

夕卡岩型硫化矿床伴生金的研究方法

桂林冶金地质研究所岩矿室

铜陵有色金属公司冶金科学研究所 铜陵专题组

安徽冶金地质812队

金,虽能形成独立矿床,但从目前国内外黄金生产的情况来看,约有30~50%来自多金属硫化矿床的综合回收。由于过去对伴生金研究得不够,各厂矿一般多在粗铜电解时顺便回收,迄未形成一套成熟的硫化矿床伴生金的研究方法。各选冶厂条件不同,金的回收率也有很大差异。为了提高黄金的回收率,加强伴生金的形成条件、赋存状态、分布规律及其工艺性质的研究,就有着重要的意义。

近年来,我们共同对铜陵地区的几个夕卡岩型硫化矿床中的伴生金进行了一些研究,为了交流情况,推动矿床综合利用工作,现将我们的研究方法初步总结如下,不当之处,请批评指正。

一、概述

所研究的矿区中矿石的主要工业类型有:黄铜矿矿石、黄铜矿-磁铁矿矿石、黄铜矿-辉钼矿矿石、辉钼矿矿石、含铜黄铁矿矿石和黄铁矿矿石等。主要金属矿物有:黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、磁

铁矿和赤铁矿等。此外,尚经常出现少量银铋硫盐(如硫银铋矿、硫铜铋银矿、硫铜银矿、硫铜铋矿)以及碲化物、自然铜等。

常见的矿石构造为浸染状、斑点状、条带状,少数为团块状或块状。主要结构为他形粒状、固溶体分离及网状填隙等。

金主要以自然金、银金矿、金银矿及含金自然银等独立矿物形式存在。

研究伴生金的主要目的和任务在于搞清金的赋存状态、含量、分布规律及工艺性质,以确定其工业利用价值。

二、研究内容及方法

1. 取样 对于勘探矿区,可与主元素的基本分析同时取样。对开采矿区,可在坑道中取样。取样方法一般采用拣块法。取样的种类、研究目的及取样原则见表1。

2. 样品加工 由于矿石中金矿物含量低、粒度细、分布不均匀,因而组合样及其他试金分析样品加工时应全部达到-200目。金具有极好的延展性,磨矿后常成片状,故不宜过筛,而用目估,以免因其粘附于筛网上而人为地降低金品位。对于单矿物分离样

南东错动。矿体沿Ⅱ级断裂的错动,使它南东侧的矿体向南西错动。这样就出现了与一般规律相反的情况。

胡家庙子铁矿的勘探几上几下的原因,主要是当时未能掌握矿体的空间形态,因而没有为确定露天矿底线标高和开采境界线提供可靠的地质资料。在本次补充勘探中,我队吸取了以往工作的经验和教训,重新进行

了地表地质工作,并用钻孔进一步控制了矿体盖层的厚度、矿体上下盘界线和Ⅰ级断裂带中的脉岩。在公司党委的正确领导下,全体职工发挥了过去革命战争时期的那么一股革命热情,那么一种拚命精神,及时地探明了矿区资源,为大打矿山之仗贡献了自己的一份力量。

表 1

取 样 种 类	研 究 目 的	取 样 原 则
组 合 样	了解不同矿石类型中金及其他主要伴生元素在矿床不同部位的含量及空间变化规律	按不同矿体、不同矿石类型及开采中段（或设计开采中段）进行组合，如有基本分析副样，可从副样中组合。 组合公式： $X=Q1/L$ ，式中X为单个副样应抽的重量； Q为组合样的预定重量；1为单个副样的长度；L为组合样的长度。样重一般应不少于2公斤
单矿物分离样	了解不同矿石类型各种单矿物中金及其他主要伴生元素在矿床不同部位的含量、变化及金矿物的性质	可取组合样的一半作为单矿物样，若样重不足，可按类型及深度适当合并。如能分出矿物不同期或世代，则应单独取样。样品重量应视单矿物在矿石中含量的多寡而定
人 工 重 砂 样	作多元素分析及矿物定量，以研究金的赋存状态及其在各矿物中的分配。通过人工重砂富集金矿物，以研究金的工艺性质等	按不同矿体或矿石类型取样。若组合样重量大时，可用组合样的1/4合并而成。 取样重量视金含量而定，一般金品位在0.5~1克/吨时，样重应在100公斤以上
光、薄片样	了解矿石中矿物成分、生成顺序、矿石的结构构造，以研究金矿物的分布特征及工艺性质	可在组合样中按一定距离选取。 样品数量，大中型矿床一般取薄片40~60个，光片150~200个
产 品 检 查 样	了解金的回收情况	最好到选厂化验室取各级产品的副样。 按月或季度组合

