

· 现代选矿技术丛书 ·

# 铁矿石选矿技术

牛福生 张晋霞 刘淑贤 聂轶苗 编著

51.1

46689



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

TD951.1

5

KD00946689

技术丛书

内容提要

# 铁矿石选矿技术

牛福生 张晋霞 刘淑贤 聂轶苗 编著



湖南科技大学图书馆



KD00946689

北京

冶金工业出版社

2012

## 内 容 提 要

本书共分7章,第1章简要介绍了铁矿石资源概况、铁矿石选矿技术进展等内容,第2~4章分别详细介绍了铁矿石类型及性质、铁矿石选矿方法及设备、铁矿石选矿浮选药剂,第5章详细介绍了磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿、镜铁矿和硫铁矿的选矿实践,第6、7章分别简要介绍了小型铁矿选矿厂建设和运行管理、复杂难选铁矿资源开发利用。

本书针对性强,注重铁矿石选矿的系统性和实用性,适合从事铁矿石选矿生产、科研和管理人员阅读参考,也可供高等院校矿物加工专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

铁矿石选矿技术/牛福生等编著. —北京:冶金工业出版社, 2012. 5

(现代选矿技术丛书)

ISBN 978-7-5024-6006-8

I. ①铁… II. ①牛… III. ①铁矿床—选矿技术  
IV. ①TD951.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 177683 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 杨秋奎 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6006-8

三河市双峰印刷装订有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销  
2012年5月第1版,2012年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5印张; 350千字; 223页

45.00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)

# 前 言

---

铁矿石是钢铁生产企业的主要原料，也是影响国民经济发展和人民生活水平质量的重要矿产资源之一。自然界中的铁矿石除一小部分可以直接工业应用的富铁矿石外，超过95%的铁矿石需经选矿富集处理后才能被有效利用。随着近几年钢铁工业的高速发展，铁矿石的需求量逐年增加，相应地铁矿石的选矿工艺技术、设备、选矿药剂等影响选矿效果的问题受到极大关注，一些先进技术、设备和药剂已经得到规模化工业应用，不仅提高了铁矿石选矿的资源利用效率，同时也为生产企业创造了巨大的经济效益。

除几个较大的矿床比较集中外，我国铁矿石资源储量在全国各地星罗棋布，贫富不均，因此在规划建设大中型铁矿选矿厂的同时，也建设了一大批小型选矿厂。随着矿石贫化现象突出，这些小型选矿厂矿石年处理量达到数百万吨，与大型钢铁企业的选矿厂相比，此类铁矿选矿厂流程简单、工艺落后、设备简陋，且缺少必要的选矿技术人员，技术力量薄弱；不少铁矿选矿企业的从业人员对铁矿石选矿过程认识单一，选矿知识储备不足，由此造成尾矿中金属流失严重，设备作业率、劳动生产率低以及企业建设运营水平不高等，过高的生产成本使企业面临极大的市场风险。为普及铁矿石选矿知识，增强从事铁矿选矿生产、管理和科研人员技术水平和分析、解决在生产实际中遇到的问题，笔者在系统总结铁矿石选矿技术的基础上，结合铁矿石选矿的最新研究成果编撰了本书。

本书由牛福生、张晋霞、刘淑贤和聂轶苗共同撰写，牛福生教授统稿，参加编写的人员还有张大勇、田力男、陈森、魏少波、戴奇卉等。本书的编写和出版，得到了河北联合大学的大力支持，在编写过程中参阅了许多国内外同行、生产企业的相关资料和成果，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者  
2012年5月

# 目 录

1 绪论 .....	1
1.1 铁矿石资源概况及需求形势 .....	1
1.2 我国铁矿石资源现状与开发利用概况 .....	2
1.2.1 我国铁矿石资源现状 .....	2
1.2.2 我国铁矿石开发利用概况 .....	3
1.3 铁矿石资源管理 .....	4
1.3.1 矿业法规 .....	4
1.3.2 矿业开发的程序和手续 .....	5
1.4 铁矿石选矿技术进展 .....	5
1.4.1 选矿工艺进展 .....	6
1.4.2 选矿设备进展 .....	9
1.4.3 选矿药剂进展 .....	12
1.5 铁矿石选矿的重要性 .....	12
参考文献 .....	14
2 铁矿石类型及性质 .....	15
2.1 铁矿石类型 .....	15
2.1.1 磁铁矿 .....	15
2.1.2 赤铁矿 .....	15
2.1.3 菱铁矿 .....	16
2.1.4 褐铁矿 .....	16
2.1.5 钛铁矿 .....	17
2.2 矿石物质组成研究方法 .....	17
2.2.1 元素分析 .....	17
2.2.2 矿物分析 .....	19
2.2.3 物理特性研究 .....	24
2.3 铁矿石选矿试验 .....	26
2.3.1 选矿试验的分类 .....	26
2.3.2 试验研究的内容 .....	28
2.3.3 选矿实验室实例 .....	29
2.4 铁矿石选矿的工艺指标 .....	31
2.4.1 品位 .....	31

