

# 选矿方法与工艺实践

郭秉文 肖云 编



中国地质大学出版社

**选矿方法与工艺实践**

郭秉文 肖云 编

责任编辑 方菊

责任校对 熊华珍

\*

中国地质大学出版社出版

(武汉市喻家山)

石首市第二印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

\*

开本 787×1092 1/32 印张 6.875 插页1 字数 153千字

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数 1—3000册

ISBN 7-5625-0438-5/TD·7

定价：1.50元



## 内 容 简 介

本教材共有两篇十四章。第一篇选矿方法，主要介绍选矿前矿石的准备作业（破碎、筛分、磨矿、分级等）、各种选矿方法（重选、浮选、磁选、电选、化选等）。第二篇选矿工艺实践，主要介绍一些常见的有关黑色金属、有色金属、稀有金属、贵金属和非金属等矿石的选矿实践。

本书除可供高等院校地质类专业学生作教材外，也可作为采矿、选矿、冶金等专业学生的教学参考书，并可供在地质矿业部门工作的技术人员和管理干部学习选矿知识时参考。

## 前 言

《选矿方法与工艺实践》是供地质矿业类专业学生学习选矿知识的教科书。本书是编者近年来在高等地质院校有关地质类专业、矿产资源管理专业和各地举办的“矿床技术经济评价技术干部培训班”讲授该课程的基础上,根据地质院校一些专业教学计划所规定该课程的教学大纲的内容编写的。

根据目前我国矿产资源开发利用形势的迅速发展,要求地质类专业在教学计划、教学内容方面应有相应的改革,其关键问题之一,是拓宽学生的知识面,为适应其工作的需要,有必要使这些专业的学生较系统地学习有关矿物加工方面的选矿知识,为达到此目的,本书在内容安排方面有别于以“选矿概论”形式的介绍;也不同于象对选矿专业学生那样作详尽介绍。期望学生通过学习本教材,在工作中经过实践锻炼,能独立地解决与本专业有关的各种选矿问题。

本教材第一篇选矿方法部分,着重介绍有关选矿各种方法的基本原理、工艺特征、选矿药剂和选矿设备等。为了使学生在学学习选矿方法的基础上,能更好地了解 and 解决各种主要矿石的选矿问题,以达到学用结合的目的,故安排了第二篇选矿实践部分,重点介绍了对我国目前国民经济发展起主要作用的、有代表性的一般常见矿石的选矿加工工艺流程、技术条件、所用选矿设备、生产技术指标和研究方向等等。

编写过程中,在内容取舍方面,尽量做到理论联系实际,取材以国内为主,另外本着“洋为中用”的原则,适当

吸收了国外有关一些先进的选矿工艺和设备，以体现现代选矿科学技术的发展水平。另外，在编写中考虑到读者对法定计量单位的适应过程，本书除用了法定计量单位，并保留了与法定计量单位相应的单位。

本书除可供地质类专业（矿产地质勘查、矿物材料、探矿工程、矿产资源管理等）学生作教材外，也可作为采矿、选矿、冶金等专业学生的教学参考书，并可供在地质矿业部门从事工作的技术人员和管理干部学习选矿知识时参考。

本教材由中国地质大学（武汉）郭秉文（第一、三、五、六、八、十、十一、十二、十三章）、肖云（第二、四、七、九、十四章）同志编写，在编写过程中得到李万亨教授的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

**编 者**

一九九〇年元月

# 目 录

## 第一篇 选矿方法

<b>第一章 概述</b> .....	(1)
第一节 选矿的目的及在国民经济中的作用.....	(1)
第二节 选矿方法和选矿过程.....	(2)
第三节 选矿的工艺指标.....	(6)
<b>第二章 选矿前矿石的准备</b> .....	(9)
第一节 矿石的破碎.....	(9)
第二节 矿石的筛分.....	(19)
第三节 磨矿.....	(25)
第四节 分级.....	(32)
第五节 破碎磨矿流程.....	(35)
<b>第三章 重力选矿</b> .....	(40)
第一节 概述.....	(40)
第二节 水力分级.....	(44)
第三节 洗矿.....	(50)
第四节 跳汰选矿.....	(52)
第五节 摇床选矿.....	(58)
第六节 溜槽选矿.....	(60)
第七节 重介质选矿.....	(68)
<b>第四章 浮选</b> .....	(74)

