

中等专业学校教学用书

炼铁学

下 册

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

炼 铁 学

(下 册)

北京钢铁学校 张光祖 编

冶金工业出版社

A 708022

中等专业学校教学用书

炼 铁 学

(下 册)

北京钢铁学校 张光祖 编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 16 1/4 字数 388 千字

1980年8月第一版 1980年8月第一次印刷

印数00,001~6,000册

统一书号: 15062·3566 定价 1.30 元

前 言

《炼铁学》一书系根据1978年冶金部教材会议制订的中等专业学校炼铁专业教学计划及炼铁学大纲编写的。

全书分上、下两册。上册包括炼铁原料、高炉冶炼原理及操作两篇，已于1980年初出版。下册为炼铁车间的构筑物与设备，是以生产流程为体系编写的。本书力求反映近年来国内外高炉设备更新与发展的成果；加强有关基础理论的阐述；同时注意深入浅出，贯彻理论联系实际和“少而精”的原则，便于自学。

本书作为中等专业学校炼铁专业的教材，也可供有关其他专业及现场技术人员参考。

本书经包头钢铁学校、重庆钢铁学校、吉林冶金工业学校、太原冶金工业学校和北京钢铁学校等单位进行初审，最后由北京钢铁学校炼铁教研组全体同志和本书主编审校定稿。在编写过程中得到有关工厂、院校、设计、情报及科研等部门的大力支持和指导，在此表示感谢。

鉴于编者水平所限，时间短促，错误之处在所难免，望读者指正。

编 者
1979年7月

目 录

第三篇 炼铁车间的构筑物与设备

第十八章 高炉本体	1
第一节 高炉数目及有效容积的确定.....	1
第二节 高炉内型.....	1
第三节 高炉炉基.....	8
第四节 高炉炉衬.....	12
第五节 高炉冷却.....	28
第六节 风口、渣口及铁口.....	44
第七节 高炉金属结构.....	49
第八节 炉顶装料设备.....	58
第十九章 原料供应系统	92
第一节 原料厂供料设施.....	92
第二节 贮矿槽及其附属设备.....	100
第三节 沟下运料系统.....	104
第四节 向炉顶上料的系统.....	113
第二十章 渣铁处理	124
第一节 出铁场与风口工作平台.....	124
第二节 炉前设备.....	127
第三节 生铁处理设备.....	139
第四节 炉渣处理及设备.....	145
第二十一章 送风系统	150
第一节 高炉鼓风机.....	150
第二节 热风炉.....	163
第二十二章 高炉喷吹设备	216
第一节 喷油设备.....	217
第二节 喷煤设备.....	221
第三节 气体燃料喷吹.....	227
第二十三章 煤气处理系统	229
第一节 除尘原理与设备.....	229
第二节 煤气处理系统.....	242
第三节 煤气洗涤污水处理.....	248
第二十四章 高炉车间平面布置	250
第一节 车间平面布置.....	250
第二节 炼铁车间在总图布置中的位置.....	254

第三篇 炼铁车间的构筑物与设备

第十八章 高 炉 本 体

第一节 高炉数目及有效容积的确定

在设计高炉内型之前，首先要考虑高炉车间的生产能力，确定所需要的高炉座数和有效容积。

高炉车间的生产能力应能满足本钢铁联合企业中炼钢车间对铁水量的需求，以及本金属平衡区对铸造生铁产量、质量的需求，同时也应考虑到与本高炉车间相配合的铁矿资源，并与采矿、选矿、造块的生产能力相适应。所以，一般建厂时多采用分阶段建设的办法，以便能够尽快地形成生产能力。

高炉数目的确定，一般以2~4座为宜。少于此数，当有一座高炉检修时，就难以解决前后生产环节的平衡。如铁水供应对炼钢的影响；高炉煤气供应对锅炉、轧钢……等用户的影响。多于此数，则降低了劳动生产率，并使各项技术经济指标变差。此外还应考虑到设备供应、施工力量等条件。

高炉有效容积的确定，可用下式算出：

高炉车间生铁年产量 = 高炉座数 × 年平均工作日 × 高炉有效容积利用系数。

式中年平均工作日是年日历日数（365天）扣除高炉一代中大修、中修、小修的时间后，所得的每年平均实际生产日数。我国采用355天。

第二节 高 炉 内 型

一、概述

高炉是竖炉的一种，它的工作空间的内部形状称为高炉内型。现代高炉的内型由炉缸、炉腹、炉腰、炉身、炉喉五段组成。见图18-1。图中：

H ——全高，指从铁口中心线到炉顶钢圈之间的距离。 $H = H_{\text{有效}} + h_6$ ；

$H_{\text{有效}}$ ——有效高度，指从铁口中心线到大钟开启位置的下缘线之间的距离。 $H_{\text{有效}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$ ；

h_0 ——死铁层高度；

h_1 ——炉缸高度；

h_2 ——炉腹高度；

h_3 ——炉腰高度；

h_4 ——炉身高度；

h_5 ——炉喉高度；

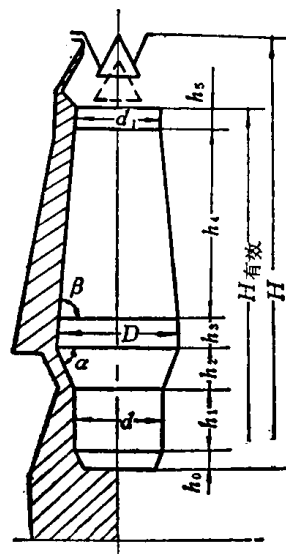


图 18-1 高炉内型图

h_c ——炉头高度;
 d ——炉缸直径;
 D ——炉腰直径;
 d_1 ——炉喉直径;
 d_0 ——大料钟直径;
 α ——炉腹角;
 β ——炉身角。

高炉有效容积指五段容积之和。不过在美、日等国把铁口中心线到料线之间的炉容称为内容积 V_1 ，把风口中心线到料线之间的炉容称为工作容积 V_2 ，而料线的位置日本定在大钟开启位置的下缘以下一米处，而美国则定在915毫米处。

