

选矿学

丘继存 编

高等学校教学用书

# 选矿学

东北工学院 丘继存 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

选矿学

东北工学院 丘继存 主编

\*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街基祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张 31 字数 736 千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数00,001~4,600册

统一书号: 15062·4566 定价5.05元

## 前 言

本书根据高等学校选矿专业的教育计划和“选矿学”课程的教学大纲，本着少而精的教学原则，在东北工学院龚焕高主编的《选矿学》讲义的基础上编写而成。

书中论述各种选矿方法的原理、选矿工艺与设备及矿石的典型选矿实例。可作为大专选矿专业学生的教科书或参考书。

全书分为绪论（东北工学院丘继存编写）、第一篇破碎磨矿（昆明工学院段希祥编写）、第二篇磁电选（东北工学院杨秀媛编写，王常任审）、第三篇重选（东北工学院陈桂云编写，孙玉波审）、第四篇浮选（东北工学院龚焕高编写）、第五篇其它选矿法（东北工学院丘继存编写）、第六篇产品处理及技术检查（东北工学院龚焕高编写）。本书由丘继存担任主编，龚焕高参加了书稿的整理工作，并协助修改、定稿。

在绪论中将整个选矿过程及选矿厂作了简要的论述，使读者一开始就获得整个选矿学科概貌的认识，并便于嗣后的学习。全书的编写力求简明扼要。各篇内容自成系统，可单独讲授，作为该科目学习的教材或参考资料。

由于编者水平所限，错误或不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1985.4

91.94 4.25

# 目 录

前 言	1
绪 论	1
<b>第一篇 碎矿与磨矿</b>	
<b>第一章 碎散物料的粒度组成与分析</b>	10
第一节 粒度及粒度分析	10
第二节 筛分分析	12
第三节 粒度特性方程式	15
<b>第二章 工业筛分及筛分机械</b>	18
第一节 概 述	18
第二节 筛分效率与筛分动力学	19
第三节 振动筛	22
第四节 其它筛分机械	27
第五节 影响筛分过程的因素及筛子生产率计算	31
<b>第三章 碎 矿</b>	35
第一节 概 述	35
第二节 岩矿的机械强度与破碎方法	36
第三节 破碎的功耗学说	39
<b>第四章 碎矿机</b>	42
第一节 概 述	42
第二节 粗碎破碎机	42
第三节 中细碎破碎机	48
第四节 影响破碎过程的因素与碎矿机生产能力计算	54
<b>第五章 磨 矿</b>	60
第一节 概 述	60
第二节 磨矿机中钢球的运动与磨矿作用	61
第三节 钢球的运动轨迹及磨矿条件的确定	64
第四节 磨矿机的有用功率	70
第五节 磨矿动力学与磨矿循环	74
<b>第六章 球磨机和棒磨机</b>	80
第一节 磨矿机的类型和构造	80
第二节 磨矿机的性能和用途	87
第三节 影响磨矿过程的因素	88
第四节 磨矿机生产率计算	92

<b>第七章 矿石的自磨和砾磨</b> .....	99
第一节 概 述.....	99
第二节 自磨机.....	100
第三节 矿石自磨的影响因素与生产率计算.....	104
<b>第八章 碎矿和磨矿流程</b> .....	106
第一节 碎矿流程.....	106
第二节 磨矿流程.....	107
第三节 矿石自磨流程.....	108

## 第二篇 磁选和电选

<b>第一章 磁选的物理基础</b> .....	111
<b>第二章 矿物磁性</b> .....	119
第一节 矿物按磁性分类.....	119
第二节 强磁性矿物的磁性.....	119
第三节 影响强磁性矿物磁性的因素.....	122
第四节 弱磁性矿物的磁性.....	129
<b>第三章 磁选机的磁场特性</b> .....	131
第一节 开放型磁系的磁场特性.....	131
第二节 闭合型磁系的磁场特性.....	136
<b>第四章 磁选机的构造和技术指标</b> .....	147
第一节 磁选机分类.....	147
第二节 湿式弱磁场磁选设备.....	148
第三节 干式弱磁场磁选设备.....	155
第四节 干式强磁场磁选设备.....	157
第五节 湿式强磁场磁选设备.....	162
<b>第五章 磁选动力学</b> .....	168
第一节 干式磁选时矿粒作直线运动的动力学分析.....	168
第二节 干式磁选时矿粒作曲线运动的动力学分析.....	170
第三节 湿式磁选动力学分析.....	172
第四节 磁选过程的数学模型.....	175
<b>第六章 磁选前矿石准备</b> .....	180
第一节 磁化焙烧.....	180
第二节 预磁与脱磁.....	187
第三节 筛分分级、脱泥和除尘.....	189
<b>第七章 磁选实践</b> .....	192
第一节 磁铁矿石的磁选.....	192
第二节 赤铁—磁铁矿石的磁选.....	195
第三节 锰矿石的磁选.....	196
第四节 稀有金属矿石的磁选.....	198

