

动力设备的烟囱

苏江文、周林树主编
冯金耀、程书福副

23.28



水利电力出版社

序 言 (节译)

目前为了遵守净化大气的卫生标准,在火力发电厂中除了建造一些净化设施外,还不得不建造高大的烟囱,因为它是扩散烟气的有效手段,而且在现阶段也是减少氧化硫和氧化氮污染在经济上唯一可行的办法。

烟囱的运行条件复杂,它受温差、气压、湿度、烟气腐蚀、风荷载以及自重的影响。

在动力工程中,每年都建造大量的烟囱,有的高达320米,并有进一步增加高度的趋势。现在烟囱已成为日益复杂的建筑工程,在设计、施工、运行中必须综合解决大量的技术问题。在很多情况下,由于计算方法的不完善和不按设计方案运行,出现了无根据地提高造价和大大地降低了烟囱使用寿命。

本书对当代的动力设备烟囱的设计和运行中的问题,作了初步的探讨,并对这方面的文献资料进行了概括和归纳。

本书编写过程中作者广泛地引用了许多规程、导则和标准文献资料,这些资料中系采用旧的物理单位,故在本书末尾附有旧的物理单位制和现行单位制的对照表。

作 者

目 录

译者的话

序言 (节译)

第一章 烟囱的概论	1
1-1 烟囱的功用	1
1-2 烟囱的地基和基础	1
1-3 烟囱的筒身	3
1-4 烟囱筒座和顶部的构造	11
1-5 烟囱的内衬、隔热层和防腐蚀保护	14
1-6 烟囱白天标志、灯光标志和无线电信号标志	15
1-7 信号灯平台和通行爬梯	17
1-8 烟囱的避雷装置	19
第二章 建筑材料	22
2-1 钢筋混凝土烟囱筒身和基础的材料	22
2-2 砖烟囱筒身的材料	25
2-3 内衬材料	26
2-4 隔热材料	29
2-5 防腐蚀材料和标志涂料	33
2-6 钢烟囱和金属结构的材料	36
第三章 烟囱计算的基本原理	37
3-1 设计的原始资料	37
3-2 高度计算	37
3-3 空气动力计算	45
3-4 热工计算	48
3-5 风荷载的计算和共振的计算	57

3-6	砖烟囱的计算	58
3-7	配筋砖烟囱的计算	61
3-8	钢筋混凝土烟囱的计算	64
3-9	钢烟囱的计算	74
3-10	烟囱地基和基础的计算	75
第四章	火力发电厂的烟囱	79
4-1	根据运行条件选择结构方案	79
4-2	承重筒内表面有防腐层的烟囱	81
4-3	筒身和内衬间有强制通风和自然通风间隙的烟囱	85
4-4	外承重筒与排烟筒间有间隔通道的烟囱	95
4-5	多筒式烟囱	99
4-6	国外火力发电厂的烟囱	104
第五章	小容量锅炉设备的烟囱	119
5-1	根据运行条件选择烟囱的结构方案	119
5-2	砖烟囱	121
5-3	整体式和装配式的钢筋混凝土烟囱	128
5-4	钢烟囱	132
5-5	国外的锅炉烟囱	136
第六章	烟囱施工质量的技术检查以及烟囱的验收、 烘干、运行与维修	145
6-1	钢筋混凝土烟囱、砖烟囱和钢烟囱的施工质量检查	145
6-2	防腐蚀、内衬和隔热工程的质量检查	149
6-3	烟囱的验收、烘干、运行和维修	152
附录		163
参考文献		165

第一章 烟囱的概论

1-1 烟囱的功用

烟囱有两个功用：

1.产生自然的抽力并将烟气扩散到卫生标准允许的程度。

2.鉴于现代的火力发电厂和锅炉设备大都采用强制的送风，因此，烟囱的主要作用在于保证有效地扩散烟气。

此外，烟囱有时还具有辅助的作用，例如，烟囱可用作支承输电线的支柱；在烟囱基础的杯口内或烟囱的下部可作为各种辅助性的和专门的房间，等等。

1-2 烟囱的地基和基础

地基和基础的选择，是根据烟囱施工场地的工程地质、水文地质勘测以及现行的标准文献来完成的。烟囱基础的埋置深度，是根据土壤条件、邻近建筑物和烟道的基础埋置深度来确定的。

根据烟囱现场的地基条件确定天然地基或桩基。根据现场已有的设备和材料，可采用各种类型的桩——钢筋混凝土桩、钻孔灌注桩及其他桩。

应用最广泛的烟囱基础是钢筋混凝土基础。它是由两部分组成：杯口部分（呈截锥体或圆柱体）和圆板部分（见图1-1a）。在岩石以及压缩变形模量高的土壤的情况下，可采用环板基础（见图1-1b）。

