



同济大学交通运输工程学院
COLLEGE OF TRANSPORTATION ENGINEERING
TONGJI UNIVERSITY

城市轨道交通 结构设计与施工

Structural Design and Construction in
Urban Mass Transit

城市轨道交通与铁道工程系

周顺华、宫全美

- 本节主讲：宫全美

- 办 公 室：交通学院663

- 联系电话：69583652

- 电子邮箱：gongqm@tongji.edu.cn

第五章

明挖法结构设计

第三节

基坑工程中的土压力计算





土压力类型

经典土压力理论

**基坑工程中的土压力
计算方法**

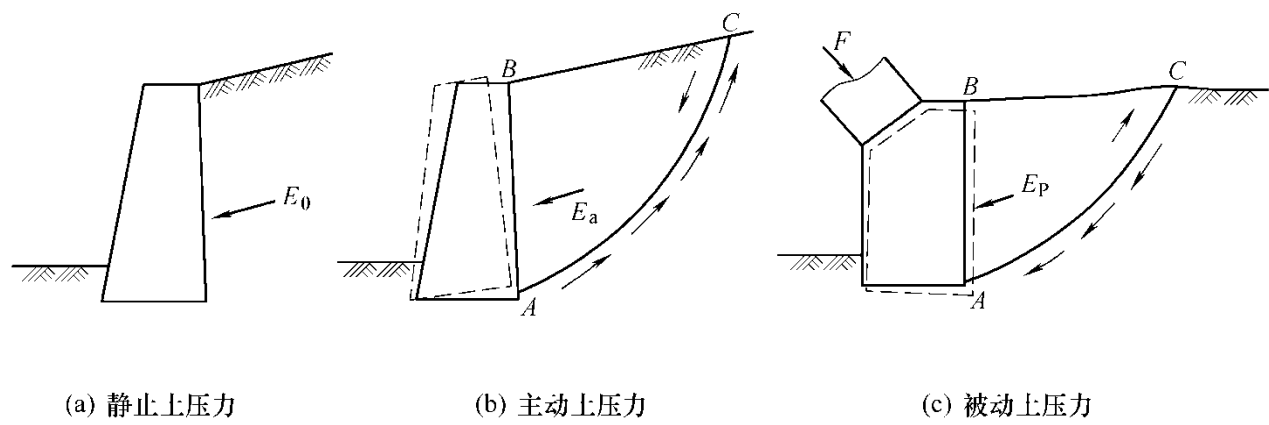
土压力特点与分布规律



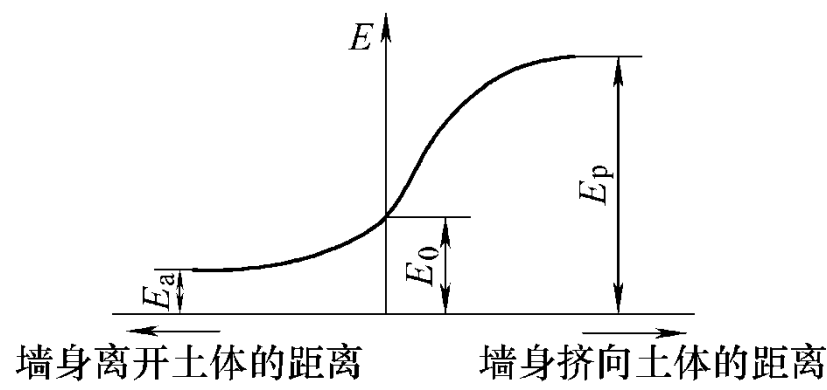
一、土压力类型



土压力的类型

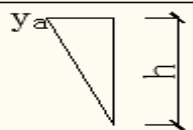
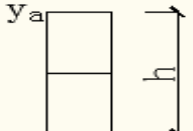
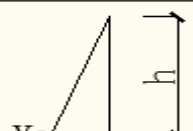
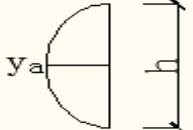


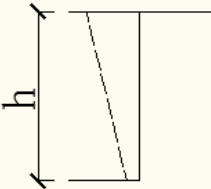
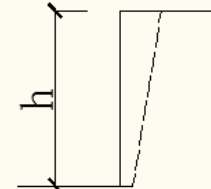
三种不同极限状态的土压力



土压力与位移的关系

土压力与位移的关系

	达到主动土压力时的位移 y_a/h %		达到被动土压力时的位移 y_a/h %	
	松散土	密实土	松散土	密实土
	0.4-0.5	0.1-0.2	7-15	5-10
	0.2	0.05-0.1	5-10	3-5
	0.8-1.0	0.2-0.5	6-15	5-6
	0.4-0.5	0.1-0.2	-	-

极限状态	墙体位移模式	土类	到达极限状态时的位移 y_a/h %
主动状态		密实砂土	0.1
		松散砂土	0.4
		硬粘土	1
		软粘土	2
被动状态		密实砂土	2
		松散砂土	6
		硬粘土	2
		软粘土	4

