

## 第三篇

# 矿石采样与 选矿试验新技术



# 第一章 采样与试样加工

试样是选矿试验的物质基础,是直接进行测试、分析和研究的对象,选矿试验矿样是否具有代表性直接影响选矿试验结果。精矿品位、回收率、原矿处理量、水、电、材料单耗和选矿成本等选矿技术经济指标是选矿工艺中常用的一些判据。例如品位是一个质量指标,其真值是无法知晓的,通过采样、试样加工、分析才能获悉近似真值的数据。回收率则是个数量指标,它的真值更无法知道,只有通过原矿、精矿、尾矿品位的计算得出。由此可见,如果原矿、精矿和尾矿品位稍有误差,就会导致回收率的较大误差。为使选矿技术经济指标接近于真值,能近似地反映选矿生产中的客观情况,必须加强对采样、试样加工和样品分析过程中的技术管理。总之,正确采集具有充分代表性矿样是保证选矿生产和选矿科研质量、可靠程度的重要环节。

## 第一节 采 样

### 一、试样的分类

根据试验研究的目的和任务不同,试样的用途不同,试样可分为分析试样和工艺试样两大类。

#### (一)分析试样

分析试样是(供测定(分析)物料的性质用的。它也许是工艺矿物学试

样、化学试样和分析试样本身,同时,亦可能是粒度组成试样、水分试样、矿浆浓度试样、矿浆酸碱度试样等。按照使用的情况,分为商品试样、作业试样和金属平衡试样。按照采样周期,分为时试样、班试样、日试样和月试样。

### 1. 工艺矿物学试样

在矿床勘探和开采时,可以根据试样的矿物分析,研究矿床沿倾斜方向和走向,有用矿物的成因及其矿化特点,这些分析数据可以协助校正勘探工作与采矿准备工作以及开拓矿床的回采工作。在加工处理矿物原料时,对试样进行工艺矿物学研究,可以查明有用矿物和脉石矿物的结构特点和组成以及矿物组分的结晶粒度、浸染特征和相互伴生关系。根据这些测试分析数据能够正确地拟定可能的选别流程,预测原料综合利用的可能性与所需的磨矿细度。

工艺矿物学试样又可以分为定性的和定量的工艺矿物学试样两种。定性的工艺矿物学试样不能代表被取样矿物的平均物质组成,只可能是称它们为矿物标本。矿物标本应该反映有用矿物的定性组成、构造(矿物组分的空间分布)和结构(矿物包裹体的大小和形状)的特征。

通过对试样进行定性的工艺矿物学研究,可以获得有关待选原料的一些资料,例如:矿物组成、嵌布特征、各种矿物数量的相对比值等。此外,进行矿物分析还可以确定:矿物的密度、硬度、光泽、溶解度、磁性、导电率、对水的润湿性以及与其他与选矿有关的一些特征。

又如在选厂生产车间采取的观察样,亦属于定性试样。其特点是速度快,指导现场生产及时,但可靠性稍差。该试样是在生产过程中采取的原矿、精矿、中矿和尾矿的瞬时样,通过镜下观察,用来检查和研究矿石或选矿产品的单体解离度,目的矿物的大体含量,从而用以判断有关作业的选别效果。

定量的工艺矿物学试样在研究和检查控制原矿、选矿最终产品和中间产品时是非常有用的,它是按照采样的有关规定采集的正式样品。由岩矿鉴定人员对矿物的结构、组成、粒度等进行系统的研究,指出矿石中所含矿物的种类、含量、有用矿物和脉石矿物的赋存状态、粒度大小及分布规律等。还有用来检查矿石和选矿产品的单体解高度、有害杂质(如铁矿石中的磷、砷和硫)的含量及混杂程度,有用(目的)矿物在选别过程中损失的原因。定量的工艺

矿物学分析可以近似地测定有用组分的含量,从而可以确定它们在精矿中的回收率。

在测定试样和选矿产品的矿物组成时,光学法仍然是主要的方法。透明的薄片在穿透光下进行分析研究,抛光片——在反射光下。为了更准确的判断矿物,还补充一些其他的方法,诸如局部光谱分析、X射线分析、热分析、电子显微镜检查、电动描绘、染色分析、发光分析、放射分析、电子探针等。

工艺矿物学试样可从矿床(或者矿区)和选矿厂内(球磨给矿、最终精矿、尾矿和中矿等)采取。

## 2. 化学试样

化学试样是供测定被取样物料中有用组分及有害杂质含量用的。它可以在矿床、矿堆、移动的松散物料和流动矿浆中采取。

在未开采的矿山采取化学试样的目的是根据化学试样的分析数据和地质考查的研究资料,确定有用矿物的储量及其开采利用的经济合理性,并确定该矿石可否直接冶炼等问题。

在生产矿山,进行矿床取样可以确定进一步的采掘方向,研究矿石贫化率的变化规律以及解决入选原矿的配矿等问题。

静置物料,矿堆取样主要是确定原矿或尾矿的品位,并研究其工业价值。

移动松散物料的取样是指装载于矿车中或运输带上的物料取样,目的是为了检查入选原矿或出厂送往用户的产品质量。

与选厂内移动松散物料的取样一样,流动矿浆的取样是取自工艺过程中的原料、成品及半成品,可用来检查选矿厂工艺过程的质量指标,编制工艺平衡(理论金属平衡)表和商品平衡(实际金属平衡)表,它是选矿厂中经常性的取样作业。

在进行有用矿物化学分析的同时,也应作水分测定。

## 3. 粒度组成试样

筛析、水析试样是用来确定原矿或选矿产品粒度组成的试样。它可从原矿、破碎和磨矿产品、筛分和分级产品以及选矿产品中采取。根据筛析或水析的结果,可以评价破碎筛分与磨矿分级设备工作的好坏,了解矿石的某些物理特性(如硬度、矿泥含量等),也可以通过镜检查查明金属流失的原因。

#### 4. 水分试样

测定原矿或选矿产品中的水分是为了用于编制金属平衡,以便进行用户与销售者之间的结算,或者为了满足某些工艺过程的要求,通过水分的测定来控制其含水量。

水分试样可取自原矿、过滤机滤饼、干燥机产物、出厂的精矿等。

#### 5. 矿浆浓度试样

矿浆(磨矿机排矿、分级机和旋流器的溢流。各选别作业的产品、浓缩机和过滤机的给矿)浓度试样主要是用来检查各种产品中的浓度,以便进行工艺过程的控制。

#### 6. 矿浆酸碱度试样

矿浆酸碱度试样主要是用来检查浮选前后矿浆 pH 值的大小。由于矿浆中酸碱度比较均匀,采样比较简单,取出矿浆后应先过滤(用分液漏斗),将滤液作为 pH 值的测定样。

#### 2. 工艺试样

工艺试样主要是为实现(研究)工艺作业,以便获得选矿产品用的。凡是为矿床评价、矿石可选性研究、选矿生产指标的验证、选厂生产流程及选别制度的改进等综合性试验研究所准备的矿样,统称为工艺试样。

工艺试样是为研究矿物原料,以便确定有用矿物选矿工艺流程。

从矿区或矿床采取工艺试样是为了进行矿石可选性研究。工艺试样需用矿样量较大,且要求所取试样完全能代表矿石的类型及其特征。

工艺试样也可分为定性试样和定量试样两种,亦即供评价矿床用的工艺试样——定性试样和(供矿石可选性研究用的工艺试样——定量试样。

##### 1. 供矿床评价用的定性工艺试样

定性工艺试样用来了解有用矿物的组成、特征,通过预先可选性试验研究,了解其机械加工的可能性,主要说明:

(1) 该矿床矿石中,需分别处理的矿石类型及其数量。

(2) 各种类型矿石加工的可能性,可能获得的工艺指标及其效率。

(3) 预测矿物原料综合利用程度。

(4) 从矿床的各个矿区、各个中段、矿山开采“首采区”采掘的矿石混合处

理的可能性及其选别工艺流程。

(5) 勘探工作的方向。

## 2. 供矿石可造性研究用的定量工艺试样

定量工艺试样反映矿物原料的物质组成和数量组成。用它可对矿石的可选性进行详细的系统试验研究,以确定其加工的工艺过程、工艺条件,试验数据作为设计选厂的依据;同时,可对现行生产中存在的问题,提出改进的建议和措施,为工业生产提供最佳的选矿工艺流程和选矿工艺条件。

工艺试样一般由地质工作者负责采取,但是,选矿人员参加,可以熟悉矿石埋藏的地质条件和开采条件,便于提前考虑这些条件对选别过程的影响;同时,地质人员和选矿人员一起采样时,便于从工艺角度出发,考虑解决矿石的品级和确定类型试样所需的数目及其试样的重量等问题。

类型试样 大多数金属矿都不是均匀分布的,在同一矿床内常会遇到各种不同类型的矿石,有时需要采用不同的工艺流程和药剂制度,例如氧化矿石的浮选条件(如药剂制度等)就不同于硫化矿石;所以,对矿床中每一种主要类型矿石,应单独分别采取类型试样。

划分类型试样可根据:

(1) 矿石中主要化学成分的含量。通常富矿石和贫矿石应分别采样。有时亦单独采取表外非工业矿石(指金属含量低于工业要求者)的试样。

(2) 矿石中有价金属元素的矿物组成。同一矿床中存在有硫化矿石、氧化矿石和混合矿石,或者强磁性矿石和弱磁性矿石,都应分别采取单独试样。

(3) 围岩的组成。矿体的围岩成分不同,亦应分别采样。例如,铅矿石在某一矿区与石灰岩共生,在另外一些矿区也可能与硅酸盐类、重晶石等共生。在处理这些矿石时需要采取不同的选矿方法和工艺条件,所以需要单独采样。

(4) 伴生矿物的含量。如果伴生的有用矿物含量随矿床而异,且需要用特殊的选别方法来回收。

(5) 有害杂质的含量。如铁矿石中的磷、砷、硫的含量。

(6) 试样的物理特性,尤其是粒度特性。例如从受氧化且存在有大量粘土和赭石等的平巷中采样时,另应单独地从呈块状的硬矿石中采取试样。例

如：在铁、锰、铜及磷矿床中，常见有粘上与块状矿石在一起。

(7) 矿石的构造与结构。即金属矿物和其集合体在矿石中的共生关系，矿物包裹体的粒度大小等。

参照上述各种因素，采出不同的类型试样，进行单独的或综合的试验研究，提供在必要时使用不同的选矿流程和工艺条件。

## 二、采样的一般要求

选矿试验一般可分为矿石可选性试验(实验室流程试验和工业试验)以及某项新技术、新工艺、新设备、新药剂、新材料的专题选矿试验。选矿试验对矿样的要求，主要取决于选矿试验的目的、任务、规模和矿石性质的复杂程度。尽管对采样都要求取得具有代表性矿样，但是，根据实际需要、采样条件与可能、选矿试验的阶段性和研究的深度，对采样的要求往往也不尽相同。

### (一) 矿床开采可行性研究矿样的采样要求

矿产普查勘探早期对不同自然类型、不同品级的矿样进行选矿试验研究，一般是由地质部门组织进行的。它是进一步为划分矿石自然类型和工业类型提供基本资料，是确定矿床是否具有工业利用价值和能否进入详勘的重要依据。试验研究结果作为矿床工业评价和制定工业指标，计算矿床储量的根据。也可作为矿石组成简单、易选的小型选厂的设计资料或矿石性质复杂、难选的中、小型选厂的初步可行性研究，并为实验室工艺流程试验采样提供基础资料。

对可行性研究试验矿样，要求能反映出主矿体、主要矿石自然类型、品级、主要组分含量、矿物物相、矿石结构、构造、嵌布特征以及泥化、氧化、可溶性盐类的含量等。

### (二) 矿石可选性试验矿样的采样要求

矿石可选性试验首先应进行工艺矿物学研究，着重研究矿石的主要物质组分、结构构造、元素赋存状态等，以指导选矿试验。试验所采用的物理选矿方法和化学选矿方法，应在一般认为具有工业实践意义和在常规的流程条件下能获得最终的选矿产品。所确定的选矿方案和技术指标，应按国家部颁标准，作出经济预测和估算，并进行论证。



矿石可选性试验对采样的一般要求如下：

(1) 应对矿床内不同自然类型或品级的矿石采取类型样，它应代表该类型或该品级矿石的储量。详细研究矿石可选性试验可按各类型的储量比例，采取混合样。

(2) 采取的矿样应能代表全矿床地质平均品位及其化学成分。伴生的有益和有害组分的含量应与该类型矿石相近。

(3) 矿样应反映矿石的组成矿物、结构构造、物理、化学性质等全部特征。

(4) 围岩、夹石及其比例应与该矿床相近。

(5) 当边界品位尚未确定时，应单独采取低品位矿样。

(6) 矿床中原生矿与氧化矿尚未划清时，应在不同地段和区间采样。

(7) 深部矿石和浅部矿石性质差异较大时，应分别采样。

(8) 其他特殊要求，如铁矿石中含有大量的硅酸铁时，则必须按照不同品级采样。

### 1. 实验室流程试验对采样的要求

实验室流程试验一般包括小型试验和连续(扩大)试验。实验室小型试验是采用非连续的试验设备，辅以人工串联和衔接来实现流程试验的，流程平衡是人为的“静态平衡”。其试验结果随机性较大，模拟程度较低。

在实验室流程试验阶段，除进行选矿单元条件试验时需对不同的类型样进行单独的选矿试验，以考查它们的选别性能外，主要是针对工业开采实际和选矿工艺可能而组成的混合矿样进行试验，以获得全矿床或一定开采范围内、一定开采年限内采出矿石的统一选矿工艺流程，求得合乎规范要求的技术指标，而且估算的经济指标应接近实际。

实验室连续扩大试验是以小型试验为基础，在试验单位的连续设备上或中间试验厂进行。实验室连续扩大试验的目的是验证小型试验的结果和解决小型试验所不能取得的有关数据和资料。试验因素、操作条件和技术指标都是在“动态平衡”中体现出来，过程的连续性类似生产状态，试验结果是可靠的，具有一定的模拟性。

实验室试验对采样的要求如下：

(1) 矿床是逐渐开发的，选矿试验矿样也要按照矿山开采的顺序分段地

采取。当矿山生产中前期矿石和后期矿石在性质上相差很大时,选厂设计主要应根据前期生产的矿石性质,但又要预料到开采后期可能发生的变化;因而,为选厂设计所采的矿石可选性试样,也应主要安排在该矿床的首采区(前期开采的地段)采样。对后期开采地段也应采取少量的矿样,作为选矿的探索、验证和对比研究的试样。

所谓首采区,对黑色金属矿山而言,采取的矿样应能代表投产后 5~10 年内开采矿石的性质;对有色金属矿山应能代表投产 3~5 年内开采矿石的性质。

(2)对不同类型的矿石一般应进行分采分选。如果可行性试验已查明各类型或品级的矿石性质,并获得稳定可靠的选矿工艺流程和技术指标;以及由于不同类型、品级的矿石产状相互交错,甚至不能分采,则不必按类型、品级做小型试验,可按其比例采取混合样,其中各类型、各品级矿石含量比例要与所代表的开采范围内各种矿石所占的比例基本一致。

(3)当不同类型的矿石需分采时,则应按不同的分采范围,分别采取各自的代表性混合样,以供分别进行试验。

(4)矿样应反映矿石的矿物组成、矿物共生关系、有用矿物、脉石矿物嵌布粒度特性以及矿石物理、化学性质——密度、硬度、磁性、导电率、湿度、含泥量、可溶性等应与所代表的开采范围内的矿石基本一致。

(5)各类型、各品级矿样中主要有益组分与有害杂质的平均品位及其品位的变化特征,应与该类型和该品级矿石的平均品位和品位变化特征基本一致。如采区内品位的空间变化很大,在不同区段或沿深度上有差别,则应根据矿石品位变化特征,结合开采设计所划分的采区和中段,分别采取代表性矿样,分别考察它们的选矿特征。

(6)参照实际开采条件,采取一定量的有代表性的围岩、夹石矿样,其数量应按开采设计的废石混入率而定,通常露天采矿为 5~10%,坑内采矿为 15~25%。为了保证混入围岩、夹石的种类、成分、比例与矿山开采生产时的一致性,应从与矿体接触的顶、底板近矿围岩和矿体内的各种夹石中采取。

(7)当在矿体及近矿围岩和夹石中发现伴生有稀散元素、贵金属时,则应在详细研究这些元素的赋存状态和空间分布的基础上,采取代表性矿样,进

行综合回收试验。

(8) 矿样通常在已定工业指标圈定的矿床范围内采取。为了充分利用国家资源,对于矿体厚度大、与围岩界限不清的矿床,或矿段平均品位低于边界品位的矿石,或者表外矿石,均应单独采取系统的低品位矿样,分别进行选矿回收试验,研究矿床的范围和扩大矿石储量的可能性。同时,根据试验结果确定合理边界品位和工业指标。

(9) 在采区内或开采前期若干年内,各类型和各品级矿石,其量较大、且有分采的可能性时,应分别采样。

(10) 根据实验室破碎设备的规格,矿样的块度、粒度要求一般为 150 ~ 0 毫米或 100 ~ 0 毫米。

(11) 工艺矿物学研究用的矿物标本应从采出的矿样中采取。按各种不同的矿石类型、工业品级、结构构造特点,并按各种不同岩性和各层位的顶底板、夹石分别采取具有充分代表性的岩矿鉴定标本——矿石标本、顶底板、围岩和夹石标本,供定性研究用。每种标本应取 2 ~ 3 块以上,规格约 100 × 60 毫米。

## 2. 工业试验对采样的要求

工业试验可分为半工业试验和工业试验,是以小型试验或连续(扩大)试验为基础,在专门建立的半工业试验车间或试验工厂中进行。由于其设备配套,处理能力大,能长时间连续稳定运转,处于“生产操作状态”,因而试验结果更接近于实际工业生产。工业试验的结果基本上等于未来的生产技术指标,是一项建厂前的准备工作。

半工业试验和工业试验是为矿石组分复杂、难选或无生产实践资料可据的新型矿石和采用新工艺、新设备的大、中型选矿厂提供设计需要的技术数据。它可以解决在实验室条件下无法查明、难以确定的参数,并在“生产正常”状态下取得必要的资料,作为建厂设计和生产操作的依据。工业试验矿样指代表开采区内或首采区内采出的矿石,其对采样的要求:

(1) 矿样应力求与选矿工艺流程试验用的矿样相同。由于矿样需要量大,几百吨、千吨甚至上万吨,一般难以达到矿样标准,只要近似即可。

(2) 采样前做好采样设计,且采样设计比小型试验的要更加完善、准确,

在采样施工时,必须严格按采样设计进行。

(3) 采样时要随时作化学成分检验,掌握矿石品位的变化。

### 3. 矿选矿试验对矿样重量的要求

各个阶段的选矿试验所需矿样重量取决于试验规模、目的、深度、矿石种类、性质、复杂程度、选矿方法、工艺流程、试验设备能力、试验连续时间以及采样工程的施工运输条件等。

若已确定试验研究所需最终矿样重量为  $Q$ , 则实际在矿区的采样量(矿样的原始重量)最少不得少于  $2Q$ 。

然后,再根据矿区开采以后,生产出矿的类型(或者采场)品级比例,确定各个类型(或采场)品级矿石必须的矿样量。

最后,再考虑该类型矿石(或该品级矿石)能从坑道中采取的点数,确定出每个采样点至少应采矿石的原始重量  $q$  为:

$$q_1 = \frac{2QT_1}{Tn_1} \quad (3-1-1)$$

$$q_2 = \frac{2QT_2}{Tn_2} \quad (3-1-2)$$

式中  $q_1, q_2$ ——分别指某种类型、品级矿石的每一采样点的最小原始重量, kg;

$Q$ ——所需矿样(最终矿样)的重量, kg;

$T$ ——矿山矿石的总储量, 万 t;

$n_1, n_2$ ——每种类型(品级)矿石的采样点数, 个;

$T_1, T_2$ ——各种类型(品级)矿石的出矿量, 万 t。

具体的矿样重量要求,由试验单位提出。

在确定矿样原始重量(实际在矿区的采样量)和缩分的可能性时,应考虑下列因素:

(1) 矿石中有益组分平均品位的绝对百分率愈高,则在矿石中分布愈均匀,需要可靠的矿样原始重量就愈少。

(2) 有用矿物中有益组分的品位(对金属矿来说即金属含量) $\beta$ 与矿石内有益组分的平均品位 $\alpha$ 之比( $\beta/\alpha$ )的数值愈大,矿样的原始重量也就应该意

大。

铁矿、铜矿、和铝矿的  $\beta/\alpha$  值示于表 3-1-1。

(3) 矿石品位愈低, 化学分析的允许绝对误差愈小, 矿样的原始重量也就应当愈大。

(4) 矿石中 useful 矿物颗粒愈大, 而颗粒数愈少, 每次缩分产生误差的可能性愈大, 则可靠的矿样原始重量就要愈多。

(5) 矿样的块度或者粒度愈大, 例如采用大块度干式磁选(预选)粗粒抛尾(废), 矿样原始重量就要求愈多。

表 3-1-1 矿样的原始重理与  $\beta/\alpha$  值的关系

矿 石 (金属矿物)	品位, %		$\beta/\alpha$	每个采样点至少应采矿 石的原始重量, kg
	$\beta$	$\alpha$		
铁矿(磁铁矿)	72.4	30	2.4	1~2
铜矿(黄铜矿)	34.5	0.5	69	2~5
铅矿(方铅矿)	86.6	0.8	108.3	5~10

(6) 有用矿物的密度愈大, 在缩分的矿样中, 有用矿物颗粒过多或不足, 则对矿样品位变化的影响也就愈大。

要求矿样的原始重量愈大, 则采样、矿样加工过程就愈复杂、愈不经济。所以, 矿样重量要求应适宜, 避免浪费矿样。

一般情况下, 小型试验用矿样的原始重量应按  $Q = Kd^2$  公式计算。可选性试验矿样的原始重量为最终矿样量的 2 倍。半工业或工业试验矿样的原始重量等于最终矿样重量; 有时, 在特殊情况下, 冶炼要求提供数量较多的某些精矿时, 则通过精矿产品的数量、质量计算, 增加矿样的原始重量。

黑色金属矿石不同规模选矿试验所需矿样重量可参考表 3-1-2。在某些特殊试验时, 如进行竖炉投笼焙烧试验, 其所需矿样重量应较实验室流程试验增加 300~500 公斤; 又如进行大粒度(75~10 毫米)干式磁选试验和重介质振动溜槽试验时, 矿样重量在 2000~3000 公斤为宜。

表 3-1-2 黑色金属矿石选矿试验所需矿样重量 kg

矿石种类	矿床开发可行性 研究用矿样重量	矿石可选性试验用矿样量	
		实验室流程试验 用矿样	半工业、工业试 验用矿样
磁铁矿石	100 ~ 200	200 ~ 400	矿样重量视试验采用 设备的处理能力及必须 的试验时间而定
赤铁矿石、菱铁矿石及 易选含多金属铁矿石	200 ~ 300	300 ~ 1000	
难选含多金属铁矿石	300 ~ 500	500 ~ 3000	
易选锰矿石	100 ~ 300	300 ~ 500	
难选锰矿石	300 ~ 500	500 ~ 1000	
铬铁矿石	100 ~ 309	300 ~ 500	

### 三、矿床采样

根据矿产资源开发利用整体规划的任务,确定矿床采样的原则和制定矿床采样方案。特别是为建厂设计提供依据的实验室工艺流程试验矿样,应在地质勘探结束和矿山开拓方案初步确定的前提下进行采样。

在编制采样设计之前,地质部门应提供完整的地质勘探资料,设计部门提出选矿技术方案、采样要求与矿区开采范围、开拓与采矿方案,选矿部门在对地质、采矿提供的有关资料全面了解、深入分析的基础上,与选矿试验委托部门协商确定采取矿样的个数,提出矿样的重量、粒度以及包装运送等要求,原则上选矿科研单位只对矿样负责。

正确的采样方法是保证矿样代表性的必要条件。由于采样对象、用途和地点不同,采样方法也不完全相同。矿床采样是根据该矿区的采样量以及该矿区能够采样的矿体暴露面大小而定。

#### (一) 刻槽采样法

就是在矿体上开凿一定规格的槽子,槽中凿下的全部矿石作为样品。当槽断面的规格较小时,完全用人工凿取。规格大时,可先采用浅眼爆破崩矿,再用人工修整,以达到设计要求的规格形状。

如在矿体呈脉状、层状等暴露面积较小的情况下,采样点的数目很多,常

采用刻槽法。

刻槽应当布置在矿物组成变化最大的地方,亦即是在垂直矿物走向的地方,所以刻槽的方向应垂直于矿体的走向,在沿矿体的厚度方向上布置,并且,尽可能使样槽通过矿体的全部厚度,各样槽间的距离要相等,各槽的断面积要一致。

根据矿床性质不同常改变刻槽的方式,刻槽形状则随巷道的性质而定,一般为长方形、圆形、环形、螺旋形等等。当矿化比较均匀、矿体比较规则时,多采用长方形直线横向槽和纵向刻槽。在水平巷道或垂直巷道里,当矿物组成沿长度的分布很不均匀时,则可采用螺旋形刻槽,矿物组成愈不均匀,则螺距应愈小。

若巷道太长,最好不用螺旋状或环状刻槽采样法,而采用环形或螺旋状布点采样法。点距和各采样点的容积必须保持相等。

在地表探槽中采样时。样槽有布置在罐底。有布置在壁上;在穿脉坑道中采样时,在坑道的一壁布置样槽,若矿体品位和特征变化很大,则需在两壁同时刻槽,合并两壁的样品成一个样品;在沿脉坑道中采样时,在坑道的两壁和顶板布置样槽,每隔一定距离布置拱形样槽,或沿螺旋线连续刻槽,一般均不取底板,若矿体较薄,且主要暴露在顶板,矿样也只能从顶板上采取;在浅井中采样,样槽布置在浅井的一壁或两对壁。

样槽断面尺寸主要取决于保证采样的准确性和所需矿样的重量和粒度,槽间距离取决于矿化程度。对于常见的金属矿床如铁、铜、铅、锌、钨、锡等矿床,一般当矿样重量不少于 100 千克时,其矿块粒度应小于 25 毫米,所以,对于粒粒均匀浸染矿石,其刻槽深度最好为 50 ~ 100 毫米,不能小于 25 毫米。对于细粒浸染矿石,刻槽深度应为 10 ~ 25 毫米。刻槽宽度应大于深度,一般为 100 毫米。

## (二)剥层采样法或表面剥层采样法

它适用于矿层薄、矿脉细以及矿石品位分布不均匀矿床的采样。假如在一个巷道内要取的矿样重量很大,而采样面积又很小,用刻槽法所取的样品量过少,不能满足需要时,应采用剥层法。

剥层采样法就是在工作面底盘上铺上帆布或薄铁板,然后对整个暴露的

矿体全部剥下一层,收集在帆布或铁板上,作为试样。

剥层的深度取决于欲采矿样的重量和研究所需矿样的粒度。一般情况下,25毫米左右的矿块即可满足试验要求,所以,剥层深度以25~100毫米为宜。

### (三) 爆破采样法

其做法是在坑道内穿脉的两壁、顶板(通常不用底板)上,按照预定的规格打眼放炮爆破,然后,将爆破下的矿石全部或从中缩分出一部分作为试样。

爆破采样法适用于要求矿样量很大,矿石品位分布非常不均匀的情况。采样规格视具体情况而定,通常长和宽为1米左右,深度多为0.5~1.0米。我国常用的规格列于表3-1-3。

表3-1-3 爆破采样法常用规格

矿石种类	规格(长×宽×深),m	备 注
铜矿石	1.0×0.8×0.5~1.0	狭脉或细脉群不足0.8m宽者,仍取0.8m
钨矿石	1.5×0.8×0.5~1.0	
脉锡矿	1.0×1.0×0.7	宽度视矿脉的实际宽度而定
钼矿石	0.5×0.5(长×宽)	
铅锌矿石	1.0×1.0×0.5	

### (四) 方格采样法

方格采样法应用于采样面积较大而采样量又不多的情况下。其方法是在采样的面上划上格网,从格网交点采样。格网可以是菱形的、正方形的、长方形的。采样点个数视矿化的均匀程度及采样面积的大小而定。若矿化均匀,采样点可以少些,其交点距离可大于2米。若矿化不均匀或矿石成分复杂,则采样点就要多,其间的距离也要小些。圈定格网范围时,应当包括现有的采矿方法条件下可能采下来的、不符合工业品级要求的脉石部分。

### (五) 岩芯劈取法

在以钻探为主要勘探手段,客观上又不允许进行坑道采样时,试验样品可从钻探岩芯中劈取。在劈取岩芯时,必须沿岩芯中心线垂直劈取1/2或1/4作为样品,所取岩芯长度均应穿过矿体的厚度,并包括必须采取的围岩和夹石。



概括起来在采矿工作面采样方法的特征列于表 3-1-4。

表 3-1-4 在采矿工作面上采样方法及其特征

采样方法	使用范围	特 征	矿样重量 kg
攫取法 (目测法)	了解矿体大概特征	根据外观特征崩矿	0.5~2 矿块、有时几个碎块)
点取法	均匀浸染矿石的采样	在匀称网格点上利用锤和凿,采小样 30~100 克	1~5
炮眼法	浸染矿石的采样(钻凿和采样同时进行)	凿眼或凿岩芯时取炮眼粉样	取决于炮眼炮孔的直径
刻槽法	脉、展状矿石采样	垂直矿层的倾斜方向或横切矿脉布置热槽。刻槽宽度 2~20cm,深度 1~10	1m 刻槽取 0.5~50
剥层法	不均匀浸染矿石采样	从掌子面采 5~10cm 矿层	1m <sup>2</sup> 掌子面取 50~250
全巷法	极不均匀浸染矿石采样	掌子面上来下的矿体全部作为试样	几十或几百吨

## 四、选矿厂采样

任何一个选矿过程与取样总是分不开的,因为仅仅只有采用相应的测试,才能确定原矿和选矿产品的质量、计算工艺指标。所以,在选矿厂的生产 and 选矿试验中,为检查、控制和分析、研究选矿工艺过程、为设计和生产提供原始技术数据,要对一系列产品及辅助物料进行采样。

随着选矿方法的不同,选矿工艺操作条件的检查、控制的范围略有差异,一般包括:

(1) 入厂原、材料(矿石、药剂及其他消耗材料)和出厂产品的品种、数量和质量标准的采样检查。

(2) 粒度分析:矿山来矿石块度、碎矿最终产品的粒度、磨矿细度、分级机或旋流器溢流细度、矿石入选粒度等。

(3) 矿浆浓度测定:主要有磨矿浓度、分级机或旋流器溢流浓度,入选矿

浆浓度等。

(4) 水分测定 :原矿、精矿。

(5) 品位分析 :原矿、精矿、尾矿的班样以及快速样的口位。

(6) 浮选矿浆酸碱度测定。

(7) 药剂等。

(一) 采样流程图、采样表

根据需要,在选矿过程中要采样的种类和数量较多、例如工业试验采样,样品有时多达几十、几百个,为了保证正确无误、有序地进行采样,事先应掌握全部采样过程,根据试验的目的要求和内容,编制采样流程图和采样表,以便在生产或试验时,按图、表统一采样。

### 1. 采样流程图

采样流程图是在工艺流程图中按采样要求选取采样点,用不同符号注明待采样品的种类和数量。

在选矿试验中,有时需要采辅助物料(如对药剂、气体和水等的分析样)样,也按要求在图中标明。

根据试验的目的和样品的用途确定样品的种类和采样点。

在选矿连续试验中,基本有两种:一是对选矿厂生产流程作全面考察,或为设计选厂提供依据的工业试验,需要采全流程样。另一种是对选矿厂生产流程作局部考察,或为选厂设计提供部分依据的工业、半工业及小型连续试验,则需采部分流程样。

全流程样的用途有:

编制数、质量流程;

编制矿浆流程;

分析研究产品的理化性质;

检查、测定各工艺操作条件;

检查辅助物料的质量和添加条件。

部分流程样,由于各个试验的要求和用途不同,可视具体情况来确定。

根据选矿厂的生产实践,在工艺过程中选择采样点的原则如(1)提供选矿产品的产量计算和编制生产日报需用的原始资料——原矿处理量、原矿水

分、原矿品位、精矿品位和尾矿品位等,需在球(棒)磨给矿皮带上(或其他原矿入厂地点)、没有中矿返回的分级机或旋流器溢流处、精矿箱和尾矿箱等处设立采样点。在球(棒)磨的给矿皮带上(或其他原矿入厂处)设立原矿计量点。

(2)在影响数、质量指标的关键作业处设立采样点,例如在分级机或旋流器溢流处设浓度和细度采样点。

(3)在容易造成金属流失的部位——浓缩机溢流、干燥机的烟尘、各种砂泵(池)、磨选车间总污水排出管等部分,设立采样、计量点。

(4)为编制实际金属平衡表所需的原始资料,如出厂精矿水分、出厂精矿数量和质量等需在出厂精矿的汽车或火车车厢上设采样点。每车采样点的数目和采样量,视汽车或火车载重吨位而异,载重吨位愈大,采样点的数目或采样量也相应增多。据选厂实际统计,它们之间的关系列于表 3-1-5。

表 3-1-5 出厂精矿采样点数目和来样量

汽车或火车载负量 $t$	4	8	12	40	60
每车采样重量 $g$	40	80	120	400	600
每车采样点数目,个	6	9	12	12~24	30~33

(5)评价选矿工艺的数、质量流程采样,即在全流程各作业的给矿、产品及尾(排)矿处,设立采样点。

## 2. 采样表

采样表是对采样流程图作进一步补充和文字说明,使试验过程中整个采样工作更明确。采样表包括:样品种类、名称、采样点、采样时间和应检查测定的项目等等。

### (二)原矿和选矿产品的采样

在选矿厂,大量的采样工作是静置物料的采样,例如贮矿场、矿堆、矿仓、集装箱、车厢、汽车、驳船、麻袋、尾矿场、浓缩机等采样。

静置物料一般多堆成矿堆或者装在矿车(或者驳船)中,分块状料堆(指从井下运到地表以后,或露天采场采矿后堆积起的矿石堆、贮矿堆、采矿和选矿的废石堆)和粉状料堆(指尾矿堆和精矿堆)。静置物料基本的采样方法是自取法(或攫取法),除了择取法外,其他的采样法都可视作舀取法的不同方

案和做法。

静置松散块状物料的采样方法有矿堆采样、矿车中采样。

### 1. 静置松散块状物料的采样

#### (1) 矿堆采样

矿石堆或废石堆是在生产过程中逐渐堆积形成的, 物料的性质在料堆的长、宽、深三个方向上都是变化的, 再加上物料的粒度大, 因而采样工作比较麻烦。常采用的方法有舀取法和探井法。

①舀取法(攫取法);一般用点线法,即在待采样矿堆的整个表面上,划出一系列平行于锥底的相间 0.5 米的横线(最底下一条线与矿堆底相隔 0.25 米),然后在线上相隔 0.5~2 米处布设一个采样点。采样的方法是用铁铲垂直于矿堆表面,挖出深为 0.5 米的小坑,在坑底采样。各点采取的样品重量(或采样铲数)应正比于各点坑至堆底的垂距,将所有各点采集的样品混合拌匀,即为该矿堆的样品。

舀取法实质上是在料堆表面一定地点挖坑采样,所以,又叫挖取法。当料堆是沿着长度方向逐渐堆积时,通过合理的布设采样点,可以保证所采总样的代表性;当物料是沿着厚度方向逐渐堆积,且沿厚度方向物料组成变化较大时,则表层舀取法的代表性将很差。此时,只能增加采样坑的深度,将采出的物料缩分出一部分作为试样。

影响舀取法采样精度的主要因素有(1)矿块粒度、矿块中有效成分分布均匀性及其按粒度和密度的析离作用、物料组成沿料堆厚度方向分布的均匀程度(2)采样网的密度和采样点的个数(3)各点的采样量。

