

8 土坡稳定分析

8.1 概述

8.2 无粘性土坡的稳定分析

8.3 粘性土坡的稳定分析

8.4 总应力度与有效应力度

8.5 工程实际中的边坡稳定问题

Failure of Slopes and Embankments Under Static and Seismic Loading.pdf - Foxit Reader
are Connect Help Extras Tell me what you want to do..
opes and E... x
and a landslide, such as the landslide of Figure 1 on Taiwan's No3 mo



slopes on motorway No. 3 of Taiwan (2010). For the removal of the

8.1 概述

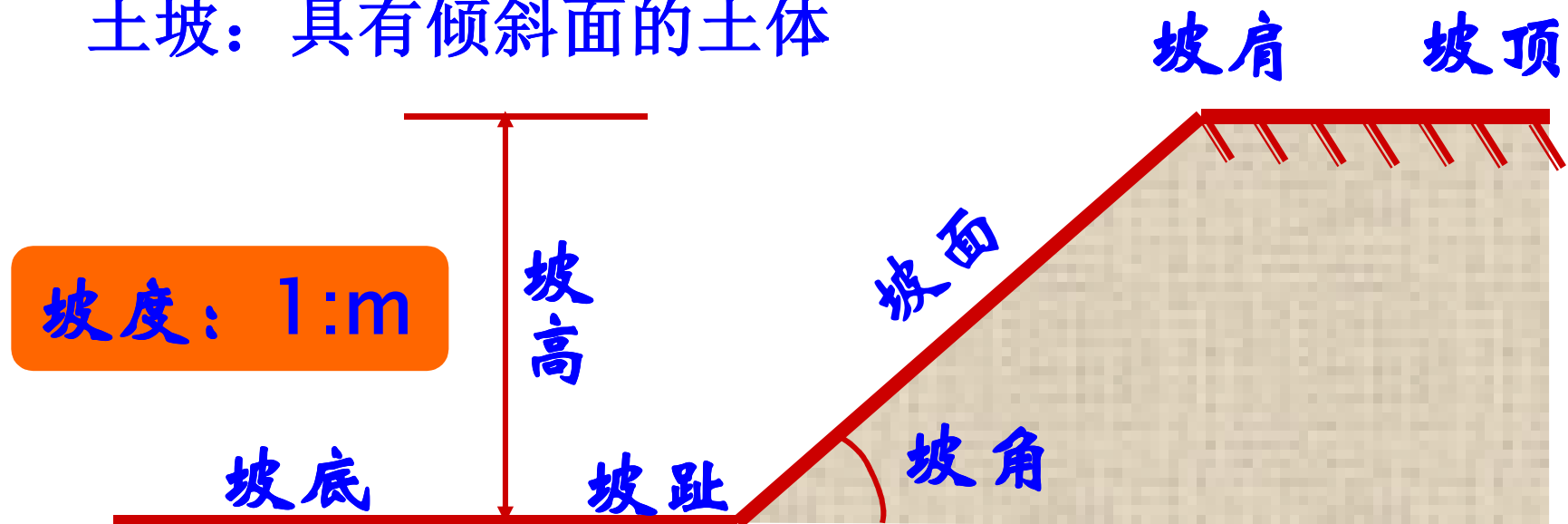
边坡稳定分析对象：

土石坝、库区边坡、堤坝填筑

土质、岩质边坡



土坡：具有倾斜面的土体



8.1 概述

天然土坡

- 江、河、湖、海岸坡
- 山、岭、丘、岗、天然坡

人工土坡

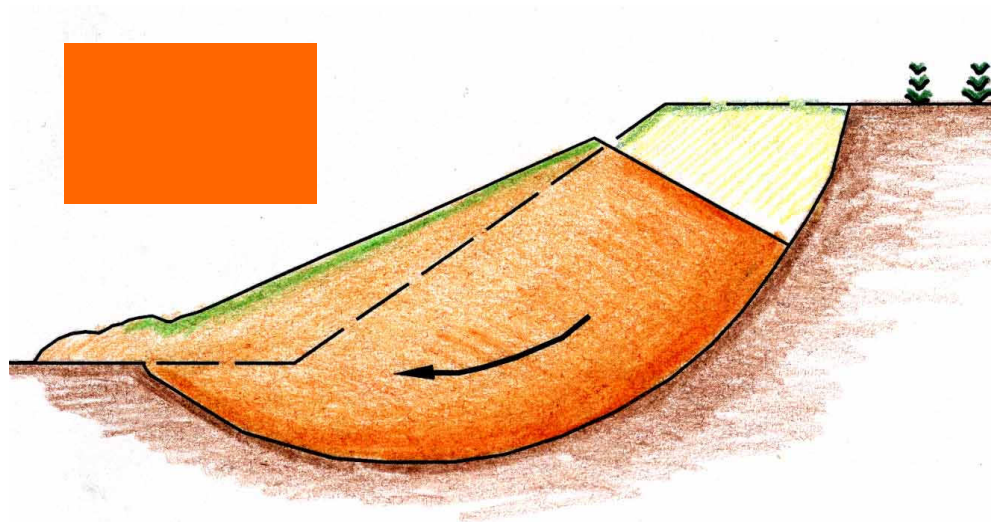
- 挖方：沟、渠、坑、池