## II 目 录

2.4.2	产率	32
2.4.3	回收率	32
2.4.4	选矿比	33
2.4.5	富矿比	33
2.4.6	影响选矿指标的主要因素	33
	参考文献	33
<b>3</b>	<b>铁矿石选矿方法及设备</b>	<b>35</b>
3.1	预处理方法及设备	35
3.1.1	预处理方法	35
3.1.2	粉碎技术及设备	36
3.1.3	分级技术及设备	47
3.1.4	磁化焙烧技术及设备	55
3.2	磁选方法及设备	60
3.2.1	磁选基本原理	60
3.2.2	矿物的磁性	60
3.2.3	磁选设备	62
3.3	浮选方法及设备	72
3.3.1	浮选基本原理	72
3.3.2	浮选影响因素	73
3.3.3	浮选设备	75
3.4	重选方法及设备	84
3.4.1	重选基本原理	84
3.4.2	重选设备	86
3.5	产品脱水	94
3.5.1	浓缩技术	95
3.5.2	过滤技术	99
	参考文献	103
<b>4</b>	<b>铁矿石选矿浮选药剂</b>	<b>104</b>
4.1	选矿浮选药剂的分类	104
4.1.1	捕收剂	105
4.1.2	起泡剂	109
4.1.3	抑制剂	110
4.1.4	活化剂	112
4.1.5	调整剂	113
4.1.6	分散剂	114
4.1.7	絮凝剂	115
4.2	药剂用量的计算与测定	116

4.2.1	药剂的取样 .....	116
4.2.2	药剂溶液的制备 .....	117
4.2.3	药剂用量的计算 .....	119
4.2.4	药剂添加表的编制 .....	120
4.2.5	药液用量的测定 .....	122
4.2.6	药剂加入地点和方式 .....	124
	参考文献 .....	125
<b>5</b>	<b>铁矿石选矿实践 .....</b>	<b>126</b>
5.1	磁铁矿石选矿 .....	126
5.1.1	矿石特点 .....	126
5.1.2	选矿工艺 .....	127
5.1.3	选矿实例 .....	129
5.2	赤铁矿石选矿 .....	141
5.2.1	矿石特点 .....	141
5.2.2	选矿工艺 .....	141
5.2.3	选矿实例 .....	143
5.3	菱铁矿石选矿 .....	150
5.3.1	矿石特点 .....	150
5.3.2	选矿工艺 .....	150
5.3.3	选矿实例 .....	152
5.4	镜铁矿石选矿 .....	157
5.4.1	矿石特点 .....	157
5.4.2	选矿工艺 .....	158
5.4.3	选矿实例 .....	158
5.5	褐铁矿选矿 .....	163
5.5.1	矿石特点 .....	163
5.5.2	选矿工艺 .....	163
5.5.3	选矿实例 .....	164
5.6	硫铁矿石选矿 .....	166
5.6.1	矿石特点 .....	166
5.6.2	选矿工艺 .....	166
5.6.3	选矿实例 .....	167
	参考文献 .....	170
<b>6</b>	<b>小型铁矿选矿厂建设与运营 .....</b>	<b>172</b>
6.1	小型铁矿选矿厂建设 .....	172
6.1.1	建设的依据 .....	172
6.1.2	建设的内容 .....	173

IV 目 录

6.1.3	选矿厂总体布置 .....	174
6.1.4	小型铁矿选矿厂设备布置实例 .....	176
6.2	小型铁矿选矿厂运营 .....	178
6.2.1	运营成本 .....	178
6.2.2	运营管理 .....	181
6.3	小型铁矿选矿厂实例 .....	184
6.3.1	磁选厂实例 .....	184
6.3.2	重选厂实例 .....	190
6.3.3	磁重选厂实例 .....	193
6.3.4	复合铁矿磁浮选厂实例 .....	197
	参考文献 .....	200
7	复杂难选铁矿资源开发利用 .....	201
7.1	原生铁矿资源综合利用 .....	202
7.1.1	钒钛铁矿开发利用 .....	202
7.1.2	鲕状铁矿开发利用 .....	206
7.1.3	微细粒弱磁性铁矿开发利用 .....	208
7.1.4	超贫细磁铁矿开发利用 .....	213
7.2	二次铁矿资源开发利用 .....	216
7.2.1	硫酸烧渣铁分选 .....	216
7.2.2	钢渣提铁技术 .....	217
7.2.3	尾矿提铁技术 .....	219
	参考文献 .....	222



# 1 绪 论

铁矿石作为一种重要的矿产资源，在人类社会发展和科学技术进步中起着极其关键的作用，从铁器时代的兵器到现代社会的各个领域都与铁矿石有非常密切的关系。从理论上说，凡是含有铁元素或铁化合物的矿石都可以称为铁矿石。但从铁矿石在工业利用的角度出发，只有当矿石中铁矿物或铁元素的含量达到一定含量时，在现在技术经济条件下可以开采、选别和利用的才可以称为铁矿石。

## 1.1 铁矿石资源概况及需求形势

世界铁矿石资源非常丰富，铁矿石资源总量估计超过 8000 亿吨（矿石量），澳大利亚、巴西、中国、俄罗斯、乌克兰及美国等是世界铁矿资源大国。有大约 50 多个国家生产铁矿石，但铁矿石产量的大部分集中在少数几个国家，世界十大铁矿石生产国依次为中国、巴西、澳大利亚、俄罗斯、印度、美国、乌克兰、加拿大、南非和委内瑞拉，10 个国家铁矿石合计产量占世界铁矿石总产量的 90% 左右。2011 年全球铁矿石产量为 20.5 亿吨左右，比 2010 年的 19.3 亿吨增长 6.2%，预计未来 5 年全球铁矿石生产和出口将快速增长，2012 年全球铁矿石产量将达到 22.8 亿吨，2015 年将达到 27 亿吨，全球矿山垄断程度将会降低，竞争加剧，市场将出现供大于求局面，巴西和澳大利亚铁矿石依靠低成本处于优势地位，因此澳大利亚和巴西铁矿石出口将保持增长，并在 2020 年前达到峰值。

