



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

炼铁设备及车间设计

LIANTIE SHEBEI JI CHEJIAN SHEJI

(第2版)

万新 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

炼铁设备及车间设计

(第2版)

主 编 万 新
副主编 高艳宏 吴明全
主 审 万清国

江苏工业学院图书馆
藏书章

北 京
冶金工业出版社
2007

内 容 提 要

本书是根据教育部“十一五”普通高等教育国家级教材出版规划编写的,并结合现代炼铁技术的基本情况,系统地介绍了工艺流程、设备基本结构和工作原理、设计原则。

全书共分 10 章。主要内容包括绪论、高炉炉型、高炉炉体结构、炉顶设备、炉后供料系统、高炉送风系统、高炉喷吹燃料设备、高炉煤气除尘系统、铁渣处理系统、高炉车间设计等。

本书可作为高等院校的相关专业教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

炼铁设备及车间设计/万新主编. —2 版. —北京:冶金工业出版社,2007.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-4340-5

I. 炼… II. 万… III. ①炼铁设备—高等学校—教材
②高炉—车间—设计—高等学校—教材 IV. TF32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 127168 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 俞跃春 美术编辑 王耀忠 版面设计 张 青

责任校对 刘 倩 李文彦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4340-5

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1994 年 11 月第 1 版,2007 年 8 月第 2 版,2007 年 8 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16 14.75 印张;387 千字;222 页;2201-5200 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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书第1版于1994年11月出版以来,得到了相关院校的教师和学生的充分肯定。根据2007年教育部“十一五”普通高等教育国家级教材出版规划,我们在原书内容的基础上,进行了修订。

目前炼铁技术已经发生了巨大变化,编写该书的指导思想是保持教材原有的特色、进行补充更新,系统地介绍工艺流程、设备基本结构和工作原理、设计原则,结合现代高炉的基本情况,对于一些逐渐成为主流的技术做了补充。

本书由重庆科技学院万新担任主编。参加编写的有:万新(编写第1、2、3、4、6章),高艳宏(编写第5、7、8章),吴明全(编写第9、10章)。万清国担任主审。

在本书修订的过程中,原书主编万清国给予了大力支持和帮助,保证了本书修订工作的顺利完成。由于编者水平所限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

1 绪论	1
1.1 高炉炼铁生产工艺流程及设备	1
1.2 高炉生产主要技术经济指标	2
1.3 高炉设备现状及其发展趋势	3
1.3.1 我国高炉设备现状	3
1.3.2 高炉发展的趋势	4
思考题	5
2 高炉炉型	6
2.1 炉型及其表示方法	6
2.1.1 炉型	6
2.1.2 炉型尺寸的表示方法	7
2.2 炉型设计	7
2.2.1 炉型设计要求	7
2.2.2 炉型设计方法	8
2.2.3 炉型设计计算举例	13
思考题	15
3 高炉炉体结构	16
3.1 炉衬	16
3.1.1 炉衬破损的原因	16
3.1.2 高炉用耐火材料	18
3.1.3 炉衬结构设计	23
3.1.4 炉衬砌筑	26
3.2 炉体冷却	33
3.2.1 概述	33
3.2.2 冷却设备	33
3.2.3 高炉供排水	40
3.2.4 冷却器工作制度	42
3.2.5 高炉汽化冷却	46
3.2.6 软水闭路循环冷却	46
3.3 风口、渣口及铁口	48
3.3.1 风口	48
3.3.2 渣口	51

3.3.3 铁口	52
3.4 高炉基础	53
3.4.1 概述	53
3.4.2 高炉基础构造	53
3.4.3 地基及其处理	54
3.5 炉体钢结构	56
3.5.1 炉体支柱	56
3.5.2 炉顶框架	57
3.5.3 炉壳	58
3.5.4 炉体平台与走梯	59
思考题	60
4 炉顶装料设备	61
4.1 概述	61
4.1.1 炉顶装料设备形式分类	61
4.1.2 对炉顶装料设备的要求	61
4.2 固定受料漏斗与布料器	62
4.2.1 固定受料漏斗	62
4.2.2 布料器	63
4.3 装料设备	65
4.3.1 双钟式装料设备	65
4.3.2 钟阀式装料设备	71
4.4 大小料钟传动装置	72
4.4.1 料钟平衡杆装置	72
4.4.2 料钟卷扬机传动系统	72
4.4.3 大小料钟液压传动系统	73
4.5 无料钟炉顶	74
4.5.1 概述	74
4.5.2 并罐式无料钟炉顶结构	76
4.5.3 装、布料操作与控制	78
4.6 均压系统	80
4.6.1 高炉均压系统	80
4.6.2 均压制度	81
4.6.3 均压煤气回收	82
4.7 探料装置	84
思考题	85
5 炉后供料系统	86
5.1 概述	86
5.1.1 对供料系统的要求	86
5.1.2 供料系统的型式与布置	86

