

第 六 篇

悬臂式与扶臂式挡土墙 设计与施工技术

第一章 悬臂式挡土墙构造与设计

第一节 概 述

悬臂式和扶臂式挡土墙,如图 6-1-1、图 6-1-2 所示,是一种轻型支挡建筑物。它依靠墙身自重和墙底板以上填筑土体(包括荷载)的重力维持挡土墙的稳定,其主要特点是厚度小,自重轻,挡土高度较高,而且经济指标也比较好,适用于石料缺乏和地基承载力较低的填方地段。

悬臂式和扶臂式挡土墙在国外已广泛采用。近几年国内在铁路、公路等建设工程中也已经大量采用。1990 年,原铁道专业设计院为了推广这种支挡结构,专门编制了《一般地区悬臂式路堤挡土墙》标准设计图,加速了该结构在铁路路基工程中的推广应用。通过工程实践证明,该结构具有较好的社会效益和经济效益。

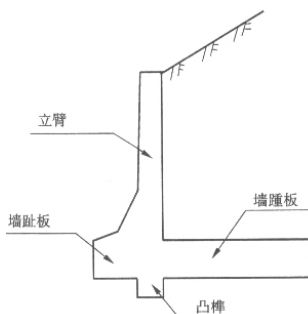


图 6-1-1 悬臂式挡土墙

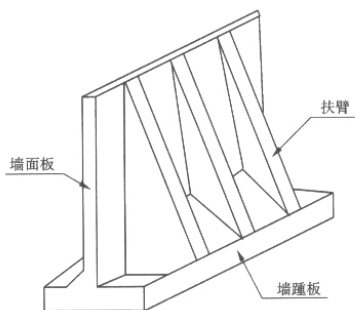


图 6-1-2 扶臂式挡土墙

第二节 一般规定

悬臂式与扶壁式挡土墙设计的一般规定:

1. 钢筋混凝土悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙,宜在石料缺乏、地基承载力较低的路堤地段。采用,装配式的扶壁式挡土墙不宜在不良地质地段或地震动峰值加速度为 $0.2g$ (原八度)及以上地区采用。

2. 悬臂式挡土墙高度不宜大于 $6m$,当墙高大于 $4m$ 时,宜在墙面板前加肋,扶壁式挡土墙高度不宜大于 $10m$ 。

3. 悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙的基础埋置深度应符合下列要求:

(1)一般情况下不小于 $1.0m$;

(2)当冻结深度不大于 $1.0m$ 时,在冻结深度线以下不小于 $0.25m$ (弱冻胀土除外)同时不小于 $1.0m$;当冻结深度大于 $1.0m$ 时,不小于 $1.25m$,还应将基底至冻结线下 $0.25m$ 深度范围内的地基土换填为弱冻胀土或不冻胀土;

(3)受水流冲刷时,在冲刷线下不小于 $1.0m$;

(4)在软质岩层地基上,不小于 $1.0m$ 。

4. 其他规定:

(1)伸缩缝的间距不应小于 $20m$ 。在基底的地层变化处,应设置沉降缝,伸缩缝和沉降缝可合并设置。其缝宽均采用 $2\sim 3cm$,缝内填塞沥青麻筋或沥青木板,塞入深度不得小于 $0.2m$ 。

(2)挡土墙上应设置泄水孔,按上下左右每隔 $2\sim 3m$ 交错布置。泄水孔的坡度为 4% ,向墙外为下坡,其进水侧应设置反滤层,厚度不得小于 $0.3m$,在最低一排泄水孔的进水口下部应设置隔水层,在地下水较多的地段或有大股水流处,应加密泄水孔或加大其尺寸,其出水口下部应采取保护措施。

(3)当墙背填料为细粒土时,应在最低排泄水孔至墙顶以下 $0.5m$ 高度以内,填筑不小于 $0.3m$ 厚的砂砾石或土工合成材料作为反滤层,反滤层的顶部与下部应设置隔水层。

(4)墙身混凝土强度等级不宜低于 $C20$,受力钢筋直径不应小于 $12mm$ 。

(5)墙后填土应在墙身混凝土强度达到设计强度的 70% 后方可进行,填料应分层夯实,反滤层应在填筑过程中及时施作。

第三节 悬臂式挡土墙构造

一、立臂

悬臂式挡土墙是由立臂、墙趾板和墙踵板三部分组成,为便于施工,立臂内侧(即墙背)做成竖直面,外侧(即墙面)可做成 $1:0.02\sim 1:0.05$ 的斜坡,具体坡度值将根据立臂的强度和刚度要求确定。当挡土墙墙高不大时,立臂可做成等厚度。墙顶的最小厚度通常采用 $20cm$ 。当墙较高时,宜在立臂下部将截面加厚。

二、墙趾板和墙踵板

墙趾板和墙踵板一般水平设置。通常做成变厚度,底面水平,顶面则自与立臂连接处向两侧倾斜。当墙身受抗滑稳定控制时,多采用凸榫基础。

墙踵板长度由墙身抗滑稳定验算确定,并具有一定的刚度。靠近立臂处厚度一般取为墙高的 $1/12 \sim 1/10$,且不应小于 30cm。

墙趾板的长度应根据全墙的倾覆稳定、基底应力(即地基承载力)和偏心距等条件来确定,其厚度与墙踵板相同。通常底板的宽度 B 由墙的整体稳定来决定,一般可取墙高度 H 的 $0.6 \sim 0.8$ 倍。当墙后地下水位较高,且地基承载力为很小的软弱地基时, B 值可能会增大到 1 倍墙高或者更大。

三、凸榫

为提高挡土墙抗滑稳定的能力,底板可设置凸榫,如图 6-1-3。凸榫的高度,应根据凸榫前土体的被动土压力能够满足全墙的抗滑稳定要求而定。凸榫的厚度除了满足混凝土的直剪和抗弯的要求以外,为了便于施工,还不应小于 30cm。

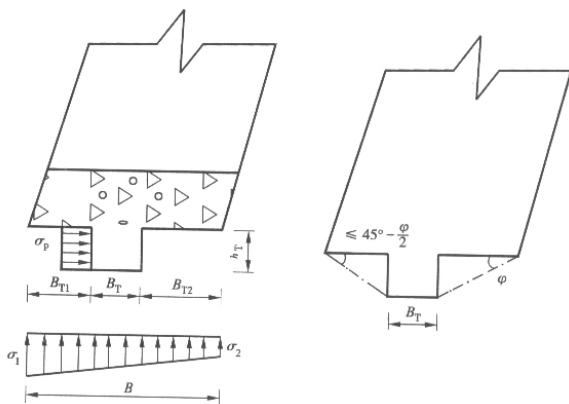


图 6-1-3 凸榫的设置

第四节 悬臂式挡土墙设计

悬臂式挡土墙设计分为墙身截面尺寸拟定及钢筋混凝土结构设计两部分。确定墙身的断面尺寸是通过试算法进行的,其做法是先拟定截面的试算尺寸,计算作用其上的土压力,通过全部稳定验算来最终确定墙踵板和墙趾板的长度。

钢筋混凝土结构设计,则是对已确定的墙身截面尺寸进行内力计算和钢筋设计。在配筋设计时,可能会调整截面尺寸,特别是墙身的厚度。一般情况下这种墙身厚度的调整对整体稳定影响不大,可不再进行全墙的稳定验算。

悬臂式挡土墙,一般以墙长方向取一延长米计算。悬臂式挡土墙设计流程图见图 6-1-4。

一、墙身截面尺寸的拟定

根据上节的构造要求,也可以参考以往成功的设计,初步拟定出试算的墙身截面尺寸,墙高 H 是根据工程需要确定的,墙顶宽可选用 20cm。墙背取竖直面,墙面取 $1:0.02 \sim 1:0.05$ 的倾斜面,因而出立臂的截面尺寸。

底板在与立臂相接处厚度为 $(1/12 \sim 1/10)H$,而墙趾板与墙踵板端部厚度不小于 30cm;其宽度 B 可近似取 $(0.6 \sim 0.8)H$,当遇到地下水位高或软弱地基时, B 值应增大。

(一)墙踵板长度

墙踵板长度可按下式确定:

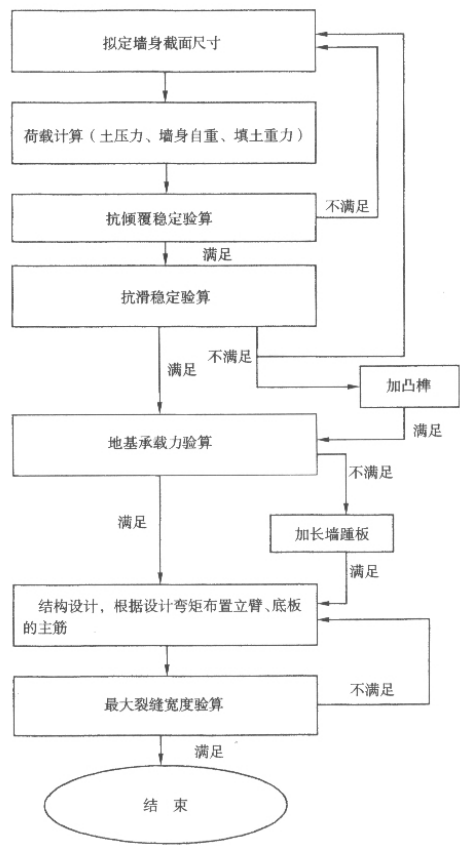


图 6-1-4 悬臂式挡土墙设计流程图

一般情况下

$$K_c = \frac{f \cdot \sum G}{E_x} \geq 1.3$$

(1-1)

有凸榫时

$$K_c = \frac{f \cdot \sum G}{E_x} \geq 1.0$$

(1-2)

1. 路肩墙,墙顶有均布荷载 h_0 、立臂面坡度为零时[如图(6-1-5a)所示]

$$B_3 = \frac{K_c E_x}{f(H + h_0)\mu\gamma} - B_2 \quad (1-3)$$

2. 路堤墙,墙顶地面与水平线呈 β 角,立臂面坡的坡度为零时[如图(6-1-5b)所示]

$$B_3 = \frac{K_c E_x - fE_y}{f(H + \frac{1}{2}B_3 \tan\beta)\mu\gamma} \quad (1-4)$$

3. 当立臂面坡的坡度为 $1:m$ 时,上两式应加上立臂面坡修正长度 ΔB_3 [如图(6-1-5c)所示]

$$\Delta B_3 = \frac{1}{2}mH_1 \quad (1-5)$$

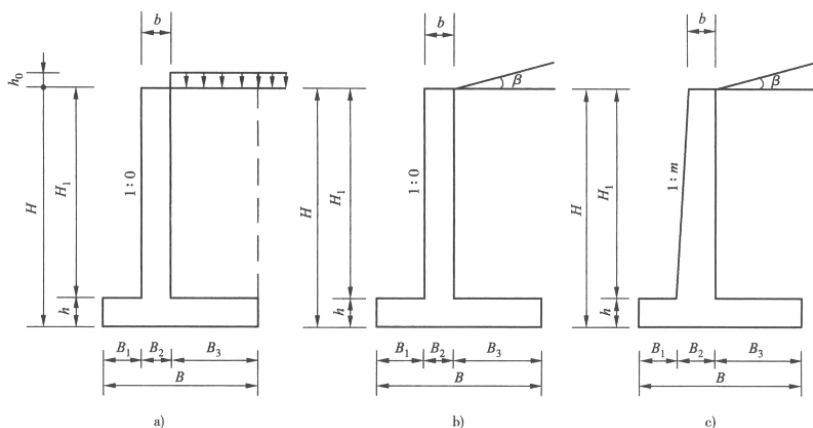


图 6-1-5 墙踵板长度计算图

上述式中: K_c ——滑动稳定系数;

f ——基底摩擦系数;

γ ——填土容重;

h_0 ——活荷载的换算土层高;

E_x ——主动土压力水平分力;

E_y ——主动土压力竖直分力;

ΣG ——墙身自重、墙踵板以上第二破裂面(或假想墙背)与墙背之间的土体自重和土压力的竖向分量之和,一般情况下墙趾板上的土体重力将忽略;

μ ——容重修正系数,由于未考虑墙趾板及其上部土重对抗滑动的作用,因而将填土的容重根据不同的 γ 和 f 提高 $3\% \sim 20\%$,见表 6-1-1。

表 6—1—1 容重修正系数 μ

容重 (kN/m^3)	摩擦系数 f								
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60	0.70	0.84	1.00
16	1.07	1.08	1.09	1.10	1.12	1.13	1.15	1.17	1.20
18	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.11	1.12	1.14	1.16
20	1.03	1.04	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.10	1.12

(二)墙趾板长度

1. 路肩墙[如图(6—1—5a)所示]

$$B_1 = 0.5fH \frac{2\sigma_0 + \sigma_H}{Kc(\sigma_0 + \sigma_H)} - 0.25(B_2 + B_3) \tag{1-6}$$

式中: $\sigma_0 = \gamma h_0 K$;
 $\sigma_H = \gamma HK$ 。

2. 路堤墙[如图(6—1—5b)所示]

$$B_1 = \frac{0.5(H + B_3 \tan\beta)f}{K_c} - 0.25(B_2 + B_3) \tag{1-7}$$

如果由 $B=B_1+B_2+B_3$ 计算出的基底应力 $\sigma>[\sigma]$,或偏心距 $e>\frac{B}{6}$ 时,应采取加宽基础的方法加大 B_1 ,使其满足要求。

二、土压力计算

为了简化计算,铁路列车活载、公路汽车荷载均可按等效的均布荷载计算作用于挡土墙上的土压力。

(一)按库仑理论计算

用墙踵下缘与立板上边缘连线作为假想墙背,按库仑公式计算,如图(6—1—6a)。此时, δ 值应取土的内摩擦角 φ , ρ 应为假想墙背的倾角;计算 ΣG 时,要计入墙背与假想墙背之间 $\triangle ABD$ 的土体自重力。

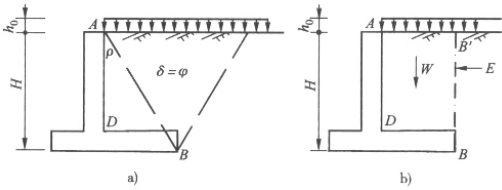


图 6—1—6 土压力计算图式

(二)按朗金理论计算

用墙踵的竖直面作为假想墙背,如图(6-1-6b)。

$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \left(1 + \frac{2h_0}{H}\right) \quad (1-8)$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (1-9)$$

(三)按第二破裂面理论计算

当墙踵下边缘与立板上边缘连线的倾角大于临界角,在墙后填土中将会出现第二破裂面,则应按第二破裂面理论计算公式计算。稳定计算时应记入第二破裂面与墙背之间的土体作用(见图 6-1-7)。

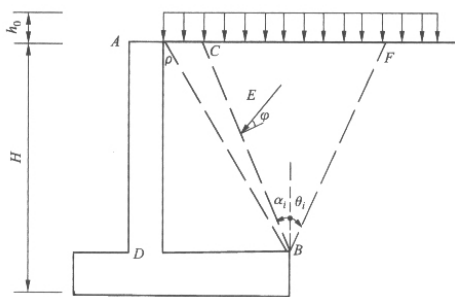


图 6-1-7 墙背出现第二破裂面

$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K \cdot K_1 \quad (1-10)$$

$$K = \frac{\tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{\cos(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} \quad (1-11)$$

$$K_1 = 1 + \frac{2h_0}{H} \quad (1-12)$$

$$\alpha_i = \theta_i = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \quad (1-13)$$

三、墙身内力计算

(一)立臂的内力

立臂为固定在墙底板上的悬臂梁,主要承受墙后的主动土压力与地下水压力。墙前的土压力一般不考虑,立臂较薄,自重小可略去不计,立臂接受弯构件计算,各截面的剪力、弯矩按下列公式计算(见图 6-1-8):

$$Q_{1z} = \gamma z (2h_0 + z) K_a / 2 \tag{1-14}$$

$$M_{1z} = \gamma z^2 (3h_0 + z) K_a / 6 \tag{1-15}$$

式中: Q_{1z} ——距墙顶 z 处立臂的剪力;
 M_{1z} ——距墙顶 z 处立臂的弯矩;
 z ——计算截面到墙顶的距离;
 γ ——填土的容重;
 h_0 ——列车、汽车等活载的等代换算土柱高;
 K_a ——主动土压力系数。

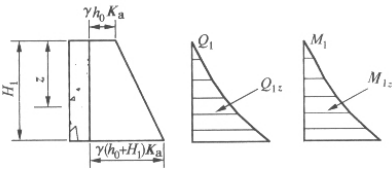


图 6-1-8 立臂受力及内力计算

(二)墙踵板的内力

墙踵板是以立臂底端为固定端的悬臂梁。墙通板上作用有第二破裂面(或假想墙背)与墙背之间的土体(含其上的列车、汽车等活载)的自重力、墙踵板自重力、主动土压力的竖直分量、地基反力、地下水浮托力、板上水重和静水压力等荷载作用。内力计算如图 6-1-9。无地下水时,可用下式计算:

$$Q_{2x} = B_x [\sigma_{y2} + \gamma_k h_1 - \sigma_2 + (\gamma H_1 - \sigma_{y2} + \sigma_{y1}) B_x / 2B_3 - (\sigma_1 - \sigma_2) B_x / 2B] \tag{1-16}$$

$$M_{2x} = B_x^2 [3(\sigma_{y2} + \gamma_k h_1 - \sigma_2) + (\gamma H_1 - \sigma_{y2} + \sigma_{y1}) B_x / B_3 - (\sigma_1 - \sigma_2) B_x / B] / 6 \tag{1-17}$$

式中: Q_{2x} ——距墙踵为 B_x 截面的剪力;
 M_{2x} ——距墙踵为 B_x 截面的弯矩;

- B_x ——计算截面到墙踵的距离;
 h_1 ——墙踵板的厚度;
 H_1 ——立臂高度;
 γ_k ——钢筋混凝土的容重;
 σ_{y1}, σ_{y2} ——分别为墙顶、墙踵处的竖直土压应力;
 σ_1, σ_2 ——分别为墙趾、墙踵处地基压力;
 B_3 ——墙踵板长度;
 B ——墙底板长度。

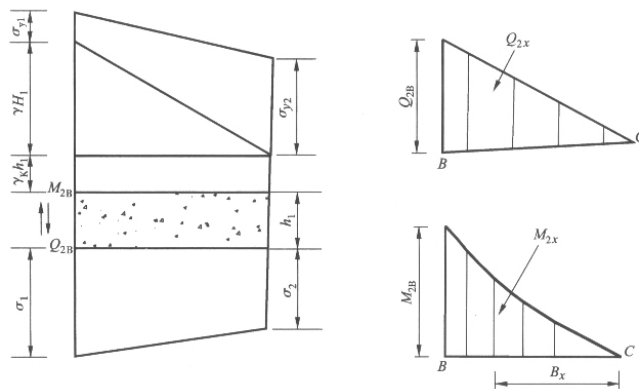


图 6-1-9 墙踵板内力计算

(三) 墙趾板的内力计算

墙趾板受力如图 6-1-10 所示, 各截面的剪力和弯矩分别为

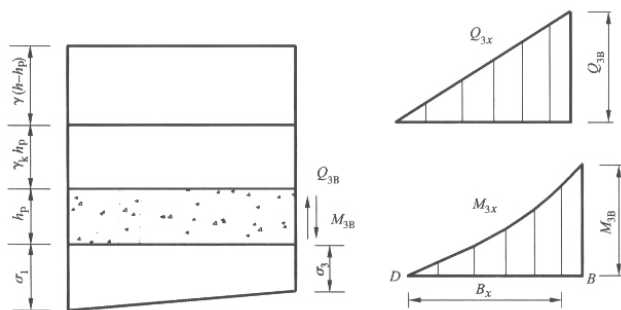


图 6-1-10 墙趾板内力计算

$$Q_{3x} = B_x [\sigma_1 - \gamma_k h_p - \gamma(h - h_p) - (\sigma_1 - \sigma_2) B_x / 2B] \quad (1-18)$$

$$M_{3x} = B_x^2 \left\{ 3[\sigma_1 - \gamma_k h_p - \gamma(h - h_p)] - (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{B_x}{B} \right\} / 6 \quad (1-19)$$

