

第6章 土压力

主讲：刘勇健



§ 6.3 库仑土压力理论



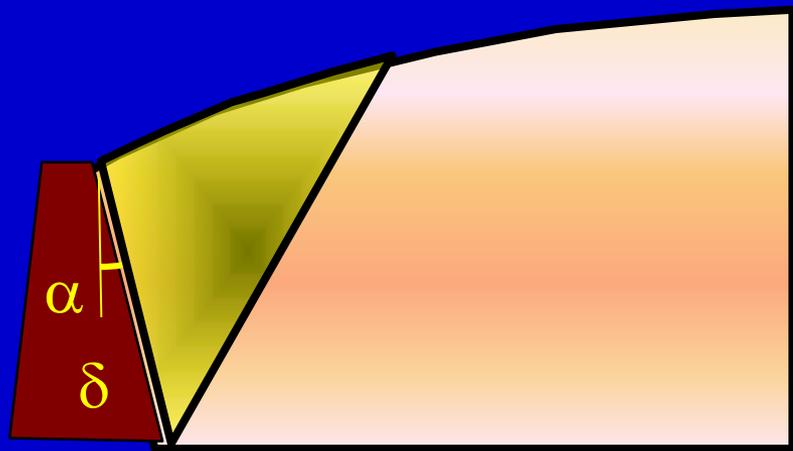
库仑

C. A. Coulomb

(1736-1806)

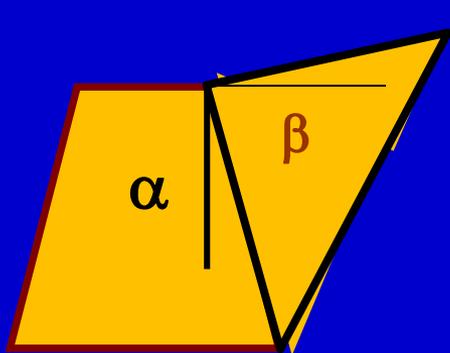
- 墙背粗糙，与填土的外摩擦角为 δ ；
- 墙背倾斜，具有倾角 α ；
- 填土面倾斜，角度 β 任意。

如何计算挡土墙的土压力？

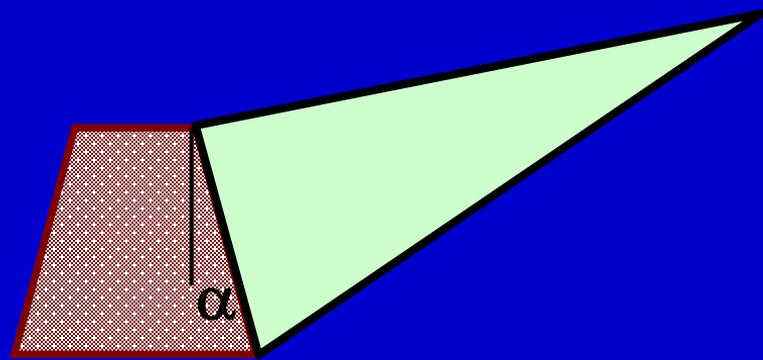
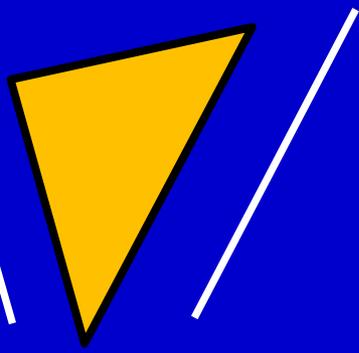


基本假定：

- (1) 挡墙是刚性的，填土为无黏性；
- (2) 滑裂面过墙踵的平面
- (3) 滑动楔体处于极限平衡状态

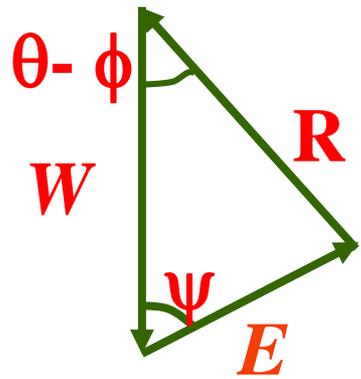
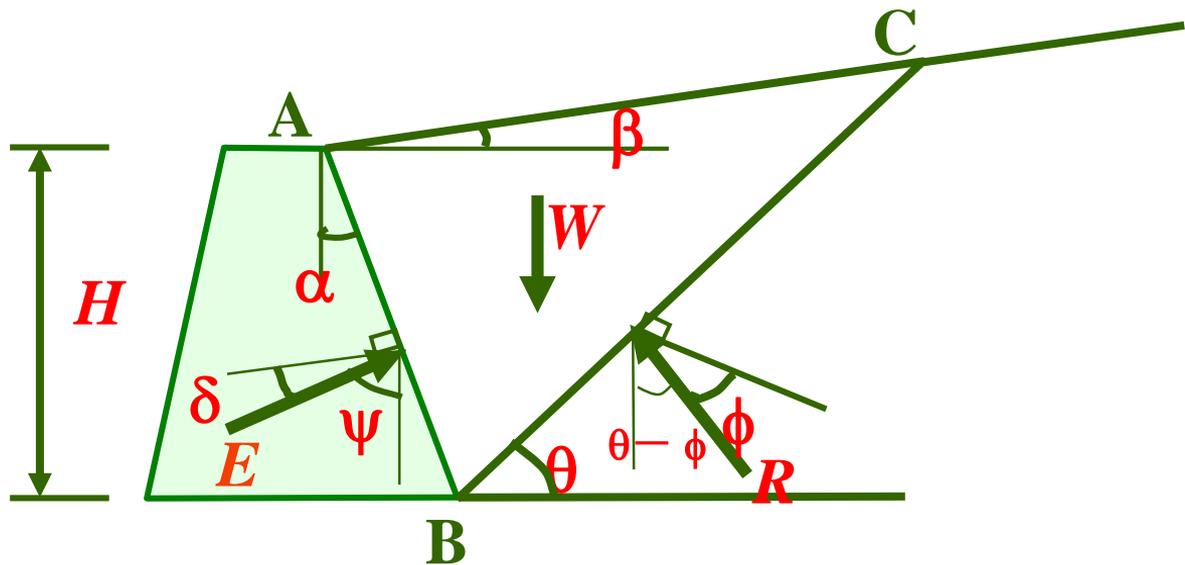


