

长江中下游铁帽型金矿床矿石的物质组成研究

邵洁涟 李立平

(中国地质大学)

提要 本文通过江西武山吴家和安徽铜陵代家冲两个铁帽型金矿床的矿石矿物组成特点的研究,为长江中、下游进一步寻找和评价铁帽型金矿床提供必要的依据。

关键词 铁帽型金矿床 矿物组成特征

众所周知,铁帽型金矿床由于可以露采、一般不需碾磨焙烧、易于提取而具有重要工业价值。优先产于古老地盾区的造山前火山—沉积环境中与钙碱火山作用有关之块状硫化物型金矿床,经风化作用形成铁帽型金矿床不但矿石品位高,而且矿床规模也很大。如澳大利亚昆士兰州 Mount Morgan 块状硫化物铜金矿床原生矿石含金 4.75 克/吨、含铜 0.72%;铁帽中氧化金矿石含金高达 180~600 克/吨,铁帽型金矿床储量约为 100 吨金^[1,2]。又如优先产于中—新生代造山带的造山后深成—火山环境中与中、新生代火山活动有关的脉状硫化物金银矿床,经风化作用形成的多米尼加中部 Pueblo Viejo 铁帽型金银矿床铁帽面积很大(1200×500 米),厚约 30 米(最厚达 80 米),氧化矿石含金 4.32 克/吨、含银 23.3 克/吨,铁帽型矿床储量金为 115 吨、银为 600 吨^[2,3]。塞浦路斯 Devil Mud 与古基性火山岩有关的块状硫化物金矿床铁帽型金银矿石也含金高达 60 克/吨、含银高达 400 克/吨^[2]。我国广东、四川、湖南、甘肃、青海等省和华北、东北地区均有铁帽型金矿床产出,特别是湖北、江西、安徽、江苏等省内长江中下游地区新发现了不少大、中型铁帽金矿床^[4]。本文仅就我们研究江西武山吴家、安徽铜陵代家冲两个铁帽型金矿床的矿石物质组成特点的成果列出供有关方面在寻找、评价铁帽型金矿床时参考。现分三部分简述如下。

一、长江中下游铁帽型金矿床的基本地质特征

长江中下游地区近几年来新发现了安徽代家冲、新桥,江西武山吴家、湖北铜绿山等铁帽型金矿床多处。该区大地构造位置位于扬子准地台区下扬子台褶带,南京—九江凹陷东南侧区内发育有志留系到三叠系浅海—滨浅海相碎屑岩—碳酸盐岩沉积岩(志留系、上泥盆统五通组、下石炭统高骊山组、中—上石炭统及下二叠、上二叠统、三叠系之间都呈假整合接触)。区内还发育燕山期中酸性岩浆岩,另有许多著名的多金属矿床(如铜官山、狮子山、武山、城门山等)、硫铁矿床(如新桥等)、伴生金矿床(如金口岭)等和独立原生金矿床(如马山、洋鸡山等)产出。该区在构造上属淮阳山字型构造弧顶及东翼。从湖北黄梅、江西瑞昌至安徽铜陵,主体构造线由北北东向转为北东向。区内北北东—北东向褶皱发育。纵向断层主要沿上述地层间假

整合面发育,许多岩体、矿体产于层间断裂中。另有一些规模较小的北西向断层把这些顺层产出的岩体、矿体错断,断距很小,对原生矿体的破坏作用不大,但其对铁帽的形成却起了促进作用。长江中下游地区在地貌上为长江冲积平原和剥蚀低山区,沟谷常沿断裂或褶皱轴发育。自中新世以来,长江中下游地区剥蚀作用与阶地沉积作用交替进行,形成二、三级剥蚀面和三、四级河谷阶地。从铜陵等地某些石灰岩溶洞处于不同高程位置分布来看,该地区新生代发生了强烈的升降运动,这可能导致长江中下游地区铁帽的深度较大。目前长江中下游地区潜水面均高于铁帽下界,表明沿江地区曾经历过大幅度的抬升作用^[5]。长江中下游地区气候温和(如安徽铜陵最高气温为38℃、最低气温为零下11.7℃,江西武山最高气温为40℃、最低气温为零下8.1℃)、多雨(铜陵年均降雨量为1571.5毫米、武山为1364.2毫米)、季节性变化明显。降雨多集中在春夏两季,秋冬则较干燥^[2]。加上生物繁茂等因素都有利于铁帽的发育。

现以安徽铜陵代家冲和江西武山吴家为例说明长江中下游铁帽型金矿床的基本地质特征:

代家冲、吴家铁帽型金矿床地质特征
Table geological characters of gossan-type gold deposit
(Daijia chong and wujia deposits)

表 1

数据项目 矿床	形状、产状、规模		矿体 顶板 底板	矿石主要 矿物成分	主要矿石 构造类型	主要矿石 结构类型	原生矿
	铁帽	金矿体					
安徽铜陵 代家冲	层状、似层状。走向NE10—50°延伸2200米,倾向NW,倾角45°,延深10~100米。厚0.64~18.69米。	透镜状。走向40~50°,延伸580米,倾向NW,倾角50°,延深11~95米,厚1.19~10.79米。	中、上石炭统黄龙灰岩、船山灰岩为顶板,下石炭统高骊山砂岩为底板。	自然金、针铁矿、赤铁矿、软锰矿、锰钾矿、铜蓝、石英、碧玉、粘土矿物等。	多孔状(蜂窝状和海绵状)构造、块状构造、条带状构造、钟乳状构造、同心环状构造、角砾状构造、土状构造、胶状和变胶状构造、网脉状构造。	自形一半自形—他形粒状结构、放射状变晶结构、假象结构、残余结构、骸晶结构、草莓结构、蠕虫状结构。	原生硫铁矿矿石,风化殆尽,仅见少量致密的黄铁矿残块。
江西武山 吴家	层状、似层状。走向NE60~70°,延伸2000~3000米,倾向SE,倾角45~50°,延深50~100米。厚0.5~23米。	似透镜状,延伸1800米。金矿体尚未最后封闭圈定。	中、上石炭统黄龙灰岩、船山灰岩为顶板,上泥盆统五通砂岩为底板。	自然金、自然银、针铁矿、赤铁矿、软锰矿、锰钨矿、水钠锰矿、铜蓝、石英、方解石、粘土矿物等。	多孔状构造、土状构造、钟乳状构造、同心环状构造、葡萄状构造、角砾状构造、块状构造、条带状构造、胶状构造。	自形—他形粒状结构、放射状变晶结构、假象结构、残余结构、骸晶结构。	铁帽深部接续有原生块状黄铁矿型铜矿石。