式中: Q_{3x}, M_{3x} ——每延长米墙趾板距墙趾为 B_x 截面的剪力、弯矩;
 B_x ——计算截面到墙趾的距离;
 h_p ——墙趾板的平均厚度;
 h ——墙趾板埋置深度。

四、凸榫设计

在墙身底部设置凸榫基础,如图 6—1—3 所示,是增加挡土墙抗滑稳定的一种方法。

(一)凸榫位置

为使榫前被动土压力能够完全形成,墙背主动土压力不致因设置凸榫而增大,必须将整个凸榫置于过墙趾与水平成 $45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ 及通过墙踵与水平成 φ 的直线所包围的三角形范围内。因此,凸榫位置、高度和宽度必须符合下列要求:

$$B_{T1} \geq h_T \tan(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (1-20)$$

$$B_{T2} = B - B_{T1} - B_T \geq h_T \cot \varphi \quad (1-21)$$

凸榫前侧距墙趾的最小距离 $B_{T\min}$

$$B_{T\min} = B - \sqrt{B \left\{ B - \frac{2K_c E_x - Bf\sigma_1}{\sigma_1 [\cot(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) - f]} \right\}} \quad (1-22)$$

(二)凸榫高度 h_T

$$h_T = \frac{K_c E_x - \frac{1}{2}(B - B_{T1})(\sigma_3 + \sigma_2)f}{\sigma_p} \quad (1-23)$$

$$\sigma_p = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \tan^2(45^\circ + \frac{1}{2}\varphi) \quad (1-24)$$

上述式中: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——墙趾、墙踵及凸榫前缘处基底的压应力。

其余符号意义同前。

(三)凸榫宽度 B_T

$$B_T = \sqrt{\frac{3.5KM_T}{f_t}} \quad (1-25)$$

其中

$$M_T = \frac{h_T}{2} [K_c \cdot E_x - \frac{1}{2}(B - B_{T1})(\sigma_2 + \sigma_3)f] \quad (1-26)$$

式中: K ——混凝土受弯构件的强度设计安全系数(取 2.65);

M_T ——凸榫所承受的总弯矩;

f_t ——混凝土抗拉设计强度。

五、墙身钢筋混凝土配筋设计

悬臂式挡土墙的立臂和底板,接受弯构件设计。除构件正截面受弯承载能力、斜截面承载力需要验算之外,还要进行裂缝宽度验算。其最大裂缝宽度可按下列公式计算:

$$\omega_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} (1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}}) \quad (1-27)$$

$$\varphi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}} \quad (1-28)$$

$$d_{eq} = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i V_i d_i} \quad (1-29)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s + A_p}{A_{te}} \quad (1-30)$$

$$\sigma_{sk} = \frac{M_k}{0.87 h_0 A_s} \quad (1-31)$$

上述式中: α_{cr} ——构件受力特征系数,对于钢筋混凝土受弯构件取 2.1;

φ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数,当 $\varphi < 0.2$ 时,取 $\varphi = 0.2$; 当 $\varphi > 1$ 时,取 $\varphi = 1$; 对直接承受重复荷载的构件,取 $\varphi = 1$;

σ_{sk} ——按荷载效应标准组合计算的钢筋混凝土构件纵向受拉钢筋的应力;

E_s ——钢筋弹性模量;

c ——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离;

ρ_{te} ——按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 $\rho_{te} = 0.01$;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值;

A_{te} ——有效受拉混凝土截面面积;

A_s ——受拉区纵向钢筋截面面积;

d_{eq} ——受拉区纵向钢筋的直径;

d_i ——受拉区第 i 种纵向钢筋的直径;

n_i ——受拉区第 i 种纵向钢筋的根数;

V_i ——受拉区第 i 种纵向钢筋的相对粘结特性系数,光面钢筋取 0.7, 螺旋钢筋取 1.0;

M_k ——按荷载效应标准组合计算的弯矩值;

h_0 ——截面的有效高度。

钢筋面积计算可按下列公式计算

$$A_s = \frac{f_{ck}}{f_y} b h_0 \left(1 - \sqrt{\frac{2M}{f_{ck} b h_0^2}} \right) \quad (1-32)$$

式中: f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值;

f_y ——钢筋的抗拉强度设计值;

b ——截面宽度,取单位长度;

M ——截面设计弯矩。

(一) 立臂钢筋设计

经钢筋计算,已确定钢筋的面积。钢筋的设计则是确定钢筋直径和钢筋的布置。立臂受力钢筋沿内侧竖直放置,一般钢筋直径不小于 12mm,底部钢筋间距一般采用 100~150mm。因立臂承受弯矩越向上越小,可根据材料图将钢筋切断。当墙身立臂较高时,可将钢筋分别在不同高度分两次切断,仅将 1/4~1/3 受力钢筋延伸到板顶。顶端受力钢筋间距不应大于 500mm。钢筋切断部位,应在理论切断点以上再加一钢筋锚固长度,而

其下端插入底板一个锚固长度。锚固长度 L_m 一般取 $25d \sim 30d$ (d 为钢筋直径)。配筋见图 6-1-11。

在水平方向也应配置不小于 $\phi 6$ 的分布钢筋,其间距不大于 $400 \sim 500\text{mm}$,截面积不小于立臂底部受力钢筋的 10% 。

对于特别重要的悬臂式挡土墙,在立臂的墙面一侧和墙顶,也按构造要求配置少量钢筋或钢丝网,以提高混凝土表层抵抗温度变化和混凝土收缩的能力,防止混凝土表层出现裂缝。

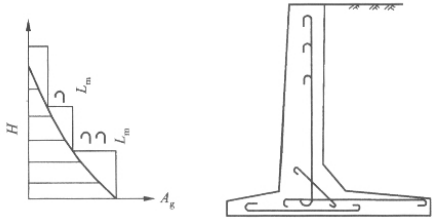


图 6-1-11 悬臂式挡土墙配筋

(二)底板钢筋设计

墙跟板受力钢筋,设置在墙履板的顶面。受力筋一端插入立臂与底板连接处以左不小于一个锚固长度;另一端按材料图切断,在理论切断点向外伸出一个锚固长度。

墙趾板的受力钢筋,应设置于墙趾板的底面,该筋一端伸入墙趾板与立臂连接处以右不小于一个锚固长度;另一端一半延伸到墙趾,另一半在 $B_1/2$ 处再加一个锚固长度处切断。配筋见图 6-1-11。

在实际设计中,常将立臂的底部受力钢筋一半或全部弯曲作为培趾板的受力钢筋。立臂与墙跟板连接处最好做成贴角予以加强,并配以构造筋,其直径与间距可与墙踵板钢筋一致,底板也应配置构造钢筋。钢筋直径及间距均应符合有关规范的规定。

六、算例

【算例 1-1】已知:设计一无石料地区挡土墙,墙背填土与墙前地面高差为 2.4m ,填土表面水平,上有均布标准荷载 $P_k=10\text{kN/m}^2$,地基承载力设计值为 120kN/m^2 ,填土的标准容重 $\gamma_t=17\text{kN/m}^3$,内摩擦角 $\varphi=30^\circ$,底板与地基摩擦系数 $f=0.45$,由于采用钢筋混凝土挡土墙,墙背竖直且光滑,可假定墙背与填土之间的摩擦角 $\delta=0$ 。

解:

(一)截面选择

由于缺石地区,选择钢筋混凝土结构。墙高低于 6m ,选择悬臂式挡土墙。尺寸按悬臂式挡土墙规定初步拟定,如图 6-1-12 所示。

(二)荷载计算

1. 土压力计算

由于地面水平,墙背竖直且光滑,土压力计算选用朗金理论公式计算:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 0.333$$

地面活荷载 P_k 的作用,采用换算土柱高 $H_0 = \frac{P_k}{\gamma_t}$,地面处水平压力:

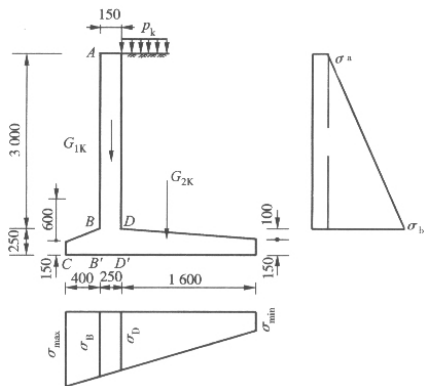


图 6-1-12 悬臂挡土墙计算图(尺寸单位:mm)

$$\sigma_A = \gamma_t H_0 K_a = 17 \times \frac{10}{7} \times \frac{1}{3} = 3.33 \text{ kN/m}^2$$

悬臂底 B 点水平压力:

$$\sigma_B = \gamma_t \left(\frac{P_k}{\gamma_t} + 3 \right) K_a = 17 \times \left(\frac{10}{7} + 3 \right) \times 0.333 = 20.33 \text{ kN/m}^2$$

底板 C 点水平压力:

$$\sigma_C = \gamma_t \left(\frac{P_k}{\gamma_t} + 3 + 0.25 \right) K_a = 17 \times \left(\frac{10}{7} + 3 + 0.25 \right) \times 0.333 = 21.75 \text{ kN/m}^2$$

土压力合力:

$$E_{x1} = \sigma_A \times 3 = 10 \text{ kN/m}$$

$$Z_{f1} = \frac{3}{2} + 0.25 = 1.75 \text{ m}$$

$$E_{x2} = \frac{1}{2} (\sigma_C - \sigma_A) \times 3 = 25.5 \text{ kN/m}$$

$$Z_{f2} = \frac{1}{3} \times 3 + 0.25 = 1.25 \text{ m}$$

2. 竖向荷载计算

(1) 立板自重

钢筋混凝土标准容重 $\gamma_k = 25 \text{ kN/m}^3$, 其自重

$$G_{1k} = \frac{0.15 + 0.25}{2} \times 3 \times 25 = 15 \text{ kN/m}$$

$$x_1 = 0.4 + \frac{(0.1 \times 3) / 2 \times (2 \times 0.10) / 3 + 0.15 \times 3 \times (0.10 + 0.15 / 2)}{(0.1 \times 3) / 2 + 0.15 \times 3} = 1.55 \text{ m}$$

(2) 底板自重

$$\begin{aligned} G_{2k} &= \left[\frac{0.15 + 0.25}{2} \times 0.4 + 0.25 \times 0.25 + \frac{0.15 + 0.25}{2} \times 1.6 \right] \times 25 \\ &= 0.4625 \times 25 = 11.56 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \left[\frac{0.15+0.25}{2} \times 0.40 \times \left(\frac{40}{3} \times \frac{2 \times 0.25 \times 0.15}{0.25+0.15} \right) + 0.25 \times 0.25 \times (0.40+0.125) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{0.15+0.25}{2} \times 1.60 \times \left(\frac{1.6}{3} \times \frac{2 \times 0.15+0.25}{0.15+0.25} + 0.65 \right) \right] \div 0.4625 \\
 &= 1.07\text{m}
 \end{aligned}$$

(3) 地面均布活载及填土的自重

$$\begin{aligned}
 G_{3k} &= (P_k + \gamma_t \cdot 3) \times 1.60 = (10 + 17 \times 3) \times 1.60 = 97.60 \text{ kN/m} \\
 x_3 &= 0.65 + 0.80 = 1.45\text{m}
 \end{aligned}$$

(三) 抗倾覆稳定验算

稳定力矩

$$\begin{aligned}
 M_{zk} &= G_{1k}x_1 + G_{2k}x_2 + G_{3k}x_3 \\
 &= 15 \times 0.55 + 11.56 \times 1.07 + 97.60 \times 1.45 \\
 &= 162.14 \text{ kN} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

倾覆力矩

$$\begin{aligned}
 M_{qk} &= E_{x1}Z_{f1} + E_{x2}Z_{f2} \\
 &= 10 \times 1.75 + 25.5 \times 1.25 = 49.38 \text{ kN} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

$$K_0 = \frac{M_{zk}}{M_{qk}} = \frac{62.14}{49.38} = 3.28 > 1.5 \quad \text{稳定}$$

(四) 抗滑稳定验算

竖向力之和 $G_k = \sum G_{ik} = 15 + 11.56 + 97.6 = 124.16 \text{ kN/m}$

抗滑力 $G_k \cdot f = 124.16 \times 0.45 = 55.876 \text{ kN}$

滑移力 $E = E_{x1} + E_{x2} = 10 + 25.5 = 35.50 \text{ kN}$

$$K_c = \frac{G_k f}{E} = \frac{55.87}{35.5} = 1.57 > 1.3 \quad \text{稳定}$$

(五) 地基承载力验算

地基承载力采用设计荷载,分项系数:地面活荷载 $r_1 = 1.30$;土荷载 $r_2 = 1.20$;自重 $r_3 = 1.20$ 。

基础底面偏心距 e_0 , 先计算总竖向力到墙趾的距离: $e_0 = \frac{M_V - M_H}{G_k}$

M_V 为竖向荷载引起的弯矩:

$$\begin{aligned}
 M_V &= (G_{1k} \cdot x_1 + C_{2k} \cdot x_2 + \gamma_t \times 3 \times 1.6 \times x_3) \times 1.2 + P_k \times 1.6 \times x_3 \times 1.3 \\
 &= (15 \times 0.55 + 11.56 \times 1.07 + 17 \times 3 \times 1.6 \times 1.45) \times 1.2 \\
 &\quad + 10 \times 1.60 \times 1.45 \times 1.3 = 196.89 \text{ kN} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

M_H 为水平力引起的弯矩:

$$\begin{aligned}
 M_H &= 1.3E_{x1} \cdot Z_{f1} + 1.2E_{x2}Z_{f2} \\
 &= 10 \times 1.75 \times 1.3 + 25.5 \times 1.25 \times 1.2 = 61 \text{ kN} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

总竖向力:

$$\begin{aligned} G_k &= 1.2(G_{1k} + G_{2k} + \gamma_t \times 3 \times 1.6) \times 1.3P_k \times 1.6 \\ &= (15 + 11.56 + 17 \times 3 \times 1.60) \times 1.2 + 10 \times 1.6 \times 1.3 = 150.59 \text{ kN} \\ e &= \frac{196.89 - 61}{150.59} = 0.9 \text{ m} \end{aligned}$$

偏心距 $e_0 = \frac{B}{2} - e = \frac{2.25}{2} - 0.90 = 0.225 \text{ m} < \frac{B}{6} = \frac{2.25}{6} = 0.375 \text{ m}$

地基压力 $\sigma_{\min}^{\max} = \frac{G_k}{B} (1 \pm \frac{6e_0}{B})$

$$\begin{aligned} &= \frac{150.59}{2.25} (1 \pm \frac{6 \times 0.225}{2.25}) \\ &= \frac{107}{26.77} \text{ kN/m}^2 < 1.2f = 1.2 \times 100 = 130 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(六) 结构设计

立臂与底板均采用 C20 混凝土和 II 级钢筋, $f_{ck} = 13.4 \text{ N/mm}^2$, $f_{tk} = 1.54 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 300 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

(1) 立臂设计

底截面设计弯矩

$$M = 10 \times 1.5 \times 1.3 + 25.5 \times 1 \times 1.20 = 50.1 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

标准弯矩 $M_k = 10 \times 1.5 + 25.5 \times 1 = 40.5 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$

强度计算: 取 $h_0 = 250 - 40 = 210 \text{ mm}$, $b = 1000 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{f_{ck}}{f_y} b h_0 (1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{f_{ck} b h_0^2}}) \\ &= \frac{13.4}{300} \times 1000 \times 210 \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 50.1 \times 10^6}{13.4 \times 1000 \times 210^2}}) = 832 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

取 12@120

$$A_s = 942 \text{ mm}^2$$

裂缝验算:

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} = \frac{942}{0.5 \times 1000 \times 250} = 0.0075, \text{ 用 } \rho_{te} = 0.01$$

$$\sigma_{sk} = \frac{M_k}{0.87 h_0 A_s} = \frac{40.5 \times 10^6}{0.87 \times 210 \times 942} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\psi = 1.10 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}} = 1.10 - \frac{0.65 \times 1.54}{0.01 \times 235} = 0.67$$

最大裂缝宽度:

$$\omega_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} (1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}})$$

$$\alpha_{cr} = 2.10, c = 35 \text{ mm}, d_{eq} = 12 \text{ mm}$$

$$\omega_{\max} = 2.1 \times 0.67 \times \frac{235}{2 \times 10^5} \times (1.9 \times 35 + 0.08 \times \frac{12}{0.01}) = 0.27 > 0.20 \text{ mm, 改用 } 12 @ 100$$

$$A_s = 1131 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{te} = \frac{1131}{0.50 \times 1000 \times 250} = 0.009, \text{仍取 } \rho_{te} = 0.01$$

$$\sigma_{sk} = \frac{40.5 \times 10^6}{0.87 \times 210 \times 1131} = 196 \text{ N/mm}^2$$

$$\psi = 1.10 - \frac{0.65 \times 1.54}{0.01 \times 196} = 0.59$$

$$\omega_{max} = 2.10 \times 0.59 \times \frac{196}{2 \times 10^5} \times (1.9 \times 35 + 0.08 \times \frac{12}{0.01}) = 0.19 \text{ mm} < 0.2 \text{ mm}$$

(2) 底板设计

设计弯矩: 墙踵板根部 D 点的地基压力设计值

$$\begin{aligned}\sigma_D &= \sigma_{min} + \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{B} \times 1.60 \\ &= 26.77 + \frac{107.09 - 26.77}{2.25} \times 1.60 = 83.89 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

墙踵板根部 B 点的地基压力设计值:

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \sigma_{min} + \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{B} \times 1.85 \\ &= 26.77 + \frac{107.09 - 26.77}{2.25} \times 1.85 = 83.89 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

墙踵板根部 D 点设计弯矩:

$$\begin{aligned}M_D &= 0.32 \times 25 \times 0.733 \times 1.2 + 17 \times 3 \times 1.6 \times 0.8 \times 1.2 + 10 \times 1.6 \times 0.8 \times 1.30 \\ &\quad - 26.77 \times 1.6 \times 0.8 - (83.89 - 26.77) \times \frac{1.60}{2} \times \frac{1.60}{3} = 43.37 \text{ kN} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

墙趾板根部 B 点设计弯矩:

$$M_B = 92.81 \times 0.4 \times 0.20 + \frac{(107.09 - 92.81)}{2} \times 0.4 \times \frac{2 \times 0.4}{3} = 8.72 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

标准弯矩计算, 由前面计算可知, 标准荷载作用时:

$$\begin{aligned}e &= \frac{M_{zk} - M_{qk}}{G_k} = \frac{162.14 - 49.38}{124.16} = 0.91 \text{ m} \\ e_0 &= \frac{B}{2} - e = \frac{2.25}{2} - 0.91 = 0.215 \text{ m}\end{aligned}$$

此时地基压力:

$$\begin{aligned}\sigma_{min}^{max} &= \frac{G_k}{B} (1 \pm \frac{6e_0}{B}) = \frac{124.16}{2.25} (1 \pm \frac{6 \times 0.215}{2.25}) = \frac{86.63}{23.73} \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_D &= 23.73 + \frac{86.63 - 23.73}{2.25} \times 1.6 = 68.46 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_D &= 0.32 \times 25 \times 0.733 + 17 \times 3 \times 1.6 \times 0.8 + 10 \times 1.6 \times 0.8 - 23.73 \times 1.6 \\ &\quad \times 0.8 - (68.46 - 23.73) \times \frac{1.6}{2} \times \frac{1.6}{3} = 34.49 \text{ kN} \cdot \text{m/m}\end{aligned}$$

