

高等学校試用教科書

鋼筋混凝土及磚石結構

第四分冊 鋼筋混凝土結構補充部分

(給水排水專業適用)

“工程結構”教材選編小組選編



中國工業出版社

557
12244
T4

283645

557
12244
T4 V

高等学校試用教科書



鋼筋混凝土及磚石結構

第四分冊 鋼筋混凝土結構補充部分

(給水排水專業適用)

“工程結構”教材選編小組選編

中國工業出版社

本书主要根据教育部拟定的“建筑学”、“给水排水”及供热供煤气与通风专业1959年教学计划(草案),以五年制的学制来编写的。

全书共分五个分册。第一分册为适用于以上各专业的钢筋混凝土结构基本部分;第二分册为适用于以上各专业的砖石结构;第三分册为适用于建筑学专业的钢筋混凝土结构补充部分;第五分册为适用于供热供煤气与通风专业的钢筋混凝土结构补充部分。

本分册内容分三章,第一章为水池水塔;第二章为水管结构;第三章为沉井泵房。

本书也可作为四年制或六年制的“给水排水”专业的学生、工程技术人员及研究生参考之用。

钢筋混凝土及砖石结构

第四分册 钢筋混凝土结构补充部分

(给水排水专业适用)

“工程结构”教材选编小组选编

*

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张7¹/₈·插页1·字数164,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—1,437·定价(10-6)0.91元

统一书号:15165·820(建工-78)

目 录

第一章 水池和水塔	5	§ 1-9 預应力鋼筋混凝土圓形水池的	42
第一节 概述	5	計算	42
§ 1-1 一般說明	5	§ 1-10 苏联装配式預应力鋼筋混凝土	43
§ 1-2 水池結構方案的选择	5	水池标准設計介紹	43
§ 1-3 防水措施及設計时应注意的問	6	第四节 矩形水池	51
第二节 圓形水池	7	§ 1-11 一般說明	51
§ 1-4 一般說明	7	§ 1-12 矩形水池池壁的計算	52
§ 1-5 池壁內力的計算	8	(一) 板式池壁	52
(一) 池壁底端为滑动时	8	(1) 当 a/H 或 b/H 等于 $1/2-2$ 时	52
(二) 池壁底端为固定时	10	(2) 当 a/H 或 b/H 小于 $1/2$ 时	53
(1) 池壁为等厚度时	10	(3) 当 a/H 或 b/H 大于 2 时	54
(2) 池壁为变厚度时	13	(二) 扶臂式池壁	55
例1-1	14	(三) 扶臂加橫肋式池壁	55
§ 1-6 水池頂盖和底板內力的計算	17	§ 1-13 无梁頂盖的計算	55
(一) 一般說明	17	(一) 柱帽	55
(二) 圓形平板的計算	18	(二) 頂板	56
(1) 无中心支柱的頂盖和底板	18	(三) 柱	58
例1-2	20	第五节 水塔	58
(2) 有中心支柱的頂盖和底板	22	§ 1-14 水塔的型式及构造	58
(三) 具有薄壳頂的水池的計算	23	§ 1-15 水塔計算要点	62
(1) 构件的剛度 (对支座环截面的	24	(一) 水箱	62
中心处而言) ——即使构件边	24	(二) 支柱 (或支筒)	63
緣产生单位变形所需的力	24	(三) 基础	64
(a) 球形薄壳頂盖的剛度	24	参考文献	65
(b) 池壁的剛度	26	附录1-1, 附录1-2, 附录1-3, 附录1-4,	
(c) 支座环的剛度	27	附录1-5.	
(2) 在彈性固定时, 构件边缘处的	28	第二章 水管結構	85
反力值	28	第一节 概述和荷載	85
(a) 确定球形頂盖的边缘为嵌固	28	§ 2-1 用途	85
时, 边缘处的反力值	28	§ 2-2 分类	85
(b) 确定在彈性固定时, 結点处	29	(一) 按照敷管方法分	85
的变形值 α 及 ν	29	(二) 按照奠基方法分	85
(c) 确定在彈性固定时的反力	29	(三) 按照管的剛性分	86
值	29	(四) 按照管的截面形状分	87
例1-3	30	(五) 按照水压力有无分	87
第三节 預应力和装配式圓形水池	38	(六) 按照所用材料分	87
§ 1-7 一般說明	38	§ 2-3 作用于水管上的荷載	87
§ 1-8 构造及其施工方法	38	(一) 管自重	87
		(二) 管内水压力	87

(三) 管外水压力.....	88	第三节 预应力钢筋混凝土水管.....	100
(四) 垂直土压力.....	88	§ 2-7 一般说明.....	100
(1) 沟埋式.....	88	§ 2-8 预应力钢筋混凝土制造方法.....	100
(2) 上埋式.....	89	(一) 管芯制造.....	100
(五) 刚性管土壤侧压力.....	89	(二) 在管芯上缠绕钢丝及建立	
(六) 地面荷载的作用.....	90	预应力的方法.....	100
(七) 刚性管的支点反力.....	90	(三) 保护层.....	101
第二节 钢筋混凝土圆管.....	91	§ 2-9 预应力钢筋混凝土水管	
§ 2-4 水管静力计算.....	91	抗裂性计算.....	101
(一) 计算原则.....	91	(一) 基本假设.....	101
(1) 管壁内力计算草图.....	91	(二) 确定中和轴位置.....	102
(2) 未知力 X_1 和 X_2 的确定.....	91	(三) 确定 M_{rp} 值.....	103
(二) Г. К. 克列恩的计算方法.....	92	(四) 设计要求.....	103
(1) 平基敷管时的 M 及 N 值.....	92	§ 2-10 预应力钢筋混凝土水管的构造.....	104
(2) 弧形土基和刚性座垫敷管情形		(一) 接口.....	104
时的 M 及 N 值.....	94	(二) 管基.....	104
(3) 上埋式和沟埋式均布土壤侧压		(1) 土基敷管.....	104
力的 M 及 N 值.....	94	(2) 混凝土座垫.....	105
§ 2-5 水管的截面选择.....	95	第四节 其它型式的管道简介.....	105
(一) 一般说明.....	95	§ 2-11 拼合式沟管.....	105
(二) 按照承载能力选择水管截面的原		§ 2-12 拱沟.....	105
则.....	96	§ 2-13 盖板式管道.....	106
(1) S 值的确定.....	96	§ 2-14 刚构式钢筋混凝土管道.....	107
(2) ϕ 值的确定.....	96	§ 2-15 苏联 H. Л. 布尔德兹格拉所拟定	
(三) 钢筋混凝土抗裂性计算的原则.....	96	的新型管道.....	107
§ 2-6 水管的构造.....	96	参考文献.....	108
(一) 一般说明.....	96	第三章 沉井泵房.....	109
(二) 钢筋混凝土水管的配筋.....	96	第一节 概述.....	109
(1) 横向受力钢筋.....	97	第二节 圆筒形沉井泵房.....	110
(а) 单筋.....	97	§ 3-1 沉井的构造.....	110
(б) 双筋.....	97	(一) 井墙.....	111
(2) 纵向构造钢筋.....	97	(二) 刃脚.....	111
(3) 钢箍.....	97	(三) 井墙与刃脚的配筋.....	112
(三) 水管的接口.....	98	(四) 井底的配筋.....	112
(1) 管口的形式.....	98	§ 3-2 沉井的计算.....	113
(а) 平头管端.....	98	(一) 决定井墙厚度.....	113
(б) 槽口管端.....	98	(二) 井墙强度计算.....	114
(с) 企口管端.....	98	1. 水平压力下井墙的计算.....	114
(2) 接口的形式.....	98	2. 井墙开裂计算.....	114
(а) 平头接口.....	98	(三) 刃脚强度计算.....	115
(б) 企口接口.....	99	(四) 混凝土基垫计算.....	116
(с) 套环接口.....	99	(五) 钢筋混凝土底板计算.....	116
(四) 水管的基础.....	99	(六) 上浮力验算.....	116

