

## 四、一般防震措施

1. 尽可能采用重心低的墙身断面形式。
2. 基础尽可能置于基岩或坚硬的均质土层上;遇有软粘土、饱和砂土或严重不均匀地基时,应采取适当措施进行加固处理。
3. 挡土墙宜采用浆砌片(块)石、混凝土和钢筋混凝土修筑。当采用干砌片(块)石时,墙高须加以限制:设计烈度为 8 度时,一般不超过 5m,9 度时,一般不超过 3m。
4. 墙体应以垂直通缝分段,每段长度不宜超过 15m。地基变化或地面标高突变处,也应设置通缝。
5. 应严格控制砌筑质量,石料要嵌挤紧密,砂浆要饱满,砂浆标号按非地震区要求提高一级采用。
6. 墙后填料应尽量用片、碎石或砂性土分层填筑并夯实,并做好排水设施。

## 第八节 重力式挡土墙设计算例

### 一、一般重力式挡土墙设计算例

#### (一)设计资料

##### 1. 墙身构造

拟采用浆砌片石重力式路堤墙(图 6-52),墙高  $H=6\text{m}$ ,填土高  $a=3\text{m}$ ,填土边坡 1: 1.5 墙背仰斜,  $1: 0.25(\alpha = -14^{\circ}02')$ ,墙身分段长度 10m。

##### 2. 车辆荷载

计算荷载,汽车-20 级;验算荷载,挂车-100。

##### 3. 土壤地质情况

墙背填土容重  $\gamma = 18\text{kN/m}^3$ ,计算内摩擦角  $\phi = 35^{\circ}$ ,填土与墙背间的摩擦角  $\delta = \phi/2$ ;粘性土地基,容许承载力  $(\sigma_0) = 250\text{kPa}$ ,基底摩擦系数  $f = 0.30$ ,

##### 4. 墙身材料

2.5 号砂浆砌 25 号片石(相当于原规范 25 号砂浆和 250 号片石),砌体容重  $\gamma_K = 22\text{kN/m}^3$ ;按原规范:砌体容许压应力  $(\sigma_a) = 600\text{kPa}$ ,容许剪应力  $(\tau) = 100\text{kPa}$ ,容许拉应

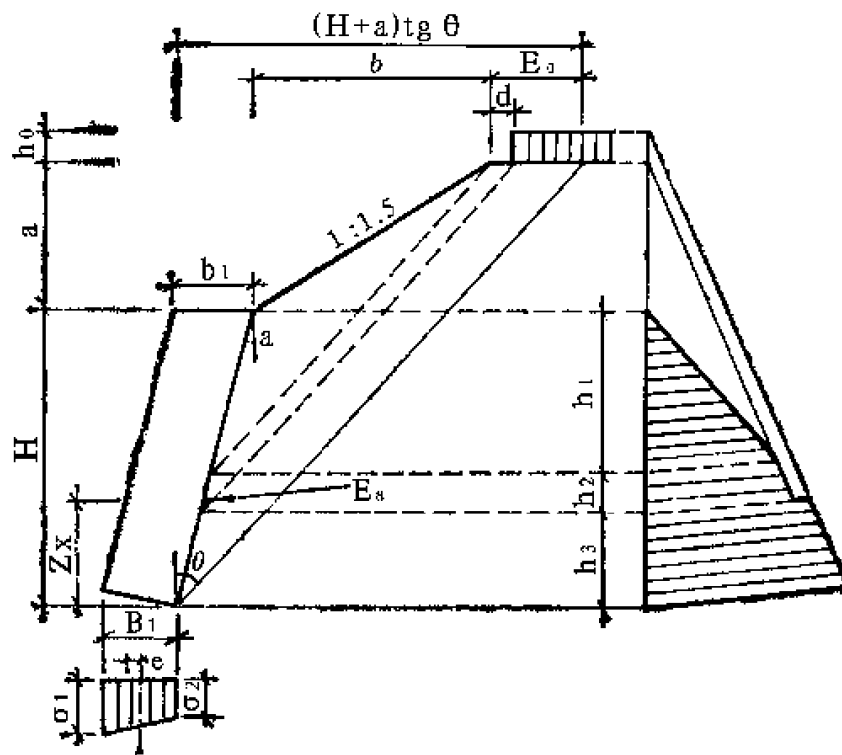


图 6-52 重力式挡土壤设计示例

力 $(\sigma_{WL}) = 60\text{kPa}$

## (二) 车辆荷载换算

### 1. 计算荷载

1) 求不计车辆荷载作用时的破裂棱体宽  $B_0$

由第四节推导的公式或查有关手册可知

$$A = \frac{B_0}{A_0} = \frac{ab - H(H + 2a)\text{tg}\alpha}{(H + \alpha)^2} = \frac{3 \times 45 + 6(6 + 2 \times 3) \times 0.25}{(6 + 3)^2} = 0.389$$

$$\Psi = \phi + \alpha + 8 = 35^\circ - 14^\circ 02' + 17^\circ 30' = 38^\circ 28'$$

$$\text{tg}\theta = -\text{tg}\psi + \sqrt{(\text{ctg}\phi + \text{tg}\psi)(\text{tg}\psi + A)}$$

$$= -\text{tg}38^\circ 28' + \sqrt{(\text{ctg}35^\circ + \text{tg}38^\circ 25')(\text{tg}38^\circ 28' + 0.389)} = 0.827$$

$$\theta = \arctg 0.827 = 39^\circ 36'$$

$$B_0 = (H + \alpha)\text{tg}\theta - (b - H\text{tg}\alpha)$$

$$= (6 + 3) \times 0.827 - (4.5 + 6 \times 0.25) = 1.44\text{m}$$

2) 求纵向分布长度  $L$  (按式 6-52)