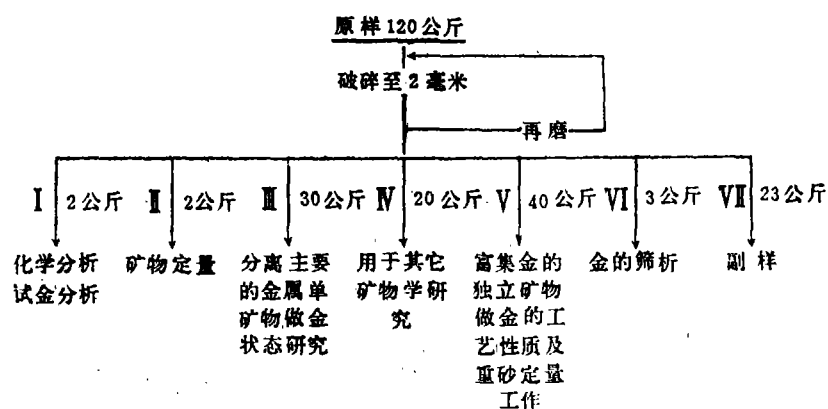


图 1 人工重砂工作流程

破碎的粒度，应视所选矿物的粒度大小而定，一般破碎至0.2毫米即可。人工重砂样的加工稍复杂，其流程示如图1。

3. 金的赋存状态及分布规律的研究 金在自然界主要呈金属状态存在，部分与银、铋、铜及铂族元素形成金属互化物。但常在

其存在状态未搞清之前即被主观地认为是与金属硫化物（特别是黄铁矿、黄铜矿）形成类质同象。搞清金的赋存状态对解决工业利用有重要意义。我们在研究金的存在状态时，主要采用了下列方法。

（1）光片观察 由于金的含量低，粒

度较细,对光片质量要求也较高。磨制光片时一般先用M-5号磨料在玻璃板上多磨一些时间,尽量减少糙面,然后抛光。如果金的粒度在0.001~0.002毫米时,最好用M-3.5或M-1号磨料。

观察光片时,目镜用6.3倍,物镜用16或44倍。要逐个视域观察,记录观察内容要

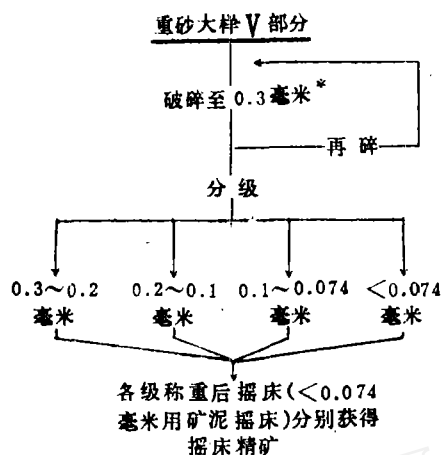


图2 摇床流程

*破碎粒度可视不同矿石情况而定。

着重注意金矿物的形态、大小和分布特征,画出素描图,以利分析研究。一般金品位在1克/吨左右的矿石中,平均每10块光片中可有1块见到金矿物。若金的粒度在0.074毫米以下,则见到的块数、粒数和机会也会增多。例如,我们在含金18克/吨的矿石中,1块光片里见到粒度为0.03~0.001毫米的金矿物137颗;在含金3.63克/吨的1块矿石光片中见到粒度为0.01~0.001毫米的金矿物55颗。