第一章 水池和水塔

第一节 概 述

§ 1-1 一 般 說 明

在給排水工程中的水池和水塔，可以用鋼、鋼筋混凝土及磚石結構作成，由于鋼筋混凝土具有較好的耐久性且節約鋼材和構造簡單等優點，所以应用于各种水池結構是极其广泛的。例如用于自来水厂中容积很大的貯水池，公共游泳場的游泳池，以及工厂中为了各种工艺目的而建造的水池和水塔。鋼筋混凝土水池也可以用于貯存各种液体，例如酒、酒精、汽油等。貯存对混凝土本身有害的液体，也可以采用而且也經常用鋼筋混凝土水池，但需要在与有害液体相接触的池壁內表面，用玻璃、陶瓷等抗蝕性較强的材料复面。

近年来由于装配式和預应力鋼筋混凝土結構的迅速发展，使鋼筋混凝土水池更扩大了它的应用范围。

鋼貯水池由于构造复杂，耗鋼量較大，且不宜用于埋在地下，但具有自重小及抗渗性能好等的优点，因而一般应用于建造水塔和貯存汽油、石油等輕质燃料等用的貯池。

磚石水池一般适用于池壁高度不大，位于地面上的水池，当池深度及容量很大时，就会使池壁很厚，造成材料消耗很大，而且在池壁边长較长时，容易由于基础不均匀沉陷而发生裂縫，因而造成漏水。但磚是地方性材料，在一般条件下，在全国各地不論城市或乡村，到处可以制造和就地取材。因此，在節約劳动力、和鋼材、水泥及木材的方針下，考虑到当时当地的具体条件，在中小型企业以及小城市、市鎮，在建造水池时，还可以考虑采用磚石結構的水池。

鋼筋混凝土水池按其平面形状，可分为圓形的和矩形的（多角形的較少），按照工艺要求，水池可分为有頂盖的和无頂盖的。按其建造位置，可分为地下式的、半地下式的及地上式的。在地上式的水池中，有的是建造在地表面上，有的是建造在建筑物上而有的是建造在塔架或烟囱上。后者，就是水塔（見第五节各图）。

§ 1-2 水池結構方案的选择

水池的結構方案的选择，应首先滿足生产工艺的要求，在此前提下，应力求劳动力为最省，造价为最經濟。

按內力分布及經濟方面說，最有利的要算是圓形（圓筒形）水池。水池在靜水压力作用下，池壁的大部分受拉，这种拉力，由池壁中环向鋼筋来承担。同时，圓形水池池壁在同一水平上所有点的应力都是一致的，这样就給水池的构造提供了很大的方便。此外，圓形水池，就材料的消耗量來說，也是較經濟的，因为在同样容积的条件下，平面为圓形时的表面面积为最小。因此，在一般情形下，选用圓形水池是較合理的。

当建造小容量（ $50-200m^3$ ）的水池时，由于圓形水池和矩形水池的造价都差不多，因而，其形式的确定，主要是根据生产工艺的要求，以及当地当时的具体条件来决定。

容量为200—1000 m^3 的地下式或半地下式的水池，由于在这样的容量下，水池直径不会太大，中间可以不设立柱子，所以采用具有圆顶的圆形水池，较为经济。

当容量在1000—1500 m^3 或更大时，由于水池的直径较大，中间须设立柱子，所以采用具有无梁式顶盖的圆形水池，较为经济。

当容量在5,000—30,000 m^3 或更大时，若采用圆形水池，则由于水池直径很大，引起池壁内拉力过大，因而池壁较厚，采用一般的圆形水池就不如具有无梁式顶盖的矩形水池合理。

若池壁采用预应力，则圆形水池的经济范围更为扩大。在国外预应力圆形水池，有容量大于100,000 m^3 者。

但是，在某些具体的条件下，即使在容量不大的情况时，采用矩形水池也是必要的。因为矩形水池的外形较有利，在同样容量的情形下，若干个水池并排在一起时占地较小。

§ 1-3 防水措施及设计时应注意的问题

在设计钢筋混凝土水池时，对于保证其具有不透水性必须加以注意，合理的结构构造及稳固的基础，是保证长期不渗水的基本要求。同时为了满足这种不渗水的要求，应采用比较密实的混凝土（骨料应有良好的级配，较小的水灰比以及采用真空作业及压力灌浆等）。同时在混凝土的表面，进行防水措施。

防水的方法很多，普通是将混凝土表面涂以各种非溶解性的涂料，或在混凝土表面涂以沥青制成的热的混合物等等。但是这些涂料或焦油，常易从混凝土的表面脱落，因而采用这种方法，并不能保证混凝土不渗水。

