

# 湖南车江铜矿的成因及成矿模式\*

钟建华

(中国石油大学, 山东东营)

李自安

(中国科学院大地构造研究所, 长沙)

**提 要:** 对湖南衡阳盆地的车江铜矿进行了较为深入的研究。研究结果表明, 车江铜矿是一种低温沉积型铜矿, 其成因与有机质密切相关, 经历了沉积富集、成岩富集和表生富集三个阶段。

**主题词:** 铜矿 有机质 红色建造 矿床成因 成矿模式 车江

铜矿是我国的紧缺矿种之一。近年来我国在铜矿的研究方面取得了许多重要成果<sup>[1,3,12]</sup>, 但也存在一些问题, 尤其是对一些中、新生代砂岩型铜矿的成因有不同看法。本文拟从多种角度简要介绍车江铜矿的研究结果。

## 1 概述

车江铜矿位于湖南省东南部的衡阳盆地内。衡阳盆地是一个中新生代盆地, 面积约 7000 km<sup>2</sup>, 其中沉积了厚约 5000 m 的红色砂泥岩建造。

车江含铜建造位于红色砂泥岩建造的中上部, 形成于早第三纪。含铜建造厚数十米至百余米, 为一套含铜的碎屑岩系, 顶部往往有石膏层。以红色和灰色色调为主, 夹黄色、黄褐色或灰黑色。根据岩性及旋回特点可以分为 12 层。含矿层位于下部, 有 1~3 层, 主矿层呈层状或似层状, 分布稳定, 在矿区施工的数百个钻孔中绝大多数可以见到。主矿层厚 0.5~6.0 m, 一般在 1~2 m, 铜含量多在 1%~2%, 最高品位可达 4%~5%, 以辉铜矿为主。

## 2 车江铜矿的特征

### 2.1 车江铜矿的岩石学特征

车江铜矿在岩石学上明显可以分为两类: 一类是含铜砂岩; 另一类是含铜泥岩。

含铜砂岩一般为灰色, 多以细砂岩为主, 其中常见各种小型交错层理及缓波状或脉状层理(照片 1), 层理由黑色的有机质或富含有机质的碳质泥岩条带所显示。含铜砂岩有机质含量较高, 碳化植物碎屑多在 5% 以上, 最高可达 21.0% (表 1), 比 Kupferschiefer 页岩型铜矿中的有机质含量(2%~10%, 平均 6%, H L O Huyck and R W Chorey, 1991) 还高<sup>[4]</sup>。定量分析表明, 有机质碎屑(腐植碎屑+腐泥碎屑)与铜矿物之间具有明显的正相关关系, 如图 1 所示, 反映了铜矿在成因上与有机质有关。

在车江铜矿含铜泥岩也是一种重要的含铜岩石, 其外观上多为灰至深灰色, 少数灰黑色。

\* 中国科学院资助重点课题部分成果

钟建华, 男, 1957 年生, 博士后, 副教授, 从事构造及沉积研究。邮政编码: 257062

1996-07-02 收稿, 1996-10-08 修改回

其最大的特点同样也是有机质含量很高(照片 2,3),多在 10%以上,见表 1。照片 4 及图 2a 中所示的是鲕状泥岩中的环状(腐泥)有机质,是一种含铀很高的沥青。铜矿物与有机质碎屑之间也具有很好的正相关关系(图 1),无疑反映了二者在成因上的联系。

表 1 车江铜矿显微定量分析结果及其最高成矿温度

Table 1. Microscopic quantitative analyses and maximum temperatures of samples from the Chejiang copper deposit

样品	时代	铜矿岩性	有机碎屑 形态特点	反射率 $R^\circ/\%$	$t_{\max}/^\circ\text{C}$	主要铜矿 物类型	显微定量分析	
							铜矿物 (%)	有机碎屑 (%)
CJ-1	E <sub>1</sub>	砂岩	细粒状、火焰状	0.621	86~90	辉铜矿	1.54	5.32
CJ-2	E <sub>1</sub>	砂岩	细粒状、碎片状	0.638	88~94	辉铜矿、 铜蓝	2.10	7.49
CJ-3	E <sub>1</sub>	砂岩	细条带状、碎片 状、火焰状	0.642	89~95	辉铜矿、 斑铜矿	2.10	7.45
CJ-4	E <sub>1</sub>	砂岩	碎片状、粗粒状	0.612	83~87	辉铜矿、 斑铜矿	8.40	21.08
CJ-5	E <sub>1</sub>	砂岩	碎片状、脉状	—	—	辉铜矿	3.38	13.47
CJ-6	E <sub>1</sub>	砂岩	碎片状、细粒状	—	—	辉铜矿	3.49	11.66
CJ-7	E <sub>1</sub>	砂岩	细粒状、丝发状	0.608	82~86	辉铜矿	2.18	6.13
CJ-8	E <sub>1</sub>	泥岩	细条带状、碎片 状	0.640	88~94	辉铜矿、 铜蓝	2.29	4.82
CJ-9	E <sub>1</sub>	泥岩	粗粒状	0.623	86~90	辉铜矿	5.39	20.04
CJ-10	E <sub>1</sub>	“鲕”状 泥岩	细碎片状,含多 量腐泥	0.618	85~89	辉铜矿、 斑铜矿、 铜蓝	3.89	10.11
CJ-11	E <sub>1</sub>	“鲕”状 泥岩	细碎片状,含多 量腐泥	0.621	86~90	辉铜矿、 铜蓝	2.97	8.35
CJ-12	E <sub>1</sub>	泥岩	细条带状、细脉 状、碎片状	0.601	81~86	辉铜矿、 铜蓝	4.24	18.95
CJ-13	E <sub>1</sub>	泥岩	细条带状、脉状	0.620	85~89	辉铜矿、 黄铜矿	3.97	18.11

