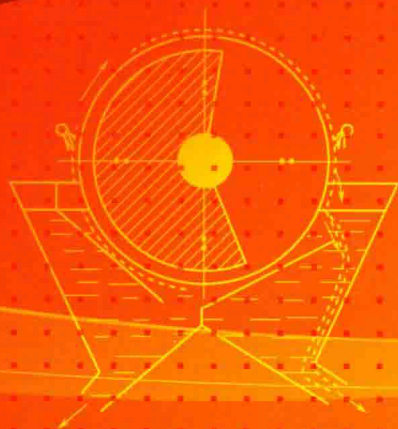


炼铁原料 生产与操作

包丽明 吕国成 主 编

杨 林 王红亮 韩佩津 李金玲 副主编



化学工业出版社

炼铁原料 生产与操作

包丽明 吕国成 主 编

杨 林 王红亮 韩佩津 李金玲 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是高职高专冶金技术专业教材，系统介绍了高炉炼铁用主要原料的生产工艺和设备、作用及质量要求等。主要内容包括天然矿石的基础知识，高炉燃料焦炭的生产及设备，铁矿粉烧结造块的基本理论，烧结矿、球团矿的生产，以及炼铁原料、燃料的产品质量检验方法，环境保护措施等。根据实际生产要求，本书还加入了炼铁原料的生产操作知识。

本书可作为高职高专冶金技术专业的教材和企业在职人员的培训教材，也可作为本科院校相关专业的教学参考书，并可供从事钢铁冶金生产的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

炼铁原料生产与操作/包丽明，吕国成主编. —北京：
化学工业出版社，2015. 2
ISBN 978-7-122-22667-9

I. ①炼… II. ①包…②吕… III. ①炼铁-原料-生产
工艺 IV. ①TF52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 309114 号

责任编辑：刘丽宏
责任校对：吴 静

文字编辑：闫 敏
装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 400 千字 2015 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：68.00 元

版权所有 违者必究

FOREWORD

前言

钢铁工业是国民经济的重要原材料产业。我国是目前世界上最大的钢铁生产和消费国。钢铁工业为国民经济持续、稳定、健康发展做出了重要贡献。钢铁工业的发展在很大程度上取决于炼铁、炼钢及连铸等工艺的发展和进步,为适应日益激烈的市场竞争和可持续发展的需要,企业要千方百计降低生产成本,提高产品质量,积极推广、采用已有的技术创新成果,针对技术进步中的薄弱环节,开发和应用新的前沿技术。企业要想得到优质的钢铁冶金产品以满足现代化社会发展的需要,就必须选择优质的高炉炼铁原料。

《炼铁原料生产与操作》是高职高专冶金技术专业教材。教材在编写过程中依据教学大纲的要求,合理确定教材的深度和广度,并结合冶金工业的生产实际和发展要求,精选教材内容,既阐明必要的理论知识,也结合生产实际,介绍工艺、设备和操作要点,并力求简明、易懂,便于自学。本书可作为高职高专冶金技术专业的教材和企业在职人员的培训教材,也可作为本科院校相关专业的教学参考书,并可供从事钢铁冶金生产的工程技术人员参考。

本书共分为8章。主要内容包括炼铁及炼铁原料、铁矿石及熔剂、高炉燃料、铁矿石冶炼前的准备与处理、铁矿粉烧结基本理论、烧结矿生产、球团矿生产和烧结与球团生产的环境保护。在章节中还加入了燃料分析、烧结配料与热平衡计算、烧结生产操作、球团生产操作及烧结矿与球团矿的质量检验5项技能操作,注重学生动手能力和创新能力的培养,目的是进一步提高学生的岗位适应能力。通过各技能训练的完成,学生不但学会了知识技能,同时还培养了学习和工作的方法,培养了团结协作的社会能力。

本教材由吉林电子信息职业技术学院包丽明、吕国成担任主编,吉林电子信息职业技术学院杨林、王红亮、韩佩津、李金玲担任副主编,全书由包丽明统稿。其中第1章、第6章、第7章主要由包丽明编写,第2章、第4章主要由王红亮、韩佩津编写,第3章主要由杨林、李金玲编写,第5章、第8章主要由吕国成编写。参加本书编写的还有吉林电子信息职业技术学院孙建波、朱旭、毕俊召、季德静,辽宁科技大学应用技术学院关志刚,东北电力大学蔡颖。

