

# 铜陵地区含金硫化物矿床 氧化带特征及金(银)的赋存状态<sup>①</sup>

刘成刚

(合肥工业大学)

**提 要** 含金硫化物矿床在表生作用下,由于各种金属矿物的物理化学性质不同而形成了明显的分带特征。矿体中的物质成分发生分解构成了铁帽型金(银)矿床,其中金、银自上而下形成了次生富集矿体。

本次工作采用了矿相鉴定、化学物相分析、原子吸收光谱、电子显微镜及电子探针等测试手段,在前人工作基础上进一步查明了安徽铜陵地区含金硫化物矿床的表生分带及金(银)的赋存状态。

**关键词** 含金硫化物矿床 表生作用 氧化带铁帽型金(银)矿床 赋存状态

我国硫化物矿床分布广泛,尤其是长江中下游一带,有较适宜的气候及水文地质条件,有利于硫化物矿床氧化带的发育及金(银)的富集,形成铁帽型金(银)矿床。安徽铜陵地区即是一典型代表。该区含金硫化物矿床氧化带的特征,基本上反映了我国中纬度温湿地带硫化物矿床表生变化的一般规律。

含金硫化物矿床氧化带中生成的铁帽型金(银)矿床,埋藏浅,品位富,选冶性能好,金(银)回收率高达90%以上,具有很高的经济价值,近年来已引起国内外地质学家们的高度重视。认真总结含金硫化物矿床氧化带特征及其中金(银)的赋存状态,对寻找该类型矿床有着重要的理论和现实意义。

## 1 矿床地质特征

该区位于扬子准地台下扬子台褶皱带(黄汲清,1979)贵池—繁昌凹断褶皱束(严坤元,1963)的中段。区内发育有志留系到三叠系浅海—滨海相碎屑岩—碳酸盐岩。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统、上二叠统、三叠系之间均呈假整合接触。区内还发育有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、凤凰山等)、硫铁矿

<sup>①</sup> 本文系国家自然科学基金资助项目“安徽铜陵地区硫化物矿床氧化带中金(银)的性状及找矿方向”的成果之一。

矿床(如新桥、天鹅抱蛋山等)、伴生金矿床(如新桥、金口岭等)和独立原生金矿床(如马山)产出。

区内主体构造线方向由 NNE 转为 NE, NNE—NE 向褶皱发育。纵向断层主要沿上述地层间的假整合面发育,许多岩体、矿体产于层间断裂中。另有一些规模较小的 NW 向断层把这些顺层产出的岩体、矿体错断,断距较小,一般对原生矿体的破坏作用不大,但对氧化带铁帽的形成却起了促进作用。

该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,沿巨型深大断裂破碎带发育成为长江河谷。自中新世以来,该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。从铜陵地区某些石灰岩溶洞处于不同高程位置分布来看,该区新生代曾发生强烈的升降运动,这可能是导致该区氧化带铁帽深度较大的原因。地区潜水面均高于铁帽下界,表明曾经历过大幅度的抬升作用。铜陵地区气候温和多雨,四季分明,植物茂盛。这种亚热带潮湿气候,有利于氧化带铁帽的发育和铁帽金(银)矿床的形成。本区地形和气候的某些特征性数据如表1所示。

表1 铜陵地区地形、气候特征

Table 1 Features of relief and weather in Tongling district

最高气温(℃)	最低气温(℃)	年均降雨量(mm)	年均蒸发量(mm)	最大高程(m)	最小高程(m)	最大高差(m)
37~39	-11.5	1571.5	1425.9	560	40	520

现以黄狮涝山、代家冲及新桥铁帽型金(银)矿床为例,列表说明该区含金硫化物矿床氧化带中金(银)矿床的地质特征(表2)。

铜陵地区铁帽型金(银)矿床主要赋存部位为石炭系下统高骊山组砂页岩与上统壶天群灰岩之间,受层位及层间断裂破碎带控制,为含金硫化物矿石氧化的产物。Ag、As、Sb、Bi 为主要伴生元素,银含量可达几百甚至几千 ppm,在有利地区形成银矿床。

新桥铁帽型金(银)矿床深部原生含金硫化物矿床规模较大,成矿物质来源丰富,表生分带齐全,剥蚀程度较浅,因此氧化带正处于发展时期。与此相反,代家冲铁帽型金矿床氧化作用彻底,深部已无原生硫化物矿床,成矿物质来源断绝,已处于衰老阶段,此时的大气降水、淋滤渗透已不再是成矿的有利条件,反而成了破坏原有次生富集矿床的因素。黄狮涝山铁帽型金矿床的发育情况则介于上述两者之间。

## 2 矿床氧化带特征

铜陵地区由于气候温和多雨,加之新构造运动的影响、矿体顶底板或层间断裂的存在,围岩及矿体的透水性好,有利于地下水活动和矿石的氧化,故原生矿床近地表部分,长期经受  $O_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$  及生物有机质等的风化作用,致使氧化带普遍发育,但因表生风化成矿作用的程

