

第6章 土压力

主讲：刘勇健

广东工业大学土木与交通工程学院



§ 6.5 挡土墙的设计

主讲：刘勇健



第五节 挡土墙的设计

※ 墙型的选择

※
※
※ 计算 { 抗滑移稳定验算
抗倾覆稳定验算
地基承载力验算
墙身的强度验算
抗震稳定性验算

※ 构造要求和措施等

本节主要内容

1. 挡土墙类型及构造要求
2. 几类挡墙的适用条件
3. 挡土墙的荷载及其组合
4. 重力式挡土墙设计

一、挡土墙的类型及构造要求

按抗弯刚度分

刚性挡土墙

柔性挡土墙

按墙体材料分

石砌、砖砌、混凝土

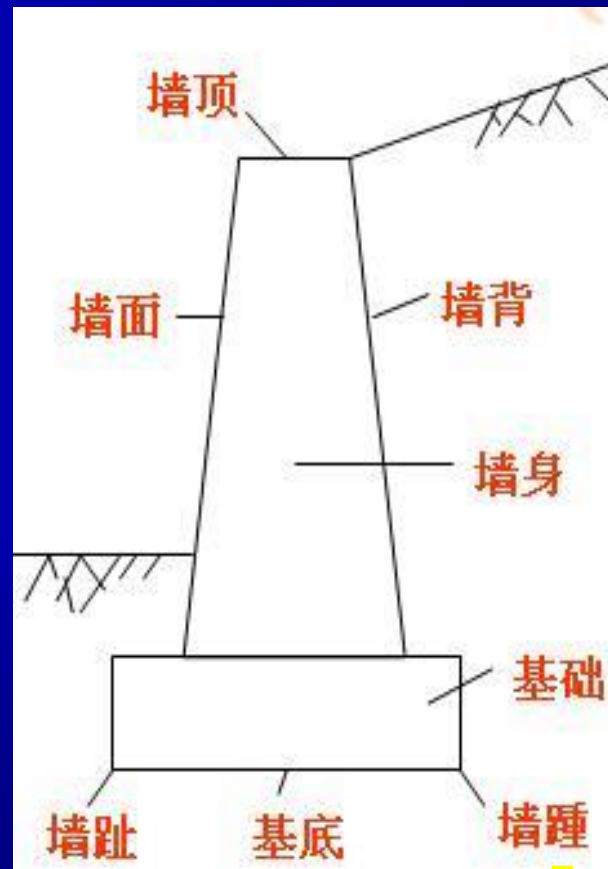
钢筋混凝土等

按结构型式分

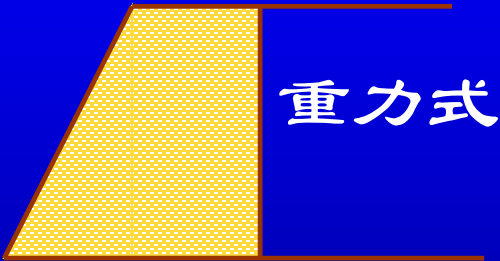
重力式、半重力式、

悬臂式、扶壁式、锚拉式

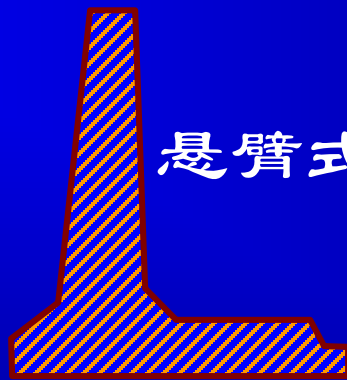
按使用功能分



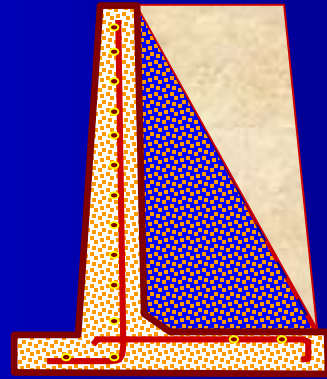
刚性挡土墙



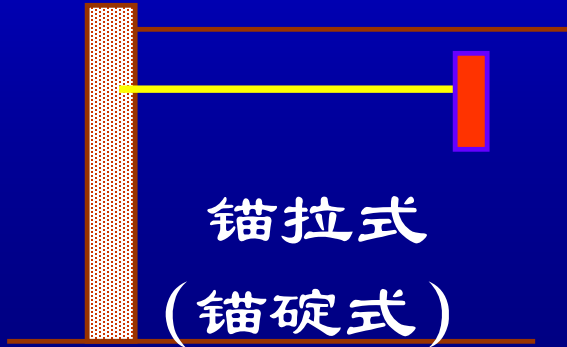
重力式



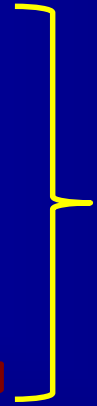
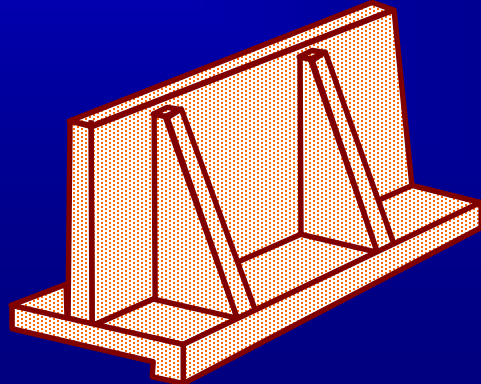
悬臂式



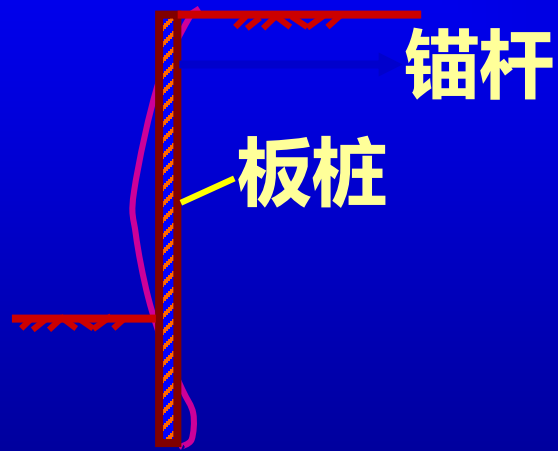
扶壁式



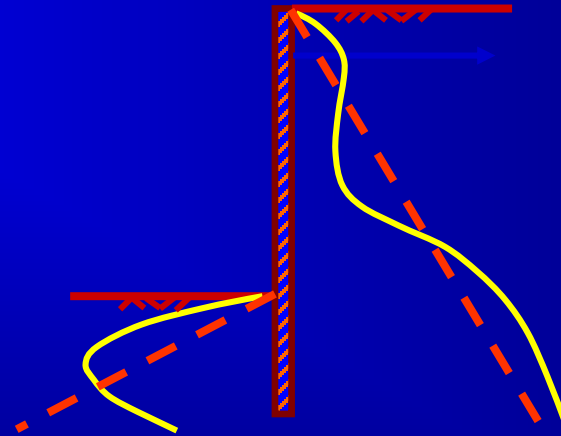
锚拉式
(锚碇式)



