



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

炼铁技术

卢宇飞 杨桂生 主编

LIANTIE JISHU



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

炼铁技术

卢宇飞 杨桂生 主编

冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

本书系统地介绍了炼铁的原燃料、产品、炼铁工艺流程及设备、高炉冶炼强化技术和高炉炼铁工艺计算,同时简明扼要地介绍了目前炼铁的新技术、新工艺、新设备以及环境保护与综合利用。

本书可供高等职业技术学院教学之用,也可作为职业技术培训教材,还可供相关领域的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

炼铁技术/卢宇飞,杨桂生主编. —北京:冶金工业出版社,
2010.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-5092-2

I. ①炼… II. ①卢… ②杨… III. ①炼铁—高等学校—
教材 IV. ①TF5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 222188 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 王 优 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5092-2

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 1 月第 1 版, 2010 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.25 印张; 346 千字; 196 页; 1-3000 册

29.00 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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是按照教育部高职高专人才培养目标和规格应具有的知识与能力结构和素质要求，依据冶金行业“十一五”高职高专教材出版规划，参照原国家劳动部《职业技能标准、职业技能鉴定规范》，根据高职高专办学理念、人才培养目标和职业（岗位）需求，在总结近几年高职高专炼铁工艺教学经验并征求相关企业工程技术人员意见的基础上编写而成的。

为了突出高职教育的特点，注重教材的针对性和适应性，本书以炼铁生产过程为主线，条理清晰、简明扼要、循序渐进、深入浅出，并注重理论联系实践。本书的理论内容侧重于炼铁生产实用理论的介绍，以“必需、够用”为度，打牢学生必要的基础知识，提高学生的自学能力和再学习能力；本书的实践内容以生产过程、实用技术、生产实例的介绍为重点，注意吸收国内外有关的先进技术成果和生产经验，充实了实践性教学内容，以培养学生的职业能力、动手能力和基本操作技能。

本书由昆明冶金高等专科学校卢宇飞、杨桂生担任主编。参与本书编写工作的还有：昆明冶金高等专科学校陈利生、全红，马鞍山钢铁集团公司李士玲，唐山科技职业技术学院陈学英、王艳春，昆明钢铁集团有限责任公司孔维桔。其中，前言、第3~6章由卢宇飞编写，第1章由卢宇飞、李士玲、杨桂生共同编写，第2、7章由杨桂生编写，第8章由孔维桔编写，第9章由陈学英、杨桂生共同编写，第10章由陈利生、全红共同编写，第11章由王艳春、全红共同编写。

本书由昆明理工大学张家驹任主审，马鞍山钢铁集团公司傅燕乐等工程技术人员对本书的编写提出了许多宝贵的意见，对于以上专家的大力支持和帮助，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年9月

目 录

1 高炉炼铁概述	1
1.1 高炉炼铁生产工艺流程与特点	1
1.1.1 高炉炼铁生产工艺流程	1
1.1.2 高炉炼铁生产特点	2
1.2 高炉炼铁产品	3
1.2.1 生铁	3
1.2.2 炉渣	4
1.2.3 煤气	4
1.2.4 炉尘	4
1.3 高炉炼铁技术经济指标	5
1.3.1 高炉有效容积利用系数	5
1.3.2 焦比、煤比、综合焦比、综合燃料比	5
1.3.3 冶炼强度	5
1.3.4 休风率	6
1.3.5 生铁合格率	6
1.3.6 生铁成本	6
1.3.7 炉龄	6
复习思考题	6
2 高炉炼铁原料和燃料	7
2.1 铁矿石	7
2.1.1 铁矿石的分类及主要特性	7
2.1.2 高炉冶炼对铁矿石的要求	8
2.2 铁矿石入炉前准备处理	11
2.2.1 铁矿石入炉前准备处理概述	11
2.2.2 烧结法造块	14
2.2.3 球团法造块	23
2.3 熔剂	30
2.3.1 熔剂在高炉冶炼中的作用	30
2.3.2 熔剂的分类	30
2.3.3 高炉冶炼对碱性熔剂的质量要求	30
2.4 燃料	31
2.4.1 焦炭	31

