

· 高等专科学校教学用书 ·

炼铁设备 及车间设计

GAODENG
ZHUANKE
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

炼铁设备及车间设计

重庆钢铁高等专科学校 万清国 编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

高等专科学校教学用书

炼铁设备及车间设计

重庆钢铁高等专科学校 万清国 编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所 发行

河北省三河市印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张16.5 字数389 千字

1994年11月第一版 1994年11月第一次印刷

印数 1~ 2200 册

ISBN 7-5024-1496-7

TF·347 (课) 定价9.90元

前 言

本书系根据1990年5月在重庆召开的冶金专科学校炼铁专业教材会议制定的“炼铁设备及车间设计”课程教学大纲编写的。本书可作为冶金高等专科学校炼铁专业“炼铁设备及车间设计”课程的基本教材。

本书从炼铁工艺对设备要求的角度以高炉本体和热风炉结构设计为重点较系统地论述炼铁设备的构造、性能及操作。全书共分九章：第一章高炉内型；第二章炉体结构；第三章炉顶设备；第四章供料系统；第五章高炉送风系统；第六章高炉喷吹燃料设备；第七章高炉煤气除尘系统；第八章铁、渣处理系统；第九章高炉车间设计。

全书由重庆钢铁高等专科学校万清国主编。在编写过程中，重庆钢铁设计研究院、重庆钢铁公司等单位给予了大力支持；本书初稿完成后，召开“炼铁设备及车间设计”教材审稿会，除编者单位的同志外，参加审稿的还有重庆大学、太原冶金学校和重庆钢铁公司的同志等，在此谨向在本书的编写和审稿过程中给予大力支持和热情协助的单位和个人表示衷心的感谢。由于编者的业务水平有限，书中可能存在错误和缺点，希望广大读者批评指正。

编 者

1991年7月

3425/15

绪 论

一、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炉子。高炉炼铁是炼铁生产的主要方法，高炉炼铁生产的工艺流程如图1所示。

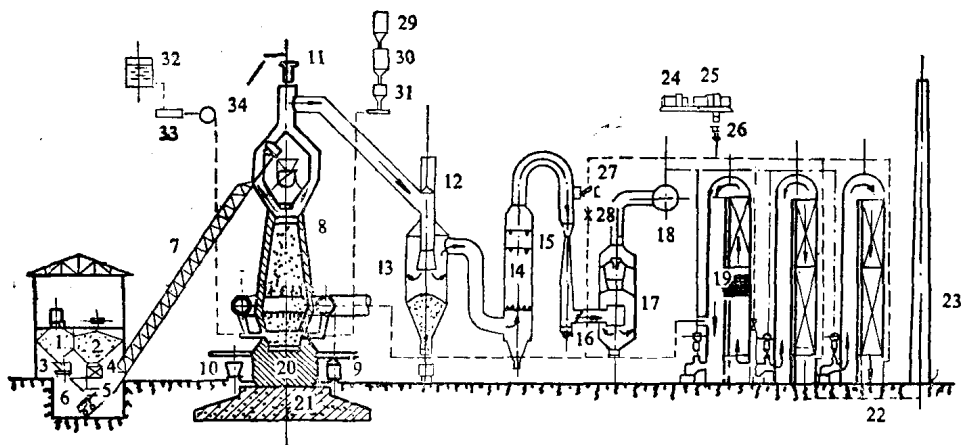


图 1 高炉生产流程简图

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—油加压机

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

高炉本体主要包括炉基、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，炉衬为耐火材料砌筑而成，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

装料系统主要包括装料、布料、探料及均压几部分。装料系统的类型较多，各自所包括的设备组成差别也大。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。高压操作的炉顶还有均压阀及其传动装置。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

上料系统主要包括贮矿槽、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

送风系统主要包括高炉鼓风机、脱湿装置、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。采取富氧的高炉还有富氧装置。

5. 煤气除尘系统

煤气除尘系统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、捕泥器、脱水器、净煤气管道与阀门等。采用电除尘系统的高炉，还有静电除尘器装置。采用高压炉顶操作的高炉，在净煤气管道上还设置有高压调节阀组和回收余压能源的透平发电机装置。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

