

东川式铜矿的成因再探

阮惠础 华仁民 倪 培

(南京大学地球科学系)

提要 占东川式铜矿储量90%的层状铜矿体,犹如世界许多著名的层状铜矿床的成矿过程一样,并不是同生沉积作用期间简单地直接沉淀富集的。该类型铜矿石的形成,至少经历了铁的硫化物的同生沉积和铜的硫化物的成岩交代两个成矿阶段。

关键词 造叠层石藻类 马尾丝状构造 相关矩阵

东川式铜矿为一受控于中元古界昆阳群落雪组及其之下“过渡层”白云岩中的典型层状铜矿。

据文献记载,“东川式铜矿”一名最早由谢家荣先生(1941)提出的。在五十年代中期以前的较长时期内,众多学者均将其视为“与闪长岩类有关的岩浆液液矿床^①。1960年后,孟宪民先生首先对“岩浆热液”的成因见解提出怀疑,并指出“可能是沉积成因”^②。“沉积成因”的见解较符合东川式层状铜矿的宏观特征,所以为许多学者所赞同(舒全安、李希绩、王可南和龚琳等)。其后部分学者将注意力集中于造叠层石藻类对铜的吸附富集作用^③。另一部分学者则注意到了区域变质或成岩作用对铜的富集意义(施林道,1980,论变质岩型铜矿的成矿机理;王可南,1982;桂林冶金地质研究所铜组1975年东川铜矿的地层岩石特征及其成矿关系)强调了成矿物质的火山来源,提出了“火山—沉积浅变质”的成因见解。冉崇英1983和1986年(康滇地轴层控铜矿的成矿机理研究)则将本类矿床的成矿机理概括为“陆源吸取加热卤水萃取,有机质参与,(藻控)成岩成矿改造富集”。

现代矿床研究表明,“沉积作用”一词的涵义已远非昔日的内容;而且越来越多的事实证明,在一般所谓的沉积环境下,除黄铁矿或马基诺矿外,其它金属硫化物几乎都不可能直接从海水中沉淀富集达到可供工业开采的品位。为此,笔者感到甚有必要重新研究和认识东川式铜矿可能的成矿机理,故自1985年起,先后逐一地对滇川分布的本类型铜矿的主要矿区进行了两年的野外调查,并于1987年春初步完成了室内研究。研究的结果表明,东川地区层状铜矿的铜矿物不是直接从海水中沉淀的,有机质对本类铜矿床的形成起了重要的作用;铁的硫化物是铜矿物形成的还原剂。简言之,东川铜矿的成矿作用过程是与国内外文献中经常提及的现象和过程是相一致的(B. Bowen等,1977; Ian B. Lanabert等,1984; 涂光炽等,1984)。对此,笔者将逐一予以论证。

①龚琳等,1979. 论“东川式铜矿”的成因。

②冉洪范,1986. 东川铜矿的基本地质特征。

③李兴振,1986. 叠层石与东川式铜矿的成生联系。

本文所讨论的仅局限于云南东川地区发育的本类型铜矿,至于该矿区的区域和矿区地质,在本文所列的文献中已有详述,故不再赘言。

一. 层状铜矿的宏观特征

以海相沉积碳酸盐为主岩的东川式层状铜矿,主要呈层状、似层状和部分透镜状矿体产于白云岩、含藻白云岩及泥砂质白云岩中,其产状与主岩地层基本一致,呈整合接触关系(图1)。东川地区的层状铜矿可细分为四个赋矿层位(图2),沿走向,赋矿层位具有明显的垂向变迁,其中(A)和(B)层位产出的层状铜矿体有最大的和最稳定的延展性。

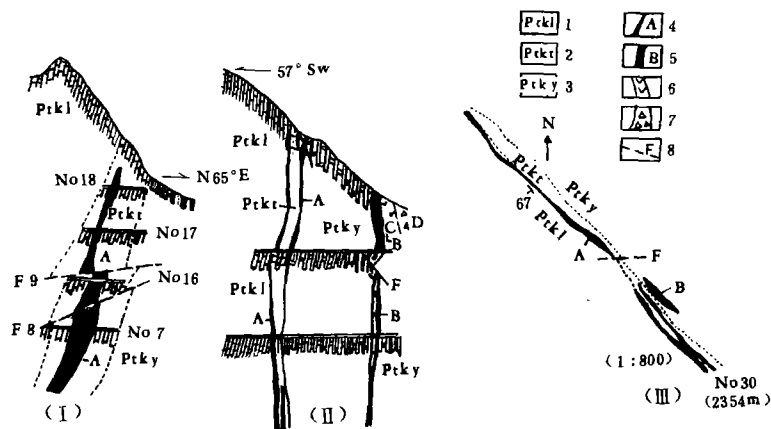


图1 东川地区层状铜矿示意剖面 and 平面图

(I) 因民猴跳崖6号矿体示意剖面图(据姚文勋) (II) 落雪稀矿山示意剖面图(据西南冶勘314队)

(III) 因民面山30号沿脉(2354m 高程)示意平面图(据王效承)

1—落雪组;2—“过渡层”;3—因民组;4—东川式层状铜矿体;5—因民组铁铜矿;

6—东川式脉状富矿;7—辉长辉绿岩;8—“因民角砾岩”;9—断层

Fig. 1 The schematic sectional and plan diagram for Dongchuan copper ore bodies

I—Sectional diagram of Houtiaoya No. 6 orebody II—Sectional diagram of xikuangshan orebody, Laoxue mine

