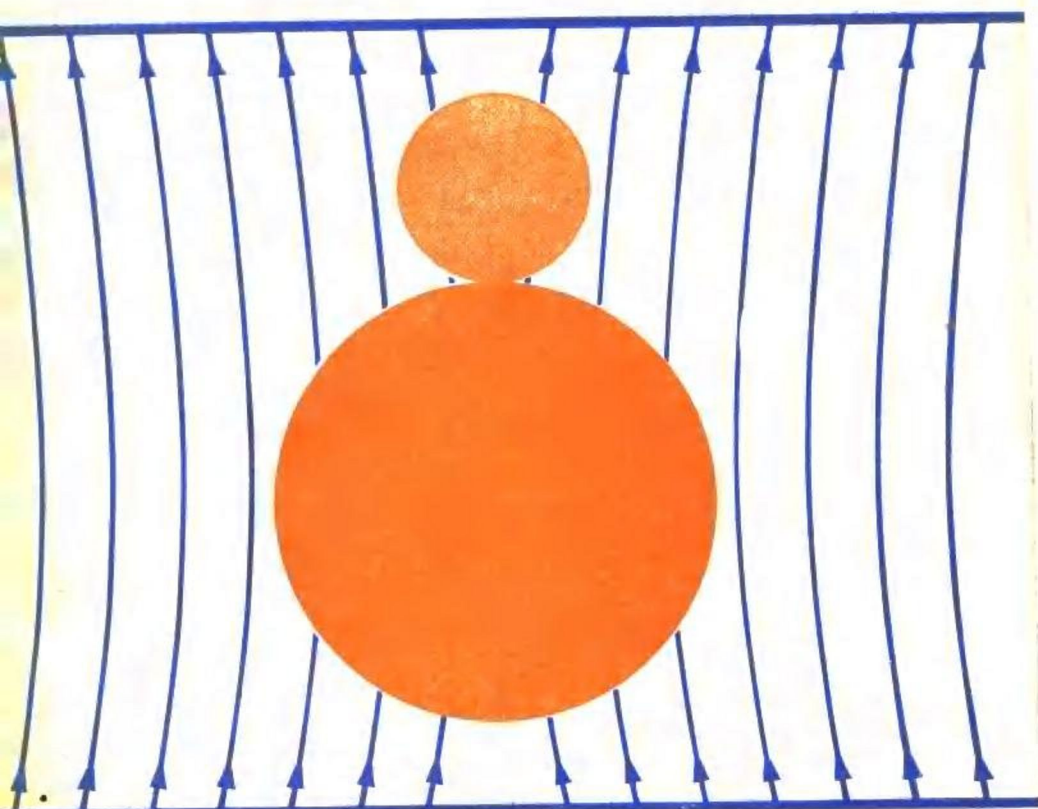


# 红铁矿选矿



HONGTIEKUANG XUANKUANG

张洪恩 等编

冶金工业出版社

# 红铁矿选矿

张洪恩 等编

1000/02

冶金工业出版社

---

**红铁矿选矿**

张洪恩 等编

\*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

850×1168 1/32 印张 13 3/4 字数 360 千字

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷

印数00,001~1,700册

统一书号: 15062·3990 定价 1.70元

## 前 言

我国铁矿资源极为丰富，储量很大。但是，在总储量中红铁矿（即弱磁性铁矿石）却占一半以上。从选矿工艺的角度来看，我国红铁矿有如下的特点：

1. 矿石较贫，即原矿含铁较低，一般仅30%左右；
2. 铁矿物在矿石中浸染较细，一般需经细磨才能达到基本解离；
3. 矿物组成复杂，大多属复合共生矿床，必须综合回收铁、稀土、铌、萤石、重晶石、磷等多种元素和金属。

上述工艺特点及多年来的实践表明，我国红铁矿石不仅需要经过选别处理，而且还是比较难选的。

本书专门论述有关红铁矿的选矿方法、原理、流程、典型工艺和实践；认真总结我国多年来红铁矿选矿科学研究和生产实践方面的经验，同时对国外红铁矿选矿的新工艺、新设备、新药剂及典型厂也有选择地适当加以介绍。

