

中国工程建设标准化协会标准

给水排水工程
水塔结构设计规程

**Specification for structural design of water tower
of water supply and sewerage engineering**

CECS 139:2002

主编部门: 铁道专业设计院

批准部门: 中国工程建设标准化协会

施行日期: 2003年2月1日

前 言

本规程原属于《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84 中第五章的内容。根据逐步与国际接轨的需要,现将本规程独立成本,以便工程应用和今后修订。据此,按中国工程建设标准化协会(94)建标协字第 11 号《关于下达推荐性标准编制计划的函》的要求进行编制。

本规程根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 和《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153—92 规定的原则,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法编制,并与有关的结构专业设计规范协调一致。

本规程总结了原《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84 近十多年来在国内工程中的应用经验,吸取了国内外的科研成果,并征求了有关设计、施工、科研和高等院校的意见,对内容作了大量的充实。

本规程共分 6 章和 4 个附录。主要内容有总则、主要符号、结构上的作用、基本设计规定、静力计算、基本构造要求及附录。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,现批准协会标准《给水排水工程水塔结构设计规程》,编号为 CECS139:2002,推荐给工程建设设计、施工、使用单位采用。

本规程第 4.2.1、4.3.1、6.1.1、6.5.3、6.5.4、6.5.7、6.5.8 条及第 6.2.3 条 2、3 款、6.3.2 条 1 款、6.3.3 条 1 款,建议列入《工程建设标准强制性条文》。

本规程由中国工程建设标准化协会贮藏构筑物委员会 CECS/TC10(北京西城区月坛南街乙二号 北京市市政工程设计

研究总院, 邮编: 100045) 归口管理, 并负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处, 请将意见和资料径寄解释单位。

主编单位: 铁道专业设计院

参编单位: 中冶集团长沙冶金设计研究总院

主要起草人: 宋绍先、归衡石

中国工程建设标准化协会

2002 年 12 月 20 日

目 录

1 总则	6
2 主要符号	7
3 结构上的作用	11
4 基本设计规定	15
5 静力计算	20
6 基本构造要求.....	34
附录 A 框架式多支柱水箱下环梁内力计算	42
附录 B 水塔结构基本自振周期计算	43
附录 C 附加力矩计算.....	46
附录 D 钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受压（拉）状态时的最大裂缝宽度计算	50
本规程用词说明	52

1 总则

1.0.1 为了在给水处理工程的水塔结构设计中,贯彻执行国家的技术经济政策,达到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的目的,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于城镇公用设施和工业企业中一般给水排水工程贮存常温水的水塔结构设计。

本规程不适用于工业企业中具有特殊要求的给水排水工程水塔结构设计(如烟囱水塔、多功能组合水塔等)。

1.0.3 本规程适用于常用的钢筋混凝土结构水塔和小型钢筋混凝土水箱砖石支承结构水塔。

本规程不适用于钢水塔、钢丝网水泥水箱和其他材料水箱的结构设计。

1.0.4 本规程系根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068、《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 和《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 规定的原则制定。

1.0.5 按本规程设计时,对于一般荷载的确定、构件截面计算和地基基础设计等,应按国家现行有关标准的规定执行。对于建造在地震区、湿陷性黄土区、膨胀土区、永冻土区等特殊地区的水塔结构设计,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 主要符号

2.0.1 作用、作用效应和抗力

- B ——钢筋混凝土支筒的计算刚度；
- C_{Gi} ——第 i 个永久作用的作用效应系数；
- C_{Q1} ——第 1 个可变作用的作用效应系数；
- C_{Qj} ——第 j 个可变作用的作用效应系数；
- F_{w1} ——作用在水箱上的风荷载传递到一榀平面框架的力的设计值；
- G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；
- M ——计算截面的力矩设计值；
- M_e ——水箱的施工安装误差和作用在水箱上的风荷载对支筒顶端产生的力矩设计值；
- M_{tz} ——在风荷载、施工偏差及基础倾斜的影响下，支筒变位后，水箱和支筒重量引起的计算截面 z 处的附加力矩设计值；
- M_{HG} ——由于结构重心偏移、施工偏差引起的结构自重对支筒底部产生的力矩设计值；
- M_{HW} ——作用在水箱和支筒上的风荷载对支筒底部产生的力矩设计值；
- $M_z(\theta)$ ——在地基变形、基础倾斜及施工偏斜的影响下，支筒产生变位后，水箱和支筒重量引起的计算截面 z 处的附加力矩设计值；
- N ——计算截面处的轴向力(荷载)设计值；
- N_{r1} ——锥壳或球壳环梁的环向拉力设计值；
- N_{r2} ——水箱箱壁下部环梁的环向拉力设计值；

N_{r3} ——锥壳箱底对环梁产生的环向压力设计值；
 N_{\downarrow} ——锥壳或球壳边端的径向力；
 p_m ——竖向荷载引起的基础底面的压力；
 p_{\max} ——基础边缘最大压力；
 p_{\min} ——基础边缘最小压力；
 Q_{1k} ——第 1 个可变作用的标准值；
 q ——环梁上的均布线荷载；
 q_{cr} ——球壳上的均布临界荷载；
 R ——结构抗力的设计值；
 S ——作用效应组合的设计值；
 u ——作用在水箱重心处的单位水平力在该点引起的位移；
 θ ——风荷载、施工偏差引起的水箱支筒的倾斜角；
 V_i ——第 i 层平面框架的水平剪力；
 w_0 ——基本风压；
 w_k ——风荷载标准值；
 W_i ——作用在水箱上的风荷载设计值；
 w_1 ——作用在支筒底端的风荷载设计值；
 w_2 ——作用在支筒顶端的风荷载设计值。

2.0.2 计算系数

K_s ——组合作用下的稳定抗力系数；
 K_u ——支筒产生弹性变位后，水箱重量引起附加力矩设计值的高阶影响系数；
 β_z —— z 高度处的风振系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 γ_{Gi} ——第 i 个永久作用的分项系数；
 γ_{Qj} ——第 j 个可变作用的分项系数；
 μ_s ——风荷载体型系数；
 μ_z ——风压高度变化系数；

μ_r ——重现周期系数；
 φ ——纵向挠曲系数；
 ψ_c ——组合系数；
 ψ_{qj} ——第 j 个可变荷载的准永久值系数。

2.0.3 几何参数

A ——支筒截面面积；
 A_f ——基础底面积；
 H 、 H_1 ——水塔结构的计算高度，下水箱计算高度；
 H_0 ——支筒计算高度；
 I 、 I_0 、 I_i 、 I_n ——惯性距；
 s_1 、 s_2 ——基础倾斜方向两边缘的最终沉降量；
 W ——支筒截面抵抗矩，基础底面抵抗矩；
 z ——自计算截面至支筒顶端的距离；
 b 、 b_1 ——结构宽度，基础台阶宽度；
 d ——支筒直径，基础板直径，钢筋直径；
 d_0 ——支筒顶端至水箱重心处的距离；
 e_0 ——纵向力对截面重心的偏心距；由于水箱安装误差引起的水箱重心对支筒中心的偏心距；
 h ——结构高度，结构厚度，基础厚度；
 h_1 ——基础板端厚度；
 h_i ——水箱重心至支承结构第 i 段的高度；
 h_n ——水箱重心至基础顶面或支承结构底部的高度；
 l_0 ——梁、板结构的跨度；
 l_d ——钢筋锚固长度；
 r_0 ——环梁中心处半径；
 r_c ——支筒中心线半径；
 r_{cl} ——球壳中心线半径；
 t ——球壳厚度；
 Δ ——支筒全高的施工累计误差值；

- α ——水箱壁下锥底斜面与水平面的夹角；
 α_1 ——锥壳水箱底斜面与水平面的夹角；
 ϕ_0 ——锥壳斜面或球壳边端切线与水平面的夹角。

2.0.4 其他

- E_c ——混凝土弹性模量；
 E_s ——地基土压缩模量,钢筋的弹性模量；
 S_t ——混凝土抗渗等级；
 T_1 ——基本自振周期；
 m, m_1, m_2 ——水箱或上下水箱的质量；
 m_0 ——支承结构的折算质量。

3 结构上的作用

3.1 作用分类和作用代表值

3.1.1 水塔结构上的作用按其性质可分为永久作用和可变作用两类：

永久作用应包括水塔结构自重(含地板、平台)、土的竖向压力、水箱内水的竖向和侧向压力、地基的不均匀沉降、水塔的永久设备(管道及其附件、铁梯、栏杆、电气设备、防雷设备等)。

可变作用应包括风荷载、雪荷载、活荷载、温度变化、湿度变化、施工和检修荷载。

3.1.2 结构设计时,对不同的作用应采用不同的代表值。对永久作用应采用标准值作为代表值;对可变作用应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。

3.1.3 当结构承受两种或两种以上可变作用时,在承载能力极限状态设计或正常使用极限状态按标准组合设计时,应采用可变作用的组合值作为代表值。可变作用的组合值,应为可变作用的标准值乘以组合值系数。

3.1.4 当正常使用极限状态按准永久组合设计时,对可变作用应采用准永久值作为代表值。可变作用的准永久值,应为可变作用的标准值乘以准永久值系数。

3.2 永久作用标准值

3.2.1 结构自重(含平台、地板)的标准值,可按结构构件的设计尺寸与相应材料的重力密度计算确定。对常用的材料和构件,其自重标准值可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用。永久性设备的自重标准值,可按该设备的产品样本提

供的数据或按设计尺寸计算确定。

3.2.2 水塔基础顶面以上的竖向土压力标准值,应根据基础顶面填土设计尺寸与土的重力密度计算确定。一般回填土的重力密度标准值可按 18kN/m^3 采用。

3.2.3 水箱内的水压力应按设计水位静水压力计算。水的重力密度标准值可取 10kN/m^3 ;侧向压力自设计水面至水箱底部可取三角形分布。

3.2.4 水塔地基不均匀沉降引起的永久作用标准值,其沉降量和沉降差应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定计算确定。

3.3 可变作用标准值、准永久值系数

3.3.1 水塔顶活(雪)荷载、平台地板活荷载及其准永久值系数,应按表 3.3.1 采用。

表 3.3.1 水塔顶和平台地板活(雪)荷载及其准永久值系数

水塔部位	活(雪)荷载标准值 kN/m^2	准永久值系数 ψ_k
锥(球)壳体水塔顶盖	0.7	0.0
平板式水塔顶盖	1.5	0.4
悬臂式平台	3.0	0.4
周边支承地板(楼板)	2.0	0.5
楼梯或走道板	2.0	0.4
平台、地板、塔顶及扶梯的栏杆	1.0	0.0
注:1 水塔顶盖的活(雪)荷载不同时考虑; 2 对地板、平台应验算施工、维修时的人、设备、配件、工具、堆放物料等局部集中荷载; 3 楼梯、走道板、踏步,尚应按集中活荷载标准值 1.5kN 验算。		