2.4.2 喷吹燃料	38
复习思考题	38
3 高炉内炉料的蒸发、挥发和分解	40
3.1 炉料中水分的蒸发和水化物的分解	40
3.1.1 游离水的蒸发	40
3.1.2 结晶水的分解	40
3.2 高炉内炉料中挥发分的挥发	41
3.2.1 燃料挥发分的挥发	41
3.2.2 其他物质挥发分的挥发	41
3.3 炉料中碳酸盐的分解	42
3.3.1 炉内碳酸盐的分解反应、分解压力、开始分解温度和化学沸腾温度	42
3.3.2 CaCO_3 分解对高炉冶炼的影响	43
3.3.3 消除 CaCO_3 分解不良影响的措施	44
复习思考题	44
4 高炉内的还原过程	45
4.1 高炉内氧化物还原的基本理论	45
4.1.1 矿石中金属氧化物的生成自由能	45
4.1.2 矿石中金属氧化物的分解压力	45
4.1.3 还原反应进行的条件	45
4.1.4 标准自由能 $\Delta G^\ominus$ 与温度关系图和分解压与温度关系图	46
4.1.5 逐级转化原则	47
4.1.6 平衡移动原则	47
4.2 用碳还原铁氧化物	47
4.3 用 CO 、 H_2 还原铁氧化物	48
4.3.1 用 CO 还原铁氧化物	48
4.3.2 用 H_2 还原铁氧化物	49
4.3.3 过剩系数 n	49
4.3.4 温度和成分对铁氧化物还原反应的影响	50
4.3.5 用 CO 和用 H_2 还原铁氧化物的比较	50
4.3.6 一氧化碳利用率和氢利用率	52
4.4 碳的气化反应及其对还原反应的影响	52
4.4.1 碳的气化反应	52
4.4.2 碳的气化反应对还原反应的影响	53
4.5 直接还原与间接还原	54
4.5.1 直接还原与间接还原的区别	54
4.5.2 直接还原与间接还原的主要特点和差别	55
4.5.3 直接还原与间接还原在高炉中的分布	55
4.5.4 直接还原度和间接还原度的概念及其计算	56

4.5.5 直接还原和间接还原的碳消耗（直接还原与间接还原对碳消耗的影响）	57
4.5.6 降低焦比的基本途径	60
4.6 复杂化合物中铁氧化物的还原	61
4.6.1 硅酸铁的还原	61
4.6.2 钛磁铁矿中铁的还原	61
4.7 非铁元素的还原	62
4.7.1 硅的还原	62
4.7.2 锰的还原	63
4.7.3 磷的还原	64
4.7.4 硫的还原	65
4.7.5 铅、锌、砷的还原	65
4.7.6 碱金属在还原过程中的行为	66
4.8 渗碳和生铁的形成	66
4.9 铁矿石还原的动力学	66
4.9.1 铁矿石的还原机理	66
4.9.2 铁氧化物的还原速度	67
4.9.3 影响铁矿石还原反应速度的因素	68
复习思考题	70
5 造渣和脱硫	71
5.1 高炉造渣过程	71
5.1.1 炉渣的作用	71
5.1.2 炉渣的主要成分及分类	71
5.1.3 炉渣的形成过程	72
5.1.4 造渣过程对高炉冶炼的影响	74
5.2 炉渣的性质及对高炉冶炼过程的影响	75
5.2.1 炉渣的熔化性	75
5.2.2 炉渣的稳定性	77
5.2.3 炉渣的黏度	77
5.3 炉渣结构理论	78
5.3.1 炉渣的分子结构理论	79
5.3.2 炉渣的离子结构理论	79
5.3.3 炉渣离子结构理论对炉渣现象的解释	80
5.4 高炉渣成分和渣量的选择	82
5.4.1 高炉冶炼对炉渣性能和成渣过程的要求	82
5.4.2 高炉渣成分和渣量的选择	82
5.5 生铁去硫	83
5.5.1 硫的来源、存在形态、循环富集和危害	83
5.5.2 硫在煤气、渣、铁中的分配及影响生铁含硫量的因素	84

