



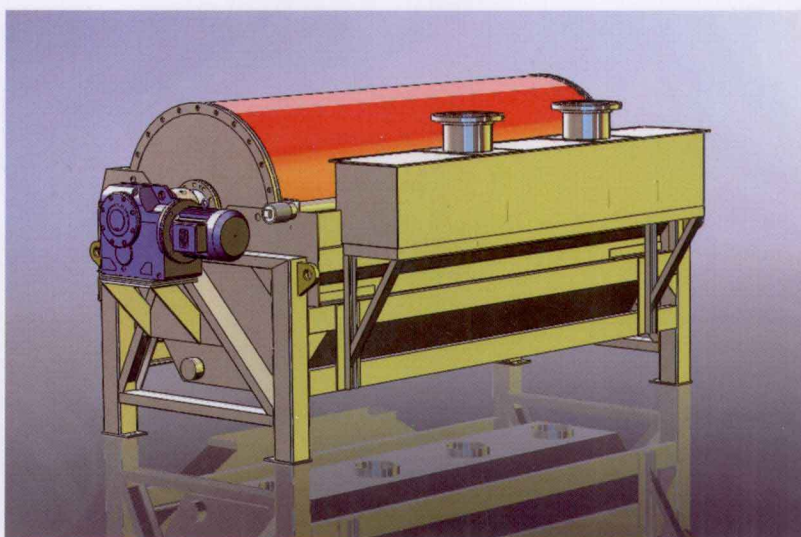
普通高等教育“十二五”规划教材

GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

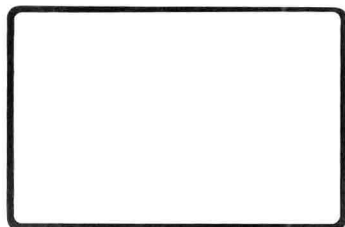
磁电选矿

(第2版)

袁致涛 王常任 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

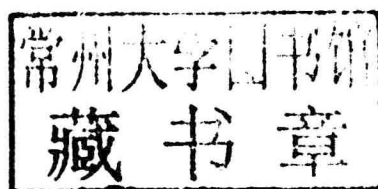


普通高等教育“十二五”规划教材

磁电选矿

(第2版)

主 编 袁致涛 王常任
副主编 张锦瑞 冯 泉 马少健
白丽梅 于福家



北 京
冶金工业出版社
2011

内 容 提 要

本书主要阐述了磁电选矿的基本原理和基本理论,系统介绍了磁电选矿设备的结构、工作原理和应用,以及磁电选矿设备的磁系或电极结构参数,磁电选矿设备用的材料及其特性,磁路计算的基本知识,以及磁、电分析和测量仪器。此外,本书还着重介绍了有关国内几种主要类型铁矿石的选矿实践。

本书为高等院校选矿及相关专业的本科生教材,也可供冶金、建材、煤炭、化工和地质等领域从事选矿科研、设计、生产的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

磁电选矿/袁致涛,王常任主编.—2版.—北京:冶金工业出版社,2011.6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5575-0

I. ① 磁… II. ① 袁… ② 王… III. ① 电磁选矿—高等学校—教材
IV. ① TD924

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100354 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5575-0

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1986 年 5 月 1 版,2011 年 6 月第 2 版,2011 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;19.75 印张;473 千字;300 页

39.00 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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第2版前言

最近10余年来,有关铁矿石的选矿技术,尤其是针对贫矿及难选矿分选的研究取得了令人瞩目的进展。就磁选领域而言,回收弱磁性铁矿物的高梯度磁选机的成功应用,进一步提高了赤铁矿选别指标。随着高性能磁性材料的出现与普及,磁选设备向大型化与永磁化方向发展,新型磁选设备不断出现,为资源利用效率的提高和选厂的节能降耗提供了新途径。

本书是在东北大学王常任教授所主编的《磁电选矿》(冶金工业出版社,1986)的基础上,进行一定的修订而完成的。重点对磁选生产实践这一部分内容做了详细的补充,介绍了国内几种主要类型铁矿石的选别工艺,使读者在掌握理论知识的同时也基本了解国内具有代表性的铁矿生产流程。