5.2 贮矿槽、贮焦槽及其附属设备	88
5.2.1 贮矿槽与贮焦槽	88
5.2.2 给料机	89
5.3 槽下筛分、称量与运输	91
5.3.1 槽下筛分	91
5.3.2 槽下称量	92
5.3.3 槽下运输	94
5.3.4 料车坑	95
5.4 高炉上料设备	95
5.4.1 概述	95
5.4.2 料车式上料机	96
5.4.3 胶带式上料机	102
思考题	105
6 高炉送风系统	106
6.1 高炉鼓风机的选择	106
6.1.1 对高炉鼓风机的要求	106
6.1.2 高炉鼓风机及其特性	106
6.1.3 高炉鼓风机的选择	111
6.1.4 鼓风机的串联与并联	114
6.1.5 富氧、脱湿鼓风	114
6.2 蓄热式热风炉	116
6.2.1 概述	116
6.2.2 热风炉耐火砌体的破损因素及耐火材料的选择	118
6.2.3 蓄热式热风炉构造	120
6.2.4 热风炉附属设备	135
6.2.5 热风炉简易设计计算	142
6.3 球式热风炉	145
6.3.1 概述	145
6.3.2 球式热风炉的结构特点	146
6.3.3 耐火球的热工特性	147
6.3.4 球床装球量及球床尺寸的确定	148
6.3.5 助燃风机及阀门管道	148
6.3.6 球式热风炉存在的一些问题及改进措施	148
思考题	149
7 高炉喷吹燃料设备	150
7.1 煤粉的喷吹	150
7.1.1 制粉系统	150
7.1.2 喷吹系统	153
7.1.3 热烟气系统	159

7.1.4 安全措施	160
7.2 液体及气体燃料喷吹设备	160
7.2.1 液体燃料喷吹	160
7.2.2 气体燃料喷吹	161
思考题	163
8 高炉煤气除尘系统	164
8.1 概述	164
8.2 煤气除尘设备	167
8.2.1 重力除尘器	167
8.2.2 旋风除尘器	168
8.2.3 洗涤塔	169
8.2.4 文氏管	170
8.2.5 静电除尘器	172
8.2.6 布袋除尘器	175
8.3 除尘系统附属设备	177
8.3.1 捕泥脱水器	177
8.3.2 阀门与粗煤气管道	179
8.3.3 煤气清灰搅拌机	181
8.3.4 煤气清洗系统污水处理	182
思考题	184
9 铁、渣处理系统	185
9.1 风口平台与出铁场	185
9.2 炉前机械设备	189
9.2.1 开铁口机	189
9.2.2 堵铁口机	192
9.2.3 堵渣口机	197
9.2.4 换风口机	200
9.2.5 换弯管机	201
9.2.6 炉前吊车及打夯机	202
9.2.7 出铁场除尘设施	202
9.3 铁水处理设备	202
9.4 炉渣处理设备	206
9.4.1 水淬渣生产	206
9.4.2 块渣生产	213
9.4.3 膨珠渣生产	213
思考题	213
10 高炉车间设计	214
10.1 设计概述	214

10.1.1	工程设计的一般概念	214
10.1.2	冶金工艺设计	215
10.2	厂址选择及高炉车间在总图中的位置	216
10.2.1	厂址选择	216
10.2.2	高炉车间在钢铁厂总图运输设计中的位置	216
10.3	高炉车间规划设计	217
10.3.1	高炉容积及高炉座数的确定	217
10.3.2	高炉车间占地面积及运输量	218
10.3.3	高炉车间平面布置	218
	思考题	221
	参考文献	222