墙踵板强度设计:

$$A_s = \frac{f_{ck}}{f_y} b h_0 (1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{f_{ck} b h_0^2}}) = \frac{13.4}{300} \times 1000 \times 210$$

$$\times (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 43.37 \times 10^6}{13.4 \times 1000 \times 210^2}}) = 716 \text{ mm}^2$$

配 12@120

$$A_s = 942 \text{ mm}^2$$

裂缝验算:

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} = \frac{942}{0.5 \times 1000 \times 250} = 0.007 \text{ 取 } \rho_{te} = 0.01$$

$$\sigma_{sk} = \frac{34.49 \times 10^6}{0.87 \times 1000 \times 942} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\psi = 1.10 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}} = 1.10 - \frac{0.65 \times 1.54}{0.01 \times 200} = 0.59$$

最大裂缝宽度

$$\omega_{\max} = 2.10 \times 0.59 \times \frac{200}{2 \times 10^5} \times (1.9 \times 3.5 + 0.08 \times \frac{12}{0.01}) = 0.19 \text{ mm} < 0.2 \text{ mm}$$

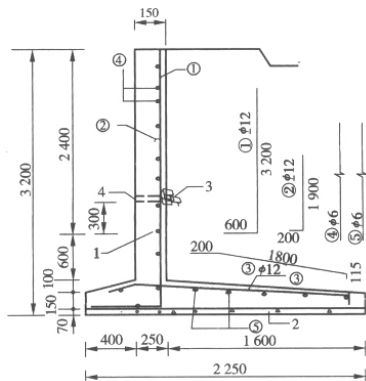


图 6-1-13 挡土墙大样图(尺寸单位:mm)

(七)施工团

(挡土墙大样图)(如图 6-1-13 所示)

材料:垫层为 C10 混凝土,立臂及底板用 C20 混凝土。

第五节 悬臂式挡土墙工程实例

工程实例一 成都市三环路 with 铁路立交工程

K23+385.728~K23+486.726 右侧快车道填方最大高度 5m,因为地处城郊,且地基承载力设计值 $[\sigma] = 150 \text{ kPa}$,原考虑设计衡重式路肩挡土墙。经验算,墙身污工太大,且料石需远运,故设计悬臂式挡土墙,墙身设计高度 $H = 2 \sim 5 \text{ m}$,填土的标准重度 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$,内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$,底板与地基摩擦系数 $f = 0.3$,活载按汽车—超 20 级,挂车—120 设计,墙身采用 C20 钢筋混凝土,墙背填料采用非膨胀土填筑,墙后土压力未考虑浸水作用,设计后的挡土墙断面尺寸如图 6-1-14、图 6-1-15、表 6-1-2 所示。

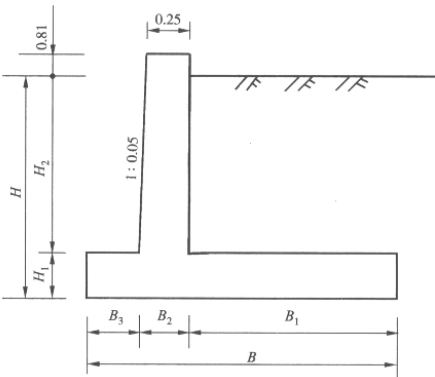


图 6-1-14 悬臂式挡土墙设计图(尺寸单位:m)

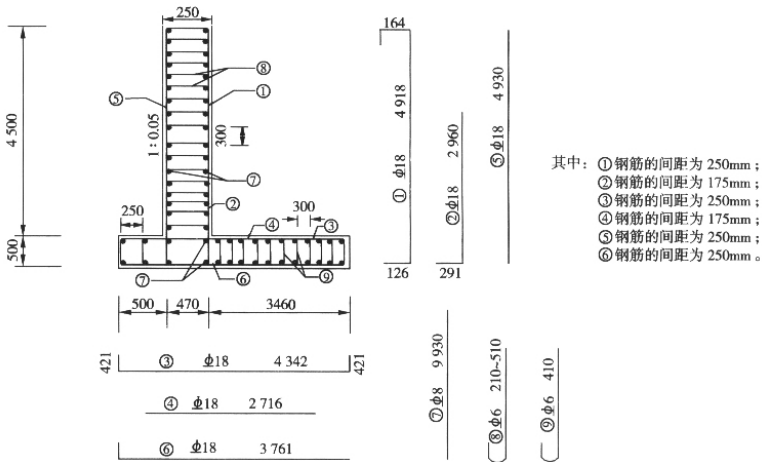


图 6-1-15 墙高 $H=5\text{m}$ 的钢筋布置图(尺寸单位:mm)

表 6-1-2 悬臂式挡土壤断面尺寸表

墙高 H (m)	墙 身 尺 寸						面积
	B (m)	B_1 (m)	B_2 (m)	B_3 (m)	H_1 (m)	H_2 (m)	A (m^2)
2	3.24	2.41	0.33	0.50	0.35	1.65	1.65
3	3.47	2.59	0.38	0.50	0.40	2.60	2.24
4	3.98	3.05	0.43	0.50	0.45	3.55	3.02
5	4.43	3.46	0.47	0.50	0.50	4.50	3.88

该工程 1999 年完成施工图设计,2000 年施工完毕,目前使用情况良好。

工程实例二 兰新铁路大风地区 L 型挡风墙

新疆地处亚洲腹地,大陆性气候明显,干燥少雨,夏天酷热,冬天严寒,并经常受西伯利亚、乌拉尔山南下冷空气的影响。当寒流进入新疆准葛尔盆地后,受到阿尔泰山和天山山脉的阻挡,山脉垭口是南下气流的天然通道,故有大风风口之称,如七角井风口、达板城风口。兰新铁路从沙尔车站至红旗坎车站(K1417+230~K1554+897)长 137km,受七

角井风口影响,称为“百里风区”。头道河车站至后沟车站(K1735+452~K1768+405)长33km,受达板城风口影响,称为“三十里风区”。这些地段风力强大,大风频繁,由于风口风力强大,自通车以来曾多次发生大风吹翻行驶中的列车车辆事故,给国家造成重大经济损失。为确保风区铁路行车安全,运输畅通,先后在大风地段路堤迎风侧修筑多处挡风墙工程。

路堤建成后,在路堤迎风侧路肩设钢筋混凝土 L 型挡风墙。墙高 3.5m(包括基础),基础埋入路面下 0.5m,挡风墙底板宽度 2.2m,墙道距路堤坡面的垂直距离不小于 0.5m,迎风侧路肩上仍夯填土,并顺坡至挡风墙悬臂。坡面用干砌片石防护,防护高度为坡面高度的 $\frac{2}{3}$ 。L 型挡风墙的结构形式如图 6—1—16 所示。挡风墙的倾覆稳定性检算和结构设计按 100 年一遇的风压进行,并考虑迎风侧填土的影响

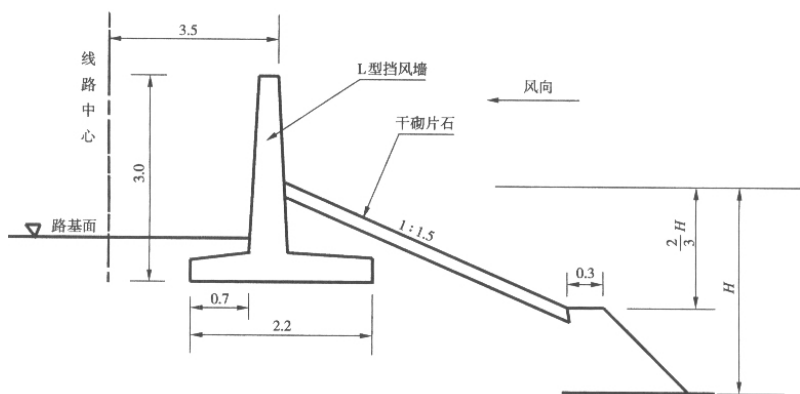


图 6—1—16 钢筋混凝土 L 型挡风墙 (尺寸单位: m)

对于该型挡风墙的施工,可就地灌注钢筋混凝土,也可预制拼装,施工比较复杂,且墙的悬臂混凝土表面容易被大风刮起的石子打磨,需要经常维修。

第二章 扶臂式挡土墙构造与设计

第一节 扶壁式挡土墙构造

扶壁式挡土墙(图 6—1—2)由墙面板、墙趾板、墙通板和扶壁组成,通常还设置凸榫。墙趾板和凸榫的构造与悬臂式挡土墙相同。

墙面板通常为等厚的竖直板,与扶壁和墙路板团结相连。对于其厚度,低墙决定于板的最小厚度,高墙则根据配筋要求确定。墙面板的最小厚度与悬臂式挡土墙相同。

墙覆板与扶壁的连接为固结,与墙面板的连接考虑铰接较为合适,其厚度的确定方式与悬臂式挡土墙相同。

扶壁为团结于墙确板的 T 型变截面悬臂梁,墙面板可视为扶壁的翼缘板。扶壁的经济间距与混凝土、钢筋、模板和劳动力的相对价格有关,应根据试算确定,一般为墙高的 $1/3 \sim 1/2$ 。其厚度取决于扶壁背面配筋的要求,通常为两扶壁间距的 $1/8 \sim 1/6$,但不得小于 30cm。

扶壁两端墙面板悬出端的长度,根据悬臂端的固端弯矩与中间跨固端弯矩相等的原则确定,通常采用两扶壁间净距的 0.41 倍。

第二节 扶壁式挡土墙设计

扶壁式挡土墙的设计流程见图 6—2—1。

一、土压力计算

同悬臂式挡土墙。

二、墙踵板与墙趾板长度的确定

同悬臂式挡土墙。

三、墙身内力计算

计算时,一般将复杂的空间结构简化为平面问题,接近似的方法计算各个构件的弯矩和剪力。

(一)墙趾板

同悬臂式挡土墙。

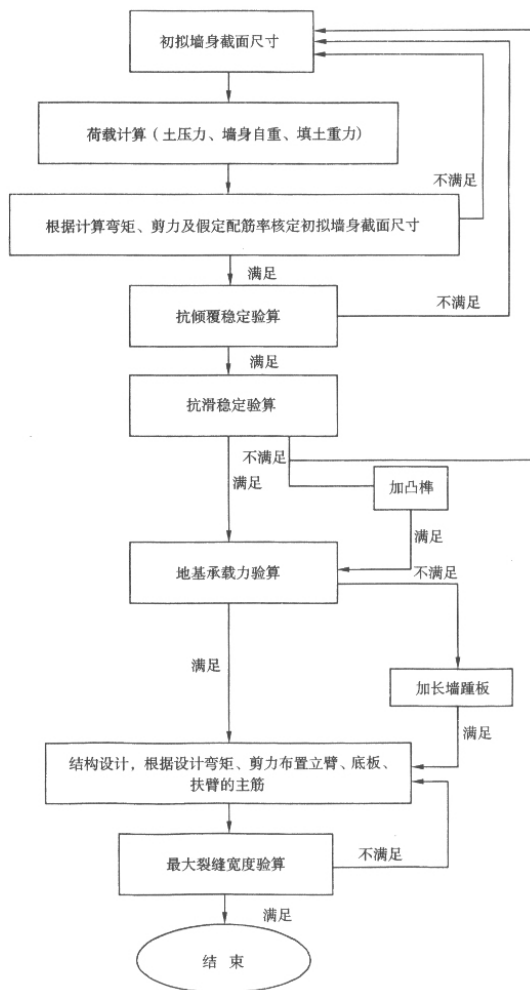


图 6-2-1 扶壁式挡土墙设计流程图

(二) 墙面板

墙面板为三向固结板。在计算时,通常将墙面板沿墙高和墙长方向划分为若干个单位宽度的水平和竖直线条,分别计算两个方向的弯矩和剪力。

1. 墙面板的计算荷载

在计算墙面板的内力时,为考虑墙面板与墙踵板之间固结状态的影响,采用如图 6-2-2 所示的替代土压应力图形。图中,图形 $afge$ 为按土压力公式计算的法向土压应力;有水平划线的梯形 $abde$ 部分的土压力由墙面板传至扶壁,在墙面板的水平板条内产生水平弯矩和剪力;有竖直划线的图形 afb 部分的土压力通过墙面板传至墙跟板,在墙面板竖直线条的下部产生较大的弯矩。在计算跨中水平正弯矩时,采用图形 $abde$,在计算扶壁两侧固结端水平负弯矩时,采用图形 $abce$ 。图中

$$\sigma_{pj} = \sigma_{H1}/2 + \sigma_0 \quad (2-1)$$

式中: σ_{H1} ——墙面板底端由填料引起的法向土压应力;

σ_0 ——均布荷载引起的法向土压应力。

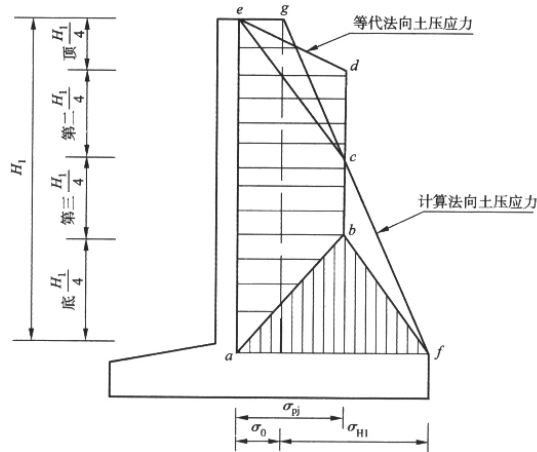


图 6-2-2 墙面板的等代土压应力

2. 墙面板的水平内力

在计算时,假定每一水平板条为支承在扶壁上的连续梁,荷载沿板条按均匀分布,其大小等于该板条所在深度的法向土压应力。

各板条的弯矩和剪力按连续梁计算,其计算方法见《建筑设计手册》(静力计算)。为了简化设计,也可按图 6-2-3 中给出的弯矩系数,计算受力最大板条跨中和扶壁两端的弯矩和剪力,然后按此弯矩和剪力配筋。其中:

跨中正弯矩:

$$M_{\text{中}} = \sigma_{\text{pj}} L^2 / 20 \quad (2-2)$$

扶壁两端负弯矩:

$$M_{\text{端}} = -\sigma_{\text{pj}} L^2 / 12 \quad (2-3)$$

式中: $M_{\text{中}}$ 、 $M_{\text{端}}$ ——受力最大板条跨中和扶壁两端的弯矩;

L ——扶壁之间的净距;

σ_{pj} ——墙面板受力最大板条的法向土压应力。

水平板条的最大剪力发生在扶壁的两端,其值可假设等于两扶壁之间水平板条上法向土压力之和的一半。受力最大板条扶壁两端的剪力为:

$$Q_{\text{端}} = \sigma_{\text{pj}} L / 2 \quad (2-4)$$

3. 墙面板的竖直弯矩

作用于墙面板的土压力(图 6-2-2 中的 afb 部分)在墙面板内产生竖直弯矩。

墙面板跨中竖直弯矩沿墙高的分布如图 6-2-4a)所示。负弯矩使墙面板靠填土一侧受拉,发生在墙面板的下 $H_1/4$ 范围内,最大负弯矩位于墙面板的底端,其值按下述经验公式计算:

$$M_{\text{底}} = -0.03(\sigma_{\text{H}_1} + \sigma_0) H_1 L \quad (2-5)$$

式中: $M_{\text{底}}$ ——墙面板底端的竖直负弯矩;

H_1 ——墙面板的高度。

最大正弯矩位于墙面板的下 $H_1/4$ 分点附近,其值等于最大竖直负弯矩的 $1/4$ 。板的

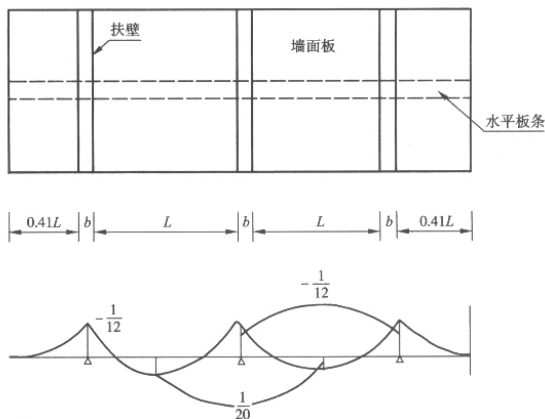


图 6-2-3 墙面板的水平弯矩系数

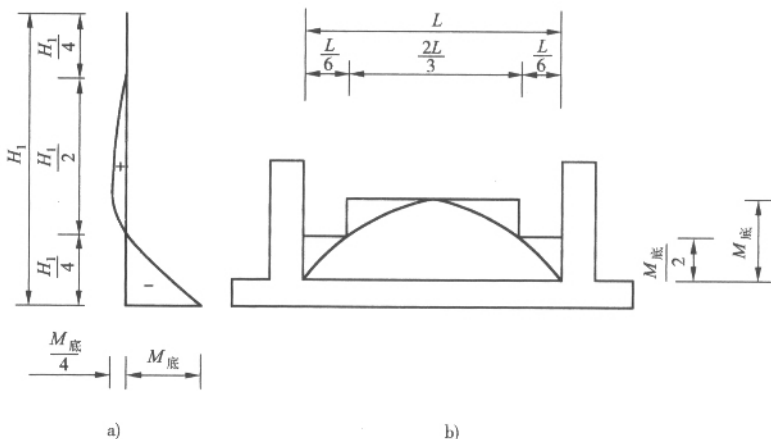


图 6-2-4 墙面板的竖直弯矩

a) 沿墙高的分布; b) 沿墙长的分布

上 $H_1/4$ 弯矩为零。

墙面板竖直弯矩沿墙长方向呈抛物线分布,如图 6-2-4b)所示,设计时,可采用中部 $2L/3$ 范围内的竖直弯矩不变,两端各 $L/6$ 范围内的竖直弯矩较跨中减少一半的简化办法。

(三) 墙踵板

1. 墙踵板的计算荷载

作用于墙踵板的外力,除了作用在悬臂式挡土墙墙踵板上四种外力以外,尚需考虑墙趾板弯矩在墙踵板上引起的等代荷载。

墙趾板弯矩引起的等代荷载的竖直压应力可假设为抛物线分布,如图 6-2-5a)所示。该应力图形在墙踵板内缘点的应力为零,墙踵处的应力 σ 根据等代荷载对墙踵板内缘点的力矩与墙趾板弯矩 M_{3B} 相等的原则求得,即:

$$\sigma = 2.4M_{3B}/B_3^2 \quad (2-6)$$

式中: M_{3B} ——墙趾板在与墙面板衔接处的弯矩;

