

# 项目一

## 加热炉主体



### 项目导入

加热炉是一个复杂的热工设备,它由以下几个基本部分构成:炉体、燃料系统、供风系统、排烟系统、冷却系统、余热利用装置、物料输送系统、检测及调节装置、电子计算机控制系统等。

炉体是根据工艺要求设计和建造的,它主要包括炉膛和炉衬,炉子的其他各个组成部分和它都有直接的联系,而且要在炉膛里完成加热工艺过程,所以说它是炉子的主体。

炉体是由耐火材料和绝热材料砌筑,整体浇注或捣打而成。为了提高炉子的坚固性和承受炉顶及其附属设备如炉门、燃烧器等重量,炉子必须有钢结构。在炉子上燃烧器的布置和排烟口的位置对炉内温度分布和压力分布都有重大影响。

炉体上必须装置燃烧器,使燃料燃烧,供给炉子热量。炉中的燃烧产物即烟气需要排走,炉体上必须有排气孔与烟道烟囱连接,使炉内烟气顺利排走。为了控制炉子温度制度和炉膛压力,炉体上还需要留有装置温度、压力测量元件的位置,此外炉子上还必须具有装出料炉门、操作炉门、观察炉内情况的窥视孔等各种炉门和孔洞。在炉体上这些位置是否得当,对炉子生产都有一定的影响。

## 任务一 炉体



### 学习目标

- 了解炉体的组成与各部分作用。
- 结合现场图能明确指出加热炉炉体各部分。



### 任务描述

通过一些加热炉实体图,学习和认识加热炉炉体的基本组成及其各部分的作用。



## 相关知识

### 一、炉型

#### (一) 基本概念

所谓“炉型”主要是指炉膛空间形状、尺寸以及燃烧器的布置及排烟口的布置等。如果炉型结构不合理,则对炉子的产量、质量和消耗都会造成不利影响。随着轧机设备的大型化和自动化,加热炉的发展是很快的。现代炉子的特点是高产、低耗、优质、长寿和操作自动化。

炉型的变化很多,但结构上仍有一些共同的基本点。

炉顶轮廓曲线的变化是很大的,它大致与炉温曲线相一致,即炉温高的区域炉顶也高,炉温低的区域炉顶也相应压低。在加热段与预热段之间,有一个比较明显的过渡,均热段与加热段之间将炉顶压下。这是为了避免加热段高温区域有许多热量向预热段、均热段区域辐射,加热段是主要燃烧区间,空间较大,有利于辐射换热,预热段是余热利用的区域,压低炉顶缩小炉膛空间,有利于强化对流给热。

在加热高合金钢和易脱碳钢时,预热段温度不允许太高,加热段不能太长,而预热段比一般情况下要长一些,才不致在钢内产生危险的温度应力。为了降低预热段的温度并延长预热段的长度,采用了在炉子中间加中间烟道的办法,以便从加热段后面引出一部分高温炉气。有的炉子还采用加中间扼流隔墙的措施,也是为了达到同样的目的。

在炉子的均热段和加热段之间将炉顶压下,是为了使端墙具有一定高度,以便于安装烧嘴。因此如果全部采用炉顶烧嘴及侧烧嘴,也可以使炉子结构更加简化,即炉顶完全是平的,上下加热都用安装在平顶和侧墙上的平焰烧嘴。炉温制度可以调节烧嘴的供热来实现,根据供热的多寡可以相当严格地控制各段的温度分布。例如产量低时,可以关闭部分烧嘴,缩短加热段的长度。

多数推钢式连续加热炉炉尾烟道是垂直向下的,这是为了让烟气在预热段能紧贴钢坯的表面流过,有利于对流换热。由于烟气的惯性作用,经常会从装料门喷出炉外,出现冒黑烟或冒火现象,造成炉尾操作环境恶劣,污染车间环境,并容易使炉后设备受热变形。为了改变这种状况,采取炉尾部的炉顶上翘并展宽该处炉墙的办法,其目的是使气流速度降低,部分动压头转变为静压头,也使垂直烟道的截面加大,便于烟气向下流动,从而减少了烟气的外逸。

#### (二) 炉型尺寸

连续加热炉的基本尺寸包括炉子的长度、宽度和高度。它们是根据炉子的生产能力、钢坯尺寸、加热时间和加热制度等确定的。加热炉的尺寸没有严格的计算方法与公式,一般是计算并参照经验数据来确定。

##### 1. 炉宽

炉宽根据钢坯长度确定:

$$\text{单排料} \quad B = l + 2c$$

$$\text{双排料} \quad B = 2l + 3c$$

式中： $l$ ——钢坯长度，m；

$c$ ——料排间及料排与炉墙间的空隙，一般取  $c=0.15\sim 0.30$  m。

## 2. 炉长

炉子的长度分为全长和有效长度两个概念。有效长度是钢坯在炉膛内所占的长度，而全长还包括了从出钢口到端墙的一段距离。炉子有效长度是根据总加热能力计算出来，公式为：

$$L_{\text{效}} = Gb\tau/ng$$

式中： $G$ ——炉子的生产能力，kg/h；

$b$ ——每根钢坯的宽度，m；

$\tau$ ——加热时间，h；

$n$ ——坯料的排数；

$g$ ——每根钢坯的重量，kg。

炉子全长等于有效长度加上出料口到端墙的距离  $A$ ，侧出料的炉子只要考虑能设置出料口即可， $A$  值在  $1\sim 3$  m。

炉子有效长度确定后，还必须用炉子允许的最大推钢长度予以校核。炉子推钢长度等于有效长度加上炉尾至推钢机推头退到最后位置之间的距离。最大推钢长度与钢坯的厚度、外形、圆角、长度、平直度、推力大小、推钢速度以及炉底状况等因素有关。目前，多采用允许推钢长度与钢坯最小厚度之比，即允许推钢比来确定或校核。

除了推钢长度过大容易发生拱钢的限制外，还要考虑料排过长时，由于钢坯之间的压力增加而发生粘钢现象。

预热段、加热段和均热段各段长度的比例，可根据坯料加热计算中所得各段加热时间的比例，以及类似炉子的实际情况决定。

三段式连续加热炉各段长度的比例分配大致如下：

均热段： $15\%\sim 25\%L_{\text{效}}$     预热段： $25\%\sim 40\%L_{\text{效}}$     加热段： $25\%\sim 40\%L_{\text{效}}$