- 填方：堤、坝、路基、堆料

8.1 概述

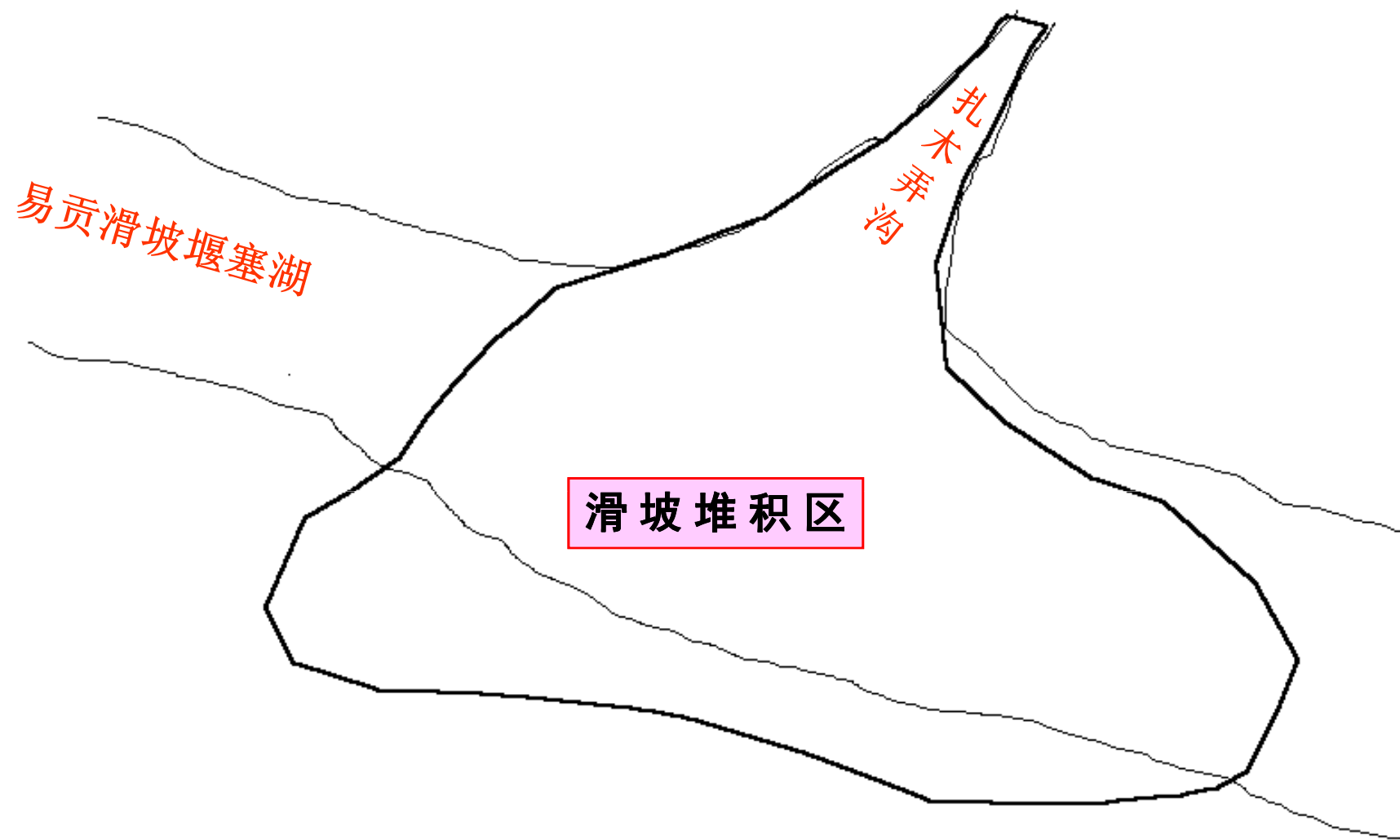
土体重量和渗透力在坡体内引起剪切应力，
若剪应力大于剪切强度，就要产生剪切破坏

滑坡：

若坡面内的剪切破坏面积较大，一部分
土体在外因作用下，相对于另一部分土
体滑动，即为滑坡



8.1 概述



易贡巨型高速滑坡及堰塞湖平面示意图

<http://news.cctv.com/2018/10/15/VIDESCjk7yG3YQyJj8LZyxi1181015.shtml>

2018年10月11日

西藏昌都市江达县波罗乡境内的金沙江堰塞湖



二次滑坡

2018年11月3日 波罗乡白格村原山体滑坡点发生二次滑坡

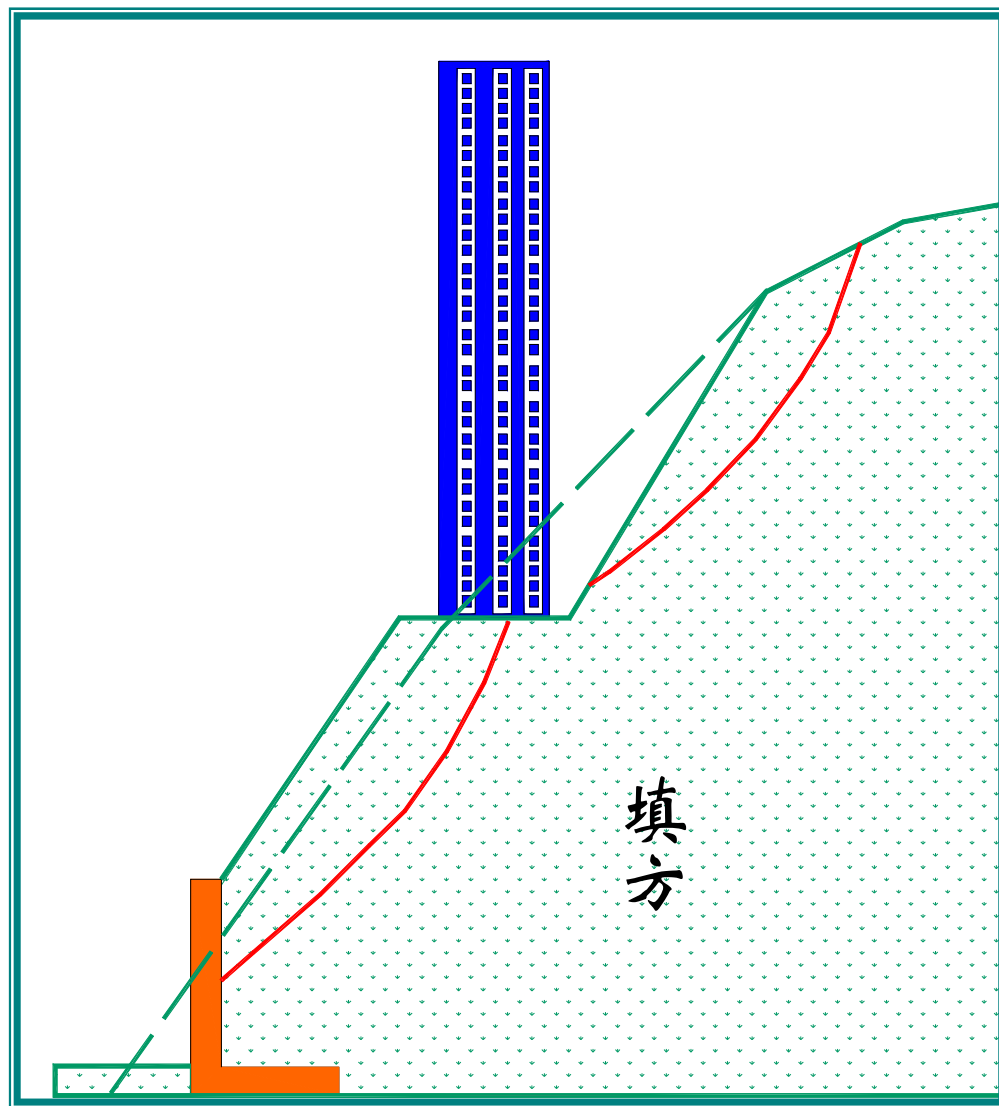
2008年5月12日

唐家山堰塞湖是汶川大地震后形成的最大堰塞湖，地震后山体滑坡，阻塞河道形成的唐家坝堰塞湖位于岷河上游距北川县城约6公里处，是北川灾区面积最大、危险最大的一个堰塞湖



8.1 概述

城市中的滑坡问题（香港，重庆）



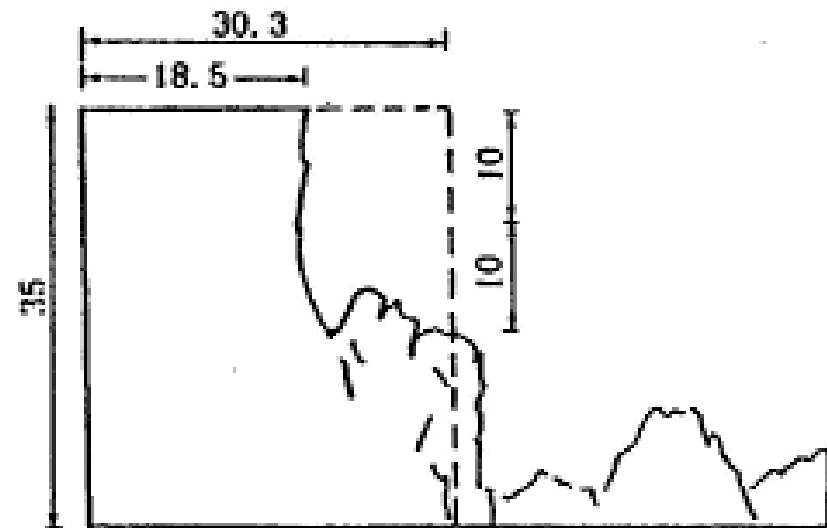
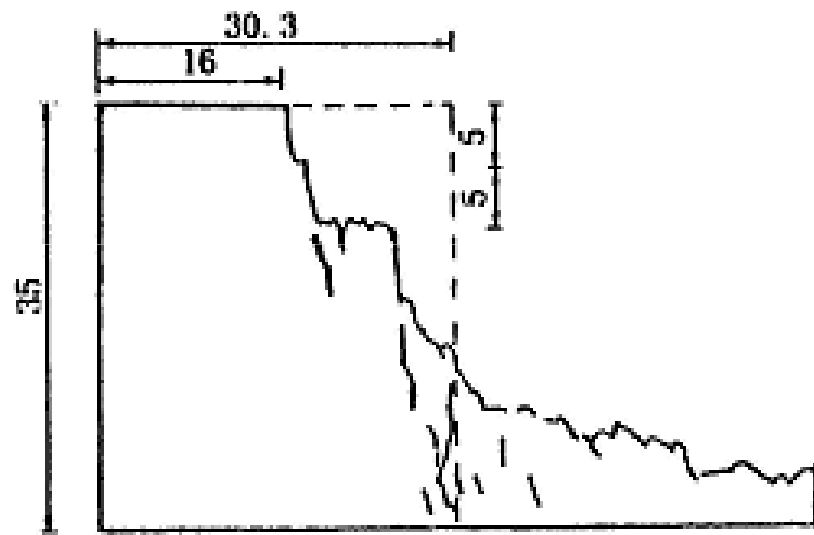
挖方

