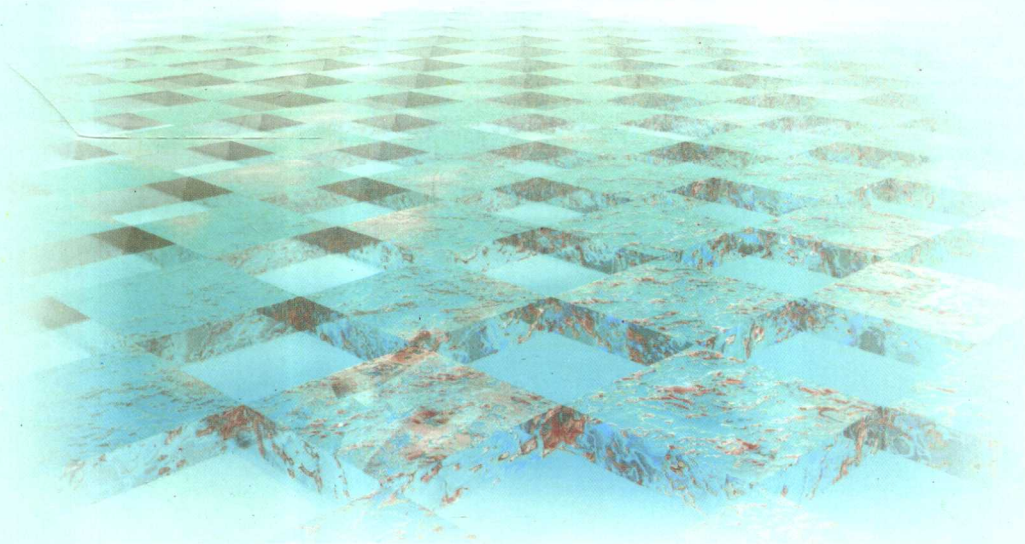


高等学校规划教材  
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

# 固体物料 分选理论与工艺

张一敏 主编



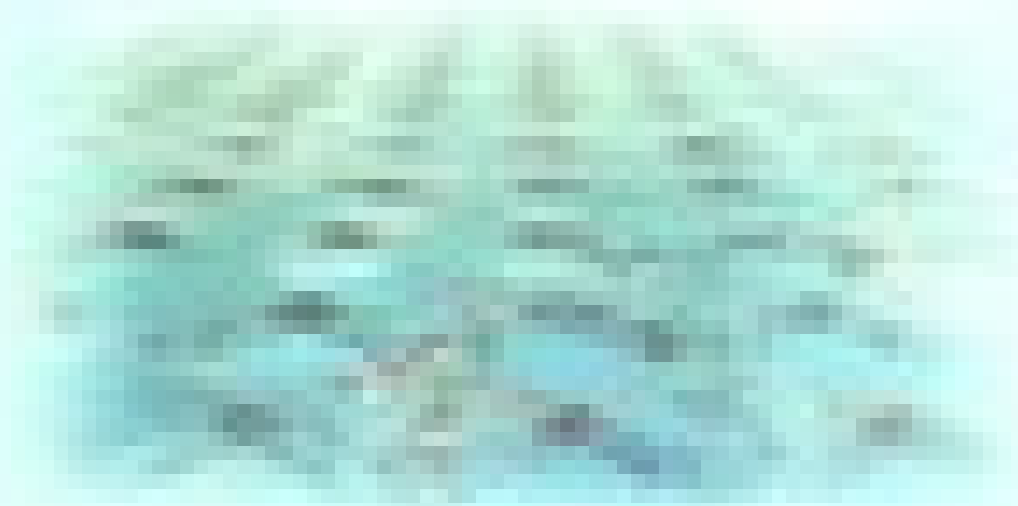
冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高等學校教學參考書  
《普通地質學》編委會編  
《普通地質學》編委會編