柔性挡土墙



板桩变形

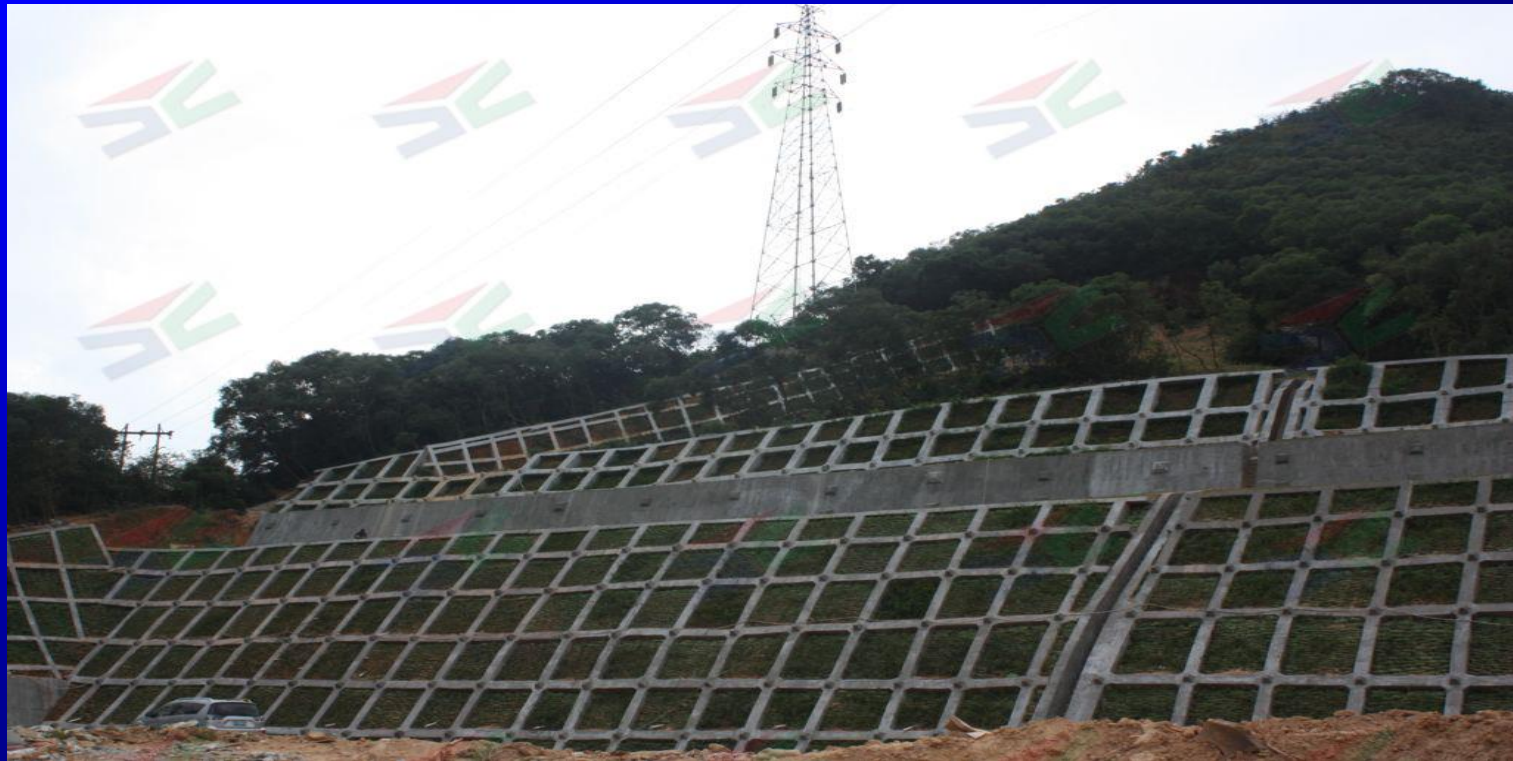


板桩上土压力
—— 实测
- - - 计算













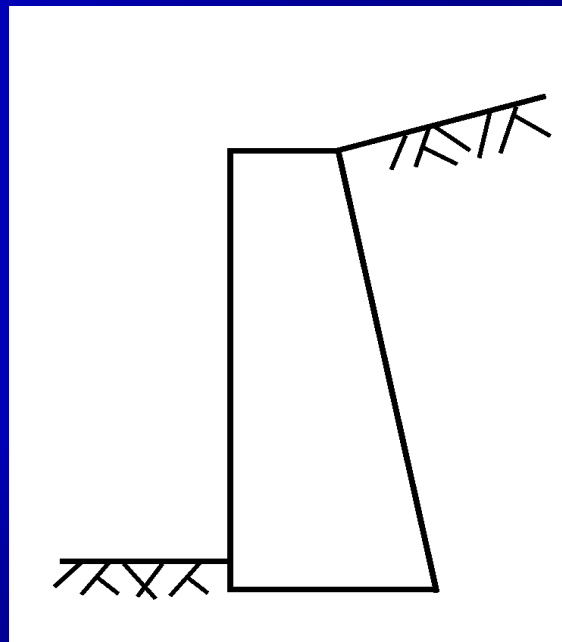


1. 重力式挡土墙

一般由块石或混凝土材料砌筑，墙身截面较大。重力式挡土墙依靠墙身自重抵抗土压力，维持边坡稳定性。其结构简单，施工方便，能就地取材，在建筑工程中应用广泛。

墙高一般小于8m。

当 $H=8\sim 12\text{m}$ 时，宜用衡重式。



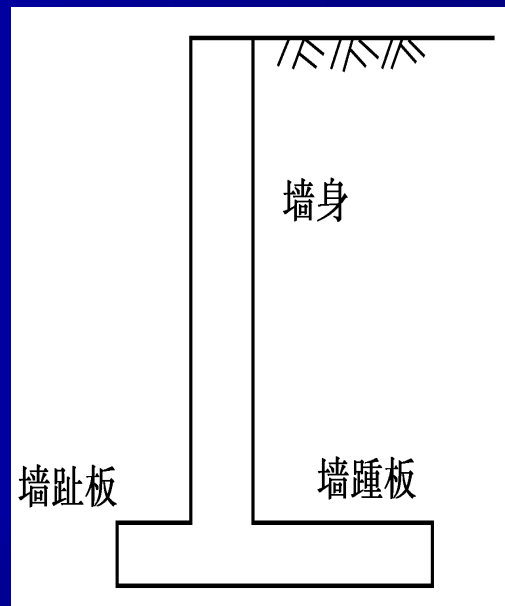
2. 悬臂式挡土墙

(1) 组成：由立壁、墙趾悬臂和墙踵悬臂构成的钢筋混凝土挡墙。

(2) 墙的稳定性的：主要靠墙踵底板上的土重维持稳定性，墙体內的拉应力则由钢筋承担。

(3) 优点：能充分利用钢筋混凝土的受力特性，墙体截面较小。

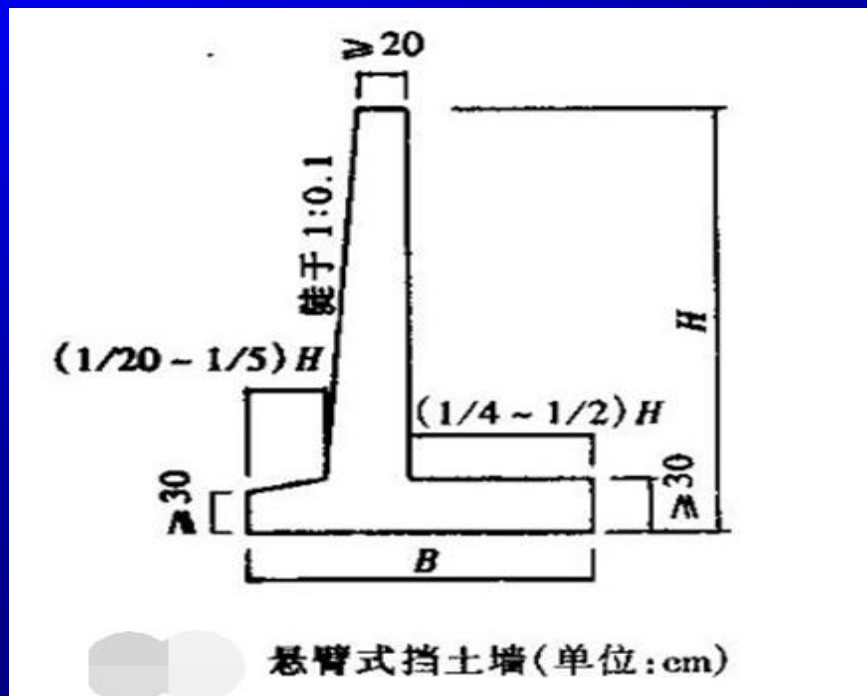
(4) 适用：墙高大于5m，地基土较差工程





2 悬臂式挡土墙

(1) 构造

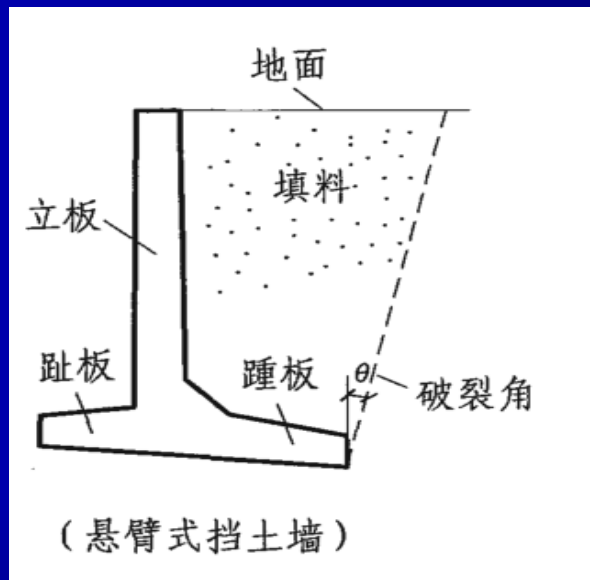


(2) 墙身（立臂）

变截面：上小下大，节约材料

(3) 墙趾与墙踵

上斜下平的变截面，利于排水



(4) 排水措施

圆孔径：100~150mm

孔间距：2~3m

墙后做滤水层

(5) 填土质量

最优采用抗剪强度高、性质稳定、透水性好的无粘性土

不能采用淤泥、耕植土、膨胀土等，填土时应分层夯实。

(6) 沉降缝和伸缩缝

间距：15~20m，缝宽：20mm

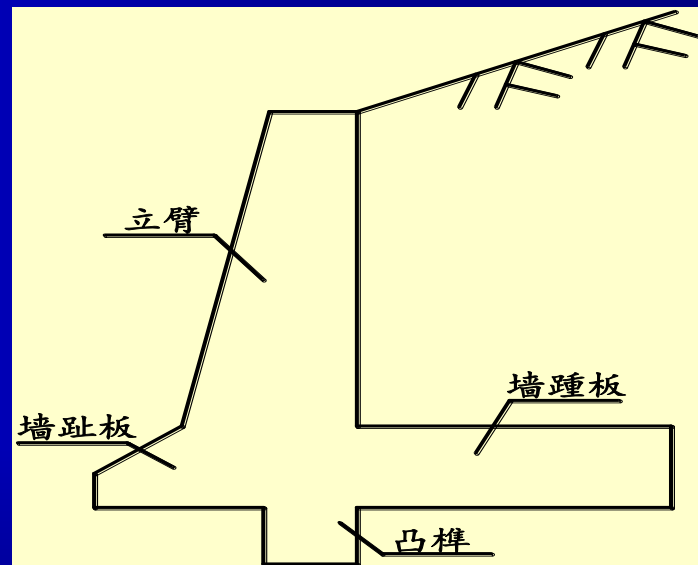
(7) 抗滑移不满足要求时:

