


 周松林 耿联胜 编著

# 铜冶炼渣选矿

TONG YELIANZHA XUANKUANG

 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 铜冶炼渣选矿

周松林 耿联胜 编著

北京  
冶金工业出版社  
2014

## 内 容 提 要

本书全面介绍了铜冶炼渣选矿理论、工艺、设备及生产实践。全书共分10章, 主要内容包括铜冶炼渣选矿的基础理论、工艺流程特点、选矿过程的影响因素及技术经济指标、选矿试验、生产实践、生产技术管理、选矿设备、选矿岗位操作规程及未来发展方向。

本书可供有色金属行业工程技术人员和管理人员参考, 也可供高等院校师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

铜冶炼渣选矿 / 周松林, 耿联胜编著. —北京: 冶金工业出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5024-6800-2

I. ①铜… II. ①周… ②耿… III. ①铜渣—选矿  
IV. ①TD952. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 275978 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.cnmip.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 王 优 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6800-2

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2014 年 12 月第 1 版, 2014 年 12 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 25 印张; 604 千字; 386 页

80.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmip.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 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

# 前 言

20 世纪 50 年代以前，铜冶炼渣主要以火法贫化法处理为主，随着现代铜冶炼向着高强化方向发展，渣中含铜越来越高，火法贫化法已不能完全满足贫化弃渣需求。因此，许多国家纷纷开展渣中资源回收和综合利用研究，铜冶炼渣选矿技术应运而生，从 70 年代开始，经济发达国家逐步采用选矿法处理冶炼渣，80 年代后期，我国部分企业采用选矿法处理冶炼渣。生产实践表明，铜冶炼渣选矿在技术、经济、能耗和环保等方面具有显著优势。

改革开放以来，我国铜产量和消费量迅猛增长，铜产量已连续 13 年位居世界第一，铜冶炼渣数量随之也逐年上升，平均年产铜冶炼渣量约 2000 多万吨，渣中约含金属铜 30 万吨、金属铁 800 万吨以及其他有价元素，具有较高的资源价值和经济价值，换言之，我国铜冶炼企业每年可以创造一座大型储量的铜铁矿山。我国冶炼渣的处理主要以堆放为主，综合利用率低，带来了诸如土地被占用、土壤和水体被污染等一系列的问题。我国是铜矿山资源十分匮乏的国家，大力推广铜冶炼渣选矿技术、促进铜冶炼渣选矿产业化、减少资源浪费、杜绝环境污染、发展循环经济是当务之急。近年来，随着我国经济的高速增长，铜冶炼渣选矿技术迅速发展，新建和改扩建冶炼厂基本上都采用了该技术。铜冶炼渣选矿是未来发展的必然趋势，在铜冶炼行业具有非常广阔的发展空间和应用前景。

然而，至今国内外还没有出版铜冶炼渣选矿方面的著作，对理论研究和生产实践领域的科技人员而言非常欠缺。鉴此，在祥光铜业公司的鼎力支持下，《铜冶炼渣选矿》一书得以撰稿并付梓出版，谨向祥光铜业公司表示衷心感谢。本书全面阐述了铜冶炼渣选矿理论、工艺、设备及生产应用，希望本书出版对推动铜冶炼渣选矿技术进步以及铜冶炼行业可持续发展有所益处和帮助。

本书编写过程中参考了大量文献资料，在此谨向文献作者及出版单位致以诚挚的谢意。

由于作者水平所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

周松林

2014 年 9 月 6 日

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 选矿概述 .....	1
1.1.1 选矿的定义 .....	1
1.1.2 选矿的重要性 .....	1
1.1.3 选矿的发展历程 .....	1
1.1.4 选矿的基本过程 .....	3
1.2 铜冶炼渣的种类及其选矿方法 .....	5
1.2.1 铜冶炼渣的种类 .....	5
1.2.2 铜冶炼渣的物相组成 .....	6
1.2.3 铜冶炼渣的选矿方法 .....	8
1.3 铜冶炼渣选矿的背景和意义 .....	9
<b>2 铜冶炼渣选矿的基础理论</b> .....	12
2.1 矿石粉碎理论 .....	12
2.1.1 破碎与磨矿的任务和意义 .....	12
2.1.2 破碎和磨矿工艺的一般特点 .....	13
2.1.3 破碎与磨矿的基础理论 .....	13
2.1.4 粉碎理论 .....	17
2.2 浮选基础理论 .....	20
2.2.1 浮选的分类 .....	20
2.2.2 矿物浮选的润湿理论 .....	21
2.2.3 矿物浮选的双电层理论 .....	22
2.2.4 矿物浮选的电化学理论 .....	25
2.2.5 矿物浮选的吸附及溶度积理论 .....	25
2.2.6 矿物浮选分散絮凝理论 .....	27
2.3 浮选药剂的分类及作用机理 .....	29
2.3.1 浮选药剂的分类 .....	29
2.3.2 捕收剂的分类、结构及作用机理 .....	29
2.3.3 泡沫稳定与起泡剂的作用机理 .....	33
2.3.4 调整剂的分类及作用机理 .....	36