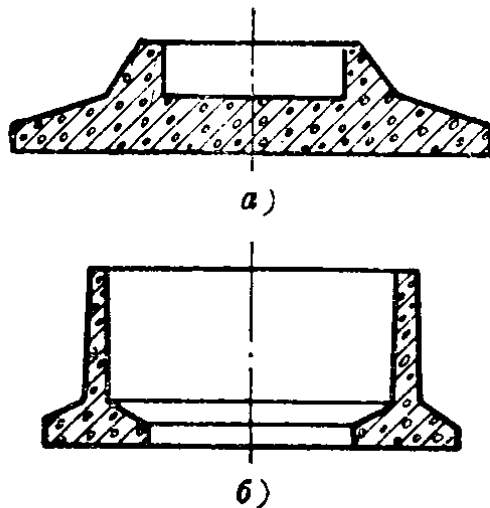


图 1-1 烟囱基础

a)钢筋混凝土圆板基础；b)钢筋混凝土环板基础

当地下水位和地下烟道位置高的时候，推荐排水装置作为保护基础的主要措施。在地下水对混凝土腐蚀性较大时，基础的保护必须根据参考文献（1-1、1-2）来设计。

为了连接基础与钢筋混凝土或配筋砖砌体的筒身，基础杯口上须伸出竖向钢筋（见图1-2）。基础板的配筋通常采用焊接网和焊接骨架。在基础杯口上开有孔洞时，须沿孔洞四周配置竖向钢筋和横向水平钢筋，在孔洞转角处须设置附加的斜向钢筋。在地下烟道进口处的基础配筋须考虑到温度的影响。当孔洞较大时，可在孔洞边缘设置壁柱的方法来弥补基础杯口的削弱。

基础杯口外表面的坡度可由计算和构造要求来确定，并允许与筒身下部的坡度有明显的不同。

为了在施工期间和烟囱运行时能观测基础的沉降和倾斜，必须考虑在基础板上设置四个以上的水准点。烟囱的中心与锅炉房轴线的关系是由一个附加的圆柱形钢水准点来确定；钢水准点安装在基础板上，并在钢水准点表面上用冲子

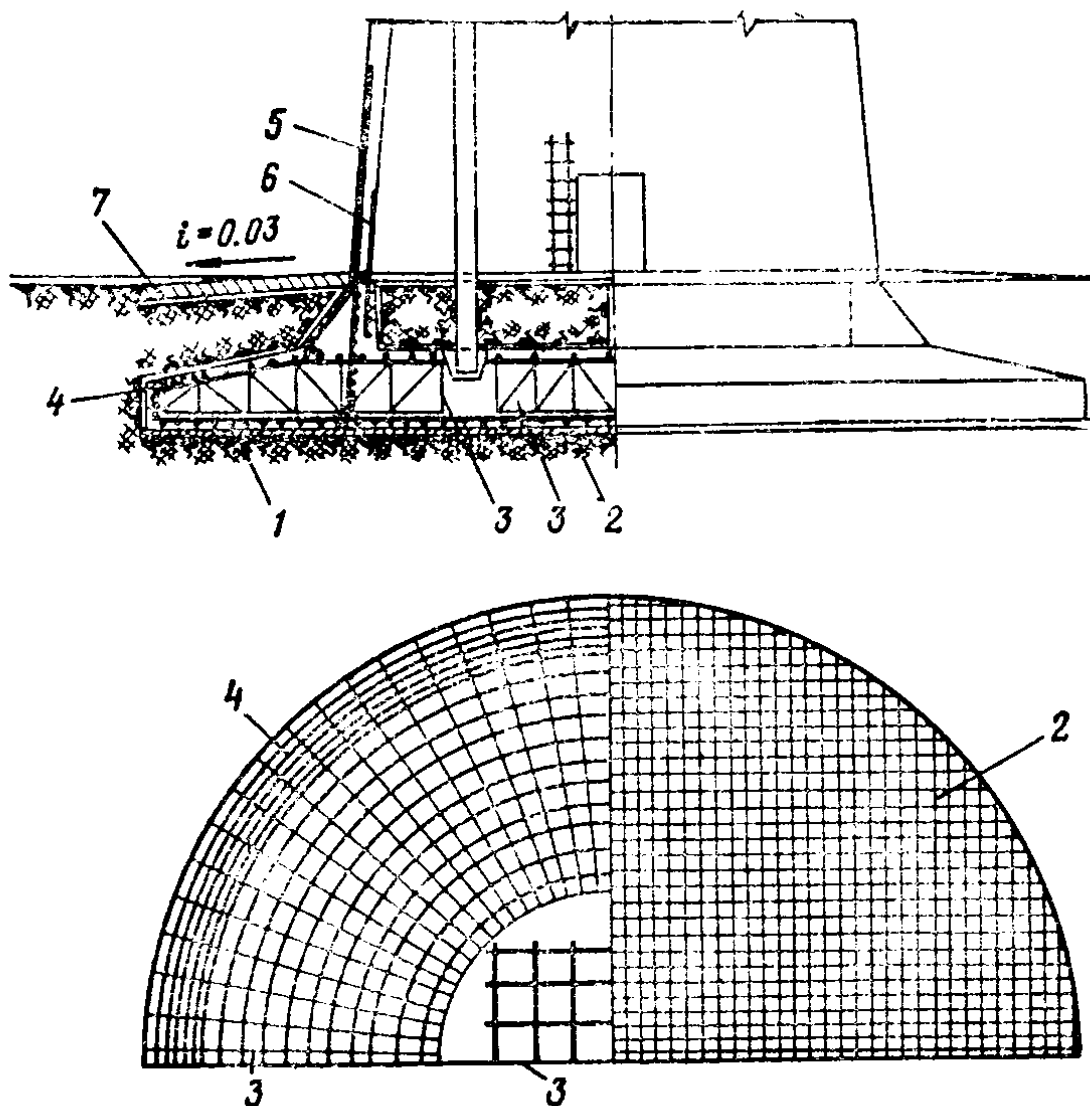


图 1-2 基础配筋图

1—混凝土垫层；2—平板的下部钢筋网；3—平行的钢筋骨架；4—平板上部环形钢筋；5—外侧竖向露头钢筋；6—内侧竖向露头钢筋；
7—散水坡

打出烟囱的中心点。

1-3 烟囱的筒身

烟囱的筒身可用砖、配筋砖、钢筋混凝土或钢做成。烟囱筒身材料及结构形式的选择，是根据烟囱高度、出口直径、当地现有建筑材料、运行方式以及建筑设备等方面的技术经

济比较来进行的。

砖烟囱和配筋砖烟囱的高度，通常不超过120 米。烟囱的筒身要做成空心的截锥体（见图 1-3 ），筒身外表面的坡度由强度和经济性来决定，一般选用 2 ~ 3 %，在地震区可增至 4 %，烟囱筒身的筒座可做成圆柱形。

根据专业施工单位关于确保安全工作的要求，砖烟囱出口净空的最小直径 建议采用 1.2 米。烟囱筒身沿整个高度分成若干区段；从一个区段转变到另一个区段是由缩小砌体的厚度来实现；这样，在烟囱内壁就形成台阶；但是，烟囱顶部区段的筒壁厚度应不小于一砖半。

向烟囱引入水平烟道而留的孔洞，致使筒身截面强度削弱，故开孔不应大于筒身截面面积的30%。为补强被削弱的截面，建议采用扶壁。为了承受筒身外侧的温度应力，须在外侧装设截面为 8 × 80 毫米或 10 × 100毫米的扁钢环箍；环箍的间距根据计算确定，一般在

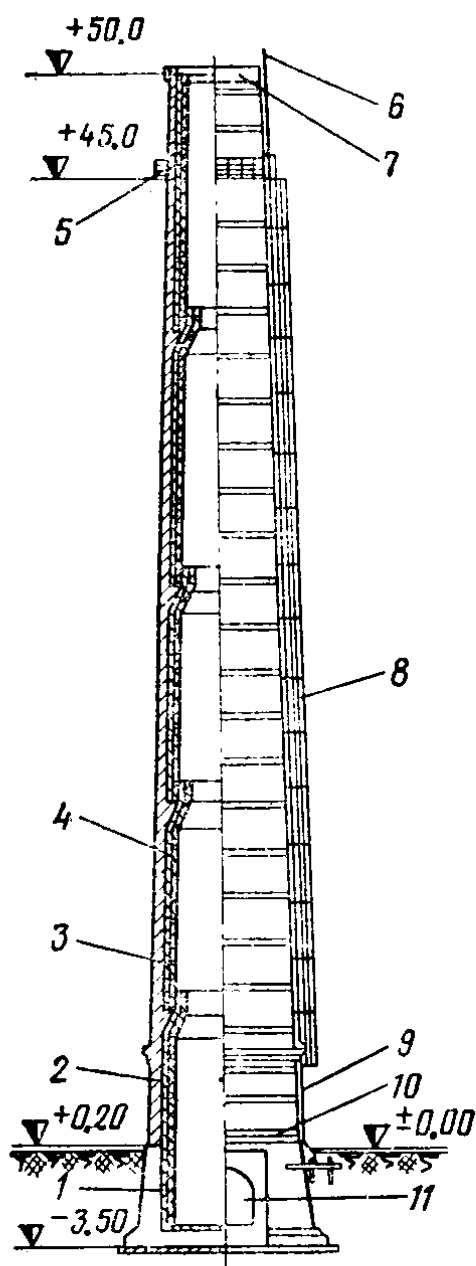


图 1-3 砖烟囱

1—基础； 2—筒身； 3—内衬；
4—隔热层； 5—信号平台； 6—避
雷针； 7—保护罩； 8—爬梯护栏；
9—爬梯； 10—环箍； 11—水平烟
道入口

0.5~1.5米范围内。

烟囱筒身上的孔洞应设置半圆拱或钢筋混凝土过梁。不允许采用弧形拱。

整体式钢筋混凝土烟囱（见图1-4）现在已设计到高达320米。目前，苏联和其他国家认为有必要建造更高的钢筋混凝土烟囱。

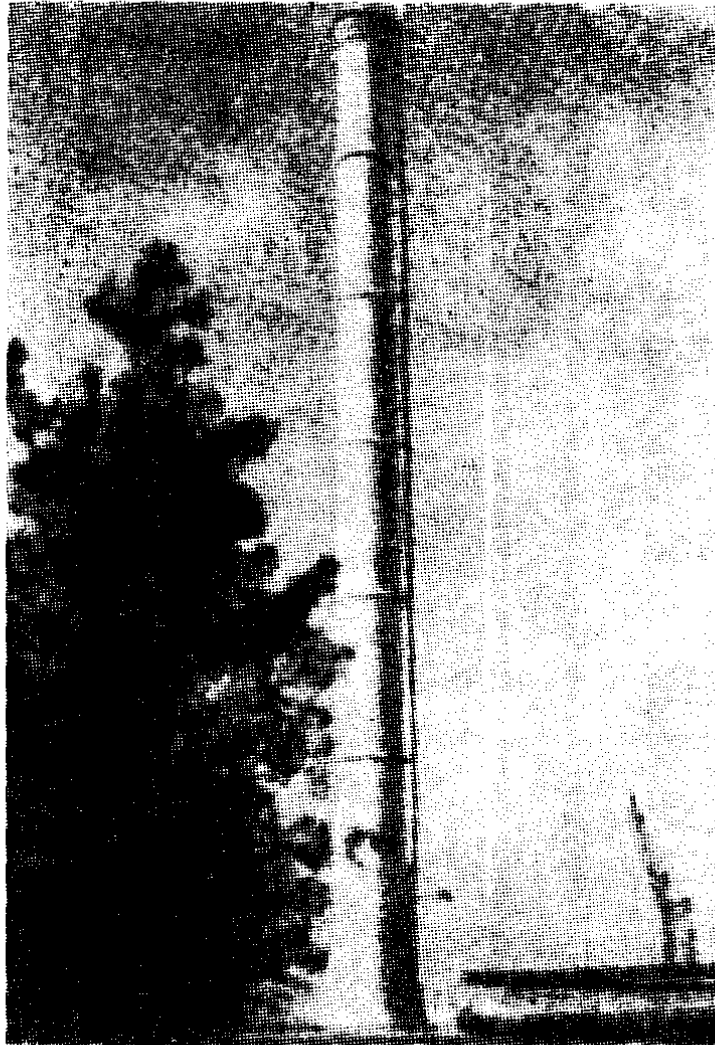


图 1-4 东德正在施工中的火力发电厂300米高的整体式钢筋混凝土烟囱

根据施工单位现有设备条件，锥形整体式钢筋混凝土烟囱的最小出口直径现在采用3.5米。

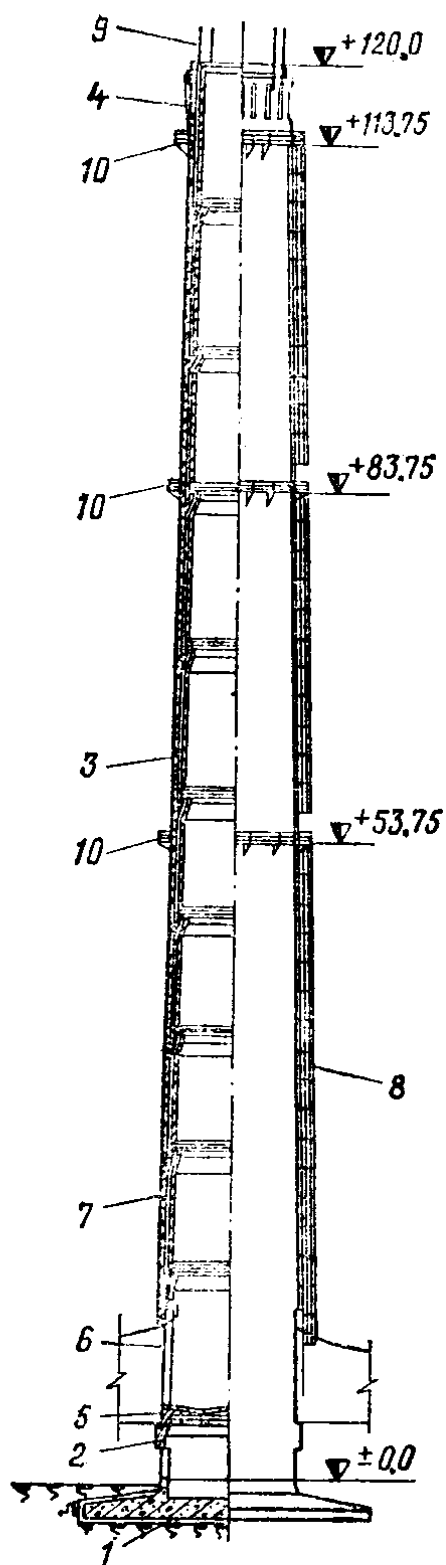


图 1-5 120 米高的锥形钢筋混凝土烟囱
1—基础；2—筒座；3—筒身；4—顶部；
5—灰板；6—水平烟道引入口；7—内衬；8—爬梯；9—避雷针；10—信号平台

钢筋混凝土烟囱的筒身（见图1-5）可做成截锥体或圆柱体。整个筒身或其个别区段的高度与筒身下部直径之比不得大于20。沿筒身高度的变坡和壁厚按计算确定。截锥体钢筋混凝土烟囱的坡度，建议从上部的1.5%变到下部的8%。为了支承内衬，钢筋混凝土筒身内壁沿高度每隔10~15米应设置环形悬臂。

整体式钢筋混凝土烟囱的钢筋接头采用绑扎搭接，不要焊接。竖向和环向钢筋的接头位置应错开。每个截面上的接头数不超过25%。竖向钢筋和环向钢筋的间距，可采用100~200毫米。整体式钢筋混凝土烟囱的最小壁厚，当出口直径为4.8米时，采用160毫米；当出口直径为7.2米时，采用180毫米；而当出口直径大于7.2米时，采用200

毫米。

烟囱筒身在水平烟道引入口处的孔洞，建议做成矩形，使筒身减弱的孔洞不应超过截面的40%，在孔洞周围应加钢筋补强（见图1-6）。

装配式钢筋混凝土烟囱（见图1-7）通常设计为高达60米的圆柱体。装配式烟囱的筒身由分段的圆柱形预制筒构成。预制筒的高度取决于施工时所采用的起重机械。预制筒间的水平缝，用砂浆填塞。缝的厚度不应超过10毫米。装配式烟囱垂直钢筋的接头可焊接或用螺栓连接，而以螺栓连接为普遍。

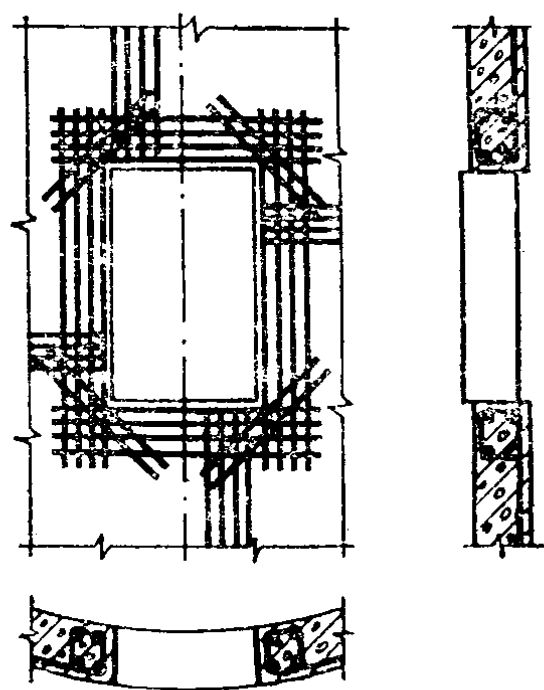


图 1-6 孔洞的配筋

装配式予应力钢筋混凝土烟囱部件接头的施工方法是，将接头的钢筋穿过沟槽，然后将钢筋张拉，再用压力灌浆填满沟槽。垂直钢筋每段长度6~10米，可用螺纹套管连接。

钢烟囱的高度和直径变化幅度较大。当总平面规划上无法布置钢筋混凝土烟囱和砖烟囱时，或在缺乏砖材等情况下可采用钢烟囱。

钢烟囱的两种基本结构型式为：

- 1) 自立式的钢烟囱（见图1-8）；
- 2) 铁塔式的钢烟囱（见图1-9）；

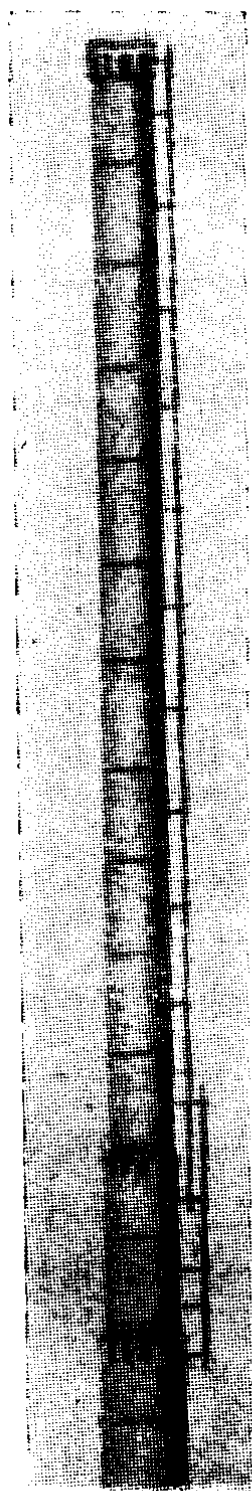


图 1-7 锅炉房的30米高的装配式钢筋混凝土烟囱

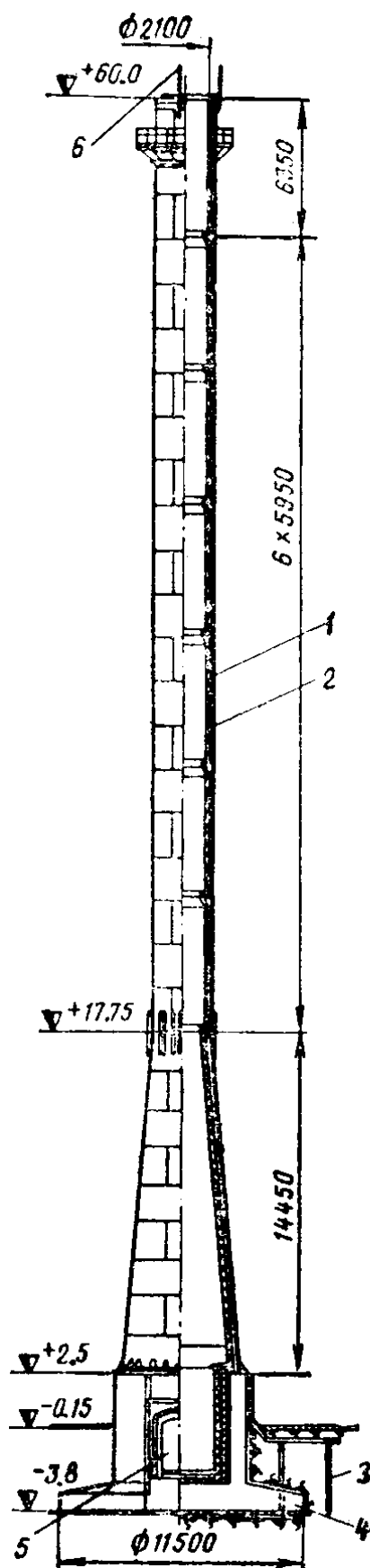
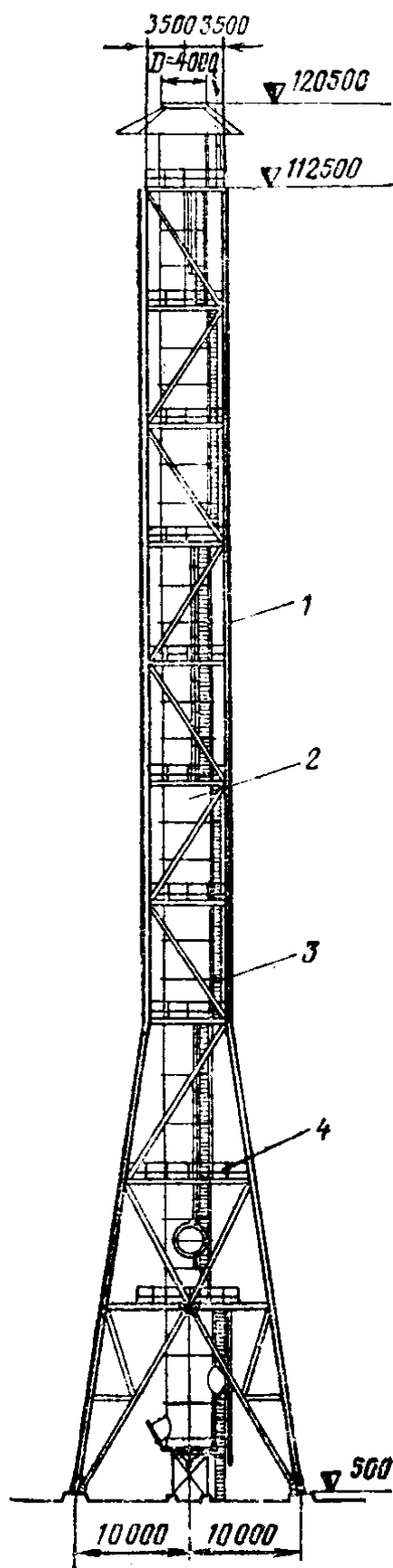


图 1-8 60米高的钢烟囱

1—钢外筒；2—砖内衬；3—接地装置；4—钢筋混凝土基础；5—水平烟道入口；6—避雷针



钢烟囱的结构设计应考虑
到扩大组装的可能性。排除侵
蚀性烟气时，烟道的筒壁用特
制的合金钢做成。

自立式钢烟囱锥形部分的
高度不应小于烟囱总高度的四
分之一，圆柱部分的直径不小
于圆柱区段长度的二十分之
一。为了减小内衬通过支承板
传递给烟囱筒身的局部应力，
建议在支承板下部焊以倾斜的
加劲肋。为了减少内衬支承环
处筒身的温度应力，结构上应
采取措施，最好用搭接内衬的
方法来保护支承环。

通常，铁塔和筒身采用
ВСт3сп5 号钢和 ВСт3пс5 号
钢，在特别重要时，也可采用
高强度合金钢。由于焊接的质
量和焊条的牌号对焊接处的疲
劳强度有很大的影响，故在制
作和安装烟囱外筒时应采用牌
号不低于Э-42的焊条；它所焊
出的焊缝能很好地承受动荷

图 1-9 铁塔式烟囱

1—承重铁塔；2—钢排烟筒；
3—爬梯；4—平台

载。

烟囱的圆柱部分与圆锥部分连接时应设有垂直加劲肋，该肋沿筒壁均匀分布，大约在垂直加劲肋高四分之一范围内（加劲肋与筒壁水平焊缝交接处），垂直加劲肋与筒壁不焊接。

垂直肋的上端和下端应和他正交的水平加劲肋相焊。

没有内衬的钢烟囱在出现共振时，将产生振幅较大的振动，因此，对这些烟囱务必安装拉线。带内衬的钢烟囱在施工时，应在烟囱高度的四分之三处装置临时拉线。

除了上述烟囱结构之外，还有一种所谓“烟囱中之烟囱”的结构。这种烟囱结构，外筒用以承受风荷载，通常由钢筋混凝土做成；内筒作为向大气排放烟气之用，是用合金钢或其它防腐蚀材料做成悬挂式，或用耐酸砖做成自立式。砌筑内部排烟筒最好用异型的耐酸陶瓷企口砖，其抗压强度不小于400公斤力/厘米²。在两个筒之间的间隔内装置通行爬梯，使能登上内部各层平台，以便对内外筒身进行检查。

目前广泛采用多筒式烟囱。多筒式烟囱的例子见图1-10。烟囱用的外筒是由钢筋混凝土做成，其内部为几个钢烟筒。

烟筒外侧装置矿物板或者其他有效的隔热材料作隔热层。在烟囱之间的间隔内设有各层平台和通行爬梯，供检修烟筒之用。当烟囱较高时，在烟囱间的间隔层内装置了电梯，以便施工和检修。

多筒式烟囱结构代替了几个单筒烟囱，能使烟囱的排烟联合在一起，增加了烟气有效的排放高度，从而可以相应地减小烟囱的计算高度。

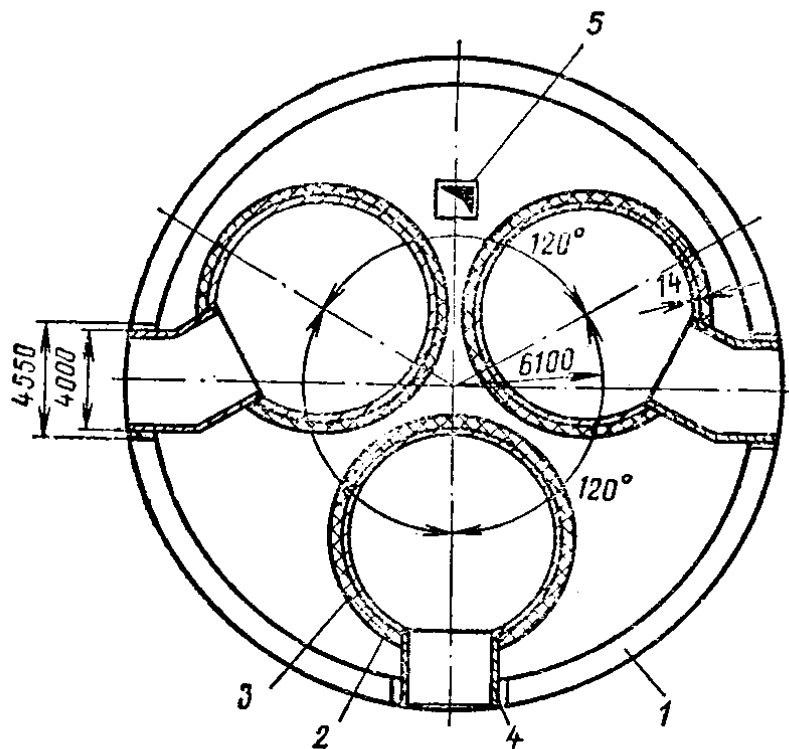


图 1-10 多筒式烟囱横剖面

1—外钢筋混凝土筒；2—钢排烟筒；3—隔热层；4—水平烟道
 引入口；5—电梯竖井

1-4 烟囱筒座和顶部的构造

烟囱筒座乃是筒身下部的加大部分，在筒座中可设置孔洞（见图1-11）。钢筋混凝土烟囱和钢烟囱筒座部分的坡度，通常比烟囱筒身其余部分大。

烟囱筒座的高度是根据建筑艺术观点和水平烟道的标高来确定的，大约等于烟囱筒身高度的十分之一。砖烟囱筒座的最上部，采用阶梯形挑檐并用水泥砂浆粉刷。筒座下部在地面处，施工期间留有安装孔洞，施工结束后用砖堵塞，如筒座部分设计有专门的小房间，则作成门洞。

当水平烟道由筒座两侧引入时，为了降低引入烟囱的烟气动压损失，在强制通风时，建议按莫斯科动力学院研制的

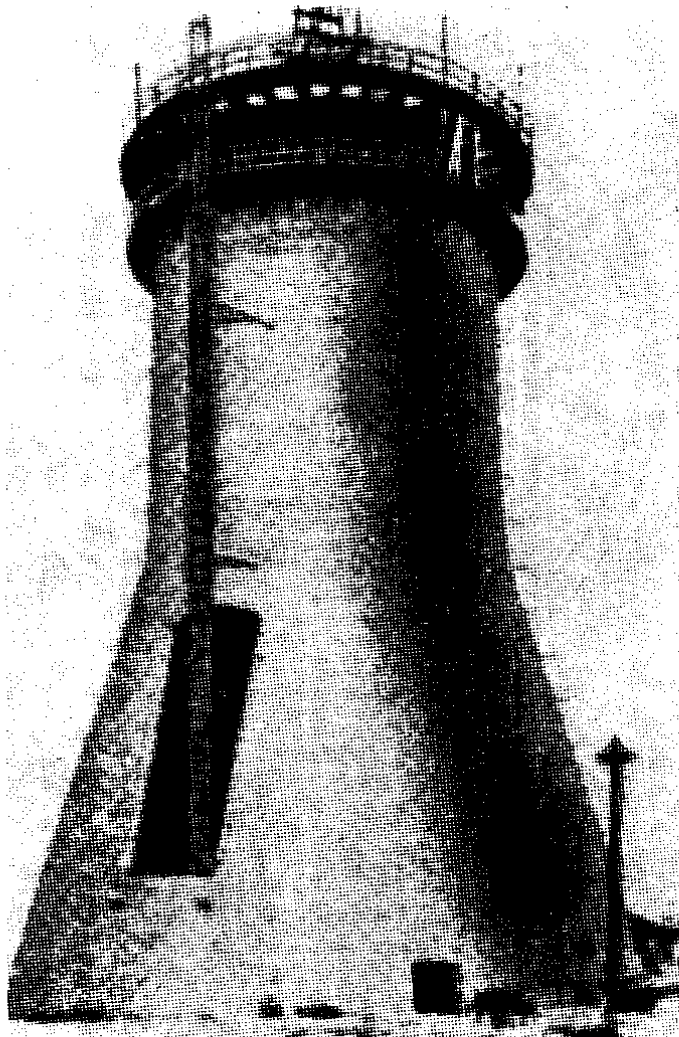


图 1-11 正在施工中的300米高钢筋混凝土烟囱筒座部分

示意图做一分隔墙，它与水平烟道轴线成 45° 角，高度为水平烟道净空高度的1.5倍，同时做出倾斜隔板（见图1-12）。当烟囱为自然引风，且烟囱出口的烟气速度不大于8米/秒时，分隔墙可以不做。

烟囱顶部结构是根据建筑艺术和施工材料来确定的，以图 1-13a、b、c 为例子。

烟囱顶部应安装由合金铸铁或耐酸陶瓷做成的保护罩（见图1-14）。合金铸铁罩由单个的小段组成，它敷设在砂浆上。为了防止烟气的侵蚀作用，顶部外表面应刷耐酸漆。在

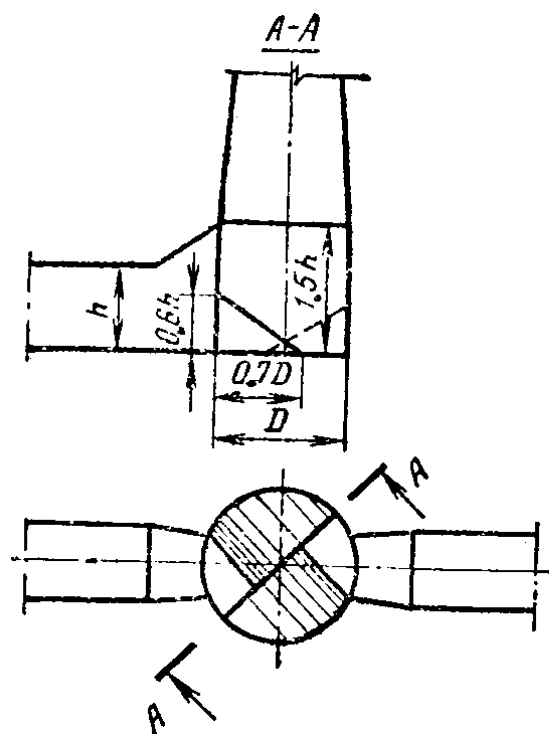


图 1-12 烟囱两侧引入水平烟道示意图

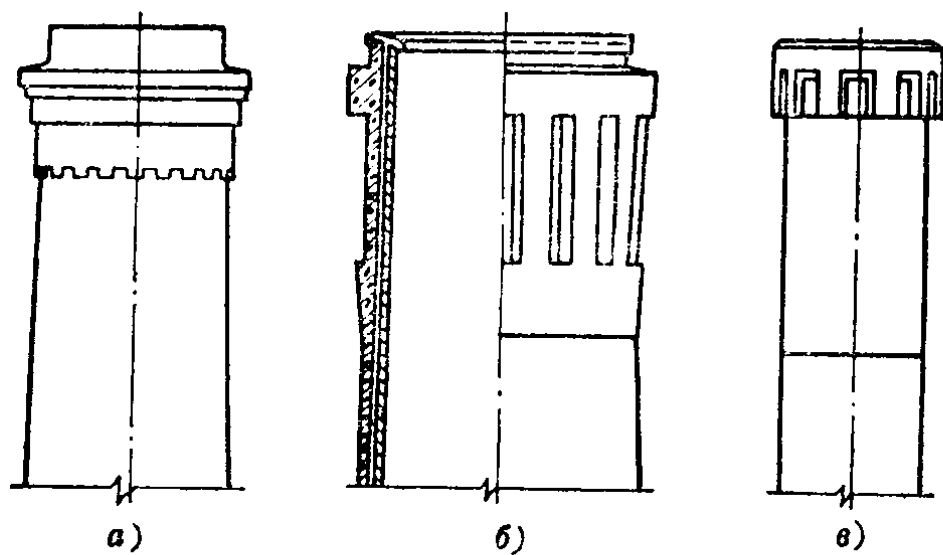


图 1-13 烟囱顶部

a) 砖烟囱的, b) 整体式钢筋混凝土烟囱的, c) 装配式钢筋混凝土烟囱的