III—Sectional diagram of Mianshan No. 30 gallery(2354 m level), Yinmin mine

矿石矿物以斑铜矿和黄铜矿为主,辉铜矿,铜兰和硫砷铜矿为次,黝铜矿仅见于少数矿体;含钴的硫化物及硫砷化合物亦有所见,但数量远低于易门地区;脉石矿物以白云石、方解石和石英为主;其它见到的各种矿物有:黄铁矿、绿泥石、绢云母、磷灰石、磁铁矿、斜长石和重晶石等,并见有电气石。矿石的宏观构造为层纹状、细粒浸染状、条带状和称为“马尾丝构造”的叠层石状等。

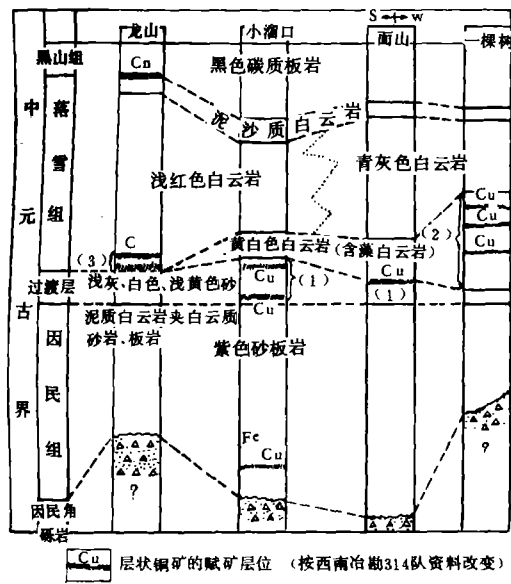


图2 东川式层状铜矿赋矿层位示意图

Fig. 2. The schematic positioning diagram of different ore-bearing horizons and beds of stratiform copper orebodies in Dongchuan copper mining area

注意的是,在上述的层纹状构造的矿石中,铜的硫化物(主要为黄铜矿)与粒度增大的脉石矿物共生,两者多半呈交代或不规则细脉切割关系(照片1)。根据上述的关系,铜的硫化物决不可能是一种同生沉积的产物。

采自因民矿区层状铜矿石(包括微层纹状马尾丝状矿石)的光片中,发现了一些呈浸染状分布、部分具自形立方体晶形的微细粒状黄铁矿。这些黄铁矿有时可见到被黄铜矿交代的现象,并见到了呈黄铁矿假象的黄铜矿(照片2和3)。上述的黄铁矿和黄铜矿的成分经电子探针测定列于表1。

东川因民矿区层状铜矿石中金属硫化物的电子探针成分分析(%) 表1

Table 1. The values of sulfide compositions determined by electronic probe for stratiform copper ores in yinmin

标本号	鉴定矿物	Ni	Cu	As	Co	Zn	Ag	S	Fe	Pb	Se
1—4	黄铁矿	0.03	0.20	0.05	0.09			53.49	45.55	0.05	
	黄铜矿	0.01	34.05		0.03		0.15	33.96	29.39	0.03	

测定单位:安徽省鞍山矿山研究院实验室

层状铜矿体在空间上与造叠层石藻类关系密切。当白云岩中发育有数层藻类层时,层状铜矿多半发育于最下层位的藻类层中。其马尾丝状矿石的矿石矿物组合往往随地而异,在东川因民矿区,具此种构造的矿石主要由黄铜矿组成,而在落雪矿区则包括有辉铜矿和斑铜矿,并见有少数黝铜矿。

二、矿石的微观特征

对层纹状矿石镜下鉴定发现,铜的矿石矿物与其周围的脉石矿物之间显示了后生的微观构造特征。层纹状或微层纹状构造的组构,实际上是由微粒碳酸盐矿物和粒度明显增大的碳酸盐、石英矿物等集合体的微层,相间成层所构成。所谓的“马尾丝状构造”也由这样的互层构成。值得注意的是,

近日,笔者在切制取自因民地区落雪组底部白云岩薄片时,偶然发现了白云岩中发育的由微细粒状黄铁矿集合体构成的隋园形黄铁矿“结核”(照片4),它们平行于白云岩的微斜层理产出,自“结核”的边缘至核部,黄铁矿颗粒的分布密度由疏逐渐加密;至核部构成了几乎全由结晶较粗的黄铁矿密集颗粒组成的浑园状球体。镜下鉴定(图3)表明,它们主要的为自形至半自形颗粒的黄铁矿。笔者推测,在落雪组沉积的同时,确实有胶状铁的硫化物的同时沉积。不过,标本上见到的微细粒状黄铁矿可能已经脱胶变晶作用。从照片2和3上见到的黄铁矿交代黄铁矿晶体的现象推测,此种脱胶变晶作用最迟在成岩作用的早期已发生。此外,取自落雪矿区的层纹状矿石光片中,可见到斑铜矿被辉铜矿包围;辉铜矿又被黝铜矿所包围的现象。此种现象与因民矿区靠近Ⅲ号裂隙富矿体的层状矿石中所见的热液交代形成的铜的矿石矿物之间的关系十分相似,在该处还可以清晰地见到黄铜矿被斑铜矿所交代、使前者呈残余。

另外,因民组顶部和“过渡层”下部的白云质碎屑岩和含碎屑白云岩的薄片,置于阴极发射显微镜下,发现了许多石膏类矿物淋滤后留下的空洞(照片4)。关于东川地区石膏类矿物的存在,前人的工作早有定论,(龚琳等,1979,论“东川式铜矿”的成因)本文拟在稍后来探讨石膏类矿物的发育与本类铜矿的成因联系。