本书共分为两篇。第1篇为磁选,内容包括磁选的基本原理,矿物的磁性,弱、强磁场磁选设备,磁选设备用的磁性材料及其特性,弱、强磁场磁选设备的磁系结构参数,回收磁力的计算,磁路计算,超导磁选,磁流体分选,磁力分析和磁测量仪器,磁选的实践应用;第2篇为电选,内容包括矿物的电性质、电选机的电场、电选的基本理论、电选机、电选的实践应用。

参加本书编写的有东北大学袁致涛(第1~4章)、北方重工冯泉(第5章)、河北联合大学张锦瑞、白丽梅(第6~9章)、广西大学马少健(第10~13章)、东北大学于福家(第14~18章),袁致涛对全书作了统一整理。由于编者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

本书的最终完成得到了东北大学魏德洲、王常任老师的大力支持,在此表示感谢。

编者
2011年1月

第 1 版前言

本书是遵循冶金工业部所属高等院校本科四年制选矿专业的“磁电选矿”课程教学大纲编写的，考虑到当前磁电选矿的发展和需要，对大纲内容进行了充实。

本书内容共分为两大部分。第一部分为磁选，第二部分为电选。书中主要阐述了磁电选矿的基本原理和基本理论；系统介绍了磁电选矿设备的结构、工作原理和应用以及磁电选矿设备的磁系或电极结构参数；还介绍了磁电选矿设备用的材料及其特性，磁路计算的基本知识以及磁、电分析和测量仪器；列举了有关磁电选矿实践方面的资料和数据。

本书的第一、二、三、五、六、七、八、九、十一和第十三章（第一、二、五和第六节）由东北工学院王常任同志编写，第四、十、十二和第十三章（第三和第四节）由北京钢铁学院刘承宪同志编写，第十四、十五、十六、十七和第十八章由中南工业大学刘永之同志编写。本书由东北工学院王常任同志主编。中南工业大学孙仲元、武汉钢铁学院蒋朝澜和东北工学院郑龙熙等三名同志对书稿中主要篇章进行了详细审阅和校核；东北工学院施素芬同志为编者编写第二、三和第十三章提供了资料，在此表示感谢。

本书可作为冶金工科高等院校选矿专业的教学用书，也可供冶金、建材、煤炭、化工和地质等部门从事选矿科研、设计、生产的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
1985 年 3 月

目 录

第 1 篇 磁 选

1 磁选的基本原理	1
1.1 磁选的基本条件和方式	1
1.2 与磁选有关的磁场的基本概念和磁量	4
1.2.1 磁场、磁感应强度、磁化强度、磁化率	4
1.2.2 在无电流的自由空间内矢量 H 的旋度	5
1.2.3 在无电流的自由空间内磁感应强度 B 的散度	6
1.3 回收磁性矿粒需要的磁力	7
2 矿物的磁性	10
2.1 矿物按磁性的分类	10
2.2 强磁性矿物的磁性	12
2.2.1 磁铁矿的磁性	12
2.2.2 钛磁铁矿和焙烧磁铁矿的磁性	14
2.2.3 磁黄铁矿和硅铁的磁性	14
2.3 影响强磁性矿物磁性的因素	16
2.3.1 颗粒形状的影响	16
2.3.2 颗粒粒度的影响	20
2.3.3 强磁性矿物含量的影响	20
2.3.4 矿物氧化程度的影响	23
2.4 弱磁性矿物的磁性	23
2.5 矿物磁性对磁选过程的影响	27
3 弱磁场磁选设备	30
3.1 干式弱磁场磁选机	31
3.1.1 CT 型永磁磁力滚筒 (或称磁滑轮)	31
3.1.2 CTG 型永磁筒式磁选机	33
3.2 湿式弱磁场磁选设备	34
3.2.1 永磁筒式磁选机	34
3.2.2 永磁旋转磁场磁选机	39