我国是世界第一大铁矿石生产国和消费国。虽然我国铁矿有较多的查明资源储量，但我国人均矿产资源拥有量在世界上处于较低水平，且低品位、组分复杂的矿石、难选冶的矿石居多，大多是产量低的贫矿，铁矿平均品位仅为 33%，比世界平均水平低 10% 以上，可直接入炉炼铁、炼钢的富铁矿资源储量仅占全国铁矿资源储量的 2.7%。我国国内铁矿石生产仅能满足需求的 2/3 左右，其余 1/3 靠进口富铁矿石和废钢铁解决。改革开放以来，特别是进入 21 世纪以来，我国钢铁工业迅速发展，粗钢产量逐年递增，从 1990 年粗钢产量 6638 万吨，到 2008 年的 5.0049 亿吨，我国已经成为名副其实第一钢铁大国。国际钢铁协会统计数据显示，2011 年我国的粗钢产量为 6.955 亿吨，同比增长 8.9%。粗钢产量占全球粗钢总产量的比例也由 2010 年的 44.7% 提高至 45.5%。

随着我国钢产量的急剧增长，铁矿石的消费量逐年大幅攀升。我国国内矿山 1990 年原矿产量为 1.79 亿吨，2008 年达到 8.24 亿吨，18 年内上涨了 4.6 倍。消费大量的铁矿石，光靠开发国内矿山显然是不现实的，未来仍将大量进口铁矿石。因此，未来铁矿石市场供需形势将依然紧张，铁矿石供不应求的局面将依然持续，铁矿石价格整体仍将可能保持在高位运行。同时根据对 2000 年以来统计数据进行分析，我国粗钢/生铁比仍为 1 左右，按照 1t 生铁大约需要 3.5t 国产铁矿石，预测 2010~2020 年铁矿石累计需求量（国内标矿 33%）261 亿吨，其中 2015 年需求 21.9 亿吨，2020 年需求 23.8 亿吨。

## 1.2 我国铁矿石资源现状与开发利用概况

### 1.2.1 我国铁矿石资源现状

#### 1.2.1.1 铁矿石查明资源储量继续上升

我国铁矿石年产量已从2003年的2.6亿吨增加到2009年的8.8亿吨,年均增长超过20%,国产铁矿自给率稳步提升。同时我国铁矿勘查成果令人振奋,截至2010年底查明的铁矿资源储量为714亿吨,资源查明程度不到30%。未来5年通过加大勘探力度,行业力争新增铁矿储量200亿吨。

近几年,我国铁矿勘查进展明显,东部地区通过开展厚覆盖区航磁异常查证和低缓异常查证,组织实施大中型矿山接替资源找矿专项,以及地方财政和社会资金加大铁矿勘查,新发现了一批隐伏铁矿;西部地区通过航磁异常查证和矿点检查,也发现了一批铁矿。据统计,5年来新发现的大中型铁矿产地有79处,其中,辽宁本溪大台沟铁矿控制资源储量30亿吨,预测远景储量达70亿吨以上;河北冀东探明马城大型铁矿10亿吨,长凝铁矿、闫庄铁矿探明近5亿吨,埋藏浅、易开采,附近的司家营北矿段尚有未开发的10亿吨资源储量。安徽泥河铁矿、四川攀枝花兰家火山铁矿、山东颜店铁矿等通过整装勘查,探获铁矿资源储量近9亿吨,其中泥河铁矿已规划建设。此外,在西部地区也开拓了一批新的铁矿远景区,如西天山阿吾拉勒成矿带备战铁矿,控制铁矿石资源储量2.3亿吨,远景资源量超过5亿吨,已开始建设新矿山,这些铁矿埋藏浅、品位高、规模大,很容易开发利用。

#### 1.2.1.2 铁矿石资源分布广泛且相对集中

我国铁矿资源分布的一大特点是:局部相对集中,整体又天女散花。已探明的714亿吨铁矿资源分布在全国700多个县市(旗),共有1982个矿区。分区储量比例为:东北占26%,华北占26%,西南占18%,华东占14%,中南占10%,西北占6%。其中,辽宁、河北、四川三省占全国总储量的48%,再加上陕西、安徽、湖北,六省占65%。储量大于1亿吨的大型矿区有101处,合计储量占68.1%;储量在0.1亿~1亿吨的中型矿区470处,合计储量占27.3%;储量小于1000万吨的小型矿区1327处,合计储量占4.6%。

我国铁矿资源在整体分布很散的状况下,局部又相对集中在十大矿区,这十大矿区合计储量占总储量的64.8%。其中,鞍本矿区占总储量的23.5%,冀东矿区占11.8%,攀西矿区占11.5%,五(台山)吕(梁山)矿区占6.2%,宁芜矿区占4.12%,包白矿区占2.2%,鲁中矿区占1.74%,邯邢矿区占1.6%,鄂东矿区占1.34%,海南矿区占0.8%。这种整体很散、局部集中的分布特点,促使我国铁矿资源开发利用不得不采取以大中型矿山为主、地方中小矿山为辅、民营群采并存的格局。

#### 1.2.1.3 铁矿石矿床类型多、矿石类型复杂

世界已有的铁矿类型,我国都已发现,具有工业价值的矿床类型主要是鞍山式沉积变质型铁矿、攀枝花式岩浆钒钛磁铁矿、大冶式矽卡岩型铁矿床、梅山式火山岩型铁矿和白云鄂博热液型稀土铁矿。