一辆重车的扩散长度为

$$L = L_0 + (H + 2a)\text{tg}30^\circ = 5.6 + (6 \times 2 \times 3) \times 0.577 = 12.52\text{m}$$

大于挡土墙分段长度, 取计算长度  $L = 12.52\text{m}$ 。布置一辆重车, 总重力  $300\text{kN}$ 。

3) 计算车辆荷载总重  $\Sigma Q$

车轮中心距路基边缘  $0.5\text{m}$ ,  $B_0 = 1.44\text{m}$ , 重车在破裂棱体内仅能布置轴重的一半。

$$\sum Q = 300 \times \frac{1}{2} = 150 \text{ kN}$$

4) 换算土层厚度(式 6-51)

$$h_0 = \frac{\sum Q}{rB_0L} = \frac{150}{18 \times 1.44 \times 12.52} = 0.46 \text{ m}$$

2. 验算荷载

挂车-100,  $h_0 = 0.80 \text{ m}$ , 布置在路基全宽。

### (三) 主动土压力计算

1. 设计荷载: 汽车-20 级

1) 求破裂角  $\theta$

假设破裂面交于荷载内, 采用相应的公式计算:

$$A = \frac{ab + 2h_0(b + d) - H(H + 2a + 2h_0)\text{tg}\alpha}{(H + \alpha)(H + \alpha + 2h_0)}$$

$$= \frac{3 \times 4.5 + 2 \times 0.46(4.5 + 0.5) + 6(6 + 2 \times 3 + 2 \times 0.46) \times 0.25}{(6 + 3)(6 + 3 + 2 \times 0.46)} = 0.419$$

$$\text{tg}\theta = -\text{tg}\psi + \sqrt{(\text{ctg}\phi + \text{tg}\psi)(\text{tg}\psi + A)}$$

$$= -\text{tg}38^\circ 28' + \sqrt{(\text{ctg}35^\circ + \text{tg}38^\circ 28')(\text{tg}38^\circ 28' + 0.419)} = 0.848$$

$$\theta = \arctg 0.848 = 40^\circ 17'$$

验算破裂面是否交于荷载内:

堤顶破裂面至墙踵  $(H + \alpha)\text{tg}\theta = (6 + 3) \times 0.848 = 7.63 \text{ m}$

荷载内缘至墙踵  $b - H\text{tg}\alpha + d = 4.5 + 6 \times 0.25 + 0.5 = 6.5 \text{ m}$

荷载外缘至墙踵  $b - H\text{tg}\alpha + d + b_0 = 6.5 + 7.0 = 13.5 \text{ m}$

因  $6.5 < 7.63 < 13.5$ , 故破裂面交于荷载内, 与原假定相符, 所选用的计算公式正确。

2) 求主动土压力系数  $K$  和  $K_1$

$$K = \frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \phi)}(\text{tg}\theta + \text{tg}\alpha)$$

$$= \frac{\cos(40^\circ 17' + 35^\circ)}{\sin(40^\circ 17' + 38^\circ 28')}(\text{tg}40^\circ 17' - 0.25) = 0.155$$

$$h_1 = \frac{b - a\text{tg}\theta}{\text{tg}\theta + \text{tg}\alpha} = \frac{4.5 - 3 \times 0.484}{1.848 - 0.25} = 3.27 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{d}{\text{tg}\theta + \text{tg}\alpha} = \frac{0.50}{0.848 - 0.25} = 0.84 \text{ m}$$

$$h_3 = H - h_1 - h_2 = 6 - 3.27 - 0.84 = 1.89 \text{ m}$$

$$K_1 = 1 + \frac{2\alpha}{H}\left(1 - \frac{h_1}{2H}\right) + \frac{2h_0h_3}{H^2}$$

$$1 + \frac{2 \times 3}{6}\left(1 - \frac{3.27}{2 \times 6}\right) + \frac{2 \times 0.46 \times 1.89}{6^2} = 1.776$$

3) 求主动土压力及作用点位置  $Z_x$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K K_1 = \frac{1}{2} \times 18 \times 6^2 \times 0.155 \times 1.776 = 89.19 \text{ kN}$$

$$E_x = E_a \cos(\alpha + \delta) = 89.19 \cos(-14^\circ 02' + 17^\circ 30') = 89.02 \text{ kN}$$

$$E_y = E_a \sin(\alpha + \delta) = 89.19 \sin(-14^\circ 02' + 17^\circ 30') = 5.39 \text{ kN}$$

$$Z_x = \frac{H}{3} + \frac{a(H - h_1)^2 + h_0 h_3 (3h_3 - 2H)}{3H^2 K_1}$$

$$= \frac{6}{3} + \frac{3(6 - 3.27)^2 + 0.46 \times 1.89(3 \times 1.89 - 2 \times 6)}{3 \times 6^2 \times 1.776} = 2.09 \text{ m}$$