第一节	概述	.....	(74)
第二节	浮选药剂	.....	(78)
第三节	浮选机	.....	(86)
<b>第五章</b>	<b>磁选</b>	.....	(91)
第一节	磁选的基本原理	.....	(91)
第二节	磁选机	.....	(99)
<b>第六章</b>	<b>电选</b>	.....	(108)
第一节	电选的基本原理	.....	(108)
第二节	电选机	.....	(113)
<b>第七章</b>	<b>化学选矿</b>	.....	(120)
第一节	概述	.....	(120)
第二节	化学选矿的常用方法	.....	(123)
<b>第八章</b>	<b>其它选矿方法</b>	.....	(130)
第一节	概述	.....	(130)
第二节	拣选机	.....	(133)
<b>第九章</b>	<b>选矿产品处理</b>	.....	(136)
第一节	精矿脱水	.....	(136)
第二节	尾矿处理	.....	(146)

## 第二篇 选矿工艺实践

<b>第十章</b>	<b>铜、铅、锌矿石选矿</b>	.....	(149)
第一节	铜矿石选矿	.....	(149)
第二节	铅、锌多金属矿石选矿	.....	(154)
<b>第十一章</b>	<b>钨、锡矿石选矿</b>	.....	(162)
第一节	钨矿石选矿	.....	(162)
第二节	锡矿石选矿	.....	(167)

<b>第十二章 铁矿石选矿</b> .....	(170)
第一节 铁矿石的选矿方法.....	(170)
第二节 主要类型铁矿石选矿举例.....	(172)
<b>第十三章 金矿石选矿</b> .....	(183)
第一节 砂金矿的选矿.....	(183)
第二节 脉金矿的选矿.....	(186)
<b>第十四章 非金属矿石选矿</b> .....	(196)
第一节 磷矿石选矿.....	(196)
第二节 硫铁矿选矿.....	(202)
第三节 高岭土选矿.....	(204)
第四节 石墨选矿.....	(206)
第五节 重晶石选矿.....	(208)



# 第一篇 选矿方法

## 第一章 概 述

### 第一节 选矿的目的及在国民经济中的作用

选矿，又称有用矿物精选，它是将矿石中有用矿物成分使之富集的一门技术科学。

从矿山开采出来的矿石（或者进入选矿厂的矿石）称为原矿。原矿一般由有用矿物和脉石矿物所组成，含有用成分的矿物称为有用矿物；矿石中没有使用价值的或不能被利用的矿物称为脉石矿物。

矿石中某有用成分（或元素的氧化物）的含量百分比称为品位。原矿品位一般都比较低，例如，很多铁矿石含铁只有20~30%，铜矿石含铜只有0.5~1%。这样的矿石直接进行冶炼不但技术上有困难，经济上也不合算。而且有一些矿石当其品位很低时，几乎不能直接进行冶炼。为了满足下一步处理的要求，对于品位低的贫矿石，在冶炼前就需要用选矿方法，将矿石中的有用矿物和脉石矿物分开，使矿石中有用成分的品位提高，得出适合于冶炼或其他部门要求的原料。

自然界的矿石中往往含有多种有用成分，例如，铜、铅、锌等有色金属往往共生或伴生于同一矿床中；铁既有单

一的铁矿石，也有铁-铜、铁-硫、钒钛铁等共生矿石。有用成分的互相共生或伴生给冶炼造成很大困难。冶炼过程对原料中某些共生或伴生元素，常视为有害杂质。例如，炼铜的原料中含铅、锌都是有害杂质，炼铁原料中含硫、磷和其它有色金属都是有害杂质。将原料中这些成分彼此分离并使之得到富集之后，就可以变害为利，将它们分别回收，获得符合要求的各种单独精矿。这样就能合理地利用多金属矿石中的各种有用成分。故选矿也是一门综合利用矿产资源的技术学科。

