

6.2 挡土墙土压力计算

6.2.1 作用在挡土墙上的力系

挡土墙设计关键是确定作用于挡土墙上的力系，其中主要是确定土压力。

作用在挡土墙上的力系，按力的作用性质分为主要力系、附加 J 力和特殊力。

主要力系是经常作用于挡土墙的各种力，如图 6—11 所示，它包括：

1. 挡土墙自重 G 及位于墙上的衡载；
2. 墙后土体的主动土压力 E_a (包括作用在墙后填料破裂棱体上的荷载，简称超载)；
3. 基底的法向反力 N 及摩擦力 T ；
4. 墙前土体的被动土压力 E_p 。

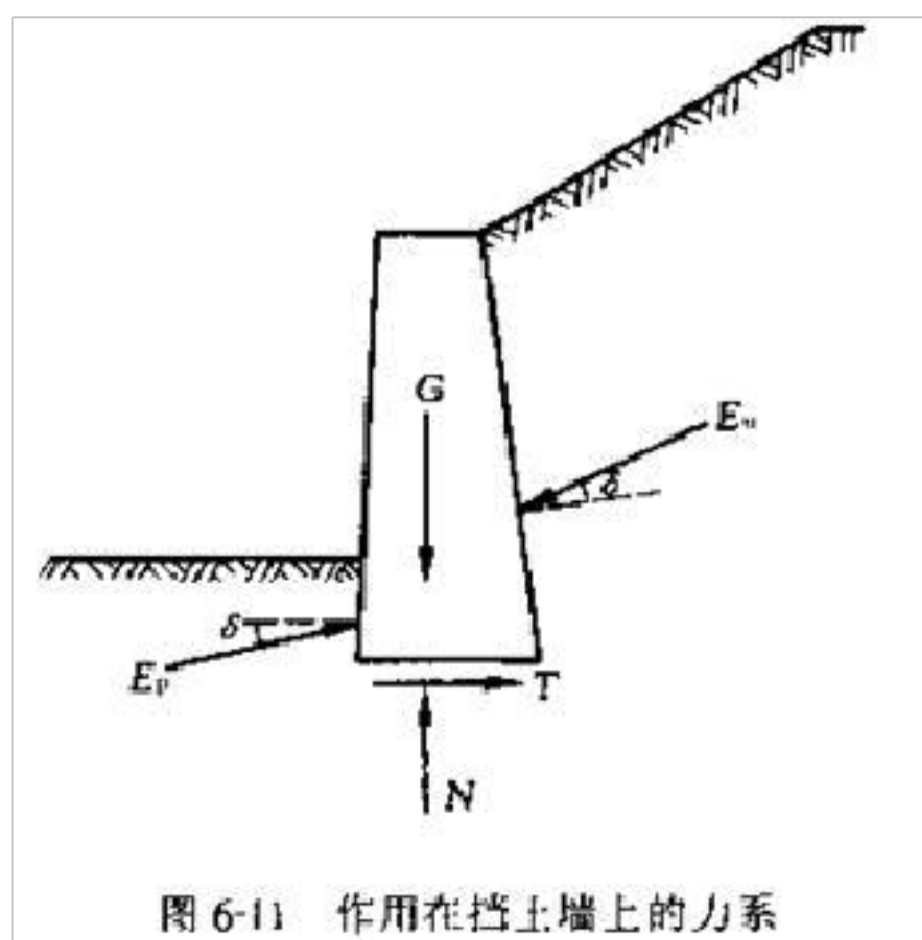


图 6-11 作用在挡土墙上的力系

对浸水挡土墙而言，在主要力系中尚应包括常水位时的静水压力和浮力。

附加力是季节性作用于挡土墙的各种力，例如洪水时的静水压力和浮力、动力压力、波浪冲击力、冻胀压力以及冰压力等。

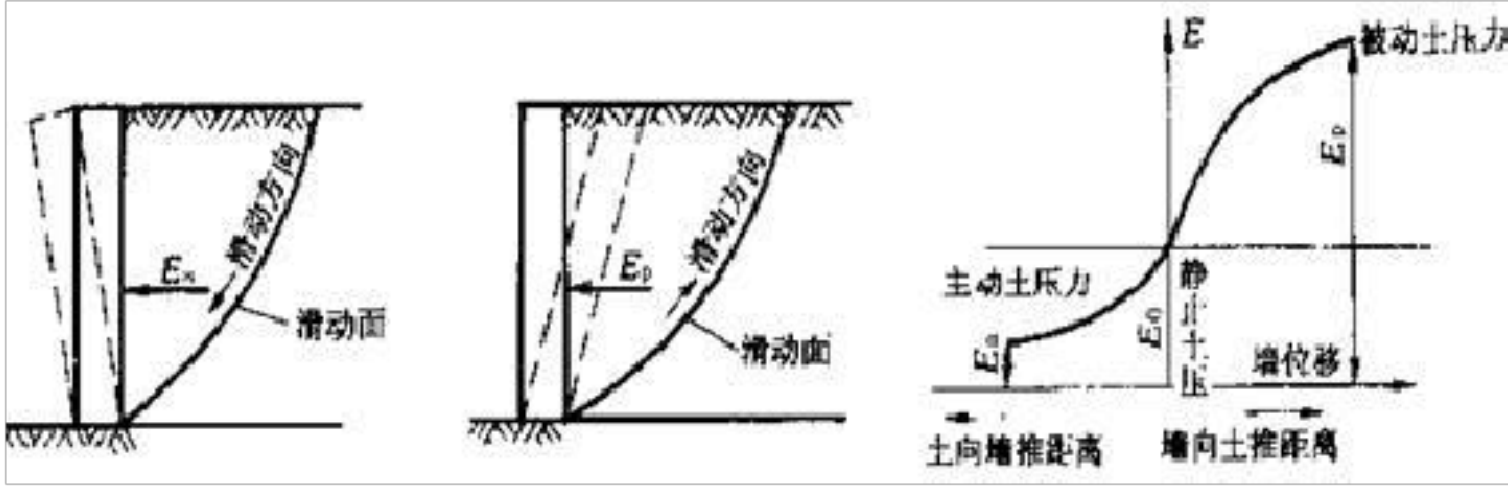
特殊力是偶然出现的力，例如地震力、施工荷载、水流漂浮物的撞击力等。

在一般地区，挡土墙设计仅考虑主要力系。在浸水地区还应考虑附加力，而在地震区应考虑地震对挡土墙的影响。各种力的取舍，应根据挡土墙所处的具体工作条件，按最不利的组合作为设计的依据。

6.2.2 一般条件下库伦(coulomb) 主动土压力计算