主动极限平衡状态



被动极限平衡状态

一、库仑主动土压力



$$\psi = 90^\circ - \delta - \alpha$$

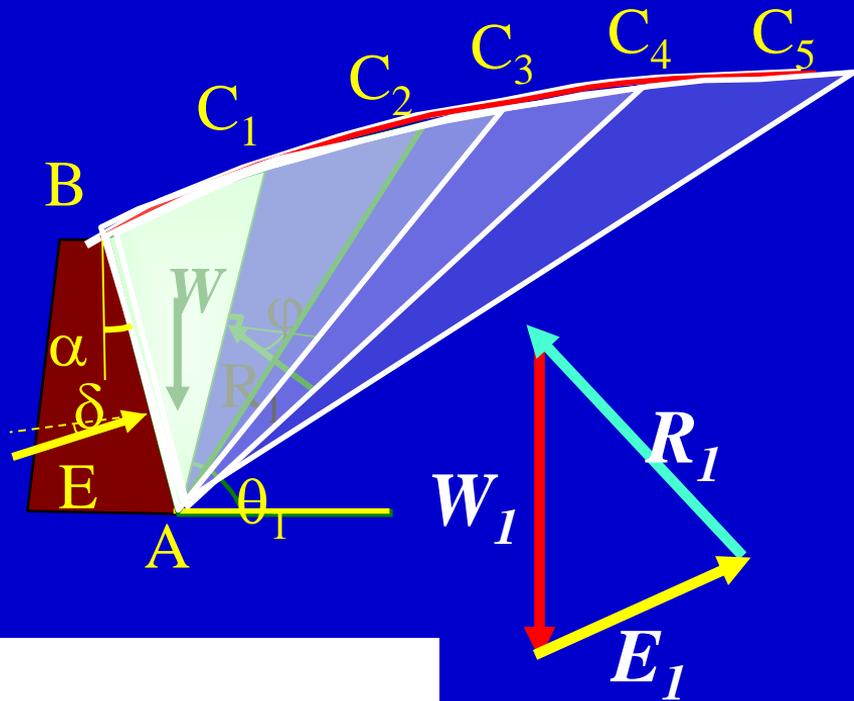
$$E = \frac{W \sin(\theta - \phi)}{\sin[180^\circ - (\theta - \phi + \psi)]} = f(\theta)$$

(正弦定理：各边和它所对角的正弦值的比相等)

库仑主动土压力

• E是 θ 的函数, $dE/d\theta = 0$ 时, 求得破裂角 θ_{cr} , E_{max} 为主动土压力, 对应的滑动面为土楔最危险滑动面。

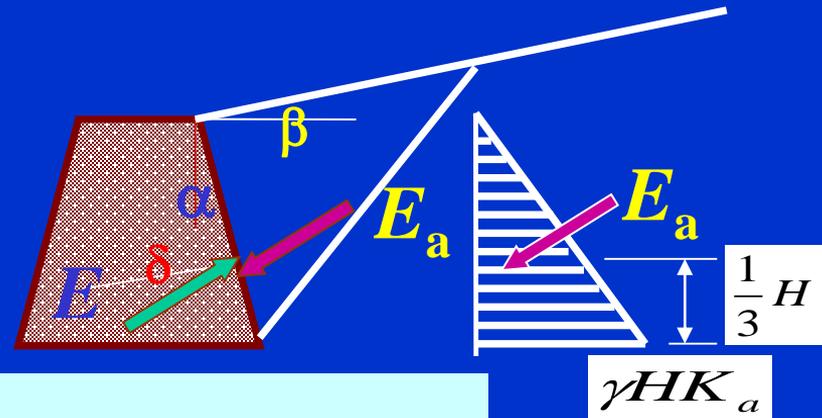
$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$



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

库仑主动土压力理论

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



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

Ka - 库仑主动土压力系数

特例: $\alpha = \delta = \beta = 0$, 墙背竖直光滑, 填土面水平, 与朗肯理论等价

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

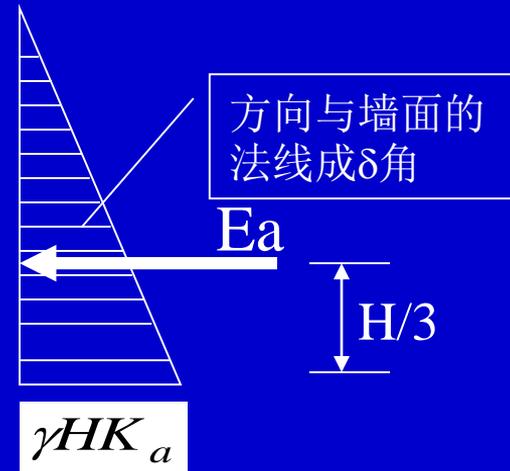
库仑主动土压力

- 主动土压力合力:

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

- 主动土压力 σ_a ，通过 E_a 对 z 取导数得到:

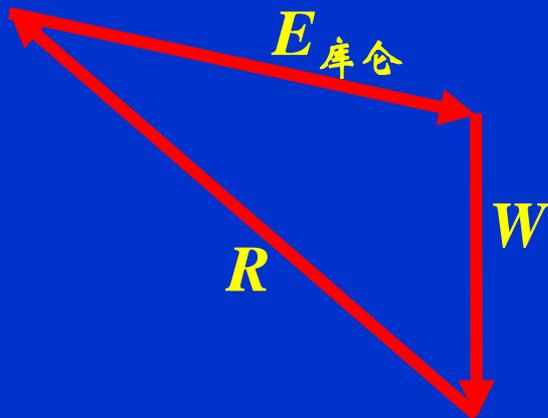
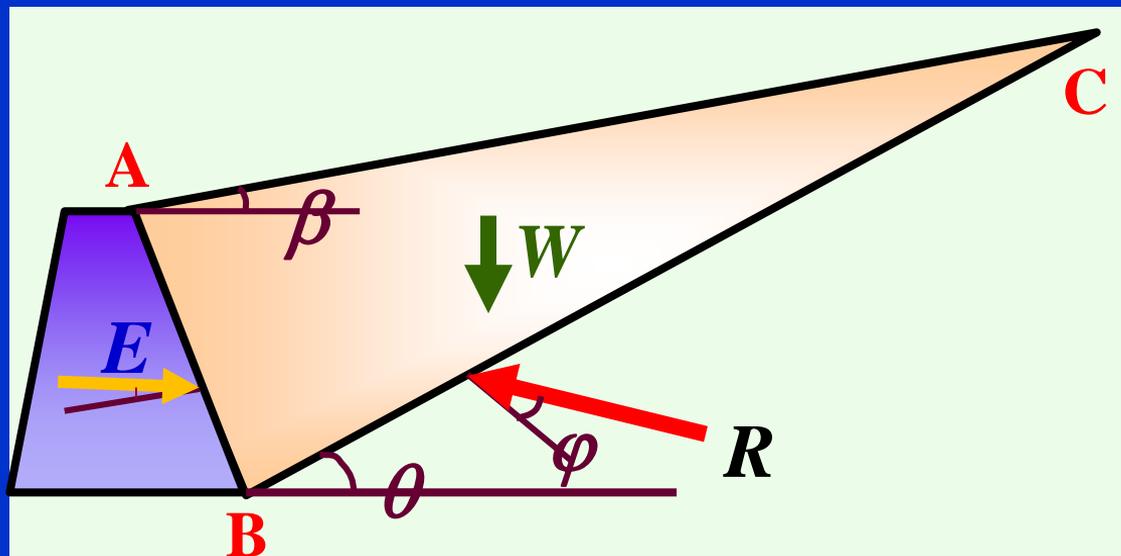
$$\sigma_a = \frac{dE_a}{dz} = \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{2} \gamma z^2 K_a \right) = \gamma z K_a$$