度不同,所以不同矿区氧化带的发育程度不尽相同,其中以新桥矿区发育最为完全。氧化带的发育主要受地下水潜水面的控制,包括古潜水面的升降。

表2 铜陵地区铁帽型金(银)矿床地质特征

Table 2 Geological features of gossan type gold(silver)deposits in Tongling district

矿床	形态、产状、规模		矿体顶底板	主要矿石矿物	矿石结构构造类型	原生主要矿物	Au、Ag 平均品位、粒度、成色	伴生微量元素
	铁帽	金(银)矿体						
黄狮涝山	层状、似层状,走向NE40°~45°,延长2200米,倾向SE,倾角80°,倾向延深250米;厚度2.1~38.15米	透镜状、似板状,走向NE40°~45°,走向延长100~500米,倾向SE,倾角除个别矿体为30°外,多数为70°~90°,倾向延深100~150米;厚1.10~17.13米	石炭系中统黄龙组灰岩及白云岩为顶板,泥盆系上统五通组上段粉砂岩夹砂质页岩为底板	自然金、褐铁矿(块状、粉末状,黄铁矿假象)、赤铁矿、软锰矿、铜蓝、石英、碧玉、粘土矿物等	自形—它形粒状、放射状、蠕虫状、骸晶、残余结构;多孔状、块状、条带状、钟乳状、角砾状、网脉状、土状、胶状等构造	黄铁矿、胶状黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、少量毒砂	Au5~6g/t, Ag10~30g/t; 1~10μm 789~858	Cu、Pb、Zn、Bi、As
代家冲	层状、似层状,走向NE40°~50°,延长180米,倾向NW,倾角45°,倾向延深40~350米;厚0.65~18.69米	透镜状,走向NE40°~45°,延长280米,倾向NW,倾角50°,倾向延深11~95米;厚1.20~10.79米	石炭系中上统黄龙灰岩、船山灰岩为顶板,底板为下统高骊山组砂页岩	自然金、褐铁矿(块状、粉末状)、赤铁矿、软锰矿、铜蓝、石英、碧玉、粘土矿物等	自形—半自形—它形粒状、放射状、骸晶、假象、残余、草莓状、蠕虫状结构;蜂窝状、海绵状、条带状、块状、钟乳状、同心圆状、角砾状、土状、胶状、网脉状构造	原生硫化物矿石风化殆尽,仅存少量致密状黄铁矿残块	Au9.48g/t, Ag4.25g/t; 10~50μm 763~824	Cu、Pb、Zn、Co、Bi、Ga
新桥	层状、似层状,走向NE45°~50°,延长950米,倾向NW,倾角40°,倾向延深300米;厚8~35米。	似层状、透镜状,走向NE40°~50°,延长500米,倾向NW,倾角40°~45°,倾向延深15~145米;厚1~14米。	顶板为石炭系中上统黄龙灰岩及船山灰岩,局部地段为二叠系下统栖霞灰岩或四长粉岩;底板为石炭系下统高骊山组砂页岩	自然金、自然银、褐铁矿(块状、土状)、赤铁矿、软锰矿、铜蓝、石英、铁质粘土等	自形—它形粒状、放射状、草莓状、假象、残余结构;多孔状、护渣状、土状、葡萄状、角砾状、块状、条带状、胶状构造	黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	Au4.04g/t, Ag217.13g/t; 1~15μm 823~912	Co、Ni、Bi、Sb、Se、Te、Cd、Ga、Ge、V

据风化作用程度、物质组分特征及矿石构造类型等,氧化带垂直分带由上而下可分为:强氧化亚带(铁帽亚带)、氧化淋滤亚带和次生氧化物富集亚带三个亚带,其下为次生硫化物富集带和原生硫化物带(图1)。

氧化带分布在地表至潜水面之间的部位,大致相当于渗透带。氧化带的深度一般几米至几十米,个别也可达几百米,它除取决于气候、地形、矿石组分、围岩性质及潜水面深度等因素外,构造条件也起着重要作用,主要是矿床顶底板走向断裂和层间构造破碎带的发育程度。氧化带特别深的矿区,往往与断裂有关,如新桥矿床氧化带一般延深100~200米,最深达300米;黄狮涝山矿床氧化带最浅处标高为70米,最深处为-153米,垂深达350米;代家冲矿床氧化带最深处标高为-273米,垂深达580米。这说明由于层间断裂的影响,矿层构造裂隙发育,透水性好,有利于地下水的循环,促使深部硫化物矿床的氧化。

