

大冶铁铜矿床中伴生金的性状

刘鸾玲 丁俊华*

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院)

本文系统研究了大冶铁铜矿床中金子的分布。金子的分布不均匀,但却有一定的规律。金与铜关系密切,两者的相关系数为0.76。高铜的矿石金相对较富集。金与硫化物,尤其是黄铁矿关系最密切。金的赋存状态表明,以自然金形式产出的金,约占整个金含量的81%;其中粒径在0.05~0.01mm者,约占83%,且多沿晶隙或矿物裂隙分布,易于解离。探讨了金的地球化学行为。



采矿工作

为了充分利用矿产资源,大冶铁矿和我院系统研究了大冶铁铜矿床中伴生金的地质产状、赋存状态和空间分布规律,取得了一定成效。

矿区地质概况

大冶铁铜矿床系接触交代夕卡岩型矿床。矿体产在中细粒含石英闪长岩、黑云母透辉石闪长岩与早三叠世大冶灰岩的接触带上。从岩体向外形成的蚀变岩石有:绿泥石化、金云母化及高岭石化闪长岩,磷酸盐化闪长岩,硅化闪长岩、石榴石—绿帘石—方柱石—透辉石夕卡岩,透辉石

夕卡岩,细粒金云母—透辉石夕卡岩,含透辉石矿化大理岩,大理岩等。矿体沿接触带断续延长4300米,沿倾向延伸100~400米,厚度30~80米,呈似层状、透镜状和囊状产出。矿区从东到西共有尖山、狮子山、象鼻山、尖林山、龙洞和铁门坎等6个矿体。

成矿作用发生于夕卡岩期和石英硫化物期。

夕卡岩的早期阶段,由于高温热液作用使闪长岩蚀变、灰岩大理岩化,相继出现由石榴石、方柱石、透辉石等组成的夕卡岩;夕卡岩的晚期阶段,早期夕卡岩矿物被金云母、黝帘石、透闪石—阳起石等交代,而富含铁的热液以交代夕卡岩矿物的方式生成大量磁铁矿(少量早期黄铁矿伴生),

主要的矿石构造特征

表1

构造类型	特征
块状构造	磁铁矿石呈致密块状,硫化物呈团块状或浸染状,脉石矿物均呈残留体或充填于金属矿物空隙中;少数菱铁矿石呈致密块状,硫化物呈浸染状,有赤铁矿、白云石、方解石等伴生
浸染状构造	磁铁矿石呈细脉状、浸染状、斑点状,硫化物呈网脉状、条带状、星散状分布于以金云母、透辉石为主要成分的夕卡岩中
斑点状构造	磁铁矿、假象赤铁矿致密块状矿石中,浅色菱铁矿呈不均匀的斑点状分布,硫化物呈浸染状
条带状构造	磁铁矿、假象赤铁矿与菱铁矿、白云石、方解石、石英等相间成条带状
花斑状构造	磁铁矿、假象赤铁矿与菱铁矿、白云石、方解石、石英等相间成深浅的花斑状
角砾状构造	由闪长岩和夕卡岩的碎块构成角砾,被磁铁矿胶结;花斑状构造的矿石受力破碎后,被碳酸盐矿物胶结。
气孔状构造	自形粒状磁铁矿集合体之间,由于气孔发育,形成多孔疏松状的矿石,仅局部见到

*参加本课题工作的还有许文渊、封之龙、朱建华、徐忠龙、李奇志。

并且部分转变成赤铁矿和菱铁矿。石英硫化物期的早阶段有黄铁矿、黄铜矿等析出,晚阶段则主要生成碳酸盐、石英、绿泥石,以及少量闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、斑铜矿和菱铁矿等。矿体形成后因氧化作用,部分原生矿物蚀变成假像赤铁矿、褐铁矿、孔雀石、赤铜矿、自然铜和蓝铜矿等。

根据矿物共生组合特点,可划分出两种矿石类型。一类以磁铁矿为主,伴有黄铜矿、黄铁矿,以及残留的夕卡岩矿物——透辉石、金云母、绿泥石、石榴石等;另一类以磁铁矿、假像赤铁矿、菱铁矿共生为特点,伴有黄铜矿、黄铁矿、白云石、方解石、石英等。

矿石的结构构造特征见表1。主要矿石构造有块状、浸染状、花斑状、斑点状、条带状、角砾状、气孔状等;主要结构有自形一半自形晶粒状、他形晶粒状、包含结构、交代—交代残留结构、胶状结构、似文象结构、固溶体分离结构等。

