P **
备案号：

SH

中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3132—****

代替 SH/T3132—2013

石油化工水池结构设计规范

Design specification for water basins in petrochemical engineering

****-**-** 发布　　****-**-** 实施

中华人民共和国工业和信息化部　发布

目　　次

前言 ……V
1 范围 ……1
2 规范性引用文件 ……1
3 术语和符号……2
3.1 术语……2
3.2 符号……2
4 基本规定……5
4.1 一般规定 ……5
4.2 水池分类 ……6
4.3 混凝土水池防渗漏与防腐蚀……6
4.4 水池结构构件基本要求 ……7
4.5 混凝土水池伸缩缝、诱导缝与施工缝……9
4.6 水池使用期间的维护……10
5 作用和作用组合……10
5.1 一般规定 ……10
5.2 永久作用 ……10
5.3 可变作用 ……11
5.4 地震作用 ……13
5.5 作用组合 ……13
6 结构计算…… ……14
6.1 一般规定……14
6.2 混凝土矩形水池……17
6.3 混凝土圆形水池……19
6.4 混凝土水池壁面温（湿）差作用的内力计算……20
6.5 预应力混凝土水池……22
7 混凝土水池裂缝控制验算……22
7.1 一般规定……22
7.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度计算……23
8 抗浮稳定设计……24
8.1 一般规定……24
8.2 混凝土水池抗浮稳定验算……24
9 膜结构水池……25
9.1 一般规定……25
9.2 结构设计……26
10 材料 ……26
10.1 混凝土 ……26
10.2 钢筋 ……27

10.3 预应力系统 ……27
10.4 膜结构材料……27
10.5 防渗漏材料……27
11 构造要求……28
11.1 混凝土水池结构构件……28
11.2 混凝土水池伸缩缝……29
11.3 混凝土水池诱导缝……30
11.4 混凝土水池施工缝……30
11.5 混凝土水池抗震构造措施……31
11.6 预应力混凝土水池……31
11.7 膜结构水池……32
附录A（规范性附录）防渗漏涂层最小厚度及其性能要求……34
附录B（资料性附录）伸缩缝、诱导缝间距计算……36
附录C（规范性附录）混凝土水池抗震设计……37
附录D（资料性附录）双向板在水（土）压力作用下的弯矩系数、支座反力系数……
4 8
附录E（资料性附录）矩形水池在壁面温（湿）差作用下的弯矩系数……50
附录F（资料性附录）圆柱壳在水(土)压力、壁面温（湿）差作用下的弯矩系
数、环向力系数……51
附录G（资料性附录）橡胶止水带常用橡胶的耐介质性能……55
附录H（资料性附录）粘贴式止水带、常用防水材料的基本性能……58
本标准用词说明 ……62
附：条文说明 …… 63

Contents

Foreword ····· V
1 Scope ····· 1
2 Normative references ····· 1
3 Terms and symbols ····· 2
3.1 Terms ····· 2
3.2 Symbols ····· 2
4 Basic Requirements ····· 5
4.1 General Requirements ····· 5
4.2 Water basin classification ····· 6
4.3 Concrete water basin antileakage and anticorrosion ····· 6
4.4 Water basin structural element basic requirements ····· 7
4.5 Water basin expansion and contraction joint, inducing joint & construction joint ····· 9
4.6 Water basin maintenance requirements ····· 10
5 Action and combination ····· 10
5. 1 General Requirements ····· 10
5. 2 Permanent action ····· 10
5. 3 Variable action ····· 11
5. 4 Seismic action ····· 13
5. 5 Action combination ····· 13
6 Structral calculations ····· 14
6. 1 General Requirements ····· 14
6. 2 Rectangular concrete water basin ····· 17
6. 3 Circular concrete water basin ····· 19
6. 4 Internal force calculations due to temperature and humidity difference of Rectangular concrete basin wall ····· 20
6. 5 Prestressed concrete water basin ····· 22
7 Crack control checking for concrete water basin ····· 22
7. 1 General requirements ····· 22
7. 2 Crack width calculation for reinforced concrete memeber ····· 23
8 Design for anti-floatage ····· 24
8. 1 General Requirements ····· 24
8. 2 Checking of anti-floatage for concrete basin ····· 24
9 Membrane water basin ····· 25
9. 1 General Requirements ····· 25
9. 2 Structral design ····· 26
10 Materials ····· 26
10. 1 Concrete ····· 26

10.2 Reinforcing……27
10.3 Prestressing system ……27
10.4 Membrane material……27
10.5 Antileakage coating……27
11 Detailing ……28
11.1 Structure member of concrete water basin……28
11.2 Concrete water basin expansion and contraction joint……29
11.3 Concrete water basin inducing joint……30
11.4 Concrete water basin construction joint……30
11.5 Details of concrete water basin seismic design……31
11.6 Prestressed concrete basin……31
11.7 Membrane water basin……32
Appendix A（Normative）Minimum thickness of anti-leakage coating and its performance requirements……34
Appendix B（Informative）Calculation of space between expansion joints and induction joints ……36
Appendix C（Normative） Seismic design of concrete basin……37
Appendix D（Informative）The bending moment coefficients and support reaction coefficient of the two-way slab under water (soil) pressure……48
Appendix E（Informative）Moment coefficients effected by temperature (humidity) difference for rectangular basin……50
Appendix F（Informative）Moment coefficients , circumferential force coefficient of the cylindrical shell under water (soil) pressure, temperature (humidity) difference seperately…51
Appendix G（Informative）Medium resistance for commonly used rubber of rubber water stop……55
Appendix H（Informative）Basic performance of adhesive water stop belt and commonly used waterproof materials……58
Explanation of wording in This Standard……
6 2
Addition：Explanation of provisions……63

前　言

本标准是根据工业和信息化部《2022 年第二批行业标准制修订和外文版项目计划》（工信厅科函〔2022〕158 号），由中石化广州工程有限公司对原《石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范》SH/T3132-2013 进行修订而成。

本标准共分十一章和八个附录。

本标准修订的主要技术内容是：

1. 增加装配式混凝土水池、预应力混凝土水池、膜结构水池设计；
2. 增加水池结构构件基本要求；
3. 补充完善混凝土水池伸缩缝设置要求，并增加混凝土水池诱导缝、施工缝的设置及构造要求；
4. 增加水池使用期间的维护；
5. 修订混凝土水池防腐蚀与防渗漏的要求；
6. 增加伸缩缝、诱导缝间距计算；
7. 增加混凝土水池抗震设计；
8. 增加矩形水池双向板在水（土）压力作用下的支座反力系数表；
9. 增加底部固定、顶端自由的圆柱壳在水（土）压力、壁面温（湿）差作用下的弯矩系数、环向力系数表；
10. 增加预应力系统、膜结构材料、防渗漏材料要求；
11. 增加橡胶止水带常用橡胶的耐介质性能；
12. 增加粘贴式止水带、常用防水材料的基本性能。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布和管理机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国石油化工集团有限公司负责管理，由中国石化集团有限公司建筑设计技术中心站负责日常管理，由中石化广州工程有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送管理单位和主编单位。

本标准日常管理单位：中国石油化工集团有限公司建筑设计技术中心站

通讯地址：广东省广州市天河区体育西路 191 号

邮政编码：510620

电　　话：020-22193022

邮　　箱：sujw.lpec@sinopec.com

本标准主编单位：中石化广州工程有限公司

通讯地址：广东省广州市天河区体育西路 191 号

邮政编码：510620

本标准参编单位：中国石化工程建设有限公司

中石化宁波工程有限公司

中石化南京工程有限公司

智汇（天津）工程设计院有限公司

辽宁华正工程设计有限公司

长岭炼化岳阳工程设计有限公司

中国昆仑工程有限公司大连分公司
北京天和众智科技有限公司
武汉三源特种建材有限责任公司
上海岩磐新材料科技有限公司
江苏邦杰防腐保温科技有限公司
天津津滨汇海建材科技发展有限公司
湖北坤能新材料有限公司
北京市建筑工程研究院有限责任公司

本标准主要起草人员：万朝梅 李志明 杨虹砚 王松生 押现中 黄钟喜 王耀东 张旭忠
张亚新 王 超 王留生 刘德文 杨 强 夏 川 胡 斌 吴绍山
汪杏秀 李 桥 钟 谨 杨学中

本标准主要审查人员：黄左坚 周家祥 苏军伟 罗 妍 杨晓红 严 峰 嵇转平 刘景涛
周 蓉 马振明 郑 强 金德林 路来光 谭 年 张新敏 赵福运

本标准2002年首次发布，2013年第1次修订,本次为第2次修订。

石油化工水池结构设计规范

1 范围

本标准规定了水池结构设计的基本规定、作用和作用组合、结构计算、混凝土水池裂缝控制验算、抗浮稳定设计、膜结构水池、材料和构造要求等。

本标准适用于石油化工、煤化工工程中池类结构的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 1499.1	钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋
GB 1499.2	钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋
GB/T 1865	色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射曝露 滤过的氙弧辐射
GB/T 5224	预应力混凝土用钢绞线
GB/T 14370	预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 16777	建筑防水涂料试验方法
GB/T 17639	土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布
GB/T 17643	土工合成材料 聚乙烯土工膜
GB/T 18173.2	高分子防水材料 第 2 部分：止水带
GB/T 18173.3	高分子防水材料 第 3 部分：遇水膨胀橡胶
GB/T 21120	水泥混凝土和砂浆用合成纤维
GB/T 23439	混凝土膨胀剂
GB/T 25182	预应力孔道灌浆剂
GB 30981	工业防护涂料中有害物质限量
GB/T 38597	低挥发性有机化合物含量涂料产品技术要求
GB 50007	建筑地基基础设计规范
GB 50009	建筑结构荷载规范
GB/T 50010	混凝土结构设计标准
GB 50119	混凝土外加剂应用技术规范
GB/T 50224	建筑防腐蚀工程施工质量验收标准
GB 50330	建筑边坡工程技术规范
GB 50453	石油化工建(构)筑物抗震设防分类标准
GB 55002	建筑与市政工程抗震通用规范
GB 55008	混凝土结构通用规范
SH/T 3233	石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范
SH/T 3535	石油化工混凝土水池工程施工及验收规范
JGJ/T 178	补偿收缩混凝土应用技术规程
JGJ/T 221	纤维混凝土应用技术规程
JGJ 369	预应力混凝土结构设计规范

JG/T 512	建筑外墙涂料通用技术要求
JG/T 225	预应力混凝土用金属波纹管
JT/T 589	水泥混凝土路面嵌缝密封材料
T/CECS 540	混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程
T/CECS 10082	混凝土用钙镁复合膨胀剂
CBMF 19	混凝土用氧化镁膨胀剂
CJJ/T 214	生活垃圾填埋场防渗土工膜渗漏破损探测技术规程

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1

混凝土抗渗等级 resistance class to water penetration of concrete

用逐级加压法测得的最大压力来划分的混凝土抗渗性能等级。

3.1.2

混凝土抗冻等级（Fi） resistance class to freezing-thawing of concrete

用快冻法测得的最大冻融循环次数来划分的混凝土抗冻性能等级。

3.1.3

壁面温（湿）差 thermal or moisture gradients through the thickness of structural elements

假定温度沿多层复合壁（板）的每一层材料的厚度方向均按线性变化，根据连续介质热传导理论计算出的壁（板）结构层内、外表面之间的温差。

3.1.4

中面温差 Midplane temprature difference

水池施工期间的平均气温与正常使用期间池壁板中面最低温度的差值。

3.1.5

诱导缝 inducing joint

通过适当减少钢筋对混凝土的约束等方法预期混凝土池类结构在指定位置产生的裂缝，也称开裂引发缝、控制缝。

3.2 符号

3.2.1 作用和作用效应

C — 结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力、裂缝宽度等的限值；

G_k——水池整体抗浮力标准值；

G_n——局部区格或局部单元面积上抗浮力的标准值；

M_x——三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的水平向跨中弯矩；

M_x'——三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的水平向支座弯矩；

M_y——三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的竖向跨中弯矩；

M_y'——三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的竖向支座弯矩；

Mr——任意截面的径向弯矩；

Mt——任意截面的切向弯矩；

$M_{\triangle t}$——壁面温（湿）差作用所引起的弯矩标准值；

M_{xt} 、M_{yt}——池壁温（湿）差所引起的池壁 X、Y 方向的弯矩标准值；

M_{yc}——底部固定、顶端自由的圆柱壳的竖向弯矩；

M_{θ}——底部固定、顶端自由的圆柱壳的环向弯矩；
$M_{\theta t}$——壁面温（湿）差所引起的圆柱壳的环向弯矩；
M_{jx}——池壁水平向角隅处局部负弯矩最大值；
N_q 、M_q——按荷载效应的准永久组合计算的轴向力值、弯矩值；
N_{θ}——底部固定、顶端自由的圆柱壳的环向力；
$N_{\theta t}$——壁面温（湿）差所引起的圆柱壳的环向力；
q ——均布荷载强度或三角形荷载的最大强度；
R_{Lm}——池壁顶端、底端最大支座反力；
R_{L0}——池壁顶端、底端平均支座反力；
R_{Hm}——池壁水平向最大支座反力；
R_{H0}——池壁水平向平均支座反力；
S——作用组合的效应设计值；
S_{Ehk}——水平地震作用标准值的效应；
S_{EvK}——竖向地震作用标准值的效应；
S_{Gik}——第 i 个永久荷载标准值计算的荷载效应值；
S_P——预应力作用标准值计算的荷载效应值；
S_{Q1k}, S_{Qjk},——第 1 个、第 j 个可变作用标准值计算的荷载效应值；
σ_{ck}——荷载标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力；
σ_{pc}——扣除全部预应力损失后在抗裂验算边缘混凝土的预压应力；
σ_s——按荷载准永久组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉钢筋的应力；
ω_{max}——按荷载的标准组合或准永久组合并计入长期作用影响计算的最大裂缝宽度；
ω_{lim}—最大裂缝宽度限值。

3.2.2 材料性能和抗力

E_c ——混凝土弹性模量；
E_s ——钢筋弹性模量；
f_{tk}——混凝土轴心抗拉强度标准值；
R——结构构件的抗力设计值；
α_c—— 混凝土线膨胀系数；
β_i —— 内表面热交换系数；
β_e —— 外表面热交换系数；
λ_b ——池壁的导热系数；
λ_e—— 外保温层的导热系数；
ν_c——混凝土泊松比。

3.2.3 几何参数

A——水池底板（或平衡层）底面的面积；
A_n——局部区格或局部单元承受地下水浮力的面积；
A_s ——受拉区纵向钢筋截面面积；
A_{te} ——有效受拉混凝土截面面积；
B——走道板宽度；
b——池壁的计算宽度；
c_s——最外层纵向受拉钢筋的混凝土净保护层厚度；

d——受拉钢筋直径；
e——轴向压力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离；
e_0——荷载准永久组合下的初始偏心距；
e’——轴向拉力作用点至受压区或受拉较小边纵向钢筋合力点的距离；
H_d——最高地下水位距水池底板（或平衡层）底面的距离；
H_0——池壁的计算高度；
h——池壁厚度；
h_b——走道板厚度；
he——外保温层的厚度；
L_0——池壁的计算长度；
R——圆柱壳的计算半径；
R_b——圆板的计算半径；
x——计算截面至铰支端的距离；
y_s——截面重心至纵向受拉钢筋合力点的距离；
z——纵向受拉钢筋合力点至截面受压区合力点的距离；

3.2.4 计算系数及其他

k_{xt} 、k_{yt} ——池壁在 X、Y 方向的弯矩系数；
k_{yc}、k_{θ}——圆柱壳的竖向弯矩系数、环向力系数;
k_{yt}、$k_{\theta t}$——壁面温（湿）差作用下圆柱壳的竖向弯矩系数、环向力系数;
m—— 走道板计算跨度(L)与池壁计算高度(H_0)的比值；
m_j—— 角隅处最大水平向弯矩系数；
m_x、m_x'、m_y、m_y'——弯矩系数；
n_g—— 走道板单位长度横截面惯性矩(I_L)与池壁单位宽度截面惯性矩(I_H)的比值；
s——圆形壳的弹性特征系数；
T_i——池壁内侧介质的计算温度；
T_e——池壁外侧的大气温度；
α_{cr}—— 构件受力特征系数；
α_T—— 弹性固定支承反力系数；
η_s——使用阶段的轴向压力偏心距增大系数；
η_t——温（湿）差作用下弯矩折减系数；
γ_{Eh}、γ_{Ev}——分别为水平、竖向地震作用分项系数；
γ_{Gi}、γ_p——分别为第 i 个永久作用、预应力的分项系数；
γ_{Hm}——池壁水平向最大支座反力系数；
γ_{H0}——池壁水平向平均支座反力系数；
γ_{Lm}——池壁顶端、底端最大支座反力系数；
γ_{L0}——池壁顶端、底端平均支座反力系数；
γ_{RE}——承载力抗震调整系数；
γ_{Q1}、γ_{Qj}——第 1 个、第 j 个可变作用分项系数；
γ_w—— 水的重度；
γ_0——结构重要性系数；
ψ—— 裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数；
ψ_{cj}—— 第 j 个可变作用的组合系数；

ψ_{qj}—— 第 j 个可变作用的准永久值系数；

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；

Δt—— 池壁的内、外侧壁面温差；

Δt_0—— 池壁的中面温差。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 石油化工水池的结构安全等级应为二级，设计工作年限应为 50 年。

4.1.2 石油化工水池抗震设防分类应符合现行国家标准《石油化工建(构)筑物抗震设防分类标准》GB 50453 的规定。

4.1.3 石油化工水池采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。

4.1.4 混凝土水池结构的极限状态设计应包括以下内容：

a）承载能力极限状态：包括结构或结构构件的承载力计算；

b) 正常使用极限状态：包括结构构件的变形计算、混凝土水池的裂缝控制验算等。

4.1.5 水池结构构件按承载能力极限状态设计时，应采用下列承载能力极限状态设计表达式：

$$\gamma_0 S \le R \qquad (4.1.5)$$

式中：

γ_0 —结构重要性系数，取 1.0；

S— 作用组合的效应设计值；

R— 结构构件的抗力设计值 ，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定采用。

4.1.6 水池结构构件按正常使用极限状态设计时，应采用下列极限状态设计表达式进行验算：

$$S \le C \qquad (4.1.6)$$

式中：

C — 结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力、裂缝宽度等的限值。

4.1.7 水池结构构件进行抗震验算时，应采用下列设计表达式：

$$S \le R/\gamma_{RE} \qquad (4.1.7)$$

式中：

γ_{RE} —承载力抗震调整系数，取 0.85。

4.1.8 混凝土水池结构承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算时，应根据水池形式及运行模式，进行下列工况验算：

a) 蓄水试验、使用阶段池内满水、多格水池间隔贮水、池内放空等设计工况；

b）预应力水池尚应进行空池时预应力张拉阶段的验算；

c）装配式水池尚应进行构件制作、运输、吊装等施工阶段的验算。

4.1.9 石油化工常用水池宜采用混凝土结构；当占地不受限、地下水位低且储存介质腐蚀性不高于弱腐蚀时，可采用膜结构水池；抗震设防烈度为 8 度及以下地区可采用装配式钢筋混凝土结构水池。

4.1.10装配式混凝土水池应根据结构性能及构件生产、安装施工的便捷性要求，确定预制构件的结构尺寸、连接构造，并满足水池防渗漏等级要求。

4.1.11 混凝土水池设计文件中应注明水池的防渗漏等级和蓄水试验时的防渗漏等级。

4.1.12 水池地基的沉降应能满足正常生产要求，地基的最大平均沉降量不宜大于 200mm；伸缩缝处的沉降差不应大于止水带的变形能力。

4.1.13 当地基不能满足承载力、沉降要求时应进行地基处理，地基处理应符合国家现行有关标准的规

定。

4.1.14 建于严寒和寒冷地区地面以上的混凝土水池构件，温度应力较大时可采取外保温措施。

4.1.15 混凝土水池的介质温度不应高于 100℃；膜结构水池的介质温度不应高于 60℃。

4.1.16 混凝土水池应进行蓄水试验，蓄水试验应在防腐层或防渗漏涂层施工前进行。

4.1.17 膜结构水池施工完成后应进行渗漏检测。保护层或平衡层施工前宜采用水枪法或电火花法进行检测；保护层或平衡层施工后宜采用双电极法进行检测，检测方法和要求应满足现行行业标准《生活垃圾填埋场防渗土工膜渗漏破损探测技术规程》CJJ/T 214 的有关要求。

4.1.18 对于建在湿陷性黄土、膨胀土等地区的水池结构设计，尚应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.19 混凝土水池的施工、验收应符合现行行业标准《石油化工混凝土水池工程施工及验收规范》SH/T 3535 的规定。

4.2 水池分类

4.2.1 水池按其埋置情况分为地下式、半地下式、地面式和架空式四种，其划分方法应符合下列规定：

a) 地下式水池：池顶不高于地面或高出地面的高度不大于 1000mm，且池体位于地面以下部分大于池体高度一半的水池；

b) 半地下式水池：池体位于地面以下部分不小于池体高度的一半，且池顶高出地面的高度大于 1000mm 的水池；

c) 地面式水池：池体位于地面以下部分小于池体高度的一半或池底坐落于地面的水池；

d) 架空式水池：池底高出地面，用框架、墙、柱支承的水池。

4.2.2 水池按其形状一般分为矩形水池和圆形水池。

4.2.3 混凝土水池按施工方式的不同分为现浇式和装配式。

4.2.4 水池按材料的不同分为混凝土结构水池和膜结构水池。

4.3 混凝土水池防渗漏与防腐蚀

4.3.1 水池的防渗漏标准应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1　水池防渗漏标准

防渗漏等级	防渗漏要求
一级	不应有渗水，结构表面无湿渍。
二级	不应有滴漏，结构表面可有零星分布的湿渍；湿渍总面积不应大于池壁外表面积的 0.1%，任意 100m² 池壁外表面积上的湿渍数量不应超过 2 处，单个湿渍的面积不应大于 0.1m²。
三级	不应有线漏，结构表面可有少量的湿渍、滴漏；任意 100m² 池壁外表面积上的湿渍和滴漏点总数量不应超过 7 处，单个湿渍的面积不应大于 0.3m²，滴漏点水珠滴落间隔时间不应少于 1min。

4.3.2 混凝土水池的防渗漏等级应符合下列规定：

a）水池内介质对混凝土构件的腐蚀等级不低于弱腐蚀时，水池的防渗漏等级应为一级；内表面设置有防腐防渗层的水池，蓄水试验时的防渗漏等级不应低于三级；内表面不设置防腐防渗层的水池，蓄水试验时的防渗漏等级应为一级；

b）水池内介质对混凝土构件的腐蚀等级低于弱腐蚀，但其渗漏可能对地下水、土壤环境产生影响时，地下式、半地下式水池的防渗漏等级应为一级，内表面设置有防渗漏涂层的水池，蓄水试验时的防渗漏等级不应低于三级；内表面不设置防渗漏涂层的水池，蓄水试验时的防渗漏等级应为一级；地面式、架空式水池的防渗漏等级和蓄水试验时的防渗漏等级不应低于二级；

c）；

d) 经常空池的地下式水池，其蓄水试验时的防渗漏等级不应低于二级。

4.3.3 大气环境、地下水、土对混凝土构件有腐蚀性时，与大气环境、地下水、土接触的混凝土水池构件、预应力水池锚固系统的防腐应符合现行行业标准《石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范》SH/T 3233 的规定。