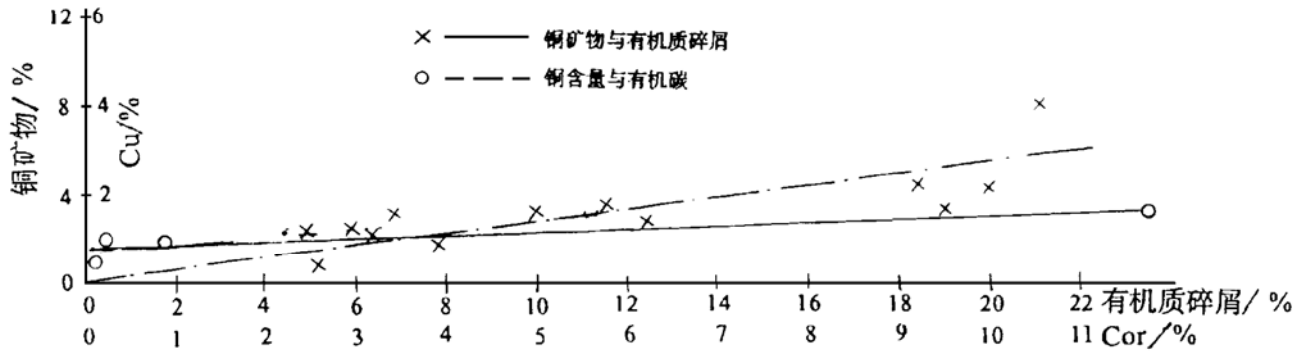


图 1 铜含量及铜矿物与有机碳及有机质碎屑之间的关系

Fig. 1. Relationships between copper content and organic carbon (O) and between copper minerals and organic fragments (x) in the Chejiang copper deposit.

## 2.2 车江铜矿的铜矿物类型及其产出特征

(1) 铜矿物类型:车江铜矿中的铜矿物主要是辉铜矿,占铜矿物总量的 75%以上,其次为斑铜矿、铜蓝、黄铜矿、孔雀石、自然铜及赤铜矿。

(2) 铜矿物产出特征:因为辉铜矿是主要铜矿物,有必要介绍之。从观察结果看来,辉铜矿的产出几乎总与有机质有关。图 2 b 所示的微粒状辉铜矿产在一碳化植物小根外缘(照片 5)。在一些结构镜质体内的残留细胞腔中也常常充填了微粒状辉铜矿,这些辉铜矿的成因可能与植物初生富集和沉积富集有关。图 2 c 所示的是产在腐泥基质中的不规则片状辉铜矿,该图中的黑色方块可能是石盐晶体溶解后留下的假晶,其后被腐泥所充填(照片 6),在显微镜下还能见到许多方解石假晶被腐泥所充填(图 2 d),而外缘则常被辉铜矿所包围。这些现象说明了辉铜矿是在沉积或早期成岩阶段形成的,如辉铜矿形成于晚期成岩或表生阶段,这时腐泥基质已成固体,不可能再穿过辉铜矿去充填方解石所溶解而形成的晶洞。石盐和方解石假晶的大量存在及铜矿层中偶见的石膏晶体印痕说明了“萨勃啥”作用的存在。腐泥与蒸发矿物的共生说明了当时的蒸发强度非常大,否则难以发现这种“深水相”的腐泥与蒸发矿物共生的局面,但也有人认为腐泥可以是潮上坪的产物。图 2 e 所示辉铜矿产在有机质碎屑(镜质体)的成岩收缩裂隙中,显然这种辉铜矿是在成岩或其后的表生成岩阶段中形成的。图 2 f、g 及 h 所示的是辉铜矿产在有机质碎屑(镜质体)的后生裂隙中(照片 7)。这种裂隙是构造作用所形成的,其共轭性可以说明这一点,因此,充填于其中的辉铜矿是表生成岩阶段形成的。图 2 g 中的辉铜矿仅交代了裂隙下壁的镜质体,这可能是含矿地下流体仅沿裂隙下壁流动造成的,表明了流体不足而未充填满整个裂隙,导致矿化仅发生在下壁,而上壁则丝毫未染。许多证据表明,车江铜矿中的辉铜矿其产出总与有机质有关,其成因联系应当说是密切的。

此外,很有必要提及的是,在辉铜矿内有时可以见到不规则片状、多角片状、网格状或文象状产出的蓝紫色辉铜矿、铜蓝和桔红色的斑铜矿(图 2 i)。这一现象表明其成矿温度不超过 90℃<sup>①</sup>。