由此可见，选矿的目的就是分离有用矿物和脉石矿物，把共生或伴生的有用矿物尽可能地相互分离成为单独的精矿，除去有害杂质，充分地、经济地、最合理地利用国家矿产资源。

从矿床的储量来看，富矿较少，贫矿较多。随着工业的发展，富矿远不能满足需要，必须大量利用贫矿。故大量的矿石需要选矿处理。因此，选矿在国民经济中的作用就越来越重要了。

选矿是冶金、化工、建材等工业部门必不可少的极其重要的一环。选矿技术的发展，大大地扩大了工业原料基地，从而使那些以前因为品位太低或成分复杂而不能在工业上应用的矿床变为有用矿床。

## 第二节 选矿方法和选矿过程

### 一、选矿方法

将矿石中有用矿物和脉石矿物、有用矿物和有用矿物进

行分离所采用的方法称为选矿方法。矿石中的各种矿物，都具有各自的物理性质、化学性质和物理化学性质，如：粒度、形状、颜色、光泽、比重、摩擦系数、磁性、电性、放射性、表面润湿性等。根据这些不同的性质，选择不同的方法，使矿物得到分选。

最常用的选矿方法有：

重力选矿法（简称重选法），是根据矿物比重的不同及其在介质（水、空气或其它比重较大的介质）中具有不同的沉降速度进行分选的方法。它是最古老的选矿方法之一，这种方法广泛地用来选别煤炭和含有铂、金、钨、锡和其它重矿物的矿石。此外，铁矿石、锰矿石、稀有金属矿石、非金属矿石和部分有色金属矿石也常采用重选法进行选别。

磁选法，是根据矿物磁性的不同进行分选的方法。它主要用于选分铁、锰等黑色金属矿石和稀有金属矿石。

浮游选矿法（或叫浮选法），是根据矿物表面的润湿性的不同选分矿物的方法。目前浮选法应用最广，特别是细粒浸染的矿石用浮选处理效果显著。对于复杂多金属矿石的选分，浮选是一种最有效的方法。目前绝大多数矿石可以用浮选处理。

除上述三种常用选矿方法外，还有电选、手选、摩擦选、光电选、放射性选矿，按粒度形状选矿等方法。电选是根据矿物电性的不同来进行选别的方法。手选是根据矿物颜色和光泽的不同来进行选别的方法。摩擦选矿是利用矿物摩擦系数的不同对矿物进行分选的方法。光电选矿是利用矿物反射光的强度不同对矿物进行分选的方法。放射性选矿是利用矿物天然放射性和人工放射性对矿物进行分选的一种方法。粒度、形状选矿是根据矿粒的粒度和形状的不同进行分选矿物

的方法。

以上这些选矿方法，只能使有用矿物与脉石矿物、有用矿物与有用矿物达到机械的分离，并不改变矿物本身的物理性质和化学性质，习惯上叫做机械选矿法。为了处理成分复杂的难选矿石，近年来采用机械选矿方法和化学处理方法（或叫化学选矿）的联合流程。例如：细菌浸出，化学药剂浸出，离析-浮选等方法。

## 二、选矿过程

选矿是一个连续的生产过程，由一系列连续的作业所组成。表示矿石连续加工的工艺过程称为选矿工艺流程（图1-1）。

整个选矿过程可分为选别前的准备作业、选别作业和产品处理作业。

### 1. 选别前的准备作业

该作业包括破碎和筛分、磨矿和分级。其目的主要是使有用矿物与脉石矿物，有用矿物与有用矿物相互分开，达到单体分离，为分选作业做准备。有时这种准备作业是将物料分成若干适宜的粒级，为分选作业做准备。