土压力是挡土墙的主要设计荷载。挡土墙的位移情况不同，可以形成不同性质的土压力(图 6—12)。当挡土墙向外移动时(位移或倾覆)，土压力随之减少，直到墙后土体沿破裂面下滑而处于极限平衡状态，作用于墙背的土压力称主动土压力；当墙向土体挤压移动，土压力随之增大，土体被推移向上滑动处于极限平衡状态，此时土体对墙的抗力称为被动土压力；墙处于原来位置不动，土压力介于两者之间，称为静止土压力。

采用哪种性质的土压力作为挡土墙设计荷载，要根据挡土墙的具体条件而定。



路基挡土墙一般都可能有向外的位移或倾覆，因此在设计中按墙背土体达到主动极限平衡状态，且设计时取一定的安全系数，以保证墙背土体的稳定。对于墙趾前土体的被动土压力 E_p ，在挡土墙基础一般埋深的情况下，考虑到各种自然力和人畜活动的作用，一般均不计，以偏于安全。

主动土压力计算的理论和方法，在土力学中已有专门论述，这里仅结合路基挡土墙的设计，介绍库伦土压力计算方法的具体应用。

(一)各种边界条件下主动土压力计算

路基挡土墙因路基形式和荷载分布的不同，土压力有多种计算图式。以路堤挡土墙为例，按破裂面交于路基面的位置不同，可分为 5 种图示：破裂面交于内边坡，破裂面交于荷载的内侧、中部和外侧，以及破裂面交于外边坡。兹分述如下：

1. 破裂面交于内边坡(图 6—13)

