

特种结构

王秀逸 张平生 编著

全

地震出版社

中国
地震出版社

438196

特 种 结 构

王秀逸 张平生 编著



地震出版社

DZ94/03
内 容 提 要

本书为高等学校工业与民用建筑专业和建筑学专业试用教材。内容包括:贮液池、水塔、贮仓和烟囱等四类常用的特种结构。对各类结构的型式、材料选用、设计原理、计算方法和构造特点、抗震计算及抗震构造要求等都做了详细的介绍,每章后还有完整的计算实例及相应的计算图表。

本书可供土建类有关专业师生以及设计、施工和科研单位的工程技术人员参考。

特 种 结 构

王秀逸 张平生 编著

责任编辑:李 斌

特约编辑:李 斌

*
地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

北京市京东印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 18.125印张 460千字

1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷

印数 0001—5000

ISBN 7-5028-1399-3/TU·121

(1843)定价:28.00元

前 言

根据工民建专业和建筑结构工程专业课程设置,在讲授完房屋结构之后,还应讲授有关的特种结构,故编此教材。

本书对贮液池、水塔、贮仓和烟囱等四种常用特种结构的型式、材料选用、设计原理、计算方法、抗震设计、构造特点作了较为详细的论述,对基本计算公式作了必要的推导。讲授时可根据学时多少、专业要求选讲其中的有关章节。书中各章均附有较为完整的例题和必要的计算图表,为学生自学、深入理解领会教材内容、掌握计算理论和设计方法提供了方便。

本书编写中力求反映科学技术的发展和国内工程界的实际,参照了《给水排水工程结构设计规范(GBJ69—84)》、《烟囱设计规范(GBJ51—83)》、《钢筋混凝土筒仓设计规范(GBJ7785)》、《构筑物抗震设计规范(GB 50191—93)》及相关规范的有关内容。

本书可以作为高等学校工民建专业和建筑结构专业的本科教材,也可以供有关专业设计、施工的工程技术人员和科研人员参考。

参加本书编写的有:张平生(第一、二章)、王秀逸(第三、四章)。全书由童岳生教授主审并提出很多宝贵意见,西安建筑科技大学学报编辑部李斌副编审对书稿的文字、量与单位和图表版式进行了规范化处理和编辑加工,在此一并致谢。

由于我们水平有限,书中一定存在不少缺点和错误,望读者批评指正。

编 者

1997年1月

目 录

第一章 钢筋混凝土贮液池

1. 1 概述	(1)
1. 2 贮液池荷载	(2)
1. 2. 1 顶盖与底板上的荷载	(2)
1. 2. 2 池壁侧向荷载	(4)
1. 2. 3 温差与湿差	(5)
1. 2. 4 地震作用计算	(6)
1. 3 主要尺寸与计算简图	(8)
1. 3. 1 贮液池的主要尺寸	(8)
1. 3. 2 池壁上、下端连接构造与约束简图	(9)
1. 4 浮力与抗浮验算	(10)
1. 5 圆池池壁内力分析	(11)
1. 5. 1 侧向荷载下的内力分析	(11)
1. 5. 2 壁端弹性嵌固时内力分析	(19)
1. 5. 3 池壁内力分布规律	(22)
1. 5. 4 温差和湿差内力	(24)
1. 6 旋转壳顶、底内力分析	(26)
1. 6. 1 无弯矩理论计算薄膜内力	(27)
1. 6. 2 有矩理论分析壳体内力	(30)
1. 7 矩形贮液池	(33)
1. 7. 1 单室矩形贮液池内力分析	(34)
1. 7. 2 多室矩形贮液池内力分析	(48)
1. 7. 3 壁面温、湿差内力	(48)
1. 8 内力组合与截面设计	(49)
1. 8. 1 内力组合	(49)
1. 8. 2 截面计算	(51)
1. 9 贮液池构造	(53)
1. 9. 1 选材、防渗与防腐	(53)
1. 9. 2 结构尺寸及配筋	(53)
1. 9. 3 施工缝和伸缩缝	(54)
1. 9. 4 穿管和开洞	(55)
1. 9. 5 节点构造	(55)
1. 9. 6 抗震构造	(55)

第二章 水塔

2. 1 概述	(57)
2. 2 结构上的作用	(58)
2. 3 水箱	(63)

2. 3. 1	倒锥壳水箱	(63)
2. 3. 2	英兹式水箱	(68)
2. 3. 3	平底式水箱	(69)
2. 4	塔身	(71)
2. 4. 1	支架式塔身	(71)
2. 4. 2	筒壁式塔身	(74)
2. 5	水塔基础	(77)
2. 5. 1	水塔基础的类型	(77)
2. 5. 2	基础计算	(81)
2. 6	承载能力计算与正常使用阶段验算	(87)
2. 6. 1	承载能力极限状态计算	(87)
2. 6. 2	正常使用阶段验算	(90)
2. 6. 3	水塔抗震构造措施	(90)
2. 7	例题	(90)