因基底倾斜, 土压力对墙趾 O 的力臂改为

$$Z_{x1} = Z_x - 0.190b_1 = 2.09 - 0.190 \times 1.56 = 1.79 \text{ m}$$

$$Z_{y1} = h_1 - Z_{x1} \tan \alpha = 1.56 + 1.79 \times 0.25 = 2.01 \text{ m}$$

2. 验算荷载: 挂车 - 100

计算方法与采用公式同设计荷载, 在式中取  $h_0 = 0.80 \text{ m}$ ,  $d = 0$ 。计算结果如下

$$\theta = 40^\circ 33', K = 0.154, K_1 = 1.859,$$

$$E_a = 92.76 \text{ kN}, E_x = 92.57 \text{ kN}, E_y = 5.60 \text{ kN},$$

$$Z_x = 2.08 \text{ m}, Z_{x1} = 1.78 \text{ m}, Z_{y1} = 2.01 \text{ m}$$

比较设计荷载与验算荷载的计算结果可知, 验算荷载时的土压力大。若墙身断面尺寸系由滑动控制, 则可肯定按验算荷载时的土压力计算, 因对  $K_c$  的要求均为  $\geq 1.3$ 。本算例中, 基底摩擦系数小, 仅为  $f = 0.3$ , 估计为滑动控制, 故先采用挂车 - 100 的土压力计算。

#### (四) 设计挡土墙截面

选择墙面平行于墙背, 基底倾斜  $1: 5$  ( $\alpha_0 = 11^\circ 18'$ )。通过试算, 选定墙顶宽  $b_1 = 1.56 \text{ m}$ 。

1. 计算墙身重  $G$  及其力臂  $Z_G$

墙身重  $G$  及其力臂  $Z_G$  计算结果列于表 6-9。

2. 抗滑稳定性检算

$$K_c = \frac{(G \cos \alpha_0 + E \sin(\alpha + \delta + \alpha_0)) f}{E \cos(\alpha + \delta + \alpha_0) - G \sin \alpha_0}$$

$$= \frac{(200.86 \cos 11^\circ 18' + 92.76 \sin(-14^\circ 02' + 17^\circ 30' + 11^\circ 18')) \times 0.30}{92.76 \cos(-14^\circ 02' + 17^\circ 30' + 11^\circ 18') - 200.86 \sin 11^\circ 18'}$$

$$= 1.31 > (K_c)$$

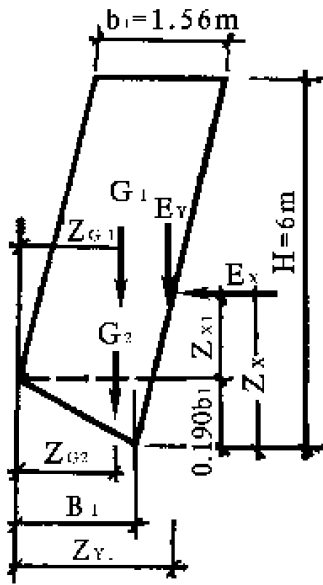
3. 抗倾覆稳定检算

$$K_0 = \frac{G_1 Z_{G1} + G_2 Z_{G2} + E_y Z_{y1}}{E_x Z_{x1}}$$

$$= \frac{195.80 \times 1.49 + 5.06 \times 1.02 + 5.60 \times 2.01}{92.57 \times 1.78}$$

$$= 1.87 > (K_0)$$

表 6-9 墙身重  $G$  及其力臂  $Z_G$  计算结果

体积 $V(\text{m}^3)$	重量(kN) ( $\gamma_K = 22\text{kN/m}^3$ )	力臂 $Z_G(\text{m})$	
$V_1 = b_1 H - 0.190 b_1$ $= 1.56 \times 6 - 0.190$ $\times 1.56^2 = 8.90$	$G_1 = 195.80$	$Z_1^G = \frac{1}{2}((H - 0.190 b_1)$ $\times 0.25 + b_1)$ $= \frac{1}{2}((6 - 0.190$ $\times 1.56) \times 0.25 + 1.56)$ $= 1.49$	
$V_2 = 0.095 b_1^2$ $= 0.095 \times 1.56^2$ $= 0.23$	$G_2 = 5.06$	$Z_{G2} = 0.651 b_1$ $= 0.651 \times 1.56$ $= 1.02$	
$V = V_1 + V_2 = 9.13$	$G = G_1 + G_2 = 200.86$		

稳定性检算的结果表明,断面尺寸由滑动控制,上述估计符合实际,故可不必要采用汽车-20级的土压力计算。(按:汽车荷载计算结果  $K_0 = 1.92 > (K_0)$ )。