① 徐一仁、张素华,论砂岩型铜矿的成因机制在找矿中的指导作用

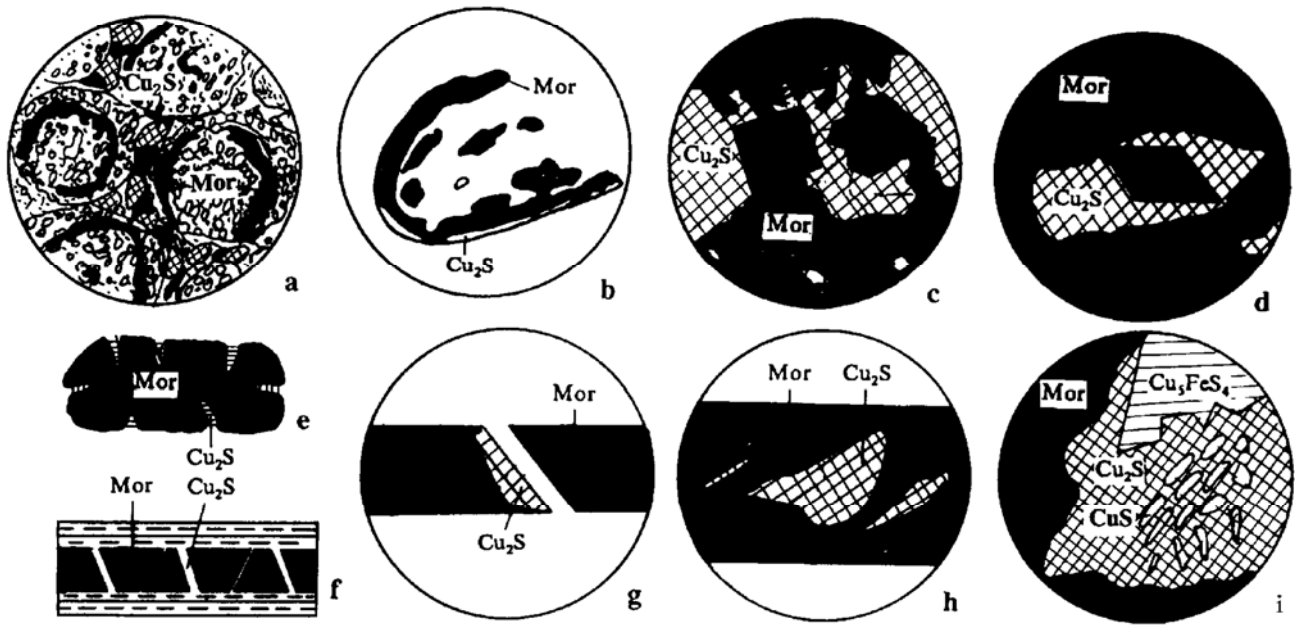


图 2 车江铜矿中的辉铜矿产出特征

Fig. 2. Modes of occurrence of chalcocite in the Chejiang copper deposit.

a—鲕状含铜泥岩，辉铜矿主要产在鲕粒之间，黑色物质为沥青铜矿。×10；b—辉铜矿矿化沿碳化植物体外缘发生。×70；c—辉铜矿产在腐泥基质中，其中的石盐和方解石假晶已被腐泥充填。表明其形成于沉积阶段。×70；d—辉铜矿内有一被腐泥置换的方解石假晶。表明辉铜矿形成于沉积阶段。×110；e—辉铜矿充填于有机质成岩裂隙中。表明其形成于成岩过程中。×2；f—有机质的共轭剪切裂隙中充填了辉铜矿。表明辉铜矿形成于表生成岩阶段。×1；g—辉铜矿仅沿共轭剪切裂隙的下壁富集，与表生成岩阶段地下流体的半充满有关。×70；h—辉铜矿充填在雁行状的剪张裂隙中，系表生成岩阶段所形成。×100；i—辉铜矿、斑铜矿、蓝铜矿共生。表明成矿温度不超过 93℃。×110

(3) 铜矿的地球化学特征：对车江铜矿的 11 个样品进行了化学分析(表 2)。车江铜矿的化学组成有下列特点：① 与一般砂、泥岩相比，其 CaO 含量明显偏高。含铜砂岩的 CaO 含量介于 4.59%~8.66%之间，含铜泥岩在 9.86%~15.79%之间(表 2)。后者明显高于前者，其原因是含有更多量的石膏和方解石这一类含钙蒸发矿物，也反映了后者相对靠近湖心，有更多的机会接触咸化的湖水和经受更多的蒸发泵流作用，所以其中的方解石和石膏相对较多，因而导致 CaO 含量相对偏高；② 灼减量非常大。含铜砂岩的灼减量在 4.06%~10.37%之间，含铜泥岩高达 8.06%~17.95%，造成这种结果的根本原因是含有大量的有机质、方解石及水等易挥发性矿物。

(4) 铜矿的微量元素特点：① U 含量明显偏高。含铜砂岩的 U 含量介于  $38.5 \times 10^{-6} \sim 146 \times 10^{-6}$ ，含铜泥岩在  $105 \times 10^{-6} \sim 842 \times 10^{-6}$ ，后者明显高于前者，尤其是“鲕”状含铜泥岩，其 U 含量已达铀矿的最低品位(表 2)；② Sr 含量在“鲕”状泥岩铜矿中明显偏高。这可能是由于鲕状泥岩铜矿中具有相对更高的硬石膏的原因；③ Cr、Co、Ni 及 Co/Ni 比值。车江铜矿中的 Cr 含量介于  $26 \times 10^{-6} \sim 38 \times 10^{-6}$ 之间，含铜砂岩略高于含铜泥岩；含铜泥岩的 Co 含量明显高于含铜砂岩；前者在  $29.6 \times 10^{-6} \sim 92.4 \times 10^{-6}$ 之间，后者仅  $7.9 \times 10^{-6} \sim 8.7 \times 10^{-6}$ ；Ni 含量也

