
鞍山式铁矿石选矿理论与实践

ANSHANSHI TIEKUANGSHI
XUANKUANG LILUN YU SHIJIAN

邵安林◎编著



科学出版社

鞍山式铁矿石选矿理论与实践

邵安林 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于鞍山式铁矿资源的特点和在我国铁矿石资源中的重要地位,从鞍山式铁矿的选矿理论出发,论述了磁铁矿、赤铁矿的选矿方法、原理、流程、典型工艺和实践。认真总结多年来鞍山式铁矿的选矿科学研究和生产实践方面的经验,系统全面地介绍国内处理鞍山式铁矿选厂的选别工艺及流程,重点介绍鞍钢集团鞍山矿业公司弓长岭选矿厂减排增效实践、东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石“分步浮选”技术及应用。本书是国内目前为止专门针对鞍山式铁矿选别的理论与实践所撰写的第一部专著。

本书可供从事铁矿选矿的科研人员、设计人员、现场工程技术人员和各级管理人员使用,也可作为大专院校选矿专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

鞍山式铁矿石选矿理论与实践/邵安林编著. —北京:科学出版社,2013.3
ISBN 978-7-03-036754-9

I. ①鞍… II. ①邵… III. ①铁矿床-选矿 IV. ①TD951.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 035018 号

责任编辑:张 析 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张:26

字数:600 000

定价:138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

我国铁矿资源总量丰富,但富矿少、贫矿多,并且矿石组成成分复杂,几乎均需经过选矿才能达到炼铁生产的要求。近十几年来,我国铁矿选矿工业有了巨大的发展,生产规模 and 产品质量有较大幅度的提高。

鞍山式铁矿是我国最重要的铁矿资源,储量最大、分布最广,资源储量达到 200 多亿 t, 占我国铁矿总储量的 50% 左右。鞍山式铁矿石具有含铁品位低,铁矿物嵌布粒度细且不均匀,矿石结构致密,铁矿物成分复杂,易泥化的特点。随着阶段磨矿、单一磁选、细筛再磨工艺、阶段磨矿、粗细分选、重选-磁选-阴离子反浮选联合工艺、以及相应的新药剂、新设备的研究成功和应用,鞍山式铁矿石选矿铁精矿品位提高到了 67.5%,使我国铁矿选矿技术达到了国际领先水平。铁精矿质量的提高,改善了高炉炉料结构,提高了高炉生产效率,降低了高炉生产成本,为我国钢铁行业做出了巨大贡献。

本书基于鞍山式铁矿资源的特点和重要地位,从鞍山式铁矿的选矿理论出发,论述了磁铁矿、赤铁矿的选矿方法、原理、流程、典型工艺和实践。

本书分为理论篇、研究篇和实践篇,共十一章。理论篇四章,包括铁矿资源、磁铁矿的选别工艺、赤铁矿的选别工艺和铁矿石的浮选等内容;研究篇五章,分别为铁矿石的工艺矿物学特性研究、“粗细分级”工艺流程试验研究、齐大山铁矿选矿厂分选工艺研究、鞍钢弓长岭矿业公司选矿厂全磁流程减排增效技术研究和东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石“分步浮选”技术研究等内容;实践篇二章,分别为鞍山式磁铁矿的选别实践、鞍山式赤铁矿选别实践,具体包括首钢大石河选厂、首钢水厂选厂等鞍山式贫磁铁矿选矿实践,以及鞍钢齐大山选厂、鞍钢齐大山铁矿等鞍山式贫赤铁矿选矿实践。

本书认真总结了多年来鞍山式铁矿的选矿科学研究和生产实践方面的经验,内容全面、系统,既有理论又有实践,针对性强,是一部实用价值很高的选矿专著,可以作为从事铁矿选矿科学研究、生产管理人员以及大专院校师生的参考书和工具书。