5.5.3 炉渣脱硫	86
5.5.4 影响炉渣脱硫能力的因素	87
5.5.5 炉外脱硫	88
复习思考题	88
6 高炉内的燃料燃烧过程和热交换	90
6.1 燃料燃烧	90
6.1.1 焦炭燃烧反应	90
6.1.2 喷吹燃料燃烧反应	91
6.1.3 焦炭燃烧与喷吹燃料燃烧的差异	91
6.1.4 燃烧产物炉缸煤气成分计算	92
6.2 燃烧产物煤气成分的变化	94
6.2.1 风口至炉缸中心煤气成分的变化	94
6.2.2 煤气在上升过程中体积和成分的变化	94
6.3 燃烧带及其对冶炼过程的影响	95
6.3.1 燃烧带	95
6.3.2 燃烧带对高炉冶炼过程的影响	96
6.3.3 影响燃烧带大小的因素	97
6.4 高炉内的热交换	100
6.4.1 炉料（或煤气）的水当量	101
6.4.2 理论燃烧温度	101
6.4.3 炉内温度的变化和分布规律	102
6.4.4 热交换规律	103
6.4.5 改善煤气利用的途径	104
复习思考题	106
7 高炉内炉料和煤气的运动	107
7.1 炉料运动	107
7.1.1 炉料下降的空间条件和力学分析	107
7.1.2 影响 $p_{\text{有效}}$ 的因素	108
7.1.3 炉料下降的规律	109
7.2 炉料在炉喉的分布	111
7.2.1 炉料在炉喉分布的重要作用	111
7.2.2 炉料在炉喉的分布对煤气分布的影响	111
7.2.3 炉料在炉喉的合理分布	111
7.2.4 影响炉料在炉喉分布的因素	112
7.3 煤气运动	118
7.3.1 煤气通过料柱时的阻力损失 Δp	119
7.3.2 影响 Δp 的因素	121
7.4 煤气的分布	124

7.4.1 炉喉煤气流分布状况的判断	124
7.4.2 煤气的合理分布	125
7.4.3 影响煤气分布的因素	127
7.5 炉料运动和煤气运动的失常	128
7.5.1 流态化	128
7.5.2 管道行程	129
7.5.3 偏料	130
7.5.4 崩料	130
7.5.5 悬料	130
复习思考题	131
8 高炉炼铁计算	132
8.1 配料计算	132
8.1.1 配料计算方法	132
8.1.2 配料计算所需资料	132
8.1.3 配料计算实例	132
8.2 物料平衡计算	135
8.2.1 物料平衡计算方法	135
8.2.2 原始条件的确定	136
8.2.3 物料平衡计算实例	136
8.3 常用的工艺计算	138
8.3.1 每批料的出铁量计算	138
8.3.2 石灰石用量的计算	139
8.3.3 渣量的计算	140
8.3.4 常用定量调剂	140
8.3.5 冶炼周期	141
复习思考题	142
9 高炉冶炼强化技术	143
9.1 高炉冶炼强化技术概述	143
9.1.1 高炉冶炼强化的目的和技术进步	143
9.1.2 高炉冶炼强化的基本方向	143
9.1.3 冶炼强度与焦比的关系	144
9.1.4 高炉冶炼强化技术的主要措施	144
9.2 精料	144
9.2.1 提高矿石品位	145
9.2.2 增加熟料比	146
9.2.3 稳定炉料成分	146
9.2.4 优化入炉炉料的粒度组成	146
9.2.5 改善人造富矿的质量	147

