

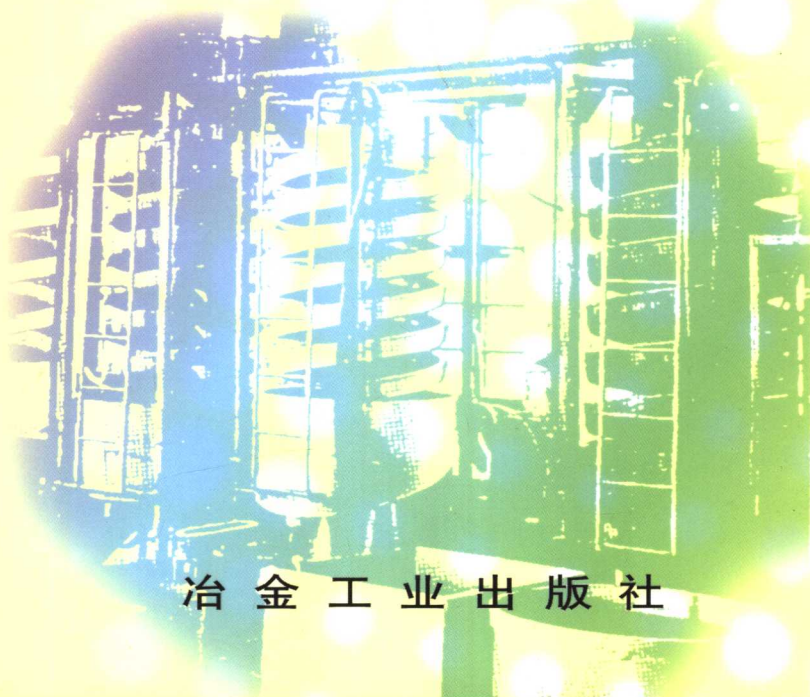


劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

重力选矿技术

ZHONGLI XUANKUANG JISHU

周晓四 主编



冶金工业出版社

劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

重力选矿技术

主 编 周晓四
审 稿 杨 波 杨玉珠

北 京
冶金工业出版社
2006

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

全书共9章,主要内容包括绪论、重选理论基础、水力分级与洗矿、跳汰选矿、溜槽选矿、摇床选矿、重介质选矿、重选生产实践、重选试验技术等。为便于读者自学、加深理解和学用结合,各章均附有小结和复习思考题。

本书也可作为大专院校有关专业的教学参考书和职业技术学院相关专业的教材或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

重力选矿技术/周晓四主编. —北京:冶金工业出版社,

2006.8

冶金行业职业教育培训规划教材

ISBN 7-5024-3996-X

I. 重… II. 周… III. 重力选矿—技术培训—教材

IV. TD922

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 048322 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 宋 良 王秋芬 美术编辑 王耀忠

责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 丁小晶

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

2006年8月第1版,2006年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.75印张; 415千字; 236页; 1—3000册

40.00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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定 价
中国冶金百科全书·选矿卷	本书编委会 编	140.00 元
中国冶金百科全书·采矿卷	本书编委会 编	180.00 元
矿产资源开发与可持续发展	科技部农社司 编	50.00 元
选矿厂设计	冯守本 主编	36.00 元
选矿概论	张 强 主编	12.00 元
碎矿与磨矿	李启衡 主编	28.00 元
工艺矿物学(第2版)	周乐光 主编	32.00 元
矿石学基础(第2版)	周乐光 主编	32.00 元
可持续发展的环境压力指标及其应用	顾晓薇 等著	18.00 元
安全原理(第2版)	陈宝智 编著	20.00 元
系统安全评价与预测	陈宝智 编著	20.00 元
固体矿产资源技术政策研究	陈晓红 等编	40.00 元
矿床无废开采的规划与评价	彭怀生 等著	14.50 元
矿物资源与西部大开发	朱旺喜 主编	38.00 元
冶金矿山地质技术管理手册	中国冶金矿山企业协会 编	58.00 元
金属矿山尾矿综合利用与资源化	张锦瑞 等编	16.00 元
矿业权估价理论与方法	刘朝马 著	19.00 元
矿山事故分析及系统安全管理	山东招金集团有限公司 编	28.00 元
矿山环境工程	韦冠俊 主编	22.00 元
矿浆电解原理	杨显万 等著	22.00 元
常用有色金属资源开发与加工	董 英 等编著	88.00 元
矿山工程设备技术	王荣祥 等编	79.00 元