表 2 车江铜矿的化学组成(%)及微量元素含量( $10^{-6}$ )一览表

Table 2. Chemical composition and trace element contents of samples from the Chejiang copper deposit

样号	CJ-1	CJ-2	CJ-3	CJ-4	CJ-7	CJ-8	CJ-9	CJ-10	CJ-11	CJ-12	CJ-13
岩性	砂岩 铜矿	砂岩 铜矿	砂岩 铜矿	砂岩 铜矿	砂岩 铜矿	泥岩 铜矿	泥岩 铜矿	“鲕”状泥 岩铜矿	“鲕”状泥 岩铜矿	泥岩 铜矿	泥岩 铜矿
参数											
SiO <sub>2</sub>	61.36	62.42	60.82	61.03	62.35	58.65	55.41	45.36	47.11	53.09	55.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.29	12.48	8.65	13.04	13.41	9.67	11.35	9.89	9.65	10.42	10.93
TiO <sub>2</sub>	0.70	0.64	0.62	0.71	0.67	0.52	0.64	0.52	0.49	0.51	0.58
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.16	1.30	1.07	1.32	1.38	1.89	1.99	2.25	2.37	2.18	1.95
MnO <sub>2</sub>	0.020	0.038	0.054	0.048	0.039	0.043	0.061	0.068	0.051	0.041	0.051
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.111	0.120	0.120	0.107	0.137	0.128	0.145	0.248	0.267	0.197	0.136
K <sub>2</sub> O	3.87	3.75	0.80	2.09	2.14	2.93	2.85	1.75	1.83	1.99	1.88
Na <sub>2</sub> O	1.50	1.48	1.84	1.48	1.67	1.08	1.13	0.72	0.69	0.92	1.27
CaO	6.05	5.31	8.66	5.95	4.59	9.86	11.45	15.79	14.88	9.88	14.50
MgO	1.35	1.42	0.82	1.53	1.33	1.32	1.49	1.23	1.17	1.56	1.21
Cu	4.30	3.92	3.45	3.01	2.98	1.98	2.51	2.57	2.64	2.95	3.14
S	1.01	1.13	0.033	1.15	0.98	0.89	1.14	1.20	1.31	1.25	1.37
灼失	4.06	4.35	10.37	10.01	8.94	9.26	8.06	16.48	17.95	14.28	9.65
Zn	30	37	35	30	33	26	38	146	163	29	52
Cr	36	35	33	33	38	32	36	26	29	31	30
Ni	16	18	16	19	13	28	30	50	53	33	31
Co	8.0	8.7	8.5	8.1	7.9	29.6	31.5	91.9	92.4	35.6	29.8
Sr	193	160	96	135	155	201	374	1101	1215	490	299
V	97	112	125	102	114	72	69	75	79	83	97
Zr	340	310	160	198	170	110	165	170	183	196	188
Nb	14.7	15.4	12.5	13.2	13.6	—	8.9	6.3	6.1	7.8	7.9
U	38.5	39.7	146.0	91.5	42.5	105	148	842	838	113	136
Th	25.4	20.1	19.3	21.4	22.4	—	20.3	21.75	20.41	19.9	20.81
Ge	0.85	0.71	0.79	0.89	0.91	0.92	0.89	0.95	0.88	0.79	0.86
Ga	4.6	4.1	1.3	3.2	3.5	3.7	4.2	4.6	4.1	3.9	4.3
Cl/%	0.026	0.035	0.066	0.041	0.039	—	0.009	0.008	0.008	0.011	0.014
Co/Ni	0.50	0.48	0.53	0.43	0.60	1.06	1.05	1.84	1.74	1.08	0.96

注:地质矿产部宜昌地质矿产所及中科院北京地质所测试铜矿石;“—”线表示样品数量不足未测试

有含铜泥岩高于含铜砂岩的现象,含铜泥岩的 Ni 含量介于  $28 \times 10^{-6} \sim 53 \times 10^{-6}$  之间,而含铜砂岩则只有  $16 \times 10^{-6} \sim 19 \times 10^{-6}$  (表 2)。Co/Ni 比值常常用来作为判别铜矿成因的参数<sup>[4~8]</sup>。Bralia 等(1979)认为,火山成因的铜矿其 Co/Ni 比值一般大于 10,沉积成因的铜矿 Co/Ni 比

值小于1<sup>[7]</sup>。车江砂岩型铜矿的Co/Ni比值在0.43~0.60之间,平均0.51;泥岩型铜矿的Co/Ni比值稍大,在0.96~1.84之间,平均1.29。车江铜矿11个样品的Co/Ni比值平均为0.94,具沉积成因特点。如果再除去两个“异常”的“鲕”粒泥岩,那么其余四个样品的Co/Ni比值则为0.75,与典型沉积成因的Abra铜矿的该比值(0.74)非常接近<sup>[9]</sup>。因此,我们有理由认为车江铜矿是沉积成因的。当然,对于Co/Ni比值这一参数的成因判别意义也还存在异议<sup>[8]</sup>。

