

## 目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 基本设计规定	1
4 材料	3
5 荷载及荷载效应组合	4
5.1 一般规定	4
5.2 永久荷载	4
5.3 可变荷载	5
5.4 地震作用	6
5.5 荷载效应组合	6
6 静力计算	7
6.1 一般规定	7
6.2 矩形水池的静力计算	10
6.3 圆形水池的静力计算	13
6.4 矩形水池壁面温（湿）差作用的内力计算	13
7 抗裂及裂缝宽度验算	15
7.1 抗裂验算	15
7.2 裂缝宽度验算	15
8 抗浮稳定设计	16
8.1 一般规定	16
8.2 抗浮稳定验算	17
9 构造要求	18
9.1 一般构造要求	18
9.2 变形缝构造	20
9.3 抗震构造措施	21
附录 A（资料性附录）双向板在非齐顶水（土）压力作用下的弯矩系数	22
附录 B（资料性附录）壁面温（湿）差作用下的弯矩系数表	23
本规范用词说明	24
附：条文说明	25



## Contents

Foreword·····	V
1 Scope·····	1
2 Normative references·····	1
3 Basic design requirements·····	1
4 Materials·····	3
5 Load and load effect combination·····	4
5.1 General requirements·····	4
5.2 Permanent load·····	4
5.3 Variable load·····	5
5.4 Earthquake action·····	6
5.5 Load effect combination·····	6
6 Static calculations·····	7
6.1 General requirements·····	7
6.2 Static calculations of the rectangular tank·····	10
6.3 Static calculations of the circular tank·····	13
6.4 Force calculations due to temperature and humidity difference of rectangular tank wall·····	13
7 Checking of crack resistance and crack width·····	15
7.1 Checking of crack resistance·····	15
7.2 Checking of crack width·····	15
8 Design for anti-floatage·····	16
8.1 General requirements·····	16
8.2 Checking of anti-floatage·····	17
9 Detailing requirements·····	18
9.1 General requirements·····	18
9.2 Expansion joint·····	20
9.3 Seismic details·····	21
Annex A (Informative) Moment coefficients of the two-way slab under soil and ground water pressure·····	22
Annex B (Informative) Moment coefficients effected by temperature difference·····	23
Explanation of wording in this specification·····	24
Add: Explanation of articles·····	25



## 前 言

根据中华人民共和国工业和信息化部《2010年第一批行业标准制修订计划》(工信厅科[2010]74号)的要求,规范编制组经过广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本规范。

本规范共分9章和2个附录。

本规范的主要技术内容是:基本设计规定、材料、荷载及荷载效应组合、静力计算、抗裂及裂缝宽度验算、抗浮稳定设计和构造要求。

本规范是在SH/T 3132—2002《石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范》的基础上修订而成,修订的主要技术内容是:

- 水池的防水等级、抗渗等级、抗冻等级的划分;
- 池壁裂缝宽度的计算方法;
- 取消了水池抗震计算部分;
- 增加了不完全缩缝的设置要求和构造示意图。

本规范由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站负责日常管理,由中石化洛阳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,请寄送日常管理单位和主编单位。

本规范日常管理单位:中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站

通讯地址:河南省洛阳市中州西路27号

邮政编码:471003

电 话:0379-64887187

传 真:0379-64887187

本规范主编单位:中石化洛阳工程有限公司

通讯地址:河南省洛阳市中州西路27号

邮政编码:471003

本规范参编单位:大庆石化工程有限公司

惠生工程(中国)有限公司

长岭炼化岳阳工程设计有限公司

湖南省白银新材料有限公司

武汉源锦特种建材有限责任公司

本规范主要起草人员:毕波 武笑平 王松生 任意 赵福运 刘德文 王成明 吴翠娥

本规范主要审查人员:崔忠涛 邱正华 苏军伟 史恒通 李立昌 章健 嵇转平 杨晓红

黄月年 马振明 熊英 唐健 林杨 王超 张新敏 姚练

本规范2002年首次发布,本次为第1次修订。

# 告 白

本会自成立以来，始终坚持以服务会员、服务社会为宗旨，积极开展学术交流、咨询服务、人才培训等工作，取得了显著成效。现将本会近期工作情况公告如下：

一、学术交流：本会定期举办学术年会、专题研讨会、专家论坛等活动，邀请国内外知名专家学者参加，共同探讨工程教育领域的热点难点问题。

二、咨询服务：本会依托专家资源，为会员单位提供技术咨询、项目论证、成果评价等服务，助力企业技术创新和产业升级。

三、人才培训：本会组织开展工程教育领域的高端研修、短期培训、在职深造等课程，提升从业人员的专业素养和综合能力。

四、会员服务：本会积极维护会员合法权益，提供信息推送、会议优先、资源共享等优质会员服务，增强会员的归属感和凝聚力。

五、社会服务：本会积极参与社会公益事业，开展科普宣传、技术咨询、政策调研等活动，为推动工程教育高质量发展贡献智慧和力量。

六、合作发展：本会广泛寻求与国内外相关组织、企业、高校的合作，共同开展项目合作、资源共享、优势互补，推动工程教育领域的创新发展。

七、信息公开：本会坚持信息公开原则，及时发布重要会议、活动、成果等信息，接受社会监督，提高工作透明度和公信力。

八、联系方式：本会秘书处地址：北京市海淀区中关村大街1号10层1001室。联系电话：010-12345678。电子邮箱：info@bzfxw.com。

中国工程教育学会 秘书处 宣

# 石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范

## 1 范围

本规范规定了石油化工钢筋混凝土水池的材料、荷载、计算及构造的要求。本规范适用于石油化工现浇钢筋混凝土水池、非贮液池及地下式、半地下式泵房的结构设计。

本规范不适用于装配式钢筋混凝土水池、预应力混凝土水池及沉井类结构设计。

本规范不涉及水池地基处理，当需要进行地基处理时，应符合国家现行有关地基处理技术规范的规定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 14684 建设用砂
- GB/T 14685 建设用卵石、碎石
- GB 23439 混凝土膨胀剂
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50191 构筑物抗震设计规范
- SH/T 3147 石油化工构筑物抗震设计规范
- 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

## 3 基本设计规定

3.1 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) 地下式指池顶标高位于地面以下，或高出地面高度不超过 300mm 的水池；
- b) 半地下式指池壁高度一半及一半以上位于地面以下的水池；
- c) 地面式指池壁高度一半以上位于地面以上的水池；
- d) 架空式指池底板底面位于地面以上，用柱基或条基架空的水池。

3.2 水池按其形状一般分为矩形水池和圆形水池两种。

3.3 不设缝的单格矩形水池按池壁长度与高度的比值可划分为深壁池、浅壁池和双向板壁池三种，其划分方法应符合表 3.3 的规定。

3.4 水池按底板结构形式可分为整体式和分离式。

3.5 水池的防水等级划分为四级，各等级防水标准应符合表 3.5 的规定。

3.6 水池均应进行蓄水试验，试验要求应满足 SH/T 3535《石油化工混凝土水池工程施工及验收规范》的规定，并应达到表 3.5 规定的防水标准。

3.7 石油化工常用水池的防水等级，宜按表 3.7 的规定采用。

3.8 石油化工常用水池混凝土的抗渗等级应符合表 3.8 的规定，对于有防渗要求的工程尚应满足《石油化工工程防渗技术规范》的要求。

表 3.3 单格无缝矩形水池分类

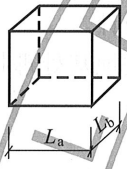
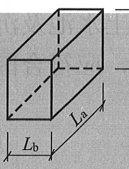
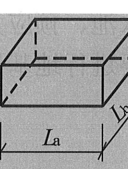
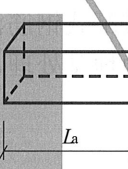
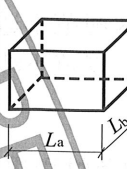
边界条件	深壁池		浅壁池		双向板壁池
	双向深壁池	单向深壁池	双向浅壁池	单向浅壁池	
顶边自由 三边支承	$L_a/H_0 < 0.5$ $L_b/H_0 < 0.5$	$L_b/H_0 < 0.5$ $3 \geq L_a/H_0 \geq 0.5$	$L_a/H_0 > 3$ $L_b/H_0 > 3$	$L_a/H_0 > 3$ $3 \geq L_b/H_0 \geq 0.5$	$3 \geq L_a/H_0 \geq 0.5$ $3 \geq L_b/H_0 \geq 0.5$
四边支承	$L_a/H_0 < 0.5$ $L_b/H_0 < 0.5$	$L_b/H_0 < 0.5$ $2 \geq L_a/H_0 \geq 0.5$	$L_a/H_0 > 2$ $L_b/H_0 > 2$	$L_a/H_0 > 2$ $2 \geq L_b/H_0 \geq 0.5$	$2 \geq L_a/H_0 \geq 0.5$ $2 \geq L_b/H_0 \geq 0.5$
简图					
注：表中 $L_a$ 为长向池壁计算长度， $L_b$ 为短向池壁计算长度， $H_0$ 为池壁计算高度。					

表 3.5 水池防水标准

防水等级	防水标准
一级	不允许渗水，结构表面无湿渍
二级	不允许漏水，结构表面可有少量湿渍；湿渍总面积不应大于总防水面积的 0.1%，任意 100m <sup>2</sup> 防水面积上的湿渍不超过 2 处，单个湿渍的最大面积不大于 0.1m <sup>2</sup> 。
三级	有少量漏水点，不得有线流和漏泥砂，任意 100m <sup>2</sup> 防水面积上的漏水或湿渍点数不超过 7 处，单个漏水点的最大漏水量不大于 2.5L/d，单个湿渍的最大面积不大于 0.3m <sup>2</sup>
四级	有漏水点，不得有线流和漏泥砂，任意 100m <sup>2</sup> 防水面积上的平均漏水量不大于 4L/(m <sup>2</sup> ·d)；整个工程平均漏水量不大于 2L/(m <sup>2</sup> ·d)

表 3.7 常用水池防水等级

防水等级	水池名称
一级	无
二级	地下式、半地下式泵房；污水处理场的调节池、均质池、隔油池、气浮池、生化池、污油池、油泥池、浮渣池、沉淀池和污泥池；污泥脱水池；酸碱中和池；污水预处理池；储焦池；储灰池；液硫池
三级	污水处理场区其他水池；雨水监控池；事故池；冷却塔底水池及吸水池
四级	沥青池、清水池、消防水池等
注 1：设有附加防水层时，可降低一级防水等级，但不低于四级。 注 2：当工艺有规定时，按工艺规定采用。	

表 3.8 水池混凝土的抗渗等级

水池防水等级	二、三级	四级
混凝土抗渗等级 $P_i$	P8	P6
注：表中 $P_i$ 为混凝土抗渗等级，系指龄期为 28d 的混凝土试件，施加 $i \times 0.1$ MPa 水压后满足不渗水指标。		



3.9 建于严寒和寒冷地区的地面式、架空式或半地下式水池的池壁及顶板，宜设置外保温设施；在最冷月平均气温低于 $-3^{\circ}\text{C}$ 的地区，水池壁板及顶板混凝土的抗冻等级应符合表 3.9 的规定。

3.10 水池混凝土的环境温度不得高于 $80^{\circ}\text{C}$ 。

3.11 当水池内介质及水池外水、土对混凝土及钢筋有腐蚀作用时，应按 GB 50046《工业建筑防腐蚀设计规范》的有关规定或进行专门试验确定并采取防腐措施。当介质温度超过 $40^{\circ}\text{C}$ 时，尚应考虑温度对防腐层材料的影响。

表 3.9 水池混凝土抗冻等级

最冷月平均气温	混凝土抗冻等级 F <sub>i</sub>
低于 $-10^{\circ}\text{C}$ (严寒)	F200
$-3^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$	F150

注 1: 表中 F<sub>i</sub> 为混凝土的抗冻等级，用快冻法测试的最大冻融循环次数。  
注 2: 冻融循环次数系指一年内气温从 $+3^{\circ}\text{C}$ 以上降至 $-3^{\circ}\text{C}$ 以下，再回升至 $+3^{\circ}\text{C}$ 以上的交替次数。