这一图式适用于路堤式或路堑式挡土墙。图中 AB为挡土墙墙背，BC为破裂面，BC与铅垂线的夹角 θ 为破裂角，ABC为破裂棱

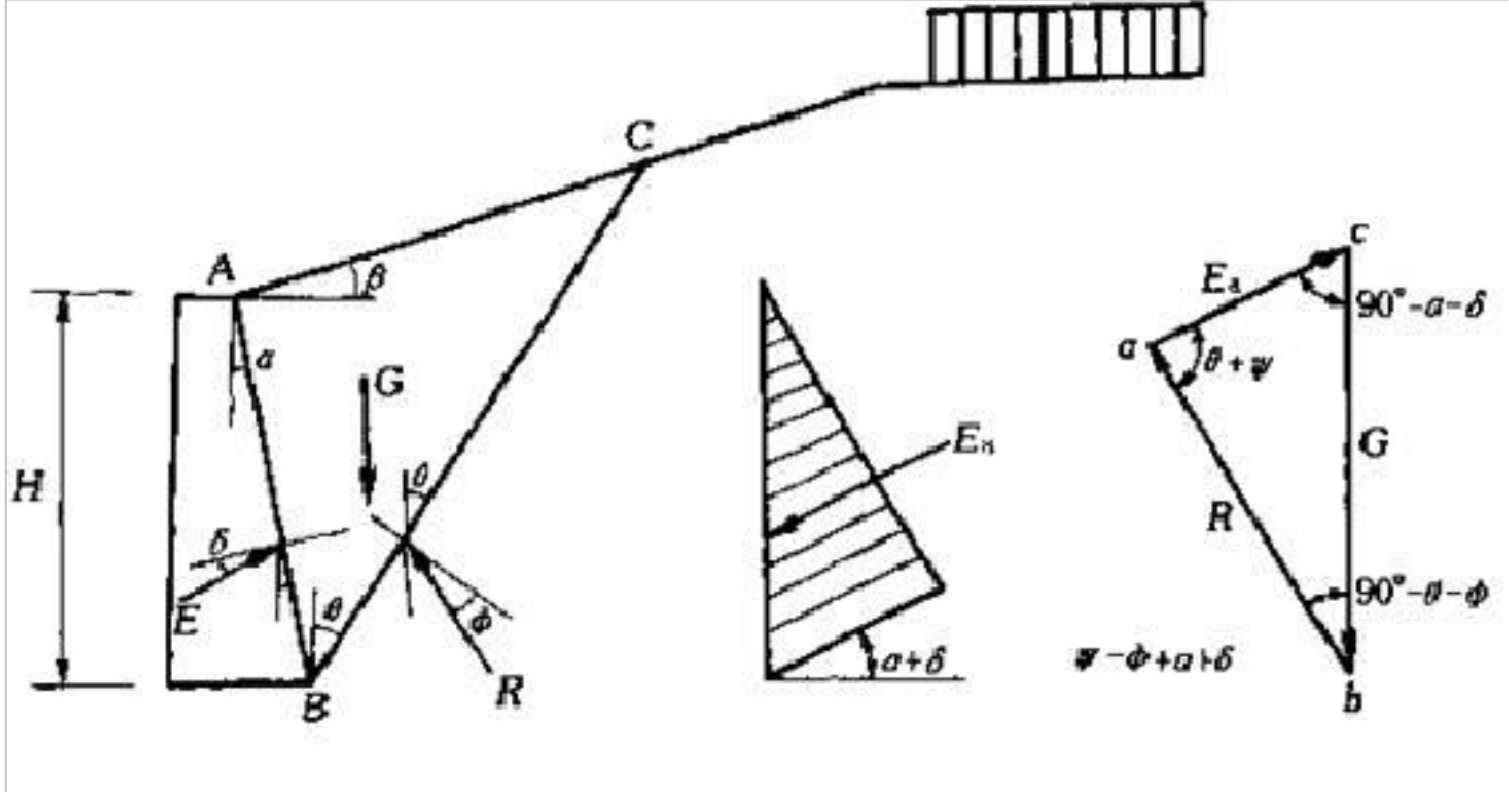


图 6-13 破裂面交于内边坡

体。棱体上作用着三个力，即破裂棱体自重 G 、主动土压力的反力 E_a 和破裂面上的反力 R 。 E_a 的方向与墙背法线成 δ 角，且偏于阻止棱体下滑的方向； R 的方向与破裂面法线成 ϕ 角，且偏于阻止棱体下滑的方向。取挡土墙长度为 1m 计算，作用于棱体上的平衡力三角形 abc 可得：

$$E_a = \frac{\sin(90^\circ - \theta - \phi)}{\sin(\theta + \Psi)} G = \frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \Psi)} G \quad (6-1)$$

式中: $\Psi = \phi + \alpha + \delta$

因

$$G = \gamma AB \cdot BC \sin(\alpha + \theta) / 2$$

而

$$AB = H \sec \alpha$$

$$BC = \frac{\sin(90^\circ - \alpha + \beta)}{\sin(90^\circ - \theta - \beta)} AB = H \sec \alpha \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos(\theta + \beta)}$$

$$G = \frac{1}{2} \gamma H^2 \sec^2 \alpha \frac{\cos(\alpha - \beta) \sin(\theta + \alpha)}{\cos(\theta + \beta)} \quad (6-2)$$

