

6. 基坑工程

内容提要

- ✓ 基坑常用支护形式及其特点
- ✓ 基坑支护结构水土压力计算
- ✓ 悬臂式桩墙设计计算
- ✓ 单支点与多支点桩墙计算
- ✓ 基坑整体稳定性分析
- ✓ 地下水控制简介

6.1.1 基坑工程概念及特点

■ 基本概念

✓ 建筑基坑

指为进行建（构）筑物基础与地下室施工所开挖的地面以下空间

✓ 基坑工程

指对基坑进行包括土体、降水和开挖在内的一系列勘察、设计、施工和检测等工作

6.1.1 基坑工程概念及特点

■ 基坑工程特点

P189

- ✓ 一般为临时性结构，安全储备相对较小，风险性较大
- ✓ 具有很强的区域性、个案性、综合性
- ✓ 具有较强的时空效应
- ✓ 对周边环境影响较大

6.1.1 基坑工程概念及特点

■ 设计施工要求

- ✓ 满足支护结构本身强度、变形等安全要求的同时，确保周围环境的安全
- ✓ 保证安全可靠的前提下，具有较好的技术经济效益和环境效应
- ✓ 为施工提供最大限度的方便（如提供足够的施工空间、地下水位以上施工），并保证施工安全

6.1.2 常用形式及适用条件

P190

■ A 放坡开挖及简易支护

✓ 适合：土质好、开挖深度不大、有足够放坡场所

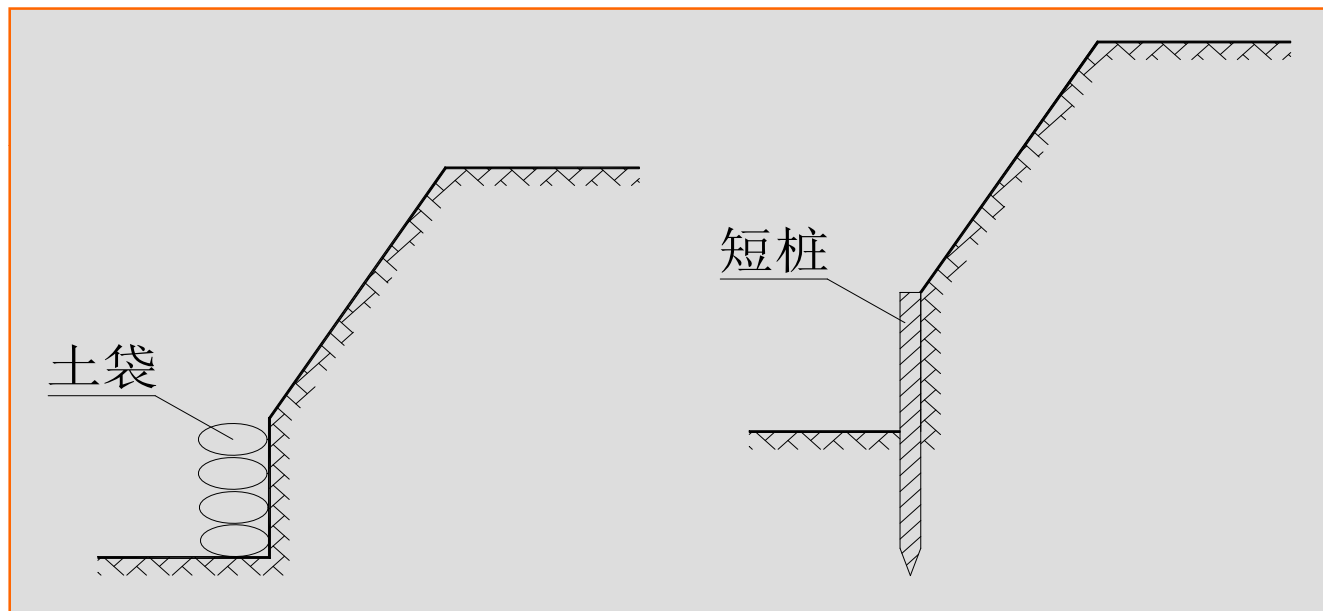


图 6.1 基坑简易支护

(a) 土袋或块石堆砌支护； (b) 短桩支护

6.1.2 常用形式及适用条件

■ B 悬臂式支护结构

✓ 特点

- 依靠足够的入土深度和结构抗弯能力维持坑壁稳定；
- 水平位移是支护深度的五次方，对开挖深度敏感；

✓ 适合

土质较好、开挖深度较浅

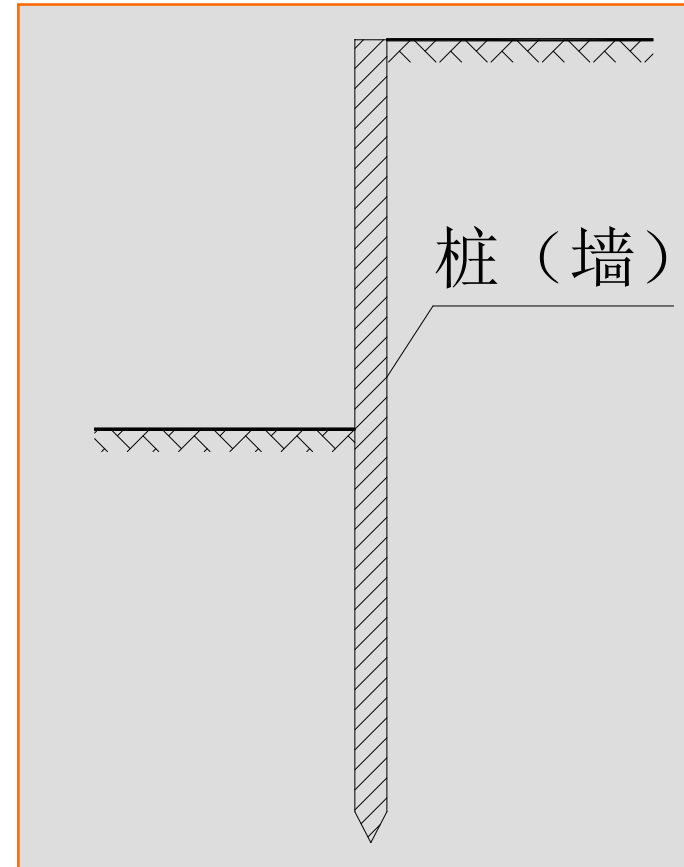


图 6.2 悬臂式支护结构

6.1.2 常用形式及适用条件

■ C 水泥石桩墙支护结构

- ✓ **特点：**用深层搅拌机在地基深部将水泥和土体强制拌和而成；
- ✓ **适合：**软土区的浅基坑($H \leq 6.0\text{m}$)