铁水处理设备主要包括开铁口机、堵铁口泥炮、铁水罐车、炉外脱硫装置及铸铁机等。

炉渣处理设备主要包括堵渣口机、渣罐车、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。在出铁场还设置有桁车和烟气除尘装置。在热风围管下或风口平台上有换风口机等。

7. 喷吹系统

喷吹系统的设备组成决定于高炉喷吹燃料的种类。喷吹煤粉设备主要包括球磨机、送风机、收尘设备、贮煤罐、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。

高炉喷油设备主要包括油罐车、卸油泵、贮油罐、过滤器、输油泵、调压装置及喷油枪等。高炉喷吹气体燃料的设备主要包括气体调压站、输气管道与阀门等。富氧高炉还有氧气制备、输送及控制等设备。

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。炉料中的碳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，送往炼钢车间或铸铁机车间。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锅炉的燃料。

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。

二、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 m^3 高炉有效容积一昼夜生产的生铁吨数，即高炉每昼夜产铁量 P 与高炉有效容积 V_u 之比值。

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

目前，我国高炉 η_v 值一般在1.5~2.0，生产条件好的高炉， η_v 值在2.5以上。

2. 焦比 K

焦比是指每生产一吨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。

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

我国高炉的焦比一般为500kg/t铁左右，先进高炉的焦比更低，生产条件差的高炉在600kg/t以上。

3. 油比、煤比和置换比

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1.0~1.35kg/kg，煤粉置换比为0.7~0.9kg/kg，天然气置换比为0.7~0.8kg/ m^3 ，焦炉煤气置换比为0.4~0.5kg/ m^3 。

4. 冶炼强度 I 和燃烧强度 J_A

冶炼强度是指每 m^3 高炉有效容积每昼夜平均消耗的焦炭量。

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

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 m^2 炉缸截面积每昼夜燃烧的焦炭重量，即炉缸截面积 A 与昼夜消耗的焦炭量之比值。

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

燃烧强度一般为24~28.8t/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)。冶炼强度高，燃烧强度也大。燃烧强度也可以用每 m^2 炉缸截面积每小时燃烧的焦炭重量来表示。

5. 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。

三、高炉设备现状及其发展趋势

1. 我国高炉设备现状

我国高炉总数上千座，总容积为10万余 m^3 ，其特点是大、中、小型高炉并存，其中1000 m^3 以上的大型高炉有27座，容积41000 m^3 ，其余均为中、小型高炉。我国大中型高炉的装备水平，除最近几年新建的几座大型高炉的装备达到70年代的水平外，其余的大多数高炉与国外高炉比较均属于中下水平。

炉顶设备,除少数新建和扩建的部分大型高炉采用了钟阀式和无料钟炉顶外,大部分高炉仍沿用双钟马基式布料器或双钟空转布料器,炉顶压力也局限在0.15MPa左右或者更低的水平。送风系统,除少数大型高炉采用了出口风压高的轴流式鼓风机、外燃式热风炉和霍戈文式改造型热风炉外,大多数高炉仍采用的是出口风压较低的离心式鼓风机和普通内燃式热风炉,风温一般都在1050~1100℃范围,和国外先进高炉比较,风温要低100~200℃。我国高炉采用顶燃式热风炉正在试用之中。上料系统,普遍采用斜桥、料车及卷扬机上料,少数大型高炉采用了胶带运输机上料。炉后一般都采用了槽下筛、胶带运输机和称量漏斗供料,基本实现了炉后供料机械化和自动化。炉前机械设备,已由过去普遍采用的电动泥炮,逐步推广采用矮身液压泥炮。冲钻式开铁口机在部分高炉上采用,通压缩空气的堵渣口机已得到普遍采用。在新建和改建的部分大型高炉上还设置了换风口机和炉前烟气除尘设施,但大多数高炉仍采取人工拆换风口,炉前工作条件仍然很差。炉前熔渣水淬新技术、铁水摆动流嘴、插棒法开铁口、大型鱼雷罐铁水车等在新建和改建的大型高炉上被采用。热风炉余热回收利用,煤气余压发电回收能源等新技术已逐步得到推广使用,并已获得良好的经济效益。我国高炉采用喷煤粉技术较早而广,其特点是煤、油联合喷吹,喷吹量大。但是近些年来,喷煤技术进展不大,在自动化等新技术方面已落后于日本等发达国家。我国由于制氧机的生产满足不了高炉生产的需要,鼓风富氧率很低。富氧鼓风在国外发展很快。我国高炉一般只用几台微型计算机控制炉后上料、热风炉燃烧与换炉等,而没有炉况判断与预报悬料等过程控制的大型计算机。除少数大型高炉检测仪表较齐全,档次较高外,大多数高炉检测仪表较少,而且欠准确。我国300m³以下的小型高炉普遍采用球式热风炉和布袋式煤气除尘器系统。