可设防滑键, 宽度不小于30cm

(8) 保护层厚度

墙身: 不小于30mm

底板: 不小于50mm; 无垫层时不小于70mm

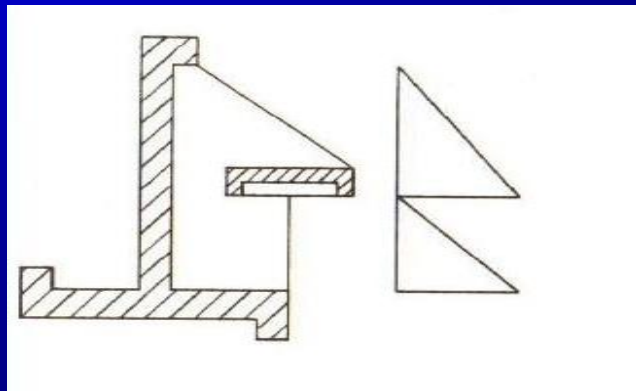


2.3 提高稳定性的措施

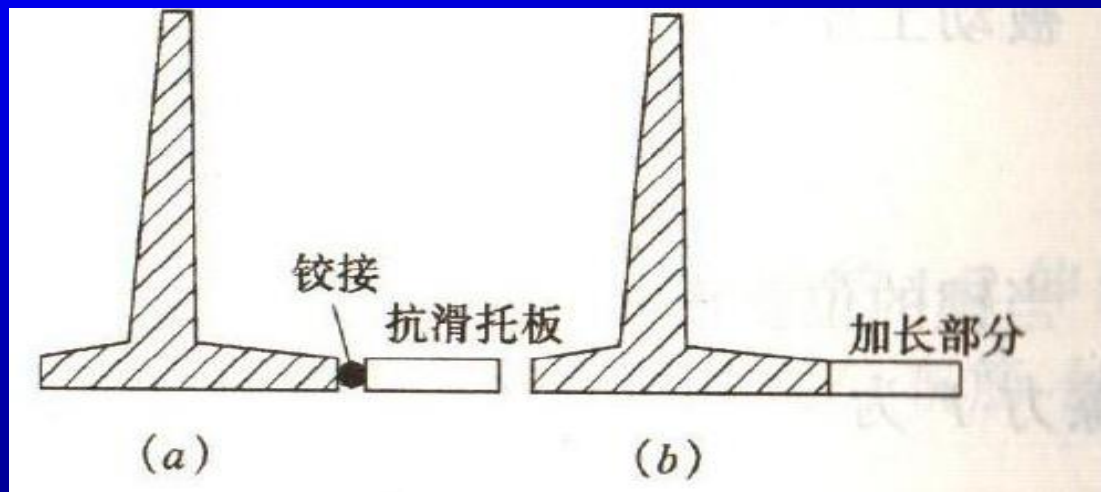
(1) 减小土的侧力

1) 填土换成块石，增加内摩擦角

2) 加设减压平台

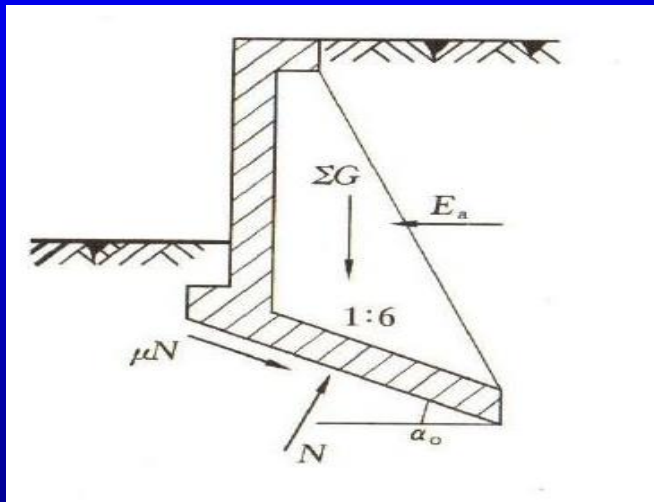


(2) 增加墙踵悬壁长度

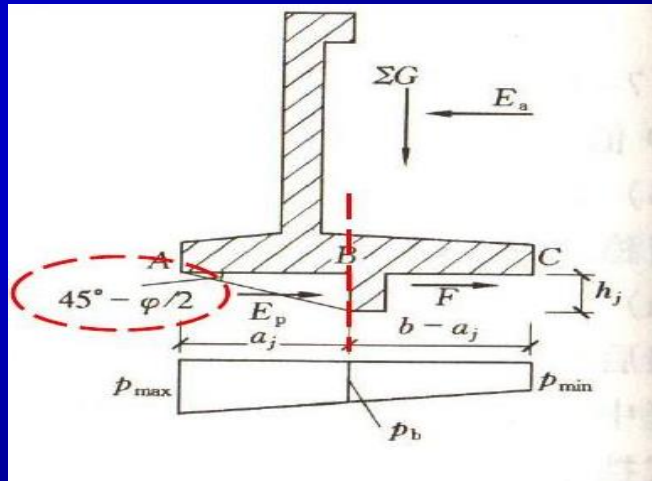


(3) 提高基础抗滑能力

1) 底板做成逆坡



2) 设置防滑键

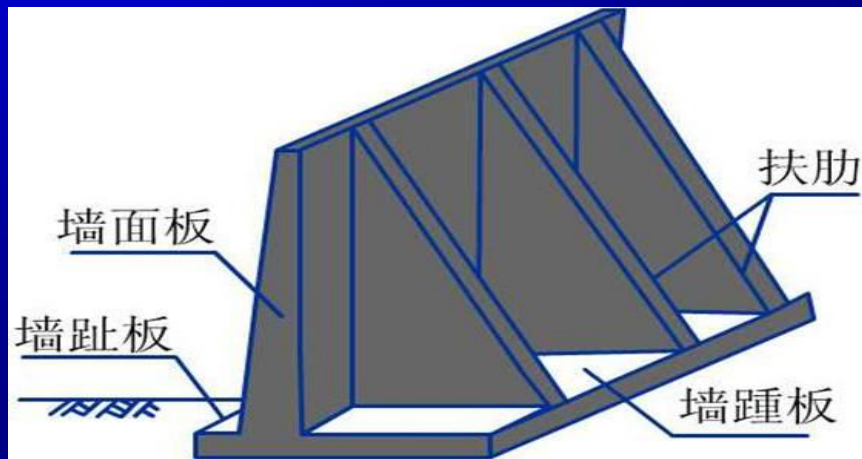


3) 在底板底面夯填碎石垫层, 增加摩擦系数 μ

3. 扶壁式挡土墙

当挡土墙后的填土比较高时，为了增强悬臂式挡土墙中立壁的抗弯性能，沿墙的纵向每隔一定距离设一道扶壁，故称为扶壁式挡土墙。

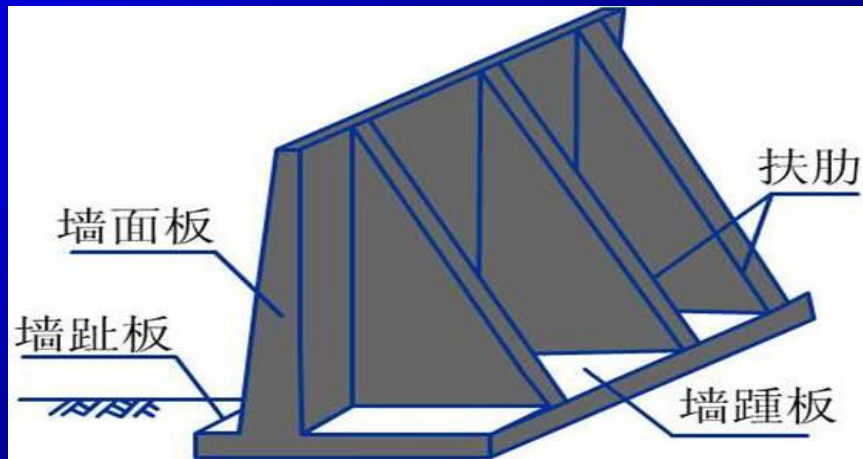
墙高大于8m。



扶壁式挡土墙构造要求

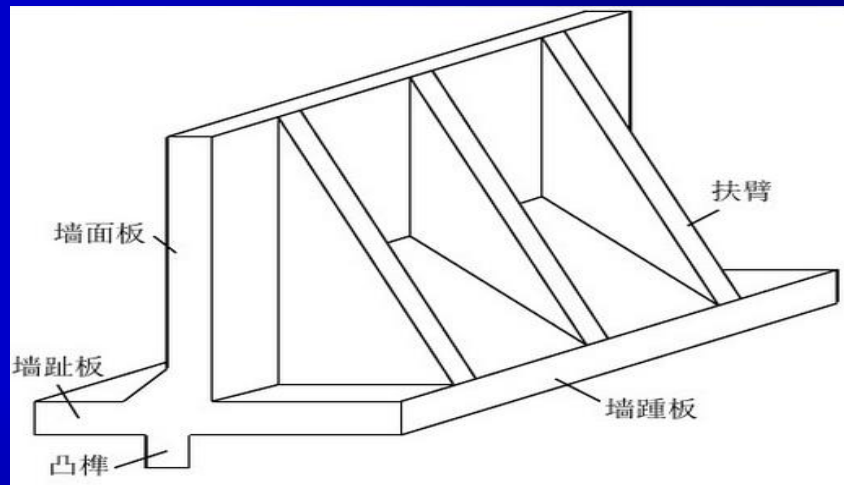
扶壁式挡土墙是由立板、底板和扶壁三部分构成，墙高可大于8m

(1) 扶壁间距
 $(1/2 \sim 1/3) H$



(2) 底板宽与墙高

$$b/H_1=1/2 \sim 1/3$$



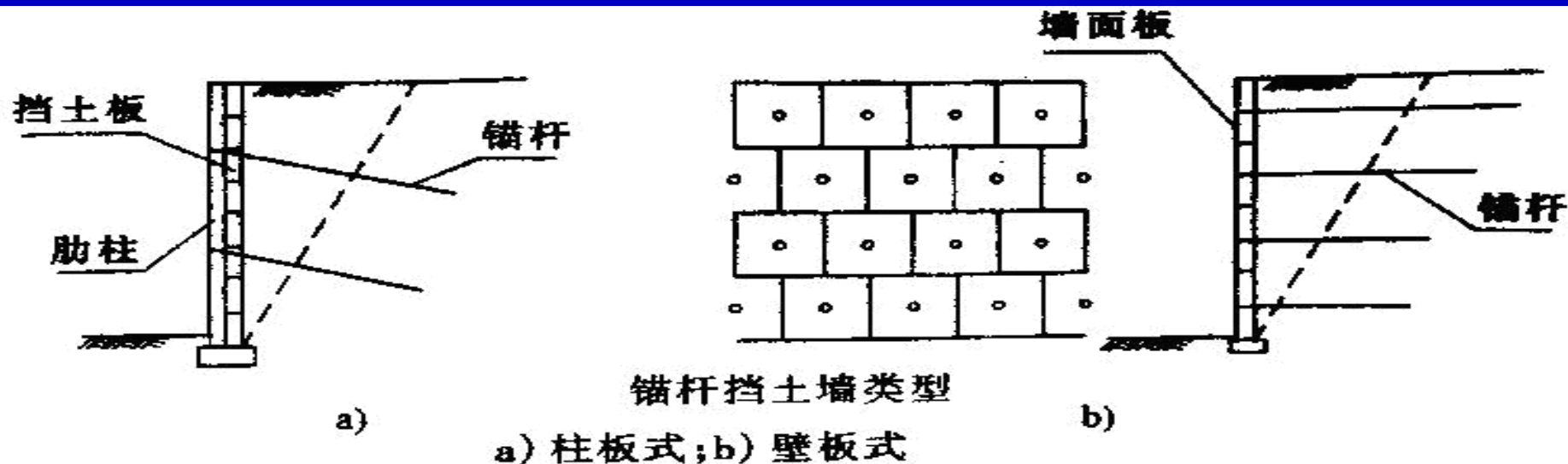
(3) 其他要求同悬臂式挡墙



2.4 其他类型挡土墙

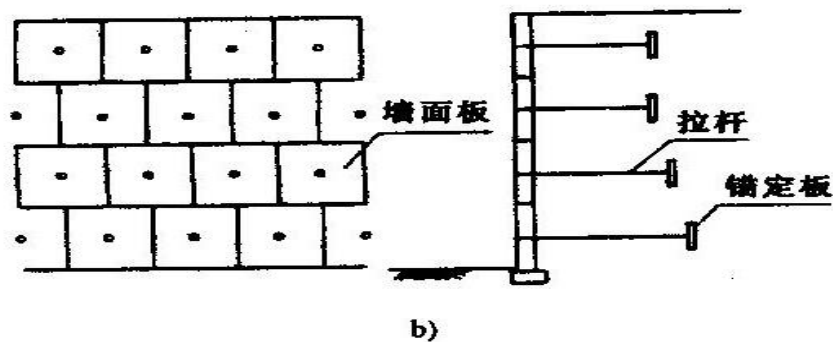
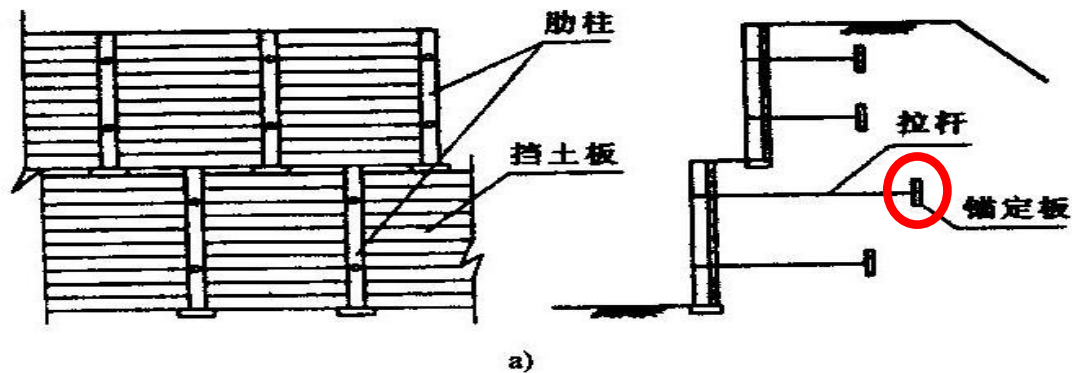


