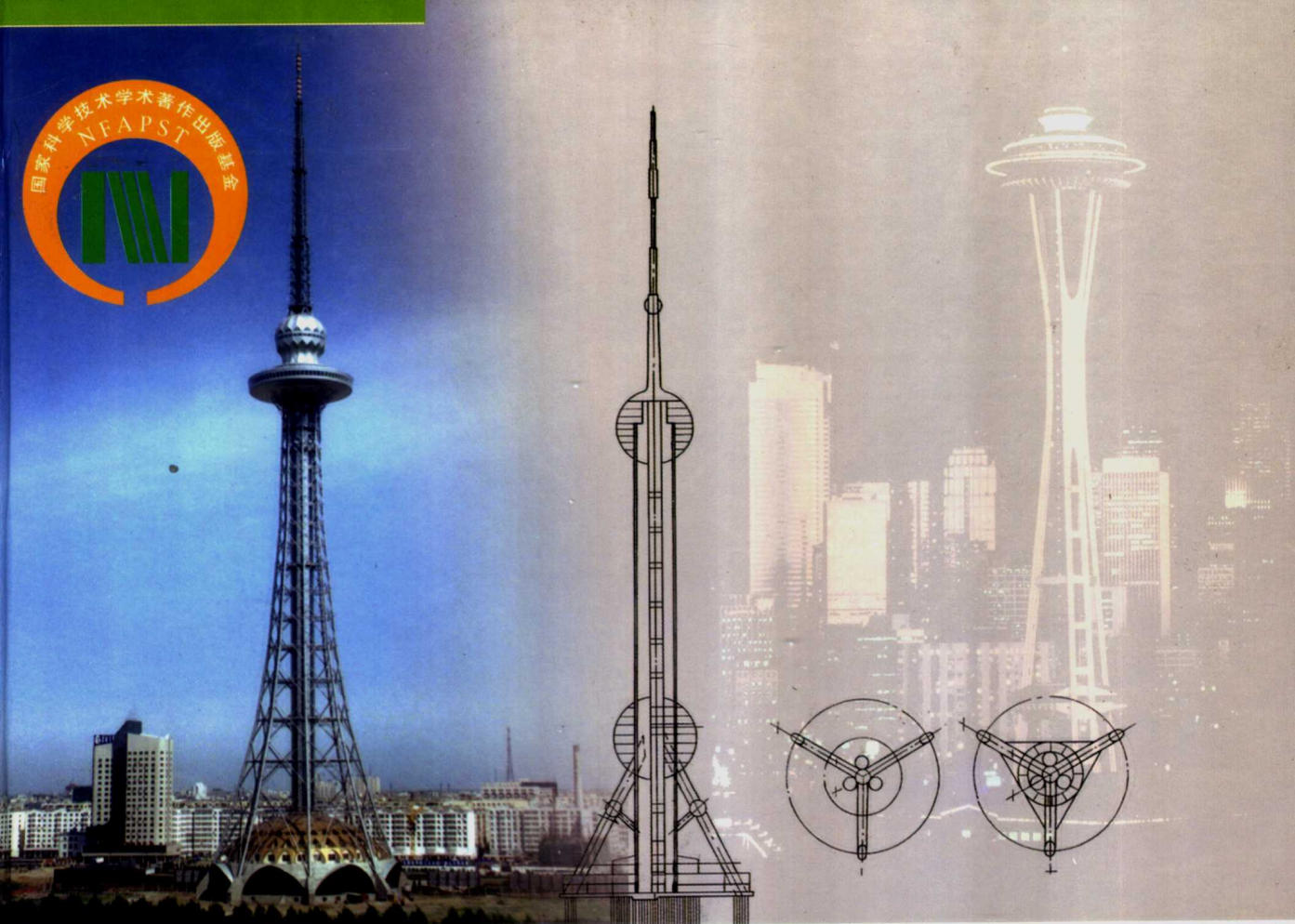




塔式结构

王肇民 马人乐 等 / 编著



科学出版社

www.sciencep.com

塔 式 结 构

王肇民 马人乐 等 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述了塔式结构的选型、布置与构造设计、计算荷载与作用力、塔的静力和动力分析、钢塔和混凝土塔结构细部设计、塔式结构振动控制以及塔的基础设计等。

本书在总结近年来国内外学者和作者关于塔式结构的设计经验和研究成果的基础上,对塔式结构的分析计算和设计方法做了较全面的介绍。本书可供土木工程有关专业的科研、设计、施工人员和研究生以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔式结构/王肇民,马人乐等编著. —北京:科学出版社,2004
ISBN 7-03-012847-8