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) 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。目前全世界5000m³以上的高炉共有5座,其中日本有3座,其炉容分别为5245m³、5151m³和5050m³;前苏联有2座,炉容为5580m³和5026m³。到目前为止,据不完全统计,世界上已投产的4000m³以上的大型高炉有25座以上,并主要分布在日本和西欧一些国家。这些大型高炉的单位炉容基建投资费用较低,仅为1000m³级高炉单位炉容基建投资费用的 $\frac{1}{5}$ 左右。同时采用了先进的冷却方法

和高质量的耐火材料,高炉寿命由过去的8年左右中修1~2次,延长到8~10年而不中修,最高寿命预计可达15~20年,成为半永久性高炉,生产效率大大提高。

我国技术政策规定,今后大型企业新建的高炉容积必须大于1000m³,以适应我国高炉生产发展的要求。争取大大提高高炉的平均炉容和高炉寿命是我国炼铁工作者的重要任务。

(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,

而且要求使用高温性能好的高碱度、低FeO烧结矿。

2) 高风温。日本高炉采用外燃式热风炉,设计风温为1250~1350℃,使用风温为1297℃。德国、荷兰等国改造后的内燃式热风炉,风温已达1250℃和1300~1320℃。预热热风炉助燃风和煤气是提高风温的有效措施。

3) 高压炉顶操作。目前世界上大型高炉的炉顶压力一般都达到了0.25~0.30MPa,实现了所谓的超高压操作。

4) 喷吹燃料与富氧鼓风。近20年来,喷吹技术使世界上高炉的焦比平均降低了80~100kg/t。美国主要是喷吹天然气和重油,前苏联高炉主要是喷吹天然气,日本和西欧一些国家的高炉过去也主要是喷吹重油,喷吹量一般为80~100kg/t。目前国内外高炉主要是向喷吹煤粉方向发展,不仅喷吹无烟煤,有不少国家还喷吹烟煤,喷吹量也逐步增加。我国高炉争取喷煤量达到200kg/t的目标。

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。前苏联富氧率曾达到2%以上,日本富氧率达到2~3.5%。鼓风脱湿技术也在发展。

5) 冶炼低硅生铁,使生铁含硅量在0.4%以下。

6) 提高高炉寿命。有人预计到下个世纪高炉寿命可能达到20年。

7) 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。

8) 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。

(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,用以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计算机用于控制炼铁过程,使炉况更加稳定。日本各钢铁公司都有自己的高炉过程控制数学模型,还将光纤探测器新技术应用于研究高炉冶炼规律和指导生产操作,这对指示高炉冶炼的动态过程,丰富和发展高炉冶炼技术和理论都具有重大作用,并具有广阔前景。

第一章 高炉炉型

第一节 炉型及其表示方法

一、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1-1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。