炉型设计的合理，就有利于获得良好的技术经济指标，并可延长高炉一代的寿命。

所谓合理炉型的概念，是指炉型曲线应能很好地适应炉内炉料和煤气两大流体的运动过程，以利于上升煤气流的能量利用，也利于铁渣液的形成。炉料由炉喉处进入高炉后，随之在下降的过程中，在块状带受热膨胀、松动，在融着带中矿石和石灰石等继而成为粘稠物质，随后变成液态渣铁向下滴入炉缸。在炉缸上部有大量的热风和燃料在风口前喷入，在这里进行着剧烈的燃烧反应，生成大量的高温煤气，在上升过程中随着供出热量而自身温度降低，体积慢慢收缩减小。所以合理炉型必然是略带锥度的圆柱形空间，而且一般是下部比上部要略粗些。

炉型设计时应考虑

(1) 能燃烧较多数量的燃料，而且适应喷吹技术的要求，并能容纳一定数量的渣液、铁液。

(2) 要为炉况顺行创造有利的条件，还能有效地利用煤气的热能和化学能。

(3) 既易于生成保护性渣皮，又要防止炉衬被迅速烧蚀。要考虑到接近于操作炉型，一般说高炉开炉后所形成的操作炉型，其特点是两大三不变：炉身下部变宽炉腹上延，炉缸下部变大且向下延伸，而风口直径、有效高度、炉喉直径由于受金属结构的限制而不改变。

二、炉型设计

迄今为止，设计炉型仍是根据同类型高炉的生产实践，进行分析和比较来确定的，即以炉建炉的办法，还没有理论性的计算方法。

M.A.巴甫洛夫院士在二十世纪初研究了世界上许多高炉炉型尺寸，提出一套炉型计算方法，只是一些经验数据已有了新的发展，但对有关尺寸数据进行分析计算的方法还是可取的。A.H.拉姆教授比较了苏联五十年代高炉的炉型尺寸之后指出：高炉各部尺寸都与高炉有效容积成一定的方次关系，并有一定的比例系数，从而提出一套统计计算公式，即

$$d_i \text{ (或 } h_i) = aV_{\text{有效}}^n$$

一般情况下这样算出的炉型，操作是较顺利的，只是炉腰直径偏小些，炉腹固定为3米也显得机械些。近二十年来高炉向大型化的发展，炉容达到2000~5000米³后，分析算法可以根据生产实践不断修正各个经验数据，但统计公式就需要新的统计公式来进行炉型设计，不然，炉身高度就显得太高，而炉缸、炉腹、炉腰高度又显得太矮，炉腰直径偏小的问题更感突出。我国鉴于620米³以下中小型高炉较多，为适应冶炼技术的发展，也提出适

用于中小高炉的炉型统计计算式。

A·H·拉姆统计计算公式：

$$\text{直径：} d = 0.32V_{\text{有效}}^{0.45}$$

$$D = 0.5V_{\text{有效}}^{0.4}$$

$$d_1 = 0.5V_{\text{有效}}^{0.36}$$

$$\text{高度：} H_{\text{有效}} = 6.44V_{\text{有效}}^{0.2}$$

$$h_{\text{风口}} = 0.098H_{\text{有效}}$$

$$h_1 = 0.115H_{\text{有效}}$$

$$h_2 = 3.0 \text{米}$$

$$h_3 = 0.08H_{\text{有效}}$$

$$h_4 = 0.69H_{\text{有效}} - 3$$

$$h_5 = 0.115H_{\text{有效}}$$

中小型高炉用统计计算公式 (620米³以下)：

$$\text{直径：} d = 0.564V_{\text{有效}}^{0.37}$$

$$D = d + 2h_2 \text{ctg} \alpha$$

$$d_1 = D - 2h_4 \text{ctg} \beta$$

$$\text{角度：} \alpha = 90^\circ - V_{\text{有效}}^{0.3}$$

$$\beta = 90^\circ - V_{\text{有效}}^{0.27}$$

$$\text{高度：} H_{\text{有效}} = 4.05V_{\text{有效}}^{0.265}$$

$$h_1 = 0.14H_{\text{有效}}$$

$$h_2 = 0.16H_{\text{有效}}$$

$$h_3 = 0.09H_{\text{有效}}$$

$$h_4 = 0.48H_{\text{有效}}$$

$$h_5 = 0.13H_{\text{有效}}$$

兹以我国高炉内型尺寸计算的经验和统计数据设计如下：

1. 炉缸直径 (d) 炉缸直径 (d) 决定了炉缸截面积 (A)，而炉缸截面积与燃烧焦炭量是成正比的，这个比例系数叫燃烧强度 ($i_{\text{燃}}$)，它是指每小时每平方米炉缸截面积所燃烧焦炭的吨数，其值为1.0~1.2。国内一些先进的高炉燃烧强度也有达1.2以上者，但超过1.5很难。这是因为燃烧强度与风机能力和原燃料条件有关，风机能力大的、原料透气性好的、燃料的可燃性好的，燃烧强度就会大些，在设计时为了使以后提高冶炼强度而留有余地，燃烧强度取在1.0~1.2是合适的，否则高冶炼强度而炉缸小，势必造成燃烧强度过大，给操作带来困难，限制了强化，反之冶炼强度小而炉缸过大，就会导致中心堆积、煤气分布不合理使生产指标恶化，所以选择好燃烧强度是得到合理炉缸直径的关键。