《加拿大基础工程手册》（1985）

《欧洲岩土设计规范Eurocode7（BSEN1997-1:2004）





二、经典土压力理论



经典土压力理论

□ 假定

- 挡土结构视为刚性体
- 土体是理想刚塑性体
- 服从Mohr—Coulomb的强度理论
- 朗肯、库仑理论
- 土体达到极限平衡状态

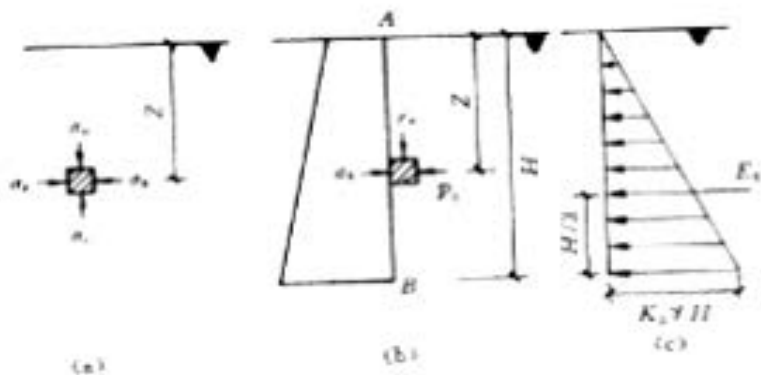
Rankine理论在理论上较严谨，但只考虑比较简单的边界条件，在应用上受到了很大的限制

Coulomb理论能适用于各种复杂的边界条件，而且在一定范围内能得到比较满意的解答，因此应用较广

Rankine的假定？ Coulomb理论的假定？

经典土压力理论

□ 静止土压力



- 左图表示半无限土体中Z深度一点的压应力状态，已知该土体的水平面和竖直面都是主应力面，所以，作用于该土单元的竖向主应力就是土的
- 自重应力 $\sigma_v = \gamma \cdot Z$
- 水平应力 $\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v$

- 关键是静止土压力系数 K_0 的确定，其值与土的性质和应力历史有关，可根据试验测定或按经验公式估算（室内 K_0 试验、现场旁压试验），一般情况下：

砂土 $K_0 = 0.35 \sim 0.50$

粘性土 $K_0 = 0.5 \sim 0.7$

经典土压力理论

□ 静止土压力

对于无粘性土和正常固结粘土 $K_0 = 1 - \sin \varphi'$

式中， φ' 为土的有效内摩擦角；

对于粘性土、淤泥质粘土可将1取为0.95。

降水对侧土压力系数的影响：

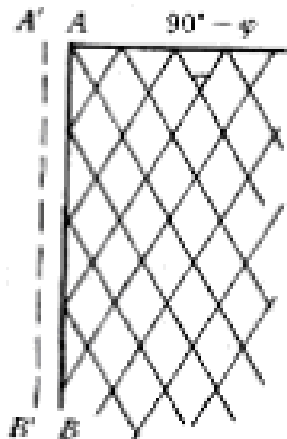
基坑降水使土体固结，内摩擦角提高为原来的1.1~1.3倍，侧土压力系数适当调整。