<b>第八章 电选</b> .....	201
第一节 电选的基本原理.....	201
第二节 电选机.....	208
第三节 电选的影响因素.....	211
第四节 电选实践.....	214

### 第三篇 重力选矿

<b>第一章 重力选矿概论</b> .....	219
第一节 重力选矿的研究对象.....	219
第二节 重力选矿的应用.....	219
第三节 重力选矿在我国的发展.....	220
<b>第二章 矿粒在介质中的沉降</b> .....	221
第一节 介质的性质和颗粒在介质中的运动阻力.....	221
第二节 颗粒在介质中的自由沉降.....	226
第三节 颗粒在粒群中的干涉沉降.....	232
<b>第三章 水力分级</b> .....	238
第一节 概述.....	238
第二节 水力分析.....	239
第三节 多室水力分级机.....	241
第四节 脱泥设备.....	243
第五节 机械分级机.....	245
第六节 水力旋流器.....	247
第七节 分级效果的评定.....	252
<b>第四章 重介质选矿</b> .....	254
第一节 概述.....	254
第二节 重悬浮液的性质.....	256
第三节 重悬浮液分选机.....	259
第四节 重悬浮液选矿工艺.....	264
<b>第五章 跳汰选矿</b> .....	266
第一节 概述.....	266
第二节 跳汰分选原理.....	267
第三节 跳汰机.....	276
第四节 影响跳汰选分的工艺因素.....	283
<b>第六章 溜槽选矿</b> .....	286
第一节 概述.....	286
第二节 斜面水流的运动特性.....	287
第三节 粗粒溜槽的分选原理.....	292
第四节 细粒溜槽的分选原理.....	295
第五节 粗粒溜槽.....	300

第六节	扇形溜槽和圆锥选矿机	302
第七节	螺旋选矿机和螺旋溜槽	305
第八节	皮带溜槽	313
第九节	离心选矿机	315
第十节	几种新型矿泥溜槽简介	318
<b>第七章</b>	<b>摇床选矿</b>	<b>323</b>
第一节	概述	323
第二节	摇床的分选原理	324
第三节	摇床构造	329
第四节	摇床的运动特性	335
第五节	影响摇床选分的因素	337

## 第四篇 浮游选矿

<b>第一章</b>	<b>浮选的理论基础</b>	<b>341</b>
第一节	矿物表面的润湿性	341
第二节	矿物的内部结构与自然可浮性	344
第三节	矿物在水中的溶解与氧化	346
第四节	两相界面的双电层	347
第五节	矿物表面的吸附	353
第六节	实际矿物的晶体特征	358
<b>第二章</b>	<b>浮选药剂</b>	<b>360</b>
第一节	浮选药剂的分类与作用	360
第二节	捕收剂	361
第三节	调整剂	380
第四节	起泡剂	392
<b>第三章</b>	<b>浮选机</b>	<b>396</b>
第一节	对浮选机的要求及浮选机的分类	396
第二节	浮选矿浆的充气	397
第三节	机械搅拌式浮选机	397
第四节	充(压)气式浮选机	402
第五节	压气机械搅拌(混合式)浮选机	403
第六节	浮选机的近代进展	404
<b>第四章</b>	<b>浮选工艺</b>	<b>408</b>
第一节	矿物的解离—磨矿细度及浮选流程的段数	408
第二节	浮选药剂制度(药方)	411
第三节	浮选流程	413
第四节	其他浮选工艺因素	416
<b>第五章</b>	<b>各种矿石的浮选实践</b>	<b>420</b>
第一节	矿物按可浮性的分类	420



第二节	硫化铜矿石的浮选	420
第三节	多金属硫化矿石的浮选	424
第四节	钼矿石浮选	429
第五节	有色金属氧化矿石和混合矿石的浮选	431
第六节	贵金属矿石的浮选	434
第七节	非极性非金属矿物的浮选	438
第八节	多价金属的极性盐类矿物的浮选	438
第九节	氧化物及硅酸盐矿物的浮选	440
第十节	可溶性盐的浮选	442