3.12 现浇矩形钢筋混凝土水池伸缩缝的最大间距应符合表 3.12 的规定。

表 3.12 现浇矩形钢筋混凝土水池伸缩缝最大间距

单位为 m

混凝土种类	砂土或黏性土地基			岩石或碎石土地基		
	地面式水池	地下式水池或有保温措施	半地下式水池	地面式水池	地下式水池或有保温措施	半地下式水池
普通混凝土	20	30	25	15	20	17
补偿收缩混凝土	30	45	40	25	35	30

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，不受表列数值限制。

3.13 石油化工常用水池的结构安全等级为二级；结构重要性系数取 1.0，抗震设防分类除消防水池为乙类外，其余一般水池为丙类。

3.14 水池地基的沉降应能满足正常生产要求，地基的最大沉降值不宜大于 300mm。

## 4 材料

### 4.1 混凝土

4.1.1 水池混凝土可采用普通混凝土或补偿收缩混凝土。

4.1.2 水池混凝土应满足 GB 50010《混凝土结构设计规范》对混凝土耐久性的基本要求，且应符合下列规定：

- 水池受力构件混凝土的强度等级不应低于 C25；
- 当混凝土的抗冻等级不小于 F200 时，混凝土的强度等级不应低于 C30；
- 补偿收缩混凝土加强带的强度等级不应低于 C30；
- 垫层混凝土强度等级不应低于 C10。

4.1.3 水池混凝土中可根据工程需要掺入减水剂、膨胀剂、防水剂、密实剂、引气剂、复合型外加剂及水泥基渗透结晶型材料，其品种和用量应经试验确定，其技术性能应符合国家现行有关标准的质量要求。

4.1.4 当采用补偿收缩混凝土时，对不同结构部位应明确对限制膨胀率和干缩率指标的要求，膨胀剂掺量应通过试验确定，并应符合 GB 50119《混凝土外加剂应用技术规范》和 JGJ/T 178《补偿收缩混

## SH/T 3132—2013

凝土应用技术规程》中的有关规定。当水池混凝土采用活性骨料时，不宜采用含碱量大于 0.75%的膨胀剂。

4.1.5 用于水池混凝土的水泥应符合下列规定：

- a) 水泥的品种宜采用普通硅酸盐水泥；
- b) 在受侵蚀性介质作用时，应按介质的性质选用相应的水泥品种；
- c) 不同品种或强度等级的水泥不得混合使用。

4.1.6 水池混凝土中的砂、石应符合 GB/T 14684《建设用砂》和 GB/T 14685《建设用卵石、碎石》的规定。

## 4.2 钢筋

4.2.1 钢筋宜采用 HRB400、HRB335、HPB300 钢筋。

4.2.2 直径大于 10mm 的受力钢筋及承受温度应力的钢筋宜采用 HRB400、HRB335 钢筋。

## 5 荷载及荷载效应组合

### 5.1 一般规定

5.1.1 水池结构上的荷载分为下列三类：

- a) 永久荷载：结构自重、土的竖向压力、土的侧向压力、池内水压力、池内物料压力、设备及管线重等；
- b) 可变荷载：顶板活荷载、设备操作荷载、安装检修荷载、地面堆积荷载、雪荷载、地下水压力（包括侧压力、浮托力）、温（湿）度变化作用等；
- c) 地震作用。

5.1.2 进行水池结构计算时，可不考虑风荷载。

5.1.3 地下式水池和有保温设施的半地下式、地面式及架空式水池，可不考虑壁面温（湿）度变化的作用。

5.1.4 无保温设施的半地下式、地面式及架空式的圆形水池和伸缩缝间距符合本规范第 3.12 条规定的半地下式、地面式及架空式的矩形水池，可不计算温（湿）度变化对壁板中面的作用。

5.1.5 水池不考虑竖向地震作用，下列情况下也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) 设防烈度为 6 度和 7 度时的各种水池；
- b) 设防烈度为 8 度时的地下式、半地下式水池和地面式圆形水池。

5.1.6 水池结构构件均应进行承载能力极限状态计算。在承载能力极限状态下，应分别考虑蓄水试验、正常操作、空池和地震作用四种工况进行荷载效应组合，取其最不利情况进行构件承载力设计。

5.1.7 水池结构构件还应按正常使用极限状态验算。对轴心受拉和小偏心受拉构件应按荷载标准组合进行抗裂验算；对受弯、大偏心受压和大偏心受拉构件应按荷载准永久组合并考虑长期作用影响进行裂缝宽度验算；对需要控制变形的结构构件应按荷载准永久组合并考虑长期作用影响进行变形验算。

### 5.2 永久荷载

5.2.1 水池结构上的永久荷载标准值应按下列规定计算：

- a) 结构自重标准值，按构件尺寸与相应材料的重度计算；
- b) 水池顶板覆土的竖向土压力标准值，按覆土厚度与相应填土的重度计算，并乘以竖向土压力系数。当顶板长宽比小于 10 时，竖向土压力系数取 1.0；大于 10 时，取 1.2；
- c) 侧向水土压力标准值：按回填土的重度计算主动土压力；地下水位以下部分，应为主动土压力与地下水静压力之和，此时回填土的重度应按有效重度计算；

主动土压力系数应根据土的抗剪强度确定，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；堆放焦炭可取 1/3；

- d) 池内水压力标准值，按设计水位高度的静水压力计算；

- e) 设备及管线重的标准值,按实际重量采用;
- f) 转动设备转动部分等效静荷载,按设备转动部分重量标准值乘以动力系数后的等效静荷载计算;动力系数取值:对离心泵及电机类设备取 2.0;对刮泥机类设备取 1.2。

5.2.2 各种永久荷载的重度及其分项系数,应按表 5.2.2 的规定取值。

表 5.2.2 永久荷载的重度及分项系数

名称	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	分项系数	备注
结构自重: 钢筋混凝土	25	1.20	当荷载对结构有利时,分项系数取 1.0
素混凝土	23		
砂浆	20		
顶板竖向覆土压力	18	1.20	
侧向土压力: 地下水位以上部分	18	1.27	
地下水位以下部分	取有效重度		
池内水压力: 一般水池	10	1.27	
污水池	10.0~10.8		
储焦池内焦炭	8	1.20	
设备、管线重	按实际	1.10	
转动设备重	按 5.2.1 条第 f 项计算	1.20	

### 5.3 可变荷载

5.3.1 可变荷载的标准值、分项系数、准永久值系数,应按表 5.3.1 的规定取值。

表 5.3.1 可变荷载标准值、分项系数、准永久值系数

荷载名称	标准值/(kN/m <sup>2</sup> )	分项系数	准永久值系数
不上人顶板活荷载	0.7	1.4	0
上人顶板活荷载	1.5	1.4	0.4
设备操作平台活荷载	2.0	1.4	0.5
顶板上安装检修荷载	3.5	1.4	0
地面堆积荷载	10.0	1.3	0.5
地下水(侧压力、浮力)	—	1.27	0.7
温(湿)度变化作用	按 5.3.2, 5.3.3 计算	1.4	1.0

5.3.2 暴露在大气中的水池壁板的壁面温差应按下列式计算:

$$\Delta t_1 = \frac{h/\lambda_c}{1/\beta_c + h/\lambda_c} (T_N - T_A) \quad \dots\dots\dots (5.3.2)$$

式中:

$\Delta t_1$  —— 池壁板内外侧壁面温差, °C;

- $h$  —— 池壁板厚度, m;
- $\lambda_c$  —— 混凝土导热系数, 按表 5.3.2 取值;
- $\beta_c$  —— 混凝土与空气间的热交换系数, 按表 5.3.2 取值;
- $T_N$  —— 池壁板内侧水的计算温度,  $^{\circ}\text{C}$ , 可按年最冷月平均介质温度采用;
- $T_A$  —— 池壁板外侧的大气温度,  $^{\circ}\text{C}$ , 可按当地年最冷月平均温度采用。

表 5.3.2 混凝土的热工系数

系数名称	工作条件	系数值
线膨胀系数 $\alpha_c$	温度在 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围	$1 \times 10^{-5} (1/^{\circ}\text{C})$
导热系数 $\lambda_c$	两侧表面与空气接触	1.55 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$
	一侧表面与空气接触, 另一侧表面与水接触	2.03 $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$
热交换系数 $\beta_c$	冬季混凝土表面与空气之间	23.26 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
	夏季混凝土表面与空气之间	17.44 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

5.3.3 暴露在大气中的池壁湿度当量温差 ( $\Delta t_2$ ) 可取  $10^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.4 计算池壁板温(湿)度变化作用时, 应取壁面温差与湿度当量温差中的较大值 ( $\Delta t$ )。

#### 5.4 地震作用

水池地震作用计算应按 SH/T 3147 《石油化工构筑物抗震设计规范》中的规定计算。

#### 5.5 荷载效应组合

5.5.1 对结构构件作强度计算时, 应采用下列极限状态设计表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad \dots\dots\dots (5.5.1)$$

式中:

- $\gamma_0$  —— 结构重要性系数, 取 1.0;
- $S$  —— 荷载效应组合的设计值;
- $R$  —— 构件承载力设计值, 按 GB 50010 《混凝土结构设计规范》的规定采用。

5.5.2 对结构构件作抗震验算时, 应采用下列极限状态设计表达式:

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad \dots\dots\dots (5.5.2)$$

式中:

- $\gamma_{RE}$  —— 承载力抗震调整系数, 取 0.85。

5.5.3 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列式计算:

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \psi \sum_{j=1}^n \gamma_{Q_j} S_{Q_{jk}} \quad \dots\dots\dots (5.5.3)$$

式中:

- $S_{G_{ik}}$  —— 第  $i$  个永久荷载标准值计算的荷载效应值;
- $\gamma_{G_i}$  —— 第  $i$  个永久荷载分项系数, 按表 5.2.2 取值;
- $S_{Q_{jk}}$  —— 第  $j$  个可变荷载标准值计算的荷载效应值;
- $\gamma_{Q_j}$  —— 第  $j$  个可变荷载分项系数, 按表 5.3.1 取值;
- $\psi$  —— 可变作用的组合系数, 一般取 0.9, 当只有一个可变荷载时, 取 1.0。

5.5.4 水池按承载能力极限状态设计时, 地震作用效应组合设计值可按下列式计算:

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_{E_k} S_{E_k} \quad \dots\dots\dots (5.5.4)$$

式中:

- $\gamma_{E_k}$  —— 水平地震作用分项系数, 取 1.3;
- $S_{E_k}$  —— 按水平地震作用标准值计算的水平地震作用效应。

5.5.5 水池按正常使用极限状态设计时，当构件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，取荷载效应的标准组合，按下式计算：

$$S = \sum_{i=1}^m S_{G_{ik}} + \psi \sum_{j=1}^n S_{Q_{jk}} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

5.5.6 水池按正常使用极限状态设计时，当构件截面处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉状态时，应按裂缝宽度控制，取荷载效应准永久组合并考虑长期作用影响的设计值按下式计算：

$$S = \sum_{i=1}^m S_{G_{ik}} + \sum_{j=1}^n \psi_{q_j} S_{Q_{jk}} \dots\dots\dots (5.5.6)$$

式中：

$\psi_{q_j}$ ——可变荷载的准永久值系数，见表 5.3.1。

5.5.7 水池结构的设计，应根据水池型式及其工况取不同的荷载效应组合，可按表 5.5.7 的规定采用。

表 5.5.7 荷载组合表

工况	水池种类	结构自重	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
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	√	√			√			√	
	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	√		√	√	√				√