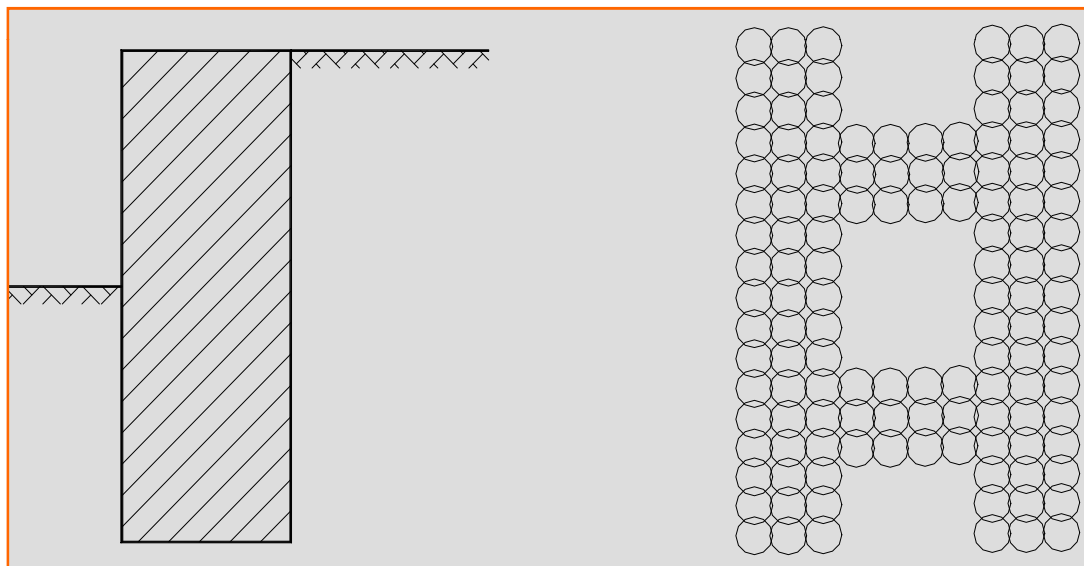


图 6.3 隔栅式水泥石桩墙

6.1.2 常用形式及适用条件

■ D 内撑式支护结构

✓ 特点

包括支护桩或墙和内支撑；

内支撑会占用施工空间。

✓ 适合

各种地基土层。

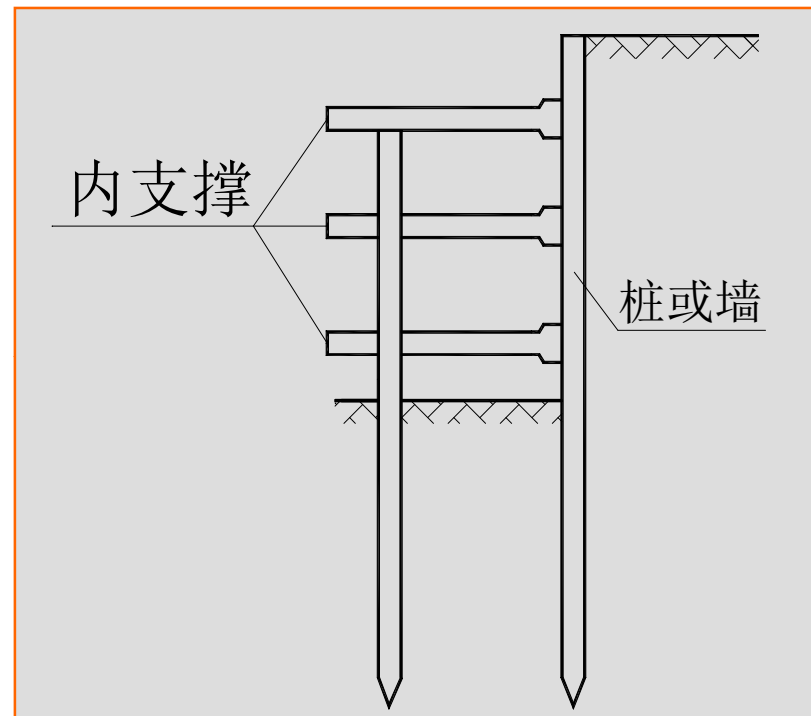


图 6.4 内支撑支护结构

6.1.2 常用形式及适用条件

■ E 拉锚式支护结构

- ✓ **特点：**包括支护桩或墙和锚杆；
- ✓ **适合：**不宜用于软粘土地层中

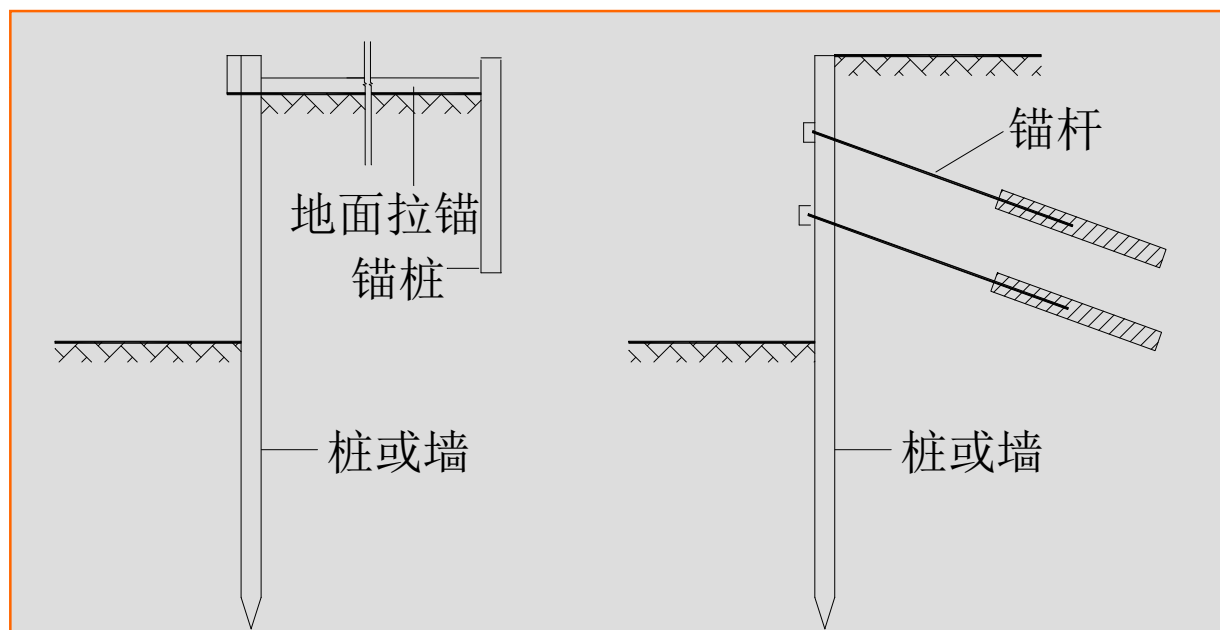


图 6.5 (a) 地面拉锚 (b) 土层拉锚

6.1.2 常用形式及适用条件

■ F 土钉墙支护结构

✓ 特点

由被加固的原位土体、土钉和砼面板组成；

✓ 适合

地下水位以上的粘性土、砂土和碎石土等，不适合于淤泥或淤泥质土