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主 任 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

顾 问 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成

委 员

首钢总公司	舒友珍	何智广	宝山钢铁公司	杨敏宏
太原钢铁公司	贾宝林	孟永钢	武汉钢铁公司	孙志桥
马鞍山钢铁公司	王茂龙	陈 宣	本溪钢铁公司	张春雨
唐山钢铁公司	宋润平	冯柄晓	江苏沙钢公司	黄国刚
济南钢铁公司	陈启祥	赵树俭	天津天铁公司	王金铭
南京钢铁联合公司	陈龙宝	朱朝全	钢协培训中心	宋 凯
承德钢铁公司	魏洪如	高 影	济源钢铁公司	靳沁萍
石家庄钢铁公司	侯 敏	冷学中	滦河集团公司	王爱民
首钢迁安钢铁公司	王宝军	王 蕾	河北冶金研究院	彭万树
邯郸钢铁公司	张晓力	李 阳	河北冶金设计院	周建宏
宣化钢铁公司	张聪山	李豪杰	港陆钢铁公司	赵福桐
淮阴钢铁公司	刘 瑾	王灿秀	邯钢衡水薄板厂	魏虎平
邢台钢铁公司	张力达	孙汉勇	半壁店钢铁公司	刘春梅
纵横钢铁公司	王建民	阚永梅	鹿泉钢铁公司	杜会武
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	河北立国集团	郭志敏
山西工程职业技术学院	王明海	史学红		
冶金工业出版社	宋 良	(010-64027900, 3ba@cnmip.com.cn)		

序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量能否迅速增长、素质能否不断提高,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在 2003 年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

前 言

随着新技术的迅猛发展和经济全球化的到来,经济社会发展的关键要素不再是资金和土地,而更多地依赖于人力资源,依赖于人的知识和技能,依赖于对新技术的掌握和劳动者素质的提高。西方工业化国家的发展实践也早已证明了这一点。尽管我国在改革开放以后,在技能人才的培养和使用方面有了较大的发展,但由于观念、体制等各种因素的制约,这种发展与我国经济社会发展的速度要求相比,还存在着较大的差距,突出表现为:高级技能人才奇缺,供求矛盾十分尖锐,并伴有比较严重的结构失衡。高技能人才的教育培训,不仅要有资金投入和加快师资建设,而且要有教材建设。教育培训,首先要解决教材问题。

本书的编写即以培养具有较高选矿职业素质和较强职业技能、适应选矿厂生产及管理需要的高级技术应用型人才为目标。全书贯彻理论与实际相结合的原则,力求体现职业教育的针对性强、理论知识的实践性强、培养应用型人才的特点。在系统阐明重选技术的基础理论和基本知识的同时,注重理论知识的应用、实践技术的训练以及分析解决问题和创新、创业能力的提高。

周晓四担任本书主编,并编写绪论、第1章和第9章,彭芬兰编写第3、4、5、6、7章,杜重麟编写第8章。昆明理工大学杨波和昆明冶金研究院杨玉珠对全书进行了审阅,在此表示感谢。

本书是高等职业技术教育及冶金行业技师、高级技师培训教材,适用于冶金行业高等职业技术教育的矿物加工专业的教学及冶金行业选矿工种技师、高级技师的培训。本书亦可作为大专院校有关专业的教学参考书,还可供从事选矿生产和管理工作的工人、干部及工程技术人员参考。