I. 塔… II. ①王…②马… III. 建筑结构,塔式 IV. TU399

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 010562 号

责任编辑:杨家福 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:吕春珉 / 封面设计:高海英

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004 年 5 月第一次印刷 印张:28 1/2

印数:1—3 000 字数:657 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

塔式结构和桅杆结构是同一类型的结构,都是高度较大、横截面较小、风荷载起主要作用的构筑物。《桅杆结构》一书已于 2001 年由科学出版社出版,本书为其姊妹篇。

20 世纪 70 年代以来,我国塔式结构建设在各个领域得到迅猛发展,其应用范围和数量不断扩大,已广泛应用于广播电视、邮电通讯、输电线路、海空导航、气象监测、环境保护、旅游观光、市政建设等领域,发展前景极为广阔。

1972 年同济大学承担了国内首座大型带塔楼的钢管结构电视塔(高度 210 m)设计工作。该塔运用整体空间桁架法进行内力分析,采用全焊结构、现场拼装、整体架设的施工方法,塔的结构设计与施工在国内外均属首例,荣获 1977 年上海科学大会重大科技成果奖、1978 年全国科学大会重大科技成果奖以及 20 世纪 70 年代上海市优秀设计奖。

在 20 世纪 80 年代,我国塔式结构建设速度加快,数量急剧增多,特别是大型多功能电视塔的建设,促使设计理念与计算机理论突飞猛进,但还有许多课题亟待研究解决。同济大学高耸结构课题组在这种背景下开展了广泛深入而系统的研究工作。先后得到以下项目的资助:上海市自然科学基金(88)(BF03816);上海市科委科技攻关招标项目(1991~1993);国家自然科学基金项目(59239163,59778083,50078040,50178052);高等学校博士点专项科研基金(1995~1998);土木工程防灾国家重点实验室基金项目(9607);中国博士后基金和上海市博士后基金(1995~1997)等。我们结合汕头电视塔(212m)、青岛电视塔(236m)、佛山电视塔(230m)、长沙电视塔(200m)、开封电视塔(258m)、洛阳电视塔(268m)、焦作电视塔(238m)、泰州电视塔(218m)、绍兴电视塔(218m)、黑龙江(哈尔滨)电视塔(338m)等 20 多座大型多功能塔的设计,对电视塔进行了广泛研究,先后进行了两次塔式结构风振控制风洞试验、塔式结构振动控制地震台试验和黑龙江电视塔振动控制的实测。

理论与试验研究结合工程设计的实践取得了丰硕的成果:

(1) 电视塔结构的静力与动力计算理论的长足进步。

钢结构电视塔为多边形空间桁架,以往对这种高次超静定结构静力分析常常做出许多假定,其中有简化空间桁架法、分层空间桁架法等,计算简单而不够精确,约有 10% 的误差。经过理论和试验研究,提出用“整体空间桁架法”进行电视塔的非线性分析,计算精度大大提高。同时用等价线性化法对整体空间桁架进行非线性动力分析,这种实用型计算方法综合考虑了结构大位移、 $P-\Delta$ 效应、杆件初弯曲、材料弹塑性等多种非线性因素影响。通过工程实例计算及模型试验验证,证明这种计算方法是有效可行的,有相当的精确度,能节约钢材,已用于多个大型多功能钢结构电视塔工程设计。212m 汕头电视塔用这种方法设计经受了大风考验,1992 年夏天一场十六级台风过境,该塔在大幅度摇摆后居然没有损坏一根杆件而创造了奇迹。大量实际工程考验证明了这种方法的可靠性和有效性,由此而产生了巨大的经济效益和社会效益。

(2) 钢结构电视塔新结构体系的大量涌现。

20 世纪 80 年代开始,我国电视塔的建设数量之多,建设时间之集中,在世界上也很少见。现代电视塔已成为一个城市的标志性建筑和地区的象征。在承担国内许多大型多功能钢结构电视塔设计中,由于采用“一塔一设计”,运用“塔的个性化”设计思想,首创了许多颇具特色的塔型及新结构体系,从而领导了我国钢结构电视塔设计主流。

在钢结构电视塔设计中,除了传统的三、四、六、八边形截面外,还采用了正五边形(青浦塔)、正九边形(洛阳塔)等特殊造型,塔楼使用了网架结构、悬挂结构等新结构体系,有球型塔楼、碗型塔楼、碟型塔楼等许多新颖别致的造型。钢结构电视塔除应用轴对称多边形空间桁架外,还设计了双曲抛物面形状的河源电视塔、不对称螺旋形南海明珠塔等。形状各异的电视塔大大丰富了城市景观,同时也丰富了我国电视塔的造型艺术。