2.1 强氧化(铁帽)亚带

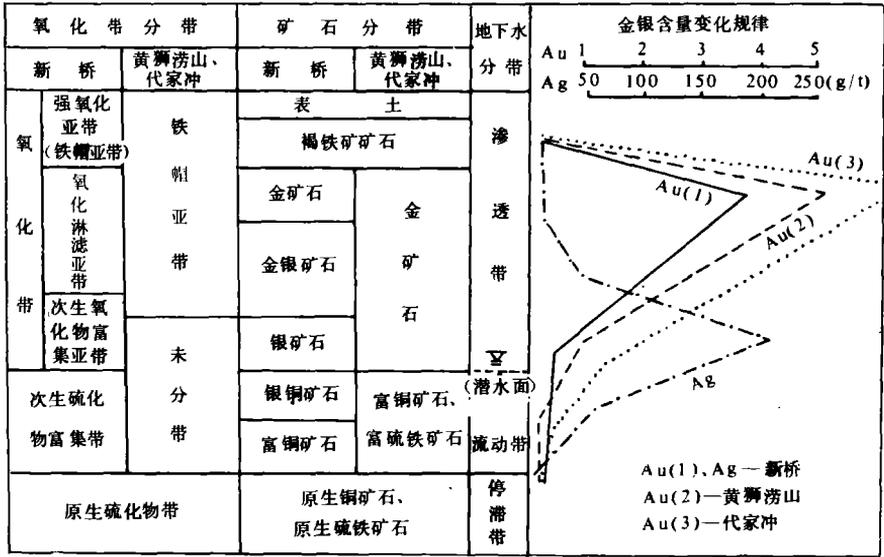


图1 含金硫化物矿床氧化带分带与金银含量分布关系图

Fig.1 Distribution relation map of the oxidation zone of gold-bearing sulphide deposits and gold-silver content

位于氧化带最上部近地表附近。硫化物在氧化过程中，大部分金属形成可溶性盐类，因而被淋滤。在氧化带的表部，铁的硫化物和碳酸盐氧化形成氧化物和氢氧化物，它们和难溶物质如粘土等残留地表形成了铁帽。矿石主要由针铁矿、赤铁矿、软锰矿和石英组成。Fe、Al、Si 等元素含量较高，Au、Ag 含量偏低，一般分别小于1g/t 和50g/t。矿石构造类型以蜂窝状、同心园状、钟乳状等为主。

### 2.2 氧化淋滤亚带

地表水在氧化带逐渐向下渗透过程中，越来越变得酸化，靠近氧化带的中部，由于有较高的酸度，同时分解、淋滤作用明显，以致产生了强烈氧化的淋滤亚带。新桥矿床能较明显地分出这一亚带，而代家冲及黄狮涝山矿床则难以划分。

新桥矿床的氧化淋滤亚带，实为铁帽亚带的下部带，它大都沿铁帽底板分布，是金银的主要富集带，同时 Cu、Pb、Zn、Sb、Bi 等元素含量较高，Au 含量一般为2~8g/t，Ag35~283g/t，变化较大，同时银富集带常位于金富集带的偏下部位(图2)。

矿石主要由针铁矿、水针铁矿、赤铁矿和粘土、石英等矿物组成。矿石构造类型以块状、土状、条带状、多孔状、蜂窝状、松散状等为主。

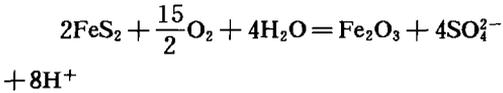
### 2.3 次生氧化物富集亚带

矿体长期遭受风化，侵蚀面和潜水面随之降低，使次生硫化物富集带逐渐进入氧化部位，引起次生硫化物再度氧化。这一现象在新桥矿床氧化带中也表现的较为明显，它基本上沿松散状硫化物富集带的上盘分布。

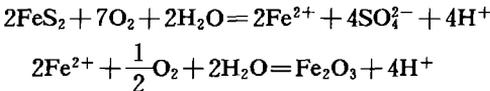
在这一亚带中,既有氧化淋滤作用,又有沉淀富集作用。矿石以松散状褐铁矿为主,亦见有少量锰的氧化物、次生成因的铜蓝及残余原生硫化物矿物。

金在这一亚带中有一定富集,但明显低于氧化淋滤亚带。银则相反,含量有显著提高,据冶金部华东地质勘察局803队工作证实,靠地下水潜水面一侧银更加富集,品位高达600g/t,存在一个高品位的次生银矿带(图1、2),同时品位较富的铜矿石也开始出现。

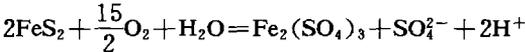
氧化带中的金属硫化物,一般均易氧化化成各种硫酸盐。黄铁矿在氧化过程中,伴随硫酸盐形成的同时,还产生了硫酸,降低了地下水的PH值,并进一步促进了硫化物的溶解。



实际上溶液中的铁以二价铁离子或硫酸铁的形式存在,二价铁离子再氧化成三价铁离子,形成不溶解的赤铁矿或水解后形成褐铁矿。

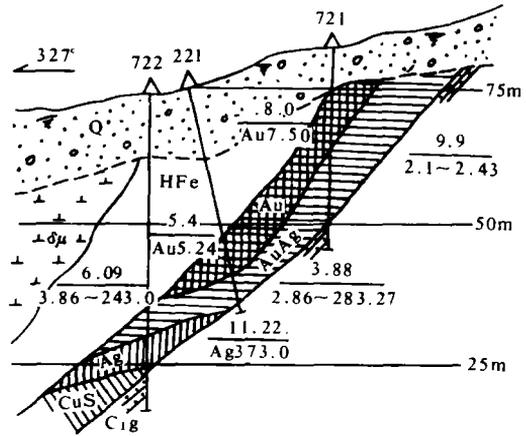


在新桥黄铁矿矿床的氧化带内,铁似乎是被淋滤掉,没有留下大量的赤铁矿或褐铁矿,因为硫酸的存在使得PH值很低,铁保持在溶解的二价铁状态,但在水富含氧的条件下,可以导致黄铁矿完全氧化,不经过硫酸铁阶段而变成硫酸高铁。