6 静力计算

6.1 一般规定

6.1.1 水池结构的计算简图可按下列规定确定：

- a) 敞口水池顶端无约束时，应为自由端；
- b) 顶板为预制板搁置于池壁顶端，无其他连接措施时，池壁顶部应视为自由端；
- 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；当采用分离式配筋且设有抗剪钢筋时，池壁顶端可按铰支承；
- d) 当池壁顶端走道板的厚度不小于 200mm，宽厚比不大于 5，其横向水平支承构件（板或梁）的间距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，按下列条件取为弹性固定支承或不动铰支承（图 6.1.1-1）：
  - 1) 在满足构造要求的情况下，走道板可作为池壁顶端的弹性固定支承，该弹性固定支承的反力系数可按下列式计算：

$$\alpha_T = \frac{b}{b + (1/128)m^4(H_0/n_g)} \dots\dots\dots (6.1.1-1)$$

$$n_g = \frac{I_L}{I_H} \dots\dots\dots (6.1.1-2)$$

式中:

- $\alpha_T$ ——弹性固定支承反力系数;
- $m$ ——走道板水平向计算跨度 ( $L$ ) 与池壁计算高度 ( $H_0$ ) 的比值;
- $b$ ——池壁计算宽度, 可取  $b=1\text{m}$ ;
- $n_g$ ——走道板横截面惯性矩 ( $I_L$ ) 与池壁截面惯性矩 ( $I_H$ ) 的比值;

2) 在满足构造要求的情况下, 当符合下式要求时, 走道板可视为池壁顶端的不动铰支承:

$$n_g \geq 0.25m^4 \frac{H_0}{b} \dots\dots\dots (6.1.1-3)$$

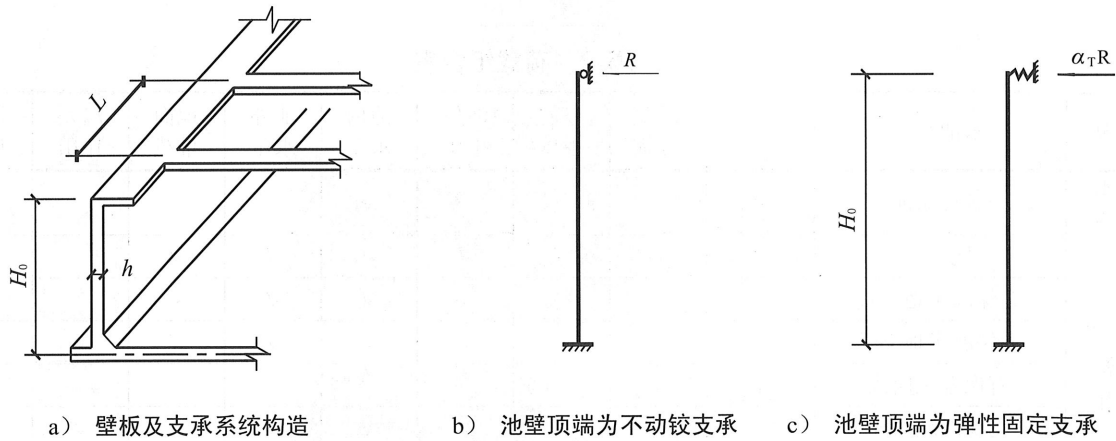


图 6.1.1-1 走道板作为池壁支承构件简图

e) 当满足下列要求时, 水池底板可作为壁板的固定支承:

- 1) 底板厚度应为壁板厚度的 1.2 倍~1.5 倍, (根据地基情况选用, 弱者选小值, 强者选大值), 并须将底板外挑, 外挑宽度不宜小于 250mm;
- 2) 当采用刚性条基时, 底板应满足图 6.1.1-2 的构造要求:

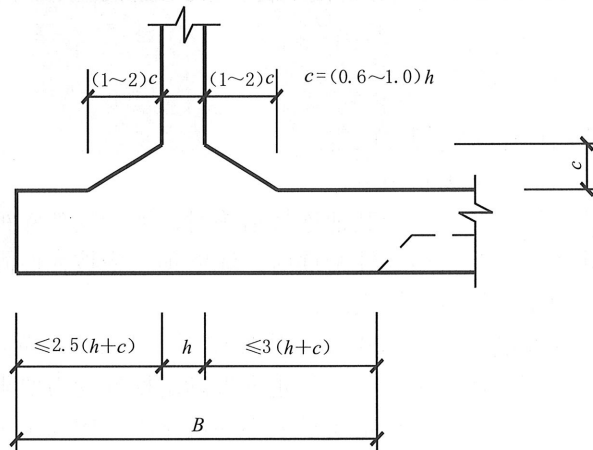


图 6.1.1-2 刚性条基构造

f) 水池相邻壁板之间可按互为固定支承；池壁可作为中间隔板的固定支承；中间隔板一般作为池壁的铰支承。

6.1.2 水池壁板水平向的计算长度，应符合下列规定：

- a) 矩形水池池壁水平向的计算长度，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。

6.1.3 水池壁板计算高度，应符合下列规定：

- a) 当计算简图为池壁下端固定、上端自由时，取水池的净高度；
- b) 当池壁与顶板、底板整体浇筑，计算简图为下端固定、上端铰支（或弹性固定）时，取水池净高加顶板厚度的一半；
- c) 当计算简图为池壁上下端均为弹性固定时，取水池净高加顶板和底板厚度各一半。

6.1.4 矩形水池的壁板，在侧向荷载作用下单向或双向受力的区分条件，应按表 6.1.4 确定。

表 6.1.4 矩形水池壁板在侧向荷载作用下单、双向受力区分条件

壁板的边界条件	$L_0/H_0$	壁板的受力条件
四边支承	$L_0/H_0 < 0.5$	$H_0 > 2L_0$ 部分按水平向单向计算
		底部 $H_0 = 2L_0$ 部分按双向计算， $H_0 = 2L_0$ 处可视为自由端
	$0.5 \leq L_0/H_0 \leq 2$	按双向计算
	$L_0/H_0 > 2$	按竖向单向计算，水平向角隅处负弯矩按 6.2.3 条计算
三边支承、顶端自由	$L_0/H_0 < 0.5$	$H_0 > 2L_0$ 部分按水平向单向计算
		底部 $H_0 = 2L_0$ 部分按双向计算， $H_0 = 2L_0$ 处可视为自由端
	$0.5 \leq L_0/H_0 \leq 3$	按双向计算
	$L_0/H_0 > 3$	按竖向单向计算，水平向角隅处负弯矩按 6.2.3 条计算
注： $L_0$ 为壁板的计算长度； $H_0$ 为壁板的计算高度。		

6.1.5 圆形水池的壁板在侧向荷载作用下的受力条件，应按表 6.1.5 确定。

表 6.1.5 圆形水池壁板在侧向荷载作用下的受力条件

$H_0/s$	壁板的受力条件
$H_0/s \leq 1$	按竖向单向受力板计算
$1 < H_0/s \leq 15$	按圆柱壳计算环向及竖向内力
$H_0/s > 15$	当顶端为自由端时， $H_0/s > 15$ 以上部分的圆柱壳按无约束的自由圆柱壳计算其薄膜内力
注： $s$ 为圆柱壳的弹性特征系数。	

6.1.6 圆柱壳的弹性特征系数，可按下列式计算：

$$s = 0.76 \sqrt{Rh} \dots\dots\dots (6.1.6)$$

式中：

- $R$  —— 圆柱壳的计算半径，m；
- $h$  —— 壁板厚度，m。

6.2 矩形水池的静力计算

6.2.1 单格双向浅壁池的壁板，可按下端固定、上端自由（或铰支）的竖向单向板计算。

6.2.2 单格单向浅壁池的壁板，可按下列方法计算：

- a) 对长方向的壁板，按下端固定、上端自由（或铰支）的竖向单向板计算；也可顺短边方向截取单位截条，按平面框架计算（见图 6.2.2）；
- b) 对短方向壁板，可按上端自由的三边支承板或上端铰支的四边支承板计算。

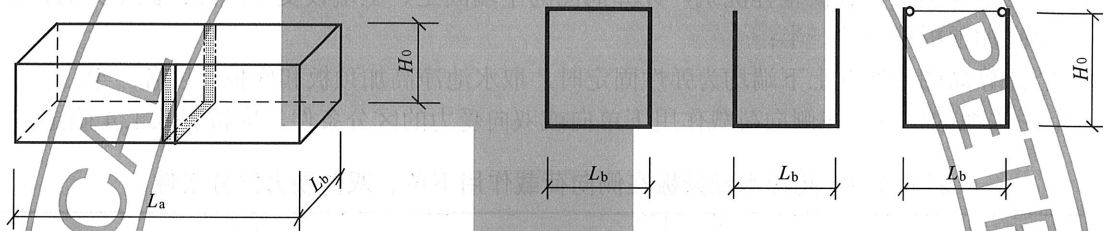


图 6.2.2 单格单向浅壁池按框架计算简图

6.2.3 当按竖向单向板进行壁板计算时，壁板的水平角隅处负弯矩沿池壁高度变化，其最大值可按下列式计算（见图 6.2.3）。

$$M_{jx} = m_j P H_0^2 \dots\dots\dots (6.2.3)$$

式中：

- $M_{jx}$  —— 壁板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 6.2.3 取值；
- $P$  —— 均布荷载强度或三角形荷载的最大强度，kN/m<sup>2</sup>。

表 6.2.3 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
		$h_1 = 1.50 h_2$	-0.218
	铰支	$h_1 = h_2$	-0.076
		$h_1 = 1.50 h_2$	-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
		$h_1 = 1.50 h_2$	-0.054
	铰支	$h_1 = h_2$	-0.035
		$h_1 = 1.50 h_2$	-0.032
	弹性固定	$h_1 = h_2$	-0.029

注： $h_1$ 、 $h_2$  分别为池壁底端和顶端的厚度。



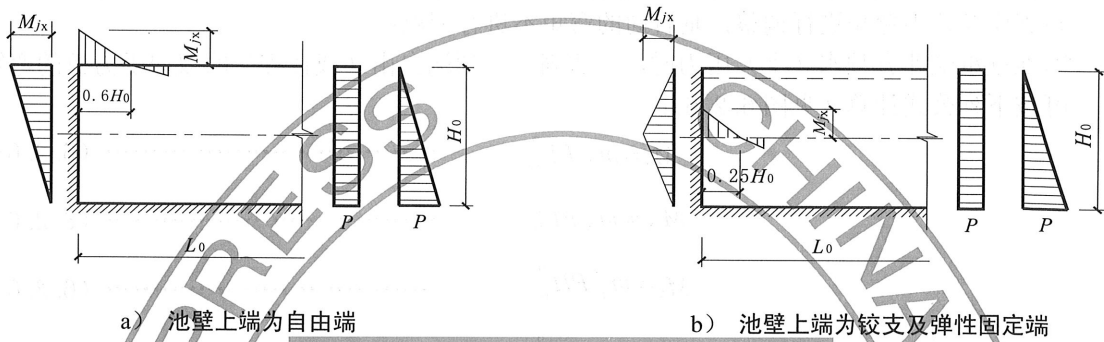


图 6.2.3 池壁板水平向角隅处的局部负弯矩图

6.2.4 单格双向深壁池的壁板，当顶部为自由端或铰支承时，可按下列方法计算：

- a) 壁板的竖向弯矩：从底板向上取  $H_2=2L_b$  ( $L_b$  为水池短边计算长度) 高度范围内，按三边固定顶端自由的双向受力板计算；
- b) 壁板的水平向弯矩：从池顶向下取  $H_1=H_0-H_2$  高度范围，沿池壁板竖向截取单位段，按水平封闭框架计算 (图 6.2.4)。