(5) 铜矿的硫同位素特征:对车江铜矿进行了硫同位素分析,其 $\delta^{34}\text{S}$ 介于-19.02‰~-39.31‰之间,平均-29.86‰,具沉积和生物成因特点,表明了车江铜矿的成因也与沉积、生物有关。如果其成因与深部岩浆热液有关的话,其 $\delta^{34}\text{S}$ 则会较大,如印度Rajasthan的Rajpura-Dariba成矿带的层控铜铅锌矿是一种在海水-热液系统中形成的矿床。热液是由原生基性流体分异形成的,其 $\delta^{34}\text{S}$ 介于9.1‰~6.7‰之间<sup>[10]</sup>。这种例子很多,但K M Scott等(1985)认为氧化会使 $\delta^{34}\text{S}$ 值变小<sup>[11]</sup>。

(6) 铜矿的有机碳研究表明,某些铜矿中的铜含量与其中的有机碳具正相关关系(Brady, 1960; Hamilton, 1967)。对车江铜矿的四个样品进行了有机碳分析,发现有机碳介于0.27%~11.74%之间,与铜含量之间也具有一定的正相关关系。这又从另一个角度表明了车江铜矿的成因与有机质具有一定联系。

(7) 车江铜矿的(最高)成矿温度:成矿温度是矿床成因研究的重要内容之一。车江铜矿中有大量的碳化植物碎屑,为从镜质体反射率角度出发反演成矿温度提供了物质基础。对车江铜矿中的镜质体进行了大量而又精确的反射率测定,通过Bostick图解反演了(最高)成矿温度,结果总结在表1中。从表1可知,车江铜矿的最高成矿温度介于81~95℃,平均86℃。这些数值与从矿相学角度获得的最高成矿温度不超过93℃非常接近。因此,我们有比较充足的理由认为车江铜矿是在低温条件下形成的。利用现代正常地温梯度(30℃/1000m)推算最大埋藏深度在2000~2500m,平均2300m。这与衡阳盆地第三系的厚度(1577~2400m,平均2000m)比较接近。这也从另外一个角度验证了从镜质体反射率反演的(最高)成矿温度可能比较符合实际情况。

### 3 车江铜矿的成因及成矿模式

以上简要地介绍了车江含铜建造及其铜矿的特征,可以得出三点认识:①车江铜矿是一种纯粹的沉积型铜矿,与岩浆热液无关;②其成因与有机质密切相关;③最高成矿温度不超过95℃。我们在讨论其成因和建立其成矿模式时主要从两个方面出发。

#### 3.1 $\text{Cu}^{2+}$ 的来源

由于车江铜矿产在红色建造中,因此,我们认为 $\text{Cu}^{2+}$ 的来源与红色建造中的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 可能密切相关, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体是 $\text{Cu}^{2+}$ 的搬运载体。M A Richard通过实验发现 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 对 $\text{Cu}^{2+}$ 具有很强的吸附能力。红色建造中大量的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 绝大部分是以胶体的形式存在于搬运和沉积过程中的。因此,它们极有可能吸附水体中的 $\text{Cu}^{2+}$ 将其固定下来,到盆地中后阶段一道沉积下来,成为铜矿源层。研究表明,衡阳盆地中的红色建造其Cu背景值确实偏高,如90线剖面中的9002等钻孔中的红色砂、泥岩,其铜含量最高可达数千ppm。

#### 3.2 $\text{Cu}^{2+}$ 富集成矿机理及其成矿模式

分散于红色建造中的  $\text{Cu}^{2+}$  进入到湖泊后又是怎样富集成矿的呢? 同样应当从两个方面去考虑: 一是  $\text{Cu}^{2+}$  向富集成矿层的迁移动力及过程; 二是  $\text{Cu}^{2+}$  在富集成矿层中形成铜矿物的过程。

我们认为,  $\text{Cu}^{2+}$  从红色建造或湖泊水体中迁移进入到富集成矿层中主要受四种动力和过程的驱使: ①密度扩散; ②蒸发泵流; ③因温差引起的孔隙水的密度对流; ④因成岩压实引起的孔隙水向上迁移, 我们用图 3 表示了这些过程。