在编写的过程中,参考了大量的文献资料,谨向各位作者、出版社致以诚挚的谢意!由于编者水平有限,书中不足之处恳请读者批评指正。

编 者
2006年3月

目 录

1 绪论	1
1.1 重力选矿的基本概念应用	1
1.1.1 重力选矿基本概念	1
1.1.2 重选作业类型	1
1.1.3 重选特点及其应用	2
1.2 重选简史及发展趋势	3
1.2.1 重选简史	3
1.2.2 重选技术在我国的历史和成就	4
本章小结	5
复习思考题	5
2 重选理论基础	6
2.1 颗粒在介质中的垂直运动(沉降)	6
2.1.1 介质的性质和介质的浮力与阻力	6
2.1.2 颗粒在介质中的自由沉降	13
2.1.3 物体的干涉沉降规律	21
2.2 不同密度粒群沿垂向的分层	26
2.2.1 粒群在上升水流中的分层规律	26
2.2.2 粗粒在细粒悬浮体中的沉降规律	30
2.2.3 矿粒在垂直变速流中的分层规律	32
2.3 斜面流中颗粒的运动状态	39
2.3.1 水流沿斜面流动的运动规律	39
2.3.2 矿粒在斜面流中的分层规律	45
2.4 物体在离心力场中的运动规律	55
2.4.1 物体在离心力场中的运动特点	55
2.4.2 物体在离心力场中的径向速度	56
2.4.3 薄层回转流的流动特性和粒群按比重分层	57
本章小结	59
复习思考题	59
3 水力分级与洗矿	61
3.1 概述	61
3.2 多室及单槽水力分级机	62
3.2.1 云锡式分级箱	62

3.2.2 机械搅拌式水力分级机	64
3.2.3 筛板式槽型水力分级机	65
3.2.4 水冲箱	66
3.2.5 分泥斗	67
3.2.6 水力分离机	68
3.2.7 倾斜板浓密箱	68
3.2.8 双层倾斜板水力分级箱	71
3.3 机械分级机	72
3.3.1 设备结构及工作原理	72
3.3.2 螺旋分级机操作技术	74
3.4 水力旋流器	76
3.4.1 概述	76
3.4.2 水力旋流器分级原理	77
3.4.3 水力旋流器的工艺计算	79
3.4.4 旋流器操作技术	80
3.5 分级效果的评价	83
3.5.1 用粒度分配曲线评定分级结果	83
3.5.2 分级效率计算式	85
3.6 洗矿	86
3.6.1 洗矿的目的和意义	86
3.6.2 洗矿设备	88
3.6.3 洗矿流程	91
本章小结	93
复习思考题	93
4 跳汰选矿	94
4.1 概述	94
4.2 跳汰选矿原理	95
4.2.1 跳汰水流的运动特性	95
4.2.2 跳汰周期曲线	97
4.3 跳汰机	100
4.3.1 上(旁)动型隔膜跳汰机	100
4.3.2 下动型圆锥隔膜跳汰机	102
4.3.3 侧动型隔膜跳汰机	103
4.3.4 圆形跳汰机	106
4.3.5 无活塞跳汰机	108
4.4 跳汰机操作技术	109
4.4.1 跳汰选矿的工艺因素	109
4.4.2 跳汰机的维护检修	112
本章小结	112
复习思考题	113

5 溜槽选矿	114
5.1 概述	114
5.2 粗粒溜槽	114
5.2.1 选别钨、锡砂矿用的粗粒溜槽	114
5.2.2 选金用粗粒溜槽	115
5.3 固定的矿泥溜槽	118
5.3.1 铺面(布)溜槽	118
5.3.2 匀分槽	119
5.4 皮带溜槽	120
5.5 扇形溜槽和圆锥选矿机	121
5.5.1 扇形溜槽	121
5.5.2 圆锥选矿机	129
5.6 螺旋选矿机和螺旋溜槽	131
5.6.1 螺旋选矿机	131
5.6.2 螺旋溜槽	139
5.7 离心溜槽	142
5.7.1 卧式离心选矿机	142
5.7.2 离心盘选机	145
5.7.3 离心选金锥	146
本章小结	147
复习思考题	148
6 摇床选矿	149
6.1 概述	149
6.2 摇床的分选原理	150
6.2.1 粒群在床面上的松散分层	150
6.2.2 矿粒在床面上的运搬分带	150
6.3 摇床的类型	152
6.3.1 6-S 摇床	153
6.3.2 云锡式摇床	155
6.3.3 弹簧摇床	157
6.3.4 多层化摇床	159
6.4 床面的运动特性	160
6.4.1 床面的运动特性判据	160
6.4.2 偏心连杆机构床头的运动分析	161
6.5 摇床操作技术	161
6.5.1 摇床的工艺操作因素	161
6.5.2 摇床维护与检修	163
本章小结	163
复习思考题	164

