

混凝土电视塔

混凝土电视塔多建于大、中城市，承担广播电视发射和节目传递、旅游观光等任务，一般被看成所在城市的象征性建筑。设计时应和建筑等有关专业配合制定设计方案。混凝土电视塔的特点是高度较大、横截面较小、风荷载起主要作用、结构自重不可忽视。结构选型应力求布置合理、受力明确、截面简单对称、减少风载，并合理选材，通过计算优化结构。构造上应力求力的传递简捷，避免或减少局部效应，达到安全、适用、耐久的目的。

1.1 概 述

塔体结构大部分或全部由混凝土构成的电视塔称为混凝土电视塔，它由塔体、桅杆、塔楼、塔基础组成。塔基础顶面以上竖向布置的受力结构称塔体。塔楼以上的塔体部分称桅杆，主要用于安装发射天线，桅杆可由混凝土和钢结构构成。塔体中部或顶部的建筑由单层或多层空间组成，部分或大部分挑出塔体外部称为塔楼。塔体和地基间，承受塔体各作用的结构称为塔基础。

由于电视广播和电信事业在科学技术上的迅速发展。20世纪50年代以来，国外兴建了大量各种类型的电视塔。早在1956年德国首先用钢筋混凝土建成斯图加特电视塔，高度为217m；以后又在多特蒙德、汉堡、慕尼黑和法兰克福等地建造了更高的电视塔。除欧洲的一些国家之外，非洲、美洲和亚洲的一些国家也都相继建造了钢筋混凝土电视塔。目前世界上最高的钢筋混凝土电视塔在加拿大多伦多，高度为553m；其次是俄罗斯的奥斯坦金电视塔，高度为533m。

国外部分钢筋混凝土电视塔外形和高度如图1.1所示，材料用量和投资如表1.1所示。

我国电视塔的发展也非常迅速，如北京中央电视塔，高405m；天津电视塔，高415.2m；西安电视塔，高245m；辽宁电视塔，高305.5m；上海电视塔，高450m等。

这里简单介绍几座较典型的混凝土电视塔情况。

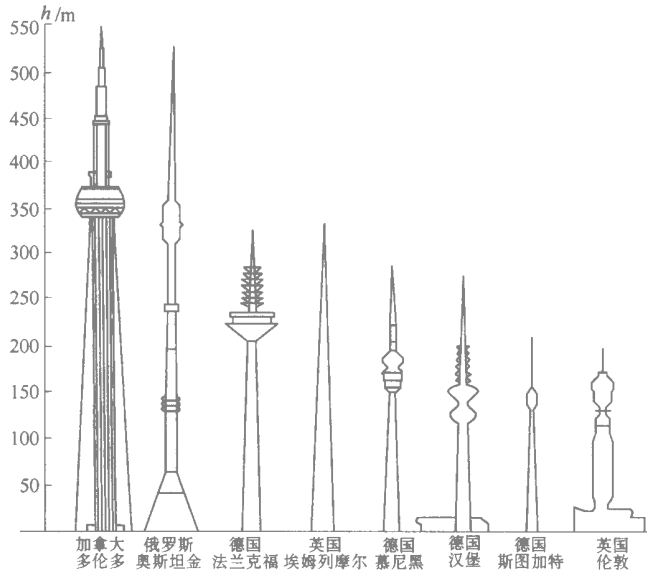


图 1.1 国外部分混凝土电视塔外形和高度

表 1.1 国外部分钢筋混凝土电视塔高度、材料用量和投资

名 称	高度/ m	钢材用量/ t	混凝土用量/ m ³	投 资
加拿大多伦多电视塔	553.3	6 600	40 500	3 500 万美元
俄罗斯奥斯坦金电视塔	533.3	8 344	20 000	
英国埃姆列摩尔电视塔	330	670	7 000	65 万英镑
德国慕尼黑电视塔	290	2 435	20 700	2 000 万德国马克
德国汉堡电视塔	284	1 430	101 200	3 000 万德国马克
德国斯图加特电视塔	211	211	1 960	370 万德国马克

1. 加拿大多伦多电视塔

该塔高 553 m 开工日期 1973 年 2 月 交工日期 1975 年 4 月 全塔由基础、塔体、塔楼、天线桅杆四部分组成 如图 1.2 所示。

(1) 基础 基础深 15.24 m 底板为预应力混凝土结构 厚 5.5 m 塔体平面形状为 Y 字形, 在地面近基础处的三个等翼边长 50.9 m。浇筑 7 000 m³ 的大体积混凝土, 施工时采用低热水泥, 并分层浇筑, 采用滑模工艺施工。

(2) 塔体: 塔体由三翼围绕核心筒, 三翼之间还夹着三个井筒; 三翼由底面向上逐步缩小, 到顶标高为 404.47 m, 核心筒从底标高一直到 446.54 m(滑模顶