3.3.2 水塔的温度变化(包括湿度变化的当量温差)标准值和准永久值系数,可按下列规定确定:

1 保温水塔的水箱可不考虑温度变化和壁面湿度当量温差的作用。对 500m³ 以上的大容量不保温水塔的水箱,应考虑壁面温度变化和壁面湿度当量温差的作用,其标准值和准永久值系数,应按现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的规定确定;

2 水塔的支筒可不考虑日照不均匀温差引起的筒身变位的作用。对高度大和支筒直径小的水塔(支筒高 H 与支筒直径 D 之比大于 15 时),可参照现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 的有关规定确定。

3.3.3 水塔风荷载的标准值和准永久值系数,应按下列规定确定:

1 垂直作用在水塔表面的风荷载标准值应按下列式计算:

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z \mu_r w_0 \quad (3.3.3)$$

式中 w_k ——风荷载标准值, kN/m²;

β_z —— z 高度处的风振系数;

μ_s ——风荷载体型系数;

μ_z ——风压高度变化系数;

μ_r ——重现周期调整系数,一般情况可取 1.0,对功能特别重要的水塔可取 1.1;

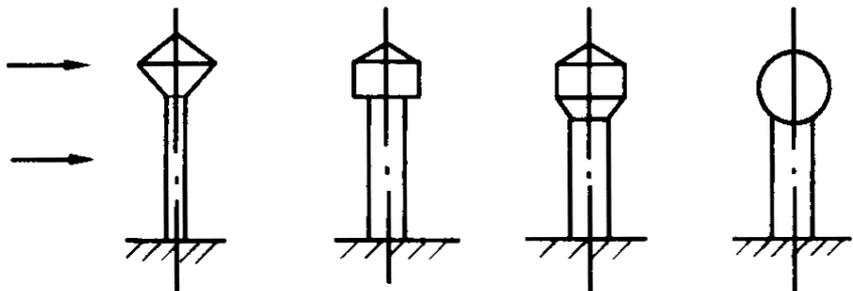
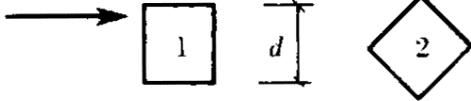
w_0 ——基本风压, kN/m²。

2 基本风压 w_0 和系数 β_z 、 μ_z 均应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用;水塔的基本自振周期可按附录 A 确定。当城市或建设地点的基本风压值在全国基本风压图上未给定时,基本风压可根据当地风速资料分析确定。水塔的基本风压值不宜小于 0.4kN/m²。

3 水塔结构的风荷载体型系数 μ_s 可按表 3.3.3 的规定采用。

4 对水塔支承结构和基础,当按准永久组合设计时,风荷载的准永久值系数可取 0.5。

表 3.3.3 风荷载体型系数 μ_s

名称	结构体型及体型系数																		
水箱及支筒	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="margin-left: 100px;">水箱 $\mu_s = 0.7$</p> <p style="margin-left: 100px;">支筒为圆形光滑面 $\mu_s = 0.7$</p> <p style="margin-left: 100px;">支筒为外肋圆形筒 $\mu_s = 0.8 \sim 0.9$</p>																		
塔架	<div style="text-align: center;">  </div> <p>1 塔架的整体体型系数 μ_s 值:</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>挡风系数</th> <th>风向 1</th> <th>风向 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 0.1</td> <td>2.6</td> <td>2.9</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>2.4</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>2.2</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>2.0</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>≥ 0.5</td> <td>1.8</td> <td>1.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>注:① 挡风系数=迎风面挡风面积\div迎风面轮廓面积,均按塔架迎风面的一个塔面计算。</p> <p>② 六边形、八边形塔架的 μ_s 值,可近似按上表方形塔架采用。</p> <p>2 圆形柱截面构件及圆形塔架的整体体型系数 μ_s 值:</p> <p>当 $w_0 d^2 \leq 0.002$ 时, μ_s 按上表值乘以 0.8 采用;</p> <p>当 $w_0 d^2 \geq 0.015$ 时, μ_s 按上表值乘以 0.6 采用;</p> <p>当 $w_0 d^2$ 位于两者之间时,按插入法计算。</p> <p>w_0 为基本风压,以 kN/m^2 计;d 以 m 计。</p>	挡风系数	风向 1	风向 2	≤ 0.1	2.6	2.9	0.2	2.4	2.7	0.3	2.2	2.4	0.4	2.0	2.2	≥ 0.5	1.8	1.9
挡风系数	风向 1	风向 2																	
≤ 0.1	2.6	2.9																	
0.2	2.4	2.7																	
0.3	2.2	2.4																	
0.4	2.0	2.2																	
≥ 0.5	1.8	1.9																	

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 水塔结构按承载能力极限状态设计时,除结构整体稳定验算外,均采用分项系数设计表达式进行设计。

4.1.2 对水塔结构的设计,应计算下列两类极限状态:

1 承载能力极限状态。应包括水塔结构或构件的截面强度计算、结构构件压、曲失稳和整体失稳(滑动及倾覆)验算;

2 正常使用极限状态。应包括对需要控制变形的构件的变形验算(梁、板挠度)、使用上要求不出现裂缝的构件的抗裂度验算(水箱壁、锥底、环梁等中心受拉或小偏心受拉构件)、使用上需要限制裂缝宽度的构件的验算(水箱、基础和梁板等构件处于受弯、大偏心受拉或大偏心受压时)。

4.1.3 水塔结构的内力分析,应按弹性体系计算,不考虑由非弹性变形引起的塑性内力重分布。

4.1.4 水塔结构构件的截面承载能力计算,应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《砌体结构设计规范》GB 50003、《钢结构设计规范》GB 50017、《高耸结构设计规范》GB 50135 的有关规定执行。

4.1.5 水塔的地基计算(承载力、变形、稳定)除应符合本规程第 5.4 节的规定外,尚应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行。

4.1.6 水塔结构构件按承载能力极限状态进行强度计算时,结构上的各项作用均应采用作用设计值。作用设计值,应为作用分项系数与作用代表值的乘积。

4.1.7 水塔结构构件按正常使用极限状态验算时,结构上的各项

作用均应采用作用代表值。

4.1.8 根据现行国家标准《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 的规定,水塔结构的安全等级应按二级建筑物采用。

4.2 承载能力极限状态计算

4.2.1 水塔结构构件按极限状态设计时,应采用下列设计表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.2.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,安全等级为二级时采用 $\gamma_0 = 1.0$;
对次要的小型水塔或临时性水塔为三级建筑结构,
采用 $\gamma_0 = 0.9$;对功能特别重要的水塔需要提高安全等级时,采用 $\gamma_0 = 1.1$;

S ——作用效应组合的设计值;

R ——结构构件抗力的设计值,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《砌体结构设计规范》GB 50003、《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

4.2.2 水塔的作用效应组合的设计值应按下列规定确定和计算:

1 水塔的水箱、地板、平台等可不计算风荷载效应,作用效应组合值应按下式计算:

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + \psi_c \sum_{j=1}^n \gamma_{Qj} C_{Qj} Q_{jk} \quad (4.2.2-1)$$

式中 G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值;

C_{Gi} ——第 i 个永久作用的作用效应系数;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用的分项系数,当作用效应对结构不利时,对结构和设备自重应取 1.2、水荷载应取 1.27;当作用效应对结构有利时应取 1.0;

Q_{jk} ——第 j 个可变作用的标准值;

C_{Qj} ——第 j 个可变作用的作用效应系数;

γ_{Qj} ——第 j 个可变作用的分项系数,应取 1.40;

ψ_c ——可变作用的组合系数,可取 0.90。

2 对水塔的支承结构(支架、支筒)、基础等,风荷载为第一可变荷载,作用效应组合的设计值应按下式计算:

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + 1.4 (C_{Q1} Q_{1k} + 0.6 \sum_{j=2}^n C_{Qj} Q_{jk}) \quad (4.2.2-2)$$

式中 C_{Q1} 、 Q_{1k} ——风荷载的作用效应系数、标准值。

对刚度较小的支承结构,尚应计入结构变位引起的二阶效应(重力附加弯矩),按本规程第 5.3.1 条 4 款计算。

4.2.3 水塔可不进行倾覆稳定和滑动稳定计算。在特殊情况需要验算时,组合作用下的稳定抗力系数 K_s ,对抗滑动稳定不应小于 1.3,对抗倾覆稳定不应小于 1.5。验算时,抵抗力应只计算永久作用,不计算可变作用(活荷载)和摩擦力;抵抗力和滑动力、倾覆力均应采用标准值。

4.3 正常使用极限状态验算

4.3.1 对正常使用极限状态,水塔结构构件应根据不同情况分别按作用效应的标准组合或准永久组合进行验算,并应满足变形、抗裂度、裂缝宽度、应力等设计值不超过相应的规定限值的要求。

1 钢筋混凝土水箱在组合作用下,当截面处于轴心受拉或小偏心受拉状态时,应按不出现裂缝控制,并应取作用的标准组合进行验算;当截面处于弯曲受拉或大偏心受压状态时,受拉边应按限制裂缝宽度控制,并应取作用的准永久组合进行验算。

2 钢筋混凝土水箱和其他构件的最大裂缝宽度应符合表 4.3.1-1 的规定。

表 4.3.1-1 钢筋混凝土水箱和其他构件的最大裂缝宽度限值

构 件	最大裂缝宽度限值 (mm)
水箱、壳体基础、板式基础(处于地下水以下)	0.20
水塔支承结构的梁、柱及地板、平台、基础(无地下水)	0.25

3 在风荷载作用下,水塔结构任意点的水平位移不得大于该点距地面高度的 $\frac{1}{100}$;地基沉降和不均匀下沉的倾斜率应符合第5.4.3条的要求。

4 水塔各部位梁、板的最大挠度应符合表4.3.1-2的规定。

表 4.3.1-2 水塔中梁、板的挠度限值

构件类型	挠度限值
水箱平顶盖、整体平台、扶梯	$\frac{l_0}{250}$
悬臂平台	$\frac{l_0}{300}$
水塔支架的横梁	$\frac{l_0}{500}$
注:式中 l_0 为构件的计算跨度。	

4.3.2 对正常使用极限状态,作用效应标准组合和准永久组合的设计值 S_d 应分别按下列公式计算:

1 标准组合

当计入风荷载时:

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + C_{Q1} Q_{1k} + 0.6 \sum_{j=2}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (4.3.2-1)$$

当不计入风荷载时:

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (4.3.2-2)$$

2 准永久组合:

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj} \psi_{qj} Q_{jk} \quad (4.3.2-3)$$

式中 ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久值系数。

4.3.3 钢筋混凝土构件处于轴心受拉或小偏心受拉应力状态时,应按下列公式进行抗裂度验算:

1 对轴心受拉构件应满足:

$$\frac{N_k}{A_n + \alpha_E A_s} \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (4.3.3-1)$$