# 固体物料 分选理论与工艺

第一版



中国地质大学出版社  
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS

高等学校规划教材

# 固体物料分选理论与工艺

张一敏 主 编

宋少先 副主编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2007

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了固体物料分选的基本概念、理论及研究方法,并详尽阐述了黑色、有色及贵重金属矿物的分选工艺及典型分选设备。从狭义固体物料定义出发,本书突破了以往固体物料分选学传统内容设置,增设了固体废物分选内容,加强了非金属矿物分选内容的分量,注重反映该领域的国内外新成果、新成就及相关科学技术前沿状况。书中还在作者多年研究成果基础上,注入了一些新的观点、方法以及最新研发的新工艺、新设备。

本书可作为矿物加工工程专业本科生教学用书,也可作为矿物加工工程、环境工程、化工工程以及材料科学与工程等专业领域科技人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

固体物料分选理论与工艺/张一敏主编. —北京:冶金工业出版社, 2007. 10

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4175-3

I. 固… II. 张… III. 选矿—高等学校—教材 IV. TD91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 147892 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 朱华英 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 王永欣 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4175-3

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2007 年 10 月第 1 版, 2007 年 10 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 31.75 印张; 851 千字; 492 页; 1-3000 册

68.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

当“选矿”一词广泛被“矿物处理”、“矿物加工”或“矿物工程”所取代时，实际上已经显现出“固体物料分选”这一新概念的产生。从最初的金属矿选矿出发，将处理对象扩展到一定范围内的固体物料分选，如非金属矿及一类含有有价成分的固体废物的分选等。毋庸置疑，这是科学技术进步带动传统学科发展的必然结果。固体物料分选具有明显的跨学科、跨工程性质，它不仅应用于矿物加工领域，也在环境、化工、材料等工程领域得到愈来愈多的和富有成效的应用。

为满足当前固体物料分选教学和科研的需要，作者受冶金工业出版社委托，编写了《固体物料分选理论与工艺》一书。该书从特定的固体物料分选角度出发，在重视固体物料分选基本概念、理论及研究方法，突出黑色、有色及贵重金属矿物分选的同时，增设了固体废物分选内容，加大了非金属矿物分选的分量。本书从学科发展和教学实际需要出发，注重反映该领域国内外相关的科学研究前沿状况，并在作者多年研究成果基础上，注入了一些新的观点、方法以及最新研发的新工艺、新设备。考虑到过程检查及过程控制在固体物料分选中的重要性，本书还以相当篇幅就固体物料分选过程检测、物料平衡以及过程控制进行了较为详尽的描述，试图借此向读者提供一部较为系统的固体物料分选理论与工艺的教科书。

本书可作为矿物加工工程专业本科生教学用书，也可作为从事矿物加工工程、环境工程、化工工程以及材料科学与工程等专业领域研究的科技人员的参考书。

本书由张一敏任主编，宋少先任副主编，其中：前言、绪论、第11章、第18章、第19章由张一敏编写；第13章、第14章由宋少先编写；第1章、第7章由刘涛编写；第2章、第3章、第4章由杨大兵编写；第5章、第6

章、第 16 章由王昌安编写；第 8 章、第 9 章、第 10 章由周文波编写；第 12 章、第 15 章、第 17 章由张芹编写；第 20 章、第 21 章由陈铁军编写。宋少先参加了全书的初审工作，刘涛参加了全书的编辑工作。全书由张一敏统稿、修改和审定。

在成书过程中，得到了武汉科技大学、武汉理工大学黄晶、李良华、刘建朋、康兴东等的大力协助，在此一并致以谢意。

由于作者水平所限，不足之处敬请读者赐教与斧正。

作 者

2007 年 5 月于武汉

# 目 录

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 0 绪论 .....              | 1 |
| 0.1 固体物料分选对象及其意义 .....  | 1 |
| 0.2 固体物料 .....          | 1 |
| 0.2.1 矿物 .....          | 1 |
| 0.2.2 矿石 .....          | 2 |
| 0.2.3 固体废物 .....        | 4 |
| 0.3 分选过程及方法 .....       | 5 |
| 0.3.1 分选过程 .....        | 5 |
| 0.3.2 分选方法 .....        | 5 |
| 0.4 分选过程的几个主要评价概念 ..... | 6 |