通常是在混凝土制备过程中加入水重量10%的乳状防水剂以及水玻璃，这样，能在某种程度上增加混凝土的不渗水性。用铁抹子压实表面，特别是掺有水玻璃的混凝土，也能提高它的不渗水性。

在混凝土的表面，喷射一层或两层（每层厚2.5cm）1:2的水泥砂浆，也能使混凝土的不渗水性得以提高。

最有效的提高不渗水的方法，还是施加预应力。

在大型水池中，必须建造温度——收缩缝。这种缝，一般是沿着水池的长度根据技术规范所规定的距离来设置的。当水池的宽度很大时，横的方向也应根据同样要求设置温度——收缩缝。

对于漏水要求不大严格的水池，只要在企口缝（图1-1 a, b）中，填以沥青和油纸或油毛毡也就足够了。

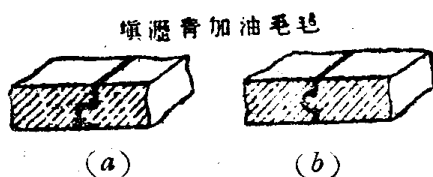


图 1-1

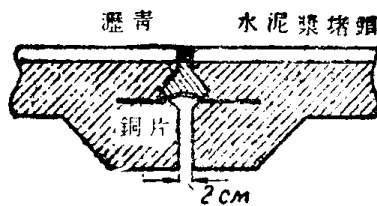


图 1-2

如果溫度——收縮縫必須保證完全不滲水，那麼最好採用圖1-2所示的構造，這種縫是用鋼片或鋼片作成几字形，澆注在混凝土中，縫口處填以瀝青及水泥漿堵頭。

地上式或半地上式的水池，為了防止外界空氣溫度的影響，根據不同的計算氣溫，可在頂蓋上復蓋一層土（當計算氣溫在 -10°C 以內時，土層的厚度，可用 0.5m ； -30°C 以內時，可用 0.7m ；低於 -30°C 時，可用 1.0m 左右）。在這種情形下，其計算方法與埋在地下水池，並沒有什麼區別。

另外在設計水池時，應盡量使水池的底板高於地下水的最高水位，這樣就可以免除地下水給底板的水壓力作用，同時還可免去池壁外圍的防水措施。為此，在所有的情形下，應在水池的四周，設立排水溝，以排除地面水。

在地震區或大孔性土壤上建造水池時，應特別注意整個構築物的剛性，最好採用整體式或裝配—整體式鋼筋混凝土結構，因為這種結構，具有較大的剛性來抵抗由於基礎局部沉陷或振動時所引起的附加應力。在大孔性土壤上建造水池時，對排水和防漏問題，需特別加以注意。最好在建造水池前將大孔性土壤用重錘夯實或以砂化的方法，加以處理。

水池的計算，通常考慮兩種不利荷載情形：一是在試水階段的池內有水而池外還未填土；時而另一種情況是當池中無水而池外已回填土時，這種情況將會在修理期間或使用過程中發生。此外在有必要時，還需進行溫度應力的計算，尤其是对貯存熱的液體時，更屬必要。

若水池池底低於地下水水位很多時，應考慮整個水池有上浮的可能性。

第二节 圓形水池

§ 1-4 一般說明

圓形水池由頂蓋、支座環梁、池壁、底板及基礎等部分組成。其結構形式及構造尺寸視水池的容量而異。

（一）容量在 200m^3 以內的水池，頂蓋可為平板式，並以環梁加固（如圖1-3所示）。池壁作成等厚，一般厚度不應少於 8cm 。

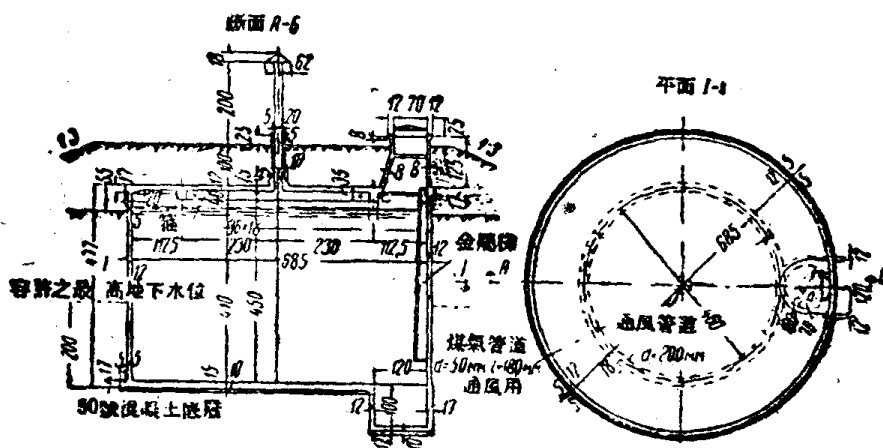


圖 1-3 $V = 200\text{m}^3$ 的水池

(二) 当容量在 $200-1,000m^3$ 时, 一般水池内径不大于 $15m$, 顶盖可作成球顶, 球顶内力主要为受压, 故能充分发挥材料效能, 所以它虽然具有较薄的厚度而能复盖较大的平面面积, 显示出它在经济方面的优越性。由于施工及构造要求, 顶厚不应少于 $8cm$ 。当容量在 $500m^3$ 以内时池壁的厚度可用等断面, 大于 $500m^3$ 时, 可用变断面, 即池壁自上而下按直线关系加宽。当有地下水的水头的作用时, 如地下水的水头不大, 则其池底可作成平面结构, 如地下水的水头很大, 则最好作成反拱的型式。这时, 厚度由计算确定。当无地下水的水头作用时, 底板不承受任何荷载, 其厚度可取 $8cm$ 。