在本书的编写过程中,参考了很多相关图书、资料,在此对这些图书、资料的作者一并表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限,经验不足,加之时间仓促,难免有不足之处,恳切希望有关专家及读者批评指正,以便进一步修订。

编者

第1章 炼铁及炼铁原料

1

1.1 冶金基本概念及分类	1
1.2 炼铁原料的种类及在高炉冶炼中的作用	1
复习思考题	2

第2章 铁矿石及熔剂

3

2.1 我国与世界铁矿资源及特点	3
2.1.1 全球铁矿资源状况	3
2.1.2 我国主要铁矿区	4
2.2 铁矿石分类及其特性	6
2.2.1 矿物、矿石和岩石的基本概念	6
2.2.2 铁矿石的分类及主要特性	7
2.2.3 高炉冶炼对铁矿石的要求	9
2.3 熔剂	14
2.3.1 熔剂的作用	14
2.3.2 熔剂的种类	15
2.3.3 高炉冶炼对碱性熔剂的质量要求	16
2.4 其他含铁原料	17
复习思考题	18

第3章 高炉燃料

19

3.1 焦炭及其在高炉中的作用与行为	19
3.1.1 焦炭在高炉炼铁中的作用	19
3.1.2 高炉中不同部位焦炭的状态行为	21
3.2 焦炭的化学组成及理化性能	22
3.2.1 焦炭的化学组成	22
3.2.2 焦炭的物理力学性能	23
3.2.3 焦炭的高温反应性	26
3.3 高炉冶炼对焦炭的质量要求	27
3.4 炼焦方法及工艺	31

3.4.1 炼焦方法	31
3.4.2 炼焦生产工艺流程	31
3.4.3 炼焦配煤	32
3.4.4 结焦过程	34
3.4.5 熄焦方法	35
3.4.6 提高焦炭质量的措施	35
3.5 炼焦炉及附属设备	36
3.6 焦炭代用燃料	38
3.6.1 型焦	38
3.6.2 铁焦	39
3.7 高炉喷吹燃料	40
3.8 技能实训一：燃料分析	40
3.8.1 水分的测定	40
3.8.2 灰分的测定	41
3.8.3 挥发分的测定	42
3.8.4 硫的测定	43
3.8.5 煤中全硫含量测定	43
复习思考题	45

第4章 铁矿石冶炼前的准备与处理

46

4.1 铁矿石冶炼前准备和处理的意义	46
4.1.1 高炉炼铁对精料的要求	46
4.1.2 高炉精料的内容	49
4.2 破碎与筛分	51
4.2.1 破碎	52
4.2.2 筛分	52
4.2.3 破碎和筛分工艺流程的选择	53
4.3 混匀	54
4.4 焙烧	54
4.4.1 氧化焙烧	55
4.4.2 还原磁化焙烧	55
4.4.3 氯化焙烧	56
4.5 选矿	56
4.5.1 选矿的目的及其指标	56
4.5.2 选矿的方法	57
4.5.3 选矿产品的处理	58
4.6 造块	59
4.6.1 造块方法简介及在炼铁生产中的应用	59
4.6.2 烧结、球团发展及现状	60
4.7 铁矿石准备与处理的流程	64
复习思考题	65

5.1 烧结生产概述	67
5.1.1 烧结生产的目的	67
5.1.2 抽风烧结概述	67
5.2 烧结过程中燃料的燃烧与热交换	69
5.2.1 烧结过程中燃料的燃烧	69
5.2.2 烧结料层中的温度分布	71
5.3 烧结过程中水分的蒸发、分解与冷凝	74
5.3.1 烧结料中水分的来源和作用	74
5.3.2 水分蒸发和水蒸气冷凝的一般规律	74
5.3.3 防止烧结料层过湿的主要措施	75
5.4 碳酸盐分解及氧化钙的矿化作用	76
5.4.1 碳酸盐分解	76
5.4.2 氧化钙的矿化作用	77
5.5 烧结过程中金属氧化物的分解、氧化与还原	79
5.5.1 铁氧化物的分解	79
5.5.2 铁氧化物的还原	80
5.5.3 铁氧化物的氧化	81
5.5.4 锰氧化物的分解与还原	81
5.6 烧结过程中硫及其他有害杂质的去除	81
5.6.1 硫的去除	82
5.6.2 氟的去除	85
5.6.3 钾、钠的去除	85
5.6.4 砷、铅、锌的去除	85
5.7 烧结过程中的固相反应	86
5.7.1 固相反应机理	86
5.7.2 固相反应的条件和特点	86
5.7.3 烧结料中常见的固相反应及反应产物	88
5.8 烧结过程中液相的生成与冷却结晶	90
5.8.1 液相生成在烧结过程中的作用	90
5.8.2 影响液相生成量的因素	90
5.8.3 烧结过程的主要液相	91
5.8.4 液相冷却结晶	93
5.9 烧结料层中的气流运动	94
5.9.1 透气性的表示方法	94
5.9.2 透气性的变化	94
5.9.3 改善烧结料层透气性的主要措施	95
5.10 烧结矿的矿物组成、结构及其对其质量的影响	97
5.10.1 烧结矿的矿物组成与结构	97
5.10.2 烧结矿的矿物组成与结构对其性能的影响	98
5.10.3 影响烧结矿矿物组成与结构的因素	101
复习思考题	103