②探井法 随着矿石的堆积,从矿堆的堆顶到堆底,矿石的物质组成和粒度组成均有很大的变化。若只局限于从矿堆表面来样,其结果很难正确,因为矿堆底部的矿块和粉矿的比率与表面不同,其金属含量也不相同,所以,在矿石的理化性质变化较大的矿堆上采样,应从矿堆上开凿采样井采样,这种采样井必须从矿堆表面垂直挖到堆底。探井数目及其排列应视矿石中金属含量的变化程度、采样目的等不同,按具体情况确定。

在挖井时,每进一层(1~2 米),必须将所挖出的矿石分别堆成几个小堆,再对每堆以攫取法采样。若矿块和粉矿中金属含量很不均匀,在攫取之

前应事先筛出粉矿,求出其重量百分数,然后再分别从块矿和粉矿中用攫取法采样,再将它们按一定的比例合并为一个样品。

如果矿堆是磨细物料,如先前堆存的老尾矿,则可利用探针进行采样。探针法与探井法无本质差异,只是不挖探井,而以探针(或探管)垂直插入矿堆中采出试样。

在尾矿堆中采样时,还必须注意下述情况,即尾矿的堆积过程是由水冲进沉淀池或尾矿场沉积而成,其最重的颗粒均聚积于尾矿溜槽口附近处。采样时,必须按放射状直线排列采样点,而且应从倾注尾矿的溜槽口开始采样。距溜槽口越远,采样点间的距离可适当增加。

探井法的主要优点是可沿着料堆的厚度方向采样。但由于工程量大,采样点的数目不可能很多,因而在沿长度方向和宽度方向的代表性不及舀取法。

## (2) 在矿车中采样

①从矿车或铁路运输的车厢中采样应注意的问题:

a. 物料中含有较多的矿粉时,由于装车产生偏析,块矿滚落到矿车边缘,而中间多为细粉,通常块矿和粉矿性质不同,因此应多设采样点;

b. 由于车厢在运行途中发生摇动和振动,使重矿物逐渐下沉,如果运输距离很远,物料中矿物间的密度差又很大时,就容易使细粒矿粉通过大块间隙漏至车底,产生隙溜、分层现象,对此应采用分层采样法;

c. 车厢大小。车厢大时,采样点应多些;

d. 车厢数目。如果整个待采样的矿石所占车厢数目多,则每车厢的采样点可相应少些。

②简单的表面攫取法(目测法):目测法采取试样是最简单的人工采样方法。这个方法就是从被采样料堆上(任意点或按一定的间隔)用铲子或卷边铁铲采取少量的物料。

在矿车的矿石表面布设若干采样点(将表面划成矩形或正方形,25吨的车厢设12个点,50吨的车厢设15个点,如图3-1-1。当矿石是大块时,采样点可借绳制的网格来作记号,网的结点间相距0.5米,从每车厢约32个结点下面采样,或者采样者从车厢侧边或者一端的点开始,以一定的间隔测出

采样点),在采样点上可用人工攫取、或者用铁铲掏出 0.25 ~ 0.5 米深的小坑作为点样,各个点样混合后即为该矿石样品。

③分层采样法:对于矿车中分布极不均匀的矿石,可用分层采样法采样。该法一般多在装车或卸车时进行,先将车厢 1/6 高度的表面一层去掉,然后用表面攫取法采样;接着将车厢 1/2 高度的上部矿层去掉,同样用表面攫取法采样。一般分两层,将两层各点所采的点样混合,即为该矿车的样品。

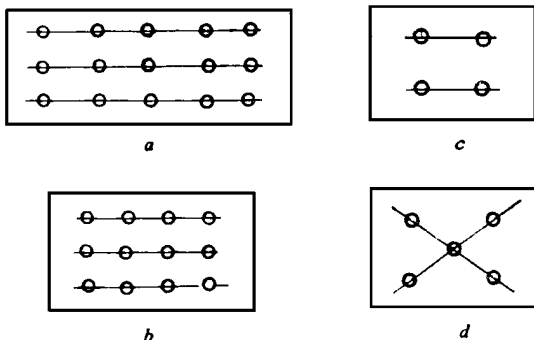


图 3-1-1 矿车采样点布置图

$\alpha$  — 一般载重 60t 的火车车厢采样点布置;

$b$  — 一般载重 25t 的火车车厢采样点布置;

$c$  和  $d$  — 一般载重 5 ~ 10t 的小矿车  
或汽车的采样点布置

④择取法:在矿石铲和混匀或在矿石装载、卸载或用铲子将矿石由一处移往另一处转载时可采用择取法采样。

采样的方法:根据所需的或希望得到的试样的重量,择取第  $n$  (如每一个第二或每一个第三、第四、第五或第十)份(铲、勺、挖掘器、小车等)取入试料。一般实践中在从车厢卸料时采取第五或第十铲;为了获取最终试料,则采取第二铲。

对大批矿石来讲,用铲子择取比用古老的标准采样方法——环锥和四分法要好一些。当采取第二铲时,部分择取法较精确,且较可靠,花费少,进行快,所需的地方小,多次地择取单独的物料份数能保证采样的精确性。

## 2. 静置松散粉状物料的采样

此种物料一般采用探管法采样。先将矿堆或矿车中的细粉物料划出若干个采样点,然后在采样点上将探管由上而下地插入底部,矿样即进入探管内,拔出探管后将样品倒出。

### (1) 精矿采样

精矿采样包括对精矿仓中堆存的精矿和装车待运的出厂销售精矿的采样。

精矿是经过磨碎的物料,粒度细、均匀、级差小,因此,可以不考虑粒度引

起的折离作用。通常用探管(又称探针)采样,采样点均匀布置在精矿所占的面积内。

在汽车或火车车厢内采样时,采样点的布置示于图 3-1-2。

采样布点的数目对矿样的精确性有直接的关系,布点数目越多,精确性越高。但采样点过多势必造成矿样数量增大,增加加工工作量,耗费过多的人力、物力,所以采样点的数目(参见表 3-1-5)要根据具体情况来定,但至少不得低于四个点。

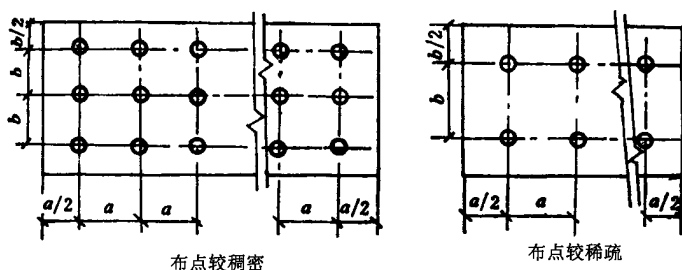


图 3-1-2 从车厢内采样时采样点布置图

探管在垂直插入矿堆采样时,应具有足够的长度,以便能达到所需的深度。探管采样要点:采样点分布要均匀,每点采样的数量基本相等,表层、底层都要能采到。

## (2) 尾矿采样

尾矿采样通常是在尾矿池(库)中进行。常用的方法是钻孔采样。可以是机械钻,也可以是手钻,或者是用普通的钢管人工钻孔采样。

采样的精度主要决定于采样网的密度,采样点之间的距离为 500~1000 毫米。一般沿整个尾矿池(库)的表面均匀布点,然后全深钻孔采样。由于尾矿池(库)的面积较大,采样点多,采出矿样的数量大,因此,需要根据不同的用途,混匀缩分,得出合适的所需重量作为试样。

## 3. 移动物料的采样

移动物料是指运输过程中的物料,它包括电机车运输的原矿、皮带运输机以及其他运输设备上的矿石、给矿机和溜槽中的料流以及流动中的矿浆等。

选矿厂常用的移动物料的采样方法是横向断流截取法。其要点是每间隔一定时间,垂直料流运动方向,截取少量物料作为试样,而后将一段时间内

截取的各个份样累积起来作为总样,混匀,缩分出一定量的样品,供分析和选矿试验用。

### (1) 重点法

此法可用于任何物料的采样,其精确度大于攫取法而接近四分法。采样的操作是每隔一定时间,采出一定数量的物料作为小样,经一定时间,将所采的各个小样综合为该时间内的样品。

在运输块状物料过程中,采用抽车采样的方法。对原矿进行抽车采样,实质上就是从矿床中采样,抽车就如一种缩分方法。也即将一定期间内开采的矿石作为试样,采用抽车法缩取。抽车采样的代表性取决于抽车频率、从矿山运来的矿石对所研究的矿床和矿体是否具有代表性。

抽车采样主要是为半工业或工业试验提供试验矿样;同时,也可从中测定矿山采出矿石的原始粒度、含水量和含泥量等有关基本数据。

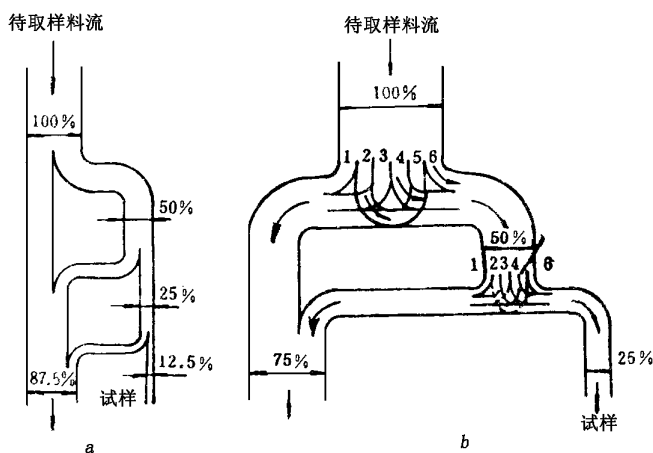


图 3-1-3 顺流截取法

a - 循序顺截取 ; b - 平行顺流截取

抽车采样的方法是:将由坑内或露天采场用矿车运来选厂的矿石中每第五矿车,第十矿车或第二十矿车抽出作为试样,其间隔多少主要取决于采样期间来矿的总车数和所需试样的总重量。不论所需试样多少,抽取的总车数不得过少,否则,就不能保证试样的代表性。

### (2) 截取法

截取法是最准确的一种采样方法。它是连续地或周期地从运动着的料



流中截取一部分作为试样。按照截取的方式不同,截取法又可分为顺流截取法和断流截取法两种。

①顺流截取法:将料流顺着主流分为若干个连续的支流(见图 3-1-3),然后将其中的一个或者几个相互交错的支流取为试样。

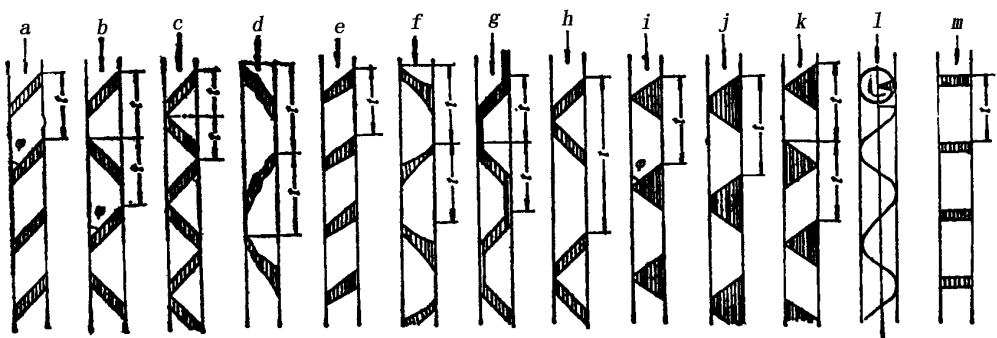


图 3-1-4 料流横截面的各种形状

$a, b, c, h, k, l, m$  - 正确的截面;

$d, e, f, g, i, j$  - 不正确的截面;  $\varphi$  - 料流截面角;  $t$  - 采样间隔时间

此法仅能用于均匀物料,尤其是沿横断面要均匀。假如料流是由不同粒度或者不同密度的颗粒所组成,则沿着料流的厚度和宽度,因受到析离作用,其均匀性遭到破坏。

②断流截取法:是经过一定的、相等的间隔时间,从料流中周期地截取相等数量的物料作为试样。图 3-1-4 示出料流模截面的各种形状。

采用断流截取法时,有用组分沿料流分布的不均匀性影响采样的精确既。为了尽可能的使有用组分沿料流的含量变化能全部地反映在试样中,应选择采样频率与有用组分含量的变化相适应,如图 3-1-5 所示。

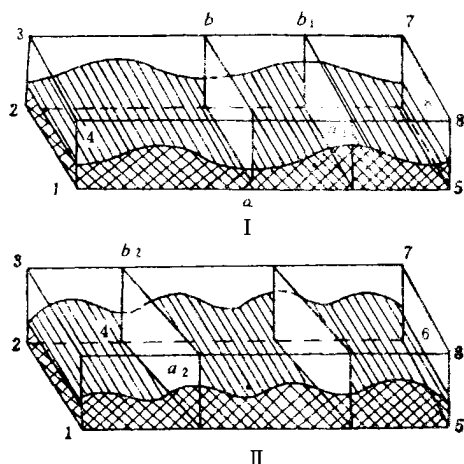


图 3-1-5 断流截取法

I - 金属含量变化不大;

II - 金属含量剧烈变化;

1 2 3 4 5 6 7 8 - 料流

在选矿厂中载于皮带运输机上的固体松散物料,多系原矿石,常采用断流费取法采样。采样地点一般设在磨矿机的给矿皮带上,假如磨矿之前还有选别作业,就在选别前最后一段破碎产品的运输皮带上采样,中间产品采样,就在相应的皮带运输组的输送皮带上进行采样。总的原则是在不违背试验要求的前提下,应待矿石破碎到较小粒度时再采样,这时,采样的代表性较好,加工制样的工作量亦小些。

操作方法一般是用人工采样,即利用一定长度的刮板,每隔一定时间。垂直料流的运动方向,沿料层的全宽和全厚均匀地刮取一份物料作为试样。采样间隔时间一般为 15~30 分钟,采样总时间由所采试料的用途和重量而定。

当一次截取的矿石量多,重量大,有时移动采作器械和工具比较困难,或者皮带运行速度快,难以采准时(如选厂在考查碎矿流程时)也可停车在皮带上刮取。

③顺流-断流联合截取法:该法用于被采样料流太大,需要预先进行缩分(图 3-1-6)或者用断流截取法采出的试样量太大(图 3-1-7)的情况下。

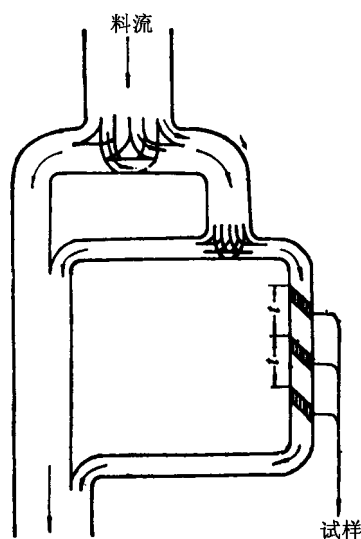


图 3-1-6 顺流-断流截取法

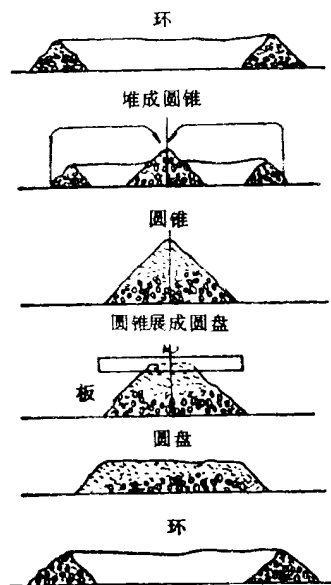


图 3-1-7 断流-顺流截取法

选厂采样的研究和经验表明,断流截取法能保证移动物料采样的最大精

确度。平行 - 顺流截取法最适用于采出样品的缩分。

#### 4. 流动矿浆的采样

从采样的观点来看 ,应该在矿浆呈流动状态下进行采样 ,这样 ,可避免产生粗、细粒分层现象。

对选矿试验和生产过程中的流动矿浆 ,通常按断流截取法用人工采样工具采取。为了保证沿料流的全宽和全厚截取试样 ,采样点应设在矿浆的转运处 ,如分级机的溢流堰口、管道口、溜槽口、严禁直接在管道、溜槽或贮存容器中采样。

采样时必须注意 :将采样勺口的长度方向顺着(垂直)料流 ,以保证料流中整个厚度内的物料都能截取到 ,然后将采样勺垂直于料流的运动方向匀速往复截取几次 ,使料流中整个宽度内的物料 ,均匀地都被截取到。

采样的间隔时间越短 ,采样次数就越多 ,试样代表性相应就越强。人工采样一般为间隔 15 ~ 30 分钟取一次 ;机械采样 2 ~ 10 分钟一次。每次采样的时间间隔要相等 ,采样量基本上保持一致。

### (三) 辅助物料的采样

#### 1. 气体的采样

为了掌握焙烧过程中气体成分的变化 ,一般按一定时间采取入炉煤气和排出废气样品 ,还不定时的采取一些还原带和燃烧室内的气体样品做气体成分分析。

对排出废气和入炉煤气可在排、送气管道中采样 ,其方法是用球胆与橡胶二连球接连一起 ,在二连球的另一端用橡胶管直接与气体管道的样管接合 ,即可开始采样。在采样之前 ,要先把球胆和二连球中的气体排净 ,而后抽取气体 ,抽后再次排净 ,第二次再拍的气体作为样品 ,将球胆结牢后送气体分析。

对还原带和燃烧室内进行气体采样时 ,要在二连球的另端连接一根不锈钢管 ,将其插入炉内抽取样品。

#### 2. 药剂的采样

在浮选试验中 ,需要对药剂进行采样作成分分析。一般采用分批采样、检查、贮存和使用。

药剂采样方法有：

(1) 松散药剂采样 该种药剂一般系散装 或者用袋或桶盛装。散装药剂的采样方法和静置松散粉状物料采样法相同。对用袋或桶盛装的药剂 应根据该批药剂的种类、数量从中抽出 2 ~ 20% 进行采样。

用袋装的药剂 先将抽袋后药剂倒出、混匀、铺平、然后用点取法采样。

用桶装的药剂 除用上述方法采样外 也可与采松散粉状矿石样品一样用探管法采取。

上述方法采出的样品 倒在油布上压碎、混匀 取出一定重量装入瓶中，塞好蜡封送化验分析。

(2) 液体药剂采样 在液体药剂采样时 应注意药剂的分层 它可能由不同密度 不同成分的液体组成 样品必须能代表全部液体药剂的性质。

按液体药剂的流动状态又分为流体状和粘稠状两种药剂：

① 流体状药剂 其采样方法主要取决于药剂的性质和贮存容器。对桶装易混匀的药剂 可先将桶滚动混匀 然后采样。对槽、车中盛装的不易混匀的药剂 可按不同高度分层采样 然后按不同高度间的各层断面积和该层液体药剂的密度 得出各层所占的相应重量比例、再将所采的各层药剂样品 按比例配成代表全部液体药剂的样品。

在选矿试验过程中 采取这种药批一般是用 40 ~ 50 毫米直径带有刻度的玻璃管 用手指按住管的一端 将另一端插入液体药剂中 当达到采样深度时 移开手指 液体药剂即进入管内 再用手指按体管外端开口 提出玻璃管 将所采的液体药剂放出作为样品。

对需从容器中很深处采取液体药剂 则可利用钢管制的药剂采样管采取。

对送往选别作业的药剂水溶液 可直接从管道口截取 但在采样前 应先将闭塞的管道打开。使之流动一段时间后再采取样品。

② 粘稠状药剂 一级用桶或槽年盛装 多分为若干层 因此对粘稠状药剂要分层采样 并同流体状药剂分层采样算法一样 先求出各层所占的相应重量比例 再按比例配成代表全部液体药剂的样品。

一般粘稠状药剂可用采样管采样。

### 3. 水的采样

为了了解和掌握水质对浮选过程的影响,需要采集水样作分析检验。

水样一般从水源和供水管道中采取。从水管采取水样时先将水管龙头打开,使停滞的水流动一段时间后再采取样品。

在采水样前,将采样瓶刷洗干净,水样采完后,在水样瓶上标明采样时间和采样地点。

对用混合水进行选矿试验时,除对混合水采样外,还应采取单项水样,以便分析各单项水对浮选过程的影响。

## 第二节 试样加工

### 一、矿试验矿样的配制

从矿山采来的原始矿样按其化学成分和物理性质(粒度、水分、所控组分含量的不均匀性等)是不均一的,要先经过检查和混样计算,才能进行加工制备,配成选矿试验要求的代表性矿样。

#### (一) 矿样检查

承担试验研究的单位在收到矿样后,按采样说明书对样品编号、矿石类型及品级等进行核对,清点各个样品;同时,从来样中选取若干矿鉴定标本样品。

对样品编号、矿石类型和品级等检查无误后,分别采出一部分样品作化学分析验证。若化学分析结果与采样说明书上所列的相差较大时,应查找原因。

#### (二) 混样

根据采样说明书和选矿试验要求,对预混矿样品位,按来样类型、品级和围岩的验证品位进行计算,如结果符合入选品位要求,则可采用采样说明书中重量比例混样。否则,应按各类型、各品级矿石和围岩特性对重量比例进

行调整,直至符合入选品位要求。

混样计算方法如下:

对预混矿样的平均品位:

$$\alpha = \alpha_1 \gamma_1 + \alpha_2 \gamma_2 + \dots + \alpha_n \gamma_n + \alpha_m \gamma_m \quad (3-1-3)$$

式中

$\alpha$ ——预混矿样的平均品位, %;

$\alpha_1 \dots \alpha_n$  和  $\alpha_m$ ——各类型矿样和围岩品位, %;

$\gamma_1 \dots \gamma_n$  和  $\gamma_m$ ——各类型矿样和围岩的重量比例, 以小数计;

而  $\alpha_1 = \alpha'_1 \gamma'_1 + \alpha''_1 \gamma''_1 = \dots \alpha''_1 \gamma''_1$

.....

$$\alpha_n = \alpha'_n \gamma'_n + \alpha''_n \gamma''_n + \dots \alpha''_n \gamma''_n$$

式中  $\alpha'_1 \dots \gamma'_1$ ——第一种类型矿石中各品级矿样的品位, %;

$\alpha'_n \dots \alpha''_n$ ——第  $n$  种类型矿石中各品级矿样的品位, %。

各品位皆为验证后的化学分析结果;

$\gamma'_1 \dots \gamma''_1$ ——第一种类型矿石中各品级矿样的重量比例, 以小数计;

$\gamma'_n \dots \gamma''_n$ ——第  $n$  种类型矿石中各品级矿样的重量比例, 以小数计;

又:

$$\alpha_m = \alpha'_m \gamma'_m + \alpha''_m \gamma''_m + \alpha'''_m \gamma'''_m$$

式中  $\alpha'_m, \alpha''_m, \alpha'''_m$ ——顶板、底板和夹石作品的品位, 为验证后的化学分析结果, %;

$\gamma'_m, \gamma''_m, \gamma'''_m$ ——顶板、底板和夹石样品的重量比例, 以小数计。

经上述计算后, 用试验矿样的总重量分别乘以各类型矿石的重量比例, 得出各类型矿石应混样的重量。再将各类型应混样重量分别与该类型矿石中各品级矿石重量比例相乘, 得出各类型各品级矿石应混样的重量。

围岩的混样重量计算方法类同。

### (三) 缩分比 $N$

原始矿样的重量  $Q_0$  与缩分后得到的最终试样的重量  $Q_n$  之比, 称为缩分比。即

$$N = Q_0 / Q_n \quad (3-1-4)$$

对于块状物料来说 ,往往要经过多次的破碎和缩分 ,其缩分前后样品重量之比就是缩分比。

## 二、样品加工作业与方法

### (一)块状干试料的加工

试料的加工由三个主要作业——破碎、混匀和缩分组成。有时 ,还增加筛分作业。

#### 1. 筛分

试样破碎前的准备作业 ,以便细粒部分通过筛孔 ,不需破碎 ,而仅破碎粗粒部分。为此 ,要准备一套不同筛孔尺寸的筛子 ,例如 ,泰勒标准筛 :16 网目( 0.991 毫米 )、9 网目( 1.981 毫米 )、7 网目( 2.794 毫米 )、3 网目( 6.68 毫米 )、12 毫米、25 毫米、50 毫米和 75 毫米等。

随着加工缩分的进行 ,逐步进行筛分。筛上物送往破碎至全部通过筛孔。所有筛下物按  $Q = Kd^a$  公式缩分至的最小重量。

#### 2. 破碎

一般在实验室小型颚式碎矿机、对辊机、盘磨机中进行。破碎机要有防尘罩、排矿口要严密封闭 ,防止矿样在破碎过程中产生粉尘损失 ,并引起混杂。在每个样品破碎前 ,要清扫设备的各个部位 ,以免别的样品残留混入 ,影响矿样的代表性。不同品位矿样必须分别破碎 ,且先破碎低品位矿石样。

#### 3. 混匀

混匀是矿样缩分前必不可少的重要作业 ,为了获得均匀的样品 ,缩分前需要仔细混匀 ,混得越均匀 ,缩分后矿样的代表性才越强。一般通常用的混匀方法有 :

(1) 堆锥法 :此法用于大量物料的混匀 ,主要用于粒度不大于 50 ~ 100 毫米 ,100 ~ 500 千克试料的混匀。堆锥法就是用铁铲将矿样在钢板或扫净的水泥地上堆呈锥状的矿堆。具体操作过程是 :先将矿样以某一点为中心 ,分别把待混的矿样往中心点徐徐倒下 ,形成第一次圆锥形矿堆 ,进行混矿的两人 ,彼此互成 180° 角度站在圆锥两旁 ,从圆锥直径的两端用铲子由锥底将矿样依次铲取 ,放在距锥形堆一定距离的另一个中心点 ,两人以相同速度沿同一方

向进行,将矿样又堆成新的圆锥形矿堆,如此反复 5~7 次(取单数),即可将矿样混匀。

(2) 环一堆法:将第一次混后的圆锥形矿堆从中心往外推移,形成一个大圆环,然后可自环外部将矿样再铲往环中心点徐徐倒下,堆成新的圆锥形矿堆,如此反复 5~7 次,也可将矿样混匀,见图 3-1-8。

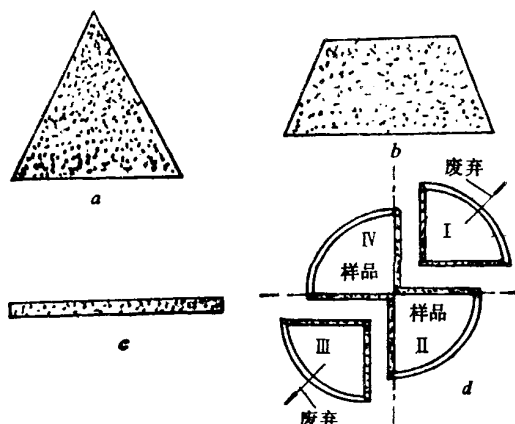
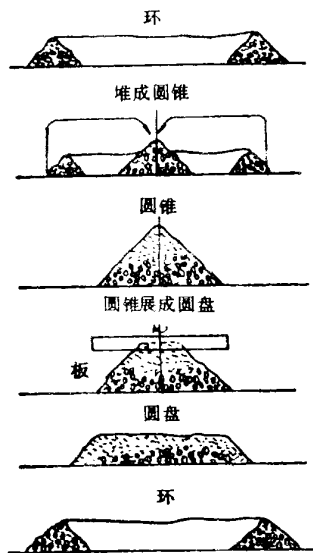


图 3-1-9 堆锥四分法

$a$  - 试料堆成圆锥;  $b$  - 压成平截头圆锥

$c$  - 压成圆盘,  $d$  - 圆盘的平面图

图 3-1-8 环-锥混匀法

(3) 滚移法:对于选矿产品、细粒及量少的试样采用此法。其操作过程是将试样放在漆布、油市或胶布中间,然后提漆市一角,让试样在漆布上滚到对角线后,再提起相对的另一角,依次四角轮流提过,则谓滚移一周。如此重复多次,直到试料混均匀为止,一般一个试料要滚移 15~20 周以上。

(4) 槽型分样器法:又叫间槽二分器法,少量细粒(5 毫米以下)或砂矿试样,往往可以通过槽型分样器反复进行二等分,亦可达到混匀目的。

#### 4. 缩分

混匀的矿样通过缩分,才能达到要求的样品重量。常用的缩分方法有:

(1) 堆锥四分法:在采用环-锥法混匀矿样以后,采用堆锥四分法如图 3-1-9 进行缩分。即将混匀的矿样堆成锥形,然后用薄板切入矿堆一定深



度后,旋转薄板将矿堆展呈平截头圆锥,继而压成圆盘状,再用十字板(或分样板)通过中心点,分隔为四份,取其对角部分合并为需要的矿样。如果缩分出的试样还多,依法再进行缩分,直至符合所需要的重量为止。

(2) 二分器法(槽型分样器法):此法适用于细粒物料缩分。二分器是用薄铁板制成,形状如图 3-1-10 所示。

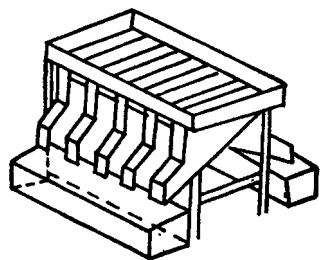


图 3-1-10 二分器外形图

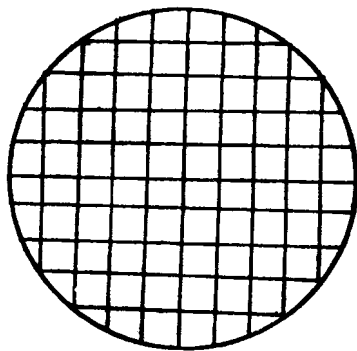


图 3-1-11 方格法缩分试料

为使试料能顺利通过小槽,小槽宽度应大于试料中最大颗粒尺寸的 3~4 倍。

使用时,先将两个容器置于二分器的下部,再将矿样沿二分器上端的整个长度徐徐倒入,或者沿长度往返徐徐倒入,使试料分成两份,取其一份为需要矿样。

如量还大,再行缩分,直到满足要求为止。

(3) 方格法:系将混匀的试料薄薄地平铺在油布或胶布上,可以铺呈圆形(如图 3-1-11)也可以呈方形、长方形,然后划分成小方格,用小勺或平底小铲逐格采样。每小格采样多少,根据所需的重量而定。为了保证采样的准确性,必须注意:1)方格要划均匀;2)各小格的采样量要基本相等;3)每勺或每铲都要挖(铲)到底。

图 3-1-12 示出了块状试样加工的原则流程图。

(二) 粒度测定用的筛析样和水析样的加工

为了检查磨矿细度,评价磨矿、分级设备的工作效率,通常选厂要对磨矿机排矿、分级机或旋流器溢流进行采样,进行粒度测定。因为是粒度样,因此在试样加工过程中必须保证原物料的粒度特性不变。其具体加工程序是:

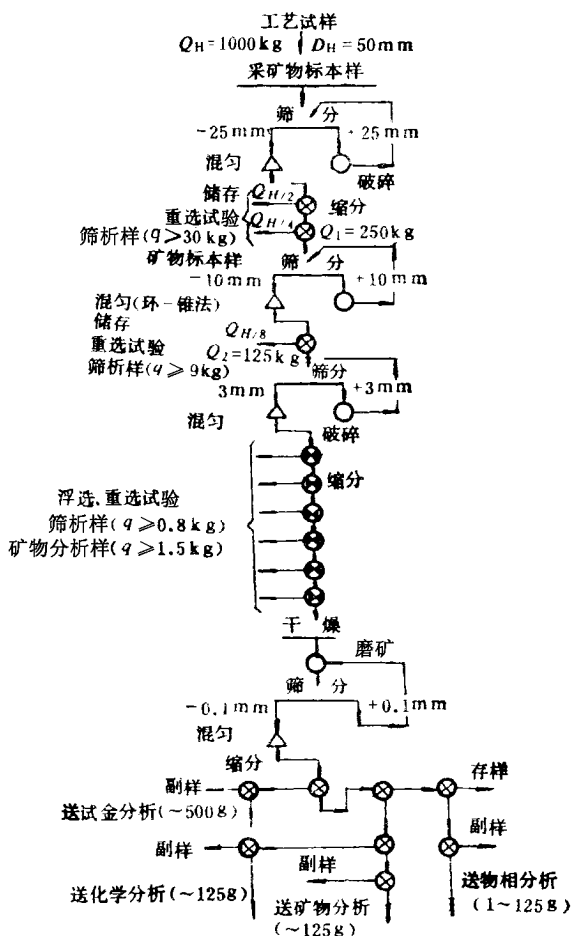


图 3-1-12 块状试样加工原则流程

(1) 缩分 通常可在矿浆缩分器或者二分器中进行, 操作时严禁矿样泼洒, 矿样和冲洗水要均匀地倒入缩分器中, 使缩分后各个份样的重量相差不大。

(2) 过滤 过滤前先将滤纸称重, 记录在滤纸的一角, 并夹好样品标签。详细检查滤盘盘面的滤孔有否堵塞等现象, 以免局部真空抽力太大而将滤纸吸破, 引起被过滤物随滤液透过滤纸。铺敷滤纸时, 关闭真空泵或抽气阀门, 滤纸铺好后, 用细水流均匀润湿滤纸, 滤纸四周边缘与滤盘壁用手指轻轻按摸, 使滤纸与滤盘壁之间接触严密, 防止漏气。真空泵开启后 (或打开真空阀门), 将一份缩分后的试样均匀、缓慢地倒入过滤盘内, 严禁矿浆从滤盘边缘溢出。过滤完后, 关闭真空泵或真空阀门, 取出滤纸, 进行矿样烘干。

(3) 烘干 :一般在专用的烘箱中进行样品烘干。当几种不同样品同时烘干时 ,必须将品位高的样品放在最下层 ,低品位样品放在最上层 ,防止上层样品撒落入下层。烘箱温度不宜过高 ,一般保持在  $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$  之间 ,以免将样品烤糊、滤纸烧焦。检查样品是否烘干 ,可将样品( 过滤纸 )取出 ,放在干燥的胶板、钢板或混凝土平台上 ,然后拿起样品 ,看板上或平台上有无留有湿印迹 ,如没有 ,则说明样品已烘干 ;另一检查物料是否烘干的办法是 :每隔一定时间 ,从烘箱内取样称重 ,若相邻两次重量不变( 即恒重 ) ,说明物料已烘干。

(4) 称重 :从烘箱内取出的物料冷却至室温时进行称重。称重前 ,先校正天平零点 ,称重时 ,记准读数。称重后从秤盘上拿走物料 ,用毛巾将盘面揩净 ,砝码放入砝码盒内 ,天平恢复零位。

(5) 水筛 :将矿浆缩分器中分出的一份试料进行湿筛 ,或者烘干的物料浸泡在水中( 此时不允许用碾磨的方式将烘干物料碾碎 ) ,进行湿式筛分。湿筛前要检查筛孔有无局部通漏 ,筛孔有无堵塞、变形。筛分时要分批投入试料 ( 每批应少于 100 克 ) ,防止样品泼洒。检查筛分终点可采用一个盛有  $1/2 \sim 1/3$  水的脸盆 ,在其中进行湿筛 ,然后将筛子取出 ,检查盆中是否有筛下物料 ,若无有、或痕迹 ,说明筛分已终了。

湿筛在水中进行 ,一些细粒本应过筛 ,但因为水的浮力缘故 ,没有过筛。因此 ,湿筛后的筛上物还需烘干 ,进行干筛 ,又叫检查筛分。根据多数选厂实际数据统计 ,湿筛后对筛上物不再烘干、干筛 ,其细度( 指 - 200 目 )一般偏低 3 ~ 5%。

(6) 筛上物过滤烘干 操作方法同上。

(7) 干筛 :筛上物烘干后 ,用白铁皮分样板等轻轻将结团压碎分开 ,严禁研磨。待物料冷至室温后再放入筛中进行干筛。用胶布、油市或白纸 ,在其上边进行检查筛分 ,如果一分钟内通过筛孔的物料少于筛上残留物料的 0.1%( 在个别要求快速或精确度不太高的情况下 ,规定不超过 1% ) ,认为已到筛分终点。