## 第1篇 物料磨碎与分级

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1 物料粒度特性及分析 .....          | 11 |
| 1.1 颗粒的几何特征 .....          | 11 |
| 1.1.1 颗粒的大小 .....          | 11 |
| 1.1.2 颗粒的形状 .....          | 16 |
| 1.2 颗粒粒度分析 .....           | 18 |
| 1.2.1 筛分分析法 .....          | 18 |
| 1.2.2 沉降分析法 .....          | 22 |
| 1.2.3 激光粒度分析 .....         | 26 |
| 2 物料破碎 .....               | 30 |
| 2.1 概述 .....               | 30 |
| 2.1.1 破碎在物料分选中的作用和意义 ..... | 30 |
| 2.1.2 破碎与磨碎的区别 .....       | 30 |
| 2.1.3 破碎的技术指标 .....        | 31 |
| 2.2 物料破碎的功耗理论 .....        | 33 |
| 2.2.1 物料的机械强度 .....        | 33 |
| 2.2.2 物料破碎的功耗学说 .....      | 34 |
| 2.3 破碎设备 .....             | 37 |
| 2.3.1 颞式破碎机 .....          | 37 |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 2.3.2 旋回破碎机 .....          | 39        |
| 2.3.3 圆锥破碎机 .....          | 41        |
| 2.3.4 反击式破碎机 .....         | 41        |
| 2.3.5 辊式破碎机 .....          | 43        |
| 2.3.6 影响破碎机生产的因素 .....     | 44        |
| 2.4 破碎流程 .....             | 44        |
| 2.4.1 确定碎矿流程的基本原则 .....    | 44        |
| 2.4.2 常用碎矿流程 .....         | 46        |
| <b>3 物料磨碎 .....</b>        | <b>48</b> |
| 3.1 磨机介质运动学 .....          | 48        |
| 3.1.1 磨机内介质的运动状态 .....     | 48        |
| 3.1.2 抛落运动状态下介质的运动分析 ..... | 49        |
| 3.1.3 超临界转速运转及其磨碎作用 .....  | 50        |
| 3.2 磨碎设备 .....             | 51        |
| 3.2.1 球磨机和棒磨机 .....        | 51        |
| 3.2.2 自磨机和砾磨机 .....        | 54        |
| 3.2.3 超细粉碎设备 .....         | 55        |
| 3.3 磨碎流程 .....             | 60        |
| 3.3.1 一段磨矿流程 .....         | 60        |
| 3.3.2 两段磨矿流程 .....         | 61        |
| 3.3.3 自磨流程 .....           | 62        |
| 3.4 磨碎过程的动力学和应用 .....      | 63        |
| 3.4.1 磨碎过程的动力学 .....       | 63        |
| 3.4.2 磨碎过程的动力学应用 .....     | 65        |
| <b>4 物料分级 .....</b>        | <b>67</b> |
| 4.1 筛分 .....               | 67        |
| 4.1.1 筛分原理 .....           | 67        |
| 4.1.2 筛分机械 .....           | 70        |
| 4.1.3 筛分动力学及应用 .....       | 77        |
| 4.2 水力分级 .....             | 78        |
| 4.2.1 机械分级机 .....          | 78        |
| 4.2.2 水力旋流器 .....          | 79        |
| 4.2.3 分级效率评价 .....         | 80        |

