

牟定郝家河铜矿床的沉积-改造成因*

秦德先 孟清 杨明初

(昆明工学院地质系, 昆明)

提要: 关于牟定郝家河矿床的成因, 前人主要有沉积同生说、沉积成岩说和后生成矿说等论点。笔者根据近年来研究获得的新资料, 认为矿床为沉积-改造^①成因。

早白垩世晚期—晚白垩世早期, 来自东部古陆的富铜岩石和铜矿床长期风化形成的富铜风化产物, 在氧化淋溶环境形成紫色矿源层。

喜马拉雅早期褶皱运动, 形成了矿区构造, 矿源层中 Cu 活化迁移到背斜鞍部附近等低压空间浅色层中沉淀, 从而形成了工业矿体。

关键词: 滇中砂岩铜矿 沉积改造成因 地质地球化学 紫色矿源层 活化迁移成矿

1 改造成矿的若干证据

1.1 矿区地质概况

郝家河铜矿床产于滇中中生代内陆盆地中段。矿区主要构造(图1)有近南北向的梁基背斜, 北西向的狮子山背斜, 近东西向的 F_1 、 F_{S1} 及近南北向的 F_{S3} 断裂。出露地层自下而上有下白垩统普昌河组、上白垩统马头山组和江底河组, 这些地层自梁基背斜核部往两翼从老到新分布。普昌河组和江底河组的岩性以紫色泥岩为主。马头山组由下部郝家河段和上部清水河段组成。清水河段为紫色泥岩夹砂岩。郝家河段又分为下、中、上三个亚段; 上、下亚段为紫色砂岩、含砾砂岩和砾岩; 中亚段为中细粒砂岩, 其下部为紫色, 上部为浅色。矿体产于狮子山背斜的鞍部附近, 紧靠浅、紫色层界线的浅(灰白)色砂岩中。

1.2 矿床特征与背斜控矿

郝家河矿床由三个矿体群、151个矿体组成北西向矿带。矿带产于狮子山背斜鞍部附近, 并随背斜往南倾没而消失。在平面图上其展布方向与背斜轴大体一致, 主矿体两侧分布有若干零星小矿体, 矿体随背斜消失和远离背斜轴而尖灭。在剖面上矿体呈豆荚状、藕节状, 膨缩现象明显, 顶底板起伏不平, 常见穿层现象。与围岩关系有突变接触、渐变接触和断层接触, 底板常受层间构造控制。矿体内部结构复杂, 常见无矿天窗和特富矿脉(铜品位高达46%, 银210 g/t)。矿体最富厚部位(12~23线)为背斜向北东突出部位。这些特征用沉积(成岩)成因观点无法解释。

1.3 隐伏断裂控矿

储矿层郝家河段以砂岩为主, 其上覆以泥岩为主。由于砂岩和泥岩物理力学性质和变形特征的明显差异, 在郝家河矿床储矿砂岩中隐伏断裂十分发育。隐伏断裂控矿是郝家河矿床的重要特征之一。

隐伏断裂主要有北西和近东西两组。前者控制着矿带的空间位置和展布方向。如 F_{S3} 断裂控制着主矿体(Ⅲ₁)分布, F_{S3} 断裂控制着东部小矿体分布(图1)。

近东西向断裂控制着该方向矿化富集带的形成。在郝家河矿带中已知有4个大致等间距分布的近东西向矿化富集带, 其中平均铜品位1%~2%, 银30~50 g/t。如图2为一近东西向隐伏矿化断裂破碎带。在被后期矿石胶结的构造透镜体中包有前期棱角状矿石角砾, 说明发生过两次断裂矿化作用, 前期张性断裂矿