6.1 烧结生产工艺流程	104
6.2 烧结原料及准备	105
6.2.1 烧结原料的质量要求	105
6.2.2 烧结原料的准备	107
6.3 烧结配料	108
6.3.1 配料的目的与要求	108
6.3.2 配料方法	109
6.3.3 影响配料准确性的因素分析	109
6.4 烧结料的混合与制粒	110
6.4.1 烧结料混合的目的	110
6.4.2 混匀与制粒的方法	110
6.4.3 影响混匀与制粒的因素	110
6.4.4 强化混匀与制粒的措施	112
6.5 混合料的烧结	113
6.5.1 布料	114
6.5.2 烧结料的点火	116
6.5.3 混合料的烧结	118
6.6 烧结矿的处理	121
6.6.1 烧结矿的处理流程	122
6.6.2 烧结矿的冷却	122
6.6.3 烧结矿的整粒	124
6.7 强化烧结过程的途径	124
6.7.1 改善料层透气性	124
6.7.2 采用大风量和高负压烧结	130
6.7.3 采用厚料层烧结	132
6.7.4 其他新工艺新技术的采用	132
6.8 烧结矿的质量指标及主要技术经济指标	136
6.8.1 烧结矿的质量指标及检验	137
6.8.2 烧结生产的主要技术经济指标	146
6.9 烧结生产的能耗与节能	146
6.9.1 烧结生产的能耗指标	146
6.9.2 烧结生产的节能方向和措施	147
6.10 烧结生产的发展方向	152
6.11 技能实训二：烧结配料与热平衡计算	153
6.11.1 烧结理论配料计算	153
6.11.2 烧结物料平衡与热平衡计算	156
6.12 技能实训三：烧结生产操作	163
6.12.1 原料工技能操作	163
6.12.2 烧结配料操作	181
6.12.3 烧结混料操作	187
6.12.4 烧结操作	189
6.12.5 烧结产品处理操作	199

第7章 球团矿生产**209**

7.1 概述	209
7.1.1 球团的概念	209
7.1.2 球团方法分类	209
7.1.3 球团矿在钢铁工业中的地位与作用	210
7.1.4 球团生产存在的问题	211
7.2 球团矿生产的基本理论	211
7.2.1 造球理论	211
7.2.2 生球的干燥和焙烧固结	216
7.2.3 球团矿的矿物组成与显微结构	224
7.3 球团生产的工艺流程	225
7.4 球团原料及其准备	226
7.4.1 含铁原料	226
7.4.2 黏结剂与添加剂	227
7.5 配料、混合和造球	228
7.5.1 配料与混合	228
7.5.2 造球	229
7.5.3 生球输送	231
7.6 球团焙烧工艺	232
7.6.1 竖炉焙烧法	232
7.6.2 带式焙烧法	235
7.6.3 链算机-回转窑焙烧法	239
7.6.4 三种主要焙烧方法的比较	241
7.7 球团质量要求及检验方法	241
7.7.1 生球质量标准及检验方法	241
7.7.2 成品质量要求及标准	243
7.8 球团矿与烧结矿的比较	243
7.8.1 原料条件比较	243
7.8.2 冶金性能比较	244
7.8.3 冶炼效果比较	245
7.8.4 经济效果比较	245
7.8.5 环境状况比较	247
7.9 技能实训四：球团生产操作	247
7.9.1 圆盘造球机的操作	247
7.9.2 竖炉生产操作	248
7.9.3 竖炉开炉操作	249
7.9.4 竖炉热工制度与竖炉的控制和调节	250
7.9.5 竖炉事故与处理	251
7.9.6 带式焙烧机生产操作	253
7.9.7 链算机-回转窑主要设备与操作	258
7.10 技能实训五：烧结矿与球团矿的质量检验	265