4.3.4 水池内介质对混凝土构件的腐蚀等级不低于弱腐蚀，且水池结构本体不能满足防腐、防渗漏要求时，水池内表面应设置防腐防渗层。腐蚀等级的确定、防腐防渗层做法及设置范围、采用涂层时的涂层厚度及涂层体系性能要求应符合现行行业标准《石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范》SH/T 3233 的规定。

4.3.5 水池内介质对混凝土构件的腐蚀等级低于弱腐蚀，但其渗漏可能对地下水、土壤环境产生影响时，地下式、半地下式水池内表面和水池结构本体不能满足防渗漏要求的地面式、架空式水池内表面应设置防渗漏涂层。

4.3.6 水池内表面设置防渗漏涂层时，防渗漏涂层的耐久年限应根据环境条件、介质类型、接触介质的时间、池内设备的检维修周期和维护条件等进行综合对比后确定。防渗漏涂层的耐久年限选择应符合下列规定：

a) 防渗漏涂层的耐久年限不应低于池内设备的检维修周期；

b) 易维护和更换的防渗漏涂层，其耐久年限不宜低于 10 年；

c) 不易维护和更换的防渗漏涂层，其耐久年限不应低于 20 年；

d) 无法维护的防渗漏涂层，其耐久年限不应低于水池的设计工作年限。

4.3.7 防渗漏涂层宜采用水性高分子树脂、聚氨酯等柔性防水涂料，小型水池、沟、井也可采用聚合物水泥防水涂料、聚合物水泥防水砂浆等防水材料。

4.3.8 防渗漏涂层厚度应根据涂层不透水性、涂层耐久年限和内部水深确定，最小厚度应符合附录 A 表 A.1 的规定，防渗漏涂层的性能应符合附录 A 表 A.2 的规定；防渗漏涂层采用聚合物水泥防水砂浆时，最小厚度应符合附录 A 表 A.3 的规定。

4.3.9 混凝土水池伸缩缝、诱导缝、施工缝的的设置应符合本标准第 4.5 条的规定。

4.3.10 穿过水池表面防护层的管道、套管、预留孔、预埋件，均应预先埋置或留设。外露钢结构构件表面的防腐蚀应符合现行行业标准《石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范》SH/T 3233 的有关规定。

4.4 混凝土水池结构构件基本要求

4.4.1 水池构件的混凝土最低强度等级应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 混凝土最低强度等级

构件类型	腐蚀等级		
	微、弱	中	强
钢筋混凝土池壁、底板、顶板、梁、柱	C30	C35	C40
预应力混凝土池壁、底板、顶板、梁	C40	C45	C50
注1：表中腐蚀等级取介质或地下水、土、大气对混凝土、钢筋的最高腐蚀等级；当构件表面设置有防腐层或防渗漏涂层，构件不直接与介质、地下水、土、大气接触，确定腐蚀等级时可不考虑干湿交替影响。 注2：构件表面按4.3条设置防腐层或防渗漏涂层时，构件的混凝土强度可降低一个等级，但不应低于微腐蚀的混凝土强度等级，且最低混凝土强度等级和保护层最小厚度不应同时降低。			

4.4.2 水池构件的混凝土保护层的最小厚度应符合表 4.4.2 的规定，且不应小于受力钢筋的公称直径。

表 4.4.2 混凝土保护层的最小厚度(mm)

构件类型	腐蚀等级		
	微、弱	中	强
暴露在大气环境中的池壁、底板、顶板	25	30	40
暴露在大气环境中的梁、柱	35	40	50
与地下水、土或液体介质长期接触的构件	40	45	50

注 1：表中腐蚀等级取介质或地下水、土、大气对混凝土、钢筋的最高腐蚀等级；当构件表面设置有防腐层或防渗漏涂层，构件不直接与介质、地下水、土、大气接触，确定腐蚀等级时可不考虑干湿交替影响。

注 2：地面以下钢筋混凝土构件不使用模板直接接触土体浇筑时，接触面处混凝土保护层厚度不应小于 70mm。

注 3：处于流动水中、无防护层的钢筋混凝土构件，保护层厚度宜增加 10mm，同时受水中泥砂冲刷时，保护层厚度宜增加 20mm。

注 4：长期处于大气环境中的混凝土构件，当表面有厚度不小于 15mm 的砂浆抹面，其混凝土保护层厚度可减少 5mm，但不应低于 25mm。

注 5：构件表面按 4.3 条设置防腐层或防渗漏涂层时，构件的保护层最小厚度可减少 5mm，但不应低于 25mm，且保护层最小厚度和最低混凝土强度等级不应同时降低。

注 6：有连续密封套管的后张预应力筋，混凝土保护层厚度不应小于孔道直径的 1/2，没有密封套管的后张预应力筋和允许开裂构件的预应力筋，其混凝土保护层厚度应增加 10mm。

4.4.3 水池构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值应符合表 4.4.3 的规定。

表 4.4.3 混凝土水池构件裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值

构件类型	腐蚀等级					
	微		弱、中		强	
	裂缝控制等级	ω_{lim}（mm）	裂缝控制等级	ω_{lim}（mm）	裂缝控制等级	ω_{lim}（mm）
钢筋混凝土构件	三级	0.2	三级	0.2	三级	0.15
预应力混凝土构件	三级	0.1	二级	—	一级	—

注 1：表中腐蚀等级取介质或地下水、土、大气对混凝土、钢筋的最高腐蚀等级；当构件表面设置有防腐层或防渗漏涂层，构件不直接与介质、地下水、土、大气接触，确定腐蚀等级时可不考虑干湿交替影响。

注 2：钢筋混凝土构件表面按本标准 4.3 条设置柔性防腐层或防渗漏涂层时，设涂层侧裂缝宽度允许值可增加 0.1mm。

4.4.4 接触液体介质的混凝土构件，其混凝土最低抗渗等级应符合表 4.4.4 的规定。

表4.4.4　混凝土最低抗渗等级

构件类型	腐蚀等级		
	弱	中	强
底板、池壁	P6	P8	P8

注 1：表中腐蚀等级取介质或地下水、土、大气对混凝土、钢筋的最高腐蚀等级；当构件表面设置有防腐层或防渗漏涂层，构件不直接与介质、地下水、土、大气接触，确定腐蚀等级时可不考虑干湿交替影响。

注 2：冻融环境中受冻融影响的混凝土构件，表面未设置防腐层或防渗漏涂层时，混凝土的抗渗等级不应低于

P10。

4.4.5 冻融环境中受冻融影响的混凝土构件，混凝土的抗冻等级应符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 混凝土抗冻等级

环境条件	腐蚀等级		
	微、弱	中	强
有盐环境	F250	F300	F350
无盐环境	F150	F200	F250
注 1：表中腐蚀等级为介质或地下水、土、大气对混凝土、钢筋的最高腐蚀等级；当构件表面设置有防腐层或防渗漏涂层，构件不直接与介质、地下水、土、大气接触，确定腐蚀等级时可不考虑干湿交替影响。 注 2：环境条件有盐环境、无盐环境的确定应符合国家现行标准《石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范》SH/T 3233 的规定。 注 3：构件表面按 4.3 条设置防腐层或防渗漏涂层时，混凝土抗冻等级可以降低一级，但不应低于微腐蚀的要求。			

4. 5 混凝土水池伸缩缝、诱导缝与施工缝

4.5.1 矩形水池尺寸较大时宜设置伸缩缝、诱导缝，伸缩缝的最大间距宜符合表 4.5.1-1 的规定，诱导缝的最大间距宜符合表 4.5.1-2 的规定；当水池施工闭合时间可以确定时，伸缩缝、诱导缝的最大间距也可按附录 B 计算。

表 4.5.1-1 矩形钢筋混凝土水池伸缩缝最大间距 单位：m

	砂土或黏性土地基			桩基、岩石或碎石土地基			架空式水池
混凝土种类	地下式水池、有保温措施的水池	半地下式水池	地面式水池	地下式水池、有保温措施的水池	半地下式水池	地面式水池	
现浇普通混凝土	30	25	20	20	17	15	25
纤维混凝土	40	30	25	25	25	20	35
现浇补偿收缩混凝土	45	40	30	35	30	25	40
装配式	40	40	30	30	30	20	35
注：当普通混凝土水池设有后浇带，或补偿收缩混凝土水池设有膨胀混凝土加强带时，伸缩缝的间距可根据工程经验确定。							

表 4.5.1-2 矩形钢筋混凝土水池诱导缝最大间距 单位：m

	砂土或黏性土地基			桩基、岩石或碎石土地基			架空式水池
混凝土种类	地下式水池、有保温措施的水池	半地下式水池	地面式水池	地下式水池、有保温措施的水池	半地下式水池	地面式水池	
现浇普通混凝土	25	20	15	15	15	10	10
纤维混凝土	35	25	20	20	20	15	30
现浇补偿收缩混凝土	40	35	25	30	25	20	35

注：当普通混凝土水池设有后浇带，或补偿收缩混凝土水池设有膨胀混凝土加强带时，诱导缝的间距可根据工程经验确定。

4.5.2 水池伸缩缝宜贯通布置，伸缩缝宽度可取 20mm~30mm。

4.5.3 诱导缝宜贯通布置，诱导缝处水平钢筋宜切断 1/3，钢筋断开间距宜为 50 mm ~100mm。

4.5.4 除设置后浇带外，水池构件不应设置垂直施工缝，池壁水平施工缝高于底板腋角顶面的距离不应小于 100mm；设置后浇带时，后浇带两侧应视为施工缝。

4.5.5 伸缩缝、诱导缝处应设置中埋式止水带，缝隙应采用嵌缝密封材料密封，底板下表面应设置膨胀止水条，厚度不应小于 20mm。

4.5.6 防渗漏等级为一、二级的水池，伸缩缝、诱导缝处池壁内表面、底板上表面应设置防水加强层，每边宽出伸缩缝、诱导缝不应小于 250mm。防水加强层可采用粘贴式止水带，也可将防腐防渗层或防渗漏涂层局部加厚 1 倍。

4.5.7 设有诱导缝的池壁，确定池壁受力类型时，诱导缝可视为伸缩缝。

4.5.8 伸缩缝、诱导缝与施工缝的构造应符合本标准第 11.2 条、第 11.3 条、第 11.4 条的规定。

4.6 水池使用期间的维护

4.6.1 水池结构设计应提出设计工作年限内水池的维护要求。设计文件中应明确防腐层、防渗漏层的耐久年限。

4.6.2 水池使用期间应定期维护，维护应具有连续性和及时性。维护内容应包括日常检查、定期检测评估和适时维修。

4.6.3 水池的日常检查、定期检测评估应符合下列规定：

a) 日常检查以外观目测为主，检查内容包括防腐层、防渗漏涂层的表面裂纹、起鼓、脱落、老化和水池外表面裂缝、渗水、湿渍等。

b) 定期检测评估内容包括防渗漏涂层厚度、损伤和防渗漏涂层剩余工作年限的检测和评定。

4.6.4 水池的维护应符合下列规定：

a)检查、检测发现的防腐层、防渗漏涂层损伤、构件表面损伤应及时进行修补；

b)表面防腐层、防渗漏涂层失去有效作用时应及时进行更换。

5 作用和作用组合

5.1 一般规定

5.1.1 水池结构上的作用可分为以下几类：

a) 永久作用：结构自重、土的竖向压力、土的侧向压力、最高地下水位浮力、最高地下水位侧向压力、池内水压力、池内物料压力、永久设备及管线重、预应力等；

b) 可变作用：池顶活荷载、设备操作荷载、安装检修荷载、地面堆积荷载及其产生的侧压力、转动设备当量荷载、雪荷载、风荷载、温（湿）度变化作用等；

c) 地震作用：结构等效重力荷载产生的地震作用、动水压力、动土压力等。

5.1.2 水池结构的设计，应根据水池型式及其工况取不同的作用效应组合。

5.2 永久作用

5.2.1 侧向水土压力标准值：应按主动土压力计算，地下水位以上部分取回填土重力密度，地下水位以下部分，应为主动土压力与地下水静压力之和。主动土压力系数应根据回填土的抗剪强度确定，当

缺乏试验资料时，对砂类土或粉土可取 1/3，对黏性土可取 1/4~1/3；对于沉井，应根据各土层的抗剪强度确定。

5.2.2 池内水压力标准值，应按设计水位的静水压力计算。

5.2.3 施加在结构上的预应力标准值，应按预应力钢筋的张拉控制应力值扣除相应张拉工艺的各项预应力损失值采用。当构件按承载能力极限状态计算，预加应力为不利作用时，由钢筋松弛和混凝土收缩、徐变引起的预应力钢筋的应力损失不应扣除。张拉控制应力值及预应力损失值的确定应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008、《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。

5.2.4 装配式混凝土水池预制构件进行翻转、运输、吊运、安装等验算时，竖向荷载应乘以动力系数，动力系数宜取 1.5。

5.2.5 装配式混凝土水池预制构件进行脱模验算时，竖向荷载应乘以动力系数，并应计入脱模吸附力，且符合下列规定：

a) 动力系数不宜小于 1.2；

b) 脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于 1.5kN/m^2。

5.3 可变作用

5.3.1 活荷载标准值、组合值系数、准永久值系数，应按表 5.3.1 的规定取值。

表 5.3.1 活荷载标准值、组合值系数、准永久值系数

荷载名称	标准值 (kN/m^2)	组合值系数 ψ_c	准永久值系数 ψ_q
不上人顶板活荷载	0.5	0.7	0
上人顶板活荷载	2.0	0.7	0.4
设备操作平台活荷载	2.0	0.7	0.5
顶板上安装检修荷载	3.5	0.7	0

5.3.2 雪荷载、风荷载的标准值、组合值系数及准永久值系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定采用。

5.3.3 当水池附近地面有堆积物时，堆积荷载的标准值应按照实际情况取值，且不宜小于 10 kN/m^2。地面堆积荷载及其侧压力的组合值系数可取 0.7，准永久值系数可取 0.5。

5.3.4 地下水、浮托力标准值的计算应符合下列规定：

a) 侧向水压力应按静水压力计算，水的重力密度可取 10 kN/m^3；

b) 侧向水压力标准值的设计水位，应根据水文部门或勘察部门提供的数据采用。

5.3.5 混凝土水池结构的温度变化作用（包括湿度变化的当量温差）标准值，可按下列规定确定：

a) 地下或设有保温措施的有盖水池，可不计算温度、湿度变化作用；水池池壁的伸缩缝设置符合本标准规定时，可不计算温、湿度变化对池壁中面的作用。直径大于 15m 的混凝土圆形水池及总尺寸或结构单元尺寸超过伸缩缝最大间距的现浇矩形水池，尚应计入中面温差作用；

b) 暴露在大气中的水池池壁的温度变化作用，应按池壁的壁面温差和中面温差确定。壁面温差应按式（5.3.5-1）计算，中面温差应按式（5.3.5-2）计算，混凝土的热工系数可按表 5.3.5 取值；

c) 暴露在大气中的水池池壁的壁面湿度当量温差 Δt 可按 10℃采用。

d) 计算池壁温（湿）度变化作用时，壁面温差与湿度当量温差不同时计入，应取二者的较大值。

e) 温度、湿度变化作用的准永久值系数可取 1.0 。

$$\Delta t=\frac{\frac{h}{\lambda_b}}{\frac{1}{\beta_{\mathrm{i}}}+\frac{1}{\beta_{\mathrm{e}}}+\frac{h}{\lambda_b}+\frac{h_{\mathrm{e}}}{\lambda_{\mathrm{e}}}}(T_{\mathrm{i}}-T_{\mathrm{e}}) \tag{5.3.5-1}$$

$$\Delta t_0=T_c-T_e-\frac{\frac{1}{\beta_e}+\frac{h}{2\lambda_b}+\frac{h_e}{\lambda_e}}{\frac{1}{\beta_i}+\frac{1}{\beta_e}+\frac{h}{\lambda_b}+\frac{h_e}{\lambda_e}}\left(T_i-T_e\right) \tag{5.3.5-2}$$

式中：

Δt — 池壁的内、外侧壁面温差（℃）；

Δt_0— 池壁的中面温差（℃）；

h — 池壁厚度（m）；

h_e — 外保温层的厚度（m）；

λ_b — 池壁的导热系数（W/m·K）；

λ_e — 外保温层的导热系数（W/m·K）；

β_i — 内表面热交换系数（W/m²·K）；

β_e — 外表面热交换系数（W/m²·K）；

T_i— 池壁内侧介质的计算温度（℃），宜取最冷月的平均介质温度；

T_e — 池壁外侧的大气温度（℃），取历年最冷月的平均气温；

T_c — 池壁施工闭合时的大气温度，宜根据工程进度，取施工期间的平均气温计算（℃）。

表 5.3.5 混凝土的热工系数

系数名称		系数值	适用条件
混凝土线膨胀系数（1 / ℃）		1×10^{-5}	温度在 0℃～100℃范围内
导热系数 (W / m·K)	钢筋混凝土墙、板	1.55	两侧表面与室外空气接触
		2.03	一侧表面与室外空气接触， 另一侧表面与水接触。
		1.74	其它工作条件
外表面热交换系数 (W / m²·K)	外墙、顶板与室外空气之间	23	冬季
		19	夏季
内表面热交换系数	墙面、地面、顶板与室内空气之间	8.7	-

（W / m² • K）	墙面、地面、顶板与内水之间	∞	–

5.3.6 转动设备的当量荷载，可取设备厂商提供的动力荷载；当未提供动力荷载时，可按设备重量标准值乘以动力系数计算。离心泵及电机类设备的动力系数可取 2.0；刮泥机类设备的动力系数可取 1.2。

5.4 地震作用

5.4.1 下列混凝土水池可不进行水平地震作用下的截面抗震验算，但应满足抗震构造要求：

a) 抗震设防烈度为 6 度时的各种水池；

b) 抗震设防烈度为 7 度、8 度时的地下式、半地下式水池；

c) 抗震设防烈度为 9 度时的地下式水池。

5.4.2 抗震设防烈度 8 度、9 度地区的地面式、架空式、双层混凝土水池应计入竖向地震作用。

5.4.3 矩形、圆形混凝土水池池体地震作用、动水压力、动土压力应按附录 C 计算。

5.5 作用组合

5.5.1 水池按承载能力极限状态设计时，荷载效应基本组合设计值可按下式计算：

$$S = \sum_{1}^{m} \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{p} S_{P} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{2}^{n} \gamma_{Qj} \psi_{cj} S_{Qjk} \qquad (5.5.1)$$

式中：

S_{Gik} — 第 i 个永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{p} — 预应力作用标准值计算的荷载效应值；

γ_{Gi}，γ_{p} — 分别为第 i 个永久作用、预应力的分项系数，当作用效应对承载力不利时应取 1.3，当作用效应对承载力有利时应取 1.0；

S_{Q1K}，S_{Qjk} — 第 1 个、第 j 个可变作用标准值计算的荷载效应值；

γ_{Q1}，γ_{Qj} — 第 1 个、第 j 个可变作用分项系数，取 1.5；

ψ_{cj} — 第 j 个可变作用的组合系数。

5.5.2 水池按承载能力极限状态设计时，结构构件抗震验算的组合内力设计值应采用地震作用效应和其他作用效应的基本组合值，可按下式计算：

$$S = \sum_{1}^{m} \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \qquad (5.5.2)$$

式中：

γ_{Eh}、γ_{Ev}——分别为水平、竖向地震作用分项系数，按表 5.5.2 取值；

S_{EhK} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{EvK} ——竖向地震作用标准值的效应。

表 5.5.2 地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{Ev}
仅计算水平地震作用	1.4	0.0
同时计算水平与竖向地震作用（水平地震为主）	1.4	0.5
同时计算水平与竖向地震作用（竖向地震为主）	0.5	1.4

5.5.3 对于正常使用极限状态，作用标准组合、准永久组合的效应设计值应分别按下列公式确定：

a) 作用标准组合的效应设计值

$$S = \sum_{1}^{m} S_{Gik} + S_P + S_{Q1k} + \sum_{2}^{n} \psi_{cj} S_{Qjk} \qquad (5.5.3\text{-}1)$$

b) 作用准永久组合的效应设计值

$$S = \sum_{1}^{m} S_{Gik} + S_P + \sum_{1}^{n} \psi_{qj} S_{Qjk} \qquad (5.5.3\text{-}2)$$

式中：

ψ_{qj}—— 第 j 个可变作用的准永久值系数。

5.5.4 水池结构的作用效应组合可按表 5.5.4 的规定采用。

表 5.5.4 作用效应组合表

工况	水池种类	结构自重	预加应力	顶板活荷	竖向土压	池外土压	池内水压	池外水压	地面堆载	温差作用	地震作用	风荷载
蓄水试验	各种水池	√	√				√					
正常操作	地下式	√	√	√	√	√	√	√	√			
	有保温半地下式	√	√	√		√	√	√	√	√		
	无保温半地下式	√	√	√		√	√	√	√	√		
	有保温地面式	√	√	√			√			√		
	无保温地面式	√	√	√			√			√		
	有保温架空式	√	√	√			√			√		√
	无保温架空式	√	√	√			√			√		√
空池	地下式	√	√	√	√	√		√	√			
	有保温半地下式	√	√	√		√		√	√			
	无保温半地下式	√	√	√		√		√	√	√		
地震	各种水池	√	√		√	√	√				√	
注：表中温差作用取温差、湿差作用的最大值。												

6 结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土水池结构宜采用三维有限元分析方法进行整体分析。对于体型简单的水池，也可采用本

章规定的简化方法计算。

6.1.2 混凝土水池结构内力分析，均应按弹性体系计算，不计入非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

6.1.3 水池顶部设置的通长走道、水槽宜与池壁进行整体分析。

6.1.4 多格水池应根据使用情况，按最不利贮水工况进行计算。

6.1.5 双层水池应根据使用情况，按以下工况进行设计：

a) 上、下层均为满水；
b) 上层满水，下层空池；
c) 上层放空，下层满水；
d) 上、下层均放空，池外有土压。

6.1.6 混凝土水池池壁顶端的支承类型应按下列规定确定：

a) 敞口水池顶端无约束时，应为自由端；
b) 预制顶板搁置于池壁顶端，无其它连接措施时，池壁顶部宜视为自由端；
c) 当顶板与池壁整体浇筑，且采用连续配筋时，池壁顶端应按弹性固定支承；采用分离式配筋且顶板与池壁间设有抗剪钢筋时，池壁顶端可按铰支承；
d) 当池壁顶端走道板的厚度不宜小于200mm，宽厚比不宜大于5，走道板计算跨度与池壁计算高度的比值小于2，且走道板满足横向受力要求时，走道板可作为池壁的支承构件，按下列条件取为不动铰支承或弹性固定支承（图6.1.6）：