硫酸高铁在中性和弱碱性溶液中不稳定,常发生水解作用,最终转变为氢氧化铁,它是易于凝聚的水溶胶,凝聚为水赤铁矿、针铁矿、水针铁矿等表生矿物,形成以褐铁矿为主的铁帽,故金常在铁帽中富集。

金在氧化条件下异常稳定,但在MnO<sub>2</sub>参加下,金氧化成为Au<sup>3+</sup>,它与Cl离子化合呈氯络合物[AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup>形式被溶解于水中或溶于因硫化物氧化作用而产生的硫酸盐溶液中,以[Au(S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>3-</sup>及[Au(SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>3-</sup>形式作短距离迁移,在氧化淋滤亚带富集。银亦形成络合物或以AgSO<sub>4</sub>溶液随地下水向下运移,由于其活动性和溶解度远大于金,故其迁移距离远于金,在潜水面附近,因介质条件的变化,进入还原环境,与原生硫化物发生反应形成自然银或银的硫化物,故而在氧化淋滤亚带下部特别是次生氧化物富集亚带富集沉淀。



说明:Q—第四系 C<sub>1g</sub>—高丽山组砂页岩 δ<sub>1</sub>—内长玢岩  
HFe—褐铁矿、Au—金矿体 Au、Ag—金银矿体  
Ag—银矿体 CuS—原生铜矿体  
 $\frac{9.9}{2.1 \sim 2.43} = \frac{\text{矿体厚度}}{\text{金品位} \sim \text{银品位}}$

图2 新桥金(银)矿床22线地质剖面图(据陈伯林,1989)  
Fig. 2 Geologic profile of the 22 line of gossan type gold (silver) deposit in Xinqiao

从图1可看出氧化带中金银组分空间变化规律。在垂向变化上,氧化带上部以金为主,中部金银组分共生,下部以银为主;次生硫化物富集带中,上部银铜共生,下部以铜为主;原生硫化物带中以铜为主。上述现象在整个氧化带垂向上均有类似变化情况,各组分之间一般均为渐变关系。由于地质条件的差异,局部地段分带现象发育不一定完整,有的地段可能有缺失,但总的来看,自上而下以金为主转为以银为主,最后转为以铜为主的变化规律是普遍存在的。

在水平变化上,金组分沿矿带走向分布不一致,新桥矿床东段含量低,西段含量较高,由低转高的变化范围在15—17剖面线之间;银沿矿带走向变化呈两端高中间低的马鞍状,含量低的凹部恰好也在17线附近。原生矿体中金银伴生组分的含量,在走向上也呈马鞍状变化规律,其低含量部位,与氧化带中金银含量低的凹部大体吻合,表明氧化带中金银含量的变化规律,总体上系受原生矿床中金银含量变化的制约。

氧化带的下部为次生硫化物富集带。由氧化带淋滤出来的金属硫酸盐溶液渗透到潜水面以下流动带中,该带地下水流向大致为水平方向,以由高向低的侧向流动为主,地下水中的 $O_2$ 和 $CO_2$ 随流速的减慢而逐渐减少,水质渐变为还原条件。在此环境下,以硫酸盐交代原生硫化物的方式形成了次生硫化物,增加了原生矿石中铜的含量,造成富铜的次生硫化物,如辉铜矿、斑铜矿等。从氧化带淋滤下来的硫酸银则生成与铜矿共生的自然银及银硫化物类矿物。此带金银含量均变低,分别为0.85g/t和15g/t左右。矿石构造类型多为砂粒状和块状,次为粉末状及角砾状。

原生硫化物带位于次生硫化物富集带之下,相当于地下水停滞带。主要由块状及浸染状硫化物矿石组成。硫化物矿床基本上无变化。各类型矿石中均伴生有金银,金平均品位为0.65g/t,银12.38g/t。

### 3 氧化带中金银的赋存状态

工作中分别对代家冲、黄狮涝山、新桥矿床采取原生硫化物矿石、半氧化矿石及氧化矿石样品各150公斤,据106片矿石光片观察结果,共见到金矿物108粒,经电子探针分析主要为自然金,次为银金矿,粒度一般均偏细,其中94%为0.5~10 $\mu$ m之间,余者在10~25 $\mu$ m之间,最大为285 $\mu$ m。

原生硫化物矿石中,金矿物的粒度85% $<$ 0.5 $\mu$ m,15%为0.5~1.5 $\mu$ m,以次显微金为主。金矿物呈不规则粒状及浑圆状,以包体金及裂隙金存在于黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿中,脉石中未见。

半氧化矿石为Au(Ag)块状褐铁矿,其中的金粒61%为0.5~2 $\mu$ m左右,33%在2~10 $\mu$ m之间,最大为105 $\mu$ m,多赋存在褐铁矿或其空洞中,少数在石英中,形态多数为不规则细小粒状,少数片状、枝叉状(照片1)。