9.2.6 合理的炉料结构	147
9.2.7 提高焦炭质量	147
9.3 高风温	148
9.3.1 提高风温对冶炼过程的影响	148
9.3.2 提高风温的效果	149
9.3.3 界限风温	150
9.3.4 提高风温的途径	150
9.4 高压操作	151
9.4.1 高压操作对冶炼过程的影响	151
9.4.2 高压操作的效果	152
9.4.3 高压操作的特点	152
9.4.4 高压操作必备的条件及技术进步	152
9.5 富氧鼓风	153
9.5.1 富氧鼓风对冶炼过程的影响	153
9.5.2 富氧鼓风的效果	154
9.5.3 富氧鼓风技术的发展	154
9.6 喷吹燃料	155
9.6.1 喷吹燃料对冶炼过程的影响	155
9.6.2 喷吹燃料的效果	157
9.6.3 喷吹燃料的高炉操作特点	157
9.6.4 煤粉喷吹的热滞后、热补偿和对煤的性能要求	158
9.7 加湿与脱湿鼓风	159
9.7.1 加湿鼓风	160
9.7.2 脱湿鼓风	161
复习思考题	162
10 炼铁环境保护和资源利用——烟尘、煤气、炉渣和废水的处理	163
10.1 煤气、炉渣、烟尘和废水的处理与环境保护及资源利用的关系	163
10.2 烟尘治理	163
10.2.1 高炉出铁场烟尘治理	163
10.2.2 高炉原料系统粉尘治理	164
10.3 高炉煤气除尘	165
10.3.1 布袋除尘器的构造和原理	165
10.3.2 电除尘器的构造和原理	166
10.3.3 重力除尘器的构造和原理	167
10.3.4 洗涤塔、溢流文氏管及文氏管的构造和原理	167
10.3.5 脱水器的构造和原理	169
10.4 高炉煤气的余压利用	169
10.4.1 煤气压力能回收系统	170
10.4.2 TRT 的发电量	170

10.4.3 国内高炉煤气余压发电的发展情况	171
10.5 炉渣处理	171
10.5.1 高炉渣的处理方法及分类	171
10.5.2 渣水分离的方式及方法	171
10.5.3 高炉渣的利用	176
10.6 废水治理	176
10.6.1 高炉煤气清洗废水治理	176
10.6.2 高炉水冲渣废水治理	176
复习思考题	177
11 炼铁技术发展	178
11.1 炼铁技术发展概况	178
11.2 高炉炼铁新技术	178
11.2.1 高炉大型化和自动化	178
11.2.2 计算机控制技术	181
11.2.3 高炉冶炼低硅生铁	184
11.2.4 等离子体炼铁	184
11.2.5 高炉使用金属化炉料	185
11.2.6 高炉喷吹还原气体	185
11.3 非高炉炼铁	185
11.3.1 直接还原法	186
11.3.2 熔融还原法	190
11.3.3 直接还原铁的性质与应用	192
11.3.4 非高炉炼铁的发展	194
复习思考题	195
参考文献	196

1 高炉炼铁概述

1.1 高炉炼铁生产工艺流程与特点

自高炉炼铁技术发明以来，就淘汰了原始古老的炼铁方法（例如地坑法），炼铁生产获得巨大发展，炼铁技术不断进步。至今，世界上绝大多数炼铁厂一直沿用高炉冶炼工艺，虽然现代技术研究了直接炼铁、熔融还原等冶炼新工艺，但还不能取代它。

1.1.1 高炉炼铁生产工艺流程

高炉冶炼生铁的本质，就是从铁矿石中将铁还原出来并熔化成铁水流出炉外。还原铁矿石需要的还原剂和热量由燃料燃烧产生。炼铁的主要燃料是焦炭，为了节省焦炭而使用了喷吹煤粉、天然气等辅助燃料。为了使高炉生产获得较好的生产效果，现代高炉几乎全部采用了人造富矿（烧结矿、球团矿）作为含铁原料。因炉料的特性不同，有的高炉在冶炼时还需加入适量的熔剂（石灰石、白云石等）。现代高炉炼铁生产工艺流程如图 1-1 所示。