#### 4. 基底应力检算

$$B_1 = b_1 - 0.190 b_1 \times 0.25 = 0.953 b_1 = 0.953 \times 1.56 = 1.487\text{m}$$

$$Z_N = \frac{G_1 Z_{G1} + G_2 Z_{G2} + E_y Z_{y1} - E_x Z_{x1}}{G_1 + G_2 + E_y}$$

$$= \frac{195.80 \times 1.49 + 5.06 \times 1.02 + 5.60 \times 2.01 - 92.5 \times 1.78}{195.80 + 5.06 + 5.06} = 0.694\text{m}$$

$$e = \frac{B_1}{2} - Z_N = \frac{0.953 b_1}{2} - Z_N$$

$$= \frac{1.487}{2} - 0.694 = 0.050\text{m} < 0.75 \times \frac{B_1}{6} (= 0.186\text{m})$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{G + E_y}{B_1} \left(1 \pm \frac{5e}{B_1}\right) = \frac{200.86 + 5.60}{1.487} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.050}{1.487}\right)$$

$$= \frac{166.85}{110.83} \text{kPa} < (\sigma_0) (= 250\text{kPa})$$

#### 5. 截面应力检算

墙面、墙背互相平行,截面的最大应力出现在接近基底处。由基底应力检算可知,偏心距及基底应力均满足地基的要求。墙身截面应力也能满足墙身材料的要求,故可不作检算。

通过上述检算,所拟截面符合各项要求,决定采用此截面,顶宽为 1.56m。

## 二、衡重式挡土墙设计算例

### (一)设计资料

#### 1. 墙身结构

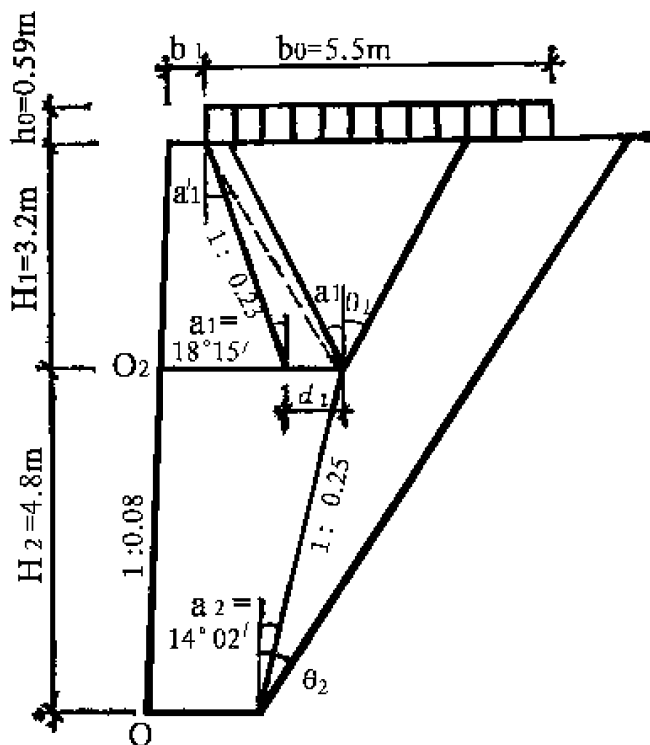


图 6-53 衡重式挡土墙构造

拟采用浆砌片石衡重式路肩墙(图 6-53)。墙高  $H = 8\text{m}$ 。上墙  $H_1 = 3.2\text{m}$ ，墙背俯斜  $1: 0.33 (\alpha_1 = 18^\circ 15')$ ；衡重台宽  $d = 0.90\text{m}$ ，下墙  $H_2 = 4.8\text{m}$ ，墙背仰斜  $1: 0.25 (\alpha_2 = 14^\circ 02')$ 。墙面坡度  $1: 0.05$ 。墙身分段长度  $12\text{m}$ 。

#### 2. 土壤地质情况

墙背填土容重  $\gamma = 18\text{kN/m}^3$ ，内摩擦角  $\phi = 35^\circ$ 。上墙(假想墙背)摩擦角  $\delta_1 = \phi$ ，下墙墙背摩擦角  $\delta_2 = \frac{1}{2}\phi$ ，地基容许承载力  $[\sigma] = 800\text{kPa}$ ，基底摩擦系数  $f = 0.60$ 。

#### 3. 墙身材料

5 号砂浆砌 30 号片石(分别相当于原规范的 50 号和 300 号)，砌体容重  $\gamma_k = 22\text{kN/m}^3$ 。砌体容许压应力  $[\sigma_a] = 800\text{kPa}$ ，容许拉应力  $[\sigma_t] = 80\text{kPa}$ ，容许剪应力  $[\tau] = 160\text{kPa}$ ；

#### 4. 车辆荷载

计算荷载，汽车 - 20 级，验算荷载，挂车 - 100。

## (二) 车辆荷载换算

按车带宽均摊的方法计算。

汽车-20级, 一辆重车总重 300kN。

$$h_0 = \frac{\Sigma Q}{\gamma b_0 L} = \frac{\Sigma Q}{\gamma b_0 [L_0 + (H + 2\alpha) \tan 30^\circ]} = \frac{300 \times 2}{18 \times 5.5 (5.6 + 8 \times 0.557)} = 0.593m$$