由于作者水平有限,书中难免有错误和遗漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

前言

第一篇 理 论 篇

第一章 铁矿资源	3
第一节 中国铁矿资源概况	3
一、中国铁矿资源分布	3
二、中国铁矿资源的基本特点	5
第二节 铁矿石分类	6
第三节 铁矿物的种类	7
一、磁铁矿	7
二、赤铁矿(镜铁矿)	8
三、菱铁矿	9
四、铁的氢氧化物(针铁矿、纤铁矿及褐铁矿)	10
五、钛铁矿	11
六、含铁硅酸盐矿物	11
第四节 复杂难选铁矿石的种类	12
第五节 铁矿石工业类型	13
一、鞍山式铁矿	13
二、镜铁山式铁矿	14
三、大西沟式铁矿	15
四、攀枝花式铁矿	15
五、大冶式铁矿	16
六、宁芜式铁矿	17
七、宣龙-宁乡式铁矿	18
八、风化淋滤型铁矿	18
九、白云鄂博式铁矿	19
十、海南石碌铁矿	20
十一、吉林羚羊石铁矿	21
第六节 铁矿石产品质量标准	21
一、铁矿石常用标准	21
二、铁矿石产品质量标准	23
第二章 磁铁矿的选别工艺	26
第一节 磁铁矿的磁性	26

一、矿物的分类	26
二、磁铁矿的磁性	27
第二节 磁选的基本原理	30
一、磁选的基本条件和方式	30
二、回收磁性矿粒需要的磁力	31
第三节 磁铁矿的选别工艺	33
一、磁铁矿的全磁分选工艺	33
二、磁铁矿的弱磁选-阳离子反浮选工艺	34
三、磁铁矿的弱磁选-阴离子反浮选工艺	34
第四节 弱磁选设备	34
一、永磁筒式磁选机	34
二、永磁旋转磁场磁选机	38
三、磁力脱水槽	39
四、浓缩磁选机	42
五、磁团聚重力选矿机	44
六、磁选柱	45
七、磁场筛选机	47
八、盘式磁选机	47
第三章 赤铁矿的选别工艺	48
第一节 赤铁矿的弱磁性及强磁选分选工艺	50
一、赤铁矿的弱磁性	50
二、赤铁矿的强磁选工艺流程	51
三、处理贫赤铁矿矿石的强磁选-离心分离工艺	53
第二节 赤铁矿矿石的焙烧-磁选技术	56
一、焙烧-磁选技术	56
二、弱磁性铁矿石的磁化焙烧原理	58
三、焙烧过程的影响因素	60
四、焙烧矿石的特点与磁选	63
第三节 强磁选机及焙烧设备	66
一、CS-1 型电磁感应辊式强磁选机	67
二、琼斯(Jones)型强磁场磁选机	69
三、高梯度磁选机(HGMS)	72
四、焙烧炉	80
第四节 赤铁矿矿石的重选技术	85
一、粗粒赤铁矿的重选及重选设备	85
二、细粒赤铁矿的重选	90
第四章 铁矿石的浮选	97
第一节 浮选的基本原理	97

第二节 赤铁矿浮选药剂的种类	98
一、捕收剂	100
二、有机抑制剂	108
三、有机絮凝剂	111
第三节 赤铁矿的浮选流程	115
一、铁矿石浮选工艺制度	115
二、铁矿石浮选流程的选择	117
第四节 选择赤铁矿选矿方法和流程的依据	120
一、矿石性质	121
二、对精矿品位的要求	123
三、矿床和选矿厂规模及其他具体条件	124
 第二篇 研 究 篇 	
第五章 铁矿石的工艺矿物学特性研究	127
第一节 铁矿石工艺矿物学研究方法	127
一、矿石的物质组成研究	127
二、矿石的结构构造研究	129
三、矿石中元素的赋存状态研究	129
四、矿物的粒度特性研究	130
五、矿物的解离性研究	130
六、铁矿石工艺矿物学研究规范	131
第二节 弓长岭贫磁铁矿矿石工艺矿物学特性	132
一、矿石的化学成分	133
二、矿石的矿物组成	134
三、矿石的构造	136
四、矿石的结构	136
五、矿物嵌布特征	137
六、矿石的相对可磨度及解离度特征	140
第三节 东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石工艺矿物学研究	142
一、矿石的化学性质	142
二、矿石的结构构造	143
三、矿石的矿物组成及含量计算	143
四、矿石中主要矿物的工艺特性	144
五、矿石中主要矿物的粒度特性	149
第六章 “粗细分级”工艺流程试验研究	152
第一节 “粗细分选”流程的试验研究和“七五”期间工业推广概况	152
第二节 “六五”期间鞍钢五个车间推广和试验新流程简介	155
一、鞍钢五个车间“六五”期间的生产实践	155