## 第五篇 其他选矿方法

第一章	摩擦与弹跳选矿	443
第二章	拣选	446
第三章	油膏选矿	450
第四章	离子浮选	452

## 第六篇 产品处理及选矿技术检查

第一章	产品脱水	457
第一节	概述	457
第二节	浓密脱水	458
第三节	过滤脱水	461
第四节	干燥脱水	464
第二章	尾矿处理	465
第一节	尾矿的贮存	465
第二节	尾矿水的循环使用	466
第三节	尾矿水的净化	467
第三章	选矿过程的检查与金属平衡	469
第一节	取样与试样加工	469
第二节	工艺过程的检查	473
第三节	金属平衡	475
第四节	选矿技术经济指标	476
附表 1	各种矿物的比磁化系数	479
附表 2	矿物的导电率和介电常数	480
主要参考文献		481

## 绪 论

地球的地壳是由岩石构成的，而岩石是矿物的集合体。当岩石中某一成分或某些成分的含量，以目前生产技术在经济上可有利地提取利用时，该项岩石便称为矿石。矿石中除含有在当前经济上可利用的有用矿物外，还含有无价的矿物。这些无价矿物，称为脉石。

除富含有用矿物的富矿外，直接冶炼或直接处理含有大量脉石的贫矿（由矿山采出的矿石），在经济上显然是不合算的，运输矿石的费用及处理费用以及冶炼设备或直接处理设备的负荷都将大大增加。这些都是无偿的损失及浪费。

把矿石加以破碎，使有用矿物与脉石矿物彼此分离开，然后，将有用矿物富集起来，抛弃绝大部分脉石的工艺过程，称为选矿或称为矿物工程或矿物处理工艺。选矿选出的、富集了有用矿物的有价产品称为精矿；抛弃的无价产品称为尾矿。全部产品均可利用的即无尾矿。矿石若含有一种以上的有价矿物，则通过选矿可以把它们选分为不同的各自的有价精矿；选矿的目的，有时是为除去有害杂质。金属矿物精矿是金属冶炼工业提取金属的原料；非金属矿物精矿，如石墨、硫黄、石棉、滑石、磷灰石、萤石、重晶石、方解石、石英、长石等等，是其他工业的原料；煤的精选产品为炼焦煤或燃料煤。所以选矿（或选煤）是介于采矿及矿物资源利用之间的一个重要的工业生产过程，向有关工业提供富集了有用矿物的原料（或燃料）；常是采矿的后续过程，故选矿厂常建设于矿山附近，以节省矿石的运输费用。当然，选矿厂的建厂位置还须考虑其它条件。

最早，选矿处理的对象是金属矿石，故称为选矿。随着处理对象扩展到非金属矿物原料和煤，以及处理方法已包括了矿物的化学处理（化学选矿），“选矿”一词，现已广泛地被“矿物处理”或“矿物工程”所取代，而“选矿”通常仅指不改变其化学性质的矿物的物理方法的选分过程。

由于世界矿物资源随着矿石的被大量开采利用而日益贫乏，越来越多地利用贫矿和复杂矿，因此需要选矿处理的矿石量越来越大。目前除少数富矿石外，金属和非金属（包括煤）矿石几乎都需经选矿，然后才能合理地经济地作为工业原料被利用。所以选矿为人类开发利用自然矿物资源作出了贡献，今后将愈益得到发展。不但如此，选分处理的对象，目前已扩展到废物（炉渣、垃圾、废水）中 有用成分的回收。

从上可见，选矿的意义可有：

（1）将矿石中有价成分富集起来，使之达到冶炼或其他工业上规定的质量要求（标准），以便经济地有效地利用矿产资源；

（2）去除矿物原料中的有害杂质，使之易于或能够被利用；

（3）将矿石中多种有价矿物选分为各种精矿产品，以利于分别加工利用；

（4）从废物（如垃圾及工业废水等）废渣（如冶炼炉渣、电解泥等）中回收有价成分；

（5）从废液中或工业排放水中回收有价成分或净化水质，保护环境。

选矿主要包括两个基本过程：一为解离，将矿石（或煤）粉碎，使矿石中各个矿物粒

子彼此解离；一为选分本身，将已解离开不同矿物颗粒选分为不同的产品。此外，还有其它辅助作业，如运输，筛分，分级，产品脱水，矿仓业务，尾矿堆置，废水处理，回水利用等等。选分不同矿物的颗粒（或块）是利用不同矿物颗粒间物理的或物理化学的或化学性质上之差异来进行的。