土压力分布：沿墙高呈三角形分布

二、被动土压力-砂土

方法类似, E 是 θ 的函数, 使 E 最小, $dE/d\theta = 0$, 求得 θ_{cr} :



$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

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

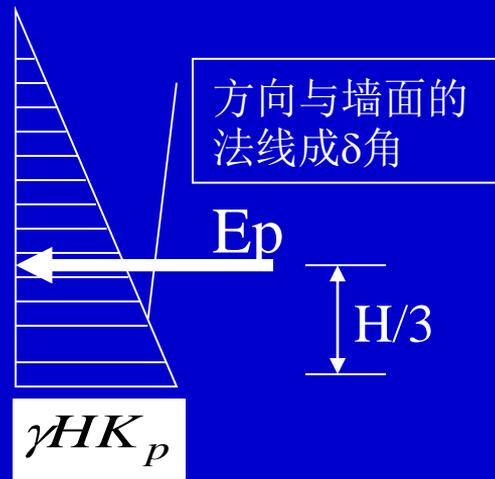
库仑被动土压力

- 用同样的方法也可求得朗肯被动土压力：

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

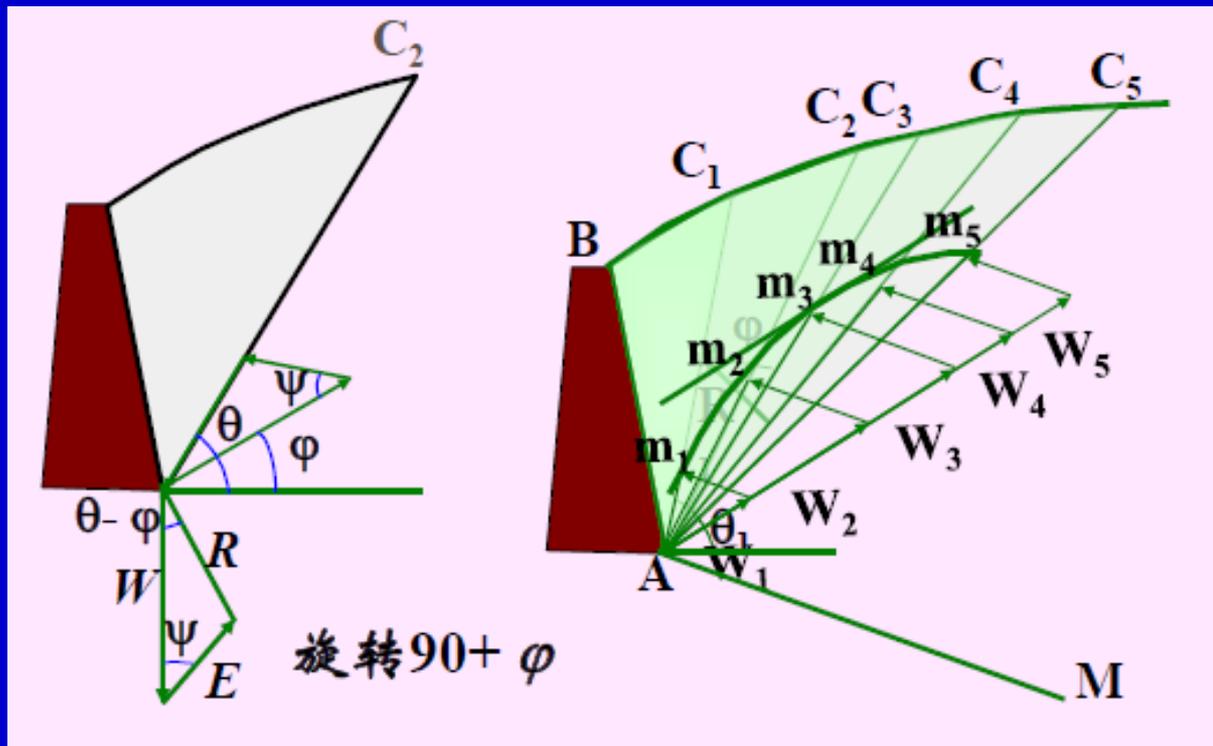
- 当墙背垂直 ($\alpha=0$)、光滑 ($\delta=0$)、填土面水平 ($\beta=0$) 时：