填方

1950-1960
经济大发展时期，
香港形成了54000
处人造陡降削土和
填土斜坡

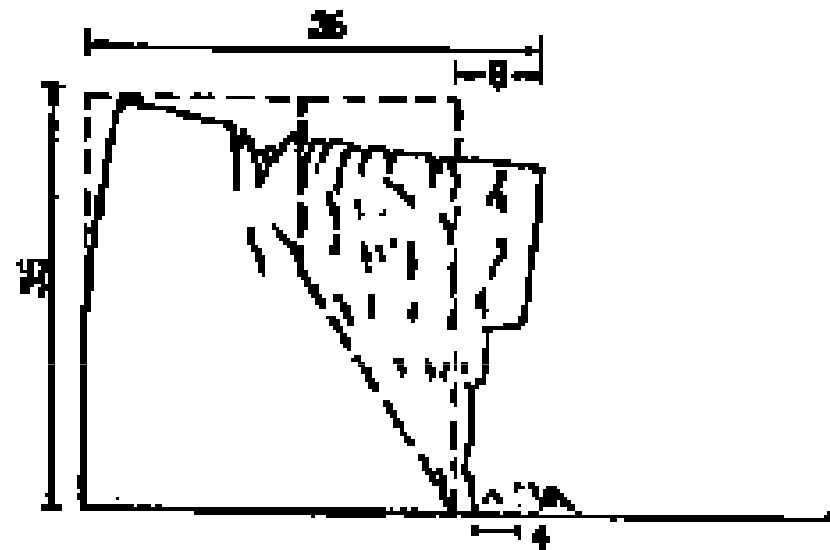
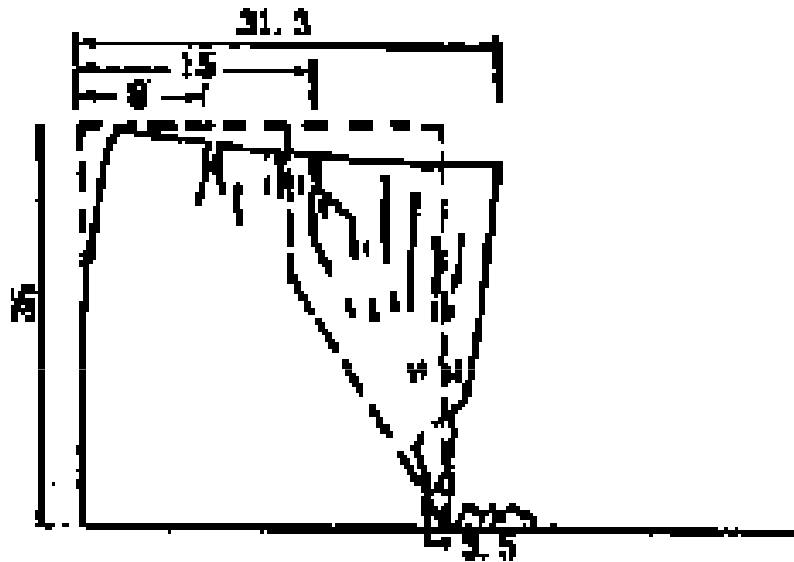
8.1 概述

模型试验中直立边坡的破坏



8.1 概述

模型试验中直立边坡的破坏



Dundee university
Centrifuge test by Wu



8.1 概述

滑坡原因

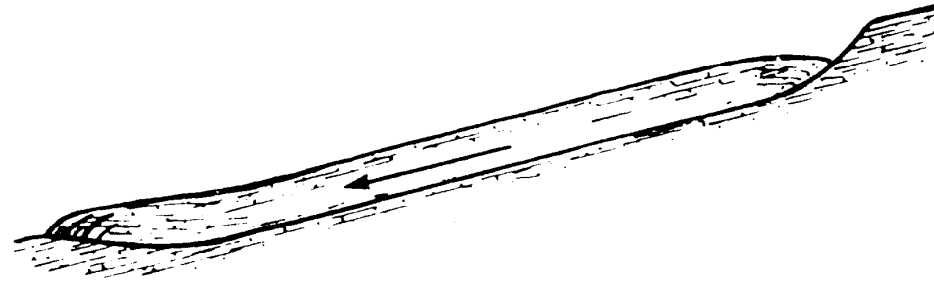
- 1) 振动：地震、爆破
- 2) 土中水位升、降
- 3) 降雨引起渗流、软化
- 4) 水流冲刷：使坡脚变陡
- 5) 冻融：冻胀力及融化含水量升高
- 6) 人工开挖：基坑、船闸、坝肩、隧洞出入口

8.1 概述

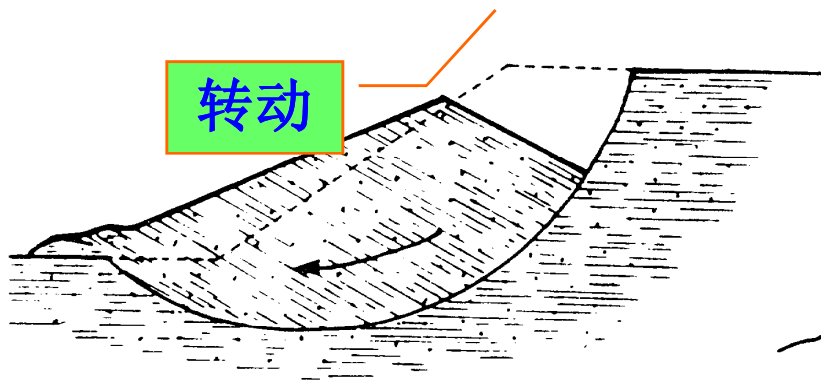
滑坡形式



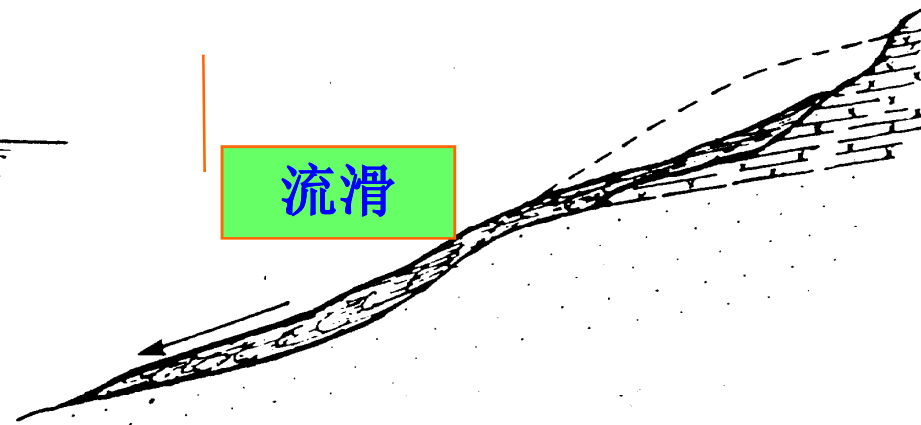
(a) falls



(b) translational slide



(c) rotational slip

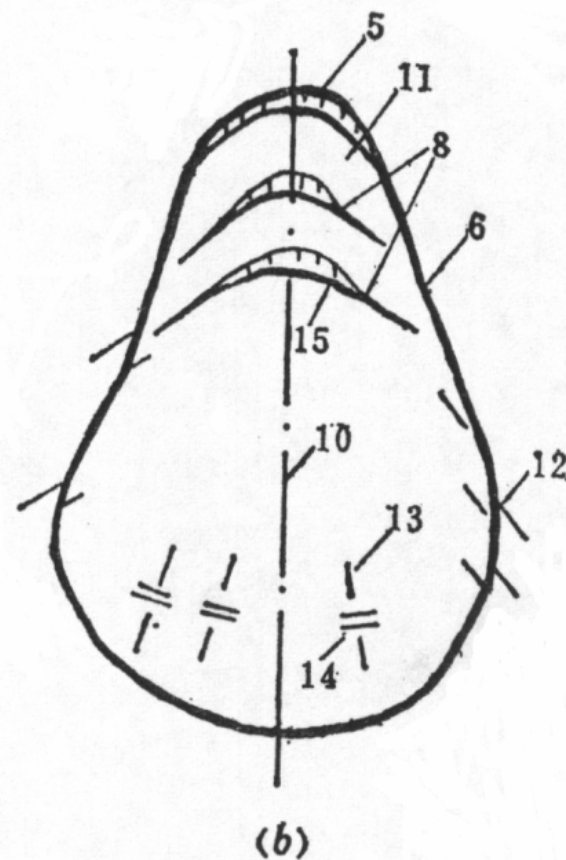
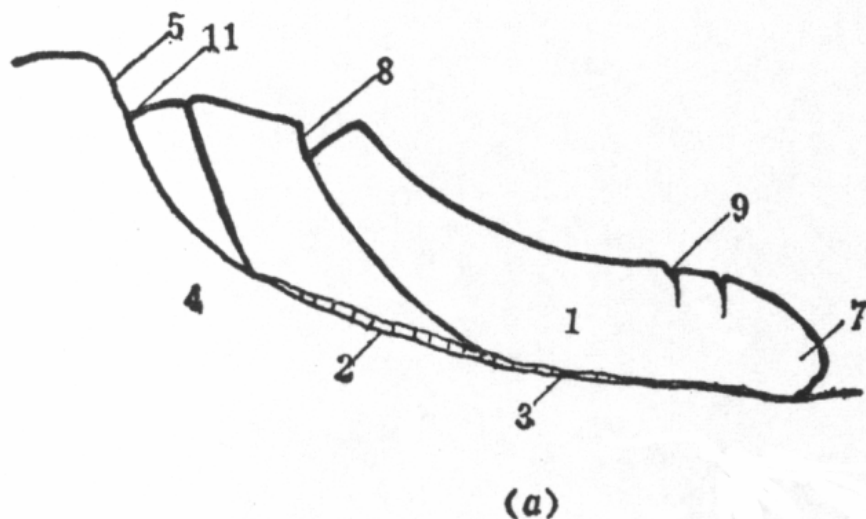