式中〔 〕内数值  $L = 10.22m$ , 小于墙身分段长度, 取  $L = 10.22m$ 。

挂车-100 的  $h_0 = 0.80m$ , 布置在路基全宽。

## (三) 上墙土压力计算

1. 计算破裂角, 判别是否出现第二破裂面。

假想墙背倾角  $\alpha_i$  为

$$\tan \alpha'_i = \frac{H_1 \tan \alpha_1 + d_1}{H_1} = \frac{3.2 \times 0.33 + 0.90}{3.2} = 0.611$$
$$\alpha'_i = 31^\circ 26'$$

假设破裂面交于荷载内, 按《路基》手册中表 9-3 第一类公式,

$$\alpha_i = \theta_i = 45^\circ - \phi/2 = 45^\circ - \frac{35^\circ}{2} = 27^\circ 30'$$
$$\tan \theta = 0.521$$

验算破裂面位置

第一破裂面距墙顶内缘

$$H_1 (\tan \theta_i + \tan \alpha'_i) = 3.2 (0.521 + 0.611) = 3.62m < b_0 (= 5.5m)$$

破裂面交于荷载内, 与假设相符, 采用公式正确。

$\alpha'_i > d (31^\circ 26' > 27^\circ 30')$ , 故出现第二破裂面。

2. 计算第二破裂面上的主动土压力  $E_1$

$$K = \frac{\tan^2(45^\circ - \phi/2)}{\cos(45^\circ + \phi/2)} = \frac{\tan^2(45^\circ - 35^\circ/2)}{\cos(45^\circ - 35^\circ/2)} = 0.587$$

$$K_1 = 1 + \frac{2h_0}{H_1} = 1 + \frac{2 \times 0.593}{3.2} = 1.37$$

$$E_1 = \frac{1}{2} \gamma H_1^2 K K_1 = \frac{1}{2} \times 18 \times 3.2^2 \times 0.587 \times 1.37 = 74.11kN$$

$$E_{1x} = E_1 \cos(\alpha_i + \phi) = 74.11 \cos(27^\circ 30' + 35^\circ) = 34.22kN$$

$$E_{1y} = E_1 \sin(\alpha_i + \phi) = 74.11 \sin(27^\circ 30' + 35^\circ) = 65.74kN$$

$$\text{对上墙 } O_1 \text{ 的力臂 } Z_{1x} = \frac{H_1}{3} + \frac{h_0}{3K_1} = \frac{3.2}{3} + \frac{0.593}{3 \times 1.37} = 1.21m$$

#### (四)下墙土压力计算

采用力多边形法,按铁路手册《挡土墙》中表 27-6 的相应公式计算。

##### 1. 求破裂角 $\theta_2$

假定破裂面交于荷载外,采用表 27-6 第五类公式。(注:公式中  $\alpha_2$  按正值计)

$$\psi = \phi + \delta_2 - \alpha_2 = 35^\circ + 17^\circ 30' - 14^\circ 02' = 38^\circ 28'$$

$$\operatorname{tg} \psi = 0.794$$

$$A_0 = \frac{1}{2}(H_2 + H_1)^2 = \frac{1}{2}(4.8 + 3.2)^2 = 32$$

$$B_0 = \frac{1}{2}H_2(H_2 + 2H_1)\operatorname{tg}\alpha_2 + \frac{1}{2}H_1^2\operatorname{tg}\theta_i - (l_0 + d - H_1(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\theta_i))h_0$$

$$= \frac{1}{2} \times 4.8(4.8 + 2 \times 3.2) \times 0.25 + \frac{1}{2} \times (3.2)^2 \times 0.521$$

$$- (5.5 + 0 - 3.2(0.611 + 0.521)) \times 0.593 = 8.275$$

$$R_1 = \frac{E_{1x}}{\cos(\phi + \theta_i)} = \frac{34.22}{\cos(35^\circ + 27^\circ 30')} = 74.11$$

$$\operatorname{tg} \theta = -\operatorname{tg} \psi + \sqrt{(\operatorname{tg} \psi + \operatorname{ctg} \phi)(\operatorname{tg} \psi + \frac{B_0}{A_0}) - \frac{E_1 \sin(\psi + \theta)}{A_0 \gamma \sin \phi \cos \psi}}$$

$$= -0.794 + \sqrt{(0.794 + 1.428)(0.794 + \frac{8.275}{32}) - \frac{74.11 \times 0.913}{32 \times 18 \times 0.574 \times 0.783}}$$

$$= 0.647$$

$$\theta_2 = 32^\circ 55'$$

验算破裂面位置

破裂面顶端至墙顶内缘的距离为

$$H \operatorname{tg} \theta_2 - H_2 \operatorname{tg} \alpha_2 + H_1 \operatorname{tg} \alpha'_1 = 8 \times 0.647 - 4.8 \times 0.25 + 3.2 \times 0.611$$

$$= 5.93 \text{ m} < b_0 (= 5.5 \text{ m})$$

破裂面交于荷载外,与假设相符,采用公式正确。

##### 2. 计算土压力 $E_2$ (图 6-54)

$$E_2 = \gamma \frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \psi)} (A_0 \operatorname{tg} \theta - b_0) - R_1 \frac{\sin(\theta + \theta_i)}{\sin(\theta + \psi)}$$

