



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 固体物料分选学

(第3版)

魏德洲 主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 固体物料分选学

(第3版)

魏德洲 主编

北 京

冶金工业出版社

2015

## 内 容 提 要

本书简明而系统地介绍了固体物料分选的基本概念、基本原理、主要设备和常见分选工艺,并力求涵盖所有固体物料的分选。全书共分为六篇 31 章:“破碎与磨矿”、“磁选和电选”、“重选”、“浮选”、“其他分选方法”、“分选工艺及辅助作业”,旨在使固体物料分选过程所涉及的概念、理论、设备和工艺成为统一的有机整体。

本书既可作为矿物加工工程专业本科生的专业课教材,从事选矿领域科学研究、技术开发和工程设计的技术人员的工具书,还可供能源、冶金、化工、环境、建筑、农业等部门从事与固体物料分选有关工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

固体物料分选学/魏德洲主编. —3 版. —北京:冶金工业出版社, 2015. 8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5024-6898-9

I. ①固… II. ①魏… III. ①选矿—高等学校—教材  
IV. ①TD91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 155350 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 [www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn) 电子信箱 [yjcbcs@cnmp.com.cn](mailto:yjcbcs@cnmp.com.cn)

责任编辑 王雪涛 宋 良 技术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6898-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2000 年 9 月第 1 版, 2009 年 9 月第 2 版, 2015 年 8 月第 3 版, 2015 年 8 月第 1 次印刷  
787mm × 1092mm 1/16; 30.5 印张; 739 千字; 467 页

60.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 [tougao@cnmp.com.cn](mailto:tougao@cnmp.com.cn)

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 [yjgybs.tmall.com](http://yjgybs.tmall.com)

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

### 第3版前言

《固体物料分选学》一书于2000年第1版、2009年第2版问世后，一直受到矿物加工领域的关注，被多所高等院校选作矿物加工工程专业本科生的专业课教材和研究生入学考试的参考书。随着矿物加工及相关技术领域的不断发展，涌现出的新科研成果使固体物料分选过程的理论不断完善、新工艺和新设备不断涌现。基于这一客观实际，参考第2版问世以来读者的修改意见和建议，我们又对内容进行了全面的修订和补充，增加了美卓诺德伯格 Superior MK-II 旋回破碎机和 C 系列颚式破碎机以及 HP 系列圆锥破碎机、山特维克 CS 系列和 CH 系列圆锥破碎机、尼尔森选矿机等方面的内容，充实了有关高压辊磨机的内容，并将第1篇的篇名改为“破碎与磨矿”，以体现科学技术的发展，满足矿物加工及相关技术领域教学、科学研究和生产实践的需要。与此同时，为了帮助读者更好地理解、掌握本书的内容，本次修订各章增加了复习思考题。

参加本书修订工作的有魏德洲（绪论、第1篇）、沈岩柏（第4篇）、高淑玲（第3篇和第6篇）、刘文刚（第2篇和第5篇），韩聪、崔宝玉、朴正杰、张瑞洋、卢涛、李明阳、梁广泉等参加了资料收集工作，魏德洲担任主编，对全书作了统一整理和修改。

《固体物料分选学》这次修订出版工作纳入了东北大学“十二五”教材建设规划，学校在编写工作和出版经费方面给予了大力支持和帮助；修订工作还得到了东北大学资源与土木工程学院、特别是矿物工程研究所相关领导和老师们的支持和帮助，袁致涛教授对第2篇书稿进行了认真审阅，提出了许多宝贵意见，在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳切希望读者批评指正。

编者  
2015年3月

## 第2版前言

《固体物料分选学》一书于2000年出版以来，受到了矿物加工领域的关注，被多所大专院校选作矿物加工工程专业本科生的专业课教材和研究生入学考试的参考书。随着矿物加工及相关技术领域的不断发展，涌现出的新科研成果使固体物料分选过程的理论、工艺和设备逐渐丰富和完善。基于这一客观实际，参考第1版读者的修改意见和建议，我们在第1版书稿的基础上，对内容进行了全面的修订，以体现科学技术的发展、满足矿物加工及相关技术领域教育教学、科学研究和生产实践的需要。

