

高等学校试用教材

钢筋混凝土特种结构

曹祖同 王玲勇 陈云霞 编

中国建筑工业出版社

前 言

本书包括挡土墙、贮液池、水塔、筒仓和烟囱五类常用的特种结构,对每类结构的型式、设计原理、计算方法、构造特点等均作了较为详细的介绍,并注意到抗震方面的内容。讲课教师可根据各校要求和学时数分别选讲其中有关章节,选择余地较大。书中每章均有较完整的计算实例,并附有适量的计算图表,便于学生自学进一步理解教材内容,掌握计算理论和方法。

本书在编写过程中,参考了《给水排水工程结构设计规范》、《烟囱设计规范》和《筒仓设计规范》。本书采用了新的法定计量单位。

本书可作为高等院校工业与民用建筑专业和建筑学专业本科的教学用书,也可作为其它有关专业以及设计、施工和科研单位工程技术人员参考书。

本书由天津大学曹祖同主编,编写分工为:第一、二、三章曹祖同,第四章王玲勇,第五章陈云霞、曹祖同。全书由哈尔滨建筑工程学院高伯杨同志主审。

由于我们的水平所限,书中一定存在不少缺点和错误,恳切希望读者指正。

编者

一九八六年七月

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：挡土墙、贮水池、水塔、筒仓和烟囱五类常用特种结构。对各类结构的型式、设计原理、计算方法和构造特点等作了较详细的讲解。各章有较完整的计算实例并附有计算图表。

本书亦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。

高等学校试用教材
钢筋混凝土特种结构

曹祖同 王玲勇 陈云霞 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13³/₄ 字数：335千字

1987年7月第一版 1987年7月第一次印刷

印数：1—17,590册 定价：2.20元

统一书号：15040·5242

目 录

第一章 挡土墙	1
1-1 无肋角式挡土墙	1
1-1-1 构造特点	1
1-1-2 计算方法	2
1-2 有肋角式挡土墙	6
1-2-1 构造特点	6
1-2-2 计算特点	7
1-3 挡土墙的抗震验算	7
1-4 挡土墙计算例题	8
参考文献	12
第二章 贮液池	13
2-1 概述	13
2-2 圆形贮液池	16
2-2-1 构造特点	16
2-2-2 池壁计算	19
2-2-3 顶盖和底板的计算	25
2-2-4 圆形贮液池计算例题	29
2-3 矩形贮液池	36
2-3-1 构造特点	36
2-3-2 计算方法	38
2-3-3 矩形水池计算例题	44
2-4 预应力混凝土贮液池	56
2-4-1 构造特点	56
2-4-2 计算特点	58
附录2-1 温度和湿度变化对池壁影响的计算	62
附录2-2 抗裂度和裂缝宽度验算	66
附表	69
参考文献	88
第三章 水塔	90
3-1 水箱	90
3-1-1 平底式水箱	90
3-1-2 英兹式水箱	92
3-1-3 倒锥壳式水箱	92
3-1-4 水箱的防渗和保温问题	94
3-1-5 水箱计算例题	95
3-2 塔身	100
3-2-1 支架式塔身	100

3-2-2 筒壁式塔身	103
3-2-3 塔身计算例题	106
3-3 基础	107
3-3-1 基础底面积计算	107
3-3-2 基础其它尺寸的确定	108
3-3-3 内力分析与配筋构造	110
附录3-1 旋转壳薄膜内力计算	114
附表	118
参考文献	121
第四章 筒仓结构	122
4-1 概述	122
4-2 荷载	125
4-2-1 荷载和荷载组合	125
4-2-2 贮料压力	125
4-3 浅仓	129
4-3-1 低壁浅仓的计算	129
4-3-2 高壁浅仓的计算	133
4-3-3 漏斗仓的计算	135
4-3-4 浅仓的构造特点	136
4-3-5 矩形浅仓例题	138
4-4 深仓	144
4-4-1 仓壁计算	144
4-4-2 仓底计算	145
4-4-3 深仓的构造特点	146
4-4-4 圆形深仓例题	148
4-5 仓下支承结构	152
4-5-1 柱支承结构	152
4-5-2 筒壁支承结构	153
4-6 筒仓抗震设计	153
4-6-1 震害及其分析	153
4-6-2 结构布置与选型	154
4-6-3 计算方法及构造要求	154
附录4-1 平面深梁的内力计算表	157
参考文献	158
第五章 烟囱	159
5-1 构造特点	159
5-1-1 基础	159
5-1-2 筒壁	160
5-1-3 内衬及隔热层	161
5-1-4 附属设备	162
5-2 计算原则	162
5-2-1 计算内容	162

5-2-2 材料强度和弹性模量取值	163
5-3 温度计算	165
5-4 荷载和内力计算	167
5-4-1 结构自重	167
5-4-2 风荷载	167
5-4-3 地震荷载	168
5-4-4 附加弯矩计算	169
5-5 筒壁的强度计算	174
5-5-1 大偏心受压	174
5-5-2 小偏心受压	176
5-6 使用阶段应力计算	177
5-6-1 荷载作用时的水平截面应力计算	177
5-6-2 温度与荷载共同作用下水平截面应力验算	180
5-6-3 温度作用下垂直截面应力计算	186
5-7 裂缝宽度验算	187
5-7-1 水平截面	188
5-7-2 垂直截面	188
5-8 钢筋混凝土烟囱筒壁计算例题	188
附录5-1 筒身代表截面处的附加弯矩不经循环计算的公式	210
附录5-2 强度计算图表	211
附录5-3 使用阶段应力计算图表	212
参考文献	214

