研究,提出矿床属沉积或火山沉积—热液叠加型成因。矿床沉积于固定层位,表现明显的层控特点;凹陷沉积盆地或古海盆地边缘、近东西向和近南北向隐伏基底断裂交汇结点控制矿床分布;后期岩浆侵入和区域变质作用使矿床受热液作用叠加和改造。据此,摆脱了局限于小侵入体与灰岩接触带或矿区周边找矿的认识,从而扩大了找矿远景。

关键词 长江中下游 层控硫化物矿床 海底火山作用 热液叠加 变质改造

0 问题的提出

长江中下游地区是我国铜、铁矿产资源基地之一,经有关部门的长期工作,对沿江地区资源勘探开发和地质成矿作用的研究都取得了重大成果。但对其矿床成因及其成矿作用方面却认识不一,存在有矽卡岩型、同生沉积型、复合型成矿以及层控矽卡岩型矿床之说。但据笔者多年来对本区矿床成因研究和找矿勘探实践,认为多数矿床应属于沉积(或火山沉积)—热液叠加改造型(徐克勤,1974)。基于上述实践,在找矿方向上基本摆脱了只限于在小型侵入体与灰岩的接触带或矿区周边找矿的认识,从而扩大了找矿远景,这对新区的普查勘探及区域成矿规律研究具有重要意义。

1 成矿区域地质背景

长江中下游断裂拗陷带或下扬子断陷带^[1],位于大别隆起与江南古陆之间。此带,自震旦纪以来,长期处于相对拗陷状态,其形成和发展,显著地受到若干深断裂控制,故徐克勤称之为断裂拗陷带。西起武汉、大冶向东经九江、安庆、铜陵直至南京、镇江一带。全长约 600 公里(图 1)。

震旦—加里东旋回内沉积了巨厚的碎屑岩—碳酸盐系。加里东运动使本区地壳轻微上升,早、中泥盆世沉积普遍缺失。海西、印支期发生海侵,上泥盆统为砂页岩,石炭—二叠系以碳酸盐类为主。含铜硫化物主要赋存在这套海侵岩系底部附近的碎屑岩向碳酸盐的过渡部位,并受

表 1 铜陵地区矿床类型划分

Table 1 Classification of ore deposit type in Tongling Area

类型	层位	矿床类型			
		铜	硫(FeS ₂)	铁	金
不整合型	闪长岩及其接触的志留纪砂页岩(斑岩亚矿床)	舒家店、茗山(矿化)			舒家店(矿化)
	T ₁ 与闪长岩接触带 P ₁ -C ₂ 与δ接触带	凤凰山、胡村后山 笔山、江家冲等	曹山、鸡冠山	虎山、凤凰山	虎山
整合型	T ₁ P ₂ C ₂	狮子山、大团山、老鸦岭、铜官山、冬瓜山、新桥、戴家汇、麻姑山、铜山、前山、西峰岭	新桥、冬瓜山、天马山、峙门口、桃园	长龙山、顺凤山、叶山	五松、天马山、戴家冲、新桥、黄狮榜、长山头
复合型	D ₃ -T ₁ 及其与闪长岩接触带	狮子山矿田 铜官山矿田 铜山矿田	狮子山矿田 铜官山矿田 铜山矿田		天马山

表 2 铜官山矿床组合特征简表

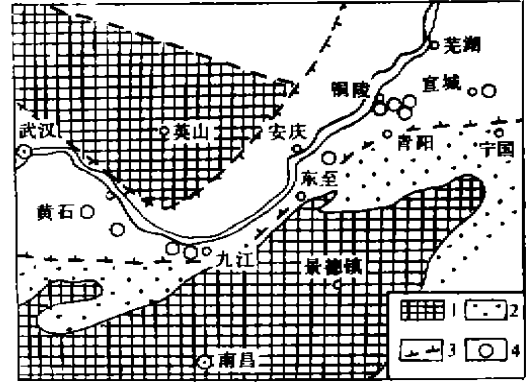
Table 2 Characteristics of ore deposit association at Tongguanshan

类型 特征	上部矿体(砂卡岩型)	中部矿体(层控型)	下部矿体(热液型)
控矿因素	接触带构造控制	层位、岩性控制	收缩、侵入裂隙控制
矿体形态	透镜状、不规则状	层状、似层状	脉状、网脉状
矿石构造	块状、脉状	层纹状、皱纹状、条带状	细脉浸染状
矿石结构	交代溶蚀、填隙固溶体分离结构	草莓(球)状、变晶、残余结构、交代结构	粒状和固溶体分离结构
矿物生成顺序	磁铁矿—黄铁矿—磁黄铁矿—黄铜矿	胶状黄铁矿—黄铁矿—磁黄铁矿—磁铁矿—黄铜矿	黄铜矿—黄铁矿—闪锌矿
围岩	不同时代灰岩	石炭纪白云岩	闪长岩、角页岩、石英岩
蚀变特征	砂卡岩化	滑石、蛇纹石化为主	黑云母化、绢云母化
脉石矿物	石榴石、透辉石、阳起石	蛇纹石、金云母、滑石、橄榄石、白云石	石英、角闪石、斜长石、黑云母

黄龙组底部的白云岩层所控制。在本类矿床中主要含铜、铁、铅、锌、硫和可供综合回收的金、银等元素。

2 矿床地质简述及其类型划分

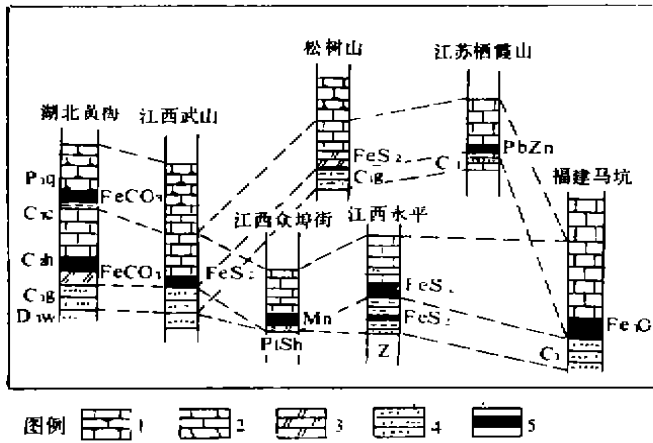
本区具有多类型、多层位和成群、成带的矿化现象。矿床成因繁多,如沉积型、热液型、矽卡岩型及斑岩型矿床,出现范围多在长江南岸,但主要矿床类型为石炭系地层产出的含铜硫化物矿床,这从中国南方石炭纪层控矿床对比图中可以看出(图2)。但同时在三叠、二叠、志留、泥盆系地层中也有产出,具有层控特征。此类矿床在江西城门山、武山、(安徽)安庆、贵池、铜陵、宣城、(江苏)江宁、镇江等地均有发现。就其原始沉积而言,大多以硫化物相为主,碳酸盐相次之,氧化物相(赤铁矿)又次之,以产铜、硫为主,铁次之,局部亦有铅锌。



1. 前寒武纪古陆 2. 加里东边缘冒地槽 3. 断裂拗陷带边界 4. 含铜硫化物矿床

图1 长江中、下游中石炭世含铜硫化物矿床分布图

Fig. 1 Map showing Cu-bearing sulfide ore deposit distribution in the middle and lower reaches of Yangtze River