B_3 ——墙踵板的长度。

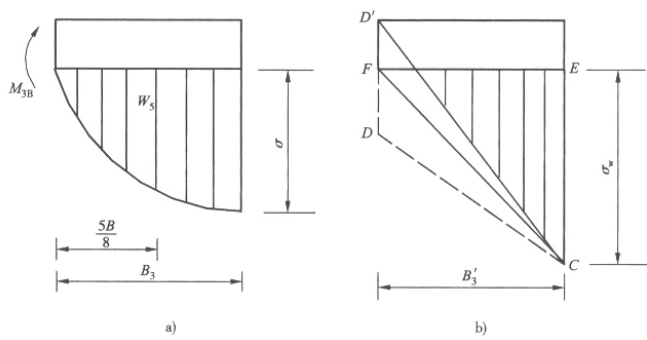


图 6—2—5 墙踵板的计算荷载

a)墙趾板弯矩引起的等代荷载;b)墙踵板的计算荷载

将上述荷载在墙踵板上引起的竖直压应力叠加,即可得到墙踵板的计算荷载,如图 6—2—5b)所示。图中图形 CDE(或 CD'E)为叠加后作用于墙踵板的竖直压应力。由于墙面板对墙踵板的支撑约束作用,在墙踵板与墙面板衔接处,墙踵板沿墙长方向板条的弯曲变形为零,向墙踵方向变形逐渐增大,故可近似地假设墙踵板的计算荷载为三角形分布,如图 6—2—5b)中的 CFE。墙踵处的竖直压应力为:

$$\sigma_w = \sigma_{y2} + \gamma_k h_1 - \sigma_2 + 2.4M_{3B}/B_3^2 \tag{2-7}$$

- 式中: σ_{y2} ——墙踵处的竖直土压应力;
 γ_k ——钢筋混凝土的重度;
 h_1 ——墙踵板的厚度;
 σ_2 ——墙踵处地基压力。

2. 墙踵板的内力计算

由于假设了墙踵板与墙面板为铰支连接,作用于墙面板的水平上压力主要通过扶壁传至墙踵板,故不计算墙踵板横向板条的弯矩和剪力。

墙踵板纵向板条弯矩和剪力的计算与墙面板相同。计算荷载取墙踵板的计算荷载即可。

(四)扶壁

扶壁承受相邻两跨墙面板中点之间的全部水平上压力,扶壁自重和作用于扶壁的竖直土压力可忽略不计。另外,虽然在计算墙面板内力时,考虑图 6—2—2 中图形 afb 所示的土压力通过墙面板传至墙踵板,但在计算扶壁内力时,可不考虑这一影响。各截面的弯矩和剪力按悬臂梁计算,计算方法与悬臂式挡土墙的立板相同。

四、墙身钢筋混凝土配筋设计

扶壁式挡土墙的墙面板、墙趾板和墙踵板按一般受弯构件(板)配筋,扶壁按变截面的 T 型梁配筋。

(一)墙趾板

同悬臂式挡土墙。

(二)墙面板

1. 水平受拉钢筋

墙面板的水平受拉钢筋分为内侧和外侧钢筋两种。

内侧水平受拉钢筋 N_2 , 布置在墙面板靠填土的一侧, 承受水平负弯矩。该钢筋沿墙长方向的布置情况如图 6-2-6b) 所示; 沿墙高方向的布筋, 从图 6-2-2 所示的计算荷载 $abde$ 图形可以看出, 距墙顶 $H_1/4$ 至 $7H_1/8$ 范围, 按第三个 $H_1/4$ 墙高范围板条 (即受力最大板条) 的固端负弯矩 $M_{\text{端}}$ 配筋, 其他部分按 $M_{\text{端}}/2$ 配筋, 如图 6-2-6a) 所示。

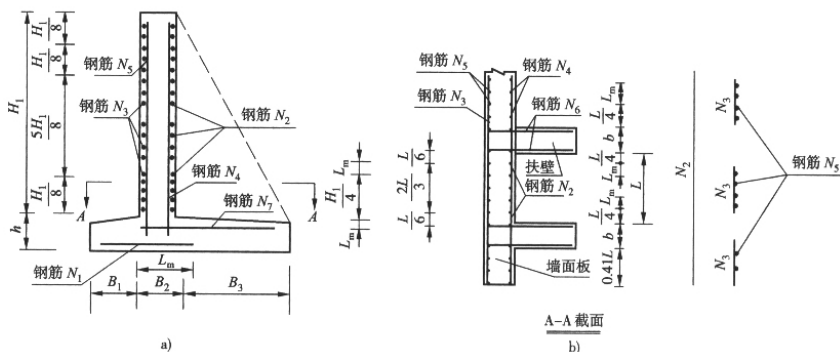


图 6-2-6 墙面板钢筋布置示意图

外侧水平受拉钢筋 N_3 , 布置在中间跨墙面板临空一侧, 承受水平正弯矩。该钢筋沿墙长方向通长布置, 如图 6-2-6 所示, 但为了便于施工, 可在扶壁中心切断, 沿墙高方向的布筋, 从图 6-2-2 所示的计算荷载 $abce$ 图形可以看出, 从距墙顶 $H_1/8$ 至 $7H_1/8$ 范围, 应按图中 $H_1/2$ 墙高范围板条也即受力最大板条的跨中正弯矩 $M_{\text{中}}$ 配筋。如图 6-2-6a) 中其他部分按 $M_{\text{中}}/2$ 配筋。

2. 竖直纵向受力钢筋

墙面板的竖直纵向受力钢筋, 也分为内侧和外侧钢筋两种。

内侧竖直受力钢筋 N_4 , 布置在墙面板靠填土一侧, 承受墙面板的竖直负弯矩。该钢筋向下伸入墙通板不少于一个钢筋锚固长度, 向上在距墙踵板顶面 $H_1/4$ 加钢筋锚固长度处切断, 如图 6-2-6A) 所示。沿墙长方向的布筋从图 6-2-6b) 可以看出, 在跨中 $2L/3$ 范围内按跨中的最大竖直负弯矩 $M_{\text{底}}$ 配筋, 其两侧各 $L/6$ 部分按 $M_{\text{底}}/2$ 配筋。两端悬出部分的竖直内侧钢筋可参照上述原则布置。

外侧竖直受力钢筋 N_5 , 布置在墙面板的临空一侧, 承受墙面板的竖直正弯矩, 按 $M_{\text{底}}/4$ 配筋。该钢筋可通长布置, 兼做墙面板的分布钢筋之用。

3. 墙面板与扶壁之间的 U 型拉筋

钢筋 N_6 (图 6-2-6b) 为连接墙面板和扶壁的水平 U 型拉筋, 其开口朝扶壁的背侧。该钢筋的每一肢承受宽量为拉筋间距的水平板条的板端剪力 $Q_{\text{端}}$, 在扶壁的水平方向通长布置 (图 6-2-7a)。

(三)墙踵板

1. 顶面横向水平钢筋

墙踵板顶面横向水平钢筋 N_7 , 是为了使墙面板承受竖直负弯矩的钢筋 N_4 得以发挥作用而设置。该钢筋位于墙踵板顶面, 并与墙面板垂直, 如图 6-2-7a) 所示, 承受与墙

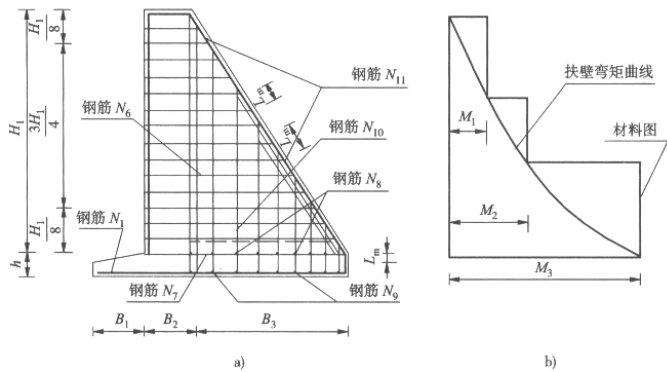


图 6—2—7 墙踵板和扶壁钢筋布置示意图

面板竖直最大负弯矩相同的弯矩。钢筋 N_7 沿墙长方向的布置与 N_4 相同,在垂直于墙面板方向,一端伸入墙面板一个钢筋锚固长度,另一端延长至墙踵,作为墙踵板顶面纵向受拉钢筋 N_5 的定位钢筋。如果钢筋 N_7 较密,其中一半可以在距墙踵板内缘 $B_3/2$ 加钢筋锚固长度处切断。

钢筋 N_5 和 N_9 (图 6—2—7a) 为墙踵板顶面和底面的纵向水平受拉钢筋,承受墙踵板扶壁两端负弯矩和跨中正弯矩。该钢筋沿墙长方向的切断情况与 N_2 和 N_3 相同;在垂直墙面板方向,可将墙踵板的计算荷载划分为 2~3 个分区,每个分区按其受力最大板条的法向压应力配置钢筋。

2. 墙踵板与扶壁之间的 U 型拉筋

钢筋 N_{10} 为连接墙踵板和扶壁的 U 型拉筋,其开口朝上。该钢筋的计算方法与墙面板和扶壁之间的水平拉筋 N_6 相同;向上可在距墙踵板顶面一个钢筋锚固长度处切断,也可延至扶壁顶面,作为扶壁两侧的分布钢筋之用;在垂直墙面板方向的分布与墙踵板顶面的纵向水平钢筋 N_8 相同。

(四) 扶壁

钢筋 N_{11} 为扶壁背侧的受拉钢筋。在计算 N_{11} 时,通常近似地假设混凝土受压区的合力作用在墙面板的中心处。扶壁背侧受拉钢筋的面积可按下式计算:

$$F_g = M / [\sigma_g] d_s \cos \omega \tag{2-8}$$

- 式中: F_g —— 扶壁背侧受力钢筋面积;
 M —— 计算截面的弯矩;
 $[\sigma_g]$ —— 钢筋的容许应力;
 d_s —— 扶壁背侧受拉钢筋重心至墙面板中心的距离;
 ω —— 扶壁背侧受拉钢筋与竖直方向的夹角。

在配置钢筋 N_{11} 时,一般根据扶壁的弯矩图(图 6—2—7b)从选择取 2~3 个截面,分别计算所需受拉钢筋的根数。为了节省混凝土,钢筋 N_{11} 可按多层排列,但不得多于三层,而且钢筋间距必须满足规范的要求,必要时可采用束筋。各层钢筋上端应较按计算不需要此钢筋的截面处向上延长一个钢筋锚固长度,下端埋入墙底板的长度不得少于钢筋的锚固长度,必要时可将钢筋沿横向弯入墙通板的底面。

第三章 悬臂式与扶臂式挡土墙施工技术

第一节 概 述

悬臂式挡土墙由立壁(墙面板)和墙底板(包括墙趾板和墙踵板)组成,如图 6—3—1 所示,其立壁为固结于墙底板的悬臂板。

当悬臂式挡土墙墙高大于 6m 时,立壁下部的弯矩增大,耗用钢筋较多,且墙顶变形较大,因此,一般沿墙长方向,每隔一定距离加投扶壁肋板,使立壁与墙踵板相互连接起来,这种结构形式称为扶壁式挡土墙。扶肋起加劲的作用,以改善立壁和墙踵板的受力条件,提高结构的刚度和整体性,减少立壁的变形。因此,扶壁式挡土墙由立壁(墙面板)、墙趾板、墙踵板和扶肋(扶壁)组成,如图 6—3—2 所示。墙高不宜超过 15m,一般为 9~10m 左右。

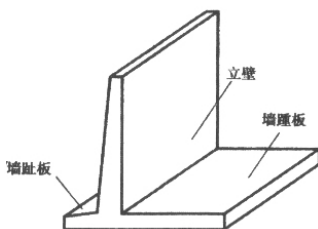


图 6—3—1 悬臂式挡土墙

薄壁式挡土墙的结构稳定性是依靠墙身自重和墙踵板上填土的重力来保证的,而且墙趾板也显著地增加了抗倾覆稳定性,并大大减小了基底应力。因此,薄壁式挡土墙的整体稳定性与墙底板的宽度有关,增大墙底板宽度,可以提高挡土墙的抗滑稳定性和抗倾覆稳定性,减少基底应力。墙底板宽度由墙趾板宽度、立壁底部宽度和墙踵板宽度三部分组成,立壁底部宽度由立壁受力状态和构造要求确定;墙踵板宽度一般根据挡土墙抗滑稳定性的要求确定;而墙趾板宽度除高墙受抗倾覆稳定性控制外,一般都由基底应力或偏心距控制,并要求墙踵处的基底不出现拉应力。立壁和墙底板厚度除满足墙身构造要求,主要取决于截面强度要求,分别按配筋要求和斜裂缝宽度要求确定其有效厚度,然后取大者作为控制值。

薄壁式挡土墙稳定性和强度验算内容和验算方法与重力式挡土墙基本相同,包括抗滑稳定、抗倾覆稳定性、基底应力及合力偏心距、墙身(包括立壁、墙踵板和墙趾板)截面强度等。墙身截面强度验算时,一般选取以下截面作为控制截面:

- (1)立壁:底部、 $2/3$ 立壁与 $1/3$ 立壁高处 3 个截面;
- (2)墙踵板:根部与 $1/2$ 墙踵板宽度处 2 个截面;
- (3)墙趾板:根部与 $1/2$ 墙趾板宽度处 2 个截面。

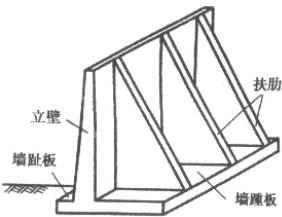


图 6—3—2 扶壁式挡土墙

薄壁式挡土墙的主要特点是构造简单,施工方便,墙身断面较小,圬工量省,占地较少,自身质量轻,可以较好的发挥材料的强度性能等。但需耗用一定数量的钢材和水泥,特别是墙高较大时,钢材用量急剧增加,因而影响其经济性能。它适用于地基承载力较低的地基或石料比较缺乏的地区,常用于填方路段作路肩墙或路堤墙使用。

薄壁式挡土墙在国外已广泛使用,近年来,在国内也开始大量应用。

薄壁式挡土墙宜就地整体浇筑,在城市道路中,为提高施工进度,也可采用拼装式结构。采用拼装式施工时,首先应分别预制立壁(如为扶壁式则同扶肋一体)、墙底板,现场基础处理整平后,安装墙底板,再将立壁(及扶肋)预制件插入梯口,用预埋钢板与墙底板连接,浇筑榫口混凝土,完成挡土墙结构的拼装。但拼装式挡土墙不宜在地质不良地段和地震烈度大于等于 8 度的地区使用。

薄壁式挡土墙采用现场整体浇筑施工时,施工工序包括基槽开挖、地基处理、混凝土配合比设计、钢筋骨架制作与成型、模板制作与安装、混凝土浇筑、防排水设施、填料摊铺与压实等,其施工工艺流程如图 6—3—3 所示。

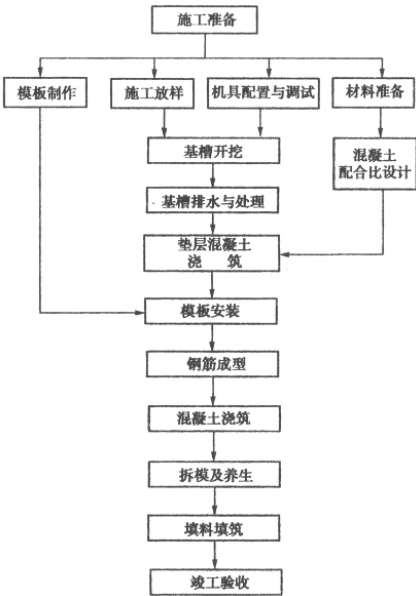


图 6—3—3 薄壁式挡土墙施工工艺流程

第二节 基本构造与钢筋布置

一、墙身构造

悬臂式挡土墙基本构造如图 6—3—4 所示,而扶壁式挡土墙基本构造如图 6—3—5 所示。

1. 分段

悬臂式挡土墙分段长度不应大于 15m,而扶壁式挡土墙分段长度不应大于 20m,段间设置沉降缝和伸缩缝。

2. 立壁

为便于施工,立壁内侧(即墙背)做成竖直面,外侧(即墙面)坡度宜陡于 1 : 0.1,一般为 1 : 0.02~1 : 0.05,具体坡度值应根据立壁的强度和刚度要求确定;当挡土墙高度不大时,立壁可做成等厚度,墙顶宽度不得小于 20cm;当悬臂式挡土墙较高时,宜在立壁下部将截面加宽。

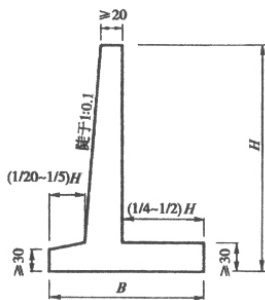


图 6—3—4 悬臂式挡土墙构造
(尺寸单位:cm)

3. 墙底板

墙底板一般水平设置,底面水平。墙趾板的顶面一般从与立壁连接处向趾端倾斜。墙踵板顶面水平,但也可做成向踵端倾斜。墙底板厚度不应小于 30cm。墙踵板宽度由全墙抗滑稳定性确定,并应具有一定的刚度,其值直为墙高的 $(1/4 \sim 1/2)$,且不应小于 50cm。墙趾板的宽度应根据全墙的抗倾覆稳定性、基底应力(即地基承载力)和偏心距等条件来确定,一般可取墙高的 $(1/20 \sim 1/5)$ 。墙底板的总宽度一般为墙高的 $(0.5 \sim 0.7)$ 倍。当墙后地下水位较高且地基软弱时,墙底板宽度可增大到 1 倍墙高或者更大。

4. 扶肋

扶肋间距应根据经济性要求确定,一般为 $(1/4 \sim 1/2)$ 倍墙高,每段中宜设置三个或三个以上的扶肋,扶肋厚度一般为扶肋间距的 $(1/10 \sim 1/4)$ 倍,但不应小于 30cm,采用随高度逐渐向后加厚的变截面,也可采用等厚式以利于施工。

扶肋两端立壁外悬长度根据悬臂梁的固端弯矩与设计采用弯矩相等的原则确定,即为两扶肋间净距的 0.41 倍。

5. 凸榫

为了提高薄壁式挡土墙的抗滑能力,减少墙踵板的宽度,常在墙底板底部设置凸榫,

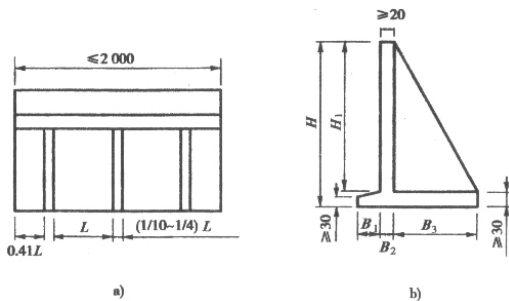


图 6—3—5 扶壁式挡土墙构造(尺寸单位:cm)

a)平面图;b)横断面图

注: $B_1=(1/20\sim1/5)H$; $B_3=(1/4\sim1/2)H$

如图 6—3—6 所示。为使凸樁前的土体产生最大的被动土压力,墙后的主动土压力不因设凸樁而增大,故应注意凸樁设置的位置。通常将凸樁置于通过墙趾与水平面成 $(45^\circ-\varphi/2)$ 角线和通过墙踵与水平面成 φ 角线的范围内。凸樁高度应根据凸樁前土体的被动土压力能够满足抗滑稳定性要求而定;宽度除了满足混凝土的抗剪和抗弯拉要求以外,为便于施工,还不应小于 30cm。

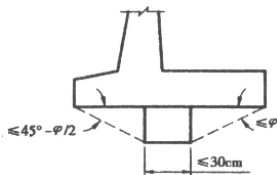


图 6—3—6 凸樁

6. 混凝土材料及保护层

薄壁式挡土墙的混凝土强度等级不得低于 C20,钢筋可选用Ⅰ~Ⅳ级或 5 号钢筋,受力钢筋的直径不应小于 12mm。

立壁外侧钢筋与立壁外侧表面的净距不应小于 3.5cm;立壁内侧主筋与立壁内侧表面的净距不应小于 5cm;墙踵板主筋与墙踵板顶面的净距不应小于 5cm;墙趾板主筋与墙趾板底面的净距不应小于 7.5cm。

位于侵蚀性气体区域或海洋大气环境下,钢筋保护层应适当加大。

二、钢筋布置

1. 悬臂式挡土墙

悬臂式挡土墙的立壁和墙底板,接受弯构件配制受力钢筋,如图 6—3—7 所示。

(1)立壁

立壁受力钢筋 N_3 沿内侧(墙背)竖直放置,底部钢筋间距一般采用 10~15cm。因立壁承受弯矩越向上越小,可根据弯矩图将钢筋切断。当墙身立壁较高时,可将钢筋分别在不同高度分两次切断,仅将 $1/4\sim1/3$ 的受力钢筋延伸到立壁顶部。顶端受力钢筋间距不应大于 50cm。钢筋切断部位,应在理论切断点以上再加一钢筋锚固长度,而其下端插入墙底板一个锚固长度。锚固长度一般取 $(25\sim30)d$ (d 为钢筋直径)。在水平方向也应配置不小于 $\phi 6\text{mm}$ 的分布钢筋,其间距不大于 40~50cm,截面积不应小于立壁底部受力钢筋的 10%。