表 2

代家冲、吴家铁帽化学成分特点

Table 2 chemical analysis showing the composition character of

Daijia chong and Wujia gossans

数据 矿区 (样品数)	项目	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Mn (%)	As (%)	Au (g/t)	Bi (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Ca (%)	Mg (%)	Al (%)	Ba (%)
代家冲	III号铁帽 (2)	0.06— 0.5	0.02— 0.2	0.045— 0.1	0.02— 0.1	0.05— 0.2	0.76— 2.72	10—50	70—200	120—150	10—40	20—300	0.05	0.03— 0.1	0.3— 3.0	0.003— 0.007
		0.28	0.11	0.072	0.06	0.125	1.74	30	135	135	25	160	0.05	0.005	1.65	0.005
		0.02— 0.3	0.06— 0.4	0.03— 0.6	0.003— 0.08	0.02— 0.7	0.15— 74	10—200	3—100	3—600	10—150	3—800	0.01— 0.29	0.01— 0.05	0.01— 0.8	0.003— 0.2
吴家	IV号铁帽 (19)	0.14	0.18	0.10	0.03	0.21	17.06	80	46	180	40	69.9	0.016	0.012	0.176	0.016
		0.05— 0.1	0.01— 0.07	0.15— 0.4	0.1	0.07— 0.3	0.046— 0.306	1—10	3—100	30—200	10—70	30—100	0.05— 0.1	0.02— 0.2	0.3— 1.0	0.007— 0.3
		0.077	0.032	0.25	0.1	0.025	0.214	4	61	100	33.3	66.7	0.07	0.095	0.767	0.136
吴家	V号铁帽 (3)	0.1— 0.9	0.2— 1.0	0.03— 0.6	0.02— 6.0	0.02— 0.2	0.09— 8.82	10—5000	3—40	3—700	30—300	10—500	0.01— 0.3	0.02— 0.007	0.1— 6.0	0.001— 0.45
		0.6	0.61	0.055	1.15	0.07	1.733	227	15	59.6	42	27	0.024	0.003	2.0	0.018

(注) Au、Ag 为化学定量分析数据, 其余为光谱半定量分析数据。除吴家有 19 件样品 Au、Ag 分析数据系引自江西省地矿局赣西北地质大队外, 其余数据均为本科研课题组的资料, 测试单位为武汉地质学院岩矿测试中心。横线上为元素含量范围, 横线下为平均值。

由表 1 可知,长江中下游铁帽型金矿床实际上由金矿体和铁矿体组成。金矿体分布在铁矿体之中,金矿体的上界略低于铁矿体的上界,而两者的下界则基本一致。根据江西武山吴家铁帽型金矿床的研究资料,其垂直分带由地表往下可依次分为强氧化亚带(地下水渗透带上部)、氧化淋滤亚带(地下水渗透带中部)、氧化富集亚带(地下水渗透带下部)、松散硫化物次生富集带(地下水流动带)和块状硫化物原生矿石带(停滞水带)。

二、长江中下游铁帽型金矿床矿石的化学成分特点

铁帽矿石的化学成分特点研究具有重要的理论意义和实际意义。我们将采自代家冲和吴家铁帽型金矿床的 65 件样品进行化学成分分析,由化验结果(表 2)可发现以下特点和规律:

(1)按铁帽的原生成分来划分,代家冲原生矿为黄铁矿型矿石,吴家为黄铁矿型铜矿石或含铜黄铁矿型矿石。另湖北黄梅铁帽的原生矿为菱铁矿型矿石(铁帽矿石含钼大于 1%,含金极微)。综合表 2 资料可知,铁帽矿石中钼的含量具有标型意义。当钼的含量大于 1%时(如黄梅),原生矿石为含硫化物极少的菱铁矿矿石,铁帽含金性极差;当钼的平均含量在 0.1%和 1%之间时(如代家冲 V 号铁帽),原生矿石为硫化物型矿石,铁帽含金性差;当钼的平均含量小于 0.02%时(吴家及代家冲 III、IV 号铁帽),铁帽含金性较好。

(2)黄铁矿型铜矿石铁帽含铜较高(一般大于 0.3%),黄铁矿型矿石铁帽中铜、铅、锌、砷都具有一定的含量($\text{Cu } 0.05 \sim 0.3\%$, $\text{Pb} > 0.03\%$, $\text{Zn} > 0.06\%$, $\text{As} > 0.02\%$)。