参加本书修订工作的有魏德洲（绪论、第1篇和第4篇）、高淑玲（第3篇和第6篇）、刘文刚（第2篇和第5篇），代淑娟、贾春云、韩聪、柳青、崔宝玉、杨海龙、孟娜、王玉娟、周南、曹亮、梁广泉等参加了资料收集和文字输入工作，魏德洲担任主编，对全书作了统一整理和修改。由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

《固体物料分选学》这次修订出版工作纳入了东北大学“十一五”教材建设规划，学校在编写工作和出版经费方面给予了大力支持和帮助；修订工作还得到了东北大学资源与土木工程学院、特别是矿物工程研究所相关领导和老师们的支持和帮助，在此一并致以诚挚的谢意。

编 者  
2009年5月

# 第1版前言

本书是根据原冶金工业部的“九五”教材出版规划的安排，从矿物加工工程学科的发展和各种分选方法的应用范围不断扩大这一客观事实出发，为了使矿物加工工程专业本科生的培养跟上科学技术发展的步伐，在原有多种教材的基础上编写而成的。

为了适应“加强基础、淡化专业”这一培养本科生的总体指导思想，本书的编写立足于介绍固体物料分选的基本概念、基本原理、主要设备和常见分选工艺，并力求涵盖所有固体物料的分选。书中的内容既包含了原来的《碎矿与磨矿》、《磁电选矿》、《重力选矿》和《浮选》4本教材的内容，还增加了“其他分选方法”和“分选工艺及辅助作业”2篇，旨在使固体物料分选过程所涉及的概念、理论、设备和工艺，在本书中成为统一整体。

参加本书编写工作的有魏德洲（绪论、第1篇和第3篇），连相泉（第2篇和第5篇）、刘慧纳（第4篇和第6篇），魏德洲担任主编，对全书作了统一整理和修改。由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

在本书编写过程中，北京科技大学的卢寿慈教授、中国矿业大学的赵跃民教授和东北大学的张维庆教授对书稿进行了认真审阅，提出了许多宝贵意见，在此一并致以诚挚的谢意。

编者  
1999年7月

## 冶金工业出版社部分图书推荐

| 书 名                    | 作 者    | 定价(元)  |
|------------------------|--------|--------|
| 中国冶金百科全书·选矿卷           | 编委会 编  | 140.00 |
| 选矿工程师手册(第1册)           | 编委会 编  | 218.00 |
| 金属及矿产品深加工              | 戴永年 等著 | 118.00 |
| 生物技术在矿物加工中的应用          | 魏德洲 主编 | 22.00  |
| 矿产资源开发利用与规划(本科教材)      | 邢立亭 等编 | 40.00  |
| 地质学(第5版)(国规教材)         | 徐九华 主编 | 48.00  |
| 采矿学(第2版)(国规教材)         | 王 青 等编 | 58.00  |
| 新编选矿概论(本科教材)           | 魏德洲 主编 | 59.00  |
| 选矿数学模型(本科教材)           | 王泽红 等编 | 49.00  |
| 选矿学实验教程(本科教材)          | 赵礼兵 主编 | 32.00  |
| 碎矿与磨矿(第3版)(国规教材)(本科教材) | 段希祥 主编 | 35.00  |
| 磁电选矿(第2版)(本科教材)        | 袁致涛 主编 | 39.00  |
| 矿山安全工程(国规教材)           | 陈宝智 主编 | 30.00  |
| 矿山环境工程(第2版)(国规教材)      | 蒋仲安 主编 | 39.00  |
| 矿山运输与提升(本科教材)          | 王进强 主编 | 39.00  |
| 冶金企业环境保护(本科教材)         | 马红周 主编 | 23.00  |
| 矿产资源综合利用(高校教材)         | 张 信 主编 | 30.00  |
| 选矿试验与生产检测(高校教材)        | 李志章 主编 | 28.00  |
| 选矿厂设计(高校教材)            | 周晓四 主编 | 39.00  |
| 矿山地质(高职高专教材)           | 刘兴科 主编 | 39.00  |
| 矿山企业管理(第2版)(高职高专教材)    | 戚文革 等编 | 28.00  |
| 选矿概论(高职高专教材)           | 于春梅 等编 | 20.00  |
| 选矿原理与工艺(高职高专教材)        | 于春梅 等编 | 28.00  |
| 矿石可选性试验(高职高专教材)        | 于春梅 主编 | 30.00  |
| 金属矿山环境保护与安全(高职高专教材)    | 孙文武 主编 | 35.00  |
| 碎矿与磨矿技术(职业技能培训教材)      | 杨家文 主编 | 35.00  |
| 重力选矿技术(职业技能培训教材)       | 周小四 主编 | 40.00  |
| 磁电选矿技术(职业技能培训教材)       | 陈 斌 主编 | 29.00  |
| 浮游选矿技术(职业技能培训教材)       | 王 资 主编 | 36.00  |