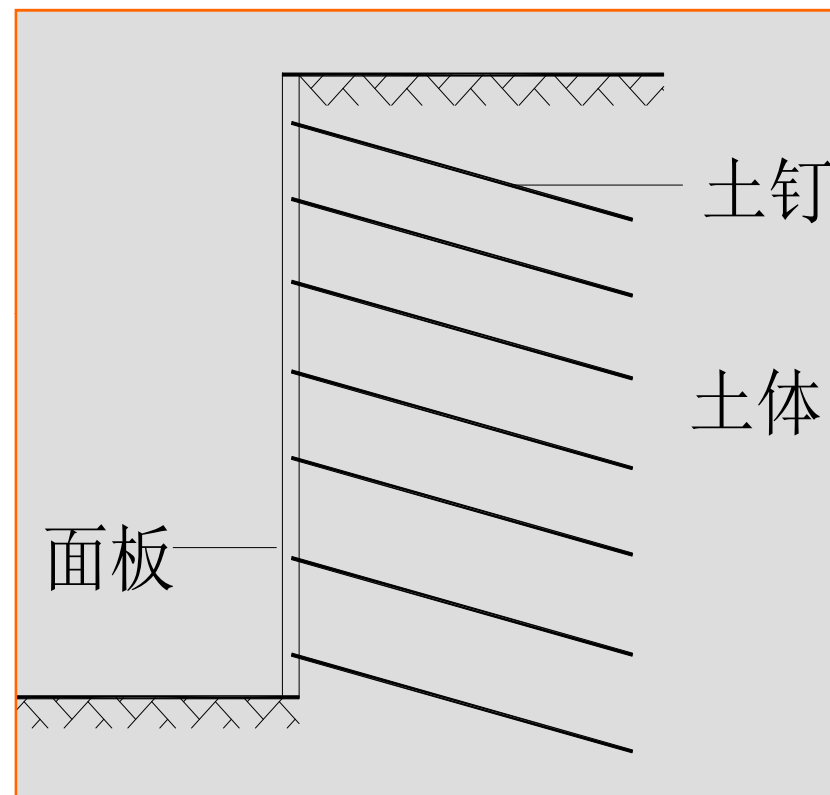
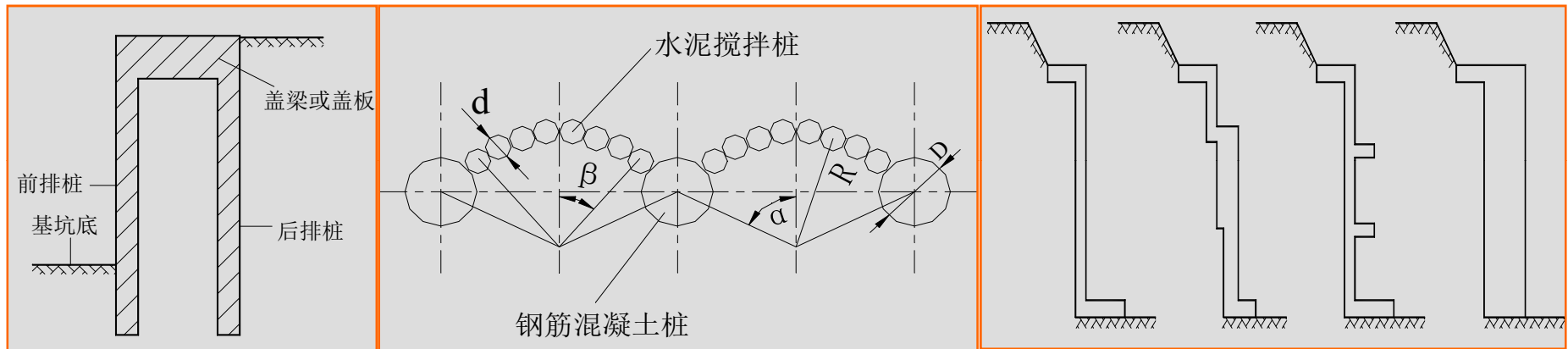


图 6.6 土钉支护结构示意图

6.1.2 常用形式及适用条件

■ F 其他形式



双排桩支护结构

连拱式支护结构

逆作拱墙支护结构

图 6.7 其它结构示意图

6.2 支护结构侧向水土压力计算

■ 水土压力特点

P193

- ✓ 水土压力随基坑开挖进程逐步动态形成；
- ✓ 分布形式主要与支护结构的位移形式与位移量有关，且不完全对应静止或主动状态；
- ✓ 无支锚时一般呈直线分布；有支锚时，土压力一般呈上下小、中间大的抛物线或更复杂的分布形式；

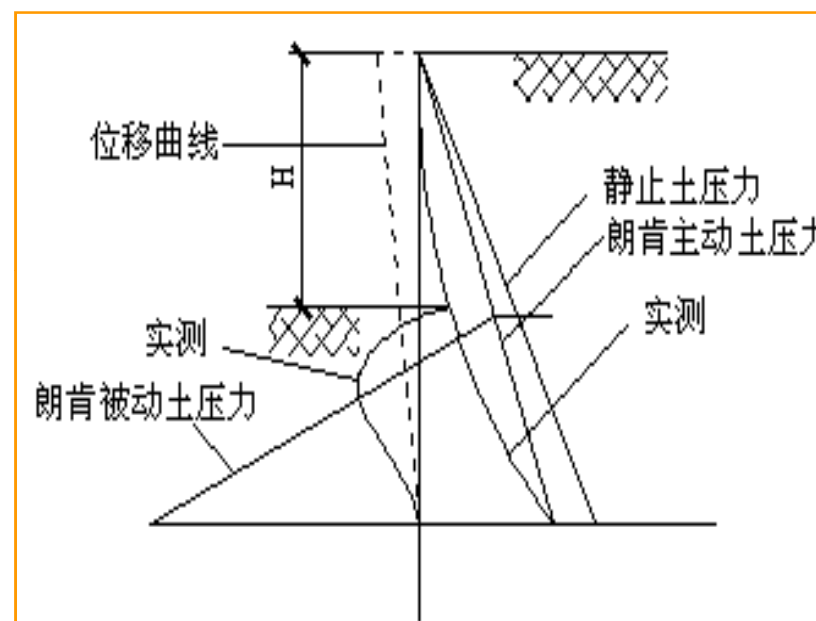
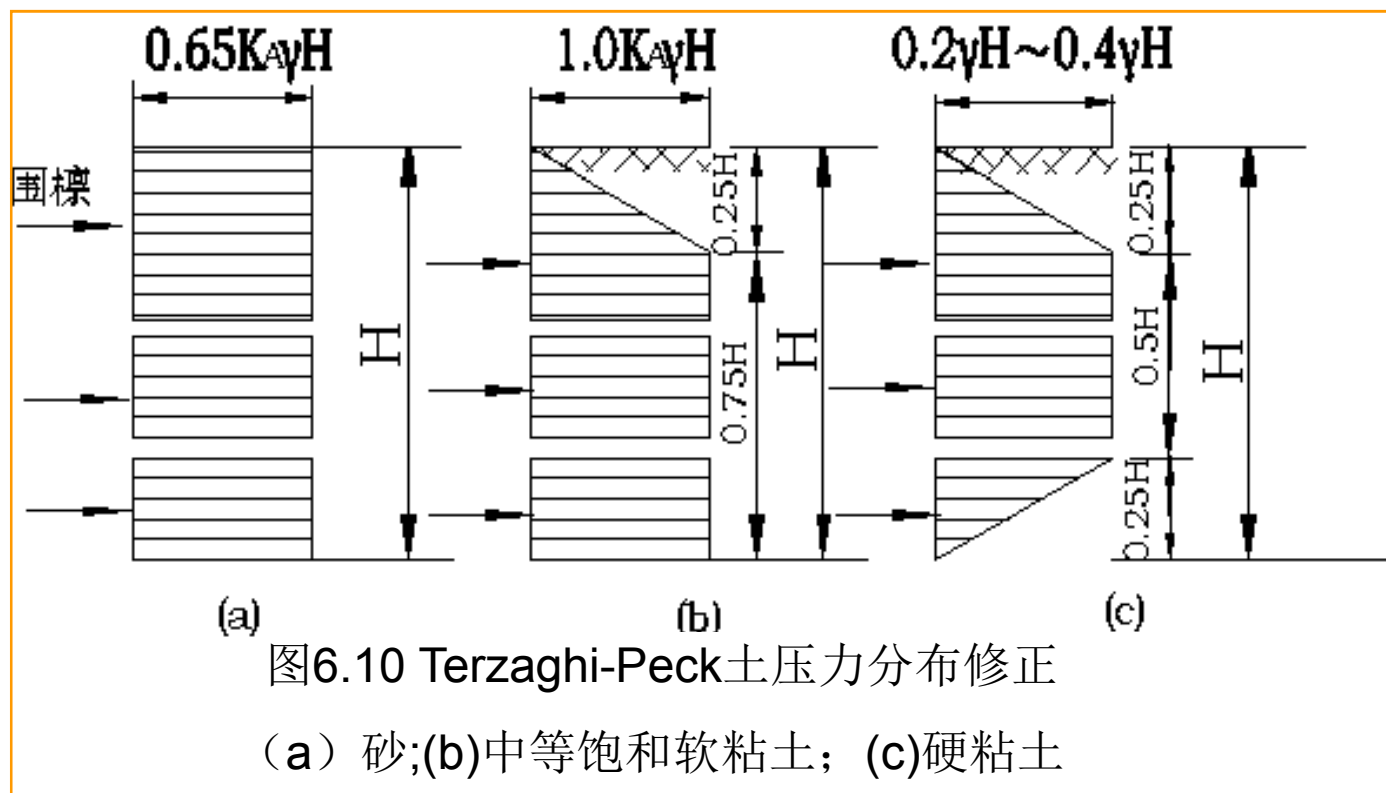