高炉每昼夜燃烧的焦炭量，以冶炼强度 (i) 为其指标，它是指每昼夜每立方米高炉有效容积所燃烧的焦炭的吨数，其值为0.9~1.5，炉容越大、原料条件越差都应取偏小的值。

炉缸直径的计算式：

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot i_{\text{燃}} \cdot 24 = i \cdot V_{\text{有效}}$$

$$d = 0.23 \sqrt{\frac{i \cdot V_{\text{有效}}}{i_{\text{燃}}}}$$

式中 i ——冶炼强度, 吨/米³·昼夜;

$i_{\text{燃}}$ ——燃烧强度, 吨/米²·时;

$V_{\text{有效}}$ ——高炉有效容积, 米³。

炉缸直径还可以由 $V_{\text{有效}}/A$ 比值来校核, 根据炉容大小, 合适的 $V_{\text{有效}}/A$ 值为: 大型高炉22~28, 中型高炉15~22, 小型高炉11~15。

2. 炉腰直径 (D) 炉腰是炉身和炉腹两个相向圆锥台形空间的过渡段, 这里有粘稠的初成渣使炉料透气性恶化, 所以适当大些的炉腰直径有利于煤气流的顺利通过, 但要注意与炉腹角、炉身角的配合适当。

设计时常按适当的 D/d 比值来计算, 一般大型高炉1.10~1.15、中型高炉1.15~1.25, 小型高炉1.25~1.5。

3. 有效高度 ($H_{\text{有效}}$) 高炉的有效高度 ($H_{\text{有效}}$) 决定着充分利用煤气的热能和化学能, 也影响着顺行, 两者必须按具体条件全面考虑, 过高了煤气流过料柱的阻力大, 轻则妨碍冶炼强度的进一步提高, 重则易引起操作失常, 过矮了会缩短炉料和煤气在炉内的接触时间, 不利于充分进行传热和还原, 使煤气利用变坏, 操作不经济。所以当使用强度好的焦炭、还原性好的经过筛分的小块矿石、或熟料比高时, $H_{\text{有效}}$ 可取得适当高些, 反之应取矮些, 一般大中型高炉在25~32米。其关系式:

$$V_{\text{有效}} = K \cdot H_{\text{有效}} \cdot d^2$$

式中 $V_{\text{有效}}$ ——高炉有效容积, 米³;

$H_{\text{有效}}$ ——有效高度, 米;

d ——炉缸直径, 米;

K ——系数, 参考数据如下:

$V_{\text{有效}}$	100	200	300	600	1000	1500	2000
K	0.90	0.91	0.87	0.79	0.76	0.715	0.70

高炉有效高度一般是随着炉容增大而增加, 但不是正比关系, 近年高炉大型化的发展趋势, 容积增长率远比有效高度的增长率为高, 这主要是因为受焦炭强度的限制, 特别是在高炉下部高温区与 CO_2 反应后的强度; 另外有些高炉大修时也常常不改变有效高度而只做径向加大以扩大炉容, 所以为了反映和掌握高炉向矮胖方向发展的程度, 常以 $H_{\text{有效}}/D$ 的比值来校核, 合适的的数据是: 小型高炉3.5~4.2, 中型高炉2.9~3.5, 大型高炉2.5~3.1, 2000~4000米³的高炉2.0~2.6。

高炉全高是有效高度 ($H_{\text{有效}}$) 加上炉顶钢圈到大钟下降位置的下缘线的高度 (h_6), 一般 h_6 为1.5~3.0米。

4. 炉喉直径 (d_1) 合适的炉喉直径, 一要与炉腰直径、炉身角有妥善的配合, 二要有合适的炉喉间隙 $(d_1 - d_0)/2$ 。炉身角大、炉喉间隙小时, 炉料堆尖紧靠炉墙, 在下料时边缘炉料难于松动, 就会对发展边缘煤气流不利, 阻碍顺行, 反之也不好。

合适的 d_1/D 值一般在0.65~0.72之间, 合适的炉喉间隙为: 小型高炉0.25~0.55米、中型高炉0.60~0.80米、大型高炉 ≥ 0.80 米。

5. 死铁层高度 (h_0) 铁口中心线到炉底砌体表面之间是死铁层高度。它可隔绝熔

渣和煤气对炉底的冲刷侵蚀，死铁层的热容也有利于炉底温度的均匀稳定。一般按统计数据选取：大型高炉为1.0米左右，中型高炉 ≤ 0.7 米，小型高炉 ≤ 0.3 米。

6. 炉缸高度 (h_1) 炉缸高度 (h_1) 分为三段来考虑。第一段铁口中心线到渣口中心线称为渣口高度 ($h_{\text{渣口}}$)，这段容积应能存放一次出铁量，此外还应保证容纳由于某种原因而产生时间延误所生成的铁量，一般出铁量波动系数取1.20，此外还要容纳下渣量。渣口高度过低，常常会因渣口带铁而烧坏渣口，渣口高度过高，从铁口出来的下渣量过大而不利于维护铁口。第二段是渣口中心线到风口中心线（或简称风渣口高差， a ），这段容积应能存放一次上渣量，一般按统计数据取：大型高炉1.25~1.45米，中型高炉1.0~1.25米，小型高炉0.4~0.8米。第三段是风口中心线到炉缸内型上缘线（或称风口结构尺寸， b ），它是为了安装风口和砌砖方便的结构尺寸，据统计：大中型高炉0.35~0.5米，小型高炉0.2~0.3米。全部炉缸高度 (h_1) = $h_{\text{渣口}} + a + b$ 。一般 $h_{\text{渣口}}/h_1$ 的比值对小型高炉是0.40，对大中型高炉是0.44~0.47，国外大于2000米³的高炉是0.55~0.57。