(8) 称重 操作方法同上。

(9) 计算 细度计算公式如下 :

$$\text{物料细度 } E = \left( 1 - \frac{\text{筛上物料重}}{\text{物料总重}} \right) \times 100\% \quad (3-1-5)$$

### (三)原矿、精矿、尾矿或其他选别中间产品化学试样的加工

选矿厂原矿及选矿产品化学试样加工是最经常的、亦是每班必做的。具体试样加工的过程是：缩分——过滤——烘干——混匀——过筛(160目筛子)——研磨——过筛——混匀——缩分——装袋(分正样和副样)——送化验分析。如果原矿粒度过粗，在过滤前还要增加磨矿作业。各个作业的加工过程注意改项参阅粒度测定用筛析样的加工。

过筛后试料的混匀和缩分，一般多在胶布或油、漆布上用滚移法进行，或者在研磨板上用移锥法进行，缩分多用薄圆盘四分法，取对角线的两份作为正样，其余两份为副样。样品装袋前，在样袋上把试样名称、编号、班次、日期、要求分析元素的内容一一写明，样品加工者在样袋上签名。送分析样品的重量，根据分析元素的多少而定，单元素一般要10~30克。

### (四)出厂精矿样品的加工

出厂精矿样品要进行水分和品位的测定分析。每车精矿都要按照规定的采样点数目，采样重量等进行采样。若车辆载重吨位不一，每车所采样品搅拌混匀之后，按装车吨位，称取一定的重量装入带盖的桶内。

每班根据出厂精矿的车数来决定样品加工的次数，若出厂车数较多，可以每五车作为一个样品进行加工；若出厂车数较少，也可以一个车作为一个样品加工。但每班至少要加工一次，不得将当班作品留到下个班或第二天与其他样品合并加工，因为此时上个班或者前一天所采样品的的水分及矿仓中精矿的水分都有一定的变化。

一般水分样和品位样作为一个样品进行加工。先称湿精矿的重量，并记录，然后放入烘箱内烘干，再称量干精矿的重量并记录，按公式

$$W = \frac{\text{试样湿重} - \text{试样干重}}{\text{试样湿重}} \times 10\%$$

$$= \left(1 - \frac{\text{试样干重}}{\text{试样湿重}}\right) \times 100\% \quad (3-1-6)$$

计算精矿水分含量  $W$ 。

烘干的试样，称量后搅拌均匀，缩分至80~100克，过180目以上的筛子，然后混匀，分作两份试样装袋，正样送化验分析品位，副样保存备查。

## 第二章 采样器械与计量装置

### 第一节 采样器械

为了保证采样的准确性和矿样的代表性,除了前章所述的正确选择采样方法外,合理的选用采样器具和设备也是一个很重要的问题。生产实践表明:采样质量和采样器械有着密切的不可分割的联系,要使采样准确、样品的代表性强,还必须要有适用的采样器械。一般来说,采样设备应满足下述的要求:构造简单,操作方便,工作可靠,截取频率大,每次取样量小,代表性强等。

目前,选矿厂常用的采样器械可分人工采样器具和机械采样机械两大类。

#### 一、人工采样器具

人工采样,尤其是当料批很多时,通常是很不经济的;人工采样很慢、且主观上的因素起着很大作用,以致难以得到精确的试样,因此,尽可能使用机械采样机。仅当物料(例如粘性矿石)不宜于用机械采样,或者由于某种原因不能使用自动作用的机构,或者装置机械采样机的价值尚未被证实时,仍然采用人工采样。常用的人工采样器具有采样铲、探管、采样勺(壶)、采样管。

##### (一) 采样铲

##### 1. 四分采样用的铲子

如图 3-2-1 所示,系带有卷边和宽约为 250 毫米的铲子,隔板将铲子断面分成三部分。侧边两部分占铲子断面的  $3/4$ ,其后都是敞开的;中间部分宽 65 毫米,占  $1/4$  的断面,其后部是封闭的。采样工将铲子炉进矿堆,然

后使载荷的铲子向后倾斜 ,并迅速转动 ,在两侧部分的矿石向后滑走并抛弃掉 ,而在中间部分的矿石就留在伊中 ,将它卸入容器中作为试料。



图 3-2-1 四分采样铲

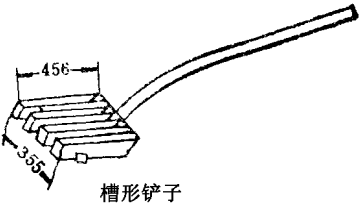


图 3-2-2 槽形铲

2. 槽形或 U 形铲

它系由数个槽子组成( 图 3-2-2 ) ,槽长 300 ~ 450 毫米、宽 50 毫米、深 63 ~ 100 毫米 ,在槽子之间有宽度相同的间隔。待采样物料应粉碎到 12.5 毫米以下 ,铲子放在地上或由采样工拿着 ,另一人则用方形铲把矿石铲在槽形铲上。当槽子装满时( 不应装得太满 ) ,采样工就从槽形铲中倒出矿石作为试料。

3. 撮铲

表 3-2-1 采点样撮铲尺寸

矿块最大块度不大于 mm	点样重量 kg	撮铲尺寸 mm				
		$\alpha$	$b$	$c$	$d$	$e$
50	2	150	75	120	130	50
10	1	100	60	80	80	30
1	0.1	50	30	40	40	20

图 3-2-3 为采点样用撮铲 ,撮铲的尺寸列于表 3-2-1。

图 3-2-4 为缩分矿样用的撮铲。其尺寸列于表 3-2-2。

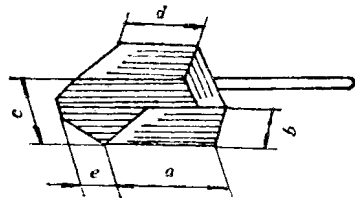


图 3-2-3 采点样用撮铲

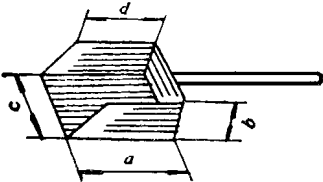


图 3-2-4 缩分矿样用撮铲

表 3-2-2 缩分矿样用撮铲尺寸

矿块最大块度 不大于 $\mu\text{mm}$	撮铲尺寸 $\mu\text{mm}$			
	$a$	$b$	$c$	$d$
10	60	35	60	50
5	50	30	50	40
1	30	15	30	25

图 3-2-5 为供从矿车采样用带锤的撮铲。

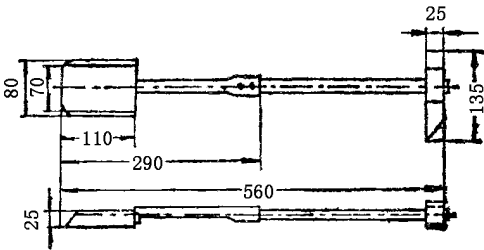


图 3-2-5 矿车采样用带锤撮铲

(二) 探管(手钻)

其形状如图 3-2-6 所示。

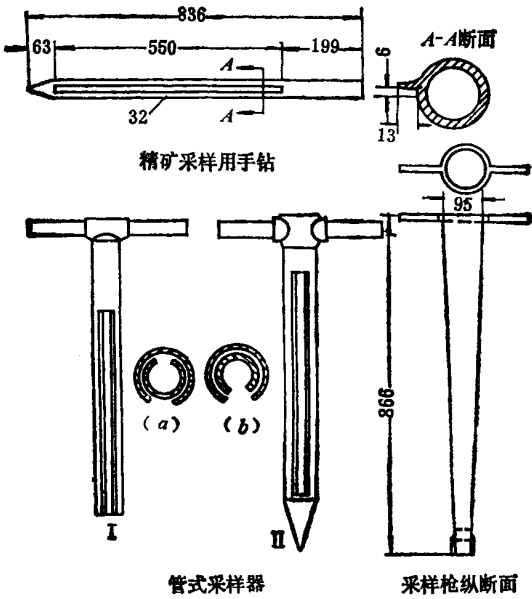


图 3-2-6 探管

探管用于静置松散粉状物料采样,例如,矿企中的精矿和装车待运的精矿以及尾矿堆等。简单探管由直径 13、25 或 38 毫米的管段制成,其一端具有尖锐的边缘,另一端为了接接头,短的横管穿过丁字接头形成手把。管子应足够长,以便插到应采样料堆的底部,探管垂直地插到与料堆的底部接触为止,而后把它抽出,用锤子敲击管子,从其中卸出试料。双管式探管由两个纵向刻槽的管子组成,一个小直径管子装在另一个大直径的管子内。当管子处在如图 3-2-6a 所示位置时,将它插到料堆的最底部,转动手把直到使管子处于如图 3-2-6b 的位置。反复旋转探管,直至管内不再装入物料为止。然后管子又重新转到  $\alpha$  的位置上,取出管子并将其中物料卸入试料箱。

### (三) 采样盒、采样壶、采样勺

选矿试验和生产过程中的流动矿浆,一般按断流截取法用人工采样器具采取。常用的人工采样器具有扁长形的采样盒(图 3-2-7)、采样壶(图 3-2-8)和圆柱形的采样勺等。

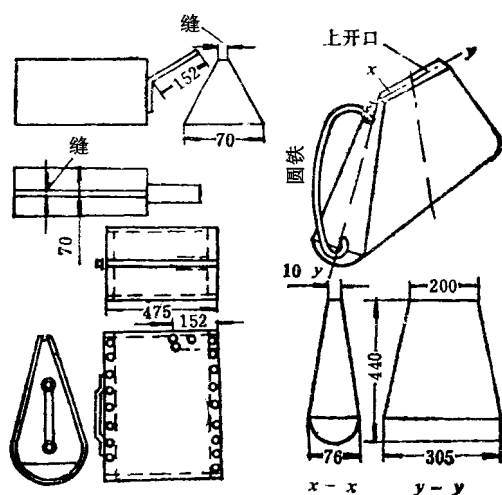


图 3-2-7 采样盒

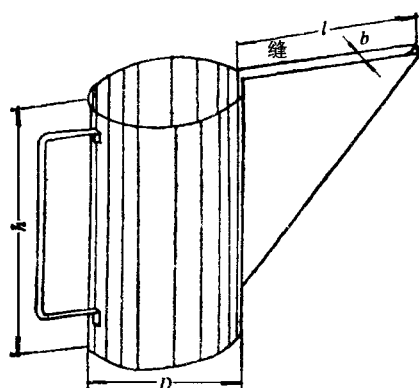


图 3-2-8 采样壶

#### 1. 采样盒

它是带扁嘴的容器,它截取量小而容积大,因而在截流时允许停留较长时间,而又不致将矿浆溢出。其结构特点是口小底大,储量多,样品不易溅出,又便于把样品倾倒出来。适用于流动性较好的矿浆采样,如分级机、旋流



器的溢流,细磨的原矿、精矿、尾矿等矿浆样和选矿中间产品。

在制造和使用采样盒时,应注意:

- (1) 采样富开口宽度,应大于待采物料最大颗粒的 4~5 倍。
- (2) 采样盒容积不得小于一次截取所要取得的矿浆体积。
- (3) 采样盒应为不透水、内壁光滑,易于倒出物料。
- (4) 每一采样点应有一专用采样盒。
- (5) 采样时,样富的棱边应垂直于采样盒的运动方向,并以等速横截整个矿浆流。
- (6) 采样时需经相同的间断时间,一般为 15~30 分钟。
- (7) 样品倒出后,用清水冲洗干净。

## 2. 采样壶

是最适用的一种人工采样器,倾倒样品时回转采样壶,摇晃壶中矿浆样品,不致于在采样器中剩留试样。其尺寸为:

容积,厘米 <sup>3</sup>	$D$	$h$	$l$	$b$ ,毫米
1000	100	170	150~180	5~20
500	80	130	120~150	5~20
250	60	120	100~120	5~20

## (四) 槽中矿浆采样器

### 1. 采样管

适用于在搅拌情况下,从选矿设备深处采取矿浆样,如在搅拌槽、浮选槽(柱)和浓缩机中采样。

采样管的构造如图 3-2-9 所示。

它是用一段塑料(或金属)管子,下端有固定在铁丝上的塑料(或金属)堵头,使用时用手操纵铁丝,推开堵头,插入矿浆深处,然后把堵头拉紧取出,再将管中所采矿浆倒出作为样品。

### 2. 采样锥形桶

如图 3-2-10 所示,它是用自铁皮加工焊成,可以从浓缩机不同深度处采取浓度样和品位样。

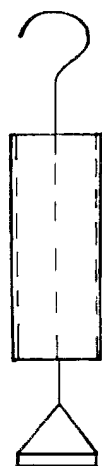


图 3-2-9  
采样管

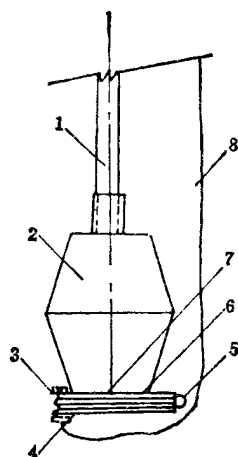


图 3-2-10 采样锥形桶  
1-长木竿或竹竿 2-采样锥形桶 3-拉紧弹簧 4-密封上盖板 5-转轴 6-密封下盖板 7-密封胶皮 8-拉线

在加工制造锥形桶时,必须保证底部(或上部)密封严实,在底盖(或上盖)不打开前,穿过澄清区,桶内不会进水。

### 3. 矿浆试样采样器

该采样器由带盖子 4 的容器 2 组成(图 3-2-11)。盖上设有一链绳 3,盖里层社有一 3~5 毫米的橡胶垫 5,橡胶棒 6 是当容器沉入矿浆时防止顶盖自动打开用的。采样器固定在长为 3~4 米的金属杆 1 上,在杆上标有刻度,当采样器下沉到所要求的深度时,用链绳拉开盖子采取样品。

### (五) 药剂采样管

如图 3-2-12,对从容器中深处采取液体药剂,可用钢管制的采样管采取。它是由直径为 20 毫米、长数米的钢管 1、一端由薄板焊成的扩大管 2、管中心穿有带堵头 3 的铁丝 4 所组成(图 3-2-12a)。

图 3-2-12b 用于粘稠状药剂的采样。

## 二、机械采样机

在选矿厂中除了人工采样外,对经常采样的物料,可用机械采样机采样。与人工采样器具相比,机械采样机具有不少优越性,不仅可以节省人力,更主要的是采样的间隔时间短、采样频率高、采取的样品具有更高的代表性。因此,在选厂的各主要采样点应尽可能使用机械采样机。

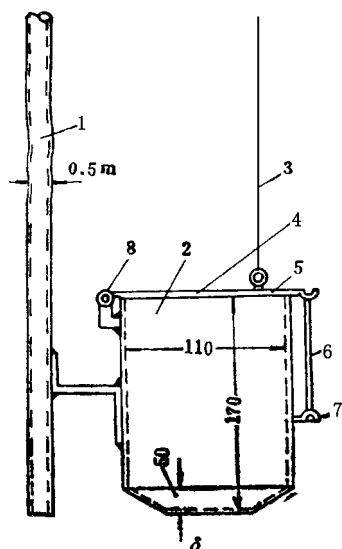


图 3-2-11 矿浆采样器

- 1—采样器杆 2—采样器 3—开启顶盖的绳索 4—采样器盖 5—橡皮垫 6—把盖压到筒体上的橡胶棒 7—固定橡胶棒的挂钩 8—铰接头

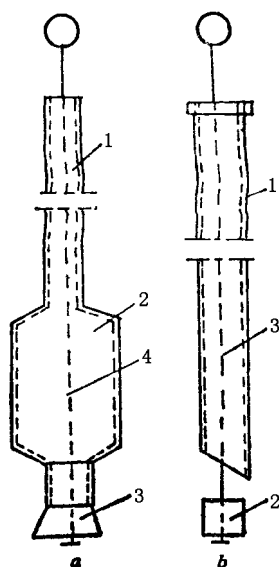


图 3-2-12 药剂采样管

### （一）对机械采样机的基本要求

为了保证采样的精确度、工作的可靠性以及经济上的合理性,在设计或选择机械采样机时,必须满足下列的各项基本要求:

(1) 保证一定范围的缩分比。

(2) 当截取器横过料流时,能保证其运动速度不变,传动机构不发生大的动负荷。

(3) 要求截取器开口的宽度比物料最大粒度大 3~4 倍,以保证物料自如

地进入截取器,同时截取器中物料的盛满程度不能超过其容积的 75%。

(4) 截取器的运动方向应与料流流动方向相垂直。

(5) 在采样机的结构上,应使其高度尽量降低,以便于配置,节省高度。

(6) 采样机各机件容易看管、维护;磨损件容易拆卸和更换。

(7) 保证每次截取试样有一定的时间间隔,并能在一定范围内调节其截取频率及每次的截取量。

## (二) 分机械采样机分类

采样机的种类很多,可根据物料粒度、形态和对样品的要求等来选取。目前所采用的机械采样机都是按断流截取法原则,经过一定的时间间隔,从全部料流中采出试样的自动采样机。按其截取方式可分为下述三种。

直线运动式采样机:又可分为往复运动式与非往复运动式两种。其特点是截取物料的速度高、且均匀,能在被采样料流的全宽和全厚方向上,取出厚薄均匀的、量少的、代表性强的样品。选厂广泛采用的有 AJI-1 型丝杆式和链条传动采样机。

钟摆运动式采样机 这种采样机在垂直位置时运动速度较两边快,截取中间料层薄,两边厚,样品代表性差,目前已极少采用。

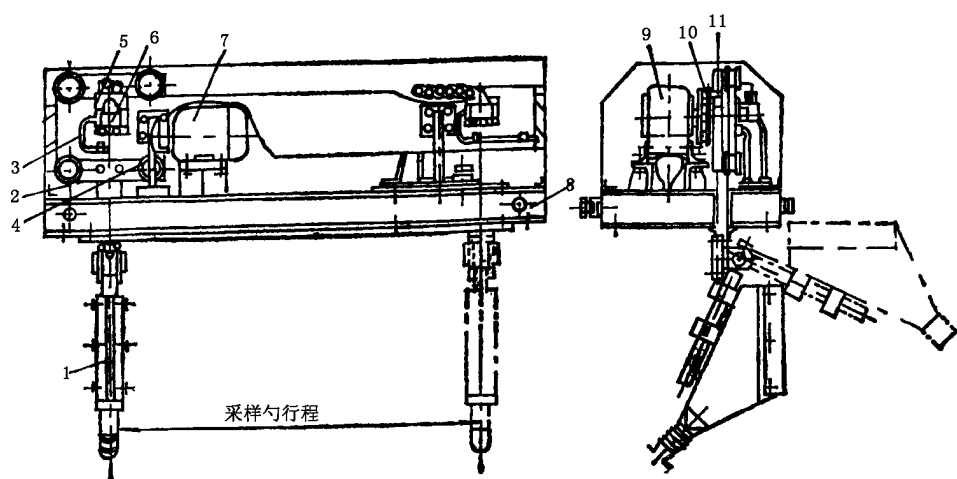


图 3-2-13 链条传动往复式矿浆采样机

1 - 取样勺 2 - 滑架 3 - 导向装置 4 - 托架 5 - 挡板 6 - 无触点行程换向开关 7 - 电动机 8 - 导架 9 - 减速器 10 - 链 11 - 销

回转运动式采样机:由于受构造的限制,运动速度不能太大,所以,截取的试料量要比直线运动式采样机的要多。常用的有链斗式采样机,适用于粗粒物料的采样。

下面介绍几种选矿厂常用的机械采样机。

### 1. 链条传动往复式矿浆采样机

该采样机(苏联 66-ОП 型)的结构和工作原理示于图 3-2-13。电动机 7 驱动减速器 9,减速器蜗轮轴上有传动链条 10,链条上有滚销 11,带动往复装置上的两个板销,板铺通过一对啮合的齿轮能够同时动作,互相切换位置  $\delta$  为行程换向开关,把链条的定向转动变成往复装置在导杆上作往复运动,往复装置通过连杆带动采样勺 1 作直线运动。链条转动两周,采样勺往返一次。当采样勺横切过矿浆流时,截取一小部分矿浆,从采样勺尾部管口流出。

### 2. 丝杆传动往复式矿浆采样机

一般用在溜槽上采取矿浆样,矿浆中允许最大粒度为 3 毫米,其构造如图 3-2-14。

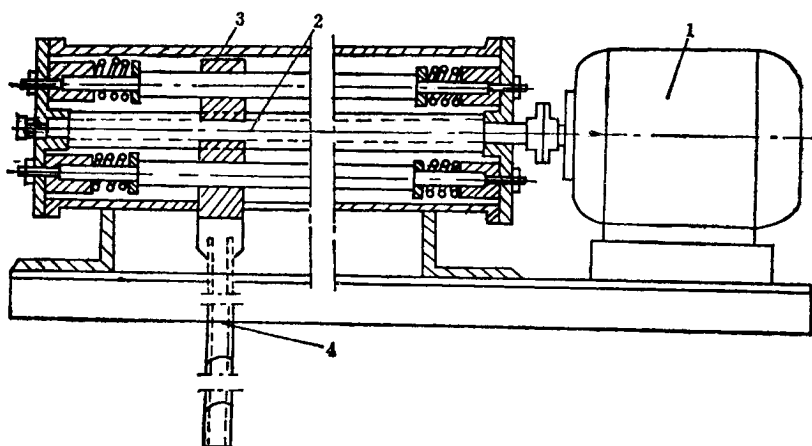


图 3-2-14 往复式机械采样机

1-电动机 2-丝杆 3-滑块 4-采样管

由电动机 1 直接传动丝杆 2,并推动滑块 3 作往复运动,滑块下面连接采样管 4 进行自动采样。电动机的转向和转向时间由安装在母机上的一个双接点开关控制。采样的间隔时间由时间继电器自动接通采样机电源来实现。

此外,当采样机进行工作时,有电铃、灯光信号指示采样机是否正常工作。

采样机技术条件:

采样管开口宽度	5 毫米
采样次数	4, 8, 12, 16 次/时
行程	约 500 毫米
采样匀截取速度	140、280、420、560 毫米/秒
电动机型号	JWO9A-4

该机结构简单,易于制造,工作可靠。

### 3. 偏转式自动采样机

湖北长石矿设计、制造和使用的偏转式电磁自动采样机如图 3-2-15 所示,用于矿浆采样效果良好。

其基本特点是:采样机构系用电磁铁牵引的偏转形式,采样斗进、出采样状态迅速,缩短过渡过程,采样准确,结构简单,容易制作。

工作原理:在正常状态下,电磁铁  $M_1$  不带电,借动铁芯本身重量和弹簧迫使采样斗处于图 3-2-15a 所示位置,矿浆进入流程;电磁铁带电,动铁芯压缩弹簧,采样斗被牵引至图 3-2-15b 所示位置,矿浆流入采样桶。采样结束,电磁铁  $M_1$  失电,样斗回至原位,重复上述过程。

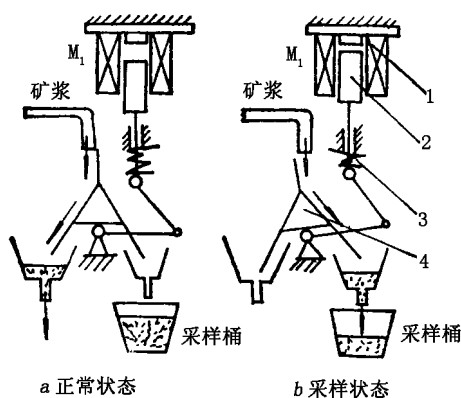


图 3-2-15 偏转式电磁自动采样机

1 - 电磁铁 2 - 动铁芯;

3 - 弹簧 4 - 偏转机构

### 4. 矿矿浆自动采样机

其构造如图 3-2-16 所示,可用于原矿、精矿、尾矿和选矿中间产品矿浆的采样。

矿浆自动采样机的特点:不需电动机,直接由被采样的矿浆流冲动旋转,连续采样。其工作原理是:矿浆从管道内(或流槽中)流出,冲击采样伞盘

1,个盘上焊有六片弯曲叶片 2,矿浆沿弯曲叶片流下时,叶片受到矿浆流的作用力,推动伞盘转动,伞盘每转一圈,其上的扇形开口采样勺 3 切割矿浆流一次,取得的样品经过漏斗流往缩分盘 4 上的样槽 5,缩分盘上亦焊有六片弯曲叶片 6,由矿浆中引出的一股矿浆流 7 冲动旋转,截取口 8 切割样槽 5 流出的样品,流入样盆 9 中,缩分剩下的样品并入矿浆主流。

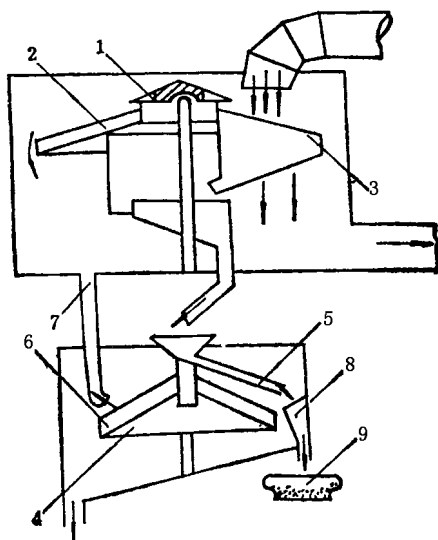


图 3-2-16 矿浆自动采样机示意图

1- 采样伞盘 2- 弯曲叶片 3- 采样勺 4- 缩分盘 5- 样槽;

6- 弯曲叶片 7- 冲动缩分盘矿浆 8- 截取口 9- 样盆

这种采样机适宜在管道口或溜槽口采样,具有简易可靠,节省动力等优点,其不足之处,高差损失较大。

### 5. 地沟采样机

用于选矿厂厂外总尾矿和浓缩机溢流的采样。易门本养选厂设计制造的地沟采样机如图 3-2-17 所示。

其工作原理:矿浆流冲击绕轴转动的转轮 2,在转轮 2 上装设有采样勺 3,当采样勺 3 通过矿浆时取满矿浆试样,转至上部时,经倾斜的小管排出,由接样槽 4 给入缩分器缩分,获得最终试样。转轮轴由轴承(或轴垫)5 定位。

该采样机适用于较均匀、细粒、低浓度矿浆的采样,采样准确,效果良好,结构简单,维修方便。

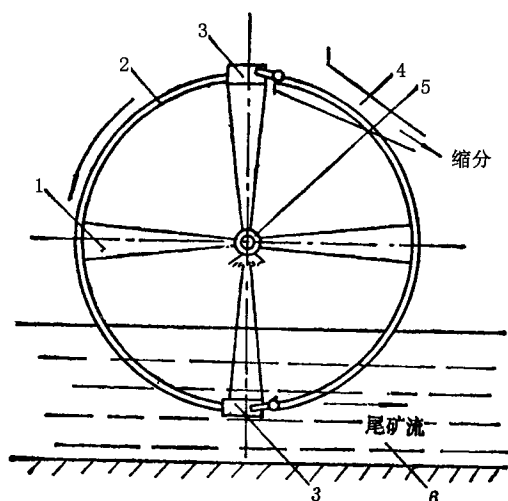


图 3-2-17 地沟采样机示意图

1-轮辐 2-转轮 3-采样勺 4-接样槽 5-轴承 6-地沟(尾矿为)

## 6. 勺式采样机

该机用在胶带运输机上,采取铁精矿样品,效果良好。

其构造示于图 3-2-18。

勺式采样机是按顺流截取原理采样的。系在转动轴 1 上焊接一垂直拐臂 2,拐臂顶端技有样勺 3,样勺随转动轴与胶带运输机 4 呈反向旋转,当样勺转到下部与物料接触时,将样品铲到勺内,当转到上部后样勺自动翻倒,将样品卸入漏斗 5 中,由漏斗中排出。转动轴 1 是靠滚筒 6 借载重胶带运动形成的摩擦力转动后,经传动带 8 带动的。

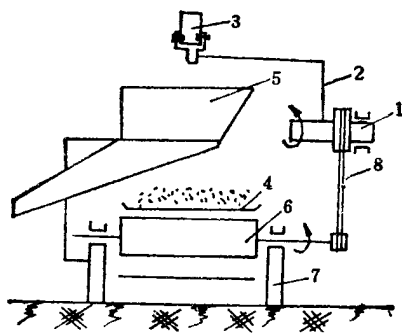


图 3-2-18 勺式采样机示意图

1-转动轴 2-拐臂 3-样勺 4-胶带运输机 5-漏斗 6-滚筒;  
7-支架 8-传动带

勺式采样机的转速系随胶带运输机

的圆周速度而变化,采样量可根据需要,改变采样勺的宽度和调节勺数。

该机构造简单、制造容易、操作看管方便,适于湿物料采样。

## 7. 斗槽作差动运动的链斗式采样机

它适用于粒度不大于 100~150 毫米,缩分比在 250~22500 范围内物料



的采样。

其构造及工作原理如图 3-2-19。

在星轮 1 的轴上安装有曲柄 5, 曲柄通过杆 6 与曲柄 8 相连, 曲柄 8 带动因接在星轮 2 轴上的棘轮 7 旋转。星轮 1 灵活地与减速器轴相连, 在减速器轴上安装一杠杆 9, 在斗槽 4 切过料流的瞬间, 杠杆挂住安在无极链条 3 上的凸钉 10, 并通过这颗凸钉带动斗槽, 使之以杠杆末端的圆周速度旋转。凸钉与杠杆一旦南开, 斗槽与链条即以比截取试样瞬间慢好几倍的速度运转。斗槽运动速度的变化介于 0.2~1.0 米/秒之间。采样机每小时截取试料的次数  $N$  为 2~12, 斗槽宽度一般为 80~250 毫米。

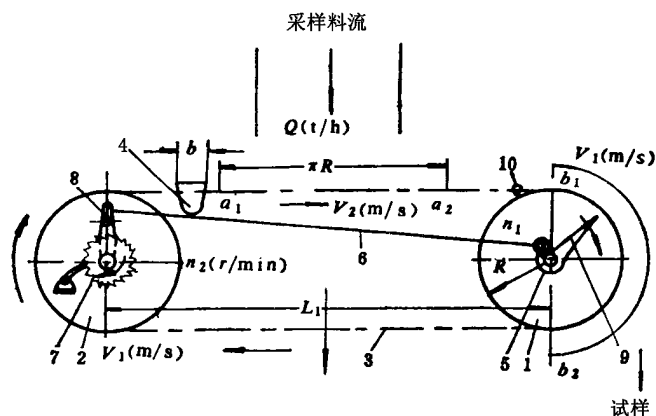


图 3-2-19 斗槽作差动运动的链式斗槽采样机示意图

$Q$ —总料流的运动方向;  $b$ —斗槽宽度

所采试样重量可由公式:

$$q = \frac{QbN}{3600v} \quad (3-2-1)$$

求得。

式中  $q$ ——试样重量  $\text{kg/h}$ ;

$Q$ ——料流量  $\text{t/h}$ ;

$b$ ——斗槽宽度  $\text{mm}$ ;

$v$ ——斗槽截取料流时的运动速度  $\text{m/s}$ ;

$N$ ——每小时的截取次数, 次。

## 第二节 计量装置

入选矿石和产出精矿的称量,是检验工艺过程、衡量选矿生产成绩的一项重要指标。评价选矿各工序和设备运转的生产效率,亦离不开对单位时间内处理矿石量的测定。所以,计量是选厂生产技术检测工作的一项重要内容。

计量的方法可根据被称量的对象和条件来选定。根据称量的结果和试样水分含量测定的数据,算出计量对象的实际重量。

选矿厂破碎车间(或焙烧车间)到选矿主厂房磨选车间之间,还原车间上料胶带运输机,球磨机给矿皮带和最终产品的出厂,均需设置计量装置。

目前,我国选矿厂常用的计量装置有滚轮式(JIT型)皮带秤、DZCB-2型电子皮带秤、轨道衡(包括电子轨道衡)、地中衡等。许多厂矿还研制出不少新型的计量设施。

### 一、原矿计量

原矿计量包括矿石的瞬时流量(常以每小时吨数来表示)和累计矿量(指矿石处理量的总和,以吨数表示)。一般,选矿厂常以磨矿车间处理的矿石量(磨矿前采用预选抛废作业的例外),作为入选原矿的处理量,并以此作为编制理论金属平衡报表和与矿山结算供矿量的依据。但亦有选厂在碎矿最终产品的皮带运输机上进行计量,作为入厂的原矿量。

通常采用皮带运输机对磨矿机进行给矿,因此,必须在皮带运输矿石的过程中,连续测量矿石的重量,并累计其总量,从而求出其单位时间内所处理的原矿量。有常用如下计量装置。

#### (一)机械式(滚轮式)皮带秤

这种皮带秤在生产实践中证实其测量精度不高,修理频繁,维护工作量大,且测量数值不能远距离传递,无法用于自动控制。为了解决这个问题,在

机械皮带秤的基础上进行了改进,发展了电气-机械式皮带秤。它是在机械皮带秤上加了电动传感器(例如差动变压器),亦有把测量信号转换为气动信号。这样就可以和自动调节器配合,用来自动控制给矿量。

## (二)电子皮带秤

与机械式皮带秤相比,电子皮带秤有下列优点:机械结构简单、维护工作量小、精度较高,信号可以远传,便与实现自动控制。它可以给出瞬时流量的统一标准化信号(国外采用4~20毫安直流信号,国内采用0~10毫安信号),还有累计量计数器,所以容易和电动单元组合仪表中的调节器或电子计算机配合使用。目前在国外选厂已普遍推广,其精度可达到 $\pm 0.5 \sim 1\%$ ,基本上满足了给矿量自动控制和计量的要求,国内不少有色金属选矿厂亦使用了这种计量装置。

## (三)人工测定计量

目前,国内还有不少选厂采用人工测定计量,例如:

(1)测定摆式给矿机的落矿量:碎矿最终产品从破碎车间到磨矿车间一般要经过粉矿仓,粉矿仓内的矿石通常用摆式给矿机给到磨矿机的给矿皮带上。

每种型号的摆式给矿机都有一定的摆动次数,测定前先校正好磅秤零点,将空的盛料盘称重,然后接一摆完整的物料,在磅秤上称重,并记录下数字。当矿石含水、含泥量高时,摆与摆之间的矿量有差异,此时,应连续称取3~4摆的物料重,取算术平均值,算出一摆落下的料重,以此计算出一分钟和一小时的给矿量。其计算公式为:

$$Q_{\text{湿}} = \frac{60ntq}{1000} \quad (3-2-2)$$

式中  $Q_{\text{湿}}$ ——摆式给矿机在一定时间内所给的湿矿重, t;

$n$ ——摆式给矿机每分钟的摆次, 次/min;

$t$ ——给矿总时间, h;

$q$ ——摆式给矿机每摆一次下落的湿矿重, kg。

(2)皮带刮取法:具体做法,预先准备好一块刮板(木的或金属的),长度一般为400~600毫米,间隔一定的时间,如20~30分,在皮带上用刮板刮取

一次,刮下矿量称重,并记录数字。

在刮取时,注意在皮带横断面上,在刮板长度范围内的所有物料(包括泥和水)全部刮取下来,为了保证计量的准确度,可在不同点一次分别刮取 2~3 段,称重取算术平均值,按下面公式计算湿矿量:

$$Q_{\text{湿}} = \frac{600tvq}{1000L} \quad (3-2-3)$$

式中  $Q_{\text{湿}}$ ——皮带运输机在一定时间内给入磨矿机中的原矿量, t;

$t$ ——皮带运输机载矿运转时间, h;

$v$ ——皮带运输机的速度, m/min;

$q$ ——刮板平均刮取一次的湿矿量, kg;

$L$ ——刮板的长度, m。

## 二、矿浆计量

矿浆计量一般多用于精矿矿浆的计量。选厂每班生产的理论精矿量是用原矿、精矿和尾矿的班样品位和原矿处理量计算得来的。并以此为依据进行累计,得出日、旬、月生产的理论精矿量及有用成分的含量。但是,在实际选矿工艺过程中,不可避免地会有一部分金属流失,这样,实产精矿金属量就要低于理论精矿金属量。为了能及时发现实产精矿金属量和理论精矿金属量之间的差距,以便采取措施纠正,需要对各个班的精矿矿浆进行计量。

