

高等学校教学用书

火焰炉

GAODENG
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

冶金工业出版社



ISBN 7-5024-1607-2



9 787502 416072 >

ISBN 7-5024-1607-2
TF·368(课) 定价10.70元

高等学校教学用书

火焰炉

东北大学 陆钟武 主编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

图书在版编目(CIP)数据

火焰炉/陆钟武主编. —北京:冶金工业出版社,1995

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-1607-2

Ⅰ. 陆... Ⅱ. 陆... Ⅲ. 有色冶金炉:火焰熔化炉-高等学校-教材. Ⅳ. TF806.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13212 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

怀柔县东茶坞印刷厂印刷;冶金工业出版社出版;各地新华书店发行

1995 年 5 月第 1 版,1995 年 5 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16,18.25 印张;426 千字;279 页;1-2000 册

10.70 元

前 言

“火焰炉”是我国部分高校热能工程专业的一门重要的专业课。它的任务是使学生掌握火焰炉热工理论,获得火焰炉设计的一般知识以及专业性实验技能的初步训练,为分析和解决火焰炉一般工程技术问题打下必要的基础。

学生在学习本课程以前,在热工基础理论方面,应修完热力学、传热学、流体力学、燃料及燃烧学等课程;在生产工艺方面,应有针对地修完一、二门工艺专业的课程。例如,以冶金工业为主要对象的热能工程专业学生应修完冶金学、金属学及热处理等课程。耐火材料也是本课程必需的先修课。此外,学生在学习本课程以前,还应完成生产实习,对少数几种炉型具有一定的感性认识,以利于理解本课程的内容。

本课程除讲授以外,还有习题、实验和课程设计。课程设计一般在讲课结束以后再集中安排。

炉窑方面的其他课程(如电炉、竖炉等),或与本课程平行安排,或前后错开,或合并成一门课程。

本教材是按照我校制定的教学大纲,在以往教材的基础上编写的,其中也反映了本书作者及其同事们长期从事炉子热工方面科学研究的成果和教学的经验。全书的中心思想是结合生产工艺的特点分析各类火焰炉的结构及操作、热工过程和生产指标这三类变量以及它们之间的相互关系。我们认为,这样分析炉子热工问题比较客观全面,可以避免在炉子热工理论和发展过程中曾经出现过的各种片面性。

有些院校的热能工程专业,炉窑方面的课程不是必修的主课,或者并不开设这方面的课程。但是我们相信,这本教材对这些院校热能工程专业的学生也是一本重要的参考书。

此外,我们还相信,这本教材对于各工业部门从事炉子热工工作的工程技术人员,也有一定参考价值。

这本教材是在冶金工业部教材编辑室的支持和指导下,在东北大学教务处的协助下完成的。北京科技大学曹冠之、重庆大学缪徵德、华东冶金学院陈光等同志对本书初稿进行了全面审阅,提出了许多宝贵的意见。在此我们表示衷心感谢。这本教材出版以后,我们更希望广大读者能坦率地提出意见,以利于这本教材的改进和提高。

这本教材各章的编写人如下:

绪论——陆钟武;第1章——杨宗山;第2章~第5章——陆钟武、杨宗山;第6章~第7章——**宁宝林**;第8章——张鸿芝;第9章——陆钟武;第10章~第11章——杨宗山。

编 者

1994.5

目 录

绪论	(1)
1. 炉子的一般组成部分	(4)
1.1 炉膛(工作室)	(4)
1.1.1 炉墙	(5)
1.1.2 炉顶	(5)
1.1.3 炉底	(9)
1.2 烟道、烟闸与烟囱	(9)
1.2.1 烟道与烟闸	(9)
1.2.2 烟囱	(11)
1.3 炉子基础和钢结构	(11)
1.3.1 炉子基础	(11)
1.3.2 炉子的钢结构	(12)
参考文献	(12)
2. 炉子热平衡及燃料消耗	(13)
2.1 基本概念	(13)
2.1.1 编制热平衡的意义	(13)
2.1.2 编制热平衡的基本概念	(13)
2.2 区域热平衡和全炉热平衡	(14)
2.2.1 炉膛的热平衡式	(14)
2.2.2 空气预热器的热平衡式	(15)
2.2.3 炉子的热平衡式	(15)
2.2.4 热平衡(热流)图	(16)
2.3 热量有效利用系数和热量利用系数	(16)
2.3.1 有效热	(16)
2.3.2 热量有效利用系数	(17)
2.3.3 热量利用系数	(18)
2.4 热平衡的编制	(19)
2.4.1 热平衡中各项热量及计算方法	(19)
2.4.2 熔炼炉热平衡的特点	(27)
2.4.3 炉子燃料消耗	(27)
2.5 燃料变化后燃料消耗量的变化	(28)
参考文献	(29)
3. 炉子生产率及影响因素	(31)
3.1 概述	(31)
3.2 热工因素对炉子生产率的影响	(31)
3.2.1 炉气与炉料间的辐射温压	(32)
3.2.2 导来辐射系数	(37)
3.2.3 炉料受热面积	(40)