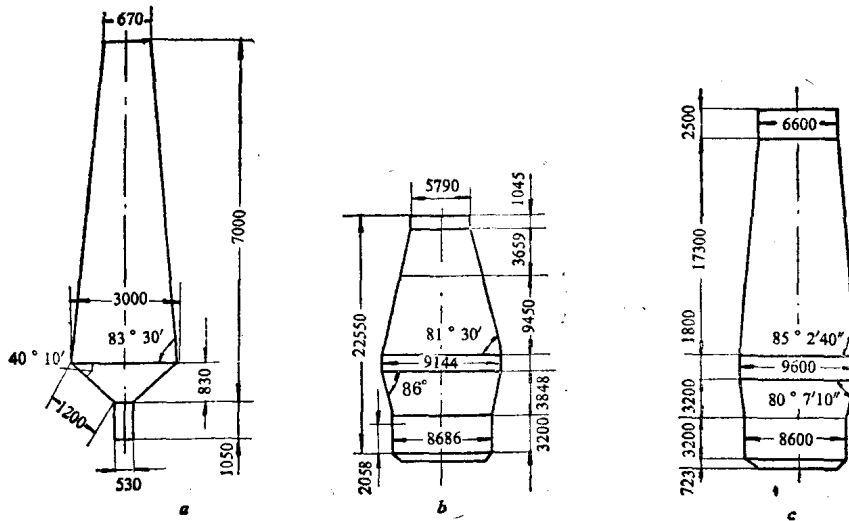


图 1-1 不同时期的高炉炉型

a—中国古代炼铁炉炉型；b—历史上的瓶式高炉；c—近代1513m³高炉炉型

二、炉型尺寸的表示方法

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1-2所示。图1-2中，炉型尺寸各符号所表示的意义如下：

H ——全高，mm；

H_a ——有效高, mm;
 V_a ——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, ($^\circ$)。

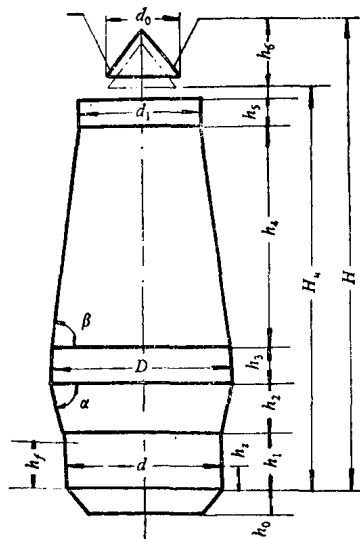


图 1-2 高炉内型尺寸表示方法

高炉全高 H 是指铁口中心线至炉顶钢圈表面之间的距离。高炉有效高 H_a 一般是指铁口中心线至大料钟开启位置的下缘之间的距离。高炉有效容积,我国是指炉缸、炉腹、炉腰、炉身和炉喉五段容积之和,而日本、美国及其他一些国家,则把铁口中心线至料线位置之间的容积称之为内容积(V_1),风口中心线至料线位置之间的容积称之为工作容积或有效容积(V_2)。料线位置,日本确定在大料钟下降位置的底面以下1000mm的水平面上,美国确定在其位置以下915mm的水平面上,而我国的料线位置则是一个变化的数值,即把大料钟下降位置的下缘到料面之间的距离称为料线,料线数值的大小随料面位置的高低而增减,料线位置随之上下移动。调节料线是调节炉料分布的方法之一。

第二节 炉型设计

一、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损,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。炉型设计应当满足下列要求：

- 1) 与原燃料条件和送风制度等操作条件相适应，有利于炉况顺行；
- 2) 能够燃烧较多数量的燃料，提高冶炼强度，增加生铁产量；
- 3) 有利于煤气的热能和化学能的充分利用，降低焦比；
- 4) 适应于采用喷吹等强化操作的新技术；
- 5) 能与炉衬结构及冷却方式配合，易于生成保护性渣皮，防止炉衬的迅速烧坏和侵蚀，有较长的一代寿命。

二、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。

1. 炉型的主要尺寸之间的比例关系

(1) H_u/D 此值是表征高炉“矮胖”程度的。 H_u/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_u/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_u/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_u/D 值较大中型高炉的 H_u/D 值要大些。至于小型高炉的顺行，同大中型高炉一样，主要取决于精料。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_u/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_u/D 的取值，一般大中型高炉为2.5~3.5，小高炉为3.5~4.2。

(2) V_u/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_u/A 值要大些，这是提高小高炉冶炼强度的经验之一。同一类型的高炉，使用难还原矿石的要比使用易还原矿石的 V_u/A 值大。随着高炉操作的进一步强化，无论是大型高炉或是中小型高炉的 V_u/A 值，其总的发展趋势都在减小。 V_u/A 值，大型高炉为22~27，中型高炉为15~22，小型高炉为10~13。