本书供从事红铁矿选矿的科研、设计以及现厂工程技术人员、技术工人参考，也可作高等院校选矿专业的教师、研究生及大学生的参考书。

本书由东北工学院选矿教研室张洪恩（绪论、第六章、结语）、陈丙辰（第一、八章）、杨秀媛（第二、三章）罗禧（第四、五章）、龚焕高（第七章）等同志编写，第九章为集体编写，全书由张洪恩同志主编，负责全书的整理和总校。

本书在编写过程中，丘继存、史纪昌、卢荫之、朱家骥等同志提出了不少宝贵意见，许多兄弟单位给予了大力支持，在此一并表示感谢。

书中的缺点、错误恳请读者批评指正。

编 者

1982年

# 目 录

绪论 .....	1
<b>第一章 铁矿资源 .....</b>	<b>15</b>
第一节 含铁矿物的性质及对铁矿石的工业要求 .....	15
第二节 国外铁矿资源的分布及其类型 .....	19
一、含铁石英岩型矿床 .....	20
二、沉积型矿床 .....	23
三、岩浆型矿床 .....	27
四、接触交代型(矽卡岩型)矿床 .....	27
五、热液型矿床 .....	27
六、风化壳(残余)型矿床 .....	28
第三节 国外红铁矿资源利用情况简述 .....	30
第四节 我国铁矿资源 .....	31
一、鞍山式铁矿床 .....	32
二、镜铁山式沉积变质矿床 .....	33
三、攀枝花式铁矿床 .....	33
四、白云鄂博式铁矿床 .....	34
五、大冶式铁矿床 .....	35
六、宣龙-宁乡式铁矿床 .....	36
七、大宝山铁矿床 .....	37
八、南山式铁矿床 .....	37
九、大西沟式铁矿床 .....	37
<b>第二章 红铁矿的焙烧-磁选 .....</b>	<b>39</b>
第一节 概述 .....	39
第二节 磁化焙烧原理 .....	41
一、磁化焙烧的分类 .....	41
二、磁化焙烧图 .....	42
三、铁氧化物的还原反应 .....	45
四、磁化焙烧过程的机理 .....	47
第三节 焙烧过程的影响因素 .....	49

一、矿石性质 .....	49
二、矿石的粒度及粒度组成 .....	51
三、还原剂成分 .....	52
四、还原温度与时间的关系 .....	54
五、还原剂流速的影响 .....	56
第四节 焙烧炉和弱磁场磁选机 .....	57
一、竖式焙烧炉 .....	57
二、沸腾焙烧炉 .....	60
三、斜坡式焙烧炉 .....	62
四、回转窑 .....	63
五、永磁筒式磁选机 .....	66
六、磁力脱水槽 .....	69
七、永磁旋转磁场精选机 .....	72
八、磁滑轮 .....	73
第五节 焙烧矿石的特点与磁选 .....	74
<b>第三章 红铁矿的强磁选</b> .....	<b>79</b>
第一节 红铁矿的磁性 .....	79
一、矿物按磁性分类 .....	79
二、红铁矿的磁性 .....	81
第二节 磁选的基本原理 .....	84
一、磁选分离的基本条件 .....	84
二、磁场特性 .....	86
三、强磁选机的磁路结构 .....	99
四、影响强磁选的因素 .....	102
第三节 强磁选机 .....	110
一、 $\phi 1500 \times 1000$ 永磁湿式转笼型强磁选机 .....	110
二、SQC-6-2770型湿式强磁选机 .....	113
三、琼斯强磁选机 .....	114
四、萨拉高梯度湿式强磁选机 .....	117
第四节 强磁选工艺流程 .....	118
一、赤铁矿石的弱磁-强磁选别工艺流程 .....	121
二、褐铁矿石的强磁-浮选选别试验流程 .....	122
三、处理假象赤铁矿石的弱磁-强磁-重选流程 .....	123