第一章 挡土墙

挡土墙是用来抵挡和防止土体坍落的构筑物。凡土体有突变的地方，都需要做挡土墙。

挡土墙可以由砖、石、混凝土或钢筋混凝土做成。型式有重力式、板桩式和薄壁式（悬臂式和扶臂式）等，（图 1-1）。

重力式挡土墙，一般由砖、石、混凝土做成。由于土压力所引起的倾覆力矩，靠挡土墙自重产生的抵抗力矩来平衡，同时对砖、石砌体又不允许出现受拉面，致使结构的体积庞大。但此类挡土墙不需要钢材，且能就地取材。

板桩式挡土墙，可由钢、木、钢筋混凝土做成。结构比较薄，靠插入土中部分来维持整体平衡（有时在板桩上部加支撑或拉杆以协助平衡）。但插入土中部分要求较深，施工较复杂，一般需用打桩机打入。在水利工程中应用较多，工业和民用建筑施工时常用于土方工程中。

薄壁式挡土墙由钢筋混凝土做成。根据挡土高度的大小，可做成无肋角式（悬臂式）和有肋角式（扶臂式）两种。在水工结构中，对于很高的挡土墙还可以做成外形更为复杂的薄壁格架式或箱式挡土墙。

本章仅讨论薄壁式挡土墙的计算与构造问题。

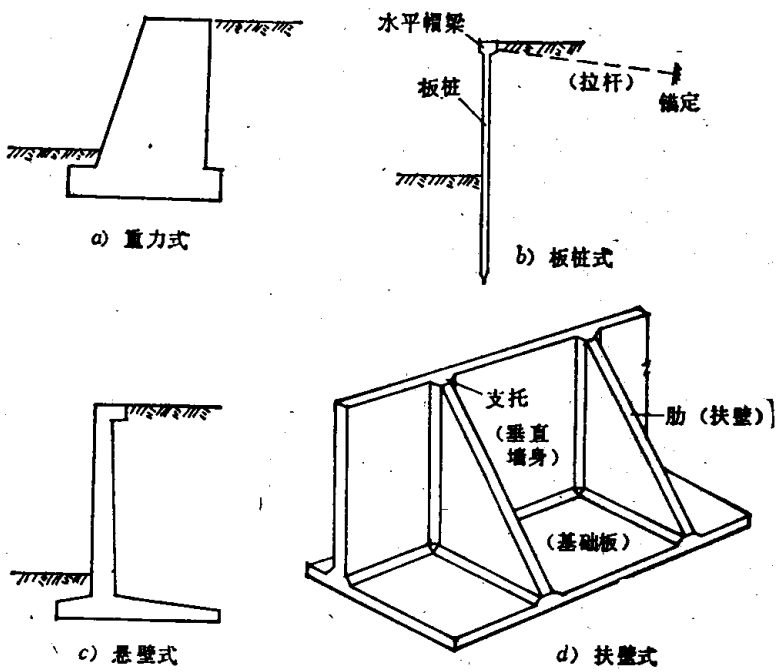


图 1-1 挡土墙型式

1-1 无肋角式挡土墙

1-1-1 构造特点

当挡土墙高度为 4~5m 及以下时，常用无肋角式挡土墙（又称悬臂式挡土墙），为了节省混凝土，墙身常做成上小下大的变截面，见图 1-2 a。有时在墙身与底板连接处做有支托，也有将底板反向设置的情况，见图 1-2 b、c。

基础底板的厚度宜与墙身下端的厚度相等，其前趾和后踵宜作出斜度，这样既可节省混凝土，也有利于排水。

为了消除水压影响，减少墙背面的水平推力，墙后应做好排水措施，当墙后填料是砂砾

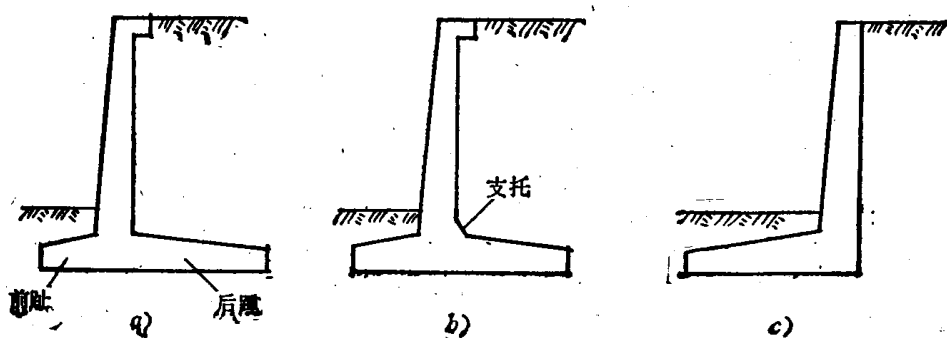


图 1-2 无肋角式挡土墙

土时，可在墙背底部设置一层干净疏松的卵石排水层，在墙身中每隔 3m 左右设置 10~15cm 孔径的泄水孔。当填土为粘土或其它低孔隙率土时，墙背面应先铺设一层卵石，并配有泄水孔，以排除后填土中的水分。在墙后填土时，应采用严格的分层夯填方法，不宜任意堆填。在季节性冻土地区，墙后填土宜选用非冻胀性土。