图 6.8 理论假设土压力与实测对比图

作用在支护结构上的荷载

6.2 支护结构侧向水土压力计算

- ✓ 工程中常采用三角形与经验矩形两种模式：当墙体位移较大时一般采用前者，否则采用后者；
- ✓ 基坑内外有稳态渗流时宜采用流网法或简化分布图计算。



6.2 支护结构侧向水土压力计算

■ 水土压力计算方法

常采用兰金 (Rankine) 土压力理论计算，并分以下两种形式：

✓ 水土分算

分别计算水、土压力后叠加，其中土压力取土的 γ' 、 c' 、 ϕ' 计算，适用于砂性土和粉土。

✓ 水土合算

采用土的 γ_{sat} 、 c_{cu} 、 ϕ_{cu} 计算总的水土压力，适用于粘性土。

6.3 悬臂式桩墙计算

■ 极限平衡法

- ✓ 土压力模式：三角形
- ✓ 入土深 t ：静力平衡条件($\sum X=0$ 、 $\sum M=0$)求解，计算步骤（略）
- ✓ 桩墙实际嵌深应适当放大

$$t_c = u + (1.1 \sim 1.2)t \quad (6-3)$$

- ✓ 由剪力为零求出最大弯矩点深度，进而求出最大弯矩，再据此配筋

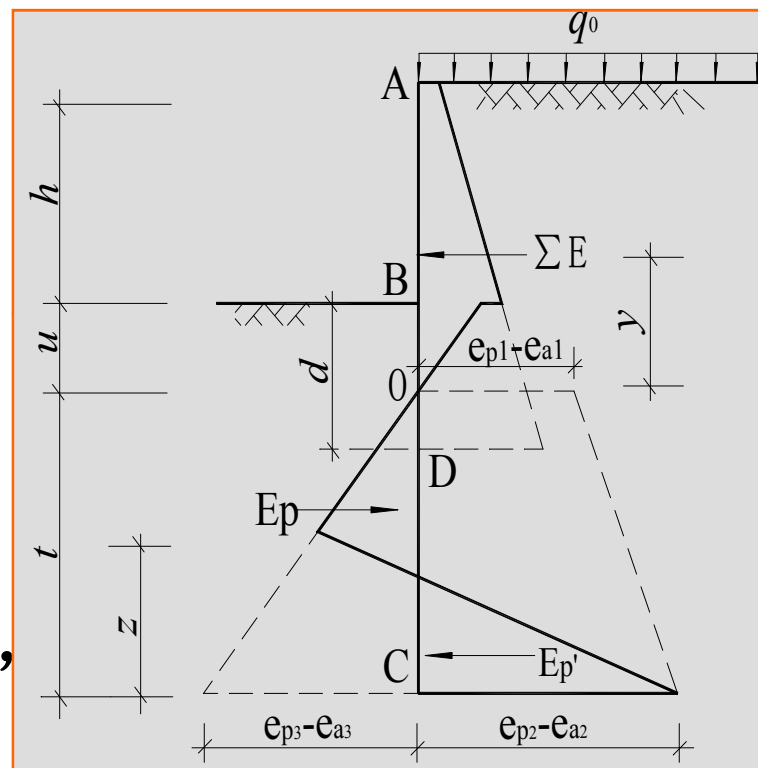


图 6.12 悬臂式板桩计算的极限平衡法

6.3 悬臂式桩墙计算

■ 布鲁姆 (Blum) 简化法

- ✓ 土压力模式：三角形
- ✓ 入土深度：静力平衡条件 ($\sum M = 0$) 求解，计算步骤 (略)
- ✓ 桩墙实际嵌深应适当放大

$$t_c = u + (1.1 \sim 1.4)t \quad (6-4)$$

由剪力为零求出最大弯矩点深度，
进而求出最大弯矩，再据此配筋

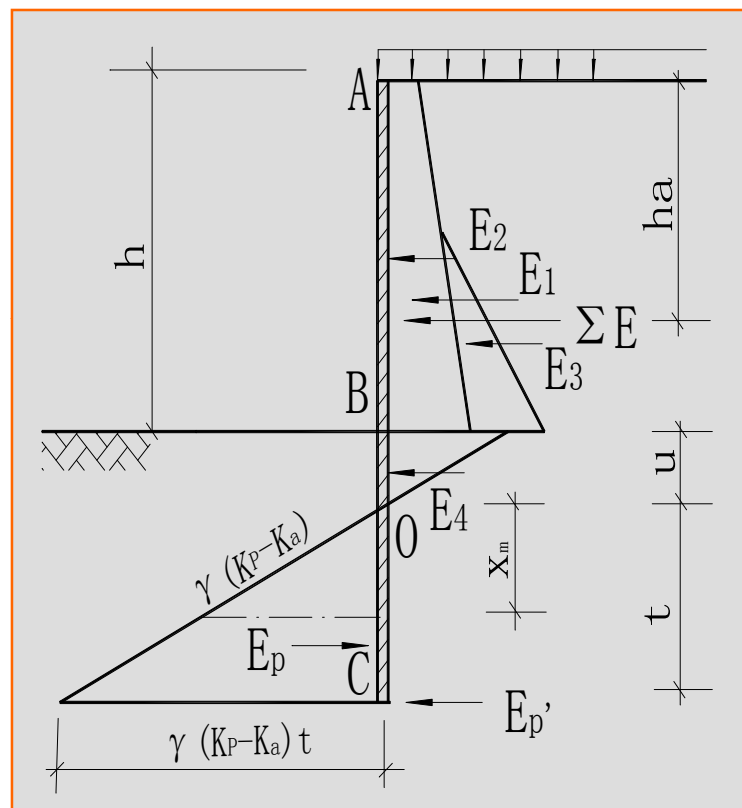


图 6.1.1 布鲁姆法

6.4 单支点桩墙计算

P197

顶端支锚处无位移简化为一简支点；底端约束则视入土深而定

■ 入土较浅时

- ✓ 支锚点A铰支、下端自由；
- ✓ 由 $\sum M_A = 0$ 求有效嵌深 t

$$\Sigma E(h_a - h_0) - E_p(h - h_0 + u + \frac{2}{3}t) = 0$$

- ✓ 并按式(6-4)适当放大

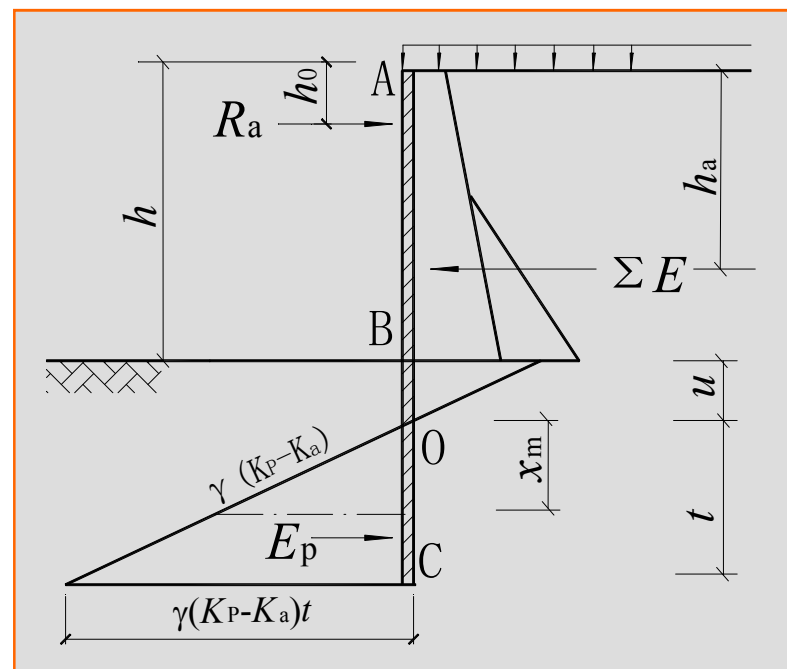


图 6.1 2 计算简图

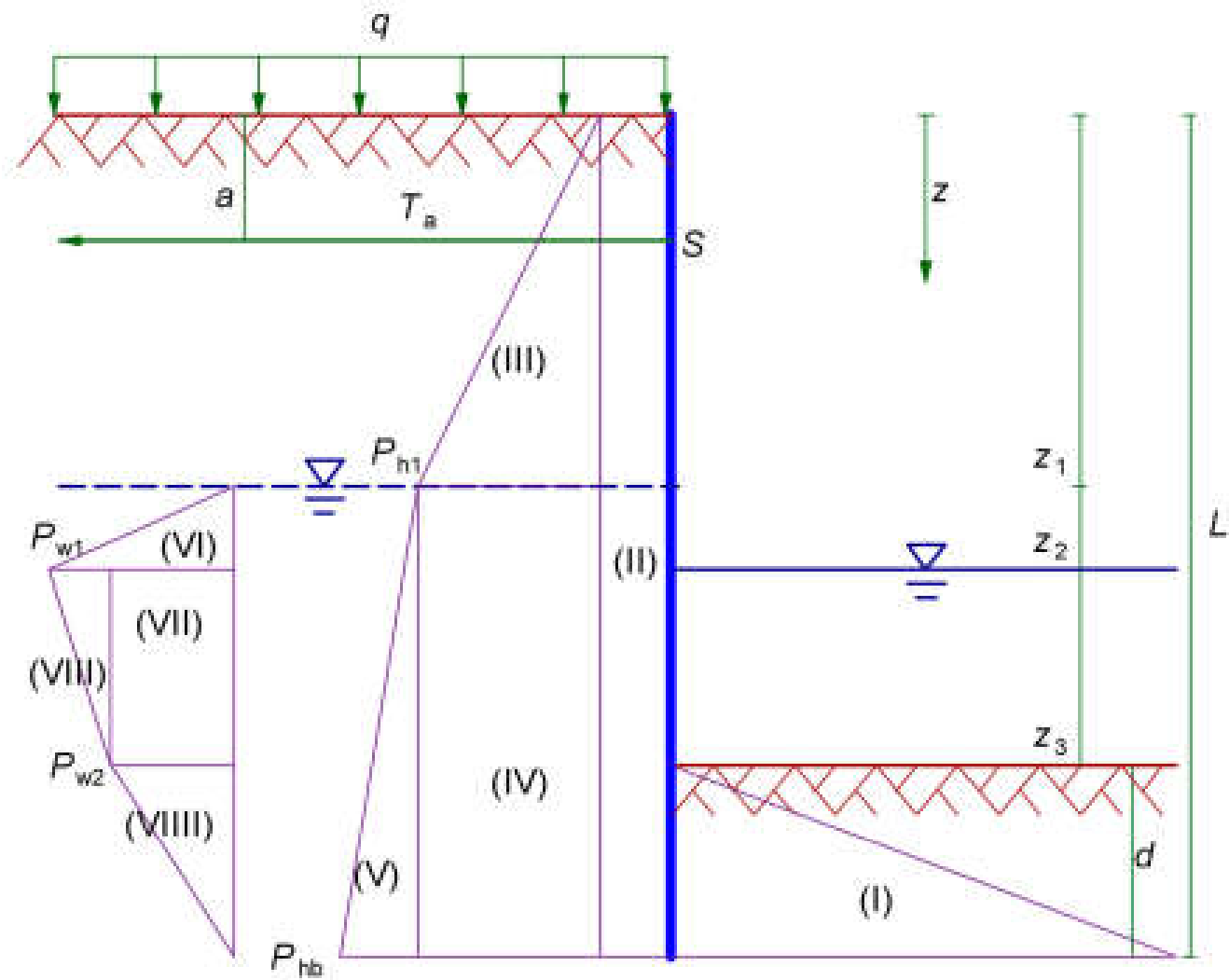


Figure 2. Illustration for an anchored sheet pile wall in sand with steady-state seepage.

sure from the retained soil. An investigated by Low (2005), as

$$K_a = \left[\frac{\sin(\alpha - \phi) / \sin \alpha}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta) + \sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \lambda) / \sin(\alpha - \lambda)}}} \right]^2, \quad (6)$$

