

选矿手册

第三卷

第三分册

冶金工业出版社

选矿手册

第三卷

第三分册

《选矿手册》编辑委员会

冶金工业出版社

《选矿手册》编辑委员会

主任委员：张卯均

副主任委员：胡为柏 童国光

编委：（按姓氏笔划）

王 岚 王永德 石大鑫 丘继存 刘广泌

刘正适 朱家骥 余兴远 沈志诚 沈建民

汪淑慧 李毓康 罗中兴 苏仲平 吴威孙

胡熙庚 夏珠荣 陶 敏 黄大雨 赵涌泉

秘书：赵涌泉（兼）

责任编辑：王迺琳 黄淦祥

本分册主编、副主编

第十四篇 磁 选

主 编：朱俊士

副主编：王国祥

第十五篇 电 选

主编：刘永之

第十六篇 特殊选矿

主编：石大鑫

第十七篇 化学选矿

主 编：黄礼煌

副主编：郑群英

本分册序

为了提高我国在选矿科研、设计、生产方面的水平和总结经验，推动选矿事业的进一步发展，中国金属学会选矿学术委员会于1983年8月决定组织编写我国第一部选矿专业大型工具书——《选矿手册》，由选矿学术委员会组成《选矿手册》编辑委员会主持编写工作，并成立了相应的编写组。参加撰写工作的有国内具有几十年教学、科研、设计、生产经验的专家、教授、高级工程师、工程师几百人。在整个编写过程中，实行了三级审核规定，严格贯彻“主编责任制”和“编辑委员会最终审定制”。

《选矿手册》共分八卷、三十七篇，按十四个分册陆续出版。全套书约为450万字。考虑到选煤另有专著，本《手册》不包括煤的洗选。《选矿手册》的内容有：总论、选矿前准备、选矿方法及选矿药剂、产品处理及辅助作业、取样、试验技术与选矿过程检测、数模和工艺过程控制、选矿厂设计、选矿实践等。

《选矿手册》是一部供中级以上程度的选矿工作者及有关人员使用的工具书。编入了较成熟的选矿理论、方法、工艺、药剂、设备和生产实践经验，内容丰富、实用性强。编写时，参阅了国内外上万篇文献、收集了上千个厂、矿的生产实践资料，理论与实践兼备，以实践为主，选材以国内为主，同时辅以典型的国外资料，体现了近代选矿科学技术水平。是一部具有中国特色的《选矿手册》。

第三卷为选矿方法，内容包括：拣选、重选、浮选、浮选药剂、磁选、电选、特殊选矿和化学选矿。

本书为《手册》第三卷第三分册，内容包括《手册》第三卷的第十四篇磁选、第十五篇电选、第十六篇特殊选矿和第十七篇化学选矿。

书中系统地阐述了磁选、电选、特殊选矿和化学选矿的基本原理及使用的设备，并列举了这些选矿方法在生产实践中的应用。

本分册除主编、副主编外，参加撰写人员有：（磁选）李明德、孙仲元、（特殊选矿）罗茜、袁楚雄。最后由杨中威对全稿作了整理。

本分册编写过程中，得到了有关科研、设计院所、大专院校、生产厂矿的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

编 者

第三卷 第三分册目录

14 磁 选

14.1 磁选原理	3
14.1.1 磁学基础	3
14.1.1.1 磁学单位	3
14.1.1.2 磁学量的基本概念	3
14.1.1.3 磁 路	12
14.1.2 矿物磁性	21
14.1.2.1 强磁性矿物	22
14.1.2.2 弱磁性矿物	24
14.1.2.3 矿物磁性对磁选过程的影响	25
14.1.2.4 磁选的选择性	30
14.1.3 磁选机磁场	31
14.1.3.1 开路磁系磁场	31
14.1.3.2 闭路磁系磁场	32
14.1.4 磁选机生产能力和影响磁选过程的因素	37
14.1.4.1 干式上部给矿磁选机的生产能力	37
14.1.4.2 下部给矿湿式圆筒磁选机的生产能力	38
14.1.4.3 湿式感应辊强磁选机的生产能力	39
14.1.4.4 分子力的影响	39
14.1.4.5 给矿中固体含量对湿式磁选结果的影响	40
14.1.5 磁选前的矿石准备	40
14.1.5.1 矿石筛分	40
14.1.5.2 矿石除尘和脱泥	41
14.1.5.3 强磁性矿石的预磁化	41
14.1.5.4 强磁性矿石的脱磁	41
14.1.5.5 矿石干燥	42