墙面较长时，宜采用分段施工以减少收缩影响。伸缩缝间距可取 20~30 m。

1-1-2 计算方法

无肋角式挡土墙的计算内容，包括确定墙背面的侧压力、垂直墙身计算、确定基础板尺寸并验算基础板下土的承载力、基础板配筋计算、稳定性验算等。计算时取单位长度为计算单元。

一、确定侧压力

为了简化计算及偏于安全起见，可忽略墙身前被动土压力的影响和墙身后面的填土与墙身间的摩擦力。

1. 无地下水，或排水良好时

$$E = E_1 + E_2$$

$$= \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$+ qH \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

(1-1)

式中 E_1 ——由所挡土体产生的侧压力标准值，(N/m)；

E_2 ——由上部外活荷载 q 产生的侧压力标准值 (N/m)；

ϕ ——填土的内摩擦角。对于粘性土，通常把土的粘聚力折算进去，称为等值内摩擦角，一般取 $30^\circ \sim 35^\circ$ ●；

γ ——填土的天然密度 (N/m³)；

H ——挡土墙顶端到垂直墙身底的高度 (m)；

q ——挡土墙顶端地面上的活荷载 (N/m²)。

2. 有地下水时

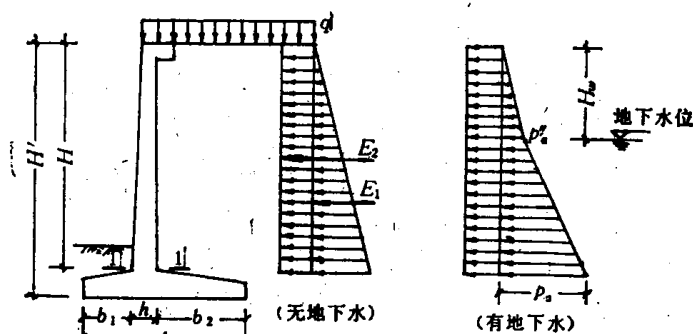


图 1-3 挡土墙承受荷载分布简图

● 采用此经验数值，对于 6 m 以下的低挡土墙可能偏于保守，而对于高挡土墙又可能不够安全。

地下水位处

$$p'_s = \gamma H_w \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-2)$$

地下水位以下部分

$$p_s = [\gamma H_w + (\gamma_s - \gamma_w)(H - H_w)] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) + \gamma_w(H - H_w) \quad (1-3)$$

式中 γ_s ——填土的饱和密度 (N/m^3);

γ_w ——水的密度 (N/m^3);

H_w ——自地面至地下水位距离 (m)。

以上土压力计算应用了主动土压力公式。当墙背面所挡土体带有斜坡时, 用库伦的图解法比较合适。对于高度小于或等于 5m, 排水条件好时也可按工业与民用建筑地基基础设计规范 (TJ7—74) 查表计算。

对于一般悬臂式挡土墙, 墙体允许有小量位移和转动, 所以用主动土压力计算是比较合适的。对于墙体比较厚, 在顶端为不动铰或固定时, 或者虽然顶端自由, 但挡土墙建在岩基上而不易移动和转动时, 用主动土压力计算则偏小, 建议用静止土压力计算。

二、垂直墙身计算

墙身嵌固在基础板中, 每延米的设计嵌固弯矩值为:

$$M = \gamma_0 \left(\gamma_c E_1 \frac{H}{3} + \gamma_q E_2 \frac{H}{2} \right) \quad (1-4)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数, 重要的构筑物取 $\gamma_0 = 1.1$, 一般情况 $\gamma_0 = 1.0$, 次要的 $\gamma_0 = 0.9$;

γ_c, γ_q ——分别表示填土和地面活荷载的荷载分项系数, 可取 $\gamma_c = 1.2$, $\gamma_q = 1.4$ 。

根据此嵌固弯矩, 计算挡土墙垂直墙身底部厚度 h 和配筋。由于沿墙身高度的弯矩从底部向上逐渐变小, 至顶部其弯矩为零, 因而墙身厚度和配筋沿墙高可逐渐减小。一般只将底部钢筋的 $1/2 \sim 1/3$ 伸至顶端, 其余钢筋可交替在墙高中部的一处或两处切断。受力钢筋应靠近墙身内侧面 (背面) 垂直配置, 而水平分布钢筋应和该垂直钢筋绑扎在一起形成一个整体网片, 分布筋宜用 $\phi 10 @ 300$ 。如墙身较厚 (一般超过 200mm), 为防止墙外侧面 (正面) 产生收缩与温度裂缝, 可在墙外侧面内配置 $\phi 10 @ 300$ 纵横交织的构造钢筋网。

三、土的承载力验算

首先假定底板宽度 b 、前趾宽度 b_1 及底板厚度; 垂直墙身自重 G_1 、基础板自重 G_2 、墙后踵板 b_2 宽度内所压土重 G_3 以及活荷载 G_4 、土的侧压力 E'_1 、 E'_2 然后由式 (1-5) 求得基础偏心距 e_0 值 (图 1-4)。