1. 含燧石灰岩 2. 灰岩 3. 白云岩 4. 砂岩 5. 矿体(FeCO₃-菱铁矿体, FeS₂-黄铁矿体, Pb, Zn-铅锌矿体, Mn-锰矿体)

图2 中国南方石炭纪层控矿床对比图

Fig. 2 Horizontal comparison of stratobound ore deposits of Carboniferous in the South of China

以铜陵地区为例,多成因特征表现在一个矿田(床)内存在成岩期至后生成矿期形成复合成矿的特征。从矿体产状、形态、岩体关系,区内可划分三种矿床类型(表1)^[2]:(1)“不整合”型:包括接触带矽卡岩型和脉状矿化型,矿体与地层呈“不整合”接触,切穿层理、层面,称为第一种矿化类型。对此型论著颇多,本文不作赘述。(2)整合型:矿体与地层产状一致,呈层状或似层产出,主要产于中上石炭统;在下三叠统,上二叠统中也有产出(图3),称为第二种矿化类型,是本文讨论的重点。(3)复合型:是以上两种类型结合共存在一个矿床范围内,宏观上构成本区多层控矿的特征,它介于1、2两种矿化类型之间。以铜官山矿床为例,同样存在有

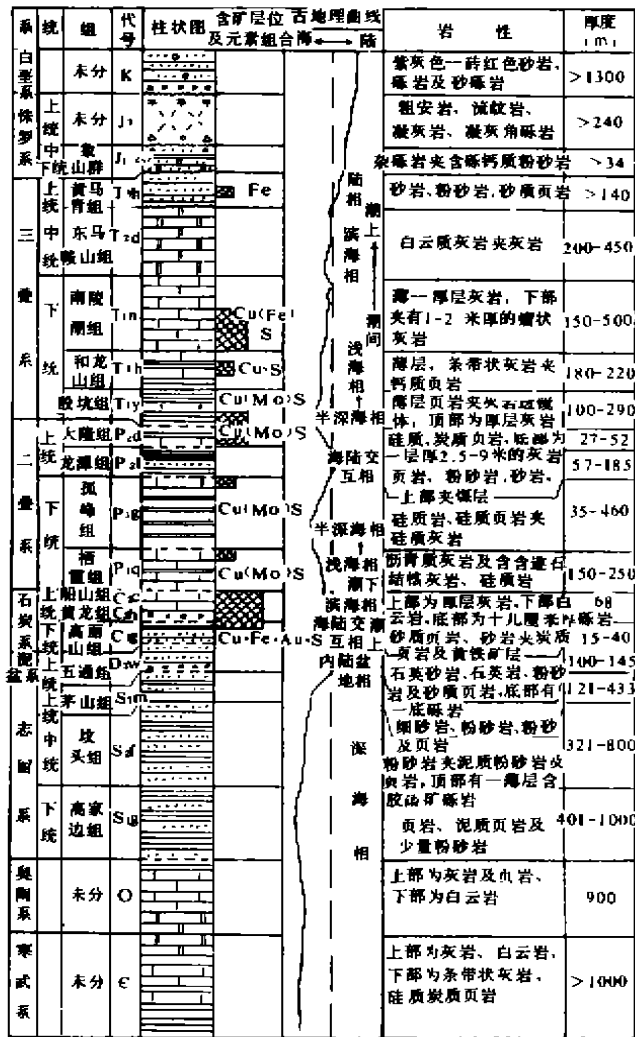


图3 铜陵地区地层综合柱状图

Fig. 3 Stratigraphic columnar of Tongling Area

型矿物磁铁矿和黄铁矿矿物特征也有明显之差异。

从表3中的两类磁铁矿, 它们的产状、物理参数和氧同位素组成, 都有不同程度的差异, 但其化学成分区别不明显(表4)^[2]。与马坑铁矿成分相比, 显示出两者有相似的成矿环境, 有助于矿床成因的探讨。

中部矿体的两类黄铁矿(即沉积型黄铁矿和热液型黄铁矿), 前者热电系数均为P型, 硫原子系数均小于2, $\delta^{34}\text{S}$ 值也十分相近, 它表明胶状黄铁矿为沉积成岩产物; 粗晶黄铁矿与岩体中的黄铁矿的参数相似, 可能显示热液改造的产物(表5)

三种不同的矿化类型:(1)第一种矿化类型(上部矿体):主要产于石炭一二叠系与石英闪长岩接触带及其附近,受接触带构造控制,如笔山、白象山等。(2)第二种矿化类型(中部矿体):主要产于高骊山组砂页岩与黄龙组白云岩段之间,严格受白云岩段控制。矿体呈层状、似层状,延伸稳定,从宝山-松树山-老庙基山-天马,水平延长断续达4km以上。这是砂卡岩型矿床不具有的特征。(3)第三种矿化类型(为底板岩石矿化带):在五通组砂岩和高骊山组角岩接触带附近,它代表海底热液通道的浸染状、脉状、角砾状铜矿化,如老庙基山、铜官山等。

上述三种类型的矿体,构成了“三层楼”的矿床组合,三者可组合在一起,也可单独出现,特征虽不相同,但在矿床成因上也具有内在联系(表2)。

从中部矿体的矿石结构、构造,矿物生成顺序看(表2),为胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿—黄铜矿,是沉积变质系列,大量黄铜矿,及部分黄铁矿是叠加其上的;靠近岩体部分还形成磁铁矿—黄铁矿—磁黄铁矿—黄铜矿系列的矿物为热液交代系列,两者系列顺序是相反的(表2)。这两种组合系列的典型

表 3 两类磁铁矿特征对比简表

Table 3 Comparison between two types of magnetite

类型 特征	层控型(沉积变质型)	砂卡岩型(热液交代型)
宏观标志	细粒、有条带、残余鲕状构造层产出,早于砂卡岩化	粗粒,交代结构形态不规则,受构造控制
物理参数	比重:4.11~4.26 反射率:18.9~21.36 爆裂温度: $>510^{\circ}\text{C}$ 磁化率:较低 7.60×10^{-4}	比重:4.54~4.64 反射率:20.22~22.22 爆裂温度: $>500^{\circ}\text{C}$ 较高 11.75×10^{-4}
微量元素	含 V、Ti 低(41~200,24~220ppm) Be 5.1~6.1(ppm)	含 V、Ti 较高(54~560,161~340ppm) Be 2.8(ppm)
$\delta^{18}\text{O}$	5.85‰	3.84‰

表 4 两类磁铁矿化学成分特征

Table 4 Chemical composition features of two types of magnetite

Wt % 样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	其它	总合	$\frac{\text{TiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	成因类型
T ₃₃ -2	0.45	0.05	0.53	68.40	29.53	0.13	0.24	0.06	0.04	99.53	0.09	砂卡岩型
L ₂ -3-52	0.39	0.02	0.42	67.42	30.24	0.05	0.27	1.25	0.20	100.26	0.05	层控制
L ₂ -3-51	2.22	0.02	0.28	64.01	31.39	0.03	0.63	0.81	0.19	99.58	0.07	砂卡岩型
L ₁₇₅ -5	2.76	0.03	0.16	64.90	26.07	0.26	4.12	0.25	1.01	99.56	0.19	层控制