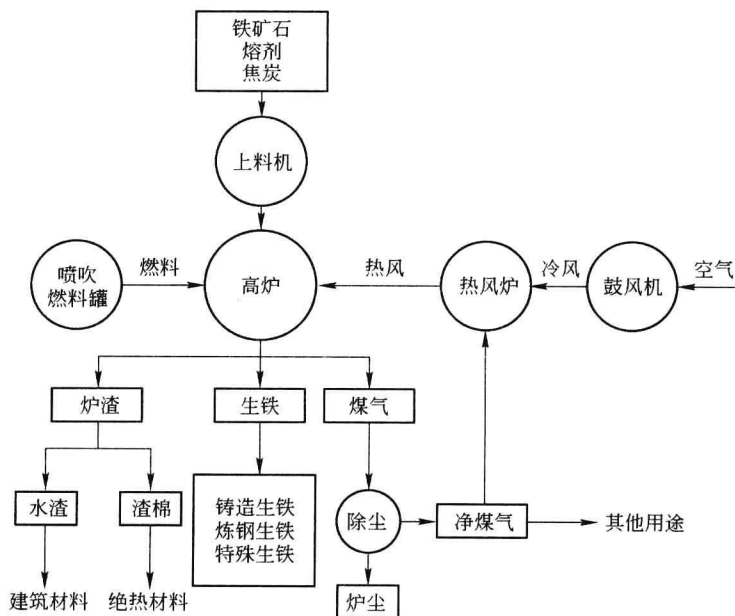


图 1-1 高炉炼铁生产工艺流程

高炉生产工艺流程包括以下几个系统：

(1) 高炉本体。高炉本体是炼铁生产的核心部分，它是一个近似于竖直的圆筒形设备。它包括高炉的基础、炉壳（钢板焊接而成）、炉衬（耐火砖砌筑而成）、炉型（内型）、冷却设备、立柱和炉体框架等。高炉的内部空间称为炉型，如图 1-2 所示，它从上到下分为 5 段，即

炉喉、炉身、炉腰、炉腹、炉缸。整个冶炼过程是在高炉内完成的。

(2) 上料设备系统。上料设备系统包括贮矿场，贮矿槽，槽下漏斗，槽下筛分、称量和运料设备以及向炉顶供料设备（有皮带运输上料机和料车上料机之分）。其任务是将高炉所需原燃料，按比例通过上料设备运送到炉顶的受料漏斗中。

(3) 装料设备系统。装料设备系统一般分为钟式、钟阀式、无钟式三类，我国多数高炉采用钟式装料设备系统，技术先进的高炉大多采用无钟式装料设备系统。钟式装料设备系统包括受料漏斗、料钟、料斗等。它的任务是将上料系统运来的炉料均匀地装入炉内，并使其在炉内合理分布，同时又起到密封炉顶、回收煤气的作用。

(4) 送风设备系统。送风设备系统包括鼓风机、热风炉、冷风管道、热风管道、热风围管等。其任务是将鼓风机送来的冷风经热风炉预热之后送入高炉。

(5) 煤气净化设备系统。煤气净化设备系统包括煤气导出管、上升管、下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器及高压阀组等，有的高炉也用布袋除尘器进行干法除尘。其任务是将高炉冶炼产生的含尘量很高的荒煤气进行净化处理，以获得合格的气体燃料。

(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、铁水罐、铸铁机、堵渣机、水渣池及炉前水力冲渣设施。其任务是将炉内放出的渣铁按要求进行处理。

(7) 喷吹燃料系统。喷吹燃料系统包括喷吹物的制备、运输和喷入设备等。其任务是将按一定要求准备好的燃料喷入炉内。目前，我国高炉以喷煤为主。喷煤的喷吹燃料系统有磨煤机、收集罐、贮存罐、喷吹罐、混合器和喷枪。本系统的任务是将煤进行磨制、收集和计量后，从风口均匀、稳定地喷入高炉内。