(3) 炉身角 β 炉身角是控制炉身形状的基本参数，也是控制高炉上部尺寸的重要参数。炉身角的大小与炉料下降和煤气流上升过程中的分布状态关系极大。炉身角小，炉

墙的倾斜度大,炉料对炉墙产生的侧向压力减小,炉料在下降过程中与炉墙之间产生的摩擦阻力相应减小,有利于炉料的顺利下降。炉身角小,促进边缘气流发展,也有利促进高炉顺行。但是,炉身角过小,边缘气流过分发展,会给高炉操作上下部调节造成困难,这不仅不利于煤气热能和化学能的充分利用,而且容易使炉衬过热而被损坏。相反,炉身角增大,不利于炉料下降的因素也会增加,但有利于抑制高炉边沿煤气流的过分发展。

炉身角的大小还应当考虑原料条件。使用烧结矿的高炉,由于烧结矿的膨胀量很小,炉身角可以取大些;使用球团矿、赤铁矿和褐铁矿的高炉,炉料膨胀量较大,为了适应炉料下降过程中的膨胀,炉身角可以取小些。

大型高炉的炉身角一般比小型高炉的炉身角要小些。这一方面是由于前者的 H_0/D 值比后者要小的缘故,另一方面,是由于大型高炉横断面积大,炉料的横向膨胀量大,取较小的炉身角可以适应炉料的膨胀。此外,大型高炉的料柱较高,料柱对气流的阻损增加,减小炉身角,相应地增加了高炉的下部容积,这不仅有利于高炉顺行,而且为高炉的强化操作创造了有利条件。

炉型设计时,炉身角 β 的值一般取在 $82^\circ\sim 85^\circ$ 之间。炉型发展的趋势是炉身角在不断减小。

(4) 炉腹角 α 炉腹角是描述炉腹形状的主要参数,也是确定高炉下部尺寸的重要依据。炉腹呈倒锥台形,是为了适应于炉料熔化后体积收缩的特点和调节煤气流分布的需要;并使风口前产生的高温气流能远离炉墙,不致烧坏炉衬;同时使风口前的燃烧带位置恰好处于距离炉喉边缘 $\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}$ 半径的下方区域,这正是矿石分布较多下料较快的区域,

有利于炉料的松动,促进高炉顺行。

从煤气流分布角度考虑,炉腹角的大小,在一定程度上决定着燃烧带的位置,即影响煤气流的初始分布状态。炉腹角过大,可能造成边缘气流过分发展而不可抑制;也不利于在炉墙上形成稳定的渣皮保护层。炉腹角过小,炉腹收缩度大,可能造成中心气流过分发展而不可抑制;也不利于炉料的顺利下降,影响高炉顺行,甚至是高炉经常产生悬料的原因。炉型设计时,炉腹角 α 值一般取 $79^\circ\sim 82^\circ$ 范围为宜。

为了适应高炉采取高风温、喷吹等强化操作措施,目前炉腹角有增大的趋势。

炉腹的高度应与炉容相适应。炉腹过高,可能使炉料还未熔化就过早地进入炉腹,容易导致悬料。炉腹过低又发挥不了它的作用。

炉型设计时,炉腹高度,大中型高炉为 $3\sim 4\text{m}$,小型高炉为 $2\sim 2.5\text{m}$ 。

(5) D/d 此值与炉腹角 α 紧密联系,是表征高炉下部形状和下部尺寸的另一个主要参数。在炉型设计时, D/d 值和 α 角值应一并统筹考虑确定。 D/d 值的大小,大型高炉为 $1.1\sim 1.15$,中型高炉为 $1.15\sim 1.25$,小型高炉为 $1.25\sim 1.50$ 。

炉腰是炉腹到炉身的过渡段,其高度大小对高炉冶炼过程无严重影响。因此,在炉型设计时,一般可以采用调节炉腰高度的方法来调整高炉有效容积。高炉炉腰一般为 $1.5\sim 3.0\text{m}$ 。

(6) d_1/D d_1/D 值和 β 角是表征高炉上部形状的主要参数,二者联系起来可以说明高炉上部尺寸的比例关系。在炉型设计时, d_1/D 和 β 的值应一并考虑确定。 d_1/D 值一般为 $0.65\sim 0.72$ 。

炉喉的高度应以能满足控制炉料分布和煤气流分布为宜，过高会使炉料挤紧而影响其下降；过低难以满足装料制度调节的要求。炉喉高度一般以2~2.5m为宜。

炉喉与大钟之间的间隙 $[(d_1 - d_0)/2]$ 决定着炉料堆尖的位置。因而其值大小会影响煤气流的分布，同时还影响流出炉喉煤气流的速度，和炉尘吹出量。炉型设计时，炉喉间隙应与炉身角 β 和炉料粒度组成一并考虑。炉喉间隙，中小高炉为500~700mm，大型高炉为800~1000mm。