表 5 各类黄铁矿的标型特征

Table 5 Morphotype characters of pyrites

类型 参数	比重 g/cm ³	维氏硬度 kg/mm ²	反射率 %	热电系数 mv/c	红外光谱 cm ⁻¹	晶胞参数 Å	硫原子 系数	微量元素 Cu/Ni	硫同位素 δ ³⁴ S(‰)	
地层中	4.901			+188.9(p)	419.7	5.4174	1.9909	0.21	+4.08	
矿体中	胶状	4.345	900	49.27	+99.1(p)	421	5.4164	1.8524	4.00	+4.20
	微晶状	4.868	1199	51.29	-54.8(n+p)	420	5.4172	1.9683	14.00	+4.01
	粗晶	5.092	1862	53.06	-95.7(n-p)	422		2.0012	18.13	+4.47
岩体中	4.813			-100.2(n)	418	5.4182	2.0548	1.46	-2.35	
热液胶状	4.357			-17.8(n)		5.4172	2.0034		+1.4	

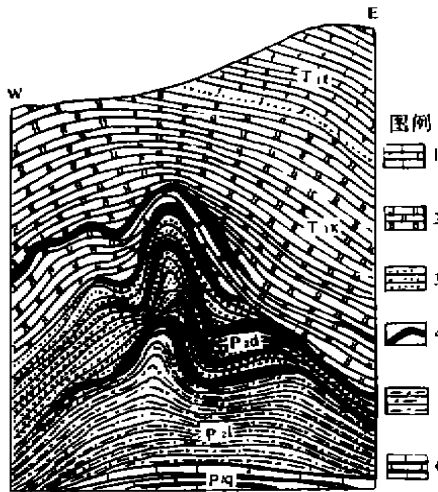
地层层位	岩性	层控矿床	其它类型矿床
T ₂	白云质灰岩 灰岩	Cu 凤凰山, 月山部分矿段	石膏(贵池)
T ₁	钙质页岩, 灰岩	Cu 西狮子山 Cu 大团山	Mo 铜陵地区
P ₂	硅质页岩夹灰岩	Cu(Mo) 老鸦岭	菱铁矿 江南地区
P ₁	砂质页岩含煤		
P ₂	硅质页岩 灰岩	Cu Mo 麻姑山	
P ₁	灰岩 燧石灰岩		
C _{2,3}	灰岩 凝灰质粉砂岩 岩 凝灰质粉砂岩 白云质灰岩 灰岩	Cu S Fe Au 新桥 Cu, S, Fe 冬瓜山 Fe 松树山 铜山 麻姑山 山 荞麦山 Au, S, Cu 马山 天鹤 袍蛋山	Fe FeS Fe 峡川沉积 FeS 凤凰山 石膏 冬瓜山
C ₁	砂页岩夹泥岩		
D ₁	砂岩 页岩		

图4 矿层层位柱状图(据常印佛资料,部分省略修改)
Fig. 4 Strata columnar

3 地层控矿

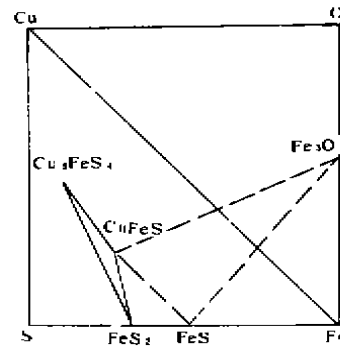
矿床有一定层位,矿体稳定,成层产出,从石炭至三叠系地层中,在本地区内计有九层矿体(图4),在区内可以相互对比。其含矿层位区域的稳定性、矿床的相似性,无疑反映了矿床是沉积或火山沉积—热液叠加、改造型成因。

3.1 层控矿床的成因依据



1. 三叠系中下统塔山组大理岩及角岩 2. 三叠系中下统小凉亭组大理岩及角岩 3. 二叠系上统大隆组硅质岩 4. 黄铁矿 5. 二叠系上统粉砂岩 6. 二叠系下统硅质页岩

图5 铜陵老鸦岭铜矿 16 线剖面示意图
Fig. 5 Sketch profile of line 16, Laoyaling Cu-Mine, Tongling

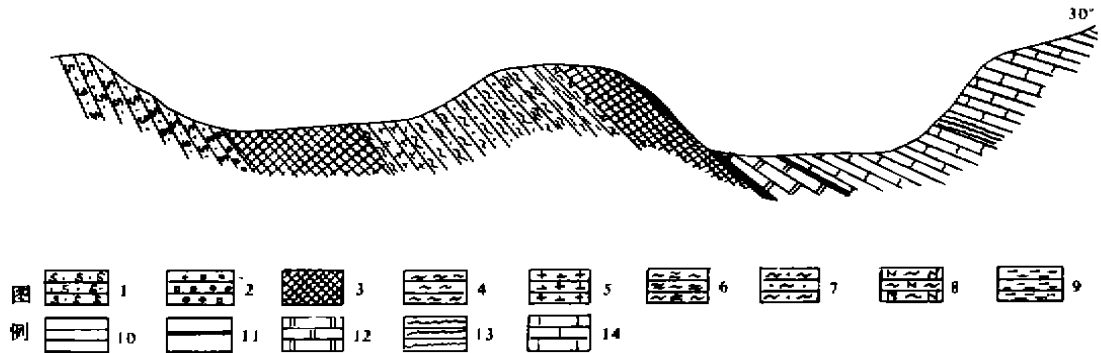


FeS₂ 黄铁矿 Cu₅FeS₄ 斑铜矿 FeS 磁黄铁矿
CuFeS₂ 黄铜矿 Fe₃O₄ 磁铁矿
老庙基山 CuFeS FeS₂ Cu₅FeS₄ CuFeS₂
小铜官山 CuFeS₂ FeS₂ FeS Fe₃O₄
金口岭 FeS₂ FeS Cu₅FeS₄

图6 Cu-Fe-S-O 系的矿石相
(据贵阳物化所资料)
Fig. 6 Cu-Fe-S-O ore phase plot

3.1.1 层位控矿 在同一断裂拗陷带中,含铜硫化物均受特定的地层层位控制,主矿体均呈层状、似层状与地层整合产出,与围岩同步褶皱,矿体局部加厚或变薄(图5)。这些矿床,往往沿泥盆系和石炭—二叠系之间呈带状顺地层稳定延伸数 km。如黄梅地区沿背斜一周,由菱铁矿氧化成铁帽沿石炭—二叠纪地层断续出露约 14km。以中、上石炭统地层为层状

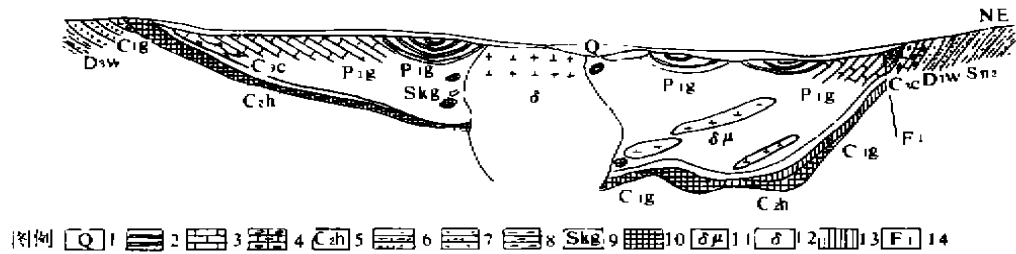
矿床的围岩,如武山、城门山、贵池铜山、铜官山、冬瓜山、新桥、麻姑山、南京栖霞山等黄铁矿型矿床均呈条带状断续分布。