(3)铁帽矿石含镁较低(一般小于 0.02%)时,其含金性好。

(4)铁帽矿石含铋较高(一般大于 20ppm)时,其含金性好。

(5)铁帽矿石中铜的含量(重量%)与砷的含量(重量%)之乘积大于 0.01 时,铁帽含金在 1 克/吨以上。

(6)铁帽矿石中锰、铅、锌的含量(均为重量%)之和大于 0.5(重量%)时,铁帽含银在 5 克/吨以上。

三、长江中下游铁帽型金矿床矿石的矿物成分特点

代家冲和吴家铁帽型金矿床矿石中的主要表生矿物为自然金、自然银、针铁矿、赤铁矿、软锰矿、锰钾矿、锰钡矿、水钠锰矿、黑锌锰矿、铜蓝、孔雀石、石膏、方解石、石英、玉髓、粘土矿物等,主要残余原生矿物为含银自然金、银金矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、石英、碧玉、方解石、石膏等。今仅将几种重要矿物的标型性研究结果简述如下供研究铁帽型金矿床成因和找矿的矿物学标志时参考。

1. 自然金

代家冲表生自然金主要呈海绵状、次椭圆状、他形角粒状、树枝状、柱状和细丝状等不规则形态。残留原生自然金则保留较规则的形态,呈多角粒状。关于自然金的粒度,一般是表生自

然金的粒度大于原生自然金的粒度。如表 3 所示,在安徽铜陵新桥铁帽型金矿床中自然金的粒度大于 35 微米的铁帽内表生自然金占 34.17%,而原生矿石内原生自然金则只占 1.83%,相反,粒度小于 5 微米的表生自然金只占 43.085%,而原生自然金却占 67.4%。而且有意义的是越在铁帽上部,表生自然金的粒度越大(新桥铁帽上部大于 35 微米的占 47.05%、铁帽下部则只占 21.29%。代家冲表生自然金的粒度也很细,如表 4 所示,大于 30 微米的只占 6.58%、小于 5 微米的占 40.79%。代家冲原生自然金全为次显微金。吴家原生自然金的粒度仅为 2~8 微米①。

新桥自然金的粒度分布特征

表 3

Table 3 grain size distribution of native gold in Xinqiao deposit

颗粒百分数 (%) 产出部位 \ 粒度 (微米)	>55	55—45	45—35	35—25	25—15	15—5	5—1	<1
铁帽上部②	2.94	8.82	35.29	0	1.47	7.35	44.12	0
铁帽下部②	0	0.27	21.02	9.43	7.82	19.41	42.05	0
原生矿带③	0.73	0.37	0.73	1.46	3.30	26.01	61.17	6.23

代家冲自然金的粒度分布特征

表 4

Table 4 grain size distribution of native gold in Dapijia chong Au-deposit

颗粒百分数 (%) 产出部位 \ 粒度 (微米)	60—50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—5	5—3	<3
代家冲 IV 号铁帽③	1.32	2.63	2.63	13.10	14.47	25.0	17.11	23.68

关于自然金的化学成分,如表 5 所示并与表 6 资料综合对比显示具有成色高(900 以上)和 Fe、Cu 含量较高的特点。

2. 针铁矿*

针铁矿是长江中下游铁帽型金矿床矿石的最主要组成矿物。同时也是最主要的载金矿物。据统计,代家冲自然金在针铁矿晶隙、裂隙中成“裂隙金”或在针铁矿中成“包体金”的占 83.8%,在石英中与针铁矿构成“连晶”的还占 3.7%②。代家冲和吴家金矿石中的针铁矿有

①赣西北地质大队,1984,江西武山矿区铜矿详细勘探报告(内部报告)。
②王知恩,1986,安徽铜陵新桥铁帽型金矿床地质特征及成因。《金银矿产选集》第六集 224~232 页。
* 针铁矿[Goethite, FeO(OH)]与水针铁矿[Hydrogoethite, FeO(OH)·nH₂O]只是含水量不同,但无严格界线。国外目前已将两者统称为针铁矿。

代家冲自然金的化学成分特点

表 5

Table 5 chemical analysis showing the composition of the native gold of Daijia chong deposit.

数据 项目 样号	Au (%)	Ag (%)	Fe (%)	Cu (%)	Bi (%)	As (%)	Sb (%)	Zn (%)	S (%)	成色 (‰)
85021-1	90.193	9.763	0.136	0.126	0.523	0.003	0.019	0.069	0.016	894
85021-2	91.377	8.877	0.500	0.027	0.338	0.036	0.029	痕量	0.016	903
Ⅲ-4	90.3	9.697	0.253	0.190	0.353	痕量	痕量	痕量	0.051	903
平均值	90.0	9.999	0.296	0.114	0.405	0.013	0.016	0.023	0.028	900

(注)除Ⅲ-4号样品 Au、Ag 为武汉地质学院岩矿测试中心测定外,其余数据均为广西冶金研究所物质结构研究室刘剑用电子探针仪测定

自然金的成色和若干微量元素含量特征

表 6

Table 6 purity of native gold and micro-element content

数据 项目 矿床	成色 (‰)	Fe (%)	Cu (%)	资料来源
代家冲铁帽	900	0.296	0.114	本文
代家冲ⅢⅣ号铁帽	943	0.162—2.54	0.152—2.44	①
新桥铁帽	889	1.6	0.1	②
西澳 Quinn 铁帽	941	0.12	0.07	[10]
内生深成金矿床	——	0.01	0.01	[4]
乌克兰内生中深金矿床	835		~0.001	[11]
乌克兰内生浅成金矿床	740		0.034	[11]

③安徽冶金地质勘探公司 812 地质队,1986,安徽代家冲铁帽型金矿勘查报告(内部报告)。

④汪正琼:1984,安徽铜陵代家冲含金铁帽的物质组成及金赋存状态初步研究。《金银矿产选集》第一集 251—258 页。

致密状、粉末状、针状三种形态类型。致密状针铁矿和针状针铁矿多产于地表及氧化带浅部,粉末状针铁矿则多产于氧化带较深部。致密状针铁矿在光学显微镜或电子显微镜下呈胶状、变胶状或小于 1 微米的“微晶”及草莓状集合体。粉末状针铁矿则呈微细针状晶体(长 3 微米、宽 0.2 微米)浸染状分布。针状针铁矿呈完善的斜方晶系晶形(长达 0.15~2 毫米),集成放射状、梳状集合体。由于这三种形态类型针铁矿在含水量、结晶程度、晶粒直径和晶体结构紧密程度上的不同决定它们在反射率、颜色指数、X 射线衍射图谱、晶胞参数、热效应、红外光谱和穆斯堡尔谱以至含金性上均有所差别(表 7)。