### 2. 选别作业

这是选矿过程的关键作业（或称主要作业）。它根据矿物的不同性质，采用不同的选矿方法，如浮选法、重选法或磁选法等等。

### 3. 产品处理作业

主要包括精矿脱水和尾矿处理。精矿脱水通常由浓缩、过滤、干燥（有时需要）三个阶段组成。尾矿处理通常包括尾矿贮存和尾矿水处理。

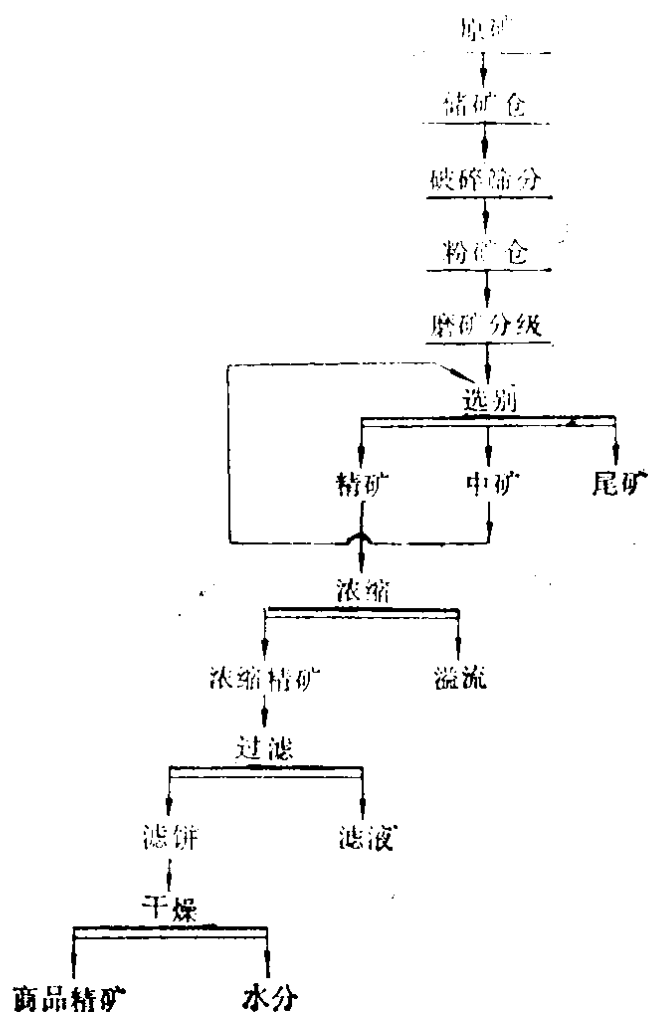


图1-1 选矿工艺流程示意图

矿石经过选别之后，可得到几种产品：精矿、尾矿和中矿。

精矿是原矿经过选别之后，得到的有用矿物含量较高，适合于冶炼或其他工业部门要求的最终产品。尾矿是原矿经过选别之后，得到的有用矿物含量很低，不需要进一步处理的或目前技术经济上不适于进一步处理的产品。中矿是原矿经过选别之后，得到的中间产品（或称半成品），其中有用矿物的含量比精矿低，但比尾矿高，因此中矿还需要进一步加工处理。

### 第三节 选矿的工艺指标

为了评价选矿过程进行得好坏，通常采用一些技术指标来表示。常用的选矿指标有：产品的品位、产率、金属回收率、选矿比和富矿比等等。

#### 一、品位

产品中金属（或某元素或金属氧化物）的品位，是产品中该金属（或某元素或金属氧化物）的重量与产品重量之比，用百分数表示。例如：铜精矿品位为20%，是指100t干的铜精矿中含有20t金属铜。

通常用希腊字母 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 三个字母分别表示原矿、精矿、尾矿的品位。

#### 二、产率

产品的重量通常以 $Q$ 表示。产品重量与原矿重量之比的百分数叫做产品的产率，并以希腊字母 $\gamma$ 表示。 $Q$ 是绝对量，而 $\gamma$ 是相对量。