2.4	铜冶炼渣浮选原理 .....	38
2.4.1	铜冶炼渣选矿药剂及作用机理 .....	38
2.4.2	炉渣浮选基本原理 .....	40
2.5	浮选动力学 .....	44
2.5.1	影响浮选动力学的因素 .....	44
2.5.2	浮选动力学方程式的级数 .....	44
2.6	磁选和铜冶炼炉渣磁选原理 .....	45
2.6.1	磁选的基本原理 .....	45
2.6.2	磁选机 .....	46
2.6.3	铜冶炼炉渣磁选原理 .....	46
2.7	重选和铜冶炼渣重选原理 .....	47
2.7.1	重选的过程与特点 .....	47
2.7.2	重选的分类及应用 .....	47
2.7.3	重选的基本原理 .....	47
2.7.4	铜冶炼渣跳汰选矿原理 .....	48
2.7.5	铜冶炼渣摇床选矿原理 .....	49
2.8	化学选矿和铜冶炼渣化学选矿原理 .....	51
2.8.1	化学选矿概述 .....	51
2.8.2	化学选矿的基本原理 .....	51
2.8.3	铜冶炼渣化学选矿原理 .....	53
<b>3</b>	<b>铜冶炼渣选矿工艺流程特点 .....</b>	<b>55</b>
3.1	选矿工艺流程的表示方法 .....	55
3.2	破碎与磨矿工艺流程 .....	57
3.2.1	破碎工艺流程 .....	57
3.2.2	磨矿工艺流程 .....	60
3.3	磨浮工艺流程与浮选流程的详细结构 .....	64
3.3.1	磨浮工艺流程 .....	64
3.3.2	浮选流程的详细结构 .....	67
3.4	磁选、重选工艺流程 .....	68
3.4.1	磁选工艺流程 .....	68
3.4.2	重选工艺流程 .....	69
3.4.3	重选与其他选矿方法的联合工艺流程 .....	72
3.5	化学选矿及脱水工艺流程 .....	75
3.5.1	化学选矿工艺流程 .....	75

3.5.2	脱水工艺流程 .....	78
3.6	铜冶炼渣选矿常用工艺流程 .....	79
3.6.1	铜炉渣的破碎与磨矿工艺流程 .....	79
3.6.2	铜冶炼炉渣的选别工艺流程 .....	80
3.6.3	脱水工艺流程 .....	83
<b>4</b>	<b>影响因素及技术经济指标 .....</b>	<b>84</b>
4.1	影响因素 .....	84
4.1.1	炉渣冷却工艺的影响 .....	84
4.1.2	贫化过程因素对贫化渣的影响 .....	87
4.1.3	渣型的影响 .....	89
4.1.4	破碎过程的影响因素 .....	91
4.1.5	磨矿过程的影响因素 .....	92
4.1.6	浮选过程的影响因素 .....	94
4.1.7	药剂制度对浮选的影响 .....	97
4.1.8	磁选过程的影响因素 .....	99
4.1.9	重选过程的影响因素 .....	100
4.1.10	化学选矿的影响因素 .....	103
4.1.11	脱水过程的影响因素 .....	106
4.2	选矿技术经济指标 .....	109
4.2.1	碎矿工序技术经济指标 .....	109
4.2.2	磨矿工序技术经济指标 .....	110
4.2.3	选别工序技术经济指标 .....	113
4.2.4	脱水工序技术经济指标 .....	114
4.2.5	生产率指标 .....	115
<b>5</b>	<b>铜冶炼渣选矿试验 .....</b>	<b>117</b>
5.1	转炉渣选矿试验 .....	117
5.1.1	白银有色金属公司转炉渣选矿试验 .....	117
5.1.2	某炼铜厂转炉渣的选矿试验 .....	118
5.2	熔炼炉渣选矿试验 .....	119
5.2.1	白银炉溶池富氧熔炼低硅渣的半工业试验 .....	119
5.2.2	白银有色金属公司白银炉熔炼炉渣选矿试验 .....	120
5.2.3	闪速熔炼炉渣选矿试验 .....	121
5.3	铜冶炼水淬渣选矿试验 .....	121