如表 7 所示,致密状针铁矿的反射率 R、视觉反射率 R_{vis} 及反射色颜色纯度 P_r 均小于针状

针铁矿。

表 8 列出代家冲、吴家针铁矿的化学成分特征：

铁帽型金矿床中针铁矿的标型特征

表 7

Table 7 typomorphic feature of goethite of the gossan type Au-deposit.

数据 形态 类型	项目 视觉反射率 $R_{0.10}$ (%)	X 射线衍射 图谱特征	单位晶胞 体积 $V_c(\text{\AA}^3)$	差热曲线 吸热谷 温度(℃)	红外光谱 $\delta_{OH}(\text{cm}^{-1})$	穆斯堡尔谱 $Q. S. (\text{mms}^{-1})$	颗粒 直径 (μm)	金的 含量 (g/t)
致密状 针铁矿	15.88— 16.97	峰较弱, 少数 峰顶有平台或 峰形圆缓	138.593	315	880— 885	0.465	<1	0.12
粉末状 针铁矿	—	峰较弱, 多数 峰顶有平台或 峰形圆缓	139.35— 140.29	325— 363	895— 902	0.423	宽 0.2 长 3	1.2— 1.24
针状 针铁矿	16.00— 17.75	峰较强, 峰顶 很尖	137.838	364— 390	895	0.27— 0.29	150— 2000	—

代家冲、吴家针铁矿的化学成分特征

表 8

Table 8 chemical compositional feature of goethite

in Daijia chong and wujia deposits

数据 类型 (样号)	项目 FeO (%)	OH (%)	Al_2O_3 (%)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Bi (%)	As (%)	Co (%)	Ni (%)	Mn (%)	Au (g/t)	Ag (g/t)
代家冲致密状 针铁矿(4D)	88.55	9.95	1.33	0.04	0.006	0.068	0.006	0.022	0.001	0.002	0.032	0.12	3.3
代家冲粉末状 针铁矿(A3)	86.91	9.76	1.55	0.62	0.169	0.25	0.011	0.524	0.066	0.05	0.087	1.20	9.2
吴家粉末状 针铁矿(15)	84.78	9.53	2.26	0.40	0.939	1.27	0.010	0.242	0.002	0.017	0.562	1.24	3.5

(注)测试单位: 湖南省地质矿产局实验研究中心

由表 7、表 8 资料等得知, 由致密状针铁矿至粉末状针铁矿到针状针铁矿含水量依次降低, 结晶程度增高, 颗粒直径加大, 差热曲线吸热谷温度提高, 穆斯堡尔谱四极分裂距缩小。含金性最好的粉末状针铁矿具有 X 射线衍射图谱峰较弱、多数峰顶有平台或峰形圆缓, 晶胞体积大于 $139\text{\AA}^3$, 差热曲线吸热谷温度在 325°C 和 363°C 之间, 红外光谱羟基面内弯曲振动 δ_{OH} 在 895cm^{-1} 之上(最高达 902cm^{-1})、穆斯堡尔谱四极分裂距在 $0.4\sim 0.45$ 之间以及含 Cu 高于 0.3% 、Pb 高于 0.1% 、Zn 高于 0.15% 、As 高于 0.2% 、Ni 高于 0.01% 、Mn 高于 0.06% 等寻找富矿的找矿标型特征。

代家冲赤铁矿的化学成分特征

表 9

Table 9 chemical composition of hematite of Daijia cheng Au-deposit.

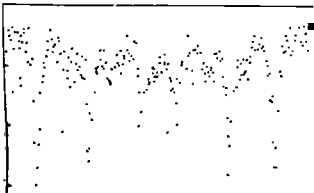
数据 项目 矿物 (样号)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Bi (%)	As (%)	Co (%)	Ni (%)	Mn (%)	Au (g/t)	Ag (g/t)
粉末状赤铁矿(sh)	97.12	1.54	0.24	0.172	0.043	0.009	0.77	0.054	0.041	0.011	2.09	5.78

(注)测试单位:湖南省地质矿产局实验研究中心。

3. 赤铁矿

代家冲、吴家铁帽矿石中赤铁矿含量较少,多产于氧化带较深部位。赤铁矿颗粒极细(小于1微米),常与石英、针铁矿、粘土矿物混在一起构成“红色土状富矿石”(含金24.76克/吨、银3.467克/吨)。由表9得知,寻找富矿的找矿标型特征之一为赤铁矿含Cu高于0.2%且含As高于0.5%。

由图1可知粉末状赤铁矿的穆斯堡尔谱参数局部磁场值Hi为510.312千奥斯特(KO),与表生成因赤铁矿的标型特征(Hi为516.1和517.5千奥斯特)相符^[12],高于岩浆热液成因赤铁矿的局部磁场值(491千奥斯特)^[13]。代家冲粉末状赤铁矿含MnO0.142%也与表生成因赤铁矿的化学成分标型特征(MnO小于



穆斯堡尔 参 数	同质异能 位移(mm/s)	四极分裂 距(mm/s)	局部磁 场值(千奥)	面积比 (%)
赤铁矿	0.375	0.435	510.312	57.4
针铁矿	0.420	0.184	360.751	42.6

图 1 代家冲粉末状赤铁矿(含针铁矿)的穆斯堡尔谱图及其参数

Fig. 1 Mossbauer spectral lines and parametres of powdered hematite (containing some goelhitite) of Daijiachong Au-deposit.