表 1 列出了选分可利用的矿物性质及其常用的选矿方法。

选分可利用的矿物性质及其常用方法

表 1

矿物性质	选 矿 方 法	工 艺
密度（或比重）	重力选矿	洗矿；分级；重介质选矿；跳汰；摇床选分；溜槽选分；螺旋选分；圆锥选矿机选分；气力选分，磁流体选分；等等。
磁性（导磁性）	磁力选矿	弱磁场力，强磁场力，高梯度磁场力选分；超导磁选机磁选等等。
导电性	电 选	高压电选。
表面物理化学性质 （润湿性）	浮 选  絮 凝	泡沫浮选；表层浮选；油浮选；油球团选；粒浮（在摇床上或螺旋溜槽上进行）；液-液分离；泡沫浮选；离子浮选；油膏选等等。 絮凝——分散分离
颜色、光泽放射性，导电性磁性等等	拣 选	手选；测光拣选；X-射线激发检测拣选；放射性检测拣选；中子吸收检测拣选；光中子检测拣选；磁性检测拣选；导电性检测拣选；红外扫描热体拣选等等。
粒 度	按粒度分选	筛分，分级。
形 状	按形状分选	按形状筛分。
摩擦系数	摩擦与弹跳	磨擦与弹跳分选。
溶 解 度	化学选矿（湿法冶金）	浸出，对浸出液中有价成分进行沉淀分离，或溶剂萃取或吸附或电解。

选矿的历史是由处理粗粒（或块）物料至处理细粒物料，至微细粒物料及溶液；由简单的矿石至复杂的矿石；处理方法由纯物理方法至物理化学方法，化学方法及组合方法。最早的选矿方法为手工拣选矿方法，继为利用重力作用在水中或空气中选分的重力选矿法。重力选矿在我国古时已盛行，《天工开物》一书上有所记载。14及15世纪重力选矿设备的某些特点仍保持至今日。19世纪及20世纪初重力选矿已达到了很高的水平，并且，在浮选发展之前几乎是唯一的选矿方法。20世纪初叶发展了浮选，并成为选别细粒（通常指100微米以下）矿物原料的重要方法。磁选是选分强磁性矿石（磁铁矿）的最有效及经济的方法。60年代以来，强磁场磁选机及高梯度磁选机在选分弱磁性铁矿石方面得到推广应用。磁选法的应用已有200年的历史。40~50年代化学选矿用于处理铀矿、氧化铜矿等，以后用来处理难选及矿物呈作极细粒浸染的矿石。近代的选矿趋向于应用联合的选矿法回收多种矿物成分，以最大限度地综合利用矿物资源；在选矿设备上采用大型化以增大处理量及节约能耗；在生产调节上采用自动控制及最优化，并注意环境保护及应用回水等等，以节省能耗，降低成本及提高经济效益。

**选矿术语** 常用的选矿术语有：

**给矿** 所处理的给入物料通常以M或F符号表示。

**精矿** 经选分后富集了有价成分的最终选矿产品，常以符号R或C表示。

**中矿** 选分过程中产出的中间未完成产品，需要返回原选分过程中或以单独回路选

分或另行处理，常以符号Π或M表示。

**尾矿** 经过选分后残余的可弃去的产品，常以符号X或T表示。

**品位** 给矿或产品中有价成分（以金属或其氧化物或矿物表示）的重量百分含量（由化学分析测定）。给矿的品位常以 $\alpha$ 或 $f$ 表示；精矿品位以 $\beta$ 或 $c$ 表示；尾矿品位以 $\theta$ 或 $t$ 表示。

**产率** 产品对给矿计的重量百分数，通常以 $\gamma$ 表示。

**回收率** 回收率 =  $\frac{\text{精矿中有价成分重量含量}}{\text{给矿中有价成分重量含量}} \times 100\%$ ，总的回收率通常以 $\epsilon$ 或R表示，而部分回收率（一个作业）以E表示。选矿厂的回收率有理论回收率及实际回收率之别。理论回收率是由选矿产品的化学分析品位，以给矿及其选分产品中金属量的平衡方程及物料的重量平衡方程的联立解计算而得，对单金属两种产品的选矿作业：

$$\text{含量平衡} \quad Q_x \cdot \alpha = Q_k \cdot \beta + Q_x \cdot \theta \quad (1)$$