主要矿石类型有:

(1) 磁铁矿矿石,保有储量占全国总保有储量的55.4%,矿石易选,是目前开采的

主要矿石类型。

(2) 钒钛磁铁矿矿石，保有储量占全国总保有储量的 14.1%，成分相对复杂，是目前开采的重要矿石类型之一。

(3) “红矿”，即赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿、镜铁矿及混合矿的统称，这类铁矿石一般难选，目前部分选矿问题有所突破，但总体来说，选矿工艺流程复杂，精矿生产成本较高。

(4) 多组分共（伴）生铁矿石。多组分共（伴）生铁矿石所占比重大，约占总储量的三分之一。涉及的大中型铁矿区如攀枝花、大庙、白云鄂博、大冶等矿区，主要共（伴）生组分有钒、钛、稀土、铌等。按铁矿石类型分，磁铁矿（ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ）占储量的 35%，钒钛磁铁矿（ $\text{FeTiO}_3 \cdot \text{FeV}_2\text{O}_5$ ）占 17%，赤铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）占 21%，褐铁矿（ $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）占 1%，菱铁矿（ $\text{FeCO}_3$ ）占 2%，混合矿占 24%。

#### 1.2.1.4 铁矿品位低、贫矿占绝大多数

我国铁矿石查明资源储量绝大部分为贫矿，我国铁矿查明资源储量平均品位约为 33%，低于世界铁矿品位 11 个百分点，与巴西、澳大利亚等国的铁矿相比，品位相差很大。已探明的 2974 个铁矿区，以磁铁矿为主的高达 1828 个，中小矿区有 1753 个，大型矿区仅有 121 个。含铁平均品位在 55% 左右能直接入炉的富铁矿储量只占全国储量的 2.7%，而形成一定开采规模，能单独开采的富铁矿就更少了，我国绝大多数开采的铁矿石必须经过选矿才能为高炉利用。全国共探明各类富铁矿储量约 14.8 亿吨。我国绝大部分铁矿品位在 25%~40% 之间，占我国铁矿查明资源储量的 81.2%；品位在 25% 以下的查明资源储量，占我国铁矿总查明资源储量的 4.6%；品位在 40%~48% 之间的查明资源储量，占我国铁矿总储量的 11.5%；品位大于 48% 的富铁矿查明资源储量，仅占我国铁矿查明资源储量的 1.9%。

#### 1.2.1.5 难利用铁矿多

我国难利用铁矿保有储量约 194 亿吨，其中工业储量约 57 亿吨。这些铁矿一般是难采、难选，多组分难以综合利用，以及铁矿品位低、矿体厚度薄，矿山开采技术条件和水文地质条件复杂、矿区交通不便、矿体分散难以规划、开采经济指标不合理、矿产地属自然保护区等，限制了国内铁矿石的供给。随着技术水平的提高和经济条件的改善，难用铁矿将逐渐得到开发利用，难用铁矿储量也将逐渐减少。

### 1.2.2 我国铁矿石开发利用概况

近年来我国通过矿产资源整合，2009 年全国矿山数量比 2006 年减少近万个，减少 7.9%。大部分铁矿石采用的是露天开采，特别是大型矿山，更是以露天开采为主。目前全国有齐大山（1700 万吨）、水厂（850 万吨）、南芬（1200 万吨）、南山（600 万吨）、白云鄂博（1200 万吨）、兰尖（600 万吨）等年产矿石量超过 300 万吨的露天铁矿山 16 座；而年产量超过 100 万吨的地下矿山仅 10 座，如镜铁山（330 万吨）、梅山（340 万吨）、西石门（300 万吨）、程潮（150 万吨）等，全国有重点选矿厂 35 座。国有重点矿山平均出矿品位 30.5%，采矿回收率 96.5%；其中，露采占 83.9%，出矿品位 30.5%，采矿回收率 96.5%；地采占 16.1%，出矿品位 39.16%，采矿回收率 78.64%。

按矿石类型分，全国重点矿山的磁铁矿选矿厂的平均入选品位 30.23%，铁精矿品位

67.11%，选矿回收率 82.67%，尾矿品位 8.59%；赤铁矿选矿厂的平均入选品位 30.98%，铁精矿品位 68.49%，选矿回收率 82.3%，尾矿品位 8.29%；多金属矿选矿厂的平均入选品位 34.34%，铁精矿品位 61.77%，选矿回收率 71.7%，尾矿品位 15.86%。磁铁矿的选矿指标较好，赤铁矿的选矿指标由于近年来选矿工艺得到了较好的改善。机械化和自动化水平高的大型选矿厂的回收率比前几年有了较大的提高。多金属矿的选矿指标近年虽也有提高，但在精矿品位和回收率、尾矿品位等方面仍有较大差距，其选矿技术和工艺流程有待进一步改善，以提高精矿品位和选矿回收率。

我国铁矿低品位矿数量巨大，如马鞍山高村铁矿矿石储量 3.4 亿吨，平均品位 20.48%；其中表外矿 1.27 亿吨，平均品位 17.22%，采矿设计仅利用了 1/3。鞍钢低品位矿弓长岭、眼前山铁矿各有 2000 万吨有尚未利用。在进口依存度超过 50%，而且进口矿价格节节上升的情况下，最近几年我国的低品位矿得到大规模利用，铁矿石产量年年有新的突破。