3.2.4 对流传热量	(41)
3.3 工艺因素对炉子生产率的影响	(43)
参考文献	(43)
4. 炉子热工特性及燃料节约	(45)
4.1 概述	(45)
4.2 第一类工作制度的炉子热工特性	(45)
4.2.1 解析法	(45)
4.2.2 经验法	(53)
4.3 第二类工作制度的炉子热工特性	(61)
4.3.1 炉子模型及简化的数学模型	(61)
4.3.2 计算结果及讨论	(64)
4.3.3 生产应用举例	(67)
4.4 火焰炉节约燃料的途径	(69)
4.4.1 炉子结构和操作节能(提高 η_1)	(70)
4.4.2 工艺节能(降低 ΔI)	(74)
参考文献	(76)
5. 空(煤)气预热设备	(77)
5.1 空(煤)气预热对炉子工作的影响	(77)
5.1.1 节约燃料	(77)
5.1.2 提高燃烧温度	(79)
5.1.3 改善燃烧过程	(80)
5.2 换热器的热工行为	(80)
5.2.1 换热器的热工指标	(81)
5.2.2 换热器的温度效率和热效率	(82)
5.2.3 换热器的传热系数与阻力损失	(87)
5.3 金属换热器	(90)
5.3.1 对流式换热器	(90)
5.3.2 辐射式换热器	(99)
5.3.3 复合式换热器	(103)
5.3.4 金属换热器的保护措施	(103)
5.4 陶土换热器	(105)
5.4.1 管式陶土换热器	(105)
5.4.2 方孔式陶土换热器	(106)
5.5 换热器计算	(107)
5.5.1 基本公式	(107)
5.5.2 换热器面积计算	(108)
5.5.3 换热器器壁温度计算	(110)
5.5.4 预热温度和烟气出口温度计算	(111)
5.6 蓄热室	(112)
5.6.1 蓄热室工作基本原理	(112)
5.6.2 蓄热室构造	(113)

5.6.3	蓄热室的换向	(116)
5.6.4	蓄热体移动式的蓄热室	(117)
5.6.5	蓄热室计算	(118)
	参考文献	(118)
6.	金属加热工艺	(120)
6.1	金属物理性质和机械性质	(120)
6.1.1	金属的导热系数	(120)
6.1.2	金属的比热容	(122)
6.1.3	金属的密度	(124)
6.1.4	金属的导温系数	(125)
6.1.5	金属的机械性质	(125)
6.2	金属加热时的氧化、脱碳、过热与过烧	(126)
6.2.1	钢的氧化	(126)
6.2.2	钢的脱碳	(133)
6.2.3	钢的过热与过烧	(136)
6.3	金属的加热温度、加热速度和加热制度	(138)
6.3.1	金属加热温度	(138)
6.3.2	金属加热速度	(140)
6.3.3	金属加热制度	(144)
	参考文献	(145)
7.	连续式加热炉	(146)
7.1	连续式加热炉的热工制度	(146)
7.1.1	连续加热炉温热制度	(146)
7.1.2	连续加热炉压力制度	(159)
7.2	连续加热炉炉型结构	(164)
7.2.1	连续加热炉炉型	(164)
7.2.2	连续加热炉基本尺寸和炉膛轮廓	(168)
7.2.3	连续加热炉构件及实例	(172)
7.3	机械化炉底加热炉	(177)
7.3.1	步进式加热炉	(178)
7.3.2	环形加热炉	(183)
7.3.3	分室式快速加热炉	(185)
	参考文献	(189)
8.	室式加热炉	(190)
8.1	均热炉	(190)
8.1.1	均热炉概述	(190)
8.1.2	均热炉炉型结构及炉膛基本尺寸	(191)
8.1.3	均热炉热工制度与加热时间	(199)
8.1.4	均热炉炉膛温度、压力、气氛的控制及清渣操作	(203)
8.1.5	均热炉的主要技术经济指标	(206)
8.2	室式锻造加热炉	(209)