(2) 重砂淘洗 这是获得金矿物的一种简便方法。先粗淘、后精淘,若能用摇床分级获得摇床精矿后再精淘,效果更好。摇床分选流程见图2。

(3) 化学法 借以检出自然金类矿物。用图2流程分级获得摇床精矿,亦可用化学方法检出自然金类矿物,其流程见图3。

(4) 氰化溶矿法 上述各种方法只能发现或获得自然金类矿物,或概略进行定量,要准确确定金的赋存状态,氰化溶矿法较为有效。

此法的原理是黄铜矿不溶于氰化钾溶

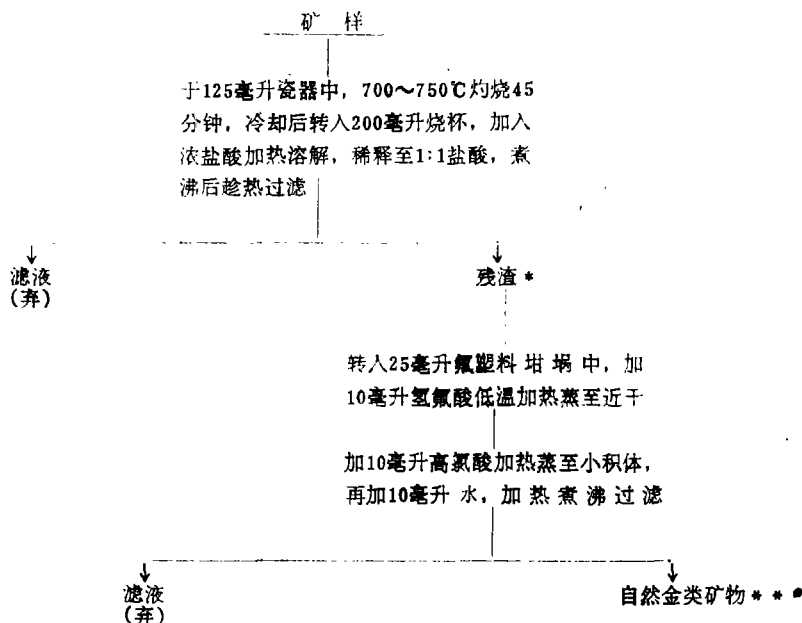


图3 化学法检出金矿物流程

*若仍残存有铜、铁硫化物,须再次灼烧成氧化物,然后溶解。

***若仍残存有脉石类矿物,再用氢氟酸处理。

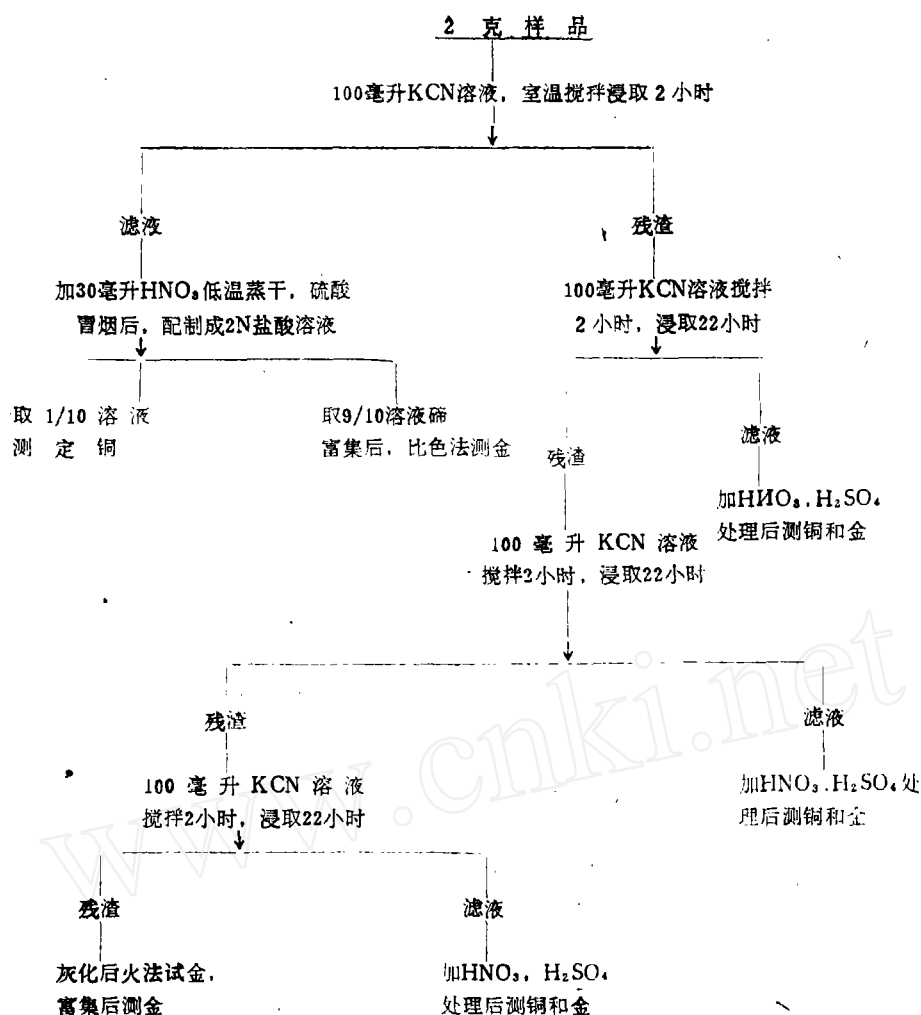


图4 氰化溶矿分析流程

液, 而自然金类矿物在氰化钾水溶液中生成稳定络合物 $[\text{KAu}(\text{CN})_2]$ 而进入溶液中。实验时先将黄铜矿磨细至使金与黄铜矿解离, 然后, 用 1% 氰化钾溶液对 2~5 克样品连续浸取 4 次, 于滤液中测定铜和金; 残渣以火法试金富集后, 用比色法测定金含量。最后, 以金、铜的相对浸取率分析金的赋存状态。氰化溶矿分析流程见图 4。

我们应用此法曾对某矿床黄铜矿进行了金状态考查。黄铜矿样品 (含铜总量 35.01%), 以 100 毫升含 10 克硫脲的、20% 盐酸溶液浸取, 测得黄铜矿中的铜为 30.91%, 占总铜量的 88.29%, 而 4.10% 的铜赋存于斑铜矿中, 占铜总量的 11.71%。这与镜下观