# 目 录

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 0 绪论 .....                 | 1 |
| 0.1 固体物料分选学的任务及发展 .....    | 1 |
| 0.2 固体物料分选的目的和根据 .....     | 2 |
| 0.3 固体物料分选的基本过程及常用术语 ..... | 3 |
| 复习思考题 .....                | 5 |

## 第 1 篇 破碎与磨矿

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1 碎散物料的粒度组成及分析 .....         | 7  |
| 1.1 粒度组成及粒度分析 .....          | 7  |
| 1.1.1 粒度及其表示方法 .....         | 7  |
| 1.1.2 粒度分析方法 .....           | 9  |
| 1.2 筛分分析 .....               | 10 |
| 1.2.1 筛分分析的工具 .....          | 10 |
| 1.2.2 筛分分析方法 .....           | 10 |
| 1.2.3 筛分分析结果的处理 .....        | 11 |
| 1.3 粒度特性方程 .....             | 12 |
| 复习思考题 .....                  | 13 |
| 2 工业筛分及筛分机械 .....            | 14 |
| 2.1 筛分过程及其评价 .....           | 14 |
| 2.1.1 筛分过程 .....             | 14 |
| 2.1.2 筛分作业的评价 .....          | 14 |
| 2.2 筛分机械 .....               | 15 |
| 2.2.1 固定筛 .....              | 15 |
| 2.2.2 振动筛 .....              | 16 |
| 2.2.3 细筛 .....               | 23 |
| 2.2.4 其他筛分设备 .....           | 24 |
| 2.3 筛分过程的影响因素及筛分机生产率计算 ..... | 26 |
| 2.3.1 影响筛分过程的因素 .....        | 26 |
| 2.3.2 筛分机生产率计算 .....         | 27 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 复习思考题 .....                     | 28        |
| <b>3 物料的破碎 .....</b>            | <b>29</b> |
| 3.1 概述 .....                    | 29        |
| 3.1.1 破碎过程的技术指标 .....           | 29        |
| 3.1.2 物料的机械强度 .....             | 30        |
| 3.2 物料破碎的功耗学说 .....             | 30        |
| 3.2.1 面积学说 .....                | 31        |
| 3.2.2 体积学说 .....                | 31        |
| 3.2.3 裂缝学说 .....                | 31        |
| 3.3 破碎设备 .....                  | 33        |
| 3.3.1 粗碎破碎机 .....               | 33        |
| 3.3.2 中碎和细碎破碎机 .....            | 40        |
| 3.4 破碎过程的影响因素及破碎机生产能力计算 .....   | 51        |
| 3.4.1 破碎过程的影响因素 .....           | 51        |
| 3.4.2 破碎机生产能力计算 .....           | 53        |
| 复习思考题 .....                     | 55        |
| <b>4 磨矿过程 .....</b>             | <b>56</b> |
| 4.1 磨矿过程的评价指标 .....             | 56        |
| 4.2 钢球在磨机内的运动及其磨矿作用 .....       | 57        |
| 4.2.1 磨机内钢球的运动状态 .....          | 57        |
| 4.2.2 抛落运动状态下钢球的运动分析 .....      | 58        |
| 4.2.3 超临界转速运转及其磨矿作用 .....       | 59        |
| 4.3 钢球在磨机内的运动轨迹和磨矿作业条件的确定 ..... | 59        |
| 4.3.1 钢球作抛落运动时的运动轨迹方程 .....     | 59        |
| 4.3.2 磨机转速的确定 .....             | 61        |
| 4.4 磨矿过程的能耗 .....               | 62        |
| 4.4.1 钢球作泻落运动时的功率计算 .....       | 62        |
| 4.4.2 钢球作抛落运动时的功率计算 .....       | 64        |
| 复习思考题 .....                     | 65        |
| <b>5 磨矿机械 .....</b>             | <b>66</b> |
| 5.1 球磨机和棒磨机 .....               | 66        |
| 5.1.1 基本类型和构造 .....             | 66        |
| 5.1.2 球磨机和棒磨机的工艺性能及用途 .....     | 71        |
| 5.1.3 球磨机和棒磨机磨矿过程的影响因素 .....    | 72        |
| 5.2 自磨机和砾磨机 .....               | 75        |
| 5.2.1 自磨机 .....                 | 76        |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 5.2.2 砾磨机 .....           | 79 |
| 5.2.3 自磨过程的影响因素 .....     | 79 |
| 5.3 超细粉碎设备 .....          | 80 |
| 5.3.1 超细粉碎机 .....         | 80 |
| 5.3.2 分级研磨机 .....         | 81 |
| 5.3.3 喷射粉磨机 .....         | 82 |
| 5.3.4 气流磨 .....           | 82 |
| 5.3.5 振动磨 .....           | 82 |
| 5.3.6 搅拌磨 .....           | 83 |
| 5.3.7 胶体磨 .....           | 84 |
| 5.3.8 雷蒙磨 .....           | 84 |
| 5.3.9 离心磨 .....           | 85 |
| 5.4 磨矿设备的生产率计算 .....      | 86 |
| 5.4.1 球磨机和棒磨机的生产率计算 ..... | 86 |
| 5.4.2 自磨机和砾磨机的生产率计算 ..... | 87 |
| 复习思考题 .....               | 88 |
| 6 破碎和磨矿流程 .....           | 89 |
| 6.1 破碎流程 .....            | 89 |
| 6.2 磨矿流程 .....            | 90 |
| 6.3 自磨和砾磨流程 .....         | 91 |
| 复习思考题 .....               | 93 |

