



全国中等职业技术学校冶金专业教材

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO YEJIN ZHUANYE JIAOCAI

炼铁工艺

L I A N T I E G O N G Y I



L I A N T I E G O N G Y I
Y E J I N Z H U A N Y E J I A O C A I



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校冶金专业教材

炼 铁 工 艺

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

炼铁工艺/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2009

全国中等职业技术学校冶金专业教材

ISBN 978-7-5045-8023-8

I. 炼… II. 人… III. 高炉炼铁-生产工艺-专业学校-教材 IV. TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 170886 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京印刷集团有限责任公司印刷二厂印刷 三河市华东印刷装订厂装订

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 330千字

2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

定价: 24.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

冶金工业是国民经济发展的重要基础工业。随着我国国民经济的高速发展,我国钢铁产量逐年增加,冶金工业现代化水平也不断提高。冶金企业对技术工人的知识水平和技能水平以及相关的职业教育和职业培训提出了更高、更新的要求。为更好地适应行业发展、满足中等职业技术学校的教学需求,我们根据原劳动和社会保障部培训就业司颁发的《冶金专业教学计划与教学大纲(2008)》,组织全国有关学校的一线教师及行业专家,编写了这套冶金专业教材。

在教材开发工作中,我们力求突出以下几个方面的特色:

第一,根据中等职业技术学校冶金专业学生就业岗位的实际需求,合理安排知识点和技能点,以“够用”“实用”为标准,摒弃“繁难偏旧”的理论知识,同时,注重工作能力的培养,满足企业对技能型人才的需求。

第二,在内容安排上,尽可能多地引入新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容,淘汰陈旧过时的技术,反映行业发展趋势。同时,在教材编写过程中,严格执行国家相关技术标准的要求。

第三,在结构和表达方式方面,强调由浅入深、循序渐进,使用图片、实物照片、表格等多种表现形式,更加生动、直观地讲解相关知识和技能,提高学生的学习兴趣,力求使教材做到易教易学。

本次开发的教材涉及“炼铁”“炼钢”和“轧钢”三个专业方向,包括《冶金概论》《热工常识》《冶金仪表》《炼铁工艺》《炼铁设备》《炼钢原理》《转炉炼钢工艺及设备》《连铸设备及工艺》《轧钢原理》《轧钢机械设备》《型钢生产工艺》《热轧板带钢生产工艺》《冷轧板带钢生产工艺》。

本套教材可供中等职业技术学校冶金专业使用,也可作为职业培训教材。

本套教材的编写工作得到了辽宁、河北、江苏等省人力资源社会保障(劳动保障)厅及有关学校的大力支持,在此,我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2009年6月

内 容 简 介

本教材从炼铁工业发展和生产流程的整体情况展开,介绍了高炉炼铁的原料及燃料、高炉冶炼的基本原理、高炉炼铁的操作工艺等方面的知识,并介绍了相关的环境保护知识。

本教材针对中等职业技术学校学生的认知特点和职业需求,与相关教材相衔接,讲解了其应知、应会的教学内容,教材中还穿插了“知识链接”等小栏目,使学生对一些较为深入的专业知识有所了解。

本教材由王立文主编,王丹、崔引婷、王要欣、王长华参加编写;毕相友审稿。

《炼铁工艺》参考学时

教学内容	学时
第一章 高炉炼铁基本知识	4
第二章 高炉原料及燃料	54
第三章 高炉冶炼基本原理	102
第四章 高炉操作	90
第五章 环境保护	10
总 计	260

目 录

第一章 高炉炼铁基本知识	(1)
第一节 炼铁的发展	(1)
第二节 高炉炼铁简述	(2)
第二章 高炉原料及燃料	(9)
第一节 铁矿石	(9)
第二节 烧结生产	(21)
第三节 球团生产	(44)
第四节 辅助原料	(55)
第五节 高炉燃料	(58)
第三章 高炉冶炼基本原理	(68)
第一节 高炉解剖	(68)
第二节 炉料的蒸发、挥发和分解	(71)
第三节 铁氧化物的还原及生铁的形成	(76)
第四节 高炉炉渣	(92)
第五节 燃料的燃烧及热交换	(99)
第六节 炉料和煤气运动	(113)
第七节 高炉强化冶炼	(130)
第四章 高炉操作	(150)
第一节 高炉炉内操作	(150)
第二节 高炉炉前操作	(172)
第三节 热风炉操作	(192)
第五章 环境保护	(211)
第一节 国家环境保护政策	(211)
第二节 环境监测	(213)
第三节 环境治理	(215)