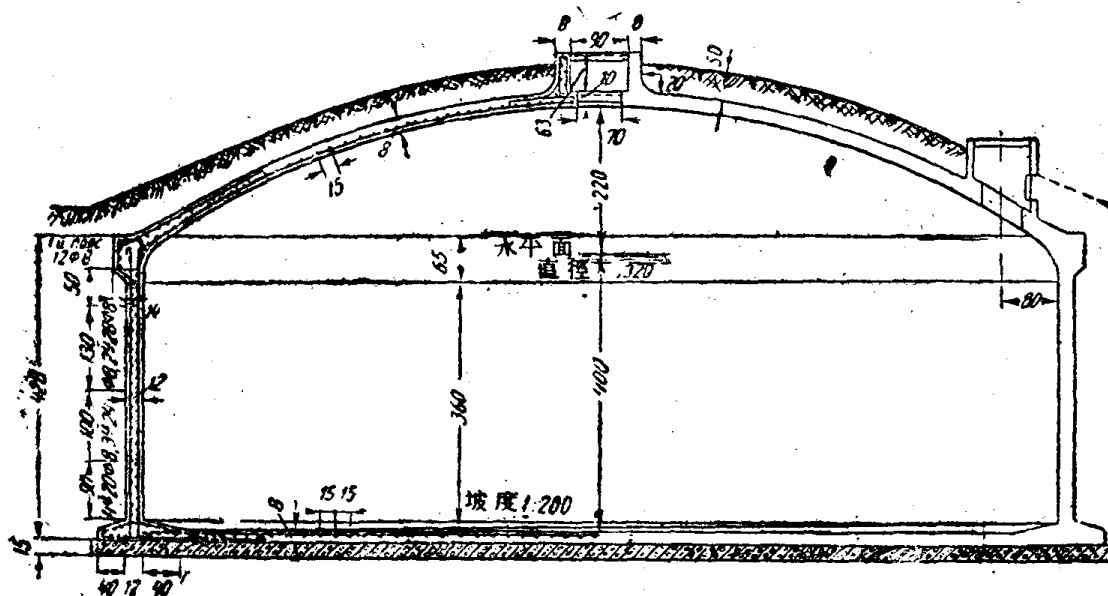


图 1-4

(三) 当容量为 $1,000-5,000m^3$ 时, 顶盖采用无梁顶盖, 顶板厚度不应少于 $12cm$, 柱网为 $3.5-4.5m$, 柱断面尺寸不应小于 $25 \times 25cm$ (方柱) 或直径不应小于 $25cm$ (圆柱)。

池壁的厚度由计算的环拉力确定, 但不应小于 $8cm$, 一般作成变断面形式。对于无顶盖的水池, 如果池中的水有可能结冰时, 为了防止冰盖层的破坏作用, 适当地在池壁内表面作成 $\frac{1}{15}-\frac{1}{20}$ 的斜坡。

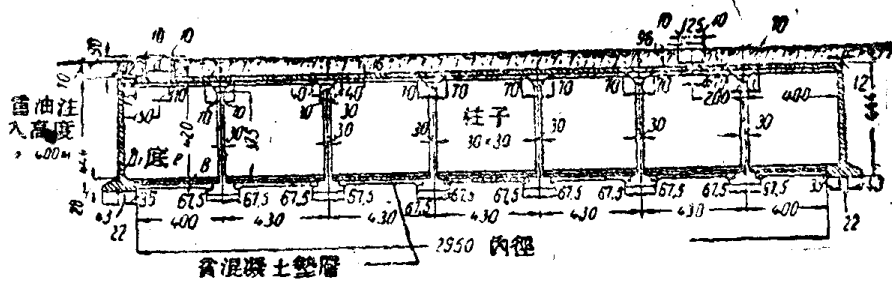
池底在有地下水的情形下, 可作成无梁底板, 一般与顶盖一样, 其厚度也不应小于 $12cm$ 。当没有地下水作用时, 可作成柱下单独基础及池壁下的环形基础, 这时底板本身可用 $8cm$ 厚, 见图1-5所示。

§ 1-5 池壁内力的计算

圆形水池的计算特点, 除和一般结构一样需要进行强度计算以外, 对于遇水部分尚须进行限制裂缝宽度的计算。由于池壁与底板或顶盖的连接方法不同, 其内力分布也将不同, 因而在计算方法上也有所差别。对于小直径的水池, 可近似地忽略其底板与池壁的固定作用, 其结果影响不大。现在将各种情况的计算方法分述于后:

(一) 池壁底端为滑动时

由水力学中知, 当水深为 y 时, 作用于 y 处单位面积上的静水压力为:



平面

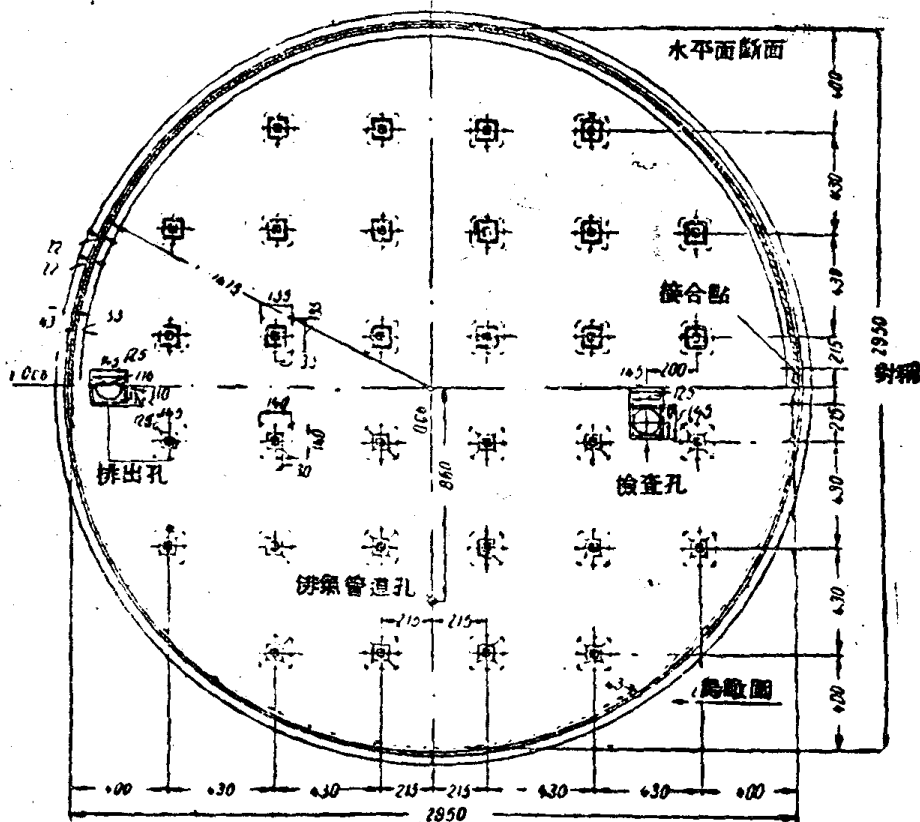
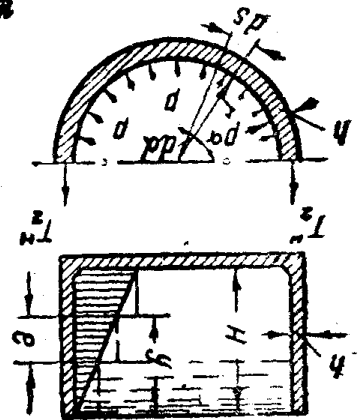
图 1-5 $V = 2500m^3$ 的水池