### 1.3 铁矿石资源管理

铁矿和任何其他矿产资源一样，都属于国家所有，由国务院行使国家对矿产资源的所有权。有关部门和各级人民政府利用行政和法律手段保障矿产资源的合理开发利用，禁止任何组织或者个人用任何手段侵占或破坏矿产资源。矿业管理不仅为矿产勘查和开发利用创造良好的工作秩序和生产环境，谋求最佳的经济效益和社会效益，而且要达到保护资源和保护环境的目的。

#### 1.3.1 矿业法规

《中华人民共和国矿产资源法》是我国矿产资源勘查和开发利用的大法，是国家领导、组织和管理矿产资源勘查、开发、保护的法律依据。国家对矿产资源的勘查、开发实行统一规划、合理布局、综合勘查、合理开采和综合利用的方针。

《中华人民共和国矿产资源法》规定，由地质矿产主管部门负责对矿产资源勘查实行统一的登记制度。登记管理机关对提出勘查的单位申请勘查项目的范围和内容，按《矿产资源勘查登记管理暂行办法》进行审查，符合要求后，发给勘查许可证，即授予探矿权，开始进行勘查活动。

勘查单位完成矿产勘查以后，要将其勘查报告提交给全国矿产储量委员会，或者省、直辖市、自治区矿产储量审批机构负责审查，审查批准后，供矿山建设设计使用。

从事勘查的单位或个人应将勘查报告和各类矿产储量统计资料，按照国务院批准的《全国地质资料汇交管理办法》送交全国地质资料机构和各省、自治区、直辖市地质资料机构进行保管和提供使用。勘查成果使用按《矿产资源勘查成果有偿使用管理试行办法》实行有偿使用。

国家对矿产资源开采实行审批和发证制度。全民所有制矿山企业，按照《全民所有制矿山企业采矿登记管理暂行办法》的规定，凡是国务院和国务院有关主管部门批准开办的矿山企业以及跨省、自治区、直辖市开办的矿山企业，由国务院地质矿产主管部门办理采矿登记手续，并颁发采矿许可证。省、自治区、直辖市人民政府批准开办的矿山企业，由省、自治区、直辖市人民政府地质矿产主管部门办理采矿登记手续，并颁发采矿许

可证。乡镇集体矿山企业和个体采矿的审批则按各省、自治区、直辖市制定的办法执行。

资源有偿使用的实现是由国家税务机关按《中华人民共和国资源税暂行条例》征收资源税，进入国家财政收入。另外，为了保障和促进矿产资源的勘查，还应按《矿产资源补偿费征收管理规定》缴纳矿产资源补偿费，矿产资源补偿费纳入国家预算，实行专项管理，主要用于矿产资源勘查。

### 1.3.2 矿业开发的程序和手续

#### 1.3.2.1 获取地质资料

开发矿山必须要有可靠的地质资料，即经国家矿产储量审批机构或省级矿产储量审批机构批准的矿产地质勘探报告（包括各种图纸、储量计算和矿产质量化验分析资料）。申请有偿获得勘查成果准备用于矿产资源开发的单位或个人，应向地质矿产主管部门提交：（1）具有开办矿山企业技术能力的有关证明文件；（2）开办矿山企业的资金证明；（3）有偿获得勘探成果申请书。

#### 1.3.2.2 提交项目建议书

有关国有企业、集体和个人均可根据国民经济发展和国内外市场需求向国务院或地方主管部门（一般为各级发展和改革委员会）提出开发矿山的建议书，内容包括矿产品种、矿产储量、矿床赋存条件，矿山地理位置，开发的理由，以谁为主体（国营、集体、个人、合资），开采方法，生产规模、产品质量，市场预测，资金筹措方式，矿山开采的经济效益和社会效益等。

#### 1.3.2.3 申请立项

国务院规定的主管部门根据拟开发矿产的品种、规模、投资经营方式等对其项目建议书进行评估审查。批准后，确定开发矿山的主体。由矿山主体向审批的主管部门提出详细的可行性报告，再由审批机关对可行性报告进行审查。审查内容主要包括矿区范围、矿山设计方案（工艺、技术、设备）、生产技术经济条件、安全环境保护和资金筹措等。批准后即确定法人，办理采矿许可证，正式立项，办理开工手续，进行施工前期准备工作。

#### 1.3.2.4 施工建设

全面开展设计（总体设计或初步设计、施工图设计）。确定承包方式，根据矿山主体的实力，实行自营或发包、招标等多种形式。近年来，国家推行项目法人责任制，落实资金并及时到位，组织施工。为确保工程进度和施工质量及尽量节省资金，应建立监督检查机构。最后组织试车验收。

#### 1.3.2.5 生产准备

在施工建设中就应有计划做好投产的各项准备工作，如生产机构设置、人员编制、岗位工人培训、操作规程及各种规章制度、原材料、备件备品、生产资金等，以便建成投产后能立即达到正常生产。

## 1.4 铁矿石选矿技术进展

同其他矿物资源的开发利用一样，铁矿石选矿是其获得广泛利用的一个重要前提，从人类最初对高品位铁矿石的目测、手选到当代社会复杂难选铁矿石选矿涉及的工艺技术、设备、药剂等都说明了选矿在人类社会对铁矿石的开发利用过程中所起的重要作用。