■ 第一章

高炉炼铁基本知识

第一节 炼铁的发展

一、冶金的概念

冶金学是一门研究如何经济地从矿石或其他原料中提取金属或金属化合物，并用各种加工方法将其制成具有一定性能的金属材料的科学。

提取冶金伴随着化学反应。由于矿物及要提取的金属特点不同，提取方法也不一样，按冶炼条件不同可将其分为以下三种：

提取冶金 { 火法冶金——利用高温从矿石中提取金属或其他化合物
湿法冶金——在常温或稍高于常温下利用熔剂从矿石中提取和分离金属
电冶金——利用电能提取和精炼金属

高炉炼铁属于火法冶金。

冶金工业通常分为黑色冶金工业和有色冶金工业。前者包括铁、生铁、钢及铁合金（如锰铁和硅铁等）的工业生产；后者包括其余各种金属的工业生产。

二、世界钢铁生产的发展状况及我国钢铁生产概况

纵观世界发达国家的工业化过程，在国民经济发展的初期和中期阶段，都把钢铁工业增长的速度置于国民生产总值增长速度之上，把钢铁工业作为带动整个经济发展的战略产业。20 世纪产业革命以后，世界钢产量迅速增长，钢铁企业规模日益扩大，优质钢与合金钢所占比例增大，钢产量成为反映一个国家综合国力的标志。我国的钢产量 2001 年已经超过了 1.52 亿 t，2002 年年产量为 1.82 亿 t，2003 年年产量为 2.2 亿 t，2004 年年产量为 2.6 亿 t。但是，我国的钢铁人均占有量仅为世界人均占有量的 1/3，是发达国家的 1/10，而且质量、品种都不占优势。某些品种需靠进口来满足市场的需求。目前，钢铁生产已由过去的重产量，抓速度，转到重质量，抓品种，节能降耗，提高经济效益的发展轨道上来，我国的钢铁工业正稳步健康地向前发展。

三、我国炼铁工业发展史及成就

我国是世界上掌握冶炼技术最早的国家，比欧洲早 1 900 多年。我国古代的钢铁冶炼技术有过辉煌的成就，并有自己独特的发展道路。早在春秋时代就采用了规模较大的鼓风炉冶炼，并掌握了冶铸技术，逐步由青铜器时代过渡到铁器时代。公元前 513 年赵国铸的“刑鼎”就是我国掌握冶炼液态铁和铸造技术的见证。而欧洲各国直到 14 世纪才炼出液态生铁。

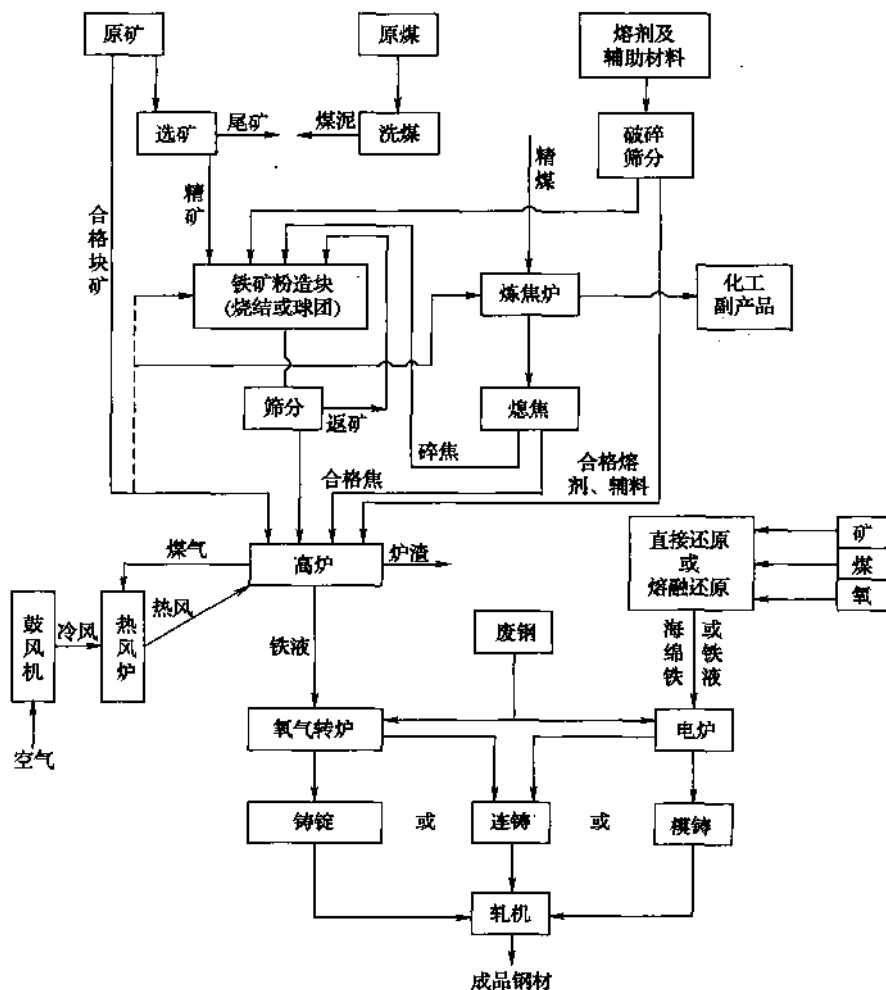
现代炼铁技术在清朝末年传入我国。1891 年，清末洋务派首领张之洞首先在汉阳建了两座日产百吨铁的小高炉。解放前我国铁产量不高，1949 年铁的年产量只有 25 万 t，钢的