1）当满足下式要求时，走道板可视为池壁顶端的不动铰支承：

走道板为单跨时：
$$n_g \geq 0.25m^4 \frac{H_0}{b} \tag{6.1.6-1}$$

走道板为多跨时：
$$n_g \geq 0.60m^4 \frac{H_0}{b} \tag{6.1.6-2}$$

2）当不满足1）款要求时，走道板可作为池壁顶端的弹性固定支承。弹性固定支承的反力系数可按下式计算：

走道板为单跨时：
$$\alpha_T = \frac{b}{b+(1/128)m^4(H_0/n_g)} \tag{6.1.6-3}$$

走道板为多跨时：
$$\alpha_T = \frac{b}{b+0.02m^4(H_0/n_g)} \tag{6.1.6-4}$$

$$n_g = \frac{I_L}{I_H} \tag{6.1.6-5}$$

$$I_L = \frac{1}{12}h_b B^3 \tag{6.1.6-6}$$

$$I_H = \frac{1}{12}bh^3 \tag{6.1.6-7}$$

式中：

α_T — 弹性固定支承反力系数；

m — 走道板计算跨度(L)与池壁计算高度(H_0)的比值（L/H_0）；

b — 池壁的计算宽度，一般取 b=1m；

n_g — 走道板单位长度横截面惯性矩(I_L)与池壁单位宽度截面惯性矩(I_H)的比值;

B — 走道板宽度(mm)

h_b — 走道板厚度(mm)。

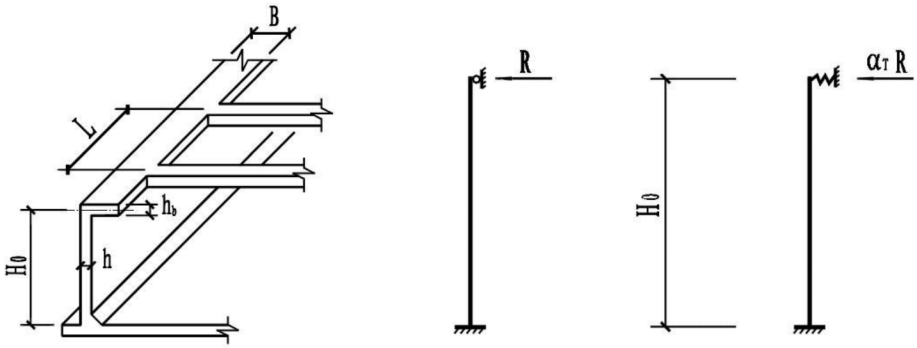


图 6.1.6 走道板作为池壁支承构件简图

6.1.7 水池底板可采用整体式底板或刚性条基，满足下列要求时，水池底板可作为池壁的固定支承：

1) 采用整体式底板时，底板厚度应为池壁厚度的 1.2~1.5 倍。地基承载力较低时取小值，较高时取大值，底板外挑宽度不宜小于 250mm；

2) 采用刚性条基时，地基承载力特征值 f_{ak} 不应小于 130 kN / m^2，底板应满足图 6.1.7 的构造要求。

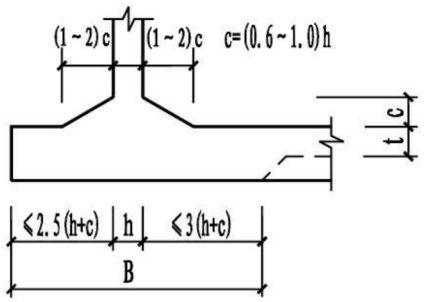


图 6.1.7 刚性条基构造

6.1.8 当池壁厚度不小于相交处其它池壁的厚度时，该池壁可视为其它池壁的固定支座；当池壁厚度小于相交处其它池壁的厚度时，该池壁可视为其它池壁的铰支座。

6.1.9 多层水池中上层水池的底板厚度不小于上层池壁厚度时，可视为上层池壁的固定支承。

6.1.10 混凝土水池池壁的计算长度，应符合下列规定：

a) 矩形水池池壁计算长度按两端池壁的中心线之间的距离计算；当池壁为变截面时，按池壁平均厚度的中心线计算；

b) 圆形水池池壁的计算半径，按自圆心至池壁中心线的距离计算；当池壁为变截面时，按池壁平均厚度的中心线计算。

6.1.11 混凝土水池池壁的计算高度，应符合下列规定：

a) 池壁下端固定、上端自由时，取水池的净高度；

b) 池壁下端固定、上端铰支或弹性固定时，取水池净高加顶板厚度的一半。

6.1.12 混凝土池壁厚度可取 1/10~1/15 的池壁净高，池壁高度不大于 7m 时可采用变厚度截面。当池壁高度大于 7m 时，可设置垂直向扶壁，必要时增加水平向肋梁。扶壁间距可取 1/3~1/2 的池壁净高。

6.1.13 混凝土水池结构构件进行裂缝控制验算时，应根据构件的轴力、弯矩确定构件类型。

6.1.14 刚性条基与底板宜采用整体式；当最高地下水位低于底板底面时，刚性条基与底板可采用分离式，接缝处应采取防渗漏措施，底板可按构造配筋。

6.2 混凝土矩形水池

6.2.1 侧向荷载作用下混凝土矩形水池池壁的受力类型，应按表 6.2.1 确定。

表 6.2.1 侧向荷载作用下矩形水池池壁受力类型

池壁的边界条件	池壁长高比 L_0/H_0	池壁受力类型
四边支承	$L_0/H_0<0.5$	$H>2L_0$ 部分：水平向按单向板计算 底板顶面至 $H=2L_0$ 部分按双向板计算，$H=2L_0$ 处可视为自由端
	$0.5\leqslant L_0/H_0\leqslant 2$	按双向板计算
	$L_0/H_0>2$	竖向按单向板计算，水平向角隅处负弯矩按 7.2.2 条计算
三边支承、顶端自由	$L_0/H_0<0.5$	$H>2L_0$ 部分：水平向按单向板计算 底板顶面至 $H=2L_0$ 部分按双向板计算，$H=2L_0$ 处可视为自由端
	$0.5\leqslant L_0/H_0\leqslant 3$	按双向板计算
	$L_0/H_0>3$	竖向按悬臂板计算，水平向角隅处负弯矩按 6.2.2 条计算
注：表中 L_0 为池壁的计算长度；H_0 为池壁的计算高度。		

6.2.2 池壁按单向板、悬臂板计算时，弯矩分布如图 6.2.2 所示，水平角隅处负弯矩最大值可按下式计算。

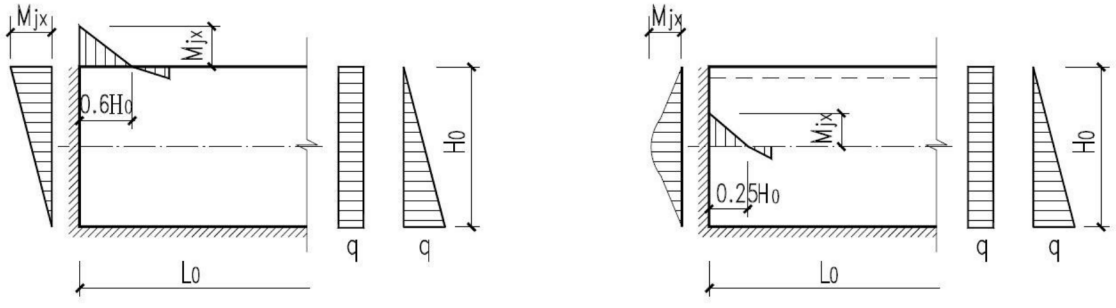
$$M_{jx}=m_j q H_0^2 \qquad (6.2.2)$$

式中：

M_{jx}—池壁水平向角隅处局部负弯矩最大值，（kN·m/m）；

m_j—角隅处最大水平向弯矩系数，按表 6.2.2 取值；

q—均布荷载强度或三角形荷载的最大强度，（kN/m^2）



a) 池壁上端为自由端　　b) 池壁上端为铰支及弹性固定端

图 6.2.2 池壁水平角隅处的弯矩分布图

表 6.2.2 角隅处最大水平向弯矩系数 m_j

荷载类别	池壁上端支承条件	池壁厚度	m_j
均布荷载	自　　由	$h_1=h_2$	-0.426
		$h_1=1.50h_2$	-0.218

	铰　　支	$h_1=h_2$	-0.076
		$h_1=1.50h_2$	-0.072
	弹性固定	$h_1=h_2$	-0.053
三角形荷载	自　　由	$h_1=h_2$	-0.104
		$h_1=1.50h_2$	-0.054
	铰　　支	$h_1=h_2$	-0.035
		$h_1=1.50h_2$	-0.032
	弹性固定	$h_1=h_2$	-0.029
注：表中 h_1，h_2 分别为池壁底端和顶端的厚度。			

6.2.3　池壁交接处，两侧池壁均为双向板时，其水平向支座弯矩（固端弯矩）的不平衡部分，应按两侧池壁的线刚度进行分配，分配弯矩可不向远端传递。

6.2.4　池壁承受水（土）压力时，三边固定、顶端自由（或铰支承）的双向受力板的弯矩可按下列公式计算（见图 6.2.4）：

$$M_x = m_x q L_0^2 \tag{6.2.4-1}$$

$$M'_x = m'_x q L_0^2 \tag{6.2.4-2}$$

$$M_y = m_y q H_0^2 \tag{6.2.4-3}$$

$$M'_y = m'_y q H_0^2 \tag{6.2.4-4}$$

式中：

M_x　—— 三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的水平向跨中弯矩，（kN・m/m）；

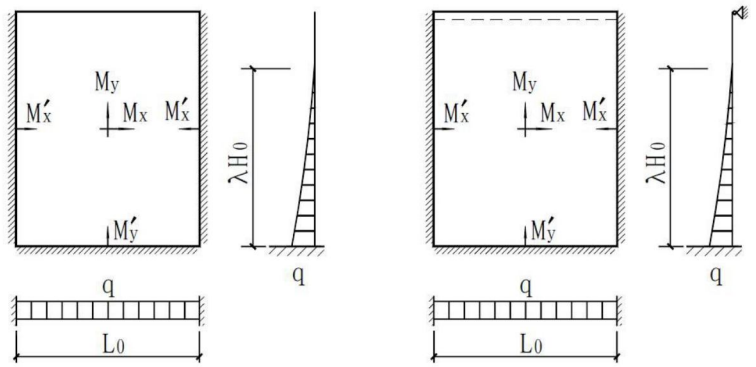
M_x'　—— 三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的水平向支座弯矩，（kN・m/m）；

M_y　—— 三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的竖向跨中弯矩，（kN・m/m）；

M_y'　—— 三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的竖向支座弯矩，（kN・m/m）；

m_x、m_x'、m_y、m_y'　—— 弯矩系数，按附录 D 采用；

λ　—— 池内水位高度与池壁计算高度的比值。



a) 三边固定，顶端自由　　b) 三边固定，顶端铰支

图 6.2.4　双向板承受非齐顶水（土）压力计算简图

6.2.5　池壁承受水（土）压力时，三边固定、顶端自由（或铰支承）的双向受力板的支座反力可按下列公式计算：

$$R_{Lm} = \gamma_{Lm} q H_0 \tag{6.2.5-1}$$

$$R_{L0}=\gamma_{L0}qH_0 \qquad (6.2.5\text{-}2)$$

$$R_{Hm}=\gamma_{Hm}qL_0 \qquad (6.2.5\text{-}3)$$

$$R_{H0}=\gamma_{H0}qL_0 \qquad (6.2.5\text{-}4)$$

式中：

R_{Lm} —— 池壁顶端、底端最大支座反力（kN/m）；

R_{L0} —— 池壁顶端、底端平均支座反力（kN/m）；

R_{Hm} —— 池壁水平向最大支座反力（kN/m）；

R_{H0} —— 池壁水平向平均支座反力（kN/m）；

γ_{Lm} —— 池壁顶端、底端最大支座反力系数，按附录 D 采用；

γ_{L0} —— 池壁顶端、底端平均支座反力系数，按附录 D 采用；

γ_{Hm} —— 池壁水平向最大支座反力系数，按附录 D 采用；

γ_{H0} —— 池壁水平向平均支座反力系数，按附录 D 采用。

6.2.6 池壁竖向为悬臂板、单向板时，池壁相交处的支座反力计算可按 $L=3H_0$ 的三边固定、顶边自由或三边固定、顶边简支的双向板计算。

6.2.7 池壁竖向为单向板时，顶板、底板的轴向力可取单位宽度池壁计算。池壁间设拉梁时，拉梁的轴向力可按其承担范围内的荷载计算。

6.2.8 水池采用刚性条基且池壁按悬臂板设计时，刚性条基应按“池内有水、池外无土” 或“池内无水、池外有土”两种工况进行地基承载力验算和抗倾覆验算，抗倾覆安全系数取 1.6。底板采用分离式时，尚应进行抗滑移验算，抗滑移安全系数取 1.3。

6.2.9 水池内设有立柱，且底板及顶板为整体浇筑的无梁楼板结构时，可按等代框架法进行内力分析。

6.3 混凝土圆形水池

6.3.1 混凝土圆形水池的池壁在侧向荷载作用下的受力类型，应按表 6.3.1 确定。

表 6.3.1 圆形水池池壁受力类型

H_0/s	池壁受力类型
$H_0/s\leqslant 1$	按竖向单向板计算
$1<H_0/s\leqslant 15$	按圆柱壳计算
$H_0/s>15$	顶端为自由端时，底板顶面至 $H=15s$ 部分按圆柱壳计算，$H>15s$ 部分按无约束的圆柱壳计算其薄膜内力
注：表中 s 为圆柱壳的弹性特征系数。	

6.3.2 圆柱壳的弹性特征系数，可按下式计算：

$$s=0.76\sqrt{Rh} \qquad (6.3.2)$$

式中：

R —— 圆柱壳的计算半径，取池壁中心半径（m）。

6.3.3 周边铰支的圆板，承受均布荷载时的弯矩可按下列公式计算：

$$M_r=\frac{19}{96}(1-\rho^2)qR_b^2 \qquad (6.3.3\text{-}1)$$

$$M_t = \frac{1}{96}(19 - 9\rho^2)qR_b^2 \qquad (6.3.3\text{-}2)$$

式中：

M_r —— 任意截面的径向弯矩，（kN·m/m）；

M_t —— 任意截面的切向弯矩，（kN·m/m）；

ρ —— 任意截面计算半径与圆板计算半径的比值；

R_b —— 圆板的计算半径，（m）。

6.3.4 周边固定的圆板，承受均布荷载时的弯矩可按下列公式计算：

$$M_r = \frac{1}{96}(7 - 19\rho^2)qR_b^2 \qquad (6.3.4\text{-}1)$$

$$M_t = \frac{1}{96}(7 - 9\rho^2)qR_b^2 \qquad (6.3.4\text{-}2)$$

6.3.5 当圆形水池的底板为锥形板时，可按圆锥壳进行内力分析。

6.3.6 池壁承受水（土）压力时，底部固定、顶端自由的圆柱壳的弯矩及环向力可按下列公式计算：

$$M_{yc} = k_{yc}qH_0^2 \qquad (6.3.6\text{-}1)$$

$$M_\theta = \nu_c M_{yc} \qquad (6.3.6\text{-}2)$$

$$N_\theta = k_\theta qR \qquad (6.3.6\text{-}3)$$

式中：

M_{yc} —— 底部固定、顶端自由的圆柱壳的竖向弯矩，（kN·m/m）；

M_θ —— 底部固定、顶端自由的圆柱壳的环向弯矩，（kN·m/m）；

ν_c —— 混凝土泊松比，可取 0.2;

N_θ —— 底部固定、顶端自由的圆柱壳的环向力，（kN/m）；

k_{yc}、k_θ —— 圆柱壳的竖向弯矩系数、环向力系数，按附录 F 采用。

6.4 混凝土水池壁面温（湿）差作用的内力计算

6.4.1 混凝土矩形水池池壁为单向板时，壁面温（湿）差作用下的弯矩可按下列公式计算，计算简图见图 6.4.1：

a) 池壁两端固定：

$$M_{\Delta t} = \frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12}\eta_t \qquad (6.4.1\text{-}1)$$

式中：

α_c —— 混凝土线膨胀系数（1/℃），按表 6.3.5 取值；

E_c —— 混凝土弹性模量，（kN/m²）；

$M_{\Delta t}$ —— 壁面温（湿）差作用所引起的弯矩标准值，（kN·m/m）；

η_t —— 温（湿）差作用下弯矩折减系数，按 0.65 取用；

b) 池壁一端固定，另一端铰支：

$$M_{\Delta t} = \frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{8}\left(\frac{x}{H_0}\right)\eta_t \qquad (6.4.1\text{-}2)$$

式中：

x —— 计算截面至铰支端的距离，（m）。



a) 池壁两端固定　　b) 池壁一端固定，一端铰支承

图 6.4.1　单向板池壁在温（湿）差作用下的内力计算简图

6.4.2　混凝土矩形水池池壁为双向板时，壁面温（湿）差作用下的弯矩可按下列公式计算：:

a)　池壁四边固定，计算简图见图 6.4.2：

$$M_{\Delta t}=\frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12(1-\upsilon_c)}\eta_t \tag{6.4.2-1}$$

b)　池壁四边铰支或三边固定、上端铰支承(或上端自由)：

$$M_{xt} = k_{xt}\alpha_c \Delta t E_c h^2 \tag{6.4.2-2}$$

$$M_{yt} = k_{yt}\alpha_c \Delta t E_c h^2 \tag{6.4.2-3}$$

式中：

M_{xt} 、M_{yt} —— 池壁温（湿）差所引起的池壁 X、Y 方向的弯矩标准值，（kN • m/m）；

k_{xt} 、k_{yt} —— 池壁在 X、Y 方向的弯矩系数，按附录 E 取用。

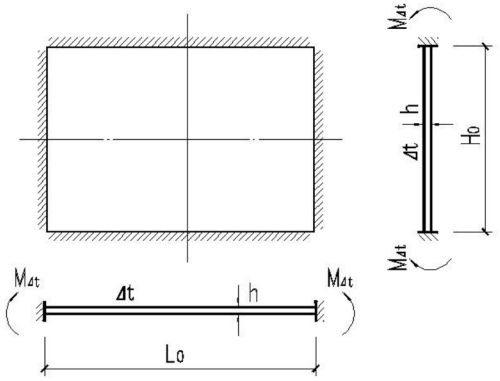


图 6.4.2　四边固定双向板在温（湿）差作用下的内力计算简图

6.4.3　壁面温（湿）差作用下，底部固定、顶端自由的圆柱壳的弯矩及环向力可按下列公式计算：

$$M_{\Delta t}=\frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12(1-\upsilon_c)}\eta_t \tag{6.4.3-1}$$

$$M_{\mathrm{yt}} = k_{yt} M_{\Delta t} \tag{6.4.3-2}$$

$$M_{\theta t} = \upsilon_{\mathrm{c}}\left(K_{yt}-5\right)M_{\Delta t} \tag{6.4.3-3}$$

$$N_{\theta t}=k_{\theta t}\frac{M_{\Delta t}}{h} \qquad (6.4.3\text{-}4)$$

式中：

$M_{\theta t}$ —— 壁面温（湿）差所引起的圆柱壳的环向弯矩，（kN·m/m）；

$N_{\theta t}$ —— 壁面温（湿）差所引起的圆柱壳的环向力，（kN/m）；

k_{yt}、$k_{\theta t}$ —— 壁面温（湿）差作用下圆柱壳的竖向弯矩系数、环向力系数，按附录 F 采用。

6.5 预应力混凝土水池

6.5.1 预应力混凝土水池的主体结构构件应按承载能力和正常使用极限状态设计，且应结合具体情况进行施工阶段验算。

6.5.2 预应力混凝土水池结构构件应采用后张法施工。

6.5.3 预应力钢筋的张拉控制应力、预应力损失等计算，应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。

6.5.4 施加预应力时，所需的混凝土立方体抗压强度应经计算确定，但不宜低于设计的混凝土强度等级值的 75%。

6.5.5 预应力混凝土水池池壁顶部的水槽、走道、顶板宜在池壁预应力筋张拉结束后浇筑；当池壁与底板采用杯槽式连接时，池壁下端宜设滑动层，滑动层可采用聚四氟乙烯板或橡胶板。在池壁预应力筋张拉前浇筑时，预应力筋的配置应计入池壁下端支承条件、水槽、走道及顶板所产生的不利影响。

6.5.6 预应力筋的布置应符合下列规定：

a) 预应力筋宜布置在池壁两侧非预应力钢筋之间；环向预应力筋宜靠近池壁外侧非预应力钢筋布置，且与环向非预应力钢筋间的净距不宜小于 30mm；

b) 预应力筋的最大间距不应大于 1000mm ,最小净间距不宜小于 50mm；

c) 圆形水池环向预应力筋的张拉端宜采用直线段与环向预应力筋相切衔接，不宜采用折线衔接，当采用过渡圆弧段与环向预应力筋相切衔接时，张拉端宜有不小于 300 mm 长的直线段，过渡圆弧段的预应力筋的曲率半径不宜小于 4.0m,且应相切顺滑衔接；

d) 预应力筋在孔洞部位宜分两侧绕过孔洞铺设，预应力筋距孔洞边缘的距离不宜小于 150mm，预应力筋的间距应符合最小间距的要求；

e) 预应力筋绕过孔洞的曲率半径不宜小于 6.5m,并应与原预应力筋相切衔接；矩形洞口，切点宜在洞口以外,且距洞口边缘的距离不宜小于 150 mm；

f) 当洞口边缘至构件边缘的距离小于该方向的孔洞尺寸时，应对该部位进行承载能力计算，并符合相应承载能力计算的要求。

7 混凝土水池裂缝控制验算

7.1 一般规定

7.1.1 一级裂缝控制等级的预应力混凝土构件在荷载标准组合作用下，构件受拉边缘应力应符合下式规定：

$$\sigma_{ck}-\sigma_{pc}\le 0 \qquad (7.1.1)$$

式中：

σ_{ck}—荷载标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力；

σ_{pc}—扣除全部预应力损失后在抗裂验算边缘混凝土的预压应力，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 计算。

7.1.2 二级裂缝控制等级的预应力混凝土构件在荷载标准组合作用下，构件受拉边缘应力应符合下式

规定：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (7.1.2)$$

式中：

f_{tk}—混凝土轴心抗拉强度标准值。

7.1.3 三级裂缝控制等级钢筋混凝土构件的最大裂缝宽度可按荷载准永久组合并计入长期作用影响的效应计算，预应力混凝土构件的最大裂缝宽度可按荷载标准组合并计入长期作用影响的效应计算。最大裂缝宽度应符合下式规定：

$$\omega_{max} \leq \omega_{lim} \quad (7.1.3)$$

式中：

ω_{max}—按荷载的标准组合或准永久组合并计入长期作用影响计算的最大裂缝宽度；

ω_{lim}—最大裂缝宽度限值，按本标准 4.4.3 条采用。

7.1.4 预应力混凝土构件的裂缝控制验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。

7.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度计算

7.2.1 钢筋混凝土构件按荷载标准组合或准永久组合并计入长期作用影响的最大裂缝宽度可按下列公式计算：

$$\omega_{max} = \alpha_{cr}\psi \frac{\sigma_s}{E_s}(1.9c_s + 0.08\frac{d}{\rho_{te}}) \quad (7.2.1\text{-}1)$$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_s} \quad (7.2.1\text{-}2)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \quad (7.2.1\text{-}3)$$