(3) 高耸结构上首次设振动控制装置。

随着新材料、新技术的应用,电视塔更趋向于大型多功能化,高柔特性愈加明显,特别是在强风作用下会产生剧烈振动和变形,影响结构正常使用,因此必须实施结构的振动控制。在对电视塔的风振控制和地震控制进行深入的理论研究和风洞试验及地震台试验的基础上,我们提出了一系列行之有效的实用设计方法,并先后在上海奉贤电视塔、青浦电视塔、河南开封电视塔、黑龙江电视塔上分别安装了调频质量阻尼器(TMD)、调频弹簧阻尼器(TSD)和粘弹性耗能器(VED)。高耸结构振动控制的理论研究和工程实践取得的重要成果填补了国内的空白,推动了我国振动控制技术的发展。

此外,电视塔带有的巨型塔楼风振系数计算问题、截面不对称结构弯曲扭转耦联振动的动力计算问题、高寒地区电视塔内外温差及温度效应问题等,这些高耸结构重大课题的研究取得了新进展。

同济大学高耸结构课题组在塔式结构理论研究、试验分析和工程设计等方面开展大量工作的同时,又组织编制国家标准《高耸结构设计规范》(GBJ135-90)、中国工程建设标准化协会标准《塔桅钢结构施工与验收规程》(CECS80:96),培养 30 多名博士生,发表论文 200 余篇,并先后获得国家教育委员会(教育部)科学技术进步三等奖(1994)、二等奖(1997)、一等奖(1999),以及国家级科学进步二等奖(2000)。这些科研成果和设计经验都在本书中有所反映。

本书全面阐述塔式结构的静力、动力分析,选型与构造,以及试验与实测结果。全书共分十章:第一章综述塔式结构特点、应用以及国内外钢塔与混凝土塔工程实例;第二、三章介绍塔的选型、布置和构造设计;第四章介绍计算荷载与作用力;第五、六章分别阐述钢塔的静力与动力分析;第七、八章分析钢塔与混凝土塔的细部设计;第九章为塔式结构振动控制;第十章为塔的基础设计。书中还列有可供参考的塔式结构静力与动力计算实例以及风洞试验与现场实测的部分成果。

同济大学高耸结构课题组编写本书的王有肇民教授、马人乐教授、何敏娟教授、邓洪洲副教授、罗烈副教授、颜明忠副教授、沈之容博士、马星博士。

王肇民

2003 年 5 月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
1.1 塔式结构的特点	1
1.2 塔式结构的应用	2
1.3 钢塔工程实例	3
1.3.1 国外钢塔工程实例	3
1.3.2 我国钢塔工程实例	13
1.4 钢筋混凝土塔工程实例.....	34
1.4.1 国外钢筋混凝土塔工程实例	34
1.4.2 我国钢筋混凝土塔工程实例	66
1.5 混合塔结构工程实例.....	79
第二章 塔的主体结构布置	87
2.1 塔式结构的功能.....	87
2.2 塔式结构的分类.....	87
2.2.1 钢结构塔架的几何形体	88
2.2.2 钢塔构件截面形式	89
2.2.3 空间桁架塔斜腹杆性质	89
2.3 正多边形截面钢塔的主体结构选型.....	90
2.3.1 钢塔的立面和平面布置	90
2.3.2 钢塔的腹杆形式和布置	91
2.3.3 钢塔的外轮廓线.....	92
2.4 双曲抛物面塔主体结构选型.....	92
2.4.1 双曲抛物面塔结构组成	92
2.4.2 双曲抛物面塔结构形式	93
2.4.3 双曲抛物面塔结构构造	94
2.5 组合型塔的结构选型.....	95
2.6 钢筋混凝土塔主体结构布置.....	96
2.6.1 钢筋混凝土塔的历史和发展	96
2.6.2 钢筋混凝土塔的选型	97
第三章 塔式结构构造设计	101
3.1 圆钢塔的构造设计	101
3.1.1 圆钢塔的构件形式	101
3.1.2 圆钢塔的结构构造	101
3.1.3 圆钢格构式横杆构造	103

3.2 角钢塔的构造设计	104
3.2.1 角钢柱的拼接连接	104
3.2.2 角钢塔腹杆节点构造	105
3.3 钢管塔的构造设计	105
3.3.1 钢管塔的特点	105
3.3.2 钢管塔的节点构造	106
3.4 钢筋混凝土塔的构造设计	107
3.4.1 塔的基础	107
3.4.2 塔身	109
3.4.3 塔楼	110
3.4.4 钢筋混凝土塔与钢天线连接	111
第四章 计算荷载与作用力	113
4.1 荷载与作用分类	113
4.2 风荷载	113
4.2.1 风的形成	113
4.2.2 风的基本特性	114
4.2.3 空气动力学与风荷载	117
4.2.4 风荷载的模拟	122
4.2.5 风振系数的计算	124
4.2.6 拟静力风荷载计算	126
4.2.7 横风向风振等效静力风荷载计算	128
4.3 覆冰荷载	129
4.3.1 覆冰荷载分布	130
4.3.2 覆冰荷载计算	130
4.4 地震作用	131
4.4.1 地震波与地震反应特性	131
4.4.2 地震分布、震级和地震烈度	133
4.4.3 单自由度弹性体系的地震反应分析	135
4.4.4 多自由度弹性体系的地震反应分析	140
4.4.5 地震反应谱	145
4.4.6 竖向地震作用计算	147
4.4.7 风荷载和地震作用比较	148
4.5 温度作用	149
4.5.1 温度作用的表现和机理	149
4.5.2 温度作用的计算	150
4.5.3 日照作用	151
4.6 其他荷载	151
4.7 荷载与作用的组合	152
4.7.1 抗风和抗震设计基本组合	152