图 1-6 水池的计算简图

$$p = \gamma_* y \quad (1-1)$$

式中 γ_* ——液体的单位容重，对于水来说， $\gamma_* = 1T/m^3$ 。

如图1-6a所示，池壁所受的压力为三角形分布，在水池池壁上截取二水平截面，其间距为单位长度，即取出1个单位高度的圆环，此圆环所受之水压力为 p ， p 之大小随所截取的环，距水表面的距离 y 而定，它可由公式(1-1)求得。

设该圆环内拉力为 T_2^* ，则

$$T_2^* = pr = \gamma_* y r \quad (1-2)$$

此处 r 代表水池内径。

环拉力 T_2^* 的分布图形与静水压力 p 的分布图形一样，亦为一三角形，池底为最大。这些环向拉力由钢筋来承受，为了计算钢筋，通常是沿池壁的全高上划分成若干单位

高(如为1m)的单独区带,在最上面的一区带,可能是小于或稍大于1m。在每一区带内,为了简化和偏于强度安全起见,钢筋的截面面积是根据该区带范围内的最大拉力来确定。即三角形分布的静水压力图形可用阶梯形的图形来代替。

在深度为 y 处,每 m 高度内的环向钢筋的截面面积为:

$$F_a = \frac{1.1T_2^*}{mR_{ay}} = \frac{1.1\gamma_w y^2}{mR_{ay}} \quad (1-3)$$

池壁内环向受力钢筋能按每个区带计算所需数量配置,可采用相同直径的钢筋从上而下间距逐段加密,池壁较高时,为了避免较上及较下的区带内钢筋间距有过稀和过密的现象,在整个高度上也可以选用不同直径的钢筋,但规格不宜太多。一般环筋的直径宜用6—16mm,其间距不应大于20cm,即每 m 高度内不少于5根环筋。为了浇灌混凝土时固定环筋的位置在垂直方向应放置架立钢筋,其直径较环筋的直径为小,间距按10—20cm放置。

池壁厚度 h_y 可由中心受拉构件限制裂缝出现的基本公式求得:

$$T_2^* \leq m_1 R_{py} F_0 \left(1 + 2n \frac{F_a}{F_0} \right), \quad (1-4)$$

由此

$$F_0 = 100h_y = \frac{T_2^* - 2m_1 n R_{py} F_a}{m_1 R_{py}}$$

将 $m_1 = 1.9$ 代入,则得:

$$h_y = \frac{T_2^* - 3.8 n R_{py} F_a}{100 R_{py}} \quad (1-5)$$

式中 F_a ——由公式(1-3)所确定;

n ——为钢筋的弹性模量与混凝土的弹性模量的比值,

$$n = \frac{E_a}{E_s}$$

(二) 池壁底端为固定时

池壁底端与底板的联结处,通常用支托的型式加厚其截面。此时,可考虑池壁底端为固定情形。池壁内除产生环向拉力外,同时在垂直方向还发生弯矩,我们可设想池壁为由许多条底端为固定的垂直悬臂梁及许多条水平圆环所组成。

作用于池壁上的水压力由此两部分所负担,荷载的分配根据悬臂梁的挠度与该点在水平圆的半径方向上的变形相等的条件来确定。换言之,垂直板条相当于一个底部固定、顶部为自由的梁,它受有三角形或梯形分布的外载,在其全长上,作用着与挠度成比例的支承反力。它象一个放置在弹性地基上的梁一样。

(1) 池壁为等厚度时:

设一圆形水池的半径为 R ,池高为 H ,池壁厚度为 h (图1-7)。则水平圆环所担负单位面积上的静水压力为 P_k ,则此圆环中的拉力为

$$T_2 = P_k R \quad (1-6)$$

因此,其应力为: $\sigma = \frac{T_2}{1 \cdot h} = \frac{P_k R}{h}$

圆环在圆周方向的应变为

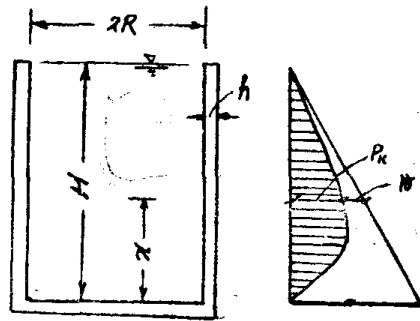


图 1-7

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P_{\kappa} R}{Eh}$$

設圓環受力产生变形后, 半徑方向增大 y , 且因圓周方向应变等于徑向应变, 故

$$y = \varepsilon R = \frac{P_{\kappa} R^2}{Eh} \quad (1-7)$$

$$\therefore P_{\kappa} = \frac{Eh}{R^2} y \quad (1-8)$$

設悬臂梁所担負单位面积上的靜水压力为 P_{σ} 。

因 $P_{\kappa} + P_{\sigma} = \gamma_{*}(H-x)$, x 值由池壁底处算起, γ_{*} 为液体的单位容重。

$$\therefore P_{\sigma} = \gamma_{*}(H-x) - \frac{Eh}{R^2} y \quad (1-9)$$

因混凝土的側向应变較小, 为了簡化計算起見, 可令波桑比 μ 等于零。由材料力学可以得到梁的彈性曲綫微分方程式:

$$\left. \begin{aligned} EJ \frac{d^2 y}{dx^2} &= -M, \\ EJ \frac{d^3 y}{dx^3} &= -\frac{dM}{dx} = -Q, \\ EJ \frac{d^4 y}{dx^4} &= -\frac{dQ}{dx} = P. \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式中 M 、 Q 及 P 为梁的弯矩、橫向力及单位面积上的荷載, 如将公式 (1-9) 代入公式 (1-10) 中最后一式, 則得:

$$EJ \frac{d^4 y}{dx^4} = \gamma_{*}(H-x) - \frac{Eh}{R^2} y,$$

式中 $J = \frac{I_x h^3}{12}$, 上式除以 EJ , 并令 $\frac{1}{S_1} = \sqrt[4]{\frac{h}{4R^2 J}}$ 即

$$S_1^4 = \frac{h^2 R^2}{3} \quad \text{或} \quad S_1 = 0.76 \sqrt{hR}; \quad \text{則得}$$

