

现代 XIANDAI

选矿 XUANKUANG

技术 JISHU

手册 SHOUCHE

张泾生 主编

第2册

浮选与化学选矿

张泾生 主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 现代选矿技术手册

张泾生 主编

第 2 册

## 浮选与化学选矿

张泾生 主编

北 京

冶金工业出版社

2011

# 《现代选矿技术手册》

## 编辑委员会

高级顾问 余永富

主任委员 张泾生

副主任委员 谢建国

委 员 (按姓氏笔画排列)

朱俊士 张国旺 李明德 李茂林

肖松文 陈 雯 周光华 周岳远

黄 丹 黄晓燕 曾子高 程建国

阙煊兰

秘 书 刘洪萍

# 《现代选矿技术手册》

## 各册主编人员

- |     |           |     |
|-----|-----------|-----|
| 第1册 | 破碎筛分与磨矿分级 | 张国旺 |
| 第2册 | 浮选与化学选矿   | 张泾生 |
| 第3册 | 磁电选与重选    | 周岳远 |
| 第4册 | 黑色金属选矿实践  | 陈 雯 |
| 第5册 | 有色金属选矿实践  | 谢建国 |
| 第6册 | 稀贵金属选矿实践  | 肖松文 |
| 第7册 | 选厂设计      | 黄 丹 |
| 第8册 | 环境保护与资源循环 | 肖松文 |

# 《现代选矿技术手册》前言

进入新世纪以来,国民经济的快速发展,催生了对矿产资源的强劲需求,也极大地推动了选矿科学技术进步的步伐。选矿领域中新工艺、新技术、新设备、新药剂大量出现。

为了提高我国在选矿科研、设计、生产方面的水平和总结近十年选矿技术进步的经验,推动选矿事业的进一步发展,冶金工业出版社决定出版《现代选矿技术手册》,由中国金属学会选矿分会的挂靠单位——长沙矿冶研究院牵头组织专家编写。参加《现代选矿技术手册》编写工作的除长沙矿冶研究院的专业人士外,还邀请了全国知名高校、科研院所、厂矿企业的专家、教授、工程技术人员。整个编写过程,实行三级审核,严格贯彻“主编责任制”和“编辑委员会最终审核制”。

《现代选矿技术手册》全书共分8册,陆续出版。第1~8册书名分别为:《破碎筛分与磨矿分级》、《浮选与化学选矿》、《磁电选与重选》、《黑色金属选矿实践》、《有色金属选矿实践》、《稀贵金属选矿实践》、《选矿厂设计》以及《环境保护与资源循环》。《现代选矿技术手册》内容主要包括金属矿选矿,不包括非金属矿及煤的选矿技术。

《现代选矿技术手册》是一部供具有中专以上文化程度选矿工作者及有关人员使用的工具书,详细阐述和介绍了较成熟的选矿理论、方法、工艺、药剂、设备和生产实践,相关内容还充分考虑和结合了目前国家正在实施的有关环保、安全生产等法规和规章。因此,《现代选矿技术手册》不仅内容丰富先进,而且实用性强;写作上文字叙述力求简洁明了,希望做到深入浅出。

《现代选矿技术手册》的编写以1988年冶金工业出版社陆续出版的



《选矿手册》为基础,参阅了自那时以来,尤其是近十年来的大量文献,收集了众多厂矿的生产实践资料。限于篇幅,本书参考文献主要列举了图书专著,未能将全部期刊文章及企业资料一一列举。在此,谨向文献作者一并致谢。由于时间和水平的关系,本书不当之处,欢迎读者批评指正。