三、各种测试的结果及其提供的信息

1. 有机炭含量

采自因民地区板岩、白云岩和矿石的有机炭含量测定结果列于表2。尽管表2所列举的有机炭的含量值并不能代表沉积作用阶段的原始含量,但仍能清楚地显示以下两个规律:(1)凡有不同程度铜矿化的岩石,它们的有机炭含量均显著地高于未矿化者,即使脉状矿(Ⅲ号裂隙富矿)矿石也是如此;(2)在基本上按地层顺序采集的落雪组剖面标本(随标本号增大地层层位升高,唯1—4号标本例外)测定结果表明,有机炭的含量越接近矿化层位越高。此外,根据上述剖面的岩石获得的微量元素含量,求得与有机炭含量之间的相关矩阵和R型聚谱系表明,两者之间的相关系数达0.90(表3),上述的结果都清晰地显示了有机炭与铜硫化物的富集之间确是有着一定的成因联系。根据理论分析,有机质的存在对铜的富集至少有两个方面的

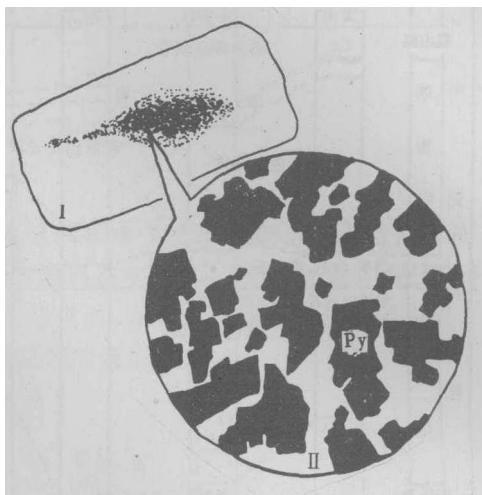
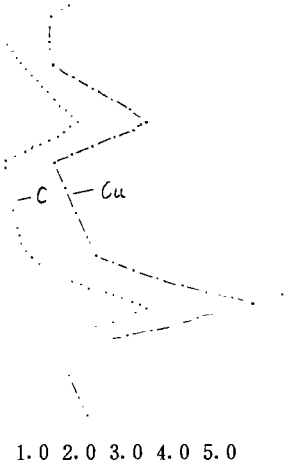


图3. 因民地区落雪组白云岩中黄铁矿“结核”素描
I—标本原大 II—显微镜素描×160

Fig. 3 Sketch map of Pyritic “nodule” within the dolomite of Luoxue Formation in Yimin area.
I—Sample, x1 II—Sketch map on the microscope. x160

因民地区有关岩石矿石有机炭含量 表 2

Table 2. The results of determined organic carbon in Various ores and rocks in Dongchuan copper mining area

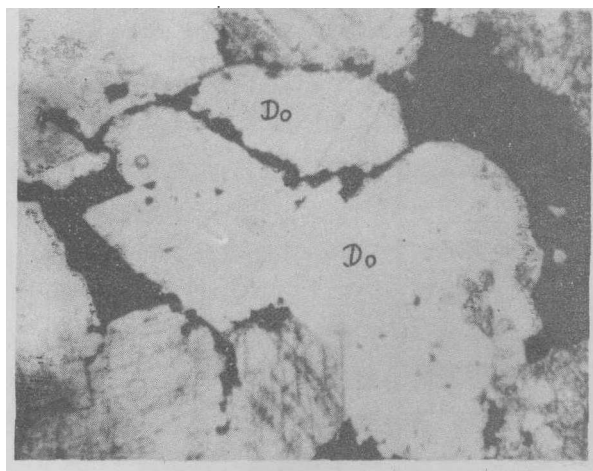
样品号	岩 性	有机炭含量(%)	有机炭和铜含量曲线 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 (C%)
I-15	黑山组板岩	0.14	
I-28	落雪组白云岩	0.05	
I-27	落雪组白云岩	0.06	
I-26	落雪组矿化白云岩	0.20	
I-25	落雪组白云岩	0.06	
I-24	落雪组含藻白云岩	0.09	
I-23	落雪组矿化白云岩	0.11	
I-4	落雪组强矿化叠层石	0.36	
I-21	落雪组矿化白云岩	0.11	
I-20	落雪组肉红色白云岩	0.07	
I-30	因民组板岩	0.02	
D-53	Ⅲ号裂隙富矿脉	0.33	Log Cu(ppm)
D-116	Ⅲ号裂隙富矿脉	0.33	

分析单位：有机炭由无锡石油中心实验室测定铜含量由江苏地矿局中心实验室测定

因民赋矿主岩中有机炭和微量元素相关系数 表 3

Table 3. The results of relational factors between organic carbon and trace elements for host rocks in Yinmin

变量(A)	变量(B)	相关系数	变量(A)	变量(B)	相关系数
有 机 炭	Ba	-0.33	有 机 炭	P	-0.30
	Be	-0.50		Pb	0.80
	Co	0.27		Sr	-0.27
	Cr	-0.35		Th	-0.23
	La	-0.12		Ti	-0.38
	Li	-0.44		V	-0.29
	Mn	-0.01		Y	-0.21
	Nb	-0.25		Zn	0.84
	Ni	-0.20		Cu	0.90



照片 1. 微粒碳酸盐(右边)矿物和粒度明显增大的碳酸盐、石英矿物集合体(中至左侧)相间成层。铜的硫化物(主要为黄铜矿黑色)呈不规则细脉切割增大的碳酸盐矿物、左上方可见被切割成两部分的白云石颗粒(D₀)解理的连续性。