经典土压力理论

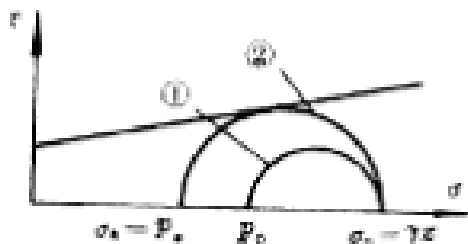
□ 朗肯土压力

英国学者朗肯于1857年提出的计算理论是研究自重压力作用下半无限土体内各点的应力从弹性平衡状态发展为极限平衡状态的条件，据以求土压力。

• 主动土压力



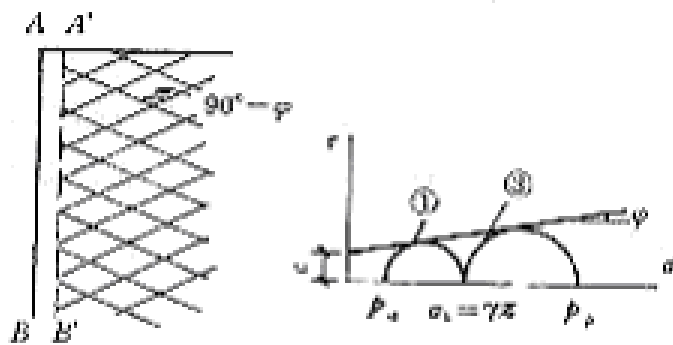
朗肯主动土压力（主动破坏状态）的破裂面？
跟第一主应力的作用面？
计算公式？



经典土压力理论

□ 朗肯土压力

- 被动土压力



(a) 墙体后移

(b) 摩尔圆

计算公式？

经典土压力理论

□ 朗肯土压力

- 朗肯理论的优点及缺点

优点：概念明确，公式简单，易于记忆；

缺点：为使墙后应力状态符合半空间的应力状态而做的假设，使计算范围受到限制，计算结果与实际有出入；

经典土压力理论

□ 库仑土压力

1776年法国学者库仑根据墙后土楔体处于极限平衡状态时的力系平衡条件，提出了与朗肯理论不同的分析方法，可适用于不同形式的填土表面和不同粗糙度的墙背条件。

库仑理论假设墙后土楔体处于极限平衡状态

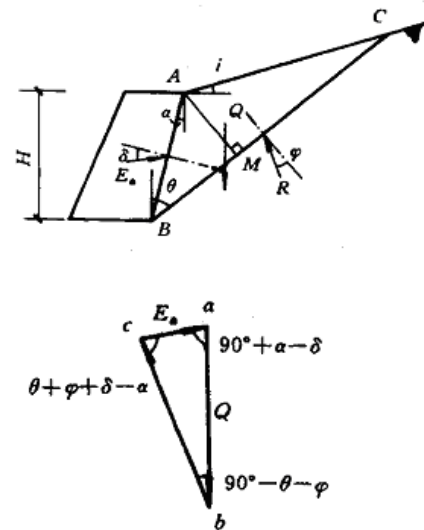
时滑动面为平面

滑动土楔体为刚体

墙后填土为无粘性土

在AB和BC滑动面上抗剪强度均已充分发挥

得到的是总的土压力值



墙后地面为任意平面时库仑主动土压力计算图

经典土压力理论

□ 库仑土压力

- 由式可知，当参数 γ 、 φ 、 δ 、 α 、 i 为定值时， E_a 是 θ 的函数，可随破裂面不同而变化。故在式中，将 E_a 对 θ 求导，并令 $\frac{dE_a}{d\theta} = 0$ 则可导得：

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta - \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - i)}{\cos(\delta - \alpha) \cos(\alpha + i)}} \right]^2}$$

式中 λ_a —库仑主动土压力系数

经典土压力理论

□ 库仑土压力

• 粘性土土压力计算

在工程实践中，根据就地取材的原则，挡土墙墙后填料均或多或少地具有粘性，此时应考虑粘聚力的存在对土压力的影响

• 换算内摩擦角

① 把粘性土的内摩擦角 φ 值增大 $5^\circ \sim 10^\circ$ ，作为综合内摩擦角 φ_0 ，因此，当墙高 $H \leq 6\text{m}$ 时，一般取综合内摩擦角值为 $35^\circ \sim 40^\circ$ ，当墙高 $H > 6\text{m}$ 时，取综合内摩擦角值为 $30^\circ \sim 35^\circ$ 。也可按经验规定粘聚力每增加 0.1MPa ，相当于增加内摩擦角 $3^\circ \sim 7^\circ$

② 根据土的抗剪强度相等的原理，计算综合内摩擦角 φ_0

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \left[\tan \varphi + \frac{c}{rH} \right]$$

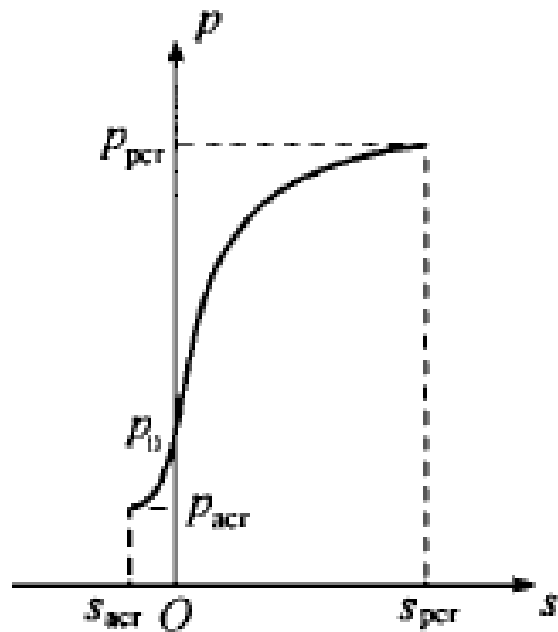
式中， r 为填料的容重(kN/m^3)； φ 为试验测定的土的内摩擦角； c 为试验测定的土的粘聚力(kPa)； H 为挡土墙的高度(m)。

经典土压力理论

□ 经典土压力的缺点

1) 要求土体变形达到极限状态的临界条件，无法计算不同变形情况下的土压力
(工程中不允许达到破坏，施工中环境保护要求)

