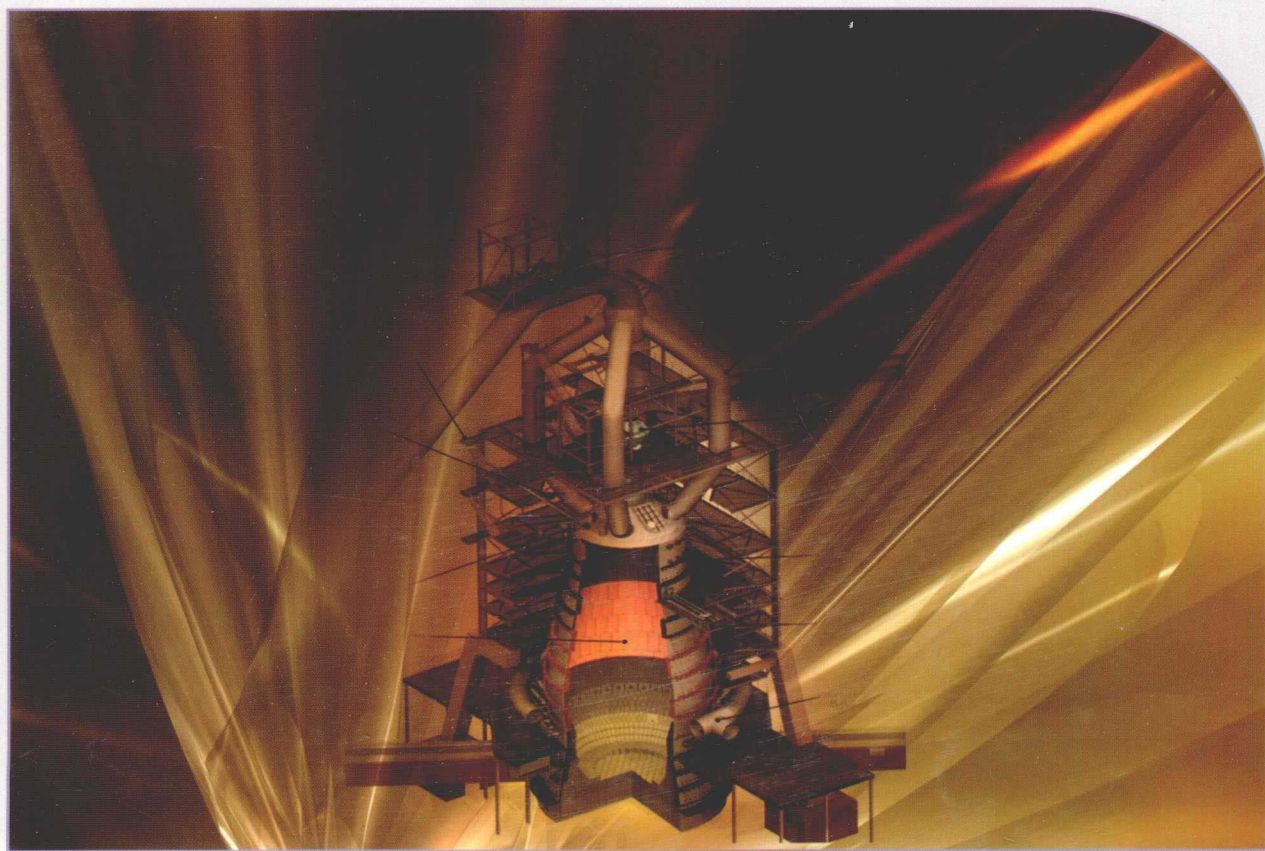




高炉炼铁生产

GAOLU LIANTIE SHENGCHAN

主 编 马 琼
主 审 侯向东



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高炉炼铁生产

主编 马 琼
主审 侯向东

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书依据高炉炼铁工作过程对知识和能力的需求来选择和组织内容,重点介绍了炼铁原材料准备及装料、高炉正常操作、异常炉况处理、高炉特殊操作等高炉炼铁过程,突出强调工作任务和岗位能力与知识的联系。全书围绕高炉炼铁所需的知识和技能,将相关内容分为四个情境以及若干个相对独立的学习任务,充分体现了工作过程的完整性。每个任务主要由任务概述、相关知识、任务实施等部分组成。

本书可作为高等学校冶金技术专业、金属压力加工、矿物加工等专业的教学用书,也可作为钢铁冶金企业工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁生产/马琼主编. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9681 - 6

I. ①高… II. ①马… III. ①高炉炼铁 - 高等学校 - 教材 IV. ①TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 202734 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 345 千字