7.10.1 烧结矿、球团矿全铁的分析——重铬酸钾容量法（有汞）	265
7.10.2 烧结矿、球团矿亚铁的分析（重铬酸钾容量法）	267
7.10.3 烧结矿、球团矿中铁钙镁硅的系统测定	268
复习思考题	270

第8章 烧结与球团生产的环境保护

271

8.1 烧结与球团生产废气及其对环境的影响	271
8.2 生产废气的治理与综合利用	272
8.3 其他污染	273
复习思考题	273

参考文献

274

炼铁及炼铁原料

1.1 冶金基本概念及分类

冶金工业按照金属的两大类别通常分为黑色冶金工业和有色冶金工业两大类。通常把铁、锰、铬三种金属称为黑色金属。铁、生铁、钢和铁合金（如锰铁、铬铁）的生产，称钢铁冶金。有色金属冶金包括各种有色金属的生产。

金属的冶炼或提取方法由于原料的不同有很大差异，但按其特点可分为火法冶金、湿法冶金和电冶金。

（1）火法冶金

火法冶金是以燃料燃烧为热源，在高温条件下，将矿石和其他原料中的主要金属提炼成金属的工艺。它包括干燥、焙烧、冶炼、蒸馏等过程。

（2）湿法冶金

湿法冶金一般是在室温条件下，将矿石浸入某种溶液，这种溶液能够溶解有用金属，而不溶解其他杂质，然后再从溶液中提取出金属的工艺。它包括浸出、净化和置换、沉积等三大过程。

（3）电冶金

电冶金以电能为热源来提取金属，按电能性质不同又分为以下两类。

① 电热冶金：是以电能为热能，在高温下将原料提炼成金属。其物理化学过程本质上与火法冶金相同。

② 电化冶金：是利用电化学反应使金属从含金属盐类的水溶液或熔体中析出。前者称为水溶液电解，可列为湿法冶金一类。后者称为熔盐电解，可列入火法冶金一类，因为它不仅利用电能的化学效应，而且还利用电能转变为热能，使金属盐类形成熔体而电解。

冶金方法基本上是火法和湿法。钢铁冶金主要用火法；有色金属冶金则火法、湿法兼有。在钢铁冶金中，如高炉炼铁、转炉炼钢、电炉炼钢，竖炉、回转窑直接还原炼铁等，都是火法。

1.2 炼铁原料的种类及在高炉冶炼中的作用

现代炼铁方法有高炉炼铁和非高炉炼铁两种。高炉炼铁仍是生铁的主要来源，占总生铁

产量的90%以上。非高炉炼铁主要有生产海绵铁的直接还原法以及生产液态生铁的熔融还原法,这些方法有着广阔的发展前景,但目前大多处于小规模生产或者试验阶段,取代高炉炼铁的时机尚不成熟。不同的炼铁方法所用的原料不尽相同,这里主要介绍高炉炼铁原料。

高炉炼铁的炉料有铁矿石(含铁炉料又称原料)、燃料、熔剂以及鼓风等,它们在炉内分别起着不同的作用,但相互之间进行了很多物理化学变化,结果转化成了生铁、炉渣、煤气等排出炉外。炼铁原料是高炉生产的基础,原料的质量和性质将直接影响高炉生产指标。所谓“七分原料、三分操作”或者“四分原料、三分设备、三分操作”都说明原料质量在高炉冶炼中的重要性。有专家在总结我国高炉炼铁几十年的技术进步和生产指标的改善时说:70%是得益于炉料质量的改善。因而寻求合理的炉料结构和提高原料质量仍是当今炼铁工作者的重要任务。

铁矿石是铁的主要来源,它的主要成分是铁的氧化物。通过还原剂的还原,把铁氧化物中的铁元素还原出来,构成生铁的主要成分,约为95%左右。目前高炉铁料主要有烧结矿、球团矿、富块矿,烧结矿又分高碱度烧结矿、自熔剂性烧结矿和酸性烧结矿。烧结和球团是目前两种常用的造块方法。造块的主要目的是提高矿石的品位、机械强度、还原性,并均匀粒度、稳定化学成分等。