高炉冶炼过程是一系列复杂的物理化学过程的总和，有炉料的挥发与分解、铁氧化物和其他物质的还原、生铁与炉渣的形成、燃料燃烧、热交换和炉料与煤气运动等。这些过程不是单独进行的，而是数个过程在相互制约的情况下同时进行的。高炉冶炼的基本过程是，燃料在炉缸风口前燃烧形成高温还原煤气，煤气不停地向上运动，与不断下降的炉料相互作用，其温度、数量和化学成分逐渐发生变化，最后从炉顶逸出炉外；炉料在不断下降的过程中，由于受到高温还原煤气的加热和化学作用，其物理形态和化学成分逐渐发生变化，最后在炉缸里形成液态渣铁，从渣铁口排出炉外。



图 1-2 高炉内型图

1.1.2 高炉炼铁生产特点

高炉炼铁生产特点是：

(1) 长期连续生产。高炉从开炉投产到停炉，一代炉龄一般有 10 年左右甚至更长（中间可能进行一次中修）。高炉在此期间是连续生产的，仅在设备检修或发生事故时才能停止生产（称为休风）。任何一个环节出了问题，都将影响整个高炉的冶炼过程，甚至导致停产，给企业带来巨大损失。

(2) 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程度来保证。为了准确、连续地完成每日上万吨乃至几十万吨原料及几千吨乃至上万吨产品的装入和排出，为了改善职工的劳动条件、保证安全、提高劳动生产率，目前，上料系统大多采用皮带上料，电子计算机、工业电视等均已装备在高炉生产的各个系统中，机械化、自动化程度越来越高。

(3) 生产规模大型化。近年来,高炉向大型化方向发展,目前,世界上已有数座 5000m^3 以上容积的高炉在生产。我国也已经有 5500m^3 的高炉投入生产,日产生铁万吨以上,日消耗矿石等近 2 万吨、焦炭等燃料 5000t。

(4) 高炉生产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与生产规模相匹配的生产流程为基本形式,高炉处于中间环节,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,保证联合企业生产的顺利进行。

1.2 高炉炼铁产品

高炉炼铁生产的主要产品是生铁,副产品有炉渣、煤气和炉尘。

1.2.1 生铁

生铁、钢和熟铁都是铁碳合金,它们的主要区别是含碳量不同,含碳量小于 0.2% 的为熟铁,含碳量在 0.2% ~ 1.7% 范围内的为钢,含碳量在 1.7% 以上的为生铁。

高炉冶炼生铁的含碳量一般为 2.5% ~ 4.5%, 并有少量的硅、锰、磷、硫等元素。生铁质硬而脆,缺乏韧性,不能压延成形,机械加工性能及焊接性能不好,但含硅量高的生铁(灰口铁)的铸造及切削性能良好。

生铁按用途可分为普通生铁和合金生铁两种(普通生铁占生铁产量的 98% 以上)。

合金生铁主要是锰铁和硅铁。合金生铁可作为炼钢的辅助材料,如脱氧剂、合金元素添加剂,它们的主要区别是含硅量不同。

普通生铁分为炼钢生铁和铸造生铁两种(炼钢生铁占普通生铁产量的 80% 以上)。

炼钢生铁和铸造生铁按照含硅量的不同,可分别分为 3 个和 6 个牌号,各种牌号的炼钢生铁和铸造生铁的成分要求分别见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 炼钢用生铁国家标准 (GB/T 717—1998)

铁 种			炼 钢 生 铁		
铁 号	牌 号		炼 04	炼 08	炼 10
	代 号		L04	L08	L10
化学成分/%	C		≥ 3.50		
	Si		≤ 0.45	0.45 ~ 0.85	0.85 ~ 1.25
	硫	特类	≤ 0.020		
		一类	0.02 ~ 0.03		
		二类	0.03 ~ 0.05		
		三类	0.05 ~ 0.07		
	锰	一组	≤ 0.03		
		二组	0.03 ~ 0.05		
		三组	> 0.05		
	磷	一级	≤ 0.15		
		二级	0.15 ~ 0.25		
		三级	0.25 ~ 0.40		