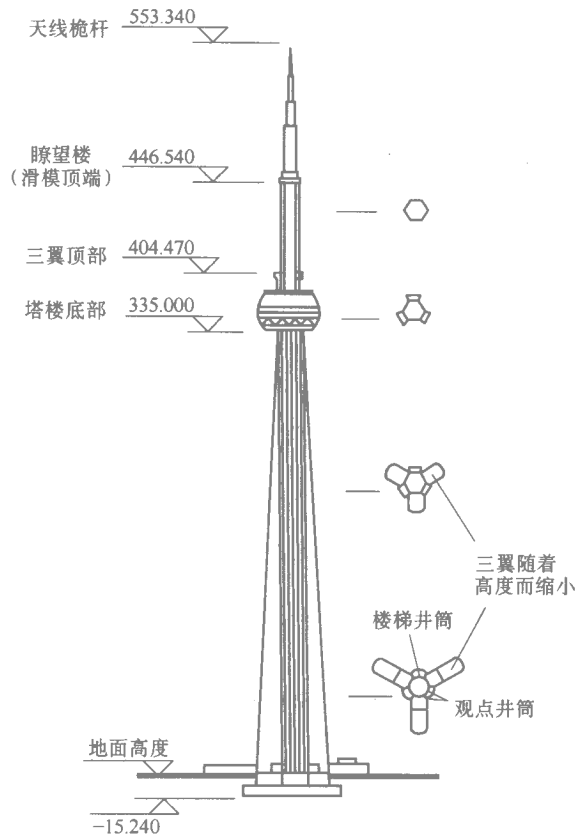


图 1.2 加拿大多伦多电视塔立面

端截面不变，壁厚 0.61 m，3 个井筒从底到 381 m 是等断面，其中 1 个为楼梯，另 2 个为观景电梯。塔内共有 4 部电梯，电梯速度为 6 m/s。塔体结构采用后张预应力混凝土，混凝土强度等级为 C35，竖向预应力钢丝束共 144 根，长短不一，张拉力 2 100~8 500 kN。

(3) 塔楼：从 335~365 m 共 30 m 为塔楼，是钢筋混凝土结构，塔楼有七层，其直径为 30.5 m，而最大悬挑部分的直径达 42.7 m。建筑面积 6 500 m²。第一层悬挂电视通讯用的微波抛物面，设置双层构架，其外围护采用充气薄膜做成的环状罩。二层、三层为瞭望台。四层为旋转餐厅，五层是电视机房，六层是调频机房，七层是机械装置机房，如图 1.3 所示。塔楼结构由 12 个预应力钢筋混凝土牛腿支撑，这些牛腿用预应力钢筋固定在塔体上，并用直径 36.58 m 预应力混凝土圈梁加固，使之构成整体。

(4) 天线：从 446.54 m 以上至 553.30 m 为钢结构天线，分为 40 节，全部用直

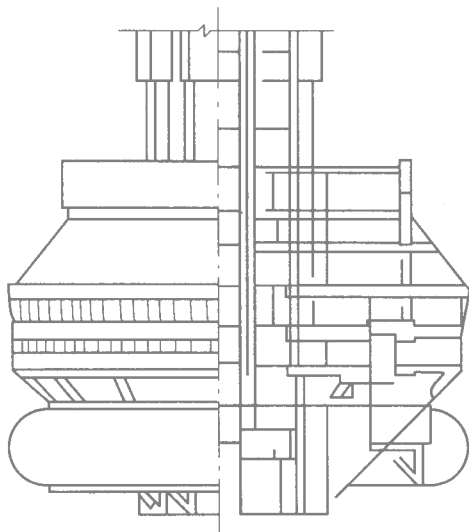


图 1.3 加拿大多伦多电视塔塔楼剖面

升飞机进行安装，外罩 50 mm 厚的塑料玻璃钢防罩，供检修、围护用。

2. 北京中央电视塔

中央电视塔于 1987 年 1 月开工，1990 年 9 月亚运会投入使用，位于北京西郊玉渊潭公园西侧，从室外地坪起为 405 m。塔体为圆锥形，塔座是二层重檐，塔楼为宫灯形。塔楼和塔座为大面积玻璃幕墙和金属屋顶。其功能是播出 8 套电视节目，10 套调频立体声节目，38 套微波节目，为公安、消防、地震、气象、环保和旅游等部门提供综合服务。该电视塔分基础、塔体、塔楼、桅杆 4 部分，塔体又包括内筒、中筒和外筒，如图 1.4 和图 1.5 所示。

塔基的基础深 24 m 采用 3 m 厚的预应力钢筋混凝土大环板，混凝土 C40，混凝土量为 4 236 m³ 钢筋 350 t，预应力钢绞线 40 t。塔体的下部为框架结构，共分 7 层，最大直径达 70 m 框架结构里侧与塔体连接。塔体为 C40 预应力钢筋混凝土，纵向钢筋外侧为 $\Phi 32 \sim \Phi 100$ mm，内侧 $\Phi 32 \sim \Phi 200$ mm 整个筒体设 64 束钢丝束，110 m 以下另有 24 束。塔楼从 197.0 ~ 257.5 m 为微波