燃料在高炉内燃烧产生大量的热量和还原气体,为铁矿石的还原提供了必要条件。目前高炉用燃料按形态分有固体、气体、液体三种,高炉常用燃料有焦炭、煤、重油和天然气,焦炭是从炉顶通过装料设施进入炉内,而煤粉、重油和天然气则是通过风口喷吹进入炉内,从而取代部分焦炭,降低生铁成本。

熔剂也是高炉炼铁不可缺少的炉料之一。熔剂一般可分碱性熔剂、中性熔剂和酸性熔剂,由于自然铁矿石都以酸性脉石为主,所以高炉炼铁普遍采用碱性熔剂,一般采用较为廉价的石灰石。当然现在使用石灰石一般不从高炉加入,而是在铁矿造块过程中配加,这样可以降低高炉炼铁的成本。

以往讲述炼铁炉料的时候一般不提鼓风,严格来说鼓风也是高炉炼铁必需的一种炉料。鼓风的有用成分主要是氧气,在风口前氧化燃料中的碳,产生热量和还原性气体。因此风也是高炉生产必需的炉料之一。

复习思考题

- 1-1 金属的冶炼或提取方法主要有哪些?
- 1-2 高炉炼铁的炉料主要包括什么?各自在高炉冶炼过程中起到的作用如何?

第2章

铁矿石及熔剂

2.1 我国与世界铁矿资源及特点

2.1.1 全球铁矿资源状况

2001 年我国铁矿石资源量 581.19 亿吨,居世界第四位,但是铁矿品位比世界品位低 11%,而且难采难选。我国铁矿资源的特点:一是贫矿多,贫矿储量占总储量的 80%;二是多元素共生的复合矿石较多;三是磁铁矿多。此外矿体复杂,有些贫铁矿床上部为赤铁矿,下部为磁铁矿。

我国铁矿资源无法满足钢铁行业迅猛发展的需要,近几年我国铁矿进口呈高比率增长。2005 年我国钢产量 34936 万吨,生铁 33040 万吨,自产铁矿石 42050 万吨,进口铁矿石 21256 万吨。进口矿来自于 18 个国家,进口国家按数量排序依次为澳大利亚、巴西、印度、南非、秘鲁等国。瑞典 LKAB 公司开采的新型铁矿石在我国南方地区受到欢迎,加拿大 IOC 球团和智利 CMP 球团也进入我国市场。虽然海外供应商不断扩张其矿石开采能力,但其扩张速度依然满足不了中国市场对铁矿石需求的急剧增长。从全球范围来考虑铁矿资源供应,优化矿产资源配置,建立长期、稳定的供应基地,锁定供应渠道,应该是中国钢铁工业重点思考并解决的问题。

世界铁矿资源主要集中分布在乌克兰、俄罗斯、澳洲、美洲等地,巴西和澳大利亚是两个最大的矿石输出国。近年来,铁矿开采供应出现规模巨大的并购活动,基本形成了巴西 CVRD、英澳合资的 RioTinto 和 BHP-Billion 三分天下的格局。三大公司总生产规模为 35540 万吨,约占世界矿石总产量的 35%,掌控了世界铁矿石海运量的 70%。

① 澳大利亚:澳大利亚铁矿工业发达,年产铁矿石 1.8 亿吨以上,是世界上最大铁矿出口国,其铁矿主要存在于澳大利亚皮尔巴拉地区。我国进口的第一船铁矿就来自于澳大利亚。澳大利亚港口优良,主要港口均可接纳 16 万~25 万吨级运矿船。澳矿多为赤铁矿,品质稳定,明显缺陷是 Al_2O_3 含量偏高。澳大利亚离我国运距近,运费相对低廉。

② 巴西:巴西铁矿资源丰富,年产铁矿石超过 2 亿吨,矿区主要集中在铁四角地区。巴西全境内的铁矿现在都属于淡水河谷公司 (CVRD) 控股,该公司是巴西矿业霸主,掌控了 1.8 亿吨铁矿产品的出口权。巴西矿可以说是世界上最好的矿,其含铁品位最高达 68%,

