

使在成矿断裂的主裂面上下,产生宽达数十米的蚀变岩带。整个蚀变范围亦即是金矿化空间。矿石与玲珑、郭家岭岩体以及胶东群变质岩具有类似的硫同位素组成和微量元素。胶东群变质岩是提供金质的重要源地,混合岩化、花岗岩化熔浆和热液活动是促使金矿物质(在高温状态下这种热液具有吸收成矿物质的能力,使自身成为含矿溶液)富集的直接因素。属再造岩浆期后热液型金矿。

成矿预测

1.隆起与拗陷之间的断裂构造以及燕山期玲珑、郭家岭侵入体三者最佳汇合地区,是产生焦家式金矿矿化集中区的重要条件。

2.区域性的大断裂,尤其是连接两个不同构造体系长期活动的深断裂,对于金矿成矿带的形成起控制作用,如招掖地区的金矿,就是沿三山岛、黄掖、招平三条大断裂带分布。区域性的深断裂与派生的次级断裂汇合处是产生矿床的有利部位。

3.焦家式金矿无论是在热液成矿作用过程或是表生作用过程,Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Bi等元素总是组合在一起,而与矿体、蚀变带的位置相吻合,故可视为近矿的指示标志。Cu、Pb、Zn三元素异常一般出现在矿化区外围,属于矿床的前沿晕。另外,矿化区中心成矿元素和伴生元素浓度相对增高,渗滤扩散作用加强,成晕规模

也较大,因而对此类矿床的预测,建立矿床、矿带的地球化学模式,查清成晕机制是至关重要的。

4.富含花岗岩出现强绢云母化、硅化、黄铁矿化的叠加是重要的矿化信息。

5.资源潜力估价,本区含矿地质体的最佳区域,即招远西北和掖县的东北部,面积约600平方公里,若以成矿深度4公里计,则含矿地质体体积为 $4 \times 6 \cdot 10^{11}$ 立方米。按平均含金量0.016ppm计算,金的总量是可变的,设想其中1%的金被富集形成矿床,就可以形成规模大于10吨以上的金矿床近百处,由此可见本区含金矿的前景是很大的。

结束语

综上所述,焦家式金矿的发现,不仅使山东省的黄金储量跃入全国首位,而且是勘探经济效益最佳、工业意义很大的一个有希望的新类型金矿,为此应进一步系统地开展基础地质研究工作,总结成矿规律,扩大找矿效果。

文内引用的一些测试数据,多数取自本队综合组的成果,插图由徐京平同志清绘,在此致谢。

主要参考文献

- [1] 南京大学地质系, 1979, 地球化学, 科学出版社
- [2] 长春地质学院, 1978, 矿床学
- [3] 范永香, 1982, 地质与勘探, 第5期
- [4] 山东地质局六队, 1981, 山东省构造体系与金矿分布规律说明书(未刊)

红透山铜矿床氧化带特征及其发育过程的探讨

东北工学院

周光宇

我国对硫化矿床氧化带的研究工作,过去在西北干旱地区和长江中下游一带进行的较多,在辽宁地区,则很少有人研究。

六十年代初期,辽宁红透山铜矿床,在小露天开采中,对地表的矿柱部分进行了剥离,矿床的氧化带、二次硫化富集带和原生带全部揭露出来。当时我们从地表往下对矿床各带做了全面观

察、取样及资料收集。近期,又在原有工作基础上,补充做了一些化验和鉴定工作。本文就是在这样两段工作基础上完成的。

矿区自然地理及地质概况

1.自然地理 本矿区位于中纬度地带,地貌上属于中山区。在风化剥蚀中,矿床周围未受切

割,最大标高510米,最低标高240米。

本区气候变化较大,年最高气温33℃(八月),最低气温-32.4℃(一月),平均气温5.5℃。季节为夏短冬长,冰冻期长达5个月。另外,全年降水量为648.1~1257.3毫米,主要集中在7~8月间,夏秋两季蒸发量大,占年蒸发量的70~80%。

矿床地下水水面随季节变化,一般标高在395~399米之间;地下水与地表水联系密切,特别是在雨季。根据矿山资料,地下水的化学类型属于HCl—Na—Ca和 HCO_3^- — SO_4^{2-} — Ca^{2+} — Na^+ 型。矿化度为2.00~7.00毫克当量/升。pH值4.02~8.25。