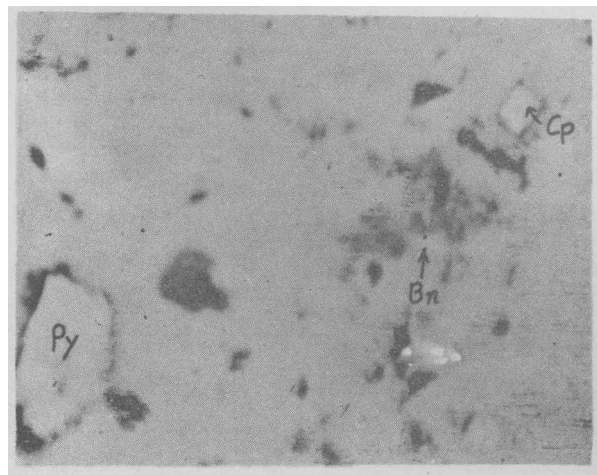
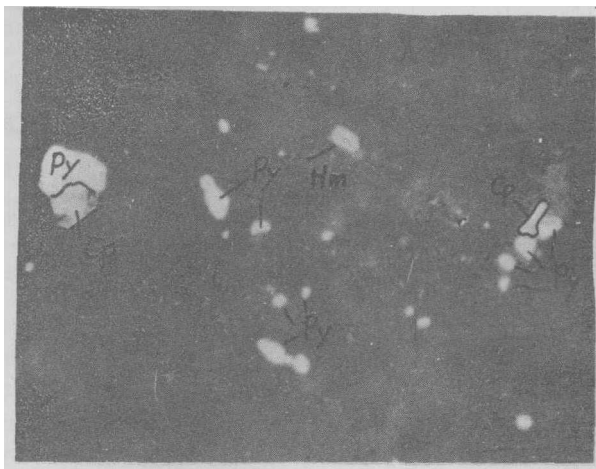
(因民矿区, 马尾丝状矿石)

薄片, 单偏光, 约×50

照片 2 背景为脉石矿物, 微细粒状黄铁矿(Py)呈稀疏浸染状, 左中部和右中部均可见黄铁矿被黄铜矿(Cp)交代, 使前者呈残余结构。中间灰色者条状为赤铁矿(Hm)。

(因民矿区 马尾丝状矿石)

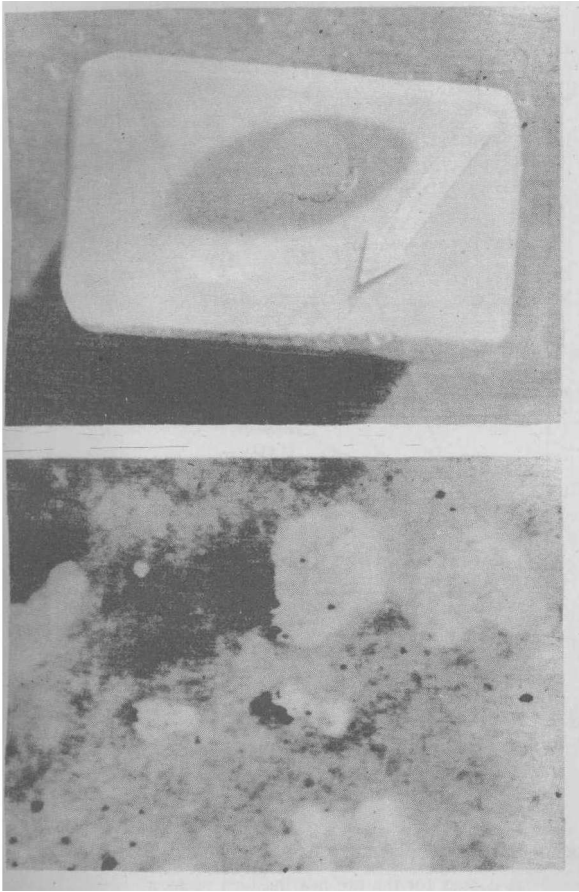
电探光片摄影, ×500



照片 3 背景为脉石矿物, 图中上部可见呈黄铁矿立方体假象的黄铜矿(Cp), 该颗粒黄铜矿的电探成分列于表 1, 图中部为斑铜矿(Bn.)

(因民矿区 马尾丝状矿石)

电子探针照片, 光片, ×500



照片 4 落雪组底部砂质白云岩中由微细粒状黄铁矿组成的“结核体”。从边缘至中心，黄铁矿颗粒逐渐变粗，密度增大，“结核体”的左下角淡青色部分亦见有稀疏分布的细粒黄铁矿。

(因民地区 落雪组底部)
光片，原大

照片 5 因民矿区“过渡层”下部含泥砂质白云岩中残留的石膏溶孔，局部可见六边形轮廓，已被浅色的碳酸盐所充填。

(因民矿区，“过渡层”下部)
阴极发射显微摄影，1 约×18

东川赋矿围岩碳、氧同位素测定结果

表 4

Table 4. The values of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ for stratiform copper-bearing host rocks in Dongchuan

样 品 号	样 品 名 称	$\delta^{13}C$ PDB	$\delta^{18}O$ SMOW
L×13A	白云岩	1.00	20.99
L×13B	白云岩	1.05	21.12
L32A	肉红色白云岩	1.28	21.88
L32B	肉红色白云岩	1.31	21.99
Y18	退色白云岩	0.80	19.08
Y33	退色白云岩	0.87	19.82
Y34A	浅紫红色白云岩	0.79	19.16
Y34B	浅紫红色白云岩	0.82	19.23