表 1-2 铸造用生铁国家标准（GB/T 718—1998）

铁 种		铸 造 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/%	C		> 3. 3				
	Si		3. 20 ~ 3. 60	2. 80 ~ 3. 20	2. 40 ~ 2. 80	2. 00 ~ 2. 40	1. 60 ~ 2. 00
	锰	1 组	≤0. 50				
		2 组	0. 50 ~ 0. 90				
		3 组	0. 90 ~ 1. 20				
	磷	1 级	≤0. 06				
		2 级	0. 06 ~ 0. 10				
		3 级	0. 10 ~ 0. 20				
		4 级	0. 20 ~ 0. 40				
		5 级	0. 40 ~ 0. 90				
	硫	1 类	≤0. 03				≤0. 04
		2 类	≤0. 04				≤0. 05
		3 类	≤0. 05				≤0. 06

1.2.2 炉渣

炉渣是高炉炼铁的副产品。矿石中的脉石、熔剂中的各种氧化物和燃料中的灰分等熔化后组成炉渣，其主要成分为 CaO、MgO、SiO₂、Al₂O₃ 及少量的 MnO、FeO、S 等。我国大型高炉吨铁的渣量在 270 ~ 350kg 之间；地方小型高炉由于原料条件差、技术水平低，其渣量大大超过此数值。炉渣有许多用途，常用作水泥及隔热、建材、铺路等材料。

高炉炉渣有水渣、渣棉和干渣之分。水渣是液态炉渣用高压水急冷粒化形成的，它是良好的制砖和制作水泥的原料；渣棉是液态炉渣用高压蒸汽或高压压缩空气吹成的纤维状的渣，可作为绝热材料；干渣是液态炉渣自然冷凝后形成的渣，经处理后可用于铺路、制砖和生产水泥，还可以制成建筑材料。

1.2.3 煤气

高炉每冶炼 1t 生铁能产生 1700 ~ 2500m³ 的煤气，其化学成分（体积分数）包括：CO（20% ~ 30%）、CO₂（15% ~ 20%）、H₂（1% ~ 3%）、N₂（56% ~ 58%）和少量的 CH₄。煤气经除尘脱水后作为燃料，其发热值为 2900 ~ 3800kJ/m³（随着高炉能量利用系数的改善而降低），热风炉、烧结、炼钢、炼焦和轧钢等用户均可使用。

高炉煤气是一种无色无味的透明气体，由于含 CO 较高，会使人中毒致死。当煤气与空气混合，煤气含量（体积分数）达到 46% ~ 62% 且温度达到着火点（650℃）时，就会发生爆炸。因此，在煤气区域工作时，要特别注意防火、防爆和防止煤气中毒事故的发生。

1.2.4 炉尘

炉尘也称为瓦斯灰，是随高速上升的煤气带出高炉外的细颗粒炉料，在除尘系统中与煤气

分离。炉尘中含铁量为 30% ~ 45%，含碳量为 8% ~ 20%，每冶炼 1t 生铁产生 10 ~ 150kg 的炉尘。炉尘回收后可作为烧结原料加以利用。

1.3 高炉炼铁技术经济指标

对高炉生产的技术水平和经济效益的总要求是高效、优质、低耗、长寿和环保。

1.3.1 高炉有效容积利用系数

高炉有效容积利用系数 η_v 按下式计算：

$$\eta_v = P/V_u \quad (1-1)$$

式中 η_v ——高炉有效容积利用系数（指每立方米高炉有效容积在一昼夜生产的生铁吨数）， $t/(m^3 \cdot d)$ ；

P ——高炉一昼夜生产的合格生铁量， t/d ；

V_u ——高炉有效容积， m^3 。

高炉有效容积利用系数是衡量高炉生产强化程度的指标。 η_v 越高，高炉生产率越高，每天所产出的铁越多。目前，我国的高炉有效容积利用系数一般为 $1.8 \sim 2.3 t/(m^3 \cdot d)$ ，高者可达 $3.0 t/(m^3 \cdot d)$ 以上。