目前,部分选厂采用的矿浆计量采样器是云锡公司于 1958 年仿照扇形采样机的原理设计的,已在其所属选厂成功地用于原矿、部分精矿、尾矿和中间产品的计量,采样上。云锡公司的矿浆计量器总配置图如图 3-2-20。

### (一) 矿浆计量采样器的规格和组成

矿浆计量器分大、中、小三种规格,相应处理量为 400~1000 米<sup>3</sup>/时, 250~400 米<sup>3</sup>/时, 60~120 米<sup>3</sup>/时。它由组分机、采样装置、称样器和缩分比测定装置等组成。缩分机将给入的矿浆缩分出少量与给矿成一定比例的计量试料。采样装置从计量试料或缩分余料中采取化学分析试样。称样器称出计量试料中矿石在水中的重量,然后从计算好的矿量在对表中,查出给入编分机的矿石重量。缩分比测定装置定期测出缩分机的缩分比。

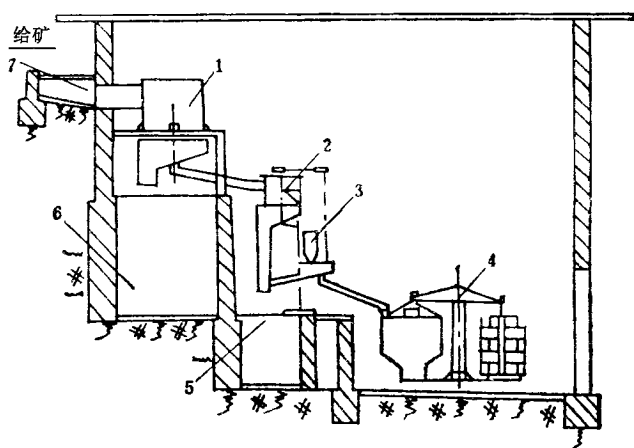


图 3-2-20 矿浆计量采样器配置示意图

1—一级缩分机 2—二级缩分机 3—三级缩分机 4—称样天平；

5—二级测试池 6—一级测试池 7—限渣筛

矿浆计量采样器是在扇形采样机的基础上改进制成的。因此,它同扇形采样机一样,具有缩分比稳定,采样频率高,可以获得代表性强的试样;同时,缩分机把扇形采样机的一点给矿改为环状排列的多点给矿,使割取口排出的试样保持连续和均匀性,便于多次缩分,能获得 8000 倍甚至更高的路分比,因而能用于矿浆计量和采样。

### (二) 矿浆计量采样器的优缺点

其主要优点有 (1) 计量误差较小 (可达 1%) ,割取频率高 (25 ~ 30 次/分) ,能等速、全流割取,试样代表性强,可满足选厂计量和采样的要求 (2) 构造简单,容易制造,便于操作,维修量小 (3) 适用于浓度小于 40% 的矿浆计量、采样,其计量结果不受来矿含水量的影响 (4) 因其计量是通过矿浆天平水位、高度换算,便于实现计量结果的远距离数字显示。

矿浆计量采样器安装所需高差大,所计量的矿浆浓度、粒度不能太大,还需测定矿石的密度和矿浆的缩分比等。

## 三、精矿计量

精矿计量通常是指选厂出厂精矿的称量。目前国内选厂用于出厂精矿计量的衡器有:电子抓斗吊车秤、地中衡(地磅)、轨道衡(包括电子轨道衡)

等。

### (一) 电子抓斗吊车秤

是近几年发展起来的一种新型计量工具,它是在抓斗上增设了电子计量部分,可以称量出每一抓斗所装的精矿重量。

### (二) 地中衡

用载重汽车运输精矿时,一般采用地中衡进行称量。它工作可靠、称量准确、维护修理方便,选厂广为采用。地中衡的规格,习惯上按其称重吨位表示,如 3、5、10、15、20、25、30、40、50 吨地磅等;亦有按其承重台板的面积进行称谓的,如  $2 \times 1.5 \text{ 米}^2$ 、 $3 \times 7 \text{ 米}^2$ 、 $3 \times 14 \text{ 米}^2$ 、 $2.8 \times 6 \text{ 米}^2$ 、 $2.8 \times 7.57 \text{ 米}^2$  等。

### (三) 轨道衡

精矿用矿山电机车或铁路车辆运输时,用轨道衡进行称重、计量。

第三章 选矿厂采样

1.浮选厂采样表

浮选厂采样表列于表 3－3－1。

2.浮选厂采样流程图

浮选矿采样流程图如图 3－3－1 所示。

表 3－3－1 浮选厂采样表

样品编号 No	采样物料	采样地点	采样物料 分析种类	采样和开析的目的	部分试样采 取的周期	分析的周期	采样经常性
1	2	3	4	5	6	7	8
1	原矿石	筛分前	筛所	测定矿石粒度组成	1h	8 或 24h	偶然采样
2、6、10	筛上粒级	筛分后	筛析	检查筛分质量	1h	同 上	偶然采样
3、7	筛下粒级	筛分后	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上
4、8、11	破碎后拉 级	破碎厂	同 上	检查碎矿质量	同 上	同 上	同 上
5、9	破碎矿石	筛分前 给入主厂	同 上	测定破碎矿石粒度组成	同 上	同 上	同 上
12	同 上	房矿仓之 前	同 上	检自破碎、筛分质量	1h	8 或 24h	定时采样
13	破的矿石	同 上	化学分析	测定矿石化学成分编制商品 平衡	30 ~ 60min	8 或 24h	定时采样
15	破碎矿石	同 上	矿物分析	测定矿石的矿物组成和贫化 率	30 ~ 60min	8 或 24h	偶然采样
14	破碎矿石	同 上	水分分析	测定矿石的湿度 ,编制商品平 衡	30 ~ 60min	8 或 24h	定时采样
16、23	磨机排矿	磨机排矿 口	测定浓度	检查磨矿制度编制矿浆流程 图	30min	8h	偶 然 采 样 总采样

第三篇 矿石采样与选矿试验新技术

样品编号 No	采样物料	采样地点	采样物料 分析种类	采样和开析的目的	部分试样采 取的周期	分析的周期	采样经常性
1	2	3	4	5	6	7	8
17、24	磨机排矿	磨机排矿口	筛、水析	检查磨矿质量	30min	8h	偶然采样
18、25、30	分级机返砂	分级机沉砂堰板	测定水分和处理量	检查分级制度编制矿浆流程图	30min	8h	偶然采样 总采样 定时采样
19、26、31	分级机返砂	分级机沉砂堰板	筛、水析	检查分级质量	30min	8h	(水析—偶然的)
20、27、32	分级机溢流	分级机溢流堰	测定浓度	检查磨矿、分级制度,编制矿浆流程图	30min	30分可8h	定时和总采样 定时采样
21、28、33	分级机溢流	分级机溢流堰	筛、水析	检查房矿分级质量	30min	8h	(水析仍然的)
22、29、36	分级机溢流	分级机溢流堰	镜下分析	检查矿物解离度	30min	8h	偶然采样
34	分级机溢流	分级机溢流堰	} 化学分析	测定所控组分的含量；	10 ~ 30min	1 ~ 2h 或 8h	定时采样
43	精矿Ⅰ	浓缩前		检查工艺制度；			快速检查
50	精矿Ⅱ	浓缩前		编制工艺平衡；			总采样
56	精矿工艺尾矿	浮选后		编制数量流程图			
35	控制分级机溢流	分级机溢流堰	} 测定H <sup>+</sup> 离子浓度	检查碱度(药剂制度)	30min	3min	定时采样
46	矿物Ⅱ浮选给矿	搅拌后					
37、38、39、41、43、45、48、49、52、54	浮选产品	相应作业后	化学分析	测定所技组分的含量,检查工艺制度、编制数量流程图	10 ~ 30min	1 ~ 2h 或 8h	定时采样 快速检查 总采样



第三章 选矿厂采样

样品编号 No	采样物料	采样地点	采样物料 分析种类	采样和开析的目的	部分试样采 取的周期	分析的周期	采样经常性
1	2	3	4	5	6	7	8
400、 42、 44、47、51、 53、55、57	浮选产品	相应作业 后	镜下分析	检查浮选产品中矿物的分布	30min	8h	偶然采样
58、61	浓缩后的 精矿	浓缩后	测定浓度	检查浓缩制度 编制矿浆流程图	30min	30min	定时采样 总采样
59、62	浓缩机溢 流	浓缩机溢 流槽	测量固体 含量	同上	30min	8h	定时采样 总采样
60、63	浓缩机溢 流	浓缩机溢 流槽	化学分析	测定随浓缩机溢流的损失编制金属平衡 编制数量流程图	30min	8h	偶然采样
64、66 65、67	滤液 湿精矿	过滤后 过滤后	测定浓度 测定水分	检查过滤作业 编制矿浆流程图	30 ~ 60min	8h	偶然采样 定时采样
68	废弃尾矿	尾矿场前	化学分析	测定机械损失 ,编制商品平衡、编制数量流程图			定时采样 和总采样
69、72	商品精矿	发运前	化学分析	测定商品精矿质量、编制金属平衡、编制数量流程图	取决于运 输方法	交货	定时采样
70、73	商品精矿	称量之前	测定水分	检查商品精矿水分 编制矿浆流程图	同 上	同 上	同 上
71、74	干燥设备 烟尘	排入大气 之前	测定固体 含量	测量随干燥设备烟尘中的损失、修工商品平衡	1 ~ 2h	8h	同 上
76	新鲜水	进入选厂 之前	化学分析	测定新鲜水成分	1 ~ 2h	8h	偶然采样
76	新鲜水	同 上	测定 H 离 子浓度	检查工艺过程的制度	1 ~ 2h	8h	偶然采样
77、80	药剂	进入选厂 时	化学分析	测定药剂质量	取决于包 装容积	交货	定的采样
81 ~ 84	药剂溶液	配药以后	测定定浓 度	检查药剂车间工作检查工艺制度	按配药标 准	8h	定时采样

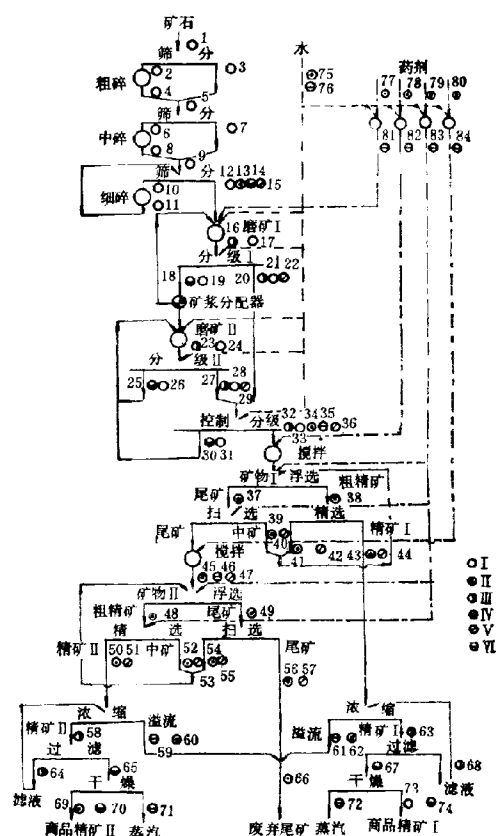


图 3-3-1 浮选厂采样、检查流程图

I 筛析和水样	No 1 ~ 12, 17, 19, 21, 24, 26, 28, 31, 33	IV 产品水分	No 14, 18, 25, 30, 65, 67, 70, 74
	No 13, 34, 37 ~ 39, 41, 43, 45,		No 15, 22,
II 化学分析	48 ~ 50, 52, 54, 56, 60, 62, 66, 69, 73, 75, 77 ~ 80	V 宏观、微观矿物分析	29, 36, 40, 42, 44, 47, 51, 53, 55, 57
III 矿浆浓度	No 16, 20, 23, 27, 32, 58, 63, 64, 68	VI 药剂浓度	No 35, 46,
		浓缩机溢流中固体含量、烟气中尘含量等,	59, 61, 71, 72, 76, 81 ~ 8

## 第四章 选矿厂试验新技术

### 第一节 试验规划

#### 一、基本信息和考虑

选矿工艺试验的做法和工作量随试验的目的和课题的难易度而异。在已生产的矿山,为了预报矿体各部位矿石的可选性,指导选矿厂的日常工作,通常只需要做少数几组试验;而为了研究一个大型矿床中复杂矿石的开发利用问题,试验工作往往须持续许多年,甚至延续到建厂投产后。研究者应在试验前注意弄清任务,了解各方面的情况和信息,妥善地规划和组织自己的试验工作,力争以较小的代价获得足以令人满意的结果。试验者必须勇于创新,但又必须注意到研究成果在实践中的可行性。选矿工作者同地质、采矿、冶金和经济学家的密切配合,是顺利地完成任务的必要前提。

为了拟订试验方案,首先必须了解和考虑下列几方面的情况和问题:

(1) 矿区概况 如地质条件、地理状况、气候、水源、能源和交通等。这些均将对今后矿山的生产和经济效益产生影响。应着重指出的一点是,水源和水质状况必须在试验开始时就给予足够的重视。缺乏足够的新鲜水将迫使我们利用回水甚至尽可能地采用干法选别,恶劣的水质则将影响到浮选工艺条件。

(2) 矿床和矿石特性 按照通常的理解,选矿是一个矿物分离过程。矿

床的地质特征,特别是矿石的矿物学特性,在技术上是制定选矿方案的主要根据。必要的地质学知识有助于选矿工作者确切地提出对矿物学研究的要求以及无误地设计采样方案。矿物学知识对选矿工作者更是必不可少的。在许多情况下,工艺矿物学方面的研究工作须由选矿研究机构本身来承担。

若不要求包罗万象,则可认为,工艺矿物学研究中下列几点将是最为重要的:1)有用矿物在矿石中的含量、嵌布粒度以及矿物本身的组成;2)有用矿物同其他矿物的共生组合和嵌镶关系;3)痕量元素的分布;4)潜在的可考虑综合回收的有用矿物。

(3) 矿山开采方案 采矿方法和设备决定了今后选矿厂原矿的粒度特性和供矿方式,影响到破碎设备以及运输和仓储能力的选择;采矿顺序则对确定采样方案具有决定性意义。对试样代表性的认识,地质部门关心的是整个矿床的工业利用价值,首先是储量和品级,因而在采样时着重考虑的只是如何保证矿体中不同部位以及不同类型和品级的矿石均有样品的问题,矿山企业则还必须考虑到不同时期采出的矿石性质上的异同。拟建中的选矿厂显然必须首先满足前期采出矿石选矿的要求,但又必须能在今后比较容易地过渡到适合于处理后解开采的矿石。

(4) 产品质量要求和市场状况 现有各种有关选矿产品质量要求的标准,都是在正常供需情况下,根据选矿和冶金(或其他下一步加工过程)技术的当前水平,综合考虑选矿和冶金总体经济效益而确定的。由于经济体制的不合理,国际市场上初级产品价格偏低,精加工往往比粗加工有利,生产高品级精矿一般也比生产低品级精矿有利。但是,在某些情况下,如对于一些复杂难选的矿石,生产高品级精矿在经济上就并不一定总是有利的,也就是说,不仅选矿成本增高,而且选矿和冶金的总体经济效益也不好,这时就不如生产较低品级的精矿。在此情况下有时也生产高品级精矿,但这仅仅是为了确保选矿产品的市场竞争能力。例如,国外某白钨矿选矿厂采用了生产两种白钨精矿的体制,对企业内部的冶金厂,只提供含  $\text{WO}_3$  为 30% 的精矿,供外销时才将该低品位精矿按“水玻璃加温解吸法”进一步精选成含  $\text{WO}_3$  大于 65% 的合格商品精矿。

在对选矿工艺方案进行技术经济比较时,必须清醒地认识到,并非所有

符合现行产品质量标准的精矿,均可有保障地获得销路。对市场变化趋势的了解,永远是不可缺少的。特别需要注意的是,一个大型矿山的投产,本身就是影响市场供需平衡的重要因素。

(5)环境保护规范 环境保护方面的要求,往往会限制我们使用一些技术上明显有效、甚至经济上也似乎有利的工艺。在估算一项技术方案的经济效益时,不仅要考虑这一工艺本身的实施费用,而且还必须计及由它引起的环境污染防治费。

(6)文献资料和生产实践 随着科学技术的发展和文献情报资料数量的增加,使得即使是有经验的工程师也很难及时地完全掌握甚至是属于本身工作领域内的科技现状和动态。试验前的文献工作和实践调查将是整个研究工作中必不可少的一环。文献检索可以利用各种检索工具、如各种索引和文摘。对选矿工程师有用的文摘刊物,当首推美国的化学文摘(Chemical Abstracts,简称CA),它创刊于1907年,其特点是摘录的文献范围较广,基本上属于报导性文摘,也就是说,看了文摘常可不再查阅原文。为了便于查找,它还编有各种索引。除CA以外,对选矿工作比较重要的文摘刊物还有,英国矿冶学会的IMM文摘(IMM Abstracts)。英美合编的金属文摘(Metals Abstracts),日本的科学技术文献速报以及苏联的矿业文摘(РЖ Горное Дело)。文献工作的另一个做法是,先阅读专题性的综合述评或汇编资料,然后利用文后所附参考文献目录进行追溯。这种做法虽然容易造成某些遗漏,但却可在工作开始时收事半功倍之效。此类综合专题资料,可从公开出版物中查找,也可向专业情报机构索取。

## 二、矿石性质的研究

矿石的化学组成、矿物组成和结构构造以及矿石和矿物的工艺性质,是制定选矿方案的基本依据,下面介绍的是对选矿试验工作至关紧要的问题。

### 1. 矿石化学组成的研究

研究矿石的化学组成,是为了查明矿石中所含元素或化合物的种类和数量,分清其中哪些是主要的,哪些是次要的,哪些可能有用,哪些可能有害。所用的检验方法为化学分析和各种仪器分析方法(首先是光谱分析)。单靠

化学组成研究结果不能弄清元素的赋存状态,但由于有关检验方法相对地简捷,且可给出准确的定量结果,因而是整个物质组成研究工作中不可缺少的一环,对下一步矿物学研究工作也具有重要指导意义。

(1) 光谱分析 为了迅速而全面地查明矿石中所含元素的种类和大致含量,避免遗漏某些微量元素,最好在用普通化学方法做元素分析前先用光谱分析法对原矿(或产品)进行普查,据此确定下一步分析的对象和化验方案。须注意的是,有些元素,如卤素和 S、Ra、Ac、Po 等用光谱法不能测定,还有一些元素,如 B、As、Hg、Sb、K、Na 等,其光谱分析操作较复杂,有时也不做光谱分析,这些元素只好直接用化学分析方法测定。

(2) 化学全分析和多元素分析 6 由于光谱法对许多元素,特别是含量高的元素难以精确定量,因而在选矿工艺试验中一般都必须对原矿和某些主要产品做化学全分析或多元素分析。顾名思义,化学全分析是为了确定矿石中全部化学成分的含量,凡经光谱分析查出的元素,都应该作为化学全分析的项目,各成分含量总和应接近 100%。多元素分析则仅对其中重要和较重要的元素做定量化学分析。必须注意的是,选择检测项目时,不仅要考虑有用和有害元素,而且要考虑造渣元素,即构成脉石矿物的元素,其中最主要的是  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$  和  $\text{MgO}$  等。贵金属和稀散元素的价值很高,但含量通常很微,应注意避免遗漏。金、银等贵金属常采用类似于火法冶金的方法检测,这叫做试金分析。

## 2. 矿石的矿物组成及其结构和构造特征的研究

这部分涉及的是工艺矿物学研究的核心内容,包括:

(1) 仪器和技术 传统的矿物学研究方法,主要用各种光学显微镜鉴定矿石或岩石标本。单矿物可利用各种物理方法分离和富集,或在显微镜下挑纯,然后用化学方法测定这些矿物的组成。世界上最著名的光学显微镜仍数德国莱兹和蔡司系列产品。放大倍数较低的双筒实体显微镜,由于简单易用而常为选矿工作者喜爱,借助于这种显微镜可在选矿试验过程中直接观察产品的组成特性。矿物学家则宁愿使用既有反射光源又有透射光源,因而既可观察薄片又可观察光片的岩(矿)相显微镜,通过同时检查透明相和不透明相来研究矿石的组成和结构构造。样品的制备装置包括各种切割锯以及用于

制作薄片和光片的磨片和抛光设备。这些片子是由标本、岩心或松散矿粒制成,环氧树脂等胶结物常用作固定试料的介质。矿物组成、颗粒粒度分布、连生特性和共生关系的定量统计,可用计点法或视域比值法。精确的统计须对大量颗粒进行测定,这既乏味又费时。电子计算机的应用可减轻鉴定人员的劳动,各种自动显微镜和图像分析仪的出现可看作是这方面的实例。但是,对于含大量强非均质性、强双反射性矿物的选矿产品,图像分析仪的使用将受到限制。显微镜下难于辨认的矿物,特别是透明矿物,鉴定时常须配合使用X-射线衍射法。为了鉴定某特殊矿物,还可采用某些特殊方法。例如,粘土矿物和碳酸盐矿物可用热分析,放射性矿物可用自射线照射法,有机质和碳酸盐矿物宜用红外光谱法。

近年来,各种微观分析仪器的迅速发展,使矿物工艺学的研究方法发生了很大的变化。光学显微镜下难以分辨和确认的微观结构和微量组分,通常可利用扫描电镜或电子探针鉴定和分析。值得注意的其他微观分析仪器有:能探测光片上金属矿物中微区内痕量元素的激光探针,能探测同位素的离子探针,能鉴定金属超薄片上缺陷构造的透射扫描电子显微镜以及可以检测矿物表面组成的俄歇电子能谱仪、X-射线光电子能谱仪和二次离子质谱仪等表面分析探针。

(2) 赋存状态 有用和有害成分的赋存状态,决定着矿石的可选性。浮选和各种物理选矿方法,都只能分离以独立矿物形式存在的有用成分和有害或无用成分。此外,即使都是以独立矿物形式存在,只要物相不同,含同一元素的矿石的工业利用价值和可选性就可能不同。例如,原生硫化铜矿物黄铜矿含铜仅34.57%,两次生铜矿物辉铜矿含铜高达79.8%,相应矿石的选矿精矿含铜量亦必然差别甚大,硫化铜矿物均可用黄药直接浮选,因而选矿回收率一般较高,孔雀石和蓝铜矿等氧化铜矿一般须先硫化,然后才能用黄药捕收,浮选回收率就较低,硅孔雀石的可浮性更差,可溶性铜则基本上不能用浮选法直接回收。又如,某含铍多金属矿床,含BeO约0.07%,达到一般铍矿石工业利用标准,但矿石中的铍主要是以硬羟钙铍石形式存在,纯矿物含BeO仅7.28%,低于现行的铍精矿质量标准,因而未能作为铍资源划作工业储量。

类质同象混合物是矿石中微量元素的主要赋存状态之一。那些在自然界不构成或很少构成单独矿物的稀散元素就主要以这些形式存在于载体矿物中,如铝矿物中的镓、闪锌矿中的镉、锗和镓以及辉钼矿中的铼等。类质同象混入物不能依靠浮选和各种物理选矿方法同载体矿物分离,但可选入载体矿物精矿中,然后在冶金过程中回收。以类质同象混入物形式存在于脉石矿物中的有用元素因而将无法回收,以此形式存在于有用矿物中的有害杂质也不可能选入过程中排除。在矿石中呈胶体沉积细分散状态或胶体吸附状态的夹杂成分同样难以用物理选矿方法分离。微细的机械包裹体形式,可看作是独立矿物和类质同象混入的过渡形态,多半是固溶体分离的产物。由于包体粒度已小于目前工业磨矿粒度,因而也不能用常规选矿方法分离。这种赋存状态,是造成硫化矿浮选中铜和锌难以彻底分离的主要原因之一。一些金属矿物中的贵金属包体,却可使这些矿物的精矿价值增高,甚至被看作是贵金属精矿,如含金黄铁矿。

(3) 结构和构造 矿石的结构和构造,指的是矿石中矿物颗粒和矿物集合体的赋存形态、大小和空间分布上的特征。按照选矿工艺上的说法,主要是指矿石中不同矿物颗粒的粒度和粒度分布以及共生组合和嵌镶关系,常不严格地统称为“嵌布特性”。

矿石中矿物颗粒的粒度,决定着必须的破碎、磨碎粒度,从而也决定着可能采用的选矿方法和流程。粒度粗的可采用重选和干式磁选等方法,粒度细的常用浮选和湿式磁选以及电选法,微细粒则须用化学方法处理,但也可试用各种特殊工艺,如絮凝浮选法。

嵌布特性通常包括三层含义。1) 矿物颗粒的粒度分布特性凡矿物颗粒相对地集中于某一较小粒度范围内的,称为等粒嵌布,否则叫做不等粒嵌布。不等粒嵌布矿石,首先是粗粒占优势的不等粒嵌布矿石,应考虑采用多段磨选流程的必要性。2) 矿物颗粒在矿石中分布的均匀程度。分布不均匀,往往有利于选别。例如,若多种有用矿物颗粒相互毗连,紧密共生,形成较粗的集合体分布于脉石基质中(叫做集合嵌布),就有可能在粗磨条件下丢出贫尾矿,从而减少下段磨矿费用和选别作业处理的矿量。又如,胶体分散状沉积的矿石,如果有用矿物分布均匀,就基本上不可选,如果有用矿物和脉石相对



地富集于不同的层带中,就尚有可能用选矿方法分离富集。3)共生组合和镶嵌关系。它决定着破碎、磨碎产品中连生体的组成和性质,从而也决定着这些连生体在选矿过程中的可能走向、精矿的纯度和尾矿中有益成分的损失量。

连生体特性的研究,是矿石结构和构造研究范畴内的另一项重要内容。由于矿石中矿物颗粒大小不等以及不能指望矿石在粉碎作业中会严格地沿矿物颗粒接触面断开,所以破碎和磨碎产品中总会有连生体。按其连生特性,可将连生体归纳为五种类型(图 3-4-1)。a 型为甲(黑色)、乙(白色)两种矿物颗粒简单毗连,形成连生体的原因是矿粒尺寸大于矿物颗粒的粒度,再次破碎后就可能解离,连生体的选别行为取决于两种矿物比率;b 型为乙矿物以壳状包于甲矿物外部,同样可指望依靠再磨使它解离,在物理场中的选别行为亦取决于两种矿物的组成比例,浮选行为则仅取决于乙矿物;c 型连生体中甲矿物以薄膜覆盖于乙矿物上,量虽小却同样决定着整个矿粒的浮选行为,由于矿石实际上已经磨到使乙矿物单体颗粒所应有的粒度,因而再磨不仅经济上不合理,而且也难以使两种矿物彻底解离;d 型和 e 型连生体中甲矿物的占有比例同 c 型一样很小,但选别行为均取决于作为主体矿物的乙矿物。后三种连生体从矿床成因上来说多半是交代蚀变或固溶体分离的产物,在铜、铅、锌多金属矿石选别产品中常可见到。

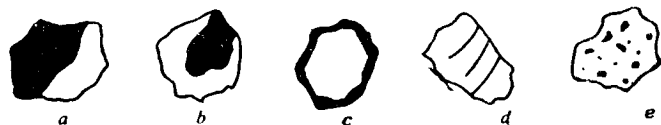


图 3-4-1 各种典型连生体

a - 简单毗连; b - 壳状; c - 膜状; d - 脉状; e - 微细包体

### 3. 矿石和矿物工艺性质的研究

对应于选矿工艺过程的不同作业,选矿试验需要检测或了解的工艺性质可概括为以下几个方面(1)机械性质(硬度、破碎性能(包括选择性破碎和富集)和可磨度(2)放射性和光谱性质(3)密度(4)磁性(5)电性(6)表面性质和可浮性(7)化学性质(如矿物在无机溶剂中的溶解度、氧化还原性质、细菌作用下溶解度的变化以及热化学性质(8)摩擦系数、形状和弹性(9)其

它,如粒度和比表面以及水分等。

总之,上述这些都是影响到矿石和矿物在选别过程中的行为的性质,也可统称为可选性质。除此以外,由于有些产品的使用质量,不仅以纯度度量,而且还有物理和机械性能方面的要求,因而在制定选矿试验方案时,就还要注意保护或设法改善物料的这些性能。例如,鳞片石墨的质量,除了取决于固定碳的含量以外,还与鳞片大小有关;印刷纸用高岭土在光泽、粘结力、粒度和白度方面均有严格要求。

### 三、工艺方法的选择

试验工作的开始阶段是最困难的。因为选矿科学技术近 30 年来尽管已有了长足的进展,却仍带有浓厚的“技艺”色彩。理论知识会给我们许多有益的启示,而更多地却仍依赖于经验。矿石物质组成特性的研究可以帮助试验者较快和较有把握地选择选矿方法和流程,而所研究矿石在选别过程中的行为对试验者则是陌生的,一切推断均须由试验结果证实。

在实验室研究开始阶段,最好只采用那些在工业生产上已经行之有效的方法。选用一些尚无工业实践的新方法往往代价较大,而且经常会碰到未料及的麻烦。只在所研究的矿石按常规方法得不出满意的选别指标时,才值得去开发或应用潜在的新工艺。同样,研究工作者也必须认识到,实验室试验实际上是今后工业生产过程的预演,一切技术措施和工艺指标均应能在今后的生产中再现,因而所选用的一切试验设备均应尽可能地模拟生产设备,也仅在必要时才去研制或应用那些不成熟的新设备。

矿石加工中的第一道工序是破碎和磨碎以及相应的筛分和分级作业。某些工业矿产在出售前可能只需要破碎和筛分,或者需要通过筛分来丢弃一部分属次等品级的粒度级别。矿物硬度和形状的差异将有利于按粒度选分。有些矿石可通过洗矿和分级产出粒粒产品或泥质产品送市场销售。对大多数矿石而言,破碎和磨碎的目的是使矿物颗粒单体解离。若矿石需要细磨,则试样可用任意常规方法和流程破碎到实验室磨矿机的给矿粒度;反之,若矿石中聚集着足量的胶布粒度较粗的矿物颗粒,值得做重选试验,破碎磨碎流程就应与选别流程相适应,并须特别注意防止矿石的过粉碎。由于实验室

磨矿机给矿粒度远小于工业实践,因而不论属于上述哪种情况,实验室破碎流程不可能与工业生产相同,且在破碎过程中还须将试样缩分,采取供不同目的试验用的小份代表性试样。因而人们将实验室试样破碎流程称为研究前试样的准备或缩分流程。在此须特别提出并给予注意的问题是,金属硫化矿表面易氧化而影响其浮选效果,因而不适宜于在很细的粒度下长期贮存。

由于重选成本较低,对环境污染少,因而只要有有用矿物颗粒较粗,与脉石的密度(比重)差较大,就应首先考虑重选。在所有重选方法中,实际只有重介质选矿法是完全按密度(比重)分选的,其他重选方法都是按重量分选,因而随着粒度范围变宽,粒度的影响将增大,选别效果将下降。最常用的重选设备仍然是重介质选矿机、跳汰机和摇床,只有一些砂矿床可考虑使用长溜槽离心选矿机和横流皮带溜槽等细粒重选设备,其选别效率毕竟不如浮选,因而只在整个流程是以重选为主以及有用矿物可浮性不好的情况下,才用来选收跳汰和摇床不能回收的细粒重矿物,而很少单独地用作主体选矿设备。为了减少粒度的影响以及能按粒度不同选用不同设备,重选前常须分级,因而破碎产品的粒度分析,包括各粒级的化学分析资料,对于选择试验流程和设备往往是很有用的。

总体上来说,重选过程的分离效率一般不会太高,因而在更多的场合下,是把重选当作预选或粗选作业使用,粗精矿尚须用浮、磁和电选法处理。只要脉石或围岩的密度(比重)较低(如石英、硅酸盐和石灰岩等),则即使可直接用浮选法选别的矿石,也应尽可能先用重介质选矿法预选丢废石。重介选矿法的选别粒度下限一般为 2~3 毫米,用重介质旋流器时,可达 0.5 毫米。跳汰机的选别粒度下限一般为 2~0.5 毫米,摇床通常处理 2~0.038 毫米的物料。

浮选可看作是一种万能的方法,原则上几乎一切工业矿物均可用浮选法回收,共生矿物分离效率之高也是其他方法不可比的。目前绝大多数有色金属矿产、大量贵金属、黑色金属、稀有金属和非金属矿产均用浮选法加工。因而对那些依靠重选或磁选等成本较低的方法难以获得满意指标的矿石,均应安排做浮选试验。金属矿产浮选的适宜粒度范围为 0.3~0.010 毫米。煤和其他密度(比重)小的矿物浮选粒度可较粗。

磁选法的应用范围很容易根据矿物的磁性和胶布粒度作出明确的判断。例如,湿式弱磁场磁选法主要用于回收磁铁矿和磁黄铁矿;湿式强磁场磁选机近年来开始应用于回收赤铁矿等弱磁性铁矿物;干式强磁场磁选则主要用于重选粗精矿的分离,例如,从白钨矿和锡石中选收黑钨矿。

电选的应用范围较为有限,在金属矿产选别中主要用于粗精矿的加工,如锡石和白钨矿的分离;在非金属矿产中可用于选钾盐等。这里不打算继续列举一些特殊选矿法的应用范围,读者可自行查阅本书有关章节。

湿法冶金过程(浸出)对某些有价矿物原料可能是有效的和经济的。许多金和银矿石很容易用氰化法处理。一些矿石角堆浸法处理。氧化铜矿石和氧化-硫化铜混合矿石可用稀硫酸浸出(包括堆浸)。铜矿亦常用浸出法提取。

固液分离作业的实验室试验工作量相对较小,但也是不可缺少的。脱水筛主要用于粗粒(块)产品的脱水,如块煤;旋流器可用于中粒煤的脱水,或同浓缩机配合处理重选和浮选产品中的粗砂部分。浓缩机是利用沉降原理使细粒产品脱水的主要设备,实验室试验的目的是确定所需的沉降面积。产品粒度极细或同时密度(比重)很小时(如煤泥),须考虑用离心机脱水。浓泥浆,如浓缩机沉砂,一般用过滤机脱水。实验室过滤试验的目的是确定必需的过滤面积。过滤产品的水分有可能低到8~10%,但对于煤泥和含粘土的物料有可能高达30~35%。离心机或过滤机产品若尚须进一步脱水,就必须进行干燥,但在实验室试验阶段一般不做干燥试验,必要时可测定不同温度下产品的脱水速率和平衡水分。

为了考虑尾矿设施的设计,尚需测定尾矿中固体物料的沉降速度。对需排放的废水和废气,须做涉及环境保护方面的成分检测若有害成分含量超过排放标准,则尚需做污染防治方面的研究工作。不过这些研究工作,须在中间试验甚至工业试验阶段,才能系统地进行。实验室选矿试验研究阶段,无法得到足够的废水试样。

尾矿的综合利用,可化害为利,达到既保护环境,又提高企业经济效益的目的,在可能条件下,应注意安排这方面的试验研究工作。精矿产品一般仅需检验其化学成分,而在某些场合下,特别是对那些可以直接在工业上利用

的矿物产品,如许多非金属矿物产品,则还要根据其用途,按照国家标准或用户要求测定其工艺性能。

## 第二节 实验室试验

### 一、工艺试样的准备

选矿工艺试验所需的试样量取决于试验的内容和规模。实验室试验一般需要 50 至 5000 千克试样,半工业和工业试验则需要几拾、几百甚至几千吨试样。

试验前应根据矿石性质拟订试验方案,按照设想的选矿方法和试验流程确定所需的试样品种,以及各类试样的数量和粒度。除了选矿工艺试样外,还必须考虑为研究矿石组成特性所需的分析和鉴定试样。

试验前样品的加工准备过程由一系列的破碎和缩分工序组成。总的原则有二条,一是必须始终注意保持试样的代表性,二是不应作不必要的破碎,要让暂时不用的矿样在尽可能粗的粒度下贮存备用。有关的理论和方法可参看本书第 21 篇。