式中 N_k ——构件在作用效应标准组合下计算截面上的轴向力 (N);

A_n ——混凝土净截面面积(mm^2);

A_s ——验算截面内纵向受拉钢筋的总截面面积(mm^2);

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值(N/mm^2),应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用;

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值;

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数,可取 0.87。

2 对小偏心受拉构件应满足:

$$N_k \left(\frac{e_0}{\gamma \cdot W_0} + \frac{1}{A_0} \right) \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (4.3.3-2)$$

式中 e_0 ——纵向力对截面重心的偏心距(mm);

W_0 ——构件换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩(mm^3);

A_0 ——构件换算截面面积(mm^2);

γ ——受拉区混凝土的塑性影响系数,应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用,矩形截面取 1.75。

4.3.4 钢筋混凝土构件处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉状态时,其可能出现的最大裂缝宽度可按附录 D 计算确定,并应符合第 4.3.1 条表 4.3.1-1 的要求。

5 静力计算

5.1 一般规定

5.1.1 静力计算应包括水塔的水箱、支承结构(支筒、支架)、基础的内力计算、地基承载力计算和结构整体稳定计算等。

5.1.2 水塔静力计算应按使用和施工过程中可能发生的荷载及其不利组合情况进行。

5.2 水箱计算

5.2.1 水箱计算应符合下列一般规定：

1 本规程水箱计算适用于圆柱壳水箱、英兹式水箱、倒锥壳水箱、球形水箱的计算(图 5.2.1a、b、c、d)。

2 由各种旋转壳体和环梁组成的水箱(包括顶盖、壁、底),宜按组合壳体结构进行分析,以考虑节点处变形并协调对各构件内力的影响。

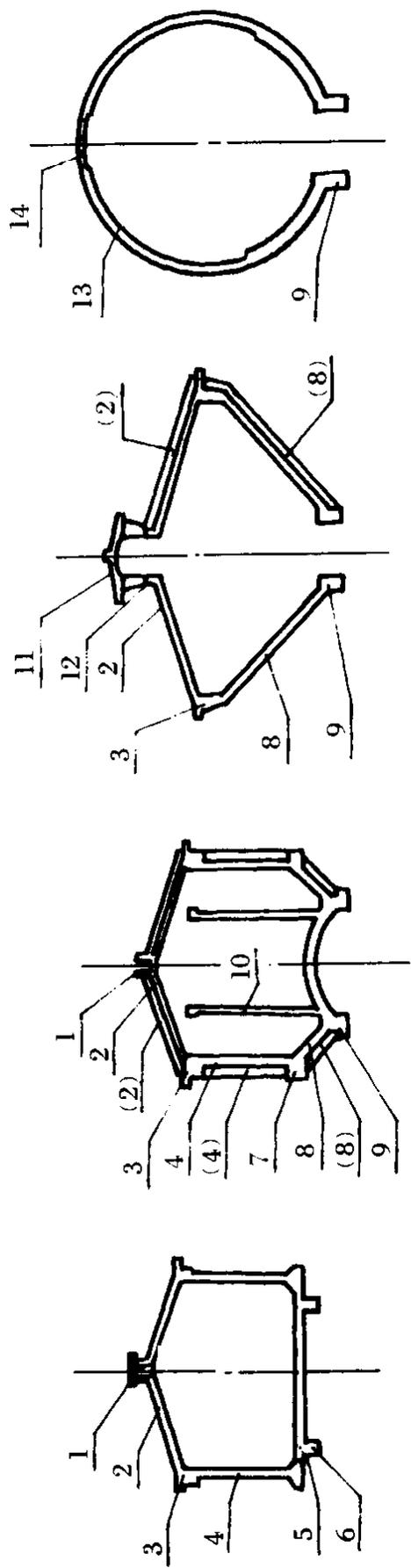
3 容积不大于 500m^3 的圆柱壳水箱、英兹式水箱和容积不大于 100m^3 的倒锥壳水箱进行内力分析时,可将水箱分割为单元构件分别计算,并在构造上考虑边缘构件的变形影响。

4 容积不大于 200m^3 的球形水箱,其底部为环形支承结构时,可按薄膜内力计算,并在球壳的支承结构附近加强构造措施。

5.2.2 水箱按单元构件计算时应符合下列规定：

1 水箱顶盖、水箱底在自重、活荷载、水压力作用下,根据结构形式可按周边固定和周边铰接的板、锥壳、球壳进行内力分析,取其内力包络图配置钢筋。

2 圆柱壳水箱的箱壁在水压力作用下,可按上端自由、下端固定计算竖向弯矩和按上端自由、下端铰接计算环向拉力。位于



(a) 圆柱壳水箱

(b) 英兹式水箱

(c) 倒锥壳水箱

(d) 球形水箱

图 5.2.1 水箱简图

1-通气孔;2-锥壳顶盖;(2)-锥壳顶盖保温层;3-锥壳顶盖下环梁;4-圆柱壳箱壁;

(4)-圆柱壳外水箱壁保温层;5-平板式水箱底板;6-平板式水箱底板环梁;

7-圆柱壳箱壁下环梁;8-倒锥壳水箱底(斜壁);(8)-倒锥壳水箱底保温层;

9-水箱底部环梁;10-圆柱壳内水箱壁;11-倒锥壳水箱通气楼;

12-锥壳顶盖上环梁;13-球壳水箱;14-球壳水箱采光通气。

最大环拉力以下的水箱壁,均按最大环向拉力配置钢筋。

3 英兹式水箱的锥底和倒锥壳水塔的下锥壳,在自重和水压力作用下,可按两端固定的倒锥壳计算径向弯矩和按两端铰接计算环向拉力。英兹式水箱可按最大环向拉力配置锥底的环向钢筋;倒锥壳水箱可分段按本段最大环向拉力配置环向钢筋。

5.2.3 水箱各部位的环梁按单元构件分析时,应按下列要求计算:

1 英兹式水箱当为同心圆双层水箱时,应按内水箱满水,外水箱无水计算环梁的环向拉力;当为单水箱时,应按满水箱计算环梁的环向拉力。

2 支架式支承的水箱底部环梁,应按水箱满水时计算各种竖向荷载作用下多跨连续梁的内力、风荷载作用下的环梁内力,并与按本条第1款计算出的环向拉力叠加后配置环梁钢筋。

3 水箱锥壳或球壳顶盖端部环梁在顶盖活荷载、自重(含保温层、防水层和栏杆等固定设备)设计值作用下,径向力的水平分力对环梁产生的环向拉力设计值(N_{r1})可按式计算(图 5.2.3-1)。

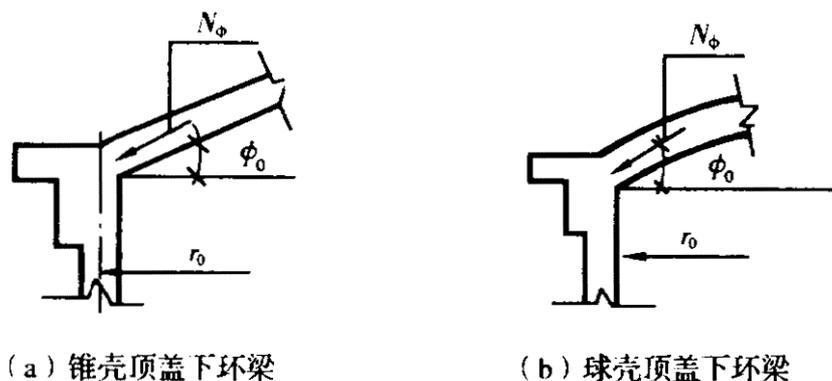


图 5.2.3-1 顶盖环梁

$$N_{r1} = N_{\phi} \cos \phi_0 r_0 \quad (5.2.3-1)$$

式中 N_{r1} ——锥壳或球壳环梁的环向拉力设计值;

N_{ϕ} ——锥壳或球壳边端的径向力设计值;

ϕ_0 ——锥壳斜面或球壳边端处切线与水平面的夹角;

r_0 ——锥壳或球壳边端环梁中心处半径。

4 英兹式水箱壁下部环梁的环向拉力设计值(N_{r2})可按式计算(图 5.2.3-2):

$$N_{r2} = \frac{\sum(Q_j + G_i)}{2\pi t g \alpha} + V_w r_0 \quad (5.2.3-2)$$

式中 N_{r2} ——水箱箱壁下部环梁的环向拉力设计值;
 Q_j ——水箱箱壁下部环梁上的第 j 项可变作用;
 G_i ——水箱箱壁下部环梁上的第 i 项永久作用;
 α ——水箱箱壁下锥底斜面与水平面的夹角(一般为 45°);
 V_w ——箱壁底部由内水压力产生的剪力;
 r_0 ——环梁中心处半径。

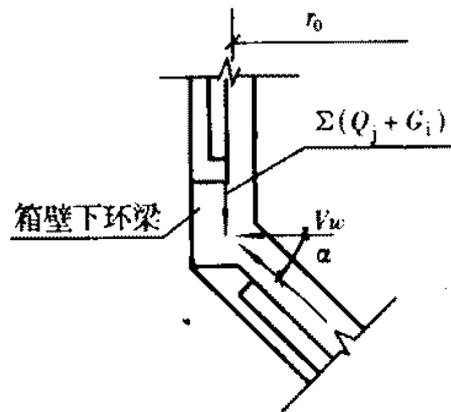


图 5.2.3-2 英兹式水箱壁下环梁

5 英兹式水箱下环梁的环向力设计值(N_{r4})应为球底对环梁作用产生的环向拉力设计值(N_{r1})与锥底作用产生的环向压力设计值(N_{r3})的代数和(图 5.2.3-3): $N_{r4} = N_{r1} + N_{r3}$

球底由自重和竖向水压力产生的环向拉力(N_{r1})可按图 5.2.3-1 计算,锥底对环梁作用产生的环向拉力(N_{r3})可按式计算:

$$N_{r3} = \frac{\sum(G'_i + Q'_j)}{2\pi t g \alpha_1} + V_s r'_0 \quad (5.2.3-3)$$

式中 N_{r3} ——锥壳箱底对环梁产生的环向压力;
 G'_i ——锥壳箱底以上第 i 项永久作用;
 Q'_j ——锥壳箱底以上第 j 项可变作用;

- V_s ——锥壳底部由内水压力产生的剪力；($V_s = N_s \cos \phi_0$)；
 r'_0 ——下环梁中心处的半径；
 α_1 ——锥壳水箱底斜面与水平面的夹角。