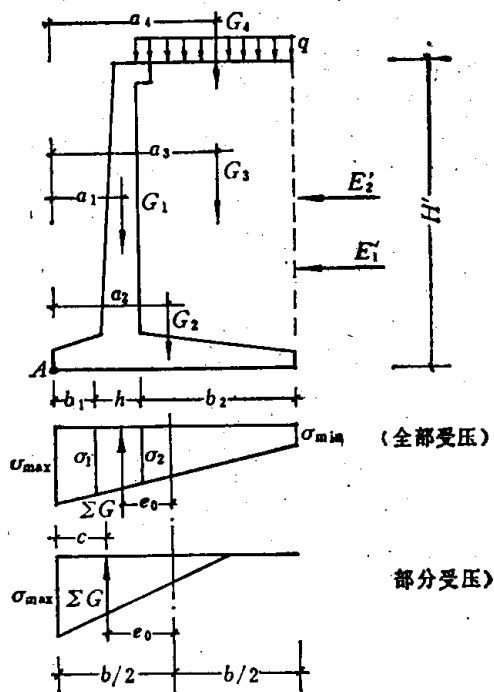


图 1-4

$$e_0 = \frac{b}{2} - \frac{(G_1 a_1 + G_2 a_2 + G_3 a_3 + G_4 a_4) - (E'_1 H' / 3 + E'_2 H' / 2)}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} \quad (1-5)$$

式中的 E'_1 、 E'_2 与式 (1-1) 中的 E_1 、 E_2 的区别在于计算高度不同, 分别用 H' 及 H 。

1. 当 $e_0 \leq b/6$ 时 (全部受压)

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{\Sigma G}{b} \left(1 \pm \frac{6e_0}{b} \right) \quad (1-6)$$

2. 当 $e_0 > b/6$ 时 (部分受压)

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{2}{3c} (\Sigma G) \quad (1-7)$$

式中 c ——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离;

ΣG —— G_1 、 G_2 、 G_3 及 G_4 之和。

要求满足:

$$\sigma_{\max/\min} \leq 1.2[R] \quad (1-8)$$

$$\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \leq [R] \quad (1-9)$$

式中 $[R]$ 为地基土的容许承载力。

当不满足式 (1-8) 和式 (1-9) 要求时, 需调整底板宽度。

四、基础板配筋计算

垂直墙身前的基础板 (前趾), 在土的反力作用下引起向上弯曲 (图 1-4)。在设计时, 一般可忽略前趾板自重及其上所压少量土体的作用 (因板自重很小, 其上土体荷重在使用过程中有可能被移走)。这样, 计算求得的钢筋应配置在前趾板的下部, 见图 1-5。

垂直墙身后的基础板 (后踵), 承受 G_3 、 G_4 和部分 G_2 的向下荷载以及土反力引起的向上荷载的共同作用, 使基础板后踵向下弯曲。计算求得的钢筋应配置在基础板的上部, 见图 1-5。

五、稳定性验算

挡土墙在侧压力作用下, 应考虑墙的倾覆和滑动的稳定性。

1. 抗倾覆要求

$$\frac{M_{Ac}}{M_A} \geq 1.5 \quad (1-10)$$

式中 M_{Ac} ——抗倾覆力矩, 即垂直墙身自重 G_1 、基

础板自重 G_2 、墙后土重 G_3 等重力对 A 点所产生的力矩值 (图 1-4);

M_A ——倾覆力矩, 侧压力 E'_1 、 E'_2 等对 A 点所产生的力矩值。

2. 抗滑动要求

$$\frac{\mu \Sigma G}{P_w} \geq 1.3 \quad (1-11)$$

式中 ΣG ——垂直荷载 G_1 、 G_2 、 G_3 等的总和; 当有地下水浮托力 Q 时, ΣG 中要减去浮托力 Q 值;

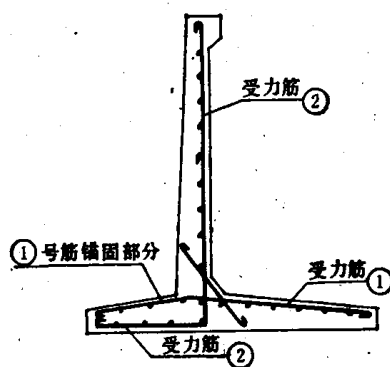


图 1-5 无肋角式挡土墙配筋简图

P_0 ——侧压力 E'_1 、 E'_2 之和；

μ ——基础底面摩擦系数，应根据试验资料确定，如无试验资料时，可参考表 1-1。

表 1-1

混凝土与地基土间的摩擦系数 μ		
土的类别		摩擦系数 μ
粘性土	可塑	0.25
	硬塑	0.25~0.30
	坚硬	0.30~0.40
砂土		0.40
碎石土		0.40~0.50
软质岩石		0.40~0.60
表面粗糙的硬质岩石		0.60~0.70