$$K_p = \left[\frac{\sin(\alpha - \phi) / \sin \alpha}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta) - \sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \lambda) / \sin(\alpha - \lambda)}}} \right]^2, \quad (7)$$

where α is the inclination of the back of the wall, λ is the inclination of the retained fill surface to the horizontal, and δ is friction angle between the sheet pile wall and soil. Then, the effective active earth pressure acting against the sheet pile at the depth z_1 is given by

$$P_{h1} = K_a \cos \delta (q + z_1 \gamma_w), \quad (8)$$

where γ_w is the bulk unit weight of water (9.81 kN/m^3). The effective active earth pressure acting on the bottom of the sheet pile is defined as follows:

$$P_{hb} = K_a \cos \delta (q + z_1 \gamma_w + (L - z_1) \gamma_{ea}), \quad (9)$$

$$P_{w1} = [(z_2 - z_1)(z_3 - z_2 + 2d) / (z_3 - z_1 + 2d)] \gamma_w, \quad (11)$$

$$P_{w2} = [(z_2 - z_1)2d / (z_3 - z_1 + 2d)] \gamma_w. \quad (12)$$

$$g(\gamma, \phi) = M_p - M_a = F_1 A_1 - \sum_{i=II}^{VIII} F_i A_i, \quad (13)$$

where $M_p = F_1 A_1$ and $M_a = \sum_{i=II}^{VIII} F_i A_i$.

Wu X.Z. [*Implementing statistical fitting and reliability analysis for geotechnical engineering problems in R*](#). Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2017, 11(2):173-188. 土工多元统计分析和概率计算的 R 实施

6.4 单支点桩墙计算

- ✓ 由 $\sum X=0$ 求支点锚固力 R_a :

$$R_a = \sum E - E_p$$

- ✓ 由剪力为零求出最大弯矩点深度:

$$x_m = \sqrt{\frac{2(\sum E - R_a)}{\gamma(K_p - K_a)}}$$

- ✓ 进而求出最大弯矩，再据此配筋

$$M_{\max} = \sum E(h - h_a + u + x_m) - R_a(h - h_0 + u + x_m) - \frac{1}{6}\gamma(K_p - K_a)x_m^3$$