式中：

α_{cr} —— 构件受力特征系数，受弯、偏心受压构件取 α_{cr}=1.9，偏心受拉构件取 α_{cr}=2.4，轴心受拉构件取 α_{cr}=2.7；

ψ —— 裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数， ψ<0.2 时取 0.2； ψ>1.0 时取 1.0；

σ_s —— 按荷载准永久组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉钢筋的应力，按 7.2.2 条计算；

E_s —— 钢筋弹性模量；

c_s —— 最外层纵向受拉钢筋的混凝土净保护层厚度，（mm）；

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， ρ_{te}<0.01 时,取 ρ_{te}=0.01;

A_{te} —— 有效受拉混凝土截面面积,（mm^2）,矩形截面 A_{te} =0.5bh，b 为截面计算宽度取 1000mm，h 为截面计算高度,（mm）；

A_s —— 受拉区纵向钢筋截面面积，(mm^2)；

d —— 受拉钢筋直径，（mm）。

7.2.2 钢筋混凝土构件受拉区纵向钢筋的应力（σ_s），可按下列公式计算：

a) 受弯构件：

$$\sigma_s = \frac{M_q}{0.87 A_s h_0} \quad (7.2.2\text{-}1)$$

b) 偏心受压构件：

$$\sigma_s = \frac{N_q(e-z)}{A_s z} \tag{7.2.2-2}$$

$$z = (0.87 - 0.12(\frac{h_0}{e})^2)h_0 \tag{7.2.2-3}$$

$$e = \eta_s e_0 + y_s \tag{7.2.2-4}$$

$$\eta_s = 1 + \frac{1}{4000 e_0 / h_0}(\frac{l_0}{h})^2 \tag{7.2.2-5}$$

c) 偏心受拉构件：

$$\sigma_s = \frac{N_q e'}{A_s(h_0 - a'_s)} \tag{7.2.2-6}$$

d) 轴心受拉构件：

$$\sigma_s = \frac{N_q}{A_s} \tag{7.2.2-7}$$

式中：

A_s —— 受拉区纵向钢筋截面面积:偏心受拉构件，取受拉较大边的纵向钢筋截面面积；受弯、偏心受压构件，取受拉区纵向钢筋截面面积；轴心受拉构件，取全部纵向钢筋截面面积，（mm^2）；

e' —— 轴向拉力作用点至受压区或受拉较小边纵向钢筋合力点的距离，（mm）；

e —— 轴向压力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离，（mm）；

e_0 —— 荷载准永久组合下的初始偏心距，取为 M_q/N_q ，（mm）；

z —— 纵向受拉钢筋合力点至截面受压区合力点的距离，且不大于 $0.87h_o$（mm）；

η_s —— 使用阶段的轴向压力偏心距增大系数,$l_o/h \leq 14$ 时，取 1.0；

y_s —— 截面重心至纵向受拉钢筋合力点的距离，（mm）；

N_q、M_q —— 按荷载效应准永久组合计算的轴向力值、弯矩值。

8 抗浮稳定设计

8.1 一般规定

8.1.1 地下式、半地下式水池承受地下水浮力时，水池结构应进行整体抗浮稳定验算；水池内设有立柱、隔墙等支承结构时，还应进行局部抗浮稳定性验算。

8.1.2 计算抗浮力时，不应计入池内贮液重、池内物料重、设备重及池壁与土之间的摩擦力；池顶覆土的重度宜取 $16kN/m^3$，池底板外挑部分填土的重度宜取 $18kN/m^3$，且不计入其扩散角的影响。

8.1.3 水池结构的整体或局部抗浮稳定不能满足时，应采取设平衡层或设抗拔桩、锚杆等抗浮措施。抗拔桩和抗浮锚杆与水池底板连接处，应验算使用阶段和施工阶段最不利工况下的受冲切承载力、受弯承载力、受剪承载力及局部受压承载力。

8.2 混凝土水池抗浮稳定验算

8.2.1 水池结构的整体抗浮稳定应满足下列要求：

$$\frac{G_k}{\gamma_w H_d A} \geq 1.05 \qquad (8.2.1)$$

式中：

G_k —— 水池整体抗浮力标准值，（kN）；

γ_w —— 水的重度，（kN/m³）；

H_d —— 抗浮设防水位距水池底板（或平衡层）底面的距离，（m）；

A —— 水池底板（或平衡层）底面的面积，（m²）。

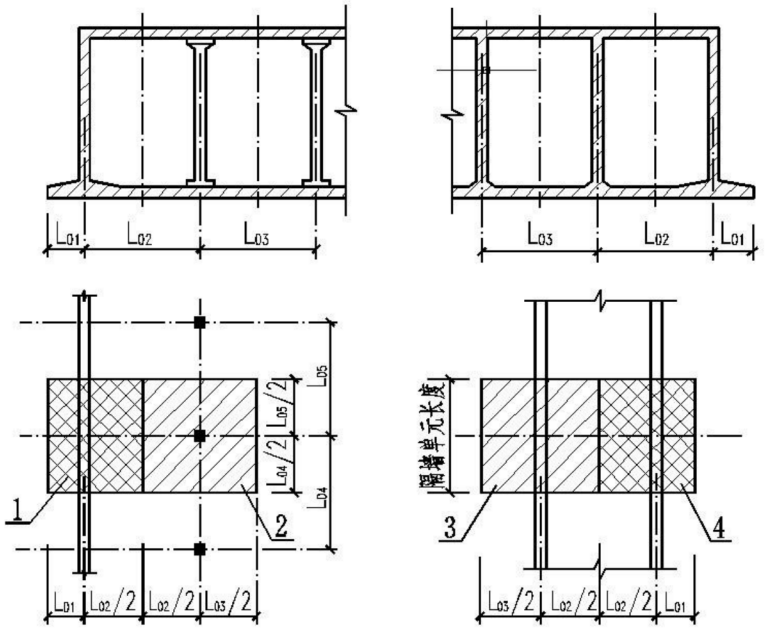
8.2.2 设有中间立柱或隔墙等支承构件的水池，局部抗浮稳定验算宜满足下式要求：

$$\frac{G_n}{\gamma_w H_d A_n} \geq 1.10 \qquad (8.2.2)$$

式中：

G_n —— 局部区格或局部单元面积上抗浮力的标准值，（kN）；

A_n —— 局部区格或局部单元承受地下水浮力的面积，见图 8.2.2，（m²）。



1-边区格　2-中间柱区格　3-中间隔墙单元　4-边墙单元

图 8.2.2　局部抗浮区域面积

8.2.3 设抗拔桩、锚杆的混凝土水池，抗拔桩、锚杆的抗拔承载力特征值与所承担范围内的浮力之比不应小于 1.05。

9　膜结构水池

9.1　一般规定

9.1.1 膜结构水池宜采用环保用糙面高密度聚乙烯（HDPE）土工膜，膜的厚度应符合下列规定：

a) 池内设计水深不大于2.5m时，膜厚度不应小于1.0mm；

b) 池内设计水深大于2.5m，但不大于4.5m时，膜厚度不应小于1.5mm；

c) 池内设计水深大于4.5m，但不大于6.0m时，膜厚度不应小于2.0mm；

d) 池内设计水深大于6.0m，小于8.0m时，膜厚度不应小于2.5mm。

9.1.2 膜结构的上、下表面应设置保护层，保护层可采用长丝无纺土工布；膜下保护层也可采用不含

尖锐颗粒的中粗砂层，厚度不宜小于 100mm。

9.2 结构设计

9.2.1 膜结构水池的膜底基层应结构稳定、平整，可采用原土分层压实，压实系数不小于 0.94。膜材转折处不得存在直角的刚性结构，均应做成弧形结构。

9.2.2 膜结构水池四周边坡的坡度不宜大于 1:2，边坡表面应进行坡面防护且应满足抗浮设计要求，边坡设计应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的规定。

9.2.3 膜结构水池底部应在膜上设置平衡层，厚度应根据抗浮验算确定，且不应小于 300 mm，抗浮稳定安全系数不应小于 1.05；平衡层可采用砂石、素土、素混凝土砌块等材料。

9.2.4 膜材连接应符合下列规定：

a) 合理布局每片材料的位置，力求接缝最少；
b) 合理选择铺设方向，减少接缝受力；
c) 接缝应避开弯角；
d) 在坡度大于10%的坡面上和坡脚向池底方向1.5m范围内不得有水平接缝；
e) 膜材应在池顶锚固，和混凝土构件交接时，应在混凝土构件上锚固并密封；
f) 当采用热熔焊接时，膜材的搭接宽度不应小于100mm；当采用挤出焊接时，膜材的搭接宽度不应小于75mm。

10 材料

10.1 混凝土

10.1.1 水池混凝土可采用抗渗混凝土、纤维混凝土、补偿收缩混凝土，后浇带、膨胀加强带应采用补偿收缩混凝土。

10.1.2 混凝土、砂浆用水泥、骨料、矿物掺合料应符合国家现行标准《混凝土结构通用规范》GB55008、《混凝土结构设计标准》GB/T50010、《石油化工建（构)筑物防腐蚀设计规范》SH/T 3233 的规定。

10.1.3纤维混凝土应符合下列规定：

a) 纤维混凝土用纤维宜采用高延展、高强度阻裂合成纤维,断裂强度不应小于 500 MPa,耐碱性能不应小于 98%；
b) 纤维掺量宜为每立方混凝土 1.2kg～1.5kg，最终掺量应经试验验证确定；
c) 纤维混凝土的裂缝降低系数不应小于 55%，抗压强度比不应小于 90%，抗冲击次数比不应小于 1.5；
d) 合成纤维及纤维混凝土的其余性能指标、试验方法和施工、质量检验应符合国家现行标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120、《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

10.1.4 混凝土用外加剂应符合下列规定：

a） 外加剂的选用应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，其掺量应通过试验确定；
b） 当不同品种外加剂复合使用时，应事先通过试验验证其相容性及对混凝土性能的影响；
c） 外加剂中的氯离子总含量不宜大于混凝土中胶凝材料总质量的 0.02%；
d） 膨胀剂可采用钙质、镁质类膨胀剂或钙镁复合膨胀剂，钙质类膨胀剂宜采用 II 型、钙镁复合膨胀剂宜采用 I 型，镁质类膨胀剂宜采用 M 型，膨胀剂的技术要求及检验应符合国家现行标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439、《混凝土用氧化镁膨胀剂》CBMF 19、《混凝土用钙镁复合膨胀剂》T/CECS 10082 的规定。

10.1.5补偿收缩混凝土的设计、施工与验收应符合国家现行标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》

JGJ/T 178、《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》T/CECS 540 的规定。

10.2 钢筋

10.2.1 钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HPB300 钢筋。
10.2.2 直径大于 12mm 的受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500 钢筋。
10.2.3 进行抗震设计的水池结构构件的受力钢筋应采用 HRB400E、HRB500E 钢筋。
10.2.4 钢筋的力学性能、尺寸、外形、重量及允许偏差应满足现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1、《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的要求。

10.3 预应力系统

10.3.1 预应力筋宜选用高强度、低松弛的钢绞线，钢绞线的力学性能、尺寸、外形、重量及允许偏差应满足现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的要求。
10.3.2 预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能应满足现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的要求。
10.3.3 预应力混凝土预留孔道可采用金属波纹管，金属波纹管应满足现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T 225 的要求。
10.3.4 预应力孔道灌浆材料应满足现行国家标准《预应力孔道灌浆剂》GB/T 25182 的要求。

10.4 膜结构材料

10.4.1 高密度聚乙烯（HDPE）土工膜应符合以下规定：

a） 膜的宽度尺寸应不小于 6.0m；
b） 基础树脂密度、厚度偏差、外观质量、技术性能指标及试验方法应符合现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643 的规定。

10.4.2 长丝无纺土工布应符合下列规定：

a) 土工布纤维种类宜采用 PP-丙纶和 PET-涤纶；
b) 土工布的标称断裂强度不宜小于 30kN/m，规格不应小于 400g/m^2；
c) 土工布的其余技术指标和外观质量、试验方法应符合现行国家标准《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》GB/T 17639 的规定。

10.5 防渗漏材料

10.5.1 止水带的选择，应根据伸缩缝变形量、介质、止水带位置等进行综合对比后确定。
10.5.2 止水带宜采用钢边橡胶止水带、镀锌钢板止水带或不锈钢板止水带。采用钢边橡胶止水带时，橡胶类型宜采用氯丁橡胶或三元乙丙橡胶，钢边橡胶止水带的外观质量、物理性能、试验方法应符合现行国家标准《高分子防水材料 第 2 部分：止水带》GB/T 18173.2 的规定。橡胶止水带常用橡胶的耐介质性能见附录 G。
10.5.3 伸缩缝、诱导缝的嵌缝密封料宜采用硅酮密封胶、聚氨酯密封胶等耐候型密封材料，嵌缝板宜采用闭孔型聚乙烯泡沫塑料板或纤维板；密封料、嵌缝板的性能指标、试验方法应符合现行行业标准《水泥混凝土路面嵌缝密封材料》JT/T 589 的规定。
10.5.4 橡胶止水条应采用矩形遇水膨胀橡胶，体积膨胀倍率不低于 400%，其余物理性能、外观质量、尺寸偏差和试验方法应符合现行国家标准《高分子防水材料 第 3 部分：遇水膨胀橡胶》GB/T 18173.3 的规定。
10.5.5 防渗漏涂层采用的防水涂料应具有产品质量证明文件，同一涂层体系中各层涂料应相互兼容。
10.5.6 防水涂料的挥发性有机化合物（VOC）含量、有害物质含量应符合现行国家标准《低挥发性

有机化合物含量涂料产品技术要求》GB/T 38597、《工业防护涂料中有害物质限量》GB 30981 的规定。

10.5.7 防水涂料宜采用与接触介质相适应的无溶剂型、水性、高固体组份溶剂型等低挥发性有机化合物（VOC）含量的环保型涂料。

10.5.8 防渗漏涂层应进行现场抽样检验，防渗漏涂层的性能应满足本标准第 4.3 条的要求，抽样数量、取样方法应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB/T 50224 的规定。

10.5.9 粘贴式止水带、常用防水材料的基本性能见附录 H。

10.5.10防腐防渗层用材料应符合现行行业标准《石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范》SH/T3233 的规定。

11 构造要求

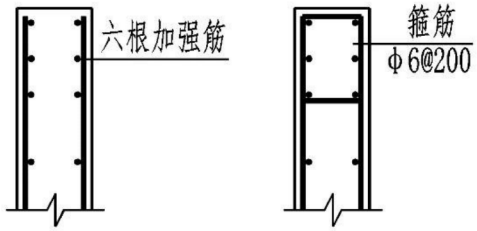
11.1 混凝土水池结构构件

11.1.1水池底板、池壁的厚度不宜小于 250mm；水池顶板承受水压时，顶板厚度不应小于 200mm，其他情况下顶板的厚度不宜小于 150mm。。

11.1.2敞口水池的池壁顶端应满足下列要求：

a) 顶端应设置水平向加强筋，每侧不宜少于 3 根，间距不宜大于 100mm，加强筋的直径不宜小于池壁水平向受力钢筋，且不宜小于 16mm，见图 11.1.2。

b) 矩形水池的边长大于 20m 或圆形水池周长大于 30m 时，池壁顶端宜设暗梁，见图 11.1.2。



a) 池顶设加强筋　　b) 池顶设暗梁

图 11.1.2　敞口水池池壁顶端构造

11.1.3 水池池壁的拐角及与顶、底板的交接处宜设置腋角，腋角高度宜为（0.6~1.0）倍池壁厚度且不应小于 150mm，腋角的高宽比宜为 1:1~1:2，腋角内应配置斜向钢筋，斜向钢筋的面积不应小于池壁受力钢筋的 1/2，间距不应大于 200mm。

11.1.4 混凝土水池的配筋应符合下列要求：

a) 池壁为竖向单向板、悬臂板时，水平分布筋应置于竖向受力钢筋内侧；

b) 池壁为双向板时，竖向受力钢筋宜置于水平分布筋内侧。圆形池壁的环向钢筋宜放在竖向钢筋的外侧；

c) 受力钢筋直径不宜小于 10mm，钢筋间距宜为 100mm~200mm；

d) 采用补偿收缩混凝土且池壁净高大于 3.6m 时，在池壁高度水平中线上下各 500mm 范围内的水平钢筋宜加密，间距不宜大于 100mm；

e) 抵抗温度应力的钢筋直径不应小于 10mm，间距不应大于 150mm。无保温设施的半地下式水池的地面上下各 500mm 范围内的水平向钢筋宜加密，间距不宜大于 100mm；

f) 池壁每侧的受拉钢筋配筋率不应小于 0.20%；

g) 池壁为竖向单向板、悬臂板时，角隅处水平钢筋最小配筋率不宜小于 0.35%；

h) 钢筋的接头应符合下列要求：

1） 圆形水池池壁环向钢筋、矩形水池承受拉力的水平钢筋应采用焊接或机械连接接头；其它

受力钢筋宜优先采用焊接或机械连接接头；

2） 受力钢筋的接头位置应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定。

i) 受拉钢筋的最小锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定，水池转角处的钢筋伸入相邻池壁的锚固长度应从池壁内侧算起。

11.1.5 池壁转角处水平受力钢筋宜按图 11.1.5 布置，伸出长度 *lc* 取值应符合下列规定：

a) 单向板时，应不小于池壁计算高度的 1/3，且不小于 1m；抗震设防烈度为 8 度、9 度时，应不小于池壁计算高度的 1/2；

b) 双向板时，应不小于池壁计算跨度的 1/4。

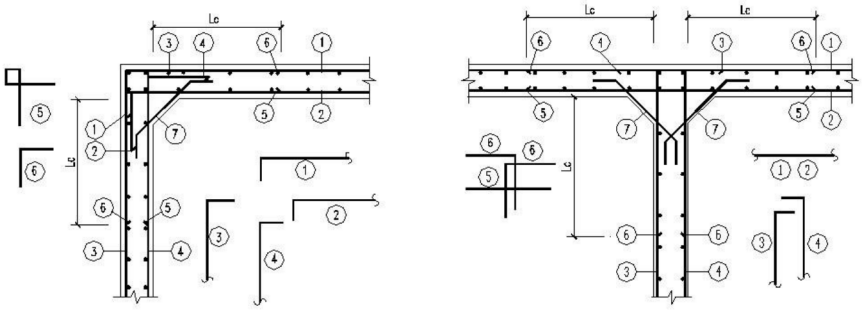


图 11.1.5 池壁转角处水平钢筋配置

11.1.6 水池底板、池壁不应设置贯穿性埋件，埋件端部距另一侧混凝土表面的距离不应小于构件厚度的 1/4，且不应小于 100mm。

11.1.7 管线穿过池壁时，宜设刚性或柔性防水套管。管道与池壁交接处 250mm 范围内的管道表面、池壁内表面应设置柔性防水加强层，加强层厚度、材料同池体内表面防腐防渗层或防渗漏涂层。

11.1.8 混凝土构件外露的预埋件、连接件等在安装完成后应采用柔性材料防腐，并与周边混凝土表面的防渗漏、防腐防渗漏层搭接不应小于 100mm。选用的柔性防腐材料应于混凝土表面的防渗漏、防腐防渗漏层具有良好的相容性；钢结构安装中破坏的涂层应及时修复。

11.1.9 水池池壁开孔时，应满足下列要求：

a) 孔径不大于 300mm 时，池壁钢筋可不切断，绕过孔口布置，开孔处池壁内外侧应各增设一根Φ12 环形筋；

b) 孔径（或孔边长）大于 300mm 且小于 800mm 时，池壁钢筋应在孔口处切断，孔口处每侧应

c) 沿受力钢筋方向配置补强钢筋，补强钢筋的截面面积不应小于被切断钢筋的面积；矩形孔口的四角还应设置斜向钢筋，圆形孔口还应设置环形加强钢筋及放射筋；

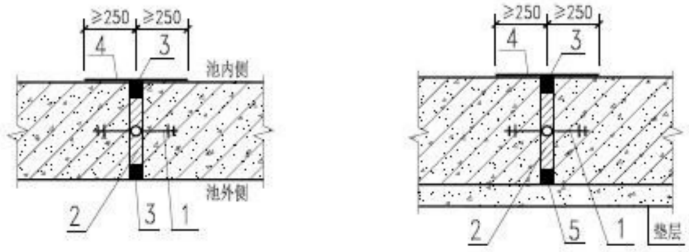
d) 孔径（或孔边长）不小于 800mm 时，应在开孔的周边设置暗梁或肋梁；

e) 加强筋两端伸出洞口边的长度均不应小于锚固长度的 1.4 倍。

11.1.10 矩形水池顶部的走道、水槽宜在两个横向池壁间设置 1 道伸缩缝，圆形水池顶部的走道、水槽宜沿环向均匀设置伸缩缝。

11.2 混凝土水池伸缩缝

11.2.1 伸缩缝构造见图 11.2.1，水池防渗漏等级为三级时，可不设防水加强层。



a） 池壁　　b）底板

1- 中埋式止水带　2-嵌缝板　3-嵌缝密封料　4-防水加强层 5-橡胶止水条

图 11.2.1　伸缩缝构造

11.2.2 伸缩缝处附加钢筋构造，可按图 11.2.2 的形式配置。



图 11.2.2　伸缩缝处附加钢筋示意图

11.2.3 伸缩缝处止水带应居中布置，混凝土断面的厚度不应小于止水带的宽度，且不宜小于 300mm。当混凝土断面的厚度不能满足要求时，断面应局部加厚。

11.3 混凝土水池诱导缝

11.3.1 诱导缝处止水带应居中布置，内外表面应设置凹槽，凹槽内应嵌填嵌缝密封材料，凹槽的宽度、深度宜为 30mm。

11.3.2 诱导缝构造见图 11.2.1，水池防渗漏等级为三级时，可不设防水加强层。



1-止水带; 2-预期开裂部位; 3-嵌缝密封料；4-防水加强层；5-止水条 6-水平钢筋

a)池壁　　b)池底板

图 11.3.2　诱导缝构造

11.4 混凝土水池施工缝

11.4.1 施工缝处应设置镀锌钢板止水带，再次浇筑混凝土前施工缝处应凿毛后刷混凝土界面处理剂。

11.4.2 施工缝构造见图 11.4.2。

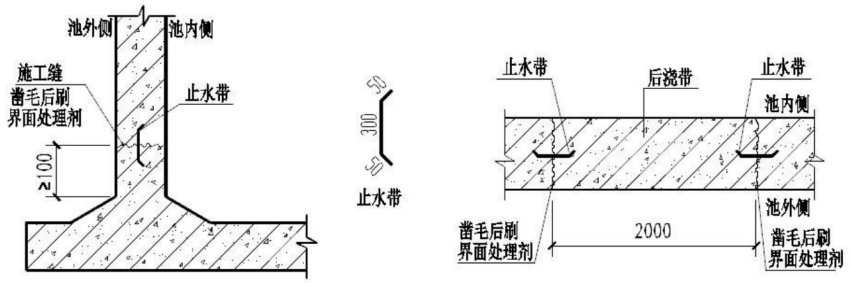


图 11.4.2　施工缝构造

11.5 混凝土水池抗震构造措施

11.5.1 水池顶板采用预制顶盖板时，应符合下列要求：

a) 预制顶盖板在池壁上的搁置长度不应小于 200mm；板缝内应配置不少于 1 根 φ6 钢筋，用 M10 水泥砂浆灌缝；

b) 预制顶盖板与梁的连接应采用预埋件焊接，每块板至少焊三个角；
c) 当抗震设防烈度为 8 度、9 度时，预制顶盖板与池壁应采取埋件焊接；
d) 当抗震设防烈度为 9 度时，宜在预制顶盖板顶面铺设连续钢筋网，整浇一层厚度不小于 50mm 的细石混凝土。