第三章 贮 仓

3. 1	概述	(109)
3. 2	贮仓结构的分类及结构组成	(110)
3. 2. 1	贮仓结构的分类	(110)
3. 2. 2	结构组成	(111)
3. 3	荷载计算	(113)
3. 3. 1	荷载和荷载组合	(113)
3. 3. 2	仓壁压力计算	(114)
3. 4	浅仓的承载能力计算及构造特点	(117)
3. 4. 1	漏斗浅仓的内力分析及截面计算	(118)
3. 4. 2	低壁浅仓的内力分析及截面计算	(122)
3. 4. 3	高壁浅仓的内力分析及截面计算	(124)
3. 4. 4	槽形浅仓的内力分析及截面计算	(125)
3. 4. 5	矩形浅仓的构造特点	(129)
3. 4. 6	矩形浅仓例题	(131)
3. 5	深仓的承载能力计算及构造特点	(149)
3. 5. 1	圆形深仓仓壁计算	(149)
3. 5. 2	矩形深仓仓壁计算	(151)
3. 5. 3	圆形平底板的计算	(153)
3. 5. 4	深仓的构造特点	(154)
3. 5. 5	洞口设置及构造要求	(155)
3. 6	仓下支承结构	(156)
3. 6. 1	柱支承结构	(156)
3. 6. 2	筒壁支承结构	(157)
3. 6. 3	带壁柱的筒壁支承结构	(157)
3. 6. 4	圆形深仓例题	(158)

3. 7 贮仓的抗震设计	(160)
3. 7. 1 震害及其分析	(160)
3. 7. 2 结构布置和结构选型、选材	(161)
3. 7. 3 抗震计算	(162)
3. 7. 4 抗震构造措施	(166)

第四章 烟 囱

4. 1 概述	(169)
4. 2 结构组成及构造特点	(169)
4. 2. 1 基础	(169)
4. 2. 2 筒壁	(170)
4. 2. 3 内衬及隔热层	(172)
4. 2. 4 烟囱的附属设施	(173)
4. 3 温度计算	(175)
4. 4 计算规定及材料强度取值、使用阶段应力限值	(176)
4. 4. 1 一般计算规定	(176)
4. 4. 2 混凝土设计强度取值	(177)
4. 4. 3 钢材强度取值	(178)
4. 4. 4 使用阶段材料的应力限值	(179)
4. 4. 5 砖烟囱材料强度取值及应力限值	(179)
4. 5 荷载计算	(179)
4. 5. 1 结构自重计算	(179)
4. 5. 2 风荷载计算	(180)
4. 5. 3 地震作用	(183)
4. 5. 4 筒身附加弯矩计算	(187)
4. 6 强度计算	(192)
4. 6. 1 砖砌烟囱筒壁强度计算	(193)
4. 6. 2 钢筋混凝土烟囱筒壁强度计算	(195)
4. 7 使用阶段应力计算	(198)
4. 7. 1 水平截面应力计算	(198)
4. 7. 2 温度作用下竖向截面计算	(208)
4. 8 裂缝宽度验算	(209)
4. 9 计算实例	(210)
4. 9. 1 45m 砖烟囱	(210)
4. 9. 2 120m 钢筋混凝土烟囱	(219)

附表

附表 1—1 圆柱形池壁内力系数表	(233)
附表 1—2 刚度系数表	(244)
附表 1—3 圆形平板的弯曲系数	(246)
附表 1—4 带悬臂圆板弯矩系数	(246)
附表 1—5 有中心支柱圆板的中心支柱荷载系数 K_n 及圆板抗弯刚度系数 k	(247)

附表 1-6	边界力系数表	(248)
附表 1-7	环壳内力系数表	(249)
附表 1-8	双向板支座反力表	(252)
附表 1-9	矩形板在三角形荷载作用下的静力计算表	(253)
附表 1-10	矩形双向板的刚度系数 k 、 $\bar{k}$ 和传递系数 μ'	(257)
附表 1-11	双向板在壁面温差作用下的弯矩系数	(261)
附表 1-12	双向板在边缘弯矩作用下的跨中弯矩计算	(262)
附表 2-1	两端固定圆锥壳壁在三角形分布水压力作用下的 M_f 及 H_f 系数表	(263)
附表 2-2	带悬臂圆环板内力系数表	(266)
附表 2-3	振型参与系数	(268)
附表 2-4	相对水平位移	(268)
附表 2-5	连续水平圆弧梁的内力	(268)
附表 3-1	散料的物理特性参数	(269)
附表 3-2	ξ 、 k 系数	(270)
附表 3-3	λ 值表	(271)
附表 3-4	t_a 、 t_b 系数表	(272)
附表 3-5	三边固定等腰三角形板计算表	(273)
附表 3-6	四跨梁计算系数	(274)
附表 3-7	按分散配筋方法计算时的平面深梁内力计算表及均布荷载作用下 两端固定深梁内力计算表	(274)
附表 3-8	三边固定一边简支四边板计算表	(275)
附表 3-9	环形板内计算表	(276)
附表 3-10	旋转壳在轴对称荷载作用下的薄膜内力计算公式	(280)
附表 4-1	环形截面几何特性计算公式	(281)

第一章 钢筋混凝土贮液池

1.1 概 述

钢筋混凝土贮液池不但具有建造容易、节省钢材、造价低、成型方便的优点，而且具有较好的防渗、防腐和耐久性能，所以广泛应用于石油、化工、冶金、给水、排水等工业和民用建筑中。