## 第2篇 重 力 分 选

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>5 重力分选原理 .....</b>    | <b>85</b> |
| 5.1 介质特性及其对颗粒运动的影响 ..... | 85        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 5.1.1 介质的特性 .....                | 85         |
| 5.1.2 介质在沉降过程中所受的力 .....         | 86         |
| 5.2 颗粒在介质中的自由沉降 .....            | 90         |
| 5.2.1 球形颗粒在静止介质中的自由沉降 .....      | 90         |
| 5.2.2 非球形颗粒在静止介质中的自由沉降 .....     | 91         |
| 5.2.3 规则几何形状颗粒的沉降速度研究 .....      | 92         |
| 5.3 颗粒在粒群中的干涉沉降 .....            | 94         |
| 5.3.1 干涉沉降的特性 .....              | 94         |
| 5.3.2 干涉沉降速度公式 .....             | 95         |
| <b>6 重介质分选 .....</b>             | <b>99</b>  |
| 6.1 概述 .....                     | 99         |
| 6.2 重介质 .....                    | 99         |
| 6.2.1 重液 .....                   | 99         |
| 6.2.2 固体重介质 .....                | 100        |
| 6.3 重介质分选工艺 .....                | 101        |
| 6.3.1 分选工艺 .....                 | 101        |
| 6.3.2 分选设备 .....                 | 102        |
| 6.4 重介质分选的应用 .....               | 106        |
| 6.4.1 煤的重介质分选 .....              | 106        |
| 6.4.2 粗粒级红柱石的重介质分选 .....         | 108        |
| 6.5 矿石的密度组成测定和简单的重选矿石可选性曲线 ..... | 109        |
| 6.5.1 浮沉试验 .....                 | 109        |
| 6.5.2 简单的矿石可选性曲线 .....           | 110        |
| <b>7 重选设备 .....</b>              | <b>112</b> |
| 7.1 跳汰机 .....                    | 112        |
| 7.1.1 跳汰设备 .....                 | 112        |
| 7.1.2 影响跳汰分选的工艺因素 .....          | 118        |
| 7.1.3 跳汰分选的应用 .....              | 120        |
| 7.2 溜槽 .....                     | 121        |
| 7.2.1 皮带溜槽、摇动翻床和横流皮带溜槽 .....     | 121        |
| 7.2.2 扇形溜槽和圆锥分选机 .....           | 123        |
| 7.2.3 离心分选机 .....                | 126        |
| 7.2.4 螺旋选矿机和螺旋溜槽 .....           | 130        |
| 7.2.5 超极限螺旋溜槽 .....              | 133        |
| 7.3 摇床 .....                     | 136        |
| 7.3.1 摇床设备 .....                 | 137        |
| 7.3.2 摇床分选过程的影响因素 .....          | 144        |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 7.3.3 摇床分选的应用 ..... | 145 |
|---------------------|-----|

## 第3篇 磁 电 分 选

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>8 磁力分选基本原理 .....</b>        | <b>149</b> |
| 8.1 磁选的物理基础 .....              | 149        |
| 8.1.1 磁场、磁感应强度和磁场强度 .....      | 149        |
| 8.1.2 非均匀磁场和磁场梯度 .....         | 150        |
| 8.1.3 物体的磁化、磁化强度和磁化系数 .....    | 151        |
| 8.2 固体物料的磁性 .....              | 152        |
| 8.2.1 固体物料按磁性分类 .....          | 152        |
| 8.2.2 铁磁性矿物的磁性 .....           | 154        |
| 8.3 磁选过程中的力场 .....             | 154        |
| 8.3.1 磁力 .....                 | 154        |
| 8.3.2 重力和离心力 .....             | 155        |
| 8.3.3 水动力 .....                | 155        |
| 8.3.4 磁选过程中力的竞争 .....          | 155        |
| 8.4 磁选机的磁场特性 .....             | 155        |
| 8.4.1 开放型磁系的磁场特性 .....         | 155        |
| 8.4.2 闭合磁系的磁场特性 .....          | 159        |
| 8.5 矿石的磁化改性 .....              | 166        |
| 8.5.1 磁化焙烧 .....               | 166        |
| 8.5.2 铁矿物磁化焙烧图 .....           | 168        |
| 8.5.3 焙烧炉 .....                | 169        |
| 8.5.4 预磁与脱磁 .....              | 170        |
| <b>9 磁选设备 .....</b>            | <b>173</b> |
| 9.1 弱磁选机 .....                 | 173        |
| 9.1.1 湿式弱磁选机 .....             | 173        |
| 9.1.2 干式弱磁选机 .....             | 179        |
| 9.2 强磁选机 .....                 | 182        |
| 9.2.1 琼斯 (Jones) 型湿式强磁选机 ..... | 182        |
| 9.2.2 萨拉 (SALA) 转环式强磁选机 .....  | 183        |
| 9.2.3 SLON 型立环脉动强磁选机 .....     | 184        |
| 9.2.4 盘式强磁选机 .....             | 185        |
| 9.2.5 CS-1 型电磁感应辊式强磁选机 .....   | 186        |
| 9.3 高梯度磁选机 .....               | 187        |
| 9.4 超导磁选机 .....                | 188        |
| 9.4.1 四极头超导磁选机 .....           | 188        |