我国古代铁矿石选矿基本为简单的手工作业，虽然有一些手选、重选的影子，但还谈不上是一门工业技术，这种现象一直持续到 19 世纪中叶。19 世纪末至 20 世纪 20 年代，世界工业生产快速发展，对矿物原料的需求增大，加上 18 世纪产业革命的推动，使机械化成为可能。造成了“选矿”从古代的手工作业向工业技术的真正转变。近代大部分的选矿工艺与设备属于这一时期选矿领域的技术发明，如颚式破碎机、球磨机、机械分级机，重选、电磁选的设备与工艺以及浮选药剂、工艺与设备等。从那时起，铁矿石选矿技术已成为一门人类从天然矿石中选别、富集有用矿物原料的成熟的工业技术，并得到广泛应用。

#### 1.4.1 选矿工艺进展

几十年来，广大选矿工作者针对铁矿资源“贫、细、杂”的特点开展了大量的研究工作，解决了诸多技术难题，使铁矿选矿技术得到长足进步和发展，总体水平有很大提高。目前国内选矿厂处理的铁矿石主要有磁铁矿和赤铁矿两大类，其中磁铁精矿产量约占我国铁精矿产量的 3/4，而且国内大部分铁矿山在选矿技术革新方面针对的也主要是这两类矿石。

##### 1.4.1.1 磁铁矿石选矿工艺的进展

在铁矿资源中，鞍山式铁矿分布最广，是我国最重要的铁矿床，其储量约占全国铁矿石总储量的一半以上，而且规模一般比较大，其矿石类型以磁铁矿为主，是当前国内铁矿选矿厂最主要的人选矿石类型。磁铁矿石是铁矿石选矿的主体，由于磁铁矿石磁性强，目前基本上在原矿品位 20% ~ 30% 左右，经过单一或联合选别工艺可以获得铁精矿品位 65% ~ 68%、磁性铁回收率 93% ~ 95% 的选别指标。

对于容易得到高品位精矿的矿石，一般采用单一磁选流程。而对于获得高品位精矿难度较大的矿石，一般采用磁选—反浮选或磁选—细筛流程来达到获得高品位精矿的目的，该流程中将磁选精矿再用阳离子捕收剂浮选出夹杂的石英和石英与铁矿物的连生体，选出的连生体有的返回再磨再选，有的作为尾矿丢掉，采用这种流程可将含铁 63% 左右的磁选精矿提高到 65% 以上。近年来出现的比较成功的新工艺具有代表性的主要有阶段磨矿、弱磁选—反浮选工艺，全磁选选别工艺，超细碎—湿式磁选抛尾工艺。

##### A 阶段磨矿、弱磁选—反浮选工艺

我国目前入选的磁铁矿由于粒度细，使得磁团聚在选别中的负面影响日益明显，导致依靠单一的磁选法提高精矿品位越来越难，把磁选法与阴离子反浮选结合起来，实现选别磁铁矿石过程中的优势互补，有利于提高磁铁矿石选别精矿品位。阶段磨矿、弱磁选—反浮选工艺是我国铁精矿提铁降硅较有效工艺之一。鞍钢弓长岭选矿厂采用阳离子反浮选工艺，经一次粗选一次精选获得最终精矿、反浮选泡沫经浓缩磁选后再磨、再磨产品经脱水槽和多次扫磁选后抛尾、磁选精矿返回反浮选作业再选，精矿铁品位从 64% 提高至 68.89%，精矿中的  $\text{SiO}_2$  含量降至 4% 以下，铁的作业回收率 98% 以上。太钢尖山铁矿采用阴离子反浮选工艺流程，经高效浮选药剂一次粗选一次精选三次扫选，改造前精矿品位 65.5% 左右， $\text{SiO}_2$  含量为 8% 左右，改造后获得精矿铁品位 68.9% 以上， $\text{SiO}_2$  含量 4% 以下，反浮选作业回收率 98.5% 左右的指标。

### B 全磁选选别工艺

全磁选选别工艺是在现有阶段磨矿、弱磁选—细筛再磨再选工艺流程的基础上,再用高效细筛和高效磁选设备进行精选。与反浮选工艺相比该工艺流程简单,工艺可靠,投资省、工期短、易操作。首钢矿山选矿厂入选矿石属于鞍山式贫磁铁矿,矿石呈条带状和片麻状构造,金属矿物以磁铁矿为主,有少量的赤铁矿,全磁选工艺在首钢矿山选矿厂应用多年,其铁精矿品位一直保持在67%左右。国内以高频振网筛、BX磁选机、磁选柱、盘式过滤机等为主要设备的全磁选工艺首先在本钢南芬选矿厂和歪头山选矿厂应用,该工艺流程切入点准确,开口少,对于优化整体工艺流程、达到降硅提铁的最终目的,既合理又经济。应用结果表明,精矿铁品位可提高至69.5%左右,精矿中的 $\text{SiO}_2$ 含量降至4%以下,尾矿品位和金属回收率基本不变,新增加加工成本小于20元/t。

### C 超细碎—湿式磁选抛尾工艺

超细碎—湿式磁选抛尾工艺是将矿石细碎至5mm或3mm以下,然后用永磁中场强磁选机进行湿式磁选抛尾,对于节能降耗、有效利用极贫铁矿石和提高最终铁精矿质量具有特别重要的意义。马钢高村铁矿为了开发利用品位20%以下铁矿石,试验研究采用高压辊磨机将矿石细碎至3mm以下,中场强湿式磁选抛除40%左右粗粒尾矿,将入磨物料的铁品位提高至40%左右,经再磨再选后获最终铁精矿,该工艺最终铁精矿品位达65%以上, $\text{SiO}_2$ 含量降至4%以下,尾矿品位10%以下。另外,山东莱芜铁矿、金岭铁矿等采用锤碎机—湿式永磁中场强磁选工艺,入选物料的粒度为-5mm占80%以上,可抛除产率30%~40%的粗粒尾矿。