多点供热的炉子，其加热段较长，占整个有效长的  $50\%\sim 70\%$ ，预热段很短。

### (三) 常用加热炉炉型分析

连续加热炉是热轧车间应用最普遍的炉子。钢坯不断由炉温较低的一端(炉尾)装入，以一定的速度向炉温较高的一端(炉头)移动，在炉内与炉气反向而行，当被加热钢坯达到所要求温度时，便不断从炉内排出。在炉子稳定工作的条件下，一般炉气沿着炉膛长度方向由炉头向炉尾流动。沿流动方向炉膛温度和炉气温度逐渐降低，但炉内各点的温度基本上不随时间而变化。加热炉中的热工过程将直接影响到整个热加工生产过程，直至影响到产品的质量，所以对连续加热炉的产量、加热质量和能耗等技术经济指标都有一定的要求，为了实现炉子的技术经济指标，就要求炉子有合理的结构、合理的加热工艺和合理的操作制度。尤其是炉子结构，它是保证炉子高产量、优质量、低能耗的先决条件。由于炉子结构缺陷，造成炉子先天不足，但会直接影响炉子热工过程、制约炉子的生产技术指标。从结构、热工制度等方面看，连续加热炉可按下列特征进行分类。

按温度制度可分为：两段式、三段式和强化加热式。

按所用燃料种类可分为：使用固体燃料的、使用重油的、使用气体燃料的、使用混合燃

料的。

按空气和煤气的预热方式可分为:换热式的、蓄热式的、不预热的。

按出料方式可分为:端出料的和侧出料的。

按钢料在炉内运动的方式可分为:推钢式连续加热炉、步进式炉等。

均热炉炉型结构比较简单,相当于一个坑式炉,由端墙、侧墙和坑底组成,端墙和侧墙采用整体浇注复合结构,炉底采用砌砖结构,上铺焦粉。坑的一端上部安装一个高速烧嘴,下部设置排烟口,坑的上部配有炉盖将坑口盖住,炉盖四周有密封刀,与炉墙上部密封槽配合,防止炉气外溢。炉坑底部留有 2 个排渣口,用于坑内氧化铁皮和废砖的清除。渣筒由铸钢制成,下口安装有手动开闭机构。



## 任务实施

### 一、炉膛与炉衬

炉膛(图 1-1)是由炉墙、炉顶和炉底围成的空间,是对钢坯进行加热的地方。炉墙、炉顶和炉底通称为炉衬,炉衬是加热炉的一个关键技术条件。在加热炉的运行过程中,不仅要求炉衬能够在高温和荷载条件下保持足够的强度和稳定性,还要求炉衬能够耐受炉气的冲刷和炉渣的侵蚀,而且要求有足够的绝热保温和气密性能。为此,炉衬通常由耐火层、保温层、防护层和钢结构几部分组成。其中耐火层直接承受炉膛内的高温气流冲刷和炉渣侵蚀,通常采用各种耐火材料经砌筑、捣打或浇注而成;保温层通常采用各种多孔的保温材料,经砌筑、敷设、充填或粘贴形成,其功能在于最大限度地减少炉衬的散热损失,改善现场操作条件;防护层通常采用建筑砖或钢板,其功能在于保持炉衬的气密性,保护多孔保温材料形成的保温层免于损坏。钢结构是位于炉衬最外层的由各种钢材拼焊、装配成的承载框架,其功能在于承担炉衬、燃烧设施、检测仪器、炉门、炉前管道以及检修、操作人员所形成的载荷,提供有关设施的安裝框架。

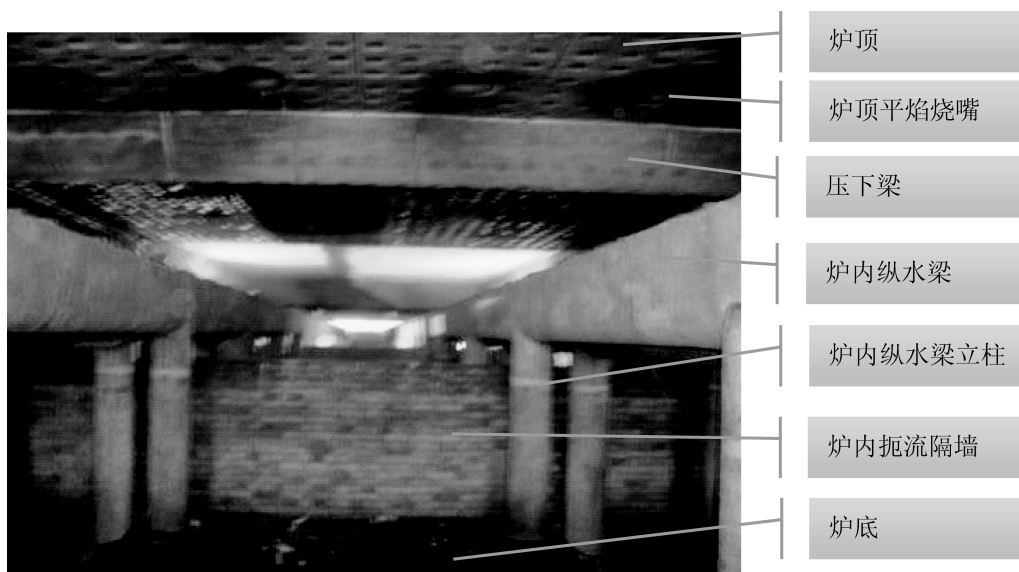


图 1-1 炉膛

### (一) 炉墙

炉墙分为侧墙和端墙,沿炉子长度方向上的炉墙称为侧墙(图 1-2),炉子两端的炉墙称为端墙(图 1-3)。炉墙通常用标准直型砖平砌而成,炉门的拱顶和炉顶拱脚处用异型砖砌筑。侧墙的厚度通常为 1.5~2 倍砖长。端墙的厚度根据烧嘴、孔道的尺寸而定,一般为 2~3 倍砖长。整体捣打、浇注的炉墙尺寸则可以根据需要随意确定。大多数加热炉的炉墙由耐火砖的内衬和绝热砖层组成。为了使炉子具有一定的强度和良好的气密性,炉墙外面还包有 4~10 mm 厚的钢板外壳或者砌有建筑砖层作炉墙的保护层。



图 1-2 侧墙



图 1-3 端墙

炉墙上设有炉门、窥视孔、烧嘴孔、测温孔等孔洞。为了防止砌砖受损,炉墙应尽可能避免直接承受附加载荷。所以,炉门、冷却水管等构件通常都直接安装在钢结构上。

承受高温的炉墙当高度或长度较大时,要保证有足够的稳定性。增加稳定性的办法是增加炉墙的厚度或用金属锚固件固定。当炉墙不太高时,一般用 232~464 mm 黏土砖和 232~116 mm 绝热砖的双层结构。炉墙较高时,炉底水管以下的增加厚度 116 mm。