贮液池的容积由工艺确定，小则几十立米，大则近万立米。贮液池的形状根据使用要求，建设场地的具体条件，材料供应及施工技术，结构受力和地质状况等因素综合考虑而定。常用的有球壳、锥壳、圆柱壳，矩形、正方形，单室池、多室池，有盖的、敞口的；普通钢筋混凝土结构、预应力钢筋混凝土结构等（图 1-1）。

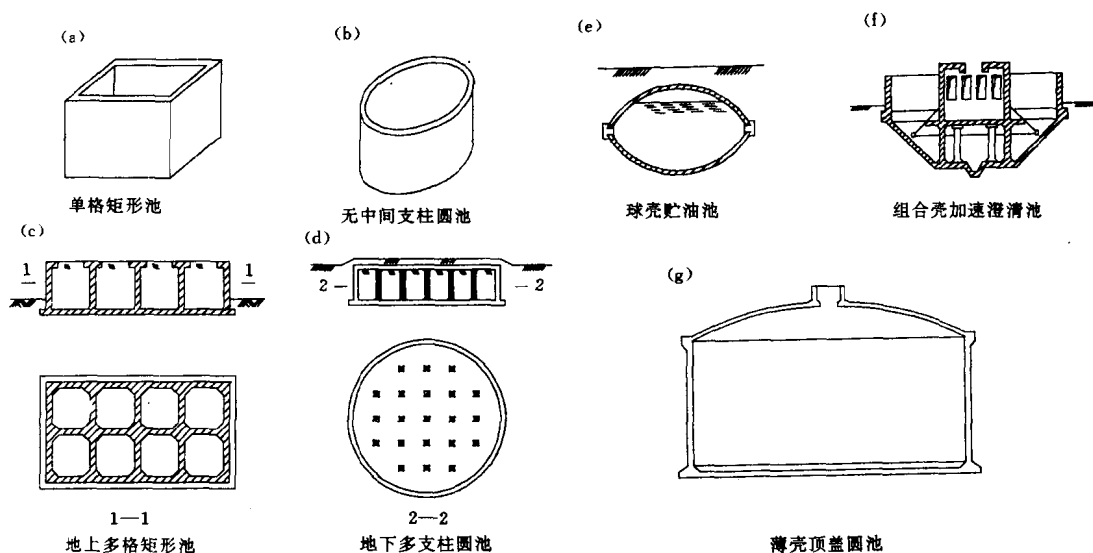
圆形池受力合理，节省材料，施加预应力比较方便，因此在大、中、小型池中广泛使用。矩形池施工方便、占地紧凑，在中、小型池中也经常采用。两者相比，圆池的用料较省、造价较低。

地下贮液池受大气环境和季节温差的影响较少，抗地震作用的能力也较好。由于地下池外部土压力可以抵消部分池内液体产生的侧压力，从而使池壁长期处于较低的拉应状态，这对池子的抗渗、防腐和耐久性都有好处。因此，只要条件许可，尽可能采用地下或半地下贮液池是有利的。但是地下池不宜埋置过深，否则会使池底和池顶的荷载过大，耗料将会增加。采用半地下贮液池或浅埋的地下池对地下水位较高的地区还可防止水下施工，减小地下水对池的浮力。一般情况下埋土厚度只要不小于当地的冻结深度即可。

由于贮液池的特殊使用条件，还应保证贮液池有足够的抗渗性、抗冻性，对储存腐蚀性液体的贮液池，还应使其具有良好的防化学腐蚀性能。因此贮液池结构混凝土的抗渗等级、抗冻等级、防腐设计都应符合专门规范的要求。

整浇式钢筋混凝土贮液池整体性好，防渗、防漏性好，不需要复杂、大型的施工设备，因此应用非常广泛。随着施工技术的改善，目前采用预应力装配式圆形贮液池的越来越多，有些地方也开始在矩形池中试用装配整体式池壁。例如，北京东郊一个 2500 m³ 容积的清水池就是采用装配整体式结构。

贮液池的顶盖和底板多采用平板结构，这是因为平板施工简单、节省空间，也可以减少贮液池的高度及埋深。跨度较小时可以采用周边支承的平板结构，跨度较大时可以采用加设支柱的无梁或梁板结构。顶盖可以整浇，也可采用预制装配。底板多采用整浇结构，当地下水位较低，地基条件良好时，可以把支柱基础和底板分开考虑，这种底板称为分离式底板。分离式底板的厚度和配筋全由构造要求确定，柱基础和池壁基础分别单独计算（图 1-2a）。



圆形池的顶盖和底板也可以采用薄壳结构。薄壳结构受力性能良好,可以做得很薄,节省钢筋、水泥,可以跨越大空间而无需设置中间支柱,常用的有球形壳和锥形壳。但是薄壳结构施工要求很高,模板制作复杂,用量也大。另外薄壳结构增加了池的总高,如果是地下贮液池则会加大土方工程量,水下施工的可能性也会增加。为了克服这些缺点,应尽量压低壳体矢高和池壁高度。图 1-1 (e) 为一容积 10000 m³ 无直立池壁的地下油库,直径 39m,净高 14.5m,顶壳厚度为 0.1m,底壳厚度只有 60mm。