察的斑铜矿在黄铜矿中呈细小的溶离体而不能分离是一致的。用图 4 流程测得的金、铜相对浸取率结果见表 2, 金、铜的相对浸取率关系曲线见图 5。

表 2、图 5 表明, 金、铜的相对浸取率之间无互相依存的关系, 金大部分明显地成独立相存在。值得注意的是, 在第 1 次浸取中, 铜被浸出 13.69%; 根据斑铜矿溶于氰化钾的性质, 可以认为, 被浸出的铜大部分来自斑铜矿, 若样品纯度更高, 可获得更完满的结果。

(5) 重砂定量分析 用单独一种方法进行状态分析, 由于种种原因使结论说服力不强, 而常需用另一方法加以印证。如上述

表 2

测定元素	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	合 计
金	24.63	54.30	18.32	0.46	95.71
铜	13.69	2.96	1.73	1.73	20.05

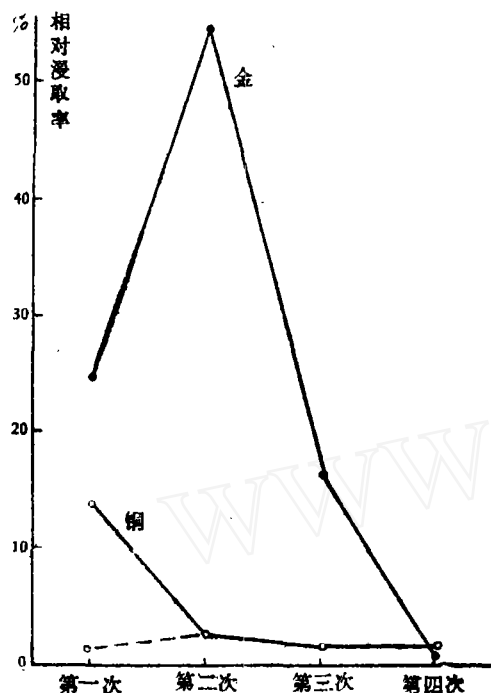


图 5 金、铜相对浸取率关系曲线

氰化溶矿法第一次铜被浸出13.69%，使对金有95.71%成独立矿物相存在的结论发生疑问，我们即是以重砂定量分析来补充说明其结论是对的。

金的比重大、化学性质稳定，利于进行重砂定量分析。我们以图 2 的流程，加上淘洗和电磁选后，再以图 3 的流程联合进行。即分级摇床得精矿，经淘洗、电磁选后，用化学溶矿法得自然金类矿物。