对于特别重要的悬臂式挡土墙,在立壁的外侧(墙面)和墙顶,可按构造要求配置少量

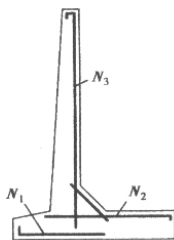


图 6—3—7 悬臂式挡土墙钢筋布置

钢筋或钢丝网,以提高混凝土表层抵抗温度变化和混凝土收缩的能力,防止混凝土表层出现裂缝。

(2) 墙底板

墙踵板受力钢筋 N_2 ,设置在墙踵板的顶面。该钢筋一端伸入立壁与墙底板连接处并伸过不小于一个锚固长度;另一端按弯矩图切断,在理论切断点向外延长一个锚固长度。

墙趾板受力钢筋 N_1 ,设置于墙趾板的底面,该筋一端伸入立壁与墙趾板连接处并伸过不小于一个锚固长度;另一端一半延伸到墙趾,另一半在墙趾板宽度中部再加一个锚固长度处切断。

为便于施工,墙底板的受力钢筋间距最好与立壁的间距相同或取其整数倍。在实际应用中,常将立壁的底部受力钢筋一半或全部弯曲作为墙趾板的受力钢筋。立壁与墙踵板连接处最好做成贴角予以加强,并配以构造钢筋,其直径与间距可与墙踵板钢筋一致,墙底板也应配置构造钢筋。钢筋直径及间距均应符合规范的规定。

另外,还应根据截面剪力布置箍筋。

2. 扶壁式挡土墙

扶壁式挡土墙的立壁、墙趾板、墙踵板按矩形截面受弯构件配制钢筋,如图 6—3—8 所示,而扶肋按变截面 T 形梁配筋。

(1) 立壁

立壁的水平受拉钢筋分为内、外侧钢筋两种。内侧水平受拉钢筋 N_2 ,布置在立壁靠填土一侧,承受水平负弯矩,按扶肋处支点弯矩设计,全墙可分为 3~4 段。

外侧水平受拉钢筋 N_3 ,布置在中间跨立壁临空一侧,承受水平正弯矩,该钢筋沿墙长方向通长布置。为方便施工,可在扶肋中心切断。沿墙高可分为几个区段进行配筋,但区段不宜分得过多。

立壁的竖向受力钢筋,也分内、外两侧。内侧竖向受力钢筋 N_4 布置在靠填土一侧,承受立壁的竖直负弯矩。该筋向下伸入墙踵板不少于一个钢筋锚固长度;向上在距墙踵板顶高 $H_1/4$ 加上一个钢筋锚固长度处切断,每跨中部 $2l/3$ 范围内按跨中的最大竖直负弯矩 M_D 配筋,靠近扶肋两侧各 $1/6$ 部分按 $M_D/2$ 配筋(如图 6—3—8 所示)。

外侧竖向受力钢筋 N_5 ,布置在立壁临空一侧,承受立壁的竖直正弯矩,该钢筋通长布置,兼作立壁的分布钢筋之用。

连接立壁与扶肋的 U 形拉筋 N_6 ,其开口向扶肋的背侧。该钢筋每一肢承受高度为拉筋间距水平板条的支点剪力 Q ,在扶肋水平方向通长布置。

(2) 墙踵板

墙踵板顶面横向水平钢筋 N_7 ,是为了立壁承受竖直负弯矩的钢筋 N_4 得以发挥作用而设置的。该筋位于墙踵板顶面,垂直于立壁方向。其布置与钢筋 N_4 相同,该筋一端插入立壁一个钢筋锚固长度;另一端伸至墙踵端,作为墙踵板纵向钢筋 N_8 的定位钢筋。如

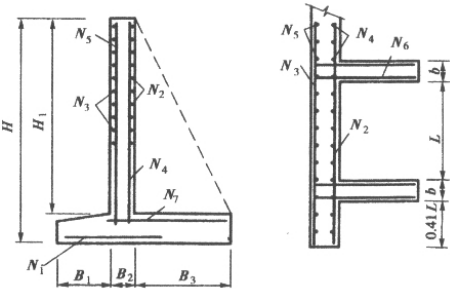


图 6—3—8 扶壁式挡土墙钢筋布置

钢筋 N_7 的间距很小,可以将其中一半在墙踵板宽度中部加一个钢筋锚固长度处切断。

墙踵板顶面和底面纵向水平受拉筋 N_8 、 N_9 (图 6—3—8 中未示),承受墙踵板在扶肋两端的负弯矩和跨中正弯矩。该钢筋切断情况与 N_2 、 N_3 相同。

连接墙踵板与扶肋之间的 U 形钢筋 N_{10} (图 6—3—8 中未示),其开口向上。可在距墙踵板顶面一个钢筋锚固长度处切断,也可延至扶肋的顶面,作为扶肋两侧的分担钢筋。在垂直于立壁方向的钢筋分布与墙踵板顶面纵向水平钢筋 N_8 相同。

(3)墙趾板

同悬臂式挡土墙墙趾板的钢筋布置。

(4)扶肋

扶肋背侧的受拉钢筋 N_{11} (图 6—3—8 中未示),应根据扶肋的弯矩图,选择 2~3 个截面,分别计算所需的钢筋根数。为节省混凝土,钢筋 N_{11} 可多层排列,但不得多于 3 层。其间距应满足规范要求,必要时可采用束筋。各层钢筋上端应按不需此钢筋的截面再延长一个钢筋锚固长度,必要时,可将钢筋沿横向弯入墙踵板的底面。

除受力钢筋外,还需根据截面剪力配置箍筋,并按构造要求布置构造钢筋。

第三节 水泥混凝土配合比设计

一、组成材料及技术要求

水泥混凝土由水泥、粗骨料、细骨料和水组成。为了改善混凝土拌和物的某些性能,必要时可掺加适量的外加剂。

1. 水泥

水泥是水泥混凝土的胶结料。它能在空气中硬化,并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起,使混凝土的强度不断增长。混凝土的性能很大程度上取决于水泥的质量。同时,在混凝土组成材料中水泥所消耗的费用最高。所以在选择混凝土组成材料时,对水泥的品种和强度等级的选择必须特别慎重。

水泥品种,应根据混凝土工程的特点、所处环境、施工条件和气候因素等进行选用。公路挡土墙一般选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,也可选用矿渣、火山灰质、粉煤灰硅酸盐水泥,当采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥时,须符合《硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥》(GB 175—1999)的规定;当采用矿渣、火山灰质、粉煤灰硅酸盐水泥时,须符合《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》(GB 1344—1999)的规定。

选用水泥的强度等级应与要求配制的混凝土强度等级相适应。如水泥强度等级选用过高,则混凝土中水泥用量过低,会影响混凝土的和易性和耐久性。反之,如水泥强度等级选用过低,则混凝土中水泥用量太多,非但不经济,而且会降低混凝土的某些技术品质(如收缩率增大等)。通常,配制 C30 以下混凝土时,水泥强度为混凝土抗压强度的 1.2~2.2 倍;配制 C30 以上混凝土时,为混凝土抗压强度的 1.1~1.5 倍。当水泥强度等级与混凝土强度等级相接近或略小时,除水灰比要小且在浇筑时应施以强力振动捣实外,还必须掺加早强剂。常用水泥的强度等级与抗压强度的关系如表 6—3—1 所示。

表 6—3—1 常用水泥的强度等级与抗压强度的关系

品 种	强 度 等 级	抗压强度(MPa)	
		3d	28d
硅酸盐水泥 (GB 175—1999)	42.5	17.0	42.5
	42.5R	22.0	42.5
	52.5	23.0	52.5
	52.5R	27.0	52.5
	62.5	28.0	62.5
	62.5R	32.0	62.5
普通水泥 (GB 175—1999)	32.5	11.0	32.5
	32.5R	16.0	32.5
	42.5	16.0	42.5
	42.5R	16.0	42.5
	52.5	22.0	52.5
	52.5R	26.0	52.5
矿渣水泥、火山灰质水泥、 粉煤灰水泥 (GB 1344—1999)	32.5	10.0	32.5
	32.5R	15.0	32.5
	42.5	15.0	42.5
	42.5R	19.0	42.5
	52.5	23.0	52.5

2. 粗骨料

挡土墙混凝土使用的粗骨料,可以是碎石或卵石(砾石),应质地坚硬、耐久、洁净。为保证混凝土强度,要求碎石和卵石必须具有一定的强度,可用压碎值指标控制。碎石和卵石要求的压碎指标值,根据混凝土的强度等级确定。粗骨料的技术要求如表 6—3—2 所示。当混凝土强度等级为 C60 或以上时,用于混凝土的碎石和卵石应进行岩石抗压强度检验。此外,如对碎石质量有怀疑或特殊需要,亦可进行岩石抗压强度试验。岩石抗压强度与混凝土强度等级之比,对于大于等于 C30 的混凝土不应小于 2;其它不应小于 1.5,且火成岩不宜低于 80MPa;变质岩不宜低于 60MPa;水成岩不宜低于 30MPa。混凝土强度在 C10 及以下时,针片状颗粒含量可为 40%。

表 6—3—2 粗骨料的技术要求

项 目	混凝土强度等级			
	C55~C40	≤C35	≥C30	≤C30
石料压碎指标值(%)	≤12	≤16	—	—
针片状颗粒含量(%)	—	—	≤15	≤25
含泥量(按质量计)(%)	—	—	≤1.0	≤2.0
泥块含量(按质量计)(%)	—	—	≤0.5	≤0.7
小于 2.5mm 的颗粒含量 (按质量计)(%)	≤5	≤5	≤5	≤5

为获得密实、高强的混凝土,并能节约水泥,要求粗细骨料组成的矿质混合料要有良好的级配。矿质混合料的级配首先取决于粗骨料的级配。粗骨料的级配可采用连续级配或间断级配,如表 6—3—3 所示。当连续粒级不能配合成满意的混合料时,可掺加单粒级骨料。连续级配矿质混合料的优点是所配制的新拌混凝土较为密实,特别是具有优良的工作性,不易产生离析现象,故为经常采用的级配。但连续级配与间断级配矿质混合料相比较,配制相同强度的混凝土所需要的水泥耗量较高。

粗骨料中公称粒级的上限称为该粒级的最大粒径。在固定用水量和水灰比的条件下,增大最大粒径可获得较好的和易性,或减小水灰比而提高混凝土强度和耐久性。骨料最大粒径应按混凝土结构情况及施工方法选取,但最大粒径不得超过结构最小边尺寸的 1/4 和钢筋最小净距的 3/4。泵送混凝土碎石不宜超过输送管径的 1/3,卵石不宜超过输送管径的 1/2.5。同时混凝土的最大粒径不得超过 80cm。

混凝土用粗骨料不应含有对混凝土强度形成有害的杂质(主要是硫化物、硫酸盐以及有机质)。骨料的有害物质含量应符合表 6—3—4 的要求。

另外,为保证混凝土的耐久性,粗骨料应具有足够的坚固性,以抵抗冻融和自然因素的风化。混凝土用粗骨料的坚固性用硫酸钠溶液法检验,试样经 5 次循环后,其质量损失应符合表 6—3—5 的规定。

3. 细骨料

挡土墙混凝土选用的细骨料,应采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净、粒径小于 5mm 的河砂,河砂不易得到时,也可用山砂或用硬质岩石加工的机制砂。由于海砂中常含有碎贝壳及盐类与有害杂质,一般不宜使用,若不得已必须采用时,应按规定作技术检验。

砂的粗细程度和颗粒级配是评定砂质量的重要指标。砂的粗细程度,用细度模数来表示。按细度模数,砂分为粗砂、中砂、细砂等三级,如表 6—3—6 所示。

表 6—3—3 碎石或卵石的颗粒级配

级配情况	公称 粒径 (mm)	累计筛余(按质量百分率计)											
		圆孔筛筛孔尺寸(mm)											
		2.5	5	10	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0	—	—	—	—	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~70	—	0~10	0	—	—	—	—	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—	—	—	—	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0	—	—	—	—
	5~40	—	95~100	75~90	—	30~60	—	—	0~5	0	—	—	—
单粒级	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—	—	—	—	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0	—	—	—	—
	20~40	—	—	95~100	—	80~100	—	—	0~10	0	—	—	—
	31.5~63	—	—	—	95~100	—	—	75~100	45~75	—	0~10	0	—
	40~80	—	—	—	—	95~100	—	—	70~100	—	30~60	0~10	0

表 6—3—4 碎石或卵石中的有害物质含量标准

项 目	品 质 指 标
硫化物及硫酸盐折算为 SO ₃ (按质量计)不大于(%)	1
卵石中有机质含量 (用比色法试验)	颜色不宜深于标准色,如深于标准色,则应配制混凝土 进行强度试验,抗压强度比应不低于 95%

注:①如含有颗粒状硫酸盐或硫化物,则要进行混凝土耐久性试验,满足要求时方能使用;
②抗压强度比为原状粗骨料配制的混凝土抗压强度与用洗除有机质的混凝土抗压强度的比值。

表 6—3—5 碎石或卵石的坚固性标准

混凝土所处环境条件	在溶液中循环次数	试验后质量损失不宜大于(%)
寒冷地区,经常处于干湿交替状态	5	5
严寒地区,经常处于干湿交替状态	5	3
混凝土处于干燥条件,但粗骨料风化或软弱颗粒过多时	5	12
混凝土处于干燥条件,但有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求高或强度大于 C40	5	5

注:有抗冻、抗渗要求的混凝土用硫酸钠法进行坚固性试验不合格时,可直接进行冻融试验。

表 6—3—6 砂 的 分 类

砂组	粗砂	中砂	细砂
细度模数	37~3.1	3.0~2.3	2.2~1.6

细度模数主要反映全部颗粒的粗细程度,不完全反映颗粒的级配情况,因此,配制混凝土时除应考虑砂的细度模数外,还应考虑砂的级配情况,其级配应符合表 6—3—7 中任何一个级配区所规定的级配范围。

表 6—3—7 砂的分区及级配范围

筛孔尺寸(mm)	级配区		
	I 区	Ⅱ 区	Ⅲ 区
	累计筛余(%)		
10.00	0	0	0
5.00	10~0	10~0	10~0
2.50	35~5	25~0	15~0
1.25	65~35	50~10	25~0
0.63	85~71	70~41	40~16
0.315	95~5	92~70	85~55
0.16	100~90	100~90	100~90

注:①表中除 5mm、0.63mm、0.16mm 筛孔外,其余各筛孔允许超出分界线,但其总量不得大于 5%;
②对于高强泵送混凝土用砂宜选用中砂,细度模数为 2.6~2.9。2.5mm 筛孔的累计筛余量不得大于 15%,0.315mm 筛孔的累计筛余量宜在 85%~92%范围内。

细骨料常含有泥、泥块、云母、轻物质、硫酸盐和硫化物以及有机质等有害杂质。杂质的含量应通过试验测定,其最大含量不宜超过表 6—3—8 的规定。

表 6—3—8 砂中杂质含量标准

项目	≥C30	<C30
含泥量(%)	≤3	≤5
其中泥块含量(%)	≤1	≤2
云母含量(%)	<2	
轻物质含量(%)	<1	
硫化物及硫酸盐折算为 SO ₃ (%)	<1	
有机质含量(用比色法试验)	颜色不应深于标准色,如深于标准色,应以水泥砂浆进行强度对比试验,抗压强度比不应低于 95%	

注:①对有抗冻、抗渗或其它特殊要求的混凝土用砂,总含泥量不应大于 3%,其中泥块含量不应大于 1%,云母含量不应超过 1%;
②对有机质含量进行复核时,强度比为用原状砂配制的水泥砂浆抗压强度与用洗除有机质的砂浆抗压强度的比值;
③砂中如含有颗粒状的硫酸盐或硫化物,则要进行混凝土耐久性试验,满足要求对方能使用;
④杂质含量均按质量计。

4. 拌和用水

水是混凝土的主要组成材料之一,拌和用水的水质不纯,可能产生多种有害作用,最常见的有:①影响混凝土的和易性和凝结;②有损于混凝土强度发展;③降低混凝土的耐久性、加快钢筋的腐蚀和导致预应力钢筋的脆断;④使混凝土表面出现污斑等。为保证混凝土的质量和耐久性,必须使用合格的水拌制混凝土。

拌制混凝土用水,应符合下列要求:

- (1)水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质或油脂、糖类及游离酸类等;
- (2)污水、pH 值小于 5 的酸性水及含硫酸盐量按 SO_4^{2-} 计超过水的质量 $0.27\text{mg}/\text{cm}^3$ 的水不得使用;
- (3)不得用海水拌制混凝土;
- (4)供饮用的水,一般能满足上述条件,使用时可以不经试验。

为检查水质是否具有酸性或含有硫酸盐,可由工地试验室进行定性检验,若有疑问,再取水样送有资质的检测部门,做定量分析鉴定。

5. 外加剂

混凝土外加剂是在拌制混凝土过程中掺入的,用以改善混凝土性质的物质。混凝土外加剂按其主要功能可分为下列四类:

(1)改善混凝土拌和物流变性能的外加剂,如各种减水剂、引气剂、泵送剂、保水剂、灌浆剂等,其中较为常用的是减水剂。减水剂是在混凝土工作性基本相同的条件下,能减少拌和用水的外加剂。使用减水剂主要有下列技术经济效益:

①在保证混凝土工作性和水泥用量不变的条件下,可以减少用水量,提高混凝土强度。特别是高效减水剂可大幅度减少用水量,可配制早强、高强混凝土;

②在保证混凝土用水量和水泥用量不变的条件下,可增大混凝土的流变性,如采用高效减水剂可配制大流动混凝土;

③在保证混凝土工作性和强度不变的条件下,可节约水泥用量。

(2)调节混凝土凝结时间和硬化性能的外加剂,如缓凝剂、早强剂、速凝剂等,其中较为常用的是早强剂。早强剂是加速混凝土早期强度发展的外加剂。早强剂对水泥中的硅酸三钙和硅酸二钙等矿物的水化有催化作用,能加速水泥的水化和硬化,具有早强的作用。

(3)改善混凝土耐久性的外加剂,如引气剂、阻锈剂、防水剂等,其中较为常见的是引气剂。引气剂是在搅拌混凝土过程中引入大量均匀分布稳定而封闭的微小气泡的外加剂。

(4)改善混凝土其它性能的外加剂,如加气剂、膨胀剂、防冻剂、着色剂、碱—集料反应抑制剂等。

使用时,应根据外加剂的特点,结合使用目的,通过技术、经济比较来确定外加剂的使用品种。如果使用一种以上的外加剂,必须经过成比设计,并按要求加入到混凝土拌和物中。在外加剂的品种确定后,掺量应根据使用要求、施工条件、混凝土原材料的变化进行调整。

所采用的外加剂,必须是经过有关部门检验并附有检验合格证明的产品,其质量应符合《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定,使用前应复验其效果。不同品种的外加剂应分别存储,做好标记,在运输与存储时不得混入杂质和遭受污染。

除以上规定外,在混凝土中掺入外加剂时,还应符合下列规定:

(1)在钢筋混凝土中不得掺入氯化钙、氯化钠等氯盐;无筋混凝土的氯化钙或氯化钠掺量,以干质量计,不得超过水泥用量的 3%。

(2)位于温暖或寒冷地区、无侵蚀性物质影响及与土直接接触的钢筋混凝土构件,混凝土中的氯离子含量不宜超过水泥用量的 0.3%;位于严寒和海水区域、受侵蚀环境的构件,氯离子含量不宜超过水泥用量的 0.15%。从各种组成材料引入的氯离子含量(折合氯盐含量)如大于上述数值时,应采取有效的防锈措施(如掺入阻锈剂、增加保护层厚度、

提高混凝土密实性等)。当采用洁净水和无氯骨料时,氯离子含量主要以外加剂或混合料中的氯离子含量控制。

(3)掺入加气剂的混凝土的含气量直为 3.5%~5.5%。

(4)对由外加剂带入混凝土的碱含量应进行控制。每立方米混凝土的总含碱量,一般情况下不宜大于 3.0kg/m³,当结构物处于严重侵蚀的环境时,不得使用有碱活性反应的骨料。

二、混凝土配合比设计方法

混凝土配合比设计的目的,就是合理选择混凝土各组成材料,并根据挡土墙设计中制订的混凝土性能和经济性原则,确定混凝土各组分的最优配合比和用量。混凝土配合比设计包括两方面的内容:第一是选料,即按照挡土墙工程设计和施工的要求,选择适合制备所需混凝土的材料;第二是配料,即根据挡土墙设计中指定的混凝土技术性能指标(包括工作性、强度和耐久性等)和经济合理、可行的原则,选择混凝土各组分的最优配合比例。混凝土配合比设计,应满足下列基本要求:

- (1)满足结构物设计强度的要求;
- (2)满足施工工作性的要求;
- (3)满足环境耐久性的要求;
- (4)满足经济性要求。

由水泥、水、细骨料和粗骨料组成的水泥混凝土配合比设计,实际上就是确定这四组分之间的分配比例,四组分的比例可以由下列三参数来控制:

(1)水灰比

使用的水与水泥的质量之比称为水灰比。水灰比是影响水泥混凝土强度的主要因素之一。降低水灰比也可对混凝土收缩和徐变的减小有较大的作用。但同时考虑到经济性 & 工作性的要求,水灰比不宜过低。因此对水灰比应做一定的限制。

(2)砂率

细骨料的用量占骨料总用量的质量百分率称为砂率,用以表征细骨料与粗骨料之间的相对含量,即砂石比。合理的砂率能使混凝土获得最大的流动性,且能保持粘聚性能和保水性能良好。

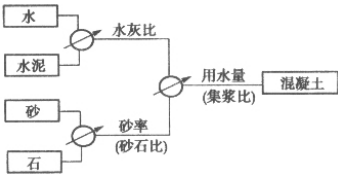


图 6-3-9 混凝土四组分与三参数的关系

(3)集浆比

集浆比就是单位混凝土拌和物中,骨料绝对体积与水泥浆绝对体积之比。水泥浆使混凝土拌和物具有一定的流动性。但水泥浆过多,会出现流浆现象,使混凝土拌和物的粘聚性和保水性变差,同时也会影响混凝土的强度;过少时,拌和物粘聚性也会变差,强度同样不能保证。因此,在满足工作性要求的前提下,考虑到强度的耐久性,应尽量采用较大的集浆比,以节约水泥用量。通常以用水量来表示集浆比。

上述三参数与四组分间的关系可用图 6-3-9 表示。在混凝土配合比设计中,如能正确处理四种组成材料之间的三参数关系,就能使设计的混凝土达到上述基本要求。

混凝土配合比设计包括配合比计算、试配和调整等步骤。

1. 确定混凝土的配制强度

混凝土配制强度($f_{\text{cu},o}$)应根据设计要求的混凝土强度等级和施工单位质量管理体系,按式(3-1)确定:

$$f_{\text{cu},o} = f_{\text{cu},k} + tS \quad (3-1)$$

式中: $f_{\text{cu},o}$ ——混凝土的施工配制强度(MPa)

$f_{\text{cu},k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(即设计要求的混凝土强度等级)(MPa);

t ——信度界限,决定保证率 P 的积分下限,当保证率 $P=95\%$ 况时, $t=1.645$;

S ——混凝土强度标准差(MPa)。

混凝土标准差(S)值按式(3-2)计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{\text{cu},i}^2 - n\mu_{f_{\text{cu}}}^2}{n-1}} \quad (3-2)$$

其中: $f_{\text{cu},i}$ ——第 i 组混凝土试件立方体抗压强度值(MPa);

$\mu_{f_{\text{cu}}}$ —— n 组混凝土试件立方体抗压强度平均值(MPa);

n ——统计周期内相同等级的试件组数, $n \geq 25$ 组。

混凝土强度标准差可根据近期同类混凝土强度资料求得,其试件组数不应少于 25 组。对 C20~C25 混凝土,若强度标准差计算值低于 2.5MPa 时,则计算配制强度的标准差取用 2.5MPa;对不低于 C30 混凝土,若计算标准差计算值低于 3.0MPa 时,则计算配制强度的标准差取用 3.0MPa。

若无历史统计资料时,强度标准差可根据要求的强度等级按表 6-3-9 规定取用。

表 6-3-9 标准差 S 值

强度等级(MPa)	<C20	C20~C35	>C35
标准差 S (MPa)	4.0	5.0	6.0

2. 计算水灰比

(1) 按混凝土要求强度等级计算水灰比

根据已确定的混凝土配制强度($f_{\text{cu},o}$),按式(3-3)计算水灰比:

$$W/C = \frac{Af_{\text{ce}}}{f_{\text{cu},o} + ABf_{\text{ce}}} \quad (3-3)$$

式中: $f_{\text{cu},o}$ ——混凝土配制强度(MPa);

A 、 B ——混凝土强度回归系数,根据使用的水泥和粗、细骨料经过试验得出的灰水比与混凝土强度关系式确定,若无上述试验统计资料时,可采用表 6-3-10 数值;

W/C ——混凝土所要求的水灰比;

表 6-3-10 混凝土强度公式的经验系数 A 、 B

骨料类别	A	B
碎石	0.48	0.52
卵石(砾石)	0.50	0.61

f_{ce} ——水泥的实际强度,即 28d 的抗压强度(MPa)。在无法取得水泥实际强度时,

可采用水泥强度等级按下式计算：

$$f_{ce} = f_{ce,k} \cdot \gamma_c$$

(3—4)

其中： $f_{ce,k}$ ——水泥强度等级的标准值(MPa)；
 γ_c ——水泥强度等级的富余系数。该值按各地区实际统计资料确定。通常取 $\gamma_c=1.00\sim1.13$ 。

(2)按耐久性校核水灰比

按式(3—3)计算所得的水灰比,系按强度要求计算得到的结果。在确定水灰比时,还应根据混凝土所处环境条件,根据耐久性要求的允许最大水灰比(参考表 6—3—11)进行校核。如按强度计算的水灰比大于耐久性允许的最大水灰比,应采用允许的最大水灰比。

表 6—3—11 混凝土的最大水灰比和最水泥用量

混凝土结构所处环境	无筋混凝土		钢筋混凝土	
	量 大 水灰比	最小水泥用量 (kg/m³)	最 大 水灰比	最小水泥用量 (kg/m³)
温暖地区或寒冷地区,无侵蚀 物质影响,与土直接接触	0.60	250	0.55	275
严寒地区	0.55	275	0.50	300
受侵蚀性物质影响	0.45	300	0.40	325

3. 选定用水量

根据粗骨料的品种、粒径及施工要求的混凝土拌和物稠度(坍落度或维勃稠度)选择每立方米混凝土拌和物的用水量(m_{w0})。一般可根据施工单位对所用材料的经验选定。如使用经验不足,可参照表 6—3—12 选取。

表 6—3—12 普通混凝土的用水量(kg/cm³)

拌和物稠度		卵石最大粒径(mm)			碎石最大粒径(mm)		
项 目	指 标	10	20	40	16	20	40
维勃稠度 (s)	15~20	175	160	145	180	170	155
	10~15	180	165	150	185	175	160
	5~10	185	170	155	190	180	165
坍落度 (mm)	10~30	190	170	150	200	185	165
	30~50	200	180	160	210	195	175
	50~70	210	190	170	220	205	185
	70~90	215	195	175	230	215	195

注：①本表用水量系用中砂时的平均值,如采用细砂,每立方米混凝土用水量可增加 5~10kg,采用粗砂则可减少 5~10kg;
②掺用各种外加剂或掺合料时,可相应增减用水量;
③本表适用于水灰比为 0.4~0.8 的混凝土。

4. 计算水泥用量

(1)按强度要求计算水泥用量

每立方米混凝土拌和物的用水量选定后,即可根据强度或耐久性要求确定的水灰比(W/C)值计算水泥用量。

$$m_{co} = \frac{m_{wo}}{W/C} = m_{wo} \cdot C/W \tag{3-5}$$

(2)按耐久性要求校核水泥用量

根据耐久性要求,普通水泥混凝土的最小水泥用量,依结构物所处环境条件分别规定,如表 6-3-11 所示。

5. 选定砂率

根据粗骨料品种、最大粒径和混凝土拌和物的水灰比确定砂率。一般可根据施工单位所用材料的使用经验选定,如使用经验不足,可参照表 6-3-13 选取。

表 6-3-13 混凝土的砂率(%)

水灰比(W/C)	卵石最大粒径(mm)			碎石最大粒径(mm)		
	10	20	40	16	20	40
0.40	26~32	25~31	24~30	30~35	29~34	27~32
0.50	30~35	29~34	28~33	33~38	32~37	30~35
0.60	33~38	32~37	31~36	36~41	35~40	33~38
0.70	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

注:①本表数值系中砂的选用砂率,对细砂或粗砂,可相应地减小或增大砂率;
②本表适用于坍落度为 10~60mm 的混凝土,坍落度如大于 60mm)或小于 10mm 的混凝土,应相应地增大或减小砂率;
③只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时,砂率应适当增大;
④掺有各种外加剂或掺合料时,砂率应经试验或参照其它有关规定确定。

6. 计算粗、细骨料用量

粗、细骨料的单位用量,可用质量法或体积法求得。

(1)质量法

质量法又称假定表观密度法。该法是假定混凝土拌和物的表观密度为一固定值,混凝土拌和物各组成材料的单位用量之和即为其表观密度。在砂率值为已知的条件下,粗、细骨料的单位用量由下式求得:

$$\begin{cases} m_{so} = (\rho_{cp} - m_{co} - m_{wo})\beta_s \\ m_{Go} = \rho_{cp} - m_{co} - m_{wo} - m_{so} \end{cases} \tag{3-6}$$

式中: m_{co} 、 m_{wo} 、 m_{so} 和 m_{Go} ——每立方米混凝土的水泥、水、粗骨料和细骨料的用量(kg);

β_s ——砂率(%);

ρ_{cp} ——每立方米混凝土拌和物的湿表观密度(kg/m³),其值可根据施工单位积累的试验资料确定,如缺乏资料时,可根据骨料的表观密度、粒径以及混凝土强度等级,在 2300~2450kg/m³ 范围内选定,如表 6-3-14 所示。

表 6—3—14 混凝土假定表观密度参考值

混凝土强度等级	C75~C15	C20~C30	>C40
假定湿表观密度(kg/m³)	2 300~2 360	2 360~2 400	2450

(2) 体积法

体积法又称绝对体积法。该法是假定混凝土拌和物的体积等于各组成材料绝对体积和混凝土拌和物中所含空气体积之总和。在砂率值为已知的条件下,粗、细骨料的单位用量可由式(3—7)求得:

$$\left\{\begin{aligned} \frac{m_{co}}{\rho_c} + \frac{m_{wo}}{\rho_w} + \frac{m_{Go}}{\rho_s} + \frac{m_{So}}{\rho_s} + 0.01\alpha &= 1 \\ \frac{m_{so}}{m_{Go} + m_{so}} \times 100 &= \beta_s \end{aligned}\right. \tag{3-7}$$

式中: β_s 、 m_{co} 、 m_{wo} 、 m_{Go} 和 m_{so} ——意义同式(3—6);
 ρ_c 、 ρ_w 、——水泥、水的密度(kg/m³);
 ρ_G 、 ρ_s ——粗骨料、细骨料的表观密度(kg/m³);
 α ——混凝土的含气量百分率(%)。在不使用引气型外加剂时, α 可取为1。

7. 调整配合比

(1) 试拌调整

按计算出的初步配合比进行试拌,以校核混凝土拌和物的工作性。如试拌得出的拌和物坍落度(或维勃稠度)不能满足要求,或粘聚性和保水性能不好时,则应在保证水灰比不变的条件下,相应调整用水量或砂率,直到符合要求为止。然后提出供混凝土强度试验用的“基准配合比”,即 $m_{ca} : m_{wa} : m_{sa} : m_{Ga}$ 。

(2) 检验强度、确定试验室配合比

为校核混凝土的强度,至少拟定三个不同的配合比,其中一个为按上述得出的基准配合比,另外两个配合比的水灰比,应较基准配合比分别增加及减小 0.05(或 0.10),其用水量应该与基准配合比相同,但砂率可增加及减少 1%。

根据“强度”检验结果和“湿表观密度”测定结果,进一步修正配合比,即可得到“试验室配合比”设计值。

8. 换算工地配合比

根据施工现场材料性质,砂石材料颗粒表面含水率,对理论配合比进行换算,最后得出施工配合比。施工过程中,工地试验人员应负责检查粗、细骨料的湿度,并将原定工地配合比进行调整换算。特别是在雨雪天气,材料的湿度明显变化时,应及时检测,及时调整。

第四节 钢筋骨架制作

一、钢筋品种及性能

钢筋混凝土与预应力混凝土结构中所用钢筋和预应力钢筋,通常按生产工艺、化学成

分、机械性能等来分类。

1. 按生产工艺分

(1) 热轧钢筋。是钢锭或连铸坯在高温时用轧钢机轧制不再经过任何处理的钢筋,按强度又可分为热轧Ⅰ~Ⅳ级钢筋。

(2) 冷拉钢筋。将热轧Ⅰ~Ⅳ级钢筋在常温下拉到屈服点以上和极限强度以下的一定强度,卸荷后可使原钢筋的屈服点、极限强度和硬度都得到提高。冷拉工艺一般可在工地进行。

(3) 冷拔低碳钢丝。将 $\phi 6\sim 10\text{mm}$ 的Ⅰ级热轧光面钢筋,在常温下通过拔丝模具,多次强力冷拔卸荷后使原钢筋直径减小,塑性降低,极限强度大为提高,称为冷拔低碳钢丝。冷拔工艺一般在厂内进行,工地具有设备条件时也可进行冷拔。

(4) 热处理钢筋。将热轧螺纹钢筋经淬火和回火的调质热处理而成。经过热处理后的钢筋改变了其内部组织,提高钢材的抗拉强度并改善其性能,可使热轧普通钢筋的抗拉强度提高到预应力钢筋所需要的抗拉强度。

(5) 碳素钢丝。通称高强度钢丝,由含碳量 $0.25\%\sim 0.60\%$,含磷及硫量少于 0.05% 的优质碳素钢制成,分矫直回火及冷拉两种,直径为 $3\sim 5\text{mm}$ 。

(6) 刻痕钢丝。由碳素钢丝经压痕机轧制而成,工厂只供应低温回火处理的。规格以未压痕前的直径表示。

(7) 钢绞线。一般由7根 $\phi 2.5\sim 5\text{mm}$ 碳素钢丝编绞而成,成股直径为 $9\sim 15\text{mm}$ 。

2. 按化学成分分

(1) 碳素钢筋。当含碳量低于 0.25% 时称为低碳钢钢筋,其中含硅、锰量分别低于 0.30% 和 0.65% ,含磷、硫量不大于 0.045% 和 0.05% ,如A3Ⅰ级钢筋。当含碳量为 $0.25\%\sim 0.60\%$ 时称为中碳钢钢筋,如过去常用的5号钢筋。当含碳量为 $0.60\%\sim 1.40\%$ 时称为高碳钢钢筋,如碳素钢丝。

(2) 普遍低合金钢钢筋。是在低碳钢或中碳钢中提高合金元素硅锰的含量(硅最多可含 1.8% 、锰最多可含 1.6%)或另含钒、钛、银元素等,而使轧制的钢筋强度高而且综合性能好。其主要牌号有20锰硅和20锰钒Ⅱ级钢筋,25锰硅Ⅲ级钢筋和40硅2锰钒、45硅2锰钒、45硅2锰钛等Ⅳ级钢筋。

3. 按使用性能和力学性能分

(1) 普通钢筋。仅作非预应力钢筋使用,按其机械强度大小分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级。

(2) 预应力混凝土用钢材。目前使用的有热处理钢筋、矫直回火钢丝、冷拉钢丝、刻痕钢丝、钢绞线多种。

4. 按轧制外形分

可分为光面圆钢筋、变形钢筋、刻痕钢丝。变形钢筋有螺旋形、人字形、月牙形三种。

5. 按供应形式分

可分为盘圆钢筋(直径 $6\sim 10\text{mm}$)和直条钢筋(长度 $6\sim 12\text{m}$)。

钢筋混凝土结构对钢筋的基本性能主要有以下几个方面的要求:

(1) 具有较高的强度。钢筋强度高,则用钢量少,可以节约钢材,并获得较好的经济效益;

(2) 具有较好的塑性。使钢筋在断裂前有较大的变形能,不致使构件产生突然的脆性破坏;

(3) 具有与混凝土良好的粘结力。良好的粘结力是保证钢筋和混凝土共同工作的基础,有可靠的粘结力,才能保证钢筋充分发挥作用;

(4) 具有较好的可焊性。要求钢筋焊接后不产生裂纹和过大的变形,保证焊接后的接

头性能良好。

钢筋混凝土结构中所用的钢筋,其钢材数量、种类、直径等应符合设计要求。钢筋混凝土结构中常用钢筋的力学、工艺性能如表 3—15 所示。

二、钢筋加工

钢筋加工、调直、切断、弯钩、绑扎成型等,均应用冷加工的方法进行,并应符合下述要求:

- (1)钢筋浮皮、铁锈、油渍、污垢等应清除干净;
- (2)钢筋应平直,无局部曲折;
- (3)成卷的钢筋或弯曲的钢筋,应在使用前调直。使用调直机调直时,应注意不得使钢筋受损伤;
- (4)采用冷拉法调直钢筋时,Ⅰ级钢筋的冷弯率不宜大于 2%;Ⅱ~Ⅲ级钢筋不宜大于 1%。

用冷拉法调直Ⅰ级钢筋,可同时去掉钢筋表面锈皮,提高除锈工作效率。冷拉率的大小以能将钢筋调直并去掉锈皮为宜,不必也不宜过多的提高冷拉率。这是因为国内生产的Ⅰ级钢筋多属 12mm 以下的光面圆钢筋,且多用于箍筋、分布钢筋或构造钢筋,没有必要通过冷拉来提高它的强度,故其冷拉率以不过多超过钢筋的屈服点时的伸长率为宜。

表 6—3—15 钢筋的力学、工艺性能

品 种		强度等级代号	公称直径 (mm)	屈服点	抗拉强度	伸长率		冷弯	反向弯曲	应力松弛		备 注	
				σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	(%)	正弯 45° 反弯 23°		$\sigma_{con}=0.7\sigma_b$				
外形	钢筋级别			不小于				d =弯曲直径 a =钢筋公称直径	1000h 不 大于(%)	10h 不大 于(%)			
光圆钢筋	I	R235	8~20	235	370	δ_5 25		180° $d=a$				摘自《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》 (GB 13013)	
热轧带肋钢筋	HRRB335		6~25 28~50	335	490	δ_5 16		180° $d=3a$ $d=4a$	$d=4a$ $d=5a$			摘自《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》 (GB 1499)	
	HRB400		6~25 28~50	400	570	δ_5 14		180° $d=4a$ $d=5a$	$d=5a$ $d=6a$				
	HRB500		6~25 28~50	500	630	δ_5 12		180° $d=6a$ $d=7a$	$d=7a$ $d=8a$				
冷轧带肋钢筋	LL550	5~10		$\sigma_{1.2}$ 550	550	σ_{10} 8		180° $d=3a$				摘自《冷轧带肋钢筋》 (GB 13788)	
	LL650				$\sigma_{1.2}$ 520	650		σ_{100} 4	180° $d=4a$		8		5
	LL800				$\sigma_{1.2}$ 640	800		σ_{100} 4	180° $d=5a$		8		5