在破碎和缩分前应仔细地按照采样说明书和装箱卡逐箱地查验全部样品,以免发生差错。加工设备和场地在工作前后均应认真清扫,以免油类污染、异物混入或不同物料相互夹杂。

图 3-4-2 所示是一个粗细不等粒度嵌布矿石选矿试样缩分流程的例子。试样原始重量  $Q_0 = 2000$  千克,最大粒度  $d_0 = 50$  毫米。由于入选粒度须在试验中确定,因而在这里平行地准备了几份具有不同粒度上限的选矿试样。为了保证试样的代表性,每次缩分前均根据试样粒度计算试样的最小必需量。第一、二段破碎一般使用实验室型颚式破碎机,第三段破碎用对辊机。

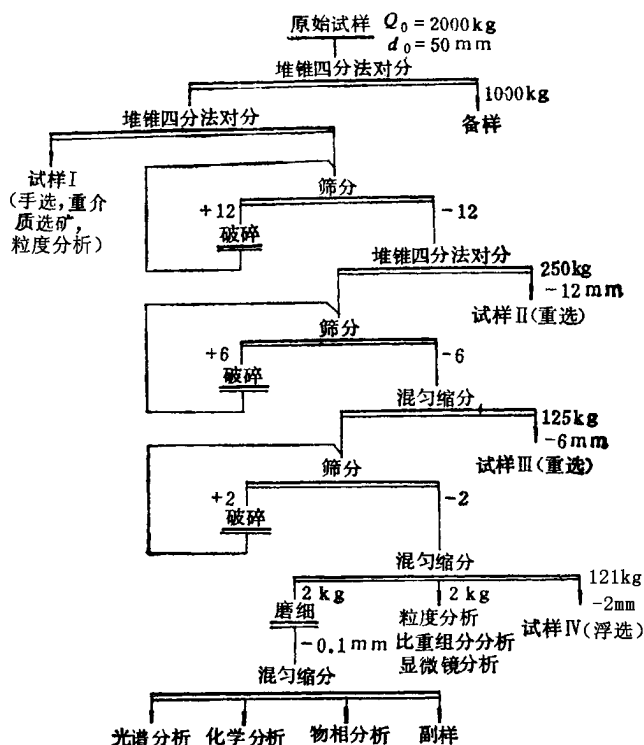


图 3-4-2 粗细不等粒嵌布矿石缩分流程示例

## 二、矿石可磨度试验

### (一) 概述

矿石可磨度是按比例放大原则计算工业磨机所必需的基准数据,是可以  
 通过实验测定的矿石特征常数,在不同磨矿条件下其值不变或仅按一定比例  
 变化。随着工业磨机计算方法的不同,可磨度的度量方法也不同,常见的有  
 功指数法、能量效率法、新生比表面法和单位容积生产率法等。

在世界范围内目前应用最广的是 F.C. 邦德 (Bond) 提出的功指数法。邦  
 德认为:“磨矿时有效消耗的总能量与磨矿产品粒度的平方根成反比。”若用  
 $d_{80}$  (80% 小于  $d$ ) 度量粒度,则将矿石由  $F$  (给矿 80% 小于  $F$  微米) 磨到  $P$  (产  
 品 80% 小于  $P$  微米) 所需的功为 (千瓦小时/吨):

$$W = W_1 \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \quad (3-4-1)$$

式中  $W_1$  就是邦德功指数,代表将每一吨矿石由无限大磨到  $P = 100$  微米所需的功(千瓦小时)。 $W_1$  的数值可通过不同方法由试验求得。

磨矿能量效率  $e$  为磨矿过程中每消耗 1 千瓦小时电能所获得的磨机生产量(按给矿量或新生小于 75 微米物料量计)。

C.F.汤普森(Thompson)基于“磨矿消耗的能量取决于新生表面量”的理论,制定了比表面法可磨度测定程序,相应的磨机功指数计算公式为:

$$WT = WT_0 \cdot K_{Gs} \cdot K_F \quad (3-4-2)$$

式中  $WT$  和  $WT_0$ ——设计矿石和基准矿石的汤普森功指数  $\text{kW} \cdot \text{h/t}$ ;

$K_{Gs}$ ——相对比表面可磨度系数;

$K_F$ ——给矿粒度系数。

试验的任务仅在于测定相对比表面可磨度系数。不同磨机在不同给矿和产品粒度下的基准汤普森功指数及给料粒度系数已由汤普森测出,不须另做试验。待测矿石功指数可由上式算得。

国内长期沿用的是单位容积生产量法,通常用单位容积磨机产出的新生  $-75$  微米物料量度量可磨度。测定时一般取基准矿石与待测矿石同时试验,采用比较法求相对可磨度系数,然后根据已知的基准矿石可磨度数据计算待测矿石的可磨度。

## (二)用落重试验确定功指数

落重试验亦称冲击破碎试验,是测定矿石可碎性和可磨性的早期方法之一,经不断改进之后至今仍未被完全淘汰。早期使用的落重试验装置的基本构件为一块带有凹陷型试样室的钢砧和一个柱形冲模,利用自由落下的重物(球)冲击冲模而击碎矿石,可磨度用每焦耳功所产生的新表面度量。邦德曾设计了双摆球式和双摆锤式冲击破碎试验装置,用两个相向摆动的球或锤代替落球或落锤和钢砧,根据试样冲击破坏强度计算功指数。最近英国 M.E. 阿西姆(Asim, 1984)改进的落球试验装置,是在试样室内放置四个呈方形排列的球,将试料层围在中心部位,然后用沿导向筒自由落下的第五个球直接冲击试料层,以此模拟球磨机中的冲击破碎过程。此法虽不及实验室磨机试验接近生产实际,但却可以研究矿石逐步破碎过程中每一步的矿石粒度分布的变化(用选择函数和破碎函数度量)和能耗(用邦德功指数度量),并可将

全部试料取出微粒度分析而不必取样。

### (三) 用常规磨矿机确定功指数

下面先介绍邦德在美国艾利斯—查默斯( Allis—Chalmers )实验室制定的标准棒磨机 and 球磨机试验程序。

#### 1. 标准棒磨机试验

给矿破碎到小于 12.7 毫米( 0.5 英寸 ) , 取样筛析。取 1250 厘米<sup>3</sup> 试料装在量筒中并称量 , 给入磨机中闭路干磨。棒磨机直径 305 毫米( 12 英寸 ) , 长 605 毫米( 24 英寸 ) , 波形衬板 , 倾角可调。装直径 31.75 毫米( 1.25 英寸 ) 棒 2 根 , 44.45 毫米( 1.75 英寸 ) 棒 6 根 , 棒长 533.4 毫米( 21 英寸 ) , 总重 33.38 千克。

为了使磨机两端物料分布均匀 , 磨机在水平状态下先旋转 8 转 , 然后上倾 5° , 旋转一转 , 再下倾 5° , 又转一转 , 最后调至水平状态再转 8 转。排矿时倾倒 45° 转 30 转。所得产品用试验筛筛分 , 筛孔范围为 4 ~ 65 目( 4750 ~ 212 微米 ) , 称量筛下产品 , 并计算出每转磨出的合格筛下产品量。筛上产品作为循环负荷返回 , 补加与筛出量相等的新给矿 , 一起送入棒磨机进行第二周期的磨矿。循环负荷按 100% 控制 , 即每次磨出的筛下产物量大致等于给矿量的 50%。为此 , 后续每一周期的磨矿转数须根据上一周期的每转筛下物产量计算 , 如此反复进行至每转产出的筛下产物量达到恒定值为止 , 取最后三转的每转筛下物产量的平均值度量磨矿效率 , 并按下式计算邦德功指数

$W_{is}$ 。

$$W_i = \frac{62}{1.1 P_l^{0.23} G^{0.625} \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)} \quad (3-4-3)$$

式中  $P_l$ ——闭路筛分用试验筛筛孔尺寸  $\mu\text{m}$  ;

$G$ ——按磨矿产品中筛下产物量计算的磨矿效率  $\text{g/r}$ 。

$P$  和  $F$  的意义同前。由于邦德功指数原来是按每短吨矿石所需千瓦小时数计 , 现为了统一使用国际单位制 , 改用(公)吨代替短吨 , 所以在式中引入了换算系数 1.1。求出的功指数值适合于计算开路湿磨、(衬板)内直径为 2 米的溢流型棒磨机输入功率 , 若内直径为  $D$  , 则应乘以  $(2/D)^{0.2}$  ; 若为干磨 ,



则应乘上 1.3 的系数。

## 2. 标准球磨机试验

用破碎到小于 3350 微米的矿石作为标准给矿,必要时也可用较细给矿。先取样筛析,然后用量筒量取 700 厘米<sup>3</sup> 矿样给到球磨机中于磨。第一周期磨矿持续 100 转。倒出用试验筛筛分,筛下物称重取出,补加等量新给矿与端上物一起给到球磨机中进行第二周期磨矿,控制循环负荷量为新给矿的 250%,其余操作方法与棒磨机试验相同。

球磨机规格为 305 × 305 毫米,用光滑内衬。装 36.5 毫米球 43 个、30.2 毫米球 67 个、25.4 毫米球 10 个、19.1 毫米球 71 个、15.9 毫米球 94 个,总计 285 个,重 20.125 千克。磨机转速为 70 转/分。

功指数按下式计算:

$$W_i = \frac{44.5}{1.1 P_1^{0.23} G^{0.82} \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)} \quad (3-4-4)$$

本式适用于计算闭路湿磨的 2 米溢流型球磨机输入功率。干磨时乘 1.3,直径换算系数与标准棒磨机试验法相同。

几十年来提出过许多改进性或简化了的试验程序,均只能认为是邦德试验程序的补充。例如 D.G.阿姆斯特朗(Armstrong)认为,开路分批棒磨产品与工业闭路球磨产品的粒度分布相似,因而建议用实验室棒磨机开路湿式磨矿取代干式球磨机闭路磨矿法测定球磨功指数。T.尼蒂(Nitti)认为,在整个磨矿过程中单位能耗并非固定不变,因而建议要在试验中连续地测定和记录能耗的变化情况。T.F.贝里(Berry)提出了用比较法测定功指数的试验程序。

## 3. 比较法确定邦德功指数

此法是基于下列假设:若两种重量相等的矿样,在同一磨机内磨碎,当给矿粒度大致相等,磨矿时间、矿浆浓度和磨机转速均相同时,所需要输入的功也相等。此时按式(3-4-1)可得:

$$W_i = \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) = W_{i0} \left( \frac{10}{\sqrt{P_0}} - \frac{10}{\sqrt{F_0}} \right) \quad (3-4-5)$$

式中符号含义同前,不带足标的表示待测矿石,带足标“0”的表示基准矿石。若基准矿石的功指数已知,试验的任务仅在于求出同一条件下所磨两份

矿样的  $P$  和  $F$ 。因而此类试验利用普通实验室磨机就可进行。磨矿时间根据所需磨矿细度用待测矿石试验确定。

#### (四) 单位容积生产率法

试验一般在开路条件下进行,只在特殊情况下,如不同粒度矿粒可磨度相差很远和循环负荷量很大的情况下,才安排实验室仿闭路磨矿实验,试验的任务通常是求相对可磨度系数和  $K$ 。

$$K = \frac{q}{q_0} = \frac{t_0}{t} \quad (3-4-6)$$

式中  $q$  和  $q_0$ ——待测和基准矿石的单位容积生产率,按磨矿时新生的  $-75\mu\text{m}$  物料量计  $\text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ;

$t$  和  $t_0$ ——待测和基准矿石磨到指定粒度所需时间,  $\text{s}$ 。

试验程序如下:将待测矿石和基准矿石分别破碎到  $-3$  毫米,筛去  $-150$  微米的细粒,根据球磨机的规格,称取若干份等量(500~1000 克)试样,在相同条件下,进行不同时间的磨矿。磨矿产品分别筛析,然后绘制磨矿时间与产品中筛下物累计产率关系曲线,从上找出为了把试样磨到规定细度(按  $-75$  微米级含量计)所需的磨矿时间  $t$  和  $t_0$ (图 3-4-2)。

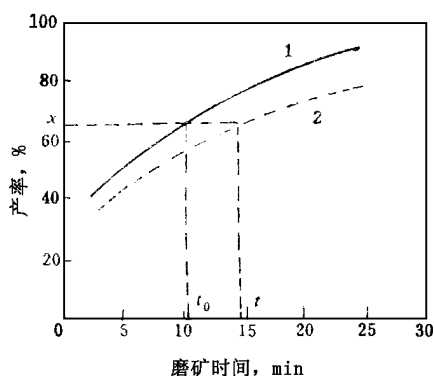


图 3-4-3 相对可磨度试验曲线

1—基准矿石可磨度曲线；2—待测矿石可磨度曲线

用  $-75$  微米(200 网目)物料量表示细度,是我国选矿界多年沿用的方法。在磨矿粒度细于  $90\% - 75$  微米时,这一表示法误差将很大。这时须改用其他方法表示细度,例如  $-45$  微米物料百分含量或  $d_{80}$ ( $80\%$  物料小于  $d$  微

米)。有时也可用比表面积度量产品粒度。

凡是用比较法确定可磨度的,都应在实验室内经常储备足够的基准矿石试样。基准矿样一般取自生产稳定的大型矿山。

### 三、粒度分析

#### (一)概述

表 22.2.1 中列出了选矿工艺中应用的主要的粒度测定方法,并指出它们的最适粒度范围(不是极限适用范围),目的是帮助选矿试验工作者正确地选择测定方法。必须指出的是,尽管近年来新的测定方法不断出现,在选矿工艺试验中应用最广仍是筛析和水析。

#### (二)筛分分析

用一套由粗至细的标准试验筛将试样筛分成不同粒度级别的方法叫做筛分分析。

表 3-4-2 主要的粒度测定方法及其最适粒度范围

类 别	主要测定方法和仪器	最适粒度范围 $\mu\text{m}$	粒度定义方法
端分分析	普通试验筛(干法)	100000 ~ 100	试验筛筛孔标称尺寸
	(湿法)	100 ~ 40(20)	
	微孔筛	25 ~ 5	
沉降分析	流体分级(水析、风析)	50(75) ~ 5	等沉降速度球体直径
	沉积法(重力)	20 ~ 1	
	沉积法(离心力)	5 ~ 0.005	
计数法	光学显微镜	40 ~ 0.8	投影面宽度或其等面积圆直径
	电子显微镜	1 ~ 0.001	
	场干扰法	200 ~ 0.5	等场强干扰度球体直径
	激光测粒仪 电敏测粒仪		
比表面 测定	吸附法	10 ~ 0.01	等比表面积球体直径
	渗透性(层流)	100 ~ 0.5	

#### 1. 标准试验筛

各国试验筛孔尺寸已标准化。我国过去长期沿用的是美国泰勒筛标准。原泰勒筛筛制的基筛为 200 网目——每英寸长筛网含 200 个筛孔,筛孔净长 74 微米,相邻两筛筛孔尺寸比(简称筛比)为 $\sqrt{2} = 1.414$ (主筛比)或 $\sqrt[4]{2} = 1.189$ (辅助筛比)。泰勒筛制在一个相当长时期内被世界上许多国家广泛采用。后来美国、英国和日本等国的国家标准或工业标准都是以泰勒筛为基础制定的。与此同时,在西欧却逐步地形成了以 1 毫米筛孔的筛子为基筛,以 $\sqrt[10]{10} = 1.2589$ 为主筛比的 R10 系列筛制,并被推荐作为国际标准筛制。国际标准化组织(ISO)筛子、筛分分析及其他粒度分析方法技术委员会 1959 年荷兰会议,为了协调两类筛制,提出了两个折衷方案,作为 ISO 标准。两个方案的主系列都是 R20/3 系列——以 1 毫米筛为基筛( $\sqrt[20]{10} = 1.40$  为筛比)。第一方案按西欧习惯取 $\sqrt[20]{10} = 1.12$  为辅助筛比,组成辅系列 R20;第二方案则以 $(\sqrt[40]{10})^3 = 1.19$  为辅助筛比,构成辅系列 R40/3,与原来泰勒筛制接近。在此以后,各国都以此为基础修订了各自的国家标准。表 22.2.2 列出的是 ISO 现行标准和各国现行标准,均注明了最后一次修订或认可的年份。

在选矿工艺试验中涉及的物料粒度一般小于 100 毫米。其中 100 至 6 毫米物料的筛析,采用冲孔钢板或金属丝网制成的手筛。冲孔筛的孔径下限为 1 毫米,由呈方形排列的方孔或三角形排列的圆孔组成。6 至 0.038 毫米物料的筛析通常用成套的标准试验筛,其中 100 微米以上用于干法筛分,再细时用湿法筛分。微细物料的筛析使用电成型或电蚀技术制成的镍板微孔筛,据报导商业微孔筛孔径范围为 150 ~ 5 微米,实际常用的则为 25 ~ 5 微米。普通标准试验筛用机械振筛机振动,微孔筛则须置水中利用超声波振动被筛物料。

## 2. 试验操作

干法筛分是先将标准试验筛按顺序套好,把试样倒入最上层筛面上,盖上顶盖,放到振筛机上筛分 15 分钟左右,然后将最下层筛子取下,用手持筛子在橡胶布或光面纸上进行检查筛分。如果一分钟内所得筛下物料量小于筛上物料量的 0.1 ~ 0.5%(视物料性质而定,脆性易碎物料取上限),就可以认为筛析已达终点,否则还要放回振筛机上继续筛分。筛分结束后,将各粒

级产品倒出称量。为清除筛孔中的难筛颗粒,可将筛子倒置,然后用手轻轻拍击筛框,使嵌在孔中的颗粒振落,也可使用软毛刷清扫,但对 100 微米以下的筛网,毛刷常使筛丝扭曲,筛孔变形。筛孔堵塞过多时,须置水中用超声波清洗干净,才能供下次使用。筛分损失量不应超过 0.5 ~ 1%。

含泥多的粘结性物料,须采用干、湿联合法筛析。此时可先将试样用水浸湿泡散,或直接倒在细孔(75 或 100 微米)筛上,用手持筛子在水盆内进行筛分。为提高筛分效率,应将筛子不断地摇动,但不要提出水面。盆中水过度浑浊时须另换一盆清水继续筛分,直至盆中水不再变浊为止。然后将筛上物料烘干并称重,再按干法进行筛析,底层筛筛下物料与湿筛时筛下的细泥合并,筛上各级分别收集。近年来已设计出可供湿法筛析用的套筛和振筛机,水流从顶盖上的喷流水管给入,经各层筛网,由底盘侧边排水管流出。须注意的是,即使采用湿式套筛,底层筛筛孔也不宜小于 38 微米,否则很易堵塞。再细时需使用微孔筛,在超声波作用下进行湿筛,但超声波频率不当时可能损坏筛面,操作中必须注意。

筛析所需试样的最小重量取决于最大粒的尺寸,可根据本书 21 篇介绍的公式计算。每次给入成套试验筛的试样量以 25 ~ 150 克为宜。如果超过很多,就应分几次筛分。直接用 75 微米筛湿筛时,每次筛分试样量不宜超过 50 克。

不适宜于湿筛的细物料,可使用气流喷射筛(Air-jet sifter)筛析。射流筛的基本工作原理是,置标准试验筛于封闭的筛室中,让有压气流通过可扫越全部筛面的旋转扁喷嘴由下向上吹过筛网,翻松试料,然后依靠筛下的负压,使小于筛孔的细粒在气流挟带下穿过筛网,落入收集容器中。由于气流两次穿过筛网,所以筛孔不易被堵塞,筛分粒度下限可以达到 10 微米。

### 3. 筛析数据处理

筛析结束后,应根据各粒级的重量计算各粒级的产率,即重量百分数,以及累计(积)产率。筛上累计产率指的是,大于某一筛孔尺寸各粒级产率的总和,相应地,筛下累计产率是指小于该尺寸的粒级的总产率。在选矿工艺试验中,还常需将各粒级产品分别化验,然后计算金属在各粒级中的分布率。

筛析结果常用图形表示,为筛析曲线,或粒度分布曲线。一般用累计曲

线,即横坐标为粒度,纵坐标为累计产率。有时也利用直方图绘制频率分布曲线,即各粒级产率与各级平均粒度的关系曲线,此时可利用均值、标准离差、偏度、峰度等统计量具体地表征物料的粒度特性。

用普通坐标分度法绘制的筛析曲线的主要缺点是,试点沿粒度坐标分布疏密不匀,细粒部分试点密集,粒粒部分稀疏。为了使试点在图上分布均衡,提出了 10 个以上改进方法。最重要的设想是利用对数坐标代替普通坐标。若仅粒度坐标按对数值分度,则称为半对数曲线图;如果累计产率和粒度都按对数值分度,就叫做全对数曲线图。

### (三) 水析和风析

小于 75 微米的物料,筛分效率低,筛析操作烦杂,最好采用其他方法进行粒度分析。常将小于 75 微米的颗粒,称为亚筛颗粒,相应的粒度分析技术,称为亚筛技术(Sub - Sieve Technique)。选矿工艺试验中常用几种亚筛技术已列在表中。水析和风析属沉降分析方法,都是按照沉降速度分离物料颗粒,确定其粒度组成的方法。

#### 1. 沉降分析原理

此处通常用斯托克斯公式计算固体颗粒在流体介质中的沉降末速:

$$v = \frac{(\rho_s - \rho_f)g}{18\mu} \cdot d^2 \quad (3-4-7)$$

式中  $v$ ——固体颗粒沉降末速  $\mu\text{m/s}$ ;

$\rho_s$ ——固体颗粒密度  $\text{kg/m}^3$ ;

$\rho_f$ ——流体密度  $\text{kg/m}^3$ ;

$g$ ——重力加速度( $9.81\text{m/s}^2$ );

$d$ ——固体颗粒粒度  $\mu\text{m}$ ;

$\mu$ ——流体粘度( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) 20℃时,水的粘度为  $1 \times 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$ ;空气的粘度为  $18 \times 10^{-6} \text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

可见,沉降速度不仅取决于固体颗粒粒度,而且取决于它的密度,因而沉降分析法原则上只适用于测定均质物料的粒度。但是,由于它模拟了选矿工艺中的分级过程,因而仍然是一个能够被普遍接受的方法。习惯上,对于矿石试样,是按照构成矿石主要基质的矿物,例如石英,计算沉降末速。按沉降

速度算出的粒度,是沉降速度与待测颗粒相等的球体的直径,叫做等值直径或当量直径。

沉降分析法的应用范围受斯托克斯公式的应用范围约束。为了使斯托克斯公式的误差不超过 5%,雷诺数不大于 0.2,相应地,水析的粒度上限大致不应大于 40 微米。水析的粒度下限大致为 1 微米,再细时沉降时间太长,且易受水流中随意性扰动的影响,增大试验误差。

沉降分析可在重力场中进行,也可在离心力场中进行。介质可以是液体(通常用水),也可以是气体。有的是让固体颗粒在静止介质中沉降(沉降法),有的是利用流动介质使物料按粒度分布(流体分级法)。广义的水析和风析泛指在水和空气中进行的一切沉降分析技术,选矿工艺上常说的水析和风析则主要是指模拟工业分级过程将物料按沉降速度分离为不同级别的粒度分析方法。它同筛分分析一样,不仅可以测定物料的粒度组成,而且可以具体地得到不同粒度区间的产品,供化学分析和矿物学研究用,因而被看作是选矿工程中最重要亚筛级粒度分析技术。水析和风析,一般在动态下进行,沉积法则属静态沉降法,有的是根据固体沉积量与悬浊液沉降时间的关系(沉降天平法),有的是根据悬浊液中固体含量随沉降时间的变化关系(吸管法、浊度法、压差法、比重计法)计算物料的粒度组成,都不需要,也不能将物料直接分为不同粒度的产品,其优点是都有专用仪器可资利用,操作简便迅速。

## 2. 水析试验技术

水析试验技术包括有:

(1) 淘析法 淘析分离装置如图 3-4-4 所示。称 50~100 克待试物料放进一小烧杯内加水润湿后倒进容积为 2~5 升的玻璃杯(缸)内,加水至标明的刻度处,用搅拌器搅拌,使试料悬浮,然后停止搅拌,待液面基本平静后,开始记时,经过  $t$  秒钟后打开虹吸管止水夹 3,将  $h$  高的悬浮液全部吸出放入容器 4 中。重新加水到刻标处,进行第二次淘析,如此反复,直至吸出的水不再浑浊为止,将吸出的产物过滤烘干、称重。选用不同的分离粒度,按式(3-4-7)算出相应沉降末速,就可求出所需的不同沉降时间  $t$ 。在不同沉降时间下淘析,就可得到不同粒度级别的产品。测定时须注意让虹吸管管口与沉

积物保持一定距离,以免将沉积物吸出。为创造接近于自由沉降的条件,悬浊液浓度应小于 3%。为避免矿粒团聚影响,可添加水玻璃或六偏磷酸钠等分散剂。悬浊液中水玻璃浓度一般以 0.01 ~ 0.05% 为宜,六偏磷酸钠浓度可低些。

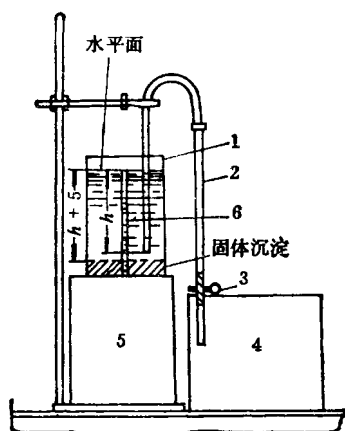


图 3-4-4 淘析分级装置

1 - 玻璃容器 2 - 虹吸管 3 - 止水夹 4 - 淤流收集器;

5 - 底座 6 - 毫米刻度标记

(2) 连续水析器 连续水析器由一套不同直径的上升水流分级管串联组成(图 3-4-5)。流经各管的水流量相同,但管截面不同,因而管中上升水流速度不同,这就可使具有不同沉降末速的物料,滞留在不同的分级管中。设计时,分离粒度可定为 75、38、20(或 19)、10 微米(按 ISO 标准 R40/3 和 R'10 系列。参看表 3-4-3),但给料中 + 75 微米颗粒一般已筛去,少数残余也将主要滞留在给料杯中,很少进入分级管。为避免物料团聚带来误差,同样须添加分散剂,也可先加分散剂用淘析法脱去大部矿泥后,再用连续水析器分级。

(3) 串联旋流分级器 瓦曼(Warman)公司设计的这一旋流分级器,是国际上选矿实验室最广泛地使用的亚筛级粒度分析器之一,它由五个倒置的水力旋流器串联组成,物料在离心力场中分级。每一个旋流器的进浆口和溢流口的直径都要比前一个旋流器小,相应地进浆速度以及旋流器内的离心力要比前一个旋流器大,从而使分离粒度逐次减小,故可得出不同粒级的产品。



对于密度与石英相近的物料,旋流分级器的有效分级范围为  $40 \sim 8$  微米,对于方铅矿这样的高密度矿物,分离粒度下限可降至  $4$  微米。一次完全的水析大致持续  $20$  分钟,然后即可将各粒级产品从顶部沉砂口放出。每个旋流器的分离粒度由制造厂在标准操作条件下标定。如果操作条件不同,就要利用专附图表进行修正。

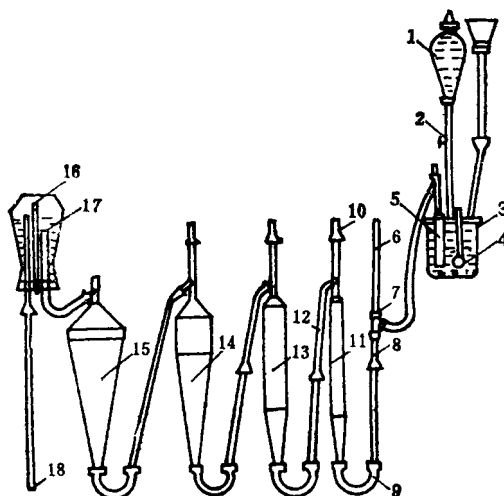


图 3-4-5 连续水析器

- 1 - 给矿瓶 2 - 止水夹 3 - 烧杯 4 - 搅拌器 5 - 和 11 -  $750\mu\text{m}$  分级管  
 6 - 玻璃管 7 - 套管 8, 9, 10, 12 - 软管;  
 13, 14, 15 -  $38, 20, 10\mu\text{m}$  分级管; 16 - 空气管;  
 17 - 溢流瓶, 18 - 溢流收集箱(图中未绘出)

### 3. 风析试验技术

风析原理与水析相同,只不过用气流代替水流。在重力场中工作的,称重力风析;在离心力场中工作的,称离心风析。风析器中矿粒(粗粒)与气流逆向运动的,称逆流风力分级器;沿垂直方向运动的,称横流分级器。多道迂回风力离心分级器(100MZR)是一种较完善的风析器(3-4-6)。试料 3 由螺旋给料器 2 给入,立即被气流 5 捕获,细粒从分级转盘 4 中的曲折通道中通过,抽往一旋流器中,沉积下来;粗粒则被甩向转盘外缘经一开孔进入粒粒收集器内。为了加强气流的分散,在分级转盘上装有凸缘。分级粒度范围为  $2 \sim 80$  微米。风析比水析快且准确,因空气阻力比水小,且可避免凝聚现象。

当然,前提是试料必须是干燥而分散的。

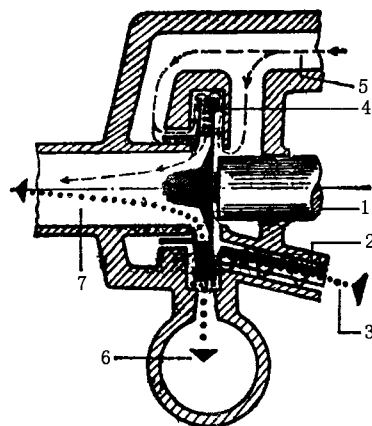


图 3-4-6 100MZR 型风力离心分级管

1-传动轴；2-给料器；3-给料；4-分级转盘；

5-分级气瓶；6-粗粒；7-细粒

#### (四) 颗粒计数法

计数法是用直接统计不同粒度颗粒个数的方法确定物料的粒度组成,可分为间接法和直接法两类。所谓间接法,是对颗粒的图像进行测量和统计,故又称为图像法,包括从利用宏观放大镜和宏观照相术到利用光学和电子显微镜以及电子探针测定,图像与实物的比例从缩小 100 倍到放大  $10^5$  倍。直接法是对实物颗粒进行直接测量和统计,可进一步分为机械计数法(包括对大块矿石的直接人工测量)和场干扰法两类。场干扰法的基本原理是利用固体颗粒穿过某一物理场(电、磁、声、光)时导致场强变化,借助于输出的脉冲讯号统计不同粒度颗粒的数量,属于这一类的有一系列现代粒度检测仪,如激光粒度测定仪和库尔特公司制造的利用电场干扰原理设计的库尔特计数器(电敏测粒仪)。

### 四、分级和洗矿试验

#### (一) 分级试验

分级作业,在磨矿回路中用于控制磨矿产品粒度,常用的分级设备是机械分级机和水力旋流器,在选别作业前,被看作是一种准备作业,目的是缩减

粒度差别对过别效率的不利影响,常用的分级设备为带上升水流的多室水力分级机和水力旋流器等。尽管水力旋流器具有占地少和易维护等优点,却不能完全取代那些传统的,在重力场中分级的设备。特别是在粒粒范围内,旋流器能耗太高,并且分级效率也不及机械分级机,因而在粗磨回路中宁愿采用机械分级机而不用旋流器。同样,摇床选别前的分级作业使用一台简单的多室水力分级机比用旋流器多次分级简便合算。

在选矿工艺试验中,一般不要求对分级作业和分级设备本身进行考察。在选矿前的分级,目的多半只是为了获得不同粒级的物料供下步试验用,因而对分级设备的型号没有严格要求,有时甚至可以用筛子代替分级机分级。

图 3-4-6 所示为实验室自由沉降式单室分级箱,可称为缝隙式分级箱。使用时需先根据分离粒度计算分界粒子的自由沉降末速  $\mu_0$ ,然后按下式计算用水量:

$$W = Fv_0 \quad (3-4-8)$$

式中  $W$ ——用水量  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$F$ ——分级箱中缝隙总面积  $\text{m}^2$ ;

$v_0$ ——分界粒子的自由沉降末速  $\text{m/s}$ 。

若一次需要分成好几个级别,且试样较多,采用单室分级箱逐级地分级操作时间太长,则可采用自制的多室实验室用自由沉降式分级箱,多室分级箱可看成是由多个单室分级箱串联而成,各室的分级面积由粗至细逐渐增大,制作时需根据惯用的分级比分别设计各室的尺寸。试样量再大时(例如,几百千克),应使用仿工业设备的试验室型带机械搅拌器的多室水力分级机,目前国内生产的型号为  $200 \times 515 \times 1040$  毫米干涉沉降水力分级机。

影响机械分级机工作的因素较多,除了影响颗粒沉降的基本水力学因素以外,需调节的还有搅拌状况、沉砂脱水时间、脱水区的斜度、沉降区深度等,因而在实验室内使用的机械分级机必须直接模拟工业设备。即使这样,也很难说实验室试验结果能与工业生产完全吻合。

实验室内做旋流器试验同样是困难的,原因是对稍粗一点的待分级物料,若根据其分离粒度选择合适的旋流器尺寸,则其处理量通常太大。因而只在分离粒度较小或分离粒度虽较大但所需分级的试样量也很大时,才采用

水力旋流器分级试验物料。

实验室用水力旋流器规格通常较小,直径一般为 25 ~ 125 毫米,为了便于调节各项结构参数,应备有一套尺寸不同的可拆换的部件。由于旋流器的给料必须连续、恒压给入,因而试验装置须附有给矿斗、砂泵和压力计等一套附属装置和仪表。

为了获得所需的分离粒度,除了可以根据理论公式初步计算以外,还必须通过试验探索,只有在试验结果表明其分离粒度和分级效率均已符合要求后,才能用于正式试样的分级。实验室旋流器试验的目的,通常只限于完成试验物料的分级和确定其分离粒度。为了确定工业生产旋流器的型号、尺寸、结构参数和压力,设计人员往往更多地依靠自己的经验而不是实验室小型试验结果。国外的一些商业性实验室和制造厂家由于近 20 多年来在这方面已积累了足够的经验,往往可以有把握地利用计算机程序根据试样的筛析资料、密度和矿浆浓度提出推荐性数据。

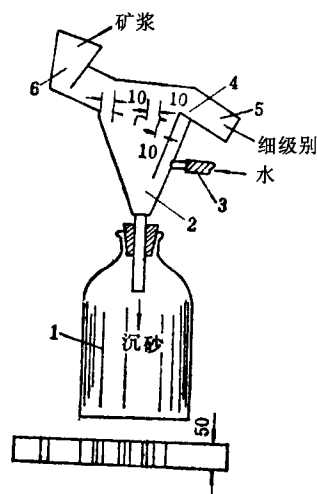


图 3-4-7 实验室单室分级箱

- 1 - 沉砂收集瓶 2 - 分级箱;  
3 - 胶皮管 4 - 挡板;  
5 - 流槽 6 - 给矿槽

## (二) 洗矿试验

洗矿一般是一种准备作业,但也是一种预选作业,有时也可以是主要选别作业。洗矿的目的是利用机械擦洗和水力冲洗作用将粘土和细粒从块状矿石表面洗掉,所需的机械力和水力取决于矿石的可洗性或者说洗矿难易度。洗矿试验的目的是确定矿石的可洗性和洗矿指标。

### 1. 矿石可洗性的评定

矿石的可洗性与粘土的性质及矿石的含泥量有关。粘土的性质是指粘土的塑性、膨胀性和渗透性。

粘土的塑性是指具有一定湿度的积土在受压以后不裂开而产生固定变

形的性质 ,可用下述塑性指数度量。

$$K = B_h - B_l \tag{3-4-9}$$

式中  $K$ ——粘土塑性指数 ,% ;  
 $B_h$ ——粘土塑性上限 ,即粘土开始流动时的含水率 ,% ;  
 $B_l$ ——粘土塑性下限 ,即粘土开始能被压碎时的含水率 ,%。

$K$  值愈大 ,表示矿石愈难洗。用  $K$  值表示的矿石可洗性如表 3-4-3 所示。

粘土的膨胀性是指粘土受润湿后体积增大的程度。膨胀性愈大 ,愈易洗。渗透性则是指粘土被水渗透的能力。渗透性愈大 ,则愈易洗。

评定矿石的可洗性还可使用另一些判据。例如 ,可以用洗每吨矿石所耗电能的数量作为判据 ,将每吨原矿耗电量为 1~0.5、0.5~0.25 和 <0.5 千瓦小时的矿石分别划作难洗、中等可洗和易洗矿石 ,还可利用标准圆锥体在粘土试样上的陷入深度评价可洗性。

表 3-4-4 矿石的可洗性

$K$ 值	> 15	15 ~ 7	7 ~ 1	< 1
塑性	高	中	低	无
可洗性	最难	较难	中	易

2. 洗矿试验设备和方法

常用的洗矿设备为槽式洗矿机、圆筒洗矿机、洗矿筛和螺旋分级机。在试验室中还可利用圆桶等容器和手动筛进行人工洗矿。实验用洗矿机一般是工业型设备的比例缩小。例如 ,可以使用 360×2000 毫米的槽式洗矿机或  $\phi 350 \times 650$  毫米的圆筒洗矿机。

试验室内洗矿工艺试验的目的是考察某一矿石的洗矿效果 ,即洗矿工艺指标 ,洗矿效果可以用洗矿产品的粒度分析结果和有用成分在产品及其各粒级中的含量和分布率评估判断。为了获得最佳工艺指标需要调节操作参数 ,但后者不能直接用作工业设计的依据。

五、密度(比重)组分分析和可选性曲线

密度(比重)组分分析又称重力分析或(不严格地)叫做浮沉试验 ,其实质

是,在接近理想的条件下将矿粒按密度(比重)分为不同部分,分别称重和化验,据此算出该矿样的密度(比重)组成以及有益和有害成分在不同密度(比重)部分中的分布率,用以判断矿石在不同破碎粒度下的解离特性和可能达到的极限选别指标,初步选定矿石的入选粒度。

将矿块(粒)分离为不同密度(比重)组分的方法通常有四种:(1)逐块测密度(比重);(2)在重液中分离;(3)在重悬浮液中分离;(4)在顺磁性液体中分离。后三者可统称为浮沉试验。

### (一)浮沉试验技术

最常用的浮沉试验方法是重液分离法。

重液,是指密度比水大的液体,包括有机重液、无机盐溶液和熔盐三类。

适用的有机重液为各种卤代烷,如四溴乙烷——密度(比重)2.968克/厘米<sup>3</sup>(20~4℃)和三溴甲烷——密度(比重)2.891克/厘米<sup>3</sup>(20~4℃)。三溴甲烷是无色易流动液体,不会使矿物分解,也不腐蚀橡胶,缺点是易挥发,蒸气会刺激粘膜和听觉器官,在阳光下易分解。四溴乙烷也是无色易流动液体,化学性质不活泼,挥发性比三溴甲烷小但粘度较大。这两种卤代烷以及可用作重液的其他卤代烷均难溶于水而易溶于轻质有机溶剂,如酒精和四氯化碳中,因而可用它们作为降低重液密度(比重)的稀释剂。用分馏的方法可使卤代烷和溶剂分离。用酒精做稀释剂时还可用水洗法:三溴甲烷-酒精混合液兑水搅拌后酒精将与水混溶并从三溴甲烷中析出分层,浮于上部,利用分液漏斗即可使这两种液体分别回收再用。

分离密度(比重)高时可用蚁酸铊和丙二酸铊复盐水溶液,又称克列里奇液,25℃时饱和溶液密度(比重)为4.3克/厘米<sup>3</sup>,化学惰性,可与任何比例的水混合而配成不同密度(比重)的重液,用蒸发的方法可使它浓缩再生。它的缺点是价格很高且对皮肤的腐蚀性极强,是重浪中毒性最强者。因而操作时必须特别小心!