(d) flow

8.1 概述

滑坡形式

平面型和折线型滑动



(a)剖面 (b)平面

1—滑体，2—滑带，3—滑面，4—滑床，5—滑壁，6—滑坡周界，7—
滑坡前缘，8—滑坡台阶，9—滑坡裂缝，10—主滑线，11—封闭洼地；
12—剪切裂缝，13—扇形裂缝，14—鼓张裂缝，15—拉张裂缝

第二类土工构筑物 本章的主要目的

新建坝（坡）体的坡率

已建坝（坡）体的边坡稳定评估

采用的方法为 极限平衡分析法

假定斜坡破坏是沿着土体内某一确定的滑裂面滑动，根据滑裂土体的静力平衡条件和莫尔-库伦强度理论，可以计算出沿该滑裂面滑动的可能性，即土坡稳定性（安全系数的大小）

主要分为无粘性土坡和粘性土坡

8.2 无粘性土坡的稳定分析

8.2.1 表面浅层滑动

坡与水平夹角为 α 砂土内摩擦角为 φ

1) 微单元A自重: $W = \gamma \Delta V$

2) 沿坡滑动力: $T = W \sin \alpha$

3) 对坡面压力: $N = W \cos \alpha$

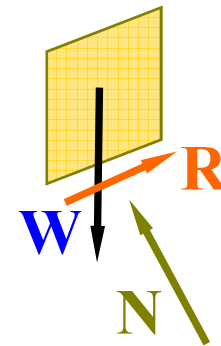
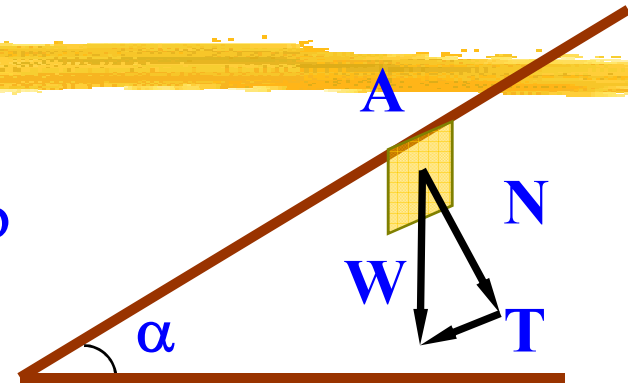
(由于无限土坡两侧作用力抵消 单位宽度)

4) 抗滑力: $R = N \tan \varphi = W \cos \alpha \tan \varphi$

5) 抗滑安全系数:

$$F_s = \frac{\text{抗滑力}}{\text{滑动力}} = \frac{R}{T} = \frac{W \cos \alpha}{W \sin \alpha} \tan \varphi = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}$$

式8-1
7-1

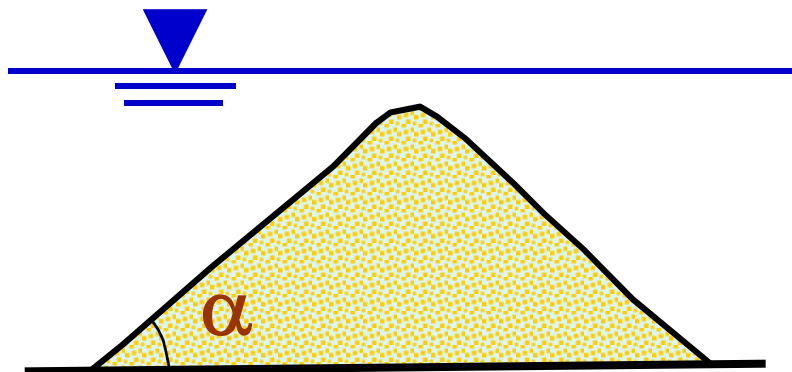
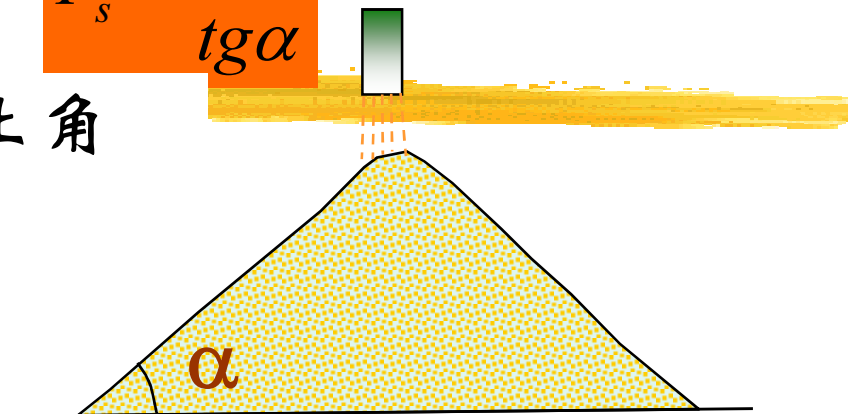


8.2 无粘性土坡的稳定分析

$$F_s = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

✂ 当 $\alpha = \varphi$ 时, $F_s = 1.0$, 天然休止角

- 安全系数与土容重 γ 无关
- 与所选的微单元大小无关
- 坡内任一点或平行于坡的任一滑裂面上安全系数 F_s 都相等



P173

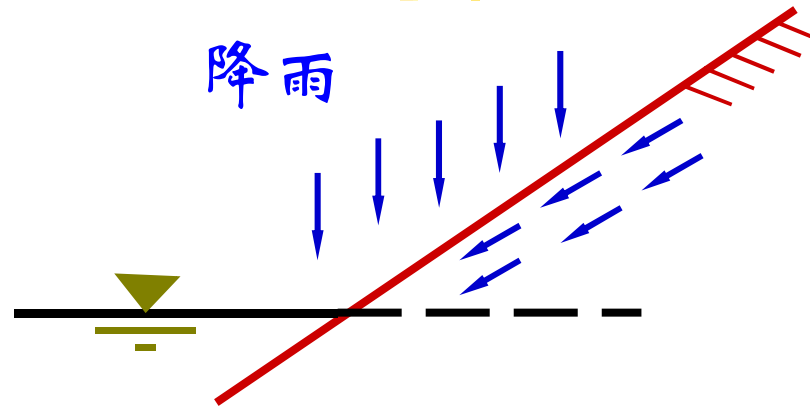
P258

思考: 在干坡及静水下坡中,
如 φ 不变, F_s 有什么变化

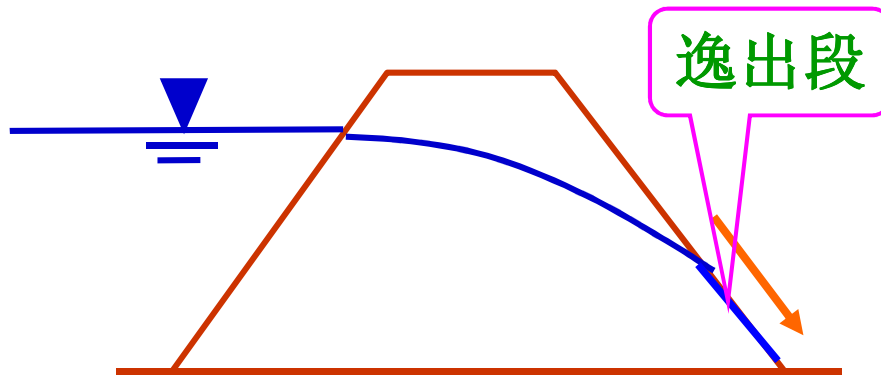
这种坡体的稳定性水上水下无变化

8.2 无粘性土坡的稳定分析

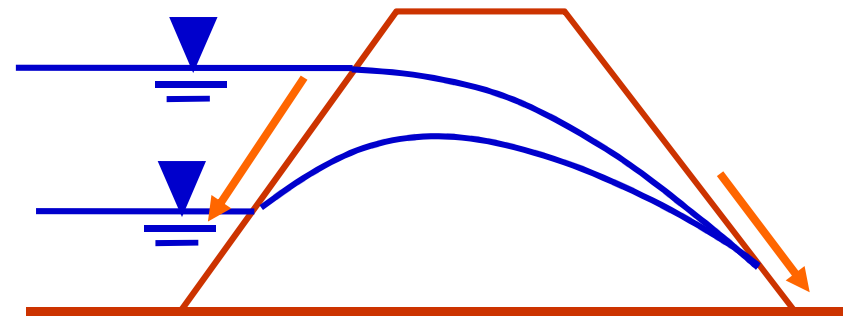
8.2.2 有沿坡渗流情况



正常蓄水土坝下游



水位骤降的土坝上游



8.2 无粘性土坡的稳定分析

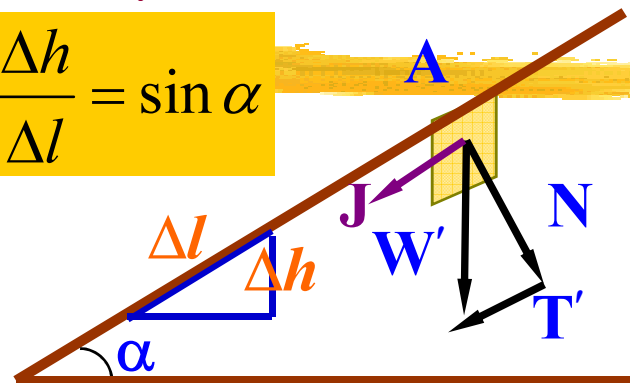
取微单元 A，以土骨架为隔离体：

(1) 自重： $W' = \gamma' \Delta V$

渗透力：（方向：平行于土坡）

$$J = j \Delta V = i \gamma_w \Delta V = \sin \alpha \cdot \gamma_w \Delta V$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \sin \alpha$$