$$= 18 \times \frac{\cos 67^\circ 55'}{\sin 71^\circ 23'} (32 \operatorname{tg} 32^\circ 55' - 8.275) - 74.11 \frac{\sin 5^\circ 25'}{\sin 71^\circ 23'}$$

$$= 81.45 \text{ kN}$$

$$E_{2x} = E_2 \cos(\delta_2 - \alpha_2) = 81.45 \cos(17^\circ 30' - 14^\circ 02')$$

$$= 81.30 \text{ kN}$$

$$E_{2y} = E_2 \sin(\delta_2 - \alpha_2) = 81.45$$

$$\sin(17^\circ 30' - 14^\circ 02') = 4.93 \text{ kN}$$



$$h_1 = \frac{H_2(l_0 + d - H_1(\operatorname{tg}\alpha'_1 + \operatorname{tg}\theta_i))}{(H_2 + H_1)\operatorname{tg}\theta - H_2\operatorname{tg}\alpha_2 - H_1\operatorname{tg}\theta_i}$$

$$= \frac{4.8(5.5 + 0 - 3.2(0.611 + 0.521))}{(4.8 + 3.2) \times 0.647 - 4.8 \times 0.25 - 3.2 \times 0.521} = 3.90\text{m}$$

$$Z_{2x} = \frac{H_2^3 + 3H_1H_2^2 + 3h_0h_1(2H_1 - h_1)}{3(H_2(H_2 + 2H_1) + 2h_0h_1)}$$

$$= \frac{(4.8)^3 + 3 \times 3.2 \times (4.8)^2 + 3 \times 0.593 \times 3.90(2 \times 4.8 - 3.90)}{3(4.8(4.8 + 2 \times 3.2) + 2 \times 0.593 \times 3.90)} = 2.12\text{m}$$

### (五) 墙身截面计算(图 6-54)

通过试算后,取墙顶宽度  $b_1 = 0.5\text{m}$ ,则上墙底宽  $b_2 = 1.72\text{m}$ ,下墙底宽  $B = 1.66\text{m}$ 。

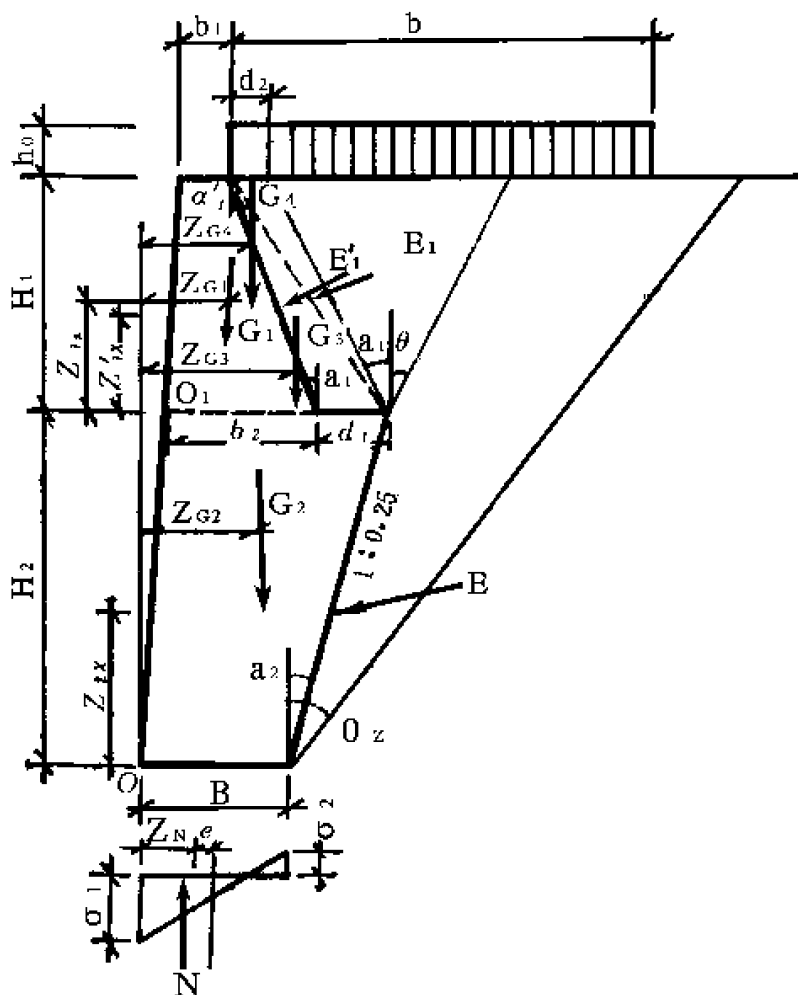


图 6-54 墙身截面计算

#### 1. 计算墙身重力及力臂

##### 1) 上墙墙身重力 $G_1$

$$G_1 = \frac{1}{2} \gamma_k H_1 (b_1 + b_2) = \frac{1}{2} \times 22 \times 3.2 (0.5 + 1.72) = 78.14\text{kN}$$