贮液池的设计应综合考虑工艺、地质、水文、气象、施工、使用等条件,选用合理的形式和结构,使其满足安全性、适用性、耐久性和经济性的要求。

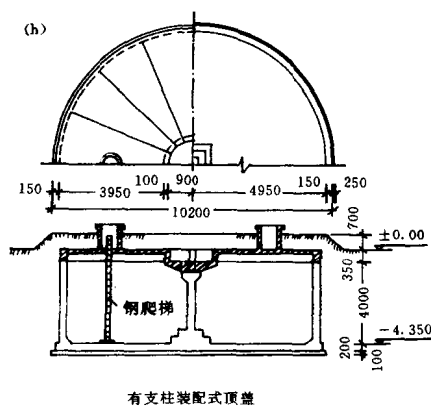


图 1-1 贮液池类型

1.2 贮液池荷载

作用在贮液池上的荷载可能是下面各种荷载的全部或部分的组合:池外部土的侧压力、池内液体的侧压力、池顶盖上的填土、顶盖自重及活荷载、池底上的液体压力及地基反力、地下水的浮力、地震作用、温度及湿度变化产生的附加力(图 1-3)。

1.2.1 顶盖与底板上的荷载

一、池顶荷载

有盖贮液池池顶荷载可以分为两类,一类为结构层、防水层、覆土层(保温层)的自重,另一

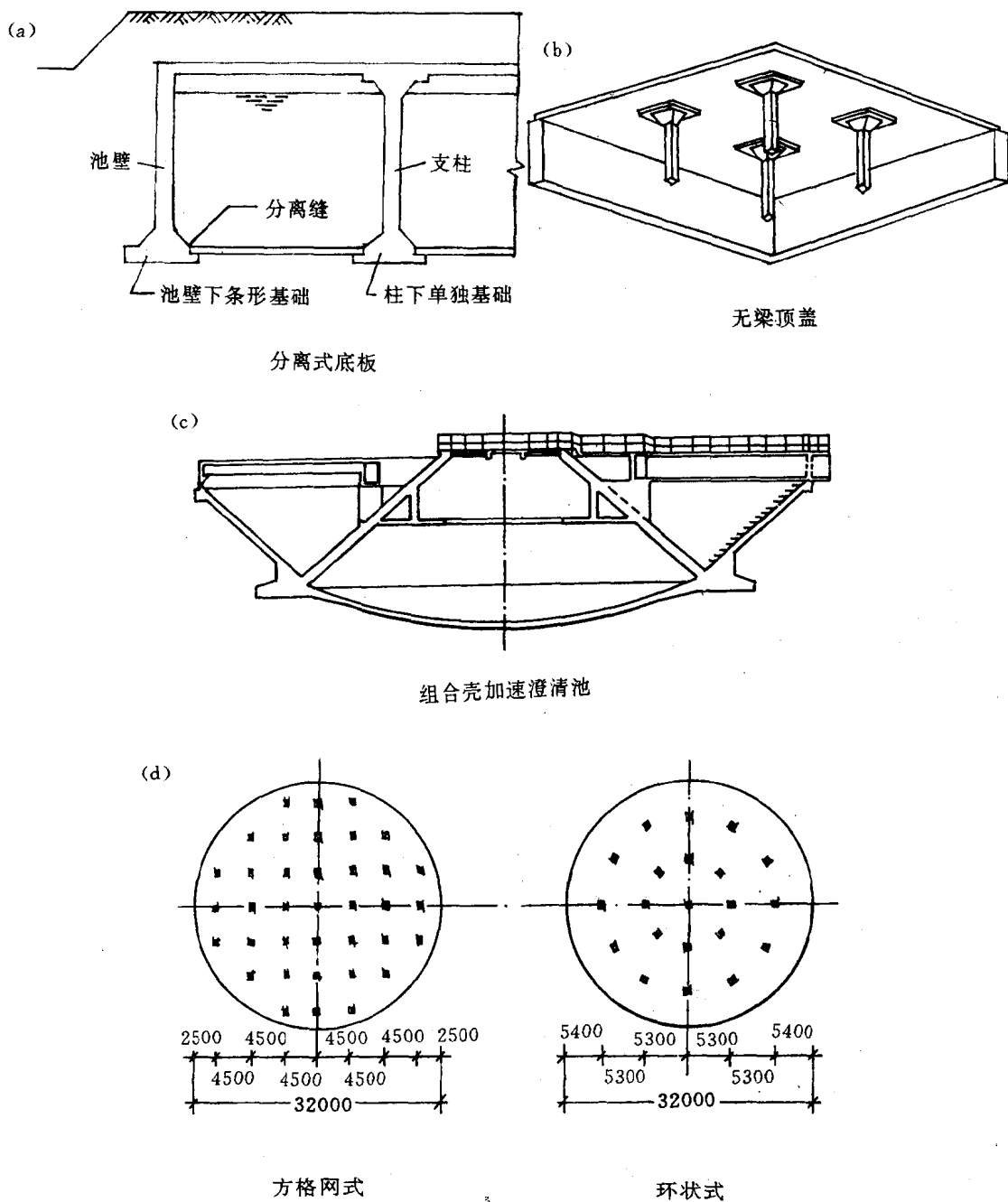


图 1-2 贮液池的结构形式

类为活荷载和雪荷载。

各层自重应按各层的设计厚度和材料容重计算,雪荷载按《建筑结构荷载规范(GBJ9-87)》的规定取用。

活荷载是考虑池顶可能走人、行车、堆放物品引起的作用,计算时应按实际情况考虑。如无专门使用要求,也可取荷载标准值为 1.5 kN/m^2 。同时应采取防止超载的措施,例如使池顶填土高出地面以防止车辆开上池顶,限制在池顶堆放过重物品等。

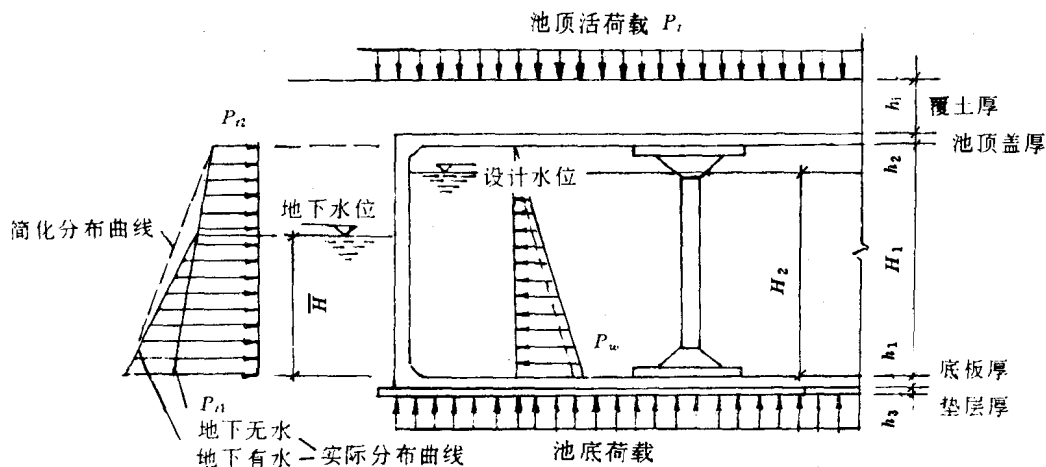


图 1-3 贮液池常遇荷载

二、底板荷载

计算底板的弯矩和剪力时,应取会在底板上产生弯矩和剪力的荷载:底板自重、池内液体的重量都是均匀地作用在地基上的,它们不会在底板内产生弯矩和剪力。池顶盖上的所有荷载、池壁的自重、支柱的重量所引起地基反力会在底板内引起弯矩和剪力。当地基不是太软弱时,可以假定这些重量引起地基反力均匀分布,其值为

$$P_d = (G_c + G_b)/A + F \quad (1-1)$$

式中 P_d ——作用在底板上的荷载,即底板所受净反力(kN/m^2);

G_c, G_b ——池内支柱的总重量(kN),池壁总重量(kN);

F ——池顶单位面积内的总荷载(kN);

A ——底板总面积(m^2)。

1.2.2 池壁侧向荷载

地上贮液池池壁主要荷载为液体侧压力,地下贮液池为液体侧压力和池外填土侧压力。