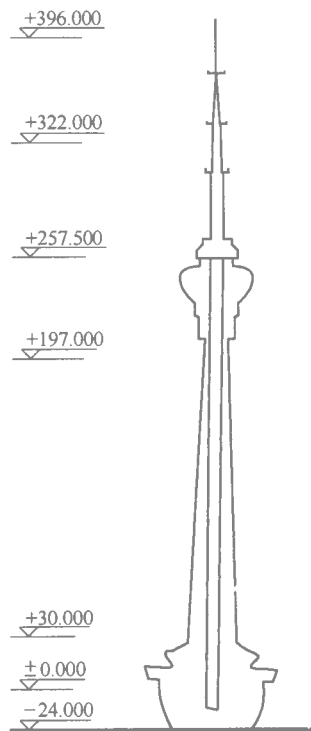


图 1.4 北京中央电视塔剖面

平台和塔楼，总高度为 60.5 m 最大直径为 41 m 分为 14 层 塔楼为钢结构 总重 600 t，坐落在钢筋混凝土的倒锥壳上，楼板为钢筋混凝土。桅杆部分由钢筋混凝土预应力桅杆和钢结构桅杆两部分组成。混凝土桅杆分为两个断面，底部从 257.5~292.5 m 外围 5 m×5 m 壁厚 600 mm 混凝土的断面中心共 24 束预应力筋 上部从 292.5~322 m 外围 3.8 m×3.8 m 壁厚 550 mm 混凝土壁中间共 16 束预应力筋。每束预应力筋均为 $7 \times 7 \Phi^5$ 。从 322~396 m 为钢桅杆，分为 3 节，外围尺寸分别为 2 m×2 m, 1 m×1 m, 0.75 m×0.75 m 用钢板围成 钢板最厚为 50 mm。

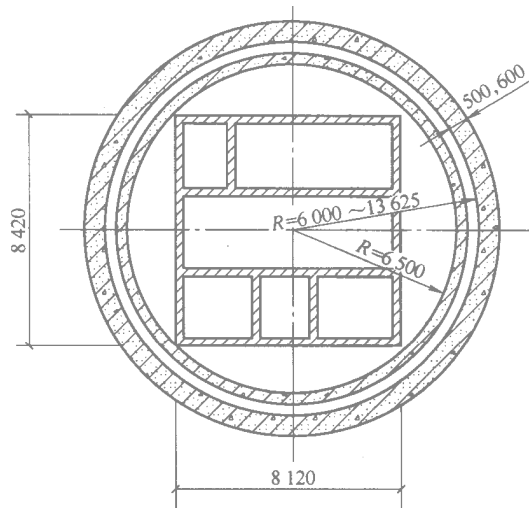


图 1.5 北京中央电视塔塔身平面

3. 上海电视塔

上海电视塔位于浦东陆家嘴地区，与黄浦公园、外滩长堤隔江相望，是南京东路、北京东路及延安东路口视线交汇点。该塔高 450 m 被誉为“东方明珠”。塔体由直径 9 m 的 3 个钢筋混凝土擎天圆筒构成。在塔体中心标高 75 m 处有一直径 50 m 的圆球塔楼，设有露天观光环廊、音像厅、技术用房等。在塔体中心标高 277.5 m 处有一直径 45 m 的圆球塔楼，设有微波天线层，旋转茶座、技术用房等。300 m 以上为发射天线段，在 370 m 标高处是 100 m² 的太空舱。在 3 个擎天圆筒内部是电梯井、管道和紧急疏散楼梯。共有 5 部电梯，内有两组电动缆车可以直达 75 m 的圆球塔楼，如图 1.6 所示。

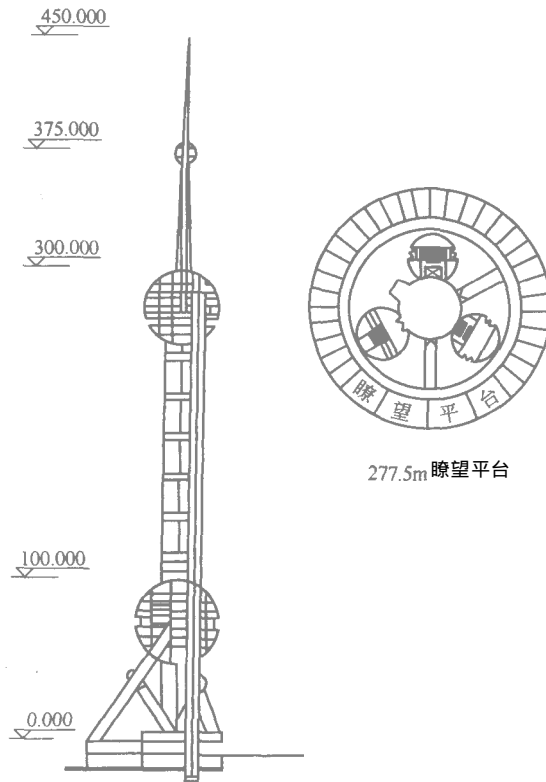


图 1.6 上海电视塔

1.2 电视塔所用的材料

根据国内外已建的混凝土电视塔采用的混凝土强度等级的情况电视塔主体结构混凝土强度等级不宜低于 C30;当配有预应力钢筋时,混凝土强度等级不宜低于 C40。其他规定应按《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)执行。