例如：某选矿厂每昼夜处理500t原矿石，获得30t精矿，则精矿产率为：

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{精矿}} &= \frac{\text{精矿重量}}{\text{原矿重量}} \times 100\% = \frac{Q_{\text{精矿}}}{Q_{\text{原矿}}} \times 100\% \\ &= \frac{30}{500} \times 100\% = 6\%.\end{aligned}$$

尾矿产率为：

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{精矿}} &= \frac{\text{尾矿重量}}{\text{原矿重量}} \times 100\% = \frac{\text{原矿重量} - \text{精矿重量}}{\text{原矿重量}} \\ &\times 100\% = \frac{Q_{\text{原矿}} - Q_{\text{精矿}}}{Q_{\text{原矿}}} \times 100\% = \frac{500 - 30}{500} \times 100\% \\ &= 94\% \end{aligned}$$

$$\text{或} \gamma_{\text{尾矿}} = 100\% - \gamma_{\text{精矿}} = 100\% - 6\% = 94\%。$$

### 三、选矿比

原矿重量与精矿重量之比叫选矿比。它表示选出一吨精矿需处理几吨原矿。如上例的选矿比为：

$$\text{选矿比} = \frac{\text{原矿重量 (t)}}{\text{精矿重量 (t)}} = \frac{500}{30} = 16.7。$$

### 四、富矿比

精矿品位 ( $\beta$ ) 和原矿品位 ( $\alpha$ ) 之比叫富矿比。这个比值表示精矿中 useful 成分的含量比在原矿中 useful 成分的含量提高的倍数。如硫化铜矿，原矿中铜品位为1%，精矿中铜品位为24%，其富矿比为：

$$\text{富矿比} = \frac{\text{精矿品位 (\%)}}{\text{原矿品位 (\%)}} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{24}{1} = 24。$$

### 五、回收率

精矿中金属（或元素或金属氧化物）的重量与原矿中该金属（或元素或金属氧化物）的重量之比的百分数，称为该金属（或元素或金属氧化物）在精矿中的回收率，通常用希腊字母  $\epsilon$  表示。在保证精矿质量的前提下，精矿中金属回收率越高，表示选别作业回收金属越多，效果越好。

在实践中，由于产品的品位很容易通过取样化验获得，故精矿产品的产率和回收率可通过以下两个关系式分别求出。

$$\gamma_{\text{精矿}} = \frac{\alpha - \delta}{\beta - \delta} \times 100\% ; \quad (1-1)$$

$$\varepsilon_{\text{精矿}} = \frac{\beta(\alpha - \delta)}{\alpha(\beta - \delta)} \times 100\% 。 \quad (1-2)$$

应用式 (1-2) 所算出的金属回收率，称为理论的回收率。



## 第二章 选矿前矿石的准备

### 第一节 矿石的破碎

从矿山开采出来的矿石块度都很大。目前，露天开采出来的矿块最大尺寸为1000~1500mm，井下开采出来的矿块最大尺寸为300~600mm。块度这样大的矿石不能直接进行分选，因为，其中的有用矿物与有用矿物、有用矿物与脉石矿物紧密共生。为了使它们相互分开，即达到单体分离，矿石送到选厂后，首先将矿石破碎到一定粒度，然后再送入磨矿机磨碎。

选矿厂所采用的破碎机的种类，主要取决于矿石性质、选矿厂的生产能力和破碎产物的粒度等等。

矿石的粗碎作业一般采用颚式破碎机或旋回破碎机。中碎和细碎多使用标准型和短头型圆锥破碎机，在少数情况下，也有使用对辊破碎机破碎。处理松软矿石（如粘土矿或煤矿），一般采用具有冲击作用的破碎机（如反击式破碎机和锤碎机）破碎。

#### 一、颚式破碎机（老虎口）

颚式破碎机俗称老虎口，常用于对矿石进行粗碎。矿石的破碎是在破碎机中两块颚板之间进行的。两块颚板中的一块固定，另一块可动。可动颚板悬挂在固定轴或可动轴上，