0.02%)相符,低于岩浆热液成因的赤铁矿(MnO 2.32%)^[5]。

4. 锰的氧化物和氢氧化物

经过X光鉴定或红外光谱分析确定长江中下游铁帽型金(银)矿床中有软锰矿、锰钾矿、锰钨矿、水钠锰矿和黑锌锰矿产出。其中锰钾矿(Cryptomelane)K(Mn⁴⁺,Mn²⁺)₆O₁₆、锰钨矿(Hollandite)B₆(Mn⁴⁺,Mn²⁺)₆O₁₆、水钠锰矿(Birnessite)Na₂Mn₂O₇·9H₂O和黑锌锰矿(Chalcophanite)(Zn,Fe,Mn)Mn₃O₇·3H₂O属本次研究新发现的表生锰矿物。

黑锌锰矿系少见矿物,国内外专门研究文献很少。此次研究在安徽铜陵MJS铁帽型银矿床的表层中新发现黑锌锰矿。此矿物呈板状晶体(长0.01~0.05mm)、环带状集合体产出。

在反光显微镜下显双反射和强非均质性，深红—桔红色内反射显著。其反射率色谱和反射色颜色指数见表 11。

若干表生锰矿物的 X 射线衍射图谱 表 10

Table 10 X-ray diffraction spectrum of some Mn-minerals.

数 据 项 目 矿 物	X 射 线 衍 射 特 征 图 谱 (Å)
锰钾矿	6.95(10);4.95(8);3.5(1);3.1(9);2.39(8);2.14(7);1.82(6); 1.42(5)
锰钡矿	3.49(强); 3.148(中); 2.427(中); 2.24(弱); 2.15(弱); 1.552(中)
钠水锰矿	7.155(强); 3.601(强); 2.377(中)

(注)测试单位:地质矿产部宜昌地质矿产研究所 X 射线实验室(粉晶照相及衍射仪)

MJS 黑锌锰矿的反射率色谱和反射色颜色指数特征 表 11

Table 11 Reflection spectrum and reflection colour index of chalcophanite (MJS).

数 据 项 目	反射率色谱(%) (入射光波长单位为毫微米)										反射色颜色指数				
	407	435	480	499	546	591	621	647	658	X	Y	Rvis (%)	λd (nm)	Pe (%)	
测定方位															
Rg'	35.5	28.8	28.1	28.3	25.7	24.2	23.6	23.0	22.3	0.3139	0.3201	25.51	482.3	7.70	
Rp'	18.2	11.0	12.2	10.8	10.2	10.1	10.1	10.0	11.0	0.3218	0.3178	10.25	469.2	5.56	

(注)测试单位:有色金属工业总公司矿产地质研究院

黑锌锰矿的红外光谱特征 表 12

Table 12 Infra-red spectrum of chalcophanite

数 据 项 目 矿 物	特 征 红 外 吸 收 峰 波 数 (cm ⁻¹)
MJS 铁帽中黑锌锰矿	444、475、502、532、618、656、1630、3315、3395
标准黑锌锰矿 ^[13]	320、440、474、496、530、620、790
富镍黑锌锰矿 ^[14]	449、479、506、538、595、625、662、799、1625、3324、3390
富锰黑锌锰矿 ^[14]	445、476、501、532、620、656、896、1633、3314、3368

(注)MJS 黑锌锰矿由武汉地质学院岩矿测试中心红外光谱室测定。

铜陵 MJS 产黑锌锰矿的红外光谱如表 12 所示,由最前面的四个尖峰证明其确系黑锌锰矿无疑。

由表 13 可知,MJS 铁帽中黑锌锰矿系富铁黑锌锰矿(Fe_2O_3 高达7.72%),具含 Cu、Au 较多的特点。研究结果表明,富铁黑锌锰矿可当作由铅、锌、银硫化物矿床氧化生成之含金铁帽型银矿床的标型表生矿物。

MJS 产黑锌锰矿的化学成分特征(附对比资料)

表 13

Table 13 Chemical composition of chalcophaita.

数据项目 样品 (号 码)	ZnO (%)	MnO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	CuO (%)	CoO (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	BaO (%)	H ₂ O (%)	Au (g/t)
富铁黑锌锰矿(51)	27.4	50.98	7.72	0.088	2.83	—	—	—	—	—	10.89	880
富铁黑锌锰矿(52)	27.44	51.60	7.72	0.203	2.83	0.194	0.097	0.009	—	—	9.91	—
纯黑锌锰矿	20.54	65.82	—	—	—	—	—	—	—	—	13.64	—
富镍黑锌锰矿	3.81	65.25	—	16.733	—	—	—	—	1.867	—	12.34	—
富锰黑锌锰矿	11.50	70.61	1.03	0.42	0.053	0.132	0.529	0.529	0.42	1.14	13.63	—

(注)51、52 号样品系武汉地质学院北京研究生院电子探针室测定。

代家冲铜蓝的反射率色谱和反射色颜色指数特征

表 14

Table 14 Reflection spectrum and reflection colour index of covellite

within Daijiachong Au-deposit

数据项目 测定 方位	反射率色谱(%) (入射光波长单位为毫微米)										反射色颜色指数				
	400	430	460	490	520	550	580	610	640	670	X	Y	R _{vis} (%)	λ_d (nm)	Pe (%)
R _g '	21.97	22.84	21.39	21.27	20.8	20.35	21.26	20.56	21.54	19.82	0.3301	0.3272	20.87	442.0	1.89
R _p '	17.57	18.72	17.08	16.12	14.64	13.28	11.86	10.91	11.2	10.92	0.2938	0.3015	13.32	480.4	16.21