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

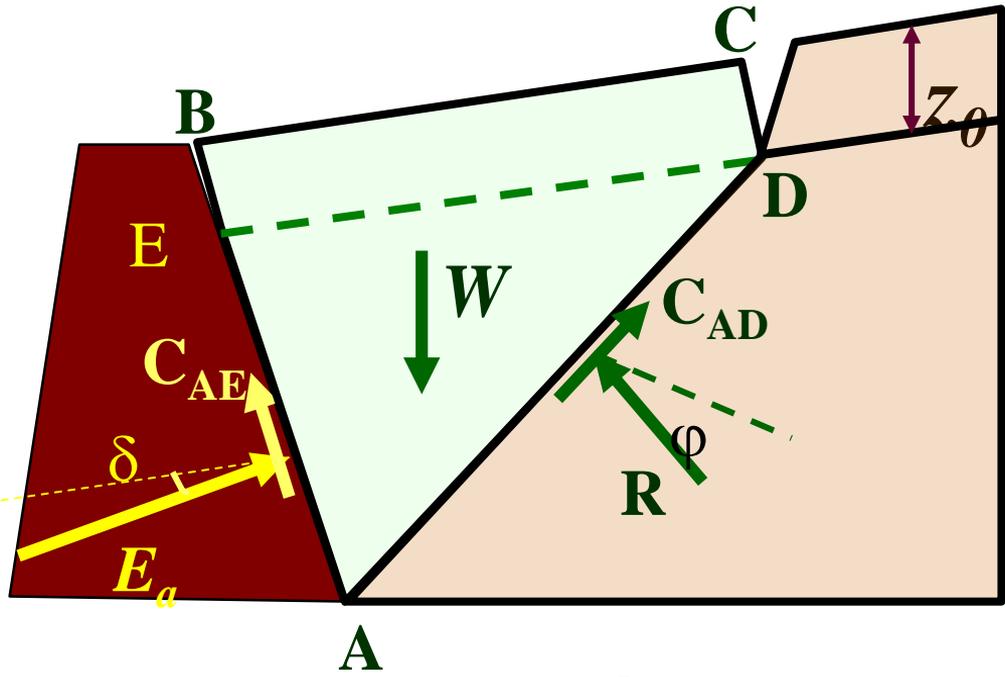


• 三、 库尔曼(C. Culmann)图解法

- 在图中使力三角形顶点O与墙底A重合, R_i 方向与 AC_i 方向一致

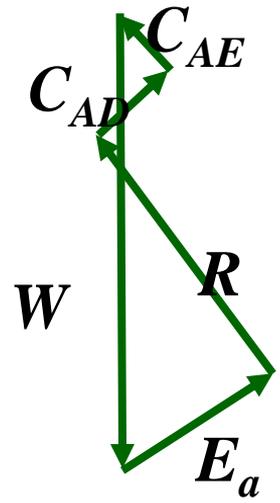


3. 粘性土的图解法



W中包括BCDE

$$z_0 = \frac{2c}{\sqrt{K_a \gamma}}$$



§ 6.4 土压力计算的讨论



William John Maquorn Rankine
(1820 - 1872)



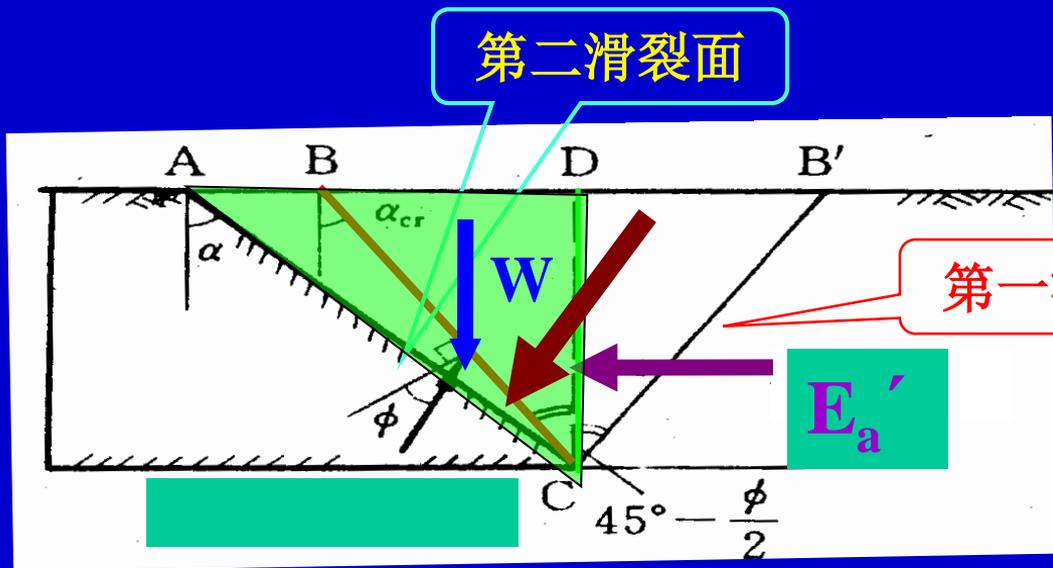
C. A. Coulomb
(1736-1806)

§6.4 土压力计算的讨论

- § 6.4.1 坦墙
- § 6.4.2 两种土压力理论比较
- § 6.4.3 土压力及相关问题



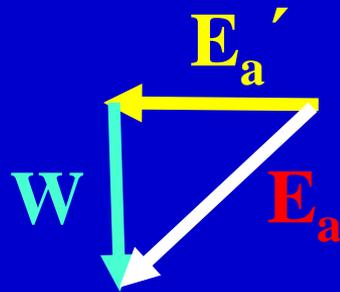
一、坦墙



$\delta = \phi$ 时

$$\alpha > \alpha_{cr} = 45^\circ - \frac{\phi}{2}$$

第一滑裂面



(1) 垂直于假设墙面CD上主动土压力

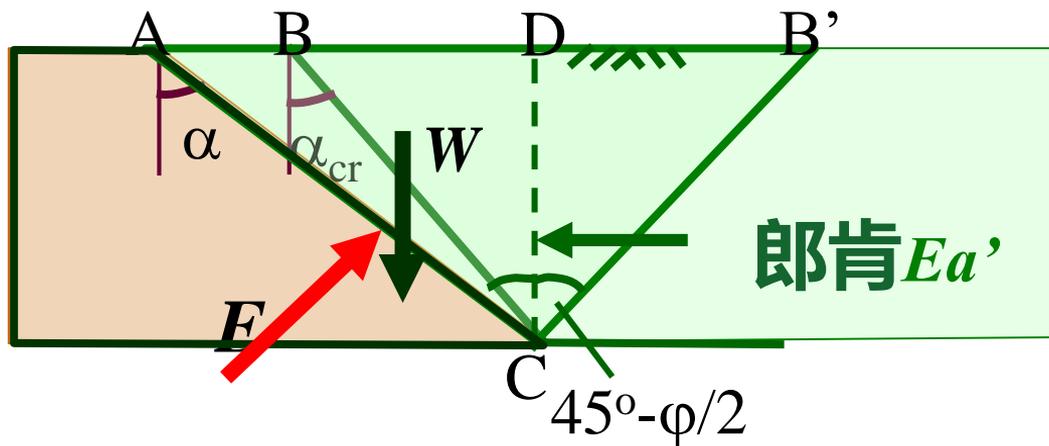
$$E'_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