7. 炉腹角 (α) 与炉腹高度 (h_2) 炉腹呈倒置的圆锥台形空间，它适应了矿石还原、熔化、成渣时体积收缩的规律，同时又使高温煤气流离开炉墙，既不致烧坏砖衬又利于渣皮的稳定，对炉内煤气流的分布也利于均匀地组织边缘和中心两股气流，以利顺行。

炉腹角 (α) 一般为 $80^\circ \sim 82^\circ$ ，炉腹高度 (h_2) 对小型高炉为2.0~2.5米，大中型高炉为2.8~3.4米，新建的4000米³左右的高炉有达4.0米的。设计时，当选定 α 角后，可用下式算出炉腹高度 (h_2)：

$$h_2 = \frac{D-d}{2} \operatorname{tg} \alpha$$

8. 炉身角 (β) 与炉身高度 (h_4) 炉身是由上向下截面逐渐扩大的正放置的圆锥台形空间，它适应了炉料由上而下逐渐加热后体积膨胀，煤气由下而上将热量传给炉料后，本身温度逐渐降低而体积收缩的规律。所以炉身角既影响着炉料顺行又影响着煤气流的合理分布和利用，故设计炉型时都相当重视。炉身角小则使近炉墙处的料柱疏松，一则减小炉料与炉墙的摩擦力，再则易于得到适当发展的边缘煤气流，这都是对顺行有利的。当然过小也不好，那会导致过盛的边缘煤气流，一则煤气与矿石接触不好，再则下料速度过快，都不能很好利用上升煤气流的热能和化学能，而导致炉缸温度太低，焦比升高。

合适的炉身角是：大型高炉 $83^\circ \sim 85^\circ$ ，中型高炉 $84^\circ \sim 85^\circ$ ，小型高炉 $84^\circ \sim 85^\circ$ ，炉身高度 (h_4) 可由下式算出：

$$h_4 = \frac{D-d_1}{2} \operatorname{tg} \beta$$

9. 炉喉高度 (h_5) 炉喉为圆柱形空间，它可以较容易地安置炉喉保护板（即炉喉钢砖）。一定的炉喉高度可保证收拢煤气和满足布料，正常操作时的料线高度使炉料布在圆柱形空间中，以便控制布料。一般在料线下还应有2~3批料的高度，以保证收拢煤气，防止炉身边缘上来的煤气流过分发展控制困难。

炉喉高度一般也是参照同类型高炉的数据选取。大型高炉2.0~2.5米，中型高炉1.5~2.0米，小型高炉1.0~1.5米。

10. 炉腰高度 (h_3) 炉腰为圆柱形空间，是炉身与炉腹的过渡段，其高度一般也是参照同类型高炉的数据选取，大型高炉2.0~2.5米，中型高炉1.0~1.8米，小型高炉 < 1.0

米。

设计时, h_3 值可做为调节高炉有效容积 ($V_{\text{有效}}$) 之用, 所以当上述各段直径与高度确定后, 可以用各段容积之和应等于高炉有效容积的关系求出 h_3 即可。

11. 大钟直径 (d_0) 当炉喉直径 (d_1) 确定后, 减去炉喉间隙就得到大钟直径。

12. 风口、渣口、铁口数目 风口数目的多少, 影响着整个炉缸断面上的活跃程度, 根据风口前燃烧带的水平方向宽度的大小, 希望它连成一片而消除了死角, 所以风口中心线的间距取1.2~1.4米弧长为宜。国外大型高炉也有取到1.15米以下的。最后确定风口数目时, 考虑到在结构允许的前提下, 适当的增加风口数目是有利的。为安排方便, 对有炉缸支柱的高炉, 风口数目应是炉缸支柱的整数倍 (1~5) 倍。

渣口数目和设置, 是为了多出上渣减少下渣以利铁口的维护。大型高压高炉渣口的出渣速度在1.5吨/分, 最高达2.0吨/分, 国内100米³以上高炉采用两个渣口, 而且有的分出高低渣口, 相差100~200毫米。国外4000米³左右的高炉则有减少和取消渣口的趋势, 这是因为渣量少、出铁时间很长渣面不高, 再加上铁口维护的好, 取消渣口就成为可能了。

铁口数目随着高炉出铁量和出铁次数的增多而增加, 当生铁日产量在2500~3000吨以下的高炉可设置1个铁口, 日产生铁3000~6000吨的高炉需设置双铁口, 日产生铁6000~10000多吨的高炉设3个铁口, 大于一万吨的应设置4个铁口。

三、炉型设计例题

根据任务书, 设计年产230万吨生铁的高炉车间。

首先选定高炉座数为2座, 高炉有效容积利用系数 $\eta = 1.6$, 年工作日355天, 则高炉有效容积为:

$$\frac{2300000}{1.6 \times 2 \times 355} = 2025 \text{米}^3$$

设计炉型尺寸:

1. 炉缸直径

设冶炼强度 $i = 0.935 \text{吨/米}^3 \cdot \text{昼夜}$, 燃烧强度 $i_{\text{燃}} = 1.0 \text{吨/米}^3 \cdot \text{小时}$

$$d = 0.23 \sqrt{\frac{i \times V_{\text{有效}}}{i_{\text{燃}}}} = 0.23 \sqrt{\frac{0.935 \times 2025}{1.0}} = 10 \text{米}$$