<b>第四章 粗粒红铁矿石的重选</b> .....	126
<b>第一节 重介质选矿</b> .....	126
一、重介质振动溜槽 .....	127
二、重介质旋流器 .....	131
三、重介质涡流器 .....	137
四、圆锥及圆筒型重介质选矿机 .....	138
<b>第二节 跳汰选矿</b> .....	139
一、梯形跳汰机和矩形跳汰机 .....	140
二、复振跳汰机 .....	144
三、圆形跳汰机 .....	147
四、无活塞跳汰机 .....	148
<b>第五章 细粒红铁矿的重选</b> .....	152
<b>第一节 流膜选矿原理</b> .....	152
一、选矿流膜的水力特性 .....	153
二、流膜选矿过程中矿粒的分离 .....	161
三、影响矿浆流膜分选的物理化学因素 .....	167
<b>第二节 尖缩溜槽和圆锥选矿机</b> .....	168
一、尖缩溜槽和圆锥选矿机的构造 .....	169
二、分选原理简述 .....	171
三、影响因素 .....	175
四、组合结构 .....	179
<b>第三节 螺旋选矿设备</b> .....	180
一、螺旋选矿设备中的矿浆运动特性 .....	181
二、螺旋选矿设备的分选特点 .....	183
三、螺旋选矿设备的构造及类型 .....	188
四、工艺及结构参数 .....	192
五、选矿流程 .....	197
六、螺旋选矿设备选别铁矿石的实践 .....	198
<b>第四节 离心选矿机—离心溜槽</b> .....	199
一、概述 .....	199
二、离心选矿机的结构参数 .....	201
三、分选过程的工艺因素 .....	206
四、离心选矿机选别红铁矿的实践 .....	210

<b>第六章 红铁矿的浮选药剂</b> .....	218
第一节 红铁矿浮选药剂的种类 .....	218
第二节 捕收剂 .....	221
一、有机酸类捕收剂 .....	222
二、胺类捕收剂 .....	241
第三节 有机抑制剂 .....	244
一、淀粉类 .....	244
二、木质素类 .....	249
第四节 有机絮凝剂 .....	250
一、淀粉 .....	253
二、聚丙烯酰胺 .....	254
三、腐殖酸盐 .....	257
<b>第七章 铁矿石浮选工艺</b> .....	260
第一节 铁矿石浮选工艺制度及近代发展 .....	260
一、阴离子捕收剂正浮选工艺 .....	260
二、阴离子捕收剂反浮选工艺 .....	265
三、胺类捕收剂的反浮选工艺 .....	268
四、絮凝-脱泥-反浮选工艺 .....	274
第二节 主要铁矿物及脉石矿物的可浮性 .....	275
一、主要铁矿物的可浮性 .....	276
二、介质pH值对铁矿物可浮性的影响 .....	278
三、脂肪酸类捕收剂对石英的捕收能力 .....	282
四、石英和赤铁矿在胺类捕收剂作用下的可浮性 .....	285
第三节 铁矿石浮选前脱泥的必要性 .....	291
第四节 脂肪酸正浮选的工艺特点及我国的实践经验 .....	299
一、磨矿细度 .....	299
二、浮选机转速与充气量 .....	302
三、浮选矿浆温度 .....	303
四、浮选矿浆浓度 .....	303
五、浮选用水的质量 .....	304
六、浮选流程 .....	307
第五节 选择性絮凝 .....	311
一、絮凝的一般概念 .....	312