3.2.3	磁力脱泥槽	39
3.2.4	浓缩磁选机	42
3.2.5	磁团聚重力选矿机	43
3.2.6	磁选柱	44
3.2.7	磁场筛	45
3.2.8	盘式磁选机	46
3.3	预磁和脱磁设备	46
3.3.1	预磁器	46
3.3.2	脱磁器	47
3.4	除铁器	49
4	强磁场磁选设备	51
4.1	干式强磁场磁选机	51
4.1.1	干式强磁场盘式磁选机	51
4.1.2	干式强磁场辊式磁选机	54
4.1.3	干式强磁场对辊磁选机	56
4.1.4	Rollap 永磁筒式强磁选机	58
4.1.5	DPMS 系列永磁筒式强磁选机	59
4.1.6	永磁辊(带)式强磁选机	60
4.2	湿式强磁场磁选机	61
4.2.1	CS-1 型电磁感应辊式强磁选机	61
4.2.2	琼斯(Jones)型强磁场磁选机	63
4.3	高梯度磁选机(HGMS)	66
4.3.1	周期式高梯度磁选机	66
4.3.2	连续式高梯度磁选机	67
4.3.3	Slon 型立环脉动高梯度磁选机	69
4.3.4	双立环式磁选机	71
4.3.5	气水联合卸矿双立环高梯度磁选机	73
5	磁选设备用的磁性材料及其特性	75
5.1	软磁材料	75
5.1.1	铁基软磁材料	75
5.1.2	Fe-Ni 软磁合金	77
5.1.3	软磁铁氧体材料	78
5.2	永磁材料	79
5.2.1	钕镍钴合金	79
5.2.2	铁铬钴合金	80
5.2.3	稀土钴永磁合金	80
5.2.4	永磁铁氧体	81

5.2.5 钕铁硼永磁材料	82
6 弱磁场磁选设备的磁系结构参数	84
6.1 开放型磁系磁选机的磁场	85
6.2 开放型磁系磁选机的旋转磁场	89
6.3 磁选机磁系的极面宽和极隙宽的比值	90
6.4 磁选机磁系的极距	92
6.5 磁选机磁系的高度、宽度、半径和极数	95
6.6 磁力脱泥槽磁系的形状、位置和尺寸	97
6.7 磁化（或脱磁）设备的磁化（或脱磁）时间	99
7 强磁场磁选设备的磁系结构参数	100
7.1 平面—单齿磁极对的参数	100
7.2 双曲线形磁极对的参数	103
7.3 平面或槽形—多齿磁极对的参数	105
7.4 等磁力磁极对的参数	110
7.5 多层尖齿极的参数	111
7.6 多层球极的参数	115
7.7 多层丝极的参数	118
7.7.1 圆形断面的丝极	118
7.7.2 矩形断面的丝极	121
7.8 多层网极的参数	123
7.8.1 钢板网极	123
7.8.2 编织网极	125
8 回收磁力的计算	130
8.1 在磁选机圆筒（或圆辊）上吸住磁性矿粒需要的磁力	130
8.1.1 磁极极性不变，圆筒（或圆辊）慢速运动	130
8.1.2 磁极极性交替，圆筒慢速运动	131
8.1.3 磁极极性交替，圆筒快速运动	133
8.2 从磁选机的矿流中吸出磁性矿粒需要的磁力	135
8.2.1 下面给矿，矿石和磁性产品做直线运动	135
8.2.2 下面给矿，矿石做直线运动，磁性产品做曲线运动	137
8.2.3 下面给矿，矿石和磁性产品做曲线运动	138
8.2.4 下面给矿，矿浆和磁性产品做曲线运动	139
8.3 在磁力脱泥槽中吸引磁性矿粒需要的磁力	141
9 磁路计算	143
9.1 磁路定律	143