选矿试验中常用的无机盐溶液为杜列液,即二碘化汞和碘化钾溶液,最高密度(比重)3.17~3.19克/厘米<sup>3</sup>,配制方法如下:按1:1.24的比例分别称取碘化钾和二碘化汞,将碘化钾置研钵内研细,再与二碘化汞混合,并小心搅拌,然后在强烈搅拌下将混合物溶解于冷水内,每1千克混合物加冷水160

毫升,即可得出密度(比重)为  $3.17 \sim 3.19$  克/厘米<sup>3</sup> 的浓溶液。若密度达不到,可将溶液蒸发,直至出现薄膜为止,放冷后搅拌,必要时可加  $1 \sim 2$  滴水,使薄膜落去,然后兑以不等量的水,即可按要求得出一套具有不同密度的溶液。杜列液有毒,会腐蚀皮肤,会同金属及金属硫化物反应,这些缺点使它的应用受限制。

煤的可造性研究所需的分离密度较低,故常使用价格低廉的氯化锌水溶液做重液,70%氯化锌水溶液  $20^{\circ}\text{C}$  时密度为  $1.962$  克/厘米<sup>3</sup>。

重液的密度(比重)可用市售或自制的浮子式比重计、比重瓶或液体比重天平测定。

块状和粒粒( $>1 \sim 0.5$  毫米)物料的分离试验,可在容积不小于  $250$  毫升的烧杯、玻璃缸、白铁桶等普通筒形容积中进行。细粒(小于  $1 \sim 0.5$  而大于  $0.1 \sim 0.075$  毫米)的分离则可在分液漏斗中进行。小于  $0.1 \sim 0.075$  毫米的物料,需在离心力场中分离,可利用普通的或特制的离心试管作分离容器。

为了得到更高的分离密度,须利用各种易熔盐类,在熔融状态的盐中分离矿物。密度大于  $4$  克/厘米<sup>3</sup> 的熔盐有(1)硝酸银  $\text{AgNO}_3$ ,密度  $4.1$  克/厘米<sup>3</sup>,熔点  $198^{\circ}\text{C}$ ;(2)硝酸银和碘化银合金,碘化银密度  $6$  克/厘米<sup>3</sup>,熔点  $552^{\circ}\text{C}$ ,硝酸银和碘化银按不同比例混合可得  $4.1 \sim 6$  克/厘米<sup>3</sup> 的不同密度的熔融体,熔点下降为  $65 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ;(3)硝酸亚汞  $\text{HgNO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,密度  $4.3$  克/厘米<sup>3</sup>,熔点  $70^{\circ}\text{C}$ ;(4)氯化铅  $\text{PbCl}_2$ ,密度  $5.0$  克/厘米<sup>3</sup>,熔点  $468^{\circ}\text{C}$ 。显然,在熔盐中分离操作将比较复杂,故主要用于物质组成研究中分离少量物料。

试样多或矿石性质不适宜于在重液中分离时(如松散矿石),可采用重悬浮液做分离介质。选矿试验中常用的介质加重剂如表  $3-4-5$  所示。由于悬浮液的最大密度很难超过加重剂的  $50\%$ ,因而在分批操作的实验室浮沉试验中,主要还是用硅铁和方铅矿做加重剂,在重介质旋流器中分离时,由于实际分离密度将大于悬浮液密度,故可使用密度较低的材料,如砷黄铁矿、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿和轧钢皮等做介质。

在普通重液或悬浮液中分离矿物,矿粒浮起的条件是浮力大于重力,即要求介质密度大于应上浮矿粒密度。由于密度高的介质难以获得,限制了密度组分分析方法的应用范围。若在上弱下强的不均匀磁场中,利用顺磁性液

体作分离介质,则由于顺磁性液体将对矿粒施以一向上的磁力(与磁场对顺磁性液体的作用力大小相等而方向相反),其大小超过磁场作用于矿粒的磁力(方向向下),因而使整个“上浮力”增大,相当于增大了介质的密度,故能用于分离高密度矿物,这就为含高密度矿物的矿石做密度组分分析开辟了新的途径。

表 3-4-5 常用介质加重剂特性

加重剂	加重剂密度(比重) g/cm <sup>3</sup>	所配成的悬浮液的最大密度	莫氏硬度
方铅矿(PbS)	7.5	3.3	2.5~2.75
粒状硅铁 $\left(\begin{smallmatrix} 85\% \text{ Fe} \\ 15\% \text{ Si} \end{smallmatrix}\right)$	6.9	3.5~3.8	7.3~7.6
球形颗粒占 90%)			
细磨硅铁 $\left(\begin{smallmatrix} 85\% \text{ Fe} \\ 15\% \text{ Si} \end{smallmatrix}\right)$	6.9	3.1	7.0
砷黄铁矿(FeAsS)	6.0	1.8	5.5~6.0
磁铁矿(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	5.0	2.5	5.5~6.5
黄铁矿(FeS <sub>2</sub> )	5.0	2.5	6.0~6.5
磁黄铁矿(Fe <sub>n</sub> S <sub>n+1</sub> ) 4.6	2.3	3.5~4.5	
重晶石(BaSO <sub>4</sub> )	4.4	2.2	3.0~3.5
石英砂(SiO <sub>2</sub> )	2.65	1.4	7.0

常用的顺磁性液体为锰、镍、钴、铁及稀土金属盐类的饱和溶液,如硝酸锰、氯化锰和三氯化铁等。据资料介绍,在实验室条件下,用氯化锰饱和溶液(密度  $\rho = 1400$  千克/米<sup>3</sup>)作介质,分选密度可达到 10 克/厘米<sup>3</sup>;用稀土氯化物作介质时,由于其磁化系数高,分选密度可达 19.5 克/厘米<sup>3</sup>,因而可使金(浮物)和铂(沉物)分离。

磁流体分离仪,可利用各种自动磁力分析仪改装,磁极间的间隙应该是上大、下小。由于磁流体分离法是一个尚在研究和发展中的技术,因而其试验设备也尚未定型。

## (二)可进性曲线的绘制

密度组分分析结果,通常用可选性曲线表达。原始数据为各个不同密度



组分的重量和品位(表 3-4-6 中 1、2 和 4 栏),据此可算出各个单元组分的产率、所含金属量以及金属在该组分中的分布率(3、5 和 6 栏),然后又可算出沉积物累计指标,即大于某分高密度的各组分的累计指标(7~10 栏),及浮物累计指标,即小于某分离密度的组分的累计指标(11~14 栏),将这些指标间的关系用图形表达出来,就是可选性曲线。

表 3-4-6 -5+0.1mm 锰矿石重液分离试验结果

密度组分	各单元组分					沉积物累计	
	重量	产率	品位	金属量	分布率	产率	品位
	kg	$\gamma_{\uparrow}$ %	$\beta_{\uparrow}$ %	$\gamma_{\uparrow}\beta_{\uparrow}$	$\epsilon_{\uparrow}$ %	$\gamma_{\uparrow}$ %	$\beta_{\uparrow}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8
+3.1	0.953	12.7	41.43	526.2	21.9	12.7	41.43
-3.1+2.9	1.710	22.8	29.24	666.7	27.8	35.5	33.60
-2.9+2.7	2.453	32.7	23.34	763.2	31.8	68.2	28.68
-2.7+2.6	1.020	13.6	17.56	238.8	9.9	81.8	26.83
-2.6+2.5	0.940	11.2	11.68	130.8	5.4	93.0	25.01
-2.5	0.525	7.0	10.85	76.0	3.2	100.0	24.02
合计	7.501	100.0	24.02	2401.7	100.0		

密度组分	沉积物累计		浮物累计				
	金属量	分布率	产率	品位	金属量	分布率	
	$\gamma_{\text{沉}}\beta_{\text{沉}}$	$\epsilon_{\text{沉}}$ %	$\gamma_{\text{浮}}$ %	$\beta_{\text{浮}}$ %	$\gamma_{\text{浮}}\beta_{\text{浮}}$	$\epsilon_{\text{浮}}$ %	
1	9	10	11	12	13	14	
+3.1	526.2	21.9	100.0	24.02	2401.7	100.0	
-3.1+2.9	1192.9	49.7	87.3	21.48	1875.5	78.1	
-2.9+2.7	1956.1	81.5	64.5	18.74	1208.8	50.3	
-2.7+2.6	2194.9	91.4	31.8	14.01	445.6	18.5	
-2.6+2.5	2325.7	96.8	18.2	11.36	206.8	8.6	
-2.5	2401.7	100.0	7.0	10.85	76.0	3.2	
合计							

常用的可选性曲线图主要包括三根曲线,即单元品位  $\lambda$  (即  $\beta_{\uparrow}$ ) 曲线,沉积物累计品位  $\beta$  (即  $\beta_{\text{浮}}$ ) 曲线和浮物累计品位  $\alpha$  (即  $\beta_{\text{浮}}$ ) 曲线,有时还加上密度  $\delta$  曲线和回收率  $\epsilon$  曲线,图 3-4-8 所示即为根据表 3-4-8 数据绘出的某锰矿石的可选性曲线。

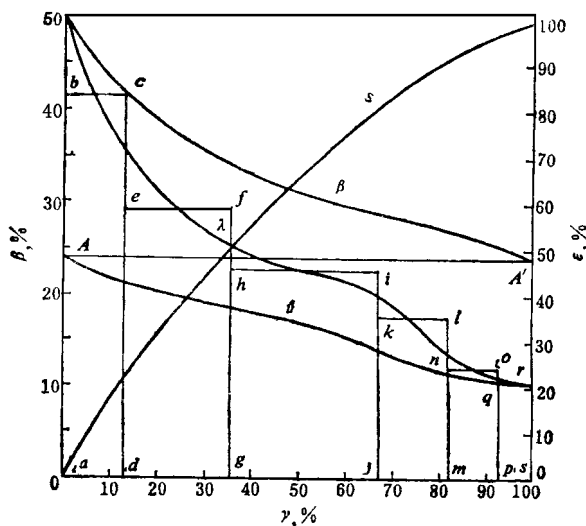


图 3-4-8 矿石可选性曲线(一)

矿石的可选性可直接根据曲线的形状,特别是  $\lambda$  曲线的形状判断,故  $\lambda$  曲线也常称为特性曲线。若矿样主要由单体有用矿物和单体脉石组成,则  $\lambda$  曲线将接近折线而呈明显的反 S 形;若试样主要由含不同比率的轻、重矿物的连生体组成,则特性曲线接近于一斜直线,没有明显的转折点,难以确定分选界限;若特性曲线接近水平直线,则表明试样中不同密度组分的品位均与原矿相近,实际无法选别。

在金属矿产选矿工艺中还经常甚至更多地使用另一可选性图示法,即仿照迈耶尔的中值曲线绘制  $\gamma_{\text{沉}} \beta_{\text{沉}} = f(\gamma_{\text{沉}})$  关系曲线。图 3-4-9 所示即为由表 3-4-6 中 7、9 两栏数据绘出的这种可选性曲线,用图解法可求出任一  $\gamma$  值下的品位:由于线段  $oe$  代表  $\gamma = 100\%$ ,故线段  $ed$  即代表品位,仅坐标比尺同对应的  $\gamma\beta$  值差 100 倍。

$$\beta = \frac{ab}{oa} = \frac{ed}{oe}$$

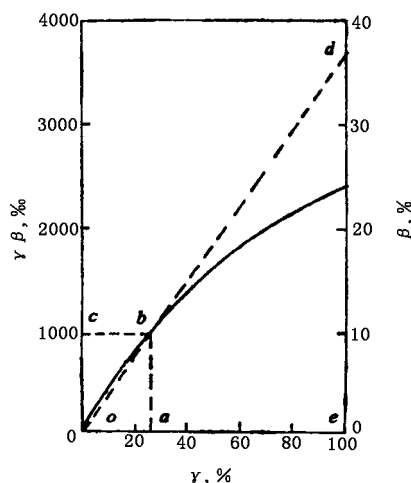


图 3-4-9 矿石可造性曲线(二)——仿迈耶尔

## 六、重选试验

### (一)概述

同其他选矿方法相比,重选过程成本较低,对环境污染少,因而在可选性研究中,对凡是有可能用重选法选别的矿石,都应首先考虑做重选试验。

由于重选所处理的物料的入选粒度相对较粗,粒度范围相对较宽,不同粒度物料要求选用不同设备,即使可以采用同一类设备选别的物料也常分级入选,再加上为了避免过粉碎对重选的不利影响常采用阶段选别流程,导致重选流程组合一般比较复杂,相应地试验用样量也大。反之,重选的操作因素却比较简单,各种重选设备,只要其入选物料的密度组成和粒度组成基本相同。选别条件也将基本相同。

影响矿石重选可选性的主要因素是密度和粒度(在某些情况下,如云母等片状矿物,形状的影响也很大),不同密度矿物分选的难易度可用下列数据估计;

$$\delta = \frac{\delta_2 - \Delta}{\delta_1 - \Delta} \quad (3-4-10)$$

式中  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  和  $A$  ——轻矿物、重矿物和介质的密度  $g/cm^3$  ；  
 $e$ ——难易度判断。 $e$  愈大则重选可以选别的粒度下限愈低(表 3-4-7)。

表 3-4-7 重选可选性和相应的可选粒度下限

$e$ 值	量选难易度	可选粒度下限 $\mu m$
$> 5$	极易选	0.010 ~ 0.0005
$5 \sim 2.5$	易选	0.019
$2.5 \sim 1.75$	较易选	0.075 ~ 0.038
$1.75 \sim 1.5$	较难选	0.5
$1.5 \sim 1.25$	难选	数毫米以上
$< 1.25$	不可选	

由于重选过程中的混杂现象主要是由密度接近于分离密度  $\delta_p$  的那部分矿粒引起的,因而选矿工艺上还常用入选物料中密度为  $\delta_p \pm 0.1$  的组分的含量度量重选难易程度,并据此判断各种重选设备的适用性(表 3-4-8)。中间组分含量少的,一切重选方法均适用,因而可选用生产率大而操作简易的设备;反之,则必须选用分选效率高的方法,同时注意控制处理量 and 操作。

在实践中,各种砂矿多属于表中第一、二类;钨、锡和稀有金属脉矿多属于第三类;预选丢废石作业和有用矿物密度不高者一般属后几类。

(二)重选试验流程

在重选可选性研究中,最主要的任务就是选择和确定工艺流程和相应的设备。

表 3-4-8 重选难易度及各种重选方法的适用性

$\delta \pm 0.1$ 组分含量, %	重选难易度	对重选方法、设备 and 操作要求			适用的典型重选方法
		方法和设备	处理量	操作 and 控制	
0 ~ 7	易	一切	大	一般	普通溜槽、跳汰机
7 ~ 10	较易	分选效率高	大	一般	圆锥选矿机 <sup>①</sup>
10 ~ 15	较难	分选效率高	适中	操作良好	摇床 <sup>①</sup> 、螺旋选矿机 重介质选矿
15 ~ 20	难	分选效率高	适中	操作熟练	重介质选矿

$\delta \pm 0.1$ 组分含量, %	重选难易度	对重选方法、设备和操作要求			适用的典型重选方法
		方法和设备	处理量	操作和控制	
20 ~ 25	很难	分选效率高	适中	操作熟练 严密控制	重介质选矿
> 25	很难	分选效率 非常高	小	操作熟练 极严格控制	重介质选矿 带有可严密控制比重的自动仪表

① 不排斥使用跳汰机处理粗粒。

试验流程 通常根据矿石性质并参照同类矿石的生产实践决定 ,但应比生产流程灵活 ,因为入选粒度、丢尾粒度和中矿处理方法等许多具体问题需通过试验考查和对比后才能确定 拟定试验流程所需的原始资料主要有 :

- (1) 矿石的泥化程度和碎散性 据此确定洗矿和‘泥砂分选’的必要性。
- (2) 矿石的贫化率 据此判断是否有必要采用重介质选矿、光电选或手选等方法进行预选 ,丢弃废石。
- (3) 矿石的粒度组成和金属在各粒级中的分布率 ,这对于砂矿床尤为重要 ,因为在大部分砂矿中 ,有用矿物往往主要集中在各个中间粒度的级别中。
- (4) 矿石的嵌布特性 ,它决定着选矿方法和流程结构的选择 ,包括入选粒度、丢尾粒度、选别段数、中矿处理方法和设备组合等一系列基本问题。
- (5) 矿石中共生重矿物的性质、含量及其与主要有用矿物的嵌镶关系 ,这涉及到这些共生重矿物在重选过程中的走向 ,以及重选粗精矿和中矿的加工处理方法。

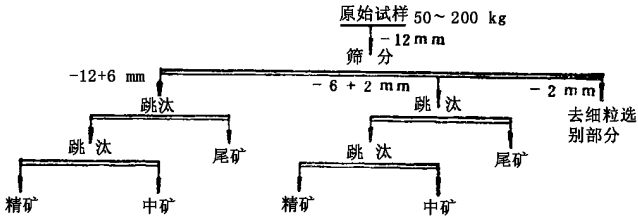


图 3-4-10 粗细不等粒嵌布钨锡矿石探索性试验流程(一)

图 3-4-10 和图 3-4-11 所示是一个钨锡原生脉矿重选试验流程实例 ,具有一定的典型性。根据物质组成研究资料 ,初步确定入选粒度为 12 毫

米,最终破碎粒度为 0.5 毫米,考虑钨、锡矿物价值高,性脆易过粉碎,准备采用三段碎磨和选别的流程。

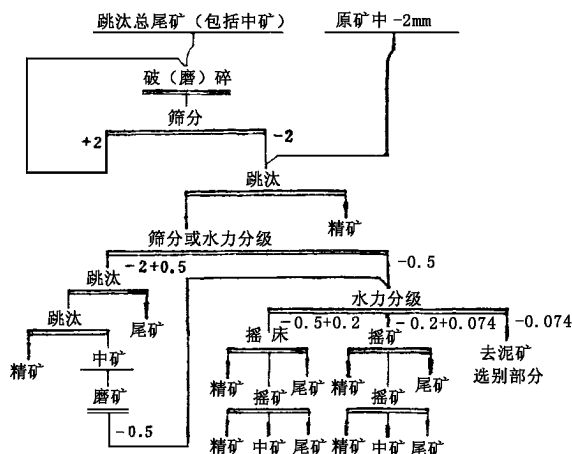


图 3-4-11 粗细不等粒嵌布钨锡矿石探索性试验流程(二)

图 3-4-10 所示是试验流程的第一部分,即粒粒选别部分,试验的主要目的是,考查所选定入选粒度是否合理和在什么粒度可以开始丢尾矿。若粗粒级既不能得到精矿又不能丢尾矿,就应将全部试样均重新破碎到较小粒度后重新开始试验。如果粗粒级可以得精矿,但不能丢尾矿,就应将中矿和尾矿合并作为“跳汰尾矿”,送下一段选别,如果同时可以丢出尾矿,就可仅将中矿送下段选别。若跳汰只能丢尾矿,则它仅起预选即初步富集作用。

图 3-4-11 所示流程第二部分,是细粒选别段,主要设备为摇床,试验的主要任务是(1)如果 +2 毫米各级均未能丢出可以废弃的尾矿就需要继续探索丢尾起始粒度(2)确定最终磨矿粒度(3)最后选定设备,特别是中粒部分的选别设备。例如, -2 + 0.5 毫米级也可以改用摇床选;又如,如果中粒跳汰在流程中的作用是预选,就还应考虑改用圆锥选矿机的可能性。

-75 微米矿泥选别流程,在图中未绘出。目前国内最常用的流程是:先用旋流器分级,大于 38 微米的粗泥送到刻床摇床选别;小于 38 微米的细泥用离心溜槽粗选,皮带溜槽精选。矿泥中金属主要分布于较粗级别中时,也可直接采用自动溜槽或普通溜槽粗选,皮带溜槽精选,事先不一定要分级。

探索性试验结束后,须重新取一份数量较多的试样,按所选定的流程做

正式流程试验,以便取得可作为设计依据的工艺指标。

### (三)重选试验设备

为了在实验室条件下预演今后的生产过程,做到可根据试验设备的尺寸、处理量、操作参数和选别指标正确地判断和预测工业设备的相应参数和指标,必须正确地遵循相似理论,以生产设备为原型,依照一定的缩尺来设计和制造试验设备。通过对一些设备的模型试验相似原理的研究得知,原型和模型的比尺不能过大,即试验设备的尺寸不能过小,比尺过大时实际上将无法满足不同要求的相似条件。例如,从理论上讲模型最好是正态相似,也就是说,它的长、宽、高等尺寸应最好按同一比例缩小,实际上在许多情况下缩尺一大就做不到,其中一个很重要的原因是矿粒的尺寸不允许按比例缩小。因而对于为选矿厂设计提供依据的重选流程试验,目前一般倾向于半工业型的试验设备。国产试验设备型号、尺寸综合列于下章末尾表 3-4-3 中。

(1)超小规模试验设备 流程试验前可用一些处理量极小的设备做一些探索性试验,我们将其取名为超小规模试验,试验目的是观察矿物的解离状况和用重选法处理的可能性。最早期的此类设备为人工淘砂盘,只要其中含有足够量的重矿物则几克试样就可做试验,显然分离好坏与操作者的技巧有很大关系,能熟练地使用它的人并不多。当今受到人们注意的是震动淘砂盘,如莫兹莱(Moxley)淘砂盘。这实际上是一种斜置的震动溜槽,带两种盘面,10 到 100 微米的试料适合于用平盘面,而 100 到 2000 微米的试料适宜于用夹角为  $165^\circ$  的 U 型盘面,用类似于摇床上的曲柄机构传动。每次用料 50 ~ 100 克,预先润湿后给到接近盘面上端处,矿粒在震动作用下分层,冲洗水由上部给入,将上层轻矿物冲至尾部排出,机械运动则使底部的重矿物上移,中矿则分布于盘面尾部,选别约持续 3 ~ 5 分钟,停机后用洗水依次冲出重产品和中间产品,分别收集,积量,化验。

(2)重介质选矿试验设备 重介质选矿试验,通常是从密度组分分析(主要是重液和重悬浮液分离试验)开始。为了提供正式的设计依据,还必须进一步在模拟生产性设备结构和形式的连续性试验装置进行正式试验。

(3)跳汰机 金属矿选矿中,跳汰机主要用于处理 20 ~ 0.5 毫米的粗粒。目前国内实验室型跳汰机中应用最广的是  $150 \times 100$  和  $300 \times 200$  毫米的隔膜

式,但各单位还保留了一些过去生产的或国外购进的设备,如  $50 \times 50$  毫米的隔膜跳汰机, $150 \times 150$  和  $300 \times 200$  毫米的活塞跳汰机,以及尺寸较大的  $300 \times 300$  毫米下动型圆锥隔膜跳汰机和  $450 \times 300$  毫米上动型隔膜跳汰机。试制的还有对生产原型缩尺为 2 的梯型跳汰机。所有较小的设备适用于实验室小型试验和精选试验,较大的设备用于实验室流程试验或中间试验。

(4) 摇床 摇床的有效选别粒度为  $2 \sim 0.038$  毫米。试验用摇床的规格大致分三类:1)长 $\times$ 宽约  $1 \times 0.5$  米的小型试验摇床;2)长 $\times$ 宽约  $2 \times 1$  米的半工业型摇床;3)长 $\times$ 宽为  $4.5 \times 1.8$  米的工业型摇床。应用最多的是第二类。如果不是进行专门的设备试验,则不论使用哪种床头都是可以的。床面形式与工业设备类似,粗粒用带来复条的床面,细粒用刻槽床面。

(5) 螺旋选矿机 螺旋选矿机的有效选别粒度为  $2 \sim 0.075$  毫米。实验室使用的是小尺寸的工业设备,直径 0.6 米左右。

(6) 尖缩溜槽(扇形溜槽和圆锥选矿机) 尖缩溜槽可处理的物料粒度范围比螺旋选矿机宽,为  $3 \sim 0.038$  毫米。不论今后生产设备为扇形溜槽还是圆锥选矿机,实验室试验只能使用扇形溜槽,原因是圆锥选矿机处理量太大。常用的试验溜槽尺寸为:长  $600 \times 1000$  毫米,给矿端宽  $150 \times 300$  毫米,尖缩比(给矿端同排矿端宽度比)20 左右。倾角  $15 \sim 19^\circ$ 。

(7) 离心选矿机和皮带溜槽 离心选矿机是一种公认有效的矿泥粗选设备,最佳选别粒度为  $38 \sim 19$  微米。实验室最常用的设备尺寸为  $\phi 400 \times 300$  毫米。皮带溜槽通常同离心选矿机配套,用于精选。工业设备尺寸为宽 $\times$ 长  $= 1 \times 3$  米,试验设备仅宽度缩小,长度一般不改变。

(8) 横流皮带溜槽 横流皮带溜槽最有效选别粒度为  $40 \sim 20$  微米。据称作业回收率可达 70% 以上。 $5 \sim 10$  微米级的回收率亦可达到 50%。富集比达 20 以上。目前国内生产的试验溜槽尺寸为  $700 \times 1200$  和  $1200 \times 2750$  毫米两种。

#### (四) 重选工艺因素的考查

重选试验中需要考查和调节的工艺因素有以下几类:

(1) 负荷:即与给矿有关的因素,包括给矿量或体税负荷。给矿浓度和给矿压力(当给矿为压力流时)等。



(2) 水量 :包括给矿补给水、分级机和跳汰机等设备的筛下补给水以及流膜选矿过程中的冲洗水等。

(3) 介质和床层 :如悬浮液的流变性质 ,跳汰机的床石组成和床层厚度等。

(4) 设备结构参数 跳汰机的结构参数一般由制造厂家确定 ,选矿工艺试验中一般不再调节 ;流膜选矿设备需调节的结构因素一般仅为坡度 ;水力旋流器的结构参数则几乎全部是可调的。

(5) 设备运动特性参数 ,如大多数往复运动机构的冲程和冲次均是常需调节的主要操作因素 ,作回转运动的设备则需考查转速的影响。

(6) 作业时间。

#### (五) 重选试验结果的评价

除了品位和回收率等一般工艺判据以外 ,还常使用(1)粒级回收率和(2)分配曲线评估重选过程的效率。

粒级回收率是指分粒级计算的各个粒级的有用成分(如金属)在各个产品中的回收率(即分配率)。借助粒级回收率可以判断不同设备对不同粒级的分选效率。

分配曲线是不同粒级(对分级作业)或不同密度组分(对重选作业)在粗和细或重和轻产品中分配率的图示。分配率  $\epsilon$  可按下式计算 :

$$\epsilon = \frac{\gamma\beta}{\alpha} \% \quad (3-4-11)$$

式中  $\gamma$ ——产品的产率 ;

$\alpha$  和  $\beta$ ——原矿和产品中某组分的含量。

由于分配率和回收率的概念本来就是一致的 ,因而其计算方法也是一致的。只不过计算回收率时含量指标(  $\alpha$  和  $\beta$  )是指金属或其他有用成分含量(按化验结果) ;计算粒度分配曲线时 ,  $\alpha$  和  $\beta$  是指某一特定粒级在原矿和产品中的含量 ;对密度分配曲线 ,则为某一特定密度组分在原矿和产品中的含量。

图 3-4-12 所示为某金刚石重介质选矿分配曲线。曲线上各点 ,代表各种密度矿粒在精矿中的分配率。在尾矿中的分配率曲线 ,图上未画出。它

应是精矿分配曲线的倒影。在理想情况下密度大于分离密度  $\delta_p = \delta_{50}$  的矿粒在精矿中的分配率应为 100% ,而密度小于分离密度的矿粒在精矿中的分配率应为零 ,只有密度恰好等于  $\delta_p$  的矿粒的分配率应为 50%。实际分选过程中 ,分离密度是波动的 ,相应于分配率为 50% 处的密度仅代表着分离密度的平均值。波动幅度愈大 ,轻重矿粒相互混杂的中间密度愈宽 ,代表着分选效率愈低 ,故常用“ 偏移距 ” $E_p$ ( 分离密度平均偏移距离 )度量分选效率 :

$$E_p = \frac{1}{2}(\delta_{75} - \delta_{25}) \quad (3-4-12)$$

式中  $\delta_{75}$  和  $\delta_{25}$  ——分配率为 75% 和 25% 处的比重值。

偏移距亦常称特龙普( Tromp )指标。

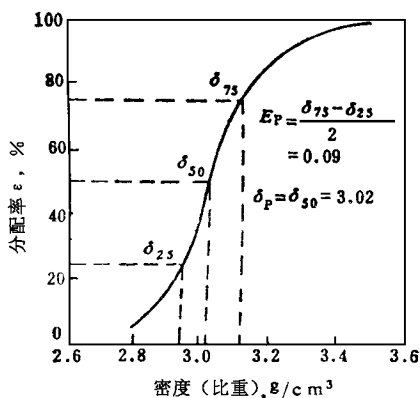


图 3-4-12 分配曲线

## 七、磁选和电选试验

### (一) 磁选试验

磁选主要用于从矿石中回收或脱除磁铁矿和磁黄铁矿 ,以及在重介质选矿过程中回收硅铁等磁性介质 ,但亦常用于处理其他黑色金属矿石和有色、稀有金属重选精矿。除此以外 ,在陶瓷和玻璃材料的准备、冶金产品的处理、工业和生活废渣中钢铁的回收、污水和废气净化等方面 ,磁选亦有其广泛的用途。我国富产的弱磁性铁矿物 ,如赤铁矿 ,可在磁化焙烧后用弱磁场磁选机选别 ,亦可直接用强磁场磁选机选别。

磁选是按照矿物磁性分离矿物 ,因而试验工作一般从磁性分析开始 ,然

后再在实验室磁选机中做工艺性试验。

### 1. 矿石的磁性分析

磁性分析包括比磁化率测定和磁性矿物含量测定两部分,后者亦称磁性组分分析,类似于重选中的密度组分分析。

比磁化率测定方法可参看本手册磁选篇。按比磁化率  $x$  的大小可将矿物分为三类(1)强磁性矿物,如磁铁矿和磁黄铁矿, $x$  大于  $35 \times 10^{-6} \text{米}^3/\text{千克}$ (2)弱磁性矿物,如赤铁矿、黑钨矿和担铁矿等, $x$  为  $(7.5 \sim 0.1) \times 10^{-6} \text{米}^3/\text{千克}$ (3)非磁性矿物,如白钨矿、锡石、方铅矿和石英等, $x$  小于  $0.1 \times 10^{-6} \text{米}^3/\text{千克}$ 。

磁性组分分析一般使用磁选管和弗朗兹(Franz)型磁力分析仪等专用磁性分析装置。

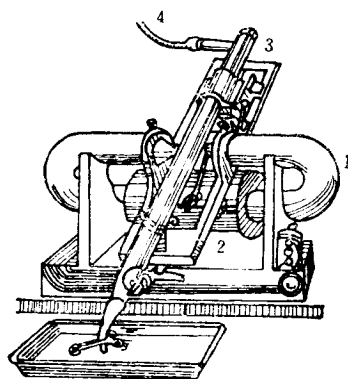


图 3-4-13 磁选管

(1) 磁选管 如图 3-4-13 所示,适用于测定细粒物料中强磁性矿物的含量。试验装置主要由电磁铁 1 和以  $40 \sim 45^\circ$  倾角斜野于磁极间的玻璃分选管 3 组成,后者用滑架 2 支承,电动机通过传动装置带动分选管作往复上下移动和左右转动。试验时首先打开进水管 4,向管内加水到高出磁极头约 10 厘米处,接通直流电源,调节励磁电流强度到规定化开动传动装置,然后称取若干克试料,置小烧杯中润湿后徐徐给入分选管中。试样加完后自管上端放细水流冲洗,同时打开下面的排水管使管内水面深持一定。此时磁性矿粒在磁场的作用下被吸附在磁极附近的管内壁上上下下滑动,非磁性颗粒则缓缓下落并随洗水从下部管口排出。玻璃管的上下移动和左右回转有利于清除夹

杂于磁性颗粒中的非磁性颗粒。一般在连续冲洗 5~15 分钟后,就不再有矿粒随水流出,表明分选已经终了。此时可切断电流,放出磁性矿粒。最后将磁性产品和非磁性产品脱水、烘干、称量,并在必要时送化学分析,据此算出矿石中磁性矿物的含量以及有用元素在两种产品中的分布率。试粒粒度取决矿石嵌布特性和试验要求,但不宜大于 0.5~1 毫米,磁选管的最高磁场强度可达 240 千安/米。