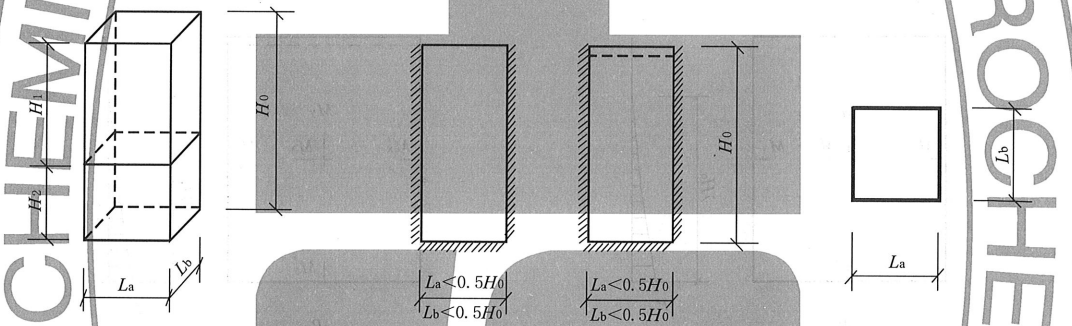


图 6.2.4 单格双向深壁池计算简图

6.2.5 单格单向深壁池的壁板，当顶部为自由端或铰支承时，可按下列方法计算 (图 6.2.5)：

- a) 对短方向的壁板，按 6.2.4 条计算；
- b) 对长方向的壁板，一般按上端自由 (或铰支)，其他三边固定的双向受力板计算；  
当为三边支承且  $L_a/H_0 > 3$  或为四边支承板且  $L_a/H_0 > 2$  时，可按竖向单向板计算，并应按 6.2.3 条计算水平向角隅处的局部负弯矩。

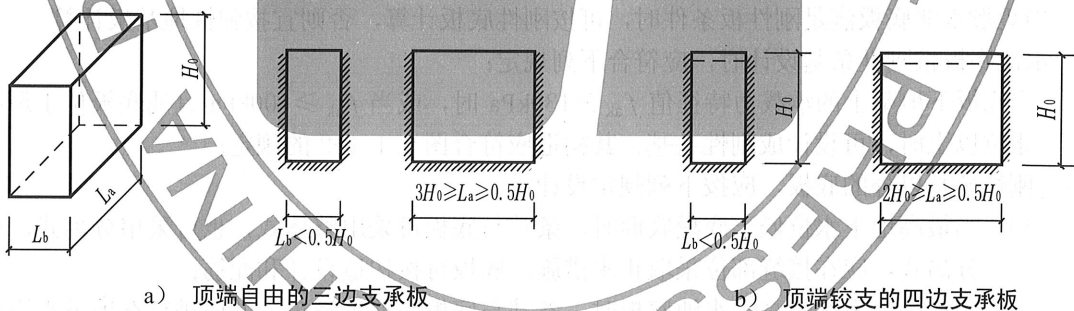


图 6.2.5 单格单向深壁池计算简图

6.2.6 单格双向板壁池的壁板，可按下列方法计算：

- a) 按不同支承条件的三边支承或四边支承板计算；
- b) 当水池垂直的两侧池壁均按双向板计算时，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比进行一次性分配，不考虑分配弯矩向远端的传递，并对每边的水平向支座及跨中弯矩进行调整，垂直向的弯矩不进行调整；

- c) 当池壁承受非齐顶水（土）压力时，三边固定、顶端自由（或铰支）的双向受力板的弯矩，可按下列公式计算（见图 6.2.6）：

$$M_x = m_x PL_0^2 \dots\dots\dots (6.2.6-1)$$

$$M'_x = m'_x PL_0^2 \dots\dots\dots (6.2.6-2)$$

$$M_y = m_y PH_0^2 \dots\dots\dots (6.2.6-3)$$

$$M'_y = m'_y PH_0^2 \dots\dots\dots (6.2.6-4)$$

式中：

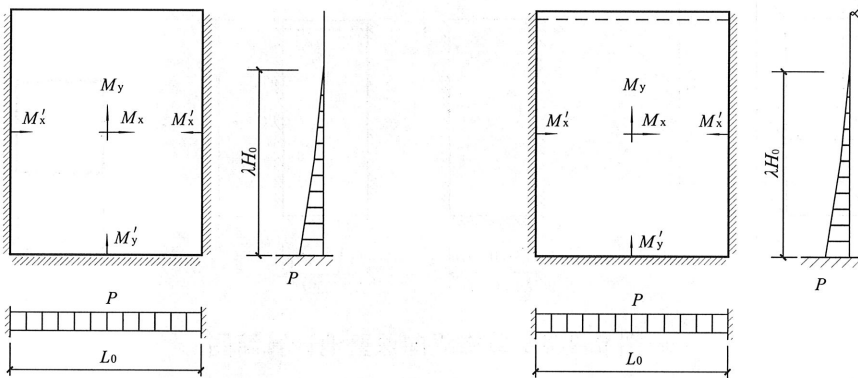
$M_x$ ——三边固定、顶端自由（或铰支）的双向板的水平向跨中弯矩，kN·m/m；

$M'_x$ ——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 A 采用；



a) 三边固定，顶端自由

b) 三边固定，顶端铰支

图 6.2.6 双向板承受非齐顶水（土）压力计算简图

6.2.7 矩形多格水池可根据使用条件按单格水池方法进行计算，并应考虑间隔贮水的工况。

6.2.8 当矩形水池底板满足刚性板条件时，可按刚性底板计算，否则宜按弹性地基板计算。

6.2.9 水池底板按刚性条基设计时，应符合下列规定：

- a) 当底板下地基土的承载力特征值  $f_{ak} \geq 130\text{kPa}$  时，或当  $f_{ak} \geq 100\text{kPa}$  且池底板位于最高地下水位以上时，可设计成刚性条基，其构造应符合图 6.1.1-2 的规定；
- b) 刚性条基以外的底板，应按下列规定设计：
  - 1) 当最高地下水位低于底板底面时，条基与底板可采用整体式，也可采用分离式，如采用分离式，应在接缝部位采取止水措施，底板可按构造设计和配筋；
  - 2) 当最高地下水位高于水池底板时，条基与底板应整体浇筑，并应进行在地下水浮托作用下的底板强度计算。

6.2.10 当水池采用刚性条基且池壁按顶部自由的单向板设计时，应按“池内有水、池外无土”或“池内无水、池外有土”两种工况进行条基的地基承载力验算，条基的地基反力可按直线分布，并应满足抗倾覆要求，抗倾覆安全系数取 1.5。

当刚性条基与底板采用分离式且池壁按顶端自由的单向板设计时，尚应满足抗滑移要求，抗滑移安全系数取 1.3。

6.2.11 当池内设有立柱，且水池的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 圆形水池的静力计算

6.3.1 圆形水池的壁板应按表 6.1.5 确定的受力条件进行内力计算。

6.3.2 当圆形水池的底板为平板时，可按下列方法计算：

- a) 当底板满足刚性板的条件时，可按刚性圆板计算，否则宜弹性地基上的圆板计算；
- b) 按刚性环形条基设计时，当水池底板位于最高地下水位以上时，条基与底板可采用整浇式，也可采用分离式，如采用分离式，应在接缝部位采取止水措施，底板可按构造设计和配筋；当水池底板位于最高地下水位以下时，条基和底板应整体浇筑，底板可假定为嵌固（或铰支）于条基上的圆板，进行在地下水浮力作用下的强度计算。

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：

$$M_r = \frac{19}{96}(1 - \rho^2)qR^2 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-1)$$

$$M_t = \frac{1}{96}(19 - 9\rho^2)qR^2 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-2)$$

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；

$q$ ——均布荷载，kN/m<sup>2</sup>；

$\rho$ ——任意截面计算半径与圆板计算半径的比值；

$R$ ——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：

$$M_r = \frac{1}{96}(7 - 19\rho^2)qR^2 \quad \dots\dots\dots (6.3.4-1)$$

$$M_t = \frac{1}{96}(7 - 9\rho^2)qR^2 \quad \dots\dots\dots (6.3.4-2)$$

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。

### 6.4 矩形水池壁面温（湿）差作用的内力计算

6.4.1 单向受力壁板在壁面温（湿）差的作用下，应按下列公式进行内力计算（见图 6.4.1）：

a) 当壁板两端固定时：

$$M_{\Delta t} = \frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12} \eta_s \quad \dots\dots\dots (6.4.1-1)$$

式中：

$\alpha_c$ ——混凝土线膨胀系数 1/°C，按表 5.3.2 取值；

$E_c$ ——混凝土弹性模量，kN/m<sup>2</sup>；

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

$h$ ——壁板厚度，m；

$\eta_s$ ——折减系数，按 0.65 取用；

$\Delta t$  —— 池壁板内外侧壁面温（湿）差， $^{\circ}\text{C}$ 。

b) 当壁板的一端为固定，另一端为铰支时：

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

式中：

$x$  —— 计算截面至铰支端的距离，m；

$H_0$  —— 池壁计算高度，m。

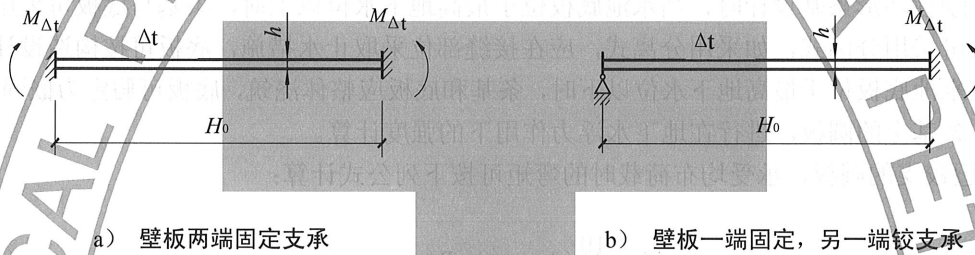


图 6.4.1 单向受力壁板在温（湿）差作用下内力计算简图

6.4.2 双向受力壁板在温（湿）差作用下，应按下列公式进行内力计算：

a) 当壁板为四边固定支承时（见图 6.4.2）：

$$M_{\Delta t} = \frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12(1-\nu_c)} \eta_s \dots\dots\dots (6.4.2-1)$$

式中：

$\nu_c$  —— 混凝土泊松比；

b) 当壁板为四边铰支或三边固定上端铰支承（或自由端）时：

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

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

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， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ；

$k_{xt}$ 、 $k_{yt}$  —— 壁板在 X、Y 方向的弯矩系数，按附录 B 取用。

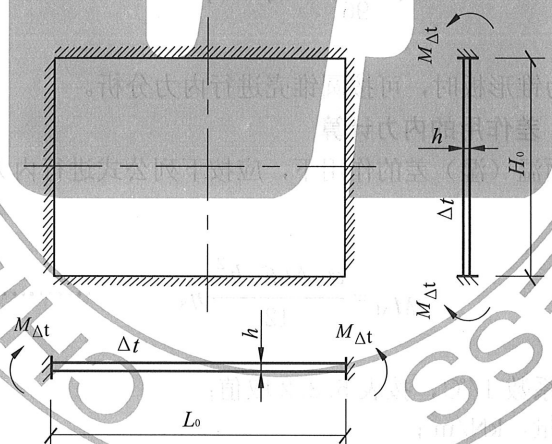


图 6.4.2 四边固定的双向受力板在温（湿）差作用下内力计算简图

## 7 抗裂及裂缝宽度验算

### 7.1 抗裂验算

7.1.1 轴心受拉构件应按下式进行抗裂验算：

$$\frac{N_k}{A_n + \alpha_E A_s} \leq f_{tk} \quad \dots\dots\dots (7.1.1)$$

式中：

$N_k$ ——按荷载效应的标准组合下，构件截面上的计算的轴向力值，N；

$A_n$ ——混凝土的净截面面积， $\text{mm}^2$ ；

$A_s$ ——验算截面内的全部纵向受拉钢筋的截面面积， $\text{mm}^2$ ；

$\alpha_E$ ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；

$f_{tk}$ ——混凝土轴心抗拉强度标准值， $\text{N}/\text{mm}^2$ 。

7.1.2 小偏心受拉构件应按下式进行抗裂验算：

$$N_k \left( \frac{e_0}{W_0} + \frac{1}{A_0} \right) \leq f_{tk} \quad \dots\dots\dots (7.1.2-1)$$

$$A_0 = A_n + \alpha_E A_s \quad \dots\dots\dots (7.1.2-2)$$

式中：

$e_0$ ——构件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， $\text{mm}^3$ ；

$A_0$ ——构件换算截面面积， $\text{mm}^2$ 。

### 7.2 裂缝宽度验算

7.2.1 水池构件最大裂缝宽度 ( $w_{\max}$ ) 应符合下列规定。

a) 防水等级为四级的水池  $w_{\max} \leq 0.25\text{mm}$ ；

b) 防水等级为二级和三级的水池  $w_{\max} \leq 0.20\text{mm}$ 。

7.2.2 受弯、偏心受压和大偏心受拉构件，按荷载效应准永久组合并考虑长期作用影响计算最大裂缝宽度，可按下列公式计算：

$$w_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_s}{E_s} (1.9c_s + 0.08 \frac{d}{\rho_{te}}) \quad \dots\dots\dots (7.2.2-1)$$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_s} \quad \dots\dots\dots (7.2.2-2)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \quad \dots\dots\dots (7.2.2-3)$$