4.7.2 正常使用的控制条件	154
4.8 风荷载与地震作用计算实例	155
4.8.1 钢塔风荷载计算实例	155
4.8.2 钢塔地震作用计算实例	157
4.8.3 钢筋混凝土塔风荷载计算实例	161
附录 4.1 蒲福风力等级	163
附录 4.2 中国地震烈度(1980)	164
附录 4.3 夏季太阳总辐射照度	165
第五章 钢塔静力分析	179
5.1 整体空间桁架法计算构架式钢塔	179
5.1.1 整体空间桁架法计算图式	179
5.1.2 杆件坐标变换与刚度矩阵	180
5.1.3 作用在塔架节点上的荷载	181
5.1.4 钢塔正则方程及其解	182
5.2 钢塔的非线性静力计算方法	183
5.2.1 钢塔非线性静力计算简介	183
5.2.2 空间桁架整体变形的非线性影响	183
5.2.3 塔架中具有初弯曲的单根杆件受压后弯曲变形的非线性作用计算	184
5.2.4 塔架结构大位移的非线性作用计算	185
5.2.5 柔性斜腹杆结构对刚度矩阵的修正	188
5.2.6 普通螺栓抗剪连接时栓、孔滑移对塔架结构计算的非线性影响	188
5.3 双曲抛物面塔的非线性有限元算法	189
5.3.1 柔性双曲抛物面塔的计算	189
5.3.2 刚性外筒的双曲抛物面塔的计算	190
5.4 整体空间桁架法电算方法简介	191
5.4.1 适用范围	191
5.4.2 软件功能	191
5.4.3 基本计算原理及具体方法	191
5.5 钢塔静力计算实例	194
5.5.1 五边形电视塔结构静力计算	194
5.5.2 六边形电视塔结构静力计算	195
第六章 塔的动力分析	202
6.1 塔的动力特性及计算模型	202
6.1.1 塔的计算模型	202
6.1.2 塔的动力特性	204
6.2 塔的风振分析	205
6.2.1 塔的动力反应分析方法	205
6.2.2 频域响应分析	206
6.2.3 时域响应分析	208

6.3	塔的抗震计算	211
6.3.1	塔的地震作用分析方法	211
6.3.2	水平和竖向地震反应分析	212
6.3.3	地震作用下结构反应计算	213
6.4	塔的非线性动力分析	216
6.4.1	钢塔抗风极限状态分析	216
6.4.2	等价线性化方法计算钢塔非线性振动	218
6.5	高层建筑楼顶钢塔风振响应分析	223
6.5.1	楼顶塔简化计算模型	223
6.5.2	楼顶塔拟静力风荷载实用计算	225
6.6	塔动力分析实例	227
6.6.1	钢塔风振计算实例	227
6.6.2	钢塔地震计算实例	234
6.6.3	混凝土塔的风振与地震计算	244
6.6.4	钢塔架抗风极限状态分析实例	247
6.6.5	等价线性化法分析钢塔非线性振动计算实例	253
6.6.6	楼顶塔计算实例	257
第七章	钢塔结构构件及其细部设计	258
7.1	钢塔主体结构杆件的强度及稳定设计	258
7.1.1	轴心受力杆件的强度和稳定计算	258
7.1.2	偏心受力杆件的强度和稳定计算	261
7.2	钢塔节点设计	262
7.2.1	部分刚接节点	262
7.2.2	铰接节点	269
7.3	钢塔横膈设计	272
7.3.1	横膈的作用	272
7.3.2	横膈的布置原则	274
7.3.3	横膈的受力计算	275
7.3.4	横膈的连接	276
7.4	钢塔塔楼及平台设计	276
7.4.1	塔楼类型	276
7.4.2	塔楼楼板、屋面板的典型构造及设计荷载	277
7.4.3	钢塔塔楼结构体系	278
7.5	钢塔井道设计	281
7.5.1	井道的使用功能及建筑设计	281
7.5.2	井道的结构功能及结构设计	282
7.6	单管塔设计	284
7.7	刚架式塔设计	284
7.8	楼顶塔设计	285