新中国成立以后,我国炼铁工业有了高速发展,1978年年产量突破了3 000万t,到1995年,生铁产量为1亿t,居世界第一位。2002年生铁产量为1.71亿t,占世界产量的28.17%。

提取冶金有哪几种分类方法?

一、钢铁联合企业中的炼铁生产

钢铁生产可分为炼铁、炼钢和轧钢三个阶段，在钢铁生产过程中，由矿石到钢材又可分为两个工艺流程，如图 1—1 所示。



一种是高炉→氧气转炉→轧机流程；一种是直接还原或熔融还原→电炉→轧机流程。前者被称为长流程，后者则被称为短流程。目前长流程是主要流程。

各种炼铁法的设备及生产方式差别很大，但其原理是相同的。如图 1—2 所示为高炉炼铁的生产工艺流程。

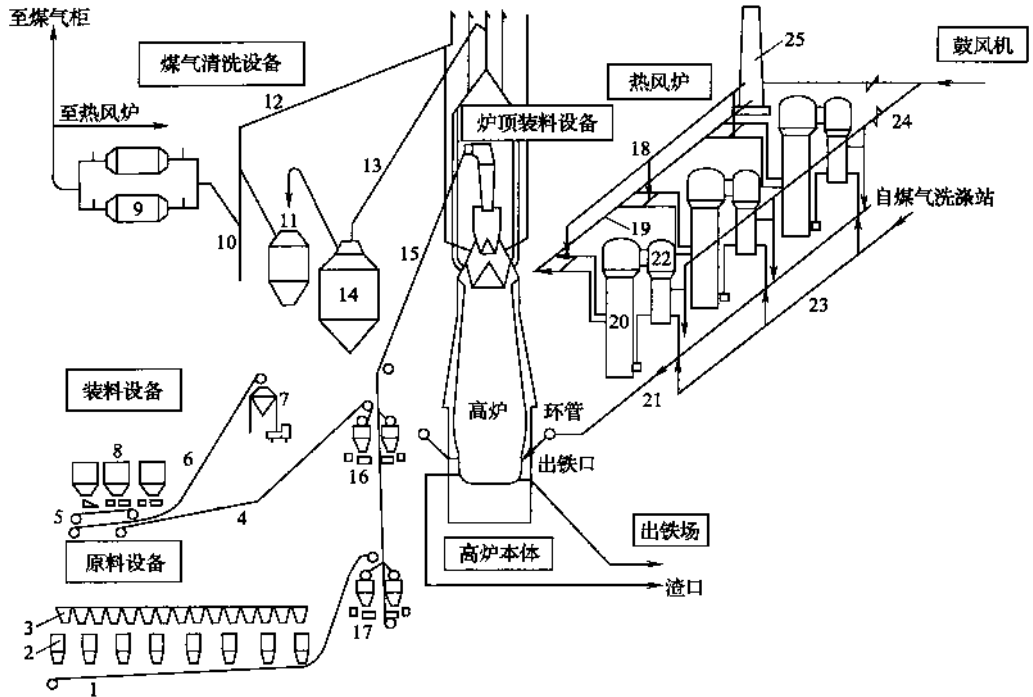


图 1—2 高炉炼铁的生产工艺流程

- 1—矿石输送带 2—称量漏斗 3—储矿槽 4—焦炭输送带 5—给料机 6—粉焦输送带
7—粉焦仓 8—储焦槽 9—电除尘器 10—调节阀 11—文氏管除尘器 12—净煤气放散管
13—下降管 14—重力除尘器 15—上料输送带 16—焦炭称量漏斗 17—矿石称量漏斗
18—冷风管 19—烟道 20—蓄热室 21—热风主管 22—燃烧室 23—煤气主管 24—混风管 25—烟囱

