CECS 139：2002

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

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

主编单位：铁道专业设计院
批准单位：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

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　次

1　总　　则 …… (1)
2　主要符号 …… (2)
3　结构上的作用 …… (6)
3.1　作用分类和作用代表值 …… (6)
3.2　永久作用标准值 …… (6)
3.3　可变作用标准值、准永久值系数 …… (7)
4　基本设计规定 …… (10)
4.1　一般规定 …… (10)
4.2　承载能力极限状态计算 …… (11)
4.3　正常使用极限状态验算 …… (12)
5　静力计算 …… (15)
5.1　一般规定 …… (15)
5.2　水箱计算 …… (15)
5.3　支承结构计算 …… (20)
5.4　地基基础计算 …… (24)
6　基本构造要求 …… (29)
6.1　一般规定 …… (29)
6.2　水　箱 …… (30)
6.3　支承结构 …… (32)
6.4　基　础 …… (35)
6.5　其　他 …… (35)
附录 A　框架式多支柱水箱下环梁内力计算 …… (37)
附录 B　水塔结构基本自振周期计算 …… (38)
附录 C　附加力矩计算 …… (41)

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 …… (45)
本规程用词说明 …… (47)
附:条文说明 …… (49)

1 总　　则

1.0.1 为了在给水排水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_{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；

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_{fz}——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_{t1}——锥壳或球壳环梁的环向拉力设计值；

N_{t2}——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_{ϕ}——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_t——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_i——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_{c1}——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_i——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_q
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；

3.3.2 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 $500m^3$ 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式计算:

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z \mu_r w_0 \tag{3.3.3}$$

式中 w_k——风荷载标准值,kN/m^2;

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;

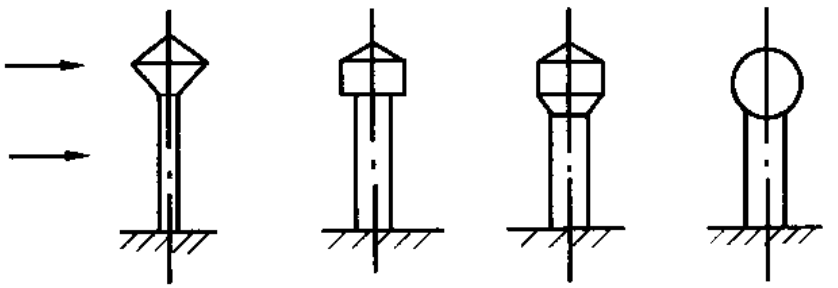
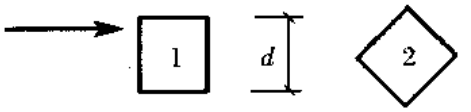
w_0——基本风压,kN/m^2。

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 $0.4kN/m^2$。

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

<table>
<tr><td>名称</td><td>结构体型及体型系数</td></tr>
<tr><td>水箱及支筒</td><td> 
水箱　　$\mu_s=0.7$
支筒为圆形光滑面　　$\mu_s=0.7$
支筒为外肋圆形筒　　$\mu_s=0.8\sim0.9$</td></tr>
<tr><td>塔架</td><td> 
1　塔架的整体体型系数 μ_s 值：
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
注：① 挡风系数＝迎风面挡风面积÷迎风面轮廓面积，均按塔架迎风面的一个塔面计算。
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。
2　圆形柱截面构件及圆形塔架的整体体型系数 μ_s 值：
当 $w_0d^2\leqslant0.002$ 时，μ_s 按上表值乘以 0.8 采用；
当 $w_0d^2\geqslant0.015$ 时，μ_s 按上表值乘以 0.6 采用；
当 w_0d^2 位于两者之间时，按插入法计算。</td></tr>
</table>

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。

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：

$$\gamma_0 S \leqslant R \tag{4.2.1}$$

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：

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

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：

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

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

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：

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

当不计入风荷载时：

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

2　准永久组合：

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

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：

$$\frac{N_k}{A + \alpha_E A_s} \leqslant \alpha_{ct} f_{tk} \quad (4.3.3\text{-}1)$$

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：

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

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。

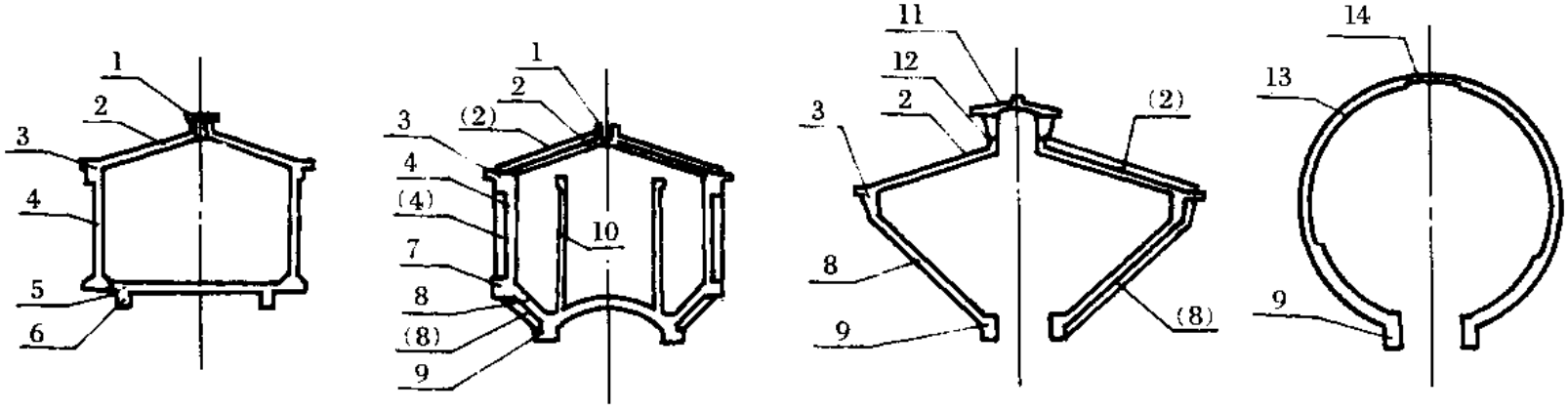
3 容积不大于 $500m^3$ 的圆柱壳水箱、英兹式水箱和容积不大于 $100m^3$ 的倒锥壳水箱进行内力分析时,可将水箱分割为单元构件分别计算,并在构造上考虑边缘构件的变形影响。

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。

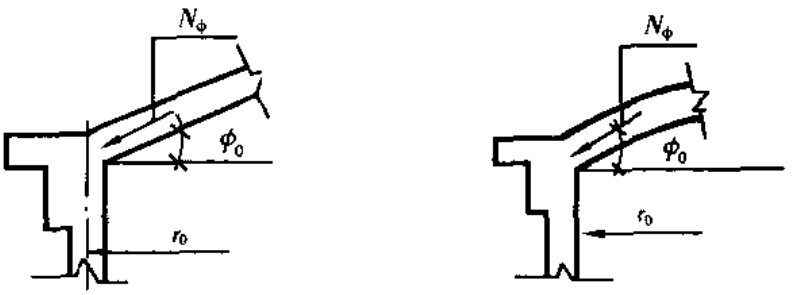
3 英兹式水箱的锥底和倒锥壳水塔的下锥壳，在自重和水压力作用下，可按两端固定的倒锥壳计算径向弯矩和按两端铰接计算环向拉力。英兹式水箱可按最大环向拉力配置锥底的环向钢筋；倒锥壳水箱可分段按本段最大环向拉力配置环向钢筋。

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}）可按下式计算（图5.2.3-1）。



（a）锥壳顶盖下环梁　　（b）球壳顶盖下环梁

图5.2.3-1 顶盖环梁

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

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_{t2})可按下式计算(图 5.2.3-2)：

$$N_{t2}=\frac{\sum(Q_j+G_i)}{2\pi tg\alpha}+V_w r_0 \qquad (5.2.3\text{-}2)$$

式中 N_{t2}——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。

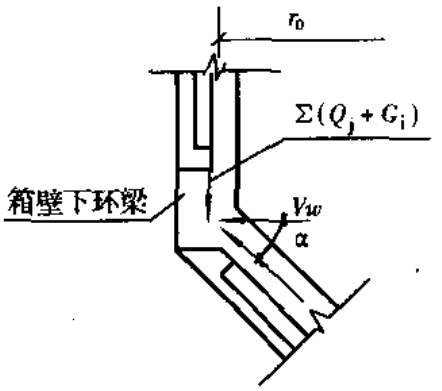


图 5.2.3-2 英兹式水箱壁下环梁

5 英兹式水箱下环梁的环向力设计值(N_{t4})应为球底对环梁作用产生的环向拉力设计值(N_{t1})与锥底作用产生的环向压力设计值(N_{t3})的代数和(图 5.2.3-3)：$N_{t4}=N_{t1}+N_{t3}$