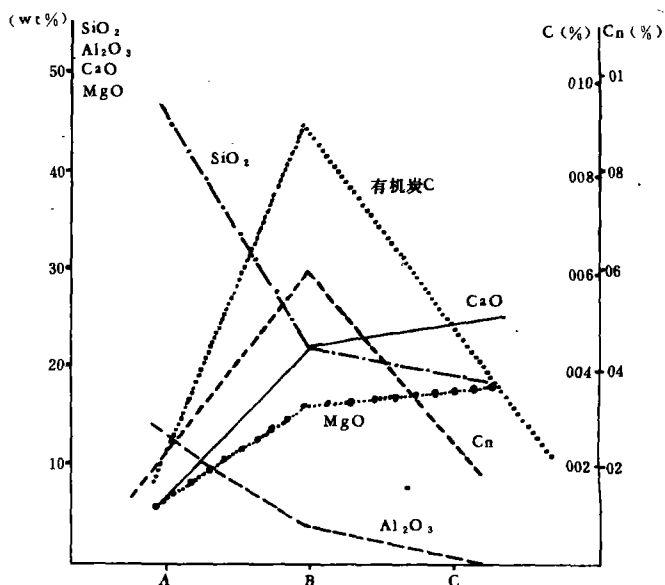
测定单位：南京大学地质系质谱实验室

重要作用：①有机质的发育为还原硫的产生创造了必要的条件，而还原硫又是形成金属硫化物必不可少的物质；②在成岩作用期间铜的活化转移甚有可能是以有机络合物的方式进行的（B. Bowen 等 1977）。就东川具体矿区而言，上述的有机质的两种作用究竟属于前者或后者为主，抑或两者皆有之，尚还难以定论，但有机炭与铜的富集有如此密切的空间关系，至少为笔者推测东川地区铜的富集机制提供了有机质肯定起着重要作用的依据。对此，将在本文稍后的讨论中进一步予以论证。

2. 含矿围岩的主要氧化物含量

自矿层下伏因民组紫色层（板岩为主），经“过渡层”（泥砂质白云岩）至落雪组（浅红色白云岩）采集的各类岩石主要氧化物测定结果表明，在上述剖面中，自下而上， SiO_2 和 Al_2O_3 含量是逐渐递减的，而 CaO 与 MgO 则循序增高，铜的富集是出现在上述主要氧化物的中值附近（图 4）。东川地区围岩的主要氧化物含量与铜的富集关系，从宏观观察，似乎得出了纯粹的白云岩或泥砂岩都不利于铜的富集的认识。其实，就世界各国的层状铜矿的赋矿主岩岩性而言，无论是砂

岩，粉砂岩，以及纯白云岩都可以成为铜矿的赋矿围岩。在东川地区，铜的定位较大程度上是取决于围岩中作为“还原剂”的铁硫化物以及产生还原硫的有机质的发育与否，而不是取决于围岩的岩性成分。但是，在具有韵律构造的含泥砂质白云岩中（图 5），铜的硫化物确实集中发育在它们的泥砂质条带发育的部位，特别是有增大颗粒的泥质条带内。按笔者的拙见，上述现象是否意味着在具备上述铜的定位条件下，较粗的颗粒条带甚有可能为活化转移的含铜溶液的渗透作用提供了有利的空间。



A—因民组板岩为主； B—泥砂质白云岩（“过渡层”）； C—浅红色白云岩（落雪组）

图 4 东川铜矿区含矿围岩主要氧化物、有机炭和铜含量相关曲线

A—因民组板岩为主；B—泥砂质白云岩；

C—浅红色白云岩（落雪组）

Fig. 4. The diagram of major oxides, organic carbon as well as copper for the ore-bearing host rocks in Dongchuan copper mining area

A—The slates and intercalated dolomites (Ptk y);

B—The argillic and andy dolomites (Ptk-Transition Layer);

C—The pink dolomites (ptk 1).

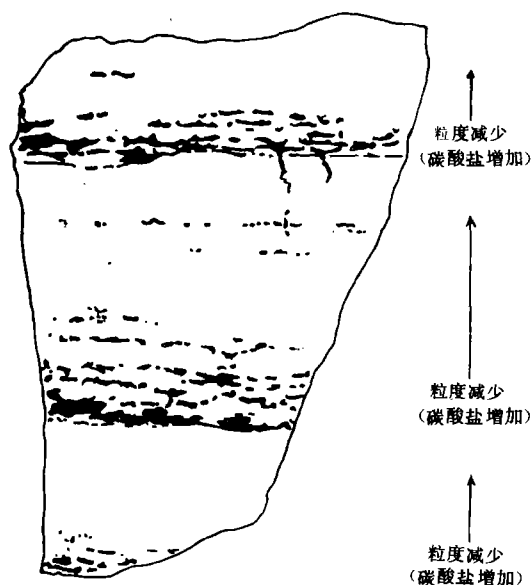


图5. 因民地区韵律状构造铜矿石素描

(黑色为金属硫化物)标本原大

Fig. 5 Sketch map for copper ore of rhythmic structure
(Black-Metallic sulphides)

5. 硫同位素组分特征

东川地区落雪组层状铜矿中黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿共22个样品硫同位素的变化范围为 -0.5% 到 14.5% ($\delta^{34}\text{S}$)，中平均值为 $+5.08\%$ ， $\delta^{34}\text{S}$ 值明显地小于现代海水值(图6)。东川层状铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与国外其它层状铜矿有其相似性，其 $\delta^{34}\text{S}$ 值总体上落在世界著名的同类铜矿的范围内，尤其与Katangan更为相似，以 $\delta^{34}\text{S}$ 正值为特征。这意味着“这些金属硫化物的硫是由细菌对某种硫酸盐的还原作用产生的”

I. B. Lanbert 等, 1980)。

根据桂林冶金地质研究所同位素室1976年(冶金部地质研究所同位素室, 1976; 我国主要类型铜矿的硫同位素分布特征)和本文作者测定的、取自“过渡层”层状矿至落雪组中部团核状矿石的斑铜矿和辉铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值(表7)，不难看出，随着层状铜矿赋矿层位由下而上， $\delta^{34}\text{S}$ 值显示逐渐增大的趋势。南澳大利亚Adelaide铜矿亦有类似的情景(Ian B. Lanbert 等, 1984)。