有害杂质少,成分稳定。巴西港口水深在16~20m,可停靠25万吨级运矿船。巴西离我国约12000km,运距较远,运费较高。

③ 印度:印度铁矿石主要有赤铁矿和磁铁矿两种,赤铁矿大部分属于富矿。对我国来说,印度可能是今后潜力最大的选择之一。以印度贝拉迪拉(Bailadila)地区为主的铁矿区蕴藏着上百亿吨高品位赤铁矿的储量。印度港口水浅,除新建的维萨帕特南港可停靠14万吨级运矿船外,其余港口基本只能停靠6万~7万吨轮。印度矿的结晶水含量高。

④ 南非:南非年产铁矿石3480万吨。主要铁矿企业是ISCOR联合矿业公司的库博矿业,矿区主要位于南非北开普省。主要港口萨尔达尼亚港,可接纳28万吨级运矿船。但南非铁矿碱金属含量较高。

⑤ 秘鲁:秘鲁铁矿全部来自于我国首钢秘鲁公司的马科纳铁矿(Marconn),该矿拥有14亿吨储量,含铁54.1%,年生产能力700万吨。马科纳铁矿为首钢自用。

世界铁矿石主要采购者有日本、欧盟、中国和韩国。近年来,由于西欧和日本环保意识增强,耗钢铁量大的行业出现萎缩趋势,主要进口国开始由日本、欧盟逐步转向中国、韩国。

2.1.2 我国主要铁矿区

① 东北地区铁矿:东北地区铁矿主要是鞍山矿区,它是目前我国储量以及开采量最大的矿区,大型矿体主要分布在辽宁省的鞍山、本溪。鞍山又包括大孤山、樱桃园、东鞍山、西鞍山、弓长岭等矿山,本溪包括南芬、歪头山、通远堡等矿山,部分矿床分布在吉林通化。鞍山矿区是鞍钢和本钢的主要原料基地。

鞍山矿区矿石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。该矿区矿石除极少数富矿外,98%为贫矿,含铁量平均仅30%左右。主要脉石矿物由石英组成, SiO_2 达40%~50%,选矿后含铁量可达60%以上。

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各地。是首钢、包钢、太钢和邯郸、宣化及阳泉等地钢铁厂的原料基地。

迁滦矿区矿石为鞍山式贫磁铁矿,含酸性脉石,S、P杂质少,矿石的可选性好。邯郸矿区主要是赤铁矿和磁铁矿,矿石含铁量在40%~55%之间,脉石中含有一定的碱性氧化物,部分矿石含硫较高。

③ 中南地区铁矿:中南地区铁矿以湖北大冶铁矿为主,其他如湖南的湘潭,河南省的安阳、舞阳,江西和广东省,海南岛等地都有一定规模的储量,这些矿区分别为武钢、湘钢及当地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 SiO_2 含量在8%左右, $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$ 为0.3左右,矿石含P一般为0.027%,含S高且波动很大,达0.01%~1.2%,并含有Cu和Co等有色金属。矿石的还原性较差,矿石经烧结、球团造块后进入高炉冶炼。

④ 华东地区铁矿:华东地区铁矿产区主要是自安徽省芜湖至江苏南京一带的凹山,有南山、姑山、桃冲、梅山、凤凰山等矿山。此外,山东的金岭镇等地也有相当丰富的铁矿资源,是马钢及其他一些钢铁企业原料供应基地。

芜宁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，还原性较好。一部分富矿（Fe 含量为 50%~60%）可直接入炉冶炼；另一部分贫矿要经选矿、烧结造块后供高炉使用。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，部分矿石含 V、Ti 及 Cu 等金属。

⑤ 其他地区铁矿：除上述各地区铁矿外，我国西南地区、西北地区各省，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。