* 本文为有色总公司“牟定铜矿及其外围地区铜矿成矿规律及成矿预测”项目的部分成果

① 本文中沉积-改造矿床的概念与涂光炽(1984)提出的概念一致

秦德先, 男, 54岁, 副教授, 矿床学专业, 邮政编码650093。1990-11-19收稿, 1992-10-14修改回

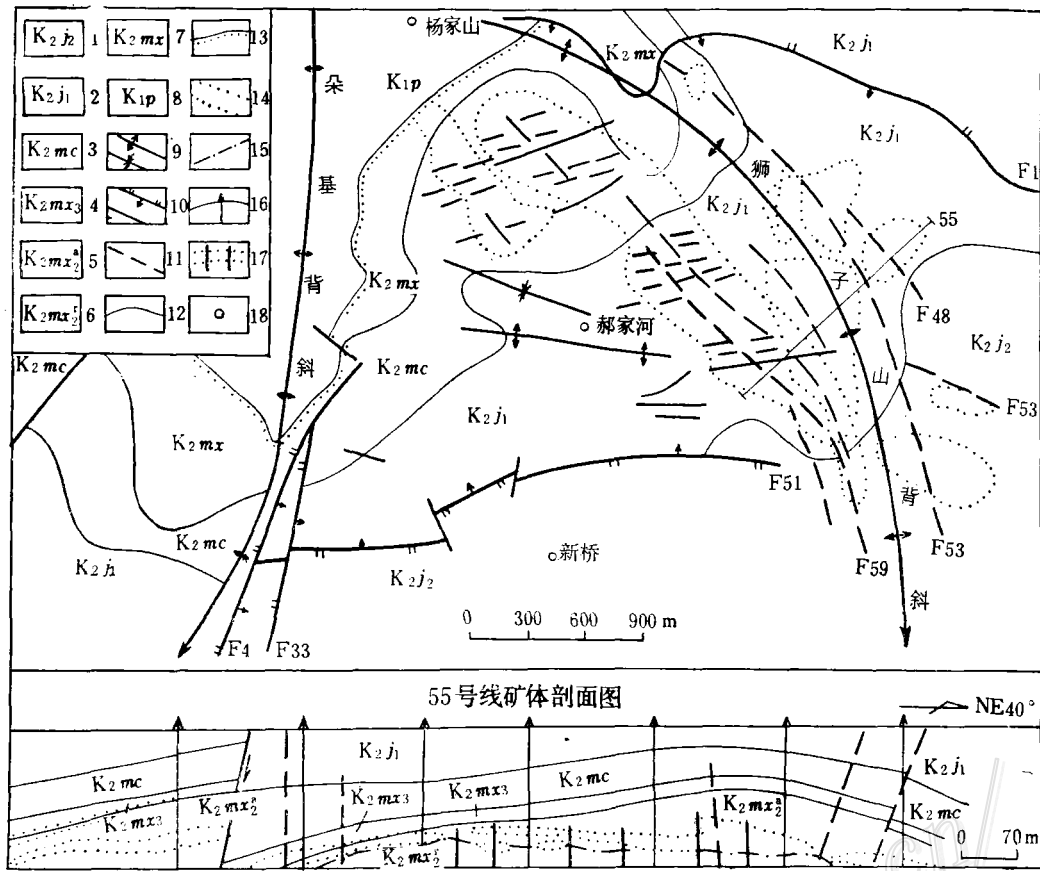


图1 郝家河铜矿床地质略图

1—江底河组第二段；2—江底河组第一段；3—马头山组清水河段；4—马头山组郝家河段第三亚段；5—郝家河段第二亚段浅色层；6—郝家河段第二亚段紫色层；7—郝家河段；8—普昌河组；9—背斜和向斜；10—断裂和逆断裂；11—隐状断裂；12—地层界线；13—不整合界线；14—矿体；15—浅、紫色层界线；16—钻孔；17—采场；18—居民点

Fig. 1. Geological sketch map of the Haojiahe copper deposit.

1—2nd Member of Jiangdihe Formation; 2—1st Member of Jiangdihe Formation; 3—Qingshuihe Member of Matoushan Formation; 4—3rd Submember of Haojiahe Member of Matoushan Formation; 5—Light-colored bed of 2nd Submember of Haojiahe Member; 6—Violet bed of 2nd Submember of Haojiahe Member; 7—Haojiahe Member; 8—Puchanghe Formation; 9—Anticline and syncline; 10—Fault and reversed fault; 11—Concealed fault; 12—Stratigraphic boundary; 13—Unconformity; 14—Orebody; 15—Boundary between light-colored bed and violet bed; 16—Drill hole; 17—Mining pit; 18—Residential area.

化和后期压性断裂矿化。系统取样化学分析结果，有机碳和铜、银、汞同步消长，在断裂中达到了最大峰值。这既说明了断裂对有机质和成矿元素富集的控制作用，又说明了成矿与有机质有密切关系，成矿作用发生于构造期（后）。

1.4 矿石组构

坑道和钻孔中大量矿石样品光、薄片鉴定结果，沉积（成岩）作用形成的矿石组构罕见，而广泛发育沉积成岩期后构造期热液充填交代成因的矿石组构。如条带状渗透交代构造，脉状充填构造，压碎角砾状构造，结晶粒状结构，溶蚀交代结构，交代残留假象结构，固熔体分离结构等（图版6）。其中一些组构，如条带状渗透交代构造和结晶粒状结构，过去曾被视为沉积成岩成因，经过详细研究，实际上是热液交代成因。

条带状渗透交代构造的特征是: (1) 由含量不同的辉铜矿矿石条带大致平行排列而形成, 条带大致平行层理或低角度斜交层理; (2) 铜矿物含量不同的条带大致对称分布, 即中心铜矿物含量高, 为致密块状-稠密浸染状矿石条带, 往两侧逐渐过渡到稠密浸染、稀疏浸染状矿石条带; (3) 条带中铜矿物为交代石英、长石等砂屑及碳酸盐胶结物而成, 自内带往外带交代作用减弱, 随之铜矿物含量降低; (4) 电子探针分析结果, 自内带往外带辉铜矿Cu含量逐渐降低, 而S、Fe、Ag、Pb等元素含量增加(表1)。这类条带状矿石多产于断裂矿化富集带附近, 是构造改造期含矿热液沿层间构造往两侧渗透交代的产物, 而非沉积(成岩)作用所形成。

仔细观察结晶粒状结构后发现, 在同一视域中结晶粒状铜矿物充填碎屑孔隙常伴有溶蚀交代碎屑的现象, 也常见附近铜矿物呈微细脉穿插次生加大后的石英, 说明为成岩期后成因。

1.5 有机质来源及与成矿关系

在牟定矿区赋矿围岩、断裂, 特别是富矿石中常见有细脉状、斑点状和云雾状干沥青分布(图版7)。为此, 我们对有机质与成矿关系进行了研究。

表1 郝家河矿床条带状矿石辉铜矿电子探针分析(%)结果①
Table 1. Electron microprobe analyses of chalcocite from banded ore of the Haojiahe deposit (in percentage)

矿石条带名称	样品数(件)	Cu	S	Fe	Ni	Co	Zn	Pb	Ag
致密块状条带	2	80.62	19.19	0.09	0.05	0.02	0.03	0.01	0.02
稠密浸染条带	2	79.89	19.40	0.10	0.04	0.04	0.05	0.11	0.05
稀疏浸染条带	16	79.69	19.64	0.13	0.06	0.05	0.13	0.13	0.07

① 笔者采样, 委托昆明冶金研究所电子探针室分析

郝家河矿床主干剖面钻孔中系统采样Cu、Ag、C_{有机}分析结果, 编制了含量变异图(图3)。从图中看出: C_{有机}与Cu、Ag含量大致呈正相关关系, 高含量带正位于背斜鞍部矿体及其上覆砂岩中, 而且随着远离背斜鞍部和矿体的变薄尖灭而含量降低, 说明成矿与有机质有密切关系, 二者共同受背斜构造控制。图2也说明Cu、Ag、Hg富集成矿与有机质有关系, 它们共同又受断裂控制。矿体中34件样品Cu、Mo、Ag、Hg、Sb、C_{有机}六个变量R聚类分析结果, 在相关系数为0.26的相似水平上合为一组, 各金属元素与C_{有机}的相关系数依次分别为0.86、0.79、0.75、0.72、0.26。说明Cu、Ag与C_{有机}关系最密切。