液体侧压力为三角形分布,计算池内最大液体侧压力时可用池壁的净高度 H_1 ,则得

$$P_w = \gamma_2 H_1 \quad (1-2)$$

式中 P_w ——液体最大侧压力(kN/m^2);

γ_2 ——液体容重(kN/m^3)。

池外填土的侧压力分布因有无地下水而不同,当池高范围以内无地下水时,按主动土压力计算,其分布为梯形(图 1-3)。

壁顶土壤侧压力为

$$P_{t2} = \gamma_1 (h_g + h_t + h_2) \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (1-3)$$

式中 P_{t2} ——池壁顶部土壤侧压力(kN/m^2);

γ_1 ——池外填土容重(kN/m^3);

h_g ——池顶活荷载折算成土以后的厚度, $h_g = P_g/\gamma_1(\text{m})$;

h_1, h_2 ——池顶覆土厚度(m), 池顶板厚度(m);

φ ——土内摩擦角($^\circ$)。

池壁底部土侧压力为

$$P_n = \gamma_1(h_g + h_1 + h_2 + H_1)\text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (1-4)$$

式中 H_1 ——池壁净高(图 1-3);

其他符号意义同式(1-3)。

当地下水位达到池壁高度范围以内时,在地下水位以上的侧压力计算同无地下水情况,而考虑地下水作用后池壁底部的侧压力为(图 1-3)

$$P_n = \gamma_1(h_g + h_1 + h_2 + H_1 - \bar{H})\text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + \frac{G_s - 1}{e + 1} \bar{H}\text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + \gamma_w \bar{H} \quad (1-5)$$

式中 $\bar{H}$ ——地下水位高度(m);