将式(6-2)代入式(6-1),得

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \sec^2 \alpha \frac{\cos(\alpha - \beta) \sin(\theta + \alpha)}{\cos(\theta + \beta)} \cdot \frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \Psi)} \quad (6-3)$$

$$\text{令 } A = \frac{1}{2} H^2 \sec^2 \alpha \cos(\alpha - \beta)$$

$$\text{则 } E_a = \gamma A \frac{\sin(\theta + \alpha) \cos(\theta + \phi)}{\cos(\theta + \beta) \sin(\theta + \Psi)} \quad (6-4)$$

当参数 r 、 ϕ 、 δ 、 α 、 β 固定时, E_a 随破裂面的位置而变化, 即 E_a 是破裂角 θ 的函数。为求最大土压力 E_a , 首先要求对应于最大土压力时的破裂角 θ 。取 $dE_a / d\theta = 0$, 得

$$\gamma A \left[\frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \Psi)} \cdot \frac{\cos(\theta + \beta) \cos(\theta + \alpha) + \sin(\theta + \beta) \sin(\theta + \alpha)}{\cos^2(\theta + \beta)} - \frac{\sin(\theta + \alpha)}{\cos(\theta + \beta)} \cdot \frac{\sin(\theta + \Psi) \sin(\theta + \phi) + \cos(\theta + \Psi) \cos(\theta + \phi)}{\sin^2(\theta + \Psi)} \right] = 0$$

整理化简后得

$$P \lg^2 \theta + Q \lg \theta + R = 0$$

$$\lg \theta = \frac{-Q \pm \sqrt{Q^2 - 4PR}}{2P} \quad (6-5)$$

$$P = \cos \alpha \sin \beta \cos(\Psi - \phi) - \sin \phi \cos \Psi \cos(\alpha - \beta)$$

$$Q = \cos(\alpha - \beta) \cos(\Psi + \phi) - \cos(\Psi - \phi) \cos(\alpha + \delta)$$

$$R = \cos \phi \sin \Psi \cos(\alpha - \beta) - \sin \alpha \cos(\Psi - \phi) \cos \beta$$

将式(6-5)求得的 θ 值代入式(6-4), 即可求得最大主动土压力 E_a 值。最大主动土压力 E_a 也可用式(6-6)表示。

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

$$= \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (6-6)$$

式中：r——墙后填土的容重，kN/ m3
 ϕ ——填土的内摩擦角，°；
 δ ——墙背与填土间的摩擦角，°；
 β ——墙后填土表面的倾斜角，°；
 α ——墙背倾斜角，°，俯斜墙背 α 为正，仰斜墙背 α 为负；
H——挡土墙高度，m
Ka——主动土压力系数。

土压力的水平和垂直分力为：

$$E_x = E_a \cos(\alpha + \delta)$$

$$E_y = E_a \sin(\alpha + \delta) \quad (6-7)$$

2. 破裂角交于路基面(图 6-14)
1) 破裂面交于荷载中部(图 6-14b)
破裂棱体的断面面积 S 为

$$S = \frac{1}{2} (a + H)^2 (\lg \theta + \lg \alpha) - \frac{1}{2} (b + a \lg \alpha) a$$

$$+ [(a + H) \lg \theta + H \lg \alpha - b - a] h_0$$

$$= \frac{1}{2} (a + H + 2h_0) (a + H) \lg \theta - \frac{1}{2} ab - (b + d) h_0 + \frac{1}{2} H (H + 2a + 2h_0) \lg \alpha$$

令

$$A_0 = \frac{1}{2} (a + H + 2h_0) (a + H) \quad (6-8)$$

$$B_0 = \frac{1}{2} ab + (b + d) h_0 - \frac{1}{2} H (H + 2a + 2h_0) \lg \alpha$$