氧化矿石为Au(Ag)土状及粉状褐铁矿、红泥状褐铁矿及铁质粘土。金的粒度55~62%,在0.5~2 $\mu$ m之间,32%为2~10 $\mu$ m, $>$ 10 $\mu$ m者占4.8%,最大粒度达285 $\mu$ m。多数赋存在赤铁矿与铁质粘土的混合物中,部分在褐铁矿及石英中。金矿物大多数为不规则棱角粒状、片状及他形

粒状(照片2、3、4)。

另外,分别用氧化矿石品位为22.15g/t 样品250克(代家冲),41.24g/t 样品200克(黄狮涝山)以及18.29g/t 样品300克(新桥)分别进行人工重砂分析,各得金粒45粒、64粒及61粒,粒度最小10 $\mu\text{m}$ 左右,最大450 $\mu\text{m}$ 。其中10~100 $\mu\text{m}$ 者占65%,100~200 $\mu\text{m}$ 者30%,200~450 $\mu\text{m}$ 者占5%。

以上观察分析结果表明,氧化矿石中的金矿物粒度较半氧化矿石及原生矿石中者为大,尤其人工重砂结果更为明显,说明在氧化带中金粒的粒度随着氧化程度的增高及深度的增加有加大趋势,而过潜水面后又显著降低,显然潜水面附近最利于微粒金次生增大作用的进行。

银矿物见有自然银和金银矿,主要赋存于半氧化矿石中,相当于次生氧化物富集亚带,以新桥矿床最富。一般粒度较金矿物大,61%在80~145 $\mu\text{m}$ 之间,39%为0.5~10 $\mu\text{m}$ ,最小0.3~0.5 $\mu\text{m}$ ,最大350 $\mu\text{m}$ ,呈他形粒状,树枝状,多充填于褐铁矿孔隙,针铁矿,水针铁矿或水赤铁矿的间隙或空洞以及胶状褐铁矿的核部及石英包裹体中,由于在空气中易变色,反射色呈亮灰白色,反射率比黄铁矿稍低,但易磨光,多麻点,无双反射及非均性(照片5、6)。

现将不同粒级金银矿物的粒度统计结果及在不同矿石中金银的含量和矿物颗粒的分配比例列于表3及表4。

表3 氧化带中金银矿物的粒度分析

Table 3 Grain size analysis of the gold—silver minerals in oxidation zone

粒度 ( $\mu\text{m}$ )	颗粒数		颗粒百分比(%)		所占面积( $\text{mm}^2$ )		面积百分比(%)		累计值(%)	
	金矿物	银矿物	金矿物	银矿物	金矿物	银矿物	金矿物	银矿物	金矿物	银矿物
<0.5	1	0	0.926	0	0.000075	0.000021	0.792	0.110	0.79	0.11
0.5~2	55	13	50.926	14.607	0.005613	0.002135	59.296	11.188	60.09	11.30
2~10	43	24	39.815	26.966	0.002427	0.005724	25.639	29.995	85.73	41.29
>10	9	52	8.333	58.420	0.001351	0.011203	14.273	58.707	100	100
合计	108	89	100	100	0.009466	0.019083	100	100	100	100

注:(1)据代家冲、黄狮涝山及新桥矿床196片矿石光片(银矿物系新桥矿床87片矿石光片)统计

(2)粒级<0.5 $\mu\text{m}$ 的金矿物系扫描电镜观测结果

为了进一步研究氧化带中金(银)的赋存状态,对金(银)矿物的嵌布特征进行了物相分析(表5)。

物相分析结果表明,在铁帽型金(银)矿床中,游离自然金(银)矿物占主导地位,其分布率分别为37.48%和40.12%,其次为裂隙金(银)及晶隙金(银),而包裹金(银)量极小,这与原生矿石中以包裹金(银)为主的现象相反,反映了原生矿石在氧化过程中曾发生溶解、分离作用,使以包裹状态为主的伴生金(银)离解出来形成游离自然金(银)和裂隙、晶隙金(银)矿物。

表4 氧化带矿石中金银的含量及矿物的配比

Table 4 Gold—silver content and distribution scale of mineral in ore of oxidation zone

矿物名称	金银平均含量 (g/t)		颗粒数		颗粒百分比 (%)		所占面积 (mm <sup>2</sup> )		面积百分比 (%)		累计值 (%)	
	金	银	金矿物	银矿物	金矿的	银矿物	金矿物	银矿物	金矿物	银矿物	金矿物	银矿物
褐铁矿 (黄铁矿)	1.59~2.11	164~205	2	37	1.064	41.573	0.000113	0.008145	1.193	42.682	1.193	42.682
块状褐铁矿	1.64~2.23	127~183	11	41	5.851	46.067	0.000312	0.009714	3.296	50.904	4.489	93.586
土(粉)状 褐铁矿	3.50~4.00	85~92	47	6	25.000	6.742	0.001825	0.000626	19.280	3.281	23.769	96.867
红泥状褐铁矿	4.81~5.52	34~71	63	3	33.511	3.371	0.003824	0.000351	40.397	1.839	64.166	98.706
铁质粘土	4.53~5.14	35~78	58	0	30.851	—	0.003105	—	32.802	—	96.968	98.706
石英	0.21~0.70	2~10	7	2	3.723	2.247	0.000287	0.000247	3.032	1.294	100	100
合计	16.28~19.70	447~639	188	89	100	100	0.009466	0.019083	100	100	100	100