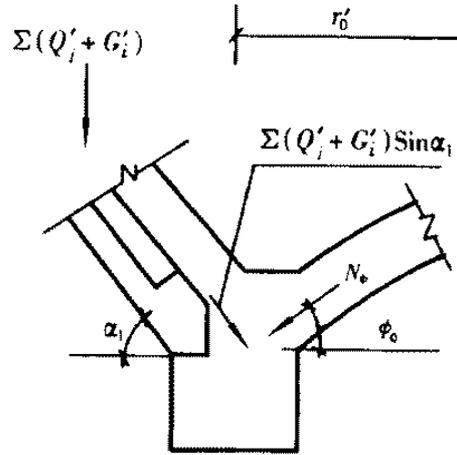


图 5.2.3-3 英兹式水箱下环梁

6 框架式多支柱水塔水箱下环梁的内力除按本条第 5 款计算外还应和按附录 A 的计算值叠加。

5.2.4 对球壳式水箱底,可按球壳上的竖向满布水压力和球壳自重作用下周边固定的球壳计算内力。双层水箱在外水箱无水时,尚应按球壳顶局部竖向水压力和球壳自重作用计算球壳内力。

5.2.5 对球壳式水箱底,可不验算壳体的稳定。大型水塔的球壳稳定临界力,可按下列式计算:

$$q_{cr} = 0.06 E_c \left(\frac{t}{r_{cl}} \right)^2 \quad (5.2.5)$$

式中 q_{cr} ——球壳上的临界力(荷载);

E_c ——混凝土的弹性模量;

t ——球壳厚度;

r_{cl} ——球壳中心线半径。

5.2.6 当圆柱壳水箱底采用带悬出端环向支承的圆板结构时,应按弹性圆板计算内力。圆板上部按板自重、竖向水压力产生的内力与水箱壁及其上部各种重量沿水箱壁作用的线荷载产生的内力

叠加,并应考虑水箱壁底部竖向力矩对圆板的作用。当水箱底板无悬出端时,可不考虑水箱壁传下的线荷载对底板的作用。

5.2.7 符合第 5.2.1 条第 2 款规定的水箱的内力分析,可先计算出各壳体的薄膜内力,再根据壳体与其边缘构件(环梁)连接处的变形连续条件建立变形协调方程,解出边缘的影响力矩、轴力、剪力,然后将薄膜内力与边缘影响力叠加计算出壳体各部位的最终内力。截面计算与配筋应按表 5.2.7 的规定执行。

表 5.2.7 壳体各部位的截面计算与配筋

构件名称	部位	截面计算配筋要求
正锥壳、正球壳	上边缘	径向:偏心受压; 环向:受压
	中部	径向:受压; 环向:受压
	下边缘	径向:偏心受压; 环向:受拉
倒锥壳、倒球壳	上边缘	径向:偏心受压; 环向:受压
	中部	径向:受压; 环向:受拉
	下边缘	径向:偏心受压; 环向:受拉
正锥壳或正球壳的环梁	上环梁	压弯
	下环梁	拉弯
倒锥壳或倒正球壳的环梁	上环梁	拉弯
	下环梁	压弯

5.3 支承结构计算

5.3.1 支承结构计算应符合下列一般规定:

1 水塔结构的自振周期可只考虑基本振型(第一振型)。不同支承结构形式水塔的基本自振周期可按附录 B 计算。

2 水塔的支承结构可按底部固定,且在风荷载、结构自重、水重、固定设备重、活荷载等作用下的悬壁结构计算各构件控制截面的内力。

3 水塔的支承结构为钢筋混凝土框架结构时,水平风荷载可分别按正方向和对角线方向进行计算,并考虑水箱满水和无水两种受力状态。

4 支承结构刚度较小的倒锥壳水塔、圆球形水塔等,应考虑支承结构在风荷载、施工偏差、支筒孔洞、基础倾斜、日照温差等影响下产生水平变位后,水箱和支承结构重力所产生的附加力矩 M_{fz} 。附加力矩可按附录 C 计算。

5 各种因素引起的附加力矩组合,应考虑可能发生的不利组合。在设计时,宜采取措施减小或消除一部分因素引起的附加力矩,如孔洞偏心、施工偏差、地基不均匀下沉等。

6 各种因素所引起的附加力矩 M_{fz} 大于基本风压产生力矩的 50% 时,宜考虑采取加大支筒直径或加大支筒下部壁厚等加强措施。

5.3.2 支筒式支承结构应按下列规定计算:

1 对水塔支筒,可沿支筒高每 5~8m 作为一个质点分段进行计算,砖支筒可按砌体截面厚度变化点分段。每个质点重力、水平力的作用点可取各分段质点的重心处。

2 支筒应选取每单元段中的不利截面作为代表进行截面强度计算。在孔洞处,当未考虑截面补强时,应考虑孔洞削弱的影响。

3 钢筋混凝土支筒的截面承载力计算,可按现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 中关于环形截面偏心受压的规定执行。

4 砖支筒水塔支承结构的承载力,可视为弹性状态偏心受压构件,按下式计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A\varphi} + \frac{M}{W} \leq f \quad (5.3.2-1)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{A\varphi} - \frac{M}{W} \leq f_{\text{tm}} \quad (5.3.2-2)$$

式中 σ_{\max} ——支筒截面最大压应力;

σ_{\min} ——支筒截面最小压应力;

N ——计算截面的轴向力设计值;

A ——支筒截面面积(有孔洞时应考虑截面削弱);
 φ ——纵向挠曲系数;
 M ——计算截面的力矩设计值;
 W ——计算截面的截面抵抗矩(有孔洞时应考虑截面削弱);
 f ——砌体轴心抗压强度设计值;
 f_{tm} ——砌体弯曲抗拉强度设计值。

5.3.3 框架式支承结构应按下列规定计算:

1 钢筋混凝土框架式支承结构在风荷载、自重(含设备重)、活荷载作用下,应按空间框架结构进行内力分析。对小容量水塔,可将空间框架简化为底端固定的单榀平面框架分析计算。

2 作用在水箱上的风荷载传递到平面框架上的力可按下式计算:

$$F_{wt} = \frac{2W_t}{n} \quad (5.3.3-1)$$

式中 F_{wt} ——作用在水箱上的风荷载传递到一榀平面框架的力的设计值;

W_t ——作用在水箱上的风荷载设计值;

n ——空间框架的柱数。

3 框架式支承结构,其空间框架各柱的轴向力可按下式计算:

$$N_{ij} = \frac{\sum G_i}{n} \pm \frac{\sum M_i r_{ci}}{\sum_1^n x_{ij}^2} \quad (5.2.3-2)$$

式中 N_{ij} ——任意第 i 层第 j 柱的最大、最小轴向力设计值;

$\sum G_i$ ——框架计算截面以上的竖向荷载设计值之和(考虑水箱满水及无水);

$\sum M_i$ ——各水平荷载设计值对计算截面的力矩(作用在水箱上的总风荷载,其作用点可按水箱迎风面投影形心处计算;作用在框架上的风荷载可按作用在框架各节点处计算);

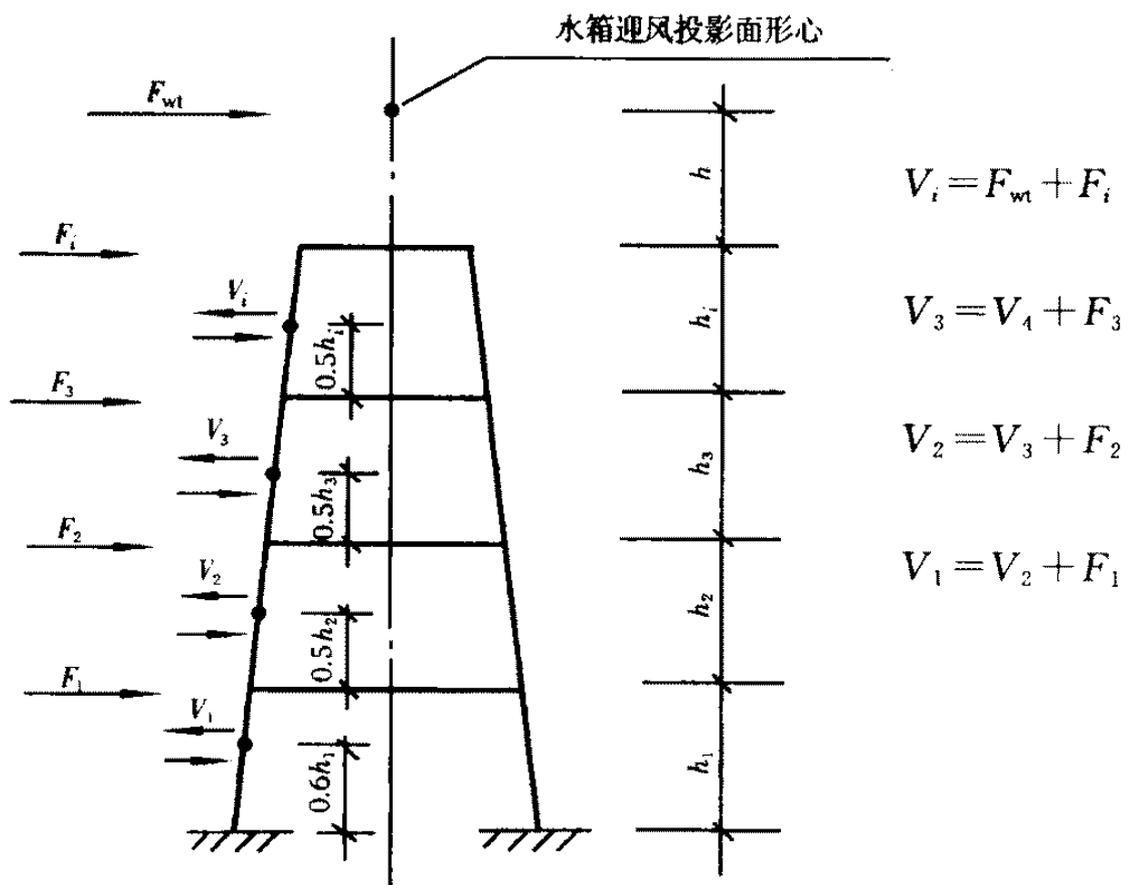
r_{ci} ——第 i 层框架柱中心处的半径;

x_{ij} ——第 i 层第 j 柱与力矩作用方向空间框架中轴的距离。

4 按平面框架计算时,可采用图 5.3.3 所示的简图。

1) 平面框架承受的作用在水箱上的风荷载,可由式(5.3.3-1)确定。框架上的水平风荷载可按作用在各层框架节点上计算,其风荷载值 F_i 取相邻两层框架风荷载之和的 $\frac{1}{2}$,对顶、底层框架取该层风荷载的 $1/2$ 。

2) 平面框架可采用反弯点法计算内力。底层和上层柱的反弯点可取柱底和顶的 0.6 柱高处,中层柱的反弯点均取柱高的中点处(图 5.3.3)。



F_1, F_2, F_3, F_i 为第 $1 \sim i$ 层框架节点处的风荷载设计值;