3. 碳同位素结果

(有关碳、氧同位素，笔已有另外文章进行探讨，本文中仅叙述主要测定结果，详情可参阅《东川铜矿的碳氧同位素特征》桂林冶金地质学院学报, 1988. No. 1)

取自东川矿区层状、似层状矿体上、下盘围岩，即落雪组底部和“过渡层”白云岩类，包括落雪组肉红色白云岩。“过渡层”浅紫色白云岩以及退色白云岩等碳酸盐样品的碳同位素结果列于表4。这些样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Pdb}}$ 值从 0.79% 到 1.31% ，变化范围较小(仅 0.52%)。

4. 氧同位素结果

表4所列的东川地区层状矿体围岩白云岩类的氧同位素值从 19.08% 到 21.99% ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$)，变化范围仅为 2.91% ，平均值为 20.41% ，它们为前寒武纪正常的沉积碳酸盐值(前寒武纪沉积碳酸盐岩之平均值为 $20.0 \pm 4\%$ ，李兆龙等, 1986)。

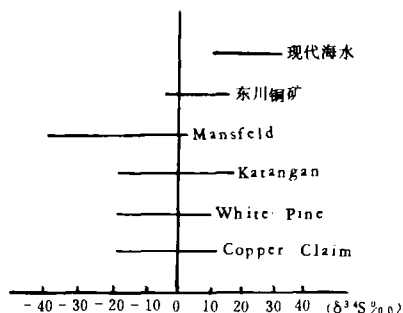


图6 东川铜矿区与世界其它层状铜矿硫同位素值对比

Fig. 6 The values of sulfur isotope for Dongchuan copper mining area and other stratiform copper ores in the world

东川铜矿区落雪组不同层位铜的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值

表 5

Table 5. The variations of sulfur-isotopic composition of ore minerals for different horizons of Luoxue Formation and transition Layer in Dongchuan copper mining area.

地 层	测 定 矿 物 及 特 征	样品数	$\delta^{34}\text{S}$ 平均值
落雪组中部	团核状矿石, 辉铜矿, 斑铜矿	6	+9.73
落雪组下部	含藻白云岩中斑铜矿, 辉铜矿	4	+4.0
落雪组底部	斑点状矿石中斑铜矿, 辉铜矿	4	+1.58
“过渡层”	白云岩中层纹状矿石, 斑铜矿, 辉铜矿	4	+1.50

资料来源: 桂林冶金研究所同位素室及本文作者

导致上述趋势出现的因素是多方面的。就东川而言, 甚有可能与沉积期间生物作用的强度有关。这是因为: (1) 成因与生物活动有关的黄铁矿 (它是成岩作用期间交代形成铜的硫化物的还原剂) 是以“轻”硫为主的 (涂光炽等, 1984); (2) 按东川地区地层剖面, 自“过渡层”和落雪组底部至落雪组的中部, 其生物活动的强度是逐渐减弱的。

6. 包体成分测定

采自层状铜矿中不切层的成岩期石英脉的石英测得的包体液相成分和气相摄谱结果列表 6、7。根据层状石英包体成分, 推测成岩时期成矿热液大致属 $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$ 型, 具有热卤水性, 并呈弱碱性溶液。层状矿 8 个样品石英匀一化温度最佳范围 109~209℃ (昆明工学院层控矿床学科组 (1986) 康滇地轴层控铜矿成矿理论研究); 估计氧逸度约为 $10^{-32} \sim 10^{-41} \text{ Pa}$, 故层状矿体铜的硫化物形成时热卤水的物理化学条件为: $\text{PH} = 6.7 \sim 6.9$ (测定样品水标准 $\text{PH} = 6.01$); $E_h = 52.71 \sim 46.80 \text{ mV}$; $f_{\text{O}_2} = 10^{-32} \sim 10^{-41} \text{ Pa}$; $T = 109 \sim 209^\circ\text{C}$; * 盐度 = 16.7wt%^①

东川层状铜矿顺层成岩石英脉石英的包体成分测定

表 6

Table 6. The major gas composition of fluid inclusions in Dongchuan copper mining area

矿石类型	样品数	PH	Eh (mv)	电导率	K^+ (ppm)	Na^+ (ppm)	Ca^{++} (ppm)	Mg^{++} (ppm)	HCO_3^- (ppm)	F^- (ppm)	Cl^- (ppm)	SO_4^{--} (ppm)
层状铜矿	6	6.8	52.71	0.57	0.34	1.46	3.37	5.09	5.25	1.26	3.95	0.97
测定水标准		6.01										

分析测定单位: 南大地质系包体实验室

7. 稀土配分和微量元素特征

从因民组、落雪组地层和东川地区各种火成岩的稀土配分曲线 (图 7) 得知, 层状铜矿矿石

① (* 据昆明工学院层控矿床学科组, 1986)

东川层状铜矿顺层成岩石英脉石英的包体气相色谱成分

表 7

Table 7. The average major gas compositions of fluid inclusions for stratiform copper ores
in Dongchuan copper mining ares

矿石类型	样品数	主要气相摄谱成分			
		CO ₂ (ml/100g)	CH ₄ (ml/100g)	H ₂ O(mg/100g)	CO(ml/100g)
层状铜矿	2	14.26	1.05	116.16	144.46

分析测定单位:南京大学地质系包体实验室

(甚至包括脉状铜矿矿石)的稀土配分曲线都非常相似于赋矿层位的白云岩,而与因民组岩石以及各类火成岩体之间的差异却异常显著。此外,在微量元素特征方面也表现出这种差异:在赋矿层含泥砂质白云岩中,铜与铅关系最密切,相关系数达 0.94;而在火成岩中,铜与锰的关系最密切(相关系数为 0.86),其次为锌(相关系数为 0.82)。上述结果证明,矿石矿物与赋矿层位不纯白云岩之间存在有某种亲缘关系,而与火成岩之间却并未显示任何继承关系。