注:据代家冲、黄狮涝山及新桥矿床196个样品及光片统计结果

表5 氧化带中金银矿物的物相分析

Table 5 Phase analysis of gold—silver minerals in oxidation zone

分析项目	矿物相	游离自然金 (银)	晶隙金 (银)	裂隙金 (银)	包裹金(银)			合计
					硫化物中	褐铁矿中	硅酸盐中	
含量(g/t)	金矿物	2.09	1.02	2.10	0.09	0.23	0.11	5.64
	银矿物	102	31	47	8	15	11	214
分布率(%)	金矿物	37.48	19.23	36.09	1.83	4.05	1.32	100
	银矿物	40.12	22.31	28.20	1.26	5.24	2.87	100

注:据代家冲、黄狮涝山及新桥矿床186片矿石光片矿相显微镜、扫描电镜及电子探针观察分析结果统计。测试单位:合肥工业大学测试中心及中国科技大学结构分析中心电镜室。

## 4 金的成色

矿床中自然金类矿物的成色是一个复杂的问题,随着电子探针技术的进展为研究这一领域创造了条件。在许多矿床中金成色的变化较大,随着成矿地质条件和物理化学条件的变化而变化。金的富集是一个长期的、复杂的、不连续的矿化过程。既受内在的矿质贫富程度的控制,又受区域地质、地球化学、地质发展史等诸多因素影响。金的成色在很大程度上反映了矿床形

成时的成矿深度、溶液成分、浓度及温度等特点,并常与粒度有关。

氧化作用对金的成色有明显影响。铜陵地区含金硫化物矿床氧化带中金的成色远比原生矿中的要高,原生矿中金的成色一般为786~859<sup>[7]</sup>,而氧化带中达900~941。据表6自然金类矿物的化学成分计算氧化带中金的成色如表7。

表6 氧化带中自然金、自然银类矿物的化学成分

Table 6 Chemical composition of native gold and native silver minerals in oxidation zone

百分含量 矿物名称	Au(%)	Ag(%)	测试单位
自然金(D03,D08)	84.23~92.48	15.72~7.54	合肥工业大学测试中心、 中国科技大学结构分析中心电 镜室
自然金(H07~12)	87.62~94.14	12.31~5.90	
自然金(XJ04,8~21)	82.31~91.21	17.66~12.79	
银金矿(D02~11)	68.16~72.18	31.82~27.81	
银金矿(H15~18)	70.16~77.45	29.84~22.51	
金银矿(XJ15~19)	43.74	56.18	
金银矿(XJ21~24)	46.23	53.81	
金银矿(XJ27~30)	38.42	61.59	
自然银(XJ14)	13.71	86.32	
自然银(XJ31,35)	16.58	83.41	

注:(1)自然金类矿物的划分,目前尚未统一标准,暂按自然金: $Au \geq 80\%$ ,  $Ag \leq 20\%$ ;银金矿: $80\% \geq Au \geq 50\%$ ,  $50\% \geq Ag \geq 20\%$ ;金银矿: $50\% \geq Au \geq 20\%$ ,  $80\% \geq Ag \geq 50\%$ ;自然银: $Ag \geq 80\%$ ,  $Au \leq 20\%$

(2)矿物代号D—代家冲,H—黄狮荡山,XJ—新桥

表7 氧化带中自然金类矿物的成色特征

Table 7 Fineness features of native gold type minerals in oxidation zone

矿物名称	金的成色	均方差值	变异函数值
自然金(D03,D08)	843~925	78.91	0.107
自然金(H07~12)	877~941	82.43	0.104
自然金(XJ04,08~21)	823~912	84.15	0.115
银金矿(D02~11)	682~722	16.47	0.031
银金矿(H15~18)	702~775	16.21	0.027

从表7可看出,氧化带中金的成色虽有变化,但总的均偏高,最高达941,属高程度自然金成色范围。均方差及变异函数值特征表明,自然金成色离散程度大,而银金矿成色离散程度较小。

经对我国不同成因类型的13个典型原生金矿床进行分析,金的成色一般规律是随成矿深度增加而普遍增高,这意味着金的成色是随温度和压力增高而增加,而且与温度的关系似乎更加密切。硫化物矿床氧化带中金的成色变化规律却完全与此不同,经本次工作研究得出如下几