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{4}{S_1^4} y = \frac{\gamma_{*}(H-x)}{EJ}. \quad (1-11)$$

这个微分方程 (1-11) 的特解为:

$$y = \frac{\gamma_{*}(H-x)}{\frac{4}{S_1^4} EJ} = \frac{\gamma_{*}(H-x) R^2}{Eh} \quad (1-12)$$

与公式 (1-7) 相比較可以看出, 特解相当于池底为自由情形。而公式 (1-11) 之通解为:

$$\begin{aligned} y = & e^{\frac{x}{S_1}} \left(C_1 \cos \frac{x}{S_1} + C_2 \sin \frac{x}{S_1} \right) + e^{-\frac{x}{S_1}} \left(C_3 \cos \frac{x}{S_1} + C_4 \sin \frac{x}{S_1} \right) \\ & + \frac{\gamma_{*}(H-x) R^2}{Eh} \end{aligned} \quad (1-13)$$

式中 C_1 、 C_2 、 C_3 及 C_4 为参变数, 可根据二端边界条件确定。

池壁厚度 h ，一般要比水池的半径 R 及池高 H 小很多，当 $\frac{x}{S_1}$ 大于 2.65 时，则可认为池壁两端之边界力，互不影响，故一般圆形水池的池壁，可近似地假设为—弹性地基上的无限长梁，参变数 C_1 及 C_2 为零。

故公式 (1-13) 可改写为：

$$y = e^{-\frac{x}{S_1}} \left(C_3 \cos \frac{x}{S_1} + C_4 \sin \frac{x}{S_1} \right) + \frac{\gamma_* (H-x) R^2}{Eh} \quad (1-14)$$

现在可根据池壁底端的边界条件来确定 C_3 及 C_4 ，因池壁底端为固定，其水平变位等于零：

$$\text{即 } (y)_{x=0} = 0$$

由公式 (1-13) 得

$$(y)_{x=0} = C_3 + \frac{\gamma_* H R^2}{Eh} = 0$$

$$\therefore C_3 = -\frac{\gamma_* R^2 H}{Eh}$$

同时池壁底端的角变位亦为零，即 $\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = 0$ ，由公式 (1-14)，令 $x=0$ ，得

$$\begin{aligned} \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} &= \left[-\frac{1}{S_1} C_3 e^{-\frac{x}{S_1}} \left(\cos \frac{x}{S_1} + \sin \frac{x}{S_1} \right) + \frac{1}{S_1} C_4 e^{-\frac{x}{S_1}} \left(\cos \frac{x}{S_1} - \sin \frac{x}{S_1} \right) - \frac{\gamma_* R^2}{Eh} \right]_{x=0} \\ &= \frac{1}{S_1} (C_4 - C_3) - \frac{\gamma_* R^2}{Eh} = 0 \\ \therefore C_4 &= -\frac{\gamma_* R^2}{Eh} (H - S_1) \end{aligned}$$

将 C_3 及 C_4 数值代入公式 (1-14) 得：

$$y = \frac{\gamma_* R^2}{Eh} - \left\{ (H-x) - e^{-\frac{x}{S_1}} \left[H \cos \frac{x}{S_1} + (H-S_1) \sin \frac{x}{S_1} \right] \right\}$$

$$\text{令 } \eta_1 = e^{-\frac{x}{S_1}} \cos \frac{x}{S_1} \quad \text{及} \quad \eta_2 = e^{-\frac{x}{S_1}} \sin \frac{x}{S_1}$$

$$\text{则 } y = \frac{\gamma_* R^2 H}{Eh} \left[1 - \frac{x}{H} - \eta_1 - \left(1 - \frac{S_1}{H} \right) \eta_2 \right] \quad (1-15)$$

由公式 (1-7) 并考虑公式 (1-6) 得：

$$y = \frac{T_2 R}{Eh}$$

再代入公式 (1-15) 得

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{Eh y}{R} = \gamma_* R H \left[1 - \frac{x}{H} - \eta_1 - \left(1 - \frac{S_1}{H} \right) \eta_2 \right] \\ &= T_{20} - T_{20} \left[\eta_1 + \left(1 - \frac{S_1}{H} \right) \eta_2 \right] \end{aligned} \quad (1-16)$$

式中 $T_{20} = \gamma_* R(H-x)$ 为静定时环向拉力;

$T_{20} = \gamma_* RH$ 为静定时底端之环向拉力。

将公式 (1-15) 微分两次可得弯矩 M_x

$$\begin{aligned} M_x &= EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = EJ \frac{2\gamma_* R^2 H}{EhS_1^2} \left[\eta_2 - \left(1 - \frac{S_1}{H}\right) \eta_1 \right] \\ &= \frac{P_1 S_1^2}{2} \left[\eta_2 - \left(1 - \frac{S_1}{H}\right) \eta_1 \right] \end{aligned} \quad (1-17)$$

式中 P_1 为池底静水压力;

$$P_1 = \gamma_* H$$

根据 x 值可以求出 T_{20} 、 η_1 及 η_2 等数值, η_1 及 η_2 称为寻墨尔系数可由附录 (1-1) 中查得, 代入公式 (1-16) 及 (1-17) 中, 即可求得环拉力 T_2 及垂直方向弯矩 M_x 。 T_2 及 M_x 沿池壁高度上分布情形如图 (1-8) 所示。最大环拉力 T_2 距池壁底端约 $1/3$ 高度处, 垂直方向弯矩 M_x 在底端处产生最大值, 随着距底端距离的不断增大, M_x 值就衰减的很快, 所以, M_x 的作用, 带有局部的性质的。