式中：

$\alpha_{cr}$ ——构件受力特征系数，对受弯、偏心受压构件取  $\alpha_1=1.9$ ，对偏心受拉构件取  $\alpha_1=2.4$ ；

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

$\sigma_s$ ——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 7.2.3 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；

$\rho_{te}$ ——以有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率，当  $\rho_{te} < 0.01$  时，取  $\rho_{te}=0.01$ ；

$A_{te}$ ——有效受拉混凝土截面面积， $\text{mm}^2$ ，对矩形截面  $A_{te}=0.5bh$ ， $b$  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,  $\text{mm}^2$ ;

$d$ ——受拉钢筋直径,  $\text{mm}$ 。

7.2.3 受弯、偏心受压和大偏心受拉构件, 受拉区纵向钢筋的应力 ( $\sigma_s$ ), 可按下列公式计算:

a) 受弯构件纵向受拉钢筋的应力:

$$\sigma_s = \frac{M_q}{0.87A_s h_0} \quad \dots\dots\dots (7.2.3-1)$$

b) 偏心受压构件纵向受拉钢筋的应力:

$$\sigma_s = \frac{N_q(e-z)}{A_s z} \quad \dots\dots\dots (7.2.3-2)$$

$$z = [0.87 - 0.12 \left(\frac{h_0}{e}\right)^2] h_0 \quad \dots\dots\dots (7.2.3-3)$$

$$e = \eta_s e_0 + y_s \quad \dots\dots\dots (7.2.3-4)$$

$$\eta_s = 1 + \frac{1}{4000 e_0 / h_0} \left(\frac{l_0}{h}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (7.2.3-5)$$

c) 大偏心受拉构件纵向受拉钢筋的应力:

$$\sigma_s = \frac{N_q e'}{A_s (h_0 - a'_s)} \quad \dots\dots\dots (7.2.3-6)$$

式中:

$A_s$ ——偏心受拉构件为受拉较大边的纵向钢筋截面面积, 较大边的纵向钢筋截面面积对受弯、偏心受压构件为受拉区纵向钢筋截面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$e'$ ——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,  $\text{mm}$ ;

$e$ ——轴向压力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离,  $\text{mm}$ ;

$e_0$ ——荷载准永久组合下的初始偏心距, 取为  $M_q/N_q$ ,  $\text{mm}$ ;

$z$ ——纵向受拉钢筋合力点至截面受压区合力点的距离,  $\text{mm}$ ; 且不大于  $0.87h_0$ ;

$l_0$ ——偏心受压构件计算长度;

$h_0$ ——截面有效高度;

$\eta_s$ ——使用阶段的轴向压力偏心距增大系数, 当  $l_0/h \leq 14$  时, 取  $\eta_s = 1.0$ ;

$y_s$ ——截面重心至纵向受拉钢筋合力点的距离,  $\text{mm}$ ;

$N_q$ 、 $M_q$ ——按荷载效应的准永久组合计算的轴向力、弯矩。

## 8 抗浮稳定设计

### 8.1 一般规定

8.1.1 当地下式及半地下式水池承受地下水浮力时, 应进行水池结构的整体抗浮稳定验算; 当水池内设有立柱、隔墙等支承结构时, 还应验算其支承区域内的局部抗浮稳定性。

8.1.2 计算抗浮力时, 不应计入下列作用: 池内贮水重、上部设备重、池内物料重及池壁与土之间的摩擦力。

8.1.3 计算抗浮力时, 池顶覆土的重度宜取  $16\text{kN/m}^3$ ; 池底板外挑部分上部填土的重度宜取  $18\text{kN/m}^3$ , 且不应考虑其扩散角的影响。

8.1.4 水池结构抗浮稳定安全系数应按表 8.1.4 的规定取值。

表 8.1.4 抗浮稳定安全系数

抗浮内容	水池类别	验算部位	安全系数 $K_s$ ( $K_{sn}$ )
整体抗浮稳定	所有	整体	1.05
局部抗浮稳定	贮液池	池内局部区格或局部单元	1.15
		边端单元	1.05
	非贮液池	池内局部区格或局部单元	1.27
		边端单元	1.15

## 8.2 抗浮稳定验算

## 8.2.1 水池结构应按下列规定进行整体抗浮稳定验算:

a) 水池结构的整体抗浮稳定性应满足下式要求:

$$\frac{G_k}{Q_f} \geq K_s \quad \dots\dots\dots (8.2.1-1)$$

式中:

 $G_k$ ——水池整体抗浮力标准值, kN; $Q_f$ ——作用于水池底板(或平衡层)底面上的浮力标准值, kN; $K_s$ ——整体抗浮稳定安全系数, 按表 8.1.4 的规定取用;

b) 作用于水池底板(或平衡层)底面上的浮力按下式计算:

$$Q_f = \gamma_w H_d A \quad \dots\dots\dots (8.2.1-2)$$

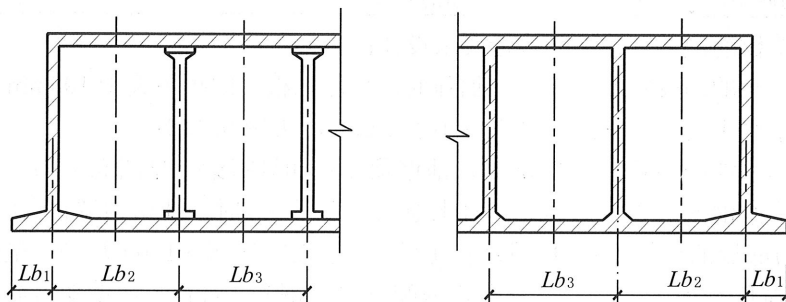
式中:

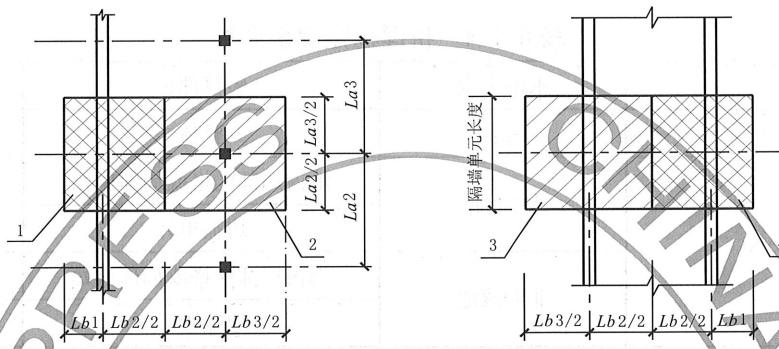
 $\gamma_w$ ——水的重度, kN/m<sup>3</sup>; $H_d$ ——最高地下水距水池底板(或平衡层)底面的距离, m; $A$ ——水池底板(或平衡层)底面的面积, m<sup>2</sup>。

8.2.2 设有中间立柱或隔墙等支承构件的水池, 局部区格或局部单元(见图 8.2.2)的抗浮稳定性应满足下式要求:

$$\frac{G_n}{\gamma_w H_d A_n} \geq K_{sn} \quad \dots\dots\dots (8.2.2)$$

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, m<sup>2</sup>; $K_{sn}$ ——局部抗浮稳定安全系数, 按表 8.1.4 的规定取值。



1—边墙区格；2—中间区格；3—中间隔墙单元；4—边墙单元

图 8.2.2 局部区格局部单元抗浮

8.2.3 当水池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。

9 构造要求

9.1 一般构造要求

9.1.1 水池的壁板、中间隔板及底板的厚度不宜小于 200mm；顶板的厚度不宜小于 150mm；当底板采用分离式时，中间部位底板厚度不宜小于 150mm；当壁板或顶板采用梁（柱）板式结构时，板的厚度不宜小于 100mm。

9.1.2 水池受力钢筋的混凝土保护层厚度应符合表 9.1.2 的规定。处于腐蚀性环境中的水池尚应满足 GB 50046《工业建筑防腐蚀设计规范》的要求。

表 9.1.2 混凝土保护层厚度

构件类别	工作条件	保护层厚度 mm
顶板、壁板	与土、水接触	30
	与污水接触	35
梁、柱	与土、水接触	35
	与污水接触	40
底板	有垫层的下层钢筋	40
	无垫层的下层钢筋	70

注 1：顶板、壁板的混凝土净保护层最小厚度不应小于 20mm；梁、柱内箍筋的混凝土净保护层最小厚度不应小于 25mm。  
 注 2：不与水、土接触的构件，其钢筋的混凝土保护层最小厚度应满足 GB 50010《混凝土结构设计规范》的规定。  
 注 3：当水池位于沿海环境，受盐雾侵蚀严重时，构件最外层钢筋的混凝土保护层最小厚度不应小于 45mm。  
 注 4：当水池构件外表面设有水泥砂浆抹面或其他涂料等质量确有保证的保护措施时，表中所述的混凝土保护层厚度可酌情减小，但不得低于处于正常环境的要求。

9.1.3 敞口水池壁板的顶端宜按下列构造要求设计：

- a) 敞口水池壁板的顶端宜设置水平向加强筋，每侧三根，间距不大于 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 9.1.3；
- b) 当敞口矩形水池的边长大于 20m 时，池壁顶端宜加设暗梁，见图 9.1.3；
- c) 当敞口矩形水池的边长大于 30m，且水池高度大于 3m 时，池壁顶端宜设肋梁，见图 9.1.3。

9.1.4 水池壁板与底板的连接处宜设置腋角，腋角高度宜为 (0.6~1.0) h (h—壁板厚度) 且不小于 150mm，腋角的高宽比宜为 1:1~1:2；腋角内应配置斜向钢筋，直径与池壁受力筋相同，间距宜为池壁受力筋间距的两倍。



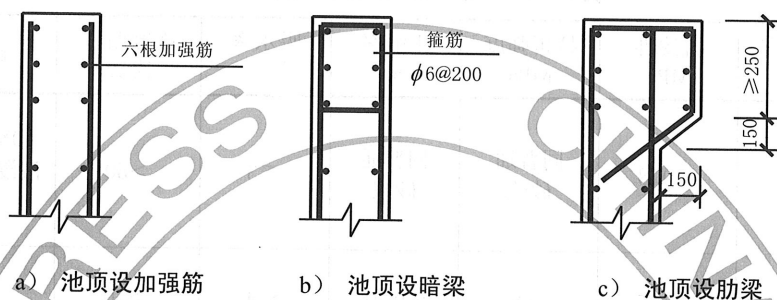


图 9.1.3 敞口水池池壁顶端构造

## 9.1.5 钢筋混凝土水池的配筋应符合下列构造要求:

- 单向受力壁板，应将竖向的受力钢筋置于池壁外侧，水平分布筋置于内侧；双向受力壁板，为便于施工宜将水平钢筋置于池壁外侧，竖向钢筋置于池壁内侧；
- 受力钢筋直径不宜小于 10mm，钢筋间距宜为 100mm~200mm；
- 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；
- 受力钢筋的最小配筋率应符合表 9.1.5-1 的规定；
- 当采用构造配筋时，其内、外侧构造配筋的配筋率均不宜小于 0.15%；
- 受拉钢筋的最小锚固长度 ( $L_a$ ) 应符合表 9.1.5-2 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；
- 受力钢筋的接头可采用焊接接头，也可采用搭接绑扎接头，同一截面处的接头面积不应超过 50%，采用搭接时搭接长度应不小于  $1.4 L_a$ 。