普通钢筋宜采用 HPB235、HRB335 钢筋。预应力钢筋宜采用钢绞线。电视塔所用钢结构钢材,可采用 Q235 钢、Q345 钢、20 号钢以及耐候钢等,其质量标准应分别符合《碳素结构钢》(GB/T 700—1988)、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—1994)、《优质碳素结构钢》(GB/T 699—1999)和《焊接结构用耐候钢》(GB 4172—1984)的规定。主要受力钢构件在冬季计算温度等于或低于 -20°C 时不宜采用 Q235 沸腾钢。承重结构钢的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度、冷弯试验以及碳、硫、磷含量的合格保证。

手工焊接采用的焊条应符合现行标准《碳素钢焊条》(GB/T 5117—1995)或

《低合金钢焊条》(GB/T 5118—1995)的规定要求,选择的焊条型号应与主体金属强度相适应。自动焊或半自动焊采用的焊丝和焊剂应与主体金属强度相适应,并应符合相对应的标准的规定。

普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》(GB/T 5780—2000)和《六角头螺栓》(GB/T 5782—2000)的规定。高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T 1228—1991)、《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T 1229—1991)、《钢结构用高强度垫圈》(GB/T 1230—1991)、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》(GB/T 1231—1991)或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》(GB/T 3632—1995)、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》(GB/T 3633—1995)的规定。锚栓可采用 Q235 钢或 Q345 钢制成。

3 混凝土电视塔结构设计的基本原则

1.3.1 基本规定

混凝土电视塔结构设计采用分项系数的设计表达式表达,以概率理论为基础的极限状态设计方法。

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计的某一功能的要求,此特定状态称为该功能的极限状态。

极限状态可分为下列两类:

(1) 承载力极限状态:这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载力或不适于继续承载的状态。

(2) 正常使用极限状态:这种极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的状态。

结构构件应根据承载力极限状态和正常使用极限状态的要求,分别按以下规定进行计算和验算:

(1) 承载力及稳定:所有结构构件均应进行承载力(包括压屈失稳)计算;在必要时尚应进行结构的倾覆和滑移验算;对预制构件尚应进行制作、运输和安装阶段验算。

(2) 变形:对使用上要求控制变形的结构或结构构件,应进行变形验算。

(3) 抗裂及裂缝宽度:对使用上要求不出现裂缝的构件,应进行混凝土拉应力验算;对使用上允许出现裂缝的构件,应进行裂缝宽度验算。

3.2 承载力极限状态计算要求

混凝土电视塔依其重要性分为三个安全等级。电视塔安全等级应符合表

1.2 的规定。

表 1.2 电视塔安全等级

安全等级	破坏后果	电视塔类型
一级	很严重	重要
二级	严重	一般
三级	不严重	次要

结构构件的承载力设计应采用下列极限状态设计表达式：

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qik}) \leq R(\cdot) \quad (1.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，对安全等级为一级、二级、三级的结构可分别采用 1.1、1.0、0.9；

γ_G ——永久性作用分项系数，当其效应对结构不利时取 1.2 当其效应对结构有利时取 1.0；

S_{Gk} ——永久作用的标准值的效应；

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——分别为第 1 个和第 i 个可变作用的分项系数，一般取值 1.4；

S_{Q1k} 、 S_{Qik} ——第 1 个和第 i 个可变作用的标准值的效应；

ψ_{ci} ——第 i 个可变作用的组合值系数；

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数。

对不同的作用组合，其可变作用组合值系数分别按表 1.3 采用。

表 1.3 可变作用组合值系数

作用组合		可变作用组合值系数				
		ψ_{cW}	ψ_{cL}	ψ_{cT}	ψ_{cI}	ψ_{cA}
I	G + W + L + T	1.0	0.7	0.6	—	—
II	G + I + W + T	0.25	0.7	—	1.0	—
III	G + A + W + L	0.25	0.7	—	—	1.0

注：I、G、W、L、T、I、A 分别代表永久作用、风作用、楼面 and 平台的可变作用、温度作用、裹冰作用、安装检修的可变作用。

2. 在 II、III 组合中当 $\psi_{cW} w_0 < 0.15 \text{ kN/m}^2$ 时取 $\psi_{cW} w_0 = 0.15 \text{ kN/m}^2$ 。

结构抗震计算时应采用下列极限状态设计表达式：

$$\gamma_G S_{CE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \leq R/\gamma_{RE} \quad (1.2)$$

式中 γ_G ——永久作用分项系数；

- γ_{Eh} 、 γ_{Ev} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表 1.4 采用；
- γ_w ——风作用分项系数，应采用 1.4；
- S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
- S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；
- S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；
- S_{wk} ——风作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；
- ψ_w ——风作用组合值系数，可取 0.2
- R ——结构构件承载力设计值；
- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，对混凝土塔身取 1.0 对钢构件和其他混凝土构件取 0.8 对连接取 1.0。

表 1.4 地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{Ev}
仅按水平地震作用计算	1.3	0
仅按竖向地震作用计算	0	1.3
同时按水平和竖向地震作用计算	1.3	0.5