5.3.1	云南某铜冶炼水淬渣选矿试验	121
5.3.2	白银有色金属公司反射炉渣选矿试验	122
5.3.3	湖北某铜冶炼厂反射炉水淬渣选矿试验	123
5.3.4	国内某冶炼厂水淬铜炉渣选矿试验	124
5.4	其他铜冶炼渣选矿试验	124
5.4.1	成都电冶厂鼓风炉渣选矿试验	124
5.4.2	云南耿马复杂铜冶炼渣选矿试验	124
5.4.3	铜矿浸出渣回收银选矿试验	125
5.5	铜冶炼渣化学选矿试验	126
5.5.1	热熔态闪速熔炼渣提取铜铁半工业试验	126
5.5.2	铜渣熔融氧化提铁的试验	127
5.5.3	铜渣在不同煅烧温度的晶相结构变化	127
5.5.4	铜渣在中低温下氧化改性的试验	128
5.5.5	铜渣中铁组分的直接还原与磁选试验研究	128
5.5.6	铜渣直接浸出试验	129
5.5.7	铜渣间接浸出试验	130
5.5.8	铜渣还原—浸出法试验	130
5.6	联合选矿工艺试验	131
5.6.1	浮选—焙烧—浸出法试验	131
5.6.2	重选—浮选法选矿试验	131
6	铜冶炼渣选矿生产实践	133
6.1	铜冶炼渣冷却生产实践	133
6.2	铜转炉渣选矿生产实践	134
6.2.1	转炉渣的特性	134
6.2.2	日立矿业所炉渣选矿厂	134
6.2.3	足尾矿业所炉渣选矿厂	135
6.2.4	佐贺关转炉渣选矿厂	136
6.2.5	大谷地浮选厂一系列	137
6.2.6	白银有色金属公司转炉渣选矿厂	137
6.2.7	贵溪冶炼厂转炉渣选矿厂	138
6.2.8	金隆铜业有限公司转炉渣选矿厂	140
6.2.9	内蒙古金峰铜业转炉渣选矿厂	140
6.3	铜熔炼渣选矿生产实践	141
6.3.1	芬兰赫加诺达选冶厂	141



6.3.2	阳谷祥光铜业铜熔炼炉渣选矿厂 .....	142
6.3.3	白银有色金属公司反射炉熔炼渣选矿厂 .....	143
6.3.4	白银有色金属公司白银炉熔炼渣选矿厂 .....	143
6.4	诺兰达炉渣选矿生产实践 .....	144
6.4.1	犹他冶炼厂浮选厂和诺兰达公司渣选厂 .....	144
6.4.2	大冶有色金属公司铜渣选矿厂 .....	144
6.5	铜炉渣混合选矿生产实践 .....	146
6.5.1	铜陵公司的炉渣选矿厂 .....	146
6.5.2	东营方圆有色金属公司炉渣选矿厂 .....	146
6.5.3	江铜集团贵冶渣选厂 .....	147
6.5.4	大冶公司炉渣选矿厂 .....	148
7	选矿生产技术管理 .....	150
7.1	选矿日常技术管理 .....	150
7.1.1	选矿技术管理 .....	150
7.1.2	选矿日常生产技术管理 .....	150
7.1.3	选矿日常工艺技术管理 .....	151
7.2	选矿过程的取样与制备 .....	152
7.2.1	选矿取样的原则 .....	152
7.2.2	取样方法 .....	153
7.2.3	常用取样器械 .....	154
7.2.4	试样的制备 .....	155
7.3	选矿生产过程检测 .....	157
7.3.1	原矿、精矿的计量及水分的测定 .....	157
7.3.2	矿石密度的测定 .....	158
7.3.3	矿浆浓度、细度的测定 .....	160
7.3.4	碎矿产品粒度及筛分效率的测定 .....	162
7.3.5	球磨机生产能力及分级效率的测定 .....	163
7.3.6	矿浆酸碱度及药剂用量的测定 .....	164
7.3.7	浮选机充气量、浮选时间的测定 .....	165
7.3.8	浮选回收率的测定 .....	166
7.3.9	浓密机及沉淀池溢流中固体含量的测定 .....	166
7.4	生产工艺流程考查 .....	167
7.4.1	流程考查的分类和主要内容 .....	167
7.4.2	流程考查前的准备工作 .....	168