11.5.2 当水池采用整浇式顶板时，顶板与池壁之间应采用连续式配筋。

11.5.3 抗震设防烈度为 8 度、9 度时，有盖水池内部结构柱应采用混凝土结构，并应符合下列规定：

a) 柱截面的宽度和高度不宜小于 300mm；
b) 轴压比：8 度时不宜大于 0.85，9 度时不宜大于 0.75；
c) 纵向钢筋的总配筋率：8 度时不宜小于 0.6%、9 度时不宜小于 0.8%；
d) 上、下柱端 1/6 净高或 500mm（取两者较大值）范围内的箍筋应加密，间距不应大于 100mm；
e) 箍筋最小直径：8 度时不应小于 6mm、9 度时不应小于 8mm；
f) 柱上、下端与梁或板应整体连结。

11.5.4 混凝土水池受拉钢筋的锚固长度和搭接长度应分别比非抗震时的锚固长度和搭接长度增加 5d（d 为受拉钢筋直径）。当抗震设防烈度为 8 度、9 度时，池壁转角处内、外层水平钢筋的配筋率均不应少于 0.3%，钢筋伸入两侧池壁内侧的长度不应小于 1000mm。

11.5.5 各类有盖水池设置非结构构件应符合下列要求：

a) 水池内部设置不到顶的嵌入式导流墙或其他功能性嵌入式墙体与立柱连接时，应采取有效措施避免立柱在墙体平面内形成短柱；
b) 导流墙、配水墙等非抗震结构构件需与主体结构实施可靠的连接；
c) 当整体现浇混凝土水池的顶盖作为水池结构水平抗震体系的组成部分时，应对池顶板设备开洞的形式、部位及尺寸加以限制，不应阻断水平地震荷载的传递途径。

11.6 预应力混凝土水池

11.6.1 预应力混凝土水池的端部锚固区，应进行局部受压承载力计算，并配置间接钢筋，其体积配筋率不应小于 0.5 %。

11.6.2 预应力钢筋的预留孔道应符合下列规定：

a) 孔道之间的净距不应小于 25mm，孔道至构件边缘的净距不应小于 25mm，且不宜小于孔道直径的一半；
b) 孔道的内径应比预应力钢筋束外径大 10mm~ 15mm；

11.6.3 孔道灌浆应采用预应力孔道用灌浆材料。

11.6.4 当无粘结预应力筋长度超过 25m 时，宜采用两端张拉；当长度超过 50m 时，宜采取分段张拉和锚固。

11.6.5 当水池壁板上的孔洞直径小于预应力钢筋间距的两倍时，预应力钢筋应绕过孔洞布置，钢筋的间距可局部加密；当孔洞直径大于预应力钢筋间距的两倍时，孔洞两侧应设置锚固架，锚固预应力钢筋。

11.7 膜结构水池

11.7.1 高密度聚乙烯膜（HDPE）水池池顶锚固方式可采用矩形覆土锚固沟，锚固沟的做法应符合下列规定：

a) 锚固沟距离边坡边缘不宜小于 800mm；
b) 锚固沟断面不宜小于 800mmx800mm；
c) 锚固沟回填材料可采用素土等分层压实，压实系数不应小于 0.94。

11.7.2 高密度聚乙烯膜（HDPE）水池常见做法见图 11.7.2。

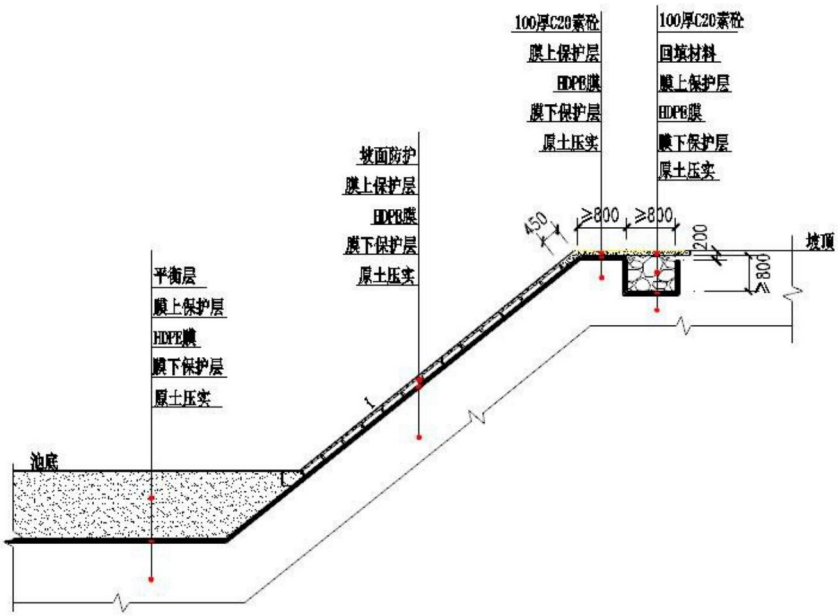


图 11.7.2　膜结构水池示意

11.7.3 高密度聚乙烯膜（HDPE）和混凝土构件交接时的做法见图 11.7.3。

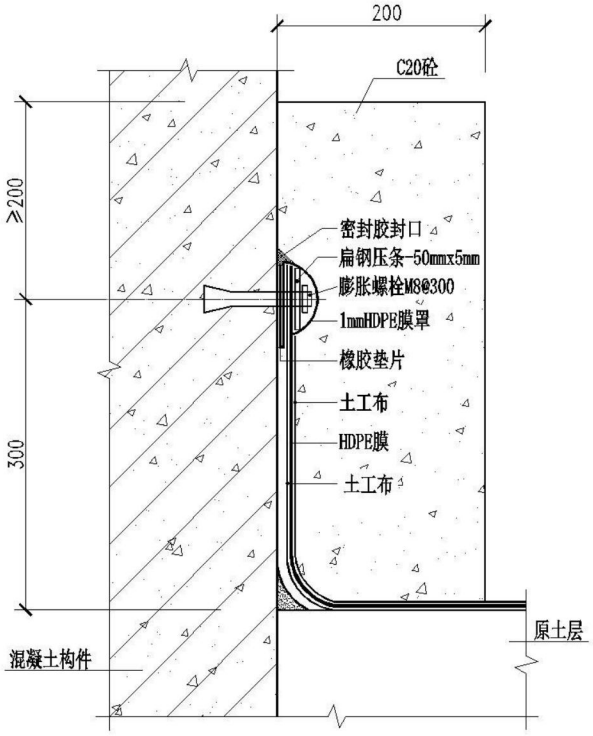


图 11.7.3　膜水池与混凝土构件相连构造

附录 A
（规范性附录）
防渗漏涂层最小厚度及其性能要求

A.1 防渗漏涂层的最小厚度应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 防渗漏涂层最小厚度　　单位：mm

水深（mm）	涂层不透水性 0.3MPa，2h				涂层不透水性 0.4MPa，2h				涂层不透水性 0.4MPa，4h			
	耐久年限				耐久年限				耐久年限			
	10 年	15 年	20 年	25 年	10 年	15 年	20 年	25 年	10 年	15 年	20 年	25 年
1000	0.22	0.33	0.44	0.54	0.20	0.24	0.32	0.40	0.20	0.20	0.20	0.20
1500	0.34	0.5	0.66	0.81	0.24	0.36	0.48	0.60	0.20	0.20	0.25	0.30
2000	0.46	0.67	0.88	1.08	0.32	0.48	0.64	0.80	0.20	0.24	0.32	0.40
2500	0.58	0.84	1.10	1.35	0.40	0.60	0.80	1.00	0.20	0.30	0.40	0.50
3000	0.70	1.01	1.32	1.62	0.48	0.72	0.96	1.20	0.24	0.36	0.48	0.60
3500	0.82	1.18	1.54	1.89	0.56	0.84	1.14	1.40	0.28	0.42	0.56	0.70
4000	0.94	1.35	1.76	2.16	0.64	0.96	1.28	1.60	0.32	0.48	0.64	0.80
4500	1.06	1.52	1.98	2.43	0.72	1.08	1.44	1.80	0.36	0.54	0.72	0.90
5000	1.18	1.69	2.20	2.70	0.80	1.20	1.60	2.00	0.40	0.60	0.80	1.00
5500	1.30	1.86	2.42	2.97	0.88	1.32	1.76	2.20	0.44	0.66	0.88	1.10
6000	1.42	2.03	2.64	3.24	0.96	1.44	1.92	2.40	0.48	0.72	0.96	1.20
6500	1.54	2.20	2.86	3.51	1.04	1.56	2.06	2.60	0.52	0.78	1.04	1.30
7000	1.66	2.37	3.08	3.78	1.12	1.68	2.24	2.80	0.56	0.84	1.12	1.40
7500	1.78	2.54	3.30	—	1.20	1.80	2.40	3.00	0.60	0.90	1.20	1.50
8000	1.90	2.71	3.52	—	1.28	1.92	2.56	3.20	0.66	0.96	1.28	1.60
9000	2.14	3.05	3.96	—	1.44	2.16	2.88	3.60	0.76	1.08	1.44	1.80
注 1：池类、沟、井内的水深指正常生产时的水深；短时储存或接触介质时，水深取设计水深的 1/2。 注 2：当水深与表中数值不同时，防渗漏涂层厚度可根据涂层不透水性、耐久年限按水深内插计算。 注 3：涂层不透水性试验应符合现行国家标准《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777 的规定。												

A.2 防渗漏涂层的性能应符合表 A.2 的规定。

表A.2　防渗漏涂层性能要求

涂层耐久年限	10 年	15 年	20 年	25 年
人工加速老化（h）	720	1000	1500	2000
不透水性	不低于 0.3MPa，2h，不透水			
粘结强度	≥1.5 MPa；断裂伸长率不小于 400%时，≥0.6 MPa			
拉伸强度	≥1.2 Mpa；热、碱、酸、紫外线处理后拉伸强度保持率：≥70%			
断裂伸长率	≥150%；热、碱、酸、紫外线处理后断裂伸长率保持率：≥70%			
耐洗刷性	不低于Ⅱ级			
耐沾污性	不低于Ⅱ级			

耐温变性	不低于Ⅱ级
耐冲击性	不低于Ⅱ级
吸水性	不低于Ⅱ级
耐霉菌性	不低于Ⅱ级
抗藻性	不低于Ⅱ级
注 1：人工加速老化试验应符合现行国家标准《色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射曝露 滤过的氙弧辐射》GB/T 1865 的规定，涂层试验后不起泡、不剥落、不开裂、不粉化，允许轻微变色和失光。 注 2：涂层不透水性试验应符合现行国家标准《建筑防水涂料试验方法》GB/T 16777 的规定。 注 3：粘结强度、拉伸强度、断裂伸长率、耐洗刷性、耐沾污性、耐温变性、耐冲击性、吸水性、耐霉菌性、抗藻性试验应符合国家现行标准《建筑外墙涂料通用技术要求》JG/T 512 的规定。 注 4：涂层性能检测标准中没有规定涂层测试厚度时，测试厚度取涂层设计厚度。	

A.3 聚合物水泥防水砂浆防渗漏层最小厚度应符合表 A.3 的规定。

表 A.3 聚合物水泥防水砂浆防渗漏层最小厚度　　单位：mm

水深（mm）	耐久年限	
	10～15 年	16～25 年
≤3000	10	15
＞3000，≤6000	15	20
注：池类、沟、井内的水深指正常生产时的水深；短时储存或接触介质时，水深取设计水深的 1/2。		

附录 B
（资料性附录）
伸缩缝、诱导缝间距计算

B.1 伸缩缝、诱导缝平均间距可按下式计算：

$$[L] = 1.5\eta\sqrt{\frac{EH}{C_X}} \tag{B.1-1}$$

$$\eta = arcch\frac{|\alpha T|}{|\alpha T| - \varepsilon_p} \tag{B.1-2}$$

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \tag{B.1-3}$$

式中：

[L]——伸缩缝、诱导缝平均间距（mm）；

E——混凝土弹性模量（N/mm^2）；

H——池壁高度（mm）；

Cx——地基或基础水平阻力系数（N/mm^3），天然地基时可取 1.0 N/mm^3~1.5 N/mm^3，桩基时可取 1.2 N/mm^3~1.8 N/mm^3；

η——计算参数；

α——混凝土线膨胀系数,取 1.0x10^{-4}/℃；

T——中面综合温差；

T_1——水化热温差；

T_2——收缩当量温差；

T_3——中面温差；

ε_p——钢筋混凝土极限拉伸，可取 2.0x10^{-4}。

B.2 水化热温差 T_1、收缩当量温差 T_2 可按现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB50496 有关规定计算；池壁中面温差 T_3 按第 5.3.5 条计算。

B.3 池壁厚度不大于 500mm 时，可不考虑水化热温差；采用补偿收缩混凝土或设置膨胀加强带、后浇带时，可不考虑收缩当量温差。

附录 C
（规范性附录）
混凝土水池抗震设计

C.1 一般规定

C.1.1 混凝土水池的地震作用计算应计入结构等效重力荷载产生的水平地震作用和池内介质的动水压力作用，动水压力包括脉动水压力和对流水压力。半地下式及地下式水池尚应计入动土压力作用。

C.1.2 混凝土水池水平地震影响系数最大值、特征周期取值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

C.1.3 混凝土水池地震影响系数曲线（图 C.1.3）的阻尼调整和形状参数应符合下列规定：

a） 阻尼比取 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按 1.0 采用，形状参数应符合下列规定：

1) 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段。

2) 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值（α_{max}）。

3) 曲线下降段，自特征周期至 5 倍特征周期区段，衰减指数（ γ ）应取 0.9。

4) 直线下降段，自 5 倍特征周期至 15s 区段。

b）当阻尼比不等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

1) 曲线下降段的衰减指数应按下式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \qquad \text{（C.1.3-1）}$$

式中 ：ζ——阻尼比。

2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下式确定：

$$\eta_1 = \frac{\eta_2 0.2^{\gamma} - 0.03}{14} \qquad \text{（C.1.3-2）}$$

式中 ：η_1——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

3) 阻尼调整系数应按下式确定：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \qquad \text{（C.1.3-3）}$$

式中：η_2——阻尼调整系数，当η_2小于 0.55 时，应取 0.55。

C.1.4 当水平地震影响系数计算值α小于 0.05η$_2$$\alpha_{max}$时，应取α等于 0.05η$_2$$\alpha_{max}$。

C.1.5 当考虑竖向地震作用时，竖向地震影响系数的最大值（α_{vmax}）可取水平地震影响系数最大值的 65%。

C.1.6 脉动水的自振周期取水池结构的基本自振周期。

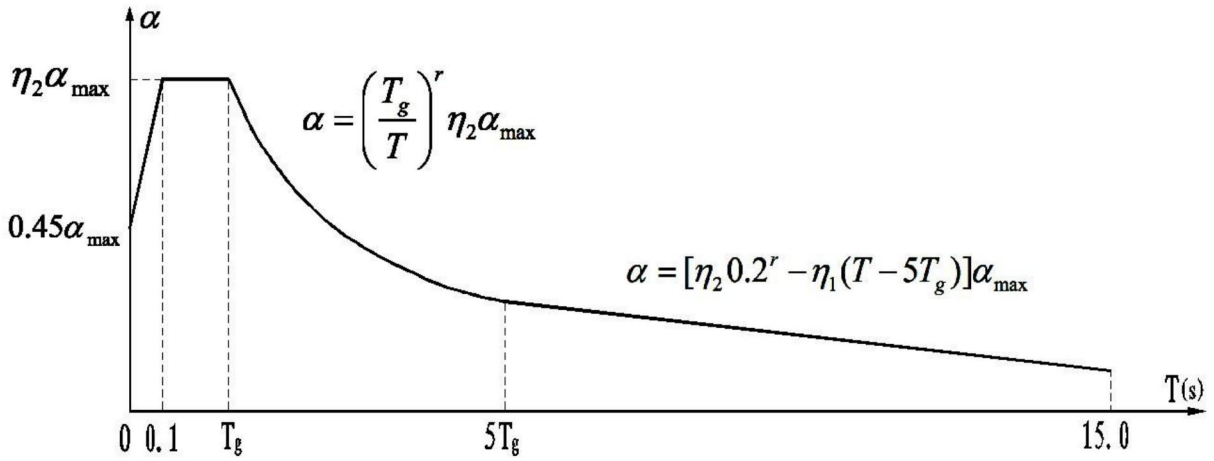


图 C.1.3 地震影响系数曲线

α——地震影响系数； α_{max}——水平地震影响系数最大值；T_g——特征周期；T——自振周期；
η_1——直线下降段的下降斜率调整系数； η_2——阻尼调整系数； γ——衰减指数。

C.2 矩形水池水平地震作用计算

C.2.1 对流水的自振周期取第一阶振型晃动周期，可按下式计算:

$$T_c = \left(\frac{2\pi}{\lambda_c}\right)\sqrt{L} \tag{C.2.1}$$

式中 ：

T_c——对流水晃动周期；

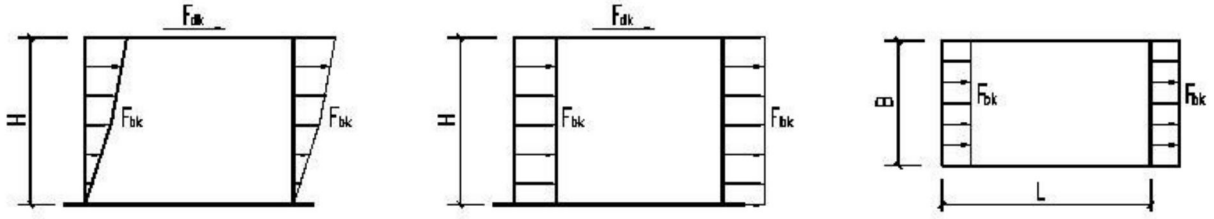
L——矩形水池平行于地震作用方向的边长（m）；

λ_c——对流水晃动周期系数，可按表 C.2.1 取值。

表 C.2.1 对流水晃动周期系数 λ_c

L/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5	5
λ_c	5.567	5.557	5.485	5.336	5.139	4.926	4.716	4.517	4.333	4.164
L/H_w	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	10.0	15.0	20.0
λ_c	4.009	3.868	3.739	3.621	3.512	3.412	3.233	3.079	2.536	2.204
注1：H_w为池内设计水深（m）。 注2：当L / H_w为中间值时，可按内插取值。										

C.2.2 矩形水池池壁、顶板的水平地震作用标准值可按下列公式计算（图 C.2.2）：



a) 地面式沿高度分布　　b) 地下式沿高度分布　　c) 沿平面分布

图 C.2.2 矩形水池池壁、顶板水平地震作用

地面式水池：

$$F_{bK}=\eta_m\alpha_1\gamma_1 W_b\sin\left(\frac{\pi Z}{2H}\right) \qquad (C.2.2-1)$$

$$F_{dK}=\eta_m\alpha_1\gamma_1 W_{\mathrm{d}} \qquad (C.2.2-2)$$

地下式水池：

$$F_{bK}=\frac{1}{3}\eta_m K_H W_b \qquad (C.2.2-3)$$

$$F_{dK}=\frac{1}{3}\eta_m K_H W_{\mathrm{d}} \qquad (C.2.3-4)$$

式中 ：

F_{bK}——池壁沿高度的单位面积水平地震作用标准值（kN/m²）；

F_{dK}——水池顶盖的水平地震作用标准值（kN）；

K_H——设计基本地震加速度与重力加速度的比值；

η_m——地震影响系数的调整系数，可取 1.5；

α_1——相应于水池结构基振型的地震影响系数，一般可取α_1等于α_{max}；

γ_1——相应于水池结构基本振型的振型参与系数，一般可取 1.10；

W_b——池壁沿高度的单位面积重度（kN/m²），池壁为变截面时可近似取平均厚度；

W_d——水池顶盖的重量（kN）；

H——池壁高度（m）；

Z——计算截面距池壁底端的高度（m）。

C.2.3 地面式矩形水池,池壁水平地震作用在池壁底部产生的弯矩标准值可按下式计算：

$$M_{bK}=4\eta_m\alpha_1\gamma_1 W_b\frac{H^2}{\pi^2} \qquad (C.2.3)$$

式中 ：

M_{bk}——池壁水平地震作用在池壁底部产生的弯矩标准值（kN·m/m）。

C.2.4 水平地震作用下，矩形水池的总脉动水压力、总对流水压力可按下列公式计算：

$$F_{\mathrm{ik}}=\alpha_1 W_{\mathrm{i}} \qquad (C.2.4-1)$$

$$F_{\mathrm{ck}}=\alpha_2 W_c \qquad (C.2.4-2)$$

$$W_{\mathrm{i}}=\varepsilon_i W_w \qquad (C.2.4-3)$$

$$W_{\mathrm{c}}=\varepsilon_c W_w \qquad (C.2.4-4)$$

式中 ：

F_{ik}——矩形水池总脉动水压力标准值（kN）；

F_{ck}——矩形水池总对流水压力标准值（kN）；

α_2——对流水的水平地震影响系数，应按 B.1 节确定，其中 ζ 可取 0.005，自振周期可按 C.2.1

条确定；

W_i——脉动水的当量重量（kN）；

W_c——对流水的当量重量（kN）；

W_w——池内水总重量（kN）；

ε_i——脉动水质量参与系数，矩形水池按表 C.2.4 采用；

ε_c——对流水质量参与系数，矩形水池按表 C.2.4 采用。

表 C.2.4　矩形水池脉动水和对流水质量参与系数

L/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5	5
ε_i	0.942	0.808	0.663	0.542	0.450	0.381	0.328	0.288	0.256	0.231
ε_c	0.132	0.263	0.384	0.485	0.562	0.620	0.663	0.695	0.720	0.738
L/H_w	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	10	15	20
ε_i	0.210	0.192	0.178	0.165	0.154	0.144	0.128	0.115	0.077	0.058
ε_c	0.753	0.765	0.774	0.782	0.788	0.793	0.802	0.808	0.822	0.827
注1：当L / H_w为中间值时，可按内插取值。										

C.2.5 计算池壁时，总脉动水压力作用点距底板顶面的高度可按下列公式计算：

$\frac{L}{H_W} < 1.333$时：

$$h_i = \left[0.5 - 0.09375\left(\frac{L}{H_w}\right)\right]H_w \qquad \text{(C.2.5-1)}$$