四、讨论

东川层状矿石中铜的硫化物交代微细粒状黄铁矿,以及与其周围往往增大的脉石矿物的交代或细脉切割等现象的发现和确定,使该区域层状铜矿的矿化作用过程能与世界许多著名的层状铜矿相比较。据国外资料,“世界此类型铜矿中,黄铁矿是一种普遍存在的矿物;从矿相显微镜下取得的资料表明,铜和钴(的硫化物)都是属于黄铁矿形成后转移迭加的矿物”(R. Bowen 等,1977)。

上述的黄铁矿,一般可由两种途径形成:一是共生或成岩阶段细菌还原硫酸盐,即由生物反应下形成;另一种可能是发生在成岩后期的改造作用,是由于高炭质层热分解提供 H₂S 和 CH₄、CH₂ 或可以在细菌还原下,或当温度达到 100~150℃ 时,在无生物反应下还原硫酸盐,产生 H₂S, H₂S 与 Fe 反应亦可形成黄铁矿。判别上述两种黄铁矿的成因标志是:由细菌还原硫酸盐形成的黄铁矿多半以“轻”硫为主(涂光炽等,1984)。尽管对于东川层状矿石中微细粒状黄铁矿尚难以挑选出单矿物来直接测 1 其相应的硫同位素值,但根据(1)交代黄铁矿形成的铜的硫化物总体上呈现“轻”硫即富 ³²S 为特征;(2)较“重”硫的出现在空间上又与地层中生物活动强度的减弱相对应,故笔者推测,这些黄铁矿多半应视为经细菌还原作用的产物。但是,鉴于铜的富集层中有机炭的含量较未见铜矿化的层位中为高,特别是脉状矿(III 裂隙脉)矿石的有机炭含量也甚高,所以不能排除东川地区同时存在着无生物反应产生的 H₂S 和 CH₄,形成金属硫化物的可能性,特别是在成岩作用期间。

造叠层石藻类的大量发育,为厌氧细菌的产生创造了必要的条件;而石膏类矿物的存在又是厌氧细菌还原产生 HS⁻和 H₂S 的必需组分。藻类在特定条件下腐烂分解产生的有机质(无疑是富矿层中较高有机炭的来源之一),它们的氧化所造成的较低的 PH 值环境又将有利于铜的富集。这便是藻类繁殖和硬石膏等硫酸盐的发育对东川层状铜矿的形成所具重要意义的实

质所在。但是,同时必须指出的是在藻类繁殖或石膏类矿物沉淀的当时,对铜的沉淀和富集都是甚为不利的。这是因为:(1)“溶液中的铜、铅、锌等金属对活的藻类是有毒的;藻类为抵制这些有害于它们的金属,竭力将它们从藻类生活区排除出去”。(K. K. Verma, 1980 年:叠层石与矿化。中译本)所以,去不存在什么活着的藻类会从海水中吸附铜,并使铜富集的可能;(2)“石膏类与铜矿化之间明显地呈现一种“不相容”的关系,随着硬石膏的消失,铜的品位才达到它最高水平”(R. Bowen 等, 1977)。所以,封闭或半封闭的泻湖盆地环境的本身,是并不有利于铜的直接沉淀或富集的。

东川地区赋矿层碳酸盐的氧同位素的平均值,明显低于现代海沉积的碳酸盐($\delta^{18}O = 25.05\%$, 王英华等, 1983)。这或者是在漫长地质历史中与裂隙水进行氧同位素交换,达到 ^{18}O 含量的重新平衡(Hoefs, 1973),或者是成岩—变质过程中使得 $\delta^{18}O$ 值降低(Shieh 和 Taylor, 1969)所致。根据上述的东川地区层状矿石石英包体的氢氧同位素值〔 $\delta^{18}O = 6.84$, $\delta D = -71.8$ (昆明工学院层控矿床学科组, 1986, 康滇地轴层控铜矿成矿机理研究)],它们的投影落在花岗岩,变质岩及大气降水的区域。鉴于矿区内均未见有花岗岩,昆阳群的区域变质作用又甚轻微,温度又小于 $300^{\circ}C$,故笔者推测,构成成岩交代的热卤水可能仅相当于成岩后期脱水作用产生的粒间水,并局部也受到了当时大气降水的影响。

稀土配分和微量元素测定结果表明,构成层状铜矿石的铜与其赋矿白云岩关系甚为密切,而与区域内火成岩无关。笔者认为,成岩作用过程中铜的来源主要来自呈分散状态被粘土质,有机质或铁锰氢氧化物所吸附并沉淀于沉积物中的铜。

五、成因探讨—东川式铜矿的成矿机制

根据上述的所有资料,笔者认为,东川式层状铜矿的铜的硫化物并不是在同生沉积时期直接从海水中沉淀富集的,整个矿化过程可以分为同生沉积时期铁的氧化物、硫化物沉淀阶段和成岩时期富铜热卤水的改造叠层阶段。

同生沉积阶段的因民组沉积期间,海盆地处于较强的氧化沉积环境,故有赤铁矿的沉淀;其后海盆地转变为炎热干燥的气候条件,蒸发作用较强烈,形成了一定数量的硫酸盐等盐类沉淀;大致自落雪组开始沉积时起,伴随有一次较大规模的海浸,气候也随之变得和暖,繁殖了大量的造叠层石藻类。藻类的新陈代谢,局部地段由于沉积物的复盖,死亡的藻类软组织发生腐