则 $S = A_0 \lg \theta - B_0$

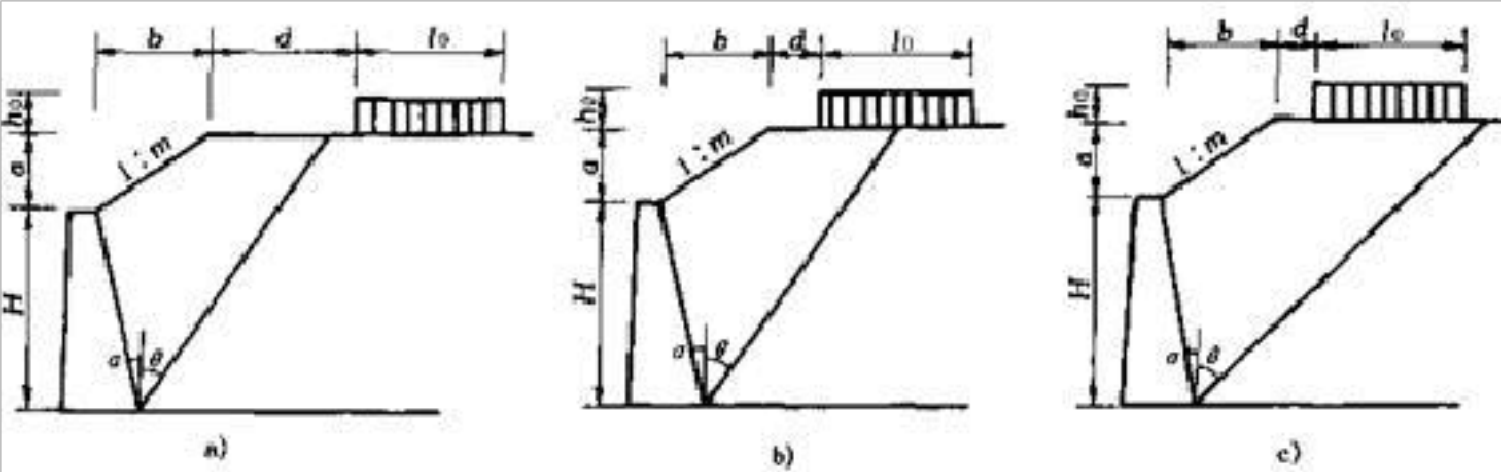


图 6-14 破裂面交于路基面
a) 交于荷载内侧; b) 交于荷载中部; c) 交于荷载外侧

因此,破裂棱体的重量为

$$G = \gamma (A_0 \operatorname{tg} \theta - B_0)$$

将 G 代入式(6-1)得

$$E_s = \gamma (A_0 \operatorname{tg} \theta - B_0) \frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \phi)} \tag{6-9}$$

令 $dE_s / d\theta = 0$

即

$$\gamma \left[(A_0 \operatorname{tg} \theta - B_0) \cdot \frac{\sin(\theta + \Psi) \sin(\theta + \phi) - \cos(\theta + \Psi) \cos(\theta + \phi)}{\sin^2(\theta + \Psi)} + \frac{A_0 \cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \Psi) \cos^2 \theta} \right] = 0$$

经整理化简,得

$$\operatorname{tg}^2 \theta + 2 \operatorname{tg} \Psi \operatorname{tg} \theta - \operatorname{ctg} \phi \operatorname{tg} \Psi - \frac{B_0}{A_0} (\operatorname{ctg} \phi + \operatorname{tg} \Psi) = 0$$

故

$$\operatorname{tg} \theta = -\operatorname{tg} \Psi \pm \sqrt{(\operatorname{ctg} \phi + \operatorname{tg} \Psi) \left(\frac{B_0}{A_0} + \operatorname{tg} \Psi \right)} = 0 \tag{6-10}$$

将求得的 θ 值代入式(6—9), 即可求得主动土压力 E_a .

必须指出, 式(6—9)和式(6—10)具有普遍意义。因为无论破裂面交于荷载中部、荷载的内侧或外侧, 破裂棱体的断面面积 S 都可以归纳为一个表达式, 即

$$S = A_0 \operatorname{tg} \theta - B_0$$

式中 A_0 和 B_0 为边界条件系数. 将不同边界条件下的 A_0 、 B_0 值代入式中,即可求得与之相应的破裂角和最大主动土压力。

2) 破裂面交于荷载外侧(图 6—14c)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{2}(a+H)^2(\operatorname{tg}\theta + \operatorname{tg}\alpha) - \frac{1}{2}(b+a\operatorname{tg}\alpha)a + l_0h_0 \\
 &= \frac{1}{2}(a+H)^2\operatorname{tg}\theta + \frac{1}{2}H(H+2a)\operatorname{tg}\alpha - \frac{1}{2}ab + l_0h_0
 \end{aligned}$$

则 $S = A_0\operatorname{tg}\theta - B_0$

$$A_0 = \frac{1}{2}(a+H)^2 \quad (6-11)$$

$$B_0 = \frac{1}{2}ab - l_0h_0 - \frac{1}{2}H(H+2a)\operatorname{tg}\alpha$$

3) 破裂面交于荷载内侧(图 6—14a)

在式(6—8)或式(6—11)中, 令 $h_0=0$ 则

$$\begin{aligned}
 S &= A_0\operatorname{tg}\theta - B_0 \\
 \text{式中: } A_0 &= \frac{1}{2}(a+H)^2 \\
 B_0 &= \frac{1}{2}ab - \frac{1}{2}H(H+2a)\operatorname{tg}\alpha
 \end{aligned} \quad (6-12)$$

3. 破裂面交于外边坡(图 6—15)