二、“粗细分级”流程主要技术特点	161
三、粗细分选流程的普遍意义	168
第七章 齐大山铁矿选矿厂分选工艺研究	169
第一节 齐大山铁矿选矿厂阶段磨矿重-磁-酸性浮选流程研究	169
一、矿石性质	169
二、试验流程及工艺条件	170
三、试验结果	174
第二节 齐大山贫赤铁矿连续磨矿-弱磁-强磁-正浮选工艺流程研究	174
一、矿石性质	174
二、试验流程及工艺条件	175
三、试验结果	176
第三节 齐大山贫赤铁矿连续磨矿、弱磁-强磁-阳离子反浮选流程试验研究	178
一、矿石性质	178
二、试验流程及工艺条件	179
三、试验结果	181
第四节 齐大山贫赤铁矿连续磨矿、弱磁-强磁-阴离子反浮选流程试验研究	183
一、矿石性质	184
二、试验流程及工艺条件	184
三、试验结果	186
第五节 齐大山贫赤铁矿选矿新工艺、新药剂与新设备研究	188
一、齐大山铁矿矿石性质	190
二、试验矿样及制备	191
三、选矿试验方案	193
四、选矿试验及其结果	193
五、结果分析	202
六、结论	203
第八章 鞍钢弓长岭矿业公司选矿厂全磁流程减排增效技术研究	205
第一节 弓长岭选厂贫磁铁矿原生产工艺和指标	205
第二节 弓长岭贫磁铁矿全磁选流程试验研究	208
一、试验研究	208
二、连选试验	211
三、推荐改造流程	217
第三节 弓长岭选矿厂贫磁铁矿减排增效关键技术研究	223
一、破碎筛分系统的改造措施及效果	223
二、磨选系统改造	233
三、精矿处理系统改造	246
四、水处理系统改造	248
五、尾矿、输送和回收系统的改造	248

六、改造前后的节能效果	249
第九章 东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石“分步浮选”技术研究	250
第一节 东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石浮选分离基础研究	250
一、主要矿物可浮性研究	251
二、主要矿物的浮选分离特性研究	271
三、东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石浮选分离技术与工艺研究	276
四、菱铁矿对赤铁矿可浮性影响的机理研究	295
第二节 东鞍山含碳酸盐赤铁矿矿石分步浮选工业试验研究	297
一、工业试验现场改造方案	297
二、分步浮选工业试验工艺流程	297

第三篇 实 践 篇

第十章 鞍山式磁铁矿的选别实践	309
第一节 首钢大石河选矿厂	309
一、选矿厂概况	309
二、矿石性质	309
三、选矿工艺流程	309
第二节 首钢水厂选矿厂	316
一、选矿厂概况	316
二、矿石性质	317
三、选矿工艺流程	317
第三节 鞍钢大孤山球团厂选矿厂	321
一、选矿厂概况	321
二、矿石性质	322
三、选矿工艺流程	323
第四节 太钢峨口铁矿选矿厂	327
一、选矿厂概况	327
二、矿石性质	328
三、选矿工艺流程	328
第五节 太钢尖山铁矿选矿厂	332
一、选矿厂概况	332
二、矿石性质	332
三、选矿工艺流程	333
第六节 本钢南芬选矿厂	338
一、选矿厂概况	338
二、矿石性质	339
三、选矿工艺流程	340
第七节 本钢歪头山选矿厂	347