7.4.3	流程考查中原始指标的选定 .....	168
7.4.4	流程考查时常计算的各种指标 .....	169
7.4.5	流程考查磨矿分级流程的计算方法 .....	170
7.4.6	流程考查时选别流程的计算 .....	171
7.4.7	流程计算的特点 .....	172
7.4.8	流程考查报告的编写 .....	172
7.5	炉渣选矿生产过程控制 .....	173
7.5.1	炉渣缓冷系统过程控制 .....	173
7.5.2	炉渣破碎系统过程控制 .....	173
7.5.3	磨浮系统过程控制 .....	173
7.5.4	脱水系统过程控制 .....	174
7.6	选矿过程的工艺判断与问题处理 .....	174
7.6.1	炉渣缓冷工艺的判断与问题处理 .....	174
7.6.2	破碎工艺的判断与问题处理 .....	175
7.6.3	磨矿工艺的判断与问题处理 .....	175
7.6.4	浮选工艺的判断与问题处理 .....	177
7.6.5	磁选工艺的判断与问题处理 .....	179
7.6.6	脱水工艺的判断与问题处理 .....	179
7.7	渣选矿金属平衡管理 .....	180
7.7.1	渣选矿金属平衡的意义和种类 .....	180
7.7.2	车间金属流失的检查与测定 .....	180
7.7.3	理论金属平衡表的编制 .....	181
7.7.4	产品余额的测定 .....	182
7.7.5	实际金属平衡表的编制 .....	184
7.7.6	金属平衡的误差来源与影响因素 .....	187
7.7.7	金属平衡管理的关键环节 .....	188
8	铜冶炼渣选矿设备 .....	189
8.1	选矿设备概述 .....	189
8.2	破碎设备 .....	189
8.2.1	移动式液压破碎机 .....	189
8.2.2	颚式破碎机 .....	190
8.2.3	外动颚式破碎机 .....	195
8.2.4	圆锥破碎机 .....	198
8.2.5	反击式破碎机 .....	211

8.2.6 立轴式破碎机 .....	218
8.3 筛分设备 .....	220
8.3.1 筛分设备的分类 .....	221
8.3.2 振动筛 .....	221
8.3.3 细筛 .....	229
8.4 磨矿设备 .....	231
8.4.1 磨矿设备的种类 .....	231
8.4.2 湿式半自磨机 .....	231
8.4.3 湿式球磨机 .....	238
8.5 分级设备 .....	246
8.5.1 水力旋流器 .....	246
8.5.2 螺旋分级机 .....	248
8.6 选别设备 .....	250
8.6.1 跳汰机 .....	250
8.6.2 摇床 .....	253
8.6.3 浮选设备 .....	265
8.6.4 磁选设备 .....	276
8.7 脱水设备 .....	287
8.7.1 脱水设备的种类 .....	287
8.7.2 高效浓缩机 .....	287
8.7.3 陶瓷过滤机 .....	293
8.7.4 立式自动压滤机 .....	297
8.8 辅助设备 .....	300
8.8.1 炉渣缓冷设备 .....	300
8.8.2 胶带输送机 .....	302
8.8.3 渣浆泵 .....	304
8.8.4 鼓风机 .....	306
<b>9 铜冶炼渣选矿岗位操作规程的编制 .....</b>	<b>310</b>
9.1 岗位操作规程的编写内容和依据 .....	310
9.1.1 编写内容与人员要求 .....	310
9.1.2 编写依据 .....	311
9.2 选矿岗位操作规程的内容 .....	311
9.2.1 选矿系统操作规程 .....	312
9.2.2 炉渣缓冷系统岗位操作规程 .....	314

9.2.3	炉渣破碎系统岗位操作规程 .....	319
9.2.4	炉渣磨矿系统岗位操作规程 .....	328
9.2.5	炉渣浮选系统岗位操作规程 .....	340
9.2.6	中央控制室岗位操作规程 .....	349
9.2.7	渣精矿脱水系统岗位操作规程 .....	352
9.2.8	渣尾矿脱水系统岗位操作规程 .....	363
9.2.9	选矿车间通用安全规程 .....	377
<b>10</b>	<b>铜冶炼渣选矿未来发展方向 .....</b>	<b>379</b>
10.1	铜冶炼渣选矿重要性和资源化趋势 .....	379
10.2	铜冶炼渣选矿工艺的未来发展趋势 .....	379
10.2.1	铜冶炼渣处理方式的发展趋势 .....	379
10.2.2	碎磨工艺流程发展趋势 .....	380
10.2.3	选别工艺及未来资源化发展趋势 .....	380
10.2.4	脱水工艺发展趋势 .....	382
10.3	铜冶炼炉渣选矿药剂的发展趋势 .....	382
10.4	选矿设备及应用发展趋势 .....	383
	<b>参考文献 .....</b>	<b>385</b>



# 绪 论

## 1.1 选矿概述

### 1.1.1 选矿的定义

根据矿石的矿物性质，主要是不同矿物的物理、化学或物理化学性质，采用不同的方法，将有用矿物与脉石矿物分开，并使各种共生的有用矿物尽可能相互分离，除去或降低有害杂质，以获得冶炼或其他工业所需原料的分选过程，称为选矿，在此过程中所应用的各种技术都为选矿技术。选矿技术是根据所选矿石的特性及所选矿石存在的形式来划分的。选矿技术是以物理、化学和生物等学科为基础的一门科学技术。物理的方法包括常见矿物的洗选、筛分、重选、磁选等，化学的选矿方法有用药剂改变矿物表面的差异性性质的浮选技术、浸出等，生物的方法有细菌氧化选矿技术。常用的选矿方法为机械选矿（包括洗矿、筛分、重选、磁选和浮选）、火法富集、化学选矿法等。总体来讲，选矿技术就是将矿石中的有用物质提选出来的技术方法。