金在矿石中的品位

根据不同的矿石组合了两个地质大样:以磁铁矿为主的矿石,金品位为0.28g/t;以磁铁矿、假像赤铁矿、菱铁矿共生的矿石,金品位为0.26g/t,基本上代表了矿石中金的平均品位。但全区不同空间部位、不同矿石类型,金的分布极不均匀,据465个矿心组合样分析,金品位最高为1.11g/t,最低为0.01g/t;据金品位频率分布直方图(图1),金品位在0.5g/t以上的样品数占11.59%;0.1~0.5g/t占70.60%,0.1g/t以下占17.81%。在铁门坎矿体的富铁矿石中,金品位高达23.3g/t。

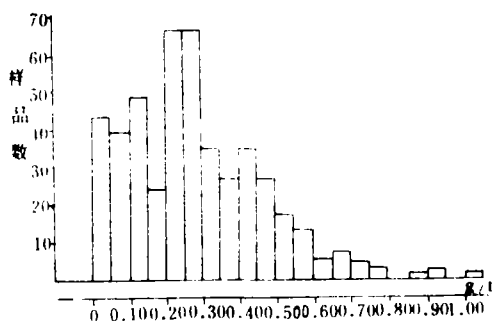


图1 金品位频率分布直方图

金在矿石中的赋存状态

通过对600多件光片、地质大样和11种选矿产品的系统鉴定和分析,基本查清了矿石中自然金的共生关系、嵌布特征和粒度。

1. 矿石中金的产出特征 矿石中金主要以自然金(银金矿)和分散金两种形式存在,未发现金的化合物。其中自然金约占整个矿体金含量的81.21%。自然金和分散金在矿石和选矿产品中的测定比例见表2。

矿石和产品中金溶解度测定 表2

试 样	自然金(残渣) %	分散金(可溶) %
1* 地质样	81.45	18.55
2* 地质样	80.97	19.03
1* 选矿样	83.67	16.33
2* 选矿样	86.03	13.97
铜精矿	99.10	0.9
硫精矿	98.80	1.2

2. 自然金的成色 为了查清矿石中自然金的成分变化规律,用日本“岛津ASM—SX型”扫描电子显微镜作了大量自然金的微区分析。

(1) 自然金为自然金—银金矿系列,金含量变化大,最高金94.82%、银4.92%;最低金71.90%、银24.20%;平均金84.02%、银12.81%(表3)

(2) 在同一颗粒金的不同部位上,金的含量也有变化,如M6-6光片中的金粒,含金82.02~86.61%、银13.39~17.99%。

(3) 自然金—银金矿系列中普遍含有一定量的铁和铜,最高时铁5.27%、铜7.91%。

3. 自然金的共生关系和嵌布特征 光片下见到的100多颗自然金与其他矿物的关系表明,自然金可与多种矿物共生,共生形式可由交代产生,也可以出熔体的形式被包裹在黄铜矿、黄铁矿、白铁矿、斑铜矿、胶状黄铜矿、胶状黄铁矿、方铅矿、针铁矿和较晚期的方解石中(照片1),但在硅酸盐和铁矿物中未见自然金。自然金几乎与矿石中所有的硫化物共生,尤与黄铜矿的关系密切,其次是黄铁矿、方解石等。

矿石中自然金的微区分析

表 3

试样编号	Au, %	Ag, %	Fe, %	Cu, %	产 状	备 注
B 8—20	90.54	5.67	2.81	0.97	铁门坎矿体的黄铁矿中	6 颗平均
M 6—14—2	77.27	20.29	1.29	1.12	铁门坎矿体黄铜矿裂隙中	2 颗平均
T 9—22	84.17	6.61	4.16	5.03	尖山矿体黄铜矿裂隙中	2 颗平均
M 6—6	84.92	15.08			铁门坎矿体黄铜矿脉中	7 颗平均
M 6—9	84.25	12.94	1.04	2.98	同上	7 颗平均
M 6—4	86.08	13.92			同上	2 颗平均
B 12—62	80.31	10.15	1.67	7.91	龙洞矿体黄铁矿边部	
T 1—13	83.26	10.10	2.83	3.81	狮子山矿体黄铁矿边部	
B 3—16	77.90	17.18	1.56	3.36	狮子山矿体黄铜矿中	
B 12—38	83.71	11.60	2.80	1.89	龙洞矿体方解石脉中	4 颗平均
B 12—59	92.36	3.89	2.31	1.43	龙洞矿体黄铁矿中	
T 5—11	94.23	5.42	0.03	0.31	尖林山矿体黄铁矿中	
T 5—9	93.36	2.26	2.77	1.61	尖林山矿体黄铜矿与磁铁矿接触处	2 颗平均
T 9—29	91.06	4.10	4.47	0.36	尖山矿体黄铁矿中	
T 9—28	90.02	4.04	4.82	1.12	尖山矿体	
B 12—21	83.16	4.33	5.19	7.32	龙洞矿体黄铜矿中	
M 6—14—1	78.74	19.96	1.15	0.04	同 M 6—14—2	5 颗平均