9.2 气隙磁导的计算	143
9.2.1 分析法	144
9.2.2 分割磁场法	146
9.2.3 作图法	149
9.3 磁路计算	155
9.3.1 磁选设备磁系型式的选择	155
9.3.2 磁路计算的等效磁路法	155
9.3.3 磁路磁势的经验计算法	163
9.4 柱形和马鞍形线圈磁场强度的计算	164
9.4.1 圆柱形线圈磁场强度的计算	164
9.4.2 矩形线圈的磁场强度的计算	166
9.4.3 马鞍形线圈磁场强度的计算	171
10 超导磁选	172
10.1 超导电的基本理论	172
10.1.1 超导电性的基本概念	172
10.1.2 超导体的基本性质	173
10.1.3 超导电性的物理本质——BCS 理论	175
10.2 超导材料	176
10.2.1 超导元素	176
10.2.2 超导材料	177
10.3 低温的获得和保持	179
10.3.1 气体液化的基本原理	179
10.3.2 基本的液化制冷循环方式	179
10.3.3 液态气体的保存	180
10.4 超导磁选机及其应用	181
10.4.1 螺线管堆超导磁选机	181
10.4.2 科恩—古德超导磁选机	182
11 磁流体分选	186
11.1 磁流体动力分选 (MHDS) 法	186
11.2 磁流体静力分选 (MHSS) 法	187
11.2.1 磁流体静力分选法的基本原理	187
11.2.2 磁流体的制备和再生	188
11.2.3 磁流体静力分选设备	190
11.2.4 影响磁流体静力分选效果的因素	193
11.3 磁流体静力分选的应用	195
11.3.1 金刚石的分选	195
11.3.2 锆矿石的分选	196

11.3.3 砂金矿原矿的分选	196
11.3.4 从汞锑矿中提取高纯辰砂	197
12 磁力分析和磁测量仪器	198
12.1 磁力分析仪器	198
12.1.1 矿物磁性测定	198
12.1.2 磁性矿物含量的分析	203
12.2 磁场强度和磁通量的测量仪器	207
12.2.1 磁选设备磁场强度的测定	207
12.2.2 磁通的测量	211
12.2.3 交变磁场的测量	211
12.3 永磁材料磁性能的测定	211
12.3.1 冲击测试法	212
12.3.2 霍尔快速测试法	214
13 磁选的实践应用	215
13.1 磁选前的准备作业	215
13.1.1 粒度准备和干燥	215
13.1.2 弱磁性铁矿石的磁化焙烧	215
13.2 铁矿石的磁选	220
13.2.1 铁矿石类型	220
13.2.2 铁矿石一般工业要求和产品质量标准	220
13.2.3 磁铁矿石的选别	221
13.2.4 赤铁矿石的选别	225
13.2.5 镜铁矿石的选别	228
13.2.6 含钒钛磁铁矿石的选别	231
13.2.7 含铜磁铁矿石的选别	233
13.2.8 含稀土元素铁矿石的选别	235
13.3 锰矿石的磁选	237
13.3.1 锰矿石的工业类型和工业要求	237
13.3.2 锰矿石的选别	237
13.4 有色和稀有金属矿石的磁选	240
13.4.1 粗钨精矿的精选	240
13.4.2 含钽铌-独居石矿物粗精矿的选别	242
13.4.3 海滨砂矿粗精矿的精选	243

第2篇 电 选

14 矿物的电性质	247
14.1 介电常数	247

14.2	电导率	248
14.3	矿物的比导电度	249
14.4	矿物的整流性	250
15	电选机的电场	251
15.1	静电场	251
15.1.1	库仑定律	251
15.1.2	电场强度	251
15.2	电晕电场	252
15.3	复合电场	253
16	电选的基本理论	255
16.1	矿粒在电场中带电的方法	255
16.1.1	矿粒在静电场中的带电	255
16.1.2	矿粒在电晕电场中带电	256
16.1.3	矿粒在复合电场中带电	256
16.1.4	矿粒摩擦带电	257
16.2	电选过程的基本理论	258
16.2.1	矿粒在电场中获得电荷	258
16.2.2	矿粒在电场中受到的电场力作用	259
16.2.3	电选的作用机理	260
16.2.4	作用在矿粒上的机械力和电力	265
17	电选机	266
17.1	鼓筒式电选机	266
17.1.1	$\phi 120\text{mm} \times 1500\text{mm}$ 双辊电选机	266
17.1.2	DXJ $\phi 320\text{mm} \times 900\text{mm}$ 高压电选机	268
17.1.3	美国卡普科高压电选机 (Carpco High Tension Separator)	270
17.1.4	三鼓筒式高压电选机	271
17.2	其他类型电选机	271
17.2.1	自由落下式电选机 (Free Fall Separator)	272
17.2.2	电场摇床	273
17.2.3	回旋电选机 (悬浮电选机)	274
17.2.4	筛板式电选机	274
17.2.5	箱式电晕电选机	275
17.3	电选机的安全问题	276
17.4	电选的影响因素	277
17.4.1	物料影响因素	277
17.4.2	设备及操作影响因素	278

18 电选的实践应用	281
18.1 有色金属矿石中白钨锡石的电选	281
18.2 稀有金属矿石的电选	282
18.2.1 钛铁矿、金红石的电选	282
18.2.2 钽铌矿的电选	284
18.3 非金属矿的电选	286
18.3.1 金刚石的电选	286
18.3.2 钾盐矿的电选	287
18.4 其他物料的电选	287
18.4.1 黄金的精选	287
18.4.2 煤及粉煤灰的电选	288
18.4.3 其他物料的电选	289

附 录

附表1 各种矿物的物质比磁化率	290
附表2 强磁性铁石的物质比磁化率 χ	292
附表3 弱磁性铁石的物质比磁化率 χ	293
附表4 各种矿物的介电常数和电阻	294
附表5 矿物的比导电度和整流性	296
参考文献	299

第 1 篇 磁 选

磁选是在不均匀磁场中利用矿物之间的磁性差异而使不同矿物实现分离的一种选矿方法。该法比较简单而又有效。关于磁选法的原理，虽然有许多方面还未充分了解，但磁选法在当今的选矿领域和其他领域中却占有重要地位。磁选法广泛地应用于黑色金属矿石的选别，有色金属矿石和稀有金属矿石的精选，重介质选矿中介质的回收，从非金属矿物原料中除去含铁杂质，排出铁物保护破碎机和其他设备，从冶炼生产的钢渣中回收废钢以及从生产和生活污水中除去污染物等。

磁选是处理铁矿石的主要选矿方法。按用磁选法选别铁矿石的规模来说，磁选法在我国、俄罗斯、美国、加拿大、瑞典和挪威等国家占有重要地位。我国铁矿石资源丰富，目前保有的铁矿石探明储量居世界前列，但贫矿占 80% 左右，富矿仅占 20% 左右，而富矿中又有 5% 由于含有害杂质不能直接冶炼。因此，铁矿石中的 80% 以上需要选矿。就世界范围来说也大体如此。铁矿石经过选矿以后，提高了品位，降低了二氧化硅和有害杂质的含量，给以后的冶炼过程带来许多好处。根据我国的生产实践统计，铁精矿品位每提高 1%，高炉利用系数可增加 2% ~ 3%，焦炭消耗量可降低 1.5%，石灰石消耗量可减少 2%。

许多有色金属矿物和稀有金属矿物具有不同程度的磁性，而另一些则没有。采用单独的重选法和浮选法不能获得合格精矿，需要结合磁选和其他方法才能获得合格精矿。例如，钨矿重选所得黑钨粗精矿中，一般含有锡和其他一些有用成分。锡在钨的冶炼过程中是有害杂质，利用黑钨矿具有弱磁性和锡石无磁性这一特点采用磁选法进行处理后，可除去含锡杂质，获得合格的钨精矿。

在重介质选矿中使用磁铁矿和硅铁作为介质，在重介质选矿对轻、重产品进行脱介后的洗水中有一部分磁铁矿和硅铁，通过磁选法可回收并再用。

非金属矿物原料的选矿中，在许多情况下都伴随有除铁的问题，磁选成为一个重要的作业。例如，高岭土中铁是一种有害杂质，含铁高时，高岭土的白度、耐火度和绝缘性都降低，严重影响制品的质量。含铁杂质除去 1% ~ 2% 时，白度一般可提高 2 ~ 4 个单位。许多国家对高岭土应用高梯度磁分离装置除去含铁杂质，均获得了良好的效果。

很早以来，人们就用干式磁选选别蓝晶石、石英、红电气石、长石、霞石闪长岩，主要是用弱磁场磁选机除去强磁性矿物，用强磁场磁选机除去非磁性产品中的弱磁性矿物（如赤铁矿）。