从上述沥青产状和有机碳分布受构造控制看出, 矿床中有机质不是原地的, 而是在后期改造过程中从

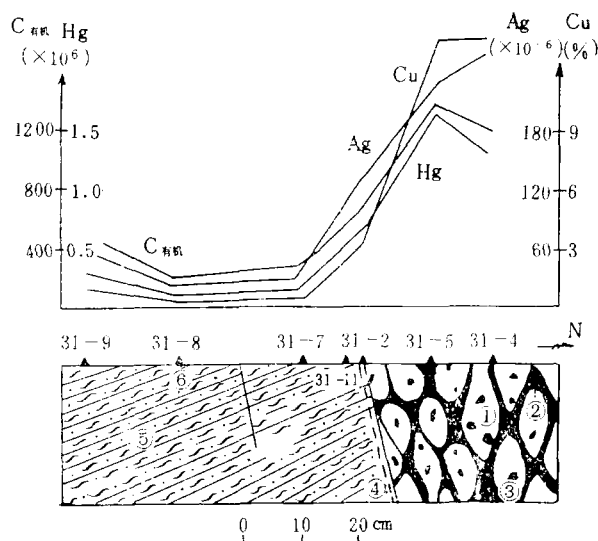


图2 东西向断裂的成矿作用(一坑1661中段主巷道)

①—构造透镜体; ②—皮壳状富铜矿石; ③—早期角砾状矿石; ④—断裂面上的碳质物; ⑤—浅色砂岩; ⑥—采样位置
Fig. 2. Metallization of EW-trending fractures.
1—Tectonic lens; 2—Crustose Cu-rich ore; 3—Early brecciated ore; 4—Carbonaceous materials; 5—Light-colored sandstone; 6—Sampling location.

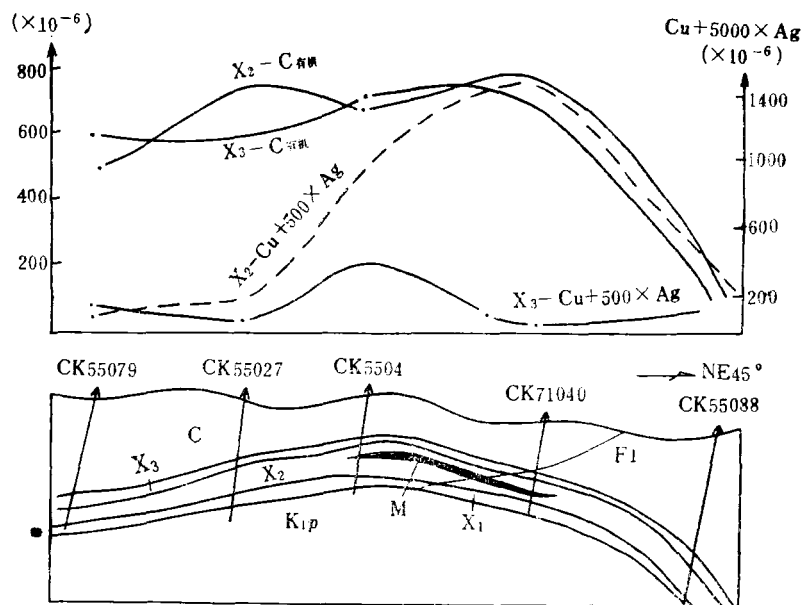


图3 铜、银、有机碳与背斜控制关系

K₁P、C—普昌河组 and 清水河段; X₁、X₂、X₃—郝家河段下、中、上亚段; M—矿体

Fig. 3. Relations of copper, silver and organic carbon to the anticlinal control.

K₁P—Puchanghe Formation; C—Qingshuihe Member; X₁—Lower—Submember of Haojiahe Member;

X₂—Middle Submember of Haojiahe Member; X₃—Upper Submember of Haojiahe Member;

M—Orebody.

异地迁移集中的。

滇中盆地中生代地层710件样品有机碳分析结果(表3),地层自下而上有机碳含量有逐渐降低的趋势。其中以上三叠统含煤建造最高,平均为1.23%,其次是侏罗、白垩系妥甸组、普昌河组,平均为0.073%~0.16%,最低的是以砂岩为主的高峰寺组和马头山组,平均0.01%~0.04%。

牟定矿区白垩系各组101件样品有机碳分析结果,从普昌河组、马头山组到江底河组,即自下而上有机碳含量也有逐渐降低的趋势。即普昌河组9件样品平均0.122%;马头山组80件样品平均0.052%;江底河组12件样品平均0.0175%。普昌河组、马头山组有机碳含量比区域同组地层高,矿体中有机碳含量比围岩高。推测与成矿有关的有机质大部分是从马头山组之下部地层中迁移来的,很可能是从含煤建造中迁移来的。浅色层有机质气相色谱热降解分析结果^[1],热降解温度415~490℃,峰形单一,为较尖锐的单峰,降解率为67.5%或更高,说明可能为易迁移的烃类所组成,不同于原地干酪根的复杂峰形和低的降解率。

1.6 含矿浅色层特征与成因

郝家河矿床含矿浅色层围绕狮子山背斜分布,并随背斜往南倾没和远离背斜轴而变薄尖灭。浅、紫色层接触关系复杂,常见断裂接触现象。接触界线极不规则(图版8),有锯齿状、港湾状、半岛状和孤岛状,常见穿插层理。在紫色层中常见有破布状浅色层分布。这些现象用沉积(成岩)成因观点难于解释。

矿区浅、紫色层的粒度成分、矿物成分、主要氧化物及微量元素分析对比(表2)表明,从统计的观点看,除铁的物相和某些微量元素含量之外,基本上无显著性差异(包括全铁),说明浅、紫色层的物质来源和沉积环境大体一致。至于铁物相和某些微量元素的差异,是后期改造成矿的结果。

岩相古地理分析表明,郝家河段沉积时为氧化高能辫状河环境,只能形成紫色层,缺乏封闭滞流还原环境,难于形成浅色层。虽然成岩期有机质的腐败作用可造成还原环境,但由于马头山组砂岩原始有机质含量太低,远不足以使紫色层变为浅色层。可见,含矿浅色层为后期改造成因,改造浅色层的形成与下伏地层