V_1, V_2, V_3, V_i 为第 $1 \sim i$ 层框架的水平剪力。

图 5.3.3 按平面框架计算简图

5.4 地基基础计算

5.4.1 一般规定：

1 水塔基础的型式应根据建设场地的地质条件、结构要求、材料供应、施工条件等进行技术经济比较后选定。基础的结构形式可采用刚性基础(混凝土或砌体)、钢筋混凝土板式基础(环形、圆形、多边形)、壳体基础等。

2 水塔地基应具有专项的工程地质钻探资料。当水塔修建在取水井影响半径(漏斗)范围内时,尚应对基础持力层土的稳定性作出评价。

3 水塔结构的地基应满足承载力、沉降量控制的要求。

当地基承载力高、压缩性低,且持力层土层比较均匀时,可不进行地基倾斜计算。

4 水塔基础的埋深应根据当地的土层冻结深度、地基土质条件确定。对不保温水塔,基础埋深不应小于 2.0m;对保温水塔,基础埋深不应小于 2.5m。

5 在水塔周围应设混凝土散水保护基础。散水的半径应比基础外缘半径扩大不小于 300mm。

6 水塔基底的反力可按直线分布计算。

5.4.2 水塔地基承载力的验算应满足下列要求：

1 地基承受轴心受压荷载时应满足下式要求：

$$p_m = \frac{N_{1k} + G_{1k}}{A_f} \leq f_a \quad (5.4.2-1)$$

式中 p_m ——竖向荷载引起的基础底面的压力(kN/m²);

N_{1k} ——作用在基础顶面的竖向荷载标准值(kN);

G_{1k} ——基础自重和基础上土重标准值(kN);

A_f ——基础底面积(m²);

f_a ——修正后的地基承载力特征值(kN/m²),应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定采用。

2 地基承受偏心受压荷载时,基础边缘的压力应满足下式要求:

$$p_{\max} = \frac{N_{\text{fk}} + G_{\text{fk}}}{A_f} + \frac{M_{\text{fk}}}{W_f} \leq 1.2 f_a \quad (5.4.2-2)$$

$$p_{\min} = \frac{N_{\text{fk}} + G_{\text{fk}}}{A_f} - \frac{M_{\text{fk}}}{W_f} \geq 0 \quad (5.4.2-3)$$

式中 p_{\max} 、 p_{\min} ——基础边缘的最大、最小压力(kN/m²);

M_{fk} ——作用在基础底面的力矩设计值(kN·m);

W_f ——基础底面的抗抗矩(m³)。

5.4.3 水塔地基的变形应符合下列要求:

1 水塔地基沉降量、沉降差(倾斜)的计算值,应满足表5.4.3规定的地基变形限值。

表 5.4.3 水塔结构的地基变形限值

水塔总高度 $H(\text{m})$	沉降量限值(mm)		倾斜限值 $tg\theta$
	高压缩性粘性土	低、中压缩性粘性土、砂土	
$H \leq 20$	400	200	≤ 0.008
$20 < H < 50$			≤ 0.006

2 地基最终沉降量应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定计算。计算时不考虑风荷载的作用。

3 基础倾斜应按下列计算:

$$tg\theta = \frac{S_1 - S_2}{d_f} \quad (5.4.3)$$

式中 $tg\theta$ ——基础倾斜度;

S_1 、 S_2 ——基础倾斜方向两边缘的最终沉降量(mm);

d_f ——圆板(环)基础的直径(mm),当矩形或多角形时为
基础倾斜方向的宽度(mm)。

5.4.4 当刚性基础的宽度 b 与高度 h 比(图 5.4.4)符合表 5.4.4 中的限值时,可不进行基础强度验算。

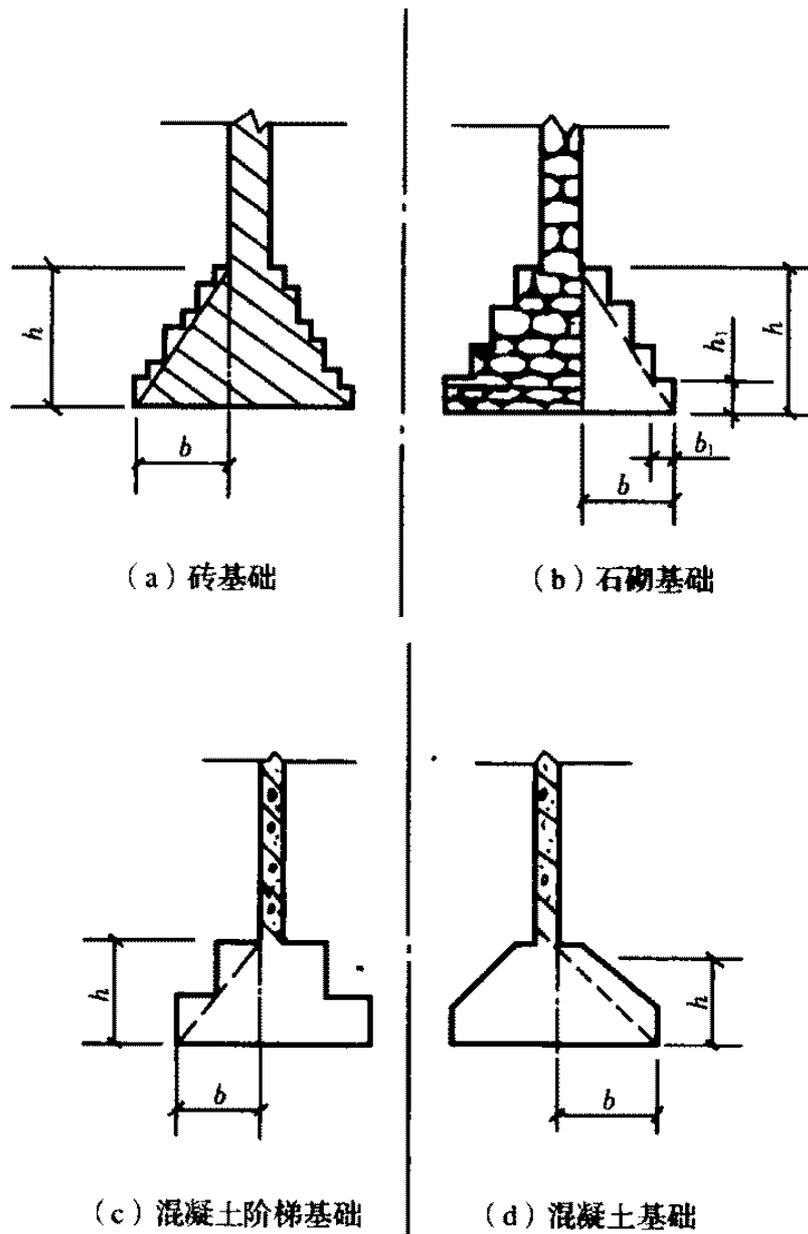


图 5.4.4 刚性基础

表 5.4.4 刚性基础台阶宽高比限值

基础材料	材料等级	基础底面平均压力 P_m (kPa)		
		$p_m \leq 100$	$100 < p_m \leq 200$	$200 < p_m \leq 300$
混凝土	C15	1 : 1	1 : 1	1 : 1.25
	C20	1 : 1	1 : 1	1 : 1
砖砌体	砖不低于 MU10 砂浆不低于 M7.5	1 : 1.5	1 : 1.5	1 : 1.5
毛石	石不低于 MU30 砂浆不低于 M7.5	1 : 1.5	1 : 1.5	1 : 1.5

5.4.5 钢筋混凝土板式基础的设计计算应符合下列要求：

1 钢筋混凝土板式基础(圆板及圆环)的外形尺寸宜符合下列要求(图 5.4.5)：

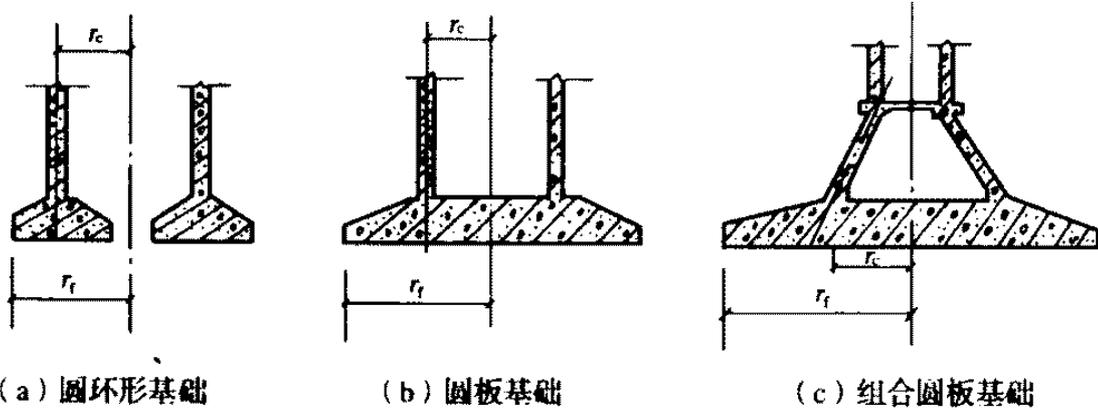


图 5.4.5 板式基础

- (1) 圆板基础外半径 r_f 与支筒中心半径 r_c 之比不宜小于 1.5；
- (2) 圆环形基础的形心宜与支筒中心重合。

2 板式基础的内力可按周边有悬臂的弹性圆板或弹性环板计算。

3 圆板、环板基础的厚度应满足冲切验算要求。

4 板式基础的钢筋网宜采用圆环向和放射向(径向)配筋,可在圆板基础中心处采用分离式网片覆盖。

5 框架式水塔基础板(环)上的圈梁,可按多支点连续环形梁计算内力。

5.4.6 壳体基础的设计计算应符合下列要求：

1 壳体基础可采用锥壳基础、M形壳基础、球壳基础。锥壳基础可用于支筒直径较小的水塔；M形壳基础可用于支筒直径较大的水塔；球壳基础可用于砖支筒水塔(图 5.4.6)。

2 球壳基础的砌砖(石)部分可按刚性基础的要求设计。球壳和环梁为钢筋混凝土结构时,球壳可只计算薄膜力,环梁可按本规程(5.2.3-1)式计算,荷载应采用基础上各种荷载在球壳底面产生的反力。