### 1.1.2 选矿的重要性

选矿使有用组分富集，减少冶炼或其他加工过程中的燃料、运输等的消耗，使低品位的贫矿石能得到利用。选矿试验所得数据，是矿床评价及建厂设计的主要依据。用物理或化学方法将矿物原料中的有用矿物和无用矿物（通常称脉石）或有害矿物分开，或将多种有用矿物分离开的工艺过程，都要应用选矿技术。产品中，有用成分富集的产品称为精矿；无用成分富集的产品称为尾矿；有用成分的含量介于精矿和尾矿之间，需进一步处理的产品称为中矿。金属矿物精矿主要作为冶炼工业提取金属的原料；非金属矿物精矿作为其他工业的原材料；煤的精选产品为精煤。选矿可显著提高矿物原料的质量，减少运输费用，减轻进一步处理的困难，降低处理成本，并可实现矿物原料的综合利用。由于矿物资源日益贫乏，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）矿石几乎都需要选矿。

### 1.1.3 选矿的发展历程

早期的选矿，主要利用矿物间的物理性质或表面物理化学性质的差异，但不改变矿物化学组成的物理选别过程，主要用于处理金属矿石，称为矿石选别；以后扩展到非金属矿物原料的选别，称为矿物选别；后来把利用化学方法回收矿物原料中有用成分的过程，也纳入选矿，称为化学选矿。选矿经历了从处理粗粒物料到细粒物料、从处理简单矿石到复杂矿石、从单纯使用物理方法向使用物理化学方法和化学方法的发展过程。早期，人们用手工拣选，后来，用简单的淘洗工具从河溪砂石中选收金属矿物，湖北铜绿山矿冶遗址中的“船形木斗”就是两千多年前淘洗铜矿石的工具。唐樊绰著《蛮书》中有“熬金出



水，盛沙淘汰取之”的记载，描述当时淘金选矿的情况。明朝《天工开物》中有矿石采出后“先经拣净淘洗”，然后“入炉煎炼”，以及锡和其他矿石的选矿记载。欧美于1848年出现了机械重选设备——活塞跳汰机，1880年发明静电分选机，1890年发明磁选机，促进了钢铁工业的发展。1893年发明摇床。在浮选广泛应用以前，重选一直是主要的选矿方法。1906年泡沫浮选法取得专利。浮选能处理细粒复杂矿石，显著地促进了选矿技术的发展。20世纪40年代后，化学选矿用于处理氧化铜矿、铀矿，以后又用来处理复杂、难选、细粒浸染的矿物原料。

在选矿理论方面，1867年雷廷格尔（P. R. von Rittinger）著《选矿学》，初步形成选矿体系。1903年里恰兹（R. H. Richards）著《选矿》，构成独立的选矿工程学。1933年列宾捷尔（П. А. Ребиндер）著《浮选过程的物理化学》，1939年高登（A. M. Gaudin）著《选矿原理》，1940年利亚先科（П. В. Лященко）著《重力选矿》，1944年塔格特（A. F. Taggart）著《选矿手册》，1950年米切尔（D. R. Mitschell）著《选煤学》，使选矿形成独立的学科。

选矿涉及的学科主要有矿物结晶学、流体动力学、电磁学、物理化学、表面化学、应用数学以及过程的数学模拟和自动控制等。

我国于20世纪20年代出现机械选矿厂，如湖南水口山选矿厂等。1949年以后，在选矿指标、处理量和选矿科学技术等方面都有很大发展。钨、锡等选矿技术在某些方面有较高的水平，创制出独特的离心选矿机、振摆溜槽、环射式浮选机等新设备，并最先采用一段离析—浮选法来回收氧化铜。20世纪50年代以来，选矿技术又有很大发展。20世纪60年代以来，在化选、细粒重选、微细粒浮选、湿式强磁选和选冶联合流程以及各类选矿设备的研发与制造方面都得到很大发展，到20世纪90年代，我国在选矿技术方面已经达到世界先进水平。