表 2 郝家河矿床浅、紫色砂岩的成分对比①
Table 2. Compositional comparison between light-colored sandstone
and violet sandstone of the Haojiahe deposit

岩石类型	粒度成分 (mm) 及含量 (%)					碎 屑 成 分 (%)													
	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.125	0.125~0.0625	0.0625~0.0039	石 英	长 石	岩 屑	其 它										
紫色砂岩 (30)	2.64	2.41	37.7	31.23	28.29	50~70	5~10	10~15	10~20										
浅色砂岩 (25)	0.46	9.25	46.64	27.27	16.14	40~80	5~20	10~15	10~20										
岩石类型	主要氧化物 (%)								微 量 元 素 (10 ⁻⁶)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TFe	Fe ₂ O ₃	FeCO ₃	FeS ₂	Cu	Ag	Pb	Mo	Sb	Hg	Zn	Cr	Ni	Co	V
紫色砂岩 (62)	74.10	4.72	7.05	1.47	1.29	0.65	1.61	0.23	68.93	0.19	21.34	1.12	8.06	0.52	24	31.77	13.07	4.67	33.4
浅色砂岩 (42)	72.05	5.14	7.84	1.14	1.27	0.16	1.66	0.69	1404	1.79	165	6.23	2.41	0.58	43.3	40.16	17.08	5.70	40

① 砂岩粒度测量统计, 用薄片法在昆明物理研究所国产WJAT-1型微机光笔图象分析仪上进行; 矿物成分统计在我系显微镜上进行; 氧化物和微量元素由笔者采样, 委托云南地矿局测试中心分析

中上升的还原性有机气体作用有成因关系。

2 含矿沉积建造和矿源层的形成

2.1 间接矿源层

滇中中生代地层(表3)与下伏前震旦系或古生界不整合接触。前震旦系自下而上由康定群、大红山群和昆阳群组成, 为一套火山-沉积变质岩系, 属优地槽沉积, 厚度大于11376~18061 m, 时限^[2]820×10⁶~2450×10⁶ a。主要出露于滇中盆地东侧陆源区, 富含铜, 如昆阳群因民组到黑山组铜背景值^[3]在东川地区为0.01%~0.15%, 易门地区为0.01%~0.062%, 在通安地区为0.0375%~0.195%, 元谋地区为0.02%~0.03%, 并且自下而上赋存有大红山式、东川-易门式和烂泥坪式层控铜矿床。这些富铜地层和铜矿床是滇中砂岩铜矿的间接矿源层。滇中砂岩铜矿在Ag、Mo、Co等伴生组分方面, 对于上述老矿床的继承性和一致性关系也是佐证。

2.2 直接矿源层

滇中盆地内中生代地层, 厚度近万米, 主要为一套紫红色陆源碎屑岩, 习惯上称之为“红层”, 属河湖交互沉积。自下而上由含煤建造(上三叠统), 含铜建造(侏罗系、白垩系中下部)和含盐建造(白垩系上部)组成。有铜平均含量总体升高、有机碳平均含量总体降低的趋势。滇中砂岩铜矿均产于含铜建造的上部, 其中约90%的储量产于马头山组, 约10%的储量产于高峰寺组。

大量资料说明, 储矿层下伏马头山组和普昌河组紫色层为主要矿源层, 其依据是:

(1) 储矿层下伏紫色层铜含量高。矿区外围未受矿化影响地段, 普昌河组地层剖面上11件紫色泥岩样品Cu、Ag分析结果, Cu 0~280×10⁻⁶, 平均119×10⁻⁶, Ag 0.255~3.58 g/t, 平均2.09 g/t。普昌河组中不规则团块状浅色泥质粉砂岩三件样品平均含铜0.25%。马头山组十余个地层剖面连续打块取样100件, 微量元素分析结果Cu、Ag平均含量自下而上总体降低, 即储矿层下伏紫色层原始Cu、Ag含量比储矿层及其上覆地层高, 比地壳同类岩石●(砂岩Cu 5×10⁻⁶, Ag 0.05×10⁻⁶, 泥岩Cu 45×10⁻⁶, Ag 0.07×

● 据Clark and Swain (1962), Bowen (1966)

表 3 滇中盆地中生代综合地层及含矿沉积建造^①

Table 3. Composite Mesozoic stratigraphic sequence and ore-bearing sedimentary formation of Central Yunnan basin

层位	厚度 (m)	岩性	铜丰度 (10 ⁻⁶)	有机碳 丰度 (%)	建造	矿床类型	含矿层位
江底河组 (K _{2j})	1000~2660	杂色泥岩、泥质粉砂岩	25.8 (85)	0.03 (8)	含盐建造	沉积膏盐矿床	元永井段
马头山组 (K _{2m})	135~400	紫色砂岩、含砾砂岩及泥岩	21.51 (91)	0.04 (9)	含铜建造	郝家河式、六苴式、大村式铜矿	主含矿层
普昌河组 (K _{1p})	200~900	紫色泥岩夹砂岩	31.36 (130)	0.073 (6)			
高峰寺组 (K _{1g})	300~700	紫色含砾砂岩及泥质砂岩	20.81 (53)	0.01 (2)		凹地苴式铜矿	次要含矿层
妥甸组 (J _{3t})	300~1342	紫色和杂色泥岩	26.69 (52)	0.16 (23)			
蛇甸组 (J _{3s})	400~980	紫色砂岩和泥岩互层	19.78 (44)	0.04 (4)			
张河组 (J _{2z})	400~1384	杂色泥岩、泥灰岩和砂岩	18.71 (20)	0.19 (90)	含煤建造		
冯家河组 (J _{1f})	900~2912	紫色砂质泥岩	18.98 (53)				
三叠系上统 (T ₃)	2054.6	杂色砂岩夹黑色页岩, 煤层, 底部有砾岩	14.19 (19)	1.23 (581)		一平浪式煤矿	干海子组、舍资组
古生界和前震旦系	<11376	沉积岩, 火山沉积变质岩	30 (29)			烂泥坪式、东川式和大红山式铜矿	震旦系陡山沱组、昆阳群落雪组和大红山群