点认识。

a、在氧化淋滤亚带上部金的成色偏高,往下向次生氧化物富集亚带成色逐渐变低。据金、银的地球化学性质,在氧化淋滤环境下,银比金的可溶性大,因此其活动性能也比金大的多,迁移速率也较高,在氧化淋滤过程中,由于低温原生水或循环地下水的作用,矿物中一部分原来含的银发生了再分配,逐渐向下方次生氧化物富集亚带淋失,于是金产生了自然变纯作用。这一规律与样品 H07~12及 XJ08~XJ21的电子探针结果及金成色特征相吻合。R. W. Boyle 通过对世界许多地区不同类型金银矿床的研究,也曾得出了与此类似的结论<sup>[3]</sup>。

b、地下水渗透带中部及中下部,金的成色有突变现象。经对渗透带中部及中下部样品电子探针测试结果比较,三个矿床均普遍存在此规律,尤以新桥矿床更为明显。渗透带中部(XJ04, XJ08~14)金的成色平均值为912,而渗透带中下部(XJ15~21)成色降低为823,说明地下水活动起着重要的控矿作用。本区气候温湿,雨量充沛。渗透带水源充足,其中部富含 O<sub>2</sub>及 CO<sub>2</sub>,生物细菌作用尤为活跃。在此环境下,从上部分解(溶解)和淋滤下来的金矿物质易于大量沉淀富集,因银比金有较大的溶解度,大部分银矿物继续向下运移,造成向下金成色降低的现象。

c、氧化带中金的成色受原生载体矿物组合的影响:金的成色虽是多种地质因素影响的结果,但占主导地位的是金的原生载体矿物组合。黄狮滂山矿床金的原生载体矿物为毒砂—黄铁矿—磁黄铁矿组合,各金属硫化物在矿石中所占比例及金的含量和成色分别为:3.15%、42.61%、32.37%及16.1g/t、7.25g/t、4.63g/t和867、813、784,氧化带中金的成色最高,为877~941;新桥矿床为黄铁矿—磁黄铁矿—黄铜矿组合,各金属硫化物在矿石中所占比例及金的含量和成色分别为:47.35%、21.67%、6.13%及6.14g/t、3.25g/t、4.06g/t和804、778、792,氧化带中金的成色为823~912,大多数为840左右,显然较黄狮滂山矿床要低的多,这与原生矿石中金品位偏低有关。

d、矿石的氧化程度与成色的高低为正相关关系。对该区几个铁帽型金矿床124个样品统计结果,氧化矿石(金—褐铁矿型,金—褐铁矿夹铁质粘土型及金—铁质粘土型)中金的平均成色为905;半氧化矿石(金—褐铁矿、黄铁矿型)中为820;原生矿石中为750。显然金的成色随矿石氧化程度的增加而变大。其原因亦是由于在氧化环境下,银比金活动性能大,溶解度高,银随地下水的运移而迁移扩散的关系。

## 5 结论

a、铜陵地区含金硫化物矿床氧化带发育。铁帽型金(银)矿床主要赋存部位为石炭系下统高骊山组砂页岩与上统壶天群灰岩之间,受层位及层间断裂控制,为含金硫化物矿石氧化产物。金矿体主要富集在氧化淋滤亚带,银主要富集在其下靠潜水面附近的次生氧化物富集亚带中。

b、氧化带的发育受潜水面的控制,包括古潜水面的升降。矿体底板为隔水层,地下水的侧向运动,皆对金的富集起重要作用。金的富集除机械迁移外,化学迁移起主要作用。

c、氧化带中以游离状态的自然金(银)矿物占主导地位,次为裂隙金(银)和晶隙金(银)矿

物,而包裹金(银)矿物最少。

金矿物的粒度一般均偏细,94%在0.5~10 $\mu\text{m}$ 之间,最大粒度达285 $\mu\text{m}$ ;银矿物粒度普遍较金矿物大,大多在80~145 $\mu\text{m}$ 之间,最大达350 $\mu\text{m}$ 。

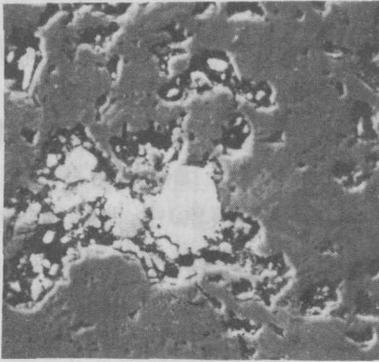
d、氧化带中的金矿物主要赋存在红泥状褐铁矿、铁质粘土和土(粉)状褐铁矿中,三者中的金矿物颗粒数百分比分别为33.511%、30.851%和25%,所占面积百分比分别为40.397%、32.802%和19.280%。银矿物主要赋存于块状褐铁矿和褐铁矿(黄铁矿假象)中,两者所含的银矿物颗粒数百分比各为46.067%和41.573%,所占面积百分比各为50.904%和42.682%。

e、氧化作用对金的成色有明显影响,氧化带中金的成色远高于原生硫化物带中的成色,一般都在900以上,最高达941。金的成色对于确定最佳矿化地段和对比估计不同矿体金的矿化程度方面具有重要意义。