《现代选矿技术手册》的编写出版得到了长沙矿冶研究院、冶金工业出版社及有关单位的大力支持,在此,表示衷心的感谢。

《现代选矿技术手册》编辑委员会

2009年11月

# 《现代选矿技术手册》各册目录

## 第1册 破碎筛分与磨矿分级

- 第1章 概述
- 第2章 粉碎理论基础
- 第3章 破碎与筛分
- 第4章 磨矿与分级

## 第2册 浮选与化学选矿

### 第1篇 浮选

- 第1章 浮选基本原理
- 第2章 浮选工艺
- 第3章 浮选新工艺及特种浮选技术
- 第4章 浮选药剂
- 第5章 浮选设备

### 第2篇 化学选矿

- 第6章 概论
- 第7章 矿物原料焙烧
- 第8章 矿物原料的浸出与分离
- 第9章 浸出净液中金属的分离回收

## 第3册 磁电选与重选

### 第1篇 磁选

- 第1章 概论
- 第2章 磁选理论基础
- 第3章 磁化焙烧
- 第4章 磁选设备
- 第5章 磁选工艺流程



## 第2篇 电选

- 第6章 概论
- 第7章 电选理论基础
- 第8章 电选设备
- 第9章 电选工艺流程

## 第3篇 重选

- 第10章 概论
- 第11章 重选理论基础
- 第12章 重选设备
- 第13章 重选工艺流程

## 第4册 黑色金属选矿实践

- 第1章 铁矿石选矿
- 第2章 锰矿石选矿
- 第3章 铬铁矿石选矿

## 第5册 有色金属选矿实践

- 第1章 铜矿选矿
- 第2章 铅锌多金属矿选矿
- 第3章 镍矿选矿
- 第4章 锡矿选矿
- 第5章 钨矿选矿
- 第6章 钼矿选矿
- 第7章 铋矿选矿
- 第8章 铝土矿选矿

## 第6册 稀贵金属选矿实践

- 第1章 铍矿选矿
- 第2章 钽铌矿选矿
- 第3章 钛锆石选矿
- 第4章 稀土矿选矿
- 第5章 金银矿选矿
- 第6章 铂族金属选矿



## 第7册 选矿厂设计

- 第1章 设计阶段
- 第2章 设计基础资料及选矿试验
- 第3章 工艺流程及工艺设备选择原则
- 第4章 厂房布置、设备配置及辅助设施
- 第5章 技术经济
- 第6章 节能
- 第7章 环境保护
- 第8章 劳动安全与工业卫生

## 第8册 环境保护与资源循环

- 第1章 矿山(区)环境保护与可持续发展总论
- 第2章 选矿产品脱水与水循环利用
- 第3章 矿山(选矿厂)废水处理与循环利用
- 第4章 选矿尾矿的综合回收利用
- 第5章 尾矿堆存与尾矿坝管理
- 第6章 选矿厂清洁生产与生态矿山(区)建设
- 第7章 资源循环与二次资源分选回收

# 《浮选与化学选矿》编写委员会

(按姓氏笔画排列)

主 编 张泾生

副主编 阙煊兰

编 委 马荣骏 刘洪萍 孙 伟 余永富 张泾生  
陈 雯 林 海 顾帼华 顾洪枢 谢建国  
韩跃新 阙煊兰

## 《浮选与化学选矿》前言

由冶金工业出版社出版,中国金属学会选矿分会挂靠单位长沙矿冶研究院牵头组织编写的《现代选矿技术手册》共分8册,本书为该《手册》的第2册《浮选与化学选矿》。

本书浮选部分包括浮选基本原理、浮选工艺、浮选新工艺及特种浮选技术、浮选药剂及浮选设备等内容,各种矿物的浮选实践将在第4册、第5册、第6册中作详尽介绍。本书化学选矿部分包括化学选矿概述、矿物原料焙烧、矿物原料的浸出与分离以及浸出净液中金属的分离回收等内容。

作为工具书,本书在编写时,力求内容的全面和可靠,特别注意反映第一部《选矿手册》出版发行以来20年间浮选及化学选矿所取得的巨大进步。写作上文字表述尽量简洁明了,希望做到深入浅出。本书可供具有中专以上文化程度的选矿工作者及有关人员使用。

本书除主编、副主编外,参加编写的还有中南大学顾帼华教授,北京科技大学林海教授,东北大学韩跃新教授、朱一民副教授、李艳军副教授,以及北京矿冶研究院顾洪枢教授等人。

由于编写时间和编写人员水平所限,书中不当之处,敬请读者批评指正。

《浮选与化学选矿》编写委员会

2010年4月25日

# 《浮选与化学选矿》目录

## 第1篇 浮 选

0 绪论 .....	3
1 浮选基本原理 .....	4
1.1 矿物表面的润湿性与可浮性 .....	4
1.1.1 润湿现象 .....	4
1.1.2 接触角与矿物润湿性和可浮性的判据 .....	4
1.1.3 矿粒与气泡附着前后自由能的变化与接触角的关系 .....	6
1.2 矿物结构与可浮性 .....	6
1.2.1 矿物的价键类型 .....	7
1.2.2 矿物表面键能与可浮性 .....	7
1.2.3 矿物表面的不均匀性与可浮性 .....	9
1.3 矿物的氧化和溶解 .....	15
1.3.1 矿物的氧化 .....	15
1.3.2 矿物的溶解 .....	16
1.4 矿物表面电性与可浮性 .....	16
1.4.1 矿物表面电性起源 .....	16
1.4.2 双电层结构及电位 .....	17
1.5 浮选中的吸附现象 .....	22
1.5.1 在溶液表面的吸附 .....	22
1.5.2 在固体表面的吸附 .....	24
1.6 分散与聚集 .....	26
1.6.1 微细矿粒的分散和聚集状态 .....	26
1.6.2 絮凝与桥联作用 .....	27
1.6.3 选择性絮凝 .....	28
1.6.4 微粒间相互作用的 DLVO 理论 .....	29
1.7 浮选动力学 .....	31
1.7.1 浮选动力学的影响因素 .....	31
1.7.2 浮选动力学方程式的级数 .....	32
1.8 硫化矿电位调控浮选 .....	33
1.8.1 硫化矿物的特性 .....	34