二、高炉炼铁工艺流程

高炉炼铁的本质就是将铁从铁矿石中还原出来，并熔炼成所需要的生铁排出炉外。铁广泛地存在于自然界中，就金属而言，铁在自然界中的储量居第二位，自然界里的铁元素几乎都是以氧化物的形式存在于矿石中的，如磁铁矿（ Fe_3O_4 ）、褐铁矿（ $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ）、赤铁矿（ Fe_2O_3 ）、菱铁矿（ FeCO_3 ）等。还原铁矿石所需要的还原剂和热量由燃料燃烧产生。高炉炼铁的主要燃料是焦炭，为节约焦炭，降低成本，现在普遍采用喷吹煤粉措施。随着天然富矿的减少和采矿、选矿、造块技术的发展，现代高炉几乎都采用人造富矿（烧结矿、球团矿）作为炼铁原料。

在高炉炼铁生产中，高炉是工艺流程的主体，从其上部装入的铁矿石、燃料和熔剂向下运动，下部鼓入空气后燃料燃烧，产生大量的还原性气体向上运动，炉料经过加热、还原、熔化、造渣、渗碳、脱硫等一系列物理和化学过程，最后生成液态炉渣和生铁。高炉是一个竖式圆筒形冶炼炉，由炉基、炉壳、炉衬和冷却设备、支柱或框架组成。用耐火砖或其他耐火材料砌筑成的炉衬内部空间形状称为炉型，一般由上至下分为炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸五部

分，其结构如图 1—3 所示。

高炉的生产流程中除高炉本体外还包括以下七个系统：

1. 上料系统

上料系统的主要任务是把原料、燃料和熔剂按要求的顺序和数量装入炉顶受料漏斗。目前上料设备主要有两种：一是料车式上料机，包括储矿仓、储炭仓、杂矿仓、焦炭筛、矿石筛、称量设备、料坑、斜桥和卷扬机等，一般中、小型高炉都采用这种设备；二是胶带式上料机，用胶带运输机代替了料坑、斜桥和卷扬机，现代化大型高炉都采用这种设备。

2. 装料系统

装料系统的主要任务是按工艺要求将上料系统运来的炉料装入炉内。现代化大型高炉大都采用无钟式装料设备（无料钟炉顶），包括受料斗、上密封阀、料罐、下密封阀、料流调节器、布料溜槽和探尺等；一般中、小型高炉都采用钟式装料设备，包括受料斗，布料器，大、小钟和探尺等。

3. 冷却系统

冷却系统的主要任务是保护炉壳，对耐火材料进行冷却和支撑，维护合理的炉型等。它主要包括冷却板、冷却壁、冷却水箱以及风口和渣口等。

4. 送风系统

送风系统的主要任务是将从鼓风机送出的高压冷风加热并送入高炉。它包括鼓风机、冷风管、热风炉、热风总管和热风围管等。

5. 煤气回收及除尘系统

煤气回收及除尘系统一般包括煤气上升管、煤气下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管和脱水器等。为了节约水资源和保护环境，现在许多高炉都采用了电除尘器或布袋除尘等，其中高压高炉还有高压阀组。本系统的任务是将炉顶引出的含尘量很高的荒煤气净化成符合要求的气体燃料后加以利用。

6. 渣、铁处理系统

渣、铁处理系统包括出铁场、泥炮、开口机、炉前吊车、铁液罐、渣罐、铸铁机、堵渣口机、水渣池及炉前水力冲渣设施等。本系统的任务是定期将炉内的渣、铁出净，以保证高炉连续生产。

7. 喷吹系统

喷吹系统目前以喷煤为主。喷煤系统包括制粉机、收集罐、储存罐、喷吹罐、混合器和喷枪。喷油系统包括卸油泵、储存罐、过滤器、送油泵、稳压罐、调整装置及喷枪。本系统的任务是磨制、收存和计量后把煤粉或重油从风口均匀、稳定地喷入高炉内。

三、高炉生产特点

1. 生产规模大型化

近年来高炉向大型化发展，目前世界上已有数座容积在 $5\,580\text{ m}^3$ 以上的高炉在生产。我国容积最大的首钢京唐公司 $5\,500\text{ m}^3$ 的高炉投入生产，日产生铁万吨以上，日消耗原料近 2 万 t，消耗焦炭等燃料 5 000 t。这样每天有数万吨的原料和燃料运进，并不断输出产品，还需要消耗