为了使金矿物在机械和化学处理过程中尽量减少损失，应注意：①—200目以上各粒级在机械处理时不能抛弃尾矿，应再磨、筛分，并分别合并到相应粒级中去，以免除

粗粒级尾矿中细粒金包体的损耗。如 0.3~0.2毫米的尾矿，再磨后，要将 0.2~0.1、0.1~0.074及—0.074毫米各级，合并到相应粒级中。②处理—0.074毫米粒级时须脱泥，以使微细金粒不致因粘附在粉尘中而损失。方法是将矿样倒入盛有桉树叶或稀浓度的石灰水（弱碱性，液固比约为 5:1）中，搅拌后停留1~2分钟，将上部浊水倒去，反复数次，即可脱泥。剩下的矿样经矿泥摇床得精矿，尾矿称重送试金分析。③各级精矿经化学溶矿法检出金矿物后，合并称重，即获金矿物的总重量。

鉴于自然金类矿物中一般常含有银、铜、铋及铂族金属等，故应扣除这些杂质元素的含量，才是金的纯金属量。用此纯金属量与矿样中金的金属量相比，即为该矿样中独立的自然金类矿物相所占有的金比率。

我们用此法处理氰化法同一矿样，得出 90.27%的金是呈独立的自然金类矿物相存在的，这与氰化溶矿法的结论是一致的。其中尚有近10%的金未被检出，可能是呈弥散状的金不可免的随尾矿跑掉了。

（6）矿物学研究 目前在自然界已发现的金的独立矿物有20余种，其中最常见的是金银互化物，其次是碲化物。我们在铜陵地区若干矿床的研究中，所见到的绝大部分是金银互化物。金的矿物学研究与其他矿物研究方法基本一致，但应指出：①关于自然金—自然银系列矿物的命名原则，目前尚无统一意见。我们根据有关文献及实际工作的体会，采用了表 3 的命名原则。②由于金矿物富集数量有限，常不能满足试金分析的要求，则应采用电子探针分析。应用电子探针

表 3

大 类	矿 物 名 称	Au含量 (%)	Ag含量 (%)
自然金类	自然金	≥ 80	≤ 20
	银金矿 (自然金亚种)	$< 80 \sim \geq 50$	$< 20 \sim \leq 50$
自然银类	金银矿 (自然银亚种)	$< 50 \sim \geq 10$	$> 50 \sim < 10$
	自然银	≤ 10	≥ 90

分析要从矿物颗粒中心向边部适当多选几个点,以避免同一颗粒中心和边部金、银含量变化所造成的影响。测定金、银含量要以其平均值代表该颗粒的含量。③在确定金矿物中铂族元素含量时,常需要采用激光分析、极谱分析等方法。

(7) 金分布规律的研究 一方面要用组合样分析结果研究主元素铜、硫、铁、钼等与金在水平与垂直方向的变化及其关系,以了解其空间变化规律,另方面还要着重金的分配及其与主元素的相关关系。

为了解决金的分配情况,我们采用了下述两种方法。

①直接统计法:直接在光片上对金矿物的大小及分布特征进行统计,算出金矿物面积,各类金矿物分布面积与总面积的比,以求出金的分配率。某矿区统计结果见表 4。

表 4

金的分布特征	金矿物所占面积 (S, 毫米 ²)	百分数 (S/ΣS×100%)
黄铁矿	0.0052135	51.83
黄铜矿	0.0041686	41.36
硫铜银矿	0.00023072	2.29
方铅矿	0.0001134	1.13
脉石	0.00033292	3.31
总 计	0.01005914	99.92

②重量配分法:以各单矿物中金的含量及该单矿物在矿石中的含量为基础,进行配分计算。分配率公式如下:

$$K = \frac{C_{\text{单}} Y}{C} \times 100\%$$

式中: K—金在某种矿物中的分配率;

C—单一金在某种矿物中的含量(克/吨);

Y—某矿物在矿石中的重量百分比;

C—矿石中金的含量(克/吨)

应用重量配分法在分离单矿物时要尽量避免单体金的解离,以防止人为地升高或降低某些单矿物的含金性。用直接统计法虽能反映原矿中金的真实分布情况,但需统计上百块光片,工作量太大。

为了解金在成矿作用过程中与哪些元素较为密切,需找出它与银、铜、铁和钼等元素的相关性和相关方向,进行元素相关关系分析。计算方法可参见《地质与勘探》1973年第5、6、7期“数理统计在化探中的应用简介”一文。