(注)测试单位:武汉地质学院岩矿测试中心

5. 铜 蓝

在代家冲和吴家两矿区氧化带内有铜蓝产出。铜蓝颗粒细小(粒径约为 10 微米左右),在针铁矿间隙或裂隙中以及残余原生黄铁矿的裂隙中呈细脉状集合体出现。在反光显微镜下显示很强的双反射、反射多色性和非均质效应(偏光色为火红色)。代家冲产铜蓝的反射率色谱、反射色颜色指数和化学成分特点见表 14、15。由表 15 所示,代家冲铁帽型金矿床中铜蓝在化学成分上具有略亏硫(标准铜蓝含硫 33.28%、铜 66.43%)、多铁(一般铜蓝含铁 0.05%)、富金的特点,这也是表生铜蓝重要的找金化学成分标型特征。

代家冲铜蓝的化学成分特征

表 15

Table 15 chemical composition of covellite within Daijiachong

数据 项目 样号	Cu (%)	S (%)	Fe (%)	Co (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	Tl (%)	Bi (%)	As (%)	Au (g/t)
D—19	66.316	32.128	0.197	0.018	0.007	0.055	0.121	0.085	0.143	0.017	2850
85008	67.776	33.007	0.213	0.018	0.048	0.035	—	0.241	0.191	—	910

(注)测试单位:广西冶金研究所物质结构室(刘剑用电子探针仪测定)。

代家冲黄铁矿的化学成分特征

表 16

Table 16 Chemical composition of pyrite within Daijia chong Au-deposit.

数据 项目 产状 (样号)	Fe (%)	S (%)	As (%)	Se (ppm)	Te (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Au (g/t)	Ag (g/t)
IV号铁帽细粒 黄铁矿(D—2f)	46.90	52.11	0.131	11.9	14.2	100	0.1	20	20	50	0	9.06	4.3
IV号铁帽粗粒 黄铁矿(D—9c)	46.93	53.08	0.000	22.8	1.3	90	18	370	10	50	0	0.128	1.3
III号铁帽细粒 黄铁矿(DIII f)	47.37	52.59	0.000	13.6	4.8	90	15	190	0	30	0	2.23	2.2
III号铁帽粗粒 黄铁矿(DIII c)	46.95	53.27	0.393	11.0	2.3	1620	17	150	0	30	0	0.22	6.5

代家冲黄铁矿中微量铅的铅同位素组成特征(附对比资料)

表 17

Table 17 Isotopic composition of micro-Pb in the pyrite of Daijia chong Au-deposit.

数据 项目 产状 (样号)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	^{264}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb
矿石中残余黄铁矿 (D—2)	18.604	15.34	37.674	1.377	25.612	21.125	51.905
志留系沉积岩中结 核状黄铁矿(S—2)	18.477	15.748	38.868	1.350	24.938	21.260	52.472
地 幔 ^[17]	18.10	15.42	37.70				
上地壳 ^[17]	19.33	15.73	39.08				

(注)测试单位:地质矿产部宜昌地质矿产研究所同位素室

一般文献记载铜蓝是次生硫化物富集带的典型矿物。但最新的研究表明,铜蓝主要于第二循环富集作用过程中形成(见图2),在垂直剖面上位于潜水面之上,应归于氧化富集带而不

属于次生硫化物富集带^[15,16]。

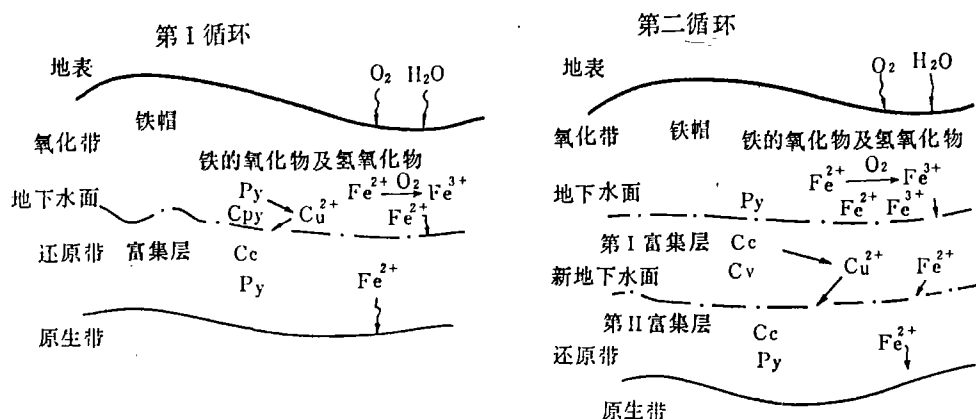
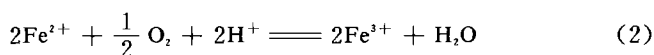
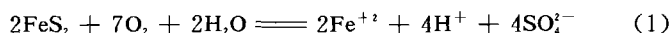


图 2 第I循环和第II循环风化富集模式图

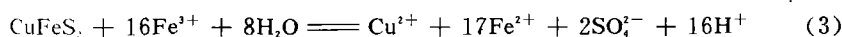
(图中Py为黄铁矿、Cpy为黄铜矿、Cc为辉铜矿、Cv为铜蓝)

Fig. 2 Schematic diagram of model for weathering enrichment in the first and second cycle.