$\frac{L}{H_W} > 1.333$时:

$$h_i = 0.375H_w \qquad \text{(C.2.5-2)}$$

式中 ：

h_i——总脉动水压力作用点距底板顶面的高度（m）。

C.2.6 计算架空水池底板及其下部支承构件时，总脉动水压力等效作用点距底板顶面的高度可按下式计算：

$$h_i = \lambda_{hi}H_w \qquad \text{(C.2.6)}$$

式中 ：

λ_{hi}——总脉动水压力等效作用点高度系数，按表 C.2.6 取值。

表 C.2.6　　总脉动水压力等效作用点高度系数 λ_{hi}

L/H_w	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4
λ_{hi}	0.450	0.494	0.629	0.797	0.986	1.188	1.398	1.610
L/H_w	4.5	5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
λ_{hi}	1.825	2.041	2.257	2.473	2.690	2.906	3.123	3.339
注1：当L/H_w<0.75时，λw按 L/H_w =0.75取值。 注2：当L/H_w为中间值时，可按内插取值。								

C.2.7 计算池壁时，总对流水压力作用点距底板顶面的高度可按下式计算：

$$h_c = \lambda_{hc} H_w \qquad \text{(C.2.7)}$$

式中 ：

h_c——总对流水压力作用点距底板顶面的高度（m）。

λ_{hc}——总对流水压力作用点高度系数，按表 C.2.7 取值。

表 C.2.7　　总对流水压力作用点高度系数 λ_{hc}

L/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
λ_{hc}	0.842	0.709	0.628	0.583	0.557	0.542	0.531	0.524	0.520	0.516
注1：当$L/H_w > 5.0$时，λ_w按 $L/H_w = 5.0$取值。 注2：当L/Hw为中间值时，可按内插取值。										

C.2.8 计算架空水池底板及其下部支承构件受力时，总对流水压力等效作用点距底板顶面的高度可按下式计算：

$$h_c = \lambda'_{hc} H_w \qquad \text{(C.2.8)}$$

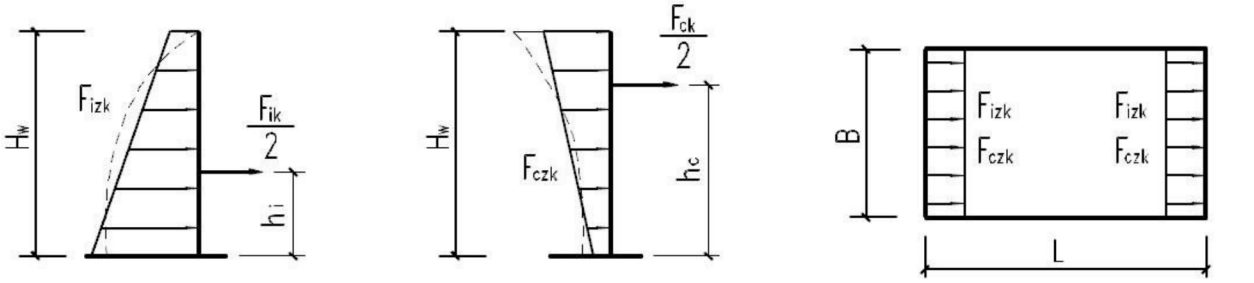
式中 ：

λ'_{hc}——总对流水压力等效作用点高度系数，按表 C.2.8 取值。

表 C.2.8　　总对流水压力等效作用点高度系数 λ'_{hc}

L/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4
λ'_{hc}	0.843	0.736	0.747	0.858	1.048	1.303	1.617	1.986
L/H_w	4.5	5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
λ'_{hc}	2.409	2.884	3.411	3.989	4.619	5.300	6.032	6.814
注：当L/Hw为中间值时，可按内插取值。								

C.2.9 水平地震作用下，矩形水池沿池壁高度的动水压力标准值可按下列公式计算（图 C.2.7）：



a) 脉动水压力沿高度分布　　b) 对流水压力沿高度分布　　c)动水压力沿平面分布

--- 精确分布线　　—— 线性近似值

图 C.2.7　矩形水池动水压力分布图

$$F_{izk} = \frac{0.5F_{ik}\left[4H_w - 6h_i - \left(6H_w - 12h_i\right)\left(\frac{Z}{H_w}\right)\right]}{BH_w^{\,2}} \qquad \text{（C.2.9－1）}$$

$\lambda_{hc} < 0.667$ 时:

$$F_{czk} = \frac{0.5F_{ck}\left[4H_w - 6h_c - \left(6H_w - 12h_c\right)\left(\frac{Z}{H_w}\right)\right]}{BH_w^{\ 2}} \qquad \text{（C.2.9－2）}$$

$\lambda_{hc} \geq 0.667$ 时:

$$F_{czk} = \frac{F_{ck}\left(Z + 2H_w - 3h_c\right)}{9B\left(H_w - h_c\right)^2} \qquad \text{（C.2.9－3）}$$

式中：

F_{izk}——液位 Z 处单位面积的脉动水压力标准值(kN/m^2)；

F_{czk}——液位 Z 处单位面积的对流水压力标准值(kN/m^2)，计算值小于 0 时取 0；

B——矩形水池垂直于地震作用方向的边长（m）；

C.2.10 作用在水池池壁上的动土压力标准值,可按下式计算（图 C.2.8）：

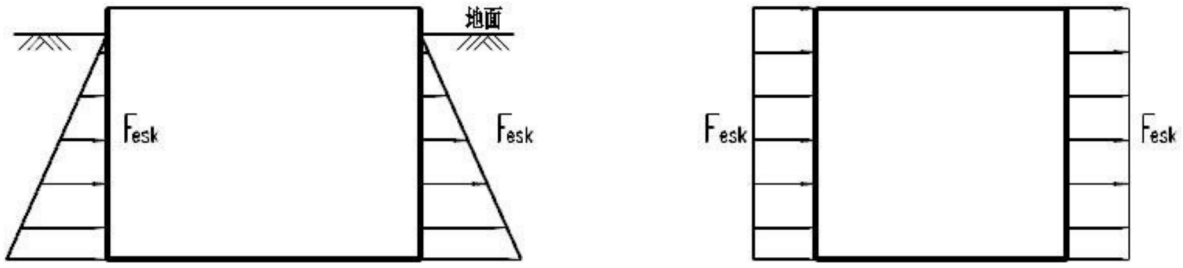
$$F_{esk} = K_H \cdot F_{epk} \cdot \tan\varphi \qquad \text{（C.2.10)}$$

式中：

F_{esk}——地震时作用于水池池壁任一高度上的动土压力标准值（kN/m^2）；

F_{epk}——相应计算高度处的主动土压力标准值（kN/m^2）；当位于地下水位以下时，土的重度应取 20 kN/m^3；

φ——池壁外侧土的内摩擦角，一般情况下可取 30° 计算。



a) 沿高度分布　　b) 沿平面分布

图 C.2.8　矩形水池动土压力分布图

C.3 圆形水池地震作用计算

C.3.1 对流水的自振周期取第一阶振型晃动周期，可按下式计算:

$$T_c = \left(\frac{2\pi}{\lambda_c}\right)\sqrt{D_0} \qquad \text{(C.3.1)}$$

式中 ：

D_0——圆形水池内径（m）；

λ_c——对流水晃动周期系数，可按表 C.3.1 取值。

表 C.3.1　对流水晃动周期系数 λ_C

D_0/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5	5
λ_C	6.007	6.004	5.963	5.858	5.699	5.511	5.314	5.118	4.931	4.756
D_0/H_w	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	10.0	15.0	20.0
λ_C	4.592	4.441	4.301	4.171	4.051	3.940	3.740	3.565	2.946	2.563

C.3.2 圆形水池水池池壁、顶板的水平地震作用标准值可按下列公式计算，其分布如图 C.3.2 所示。

地面式水池：

$$F_{bK}=\eta_m\alpha_1\gamma_1 W_b\sin\left(\frac{\pi Z}{2H}\right)\cos\theta \qquad (C.3.2-1)$$

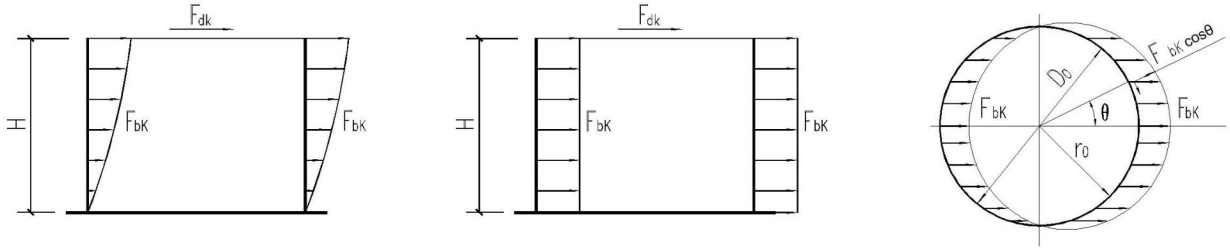
$$F_{dK}=\eta_m\alpha_1\gamma_1 W_{\mathrm{d}}\cos\theta \qquad (C.3.2-2)$$

地下式水池：

$$F_{bK}=\frac{1}{3}\eta_m K_H W_b\cos\theta \qquad (C.3.2-3)$$

$$F_{dK}=\frac{1}{3}\eta_m K_H W_{\mathrm{d}}\cos\theta \qquad (C.3.3-4)$$

θ ——由水平地震方向至计算截面的夹角。



a) 地面式沿高度分布　　b) 地下式沿高度分布　　c) 沿平面分布

图 C.3.2　圆形水池池壁、顶板水平地震作用

C.3.3 水平地震作用下，圆形水池的总脉动水压力、总对流水压力可按下列公式计算：

$$F_{\mathrm{ik}}=\alpha_1 W_{\mathrm{i}} \qquad (C.3.3-1)$$

$$F_{\mathrm{ck}}=\alpha_2 W_c \qquad (C.3.3-2)$$

$$W_{\mathrm{i}}=\varepsilon_i W_w \qquad (C.3.3-3)$$

$$W_{\mathrm{c}}=\varepsilon_c W_w \qquad (C.3.3-4)$$

式中 ：

ε_i ——脉动水质量参与系数，按表 C.3.3 采用；

ε_c ——对流水质量参与系数，按表 C.3.3 采用；

表 C.3.3　圆形水池脉动水和对流水的质量参与系数

D_0/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5	5
ε_i	0.942	0.808	0.663	0.542	0.450	0.381	0.328	0.288	0.256	0.231
ε_c	0.115	0.230	0.340	0.437	0.517	0.581	0.630	0.668	0.697	0.721
D_0/H_w	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	9.0	10	15	20
ε_i	0.210	0.192	0.178	0.165	0.154	0.144	0.128	0.115	0.077	0.058
ε_c	0.739	0.754	0.766	0.776	0.784	0.791	0.802	0.810	0.830	0.837
注2：当D_0/H_w为中间值时，可按内插取值。										

C.3.4 计算池壁时，总脉动水压力作用点距底板顶面的高度可按下列公式计算;

$\frac{D_0}{H_w}<1.333$时：

$$h_i=\left[0.5-0.09375\left(\frac{D_0}{H_w}\right)\right]H_w \tag{C.3.4-1}$$

$\frac{D_0}{H_w}\geq 1.333$时

$$h_i=0.375H_w \tag{C.3.4-2}$$

C.3.5 计算架空水池底板及其下部支承构件时，总脉动水压力等效作用点距底板顶面的高度可按下式计算：

$$h_i=\lambda'_{hi}H_w \tag{C.3.5}$$

式中 ：

λ'_{hi}——总脉动水压力等效作用点高度系数，可按表 C.3.5 取值。

表 C.3.5　　总脉动水压力等效作用点高度系数 λ'_{hi}

D_0/H_w	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4
λ'_{hi}	0.450	0.494	0.629	0.797	0.986	1.188	1.398	1.610
D_0/H_w	4.5	5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
λ'_{hi}	1.825	2.041	2.257	2.473	2.690	2.906	3.123	3.339
注1：当$D_0/H_w<0.75$时，λw按 $L/Hw=0.75$取值。 注2：当D_0/H_w为中间值时，可按内插取值。								

C.3.6 计算池壁时，总对流水压力作用点距底板顶面的高度可按下式计算：

$$h_c=\lambda_{hc}H_w \tag{C.3.6}$$

式中 ：

λ_{hc}——总对流水压力作用点高度系数，可按表 C.3.6 取值。

表 C.3.6　总对流水压力作用点高度系数 λ_{hc}

D_0/H_w	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5.0
λ_{hc}	0.864	0.742	0.657	0.605	0.574	0.555	0.541	0.533	0.526	0.521
注 1：当 $D_0/H_w>5.0$ 时，λ_h 按 $D_0/H_w=5.0$ 取值。 注 2：当 D_0/H_w 为中间值时，可按内插取值。										

C.3.7 计算架空水池底板及其下部支承构件时，总对流水压力等效作用点距底板顶面的高度可按下式计算：

$$h_c = \lambda'_{hc} H_w \tag{C.3.7}$$

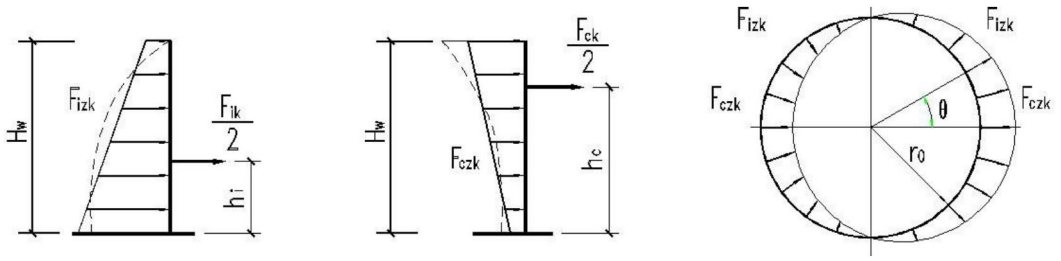
式中：

λ'_{hc}——对流水压力等效作用点高度系数，可按表 C.3.7 取值。

表 C.3.7　　总对流水压力等效作用点高度系数 λ'_{hc}

D_0/H_w	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4
λ'_{hc}	0.864	0.755	0.747	0.784	0.907	1.083	1.306	1.573
D_0/H_w	4.5	5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
λ'_{hc}	1.880	2.228	2.614	3.039	3.502	4.003	4.541	5.118
注：当D_0/H_w为中间值时，可按内插取值。								

C.3.8 水平地震作用下，圆形水池沿池壁高度的动水压力标准值可按下列公式计算（图 C.3.8）：



a) 脉动水压力沿高度分布　　b) 对流水压力沿高度分布　　c)动水压力沿平面分布

--- 精确分布线　　—— 线性近似值

图 C.3.8　圆形水池动水压力分布图

$$F_{izk} = \frac{F_{ik}\left[4H_w - 6h_i - \left(6H_w - 12h_i\right)\left(\frac{Z}{H_w}\right)\right]}{\pi r_0 H_w^{\,2}}\cos\theta \tag{C.3.8-1}$$

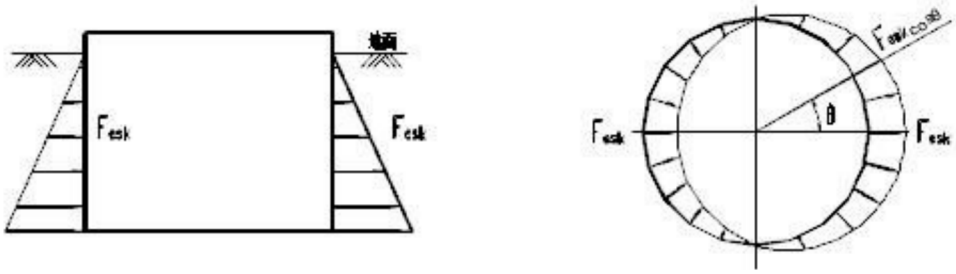
$\lambda_h < 0.667$ 时：

$$F_{czk} = \frac{8F_{ck}\left[4H_w - 6h_c - \left(6H_w - 12h_c\right)\left(\frac{Z}{H_w}\right)\right]}{9\pi r_0 H_w^{\,2}}\cos\theta \tag{C.3.8-2}$$

$\lambda_h \geq 0.667$ 时：

$$F_{czk} = \frac{16F_{ck}\left(Z + 2H_w - 3h_c\right)}{81\pi r_0\left(H_w - h_c\right)^2}\cos\theta \tag{C.3.8-3}$$

C.3.9 作用在圆形水池池壁上的动土压力标准值计算与矩形水池相同,其分布如图 C.3.9 所示。



a) 沿高度分布　　b) 沿平面分布

图 C.3.9　圆形水池动土压力分布图

C.3.10 水平向地震作用下，圆形水池池壁的环向拉力标准值可按下式计算：

$$P_{zk} = r_z F_{Ek} \cos\theta \qquad \text{（C.3.10-1）}$$

$$F_{Ek} = \sqrt{\left(F_{bk} + F_{izk} + F_{esk}\right)^2 + F_{czk}^{\ 2}} \qquad \text{（B.3.10-2）}$$

式中：

P_{zk}——液位 Z 处，池壁单位高度的环向拉力标准值（kN/m）；

F_{Ek} ——液位 Z 处的水平地震作用标准值（kN/m²）；

r_z——液位 Z 处的水池计算半径（m），即圆形水池中心至壁厚中心的距离；

C.4 竖向地震作用计算

抗震设防烈度为 9 度时，水池的顶盖和动水压力应计算竖向地震作用，其作用标准值可按下列公式确定：

水池顶盖：

$$F_{dvk} = \alpha_{V\max} W_d \qquad \text{（C.4－1）}$$

动水压力：

$$F_{wvk} = 0.8\alpha_{V\max}\gamma_w\left(H_w - Z\right) \qquad \text{（C.4－2）}$$

式中：

F_{dvk}——水池顶盖的竖向地震作用标准值（kN）；

F_{wvk}——竖向地震作用下，液位 Z 处池壁上的动水压力（kN/m²）。

C.5 水平地震作用效应

混凝土水池水平地震作用效应（弯矩、剪力、轴向力），可按下式确定：

$$S_{EK} = \sqrt{\left(S_{GEk} + S_{ik} + S_{sk}\right)^2 + S_{ck}^{\ 2}} \qquad \text{（C.5）}$$

式中：

S_{Ek}——混凝土水池水平地震作用效应；

S_{GEk}——池壁、顶板水平地震作用效应；
S_{ik}——脉动水压力作用效应；
S_{sk}——动土压力作用效应；
S_{ck}——对流水压力作用效应。

附 录 D
（资料性附录）
双向板在水（土）压力作用下的弯矩系数、支座反力系数

D.1 双向板在水（土）压力作用下的弯矩系数见表 D.1.1、D.1.2。

表 D.1.1 三边固定、顶端自由双向板在水（土）压力作用下的弯矩系数(m_x、m_x'、m_y、m_y')

L_0/H_0	0.5			0.75			1		
λ	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
m_x	0.0072	0.0152	0.0236	0.0043	0.0137	0.0175	0.0016	0.0072	0.0132
m_x'	-0.0160	-0.0336	-0.0498	-0.0115	-0.0295	-0.0383	-0.0050	-0.0165	-0.0299
m_y	0.0016	0.0029	0.0032	0.0029	0.0050	0.0067	0.0033	0.0075	0.0104
m_y'	-0.0058	-0.0093	-0.0115	-0.0078	-0.0158	-0.0226	-0.0101	-0.0235	-0.0350
L_0/H_0	1.5			2			3		
λ	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
m_x	0.0006	0.0035	0.0094	0.0004	0.0023	0.0069	0.0001	0.0000	0.0012
m_x'	-0.0019	-0.0084	-0.0200	-0.0010	-0.0052	-0.0175	-0.0004	-0.0030	-0.0067
m_y	0.003	0.0109	0.0154	0.0025	0.0104	0.0161	0.0016	0.0065	0.0059
m_y'	-0.0127	-0.0359	-0.0605	-0.0144	-0.0461	-0.086	-0.0166	-0.0608	-0.1651
注：表中λ为水（土）压力高度与池壁计算高度H_0之比值。									

表 D.1.2 三边固定、顶端铰支承双向板在水（土）压力作用下的弯矩系数(m_x、m_x'、m_y、m_y')

L_0/H_0	0.5			0.75			1		
λ	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
m_x	0.0072	0.0152	0.0205	0.0043	0.0137	0.0167	0.0016	0.0070	0.0122
m_x'	-0.0160	-0.0336	-0.0415	-0.0115	-0.0295	-0.0364	-0.0050	-0.0163	-0.0286
m_y	0.0016	0.0029	0.0014	0.0029	0.005	0.0051	0.0033	0.0078	0.0106
m_y'	-0.0058	-0.0093	-0.0115	-0.0078	-0.0158	-0.0226	-0.0101	-0.0234	-0.0347
L_0/H_0	1.5			2			3		
λ	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
m_x	0.0005	0.0035	0.0053	0.0004	0.0013	0.0024	0.0001	0.0005	0.0007
m_x'	-0.0018	-0.0084	-0.0158	-0.0009	-0.0040	-0.0092	-0.0003	-0.0014	-0.0040
m_y	0.0032	0.0109	0.0207	0.0030	0.0145	0.0261	0.0029	0.0154	0.0297
m_y'	-0.0124	-0.0359	-0.0533	-0.0133	-0.038	-0.0622	-0.0136	-0.0402	-0.0831
注：表中λ为水（土）压力高度与池壁计算高度H_0之比值。									

D.2 双向板在水（土）压力作用下的支座反力系数见表 D.2.1、D.2.2。

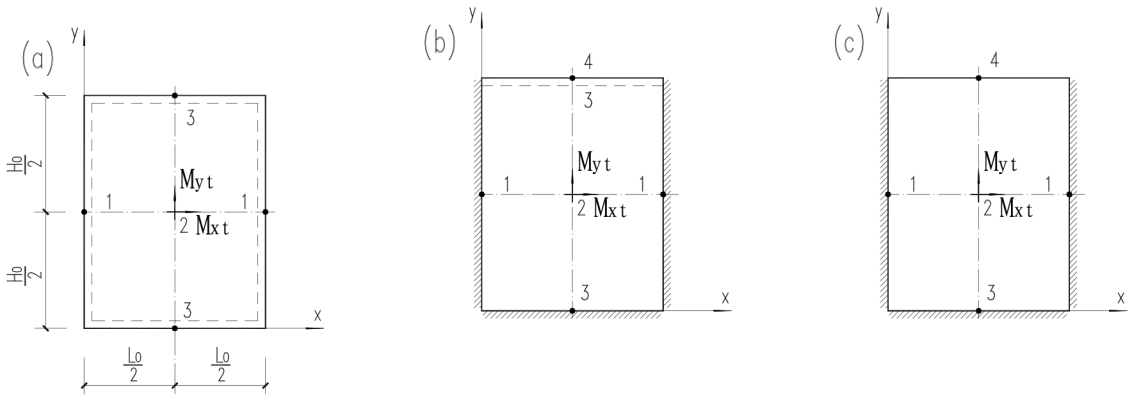
表 D.2.1 三边固定、顶端自由的双向板在水（土）压力作用下的支座反力系数（γ_{Lm}、γ_{L0}、γ_{Hm}、γ_{H0}）