#### 1.4.1.2 弱磁性铁矿选矿工艺的进展

弱磁性铁矿石一般主要是指菱铁矿、褐铁矿、赤铁矿、镜铁矿、假象赤铁矿等比磁化系数较低的铁矿石,这类矿石品位低、嵌布粒度细、矿物组成复杂,选别困难。目前其选别指标可以达到铁精矿品位58%~67%,金属铁回收率45%~85%,尾矿品位15%~30%。

菱铁矿的理论铁品位较低,且经常与钙、镁、锰呈类质同象共生,因此采用物理选矿方法铁精矿品位很难达到45%以上,但焙烧后因烧损较大而大幅度提高铁精矿品位。比较经济的选矿方法是重选、强磁选,但难以有效地降低铁精矿中的杂质含量。强磁选—浮选联合工艺能有效地降低铁精矿中的杂质含量,铁精矿焙烧后仍不失为一种优质炼铁原料。

褐铁矿中富含结晶水,因此采用物理选矿方法铁精矿品位很难达到60%,但焙烧后因烧损较大而大幅度提高铁精矿品位。另外,由于褐铁矿在破碎磨矿过程中极易泥化,难以获得较高的金属回收率。褐铁矿选矿工艺有还原磁化焙烧—弱磁选、强磁选、重选、浮选及其联合工艺。

赤铁矿是目前开发利用最多的弱磁性铁矿石,特别是20世纪80年代后,选矿技术和设备的飞速发展,使得赤铁矿的大规模开发利用成为可能,目前仅国内赤铁矿山年处理量就超过8000万吨,如河北钢铁集团司家营铁矿、太钢袁家村、昆钢大红山铁矿、鞍钢的一些矿山等。在选别工艺技术方面目前赤铁矿反浮选工艺多采用阴离子反浮选的选别工艺。

### A 连续磨矿—磁选—浮选联合工艺

鞍钢调军台选矿厂在研究比较了“连续磨矿、弱磁—强磁—阴离子反浮选流程”，“连续磨矿、弱磁—强磁—酸性正浮选流程”，“阶段磨矿、重选—磁选—酸性正浮选”，“连续磨矿、弱磁—强磁—阳离子反浮选流程”等工艺后，根据实验结果确定采用“连续磨矿、弱磁—强磁—阴离子反浮选流程”，该流程结构合理、紧凑，对矿石性质变化的适应性较强，生产稳定。调军台选矿厂根据此流程改造后，在原矿品位 29.60% 的情况下，取得了精矿品位 67.59% 以上、尾矿品位 10.56%、金属回收率 82.24% 的指标。目前除了调军台选矿厂外，已有齐大山选矿厂、东鞍山烧结厂按此流程完成了技术改造。司家营选矿厂、舞阳红铁矿选矿厂、弓长岭红铁矿选矿厂已经按此流程开始建设，并取得了重大进展。以此流程为基础的关门山、胡家庙红铁矿选矿厂也正在筹划建设中。

### B 阶段磨矿—重选—磁选—浮选联合工艺

齐大山选矿厂从 2001 年起采用阶段磨矿—重选—强磁—阴离子反浮选工艺流程分别取代一选车间的阶段磨矿—重选—强磁—酸性正浮选工艺流程及二选车间的焙烧磁选工艺后，一选车间的精矿品位从 63.60% 提高到 66.21%，二选车间精矿品位从 63.26% 提高到 66.80%，目前整个选矿厂自 2004 年 4 月份起铁精矿品位一直稳定在 67% 以上，尾矿品位也由原 12.5% 降至 11.14%， $\text{SiO}_2$  由原 8% 降至目前 4% 以下，铁精矿品位比改造前提高 3.8 个百分点，尾矿品位降低 1.36 个百分点，一级品率达 99.80% 以上。鞍钢东鞍山选矿厂也采用该工艺获得了精矿品位 64.49%，金属回收率 76.11% 的技术指标。

### C 强磁—反浮选—焙烧联合工艺

目前国内赤铁矿的还原焙烧磁选工艺因其成本高和铁精矿品位低应用不是很广，该工艺主要适合褐铁矿、菱铁矿等烧损较大的铁矿石。由于该类铁矿石的理论品位较低，先通过强磁—反浮选获得低杂质含量的铁精矿，然后通过普通焙烧或者生产球团矿可大幅度提高产品的铁品位，仍不失为优质炼铁原料。马鞍山矿山研究院针对江西铁坑褐铁矿等铁矿石的试验研究结果表明，焙烧产品的铁品位可达到 65% 以上，与焙烧、磁选、反浮选联合工艺相比，生产成本大幅度下降，使该类型铁矿石具有经济开采利用价值。

#### 1.4.1.3 多金属共（伴）生矿选矿

我国多金属型铁矿主要有白云鄂博含稀土等多金属共生铁矿、攀枝花和大庙钒钛磁铁矿以及大冶、金岭、鲁中含铜磁铁矿等。多年来，国内许多科研、设计及大专院校等单位对多金属型铁矿进行了大量研究工作，在许多方面实现了技术突破，并成功地应用于工业生产。由于这类矿石成分复杂、类型多样，因此采用的方法、设备和流程也各不相同，选别工艺常采用反浮选—多梯度磁选、絮凝浮选、弱磁—反浮选—强磁选、弱磁—正浮选、焙烧磁选等工艺流程，以提高铁的回收率，同时可以回收其他有价值矿物。