二、絮凝过程的描述 .....	312
三、有机高分子絮凝剂 .....	314
四、分散与絮凝的机理 .....	315
五、处理非磁性铁燧岩的选择性絮凝实例 .....	317
六、选择性絮凝脱泥作为单一的选别工艺处理贫铁矿石的实例 .....	320
<b>第八章 红铁矿选别方法和选别流程总述 .....</b>	<b>328</b>
第一节 红铁矿选别方案及其实践 .....	328
第二节 选择红铁矿选矿方法和流程的依据 .....	338
一、矿石性质 .....	338
二、对精矿品位的要求 .....	342
三、矿床和选矿厂规模及其它具体条件 .....	343
第三节 单一铁矿石选别流程的选择和评述 .....	343
第四节 复合红铁矿选别流程的选择和评述 .....	352
<b>第九章 红铁矿的选别实践 .....</b>	<b>357</b>
第一节 我国红铁矿选矿厂实践 .....	357
一、鞍山东鞍山选厂 .....	357
二、鞍山齐大山选矿厂 .....	365
三、鞍钢烧结总厂 .....	370
四、鞍钢弓长岭铁矿选矿厂 .....	376
五、包头选矿厂 .....	382
六、酒泉钢铁公司选矿厂 .....	392
第二节 国外红铁矿选矿厂实践 .....	398
一、美国共和选矿厂 .....	398
二、美国蒂尔登选矿厂 .....	403
三、瓦布什选矿厂 .....	409
四、加拿大卡罗尔选矿厂 .....	412
五、加拿大塞普特·艾利斯选矿厂 .....	418
六、巴西考埃选矿厂 .....	421
<b>结语 .....</b>	<b>426</b>

## 绪 论

铁是一种分布极广的元素，它在地壳中的平均含量为5.1%，仅次于氧、硅及铝。铁具有很高的化学活性，因而它能与其他元素生成大量的天然化合物。地壳中含铁矿物达数百种，然而并非所有含铁矿物都具有工业利用价值，常见的铁矿物不过十余种。

铁矿石是钢铁工业的主要原料，世界铁矿资源储量极其丰富，据1977年资料报导，世界铁矿石储量为3400亿吨，远景储量7800亿吨，平均含铁39.7%。目前世界钢的年产量约7亿吨，预计到1985年世界钢的年产量可达10亿吨左右。钢、生铁及铁矿石三者产量的增长需保持一定的比例关系，随着钢铁生产的发展，要求铁矿石的产量急剧增加。

在上述的铁矿总储量中，红铁矿约占一半左右。各国对铁矿资源的开发利用，一般总是本着先富后贫、先磁后赤、先易后难的原则。随着铁矿资源的日益贫化，许多国家早已开始了对细粒的贫红铁矿的选矿研究工作，并已成功地用于工业实践中。

下面仅就红铁矿选矿方法的发展过程作一简要介绍。

### 一、重选

用重选法选别粗粒浸染的红铁矿矿石由来已久。近二十年来重选法处理红铁矿的应用有了较大的进展。目前，美国、加拿大、苏联等国选别红铁矿采用单一重选法者仍然不少，而采用带有重选的联合流程者则颇多。

五十年代以前投产的重选厂，如加拿大的阿尔果马(Algoma) (1939)、陡岩(Steep Rock) (1957)、西德的卡尔贝希特(Calbecht) (1942) 等大多是处理以褐铁矿、菱铁矿或针铁矿为主的红铁矿，一般选别指标较低，特别是铁精矿品位难于提高。

六十年代投产的重选厂，如加拿大的拉克-珍妮(Lac-Jeanne) (1961)、美国的森赖斯(Sunrise) (1965)、南非的锡

申 (Sishen) (1964) 等的特点是螺旋选矿机开始推广, 处理中细粒镜铁矿取得良好的效果。拉克-珍妮重选厂年处理原矿 2000 万吨, 用 2592 台螺旋选矿机组成一次粗选、一次精选流程, 矿石磨至  $-1.65$  毫米, 原矿 (主要由镜铁矿及石英组成) 含铁 33.5%, 选得精矿含铁 66%, 回收率 79%〔1〕。

七十年代投产的重选厂, 例如巴西的皮卡劳 (Picarrao) (1972)、加拿大的蒙特·莱特 (Mount Wright) (1975) 等也都采用了螺旋选矿机, 效果较好。尤其从七十年代初开始, 对螺旋选矿机进行了改造, 槽截面改为立方抛物线形, 创造了分选效率更高的螺旋溜槽, 加上圆锥选矿机的应用, 使中细粒 (一般为  $-0.3+0.03$  毫米) 红铁矿的选别得到很大改善。