L_0/H_0	0.5			0.75			1		
λ	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
γ_{Lm}	0.1296	0.1773	0.2336	0.1461	0.2269	0.2645	0.1555	0.2625	0.3236
γ_{L0}	0.0893	0.1108	0.1223	0.1055	0.1448	0.1603	0.1185	0.1753	0.2018
γ_{Hm}	0.1386	0.2572	0.2988	0.1182	0.2185	0.316	0.0769	0.1567	0.2421
γ_{H0}	0.0387	0.1112	0.1909	0.0344	0.1061	0.1911	0.0241	0.079	0.1491
L_0/H_0	1.5			2			3		
λ	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
γ_{Lm}	0.1623	0.3005	0.4055	0.1651	0.3202	0.4584	0.1671	0.3356	0.5047
γ_{L0}	0.1327	0.2159	0.2654	0.1401	0.241	0.3111	0.1475	0.2693	0.3694
γ_{Hm}	0.0489	0.1089	0.1695	0.0363	0.0785	0.1282	0.0263	0.0487	0.1041
γ_{H0}	0.017	0.0585	0.1172	0.0133	0.0462	0.0944	0.0096	0.032	0.0625
注：当L_0/H_0＞3.0时，反力系数按L_0/H_0=3.0取值。									

表 D.2.2 三边固定、顶端铰接双向板在水（土）压力作用下的支座反力系数（γ_{Lm}、γ_{L0}、γ_{Hm}、γ_{H0}）

L_0/H_0		0.5			0.75			1		
λ		1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
γ_{Lm}	顶部跨中	-0.0003	-0.0013	0.0126	-0.0005	0.0020	0.0326	0.0009	0.0128	0.0602
	底部跨中	0.1235	0.1624	0.1754	0.1451	0.2200	0.2519	0.1543	0.2568	0.3118
γ_{L0}	顶部	-0.0001	-0.0012	0.0027	-0.0007	-0.0028	0.0062	-0.0006	-0.0004	0.0172
	底部	0.0856	0.1054	0.1117	0.1056	0.1444	0.1591	0.1155	0.1714	0.1975
γ_{Hm}		0.1477	0.267	0.331	0.0982	0.2064	0.2783	0.0747	0.1622	0.2360
γ_{H0}		0.0406	0.1145	0.1928	0.0308	0.0959	0.1674	0.0259	0.0812	0.1427
L_0/H_0		1.5			2			3		
λ		1/3	2/3	1	1/3	2/3	1	1/3	2/3	1
γ_{Lm}	顶部跨中	0.0044	0.0317	0.0994	0.0053	0.0364	0.1085	0.0048	0.0341	0.1040
	底部跨中	0.1613	0.2941	0.3834	0.1628	0.3035	0.4038	0.1625	0.3027	0.4032
γ_{L0}	顶部	0.0007	0.008	0.0397	0.0016	0.0139	0.0544	0.0026	0.0204	0.0675
	底部	0.1306	0.2119	0.2593	0.1391	0.235	0.2953	0.1464	0.2566	0.3298
γ_{Hm}		0.0491	0.1102	0.1662	0.0363	0.0819	0.1239	0.0245	0.0548	0.0826
γ_{H0}		0.0177	0.0567	0.1005	0.013	0.0422	0.0752	0.0088	0.0282	0.0499
注：当 L_0/H_0＞3.0 时，反力系数按 L_0/H_0=3.0 取值。										

附 录 E
（资料型附录）



矩形水池在壁面温（湿）差作用下的弯矩系数表

表 E 温（湿）差△t 作用下的弯矩系数 k_{xt}、k_{yt}

点位	图号	系数(k)	L_0/H_0								
			0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
1	(a)	k_{xt}	0							—	
		k_{yt}	0.054							—	
	(b)	k_{xt}	0.068	0.074	0.080	0.084	0.087	0.086	0.086		
		k_{yt}	0.064	0.065	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066		
	(c)	k_{xt}	0.066	0.069	0.071	0.070	0.065	0.065	0.064	0.060	0.057
		k_{yt}	0.064	0.064	0.063	0.062	0.063	0.061	0.061	0.059	0.058
2	(a)	k_{xt}	0.048	0.038	0.027	0.019	0.013	0.009	0.006		
		k_{yt}	0.006	0.017	0.027	0.035	0.041	0.045	0.048		
	(b)	k_{xt}	0.063	0.060	0.058	0.056	0.055	0.057	0.059		
		k_{yt}	0.065	0.065	0.062	0.060	0.057	0.054	0.051		
	(c)	k_{xt}	0.062	0.060	0.060	0.061	0.062	0.063	0.064	0.064	0.063
		k_{yt}	0.063	0.059	0.055	0.050	0.045	0.041	0.037	0.030	0.023
3	(a)	k_{xt}	0.054							—	
		k_{yt}	0							—	
	(b)	k_{xt}	0.063	0.064	0.064	0.065	0.066	0.066	0.066		
		k_{yt}	0.065	0.066	0.071	0.076	0.084	0.087	0.091		
	(c)	k_{xt}	0.063	0.063	0.063	0.064	0.064	0.063	0.063	0.061	0.059
		k_{yt}	0.063	0.065	0.068	0.071	0.071	0.066	0.062	0.049	0.036
4	(b)	k_{xt}	0.054								
		k_{yt}	0								
	(c)	k_{xt}	0.062	0.065	0.067	0.069	0.070	0.072	0.073	0.072	0.070
		k_{yt}	0								

附 录 F
（资料性附录）
圆柱壳在水（土）压力、壁面温（湿）差作用下的弯矩系数、环向力系数

F.1 底部固定、顶端自由的圆柱壳在水（土）压力作用下的弯矩系数见表 F.1.1，环向力系数见表 F.1.2。

表 F.1.1 底部固定、顶端自由的圆柱壳在水（土）压力作用下的弯矩系数（k_{yc}）

$\frac{H_0^2}{dh}$	0.00H_0	0.10H_0	0.20H_0	0.30H_0	0.40H_0	0.50H_0	0.60H_0	0.70H_0	0.75H_0	0.80H_0	0.85H_0	0.90H_0	0.95H_0	1.00H_0
0.6	0.0000	0.0009	0.0029	0.0046	0.0048	0.0023	-0.0430	-0.0161	-0.0243	-0.0344	-0.0463	-0.0604	-0.0767	-0.0954
0.8	0.0000	0.0011	0.0037	0.0063	0.0079	0.0071	0.0026	-0.0069	-0.0139	-0.0227	-0.0334	-0.0462	-0.0613	-0.0786
1.0	0.0000	0.0012	0.0040	0.0073	0.0097	0.0099	0.0068	-0.0012	-0.0074	-0.0153	-0.0251	-0.0370	-0.0511	-0.0675
1.5	0.0000	0.0010	0.0041	0.0076	0.0107	0.0122	0.0109	0.0053	-0.0005	-0.0060	-0.0143	-0.0246	-0.0371	-0.0519
2.0	0.0000	0.0006	0.0035	0.0068	0.0099	0.0118	0.0114	0.0074	0.0035	-0.0020	-0.0092	-0.0184	-0.0297	-0.0434
3.0	0.0000	0.0003	0.0023	0.0046	0.0071	0.0091	0.0097	0.0077	0.0051	0.0012	-0.0043	-0.0177	-0.0212	-0.0331
4.0	0.0000	0.0001	0.0013	0.0028	0.0046	0.0065	0.0076	0.0068	0.0052	0.0024	-0.0019	-0.0080	-0.0162	-0.0266
5.0	0.0000	0.0000	0.0006	0.0016	0.0029	0.0046	0.0059	0.0059	0.0049	0.0028	-0.0006	-0.0057	-0.0128	-0.0222
6.0	0.0000	0.0000	0.0003	0.0008	0.0018	0.0032	0.0046	0.0051	0.0045	0.0030	0.0003	-0.0041	-0.0104	-0.0190
7.0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0011	0.0023	0.0036	0.0044	0.0041	0.0030	0.0003	-0.0030	-0.0087	-0.0166
8.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0007	0.0016	0.0029	0.0038	0.0037	0.0030	0.0011	-0.0022	-0.0074	-0.0148
9.0	0.0000	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0004	0.0011	0.0023	0.0033	0.0034	0.0028	0.0013	-0.0016	-0.0063	-0.0133
10	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001	0.0002	0.0008	0.0018	0.0029	0.0061	0.0027	0.0015	-0.0011	-0.0055	-0.0121
12	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0004	0.0012	0.0022	0.0025	0.0024	0.0016	-0.0005	-0.0043	-0.0103
注 1：0.00H_0 为池顶，1.00H_0 为池底； 注 2：外壁受拉为正。														

表 F.1.2　底部固定、顶端自由的圆柱壳在水（土）压力作用下的环向力系数（k_θ）

$\frac{H_0^2}{dh}$	0.00H_0	0.10H_0	0.20H_0	0.30H_0	0.40H_0	0.50H_0	0.60H_0	0.70H_0	0.75H_0	0.80H_0	0.85H_0	0.90H_0	0.95H_0	1.00H_0
0.6	0.225	0.201	0.177	0.152	0.126	0.100	0.073	0.047	0.035	0.024	0.015	0.007	0.002	0.000
0.8	0.266	0.241	0.216	0.190	0.161	0.131	0.098	0.065	0.049	0.034	0.021	0.010	0.003	0.000
1.0	0.283	0.262	0.240	0.216	0.189	0.157	0.121	0.082	0.063	0.044	0.027	0.013	0.004	0.000
1.5	0.271	0.269	0.266	0.258	0.243	0.216	0.177	0.126	0.098	0.071	0.044	0.022	0.006	0.000
2.0	0.229	0.251	0.272	0.286	0.287	0.270	0.231	0.172	0.137	0.100	0.064	0.032	0.009	0.000
3.0	0.135	0.202	0.267	0.322	0.357	0.636	0.332	0.260	0.212	0.158	0.103	0.053	0.015	0.000
4.0	0.066	0.162	0.256	0.340	0.403	0.431	0.411	0.336	0.278	0.212	0.140	0.073	0.021	0.000
5.0	0.024	0.135	0.244	0.346	0.428	0.476	0.471	0.398	0.336	0.259	0.175	0.093	0.027	0.000
6.0	0.002	0.119	0.234	0.345	0.441	0.505	0.516	0.450	0.386	0.303	0.207	0.111	0.033	0.000
7.0	-0.008	0.109	0.225	0.340	0.445	0.524	0.550	0.494	0.429	0.342	0.238	0.129	0.039	0.000
8.0	-0.011	0.103	0.218	0.334	0.445	0.534	0.575	0.531	0.468	0.378	0.266	0.147	0.045	0.000
9.0	-0.011	0.100	0.212	0.328	0.442	0.541	0.595	0.563	0.503	0.411	0.293	0.164	0.051	0.000
10	-0.010	0.098	0.208	0.322	0.438	0.543	0.610	0.590	0.533	0.441	0.319	0.180	0.057	0.000
12	-0.006	0.097	0.202	0.312	0.428	0.543	0.629	0.634	0.586	0.496	0.366	0.211	0.068	0.000

注 1：0.00H_0 为池顶，1.00H_0 为池底；

注 2：环向受拉为正。

F.2 底部固定、顶端自由的圆柱壳在壁面温（湿）差作用下的弯矩系数见表 F.2.1，环向力系数见表 F.2.2。

表 F.2.1　底部固定、顶端自由的圆柱壳在壁面温（湿）差作用下的弯矩系数（k_{yt}）

$\frac{H_0^2}{dh}$	0.00H_0	0.10H_0	0.20H_0	0.30H_0	0.40H_0	0.50H_0	0.60H_0	0.70H_0	0.75H_0	0.80H_0	0.85H_0	0.90H_0	0.95H_0	1.00H_0
0.6	0.000	0.019	0.068	0.140	0.228	0.327	0.432	0.541	0.596	0.652	0.708	0.763	0.819	0.875
0.8	0.000	0.025	0.089	0.181	0.291	0.412	0.538	0.668	0.733	0.799	0.864	0.930	0.995	1.061
1.0	0.000	0.030	0.107	0.214	0.339	0.474	0.613	0.752	0.822	0.891	0.960	1.029	1.098	1.167
1.5	0.000	0.043	0.147	0.283	0.433	0.584	0.730	0.869	0.936	1.002	1.066	1.131	1.194	1.258
2.0	0.000	0.055	0.185	0.347	0.513	0.668	0.807	0.931	0.987	1.042	1.094	1.146	1.197	1.248
3.0	0.000	0.081	0.259	0.461	0.646	0.798	0.913	0.997	1.031	1.061	1.087	1.113	1.137	1.161
4.0	0.000	0.106	0.324	0.555	0.749	0.889	0.978	1.029	1.045	1.057	1.065	1.072	1.078	1.084
5.0	0.000	0.128	0.381	0.632	0.824	0.949	1.015	1.043	1.047	1.047	1.046	1.043	1.039	1.035
6.0	0.000	0.150	0.432	0.695	0.881	0.987	1.034	1.045	1.043	1.038	1.031	1.024	1.016	1.008
7.0	0.000	0.171	0.478	0.747	0.923	1.012	1.043	1.042	1.036	1.029	1.020	1.012	1.003	0.995
8.0	0.000	0.190	0.520	0.791	0.955	1.027	1.045	1.037	1.029	1.021	1.013	1.005	0.997	0.989
9.0	0.000	0.209	0.558	0.829	0.979	1.037	1.043	1.030	1.022	1.015	1.007	1.001	0.995	0.988
10	0.000	0.228	0.592	0.861	0.998	1.041	1.040	1.024	1.017	1.010	1.004	0.999	0.994	0.990
12	0.000	0.262	0.654	0.913	1.022	1.043	1.031	1.014	1.008	1.003	1.000	0.997	0.995	0.993
注：0.00H_0 为池顶，1.00H_0 为池底。														

表 F.2.2　底部固定、顶端自由的圆柱壳在壁面温（湿）差作用下的环向力系数（$k_{\theta t}$）

$\frac{H_0^2}{dh}$	0.0H_0	0.1H_0	0.2H_0	0.3H_0	0.4H_0	0.5H_0	0.6H_0	0.7H_0	0.75H_0	0.8H_0	0.85H_0	0.9H_0	0.95H_0	1.0H_0
0.6	3.389	2.562	1.873	1.314	0.875	0.544	0.307	0.149	0.095	0.056	0.028	0.011	0.003	0.000
0.8	3.409	2.466	1.705	1.113	0.674	0.367	0.170	0.059	0.028	0.010	0.001	-0.002	-0.001	0.000
1.0	3.368	2.332	1.502	0.889	0.460	0.184	0.032	-0.031	-0.038	-0.035	-0.026	-0.014	-0.004	0.000
1.5	3.300	2.018	1.069	0.417	0.017	-0.186	-0.243	-0.205	-0.166	-0.121	-0.077	-0.038	-0.010	0.000
2.0	3.309	1.817	0.764	0.089	-0.281	-0.422	-0.409	-0.305	-0.237	-0.168	-0.103	-0.050	-0.013	0.000
3.0	3.371	1.550	0.366	-0.300	-0.587	-0.625	-0.520	-0.351	-0.263	-0.180	-0.108	-0.051	-0.013	0.000
4.0	3.404	1.341	0.104	-0.502	-0.690	-0.639	-0.480	-0.298	-0.215	-0.142	-0.082	-0.037	-0.010	0.000
5.0	3.414	1.161	-0.087	-0.612	-0.702	-0.580	-0.393	-0.219	-0.150	-0.093	-0.051	-0.022	-0.005	0.000
6.0	3.416	1.004	-0.233	-0.672	-0.674	-0.499	-0.300	-0.145	-0.091	-0.051	-0.025	-0.009	-0.002	0.000
7.0	3.416	0.866	-0.347	-0.700	-0.628	-0.417	-0.219	-0.086	-0.045	-0.020	-0.006	0.000	0.001	0.000
8.0	3.415	0.744	-0.436	-0.709	-0.575	-0.342	-0.152	-0.042	-0.014	0.001	0.006	0.005	0.002	0.000
9.0	3.415	0.635	-0.506	-0.703	-0.520	-0.276	-0.100	-0.012	0.007	0.014	0.013	0.008	0.002	0.000
10	3.415	0.538	-0.561	-0.689	-0.466	-0.219	-0.060	0.008	0.019	0.020	0.016	0.009	0.003	0.000
12	3.416	0.368	-0.638	-0.641	-0.365	-0.130	-0.009	0.027	0.027	0.022	0.015	0.007	0.002	0.000

注 1：0.00H_0 为池顶，1.00H_0 为池底；

注 2：环向受拉为正。

附 录 G
（资料性附录）
橡胶止水带常用橡胶的耐介质性能

G.1 三元乙丙的耐介质性能见表 G.1。

表 G.1 三元乙丙的耐介质性能

介质	浓度	温度(℃)	耐腐蚀性	介质	浓度	温度(℃)	耐腐蚀性
乙酸	工业纯	20	尚耐	盐酸	5%水溶液	20	耐
	50%水溶液	20	耐			40	耐
	10%水溶液	20	耐			60	耐
		40	耐			80	耐
		60	尚耐		10%水溶液	20	耐
氨	气体，工业纯	20	耐			40	耐
硫酸铵	10%水溶液	20	耐			60	耐
		40	耐			80	耐
		60	耐		30%水溶液	20	耐
		80	耐			40	耐
	饱和水溶液	20	耐			60	尚耐
		40	耐		36%水溶液	20	耐
		60	耐			40	尚耐
		80	耐			60	不耐
硝酸铵	10%水溶液	20	耐	混合酸	48%硫酸+49%硝酸+3%水	20	尚耐
		40	耐		50%硫酸+50%硝酸	20	尚耐
		60	耐		50%硫酸+31%硝酸+19%水	20	尚耐
	饱和水溶液	20	耐		10%硫酸+87%硝酸+3%水	20	不耐
		40	耐		50%硫酸+33%硝酸+17%水	20	尚耐
		60	耐		10%硫酸+20%硝酸+70%水	20	耐
氢氧化铵	水溶液，冷饱和	20	耐			40	耐
		40	耐	硝酸	6.3% 水溶液	20	耐
		60	耐			40	耐
		80	耐			60	尚耐
		100	尚耐		40% 水溶液	20	耐
氯化铵	10%水溶液	20	耐			40	耐
		40	耐			60	尚耐
		60	耐		65% 水溶液	20	不耐
		80	耐	亚硝气氮氧化	稀释，含水，无水	20	耐
		100	耐			40	耐

		20	耐	物		60	尚耐
	水溶液，冷饱和	40	耐	硫酸	40% 水溶液	20	耐
		60	耐			40	耐
		80	耐			60	耐
		100	耐			80	尚耐
硫化铵	水溶液	20	耐			100	不耐
		40	耐		60% 水溶液	20	耐
		60	耐			40	耐
氢氧化钠	10%水溶液	20	耐			60	尚耐
		40	耐			80	不耐
		60	耐		80% 水溶液	20	耐
	至 40%水溶液	20	耐			40	尚耐
		40	耐			60	不耐
		60	耐		90% 水溶液	20	尚耐
	至 50%水溶液	20	耐			40	不耐
		40	耐		96% 水溶液	20	不耐
		60	耐	氯	含水，97%气	20	尚耐
		80	尚耐		无水，工业纯	20	尚耐
乙醛			尚耐		液体，工业纯	20	不耐
丙酮			耐		饱和	20	尚耐
丙烯酸			不耐	烯烃			不耐
四氯乙烷			耐	碳酸铵			耐

G.2 氯丁橡胶的耐介质性能见表 G.2。

表 G.2 氯丁橡胶的耐介质性能

介质	浓度	温度 (℃)	耐腐蚀性	介质	浓度	温度 (℃)	耐腐蚀性
乙酸	工业纯	20	尚耐	氢氧化钠	10%水溶液	20	耐
	50%水溶液	20	尚耐			40	耐
	10%水溶液	20	耐			60	耐
		40	耐		至 40%水溶液	20	耐
		60	尚耐			40	耐
氨	气体，工业纯	20	耐			60	尚耐
硫酸铵	10%水溶液	20	耐		至 50%水溶液	20	不耐
		40	耐	氯	含水，97%气	20	不耐
		60	耐		无水，工业纯	20	不耐
	饱和水溶液	20	耐		液体，工业纯	20	不耐
		40	耐		饱和	20	尚耐
		60	耐	盐酸	5%水溶液	20	尚耐
硝酸铵	10%水	20	耐			40	不耐

	溶液	40	耐		10%水溶液	20	尚耐
	饱和水溶液	20	耐			40	不耐
		40	耐		15%水溶液	20	耐
氢氧化铵	水溶液，冷饱和	20	耐		25%水溶液	20	耐
		40	耐		30%水溶液	20	不耐
		60	耐		35%水溶液	20	不耐
		80	尚耐	混合酸	48%硫酸+49%硝酸+3%水	20	不耐
氯化铵	10%水溶液	20	耐		50%硫酸+50%硝酸	20	不耐
		40	耐		50%硫酸+31%硝酸+19%水	20	尚耐
		60	耐		10%硫酸+87%硝酸+3%水	20	不耐
		80	耐		50%硫酸+33%硝酸+17%水	20	不耐
	水溶液，冷饱和	20	耐		10%硫酸+20%硝酸+70%水	20	尚耐
		40	耐			40	
		60	耐	硝酸	10%水溶液	20	尚耐
		80	耐		25% 水溶液	20	不耐
硫化铵	水溶液	20	耐		40% 水溶液	20	不耐
		40	耐		50% 水溶液	20	不耐
		60	耐		65% 水溶液	20	不耐
硫化氢		20	耐		75% 水溶液	20	不耐
醋酸	25%	20	不耐		发烟	20	不耐
	95%	20	不耐	亚硝气氮氧化物	稀释，含水，无水	20	耐
磷酸	25%	20	耐			40	尚耐
磷酸	75%	20	耐			60	不耐
甲醇	99.50%	60	耐	碳酸铵			耐
重油		20	不耐	硫酸	30% 水溶液	20	耐
汽油		20	耐		40% 水溶液	20	尚耐
天然气		20	尚耐			40	不耐
二氧化硫(湿)		20	耐		60% 水溶液	20	不耐
二氧化硫(湿)		60	尚耐		80% 水溶液	20	不耐
甲苯		20	不耐		90% 水溶液	20	不耐
苯		20	不耐		98% 水溶液	20	不耐
苯胺		20	尚耐	丙酮		20	耐
硝醛苯		20	不耐	乙醛		20	尚耐
乙醇		80	耐	乙苯		20	不耐
碳酸铵			耐	丙酮			不耐
四氯乙烷			尚耐	烯烃			不耐