一、选矿厂概况	347
二、矿石性质	347
三、选矿工艺流程	347
第十一章 鞍山式赤铁矿选别实践	355
第一节 我国鞍山式赤铁矿选矿概况	355
一、鞍山地区赤铁矿矿石选矿工艺流程及特点	357
二、连续磨矿、单一碱性正浮选工艺及特点	357
三、阶段磨矿、重选-磁选-酸性正浮选工艺及特点	358
四、焙烧-磁选工艺及特点	359
五、连续磨矿、弱磁选-强磁选-阴离子反浮选工艺及特点	359
六、阶段磨矿、粗细分级、重选-磁选-阴离子反浮选工艺及特点	360
七、絮凝选矿工艺	361
八、焙烧-磁选精矿反浮选工艺	362
第二节 鞍钢齐大山选矿厂	362
一、选矿厂概况	362
二、矿石性质	363
三、选矿生产概况	363
第三节 鞍钢齐大山铁矿选矿分厂	369
一、选矿厂概况	369
二、矿石性质	370
三、选矿工艺流程	371
第四节 东鞍山烧结厂	377
一、选矿厂概况	377
二、矿石性质	377
三、选矿工艺流程	378
第五节 鞍千矿业有限责任公司选矿厂	383
一、选矿厂概况	383
二、矿石性质	384
三、选矿工艺流程	385
第六节 河北钢铁集团司家营选矿厂	388
一、选矿厂概况	388
二、矿石性质	388
三、选矿工艺流程	389
第七节 湖南祁东选矿厂	396
一、矿石性质	396
二、磁选流程抛尾试验	397
三、离心机精选试验	399
四、阶段磨矿、弱磁选-强磁选-离心机磁重联合工艺流程试验	399
参考文献	401

第一篇 理 论 篇

第一章 铁矿资源

第一节 中国铁矿资源概况

矿产资源是国土资源的重要组成部分,是国民经济和社会发展的物质基础,对支撑国民经济的可持续发展,保障社会民生的安全运行具有不可替代的作用。

我国是世界矿产资源种类齐全、储量丰富的少数几个国家之一。已探明储量的矿产有 156 种,有 20 多种矿产探明储量居世界前列,但人均占有量仅为世界平均水平的 58%,列世界第 53 位。我国现有矿产储量中只有 60%可开发利用,仅有 35%可以采出。因而,实际可利用的储量明显不足。

在众多的矿产资源当中,铁矿资源无疑是最为重要的战略资源,是钢铁工业的命脉。世界铁矿资源丰富,分布特点是南半球富铁矿床多,如巴西、澳大利亚、南非等国;北半球贫铁矿床多,如美国、加拿大、中国等。我国铁矿石富矿少、贫矿多,97%以上为 34%以下的低品位铁矿石,根据中国国土资源部的资料,全国铁矿石平均品位仅为 31.95%,比世界平均品位低 11%,均需经过选矿富集才能达到炼铁生产对品位的要求。同时我国铁矿石组成成分复杂,多组分共(伴)生铁矿储量比例高。

我国铁矿查明资源储量从 2001 年的 581.19 亿 t 增长到 2010 年底的 727 亿 t。我国铁矿石查明资源储量绝大部分为贫矿,2010 年底全国铁矿查明资源储量净增加 23.8 亿 t,比 2009 年增长 3.4%^[1]。

按照 2007 年铁矿查明资源储量统计,从铁矿资源在东部、中部、西部经济区分布看,东部地区(包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南 11 个省市)合计铁矿查明资源储量 256.52 亿 t,占我国铁矿查明资源储量总量的 41.8%;中部地区(山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南 8 个省市)合计铁矿查明资源储量 144.48 亿 t,占我国铁矿查明资源储量总量的 23.60%;西部地区(广西、内蒙古、四川、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 12 个省区)合计铁矿查明资源储量 212.35 亿 t,占我国铁矿查明资源储量总量的 34.60%。我国铁矿资源东部地区分布的最多,其次是西部地区和中部地区^[2]。

一、中国铁矿资源分布

全国 34 个省、直辖市、自治区均探明有铁矿资源,但我国铁矿查明资源储量主要分布在辽宁(123.33 亿 t,占全国总量的 20.1%)、四川(102.07 亿 t,占 16.6%)、河北(72.49 亿 t,占 11.8%)、安徽(39.53 亿 t,占 6.4%)、山西(37.82 亿 t,占 6.2%)、云南(35.69 亿 t,占 5.8%)、山东(28.73 亿 t,占 4.7%)、内蒙古(28.01 亿 t,占 4.6%),8 个省区合计 467.67 亿 t,占全国查明资源储量总量的 76.2%。

1. 东北地区铁矿

东北地区的铁矿主要是鞍山矿区,它是目前我国储量开采量最大的矿区,大型矿体主要分布在辽宁省的鞍山(包括大孤山、樱桃园、东西鞍山、弓长岭等)、本溪(南芬、歪头山、通远堡等),部分矿床分布在吉林省通化附近。鞍山矿区是鞍钢、本钢的主要原料基地。