1 绪 论

1.1 高炉炼铁生产工艺流程及设备

高炉是一种连续生产的竖式鼓风炉,目前高炉冶炼仍然是获得生铁的主要手段,高炉炼铁生产的工艺流程如图 1-1 所示。

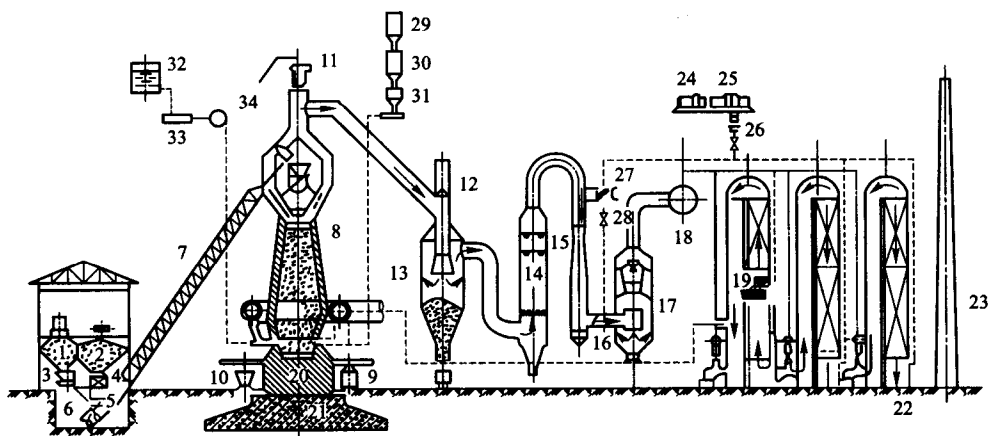


图 1-1 高炉生产流程简图

- 1—贮矿槽;2—焦仓;3—称量车;4—焦炭筛;5—焦炭称量漏斗;6—料车;7—斜桥;8—高炉;9—铁水罐;10—渣罐;
11—放散阀;12—切断阀;13—除尘器;14—洗涤塔;15—文氏管;16—高压调节阀组;17—灰泥捕集器(脱水器);
18—净煤气总管;19—热风炉;20—基墩;21—基座;22—热风炉烟道;23—烟囱;
24—蒸汽透平;25—鼓风机;26—放风阀;27—混风调节阀;28—混风大闸;29—收集罐;
30—储煤罐;31—喷吹罐;32—储油罐;33—过滤器;34—油加压器

高炉炼铁生产工艺流程中的设备主要包括以下几个系统:

(1) 高炉本体系统。高炉本体是冶炼生铁的主体设备,包括炉基、炉衬、冷却设备、炉壳、支柱及炉顶框架等。其中炉基为钢筋混凝土和耐热混凝土结构,炉衬用耐火材料砌筑,其余设备均为金属结构件。在高炉的下部设置有风口、铁口及渣口,上部设置有炉料装入口和煤气导出口。

(2) 装料系统。装料系统的主要任务是将炉料装入高炉并使之分布合理,设备主要包括装料、布料、探料及均压几部分。装料系统的类型主要有钟式炉顶、钟阀式炉顶和无料钟炉顶。钟式炉顶主要包括受料漏斗、旋转布料器、大小料钟、大小料斗、大小料钟平衡杆机构、大小料钟电动卷扬机或液压驱动装置、探料装置及其卷扬机等。钟阀式炉顶还有贮料罐及密封阀门。无料钟炉顶不设置料钟,并采用旋转溜槽布料,其他主要设备与钟阀式炉顶大体相同。

(3) 上料系统。上料系统的任务是保证连续、均衡地供应高炉冶炼所需原料,主要设备包括

贮矿槽、贮焦槽、槽下筛、称量漏斗或称量车、槽上槽下胶带运输机、斜桥、料车及其卷扬机等。采用皮带上料的高炉还有向炉顶供料的皮带运输机。

(4) 送风系统。送风系统的任务是及时、连续、稳定、可靠地供给高炉冶炼所需热风,主要设备包括高炉鼓风机、脱湿装置、富氧装置、热风炉、废气余热回收装置、热风管道、冷风管道及冷热风管道上的控制阀门等。

(5) 煤气除尘系统。煤气除尘系统的任务是对高炉煤气进行除尘降温处理,以满足用户对煤气质量的要求,设备主要包括煤气上升管、煤气下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、静电除尘器、捕泥器、脱水器、调压阀组、净煤气管道与阀门等。小型高炉煤气除尘系统一般采用干式布袋除尘器装置。

(6) 铁渣处理系统。铁渣处理系统的任务是及时处理高炉排出的渣、铁,保证生产的正常进行,主要设备包括开铁口机、堵铁口泥炮、铁水罐车、堵渣口机、炉渣粒化装置、水渣池及水渣过滤装置等。

在高炉风口和出铁口水平面以下设置有风口平台和出铁场。在风口平台上布置有出渣沟,在出铁场上布置有铁水沟和放渣沟。在出铁场还设置有行车和烟气除尘装置。在热风围管下或风口平台上有换风机口等。

(7) 喷吹系统。喷吹系统的主要任务是均匀稳定地向高炉喷吹煤粉,促进高炉生产的节能降耗,主要设备包括磨煤机、主排风机、收尘设备、煤粉仓、中间罐、喷吹罐、混合器、输送气源装置、控制阀门与管道以及喷煤枪等。