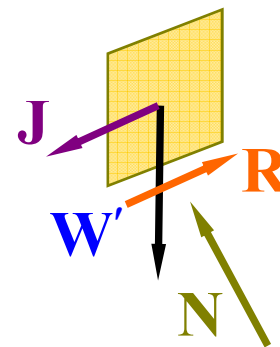
(2) 滑动力：重力项+渗透力项

式8-2

$$T' + J = (\gamma' \sin \alpha + \gamma_w \sin \alpha) \Delta V = \gamma_{sat} \sin \alpha \Delta V$$

(3) 抗滑力：

$$R = N \tan \phi = \gamma' \Delta V \cos \alpha \tan \phi$$



(4) 抗滑安全系数：

$$F_s = \frac{R}{T' + J} = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \tan \phi = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

7-4

式8-8

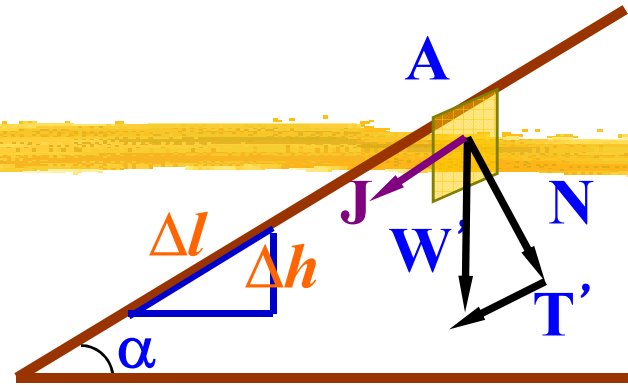
8.2 无粘性土坡的稳定分析

讨论：

$$F_s = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{tg\phi}{tg\alpha}$$

7-4

式8-8



- $\frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \approx 0.5$ 与无渗流比较 F_s 减小近一倍

意味着原来稳定的坡，有沿坡渗流时可能破坏

- 与容重有关
- 与所选 ΔV 大小无关，亦即在这种坡中各点安全系数相同

8.2 无粘性土坡的稳定分析

其它：

(1) 与坡面成一定角度

(2) 垂直向内渗流

(3) 部分浸水无粘性土坡

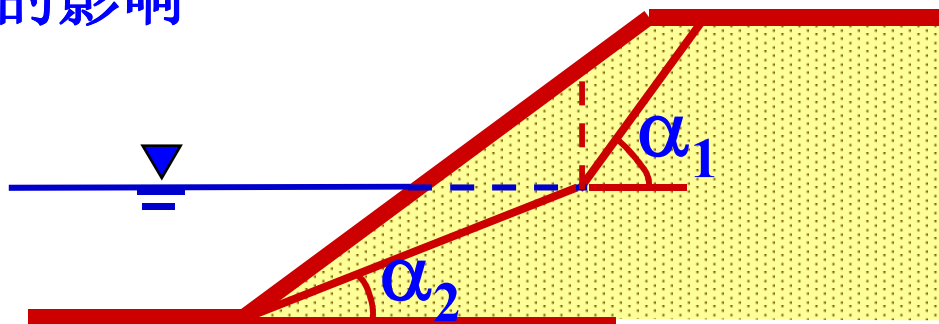
(4) 非线性强度指标的影响

$\alpha - \theta$

7.2.4

7.2.3

参见书P174
公式8-5和
8-6



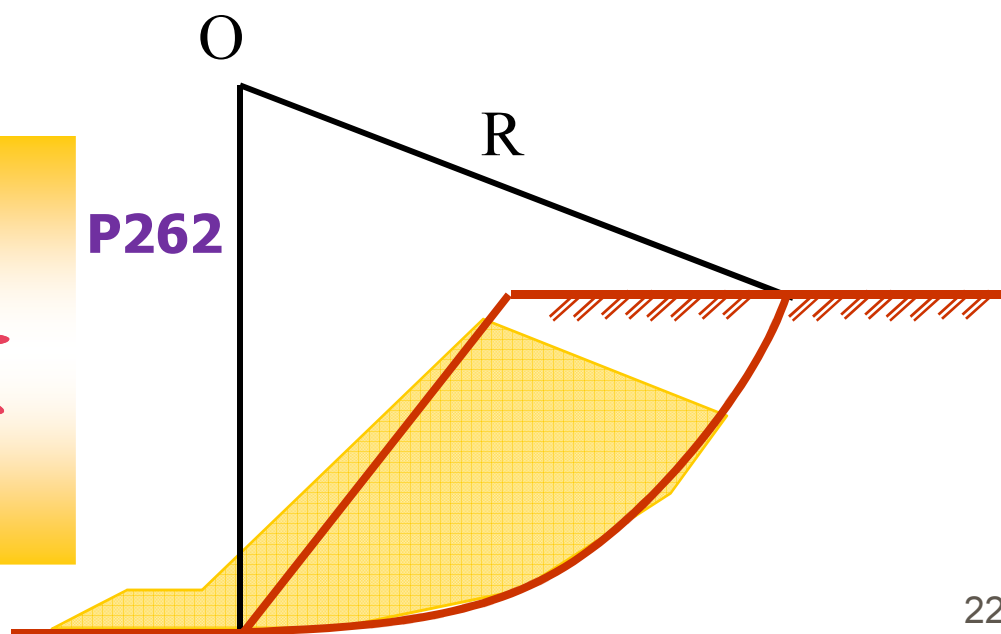
8.3 粘性土坡的稳定分析

破坏特点

- ⌘ 由于存在粘聚力 c ，与无粘性土坡不同；
- ⌘ 其危险滑裂面位置在土坡深处；
- ⌘ 对于均匀土坡，在平面应变条件下，其滑动面可用一圆弧（圆柱面）近似。

思考：

为什么粘性土坡通常不会发生表面滑动？



8.3 粘性土坡的稳定分析

塑性上限 下限

计算方法： 极限平衡法 极限分析法 有限单元法

1 整体圆弧滑动法 (瑞典Pettersen) 1915

2 瑞典条分法 (瑞典Fellenius)

3 毕肖普法 (Bishop 挪威) 1955

4 Janbu法 1973

5 Spencer方法

6 Morgenstern-Price方法

7 陈祖煜的通用条分法

8 不平衡推力传递法

9 Sarma方法

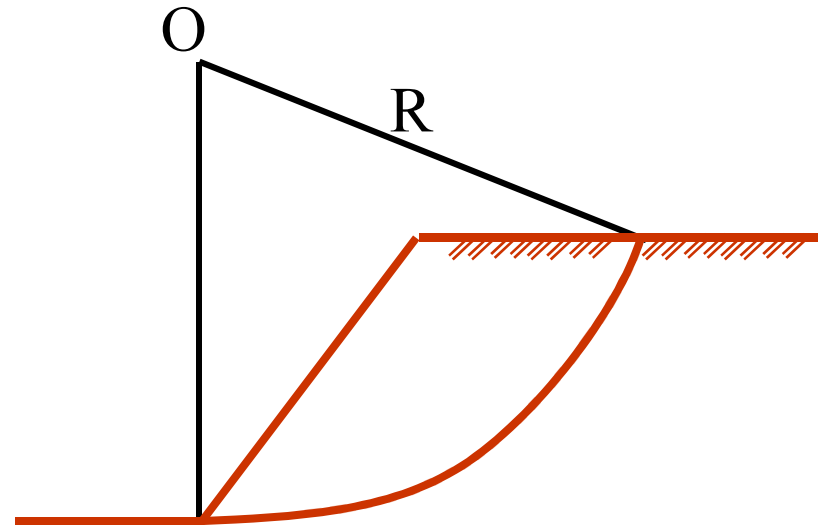
8.3 粘性土坡的稳定分析

瑞典Pettersen 1915

8.3.1 整体圆弧滑动法（瑞典圆弧法）

假设条件

- 均质土
- 二维
- 圆弧滑动面
- 滑动土体呈刚性转动
- 在滑动面上处于极限平衡条件



8.3 粘性土坡的稳定分析

平衡条件（各力对圆心O的力矩平衡）

(1) 滑动力矩:

$$M_s = Wd$$

(2) 抗滑力矩:

极限平衡

$$M_R = \int_0^L \tau_f dl \cdot R = \int_0^L (c + \sigma_n \tan \phi) dl \cdot R = c \hat{A}c \cdot R + \int_0^L \sigma_n \tan \phi dl \cdot R$$

注: (其中 $\sigma_n = \sigma_n(l)$ 是未知函数)

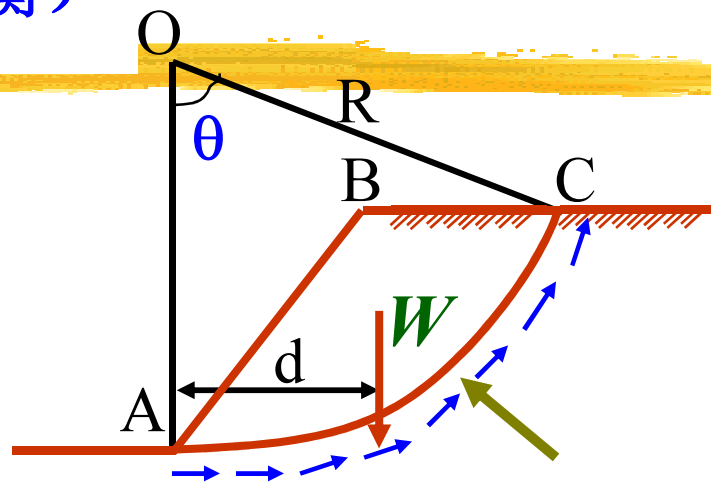
当 $\phi=0$ (粘土不排水强度) 时, $c = c_u$ $M_R = c \hat{A}c R$

(3) 安全系数: $F_s = \frac{\text{抗滑力矩}}{\text{滑动力矩}} = \frac{M_R}{M_s} = \frac{c \cdot \hat{A}c \cdot R}{Wd}$

7-10
式8-9

P175

当 $\phi \neq 0$ 时, 采用其它方法 P176 项行



8.3 粘性土坡的稳定分析

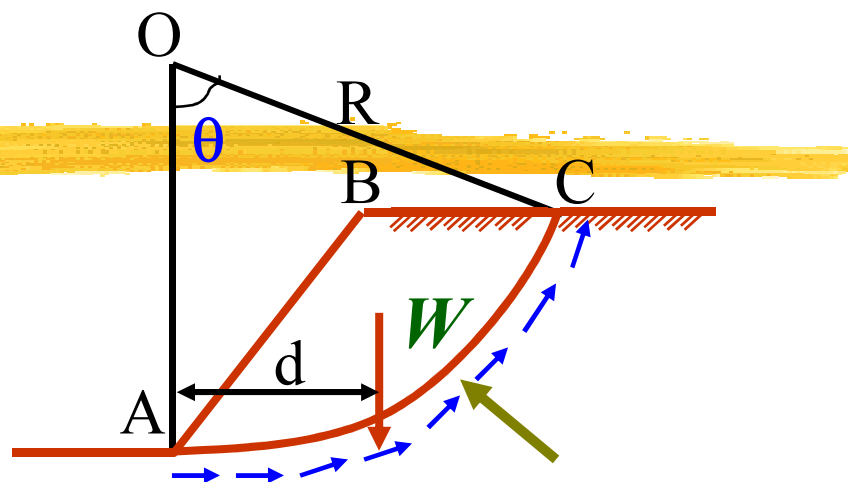
讨论：

1 当 $\phi \neq 0$ 时， σ_n 是 $l(x,y)$ 的函数，
无法得到 F_s 的理论解

2 其中圆心 O 及半径 R 是任意假设的，还必须计算若干组 (O, R) 找到最小安全系数

——最可能滑动面

3 适用于饱和软粘土，即 $\phi=0$ 情况



P175

最危险滑裂面的位置 P176 泰勒图表法 P177 看书

8.3 粘性土坡的稳定分析

$$\varphi < 0$$

8.3.2 条分法的基本原理及分析

源起

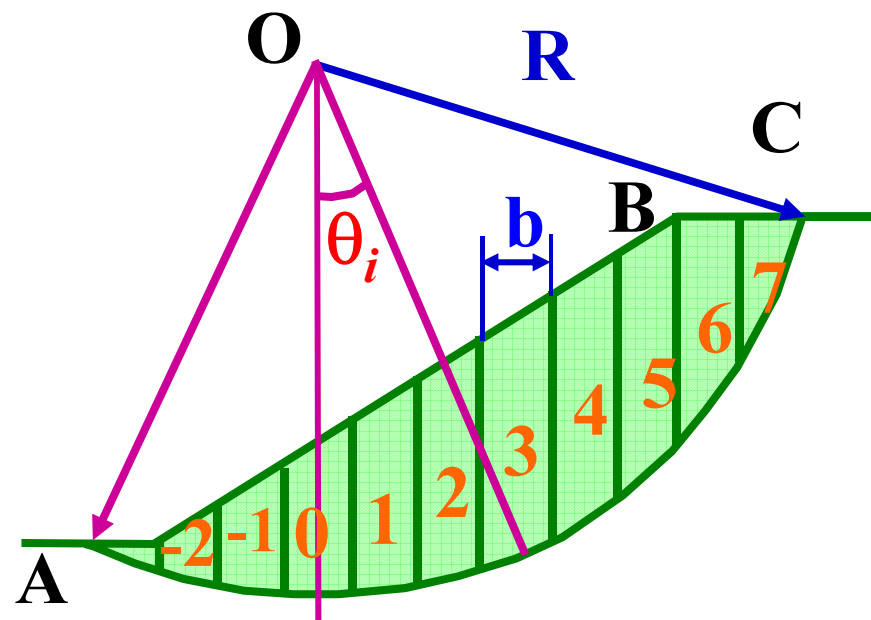
整体圆弧法： $\int_0^L \sigma_n \tan \phi \cdot dl$

σ_n 是 $l(x,y)$ 的函数

思路

离散化 $\longrightarrow$ 分条

条分法



8.3 粘性土坡的稳定分析

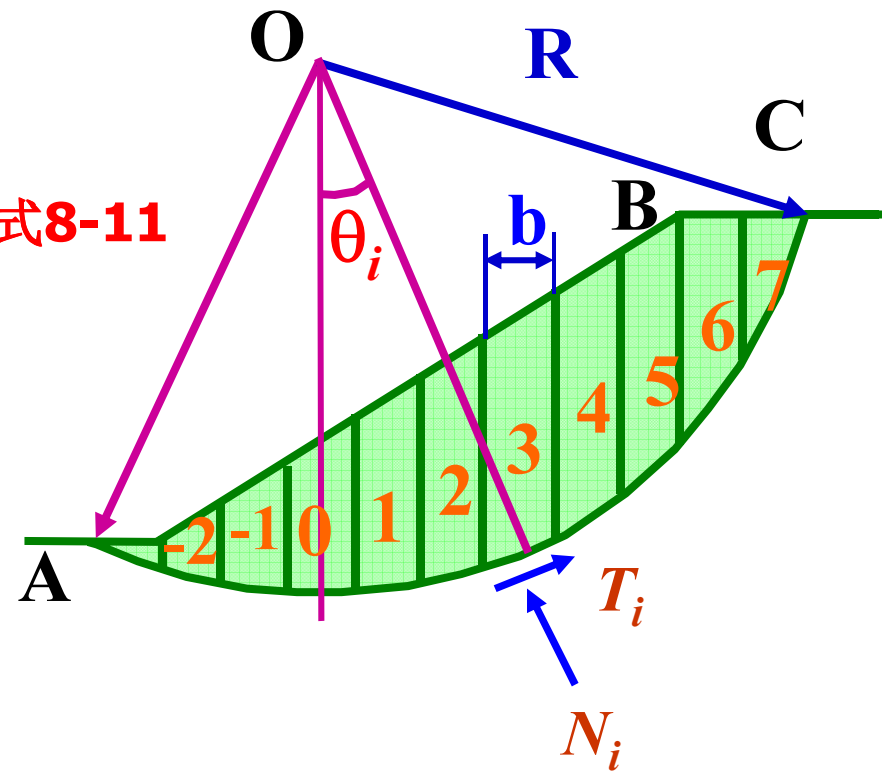
安全系数定义

切向力之比

$$F_s = \frac{T_{fi}}{T_i} = \frac{c_i l_i + N_i \operatorname{tg} \phi_i}{T_i}$$