1. 高骊山组黄铁矿化石英砂岩 2. 黄龙组底砾岩 3. 含铜黄铁矿 4. 具沉积韵律的层状黄铁矿 5. 含角砾英安岩 6. 硅化晶屑凝灰岩 7. 凝灰质粉砂岩 8. 英安质凝灰岩 9. 凝灰质粉砂岩与含砾凝灰质砂岩互层 10. 英安质枕状熔岩及凝灰砾岩 11. 凝灰质炭质混合岩 12. 白云质灰岩 13. 页岩 14. 石灰岩

图7 铜陵新桥牛山石炭系火山—沉积黄铁矿实测剖面

Fig. 7 Profile of Carboniferous volcano-sedimentary Pyrite Mine, Xinqiao Tongling



1. 现代堆积 2. 孤峰组 3. 栖霞组 4. 铅山组 5. 黄龙组 6. 高骊山组 7. 五通组 8. 寨山组 9. 砂卡岩 10. 矿层 11. 闪长玢岩 12. 石英闪长岩 13. 高岭土化 14. 断层

图8 铜陵新桥矿区综合地质剖面图

Fig. 8 Integrated geological profile of Xinqiao Mine

3.1.2 矿石结构构造 本类型矿床成矿后区域变质较弱,反映了矿石沉积特征的结构构造较易被保存(表6)。按其演化过程大致分为三种类型(徐克勤,1979)^[3]:①沉积—成岩结构构造:包括层纹状、条带状、胶状、莓球状,主要是白云岩和胶状黄铁矿组成,如松树山、新桥。②沉积变质结构构造:磁铁矿保留有鲕状或菱铁矿假象等形态如冬瓜山、新桥、长龙山等。③叠加作用的结构构造:交代充填结构也很发育。黄铜矿呈脉状、细网脉状等交代磁铁矿、黄铁矿等。

3.1.3 与热液沉淀相反的矿物共生顺序 在本类矿床的层状矿体中,Fe—S—O系矿物的

典型共生顺序,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(图6)^[4]。其主要金属矿物是胶状黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿。这是从低温到高温,从还原到氧化变质反应顺序,是本类矿床存在的一种基本趋势。

表6 铜陵地区层控矿床矿石类型和结构特征

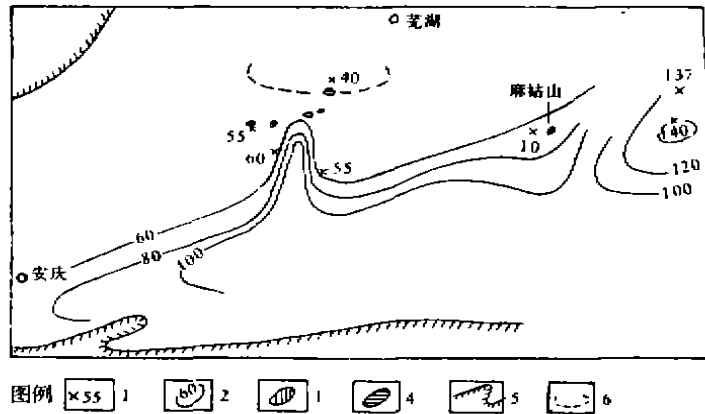
Table 6 Types of stratobound Cu-deposits and their textural characters at Tongling

矿石类型	金属矿物	脉石矿物	结构构造	矿床实例
黄铁矿矿石	黄铁矿为主,少量方铅矿、闪锌矿、自然金、黄铜矿。	石英、重晶石、碳酸盐矿物。	块状构造 似砂状构造 变晶结构	崎门口
磁黄铁矿矿石	磁黄铁矿为主,次为黄铁矿,少量毒砂、自然金。	石英、方解石、透闪石、绿帘石、橄榄石、蛇纹石。	块状构造 粒状镶嵌结构 各种交代溶蚀结构	天鹅抱蛋山、马山
含铜黄铁矿矿石	黄铁矿为主,次为磁黄铁矿、胶黄铁矿、磁铁矿,少量闪锌矿、方铅矿、自然金。	石英、方解石、含铁白云石、菱铁矿、少量砂卡岩矿物。	块状构造 细—粗粒变晶结构 它形粒状变晶结构 交代结构	松树山、冬瓜山、新桥、麻姑山
含铜砂卡岩矿石	黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿为主,次为磁铁矿,少量方铅矿、闪锌矿、微量毒砂、自然金。	石榴子石、透辉石、透闪石、石英、方解石。	块状构造 斑杂状构造 各种交代结构	冬瓜山、老庙基山、新桥、麻姑山
含铜黄铁矿硬石膏矿石	黄铁矿、黄铜矿,少量磁黄铁矿、磁铁矿。	硬石膏、白云石、方解石、石英。	层纹构造 条带状构造 块状构造 交代结构	冬瓜山、麻姑山
含铜磁铁矿矿石	磁铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿,少量黄铁矿。	石英、方解石、白云石、砂卡岩矿物。	层纹构造 条带状构造 交代结构	老庙基山、冬瓜山、麻姑山
含铜蛇纹石滑石矿石	磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿,少量磁铁矿、自然金。	橄榄石(硅镁石)、透辉石、金云母、滑石、蛇纹石。	层纹构造、条带状构造、柔皱状构造、压应结构	松树山、冬瓜山、麻姑山、天鹅抱蛋山
块状磁铁矿矿石	磁铁矿,少量赤铁矿。	白云石、石英、菱铁矿。	块状构造、粒状结构	顺风山
磁铁矿白云岩	磁铁矿,少量赤铁矿。	白云石、菱铁矿。	条带状构造 波纹状构造 粒状结构	顺风山
磁铁矿(赤铁矿)砂卡岩矿石	磁铁矿、赤铁矿。	白云石、石英、石榴子石、透辉石。		顺风山
镜铁矿矿石	镜铁矿,少量赤铁矿、磁铁矿,微量黄铁矿、黄铜矿。	方解石、石英。	球粒状构造、束状结构	叶山、长龙山
镜铁矿砂卡岩矿石	镜铁矿	石英、阳起石、方解石。	条带状构造、交代结构	叶山、长龙山

3.1.4 矿物的标型特征 黄铁矿为贯通矿物,由于晶化程度较好,可区别于胶状黄铁矿。以铜官山矿田为例,对地层、矿层、岩体中的黄铁矿体加以对比,具有明显的差别(表7)。

3.1.5 矿床与海相火山岩及侵入岩的关系 矿床主矿层与中石炭统火山碎屑岩系有成因

上的联系,如牛山露天采场(图7)。在新桥矿区火山岩产于中石炭统黄龙组地层中,成层状分布与黄龙组灰岩呈相变关系,与矿层呈互层产出。在矿层中存在有小型闪长岩侵入,但局部砂卡岩化,且不含铜(图8)。