然而, 能否有效地处理微细粒 ( $-0.03+0.018$  毫米) 红铁矿, 仍是重选法在这一领域取得多大成功的关键。

我国在用云锡  $\phi 800 \times 600$  毫米离心选矿机对鞍山式红铁矿进行选矿试验的基础上, 沈阳矿山机械厂、鞍钢矿山研究所及东北工学院合作研制成大型 ( $\phi 1600 \times 900$  毫米) 双锥度离心选矿机, 在鞍钢弓长岭选厂一年多的工业试验结果证明, 该机能够有效地回收  $+18$  微米的微细粒红铁矿〔2〕, 1978 年 1 月已经国家鉴定, 定型生产。大型离心选矿机的研制成功及应用, 为细粒红铁矿选矿开辟了新的途径。

## 二、焙烧磁选

焙烧磁选法也是处理红铁矿应用较早的方法之一。西德从二十年代起就陆续建成十多个竖炉焙烧磁选厂, 用以处理褐铁矿、菱铁矿为主的红铁矿, 当时取得了比重选较高的选别指标。然而, 由于此法存在建厂投资大、生产成本高等缺点, 因此, 西德在后来陆续将一些焙烧磁选厂改为重选厂或干式强磁选厂。

苏联从 1928 年起开始进行红铁矿焙烧磁选法的试验研究, 1961 年在中部采选公司建立了一座年处理原矿 900 万吨的焙烧磁选厂, 采用 30 台直径 3.6 米、长 50 米的回转炉。该厂十几年的生产实践表明, 焙烧磁选法的选别指标较低, 生产成本较高, 仍不

够理想。

法国红铁矿石主要是鲕状褐铁矿，集中在洛林 (Lorraine) 地区。在1962~1969年曾对该矿用两段沸腾炉进行焙烧磁选的一半工业及工业试验，效果较好，但由于热耗较大，工业上没有采用。

我国也是世界上最早采用焙烧磁选法处理红铁矿的国家之一。早在1926年就在鞍山建立了一座竖炉焙烧磁选厂，解放后，鞍钢烧结总厂恢复、扩建、发展了竖炉焙烧磁选工艺。六十年代初在酒钢建立一座竖炉焙烧磁选厂；七十年代这一工艺又在鞍钢齐大山选厂二期及重庆綦江选厂推广应用。焙烧磁选工艺在我国同样存在投资较大、生产成本较高以及粉矿难于处理等缺点。虽然从发展上看它有被新工艺取代之势，但是，当更有效的新工艺未得到工业应用之前，焙烧磁选法仍不失为处理红铁矿的一种重要而稳妥的方法。

### 三、浮选法

浮选法在红铁矿选矿中的应用，是一重大进展。它不仅能选别早期重选、磁选难以处理的细粒铁矿，而且能选分组成复杂的复合共生铁矿。因此，浮选法的应用，在历史上起到了扩大铁矿资源和促进综合回收的积极作用。

铁矿浮选最早是用脂肪酸作捕收剂开始的。美国洪堡 (Humboldt) 及共和 (Republic) 两浮选厂 (原矿以镜铁矿为主)，先后于1955年和1956年投产，用塔尔油作捕收剂获得了良好的选别指标 (原矿含铁37~38%，精矿含铁61~63%，回收率85~90%)。洪堡选厂因矿石枯竭，已于1970年停产。共和选厂为了进一步提高精矿品位，于1963年增建了再磨-加热浮选系统，浮选精矿再磨至80%—325目，加热近沸腾，粗选温度65°C，其他作业依次降低5~10°C，使铁精矿品位由62~63%提高到66~67%，作业回收率97~98%〔3〕。指标虽高，但热耗较大 (5万大卡/吨精矿)，因此该厂粗精矿只有40%进入热浮选。