14.2 磁化焙烧	43
14.2.1 磁化焙烧原理和分类	43
14.2.1.1 还原焙烧	43
14.2.1.2 中性焙烧	44
14.2.1.3 氧化焙烧	44
14.2.1.4 氧化还原焙烧	44
14.2.1.5 还原氧化焙烧	44
14.2.2 铁矿物磁化焙烧图	45
14.2.3 焙烧温度和还原时间	47
14.2.4 焙烧用燃料和还原剂	47
14.2.4.1 煤气和天然气	48
14.2.4.2 重 油	48
14.2.4.3 煤	49
14.2.4.4 各种燃料的某些特性	49
14.2.5 磁化焙烧炉	51
14.2.5.1 竖炉	51
14.2.5.2 回转窑	59
14.2.5.3 沸腾炉	61
14.3 磁选设备	65
14.3.1 磁选机常用的材料	65
14.3.1.1 磁性材料	65
14.3.1.2 非磁性材料	73
14.3.2 除铁器和磁滑轮	74
14.3.2.1 除铁器	74
14.3.2.2 磁滑轮和圆筒磁铁	76
14.3.3 干式弱磁场磁选机	78
14.3.3.1 CTG型永磁筒式磁选机	78
14.3.3.2 苏联CЭ型筒式磁选机	78
14.3.3.3 萨拉-莫特赛型磁选机	85
14.3.4 湿式弱磁场磁选机	86
14.3.4.1 永磁筒式磁选机	90
14.3.4.2 电磁筒式磁选机	104

14.3.5 干式强磁场磁选机	104
14.3.5.1 感应辊式磁选机	104
14.3.5.2 转环式磁选机	108
14.3.5.3 盘式和带式磁选机	111
14.3.5.4 永磁辊式磁选机	114
14.3.6 湿式强磁场磁选机	114
14.3.6.1 感应辊式磁选机	114
14.3.6.2 琼斯型湿式强磁选机	121
14.3.6.3 环式磁选机	126
14.3.7 高梯度磁选机	129
14.3.7.1 周期式高梯度磁选机	130
14.3.7.2 连续式高梯度磁选机	131
14.3.8 超导磁选机	134
14.3.8.1 开梯度超导磁选机	134
14.3.8.2 高梯度超导磁选机	137
14.3.9 辅助磁力设备	141
14.3.9.1 预磁器	141
14.3.9.2 脱磁器	141
14.3.9.3 磁力脱水槽	143
14.4 磁选实践	147
14.4.1 强磁性矿石磁选	147
14.4.1.1 磁铁矿石磁选	147
14.4.1.2 磁铁石英岩矿石磁选	148
14.4.1.3 钽钛磁铁矿磁选	150
14.4.2 弱磁性矿石磁选	152
14.4.2.1 氧化铁矿石强磁选	152
14.4.2.2 锰矿石强磁选	152
14.4.2.3 稀有金属矿物精选	152
14.4.2.4 工业矿物提纯	153
参考文献	156

15 电 选

15.1 电选的理论基础	161
15.1.1 概 述	161
15.1.2 矿物的电性质	165
15.1.2.1 电阻	165
15.1.2.2 介电常数	165
15.1.2.3 比导电度	168
15.1.2.4 整流性	177
15.1.3 矿粒带电方法	177
15.1.3.1 传导带电	178
15.1.3.2 感应带电	178
15.1.3.3 电晕电场中带电	179
15.1.3.4 复合电场中带电	180
15.1.3.5 摩擦带电	181
15.1.4 电选过程的理论	183
15.1.4.1 电场	183
15.1.4.2 矿粒在电晕电场中获得的电荷	190
15.1.4.3 矿粒在电场中所受到的各种电力和机械力的作用	192
15.1.4.4 矿粒在自由落下电选机中所受到的各种作用力	196
15.1.5 电选物料的准备	198
15.1.5.1 分级	198
15.1.5.2 物料的加温	198
15.1.5.3 表面处理	200
15.2 电选设备	203
15.2.1 电选设备分类	203
15.2.2 鼓筒式电选机	203
15.2.2.1 双滚筒 $\phi 120 \times 1500$ 型电选机	205
15.2.2.2 DXJ $\phi 320 \times 900$ 型高压电选机	208