在软基上的挡土墙要进行深层滑动验算，详见有关地基基础书籍。当稳定性不够时，应采取相应措施。

3. 提高稳定性的措施

提高稳定性的常用措施有如下几种：

(1) 减少土的侧压力

- a. 墙后填土换成块石，增加内摩擦角 ϕ 值，从而减少侧压力。
- b. 在挡土墙竖壁中部设减压平台，平台长度最好伸出土体滑裂面以外，以提高其减少侧压力的效果（图 1-6）。此种做法常用于扶壁式挡土墙。

(2) 增加墙后底板挑出长度

增加后底板挑出长度，一般有两种做法：一种是在原基础底板后面加设抗滑拖板，它和原底板铰接连接（图 1-7 a）；另一种是把原底板后踵部分加长（图 1-7 b）。这样，可增加墙背后面堆土重，使抗倾覆和抗滑能力提高。

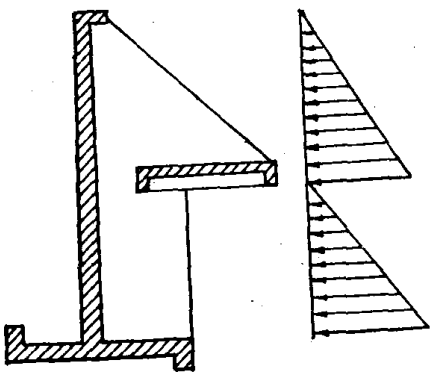


图 1-6

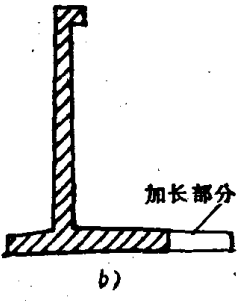
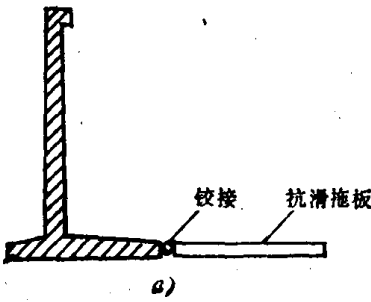


图 1-7

(3) 增大基础抗滑能力

挡土墙通过加长基础板可提高抗倾覆能力，但抗滑动能力提高不多；当然可以通过把基础板的后踵更多地加长或加卸压平台、换填土等方法来解决抗滑问题，但有时不一定经济。下面介绍三种增大基础抗滑能力的方法。

a. 在基础板底面夯填 30~50cm 厚的碎石, 增加摩擦系数 μ 值。

b. 基础板做成倾斜面 (图 1-8)。一般要求倾斜角 $\alpha \leq 10^\circ$ 。

由平衡条件知:

$$N = \Sigma G \cos \alpha + P_w \sin \alpha \quad (1-12)$$

抗滑动力为:

$$\mu N = \mu [\Sigma G \cos \alpha + P_w \sin \alpha] \quad (1-13)$$

滑动力为:

$$P_w \cos \alpha - \Sigma G \sin \alpha \quad (1-14)$$

有地下水浮托力 Q 时, ΣG 应减去 Q 值。

若基础板倾斜坡度为 1:6 时, $\cos \alpha = 0.986$, $\sin \alpha = 0.164$, 由式 (1-13)、式 (1-14) 可看出, 其抗滑力提高了, 而滑动力减少了。但当地基土强度较低时, 应避免使用此法。

c. 设防滑键 (齿坎)

防滑键的做法如图 1-9 所示, 键的高度 h_j 与键离前趾端部 A 点的距离 a_j 的比例, 宜满足下列关系:

$$\frac{h_j}{a_j} = \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1-15)$$

这样, 被动土压力 E_p 值为:

$$E_p = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_b}{2} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) h_j \quad (1-16)$$

当键的位置满足式 (1-15) 时, 被动土压力 E_p 值最大。

键后面土和基础底板间的摩擦力 F 为:

$$F = \frac{\sigma_b + \sigma_{\min}}{2} (b - a_j) \mu \quad (1-17)$$

最后应满足:

$$\frac{\psi E_p + F}{P_w} \geq 1.3 \quad (1-18)$$

式 (1-18) 中的 ψ 值是考虑被动土压力 E_p 不能充分发挥的影响系数, 建议取 0.5。当有地下水浮托力时, $\sigma_{\max}$ 、 σ_b 、 $\sigma_{\min}$ 中要减去其影响。