6.4 单支点桩墙计算

■ 入土较深时

- ✓ 支锚点A铰支、下端嵌固的超静定梁，按 **等值梁法** 计算
- ✓ 确定反弯点O（近似以净土压力零点代替）

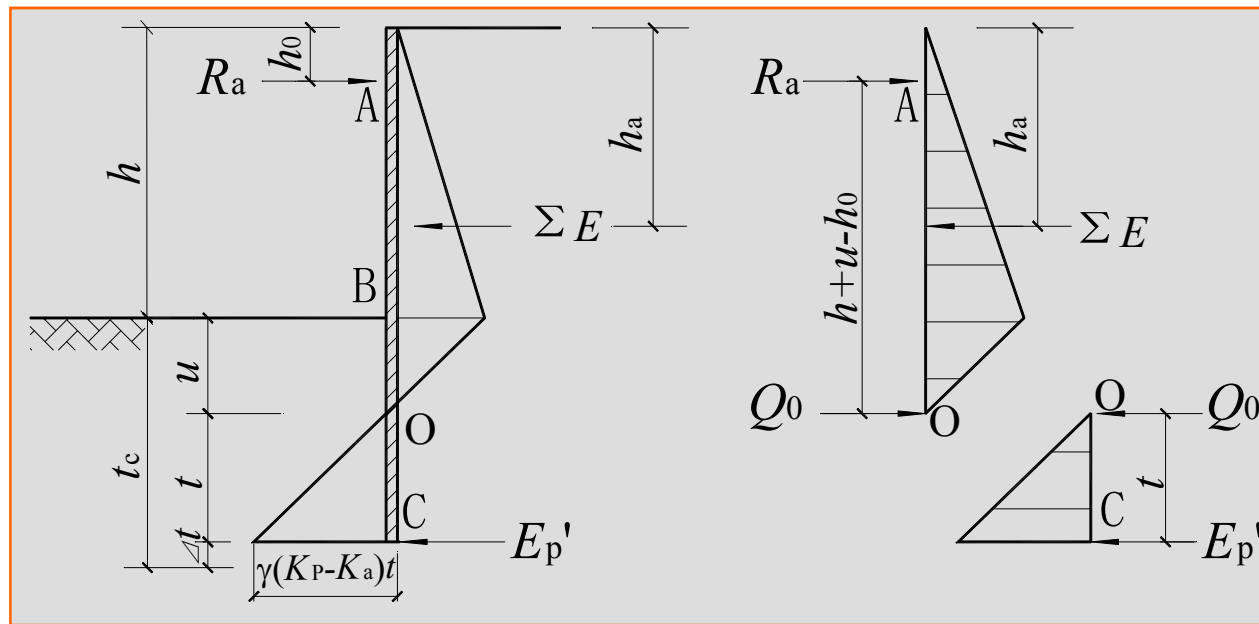


图 6.13 单支点桩墙计算简图

6.4 单支点桩墙计算

- ✓ 由等值梁AO求 R_a 和反弯点剪力 Q_0

$$\sum M_O = 0: R_a = \frac{\sum E(h - h_a + u)}{h - h_0 + u}$$
$$\sum M_A = 0: Q_0 = \frac{\sum E(h_a - h_0)}{h - h_0 + u}$$

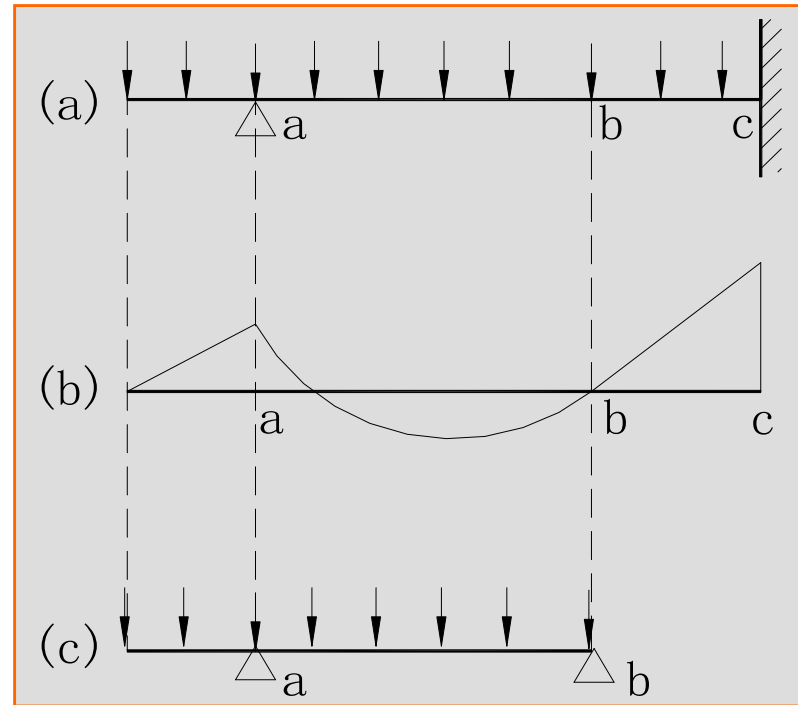
- ✓ 取下段OC为隔离体，由 $\sum M_C = 0$ 求 t ，并按式(1)放大

$$t = \sqrt{\frac{6Q_0}{\gamma(K_p - K_a)}}$$

- ✓ 由等值梁AO求算最大弯矩 M_{\max}

附 等值梁概念

- 一端固支，一端简支的梁(图a)
- b 点为弯矩反弯点(图b)
- 若在 b 点切开为两段梁，并规定 b 点为左端梁的简支点，则 ab 段内的弯矩保持不变，简支梁 ab 称之为 ac 梁 ab 段的等值梁。



附图 等值梁法基本原理

6.5 多支点桩墙计算

P200

- 土质较差，基坑较深时采用，支锚层数及位置根据土层分布与性质、基坑深度、支护结构刚度和材料强度以及施工要求等因素确定
- 常用分析计算方法：
 - ✓ 等值梁法
 - ✓ 连续梁法
 - ✓ 支撑荷载 $1/2$ 分担法
 - ✓ 弹性支点法
 - ✓ 有限单元法

6.5 基坑稳定性分析

P209

- **分析目的：** 确定合理的嵌固深度，或验算所设计的支挡结构是否稳定和合理
- **分析内容**
 - ✓ 整体稳定性
 - ✓ 踢脚稳定性
 - ✓ 坑底抗隆起稳定性
 - ✓ 基坑抗渗流稳定性
- **分析方法：** 工程地质对比法、力学分析法

6.5.1 基坑整体稳定性分析

- **方法：**圆弧滑动面简单条分法，按总应力法计算

$$K_{SF} = \frac{\sum c_i L_i + \sum (q_0 b_i + W_i) \cos \theta_i \tan \varphi_i}{\sum (q_0 b_i + W_i) \sin \theta_i} \geq 1.3$$

- c_i 、 φ_i — i 土条底的粘聚力和内摩擦角；
- L_i — i 土条底面面积；
- W_i — i 土条重量，按饱和容重计算；
- θ_i — i 土条底面倾角。

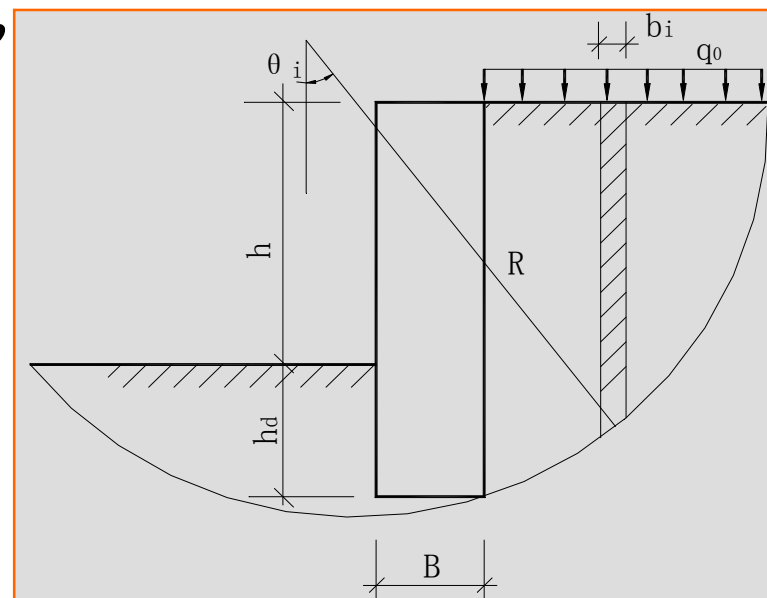


图 6.14 基坑整体稳定性分析

注意：对有软弱夹层，倾斜基岩面等，宜采用非圆弧滑动面；当嵌固深度下部存在软弱土层时，尚应验算其整体稳定性

6.5.2 踢脚稳定性分析

■ **对象：** 单(多)支点结构以支点(最下层支点)为转动点的失稳

$$K_T = \frac{M_p}{M_a} = \frac{E_p (h_t + \frac{2}{3} h_d)}{(\frac{5}{6} e_{a,b} + \frac{1}{3} e_{a,d}) (h_t + h_d)^2} \geq 1.0 \sim 1.5$$