进入选矿厂中的矿石常含有铁物，它易损坏细碎破碎机，为了保护破碎机不受损坏，在破碎机的给矿皮带上方装有悬吊磁铁以吸出矿石中的铁物。

在冶炼生产过程中会产生大量钢渣，通过干式磨矿和干式弱磁选可以回收钢渣，这在国内外已有生产实例。

应用高梯度磁分离或结合其他方法可以处理生产和生活污水以除去其中的污物。目前世界各国正在进行广泛深入的研究,有的已应用到工业中去。比较常见的是用高梯度磁分离器处理钢厂废水以除去其中的磁性铁杂质。

中国最早发现磁现象,在公元前一千多年就利用磁石的极性创造了指南针。在17~18世纪,人们进行了用手提式永久磁铁从锡石和其他稀有金属精矿中除铁的初次尝试。但是,工业上开始应用磁选法选别铁矿石是在19世纪末,美国和瑞典制造出第一批用于干选铁矿石的电磁筒式磁选机。

20世纪初,铁矿石的磁选在瑞典得到较大的发展,出现了湿式筒式磁选机,它是现代化磁选机的原形,可以成功和经济地湿选细粒的铁矿石。到了21世纪,随着磁性材料的发展,结合选矿设备的大型化,湿式筒式磁选机向着大规格的方向发展。目前,北方重工集团有限公司矿山机械分公司已生产出了 $\phi 1.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ 的磁选机,其处理量可达240t/h以上,并已成功用于生产实践。

19世纪末,为了磁选弱磁性矿石,美国制造出闭合型电磁系的强磁场带式磁选机。之后为了同一目的,苏联和其他一些国家又制造出强磁场盘式、辊式和鼓式磁选机。上述几种磁选机共同的缺点是选别空间小,处理能力低。20世纪60年代,琼斯(Jones)型强磁选机首先在英国问世。这是强磁场磁选机的一个重要突破。这种磁选机在两原磁极间隙中成功地利用了多层的聚磁介质板,大大增加了选别空间,因而处理能力大大提高。

近20多年来,磁选得到了较大的发展,出现了一些新的磁选工艺和新的磁选设备。高梯度磁选是20世纪70年代发展起来的一项磁选新工艺。它能有效地回收磁性很弱、粒度很细的磁性矿粒,为解决品位低、粒度细、磁性弱的氧化铁矿石的选别开辟了新途径。它不仅用于选别矿石,还可用于选别许多其他细粒和微细粒物料。尤其以Slon立环脉动高梯度磁选机为代表,为中国贫赤铁矿的选矿技术的发展做出了重大贡献。高梯度磁选新工艺在环境保护领域也有广泛的应用前景,将来可能成为全球性的环境保护的重要方法之一。

磁流体选矿也是磁选新工艺。它(包括磁流体静力分选和磁流体动力分选)是以特殊的流体(如顺磁性溶液、铁磁性胶粒悬浮液和电解质溶液)作为分选介质,利用流体在磁场或磁场和电场的联合作用下产生的“加重”作用,按矿物之间的磁性和密度的差异或磁性、导电性和密度的差异,而使不同矿物实现分离的一种新的选矿方法。当矿物之间磁性差异小而密度或导电性差异较大时,采用磁流体选矿可以有效地分选。国内外已进行了一些有关磁流体静力分选应用于金刚石的选矿的试验研究工作。结果表明,它可以作为金刚石选矿中的精选方法之一。

将超导技术用于选矿领域,研制出了超导电磁选机。这种磁选机采用超导材料作线圈,在极低的温度(绝对零度附近)下工作。线圈通入电流后可在较大的分选空间内产生1600kA/m(20000Oe)以上的强磁场,并且线圈不消耗电能,磁场长时间不衰减。这种磁选机的体积小,重量轻,磁场强度大,分选效果好,是用于工业生产的较理想的设备。美国Eriez公司已成功生产了工业超导磁选机,我国正在进行超导电磁选机的研制工作。这种磁选机可用于选别矿石特别是稀有金属矿石以及从非金属矿物原料中除去含铁杂质等等。