包钢选矿厂处理的矿石为白云鄂博铁矿矿石。该矿是以铁、稀土和铌为主的多金属共生矿床。矿石分磁铁矿石和氧化矿石两种类型。其中氧化矿由于矿物嵌布粒度细，共生关系复杂而属难选矿石。20 世纪 70 年代包钢选矿厂采用弱磁选铁—浮选稀土—强磁选铁以及焙烧—磁选两种工艺处理氧化矿石，生产指标较差，铁精矿品位为 55%~57%，含氟 2.5%，含磷 0.3%，铁回收率 65% 左右，稀土回收率只有 4%~5%。后经包钢与长沙矿冶研究院合作，采用了弱磁—强磁—浮选流程综合回收铁和稀土，可以获得品位为 63%、回收率为 72% 的铁精矿和品位超过 50%、回收率约 20% 的稀土精矿。



攀枝花钒钛磁铁矿储量占我国钒钛磁铁矿总储量的 87%。其主要有用矿物为钒钛磁铁矿和钛铁矿。密地选矿厂采用单一弱磁选回收钒钛磁铁矿。钛选矿厂处理密地选矿厂选铁尾矿。其工艺流程几经改造形成了选铁尾矿按 0.045mm 粒度分级, +0.045mm 采用重选—强磁—脱硫浮选—电选流程, 获得  $\text{TiO}_2$  47% 以上的粗粒钛精矿。-0.045mm 细粒部分, 由于当时技术没过关, 而作为尾矿处理。直到 1997 年, 随着浮选钛铁矿捕收剂 (MOS) 的研制成功, 细粒级钛铁矿的选别获得突破性进展, 相继建成了采用强磁—脱硫浮选—钛铁矿浮选流程的细粒级 (-0.045mm) 选别系统, 细粒级钛精矿品位 47.3% ~ 48%, 可使选钛厂每年多产钛精矿 3 万 ~ 5 万吨。

#### 1.4.1.4 自磨技术更加成熟

自磨是 20 世纪 70 年代开始应用于矿业的碎磨新工艺。与常规碎磨工艺相比, 自磨可接受更大的给矿粒度, 因此可取代中、细破碎及粗磨作业, 这样就大大简化了碎磨流程, 减少生产环节及车间组成自磨可不消耗或少消耗磨矿介质。自磨还有一定的选择性破碎作用对含泥较多的黏矿石, 采用湿式自磨可以避免常规流程中破碎、筛分等环节发生堵塞问题。由于上述特点, 自磨工艺受到人们青睐, 国外有许多矿山成功地采用了自磨, 工业应用最大的自磨及规格已达到  $\phi 12.20\text{m} \times 6.7\text{m}$ 。

### 1.4.2 选矿设备进展

近年来我国在破碎、磨矿分级、选别 (包括重选、磁选、浮选等)、脱水、过滤等方面研制或引进许多新型高效设备, 并得到了成功应用, 为选矿技术进步提供了设备保障。

#### 1.4.2.1 破碎设备

几十年来, 我国的金属矿山一直为节能降耗、提高经济效益而努力, “多碎少磨”是基本的原则。我国破碎设备的进展主要表现在研制应用新型双腔颚式破碎机、双腔回转式破碎机、冲击颚式破碎机等独创、实用性破碎设备上。但这些设备在技术上、使用效果上和国外引进的破碎设备相比, 还有一定差距。

美卓矿机公司生产的 Nordberg HP 系列圆锥破碎机采用现代液压和高能破碎技术, 具有破碎力强、破碎比大、产品粒度细等特点。目前国内许多选矿厂采用 HP 系列破碎机, 如鞍钢调军台、齐大山选矿厂、太钢尖山铁矿选矿厂、包钢选矿厂、武钢程潮铁矿选矿厂、马钢凹山选矿厂等, 均取得满意效果。鞍钢调军台选矿厂中、细破碎均采用 HP 系列破碎机, 最终破碎粒度达到 -12mm 占 95%, -9mm 占 80%。Sandvik 公司的 H 系列圆锥破碎机, 亦采用现代液压和高能破碎技术, 其设备性能良好。我国齐大山铁矿厂、大孤山选矿厂、弓长岭选矿厂、南芬选矿厂、马钢凹山选矿厂、太钢尖山选矿厂等均采用了该公司制造的圆锥破碎机, 取得满意效果。

马钢南山铁矿凹山选矿厂应用德国魁伯恩  $\phi 1700\text{mm} \times 1400\text{mm}$  高压辊磨机是我国第一家成功应用在铁矿选矿厂, 实践证明, 技术指标先进, 设备运行可靠, 经济效益显著。世界上最大规格高压辊磨机为  $\phi 2.1\text{m} \times 2.3\text{m}$ , 最大处理量为 3000t/h, 最大给料粒度 90mm, 破碎产品比表面积可达  $2000\text{cm}^2/\text{g}$ , 最大特点是增产节能增效, 其能耗仅为自磨机或常规球磨机的 25% ~ 50%, 用于球团厂可增加铁精矿比表面积。国内已经研制的可代替细碎和一段粗磨的高压辊压机, 目前正在马钢南山矿业公司等矿山进行工业试验。