(7) 炉缸及死铁层高度 风口、铁口和渣口设置在炉缸部位。焦炭和喷吹燃料均在炉缸风口前的燃烧带进行燃烧反应，产生的高温煤气在炉缸进行初始分布，然后上升到炉腹；液态渣铁汇集于炉缸下部，并定时放出。炉缸的容积不仅要应能保证足够数量的燃料燃烧，而且应能容纳一定数量的铁和渣。当炉缸的直径由 $V_{\text{缸}}/A$ 比例关系确定之后，炉缸的高度应能保证在炉缸内容纳两次出铁间隔时间内所生成的铁水和一定数量的炉渣，并应考虑因故而不能按时放渣放铁因素和留有足够安装风口所需要的结构尺寸。设计时，炉缸高度可以按经验确定，也可以根据经验公式先分别计算出渣口高度和风口高度，再加上风口结构尺寸，确定出炉缸高度。不同容积高炉的风口结构尺寸值是，一般小于620m³的中小型高炉为350mm，大于620m³的大型高炉为400~500mm。

计算渣口、风口和炉缸高度的经验公式如下。

渣口高度 h_z 为：

$$h_z = 1.27 \frac{eP}{n_T C \gamma d^2}$$

式中 h_z ——渣口高度，m；

P ——生铁日产量，t；

e ——生铁产量波动系数，一般取 $e=1.2$ ；

n_T ——每日出铁次数，次；

C ——炉缸容积（渣口以下）利用系数，一般 $C=0.55\sim0.60$ ，（炉容大，渣量大选低值）；

γ ——铁水密度，一般取 7.1t/m^3 ；

d ——炉缸直径，m。

风口高度 h_f (m) 为：

$$h_f = \frac{h_z}{p}$$

式中 p ——渣口高度与风口高度的比，一般 $p=0.5\sim0.6$ （渣量大，取低值）。

炉缸高度 h_1 (m)为：

$$h_1 = h_f + b$$

式中 b ——风口结构尺寸，m。

渣铁口数目取决于炉容和原料条件。一般中小高炉设1~2个渣口，上下渣口高度差为100~200mm，设一个铁口。大型高炉渣铁口数目应一并考虑，有的设2~3个渣铁口，或只设铁口不设渣口。

风口数目主要取决于炉容大小（即炉缸直径大小）和鼓风机能力，也应考虑炉缸支柱的布置形式。风口数目的确定至今还没有严格的理论计算公式，一般采取经验数据，或者按经验公式进行粗略计算后确定。随着高炉精料和喷吹技术的发展，风口数目有增加和风

口间距有减小的趋势。风口间距一般为1.0~1.4m。

死铁层深度 h_0 。死铁层是指出口中心线至炉底砌砖表面之间的高度。死铁层的作用是防止炉底砖衬免遭炉渣、铁水和煤气的强烈冲刷侵蚀,使炉底温度均匀稳定,延长炉底寿命。死铁层深度随炉容的增大而增加。中小型高炉死铁层一般为300~600mm,大型高炉一般为1000~2000mm。目前大型高炉的死铁层深度有进一步增加的趋势。

2. 炉型设计经验公式和统计数据

炉型设计除了采用分析比较确定炉型尺寸的方法外,还可以采用经验公式计算、调整的方法。国内外总结出来的计算炉型尺寸的经验公式较多,各类经验公式所考虑的择重点也不完全相同,公式中的系数也在随着条件的变化而不断地修改。因此,要固定采用某种经验公式进行炉型设计计算都是不合适的,必须根据各国、各地的具体原燃料、设备和操作条件,总结、修改出适合本国情况的经验公式,然后加以采用。