① 铜丰度数据的原始资料由云南地矿局提供, 有机碳丰度数据的原始资料由滇桂黔石油勘探局提供; 括号内为统计样品数

10⁻⁶) 高数到数十倍。

(2) 矿体与紫色层有密切的空间关系。滇中地区砂岩铜矿体产于浅、紫层交互带。郝家河矿床的矿体主要产于郝家河段中亚段紫色层之上的浅色层中, 而且矿体在靠近紫色一侧(下部), 矿石品位高(图4), 随着远离紫色层, 品位降低。无浅色层或浅色层附近无紫色层均未见矿化。

(3) 矿化强度和规模与紫色层厚度大致呈正相关关系。郝家河段紫色层(包括改造浅色层)厚度与矿

化强度大致呈正相关关系。如在牟定铜矿区, 郝家河段厚度 100~110 m, 矿化强, 形成了两个矿床和两个矿点, 其中一个中型矿床: 在牟定铜矿北部和东部

郝家河段厚度 55~70 m, 矿点少, 仅在铜厂箐形成了小型矿床。在牟定矿区以西的滴水坝、果家桥、郝家河段厚 90~100 m, 铜丰度值高, 有找矿远景。

(4) 紫色层和矿体的大量微量元素样品分析表明, 在 Cu、Ag、Mo、Hg 等元素方面, 矿体对于紫色层有继承性和一致性关系。

2.3 矿源层的形成和铜在矿源层中赋存状态

紫色层铜的丰度研究表明, 郝家河段下部(距沉积间断面近)比上部(距沉积间断面远)高, 同一亚段泥岩比砂岩高。紫色层 42 件样品 14 个变量^① R 聚类分析结果, 在相关系数为 0.7520 的相似水平上, Cu 与 MgO 合为一组, 推测 Cu 在矿源层中多数可能以离子吸附和类质同象的形式赋存于富含

Mg 的水解物和其它矿物中, 少数可能为含铜岩屑和矿物碎屑状态赋存。这与紫色层的沉积环境有关。

在元谋古陆上的猫街—安益一带昆阳群变质岩系与上白垩统不整合面上, 采集紫红色风化壳样品五件分析结果, 含铜 0.038%~0.1125%, 平均 0.092%, 含银 1.57~3.58 g/t。在牟定卓官山普昌河组与郝家河段不整合面上紫色风化壳(2 件样品)平均含铜 0.2116%, 银 3.10 g/t。而元谋古陆昆阳群变质岩原岩含铜 0.02%~0.03%, 普昌河组原岩含铜 0.0035%~0.011%。说明剥蚀区风化产物比原岩富含铜。

涂光炽教授(1984)^②指出, 在铜矿床或富铜岩类之上的碱性环境中形成的铁铝质红土可预富集铜。这是因为铜在土壤中被粘土、有机质和铁锰氢氧化物选择性吸附, 为强代换剂, 最难被代换, 所以易保留于土壤中。

康滇地轴昆阳群铜矿床和富铜岩石中碳酸盐岩发育, 为碱性成壤作用提供了条件。风化壳中铜多以离子吸附状态赋存。

印支运动使哀牢山构造带和元谋—易门古陆上升, 边缘发生断裂, 在红河断裂、绿汁江断裂和程海断裂之间形成了断陷盆地。由于印支运动以来哀牢山带不断上升, 盆地沉降中心不断自南西北东迁移, 盆地面积不断缩小。一方面盆地中心向北东迁移, 可更多地接受北东古陆上古老铜矿床和富铜岩石风化产物的沉积; 另一方面盆地面积的缩小, 可为矿质集中沉积创造了条件; 再就是由于燕山中晚期升降运动频繁, 多次的沉积间断为铜质从陆源区风化析出和预富集提供了条件。所以, 侏罗系上部和白垩系中下部原始铜含量较高, 后来成矿较好, 滇中砂岩铜矿的矿带围绕元谋古陆东南边缘呈半环状分布。

大量岩相古地理分析资料表明, 白垩纪中期(马头山期之前, U-Pb 法同位素年龄^③大于 112×10^6 a), 滇中发生了广泛而强烈的构造运动。在本区表现为褶皱运动, 并伴随产生了断块作用。从而形成了一系列北东向大致相间平行排列的次级隆起和拗陷。马头山期北东古陆上的富铜风化壳产物被河流自北东往南西搬运和沉积, 从而形成了紫色矿源层。马头山组下部沉积时距沉积间断的时间短, 来自古陆的沉积物风化分异的时间长, 铜的预富集好, 故地层中铜原始含量高, 往上部沉积物在古陆上风化时间短, 铜预富集不足, 地层中铜原始含量低。所以, 马头山组自下而上铜含量降低(表 2)。

马头山初期, 紧接褶皱运动之后, 地形高差大, 沉积区和剥蚀区相距较近, 河床坡度陡, 流速大, 当时气候炎热干燥, 沉积物富含三价铁, 辫状河环境, 水动力条件强, 水体较浅, 自由氧活跃, 缺乏所谓“封马滞流”环境。所以, 郝家河段下部紫色矿源层岩相和厚度变化大, 岩石成熟度低, 分选性差。普昌河组和马头山组下部紫色层与元谋古陆风化壳微量元素对比结果表明, 前者对于后者具有继承性和一致性关系, 说明紫色矿源层由古陆上风化壳搬运和沉积演化而成。在上述高能氧化环境形成的紫色层, 其中铜的赋存状态承

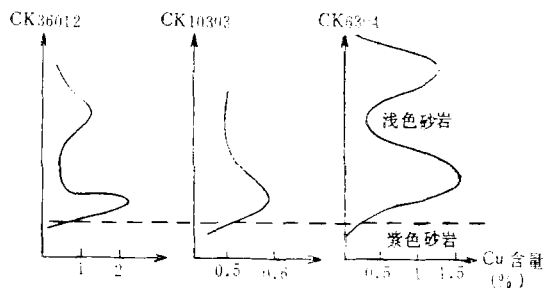


图 4 矿体中铜品位与浅、紫层界线关系
Fig. 4. Relations of the copper grade to the boundary between light-colored sandstone and violet sandstone.