不同标高地下水(矿坑水),其化学成分、pH值都有差别,特别是化学成分明显不同(表1)。

矿床不同标高地下水(矿坑水)

化学成分(毫克/升)

表1

序号	标高	Fe^{2+}	Fe^{3+}	SO_4^{2-}	Cu^{2+}
1	369	0.161	0.251	189.72	0.30
2	375	2.870	1.120	204.12	0.30
3	387	7.620	17.370	148.89	1.00
4	395	6.500	33.500	256.96	0.40
5	421	0.150	0.140	76.85	0.30

矿体和围岩的渗透性明显不同,根据49号和55号钻孔抽水试验,矿体上下盘围岩渗透系数为0.00004~0.0002米/昼夜;矿体渗透系数为0.316米/昼夜。可见围岩渗透系数很小,有利于形成二次硫化富集带。

2. 矿床地质特征 红透山铜矿床赋存于鞍山群中,矿体上盘主要是硅线石石英黑云母片麻岩,下盘是斜长角闪片麻岩,具有一个封闭的围岩条件。

矿床呈矿柱产出,主要受走向褶曲和倾向褶曲所控制,延深大于延长,矿柱倾向160°,倾角70°~80°;主要断层有 F_{5-1} 、 F_{3-1} 和 F_{5-3} ,大都为岩脉所充填。

矿石类型主要有三种:①黄铜矿—闪锌矿—黄铁矿矿石(矿体中部);②黄铁矿—磁黄铁矿—黄铜矿矿石;③磁黄铁矿矿石(矿体边部)。组成矿石的主要金属矿物有黄铁矿50%、磁黄铁矿30%和黄铜矿10%。其次还有闪锌矿4%、白

铁矿及少量辉钼矿和方铅矿。脉石矿物有绿泥石、石英、绢云母、白云母、透闪石、堇青石、绿帘石、萤石、石榴石、斜长石及金云母等。

矿石结构有自形晶、半自形晶、他形晶、海棉晶铁等结构。其中,黄铁矿多呈巨晶立方体、五角十二面体;磁黄铁矿和黄铜矿呈粗粒他形、细粒他形;闪锌矿呈粗粒半自形和细粒半自形。

矿石构造有块状、浸染状、角砾状、条带状等。

氧化带特征

红透山矿床的小露天开采深度,已经达到原生矿石带,因此,氧化剖面均可直接观察(图1)。根据不同部位矿物成分及结构构造的研究,可将氧化带的特征归结如下。

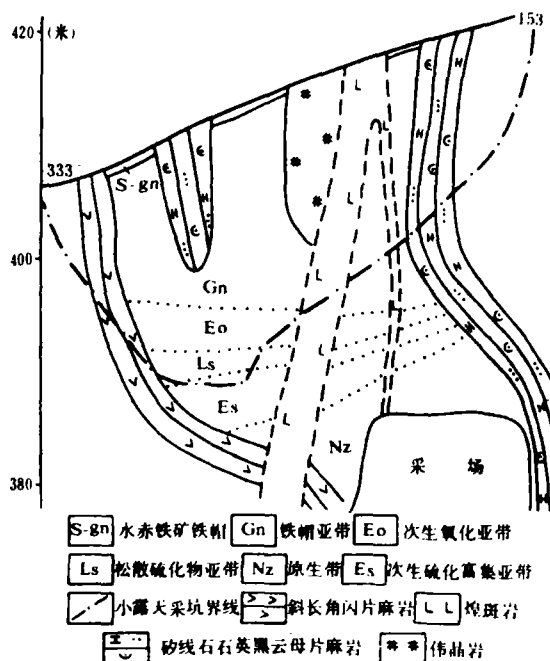


图1 小露天采坑13—1线氧化剖面图

1. 垂直分带明显 矿床由地表往下,可明显划分为五个亚带。

(1) 铁帽亚带 从小露天13—1线剖面观察,铁帽亚带大致在397米标高以上,厚度20~25米。主要矿物成分由铁的氧化物和氢氧化物组成。由于原生矿物成分的不均一性,氧化后形成的铁帽在物质成分及结构构造上都发生了变化,根据其不同特点,可将铁帽分为两种:

①水赤铁矿铁帽，出现在地表附近（图1中S—Gn），主要由水赤铁矿组成，一般为红色粉末状。

②针铁矿—水针铁矿铁帽，这是构成铁帽亚带的主体（图1中Gn），主要由针铁矿和水针铁矿组成，一般为棕色或黄褐色。它们主要由黄铁矿和磁黄铁矿氧化而成。铁帽中常可见到黄铁矿的立方体假象，有时也可见到黄铁矿残体。

（2）次生氧化亚带 在铁帽亚带之下是次生氧化亚带，该带大致位于392~397米之间，两带之间没有明显界线。主要由稀疏空洞状褐铁矿组成。此外，还有少量致密块状的褐铁矿。在褐铁矿空洞中可见到少量自然铜和赤铜矿。褐铁矿主要由针铁矿组成。对该带十几个样品的化学分析表明，铜品位为0.6~1%。

（3）松散硫化物亚带 在次生氧化带之下，大致在390米标高以上和396米标高以下是松散硫化物亚带（图1中Ls），主要由松散砂粒状黄铁矿组成。这一亚带的特点是目前正在进行着强烈氧化淋滤作用，矿石中有益组分大量转入溶液向下渗滤，形成了次生硫化富集带。另一方面，又形成大量的硫酸盐矿物；当揭露该带时可见到大量的含水硫酸铜及矾类矿物，如胆矾、水绿矾和锌矾等，颜色分别为淡蓝色、淡黄色和淡绿色。从坑道水样分析结果（表1）可以证明，矿石中的铜离子大量转入溶液并向下渗滤。在390~396米硫化物强烈氧化， Cu^{2+} 浓度为1，矿石变得松散，铜大量向下迁移。在396米时 Cu^{2+} 浓度为0.3，可见下部铜离子大量减少。

（4）次生硫化富集亚带 次生硫化富集亚带位于松散硫化物亚带之下（图1中Es），两带之间没有明显界线，局部与松散硫化物亚带重叠与交叉。该带大致在385米至395米之间，下盘较厚，可达10米以上。经过二次富集后，铜的品位增高几倍到十几倍，个别样品品位高达35%。

（5）原生硫化物带 此带一般在395米到385米以下部位，与次生硫化富集亚带呈渐变过渡。

2. 氧化带矿物 当原生矿床暴露地表以后，在表生作用下，物质成分、结构构造都发生了很大变化，特别是形成了很多新矿物。在以往工作

中，先后发现表生矿物20多种，它们分别赋存在亚带中，其矿物的种类和数量如表2。

氧化带矿物分布表 表2

矿物分类	矿物名称	铁帽亚带	次生氧化亚带	松散硫化物亚带	次生硫化富集亚带
自然元素	金	+			
	铜		++		
硫化物	铜蓝			+	++++
	斑铜矿				+++
	辉铜矿				
	黄铁矿	+		++++	++
	白铁矿			++++	+
	黄铜矿			++	+
	闪锌矿				+
	磁黄铁矿				+
氧化物及氢氧化物	针铁矿	++++	++++		
	水针铁矿	++++	++++		
	赤铁矿	+++	++		
	水赤铁矿	+++	++		
	石英	+++	+++	+++	+++
硫酸盐	胆矾			+++	++
	水绿矾			+++	++
	锌矾			+	
碳酸盐	孔雀石	+	+		
	蓝铜矿	+	+		
	方解石	+	+		
硅酸盐	高岭石	++	++		++
	水云母	++	++		+
	蒙脱石	++	++		+
	绢云母	++	++		+

注：++++表示大量；+++表示多量；++表示常见；+表示少见。

3. 铁帽的类型 根据矿物成分和结构构造，可将铁帽划分为四种基本类型：①致密型铁帽；②浸染型铁帽；③疏松型铁帽；④蜂房型铁帽。一般在铁帽亚带的表层是疏松型铁帽，其下为蜂房型和致密型铁帽，靠近围岩的为浸染型铁帽。各类型铁帽特点如表3。