2) 没有考虑挡墙的变位方式及模式对土压力的影响（挡土结构绕墙趾转动、平移、绕墙顶转动和绕墙中部转动时，主动土压力分布形式不同，大小也不同，不是直线分布。）



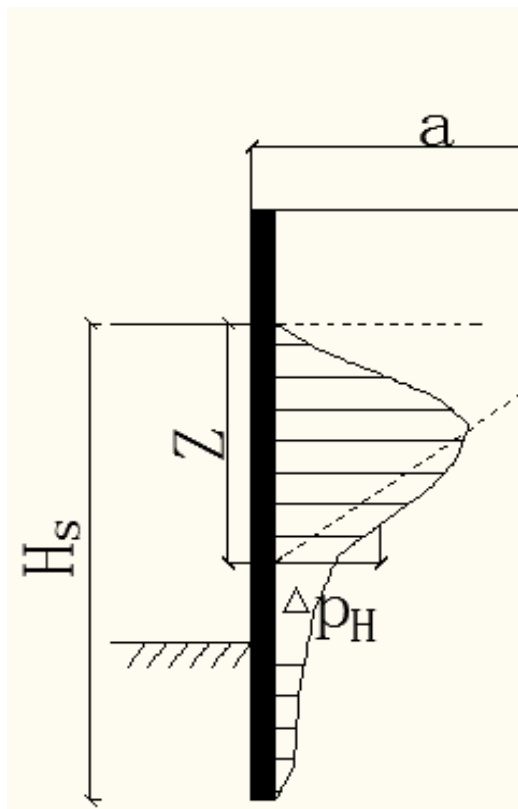


三、基坑中的土压力计算方法



基坑工程中的土压力计算方法

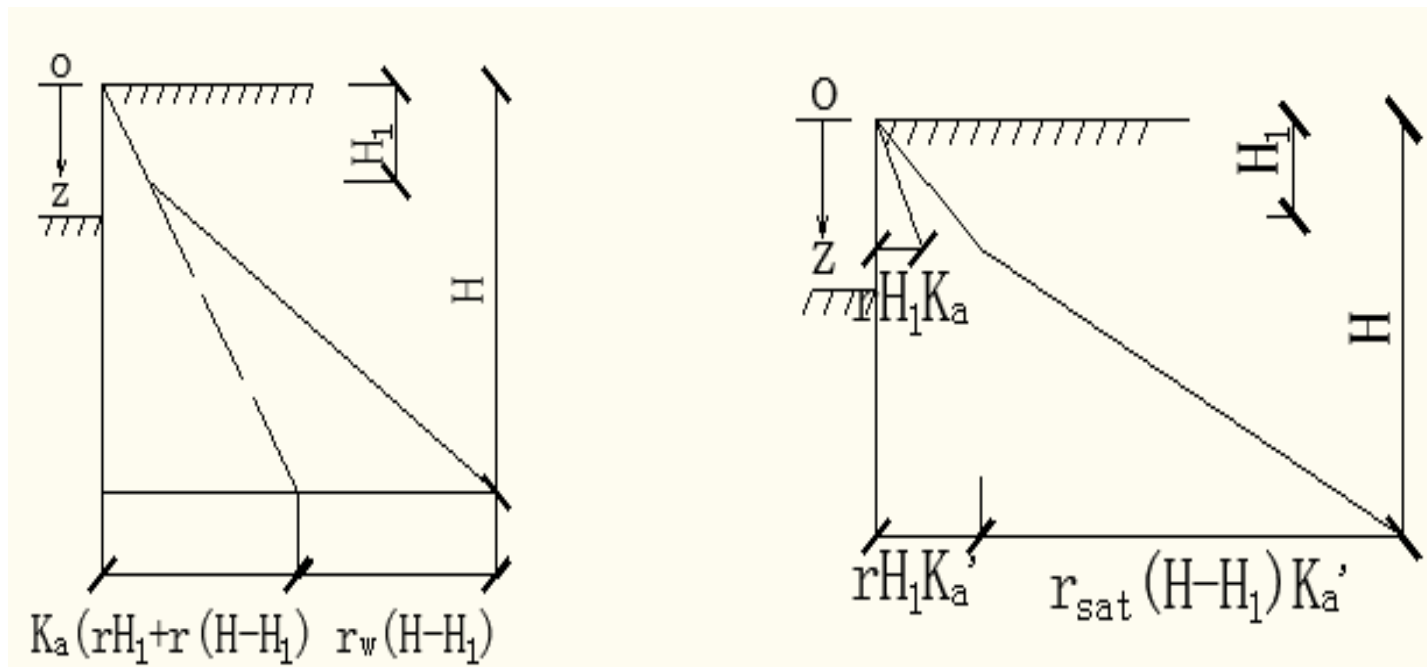
□ 作用于基坑围护结构上的主要荷载



主动?
被动?
土压力的影响因素?

基坑工程中的土压力计算方法

□ 水土分算与合算



(a) 水土分算

(b) 水土合算

Q: 哪种方法算出的压力值大一些?