7 重介质选矿	165
7.1 概述	165
7.2 重悬浮液的性质	166
7.2.1 重悬浮液的黏度	166
7.2.2 重悬浮液的密度	169
7.2.3 重悬浮液的稳定性	171
7.3 重悬浮液分选机	171
7.3.1 深槽式圆锥型重悬浮液选矿机	171
7.3.2 浅槽式鼓型重悬浮液分选机	173
7.3.3 重介质振动溜槽	173
7.3.4 重介质旋流器	175
7.3.5 重介质涡流旋流器	176
7.4 重介质选矿工艺	177
本章小结	178
复习思考题	179
8 重选生产实践	180
8.1 处理粗、细不均匀嵌布的钨矿石重选流程	180
8.1.1 钨矿石的一般性质	180
8.1.2 黑钨矿石的重选流程	181
8.2 锡矿石的重选流程	184
8.2.1 我国的锡矿资源特点	184
8.2.2 处理残坡积砂锡矿的重选流程实例	184
8.2.3 处理锡石-硫化矿脉锡矿重选流程实例	185
8.3 铁矿石的重选流程	187
8.3.1 处理粗粒鲕状赤铁矿石的重选流程	188
8.3.2 处理鞍山式假象赤铁矿石的弱磁-重选流程	189
8.4 含稀有金属和贵金属砂矿的重选流程	191
8.4.1 冲积砂矿的类型	191
8.4.2 含稀有金属海滨砂矿的流程实例	192
8.4.3 含金冲积砂矿的重选流程实例	193
本章小结	195
复习思考题	196
9 重选试验技术	197
9.1 概述	197
9.2 根据矿石性质拟定选矿试验方案	197
9.3 矿石比重及堆比重测定	199
9.3.1 固体物料比重的测定	199
9.3.2 堆比重(堆重度)的测定	201

9.4 细粒矿石(-0.1 mm)粒度的测定	202
9.4.1 沉积天平法	203
9.4.2 淘析法	205
9.4.3 流体分级法	206
9.5 矿石重选可选性试验	208
9.5.1 比重组分分析和可选性曲线	208
9.5.2 重选流程试验	216
9.5.3 常用重选试验设备	220
9.5.4 重选试验操作	224
9.6 重选试验结果的处理	230
9.6.1 最终指标的确定	230
9.6.2 粒级回收率	231
9.6.3 分配曲线	232
本章小结	234
复习思考题	235
参考文献	236

1 绪 论

1.1 重力选矿的基本概念应用

1.1.1 重力选矿基本概念

矿物是地壳中由于自然的物理化学作用或生物作用,形成的自然元素和化合物。地球的地壳是由岩石构成的,而岩石是矿物的集合体。当岩石中的某一成分或某些成分的含量,以当前生产技术水平可以经济地开采、加工、利用时,则该岩石便称为矿石。矿石中除含有在当前经济上可利用的有用成分(矿物)外,还含有尚不能利用的成分(矿物),那些不能利用的成分(矿物)称为脉石(矿物)。

选矿的目的在于从原矿中将有用矿物(或有用成分)分离出来加以富集,构成组分单一的人造富矿(或化合物),即所谓精矿。选矿过程要利用矿石中各矿物某方面的性质差异来完成。重力选矿就是根据矿粒间密度的不同,因而在运动介质中所受重力、流体动力和其他机械力不同,从而实现按密度分选矿粒群的工艺过程,简称为重选。在金属矿选矿过程中,回收的目的金属矿物的密度比脉石高,这时经过选别得到的重产物为精矿,轻产物为尾矿。

重选过程中,矿物的分离是在运动过程中逐步完成的。也就是说,应该使性质不同的矿粒在重选设备中具有不同的运动状况——运动的方向、速度、加速度和运动轨迹等,从而达到矿物分离的目的。同时,一切重选过程都必须在某种介质中进行。不同粒度和密度矿粒组成的物料在流动介质中运动时,由于它们性质的差异和介质流动方式的不同,矿粒所受的介质阻力不同,其运动状态也不同。矿粒群在静止介质中不易松散,不同密度、粒度、形状的矿粒难于互相转移,即使达到分层,也难于实现分离。