图中 $AB = b + L + (H+a)\operatorname{ctg}\beta_1 - H\operatorname{tg}\alpha$

$$BC = AB \frac{\sin(90^\circ - \theta)}{\sin(90^\circ + \theta - \beta_1)} = AB \frac{\cos\theta}{\cos(\theta - \beta_1)}$$

$$CD = BC\sin\beta_1 = AB \frac{\cos\theta\sin\beta_1}{\cos(\theta - \beta_1)}$$

三角形 ABC 的面积为

$$S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2}AB \cdot CD = \frac{1}{2}[b + L + (H+a)\operatorname{ctg}\beta_1 - H\operatorname{tg}\alpha]^2 \frac{\cos\theta\sin\beta_1}{\cos(\theta - \beta_1)}$$

令 $dE_u/d\theta = 0$

$$\gamma \left[\left(A_0 \frac{\cos\theta}{\cos(\theta - \beta_1)} + B_0 \right) - \frac{\sin(\theta + \Psi)\sin(\theta + \phi) - \cos(\theta + \Psi)\cos(\theta + \phi)}{\sin^2(\theta + \Psi)} \right]$$

即

$$+ A_0 \frac{\cos(\theta + \phi)}{\sin(\theta + \Psi)} \cdot \frac{-\cos(\theta - \beta_1)\sin\theta + \sin(\theta - \beta_1)\cos\theta}{\cos^2(\theta - \beta_1)} = 0$$

经整理化简,得

$$P \tan^2 \theta + Q \tan \theta + R = 0$$

$$\tan \theta = \frac{-Q \pm \sqrt{Q^2 - 4PR}}{2P} \quad (6-14)$$

式中:

$$P = -A_0 \sin \beta_1 \sin \phi \cos \Psi + B_0 \cos(\Psi - \phi) \sin^2 \beta_1$$

$$Q = 2A_0 \sin \beta_1 \cos \phi \cos \Psi + B_0 \cos(\Psi - \phi) \sin^2 \beta_1$$

$$R = \cos \beta_1 \cos(\Psi - \phi)(A_0 + B_0 \cos \beta_1) + A_0 \sin^2 \beta_1 \cos \phi \sin \Psi$$

6.2.3 大俯角墙背的主动土压力——第二破裂面法

在挡土墙设计中,往往会遇到墙背俯斜很缓,即墙背倾角 α 很大的情况,如折线形挡土墙的土墙墙背,衡重式挡土墙上墙的假象墙背(图6—16)。当墙后土体达到主动极限平衡状态时,破裂棱体并不沿墙背或假想墙背 CA 滑动,而是沿着土体的另一破裂面 CD 滑动,CD 称为第二破裂面。而远离墙的破裂面 CF 称为第一破裂面, α_i 和 θ_i 为相应的破裂角。这时,挡土墙承受着第二破裂面上的土压力 E_a , E_a 是 α_i 和 θ_i 的函数。因 E_x 是 E_a 的水平分力,故可以列出以下函数关系:

$$E_x = f(\alpha_i, \theta_i) \quad (6-15)$$

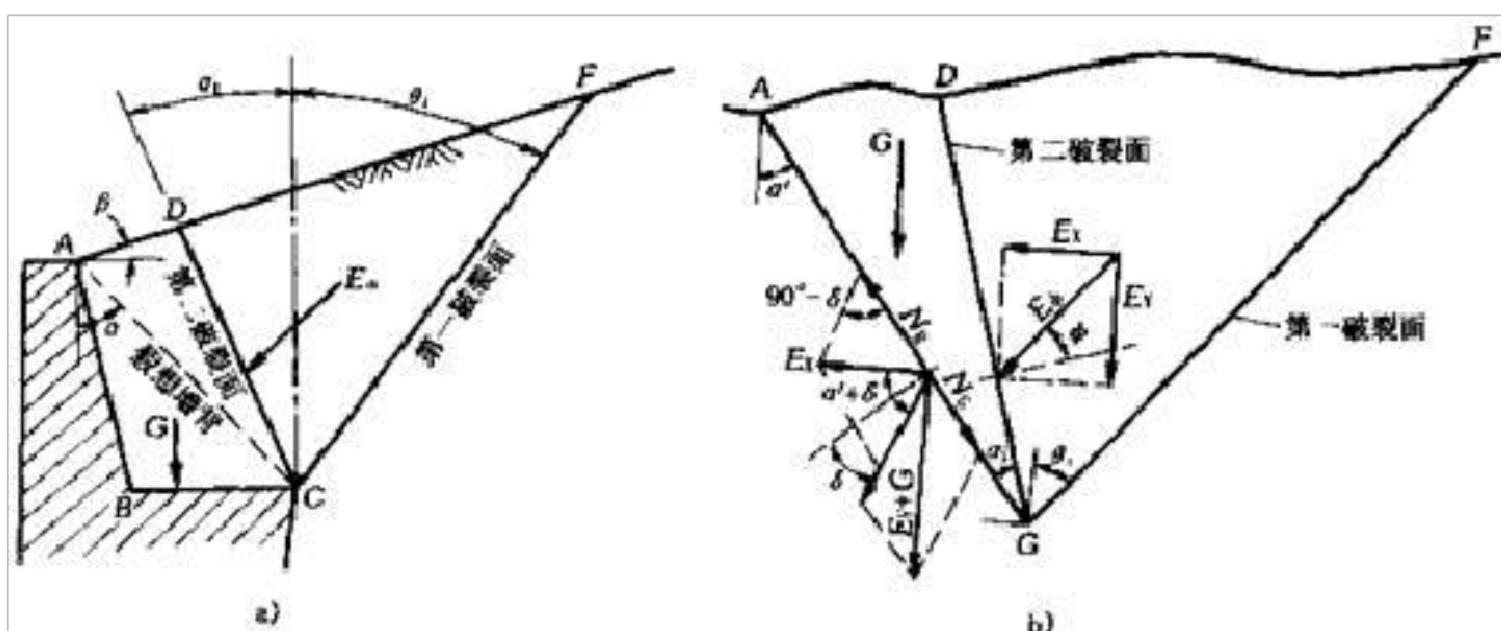


图 6-16 出现第二破裂面的条件

为了确定最不利的破裂角 α_i 和 θ_i 及相应的主动土压力值,可以

求解下列偏微分方程组：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E_x}{\partial \alpha_i} &= 0 \\ \frac{\partial E_x}{\partial \theta_i} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6-16)$$

并满足下列条件：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 E_x}{\partial \alpha_i^2} &< 0 \\ \frac{\partial^2 E_x}{\partial \theta_i^2} &< 0 \\ \frac{\partial^2 E_x}{\partial \alpha_i^2} \cdot \frac{\partial^2 E_x}{\partial \theta_i^2} - \left(\frac{\partial^2 E_x}{\partial \alpha_i \partial \theta_i} \right)^2 &> 0 \end{aligned} \right\} \quad (6-17)$$

出现第二破裂面的条件是：

1) 墙背或假想墙背的倾角 α' 必须大于第二破裂面的倾角 α_i ，即墙背或假想墙背不妨碍第二破裂面的出现；

2) 在墙背或假想墙背面上产生的抗滑力必须大于其下滑力，即 $NR > NG$ ，或 $E \operatorname{tg}(\alpha' + \delta) > Ey + G$ 使破裂棱体不会沿墙背或假想墙背下滑；

第二条件的又一表达方式为：作用于墙背或假想墙背上的土压力对墙背法线的倾角 δ' 应小于或等于墙背摩擦角 δ 。

一般俯斜式挡土墙为避免土压力过大，很少采用平缓背坡，故不易出现第二破裂面。衡重式的上墙或悬臂式墙，因系假想墙背， $\delta = \phi$ ，只要满足第一个条件，即出现第二破裂面。设计时应首先判别是否出现第二破裂面，然后再用相应的公式计算土压力。

现以衡重式路堤墙墙后土体第一破裂交于荷载内，第二破裂交于边坡的情况为例(图 6—17)说明公式的推导过程。

1. 根据边界条件，计算破裂棱体(包括棱体上的荷载)的重量 G 自衡重台后缘 A 点作表坡线的垂线 OB 设其长度为 h'' 则

$$\begin{aligned} h'' &= H_1 \sec \alpha \cos(\alpha - \beta) = (m + n) H_1 \sin \beta \\ f &= H_0 \operatorname{tg} \beta - h'' / \sin \beta \\ g &= H_0 - h'' / \cos \beta \\ G &= \frac{1}{2} \gamma h''^2 \left[\operatorname{tg}(\alpha_i - \beta) + \frac{H_0^2}{h''^2} \left(1 + \frac{2h_0}{H_0} \right) \operatorname{tg} \theta_i + \operatorname{tg} \beta - \frac{fg + 2(f + d)h_0}{h''^2} \right] \end{aligned} \quad (6-18)$$