附 录 H
（资料性附录）
粘贴式止水带、常用防水材料的基本性能

H.1 粘贴式止水带的基本性能见表 H.1。

表H.1 粘贴式止水带的主要性能指标

序号	项 目			指 标	试验方法
1	拉伸强度（MPa）	横向（23℃）		≥20	GB27789
		纵向（23℃）			
2	拉断伸长率（%）	横向（23℃）		≥300	GB27789
		纵向（23℃）			
3	撕裂强度（kN/m）	横向		≥40	GB27789
		纵向			
4	低温弯折性			-40℃无裂纹	GB/T328.15
5	不透水性（0.4MPa,4h）			不透水	GB27789
6	抗冲击性能（0.5kg.m）			不渗水	GB27789
7	热老化（115℃），672h	拉伸强度保持率（%）	横向	≥90，无起泡、裂纹、分层、粘结和孔洞	GB27789
			纵向		
		拉断伸长率保持率（%）	横向	≥90，无起泡、裂纹、分层、粘结和孔洞	GB27789
			纵向		
8	人工气候加速老化，2500h			无起泡、裂纹、分层、粘结和	GB27789
9	NaCl(10±2)%溶液	拉伸强度保持率（%）	横向	≥90，无起泡、裂纹、分层、粘结和孔洞	GB27789
			纵向		
		拉断伸长率保持率（%）	横向	≥90，无起泡、裂纹、分层、粘结和孔洞	GB27789
			纵向		
		低温弯折性		-40℃无裂纹	GB/T328.15
10	$Ca(OH)_2$饱和溶液	拉伸强度保持率（%）	横向	≥90，无起泡、裂纹、分层、粘结和孔洞	GB27789
			纵向		
		拉断伸长率保持率（%）	横向		
			纵向		
		低温弯折性		-40℃无裂纹	GB/T328.15
11	H_2SO_4(5±1)%溶液	拉伸强度保持率（%）	横向	≥90，无起泡、裂纹、分层、粘结和孔洞	GB27789
			纵向		
		拉断伸长率保持率（%）	横向		
			纵向		
		低温弯折性		-40℃无裂纹	GB/T328.15
12	耐油性能（一般矿物油）	矿物油的含量为80%溶液，温度为25℃，2500h		表面无起泡、裂纹、分层、粘结等现象。	

H.2 水性高分子树脂防水涂料的主要性能见表 H.2。

表 H.2 水性高分子树脂防水涂料的主要性能指标

序号	项 目	指 标	试验方法

1	不挥发物含量（%）		≥65	GB/T 1725
2	干燥时间	表干时间（h）	≤1	GB/T 1728
3		实干时间（h）	≤10	
4	粘结强度（MPa）		≥1.5	GB/T 5210
5	抗拉强度（MPa）		≥5.0	GB/T 16777
6	断裂伸长率（%）		≥250	GB/T 16777
7	撕裂强度（MPa）		≥30	GB/T 529
8	吸水率（MPa）		≤3.0	GB/T 19250
9	不透水性（0.4MPa,4h）		不透水	GB/T 16777
10	耐盐雾性, 1000h		不起泡、不开裂、不剥落	GB/T 1771
11	人工加速老化，3000h		不起泡、不开裂、不剥落	GB/T 1865

H.3 聚氨酯防水涂料应采用脂肪族聚氨酯，基本性能见表 H.3。

表 H.3 聚氨酯防水涂料的基本性能

项　目		指　标
固体含量（%）	单组分	≥85
	多组分	≥92
干燥时间	表干时间（h）	≤12
	实干时间（h）	≤24
拉伸强度(MPa)		≥6.00
断裂伸长率(%)		≥450
撕裂强度(N/mm)		≥30
低温弯折性		-35℃，无裂纹
不透水性		0.4MPa，2h，不透水
加热伸缩率（%）		-4.0~+1.0
粘结强度（MPa）		≥1.0
吸水率(%)		≤5.0
定伸时老化	加热老化	无裂纹及变形
	人工气候老化	无裂纹及变形
热处理 （80℃,168h）	拉伸强度保持率(%)	80~150
	断裂伸长率（%）	400
	低温弯折性	-30℃，无裂纹
碱处理 （0.1%NaOH+饱和 $Ca(OH)_2$ 溶液，168h）	拉伸强度保持率(%)	80~150
	断裂伸长率（%）	400
	低温弯折性	-30℃，无裂纹
酸处理 （2%H_2SO_4 溶液，168h）	拉伸强度保持率(%)	80~150
	断裂伸长率（%）	400

	低温弯折性	-30℃，无裂纹
人工气候老化 (1000h)	拉伸强度保持率 (%)	80~150
	断裂伸长率（%）	400
	低温弯折性	-30℃，无裂纹
燃烧性能		B_2-E(点火 15s，燃烧 20s，Fs≤150mm，无燃烧低落无引燃滤纸)
注 1：人工气候老化、燃烧性能仅外露产品要求测定。 注 2：聚氨酯防水涂料性能指标的试验方法应符合现行国家标准《聚氨酯防水涂料》GB/T 19250 的规定。		

H.4 聚合物水泥防水涂料的基本性能见表 H.4。

表 H.4 聚合物水泥防水涂料的基本性能

项 目		指 标
固体含量（%）		≥70
拉伸强度	无处理（MPa）	≥1.2
	加热处理后保持率（%）	≥80
	碱处理后保持率（%）	≥60
	浸水处理后保持率（%）	≥60
	紫外线处理后保持率（%）	≥80
断裂伸长率	无处理（%）	≥200
	加热处理（%）	≥150
	碱处理（%）	≥150
	浸水处理（%）	≥150
	紫外线处理（%）	≥150
低温柔性（φ10mm 棒）		-10℃ 无裂纹
粘结强度	无处理 （MPa）	≥0.5
	潮湿基层（MPa）	≥0.5
	碱处理（MPa）	≥0.5
	浸水处理（MPa）	≥0.5
不透水性（0.3MPa，2h）		不透水
注：聚合物水泥防水涂料性能试验方法应符合现行国家标准《聚合物水泥防水涂料》GB/T 23445 的规定。		

H.5 聚合物水泥防水砂浆的基本性能见表 H.5。

表 H.5 聚合物水泥防水砂浆的基本性能

项 目		指 标
砂浆试件抗渗压力（MPa）	7d	≥1.0
	28d	≥1.5
粘结强度（MPa），28d		≥2.0，潮湿基面≥1.0
抗压强度（MPa），28d		≥24.0
抗折强度（MPa），28d		≥8.0
柔韧性（横向变形能力）/mm		1.0
耐碱性		无开裂、剥落

耐热性	无开裂、剥落
抗冻性	无开裂、剥落
收缩率（%）	≤0.15
吸水率（%）	≤4.0
注：聚合物水泥防水砂浆的性能试验方法应符合国家现行标准《聚合物水泥防水砂浆》JC/T 984 的规定。	

用词说明

1 为便于在执行本标准（规范、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”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国石油化工行业标准

石油化工水池结构设计规范

SH/T　3132—****

条文说明

****年　北　京

目　　次

1　范
围 ……66
4 基本规定 ……66
5 作用和作用组合……69
6 结构计算……70
7 混凝土水池裂缝控制验算……72
8 抗浮稳定设计……72
9 膜结构水池……72
11 构造要求 ……72
附录C 混凝土水池抗震设计 ……73

石油化工水池设计规范

1 范围

随着近年来国家一系列环保法律法规的出台，对石油化工、煤化工工程中接触、储存有腐蚀性污染介质的水池类构筑物提出了防腐、防渗漏的双重要求。随着污水处理新工艺的应用，工程实践中新出现的膜结构水池、异形结构钢筋混凝土水池等的设计计算方法、构造要求、防腐蚀设计等需进行补充。同时，应当前国家发展新型建筑工业化、绿色建筑、实现“双碳”目标的时代背景要求，补充了工程中已经在使用的预制装配式混凝土结构水池、预应力水池结构的设计要求；结合工程中超长水池的池体材料要求、伸缩缝设置、接缝处的处理及材料要求等积累的工程经验，调研收集、分析验证后进行补充；并对 2013 版规范中的一些计算、构造进行了补充完善。

根据以上补充完善的情况，本次规范修订，名称修改为《石油化工水池结构设计规范》，适用于石油化工、煤化工工程中混凝土池类结构、膜结构水池、泵房地下部分及井、沟类的结构设计。混凝土沟、井可参见地下式水池进行设计。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.12 水池结构对地基承载力要求不高，地基沉降量也不会太大，本次沉降量控制指标结合近年来的工程实践进行了调整。

4.1.13 混凝土水池的地基处理方案，应根据场地工程地址条件，综合考虑水池的使用要求、荷载情况及结构特点、施工条件等进行选择。在确保水池结构安全与正常使用的前提下，尽量利用当地材料、减少处理费用、缩短工期、减少施工对环境的影响。

4.1.15 当混凝土结构表面温度大于 100℃时，对混凝土强度、抗渗等级、热工性能都有影响，现行国家标准《混凝土结构设计标准（2024 年版）》GB/T 50010-2010 第 1.0.2 条第 3 款明确“结构表面温度高于 100℃时”的结构设计“尚应符合专门标准的规定”，故本条要求混凝土水池的介质温度不应高于 100℃。膜结构水池介质温度的要求是根据膜材材料要求提出的。

4.1.16 水池为储水构筑物，为便于检测其防渗性能、防漏性能，对混凝土水池应进行蓄水试验。对于泵房地下部分、地下污油罐池、沟、井可不进行蓄水试验。

4.3 混凝土水池防渗漏与防腐蚀

《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030-2022 的防水要求采用防水等级，主要针对建筑工程、市政工程，要防止地下水、地表水、土壤毛细吸水等外部水渗入结构内部，对工程内部仪器、设备、物资等财产造成影响。而石油化工水池主要是防止池内水、介质渗漏出池体，对地下水、土产生污染，因此本次修订对水池的防水要求由防水等级改为防渗漏等级。

《石油化工工程防渗技术规范》GB/T 50934-2013 实施以来，工程实践中存在部分使用者和有关部门认为防腐涂层、整体防腐面层等防腐层不能防水、防渗，对按防腐蚀规范进行了防腐蚀设计、或按《石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范》SH/T 3132-2013 做了防水设计，设置了防腐层、防水层的建（构）筑物，仍要求设置防渗层，既影响了工程进度，又造成了不必要的投资浪费。

“防渗”是“防止水渗漏”的简称，与“防水”的含义、目的相同。

防腐层，简单来说就是“用耐腐蚀材料制作的防水层”。不是因其自身耐腐蚀，而称为防腐层，而

是因其能保护其所防护的主体不被腐蚀性介质腐蚀，才称作防腐层，是防止防护主体不被腐蚀的防护层的简称。防腐层的要求是：腐蚀性介质不能渗透过防腐层或渗透过防腐层的介质量不会对主体造成腐蚀；而《石油化工工程防渗技术规范》GB/T 50934 中防渗层的要求是：介质渗透过防渗主体的介质量不会对地下水、土造成污染，所以，防腐层的防止水渗漏的要求比防渗层要高的多。做了防腐层后，就不需要再专门设置防渗层。防腐层可以满足防渗漏的要求，但防渗层却不一定能够满足防腐的要求。

本条提及的防腐防渗层是指储存、输送或可能接触腐蚀性介质，且与地下水、土接触的混凝土结构，接触腐蚀性介质一侧表面设置的能够保证结构构件不被腐蚀性介质腐蚀和阻止腐蚀性介质渗漏而污染地下水、土壤环境，具有防腐和防渗漏双重作用的防护层。

目前工程中水池介质无腐蚀、无污染，防渗漏等级可划为三级的水池主要有：消防水池、清水池及池内介质满足排放要求的水池。

表 A.1 中所列构件表面的防渗漏涂层最小厚度是基于腐蚀、涂层不透水性能和防护层耐久年限，根据达西定律，以不同水压、不同耐久年限的渗透量相同为原则计算确定，在防护层达到耐久年限后及时维修更换情况下，可满足在设计工作年限内不因渗漏而污染地下水、土的要求。

表 A.2 给出了混凝土构件防护层采用防渗漏涂层时，对应不同的耐久年限的性能要求，目的是保证防护层的耐久性和防护效果。防渗漏涂层施工前需进行涂层性能检测。

混凝土表面防渗漏涂层的耐久性和防护效果，与混凝土涂装前的表面处理关系很大。良好的表面处理，能使混凝土经久耐用，防护效果也显著。

表 A.3 给出了采用聚合物水泥防水砂浆防渗漏时，对应不同耐久年限、不同水深的最小厚度要求。

新增 4.3.7 条，结合池类构筑物内工艺设备的检修周期、水池表面防渗漏涂层更新难易程度、全寿命周期成本等因素，提出了水池防渗漏涂层耐久年限的要求。

4.5 混凝土水池伸缩缝、诱导缝与施工缝

水池开裂主要是由于中面温差和混凝土干缩引起的收缩应力，为避免池壁产生裂缝，池壁较长时，应设置伸缩缝或诱导缝。

根据相关规范及计算，本次修订，增加了纤维混凝土、装配式混凝土结构、架空式水池的伸缩缝、诱导缝间距的要求，

为减少伸缩缝、诱导缝的设置，本次修订增加了当水池闭合时间可以确定时，伸缩缝、诱导缝的最大间距计算方法。

5 作用和作用组合

本次规范修订将各种作用的术语与《工程结构通用规范》GB55001-2021 的术语取统一。

5.3 可变作用

5.3.5 对地下池或有保温设施的水池一般不计算温（湿）度变化作用，对暴露在大气中的水池，温（湿）度变化是不可忽视的重要作用，必须予以考虑。

结构构件截面上的湿差作用，其效果与温差相似，为此可将湿差折算为“当量温差”计算。

结构构件计算内力时，壁面温差的低温一侧受拉。

矩形水池在中面温差作用下，池壁主要产生轴向应力。

对于圆形水池，中面温差作用下池壁会产生较大的环向应力，环向应力主要集中在池壁底部 0.5H 范围内，池壁平均环向应力相对相同高度和长度的矩形水池要小的多；中面温差作用下池壁底部产生较大的竖向弯矩，产生的环向弯矩则较小，约为竖向弯矩的 1/5。

温差和湿差两项作用不需同时考虑，对夏季应考虑湿差作用，对冬季应考虑温差作用。前者低温收缩与湿涨抵消；后者由于低温面的水分子浓度加大导致水分迁移，致使低温面湿度增加，因此设计时应取两者之大值计算内力，并均属低温一侧受拉。

5.4 地震作用

《石油化工构筑物抗震设计规范》SH3147-2014 中动水压力计算只与水深有关，无论水池尺寸多大，水深一样的水池动水压力大小都一样。

水池的动水压力分为脉动水压力和对流水压力，脉动水压力作用高度与对流水压力作用高度不同，对流部分参与质量随水池尺寸的增加而增加，水池长度(直径)与水深比大于 2.5 时，对流部分质量占比约 52%~83%。而对流部分周期较长，其水平地震影响系数远小于脉动部分，目前规范中水池动水压力均按照脉动部分计算地震作用，对较大的水池，地震作用偏大，故本标准新增附录 C 抗震设计章节，给出了脉动水压力、对流水压力的详细计算方法。

5.5 作用组合

5.5.7 本次修订补充完善了四种工况下，不同水池种类多种作用效应的组合列表。

6 结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 随着污水处理新工艺的应用，工程实践中水池的结构形式日益复杂，很多情况下不能通过简化的计算方法满足水池结构设计的需要。当前各种结构设计计算手段日益完善，本次修订对混凝土结构水池提出宜采用三维有限元分析方法进行整体分析。对于一些体型简单的水池，也可采用本章规定的简化方法计算。

6.1.6 本次修订补充了水池顶端走道板为多跨时，对池壁顶端支承形式的判定条件及反力系数计算。

a) 顶板与壁板整体浇筑时，一般情况下宜采用连续式配筋，当为留施工缝方便而采用分离式配筋时，只有加设抗剪钢筋时（一般为Φ16@300），池壁顶端才能按铰支承，否则应视为自由端。

b) 工程中常遇到池壁较高的水池，如果按竖向单向板计算时，底部弯矩会很大。若想利用池壁顶部的走道板作为支承构件时（变上部自由端为不动铰支承或弹性固定支承），必须满足条文中有关规定：

--- 应设置水平向撑杆（梁或板），撑杆间距与池壁的刚度有关，若按（6.1.6-3、6.1.6-4）式计算，撑杆间距与池壁高度的比值一般应小于 2；

---此时走道板已变成水平向多跨受力构件，因此规定板厚不宜小于 200mm，宽厚比不宜大于 5，并规定走道板应满足水平向受力要求。

6.1.7 为确保底板对壁板的嵌固作用，条文中对底板厚度、外挑长度及按刚性条基设计时的尺寸构造作出具体规定。

6.2 混凝土矩形水池

6.2.2 按竖向单向板计算池壁时，设计者往往容易忽略壁板水平角隅处的局部负弯矩，本条中明确规定了计算方法。

6.2.3 当水池垂直两侧的壁板均按双向板计算时，会出现两侧水平向支座弯矩（固端弯矩）不平衡情况，本条规定了按池壁的线刚度进行一次性分配及弯矩调整的原则。

6.2.4~6.2.6 原规范未给出池壁轴力的计算，本次修订增加了池壁轴力计算，条文中计算的池壁支座反力为相接池壁的轴力。同时，补充完善了承受水（土）压力作用下的的双向受力板的弯矩的计算。

6.2.9 对于三跨以上且柱距相等的多跨无梁板结构，可按经验系数法确定其内力。

6.3 混凝土圆形水池

6.3.6 新增池壁承受水（土）压力作用下，圆柱壳的弯矩及环向力的计算。

6.4 混凝土水池壁面温（湿）差作用的内力计算

6.4.1～6.4.3 由于受气候条件、施工条件以及结构自身的约束和边界条件等因素的影响，使水池温度应力的计算变得十分复杂，尤其是各项计算数据的选取有待进一步积累和确定。在工程设计中，除应根据具体情况作应力计算外，更需要采取综合性措施，以防水池在温（湿）差作用下产生开裂、渗漏：

a) 采取合理的结构形式及保温措施；

b) 采取适宜的施工工艺，如选择合理的施工季节，延长养护期及提高养护质量等，以增加结构抵抗温（湿）度变形的能力；

c) 混凝土的合理选材和恰当配比，如选择低水化热、低收缩的水泥和骨料，恰当的水胶比等，是增强自身的密实性和抗裂性的有效措施；

d) 合理设置矩形水池伸缩缝，除遵守有关规范规定外，尚应结合当地的实践经验；

e) 截面的配筋应尽量采用直径较细而间距较密的设计原则；

f) 必须保证伸缩缝构造的防渗质量；

g) 水池施工完后应抓紧蓄水试验，及时覆土回填，不应长期空池，并应在施工中加强临时防护措施，特别是冬季的防冻措施等。

在 6.4.3 条新增壁面温（湿）差作用下，圆柱壳的弯矩及环向力的计算。

6.5 预应力混凝土水池

6.5.5 本条规定的目的是为了保证预应力对池壁产生最大限度压应力。

7 混凝土水池裂缝控制验算

本章根据现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010，对不同裂缝控制等级的水池采用不同的裂缝控制标准，并按照构件类型给出三级裂缝控制等级构件的最大裂缝宽度计算方法。

8 抗浮稳定设计

水池因抗浮稳定性不能满足而导致浮起、倾斜、开裂等破坏的情况在工程中不乏实例，因此本章对水池抗浮稳定设计进行了规定。

抗浮设防水位（补充数据来源）

9 膜结构水池

9.2 结构设计

9.2.4 膜材的连接是膜结构水池防渗漏的关键环节，本条提出了连接时的具体要求。

11 构造要求

11.1 混凝土水池结构构件

11.1.4 半地下式水池地面处池壁温度变化大易产生开裂，因此本条规定地面上下各 500mm 范围内水平向钢筋加密。根据工程实践，采用补偿收缩混凝土的池壁净高大于 3.6m 时，池壁中部易产生裂缝，因此本条规定在池壁高度水平中线上下各 500mm 范围内的水平钢筋间距不宜大于 100mm。

11.1.5 工程中经常出现整个池壁均按照角隅处配筋的情况，造成池壁用钢量增加，因此本次修订对池壁转角处配筋方式进行了规定。

11.1.7 管线穿越池壁处是池壁产生渗漏的薄弱环节，因此本条对管线穿越池壁处的做法做出了规定。

11.2~11.5 混凝土水池伸缩缝、诱导缝、施工缝

本节的构造措施参考了《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030-2022 提出的明挖法地下工程结构接缝的防水设防措施，并结合石油化工水池的特点细化确定。

伸缩缝处中采用了设中埋式止水带、密封嵌缝材料、橡胶止水条、外贴防水加强层的措施；诱导缝处采用了设中埋式止水带、嵌缝密封料、止水条、外贴防水加强层的措施；施工缝处采用了刷混凝土界面处理剂、设中埋式止水带的措施。

11.5 混凝土水池抗震构造措施

本节的构造措施要求与《石油化工构筑物抗震设计规范》SH3147-2014 的要求一致。

附录 C 混凝土水池抗震设计

C.1 地震作用下的动水压力分为两部分，分别是随池体同步运动的池内液体惯性力产生的脉动压力和池内液体自由晃荡而产生的对流压力。脉动压力和池壁加速度引起的惯性力有关，其自振周期主要集中在反应谱的上升段和水平段，阻尼比一般取 0.05，主要分布在水池下部。对流压力由液体的晃动引起，其自振周期范围为 2~10s，在反应谱的水平段和下降段，阻尼比一般取 0.005，主要分布在水池顶部。

图 C.1.3 的水池地震影响系数曲线与现行国家标准《石油化工钢制设备抗震设计标准》GB50761 的曲线一致。

C.2、C.3 对流水晃动周期系数表、脉动水和对流水质量参与系数表以及总脉动水和对流水作用点高度系数表系参考相关国内外规范计算得出：

1. 矩形水池

1）对流水晃动周期系数：

$$\lambda_c = \sqrt{3.16g\tanh\left[3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\right]}$$

2）脉动水和对流水质量参与系数：

$$\varepsilon_i = \frac{\tanh\left[0.866\left(\frac{L}{H_w}\right)\right]}{0.866\left(\frac{L}{H_w}\right)}$$

$$\varepsilon_c = 0.264\left(\frac{L}{H_w}\right)\tanh\left[3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\right]$$

3）总脉动水和对流水作用点高度系数：

$$\lambda_{hc} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\right]-1}{3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\sinh\left[3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\right]}$$

$$\lambda'_{hi} = \frac{0.866\left(\frac{L}{H_w}\right)}{2\tanh\left[0.866\left(\frac{L}{H_w}\right)\right]} - 0.125$$

$$\lambda'_{hc} = 1 - \frac{\cosh\left[3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\right]-2.01}{3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\sinh\left[3.16\left(\frac{H_w}{L}\right)\right]}$$

2. 圆形水池

1）对流水晃动周期系数：

$$\lambda_c = \sqrt{3.68g\tanh\left[3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\right]}$$

2）脉动水和对流水质量参与系数：

$$\varepsilon_i = \frac{\tanh\left[0.866\left(\frac{D_0}{H_w}\right)\right]}{0.866\left(\frac{D_0}{H_w}\right)}$$

$$\varepsilon_c = 0.23\left(\frac{D_0}{H_w}\right)\tanh\left[3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\right]$$

3）总脉动水和对流水作用点高度系数：

$$\lambda_{hc} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\right] - 1}{3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\sinh\left[3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\right]}$$

$$\lambda_{hi}^{'} = \frac{0.866\left(\frac{D_0}{H_w}\right)}{2\tanh\left[0.866\left(\frac{D_0}{H_w}\right)\right]} - 0.125$$

$$\lambda_{hc}^{'} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\right] - 2.01}{3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\sinh\left[3.68\left(\frac{H_w}{D_0}\right)\right]}$$