鞍山矿区矿石的主要特点:

① 除极少富矿外,约占储量的 98% 为贫矿,含铁量 20%~40%,平均 30% 左右。必须经过选矿处理,精选后含铁量可达 65% 以上。

② 矿石中铁矿物以磁铁矿和赤铁矿为主,部分为假象赤铁矿和半假象赤铁矿。其结构致密坚硬,脉石分布均匀而致密,选矿比较困难,矿石的还原性较差。

③ 脉石矿物绝大部分由石英组成, SiO_2 为 40%~50%。但本溪通远堡铁矿为自熔性矿石,其碱度($(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$)在 1 以上,且含锰 1.29%~7.50%,可代替锰矿使用。

④ 矿石含 S、P 杂质很少,本溪南芬铁矿含 P 很低,是冶炼优质生铁的好原料。

2. 华北地区铁矿

主要分布在河北省宣化、迁安和邯郸、邢台地区的武安、矿山村等地区以及内蒙古和山西省各地。是首钢、包钢、太钢和邯郸、宣化及阳泉等钢铁厂的原料基地。

迁滦矿区矿石为鞍山式贫磁铁矿,属酸性矿石,S、P 杂质少,矿石的可选性好。

邯邢矿区主要是赤铁矿和磁铁矿,矿石含铁量为 40%~55%,脉石中含有一定的碱性氧化物,部分矿石含 S 高。

3. 中南地区铁矿

中南地区铁矿以湖北省大冶铁矿为主,其他如湖南省的湘潭,河南省的安阳、舞阳,江西省和海南省等地都有相当规模的储量,这些矿区分别成为武钢、湘钢及本地区各大中型高炉的原料供应基地。

大冶矿区是我国开采最早的矿区之一,主要包括铁山、金山店、程潮、灵乡等矿山,储量比较丰富。矿石主要是铁、铜共生矿,铁矿物主要为磁铁矿,其次是赤铁矿,其他还有黄铜矿和黄铁矿等。矿石含铁量 40%~50%,最高的达 54%~60%。脉石矿物有方解石、石英等,脉石中含 SiO_2 8% 左右,有一定的熔剂性(CaO/SiO_2 为 0.3 左右),矿石含 P 低(一般为 0.027%),含 S 高且波动很大(0.01%~1.2%),并含有 Cu(0.2%~1.0%)和 Co(0.013%~0.025%)等有色金属。矿石的还原性较差,矿石经烧结、球团造块后入高炉冶炼。

4. 华东地区铁矿

华东地区铁矿产区主要分布在自安徽省芜湖至江苏省南京一带的凹山、南山、姑山、桃冲、梅山、凤凰山等矿山。此外山东省的金岭等地也有相当丰富的铁矿资源,是马钢及本地区一些钢铁企业原料供应基地。

宁芜矿区铁矿石主要是赤铁矿,其次是磁铁矿,也有部分硫化矿如黄铜矿和黄铁矿。铁矿石品位较高,一部分富矿(含 Fe 50%~60%)可直接入炉冶炼,一部分贫矿要经选矿精选、烧结造块后供高炉使用。矿石的还原性较好。脉石矿物为石英、方解石、磷灰石和金红石等,矿石中含 S、P 杂质较高(含 P 一般为 0.5%,最高可达 1.6%,梅山铁矿含 S 平均可达 2%~3%),矿石有一定的熔剂性(如四山及梅山的富矿中平均碱度可达 0.7~0.9),部分矿石含 V、Ti 及 Cu 等有色金属元素。

5. 其他地区铁矿

除上述各地区铁矿外,我国西南地区、西北地区,如四川、云南、贵州、甘肃、新疆、宁夏等地都有丰富的不同类型的铁矿资源,分别为攀钢、重钢和昆钢等大中型钢铁厂高炉生产的原料基地。

二、中国铁矿资源的基本特点

我国已探明铁矿资源的基本特点是分布广泛又相对集中;矿床类型多,成矿条件复杂;中、小型矿床多,超大型矿床少;贫矿多,富矿少,矿石类型复杂,伴(共)生组分多等特点^[3~6]。