➤ 锚杆式挡土墙



锚定板挡土墙——由预制的钢筋混凝土立柱、墙面、钢拉杆和埋置在填土中的锚定板在现场拼装而成。依靠填土与结构的相互作用力维持其自身稳定。其结构轻、柔性大、工程量小、造价低、施工方便，特别适用于地基承载力不大的地区。

➤ 锚定板式挡土墙



柱板式挡土墙
的墙面由肋柱与挡
土板拼装而成。

锚索、锚杆的施工——钻孔



● 新型挡土墙

自嵌式挡土墙

——由挡土块块体、填土、加筋连接构成的复合结构，用来抵抗动静荷载，提高坡体稳定。

广泛应用于园林景观、高速公路、立交桥和护坡、景区水岸等。具有易施工，并且美观、耐久等诸多优点。



加筋土挡土墙

加筋挡土墙



- 加筋土挡土墙是利用加筋土技术的支挡结构物。加筋土是利用拉筋与土之间的摩擦作用，把土的侧压力削减到土体中，改善土体的变形条件和提高土体的工程性能，从而达到稳定土体的目的。
- 加筋土挡土墙由填料、在填料中设置的拉筋以及墙面板三部分组成。

■ 加筋土挡墙





土钉墙施工现场

挡土墙广泛应用于房屋建筑、水利、铁路、道路和桥梁工程。



南京地铁（火车站站）基坑





上海环球金融中心基坑支护工程





广州地铁（市桥站）基坑



二、几类公路挡墙的适应条件

路肩墙：护路肩及改善综合坡度；

路堤墙：收缩坡脚，防止边坡或路堤滑动，

沿河路堤可防止水流的冲刷等；

路堑墙：减少开挖，降低边坡高度；

山坡墙：支挡坡上覆盖层，可兼起拦石作用；

隧道及明洞口挡墙：缩短隧道或明洞口长度；

桥梁两端挡墙：护台及连接路堤，作为翼墙或桥台。

几类挡土墙的适用条件

挡土墙类型	适用条件
重力式挡土墙	适用于一般地区、浸水地区和地震地区的路肩、路堤和路堑等支挡工程。 墙高宜小于12m，干砌挡土墙高度宜小于6m.
半重力式挡土墙	适用于不宜采用重力式挡土墙的地下水位较高或较软的地基上，填高不宜超过8m。
悬臂式挡土墙	宜在石料缺乏，地基承载力较低的填方路段采用，墙高不宜超过5m。

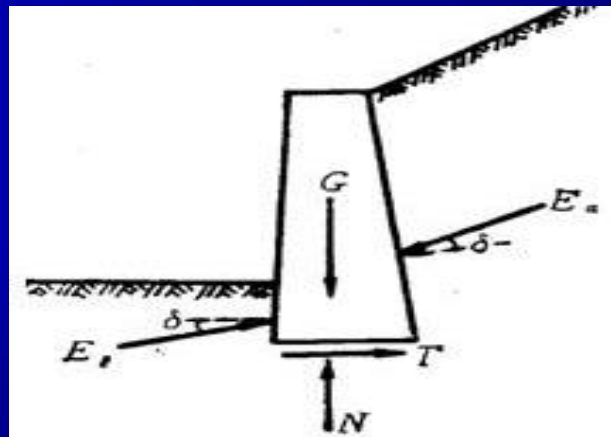
几类公路挡土墙的适用条件

挡土墙类型	适用条件
扶壁式挡土墙	宜在石料缺乏，地基承载力较低的填方路段采用，墙高不宜超过15m。
锚杆式挡土墙	宜用于墙高较大的岩质路堑地段，可用作抗滑挡土墙。多级墙每级墙高不宜大于8m，多级墙的上下级墙体之间应该设置宽度不小于2m的平台。

三、作用在公路挡土墙上的荷载及其组合

1) 永久作用（主要力系）是指经常作用于挡土墙的各种力：

- 挡土墙自重及位于墙上的恒载；
- 墙后土体的主动土压力；
- 基底支撑力与摩阻力；
- 墙前土体被动土压力；
- 浸水墙的静水压力及浮力。

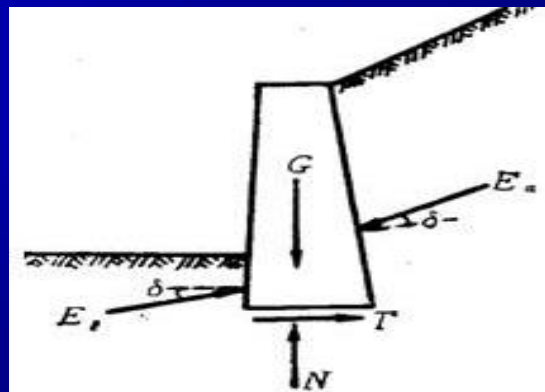


2) 可变作用（附加力系）是季节性作用于挡土墙上的各种力：

季节性洪水时的静水压力及浮力、动水压力、波浪冲击力、冰胀压力、冰压力等。

3) 偶然作用（特殊力）是偶然出现的力

如地震力、施工荷载及水流漂浮物的撞击力等。



作用（或荷载）组合

各种作用出现的频率也不同，应区别对待：

一般地区，挡土墙只计永久作用和基本可变作用。

浸水地区、地震峰值加速度达到 $0.2g$ 及以上地区、产生冻胀力地区，应计算其他可变作用和偶然作用。

各种作用（或荷载）的组合分三种。

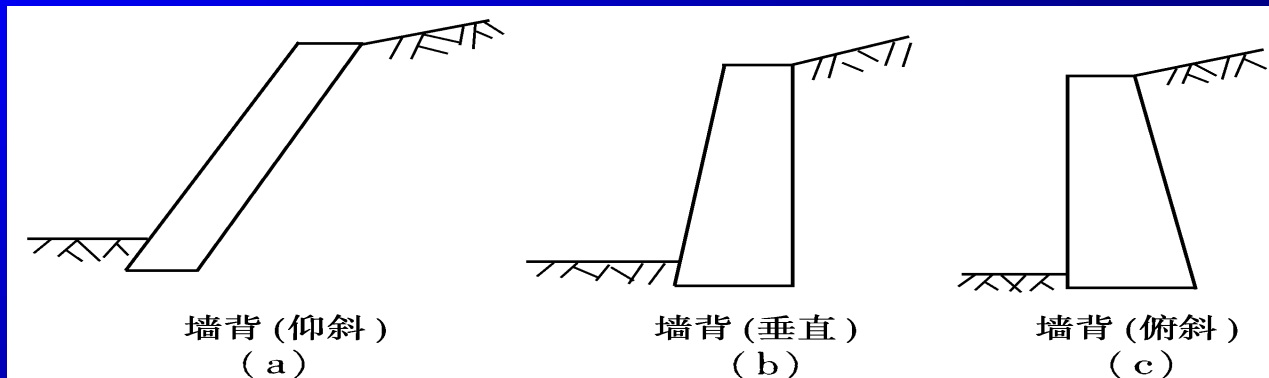
常用作用（或荷载）组合

组合	作用（或荷载）名称
组合I	挡土墙结构重力、墙顶永久荷载、填土侧压力及其他永久荷载组合
组合II	组合I与基本可变荷载组合
组合III	组合II与其他可变荷载、偶然荷载组合

四、重力式挡土墙设计

1、选型

(1) 墙背形式



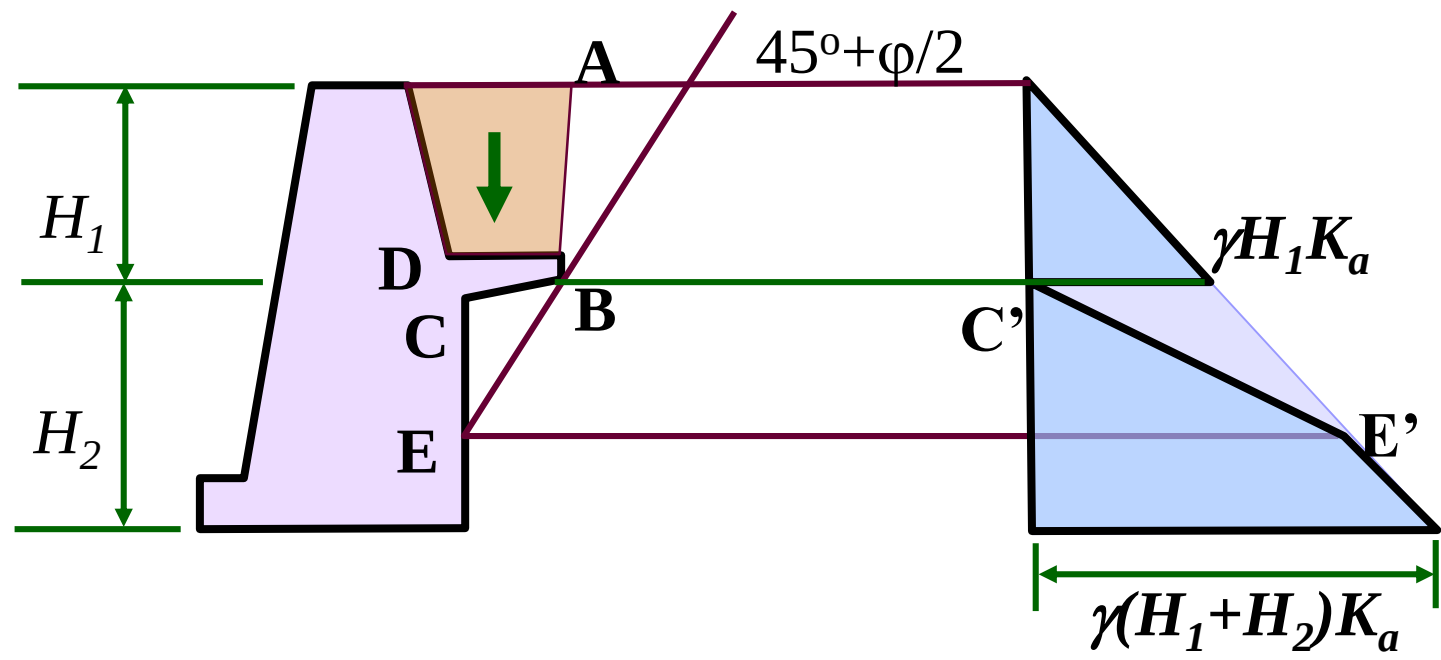
主动土压力比较：仰斜 < 直立 < 俯斜

挖方比较：仰斜 优于 俯斜 (路堑)