基坑工程中的土压力计算方法

□ 水土分算

水土分算原则，即分别计算土压力和水压力，两者之和即总的侧压力，适用于土孔隙中存在自由的重力水的情况或土的渗透性较好的情况，一般适用于砂土、粉性土和粉质粘土。

□ 水土合算

适用于渗透性较差的黏性土

基坑工程中的土压力计算方法

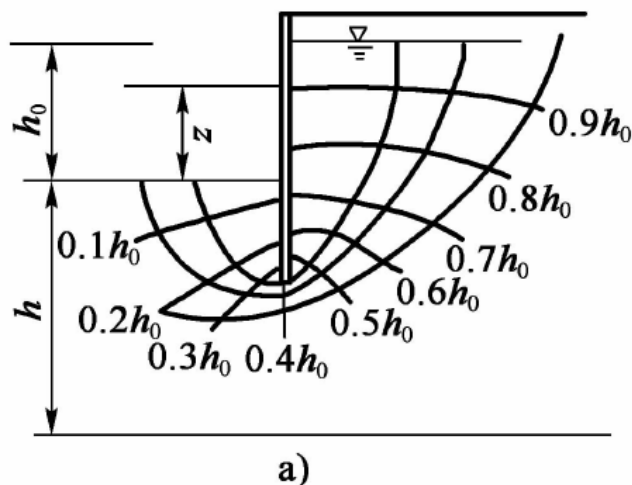
□ 有渗流时的水压力计算

应考虑地下水是否有稳定渗流的情况

无渗流时水压力按静水压力计算

什么情况下会产生渗流？渗流对土产生的力是什么？如何计算？

围护结构入不透水层？



Q: 压力增加还是减小？

基坑工程中的土压力计算方法

□ 有渗流时的水压力计算

- 本特.汉森法（修正法）

主动侧的近似水力坡降：

$$i_a \text{ 取以 } \frac{0.7 \Delta h_w}{h_{w1} + \sqrt{h_{w1} h_{w2}}}$$

坑内水位处：

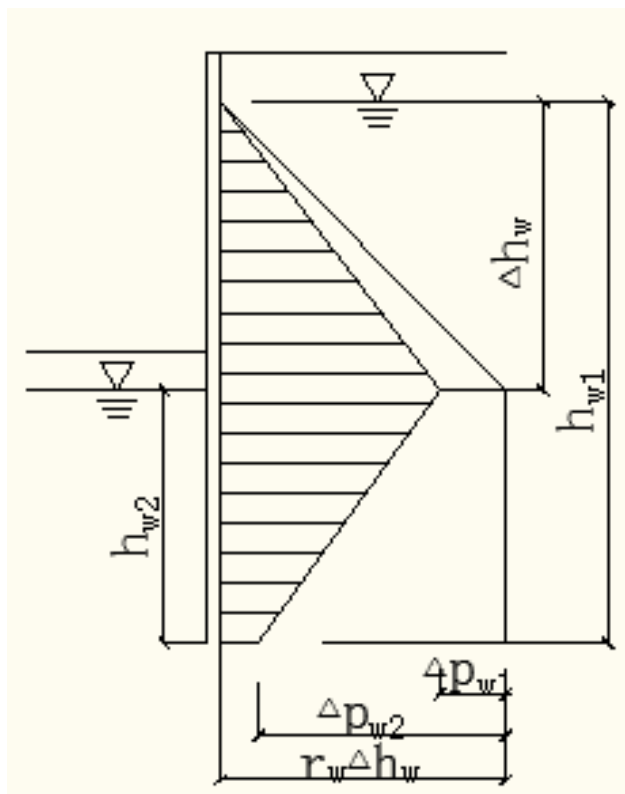
$$\Delta p_{w1} = i_a \gamma_w \Delta h_w$$