版 次 / 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

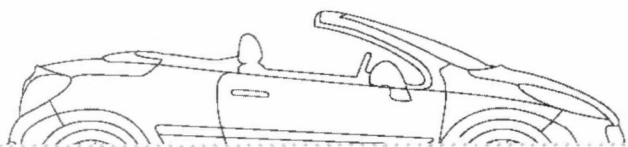
责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

本书是根据课程体系改革的要求，通过大量的企业岗位调研、典型工作任务分析，依据钢铁冶金行业职业标准要求，总结编者多年教改、教学经验，结合现代钢铁冶金企业生产工艺和技术特点，积极与行业、企业专业技术人员及炉前操作人员合作而编写的。全书围绕高炉冶炼过程的典型工作任务展开，主要内容包括炼铁原材料准备及装料、高炉正常操作、异常炉况处理、高炉特殊操作等部分。

课程地位：专业核心课程。

主要特点：以工作过程为导向，以能力培养为本位。省去大量复杂的计算、推导等理论篇幅，以任务驱动的形式展现工作过程，内容简洁易懂。

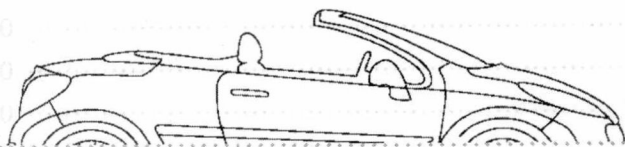
教学方法及建议：本书适合采用学训一体方法教学，也可采用多媒体教学等形式。

本书由马琼担任主编，侯向东担任主审。参加编写的有侯伟、杨健壮、孟建荣、徐海芳、宋雅丽、杨生州、尹文艳、张珺、李斌。

编者在编写本书过程中参阅了大量相关文献资料，进行了多次企业调研，在此向有关人员和单位表示衷心感谢。

由于编者水平和经验所限，存在不足之处在所难免，恳请各位读者批评指正。

编 者



目 录

C O N T E N T S

绪论 高炉炼铁背景	001
1 高炉冶炼技术发展概况	001
2 高炉炼铁生产工艺流程	002
3 高炉冶炼产品	003
4 高炉生产主要技术经济指标	005
情境一 炼铁原材料准备及装料	008
任务 1.1 准备原料	008
1.1.1 任务概述	008
1.1.2 相关知识	008
1.1.2.1 认识炼铁原料及其性质	008
1.1.2.2 高炉用燃料	012
1.1.2.3 熔剂	015
1.1.2.4 铁矿粉造块	016
1.1.3 任务实施	020
1.1.4 拓展知识	022
1.1.4.1 原料的预处理	022
1.1.4.2 物料平衡及热平衡计算	024
任务 1.2 装料操作	033
1.2.1 任务概述	033
1.2.2 相关知识	034
1.2.2.1 高炉布料相关知识	034
1.2.2.2 煤气的形成及其在高炉内的运动	037
1.2.2.3 炉顶设备结构认知	041
1.2.2.4 装料制度	046
1.2.3 任务实施	054
1.2.4 拓展知识	056

情境二 高炉正常操作	060
任务 2.1 炉前操作	060
2.1.1 任务概述	060
2.1.2 相关知识	060
2.1.2.1 还原过程与生铁形成	060
2.1.2.2 高炉炉渣与脱硫	066
2.1.2.3 炉前工作平台	068
2.1.2.4 炉前操作的指标与出铁口的维护	080
2.1.3 任务实施	085
2.1.4 拓展知识	089
2.1.4.1 炉渣水淬处理工艺及设备	089
2.1.4.2 撇渣器各类事故的预防与处理	092
任务 2.2 高炉强化冶炼操作	094
2.2.1 任务概述	094
2.2.2 相关知识	094
2.2.2.1 高炉强化途径	094
2.2.2.2 精料	095
2.2.2.3 高压操作	098
2.2.2.4 高风温操作	100
2.2.2.5 高炉富氧鼓风操作	104
2.2.2.6 鼓风湿度调节与低硅生铁的冶炼	107
2.2.2.7 喷吹燃料	109
2.2.3 任务实施	115
2.2.4 拓展知识	121
2.2.4.1 高炉鼓风机	121
2.2.4.2 热风炉类型与结构	121
2.2.4.3 热风炉的操作制度	124
情境三 异常炉况处理	132
任务 3.1 炉前操作事故处理	132
3.1.1 任务概述	132
3.1.2 相关知识	132
3.1.2.1 风口区域事故原因及预防	132
3.1.2.2 浅铁口原因及预防	134
3.1.3 任务实施	136
任务 3.2 炉内操作事故处理	137
3.2.1 任务概述	137