式中 $Q_x$ ， $Q_k$ ， $Q_x$ 分别为原矿量，精矿量，尾矿量；

将（1）式换为相对量（产率）

$$\gamma_x \cdot \alpha = \gamma_k \cdot \beta + \gamma_x \cdot \theta \quad (2)$$

式中 $\gamma_x$ ， $\gamma_k$ ， $\gamma_x$ 分别为原矿，精矿，尾矿的产率；

$$\gamma_x = 100 = \gamma_k + \gamma_x, \% \quad (3)$$

将（3）式代入（2）式，得

$$\gamma_k = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \times 100\% \quad (4)$$

精矿中金属的理论回收率 ~~回收率~~

$$\epsilon_k = \frac{Q_k \beta}{Q_x \alpha} \times 100\% = \gamma_k \frac{\beta}{\alpha} \times 100\% = \frac{\beta(\alpha - \theta)}{\alpha(\beta - \theta)} \times 100\% \quad (5)$$

选矿的实际回收率是由对原矿及精矿直接称重（皮带秤）和它们的化学分析品位直接计得的，即

$$\epsilon_k (\text{实际}) = \frac{Q_k (\text{实际}) \cdot \beta}{Q_x (\text{实际}) \cdot \alpha} \times 100\% \quad (6)$$

理论回收率与实际回收率之差反映选矿过程中产品的流失或称量及取样或化验的不准确。

**选矿比** 选得一吨精矿产品所需给矿的吨数，以K表示，由式（4）得

$$K = \frac{Q_x}{Q_k} = \frac{(\beta - \theta)}{(\alpha - \theta)} \quad (7)$$

**富集比（或重矿比）** 精矿品位对给矿品位的比值 =  $\frac{\beta}{\alpha}$ 。

**选矿过程** 典型的选矿过程包括：（1）选前矿物原料的准备作业；（2）选分作业本身；（3）选后产品处理作业。

选前矿物原料准备作业的目的在于为选分作业制备有价矿物从矿石中碎散解离出来的给矿；碎散矿石的作业称为粉碎，通常分阶段进行，包括碎矿及磨矿。表2列出了典型的粉碎过程的作业。

粉碎过程的作业

表 2

作 业	粗 碎	中 碎	细 碎	磨 矿
破碎粒度范围, 毫米	由500~1500 碎至125~400	由125~400 碎至25~100	由25~100碎至5~25	由5~25毫米磨至 1~0.074毫米或更细

粉碎的方式有压碎、击碎、劈碎、擦磨等。应用的粉碎设备, 碎矿机方面有颚式碎矿机(俗称老虎口), 旋回碎矿机, 圆锥碎矿机(标准型、中型、短头型), 对辊机, 锤击机, 反击式碎矿机等等。磨矿机有棒磨机, 球磨机, 自磨机, 半自磨机, 砾磨机等等; 磨矿可为湿式(加水)或干式。

**洗矿** 也是一种解离方法, 应用于含粘性泥质多的矿石(一些为泥质物固结或粘团的残积矿床或砂矿或风化变质严重的矿石)加水擦洗以除去泥质物。

**筛分及分级** 选分作业要求矿石粉碎至一定的粒度上限, 即基本上解离有价矿物粒子所需的粒度。这种粒度并决定所可用的选分方法及过程。

为了在碎矿或磨矿过程中将粒度上已合适的部分取出, 避免过粉碎或欲控制粉碎产品, 设立筛分作业及分级作业。筛分按筛面上筛孔的大小将物料分为尺寸不同的粒度级别。分级是在介质(水或空气)中按大小颗粒降落的速度不同, 将物料分为不同的等降(降落速度相同)级别。影响颗粒降落速度的, 除颗粒尺寸外, 还有比重(密度)这一因素。所以物料的颗粒组成如有比重的差异, 则同一等降级别中既有尺寸较大, 比重较小; 还有尺寸较小, 比重较大的颗粒。筛分及分级还用于将给矿分为粒度不同的级别分别选, 以适应选矿方法或选矿设备适宜处理的粒度范围; 或将矿物原料(常为非金属矿物原料)分为粒度级别的商品产品。