校核: $\frac{V_{\text{有效}}}{A} = \frac{2025}{\frac{\pi \times 10^2}{4}} = \frac{2025}{78.6} = 25.8$ 是合适的。

2. 炉腰直径

选 $D/d = 1.10$ $D = 1.10 \times 10 = 11 \text{米}$

3. 有效高度

选 $K = 0.70$ $H_{\text{有效}} = \frac{V_{\text{有效}}}{K d^2} = \frac{2025}{0.70 \times 10^2} = 28.9 \text{米}$

校核: $H_{\text{有效}}/D = 28.9/11 = 2.63$ 是合适的。

4. 炉喉直径

选 $d_1/D = 0.655$ $d_1 = 0.655 \times 11 = 7.2 \text{米}$

5. 死铁层高度: 选取1米

6. 炉缸高度

设出铁量的不均匀系数为1.2, 每昼夜出铁8次, 铁水比重7.1吨/米³ 下渣率30%, 渣铁比0.7吨渣/吨铁, 渣水比重1.8吨/米³

$$h_{\text{渣口}} = \left(\frac{2025 \times 1.6 \times 1.2}{8 \times 7.1} + \frac{2025 \times 1.6 \times 1.2 \times 0.7 \times 0.3}{8 \times 1.8} \right) \div \frac{\pi \times 10^2}{4} = 1.6 \text{米}$$

风口中心线与渣口中心线间距选取1.4米。风口中心线到炉腹下缘线间距选取500毫米。则炉缸高度为:

$$h_1 = 1600 + 1400 + 500 = 3500 \text{毫米}$$

7. 炉腹角与炉腹高度

取 $\alpha = 80^\circ 32'$

$$h_2 = \frac{D-d}{2} \operatorname{tg} \alpha = \frac{11-10}{2} \operatorname{tg} 80^\circ 32' = 3 \text{米}$$

8. 炉身角与炉身高度

取 $\beta = 84^\circ 26'$

$$h_4 = \frac{D-d_1}{2} \operatorname{tg} \beta = \frac{11-7.2}{2} \operatorname{tg} 84^\circ 26' = 18.5 \text{米}$$

9. 炉喉高度 (h_5): 取2米。

10. 炉腰高度

$$\begin{aligned} 2025 = & \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 3.5 + \frac{\pi}{12} \times 3 \times (11^2 + 10^2 + 11 \times 10) + \frac{\pi}{4} \times 11^2 \times h_3 \\ & + \frac{\pi}{12} \times 18.5 \times (11^2 + 7.2^2 + 11 \times 7.2) + \frac{\pi}{4} \times 7.2^2 \times 2 \end{aligned}$$

$$h_3 = 2 \text{米}$$

核算: $H_{\text{有效}} = 3.5 + 3 + 2 + 18.5 + 2 = 29.0 \text{米}$ $H_{\text{有效}}/D = 29.0/11 = 2.636$ 合适

11. 大钟直径

取炉喉间隙为1.0米 $d_0 = 7.2 - 2 \times 1.0 = 5.2 \text{米}$

12. 风口数目、渣口数目、铁口数目:

取风口中心线间距为1.25米弧长, 风口数 $n = (\pi \times 10)/1.25 = 25$ 个。

渣口数目: 选2个。铁口数目: 选1个。

四、现代大中小型高炉内型特点

炉型发展趋势。现代炼铁生产技术的提高, 主要方向是强化冶炼, 炉型大型化, 适应大风量、高风温、精料、大喷吹量。

1. $H_{\text{有效}}/D$ 比值减小 二十世纪五十年代时大中型高炉的 $H_{\text{有效}}/D$ 值为3.5~4.0, 小型高炉为3.97~4.51, 到七十年代时大型高炉为2.0~2.9, 中型高炉为3.0左右, 小型高炉为3.5~4.0。

近年来随着高炉大型化的发展, 高炉高度变化很少, 主要是横向发展, 使炉型越来越矮胖, 许多中小型高炉也在大修改造时, 或是为了扩大炉容或是为了进一步强化, 也主要是减小 $H_{\text{有效}}/D$, 这样就减少了料柱阻力, 改善了透气性, 并使成渣带减薄和下移, 有利于炉况顺行和进一步强化。而煤气热能和化学能的利用方面, 已由精料、喷吹、富氧、高风温、高压操作等技术的相应发展和增多, 大大改善了炉内氧交换和热交换过程。实践说

明：炉料在炉内的停留时间只与冶炼强度和焦比有关，单只高炉高度大这一点，只是炉料通过的路程长，增加了与煤气的接触机会，但不会增加接触时间，所以上述措施都为相对降低有效高度提供了条件。

2. $V_{\text{有效}}/A$ 比值减小 $V_{\text{有效}}/A$ 比值的减小，即相对来说使用了大炉缸，一则可多烧

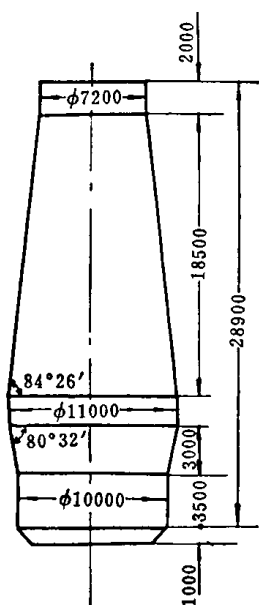


图 18-2 2025米³设计炉型

燃料，再则可多存渣铁，而且随着燃料喷吹量的增加和高风温的应用使焦比大幅度降低，从而引起料柱透气性变坏和炉缸煤气体积的急剧增加（准确说应是炉缸煤气压强的增加），扩大炉缸面积正好与其相适应，故也有利于强化。如中型高炉过去 $V_{\text{有效}}/A=18\sim26$ ，现在以 $15\sim22$ 为合适。