3.2.2 相关知识	137
3.2.2.1 高炉炉况的判断方法	137
3.2.2.2 低料线、偏料及悬料、崩料事故原因及处理原则	143
3.2.2.3 煤气流分布失常及炉温失常的原因及处理原则	144
3.2.2.4 炉缸大凉与冻结的原因与处理原则	147
3.2.2.5 炉墙结厚与结瘤的原因与处理原则	147
3.2.3 任务实施	149
任务 3.3 突发事故处理	152
3.3.1 任务概述	152
3.3.2 相关知识	153
3.3.3 任务实施	154
情境四 高炉特殊操作	156
任务 4.1 高炉开炉操作	156
4.1.1 任务概述	156
4.1.2 相关知识	156
4.1.2.1 设备验收及试车	156
4.1.2.2 烘炉	157
4.1.2.3 开炉料的准备	159
4.1.3 任务实施	164
4.1.3.1 开炉操作	164
4.1.3.2 某 1 080 m ³ 高炉开炉实践	165
4.1.3.3 某 2 500 m ³ 高炉开炉实践	167
任务 4.2 休风与复风操作	173
4.2.1 任务概述	173
4.2.2 相关知识	174
4.2.3 任务实施	177
任务 4.3 高炉停炉操作	186
4.3.1 任务概述	186
4.3.2 相关知识	187
4.3.2.1 大修停炉	187
4.3.2.2 中修停炉	190
4.3.3 任务实施	190
附录 炼铁厂高炉安全技术操作规程	194
参考文献	229

绪论

高炉炼铁背景

铁的大量出现是在公元前 8 世纪。在霍萨巴德的王宫贡物中就发现了 160 吨铁，其中多是铁棒。公元前 800 年，欧洲进入早期铁器时期。炼铁知识传到不列颠，大约是在公元前 500 年；约公元前 400 年，由伊朗东传到印度，也可能传到了中国，欧洲早期铁器时代带触角木剑柄的剑与中国商周青铜剑之间就有很大的相似性。

1 高炉冶炼技术发展概况

最原始的炼铁炉是碗式炉。它只不过是在地上或岩石上挖出一个坑，风可以从鼓风机通过风嘴直接鼓入，碎矿石和木炭混装或分层装在烧红的炭火上，最高温度至少应达 $1\ 150^{\circ}\text{C}$ 。这种炼炉没有出渣口，炉渣向下流到底部结成渣饼或渣底，有时则结成圆球，即渣球或渣粒。坏铁留在渣上面，在冶炼过程结束后，打开黏土上部结构，取出坏铁，清理炼炉。这种无出渣口的碗式炉即竖炉，是欧洲早期铁器时代的代表。后在罗马时代由带出渣口的改进型碗式炉代替，有卧式和立式两种。

炼铁工业的大规模发展仰仗于宗教机构的势力。如 1408 年，不列颠的达勒姆主教建立了第一座有文件为证的、利用水力鼓风器的熟铁吹炼炉。它的出渣口在炼炉之侧。此外，由于采用水力鼓风机，就有可能进行连续作业，从而可用高炉炼铁，高炉的特点是铁水和炉渣从炉口底部排出。

16 世纪的高炉在两侧各开一个口，一个是风口，另一个为出铁口。高炉每六天（一个冶炼期）只能出 4~5 吨铸铁。由于受到容积的限制，遂发展成早期的双炉。1549 年，双炉能生产出 2 200 千克的铁炉铸件。

高炉炼铁技术已有数百年历史，2008 年世界生铁产量 9.267 亿吨，高炉炼铁占总产量的 90% 以上。2008 年我国生铁产量达 4.7067 亿吨，约占世界生铁总产量的 50.8%。高炉生产线是钢铁厂的“龙头”，通常由选料、制粉、烧结/球团、焦化、配料、鼓风机、热风炉、喷吹、高炉、除尘、煤气站、渣铁运输等庞大的系统组成。铁矿石经高炉冶炼成生铁，再用铁水罐转运到炼钢车间，用转炉等设备精炼成钢水，并铸成板坯钢锭，供后续生产流程轧制成钢材。因此高炉一旦出现问题，整个钢厂都有可能瘫痪，其重要性可见一斑。

近年来,世界炼铁生产技术处于快速发展阶段,生铁产量高速增长,国内外炼铁装备在向大型化、自动化、高效化、长寿化、节能降耗、高效率方向发展。同时,一些炼铁企业已开始向环保治理方向投入,向清洁炼铁方向发展。