对墙趾的力臂

$$Z_{G1} = nH_2 + \frac{b_1^2 + b_1b_2 + b_2^2 + (2b_1 + b_2)nH_1}{3(b_1 + b_2)}$$

$$= 0.05 \times 4.8 + \frac{(0.5)^2 + 0.5 \times 1.72 + (1.72)^2 + (2 \times 0.5 + 1.72) \times 0.05 \times 3.2}{3(0.5 + 1.72)}$$

$$= 0.92\text{m}$$

2) 下墙墙身重力  $G_2$

$$G_2 = \frac{1}{2}\gamma_k H_2 (b_2 + d_1 + B) = \frac{1}{2} \times 22 \times 4.8 (1.72 + 0.9 + 1.66) = 225.98\text{kN}$$

对墙趾的力臂

$$Z_{G2} = \frac{\{B_2 + B(b_2 + d_1) + (b_2 + d_1)^2\} + \{2(b_2 + d_1) + B\}nH_2}{3\{B + (b_2 + d_1)\}}$$

$$\frac{\{(1.66)^2 + 1.66(1.72 + 0.90) + (1.72 + 0.90)^2\} + \{2(1.72 + 0.90) + 1.66\} \times 0.05 \times 4.8}{3\{1.66 + (1.72 + 0.90)\}} = 1.22\text{m}$$

3) 第二破裂面与墙背之间的土楔重  $G_3$

$$G_3 = \frac{1}{2}\gamma H_1 (d_1 + d_2) = \frac{1}{2} \times 18 \times 3.2 (0.90 + 0.29) = 34.27\text{kN}$$

其中

$$d_2 = H_1 (tg\alpha'_1 - tg\alpha_1) = 3.2 (0.611 - 0.521) = 0.29\text{m}$$

对墙趾的力臂

$$2G_{G3} = n(H_1 + H_2) + b_1 + H_1 tg\alpha_1 + \frac{d_2^2 + d_2d_1 + d_1^2 - (2d_2 + d_1)H_1 tg\alpha_1}{3(d_2 + d_1)}$$

$$= 0.05(3.2 + 4.8) + 0.50 + 3.2 \times 0.33$$

$$+ \frac{(0.29)^2 + 0.29 \times 0.90 + (0.90)^2 - (2 \times 0.29 + 0.90) \times 3.2 \times 0.33}{3(0.29 + 0.90)}$$

$$= 1.84\text{m}$$

4) 土楔上荷载重  $G_4$

$$G_4 = \gamma h_0 d_2 = 18 \times 0.592 \times 0.29 = 3.09\text{kN}$$

对墙趾的力臂

$$Z_{G4} = n(H_1 + H_2) + b_1 + \frac{1}{2}d_1 = 0.05(3.2 + 4.8) + 0.5 + \frac{1}{2} \times 0.29 = 1.05\text{m}$$

2. 抗滑稳定性检算

$$K_C = \frac{(G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + E_{1y} + E_{2y})f}{E_{1x} + E_{2x}}$$

$$= \frac{(78.14 + 225.98 + 34.27 + 3.09 + 65.74 + 4.93) \times 0.6}{34.22 + 81.30}$$

$$= \frac{419.77 \times 0.6}{115.52} = 2.14 > (K_C)$$

3. 抗倾覆稳定性检算

$$Z_{1y} = nH_2 + b_2 + d_1 - Z_{1x} tg\alpha_i = 0.05 \times 4.8 + 1.72 + 0.90 - 1.21 \times 0.521 = 2.23\text{m}$$

$$\begin{aligned}
Z_{2y} &= B + Z_{2x} \operatorname{tg} d_2 = 1.66 + 2.12 \times 0.25 = 2.19\text{m} \\
K_0 &= \frac{G_1 Z_{G1} + G_2 Z_{G2} + G_3 Z_{G3} + G_4 Z_{G4} + E_{1y} Z_{1y} + E_{2y} Z_{2y}}{E_{1x} (Z_{1x} + H_2) + E_{2x} Z_{2x}} \\
&= \frac{78.14 \times 0.92 + 225.98 \times 1.22 + 34.27 \times 1.84}{34.22(1.21 + 4.8) + 81.30 \times 2.12} \\
&\quad + \frac{3.09 \times 1.05 + 65.74 \times 2.23 + 4.93 \times 2.19}{34.22(1.21 + 4.8) + 81.30 \times 2.12} \\
&= \frac{571.28}{378.02} = 1.51 > (K_0)
\end{aligned}$$

#### 4. 基底应力计算

$$\begin{aligned}
e &= \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_y - \Sigma M_x}{\Sigma (G + E_y)} = \frac{1.66}{2} - \frac{571.28 - 378.02}{419.77} \\
&= 0.83 - 0.46 = 0.37\text{m} > 0.75 \times \frac{1}{6} B (= 0.21\text{m}) \\
\sigma_{\max} &= \frac{2 \Sigma (G + E_y)}{3 Z_N} = \frac{2 \times 419.77}{3 \times 0.46} = 608.36\text{kPa} < (\sigma_0)
\end{aligned}$$

#### 5. 截面应力检算

已知作用于上墙墙后土体第二破裂面上的主动土压力  $E_1$  及其水平分力  $E_{1x}$  ( $= 34.22\text{kN}$ ), 现求上墙实际墙背上的土压力  $E'_1$ 。

$$E'_{1x} = E_{1x} = 34.22\text{kN} \quad E'_{1y} = E'_{1x} \operatorname{tg} \alpha_1 = 34.22 \times 0.33 = 11.29\text{kN}$$