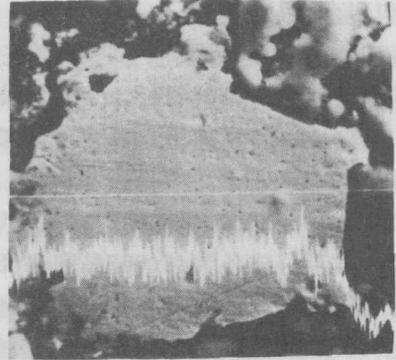
工作中得到冶金部华东冶金地质勘察局研究所、803地质队、812地质队,安徽省地矿局实验室,中国科技大学结构分析中心,江苏省地矿局实验室等单位的大力支持与帮助,在此一并致以衷心感谢。

### 参考文献

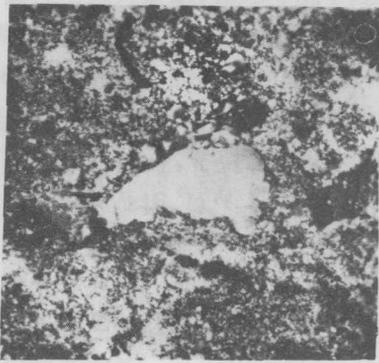
- 1 张振儒. 金矿研究. 中南工业大学出版社, 1989
- 2 栾世伟等. 金矿床地质及找矿方法. 四川科技出版社, 1987
- 3 博伊尔 RW 著(马万钧等译). 金的地球化学及金矿床. 地质出版社, 1984
- 4 黎彤. 金的地球化学特征. 地质与勘探, 1977, (4)
- 5 陈伯林. 铜陵地区铁帽型金矿床. 地质与勘探, 1989, (4)
- 6 楚之潮. 安徽铁帽型金银矿床地质特征及其找矿标志. 冶金地质动态, 1989, (6)
- 7 戴瑞裕, 刘成刚. 新桥铜硫铁矿床金的赋存状态及分布规律. 地质论评, 1984, 30(2)
- 8 许文渊. 内生金银系列矿物的某些性质与成因分析. 矿物学报, 1989, (1)
- 9 Goveit G J S. Rock geochemistry in mineral exploration. handbook of exploration geochemistry, 1983, 3
- 10 Кулындыев в а и др. золоторудные формация, В кн. Основные типы рудных формаций. Москва: «наука», 1985
- 11 Спиритов З М. Минеральные ассоциации золот-теллуридного месторождения южное аксу в северном казахстане. записки узб. отд. ВМО. , 1985



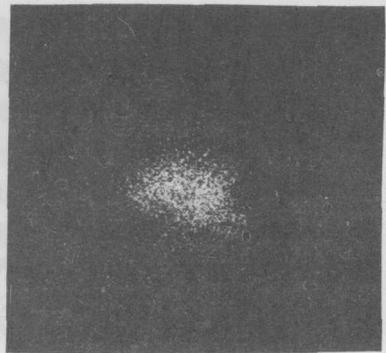
照片1. 自然(Au)嵌布于褐铁矿(Lim)及其空隙中。单偏光 ×820



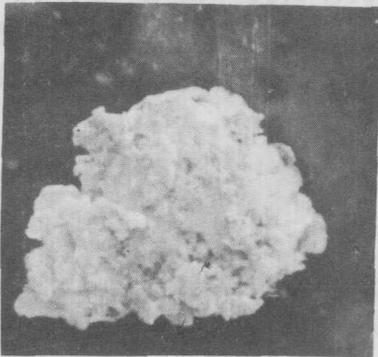
照片2 分布于褐铁矿(Lim)中的自然金(Au)及其线分析、扫描电镜 ×15000



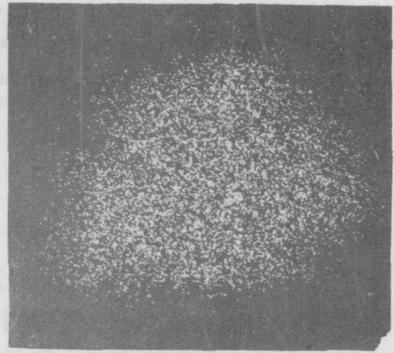
照片3 分布于铁质粘土中的自然金(Au)颗粒形貌。扫描电镜 ×10000



照片4 照片3中铁质粘土(Cl)内自然金(Au)颗粒的面分析。扫描电镜 ×10000



照片5 充填于褐铁矿(Lim)空隙中的自然银(Ag)颗粒的形貌。扫描电镜 ×10000



照片6 照片5中褐铁矿(Lim)空隙内自然银(Ag)颗粒的面分析。扫描电镜 ×10000

**FEATURES OF OXIDATION ZONE AND GOLD, SILVER  
MINERALIZATION IN GOLD-BEARING SULFIDE DEPOSITS,  
TONGLING, ANHUI PROVINCE**

*Liu Chenggang*

*(Hefei University of Technology)*

**Abstract**

This paper presents the results of ore phase, chemical phase, atomic absorption, electronic microscope and probe. Based on this and the preceding works supergene zonation of the Au—bearing sulfide deposits and Au—Ag mineralization are furtherly determined

Under supergene processes of sulfide deposits, Tongling, Anhui Province metal minerals are dissolved in different degree due to their different physiochemical properties. As a result, a zoned gossans are formed with gold ore bodies in the upper level and silver ore bodies in the lower level.