我国2000m³以下高炉内型尺寸计算的经验公式及统计数据如表1-1。

表 1-1 高炉内型计算的经验公式及统计数据

名 称	经 验 公 式	统 计 数 据 及 说 明
炉缸直径 d , m	$d = 1.13 \sqrt{\frac{I V_u}{J_A}}$ 或用 V_u/A 值计算时, 先求出 A , 然后再用如下公式: $d = 1.13 \sqrt{A}$	I ——冶炼强度, $t/(m^3 \cdot d)$, 其值为1.0~1.25; J_A ——燃烧强度, $t/(m^2 \cdot d)$, 其值为24~28.8; A ——炉缸截面积, m^2 , V_u/A 值, 大型高炉为22~27, 中型高炉为15~22, 小型高炉为10~13
炉腰直径 D , m	D 值可按 D/d 值来确定	D/d 值如下: 大型高炉为1.1~1.15; 中型高炉为1.15~1.25 小型高炉为1.25~1.50
有效高度 H_u , m	H_u 值可按 H_u/D 值来确定	H_u/D 值如下: 大中型高炉为2.5~3.5; 小型高炉为3.5~4.2
全高 H , m	$H = H_u + h_0$	h_0 ——炉头高度, 一般为1.5~3.0m
炉喉直径 d_1 , m	d_1 值可按 d_1/D 值来确定	d_1/D 值一般为0.65~0.72; 大、中型高炉取0.7; 小型高炉取0.67
炉身高度 h_1 , m	$h_1 = \frac{D-d_1}{2} \tan \beta$	β ——炉身角, 一般为82°~85°
大钟直径 d_0 , m	d_0 可按 $\frac{d_1-d_0}{2}$ 来确定	$\frac{d_1-d_0}{2}$ 值如下 大型高炉 ≥ 0.80 m; 中型高炉为0.60~0.80m; 小型高炉为0.35~0.55m
炉腹高度 h_2 , m	$h_2 = \frac{D-d}{2} \tan \alpha$	α ——炉腹角, 一般为80°~82°; h_2 的统计值一般为: 大中型高炉为2.8~3.4m; 小型高炉为2.0~2.5m
渣口高度 h_z , m	h_z 值可按 h_z/h_1 来确定	大、中型高炉 $h_z/h_1 = 0.44 \sim 0.47$ (两个渣口时 h_z 指下渣口高度); 小型高炉 $h_z/h_1 = 0.40$; 高低渣口差一般为100~200mm

续表 1-1

名 称	经 验 公 式	统 计 数 据 及 说 明
风口高度 h_f, m	$h_f = h_z + a$	a ——风口与渣口中心线的高度差, 据统计 a 值为, 大型高炉1.25~1.45m; 中型高炉1.0~1.25m; 小型高炉0.4~0.8m
炉缸高度 h_1, m	$h_1 = h_f + b$	b ——安装风口和砌砖方便的结构尺寸, 据统计 b 值为: 大中型高炉0.35~0.50m; 小型高炉为0.3~0.35m。
死铁层高度 h_0, m	h_0 值一般按统计数据来确定	据统计, h_0 值如下: 大型高炉1.0m或1.0m以上; 中型高炉 $\leq 0.7\text{m}$; 小型高炉0.3m左右
炉腰高度 h_3, m	h_3 值参考同类型高炉数据取值	据统计, h_3 值如下: 大型高炉2.0~2.5m; 中型高炉2.0m左右; 小型高炉1.0~1.2m; h_3 值可作为调节高炉有效容积之用
炉喉高度 h_5, m	h_5 值参照同类型高炉数据取值	据统计, h_5 值如下: 大型高炉2.0~2.5m; 中型高炉1.7~2.2m; 小型高炉1.0~1.5m
风口数目 f , 个	中、小型高炉 $f = 2(d+1)$ 大型高炉 $f = 2(d+2)$	风口数目也可采用下式计算: $f = \frac{\pi d}{1.0 \sim 1.2} \text{ 或 } f = 3t$

我国包头钢铁设计研究院高青志等同志总结提出的炉型设计计算经验公式如下:

1) 死铁层: 建议新设计高炉炉容大于 1000m^3 以上的, 死铁层容积应不小于炉容的 7.36%。死铁层高度按下面经验式计算:

$$h_0 \geq 0.0937V_a d^{-2}$$

对于 1000m^3 以下的常压高炉, 建议死铁层容积应不小于炉容的 6%。死铁层高度按下列经验公式计算:

$$h_0 \geq 0.0764V_a d^{-2}$$

2) 炉缸: 大高炉炉缸直径按如下经验公式计算:

$$d = 0.4087V_a^{0.4205}$$

炉缸高度按如下经验公式计算:

$$h_1 = 1.4206V_a^{0.159} - 34.8707V_a^{-0.841}$$

3) 炉腹: 炉腹角 α 值, 建议取 $79^\circ \sim 81^\circ$ 之间。炉腹高度按如下经验公式计算:

$$h_2 = (1.6818V_a + 63.5879)(V_a^{0.7848} + 0.7190V_a^{0.8129} + 0.5170V_a^{0.841})^{-1}$$