1. 铁矿资源分布广泛又相对集中

全国 34 个省、直辖市、自治区均探明有铁矿资源,又相对集中在辽宁、四川、河北,3 省合计铁矿查明资源储量约 298 亿 t,占全国铁矿查明资源储量的 49.1%,几乎占全国铁矿查明资源储量的一半。

我国铁矿资源空间分布成矿区带特征明显,主要有鞍山-本溪、冀东-密云、五台-吕梁、包头-白云鄂博、邯郸-邢台、鲁中、许昌-舞阳、长江中下游成矿区、安徽霍邱、陕南、鄂西-湘西北、江西新余-吉安-湖南祁东、闽南-粤东、海南石碌、四川西昌-滇中、云南西盟、甘肃祁连镜铁山、新旧哈密-甘肃北山、新疆阿尔泰 19 个成矿区带。

2. 铁矿床类型多,矿石类型复杂

我国铁矿床类型多,矿石类型复杂,多组分共(伴)生的储量所占比重大,世界上已有的铁矿床类型在我国都已发现。我国具有工业价值的铁矿床类型主要是鞍山式沉积变质铁矿、攀枝花式钒钛磁铁矿、大冶式矽卡岩型铁矿、梅山式火山岩型铁矿和白云鄂博式热液型铁矿等。与世界不同之处在于我国岩浆型、火山岩型和接触交代-热液型储量占的比例较高。

目前我国铁矿开采的主要铁矿石类型有:磁铁矿矿石 308.33 亿 t,占全部铁矿查明资源储量的 51.0%;钒钛磁铁矿矿石 105.18 亿 t,占 17.3%;赤铁矿 180.12 亿 t,占 29.8%,赤铁矿所占比重较大。

3. 以贫矿为主、富矿很少

我国铁矿石查明资源储量绝大部分为贫矿,绝大多数开采的铁矿石必须经过选矿才

能高炉利用。我国铁矿查明资源储量平均品位约为 31.95%，与巴西、澳大利亚等国的铁矿相比，品位相差很大。我国绝大部分铁矿品位为 25%~40%，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%；品位为 40%~48%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%。

据中国冶金矿山企业协会统计，2006 年重点露采铁矿山采出原矿品位平均为 30.53%，回采率平均为 96.35%，贫化率平均为 9.76%；重点地下开采铁矿山采出原矿品位平均 38.29%，回采率平均为 78.67%，贫化率平均为 15.59%；全国铁矿选矿技术经济指标平均：入选品位 31.23%，精矿品位 64.88%，尾矿品位 10.50%，选矿回收率 84.32%。

4. 共(伴)生组分多，综合利用价值大

我国铁矿资源矿石类型复杂，难选矿和多组分共(伴)生铁矿储量所占比重大，难选赤铁矿和多组分共生铁矿石储量各占全国总储量的三分之一，涉及一批大中型矿区，如攀枝花、大庙、白云鄂博、大冶、铜录山、石头咀、翠宏山、谢尔塔拉、大宝山、大顶、黄岗、濉溪和翁泉沟等矿区，共(伴)生组分主要包括 V、Ti、Cu、Pb、Zn、Co、Nb、Se、Sb、W、Sn、Mo、Au、Ag、S、稀土等 30 余种，最主要的有 Ti、V、Nb、Cu、Co、S 和稀土等，有的共(伴)生组分经济价值甚至超过铁矿价值，如白云鄂博铁矿中含有丰富的 REO(稀土资源量)和 Ta、Nb；攀枝花钒钛铁矿中的 V 和 Ti 储量居世界前位。随着科学技术水平的提高，这些共(伴)生组分将得到充分的综合回收利用。

5. 铁矿勘查深度较浅，深部潜力很大

目前我国铁矿的勘查深度仍然较浅，不论是已开发利用的铁矿还是未开发利用的铁矿，其主要矿体最大埋藏深度在 1000m 以内，主要集中在 600m 以内，峰值在 50~200m，这说明我国铁矿资源深部找矿潜力还很大。

我国未开发利用的铁矿资源储量从地区分布上看，中东部地区未开发利用的铁矿资源储量 176 亿 t，占我国未开发利用的铁矿资源储量的 56%，西部地区未开发利用的铁矿资源储量 141 亿 t，占我国未开发利用的铁矿资源储量的 44%。