自然金与硫化物的嵌布特征可分为裂隙金和包裹金两类。裂隙金分布在矿物的裂隙和晶隙中,可以呈单一自然金的形式充填交代,也可以自然金一方解石的微细脉形式充填交代(照片 2、3),这种金约占自然金总量的 80%。包裹金即包裹在其他矿物中间的自然金,一般粒径较细,多呈浑圆粒状、不规则粒状、细小柱状,且多以单一颗粒出现,也有呈几颗不相邻的聚集体。

4. 自然金的形状和粒度 矿石中自然金的形状,经扫描电子显微镜、反光显微镜和实体显微镜鉴定有胶状、蜂窝状、片状、树枝状、浑圆粒状、不规则粒状和细脉状等。

自然金粒径分为显微金和亚显微金(指 0.5~0.0 μ 微米者)两种。用扫描电子显微镜的二次电子像鉴定亚显微金比较可靠。(1)扫描电子显微镜分辨率一般为 0.007 μ (70 $\text{\AA}$),对判别 0.5~0.1 μ 的颗粒是可信的;(2)自然金硬度低,在二次电子像中与黄铜矿、黄铁矿反差明显,极易辨别;(3)亚显微金附近多存在着显微金,可由微区分析证实;(4)亚显微金微区分析查明,金含量为 5.00~58.83%,虽因粒度太细,测定结果包含了载金矿物成分,但定性地证明了该亚显微颗粒为自然金。

据 1159 粒自然金粒度统计:自然金最大粒度为 0.6 毫米,最小 0.1 μ ,而以 10~50 μ 占优势,

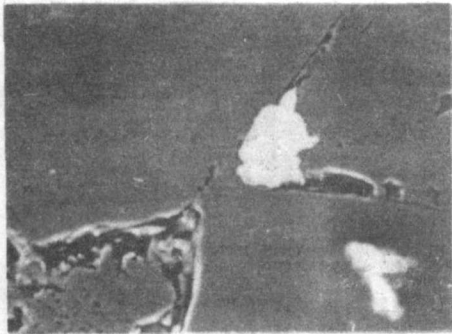
占所统计的自然金量的 90% 以上,而亚显微金粒数虽多 (319 粒),却仅占 0.76%。

金的分布规律

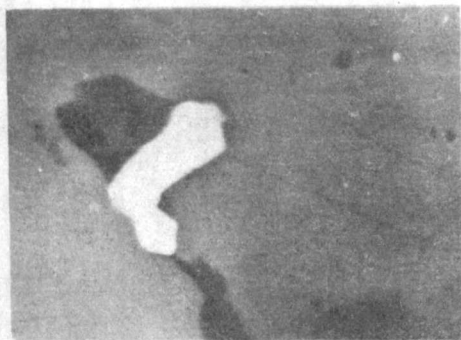
为探讨金的分布规律,根据全区 465 个矿心组合样和 85 块手标本样分析的金及有关元素含量,以数理统计方法为主,对全区不同空间部位、不同矿体、不同矿石类型中金量的分布作了大量计算,获得如下认识:

1. 金分布不均匀 矿石中金的品位低。占总量 80% 以上的自然金,粒径相对较粗,10~50 μ 者占 90% 以上。金系两期形成,局部出现相对富集,致使矿石中金品位相差悬殊。最低为 0.01g/t,最高达 23.3g/t。