高炉生产过程是这样的:铁矿石、焦炭和石灰石等炉料从炉后贮料槽排出,进行槽下筛除粉末和称量,然后通过斜桥或胶带机送至高炉炉顶,再通过炉顶布料和装料设备将炉料分批装入炉内。由高炉鼓风机送来的风经过热风炉加热到 $1100 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 从高炉风口进入炉缸;这时,喷吹燃料通过喷枪也从风口与热风一起进入炉缸。炉料中的炭素和喷吹物中的可燃物在风口前与鼓风中的氧气产生燃烧反应,放出大量热量,生成含有 CO 和 H_2 的高温还原性煤气,在炉内煤气和炉料的相向运动过程中,相互间发生一系列的十分复杂的物理化学变化,最后生成合格生铁和终渣,汇集于炉缸。熔渣由于密度小浮于铁水上面。铁水定时从出铁口放出,通过出铁沟、渣铁分离器及流嘴流入铁水罐车,送往炼钢车间。熔渣定时从出渣口放出,然后进行干渣或水淬炉渣处理。高炉煤气从高炉炉顶煤气导出口排出,进入煤气除尘系统进行净化处理后供作热风炉和煤气发电的燃料。

现代化高炉,其设备不仅承受着巨大的载荷,而且在生产过程中还处于高温、高压和多尘的严酷环境条件下工作,极易磨损和侵蚀。为确保高炉生产长时期顺利进行,对炼铁设备提出了越来越高的要求。这些要求主要包括:有高度的工作可靠性;寿命长,易于维修;尽可能定型化和标准化;易于实现自动化操作等。

1.2 高炉生产主要技术经济指标

技术经济指标是用来衡量高炉生产技术水平和经济效果的重要参数。高炉生产技术经济指标主要有以下几项:

(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 1 m^3 高炉有效容积一昼夜产生铁的吨数,即高炉每昼夜产铁量 P 与高炉有效容积 V_v 之比值。

$$\eta_v = \frac{P}{V_v} \quad [\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$$

高炉的有效容积利用系数与高炉的有效容积有关,1000 m³级的高炉一般为 2.00 ~ 2.40, 2000 m³级的高炉一般为 2.00 ~ 2.35, 3000 m³级的高炉一般为 2.00 ~ 2.30。

(2) 高炉炉缸面积利用系数 η_A 。高炉炉缸面积利用系数是指每 1 m² 高炉炉缸有效面积一昼夜生产的生铁吨数,即高炉每昼夜产铁量 P 与高炉炉缸面积 S_A 之比值。

$$\eta_A = \frac{P}{S_A} \quad [\text{t}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$$

炉缸面积利用系数是衡量高炉效率的一个重要参考指标,国内 1000 ~ 5000 m³ 高炉的炉缸面积利用系数一般在 65 ~ 70 t/(m² · d)。

(3) 焦比 K 。焦比是指每生产 1 t 生铁所消耗的焦炭重量,即高炉昼夜产铁量 P 与昼夜消耗的干焦量 Q_k 比值。

$$K = \frac{Q_k}{P} \quad (\text{kg/t})$$

我国高炉的焦比一般为 400 ~ 500 kg/t, 喷吹燃料可以有效降低焦比。

(4) 油比、煤比。每吨生铁喷吹的重油量为油比,喷吹的煤粉量为煤比。喷吹的单位重量或单位体积的燃料所能代替的冶金焦炭量为置换比。重油置换比为 1.0 ~ 1.35 kg/kg, 煤粉置换比为 0.7 ~ 0.9 kg/kg, 天然气置换比为 0.7 ~ 0.8 kg/m³, 焦炉煤气置换比为 0.4 ~ 0.5 kg/m³。

(5) 燃料比。燃料比是指冶炼 1 t 生铁消耗的焦炭和喷吹煤粉的总和,这是国际上通用的概念。要注意燃料比与传统综合焦比的区别:

$$\text{燃料比} = \text{焦比} + \text{煤比}$$

$$\text{综合焦比} = \text{焦比} + \text{煤比} \times \text{置换比}$$

我国高炉一般的燃料比在 500 kg/t 铁左右。

(6) 冶炼强度 I 和燃烧强度 J_A 。冶炼强度是指每 1 m³ 高炉有效容积每昼夜平均消耗的燃料量。

$$I = \frac{Q}{V_u} \quad [\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$$

高炉有效容积利用系数 η_v 、焦比 K 和冶炼强度 I 三者关系如下:

$$\eta_v = \frac{I}{K} \quad [\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})]$$

燃烧强度是指每 1 m² 炉缸截面积每昼夜消耗的燃料重量,即炉缸截面积 A 与昼夜消耗的燃料量之比值。

$$J_A = \frac{Q}{A} \quad [\text{t}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$$

燃烧强度一般 1000 ~ 5000 m³ 高炉为 30 ~ 35 t/(m² · d)。冶炼强度高,燃烧强度也大。燃烧强度也可以用每 1 m² 炉缸截面积每小时燃烧的焦炭重量来表示。