填方比较：俯斜 优于 仰斜 (路堤和路肩)

墙背形状有变化

带卸荷台的挡土墙土压力

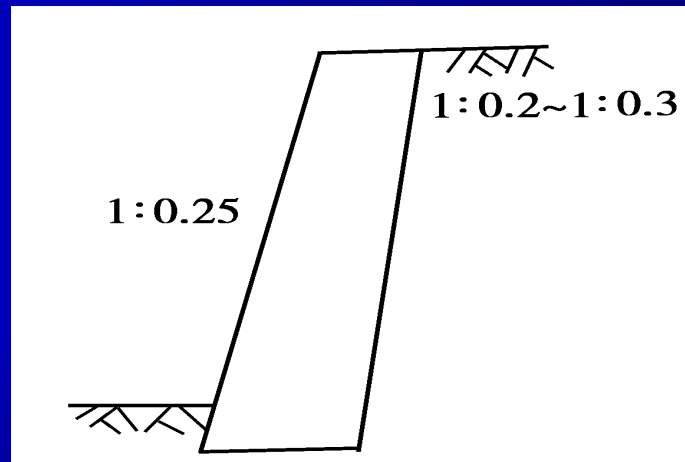


(2) 牆的背坡和面坡选择

背坡：1：0.05~1：0.3

面坡：不小于1：0.25

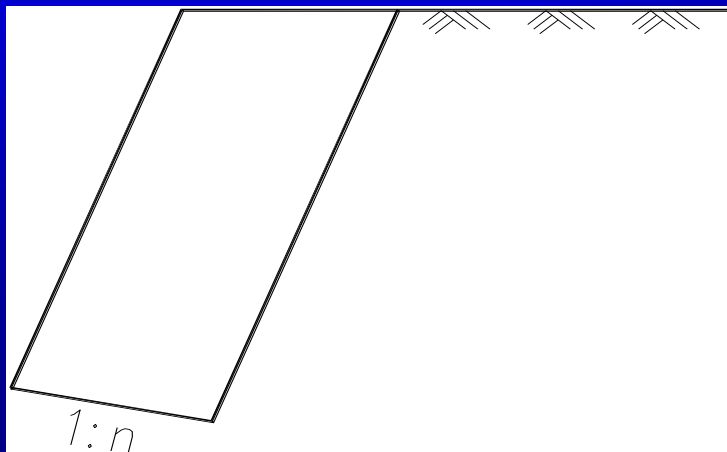
面坡尽量与背坡平行



(3) 基底逆坡坡度选择

土基：不大于1: 10

岩基：不大于1: 5

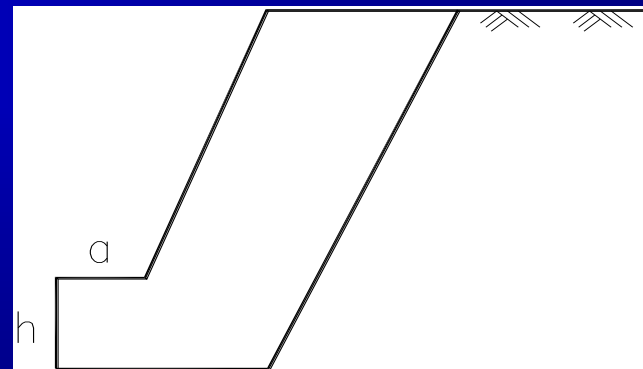


(4) 墙趾台阶

墙趾高 h 和墙趾宽 a 的比例为:

$$h:a=2:1$$

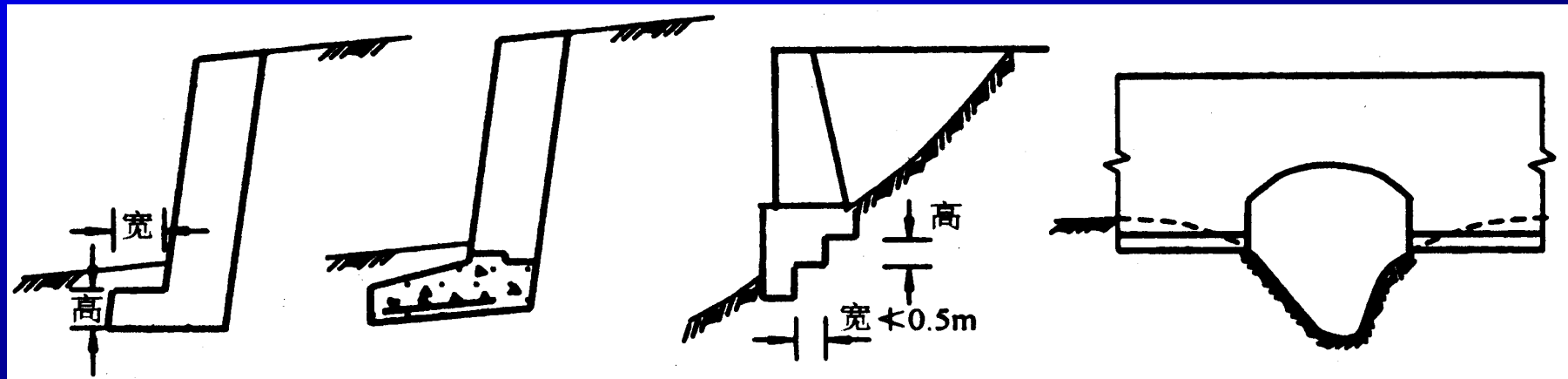
墙趾宽 a 不得小于20cm



2 构造

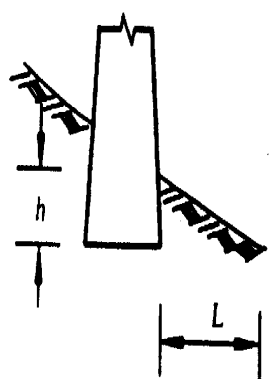
(1) 埋置深度

应按持力层的承载力、冻结因素确定。 **土基:** $h > 1.0\text{m}$



a)加宽墙趾, b)钢筋混凝土底板, c)台阶基础, d)拱形基础

挡墙基础嵌入岩石地基深度表

地 基 种 类	最小埋入深度 $h(m)$	襟边宽度 $L(m)$	嵌入示意图
较完整的坚硬岩石	0.25	0.25~0.50	
一般硬质岩石	0.60	0.60~1.50	
软质岩石	≤ 1.00	1.00~2.00	
土质	≤ 1.00	1.50~2.50	

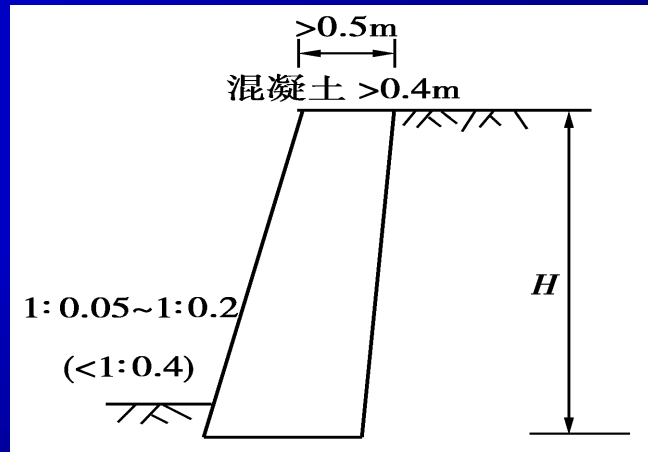
(2) 墙身构造

应符合强度和稳定要求:

墙顶宽初步设计: $H/12$

挡土墙顶宽 $> 0.4\text{m}$

钢筋混凝土 $> 0.2\text{m}$

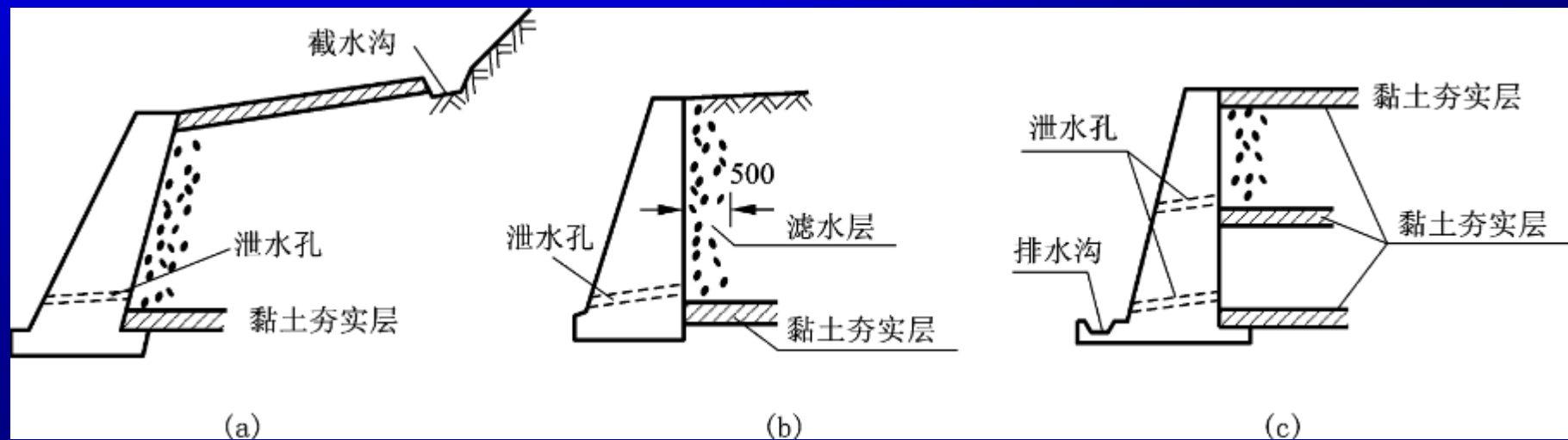


(3) 排水措施

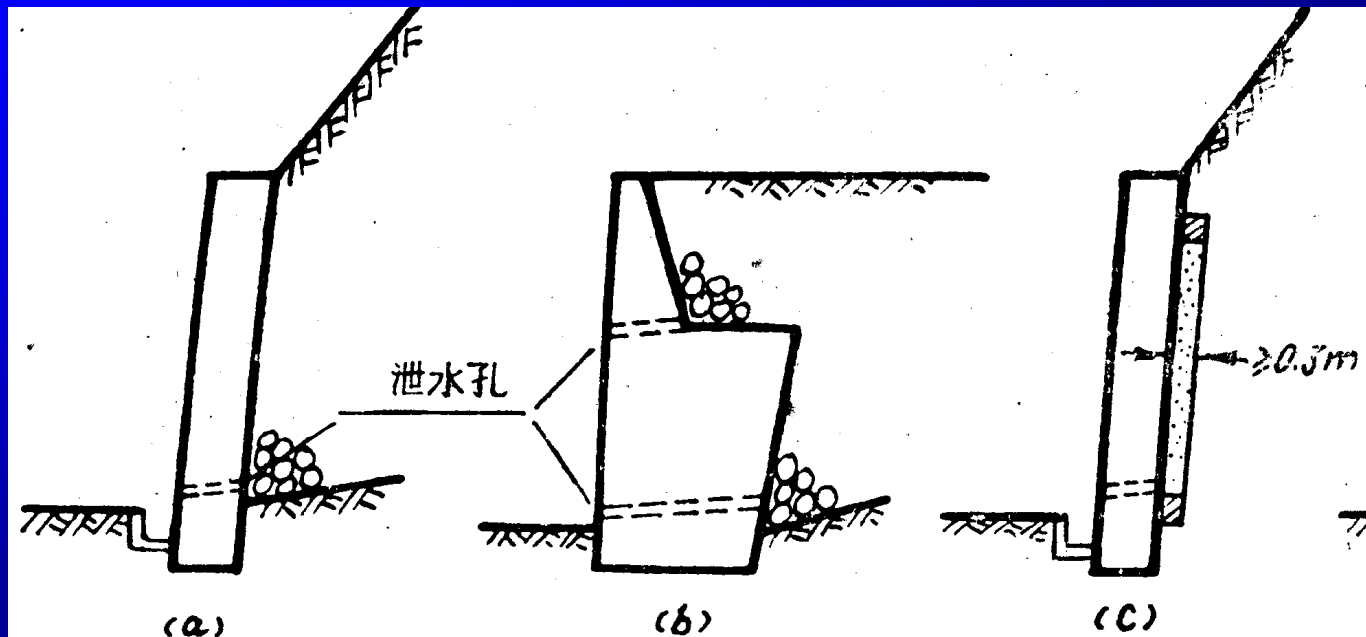
方孔径: $50 \times 100\text{mm}$ 、 $100 \times 100\text{mm}$ 、 $150 \times 200\text{mm}$

圆孔径: $50 \sim 100\text{mm}$

孔间距: $2 \sim 3\text{m}$



(3) 排水措施



(4) 填土质量

最优采用抗剪强度高、性质稳定、透水性好的无粘性土

不能采用淤泥、耕植土、膨胀土等。

填土时应分层夯实是挡土墙施工中的一个关键问题。

(5) 沉降缝和伸缩缝

间距：10~25m，缝宽：20~30mm



(6) 挡土墙材料要求

石料：微风化

砂浆：水泥砂浆

(7) 砌筑质量

错缝砌筑，砌稳安正、砂浆饱满、外露面勾缝



3、计算

重力式挡土墙的计算通常包括下列内容：

- ✖ 抗滑移稳定验算
- ✖ 抗倾覆稳定验算
- ✖ 地基承载力验算
- ✖ 墙身的强度验算
- ✖ 抗震稳定性验算

挡土墙的破坏



垮塌的重力式挡墙



挡土墙的破坏



垮塌的护坡挡墙





垮塌的护坡挡墙

3.重力式挡土墙的计算

(1) 抗滑稳定验算

挡土墙在土压力作用下可能沿基础底面发生滑动

抗滑稳定条件:

$$K_s = \frac{(G_n + E_{an})\mu}{E_{at} - G_t} \geq 1.3$$

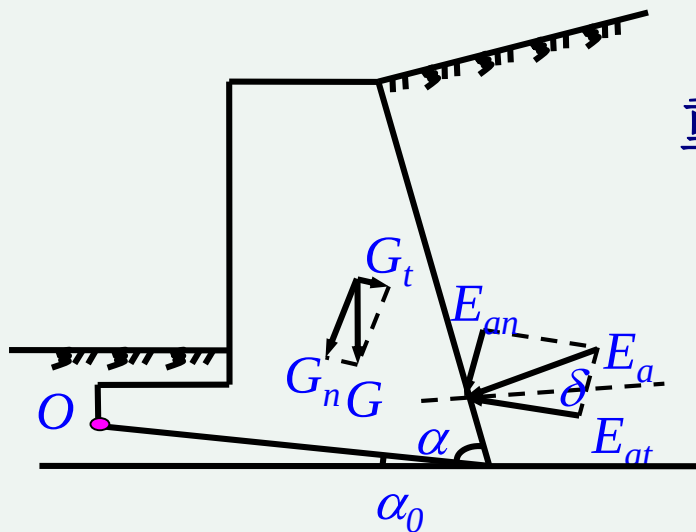
重力和土压力垂直和平行墙底的分量:

$$G_n = G \cos \alpha_0$$

$$G_t = G \sin \alpha_0$$

$$E_{an} = E_a \cos(\alpha - \alpha_0 - \delta)$$

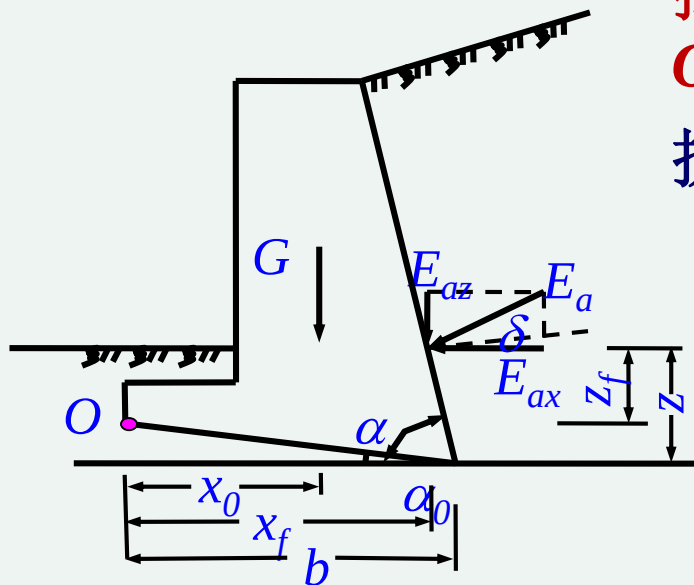
$$E_{at} = E_a \sin(\alpha - \alpha_0 - \delta)$$



(2) 抗倾覆稳定验算

挡土墙在土压力作用下可能绕墙趾
O点向外倾覆

抗倾覆稳定条件



$$K_t = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f} \geq 1.6$$

土压力的竖直和水平分量

$$E_{az} = E_a \cos(\alpha - \delta)$$

$$E_{ax} = E_a \sin(\alpha - \delta)$$

土压力两分量
至墙趾的力臂

$$x_f = b - z \cot \alpha$$

$$z_f = z - b \tan \alpha_0$$

(3) 地基承载力验算

满足的条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{\max} \leq 1.2 f \\ p_{\min} \geq 0 \\ \frac{p_{\max} + p_{\min}}{2} \leq f \end{array} \right.$$

f 为地基承载力
特征值

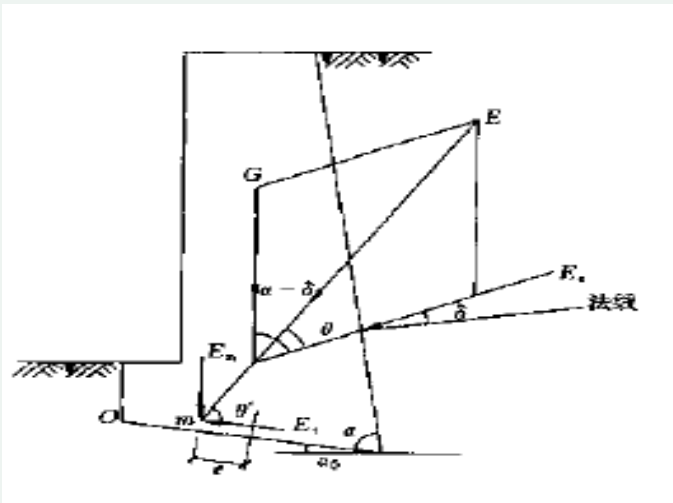
地基承载力抗力值按《公路桥涵地基与基础设计规范》的规定采用。

挡土墙基底压力计算

挡土墙重力 G 与土压力 E_a 的合力 E 可用平行四边形法求得：

$$E = \sqrt{G^2 + E_a^2 + 2G \cdot E_a \cdot \cos(\alpha - \delta)}$$

$$\tan \theta = \frac{G \cdot \sin(\alpha - \delta)}{E_a + G \cos(\alpha - \delta)}$$



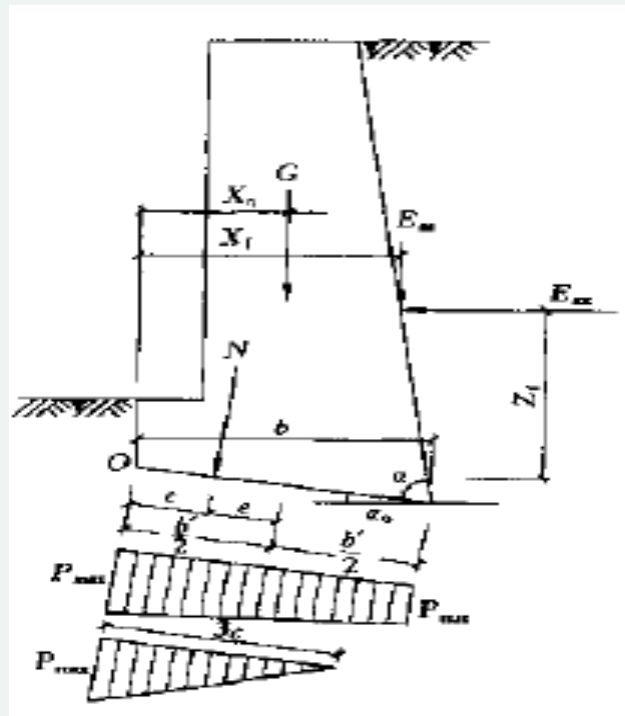
垂直合力 E_n （即作用在基底上的重直合力 N ）对基底偏心距 e 为：

$$e = \frac{b'}{2} - c$$

式中：

$$c = \frac{Gx_0 + E_{az} \cdot x_f - E_{ax} \cdot z_f}{N}$$

$$b' = \frac{b}{\cos \alpha_0}$$



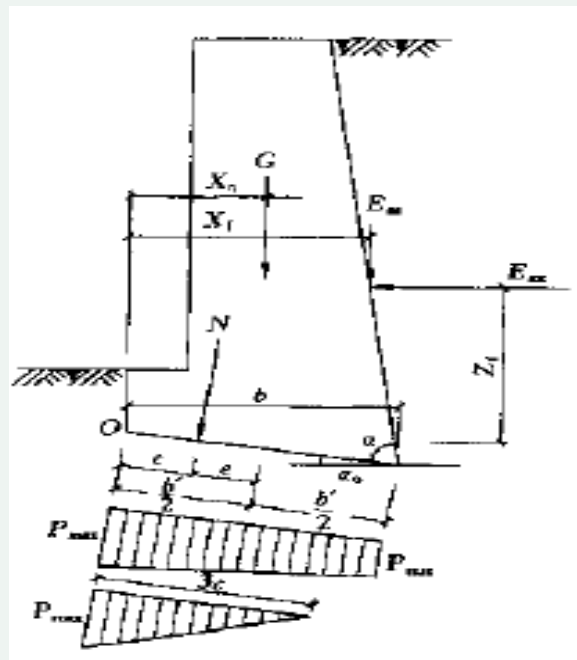
则挡土墙地基承载力验算如下：

(1) 当 $e \leq \frac{b'}{6}$ 时 (梯形分布)

$$P_{\min}^{\max} = \frac{N}{b'} \left(1 \pm \frac{6e}{b'} \right) \leq 1.2 f_a$$