筛分机有筛分矿块用的固定筛, 筛面有平行的棒条, 冲孔钢板或粗金属丝编织制成; 有旋转圆筒筛(现多用于采砂金船上); 有筛分小块或粗粒的各种型式的摇动筛, 振动筛, 筛面为金属丝编织网或冲孔板。为了防止湿矿堵塞筛孔, 有的筛子附有电热或热空气加热; 有筛分小于毫米级物料的细筛。

分级机视介质为水或空气有湿式及干式之分。湿式分级机又有上升水流的水力分级机; 有将沉落粗粒以机械方法输送出的机械分级机, 及利用离心力加速沉降的水力旋流器。水力分级机常串连有若干横断面积大小不同, 上升水流速度由大至小的尖箱, 可得若干级别的物料, 通常用作摇床分级入选给矿的制备。机械分级机有耙式分级机及螺旋分级机。机械分级机及水力旋流器广泛地用于与磨矿机串联作闭路操作, 将已磨细的产品溢流出, 沉降的粗粒产品作为循环产品(返砂)送回磨矿机再磨。机械分级机也用于洗矿产品的分级, 水力旋流器也用作脱泥及脱水的浓缩设备。

**选分作业** 如表1所示, 因选分所利用的矿物性质特点而有各种选矿方法。选分作业是选矿过程中的核心作业。

**拣选** 手选是最简单原始的选矿方法, 是凭借可辨识的颜色或光泽用手工把矿块(可为有价矿物块或脉石块)在运行中的运输皮带上或圆盘上拣选出。有时用来拣出大的木块或采矿中掉入矿石中的铁件或未爆炸的炸药包。

现代已发展了各种机械拣选机, 利用对矿块的表面光性(反射率, 颜色等), 受激发光能力、放射性、射性吸收特性、磁性、电性等的检测, 将信号(经过放大的)送给拣

选执行机构，拣选执行机构将欲拣选出的矿块以气流吹出或以其他方式排出矿流。

**重力选矿** 在本世纪初叶泡沫浮选法发展以前，重力选矿是最重要的选矿方法，目前仍是黑钨矿、锡石（包括砂锡矿）、砂金以及粗粒铁矿物的主要选矿方法。大凡矿物解离粒度粗于正常浮选粒度（大约0.2毫米），并有比重差别可以利用的物料，采用重力选矿可能更为经济，且对环境的污染较小。现代的重力选矿技术已可能选分细至50~10微米的物料。重力选矿是在水中或空气中进行的。重力选分可选性的难易程度的判据为（重矿物比重-介质比重）/（轻矿物比重-介质比重）的比值。一般说，这一比值大于2.5（正值或负值）的为易选；比值愈小愈难于选分。小于1.25的工业上通常不能选分。由于颗粒在介质中的运动不仅与比重有关，且与粒度有关，故通常把入选物料预先筛分或分级为窄级别物料。现代重力选矿机可大致按处理物料粒度范围分为：

**重介质选矿** 利用密度（比重）大且易于再生的固体（如硅铁、磁铁矿、方铅矿）的微细粒子与水混和配成密度可调节的重悬浮液作为选分介质，密度大于介质密度的矿粒下沉，小于介质密度的上浮因而得以选分。重介质选矿通常作为预选作业，在较粗粒度下，把数量相当可观的比重小的脉石矿物排除掉；数量上缩减了的初步富集的重产品再磨细用其他较精细的选矿方法处理，以节省选矿费用，提高选矿厂的处理能力。可处理物料的粒度范围150~3毫米。附加离心力的重介质旋流器可选分细至0.5毫米的物料。重介质选分法在选煤上也用来选得精煤产品。

**跳汰选矿** 是利用垂直上下交替流动的介质流，使矿粒床层交替松散及下降而发生轻重矿物颗粒分层的选分方法。按产生介质流动的机构，有选矿用的活塞跳汰机，隔膜跳汰机及选煤用的无活塞跳汰机等。跳汰选介质可为水、空气或重介质，工业上常为水力跳汰。

**摇床选矿** 是利用薄层水流在横向作不对称往复运动，纵向作倾斜安置的近似梯形的床面上进行的。床面上安装有床条或刻有沟槽。由于薄层水流以及床面的不对称往复运动，矿物颗粒层在床面上松散、分层及分带。下层的重矿物颗粒沿床条以惯性力向横向运动，在靠近精矿排矿端地区形成扇形带并由精矿端排出；上层轻矿物颗粒沿纵向被水流洗出为尾矿。