### (二) 炉顶

加热炉的炉顶按其结构分为两种:即拱顶和吊顶(图 1-4、1-5)。

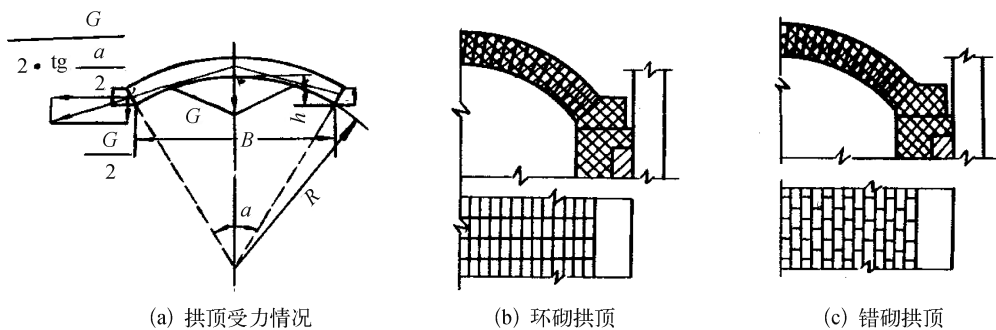


图 1-4 拱顶结构

拱顶用楔形砖砌成,结构简单,砌筑方便,不需要复杂的金属结构。如果采用预制好的拱顶,更换时就更方便。拱顶的缺点是由于拱顶本身的重量产生侧压力,当加热膨胀后侧压力就更大。因此,当炉子的跨度和拱顶重量太大时,容易造成炉子的变形,甚至会使拱顶坍塌。所以,拱顶一般用于跨度小于 3.5~4 m 的中小型炉子上,炉子的拱顶中心角一般为

60°。拱顶结构如图 1-4 所示。拱顶的主要参数是：内弧半径( $R$ )，拱顶跨度即炉子宽度( $B$ )，拱顶中心角( $a$ )，弓形高度( $h$ )。

拱顶的厚度与炉子的跨度有关，为了保证拱顶具有足够的强度，炉子的跨度较大时，炉顶的厚度则应相应适当加大。当拱顶跨度在 3.5 m 以下时，拱顶的耐火砖层为 230~250 mm，绝热层为 65~150 mm。当拱顶跨度在 3.5 m 以上时，耐火砖层为 230~300 mm，绝热层为 120~200 mm。

拱的两端支撑在特制的拱角砖上，拱的其他部位用楔形砖砌筑。拱顶可以用耐火砖砌筑，也可用耐火混凝土预制块。炉温为 1 250 °C~1 300 °C 以上的高温炉的拱顶采用硅砖或高铝砖，但硅砖仅适合于连续运行的炉子。耐火砖上面可用硅藻土砖绝热，也可用矿渣棉等散料作绝热层。拱顶砌砖在炉长方向上应设置弓形的膨胀缝，若用黏土砖砌筑则每米应设膨胀缝 5~6 mm，用硅砖砌筑则每米应设膨胀缝 10~12 mm，用镁砖砌筑则每米应设膨胀缝 8~10 mm。

当炉子跨度大于 4 m 时，由于拱顶所承受的侧压力很大，一般耐火材料的高温结构强度已很难满足，因而大多采用吊顶结构，图 1-5 是常用的几种吊顶结构。吊挂顶是由一些专门设计的异型砖和吊挂金属构件组成。按吊挂形式分可以是单独的或成组的吊挂砖吊在金属吊挂梁上。吊顶砖的材料可用黏土砖、高铝砖和镁铝砖，吊顶外面再砌硅藻土砖或其他绝热材料，但砌筑切勿埋住吊杆，以免烧坏失去机械强度，吊架被砖的重量拉长。吊挂结构复杂，造价高，但它不受炉子跨度的影响且便于局部修理及更换(图 1-6、1-7)。

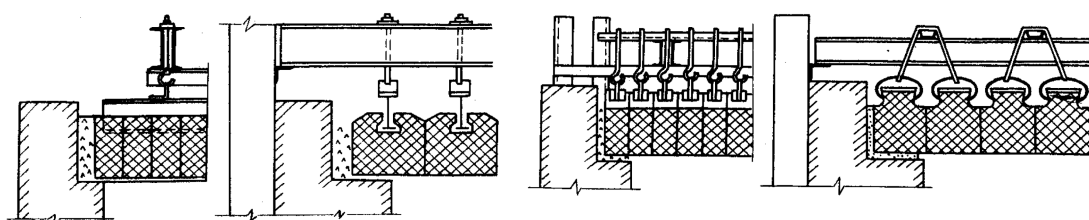


图 1-5 吊顶结构



图 1-6 炉顶总貌



图 1-7 炉顶局部

### (三) 炉底

炉底是炉膛底部的砌砖部分,炉底要求承受被加热钢坯的重量,高温区炉底还要承受炉渣、氧化铁皮的化学侵蚀。此外,炉底还要经常与钢坯发生碰撞和摩擦。

炉底有两种形式,一种是固定炉底,另一种是活动炉底。固定炉底的炉子,坯料在炉底的滑轨上移动,除加热圆坯料的斜底炉外,其他加热炉的固定炉底一般都是水平的。活动炉底的坯料是靠炉底机械的运动而移动的。图 1-8 是连续式加热炉的炉底结构。

单面加热的炉子,其炉底都是实心炉底,两面加热的炉子,炉内的炉底通常分实底段(均热段)和架空段两部分,但也有的炉子的炉底全部是架空的。

炉底的厚度取决于炉子的尺寸和温度,在 200~700 mm 之内变动。炉底的下部用绝热材料隔热。由于镁砖具有良好的抗渣性,所以,在轧钢加热炉的炉底上用镁砖砌筑。并且,为了便于氧化铁皮的清除,在镁砖上还要再铺上一层 40~50 mm 厚的镁砂或焦屑。在 1 000 °C 左右的热处理炉或无氧化加热炉上,因为氧化铁皮的侵蚀问题较小,炉底也可以采用黏土砖砌筑。

推钢式加热炉为避免坯料与炉底耐火材料直接接触和减少推料的阻力,在单面加热的连续式加热炉或双面加热的连续式加热炉的实底部分安装有金属滑轨,而双面加热的连续式加热炉则安装的是水冷滑轨。