球底由自重和竖向水压力产生的环向拉力(N_{t1})可按图 5.2.3-1 计算，锥底对环梁作用产生的环向拉力(N_{t3})可按下式计算：

$$N_{t3}=\frac{\sum(G'_i+Q'_j)}{2\pi tg\alpha_1}+V_s r'_0 \qquad (5.2.3\text{-}3)$$

式中 N_{t3}——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；

V_s——锥壳底部由内水压力产生的剪力；($V_s = N_\phi \cos\phi_0$)；

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。

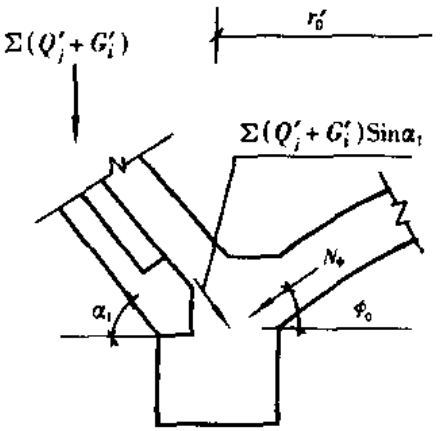


图 5.2.3-3　英兹式水箱下环梁

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：

$$q_{cr} = 0.06 E_c \left(\frac{t}{r_{c1}}\right)^2 \tag{5.2.5}$$

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_{c1}——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对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

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：

$$\sigma_{max}=\frac{N}{A\varphi}+\frac{M}{W}\leqslant f \tag{5.3.2-1}$$

$$\sigma_{min}=\frac{N}{A\varphi}-\frac{M}{W}\leqslant f_{tm} \tag{5.3.2-2}$$

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：

$$F_{wt}=\frac{2W_t}{n} \tag{5.3.3-1}$$

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：

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

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)；

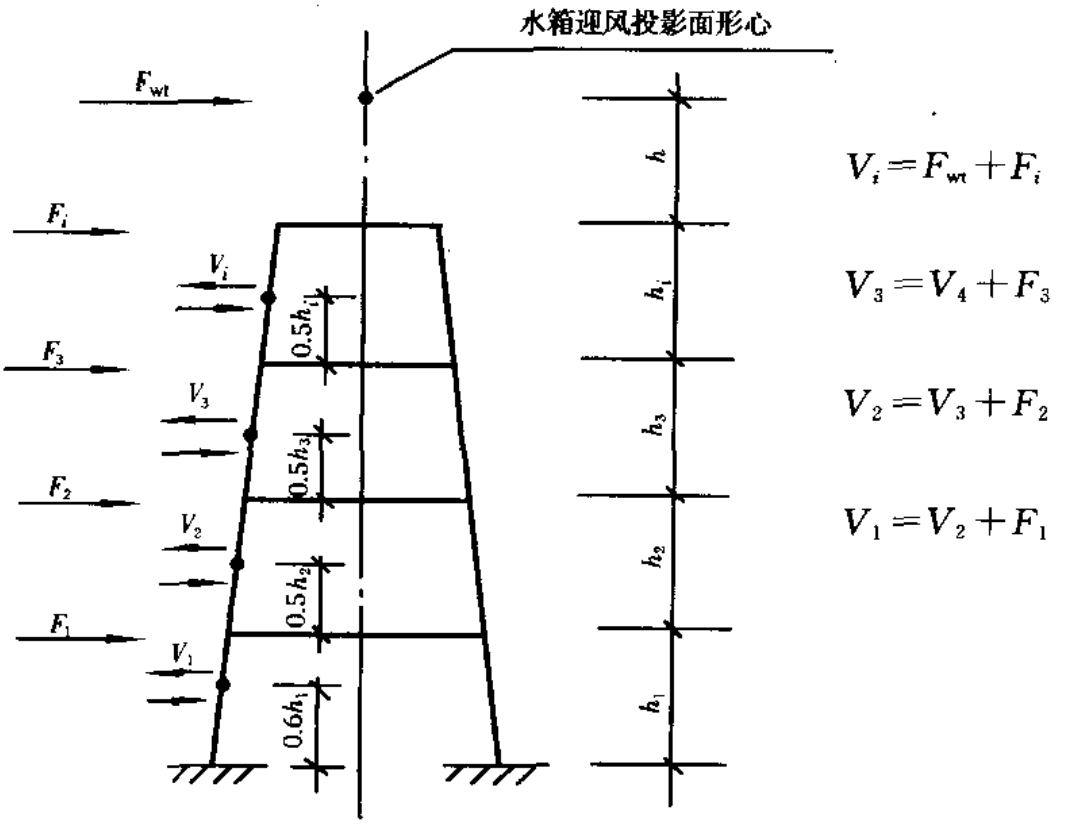
r_{ci}——第 i 层框架柱中心处的半径；

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～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～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：

$$p_m=\frac{N_{tk}+G_{fk}}{A_f}\leqslant f_a \qquad (5.4.2\text{-}1)$$

式中 p_m——竖向荷载引起的基础底面的压力(kN/m^2)；

N_{tk}——作用在基础顶面的竖向荷载标准值(kN)；

G_{fk}——基础自重和基础上土重标准值(kN)；

A_f——基础底面积(m^2)；

f_a——修正后的地基承载力特征值(kN/m^2)，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：

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

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

式中　p_{max}、p_{min}——基础边缘的最大、最小压力(kN/m^2)；

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(m^3)。

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(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	
$H\leqslant 20$	400	200	$\leqslant 0.008$
$20<H<50$			$\leqslant 0.006$

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：

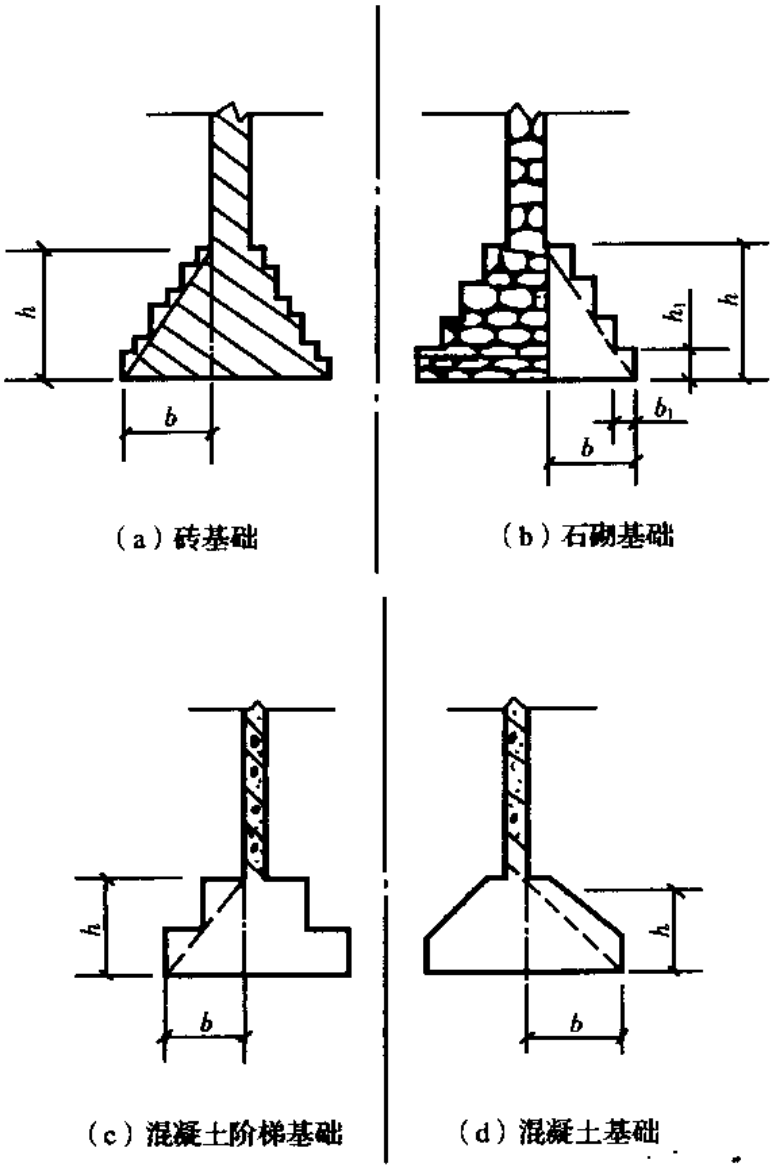
$$tg\theta=\frac{S_1-S_2}{d_f} \qquad (5.4.3)$$