9.1.6 防水等级为二级的水池，应在池壁和底板的内侧表面做防水砂浆抹面，聚合物水泥防水砂浆厚度宜为 10mm~12mm，掺外加剂或掺合料的防水砂浆厚度宜为 18mm~20mm，防水砂浆的性能应符合表 9.1.6 的规定。当水池需采取防腐措施时，应采用防水性能较好的防腐涂料，将防水、防腐蚀二为一。

9.1.7 水池的壁板和底板上不得使用贯穿性埋件，埋件尾部距另一侧混凝土表面距离不应小于构件厚度的  $1/4$ ，且不应小于 100mm。

9.1.8 当管线穿过池壁时，宜设刚性或柔性防水套管。

表 9.1.5-1 受力钢筋最小配筋率 (%)

分类		混凝土强度等级 $\leq$ C35
受压构件	全部纵向受压钢筋	0.6
	一侧纵向受压钢筋	0.2
受弯、偏心受拉、轴心受拉构件每一侧的受拉钢筋		0.25 和 $45 f_t / f_y$ 中的较大者

注 1: 当采用 HRB400 钢筋时，受压构件全部纵向钢筋的最小配筋率，可按表中规定减少 0.05。  
注 2: 表中  $f_t$  和  $f_y$  分别为混凝土和钢筋的抗拉强度设计值。

表 9.1.5-2 受拉钢筋最小锚固长度  $L_a$ 

钢筋种类	混凝土强度等级		任何情况最小 $L_a$ mm
	C25	C30	
HPB300	$34d$	$30d$	$\geq 200$
HRB335	$33d$	$30d$	
HRB400	$40d$	$36d$	

注:  $d$  为受拉钢筋直径，当  $d$  大于 25mm 时， $L_a$  应乘以修正系数 1.1。

表 9.1.6 防水砂浆主要性能要求

防水砂浆种类	粘结强度 MPa	抗渗性 MPa	抗折强度 MPa	干缩率 %	吸水率 %	冻融循环次数	耐碱性	耐水性 %
掺外加剂、掺合料的防水砂浆	>0.6	≥0.8	同普通砂浆	同普通砂浆	≤3	>50	10%NaOH 溶液浸泡 14d 无变化	—
聚合物水泥防水砂浆	>1.2	≥1.5	≥8	≤0.15	≤4	>50	—	≥80

9.1.9 在水池壁板上开孔时，应符合下列构造要求：

- a) 孔径不大于 300mm 时，板内钢筋可不切断，绕过孔口配置，另在开孔处板的内外侧各增设一根  $\phi 12$  环筋加强；
- b) 孔径（或矩形孔边长）大于 300mm 且小于 800mm 时，板内钢筋在孔口处切断，另配加强筋，加强筋的截面面积不应小于被切断钢筋的面积；矩形孔口的四角尚应加设斜筋，圆形孔口尚应加设环筋及辐射筋；
- c) 孔径（或矩形孔边长）不小于 800mm 时，应在开孔的周边设置暗梁或肋梁。

9.2 变形缝构造

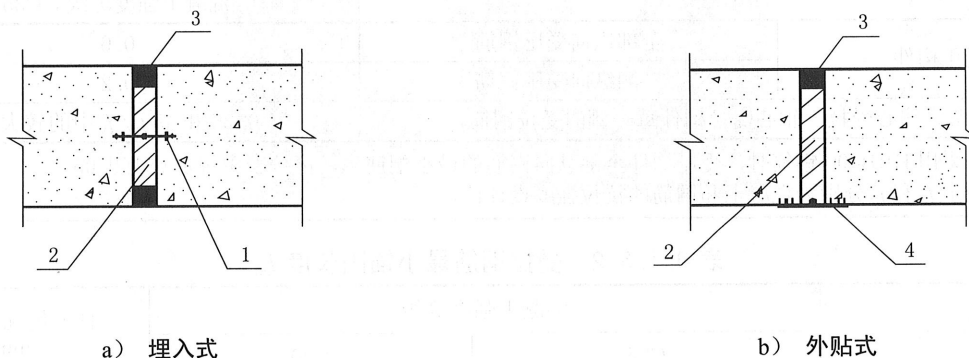
9.2.1 水池伸缩缝的宽度按计算确定，一般情况下，可取 20mm~30mm，水池的伸缩缝应做成贯通式。

9.2.2 水池伸缩缝的防水措施应由止水带、嵌缝板和嵌缝密封料三部分构成，止水带可采用埋入式和外贴式两种（见图 9.2.2）。外贴式止水带常用于水池的底板。

9.2.3 水池池壁宜设置不完全缩缝，间距宜为 8m~10m，不完全缩缝应设置止水带。缝内应填置嵌缝密封料（见图 9.2.3）。

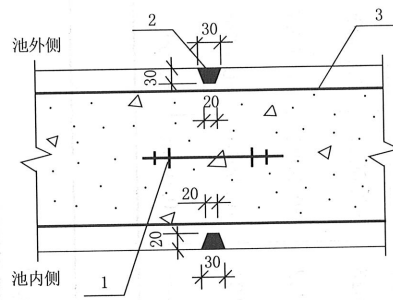
9.2.4 止水带的选择，应根据伸缩缝变形量及水压、工作环境、经济因素等条件综合考虑确定。止水带材质应考虑介质的腐蚀性影响，当遇有含弱酸、碱性的水时宜选用氯丁橡胶止水带，当遇有含油类的水时，选用丁晴橡胶止水带。

9.2.5 嵌缝板宜选用具有适应变形功能的板材；嵌缝密封料应采用混凝土建筑接缝用密封胶。材料性能、规格尺寸应满足相应的材料标准的规定。



1—埋入式止水带；2—嵌缝板；3—嵌缝密封料；4—外贴式止水带

图 9.2.2 伸缩缝构造



1—埋入式止水带；2—嵌缝密封料；3—纵向钢筋

图 9.2.3 不完全缩缝示意

9.2.6 伸缩缝处附加钢筋构造，可按图 9.2.6 的形式配置。

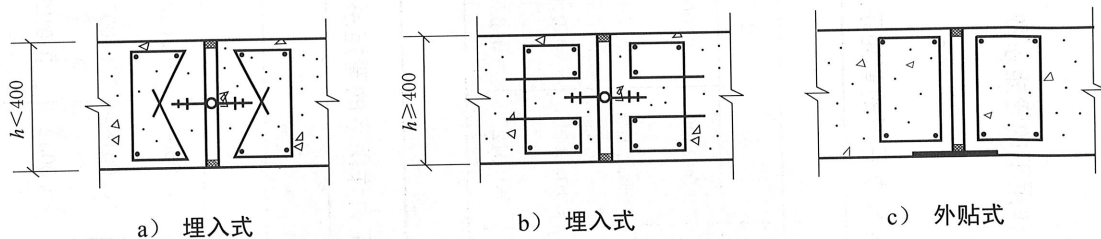


图 9.2.6 变形缝处附加钢筋示意

9.2.7 伸缩缝中的止水带与构件混凝土表面的距离不应小于止水带宽度的 1/2，当构件的厚度不能满足要求时，宜将伸缩缝两侧构件局部加厚。

### 9.3 抗震构造措施

9.3.1 当水池顶板采用预制板时，应符合下列抗震构造要求：

- 预制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  $\phi 6$  钢筋，用 M10 水泥砂浆灌缝；
- 预制板与梁的连接应采用预埋件焊接，每块板至少焊三个角；
- 当设防烈度为 8 度、9 度时，预制板与池壁应采取埋件焊接；
- 当设防烈度为 9 度时，宜在预制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。

9.3.2 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。

9.3.3 当设防烈度为 8 度时，池内立柱的配筋率不宜少于 0.6%；9 度时不宜少于 0.8%。立柱上下端 1/6 净高度范围内的箍筋应加密，间距不大于 100mm。立柱顶端与顶板构件之间应有可靠连接。

9.3.4 设防烈度 6 度及其以上地区的钢筋混凝土水池，受拉钢筋的锚固长度应在表 9.1.5-2 规定的基础上再增加  $5d$ ，当设防烈度为 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的长度不应小于 1000mm。

附录 A

(资料性附录)  
双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数

双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数见表 A.1、表 A.2。

表 A.1 三边固定、顶端自由双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数 ( $m_x$ 、 $m_x'$ 、 $m_y$ 、 $m_y'$ )

$L_0/H_0$	0.50			0.75			1.00			1.50			2.00			3.00			
	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	
$\lambda$																			
$m_x$	+0.0072	+0.0152	+0.0043	+0.0137	+0.0016	+0.0072	+0.0006	+0.0035	+0.0004	+0.0023	+0.0001	+0.0000							
$m_x'$	-0.0160	-0.0336	-0.0115	-0.0295	-0.0050	-0.0165	-0.0019	-0.0084	-0.0010	-0.0052	-0.0004	-0.0030							
$m_y$	+0.0016	+0.0029	+0.0029	+0.0050	+0.0033	+0.0075	+0.0030	+0.0109	+0.0025	+0.0104	+0.0016	+0.0065							
$m_y'$	-0.0058	-0.0093	-0.0078	-0.0158	-0.0101	-0.0235	-0.0127	-0.0359	-0.0144	-0.0461	-0.0166	-0.0608							

注:  $\lambda$  为水(土)压力高度与壁板计算高度  $H_0$  之比值。

表 A.2 三边固定、顶端铰支承双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数 ( $m_x$ 、 $m_x'$ 、 $m_y$ 、 $m_y'$ )

$L_0/H_0$	0.50			0.75			1.00			1.50			2.00			3.00			
	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	
$\lambda$																			
$m_x$	+0.0072	+0.0152	+0.0043	+0.0137	+0.0016	+0.0070	+0.0005	+0.0028	+0.0004	+0.0013	+0.0001	+0.0005							
$m_x'$	-0.0160	-0.0336	-0.0115	-0.0295	-0.0050	-0.0163	-0.0018	-0.0078	-0.0009	-0.0040	-0.0003	-0.0014							
$m_y$	+0.0016	+0.0029	+0.0029	+0.0050	+0.0033	+0.0078	+0.0032	+0.0125	+0.0030	+0.0145	+0.0029	+0.0154							
$m_y'$	-0.0058	-0.0093	-0.0078	-0.0158	-0.0101	-0.0234	-0.0124	-0.0335	-0.0133	-0.0380	-0.0136	-0.0402							

附录 B  
(资料性附录)

壁面温(湿)差作用下的弯矩系数

壁面温(湿)差作用下的弯矩系数见表 B。

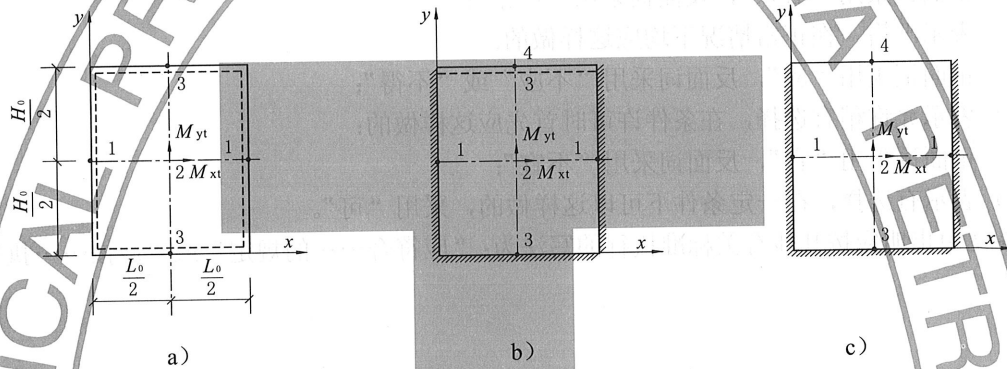


表 B 温(湿)差  $\Delta t$  作用下的弯矩系数  $k_{xt}$ 、 $k_{yt}$

点位	图号	系数 (k)	$L_0/H_0$								
			0.5	0.75	1	1.25	1.50	1.75	2	2.50	3
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	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								

