

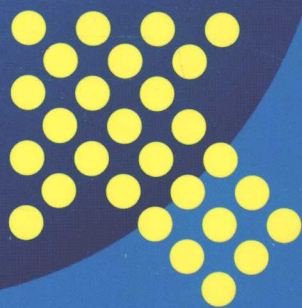
21世纪高等学校规划教材



TEZHONG JIEGOU

特种结构

尹维新 何培玲 主 编
刘红宇 贾军刚 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

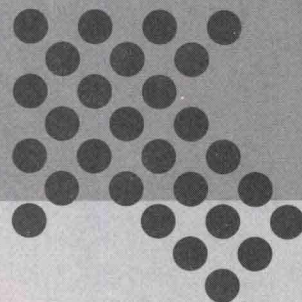
21世纪高等学校规划教材



TEZHONG JIEGOU

特种结构

主 编 尹维新 何培玲
副主编 刘红宇 贾军刚
编 写 李勤明 谢淮宁 洪彩霞 郭 青
贾建民 张孟奇
主 审 李海旺



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是 21 世纪高等学校规划教材之一。

本书是按照普通高等学校土木工程专业本科教育的培养目标和培养方案, 根据我国新颁布的有关土木工程特种结构的设计规范和最新科技成果, 由具有特种结构教材编写和教学经验的老师以及从事特种结构设计的工程技术人员共同编写而成。内容包括烟囱、筒仓、冷却塔、贮液池、挡土墙、栈桥及铁塔的结构类型、设计原则、构造要求、作用与作用效应计算以及设计方法。全书突出实际工程应用, 注重对学生工程技能的培养。

本书可作为高等院校土木工程专业的教学用书, 还可供从事土木工程特种结构设计、施工和监理等工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种结构/尹维新, 何培玲主编. —北京: 中国电力出版社, 2010. 7

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0588 - 5

I. ①特… II. ①尹… ②何… III. ①建筑结构-高等学校-教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 119829 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 9 月第一版 2010 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 482 千字

定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是按照普通高等学校土木工程专业本科教育的培养目标和培养方案,根据我国新颁布的 GB 50051—2002《烟囱设计规范》、GB 50077—2003《钢筋混凝土筒仓设计规范》、《工业循环水冷却设计规范》(GB/T 50102—2003)、《火力发电厂水工设计规范》(DL/T 5339—2006)、《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》(CECS 138—2002)、《石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范》(SH/T 3132—2002)、《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)、《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》(DL/T 5154—2002)等,以及土木工程建设领域的最新科技成果,由具有特种结构教材编写和教学经验的老师以及从事特种结构设计工作的工程技术人员进行编写。

本书主要介绍大、中型工业建设中应用较多的烟囱、筒仓、冷却塔、贮液池、挡土墙、栈桥和铁塔的类型、结构形式、设计原则以及主要构造要求,重点阐述其承受的各种作用及作用效应计算和设计方法。全书突出实际工程应用,注重对学生工程技能的培养。每章除附有小结和思考题外,还列有计算图表,以方便学生自学和实际工程应用时查阅。本书除作为高等院校土木工程专业的教学用书外,还可供从事土木工程特种结构设计、施工和监理等工作的技术人员参考。

参加本书编写工作的有山西大学工程学院尹维新(第1章1.1~1.8)、刘红宇(第2章)、洪彩霞(第1章1.9~1.11),南京工程学院何培玲(第5章)、谢淮宁(第4章),山西省电力勘测设计院贾军刚(第6章)、李勤明(第3章)、郭青、贾建民、张孟奇(第7章)。本书由尹维新、何培玲担任主编,刘红宇、贾军刚担任副主编,太原理工大学李海旺教授对全书进行了认真的审读。

本书在编写过程中,参考及引用了有关文献资料,并得到了相关单位的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年3月

目 录

前言

第1章 烟囱	1
1.1 概述	1
1.2 烟囱的组成及构造	5
1.3 温度计算	13
1.4 筒身自重和风荷载及其内力计算	16
1.5 风荷载与日照和基础倾斜产生的附加弯矩计算	23
1.6 地震作用及其效应计算	26
1.7 烟囱的作用效应组合	31
1.8 筒壁材料的力学性能	34
1.9 筒壁承载力计算	36
1.10 筒壁正常使用极限状态计算	43
1.11 烟囱基础	51
本章小结	57
思考题	57
第2章 筒仓	59
2.1 概述	59
2.2 筒仓的布置与结构选型	61
2.3 筒仓的构造	66
2.4 筒仓的作用及作用效应组合	77
2.5 筒仓的结构计算	83
本章小结	97
思考题	97
第3章 冷却塔	99
3.1 概述	99
3.2 冷却塔的布置和选型	103
3.3 冷却塔的组成和构造	105
3.4 冷却塔的结构设计计算	114
本章小结	124
思考题	125
第4章 贮液池	127
4.1 概述	127
4.2 贮液池的构造	130
4.3 贮液池的荷载和地震作用计算	139

4.4 贮液池的抗浮验算	144
4.5 圆形池的内力计算	145
4.6 旋转壳池的内力计算	153
4.7 矩形池的内力计算	157
4.8 贮液池的作用效应组合与截面设计	166
本章小结.....	171
思考题.....	171
第5章 挡土墙	173
5.1 概述	173
5.2 挡土墙的作用及作用效应组合	178
5.3 挡土墙的基础设计与稳定性验算	200
5.4 重力式挡土墙设计	203
5.5 薄壁式挡土墙设计	214
5.6 加筋土挡土墙设计	216
本章小结.....	226
思考题.....	227
第6章 栈桥	228
6.1 概述	228
6.2 栈桥的布置与结构形式及建筑构造	228
6.3 栈桥的作用与作用效应组合	236
6.4 栈桥的结构设计要点	242
本章小结.....	244
思考题.....	245
第7章 架空线路铁塔	246
7.1 概述	246
7.2 铁塔的组成形式及构造要求	251
7.3 铁塔的外形尺寸及型号	257
7.4 铁塔的荷载计算及荷载效应组合	262
7.5 铁塔的内力和变形计算	272
7.6 铁塔的构件及连接计算	282
本章小结.....	292
思考题.....	293
附录1 材料在干燥状态下的热工计算指标	294
附录2 旋转壳体在对称荷载下的薄膜内力	295
附录3 t_x、t_y 系数表	296
附录4 圆柱形水池池壁内力系数表	297
附录5 池壁刚度系数	299
附录6 球壳内力系数表	300
附录7 边界力系数表	301

附录 8 边界力下球壳内力系数表 302

附录 9 矩形双向板的刚度系数 K 、 $\overline{K}$ 和传递系数 μ' 304

附录 10 双向板在壁面温差或湿差当量温差作用下的弯矩系数 305

附录 11 钢材、螺栓和锚栓的强度设计值 306

附录 12 钢材焊缝的强度设计值 307

参考文献..... 308

第 1 章 烟 囱

【本章提要】 本章简要介绍了烟囱的类型、结构形式及其特点和发展简况,详细叙述了钢筋混凝土烟囱和砖烟囱的组成及相关的工程构造措施,重点阐述了烟囱的温度计算及其承受的各种作用与作用效应计算。在介绍烟囱材料力学性能的基础上,对烟囱的筒壁和基础的设计计算方法进行了简明、适用的表述。

1.1 概 述

烟囱是电力、冶金、化工等工业与民用炉窑广泛使用的一种高耸构筑物。它利用内部烟气与外部空气之间存在的静压差,促使外部空气进入炉膛,为炉内燃料燃烧提供充足的空气,并将燃料燃烧产生的烟气送往高空,以减少对周围环境的污染。

1.1.1 烟囱的类型及适用范围

烟囱按其外筒壁所用材料,可分为砖烟囱、钢筋混凝土烟囱和钢烟囱等,其顶部出口内径和高度主要根据生产工艺和环境保护要求确定,同时综合考虑烟囱的结构设计和施工等因素。

一、砖烟囱

砖烟囱可就地取材,而且施工简便,造价较低,但抗震性能一般比较差,即使是配了钢筋的砖烟囱,在遇到较高烈度的地震时,震害也仍然比较严重。因此,当高度不超过 60m 时,抗震设防烈度为 6 度至建筑场地为 I、II 类土的 8 度区域,可采用砖烟囱。

二、钢筋混凝土烟囱

钢筋混凝土烟囱与砖烟囱相比,具有耐久性好、质量轻、造型美观、抗震性能好等优点。因此,对重要的或高度大于 60m 的烟囱;或烟囱虽然不太高,但位于抗震设防烈度为 8 度且场地土为 III、IV 类以及 9 度的地震区时,均应采用钢筋混凝土烟囱。

三、钢烟囱

钢烟囱虽然施工速度快,但使用钢材多,建成后维修工作量大,特别是高大的钢烟囱,其维修困难、费用高,因而在实际工程中很少采用。

近年来,还出现了全塑料烟囱、玻璃钢烟囱和包铝钢烟囱等。目前,采用较多的是钢筋混凝土烟囱和砖烟囱,因此本章主要介绍此两类烟囱的设计计算及构造要求。

1.1.2 烟囱的结构形式

烟囱的结构形式有单筒式烟囱、套筒式烟囱、多管式烟囱以及全负压烟囱。

一、单筒式烟囱

单筒式烟囱是把外筒壁、隔热层和内衬紧密结合在一起形成的烟囱,其水平截面和剖面如图 1-1 所示。

单筒式烟囱构造简单,造价较低,是较常用的烟囱形式。然而,多年来的工程实践表明,单筒式烟囱有以下缺点:

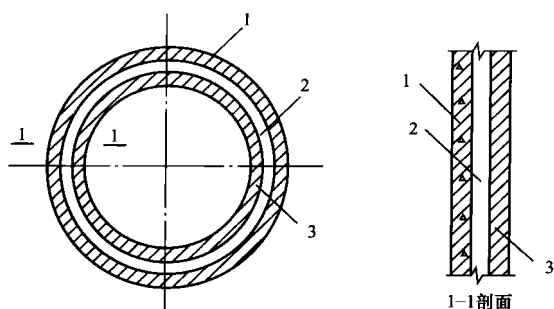


图 1-1 单筒式烟囱

1—外筒壁；2—隔热层；3—内衬

(1) 耐腐蚀性差。这是因为烟气温度较低时，烟气中的水分极易凝结形成冷凝水。冷凝水与烟气中所含的二氧化硫等形成酸溶液附着在内衬上，使内衬受到腐蚀，进而渗透到隔热层和外筒壁，对隔热层和外筒壁造成不同程度的腐蚀。

(2) 容易开裂。由于混凝土筒壁温差较大及混凝土的收缩性等，易使烟囱中上部产生竖向裂缝，从而影响烟囱的正常使用和耐久性。

(3) 维修困难。高度在 150m 以上的单筒式烟囱，在受到腐蚀或开裂后，不易进行维修加固处理。

近年来，针对单筒式烟囱存在的问题，国内外进行了很多研究和工程实践，并取得了较好的效果。例如严格控制筒身混凝土的水灰比；在筒壁内表面涂刷防腐耐酸涂料，见图 1-2 (a)；内衬采用耐酸砂浆或耐酸胶泥砌筑；内衬采用耐酸异型企口陶瓷砖，见图 1-2 (b)，防止冷凝酸溶液从内衬向筒壁渗透；在筒身下部和上部开设进气孔，见图 1-2 (c)，使内衬与筒壁之间的通风夹层中空气产生对流，减少烟气对筒壁在温度和腐蚀方面的影响。

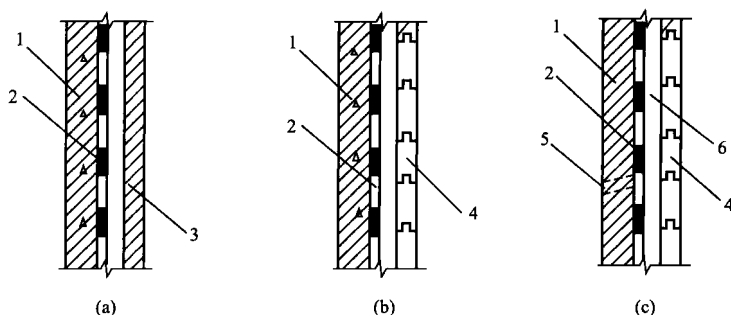


图 1-2 单筒式烟囱的构造改进

(a) 筒壁内表面涂刷防腐涂料；(b) 异型企口陶瓷砖内衬；(c) 通风式

1—筒壁；2—防腐层；3—普通砖；4—企口陶瓷砖；5—进气孔；6—通风夹层

二、套筒式烟囱

套筒式烟囱又称为筒中筒烟囱或双筒烟囱。这种烟囱常用于烟气具有较强腐蚀性的情况。它是通过把承重外筒与排烟内筒分开，从而使外筒不与腐蚀性烟气接触。外筒与内筒之间留有净宽度不小于 750mm 的通风夹道，人员可以通过该夹道内设置的爬梯上下巡检，而且在筒身上下还设有进出气孔。在承重外筒的设计中，可不考虑温度应力及温度对材料强度的影响。

套筒式烟囱又根据内筒所用材料和支承方式分为以下几种：

(1) 自立式砖内筒烟囱。图 1-3 为自立式砖内筒烟囱，砖内筒采用独立支承方式，与

外筒没有横向支撑连接,全部内筒轴向力直接传给基础承担。在地区区应对自立式砖内筒进行地震作用下的承载力计算及顶部最大水平位移验算,保证内、外筒不相碰撞。

(2) 分段支撑砖内筒烟囱。这种烟囱的砖砌内筒沿高度每隔 20~40m,分段支撑在环形平台上,环形平台用多个沿圆周径向均匀分布的三角架支撑。这样,内筒的荷重就分段传给了外筒壁,见图 1-4。环形平台和三角架可用钢筋混凝土预制件或钢结构构件拼装而成。平台上设有通风格栅或通风孔。上下平台之间设置有爬梯,既便于检查烟囱的使用情况,又便于维护和检修。此种烟囱是套筒式烟囱中较好的一种结构形式。

(3) 钢内筒烟囱。这种烟囱的内筒全部用钢板制作,形式有自立式钢内筒、整体悬挂式和分段悬挂式钢内筒。这种烟囱的特点是抗震性能和密封性能好,施工方便,适用于烟气呈正压运行状态,且烟气温度较高的地区区烟囱。图 1-5 为自立式钢内筒烟囱。

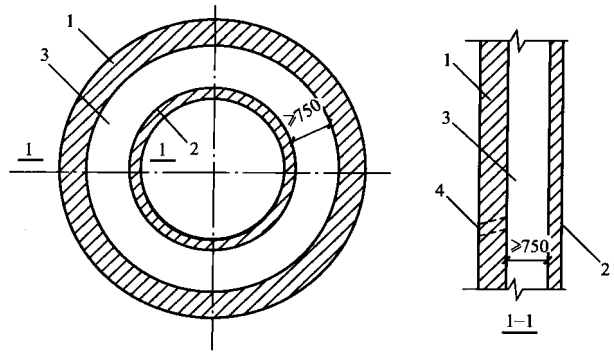


图 1-3 自立式砖内筒烟囱

1—外筒; 2—砖内筒; 3—通风夹道; 4—进气孔

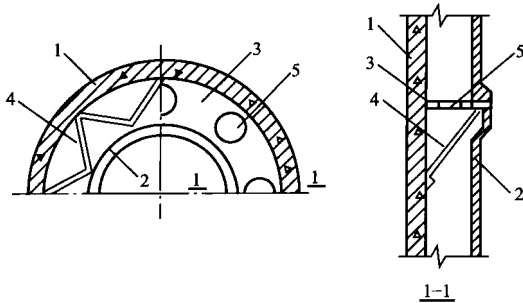


图 1-4 分段支撑砖内筒烟囱

1—外筒; 2—砖内筒; 3—环形平台;
4—支撑柱; 5—通风孔

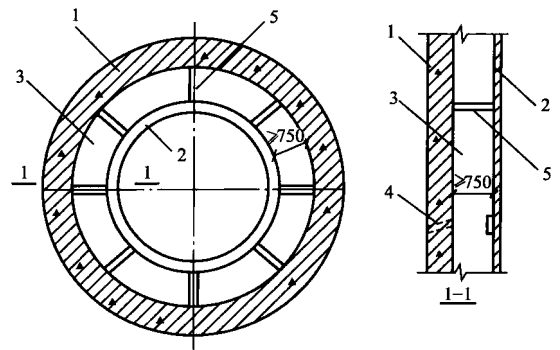


图 1-5 钢内筒烟囱

1—外筒; 2—钢内筒; 3—通风夹道;
4—进气孔; 5—支撑

三、多管式烟囱

若几台锅炉使用一个单筒式烟囱排烟,则容易产生当一台或几台锅炉停炉时,烟气流速低,对烟囱腐蚀严重的不利现象。为解决这一矛盾,提出了每台锅炉单独采用一个排烟筒的多管式烟囱。多管式烟囱是将几个排烟筒集中在一起,共用一个外筒平台支承,如图 1-6 所示。多管式烟囱的外筒与排烟筒以及各排烟筒之间的净距离均不宜小于 750mm。

四、全负压烟囱

全负压烟囱是近几年出现的一种新形式。所谓“全负压”,是指使烟气在烟囱全高范围内均为负压状态,可以避免烟气对内衬产生压力,不易使冷凝水附着在筒壁上,以减少腐蚀作用。为了实现全负压,一般是对单筒锥体烟囱的结构形式进行调整,即顶部设有扩散管;

上半部直径稍大，宜为等内径，下半部为锥体单筒式。通过调整扩散管的各部分尺寸及上半部等内径的高度范围，使其达到全负压运行，如图 1-7 所示。

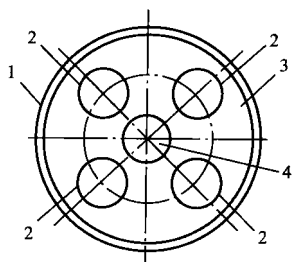


图 1-6 多筒式烟囱

1—外筒；2—砖内筒；
3—承重平台；4—电梯井

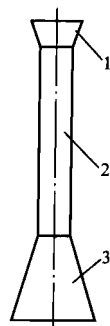


图 1-7 全负压烟囱外形示意图

1—扩散管；2—直筒段；
3—锥体段

烟囱的结构形式选择是防腐蚀措施的主要环节。当烟囱高度不大于 100m 时，一般采用单筒式烟囱；但当烟气具有强腐蚀性时，宜采用套筒式烟囱。若烟囱高度大于 100m，当排放强腐蚀性烟气时，宜采用套筒式或多管式烟囱；当排放中等腐蚀烟气时，根据烟囱的重要性可采用套筒式或多管式烟囱，也可采用防腐型单筒式烟囱。

1.1.3 烟囱的发展简况

砖烟囱在工程中应用得最早，但其高度较低。19 世纪后期，工业建筑中开始应用钢筋混凝土烟囱。但最初由于受施工技术的制约，发展比较缓慢。1903 年美国首先采用手动滑模技术建造烟囱。之后，随着液压技术与激光技术的出现和应用，钢筋混凝土烟囱得到了迅速发展。20 世纪 50 年代，国外已出现了高度超过 150m 的钢筋混凝土烟囱。到 60 年代，烟囱的高度提高很快，英国电厂的烟囱高度已达 265m。70 年代后国外大型电厂的烟囱高度普遍都在 250~320m 范围内。

我国在 50 年代，烟囱的最大高度均为 100m 左右。到 60 年代，在抚顺某电厂建成了第一座 150m 高的烟囱，而且开始了滑模施工技术的应用。70 年代后期，烟囱高度增加较快，先后建成了多座高度为 210m 的烟囱。目前，国内最高的烟囱是 1990 年建成的山西省某发电厂高度为 270m 的烟囱。今后，我国烟囱的高度还将进一步提高，不久将会出现高度在 300m 以上的烟囱。

在烟囱高度不断增加的同时，建造烟囱的材料也在不断更新。特别是在内衬用料方面，已研制出很多种耐高温、抗腐蚀性强、密封性能好、施工方便的新产品。烟囱的结构形式除了传统的单筒式烟囱外，还出现了许多新形式，包括套筒式烟囱、多管式烟囱和全负压烟囱。我国在 80 年代建造的烟囱基本上是单筒式烟囱。1985 年在陕西省某电厂建成了高 212m 的四管式烟囱，其外筒壁为钢筋混凝土结构，筒壁上部外直径为 17.5m，通过 10 层平台支承四个排烟筒，筒壁内设有电梯及爬梯。1986 年我国第一座高 240m 的筒中筒烟囱在山东省某电厂投入运行。目前，在我国一些电厂已建成一批 210~270m 的全负压烟囱，投产后运行良好。

近年来，烟囱的设计计算理论有了进一步发展，特别是在动力分析方面取得了较大的研究成果。这些成果均反映在我国近年来颁布的一系列设计规范中，如《建筑结构荷载规范》

(GB 50009)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011)、《高耸结构设计规范》(GB 50135)等。本章主要依据《烟囱设计规范》(GB 50051—2002)编写。

目前，烟囱的发展趋势是：形式更加多样、合理，高度越来越高，新的建筑材料不断在烟囱中得到使用，设计计算理论不断完善，施工方法进一步改进。

1.2 烟囱的组成及构造

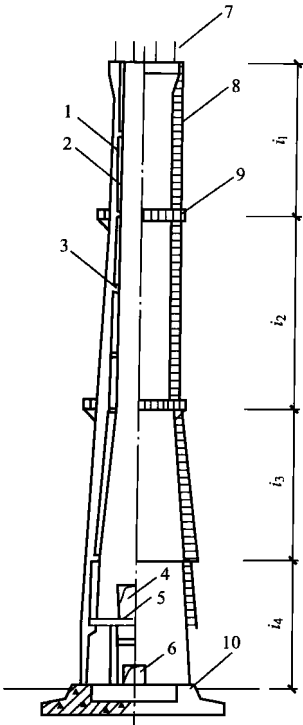


图 1-8 烟囱结构组成
1—筒壁；2—内衬及隔热层；3—环形悬臂；4—烟道口；5—积灰平台；6—出灰孔；7—避雷针；8—爬梯；9—平台及栏杆；10—基础

烟囱一般由筒壁、基础、隔热层和内衬及附属设施等组成，如图 1-8 所示。

1.2.1 筒壁

筒壁是烟囱的重要承力结构，其水平截面有圆形、矩形等，一般采用圆形。

一、钢筋混凝土筒壁

(一) 筒壁的坡度、分节高度及厚度

筒壁坡度 i 宜采用 2%；对于高大的烟囱，沿高度可以采用几种不同的坡度，上部可为 1%，下部最大坡度可达 10% 左右。

筒壁沿高度分成若干段，每段称为一节。为便于施工，分节高度应为移动模板高度的倍数（如 1.25m 的倍数），且不宜超过 15m。

筒壁厚度根据计算确定，一般自下而上呈梯形减薄，但同一节厚度宜相同。为确保筒壁混凝土的浇筑质量，筒壁最小厚度应满足表 1-1 中的要求。

表 1-1 筒壁最小厚度

筒壁出口内直径 D (m)	最小厚度 (mm)
$D \leq 4$	140
$4 < D \leq 6$	160
$6 < D \leq 8$	180
$D > 8$	$180 + (D - 8) \times 10$

注 采用滑动模板施工时，筒壁厚度不宜小于 160mm。

(二) 筒壁的环形悬臂和顶部加厚区段

当内衬分段砌筑时，需在筒壁每节的顶部设置环形悬臂，以支承上节的隔热层和内衬，并将其质量较均匀地传到筒壁上，见图 1-9。环形悬臂的高度宜符合移动模板的尺寸要求，其向内挑出的长度根据隔热层和内衬的总厚度或施工要求确定。为减少由于壁厚局部改变而增加的温度应力，环形悬臂沿圆周方向每隔 1000mm 左右预留一道宽度为 20~25mm 的垂直楔形温度缝。环形悬臂一般可不配置钢筋，受力较大或挑出较长的悬臂应按剪切计算配置钢筋。环形悬臂处的筒壁外侧环向钢筋应加密，一般增加 1 倍。当无内衬时，可根据施工要求设置环形悬臂。

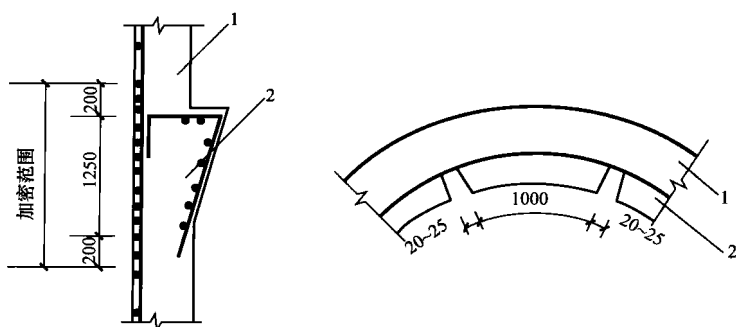


图 1-9 环形悬臂构造简图

1—筒壁；2—环形悬臂

由于烟囱顶部腐蚀较为严重，故在筒壁顶部向外侧加厚，同时增加 1 倍左右的环向钢筋，如图 1-10 所示。必要时，在烟囱顶端覆盖耐酸压顶板，如图 1-11 所示。

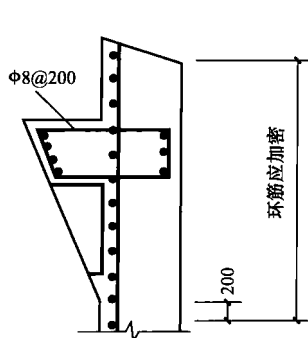


图 1-10 筒壁顶部配筋构造

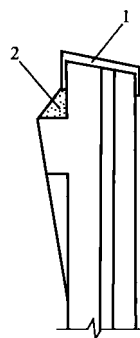


图 1-11 烟囱顶端耐酸压顶板

1—耐酸压顶板（铸铁盖板或耐酸混凝土）；

2—水泥砂浆排水坡

（三）筒壁的材料和配筋构造

筒壁的混凝土宜采用普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥配制，强度等级不应低于 C25，混凝土的水灰比宜小于 0.5。一般沿筒壁高度方向采用相同的混凝土强度等级。当烟囱较高时（如大于 150m），可采用不同强度等级的混凝土，而且下部的混凝土强度等级应高于上部。为了提高烟囱的抗腐蚀性，筒身混凝土应采用抗酸性能较好的粗细骨料，并且掺入适量的外加剂，同时要求筒身混凝土具有较高的密实性。

筒壁所用钢筋宜采用 HRB335 级钢筋，不应采用 HPB235 和 HRB400 级钢筋。纵向钢筋的配筋方式，可采用沿高度钢筋根数不变而变直径，也可直径不变而变根数，一般在同一烟囱中混合使用这两种配筋方式。筒壁环向钢筋应配置在纵向钢筋的外侧，其混凝土保护层厚度不应小于 30mm。

筒壁最小配筋率应符合表 1-2 的规定。安全等级为一级时，应采用双侧配筋。筒壁采用单侧配筋时，在筒壁厚度大于 350mm，以及筒壁长期处于外侧温度大于内侧温度的部位，应在筒壁内侧配置构造钢筋。当为双侧配筋时，内外侧钢筋应用拉筋拉结。拉筋直径不应小于 6mm，纵横间距为 500mm，并应交错布置。

表 1-2 筒壁最小配筋率 (%)

配筋方式		双侧配筋	单侧配筋	配筋方式		双侧配筋	单侧配筋
纵向钢筋	外侧	0.25	0.40	环向钢筋	外侧	0.25	0.25
	内侧	0.20	—		内侧	0.10	—

筒壁纵向钢筋和环向钢筋的最小直径和最大间距应符合表 1-3 的规定。

纵向钢筋的长度应取移动模板高度的倍数，再加搭接长度。搭接长度应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 的规定。接头位置应相互错开，在任一搭接范围内不应超过截面内全部钢筋根数的 1/4。

表 1-3 钢筋最小直径和最大间距 (mm)

配筋种类	最小直径	最大间距
纵向钢筋	10	外侧 250，内侧 300
环向钢筋	8	200，且不大于壁厚

(四) 筒壁的开孔与加固钢筋

筒壁下部常设有烟道口、出灰孔等孔洞。当在同一水平截面内有两个孔洞时，宜对称布置。孔洞对应的圆心角不应超过 70°，在同一水平截面内开孔的总圆心角不得超过 140°。孔洞宜设计成圆形，矩形孔洞的转角宜设计成弧形 (见图 1-12)。孔洞周围应配置截面面积为同方向被切断钢筋面积 1.3 倍的补强钢筋。矩形孔洞转角处应配置与水平方向成 45° 角的斜向钢筋，每个转角的钢筋按筒壁厚度每 100mm 不应小于 250mm²，且不少于两根配置。所有补强钢筋伸过洞口边缘的最小长度：地震区为 45d，非地震区为 40d，如图 1-12 所示。

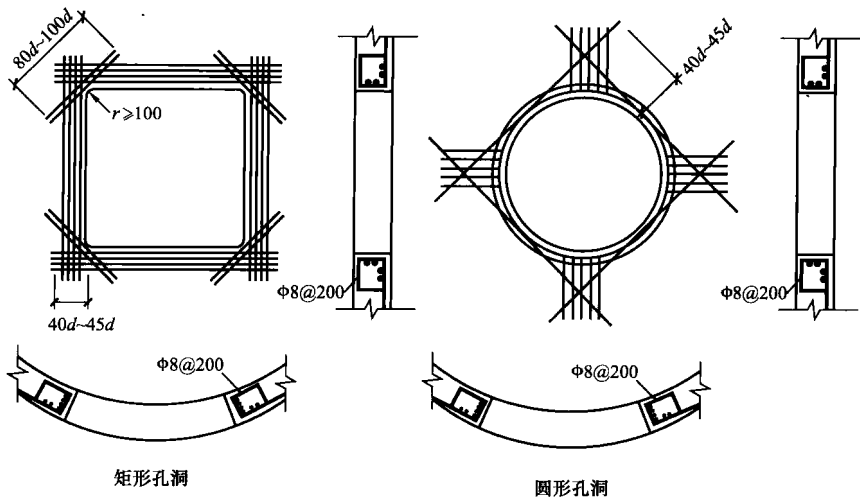


图 1-12 筒壁的洞口及加固钢筋

钢筋混凝土烟囱与烟道之间应设防震缝，当烟道高度不超过 15m 时，防震缝宽度可采用 50mm；当烟道高度超过 15m 时，设防烈度为 6、7、8 度和 9 度，相应的烟道高度每增加 5、4、3m 和 2m，缝宽加宽 15mm。

二、砖筒壁

砖烟囱的筒壁有配环箍、配环筋及同时配环筋与竖筋三种形式。只配环箍或环筋的砖烟囱，仅适用于非地震区或设防烈度为 6 度 I、II 类场地土的情况。配置环箍或环筋都有利于抵抗筒壁环向温度应力，但配置环筋施工较简单，钢筋防锈性好，宜优先采用。只有当筒壁

温差较大,配置环筋超过最大配筋量时,才采用配置环箍的方法。地震区砖烟囱的筒壁一般应配置竖向钢筋。

(一) 筒壁坡度、分节高度及厚度

筒壁坡度 i 宜采用 $2\%\sim 3\%$ 。沿高度的分节高度不宜超过 15m 。筒壁厚度可按分节高度自下而上减薄,但同一节厚度应相同。当筒壁内径不大于 3.5m 时,筒壁最小厚度应为 240mm ;当筒壁内径大于 3.5m 时,最小厚度应为 370mm 。当设有平台时,平台处筒壁厚度宜不小于 370mm 。筒壁顶部应向外局部加厚,总的加厚厚度以 180mm 为宜,并应以阶梯形向外挑出,每阶挑出不宜超过 60mm ;加厚部分的上部以 $1:3$ 水泥砂浆抹成排水坡,见图1-13。内衬到顶的烟囱宜在顶部设钢筋混凝土压顶板。

(二) 环形悬臂

支承内衬的环形悬臂应在筒壁分节处以阶梯形向内挑出,每阶挑出长度不超过 60mm ,挑出总高度应由剪切计算确定,但最上阶的高度不应小于 240mm 。

(三) 筒壁材料与配筋构造

筒壁采用的烧结普通黏土砖强度等级不应低于 $\text{MU}10$,水泥石灰混合砂浆的强度等级不应低于 $\text{M}5$ 。

筒壁的环箍宜采用 $\text{Q}235$ 钢。按计算配置的环箍,其间距宜为 $0.5\sim 1.5\text{m}$;按构造配置的环箍,其间距不宜大于 1.5m 。环箍的宽度不宜小于 60mm ,厚度不宜小于 6mm 。每圈环箍接头不应少于两个,每段长度不宜超过 5m 。环箍接头的螺栓宜采用 $\text{Q}235$ 材料,其净截面面积不应小于环箍截面面积。环箍接头位置应沿筒壁高度互相错开,接头做法见图1-14。环箍安装时应施加预应力。

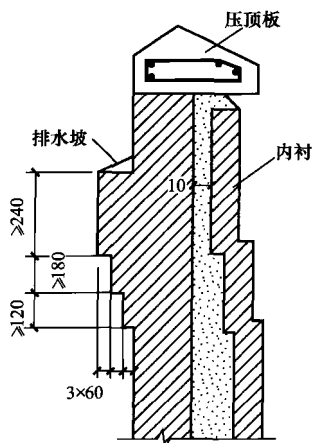


图1-13 砖烟囱筒壁顶部构造

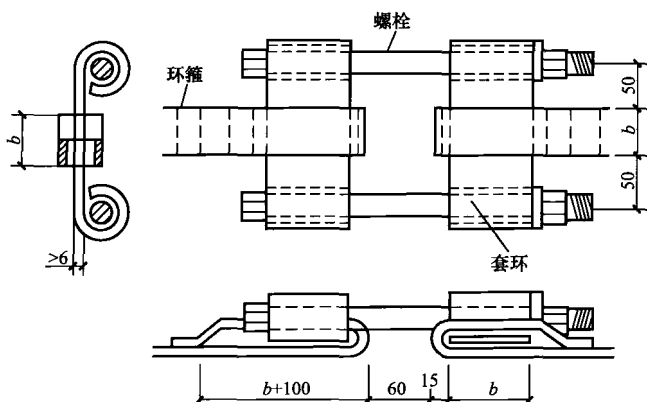


图1-14 环箍接头

筒壁的环向钢筋可采用 $\text{HPB}235$ 级钢筋。按计算配置的环向钢筋,其直径宜为 $6\sim 8\text{mm}$,间距不少于3皮砖,且不大于8皮砖;按构造配置的环向钢筋,其直径宜为 6mm ,间距不应大于8皮砖。同一截面内环向钢筋不宜多于两根,间距为 30mm 。钢筋搭接长度应为 $40d$,接头位置应互相错开。钢筋的保护层厚度为 30mm ,见图1-15。在环形悬臂和筒壁顶部加厚范围内,环向钢筋应适当增加。

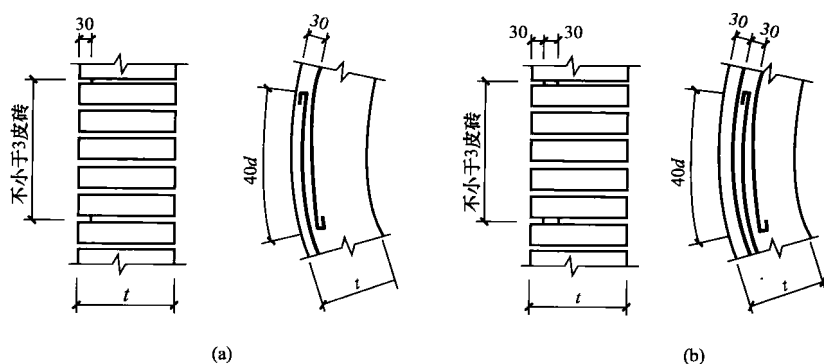


图 1-15 环向钢筋配置

(a) 单根环筋; (b) 双根环筋

地震区砖烟囱筒壁的竖向钢筋按计算确定,其上部的竖向钢筋最小配筋应符合表 1-4 中的规定。竖向钢筋配置在距筒壁外表面 120mm 处,接头搭接长度为 $40d$,在搭接范围内用铁丝绑牢,并宜设置直角弯钩。顶部的竖向钢筋锚固在烟囱顶端的钢筋混凝土压顶梁内。

表 1-4 地震区砖烟囱的上部竖向钢筋最小配筋

配筋方式	烈度和场地类别		
	6 度Ⅲ、Ⅳ类场地	7 度Ⅰ、Ⅱ类场地	7 度Ⅲ、Ⅳ类场地 8 度Ⅰ、Ⅱ类场地
配筋范围	0.5H 到顶端	0.5H 到顶端	$H \leq 30\text{m}$ 时全高, $H > 30\text{m}$ 时由 0.4H 到顶端
竖向配筋	$\Phi 8$, 间距 500~700mm, 且不少于 6 根	$\Phi 10$, 间距 500~700mm, 且不少于 6 根	$\Phi 10$, 间距 500mm, 且不少于 6 根

(四) 筒壁开孔

当同一截面上设置两个孔洞时,应对称设置。孔洞对应的圆心角不应超过 50° 。当孔洞宽度不大于 1.2m 时,孔顶宜采用半圆拱;当孔洞宽度大于 1.2m 时,宜在孔顶设置钢筋混凝土圈梁。当孔洞较大时,应采用砖垛加强。配置环箍或环筋的砖筒壁,在孔洞上下砌体中应配置直径为 6mm 的环向钢筋,其截面面积不应小于被切断的环箍或环筋截面面积。

1.2.2 内衬和隔热层

一、钢筋混凝土烟囱的内衬和隔热层

(一) 内衬

内衬可起到降低筒壁的温度应力,减少烟气对筒壁的侵蚀,延长烟囱使用年限等作用。钢筋混凝土烟囱的内衬应沿全高设置。内衬一般选用普通黏土砖砌筑,温度较高处应采用黏土质耐火砖或耐火混凝土预制块用黏土火泥泥浆砌筑。对高度大于 100m 的烟囱,当排放腐蚀性烟气时,内衬宜采用耐酸砖和耐酸砂浆(或耐酸胶泥)砌筑。内衬厚度应根据烟气温度和烟囱外部夏季极端最高温度进行温度计算确定,但烟道进口处一节的内衬厚度不应小于 200mm 或一砖,其他各节不应小于 100mm 或半砖,两节内衬的搭接长度不应小于 360mm 或 6 皮砖。内衬搭接见图 1-16。

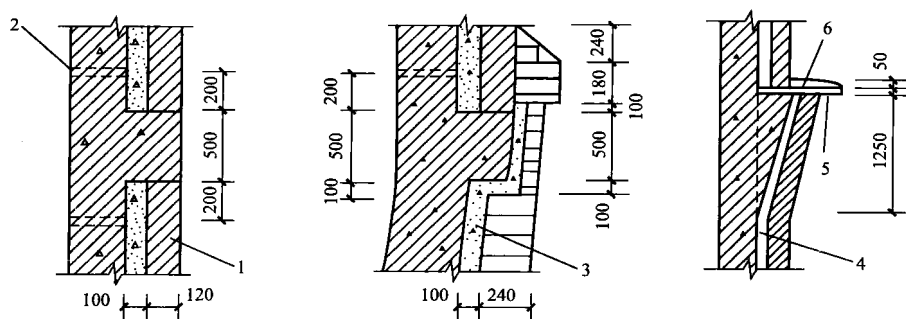


图 1-16 内衬搭接

1—内衬；2—排气孔；3—加气混凝土；4—空气层；5—耐酸混凝土；6—耐酸砂浆

(二) 隔热层

隔热层分为空气隔热层和填料隔热层两类。

(1) 空气隔热层。当烟气温度不大于 150°C 时，可采用空气隔热层。空气隔热层的厚度一般为 50mm。同时在内衬靠筒壁一侧的表面，按纵向间距 1.0m，环向间距 0.5m 的要求挑出一块顶砖，顶砖与筒壁之间留出 10mm 宽的缝，见图 1-17。

(2) 填料隔热层。当烟气温度大于 150°C 时，宜采用无机填充材料。填料在干燥状态下的密度不宜大于 $8\text{kN}/\text{m}^3$ 。常用的隔热材料有硅藻土砖、矿渣棉、水泥膨胀珍珠岩制品、硅酸盐水泥轻质混凝土等。这些材料的热工计算指标列于附表 1-1 中，当无实际试验资料时可采用。

填料厚度由温度计算确定，一般在 80~200mm 范围内。内衬上应设置防沉带，防沉带沿高度方向的间距宜为 1.5~2.5m，并与筒壁之间留出 10mm 宽的缝，见图 1-18。

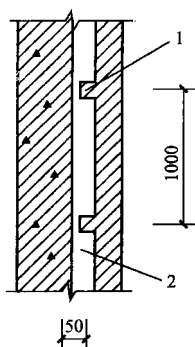


图 1-17 空气隔热层构造

1—顶砖；2—空气层

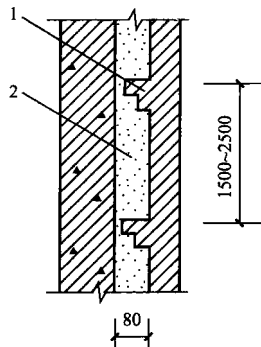


图 1-18 内衬上的防沉带

1—防沉带；2—填料

二、砖烟囱的内衬和隔热层

当砖烟囱下部局部设置内衬时，其最低设置高度应超过烟道孔顶，超过高度不宜小于 $1/2$ 孔高。内衬的搭接见图 1-19。内衬和隔热层的其他构造要求同钢筋混凝土烟囱。

1.2.3 烟囱附属设施

烟囱附件包括爬梯、检修平台、避雷设施等。

一、爬梯

为了检查和修理烟囱、航空障碍灯和避雷设施，需在筒壁外表面设置爬梯，见图 1-20。