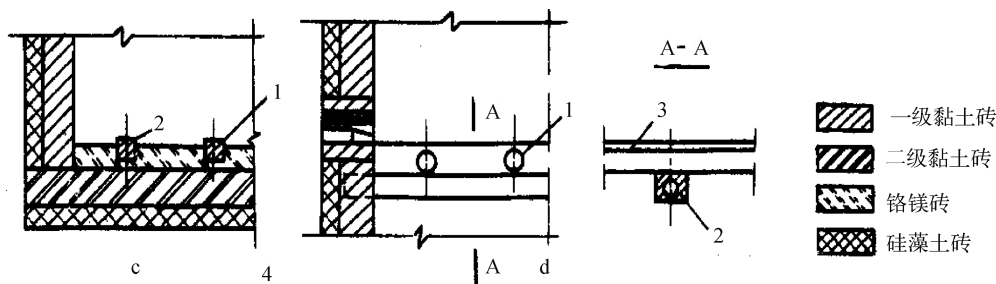


图 1-8 炉底结构

实炉底一般并非直接砌筑在炉子的基础上,而是架空通风的,即在支承炉底的钢板下面用槽钢或工字钢架空,避免因炉底温度过高,使混凝土基础受损,这是因为普通混凝土温度超过 300 °C 时,其机械强度显著下降而遭到破坏。实炉底高温区炉底结构如图 1-9、1-10 所示。

### (四) 基础

基础(图 1-11)是炉子支座,它将炉膛、钢结构和被加热钢坯的重量所构成的全部载荷传到地面上。

大中型炉子基础的材料都是混凝土基础,只有小型加热炉才用砖砌基础。

砌筑基础时,应避免将炉子部件和其他设备放在同一整块基础上,以免由于负荷不同而引起不均衡下沉,使基础开裂或设备倾斜。

### (五) 炉子的钢结构

为了使整个炉子成为一个牢固的整体,在长期高温的工作条件下不致严重变形,炉子必须设置由竖钢架、水平拉杆(或连接梁)组成的钢结构(图 1-12)。炉子的钢结构起到一个框架作用,炉门、炉门提升机构、燃烧装置、冷却水管和其他一些零件都安装在钢结构上。

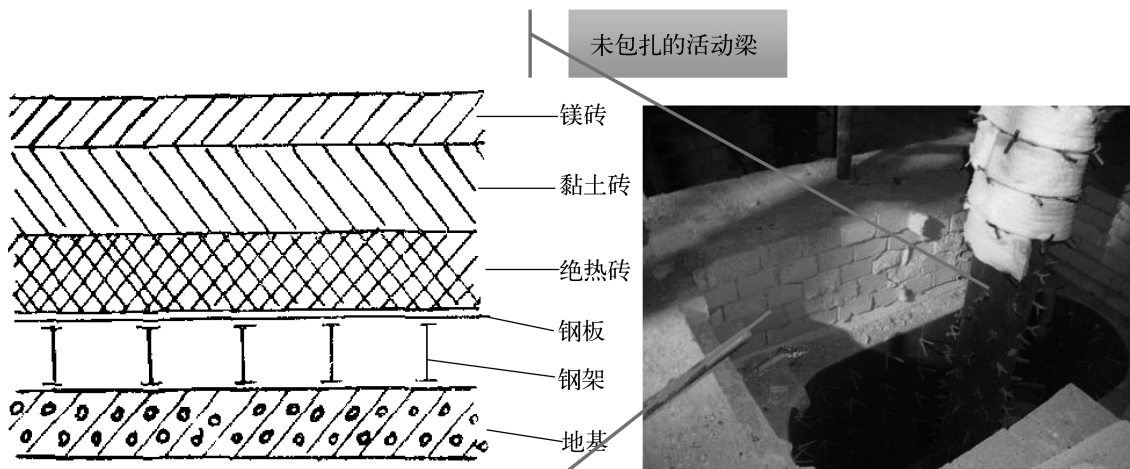


图1-9 高温区炉底结构



炉底耐材各层结构

活动梁



固定梁

图 1-10 炉底结构



图 1-11 加热炉基础

钢结构的型式与炉型和砌砖结构有关。其主体是竖钢架,可以用槽钢、工字钢等,下端用地脚螺丝固定在混凝土基础上,上端用连接梁连接起来。也可以采用活动连接的方式,即竖钢架的上下端用可调整的拉杆连接起来,开炉时可以根据炉子的膨胀情况,调整螺丝放松拉杆,生产以后就很少再去调整拉杆的松紧。在一些小炉子上,也采用由钢板焊成的一个外壳,然后在里面砌砖。

#### (六) 炉门、出渣门和观察孔

为了满足工艺上的需要,在炉墙上常留有若干观察孔和炉门以及出渣门。它们的大小以及形状取决于操作上是否便利。但从热效率这一点来讲,炉门和观察孔以及出渣门应尽量地减少。这是因为高温炉气很容易通过此类炉门



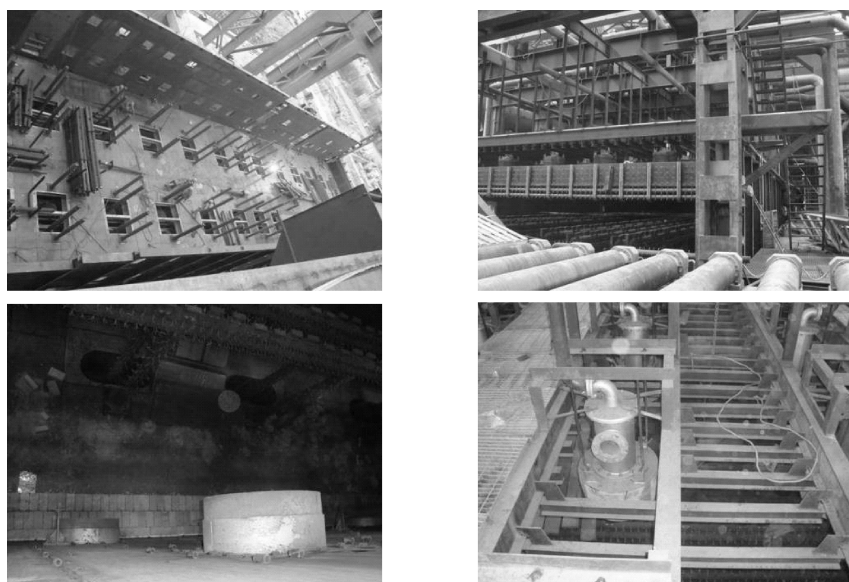


图 1-12 加热炉钢结构

逸出而造成热损失。另外,炉子外部的空气也很容易通过此类炉门被吸入而影响炉温。总之,在保证生产正常进行的前提下应尽可能减少炉门开启次数。

## 任务二 耐火材料



### 学习目标

- 了解耐火材料的主要性能。
- 了解耐火材料的类型。
- 掌握主要耐火材料加热炉运用的主要耐火材料。



### 任务描述

识别不同类型耐火材料,并根据炉子不同部位正确选用耐火材料。



### 相关知识

砌筑加热炉广泛使用各种耐火材料和绝热材料,耐火材料的合理选择、正确使用是保证加热炉的砌筑质量,提高炉子的使用寿命,减少炉子热能损耗的前提。耐火材料的种类繁多,了解各种耐火材料的性能、使用要求及方法,是正确使用耐火材料的必要条件。