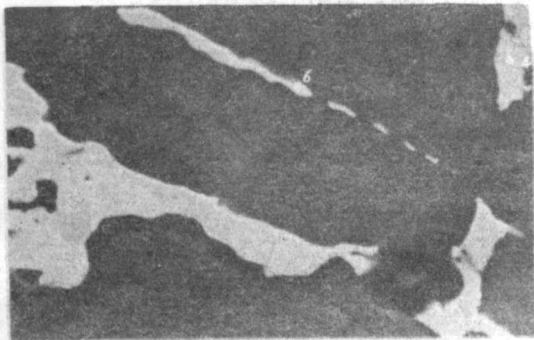
2. 金在矿区的空间分布规律 (1)沿矿体走向东西两侧高、中间低,西侧高于东侧(表 4);(2)沿矿体倾向南北两侧低,中间部位高(表 5);(3)在矿体垂直方向上的分布规律不明显,但总的表现出上低、下高的趋势;(4)在各种的矿石类型中,含铜高的铁矿石都高于含铜低的铁矿石(表 6)。从表 6 知,金品位最高的矿石为致密块状黄铜矿矿石,其中 Au—Cu 为正相关,但相关系数并不高,这正是由于金分布极不均匀所致。金品位高的矿石,铜一定高,但铜品位高的矿石金不一定也高。金—铜相关性最好的矿石 ($r >$



照片1 交代黄铁矿的自然金
(B12—62, $\times 350$, 二次电子像)



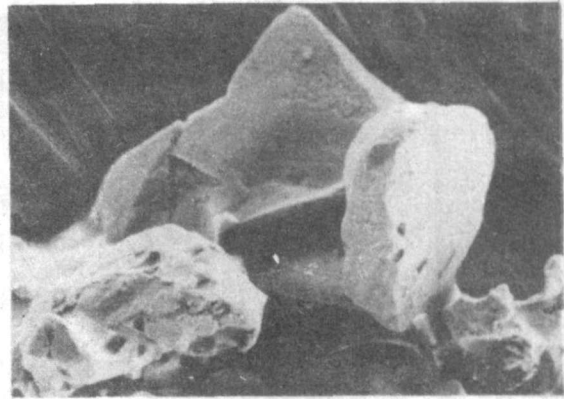
照片2 沿裂隙分布的自然金
(T9, $\times 2100$, 二次电子像)



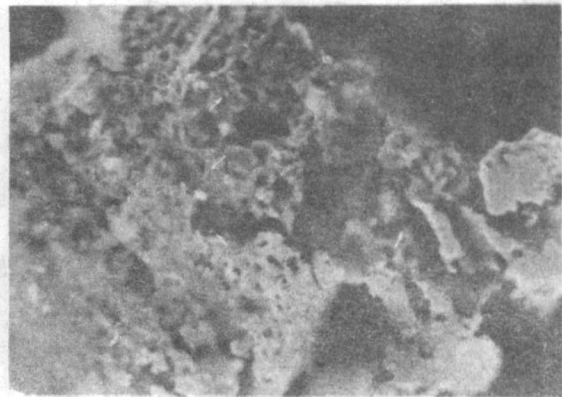
照片3 黄铜矿裂隙中的自然金
(M6—9, $\times 700$, 二次电子像)



照片4 自然金—方解石脉, 脉体在黄铜矿(灰色)
与脉面之间, 自然金靠近黄铜矿一侧
(B3—16, $\times 400$, 二次电子像)



照片5 自然金八面体{111}面上的溶蚀现象
($\times 1176$, 二次电子像)



照片6 片状自然金表面和空穴中的胶状自然金球粒
($\times 294$, 二次电子像)

金在矿体走向上的分布规律 表4

金 属	铁门坎	龙洞	尖林山	狮子山	尖山	全 区
Au(g/t)	0.37	0.34	0.23	0.21	0.30	0.273
Cu(%)	0.65	0.62	0.42	0.43	0.47	0.48

金在矿体倾向上的分布规律 表5

矿 体	北		中		南	
	样数	Au, g/t	样数	Au, g/t	样数	Au, g/t
铁门坎	27	0.336	29	0.389	12	0.244
龙 洞	6	0.415	16	0.350	8	0.158
尖林山	23	0.119	58	0.300	18	0.193
狮子山	41	0.161	35	0.169	9	0.199
尖 山	56	0.226	113	0.342	13	0.244
全 区	153	0.219	251	0.314	60	0.210