目前,世界高炉大型化、现代化的趋势和水平可以概括为:高炉容积 $4\,000\sim6\,000\text{ m}^3$,日产生铁能力 $1.0\text{万}\sim1.3\text{万吨}$,年产规模 $400\text{万}\sim500\text{万吨}$,焦比由过去 $700\sim800\text{ kg/t}$ 降低到 $240\sim300\text{ kg/t}$,煤比 $150\sim200\text{ kg/t}$,有的已突破 250 kg/t ,富氧 $25\%\sim40\%$,风温 $1\,300^{\circ}\text{C}\sim1\,400^{\circ}\text{C}$,高压 $250\sim300\text{ kPa}$,渣量由过去的 $700\sim1\,000\text{ kg/t}$ 降低到 $150\sim300\text{ kg/t}$,熟料率 $80\%\sim100\%$,利用系数 $2.3\sim3.0\text{ t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,生铁含硅量小于 0.5% ,含硫量小于 0.33% 。我国目前最大的高炉是沙钢 $5\,860\text{ m}^3$ 高炉,这座世界第一高炉于2009年10月21日凌晨1点36分投产后,每天可生产 1.3万多吨 铁水,足够装满 90只 150吨 铁水罐,成为目前世界上容积最大、技术最先进的“世界第一高炉”。该炉年产量高达 500万吨 ,年产值超过 120亿元 ,主要为沙钢集团新投产的 300万吨 热轧和 200万吨 宽厚板生产线提供铁水。



2 高炉炼铁生产工艺流程

高炉炼铁生产是用还原剂在高温下将含铁原料还原成液态生铁的过程。高炉操作者的任务就是在现有条件下,科学地利用一切操作手段使炉内煤气分布合理,炉料运动均匀顺畅,炉缸热量充沛,渣铁流动性良好,能量利用充分,从而实现高炉稳定顺行、高产低耗、长寿环保的目标。

生铁的冶炼是借助高炉本体及其辅助系统来完成的。高炉是冶炼生铁的主体设备,它是一个由耐火材料砌筑的直立式圆筒形炉体,其工作空间自上而下由炉喉、炉身、炉腰、炉腹、炉缸五部分组成,下部是炉底与炉基,最外层是钢板制成的炉壳,在炉壳和耐火材料之间有冷却设备。附属系统主要有供料系统、送风系统、喷煤系统、渣铁处理系统与煤气除尘系统,其生产工艺流程如图0-1所示。

(1) 供料系统:包括贮矿槽、贮焦槽,称量、筛分与运输等一系列设备,其任务是将高炉冶炼所需的铁矿石、焦炭、熔剂与辅助炉料连续不断地装入高炉。

(2) 送风系统:包括鼓风机、热风炉及一系列管道和阀门等,其任务是连续可靠地供给高炉冶炼所需的热风。

(3) 喷煤系统:包括原煤的储存、运输,煤粉的制备、收集及喷吹等设施,其任务是均匀稳定地向高炉喷吹大量煤粉,以煤代焦,降低焦炭消耗。

(4) 渣铁处理系统:包括出铁场、开铁口机、泥炮、炉前吊车、铁水罐车及水冲渣设备等,其任务是及时处理高炉排放的渣、铁,保证高炉生产正常进行。

(5) 煤气除尘系统:包括煤气管道、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等,其任务是将高炉冶炼所产生的煤气,经过一系列的净化处理使其含尘量降至 $10\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下,以满足用户对煤气质量的要求。