砌筑加热炉的耐火材料应满足以下要求:

(1) 具有一定的耐火度,即在高温条件下使用时,不软化不熔融。各国均规定:耐火度高于 $1580^{\circ}\text{C}$ 的材料才称为耐火材料。

(2) 在高温下具有一定的结构强度,能够承受规定的建筑荷重和工作中产生的应力。

(3) 在高温下长期使用时,体积保持稳定,不会产生过大的膨胀应力和收缩裂缝。

(4) 温度急剧变化时,不能迸裂破坏。

(5) 对熔融金属、炉渣、氧化铁皮、炉衬等的侵蚀有一定的抵抗能力。

(6) 具有较好的耐磨性及抗震性能。

(7) 外形整齐。尺寸精确,公差不超过要求。

以上是对耐火材料总的要求。事实上,目前尚无一种耐火材料能同时满足上述要求,这一点必须给予充分的注意。选择耐火材料时,应根据具体的使用条件,对耐火材料的要求确定出主次顺序。



## 任务实施

### 一、耐火材料的主要性能

耐火材料的性能包括物理性能和工作性能两个方面。物理性能如体积密度、气孔率、热导率、真密度、线膨胀系数等往往能够反映材料制造工艺的水平,并直接影响着耐火材料的工作性能。耐火材料的工作性能指材料在使用过程中表现出来的性能,主要包括耐火度、高温结构强度、高温体积稳定性、抗渣性等,耐火材料的工作性能取决于耐火材料的化学矿物组成及其制造工艺。

#### 1. 耐火度

耐火材料在高温状态下抵抗熔化和软化的性能称为耐火度。它是衡量耐火材料承受高温能力的基本尺度,是表征耐火材料耐高温性能的一项基本技术指标。耐火材料的耐火度愈高,表明材料的耐高温性质愈好。耐火材料实际使用温度应低于耐火度。

#### 2. 高温结构强度

耐火材料在高温下承受压力、抵抗变形的能力称为耐火材料的高温结构强度。耐火材料的高温结构强度通常用荷重软化点作为评定的指标。所谓荷重软化点,是指耐火材料在一定的压力( $0.02\text{ MPa}$ )下,以一定的升温速度加热,当材料开始变形、4%及40%的软化变形时对应的温度,分别称为荷重软化开始温度,4%、40%时的荷重软化温度。

#### 3. 高温体积稳定性

耐火材料在高温及长期使用的情况下,应保持一定的体积稳定性。这种体积的变化不是指一般的热胀冷缩,而是指耐火材料在烧制时,由于其内部组织未完全转化,在使用过程中内部组织结构会继续变化而引起的不可逆的体积变化。

#### 4. 抗热震性

耐火材料抵抗温度急剧变化而不致破裂和剥落的能力称为抗热震性,又称耐热剥落性和耐热崩裂性。

### 5. 化学稳定性

耐火材料往高温抵抗熔融金属、物料、炉渣、熔融炉尘等侵蚀作用的能力称为耐火材料的化学稳定性。这一指标通常也用抗渣性来表示。

### 6. 气孔率

因制造工艺局限性,耐火材料中总存在着一些大小不同、形状各异的气孔。耐火材料中所有气孔的体积与材料总体积的比值就称为耐火材料的气孔率。

### 7. 热膨胀性

耐火材料的长度和体积随温度升高而增大的性质,称为耐火材料的热膨胀性。

## 二、耐火材料理化指标

加热炉砌筑部位所用的主要耐火材料的成分和性能要求如下:

### 1. 高铝砖

应符合国标 GB 2988—87 一级品之规定(表 1-1)。

表 1-1 高铝砖

项 目	牌 号	
	LZ-48	LZ-55
耐火度(°C)	1 750	1 770
常温耐压强度(MPa) $\geq$	39.22	44.1
0.2 MPa 荷重软化开始温度(°C)不低于	1 470	1 420
重烧收缩率(%)	+0.1 (1 450 °C 2 h)-0.4	+0.1 (1 500 °C 2 h)-0.4
主要化学成分 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	$\geq$ 48	$\geq$ 55
采用标准	GB 2988—87	GB 2988—87

### 2. 黏土砖

应符合国标 GB 4415—84 一级品之规定(表 1-2)。

表 1-2 黏土砖

项目	牌号 N-1	牌号 N-2a
耐火度(°C)	1 750	1 730
常温耐压强度(MPa) $\geq$	29.4	24.5
重烧收缩率 1 400 °C, 2 h(%)	+0.1 -0.4	+0.1 -0.5
2 kgf/cm <sup>2</sup> 荷重软化开始 温度(°C)不低于	1 400	1 350
采用标准	GB 4415—84	GB 4415—84

### 3. 轻质黏土砖

应符合国标 GB 3994—83 一级品之规定(表 1-3)。

表 1-3 轻质黏土砖

项 目	牌 号	(QN)-0.6	(QN)-0.8	(QN)-1.0
	耐火度(°C)		1 670	1 670
最高使用温度(°C)		1 200	1 250	1 300
常温耐压强度(MPa)≥		1.47	2.45	2.94
体积密度(g/cm <sup>3</sup> )≤		0.6	0.8	1.0
重烧收缩率不大于 2% 的 试验温度(°C)		1 200	1 250	1 350
采用标准		GB 3994—83	GB 3994—83	GB 3994—83

## 4. 烧嘴砖用浇注料(表 1-4)

表 1-4 烧嘴砖用浇注料

序号	指 标 名 称		数 值
1	最高使用温度(°C)		1 600
2	化学成分(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60
		CaO	1.2
3	体积密度(g/cm <sup>3</sup> )		2.6
4	线性变化(%) 1 400 °C×3 h		±0.5
5	抗折强度(MPa)	110 °C×24 h	4
		1 400 °C×3 h	9
6	耐压强度(MPa)	110 °C×24 h	40
		1 400 °C×3 h	85