## 第2篇 磁选和电选

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 7 磁选的基本原理 .....             | 95  |
| 7.1 磁选的物理基础 .....           | 95  |
| 7.1.1 磁学的概念 .....           | 95  |
| 7.1.2 磁场的基本定律 .....         | 101 |
| 7.1.3 在磁介质中有关物理量之间的关系 ..... | 102 |
| 7.2 磁性颗粒在非均匀磁场中所受的磁力 .....  | 102 |
| 7.3 磁选过程所需要的磁力 .....        | 104 |
| 7.3.1 磁选分离的基本条件 .....       | 104 |
| 7.3.2 回收磁性颗粒所需要的磁力 .....    | 105 |
| 复习思考题 .....                 | 107 |
| 8 矿物的磁性 .....               | 108 |
| 8.1 物质按磁性分类 .....           | 108 |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 8.1.1 物质磁性的起因 .....                     | 108        |
| 8.1.2 物质按磁性分类 .....                     | 109        |
| 8.2 强磁性矿物的磁性 .....                      | 111        |
| 8.2.1 强磁性矿物的结构和磁性之间的关系 .....            | 111        |
| 8.2.2 强磁性矿物的磁性 .....                    | 112        |
| 8.2.3 影响强磁性矿物磁性的因素 .....                | 115        |
| 8.3 弱磁性矿物的磁性 .....                      | 119        |
| 8.4 弱磁性铁矿物的磁性转变 .....                   | 120        |
| 8.4.1 磁化焙烧的原理和分类 .....                  | 120        |
| 8.4.2 铁矿物磁化焙烧图 .....                    | 121        |
| 8.4.3 焙烧炉 .....                         | 122        |
| 8.5 物料的磁性对磁选过程的影响 .....                 | 124        |
| 复习思考题 .....                             | 126        |
| <b>9 磁分离空间的磁场特性 .....</b>               | <b>127</b> |
| 9.1 磁选机的磁系 .....                        | 127        |
| 9.2 磁选设备中常用的磁性材料及其磁特性 .....             | 128        |
| 9.2.1 铁磁性材料的磁特性 .....                   | 128        |
| 9.2.2 软磁材料 .....                        | 130        |
| 9.2.3 硬磁材料 .....                        | 131        |
| 9.3 开放磁系的磁场特性及其影响因素 .....               | 133        |
| 9.3.1 开放磁系的磁场特性 .....                   | 133        |
| 9.3.2 极宽 $b$ 与极隙宽 $a$ 的比值对磁场特性的影响 ..... | 134        |
| 9.3.3 极距对磁场特性的影响 .....                  | 135        |
| 9.4 闭合磁系的磁场特性 .....                     | 137        |
| 9.4.1 单层感应磁极对的磁场特性 .....                | 137        |
| 9.4.2 多层聚磁感应介质的磁场特性 .....               | 141        |
| 复习思考题 .....                             | 145        |
| <b>10 磁选设备 .....</b>                    | <b>146</b> |
| 10.1 弱磁场磁选设备 .....                      | 146        |
| 10.1.1 永磁筒式磁选机 .....                    | 146        |
| 10.1.2 磁力脱水槽 .....                      | 151        |
| 10.1.3 磁团聚重力选矿机 .....                   | 153        |
| 10.1.4 磁选柱和磁场筛选机 .....                  | 154        |
| 10.1.5 干式弱磁场磁选设备 .....                  | 156        |