## 本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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

# 石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范

SH/T 3132—2013

条文说明

2013 北京





## 目 次

1 范围 .....	29
3 基本设计规定 .....	29
4 材料 .....	30
5 荷载及荷载效应组合 .....	31
6 静力计算 .....	31
7 抗裂及裂缝宽度验算 .....	35
8 抗浮稳定设计 .....	35
9 构造要求 .....	36



# 石油化工钢筋混凝土水池结构设计规范

## 1 范围

在石化行业中，绝大部分采用现浇钢筋混凝土水池。由于预制壁板装配整体式水池的接缝处易形成渗漏点，在工程中已较少使用。对于无粘结预应力混凝土水池，因其施工难度较大，使用效果也不甚理想，石化行业工程中也已较少使用。

鉴于以上情况，本规范的使用范围限制为：石油化工企业常见的现浇钢筋混凝土水池。当然，顶板还是可以采用预制板的。

## 3 基本设计规定

3.1 不同埋置情况下的水池，其荷载取值、结构计算及构造要求均有所不同。本规范按埋置情况将水池划分为四种类型，并给出了明确定义，以使执行过程中统一。

3.3 按池壁的长高比将水池划分为深壁池、浅壁池和双向板壁池，基本反应了各种水池壁板的受力情况，也和本规范第6章静力计算部分相呼应。

3.5 水池防水等级及渗漏标准的划分，参照了 GB 50108《地下工程防水技术规范》的划分方法。随 GB 50108 的修订本规范对表 3.5 进行了局部修订。

3.6 水池为储水构筑物，为便于检测其防渗性能、防漏性能，应进行蓄水试验。但对于地下式、半地下式泵房，由于其特殊的工作性质，可不进行蓄水试验。

3.7 石油化工企业常见水池的防水等级是按其重要性、介质腐蚀程度及防水要求，并结合《石油化工防渗工程技术规范》的要求对原表进行了修订。考虑到同样是污水处理的某水池，炼油企业与化工企业其介质的腐蚀程度会有较大差别的具体情况，条文用词使用了“宜”，并明确规定：“当工艺有规定时，按工艺规定采用”，给设计者留有余地。

3.8 随着目前施工水平、材料科学水平的提高，以及环境保护要求的提高，本次修订相应提高了对水池混凝土抗渗等级的要求，将水池最低抗渗等级由原来的 S4 提高到 P6。同时还应注意，在有防渗要求的区域，设计水池时，对其材料和构造有更严格的要求，所以除满足本规范要求外，尚应满足《石油化工工程防渗技术规范》的要求。

3.9 对建在寒冷地区水池混凝土的抗冻等级按照 CECS 138: 2002《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》对原表进行修订，并采用目前更合理的快冻法检验抗冻等级，用符号 F 表示（原规范采用慢冻法确定的抗冻标号，采用符号 D 表示）。快冻法的试验方法应满足 GB/T 50082《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》的要求。

3.10 在常温下，由于自身的密实性，混凝土均具有一定的抗渗性能，而当混凝土用于具有一定温度的工作环境时，其抗渗能力将随着温度的提高而降低，且温度越高抗渗能力降低越显著，当温度超过 250℃ 时，混凝土几乎失去了抗渗能力。见表 1 的试验资料。

由于水化硫铝酸钙（钙矾石）在 80℃ 以上会分解，导致强度下降，故规定硫铝酸钙类，硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂，不得用于长期处于环境温度为 80℃ 以上的工程。（见 GB 50119《混凝土外加剂应用技术规范》及其条文说明）。

本规范所指的环境温度，不仅包含正常操作阶段的介质温度，还包括蓄水试验时的水温。

表 1 不同温度下防水混凝土抗渗性能

温度/℃	抗渗压力/MPa
常温	8
100	1
150	8
200	7
250	6
300	0.4

3.11 腐蚀性介质对建筑材料的腐蚀性等级的划分是按常温介质划定的，在温度大于 40℃的介质作用下各类介质的腐蚀性会发生变化，有些腐蚀程度会提高。在实践中，曾出现过温度对防腐层产生破坏的工程实例。某厂 PTA 装置污水处理场的事故调节池，长宽高尺寸为 72m×48m×6.8m，长方向设有一道伸缩缝，属无保温的地面式水池，内壁及底板采用花岗岩块材防腐层。该水池在施工及蓄水试验阶段均未出现开裂及渗漏现象，但在使用 3 个月后，发现水池短边方向开始出现开裂渗漏。经检查发现：水池内的介质温度达到 60℃~70℃，防腐块材的嵌缝料已在高温下软化破坏，池壁直接接触到了介质水，系因壁面温差过大而造成的开裂。当遇到上述情况时，高温对防腐层的影响应引起重视。

3.12 表 3.12 中对普通混凝土现浇矩形水池伸缩最大间距的规定与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》一致。各单位提供的工程实例不少已经突破了表中规定，而且大都取得了成功。

通过对上述工程实例的分析，得出以下结论可供设计人员参考借鉴。

- 建造在季节温差和昼夜温差较小，雨量多湿度大的南方地区及沿海地区的水池，伸缩缝最大距离可在规范基础上再加长 5m~10m；
- 设置后浇带的水池，伸缩缝的间距也可根据工程经验适当加长，但后浇带只能削减施工期间温（湿）差作用的影响，不能解决长期使用过程中季节温（湿）差和壁面温（湿）差作用，因而只能适当加长伸缩缝的间距而不能替代伸缩缝；
- 建造在少雨、蒸发量大、温（湿）差大的干旱地区的水池，应严格按规范规定设置伸缩缝，同时还应在设计、施工、使用过程中采取措施防止开裂渗漏；
- 对地下式、半地下式或有保温设施的水池，当顶部的露天构件（现浇顶板、走道板、排水沟等）的变形缝间距取与池壁和底板一致时，其配筋构造应予以加强，如采用双向连续配筋，单侧纵向配筋率不宜小于 0.25%等，以抵抗温度应力。

表 3.12 中对掺膨胀剂的补偿收缩混凝土现浇矩形水池伸缩缝最大间距的规定，是通过温度应力计算，工程实例及参考有关资料制定的。由于这方面的工程实例不多，有待实践进一步验证。

3.13 本条规定的结构安全等级与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》一致。

3.14 水池结构对地基承载力要求不高，地基沉降量也不会太大，CECS 86《混凝土水池软弱地基处理设计规范》中一致。

## 4 材料

### 4.1 混凝土

4.1.1 补偿收缩混凝土定义为：由膨胀剂或膨胀水泥配制的自应力为 0.2MPa~1.0MPa 的混凝土（参见 JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》）。

4.1.3 我国针对混凝土外加剂的品种、分类、性能、使用等均制定有标准（规范），如 GB 8076《混凝土外加剂》、GB 50119《混凝土外加剂应用技术规范》以及 GB 23439《混凝土膨胀剂》等。水池混凝土中掺用外加剂时，应符合相关的标准（规范）要求。

4.1.4 限制膨胀率和限制收缩率是保证补偿收缩混凝土性能的重要指标，应在设计文件中给予明确要

求，在 GB 50119—2003《混凝土外加剂应用技术规范》中对限制膨胀率和限制收缩率的要求见表 2。还应指出，对补偿收缩混凝土的施工提出明确要求是保证其性能不可缺少的条件，归纳起来有以下几方面：

- a) 应采用机械搅拌，搅拌时间应比普通混凝土延长 30s，且不应少于 3min；
- b) 混凝土从搅拌机卸出到入模的延续时间：当采用搅拌车运输时，不宜超过 90min；采用其他运输设备时，不宜超过 60min；
- c) 应采用机械振捣，并确保其密实性；
- d) 混凝土初凝后即应开始养护，并应在潮湿状态下养护 14d 以上，采用蒸气养护时，温度不宜高于 80℃；
- e) 拆模后应及时覆盖，不得受阳光直射，在日最低气温低于 5℃时，应采取保护措施。

表 2 补偿收缩混凝土的性能

项目	限制膨胀率	限制干缩率	抗压强度
龄期	水中 14 天	水中 14 天转空气中 28 天	28 天
性能指标	$\geq 1.5 \times 10^{-4}$	$\leq 3.0 \times 10^{-4}$	$\geq 25 \text{ MPa}$

膨胀剂的品种较多，其性能指标应满足 GB 23439—2009《混凝土膨胀剂》中的规定。GB 50119《混凝土外加剂应用技术规范》中对常用的膨胀剂掺入量的选用范围只能作为参考，工程中应通过试验确定，以确保补偿收缩混凝土的性能。

混凝土中的碱主要来源于水泥和外加剂，当然还有水和周围环境。本规范通过对水泥和外加剂中碱含量限制，可以确保混凝土碱含量的限值，从而减少碱-集料反应对混凝土结构的破坏作用。对膨胀剂中碱含量的限值，来自 GB 23439—2009《混凝土膨胀剂》的规定。

## 5 荷载及荷载效应组合

### 5.1 一般规定

5.1.2 水池属于低矮形构筑物，风荷载对其作用不大，以往工程设计中基本上不予考虑。CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》也不考虑风荷载效应。

### 5.2 永久荷载

5.2.1~5.2.2 所规定的各项永久作用取值及其分项系数，与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》一致。

### 5.3 可变荷载

5.3.1 所规定的各项可变作用取值及其准永久值系数，与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》基本一致，唯地面堆积荷载的分项系数，因荷载标准值 $\geq 4\text{kN/m}^2$ ，参照 GB 50009《建筑结构荷载规范》取 1.3。

5.3.2~5.3.3 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，应予以考虑。湿度当量温差的取值参考 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》取 10℃。

### 5.5 荷载效应组合

5.5.7 本次修订根据 4 种工况，按不同水池种类，将多种作用效应进行组合列表，比原表更直观。

## 6 静力计算

### 6.1 一般规定

6.1.1 条文中对水池结构计算简图的规定，需要说明以下几点：

- 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  $\phi 16@300$ ), 池壁顶端才能按铰支承, 否则应视为自由端。
- b) 工程中常遇到池壁高度达 6m 以上的浅壁池, 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(变上部自由端为铰支端), 应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(6.1.1-3)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;
  - 为确保底板对壁板的嵌固作用, 条文中对底板厚度、外挑长度及按条基设计时的尺寸构造均作了具体规定。

以上规定与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》中的相关部分基本一致, 并参考有关资料加以补充。

6.1.5~6.1.7 圆形水池池壁在侧向荷载作用下的受力条件(表 6.1.5), 与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规程》一致。在石油化工企业常用圆形水池中, 多数属  $H_0/s \leq 1$  范围; 极少数在  $1 \leq H_0/s \leq 15$  范围, 基本不存在  $H_0/s > 15$  的情况。关于圆柱壳内力的计算方法及相关图表, 可查阅《给水排水工程结构设计手册 第二版》。

## 6.2 矩形水池的静力计算

6.2.1~6.2.2 按竖向单向板计算池壁时, 当计算高度( $H_0$ )超过 5m 时, 可设计成扶壁式结构, 必要时还可加设横向肋梁。扶壁间距一般取  $(1/2 \sim 1/3) H_0$ , 扶壁厚度可取 300mm~400mm, 取中到中两侧各 1/2 板跨作为一个计算单元。

对于平面长宽比大于 3 的长型水池, 当短边的计算长度不超过 12m 时, 也可设计成由扶壁和底梁所组成的平面框架结构进行内力计算, 此时壁板和底板均可视其平面边长的比例, 按单向或双向连续板计算。

6.2.3 按竖向单向板计算池壁时, 设计者往往忽略了壁板水平角隅处的局部负弯矩, 本条中规定了明确的计算方法。

6.2.4~6.2.5 条文中规定的深壁池壁板的计算方法为工程中常用的简化计算方法。本规范 6.2 条中给出的其他类水池的计算方法, 也都是工程中常用的简化计算方法, 多年的工程实践证明完全满足使用要求。当然, 有条件时也可采用空间分析, 则计算结果会更精确。鉴于以上情况, 本规范 6.2 条的用词多采用“宜”或“可”, 属于推荐性的。