## 5. 可塑料(表 1-5)

表 1-5 可塑料

序号	指 标 名 称		数 值	数 值
1	最高使用温度(°C)		1 600	1 550
2	化学成分(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42	38
		SiO <sub>2</sub>	52	56
3	体积密度(g/cm <sup>3</sup> )		2.25	2.1
4	抗折强度(MPa)	110 °C	1.8	1.5
		1 000 °C	2.5	2.2
		1 300 °C	3.5	3.0
5	线性变化(%)	110 °C	-1.1	-1.0
		1 000 °C	-1.1	-1.1
		1 300 °C	-1.1	-1.0

续表

序号	指标名称	数值	数值
6	热膨胀( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )(烧后)	5.7	5.7
7	导热系数( $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ )(烧后)	500 $^{\circ}\text{C}$	0.659
		1 000 $^{\circ}\text{C}$	0.824

## 6. 致密高强高铝浇注料(表 1-6)

表 1-6 致密高强高铝浇注料

序号	指标名称	数值
1	耐火度( $^{\circ}\text{C}$ )	1 750
2	最高使用温度( $^{\circ}\text{C}$ )	1 500
3	化学成分(%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$
		60
4	抗压强度(MPa)	CaO
		2
4	抗压强度(MPa)	110 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 20$
5	抗折强度(MPa)	1 300 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 50$
5	抗折强度(MPa)	110 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 5$
6	线性变化(%)	1 300 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 8$
		110 $^{\circ}\text{C}$
6	线性变化(%)	$0\sim\leq -0.1$
		1 000 $^{\circ}\text{C}$
		$0\sim\leq -0.2$
7	热膨胀( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )(烧后)	1 300 $^{\circ}\text{C}$
		$0\sim\leq -0.3$
7	热膨胀( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )(烧后)	$\leq 6.0$
8	导热系数( $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ )(烧后)	800 $^{\circ}\text{C}$
		0.84
8	导热系数( $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ )(烧后)	1 000 $^{\circ}\text{C}$
		1.2

## 7. 水梁专用浇注料(表 1-7)

表 1-7 水梁专用浇注料

序号	指标名称	数值
1	耐火度( $^{\circ}\text{C}$ )	1 750
2	最高使用温度( $^{\circ}\text{C}$ )	1 500
3	化学成分(%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$
		65~70
4	体积密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	CaO
		1.5
4	体积密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	
		$\geq 2.3$
5	抗压强度(MPa)	110 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 50$
6	抗折强度(MPa)	1 500 $^{\circ}\text{C}$
		$\leq 80$
6	抗折强度(MPa)	110 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 10$
		1 300 $^{\circ}\text{C}$
		$\geq 12$

续表

序号	指标名称		数值
7	线性变化(%)	110 °C	0~≤-0.1
		1 000 °C	0~≤-0.2
		1 300 °C	0~≤-0.3
8	热膨胀( $\times 10^6/^\circ\text{C}$ )(烧后)		≤6.0
9	导热系数(kcal/m·h·°C)(烧后)	800 °C	0.84

## 8. 轻质浇注料(表 1-8)

表 1-8 轻质浇注料

序号	指标名称		数值	数值
1	使用温度(°C)		1 200	1 250~1 300
2	导热系数(W/m·K)	700 °C	0.25	0.35
		1 000 °C 热面	0.35	0.45
3	抗压强度(MPa)	110 °C×24 h	4.5	5.5
		1 200 °C×3 h	5.3	
		1 250 °C×3 h		7.5
4	抗折强度(MPa)	110 °C×24 h	1.3	1.5
		1 200 °C×3 h	1.5	
		1 300 °C×3 h		1.7
5	体积密度		1.2~1.3	1.5~1.6
6	线性变化(%)	110 °C×24 h	-0.1	
		1 100 °C×3 h	-1	-1

## 9. 纤维浇注料(表 1-9)

表 1-9 纤维浇注料

序号	指标名称		数值	数值
1	最高使用温度(°C)		1 050	1 050~1 100
2	化学成分(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25~35	25~35
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<2.5	<1.5
3	线变化率(%)	1 000 °C	<-3.5	<-3.0
4	容重(kg/cm <sup>3</sup> )		0.8	1.2
5	导热系数(W/m·K)(经 600 °C 烧后,再经 900 °C 热面温度测试)		<0.26	<0.39
6	耐压强度(MPa)	110 °C 干燥后	0.5~1	0.5~1.29

## 10. 耐火纤维毡、毯、带、绳(表 1-10)

表 1-10 耐火纤维毡、毯、带、绳

序号	指标名称		数值	
			LT	RT
1	最高使用温度(°C)		1 000	1 200
2	工作温度(°C)		800	1 100
3	化学成分(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40~44	≥45
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub>	≥90	≥96
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7~1.5	≤1.2
		Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	3~5	≤0.5
4	加热线收缩(%)	1 000 °C×6 h	-4	
		1 150 °C×6 h		-3

## 11. 纤维绝热板(表 1-11)

表 1-11 纤维绝热板

序号	指标名称		数值
1	最高使用温度(°C)		1 260
2	工作温度(°C)		1 000
3	化学成分(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>45
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub>	≥90
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<1.2
		Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	<0.5
4	加热线收缩(%)	1 000 °C×6 h	<2
5	抗折强度(MPa)		>0.32
6	导热系数(W/m·K)	400 °C	0.09
		600 °C	0.12
		800 °C	0.16
		1 000 °C	0.21

## 三、耐火材料的外观及识别

耐火材料按其外观分为块状(耐火制品)和不定形耐火制品。块状耐火制品根据其外形和尺寸又分为普通型砖、标准型砖、异型砖和特型砖。块状耐火制品不允许有裂纹、铁斑、熔洞、结瘤、黑心、裂缝、缺棱和缺角、扭曲、鼓胀和尺寸偏差等外观缺陷,这些外观缺陷不但影响耐火制品的品质,而且还会影响炉子的砌筑质量,进而影响到炉子的使用寿命(图 1-13)。

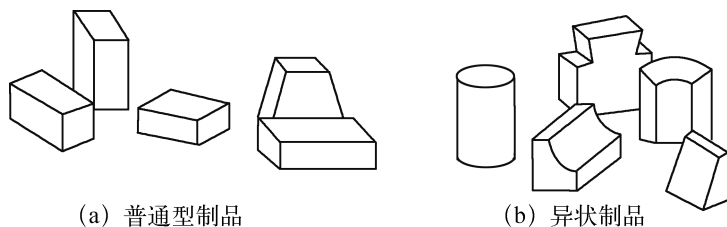


图 1-13 耐火制品的形状

耐火制品的外观缺陷主要是在生产过程形成的。此外,在装卸、运输、贮存、保管过程中也可能产生。

## 四、加热炉的砌筑

### (一) 耐火材料验收、存放和保管

耐火材料的验收一般包括:

(1) 质量证明书 质量证明书上一一般按牌号和砖号列出耐火制品的各种指标值,并注明是否符合技术要求、技术条件和设计要求。必要时,还需由实验室进行检验。

(2) 外形外观检查 根据炉子所用耐火材料标准中所列的项目进行全数检查或批量抽查。

(3) 耐火预制件的尺寸精度按相应标准进行。

耐火材料一般在有盖仓库内妥善保管,对受潮易变质的耐火材料还应采取必要的防潮措施。存放于仓库内的耐火材料,要按牌号、砖号和砌筑顺序合理地规划和堆放,并做出标志。不定形耐火材料、耐火泥浆、结合剂等应分别保存在防止潮湿和防污垢的仓库内,并且对易结块的不定形耐火材料堆放不能过高;对有时效性的不定形耐火材料,根据不同结合剂和外加剂的保管要求,妥善保管,并注明其名称、牌号和生产时间。耐火预制构件堆放时,必须考虑支承的位置和方法,以防止构件受力不均而造成损伤。

### (二) 加热炉砌砖规定

加热炉砌砖规定如下:

(1) 砌筑加热炉用的耐火材料及隔热材料,一般要防止受潮。

(2) 砌筑耐火砖所用耐火泥的耐火度和化学成分与所用砖的耐火度和化学成分相适应。

(3) 耐火砌体一般要求错缝砌筑,砖缝以泥浆填满;干砌时以干耐火粉填满。

(4) 加热炉砌体的表面应勾缝。

(5) 耐火砌体和隔热砌体,从施工到投产的过程都要预防受潮。

(6) 禁止直接在砌体上砍凿砖,砌耐火砖时,一般要求用木槌找正。

(7) 砖的砍凿面一般不应朝向炉膛、炉子通道的内表面或膨胀缝。

(8) 烟道同下沉很大的烟囱和其他建筑物连接时,应在这些建筑物的全高建完,沉降基本稳定后,或者在烟道与烟囱或其他建筑物间设有沉降缝时,才允许砌筑烟道,沉降缝应防止透气和渗水。

### (三) 砌砖方法

根据砖在砌体中的位置分为平砌 1、侧砌 2 和竖砌 3 三种(图 1-14)。一般,砖的长侧表面叫顺面,端头短的表面叫顶面,两个宽表面叫大面。当砖的长边顺着墙平砌时叫做顺砌,当砖的长边在墙上横着平砌时叫顶砌。



### 1. 炉墙砌筑

砌墙时,在同一砖层内,前后相邻砖列和上下相邻砖层的砖缝应交错。墙的砌体要平整和垂直。为了保持砖层的水平,砌墙按拉紧的线绳进行。用水平尺和靠尺检查砌体表面的平整度,用控制样板检查墙的垂直度或倾斜度。砌墙中断时,应留成阶梯形退台。砌筑砖垛时,上下相邻砖层的垂直缝均应交错。

弧形墙错缝与直形墙错缝的方法相同(图 1-15)。弧形墙应按中心线砌筑,当炉壳中心线的垂直误差符合规定时,弧形墙也可以炉壳作导面进行砌筑,并用样板进行检查。

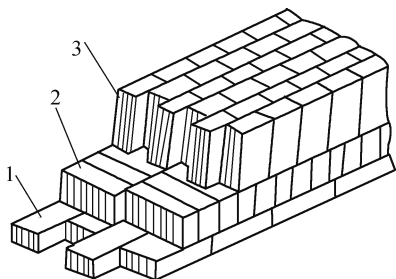


图 1-14 砖的 1—平砌、2—侧砌、3—竖砌

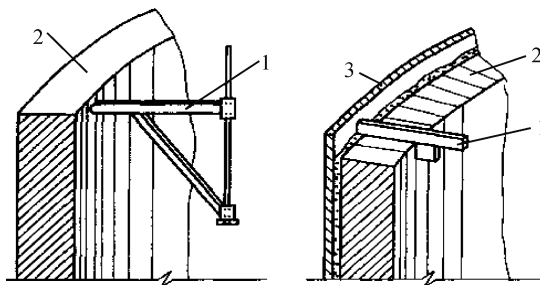


图 1-15 弧形墙的砌筑

1—样板;2—弧形墙;3—炉壳

### 2. 炉底砌筑

炉底分死底和活底。砌筑时,先砌底后砌墙,墙压在底上,这种底叫死底。先砌墙后砌底,这种底叫活底。

炉底一般由炉子中间开始向两端进行。

砌筑炉子、通道和烟道的底的最上层砖时,一般将砖横砌,与炉渣及气体的流动方向垂直。根据炉子的生产要求,也有将炉底砌成反拱的。

### 3. 拱顶砌筑

拱顶分为弓形拱、半圆形拱和平顶三种。突起与跨度之比在  $1/12 \sim 1/2$  之间(不包括  $1/2$ )的拱称为弓形拱;突起为跨度的  $1/2$  的拱称为半圆形拱;没有突起的拱称为平顶,平顶多为悬挂式的。

砌筑拱顶有错砌和环砌两种方法。除设计规定或特殊结构部位环砌外,拱顶一般为错缝砌筑(图 1-16)。

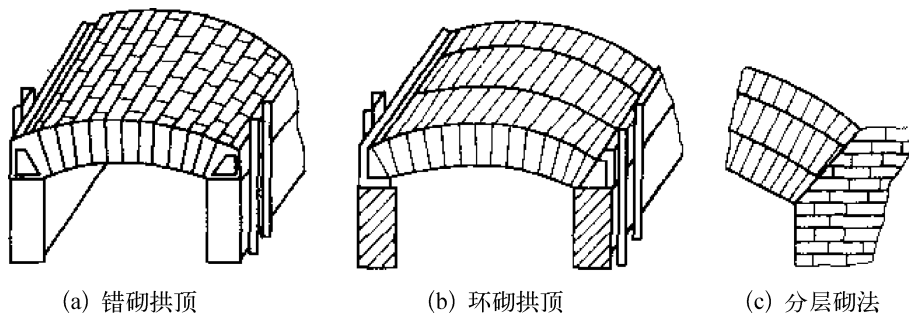


图 1-16 拱顶的砌法

拱顶均用楔形砖砌筑,砌筑时先安装与拱顶形式相对应的拱架。对于连续作业炉的拱顶或工作温度比较高、易损坏,需要经常修理的拱顶可用环砌的方法,即炉顶砌砖前后通缝。

拱顶砌筑从两边拱脚同时向拱顶中心对称进行,拱脚砖的角度与拱的角度应一致,并紧靠拱脚梁砌筑。如拱脚砖的后面有砌体时,则在该砌体砌完后,再开始砌筑拱顶。拱脚砖后面一般不砌强度低的硅藻土砖或轻质黏土砖等材料。拱顶拱砖的放射缝应与半径方向吻合。