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| 9.4.2 螺线管堆超导磁选机 .....                                        | 189        |
| <b>10 电力分选 .....</b>                                         | <b>190</b> |
| 10.1 电选原理 .....                                              | 190        |
| 10.1.1 矿物的电性质 .....                                          | 190        |
| 10.1.2 矿物颗粒在电场中带电的方法 .....                                   | 192        |
| 10.1.3 电力分离的基本条件 .....                                       | 194        |
| 10.1.4 电力分选的作用机理 .....                                       | 196        |
| 10.2 电选机 .....                                               | 197        |
| 10.2.1 $\phi 120\text{mm} \times 1500\text{mm}$ 双辊筒电选机 ..... | 198        |
| 10.2.2 DX-1 型高压电选机 .....                                     | 199        |
| 10.2.3 美国卡普科 (Carpco) 电选机 .....                              | 199        |
| 10.2.4 YD 型电选机 .....                                         | 200        |
| 10.3 电选过程的影响因素 .....                                         | 200        |
| 10.3.1 电选机的工作参数 .....                                        | 200        |
| 10.3.2 物料性质 .....                                            | 202        |
| 10.4 电选实践 .....                                              | 203        |
| 10.4.1 白钨锡石的分离 .....                                         | 203        |
| 10.4.2 含钛矿物的精选 .....                                         | 203        |

## 第4篇 浮 选

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>11 浮选原理 .....</b>           | <b>207</b> |
| 11.1 浮选体系中的液-固-气三相 .....       | 207        |
| 11.1.1 水的结构和性质 .....           | 207        |
| 11.1.2 矿物表面 .....              | 211        |
| 11.1.3 气泡 .....                | 216        |
| 11.2 浮选体系中的固液界面 .....          | 220        |
| 11.2.1 固体表面的润湿性与可浮性 .....      | 220        |
| 11.2.2 固体表面电性质与可浮性 .....       | 224        |
| 11.2.3 固-液界面的吸附现象 .....        | 229        |
| 11.3 水中固体颗粒与气泡的相互作用 .....      | 235        |
| 11.3.1 水中固体颗粒与气泡的接触与黏着过程 ..... | 235        |
| 11.3.2 颗粒的黏着稳定性 .....          | 239        |
| 11.4 浮选动力学 .....               | 240        |
| 11.4.1 浮选动力学模型 .....           | 240        |
| 11.4.2 浮选速率常数 .....            | 243        |
| <b>12 浮选药剂 .....</b>           | <b>246</b> |
| 12.1 捕收剂 .....                 | 246        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 12.1.1 捕收剂分子的结构特点 .....     | 246 |
| 12.1.2 硫化矿捕收剂 .....         | 247 |
| 12.1.3 非硫化矿捕收剂 .....        | 255 |
| 12.2 调整剂 .....              | 263 |
| 12.2.1 调整剂的主要作用方式 .....     | 263 |
| 12.2.2 抑制剂 .....            | 264 |
| 12.2.3 活化剂 .....            | 270 |
| 12.2.4 pH 值调整剂 .....        | 271 |
| 12.3 起泡剂 .....              | 272 |
| 12.3.1 起泡剂分子的结构特点 .....     | 272 |
| 12.3.2 起泡剂的作用 .....         | 273 |
| 12.3.3 起泡剂的种类 .....         | 273 |
| 13 浮选机 .....                | 276 |
| 13.1 机械搅拌式浮选机 .....         | 276 |
| 13.1.1 机械搅拌式浮选机的工作原理 .....  | 276 |
| 13.1.2 机械搅拌式浮选机的结构特点 .....  | 277 |
| 13.1.3 常用机械搅拌式浮选机 .....     | 279 |
| 13.1.4 机械搅拌式浮选机的大型化 .....   | 281 |
| 13.2 浮选柱 .....              | 281 |
| 13.2.1 传统浮选柱 .....          | 282 |
| 13.2.2 第二代浮选柱 .....         | 283 |
| 13.3 特殊浮选机 .....            | 287 |
| 13.3.1 溶气浮选机 .....          | 287 |
| 13.3.2 电解浮选机 .....          | 288 |
| 13.3.3 泡沫分选机 .....          | 289 |
| 13.3.4 空气喷射旋流浮选机 .....      | 289 |
| 14 微细粒浮选 .....              | 291 |
| 14.1 粒度对浮选的影响 .....         | 291 |
| 14.1.1 浮选的粒度上限和下限 .....     | 291 |
| 14.1.2 微细粒浮选恶化的原因 .....     | 293 |
| 14.2 改善微细粒浮选的有效途径 .....     | 298 |
| 14.2.1 微细粒悬浮体的有效分散 .....    | 298 |
| 14.2.2 增强有用矿物微细粒的疏水性 .....  | 299 |
| 14.2.3 微细粒聚团增大浮选颗粒的粒径 ..... | 299 |
| 14.2.4 减小浮选气泡的粒径 .....      | 300 |
| 14.2.5 高效微细粒浮选设备 .....      | 300 |
| 14.3 微细粒悬浮体的分散与聚团 .....     | 300 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 14.3.1 微细粒悬浮体的稳定性理论 .....    | 300 |
| 14.3.2 微细粒悬浮体的分散 .....       | 302 |
| 14.3.3 微粒悬浮体的聚团 .....        | 304 |
| 14.4 微细粒的聚团浮选 .....          | 313 |
| 14.4.1 微细粒聚团浮选的工艺和特点 .....   | 314 |
| 14.4.2 微细粒矿物和煤聚团浮选的实例 .....  | 317 |
| 15 生物浮选 .....                | 325 |
| 15.1 微生物 .....               | 325 |
| 15.1.1 与矿物作用的微生物的特征和分类 ..... | 325 |
| 15.1.2 微生物的采集、培养与驯化 .....    | 326 |
| 15.2 生物浮选的机理 .....           | 326 |
| 15.2.1 矿物表面微生物的吸附 .....      | 327 |
| 15.2.2 矿物表面的氧化 .....         | 328 |
| 15.3 矿物的生物浮选 .....           | 329 |