① 14个变量是Cu、Ag、Pb、Mo、Cr、Ni、V、Co、B、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、CaO、MgO

② 徐星琪, 西南地区地层总结(白垩系), 地矿部成都地质矿产研究所, 1980

袭了风化壳中赋存状态。

3 改造阶段矿质活化迁移成矿

3.1 矿质迁移成矿的证据

在郝家河矿区21个钻孔中采集的矿体下伏郝家河段紫色层样品115件,定量分析了Cu、Ag、Pb等元素,其结果采用厚度加权平均法分别求出了各钻孔中紫色层各元素平均含量,然后通过趋势分析并用电子计算机绘制了趋势图。从中看出:(1)紫色层中铜和银含量分布规律大体一致,总体中部和北部低,往南及东西两侧逐渐升高。紫色层中铅在矿区中部出现了一条北西—南东向的低值带,往东西两侧含量逐渐升高,其方向与狮子山背斜的轴向大体一致。(2)铜、银、铅低值区在空间位置上大体吻合,主要位于狮子山背斜轴部偏南西翼和北侧之下方深部低压带紫色层中。特别值得强调指出的是,郝家河矿带水平投影范围全部落于低值区内,也就是说工业矿体在空间上产于紫色层铜、银、铅低值区之上方浅部低压区浅色层中。这种空间关系,暗示上部浅色层中矿体的成矿物质至少有一部分来自下伏紫色层,即紫色层中成矿物质活化向上转移到浅色层中成矿,故在矿体下伏紫色层中形成了成矿元素的低值区。(3)如果用低值区与矿体的空间关系来推测矿液流动方向的话,Cu、Ag、Pb低值区总体位于矿带及其南西、北侧之下方,矿液则自下而上,从南西和北向矿带方向流动,即由背斜深部高压区紫色层向背斜鞍部浅处低压区浅色层成矿空间流动。这与用金属元素分带和矿物分带推测的矿液流动方向相一致^①。

3.2 成矿热液的特征和来源

采自郝家河矿床钻孔和坑下各中段40件样品矿物包裹体研究结果,与辉铜矿共生的自生石英和方解石中包裹体,其特征是类型简单,以纯液体(气液比<5%)为主,有少量气体(气液比5%~40%);个体小,分布不均匀,常沿晶面分布。浸染状、条带状矿石(早期、主矿化期产物)均一温度110~220℃,众数160℃,盐度3.5~15wt% NaCl,众数7wt% NaCl;含铜方解石脉矿石(晚期矿化产物)均一温度90~180℃,众数130℃,盐度2.5~10wt% NaCl,众数6.5wt% NaCl。压力为 $288 \times 10^5 \sim 611 \times 10^5$ Pa,密度0.85~1.03g/cm³。说明成矿热液具低偏中温,中低盐度和压力,中偏高密度特征。成矿热液的演化从早期到晚期有温度和盐度降低的趋势。

坑道早期矿石中两件辉铜矿和晚期矿石中一件脉方解石样品包裹体成分和氢、氧、碳同位素分析结果如表4。从表4看出:(1)包裹体气相成分含CO₂高(占90.53%~97.77%),CH₄低(占0.048%~0.25%)。液相化学成分类型为SO₄-Ca-Na型。离子总浓度为11.96%~22.25%,早期成矿热液高,晚期成矿热液低,平均16.39%。按矿化度分类,应属卤水。(2) δD 为-73‰~-69‰, $\delta^{18}O$ 为-12.26‰~1.75‰。在 δD 与 $\delta^{18}O$ 的直角坐标图上,投影点落在一条水平直线附近,该直线与横坐标($\delta^{18}O$)大致平行,并与大气降水线成锐角相交。说明 δD 稳定,始终保持了局部地区大气降水的 δD 值;而 $\delta^{18}O$ 值变化大,偏离大气降水线而发生较大距离的“¹⁸O漂移”,但三个点均落于大气降水热液区内。早期矿石 $\delta^{18}O$ 值较大,“¹⁸O漂移”明显,有的投影点已很靠近变质水区和原生岩浆水区。这可能是大气降水循环深度大,流经路线长,与盆地基底岩系发生了充分氧同位素交换的结果。晚期矿石 $\delta^{18}O$ 值较低,这可能是深部上升热液受浅部冷水溶液稀释的结果,所以,晚期成矿热液的温度和盐度也比早期热液低。(3)二氧化碳的 $\delta^{13}C$ 为-3.86‰~-2.74‰,不同矿化期和不同矿物包裹体中碳同位素组成稳定。一般地热区热泉中二氧化碳的 $\delta^{13}C$ 为-2‰~-6‰,如美国黄石公园、新西兰宽池(Craig, 1953, 1965)。本区 $\delta^{13}C$ 落于热泉范围内,也说明成矿热液属地下水热液。

综合上述,成矿气水溶液来源于大气降水。可能由于大气降水流经矿床上覆含盐建造,下伏含煤建造或更深部,受地温或构造热的影响而增温,从而形成了一种富含CO₂的热卤水。

3.3 硫和铅的来源

共采硫同位素样13件。其中矿体中辉铜矿样8件, $\delta^{34}S$ 为-5.3‰~+0.2‰,具“陨石硫”特征;矿床上带方铅矿、黄铁矿3件, $\delta^{34}S$ 为-2.2‰~-10.5‰,平均-5.9‰,富轻硫(³²S),具生物硫特征;矿区

① 秦德先, 1991, 滇中郝家河铜矿的地球化学特征及其成因意义。矿产与勘查, 第3期

表4 郝家河铜矿矿物包裹体成分与同位素分析结果①

Table 4. Fluid inclusion compositions and isotope analyses of minerals from the Haojiahe copper deposit