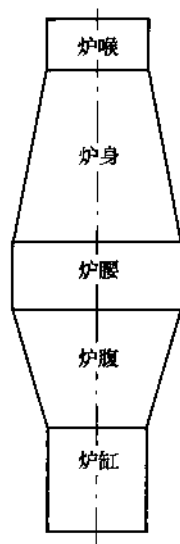


图 1—3 炉型的结构

大量的水、风、电、气，生产规模及吞吐量如此之大，是其他企业所不可比拟的。

2. 是钢铁联合企业中的重要环节

现代化的钢铁联合企业都以生产规模相匹配的生产流程为基本形式，高炉处于中间，起着重要的承上启下的作用。因此，高炉工作者应努力防止各种事故的发生，保证联合生产的顺利进行。

3. 长期连续生产

高炉从开炉投产到停炉，一代炉龄一般有十年左右（中间可进行一次中修）。在此期间是不间断地连续生产的，仅在检修设备或发生事故时才能停止生产（称为休风）。如果某个环节出现问题，都将影响冶炼过程甚至停产，必将给企业带来巨大损失。

4. 机械化、自动化程度高

高炉生产的大规模化及连续性必须有较高的机械化和自动化来保证。为了准确、连续地完成每日上万吨原料及产品的装入和排出，为了改善劳动条件，保证安全生产，提高生产效率，目前，上料系统朝着胶带方向发展，电子计算机、工业电视等均已装备到高炉生产的各个系统中，机械化、自动化程度越来越高。

四、高炉冶炼产品

高炉生产的主要产品是生铁，副产品有炉渣、煤气和炉尘。生铁、钢和熟铁都是铁碳合金，它们的主要区别是含碳量^①不同，含碳量小于0.2%的是熟铁，含碳量为0.2%~1.7%的是钢，含碳量在1.7%以上的是生铁。高炉生铁的含碳量为4%左右。

1. 生铁

生铁分为炼钢生铁和铸造生铁两类，我国约90%以上为炼钢生铁，其余部分为铸造生铁。它们的主要区别是含硅量不同，其产品标准分别见表1—1和表1—2。

表 1—1 炼钢生铁产品标准 (GB 717—1998)

铁种		炼钢用生铁			
铁号	牌号	炼 04	炼 08	炼 10	
	代号	L04	L08	L10	
化 学 成 分 (%)	w_{Si}		≤ 0.45	$> 0.45 \sim 0.85$	$> 0.85 \sim 1.25$
	w_{Mn}	一组	≤ 0.40		
		二组	$> 0.40 \sim 1.00$		
		三组	$> 1.00 \sim 2.00$		
	w_P	特级	≤ 0.10		
		一级	$0.10 \sim 0.15$		
		二级	$0.15 \sim 0.25$		
		三级	$> 0.25 \sim 0.40$		
	w_S	特类	≤ 0.02		
		一类	$0.02 \sim 0.03$		
		二类	$0.03 \sim 0.05$		
		三类	$0.05 \sim 0.07$		
	w_C		≥ 3.5		

① 本书中金属材料中的含碳量以及各种合金元素的含量均为质量分数。

表 1—2

铸造生铁产品标准 (GB 718—82)

铁种		铸造用生铁					
铁号	牌号	铸 34	铸 30	铸 26	铸 22	铸 18	铸 14
	代号	Z34	Z30	Z26	Z22	Z18	Z14
化 学 成 分	w_C	>3.3					
	w_{Si}	$>3.2 \sim 3.6$	$>2.8 \sim 3.2$	$>2.4 \sim 2.8$	$>2.0 \sim 2.4$	$>1.6 \sim 2.0$	$>1.25 \sim 1.6$
	w_{Mn}	一组	≤ 0.50				
		二组	$>0.50 \sim 0.90$				
		三组	$>0.90 \sim 1.30$				
	w_P	一级	≤ 0.06				
		二级	$>0.06 \sim 0.10$				
		三级	$>0.10 \sim 0.20$				
		四级	$>0.20 \sim 0.40$				
		五级	$>0.40 \sim 0.90$				
	w_S	一类	≤ 0.03				≤ 0.04
		二类	≤ 0.04				≤ 0.05
		三类	≤ 0.05				≤ 0.06

2. 炉渣

每吨生铁的产渣量随入炉料含铁品位的高低和焦比以及焦炭含灰分的多少而差异很大。我国大、中型高炉的产渣量一般在每吨铁 300 ~ 600 kg 之间。炉渣的用途很多,液态炉渣用水急冷水淬成水渣后,是良好的制砖和生产水泥的原料;液态炉渣用高压蒸汽或高压压缩空气吹成渣棉后,可用做保温材料。冷凝后的干渣也是制砖和生产水泥的原料,还可以制成其他建筑材料。