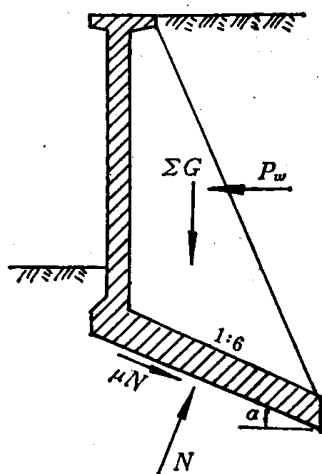


图 1-8

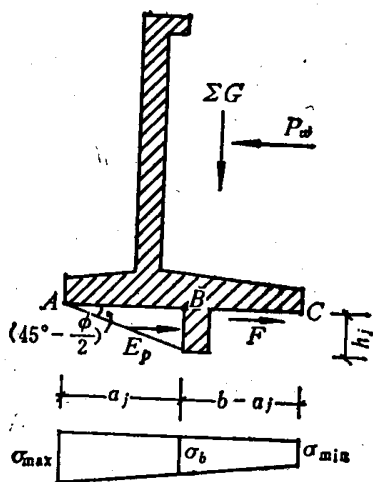


图 1-9

1-2 有肋角式挡土墙

1-2-1 构造特点

在墙身较高的情况下 (一般大于 5m 时), 采用无肋角式挡土墙会导致墙身过厚 而 不 经 济, 此时, 常采用有肋角式挡土墙, 也称扶壁式挡土墙, 见图 1-1 d。如果墙身更高, 可考虑加设横梁、横板, 将各段扶壁连缀起来, 若横梁间距安排得当, 使上下梁间墙身的最大弯矩相等, 可得到墙身上下厚度大体一致的结果。加设横板有一定宽度时, 还可起到卸压作用。如果扶壁中的剪应力值不大, 也可做成空腹式扶壁以节约混凝土, 但此法有使施工复杂

的缺点。扶壁的距离一般取 2~3.5m 之间。关于墙面排水、伸缩缝的做法要求与无肋角式挡土墙相同。为了使扶壁、垂直墙身、基础板之间能连接牢固，一般在交接处做成支托，见图 1-1 d。

1-2-2 计算特点

扶壁式挡土墙的计算内容与悬臂式挡土墙相比，仅增加扶壁计算部分。在垂直墙身和基础板计算时，由于扶壁的存在，计算方法略有不同，下面做简要叙述。

一、垂直墙身计算

垂直墙身是以扶壁为支座的一个连续板带，(图 1-1 d)。当 $l_y/l_x \leq 3$ 时，可近似地当作三边固定、一边自由的双向板进行计算。当 $l_y/l_x > 3$ 时，以连续单向板计算，由于垂直墙身上作用的土体侧压力自上而下逐渐增加，所以水平弯矩也自上而下增大，配置水平钢筋时，可自上而下分段加密，或者墙身厚度采用上薄下厚的变截面；另外在垂直墙身和基础板之间存在着垂直方向的弯矩，配筋时应适当考虑。

二、基础底板计算

基础板也同样是以扶壁为支座的一个连续板带。基础板的前趾部分比较短，可当作向上弯曲的悬臂板计算。基础板的后踵部分计算方法和垂直墙身相同。

三、扶壁（肋）计算

扶壁（肋）与垂直墙身一起整体工作，如同一个变截面的悬臂 T 形梁一样，肋中配置三种钢筋：倾斜筋、水平筋和垂直钢筋，见图 1-10。

倾斜钢筋是悬臂 T 形梁的受拉钢筋，沿扶壁的斜面放置。水平钢筋将扶壁和垂直墙身连系起来，以防止在侧压力作用下垂直墙身与扶壁的连接处被拉断，并作为悬臂 T 形梁的箍筋以承受肋中的主拉应力，保证肋的斜截面强度。垂直钢筋用作连系扶壁和基础板，承受由于基础板的局部弯曲作用在扶壁内产生的垂直方向上的拉力，以防止基础板与扶壁的连接处被拉断。

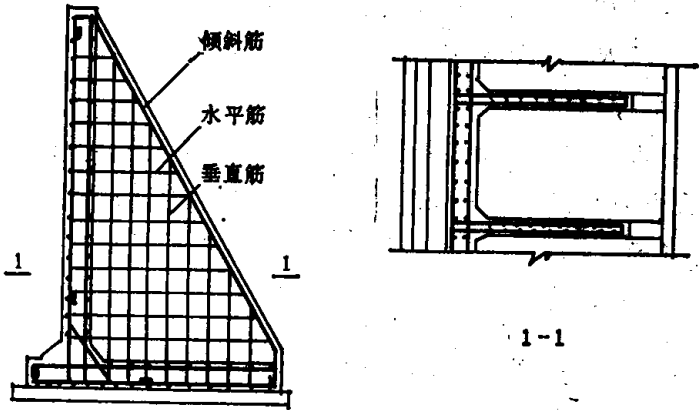


图 1-10 有肋角式挡土墙配筋简图

1-3 挡土墙的抗震验算

在设计烈度为 8 度及以上地区的挡土墙，应进行抗震验算。挡土墙在地震作用下，除了其本身自重产生水平惯性力以外，在墙身背面的土体由于地震动力作用增加了对挡土墙的侧向压力。具体计算可参照《室外给水排水和煤气热力工程抗震设计规范》(TJ32—78)进行。

一、挡土墙自重惯性力

$$P_{E1} = Ck_h W_1 \tag{1-19}$$

式中 P_{E1} ——沿挡土墙高度的的自重惯性力 (kN/m²)；

C ——结构影响系数；对钢筋混凝土结构可取 0.5，对无筋砖砌体结构可取 0.7；

k_A ——相应设计烈度的水平方向地震系数，见表 1-2；
 W_1 ——挡土墙沿高度的单位面积重量 (kN/m^2)。

表 1-2

水 平 方 向 地 震 系 数 k_A			
设计烈度	7 度	8 度	9 度
k_A	0.1	0.2	0.4

二、挡土墙的动土压力

$$p_{E2} = 2Ck_A p_a \tan \phi$$

式中 p_{E2} ——地震时作用于挡土墙垂直墙身上的侧向主动土压力的增量 (kN/m^2)；
 p_a ——相应计算截面处的主动土压力值 (kN/m^2)；
 ϕ ——土的内摩擦角。