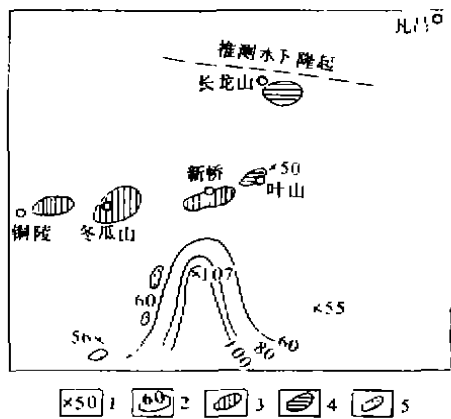
1. 剖面地点及地层厚度 2. 等厚线 3. 铜硫铁矿床 4. 铁矿床 5. 古陆 6. 推测水下隆起

图9 皖南地区C₂₊₃地层等厚线图(附主要矿床)

Fig. 9 Isopach map of C₂₊₃ strata in the South of Anhui province

3.2 成矿作用的古地理环境

本类型矿床,常印佛教授曾作过深入研究^[5]。从编制的等厚线图看出,皖南中上石炭统地层厚度东厚西薄和东宽西窄的趋势(图9),苏皖一带的海水从东向西侵入,九江附近为一海峡,可能湖北、江西一带海盆相通(据常印佛等),在苏皖南部形成以广德为中心的凹陷,沉积厚度小于100m,呈北东东—南西西延至贵池。其间有两个次一级小凹陷,向北、东、西三个方向厚度变薄,以繁昌一带最薄,在变薄处,推测为一水下隆起地带(图10)。在隆起部位30~50m地段有镜(赤)铁矿、磁铁矿见于长龙山、顺凤山。在隆起与凹陷之间的缓坡部位,在40~60m等厚线地段分布有冬瓜山、新桥、松树山等规模较大的含铜黄铁矿、磁黄铁矿,但矿石类型水平方向有变化,反映了海水深浅不同,其氧化、还原的电位及生成矿物相皆不尽相同。随着沉积厚度的加大,主要沉积以硫化物为主,碳酸盐相次之。事实证明,本区层控铜矿床的成矿作用严格受古地理环境



1. 剖面地点及地层厚度 2. 等厚线 3. 铜硫铁矿床 4. 铁矿床 5. 深部为硫铁矿

图10 铜陵地区C₂₊₃地层等厚线图(附矿床位置)

Fig. 10 Isopach of C₂₊₃ strata in Tongling Area

事实,证明了本区层控铜矿床的成矿作用严格受古地理环境

——凹陷沉积盆地或古海盆地边缘所制约。

4 构造控矿

从区内已知矿田与矿床构造的分析,构造控矿可划分两类^[5]:一类是基底构造;一类是盖层构造。前者表现为一方面作为岩浆上升入侵的通道,即“导岩”构造;另一方面作为古构造控制了沉积盆地的发育,决定了容矿岩相分布及其变化,也间接地控制了矿化分布。盖层构造表现为一系列短轴背斜及复式向斜。构造方向为北东—北东东褶曲及北东向断裂活动带,和缓倾斜褶皱及小型倾没背斜和倒转背

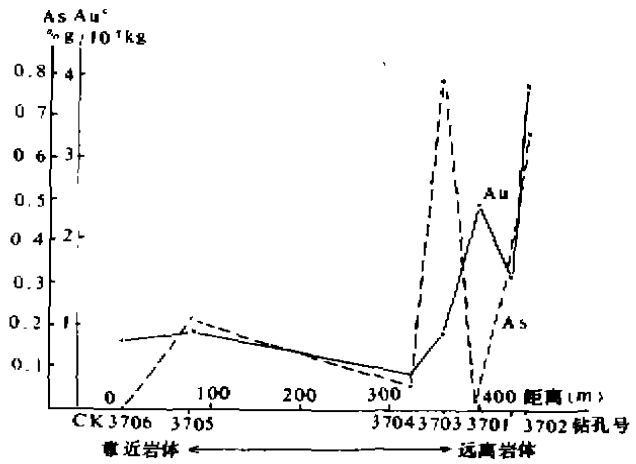


图 11 马山矿区第 37 线各钻孔金、砷平均含量变化图
(横坐标为各钻孔见矿部位间的水平距离)

Fig. 11 Averaged content ranges of Au, As for drill holes in line 37, Mashan Mine

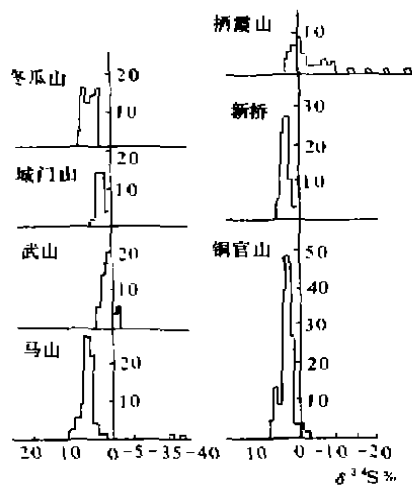
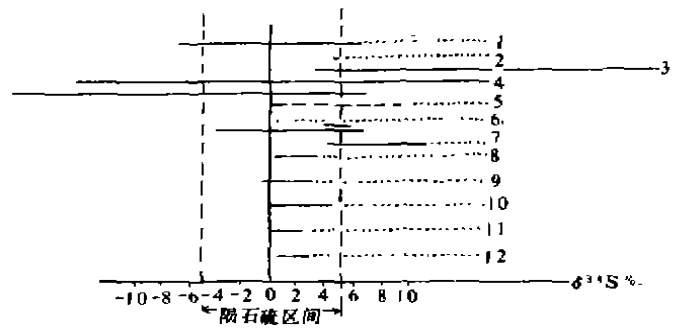


图 12 长江中、下游含铜硫化物矿床硫同位素组成直方图

Fig. 12 Histogram of S-isotope composition of sulfide ore deposits in middle and lower reaches of Yangtze River



1. 浙东某矿区 2. 美国特克汤 3. 澳大利亚兰特曼沙 4. 德国兰姆乐斯别尔格 5. 澳大利亚布尔肯希尔 6. 日本柯罗科 7. 安徽新桥矿区 8. 加拿大魁北克 9. 苏联高加索 10. 苏联乌拉尔 11. 瑞典弗兰恒 12. 瑞典布利登

图 13 世界及我国主要黄铁矿型矿床 $\delta^{34}\text{S}\%$ 变化范围

Fig. 13 $\delta^{34}\text{S}$ ranges of major pyrite-type Cu ore deposits in the world

斜形成封闭构造。据常印佛认为,区内有一组近东西向的铜陵—戴家冲隐伏基底断裂带为导岩构造,它和近南北向的青阳山—牛山隐伏基底断裂带相交,形成“结点”,则为一系列构造—岩浆活动的中心,分别控制了已知内生铜矿床及许多矿点的分布,从而对沉积—火山沉积矿床的热液叠加和矿石变质改造提供了条件。

表 7 不同类型矿体中黄铁矿的元素含量(%)

Table 7 Element content in various pyrite (%)