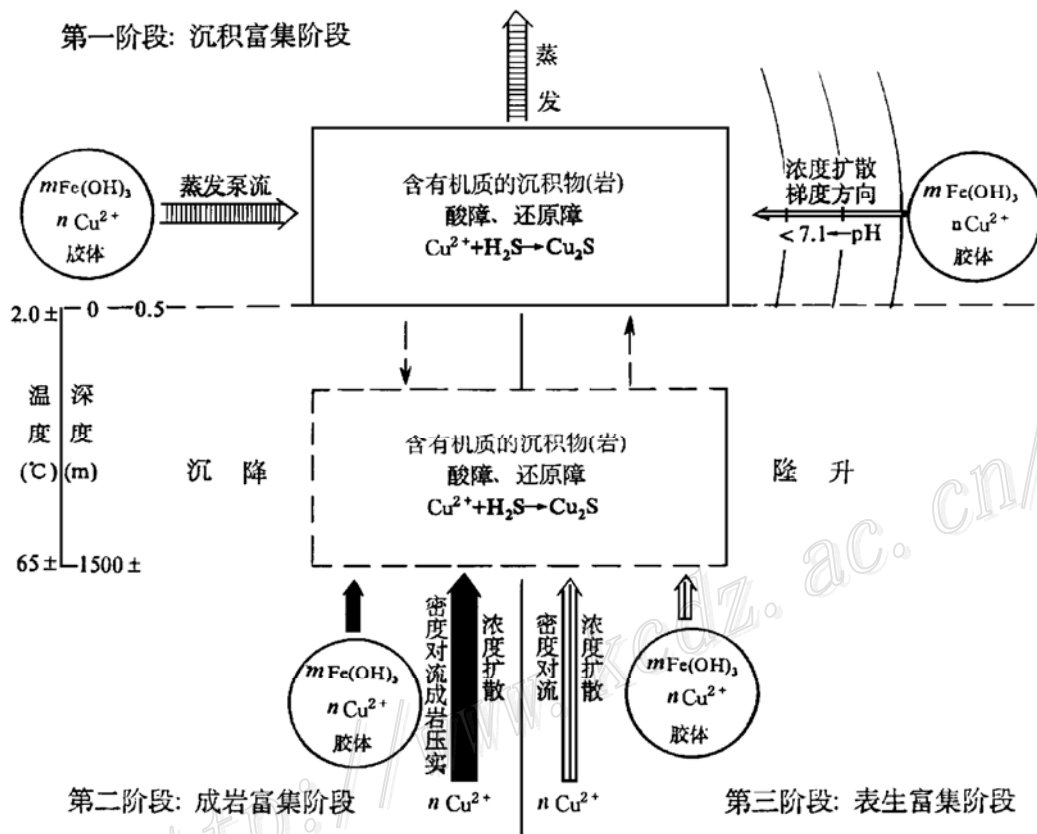


图 3 车江铜矿的成矿模式图

Fig. 3. Metallogenic model of the Chejiang copper deposit.

那么  $\text{Cu}^{2+}$  到富集成矿层中后又是怎样转变成铜矿物而形成矿层的呢? 由于红色建造中的富集成矿层是一种富含有机质的还原层, 大量有机质的存在为硫酸盐还原细菌的生存提供了营养物质, 使得硫酸盐还原菌得以大量繁衍。又由于强烈蒸发, 使得硫酸盐还原菌得以形成大量的  $\text{H}_2\text{S}$ 。  $\text{H}_2\text{S}$  又可以将水体中的  $\text{Fe}^{2+}$  还原成  $\text{FeS}$  而形成黄铁矿等硫化物。这样,  $\text{Cu}^{2+}$  便可以交代  $\text{FeS}$  而形成辉铜矿或黄铜矿等硫化铜矿物, 当然  $\text{Cu}^{2+}$  也可以直接与  $\text{H}_2\text{S}$  反应而形成辉铜矿。  $\text{Cu}^{2+}$  可以在很低的温度 ( $< 60^\circ\text{C}$ ) 下交代  $\text{FeS}$ , 这一点已经由实验证明了 (Giblin, 1978)。硫酸盐还原菌的活动不仅仅还原了  $\text{SO}_4^{2-}$ , 为硫化铜矿床的形成提供了部分物质基础和形成了还原障, 另外, 它的活动形成了酸障, 使得  $\text{Cu}^{2+}$  还原成铜矿物的 Eh 值降低<sup>[2]</sup>, 其结果是形成成矿带。又由于硫酸盐还原菌只能在低于  $65^\circ\text{C}$  的条件下存活 (G M Anderson, 1989), 因此, 在硫酸盐还原菌没有形成过量的  $\text{H}_2\text{S}$  或  $\text{FeS}$  时,  $\text{Cu}^{2+}$  的富集成矿只能发生在地表至深度小于 1500 m 的这一范围内。

从铜矿物的产出特点看,车江铜矿经历了沉积、成岩和表生成岩富集三个阶段,因此,在建立其成矿模式时应分三个阶段考虑。

**第一阶段:沉积富集阶段。**进入晚侏罗世后,尤其是进入白垩纪后,整个华南气候转向干旱炎热,再加上强烈的构造运动导致地貌反差加大,物理化学风化作用盛行,此时不仅形成了大量的碎屑物质,而且还形成了大量的特有化学风化产物—— $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。与此同时,从古老基底那些含铜较高的变基性火山岩中风化出来的 $\text{Cu}^{2+}$ 被 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体所吸附,与 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体一道进入衡阳盆地。由于蒸发强烈, $\text{Cu}^{2+}$ 得以在沉积过程中初次得到富集,使整个红色建造中的铜背景值增高。进入早第三纪,气候转向潮湿,使得植物得以繁盛,在三角洲平原上形成了一些小型的沼泽,使得沉积物富含有机质而改变了其Eh及pH值条件,有利于 $\text{Cu}^{2+}$ 、尤其是 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体中吸附的 $\text{Cu}^{2+}$ “聚沉”而发生富集,再加上此时仍存在一定强度的蒸发泵流作用,导致 $\text{Cu}^{2+}$ 源源不断地进入到三角洲平原上的富含有机质的沉积物中,“沉淀”下来而发生初次富集,形成铜矿层的雏形,如图3所示。