高炉炼铁过程是连续不断进行的,高炉上部不断装入炉料和有煤气被导出,下部不断鼓入空气(有时富氧)和定期排放渣铁。入炉料主要有含铁物料、焦炭和熔剂等。

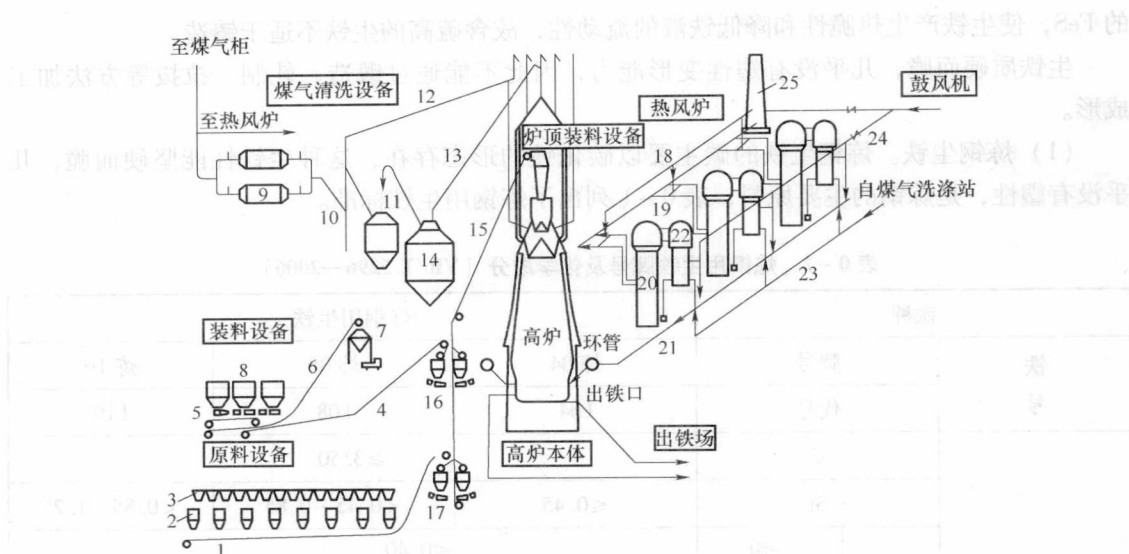


图 0-1 高炉炼铁生产工艺流程

- 1—矿石输送皮带机；2—称量漏斗；3—贮矿槽；4—焦炭输送皮带机；5—给料机；6—粉焦输送带；7—粉焦仓；
8—贮焦槽；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—上料皮带机；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



3 高炉冶炼产品

高炉冶炼主产品是生铁，副产品有炉渣和煤气及煤气带出的炉尘。

1) 生铁

生铁也可分为普通生铁和合金生铁，前者包括炼钢生铁和铸造生铁，后者主要是锰铁和硅铁。普通生铁占高炉冶炼产品的 98% 以上。生铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金，工业生铁含碳量一般为 2.50%~6.67%，并含有硅、锰、硫、磷等元素。这些元素对生铁的性能均有一定的影响。

碳 (C)：生铁中碳以两种形态存在，一种是石墨碳（游离碳），主要存在于铸造生铁中，石墨很软，强度低，它的存在能增加生铁的铸造性能。另一种是化合碳（碳化铁），主要存在于炼钢生铁中。碳化铁硬而脆，塑性低，当其含量适当时可提高生铁的强度和硬度，而含量过多，则使生铁难于切削加工。

硅 (Si)：能促使生铁中所含的碳分离为石墨状，能去氧，还能减少铸件的气眼，降低铸件的收缩量，但含硅过多也会使生铁变硬变脆。

锰 (Mn)：能溶于铁素体和渗碳体。在高炉炼制生铁时，含锰量适当，可提高生铁的铸造性能和切削性能。

磷 (P)：属于有害元素，它的存在将使铁的硬脆性增加，使钢材产生冷脆性，优良的生铁含磷量应低于 0.025%。但由于磷降低了生铁熔点，可改善铁水的流动性，这是有的制品内往往含磷量较高的主要原因。

硫 (S)：在生铁中是有害元素，它促使铁与碳结合，使铁硬脆，并与铁化合成低熔点

的 FeS，使生铁产生热脆性和降低铁液的流动性，故含硫高的生铁不适于铸造。
生铁质硬而脆，几乎没有塑性变形能力，因此不能通过锻造、轧制、拉拔等方法加工成形。

(1) 炼钢生铁。炼钢生铁的碳主要以碳化铁的形态存在，这种生铁性能坚硬而脆，几乎没有塑性，是炼钢的主要原料，表 0-1 列出了炼钢用生铁标准。

表 0-1 炼钢用生铁牌号及化学成分 (YB/T 5296—2006)

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 (质量分数) /%	C		≥3.50		
	Si		≤0.45	<0.45 ~ 0.85	<0.85 ~ 1.25
	Mn	一组	≤0.40		
		二组	>0.40 ~ 1.00		
		三组	>1.00 ~ 2.00		
	P	特级	≤0.100		
		一级	>0.100 ~ 0.150		
		二级	>0.150 ~ 0.250		
		三级	>0.250 ~ 0.400		
	S	特类	≤0.020		

注：各牌号生铁的含碳量均不作报废的依据

(2) 铸造生铁。铸造生铁中的碳以片状的石墨形态存在，它的断口为灰色，通常又叫灰口铁。由于石墨质软，具有润滑作用，因而铸造的生铁具有良好的切削、耐磨和铸造性能。但它的抗拉强度不够，故不能锻轧，只能用于制造各种铸件，如铸造各种机床床座、铁管等。表 0-2 是铸造用生铁标准。

表 0-2 铸造用生铁牌号及化学成分 (GB/T 718—2005)

牌号		Z14	Z18	Z22	Z26	Z30	Z34
化学成分 (质量分数) /%	C	>3.30					
	Si	≥1.25 ~1.6	>1.6 ~2.0	>2.0 ~2.4	>2.4 ~2.8	>2.8 ~3.2	>3.2 ~3.6
	Mn	≤0.50					
		>0.50 ~ 0.90					
		>0.90 ~ 1.30					