8.2.1	概述	(209)
8.2.2	锻压车间常用的几种室式锻造加热炉	(210)
8.2.3	炉膛基本尺寸的确定	(216)
8.2.4	室式锻造加热炉的燃料消耗及节能途径	(218)
	参考文献	(220)
9.	热处理炉	(221)
9.1	概述	(221)
9.1.1	热处理炉的分类	(221)
9.1.2	热处理工件的质量要求	(223)
9.1.3	热处理炉的技术经济指标	(226)
9.2	间歇式室状热处理炉	(226)
9.2.1	炉底固定的室状热处理炉	(226)
9.2.2	罩式热处理炉	(227)
9.2.3	井式热处理炉	(230)
9.3	连续式热处理炉	(230)
9.3.1	推料式炉	(230)
9.3.2	辊底炉	(231)
9.3.3	隧道炉	(234)
9.3.4	震底炉(往复式炉底)	(235)
9.3.5	牵引式钢丝热处理炉	(235)
9.3.6	牵引式带钢热处理炉	(236)
9.4	可控气氛	(238)
9.4.1	可控气氛热处理炉的两个重要参数	(238)
9.4.2	各种热处理的可控气氛	(239)
9.4.3	可控气氛炉对耐火材料的特殊要求	(242)
	参考文献	(243)
10.	干燥炉	(244)
10.1	干燥原理	(244)
10.1.1	物料中水的结合形式	(244)
10.1.2	干燥过程	(245)
10.1.3	干燥速度及干燥时间	(246)
10.2	湿空气性质与 I - X 图	(249)
10.2.1	湿空气性质	(249)
10.2.2	I - X 图	(250)
10.2.3	I - X 图的应用	(252)
10.3	干燥设备	(257)
10.3.1	转筒干燥器	(257)
10.3.2	流态化烘干机	(258)
10.3.3	室式干燥器	(258)
10.3.4	隧道干燥器	(259)
	参考文献	(259)
11.	窑炉	(260)

11.1	隧道窑	(260)
11.1.1	隧道窑构造原理	(260)
11.1.2	隧道窑热工制度	(265)
11.1.3	隧道窑热平衡	(270)
11.1.4	其它隧道窑	(272)
11.2	间歇式窑	(274)
11.2.1	倒焰窑	(274)
11.2.2	梭式窑	(277)
11.2.3	钟罩窑	(278)
11.2.4	半隧道窑(间歇式隧道窑)	(278)
	参考文献	(279)

绪 论

在冶金、化工、机械制造等工业部门中,以燃料燃烧的火焰为热源的各种工业炉统称为火焰炉。在炉膛内火焰通常是与物料直接接触的。有些情况下,为防止物料(工件)的氧化,将火焰与物料隔开,火焰的热量通过隔墙间接传给物料。

火焰炉广泛用于物料(工件)的焙烧、干燥、熔化、熔炼、加热和热处理等生产环节。火焰炉得到广泛应用的主要原因有以下几点:(1)火焰炉所采用的燃料有较大的灵活性,可以根据燃料的种类和规格建造各种不同型式和构造的炉子,以满足生产的各种要求;(2)燃料的供应一般比较充足,价格也比较低;(3)火焰炉对于被处理物料(工件)的形状、大小、规格等的限制较少,大到数百吨的金属锭,小到细颗粒,都可以在火焰炉中进行热工处理;(4)火焰炉的工作温度有高有低,覆盖了较大的温度区间;即使同一种燃料,也可以建成高温炉、中温炉、低温炉,以满足不同工作温度的需要;(5)火焰炉通常是直接加热式的,但如有特殊要求,也可以建成间接加热式的。正是由于这些原因,所以火焰炉的应用极为广泛。

火焰炉不仅应用广泛,而且它在上述各工业部门的生产中都占有重要地位,因为它对产品的产量、质量、消耗、成本 and 环境污染等都有重大影响。

对火焰炉的基本要求是:产品质量和产量要满足要求;燃料和其他能源的消耗要低;建炉投资和运行费用要低;要耐用;操作人员要少;劳动条件要好;污染物的排放量要符合环境保护的要求。一座好的炉子应同时满足上述各项要求。为了使产品质量好,要准确控制炉内温度和气氛,选择适当的筑炉材料。炉子的生产能力必须与生产过程所要求的产量相适应。为了节约燃料,在炉子的设计和操作中,必须重视热量在炉膛内的充分利用,并充分回收余热。为了降低建炉投资及运行费用,应提高炉子单位容积(或炉底面积)的生产能力,简化炉子结构。炉子的废气、废水、废渣中往往含有有害物质,必须采取措施,使各种有害物质的排放量不超过国家或地区的规定标准。炉子的大型化、连续化、机械化和自动化,是全面满足上述要求的重要途径。目前,有些炉子已采用计算机控制,自动化程度较高。