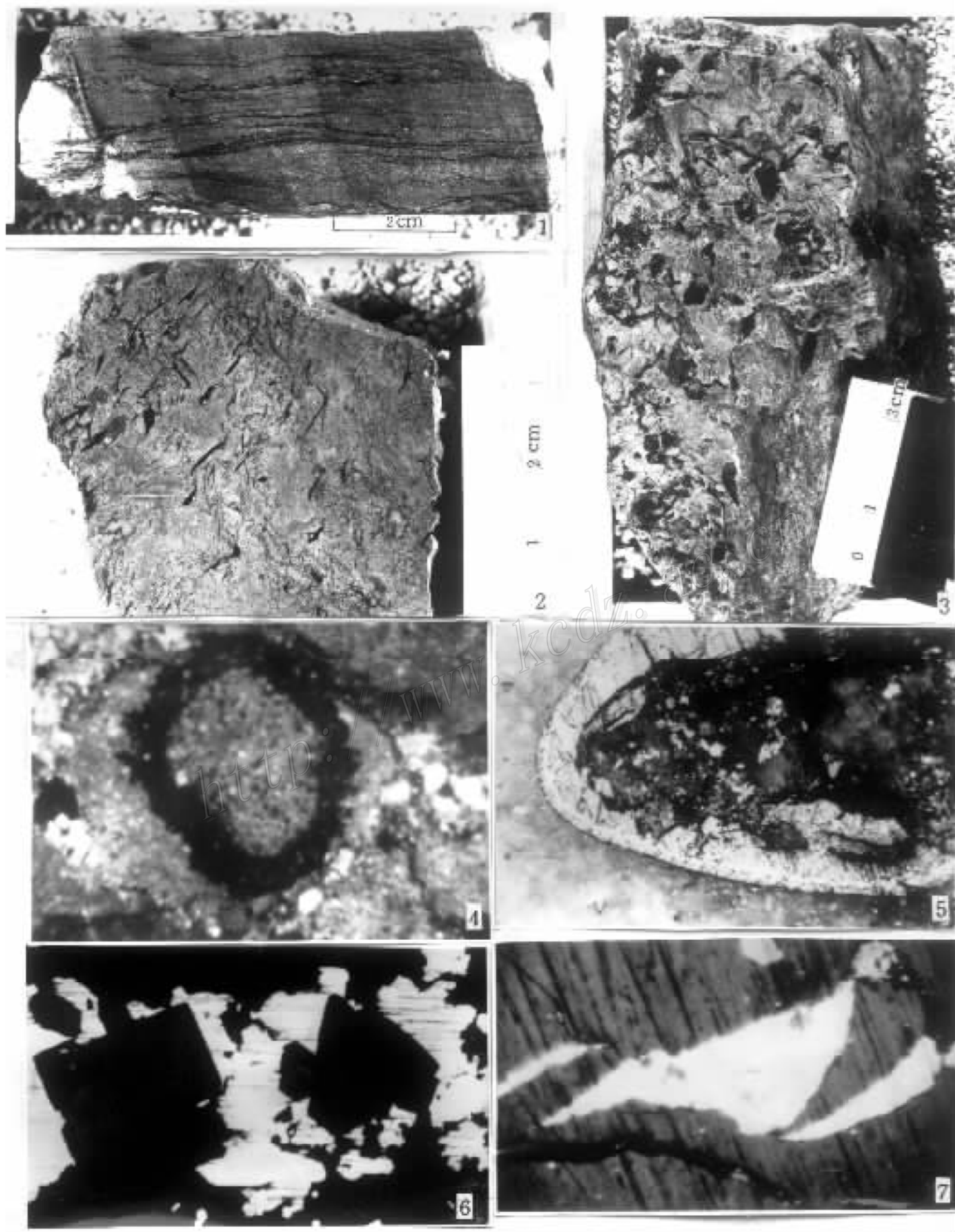
**第二阶段:成岩富集阶段。**当富含有机质的沉积物被埋藏到0.5 m深以后即进入成岩富集阶段,因此它包括了相当部分的后生成岩作用。又由于当温度高于65℃时硫酸盐还原菌不能存活,因此,成岩富集阶段的下限暂定在1500 m。超过这一深度 $\text{Cu}^{2+}$ 转变成硫化铜矿床的作用便会停止,当然,这里指的仅仅只是与硫酸盐还原菌间接有关的成矿作用,并不包括与纯化学过程产生的 $\text{H}_2\text{S}$ 或 $\text{FeS}$ 有关的 $\text{Cu}^{2+}$ 的交代成矿作用,但是这种作用需在250℃以上才能发生,因此,以车江铜矿来说这种成矿作用显然不存在。当然,如果存在着过量的 $\text{FeS}$ ,成岩富集阶段的成矿作用可以发生在1500 m以下。在成岩富集阶段,驱动 $\text{Cu}^{2+}$ 向成矿带运移的动力有成岩压实导致流体的向上运移,因地温梯度而引起的孔隙流体的密度对流及 $\text{Cu}^{2+}$ 的浓度扩散(图3)。这一阶段是非常重要的成矿阶段,其主要原因有两点:①成岩阶段是沉积物(矿源层及矿层)发生巨大物理化学变化的时期,如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体的结晶作用势必释放出吸附的 $\text{Cu}^{2+}$ ,使其进入孔隙溶液中参与成矿;②成岩阶段历时很长,使铜矿物有足够的时间去“生长”。经过这一阶段的成矿作用后,车江铜矿的铜矿层已经基本成“型”。