3. β 值减小 过去一般取 $85^\circ\sim85^\circ30'$ ，而现在的大型高炉已有降到 84° 以下的，这是由于大型高炉的炉喉直径和大钟直径增加，炉料布到炉墙附近较多，高炉越大炉料横向膨胀也就越厉害，为了保证有适当的边缘煤气流，而且防止炉料受热膨胀引起拱料，所以必须采用较小的炉身角，对于中小型高炉，出于强化顺行的考虑，也在采用适当缩小的炉身角。

由于炉容大小的差别，小高炉在具体比值和角度的数据上也有其特殊性，主要是：（1）料柱矮焦比高所以料柱的透气性好，成渣带对料柱透气性的影响也小，故炉型比大高炉更接近直筒形，即炉身角可大些， $H_{\text{有效}}/D$ 值也相对大些。（2）燃烧带易伸向炉子中心，炉缸工作断面活跃而均匀，可以扩大炉缸直径而保证中心煤气流不过分发展，故 $V_{\text{有效}}/A$ 值相对小些。

第三节 高 炉 炉 基

高炉基础一般由埋在地下的基座部分和露出地上的基墩部分所组成。它的作用是将它所承担的全部重量均匀地传给地基。

一、对炉基的要求

1. 炉基的负荷 经常影响高炉基础强度的因素有：静负荷、动负荷、热应力的作用，其中温度造成的热应力的作用最危险。

（1）静负荷。高炉基础承受的静负荷约达有效容积数字的 $13\sim15$ 倍，如 255米^3 高炉的静负荷为 4510 吨， 620米^3 高炉达 $8060\sim11160$ 吨，而大型高炉其总重量可达 2 万吨以上。它包括了高炉内部的炉料、渣、铁；炉体本身的砖砌体、炉基、金属结构、冷却设备及冷却水；附属设备有炉顶、热风围管、炉体各层平台走桥等，另外还有炉下建筑物、斜桥、装料卷扬机等分布在炉身周围的设备。上述这些设备、构筑物和建筑物等荷重中，就力的作用情况来看，前者是对称地压在炉基上，后者则常常是不对称的，是引起力矩的因素，可能产生不均匀下沉。

（2）动负荷。生产中常有崩料、人工坐料、煤气爆炸时，加给炉基的动负荷，它虽属于特殊荷重，但也是相当大的。故必须在安全系数中考虑进去。

（3）高温的作用。炉缸中贮存着高温的铁液和渣液，炉基处于一定的温度之下。由

于炉基内温度分布不均匀，一般是里高外低上高下低，特别是开炉后，炉底不同程度的被侵蚀后，温度升高而且分布不均匀的现象就更显著，这就在炉基内部产生了热应力，特别是温度梯度大的部位，产生的热应力就越大，越容易引起开裂。再则炉基材料本身在受热时也会损坏，普通混凝土在250℃时即开始损坏，400℃以上混凝土在空气中即自行破坏。就钢筋的机械性能来说，700℃时也完全失掉了承载能力，而钢筋和混凝土的粘着力，150℃时可降低33%，而250℃时降低50%，所以温度的作用是三者中最危险的。

2. 对炉基的要求

(1) 炉基传给地层的压力应不大于地层耐压力，使高炉炉基的均匀下沉量不超过20~30毫米，而不均匀下沉则从严要求，倾斜值不大于0.1~0.5%。高炉炉基下沉的结果会导致高炉与周围建筑物相对位置的变化，引起管线开裂，其后果轻则破坏正常布料，重则变形破坏相互联系，甚至垮塌。

(2) 炉基本身要有足够的强度和耐热性。炉基在高温高压下，在各种应力作用下不应产生裂缝，而基座表面温度则不应超过混凝土允许的工作温度——250℃。

(3) 造价要低。高炉炉基很大，耗用材料很多，如255米³高炉的炉基用1810吨，1400米³高炉用3500多吨混凝土，施工的土方量也很大，故在设计型式、尺寸、选材各方面，都应该注重节约，以求经济上的合理。

二、炉基构造

高炉基础的构造如图18-3。

高炉基础由基墩和基座两部分组成。

炉基上部是耐热混凝土基墩，它起隔热传重作用，形状为圆柱体，其直径与炉底相同都包于炉壳之内，其高度则不小于其直径的四分之一。为了防止炉底被侵蚀后，当只剩下2~3层耐火砖时，基座上表面不至于超过250℃而破坏，特别是在没有炉底冷却的情况下，就应更加注意，故基墩材料一般用硅酸盐水泥耐火混凝土，它用硅酸盐水泥做胶结料（不小于400号，且不得掺有石灰岩类的混合材料），用粘土熟料粉，废耐火粘土砖粉做掺合料，粘土熟料、废耐火粘土砖做骨料，其最高使用温度为1000~1200℃。它是整体浇灌成的，在其周围砌一圈345毫米厚的耐火砖，再外层即为炉壳，在炉壳和耐火砖之间有100毫米宽的间隙，内填铬碳质填料。为了限制基墩周围的开裂和保证有足够的强度，整体基墩应配以环形钢筋。