4. 铁帽的化学成分 从化学分析资料（表4）可以看出，不同矿石类型，在化学成分的含量

量上有着明显的不同。

(1) 铁帽中三氧化二铁含量的变化 硫化矿床遭受氧化、淋滤,最后形成由针铁矿、水针

铁矿为主的铁帽,这种铁帽的化学成分以 Fe_2O_3 为主,含量在62.88%以上,一般在39~90%之间变化。

矿床的铁帽类型

表 3

铁帽类型		颜色	构造	矿物组合
块状铁帽	富铜	深棕或黑色	致密块状	针铁矿、水针铁矿 赤铁矿、水赤铁矿、孔雀石
	贫铜	黄褐或深棕色	微蜂房状	针铁矿、水针铁矿 赤铁矿、水赤铁矿
浸染型铁帽	富铜	红褐色	浸染状	针铁矿、黄铁矿、黄铜矿
	贫铜	红褐色	条带状	针铁矿、水针铁矿、石英
疏松型铁帽	贫铜	红色	土状、粉末状	赤铁矿、针铁矿、粘土矿物
蜂房型铁帽	富铜	黄色或黄褐色	蜂房构造	针铁矿、水针铁矿、粘土矿物

不同矿石类型化学成分表

表 4

矿石类型		Fe_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	FeO	MoO	Cu	Zn	S
原生矿	致密块状	15.219	11.400	1.335	1.391	3.479	33.650	0.049	2.013	1.576	19.970
	浸染状	3.134	77.563	0.571	1.196	5.584	6.057	0.167	0.483	0.132	4.285
氧化矿	块状	62.88	13.32	0.210	0.680	4.870	0.540	0.060	0.280	0.095	0.610
	条带状	33.15	47.50	0.530	1.140	5.760	1.200	0.040	0.250	0.041	0.520

(2) 造岩元素硅、钙、镁、铝的变化 在铁帽中,除石英外其他原生矿物很少见到。 SiO_2 主要以残存石英的形式存在,极少量的次生石英呈隐晶质同针铁矿、水针铁矿混合在一起。从表 4 可见,原生富矿中含 SiO_2 11.400%,氧化富矿中13.32%,表明矿石在表生条件下,因其他元素的淋失而使 SiO_2 得到相对富集。

CaO 和 MgO 在氧化带中含量分别为0.21%和0.68%,而原生带中含量是1.335%和1.391%,明显看出Ca和Mg大量转移。

Al_2O_3 在铁帽中含量为4.87%,原生带中含量为3.439%,可以看出 Al_2O_3 在铁帽中有所增加,这与 SiO_2 的相对增加是类似的。

(3) 造矿元素铜、锌的变化 铜在氧化带中是活动性强的元素之一,矿石经充分氧化后,大部分铜淋失,以矿物形式存在者极其罕见。铁帽中铜的含量平均为0.3%。

矿床各亚带微量元素的含量表

表 5

种类	元素	铁帽及次生氧化亚带	松散硫化物及次生硫化富集亚带	原生矿石带
化学分析	Se	0.0014~0.044	0.340~0.460	0.0011~0.0052
	Ga	0.0004	0.0014	0.0001~0.001
	In	0.0002	0.0028	0.0019~0.0029
	Te	0.0006	—	0.0008~0.0019
	Cd	—	0.01	0~0.23
	Tl	0.0005	0.0011	0.0001~0.0002
光谱分析	Co	—	—	0.001~0.03
	Ag	0.001~0.003	0.0007~0.001	0.0001~0.0003
	Sn	0.01~0.05	0.003	>0.003
	Ni	>0.001	—	>0.001
	Ti	>0.1	0.1	0.08
	V	<0.005	0.005	0.005
	Mo	<0.0025	0.0025	0.0025

锌也是该带中活动性强的元素之一,它在氧化带中最先氧化,而且几乎全部淋失。

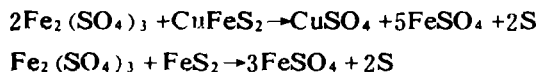
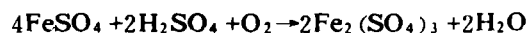
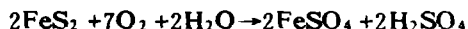
5. 氧化带中的微量元素 根据对不同亚带矿石的化学和光谱分析(表5)可以看出,微量元素在氧化带中种类较多,其中主要的有益元素有以下几种:

Se在氧化矿石内相对富集,铁帽亚带(Se 0.0014~0.044%)含量较高,次生硫化富集亚带含Se特高(0.48%);Co在原生矿石带含量为0.001~0.03%,在氧化带中不含Co,说明Co在氧化带已全部淋失;Ag在氧化带中含量为0.001~0.003%,在原生带中含量为0.0001~0.0003%,可见Ag在氧化带中有所富集。

矿床氧化带的发育过程

目前我们所观察到的地表氧化带是风化剥蚀的产物。根据铜的二次富集特点,矿床上部估计有二百多米被剥蚀。我们所看到的垂直分带现象、各带的矿物共生组合及氧化矿石的结构构造特征,不仅反映了一定自然地理条件下氧化作用的阶段性,而且也说明了那些阶段是主要的,那些阶段是次要的或根本不存在。这里着重讨论硫化矿床氧化带发育阶段在本矿床的表现程度。

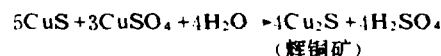
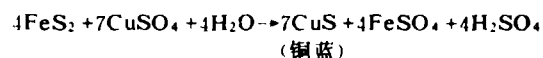
1. 硫酸盐阶段 当矿体暴露地表后,由于矿体中含有大量硫化物,因此,氧化作用进行的速度很快,溶液酸度很快变为强酸性。其中黄铁矿氧化溶解直接生成 H_2SO_4 和 $FeSO_4$,而 $FeSO_4$ 极不稳定,再氧化为 $Fe_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ 又同其他硫化物发生连锁反应:



$4Fe_2(SO_4)_3 + ZnS + 4H_2O \rightarrow ZnSO_4 + 8FeSO_4 + 4H_2SO_4$
这种硫酸和硫酸盐溶液,形成本阶段强酸性环境。在表1的395米标高中, Fe^{3+} 离子平均浓度为33.50毫克/升, Fe^{2+} 离子6.5毫克/升, SO_4^{2-} 离子269.56毫克/升, Cu^{2+} 离子0.4毫克/升,基本上反映了氧化阶段溶液的特征。

在该阶段所形成的硫酸盐,由于溶解度不同,在迁移过程中发生不同变化。其中 $ZnSO_4$ 溶解度大,在下渗中被地下水带出氧化带,因此,氧

化带很少见到锌的矿物。 $CuSO_4$ 溶液向下渗滤到潜水面以下,由于还原作用, $CuSO_4$ 溶液与原生硫化物发生连锁反应:



上述氧化作用条件的变化及表生作用产物可从图2加以说明。

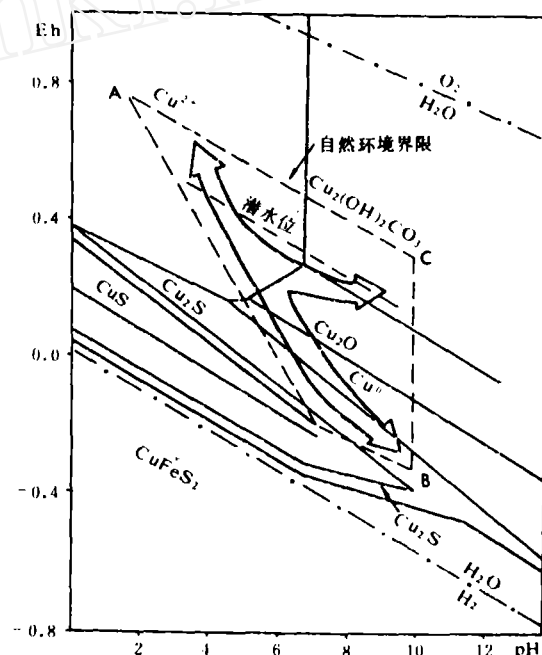


图2 铜矿物稳定范围的综合图解
(引自Brown, 1975)

当闪锌矿和黄铜矿从深部的还原环境(B点)转到地表氧化的酸性环境(A点)时,闪锌矿和黄铜矿中的Zn和Cu呈硫酸盐在溶液中被迁移。在迁移中,由于围岩中 $CaCO_3$ 含量很少,pH值变化不大,因此,氧化带中孔雀石很少。