15.2.2.3 YD-3A及YD-4型鼓筒式电选机	208
15.2.2.4 国外鼓筒式高压电选机	212
15.2.3 其他型式电选机	216
15.2.4 摩擦电选机	218
15.2.4.1 鼓筒式摩擦电选机	218
15.2.4.2 室式摩擦电选机	219
15.2.4.3 自由落体式摩擦电选机	220
15.2.5 细粒电选机	223
15.2.5.1 干式回旋电选机	223
15.2.5.2 湿式介电分选机	225
15.2.6 电分级设备	229
15.2.6.1 鼓筒式电分级机	229
15.2.6.2 室式电分级机	231
15.2.7 实验室型电选机	232
15.2.7.1 XDF ϕ 250 $\times$ 200mm实验室型电选机	232
15.2.7.2 卡普科实验研究型高压电选机	232
15.2.8 电选机的高压电源	235
15.2.8.1 单相半波整流	235
15.2.8.2 桥式全波整流	235
15.2.8.3 高压电选的安全问题	237
15.3 电选实际应用	238
15.3.1 有色及稀有金属矿石的电选	238
15.3.1.1 有色金属矿石的电选	238
15.3.1.2 稀有金属矿石的电选	240
15.3.2 黑色金属矿石的电选	246
15.3.2.1 铁矿的电选	246
15.3.2.2 锰矿和铬矿的电选	248
15.3.3 非金属矿物及其他物料的电选	250
15.3.3.1 钾盐的电选	250
15.3.3.2 磷灰石的电选	251
15.3.3.3 煤及煤灰的电选	251
15.3.3.4 其他物料的电选	252

15.3.4 电选的发展方向	252
参考文献	253

16 特殊选矿

16.1 绪 言	259
16.2 磁流体选矿	261
16.2.1 概述	261
16.2.2 磁流体静力选矿工作介质	263
16.2.3 磁流体静力选矿工作原理	265
16.2.4 磁极形状理论	274
16.2.5 磁流体静力分选机	280
16.2.6 磁流体动力选矿	284
16.3 摩擦与弹跳选矿	287
16.3.1 概 述	287
16.3.2 工作原理	289
16.3.3 分选设备	289
16.3.3.1 溜棉板	289
16.3.3.2 带式筛	291
16.3.3.3 反流筛	291
16.4 风力吸选	295
16.4.1 概 述	295
16.4.2 工作原理	295
16.4.3 分选影响因素	296
16.4.4 计算公式	298
16.4.5 分选设备	299
16.4.5.1 分层设备	299
16.4.5.2 降棉设备	301
16.4.6 生产应用	301
16.5 重力浮选	302

16.5.1 概 述	302
16.5.2 主要作业	302
16.5.3 主要设备	304
16.5.4 选矿实践	305
16.6 表层浮选	307
16.6.1 概 述	307
16.6.2 主要作业	308
16.6.3 计算公式	308
16.6.4 主要设备	311
16.6.4.1 双辊表层浮选机	311
16.6.4.2 网带式表层浮选机	312
16.7 油膏选矿	313
16.7.1 概 述	313
16.7.2 油 膏	313
16.7.3 油膏选矿机	315
16.8 油团聚与磁团聚选矿	324
16.8.1 概 述	324
16.8.2 磁团聚选矿工艺与设备	324
16.8.3 磁团聚选矿实例	329
参考文献	332

17 化 学 选 矿

17.1 概 论	335
17.1.1 化学选矿发展简史	335
17.1.2 化学选矿的特点	336
17.1.3 化学选矿的基本作业	338
17.2 矿物原料的焙烧	340
17.2.1 焙烧的基本原理	340