(2) 磁力分析仪 如图 3-4-14 所示,适用于干式和湿式分析物料中弱磁性矿物的含量,主要由铁芯 1、磁极头 2、励磁线圈 3、电报分选槽 4、电磁振动器 7 和支架 8 组成。分选槽有三种:干式分离用的带振动器的分选槽和快速分选槽,以及湿式分离用的玻璃分选管,最常用者是第一种。9 是手轮,有两个,分别用于调节分选槽的纵向和横向坡度。应用带振动器的分选槽进行干式分选时,试料由给料斗 5 流入分选槽中。在振动状态下逐渐由首部向尾部流动,并在磁力和重力的综合作用下按磁性分流成左右两条试料带,分别流入两个接料容器 6 中。如果磁力分析仪中的磁极头形状设计成极间间隙中各处  $H_{\text{grad}}H$  ( $H$ —磁场强度)相等,就叫做“等磁力分析仪”。在等磁力磁场中,矿粒的分离精度高,分离结果不受粒度组成的影响。试验时最好先用副样探索分选条件,包括励磁电流强度、振动器振动强度,分选槽的纵向和横向坡度等。采用不同的励磁电流强度,就可得到具有不同比磁化率的磁性组分。

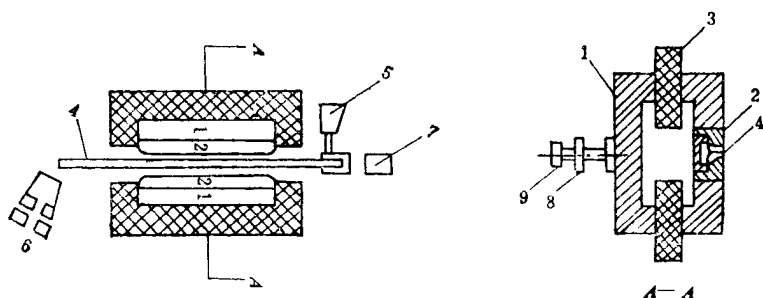


图 3-4-14 磁力分析仪

磁性组分分析结果的处理方法与密度组分分析类似。例如,可根据原矿的磁性分析结果给出磁选可选性曲线,可根据选矿产品的分析结果绘出磁性组分在磁选产品中的分配曲线。

## 2. 磁选工艺试验

磁选工艺试验的任务是,研究矿石的可选性,确定矿石的入选粒度、选别流程和条件,以及可能达到的工艺指标。

试验通常是在磁性分析的基础上进行。强磁性矿物,用弱磁场磁选机回收,磁场强度一般小于  $100 \sim 250$  千安/米;弱磁性矿物须用强磁场磁选机选别,磁场强度通常为  $0.5 \sim 10$  兆安/米。磁选流程一般比较简单,但也应包括粗、精和扫选作业,必要时须考虑采用阶段磨选流程。在试验过程中须根据分离情况调节各项工艺参数,包括:给矿粒度、给矿速度、磁场强度和补给水量等。磁场强度通常靠改变励磁电流强度的方法调节,有时磁极间的工作间隙的大小也是可调的,但这时磁场强度和磁场梯度将同时发生变化。

实验室用磁选设备的结构与工业设备类似,只是尺寸较小,且易于调节。国产磁选试验设备目录见下章表 3-4-3。

### (1) 强磁性矿石磁选试验

强磁性矿石,主要是指磁铁矿矿石,试验流程取决于矿石的嵌布粒度。嵌布粒度粗的先要考虑采用干式磁选或干湿联合磁选流程的可能性。干式磁选前通常须分级。我国常见的细粒嵌布贫铁矿,除非是在缺水地区,一般均采用湿式磁选法。试验时需要确定选别段数和各段的磨矿细度。一般采用  $1 \sim 2$  段磨选流程,要求生产高纯精矿时可能需要增加选别段数,一般采用鼓式磁选机做主要选别设备,磁力脱水槽做辅助设备。磁力脱水槽可在磁选前用来排除部分尾矿和细泥,磁选后对精矿起浓缩和提高品位的作用。磁选精矿一般不需要进行多次精选。

### (2) 弱磁性矿石湿式强磁选试验

弱磁性铁矿石磁选试验可采用两个方案(1)磁化焙后磁选法,这时的磁选方法与强磁性矿石相同,关键是要做磁化焙烧试验,这点我们将在下一专题中讨论(2)强磁场磁选法,试验程序与弱磁性矿石相似,即先做磁力分析,判断矿石采用强磁选的可能性,并据此确定入选粒度,再根据矿石入选粒度和矿物磁性,选择选矿流程和试验设备。在表 3-4-3 中列出了国产强磁场磁选试验设备目录,由于强磁选本身是一个发展中的技术,设备结构、型号更新换代很快,所以表中设备尚不能看作是定型设备。

①湿式强磁力分析仪 亦可看作是分批操作的实验室用湿式强磁选机,是我国吸收国外琼斯和埃里兹型磁选机的某些特点试制的小型试验设备,湖北探矿仪器厂和天津矿山仪器厂均有生产,型号分别为 XCSQ—50×70 和 XCOS—79。湖北产设备构造如图 3-4-15 所示,分选箱一般由五块纯铁制成的齿板和两块铝质挡板组成。齿板高 170 毫米、宽 80 毫米。最高磁场强度为 1840 千安/米。有效分选粒度 1~0.038 毫米,设备标称处理量 4~5 千克/时,可同时分出精、中、尾矿三个产品。此设备已为国内大多数选矿试验单位试用,可以满足强磁场磁力分析和评价可选性研究工作的需要。

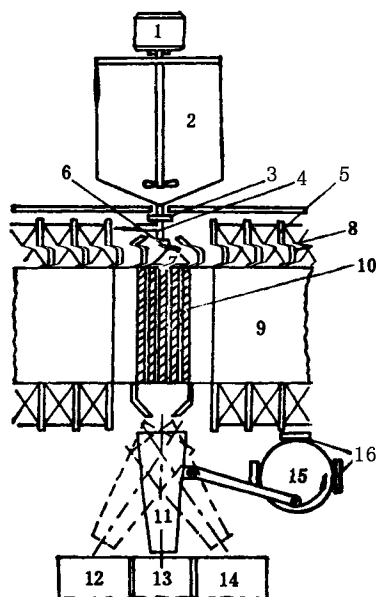


图 3-4-15 分批操作湿式强磁选机

- 1- 搅拌器 2- 搅拌桶 3- 给矿阀 4- 三通阀 5- 冷却水套 6- 扁嘴  
运动拉杆 7- 铜扁嘴 8- 励磁线圈 9- 铁芯 10- 分选箱 11- 承矿  
斗 12、13、14- 精、中、尾矿收集箱 15- 偏心轮 16- 微动开关

②仿工业型实验用湿式强磁选机 为选矿设计服务的强磁选试验,需要用较多的矿样,采用仿工业型的强磁选机,进行系统的流程试验和条件试验,确定所选用强磁选机对所研究矿石的适用性,以及合适的选别流程和操作条件。因而工艺研究工作往往同设备研制工作结合进行。我国许多选矿研究单位都研制过自己的湿式强磁选机。例如,长沙矿冶研究院设计制造了可供

半工业试验用的仿琼斯型湿式强选机,转盘直径 1 米。最大磁场强度 1360 千安/米,可用来处理各种弱磁性铁矿石。

③高梯度磁选机 高梯度强磁选机是在普通强磁选机基础上发展起来的,磁场梯度(就钢毛介质而言)较普通磁选机高 10~100 倍,可达  $8000 \times 10^7$  安/米<sup>2</sup>( $10^7$  高斯/厘米)。这就为磁性颗粒提供了强大的磁力来克服流体阻力和重力,使微细弱磁性颗粒能被有效地回收,在高岭土提纯和水处理方面已获得工业应用。我国除了对高梯度磁选机的制造正积极进行研究以外,江苏地质矿产局测试中心和北京有色冶金设计研究总院中国矿业试验中心等单位还从国外引进了一些实验型高梯度磁选机。可供各方面研究工作使用。

### (3) 弱磁性矿石干式强磁选试验

干式强磁选法,目前主要用于有色金属和稀有金属矿石重选粗精矿的分离。例如,可以在 640 千安/米(8000 奥)的磁场强度下使黑钨矿同锡石、白钨矿分离。常用的试验设备为电磁盘式和辊式强磁选机,试料粒度一般不得大于 3 毫米。

### (二) 磁化焙烧试验

实验室磁化焙烧试验的目的仅在于确定采用磁化焙烧工艺的可能性和大致指标,并为下一步磁选试验提供试样,而焙烧工艺条件要在中间试验甚至工业试验时才能确定。

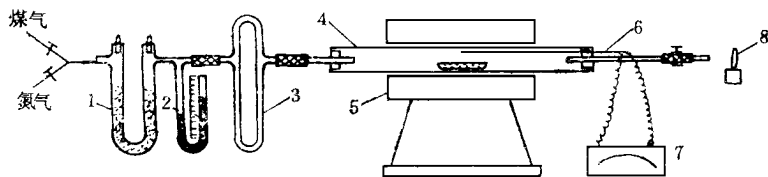


图 3-4-16 实验室还原焙烧装置

1—氯化钙干燥管 2—压力计 3—气体流量计 4—瓷管;

6—管状电炉 5—热电偶 7—高温表 8—煤气灯

试验一般先在实验室型焙烧炉中进行。常用的有管状炉、坩埚炉、马弗炉以及实验室型竖炉、转炉和沸腾炉等。炉型根据试验深度和矿石性质,首先是粒度确定。试验中需要调节和考察的工艺因素为温度、气氛、粒度、时间、添加剂种类和用量以及空气过剩系数等。在实验室型管状炉中用煤气进

行磁化焙烧的小型装置如图 3-4-16 所示。试样粒度一般为 3~0 毫米,试样重量视瓷管直径而定, $\phi 30 \sim 40$  毫米的反应瓷管每次可焙烧 20~30 克试样,焙烧矿质量可用磁选管检查。如果要用磁选机做选别试验,就应选用瓷管直径为 100 毫米的大号管炉,此时每次焙烧矿量可达 500~1000 克。试验前应注意用氮气驱除瓷管中的空气。

还原焙烧效果可用焙烧产品中氧化亚铁与全铁含量比值百分数,即还原度评价,也可直接根据焙烧产品中磁性组分的含量判断。

### (三)电选试验

早期电选主要用于分离重选粗精矿,如锆石、金红石、钛铁矿和独居石;锡石和钽、铌铁矿,锡石和白钨矿。近年来应用范围逐渐扩大,已用于精选赤铁矿精矿、生产超纯铁精矿、分离长石和石英、选别磷矿石及金刚石粗精矿,并已成功地实现了钾盐电选的工业应用。

矿物用电选法分离的可选性,可根据矿物的电性质,如介电常数、电阻、比导电度和整流性等判断。一般情况下,介电常数大于 10~12 以上的属导体;电阻小于  $10^6$  欧的属良导体,等于  $10^6 \sim 10^7$  欧的属中等导体,大于  $10^7$  欧的表明导电性很差。介电常数和电阻都可用来判断矿物用电选分离的可能性。比导电度是矿物在高压电极作用下偏离正常轨迹所需最低电压的相对值,可大致地估计其分选电压。矿物的整流性用来判断电极应带正电还是负电。例如,只能获得负电的矿物,叫负整流性。此时电极应带正电。本章表 3-4-2 中列出了重要矿物的介电常数,其他数据可查阅本书 15 篇(电选)。

实验室电选试验,一般采用鼓式电选机电选机所采用的电场有静电场、电晕电场和复合电场三种。目前应用最广的是复合电场电选机。电选机均带有高压装置,可将电压变至 4~6 万伏甚至更高。有效分选粒度一般为 1~0.075 毫米。选别前,试料必须按粒度分级,一般须预热,有时需加药剂进行表面处理。研究过程中要确定下列选别条件。试样的粒度、分级比、试样加热温度、表面药剂须处理方法和条件、圆筒的转速、电位差、电极间的距离及每米筒长的生产率。有时还要比较选择电场的类型、电极的形状、制造给矿槽和分选圆筒的材料。

为了探讨电选分离情况,可将分选筒下方承矿箱分成许多区域,以便分



别接取具有不同电性的产品 ,分别计量和化验 ,并据此绘制可选性曲线。确定分离界限和选别指标。

## 八、浮选试验

### (一)概述

浮选是应用面最广的选矿方法 ,需研究的问题和影响因素也最多、在影响因素中许多是不受研究工作者主观控制的客观因素 ,如矿石特性、水的成分和环境温度等 ;另一些则是研究工作者可以调节控制的操作因素 ,如磨矿细度、矿浆浓度、矿浆 pH 值、药剂制度、调浆时间和强度、浮选机搅拌强度和充气量以及浮选时间等 ,选别效果随这些因素的变化都很敏感。因而许多矿体不仅在开发前。而且在投产后仍须继续进行浮选试验研究工作 ,直至矿体完全采完为止 ,当然 ,这些研究工作大多属于新药剂的应用和流程的变更 ,而很少进行设备的更换。

浮选科学的发展是迅速的 ,现已积累了足够的知识和经验供浮选试验人员拟定试验计划时参考。但极少能够直接根据文献记载直接选定工艺流程和条件。系统的试验是永不可少的 ,试验计划也必须在试验过程中不断地修正。

### (二)试验设备和技术

实验室浮选试验通常是由一系列分批次的单元试验组成 ,故常称“分批浮选试验” ,以区别于在中间试验和工业试验装置上进行的连续性试验。

#### 1. 试样的准备

考虑到试样的代表性和实验室小型磨矿机的效率 ,浮选试验粒度一般小于 1~3 毫米。原始试样可选用颚式破碎机根据所需破碎比分段或不分段破碎到约 0 毫米以下 ,然后在用振动筛闭路的对辊机中破碎到磨矿机给矿粒度、破碎过程应尽量避免粉尘的飞扬损失 ,特别是在粉尘的品位很高时。

若矿石中含有硫化矿物 ,特别是含有大量磁黄铁矿时 ,氧化作用对浮选试验结果可能会有显著的影响 ,因而试样应尽可能分期破碎 ,让大量的试样在较粗的粒度下贮存。在试样制备过程中 ,还应防止试样受污染 ,少量机油的混入就将妨碍浮选的正常进行。封存的试样 ,应放在干燥、阴凉、通风且不

易被污染的地方,但即使这样。易被氧化的矿石也不宜于长期放置。

## 2. 磨矿

实验室浮选试验每份试样量一般为 500、1000 或 2000 克,相应地磨矿机的内壁尺寸为  $\phi 200$  毫米上下者较合适,可准备一台较小的磨矿机供中间产品再磨用。机体形状以筒形较好,它既可以装球也可以装棒,长度与直径相同或稍长。国内还大量地使用  $240 \times 90$  和  $150 \times 50$  毫米两种规格的锥形球磨机,它的优点并不在于它的机体外形,而是因为整个结构设计得比较便于操作和节省体力。装球量以占磨矿机容积 40% 左右为宜。根据给矿粒度和产品粒度以及筒体尺寸选用 2~3 种不同尺寸的球,最小者可为 12.5~15 毫米,最大者可为 25~32 毫米。粗磨时可使大中小球个数相等,细磨时可使大中小球重量相等。一般则可介于其间。磨矿浓度按不少文献记载常为 50~67% 固体,相当于液固重量比等于 1:1 至 1:2,而作者却倾向于采用与现厂生产相近的浓度,例如,对一般中硬矿石为 75% 固体(液固比为 1:3)左右,在此情况下产品粒度较均匀,过粗颗粒较少;反之,老矿石含泥多和产品粒度极细或密度小时,须采用较低的浓度。在试样密度很大或很小时,也可改按体积浓度(固体体积占矿浆总体积)为 40~50% 计算磨矿水量。总之,应使矿浆粘稠度适中。

实验室采用分批开路磨矿,与工业上闭路磨矿相比,产品粒度特性不一致。一般来说,细粒级含量较高。因而有人宁愿使用棒磨,并用实验数据证明,实验室开路棒磨产品粒度分布比实验室开路球磨更接近于现厂闭路球磨。但这并没有考虑到,用分级机闭路的磨矿回路中,重矿物颗粒通常比其他矿物颗粒磨得细些。实验室棒磨机棒的尺寸一般为 12.5~25 毫米。

有时也可使浮选机规格小于磨矿机。在此情况下一次磨矿产品可供若干次浮选试验用,磨好的矿浆可用湿式分样器缩分为具有代表性的几份(目前天津矿山仪器厂已可生产此类湿式分样器)。由于浮选试验是序贯地进行的,因而各份试样的放置时间将不同,研究工作者须注意搁置时间对浮选的影响。研究现厂取来的矿浆试样,也有类似问题。

## 3. 擦洗

有时在浮选之前进行擦洗,可明显地提高有用矿物的可净性,并改善浮

选选择性。擦洗可在磨矿之后进行,也可不磨矿而只擦洗。擦洗可使用专门的实验室擦洗机,也可就利用浮选机在高浓度下(如 70% 固体)搅拌实现,还可利用实验室磨矿机,靠低速(如 10 转/分)回转擦洗,其中可装一些重量较轻因而只有擦剥而没有粉碎作用的材料。

擦洗对于制造玻璃用石英砂、铁矿石、磷矿石、钾盐以及其他易受矿泥影响的矿石的浮选具特别重要意义。因酸、碱以及表面活性剂可改善擦洗效果,但必须考虑到它们对后续的浮选作业的影响。

#### 4. 浮选

实验室浮选机的主体部分是充气搅拌装置和槽体。国产浮选机型号有挂槽式和单槽式两种。挂槽式浮选机的搅拌装置为装在实心轴上的简单搅拌叶片,空气完全靠矿浆搅拌时形成的旋涡吸入。尽管目前生产的规格是从最小的 5 ~ 35 克到最大的 2000 克,实际上槽体较大者常感到充气量不足。单槽式浮选机的充气搅拌装置是模拟工业用机械搅拌式浮选机制成,它由水轮、盖板、十字稳流格板、竖轴和充气管等部件组成,并设有专门的进气阀门调节和控制充气量,其规格有 0.5、0.75、1、1.5 和 3 升 5 种,都带有自动刮泡装置,除 3 升的槽体是固定的金属槽以外。其余均用悬挂式有机玻璃槽。近年来国内外还在研制一些更精密的浮选机,可以自动测量甚至自动控制某些参数,如矿浆 pH 值、氧化还原电位、甚至加药量。

浮选操作包括搅拌调浆和充气浮选两个阶段。

实验室搅拌调浆通常就在浮选机内进行,应尽量避免空气的吸入,因为空气中的氧对浮选的影响有时也很显著。在不少情况下调浆的浓度、强度和时间对浮选效果影响不显著,因而使不少试验工作者忽视调浆这一环节;可是在许多场合下调浆条件却对药剂的作用效果和过程的选择性起决定性作用,细微粒浮选时还影响到絮凝作用的进程,因而决不可掉以轻心。

浮选时须注意控制泡沫。在实验室浮选机中最好的泡沫层厚度通常不小于 20 毫米。如果泡沫层厚度小于 10 毫米,就可能将矿浆带入泡沫产品中。泡沫体积的控制主要靠分段添加起泡剂来达到。有时需添加泡沫调整剂。这就不仅是为了控制泡沫的体积,而且也是为了控制泡沫的性能,如大小和韧度等。限制空气给入量,特别是浮选开始那一阵,也可用作控制泡沫

体积的一种手段,但操作必须标准化。

浮选试验药剂的用量很少。因而通常需配成稀溶液后用吸量管添加,不溶于水的油类可用医用注射器按滴数添加,也可在添加或不添加乳化剂的情况下用乳化泵或搅拌式乳化器制成水乳液后添加。

浮选试验用水原则上最好就是今后生产用水,但一般不易做到,因而大多用自来水。若水质对浮选影响很显著,亦可用蒸馏水和去离子水,等到确定了主要变数以后,再来变动水的成分。

浮选时需要控制的还有 pH 值和温度。矿浆 pH 值最好用电极可插入矿浆中的电 pH 计测量。大多数浮选是在环境温度下浮选。并不调节,但在某些情况下,特别是在用脂肪酸类捕收剂浮选时,温度的影响可能很显著。

浮选产品脱水、干燥后称重,然后取样送化验,并根据产品产率和品位计算金属回收率。

### (三)浮选工艺因素的考察

各种矿石的浮选方案和流程,对于一个具有足够理论素养和实践经验的选矿研究人员来说,并不难以预先选定,只是对一些复杂的矿石,可能需进行多方案比较。可是,为了使所选定的方案能够得到满意的或可资比较的结果,却必须仔细调节各项工艺因素,这往往需要耗费大量的时间。

寻找最优工艺条件的试验方法,可分为两大类,一类是传统的一次一因素法,另一类是基于数理统计原理的试验最优化方法,即所谓“试验设计”。一次一因素法的主要缺点是,当各因素间存在着显著的交互作用时,可能作出错误抉择。但若研究工作者能够凭借自己的理论知识和经验。通过预先试验初步选定各项条件,在对欲考查的因素进行变动时,其他因素均已保持在相对较优的水平上,则靠一次一因素法同样能获得满意的结果。

系统地考察工艺因素的试验,习惯上称为条件试验。浮选条件试验考察的项目包括。磨矿细度,矿浆 pH 值;抑制剂、活化剂、捕收剂及起泡剂等药剂的种类和数量;矿浆浓度;矿浆温度;浮选时间等。试验顺序也大体如此。

在通过预先试验找出了大体合适的可供作为条件试验起点的浮选条件后,一般即首先安排做磨矿细度试验,因为磨矿细度决定着浮选入选粒度。对矿物组成复杂的矿石,在其他条件确定后,需再次校核磨矿细度。因而也

可以在一开始时不安排对比试验,而是根据矿石嵌布粒度特性,选择一个比目的矿物基本单体解离稍细一点的粒度磨矿,待其他条件试验做完后,再做磨矿细度试验。试验的具体做法是,取4份以上矿样,在相同条件下进行不同时间磨矿,然后分别浮选,比较其结果;同时平行地取几份试样,也在上述不同时间下磨矿,但将磨矿产品直接筛析,找出磨矿时间和磨矿粒度的关系。有时也可仅对结果较好的一、二个试点的试样进行粒度分析。选择试点时应注意使各点间磨矿细度而不是磨矿时间间距大致相等。试验后可绘制精矿品位和回收率同磨矿细度的关系曲线。若有用矿物颗粒共生关系简单,嵌有粒度较粗,就有可能在相当于有用矿物基本单体解离的磨矿细度左右,品位和回收率大致同时出现最高值;反之,就会出现二者难以兼顾的情况,这时应考虑是否需要阶段磨矿。

在泡沫浮选中,除矿物单体解离情况以外,矿浆 pH 值可认为是另一个决定性的因素。pH 值影响着矿浆表面性质、溶液中离子组成以及药剂同矿物间的作用。因而在药剂种类选定后,就应立即安排系统对比试验找出最优 pH 值。若药剂种类有变化,矿浆 pH 值的最合适值也会有变化。矿浆 pH 值通常通过加酸或碱来调节。除非所加调整剂对浮选过程还起其他作用,要求稳定控制的应是 pH 值本身,而不是酸或碱的量。

矿浆 pH 值、抑制剂用量、捕收剂用量和活化剂用量间,特别是前三项因素间常有较显著的交互作用,对它们须优先考虑是否有必要利用析因试验设计方法。

捕收剂用量,除了象其他药剂一样,可通过一组平行试验对比外,也可只通过一个试验,用分批加药的方法确定。但应注意到,在药剂总量相同的情况下,一次加药的效果和分比加药的效果并不一样。

其他工艺因素有时候需专门安排试验系统考察,有时则不必,须视具体情况而定。还有的可在操作中根据现象判断确定,如起泡剂用量。

#### (四) 开路和闭路流程试验

浮选条件试验主要是粗选试验,粗选尾矿就在原浮选槽中扫选,因而不必另行安排专门试验。粗选时刮出的粗精矿,需在小容积的浮选机中进行精选,目的是除去机械夹杂物,提高精矿品位。精选次数大多为 1~2 次,有时

则多达 7 次,例如萤石、辉钼矿和石墨粗精矿的精选。在精选作业中通常不再加捕收剂和起泡剂,但要注意控制矿浆的 pH 值。在某些情况下需追加抑制剂,甚至要在精选前将粗选泡沫产品特别处理,解吸脱药。着粗精矿中含有大量连生体,就需要考虑再磨。再磨时一般采用小规格的磨矿机并使用 12.5 毫米直径的球。对于带有解吸和再磨的精选作业,需安排系统的条件试验,确定从解吸或再磨起的各项工艺因素的最优值。

精选次数和条件确定后,即可做一次全流程试验,验证各项指标。精选尾矿和扫选精矿均单独收集、称重和化验,故称之为开路流程试验。矿石共生和嵌布特性复杂的,须注意考虑这些中间产品的组成和连生特性。

实验室闭路试验,是在不连续的设备上模仿连续的生产过程,目的是考察中矿返回对选别条件和指标的影响。具体做法是,按照开路试验选定的流程和条件,接连而重复地做几个试验,但每次所得的中间产品均仿照现厂连续生产过程,给到下一试验的相应作业。随着试验的往下进行,其他药剂的用量一般不必变更,但捕收剂(特别是带起泡性能的捕收剂)和起泡剂的用量须适当减少,减少幅度与药剂性能和中矿返回量有关,一般为 10~30%。从第三个试验起可能会出现平衡,平衡后药剂用量就不要再动。试验达到平衡的标志是,精矿和尾矿的重量和所含金属量均不再继续增加。当然,在试验进程中只能根据精矿量判断。

若试验达不到平衡则说明中矿返回后得不到有效分选,为此须对它的组成和处理方法作进一步研究。

根据闭路试验结果计算最终浮选指标的方法有三:

(1) 将所有精矿合并算作总精矿,所有尾矿并作总尾矿,中矿单独再选一次,再选精矿并入总精矿中,再选尾矿并入总尾矿中。

(2) 将达到平衡后的最后 2~3 个试验的精矿算作总精矿,尾矿算作总尾矿,然后根据

$$\text{总原矿} = \text{总精矿} + \text{总尾矿}$$

的原则反推总原矿的指标。中矿则认为进出相等单独计算。这与选矿厂设计时计算工业闭路流程物料平衡的方法相似(图 3-4-17)。

(3) 取最后一个试验的指标作最终指标。

我们建议采用第 2 个方法 现将这个方法具体说明如下。

设试验序号为  $i, i = 1, 2, \dots, n$ 。取最后三次, 即第  $n-2, n-1, n$  次试验结果的平均值作最终指标。用符号  $W, \gamma, P, \epsilon$  分别代表重量、产率、金属量、回收率, 足标  $f_i, c_i, t_i, m_i$  分别代表第  $i$  次试验的给矿、精矿、尾矿、中矿, 它们的品位则按原习惯仍用  $\alpha_i, \beta_i, \vartheta_i, \beta_{mi}$  代表。于是有:

每单元试验(后三次)平均精矿重量:

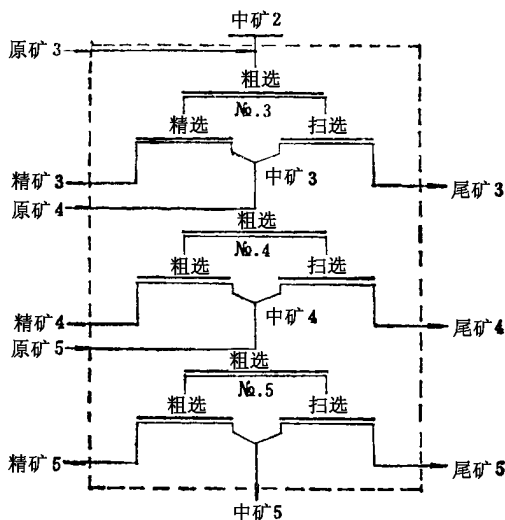


图 3-4-17 闭路试验计算示意图

(假定从第三个试验起即已达到平衡)

$$W_c = \frac{1}{3} \sum_{i=n-2}^n W_{ci} \quad (3-4-13)$$

精矿产率:

$$\gamma_c = \frac{\frac{1}{3} \sum_{i=n-2}^n W_{ci}}{\frac{1}{3} \sum_{i=n-2}^n W_{ci}} \cdot 100 = \frac{\sum_{i=n-2}^n W_{ci}}{\sum_{i=n-2}^n (W_{ci} + W_{ci})} \cdot 100 \% \quad (3-4-14)$$

精矿加权平均品位为:

$$\beta = \frac{\sum_{i=n-2}^n W_{ci} \cdot \beta_i}{\sum_{i=n-2}^n W_{ci}} \quad (3-4-15)$$

有用金属在精矿中的回收率:

$$\epsilon_c = \frac{\sum_{i=n-2}^n W_{ci} \beta_i}{\sum_{i=n-2}^n (W_{ci} \beta_i + W_{ci} \vartheta_i)} \cdot 100, \% \quad (3-4-16)$$

类似地可以算出尾矿的指标  $\gamma_t$  和  $\epsilon_t$ 。中矿虽不参与平衡,但其  $\gamma_m$  和  $\epsilon_m$  也是可以计算的,只不过应该注意到,我们得到的只有最后一次的中矿,而不是后三次试验的总中矿。

有人还采用另一种方法——不是将最后三个试验的金属量直接累计起来,而是按下式分别计算每一个试验的回收率:

$$\epsilon_{ci} = \frac{\beta_i(\alpha_i - \vartheta_i)}{\alpha_i(\beta_i - \vartheta_i)} \cdot 100, \% \quad (3-4-17)$$

式中  $\alpha_i$  认为是不变的。若最后几个试验的  $\epsilon$  值是相近的,就可直接取其平均值作最终结果。

## 九、浮选药剂试验

浮选药剂试验的目的通常是,开发和研究某一(类)具体矿石的浮选药剂,考察它的浮选效能和应用条件,有时候还要考察它(同矿物表面)的作用机理,据此判断下一步合成的方向。下面以捕收剂和起泡剂为例,介绍有关试验技术。

### (一)捕收剂试验

#### 1. 直接浮选试验

捕收剂的浮选效能和应用条件,一般直接通过浮选试验确定。浮选对象可以直接采用天然矿石,也可先用纯矿物探索,然后用天然矿石验证。方法有:

(1) 常规浮选试验法 试验技术与研究具体矿石选矿工艺的浮选试验相同。试验程序是,将所研究的药剂同传统使用的标准药剂对照,分别做矿石浮选试验,寻找最优浮选条件,然后在各自最合适的条件下,分别按分批加药、分批括泡的办法做验证实验,找出浮选回收率和品位同精矿产率、浮选时间、捕收剂添加量等的关系。

为了评价捕收剂的捕收力,既可直接用回收率  $\epsilon$ ,也可用浮选速率常数



$k$  做判据。前一法较直观,后一法则反映了浮选过程的动态,因为不少矿物的浮选分离,仅仅是靠了它们之间浮选速度的差异。为了评价捕收剂的选择性,既可用  $\epsilon = f(\gamma)$  曲线,也可用  $\epsilon = f(\beta)$  曲线,详见本书本篇第 4 章。

(2) 无沫浮选等纯矿物浮选试验法 无沫浮选法是指不形成泡沫层的浮选试验方法。最简单的无沫浮选法当推“泡拣法”,它是用一根尾部带橡皮球或封闭橡皮管的玻璃管,产生单个气泡,拣取(粘取)矿物颗粒。待试纯矿物试样每次称取量为 0.5 克左右,在烧杯中与 200 毫升调好 pH 值的药剂溶液按规定时间搅拌后,即可用玻璃管尖嘴处形成的气泡拣取。拣出矿粒占矿粒总数或在最优条件下最大可能拣出数的百分率,可用作浮选回收率判据。显然,利用泡拣法的原理可以设计各种不同的研究气泡与矿粒接触条件的自动仪器。例如,爱格列斯的接触仪,可用研究在不同浮选条件下和不同接触时间下,气泡与矿粒粘着和不粘着的临界条件。

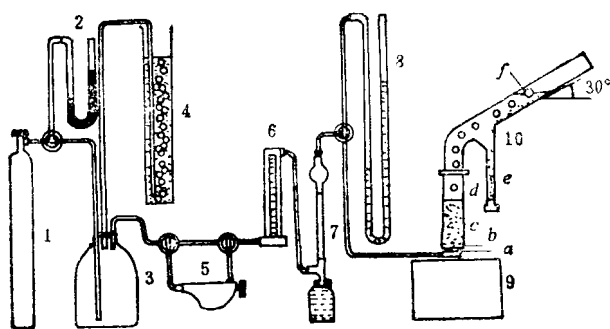


图 3-4-18 单泡浮选试验装置

- 1-氮气筒 2-水银压力计 3-储气瓶 4-压力调节器 5-针阀 6-转子流量计 7-皂膜流量计 8-水柱压力计 9-电磁搅拌器 10-单泡浮选管  
 a-多孔板 b-磁棒 c-矿浆 d-34.5×35 毫米磨砂接口 e-浮出矿粒 f-液面

最常用的无沫浮选法应数单泡浮选法,图 3-4-18 所示即为单泡浮选试验装置,其主体部分是单泡管(Hallimond 管)10,由玻璃或有机玻璃制成,底部为多孔烧结石英砂滤板或毛细管,孔径 40~60 微米,净化后的空气由此处进入浮选管。每次试验用样 1~3 克,在烧杯中与浮选药剂溶液搅拌后同溶液一起移入浮选管内,靠电磁搅拌器的磁转子的搅拌作用,保持悬浮状态。可浮的矿粒与从底部吸入的气泡接触后附着在气泡上,并随气泡上升。至液

面后气泡破裂,矿粒落在承矿管中。将上浮矿粒和未浮矿粒分别放出烘干,称重,即可算出回收率。每次试验时均需准确地控制浮选时间和进气量,试样应预先脱泥和分级,一般用 $-0.15+0.075$ 毫米的级别。

若纯矿物试样数量比较充分,则不少研究工作者宁愿使用小型浮选槽做浮选试验。槽容积为 $50\sim150$ 毫升,每次用样 $3\sim10$ 克,槽内构造愈简单愈好,因为这可避免器壁或缝隙中的粘附损失。试验的重复性一般比单泡法好。

纯矿物一般用人工挑纯,也可用对矿物表面性质和可浮性没有影响的其他选矿方法富集,如摇床、磁选、电选等。应注意避免污染。纯矿物粉碎须在材料比矿物硬且对浮选影响小的设备中进行,常用研钵和瓷磨。硫化矿还应注意防止氧化,制成的矿样须置密闭容器或惰性气体中于低温处保存。为了除去表面上原来存在的杂质、制备过程中的污染以及硫化矿表面的氧化层,试样通常还要用物理方法(机械擦洗或超声波)或化学方法处理。С.И.米特罗方诺夫(Митрофанов)的著作中曾列出了一些矿物的表面处理方法。例如,黄铁矿可用 $1:1$ 的盐酸处理;方铅矿可用 $15\%$ 的醋酸铵溶液或 $2\%$ 的氢氧化铍(钾)溶液处理;闪锌矿和辉铜矿用盐酸处理,黄铜矿用氰化钾(钠)处理。重晶石、石英、锡石、以及其他难溶氧化物用浓盐酸;白钨矿和萤石用稀盐酸处理。Р.索玛桑达伦(Somasundaran)的著作则指出,盐酸或氢氟酸作用太强,因而最好使用稀硝酸或高氯酸清洗纯矿物。 $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{Cl}^-$ 一样,不会吸附在矿物表面上。因而硝酸和盐酸照理都不会给矿物表面带来新的污染。

## 2. 浮选药剂与矿物表面作用产物和吸附量的检测

浮选药剂在表面的吸附,促成了矿物表面产生有利于浮选的变化。研究浮选药剂同矿物表面的作用,可以(1)指出药剂合成的方向(2)查明浮选指标同矿浆性质及药剂制度的关系,从而有助于确定过程控制的模型和参数。研究的内容包括,鉴定作用产物的性质、结构及其在矿物表面的分布,测定其吸附量和牢固程度等。因而首先要做吸附试验,然后再对吸附物进行检测。