6.2.6 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。

本条还规定了双向受力壁板在非齐顶水作用下的内力计算方法, 非齐顶水实际上指的是设计水位, 一律按满水计算壁板显然是偏于保守的, 蓄水试验时的水位高度也仅要求至设计水位。但对机械表面曝气池, 因考虑操作时水波动的影响, 故设计水位应按池顶计算。

6.2.7 在蓄水试验阶段和使用阶段, 对多格水池均可能出现间隔贮水的工况, 不考虑此工况, 对水池的中间隔板及底板可能是不安全的。

6.2.8 关于水池刚性底板的判断条件, 在我国《建筑地基基础设计规范》的资料汇编中曾推荐使用下列方法(美国混凝土学会(ACI)也推荐用这一方法)。

当矩形水池底板短方向计算跨度( $L_0$ )满足下列条件时, 可按刚性底板计算:

$$L_0 < 1.75/\beta \quad \dots\dots\dots (1)$$

公式中的  $\beta$  为混凝土板的弹性特征系数, 可按下列式计算:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3K(1-\mu_c^2)}{\varphi_{\text{BS}} E_c t^3}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\beta$ ——弹性特征系数, 1/mm;
- $K$ ——地基基床反力系数, 当缺乏试验资料时, 可按表 3 采用;
- $\mu_c$ ——混凝土泊松比, 取 1/6;
- $E_c$ ——混凝土弹性模量, N/mm<sup>2</sup>;
- $\varphi_{\text{BS}}$ ——考虑混凝土徐变和收缩对钢筋混凝土结构刚度降低系数, 取 0.75;
- $t$ ——水池底板厚度, mm。

表 3 地基基床反力系数  $K$

土的类型	岩土名称及性状	$K (\times 10^{-2} \text{N/mm}^3)$
软弱土	流动砂土、软化粘性土、新填土	0.1~0.5
	流塑粘性土、淤泥及淤泥质土、有机质土	0.5~1.0
中粘土和中硬土	软塑粘性土	1.0~2.0
	可塑粘性土	2.0~4.0
	粉土	1.0~3.0
	松散或稍密砂土	1.0~1.5
	中密砂土	1.5~2.5
	密实砂土	2.5~4.0
	稍密碎石土	1.5~2.5
	中密碎石土	2.5~4.0
	黄土及黄土状粉质粘土	4.0~5.0
	坚硬土	硬塑粘土
密实碎石土		5.0~10.0
极密实强夯加固土		10.0~20.0
软质岩、中等风化或强风化硬质岩		20.0~100
微风化硬质岩		100~1500

注: 本表数值未考虑混凝土垫层的作用。

假定水池混凝土强度等级为 C25, 按上述条件计算出的水池混凝土刚性底板的允许最大跨度及厚跨比列于表 4, 可供设计参考。

圆形水池的底板也可按上述条件判断是否为刚性圆板。在确定板跨  $L_0$  时, 可将圆形板按中心轴等惯性矩换算为正方形板跨采用。

在实际工程中, 对于跨度(或直径)较大且中间不设隔板的水池, 是很难满足上述条件的, 除非将底板设计的非常厚。若按弹性地基板设计, 《给水排水工程结构设计手册》中给出了三种假定下的计算方法, 即: 地基反力直线分布假定, 文克尔双参数假定及半无限弹性体假定。这些方法计算较复杂, 且其中的参数难以取准, 致使三种方法的计算结果会有明显差别而难于判断。因此, 在设计中, 对较大跨度(或直径)的水池, 建议设计为独立条基, 不仅受力明确, 且经济效益明显。

6.2.9~6.2.10 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》中对独立条基的使用条件规定为“当地基承载力较高, 且池底板位于最高地下水位以上时, 池壁基础可按独立基础设计”。本规范对“承载力较高”给予量化, 但未突破“水池国规”条文说明中所明确的范围 ( $f_{\text{ak}} \geq 100\text{kPa}$ )。

本规范条文中还规定: 当底板位于最高地下水位以下时, 使用独立条基的地基承载力应为  $f_{\text{ak}} \geq 130\text{kPa}$ , 且同时规定: 此时不能采用分离式底板, 并应进行在地下水浮力作用下的底板强度验算(有人称此为局部抗浮验算)。工程中曾有过因忽视这一验算而造成底板拱起开裂破坏的实例。

表 4 混凝土刚性底板允许最大跨度及厚跨比

基底系数 $K$ $N/mm^3$	板厚/mm												
	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
0.01	2700	3200	3700	4100	4600	5000	5400	5800	6200	6700	6900	7500	7700
	1/14	1/13	1/12	1/12	1/12	1/11	1/11	1/11	1/11	1/10	1/10	1/10	1/10
0.02	2300	2700	3100	3500	3800	4200	4500	4900	5200	5500	5800	6100	6400
	1/12	1/11	1/10	1/10	1/10	1/10	1/9	1/9	1/9	1/9	1/8	1/8	1/8
0.03	2100	2400	2800	3100	3500	3800	4100	4400	4700	5000	5300	5600	5800
	1/11	1/10	1/9	1/9	1/9	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/7	1/7
0.04	1900	2300	2600	2900	3200	3500	3800	4100	4400	4600	4900	5200	5400
	1/10	1/9	1/9	1/9	1/8	1/8	1/8	1/8	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
0.05	1800	2100	2500	2800	3000	3300	3600	3900	4100	4400	4600	4900	5100
	1/9	1/9	1/8	1/8	1/8	1/8	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7
0.06	1700	2000	2300	2600	2900	3200	3400	3700	3900	4200	4400	4700	4900
	1/9	1/8	1/8	1/8	1/8	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/6	1/6	1/6

注 1: 表中分子数为允许最大跨度, 分母为厚跨比。

注 2: 本表系按混凝土强度等级为 C25 制定的。



6.2.11 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。等代框架计算单元的确定、弯矩分配系数的取值、配筋计算等，可按 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》及其他有关资料设计，本规范不再详细列出。

#### 6.4 壁面温（湿）差作用下的内力计算

6.4.1~6.4.2 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。目前采用的温度应力计算理论仍偏于近似范畴。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) 采取合理的结构布置及围护措施，如加强结构整体刚度，采取保温防冻设施等，以减少温（湿）差对结构的影响；
- 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，温度应力的构造配筋率不宜小于 0.25%；
- f) 应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。

### 7 抗裂及裂缝宽度验算

原规范使用的钢筋混凝土构件裂缝宽度计算公式引自 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》。本次修订，不再沿用原规范采用的裂缝宽度计算公式，改为采用新版《混凝土结构设计规范》使用的公式。由于 2010 版《混凝土结构设计规范》对裂缝宽度的计算作了较大的放松，虽然公式仍与原混凝土规范相同，但是对荷载作用及计算参数作了两项改动：对三级裂缝控制等级的钢筋混凝土构件，最大裂缝宽度按荷载准永久组合（原混凝土规范为标准组合）并考虑长期作用影响的效应进行验算；对于受弯或偏心受压的钢筋混凝土构件，其构件受力特征系数  $\alpha_{cr}$  由原混凝土规范的 2.1 修改为 1.9。这两项修改，使得钢筋混凝土构件的裂缝宽度计算结果明显减小，与 CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》推荐公式计算结果偏差已较小。

### 8 抗浮稳定设计

#### 8.1 一般规定

8.1.1~8.1.4 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，CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》中对水池结构的抗浮只提出了原则规定，考虑到抗浮稳定设计容易被忽视的情况，本规范将它单列一章。

抗浮稳定属承载力极限状态设计范畴，但采用的是安全系数法，且抗浮力取用了标准值，极易混淆概念，为此，本规范根据相关资料，详细规定了设计原则，荷载取值，计算公式等，并补充了局部抗浮稳定安全系数。

#### 8.2 抗浮稳定验算

8.2.1~8.2.2 为方便和统一计算，本规范参考有关资料给出了整体抗浮和局部抗浮稳定计算公式。在进行抗浮稳定验算时，还应考虑水池施工阶段可能出现的不利工况。

8.2.3 当水池的整体或局部抗浮稳定不能满足时,下列措施是工程中常见的且较实用的方法,可参考使用。

- a) 改变水池的埋深,尽量浅埋,以减小地下水浮力;
- b) 采用加固地基的方法,将池底下部一定厚度的土层加固成超压密难透水或不透水层,以减小或消除地下水浮力;
- c) 利用池内贮水抗浮,即在抗浮稳定验算时,计入池内一定量的贮水荷载,但应有以下安全措施做保证:
  - 1) 宜选择枯水季节施工,否则应采取临时降排水措施,施工完池内应立即贮水;
  - 2) 应得到使用单位的认可,在水池使用过程中不得出现空池状态,检修应选择低水位季节进行;
- d) 增加结构自重抗浮,如增加池壁、顶板或底板的厚度;
- e) 增加结构配重抗浮,如增加全埋式水池的覆土厚度,增加底板外挑长度,在水池底板上部设毛石、砂或混凝土垫层等;
- f) 在水池底板下部增设毛石混凝土平衡层抗浮;
- g) 用锚杆或锚桩将底板与地基连在一起,利用其抗拔力抗浮;
- h) 在池底垫层下部铺设反滤层,并在适当部位设置盲沟或渗流管,用以降排地下水抗浮,此种方法在国外经常使用。

## 9 构造要求

### 9.1 一般构造要求

9.1.1~9.1.2 条文中规定的受力构件的最小厚度及钢筋保护层厚度,是根据水池构件的特点确定的,主要为保证施工质量及构件使用的耐久性。结合 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》对混凝土保护层厚度的要求进行了局部修订。

9.1.3~9.1.4 敞口水池壁板的顶端是一薄弱部位,而底部则是受力较大部位,工程设计中这些部位均采取过加强措施,本条规定将这两部分的构造统一且具体化了。CECS 138《给水排水工程混凝土水池结构设计规范》中也有类似规定。对于小型水池,壁板顶部设置的加强筋直径也可适当减小,但不宜小于12mm。

9.1.5 本条参照相关资料并综合工程经验,将水池的配筋包括:钢筋品种、直径、间距、配筋率、受拉筋锚固长度以及接头等构造作了具体而详细的规定。其中半地下式水池地面上下各500mm范围内水平向钢筋加密的规定系针对此处池壁温度变化大易产生开裂而规定的。

9.1.6 对壁板和底板上埋件形式及尺寸的规定,是为保证水池构件的抗渗能力。

9.1.7 管线穿越池壁的三种构造形式,在以往工程中均有使用。从目前来看,使用直埋的形式很少,只有当管线直径很小,使用过程中不存在拆换可能性时,才采用直埋形式,此时应加设止水环,止水环做法同套管的止水环。采用柔性防水套管的形式有替代刚性防水套管的趋势,特别是当管线受有振动或埋管部位地基可能产生不均匀沉降,以及池壁防水要求高的情况下,更宜采用柔性防水套管的构造形式。

9.1.8 池壁开孔部位的加强构造规定是工程中常用的。

### 9.2 变形缝构造

9.2.1~9.2.5 条文中规定的变形缝具体构造是参照 CECS 117《给水排水工程混凝土构筑物变形缝设计规程》并结合工程实践经验编写的。所推荐使用的材料:止水带、嵌缝板及嵌缝密封胶等的物理力学性能及规格尺寸选用可参照该规程,本规范不再详细列出。

9.2.3 不完全缩缝是一种收缩缝,仅能适应缝两侧结构体积的缩小,因此在设缝处结构不留空隙。也

是一种开裂引发缝，通过在设缝的位置削弱结构的断面，使结构在发生收缩变形时产生应力集中，开裂在该处发生。由于事先在此设置了止水带，既消散了池壁的应力，又可防止发生渗透。凹槽处的嵌缝密封料可进一步增加其防渗能力。

### 9.3 抗震构造要求

9.3.1~9.3.5 在未查阅到近期有关资料的情况下，条文仍是按《给水排水工程结构设计手册》中有关水池抗震构造部分及其他相关资料，并结合工程实践编写的。