	样品数	Fe	S	Se	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Sb	Te	Co/Ni	S/Se
地层中黄铁矿	3	46.66	53.42	0.0078	0.0123	0.061	0.02	0.21	0	0.013	0.0166	0.213	6848
矿体中胶黄铁矿	2	46.14	51.23	0.0016	0.0125	0.00135	0.06	0.05	0.03	0.005	0.03	9.259	32018
矿体中细粗晶黄铁矿	5	46.82	53.12	0.0018	0.0225	0.00314	0	0.066	0	0.016	0.04	8.121	29511
岩体中黄铁矿	3	45.48	53.74	0.00425	0.0585	0.038	0.60	0.165	0.0033	0.027	0.0066	1.539	12640

5 层控矿床的成矿机理

层控铜矿床就其成矿作用而言,同时具有明显的时控特点,本区矿体主要沉积时间一般局限在 C_1 和 C_{2+3} 之间; P_1 和 C_{2+3} 之间,部分成矿期在下三叠统地层中,赋存有较大规模的层状矿体。在空间上严格受一定层位及岩性控制,具有一定分布范围,其产状、形态受上、下地层的产状制约。反映了成矿高峰,既限制在一定时间间隔内,又限制在一定的地层层位中。

在中上石炭统岩相下部普遍有一层白云岩厚达 10 余 m,其上有一层硬石膏,如麻姑山、冬瓜山厚约 6~11m,推测其成矿机理是在某些地段由于形成半闭塞的泻湖,当海水蒸发时,泻湖达到适当盐度,产生高咸化水(卤水),沉积了石膏和硬石膏,同样,在此环境下也适于铜的硫化物沉积。

在本区某些含铜硫化物矿床,具有明显的胶体化学沉积特点,并使一些矿物发生相的转化,如沉积菱铁矿与铁的氧化物同硫化物共生,菱铁矿、赤铁矿转变成磁铁矿,黄铁矿变成磁黄铁矿($2FeS_2 \rightarrow 2FeS + S_2$),物质重新组合,产生叠加的矽卡岩化现象。

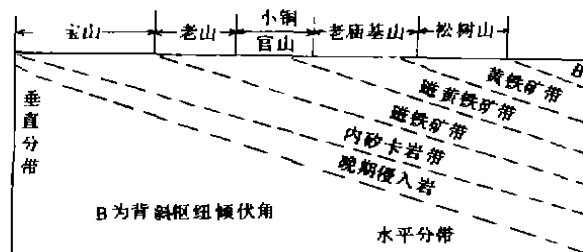


图 14 铜官山矿床层状矿体改造分带示意图

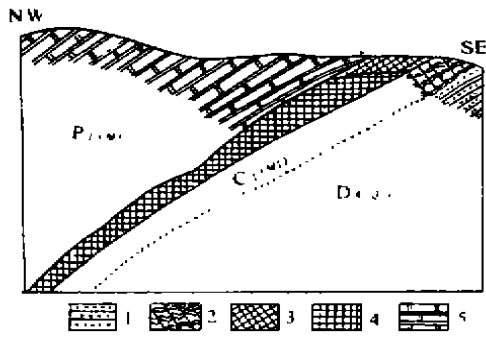
Fig. 14 Modification zones of stratoform ore bodies in Tongguanshan Mine

6 成矿物质来源的地球化学依据和铜铁矿物相

在长江中下游拗陷带,以铜陵地区为例,赋存于石炭系的诸层控矿床,砷、钴、镍、硒等微量元素和硫同位素组成具有明显的相似特征,而与斑岩型、矽卡岩型矿床具有较大差异。

6.1 微量元素^[6]

6.1.1 砷 砷在本类矿床中主要以毒砂、砷黝铜矿替代硫化物中硫的形式赋存(顾连兴, 1986),其含量普遍在 700ppm 以上,个别平均含量达 1~4%,在同一矿区内含铜硫化物层状矿



1. 石英岩 2. 板页岩 3. 铁帽 4. 铜矿体 5. 大理岩

图 15 铜官山松树山地质剖面示意图

Fig. 15 Sketch geological section of Songshushan Mine, Tongguanshan

石中的砷含量显著高于后期热液叠加的矽卡岩型和斑岩型矿石(表 8)。在同一矿层中受过岩浆热液改造的部分,砷含量显著低于未经改造的部分。同时,在远离岩体的部位砷、金含量要比靠近岩体处高的多(图 11)。这似乎表明在岩浆改造过程中,两种元素发生了近于同步的活化转移。

6.1.2 钴、镍 钴镍在本类矿床中主要替代硫化物中的其它金属元素(顾连兴,1986),如对武山、马山、新桥层状矿体中的黄铁矿、磁黄铁矿样品进行光谱分析得知,三个矿区的 Co/Ni 值均大于 1,与王亚芬^[1]提出的火山沉积矿石中 Co/Ni 值大于 1 的结论相一致。

6.1.3 硒 本类矿床中的硒,主要代替硫化物中的硫赋存。据顾连兴资料表明,武山、马山、新桥等矿区黄铁矿单矿物的 S/Se 值均小于 200000,表明硫

的来源可能与中石炭世海底热液有关。

表 8 若干矿区不同类型矿石砷含量(ppm)*

Table 8 As content in various ore of some mines

矿区	块状硫化物型	矽卡岩型	斑岩型	资料来源
铜官山(宝山)		140		安徽省冶金厅第三地质队(1959)**
马山	12300~39000			安徽省冶金地质勘探公司八一二队(1982)**
武山	800~1000	80~300		江西省地质局赣西北地质队五〇七分队(1970)**
城门山	780	103	93	黄恩邦、王福林、武志华(1980)

* 样品均为硫化物矿石,采用化学分析法测定。* * 资料引自矿区勘探报告。

6.2 硫同位素

在断裂拗陷带中含铜硫化物的硫同位素组成,可分为三种类型:①塔式型;同位素在零值附近,如新桥等矿区;②正值型;同位素富含重硫,如冬瓜山;③离散型;同位素分布甚为离散,常出现较大负值如栖霞山(图 12)。

从新桥矿区同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化幅度与世界黄铁矿型矿床对比看,发现它们十分相似(图 13)。其 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化一般都在 $-5\sim+5\%$ 之间,有的偏离较远,如澳大利亚芒特艾沙矿区、德国兰姆斯别尔格矿区,以及新桥层状黄铁矿。这可能与成矿过程中火山—沉积作用有关。我国南方石炭系一些层控型黄铁矿床,硫同位素变化范围和世界同类型矿床有些相似,硫同位素变化范围多为正值型,但 $\delta^{34}\text{S}$ 值区间却在零值与 $+10\%$ 之间,平均值在 $+4\sim+6\%$ 之间。例如铜官

[1] 王亚芬. 海相火山岩型铁铜矿床黄铁矿 Co/Ni 比值特征及其地质意义, 1981

山矿床(105个样品)硫同位素测定的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于+0.54~+9.43‰,平均值+5.59‰;铜陵马山铜(金)矿床(59个样品)硫同位素测定的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于+4.56~+10.4‰,平均值为+6.39‰;新桥矿床(21个样品)硫同位素测定的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于-8.5~+13.2‰,平均值为+4.70‰。

综上所述,本类矿床具有成矿物质多来源的特征。砷含量与Co/Ni值高,表明其来源与火山热液有关,矿床中的金属可能部分来源于地幔。S/Se值均小于200000, $\delta^{34}\text{S}$ ‰在零值附近呈塔式分布,表明矿床中的硫可能主要来自地幔,另一部分来自海水硫酸盐的无机还原。在局部地段可能有生物硫。