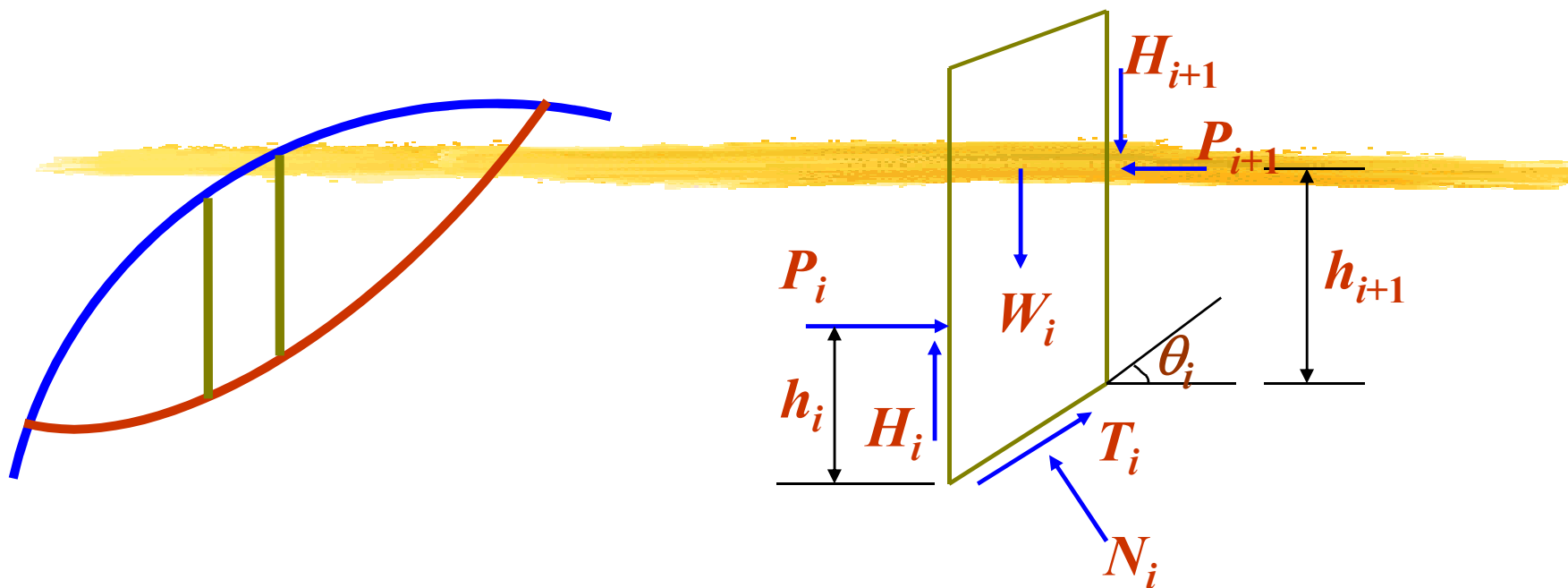
式8-11

$$T_i = \frac{c_i l_i + N_i \operatorname{tg} \phi_i}{F_s}$$



F_s = 抗滑力矩 / 滑动力矩

8.3 粘性土坡的稳定分析



未知数：条块间力+作用点位置 $= 2(n-1) + (n-1) = 3n-3$
 滑动面上的力+作用点位置 $= 3n$
 安全系数 $F=1$

6n-2

方程数：静力平衡+力矩平衡 $= 3n$
 滑动面上极限平衡条件 $= n$

4n

P 263

未知数 - 方程数 = 2n-2

一起看书 要想求解 必须建立新方程

8.3 粘性土坡的稳定分析

未知数: $6n-2$ 方程数: $4n$

1 整体圆弧滑切法

2 瑞典条分法 $(n-1)+n=4n-3$

3 毕肖普法 $n=2n-1$

4 Janbu法 $n=2n-1$

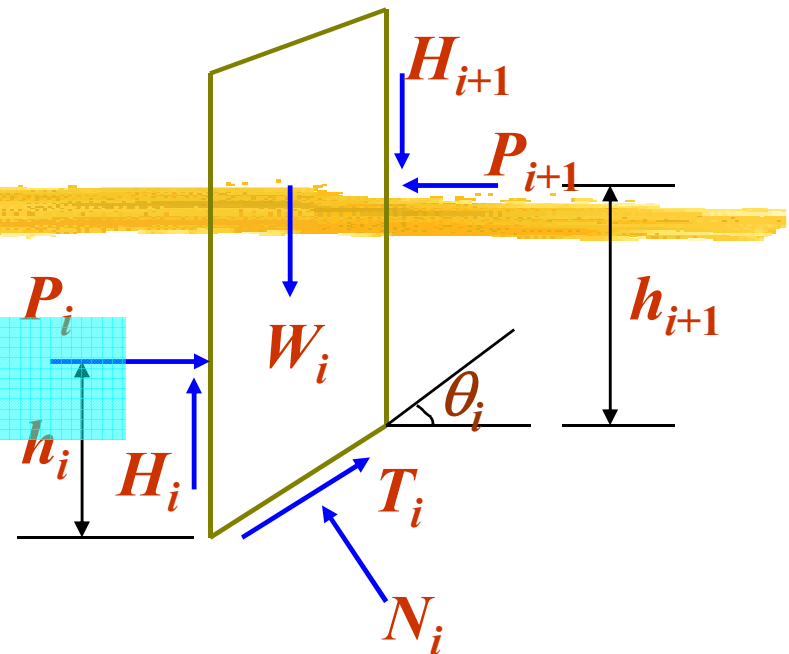
5 Spencer方法

6 Morgenstern-Price方法 $(n-1)+n=2n-2$

7 陈祖煜的通用条分法

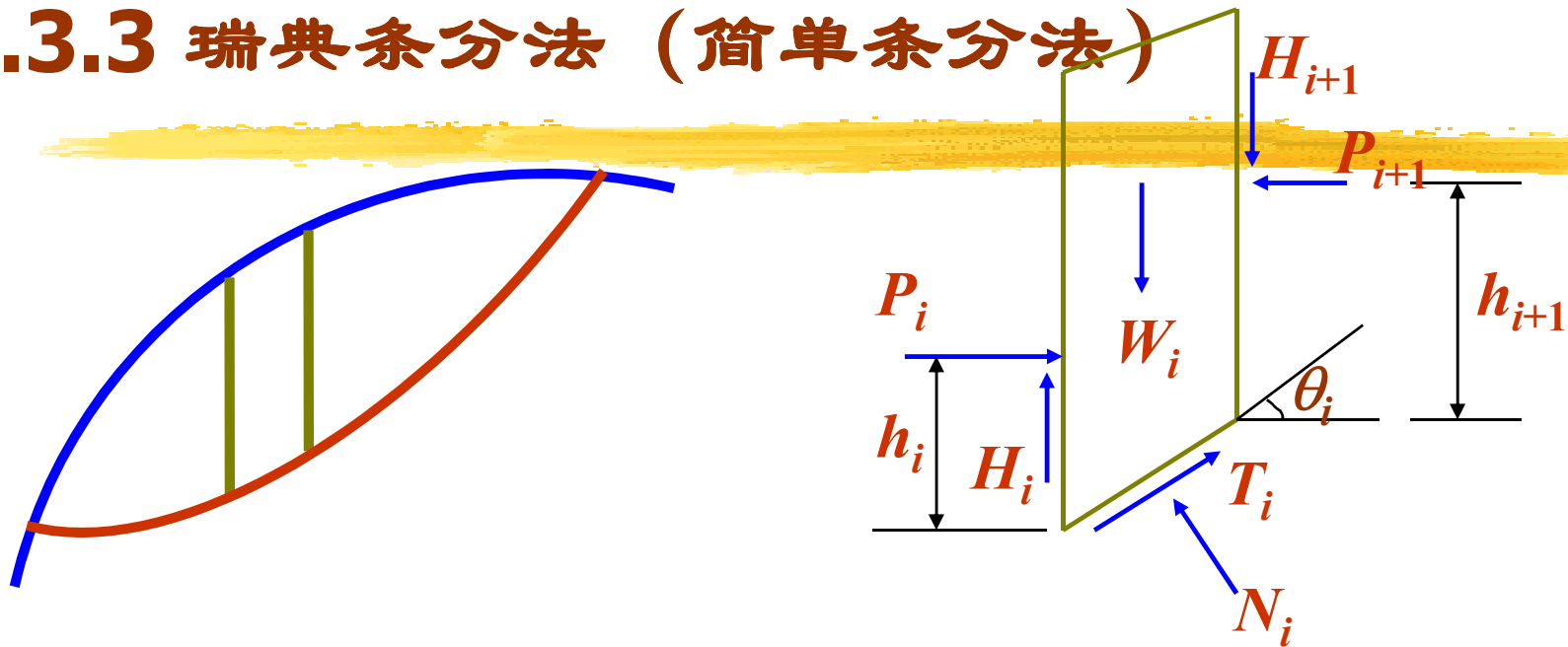
8 不平衡推力传递法 $(n-1)+n=2n-1$

9 Sarma方法 $(n-1)+n=2n-2$



8.3 粘性土坡的稳定分析

8.3.3 瑞典条分法 (简单条分法)