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。



（a）砖基础　（b）石砌基础

（c）混凝土阶梯基础　（d）混凝土基础

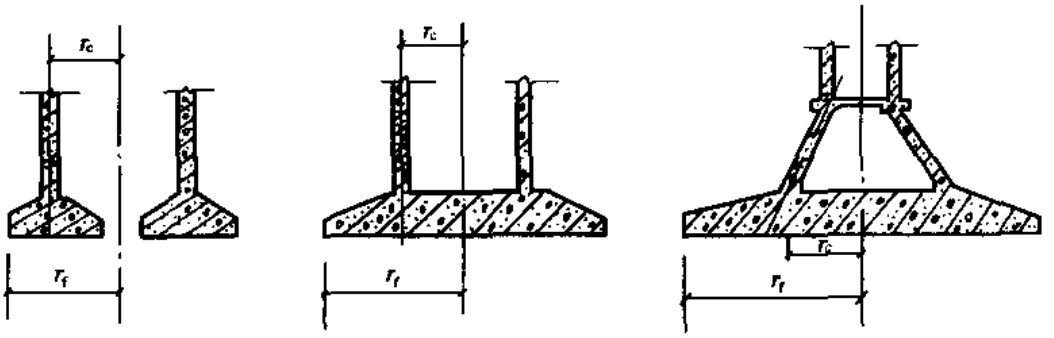
图 5.4.4　刚性基础

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)		
		$p_m \leqslant 100$	$100 < p_m \leqslant 200$	$200 < p_m \leqslant 300$
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)：



(a) 圆环形基础　　(b) 圆板基础　　(c) 组合圆板基础

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。

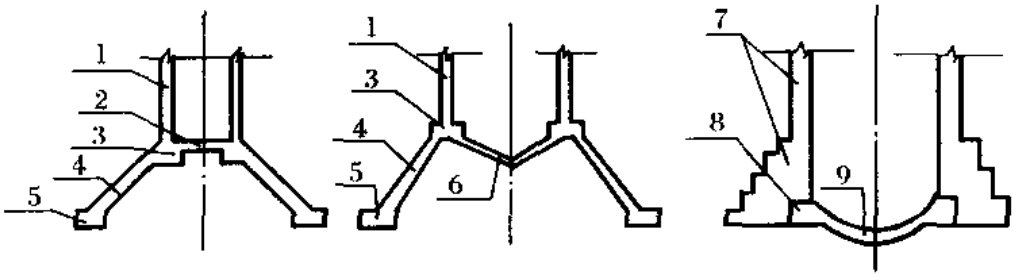
4 板式基础的钢筋网宜采用圆环向和放射向(径向)配筋，可在圆板基础中心处采用分离式网片覆盖。

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。



（a）锥壳基础　　（b）M形壳基础　　（c）球壳基础

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		
	C2ρ	C25	≥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。

的水平倾角宜为25°～45°。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°～30°	130		
	锥角35°～45°	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

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、地基和施工技术等条件确定，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$\frac{1}{40}$～$\frac{1}{50}$。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$\frac{1}{20}$～$\frac{1}{30}$。

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ϕ12 环向ϕ8	250	纵向0.4
倒锥壳水塔	滑模施工180 现浇施工160	纵向ϕ12 环向ϕ6	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2ϕ12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2ϕ12。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4ϕ10，箍筋ϕ6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 ϕ12 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 ϕ25，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 2ϕ12 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)	ϕ12	ϕ6,200mm	4 根	0.4
横梁	200(250)	300(400)	ϕ10	ϕ10,200mm	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 100m³ 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

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φ10 径向φ12	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φ10 (φ12) 径向φ12	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φ10、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6φ12，箍筋不应少于φ8，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3φ8，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2φ12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2φ10；当孔洞尺寸大于300mm

时不应少于 2φ12。

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°11′59″
6	$0.524qr_0$	$0.0472qr_0^2$	$-0.0931qr_0^2$	$0.00947qr_0^2$	12°43′26″
8	$0.393qr_0$	$0.0262qr_0^2$	$-0.0519qr_0^2$	$0.00395qr_0^2$	9°31′55″
10	$0.314qr_0$	$0.0166qr_0^2$	$-0.0331qr_0^2$	$0.00201qr_0^2$	7°37′08″
12	$0.262qr_0$	$0.0115qr_0^2$	$-0.0230qr_0^2$	$0.00116qr_0^2$	6°20′47″
16	$0.196qr_0$	$0.00646qr_0^2$	$-0.0129qr_0^2$	$0.00049qr_0^2$	4°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）：

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

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）；

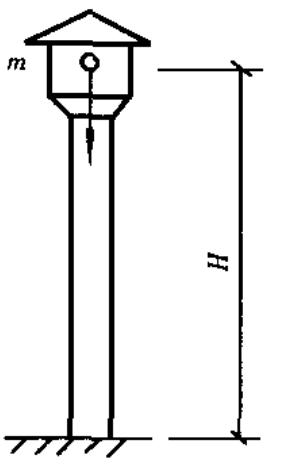


图 B.0.1　单水箱水塔示意图

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）。

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）：

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

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

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下式简化计算(图 B.0.3)：

$$T_1=2\pi\sqrt{m_n u} \tag{B.0.3}$$

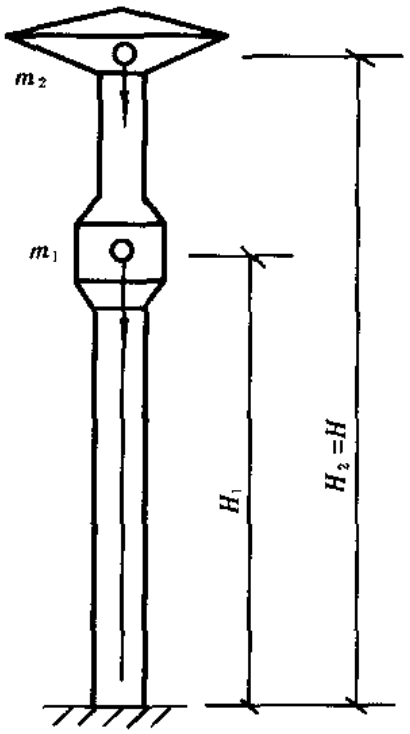


图 B.0.2 双水箱水塔示意图

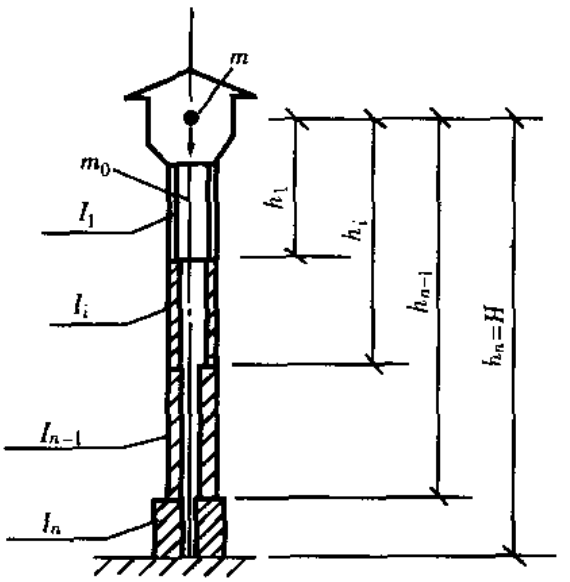


图 B.0.3 单水箱水塔变截面支承结构

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：

$$M_{fz}=M_z(\theta)+K_u M_z(u) \tag{C.0.1}$$

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

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

$$M_e=G_t e_0+W_t d_0 \tag{C.0.4}$$

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

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

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

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

式中　M_{fz}——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(kN·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(kN·m)；

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(kN·m)；

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；

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(kN·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(kN·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(kN·m²)，可取 $B=0.3E_cI_0$；E_c 为混凝土弹性模量，I_0 为支筒的截面惯性距(m⁴)；

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_t——作用在水箱上的风荷载设计值(图 C.0.1)(kN)；

w_0——作用在支筒底端的风荷载设计值(图 B.0.1)