在20世纪50年代以前，在世界火法炼铜行业中，熔炼炉生产出来的炉渣所采用的贫化技术，多以技术比较成熟的电炉贫化、熔炼炉贫化工艺为主，选矿贫化法还没有出现。选矿贫化铜冶炼炉渣自1930年提出技术思路，20世纪50年代末日本率先工业应用，之后很多国家相继采用，发展很快。日本、芬兰、加拿大、澳大利亚等国铜冶炼厂在20世纪70年代就已采用选矿方法处理转炉渣。其原因在于选矿贫化在技术、经济以及节能和环保上都是先进的。它不仅普遍用于贫化转炉渣，一些原先火法不宜再贫化的低铜熔炼炉渣和鼓风炉渣，也属于其有效应用范围。我国对铜炉渣选矿贫化的研究起步较早，仅比日本晚几年，20世纪60年代初白银有色金属公司开始系统研究，随后全国各大铜业公司和科研院所进行的各种规模的试验研究和应用成果相继出现。20世纪80年代后期我国第一座转炉渣选厂在贵溪冶炼厂建成。随着铜冶炼技术引进和技术改造的加快，我国转炉渣的选矿生产实践也越来越多，金隆铜业公司、大冶冶炼厂相继采用选矿方法回收转炉渣中的有价金属，取得良好效果。2007年山东阳谷祥光铜业建成投产，是国内第一家直接采用选矿贫化技术处理铜闪速熔炼炉渣的冶炼企业。2009年东营方圆有色金属有限公司渣选矿建成投产，2010年以后铜陵有色金属集团控股有限公司、白银有色集团股份有限公司、金川集团股份有限公司等单位陆续采用选矿贫化技术并开工建设。

生产实践证明，选矿贫化法应用效果良好，铜炉渣贫化后含铜达到了0.35%以下，有的能降低到0.3%以下。在冶金中间产物分离（比如金川高硫镍的镍铜分离技术）和炉渣

资源化回收铜铁方面,科技人员进行了较为深入的研究,在研究和应用过程中,人们逐渐发现了选矿技术综合回收性能好、绿色环保、低成本和效率高的产业优势。在世界资源枯竭紧张的大形势下,选矿技术在铜冶炼行业乃至整个冶金行业资源化研究与实践方面,日益得到人们的追捧,我国已经涌现巨大技术研究浪潮,并取得重大研究成果。渣选矿技术的研究与应用必将进入一个蓬勃发展时期。

#### 1.1.4 选矿的基本过程

选矿过程包括入选前矿物原料准备作业、选别作业和选后产品处理作业三个主要过程。选矿过程的核心主要由解离和选别两个基本部分构成。

##### 1.1.4.1 入选前矿物原料准备作业

入选前矿物原料准备作业主要有粉碎(包括破碎和磨碎)、筛分和分级,有时还包括洗矿。

(1) 破碎。将矿山采出的粒度为500~1500mm的矿块碎裂至粒度为5~25mm的过程称为破碎。方式有压碎、击碎、劈碎等,一般按粗碎、中碎、细碎三段进行。

(2) 磨碎。磨碎以研磨和冲击为主。将破碎产品磨至粒度为10~300 $\mu\text{m}$ 大小。磨碎的粒度根据有用矿物在矿石中的浸染粒度和采用的选别方法确定。常用的磨矿设备有:棒磨机、球磨机、自磨机和半自磨机等。磨碎作业能耗高,通常约占选矿总能耗的一半以上。20世纪80年代以来应用各种新型衬板及其他措施,磨碎效率有所提高,能耗有所下降。

(3) 筛分和分级。筛分和分级是指按筛面筛孔的大小将物料分为不同的粒度级别称为筛分,常用于处理粒度较粗的物料;按颗粒在介质(通常为水)中沉降速度的不同,将物料分为不同的等降级别,称为分级,用于粒度较小的物料。筛分和分级是在粉碎过程中分出合适粒度的物料,或把物料分成不同粒度级别分别入选。

(4) 洗矿。为避免含泥矿物原料中的泥质物堵塞粉碎、筛分设备,需进行洗矿。原料如含有可溶性有用或有害成分,也要进行洗矿。洗矿可在擦洗机中进行,也可在筛分和分级设备中进行。

##### 1.1.4.2 选别作业

矿物原料经粉碎作业后进入选别作业,使有用矿物和脉石分离,或使各种有用矿物彼此分离,这是选矿的主体部分。选别作业有重选(重力选矿)、浮选(浮游选矿)、磁选(磁力选矿)、电选(电力选矿)、拣选和化选(化学选矿)等。