### (1) 吸附试验

为了比较浮选试验和吸附试验的效果,吸附试验的工艺条件应尽可能地同浮选相近。吸附量(克/米<sup>2</sup>)的测定方法有三:①直接测定吸附在矿物表面

的药剂量 ;②将吸附在矿物表面的药剂用不会同药剂反应且不干扰检测的溶剂萃取下来进行分析 ;③测定吸附后溶液中药剂的剩余浓度 ,据此间接计算吸附量 ,显然只有药剂在矿浆中不发生其他变化的情况下 ,方可采用此法。如果条件允许 ,最好直接法和间接法同时进行 ,相互校核。

最简单的吸附试验方法 ,就是直接用药剂溶液在模拟浮选条件的情况下处理所研究的单矿物试样 ,然后用过滤或离心沉降法使试料和溶液分离 ,再测定矿物表面或(和)溶液中的药剂量。吸附试验中可能会影响检测结果的问题有 :

①单矿物溶液和矿浆中离子组成不同。为缩小吸附试验条件和实际浮选在这方面的差别 ,可利用矿物混合物矿浆滤液代替普通水做吸附试验 ;也可以人为地添加矿浆中的难免离子 ,考察其影响 ;也可使用多通道吸附柱——吸附柱分成若干格 ,分别装填几种相关的矿物试样 ,按渗滤法进行吸附试验 ,使渗滤液流出后混合 ,再返回柱中 ,如此反复多次 ,就可使渗滤液中离子组成与混合矿浆滤液大致相同 ,而又可分别测定不同矿物表面上药剂的吸附量。

②用直接法测量时 ,检测对象是矿物表面单分子层数量级的药剂 ,同矿物本身相比 ,数量甚微 ,不易检出。象胺这一类吸附较弱的药剂 ,难度更大。唯一办法将试料尽可能磨细。因而直接法往往比间接法对试料的细度要求更严 ,经常须磨到小于 5 微米 ,甚至 1~2 微米 ,才能获得满意的结果。

③浮选矿浆中药剂浓度通常很低 ,在低浓度下许多浮选药剂会很快地分解。如果采用间接法 ,应避免让矿浆滤液搁置过久。为了要获得一条吸附曲线 ,往往要在不同浓度下同时做一批试验 ,为了减少搁置时间对吸附量测定的不利影响 ,必须尽可能地缩短操作和间歇时间 ,将含有剩余药剂的溶液送专业检测单位长时间搁置待检的做法是不可取的。采用直接法时 ,关键是要将已吸附药剂的试样在真空低温下及时晾干 ,避免在干燥和放置过程中使表面组成发生新的变化。

## (2) 分光光度测定法

原则上一切有机分析均可用于(有机)浮选药剂研究 ,早期使用的微量化学分析法和以电化学为基础的仪器分析方法检测精度均嫌不够。目前用于

浮选中有机药剂定性和定量分析的主要手段是分光光度测量法,覆盖的光谱区从紫外,可见到红外区。比色法可看作是现代分光光度测定技术的前身。例如,向待测的黄药溶液中添加醋酸缓冲液( $\text{pH} = 5.2$ ),再添加硫酸镍溶液,使生成黄原酸镍,用甲苯萃取后,即可用蓝色德光镜进行比色测定,检测灵敏度达  $0.01$  毫克/升。

**紫外/可见分光光度法** 浮选药剂研究使用的紫外/可见分光光度计工作波长范围一般从  $185 \sim 200$  纳米至  $2.5$  微米。通常用来测定溶液或萃取液中的浮选药剂。检测的灵敏度和范围取决于被测物和溶液在检测波长范围内的消光系数。在水或乙醇-水溶液中的黄药离子,在紫外区可被检测、定量的谱带位于波长  $\lambda$  为  $226$  和  $301$  纳米处,检测浓度可低至  $10^{-6}$  摩尔/升左右。烷基胺能同氢化茛  $1,3$  二酮或甲基橙生成可萃取和显色的络合物,可利用这一性质进行烷基胺的定量分析。其他一些捕收剂的特征紫外吸收峰位置(纳米)如下。二黄原  $240$  和  $280$ ;黑药  $227$ ;油酰胺基乙酸  $210$ ;苯乙烯磷酸:  $256, 8\text{-羟基喹啉 } 360$ 。

**红外分光光度法** 红外区可利用的波长范围大致为  $2.5 \sim 50$  微米。由计算机支持的现代红外光谱技术,只要有  $1$  微克待测物质存在于检测样品中,就可得到完整的谱图,从而使红外分光光度法可以在许多情况下用来测定矿粒表面单分子层数量级的微量吸附物。样品中矿物颗粒的散射作用影响光谱的获得,油糊法和溴化钾压片法制样有助于减少这一不利的效应。溴化钾压片法在浮选药剂的研究中目前被看作是最主要的样品制备技术,至少对透明矿物是如此。对于不透明矿物和金属,可能需要使用衰减全(内)反射技术:在真空中蒸馏矿物使其沉积于抛光的反射面上,然后再将沉积的矿物膜镜面浸在浮选药剂溶液中,作用后移出,置光路中,测量从镜面上(多次)反射的光束,获得光谱。溴化钾压片是一种非原样技术,而衰减全(内)反射是原样技术,但操作比前法复杂得多。

### 3. 其他检测方法

在有机分析方面,值得提出的检测技术还有核磁共振、质谱及高效液相色谱法。后者作为一种操作快和花费小的分离技术近年来已愈来愈多地用于实验室。用高效液相色谱技术将有机混合物先分离成各种单独组分,再用

质谱、核磁共振或红外光谱法分析,可以更有效地确定化合物结构。

作为一种表面分析技术,X射线光电子能谱法和俄歇电子能谱法在浮选理论研究中亦获得了相当广泛的应用,X光电子能谱法目前主要用于鉴定硫化矿表面暴露于空气和水溶液后组成的变化及其同药剂作用后的键合状态(包括化学吸附)。俄歇电子能谱能检测厚度仅0.1~1纳米的薄层,研究表面组成沿深度的变化,考察表面作用的细节。

作为一种研究方法,还可将表面反应看作是一种多相化学反应,进行过程的热力学计算。在这方面,电化学技术将是一种非常有用的研究手段,并且日益广泛地被用在硫化矿浮选理论研究领域中。在非硫化矿浮选领域里,不能把表面反应看作是一种电极反应,而只能利用界面电性质测定技术,考察浮选药剂在矿物表面双电层中的作用。后一方法,同样适用于硫化矿体系。

将放射性同位素合成到浮选药剂中,不仅可以直接测定矿物的表面药剂的吸附量,而且可以借助于自辐射照相术研究药剂在矿物表面的分布。

## (二) 起泡剂试验

起泡剂效能考察,可以采用下列几种方法(1)常规浮选试验法,直接考察起泡剂浮选效果(2)考察起泡剂对水的表面张力、气泡在水中的弥散度以及所产生的泡沫的体积和稳定性的影响。

### 1. 直接浮选试验

与捕收剂效能试验一样,做起泡剂浮选效能试验时,须选用一种基准起泡剂作对照。试验按分批加药和分批刮泡的办法进行。捕收剂一般分作两次添加,每次加好捕收剂后分几次添加起泡剂并分别刮取泡沫产品,只有到靠单纯添加起泡剂不能得到矿化泡沫时才添加下一份捕收剂或中止浮选,数据的处理方法与捕收剂效能试验时相同。

### 2. 表面张力的测定

起泡剂等表面活性剂溶液的表面张力可用多种方法测定,如毛细管上升法、最大泡压法和滴重法,而最常用的是利用一天平装置测定将一水平悬浸于液体中的环或垂直悬浸于液体中的薄片扯出液面所需的力,此类表面张力测定仪可从市场上直接购得。

### 3. 气泡弥散度的测定

起泡剂对气泡在矿浆中弥散度的影响,可用在一定药量和一定的充气量下气泡尺寸的分布特性来评价。测定矿浆中气泡尺寸的最简单办法是在浮选槽中的某一给定地点摄影,根据摄影结果分别统计不同尺寸气泡所占的比率,并进一步算出平均直径  $d_{ep}$ 。 $d_{ep}$  愈小,表明气泡弥散度愈好。为此须有一部高速摄影机。

### 4. 泡沫体积和稳定性的测定

测定泡沫体积和稳定性的基本用具是一个可以测量泡沫层高度的量筒。为了产生泡沫,可以采用下列两法(1)在量筒底部接装一个烧结石英砂滤器,经此鼓入空气,进入的空气量可以调节和测量(2)用底部带水平多孔板的垂直搅拌棒上下搅拌,此时最好将多个量筒装在同一摇搅装置上,这样就可在相同的充气条件下考察起泡剂种类和用量的影响。判据是不同条件下泡沫的高度和寿命(半衰期),有时还要测定泡沫的含水量或三相泡沫的含水量和含泥量。

## 十、拣选及其他特殊选矿试验

拣选等特殊选矿过程应用范围均不广,其试验方法也未完全标准化,本书介绍一些要点,供读者参考。

### (一) 拣选试验

拣选包括人工手选及利用矿石的光学性质、放射性和电性等进行自动拣选的过程。

手选劳动生产率低,劳动强度大,目前仅用于用其他方法难以奏效的场合,其目的可以是为了得出相对纯的精矿,也可以是为了丢弃废石。例如,我国不少黑钨矿床,围岩为灰岩等,密度大于脉石,因而无法用重介质选矿法丢弃开采时混入的围岩废石,不少矿山仍不得不采用手选。

手选试验的目的有(1)确定手选选别指标(2)确定手选劳动效率,即单位时间内每一个手选工可拣出的矿块数量。

为了便于辨认,手选前通常需洗矿并筛分成不同粒级。精矿、尾矿和洗下的矿泥均需分别计重、化验,并据此计算金属平衡。

手选劳动生产率与矿块的大小、密度、辨认的难易度以及物料流的连续性有关,而后一因素在实验室内无法考察,一般每一手选工每分钟可拣出的矿块数不超过 10 块。

光电拣选法是利用矿块反光能力、透光能力和颜色的差异,通过光电管控制机械,自动拣选。可用于拣选岩盐、重晶石、金刚石和水晶等许多矿物原料,或作为一种预选手段拣除矿石中的废石,也可用来分选废玻璃等再生资源。萤光或 X 射线拣选法亦属于此类型。

放射性拣选法主要用于拣选天然放射性矿物,如铀矿,但也可用于拣选人工放射性矿物,如铍和铜矿石。基于矿物导电性差异拣选的方法则曾试图用于选别块状铁矿石和钛铁矿石。

矿石用上述各种自动拣选法处理的可能性可根据其相关的物理性质判断,然后用实验室型设备或小规格工业设备做选矿试验,确定其可能得到的选别指标和相应的工艺参数。

## (二) 按形状选矿法试验

按形状选别的方法主要用于加工云母和石棉矿。为了确定矿石的可选性和可能的选别结果需将矿石试样按形状分为若干组分,根据其称量和化验结果建立可造性曲线,再从曲线上找出合适的分选界限和能够达到的选别指标。

选分设备通常为不同类型的筛子。在粒度相同的情况下片状的云母将比浑圆形和多角形的杂石难通过筛孔。试验时要考察筛孔形状和矿石在筛面运动特性时选别效果的影响。

## (三) 选择性碎选试验

若有用矿物和脉石对破碎(或磨碎)的抵抗能力不同,则在利用适当的设备使矿石破碎后,有用矿物将富集在某一粒级中,下一步便可用筛分的方法使贫、富产品分离。例如,选择性破碎可用于石棉矿选矿,选择性磨碎可用于石墨矿选矿。为了使破碎过程具有良好的选择性,应利用不产生强迫形变的冲击力。最佳冲击条件须通过试验确定。破碎产品筛析后各粒级分别计量和化验,并据此绘制可选性曲线。

## (四) 摩擦选试验

应用摩擦选矿过程的可能性是根据有用和无用成分摩擦系数的差异判

断。为了评价矿石用摩擦选的可选性,须测定具有不同摩擦系数的各组成部分的产率和重量,并据此建立可选性曲线。试验前须将试样预先烘干和分级,细粒(例如,小于0.2毫米)不入选。摩擦选矿过程主要用于处理石棉矿,也可用来选煤。由于颗粒的形状决定着摩擦力的大小,因而摩擦选矿过程也可用来按形状分选物料。

### (五)按弹性分选试验

按弹跳性可以从页岩、砂岩和粘土等杂质中选出建筑用砾石,也可用于选别石棉和煤。试验时要确定弹性板的材料和倾角以及矿石对弹跳板的冲击力(落下高度)。试样选别前同样必须分级。

## 十一、化学选矿试验

一些矿产原料,由于矿物颗粒嵌布极细、品位低或组成很复杂,单纯依靠普通选矿方法往往得不到满意的结果,因而须采用各种化学方法,首先是浸出工艺,直接处理原矿石,或作为联合流程中的一环,处理选矿中间产品。在金、银、有色金属、铀和钾盐矿的选矿中,经常可以见到使用化学方法的例子。

### (一)焙烧和煅烧

焙烧过程往往被作为一种预先处理过程用在各种选矿作业前,目的是改变矿物的组成或表面组成使之能用相应的选矿过程选别,例如,磁选前的还原焙烧、离析-浮选法中的氯化还原焙烧、钴黄铁矿水冶前的硫酸化焙烧以及铜钼混合精矿分离前的焙烧脱药作业等。

实验室焙烧试验技术前面已作过简要介绍,须注意的是,在实验室马弗炉和管状炉中所作的试验仅能看作是一种预先试验,一切较深入的研究均需在半工业型设备中进行。

### (二)浸出试验

实验室浸出试验是研究用酸、碱或氰化物等溶剂选择性溶解金属离子的过程。溶解对象可以是有用成分,如铜、铀或金,也可以是产品中的杂质,如锌精矿中的 $MgO$ 、钼精矿中的铜,或者是从石英砂中除铁。

#### 1. 渗滤浸出

渗滤浸出是指让浸出剂自然渗过待浸料层的溶浸方法。只限于处理块



状和粒状物料,不能处理泥质物料。在工业上渗滤浸出分为堆浸和就地浸出两类。堆浸的做法是,把低品位矿石堆积在采场附近宽广而不透水的地基上,进行浸出。就地浸出是在未采掘的矿床中,或地下和露天开采的废坑中,就地浸出。显然,对于堆浸和就地浸出,特别是就地浸出,实验室内能做的工作不多,研究工作者的主要任务将是对矿床的调查和矿石组成特性的研究,然后用块状矿石在实验室渗滤柱内做一些模拟性的初步试验。

试验用渗滤管由玻璃管、硬塑管或石棉等耐腐蚀材料制成,底部填以玻璃纤维等过滤介质,其尺寸视试料量而定,但至少应大到足以不致明显受到器壁效应的影响,浸出剂可用高位液槽由上部以一定速度给入。为了便于循环,也可用耐腐蚀泵给入。浸出液由底部流入收集容器。每批浸出剂反复通过试料展多次,而每更换一次浸出剂称为一个浸出周期,浸出结束时应用水冲洗料后。浸出率根据原矿和滤液化验结果计算,并用浸渣化验数据校核。试验时须考察的变数有:浸出时间和温度、给料尺寸、浸出剂浓度和消耗量以及必要的添加剂。

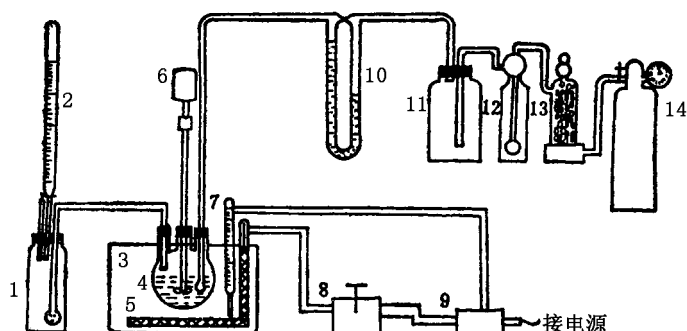


图 3-4-19  $\text{SO}_2$  浸出小型试验装置

- 1—吸收瓶(内装 5%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 2—碱滴定管 3—水浴 4—三口烧瓶 5—加热器;  
6—电动搅拌器 7—水银导电表 8—调压变压器 9—电子继电器 10—毛细管流量计 11—缓冲器 12—气体洗瓶 13—气体干燥瓶 14— $\text{SO}_2$  钢筒

## 2. 常压搅拌浸出

搅拌浸出主要用于浸出细粒和矿泥,浸出时间短,应用广泛,试验也容易做。但是,残余物的液固分离往往是一个麻烦的问题,因而必须将这部分内容列入试验计划中。

实验室试验一般是在 500 ~ 1000 毫升的三口瓶或烧杯中进行。有时也采用自行设计的其他形式。如充气搅拌式。图 3-4-19 是  $\text{SO}_2$  浸出小型试验装置。试样在三口瓶中进行常压加温浸出。为使矿装成悬浮状态,一般采用电动搅拌器搅拌。水浴温度可自动调节。二氧化硫加入量可由毛细管流量计测定,残存在废气中的二氧化硫量可用化学分析方法测定,据此可算出二氧化硫的消耗量。需要考察的因素除了在渗滤法中已经提及者外还有搅拌速度和矿浆液固比。

### 3. 高压搅拌浸出

常压浸出时温度不会高于约  $100^\circ\text{C}$ ,在有气体(首先是氧)参与反应时,其分压或浓度通常很低。若能提高压力,就可提高反应温度和反应气体分压,从而大大强化浸出过程,甚至使常压下不可能溶解的成分溶解。

实验室试验一般在 1 ~ 2 升机械搅拌式电加热高压釜中进行。除了一般的浸出参数以外,高压下还应特别注意下列物理化学状况:氧的溶解度与温度、压力和电解质浓度的关系,重金属盐溶解度与温度的关系,以及随温度而变化的水解条件。

### (三) 置换沉淀

从浸出净液中回收金属可采用沉淀法、溶剂萃取、离子交换、电解等。沉淀法又分为水解沉淀法、离子沉淀法、金属沉淀法(置换沉淀法)、气体沉淀法(氧化还原沉淀法)、结晶法。近年来又出现一些特殊方法,如用活性炭吸附氰化浸出矿浆中的金,再用筛子分离载金炭和矿浆。

置换沉淀过程可由电极电位数值预测,例如,铁可沉淀铜是因为铁的正电位比铜高,同理,锌可置换金和银。

除了从浸出净液中置换沉淀以外,还可考虑直接从浸出矿浆中直接置换沉淀,然后再用选矿方法从矿浆中回收沉淀物。例如,氧化铜-硫化铜混合矿石,可采用浸出-沉淀-浮选法处理。此法的优点是可以免去庞杂的浸出液和浸渣分离的作业,且可同时回收靠单一浸出法难以回收的硫化铜矿物和金。置换试验时要确定沉淀剂的用量和粒度,搅拌时间和强度,浮选试验按一般程序进行。

### (四) 离子交换

离子交换法指的是溶液中的离子与固体离子交换剂(树脂)间的可逆离

子交换过程,在此过程中固相本身并不发生永久性的变化。第一步——溶液中的离子选择性地转入固相——称为吸附,第二步——用适当的试剂淋洗固相,使离子重新转入液相——称为淋洗。例如,可以用离子交换树脂从浸出液中提取铀,然后用硝酸或硝酸铵溶液淋洗树脂,以达到使铀富集的目的。

离子交换装置和工作方式可分为静态和动态两大类。静态交换是指液体料流与离子交换树脂相对静止,而并不排斥搅拌运动。静态交换在工业上应用不多。但在实验室内。作为一种分批试验方法,应用于小规模初步实验,却是比较方便的。例如,可在梨形分液漏斗或三角烧瓶中使溶液与树脂接触达到吸附平衡——静力学平衡。动态交换是指液体料流或树脂在流动状态下进行交换,一般在交换柱内进行。动态交换可进一步分为固定床式和悬浮床式两类,前者料液由上往下流动,后者料液是由下往上流动,一般常用前者。交换柱可用玻璃管或有机玻璃管制作,尺寸为  $\phi 10 \times 300$  毫米至  $\phi 25 \times 2000$  毫米,柱底有一筛板,上铺玻璃丝,阻止树脂漏出。

试验时需要首先了解料液的成分和酸度,根据料液中欲回收的离子的状态,选用离子交换树脂。例如,在铀的回收体系(阴离子体系)中,可选用强碱性或弱碱性树脂。前者吸附强度大而选择性较差,后者密度(比重)较小故不适宜用于悬浮床柱内。

实验室试验需试验的操作变数有:树脂的类型、交联度和粒度,淋洗剂的浓度和 pH 值,料液的浓度、温度和流速等。需考察确定的为:树脂的选择性、吸附曲线和淋洗曲线。

### (五)溶剂萃取

溶剂萃取法应用于铀、铜以及其他一些稀有和有色金属的水冶过程中,与离子交换有许多类似处,故可看作是液相离子交换。这里是用有机液体从金属离子水溶液(浸出液)中萃取金属,然后让两相分离,分离出并洗涤后的有机相又用酸、碱等水溶液反萃,使被萃取物又从有机相转入水相中。洗净有机相可重复再用,水溶液中的金属则可用沉淀和电解等常规方法回收。

实验室分批试验可用分液漏斗做萃取器。初次试验时有机相可按下列比例配制:萃取剂 5~10%、添加剂癸醇 2.5~5%、余量为稀释剂煤油。有机相与水相的体积比即相比暂取 4,共置分液漏斗中用手或机械摇荡,使两相

充分接触。待分配达到平衡后静置,让两相分离。按上述方式进行一次萃取,称为一级或单级萃取。一级萃取常不能达到所希望的富集、分离效果,而须采用多级萃取。实验室条件试验阶段一般常采用单级萃取和错流萃取,其流程如图 3-4-20 所示,图中方框代表分液漏斗或萃取器。铝流萃取法在实验室内可用来测定萃取剂的饱和容量,即所能萃取金属量的极限值。

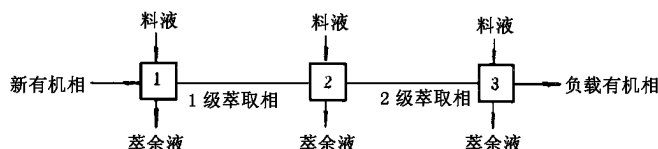


图 3-4-20 错流萃取示意图

试验时,首先必须了解料液的性质和组成,据此选择萃取体系,然后通过试验,选择合适的操作参数,这包括:有机相的组成和各组份间的比例、萃取温度、萃取时间、相比、料液的酸度和被萃取组分的浓度、盐析剂的种类和浓度。萃取条件确定后还要考察洗涤作业和反萃取作业各工艺因素对过程效率的影响。

任何一级萃取中,进入有机相的有价金属量与萃取原液中有价金属总金属量之比的百分数,称为萃取率:

$$E = \frac{mD}{mD + 1} \cdot 100, \% \quad (3-4-18)$$

式中  $m$  为相比; $D$  为分配系数,即萃取达到平衡时,被萃取物在两相(有机相和水相)中的浓度比。分配系数和萃取率均是度量过程效率的判据。当用溶剂萃取法分离两种金属 A 和 B 时,可用两种金属分配系数的比值,即分离系数

$$\beta_{A/B} = \frac{D_A}{D_B} \quad (3-4-19)$$

度量分离效率。

条件试验结束后可安排串级模拟试验,其做法与实验室浮选闭路试验类似,是一种模拟生产连续过程的多级分批试验,萃取器仍用分液漏斗等。然后可进一步在模拟工业设备的实验室连续试验设备(槽式或塔式)中做连续串级试验。

## 十二、固液分离试验

### (一) 概述

选矿最终产品的固液分离作业是整个选矿流程中不可忽视的重要一环。实践中会碰到这样的情况,某一工艺方法可以给出满意的选别指标,却因固液分离问题难以解决而不能被采用。因而在矿石可选性研究工作中必须做固液分离试验。

固液分离过程包括下列作业(1)筛分脱水(2)旋流器脱水(3)浓缩;(4)离心机脱水(5)过滤(6)干燥。

其中筛分作业主要用于粒粒产品脱水,如煤炭和砂粒。旋流器用于细粒煤的脱水,或与浓缩机联合用于重选和浮选产品的脱水。离心机用于极细矿泥的脱水。本节将仅讨论选矿厂应用最广而前面各节尚未涉及的浓缩和过滤过程的试验技术。

### (二) 浓缩试验

浓缩试验的目的是提供计算浓缩机面积所需的原始数据。

#### 1. 试验方法和原理

当给入的料液极稀时,浓缩机的作用相当于一个澄清池。浓缩机的面积将基于下列原则计算,浓缩机中澄清水的上升速度应小于欲回收物料中最细粒的沉降速度。知道了所允许的极限上升流速后,就可计算单位面积的极限流量,即最大处理量,考虑到可能的波动,通常需乘一个安全系数。至于分离粒度,可以象分级机那样,通过粒度分析数据建立分配曲线,取粒度分配曲线上的 $d_{50}$ 作为分离粒度。当然在这样细的粒度范围内,粒度分析是比较难以做得很准确的。边界粒子的沉降速度可利用斯托克斯公式计算,也可通过实验确定。必须说明的是,此处需测定的是单颗粒子的沉降速度。此类沉降现象称为单颗粒沉降现象,废水或新水净化澄清池属于这一范畴。

选矿产品的浓缩,固体料浆浓度大,需引入一个新的概念。即区域沉降概念。在连续工作的浓缩机中,矿浆沿上而下分为三区:澄清区、沉降区和压缩区。实验室试验则可在1000毫升带毫米刻度的量筒内进行。取例如100克矿样,同水(最好是矿浆清液)混合。配成一定浓度的矿浆,装入量筒,搅匀

后静置,即可出现分区现象,上层是澄清区,中间是沉降区,下部是稠密的压缩区,它们是基本的三个分区。此外,沉降区和压缩区间往往界限不清而存在一个过渡区,矿浆中的少许颗粒在沉降一开始时会很快落至底部而形成一个大粗粒区。试验的任务在于测定澄清区和沉降区界面高度与沉降时间的关系,即所谓沉降曲线或分批沉降曲线,并据此确定为计算浓缩机面积所需的沉降速度数据。这一理论的前提是假定沉降区中所有粒子均按同一速度下沉。此速度同粒度和密度无关,而仅取决于该高度处的矿浆浓度,并假定水平方向不存在浓度梯度。

温度对沉降速度的影响很大,因而试验应在预期的工业生产温度下进行。矿浆加热后即使再冷却,沉降速度也比未加热前快,因而在浓缩前是否有加热工序,也必须与今后生产一致。在一般的情况下,沉降试验不考虑添加凝聚剂。若矿浆含有粘土等极细的泥质物,不加凝聚剂很难沉降,就得做添加凝聚剂助沉的试验,但须考虑到添加凝聚剂后沉砂水分可能增高,对下一步过滤作业也会有影响。

## 2. 沉降面积的测算

根据沉降试验结果测算沉降面积的方法。主要有两类,一个是柯依和克里芬奇(Coe, H. S. and Clevenger, G. H., 1916)法,一个是昆奇(Kynch, G. H., 1952)法。尽管后来不少学者又对昆奇法作了许多补充、修正和发展(如 Talmage and Fitch, Oltmann, Yoshioka 等),却至今仍有不少人支持并宁愿使用柯依-克里芬奇法。二者在试验方法上的差别是,由于矿浆浓度不同,沉降速度不同,因而柯依法要求做一系列不同浓度矿浆的沉降试验,而昆奇法只要用一份比实际可能的给浆稍稀一点的矿浆做一次沉降试验,然后利用沉降曲线求算不同浓度下的沉降速度。二种方法的相同处在于,都是按照前述区域沉降概念测定沉降速度,根据沉降速度确定浓缩机单位面积溢流水量的极限值,再根据设计处理量及给浆和沉砂液固比算出浓缩机的设计总溢流量,总溢流量同单位面积溢流水量的比值,就是所需沉降面积。因而,试验的任务均在于测出(区域)沉降速度。

### (1) 多次沉降试验法

取一组量筒,装入不同浓度的矿浆。最稀的不小于浓缩机设计给浆浓

度,最浓的不大于沉砂浓度。将各量筒中的矿浆分别搅拌均匀后静置沉降,用秒表记下澄清层同矿浆分界面下降至不同高度处的时间,绘成沉降曲线。沉降曲线的斜率由陡变缓,一般有两个转折点。第一个转折点较明显,叫做临界点,代表依靠固体从液体中沉降分离进行脱水的阶段结束,开始进入压缩脱水阶段。临界点处沉降距离(澄清区高度)同沉降时间的比值,就是沉降速度,可用来计算沉降面积。第二个转折点代表压缩脱水阶段结束。压缩脱水阶段的沉降距离,对测算浓缩机高度有用。

## (2) 一次沉降试验法

这个方法是用低浓度(例如,液固比  $R = 10:1$ )矿浆做一次试验,测定澄清层分界面的沉降距离同时间的关系,绘制沉降曲线(如图 3-4-21),然后利用所得到的沉降曲线,计算试验范围内任意矿浆浓度下的沉降速度。

设试验矿浆浓度(固体含量,千克/升)为  $c_0$ ,对应的矿浆分界面高度为  $H_0$ ,确定给入浓缩机的矿浆浓度为  $c_p$ 。在此浓度下矿浆分界面高度为  $H_p$ ,则存在着下列对应关系:

$$c_p H_p = c_0 H_0 \quad (3-4-20)$$

任一浓度( $c_p$ )下的  $H_p$  值,均可由上式算出。再在图 3-4-21 纵坐标上找  $H_p$  点,经  $H_p$  点作沉降曲线的切线,这根切线的斜率就等于浓度为  $c_p$  时的沉降速度  $v_p$ ,同横坐标的交点就是相应的沉降时间  $t_p$ 。  $v_p = H_p / t_p$ 。

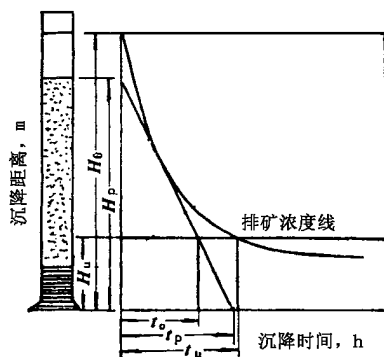


图 3-4-21 沉降曲线

不论采用哪种试验法,浓缩机的沉降面积均可按下式计算:

$$S = \frac{R_p - R_u}{v_p} \quad (3-4-21)$$

式中  $S$ ——浓缩机每处理一吨矿石所需的沉降面积；

$R_p$ ——给浆中液体量和固体量的比值；

$R_u$ ——沉砂中液体量和固体量的比值。

如果用对应的固体含量值  $c_p$  和  $c_u$  取代液固比  $R_p$  和  $R_u$  就有：

$$S = \frac{\delta(c_u - c_p)}{c_u c_p v_p} \quad (3-4-22)$$

式中  $\delta$  为矿浆中固体的密度。当  $c_u$  为定值时，据此可算出不同  $c_p$  值的沉降面积。选用最大值作设计依据。一般还应乘以必要的安全系数。

液固比  $R$  和浓度(千克/升)可按下式换：

$$R = \frac{1}{c} - \frac{1}{\delta} \quad (3-4-23)$$

前项代表每含 1 吨固体的矿浆的体积，后项代表每吨固体体积，差值就是含 1 吨固体的矿浆中水的体积，由于水的密度为 1，因而  $R$  就是矿浆中对应于每吨固体的液体重量，即液固比。

多次试验法和一次试验法尽管均已在实践中被普遍认可和沿用，但并不完善。这两种求算方法都比较烦琐，用于求算连续工作的浓缩机面积时也不十分准确，前者的计算面积往往偏低，而后者则常偏高。因而一些学者又提出了用固体通量概念计算浓缩机需用面积的方法。此处，固体通量指的是通过单位面积的固体速率。在连续工作的浓缩机中，固体通量由下列二个分量组成：(1)底流速率引起的整体迁移分量；(2)固体相对于矿浆沉降而产生的分量，它相当于间断试验中的固体通量。在一定底流浓度下的极限固体通量，决定着所需的浓缩机的面积大小。经验证明，浓缩机中实际固体通过量约为计算值的 90%。

### (三) 过滤试验

实验室过滤试验通常是比较容易做的，其中抽滤试验结果同生产数据的吻合程度一般又比压缩试验高得多。必需的基本试验设备仅为一个人工过滤盘和一台真空泵。不论工业设备是连续工作还是间断工作的，对每一块滤



片而言,过滤操作总是间断的,交替地经历着抽滤(包括吸浆和抽干)或压滤、水洗(仅对浸渣,目的是洗净已溶解的金属离子)、吹卸和清洗等阶段,这一过程在实验室条件下完全可以正确地模拟。

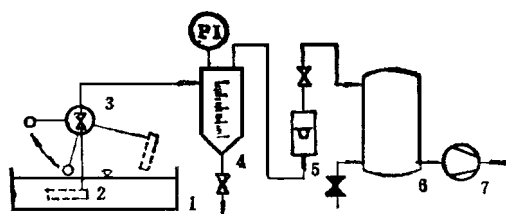


图 3-4-22 实验室真空过滤试验装置

1-悬浮液容器 2-人工过滤盘 3-摆动装置 4-滤液分离器  
5-流量计 6-真空罐 7-真空泵

图 3-4-22 为实验室真空滤试验装置示意图。利用这套装置可以进行下列试验测定工作(1)研究滤饼的构成(2)检验滤液的质量(3)测定滤饼的水分(4)测量空气的消耗量。但是,不可能依靠这套装置准确地评价滤布的敷设方式、搅拌作用和过滤机结构特点对过滤效果的影响。

压滤试验装置如图 3-4-23 所示。

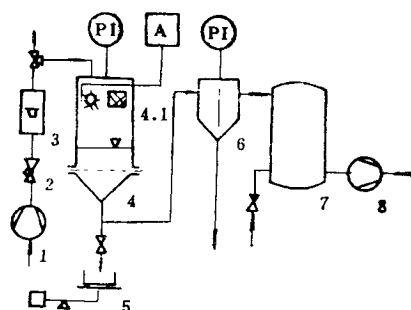


图 3-4-23 实验室压滤试验装置

1-压缩机 2-减压阀 3-流量计 4-压滤罐 5-秤 6-滤液分离器 7-真空罐 8-真空泵离心脱水

可利用实验室离心机在烧杯中模拟大型离心脱水机的工作条件,如泥饼厚度、加速度、逗留(脱水)时间等,同时评估泥饼水分与这些操作条件的关系,判断物料的脱水特性,还可考察离心力场中料层对压力流的阻力。

### 十三、物料扬送试验

选矿厂设计中,物料扬送是一个很重要的问题。若有疏忽往往会给今后生产造成很大的麻烦。为了取得可靠的设计资料,特别是在需要长途输送的情况下,最好在试验室内进行物料扬送的管网模拟试验。当然,由于它所需要的试样量较大,因而往往要等到中间试验阶段才能进行。

矿浆扬送模拟试验管网通常主要由下列几部分组成(1)带调速电动机的砂泵(2)几根并联的由耐热硬质玻璃(派勒克斯玻璃)制成的输送管道,各根管径不同,有的可调倾角,相互连接则可用胶皮管(3)矿浆容器和计重装置(4)压力计(5)用来调节矿浆温度的热交换器(6)各种阀门。

试验时需考察或测定下列因素或数据(1)流动速度(2)矿浆浓度(3)粘度(4)沉降特性(5)压力(6)磨蚀(7)临界输送速度(8)产品质量的变化,(9)粒度组成(10)密度。

利用实验室试验结果设计工业管网时可用下式进行比例放大;

$$v_{CD} = \sqrt{\frac{D}{d}} v_{cd} \quad (3-4-24)$$

式中  $D$ ——大管直径;

$d$ ——小管直径;

$v_{CD}$ ——大管中的临界速度;

$v_{cd}$ ——小管中的临界速度。

按上式算出的结果可能是比较保守的,尚须根据实践经验进行修正。