4. 金工艺性质的研究 金的粒度大小、形态、有否表膜及其在矿石中的嵌布特征等,是矿石工艺加工和确定回收方法的直接依据,因此查清金的工艺性质是研究含金矿石的重要内容之一。

(1) 形态与表膜的研究 金矿物颗粒形态可在光片中直接观察到,常见的形态有片状、树枝状、不规则状及团块状等。形态的研究有助于分析矿床成因。由于破碎机械的影响,常改变金的形态;如用对滚碎矿常出现棒状金、片状金,用磨盘碎矿常出现球粒状金。高成色的金一般不具表膜。有表膜的低成色的金一般呈黑或黑褐色。表膜有原生、次生两种。原生表膜较光滑,有光泽;次生表膜是在破碎中造成的,表面粗糙,光泽暗淡。颗粒形态与表膜状况可直接影响金的浮选性能。

(2) 粒度分析 研究矿物颗粒大小的方法较多,我们在研究工作中首先将金的粒度分为三级:粗粒:0.074毫米,细粒0.074~0.001毫米,细分散状粒级<0.001毫米。下面介绍常用的四种粒度分析方法。

①筛析法,将原矿破碎至0.3或0.25毫米后,筛分分级(分级数目可视需要而定,

我们一般分为 0.25~0.2, 0.2~0.15, 0.15~0.1, 0.1~0.076, 0.076~0.055, 0.055~0.045, -0.045 毫米七级)。各级称重后送试金分析, 并以下列公式求得金在不同粒级中的分配率。

$$K = \frac{C_x Y}{C_{\text{原}}}$$

式中: K—金在某粒级中的分配率;

C_x —某粒级中的含量;

Y—某粒级的产率(用筛析样品的总重量比某一粒级的重量求得);

$C_{\text{原}}$ —原矿中金的含量。

②重砂定量称重法, 将机械和化学处理后的各粒级金直接用万分之一天秤称重, 然后计算金在各级中所占的百分比。

③砂光片直接测定法: 将摇床和淘洗反复处理几次后的各级精矿磨制成砂光片(磨制砂光片时要尽量避免金粒重迭、下沉, 并使其分布均匀), 在反光镜下进行统计。

④光片直接统计法: 用矿石光片直接在反光镜下统计粒度。

上述四种统计方法中, 前三种都是碎矿后的粒度, 由于自然金类矿物具有高度的延展性, 碎矿后常使粒度增大。后一种统计方法才是矿石中的天然粒度。因为金的回收都需破碎, 显然破碎后的粒度更具有生产意

表 5

粒级 (毫米)	颗粒数	面积 (S, 毫米 ²)	百分数 (S/ΣS×100%)	累计值 (%)
0.3~0.2	2	0.1023	28.47	28.47
0.2~0.1	7	0.1078	29.97	58.44
0.1~0.074	9	0.0685	19.05	77.49
0.074~0.055	8	0.0380	10.57	88.06
0.055~0.045	2	0.0055	1.53	89.59
0.045~0.035	9	0.0148	4.10	93.69
0.035~0.025	14	0.0132	3.67	97.36
0.025~0.015	15	0.0050	1.39	98.75
0.015~0.005	54	0.0043	1.18	99.93
0.005~0.001	38	0.00002	0.11	100.04
总计	158	0.3598		100.04

义。如某矿区金的粒度分析结果在 -200 目粒级中, 碎矿后占 10% 左右, 而原矿中占 23%。

应当指出, 各矿区中金的粒度差别很大, 为了获得较正确的粒度分析结果, 常需用两种以上的方法进行比较。如某矿区金的粒度大部分在 0.04 毫米以下, 用筛析法因受磨矿细度限制, 不能使其全部达到 -0.04 毫米, 各粒级均未解离, 用光片统计法才获得较正确的结论。