M_p —内侧被动土压力对**B**点的力矩；

M_a —外侧**BD**段主动土压力对**B**点的力矩；

E_p —基坑内侧被动土压力；

$e_{a,b}$ 、 $e_{a,d}$ —基坑外侧**B**、**D**点土压力强度；

h_t —最下层支点离基坑底的距离；

h_d —支护结构的嵌固深度。

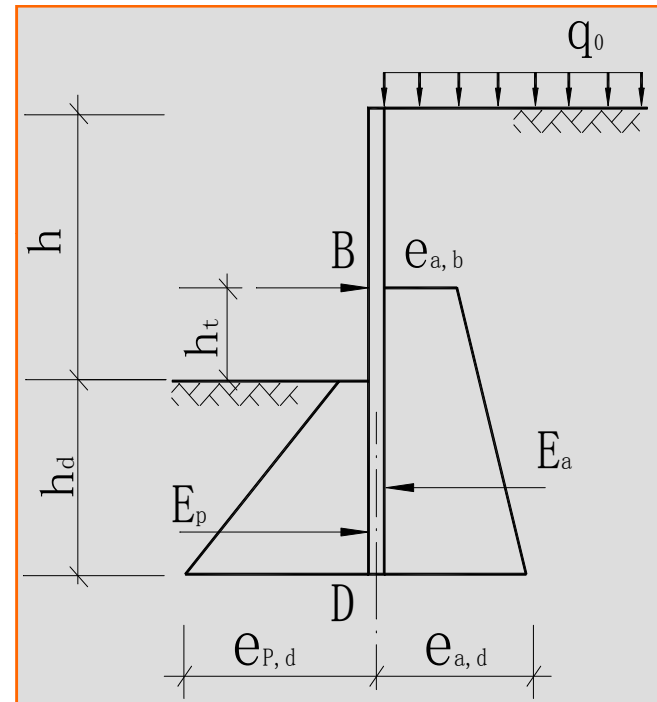


图 6.15 踢脚计算简图

6.5.3 坑底抗隆起稳定性分析

■ **分析方法：** 考虑墙体极限弯矩的抗隆起分析法、普朗特（Prandtl）与太沙基（Terzaghi）的抗隆起验算法

✓ **考虑墙体极限弯矩的抗隆起分析**

假定开挖面以下墙体对抗隆起有利，且土体沿墙底按圆弧滑动：滑动力为土自重 γh 及超载 q_0 ；抗滑力为滑面抗剪强度，要求：

$$K_L = \frac{M_{R,L}}{M_{S,L}} \geq 1.2 \sim 1.3$$

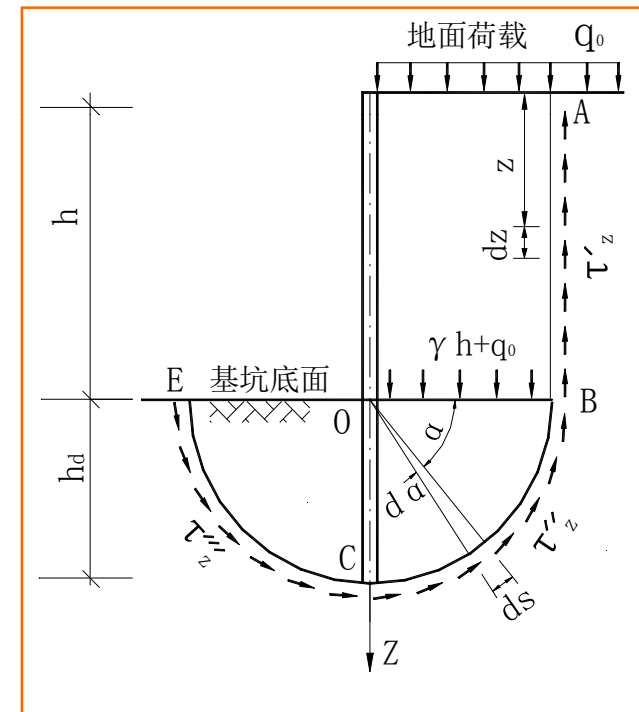


图 6.1 6 抗隆起分析示意图

6.5.3 坑底抗隆起稳定性分析

- 滑动力矩:

$$M_{S,L} = \frac{1}{2}(\gamma h + q_0)h_d^2$$

- 抗滑力矩:

$$M_{R,L} = \int_0^H \tau'_z h_d dz + \int_0^{S_1} \tau''_z h_d dS + \int_0^{S_2} \tau'''_z h_d dS + M_h$$

M_h —基坑底面处墙体极限抵抗弯矩，可取该处墙体设计弯矩
注:

- 采用试算法计算，当求得 K_L 为最小时的入土深即为所求嵌固深度 h_d ，该法较适用于中等强度和较软弱的粘性土
- 由于假定滑动面通过墙底，故 h_d 过小时该假定显然不合理，与实际不符

6.5.3 坑底抗隆起稳定性分析

✓ 太沙基和普朗特尔抗隆起分析

墙底平面为极限承载力的求解基准面，
参照按Prandtl & Terzaghi公式，要求：

$$K_L = \frac{\gamma_2 h_d N_q + c N_c}{\gamma_1 (h + h_d) + q_0} \geq 1.2 \sim 1.3$$

Prandtl公式

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi, \quad N_q = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) e^{\pi \tan \varphi}$$

Terzaghi公式

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi, \quad N_q = \frac{1}{2} \left[e^{\frac{(\frac{3}{4}\pi - \frac{\varphi}{2}) \tan \varphi}{\cos(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}} \right]^2$$

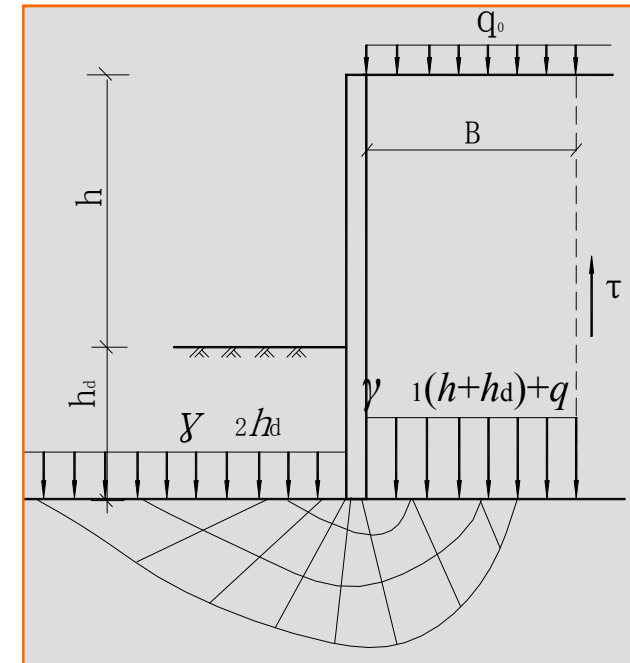


图 6.17 太沙基和普朗特尔抗隆起算法

6.5.4 基坑渗流稳定性分析

■ 坑底抗流砂稳定性

- ✓ 流砂：当基坑底部向上的动水压力(渗透力) $j \geq \gamma'$ 时产生
- ✓ 近似按紧贴墙体最短路线计算最大渗透力，则抗流砂稳定安全系数应：

$$K_{LS} = \frac{\gamma'}{j} = \frac{(h - h_w + 2h_d)\gamma'}{(h - h_w)\gamma_w} \geq 1.5 \sim 2.0$$