## 第5篇 分 选 工 艺

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 16 黑色金属矿石分选工艺 .....              | 333 |
| 16.1 铁矿石的重选流程 .....              | 333 |
| 16.1.1 处理粗粒鲕状赤铁矿石的重选流程 .....     | 333 |
| 16.1.2 处理鞍山式假象赤铁矿石的弱磁—重选流程 ..... | 335 |
| 16.2 锰矿石分选工艺 .....               | 336 |
| 16.2.1 概述 .....                  | 336 |
| 16.2.2 连城锰矿分选工艺 .....            | 338 |
| 16.2.3 桃江锰矿分选工艺 .....            | 338 |
| 16.3 铬铁矿分选工艺 .....               | 339 |
| 16.3.1 概述 .....                  | 339 |
| 16.3.2 西藏罗布莎铬铁矿 .....            | 340 |
| 17 有色及贵金属矿石分选工艺 .....            | 341 |
| 17.1 有色金属硫化矿的分选工艺 .....          | 341 |
| 17.1.1 硫化铜矿的分选工艺 .....           | 341 |
| 17.1.2 硫化铅锌矿的分选工艺 .....          | 345 |
| 17.1.3 硫化铜锌矿的分选工艺 .....          | 348 |
| 17.1.4 硫化铜铅锌矿的分选工艺 .....         | 349 |
| 17.1.5 硫化铜镍矿的分选工艺 .....          | 351 |
| 17.1.6 硫化铜钼矿的分选工艺 .....          | 352 |
| 17.2 有色金属氧化矿的分选工艺 .....          | 353 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 17.2.1 氧化铜矿的分选工艺 .....        | 354        |
| 17.2.2 氧化铅矿的分选工艺 .....        | 354        |
| 17.2.3 氧化锌矿的分选工艺 .....        | 355        |
| 17.3 贵金属矿石分选工艺 .....          | 355        |
| 17.3.1 含金矿石的分选 .....          | 355        |
| 17.3.2 含银矿石的分选 .....          | 356        |
| <b>18 非金属矿石分选工艺 .....</b>     | <b>357</b> |
| 18.1 菱镁矿分选工艺 .....            | 357        |
| 18.1.1 矿石类型及矿物性质与组成 .....     | 357        |
| 18.1.2 菱镁矿分选工艺及实例 .....       | 357        |
| 18.2 红柱石分选工艺 .....            | 361        |
| 18.2.1 矿石类型及矿物特征与组成 .....     | 362        |
| 18.2.2 红柱石分选工艺及实例 .....       | 363        |
| 18.3 蓝晶石分选工艺 .....            | 368        |
| 18.3.1 矿石类型及矿物特征与组成 .....     | 368        |
| 18.3.2 蓝晶石分选工艺及实例 .....       | 369        |
| 18.4 高铝矾土分选工艺 .....           | 373        |
| 18.4.1 高铝矾土类型及矿物化学组成与特征 ..... | 373        |
| 18.4.2 高铝矾土分选工艺及实例 .....      | 374        |
| 18.5 萤石分选工艺 .....             | 377        |
| 18.5.1 萤石类型与特征及矿物性质 .....     | 377        |
| 18.5.2 萤石分选工艺及实例 .....        | 378        |
| 18.6 石墨分选工艺 .....             | 382        |
| 18.6.1 石墨晶体结构、矿物形态及性质 .....   | 382        |
| 18.6.2 石墨分选工艺及实例 .....        | 383        |