3. 高炉煤气

每冶炼 1 t 生铁会产生 1 700 ~ 2 500 m³ 的煤气,其化学成分有 CO₂ (15% ~ 20%), CO (20% ~ 30%), H₂ (1% ~ 3%), N₂ (56% ~ 58%) 以及少量的 CH₄,经除尘后成为很好的低热值气体燃料,发热值一般为 2 900 ~ 3 800 kJ/m³。高炉煤气是无色、无味的透明气体,由于 CO 的含量较高,会使人中毒致死。当煤气与空气混合,煤气含量达到 46% ~ 62%,温度达到着火点 (650℃) 或遇明火时,就会发生爆炸。因此,在煤气区域工作时要特别注意防火、防爆和防煤气中毒。

4. 炉尘 (瓦斯灰)

炉尘是随高速上升的煤气带离高炉的细颗粒炉料,在除尘系统与煤气分离。炉尘中含铁量为 30% ~ 45%,含碳量为 8% ~ 20%,每冶炼 1 t 生铁将产生 100 ~ 150 kg 的炉尘。炉尘回收后可作为烧结原料,也可用于制作水泥。

五、高炉炼铁主要技术经济指标

对高炉生产的技术水平和经济效益的总体要求是高产、优质、低耗、长寿、安全和环保。高炉炼铁主要技术经济指标见表1—3。

表 1—3 高炉炼铁主要技术经济指标

名称		符号	含义	公式
高炉有效容积利用系数		$\eta_{有}$	每立方米高炉有效容积一昼夜生产炼钢生铁的吨数	$\eta_{有} = PA/V_u \text{ (t/m}^3 \cdot \text{d)}$ P ——高炉每昼夜生产某品种的铁量, t; V_u ——有效容积, m^3 ; A ——该品种折合为炼钢生铁的折算系数
焦比	焦比	K	冶炼 1 t 生铁所需要的干焦量	$K = Q_k/P \text{ (kg/t)}$ Q_k ——昼夜消耗的焦炭量
	煤比	M	冶炼 1 t 生铁所喷吹的煤粉量	$M = Q_m/P \text{ (kg/t)}$ Q_m ——昼夜消耗的煤粉量
	油比	Y	冶炼 1 t 生铁所喷吹的重油量	$Y = Q_y/P \text{ (kg/t)}$ Q_y ——昼夜消耗的重油量
	综合焦比	$K_{综}$	将冶炼 1 t 生铁所喷吹的煤粉或重油量乘以置换比后折算成干焦炭量, 再与冶炼 1 t 生铁所消耗的干焦炭量相加就是综合焦比	
冶炼强度	焦炭冶炼强度	$I_{焦}$	每昼夜、每立方米高炉有效容积消耗的焦炭量	$I_{焦} = Q_k/V_u \text{ (kg/m}^3 \cdot \text{d)}$ Q_k ——一昼夜装入高炉的干焦炭量
	综合冶炼强度	$I_{综}$	一昼夜喷吹的燃料量与焦炭量相加后与有效容积之比	$I_{综} = (Q_k + Q)/V_u \text{ (kg/m}^3 \cdot \text{d)}$
休风率			高炉休风停产时间占日历作业时间的百分数	
生铁合格率			生产的合格铁量占高炉总产铁量的百分数	

冶炼强度表示高炉作业强化的程度, 它取决于高炉所能接受的风量。风量越大, 燃烧的焦炭越多, 则冶炼强度越高。此时若焦比不变或增加不多, 则高炉有效容积利用系数越高, 即三者的关系如下:

$$\eta_{有} = I/K$$

六、炼铁技术的发展

炼铁技术近年来发展很快, 主要进展有以下几个方面:

1. 高炉容积向大型化发展, 世界上不断有 $4\,000\text{ m}^3$ 以上的高炉投入生产, 由于生铁产量增加, 焦比降低, 生产效率高, 成本低, 易于实现机械化和自动化, 大型化成为必然趋势。

2. 进一步改善原料条件, 普遍使用精料, 即要求原料品位高, 熟料粒度小, 含粉率低, 成分波动小, 粒度均匀, 尤其是在改善人造富矿质量, 提高高温冶金性能, 加强整粒, 改善炉料结构, 提高焦炭质量等方面投入了大量的精力, 这是改善高炉生产最基础的条件。

3. 采用大喷吹量, 以其他燃料代替焦炭, 同时富氧及应用高风温, 进一步促进大喷吹, 达到降低生铁成本的目的。

4. 采用高压操作, 应用轴流风机提高风压来强化冶炼, 还可利用煤气进行余压发电。

5. 普遍使用电子计算机进行过程控制, 强化对高炉冶炼理论的研究。

6. 作为研究的课题, 探索 21 世纪将普遍使用的冶炼新技术, 如熔融冶炼技术等已取得很大进展, 还将实现原子能炼铁、炼钢的设想。

■ 思考题

1. 高炉冶炼的产品有哪些?