1.3.3 正常使用极限状态验算要求

对正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，分别采用作用的短期效应组合和长期效应组合进行设计，并应保证变形、裂缝、加速度等计算不超过相应的规定限值。一般情况塔体只作短期效应组合设计。其他构件应依不同要求分别采用短期效应和长期效应组合进行设计。

(1) 短期效应组合

$$S_{Ck} + S_{Q1k} + \sum \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1.3)$$

(2) 长期效应组合

$$S_{Ck} + \sum \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1.4)$$

式中 ψ_{ci} ——第 i 个可变作用的准永久值系数。

电视塔正常使用极限状态的控制条件应符合下列规定：

- (1) 在风作用下，塔上桅杆顶点的水平位移不宜大于该点离地高度的 1/100。
- (2) 在风荷载和不均匀日照温差的作用下，对设置有转角要求设备（如天

线)的塔在设备所在位置处的塔身转角不得大于设备允许转角的规定限值。

(3) 在短期效应组合和长期效应组合作用下,钢筋混凝土构件的最大裂缝宽度不应大于 0.2 mm。

(4) 在风荷载的作用下,对塔上设有游览设施(如瞭望平台、餐厅等)和有人房间的塔,其游览设施和有人房间所在位置处塔身风振位移加速度不宜大于 0.2 m/s^2 。

1.3.4 电视塔上的作用及计算

1.3.4.1 作用分类

电视塔结构上的作用可分为下列两类:

永久作用:在设计基准期内量值不随时间变化,或其变化与平均值相比可忽略的作用,例如结构自重、固定设备重、土压力、预应力、混凝土收缩、地基沉降等;

可变作用:在设计基准期内量值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略的作用,例如风荷载、裹冰荷载、地震作用、温度作用、使用中的人员和物料重、施工中的设备重或作用力等。

1.3.4.2 各种作用计算

1. 风荷载

作用于电视塔结构上的风作用压力的标准值,应按下式计算:

$$w_{0k} = \mu_s \mu_z w_0 \quad (1.5)$$

式中 w_{0k} ——风荷载压力的标准值, kN/m^2 ;

μ_s ——风荷载体型系数;

μ_z ——风压高度变化系数;

w_0 ——基本风压 kN/m^2 。

基本风压系以当地比较空旷平坦地面上离地 10 m 高处统计所得的 50 年一遇 10 min 平均最大风速 v_0 (单位为 m/s) 为标准按 $w_0 = v_0^2/1600$ 确定的风压值。如无上述统计数据时,可按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 中全国基本风压分布图查得的数值采用,对一级电视塔可再加大 10%。电视塔设计所采用的基本风压不得小于 0.35 kN/m^2 。

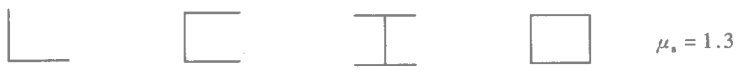
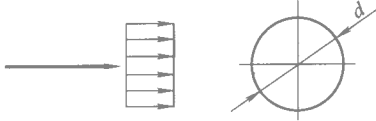
风压高度变化系数,应根据地面粗糙度类别按表 1.5 确定。地面粗糙度可分为 A、B、C 三类,A 类指近海海面、海岛、海岸、湖岸和沙漠地区;B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的中、小城镇和大城市郊区;C 类指有密集建筑群的大城市市区。

风荷载体型系数,可按表 1.6 的规定采用,对一级电视塔和外形较复杂的电视塔应通过风洞试验确定。

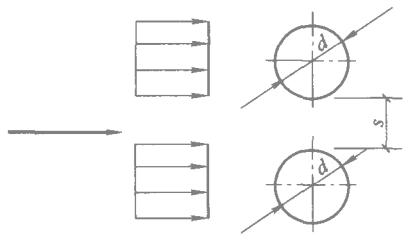
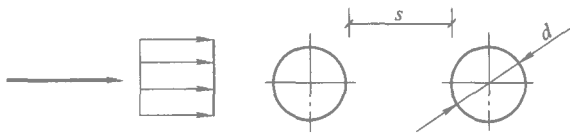
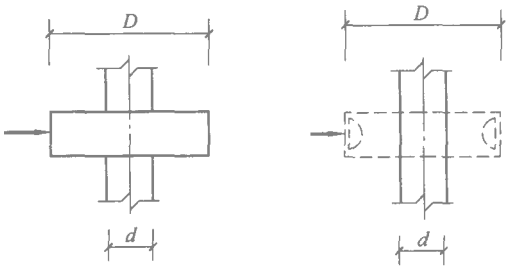
表 1.5 风压高度变化系数 μ_z

离地或海平面高度/ m	地面粗糙度类别		
	A	B	C
5	1.17	0.8	0.54
10	1.38	1.00	0.71
15	1.52	1.14	0.84
20	1.63	1.25	0.94
30	1.80	1.42	1.11
40	1.92	1.56	1.24
50	2.03	1.67	1.36
60	2.12	1.77	1.46
70	2.20	1.86	1.55
80	2.27	1.95	1.64
90	2.34	2.02	1.72
100	2.40	2.09	1.79
150	2.64	2.38	2.11
200	2.83	2.61	2.36
250	2.99	2.80	2.58
300	3.12	2.97	2.78
350	3.12	3.12	2.96
≥ 400	3.12	3.12	3.12