对于重选而言,介质的作用是很重要的。重选所用的介质包括空气、水、重液和重悬浮液。其中用得最多的是水,在缺水的干旱地区或处理某些特殊的矿石时可用空气,此时称为风力选矿。重液是密度大于水的液体或高密度盐类的水溶液,矿物在其中可以严格地按密度分开,但是由于这类液体价格昂贵,故只限于在实验室使用。重悬浮液是由密度较高的固体微粒与水组成的混合物,其表观密度高于轻产物的密度,而低于重产物的密度,故可起到同重液一样的作用。采用重悬浮液作介质的选矿方法称作重介质选矿。随着分选介质密度的增高,性质不同的矿粒在运动状况上的差别也增大,在一定范围内分选效果亦愈好。

重选过程中,介质的作用虽然很重要,但介质的作用是外界因素,使矿物分离的根本原因还是它们自身性质的差别,也就是颗粒的密度、粒度和形状的差别。密度和粒度共同决定着颗粒的重力,是推动颗粒在介质中运动的基本作用力。在选矿过程中,使矿石基本按密度差分离的作业,是矿石分选作业。但是,当矿物间密度差别不大时,也可按不同粒度颗粒在介质中沉降速度不同,达到按粒度分离,这种作业称为分级作业。此时,矿粒的形状也影响其在介质中的运动速度,因而也是分离过程的一项重要因素。

1.1.2 重选作业类型

重选过程中的介质在分选过程中所处的运动状态,包括有匀速的上升流动、垂直交变的流

动、沿斜面的稳定流动和非稳定流动、回转运动等。根据介质的运动形式及分选原理的不同,重选可分为分级、重介质选矿、跳汰选矿、摇床选矿、溜槽选矿、洗矿等几种工艺方法。各工艺方法的应用范围见表 1-1。

表 1-1 重选工艺方法应用范围

重选工艺方法	粒 度/mm		密 度/kg·m ⁻³	
	最 小	最 大	最 低	最 高
分级	0.075	50	1200	4200
重介质选矿	0.100	300	1200	8000
跳汰选矿	0.075	250	1200	15600
摇床选矿	0.075	10	1200	15600
溜槽选矿	0.010	100	1200	2500
洗矿	0.000	300	1200	15600

其中,分级作业和洗矿作业属按粒度分离的作业,但洗矿作业处理的对象为含泥含水高易胶结的矿石,兼有碎散的作用。其他各工艺方法则属于分选性质的作业。

1.1.3 重选特点及其应用

各种重选过程的共同特点是:

- (1) 矿粒间必须存在密度(或粒度)的差异;
- (2) 分选过程在运动介质中进行;
- (3) 矿粒形状也会影响按密度(粒度)分选的精确性。

利用重选法分选矿石的难易程度,主要由待分离矿物的密度差决定,可由下式近似地评定

$$E = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_1 - \rho} \quad (1-1)$$

式中 E ——矿石的可选性评定系数;

ρ_1 、 ρ_2 、 ρ ——分别为轻产物、重产物和介质的密度,kg/m³。

可选性评定系数 E 值大者,分选容易,即使矿粒间的粒度差别较大,也能较好地按密度加以分选。反之, E 值小者,分选比较困难,而且在入选前往往需要将矿粒分组,以减少因粒度差别而影响按密度进行分选。矿石的可选性按 E 值大小可分成五个等级,如表 1-2 所示。

表 1-2 矿物按密度分离的难易度

E 值	$E > 5$	$5 > E > 2.5$	$2.5 > E > 1.75$	$1.75 > E > 1.5$	$1.5 > E > 1.25$	$E < 1.25$
难易度	极易选	易选	较易选	较难选	难选	极难选

$E > 5$,属极易重选的矿石,除极细($< 10 \sim 5 \mu\text{m}$)的细泥以外,各个粒度的物料都可用重选法选别;

$5 > E > 2.5$,也属易选矿石,按目前重选技术水平,有效选别粒度下限有可能达到 $19 \mu\text{m}$,但 $37 \sim 19 \mu\text{m}$ 级的选别效率也较低;

$2.5 > E > 1.75$,属较易选矿石,目前有效选别粒度下限可达 $37 \mu\text{m}$ 左右,但 $74 \sim 37 \mu\text{m}$ 级的选别效率也较低;

$1.75 > E > 1.5$,属较难选矿石,重选的有效选别粒度下限一般为 0.5 mm 左右;