我国一些矿区铁矿石化学成分列于表 2-1 中。

表 2-1 我国一些矿区铁矿石的化学成分

矿石产地	矿种	化学成分/%											
		TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	烧损	Cu	Zn
樱桃园	磁铁矿	48.30	21.40	25.80	0.79	1.07	0.43	0.23	0.075	0.014			
弓长岭	赤铁矿	44.00	6.90	34~38	1.31	0.28	1.16	0.15	0.007	0.02			
东鞍山	贫矿	32.73	0.70	49.78	0.19	0.34	0.80		0.031	0.035			
本溪	磁铁矿	60.90	27.0	14.53	0.39	0.68	0.55	0.11	0.162	0.22			
齐大山	贫矿	31.70	4.35	52.94	1.07	0.84	0.80		0.01	0.05			
南芬	贫矿	33.63	11.90	46.36	1.425	0.576	1.593	Mn 0.087	0.073	0.056			
武安	磁铁矿	60.90	16.20	6.44	0.53	2.13	0.75	0.21	1.11	0.018			
庞家堡	赤铁矿	50.12	2.00	19.52	2.10	1.50	0.36	0.32	0.067	0.156			
武安	赤铁矿	55.20	8.125	12.96	1.06	2.02	1.48	0.24	0.047	0.035			
邯郸		42.59	16.30	19.03	0.47	9.58	5.55	0.11	0.208	0.048			
矿山村	赤铁矿	54.50	10.8	11.82	1.68	3.09	0.86	0.313	0.98	0.034			
山东莱芜	磁铁矿	45.30	18.52	11.20	1.68	10.05	3.34	0.22	0.286				0.199
山东黑旺	褐铁矿	40.08		11.17	3.593	10.53	1.069	0.985	0.033				0.108
芥川	菱铁矿	46.45	0.10	17.06	3.14	1.46	0.62	1.41	0.016	0.121	9.89		
山东利国	赤铁矿	53.10	4.50	11.98	2.47	3.44	0.95	0.11	0.0284	0.024			
山东利国	磁铁矿	50.40	15.10	7.71	3.92	6.30	5.75	0.35	0.028	0.009			
武钢铁山		54.38	13.90	10.30	2.43	3.66	1.51	0.178	0.325	0.096			
武钢灵乡		49.50	8.30	12.90	3.40	4.02	1.56	Mn 0.156	0.420	0.088			
海南岛		55.90	1.32	16.20	0.96	0.26	0.08	Mn 0.14	0.098	0.020			
梅山	富矿	59.35	19.88	2.50	0.71	1.99	0.93	0.323	4.452	0.399	6.31	CuO 0.038	0.041
大冶	磁铁矿	52.78	7.9	12.78	2.34	2.32	1.55	0.21	0.228	0.080			
迁安(大石河)		32.73	10.27	47.54	0.19	0.36	2.07	Mn 0.14	0.027	0.048			

2.2 铁矿石分类及其特性

2.2.1 矿物、矿石和岩石的基本概念

2.2.1.1 矿物

矿物是地壳中天然的物理化学作用和生物作用所产生的天然元素或天然化合物，它们具有均一的化学成分和内部结构，具有一定的物理性质和化学性质。地壳中天然元素极少（如自然金 Au、自然铜 Cu 等），绝大多数是天然化合物（如黄铁矿 FeS_2 、黄铜矿 CuFeS_2 等）。矿物在自然界中多数以固态存在，少数为胶体（如蛋白石 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）、液体（如水银 Hg）及气体（如硫化氢 H_2S ）。

矿石和岩石都是矿物的集合体，它可由单一矿物或多种矿物组成。

矿石是在现有的技术经济条件下能以工业规模从中提取金属、金属化合物或有用矿物的物质总称。铁元素在地壳中约占 5% 的数量，地球上无天然金属状态的铁，而是以氧化物、硫化物等矿物存在于地壳中，常见含铁矿物储量较大的有磁铁矿（ Fe_3O_4 ）、赤铁矿（ Fe_2O_3 ）、褐铁矿（ $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）、菱铁矿（ FeCO_3 ）及黄铁矿（ FeS_2 ）。

在矿石中用来提取金属或金属化合物的矿物称为有用矿物，而那些不含有用矿物或含量过少，不宜以工业规模进行加工提炼的矿物称为脉石矿物，通常在矿石处理过程中被废弃掉。

2.2.1.2 矿物的形态

自然界矿物的形态是多种多样的，这是由于矿物的化学成分、内部结晶构造以及生产环境不同所造成的。矿物的形态可分为单体形态和集合体形态，矿物呈单体形态出现较少，通常以集合体形态出现。常见的集合体形态如下。