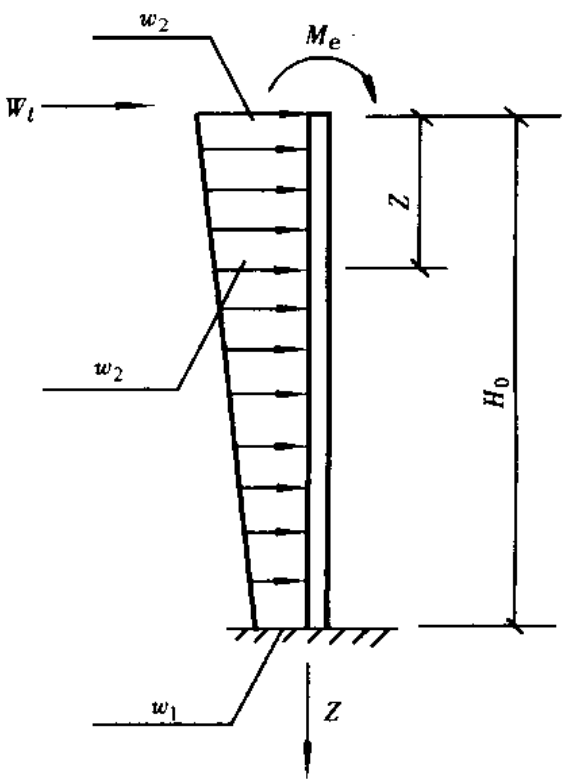
（kN/m²）；

w_2——作用在支筒顶端的风荷载设计值（图B.0.1）（kN/m²）；

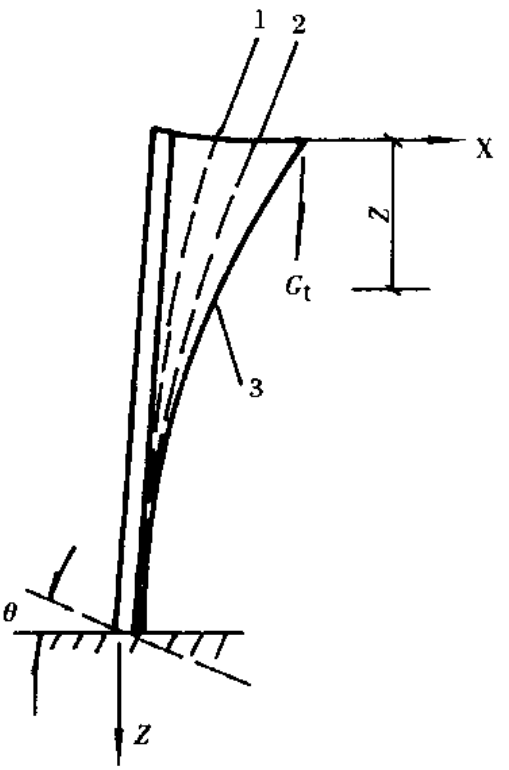
r_t——基础的计算半径（m）；

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/m²）。



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：

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

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

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/mm^2)；

E_s——钢筋的弹性模量(N/mm^2)；

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(mm^2)；

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

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/mm^2)；

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

$$\sigma_{sq}=\frac{M_q}{0.87A_sh_0} \tag{D.0.2-1}$$

式中 M_q——在作用效应准永久组合下，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

$$\sigma_{sq}=\frac{M_q-0.35N_q(h_0-0.3e_0)}{0.87A_sh_0} \tag{D.0.2-2}$$

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

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

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”。

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

CECS 139：2002

条 文 说 明

目　　次

1　总　　则 …… (53)
2　主要符号 …… (54)
3　结构上的作用 …… (55)
3.1　作用分类和作用代表值 …… (55)
3.2　永久作用标准值 …… (55)
3.3　可变作用标准值、准永久值系数 …… (55)
4　基本设计规定 …… (59)
4.1　一般规定 …… (59)
4.2　承载能力极限状态计算 …… (60)
4.3　正常使用极限状态验算 …… (61)
5　静力计算 …… (63)
5.1　一般规定 …… (63)
5.2　水箱计算 …… (63)
5.3　支承结构计算 …… (65)
5.4　地基基础计算 …… (66)
6　基本构造要求 …… (70)
6.1　一般规定 …… (70)
6.2　水　箱 …… (70)
6.3　支承结构 …… (71)
6.4　基　础 …… (72)
6.5　其　他 …… (72)
附录 A　框架式多支柱水箱下环梁内力计算 …… (73)
附录 B　水塔结构基本自振周期计算 …… (74)
附录 C　附加力矩计算 …… (76)

1 总　　则

1.0.1 本条要求水塔结构设计贯彻执行国家的技术政策，说明了编制本规程的目地和要求。

1.0.2 本条阐明本规程的适用范围。因水塔结构类型很多，使用要求不尽相同，本条强调适用于贮存一般的地面水、地下水等常温水，以避免将水塔的水箱用于贮存热水。举例指出不适用的有特殊要求的几种类型特殊水塔结构。当设计有特殊要求的水塔时，尚应采用其他专业规范进行设计。

1.0.3 本条阐明本规程适用于国内常用的钢筋混凝土结构水塔和小型砖支承结构水塔。对目前我国使用较少的水塔结构如钢水塔、钢丝网水泥水塔、玻璃钢水塔，暂未考虑编入本规程。将来可根据发展情况逐步扩大本规程中的水塔类型。

1.0.4 本条阐明了编制本规程的依据是国家标准《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。

1.0.5 本条阐述了本规程与现行国家标准和特殊地区设计标准的关系。国家标准主要是指现行的《建筑结构荷载规范》GB 50009、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《砌体结构设计规范》GB 50003、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 等，特殊地区标准主要是指适用于地震、大孔土、膨胀土、永冻土等地区的标准。

2 主要符号

按照现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132规定的原则确定，并与相关专业标准协调一致。

3 结构上的作用

3.1 作用分类和作用代表值

3.1.1 根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068和《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的原则，将水塔结构上的各项作用分为永久作用和可变作用两类。在本规程中未考虑偶然作用，例如爆炸力、撞击力、地震等。

3.1.2～3.1.3 这些条文均依照现行国家标准《建筑结构设计统一标准》GB 50068、《建筑结构荷载规范》GB50009 和《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的原则确定。

3.2 永久作用标准值

3.2.1 本条依照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 规定的原则确定。

3.2.2 水塔基础顶面以上的竖向土压力为回填土，其重力密度标准值取 $18kN/m^3$，是考虑到一般粘土、砂土处于压实湿态和砂卵石处于压实干态。这在水塔修建后期均可能达到。如遇特殊情况，则应根据实际情况确定。

3.2.3 水箱内的水压力，可不考虑水泵向水箱扬水时造成水面波动的影响，按静水压力计算。水箱多贮存经过处理后的清洁水，不考虑高浊度水和水箱内沉积泥沙的影响。水的重力密度可取 $10kN/m^3$。

3.3 可变作用标准值、准永久值系数

3.3.1 表 3.3.1 给出了可变作用标准值、准永久值系数，与现行

是协调一致的。对其中第3项，结合水塔的具体情况，将悬臂式平台的荷载标准值较周边支承地板加大，准永久值系数减小。

3.3.2 关于温度变化作用。

1 根据《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069规定的原则，结合水塔的情况，保温水塔和容积不大于500m³的不保温水塔，其水箱受温度影响不大，一般不考虑温度变化和壁面湿度当量温差的作用。但对于容积大于500m³的水塔水箱，应考虑壁面温度变化和壁面湿度当量温差的作用。

2 水塔的支筒，较烟囱和电视塔等高耸构筑物的支筒相对较低，日照温差对支筒变位的影响不明显，一般不考虑该影响。但当支筒高度与直径之比大于15时，应考虑日照温差的影响。

3.3.3 本条主要阐明水塔结构设计时风荷载标准值计算公式中基本风压及有关系数的取值。作用在水塔结构上的风荷载属于主要荷载(第一可变荷载)。基本风压按50年一遇的标准考虑，对特别重要的水塔结构可按100年一遇的标准考虑，重现周期调整系数μ_r取1.1。在本规程中还规定了水塔结构的基本风压下限值不小于0.4kN/m²。对山间盆地、谷地、山口、谷口和海岛的风压调整、基本风压值w_0、风振系数β_z、风压高度变化系数μ_z等，均应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定执行。

水塔结构的风荷载体型系数μ_s，除遵照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定外，本条还将几种水塔结构常用的μ_s值列于表3.3.3。水塔塔架结构的风荷载体型系数，可参照现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135的规定，根据水塔的结构构造相应采用。根据该规范的说明，以方形塔架正风向(风向1)为例，其μ_s值与美、日、苏、国际电工委员会等有关规范的值相比，数据比较接近，特别是与前苏联规范 НИМ-11-6-74 的数据基本相同，见表1。