| 10.1.6 预磁器和脱磁器 .....                    | 159        |
| 10.2 中磁场磁选设备 .....                      | 161        |
| 10.3 强磁场磁选设备 .....                      | 162        |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 10.3.1 干式强磁场磁选机 .....                      | 162        |
| 10.3.2 湿式平环强磁场磁选机 .....                    | 166        |
| 10.3.3 萨拉 (Sala) 转环式高梯度强磁场磁选机 .....        | 167        |
| 10.3.4 湿式立环高梯度磁选机 .....                    | 169        |
| 10.3.5 MCH 型电磁环式强磁场磁选机 .....               | 174        |
| 10.3.6 电磁感应辊式强磁场磁选机 .....                  | 175        |
| 复习思考题 .....                                | 176        |
| <b>11 其他磁分离技术 .....</b>                    | <b>177</b> |
| 11.1 磁流体分选 .....                           | 177        |
| 11.1.1 磁流体分选概述 .....                       | 177        |
| 11.1.2 磁流体静力分选的基本原理 .....                  | 178        |
| 11.1.3 磁流体静力分选机 .....                      | 180        |
| 11.2 超导技术在磁选中的应用 .....                     | 181        |
| 11.2.1 超导现象及超导体的基本性质 .....                 | 181        |
| 11.2.2 低温的获得和保持 .....                      | 182        |
| 11.2.3 超导材料 .....                          | 184        |
| 11.2.4 超导磁选机 .....                         | 185        |
| 11.3 磁种分选技术 .....                          | 187        |
| 11.3.1 选择性磁种分选技术的理论基础 .....                | 187        |
| 11.3.2 磁种分选技术的分类 .....                     | 188        |
| 11.3.3 磁种的类型与制备方法 .....                    | 189        |
| 复习思考题 .....                                | 189        |
| <b>12 电选 .....</b>                         | <b>190</b> |
| 12.1 电选的基本原理 .....                         | 190        |
| 12.1.1 矿物的电性质 .....                        | 190        |
| 12.1.2 颗粒在电场中带电的方法 .....                   | 192        |
| 12.1.3 电选的基本条件 .....                       | 194        |
| 12.1.4 电选的作用机理 .....                       | 196        |
| 12.2 电选机 .....                             | 198        |
| 12.2.1 $\phi 120 \times 1500$ 双辊筒电选机 ..... | 198        |
| 12.2.2 DX-1 型高压电选机 .....                   | 199        |
| 12.2.3 卡普科 (Carpco) 电选机 .....              | 200        |
| 12.2.4 YD 系列高压电选机 .....                    | 201        |
| 12.2.5 筛板式电选机 .....                        | 202        |
| 12.3 电选过程的影响因素 .....                       | 202        |
| 12.3.1 电场参数 .....                          | 202        |
| 12.3.2 机械因素 .....                          | 203        |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 12.3.3 物料性质 ..... | 204 |
| 复习思考题 .....       | 205 |