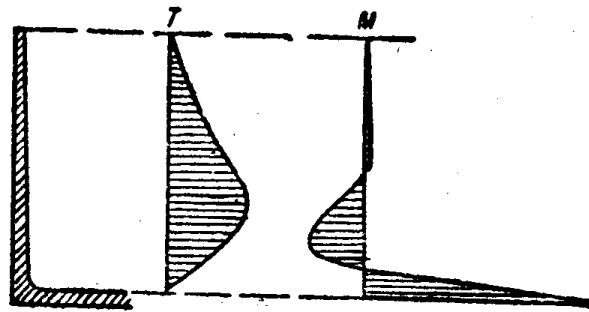


图 1-8 池壁内力分布图

在底端处, $x=0$, 查得 $\eta_1=1$ 及 $\eta_2=0$, 得底端最大弯矩

$$M_1 = (M_x)_{x=0} = -\left(1 - \frac{S_1}{H}\right) \frac{P_1 S_1^2}{2} \quad (1-18)$$

将公式 (1-17) 微分一次, 得 Q_x

$$Q_x = \frac{P_1 S_1}{2} \left[\eta_1 + \left(1 - \frac{S_1}{H}\right) \eta_2 \right] - \frac{M_x}{S_1}$$

底端处的横向力为最大, 当 $x=0$ 时, 可得底端最大横向力 Q_1

$$Q_1 = \frac{P_1 S_1}{2} - \frac{M_1}{S_1} \quad (1-19)$$

一般情形下, 池壁由横向力 Q_x 甚小, 在底端处用公式 (1-19) 所求得的 Q_1 值不应大于 $mbh_0 R_{py}$ 。

(2) 池壁为变厚度时:

池壁厚度为变断面时的内力分析的基本原理与上述相同, 不过更为复杂而已。科学家曾在这方面从事很多的研究, 在实际应用上以 П. Л. 派司乞那克 (Пастернак) 教授所提出的方法最为适用。

这里只介绍这个方法所导出的最后应用公式, 至于引证因为很复杂, 故不引述^①。

① 可参考(1-3)第51页至62页。

首先列出下列联立方程式求出池壁底端的横向力 Q_1 及弯矩 M_1

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}M_1 + \delta_{12}Q_1 &= \delta_{1p} \\ \delta_{21}M_1 + \delta_{22}Q_1 &= \delta_{2p} \end{aligned} \right\} \quad (1-20)$$

式中弹性变形系数

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{1}{1 - 1.25 \frac{S_1}{H_1}} S_1 \\ \delta_{12} = \delta_{21} &= \frac{1}{1 - 1.25 \frac{S_1}{H_1}} \times \frac{S_1^2}{2} \\ \delta_{22} &= \frac{1 - 0.25 \frac{S_1}{H_1}}{1 - 1.25 \frac{S_1}{H_1}} \times \frac{S_1^3}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

荷重系数

$$\left. \begin{aligned} \delta_{1p} &= \frac{S_1^4}{4H} \left(P_1 \frac{h_2}{h_1} - P_2 \right) \\ \delta_{2p} &= \frac{S_1^4}{4} P_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-22)$$

公式(1-21)及(1-22)中的变形值都增大 EJ 倍。

S_1 表示池壁下端刚性的一种数值

$$S_1 = \sqrt[4]{\frac{h_1^2 R^2}{3}} = 0.76 \sqrt{h_1 R} \quad (1-23)$$

式中所用符号

R ——池壁中间高度处的平均半径；

h ——池壁厚度，底端为 h_1 ，顶端为 h_2 ；

P ——池壁所受外载，底端为 P_1 ，顶端为 P_2 。

池壁各点的弯矩及环向拉力由下式求得：

$$M_x = M_1 \eta_1 + (M_1 + S_1 Q_1) \eta_2 \quad (1-24)$$

$$T_2 = T_{20} + \frac{4R}{S_1^4} [M_1 \delta_{12} \eta_2 - (M_1 \delta_{12} + Q_1 \delta_{22}) \eta_1] \quad (1-25)$$

式中 $T_{20} = PR$ ——静定时的环向拉力。

例 1-1 一无顶盖之圆形水池，直径为 $9m$ ，池高 $5m$ ，池壁底部为刚性固定，混凝土标号为200号，钢筋采用 $\#3$ 号钢，按照派司乞那克教授的方法，计算池壁的环拉力及弯矩。

池顶厚度 $h_2 = 0.1m$

池底厚度 $h_1 = 0.16m$

池高 $H = 5.00m$

内直径 $D = 7.00m$

平均半径 $R = 4.57m$

由公式(1-23) $S_1 = 0.76 \sqrt{h_1 R} = 0.76 \sqrt{0.16 \times 4.57} = 0.65m$

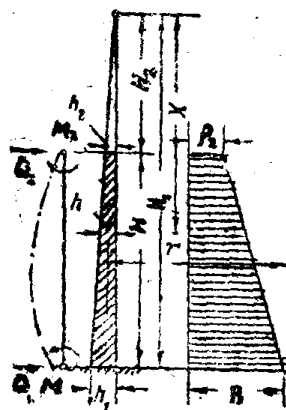


图 1-9 水池池壁计算简图

由图(1-9) $H_1 = H \frac{h_1}{h_1 - h_2} = 5 \times \frac{0.16}{0.16 - 0.10} = 13.33m$

由公式(1-21) $\delta_{11} = \frac{S_1}{1 - 1.25 \frac{S_1}{H_1}} = \frac{0.65}{1 - 1.25 \frac{0.65}{13.33}} = 0.692$

$$\delta_{12} = \delta_{12} = \frac{S_1^2}{2 \left(1 - 1.25 \frac{S_1}{H_1} \right)} = \frac{0.65^2}{2 \left(1 - 1.25 \frac{0.65}{13.33} \right)} = 0.225$$

$$\delta_{22} = \frac{S_1^3}{2} \times \frac{1 - 0.25 \frac{S_1}{H_1}}{1 - 1.25 \frac{S_1}{H_1}} = \frac{0.65^3}{2} \times \frac{0.99}{0.94} = 0.142;$$