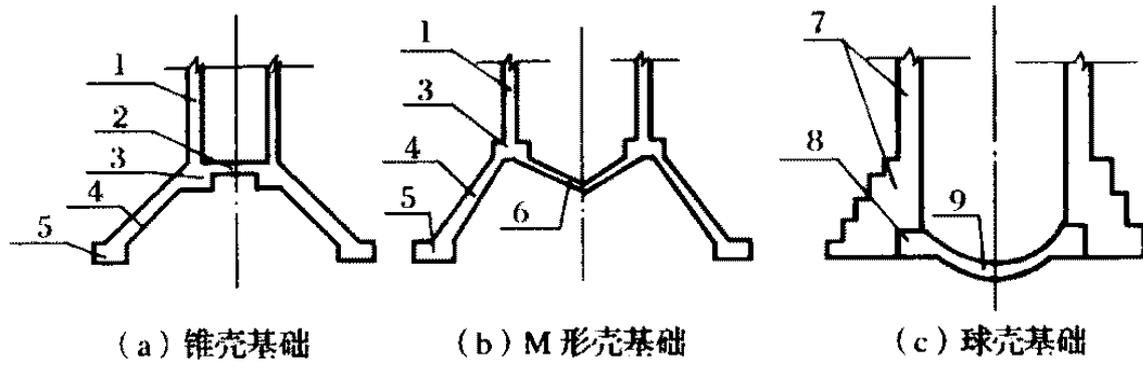


图 5.4.6 壳体基础

1-支筒； 2-地板； 3-上环梁； 4-外锥壳； 5-下环梁；
6-内锥壳； 7-砖支筒和基础； 8-球壳环梁； 9-倒球壳

6 基本构造要求

6.1 一般规定

6.1.1 水塔结构中钢筋的混凝土净保护层厚度应符合表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 水塔结构钢筋的混凝土净保护层最小厚度(mm)

部位	构件名称及工作条件		钢筋类别	保护层厚度(mm)
顶盖			受力钢筋	20
水箱	壁板、底板、 倒锥壳、球壳	与水接触面	受力钢筋	30
		不与水接触面	受力钢筋	25
支承结构	支筒壁		受力钢筋	30
	框架柱、梁		受力钢筋	35
	工作平台		受力钢筋	20
基础板	有垫层下层钢筋		受力钢筋	40
	无垫层下层钢筋		受力钢筋	70
保温板	板(壳)		构造钢筋	15
	肋梁		受力钢筋	25

注:1 当水箱与水接触的混凝土表面有水泥砂浆防水层或其他可靠涂料防水时,其保护层最小厚度可酌量减小,但不得小于处于正常环境时的要求。
2 水箱环梁最小保护层厚度与框架梁相同。

6.1.2 钢筋的锚固应符合下列要求:

1 纵向受拉钢筋的锚固长度不应小于表 6.1.2 规定的数值,并在任何情况下不得小于 250mm;

2 光面 HPB235 受力钢筋的末端应设弯钩。受压钢筋在构件中截断时,应伸至按计算不需要该钢筋的截面以外不小于 $15d$ 。

表 6.1.2 纵向受拉钢筋最小锚固长度 L_d (mm)

钢筋类型	混凝土强度等级		
	C20	C25	\geq C30
HPB235	$30d$	$27d$	$24d$
HRB335	$40d$	$35d$	$30d$

注：当采用滑模施工时，锚固长度应按表中数值增加 $5d$ 。

6.1.3 钢筋接头应满足下列要求：

1 钢筋接头宜优先采用焊接接头，并应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。当无条件采用焊接接头时，可采用搭接接头；

2 弯曲受拉钢筋的搭接长度不应小于表 6.1.2 中锚固长度 L_d 的 1.2 倍，且不小于 300mm。受压钢筋不小于 $0.85L_d$ ，且不小于 200mm；

3 轴心受拉钢筋宜优先采用焊接接头。当采用非焊接接头时，其搭接长度不应小于 $40d$ ，且不小于 350mm；

4 受力钢筋接头的位置应相互错开。当采用非焊接搭接头时，在任一搭接长度区段内受力钢筋接头面积占受力钢筋总截面面积的百分率：受拉区不得超过 25%；受压区不得超过 50%。当必要时，受拉区非焊接接头面积百分率可加大到 50%，但相应搭接长度应增加 1.3 倍。当采用焊接接头时，受拉区不得超过 50%，受压区不限。

6.2 水 箱

6.2.1 水箱各部位的总体尺寸可按下列要求采用：

1 水箱正锥壳顶盖的坡度宜选取 1:3 或 1:4。球壳顶盖和水箱底的矢高与直径比宜取 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}$ ；

2 圆筒壳或英兹式水箱的高度和直径之比宜选取 0.5~0.7。水箱直径与水箱下环梁中心直径之比宜选取 1.4~1.5。倒锥壳

的水平倾角宜为 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。当建筑造型上有特殊要求时,可不受此限。

6.2.2 水箱各部件的尺寸不宜小于表 6.2.2 的要求。

表 6.2.2 水箱各部件的最小尺寸(mm)

部件名称		厚度 t	宽度 b	高度 h
正锥壳及球壳顶盖		上 70 下 100		
平板顶盖		120 及 $\frac{1}{40}$ 直径		
上环梁(顶盖边端)			250 及 1.5 倍箱壁厚	1.5 倍环梁宽
圆筒壳水箱壁		150		
倒锥壳水箱壁 (底)	锥角 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$	130		
	锥角 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$	140		
球形水箱		160		
中环梁(英兹式水箱筒壳下及倒锥壳水箱壁上)			250 及 1.5 倍筒壳 或锥壳壁厚度	平均不小于 1.5 倍环梁 下部宽度
下环梁(水箱支承结构处)			250 及砌体厚、柱 宽	1.5 倍环梁 宽
注:保温水塔水箱的上环梁和中环梁宽度不应小于壁厚加保温层厚;高度不应小于宽度。				

6.2.3 水箱各部位的配筋应满足下列要求:

1 水箱的贮水部分宜采用双层钢筋网配筋。对平板、正锥壳、倒锥壳、球壳,钢筋网宜采用由环向和径向钢筋组成的钢筋网。

2 平板顶(底)应按板端固定要求配置端部钢筋网;在正锥壳上下两端 $\frac{1}{3}$ 壳斜长范围内应配双层钢筋网,壳下端的环向钢筋按轴心受拉确定搭接长度;倒锥壳水箱壁应全部配双层钢筋网,在下

端 $\frac{1}{6}$ 壳斜长范围内水箱壁应加厚,根据厚度不应小于壁厚的 1.5 倍厚度按线性变化;球形水箱应全部采用双层钢筋网,在下部 20°~30°范围内箱壁厚度应加大,不应小于上部相应部分的 1.3 倍。

3 水箱最小配筋量应符合表 6.2.3 的要求。

表 6.2.3 水箱最小配筋量

部件名称	直径	根数	间距(mm)	配筋率(%)
正锥壳和球壳顶盖	φ6		250	单层 0.2
平板顶盖	φ8		250	单层 0.15
上环梁(锥、球壳、顶盖环梁)	环筋 φ10 箍筋 φ6	6	250	0.3
球形水箱	φ10		200	单层 0.2
圆筒壳水箱壁	φ8		200	环筋 0.4 竖筋 0.4
倒锥壳水箱壁(底)	环向 φ10 径向 φ8		200 200	环筋 0.4 径向筋 0.4
中环梁(英兹式水箱筒壳下和倒锥壳水箱壁上)	环筋 φ12 箍筋 φ8	8	200	0.3
下环梁(水箱支承结构处)	环筋 φ10 箍筋 φ8	8	200	0.4

6.3 支承结构

6.3.1 支承结构的形式和尺寸应符合下列要求:

1 支承结构的形式应根据水箱容积、地基和施工技术条件确定,不同的结构(支筒式结构、框架式结构)应分别满足相应的构造要求。

2 钢筋混凝土倒锥壳水塔支筒的直径不宜小于 2.0m, 容量不小于 100m³ 的倒锥壳水塔的直径不宜小于 2.4m。采用滑模施工时, 支筒直径尚应考虑模数化、标准化, 其外径模数可取 800mm。英兹式水箱水塔或筒壳式水箱水塔, 水箱与支筒中心直径之比可取 1.4~1.5。

3 支筒式水塔的支筒可采用直筒式或正截锥式, 截锥的倾斜率可取 $\frac{1}{40} \sim \frac{1}{50}$ 。框架式水塔的支架可采用垂直式或倾斜式, 倾斜式支架的倾斜率可取 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30}$ 。

6.3.2 支筒式水塔应符合下列要求:

1 支筒的最小截面厚度和配筋量应符合表 6.3.2 的要求。

表 6.3.2 支筒的最小截面厚度和配筋量

水塔类别	最小厚度 (mm)	最小配筋量		
		最小直径	间距 (mm)	配筋率 (%)
一般水塔 (英兹式、筒壳式)	上部 120 下部 160 滑模施工 160	纵向 $\phi 12$ 环向 $\phi 8$	250	纵向 0.4
倒锥壳水塔	滑模施工 180 现浇施工 160	纵向 $\phi 12$ 环向 $\phi 6$	200	纵向 0.4
砌体支筒水塔	砖砌体上部 240 砖砌体下部 370 石砌体 400			

2 支筒式水塔的下部门洞宜设门框加固。当不设门框加固时, 钢筋混凝土支筒应在门洞两侧设置加强筋, 其截面面积不应小于洞口切断钢筋的 1.2 倍。在门洞角处应设置不小于 2 $\phi 12$ 的斜向钢筋。在其他洞口四周应设置加强筋和斜向钢筋, 均不小于 2 $\phi 12$ 。砖支筒水塔在门洞上宜设圈梁, 在上部每隔 5~8m 设一道圈梁, 圈梁的最小高度可取 180mm, 主筋直径不应少于 4 $\phi 10$, 箍筋 $\phi 6$ 间距 250mm。砖支筒下部宜设钢筋混凝土地板。

3 对采用滑升模板施工的支筒,应在纵向钢筋外侧每隔 1.0~1.5m 增设 $\phi 12$ 环筋一道,并应与纵筋点焊。支承滑升设备的纵向钢筋不宜小于 $\phi 25$,其接头应采用对焊后加绑条焊。

4 当采用地面预制水箱提升法施工时,应设置支承水箱的环托梁或环托板。当采用环托梁支承水箱时,可在支筒外周围设预埋件与环托梁的箍筋焊接形成整体,并在支筒上预留钢支承孔洞和支筒内设环形内套筒加固。当采用环托板支承水箱时,其厚度不应小于 250mm。

5 在水管穿过水箱内支筒或环托板外,宜设钢套管并在其周围设置不少于 $2\phi 12$ 的环形加固筋,且加固筋应与切断的钢筋焊接。

6.3.3 框架式水塔的框架应符合下列要求:

1 框架式水塔架的构件最小截面尺寸和配筋量应符合表 6.3.3 的要求;

表 6.3.3 框架构件的最小截面尺寸和配筋量

构件名称	最小尺寸		最小配筋量			
	宽度 (mm)	高度 (mm)	纵筋直径	箍筋和间距	根数	配筋率 (%)
柱	250(300)	250(300)	$\phi 12$	$\phi 6, 200\text{mm}$	4 根	0.4
横梁	200(250)	300(400)	$\phi 10$	$\phi 10, 200\text{mm}$	上部 2 根 下部 2 根	0.2

注:1 括号中数字适用于水箱容积不小于 100m^3 的水塔。
2 水塔柱不宜少于 4 根。
3 梁柱的箍筋间距不应大于 200mm,在梁柱交接处 $\frac{1}{6}$ 高(长)范围内箍筋间距应采用 100mm。