葡萄状集合体：由许多圆球状矿物集聚而成，形似葡萄，如硬锰矿。

鲕状集合体：由许多像鱼子一样的颗粒集聚而成，如鲕状赤铁矿。

肾状集合体：由放射状晶群密集而成的外表光滑如肾脏的块体，如肾脏赤铁矿。

豆状集合体：由大小像豆状的球形颗粒聚集而成，如铬铁矿粒状集合体。

致密块状集合体：由极细小的矿物颗粒组成的致密块体。

土状、粉末状集合体：由均匀而细小的物质组成的疏松块体，外形与土壤相似。

针状及柱形集合体：由细长状的矿物组成。

叶片状集合体：由许多片状晶体所组成的集合体。

结核状集合体：球形或瘤形的矿物聚集体。

树枝状集合体：形如树枝的矿物聚集体。

2.2.1.3 矿物的物理性质

由于不同的矿物具有不同的化学成分和内部构造，因此不同的矿物必然反映出各种不同的物理性质。根据这些不同矿物的性质来鉴定矿物。

① 矿物的光学性质：是矿物对光线的吸收、折射和反射所表现的各种性质。

a. 颜色：矿物有各种各样的颜色，这是由于矿物的组成部分含有某种色素离子（即有颜色的化学元素）所引起的。如色素离子 Fe^{2+} 为绿色， Fe^{3+} 为褐色或红色。当矿物中含有杂质时，由于杂质的影响，矿物的颜色也会改变。

b. 条痕：矿物的条痕就是矿物粉末的颜色。矿物的颜色常有变化，但矿物的条痕则较

为固定。如磁铁矿的条痕色是铁黑色，赤铁矿的条痕色是砖红色。矿物的条痕也是可靠的鉴定矿物的方法之一。

c. 光泽：光线投到矿物表面时，一部分光被折射和吸收；而另一部分则从其表面反射出来，这种反射光就构成了矿物的光泽。根据光泽的强弱可分类如下。

金属光泽：光泽极强，像新的金属制品那样光亮，如自然金、方铅矿。

半金属光泽：较金属光泽弱，像用久了的金属制品那样，如磁铁矿、赤铁矿。

非金属光泽：反光的能力很弱，具有此种光泽的矿物多为透明和半透明矿物，如云母、金刚石。

d. 透明度：矿物透光的能力叫透明度，根据矿物透光的能力不同可分类如下。

透明矿物：能允许绝大部分光线通过，隔之可以清晰地透视另一物体，如水晶、萤石。

半透明矿物：光可以部分通过，但隔之不能透视另一物体，如闪锌矿、砷砂。

不透明矿物：光不能透过，如磁铁矿。

② 矿物的力学性质：指矿物在外力作用下所呈现的性质。

a. 解理与断口：矿物被敲打后，如果沿着一定方向有规则地裂开成光滑平面的性质叫解理，另外也有一些矿物敲打后呈无规则裂开，叫断口。

b. 硬度：矿物的软硬程度叫硬度。

c. 密度：矿物的质量与其体积的比值。

d. 韧性：受压轧、切割、锤击、弯曲或拉引等外力作用时，矿物所呈现的抵抗性能，叫矿物的韧性。

③ 矿物的磁学性质：是矿物可被磁铁吸引或排斥的性质。绝大多数磁性物质与其中的铁、钴、锰、铬等元素有关。按磁性来说，一般矿物可分为两类，一类称为顺磁性矿物，即能为磁石所吸引；另一类为抗磁性矿物，能为磁石所排斥，如自然银。

矿物磁性的强弱以磁化系数的大小来表示，按磁化系数大小可将矿物分以下四类。

a. 强磁性矿物：磁化系数大于 3000×10^{-6} ，此类矿物在较弱的磁场中容易与其他矿物分离（磁场为 $72 \sim 96 \text{ kA/m}$ ），如磁铁矿、磁黄铁矿。

b. 中磁性矿物：磁化系数为 $300 \times 10^{-6} \sim 3000 \times 10^{-6}$ ，要选此类矿物磁场需要 $128 \sim 320 \text{ kA/m}$ ，如假象赤铁矿。

c. 弱磁性矿物：磁化系数为 $25 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ ，选此类矿物磁场需高至 1280 kA/m ，如赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿。

d. 非磁性矿物：磁化系数低于 25×10^{-6} ，如石英、方解石、萤石。

利用矿物的磁性不仅可以鉴定矿物，还可以进行磁力选矿和磁力探矿。

④ 矿物的膨胀性和润湿性。

a. 膨胀性：指矿物受热后体积长大的性质，如石英。

b. 润湿性：指矿物能被液滴所润湿的性质，易被水润湿的称亲水性矿物，如方解石、石英；不易被水润湿的称疏水性矿物，如自然硫。

2.2.2 铁矿石的分类及主要特性

组成地壳的各种岩石中大部分都含铁，已经知道的铁矿石有 300 多种，但目前能作为炼铁原料的只有 20 余种。铁矿石按其不同存在形态可分为赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿，其主要特性见表 2-2。