粒度分析结果应分别以图表表示出来, 以利分析研究。某矿床金的粒度分析统计示于表 5, 据表 5 数据得图 6。

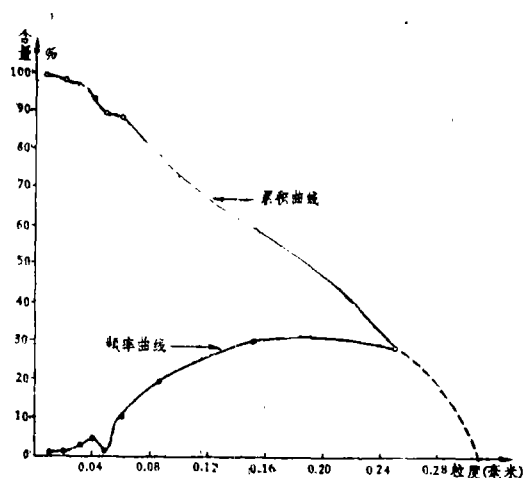
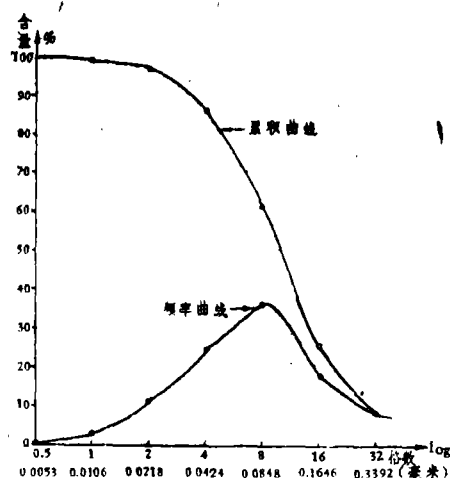


图 6 某矿床金的粒度分析曲线



K>Na有利于铜矿化(如红色钾长石化);⑦夕卡岩铁矿化比铜矿化形成温度高,含挥发分F、Cl、B、P也高;⑧ $\text{Fe}^{3+}/\text{TFe}<0.5\%$ 可作找磁铁矿的定量指标(表明必须有相当比例的 Fe^{3+} ,才能形成 $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$) (据桂林所)。Zn、B、Co、Ni、V、Ti、Sn可作找铁指示,Cu、Ag、Au、As、Hg可作找铜指示。以上八条,有待于广大有关工作同志的补充与修正,得到实践的验证和理论的阐明。

(5)各种热液铁矿床 种类繁多,有各种温度(高、中、低)、各种产状(脉状、透镜状、不规则状)、各种形成方式(交代、充填)、各种矿石矿物(磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿、菱铁矿,氧化后还可成褐铁矿)、各种围岩,并和各种主要铁矿床类型可有一定成因和空间上的联系。所谓“热液”是多成因的,有岩浆热液、火山热液、变质热液等等。热液铁矿床可以形成各种规模(以中小型为主)的富矿,但该类型矿石储量所占比重不大。其中重要的有特种高温气热交代型磁铁矿—赤铁矿—稀土碳酸盐矿床、围岩多暗色岩(辉长—辉绿岩)的高温热液磁铁矿床、中低温热液赤铁矿矿床、“玢岩铁矿”的“卫星矿”——热液磁铁矿—赤铁矿床,以及有时规模大、质量高、围岩多为碳酸盐岩石,值得重视的中低温热液菱铁矿床。不少热液铁矿床往往有后期硫化物的叠加,关于各该矿床的指示元素,需要因地、因成因制宜,来加以试验挑选。

(上接第36页)

(在砂光片中统计)

表6

粒级 (格数)*	颗粒数 (n)	系数 (K _i)	各级占有量 (P=nK _i)	含量, % (G=P/ΣP)	累计含量 (%)
32	3	32	96	8	8
32~16	13	16	208	17.33	25.33
16~8	54	8	432	36.00	61.33
8~4	72	4	288	24.67	86.00
4~2	66	2	132	11.00	97.00
2~1	29	1	29	2.41	99.41
<1	13	0.5	6.5	0.54	99.95
总计	251		1199.5	99.95	

*粒级中的格数为显微镜目镜十字丝刻度,镜头为6.3×16.5,每格长0.0106毫米。

用砂光片以直线法统计金的粒度时,为便于操作可直接读显微镜纵丝的格数,作图时横坐标可用对数坐标表示。某矿床金中的浸染粒度分析统计示于表6,根据表6数据作图7。

上述各种工作方法,其适用范围及优缺点

点本文评述得不多,在工作中可视矿区的具体情况以及所要求的研究程度,而采用其中的某些方法。同时在实践中还可不断的改正、完善以及摸索出更有效的工作方法。

(冯建良、付金宝整理)