$1.5 > E > 1.25$, 属难选矿石, 重选法只能处理不小于数毫米的粗粒物料, 且分离效率一般不高;
 $E < 1.25$ 的属极难选的矿石, 不宜采用重选。

一般而言, 只要有用矿物颗粒较粗, 则大部分金属矿物均不难用重选法同脉石分离, 但共生重矿物相互间的分离则比较困难。例如, 白钨矿同石英分离 $E = 3.1$, 同辉铋矿分离 $E = 1.4$ 。又如, 锡石同石英 $E = 3.8$; 而锡石同辉铋矿 $E = 1.05$; 锡石同黄铁矿 $E = 1.56$ 。

采用重介质选矿时, 若取 $\rho \approx \rho_1$, 则 E 值将趋向于无穷大, 表明重介质选矿法可用于选别密度差极小的矿物, 在理论上选别粒度下限也应很小, 但由于技术上和经济上的原因, 目前只能选别大于 $0.5 \sim 3 \text{ mm}$ 的物料。

虽然采用重选法选别微细颗粒效果较差, 但由于它具有设备构造简单、生产成本低、对环境污染小等明显的优点, 重选仍是目前最重要的选矿方法之一。在国内外, 重选广泛地被用于处理矿物密度差较大的原料, 是选别金、钨、锡矿石的传统方法, 在处理煤炭、稀有金属(钽、铌、钍、锆、铀等)矿物的矿石中应用也很普遍。在我国洗煤厂中, 重选法担负着处理 $75\% \sim 80\%$ 的原煤任务, 是最主要的选煤方法。重选法也被用来选别铁、锰矿石, 同时也用于处理某些非金属矿石, 如石棉、金刚石、高岭土等。对于那些主要以浮选法处理的有色金属(铜、铅、锌等)矿石, 也可用重选法进行预先选别, 除去粗粒脉石或围岩使有色金属达到初步富集。而脱水、分级, 几乎是所有选矿厂不可缺少的作业。重选方法除对微细粒级选别效果较差外, 能够有效地处理各种不同粒级的原料。重选设备结构较简单、生产处理量大、作业成本较低, 故在条件适宜时均优先予以应用。

1.2 重选简史及发展趋势

1.2.1 重选简史

重选是一种应用最早的选矿方法。很早以前, 古代人们就开始利用重选的方法, 在河溪中用兽皮淘洗自然砂金。跳汰机是早在 $14 \sim 15$ 世纪时就已出现, 直到现在仍保留其主要特征的重选设备。

在 18 世纪产业革命以后, 随着生产的发展, 重选技术也日趋完善。19 世纪 $30 \sim 40$ 年代在德国出现了机械式的活塞跳汰机, 1893 年发明了第一台空气驱动的无活塞跳汰机——著名的鲍姆式跳汰机, 19 世纪末发明了现代型式的机械摇床。直到 20 世纪初浮选法广泛应用以前, 重选法一直是主要的选矿方法。

分选效率最高的重选方法——重介质选矿, 1858 年就开始在工业中使用。当时只能在氯化钙溶液中选煤, 由于溶液损失大, 所以没有得到推广。1917 年又出现了水砂悬浮液选煤法, 1926 年苏联工程师 E. A. 斯列普诺夫提出了使用稳定悬浮液的重介选矿法, 从此之后, 重介质选矿才开始广泛使用。由于重介质选矿具有分选效率高、处理量大和适合于处理难选矿物等优点, 重介质选矿在不少国家中得到了迅速发展。

重选的理论研究工作, 是在重选设备机械化以后才开始的。根据流体力学的观点, 18 世纪初牛顿提出的球体在介质中沉降的阻力平方公式, 1851 年英国物理学家 G. G. 斯托克斯发表的黏性阻力公式, 为早期的重选理论研究工作提供了理论基础。最初的理论研究工作是从研究单个颗粒在介质中的运动规律开始的, 这些观点及研究结果发现与实际生产情况不符。因为重选过程, 不是单个颗粒在介质中的运动, 而是粒群在介质中的运动。随后才开始研究矿粒群在介质中的干涉沉降规律。在这方面, 前苏联学者 И. Б. 利亚申柯做了广泛的研究工作, 提出了跳汰是在上升水流中“按悬浮体的相对密度分层”学说, 并且在 1936 年编著了世界上第一本重选教科书。以后德国人 E. W. 麦依尔 1947 年又从床层位能降的角度, 提出了跳汰能量理论模型, 阐释

