



劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

铁矿粉烧结生产

TIEKUANGFEN SHAOJIE SHENGCHAN

贾 艳 李文兴 主编

冶金工业出版社

劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

铁矿粉烧结生产

贾 艳 李文兴 主编

北 京
冶金工业出版社
2006

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

本书的主要内容包括烧结原料、烧结生产基本原理、烧结生产工艺、烧结各岗位技能操作及主要设备、烧结技术发展及技术经济指标等。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁矿粉烧结生产/贾艳,李文兴主编. —北京:冶金工业出版社,2006.2

冶金行业职业教育培训规划教材

ISBN 7-5024-3856-4

I. 铁… II. ①贾… ②李… III. 铁粉—烧结—技术培训—教材 IV. TF123.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 129397 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 王秋芬 宋 良 美术编辑 王耀忠

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 牛晓波

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006 年 2 月第 1 版,2006 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;9.25 印张;244 千字;135 页;1—5000 册

23.00 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(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金行业职业教育培训规划教材

编辑委员会

主任 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

顾问 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成

委员

首钢总公司	舒友珍	何智广	宝山钢铁公司	杨敏宏
太原钢铁公司	贾宝林	孟永钢	武汉钢铁公司	孙志桥
马鞍山钢铁公司	王茂龙	陈 宣	本溪钢铁公司	张春雨
唐山钢铁公司	宋润平	冯柄晓	江苏沙钢公司	黄国刚
济南钢铁公司	陈启祥	赵树俭	天津天铁公司	王金铭
南京钢铁联合公司	陈龙宝	朱朝全	钢协培训中心	宋 凯
承德钢铁公司	魏洪如	高 影	济源钢铁公司	靳沁萍
石家庄钢铁公司	侯 敏	冷学中	滦河集团公司	王爱民
首钢迁安钢铁公司	王宝军	王 蕾	河北冶金研究院	彭万树
邯郸钢铁公司	张晓力	李 阳	河北冶金设计院	周建宏
宣化钢铁公司	张聪山	李豪杰	港陆钢铁公司	赵福桐
淮阴钢铁公司	刘 瑾	王灿秀	邯钢衡水薄板厂	魏虎平
邢台钢铁公司	张力达	孙汉勇	半壁店钢铁公司	刘春梅
纵横钢铁公司	王建民	阚永梅	鹿泉钢铁公司	杜会武
河北工业职业技术学院	袁建路	李文兴	河北立国集团	郭志敏
山西工程职业技术学院	王明海	史学红		

冶金工业出版社 宋 良(010-64027900, 3ba@cnmip.com.cn)

序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量能否迅速增长、素质能否不断提高,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在 2003 年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已经着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

目前,我国冶金行业发展迅猛,铁矿粉烧结生产已成为现代钢铁生产的重要工艺之一。随着烧结技术的发展,对操作人员技术水平要求愈来愈高,为了适应烧结生产技术发展的需要,受冶金工业出版社的委托,在河北工业职业技术学院材料系的具体组织安排下,根据全国冶金工程专业岗位培训教学大纲的要求,我们编写了《铁矿粉烧结生产》一书。

本书主要包括:烧结原料、烧结生产基本原理、烧结各岗位技能操作及主要设备、烧结技术发展及技术经济指标等。根据烧结各岗位群所要求必备的理论知识及操作技能,在具体内容的组织安排上,力求少而精,通俗易懂。

本书对冶金类高职高专师生、现场从事烧结工作的技术人员、技工学校师生也有一定的参考价值。

本书主编为河北工业职业技术学院材料系的贾艳、李文兴,副主编为山西工业职业技术学院侯向东,石家庄钢铁公司李春增。石家庄钢铁公司李春增对书稿进行了审阅。在编写本书时我们参阅了有关烧结方面的著作、杂志以及有关人员提供的资料与经验,在此谨向有关作者和出版单位致谢。由于编者水平有限,加之完稿时间仓促,不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