G_s ——土壤颗粒比重,粘土、亚粘土、砂土可以分别取 27.5, 27, 26.5(kN/m³);

e ——土壤的空隙比,按场地的工程地质报告取用;

γ_w ——地下水的容重(kN/m³);

其他符号意义同式(1-3)。

1.2.3 温差与湿差

钢筋混凝土不但有热胀冷缩现象,而且有湿胀干缩现象。因此当池外大气温度、池内液体温度、池壁湿度发生变化时,就会使池壁发生变形,当这些变形受到约束时,就会在池壁内形成附加内力。一般,非架空贮液池的底板,可以不考虑自身的温度和湿度变化,非外露贮液池在施工过程中有可靠的防干和防冻措施时,也可以不计算温度内力和湿度内力。除此而外,当温度、湿度有变化时,都应该考虑温差和湿差内力。

因为池外大气温度与池内液体温度之差而使池壁内外表面温度不同,这种池壁内、外表面温度之差叫做壁面温差。壁面温差的大小不但和池内外环境温度有关,而且和池壁的防护层的构造有关。贮液池施工浇筑混凝土合缝时的温度与其使用期间的最高、最低月平均大气温度之差叫做季节温差,也可称为中面温差。暴露在池内液体和池外大气环境中的池壁结构,其壁面温差可按下式计算:

$$\Delta t = \frac{h/\lambda_i}{1/\beta_i + h/\lambda_i}(T_N - T_A) \quad (1-6)$$

式中 Δt ——壁面温差($^\circ\text{C}$);

h ——池壁厚度(m);

λ_i —— i 材质做成的池壁的导热系数($\text{Kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$),钢筋混凝土池壁两面与空气接触时, $\lambda_i = 1.33$;一侧与空气接触,一侧与水接触时, $\lambda_i = 1.75$;

β_i —— i 材质池壁与空气间热交换系数($\text{Kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$),冬季可取 20,夏季可取 15;

T_N ——池内介质温度($^\circ\text{C}$),当池内介质为水时,可取年最低月液体平均温度;

T_A ——池外大气温度($^\circ\text{C}$),可取当年最低月的统计平均温度,也可按《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》的规定确定。

中面温差可按当地气象资料和施工合缝时的温度确定。

湿差引起的膨胀和收缩与温差引起的膨胀和收缩是两种完全不同的物理现象,但是它们产生的效果都是钢筋混凝土体积的改变,因此工程上把湿差化为当量温差,这样湿差引起的附加内力的计算方法就和温差内力的计算方法完全一样。关于湿差换算成当量温差的计算方法也可参考有关设计手册。池壁面暴露于大气中时,当量湿差可取 10°C 。

1.2.4 地震作用计算

我国现阶段抗震设防的原则是“小震不坏,大震不倒”,即遭遇低于设防烈度的地震影响时,结构基本处于弹性工作阶段,不需要修理仍能保持其使用功能;遭遇设防烈度的地震影响时,结构的非主要受力构件局部可能出现塑性或其他非线性轻微破坏,主要受力构件的损坏控制在经一般修理即可恢复使用功能的范围,即结构处于有限塑性变形的弹塑性工作阶段;遭遇预估的罕遇地震时,结构有较大的非弹性变形,但变形应控制在规定的范围以内,以免倒塌。为此规范采用二阶段设计以满足上述要求。对大多数结构可以只按第一阶段设计,即按设防烈度要求进行承载力和变形验算;对重要的结构,除按第一阶段设计以外,还要按高出设防烈度一度的大震进行弹性变形验算。构筑物中的一些结构与建筑物特性相近,例如井架、贮仓、电视塔等等,此类结构按抗震计算水准 A(见表 1—1 注)进行计算;对于贮液池、冷却塔等需考虑液体、土壤等介质与结构相互作用的构筑物,或特别复杂的构筑物应按抗震水准 B(见表 1—1 注)进行计算。两者之间主要区别在于水平地震影响系数最大值不同(表 1—1),且水准 B 考虑了地震效应折减系数[式(1—7)~(1—9)中的 η]。

在以往的地震中,贮液池的震害甚少。但是随着生产的发展,贮液池的直径越来越大,大型贮液池的空间工作性能较差。根据对按现行习惯设计建造的贮液池的震害调查所得的结论,位于 7 度区的地面式贮液池(即池壁埋深不足池壁高度之半的贮液池)可以不进行抗震验算,但应满足抗震构造要求。其余情况下和其他类型的贮液池均应进行抗震验算。

贮液池的容量较大时,往往平面尺寸比高度大很多,这种结构在地震作用下池壁的空间作用较小。因此在 8 度和 8 度以上地区的大型贮液池,应对其池壁和中心支柱进行抗震验算。

大型贮液池的平面尺寸比高度大很多,在水平地震作用的影响下很难形成整个贮液池的剪切型变形。考虑到这种情况,按池壁出现局部弯曲的振动模型进行研究,得到池壁呈现局部弯曲振动时的动液压力计算表达式。此公式适用于计算地面式和半地下式贮液池因结构的等效重力荷载,池内动液压力、池外动土压力的水平地震反应而产生的水平地震作用。