1-4 挡土墙计算例题

【已知】 挡土墙尺寸如图 1-11 所示。地面活荷载 $q = 5000 \text{ N}/\text{m}^2$ 。地基土为粘土，容许承载力 $[R] = 100 \text{ kN}/\text{m}^2$ 。填土密度 $\gamma = 17000 \text{ N}/\text{m}^3$ ，内摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 。挡土墙底面处在地下水位以上。

【求】 挡土墙墙身和基础板的配筋，稳定性验算和土的承载力验算(挡土墙混凝土用 C 25 级，钢筋用 I、II 级钢)。

【解】

1. 确定侧压力

$$\begin{aligned} E &= E_1 + E_2 = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &\quad + qH \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \frac{1}{2} \times 17000 \times 3.0^2 \times \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &\quad + 5000 \times 3.0 \times \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 25500 + 5000 = 30500 \text{ N}/\text{m} \end{aligned}$$

2. 垂直墙身计算

由式 (1-4) 可求得每延米设计嵌固弯矩 M ：

$$\begin{aligned} M &= \gamma_c E_1 \frac{H}{3} + \gamma_q E_2 \frac{H}{2} \\ &= 1.2 \times 25500 \times \frac{3.0}{3} + 1.4 \times 5000 \times \frac{3.0}{2} \\ &= 41100 \text{ N} \cdot \text{m} \\ f_{cc} &= 13 \text{ N}/\text{mm}^2 \quad f_y = 310 \text{ N}/\text{mm}^2 \text{ (II 级钢)} \end{aligned}$$

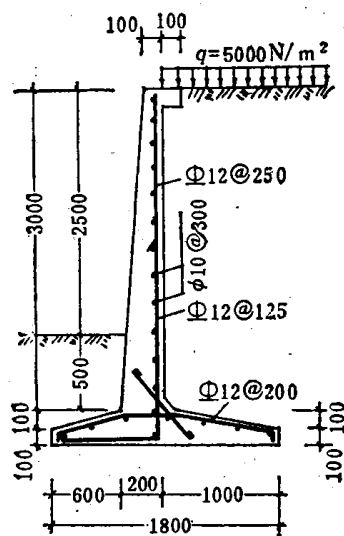


图 1-11

净保护层取 3.5cm。

$$\alpha_{s1} = \frac{M}{f_{sc} b h_0^2} = \frac{41100000}{13 \times 1000 \times 160^2} = 0.123$$

查表得: $\gamma_s = 0.934$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s f_y h_0} = \frac{41100000}{0.934 \times 310 \times 160} = 887 \text{ mm}^2 = 8.87 \text{ cm}^2$$

墙身每米设置 $8\phi 12$ ($A_s = 9.04 \text{ cm}^2$) 的竖向受力钢筋。在 1/2 高度处截断一半。在水平方向设置构造筋 $\phi 10 @ 300$ 。

3. 土的承载力验算

每延米垂直墙身自重:

$$G_1 = \frac{1}{2}(0.1 + 0.2) \times 3 \times 25000 = 11300 \text{ N/m}$$

每延米基础板自重:

$$\begin{aligned} G_2 &= \frac{1}{2}(0.1 + 0.2) \times 1.6 \times 25000 + 0.2 \times 0.2 \times 25000 \\ &= 6000 + 1000 = 7000 \text{ N/m} \end{aligned}$$

每延米墙后踵板宽度内土重:

$$G_3 = 3.05 \times 17000 = 51900 \text{ N/m}$$

每延米墙后活荷载:

$$G_4 = 5000 \times 1.0 = 5000 \text{ N/m}$$

侧压力:

$$\begin{aligned} E'_1 &= \frac{1}{2} \gamma H'^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1}{2} \times 17000 \times 3.2^2 \times \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 29000 \text{ N/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E'_2 &= q H' \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = 5000 \times 3.2 \times \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) \\ &= 5330 \text{ N/m} \end{aligned}$$

由式 (1-5) 可求得基础底面土反力的偏心距 e_0 值。

$$\begin{aligned} e_0 &= \frac{b}{2} - \frac{(G_1 a_1 + G_2 a_2 + G_3 a_3 + G_4 a_4) - (E'_1 \cdot H' / 3 + E'_2 \cdot H' / 2)}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} \\ &= \frac{1.8}{2} - \frac{(11300 \times 0.72 + 7000 \times 0.874 + 51900 \times 1.3 + 5000 \times 1.3) -}{11300 + 7000 + 51900 +} \\ &\quad - \frac{\left(29000 \times \frac{3.2}{3} + 5330 \times \frac{3.2}{2} \right)}{+ 5000} \\ &= 0.252 \text{ m} = 25.2 \text{ cm} \\ e_0 &< b / 6 = 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\max}^{\min} &= \frac{\Sigma G}{b} \left(1 \pm \frac{6e_0}{b} \right) \\ &= \frac{11300 + 7000 + 51900 + 5000}{1.80 \times 1.00} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.252}{1.80} \right) \\ &= \frac{76871 \text{ N/m}^2}{6684 \text{ N/m}^2} \approx \frac{76.9 \text{ kN/m}^2}{6.7 \text{ kN/m}^2}\end{aligned}$$