(2) 作用在真实墙面AC上的土压力

$$E_a = \sqrt{E_a'^2 + W^2}$$

§4 几种工程中常见的主动土压力计算

二. 坦墙填土表面水平



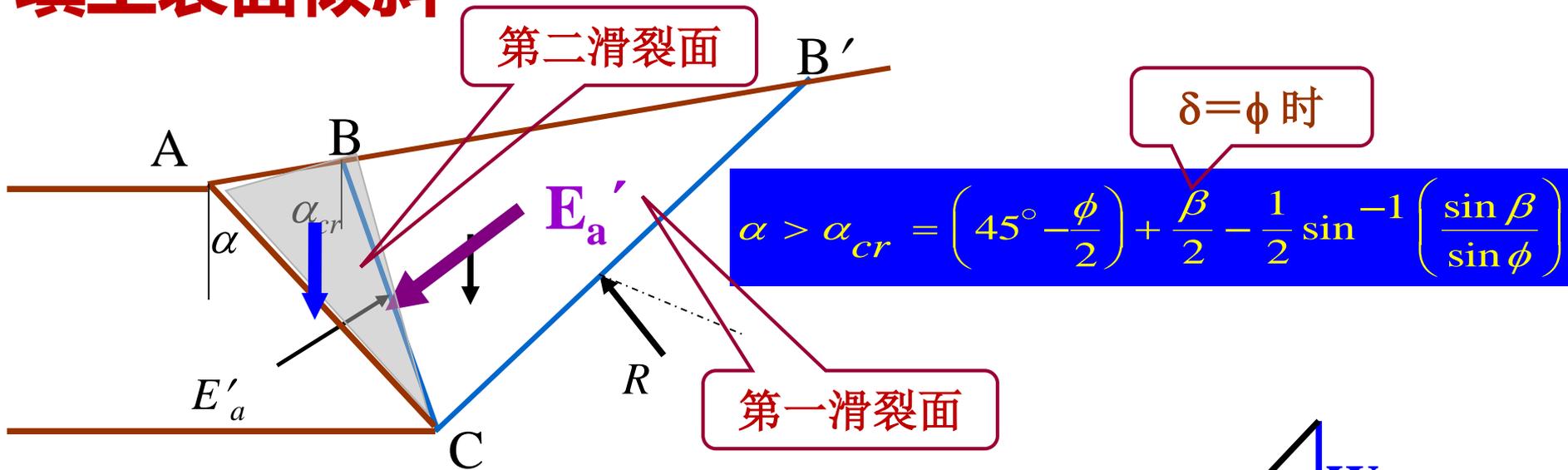
$$\alpha > \alpha_{cr} = 45^\circ - \varphi/2$$



- (1) 假设垂直墙面CD上主动土压力 Ea'
- (2) 作用在真实墙面AC上的土压力 E



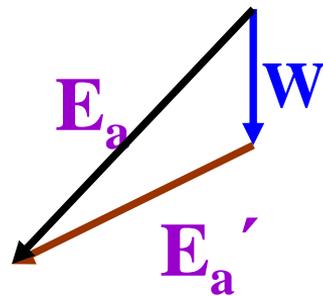
填土表面倾斜



库仑土压力理论:

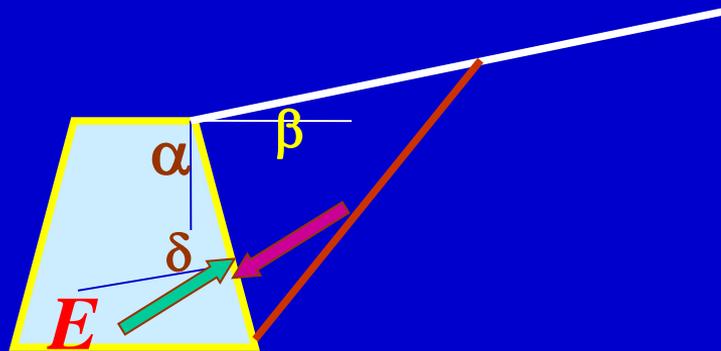
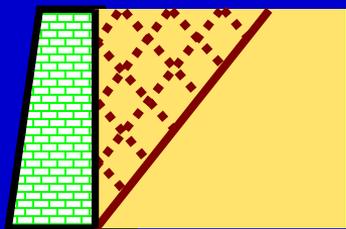
- (1) 求解假设墙面CB上主动土压力 E'_a
- (2) 作用在真实墙面AC上的土压力 E_a :

根据力三角形确定 $\vec{E}_a = \vec{E}'_a + \vec{W}$



二、两种土压力理论的比较

1 分析方法

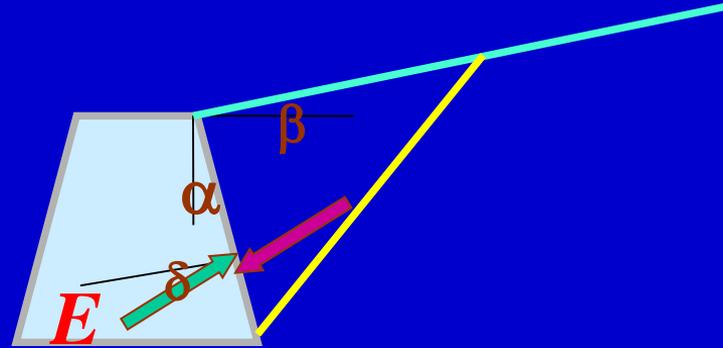
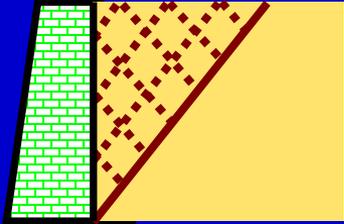


极限平衡状态

朗肯理论	库仑理论
土体内各点均处于极限平衡状态： 极限应力法	刚性楔体，滑面上处于极限平衡状态： 滑动楔体法
先求土压力强度 σ	先求总土压力 E

两种土压力理论的比较

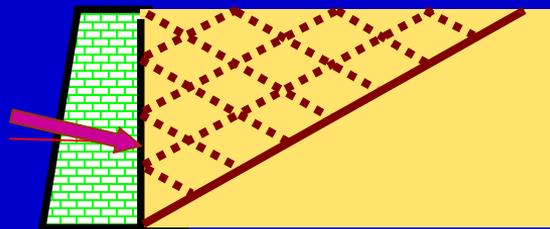
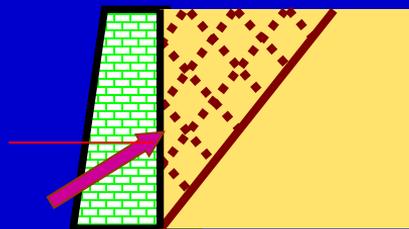
2 应用条件



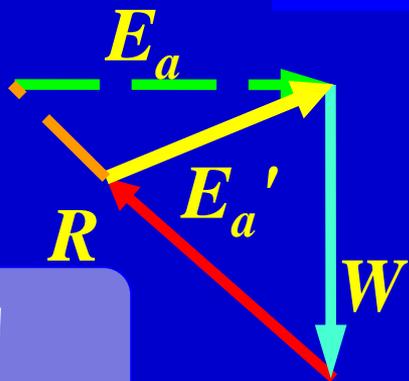
朗肯理论	库仑理论
墙背光滑	墙背无要求
墙背竖直	填土无限制
填土水平	粘性土一般用图解法