对上墙  $O_1$  的力臂  $Z'_{1x} = \frac{1}{3} H_1 = \frac{1}{3} \times 3.2 = 1.07\text{m}$

##### 1) 选上墙墙底水平截面检算

$$\begin{aligned}
Z'_{1y} &= b_2 - Z'_{1x} \operatorname{tg} \alpha_1 = 1.72 - 1.07 \times 0.33 = 1.37\text{m} \\
e_1 &= \frac{b_2}{2} - Z_N = \frac{b_2}{2} - \frac{G_1 (Z_{G1} - n H_2) + E'_{1y} Z'_{1y} - E'_{1x} Z'_{1x}}{G_1 + E'_{1y}} \\
&= \frac{1.72}{2} = \frac{78.14(0.92 - 0.05 \times 4.8) + 11.29 \times 1.37 - 34.22 \times 1.07}{78.14 + 11.29} \\
&= 0.86 - 0.36 = 0.50\text{m} < 0.3 b_2 (= 0.52\text{m}) \\
&> 0.75 \times \frac{1}{6} b_2 (= 0.21\text{m}) \\
\sigma_{1.2} &= \frac{G + E'_{1y}}{b_2} (1 \pm \frac{6 e_1}{b_2}) = \frac{78.14 + 11.29}{1.72} (1 \pm \frac{6 \times 0.50}{1.72}) \\
&= \begin{aligned} &+ 142.68\text{kPa} < (\sigma_a) (= 800\text{kPa}) \\ &- 38.69\text{kPa} < (\sigma_e) (= 80\text{kPa}) \end{aligned} \\
\tau_1 &= \frac{E'_{1x}}{b_2} = \frac{34.22}{1.72} = 19.90\text{kPa} \\
&< (\tau) (= 160\text{kPa})
\end{aligned}$$

##### 2) 斜截面剪应力检算(图 6-42)

在式(6-72)  $\tau = f(i)$  方程中

$$\tau_X = \frac{E'_{1X}}{b_2} = \frac{34.22}{1.72} = 19.90\text{kPa}$$

$$\tau_g = \frac{G_1 + E'_{1Y}}{b_2} = \frac{78.14 + 11.29}{1.72} = 51.99\text{kPa}$$

$$\tau_v = \frac{1}{2}\gamma_K b_2 = \frac{1}{2} \times 22 \times 1.72 = 18.92\text{kPa}$$

由公式(6-73)得

$$A = \frac{\tau_r - \tau_x - \tau_g \operatorname{tg} \alpha}{\tau_x \operatorname{tg} \alpha - \tau_g} = \frac{18.92 - 19.90 - 51.99 \times 0.05}{19.90 \times 0.05 - 51.99} = 0.0702$$

$$\operatorname{tgi} = -A \pm \sqrt{A_2 + 1} = -0.0702 \pm \sqrt{(0.0702)^2 + 1} = \begin{matrix} 0.932 \\ -1.073 \end{matrix}$$

取  $\operatorname{tgi} = 0.932$ ,  $= 42^\circ 59'$  代入式(6-72), 得

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{P}{e} \cos^2 i (\tau_X (1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tgi}) + \tau_g \operatorname{tgi} (1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tgi}) + \tau_r \operatorname{tg}^2 i) \\ &= (0.732)^2 \{ 19.90 (1 - 0.05 \times 0.932) + 51.99 \\ &\quad \times 0.932 (1 - 0.05 \times 0.932) + 18.92 \times (0.932)^2 \} \\ &= 0.536 (18.97 + 46.20 + 16.43) \\ &= 43.74\text{kPa} < [\tau] (= 160\text{kPa}) \end{aligned}$$

## (六) 验算荷载计算

按上述相同的方法与步骤, 以挂车-100 验算荷载计算。因验算荷载布置在路基全宽, 故下墙土压力按铁路设计手册《挡土墙》中表 27-6 第四类公式计算, 计算结果如下:

$$\begin{aligned} E_1 &= 81.15\text{kN}; & E_2 &= 86.65\text{kN}; \\ K_c &= 2.03 > 1.3 & K_0 &= 1.44 > 1.3; \end{aligned}$$

$$e = 0.41\text{m} < \frac{B}{4} (= 0.42\text{m});$$

$$\sigma_1 = 666.33\text{kPa} < [\sigma] (= 800\text{kPa})$$

上堵墙底截面

$$e_1 = 0.53\text{m} \approx 0.3b_2 (= 0.52\text{m})$$

$$\sigma_1 = +149.91\text{kPa} < 1.25[\sigma_a] (= 1000\text{kPa})$$

$$\sigma_2 = -44.67\text{kPa} < 1.25[\sigma_0] (= 100\text{kPa})$$

$$\text{平剪 } \tau_1 = 21.78\text{kPa} < 1.25[\tau] (= 200\text{kPa})$$

$$\text{斜剪 } \tau_{\max} = 44.94\text{kPa} < 1.25[\tau] (= 200\text{kPa})$$

由以上计算可知, 所选断面尺寸符合各项要求。