7.9 预应力柔性斜腹杆钢塔设计	286
第八章 钢筋混凝土塔结构细部设计	288
8.1 钢筋混凝土塔计算原理	288
8.2 钢筋混凝土塔位移和附加弯矩设计	290
8.2.1 圆筒形塔身的水平变位	290
8.2.2 塔身附加弯矩计算	291
8.2.3 地震作用下的附加弯矩计算	295
8.2.4 塔楼集中荷载作用下的附加弯矩计算	296
8.3 塔筒水平截面强度计算	297
8.3.1 塔筒截面无孔洞	297
8.3.2 塔筒受压区有一个孔洞	298
8.3.3 塔筒截面上有两个孔洞	299
8.4 塔筒正常使用极限状态计算	299
8.4.1 轴向力对截面圆心的偏心距 e_{0k}	299
8.4.2 截面核心距 r_{co}	300
8.4.3 塔筒水平截面的应力	300
8.5 塔筒裂缝宽度计算	303
8.6 钢筋混凝土塔筒的构造特点	304
8.7 钢筋混凝土塔计算实例	307
8.7.1 钢筋混凝土塔静力计算实例	307
8.7.2 电视塔塔筒变形和附加弯矩计算实例	309
附录 8.1 环形截面几何特性计算公式	310
第九章 塔式结构振动控制	313
9.1 塔式结构振动控制概况	313
9.1.1 振动控制的发展	313
9.1.2 我国塔式结构振动控制研究	314
9.1.3 国内外塔式结构振动控制工程实例	315
9.2 TMD 振动控制	316
9.2.1 TMD 控制原理	316
9.2.2 TMD 的构造	318
9.2.3 TMD 风振控制理论	319
9.2.4 TMD 控制参数研究	324
9.3 TSD 振动控制	327
9.3.1 TSD 的构造	327
9.3.2 TSD 风振控制时域分析	327
9.3.3 TSD 风振控制频域分析	329
9.3.4 用 MTMD 理论设计 TSD	330
9.4 粘弹性阻尼器风振控制	331

9.4.1	粘弹性材料的耗能机理	331
9.4.2	粘弹性材料的力学性能	331
9.4.3	影响粘弹性材料性质的因素	333
9.4.4	粘弹性阻尼器的型式与计算模型	334
9.4.5	粘弹性阻尼器控制原理及参数分析	335
9.4.6	粘弹性阻尼器的等效阻尼比	338
9.5	振动控制设计实例	339
9.5.1	青浦电视塔动力特性及风振响应	339
9.5.2	TMD 单点控制设计	340
9.5.3	多个 TSD 对第一振型的多点控制	341
9.5.4	MTSD 风振控制	342
9.6	塔式结构振动控制试验和实测	344
9.6.1	振动控制风洞试验	344
9.6.2	电视塔控制地震台试验	355
9.6.3	振动控制实测	358
第十章	塔的基础设计	369
10.1	塔式结构基础选型及设计要求	369
10.1.1	塔式结构基础特征	369
10.1.2	塔式结构浅基础类型及布置	370
10.1.3	塔式结构深基础类型及布置	372
10.1.4	岩石锚杆基础	373
10.1.5	塔式结构基础设计要求	374
10.2	地基承载力验算	375
10.2.1	地基承载力验算	375
10.2.2	基底压力计算	378
10.2.3	软弱下卧层承载力验算	379
10.2.4	岩石锚杆基础承载力计算	381
10.3	基础抗拔与抗滑移	382
10.3.1	基础抗拔验算	382
10.3.2	基础抗滑移验算	386
10.4	塔式结构浅基础设计	388
10.4.1	板式基础的设计内容	388
10.4.2	钢塔连梁加独立扩展板式基础设计	389
10.4.3	钢筋混凝土塔圆(环)形板式扩展基础设计	394
10.5	塔式结构桩基础设计	400
10.5.1	塔式结构桩基础设计要求	400
10.5.2	塔式结构桩基础设计内容	401
10.5.3	塔式结构桩基础构造	408
10.6	塔式结构的基础沉降问题	409

10.6.1 塔式结构基础沉降问题	409
10.6.2 塔式结构基础沉降的验算	411
10.6.3 基础倾斜的验算	413
10.7 塔式结构基础计算实例	415
10.7.1 基础抗拔与抗滑移稳定计算	415
10.7.2 浅基础计算	417
10.7.3 桩基础计算	423
10.7.4 基础沉降计算	429
附录 10.1 钢筋混凝土矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算系数	431
附录 10.2 不同荷载作用下的平均附加应力系数 $\bar{a}$	432
参考文献	441

第一章 绪 论

1.1 塔式结构的特点

高耸结构是一种高度较高、横截面相对较小、横向荷载起主要作用的细长构筑物。高耸结构又可分为自立式的塔式结构和拉线式的桅式结构两类。

塔式结构固定于地面，其力学模型相当于悬臂梁，在横向荷载作用下，上部截面较小，下部截面较大，形成“宝塔”状。桅式结构依靠斜向拉线而站立，其力学模型相当于弹性支座连续梁，杆身几乎可用等截面，斜向拉线占地较大(图 1-1)。