$$p_{w1} = \gamma_w \Delta h_w - \Delta p_{w1}$$

连续墙底处：

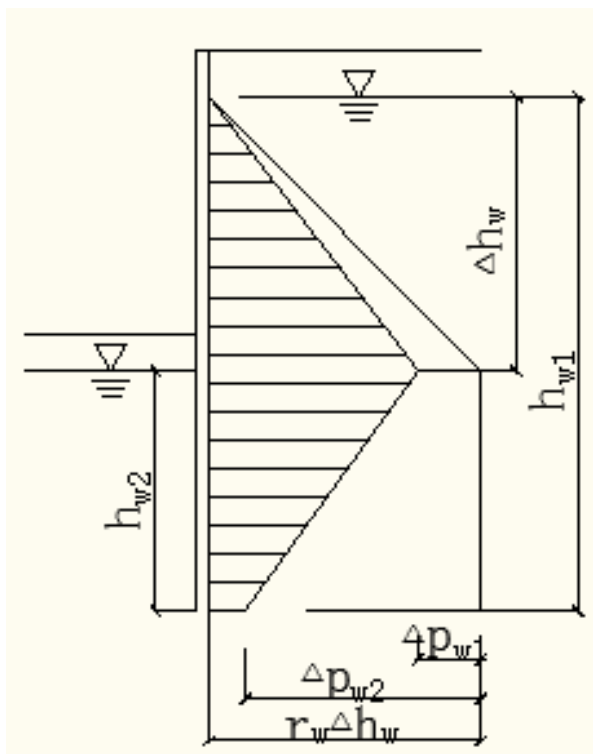
$$\gamma_w h_{w1} - \Delta p'_1$$

$$\Delta p'_1 = i_a \gamma_w h_{w1}$$



基坑工程中的土压力计算方法

□ 有渗流时的水压力计算



被动侧土压力增加

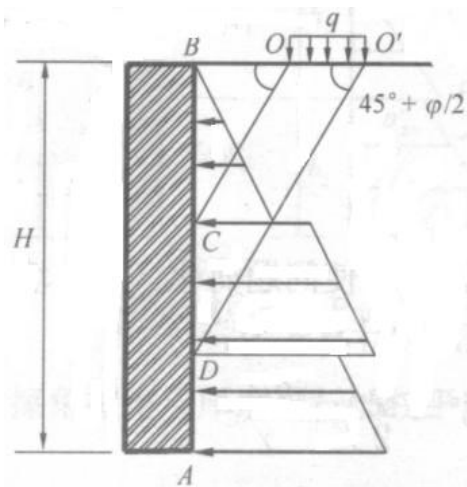
为被动区的近侧坡降, $i_p = \frac{0.7 \Delta h_w}{h_{w2} + \sqrt{h_{w1} h_{w2}}}$

围护墙底端: $(\gamma_w h_{w2} + \Delta p'_2)$

$$\Delta p'_2 = i_p \gamma_w h_{w2}$$

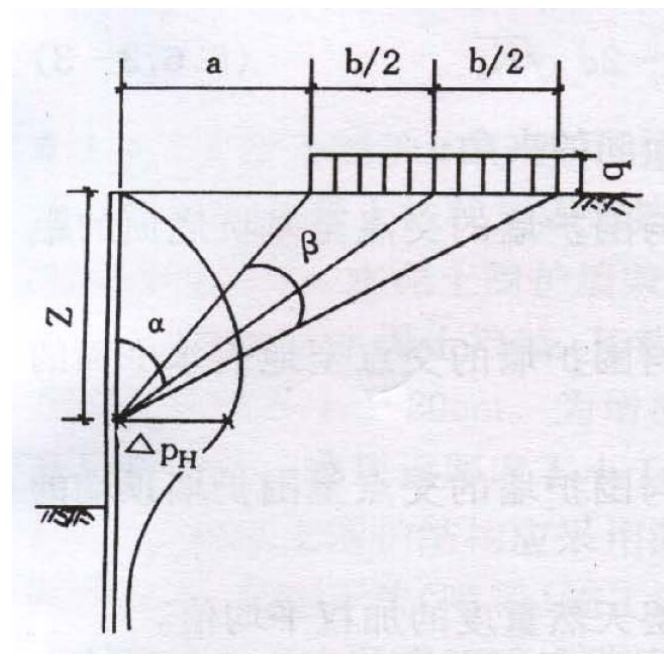
基坑工程中的土压力计算方法

□ 考虑地面超载作用



局部均布超载作用下的Rankine土压力

Q: 无限均布超载?



地表局部均布荷载作用下的土压力

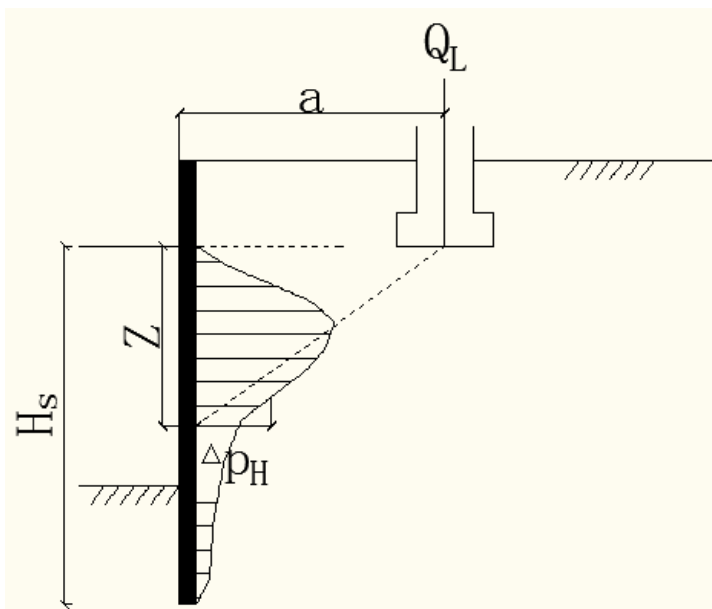
$$\Delta p_H = \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha)$$