为了增加炉顶的牢固性,拱顶砌砖最后要用锁砖锁紧。锁砖应沿拱顶的中心线对称、均匀的分布。打入锁砖时,先将靠近两边拱脚的锁砖同时均匀打入,最后打入中间的锁砖。矩形砖、砍掉厚度 1/3 以上的砖或砍凿侧面使大面成楔形的砖,不能做锁砖。

为了保持锁砖列的尺寸一致,两边拱脚砖的标高和间距在全长上应保持一致。

#### (四) 砌缝和膨胀缝

为了保证炉子砌体的坚固和耐久,避免透过气体和渗入熔融金属及炉渣,砌体的错缝和砖缝的厚度应特别注意,不允许有直通缝。加热炉各部位砌体的砖缝厚度见表 1-12。

表 1-12 加热炉各部位砌体

炉子名称	砌体部位名称	砖缝厚度(不大于)/mm
均热炉	底墙和吊挂炉盖	2
	烧嘴砖	2
	拱形炉盖	1.5
加热炉和热处理	镁砖或镁铬砖底	2
	加热炉预热段、加热段和均热段炉墙	2
	其他底和墙	3
	炉顶和拱	2
	烧嘴砖	2

由于耐火砖受热要膨胀,膨胀的数值与泥浆收缩或砖的重烧收缩不完全相等,因此需要根据砖的线膨胀系数及承受的温度计算膨胀缝,以避免钢结构和砌体的变形。炉子的膨胀缝既不许减弱砌体的强度,也不允许漏过气体、炉渣及钢液。

为了保证膨胀均匀,膨胀缝应均匀分布,每个膨胀缝的尺寸要小,而膨胀缝的数量要多。一般膨胀缝间的间距不超过 2 m。在不致引起漏气和逸出燃烧产物的条件下,可以留集中膨胀缝,如拱顶两端靠近端墙处的膨胀缝。钢架及炉底结构与砌体之间也应留膨胀缝,以供钢结构自由膨胀。

砌体内部和外部的膨胀缝以及上层和下层的膨胀缝均要错开一定的位置,成“弓”字形,彼此不相通。

表 1-13 各种常用耐火材料内衬膨胀缝的平均数值

砌体材料	膨胀缝尺寸(mm·m <sup>-1</sup> )	砌体材料	辊缝尺寸(mm·m <sup>-1</sup> )
黏土砖砌体	5~6	黏土耐火浇注料	4~6
高铝砖砌体	7~8	硅酸盐水泥耐火浇注料	5~8
硅砖砌体	12~13	高铝水泥耐火浇注料	6~8
刚玉砖砌体	9~10	水玻璃耐火浇注料	4~6
镁铝砖砌体	10~11	磷酸盐耐火浇注料	6~8
镁砖砌体	10~14		



## 实践案例

### 加热炉常用耐火材料及应用

#### 一、步进梁式加热炉用耐火材料

炉子采用不同材质和牌号的复合结构并整体施工的内衬,具有良好的耐高温剥落性和绝热性,提高炉衬的寿命、保证加热炉长期稳定工作,改善加热炉区域的操作环境温度同时,并使炉壁温度符合国家标准。炉子主要部位砌筑材料与厚度组成如下表(表 1-14):

表 1-14 炉子主要部位砌筑材料与厚度

砌筑部位	材料名称及牌号	厚度(mm)
炉底	高铝砖 LZ-55	116
	黏土砖 N-1	68
	轻质黏土砖 NG-1.0	136
	轻质黏土砖 NG-0.6	136
	绝热板( $\gamma = 220 \text{ kg/m}^3$ )	50
	硅酸铝纤维毡	10
	总厚度	516
侧墙	可塑料	284
	轻质黏土砖 NG-1.0	116
	硅酸铝纤维绝热板	60
	绝热板	60
	总厚度	520
炉顶	可塑料	230
	硅酸铝纤维毡 RT	30
	纤维浇注料 0.6	70
	总厚度	330

#### 二、加热炉的绝热措施

##### 1. 水梁绝热

炉底梁及立柱采用双层绝热包扎结构。

## 2. 热风管道绝热包扎

对于热空气管道,根据管径的不同,分别采用内衬或外包绝热材料以减少热量散失。绝热层耐火材料组成如下表所示(表 1-15)。

表 1-15 绝热层耐火材料组成

砌筑部位	材料名称及牌号	厚度(mm)
空气管道	≥Φ800 管道用内绝热	141
	轻质黏土砖 NG-0.6	116
	硅酸铝耐火纤维毡	25
	≥Φ2 000 管道用内绝热	257
	轻质黏土砖 NG-0.6	232
	硅酸铝耐火纤维毡	25
	≤Φ700 管道用外包扎绝热	
	硅酸铝耐火纤维毡	100
	≤Φ300 管道用外包扎绝热	
硅酸铝耐火纤维毡	75	
外包扎绝热层用镀锌铁皮	0.5	
煤气管道	热煤气管道>Φ300 管道外绝热:	
	硅酸铝耐火纤维毡:T0 600℃	60
	镀锌铁皮:	0.5
	总厚度:T1≤50℃	60.5
	热煤气管道≤Φ300 管道外绝热:	
	硅酸铝耐火纤维毡:T0 600℃	50
镀锌铁皮:	0.5	
总厚度:T1≤50℃	50.5	

## 三、烟道内衬

加热炉上升烟道采用纤维结构,水平烟道采用砌砖和浇注料复合结构,烟道闸板以后烟管部分采用纤维模块(或纤维浇注料)结构,钢结构烟囱内衬采用喷涂料(或纤维浇注料)。

# 任务三 燃 料



### 学习目标

- 了解金属压力加工企业加热炉常用燃料的主要性能与用途。
- 掌握燃烧分析与计算基本方法。
- 掌握对燃料燃烧过程的控制及燃烧方法的应用。