第二节 铁矿石分类

铁矿资源工业上利用的价值及其开采的可能性主要取决于矿石质量、矿床规模、矿床的地理位置及所在国家或地区的条件。

对矿石质量的评价有下述几个方面：①含铁量；②杂质含量(SiO_2 、 Al_2O_3 、S、P、K、Na 等)；③铁矿物浸染粒度；④还原性；⑤可选性。对上述各项要求各个国家因具体情况不同而有所区别。

根据不同的要求和选矿特性，铁矿石可划分为不同的类型。根据矿石中含铁量的高低可将铁矿石划分为贫矿和富矿。一般来说，贫矿需经选矿才能利用，而富矿往往不需选

矿可直接利用。但近些年来为了提高高炉入炉品位,或为了其他专门用途,含铁量 60% 或 65% 的富矿也要经选矿处理。

根据矿石中脉石成分的不同,铁矿石可划分为^[7]

- ① 酸性矿石,即 $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) < 0.5$;
- ② 半自熔性矿石,即 $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 0.5 \sim 0.8$;
- ③ 自熔性矿石,即 $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 0.8 \sim 1.2$;
- ④ 碱性矿石,即 $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) > 1.2$ 。

对于自熔性矿石,由于冶炼时可不配熔剂,故矿石中含铁量可低一些;酸性矿石冶炼时需配碱性熔剂,碱性矿石冶炼时需配酸性熔剂或与酸性矿石搭配使用。半自熔性矿石冶炼时需配部分碱性熔剂或与碱性矿石搭配使用。

根据氧化程度的不同,即 TFe/FeO 的不同比值,铁矿石可划分为

- ① 磁铁矿矿石, $\text{TFe}/\text{FeO} < 2.7$;
- ② 氧化矿矿石, $\text{TFe}/\text{FeO} > 3.5$;
- ③ 混合矿矿石, $\text{TFe}/\text{FeO} = 2.7 \sim 3.5$ 。

当铁矿石中具有含铁的脉石矿物时,特别是含有二价铁的脉石矿物,将影响 TFe/FeO 的比值,从而使该比值不能确切反映铁矿石的氧化程度。

根据矿石中所含应回收的有价成分,铁矿石可划分为

- ① 单一铁矿石,即有价回收成分为铁元素;它又分为单一磁铁矿矿石、单一赤铁矿(或氧化矿)矿石和混合矿石。
- ② 复合铁矿石,除铁以外还含有其他应回收的有价成分。

中国铁矿石类型主要比例为磁铁矿型 55.40%,赤铁矿型 18.10%,菱铁矿型 14.40%,钒钛磁铁矿型 5.30%,镜铁矿型 3.40%,褐铁矿型 1.10%,混合型 2.30%。中国铁矿石的共(伴)生组分多,物质组成复杂。据统计,全国已勘探的 2034 处铁矿产地中,呈单一铁矿床的 1588 处,以铁为主的 280 处,共(伴)生铁矿床 166 处。多组分铁矿石常伴生有钒、钛、稀土、铌、铜、锡、钼、铅、锌、钴、金、铀、硼和硫、砷等元素。

第三节 铁矿物的种类

含铁矿物种类繁多,目前已发现的铁矿物和含铁矿物 300 余种,其中常见的有 170 余种。但在当前技术条件下,具有工业利用价值的主要是磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、钛铁矿、褐铁矿和菱铁矿等。其中褐铁矿、菱铁矿、赤铁矿等弱磁性含铁矿石为较难选别的铁矿石^[6,8~12]。

一、磁铁矿

磁铁矿, FeFe_2O_4 或 $\text{Fe}^{3+}[\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}]_2\text{O}_4$, 理论组成: FeO 31.04%, Fe_2O_3 68.96%。呈类质同象替代 Fe^{3+} 的有 Al^{3+} 、 Ti^{4+} 、 Cr^{3+} 、 V^{3+} 等;替代 Fe^{2+} 的有 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ge^{2+} 等。当 Ti^{4+} 替代 Fe^{3+} 时,其中 $\text{TiO}_2 < 25\%$ 时称为含钛磁铁矿, $\text{TiO}_2 > 25\%$ 者称钛磁铁矿。当含钒钛较多时,则称钒钛磁铁矿。含铬者称铬磁铁矿。