品 种		强度等级代号	公称直径 (mm)	屈服点	抗拉强度	伸长率		冷弯	反向弯曲 正弯 45° 反弯 23°	应力松弛 $\sigma_{con}=0.7\sigma_b$		备 注
				σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	(%)						
外形	钢筋级别			不小于				d =弯曲直径 a =钢筋公称直径		1000h 不 大于(%)	10h 不大 于(%)	
低碳钢 热轧圆 盘条	Q215 Q235		5.5~30	215 235	275 410	σ_{10} 27 23		180° $d=0.7a$ $d=0.5a$				摘自《低碳钢热 轧圆盘条》 (GB 701)

钢筋应按所需下料长度加工。计算下料长度时,需考虑弯曲引起的钢筋增长量,其延伸率与弯曲角度和钢筋直径有关,如表 6—3—16 所示。因此,对于弯钩加长值和弯起加长值除参考有关规定外,均应减去其延伸率。

表 6—3—16 钢筋延伸率

弯曲角度	延伸长度	举例说明
45°	钢筋直径的 2/3	如 $\phi 22\text{mm}$ 钢筋弯曲 45°时延伸率长度为 14.6mm
90°	钢筋直径的 1 倍	如 $\phi 22\text{mm}$ 钢筋弯曲 90°时延伸率长度为 22.0mm
180°	钢筋直径的 1.5 倍	如 $\phi 22\text{mm}$ 钢筋弯曲 180°时延伸率长度为 33.0mm

弯钩是加强钢筋在混凝土中锚固作用的有效措施,在绑扎骨架中,一般光面受力钢筋均应在末端设弯钩。钢筋冷弯可采用手工和机械方法进行,弯钩的形状如表 6—3—17 所示。为了防止加工时弯钩部分发生裂纹,降低弯钩部分的沉拉强度,弯钩的半径不宜太小,其弯曲最小半径如表 6—3—17 所示。另外,为了防止弯曲处的混凝土被钢筋的合成应力压碎,主钢筋在跨中弯起(即中间弯钩)时,其弯曲半径也应满足最小半径的要求。

表 6—3—17 受力主钢筋制作和末端弯钩形状

弯曲部位	弯曲角度	形状图	钢筋种类	弯曲直径 D	平直部分长度
末端弯钩	180°		I	$\geq 2.5d$	$\geq 3d$
	135°		HRB335	$\phi 8 \sim \phi 25$ $\geq 4d$	$\geq 5d$
			HRB400	$\phi 28 \sim \phi 40$ $\geq 5d$	
	90°		HRB335	$\phi 8 \sim \phi 25$ $\geq 4d$	$\geq 10d$
			HRB400	$\phi 28 \sim \phi 40$ $\geq 5d$	
	中间弯钩		90°以下		各类

注:①环氧树脂涂层钢筋当进行弯曲加工时,对直径 d 不大于 20mm 的钢筋,其弯曲直径不应小于 $4d$;对直径 d 大于 20mm 的钢筋,其弯曲直径不应小于 $6d$;
② d 为钢筋直径。

有些受压截面内的变形钢筋,设计上已满足粘结力的要求,故末端可不设弯钩。一般主钢筋末端除应做弯钩外,并应有适当的锚着平直长度,以便发挥其受力作用,锚着平直长度,Ⅰ级钢筋应大于等于 $3d$;HRB335 钢筋不应小于 $5d$,HRB400 钢筋不应小于 $10d$ 。

用Ⅰ级钢筋制作的箍筋,其末端也应做弯钩,弯钩的弯曲直径应大于受力主钢筋的直径,且不小于箍筋直径的 2.5 倍。弯钩平直部分的长度,一般结构不宜小于箍筋直径的 5 倍;有抗震要求的结构,不应小于箍筋直径的 10 倍。弯钩的形式,如设计无要求时,可按图 6-3-10a)和图 6-3-10b)加工;有抗震要求的结构,应按图 6-3-10c)加工。

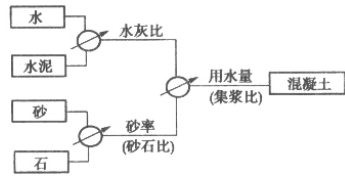


图 6-3-10 箍筋弯钩形式

弯曲某种型号第一根钢筋时,应按设计尺寸、技术标准进行核实,确认无误后,以此为样板,进行成批加工。

三、钢筋连接

当构件太长而现有钢筋长度不够而需要接头时,宜优先采用焊接接头,这样可以节约钢材、改善结构受力性能、提高工效、降低成本。在不具备焊接条件时,也可采用绑扎接头。对轴心受拉和小偏心受拉杆件中的钢筋接头,不宜绑接。直径大于 25mm 的钢筋,宜采用焊接。钢筋常用焊接方法有:闪光对焊、电弧焊、电渣压力焊、电阻点焊等。

钢筋的纵向焊接应采用闪光对焊(HRB500 钢筋必须采用闪光对焊)。当缺乏闪光对焊条件时,可采用电弧焊、电渣压力焊、气压焊;当钢筋的交叉连接,无电阻点焊机时,可采用手工电弧焊;各种预埋件 T 形接头钢筋与钢板的焊接,也可采用预埋件钢筋埋弧压力焊。电渣压力焊只适用于竖向钢筋的连接,不能用作水平钢筋和斜筋的连接。

由于单面焊缝,钢筋将产生偏心应力,这对钢筋受力情况不利,因此,钢筋接头采用搭接或帮条电弧焊时,宜采用双面焊缝。但由于钢筋布置密集,双面帮条摆不下去等原因,致使双面焊缝困难时,可采用单面搭接焊和单面帮条电弧焊。钢筋接头采用搭接电弧焊时,两钢筋搭接端部应预先折向一侧,使两接合钢筋轴线一致。根据接头强度不小于钢筋强度的原则,接头双面焊缝的长度不应小于 $5d$ (d 为钢筋直径),单面焊缝的长度不应小于 $10d$ 。钢筋接头采用帮条电弧焊时,帮条应采用与主筋同级别的钢筋,其总截面积不应小于被焊钢筋的截面积。帮条长度,如用双面焊缝不应小于 $5d$,如用单面焊缝不应小于 $10d$ 。

电弧焊条选用的原则为,焊条熔解后形成的金属强度应与焊接的钢筋强度相等,表 6-3-18 给出了目前常用的电弧焊条型号,其中 $\times\times\times 03$ 型焊条(如 E4303)属钛钙型焊条,是一种最常用的焊条。实际应用时,应根据具体情况,亦可选用相同熔敷金属抗拉强度的其它药皮类型焊条。

表 6—3—18 钢筋电弧焊条型号

钢筋类别	电弧焊接接头形式			
	帮条焊 搭接焊	坡口焊、熔槽帮条焊 预埋件穿孔塞焊	窄间隙焊	钢筋与钢板搭接焊 预埋件 T 形角焊
I	E4303	E4303	E4316 E4315	E4303
HRB335	E4303	E5003	E5016 E5015	E4303
HRB400	E5003	E5003	E6016 E6015	

受力钢筋焊接或绑扎接头应设置在内力较小处,并错开布置,对于绑扎接头,两接头间距离不小于 1.3 倍搭接长度。对于焊接接头,在接头长度区段内,同一根钢筋不得有两个接头,配置在接头长度区段内的受力钢筋,其接头的截面积占总截面面积的百分率应符合表 6—3—19 的规定。焊接接头长度区段是指 35 d (d 为钢筋直径)长度范围,但不得小于 50cm,绑扎接头长度区段是指 1.3 倍搭接长度,在同一根钢筋上应尽量少设接头。

表 6—3—19 接头长度区段内受力钢筋接头面积的最大百分率

接头形式	接头面积最大百分率(%)	
	受拉区	受压区
主钢筋绑扎接头	25	50
主钢筋焊接接头	50	unlimited

注:①装配式构件连接处的受力钢筋焊接接头可不受此限制;
 ②绑扎接头中钢筋的横向净距不应小于钢筋直径且不小于 25mm;
 ③环氧树脂涂层钢筋绑扎搭接长度,对受拉钢筋应至少为徐层钢筋锚固长度的 1.5 倍且不小于 375mm;对受压钢筋为无涂层钢筋锚固长度的 1.0 倍且不小于 250mm。

电弧焊接和绑扎接头与钢筋弯曲处的距离不应小于 10 倍钢筋直径,也不宜位于构件的最大弯矩处。

绑扎搭接是在钢筋搭接处用铁丝绑扎而成,其受力原理主要是靠钢筋和混凝土之间的粘结力来传递钢筋的内力,因此,为了保证接头强度可靠,在接头处的钢筋必须具有足够的搭接长度。受拉钢筋绑扎接头的搭接长度,应符合表 6—3—20 的规定;受压钢筋绑扎接头的搭接长度,应取受拉钢筋绑扎接头搭接长度的 0.7 倍。

表 6—3—20 受拉钢筋绑扎接头的搭接长度

钢筋类型		混凝土强度等级		
		C20	C25	>C25
I 级钢筋		35 <i>d</i>	30 <i>d</i>	25 <i>d</i>
月牙纹	HRB335 牌号钢筋	45 <i>d</i>	40 <i>d</i>	35 <i>d</i>
	HRB400 牌号钢筋	55 <i>d</i>	50 <i>d</i>	45 <i>d</i>

注:①当带肋钢筋直径 d 不大于 25mm 时,其受拉钢筋的搭接长度应按表中值减少 5*d* 采用;当带肋钢筋直径 d 大于 25mm 时,其受拉钢筋的搭接长度应按表中值增加 5*d* 采用;
 ②当混凝土在凝固过程中受力钢筋易受扰动时,其搭接长度宜适当增加;
 ③在任何情况下,纵向受拉钢筋的搭接长度不应小于 300mm;受压钢筋的搭接长度不应小于 200mm;
 ④当混凝土强度等级低于 C20 时,I 级、HRB335 牌号钢筋的搭接长度应按表中 C20 的数值相应增加 10*d*;HRB500 钢筋不宜采用;
 ⑤对有抗震要求的受力钢筋的搭接长度,当抗震烈度为七度及以上时应增加 5*d*;
 ⑥两根不同直径的钢筋的搭接长度,以较细的钢筋直径计算。

受拉区内Ⅰ级钢筋绑扎接头的末端应做弯钩,HRB335、HTB400 牌号钢筋的绑扎接头末端可不作弯钩。

直径小于等于 12mm 的受压Ⅰ级钢筋的末端,可不作弯钩,但搭接长度不应小于 $30d$ 。钢筋搭接处,应在中心和两端用铁丝扎牢。

钢筋焊接前,必须根据施工条件进行试焊,合格后方可正式施焊,焊接时,对施焊场地应有适当的防风、雨、雪、严寒设施。冬期施焊时应按冬期施工的要求进行,低于 -20°C 时,不得施焊。

四、钢筋骨架制作与安装

对适宜于预制钢筋骨架的构件,宜先预制成钢筋骨架片,在工地就位后进行焊接或绑扎成整体,以保证钢筋安装质量和加快施工进度。预制成的钢筋骨架,必须具有足够的刚度和稳定性,以便在运送、吊装和浇筑混凝土时不致松散、移位、变形,必要时可在钢筋骨架的某些连接点处加以焊接或增设加强钢筋。

骨架的焊接拼装应在坚固的工作台上进行,操作时应符合下列要求:

- (1)拼装时应按设计图纸放大样,放样时应考虑焊接变形;
- (2)钢筋拼装前,对有焊接接头的钢筋应检查每根接头是否符合焊接要求;
- (3)拼装时,在需要焊接的位置用楔形卡卡住,防止电焊时产生局部变形。待所有焊接点卡好后,先在焊缝两端点焊定位,然后进行焊缝施焊;
- (4)骨架焊接时,不同直径的钢筋的中心线应在同一平面上。为此,较小直径的钢筋在焊接时,下面宜垫以厚度适当的钢板;
- (5)为了防止或减少骨架的变形,施焊顺序宜由中到边对称地向两端进行,先焊骨架下部,后焊骨架上部。相邻的焊缝采用分区对称跳焊,不得顺方向依次焊成。

钢筋网焊点应符合设计规定,当设计无规定时,应按下列要求焊接:

(1)当焊接网的受力钢筋为Ⅰ级或冷拉Ⅰ级钢筋时,如果焊接网只有一个方向为受力钢筋,网两端边缘的两根锚固横向钢筋与受力钢筋的全部相交点必须焊接;若焊接网的两个方向均为受力钢筋,则沿网四周边缘的两根钢筋的全部相交点均应焊接,其余的交叉点,可根据运输和安装条件决定,一般可焊接或绑扎一半交叉点。

(2)当焊接网的受力钢筋为冷拔低碳钢丝,而另一方向的钢筋间距小于 10cm 时,除网两端边缘的两根钢筋的全部相交点必须焊接外,中间部分的焊点距离可增大至 25cm。

现场绑扎钢筋网时,应注意钢筋接头的布置,钢筋的交叉点应用铁丝绑扎结实,必要时,亦可用点焊焊牢。除设计有特殊规定者外,箍筋应与主筋垂直。

墙底板钢筋绑扎时,应预埋高度不等的锚固钢筋,并与立壁和扶助竖向钢筋对应焊接。焊接接头应设于内力较小处,且应交错布置,竖向间距不小于 1.3 倍搭接长度。接头处,焊接钢筋截面积不大于钢筋总截面积的 50%。

钢筋的安装除满足绑扎和焊接连接的各项要求外,尚应注意保证受力钢筋的混凝土保护层厚度及钢筋的间距,这对保持钢筋与混凝土的握裹力,防止钢筋锈蚀,保证结构的耐久性具有重要的作用。因此,应在钢筋与模板间设置垫块,垫块应与钢筋扎紧,并互相错开,间距不能过大,以达到支垫的效果。非焊接钢筋骨架的多层钢筋之间,应用短钢筋支垫,保证位置准确。钢筋混凝土保护层厚度应符合设计要求。在浇筑混凝土前,应对已安装好的钢筋及预埋件(钢板、锚固钢筋等)进行检查。

五、质量控制

1. 钢筋加工的允许偏差

钢筋加工允许偏差应满足表 6—3—21 的要求。

表 6—3—21 加工钢筋的允许偏差

项 目	允许偏差(mm)
受力钢筋顺长度方向加工后的全长	±10
弯起钢筋各部分尺寸	±20
箍筋各部分尺寸	±5

2. 焊接钢筋网及钢筋骨架的允许偏差

焊接钢筋网和焊接钢筋骨架的偏差不得超过表 6—3—22 的规定。

表 6—3—22 焊接钢筋网与骨架的允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	项 目	允许偏差(mm)
网的长、宽	±10	骨架的宽及高	±5
网眼的尺寸	±10	骨架的长	±10
网眼的对角线差	10	箍筋间距	0,—20

3. 安装钢筋的允许偏差

钢筋的级别、直径、根数和间距均应符合设计要求。绑扎或焊接的钢筋骨架不得有变形、松脱和开焊,钢筋位置的偏差不得超过表的 6—3—23 规定。

表 6—3—23 钢筋位置允许偏差

项 目			允许偏差 (mm)
受力钢筋间距	两排以上排距		±5
	同排	立壁、墙底板	±10
		基础	±20
箍筋、横向水平钢筋			0, -20
钢筋骨架尺寸	长		±10
	宽、高或直径		±5
弯起钢筋位置			±20
保护层厚度	立壁、墙底板		±5
	基础		±10

第五节 模板制作与安装

模板的作用是保证浇筑混凝土的位置和几何形状、尺寸的准确性,它对保证混凝土工程施工的质量具有重要的作用,是浇筑混凝土结构成型质量的决定因素之一。模板工程

的结构内容主要包括模板、支架和配件等。

一、模板设计

模板的设计,应根据结构形式、施工组织设计、荷载大小、地基土类别及有关的设计、施工规范进行。同时应绘制模板和支架总装图、细部构造图;制订模板和支架结构的安装、使用、拆卸和保养等有关技术安全措施和注意事项;编制模板材料数量表及设计说明书。

通常模板的设计应遵循以下原则:①保证结构部件各部分的形状、尺寸和相互间位置的正确性;②具有足够的强度、刚度和稳定性,能承受本身自重及钢筋、浇捣混凝土的重力和侧压力,以及在施工中产生的其它荷载;③模板板面之间应平整,接缝严密,不漏浆,保证结构物外露面美观,线条流畅,可设倒角;④结构简单,制作、装拆方便,能多次周转使用;⑤支撑必须安装在坚硬的地基上,并有足够的支承面积,以保证所浇筑结构不致发生下沉、变形等;⑥如采用木模,所用木料受潮后不易变形;⑦节约材料。

为使挡土墙墙体光滑整洁、尺寸准确,宜优先采用通用化组合钢模,钢模板具有质量高,拆装方便、快速,可多次周转使用,节省木材等优点。如用木模,应在内侧加钉镀锌薄铁皮,以降低表面损耗和粗糙度,保证混凝土表面平整光滑,并可增加周转使用的次数。木材可按各地区实际情况选用,但材质不低于Ⅲ等。

墙体模板一般由侧板、立档、横档、斜撑和水平撑组成。斜撑的下端须设垫板。固定斜撑垫板,在泥地上可用木桩,在混凝土上可用预埋铁件或浇筑临时水泥墩作固定。当墙模较高时也可用对拉螺栓固定,或与斜撑结合使用,但斜撑与模板横档水平交角不宜大于45°。

作用于模板结构的荷载,有垂直荷载和水平荷载,在这些荷载中,有的属于恒载,有的属于活载。在选用设计荷载时应分析各种可能发生的荷载,不得遗漏,并应将可能发生的荷载,进行最不利的组合。

模板结构设计时,应考虑的荷载主要有下列 7 种,并按表 6—3—24 进行荷载组合。

- ①模板自重;
- ②新浇混凝土、钢筋混凝土或其它污工结构物的重力;
- ③施工人员和施工材料、机具等行走运输或堆放的荷载;
- ④振捣混凝土时产生的荷载;
- ⑤新浇混凝土时对侧面模板的压力;
- ⑥倾倒混凝土时产生的水平荷载;
- ⑦其它可能产生的荷载,如雪荷载、冬季保温设施荷载等。

表 6—3—24 模板设计的荷载组合

模板结构名称	荷 载 组 合	
	计算强度	验算刚度
支承板、支架等	①+②+③+④+⑦	①+②+⑦
侧模板	④+⑤	⑤
基础的侧模板	⑤+⑥	⑤

二、模板制作

1. 钢模板制作

钢模板宜采用标准化的组合模板,主要由平面模板、连接件和支承件三部分组成。组合钢模板及配件的加工制作应符合下列要求:

- (1)模板及配件应按国家标准《组合钢模板技术规范》(GB 214)制作;
- (2)模板的槽板制作宜采用冷轧冲压整体成型的生产工艺,沿槽板纵向两侧的凸棱倾角,应严格按标准图尺寸控制;
- (3)模板槽板边肋上的U形卡孔和凸鼓,宜采用一次冲孔和压鼓成型的生产工艺;
- (4)模板的组装焊接,宜采用组装胎具定位及合理的焊接顺序;
- (5)焊接后的模板,宜采用整形机校正模板的变形。当采用手工校正时,不得碰伤其棱角,且棱面不得留有锤痕;
- (6)焊接外形应光滑、均匀,不得有漏焊、焊穿、裂纹等缺陷,并不宜产生咬肉、夹渣、气孔等缺陷;
- (7)焊接选用的焊条材质、性能和直径,应与被焊物相适应;
- (8)U形卡应采用冷作工艺成型,卡口弹性夹紧力不应小于1.5kN,其圆弧半径应符合设计要求,且不得出现非圆弧形的折角皱纹;
- (9)连接件应采用镀锌表面处理,厚度应为0.05~0.08mm,镀层应均匀,不得有漏镀缺焊;
- (10)钢模板及配件的表面,必须除去油污、锈迹后再作防锈处理。