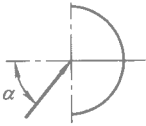
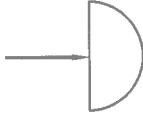
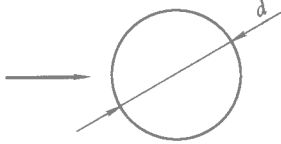
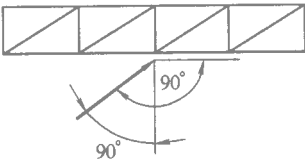
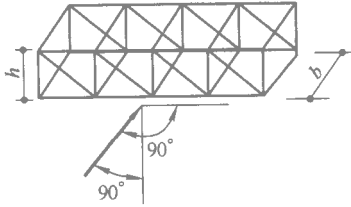
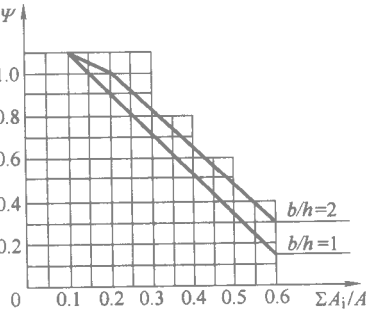
表 1.6 风荷载体型系数 μ_s

项次	类别	体型及体型系数
1	棱边构件	
2	圆截面构筑物或构件	 <p>当 $\mu_s w_0 d^2 \leq 0.003$ 时, $\mu_s = 1.2$ 当 $\mu_s w_0 d^2 \geq 0.02$ 时, $\mu_s = 0.7$ 中间值按插入法计算 w_0 以 kN/m^2 计时, d 以 m 计</p>

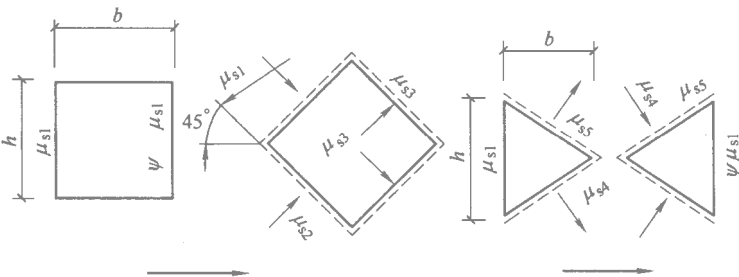
续表

项次	类别	体型及体型系数																		
2	圆截面 构筑物 或构件	 <p>当 $\mu_s w_0 d^2 \geq 0.02$ 时, μ_s 值按下表采用</p> <table border="1"> <tr> <td>s/d</td> <td>≤ 0.25</td> <td>0.5</td> <td>0.75</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>≥ 3</td> </tr> <tr> <td>μ_s</td> <td>1.4</td> <td>1.05</td> <td>0.88</td> <td>0.82</td> <td>0.76</td> <td>0.73</td> <td>0.7</td> </tr> </table>	s/d	≤ 0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	≥ 3	μ_s	1.4	1.05	0.88	0.82	0.76	0.73	0.7		
		s/d	≤ 0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	≥ 3											
μ_s	1.4	1.05	0.88	0.82	0.76	0.73	0.7													
		 <p>当 $\mu_s w_0 d^2 \geq 0.02$ 时, μ_s 值按下表采用</p> <table border="1"> <tr> <td>s/d</td> <td>0.5</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> <td>3.0</td> <td>4.0</td> <td>6.0</td> <td>8.0</td> <td>≥ 10</td> </tr> <tr> <td>μ_s</td> <td>0.79</td> <td>1.0</td> <td>1.1</td> <td>1.15</td> <td>1.26</td> <td>1.3</td> <td>1.33</td> <td>1.4</td> </tr> </table>	s/d	0.5	1.0	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	≥ 10	μ_s	0.79	1.0	1.1	1.15	1.26	1.3	1.33	1.4
s/d	0.5	1.0	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	≥ 10												
μ_s	0.79	1.0	1.1	1.15	1.26	1.3	1.33	1.4												
3	多边形 塔体	<p>当 $\mu_s w_0 d^2 \geq 0.02$ 时, μ_s 值按下表采用, 其中 d 为多边形外接圆的直径</p> <table border="1"> <tr> <td>截面</td> <td>正六边</td> <td>正八边</td> <td>正十二边</td> <td>\geq 十二边</td> </tr> <tr> <td>μ_s</td> <td>1.10</td> <td>0.85</td> <td>0.75</td> <td>0.70</td> </tr> </table>	截面	正六边	正八边	正十二边	\geq 十二边	μ_s	1.10	0.85	0.75	0.70								
截面	正六边	正八边	正十二边	\geq 十二边																
μ_s	1.10	0.85	0.75	0.70																
4	塔上封 闭建筑 和设备 平台	 <p>当 $D/d \leq 3$ 时, $\mu_s = 0.7$ 当 $D/d > 3$ 时, $\mu_s = 0.9$</p>																		