**圆锥选矿机、螺旋选矿机、螺旋溜槽、尖缩溜槽、横流皮带溜槽等等都是利用斜面薄层水流使运动中的颗粒受力不同，轻重矿物颗粒发生分层分带，并由不同地点或不同方向分别排出的。离心选矿机除利用薄膜流外，还附加离心力以加速重矿粒在筒壁上的沉淀速度，是选分细粒物料的有效重选设备，为我国云南锡业公司所创制。水力旋流器也可用作重力选矿设备。横流皮带溜槽除利用薄膜水流外，还附加转动剪切作用，以强化床层（物料）的松散及分层。**

上述重力选矿过程通常为湿选（在水中进行），但也可为干式（风力选），例如风力跳汰选，风力摇床及风力尖缩溜槽选。干式用于缺水地区或选石棉。

**磁选** 是利用磁性矿物颗粒在不均匀（有磁场梯度）磁场中受到磁力的吸引，而非磁性矿物颗粒不受吸引，但受其它方向的作用力而达到选分的。对弱磁性的矿物可用强磁场磁选机选分，而强磁性矿物用弱磁场磁选机选分即可。现代弱磁场磁选机的磁系多由永久磁铁构成，而强磁场磁选机多为电磁系。磁选也有湿干选之分。细粒干式磁选机的缺点是设备生产力小并产生粉尘。磁选除用来选出磁性矿物的精矿产品外，也用于选出物料中

的磁性杂质。磁选机按构造特点有筒式、带式、转环式、盘式、感应辊式（干选）之分。对微细粒弱磁性物料的磁选，可用导磁的钢毛或钢网做介质，充填于均匀的强磁场空间中使导磁介质的空隙中建立高梯度的磁场，提高吸引的磁场力。弱磁性的赤铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）也可通过还原焙烧变成强磁性的磁铁矿（ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ），再用弱磁场磁选机选分。磁滑轮（磁辊筒）是于运转皮带首轮内安装有随着首轮旋转的磁系的皮带首轮，吸引强磁性矿块使之偏离自首轮卸落的矿流，用来预选块状（200~10毫米）的强磁性矿石，弃去采矿混入的围岩块；也用来控制还原磁化焙烧产品的质量，将尚未还原成磁铁矿的赤铁矿矿石抛出，再返入还原焙烧炉焙烧。

**电选（高压电选）** 是利用给矿中不同矿物颗粒导电性质的差异来选分的。现代的高压电选机为电晕电选机。两个电极：一个由一排细丝构成，接高至50千伏的直流负电；另一个电极为接地的导体旋转圆筒。通电时，两电极间的空气电离，发生电晕电流。矿粒经过电场时接受电子流。导体矿粒通过接地电极丢失电荷，按重力及离心力轨道下落；非导体矿粒较长时间保持电荷，在与转筒表面接触处诱导极化正电，互相吸引，随筒旋转至安设刷子处才被刷落而得分选。电选最成功地用于选分海滨砂矿的金红石（导体矿物）与锆英石（非导体矿物）。电选的缺点是入选物料须干燥，且给入电场中的物料须呈单层分布，故设备的单位生产力小。

**浮选** 是利用不同矿物颗粒表面对水不同的润湿性（疏水性或亲水性）这一物理化学性质来进行选分的。天然疏水性的矿物（如石墨，硫黄，滑石）不多，通常需要加入捕收剂（于搅拌中的矿浆）使之吸附在要浮出的矿物颗粒表面上，以人为地赋予强的疏水性。为了提高选分的选择性，还须在矿浆中加入各种调整剂。浮选是在浮选机中搅拌充气，并加入起泡剂以产生大量气泡，使疏水化了（亲气）的矿物颗粒附着于气泡上，浮至矿浆面上，形成泡沫产品刮出；而亲水性矿物颗粒则滞留于矿浆中随矿浆流出而选分。浮选能处理小于0.2毫米的物料，原则上能够选分各种矿物，是用途最广泛的重要选矿方法。浮选也用来选分回收溶液中的离子（离子浮选），以及用于处理废水。

**选后产品的处理作业** 选矿多在水中进行，且应用大量的水，故所得精矿及尾矿产品含水多，需要脱水。细粒物料通常先经沉淀作用的浓缩作业，将水分降至40~50%，然后以过滤机过滤至含水分8~12%。如需要时，还要进一步干燥（通常用回转窑）将水分降至3~4%以下。细粒尾矿产品在用泵送至尾矿坝堆存之前，有时也先经浓缩。浓缩常用浓浆泵，固体颗粒沉淀连续排出，上层清水溢流出。过滤用过滤机，有真空过滤机及压滤机，水通过滤布吸出或压出。浓缩有时加入助沉剂，过滤加入助滤剂，以提高作业的效率，通常将尾矿在山谷中筑坝堆存。尾矿浓缩溢流水及尾矿场澄清排出水可以回收循环再用。不合排放标准的废水还须经净化处理。