满足

$$\sigma_{\max} < 1.2[R]; \quad \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 41.8 \text{ kN/m}^2 < [R]$$

4. 基础板配筋计算

以设计荷载来计算配筋, 自重和填土重的荷载分项系数取为 1.2, 活荷载的分项系数取为 1.4。通过式 (1-5) 求得:

$$e_0 = 26.3 \text{ cm}; \quad e_0 < \frac{b}{6}$$

再由式 (1-6) 求得:

$$\sigma_{\max} = 95.13 \text{ kN/m}^2; \quad \sigma_{\min} = 6.251 \text{ kN/m}^2$$

(1) 前趾部分

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= 6.251 + (95.13 - 6.251) \times \frac{1 + 0.2}{1.8} \\ &= 65.5 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_1 &= \frac{1}{6} [2\sigma_{\max} + \sigma_1] b_1^2 \\ &= \frac{1}{6} [2 \times 95.13 + 65.5] \times 0.6^2 \\ &= 15.35 \text{ kN} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

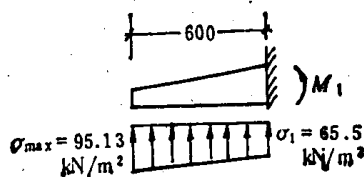


图 1-12

底板厚 $h_1 = 20 \text{ cm}$; $h_{01} = 20 - 4 = 16 \text{ cm} = 160 \text{ mm}$;

$$\alpha_s = \frac{M_1}{f_{sc} b h_{01}^2} = \frac{15350000}{13 \times 1000 \times 160^2} = 0.0461$$

查表得 $\gamma_s = 0.976$

$$A_s = \frac{M_1}{\gamma_s h_{01} f_y} = \frac{15350000}{0.976 \times 160 \times 310} = 317 \text{ mm}^2 = 3.17 \text{ cm}^2$$

用墙身的竖向受力筋下弯即可

(2) 后踵部分

$$\gamma_c G'_2 = 1.2 \times 1.0 \times 0.15 \times 25000 = 4500 \text{ N/m}$$

$$\begin{aligned}q_1 &= \frac{\gamma_c G_3 + \gamma_q G_4 + \gamma_c G'_2}{b_2} \\ &= \frac{62280 + 7000 + 4500}{1.0} \\ &= 73780 \text{ N/m} = 73.78 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

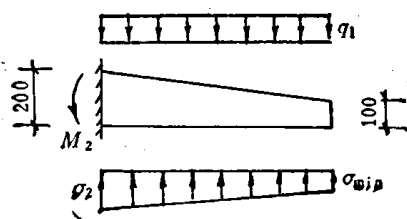


图 1-13

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sigma_{min} + (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \frac{b_2}{b} \\ &= 6.251 + (95.13 - 6.251) \times \frac{1.0}{1.8} \\ &= 55.63 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= \frac{1}{6} [2(q_1 - \sigma_{min}) + (q_1 - \sigma_2)] b_2^2 \\ &= \frac{1}{6} [2 \times (73.78 - 6.251) + (73.78 - 55.63)] \times 1.0^2 \\ &= 25.53 \text{ kN} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

后踵与前趾根部高度相同, $h_1 = h_2$ 则 $h_{02} = h_{01} = 160 \text{ mm}$, 得:

$$\alpha_s = \frac{M_2}{bh_{02}^2 f_{cm}} = \frac{25530000}{1000 \times 160^2 \times 13} = 0.0767$$

查表得

$$\gamma_s = 0.960$$

$$A_s = \frac{M_2}{\gamma_s h_{02} f_y} = \frac{25530000}{0.96 \times 160 \times 310} = 536 \text{ mm}^2 = 5.36 \text{ cm}^2$$

选用 $\Phi 12 @ 200$ ($A_s = 5.65 \text{ cm}^2$)

5. 稳定性验算

考虑到底板范围内的活荷载可能旁移, 为了安全起见, 在抗倾覆力矩和抗滑计算中不计其影响。

(1) 抗倾覆验算

抗倾覆力矩:

$$\begin{aligned}M_{AG} &= G_1 a_1 + G_2 a_2 + G_3 a_3 \\ &= 11300 \times 0.72 + 7000 \times 0.874 + 51900 \times 1.3 \\ &= 81700 \text{ N} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

倾覆力矩:

$$\begin{aligned}M_A &= E'_1 \times \frac{H'}{3} + E'_2 \times \frac{H'}{2} \\ &= 29000 \times \frac{3.2}{3} + 5330 \times \frac{3.2}{2} \\ &= 39500 \text{ N} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

$$\frac{M_{AG}}{M_A} = 2.07 > 1.5 \text{ (安全)}$$

(2) 抗滑动验算

基础底面摩擦系数取 $\mu = 0.25$

$$\frac{\mu \Sigma G}{P_w} = \frac{0.25(11300 + 7000 + 51900)}{29000 + 5330} = 0.511 < 1.3$$

抗滑动要求不满足。用底面夯填 30~50cm 厚碎石提高 μ 值后, 仍不满足要求, 所以采用底板加设防滑键的办法来解决。防滑键加在墙身底部 (图1-14)。