### 第3篇 重 选

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 13 颗粒在介质中的沉降运动 .....            | 209 |
| 13.1 介质的性质及对颗粒运动的影响 .....       | 209 |
| 13.1.1 介质的密度和黏度 .....           | 209 |
| 13.1.2 介质对颗粒的浮力和阻力 .....        | 209 |
| 13.2 颗粒在介质中的自由沉降 .....          | 212 |
| 13.2.1 球形颗粒在静止介质中的自由沉降 .....    | 212 |
| 13.2.2 非球形颗粒在静止介质中的自由沉降 .....   | 213 |
| 13.2.3 颗粒的自由沉降等降比 .....         | 215 |
| 13.3 颗粒在悬浮粒群中的干涉沉降 .....        | 216 |
| 13.3.1 颗粒在干涉沉降过程中的运动特点 .....    | 216 |
| 13.3.2 颗粒的干涉沉降速度计算公式 .....      | 217 |
| 13.3.3 物料沿垂向的重力分层及干涉沉降等降比 ..... | 219 |
| 复习思考题 .....                     | 220 |
| 14 水力分级 .....                   | 222 |
| 14.1 水力分析 .....                 | 222 |
| 14.1.1 重力沉降法 .....              | 223 |
| 14.1.2 上升水流法 .....              | 224 |
| 14.2 多室及单槽水力分级机 .....           | 225 |
| 14.2.1 云锡式分级箱 .....             | 225 |
| 14.2.2 机械搅拌式水力分级机 .....         | 226 |
| 14.2.3 筛板式槽型水力分级机 .....         | 227 |
| 14.2.4 分泥斗 .....                | 227 |
| 14.2.5 倾斜浓密箱 .....              | 228 |
| 14.3 螺旋分级机 .....                | 229 |
| 14.4 水力旋流器 .....                | 232 |
| 14.4.1 水力旋流器的分级原理 .....         | 233 |
| 14.4.2 水力旋流器的工艺计算 .....         | 234 |
| 14.4.3 影响水力旋流器工作的因素 .....       | 235 |
| 14.4.4 水力旋流器的应用和发展 .....        | 235 |
| 14.5 分级效果的评价 .....              | 237 |
| 14.5.1 粒度分配曲线 .....             | 237 |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 14.5.2 分级效率的计算公式 .....                 | 238        |
| 复习思考题 .....                            | 239        |
| <b>15 重介质分选 .....</b>                  | <b>240</b> |
| 15.1 重悬浮液的性质 .....                     | 241        |
| 15.1.1 重悬浮液的黏度 .....                   | 241        |
| 15.1.2 重悬浮液的密度 .....                   | 241        |
| 15.1.3 重悬浮液的稳定性 .....                  | 242        |
| 15.1.4 影响重悬浮液性质的因素 .....               | 243        |
| 15.2 重介质分选设备 .....                     | 243        |
| 15.2.1 圆锥形重介质分选机 .....                 | 243        |
| 15.2.2 鼓形重介质分选机 .....                  | 244        |
| 15.2.3 重介质振动溜槽 .....                   | 245        |
| 15.2.4 重介质旋流器 .....                    | 245        |
| 15.2.5 重介质涡流旋流器 .....                  | 247        |
| 15.2.6 荻纳型和特拉伊-费洛型重介质涡流旋流器 .....       | 247        |
| 15.2.7 三产品重介质旋流器 .....                 | 248        |
| 15.2.8 斜轮重介质分选机和立轮重介质分选机 .....         | 249        |
| 15.3 重介质分选工艺流程 .....                   | 250        |
| 复习思考题 .....                            | 251        |
| <b>16 跳汰分选 .....</b>                   | <b>252</b> |
| 16.1 物料在跳汰机内的分选过程 .....                | 253        |
| 16.1.1 跳汰分选原理 .....                    | 253        |
| 16.1.2 颗粒在跳汰分选过程中的运动分析 .....           | 254        |
| 16.1.3 偏心连杆机构跳汰机内水流的运动特性及物料的分层过程 ..... | 255        |
| 16.1.4 跳汰周期曲线 .....                    | 257        |
| 16.2 跳汰机 .....                         | 259        |
| 16.2.1 旁动型隔膜跳汰机 .....                  | 259        |
| 16.2.2 下动型圆锥隔膜跳汰机 .....                | 260        |
| 16.2.3 侧动型隔膜跳汰机 .....                  | 261        |
| 16.2.4 圆形跳汰机和锯齿波跳汰机 .....              | 263        |