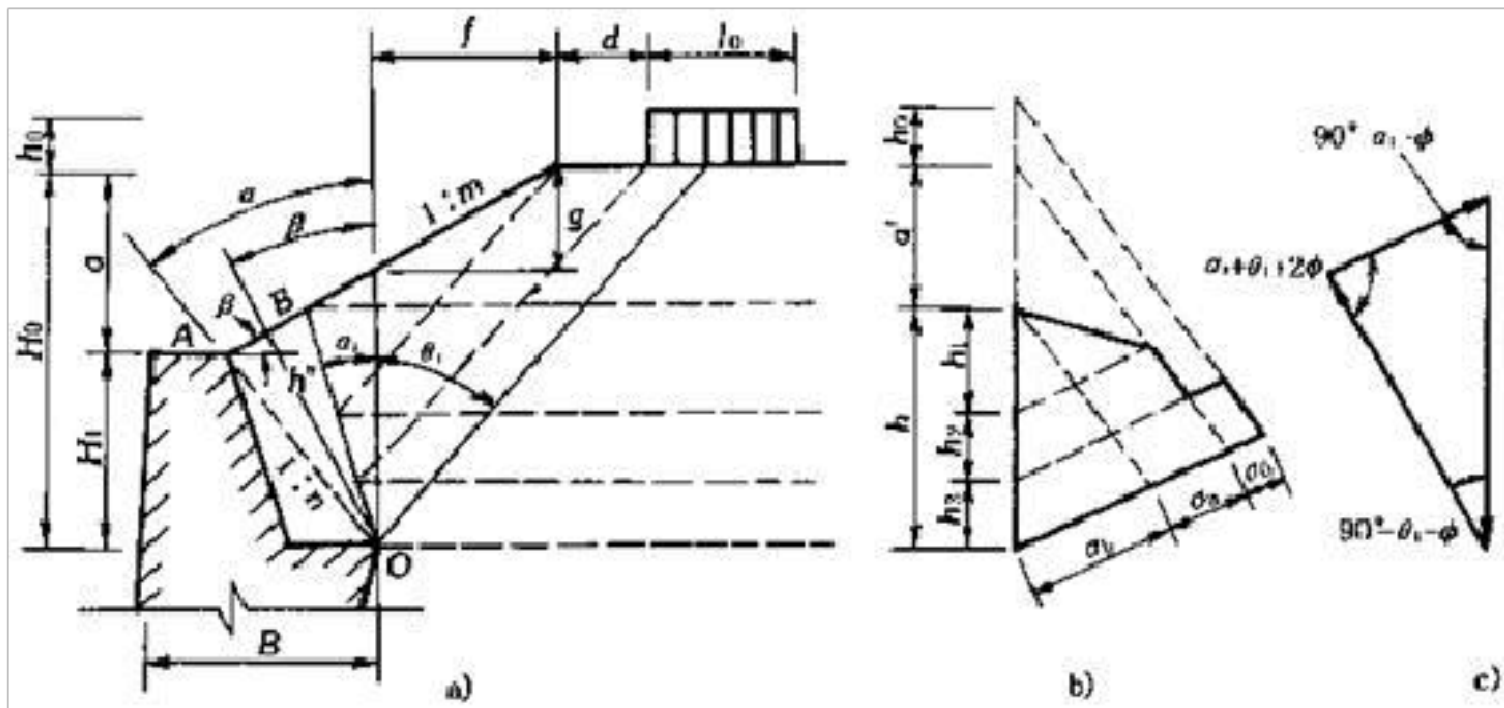


图 6-17 第二破裂面土压力公式推导

将包含变量 α_i 和 β 的两函数表示为

$$x = \operatorname{tg}(\alpha_i - \beta)$$

$$y = \operatorname{tg}\theta_i$$

将各常数项表示为

$$a = \operatorname{tg}(\phi + \beta)$$

$$b = \operatorname{tg}\phi$$

$$A = \frac{1}{2} \gamma h''^2$$

$$c = \frac{H_0^2}{h''^2} \left(1 + \frac{2h_0^2}{H_0} \right)$$

$$s = \operatorname{tg}\beta - \frac{fg + 2(f + d)h_0}{h''^2}$$

则

$$G = A(x + cy + s) \quad (6-19)$$

2. 从力三角形求 E_{ix} 的方程式

$$E_a = G \cdot \frac{\cos(\theta_i + \phi)}{\sin[(\alpha_i + \phi) + (\theta_i + \phi)]}$$

$$E_x = E_a \cos(\alpha_i + \phi) = \frac{G}{\operatorname{tg}(\alpha_i + \phi) + \operatorname{tg}(\theta_i + \phi)} \quad (6-20)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_i + \phi) = \operatorname{tg}[(\alpha_i - \phi) + (\phi + \beta)] = \frac{x + a}{1 - ax}$$

$$\operatorname{tg}(\theta_i + \phi) = \frac{y + b}{1 - by}$$

因

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/496232143022010153>