对于圆管或圆钢塔架或框架，可参照现行国家标准《建筑结构

况进行累计叠加。对于 $\omega_0 d^2 \geqslant 0.015$ 的情况(直径约为 0.15～0.20m),单元构件的 μ_s 值可取 0.7;对于 $\omega_0 d^2 \leqslant 0.002$ 的情况,μ_s 值可取 1.2;中间情况可采用内插法计算确定。

表 1　方形角钢塔架 μ_s 值比较

挡风系数	本规程	前苏联规范 НИМ-11-6-74	国际电工委员会规范 IEC 1979	日本规范 JEC127-79	美国规范 ANSI·A58-1 1972
≤0.1	2.6	2.8	3.0	3.4	3.6
0.2	2.4	2.5	2.7	2.9	2.8
0.3	2.2	2.2	2.5	2.5	2.6
0.4	2.0	2.1	2.2	2.2	2.1
0.5	1.8	1.9	2.0	2.1	1.8

水箱和支筒的体型系数 μ_s 取值,系沿用原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中的数据。该数据系通过风洞试验获得,确定倒锥壳水箱 $\mu_s=0.7$。对球形水箱理应将 μ_s 值减小,但因无试验依据而仍采用 $\mu_s=0.7$。

对水塔的支筒结构和基础,当按作用效应准永久组合设计时,风荷载需采用准永久值系数。根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 对"荷载准永久值"的阐述,准永久值系数 ψ_q 是对可变荷载标准值的一种折减系数。对民用建筑的楼面活荷载,办公楼 $\psi_q=0.35$、住宅 $\psi_q=0.4$、风荷载 $\psi_q=0$,而国际上认为一般 $\psi_q \leqslant 0.5$,本规程考虑水塔为相对高耸的结构,可取 $\psi_q=0.5$。

大量计算表明,按公式(3.3.3)计算出的风荷载标准值较按原《荷载规范》TJ 9-74 计算出的风荷载值大 30%～35%。根据分析,基本风压 W_0 有所提高;风压高度变化系数 μ_z 变化很小(可视为无变化);重现周期调整系数 $\mu_r=1.1$ 较原规范增加 10%;风荷载体型系数 μ_s 对支筒影响为 0.7/0.6=1.167(11.67%),但对水塔总体影响约 4%;风振系数 β_z 随高度加高而加大(原规范为一个定值),根据计算风荷载加大了 15%～20%。综上所述,风荷载加

大对倒锥壳水塔的影响较突出，砖支筒水塔次之。对此，有些单位认为风荷载加大太多，建议给予折减。经与国外水塔设计采用的风荷载取值进行对比，发现我国的取值并不高，为此目前仍不宜降低。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定，水塔结构的基本设计表达式采用分项系数表达式，但对结构的整体稳定则采用抗力系数法进行验算，如对水塔的滑动稳定性和倾覆稳定性验算。

分项系数表达式是结构构件的极限状态设计表达式。分项系数包括荷载分项系数 γ_G、γ_Q 和结构构件抗力分项系数 γ_R，理应根据结构构件功能函数的基本变量的统计参数和概率分布以及规定的结构构件可靠度确定。本规程中对 γ_G、γ_Q 的确定，主要依据工程校核获得。

4.1.2 本条规定，对水塔结构和构件采用承载能力极限状态和正常使用极限状态两种极限状态，并提出了对两种极限状态的设计要求。

1 承载能力极限状态可认为是结构或构件达到最大承载力的状态；或因结构变形超过一定限度，虽结构未达最大承载力，但变形使结构不能发挥其承载力或使用功能的状态，例如结构的滑动、倾覆。

2 正常使用极限状态可认为是结构或构件达到影响使用或耐久性的某种规定限值的状态，例如水箱结构和支承构件的过量位移或裂缝宽度等。

4.1.3 本条规定，水塔作为贮水构筑物，结构内力分析时应将结构视为弹性体系，不应考虑塑性内力重分布。

4.1.4 本规程不包括结构截面设计和计算的内容，指出了结构构件进行截面设计时采用的有关国家标准。其中引用到《高耸结构设计规范》GB 50135，主要是水塔进行圆环形钢筋混凝土筒截

面承载力计算时，应采用该规范的有关公式。

4.1.5 本条说明，水塔地基计算应按本规程 5.4.1～5.4.3 的规定执行，具体计算方法应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

4.1.6～4.1.7 这两条阐述了水塔结构构件按承载能力极限状态和正常使用极限状态计算时，结构设计应采用作用设计值和作用代表值。作用设计值应为作用分项系数与作用代表值的乘积。

在进行结构极限状态设计时，对作用可根据不同的设计要求规定不同的代表值，使之能较好地反映它在设计中的特点。本规程给出了三种代表值：标准值、准永久值和组合值。其中，标准值是作用的基本代表值，其他代表值是以标准值乘以相应的系数而得的（本规程 3.1.2～3.1.4）。

4.1.8 本条规定，水塔的安全等级应按二级采用。对大型的、在使用和安全方面有严格要求的水塔（如多功能综合水塔等），经批准，安全等级可采用一级。对偏僻地区使用的小型水塔和临时使用的水塔，安全等级可采用三级。

4.2 承载能力极限状态计算

4.2.1 当水塔结构或其中一部分超过某一特定状态即不能满足设计规定的某一功能要求时，称此状态为结构对该功能的极限状态。设计中，结构的极限状态往往以结构的某种作用效应（如内力、应力、应变等）超过规定值为依据。本条规定了承载能力极限状态计算时采用的一般表达式，即结构重要性系数 γ_0 乘作用效应组合值 S 不应大于结构构件抗力的设计值 R。水塔结构的安全等级一般为二级，结构重要性系数 γ_0 可取 1.0；在特殊情况时可提高或降低安全等级，其结构重要性系数分别取 1.1 或 0.9。

4.2.2 在确定结构的作用效应时，应对可能同时出现的各种作用效应加以组合，求得组合后的总效应。由于各种可变作用对各构

件、构件的不同部位影响不同，这种组合可以多种多样。因此，还必须在各种作用效应组合中，取最不利的组合作为极限状态设计的依据。

在水塔按承载能力极限状态设计时，一般不考虑偶然作用，故本条的作用效应组合可称为基本组合。水塔的作用效应组合，应考虑不计入风荷载效应的组合和计入风荷载效应的组合两种情况。

1 当不计入风荷载作用进行水箱承载力计算时，水荷载可视为永久作用。根据工程校核计算，其分项系数应取 1.27，使之与原规范相当。对可变作用（活荷载），如塔内平台、地板、顶盖上的荷载（活荷载、雪荷载不同时考虑），按照上述原则可将设计值乘以组合系数 ψ_c，ψ_c 可取 0.9。

2 水塔的支筒、基础结构设计时应计入风荷载作用。风荷载应视为第一可变荷载，其分项系数取 1.4。对其他可变荷载，组合系数 ψ_c（考虑不同时满载）取 0.6 后得到式（4.2.2-2）。其中，水箱中的水可按满水及空水两种情况分别计算，并视为永久作用。

4.2.3 常见的钢筋混凝土支承水塔、砖支承水塔修建一般地基土上时，由于自重较大，基础有一定的埋设深度，抗滑动稳定性和抗倾覆稳定性较强，可不进行滑动和倾覆稳定验算。但对修建在岩石地基、软土地基且基础埋深浅的水塔，仍应进行滑动稳定和抗倾覆稳定验算。当稳定不能满足要求时，还应采取相应的抗滑动和抗倾覆稳定措施。

在本规程中，稳定性验算时以稳定抗力系数 K_s 来衡量水塔稳定性是否满足要求。抗滑动稳定抗力系数取 1.3，抗倾覆稳定抗力系数取 1.5，且对各种作用均采用标准值计算。

4.3 正常使用极限状态验算

4.3.1 正常使用极限状态主要用于验算结构在正常使用条件下的变形、抗裂度、裂缝宽度，控制它们不超过限值。正常使用极限

状态，根据不同的要求和受力状态，应分别进行相应的标准组合和准永久组合验算，其中作用效应都根据作用标准值确定。

水塔钢筋混凝土水箱和壳体基础验算时，水箱壁和环梁的环向处于轴心受拉或小偏心受拉状态，应按不出现裂缝控制，并取作用效应的标准组合进行验算；水箱壁和支筒的纵向、水箱顶、底的径向以及基础板等处于弯曲受拉或大偏心受压状态，应按限制裂缝宽度控制，并取作用效应的准永久组合进行验算。