各种矿石的 Au—Cu 关系 表 6

名 称	样数	Au平均品位 (y_{Au})	Cu平均品位 (x_{Cu})	Au: Cu ($\times 10^{-4}$)	r	$y_{Au} = a + b x_{Cu}$
黄铜矿石	15	4.495	10.55	0.43	0.52	$y = 1.223 + 0.542x$
黄铁矿石	9	0.13	0.31	0.38	0.76	$y = 0.0207 + 0.332x$
原生铁矿石	23	0.56	0.91	0.61	0.90	$y = 0.142 + 0.475x$
混合铁矿石	11	0.12	0.32	0.61	0.93	$y = 0.0451 + 0.506x$

0.90) 是铜矿物呈浸染状分布的铁矿石。

金在成矿过程中的地球化学行为

矿区的大量资料表明,金在成矿热液中是以络合物形式迁移的。金的晶出以自然金的方式为主,其次在载金矿物中呈分散金。早期沉淀的金,受长期复杂的地质环境中物理化学条件变化的影响,使已晶出的部分金被溶解成胶状金形式,或者以固体扩散方式迁移并再沉淀,致使早期较为分散的金,又进而得以相对富集。

1. 热液中金迁移和沉淀 矿体中硫化物的 $\delta^{34}S$ 值为1.07~4.44‰^①,接近于陨硫硫,说明硫为上地幔来源。

成矿元素铁在较高温的早期阶段,以氧化物形式——磁铁矿大量沉淀下来,此时仅有极少量金进入磁铁矿晶格,而大量金仍以络合物形式存在于热液中。随着热液的温度、浓度、pH、Eh等物理化学条件的不断变化,成矿过程进入了硫化物阶段,铁、铜、硫沉淀,相继形成黄铁矿、黄铜矿等硫化矿物。与此大致同时,金也沉淀下来。金具有最高的氧化还原电位,并具有与铜、铁硫化物相似的迁移形式和沉淀条件。但因金的情性大,难于与硫结合而进入硫化物晶格,因而以微粒自然金(0.1~10 μ)的形式和“分散金”(类质同象金和依存于载金矿物晶格空穴中的原子态金)形式,赋存于黄铜矿、黄铁矿中。黄铜矿、黄铁矿包裹体测温(分别为195~335℃、190~300℃)结果表明,与文献中报道的“金在较晚阶段沉淀”的论点一致。

金主要在硫化物阶段沉淀,与黄铜矿的沉淀大致同时。(1)全矿区465个矿心组合样分析结果,铜与金为正相关(表7),r值皆大于临界值,

各种矿体的 Au—Cu 关系 表 7

矿 体	样数	金平均 品位 (y_{Au})	铜平均 品位 (x_{Cu})	金、铜 比 y/x ($\times 10^3$)	相关 系数 r	$y_{Au} = a + b x_{Cu}$
铁门坎	62	0.37	0.65	0.57	0.88	$y = 0.057 + 0.471x$
龙 洞	27	0.34	0.62	0.55	0.56	$y = 0.150 + 0.303x$
尖林山	107	0.23	0.42	0.55	0.77	$y = 0.0350 + 0.459x$
狮子山	97	0.21	0.43	0.49	0.69	$y = 0.00579 + 0.454x$
人 山	170	0.30	0.47	0.63	0.68	$y = 0.160 + 0.281x$
全矿区	465	0.273	0.48	0.58	0.76	$y = 0.0412 + 0.405x$

Au: Cu 值的变化范围稳定在0.49~0.63($\times 10^{-4}$),全矿为0.58($\times 10^{-4}$)。(2)600多块光片鉴定结果,自然金与几乎所有硫化物关系密切,其中与黄铜矿关系最密切。(3)自然金的电子探针分析结果,其中均含有铜的杂质,含量最高达7.91%,表明金与铜关系密切。

此外,在金的沉淀过程中,二氧化碳起着重要作用。矿石中碳酸盐矿物与硫化物紧密共生(照片4),说明在金沉淀时有较多的二氧化碳成分存在。Ptrovskaya等(1971)较详细地研究过自然金中的气体包裹体,发现其中约90%是二氧化碳。

2. 金的溶蚀—迁移—再分配作用 金在成矿过程中与硫化物同时沉淀后,因所处环境物理—化学条件的变化,有可能被溶蚀成胶状金形式迁移,或是以固体扩散形式再分配。

(1)在扫描电子显微镜下观察自然金的二次电子像,发现在一颗自然金中有一处结晶完好的八面体(111)晶面,其上可见到被溶蚀产生的“沟痕”(照片5);在另一些自然金的不规则颗粒表面,见到胶状球粒金(照片6)。上述现象说明,自然金形成后还有可能被溶蚀并再沉淀。此外,从光片中观察到胶状黄铁矿和胶状黄铜矿中的自然金,推测为胶体金随吸附剂迁移,待吸附剂脱水老化,自然金则解脱出来,留存在吸附矿物的收缩裂隙中。