h_w — 墙后地下水位埋深；

γ_w — 地下水重度， kN/m^3 。

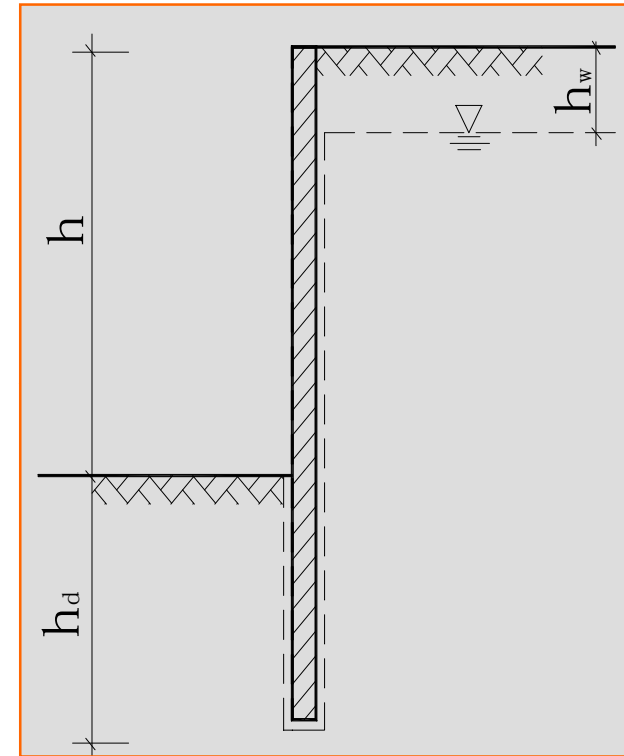


图 6.18 基坑抗流砂验算

6.5.4 基坑渗流稳定性分析

■ 基坑底土突涌稳定性

✓ **原因：**基底不透水层较薄且其下有较大水压的滞水层或承压水层时易发生

✓ 基坑底土突涌稳定性应满足

$$K_{TY} = \frac{\gamma h_s}{\gamma H} \geq 1.1 \sim 1.3$$

h_s — 不透水层厚度；

H — 承压水高于含水层顶板的高度。

注：若坑底土抗突涌稳定性不满足要求，可采用隔水挡墙隔断滞水层、加固基坑底部地基等处理措施。

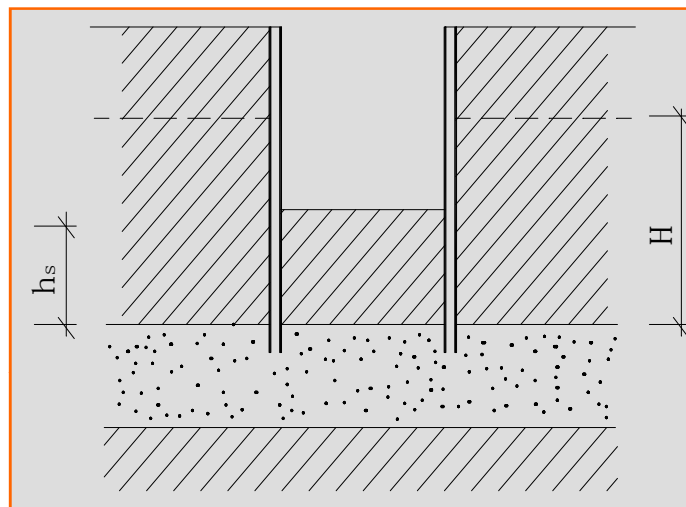


图 6.19 基坑底抗突涌稳定性验算

6.6 地下水控制

■ 常用的处理措施

- ✓ 一般中粗砂以上粒径土用水下开挖或堵截法；中砂和细砂土用井点法和管井法；淤泥或粘土用真空法或电渗法
- ✓ 当降水危及基坑及周边环境时，宜采用截水或回灌法。截水后基坑中的水量或水压较大时，宜采用坑内降水
- ✓ 地下含水层渗透性强且厚度大时，可采用“悬挂式竖向截水+坑内井点降水”或“悬挂式竖向截水+水平封底”
- ✓ 止水帷幕通常采用水泥搅拌桩、旋喷桩等，其形式有二：含水层较薄，穿过含水层插入隔水层或不透水层中；含水层较厚，悬吊在透水层中

6.6 地下水控制

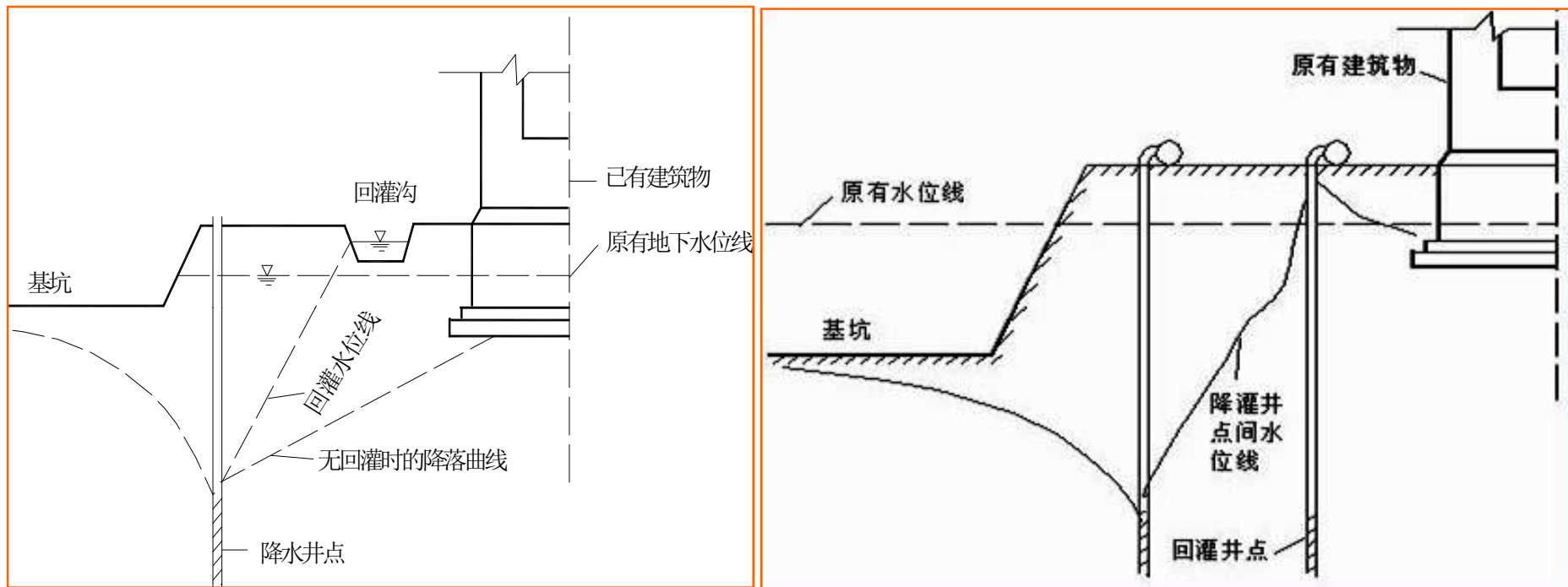
■ 地下水控制方法

- ✓ 集水明排法
- ✓ 降水法：轻型井点法、喷射~、管井~和深井泵~
- ✓ 截水和回灌技术：回灌沟、回灌井

■ 选择降水方法时应注意

- ✓ 充分调查含水层的埋藏条件及其水位或水压、透水性及富水性、地下水的排泄能力
- ✓ 场地周围地下水的利用情况
- ✓ 场地条件(周围建筑物及道路情况、地下水管线埋设情况)

6.6 地下水控制



井点降水与回灌沟回灌

井点降水与井点回灌

图 6.20 地下水控制示意图

Th e

e n d

文件名格式：班级 学号 姓名 简略实验名称

邮件标题同文件名

Any questions please 发送至 xingzhengwu@163.com