1.3.2 焦比、煤比、综合焦比、综合燃料比

焦比（也称干焦比） K 按下式计算：

$$K = Q/P \quad (1-2)$$

式中 K ——焦比（指冶炼 1t 生铁所消耗的干焦炭量）， kg/t ；

Q ——高炉一昼夜消耗的干焦炭量， kg/d 。

煤比 y 按下式计算：

$$y = Q_y/P \quad (1-3)$$

式中 y ——煤比（指冶炼 1t 生铁所喷吹的煤粉量）， kg/t ；

Q_y ——高炉一昼夜消耗的煤粉量， kg/d 。

综合焦比 $K_{综}$ 按下式计算：

$$K_{综} = (Q_y R + Q)/P \quad (1-4)$$

式中 $K_{综}$ ——综合焦比（冶炼 1t 生铁所喷吹的煤粉量乘以置换比所折算成的干焦炭量，再与冶炼 1t 生铁所消耗的干焦炭量相加，即为综合焦比）， kg/t ；

R ——煤粉的置换比（某一数量的喷吹煤粉所能代替的焦炭量），一般来说， $R = 0.7 \sim 0.9 kg/kg$ ，如煤粉置换比为 0.8，则相当于喷吹 1kg 煤粉可替代 0.8kg 焦炭。

综合燃料比（简称燃料比） K_f 按下式计算

$$K_f = (Q_y + Q)/P \quad (1-5)$$

式中 K_f ——综合燃料比（指冶炼 1t 生铁所消耗的干焦炭与煤粉的量之和）， kg/t 。

以上 4 个指标是衡量高炉能量消耗高低的重要指标。

1.3.3 冶炼强度

冶炼强度分为干焦冶炼强度和综合冶炼强度。

干焦冶炼强度 I 按下式计算：

$$I = Q/V_u \quad (1-6)$$

式中 I ——干焦冶炼强度（指每昼夜每立方米高炉有效容积燃烧的焦炭量）， $t/(m^3 \cdot d)$ 。

综合冶炼强度 $I_{\text{综}}$ 按下式计算：

$$I_{\text{综}} = (Q + RQ_y)/V_u \quad (1-7)$$

式中 $I_{\text{综}}$ ——综合冶炼强度（指每昼夜每立方米高炉有效容积燃烧的燃料量）， $t/(m^3 \cdot d)$ 。

以上两个指标是衡量高炉强化冶炼程度的重要指标。

1.3.4 休风率

休风率按下式计算：

$$\text{休风率} = \text{休风时间} / \text{规定日历作业时间} \quad (1-8)$$

休风率是指高炉休风停产时间占规定日历作业时间（日历时间减去计划大、中修时间和封炉时间）的百分数，它是衡量高炉设备管理水平、维护水平和操作水平的重要指标。降低休风率是高炉增产节焦的重要途径，我国先进高炉的休风率已降到1%以下。

1.3.5 生铁合格率

化学成分符合国家标准生铁为合格生铁。合格生铁产量占高炉总产铁量的百分数，称为生铁合格率，即：

$$\text{生铁合格率} = \text{合格生铁量} / \text{生铁总产量} \times 100\% \quad (1-9)$$

我国一些企业的生铁合格率已达100%。

1.3.6 生铁成本

生铁成本是指冶炼1t生铁所需要的全部费用，它包括原料、燃料、动力、工资及管理费用。生铁成本是评价高炉经济效益好坏的一个重要指标。

1.3.7 炉龄

高炉从开炉到停炉大修之间的时间，称为一代高炉的炉龄。延长一代炉龄是高炉工作者的重要任务，也是提高高炉总体经济效益的重大课题，大高炉的炉龄要求达到10年以上，国外大型高炉的炉龄最长已达20年。

复习思考题

- 1-1 简述高炉炼铁生产工艺流程。各系统的作用是什么？
- 1-2 高炉生产有何特点？
- 1-3 什么是生铁，什么是钢，什么是熟铁？
- 1-4 高炉冶炼的主、副产品各有哪些，各有什么用途？
- 1-5 高炉冶炼技术经济指标有哪些？