6.3 铜矿物相的形成

主要反映于成矿热液的物理化学条件(热液成分、离子浓度、酸碱度、氧化还原电位、温度和压力等)。在本区内矿石类型水平向的变化,反映了海水深度不同,特别是氧化、还原电位以及温度压力不同,生成铁、铜矿物相也不同。本区主要划分为三个相,即氧化物相(赤-镜铁矿、磁铁矿),碳酸盐相(菱铁矿)和硫化物相。以铜官山为例,在岩体与灰岩的接触带中出现了明显分带,由远离岩体(从东北向西南)硫化物逐渐减少,磁铁矿逐渐增多,在垂直向上的深部也有所增加(表9)。推测矿层可能受到晚期岩浆侵入发生了围岩蚀变和变质,原生的沉积矿层,受到一系列的变质改造,形成有规律的改造分带(图14)。并在两种或两种以上的矿物相中,可以叠加,出现在同一矿床内。

表9 老庙基山、小铜官山不同中段各类型矿石量变化百分比

Table 9 Percentages of different ore of different levels,
at Xiaotongguanshan and iaomisojishan

中段(m)	老庙基山				小铜官山			
	黄铜矿磁铁矿	磁铁矿	黄铁矿	其它矿石	黄铜矿磁铁矿	磁铁矿	黄铜矿	其它矿石
65	48.1	11.2	24.0	15.7	36.1	24.5	31.5	8.1
35~65	35.9	14.2	36.8	15.1	33.0	29.72	24.6	12.7
5~35	29.4	19.4	33.8	17.4	31.2	34.4	19.9	14.9
-25~5	32.6	26.3	22.9	18.2	31.7	30.9	19.5	17.9
-65~-25	40.8	31.1	15.6	12.5	22.4	39.3	19.7	18.6
-85~-55	48.1	32.1	8.0	11.8	19.2	43.2	18.6	19.0
-85以下	48.1	32.1	8.0	11.8	19.3	43.2	18.4	19.0

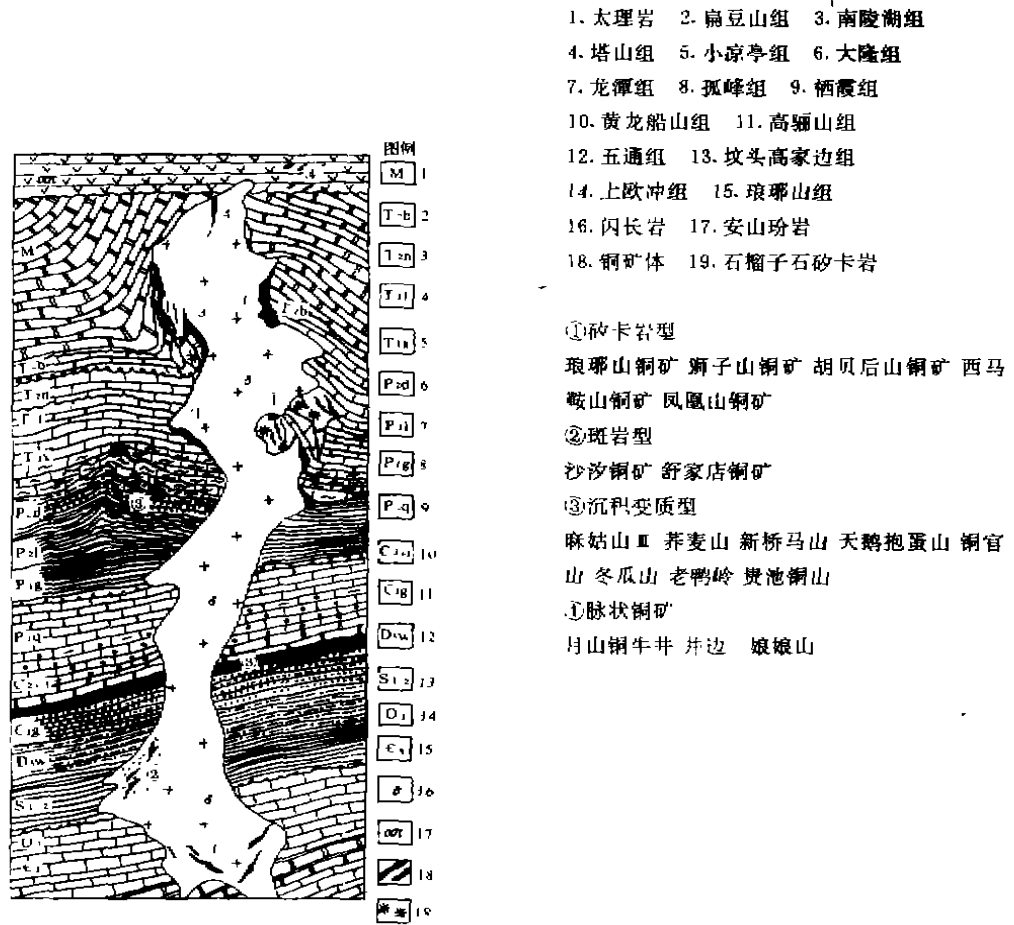


图 16 长江中下游铜矿成矿复合模式图

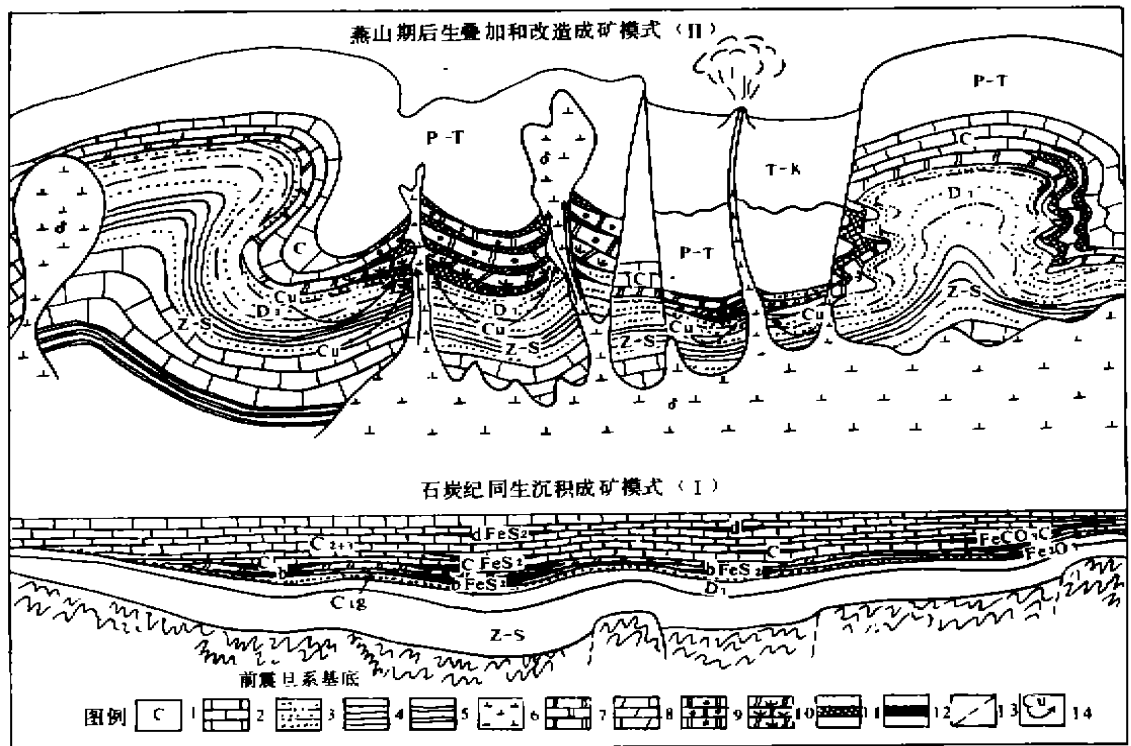
Fig. 16 Metallogenic model for the middle and lower reaches of Yangtze River