4) 炉腰: 炉腰直径按下列经验公式计算:

$$D = 0.5684V_a^{0.3924}$$

炉腰高度按如下经验公式计算:

$$h_3 = 0.3586V_a^{0.2152} - 6.3278V_a^{-0.7848}$$

5) 炉身: 炉身角 β , 建议取 $81.6^{\circ} \sim 83.6^{\circ}$ 。炉身高度按如下经验公式计算:

$$h_4 = (6.3008V_u - 47.7323)(V_u^{0.7848} + 0.7833V_u^{0.7701} + 0.5769V_u^{0.7554})^{-1}$$

6) 炉喉: 为适应大料批需要, 炉喉直径有增加的趋势。炉喉直径和炉喉高度分别按下列经验公式计算:

$$d_1 = 0.4317V_u^{0.3777}$$

$$h_5 = 0.3527V_u^{0.2446} + 28.3805V_u^{-0.7554}$$

7) 风口数目 f : 风口数目的经验公式计算为:

$$f = \frac{\pi d}{1.1 \sim 1.2}$$

8) 渣铁口数目: 建议 1000m^3 以下的高炉设1个铁口和1~2个渣口; 1000m^3 以上的高炉设1~2个铁口和1~2个渣口; 4000m^3 以上的高炉设4个铁口, 可以不再设渣口, 炉渣从铁口放出。

部分大型高炉炉型各部位容积与有效容积之比的统计值和按高清志等人提出的经验公式计算值比较, 见表1-2。

表 1-2 高炉内型各部位容积与有效容积关系

高炉容积级别	V_u 平均值 m^3	统计 值 $\times 100, \%$					公 式 计 算 值 $\times 100, \%$				
		V_1/V_u	V_2/V_u	V_3/V_u	V_4/V_u	V_5/V_u	V_1/V_u	V_2/V_u	V_3/V_u	V_4/V_u	V_5/V_u
5000 m^3 级	5245	17.10	14.04	8.58	54.32	5.93	18.55	14.32	9.07	52.69	5.24
4000 m^3 级	4296	18.05	14.37	12.40	51.17	4.01	18.53	14.35	9.06	52.67	5.26
3000 m^3 级	3328	15.55	13.50	11.34	54.51	5.09	18.50	14.39	9.05	52.64	5.28
2000 m^3 级	2415.6	14.78	14.12	11.49	55.92	4.68	18.45	14.45	9.03	52.60	5.33
1000 m^3 级	1345	13.52	14.83	9.83	56.70	5.13	18.29	14.64	8.98	52.46	5.48
1000 m^3 以下 级	564.6	13.83	16.41	11.55	51.31	7.01	17.67	15.36	8.76	51.92	6.04

国内外部分高炉炉型尺寸, 见表1-3。

三、炉型设计计算举例

1. 设计计算条件

高炉日产炼钢生铁为 $P=2160\text{t}$, 生铁焦比为 $K=550\text{kg/t}$, 每昼夜出铁次数为 $n_T=8$ 次, 使用烧结矿80%, 矿石20%, 设计计算该座高炉的内型尺寸。

2. 设计计算方法及步骤

采用我国总结的炉型设计经验计算式进行初步计算, 然后调整计算出的炉型尺寸数据, 最后确定出高炉内型尺寸。

炉型设计计算方法和步骤如下。

(1) 确定高炉有效容积 选取高炉利用系数 $\eta_v=1.8\text{t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, 高炉有效容积为:

$$V_u = \frac{P}{\eta_v} = \frac{2160}{1.8} = 1200\text{m}^3$$

(2) 炉缸和死铁层 冶炼强度 $I=\eta_v K=1.8 \times 0.55=0.99\text{t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, 燃烧强度取 $J_d=26\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 则炉缸直径为: