

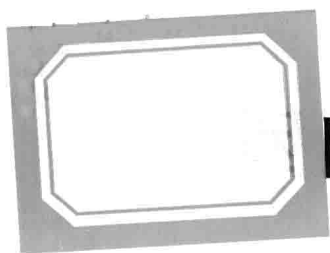


STACK DESIGN MANUAL 烟囱设计手册

中冶东方工程技术有限公司 主编



中国计划出版社



窗设计手册

中冶东方工程技术有限公司 主编

中国计划出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

烟囱设计手册/中冶东方工程技术有限公司主编. —北京:
中国计划出版社, 2014. 5
ISBN 978-7-80242-960-4

I. ①烟… II. ①中… III. ①烟囱—建筑设计—手册
IV. ①TU233 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 034813 号

烟囱设计手册

中冶东方工程技术有限公司 主编

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

787mm × 1092mm 1/16 29.5 印张 733 千字

2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—4000 册

ISBN 978-7-80242-960-4

定价: 68.00 元

版权所有 侵权必究

本书环衬使用中国计划出版社专用防伪纸, 封面贴有中国计划出版社
专用防伪标, 否则为盗版书。请读者注意鉴别、监督!

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

主审部门、主编单位、参编单位 及编制人员名单

主审部门：中国冶金建设协会

主编单位：中冶东方工程技术有限公司

参编单位：大连理工大学

华东电力设计院

西北电力设计院

上海富晨化工有限公司

冀州市中意复合材料有限公司

中冶长天国际工程有限责任公司

河北省电力勘测设计研究院

辽宁电力勘测设计院

江苏省电力设计院

中冶建筑研究总院有限公司

苏州云白环境设备制造有限公司

重庆大众防腐有限公司

河北衡兴环保设备工程有限公司

亚什兰（中国）投资有限公司

上海德昊化工有限公司

重庆国际复合材料有限公司

宝鸡市钛程金属复合材料有限公司

长春黄龙防腐材料有限公司

主 编：牛春良

编写人员：宋玉普 王立成 车 轶 蔡洪良 解宝安 陆士平 李国树
邢克勇 王永红 倪桂红 刘欣良 徐 昆 陈 飞 龚 佳
李 宁 王永焕 李吉娃 徐卫阳 杨 薇 唐 健 赵春晓
靳庆新 王 泳 姚应军 何宝明 郭全国 徐晓辉 李炜姝
唐初平 刘桂荣 姜富林

序

新版国家标准《烟囱设计规范》GB 50051—2013（简称“新版规范”）已于2013年5月1日起正式实施。为了配合新版规范的实施，便于读者更好地理解和应用规范，规范的主编单位中冶东方工程技术有限公司会同参编单位在原《烟囱工程手册》的基础上编写完成了新版《烟囱设计手册》。

从编制原《烟囱设计规范》GBJ 51—83至今，我公司会同大连理工大学、华东电力设计院、西北电力设计院、中冶长天国际工程有限责任公司等单位，精诚合作近四十年。新版规范修订时，又增加了多家参编单位，都是近年来在烟囱设计领域承担重要工作的单位，是本行业的引领者。新的参编单位加入，对规范水平的提高起到了重要作用。

参加规范编制工作的同志，始终锲而不舍地对烟囱设计进行理论研究、实际工程调查和科学试验，积累了丰富的知识，成了烟囱设计方面的专家。在2002版《烟囱设计规范》实施的十多年间，随着技术的进步和工艺的发展，出现了新的烟囱形式和新的应用技术等，新版规范在不断探索和经验总结，并进行了大量验证、试验，对重要的计算理论有所创新的基础上编制而成，这凝聚了大家的心血，是专家们辛勤劳动的结晶。

作为《烟囱设计规范》的主编单位，在近四十年的漫长岁月里，在参编单位的积极参与和支持配合下，我公司始终高度关注烟囱工程建设工艺和技术的发展进步，并在新版规范修编中努力做到有所发展、有所创新，主要体现以下几点：

1 在烟囱设计理论方面，有所创新。玻璃钢烟囱是一种新型烟囱，是以玻璃纤维及其制品为增强材料、以合成树脂为基体材料，用机械或手工缠绕成型工艺制造的一种烟囱（简称GFRP），其成品的力学性能为各向异性，且变异性较大。在不同的受力状态（如持久设计状况和短暂设计状况）下，其承载能力均呈现较大程度的变化，如何将各种复杂的受力状态以规范形式表达出来，具有很大的挑战性。规范编制组在短短一年多的时间里，在借鉴国外发达国家技术经验的基础上，给出了一套适合中国国家标准体系的设计公式，填补了国内空白，为规范我国玻璃钢烟囱产业的发展奠定了基础。

自2002版《烟囱设计规范》首次包含“钢烟囱”以来，在十年的时间里，我国钢烟囱得到飞速发展。钢烟囱是一种薄壳结构，其局部稳定和横风向共振是其设计的主要控制因素，准确计算其临界稳定应力和判断其共振发生条件尤为至关重要。本次规范修订，在这两方面均有重大突破，新的计算理论能够更加科学、准确地解决上述问题。

钢筋混凝土烟囱是目前应用最多、建造最高的烟囱形式。限于公式量大，且复杂，前两版《烟囱设计规范》对烟道口仅限于沿180°角方向设置两孔，在建筑场地紧张的情况下，影响了工艺布置。新版规范对这一公式体系进行了较大修改，两孔可以为任意夹角。

抗震，是世界性课题，如何使理论分析结果更加符合震害规律，是广大抗震工作者一贯追求的目标。在2002版《烟囱设计规范》中，引入了主编单位所提出的新的竖向抗震理论，这一理论与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011是有原则区别的，经过十余年的地震震害的进一步检验，更加丰富了这一成果。本次规范修订，增加了砖套筒烟

囱和悬挂式内筒烟囱的支承平台的竖向地震增大效应的计算方法。

温度计算,是烟囱设计的一个重要内容。前两版《烟囱设计规范》,仅给出了普通单筒烟囱温度分布的计算方法,对于套筒式和多管式烟囱,未给出如何考虑内外筒之间空气夹层的影响,设计人员仅能通过《烟囱工程手册》给出的简单假定方法来进行计算,误差很大,也不科学。本次规范修订,给出了理论计算公式。

2 重视调查研究和总结实际工程的经验。例如烟囱腐蚀严重影响烟囱安全和使用寿命,需要对烟囱腐蚀等级给出量化标准并按此标准采取相应防腐措施及相应烟囱形式,规范编制组对此做了大量有意义的工作,填补了这方面的空白。2002 版规范,对烟气腐蚀等级仅根据燃煤含硫量加以判断,实际应用中有其局限性。通过大量的烟气腐蚀破坏调研中发现,当烟气实行脱硫后,仅按燃煤含硫量来判断烟气腐蚀等级是远远不够的,应该综合考虑烟气的温度、湿度和腐蚀介质含量来加以判断。本次规范修订,对烟气腐蚀等级的判断和烟囱形式的选取等方面的规定更加趋于合理。

3 重视科学试验工作。结构计算理论是基于试验的一门学科,在编写新版规范过程中,我公司作为主编单位,支持规范编制组并与兄弟单位合作,先后进行了玻璃钢烟囱在不同材料、不同温度等多种工况下的科学试验,给出了玻璃钢材料的基础设计数据,使规范编制工作有了可靠的理论基础。

4 总结国内外工程实践,完善规范内容。例如玻璃钢烟囱,在国外有大量应用,而我国建造数量极其有限,2002 版《烟囱设计规范》没有这方面内容。我们在总结国外经验的基础上,创建了适合中国国家标准体系和材料水平的理论体系。为此,新版规范增加了玻璃钢烟囱,包括自立式、拉索式、塔架式玻璃钢烟囱和悬挂式玻璃钢烟囱,填补了这方面的空白。

综上所述,新版规范与旧版规范相比,有创新,有发展,有新内容。

本《烟囱设计手册》(简称“本手册”)正是在系统解释新版规范的基础上全面总结了烟囱工程发展的最新成果,其中一些设计理念和方法不但适用烟囱工程,对其他一些工程设计也有一定的参考借鉴作用。本手册既有理论方面的阐述、也有工程实践的调研、又有科学试验的成果,还有大量的例题、典型工程实例,可以为理解规范和指导烟囱的设计提供有益的帮助。

本手册编写人员来自冶金、电力、化工等行业的专家和高等院校的教授,他们将各行业的共性与特性进行了有机的结合,集理论与实用性于一体,本手册是一本具有较高学术价值的工具书,适用于工程设计、施工与监理,也可作为高等院校教学和研究的参考书籍。

在编写过程中,我们得到了中国冶金建设协会和中国计划出版社的关注和支持。在此,向所有关注和支持本手册出版的兄弟单位和业界同人表示谢意,并希望在今后工程实践中得到广大工程技术人员和专家的指正,以便进一步总结经验,不断取得进步。

中冶东方工程技术有限公司董事长 赵宗波
二〇一三年十月十日

前 言

本手册是根据 2012 年 4 月《烟囱设计规范》审查会的有关精神编写的,审查会确定了本手册主要编制单位和编制大纲。本手册是在原《烟囱工程手册》(以下简称原手册)基础上,并依据国家标准《烟囱设计规范》GB 50051—2013 编写完成的。

与原手册相比,本手册删除了原手册中有关施工内容、删除了原手册第 15 章“混凝土受热后力学性能概况及概率统计分析”、第 16 章“烟囱抗震”、第 17 章“烟囱的模型试验”、附录 A“烟囱施工图预算编制”和附录 C“国外设计标准简介”等内容,删除篇幅约为原手册的 1/3。同时新增了“烟囱设计概论”、“玻璃钢烟囱”、“悬挂式钢内筒烟囱”、“烟囱加固”、“露点温度”以及新材料性能介绍等内容。

本手册适用于砖烟囱、钢筋混凝土烟囱、钢烟囱、玻璃钢烟囱等单筒烟囱,以及由砖、钢、玻璃钢为内筒的套筒式烟囱和多管式烟囱设计,是《烟囱设计规范》GB 50051—2013 配套使用工具书,可作为工程设计单位、科研院所的设计、教学参考用书。

本手册于 2013 年 10 月完成审查稿,并于 2013 年 10 月 22 日在青岛完成由中国冶金建设协会组织的审查工作。审查会认为手册内容全面、实用,具有权威性,并给出评价意见如下:

1. 本手册是为配合《烟囱设计规范》GB 50051—2013 的宣贯而编写的,目的是帮助读者更好地理解和应用《烟囱设计规范》GB 50051—2013。本手册在遵循规范的基础上,在许多方面均有所提高和拓展。

2. 本手册内容全面、实用。包含了钢筋混凝土烟囱、钢烟囱、砖烟囱和玻璃钢烟囱等各种烟囱类型和形式,涵盖了天然地基、桩基础、壳体基础和烟道等内容。从烟囱形式的选择到烟囱设计的各个环节,本手册均进行了详细介绍,包括材料性能、风荷载、地震作用和温度作用的计算,烟囱防腐蚀以及设计构造和设计例题等各个方面。

3. 本手册内容先进,主要体现在以下几个方面:

(1) 对不同时期、不同地貌和不同重现期的风荷载换算进行了介绍,满足国内外工程设计需要;

(2) 首次详细给出了如何考虑风荷载和地震作用对内筒的水平和竖向振动效应的详细计算方法;

(3) 科学地对烟气腐蚀等级进行了划分,规定了防腐蚀设计准则,明确了烟囱形式的选择需要考虑的主要因素;

(4) 倡导先进理念,提倡“合理设计、正确施工、正常使用和维护”的工程建设理念,引导设计环节要考虑施工和维护的需要。

4. 本手册内容具有权威性,主要体现在以下方面:

(1) 本手册内容完全遵循《烟囱设计规范》GB 50051—2013 及有关现行国家标准,保证了所引用的基本理论、基本数据和基本公式的正确性;

(2) 本手册由规范编制人员编写,除了能够表达规范的正确含义外,还能够更加深入地解释规范内涵,并进一步拓展了规范内容;

(3) 本手册的许多规定都是建立在大量调研和试验基础上的。其中烟囱防腐蚀部分是对现有烟囱腐蚀破坏的调研、分析、总结和提炼基础上给出的;烟囱竖向地震作用的计算是建立在理论研究、试验和实际震害基础上的,体现了规范编制组的智慧;玻璃钢烟囱是在学习国外先进经验的基础上,充分了解国内实际现状,建立了一套适合中国国家标准体系的设计理论;

(4) 本手册中的烟囱计算例题,绝大部分来自实际工程,部分来自实际工程的提炼,得到了实践检验,计算过程详细,计算结果可靠。

本手册的主审部门为中国冶金建设协会,具体技术内容的解释工作由主编单位中冶东方工程技术有限公司负责。使用过程中如有意见和建议,请寄送中冶东方工程技术有限公司上海分公司(地址:上海市龙东大道3000号5号楼301室,邮政编码:201203,电子邮箱:nc11863@126.com)。

目 次

1 烟囱设计概论	(1)
1.1 烟囱的发展历史和趋势	(1)
1.2 烟囱的主要形式与选择	(3)
1.3 烟囱的主要组成部分	(5)
1.4 烟囱设计资料	(9)
2 基本规定	(10)
2.1 烟囱安全等级的确定	(10)
2.2 烟囱承载能力极限状态设计	(10)
2.3 烟囱正常使用极限状态设计	(13)
2.4 单筒烟囱设计一般规定	(15)
2.5 套筒式与多管式烟囱构造	(27)
3 材料	(28)
3.1 砖石	(28)
3.2 混凝土	(32)
3.3 钢筋与钢材	(34)
3.4 玻璃钢	(45)
3.5 耐酸浇注料	(50)
3.6 材料热工计算指标	(51)
4 荷载与作用	(54)
4.1 风荷载	(54)
4.2 地震作用	(62)
4.3 温度作用	(68)
4.4 烟气压力计算	(74)
4.5 平台活荷载与积灰荷载	(75)
4.6 覆冰荷载	(75)
5 烟囱防腐蚀设计	(77)
5.1 烟囱腐蚀与防腐蚀现状	(77)
5.2 烟囱防腐蚀基本概念与准则	(83)
5.3 烟囱形式选择	(89)
5.4 烟囱防腐蚀设计	(91)
5.5 涂装类(有机涂层内衬)烟囱防腐蚀设计	(94)
6 地基与基础	(104)
6.1 地基设计	(104)
6.2 地基计算	(107)

6.3	基础类型及其适用范围	(117)
6.4	无筋扩展基础	(118)
6.5	板式基础	(119)
6.6	桩基础	(126)
6.7	壳体基础	(134)
6.8	基础构造	(141)
7	钢筋混凝土烟囱	(146)
7.1	计算原则	(146)
7.2	附加弯矩计算	(147)
7.3	极限承载能力状态计算	(152)
7.4	正常使用极限状态计算	(155)
8	钢烟囱	(166)
8.1	一般规定	(166)
8.2	自立式钢烟囱	(170)
8.3	拉索式钢烟囱	(184)
8.4	塔架式钢烟囱	(186)
9	钢内筒与砖内筒烟囱	(210)
9.1	一般规定	(210)
9.2	自立式钢内筒烟囱	(213)
9.3	悬挂式钢内筒烟囱	(219)
9.4	砖内筒烟囱	(222)
9.5	内筒构造	(226)
10	玻璃钢烟囱	(234)
10.1	一般规定	(234)
10.2	筒壁承载能力计算	(237)
10.3	设计构造	(240)
11	砖烟囱	(242)
11.1	砖烟囱适用条件及要求	(242)
11.2	配环箍的砖烟囱	(243)
11.3	配环筋的砖烟囱	(245)
11.4	配竖向钢筋的砖烟囱	(246)
11.5	构造要求	(247)
12	烟道	(252)
12.1	架空烟道	(252)
12.2	地下烟道和地面烟道	(255)
12.3	地下水位以下烟道的防水要求	(257)
13	航空障碍灯和标志	(273)
13.1	术语和定义	(273)
13.2	一般规定	(273)

13.3	障碍灯和标志	(276)
13.4	障碍灯的分布	(276)
13.5	障碍灯的工作要求	(276)
14	烟囱基础计算实例	(277)
14.1	板式基础计算	(277)
14.2	桩基础计算	(295)
14.3	壳体计算	(296)
15	钢筋混凝土烟囱计算实例	(307)
15.1	基本资料	(307)
15.2	筒身自重计算	(308)
15.3	风荷载及风弯矩计算	(309)
15.4	地震作用及内力计算	(312)
15.5	筒身受热温度计算	(316)
15.6	附加弯矩计算	(321)
15.7	筒壁水平截面承载能力极限状态计算	(326)
15.8	正常使用极限状态计算	(336)
15.9	烟囱顶部环向配筋计算	(336)
16	套筒与多管钢筋混凝土烟囱设计实例	(344)
16.1	多管式钢内筒烟囱计算	(344)
16.2	悬挂式钢内筒烟囱计算	(352)
16.3	砖套筒烟囱计算	(362)
16.4	玻璃钢烟囱计算	(378)
17	钢烟囱计算实例	(385)
17.1	自立式钢烟囱计算	(385)
17.2	塔架式钢烟囱计算	(395)
17.3	拉索式钢烟囱计算	(407)
18	砖烟囱计算实例	(416)
18.1	基本资料	(416)
18.2	筒身自重计算	(417)
18.3	风荷载及风弯矩计算	(418)
18.4	烟囱筒身受热温度计算	(419)
18.5	筒壁水平截面承载能力计算	(422)
18.6	环箍或环筋计算	(422)
18.7	抗震计算	(425)
19	地下拱形钢筋混凝土烟道计算实例	(428)
19.1	烟道温度计算	(428)
19.2	荷载与内力计算	(434)
19.3	配筋计算	(445)

附录 A 烟囱加固	(449)
A.1 概述	(449)
A.2 一般规定	(449)
A.3 基本原则	(449)
A.4 混凝土烟囱加固的基本要求	(450)
A.5 砖烟囱加固的基本要求	(450)
附录 B 各地气象设计参数	(451)
附录 C 露点温度	(454)
C.1 大气露点温度	(454)
C.2 烟气露点温度	(454)
参考文献	(458)

1 烟囱设计概论

1.1 烟囱的发展历史和趋势

烟囱是最古老、最重要的防污染设施之一，发明极早。当原始人发现火时，同时发现了这样一个道理：哪里有火，哪里必有烟。如果说能够钻木取火利用火来烤制猎物是人类文明的开始的话，那么能够疏导燃烧所产生的烟气，则是人类文明跨入了一个重要阶段。控制烟气流动路线的装置，当然就是烟囱系统，它由烟道和烟囱两个部分组成。当把火带进室内做饭和取暖时烟也随之而入。这就迫使人们不得不设法在屋顶和墙壁上开些通气孔，以此来驱除屋内的烟雾，疏导烟气的排放，这应该是最早的烟囱。

烟囱发展到今天，人类无时无刻地在改进和利用自己发明的烟囱系统。烟囱开始是以排放烟气为目的，后来除了排放外还要对烟气加以综合利用。如寒冷地区的火炕是利用烟气排放过程的余热和火炕的蓄热功能而达到取暖的目的，现代工业的余热锅炉也是将烟气排放过程的热量加以利用的节能措施。

烟囱的改进首先体现在高度上。火的形成需要两种基本成分：燃料和氧气。当人们增加燃料时，也需要足够的氧气来维持旺盛的燃烧过程。因此有了风匣这样的原始送风系统，其目的是增加氧气量。人们很快发现，增加烟囱高度可以有效地提高烟气的抽力，加大烟气的流动速度，增加了参与燃烧的空气的补充速度，从而增加了燃烧过程中氧气的供应量，因此，人们将烟囱尽量建的高一些。让烟囱高出自己的屋面，这样除了可以提高烟气抽力外，同时还可以保证屋面系统的安全性。

“烟囱越高，排烟能力越强”成了人们的共识。大气层内的空气如同其他物质一样都有自己的重力，越靠近地球表面其压力也就越大，当某一高度的单位体积空气的自身重力和所受到的浮力相等时，它就在竖向上保持自身平衡，空气将保持一种静止状态。大气各部位气压不等时，空气将由高压的位置向相对较低的位置流动，像产生了风一样。烟囱里所排出的烟气，其温度要高于周围的空气，由于热胀冷缩，其体积膨胀、重力密度降低，烟气开始向上流动。越向上，大气气压越低，那么该部分烟气体积会进一步膨胀，由于烟囱的约束作用，烟气不能在水平方向扩散，只能继续向上流动，速度越来越快，抽力也就随着烟囱的高度增加而增加。这样，沿着烟囱高度方向，烟气对筒壁的压力也越来越大，腐蚀性介质对筒壁的渗透能力加大，导致烟囱上部腐蚀较下部严重。

当烟气离开烟囱顶部时，由于周围大气温度低于烟气温度，排除的烟气体积不会进一步膨胀，并且缺少了烟囱的水平约束会迅速向周围扩散，因而不再继续无限制地向上流动。

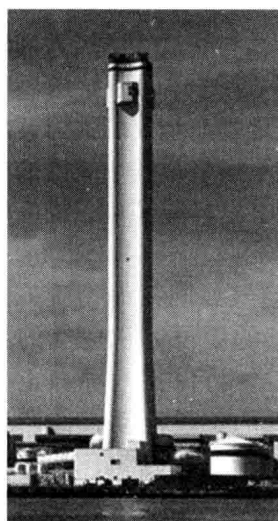
目前，中国最高的单筒式钢筋混凝土烟囱为 270m。常用的套筒或多管式钢筋混凝土烟囱高度是 240m。现在世界上已建成的高度超过 300m 的烟囱达数十座，例如苏联米切尔电站的单筒式钢筋混凝土烟囱高达 368m。

现代工业烟囱越建越高，其主要目的并不是为了增加烟气抽力，更重要的是要完成烟囱的最原始功能：减少烟囱周围环境的污染。因为随着烟囱高度的增加，其排除的烟气的扩散范围也就越大，有害物的浓度也就越低，降低了当地的被污染程度。一般来讲，烟囱的最小高度应高出周围建筑物 3m 以上。应该注意的是，烟囱高度的增加虽然可以降低有害物质的浓度，但并未减少有害物质的排放总量。要真正减少全球污染，只能从控制排放总量上入手，如烟气除尘、脱硫等就是目前主要减排措施。

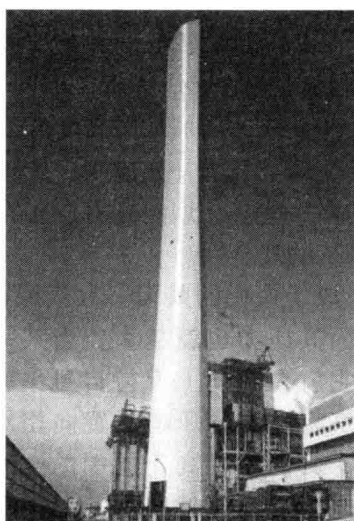
可以预见，未来的烟囱不会一味追求高度上的发展，而是功能上的拓展，这些功能主要体现在防腐蚀功能、艺术造型和“烟塔合一”功能。

烟囱的基本功能主要是排烟，但烟气具有高温、腐蚀等特点。初期的烟囱主要侧重于解决温度对烟囱的影响，随着耐高温材料的发展，这些问题目前已经被解决。特别是随着环保要求的进一步提高，腐蚀问题越来越突出，目前采用的湿法脱硫使得烟气腐蚀程度加剧，如何克服烟气腐蚀成了烟囱发展亟待解决的问题。

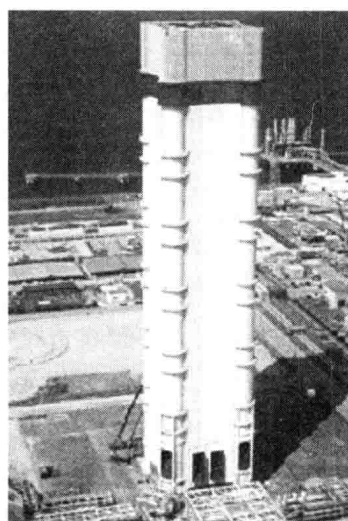
另外，人们对烟囱立面造型提出了更多的需求。以往烟囱的立面形式大多是截锥体，平截面为圆环形，这种形式多为单筒烟囱，它的受力性能较其他截面形式为最优。但随着多管和套筒烟囱的出现，使得设计者在截面形式上有了更多的选择余地，水平截面主要有：三角形、正方形、椭圆形和长圆形等，图 1-1 列举了几种烟囱形式。



(a) “凹”字形烟囱



(b) 帆形烟囱



(c) 四边形烟囱

图 1-1 烟囱形式

烟囱和水塔都是工厂所需要的构筑物，如果把二者结合到一起，便成为“烟塔合一”。“烟塔合一”有两种含义：一是将烟囱和水塔合二为一，另一种是将电厂烟囱和冷却塔合二为一。烟囱和水塔合二为一的工程实例很多，也就是把水箱外挂到烟囱的某一高度上，水箱有钢筋混凝土的，也有钢的，这样可以节约投资，减少用地面积。电厂的烟塔合一一是将烟气经过除尘、脱硫后，把烟气直接通过冷却塔排放，取消了烟囱。

普通房屋的排烟是通过在墙壁上设置烟道，通过屋顶烟囱排放的。现代社会大型的高

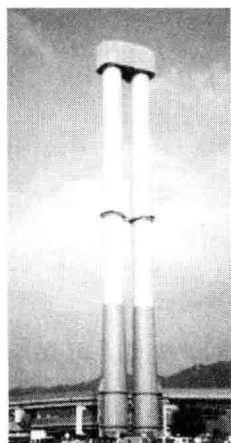
层建筑，特别是综合性高层建筑也需要烟囱。通常人们想到的是单独设置烟囱，但这样需要烟囱的高度是非常高的，至少要高出周围最高建筑物 3m 以上，同时还会占据很大的场地，这样做是非常不经济的。因此，高层建筑物外墙设置附壁烟囱或内置套筒烟囱是必然的解决途径。

1.2 烟囱的主要形式与选择

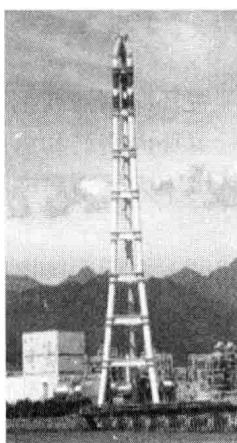
1.2.1 烟囱的主要形式

烟囱 (chimney/stack) 是一种用于把烟气排入高空的高耸构筑物。烟囱能改善燃烧条件，产生自然抽力并将烟气扩散到环保标准允许的程度。

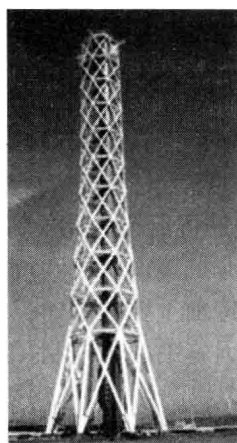
按构成结构主体的材料划分，烟囱分为砖烟囱、钢筋混凝土烟囱、钢烟囱和玻璃钢烟囱。按烟气排放方式划分，烟囱分为普通单筒烟囱、套筒烟囱和多管烟囱。其中，单筒烟囱就是内衬分段支承在筒壁上的普通烟囱；套筒烟囱是承重外筒内单独设置一个排烟筒的烟囱，外筒和内筒功能明确，便于维护；多管烟囱则是两个或两个以上排烟筒共用一个外筒壁或塔架组成的烟囱，多管烟囱也可以不用外筒壁或塔架，靠多个排烟筒组成一个共同受力体系，这时需要解决好各排烟筒之间的温度变形问题。对于钢烟囱而言，按照受力特点可以划分为：自立式钢烟囱、拉索式钢烟囱和塔架式钢烟囱 (图 1-2)。



(a) 双管烟囱



(b) 三管烟囱



(c) 塔架烟囱

图 1-2 钢烟囱

砖烟囱由于其施工简单、造价低等特点，因此应用面非常大。根据砖砌体承载能力和耐高温能力，砖烟囱最大建设高度可以达到 120m。但是高耸结构的受力特点决定了建造太高的砖烟囱是不经济的。高耸结构的主要荷载是风荷载和地震作用。在水平截面，高烟囱将不可避免地产生拉应力，砖砌体的抗拉强度是很低的，只有通过配置竖向钢筋才能够抵抗竖向拉应力。但砌体结构不可能配置过多的钢筋，这就决定了砖烟囱的建设高度不能太高。因此，《烟囱设计规范》GB 50051—2013 规定砖烟囱的最大设计高度为 60m。

钢筋混凝土烟囱可以充分发挥钢筋和混凝土两种材料的特点,可以达到很高的建造高度。国际上建造高度已接近 400m,国内也达到 270m。我国《烟囱设计规范》GB 50051—2013 规定钢筋混凝土烟囱的建造高度为 240m,当超过该高度时需要做一些专项研究。

就钢材的材料受力性能的优越性和施工的方便性来讲,钢烟囱应该有着更加广泛的应用领域,但事实上情况恰恰相反。制约钢烟囱发展的主要因素是其耐腐蚀性能。钢材无论是用于相对湿度较大的地区,还是用于排放腐蚀性较强的烟气,它易被腐蚀的弱点都暴露无遗。烟囱是一种承受高温的、完全暴露在大气中的高耸构筑物,排放的是成分复杂的腐蚀性烟气,因此,烟囱的工作环境非常恶劣。虽然钢材有着许多优点,但烟囱的使用环境和维护成本限制了它的应用。所幸的是新的耐腐蚀钢材品种和防腐蚀内衬材料的不断涌现,为钢烟囱的应用提供了发展空间。

1.2.2 烟囱形式的选择

烟囱设计包括烟囱选型、结构计算、防腐蚀与构造四个主要设计部分。

在设计烟囱时,应根据烟囱的高度、抗震设防烈度、材料供应情况、烟气腐蚀等级和施工条件等因素综合考虑确定烟囱形式。其中起决定性因素的是烟囱高度和烟气腐蚀等级,而影响烟囱高度的主要因素为风荷载与地震作用。当烟囱高度大于 60m 或抗震设防烈度为 8 度且为Ⅲ、Ⅳ类场地时,以及地震设防烈度为 9 度的地区,不宜采用砖烟囱。烟囱的具体选用条件如下:

1 砖烟囱

- (1) 非地震区,烟囱筒壁可仅配置环向钢箍或钢筋;
- (2) 地震区,烟囱筒壁应同时配置环向钢筋和纵向钢筋;
- (3) 砖烟囱适宜排放烟气腐蚀等级不大于强腐蚀性的干烟气。

2 钢筋混凝土烟囱

- (1) 非抗震设防区和抗震设防烈度不大于 9 度地区的烟囱;
- (2) 特别重要的烟囱;
- (3) 因施工条件限制,在地震区采用配纵向钢筋砖筒壁有困难时,可采用钢筋混凝土烟囱;
- (4) 普通单筒钢筋混凝土烟囱不宜用于排放湿烟气。

3 钢烟囱

- (1) 高径比大于或等于 30 时,应采用拉索式钢烟囱;
- (2) 高径比小于 30 时,可采用自立式钢烟囱,且不宜超过 80m;
- (3) 高度超过 80m 时,宜采用塔架式钢烟囱;
- (4) 钢烟囱需要根据环境与烟气的腐蚀情况,采取不同等级的防腐蚀措施。

4 玻璃钢烟囱

- (1) 自立式玻璃钢烟囱的高度不宜超过 30m;
- (2) 拉索式玻璃钢烟囱的高度不宜超过 45m;
- (3) 塔架式、套筒式或多管式玻璃钢烟囱,当采用自立式分段支承时,其每段高度不宜超过 30m;

(4) 玻璃钢烟囱适宜排放烟气温度不超过 100°C 的湿烟气或潮湿烟气。

5 套筒式与多管式烟囱

- (1) 用于烟气防腐蚀等级与烟囱安全维护等级要求较高的烟囱；
- (2) 锅炉台数较多及运行工况复杂时，采用多管式烟囱。

1.3 烟囱的主要组成部分

烟囱主要由以下几个部分组成：

- (1) 基础；
- (2) 筒身，包括：筒壁；内衬（或内筒）与隔热层（或保温层）；
- (3) 平台；
- (4) 避雷装置；
- (5) 航空障碍标志。

1.3.1 基础

基础承载着整个上部结构荷重，上部结构通过基础将荷载传递给地基。基础的大小要满足地基承载力的要求和变形要求，其埋深除与地质条件有关外，还要满足冻胀要求和稳定要求。通常情况下，基础埋深一般可取烟囱上部高度的 $1/20 \sim 1/50$ ，最终深度应以满足基础稳定和基础底部不出现拉应力为原则。

基础的形状以圆形和环形居多。圆形和环形（包括壳体基础）是最适合上部结构受力特点的，是最为经济的烟囱基础形式。当地下空间受周围建筑限制时，也可采用正多边形基础。

基础的形式主要有毛石基础、素混凝土基础和钢筋混凝土基础。毛石基础和素混凝土基础为刚性基础，多为环形，主要用于砖烟囱（见图 1-3）。钢筋混凝土基础应用最为广泛，包括圆板基础、环板基础和壳体基础，其中壳体基础受力最为合理和经济（见图 1-4）。但由于壳体基础施工难度较大，施工质量不易保证，因此应用较少。在壳体基础中应用较多的是正倒锥组合壳。

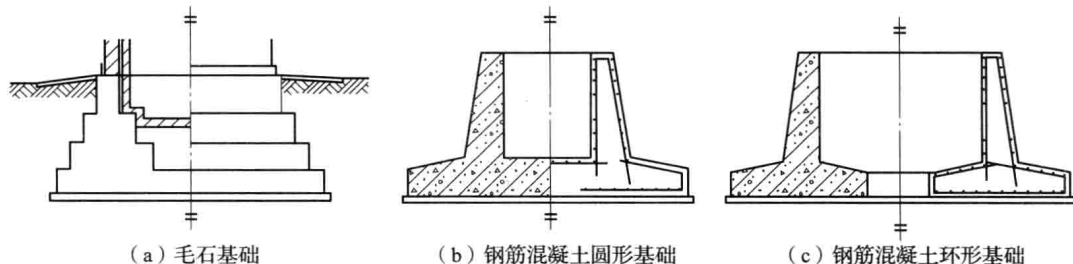


图 1-3 无筋扩展基础与板式基础

在设计时，钢筋混凝土圆板基础和环板基础（通常称板式基础）应该进行形状上的优化，否则会造成混凝土量的极大浪费。经验表明，当基础设计不当时，基础混凝土用量可能是上部结构混凝土用量的一倍以上。当由于地基条件限制，基础形状不能优化时，可以调整筒身坡度来达到综合优化指标。