火焰炉热工理论的形成经历了较长的时间。它的基础是热力学、传热学、燃烧学和流体力学。火焰炉热工理论的发展过程,就是这些基础理论在火焰炉上具体运用的体现。格日迈洛(Г. Гржимайло)在1911年以流体力学为基础提出火焰炉的水力学原理,他把一座正在工作的炉子看成是一条倒置的河床,从而明确了炉子设计的若干重要原则。这对当时单位产量不高,炉内气体呈自然流动的炉子是非常适用的。后来,为使炉子不断提高产量,逐步采用液体和气体燃料的燃烧装置,炉内气体变成强制流动,这一理论就不再适用了。

本世纪30年代,塞米金(И. Д. Семикин)等提出炉子工作的能量原理,强调向炉内供给充足的燃料,以提高炉子的生产率。这个理论观点,对当时的生产曾起过促进作用。

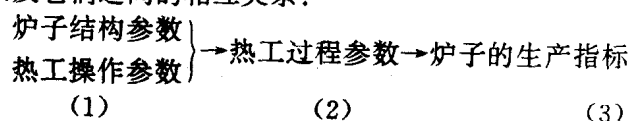
50年代初,思林(M. W. Thring)、格林科夫(М. А. Глинков)等较全面地研究了炉内的燃烧、气体流动、传热等热工过程。1959年,格林科夫提出炉子的一般原理。他把炉子的工作制度分为三类:辐射制度、对流制度和层状制度(竖炉等)。在讨论每一种工作制度时,都从热交换出发,对燃料的选择、燃烧过程、气流的组织提出相应的要求。

近些年来,火焰炉热工理论发展的主要特点是:(1)对炉子设计和操作(含自动化操作)

的最优化问题进行了更深入的研究,开发了炉子热过程数学模型这个重要的研究方向。利用计算机和现代实验技术继续对炉内热工过程进行全面的分析和研究。(2)在研究炉子最优化问题时,不仅着眼于炉子本身,而且还把炉子前后的生产设备包括在内。炉子泛函理论的中心思想就在于此。在生产流程中,炉子和它前后的设备之间是互相关联的,例如,研究轧钢厂的加热炉,就要与轧机联系起来考虑。钢坯的加热温度,一方面影响加热炉的燃耗和烧损,另一方面又影响轧机的电耗。加热温度在合理范围内,可使加热炉和轧机的总能耗最低。

火焰炉热工理论对于生产实践的指导作用,从一开始就表现得十分明显。以前,各种炉子的建造全凭主观经验,许多炉子的建造很不成功,产量低,燃耗高,甚至无法正常工作。直到火焰炉的水力学原理问世以后,各种火焰炉(窑)的设计才有了理论依据。凡是按照这个原理建造或改造的炉子,都很成功。这对当时许多国家的工业发展起了重要作用。同样的,30年代的炉子工作的能量原理,50年代的炉子一般原理,以及近来发展到更高水平的炉子热工理论,都在不同的历史时期对炉子的设计、建造和操作有重要的指导作用。近十多年来,在我国各工业部门提倡节能,炉子热工理论发挥了应有的作用,将大中型企业的炉窑工作水平提高到了一个新的水平,炉子的热效率显著上升,单位燃耗显著降低。

火焰炉热工的研究对象是:在考虑生产工艺要求的前提下,研究下列(1)、(2)、(3)三类变量以及它们之间的相互关系:



炉子结构(几何形状、尺寸、筑炉材料的种类等)和热工操作(燃料量及其分配、空气量及其分配、闸门开启度等)的变动,会影响炉内的热工过程(传热、燃烧、气体运动)。而热工过程的变动又会影响炉子的生产指标(产品质量、单位生产率、单位热耗、炉子使用寿命、污染物的排放量等)。人们的目的是提高生产指标,但人们所能直接规定或操纵的因素,既不是热工过程参数,也不是生产指标,而是结构和操作参数。所以,重要的是要在研究热工过程的基础上,弄清(1)(3)两类变量之间的关系。

炉子的结构和操作之间,必须互相适应;各热工过程之间也必须互相配合。同样,各生产指标之间也互相关联。在炉子热工理论的研究中,要十分重视同一类变量之间的相互关系。

在研究热能工程问题时,要清楚地区分两类不同性质的工业部门:一类是能源转换工业部门,如电力工业、煤气制造工业等;另一类是制造工业部门,如冶金工业、建材工业等。在这两类工业部门,热能工程问题有着明显的区别。

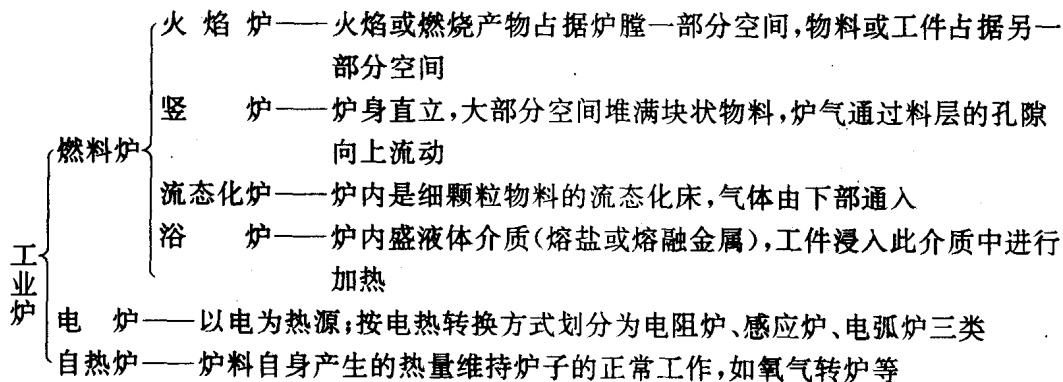
能源转换工业的“原料”和“产品”都是能源。例如火力发电厂的“原料”是煤,“产品”是电,它们都是能源。而制造工业的原料和产品都不是能源,例如冶金工业的原料是矿石,产品金属材料,它们都不是能源。因此,在研究前者的能源利用问题时,只要注意能源;而在研究后者的能源利用问题时,既要注意能源,又要注意非能源。

能源转换设备中的物理化学过程,基本上只是热工过程;而在制造工业的工艺性热工设备中,除热工过程外,还有工艺过程,如物料运动、化学反应、相转变等。因此,在研究前者的热能利用问题时,只要注意热工过程;而在研究后者时,既要注意热工过程,又要注意工艺过程,并强调热工过程一定要满足工艺的要求。

在热能利用方面,热工设备有两个重要指标,一个是热效率,另一个是单位热耗。在这方

面,能源转换设备与工艺热工设备之间也有较大区别。对于前者,通常是热效率愈高,单位热耗愈低;但对后者,则不一定如此。例如,在同一座钢坯加热炉上,冷装料和热装料两种情况的对比,就是很好的说明。冷装料时热效率较高,单位热耗也较高;而热装料时二者均较低。这里的区别主要来自工艺的不同。

热能工程专业的业务范围,虽然包括工业企业、生产车间和单体设备等几个层次上的热能利用问题,但是,其中最基本的环节仍是单体设备。这是因为单体设备是组成生产车间和企业的基本单元。所以掌握各种单体热工设备,其中包括各种炉子和工业锅炉的热工理论和生产实践知识,是热能工程专业本科生的重要学习内容。为此,在教学计划中,安排了炉子热工方面的课程和锅炉方面的课程。



上表是工业炉的分类表。至于以新能源(如太阳能、原子能)为热源的炉子,或处于研制阶段,或在工业中应用较少,故未列入表中。热能工程专业的本科生应全面了解表中所列各种工业用炉,并较深入地掌握其中一部分炉型的理论和实际知识。

今后,工业用炉的热工工作,主要有以下两个方面:(1)在现实生产技术方面,要做好现场的各种基础性热工技术工作,改进炉子的结构和操作,提高其工作水平,更好地满足生产要求。在这方面,有些中小型工厂的工作更薄弱些,许多炉窑比较落后,热效率低,使用寿命过短,污染物排放量过大。有的甚至不能满足基本的生产要求。对于这些炉窑,要在热工理论的指导下,总结经验教训,进行必要的改造。为了做好这方面的工作,要普及炉子热工知识,培训技术人员,扩大和提高热工技术人员的队伍。(2)在学科发展的前沿方面,要配合生产上出现的新工艺、新流程,研究其中的新炉型,使之在热工上更加完善;要围绕炉子工作的优化问题进行有关理论和实际的研究,以实现炉子操作的自动化和计算机化;要强调环境保护,加强对炉子排放有害物质问题的研究,以减少炉子对环境的污染;此外,要进行炉子计算机辅助设计的研究工作,以实现人机结合的炉子设计。

1. 炉子的一般组成部分

火焰炉一般由炉子热工工艺系统、装出料系统、热工检测及自动控制系统等三部分组成。三个系统互相配合,使炉子正常运转。

炉子的热工工艺系统是火焰炉最基本的组成部分。包括炉子的工作室(炉膛)、供热系统(风机、油泵、管道、燃烧装置等)、排烟系统(烟道、烟闸、换热器、余热锅炉、烟囱、排烟机等)以及冷却系统等,参见图 1-1。工作室是炉子的核心。主要的热工及工艺过程都在工作室完成。炉子其他各部分的任务是为工作室进行的热工工艺过程提供有利条件。

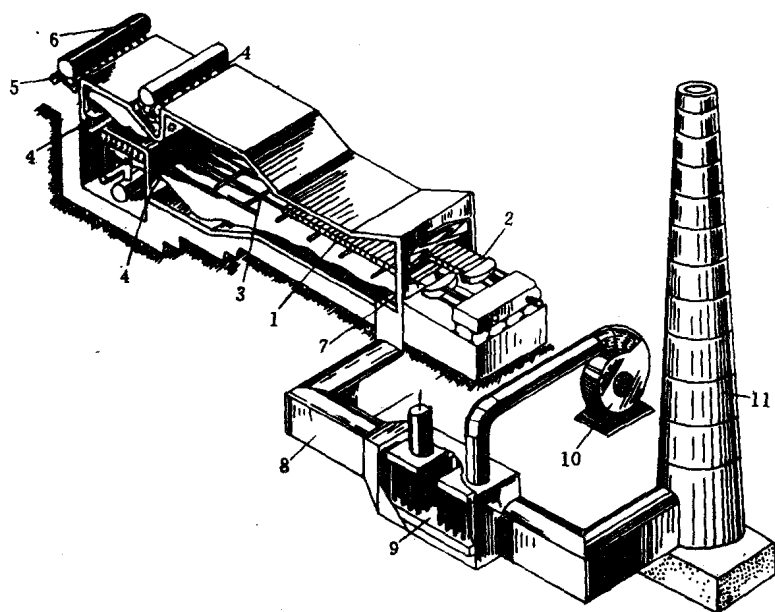


图 1-1 火焰炉组成系统图

1—料坯;2—推钢机;3—冷却水管;4—烧嘴;5—煤气管道;6—空气管道;
7—竖烟道;8—烟道;9—换热器;10—鼓风机;11—烟囱

装出料系统和热工检测及自动控制系统,是现代化火焰炉不可缺少的两个工作系统。前者包括炉前炉后的装出料机械和炉内的运料机械;后者包括热工参数的检测仪表、显示仪表或记录仪表、自动控制仪表或计算机以及执行机构等。在炉子上配备这两个系统,可以实现炉子的自动化操作,从而提高炉子的生产指标。

下面仅对热工工艺系统中的主要组成部分加以介绍。

1.1 炉膛(工作室)

炉膛一般是由炉墙、炉顶和炉底构成的一个近乎六面体的空间。因工艺和用途的不同,炉膛形状是各式各样的。大多数炉膛是在高温下工作,经受炉气、炉尘和炉渣的侵蚀和冲

刷。因此,要求构成炉墙、炉顶和炉底等所用的材料、结构型式和尺寸等,都必须适应这一特点,以保证炉子的正常工作。

1.1.1 炉墙

炉子四周的围墙称为炉墙。加热炉都采用直立的炉墙,分为侧墙和端墙。为保证炉墙结构的稳定性,炉墙必须有一定的厚度,并应随炉子尺寸增大和炉膛温度的升高而增厚。为减少散热和蓄热损失,炉墙应设有绝热层。侧墙的厚度一般为2~2.5块砖厚(464~580mm),其中起稳定作用的主墙用粘土砖砌筑,厚度为1.5~2块砖厚,其余部分为绝热材料,构成复合炉墙。用耐火浇注料或耐火可塑料等制作的炉墙,主墙厚度一般为250~300mm。其侧墙结构参见图1-2。端墙厚度应视烧嘴孔道尺寸而定,一般为2.5~4块砖厚。为提高炉子强度和气密性,炉墙外面包以4~10mm厚的钢板。

炉墙最经济厚度,应根据砌体的材料费和蓄热散热损失引起的燃料费进行优化计算确定。

熔炼炉的炉墙内侧,一般都保持一定的倾斜角度,以增强炉体的坚固性和便于补修。

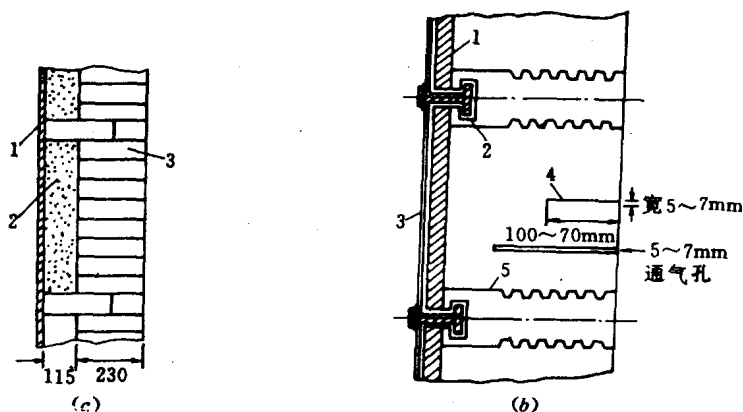


图 1-2 侧墙结构

(a) 砖砌结构

1—钢板;2—绝热砖;3—耐火砖

(b) 可塑料结构

1—绝热砖或板;2—金属构件;3—钢板;4—胀缝;5—锚固砖

炉墙上常设有炉门、窥视孔、烧嘴孔以及热工参数检测孔等孔洞。为防止砌体破坏,炉墙应尽量避免直接承受附加负荷,炉门、冷却水管等构件应设置在钢结构上。

加热炉炉门尺寸已标准化,尺寸可由有关手册中查得。侧墙上还必须设有供检修用人孔假门。

1.1.2 炉顶

炉顶是炉膛组成中的薄弱环节。炉顶是否牢固可靠,对炉子工作有重大影响。尤其在熔炼炉(如平炉、玻璃炉)中,往往因受炉顶温度的限制而妨碍炉子生产率的提高,由于炉顶的损坏而降低炉子作业率等,故在炉子设计时对炉顶的可靠性必须予以足够的重视。

炉顶按其结构型式分为拱顶和吊顶两种。

拱顶可用楔形砖砌筑或不定形耐火材料捣制而成,结构参见图1-3。拱顶的拱角 θ 可变

化在 $60^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间,通常采用的有 60° 、 90° 、 120° 和 180° 拱顶。 60° 拱顶的 r 等于炉子跨度 b , 拱顶矢高 $h=0.134b$, 称为标准拱顶。拱顶的质量 W 作用于拱角砖上, 承受在两侧炉墙上, 水平分力 F 通过拱角梁由钢结构承受。其水平分力的大小可表示为下式:

$$F=K\frac{W}{2}\cot\frac{\theta}{2} \quad (1-1)$$

式中 F ——拱顶产生的水平分力;

W ——拱顶砌体质量;

θ ——拱角;

K ——温度系数,它是考虑拱顶受热膨胀而产生的水平分力。 K 值的大小随炉温而异:

炉温($^{\circ}\text{C}$)	<600	600~900	900~1100	1100~1400
K	2.0	2.5	3.0	3.5

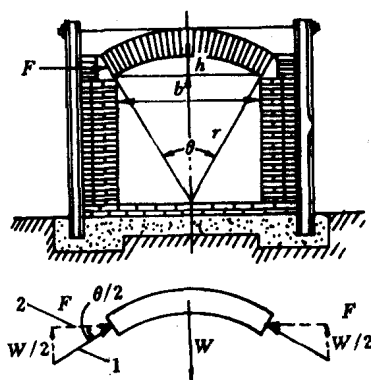


图 1-3 拱顶结构及作用力

1—拱顶力;2—水平分力

由式(1-1)可见,拱顶产生的水平分力决定于拱顶质量、拱角大小和炉膛温度的高低,在进行炉子钢结构强度设计时,必须考虑能承受这一水平分力。

180° 拱顶称为半圆拱顶。其特点是不产生水平分力,不需要用钢结构加固,造价低,但炉顶下面的矢高 h 太大,不利于炉内气体的合理流动和实现均匀加热,且有较大的上推力,当上面没有压力时,这种拱顶反而不牢固,故多用于埋在地下的烟道上。

拱顶的厚度和材质与炉子跨度和炉内温度条件有关。一般随炉子跨度增大,拱顶厚度也应适当增厚,加热炉拱顶厚度通常选用 $230\sim 300\text{mm}$ 。加热炉拱顶一般可采用粘土质耐火材料砌筑,高温炉受火焰直接冲刷或荷

重大的拱顶,可选用高铝质、硅质或其他高级耐火材料。拱顶的上面是否覆盖绝热材料视温度条件和拱顶材质而定。绝热材料可采用轻质绝热砖、板或散状材料。由于炉顶散热损失约占炉子砌体散热损失的 $40\%\sim 60\%$, 所以加强炉顶绝热比炉墙绝热更重要。

拱顶的砌砖经常用“咬砌”,但经常拆修的拱顶也用“环砌”。各种跨度的拱顶每环砖的数量(它决定于跨度、拱角、拱顶厚度)可从有关手册中查得。

吊顶是由一些特制的异形砖组成的,异形砖用金属吊杆单独地或成组地吊在炉子钢结构上。吊顶的结构型式很多,图 1-4 是常见的几种吊顶结构。图中(a)是槽砖吊挂结构,这种吊砖结构和砌筑都比较简单,更换也方便。为避免挂砖的工字钢温度过高,砖的上表面不允许敷设绝热层,因此炉顶散热量较大。图中(b)、(c)是颈吊式吊挂结构,这种结构的每一块吊砖都有一个夹钩和一个吊杆。由于金属夹钩在砌体外面,故可以在砖的部分表面敷设绝热层,炉顶散热损失较小。但这种结构只适用于吊挂水平的及倾斜度不大的炉顶,较大倾斜度及转弯处须做特殊处理。图中(d)是齿槽式吊挂结构,它的优点是砖与砖之间互相咬合,整体性和气密性好,个别砖块即使断裂也不致掉落;缺点是砖形复杂,公差要求严格,砌筑难度较大。这种结构的炉顶砖上面也不宜敷设绝热层。