一、等效重力荷载的地震反应

池壁单位宽度的等效重力荷载产生的水平地震作用标准值和作用效应可以按下面公式进行计算(图 1—4a):

$$F_{GK}(\theta) = \eta_1 \alpha_{\max} G_{eq} \cos \theta \quad (1-7)$$

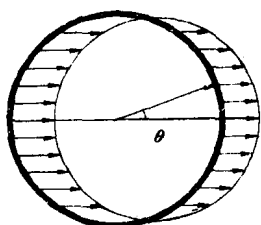
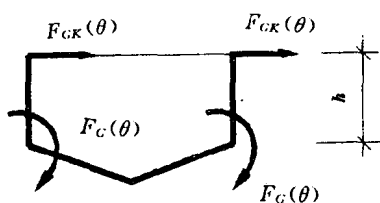
$$M_G(\theta) = \xi h F_{GK}(\theta) \quad (1-8)$$

式中 $F_{GK}(\theta)$ ——作用于与地震方向成 θ 角处单位宽度池壁顶端的水平地震作用标准值 (N/m);

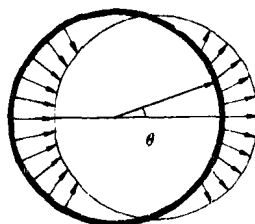
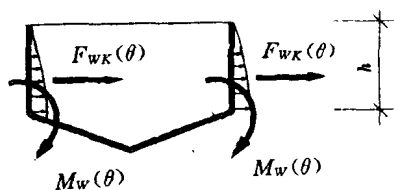
θ ——池壁计算截面与地震方向的夹角($^{\circ}$);

η_1 ——地震影响系数的调整系数,半地下式贮液池可取 0.45,其他形式可取 1.0;

G_{eq} ——池壁单位宽度的等效重力荷载(N/m),可取池壁单位宽度自重标准值之半与走



(a)



(b)

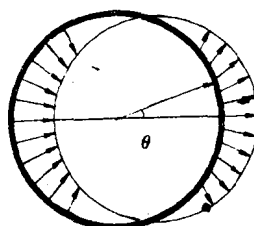
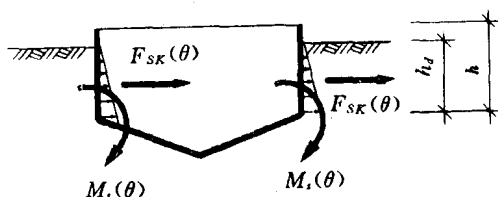
道板自重标准值之和；

$M_C(\theta)$ ——等效重力荷载产生的池壁底端单位宽度的地震弯矩(N · m/m)；

ξ ——地震效应折减系数,对地面式和半地下式贮液池可取 0.5,架空式贮液池可采用 0.45；

h ——池壁高度(m)；

$\alpha_{\max}$ ——地震影响系数最大值,在设防烈度为 6~9 度时分别如表 1-1 所示。



(c)

二、动液压力的水平地震反应

地震时,池内液体在池壁单位宽度上产生的水平地震作用和作用效应标准值为(图 1-4b)：

$$F_{WK}(\theta) = 0.372\alpha_{\max}\gamma_0 h^2 \cos\theta \quad (1-9)$$

$$M_W(\theta) = 0.4\xi h F_{WK}(\theta) \quad (1-10)$$

图 1-4 贮液池的地震作用

表 1-1

水平地震影响系数最大值

烈 度		6	7	8	9
$\alpha_{\max}$	计算水准 A	0.04	0.08	0.16	0.32
	计算水准 B	0.13	0.25	0.50	1.0

注：①计算水准 A：与建筑物特性相似的构筑物，(如井架、水塔、电视塔等等)，此类构筑物的地震作用计算同建筑物，把此作为计算水准 A；

②计算水准 B：贮液池、贮仓等构筑物在地震作用下，液体、土壤等介质与结构相互作用。因此这类构筑物的地震作用与建筑物不同，此类构筑物按计算水准 B 进行计算。

式中 $F_{wk}(\theta)$ ——池壁单位宽度上的动液体压力标准值(N/m);

η_2 ——动液压力的池型调整系数,对半地下式池可以用 0.8,其他池型可用 1.0;

γ_0 ——池内贮液的重度(N/m³);

$M_w(\theta)$ ——动液压力在池壁底端单位宽度上所产生的弯矩(N·m/m)。

三、动土压力的水平地震反应

地震时池外填土在池壁单位宽度所形成的动土压力标准值与作用效应为(图 1-4c):

$$F_{sk}(\theta) = 0.5\gamma_s K_{se} h_d^2 \cos\theta \quad (1-11)$$

$$M_s(\theta) = 0.26\xi h_d F_{sk}(\theta) \quad (1-12)$$

$$K_{se} = \eta_\lambda (2.869 + 0.038\varphi) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (1-13)$$

式中 $F_{sk}(\theta)$ ——池壁单位宽度上的动土压力标准值(N/m);

γ_s ——土的容重(N/m³);

K_{se} ——土的动侧压系数;

$M_s(\theta)$ ——动土压力在池壁底部的单位宽度上所产生的弯矩(N·m/m);

η_λ ——土的动侧压力调整系数,在设防烈度为 8 度时取 0.123,9 度时取 0.304;

h_d ——池壁的埋置深度(m);