(7) 休风率。休风率是指休风时间与规定作业时间(即日历时间减去计划大、中修时间)的比值百分数。休风率反映高炉设备维护和高炉操作水平的高低。先进高炉的休风率在 1% 以下。

1.3 高炉设备现状及其发展趋势

1.3.1 我国高炉设备现状

在 21 世纪的最初几年,我国的炼铁技术取得了巨大的进步,这不仅表现在技术经济指标的

显著提高,同时还表现在设备上有了飞速发展,其中有些已经进入了世界先进行列。

(1) 几年来,我国高炉大型化的发展有长足进步,但同时也新建了一大批小高炉,根据 2006 年上半年的不完全统计,我国 1000 m^3 以上的高炉占高炉总数的 38.8%, $600\sim 1000\text{ m}^3$ 的中型高炉占 8.14%, 600 m^3 以下的占 52.18%。这样的高炉结构对解决资源、能源、环境问题以及应对日趋激烈的国际竞争非常困难。

(2) 在高炉炉体结构中,两方面的进步是显著的。一是软水或纯水闭路循环冷却得到了大面积推广,其避免结垢、节水降耗的效果十分明显。同时,我国的冷却壁制造技术也发展迅速,热轧铜板生产的扁孔冷却壁、钢冷却壁及传统的球墨铸铁冷却壁都具有世界先进水平,合理使用能够为长寿高炉提供技术保障。二是国内的耐火材料技术已达到或接近世界先进水平,这包括热风炉用的硅砖、低蠕变砖和高炉炉缸使用的刚玉莫来石砖、复合棕刚玉砖、赛隆结合的刚玉砖、微孔刚玉砖、高导热微孔碳砖及炉身使用的 SiC 砖、铝炭砖等。

(3) 无料钟炉顶在国内已经得到了广泛使用,其简化的结构、优良的密封和灵活的布料在生产中发挥着巨大作用。我国在实践中发明的 SS 型无料钟炉顶具有独特的料流调节阀结构,克服了料仓料位高低对料流大小的影响,在国内 20 多座高炉上使用效果很好。

(4) 我国近 200 座喷煤高炉,除几座高炉曾部分引进国外技术外,绝大部分是自行设计、用国产设备建设起来的。其中的配煤喷吹技术、煤粉防爆技术、浓相输送和喷吹技术、均匀分配技术、氧煤喷枪技术、计量和自动控制等,都达到了国际先进水平。

(5) 近年来高炉的风温水平有了提高,不过对于 $1100\sim 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的目标风温,大多数企业仍然有空间。国内热风炉的结构形式多种多样,其中以内燃式为主,顶燃式也占较大比例。不过我国大多数热风炉在高温区仍然采用没有蠕变要求的高铝砖,对热风炉管道的膨胀处理也存在一些不足,这些问题都需要进一步改进。

(6) 胶带运输机和称量漏斗的供料方式逐渐成为上料系统的主流方式,实现了炉后供料机械化和自动化。

(7) 水渣处理装置多采用底滤法或 INBA 法,近几年我国自主开发的嘉恒法和明特法也逐渐在新建或改造的高炉上得到应用,效果明显。

(8) 检测和自动化水平明显得到提升,自主研发的红外摄像仪和计算机图像处理系统在高炉上得到了普遍应用。专家系统的研制和开发日渐成熟,浙江大学开发的“高炉炼铁过程优化与智能控制系统”在多座高炉上使用,效果良好。

总体来看,国内的高炉炼铁技术及装备发展迅速,与国际先进水平的差距在日渐缩小。目前面临的比较突出的问题是中小型的高炉还普遍存在,其规模小、消耗高、效率低、污染重的特点使得我国的整体炼铁工艺装备的水平不容乐观,达到国际先进水平的炼铁装备不足 50%,这也是炼铁技术发展近几年亟待解决的问题。

1.3.2 高炉发展的趋势

高炉发展的总趋势是高炉现代化。高炉现代化主要表现于炉容大型化、生产高效化及自动化。精料是高炉实现现代化的基础。

1.3.2.1 炉容大型化

随着精料技术和高压操作等新技术的发展,世界各国高炉的有效容积都在不断地增加,向着炉容大型化方向发展。高炉是炼铁工艺的主要冶炼设备。《构筑物抗震设计规范》GB 50191 按有效容积的大小,将高炉划分为大、中、小三种类型。有效容积小于 1000 m^3 的为中、小型高炉,等于和大于 1000 m^3 的为大型高炉,我国已有 4000 m^3 级特大型高炉 4 座,目前在建和拟建的还有数