了跳汰分层过程。1959年苏联H.H. 维诺格拉道夫提出而近年来得到了广泛承认的“概率—统计模型”,它把跳汰过程看成是各种物理性质的颗粒运动的群态运动,具有概率性质。但是,由于重选过程本身影响因素较多,直到现在有关跳汰及其他重选过程的理论研究,不同学派还是各持不同的观点。今后,应当集中来寻找出一条能把各种理论统一起来的途径,最终能比较客观地解决重选设备及工艺参数问题。

自从20世纪40年代在荷兰出现水力旋流器后,向利用回转流强化选别过程迈出了一大步。该设备现已广泛用于细粒矿物的分级和分选过程中。虽然其理论研究还很不成熟,但这是当前重选发展的主要方向之一。

随着现代科学技术的发展,现在已开始使用示踪原子、现代的测试技术直接观察颗粒的运动,研究矿粒在重选过程中的运动规律。为适应生产自动化和设备大型化的需要,开展了以数理统计方法,概括选矿过程规律性的研究,编制工艺参数和设备参数间的数学模型,为工艺生产的自动控制和设备设计提供可靠依据。

近年来,由于采矿机械化程度的提高,越来越多的贫矿和微细嵌布矿石的被开发利用,重选生产面临着提高设备处理能力和强化对微细粒级回收的任务。设备制造正在向着大型化、离心化和多层化方向发展。传动方式也采取了多种多样的复合运动,在这方面我国已经取得了许多重要成就。

1.2.2 重选技术在我国的历史和成就

在我国重选已有悠久的历史,约在4000年前就开始了冶炼钢。殷墟出土的司母戊鼎重达1400斤,可见当时冶金技术的高超。战国时代(纪元前403—221年)铁的应用得到推广。为了给冶金生产提供原料,所以采矿、选矿技术也相当发达。到了明朝,我国的采矿、冶金和金属加工业,无论在生产规模、产量上,或是在技术工艺方面,都居当时世界前列。1637年明朝著名科学家宋应星编著的《天工开物》颇为详尽地总结了历代劳动人民的工农业生产经验,在我国历史上第一次系统地论述了采矿工程及洗选矿石等情况,记载了很多有关应用重选分选的实例。例如,用风车分选谷物,用水力分级方法提取瓷土,淘洗铁砂和锡砂矿石等。这些记述反映了我国古代重选技术的发达。

我国的重选工业在旧中国一直处于落后状态。设备陈旧,管理不善,生产极不正常。新中国成立后,矿物原料生产被置于优先发展地位,先后在我国重要的钨、锡、煤炭等基地建立了多座大、中型重选厂和选煤厂。随着我国尖端技术工业的建立,同时还新建了一批处理稀有金属矿砂的重选厂。20世纪60年代期间,开始用重选法处理鲕状赤铁矿矿石,并在铅、锌有色金属选矿厂建起了重介质选矿车间,同期重介质选煤厂也得到了发展。同时又以现代的重选技术改造了我国古老的选金工业,在吉林、黑龙江等省漫长的河滩上建立了多条浮动的采金船。由于我国能源资源的特点,煤炭日益成为主要能源。我国煤炭资源丰富,煤种齐全。随着煤炭产量的增长,重选法选煤也得到了迅速发展。另外,重选法在化工、建材等部门也得到了广泛的应用。

改革开放以后,我国的国民经济快速发展,重选技术得到了进一步发展,出现不少新技术、新工艺、新设备。进入21世纪,我国经济建设成就更加显著,已成为世界制造业大国。现在我国钨、锡矿石的重选技术已在世界进入领先地位。原矿处理量比解放前增长近百多倍,并综合回收了铁、铜、铅、锌、钨、铋、锑、钛、钴等十余种伴生金属元素。钨精矿的产量达到世界首位,成为国际上重要的钨砂出口国。在新技术新设备研究方面也取得不少重大成就。在处理难选的钽铌磁铁矿石上,重选法获得了成功的应用。我国将非稳定流原理用在流膜选矿上,制成了带有复合运动的振摆皮带溜槽。旋转螺旋溜槽、锯齿波跳汰机、转盘选矿机、连续作业离心选矿机等一大批