Δp_H – 附加侧向土压力(kPa)

q – 地表局部均布荷载(kPa)

基坑工程中的土压力计算方法

□ 相邻条形基础荷载作用



$$\text{当 } m \leq 0.4 \quad \Delta p_H = \frac{Q_L}{H_s} \frac{0.203n}{(0.16 + n^2)^2}$$

$$\text{当 } m > 0.4 \quad \Delta p_H = \frac{4Q_L}{\pi H_s} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2}$$

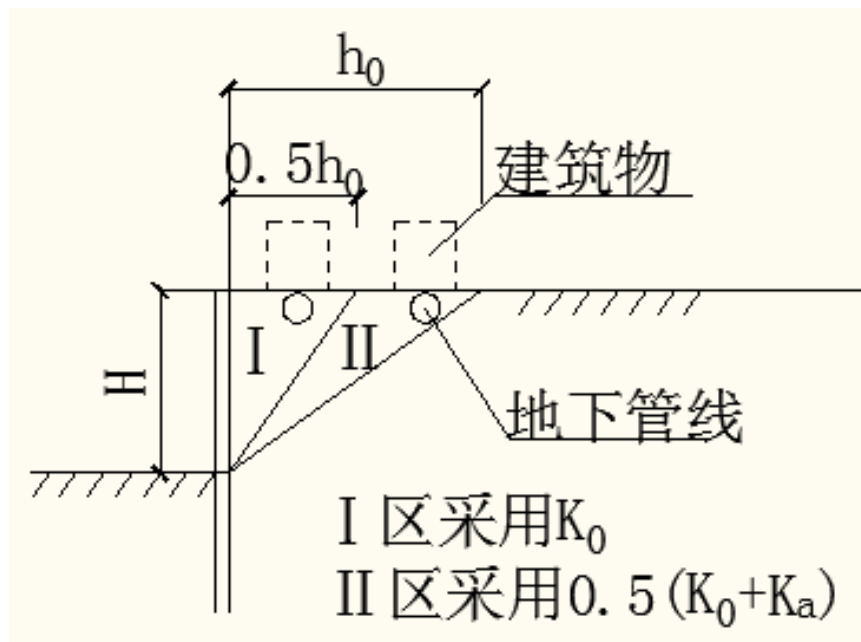
Q_L – 相邻基础底面处的线均布荷载(kN / m)