1 绪论	1
1.1 烧结矿、球团矿在钢铁工业中的地位和作用	1
1.2 烧结生产发展简况	1
1.3 烧结方法分类	2
1.4 烧结厂生产技术经济指标	3
1.4.1 烧结机利用系数	3
1.4.2 烧结机台时产量	3
1.4.3 成品率	3
1.4.4 烧结机作业率	3
1.4.5 烧结矿合格率	3
1.4.6 生产成本	4
1.4.7 工序能耗	4
复习思考题	4
2 烧结原料	5
2.1 含铁原料	5
2.1.1 铁矿石(精矿粉、富矿粉)	5
2.1.2 其他含铁原料	7
2.2 熔剂	7
2.2.1 熔剂的作用	7
2.2.2 熔剂的种类	7
2.3 燃料	8
2.3.1 点火燃料	8
2.3.2 烧结燃料	9
复习思考题	9
3 烧结对原料的质量要求	10
3.1 对含铁原料的质量要求	10
3.1.1 含铁量(矿石品位)	10
3.1.2 脉石成分及含量	10
3.1.3 有害杂质	10
3.1.4 铁精矿粉的粒度	11
3.1.5 成分稳定	11
3.1.6 铁精矿粉的烧结性能	11
3.2 对熔剂的质量要求	11
3.2.1 有效熔剂性高	12

3.2.2 有害杂质硫、磷的限度	12
3.2.3 粒度和水分	12
3.3 对燃料的质量要求	12
3.3.1 化学成分	12
3.3.2 粒度	13
复习思考题	13
4 烧结基本原理	14
4.1 抽风烧结过程概述	14
4.1.1 烧结矿层	14
4.1.2 燃烧层	14
4.1.3 预热层	15
4.1.4 干燥层	15
4.1.5 过湿层	15
4.2 烧结过程燃料的燃烧与热交换	15
4.2.1 烧结料层中碳燃烧特点	15
4.2.2 烧结料层中的温度分布	16
4.3 烧结过程中水分的蒸发、分解和冷凝	19
4.3.1 烧结料中水分的来源和作用	19
4.3.2 水分的蒸发和结晶水的分解	20
4.3.3 水蒸气的冷凝	20
4.3.4 防止烧结料层过湿的主要措施	20
4.4 碳酸盐分解及氧化钙的矿化作用	21
4.4.1 烧结料中常见的碳酸盐	21
4.4.2 碳酸盐分解	21
4.4.3 氧化钙的矿化作用	22
4.5 烧结过程中铁、锰氧化物的分解、还原与氧化	22
4.5.1 铁氧化物的分解	22
4.5.2 铁氧化物的还原	23
4.5.3 铁氧化物的氧化	24
4.5.4 锰氧化物的分解与还原	24
4.6 烧结过程中硫及其他有害杂质的去除	25
4.6.1 硫的去除	25
4.6.2 氟的去除	28
4.6.3 钾、钠的去除	28
4.6.4 砷、铅、锌的去除	28
4.7 烧结过程中的固相反应	29
4.7.1 固相反应机理	29
4.7.2 固相反应的条件和特点	29
4.7.3 烧结料中常见的固相反应及反应产物	31
4.8 烧结过程中液相的生成与冷却结晶	33

4.8.1 液相生成在烧结过程中的作用	33
4.8.2 影响液相生成量的因素	34
4.8.3 烧结过程的主要液相	34
4.8.4 液相冷却结晶	37
4.9 烧结料层中的气流运动	37
4.9.1 透气性的表示方法	37
4.9.2 透气性的变化	38
4.9.3 改善烧结料层透气性的主要措施	39
4.10 烧结矿的矿物组成、结构及其对质量的影响	41
4.10.1 烧结矿的矿物组成	41
4.10.2 烧结矿的结构	41
4.11 烧结矿质量评价及检验方法	42
4.11.1 烧结矿的化学成分及其稳定性	42
4.11.2 烧结矿的物理性能	42
4.11.3 烧结矿的冶金性能	43
4.12 烧结新工艺	45
4.12.1 低温烧结法	45
4.12.2 小球烧结	46
4.12.3 烧结混合料中燃料分加	46
4.12.4 富氧点火	47
4.13 烧结理论配料计算	47
4.13.1 配料的目的	47
4.13.2 配料方法	47
4.13.3 配料计算的基本原则	48
4.13.4 简易理论配料计算	48
复习思考题	51
5 烧结生产工艺、设备及操作技能	52
5.1 烧结生产工艺流程	52
5.2 烧结原料的准备及操作技能	53
5.2.1 原料的接受	53
5.2.2 原料贮存和中和	58
5.2.3 原料的破碎	65
5.2.4 原料的筛分	73
5.3 烧结配料工技能操作	75
5.3.1 现场配料计算方法	75
5.3.2 配料计算	76
5.3.3 配料设备	82
5.3.4 配料操作与配料调整	86
5.4 混料工技能操作	89
5.4.1 原料混合的目的与要求	89

5.4.2 混料制粒设备·····	89
5.4.3 混料操作·····	91
5.5 烧结工技能操作·····	95
5.5.1 布料操作·····	95
5.5.2 点火操作·····	98
5.5.3 烧结作业·····	103
5.6 烧结产品处理技能·····	112
5.6.1 烧结矿的破碎·····	112
5.6.2 烧结矿的筛分·····	114
5.6.3 烧结矿的冷却·····	116
5.6.4 烧结矿的整粒·····	121
5.7 烧结风机工技能操作·····	125
5.7.1 除尘设备·····	125
5.7.2 抽风机·····	128
复习思考题·····	130
6 烧结厂环保常识·····	132
6.1 烧结生产中的废物对环境的影响及环保的意义·····	132
6.2 烧结生产中废物产生点及治理·····	132
6.2.1 烧结生产工艺流程中粉尘产生点及处理简图·····	132
6.2.2 烧结生产过程中排放的主要污染物·····	133
6.2.3 烧结主要污染物的排放标准·····	133
6.2.4 烧结主要污染物的控制措施·····	133
复习思考题·····	134
参考文献·····	135

1 绪 论

随着钢铁工业的发展,天然富矿在产量和质量上都已不能满足高炉冶炼的要求,而大量贫矿经选矿后得到的精矿粉以及天然富矿粉却都不能直接入炉冶炼。为解决这一矛盾,通过人工方法,将这些粉矿制成块状的人造富矿,供高炉使用。这样既开辟和利用了铁矿资源,解决了天然富矿的不足,又通过改善人造富矿的冶金性能,为进一步发展钢铁工业开发了新的优质原料。

目前生产人造富矿的方法,主要有烧结法和球团法。烧结法生产的人造富矿称为烧结矿,球团法生产的人造富矿称为球团矿。两者又统称为熟料。

所谓烧结,即是将各种粉状含铁原料,配入一定数量的燃料和熔剂,均匀混合制粒,然后放到烧结设备上点火烧结。在燃料燃烧产生高温和一系列物理化学反应的作用下,混合料中部分易熔物质发生软化、熔化,产生一定数量的液相,并润湿其他未熔化的矿石颗粒,冷却后,液相将矿粉颗粒粘结成块,这个过程称为烧结,所得的块矿称为烧结矿。

1.1 烧结矿、球团矿在钢铁工业中的地位和作用

现代高炉生产技术经济指标之所以先进,最重要的一条是使用精料,烧结厂就是向高炉提供精料的“厨房”。现代烧结生产已成为钢铁联合企业必不可少的重要一环,其作用可概括为如下几个方面:

(1) 钢铁工业的迅速发展,要求日益扩大对贫矿和多种金属共生复合矿的利用。这些矿石经选矿处理后得到的铁精矿粉,以及富矿在破碎过程中产生的富矿粉,都需要经过造块处理,才能入高炉冶炼。

(2) 通过造块过程,可以改进冶炼原料的物理化学性能,如孔隙率、粒度组成、机械强度,化学成分、还原性、膨胀性,低温还原粉化性、高温还原软化性等,从而强化高炉冶炼过程,提高冶炼效果,是高炉高产、优质、低耗的主要技术措施。

(3) 通过造块过程,可以去除原料中的部分有害元素,如硫、氟、钾、钠、铅、锌、砷等,并可回收利用。

(4) 通过造块过程,可以利用工业生产中的副产品,如高炉炉尘、转炉炉尘、轧钢皮、硫酸渣等,变废为宝,合理利用资源,扩大原料来源,降低生产成本,净化环境。

生产实践证明,高炉使用烧结矿、球团矿之后,生产率提高、焦比下降(见表 1-1)。

表 1-1 各种炉料对高炉冶炼的影响

指 标	天 然 块 矿	天 然 富 矿	普通烧结矿	高温球团矿		
				普 通	熔 剂 性	预 还 原
焦比/kg·t ⁻¹	850	670	615	550	500	300
相对生产率/%	100	127	139	155	170	256

1.2 烧结生产发展简况

烧结生产的历史已有一个多世纪了,它起源于资本主义发展较早的英国、瑞典和德国。大约

在 1870 年,这些国家就开始用烧结锅处理矿山、冶金、化工等厂的废弃物。1892 年美国也出现了烧结锅。世界钢铁工业第一台带式烧结机于 1910 年在美国投入生产。这台烧结机的面积为 8.325 m^2 ,当时处理高炉炉尘,每天生产烧结矿 140 t。它的出现引发了烧结生产的重大革新,从此带式烧结机得到了广泛的应用。

由于历史原因,解放前钢铁工业十分落后,烧结生产更为落后,1926 年 3 月在鞍山建成四台 21.63 m^2 带式烧结机,日产最高 1200 t。1930 年又扩建两台;1935 年和 1937 年又相继建成四台 59 m^2 烧结机,至此共十台烧结机,总面积 330 m^2 ,每年烧结矿产量仅 19 万 t。

解放后,我国烧结工业有了很大发展,改建和扩建了鞍钢烧结厂;同时,本钢、马钢、首钢、武钢、包钢、太钢、重钢、湘钢、攀钢、酒钢、水钢、邯钢、舞钢、宝钢等烧结厂相继建成投产。目前国内拥有 24 m^2 、 36 m^2 、 50 m^2 、 75 m^2 、 90 m^2 、 130 m^2 、 182 m^2 、 265 m^2 、 400 m^2 、 450 m^2 等规格的带式烧结机。

目前,全世界烧结机年生产能力已超过 10 亿 t。我国钢铁工业中人造富矿主要靠烧结法生产,占高炉用含铁炉料的 90% 以上。

在世界造块领域中,自 20 世纪 70 年代以来,由于追求更高的经济效益,烧结科学技术得到进一步深化,主要包括:

(1) 加强烧结理论研究 为更好满足冶炼要求,力求提高烧结矿产品质量而强化了烧结理论研究工作。一方面探明和掌握造块工艺规律,提高单台烧结机产量;另一方面查明新的条件下造块机理,为冶炼提供优良烧结矿,如自熔性烧结矿、低温烧结、料层透气性与质量传递、烧结矿成矿机理等方面的理论研究。

(2) 改进并寻找新烧结工艺 为实践新的烧结理论,已被证实利用的工艺有:改善原料中和(建立机械化和计算机控制的原料场);改善原料准备工艺(添加生石灰或消石灰,焦粉分加,分层布料,强化制粒等);改进烧结技术(厚料层、高负压、高碱度、低能耗,混合料预热,富氧和热风烧结,偏析布料与保温);强化烧结矿产品整粒等。

(3) 强调环境保护和重视综合利用 加强烟尘捕集和回收,重新返回到烧结料中利用,为此,对产生尘源点皆设置新型收尘设备;对热源和噪声采取隔离和防护措施,改善劳动条件等,其中烧结厂余热利用是当前重要课题。

(4) 提高设备自动化和监控水平 产品质量的稳定均一,与生产过程的自控和监控水平有关。国内外已广泛采用了自动配料,对混合料水分、料层透气性与料层厚度、点火温度、烧结终点、烧结矿 FeO 含量都采用了自动监控装置。

1.3 烧结方法分类

根据烧结设备和供风方式不同,烧结方法大致可按图 1-1 方法划分。

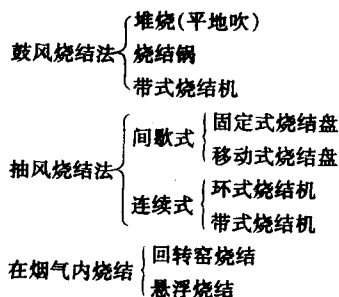


图 1-1 烧结方法分类

目前广泛采用带式抽风烧结机,因为它具有生产率高,原料适应性强,机械化程度高,劳动条件好和便于大型化、自动化等优点,所以世界上有 90% 以上的烧结矿是这种方法生产的。

1.4 烧结厂生产技术经济指标

烧结厂技术经济指标主要包括:烧结机利用系数、作业率、合格率、原料消耗等。

1.4.1 烧结机利用系数

烧结机利用系数是指烧结机每平方米有效抽风面积一小时的产量。它用烧结机台时产量和有效抽风面积的比值来表示:

$$\text{利用系数} = \frac{Q}{F}$$

式中 Q ——烧结机台时产量, $t/(台 \cdot h)$;

F ——烧结机有效抽风面积, m^2 。

烧结机利用系数是衡量烧结机生产效率的指标,它与烧结机有效烧结面积大小无关。

1.4.2 烧结机台时产量

烧结机台时产量是指一台烧结机一小时生产的烧结矿产量:

$$Q = \frac{Q_{\text{总}}}{t_{\text{总}}}$$

式中 Q ——台时产量, $t/(台 \cdot h)$;

$Q_{\text{总}}$ ——一台烧结机的生产总量, t ;

$t_{\text{总}}$ ——总烧结机运行时间, h 。

烧结机台时产量是体现烧结机生产能力大小的指标,它与烧结机有效烧结面积大小有关。

1.4.3 成品率

成品率是指成品烧结矿量占烧结混合料总消耗量的百分数:

$$\text{成品率} = \frac{Q_{\text{成}}}{Q_{\text{混}}} \times 100\%$$

式中 $Q_{\text{成}}$ ——成品烧结矿量, t ;

$Q_{\text{混}}$ ——烧结混合料总消耗量, t 。

1.4.4 烧结机作业率

烧结机作业率是衡量设备工作状态的指标,以设备运转时间占日历时间的百分数计算:

$$\text{作业率} = \frac{\text{实际作业时间}(台 \cdot h)}{\text{日历时间}(台 \cdot h)} \times 100\%$$

日历时间 = 烧结机台数 $\times 24 \times$ 年日历天数, $台 \cdot h$ 。

1.4.5 烧结矿合格率

烧结矿的化学成分和物理性能、冶金性能符合国家标准的是烧结矿的合格品,不符合国家标准的烧结矿为不合格品:

$$\text{合格率} = \frac{\text{合格品}}{\text{总产量}} \times 100\%$$

1.4.6 生产成本

生产成本指生产每吨烧结矿所需的费用,由原料费和加工费组成。原料费主要是含铁原料和熔剂的费用。加工费包括辅助材料费(燃料、动力、算条、胶带油脂等),工人工资与附加工资,车间经费(设备折旧、维修、差旅费等)等项。

1.4.7 工序能耗

工序能耗指在烧结生产过程中生产 1 t 烧结矿所消耗的各种能源(煤、焦、煤气及电、水、蒸汽、压缩空气、氧气等)总和折合成标准煤的数量。

复习思考题

1. 为什么说烧结矿在钢铁工业中占有重要地位?
2. 掌握利用系数、台时产量、成品率、作业率、生产成本、工序能耗的基本含义。
3. 何谓烧结法、烧结矿?
4. 简述烧结法分类。

2 烧结原料

含铁原料、熔剂及燃料是烧结生产的物质基础,原燃料性质如何,对烧结生产过程和烧结矿的品质影响极大。因此,掌握原料特性对烧结生产的正常进行十分重要。

2.1 含铁原料

2.1.1 铁矿石(精矿粉、富矿粉)

造块生产除使用部分天然富矿粉外,不直接使用铁矿石,但铁矿石是选取铁精矿粉的原料,因此,铁矿石的种类、质量对烧结生产十分重要。

自然界中含铁矿物很多,目前已经知道的有 300 多种,但是能作为炼铁原料的只有 20 多种。它们按照含铁矿物的组成不同,可以分为磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿四大类。由于它们的化学成分、结晶构造及生成的地质条件不同,所以各种铁矿石具有不同的外部形态和物理特性。

2.1.1.1 磁铁矿

磁铁矿又称“黑矿”。其化学式为 Fe_3O_4 ,理论含铁量为 72.4%,晶体呈八面体,组织结构比较致密坚硬,一般呈块状,硬度达 5.5~6.5,密度为 $4.9\sim 5.2\text{ t/m}^3$,其外表颜色呈钢灰色或黑色,条痕为黑色,难还原和破碎,具有磁性。

在自然界中,由于氧化作用,可使部分磁铁矿氧化成赤铁矿,成为既含 Fe_2O_3 又含 Fe_3O_4 的矿石,但仍保持原磁铁矿结晶形态。这种现象称为假象化,多称为假象赤铁矿或半假象赤铁矿。

为衡量磁铁矿的氧化程度,通常以全铁(TFe)与氧化亚铁(FeO)的比值即磁性率来区分。比值愈大,则说明该矿石氧化程度愈高,即:

$m(\text{TFe})/m(\text{FeO}) = 2.33$	为纯磁铁矿
$m(\text{TFe})/m(\text{FeO}) < 3.5$	为磁铁矿
$m(\text{TFe})/m(\text{FeO}) = 3.5\sim 7.0$	为半假象赤铁矿
$m(\text{TFe})/m(\text{FeO}) > 7.0$	为假象赤铁矿

磁铁矿中主要脉石有:石英、硅酸盐和碳酸盐,有时还含有少量黏土。此外,矿石中还可能含黄铁矿和磷灰石,甚至还含有黄铜矿和闪锌矿等。

一般开采出来的磁铁矿含铁量为 30%~60%。当含铁量大于 45%,块度大于 5~8 mm 时,可直接供高炉冶炼,称为富矿,粒度小于 5~8 mm 者称为富矿粉,可送烧结造块。当含铁量低于 45%或含有害杂质数量超过规格值时,皆须经过选矿获得精矿去杂后造块。

磁铁矿可烧性良好,因其在高温处理时氧化放热,且 FeO 易与脉石成分形成低熔点化合物,故造块节能和结块强度高。

2.1.1.2 赤铁矿

赤铁矿又称“红矿”，其化学式为 Fe_2O_3 ，理论含铁量为 70%。赤铁矿的组织结构多种多样，由非常致密的结晶体到疏松分散的粉体；矿物结构成分也具多种形态，晶形为片状和板状。外表呈片状具金属光泽，明亮如镜的叫镜铁矿；外表呈云母片状而光泽度不如前者的叫云母状赤铁矿；质地松软，无光泽，含有黏土杂质的为红色土状赤铁矿（又称铁赭石）；以胶体沉积形成鲕状、豆状和肾形集合体赤铁矿。赤铁矿结构一般皆较坚实。

结晶的赤铁矿外表颜色为钢灰色或铁黑色，其他为暗红色，但所有的赤铁矿条痕皆为暗红色。

赤铁矿密度为 $4.8 \sim 5.3 \text{ t/m}^3$ ，硬度视赤铁矿类型而不一样。结晶赤铁矿硬度为 $5.5 \sim 6.0$ ，其他形态的硬度较低。

一般开采出来的赤铁矿含铁量为 40%~60%。当含铁量大于 40%，块度大于 $5 \sim 8 \text{ mm}$ 时，可直接供高炉冶炼，称为富矿；粒度小于 $5 \sim 8 \text{ mm}$ 者称为富矿粉，可送烧结造块。当含铁量低于 40% 或含有害杂质数量超过规格值时，皆须经过选矿获得精矿去杂后造块。

赤铁矿所含 S 和 P 杂质比磁铁矿少。呈结晶状的赤铁矿，其颗粒内孔隙多，而易还原和破碎。但因其软化和熔化温度高，故其可烧性差，燃料消耗比磁铁矿高。

2.1.1.3 褐铁矿

褐铁矿为含结晶水的赤铁矿 ($m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。自然界中的褐铁矿绝大部分以褐铁矿 ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 形态存在，其理论含铁量为 59.8%。

褐铁矿的外表颜色为黄褐色、暗褐色、黑色，呈黄色或褐色条痕，密度为 $3.0 \sim 4.2 \text{ t/m}^3$ ，硬度为 1~4，无磁性。褐铁矿是由其他矿石风化而成，密度小，含水量大，气孔多，且在温度升高时结晶水脱除后又留下新的气孔，故还原性皆比前两种铁矿好。

自然界褐铁矿富矿很少，一般含铁量为 37%~55%，其脉石主要为黏土、石英等，但杂质中 S、P 含量较高。当含铁品位低于 35% 时，需进行选矿处理。

褐铁矿因含结晶水和气孔多，烧结造块时收缩性很大，使产品质量降低，延长高温处理时间，产品强度可相应提高，但会导致燃料消耗增大，加工成本提高。

2.1.1.4 菱铁矿

菱铁矿化学式为 FeCO_3 ，理论含铁量达 48.2%。

常见的菱铁矿致密坚硬，外表颜色呈灰色或黄褐色，风化后转变为深褐色，具有灰色或黄色条痕，有玻璃光泽，密度为 3.8 t/m^3 ，硬度为 3.5~4，无磁性。

菱铁矿在烧结造块时，因收缩量大、导致产品强度降低和设备生产能力低，燃料消耗也因碳酸盐分解而增加。

根据以上铁矿特点，可以看出各种铁矿主要性质和烧结造块时的重要区别。在生产实践中，除上述划分外铁矿类型外，还可根据矿石的碱度 R 划分为：

$$\text{碱性矿石} \quad \left(R = \frac{w(\text{CaO} + \text{MgO})}{w(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)} > 1.3 \right)$$

$$\text{自熔性矿石} \quad (R = 1.0 \sim 1.3)$$

$$\text{酸性矿石} \quad (R < 1.0)$$