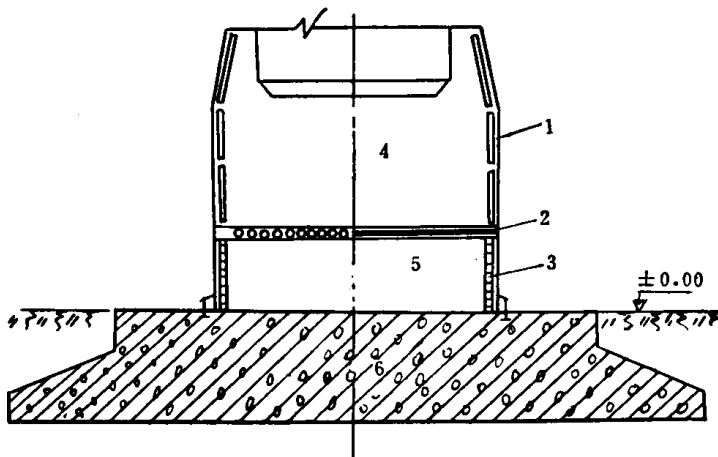


图 18-3 高炉基础

1—冷却壁；2—风冷管；3—耐火砖；4—炉底砖；5—耐热混凝土基墩；6—钢筋混凝土基座

基座是炉基的承重部分，其形状，就水平截面看以圆形最好，这样可使温度分布均匀减少热应力，但为了施工方便，常以正多边形（如八边形、十六边形）代替。基座上表面的圆面积应放下基墩和支柱，而底面的面积应保证要求于地基的承载能力不能超过地层耐

压力的允许值，其计算式为：

$$A = \frac{P}{\sigma}$$

式中 A ——基座底面积；

P ——炉基所承受的静负荷；

σ ——地层允许的耐压力。

在基座较小的上表面过渡到较大的底面之间，截面逐渐加大的倾斜角，一般为 25° 左右，不小于压力传布线的角度，过大浪费材料及土方工程量，过小易于座穿而损坏。

在基座与基墩之间，由于上下处于不同的温度条件下，为避免基座在耐热混凝土基墩变形时损坏，故两者之间留有水平温度缝，缝中填以特殊的耐火材料，如纯石英砂和白色耐火粘土（高岭土）等调制的硬质塑性砂浆，在抹平后再撒上10毫米厚的石墨粉。在基墩下端与基座相接处有炉壳气封结构，见图18-4。以避免炉内煤气的逸出和炉外冷却水的流入。煤气封板与炉壳之间的间隙为100~150毫米，内填炭素填料。在基座的上表面抹上砂浆泄水坡以利排水。

三、地基

在基座之下为地基。地基除了坐在岩盘上外，其他土壤一般要求地耐力达到2.0~2.5

公斤/厘米²。也有的地方，虽然也挖开经风化、干湿、冻消影响之表土，露出了老土，也经过了夯实，但由于土质差仍可能满足不了要求的地耐力。最不可靠的土壤之一是黄土类亚粘土，它通常呈干燥状态，当有水流入时，就失掉了稳固性，雨水的渗入、水道管子的漏水，都会使建筑在黄土类土壤的基础产生过份沉陷。不同土壤的允许承载压力见表18-1。

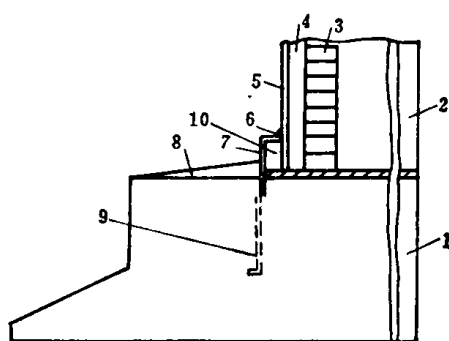


图 18-4 炉壳气封结构

1—基座；2—耐热混凝土；3—耐火砖；4—炭素填料；5—炉壳；6—焊缝；7—煤气封板；8—砂浆泄水坡；9—锚固板；10—硬质塑性砂浆

正确地确定土壤承载力，直接影响到基座底面积的大小，对节约投资加速施工都有重要意义。当土壤的许可压力低于设计要求

时，可以采用加固之法：

1. 炉基垫层 本法较简单，适用于表土不深的情况下，做法是：垫层周围用红砖砌成圆环，坐在一个水泥环上，内填以25%黄砂、75%块石，上表面则铺一层200毫米厚的低标号水泥。这样处理后地耐力允许达2.8公斤/厘米²。见图18-5。

2. 打桩 适用于岩层过深或没有岩层而且土壤地耐力又不够的情况下。一法是打支撑桩，使炉基支撑于下面岩层之上。如鞍钢3号高炉（当时有效容积813米³）打了400根长10米（支在岩盘上）、直径400毫米的钢管桩，钢管内灌以混凝土，桩距1~1.5米，每根受力100吨。另一法是打摩擦桩，使炉基靠桩周摩擦力和加强了的地层承载能力来支撑。如上钢一厂255米³高炉，原地耐力只有0.8~1.5公斤/厘米²，打入85根深20米外径487毫米的预制钢筋混凝土空心桩，最后填以混凝土，间距1.9米，每根受力53吨。

3. 沉井 它是坐在自然地层上的沉箱，先把钢筋混凝土筑的圆筒放置炉基地面处，

1000

—

表 18-1

土 壤	许 可 压 力 (公斤/厘米 ²)	
	固 体 状 态	塑 体 状 态
粘土类土壤		
粘 土	2.5~6	
亚 粘 土	2.5~4	
砂土和砾石类土壤	紧 密	中 等 紧 密 度
干 砂 土	2.5	2.0
湿 砂 土	2.0	1.5
饱和了水分的泥土	1.5	1.0
小块的干砂子	3.0	2.0
小块的湿砂子	2.5	1.5
饱和了水分的小块砂子	2.5	1.5
中块砂子 (与湿度无关)	3.5	2.5
大块砂子 (与湿度无关)	4.5	3.5
砾石和卵石 (与湿度无关)	6.0	5.0