苏联从1949年开始氧化铁英岩浮选的研究，1962年在中部采

选公司建立一个浮选试验厂(塔尔油作捕收剂),后来又采用磁选-浮选联合流程,但选别指标均不够理想(原矿含铁30~35%,精矿含铁60.5~62.5%,回收率69~74%)[4]。

国外选厂用脂肪酸及其衍生物直接浮选红铁矿,一般都预先脱泥,然后在中性或弱酸性介质中浮选,这样可以防止矿泥形成胶团、影响铁矿物可浮性及消耗大量药剂,从而改善浮选过程。

我国东鞍山选厂于1958年投产,采用脂肪酸类捕收剂,不预先脱泥,直接在用苏打造成碱性介质中浮选红铁矿。二十年来,生产工艺不断改进,选别指标逐步提高,原矿含铁32.6%、选得精矿含铁60.23%、回收率76%。

用脂肪酸进行红铁矿的正浮选工艺,虽已经历二十余年,但却未得到更多的推广应用。这主要是由于脂肪酸浮选的选择性较差,精矿品位难于有较大幅度的提高,无法满足冶炼对精料的要求。因此,铁矿浮选寄希望于研制选择性良好的捕收剂。六十年代应用胺类捕收剂进行硅石反浮选,效果较好。

1963年美国恩派尔(Empire)选厂用胺作捕收剂、MIBC作起泡剂对磁选精矿进行反浮选,使铁精矿品位由64.5%提高到66.5%,作业回收率95%[5]。此后,用胺浮出硅石,以提高磁选铁精矿品位的反浮选工艺,在加拿大和美国的许多选厂中得到迅速推广并获得良好的指标。美国和加拿大用此法生产高品位精矿(含铁64.5~65%以上、 $\text{SiO}_2$ 5%以下)每年已达1000万吨。

到七十年代,硅石胺浮选有了新的发展。1973年加拿大塞普特、艾利斯(Sept-Iles)选厂[6]处理以赤铁矿、假象赤铁矿为主的红铁矿,原矿磨至55%—0.044毫米后直接用胺、苛性钠及糊精进行反浮选,从含铁56%的原矿,选得精矿含铁63.3%、回收率91.6%的良好指标。1977年巴西萨马科(Samarco)公司的捷曼诺(Germano)选厂也直接用胺、苛性钠及淀粉进行原矿反浮选,从含铁51.7%的原矿,选得精矿含铁67.09%、回收率87.24%相当满意的指标。

近年来我国许多单位对鞍钢齐大山、关门山等红铁矿原矿进

行了胺反浮选试验，均获得良好的指标。用十二胺、苛性钠及淀粉进行的齐大山铁矿反浮选连续试验，从含铁28.82%的原矿，选得含铁67.24%、回收率84.01%的铁精矿。

硅石的胺浮选，最初使用的全是普通的烷基胺（如十二碳胺），后来逐渐扩大了品种，除伯胺外，仲胺、叔胺、季铵盐、 $\beta$ -胺、 $\beta$ -二胺及醚胺等都进行了研究，浮选硅石均取得了良好效果<sup>[7]</sup>。特别是醚胺效果更佳，其特点是选择性较好、矿泥允许量较大、矿浆pH的适应范围较宽，可以改善硅石的浮选。仅美国艾斯兰德（Ashland）化学公司生产的醚胺就达十余种，商品牌号为Arosurf MG<sup>[8]</sup>。

红铁矿反浮选（硅石浮选），也可用阴离子捕收剂，但浮选前石英需先用钙离子活化。美国汉纳（Hanna）矿业公司、美国矿业局、我国许多单位及苏联中部采选公司等都对用脂肪酸浮选硅石进行了各种规模的试验。挪威拉纳（Rana）选厂采用了此种工艺，浮选药剂用 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{NaOH}$ 、淀粉及Safacid 195（碘价为195的脂肪酸和水的乳液），获得了精矿含铁62~65%、回收率85~90%的选别指标。此种工艺的缺点与脂肪酸正浮选相同，也是浮选的选择性较差，故未得到推广。