| 16.2.5 无活塞跳汰机 .....                    | 264        |
| 16.2.6 动筛跳汰机 .....                     | 266        |
| 16.2.7 离心跳汰机 .....                     | 266        |
| 16.3 影响跳汰分选的工艺因素 .....                 | 267        |
| 16.3.1 冲程和冲次 .....                     | 267        |
| 16.3.2 给矿水和筛下补加水 .....                 | 268        |
| 16.3.3 床层厚度和人工床层 .....                 | 268        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 16.3.4 筛板落差 .....            | 268        |
| 16.3.5 给料性质和给料量 .....        | 269        |
| 复习思考题 .....                  | 269        |
| <b>17 溜槽分选 .....</b>         | <b>270</b> |
| 17.1 斜面水流的运动特性 .....         | 270        |
| 17.1.1 层流斜面水流的水力学特性 .....    | 270        |
| 17.1.2 湍流斜面水流的水力学特性 .....    | 271        |
| 17.2 粗粒溜槽的分选原理 .....         | 273        |
| 17.3 细粒溜槽的分选原理 .....         | 274        |
| 17.3.1 固体颗粒对液流流态的影响 .....    | 274        |
| 17.3.2 固体浓度及流速沿槽深的分布 .....   | 274        |
| 17.3.3 层流流态下粒群松散机理 .....     | 275        |
| 17.3.4 不同密度颗粒在细粒溜槽中的分层 ..... | 276        |
| 17.4 粗粒溜槽 .....              | 278        |
| 17.5 扇形溜槽和圆锥选矿机 .....        | 279        |
| 17.5.1 扇形溜槽 .....            | 279        |
| 17.5.2 圆锥选矿机 .....           | 280        |
| 17.6 螺旋选矿机和螺旋溜槽 .....        | 282        |
| 17.6.1 螺旋选矿机和螺旋溜槽的分选原理 ..... | 282        |
| 17.6.2 螺旋选矿机和螺旋溜槽的影响因素 ..... | 284        |
| 17.7 沉积排料型溜槽 .....           | 285        |
| 17.7.1 皮带溜槽 .....            | 285        |
| 17.7.2 40 层摇动翻床 .....        | 286        |
| 17.7.3 横流皮带溜槽 .....          | 286        |
| 17.7.4 振摆皮带溜槽 .....          | 287        |
| 17.8 离心溜槽 .....              | 288        |
| 17.8.1 卧式离心选矿机 .....         | 288        |
| 17.8.2 SL 型射流离心选矿机 .....     | 290        |
| 17.8.3 离心盘选机和离心选金锥 .....     | 291        |
| 17.8.4 尼尔森选矿机 .....          | 291        |
| 复习思考题 .....                  | 293        |
| <b>18 摇床分选 .....</b>         | <b>294</b> |
| 18.1 摇床的分选原理 .....           | 294        |
| 18.1.1 颗粒在床条沟中的松散分层 .....    | 294        |
| 18.1.2 颗粒在床面上的运搬分带 .....     | 295        |
| 18.2 摇床的类型 .....             | 298        |
| 18.2.1 6-S 摇床 .....          | 298        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 18.2.2 云锡式摇床 .....        | 299        |
| 18.2.3 弹簧摇床 .....         | 300        |
| 18.2.4 悬挂式多层摇床 .....      | 301        |
| 18.2.5 台浮摇床 .....         | 302        |
| 18.3 摇床分选的影响因素 .....      | 303        |
| 18.3.1 床面构成 .....         | 303        |
| 18.3.2 冲程和冲次 .....        | 303        |
| 18.3.3 冲洗水和床面横向坡度 .....   | 304        |
| 18.3.4 物料入选前的准备及给料量 ..... | 304        |
| 复习思考题 .....               | 304        |
| <b>19 风力分选和洗矿 .....</b>   | <b>305</b> |
| 19.1 风力分选 .....           | 305        |
| 19.1.1 沉降箱 .....          | 305        |
| 19.1.2 离心式分离器 .....       | 305        |
| 19.1.3 风力跳汰机和风力摇床 .....   | 308        |
| 19.1.4 风力尖缩溜槽 .....       | 309        |
| 19.2 洗矿 .....             | 309        |
| 19.2.1 圆筒洗矿筛 .....        | 309        |
| 19.2.2 水力洗矿筛 .....        | 309        |
| 19.2.3 圆筒(滚筒)洗矿机 .....    | 310        |
| 19.2.4 槽式洗矿机 .....        | 311        |
| 复习思考题 .....               | 311        |