对裂缝最大宽度、水塔水平位移、地基不均匀沉降、梁板的挠度等，本条根据实践经验和相应有关规范《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《高耸结构设计规范》GB 50135 的规定给出了相应的限值。

4.3.2 本条分别给出了荷载效应标准组合和准永久组合值 S_d 的计算公式。对标准组合还分别按不计入风荷载和计入风荷载两种情况给出了相应的计算公式。本条还规定了抗裂度和最大裂缝宽度的验算方法，与现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的规定是协调一致的。

5 静力计算

5.1 一般规定

5.1.1 本条所述为水塔结构中主要部位的结构静力计算。对于附属结构，如平台(板)、梁、梯、管支墩等，均属于通用建筑结构构件，未特别阐明。对水塔的主要部位水箱、支承结构、基础等，在本规程中也只列了常用的几种水塔结构，未包括特殊型式结构的水塔，如与电视、通讯、广播、烟囱、观览等功能综合使用的水塔，以及椭球水箱、水滴式水箱、双筒式支承结构和筒与支架组合的支承结构等特殊型式的水塔。水塔结构的稳定计算应包括水塔结构的整体稳定计算(滑动、倾覆)和局部稳定计算(壳体结构失稳、高柔结构失稳)。

5.1.2 使用过程中的荷载不利组合，一般指水箱满水与空水、支架结构受不同风向的风力、考虑基础上回填土对地基压力和对基础板反力时分别取不同值等。施工过程中的荷载不利组合，一般指采用滑升模板法施工时支承结构要考虑的施工荷载、水箱吊装定位时的支承结构计算，拼装式水塔在构件吊装时的结构计算等。

5.2 水箱计算

5.2.1 本条阐述目前国内常用的几种水塔结构型式，及其结构内力分析。根据大量的计算比较和设计经验，对结构分析方法提出了原则要求，提出了简化计算的范围及节点处应考虑边缘构件变形协调影响的要求。如容量不大于 $500m^3$ 的圆柱壳水箱、英兹式水箱、容量不大于 $100m^3$ 的倒锥壳水箱、容量小于 $200m^3$ 的球形水箱，可按单元构件计算和采用薄膜内力分析。经计算，结果均能满足要求，故作此推荐。但在各构件节点和壳体支承处附近，应考

虑变形协调影响而予以构造加强。

5.2.2 本条阐述的水箱按单元构件计算是为了简化，应考虑各部件连接处节点或支承情况不利组合的要求。

1 本款指出，水箱的顶、底应按周边固定和铰接两种边界条件计算，按不利情况的内力包络图配置钢筋。

2 本款指出，水箱壁按上端自由、下端固定计算的弯矩配置竖向钢筋；按上端自由、下端铰接计算配置环向钢筋；且在最大环向拉力以下的水箱壁中仍按最大环向拉力处的内力配置环向钢筋。

3 本款指出，英兹式水箱的锥底、倒锥壳水箱的下锥壳按两端固定计算配置径向钢筋，按两端铰接计算配置环向钢筋。英兹式水箱的锥壳长度小，可按最大环向拉力配置环向钢筋。对倒锥壳水箱的下锥壳，由于锥壳长度大，可以分为数段计算，并按各段中最大环向拉力配筋。

5.2.3 本条提出了各类水箱的环梁按单元构件分析时的计算要求：

1 英兹式水箱的下环梁计算时，应考虑按最不利情况计算环梁的环向拉力，例如，同心圆双层水箱环梁的最不利受力情况为内水箱满水、外水箱空水。

2 对支架式支承的英兹式水箱，除按第一款要求计算环梁的环向拉力外，还应考虑按水箱满水时各种竖向荷载作用下多跨连续梁的内力和风荷载作用下环梁作为框架顶部横梁的内力，按以上各内力的叠加组合配置环梁钢筋。

3 本款提出了水箱顶盖为正锥壳和正球壳时，端部环梁的环向拉力计算要求和相应的计算公式。公式(5.2.3-1)中的 $N_{\phi}\cos\phi_0$ 为壳体边缘处由径向力 N_{ϕ} 产生的水平分力，故环梁拉力为 $N_{t1}=N_{\phi}\cos\phi_0 r_0$。

4 本款提出了英兹式水箱壁下环梁环向拉力的计算。公式(5.2.3-2)是由环梁以上的竖向作用 $\sum(Q_i+G_i)$ 产生的环向拉力

与环梁处箱壁底端剪力产生的环向拉力之和。

5 英兹式水箱下环梁环向拉力的计算原则与第4款相同。

5.2.4 本条提出了球壳式水箱底的内力计算要求。双层水箱当外水箱无水时，对球底为最不利受力情况之一，故尚应考虑按此种情况计算球壳内力。

5.2.5 本条给出了大型水塔的球壳稳定验算公式。该公式引自《钢筋混凝土薄壳结构设计规程》JGJ/T 22—98。

5.2.6 本条提出了圆柱壳水箱底为圆板的内力计算要求。圆板的计算方法和公式可按有关资料采用。

5.2.7 本条阐述了按组合壳体结构进行内力分析的原则、步骤和壳体各部位和部件的截面计算与配筋要求。内力分析方法和公式可按有关资料采用。

5.3 支承结构计算

5.3.1 一般规定：

1 水塔结构为典型的单质点悬臂式结构，一般只需考虑第一振型计算其自振周期。

2 本款所指支承结构构件控制截面的内力，对支筒式支承结构，是指在支筒厚度变化处、有孔洞处及沿筒高5～8m分段处；对框架式支承结构，各层框架的梁和柱均应进行结构内力分析和截面强度计算。

3 本款阐述了水塔支承结构为钢筋混凝土框架结构时，两种风向受力情况的计算要求。

4 本款阐明了支承结构刚度较小的倒锥壳水塔、球形水塔以及其他刚度较小的支承结构水塔应考虑的各种附加力矩 M_{fz} 的计算要求和计算方法。

5 本款指出附加力矩应考虑可能发生的不利组合，并提出了在设计时宜采取措施减小或消除一些附加力矩。例如，精心施工减小施工安装偏差，门窗处设门窗框和加固补强钢筋，选择土层均

匀的场地修建水塔或者采用桩基或地基加固、换土等措施，以减小或消除施工偏差、孔洞削弱、地基倾斜所产生的附加力矩。

6 当计算得出的附加力矩组合值超过了基本风压力矩的50%，说明该水塔的支承结构刚度太小，此时如仍采用这种截面则不可能满足要求或配筋很不合理，故建议考虑加大支筒直径、厚度等措施。

5.3.2 支筒式支承结构计算：

1 推荐采用钢筋混凝土支筒和砖支筒分段简化计算的方法。

2 支筒应选取不利截面进行截面强度计算。

3 对钢筋混凝土截面的承载力，在《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《高耸结构设计规范》GB 50135 中均有环形截面偏心受压承载力计算的公式，经分析认为后者较为适宜，故指出可采用该规范的相关计算公式进行截面计算。

4 本款对砖支筒的强度计算作了规定，可采用材料力学的偏心受压构件进行截面强度计算。要求截面最大受压边缘处的应力不超过砖砌体抗压强度设计值；最大受拉边缘处的应力不超过砖砌体弯曲抗拉强度设计值。

5.3.3 框架式支承结构计算：

本条首先要求框架结构按空间框架进行结构内力分析。对小容量的水塔（一般容量不大于 200m^3），可简化为按单榀平面框架计算，并给出了具体实用计算方法，但在框架的梁柱节点处应适当加强。

5.4 地基基础计算

5.4.1 一般规定：

1 本款要求，基础结构应根据建设场地的地质条件、施工条件、材料供应条件、结构受力条件、造价情况等，经综合比较后选定技术、经济合理的类型。

2 为确保水塔基础安全可靠，本款强调水塔应以专项的工程

地质钻探资料为依据进行基础设计，并要求当水塔修建在取水井降水漏斗影响半径范围以内时，地质钻探资料应提供水井对水塔基础稳定性影响的评价意见。

3 本款阐述了水塔基础不进行地基倾斜验算的技术条件。

4 本款规定了水塔基础埋深的要求。根据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的原则，结合国内各有关单位的设计经验，提出了不保温水塔基础埋深不应小于 2.0m，保温水塔基础不应小于 2.5m 的要求。