作为有机酸类捕收剂的一种——石油磺酸盐，在七十年代铁矿石正浮选中又重新显示其良好的选择性。

石油磺酸盐早在五十年代就已为美国格罗夫兰（Groveland）选厂所采用。该厂采用磁选-浮选联合流程，浮选药剂用含 $\text{C}_{12\sim 18}$ 的石油磺酸盐、塔尔油、硫酸（调节 $\text{pH}=3$ ）、硅酸钠及燃料油。原矿含铁34%，选得精矿含铁64.3%、回收率77.4%的指标。该厂认为这一指标虽比用一般脂肪酸为好，但精矿品位仍然不高，如用户提出要求，该厂准备增加硅石胺浮选作业，以便生产优质或超级精矿。

近几年美国明尼苏达（Minnesota）大学矿物资源研究中心进行了安哥拉（Angola）低品位磁铁矿-赤铁矿-石英铁矿石的选矿试验。先后进行了用脂肪酸在高温下浮选铁矿物，用胺浮选硅

质脉石及用脂肪酸浮选被 $\text{Ca}^{2+}$ 活化了的硅质脉石等试验均未得到满意结果。于是,进行了用石油磺酸盐浮选铁矿物的试验,得到了含铁65%以上的铁精矿,但回收率不高。后来采用磁选-浮选联合流程,用石油磺酸盐回收磁选尾矿中的铁矿物,得到了总精矿含铁64%、回收率80%的良好指标。

我国马鞍山矿山研究院用石油磺酸钠对齐大山强磁精矿在弱酸性介质中进行的小型浮选试验、连续试验直到工业试验,均得到良好效果。石油磺酸钠的特点是选择性较好,可得到含铁65%以上的精矿,浮选作业回收率可达90%左右。另外,它对介质pH的适应性较强,范围可宽些。但目前用量还比较大。

#### 四、选择性絮凝

选择性絮凝也是七十年代发展起来的有效脱泥新工艺。细泥对浮选是有害的,特别是对胺浮选危害更大。因此,过去在铁矿浮选前采用旋流器进行脱泥,但效果不佳,一些微细的解离铁矿物也进到细泥中,造成了铁的损失。

为了改进脱泥,1962年美国矿业局开始进行选择絮凝脱泥的研究〔9〕,发现淀粉既可分散硅质矿物,又能选择絮凝铁矿物。1967年美国汉纳矿业公司研究室开始对梅萨比(Mesabi)地区铁燧岩进行了选择絮凝-脱泥-硅浮选的研究,指出用NaOH调节矿浆pH为10~11,配合使用分散剂(常用硅酸钠、三偏磷酸钠、西洋栗抽出物等)和选择性絮凝剂(常用玉米淀粉、木薯淀粉、胶及糊精等)进行脱泥,效果较好。

高分子絮凝剂的分子量,一般在 $10^5 \sim 10^7$ 范围内。絮凝剂的极性基决定其离子特性,选择性絮凝赤铁矿用阴离子型絮凝剂( $-\text{COOH}$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ 等)较好。阴离子性越强,絮凝效果越好。据报导〔10〕,用阴离子型聚丙烯酰胺絮凝赤铁矿效果较好。

经过十年的研究,美国建成第一个絮凝脱泥阳离子反浮选厂—蒂尔登(Tilden)选厂〔5〕,采用絮凝浮选法处理微细粒浸染的、以假象赤铁矿为主的红铁矿。经两段磨矿,细度达85%—0.025毫米,原矿含铁35.9%,选得含铁65%、回收率70%的铁精矿,并

且95%回水得到利用。

蒂尔登选厂新工艺的应用成功，使美国密执安 (Michigan) 和明尼苏达两铁矿区储量巨大的细粒贫赤铁矿资源得到利用。因此，絮凝浮选工艺被认为是一项重大技术突破，目前在世界上比较引人注目。