1.8.2	硫化矿物浮选中的反应	34
1.8.3	硫化矿浮选电化学理论	35
1.8.4	硫化矿电位调控浮选	40
1.8.5	硫化矿电位调控浮选实践	42
<b>2</b>	<b>浮选工艺</b>	<b>47</b>
2.1	粒度	47
2.1.1	粒度对浮选的影响	47
2.1.2	粗粒浮选的工艺措施	47
2.1.3	细粒浮选的工艺措施	48
2.2	矿浆浓度及调浆	49
2.2.1	矿浆浓度	49
2.2.2	调浆	50
2.3	浮选药剂的使用与调节	50
2.3.1	浮选药剂制度	50
2.3.2	药剂配制	51
2.3.3	药剂添加	51
2.3.4	提高药效的措施	51
2.4	调泡	52
2.4.1	浮选泡沫及对泡沫的要求	52
2.4.2	泡沫稳定性的影响因素	52
2.4.3	泡沫层的厚度与二次富集	52
2.5	矿浆温度	53
2.5.1	非硫化矿加温浮选	53
2.5.2	硫化矿加温浮选	54
2.6	水质	54
2.6.1	软水	54
2.6.2	硬水	54
2.6.3	咸水	55
2.6.4	易溶盐的饱和溶液	55
2.6.5	回水	55
2.7	浮选流程	55
2.7.1	浮选原则流程	55
2.7.2	流程内部结构	58
2.7.3	浮选流程图	59
<b>3</b>	<b>浮选新工艺及特种浮选技术</b>	<b>61</b>
3.1	分支浮选工艺	61
3.1.1	分支粗选	61



3.1.2 分支串流浮选	62
3.2 闪速浮选	62
3.3 泡沫分离浮选	63
3.4 重力浮选	64
3.5 磁浮选	64
3.6 生物浮选	65
3.6.1 微生物作为选矿药剂应用的基础	65
3.6.2 微生物作为选矿药剂的应用	66
3.6.3 微生物选矿药剂的研究方向	68
3.7 离子浮选	69
3.8 沉淀浮选	70
<b>4 浮选药剂</b>	<b>72</b>
4.1 捕收剂的作用与分类	73
4.2 脂肪酸及其衍生物	75
4.2.1 脂肪酸来源和性质	75
4.2.2 选矿中常用脂肪酸	80
4.2.3 取代脂肪酸	84
4.2.4 脂肪酸缩合物	86
4.2.5 醚酸	89
4.2.6 多元酸	91
4.2.7 松脂酸及其衍生物	91
4.3 烃基磺酸盐和烃基硫酸盐	93
4.3.1 烃基硫酸盐	93
4.3.2 烃基磺酸盐	94
4.3.3 烃基磺酸盐和磺酸盐的选矿应用	95
4.3.4 亚磺酸盐	101
4.4 黄药及其衍生物	102
4.4.1 黄药	102
4.4.2 黄原酸酯	104
4.4.3 烷基二硫代氨基甲酸盐	105
4.4.4 烷基一硫代氨基甲酸酯	106
4.4.5 三硫代碳酸酯	109
4.5 黑药类及其衍生物	109
4.6 硫脲类和巯基类药剂	112
4.6.1 硫脲类(白药)衍生物	112
4.6.2 巯基化合物(含硫醚)药剂	114
4.7 硫化矿药剂研究应用新进展	118
4.8 阳离子型浮选药剂	120