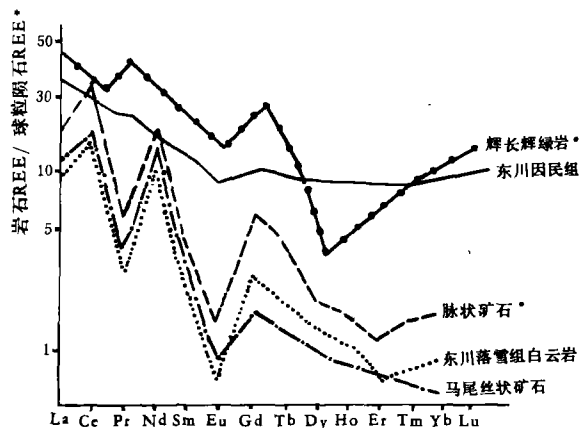


图7 各种矿石和岩石类型 REE 配分曲线

Fig. 7 The REE distribution patterns of various rock and types of ores

烂,厌氧细菌的大量产生,造成了还原环境。在这样的环境下,细菌与海水中的硫酸盐的硫发生反应,便有 HS^- 、 H_2S 等还原硫的形成。它们一旦与海水中的铁发生化合,就形成了微细粒状或“结核状”铁的硫化物。这些同生沉积期间沉淀的铁硫化物,当初未必就是现今所见到的黄铁矿,它们甚有可能是呈胶黄铁矿或马基诺矿等形式沉积。上述铁硫化物必然是沉淀在富有机质的,有藻类生活痕迹的沉积物中。在同生沉积期间,铜主要被粘土质,有机质或铁锰氧化物所吸附,在沉积物呈分散状态产出。

进入成岩作用阶段,沉积物经受了埋藏,压实、固化的过程中发生的成岩变质作用。除了沉积物原有的间隙水外,根据氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)明显低于现代海相沉积的碳酸盐,表明这些赋矿围岩的碳酸盐“已经与地下水进行过交换”(I. B. Lambert, 1980年)、所以,在成岩期间有大气降水沿有利的裂隙构造运移渗透到含矿围岩中。沉积物间隙水和大气降水混合形成的流体,在其渗透扩散运移的过程中溶解了地层中的有关盐分及有机质,形成了大致成分为 Na^{2+} 、 $(\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+})-\text{HCO}_3^--\text{Cl}^-$ 型的,富有机质的含矿热卤水。当它们运移扩散到富集有同生沉积铁的硫化物和富有机质的层位时,与作为“还原剂”的铁的硫化物发生交代,促使铜的硫化物在此一层位沉淀富集,形成了东川式铜矿的层状铜矿体。东川式层状铜矿铜的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 多半偏于正值,表明这些铜的硫化物的硫应与南澳的层状铜矿的同类物一样,“是由细菌对某种硫酸盐的还原作用所产生的硫所形成的”(I. B. Lamberg 等, 1980年),由此推测,具有上述硫同位素值的铜的硫化物,即使在光片下见不到残存的同生沉积的铁的硫化物,它们的硫也应是细菌还原硫酸盐的硫。

感谢西南冶勘公司及其所属 314 地质队,东川矿务局等单位在野外调查期间给予的大力支持,感谢本系朱金初、陈武、郑素娟、黄志诚等同志在室内工作期间给予的诸方面帮助。

参考文献

1. 王可南 1987 云南东川铜矿沉积变质作用的地球化学 矿床地质 第一期
2. 涂光炽等 1984 中国层控矿床地球化学(第一卷)科学出版社
3. 冉崇英 1983 东川式层控铜矿的成矿模式 中国科学(B辑)第3期
4. 王英华等 1983 氧、炭同位素组成与碳酸盐成岩作用 地质论评 第三期
5. 李兆龙等 1986 内蒙古中部层控多金属矿床硫、铅、碳和氧同位素及矿床成因 地球化学 第一期
6. B. Bowen and A. Gunatilaka(1977): Copper; Its Geology and Economic. Applied science publishers LTD.
7. Ian B. Lambert et al. (1984): Genesis of late Proterozoic Copper Mineralization, Copper Claim, South Australia. Econ. Geol., Vol. 79.
8. Y. N. Shieh and H. P. Taylor (1969): Oxygen and Carbon Isotope Studies of Contact Metamorphism of Carbonate Rocks. J. Petrol., Vol. 10.
9. J. Hoefs(1973): Stable Isotope Geochemistry. Springer-Verlag.
10. I. B. Lambert et al (1980): Genesis of Upper Proterozoic Stratabound Copper Mineralization, Kapunda, South Australia. "Mineralium Deposita", Vol. 15, No. 1.

NEW APPROACHING TO THE GENESIS OF DONGCHUAN TYPE COPPER DEPOSTTS

Ruan Huichu, Hua Renmin Ni Pei

(Department of Geosciences, Nanjing University)

Abstract

This study shows that the Dongchuan type copper deposits, like other stratiform copper deposits in the world, were not simply formed by sedimentation during syngenetic deposition. The formation of this type ores had at least undergone two stages, of which the first was syngenetic deposition of pyrite and then the diagenetic replacement of these pyrite to form copper sulfides. The death and putrefaction of algae produced abundant organic materials and anaerobic bacteria, which in turn reacted with sea water sulfates to form syngenetic pyrite. The pyrite was again the important reducing agent for the replacement and precipitation of copper sulfides.

According to the fluid inclusion study, the ore-bearing fluid might be a hot brine of 109to209℃ containing organic components. Data form isotope study suggest that the ore-forming brine was composed of mainly interstitial water together with some meteoric water. REE distribution and trace element measurement indicate that copper was mainly from ore-bearing host rock itself. The development of regional deep fractures provided good conditions for the mobilization-transportation of the ore-forming materials in hot brine. A general model of copper mineralization is also proposed in this paper on the basis of above-mentioned results.