当 $CuSO_4$ 进入潜水面以下时,Eh值低,pH值基本不变,表生变化就沿A到B的方向进行,形成了次生硫化富集亚带的铜蓝、斑铜矿及辉铜矿。

当地下水位下降时,氧化带向下延伸,表生变化沿B到A方向进行,这一途径表明pH值降低和Eh值升高。红透山矿床次生氧化亚带中的

自然铜和赤铜矿就是这种成因。

2. 碳酸盐阶段 由于原生矿石中存在大量黄铁矿、磁黄铁矿及黄铜矿,在氧化过程中 SO_4^{2-} 离子的浓度很高。当碳酸盐脉石和强酸溶液接触后,可发生两种情况:一是溶液酸度降低,变为弱酸性或中性,溶液中的铜成为碳酸盐矿物沉淀下来;另一种情况是多量硫酸盐溶液很快把碳酸盐溶液中和,从而溶液很快成为强酸性。因此,后者只出现了短暂的碳酸盐阶段;随后由于酸度升高,碳酸盐矿物处于不稳定状态,逐渐减少或消失。本矿床围岩主要是角闪斜长片麻岩,氧化过程中碳酸盐阶段不够明显,这就足以解释矿床铁帽中孔雀石成为少量矿物的主要原因。

3. 氧化物和氢氧化物阶段 在通常情况下,硫化物遭受氧化后,随着氧化作用的进展直接到硫化物块体的消失,溶液沿着酸性→弱酸性→中性→弱碱性→碱性的方向变化。在硫酸盐阶段总的来看,虽然溶液的酸性很强,但是由于季节的降雨,溶液可改变为弱酸性或中性,这样三价铁的硫酸盐发生水解 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4]$,形成褐铁矿。当季节降雨过后,溶液又恢复强酸性,三价铁的硫酸盐水解作用大大减弱,因此,褐铁矿的形成作用虽然在硫酸盐阶段就已开始,但这一时期形成的数量确不多。当矿床上部矿体硫化物氧化基本消失,溶液得到稀释,高铁硫酸盐才得以大量水解。这是铁帽亚带的褐铁矿形成的主要阶段。

褐铁矿形成以后,在表生作用下,矿石的结构构造、矿物成分还要发生进一步改变。铁帽顶部的针铁矿氧化和脱水,形成赤铁矿和水赤铁矿,这是氧化带发育过程中延续时间最长的一个阶段。

综上所述,可以看出红透山铜矿床氧化带发育过程的特点是:氧化物和氢氧化物阶段是最重要也是延续时间最长的一个阶段;硫酸盐阶段不仅存在而且很强烈;碳酸盐阶段不明显。

结 论

1. 硫化矿床氧化带不仅在西北地区和长江中下游一带发育,在辽宁地区也同样发育着完好的氧化带。红透山矿床氧化带的发育特点,具有一定的代表性。这些特点是铁帽亚带较厚;次生氧化亚带与铁帽亚带之间没有明显界线;松散硫化物亚带与次生硫化富集亚带发育完全,氧化作用过程中,起重要作用的是硫酸盐阶段和铁的氧化物与氢氧化物阶段。

2. 氧化带的形成虽与诸因素有关,但是就红透山矿床而言,氧化带的发育主要受地貌特征所控制。如,本矿区的树基沟矿床与红透山矿床属于同一成因类型,特征基本一致,只是地貌上不同,树基沟矿床切割较厉害,而红透山矿床未受切割,因而氧化带才得以保留。

3. 从松散硫化物亚带中发现有大量的矾类矿物,说明氧化淋滤作用还在进行。

4. 硒在次生硫化富集带中含量为0.48%,该带不仅是富铜矿体而且也是硒矿体。

主要参考文献

- [1] 李锡林等, 1966, 硫化矿床氧化带研究, 科学出版社
- [2] 李文达等, 1980, 长江中下游硫化物矿床氧化带及铁帽评价研究, 地质出版社
- [3] 曹添等, 1962, 地球化学, 中国工业出版社
- [4] Habashi F., 1966, Econ. Geol., V. 61, p. 587~591



庆祝党的生日

时玉琛篆刻