①中南冶勘(19)地质队:湖北大冶铁山矿区铁门坎矿补充勘探地质报告,1983年

(2) 在反光显微镜下,发现与黄铜矿、黄铁矿等硫化物同时沉淀的金,主要以微粒状($0.1 \sim 1 \mu$)自然金形式包裹在载金矿物中,少量以分散形式(类质同象金和依存于载金矿物晶格空穴中的原子态金)存在,认为应属早期沉淀的金。在成矿作用晚期,金产生再分配,一部分分散金转换成自然金,另一部分包裹金转换成“裂隙金”、“粒间金”。Sakparova等(1972年)将硫化物光片加热处理试验,发现原呈分散的极细的“不可见”金,热至250℃左右即团聚成较大的颗粒;Kalitkina(1971年)发现金顺着黄铁矿和毒砂晶体中的微裂隙和颗粒的边缘部位比较迅速地迁移。这些实验证明,早期已沉淀出的分散金和包裹金会从高化学势位向低势位——晶体的晶隙和边缘处扩散、迁移,形成“粒间金”或“裂隙金”(见图版1、2、3),其粒径明显比早期沉淀者粗。自然金顺微裂隙断续延伸的现象,在扫描电子显微镜下观察得更为清楚。此外,还观察到黄铁矿中有较大颗粒的自然金,其周围还散布有 $1 \sim 4 \mu$ 的小颗粒金,大颗粒自然金可认为是经迁移再分配后增大的;裂隙金还常以方解石—自然金细脉形式出现(照片4),表明再分配作用是在二氧化碳参与下完成的。

综上所述,在成矿过程中自然金具有两个阶段形成的特点。早期形成的多呈细粒状、分散状包裹在硫化物中,显固溶体分离特征;晚期经再

主矿体与晚期脉体成分及其自然金成色对比 表8

矿体	Fe, %	Cu, %	S, %	Au, g/t	Ag, g/t	自然金成分	
						Au, g/t	Ag, g/t
主矿体	56.42	1.642	3.82	1.08	0.98	90.54	5.67
	57.59	1.56	3.61				
晚期矿体	46.67	18.18	21.10	23.2	22.8	83.14	15.56
	48.23	17.56	20.10				
	46.41	18.32	23.50				

分配形成的自然金则多为裂隙金,且粒径较粗(最大颗粒长轴 370μ),或者沿裂隙呈细脉状(照片3)。

(3) 自然金具有两个阶段形成的证据。矿区西部铁门坎矿体4—1勘探线—24米水平处的开采面上,在硫化物呈细网脉状的富铁矿石中,夹有一呈楔形、明显晚于富铁矿石的脉体。该矿脉主要由黄铜矿,次为黄铁矿、磁铁矿、方解石等组成,脉壁与主矿体接触界线明显,说明是晚于主矿体沿裂隙充填交代而成。平均含金 19.4 g/t 、银 18.8 g/t ,为全矿区至今所采集到的含金最高的矿石。脉体以外的主矿体中含金 1.08 g/t 、银 0.29 g/t (表8)。从表8中可知,两阶段形成的自然金,在晚阶段趋向富集。早期形成的含银低、金的成色高;晚期形成的含银高,金的成色低。反映了不同时期金沿沉淀环境的变化。

Behaviour of Associated Gold in the Daye Fe—Cu Deposit

Liu Luanling

Ding Junhua

(Guilin Research Institute of Geology for Mineral Resources, C.N.N.C.)

Abstract

A systematical study on the distribution of gold associated in the Daye Fe—Cu deposit has been made. The spatial distribution of the gold in the deposit, though nonuniform, follows a specific pattern. Gold and copper are closely associated in ores of the whole mining district with a correlation coefficient of 0.76. The gold is relatively enriched in copper-riched ores and very closely associated with sulfides, particularly with chalcopyrite.

Its mode of occurrence shows that the gold is occurred in natural form. Native gold accounts for 81% of the total gold amount approximately and about 93% of the native gold ranges $0.05 \sim 0.01 \text{ mm}$ in grain size. Most of them are distributed along the fissures of the crystals and minerals, and easy to be disassociated. Furthermore, the geochemical behaviour of gold has also been studied.