## 第4篇 浮 选

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>20 浮选理论基础 .....</b>       | <b>315</b> |
| 20.1 固体表面的润湿性及可浮性 .....      | 315        |
| 20.1.1 润湿现象 .....            | 315        |
| 20.1.2 润湿性的度量 .....          | 316        |
| 20.1.3 黏着功 .....             | 316        |
| 20.1.4 固体表面的水化层 .....        | 317        |
| 20.2 矿物的晶体结构与可浮性 .....       | 319        |
| 20.2.1 矿物的晶格结构与键能 .....      | 320        |
| 20.2.2 矿物颗粒的表面键能与天然可浮性 ..... | 321        |
| 20.2.3 颗粒表面的不均匀性与可浮性 .....   | 322        |
| 20.3 颗粒表面的氧化和溶解与可浮性 .....    | 326        |
| 20.3.1 颗粒表面的氧化 .....         | 326        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 20.3.2 物料的溶解 .....                 | 327        |
| 20.4 固液界面的双电层 .....                | 328        |
| 20.4.1 固液界面荷电的起因 .....             | 328        |
| 20.4.2 双电层的结构及电位 .....             | 331        |
| 20.4.3 颗粒表面的电性与可浮性 .....           | 333        |
| 20.5 固体颗粒表面的吸附 .....               | 334        |
| 20.5.1 分子吸附和离子吸附 .....             | 334        |
| 20.5.2 胶粒吸附和半胶束吸附 .....            | 335        |
| 20.5.3 双电层内层吸附和双电层外层吸附 .....       | 336        |
| 复习思考题 .....                        | 336        |
| <b>21 浮选药剂 .....</b>               | <b>337</b> |
| 21.1 浮选药剂的分类与作用 .....              | 337        |
| 21.2 捕收剂 .....                     | 338        |
| 21.2.1 捕收剂的结构与分类 .....             | 338        |
| 21.2.2 硫代化合物类捕收剂 .....             | 340        |
| 21.2.3 黄药类捕收剂与硫化物矿物之间的作用 .....     | 347        |
| 21.2.4 有机酸类捕收剂和胺类捕收剂 .....         | 351        |
| 21.2.5 有机酸类捕收剂和胺类捕收剂的作用机理 .....    | 357        |
| 21.2.6 非极性油类捕收剂 .....              | 360        |
| 21.2.7 两性捕收剂 .....                 | 360        |
| 21.3 起泡剂 .....                     | 361        |
| 21.3.1 起泡剂的结构和种类 .....             | 361        |
| 21.3.2 起泡过程及起泡剂的作用 .....           | 362        |
| 21.4 调整剂 .....                     | 365        |
| 21.4.1 抑制剂及其作用机理 .....             | 365        |
| 21.4.2 活化剂及其活化作用机理 .....           | 369        |
| 21.4.3 pH 值调整剂及 pH 值对浮选过程的影响 ..... | 370        |
| 21.4.4 絮凝剂及其他类浮选药剂 .....           | 371        |
| 复习思考题 .....                        | 372        |
| <b>22 浮选设备 .....</b>               | <b>373</b> |
| 22.1 概述 .....                      | 373        |
| 22.1.1 对浮选机的基本要求 .....             | 373        |
| 22.1.2 浮选机的分类 .....                | 374        |
| 22.2 自吸气式机械搅拌浮选机 .....             | 374        |
| 22.2.1 SF 型浮选机 .....               | 375        |
| 22.2.2 维姆科浮选机 .....                | 376        |
| 22.2.3 JJF 型浮选机 .....              | 378        |