(2) 当 $e > \frac{b'}{6}$ 时 (三角形分布)

$$P_{\max} = \frac{2N}{3c} \leq 1.2 f_a$$



注：由基底倾斜，此时的 f_a 应折减0.8

(4) 墙身强度验算

墙身强度验算应根据墙身材料分别按砌体结构、素混凝土结构或钢筋混凝土结构的有关计算方法进行。

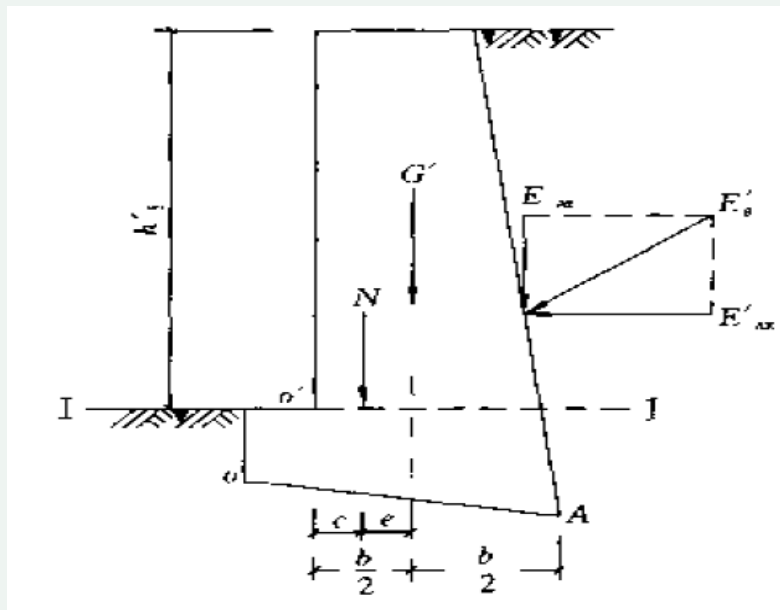
墙身强度验算：取墙身薄弱截面（截面转折、急剧变化处）

内容有：抗压验算、抗剪验算

1) 抗压验算

I - I截面处:

$$N \leq \gamma_a \cdot \phi \cdot A \cdot f$$



N ——由设计荷载产生的纵向力；

γ_a ——结构构件的设计抗力调整系数，取 $\gamma_a = 1.0$

ϕ ——纵向力影响系数，根据砂浆强度等级 β 、 e/h 查表求得；

A ——计算截面面积，取 1m 长度；

f ——砌体抗压设计强度。

2) 抗剪验算

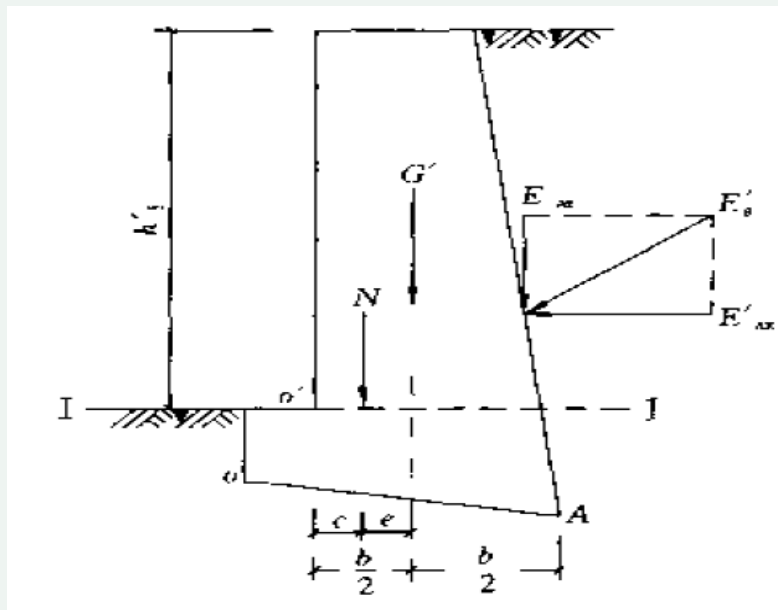
I - I 截面处:

$$Q \leq \gamma_a (f_V + 0.18\sigma_u) A$$

Q ——由设计荷载产生的水平荷载；

f_V ——砌体设计抗剪强度；

σ_u ——恒载标准值产生的平均压应力。



(5) 挡土墙抗震计算

地震区, 挡土墙分别按考虑地震时的挡土墙和不考虑地震时的挡土墙进行计算, 选用其中截面较大者

• 1) 抗倾覆验算

$$K_t = \frac{G \cdot x_0 + E_{az} \cdot x_f}{E_{ax} \cdot z_f + F \cdot z_w} \geq 1.3$$

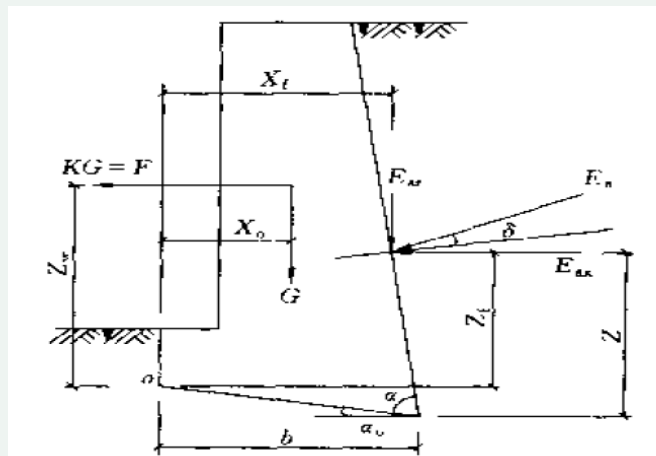
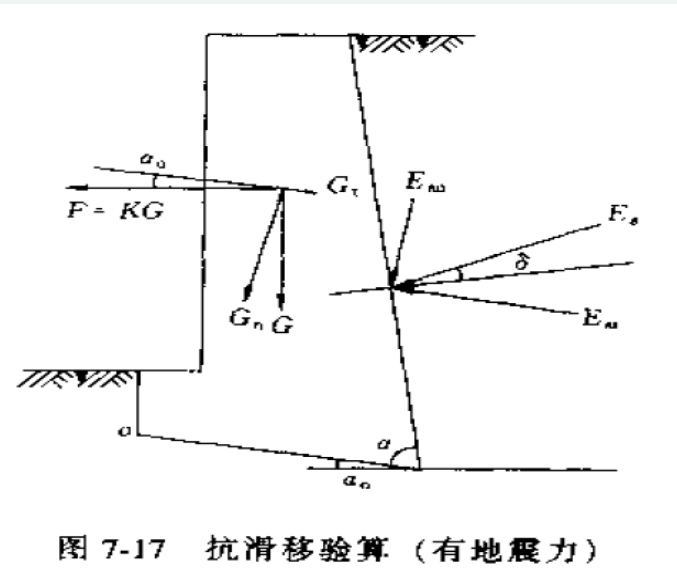


图 7-16 抗倾覆验算 (有地震力)

2) 抗滑移验算

$$K_s = \frac{(G_n + E_{an} + F \cdot \sin \alpha_0) \cdot \mu}{E_{at} - G_t + F \cdot \cos \alpha_0} \geq 1.1$$



3) 地基承载力验算

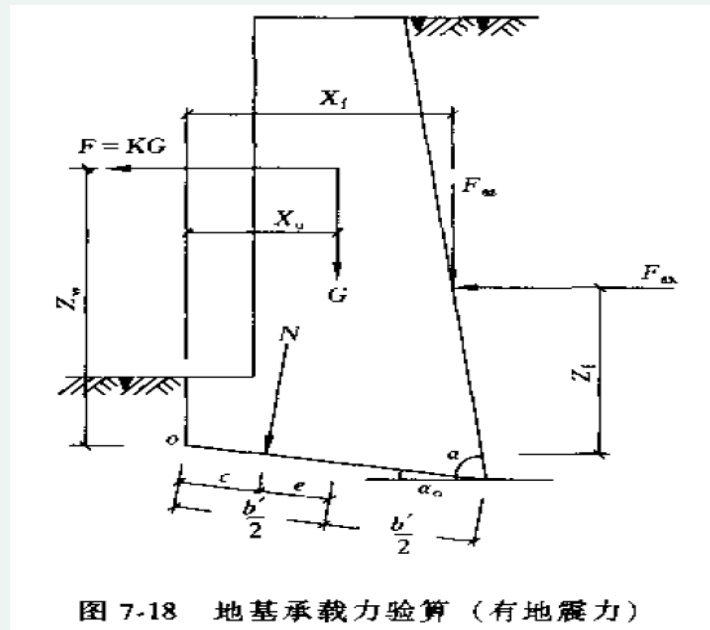
当 $e \leq \frac{b'}{6}$ 时:

$$P_{\min} = \frac{N + F \sin \alpha_0}{b'} \left(1 \pm \frac{6e}{b'} \right) \leq 1.2 f_a$$

当 $e > \frac{b'}{6}$ 时:

$$P_{\max} = \frac{2(N + F \sin \alpha_0)}{3c} \leq 1.2 f_a$$

$$c = \frac{Gx_0 + E_{az} \cdot x_f - E_{ax} \cdot z_f - F \cdot z_w}{N + F \sin \alpha_0}$$