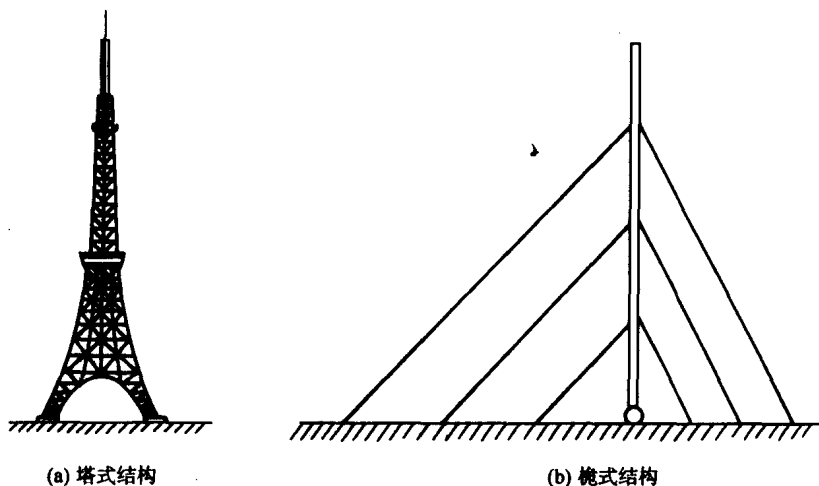


图 1-1 高耸结构分类

塔式结构的优点是：结构紧凑美观，可造就众多外形，很符合现代建筑美学要求，占地较小，适合于城市建造，满足功能、观赏双全的建筑，成为标志性景观；同时，塔式结构刚度较大，能满足变形受限制的工艺要求。其缺点是材料较费，造价较高。桅式结构正好与塔式结构相反，在相同高度、相同使用功能情况下，桅式结构造价仅及塔式结构的 20%~30%。

许多高耸结构并不完全严格分成上述两种类型，有些烛台式电视塔，如 298m 的美国旧金山电视塔[图 1-2(a)]，塔顶平台矗立三根电视天线桅杆，塔上有桅。另一些烛台式电视桅杆，如 471m 的美国 Stockton-Sacramento 电视桅杆[图 1-2(b)]，杆身顶端平台却有三根自立式小塔，装设了电视天线。

国外还有一座电视塔就是 390m 的荷兰 Lopik 电视塔(图 1-114)，下面是圆筒形高楼(塔)，顶部为拉线式桅杆，纤绳拖到地面，杆身装设电视天线；这种上面是“桅”、下面是“塔”的结构形式可称为“塔桅结构”。

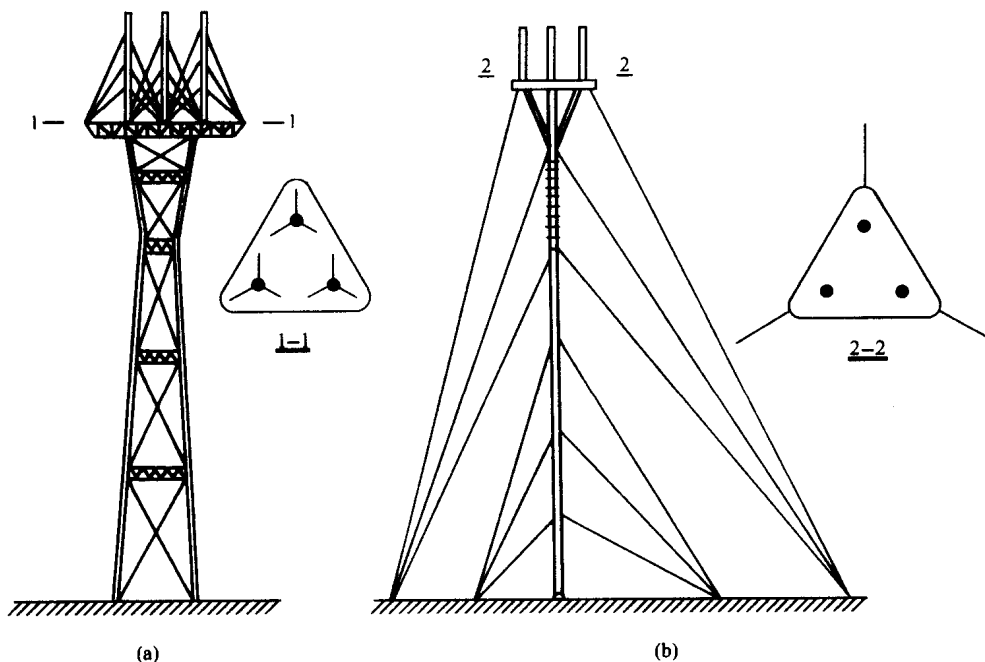


图 1-2 烛台式电视塔和电视桅杆

塔式结构按材料分有钢结构和钢筋混凝土结构两类。钢结构多数是空间桁架结构,少数低矮的钢塔也有采用大直径单管塔(通讯塔)。钢筋混凝土塔多数为圆筒形结构,高度不大的水塔采用构架式结构。