| <b>19 固体废物分选工艺 .....</b>      | <b>388</b> |
| 19.1 矿山尾矿分选处理工艺 .....         | 388        |
| 19.1.1 矿山尾矿的分类与组成 .....       | 388        |
| 19.1.2 矿山尾矿分选处理工艺及实例 .....    | 390        |
| 19.2 钢渣分选处理工艺 .....           | 396        |
| 19.2.1 钢渣的分类与组成 .....         | 396        |
| 19.2.2 钢渣分选处理工艺及实例 .....      | 398        |
| 19.3 硫酸渣分选处理工艺 .....          | 401        |
| 19.3.1 硫酸渣的来源与组成 .....        | 401        |
| 19.3.2 硫酸渣分选处理工艺及实例 .....     | 402        |
| 19.4 粉煤灰分选处理工艺 .....          | 406        |
| 19.4.1 粉煤灰的来源与组成 .....        | 406        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 19.4.2 粉煤灰分选处理工艺及实例 .....  | 408 |
| 19.5 煤矸石分选处理工艺 .....       | 410 |
| 19.5.1 煤矸石的来源与组成 .....     | 410 |
| 19.5.2 煤矸石分选处理工艺及实例 .....  | 411 |
| 19.6 城市垃圾分选处理工艺 .....      | 413 |
| 19.6.1 城市垃圾的分类与组成 .....    | 413 |
| 19.6.2 城市垃圾分选处理工艺及实例 ..... | 416 |
| 19.7 废纸浮选脱墨工艺 .....        | 418 |
| 19.7.1 废纸的来源及特点 .....      | 418 |
| 19.7.2 废纸浮选脱墨工艺及实例 .....   | 419 |
| 19.8 废金属分选处理工艺 .....       | 420 |
| 19.8.1 废金属的来源及现状 .....     | 420 |
| 19.8.2 废金属分选处理工艺及实例 .....  | 421 |

## 第6篇 固体物料分选过程检测、物料平衡和过程控制

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 20 分选过程检测 .....                    | 427 |
| 20.1 取样与试样加工 .....                 | 427 |
| 20.1.1 概述 .....                    | 427 |
| 20.1.2 采样 .....                    | 427 |
| 20.1.3 试样加工 .....                  | 436 |
| 20.1.4 取样设备 .....                  | 439 |
| 20.2 工艺过程检测 .....                  | 446 |
| 20.2.1 分选过程检测的目的及内容 .....          | 446 |
| 20.2.2 矿浆流量检测 .....                | 447 |
| 20.2.3 物料重量检测 .....                | 450 |
| 20.2.4 密度及浓度检测 .....               | 455 |
| 20.2.5 液位及料位检测 .....               | 457 |
| 20.2.6 分选过程组分在线检测 .....            | 461 |
| 20.3 分选过程物料平衡 .....                | 465 |
| 20.3.1 概述 .....                    | 465 |
| 20.3.2 物料平衡的传统计算方法 .....           | 465 |
| 20.3.3 物料平衡程序算法 .....              | 466 |
| 20.3.4 物料平衡程序实例——DYMBAL 系统简介 ..... | 469 |
| 21 分选过程控制 .....                    | 473 |
| 21.1 分选过程控制概述 .....                | 473 |
| 21.2 磨矿分级系统过程自动控制 .....            | 474 |
| 21.2.1 磨矿分级系统控制的目的是内容 .....        | 474 |