座类似高炉。实践证明,大型化高炉具有低燃料比、低焦比、低能耗的优势,从而可以取得低成本、低污染的效果。所以高炉的大型化取代落后的中小型高炉是必然趋势。

1.3.2.2 生产高效化

依靠科学技术,强化高炉冶炼,促进高炉生产进一步实现高产、优质、低耗、低成本,提高经济效益,使高炉生产高效化。世界各国强化高炉生产的新技术主要包括以下几方面:

(1) 精料不仅是要求含铁原料品位高、化学成分稳定和粒度均匀,以及熟料率高,而且要求入炉矿石的高温性能好。有的有害元素会直接影响到高炉的寿命,因此对高炉入炉原料的有害元素如铅、锌、碱金属等含量要进行严格控制。

(2) 高风温和降低鼓风湿度。日本高炉采用外燃式热风炉,设计风温为 $1250 \sim 1350^{\circ}\text{C}$,使用风温为 1297°C 。德国、荷兰等国改造后的内燃式热风炉,风温已达 1250°C 和 $1300 \sim 1320^{\circ}\text{C}$ 。我国高炉提高风温的潜力很大,采用外燃式热风炉、预热助燃风和煤气、混烧焦炉煤气、利用转炉煤气富化高炉煤气等方法都是很有效的提高风温措施。脱湿鼓风能降低焦比,同时还能提高风口前端理论燃烧温度,从而提高煤粉喷吹量,为低富氧条件下的大喷吹煤粉创造条件。

(3) 高压操作。目前世界上大型高炉的炉顶压力一般都达到了 $0.25 \sim 0.30 \text{ MPa}$,先进高炉的超高压操作已经达到了 $0.34 \sim 0.4 \text{ MPa}$,其带来的增产节焦效果十分明显。

(4) 富氧大喷吹。目前国内外大多以喷吹煤粉(无烟煤和烟煤)为主,正常喷吹量可以稳定在 $80 \sim 100 \text{ kg/t}$ 铁。我国重点企业的高炉喷吹量在 120 kg/t 铁左右,这为降低高炉入炉焦比提供了重要的保证。

富氧与大喷吹量结合是强化冶炼的有力措施。富氧鼓风发展很快。俄罗斯富氧率曾达到2%以上,日本富氧率达到2%~3.5%。

(5) 加强二次能源回收。如回收热风炉废气余热,回收汽化冷却余热和利用煤气余压发电等。

(6) 加强环境保护,提高环保投资费用。日本高炉环境保护投资费占总投资的20%左右。我国高炉环保投资所占比例较少,应逐步增加,改善生产环境条件,保护劳动者健康。

1.3.2.3 高炉自动化

高炉自动化的最终目标是计算机控制,实现高炉总体的全部自动控制,即包括冶炼过程、供料、热风炉等各系统的综合闭环控制。目前,高炉采用自动化监测,计算机处理信息和数据指导生产的已越来越多。不少国家为争取实现高炉生产的全面自动化进行了大量研究工作。如日本一些高炉将人工智能用于控制炼铁过程,使炉况更加稳定。

高炉的自动化包括基础自动化(L1级)、过程自动化(L2级)和管理自动化(L3级),从2003年的调查结果来看,国内的高炉已基本普及了基础自动化,过程自动化在吸收和消化的基础上也有了一定的发展,而生产管理自动化以及生产制造执行系统(EMS)尚处于研究阶段。因此,在未来较长的时间内,普及提高基础自动化、大力发展过程自动化、重视制造执行系统建设等仍将是国内高炉工作的方向。

思考题

- 1-1 高炉炼铁工艺流程分为哪几个系统,各系统有哪些主要设备?
- 1-2 正确描述高炉有效容积利用系数、焦比和冶炼强度三者的关系。
- 1-3 比较高炉炉缸面积利用系数和高炉有效容积利用系数。

2 高炉炉型

2.1 炉型及其表示方法

2.1.1 炉型

高炉是一种生产液态生铁的鼓风竖炉。高炉的工作空间是用耐火材料砌筑而成的,炉型指的是高炉工作空间的内部剖面形状。

炉型对高炉的冶炼过程起着重要影响。长期以来,人们对高炉炉型作了大量的研究和探索,逐步认识了高炉炉型与原燃料和鼓风制度的适应关系,即炉型与炉料运动和煤气流运动规律的适应性。炉型是随着原燃料条件的改善,操作技术水平的提高,科学技术的进步而不断发展变化的。

在炉型的发展过程中,有代表性的几种炉型如图 2-1 所示。现代高炉炉型由炉缸、炉腹、炉腰、炉身和炉喉五段组成。其中炉缸、炉腰和炉喉呈圆筒形,炉腹呈倒锥台形,炉身呈截锥台形。