由公式(1-22)得荷重系数, $P_2 = 0$,

$$P_1 = 5 T/m^2 = 5000 kg/m^2$$

$$\delta_{1p} = \frac{S_1^4}{4H} \left(P_1 \frac{h_2}{h_1} - P_2 \right) = \frac{0.175}{4.5} \times 5 \times \frac{0.1}{0.16} = 0.027$$

$$\delta_{2p} = \frac{S_1^4}{4} P_1 = \frac{0.175}{4} \times 5 = 0.22$$

代入(1-20), 可求得池壁底端横向力 Q_1 及弯矩 M_1

$$0.692M_1 + 0.225Q_1 = 0.027;$$

$$0.225M_1 + 0.142Q_1 = 0.22$$

解得 $M_1 = -0.955 T-m$ $Q_1 = 3.064 T$

由公式(1-25)可求得各点的环拉力

$$\begin{aligned} T_2 &= T_{20} + \frac{4R}{S_1^4} [M_1 \delta_{12} \eta_2 - (M_1 \delta_{12} + Q_1 \delta_{22}) \eta_1] = T_{20} + \frac{4 \times 4.57}{0.175} [-0.957 \\ &\quad \times 0.225 \eta_2 - (-0.957 \times 0.225 + 3.064 \times 0.142) \eta_1] \\ &= T_{20} - (22.46 \eta_2 + 22.98 \eta_1) \end{aligned}$$

按附录(1-1)中 η_1 及 η_2 即可算出各点之 T_2 值, 列于表1-1。

环向拉力的变化, 可见表1-1, 及图1-10(a)其最大之环拉力 T_2^H 为 $15.98T/m$, 距池顶为 $5.0 - 1.56 = 3.44m$ 处, 或为 $\frac{3.44}{5.00}H = 0.69H$ 的地方发生。

弯矩沿高度方向上的变化, 可按公式(1-24)确定:

$$\begin{aligned} M_x &= M_1 \eta_1 + (M_1 + S_1 Q_1) \eta_2 = -0.957 \eta_1 + (-0.757 \\ &\quad + 3.064 \times 0.65) \eta_2 = -0.957 \eta_1 + 1.035 \eta_2 \end{aligned}$$

M_x 值列于表1-2内

绘出的 M_x 的图形, 如图1-10b所示, 其最大的 $M_{max} = -0.957T-m/m = -957kg-m/m$ 。

根据这个弯矩值, 来确定池壁底部的厚度。

超载系数采用1.1, 故计算弯矩值为:

$$M = -1.1 \times 0.957 = -1.053T-m/m$$

当混凝土标号为200号和 $\mu = 0.0035$ 时:

表 1-1 T_2 的数值

φ	$x=S_1\varphi$ $=0.65\varphi$ (m)	$T_{20}=PR$ (T)	η_1	η_2	$22.98\eta_1$	$22.46\eta_2$	$T_2''(T)$
0	0	22.85	+1.0000	0	22.98	0	- 0.13
1.0	0.65	19.88	+0.1988	+0.3096	4.57	6.95	8.36
1.5	0.98	18.37	+0.0158	+0.2226	0.36	5.00	13.01
2.0	1.30	16.91	-0.0564	+0.1231	- 1.30	2.76	15.45
2.4	1.56	16.72	-0.0669	+0.0613	- 1.54	1.38	15.98
2.5	1.63	13.40	-0.0658	+0.0491	- 1.51	1.10	15.81
3.0	1.95	13.94	-0.0493	+0.0070	- 1.13	0.16	14.81
3.5	2.28	12.43	-0.0283	-0.0106	- 0.65	-0.24	13.32
4.0	2.60	10.97	-0.0120	-0.0139	- 0.27	-0.31	11.55
4.5	2.92	9.51	-0.0024	-0.0109	- 0.05	-0.24	9.80
5.0	3.25	8.00	+0.0020	-0.0065	+ 0.04	-0.15	8.11
5.5	3.58	6.49	+0.0029	-0.0029	0.06	-0.06	6.49
6.0	3.90	5.03	+0.0024	-0.0007	0.05	-0.02	5.00
6.5	4.23	3.52	+0.0015	+0.0003	0.03	+0.007	3.48
7.0	4.55	2.06	+0.0007	+0.0006	0.02	0.01	2.03

表 1-2

φ	$x=S_1\varphi$ $=0.65\varphi$	η_1	η_2	$-0.957\eta_1$	$+1.035\eta_2$	M_x ($T\cdot m/m$)
0	0	+1.0000	0.0000	- 0.957	0	- 0.957
0.5	0.32	+0.5323	+0.2908	- 0.509	+ 0.301	- 0.208
1.0	0.65	+0.1988	+0.3096	- 0.190	+ 0.320	+ 0.130
1.5	0.98	+0.0158	+0.2226	- 0.015	+ 0.230	+ 0.215
2.0	1.30	-0.0564	+0.1231	+ 0.054	+ 0.127	+ 0.181
2.5	1.63	-0.0658	+0.0491	+ 0.063	+ 0.051	+ 0.114
3.0	1.95	-0.0493	+0.0070	+ 0.047	+ 0.007	+ 0.054
3.5	2.28	-0.0283	-0.0106	+ 0.027	- 0.011	+ 0.016
4.0	2.60	-0.0120	-0.0139	+ 0.011	- 0.014	- 0.003
4.5	2.92	-0.0024	-0.0109	+ 0.002	- 0.011	- 0.009
5.0	3.25	+0.0020	-0.0065	- 0.002	- 0.007	- 0.009
5.5	3.58	+0.0029	-0.0029	- 0.003	- 0.003	- 0.006
6.0	3.90	+0.0024	-0.0007	- 0.002	- 0.0007	- 0.003
6.5	4.23	+0.0015	+0.0003	- 0.001	+ 0.0003	- 0.001
7.0	4.55	+0.0007	+0.0006	- 0.00067	+ 0.0006	0

$h_0=0.375\sqrt{1053}=12.9cm$
 $\therefore h=12.1+3.1=15.2cm$, 取用 $16.0cm$ 。
故垂直钢筋的截面面积为:
 $F_a=0.0035\times100\times12.9=4.52cm^2/m$
今采用 $9\phi8$ ($F_a=4.53cm^2$)
计算的最大环拉力为 $T_{2max}=1.1\times15.98T/m=17.58T/m$
故环向钢筋截面面积 F_a