2. 高炉冶炼有哪几大系统? 各系统的任务是什么?

3. 某高炉容积为 $1\,500\text{ m}^3$, 日产铁 $3\,300\text{ t}$, 耗干焦炭 $1\,420\text{ t}$, 问该高炉的有效容积利用系数和焦比是多少?

4. 什么叫焦比、高炉有效容积利用系数和冶炼强度?

■ 第二章

高炉原料及燃料

第一节 铁 矿 石

一、铁矿石分类及其特性

1. 矿物、矿石和岩石

地壳中经过长期的物理、化学和生物作用自然形成的自然元素或自然化合物称为矿物，各种矿物都具有一定的物理性质和化学性质。除少数矿物为自然元素外（如金 Au 和铜 Cu 等），绝大多数都是自然化合物（如磁铁矿 Fe_3O_4 和黄铁矿 FeS_2 等）。

岩石是单一或多种矿物的集合体。矿石是在目前的技术条件下能经济合理地提取其中有矿物的岩石。例如，铁在地壳中约有 5% 的含量，并广泛地、不同程度地分布在岩石和土壤中，但并不是所有含铁岩石都是铁矿石，因为从目前来看，从一些含铁量很低的岩石中提取金属铁在经济上是不合算的。随着科学技术的发展，也有许多矿石过去被人们认为是不能冶炼的，而今天已成为炼铁的重要原料，如钒钛磁铁矿。因此矿石的概念是相对的。

矿石一般由几种矿物组成，通常分为有用矿物和脉石矿物两类。有用矿物就是能够被人们利用的矿物，而脉石矿物是在目前技术经济条件下还不能利用的矿物，并且它总是与有用矿物伴生的。如磁铁矿中 Fe_3O_4 为有用矿物，而 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CaO 和 MgO 等为脉石矿物。

有用矿物和矿石的种类是随着工业和科学技术的发展以及综合利用而不断扩大的。矿石按所含有用成分不同可分为简单矿石和复合矿石两种。简单矿石是指从中提取一种有用成分的矿石，如从磁铁矿中只提取铁。复合矿石是指从中同时提取数种有用成分的矿石，如从钒钛磁铁矿中可提取钒、钛和铁。

2. 铁矿石的分类及其特征

铁矿石是以含铁矿物为主的矿石。铁矿石按其矿物组成不同分为磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿和菱铁矿四大类。由于它们的化学成分、结晶构造以及生成的地质条件不同，因此各种铁矿石都具有不同的外部形态和物理特性。

（1）磁铁矿

主要含铁矿物是磁铁矿，其化学式为 Fe_3O_4 ，理论含铁量为 72.4%。

磁铁矿具有强磁性，颜色和条痕均为铁黑色，呈半金属光泽，密度为 $4.9 \sim 5.2 \text{ g/cm}^3$ ，硬度为 $5.5 \sim 6$ ^①，无解理，脉石主要是石英及硅酸盐；还原性差，一般含有较高的有害杂质

^① 将金刚石硬度指定为 10，则其余矿石的硬度相对来说是 5~6，无单位。

硫和磷。

(2) 赤铁矿

赤铁矿俗称“红矿”，它是无水氧化铁矿石，其化学式为 Fe_2O_3 ，理论含铁量为 70%。

赤铁矿具有半金属光泽，结晶赤铁矿硬度为 5~6，土状赤铁矿硬度很低，无解理，密度为 $4.9 \sim 5.3 \text{ g/cm}^3$ ，仅有弱磁性，脉石多为硅酸盐。

(3) 褐铁矿

褐铁矿是含水氧化铁矿石，是由其他矿石风化后生成的，在自然界中分布很广泛。其化学式为 $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ($n=1 \sim 3$, $m=1 \sim 4$)，大部分以 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的形式存在。

褐铁矿一般实际含铁量为 37%~55%，有时含磷量较高。

褐铁矿的颜色为浅褐色到深褐色或黑色，条痕为褐色，硬度为 1~4，密度为 $3.3 \sim 4 \text{ g/cm}^3$ ，脉石常为沙质黏土。

(4) 菱铁矿

菱铁矿为碳酸盐铁矿石，化学式为 FeCO_3 ，理论含铁量为 48.2%。

菱铁矿的颜色有灰色、浅黄色及褐色，风化后变为深褐色，具有玻璃光泽，硬度为 3.5~4，菱面体解理，密度为 3.8 g/cm^3 ，含硫量低，含磷量较高，脉石含碱性氧化物。