5 根据国内的设计经验，为保护基础原地基不受地面水渗入土层的影响，本款规定应设散水保护，其半径要求比基础半径大 300mm 以上。

6 根据国内外的设计经验，基底反力可假定按直线分布。

5.4.2 地基承载力验算要求：

1 作用在基础顶面的竖向荷载标准值 N_{tk}、基础自重和基础上土重标准值 G_{fk} 的作用下，在基底产生的压力 p_m 不应大于地基承载力特征值 f_a，即 $p_m=\dfrac{N_{tk}+G_{fk}}{A_f}\leqslant f_a$。

2 地基在水平作用（风荷载）与竖向荷载标准值的共同作用下，基础边缘的最大压力 p_{max} 不应大于地基承载力特征值 f_a 的 1.2倍，即 $p_{max}=\dfrac{N_{tk}+G_{fk}}{A_f}+\dfrac{M_{fk}}{W_f}\leqslant 1.2f_a$。

3 地基在水平作用（风荷载）与竖向荷载标准值的共同作用下，基础边缘不应出现脱开，即基底最小压力 $p_{min}=\dfrac{N_{tk}+G_{fk}}{A_f}-\dfrac{M_{fk}}{W_f}\geqslant 0$。以往水塔基础设计曾采用控制 $\dfrac{p_{max}}{p_{min}}\leqslant 3$ 的要求，目前多改用控制 p_{min} 不小于零的要求，工程实践证明是可行的。

5.4.3 地基变形计算和地基变形限值。

1 表 5.4.3 规定了地基变形限值。水塔的基础变形实测资料表明，其沉降量和不均匀沉降值（沉降差）均很小。由于资料不

多，故仍采用现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《高耸结构设计规范》GB 50135 提出的控制值，作为水塔地基变形的限值。

2 地基变形计算时，根据土力学理论，风荷载作用下产生的变形可视为瞬时变形。因此，当计算风荷载作用下的地基变形时，应采用土的弹性模量代替变形模量。水塔的实际观测资料和一些其他类型塔形结构的观察资料表明，基础的倾斜方向并不完全与主导风向方向吻合且远小于限值，对基础起主导作用的是长期作用的荷载，而风荷载的影响很小。此外，现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定，“在地基比较均匀且无相邻荷载影响时，高耸构筑物最终沉降量在满足容许沉降量后，可不验算倾斜值。”这就意味着验算地基倾斜时，可以不考虑风荷载。另外，《建筑结构荷载规范》GB 50009 根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的分析，规定风荷载的准永久值系数 $\psi_q=0$，这也明确了风荷载是一种短期荷载。

3 地基最终沉降量 S_1、S_2 和基础倾斜 $\mathrm{tg}\theta$ 计算，均按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

5.4.4 本条以现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 为依据，对各种材料及不同质量要求的水塔刚性基础，规定了相应的控制刚性的基础宽度 b 与高度（或厚度）h 的比值，以保证基础的受压刚性角不超过容许值。

5.4.5 钢筋混凝土板式基础的设计计算。

条文对常用钢筋混凝土圆环形基础和圆板基础的各部位尺寸比例和基础板最小厚度提出了要求。这些要求是根据设计经验，按既能节省材料又能保证结构强度的优化条件确定的。在板式基础中，圆环形基础比较经济合理，有条件时宜优先选用；对一般圆环形基础宜控制 $\frac{r_1}{r_c}<1.5$，且使环形底面的形心尽量与支筒中心线的圆心重合，以保证底板有良好受力条件。

5.4.6 本条阐述了水塔常用的几种壳体基础的型式及其使用范围，球壳基础的计算原则。壳体基础对地基土的基本要求是该土层便于利用、原状土可成型、土质比较稳定。壳体基础虽有一定的局限性，但在一些水塔设计中仍被采用。

6 基本构造要求

6.1 一般规定

6.1.1 本条依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 的基本规定，结合水塔结构的特点和实践经验，规定了水塔结构内钢筋的混凝土净保护层最小厚度(表 6.1.1)，实践证明此规定可行。

6.1.2 本条系按照《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的原则拟定。

6.1.3 钢筋接头要求：

水塔多为单独承包修建。水塔工程量不大而配筋较密，特别是水箱多采用小直径双层钢筋网。施工单位为减少繁琐的焊接工作或因施工条件差，钢筋仍采用搭接接头。本规程基于实际条件允许采用搭接钢筋接头，并规定了必要的搭接长度，工程实践证明是可行的。

6.2 水 箱

6.2.1 本条根据结构受力条件好、造型比较美观的原则，结合设计实践经验，推荐了一般水箱结构各部件和各部件间尺寸的比例要求及倒锥壳的水平角范围要求。倒锥壳的水平倾角，根据受力条件分析采用 45°较经济合理，但从施工和美观考虑采用 25°较好。一般小容量水塔采用小倾角，大容量水塔采用大倾角。当建筑上有要求时，可根据具体情况决定而不受此限。

6.2.3 水箱各部件的最小尺寸要求，系根据国内水塔设计的实践经验确定。表 6.2.2 中要求的最小尺寸主要是根据施工可行、安全可靠的原则确定的，其限值尺寸较一般建筑结构和清水池等贮

水构筑物小，通过工程实践证明是可行的。

6.2.3 本条提出了配筋要求和在壳体边缘的加强要求。除根据计算要求外，尚应满足本款的构造加强及最小配筋量要求，对配筋的这种考虑已被普遍采用。

6.3 支承结构

6.3.1 支承结构的形式和尺寸要求：

1 本款阐述了支承结构为支筒式结构或框架结构的选用及应满足的相应构造要求。

2 本款根据国内的设计经验，通过水塔国家标准图的设计和各单位协调，对倒锥壳水塔的支筒最小直径、尺寸模数、水箱与支筒尺寸比例等提出了要求。

3 本款根据经验对支筒式水塔和框架式水塔的支承结构型式及倾斜坡度提出了要求，也是设计常用的控制条件。

6.3.2 支筒式水塔的构造要求：

1 依照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《砌体结构设计规范》GB 50003 的基本要求和实践经验，对支筒式水塔支筒的最小厚度和配筋量作出了规定（表 6.3.2），已被广泛采用。

2 本款针对支筒上门洞、窗洞处截面的补强，根据实践经验，提出了在门洞口处加设门框或洞口四周设构造筋的具体要求。对砖支筒，为增强砖砌体的整体工作性能，提出了设置钢筋混凝土圈梁的具体要求，并在砖支筒下设钢筋混凝土地板。

3 本款根据倒锥壳水塔支筒滑模的施工经验，提出了在设计中应考虑的施工构造要求。纵筋为支承滑升机具的架立钢筋，环筋应满足滑升时不产生钢筋扭曲的要求。

4 本款针对水箱采用地面预制提升定位法施工，提出了设置环形托梁（托板）的要求。这些均为实践中行之有效的措施。

6.3.3 框架式水塔的框架构造要求：

1 本款是依据框架支承水塔的工程实践，提出了对框架的梁、柱最小截面尺寸和最小配筋的要求。

2 为了加强框架梁、柱节点的刚度，提出了宜设置腋角的构造要求。

3 为了加强框架的整体性，提出了在高度超过 20m 的框架中部设置整体式平台或水平连系梁的要求。

6.4 基 础

6.4.1 本条按常规经验对砖砌体、石砌体基础的台阶最大宽度作出相应的规定。

6.4.2 依照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的基本要求，根据水塔的设计、施工实践，对钢筋混凝土板式基础的最小垫层厚度、最小板厚度、最小配筋作出了相应的规定(表 6.4.2)。

6.4.3 本条提出了锥壳基础、M 壳体基础的构造要求。对球壳基础，系根据设计、施工的实践经验作出了构造规定。

6.5 其 他

6.5.1 本条依照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的基本要求，并结合水塔设计实践经验，对支承结构为砖支筒和钢筋混凝土支筒的窗洞构造配筋作出相应的规定。

6.5.2 本条根据设计施工的经验，对水塔悬臂平台、周边支承平台的最小厚度作出了构造规定。

6.5.3～6.5.9 这些条文主要沿用原规范的规定，对混凝土强度等级、抗渗等级、水泥标号、外加剂、砖石强度等级、钢筋等级、抗酸碱等提出了相应的要求。

附录 A　框架式多支柱水箱下环梁内力计算

A.0.1　框架式水塔水箱一般均设环梁与框架的柱相连接，此环梁是水箱和框架的组成部分，既视为水箱的下环梁，又视为框架的顶部梁。因此，此环梁不但要承受水箱的竖向荷载，又要承受框架结构在水平荷载作用下对环梁的作用。在设计环梁时，应考虑两者的内力叠加组合进行截面强度计算。