样品号	矿物	采样地点及地质概况	同位素(‰)			包裹体气相成分(%)						包裹体液相成分(mg/g)							
			$\delta^{13}\text{C}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	CO_2	CO	CH_4	H_2	N_2	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	F^-	H_2O	浓度(%)
1661-1	辉铜矿	1661中段西沿脉早期条带状矿石	-2.74	-69	1.75	97.77	0.94	0.05	0.33	0.99	39.1	12.3	31.1	14.8	16.4	35.3	0.03	851	14.9
1661-2	辉铜矿	1661中段17采早期条带状矿石	-3.11	-73	-4.52	90.58	1.51	0.09	0.14	7.69	20.0	19.8	27.7	12.9	2.8	138.3	1.1	777	22.3
1558-1	方解石	1558中段晚期含铜方解石脉	-3.86	-71	-12.26	96.90	0.52	0.25	0.49	1.84	7.0	12.0		12.2	6.4	37.6	2.2	880	11.9
平均值			-3.24	-71	-5.01	95.08	0.13	0.13	0.32	3.5	22.0	14.7	29.4	13.3	8.5	70.4	1.1	836	16.4

① 笔者采样, 委托桂林矿产研究院分析

外围矿床上覆江底河组膏盐层中石膏样2件, $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-1.7\text{‰} \sim +8.3\text{‰}$, 平均 $+3.3\text{‰}$, 具内陆湖泊沉积硫酸盐特征。现在铜矿石中硫可能是生物硫、沉积硫酸盐硫经深循环热液的改造成矿作用, 使之“均一化”的结果。

矿石和浅色砂岩共8件样品铅同位素分析结果, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.386 \sim 19.168$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.547 \sim 15.957$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.340 \sim 39.226$ 。按E. R. Kanasewich (1973) 分类, 属正常铅和放射性成因铅的混合模式, 具多源和多期叠加改造矿床铅同位素组成特征。矿石和浅色层中铅同位素组成十分一致, 暗示其中铅具有相同来源和演化历史。硫化物中铅、硫同位素大致具负相关关系, 说明铅硫来源和演化大体相似。

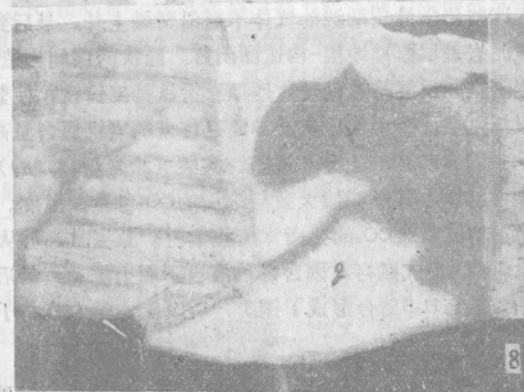
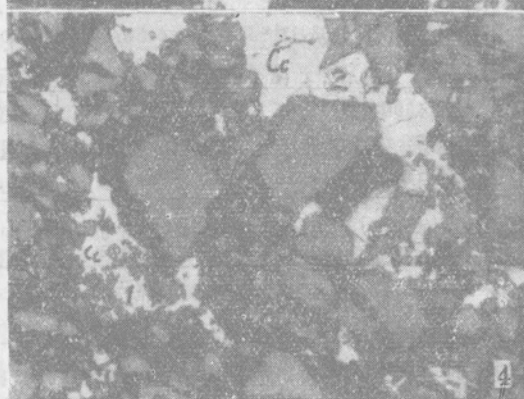
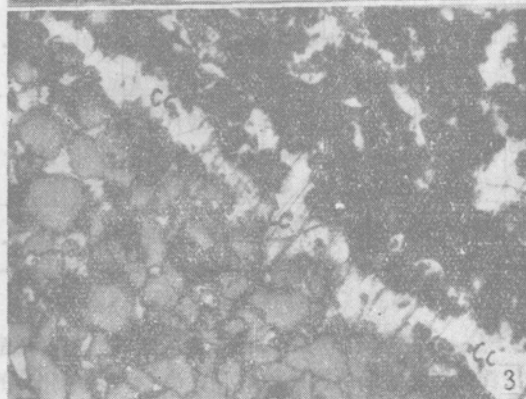
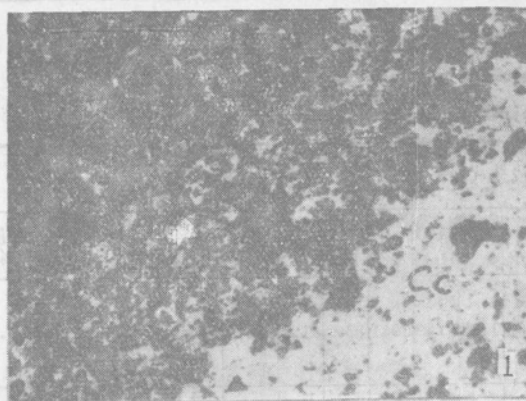
3.4 后期改造成矿作用演化

燕山末—喜马拉雅初(同位素年龄峰值为 $56 \times 10^6 \sim 70 \times 10^6 \text{ a}$)①, 本区红层褶皱上升, 形成了朵基背斜和狮子山背斜等构造。在背斜的不同部位应力状态差异明显。中和面以上靠近浅部, 即背斜鞍部附近以拉伸为主, 静压力又小, 形成低压带; 中和面以下靠近深部以压缩为主, 静压力又大, 形成高压区。

在构造驱动力和热力作用下, 下伏地层中干酪根发生热降解, 放出了大量 CO_2 、 CH_4 、 H_2S 等活泼性气体。这些化学性质活泼的气体不断沿断裂上升, 最后到达了背斜鞍部附近低压带郝家河段上部砂岩中。因其上覆泥岩盖层厚, 地层-构造圈闭好, 隐伏的层间构造和断裂发育, 加之本身有效孔隙率高, 这些气体在低压圈闭空间反复渗透流转, 还原三价铁为二价铁, 使紫层变成了浅色, 同时 H_2S 与 Fe^{2+} 作用形成了黄铁矿。所以浅色层比紫色层 FeS_2 及异地迁移来的有机质含量高, Fe_2O_3 低, 二者 TFe 一致。