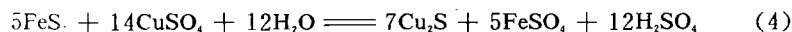
如图2左半部第一循环富集模式所示,最初主要是铁的硫化物在氧化带由氧化作用产生 Fe^{3+} 和 SO_4^{2-} :



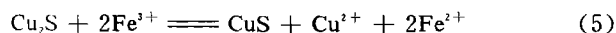
随后 Fe^{3+} 又与黄铁矿等铁的硫化物反应,产生更多的 Fe^{2+} 。同时还有一部分 Fe^{3+} 与黄铜矿等反应,使 Cu^{2+} 离子进入溶液:



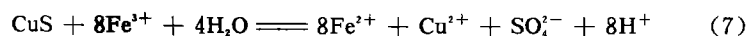
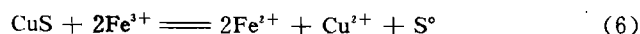
再后 Cu^{2+} 离子被淋滤至地下水面之下的还原带,与原生硫化物黄铁矿等反应形成辉铜矿,构成还原带富集层:



这种过程可持续相当长的时间,形成大量的次生辉铜矿。如由于构造运动、气候变化等原因引起地下水面下降,使原还原带富集层处于氧化环境,则进入第二循环富集作用期。如图2右半部第二循环富集模式所示,氧化作用导致 Cu^{2+} 不断淋失,从而使辉铜矿变为新氧化带中第一富集层内的铜蓝:



由于辉铜矿氧化(5式生成铜蓝)速率比铜蓝氧化(6、7式)速率大得多,故在淋滤速度不是很快的情况下,铜蓝可以稳定地产于氧化富集带。刚好与表生金的富集部位重合,故铁帽型金矿床中铜蓝富金(含金910~2850克/吨)。



6. 原生黄铁矿

代家冲黄铁矿的热电性特征

表 18

Table 18 Heat-electrical character of pyrite in Daijia chong Au-deposit.

数 据 项 目	产 状 (样 品)	III 型铁帽		IV 号铁帽			V 号铁帽	VI 号铁帽	
		$D_{III f}$	$D_{III c}$	$D_{z f}$	$D_{g c}$	1	15	D_V	D_{VI}
热电系数 $\alpha(\mu V/^{\circ}C)$		-61.4	-110.7	+426	-66	+196.4	+200.1	-77.4	+86.8
导电类型		p-n	n	p	p-n	p	p	n	p

(注)测试单位:湖北省地质矿产局实验研究中心和辽宁省地质矿产局实验研究中心。

(表中 n 为电子导型, p 为空穴导型, p-n 为空穴—电子混合导型)

代家冲铁帽之下未见原生块状硫化物矿体,即原生矿均处于潜水面上的氧化带中氧化殆尽,仅在铁帽中保存有少量硫化物矿物(以黄铁矿为主,另在反光显微镜下只见极少量的磁黄铁矿和黄铜矿)。残余黄铁矿主要呈细粒状结构(粒径为 0.12~0.2 毫米),少量为粗粒粒状结构(粒径为 1~4 毫米)。代家冲黄铁矿的化学成分特点如表 15 所示,其 S/Se 值平均为 35590、Co/Ni 值平均为 37.9、含锰极微,结合表 16 所示微量铅的铅同位素组成特征(矿石中残余黄铁矿明显不同于沉积岩中结核黄铁矿)可判断代家冲铁帽型金矿床原生硫化物矿床为来源于深部的岩浆热液矿床,而不是沉积矿床或沉积—改造矿床。由 Pb、Zn 含量很低(50ppm 以下)、Cu 微量(20~370ppm)、Au 有一定含量(0.128~9.06 克/吨、平均 2.91 克/吨)可推测原生矿床为含铜的黄铁矿型伴生金矿床(不是多金属建造)。

由图 3 及表 18 所示黄铁矿的热电系数特征(形成温度较高、形成深度较大的黄铁矿显示电子导型,温度、深度居中的为混合导型,形成温度较低、形成深度较小的为空穴导型^[18]),可推测原生矿体的形成温度和形成深度由 V 号铁帽至 III 号铁帽到 IV 号铁帽再到 VI 号铁帽依次降低和减小。

在进行本文工作过程中得到江西省地质矿产局赣西北地质大队黄恩邦总工程师、华东冶金地质勘探公司 812 地质大队赵俊深副总工程师和本课题组同志的支持和帮助,谨此致谢。

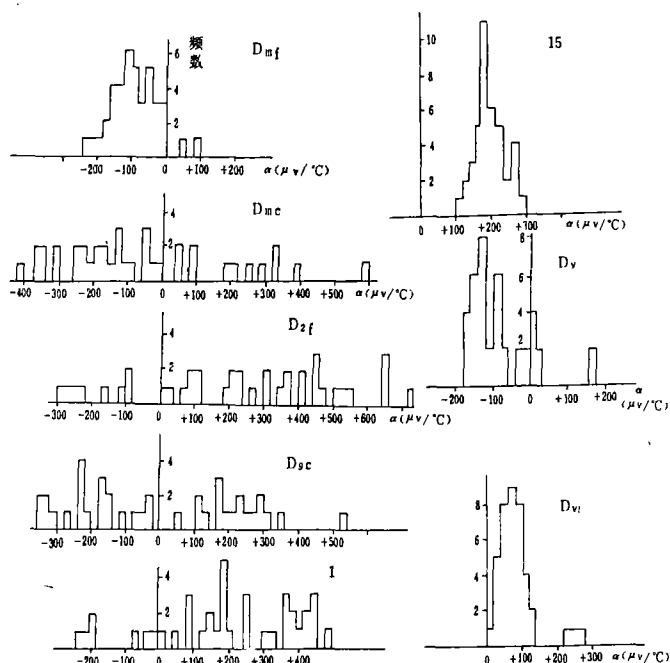


图 3 代家冲黄铁矿的热电系数分布频率图

Fig. 3 Frequency of heat-electrical coefficient of Pyrite of Daijia cheng Au-deposit.