---

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 21.2.2 磨矿过程稳定控制 .....    | 474     |
| 21.2.3 磨矿分级系统控制实例 .....  | 476     |
| 21.3 选别过程控制 .....        | 478     |
| 21.3.1 浮选矿浆 pH 值控制 ..... | 478     |
| 21.3.2 浮选加药量控制 .....     | 479     |
| 21.3.3 浮选槽液位控制 .....     | 481     |
| 21.3.4 浮选槽充气量控制 .....    | 482     |
| 21.3.5 浮选过程多参数综合控制 ..... | 482     |
| 21.3.6 螺旋溜槽给矿自动控制 .....  | 483     |
| <br>思考题 .....            | <br>485 |
| <br>参考文献 .....           | <br>490 |

# 0 绪 论

## 0.1 固体物料分选对象及其意义

随着经济的迅猛发展,对矿产资源的需求越来越大,进而加剧了资源枯竭的进程。人们不得不重新审视已有的矿物加工技术,并最大限度地扩大处理对象。众所周知,目前在地壳中已知的 3000 余种各类矿物中,可被利用的不过 200 余种。而由于选冶工艺技术等原因,这些有限资源,仍有相当大部分没被回收利用,如:黑色金属损失约为 20%,有色金属损失约为 40%,稀有金属的损失则往往高达 50% 以上。在我国由于存在大量的贫、细、杂以及共生矿石,使这一问题显得愈加突出。

另一个不容忽视的问题是,现代工业活动及人类生活所带来的大量固体废物,其中含有大量有用金属和无机、有机材料。有数据表明,在进入经济体系的各类物质中,仅有 10% ~ 15% 的物质能以建筑、工厂、装置、器具等形式积累起来,其余则绝大部分形成了废物。因此,强化资源回收及综合利用,提高资源承载能力,是减缓和遏制资源枯竭状况的唯一有效途径,也是现代固体物料分选的主要任务。

固体物料分选的对象及其意义主要表现在以下几个方面:

(1) 富集矿石中有用成分,使之达到冶炼或其他工业要求的质量标准,以便经济、高效地利用矿石资源;

(2) 制备高纯矿物产品,为生产高端产品提供优质原料;

(3) 去除矿物中的有害杂质,满足后续用户的要求;

(4) 分离矿石中多种有价值组分,形成各种精料产品,以利于分别加工和利用;

(5) 从固体废物如:尾矿、冶炼及化工废渣、有价粉尘、废旧金属以及垃圾中回收有价值成分或使其资源化;

(6) 从工业废液、排放废水中回收有用组分或有用物质,实现固液分离或净化处理,以达到保护环境的目的。

## 0.2 固体物料

广义的固体物料包括任何以固体形式存在的块状、颗粒状、粉末状或其他形状的物体。固体物料分选领域中狭义的固体物料主要包括:矿物、矿石以及一类可回收利用的有价固体废物。

### 0.2.1 矿物

金属在地壳或海底矿床中存在的形式取决于各自的环境,尤其取决于氧、硫和二氧化碳对它们的作用程度。金和铂主要呈天然或金属态,银、铜和汞呈天然态或呈硫化物、碳酸盐和氯化物形态。多数活泼金属常以化合物形式存在,如:铁的氧化物和硫化物,铝和铍的氧化物和硅酸盐。通常把以天然产出的化合物称之为矿物。其中,大部分根据其化学组成命名,如:方铅矿——铅的硫化物  $\text{PbS}$ ; 闪锌矿——锌的硫化物  $\text{ZnS}$ ; 锡石——锡的氧化物  $\text{SnO}_2$  等等。

矿物是具有某种固定化学成分和原子结构的天然无机物,但这种定义并不十分严谨。实际