4) 墙身强度验算

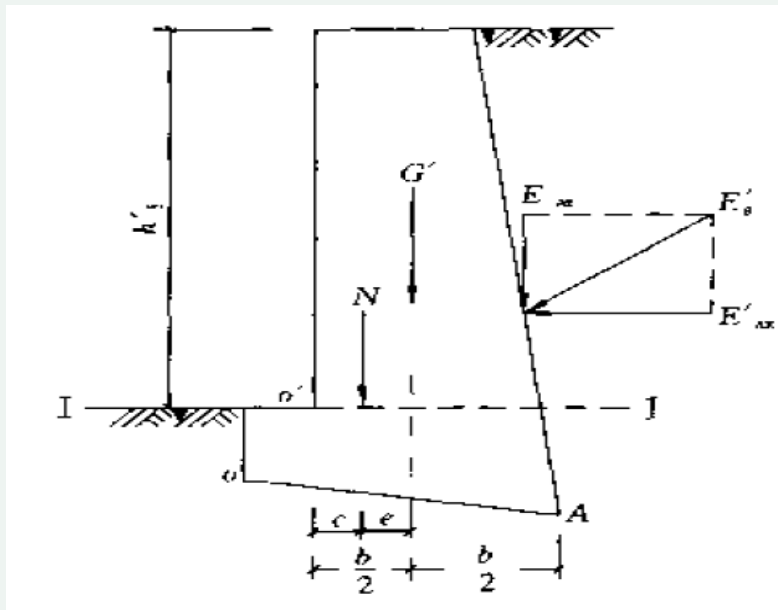
I - I 截面处:

抗压验算

$$N \leq \gamma_a \cdot \phi \cdot A \cdot f$$

抗剪验算

$$Q \leq \gamma_a (f_v + 0.18\sigma_u) A$$



【例1】某挡土墙高6m，分为两层，每层3m，墙后填土为砂土，第一层 $\gamma_1=18\text{kN/m}^3$ ， $\varphi_1=20^\circ$ ，第二层 $\gamma_2=18\text{kN/m}^3$ ， $\varphi_2=28^\circ$ ，土体表面均布荷载 $q=10\text{kPa}$ ，试计算挡土墙受到的主动土压力。

解：

$$k_{a1} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{20^\circ}{2}\right) = 0.49$$

$$k_{a2} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{28^\circ}{2}\right) = 0.36$$

$$e_a = (\sum \gamma h + q)k_a = 10 \times 0.49 = 4.9\text{kPa}$$

$$e_{b\text{上}} = (\sum \gamma h + q)k_a = (\gamma_1 h_1 + q)k_{a1} = (18 \times 3 + 10) \times 0.49 = 31.36\text{kPa}$$

$$e_{b\text{下}} = (\sum \gamma h + q)k_a = (\gamma_1 h_1 + q)k_{a2} = (18 \times 3 + 10) \times 0.36 = 23.04\text{kPa}$$

$$\begin{aligned} e_c &= (\sum \gamma h + q)k_a = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + q)k_{a2} \\ &= (18 \times 3 + 19.5 \times 3 + 10) \times 0.36 = 44.1\text{kPa} \end{aligned}$$

$$E_a = \frac{1}{2} \times (4.9 + 31.36) \times 3 + \frac{1}{2} \times (23.04 + 44.1) \times 3 = 155.1\text{kN/m}$$

【例2】某挡土墙高6m，墙后填土为砂土， $\gamma=18\text{kN/m}^3$ ， $\gamma_{\text{sat}}=20\text{kN/m}^3$ ， $c=0$ ， $\phi=30^\circ$ ，试计算无地下水和地下水位为4m时挡土墙受到的总主动土压力。

解：无地下水时

$$e_a = (\sum \gamma h + q)k_a = (18 \times 6) \times \tan^2 \left(45 - \frac{30^\circ}{2} \right) = 36\text{kPa}$$

有地下水时：

$$E_a = \frac{1}{2} \times 36 \times 6 = 108\text{kN/m}$$

$$4\text{m处： } e_a = (\sum \gamma h + q)k_a = (18 \times 4) \times \tan^2 \left(45 - \frac{30^\circ}{2} \right) = 24\text{kPa}$$

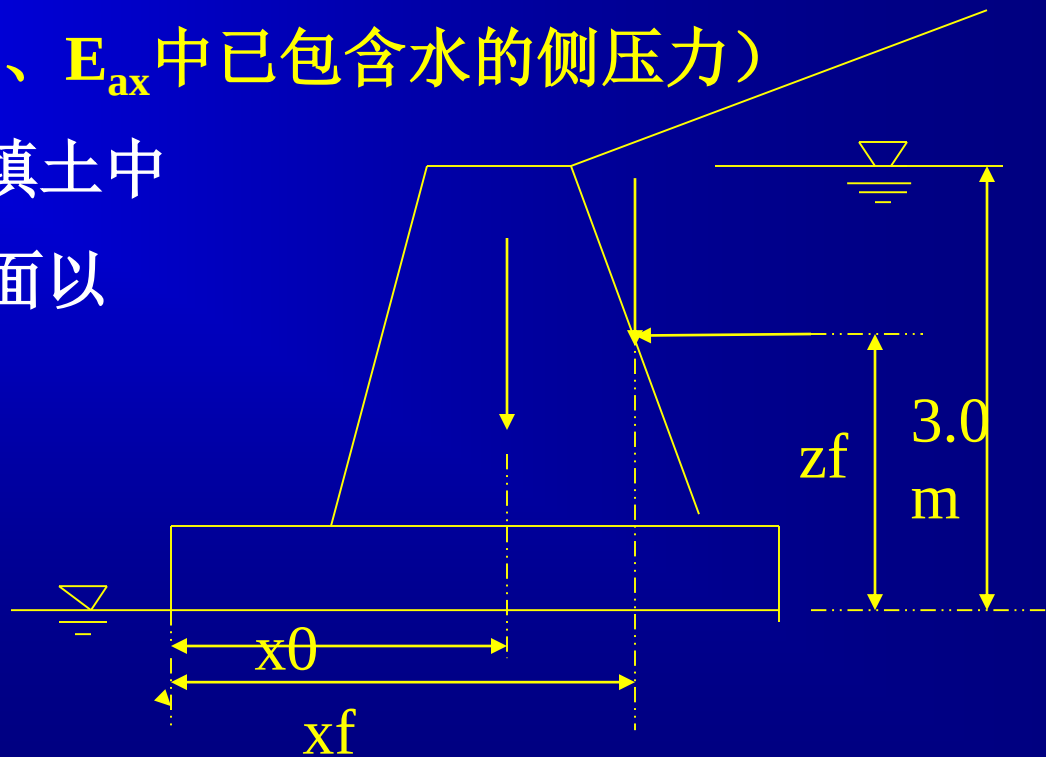
$$6\text{m处： } e_a = (\sum \gamma h + q)k_a = (18 \times 4 + (20 - 10) \times 2) \times \tan^2 \left(45 - \frac{30^\circ}{2} \right) = 30.7\text{kPa}$$

$$6\text{m处水压力： } e_w = \gamma_w h = 10 \times 2 = 20\text{kPa}$$

$$E_a = \frac{1}{2} \times 24 \times 4 + \frac{24 + (30.7 + 20)}{2} \times 2 = 122.7\text{kN/m}$$

【例3】一重力式挡土墙底宽 $b=4.0\text{m}$ ，地基为砂土，单位长度墙的自重 $G=212\text{kN/m}$ ，对墙趾力臂 $x_0=1.8\text{m}$ 。作用于墙背主动土压力垂直分力 $E_{az}=40\text{kN/m}$ ，水平分力 $E_{ax}=106\text{kN/m}$ ，力臂 $x_f=2.2\text{m}$ ， $z_f=2.4\text{m}$ (E_{az} 、 E_{ax} 中已包含水的侧压力)

墙前水位与基底齐平，墙后填土中水位距基底 3.0m ，假定基底面以下水的扬压力为三角形分布，墙趾前被动土压力忽略不计，问该墙绕墙趾倾覆的稳定系数为多少？



解：单位长度的浮力的合力为F （kN/m）

$$F = \frac{1}{2} b \gamma_w h = 0.5 \times 4.0 \times 10 \times 3.0 = 60 \text{ kN}$$

距离墙址x=2.67m

$$K = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f + Fx} = \frac{212 \times 1.8 + 40 \times 2.2}{106 \times 2.4 + 60 \times 2.67} = 1.13$$

【例4】重力式挡墙如图所示，挡墙底面与土的摩擦系数 $\mu=0.4$ ，墙背与填土间摩擦角 $\delta=15^\circ$ ，求挡墙的抗滑稳定系数？

已知： $G=480\text{kN/m}$, $\alpha_0=10^\circ$, $\alpha=65^\circ$,

$E_a=400\text{kN/m}$, $\delta=15^\circ$

解：

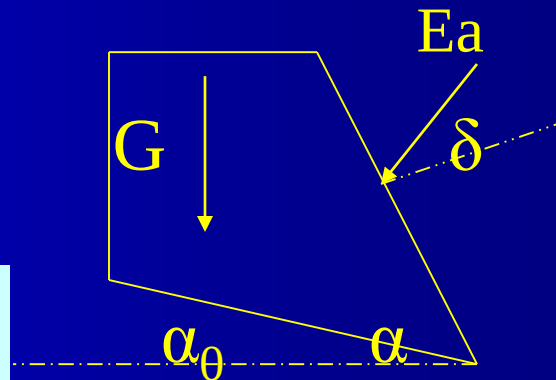
$$G_n = G \cos \alpha_0 = 480 \times \cos 10 = 472.7$$

$$G_t = G \sin \alpha_0 = 480 \times \sin 10 = 83.4$$

$$E_{at} = E_a \sin(\alpha - \alpha_0 - \delta) = 400 \times \sin(65 - 15) = 306.4$$

$$E_{an} = E_a \cos(\alpha - \alpha_0 - \delta) = 400 \times \cos(65 - 15) = 257.1$$

$$K = \frac{(G_n + E_{an})\mu}{G_t + E_{at}} = \frac{(472.7 + 257.1) \times 0.4}{(306.4 - 83.4)} = 1.309$$



第五节 挡土墙的设计

※ 墙型的选择

※
※
计算 { 抗倾覆稳定验算
抗滑移稳定验算
地基承载力验算
墙身的强度验算
抗震稳定性验算

※ 构造要求和措施等

本章目录

- § 6.1 作用在挡土墙上的土压力 ✓
- § 6.2 朗肯(Rankine)土压力理论 ✓
- § 6.3 库仑(Coulomb)土压力理论 ✓
- § 6.4 土压力计算的讨论 ✓
- § 6.5 挡土墙的设计 ✓



本章结束



课后作业:

P.241

计算题 :第4题