钢结构塔的优点是结构玲珑剔透,外形丰富多彩,构件可在工厂预制、工地安装,质量保证,工期缩短;但钢结构防火、防锈性能较差。钢筋混凝土塔外观厚实,立面变化较少,多数为现场浇筑施工,受到季节影响,其防火防腐较钢塔要好。由于钢筋混凝土塔较重,增加了地基基础的投资,地震区对钢筋混凝土塔更为不利。

1.2 塔式结构的应用

塔式结构的应用几乎涵盖整个工业部门,广播、电视、通讯等事业单位自然少不了要建无线电塔、电视塔、微波通讯塔,其目的是把各种天线通过塔“举”到一定高度来满足工艺要求。在电力、冶金、石油、化工、邮电、交通、旅游等企事业部门,各种高耸结构如烟囱、水塔、钻井塔、冷却塔、排气塔、跳伞塔、导航塔、瞭望塔、照明塔、风动机塔、指示灯塔、输电线塔、火箭发射塔、天文观测塔、石油化工塔、交通指挥塔、测量测绘塔、大气监测塔等,都有各自用途。此外,建筑施工用的塔式起重机也是一种高耸结构。

各种用途的高耸结构中,大型多功能电视塔独占鳌头,它的高度最高,100 多米甚至五六百米。因为电视天线位置越高,电视覆盖面积越大(当然还要有一定的发射功率),在大城市中,电视塔高度要很大才能满足要求。此外电视塔还是一个登高瞭望的最佳旅游中心,塔上所设有的巨大塔楼兼作商业、餐饮活动,为此,服务配套设施如电梯、供水、消防等都得跟上。因为人要上去,塔楼在大风时不能摇晃太厉害,以免使人感到不舒服,需设振动

控制装置。大型多功能电视塔除了电视发射功能外,拥有的制高点还兼作旅游、气象、电讯、交通指挥、火警瞭望等用途。因此,电视塔是较为复杂的一种高耸结构。

1.3 钢塔工程实例

1.3.1 国外钢塔工程实例

1. 巴黎 Eiffel 铁塔

巴黎 Eiffel 铁塔(图 1-3),建于 1889 年,塔高 321m,是最古老的高耸钢结构。该塔原为庆祝法国大革命(1789 年)100 周年举办博览会而建造,塔由设计建筑师 A. G. Eiffel 而得名。后来塔上装设了无线电天线,又加设了电视天线,成为了电视发射塔,兼作为旅游观光之用。该塔为四边形铆接结构,塔脚边宽 80m,塔脚为由四个角铁和扁铁构造的空间桁架塔柱(图 1-4)。全塔用钢量约 8500t。

Eiffel 铁塔闻名于世,现已达百岁高龄,经过整修后仍然灿烂夺目。每年参观 Eiffel 铁塔的人数达六百万。铁塔在使用过程中转换过六种不同的颜色,其夜间各种各样的灯光效



图 1-3 巴黎 Eiffel 铁塔

果装饰了铁塔结构并点缀了整个巴黎夜景。



图 1-4 Eiffel 铁塔塔脚

2. 乌克兰基辅电视塔

基辅电视塔(图 1-5),始建于 1968 年,建成于 1973 年,塔高 380m,位于乌克兰首都基辅,是目前世界上最高的钢结构塔。其中塔身高 239.5m,其上部天线高 140.5m。电视塔底部为四边形,塔的主体部分的标高为 73~200m,为正八边形,其外接圆直径为 20m,塔身由空间桁架组成,在标高 40~73m 处伸出四条空间桁架结构的支腿扩展到地面,塔底脚间距为 90m,在标高 75m 处设有一层微波机房、瞭望台等。240m 以上为圆筒形天线部分,电梯井道设在塔中央,直径为 4m(图 1-6)。

天线自上而下按下列布置:标高 372m 以上为分米波天线;标高 350~372m 为直径 720mm 的圆柱形天线杆,上为 IV 频道天线;标高 335.8~350m 之间为直径 $\phi 1720$ mm 的圆柱形天线杆,上为 III 频道天线;标高 312~335.8m 之间为直径 2600mm 的圆柱形天线杆,上为 II 频道天线;标高 280~312m 之间为直径 3000mm 的圆柱形天线杆,上为超短波无线电调频天线;标高 244.8~280m 之间为直径 4000mm 的圆柱形天线杆,上为 I 频道电视天线。