参考文献

- [1] 徐国风、邵洁涟, 1986, 铁帽型金矿床的基本地质特征和控矿因素。武汉地质学院《地质科技情报》1986年第1期 79~83页。
- [2] 李文达等, 1980, 长江中下游硫化物矿床氧化带及铁帽评价。地质出版社。
- [3] 戴瑞榕等, 1984, 新桥铜硫铁矿床金的赋存状态及分布规律。《地质论评》第30卷第2期 126~134页。
- [4] 徐国风、邵洁涟, 1981, 金及相关金属矿物的成因标型特征。《地球科学》1981年第2期 251~258页。
- [5] 徐国风等, 1984, 河南某矿区斑岩型钼—多金属硫铁矿床假像赤铁矿研究。《地球科学》1984年第4期 65~70页。
- [6] 彭文世、刘高魁, 1982, 矿物红外光谱图集。第136页。科学出版社。
- [7] Taube A., 1986, The Mount Morgan gold-copper mine and environment, Queensland; a volcanogenic massive sulfide deposit associated with penecontemporaneous faulting. *Econ. Geol.* vol. 81, №6, 1322-1340.
- [8] Bache J. J., 1987, *World Gold Deposits A Quantitative Classification*, Elsevier publishing company, New York, Amsterdam, Oxford.
- [9] Russel N., et al., 1981, *Geology and Geochemistry of the Pueblo Viejo Gold-Silver Oxide Ore Deposit, Dominican Republic*. Institution of Mining and Metallurgy. Section B, *Earth Sci.* vol. 90, P. 153~161.
- [10] Wilson A. F., 1984, Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils—A review and some new observations. *Austra. Jour. Earth Sci.* vol. 31, 303—316.
- [11] Латыш Н. К., 1984, Атлас морфології, структур и асоціацій самородного золота України. Київ Наука Думка.
- [12] Murad E., 1979, Mössbauer spectra of goethite; evidence for structural imperfections. *Miner. Mag.* vol. 43, 355—361.
- [13] Murad E., 1982, Iron oxide mineralog of a hydrothermal assemblage on Santorin Island. *Miner. Mag.* vol. 46, 89—83.
- [14] Ostwald J., 1985, Some observation on the chemical composition of chalcophanite. *Miner. Mag.* vol. 49, 752—755.
- [15] Rimstidt J. D., et al., 1986, Rate of Reaction of Covellite and Blaubleibender Covellite with Ferric iron at pH 2.0. *Can. Mineral.* vol. 24, 35—44.
- [16] Horzempa L. M., et al., 1979, Controls on the stability of sulfide sols; colloidal covellite as an example. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 43, 1645—1650.
- [17] Doe B. R., Zartman R. E., 1979, Plumbotectonics, the phanerozoic, In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Edited by H. L. Barnes.
- [18] Коробейников А. Ф., Пшеничкин А. Я., 1985, Геохимические особенности пирита золоторудных месторождений. *Геохимия*, 1985, №1, 93—104.

ON STUDY OF ORE MATERIAL COMPOSITION OF GOSSAN-TYPE GOLD DEPOSITS FROM MIDDLE AND LOWER REACHES OF YANGTZE RIVER, CHINA

Shao Jielian Li Liping

(University of Geosciences of China)

Abstract

Gossan-type gold deposit is of important economical value. By the study of ore chemical composition of gossan-type gold deposits from the middle and lower reaches of Yangtze River, we find that, in the ore, the Au content increases with the increase of Cu, As and Bi contents and the decrease of Ba, Mg contents, while the Ag content rises with the increase of Mn, Pb and Zn contents. The authors propose the minor elements indicators in evaluation of gold-bearing ability of gossans as follows. In the gossan ores with $Cu + As$ (both in wt%) > 0.01 , the content of Au is often greater than 1 g/t, while those with $(Mn + Pb + Zn) > 0.5$ (all in wt%), the content of Ag is over 5 g/t. The emphasis is placed on the mineralogy of supergene gold, goethite, hematite, oxides and hydroxides of manganese (chalcophanite, birnessite, hollandite, cryptomelane and pyrolusite), covellite, and remnant primary pyrite, etc. A lot of genetic information and ore prospecting typomorphic peculiarities are extracted from these minerals.

书评——“成因矿物学与找矿矿物学”

“成因矿物学与找矿矿物学”由陈光远教授编著。已于1987年由重庆出版社出版。这是一本理论体系完整,内容新颖,资料丰富,理论联系实际,图文并茂的巨著。该书是陈光远教授等多年从事科研与教学的结晶,收集综合研究了大量国内外成因矿物学与找矿矿物学的成果与实例,反映了当代矿物学的研究水平,是一本系统、全面的成因矿物学与找矿矿物学的学术专著,使矿物学由描述阶段进入到成因—找矿阶段,对找矿、成矿预测具有指导意义。全书共10章、67万字、插图302幅。

“成因矿物学与找矿矿物学”重点研究了矿物的起源和发展,矿物和矿物组合的发生与发展,形成与演化的环境、条件和过程;研究了矿物的形态、成分、结构和性质的形成条件;成矿物质来源,以及由此产生的成因信息和成因标志;研究了不同属性矿物及其组合在时间和空间的分布规律。提出了自然矿物原料的找矿方向和找矿标志,本书独创地建立了矿物成因族的理论、方法和内容,特别对角闪石成因矿物族的深入研究,对发展成因矿物学,进行矿物填图找矿、划分变质相、带、区分岩石类型和矿床类型都具有方向性的指导意义。本书提出了“成因矿物学与找矿矿物学”的研究思路、研究方法,指导了今后的研究工作。本书还指出了成因矿物学的研究领域、研究课题、研究方向和发展趋势,推动了该学科的发展。(下转84页)