续表

项次	类别	体型及体型系数
5	球形结构	<p>(a) 敞口半圆球和敞口抛物面:</p>  <p>当 $\alpha = 0$ 时, $\mu_s = 1.4$; 当 $\alpha = 60^\circ$ 时, $\mu_s = 1.7$; 当 $\alpha = 180^\circ$ 时, $\mu_s = 1.0$; 其他情况, μ_s 值按插入法计算</p> <p>(b) 封闭半圆球:</p>  <p>$\mu_s = 1.0$</p> <p>(c) 球: 对光滑球</p>  <p>当 $\mu_s w_0 d^2 \geq 0.02$ 时, $\mu_s = 0.4$; 当 $\mu_s w_0 d^2 < 0.02$ 时, $\mu_s = 0.6$; 对多面球 $\mu_s = 0.7$</p>
6	单榀桁架	<p>单榀桁架的体型系数</p> $\mu_s = \frac{\sum A_i \mu_{si}}{A}$ <p>式中 A_i —— 桁架杆件 i 的投影面积; μ_{si} —— 桁架杆件 i 的体型系数; A —— 桁架的轮廓面积</p> 
7	平行的桁架和塔架	<p>(a) 平行的桁架:</p>   <p>平行桁架的整体体型系数</p> $\mu_{st} = \mu_{st}(1 + \Psi)$ <p>式中 Ψ 按右上图采用</p>

续表

项次	类别	体型及体型系数
7	平行的桁架和塔架	<p>(b) 四边形和三角形塔架：</p>  <p>$\mu_{s2} = 0.35\mu_{s1}\eta, \mu_{s3} = \mu_{s2}\Psi$; 对单肢钢杆件 $\eta = 1.1$; 对双肢钢杆件 $\eta = 1.2$; 对混凝土塔架 $\eta = 1.3$; $\mu_{s4} = 0.25\Psi\mu_{s1}, \mu_{s5} = 0.43\Psi\mu_{s1}$; 三角形塔架当 $\sum A_i/A \geq 0.1$ 时, 整体体型系数 μ_{s1} 应乘 0.9</p>

作用于塔结构上的风荷载, 应考虑阵风脉动的动力作用。根据电视塔结构刚度有突变和局部集中较大质量的特点, 其风荷载的计算将脉动风按随机振动理论分析, 用振型分解法计算。一般将塔体结构视为多质点体系, 作用于结构第 i 质点第 j 振型作用力的代表值 w_{kji} 可按下式确定:

$$w_{kji} = w_{0ki} A_i + M_i Y_{ij} \nu_j \xi_j \eta_j \quad (1.6)$$

$$\eta_j = \frac{\sum Y_{ij} w_{0ki} A_i m_i}{\sum Y_{ij}^2 M_i} \quad (1.7)$$

式中 M_i ——结构第 i 质点的集中质量；
 Y_{ij} ——第 i 质点 j 振型的水平相对位移；
 ξ_j ——第 j 振型的脉动增大系数, 如表 1.7 所示；
 ν_j ——第 j 振型的空间相关系数, 如表 1.8 所示；
 η_j ——结构第 j 振型的参与系数；
 w_{0ki} ——第 i 质点风作用压力的标准值；
 A_i ——结构第 i 质点的挡风面积；
 m_i ——第 i 质点风作用的脉动系数, 如表 1.9 所示。

表 1.7 脉动增大系数

$\epsilon = tv_0/1200$	0.01	0.03	0.05	0.10	0.15	0.20
钢结构	1.49	1.88	2.13	2.56	2.86	3.08
钢筋混凝土结构	1.22	1.42	1.55	1.80	1.97	2.10

注： t 为结构自振周期（单位为 s）； v_0 为设计基本风压对应的风速（单位为 m/s）。

表 1.8 空间相关系数（考虑高振型时 $\nu = 1.0$ ）

$\epsilon = tv_0/1200$	塔总高/m				
	≤ 60	120	150	300	≥ 450
≤ 0.05	0.60	0.55	0.50	0.40	0.35
0.10	0.70	0.60	0.55	0.45	0.35
0.20	0.75	0.70	0.65	0.55	0.45

表 1.9 脉动系数

距地面高度/m		10	20	40	60	80	100	200	≥ 350
地面粗糙度类别	A	0.60	0.55	0.48	0.46	0.44	0.42	0.38	0.35
	B	0.88	0.75	0.65	0.60	0.56	0.54	0.46	0.40
	C	1.75	1.40	1.10	0.97	0.89	0.82	0.65	0.54

2. 裹冰荷载

设计电视塔时，应考虑外露的结构构件、管线、塔上设备（如天线）表面裹冰引起的重力作用及挡风面积增大的影响。基本裹冰厚度应根据当地离地 10 m 高度处的观测资料，取重现期为 50 年最大裹冰厚度的统计数值。计算高度处的裹冰厚度 b 按基本裹冰厚度 b_0 乘以表 1.10 中相应的裹冰高度变化系数确定。