塔身采用 138H3(前苏联标准)高强度焊接钢管,全部采用焊接结构,总用钢量约为 2800t。

3. 乌兹别克斯坦塔什干电视塔

塔什干电视塔(图 1-7),高 375m,位于乌兹别克斯坦的塔什干市,是一座造型别致、独一无二的电视塔。塔什干是一个国际化城市,广播和电视用多种语言播放。电视塔的设计结合了塔什干当地的人文和历史背景,是集旅游、气象、广播、电视发射、通讯功能为一体的电视塔。塔上设置的气象站为当地的农业提供了气候变化信息,每年接待的游客约 71 000 人。

塔的主体结构为钢结构。塔中央竖立一个垂直的、直径为 27.2~11.6m 的空间格构式桁架,作为主要承重结构,并兼作垂直交通通道;在标高约 70~90m 处布置三个平面夹

角为 120° 的钢筋混凝土柱作为斜撑。这种设计既美观别致,又符合结构受力特点:采用钢结构作为主柱大大减轻了结构的自重,具有较高的抗震效果;三个混凝土斜撑增加了结构的刚度,使钢结构塔身不必采用抛物线的造型,减小了钢结构塔脚的跨度和计算长度,节约了大量的钢材。我国上海东方明珠电视塔(钢筋混凝土结构)的下塔身设计与此相类似。

电视塔建筑面积为 $12\,600\text{m}^2$ 。沿塔身设有上、下两个钢结构塔楼,铺设大理石墙面和大理石地板。下塔楼位于标高 97.3m 处,设有两种风格的餐厅,蓝色餐厅和红色餐厅,分别位于标高 105m 、 109m 处。电视天线段长 155m ,重 5t 。

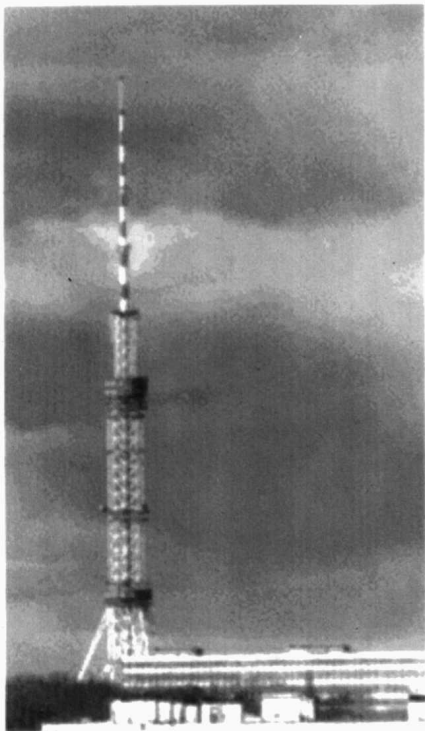


图 1-5 基辅电视塔

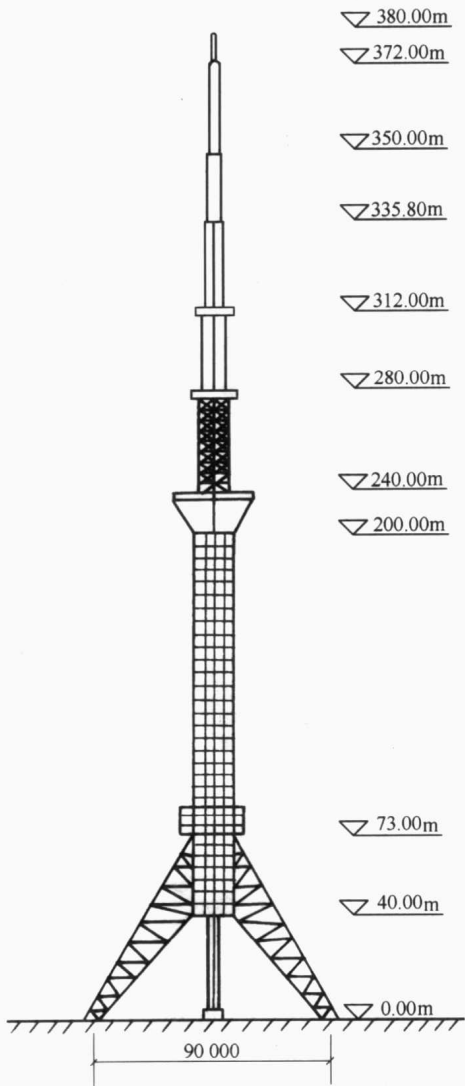


图 1-6 基辅电视塔结构立面图

塔内有三部电梯作为垂直交通,时速 14km/h ,载重 6 人,最快 30s 可达塔楼餐厅;还设有走梯,台阶 1200 个,直达塔顶。

电视塔所处的位置为中亚地震带,抗震设防为 9 度,最大设计风速为 108km/h ,塔顶