(1) 浮选。利用各种矿物原料颗粒表面对水的润湿性(疏水性或亲水性)的差异进行选别。通常指泡沫浮选。天然疏水性矿物较少,常向矿浆中添加捕收剂,以增强欲浮出矿物的疏水性;加入各种调整剂,以提高选择性;加入起泡剂并充气,产生气泡,使疏水性矿物颗粒附于气泡,上浮分离。浮选通常能处理小于0.2~0.3mm的物料,原则上能选别各种矿物原料,是一种用途最广泛的方法。浮选也可用于选别冶炼中间产品、溶液中的离子(如离子浮选)和处理废水等。近年来,浮选除采用大型浮选机外,还出现回收微细物料(小于5~10 $\mu\text{m}$ )的一些新方法。例如选择性絮凝—浮选,用絮凝剂有选择地使某种微细粒物料形成尺寸较大的絮团,然后用浮选(或脱泥)方法分离;剪切絮凝—浮选,加捕收剂后高强度搅拌,使微细粒矿物形成絮团再浮选,及载体浮选、油团聚浮选等。

(2) 磁选。利用矿物颗粒磁性的不同,在不均匀磁场中进行选别。强磁性矿物(磁



铁矿和磁黄铁矿等)用弱磁场磁选机选别;弱磁性矿物(赤铁矿、菱铁矿、钛铁矿、黑钨矿等)用强磁场磁选机选别。弱磁场磁选机主要为开路磁系,多由永久磁铁构成,强磁场磁选机为闭路磁系,多用电磁磁系。弱磁性铁矿物也可通过磁化焙烧变成强磁性矿物,再用弱磁场磁选机选别。磁选机的构造有筒式、带式、转环式、盘式、感应辊式等。磁滑轮用于预选块状强磁性矿石。磁选的主要发展趋向是解决细粒弱磁性矿物的回收问题。20世纪60年代发明的带齿板聚磁介质的琼斯湿式强磁场磁选机,促进了弱磁性矿物的选收。20世纪70年代发明以钢毛或钢网为聚磁介质的具有高磁场梯度和强度的高梯度磁选机以及用低温超导体代替常温导体的超导磁选机,为回收细粒弱磁性矿物提供了良好的前景。

(3)重选。在介质(主要是水)流中利用矿物原料颗粒比重的不同进行选别。有重介质选矿、跳汰选矿、摇床选矿、溜槽选矿等。重选是选别黑钨矿、锡石、砂金、粗粒铁和锰矿石的主要选矿方法;也普遍应用于选别稀有金属砂矿。重选适用的粒度范围宽,从25mm到1mm以下,选矿成本低,对环境污染少。凡是矿物粒度在上述范围内并且组分间相对密度差别较大,用重选最合适。有时,可用重选(主要是重介质选矿、跳汰选矿等)预选除去部分废石,再用其他方法处理,以降低选矿费用。随着贫矿、细矿物原料的增多,重选设备趋向大型化、多层化,并利用复合运动设备,如离心选矿机、摇动翻床、振摆溜槽等,以提高细粒物料的重选效率。目前重选已能较有效地选别 $20\mu\text{m}$ 的物料。重选也是最主要的选煤方法。

(4)电选。利用矿物颗粒电性的差别,在高压电场中进行选别。主要用于分选导体、半导体和非导体矿物。电选机按电场可分为静电选矿机、电晕选矿机和复合电场电选机;按矿粒带电方法可分为接触带电电选机、电晕带电电选机和摩擦带电电选机。电选机处理粒度范围较窄,处理能力低,原料需经干燥,因此应用受到限制;但成本不高,分选效果好,污染少;主要用于粗精矿的精选,如选别白钨矿、锡石、锆英石、金红石、钛铁矿、钽铌矿、独居石等。电选也用于矿物原料的分级和除尘。电选的发展趋向是研制处理量大、选别细粒物料效率高的设备。

(5)拣选。拣选包括手选和机械拣选,主要用于预选去除废石。手选是根据矿物的外部特征,用人工挑选。这种古老的选矿方法,某些矿山迄今仍在应用。机械拣选有:1)光拣选,利用矿物光学特性的差异选别;2)X射线拣选,利用在X射线照射下发出荧光的特性选别;3)放射线拣选,利用铀、钍等矿物的天然放射性选别。20世纪70年代开始出现了利用矿物导电性或磁性的电性拣选和磁性拣选。

(6)化选。利用矿物化学性质的不同,采用化学方法或化学与物理相结合的方法分离和回收有用成分,得到化学精矿。这种方法比通常的物理选矿法适应性强,分离效果好,但成本较高,常用于处理用物理选矿方法难于处理或无法处理的矿物原料、中间产品或尾矿。随着成分复杂的、难选的和细粒的矿物原料日益增多,物理和化学选矿联合流程的应用越来越受到重视。化学选矿成功应用的实例有氰化法提金、酸浸—沉淀—浮选、离析—浮选处理氧化铜矿等。溶剂萃取、离子交换和细菌浸取等技术的应用,进一步促进了化学选矿的发展。它的发展趋向是:研制更有效的浸出剂和萃取剂,发展生物化学方法,降低能耗和成本,防止环境污染。