续表

	牌号	Z14	Z18	Z22	Z26	Z30	Z34
化学成分 (质量分数) /%	P	1 级	≤ 0.060				
		2 级	$> 0.060 \sim 0.100$				
		3 级	$> 0.100 \sim 0.200$				
		4 级	$> 0.200 \sim 0.400$				
		5 级	$> 0.400 \sim 0.900$				
	S	1 类	≤ 0.030				
		2 类	≤ 0.040				
		3 类	≤ 0.050				

(3) 铁合金。高炉可生产品位较低的硅铁、锰铁等合金。合金生铁主要用于炼钢脱氧和合金化及其他特殊用途。

2) 高炉炉渣和高炉煤气

(1) 高炉炉渣。高炉炉渣是高炉炼铁的副产品之一，它的主要成分为 CaO 、 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 等，吨铁的渣量为 $250 \sim 500 \text{ kg}$ 。一般将其冲制成水渣，作水泥原料，还可制成渣棉作隔音、保温材料等。

(2) 高炉煤气。高炉煤气为炼铁过程中的又一副产品，主要成分为 CO 、 CO_2 、 N_2 、 H_2 ，其中可燃成分约占 25%，产生的煤气量为 $1\,600 \sim 2\,500 \text{ m}^3/\text{t}$ ，热值为 $3\,000 \sim 3\,500 \text{ kJ/m}^3$ ，作为气体燃料，经除尘后可用作热风炉、烟气炉等的燃料。

4 高炉生产主要技术经济指标

1) 高炉有效容积利用系数 (η_v)

高炉有效容积利用系数是指每昼夜每立方米高炉有效容积的生铁产量，即高炉每昼夜的生铁产量 (P) 与高炉有效容积 (V_U) 之比。

$$\eta_v = \frac{P}{V_U}$$

η_v 是高炉冶炼的一个重要指标， η_v 愈大，高炉生产率愈高。2010 年我国重点企业利用系数平均为 $2.589 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 左右，最高达到 $4.116 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

2) 入炉焦比 (K)、煤比 (M)、综合焦比 ($K_{\text{综}}$) 和燃料比 ($K_{\text{燃}}$)

这些指标用来反映高炉的能耗情况。

入炉焦比是指冶炼每吨生铁消耗的干焦量，即每昼夜干焦消耗量 Q_k 与每昼夜生铁产量 P 之比：

$$K = \frac{Q_k}{P}$$

焦炭消耗量占生铁成本的 30% ~ 40%，欲降低生铁成本必须力求降低焦比。焦比大小与冶炼条件密切相关，一般情况下入炉焦比为 $270 \sim 400 \text{ kg/t}$ ，喷吹煤粉可以有效地降低

焦比。

冶炼每吨生铁消耗的煤粉量称为煤比。当每昼夜煤粉的消耗量为 Q_M 时，则：

$$M = \frac{Q_M}{P}$$

综合焦比是指冶炼每吨生铁消耗的综合干焦量。

综合干焦量 = 干焦量 + 煤粉量 × 煤粉置换比

即

$$K_{\text{综}} = \frac{Q_K + Q_M \times N}{P}$$

式中： N ——煤粉的置换比。

单位质量煤粉所代替的焦炭质量称为煤粉置换比，它表示煤粉利用率的高低。一般煤粉的置换比为 0.7 ~ 1.0。

燃料比是冶炼单位生铁高炉所消耗的各种燃料之和。通常为焦比与煤比之和。

$$K_{\text{燃}} = \frac{Q_K + Q_M}{P}$$

2010 年全国重点企业高炉平均入炉焦比为 369 kg/t，最低 306 kg/t；平均煤比为 149 kg/t，最高 191 kg/t；平均燃料比已经降低到 518 kg/t，首钢京唐炼铁厂燃料比最低（不包括焦丁）为 454 kg/t；平均工序能耗 407.76 kg/t。

3) 冶炼强度 (I) 和综合冶炼强度 ($I_{\text{综}}$)

冶炼强度是每昼夜每立方米高炉有效容积消耗的焦炭量，即高炉一昼夜焦炭消耗量 Q_K 与有效容积 V_U 的比值：

$$I = \frac{Q_K}{V_U}$$

综合冶炼强度是指每昼夜每立方米高炉有效容积消耗的综合干焦量。

$$I_{\text{综}} = \frac{Q_K + Q_M \times N}{V_U}$$

冶炼强度表示高炉的作业强度，它与鼓入高炉的风量成正比，在焦比不变的情况下，冶炼强度越高，高炉产量越大，当前国内外大型高炉冶炼强度一般在 1.0 ~ 1.05。

4) 生铁合格率

化学成分符合国家标准生铁称为合格生铁，合格生铁占生铁总产量的百分数为生铁合格率。它是衡量产品质量的指标。

5) 生铁成本

生铁成本是指生产一吨合格生铁所消耗的所有原料、燃料、材料、水电、人工等一切费用的总和。

6) 休风率

休风率是指高炉休风时间占高炉规定作业时间（日历时间减去计划大、中修时间和封炉时间）的百分数。休风率反映高炉设备维护和操作水平，2010 年全国重点企业高炉休风率平均为 1.635%，最低是 0.400%。实践证明，休风率降低 1%，产量可提高 2%。