随着精料和高压操作等新技术的发展,高炉容积在不断扩大,但是,炉容的增长率远比有效高度的增长率要大,即高炉向扩大直径方向发展,使炉型变得更加“矮胖”。这反映了炉型发展的总趋向。

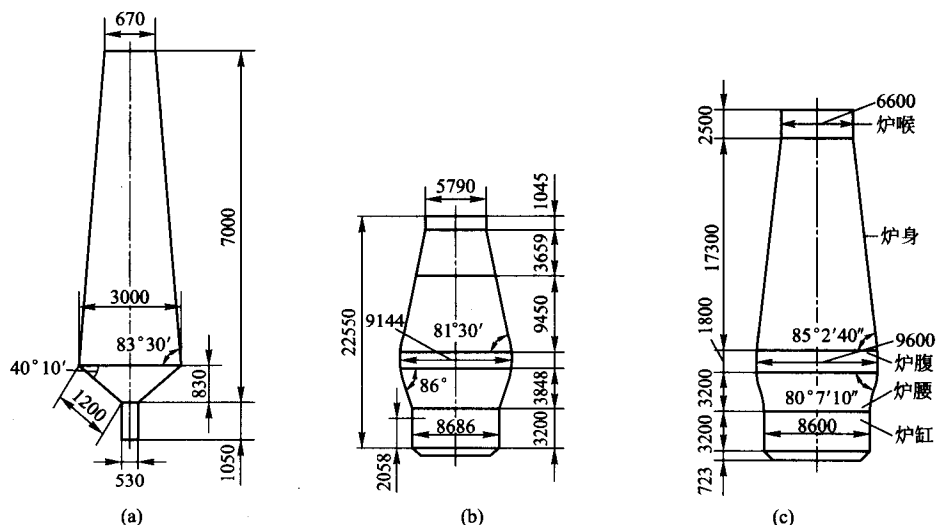


图 2-1 不同时期的高炉炉型

(a) 中国古代炼铁炉炉型; (b) 历史上的瓶式高炉; (c) 近代 1513 m³ 高炉炉型

2.1.2 炉型尺寸的表达方法

高炉炉型通常用通过高炉中心线的纵剖面内形轮廓线来表示。

我国高炉炉型的表示方法如图 2-2 所示。炉型尺寸各符号所表示的意义如下：

- H ——全高, mm;
- H_u ——有效高, mm;
- V_u ——高炉有效容积, m^3 ;
- h_1 ——炉缸高度, mm;
- h_2 ——炉腹高度, mm;
- h_3 ——炉腰高度, mm;
- h_4 ——炉身高度, mm;
- h_5 ——炉喉高度, mm;
- h_6 ——炉顶法兰盘至大料钟下降位置的底面高度, mm;
- h_f ——铁口中心线至风口中心线的高度, mm;
- h_z ——铁口中心线至渣口中心线的高度, mm;
- h_0 ——死铁层最底面至铁口中心线的高度, mm;
- d ——炉缸直径, mm;
- D ——炉腰直径, mm;
- d_1 ——炉喉直径, mm;
- d_0 ——大钟直径, mm;
- α ——炉腹角, ($^\circ$);
- β ——炉身角, ($^\circ$).

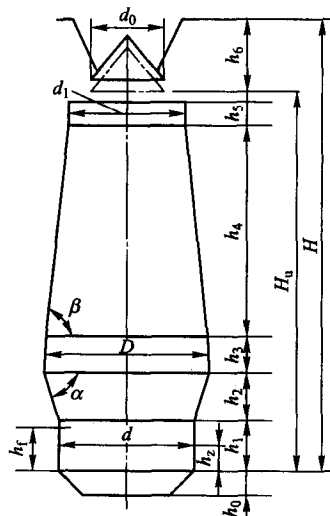


图 2-2 我国高炉内型尺寸表示方法

我国料线零位是指大钟开启位置的底面标高,对于无钟炉顶是指溜槽垂直状态的下端标高或炉喉高度上沿。料线零位至铁口中心线之间的容积为高炉有效容积。高炉全高 H 是指铁口中心线至炉顶钢圈表面之间的距离。而日本、美国及其他一些国家,则把铁口中心线至料线零位之间的容积称为内容积,风口中心线至料线零位之间的容积称为工作容积或有效容积。料线零位,日本确定在大料钟下降位置的底面以下 1000 mm 的水平面上,美国确定在其位置以下 915 mm 的水平面上。