17.2.2 氧化焙烧与硫酸化焙烧.....	343
17.2.3 还原焙烧	347
17.2.4 氯化焙烧.....	359
17.2.5 煅 烧	371
17.2.6 焙烧过程的热工计算	375
17.3 矿物原料的浸出	393
17.3.1 浸出的理论基础	393
17.3.2 常压酸法浸出	405
17.3.2.1 酸性浸出试剂	405
17.3.2.2 常压简单酸浸	406
17.3.2.3 氧化酸浸	408
17.3.2.4 还原酸浸	411
17.3.3 常压碱法浸出	412
17.3.3.1 氨浸.....	413
17.3.3.2 碳酸钠溶液浸出	417
17.3.3.3 苛性钠溶液浸出	418
17.3.3.4 硫化钠溶液浸出	418
17.3.4 盐 浸.....	419
17.3.4.1 氯化钠溶液浸出	419
17.3.4.2 高价铁盐溶液浸出	419
17.3.4.3 氰化浸出	420
17.3.5 细菌浸出	422
17.3.6 热压浸出	425
17.3.6.1 热压无氧浸出	425
17.3.6.2 热压氧浸	426
17.3.7 浸出工艺	432
17.3.7.1 浸出方法	432
17.3.7.2 浸出设备	433
17.3.7.3 固液分离	438
17.4 有用组分的分离与回收	439
17.4.1 离子交换吸附法.....	439

17.4.2 有机溶剂萃取法	464
17.4.3 化学沉淀法	484
17.4.4 金属沉淀法	489
17.5 化学选矿实践	500
17.5.1 难选原矿的化学选矿	500
17.5.1.1 铀矿的化选	500
17.5.1.2 难选氧化铜矿的化选	501
17.5.1.3 弱磁性贫铁矿的磁化焙烧	510
17.5.1.4 含金矿石的全泥氰化	511
17.5.1.5 复合贫铋矿的化选	511
17.5.1.6 贫氧化镍钴矿的还原硫化焙烧	512
17.5.1.7 磷矿的化选	512
17.5.2 难选中矿的化学选矿	513
17.5.2.1 低度钨中矿的化选	513
17.5.2.2 钼中矿的化选	516
17.5.2.3 铋中矿的化选	517
17.5.2.4 难选锡中矿的化选	518
17.5.2.5 含金选矿产品的化选	519
17.5.3 粗精矿除杂	521
17.5.3.1 难选钨粗精矿的化选	521
17.5.3.2 锰粗精矿化选	522
17.5.3.3 钽铌粗精矿化选	522
17.5.3.4 石墨精矿的化选除杂	523
17.5.3.5 金刚石精矿的化选除杂	524
17.5.3.6 高岭土精矿的化选除杂	524
17.5.4 表外矿、尾矿和废渣的化学选矿	525
17.5.4.1 铀 矿	525
17.5.4.2 铜 矿	525
17.5.4.3 锡 矿	528
17.5.4.4 黄铁矿烧渣	528
参考文献	531

Volume 3—Part 3**Contents****14 Magnetic Separation**

14.1 Principles of Magnetic Separation	3
14.1.1 Fundamentals of Magnetics.....	3
14.1.1.1 Units in Magnetics	3
14.1.1.2 Basic Concepts of Magnetic Quantities	3
14.1.1.3 Magnetic Circuitry	12
14.1.2 Magnetic Properties of Minerals	21
14.1.2.1 Strongly Magnetic Minerals	22
14.1.2.2 Weakly Magnetic Minerals	24
14.1.2.3 Effect of Magnetic Properties of Minerals upon the Magnetic Separation Process	25
14.1.2.4 Selectivity in Magnetic Separation	30
14.1.3 Magnetic Field of Magnetic Separators.....	31
14.1.3.1 Magnetic Field of Open Magnetic System.....	31
14.1.3.2 Magnetic Field of Closed Magnetic System.....	32
14.1.4 Throughput of Magnetic Separator and Factors Controlling Magnetic Separation Processes	37
14.1.4.1 Throughput of Dry Magnetic Separator with Upper feed	37
14.1.4.2 Throughput of Wet Drum Magnetic Separator with Lower Feed	38
14.1.4.3 Throughput of Wet Induced Roll High Intensity Magnetic Separator.....	39
14.1.4.4 Effect of Molecular Force.....	39
14.1.4.5 Effect of Solids Content in Feed upon the Performance of Wet	