表 1.10 裹冰高度变化系数

距地面高度/m	≤ 10	50	100	150	200	300	> 350
高度系数	1.0	1.6	2.0	2.2	2.4	2.7	2.8

管线和构件上的裹冰作用应按以下规定确定：

圆截面构件和管线上的裹冰荷载 q (单位为 kN/m) 可按式 (1.8) 计算 即

$$q = \pi \mu_x b (d + \mu_x b) \gamma \cdot 10^{-6} \quad (1.8)$$

式中 b ——计算高度处的裹冰厚度，mm；

d ——构件或管线的直径，mm；

μ_x ——圆截面裹冰厚度修正系数，按表 1.11 采用；

γ ——裹冰重度，一般取 9 kN/m^3 。

表 1.11 裹冰厚度修正系数

构件或管线直径/mm	5	10	20	30	50	70
圆截面裹冰厚度修正系数	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

非圆截面构件上的裹冰作用 p (单位为 kN/m^2) 可按式 (1.9) 计算 即

$$p = 0.6b\gamma \cdot 10^{-6} \quad (1.9)$$

式中符号含义同公式 (1.8)。

3. 地震作用

电视塔在进行地震作用计算时,应符合以下规定:

当处于地震设防烈度 7 度硬、中硬场地,且基本风压 $W_0 \geq 0.4 \text{ kN/m}^2$ 时,及 7 度中软、软场地和 8 度硬、中硬场地,且基本风压 $W_0 \geq 0.7 \text{ kN/m}^2$ 时,可不进行抗震验算。对处在 8 度和 9 度场地上的塔,应计算水平和竖向地震的共同作用;8 度和 9 度场地上的 1 级电视塔,考虑大的设防烈度和电视塔等级及建设经验等因素,塔的设计宜进行场区地震资料和结构抗震专门研究;单筒型电视塔,应同时计算两个主轴方向的水平地震作用;多筒型电视塔除应同时计算两个主轴方向的水平地震作用外,尚应同时计算两个正交非主轴方向的水平地震作用。

对安全等级为三级的电视塔,可采用振型分解反应谱法进行地震作用计算;对安全等级为一级和二级的电视塔,除采用振型分解反应谱法进行地震作用计算外,尚应根据表 1.12 规定的设计基本地震加速度值采用时程分析法进行补充计算。

表 1.12 设计基本地震加速度值

烈 度	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.10g	0.20g	0.40g

注: g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

按振型分解反应谱法进行地震作用计算时,对安全等级为三级的电视塔,计算振型数不宜少于 5 个;对安全等级为一级和二级的电视塔,计算振型不宜少于 7 个。

电视塔采用振型分解反应谱法计算地震作用时,结构 j 振型质点 i 的水平地震作用标准值,应按公式 (1.10) 确定:

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j Y_{ji} G_i \quad (1.10)$$

$$\gamma_j = \frac{\sum G_i Y_{ji}}{\sum G_i Y_{ji}^2} \quad (1.11)$$

式中 F_{ji} —— j 振型质点 i 的水平地震作用标准值;

α_j ——相应于 j 振型自振周期的水平地震影响系数,除进行专门研究的

电视塔外 其余均按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)确定；

Y_{ji} —— j 振型质点 i 的水平相对位移；

G_i ——质点 i 的重力荷载代表值；

γ_j —— j 振型的参与系数。

水平地震作用标准值的效应 S (弯矩、剪力、变形、轴力等)可按下列公式确定：

$$S = \sqrt{\sum S_j^2} \quad (1.12)$$

式中 S_j —— j 振型水平地震的作用标准值的效应，其中因水平变形和重力引起的次效应，可只计算第一振型值。

竖向地震作用标准值应按下列公式确定：

$$F_{Evk} = \alpha_{vm} G_{Eqv} \quad (1.13)$$

$$F_{vik} = \frac{F_{Evk} G_i h_i}{\sum G_j h_j} \quad (1.14)$$

式中 F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值；

F_{vik} ——质点 i 的竖向地震作用标准值；

h_i 、 h_j ——分别为质点 i 、 j 的计算高度；

α_{vm} ——竖向地震影响系数的最大值，可按水平地震影响系数最大值的 1.2 倍采用；

G_i 、 G_j ——质点 i 、 j 的重力荷载代表值；

G_{Eqv} ——结构参与竖向振动的总重力作用代表值。

4. 其他作用

计算日照作用时，混凝土塔段向阳面与背阳面筒壁平均温度差可按 15 采用。电视塔设计时，应考虑由塔基不均匀沉降造成塔体中心轴线倾斜的影响，其塔顶倾斜位移可取 0.4 m。

施工中机具、设备和作用力，对结构受力有影响的，在结构设计中应根据具体情况进行验算。由施工偏差造成塔中心轴线倾斜，其倾斜角的正切值在塔体设计时可取 1/1 000；对施加预应力的单筒形塔段，因穿预应力钢筋的预埋管道位置偏差和部分预埋管道失效以及张拉偏差等造成全截面预应力总值偏离截面中心，设计时按全截面预应力总值的 5/100 置截面一侧，计算对塔体的偏心作用。

电视塔结构或构件，由于混凝土的干缩作用，对结构或构件受力有影响时，应进行验算。