m 、 n – 分别为 a / H_s 、 Z / H_s 的比值；

H_s – 相邻基础底面以下的围护墙体高度

基坑工程中的土压力计算方法

□ 非极限状态的土压力计算



上海市标准《基坑工程设计规程》中的计算方法

当对沉降有严格限制的建筑物或地下管线位于 I 区范围时

被动侧：被动土压力系数乘以一折减系数

$$C_p = \frac{K_0 + (K_p - K_0)X_p}{K_p}$$

$$X_p = \left[2(S_a / S_p) - (S_a / S_p)^2 \right]^{0.5}$$

C_p – 被动土压力折减系数

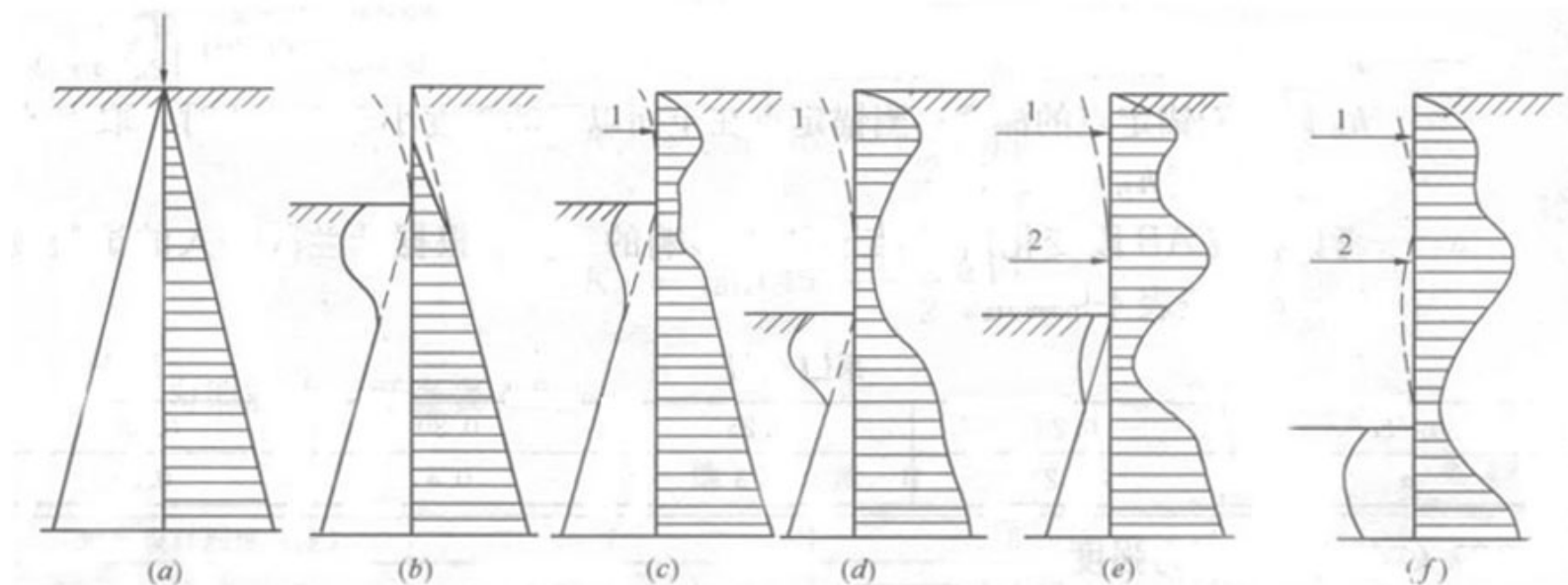
S_a – 容许的位移值

S_p – 被动极限时的位移值，
取 $(0.02 - 0.04)h_0$



四、土压力特点和分布规律

基坑开挖支护中的土压力特点与分布规律



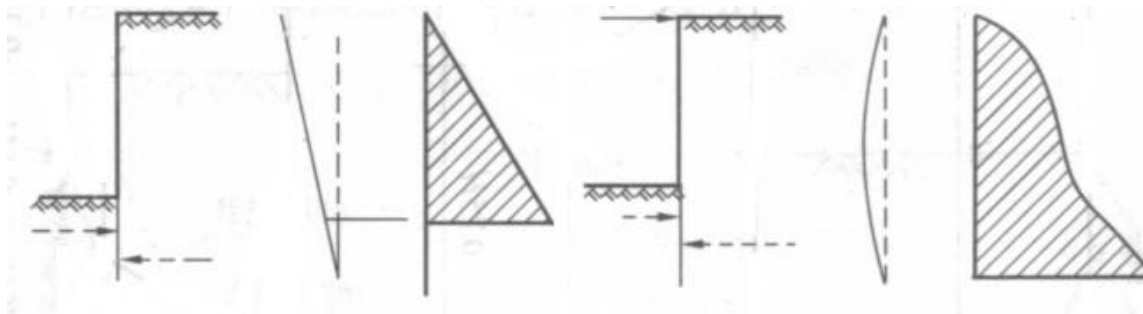
基坑开挖土压力发展阶段

土压力的大小和分布不仅与土体性质有关，还与支护结构的形式和刚度、基坑内土体开挖次序、基坑形状等有密切关系，是一个动态过程。

基坑开挖支护中的土压力特点与分布规律

□ 土压力计算图示

- 三角形分布模式：

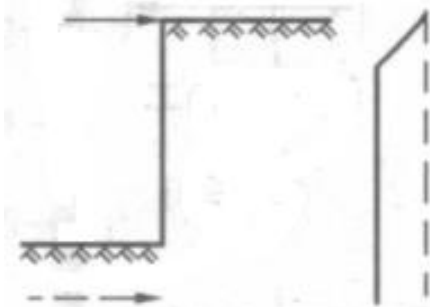


(a)无支撑围护(下端固定) (b)单道顶撑围护(下端固定)

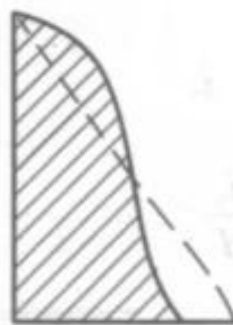
- (a) 墙体的变位为绕墙底端或绕墙底端以下某一点转动，即墙顶端位移大、底端位移小；
- (b) 围护体在顶端弹性有支承并埋置较深，相当于下端固定的情况，变形与简支梁相近，主动土压力仍可近似按三角形分布模式。

基坑开挖支护中的土压力特点与分布规律

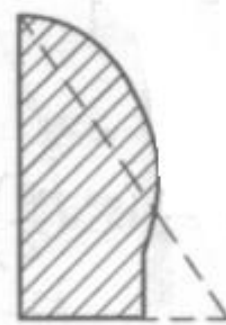
- 三角形加矩形分布模式：



(c) 单道顶撑固定



(d) 多支撑围护



(c) 围护体虽在顶端有弹性支承但因其埋深较浅，下端水平位移较大；

(d) 多支撑或多锚围护体接近于平行移动。

上述两种情况下的土压力分布可以简化为主动土压力在基坑开挖面以上随深度的增加成线性增大分布，在开挖面以下为常量分布的三角形加矩形组合分布模式。



思考题







QUESTION AND DISCUSSION



「 谢 谢 ! 」