两种土压力理论比较

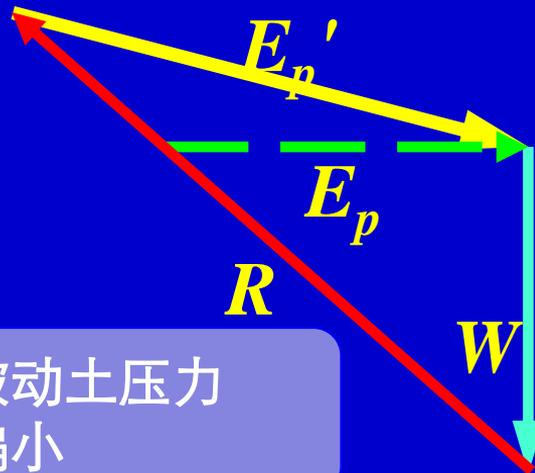
3 计算误差 —— 朗肯土压力理论



实际 $\delta \neq 0$



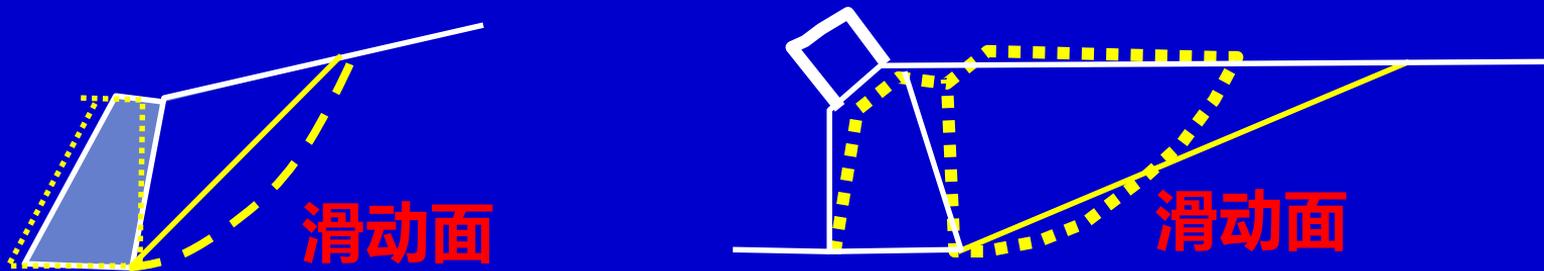
主动土压力
偏大



被动土压力
偏小

两种土压力理论比较

3 计算误差 —— 库仑土压力理论



实际滑裂面不一定是平面

主动土压力搜索得到的不一定是最大值

主动土压力 偏小

被动土压力搜索得到的不一定是最小值

被动土压力 偏大

两种土压力理论的比较

计算误差

如果 $\delta=0$ ，滑裂面是直线，三种理论计算 K_a , K_p 相同

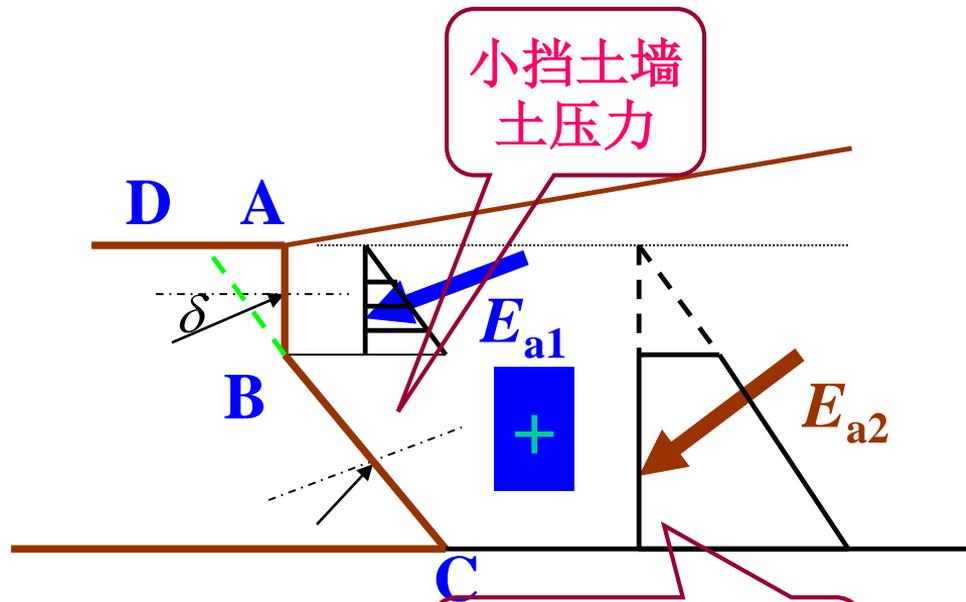
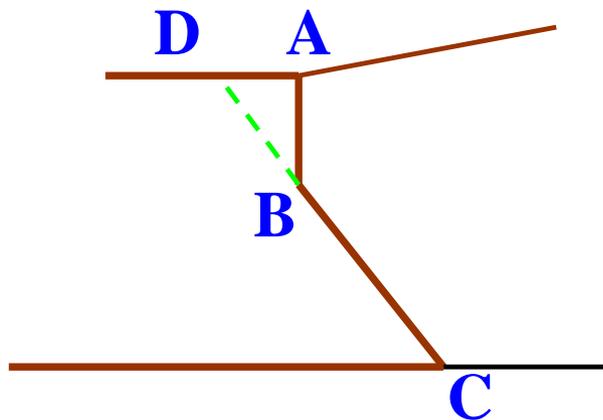
如果 $\delta \neq 0$