2. 木模板制作

木模板可在工厂或施工现场制作。根据设计图纸,核对各部件模板尺寸,其类型应尽量统一,便于重复使用并应能始终保证表面平整、光滑,形状、尺寸正确,有足够的强度和刚度。接缝可做成平缝、搭接缝或企口缝。当接缝为平缝时,为防止漏浆,可采取在缝内镶嵌塑料管(线),拼缝处钉以铁皮,或在拼缝外面钉板条、缝内压塑料薄膜或水泥纸袋等措施,应根据具体情况选定防漏的方法。

多次重复使用的木模板,在内侧钉以薄铁皮,可以降低木模表面的损耗,增加其周转次数。木模的转角应加嵌条或做成斜角(钝角),可使拆模时构造物的转角处不易损伤、破裂,且较为美观。

三、模板安装

安装的模板必须牢固,不得松动、跑模、下沉,不得与脚手架相连,避免引起模板变形,同时保持拼缝严密不漏浆以及使模板内部保持清洁。

模板与钢筋安装工作应配合进行,妨碍绑扎钢筋的模板应待钢筋安装完毕后安设。挡土墙模板施工时,先弹出中心线和二边线,选择一端先安装。依次立竖档、横档及斜撑,钉侧板,在顶部用线锤吊直,拉线找平,撑牢钉实。待钢筋绑扎后,墙基清理干净,再竖另一端模板。一般应设置撑头或内撑,保证墙体混凝土厚度。为便于拆模和混凝土表面整洁光滑,应在模板上涂刷隔离剂。外露面混凝土模板应使用同一品种的隔离剂,选用隔离剂应符合取材容易,配制简单,经济适用,不污染构造物表面,对混凝土及钢筋无损害作用等原则。隔离剂不得使用废机油等油料,以免粘附于混凝土表面,影响构造物的美观。

模板结构应与所采用的钢筋安装绑扎方法及混凝土的浇筑方法相适配,根据混凝土浇筑及振捣工作需要,在必要部位可设置活板或天窗,所谓活板和天窗就是该部位的模板不钉死,浇筑混凝土前可打开,不仅便于清除模内的杂物,而且可作为浇筑混凝土的窗口,降低浇筑高度,防止混凝土离析。

模板外侧可设立支撑,用于固定侧模。墙体的侧模除设斜撑固定外,也可设拉杆固

定。墙体较高时,两法应结合使用;墙高较小时,可用金属线代替拉杆。

模板在安装过程中,必须设置防倾覆设施。模板安装完毕后,应对其平面位置、顶部高度、节点联系及纵横向稳定性进行检查,检查合格方可浇筑混凝土。浇筑时,发现模板有超过允许偏差变形值的可能时,应及时纠正。

四、质量控制

模板和支架制作应根据设计要求确定模板的形式及精度要求,在设计无规定时,可参考表 6—3—25 的规定执行。

表 6—3—25 模板、支架制作的允许偏差

项 目			允许偏差(mm)
木模板制作	模板的长度和宽度		±5
	相邻两板表面高低差	刨光模板	1
		不刨光模板	3
	平板模板表面最大的局部不平	刨光模板	3
		不刨光模板	5
	拼合板中木板间的缝隙宽度		2
	支架尺寸		±5
榫槽嵌接紧密度		2	
钢模板制作	外 形 尺 寸	长和高	0,—1
		肋高	±5
	面板端偏斜		0.5
	连接配件(螺栓、卡子等) 的孔眼位置	孔中心与板面的间距	±3
		端板中心与板端的间距	0,—0.5
		沿板长、宽方向的孔	±0.6
	板面局部不平		1.0
	板面板侧挠度		±1.0

注:①木模板中第 4 项(拼合板中木板间的缝隙宽度)已考虑木板干燥后在拼合板中发生缝隙的可能。2mm 以下的缝隙,可在浇筑前浇湿模板,使其密合;

②板面局部不平用 2m 靠尺、塞尺检测。

模板和支架安装的允许偏差在设计无要求时,可参考表 6—3—26 的规定执行。

表 6—3—26 模板和支架安装的允许偏差

项 目		允许偏差(mm)
模板标高	基础	±15
	立壁、墙底板	±10
模板内部尺寸	基础	±30
	立壁、墙底板	+5,0

项 目		允许偏差(mm)
轴线偏位	基础	15
	立壁、墙底板	8
装配式构件支承面的标高		+2,-5
模板相邻两板表面高低差		2
模板表面平整		5
预埋件中心线位置		3
预留孔洞中心线位置		10
预留孔洞截面内部尺寸		+10,0
支架纵轴的平面位置		跨度的 1/1000 或 30

第六节 墙身混凝土浇筑

混凝土浇筑是薄壁式挡土墙施工中的重要组成部分,是实现设计者意图的关键环节。混凝土浇筑应均质密实、平整,无蜂窝麻面,不露筋骨,强度符合设计要求。做到搅拌均匀、振捣密实、养生及时。

一、混凝土拌制

在施工过程中,应经常检查粗、细骨料的湿度,并据此将原定设计配合比换算为施工配合比。如因降雨、降雪或冲刷等原因,导致骨料湿度明显变化时,亦应及时检测,以便随时进行调整。混凝土拌制过程中,为保证拌和质量,应加强现场的监控。

(1)配料数量允许偏差

拌制混凝土配料时,各种衡器应保持准确。配料数量的允许偏差(以质量计)如表 6—3—27 所示。

表 6—3—27 配料数量允许偏差

项次	材料类别	允许偏差(%)	
		现场拌制	预制场或集中搅拌站拌制
1	水泥、掺合料	±2	±1
2	粗、细骨料	±3	±2
3	水、外加剂	±2	±1

试验室提出的混凝土配合比,是骨料表面干燥时的理论计算配合比。工地进行混凝土拌制施工时,应根据砂、石料的实际含水量换算成施工配合比。一般每日开工前应测定粗、细骨料的含水量,以后每隔 4h 再测定一次。由于天气变化,雨雪降落,砂石料含水率也常有变化,为稳定混凝土的水灰比,确保质量,应随时进行测定。

由于搅拌机的吸浆现象,在拌和混凝土前,应开动搅拌机,当空载运转正常后,加入清水运转 2~3min,使筒壁、叶片全部湿润后再上料。拌和第一盘混凝土时,宜比配合比多

加入 10% 的水泥、水和砂,以覆盖拌和筒的内壁而不降低拌和物所需的含浆量。

每一工作班正式称量前,应对计量设备进行重点校核。计量器具应定期检定,经大修、中修或迁移至新的地点后,也应进行检定。

(2)混凝土搅拌时间

混凝土应使用机械搅拌,零星工程的塑性混凝土也可用人工拌和。用机械搅拌时,自全部材料装入搅拌筒至开始出料的最短搅拌时间应按设备出厂说明书的规定,并经试验确定,且不得少于表 6—3—28 的规定。搅拌细砂混凝土或掺有外加剂的混凝土时,搅拌时间应适当延长 1~2min。但搅拌时间也不宜过长,对搅拌时间每一工作班至少应抽查两次,当采用其它形式的搅拌设备时,搅拌的最短时间应按设备说明书的规定或经验确定。

表 6—3—28 混凝土最短搅拌时间

搅拌机类型	搅拌机容量(L)	混凝土坍落度(mm)		
		<30	30~70	>70
		混凝土最短搅拌时间(min)		
自落式	≤400	2.0	1.5	1.0
	≤800	2.5	2.0	1.5
	≤1200		2.5	1.5
强制式	≤400	1.5	1.0	1.0
	≤1500	2.5	1.5	1.5

注:①外加剂可先调成适当浓度的溶液后再掺入;
②搅拌机装料数量(装入粗骨料、细骨料、水泥等松体积的总数)不应大于搅拌机标定容量的 110%;
③表列时间为从搅拌加水算起。

如掺用高效减水剂或速凝剂,运距又较远时,可将混凝土运至浇筑地点,再掺入外加剂重拌。

(3)混凝土拌和物性能检查

对于在施工现场集中搅拌的混凝土,应检查混凝土拌和物的均匀性。拌和物应拌和均匀,颜色一致,不得有离析和泌水现象。检查混凝土拌和物均匀性时,应在搅拌机的卸料过程中,从卸料流的 1/4~3/4 之间部位,采集试样,进行试验,其检测结果应符合下列规定:①混凝土中砂浆密度两次测值的相对误差不应大于 0.8%;②单位体积混凝土中粗骨料含量两次测值的相对误差不应大于 5%。

混凝土搅拌完毕后,检测混凝土拌和物的坍落度时,应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测,每一工作班或每一单元结构物不应少于两次。评定时应以浇筑地点的测值为准。如混凝土拌和物从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不超过 15min 时,其坍落度可仅在搅拌地点取样检测。在检测坍落度时,还应观察混凝土拌和物的粘聚性和保水性。根据需要还应检测混凝土拌和物的其它质量指标。

二、混凝土运输

混凝土的运输能力应适应混凝土凝结速度和浇筑速度的需要,使浇筑工作不间断并使混凝土运到浇筑地点时仍保持均匀性和规定的坍落度,做到有序配合,互不影响。从搅拌机运送到模板中的水平运输,可用铁制轨道活底斗车或倾卸汽车。当混凝土拌和物运输数量少或运距较近时,可采用无搅拌器的运输工具运输,如铁制翻斗车或手推车;当运

距较远时,宜采用搅拌运输车运输。混凝土垂直运送到墙体上,可用各种吊机和门架提升,一般宜使用兼顾水平和垂直运输的揽索吊机,如混凝土数量大,浇筑速度快,可采用混凝土泵及泵罐车。运输时间不宜超过表 6—3—29 的规定。当运距较远时,可用搅拌运输车运干拌料到浇筑地点后再加水搅拌。掺用外加剂或采用快硬水泥拌制混凝土时,应通过试验查明所配制混凝土的凝结时间后,确定运输时间限制。

表 6—3—29 混凝土拌和物运输时间限制(min)

气温(℃)	无搅拌设备运输	有搅拌设备运输
20~30	30	60
10~19	45	75
5~9	60	90

注:表列时间系指从加水搅拌至入模时间。

混凝土运至浇筑地点后发生离析、严重泌水或坍落度损失过大时,应进行第二次搅拌。二次搅拌时不得任意加水,确有必要时,应在加水的同时增加水泥以保持其原水灰比不变。如二次搅拌仍不符合要求,则不得使用。

夏天运输混凝土应采取遮阳措施,冬天运送时应有防冻措施。整个运输过程不得超过混凝土的初凝时间。

三、混凝土浇筑

浇筑混凝土前,应全面地进行复查,检查模板标高、截面尺寸、接缝、支撑、钢筋的直径、数量、弯曲尺寸、位置间距、节点连接、焊接等是否符合设计要求,检查锚固螺栓、预埋件及预留孔位置是否正确,发现问题,应及时纠正。同时模板内的杂物、积水和钢筋上的污垢应清理干净;模板如有缝隙,应填塞严密,模板内面应涂刷隔离剂;并应对混凝土的均匀性和坍落度进行检查。

(1)混凝土浇筑宜分二次进行,先浇墙底板(墙趾板和墙踵板)然后再浇立壁,当墙底板强度达 2.5MPa 后,应立即浇筑墙身,以便减少温差。接缝处的底板面上宜做成凹凸不平,以增加粘结,并按施工缝处理,要求如下:①应凿除混凝土表面的水泥砂浆及软弱层,凿毛后用水洗干净;②对垂直缝应刷一层水泥净浆,水平缝铺一层 1~2cm 的 1:2 水泥砂浆。当采用界面剂涂刷时,可免去凿毛工作;③施工缝处理后应待前层混凝土强度达到 2.5MPa 时,方可进行凿毛冲洗及安装立壁模板、钢筋焊接绑扎和浇筑混凝土等工序。

对于墙身立壁的主筋可考虑预留钢筋,采用电弧焊焊接,如墙身立壁较低时可与底板钢筋一次绑扎到顶,并可在墙身两侧搭以支架,将竖立钢筋临时稳固,以便于施工。

(2)混凝土应按一定厚度、顺序和方向分层浇筑。分层浇筑时,应在下层混凝土初凝或能重塑前完成上层混凝土的浇筑,以便使插入式振动器伸入(深度 5~10cm)下层振捣,使得层面粘接为一体,无分层接缝的痕迹。上下层同时浇筑时,上层与下层前后浇筑距离应保持 1.5m 以上。在倾斜面上浇筑混凝土时,应从低处开始逐层扩展升高,保持水平分层。混凝土分层浇筑厚度不宜超过表 6—3—30 的规定。

表 6—3—30 混凝土分层浇筑厚度

捣实方法	浇筑层厚度(cm)
用插入式振动器	30
用附着式振动器	30

捣实方法		浇筑层厚度(cm)
用表面振动器	无筋或配筋稀疏时	25
	配筋较密时	15
人工捣实	无筋或配筋稀疏时	20
	配筋较密时	15

注:表列规定可根据结构物和振动器型号等情况适当调整。

一般混凝土的初凝时间与重塑时间很接近,前者在室内试验得出,后者可在现场试验确定。有条件时,两者应进行对比,使之更正确合理。重塑的试验方法为:依靠自重将插入式振动器插入混凝土中,振动 15s 后,当周围 10cm 内能泛浆,拔出振动器时,不留有孔洞,即认为能重塑。

为便于分段分层浇筑和混凝土振捣,宜在墙模侧面设置不小于 30cm 高的门子洞(天窗)作浇筑口,以便装料留槽浇筑,门子洞的上下间距不宜超过 2.0m,采用地泵或泵罐车可另作考虑。扶助的浇筑与立壁应同步进行,并应严格水平分层浇筑振捣。浇筑扶助斜面时,应从低处开始逐层扩展升高,与立壁保持水平分层。为了扶助模板支撑的需要,应在底板上设置预埋钢筋或预埋件。

(3)为防止离析,从高处向模板内倾卸混凝土时,应符合下列要求:①从高处直接倾卸时,其自由倾卸高度一般不宜超过 2.0m,以不发生离析为度;②当倾注高度超过 2m 时,应通过多节导管、串筒、溜管或振动溜管等设施下落;倾落高度超过 8m 时,应设置减速装置(如在导管内附加减速翼板);③在串筒出料口下面,混凝土的堆积高度不宜超过 1.0m。

(4)浇筑混凝土时,一般应采用振动器振实,振捣时,应符合下列规定:①使用插入式振动器时,移动间距应保证全部混凝土均受到振实,如以直线行列插入,应不超过振动器作用半径的 1.5 倍,按交错梅花式插入,不超过作用半径的 1.75 倍,并与侧模应保持 5~10cm 的距离;插入下层混凝土 5~10cm,每一处振动完毕后应边振动边徐徐提出振动棒;应避免振动棒碰撞模板、钢筋及其它预埋件;②表面振捣器仅允许用以振实混凝土表面,其移动距离应以使振动平板能覆盖已振实部分的 10cm 左右为宜;③附着式振捣器的布置间距,可根据构造物形状、断面大小、振动器性能等情况通过试验确定;④振捣时间不宜过长,但也不能过短,一般的标志是混凝土达到不再下沉,无显著气泡上升,顶面平坦一致,并开始浮现水泥浆为止。当发现表面浮现水层,应立即设法排除,但不得带走水泥浆,并须检查发生的原因或调整混凝土配合比。

(5)浇筑长度按挡土墙分段长度划分为一节段,一般在 15.0~20.0m 左右。墙身立壁应严格分层,混凝土浇筑工作宜连续进行,一次浇完,不得间断,并应在前层所浇筑的混凝土尚未初凝以前,即将此层混凝土浇筑捣实完毕。混凝土的允许最大间歇时间应根据水泥凝结时间、水灰比及水泥的硬化条件等情况而定,当缺乏资料难以决定时,可通过试验测定或参考表 6—3—31 酌定。

表 6—3—31 混凝土允许间断时间

顺次	混凝土入机温度 (℃)	允许间断时间(min)	
		普通水泥	矿渣、火山灰、粉煤灰水泥
1	20~30	90	120
2	10~19	120	150

顺次	混凝土入机温度 (℃)	允许间断时间(min)	
		普通水泥	矿渣、火山灰、粉煤灰水泥
3	5~9	150	180

注:表列数值未考虑外加剂。

若混凝土的间歇时间已经超过表 6—3—31 的规定,而前层混凝土已开始凝结,此时应中断浇筑,但必须按施工缝处理。

(6)立壁顶面混凝土应进行二次抹面,以防松顶,并压光或拉毛。

四、混凝土养生及修饰

混凝土浇筑完毕后,一般在 10h 左右即可覆盖浇水。当气候炎热或有风的天气时,2~3h 后即可浇水以维持充分的润湿状态,混凝土养生用水的条件与拌和用水相同。在潮湿气候条件下,空气相对湿度大于 60%,使用普通水泥时,湿润养生时间不少于 7d;使用火山灰质或矿渣水泥时,不少于 14d。在比较干燥气候条件下,相对湿度小于 60%时,应不少于 14d(普通水泥)和 21d(火山灰、矿渣水泥)。当气候变化较大,内外温度差异较大时,拆除模板后,宜用草帘、塑料布等遮盖继续浇水养生,以防产生温缩和干缩裂缝。也可采用养护剂,但要喷洒均匀,形成薄膜,可不洒水进行封闭养生。不宜直接以冷水喷浇混凝土外露面。

混凝土表面的光洁程度依不同部位而异,外露面无装饰设计时,在混凝土浇筑完成后,对混凝土裸露面应及时进行修整、抹平,待定浆后再抹第二遍并压光或拉毛。当裸露面面积较大或气候不良时,应加盖防护,但在开始养生前,覆盖物不得接触混凝土面。对有模板的外露面应安装同一类别的模板和涂刷同一类别的隔离剂,模板应光洁,无变形、无漏浆。发现表面质量有缺陷时,应及时进行处理,符合要求后,再进行装饰。对表面有一般抹灰(水泥砂浆抹面)和装饰抹灰(水刷石、水磨石、剁斧石)等装饰设计的结构,应在浇筑混凝土时采用表面平整的模板,拆模后按设计要求的装饰类别进行装饰。

五、模板拆除

模板的拆除期限应根据结构物特点、模板部位和混凝土所达到的强度来决定。非承重侧模板应在混凝土强度能保证其表面及棱角不致因拆模而受损坏时方可拆除,一般应在混凝土抗压强度达到 2.5MPa 时方可拆除侧模板。侧模拆除的具体时间可参考表 6—3—32。

表 6—3—32 侧模拆除时限

水泥品种	混凝土强度等级	混凝土平均硬化温度(℃)					
		5	10	15	20	25	30
		混凝土强度达到 2.5MPa 所需天数(d)					
普通水泥	C10	5	4	3	2	1.5	1
	C15	4.5	3	2.5	2	1.5	1
	≥C20	3	2.5	2	1.5	1	1

水泥品种	混凝土强度等级	混凝土平均硬化温度(℃)					
		5	10	15	20	25	30
		混凝土强度达到 2.5MPa 所需天数(d)					
矿渣水泥 火山灰质水泥	C10	8	6	45	3.5	2.5	2
	C15	6	4.5	3.5	2.5	2	1.5

承重模板,应在混凝土强度能承受其自重力及其它可能的叠加荷载时,方可拆除。如设计上对拆除承重模板另有规定,应按照规定执行。