接着含矿热液上升和成矿。实验(涂光炽, 1984)证明, 含 CO_2 的溶液在室温下可从含铜岩石和铜矿石中淋滤铜, 其淋滤值大致与溶液的 CO_2 含量、温度、淋滤时间及被淋滤对象铜含量成正比, 与 pH 成反比。可见, 本区富含 CO_2 的热卤水流经紫色矿源层时, 可从中淋滤出大量Cu, 从而形成含铜热液。铜在热液中主要以 CuCO_3 形式赋存。因含矿热液自下而上流动, 最后到达了狮子山背斜鞍部附近低压圈闭的浅色层, 交代黄铁矿或与 H_2S 结合形成了铜矿, 所以矿体集中分布于背斜鞍部附近, 镜下常见铜矿物交代黄铁矿的现象。

① 徐星琪, 1980, 西南地区地层总结(白垩系), 地矿部成都地质矿产研究所



图版说明

1. 条带状渗透交代构造。从右下角到左上角, 即自内往外为致密块状辉矿 (Cc) 矿石条带→稠密浸染状矿石条带→稀疏浸染状矿石条带。光片, 单偏光, $26.4\times$
2. 辉铜矿 (Cc) 交代溶蚀或呈细脉穿插石英砂屑 (Q)。薄片, 正交偏光, $66\times$
3. 辉铜矿 (Cc) 细脉穿插石英砂岩 (Q), 附近石英砂屑被辉铜矿熔蚀交代。光片, 单偏光, $40\times$
4. 第一期辉铜矿 (1) 被压碎后又被第二期辉铜矿 (2) 胶结。光片, 单偏光, $80\times$
5. 辉铜矿交代熔蚀石英砂屑, 形成环边熔蚀交代结构。薄片, 单偏光, $132\times$
6. 辉铜矿 (Cc) 沿斜长石 (Pl) 解理或双晶纹交代, 形成交代结构。薄片, 单偏光, $66\times$
7. 铜矿化和沥青化呈云雾状分布。光面
8. 浅 (q)、紫 (r) 界线不规则。光面

参考文献

- 1 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学, 第一卷. 北京: 科学出版社, 1984.
- 2 周铭魁等. 西昌—滇中地区地质构造特征及地史演化. 重庆: 重庆出版社, 1988.
- 3 黎功举. 东川铜矿的类型演化与找矿实践. 地质与勘探, 1978, 14(2)

THE SEDIMENTARY-REFORMATION ORIGIN OF THE HAOJIAHE COPPER DEPOSIT, MOUDING COUNTY, YUNNAN PROVINCE

Qin Dexian, Meng Qing and Yang Mingchu

(Department of Geology, Kunming Institute of Technology, Kunming, Yunnan Province)

Abstract

The Haojiahe copper deposit in Mouding County, Yunnan Province was previously considered to be of syndepositional, syndiagenetic or deutero-genetic origin. Through the investigation made in recent years, however, the authors hold that the ore deposit is genetically of sedimentary-reformation type.

The ore district is located in the eastern part of the middle sector of the Central Yunnan Mesozoic interior basin, and the exposed strata comprise in upward succession purple mudstone of Puchanghe Formation (Lower Cretaceous), sandstone of Matoushan Formation and mudstone of Jiangdihe Formation (Upper Cretaceous). The major structures include the south-north Xiangduoji anticline, the NW-trending Shizishan anticline and the east-west F_1 and F_{51} faults. Orebodies lenticular and podiform in shape occur in light-colored sandstone of Haojiahe Member of lower Matoushan Formation on the saddle of the Shizishan anticline, obviously controlled by concealed faults on the saddle of the anticline. Within the orebodies barren "windows" and specimen ore veins are frequently observed. Mineral associations are simple, and copper minerals

are dominated by chalcocite. Ore fabrics of hydrothermal filling-metasomatic origin are well developed, and there commonly exist postdepositional veinlike, spotted and cloud dry asphalt, with organic carbon showing positive correlation with Cu and Ag content. Light-colored beds encircle the saddle of the Shizishan anticline and are in erratic contact with the purple bed, hence, penetrating bedding is commonly seen. These facts cannot be explained by the syndiagenetic viewpoint; rather, they can serve well as evidence for late reformation.

Geochemical studies of the strata show that in Mesozoic strata of the region copper abundance tends to increase whereas organic carbon abundance tends to decrease from the lower part upward. Original copper content of the strata in the ore district is $(55.61 \sim 171.9) \times 10^{-6}$. Of these strata, the Puchanghe Formation and the lower purple bed of the Matoushan Formation are relatively enriched in copper and silver ($\text{Cu } 119 \times 10^{-6} \sim 171.9 \times 10^{-6}$, $\text{Ag } 0.51 \times 10^{-6} \sim 2.09 \times 10^{-6}$), and thus seem to be the major source bed. The close spatial relationship and the inheritance and consistency of minor elements between the orebodies and the purple bed all support the argument of late reformation.

Geochemistry of the strata in the ore district also indicates the presence of a NW-trending copper-silver low-value zone in the overlying purple bed on the southwestern side of the Haojiahe ore belt. This, combined with zonation of minerals and elements, suggests that copper and silver in the source bed once migrated upward and northeastward, i.e., they traveled from the deep high-pressure area at the southwestern limb of the anticline to the shallow low-pressure area at the saddle of the anticline to form the ore deposit.

Hydrogen, oxygen, carbon, sulfur and lead isotopic analyses and mineral inclusion measurements show that sulfur and lead came mainly from the strata, and ore-forming fluids were deep-circulatory underground hot brines characterized by low (somewhat intermediate) temperature, medium-low salinity, Medium-high-density and rich CO_2 .

Late Yanshanian to early Himalayan folding formed the Shizishan anticline. Copper in the source bed was remobilized and ascended to the saddle of the anticline, forming orebodies in the light-colored beds.

出版消息

《中国矿产资源图》(1:5000000, 附说明书)已由地质出版社出版,欲购者请与地质出版社发行部联系。地址:北京市海淀区学院路29号。邮编:100083。每份定价75元,另加寄15%邮挂费。还有英文版,另有定价。