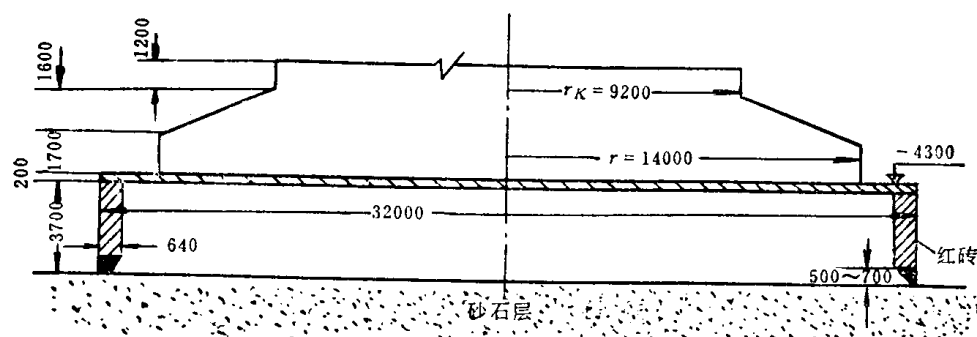


图 18-5 1053米³高炉的炉基和垫层

除上述大块型式的炉基外，我国开始在 620m^3 以下的高炉上采用了壳体型式的炉基，其构造如图18-6。这种炉基是靠沿壳面的摩擦力和垂直于壳体内表面的土反力之合力为铅垂方向，而其总和与外力平衡的道理来承受并传布载荷的。核算地基强度时，既要考虑到高炉中心线上的轴向压力（包括炉体载荷、基础自重及壳内土壤的自重），也要考虑到壳体底面为环梁而不是整平面所造成的向中心的弯矩，两者作用之和才是加给锥壳基础的地基应力。环梁的断面积要适当，过小会抵抗不住环向拉应力而被拉裂，过大又会产生边缘效应。壳体厚度大了虽然可提高安全度，但过大会降低抗裂度。壳面与水平线的夹角一般以 $30^\circ\sim 45^\circ$ 为宜。

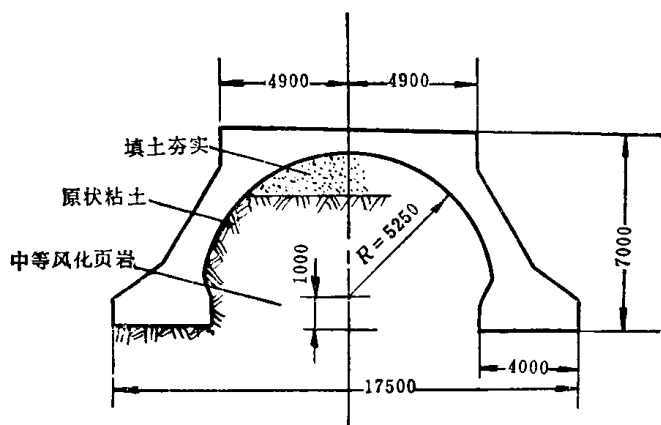


图 18-6 620米³高炉壳体基础

初步的生产实践说明其强度是可靠的，经济效果是明显的，比较见表18-2。

壳体基础与块体基础的比较

表 18-2

名 称	高 炉 容 积 (米 ³)	基 础 型 式	混 凝 土 体 积 (米 ³)	钢 筋 用 量 (吨)	地 基 强 度 (公斤/厘米 ²)
通 用 设 计	620	块 体	1200	110	2.0
重钢 3*、4* 炉	620	块 体	833	73	4.0
新 设 计	620	壳 体	445	46	4.5

第四节 高 炉 炉 衬

一、高炉炉衬的工作条件

高炉炉衬的作用在于构成高炉的工作空间，减少炉子的热损失，并保护炉壳和其他金属结构免受热应力和化学侵蚀的作用。

高炉炉衬的寿命是决定高炉需要大修和中修的一个主要依据，所以必须研究影响高炉炉衬寿命的因素，以便做出有效的努力。一般地说：热的、化学的、压力的作用是炉衬损坏的基本条件，而动力因素如冲刷、摩擦、渗入、打击等，则是直接或迅速造成炉衬损坏的原因。高炉内不同部位有不同的物理的、化学的变化，所以还需要具体分析各部位炉衬的破损机理。

1. 炉底 根据高炉停炉后炉底破损状况和生产中炉底温度等检测的结果了解，炉底破损有两个阶段，初期是铁水渗入将砖漂浮而成锅底形深坑，第二阶段是熔结层形成后的化学侵蚀。

铁水渗入的条件：一是炉底砖承受着液体渣铁、煤气压力、料柱重量的10~12%，总计可达2~5公斤/厘米²。二是砖砌体的砖缝和裂缝。铁水在高压下渗入缝隙时，缓慢冷却，于1150°C时凝固。在凝固的过程中析出石墨碳，体积膨胀，从而又扩大了缝隙，如此互为因果，铁水可以渗入很深，由于铁水比重（7.1吨/米³）大于高炉粘土砖的比重（2.2吨/米³）和高铝砖的比重（2.3~2.7吨/米³）、炭砖比重（1.6吨/米³），因此在铁水的静压力作用下砖会漂浮起来。

炉底坑的上表面有一层结晶石墨碳，底坑下的砖衬在长期的高温高压下，部分软化重