铁矿石的分类及其特征见表 2—1。

表 2—1 铁矿石的分类及其特征

矿石名称	化学式	理论含铁量 (%)	矿石密度 (g/cm^3)	颜色	冶金性能		
					实际含铁量 (%)	有害杂质	强度及还原性
磁铁矿	Fe_3O_4	72.4	5.2	黑色	45~70	含硫、磷量高	坚硬、致密，难还原
赤铁矿	Fe_2O_3	70.0	4.9~5.3	红色	55~60	含硫、磷量低	软，较易破碎，易还原
褐铁矿	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	66.1	4.0~5.0	黄褐色、暗褐色至绒黑色	37~55	含硫量低，含磷量高低不等	疏松，易还原
	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62.9	4.0~4.5				
	$3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	60.9	3.0~4.4				
	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60.0	3.0~4.2				
	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	57.2	3.0~4.0				
	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	55.2	2.5~4.0				
菱铁矿	FeCO_3	48.2	3.8	灰色带黄褐色	30~40	含硫量低，含磷量较高	易破碎，焙烧后易还原

二、我国铁矿资源概况及其特点

1982 年底，我国已探明铁矿保有储量为 443 亿 t，其中工业储量为 238 亿 t。近年来年产铁矿石在 8 500 万 t 以上。自 1980 年后我国钢铁工业发展很快，矿石开采赶不上钢铁工业发展的速度，铁矿石不能自给自足，目前年进口铁矿石量超过 3 亿 t。

目前我国已探明的铁矿资源有三个特点：一是分布分散，储量不多；二是贫矿多，占铁矿石总储量的80%以上，因此必须大力发展选矿和造块产业；三是多元素共生的复合矿石较多，必须加强矿石综合利用的研究试验工作，合理利用我国的资源。

三、高炉冶炼对铁矿石的要求

衡量铁矿石质量优劣的主要标准是化学成分、物理性能及其冶金性能。优质铁矿石必须具备以下条件：含铁量高，脉石少，有害杂质少，化学成分稳定，粒度均匀，并有良好的还原性及一定的强度等性能。

1. 矿石品位

矿石品位即指矿石含铁量。矿石含铁量是衡量铁矿石质量的主要指标。工业上使用的铁矿石含铁量范围在23%~70%之间，铁矿石含铁量高有利于降低焦比及提高产量。一般把实际含铁量占理论含铁量70%以上的称为富矿，低于此值称为贫矿。

例如，有四种不同品位的铁矿石，其含铁量分别为65%，55%，45%和35%。假定矿石中的铁全部以 Fe_2O_3 形态存在，脉石主要为酸性，生铁中铁有92%是从矿石带入的，炼铁时炉渣碱度 $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)^{\text{①}} = 1.05$ ，石灰石有效熔剂性是50%。用上述四种不同品位的矿石分别炼出1 t生铁，所需要的矿石量、矿石带入的脉石量及相应的熔剂消耗量的计算结果见表2—2。

表 2—2 炼 1 t 生铁时矿石量、矿石带入的脉石量及相应的熔剂消耗量

矿石	矿石含铁量 (%)	矿石消耗量 (kg)	矿石带入的脉石量 (kg)	熔剂消耗量 (kg)	脉石、熔剂相对增长 (倍)
1	65	1 415	101	212	1
2	55	1 672	358	751	3.5
3	45	2 044	730	1 532	7.2
4	35	2 629	1 315	2 761	13.0

注：表中各项计算方法：

矿石消耗量 = 1 t 生铁中需由矿石提供的铁量 / 矿石含铁量

脉石量 = 矿石量 - 矿石中 Fe_2O_3 的含量

熔剂量 = 炼 1 t 生铁的矿石带入的脉石量 $\times$ 炉渣碱度 / 石灰石有效熔剂性

从表中可以看出四种铁矿石含铁量依次相差只有10%，而在高炉炼铁时随着铁矿石含铁量的降低，矿石带入的脉石量和相应的熔剂消耗量相对依次增长1，3.5，7.2和13.0倍，远比矿石含铁量降低的幅度大得多。

2. 脉石的化学成分

铁矿石的脉石成分大多数为酸性， SiO_2 含量较高。铁矿石中 SiO_2 含量越高，需要加入的石灰石越多，生成的渣量越多，导致焦比升高和产量下降，所以要求铁矿石中 SiO_2 含量越低越好。

例如，表2—3列举了甲、乙两种矿石化学成分的比较，甲矿石含铁量低于乙矿石，甲

① 碱度是指碱性氧化物与酸性氧化物的质量百分比，为与本专业其余书籍统一，全书均采用这一表示方法。