7) 炉龄

炉龄即高炉一代寿命，是指从点火开炉到停炉大修之间的冶炼时间，或是指高炉相邻两

次大修之间的冶炼时间。大型高炉一代寿命为 10~15 年。衡量炉龄的另一指标为每立方米炉容在一代炉龄期内的累计产铁量。世界先进高炉单位炉容累计产铁量超过 10 000 t/m³，我国宝钢 3[#]高炉一代炉龄累计产铁超过 5 700 万吨，单位炉容产铁量 1.309 万吨，根据国际上通行的衡量高炉长寿的标准，它是目前世界上最长寿的高炉之一。

参考文献

[1] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[2] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[3] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[4] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[5] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[6] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[7] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[8] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[9] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[10] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[11] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[12] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[13] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[14] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[15] 王德胜. 高炉炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

情境一

炼铁原材料准备及装料

任务 1.1 准备原料

1.1.1 任务概述

以炼铁主要原料——铁矿石的烧结过程为载体，在完成任任务过程中掌握原料的准备操作、配料与混合操作及烧结生产过程。

1.1.2 相关知识

1.1.2.1 认识炼铁原料及其性质

一、矿物、矿石和岩石

地壳中的化学元素经过各种地质作用，形成的天然元素和天然化合物称为矿物。它具有较均一的化学成分和内部结晶构造，具有一定的物理性质和化学性质。

矿石和岩石均由矿物所组成，是矿物的集合体。但是，矿石是在目前的技术条件下能经济合理地从中提取金属、金属化合物或有用矿物的物质。因此矿石和岩石的概念是相对的。

矿石由有用矿物和脉石矿物所组成。矿石中能够被利用的矿物为有用矿物，目前尚不能利用的矿物为脉石矿物。

二、铁矿石的分类及主要特性

在自然界中，金属状态的铁是极少见的，一般都和其他元素结合成化合物。现在已知的含铁矿物有 300 多种，但在目前的工艺条件及技术水平下能够用作炼铁原料的只有 20 多种。根据含铁矿物的主要性质，按其矿物组成，通常将铁矿石分为磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿四种类型。

1. 磁铁矿

磁铁矿化学式为 Fe_3O_4 ，结构致密，晶粒细小，黑色条痕。具有强磁性，含 S、P 较高，还原性差。

2. 赤铁矿

赤铁矿化学式为 Fe_2O_3 ，条痕为樱红色，具有弱磁性。含 S、P 较低，易破碎，易还原。

3. 褐铁矿

褐铁矿是含结晶水的氧化铁，呈褐色条痕，还原性好，化学式为 $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ($n = 1 \sim 3, m = 1 \sim 4$)。褐铁矿中绝大部分含铁矿物是以 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的形式存在的。

4. 菱铁矿

菱铁矿化学式为 FeCO_3 ，颜色为灰色带黄褐色。菱铁矿经过焙烧，分解出 CO_2 气体，含铁量即提高，矿石也变得疏松多孔，易破碎，还原性好。其含 S 低，含 P 较高。

各种铁矿石的分类及其主要特性列于表 1-1。

表 1-1 铁矿石的分类及其特性

矿石名称	化学式	理论含铁量 (质量分数) /%	矿石密度 $/(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	颜色	冶炼性能		
					实际含铁量 (质量分数) /%	有害杂质	强度及还原性
磁铁矿	磁性氧化铁 Fe_3O_4	72.4	5.2	黑色	45~70	S、P 高	坚硬、致密、难还原
赤铁矿	赤铁矿 Fe_2O_3	70.0	4.9~5.3	红色	55~60	S、P 低	软、较易破碎、易还原
褐铁矿	水赤铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	66.1	4.0~5.0	黄褐色 暗褐色 至绒黑色	37~55	S 低 P 高低不等	疏松、易还原
	针赤铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62.9					
	水针铁矿 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	60.9	4.0~4.5				
	褐铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60.0	3.0~4.4				
	黄针铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	57.2	3.0~4.2				
	黄赭石 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	55.2	2.5~4.0				
菱铁矿	碳酸铁 Fe_2CO_3	48.2	3.8	灰色带黄褐色	30~40	S 低 P 较高	易破碎，焙烧后易还原