**第三阶段:表生富集阶段。**构造变动使得车江铜矿的铜矿层从地下深处抬起进入表生成矿阶段。地下水等的活动又使铜矿层进一步富集,如图3所示。

## 图版说明

- 1 砂岩铜矿. 有机质(黑色部分)呈丝发状产在砂岩中. 原大
- 2 泥岩铜矿. 泥岩铜矿中有大量的有机质(黑色部分),辉铜矿呈细球粒状产出(箭头所指部位)
- 3 泥岩铜矿. 泥岩铜矿中有大量的有机质(黑色部分). 有机质以镜质体为主,镜质体多呈颗粒状,是异地堆积形成的. 有的镜质体颗粒外缘有成岩收缩裂隙(箭头所指部位),有时被辉铜矿或方解石脉充填
- 4 鲕状泥岩铜矿. 亮白色者为辉铜矿;黑色圆环物质为沥青铀矿,油浸反射光(以下均同).  $\times 20$
- 5 泥岩铜矿. 泥岩铜矿中的一植物小根,星点状辉铜矿沿小根外缘发育.  $\times 20$
- 6 泥岩铜矿. 辉铜矿(亮白色者)产在腐泥基质内(黑色部分),图中方块为石盐假晶.  $\times 120$
- 7 砂岩铜矿. 辉铜矿(亮白色者)呈不规则雁行状产生在镜质体(灰色部分)内,这是张剪形成的一种特殊的裂隙. 镜质体上的黑色斜道系磨料形成的擦痕.  $\times 80$





## 参 考 文 献

- 1 郭文魁,常印佛,黄崇轲. 我国主要类型铜矿床成矿和分布问题. 地质学报, 1978, 52(3): 169~181
- 2 刘宝君主编. 沉积岩石学. 北京:地质出版社, 1980, 480
- 3 冉崇英,张智筠,刘卫华等. 康滇裂谷旋回与铜矿层楼结构及其地球化学演化. 中国科学, 1994, 24(3): 325~330
- 4 Huyck H L O, Chorey R W. Stratigraphic and petrographic comparison of the Creta and Kupferschiefer copper shale deposits. Mineral Deposita, 1991, 26(2): 132~142
- 5 Hawley J E, Nichol I. Trace elements in pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite of different ores. Econ. Geol., 1961, 56(5): 467~487
- 6 Hills L, Solomon M. Cobalt, nickel and selenium in sulfides as indicators of ore genesis. Mineral Deposita, 1967, 2(3): 228~242
- 7 Bralía A, Sabatini G, Troja F A. . Revaluation of the Co/Ni ratio in pyrite and geochemical tool in ore genesis problems. Mineral Deposita, 1979, 14(4): 353~374
- 8 Bajwah Z U, Seccombe R K, Offler R. Trace element distribution, Co: Ni ratios and genesis of the Big Cadia iron—copper deposit, New South Wales, Australia. Mineral Deposita, 1987, 22(3): 292~300
- 9 Vogt J H, Kollenberg W. Genetic implications of geochemical factor analysis in a sediment-hosted Cu-Pb-Ba Mineralization. Mineral Deposita, 1987, 22(2): 151~160
- 10 Debb M. Sulfur and carbon isotope compositions in the stratiform Zn-Pb-Cu sulfide deposits of the Rajpura-Dariba belt, Rajasthan, India: A model of ore genesis. Mineral Deposita, 1986, 21(4): 313~321
- 11 Scott K M, Smith J W, Sun S S, Taylor G F. Proterozoic copper deposits in NW Queensland, Australia: Sulfur isotopic data. Mineral Deposita, 1985, 20(2): 116~126
- 12 Chen W. Mesozoic and Cenozoic sandstone-hosted copper deposits in South China. Mineral Deposita, 1988, 23(3): 262~267

<http://www.kcdz.ac.cn/>

# GENESIS AND METALLOGENIC MODEL OF THE CHEJIANG COPPER DEPOSIT, HUNAN PROVINCE

Zhong Jianhua

(China University of Petroleum, Dongying 257062)

Li Zian

(Institute of Geotectonics, Academia Sinica, Changsha 410013)

**Key words:** copper deposit, organic matter, red formation, genesis of ore deposit, metallogenic model, Dongjiang

## Abstract

The Chejiang deposit is located in Hengyang basin, Hunan Province, and the copper deposit is lithologically divisible evidently into two types: cupreous mudstone and cupreous sandstone, both containing a great deal of organic matter. Studies indicate that organic carbon in the copper deposit ranges from 0.2% to 11.74% whereas organic detritus from 4.82% to 21.08%. Copper content and copper minerals have positive correlation with organic carbon and organic detritus. It is observed under microscope that copper minerals are invariably associated with organic detritus, suggesting the genetic connection between the copper deposit and organic matter. The  $\delta^{34}\text{S}$  values in the range of  $-19.02\text{‰} \sim -39.31\text{‰}$  show features of biogenic and/or sedimentary origin. Co/Ni ratios of the copper deposit range from 0.43 to 1.84 (0.94 on the average), implying features of sedimentary origin. The colitic mudstone-type copper deposit shows enrichment of uranium anomaly, and the maximum uranium content is as high as  $842 \times 10^{-6}$ , reaching the grade of a poor uranium deposit.

The reflectance of the organic matter from the Chejiang copper deposit ranges from 0.601% to 0.642%. On the basis of Bostick's graphic interpretation, the ore-forming temperature is estimated to be between 81°C and 95°C, quite consistent with the temperature (93°C) obtained from the ore microscopy analysis. This suggests that the Chejiang copper deposit was formed at low temperature. A multidisciplinary analysis indicates that the Chejiang copper deposit is a low-temperature sedimentary type deposit which underwent sedimentation diagenetic enrichment and supergene enrichment.