2 框架式水塔的梁柱宜设腋角。腋角高度不应小于 200mm,宽度不应小于 400mm。每层框架的高度可采用 4~6m;

3 框架高度大于 20m 时,在框架中部宜设一道整体式平台或在柱间设置水平连系梁。

6.4 基 础

6.4.1 对刚性基础,当采用砖砌体时每个台阶宽度不宜大于60mm;当采用石砌体时每个台阶宽度不宜大于300mm。

6.4.2 钢筋混凝土板式基础应设混凝土垫层,其厚度不应小于100mm。板的最小厚度和配筋量应符合表6.4.2的要求。

表 6.4.2 钢筋混凝土板式基础的厚度和配筋量

基础形式	基础最小厚度 (mm)	最 小 配 筋		
		直径	间距(mm)	配筋率(%)
圆环形	根部 350 端部 250	环向 $\phi 10$ 径向 $\phi 12$	最大 250	单向受力筋 0.20
圆板	根部和支承内部 400 外端部 250	环向 $\phi 10$ ($\phi 12$) 径向 $\phi 12$	最大 250	单向受力筋 0.20

注:括号内钢筋直径适用于水塔容量大于200m³。

6.4.3 壳体基础宜设厚度20~30mm的水泥砂浆垫层。锥壳的几何尺寸和配筋应按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定采用。球壳基础的厚度不应小于200mm;环梁尺寸不应小于400mm×400mm。球壳的配筋不应少于 $\phi 10$ 、间距200mm;在根部配双层钢筋网,其范围不应小于球壳水平半径的 $\frac{1}{3}$ 。球壳环梁的环筋不应少于6 $\phi 12$,箍筋不应少于 $\phi 8$,间距200mm。

6.5 其 他

6.5.1 各种孔洞处均应加固。砖筒壁窗孔洞的上下配筋不宜少于3 $\phi 8$,并伸入两端不应小于1.0m。钢筋混凝土支筒的窗洞周围应配不少于2 $\phi 12$ 加固钢筋。其他管道孔洞四周的加固钢筋,当孔洞尺寸不大于300mm时不应少于2 $\phi 10$;当孔洞尺寸大于300mm

时不应少于 $2\phi 12$ 。

6.5.2 水塔内的单向悬臂平台板,端部厚度不应小于 80mm,根部不应小于 120mm。双层配筋整体板的厚度不应小于 120mm。

6.5.3 对钢筋混凝土水箱、支筒、框架、壳体基础等,混凝土的强度等级不应低于 C25;对板基础和其他结构,不应低于 C20;对刚性基础,不应低于 C15;对基础垫层,不应低于 C10。

6.5.4 水箱的混凝土抗渗等级应采用 S_{88} ,壳体基础应采用 S_{44} 。

6.5.5 用于混凝土的水泥宜采用普通硅酸盐水泥,其标号不宜低于 R42.5。

6.5.6 在配置混凝土时采用的外加剂,应符合《混凝土外加剂应用技术规范》GBJ 119 的规定。

6.5.7 水箱混凝土中的含碱量应符合《混凝土碱含量限值标准》CECS 53 的规定。

6.5.8 当支筒采用机制砖时,其强度等级不应低于 MU10;采用石材时,其强度等级不应低于 MU30;砂浆均不应低于 M7.5。

6.5.9 用于水箱的钢筋宜采用 HPB235,用于其他部位的钢筋可采用 HPB235 或 HRB335。

附录 A 框架式多支柱水箱下环梁内力计算

A.0.1 框架式多支柱水塔水箱下环梁的内力,应为在水箱的竖向荷载作用下环梁产生的内力与框架在水平荷载作用下环梁产生的内力之和。

A.0.2 框架式多支柱水塔的水箱下环梁,可按在竖向均布荷载作用下多柱支承的环梁由表 A.0.2 计算内力。

表 A.0.2 多柱支承的环梁在竖向均布荷载作用下的内力

支柱数	最大剪力 (kN)	弯矩(kN·m)		最大扭矩 (kN·m)	支柱轴线与最大 扭矩截面间的 中心角
		支柱间跨中	支柱上		
4	$0.785qr_0$	$0.1107qr_0^2$	$-0.2146qr_0^2$	$0.03313qr_0^2$	$19^{\circ}11'59''$
6	$0.524qr_0$	$0.0472qr_0^2$	$-0.0931qr_0^2$	$0.00947qr_0^2$	$12^{\circ}43'26''$
8	$0.393qr_0$	$0.0262qr_0^2$	$-0.0519qr_0^2$	$0.00395qr_0^2$	$9^{\circ}31'55''$
10	$0.314qr_0$	$0.0166qr_0^2$	$-0.0331qr_0^2$	$0.00201qr_0^2$	$7^{\circ}37'08''$
12	$0.262qr_0$	$0.0115qr_0^2$	$-0.0230qr_0^2$	$0.00116qr_0^2$	$6^{\circ}20'47''$
16	$0.196qr_0$	$0.00646qr_0^2$	$-0.0129qr_0^2$	$0.00049qr_0^2$	$4^{\circ}25'27''$

注:1 表中 q 为环梁上的线荷载(kN/m);
2 表中 r_0 为环梁中心处的半径(m)。

A.0.3 在水平荷载作用下支架环梁的内力,可按本规程第 5.3.3 条的规定进行计算。

附录 B 水塔结构基本自振周期计算

B.0.1 单水箱水塔的支承结构为等截面或截面变化不大时,其基本自振周期可按下式计算(图 B.0.1):

$$T_1 = 3.63 \sqrt{\frac{H^3}{EI} (m + 0.236AH\rho)} \quad (\text{B.0.1})$$

式中 T_1 ——基本自振周期(s);

H ——水塔结构的计算高度(水箱质量中心至基础顶面的高度)(m);

E ——支承结构材料的弹性模量(N/m^2);

I ——支承结构的截面惯性距(m^4)
(对截面变化不大的框架支承结构,可取 $\frac{H}{2}$ 处的等代截面简

化计算);

m ——水箱的质量(kg);

A ——支承结构的计算截面面积(m^2);

ρ ——支承结构的密度(kg/m^3)。

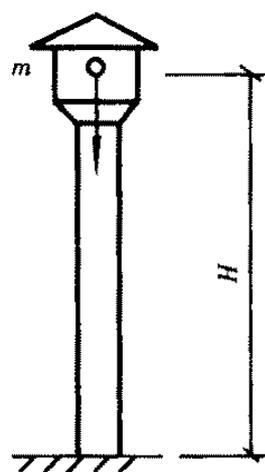


图 B.0.1 单水箱水塔示意图

B.0.2 双水箱水塔的支承结构为等截面时,其基本自振周期可按下式计算(图 B.0.2):

$$T_1 = 3.63 \sqrt{\frac{H^3}{EI} (m_1 \alpha_1^2 + m_2 + 0.236AH\rho)} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$\alpha_1 = 1.5 \left(\frac{H_1}{H} \right)^2 - 0.5 \left(\frac{H_1}{H} \right)^3 \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中 m_1 ——下水箱质量(kg);
 m_2 ——上水箱质量(kg);
 H_1 ——下水箱计算高度(m)。

B.0.3 单水箱水塔的支承结构为变截面时,其基本自振周期可按式简化计算(图 B.0.3):

$$T_1 = 2\pi \sqrt{m_n u} \quad (\text{B.0.3})$$

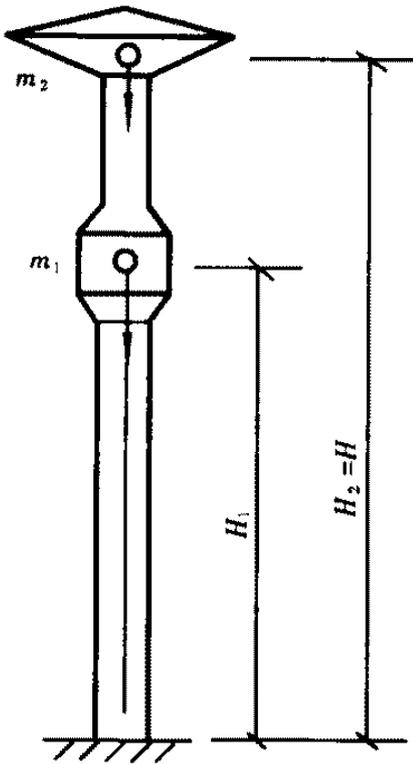


图 B.0.2 双水箱
水塔示意图

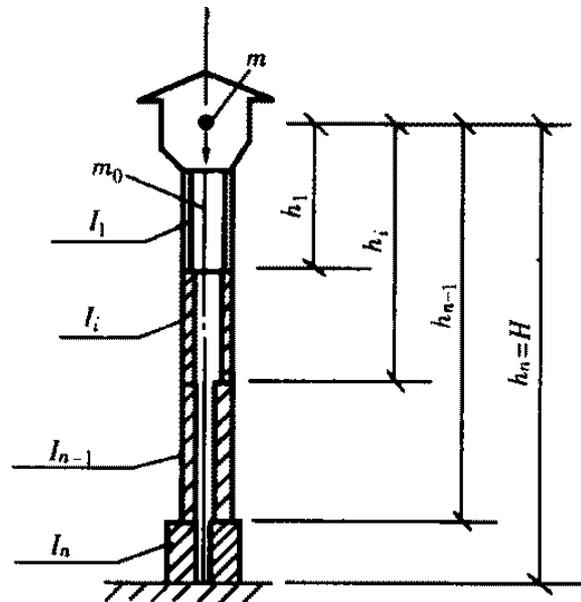


图 B.0.3 单水箱水塔变
截面支承结构

式中 m_n ——水箱和支承结构的折算质量之和($m_n = m + m_0$);
 m_0 ——支承结构的折算质量,砖、石支筒可取 $\frac{1}{3}$ 支筒重量,

钢筋混凝土支筒、支架可取重量的 $\frac{1}{4}$;

u ——作用在水箱重心处的单位水平力在该点引起的位

移, $u = \frac{1}{3E} \sum_{i=1}^n \frac{h_i^3 + h_{i-1}^3}{I_i}$, 式中, I_i 为支承第 i 段的惯