- K_a 朗肯偏大10%左右，工程偏安全
库仑偏小一些（可忽略）；
- K_p 朗肯偏小可达几倍；
库仑偏大可达几倍。

工程中使用被动土压力较少。因为所需相对位移太大

三、土压力相关问题

1、墙背形状有变化

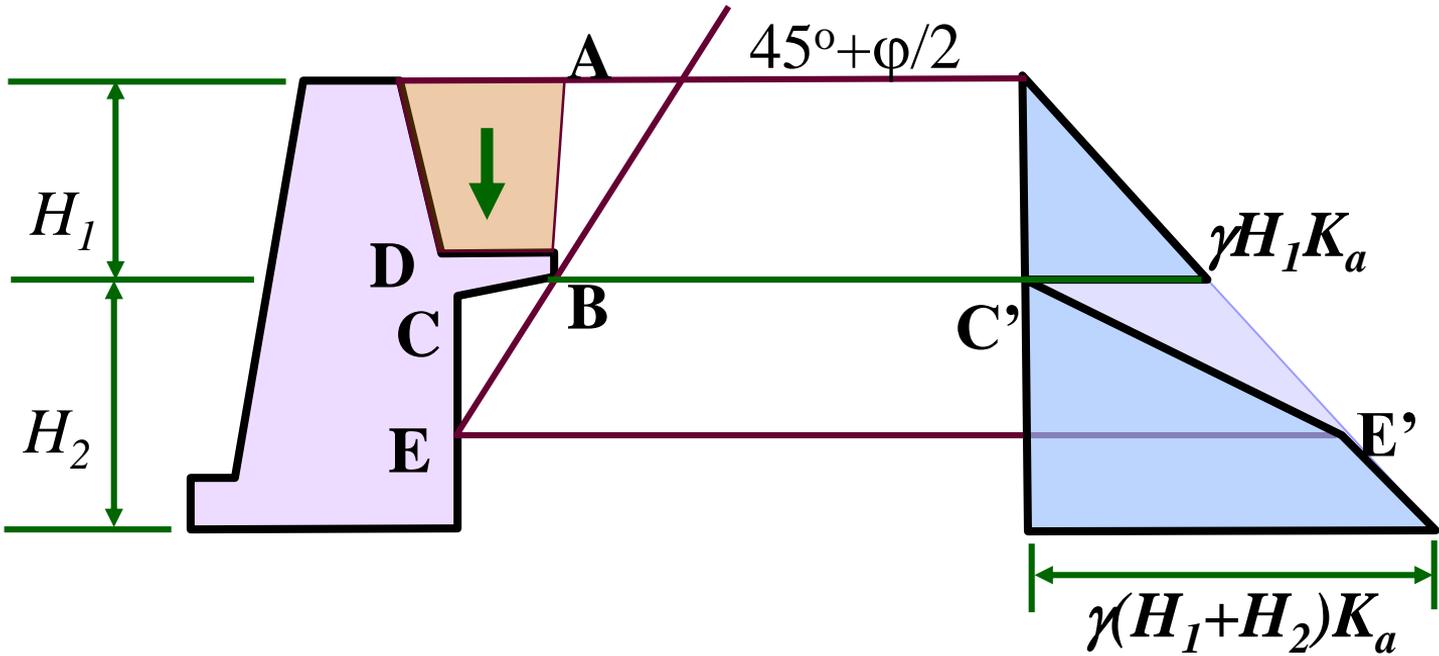


$$\vec{E}_a = \vec{E}_{a1} + \vec{E}_{a2}$$

假设完整挡土墙土压力的一部分

墙背形状有变化

带卸荷台的挡土墙土压力

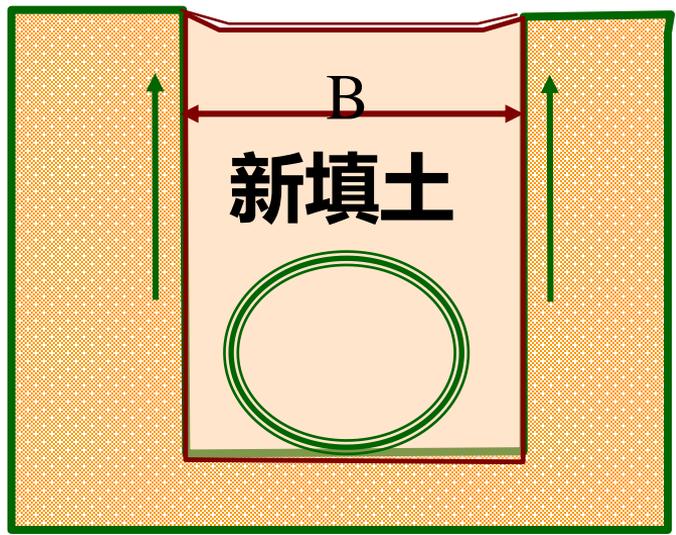


2、 填埋式结构物上的土压力

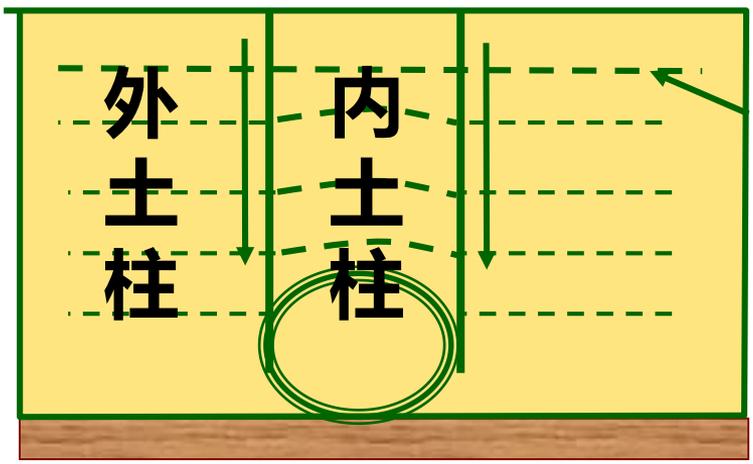
- 地下填埋式结构物(给排水管、煤气管、地铁站等)是土木工程中常见的一类结构物。
- 结构物的埋置方法可大致分：
 - 沟埋式
 - 上埋式

地下建筑物上的土压力:

地下建筑物



沟埋式



上埋式

主要荷载: 结构物上的**竖向土压力**

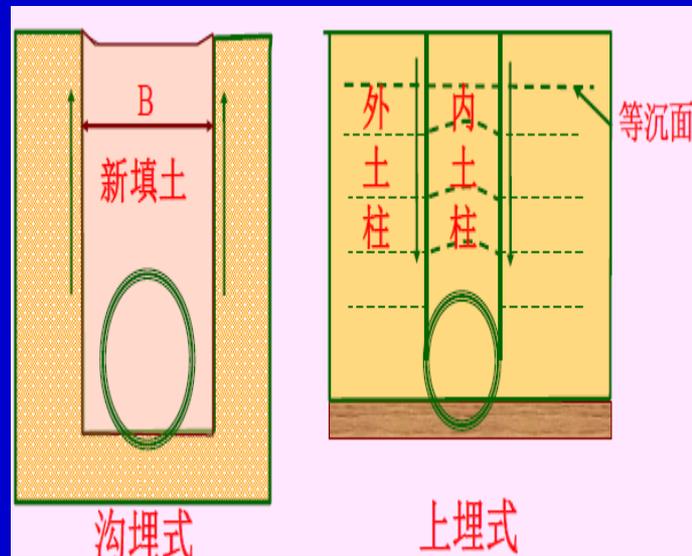
埋式结构物上的土压力

- 沟埋式:
- 沟内回填土柱的一部分重量将由两侧沟壁的摩阻力所承担，结构物顶上的垂直土压力小于土柱重量：

$$\sigma_z < \gamma H$$

- 上埋式:
- 在土柱界面两侧将产生向下的摩擦力，垂直土压力大于结构物顶部土柱重量：

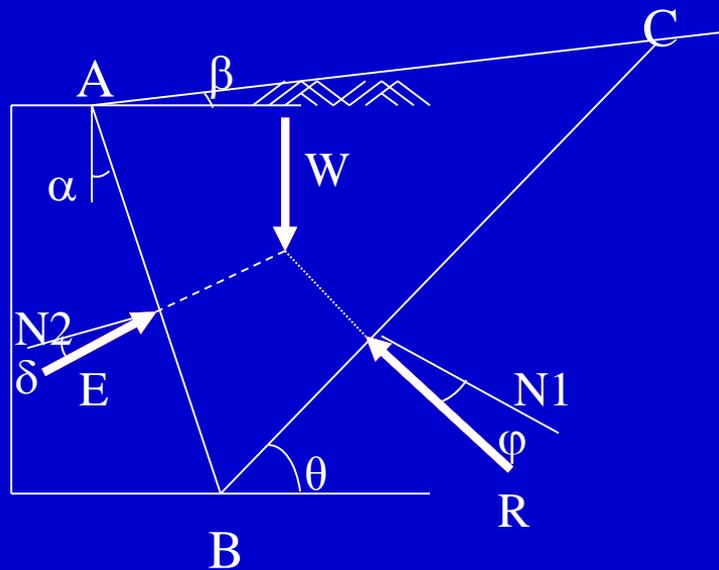
$$\sigma_z > \gamma H$$



3、主动土压力与几个角度变化的关系：

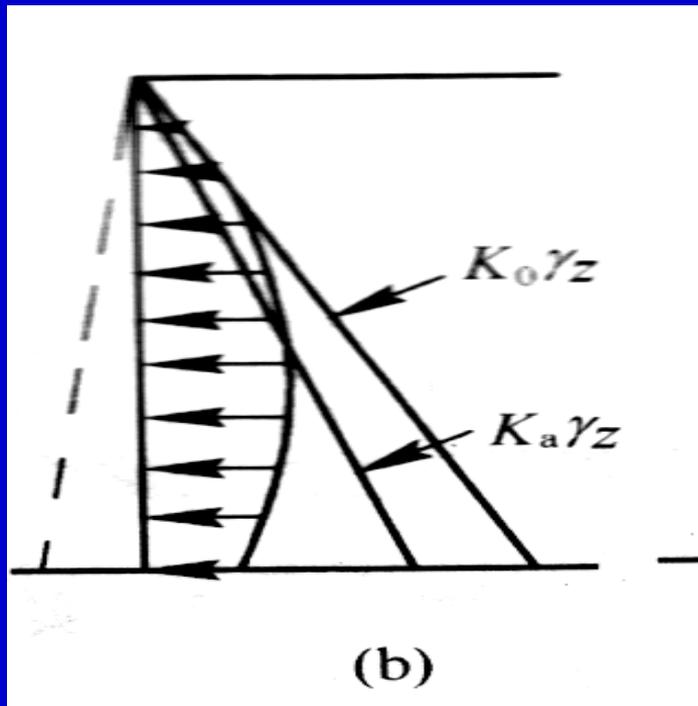
- 主动土压力系数 $K_a = f(\varphi, \delta, \alpha, \beta)$

参数	变化	K_a
φ	↑	↓
δ	↑	↓
α	↑	↑
β	↑	↑

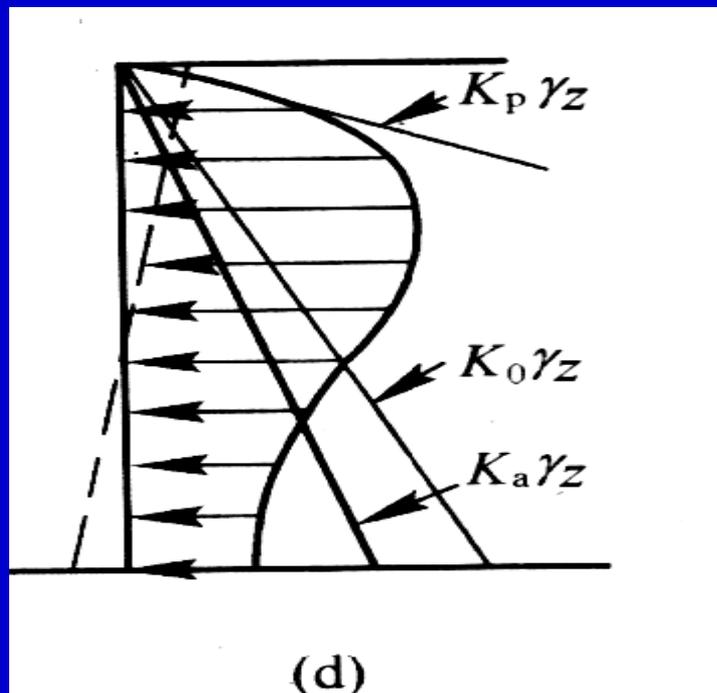


$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

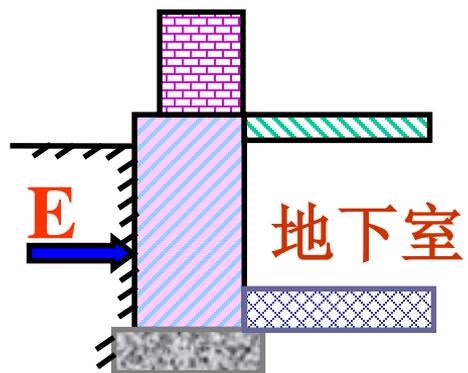
4、挡土墙土压力的实际分布规律



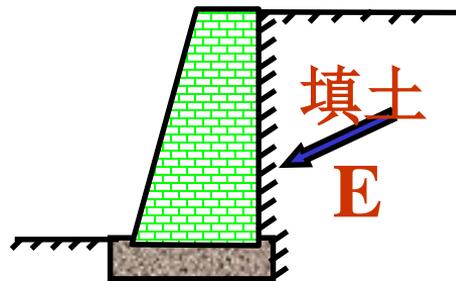
• 主动土压力



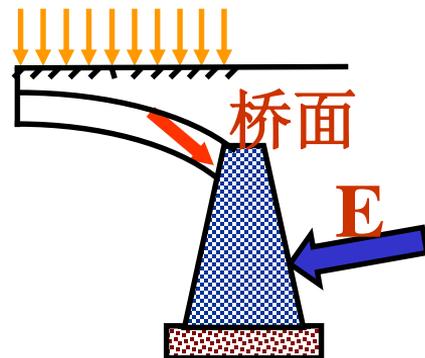
被动土压力



地下室侧墙



重力式挡土墙



拱桥桥台

各用什么土压力进行设计？

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



课后作业:

P.241

- 简答题: 第5题
- 计算题: 第3题