三、高炉炼铁对原料性能的要求

铁矿石是高炉冶炼的主要原料，其质量的好坏与冶炼进程及技术经济指标有极为密切的关系。决定铁矿石质量的主要因素是化学成分、物理性质及其冶金性能。高炉冶炼对铁矿石的要求是：含铁量高，脉石少，有害杂质少，化学成分稳定，粒度均匀，有良好的还原性及一定的机械强度等性能。

1. 铁矿石品位

铁矿石的品位即指铁矿石的含铁量，以 $\text{TFe}\%$ 表示。品位是评价铁矿石质量的主要指标。矿石有无开采价值，开采后能否直接入炉冶炼及其冶炼价值如何，均取决于矿石的含铁量。

铁矿石含铁量高有利于降低焦比和提高产量。根据生产经验，矿石品位提高1%，焦比降低2%，产量提高3%。这是因为随着矿石品位的提高，脉石数量减少，熔剂用量和渣量也相应减少，既节省热量消耗，又有利于炉况顺行。从矿山开采出来的矿石，含铁量一般在30%~60%之间。品位较高，经破碎筛分后可直接入炉冶炼的称为富矿。一般当实际含铁量大于理论含铁量的70%~90%时方可直接入炉。而品位较低，不能直接入炉的叫贫矿。贫矿必须经过选矿和造块后才能入炉冶炼。

2. 脉石成分

铁矿石的脉石成分绝大多数为酸性， SiO_2 含量较高。在现代高炉冶炼条件下，为了得到一定碱度的炉渣，就必须在炉料中配加一定数量的碱性熔剂（石灰石）与 SiO_2 作用造渣。铁矿石中 SiO_2 含量愈高，需加入的石灰石愈多，生成的渣量也愈多，这样，将使焦比升高，产量下降。所以要求铁矿石中含 SiO_2 愈低愈好。

脉石中含碱性氧化物（ CaO 、 MgO ）较多的矿石，冶炼时可少加或不加石灰石，对降低焦比有利，具有较高的冶炼价值。

3. 有害杂质和有益元素的含量

1) 有害杂质

矿石中的有害杂质是指那些对冶炼有妨碍或使矿石冶炼时不易获得优质产品的元素。主要有S、P、Pb、Zn、As、K、Na等。

（1）硫。硫在矿石中主要以硫化物状态存在。硫的危害主要表现在：

①当钢中的含硫量超过一定量时，会使钢材具有热脆性。这是由于 FeS 和 Fe 结合成低熔点（ 985°C ）合金，冷却时最后凝固成薄膜状，并分布于晶粒界面之间，当钢材被加热到 $1150^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 时，硫化物首先熔化，使钢材沿晶粒界面形成裂纹。

②对铸造生铁，会降低铁水的流动性，阻止 Fe_3C 分解，使铸件产生气孔、难于切削并降低其韧性。

③硫会显著地降低钢材的焊接性、抗腐蚀性和耐磨性。

国家标准对生铁的含硫量有严格规定，炼钢生铁最高允许含硫质量分数不能超过0.07%，铸造铁不超过0.06%。虽然高炉冶炼可以去除大部分硫，但需要高炉温、高炉渣碱度，对增铁节焦是不利的。因此矿石中的含硫质量分数必须小于0.3%。

（2）磷。磷也是钢材的有害成分。以 Fe_2P 、 Fe_3P 形态溶于铁水。因为磷化物是脆性物质，冷凝时聚集于钢的晶界周围，减弱晶粒间的结合力，使钢材在冷却时产生很大的脆性，从而造成钢的冷脆现象。由于磷在选矿和烧结过程中不易除去，在高炉冶炼中又几乎全部还原进入生铁。所以控制生铁含磷的唯一途径就是控制原料的含磷量。

（3）铅和锌。铅和锌常以方铅矿（ PbS ）和闪锌矿（ ZnS ）的形式存在于矿石中。

在高炉内铅是易还原元素，但铅又不溶解于铁水，其密度大于铁水，所以还原出来的铅沉积于炉缸铁水层以下，渗入砖缝破坏炉底砌砖，甚至使炉底砌砖浮起。铅又极易挥发，在高炉上部被氧化成 PbO ，黏附于炉墙上，易引起结瘤。一般要求矿石中的含铅质量分数低于0.1%。

高炉冶炼中锌全部被还原，其沸点低（ 905°C ），不溶于铁水，但很容易挥发，在炉内又被氧化成 ZnO ，部分 ZnO 沉积在炉身上部炉墙上，形成炉瘤，部分渗入炉衬的孔隙和砖