加热炉用吊顶砖的材质,高温部分通常采用一级粘土砖或高铝砖,低温部分可用普通粘

土砖。熔炼炉上多采用硅砖、镁铝砖或其他高级耐火材料。

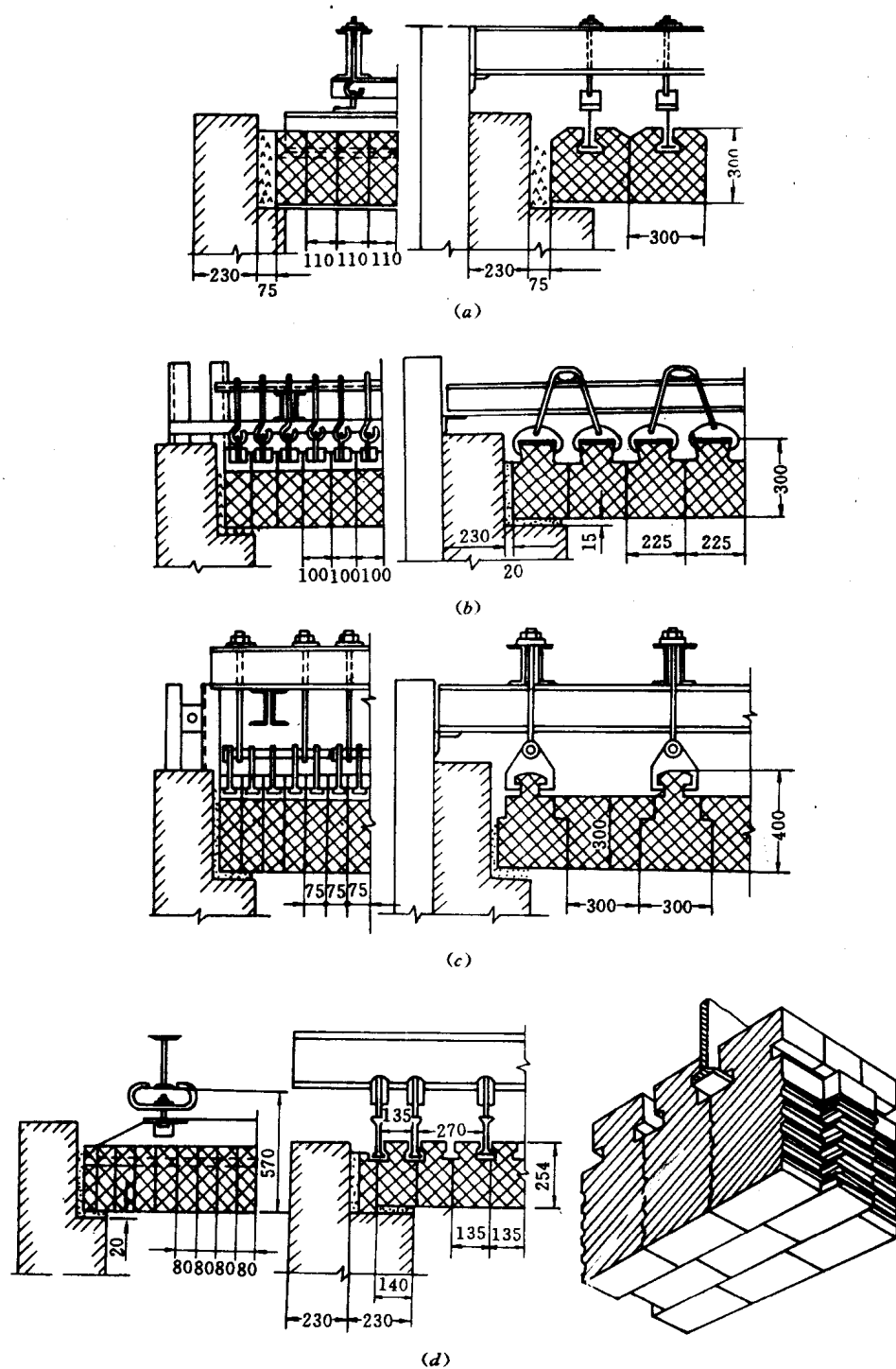


图 1-4 常见的几种吊炉顶结构
(a)槽形吊挂砖炉顶；(b)、(c)颈吊式吊挂炉顶；(d)齿槽吊挂砖炉顶