φ ——土的内摩擦角(°)。

公式(1-7)~(1-13)对池底呈扁锥壳状,且直径与池壁高度之比很大的池子(例如浓缩池之类)适用性较好。对平底式水池,因为池的直径与池壁高度之比可能不像浓缩池那样大,因此在地震时,其整体剪切变形的成分要大一些,应用上述公式时应斟酌。

1.3 主要尺寸与计算简图

1.3.1 贮液池的主要尺寸

在进行贮液池内力分析前,先要根据工程经验确定贮液池的主要尺寸,如贮液池的直径、高度,池壁的厚度,底板和顶盖的结构形式及节点连接方案。

圆形贮液池的高度根据其容积而定,当容积为 50~500 m³ 时,高度一般取 3.5~4 m;容积在 600~2000 m³ 时,高度常用 4.0~4.5 m;对容积大于 2000 m³ 的大型贮液池,高度取 4.5~6.0 m。在进行内力分析时,贮液池的直径取池壁轴线之间的距离(图 1-5)。

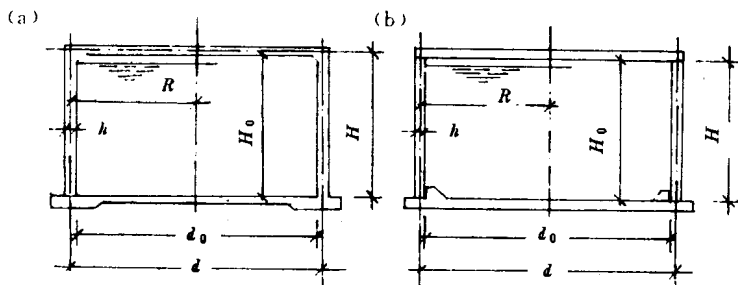


图 1-5 池的直径与高度

圆池的高度定好以后,可以根据池子的容积推算出池子的直径。内力分析时,池壁的高度取决于池壁与顶盖、底板的连接构造。当池壁上端为弹性嵌固、下端为固定端时,池壁的计算高度取其净高加上顶盖厚度之半;当上、下端均为铰接时,计算高度取铰中心之间的距离。

池壁的厚度主要取决于池壁的抗裂要求,当池壁的高度较低时,可以做成等厚的,等厚池壁的最小厚度不小于 120mm。当池壁高度较大时,可以做成变厚池壁,变厚池壁的厚度一般按线性变化,变化律一般为 2%~5%,即每米高增加厚度 20~50mm。无盖的贮液池厚度变化率可以大些,顶部最小厚度不小于 80mm。

1.3.2 池壁上、下端连接构造与约束简图

池壁两端的约束条件根据实际采用的连接方案,可以分为固定支座、自由端、铰支连接和弹性嵌固四种情况。

一、固定端

当池壁下端与底板连接为整体现浇,并且符合以下三条规定时,在荷载作用下池壁下端的位移和转角几乎为零,可以按固定端处理(图 1-6)。

- (1) $h_1 \geq h$;
- (2) $c_1 > h$ 且 $c_2 > c_1$;
- (3) 地基土为低压缩或中压缩性土。

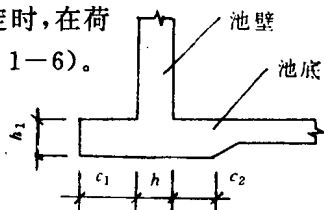


图 1-6 固定端连接

二、自由端

无盖贮液池的顶端可以作为自由端处理(图 1-7a)。图 1-7(c)所示的顶盖,在内部液压力作用下,池壁顶端可以向外自由移动,应按自由端处理,但在外侧土压力作用下,顶盖限制池壁上端的侧移,这时可按不动铰支座处理。图 1-7(b)的搁置顶盖也按顶端自由对待。

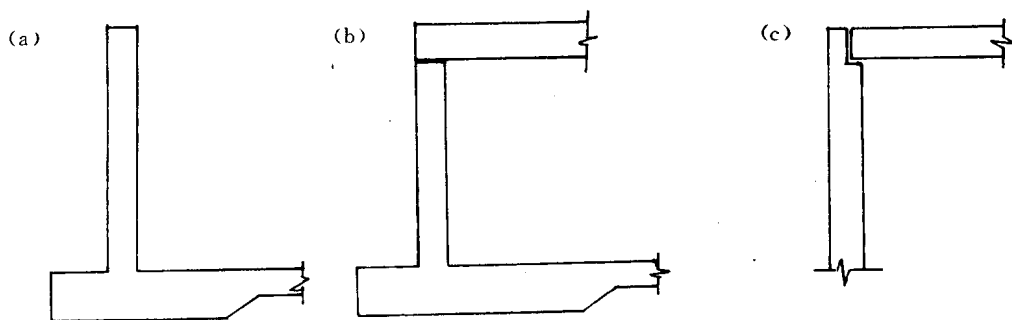


图 1-7 自由端

三、铰支连接

在整体现浇贮液池中,也可以把顶盖与池壁的连接、底板与池壁的连接处理成铰支,图 1-8 所示即为此类情况。