2.2 炉型设计

2.2.1 炉型设计要求

高炉炉型的合理性,是高炉能实现高产、优质、低耗、长寿的重要条件。合理炉型应该是使炉型能够很好地适应于炉料的顺利下降和煤气流的上升运动。在生产过程中炉型是变化的。开炉时的炉型为建筑炉型,它和设计炉型基本一致。投产后由于炉墙受到机械作用和腐蚀作用而部分被破坏,炉型发生变化,变化后的炉型称为操作炉型或工作炉型。在高炉一代炉龄的生产过程中,往往产生这样的情况:炉龄中期的生产技术经济指标比开炉初期还好,而后期的生产指标又会变差。在其他冶炼条件相同的情况下,说明炉龄中期形成的操作炉型比开炉初期的设计炉型更能适应于高炉冶炼的规律。高炉后期生产指标变差,是由于后期炉衬受到严重的侵蚀破坏,炉型发生严重变形,其适应性遭到破坏所致。由此可见,设计的炉型并非是完全合理的炉型。

在炉型设计时,尽可能地使设计炉型接近于合理炉型是设计工作者的重要任务和努力方向。合理的高炉内型应与所使用的原燃料及冶炼铁种的特性相适应,实际上各厂高炉内型各部分尺寸的选择是在计算结果和同类型高炉的内型比较分析的基础之上,根据各厂的具体条件而选定的。

2.2.2 炉型设计方法

由于高炉冶炼过程和工作条件十分复杂,用理论计算方法设计出来的炉型难以满足生产要求。因此,迄今为止炉型设计仍然是采用分析比较和经验公式的方法进行的,即根据同类型高炉的生产实践数据,对所设计高炉的具体原燃料和操作条件,进行分析和比较,确定炉型各部分尺寸之间的比例值,进而设计出高炉炉型,或者采用从生产实践中总结的同类型高炉的经验公式,进行初步计算、取值,最后确定出炉型尺寸。

炉型设计的总原则是合理确定炉型各部分尺寸之间的比例。这是因为炉型各部分尺寸之间的比例关系是相互影响,相互制约的,片面过分强调扩大或缩小某一部分尺寸,都会给高炉生产带来不利影响。并且这些比例关系中的合适比值,是随着高炉有效容积、炉衬结构、原燃料及操作条件的变化而变化的。

2.2.2.1 炉型的主要尺寸之间的比例关系

A H_0/D

此值是表征高炉“矮胖”程度的。 H_0/D 值越大,炉料和煤气经过的路径越长,炉料与煤气在炉内接触的时间也越长,因此有利于煤气的热能和化学能的充分利用。但是,另一方面由于 H_0/D 值较大,会增加料柱的高度,相应地增加了煤气流通过料柱的阻力损失,不利于高炉顺行的因素也增加。相反, H_0/D 值减小,高炉变得更加“矮胖”,上述情况则会相反减弱。小型高炉由于炉型有效高度较低,原燃料条件不如大中型高炉的好,为使炉料有足够的加热和还原时间,所以一般小型高炉的 H_0/D 值较大中型高炉的 H_0/D 值要大些。近些年来,随着高炉容积的进一步大型化,高炉的有效高度值增加(由小高炉的10多米增加到大型高炉的30多米),同时矿石和焦炭粒度的上限值逐步缩小,风温提高,喷吹燃料及焦比进一步降低等,都增加了高炉料柱阻力损失升高的因素,使影响高炉顺行的因素更加突出。为了从炉型设计方面考虑有利于高炉的顺行,大型高炉的炉型设计,主要是通过增加高炉横向尺寸来增加高炉有效容积的,而有效高度增加的比例较小。 H_0/D 值随着高炉的大型化而变得越来越小,高炉更趋向于“矮胖”,这是高炉炉型发展的总趋势。炉型设计时, H_0/D 的取值与高炉的容积有关,取值的选择范围参见表2-1。

表2-1 不同容积的高炉内型各部分尺寸比例关系

高炉有效容积/ m^3	300 ~ 620	800 ~ 1050	1300 ~ 2000	2500 ~ 4000
d/mm	4200 ~ 5700	6500 ~ 7300	8400 ~ 9800	10000 ~ 13400
D/d	1.32 ~ 1.16	1.15 ~ 1.13	1.12 ~ 1.08	1.11 ~ 1.09
H_0/D	3.22 ~ 3.06	3.10 ~ 3.04	2.85 ~ 2.65	2.52 ~ 2.23
$\alpha/(^\circ)$	82 ~ 80	81 ~ 80	80.5 ~ 79.5	81.5 ~ 80.5
$\beta/(^\circ)$	85.5 ~ 84.5	85 ~ 84.5	84 ~ 83.8	83.5 ~ 82

B V_0/A

高炉有效容积与炉缸横断面积(A)之比值的大小,也是描述高炉“矮胖”程度的另一个参数。一般炉容大的比炉容小的高炉的 V_0/A 值要大些,这是提高小高炉冶炼强度的经验之一,如图2-3