1 磁选的基本原理

1.1 磁选的基本条件和方式

磁选是在磁选设备的磁场中进行的。被选矿石给入磁选设备的分选空间后，受到磁力和机械力（包括重力、离心力、水流动力等等）的作用。磁性不同的矿粒受到不同的磁力作用，沿着不同的路径运动（见图 1-1）。因为矿粒运动的路径不同，所以分别接取时就可得到磁性产品和非磁性产品（或是磁性强的产品和磁性弱的产品）。进入磁性产品中的磁性矿粒的运动路径由作用在这些矿粒上的磁力和所有机械力合力的比值来决定。进入非磁性产品中的非磁性矿粒的运动路径由作用在它们上面的机械力的合力来决定。因此，为了保证把被分选的矿石中的磁性强的矿粒和磁性弱的矿粒分开，必须满足以下条件：

$$f_{1\text{磁}} > \Sigma f_{\text{机}} > f_{2\text{磁}} \quad (1-1)$$

式中 $f_{1\text{磁}}$ ——作用在磁性强的矿粒上的磁力；

$\Sigma f_{\text{机}}$ ——与磁力方向相反的所有机械力的合力；

$f_{2\text{磁}}$ ——作用在磁性弱的矿粒上的磁力。

这一公式不仅说明了不同磁性矿粒的分离条件，同时也说明了磁选的实质，即磁选是利用磁力和机械力对不同磁性矿粒的不同作用而实现的。

磁力和机械力对不同磁性矿粒的不同作用与矿石的分选方式有关，见图 1-2。从图中可以看出，矿粒在不同的情况下按磁性分离的路径也不同。第一种情况对于磁性差别较大的矿粒分离效果很好（见图 1-2a），而对于磁性相近的矿粒由于磁性与非磁性矿流的路径相近，分选难以控制（见图 1-2b）；后两种情况（见图 1-2c、d 和图 1-2e、f）对磁性相近的难选矿石分离效果较好，因为在非磁性部分排出的地方，磁铁表面仅是吸出和吸住个别的被非磁性部分机械混杂的磁性矿粒，而大部分的磁性矿粒在这以前就已经被分离出去了。

因此， $f_{\text{磁}} > f_{\text{机}}$ 保证了磁性矿粒被吸到磁极上，在分离磁性差别较大的易选矿石时，能够顺利地分出磁性部分，但在分离磁性差异小的难选矿石时，如要获得高质量的磁性部分，就需要很好地调整各种磁性矿粒的磁力和机械力关系，使之能有选择性的分离，才能得到良好的效果。