Magnetic Separation.....	40
14.1.5 Ore Preparation before Magnetic Separation....	40
14.1.5.1 Ore Screening	40
14.1.5.2 Dust Suppression and Desliming of Ores	41
14.1.5.3 Pre-magnetization of Strongly Magnetic Ores.....	41
14.1.5.4 Demagnetization of Strongly Magnetic Ores.....	41
14.1.5.5 Ore Drying.....	42
14.2 Magnetizing Roasting	43
14.2.1 Principle and Classification of Magnetizing Roasting Processes	43
14.2.1.1 Reducing Roasting	43
14.2.1.2 Neutral Roasting	44
14.2.1.3 Oxidizing Roasting	44
14.2.1.4 Oxidation-Reduction Roasting	44
14.2.1.5 Reduction-Oxidation Roasting	44
14.2.2 Scheme of Magnetizing Roasting of Iron Minerals.....	45
14.2.3 Roasting Temperature and Reduction Duration	47
14.2.4 Fuels and Reductants for Roasting.....	47
14.2.4.1 Coal Gas and Natural Gas	48
14.2.4.2 Heavy Oil	48
14.2.4.3 Coal.....	49
14.2.4.4 Selected Characteristics of Various Fuels.....	49
14.2.5 Furnaces for Magnetizing Roasting	51
14.2.5.1 Shaft Roaster	51
14.2.5.2 Revolving Roaster	59
14.2.5.3 Fluosolid Roaster.....	61
14.3 Magnetic Separation Equipment.....	65
14.3.1 Materials Commonly Adopted for Magnetic Separators	65
14.3.1.1 Magnetic Materials	65
14.3.1.2 Non-magnetic Materials	73
14.3.2 Scrap Picker and Magnetic Pulley.....	74
14.3.2.1 Scrap Picker	74
14.3.2.2 Magnetic Pulley and Drum Magnet	76

14.3.3 Dry Low-intensity Magnetic Separators	78
14.3.3.1 CTG Type Drum Permanent Magnetic Separator	78
14.3.3.2 Soviet C9 Type Drum Magnetic Separator	78
14.3.3.3 Sala-Mortsell Type Magnetic Separator	85
14.3.4 Wet Low-intensity Magnetic Separators	86
14.3.4.1 Drum Permanent Magnetic Separator.....	90
14.3.4.2 Drum Electro-magnetic Separator.....	104
14.3.5 Dry High Intensity Magnetic Separators.....	104
14.3.5.1 Induced Roll Magnetic Separator.....	104
14.3.5.2 Carousel Magnetic Separator.....	108
14.3.5.3 Disk and Belt Magnetic Separators.....	111
14.3.5.4 Roll Permanent Magnetic Separator	114
14.3.6 Wet High-intensity Magnetic Separators (WHIMS).....	114
14.3.6.1 Induced Roll Magnetic Separator.....	114
14.3.6.2 Jones WHIMS	121
14.3.6.3 Ring Type Magnetic Separator.....	126
14.3.7 High Gradient Magnetic Separators (HGMS)....	129
14.3.7.1 Periodic HGMS.....	130
14.3.7.2 Continuous HGMS	131
14.3.8 Superconductive Magnetic Separators (SCMS).....	134
14.3.8.1 Open Gradient SCMS	134
14.3.8.2 High Gradient SCMS	137
14.3.9 Supporting Magnetic Devices.....	141
14.3.9.1 Premagnetizer	141
14.3.9.2 Demagnetizer.....	141
14.3.9.3 Magnetic Dewatering Tank	143
14.4 Practice in Magnetic Separation	147
14.4.1 Separation of Strongly Magnetic Ores.....	147
14.4.1.1 Separation of Magnetite Ores	147
14.4.1.2 Separation of Magnetite-Quartzite Ores.....	148
14.4.1.3 Separation of V-bearing Titanoma- gnetite Ores	150
14.4.2 Separation of Weakly Magnetic Ores	152