#### 1.1.4.3 选后产品处理作业

选后产品处理作业包括精矿、中间产品、尾矿的脱水,尾矿堆置以及废水处理。选矿



主要在水中进行,选后产品需要脱水干燥。方法有重力泄水、浓缩、过滤和干燥。块状和粗粒物料可用脱水筛、螺旋分级机和脱水仓等进行重力泄水。细粒物料用浓缩机或水力旋流器和磁力脱水槽等浓缩,再经真空过滤机过滤。20世纪70年代研制出的连续自动压滤机,可以进一步降低水分。也可加入絮凝剂和助滤剂,以加速细粒物料的浓缩和过滤效率。必要时滤饼还要经过干燥机干燥。近年出现的流态化干燥法和喷雾干燥法可以提高干燥效率。尾矿通常送尾矿库堆存,有时先经浓缩或浓缩—过滤后再进行堆存。尾矿水可回收再用。不符合排放标准的废水须经净化处理。旧尾矿场地要进行植被、复垦。

## 1.2 铜冶炼渣的种类及其选矿方法

### 1.2.1 铜冶炼渣的种类

在火法铜冶炼过程中,一般经过熔炼、吹炼、精炼三个工序产出粗铜或阳极铜,阳极铜经过电解精炼成为电解铜。吹炼渣返回熔炼工序,精炼渣返回吹炼工序;熔炼渣、吹炼渣有的工厂根据工艺需要配置火法贫化工序,因此会产生贫化渣。熔炼炉采用的传统设备为鼓风机、反射炉、电炉等,新建的现代化大型炼铜厂多采用比较先进的工艺,归纳起来有两类,一类是悬浮熔炼工艺,比如祥光铜业的悬浮熔炼、奥托昆普的闪速熔炼、INCO氧气闪速熔炼和德国KHD公司的CONTOP连续顶吹旋涡熔炼等;另一类是熔池熔炼工艺,比如诺兰达熔炼法、三菱法、瓦纽科夫法、艾萨法、奥斯麦特法、白银法、氧气底吹法等。吹炼炉以采用卧式转炉为主,少数采用虹吸式转炉、三菱法吹炼炉和连续吹炼炉。由奥托昆普和肯尼科特共同研发的闪速吹炼、祥光铜业研发的悬浮吹炼已经成功用于工业化生产,正逐步发展成为主流趋势。精炼广泛采用回转式精炼炉,只有极少数采用反射炉。

铜冶炼渣又称铜渣,按处理方法不同分为火法铜冶炼渣和湿法铜冶炼渣,火法铜冶炼渣又称铜冶炼炉渣或铜冶金炉渣,湿法铜冶炼渣又称铜浸出渣或铜浸渣;按照火法冶炼工艺又分为熔炼渣、吹炼渣、精炼渣和贫化渣。熔炼渣按照熔炼设备不同分为鼓风机渣、闪速炉渣、电炉渣、反射炉渣、诺兰达炉渣、底吹炉渣等,吹炼渣主要是转炉吹炼产生的渣(简称转炉渣),精炼渣是精炼炉产生的渣,贫化渣是熔炼渣或吹炼渣经火法贫化后产生的渣。根据渣冷却方式不同,分为水淬渣、自然冷却渣、保温冷却渣、渣包缓冷渣和铸渣机铸渣等。

铜冶炼炉渣的贫化采用火法贫化和选矿贫化两种方式。火法贫化多采用电炉法和反射炉法,此外还有真空贫化法、渣桶法、熔盐提取法等。熔炼渣采用火法贫化的较多,只有少数采用选矿贫化,而吹炼渣采用选矿贫化的较多,许多工厂不再返回熔炼炉。以前火法贫化渣含铜品位可以降至0.3%以下,能够直接弃渣,但随着铜冶炼不断向着高强化方向发展,火法贫化渣含铜品位很难降至0.6%以下,在当今世界铜资源日益贫乏枯竭情况下,直接弃渣是一种极大浪费,可以说纯粹靠火法贫化已不能满足现代铜冶炼工业需要。近年来,由于铜冶炼炉渣选矿贫化工艺具有成本低、效果好、节能环保等非常明显的产业优势,已经逐渐呈现出取代火法贫化工艺的发展趋势。目前采用炉渣选矿贫化的炉渣有熔炼渣、吹炼渣、贫化渣。

铜冶炼炉渣是火法冶金的一种产物,其组成主要来自矿石、熔剂、还原剂(或燃料)灰分中的造渣成分,成分非常复杂。但总的来说,炉渣是各种氧化物的熔体,这类氧化物在不同的组成和温度条件下可以形成化合物,如少量硫化物、氮化物、硫酸盐等。这些盐