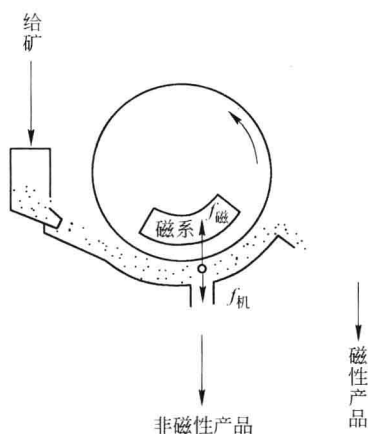


图 1-1 矿粒在磁选机中分离的示意图

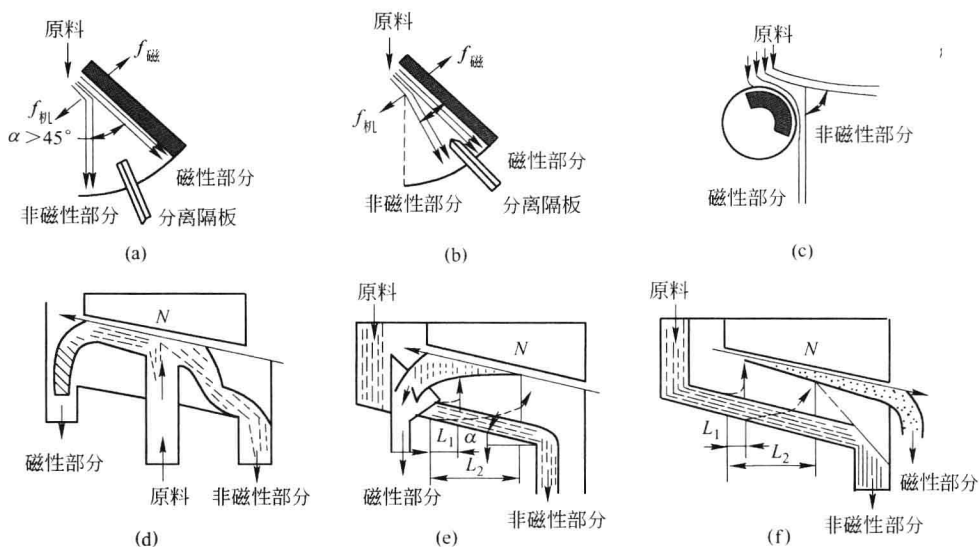


图 1-2 矿粒在不同情况下按磁性分离的示意图
(a), (b) 磁性矿粒偏离; (c), (d) 磁性矿粒吸住; (e), (f) 磁性矿粒吸出

1.2 与磁选有关的磁场的基本概念和磁量

1.2.1 磁场、磁感应强度、磁化强度、磁化率

磁场是物质的特殊状态, 并显示在载电导体或磁极的周围。磁选时在磁场中作用着吸引力 (对顺磁性和铁磁性颗粒) 和排斥力 (对逆磁性或同极性的硬磁性颗粒)。

磁选时起作用的物理力场有磁力场、重力场和离心力场等, 它们同样是物质性质的特殊形式。描述磁选设备分选空间某点的磁场用磁感应强度 B_0 , 在 SI 单位制中单位为 T (Wb/m^2)。

任何物质都存在着分子电流。分子电流和被它包围面积的乘积称为分子电流的磁矩, 即

$$m_i = i\Delta S \quad (1-2)$$

式中 m_i ——磁矩, $\text{A} \cdot \text{m}^2$;

i ——分子电流, A;

ΔS ——电流包围的面积, m^2 。

物质进入磁化场后分子电流便或多或少地取向于磁化场方向, 结果产生一个附加磁场叠加在磁化场上, 从而改变了磁化场。

某一体积物质的合成磁矩 m 等于分子电流磁矩 m_i 的矢量和, 即

$$m = \sum m_i \quad (1-3)$$

单位体积物质的磁矩称为物质的磁化强度, 即

$$M = \frac{dm}{dV} \quad (1-4)$$

式中 M ——磁化强度, A/m;

m ——物质的合成磁矩, A/m²;

V ——物质的体积, m³。

磁化强度是描写物质磁化程度的物理量。

磁化场的磁场强度 H_0 (A/m) 为:

$$H_0 = B/\mu_0$$

式中 B ——物质内的磁感应强度, T;

μ_0 ——真空的磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/(m · A) 或 H/m)。

H_0 (A/m)、 B 和 M 之间存在如下关系:

$$B = \mu H_0 \quad (1-5)$$

$$M = \kappa H_0 \quad (1-6)$$

式中 μ ——物质的磁导率 (或物质的导磁系数), H/m;

κ ——物质的体积磁化率 (或物质的体积磁化系数, 无因次)。

κ 是一个和物质性质有关的重要的磁性系数, 它是表示物质被磁化难易程度的物理量。 κ 值愈大, 表明该物质愈容易被磁化。对于大多数物质如弱磁性矿物, κ 是一个常数, 只有少数物质如强磁性矿物, κ 不是常数。

物质的体积磁化率与其本身的密度之比值, 称为物质的质量磁化率 (或物质的比磁化率, m³/kg), 即

$$\chi = \frac{\kappa}{\rho} \quad (1-7)$$

式中 ρ ——物质的密度, kg/m³。

由 H_0 、 B 和 M 式可得出 μ (H/m) 和 κ 的关系为

$$\mu = \mu_0 (1 + \kappa) \quad (1-8)$$

1.2.2 在无电流的自由空间内矢量 H 的旋度

下面讨论由带电流的导体、线圈和磁极所产生的外磁场。设有二维磁场 H , 在场中作一包围 $M(x, y)$ 点的闭曲线 l 。设 l 所围区域的面积为 ΔS , 当 l 收缩到 $M(x, y)$ 时, 极限

$$\lim_{l \rightarrow M} \frac{\oint H \cdot dl}{\Delta S}$$

存在, 则称此极限为磁场强度 H 在 $M(x, y)$ 点的旋度, 即

$$\text{rot } H = \lim_{l \rightarrow M} \frac{\oint H \cdot dl}{\Delta S} \quad (1-9)$$

在直角坐标系中上式可写成