性距, h_i 为由水箱重心至第 i 段截面处的高度 (h_n 为水箱重心至基础顶面的高度)。

附录 C 附加力矩计算

C.0.1 倒锥壳水塔和其他支承结构刚度较小的支筒式水塔,在风荷载设计值、基础倾斜、施工偏差等影响下,结构发生变位后,由竖向荷载(水重、结构自重等)设计值引起的附加力矩,可按下式计算:

$$M_{iz} = M_z(\theta) + K_u M_z(u) \quad (\text{C.0.1})$$

$$M_z(\theta) = (G_t z + 0.5 G_c z^2) \text{tg}\theta \quad (\text{C.0.2})$$

$$M_z(u) = \frac{1}{120} \cdot \frac{G_t}{B} \cdot \frac{z}{H_0} [60 M_e H_0 (2 H_0 - z)] + 20 H_0 (W_t + G_t \text{tg}\theta) \\ (3 H_0^2 - z^2) + w_1 (5 H_0^4 - z^4) + w_2 (15 H_0^4 - 5 H_0 z^3 + z^4) \\ + 5 G_c H_0 \text{tg}\theta (4 H_0^3 - z^3) \quad (\text{C.0.3})$$

$$M_e = G_t e_0 + W_t d_0 \quad (\text{C.0.4})$$

$$K_u = \frac{1}{1 - 0.4 \left(\frac{G_t}{B} \right) H_0^2} \quad (\text{C.0.5})$$

$$\theta = \text{tg}^{-1} \left[\frac{3(1-\nu_s^2)}{4r_t^3} \cdot \left(\frac{M_{\text{HG}}}{E_s} + \frac{M_{\text{HW}}}{E} + \frac{\Delta}{H_0} \right) \right] \quad (\text{C.0.6})$$

$$M_{\text{HG}} = G_t (e_0 + \Delta) + \frac{\Delta \cdot G_c H_0}{2} \quad (\text{C.0.7})$$

$$M_{\text{HW}} = W_t (H_0 + d_0) + \frac{w_1 H_0^2}{2} + \frac{w_2 - w_1}{2} H_0^2 \quad (\text{C.0.8})$$

式中 M_{iz} ——在风荷载、施工偏差及基础倾斜的影响下,支筒变位后,水箱和支筒重量所引起的计算截面 z 处的附加力矩设计值(kN·m);

G_t ——水箱重(包括水箱自重和水重)(kN);

G_c ——支筒单位高度重(kN/m);

- $M_z(\theta)$ ——在地基变形、基础倾斜及施工偏差的影响下,支筒产生变位后,水箱和支筒重量引起的计算截面 z 处的附加力矩设计值($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- $M_z(u)$ ——在风荷载、施工偏差及基础倾斜的影响下,支筒产生弹性变位后,水箱和支筒重量引起的计算截面 z 处的初次附加力矩设计值($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- M_c ——水箱的施工安装误差和作用在水箱上的风荷载对支筒顶端产生的力矩设计值($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- K_0 ——支筒产生弹性变位后,水箱重量引起附加力矩设计值的高阶影响系数;
- θ ——风荷载、施工偏差引起的水箱支筒的倾斜角(图 C.0.2);
- M_{HG} ——由于结构重心偏移、施工偏差引起的结构自重对支筒底部产生的力矩设计值($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- M_{HW} ——作用在水箱和支筒上的风荷载对支筒底部产生的力矩设计值($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- z ——自计算截面至支筒顶端(水箱底部)的距离(m);
- H_0 ——支筒的计算高度(m),可取基础顶面至水箱底部的高度;
- B ——钢筋混凝土支筒的计算刚度($\text{kN} \cdot \text{m}^2$),可取 $B = 0.3E_c I_0$; E_c 为混凝土弹性模量, I_0 为支筒的截面惯性距(m^4);
- e_0 ——由于水箱安装误差引起的水箱重心对支筒中心的偏心距(m),根据具体施工条件确定;
- d_0 ——支筒顶端至水箱重心处的距离(m);
- Δ ——支筒全高的施工累计误差值(m),根据具体施工条件确定;
- W_1 ——作用在水箱上的风荷载设计值(图 C.0.1)(kN);
- w_1 ——作用在支筒底端的风荷载设计值(图 B.0.1)

(kN/m^2);

w_2 ——作用在支筒顶端的风荷载设计值(图 B.0.1)

(kN/m^2);

r_f ——基础的计算半径(m);

ν_s ——地基土的泊桑比;

E_s 、 E ——地基土的压缩模量和弹性模量(kN/m^2)。

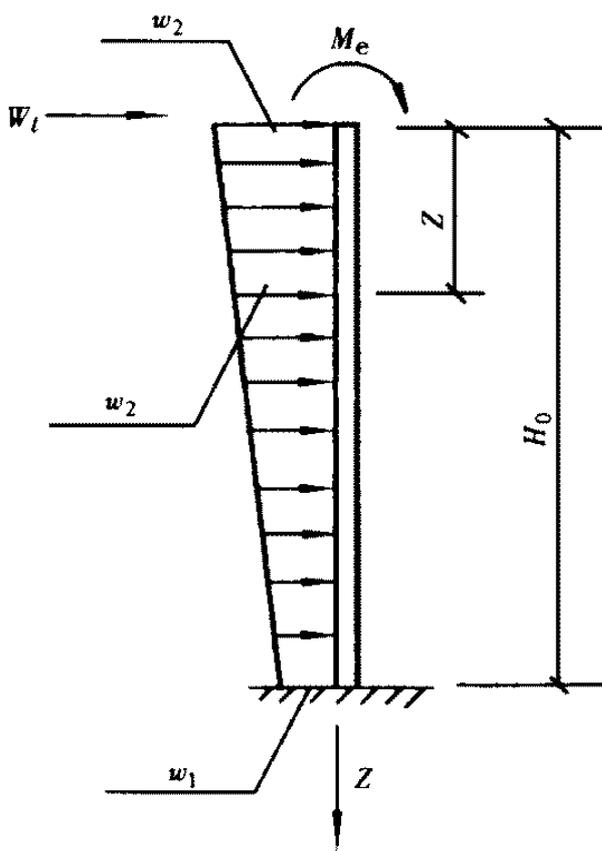


图 C.0.1 产生支筒弯曲的力系

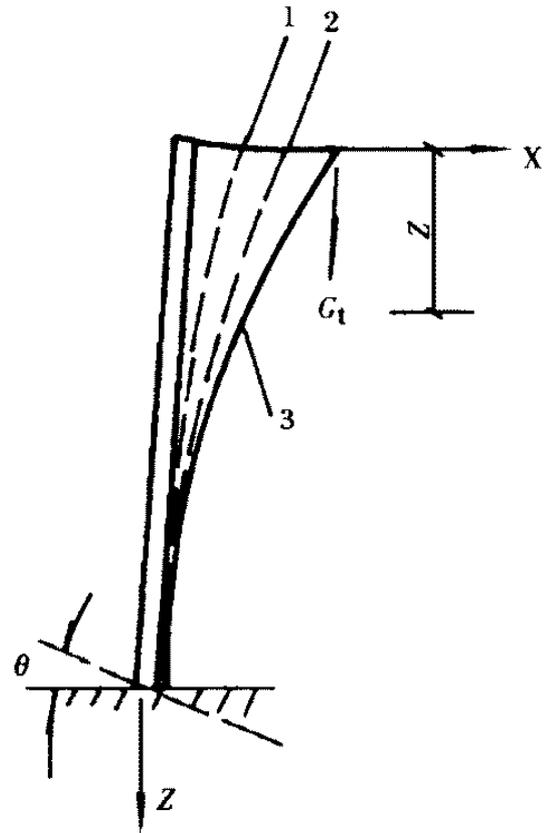


图 C.0.2 水箱支筒重
引起的附加力矩

1—施工偏差;2—基础倾斜;
3—弹性变位

C.0.2 水塔支筒上的孔洞引起的支筒重心偏移,可采取孔洞补强的方法,使孔洞处重心不偏移,不产生附加力矩。

C.0.3 当无资料计算确定地基倾斜时,可根据水塔的地基变形限值采用。

C.0.4 施工中产生的支筒偏心、水箱安装偏差,可根据施工实际情况或施工允许偏差值采用。

C.0.5 水塔附加力矩的最不利组合,应根据实际情况确定。

附录 D 钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受压（拉）状态时的最大裂缝宽度计算

D.0.1 受弯、大偏心受拉或受压构件的最大裂缝宽度,可按下列公式计算:

$$w_{\max} = 1.8\psi \frac{\sigma_{sq}}{E_s} \left(1.5c + 0.11 \frac{d}{\rho_{te}} \right) (1 + \alpha_1) \nu \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_{sq}\alpha_2} \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中 w_{\max} ——最大裂缝宽度(mm);

ψ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数,当 $\psi < 0.4$ 时,取 0.4;当 $\psi > 1.0$ 时,取 1.0;

σ_{sq} ——按作用效应准永久组合计算的截面纵向受拉钢筋应力(N/mm²);

E_s ——钢筋的弹性模量(N/mm²);

c ——最外层纵向受拉钢筋的混凝土净保护层厚度(mm);

d ——纵向受拉钢筋直径(mm)。当采用不同直径的钢筋时,应取 $d = \frac{4A_s}{u}$,其中, u 为纵向受拉钢筋截面的总周长(mm), A_s 为受拉钢筋截面面积(mm²);

ρ_{te} ——以有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率,即 $\rho_{te} = \frac{A_s}{0.5bh}$,其中, b 为截面计算宽度, h 为截面计算高度, A_s 对偏心受拉构件取偏心力一侧的钢筋截面面积;

α_1 ——系数,对受弯、大偏心受压构件取 $\alpha_1 = 0$,对大偏心

$$\text{受拉构件取 } \alpha_1 = 0.28 \left[\frac{1}{1 + \frac{2e_0}{h_0}} \right];$$

e_0 ——纵向力对截面重心偏心距(mm);

h_0 ——计算截面的有效高度(mm);

ν ——纵向受拉钢筋表面特征系数,对光面钢筋取 1.0;
对变形钢筋取 0.7;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值(N/mm²);

α_2 ——系数,对受弯构件取 $\alpha_2 = 1.0$,对大偏心受压构件

取 $\alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}$,对大偏心受拉构件取 $\alpha_2 = 1 +$

$$0.35 \frac{h_0}{e_0}。$$

D.0.2 受弯、大偏心受压、大偏心受拉构件的计算截面纵向受拉钢筋应力(σ_{sq}),可按下列公式计算:

1 受弯构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q}{0.87A_s h_0} \quad (\text{D.0.2-1})$$

式中 M_q ——在作用效应准永久组合作用下,计算截面处的弯矩(N·mm)。

2 大偏心受压构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q - 0.35N_q(h_0 - 0.3e_0)}{0.87A_s h_0} \quad (\text{D.0.2-2})$$

式中 N_q ——在作用效应准永久组合作用下,计算截面上的纵向力(N)。

3 大偏心受拉构件的纵向钢筋应力

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q - 0.5N_q(h_0 - a')}{A_s(h_0 - a')} \quad (\text{D.0.2-3})$$

式中 a' ——位于偏心力一侧的钢筋至截面近侧边缘的距离(mm)。

本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1 表示很严格,非这样做不可的:
正面词采用“必须”;
反面词采用“严禁”。
- 2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:
正面词采用“应”;
反面词采用“不应”或“不得”。
- 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:
正面词采用“宜”或“可”;
反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时,写法为“可参照……执行”。