A.0.2　水箱的下环梁按多柱支承的多跨连续梁考虑。据此，结构分析需获得环梁的跨中和柱支承处的弯矩，以及梁的最大扭矩和最大扭矩的位置。为便于设计者使用，已简化列表进行计算。表 A.0.2 中的数据与《钢筋混凝土薄壳结构设计规程》JGJ/T 22 的相关内容协调一致。

附录 B　水塔结构基本自振周期计算

B.0.1　单水箱等截面支承结构(支筒式、框架式)或带有较小坡度的变截面支承结构,可采用公式(B.0.1)计算结构的自振周期。该计算公式是由下列单质点结构自振周期的基本公式推导得出:

$$T_1=2\pi\sqrt{m_n u} \tag{1}$$

式中　T_1——基本自振周期(s);

u——作用在质点上(水箱重心处)单位水平作用引起的位移,$u=\dfrac{H^3}{3EI}$。

m_n——质点等代质量,可取水箱质量 m 与支承结构 0.236 倍质量之和,即 $m_n=m+0.236AH\rho$。

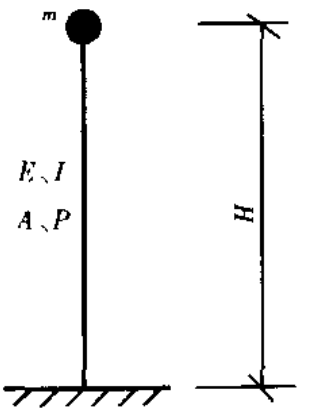


图 1　单水箱水塔自振周期计算简图

将 m_n、u 值代入公式(1)可得

$T_1=2\pi\sqrt{\dfrac{H^3}{3EI}(m+0.236AH\rho)}$,即规程中公式(B.0.1)。

B.0.2　双水箱等截面支承结构水塔的基本自振周期计算,引自原国家标准《建筑结构荷载规范》GBJ 9—89,它是等截面支承结构在不同高度处受 n 个质点 m_1、m_2、…、m_n 的重力时基本自振周期 T_1 公式的特例。

$$T_1=3.63\sqrt{\frac{H^3}{EI}\sum_{i=1}^{n}m_i\alpha_i^2+0.236AH\rho} \tag{2}$$

$$\alpha_i=1.5\left(\frac{H_i}{H}\right)^2-0.5\left(\frac{H_i}{H}\right)^3 \tag{3}$$

当 $n=2$ 时 $H_2=H$,按式(3)得 $\alpha_2=1$。此时 $m_n=m_2$、$m_1=$

m_1，$\alpha_i=\alpha_1=1.5\left(\frac{H_1}{H}\right)^2-0.5\left(\frac{H_1}{H}\right)^3$，代入公式(2)得 $T_1=3.63\sqrt{\frac{H^3}{EI}(m_1\alpha_1^2+m_2+0.236AH\rho)}$，即规程中公式(B.0.2)。

当 $n=1$ 时 $i=n=1$，代入公式(2)即得公式(B.0.1)。

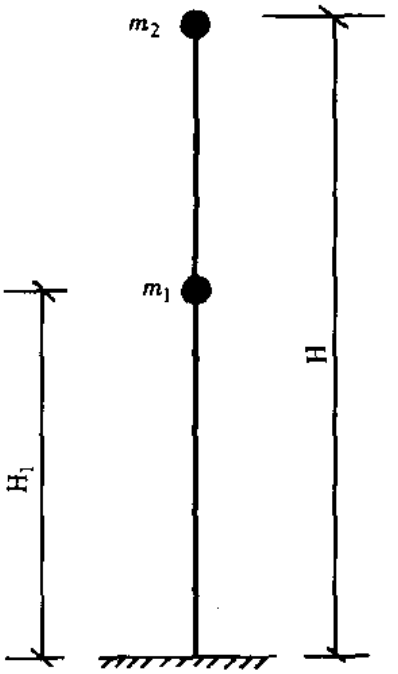


图 2　双水箱水塔自振周期计算简图

B.0.3　当为单水箱砖支筒水塔时，仍可按单质点结构进行基本自振周期 T_1 的计算，如公式(B.0.3)所示。将单位水平分力引起的某点的位移，按照数段变截面结构考虑，得出 $u=\frac{1}{3E}\sum_{i=1}^{n}\frac{h_i^3+h_{i-1}^3}{I_i}$，代入公式(B.0.3)即可计算出相应基本自振周期 T_1。

附录C　附加力矩计算

C.0.1　目前国内的倒锥壳水塔、球形水塔，也有个别其他类型的水塔，其支筒较细(刚度小)，在进行支筒计算时，应考虑由于风荷载作用、基础倾斜、施工偏差导致支筒变位后在竖向荷载作用下引起的附加力矩；对于大容量细长比大于15的水塔，尚应对照现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135考虑支筒壁面温差产生的变位影响。设计实践表明，附加弯矩可占风弯矩的30%以上，因此不能忽略对附加力矩的计算。本规程沿用了原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84对附加力矩的计算方法。工程实践表明，按照该计算方法设计的水塔已被广泛应用，是安全可行的。

附加力矩计算公式(C.0.1)表明，附加力矩包括风作用下地基变形后基础倾斜、支筒施工偏斜、水箱安装偏心产生的附加力矩$M(\theta)$和风荷载、施工偏差、基础倾斜影响下支筒弹性变形后产生的附加力矩及高阶影响$K_uM_z(u)$。由于$M(\theta)$也具有高阶影响和地基变形需要一定时间才能完成，尤其对饱和水地基土更甚，因此公式(C.0.1)计算出的附加力矩也属近似的。公式(C.0.1)采用了一些基本假定，首先，在基础倾斜时仅考虑支筒上门窗孔洞导致的重心偏移、施工轴线偏差的影响及风荷载的一次影响；其二，考虑了水箱重集中在支筒顶部，其影响远大于支筒本身作用的影响，因此可忽略支筒弹性变形后本身重量对附加力矩的影响；其三，支筒弹性变形时实际的弯曲刚度沿高度是变化的，在附加力矩计算中近似取支筒底部的刚度。

C.0.2　当水塔支筒上的孔洞设门框、窗框加固时，支筒截面的形

C.0.3 在进行地基倾斜计算时计入了风荷载引起的地基变形。这种变形应是地基的弹性变形，它虽然很小，但从承载力考虑还是应予计入。当钻探资料短缺，或无法选取较准确的地质资料(E_s、E)时，可以采用规程中的地基倾斜限值计算附加力矩。实践表明，规程规定的地基倾斜限值超过实际值，故按此计算既可行同时也是偏于安全的。

C.0.4 施工中产生的支筒偏心、水箱安装误差是随施工水平而变的，故可根据施工情况确定。施工后的误差一般均小于施工允许误差值，故采用允许误差值进行附加力矩计算，其结果应是安全可靠的。

C.0.5 附加力矩的最不利组合应按实际可能发生的附加力矩确定。如按最大值计算各种因素产生的附加力矩并加以组合(M_{fz})，则肯定是偏于安全的。设计时可根据实践经验和当地的施工技术条件，确定需要考虑的产生附加力矩的因素。但对待承载能力极限状态设计必须慎重，对各种因素的取舍应有充分依据。

《给水排水工程水塔结构设计规程》CECS 139:2002 勘误表

页	行（或部位）	误	正
20	倒 5	悬壁结构	悬臂结构
22	倒 8	$\pm\frac{\sum M_i r_{ci}}{\sum_1^n x_{ij}^2}$	$\pm\frac{\sum M_i r_{ci}}{\sum x_{ij}^2}$
23	图 5.3.3	顶层框架高度尺寸 $0.5h_i$	顶层框架高度尺寸应为 $0.4h_i$
25	6	力矩设计值	力矩
34	9	或环托外	或环托时
36	7	S_{88}，…… S_{44}	S_8，…… S_4
38	10	截面惯性距	截面惯性矩
41	式 c.0.3	$M_Z(u)=$ $\frac{1}{120}\cdot\frac{G_1}{B}\cdot\frac{z}{H_0}[60M_eH_0(2H_0-z)]+$ ……	$M_Z(u)=$ $\frac{1}{120}\cdot\frac{G_1}{B}\cdot\frac{z}{H_0}\cdot$ $[60M_eH_0(2H_0-z)+20H_0\cdots\cdots]$
42	倒 9	截面惯性距	截面惯性矩
43	1	KN/m^2	KN/m