**选矿流程及选矿厂** 表示选矿厂作业或某一过程的作业，其顺序以及产品流向的线路图或方块图称选矿流程图，如图1所示。

**解离** 实际上，即使将矿石粉碎至有用矿物粒子的大小，也难于得到有用矿物粒的完全解离。从图2可见，如将一矿块碎成一些同体积的立方形颗粒，即使其颗粒粒度已小于有用矿物粒子的粒度，大部分脉石矿物是被解离了（单体解离），但有用矿物颗粒除一部分已单体解离外，很多颗粒仍然含有一部分脉石矿物，形成连生体颗粒，这些连生体颗粒在选分过程中常形成中矿产品产出，需要进一步粉碎来予以单体解离。表示有用矿物解离程度的

指标称为单体解离度，它是呈作单位颗粒的有价矿物量对该产品中全部有价矿物量的百分数。如果有用矿物粒子与脉石矿物（或其他矿物）粒子间的连结力弱，粉碎后可得到高的单体解离度；如果连结力强，则粉碎时矿物粒子被横断劈开，则会产生大量的连生体颗粒。

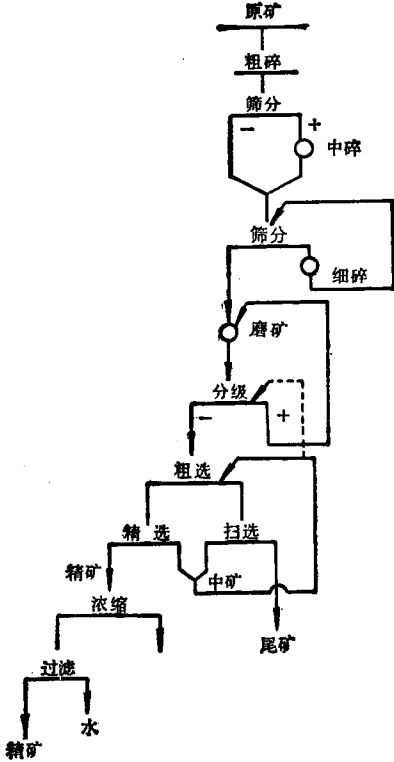


图 1 选厂流程图（例）

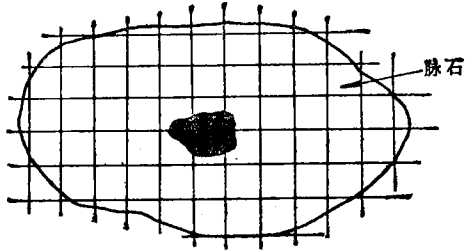


图 2 解离的脉石颗粒及有用矿物和脉石的连生体颗粒

当粉碎贫矿石时，在较粗的粉碎粒度下，常已可使大部分脉石矿物单体解离，在这种情况下选分，可尽早尽粗粒地抛弃尾矿，仅对量少的粗精矿或中矿再粉碎再选，从而可大大地减少粉碎费用，并可使有用矿物减少过粉碎，而过粉碎对有用矿物的回收也不利。

**选矿厂** 选矿厂除包括上述选矿前矿物原料准备，选分以及选后的产品处理这三种主要作业及设备外，还设置有矿石贮场（兼做混和矿石用）矿仓，作业间产品的运输（皮带运输、矿浆泵送），给矿机，浮选车间的配药室及给药机，取样机，检测仪表，过程的自动控制设施，安装于运输皮带上的防止（取出）采矿时混入矿石中之铁件落入破碎机中造成破碎机损坏的悬吊电磁吸铁器，用以除去粗碎机产品中压扁的大木块的筛子，过滤机的真空泵及空气压缩机，称量矿石处理量及精矿产品计量的皮带秤、供水、供电、维修等等的辅助作业及设备。选矿厂常设在矿山附近，以减少原矿的运输费用，建筑在一定坡度的斜坡上，以资利用物料的重力作用自流输送。



（一）  
（二）  
（三）  
（四）  
（五）  
（六）  
（七）  
（八）  
（九）  
（十）