4.8.1	阳离子型浮选药剂的分类与性质	120
4.8.2	阳离子型捕收剂在选矿中的应用	122
4.8.3	阳离子型药剂研究应用新进展	124
4.9	两性型浮选药剂	131
4.9.1	两性捕收剂	131
4.9.2	两性药剂在选矿中的应用	135
4.10	螯合剂及其在选矿中的作用	137
4.10.1	螯合剂与螯合作用	137
4.10.2	螯合剂在选矿中的应用	138
4.10.3	螯合药剂研究新进展	152
4.11	非极性油类药剂	153
4.11.1	烃油	153
4.11.2	主要烃油及其选矿应用	154
4.12	起泡剂	156
4.12.1	起泡剂的分类与性质	156
4.12.2	天然起泡剂	159
4.12.3	合成起泡剂	160
4.12.4	消泡剂、泡沫稳定剂	180
4.13	调整剂	181
4.13.1	无机抑制剂	181
4.13.2	有机抑制剂	189
4.13.3	活化剂	201
4.13.4	分散剂	204
4.13.5	调整剂研发与应用新进展	206
4.14	凝聚剂和絮凝剂以及选择性絮凝剂	209
4.14.1	絮凝、凝聚两类药剂的性质和作用	209
4.14.2	无机凝聚剂及其应用	209
4.14.3	有机絮凝剂的分类	210
4.14.4	合成有机高分子絮凝剂	211
4.14.5	天然高分子絮凝剂	215
4.14.6	絮凝剂的应用	217
4.14.7	选择性絮凝剂	218
4.14.8	凝聚剂和絮凝剂研究应用新进展	220
5	浮选设备	224
5.1	对浮选机性能的基本要求	224
5.2	浮选机的充气及搅拌原理	224
5.2.1	气泡的形成	225
5.2.2	气泡运动及分区	225

5.3	浮选机分类 .....	226
5.4	机械搅拌式浮选机 .....	227
5.4.1	XJK 型浮选机 .....	227
5.4.2	棒型浮选机 .....	229
5.4.3	维姆科浮选机 .....	230
5.4.4	YX 型闪速浮选机 .....	232
5.4.5	SF 型浮选机 .....	232
5.4.6	布斯(Booth)浮选机 .....	233
5.5	充气机械搅拌式浮选机 .....	233
5.5.1	CHF-X 型浮选机 .....	233
5.5.2	阿基太尔型浮选机 .....	234
5.5.3	BFP 型浮选机 .....	236
5.5.4	KYF 型浮选机 .....	238
5.6	充气式浮选机 .....	238
5.6.1	气升式浮选机 .....	238
5.6.2	浮选柱 .....	239
5.7	气体析出式浮选机 .....	242
5.7.1	短柱微泡浮选机(射流浮选机) .....	242
5.7.2	达夫克拉喷射式浮选机 .....	243
5.8	浮选设备发展趋势 .....	243
5.9	浮选辅助设备 .....	244
5.9.1	给药机 .....	244
5.9.2	矿浆搅拌槽 .....	244
	参考文献 .....	245

## 第 2 篇 化学选矿

6	概论 .....	257
6.1	发展简史 .....	257
6.2	主要内容 .....	259
6.2.1	物料准备 .....	259
6.2.2	焙烧 .....	259
6.2.3	浸出 .....	260
6.2.4	固液分离 .....	260
6.2.5	浸出液处理 .....	260
6.2.6	浸出渣及废液的处置 .....	260
6.3	化学选矿过程控制 .....	260
6.3.1	程序控制 .....	260
6.3.2	工艺过程控制 .....	260



<b>7 矿物原料焙烧</b> .....	263
7.1 焙烧原理及方法 .....	263
7.2 热分解 .....	263
7.3 氧化焙烧及硫酸化焙烧 .....	264
7.4 还原焙烧及硫化焙烧 .....	266
7.5 氯化焙烧 .....	267
7.6 离析法 .....	268
7.7 钠化焙烧 .....	269
7.8 磁化焙烧—磁选 .....	269
<b>8 矿物原料的浸出与分离</b> .....	271
8.1 矿物浸出 .....	271
8.1.1 矿物浸出的条件、因素与方法 .....	271
8.1.2 渗滤浸出 .....	272
8.1.3 搅拌浸出 .....	274
8.1.4 流态化浸出 .....	275
8.1.5 酸法浸出 .....	275
8.1.6 碱法浸出 .....	279
8.1.7 盐浸和水浸 .....	282
8.1.8 非氰浸出 .....	282
8.1.9 氰化浸出 .....	284
8.1.10 热压浸出 .....	286
8.1.11 细菌浸出 .....	287
8.2 固液分离 .....	297
8.2.1 概述 .....	297
8.2.2 固液分离的方法 .....	298
8.2.3 固液分离预处理药剂 .....	301
<b>9 浸出净液中金属的分离回收</b> .....	303
9.1 化学沉淀法 .....	303
9.1.1 概述 .....	303
9.1.2 影响化学沉淀的要素与原理 .....	303
9.1.3 水解沉淀法 .....	305
9.1.4 硫化物沉淀法 .....	312
9.1.5 碳酸盐沉淀法 .....	314
9.1.6 磷酸盐沉淀法 .....	315
9.1.7 金属置换法 .....	316
9.1.8 电积法 .....	317