7 矿石的变质改造和叠加

长江中下游断裂拗陷带中,大多数为沉积—火山沉积型的矿床,都不同程度地经受后期岩浆侵入,各种热液活动和区域变质的影响,使层状矿体经过后期热液叠加和改造。徐克勤(1982)曾指出,这些侵入体主要属同熔型花岗岩类。其改造叠加主要表现为^[7]:①胶黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿变质反应系列,并使矿层中的钙、镁、铁、硅等组分发生高温反应而形成似砂卡岩的硅酸盐类矿物组合。②在岩体及热液作用下,矿石物理性质发生了改变,矿体

受后期热液影响发生了重组晶现象,如新桥黄铁矿型铜矿中,早期沉积生成的层状胶黄铁矿,重结晶愈强,则胶状沉积结构保存愈少。③矿物相的转化,如菱铁矿,当温度上升至 400~500℃时,则矿物不稳定,发生分解转变为磁铁矿。赤铁矿,当 O₂ 的分压力降低或从外面带进 C、CO、H₂ 或 CH₄ 等还原剂时,赤铁矿转化为磁铁矿即(6Fe₂O₃→4Fe₃O₄+O₂)。推测麻姑山出现的穆磁铁矿很可能按此方式形成。黄铁矿受到变质改造时,挥发出 S₂ 转化为磁黄铁矿(2FeS₂→2FeS+S₂)控制这一转化的决定因素,主要是温度和硫的分压力,同时围岩也发生矽卡岩化。

从上述论点,我们推测,在松树山、老庙基山(图 15)。广泛的发育着黄铁矿、磁黄铁矿石,主要由于黄铁矿型矿石受石英闪长岩变质改造的产物。在改造过程中 Fe、S 等成矿元素发生了迁移,但局限在层理范围内,以就地或准原地形成富集。



1. 组合 2. 灰岩 3. 砂岩 4. 页岩 5. 硅质岩 6. 闪长岩类侵入岩 7. 大理岩 8. 白云质大理岩 9. 矽卡岩 10. 蛇纹石化白云岩 11. 改造叠加矿层 12. 沉积矿层 13. 断层 14. 矿液运移方向

图 17-1-II 铜陵地区石炭纪层控矿床成矿方式示意图

Fig. 17 Metallogenic model of stratobound ore deposits in Tongling Area

8 结语

(1)长江中下游断裂拗陷带中一些由沉积(或火山沉积)海底热泉—喷气作用所形成的含铜硫化物矿床,是受燕山期花岗岩类侵入体的热液改造和叠加以及沉积后的活化转移和接触热变质等多种作用综合影响的产物^[8]。这些岩体呈株状小型侵入体,岩性均属燕山期石英闪长岩—花岗闪长岩类。在以张性为主的地质背景中,在区域上常有同时代的火山作用,推测其为燕山期同熔型火山岩或次火山岩类。这些矿床受到同熔型花岗岩类的不同程度的变质改造和热液叠加,故在此背景上往往形成层状含铜硫化物型、矽卡岩型和斑岩铜矿等,在小范围内共存的现象(图 16)^[8,9]。

(2)由喷流作用形成的层状矿床主要受中石炭统层位控制,在成因上具有一定的特殊性。但有的矿田也同时出现上二叠统的层状矿体,在有的地区也有产于下三叠统层状矿床,都有一定的规模,多层赋矿特征十分明显,形成了多层控矿的模式(图 17— I - II)。

(3)上述的矿床模型,在长江中下游地区有一定的代表性^[10]。同时也应注意到第三种矿化类型即硅质岩石中经常发育的作为海底热液通道形成的脉状、浸染状铜矿化,也有可能构成具有工业价值的矿床。

本文经南京大学地球科学系徐克勤教授详细审阅了本文初稿,并提出了宝贵的修改意见,笔者在此衷心致谢。

参考文献

- 1 徐克勤.论中国南部几个断裂带中某些铜矿床的成因问题.国际交流地质学术论文集(第二册).地质出版社,1980
- 2 地质矿产部地质研究所等.安徽省铜陵地区层控矿床的研究.1986
- 3 徐克勤,朱金初.我国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)热液叠加类铜、铁矿床的成因探讨.福建地质,1979
- 4 中国科学院地球化学研究所.安徽铜陵地区铜矿床、铜—铅矿床内贵金属地质考查(中间报告).1973
- 5 常印佛,等.关于层控式矽卡岩型矿床.1979
- 6 顾连兴,徐克勤.论长江中下游石炭纪海底块状硫化物矿床.地质学报,1986,(2)
- 7 徐恒诚.试论安徽某些层控铜矿床的成矿作用.当代地质科学进展与展望学术讨论会论文集,中国地质学会秘书处,1992
- 8 顾连兴,徐克勤.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,1986,5(2)
- 9 徐恒诚.长江中下游某矽卡岩型铜矿床的研究.华东地质,1985,(6)
- 10 徐恒诚.略谈长江中下游矽卡岩型铜矿.中国地质学会安徽会讯,1962

STRATA-BOUND COPPER ORE DEPOSITS IN THE LOWER REACHES OF THE CHANGJIANG(YANGZI) RIVER

Xu Hengcheng

(Metallurgical Mining Company of Anhui Province)

Abstract

In the fault depression troughs along the lower reaches of Changjiang River, occur a number of important stratiform sulfide ore deposits, such as Chenmenshan, Wushan in Jiangxi Province, Mashan, Dongguanshan, Xinqiao, Magushan, and Tongguanshan, Anhui Province, Qixiashan, Jiangsu Province, which were formerly considered as typical post-magmatic hydrothermal products.

Detailed field and laboratory investigation reveals that they are stratiform sulfide ore deposits related to submarine volcanism. These deposits are strictly stratabound in the Middle Carboniferous series, and frequently in the upper Permian series and lower Triassic series. Dacitic and rhyolitic lavas and volcanoclastics have been found in the ore bearing sequences. Therefore the metals and sulphur in these deposits came from different source-beds. The high concentration of As in the ores, and the Co/Ni ratios being greater than 1 in the pyrites indicate their affiliation with submarine volcanism, thermal springs and exhalations. The values of S/Se ratios and $\delta^{34}\text{S}$ show that, in addition to deep sources, the reduction of sea-water sulphate also contributed a part to the sulphur in the ores, and biogenic processes may locally be postulated in some of the deposits.