我国长沙矿冶研究所多年来研究祁东微细浸染的赤-磁铁矿，采用絮凝脱泥-弱磁-离心选矿机-再磨-絮凝脱泥流程，工业试验获得了良好指标。其突出特点是絮凝剂用腐植酸铵，它是由褐煤和氨混合而成，来源广，制造方便。

在选择性絮凝新工艺的基础上，近年来在国外又发展一种选择性团粒新工艺。加拿大研究，用脂肪酸及煤油团粒赤铁矿，使之与磷灰石分离，曾进行了半工业试验，得到了合格铁精矿。日本也进行了用焦化副产品煤焦油团粒赤铁矿的研究。

## 五、强磁选

### 1. 干式强磁选

红铁矿干式强磁选，早在本世纪二十年代初就得到了工业应用。西德是世界最早采用干式强磁选的国家之一，佩格奈兹 (Pegnitz) 选厂于1921年就采用了干式强磁选，处理细粒鲕状褐铁矿，原矿含铁27.66%，选得含铁40%的铁精矿，回收率为88~90%。西德菲谢尔别尔格 (Fichtelberg) 等选厂也采用了干式强磁选工艺。

法国从1962年起已大规模应用干式强磁选法处理洛林鲕状褐铁矿，效果良好。法国的迈特赞基 (Metzange) 干式强磁铁选厂于1962年投产，原矿含铁28.6%，选得含铁39%的铁精矿，回收率86%。

干式强磁选入选原料需要干燥，干式强磁机 (感应辊式) 的处理量较低、电耗较高以及须采取防尘措施等问题，致使这一工艺没得到更多地推广。

### 2. 湿式强磁选

湿式强磁场磁选机的研制成功及应用，是七十年代红铁矿选



矿的又一重大进展。目前虽然类型较多，但普遍认为琼斯型性能较好，生产稳定，处理量大，选别效果较好，故应用较广。

琼斯 (Jones) 湿式强磁选机首先是在英国发展起来的，六十年代末由西德洪堡 (Humboldt) 公司制造，1972年在巴西多西河股份公司 (CVRD) 的考埃 (Caue) 选厂首次得到工业应用<sup>[11]</sup>，共26台，台时生产能力达100吨。该厂原矿含铁50%，经洗矿后送给湿式强磁选，选得含铁66%的铁精矿，作业回收率95%。据统计，目前已在巴西、利比里亚、加拿大、瑞典、西班牙、美国及芬兰等国推广使用。我国于1978年也有仿琼斯型式强磁机投入红铁矿选矿的工业试验，效果良好。

实践表明<sup>[12]</sup>，目前工业应用的湿式强磁机只是在处理浸染不太细而含泥量较少的红铁矿时才有效。它对-30微米的铁矿物磁吸能力较差，因此在处理细粒浸染的红铁矿时，目前大多将它作为联合流程的一个作业，用来预先丢尾矿，或作精选生产超级精矿 (含Fe67~68%以上，SiO<sub>2</sub>2%以下)。

为了克服目前强磁机处理细粒效率低的弱点，近几年国外在研制多种高梯度湿式强磁机，其特点是用新型聚磁介质 (不锈导磁钢毛) 代替球介质或齿槽板，以提高场强和梯度 (比一般湿式强磁机的梯度大10倍以上)。

阿维德逊 (Arvidson) 介绍沙拉 (Sala) 工业型高梯度湿式强磁机在瑞典斯托柯拉伯铁矿选厂已连续运转了四个月，选别指标良好 (原矿含铁27%，精矿含铁62~64%，回收率84%)。该公司准备设计制造处理量为1000吨/台时的大型高梯度湿式强磁机，它既可选粗粒，也能有效地选别细粒。

目前也有人研究超导磁选机，利用超导材料 (一般用铌钛合金) 作线圈，省电、场强度高 (可达数万奥斯特)，但须在超低温下工作，需复杂的冷却装置 (一般用液态氮通过线圈冷却)，投资费很高，离工业应用尚远。

## 六、选别红铁矿的联合流程

从六十年代起，国外处理贫赤铁矿和赤-磁铁矿混合矿石越