假定： 圆弧滑裂面；不考虑条间力

忽略所有条间作用力： $2(n-1)+(n-1) = 3n-3$

假定滑动面上作用点位置： n

$4n-3$

未知数： $2n+1$ 方程数： $4n$

8.3 粘性土坡的稳定分析

径向力平衡：

$$N_i = W_i \cos \theta_i \quad \text{式8-10}$$

极限平衡条件：

$$T_i = \frac{c_i l_i + N_i \tan \phi_i}{F_s} = \frac{c_i l_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi_i}{F_s} \quad \text{式8-11}$$

整体对圆心的力矩平衡：

滑动力矩=抗滑力矩 $\Leftrightarrow M_s = M_R$ 式8-12

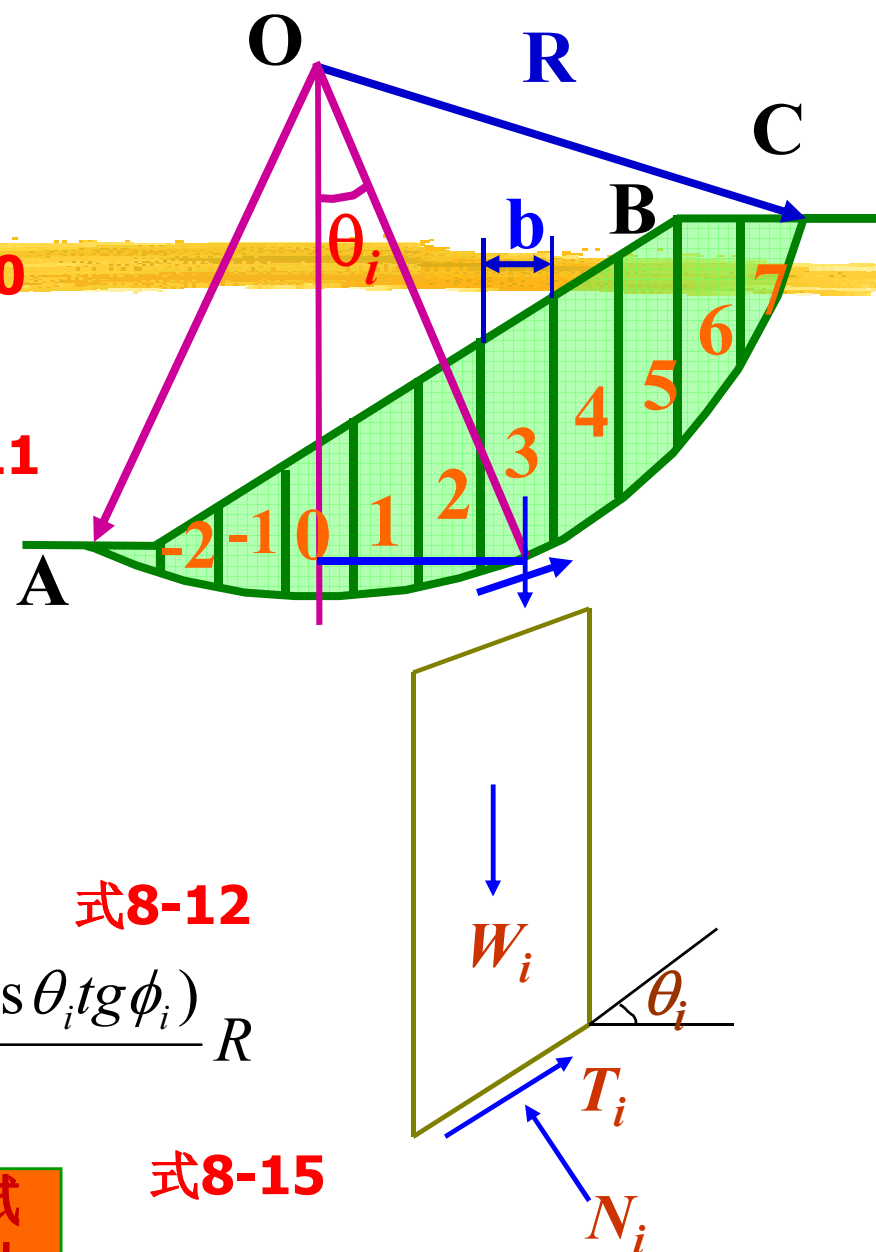
$$\sum W_i \sin \theta_i R = \sum T_i R = \frac{\sum (c_i l_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi_i)}{F_s} R$$

$$F_s = \frac{\sum (c_i l_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi_i)}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

显式
表达

式8-15

7-15



计算步骤

圆心 O，半径 R（如图）

分条：

$$b=R/10$$

编号：过圆心垂线为 0# 条中线

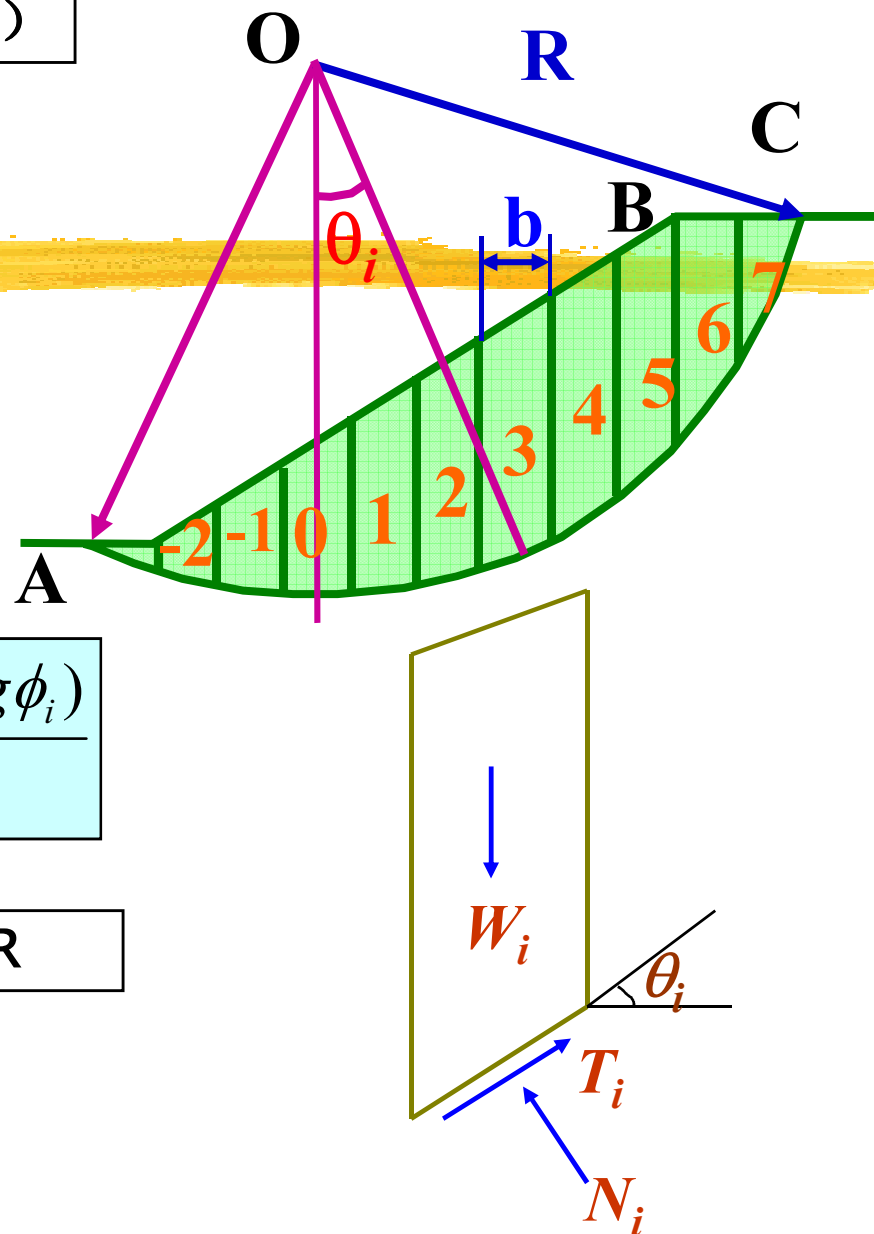
列表计算 l_i W_i θ_i

$$F_s = \frac{\sum (c_i l_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi_i)}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

变化圆心 O 和半径 R

F_s 最小

END



8.3 粘性土坡的稳定分析

瑞典条分法的讨论

未知数: $2n+1$ 方程数: $4n$

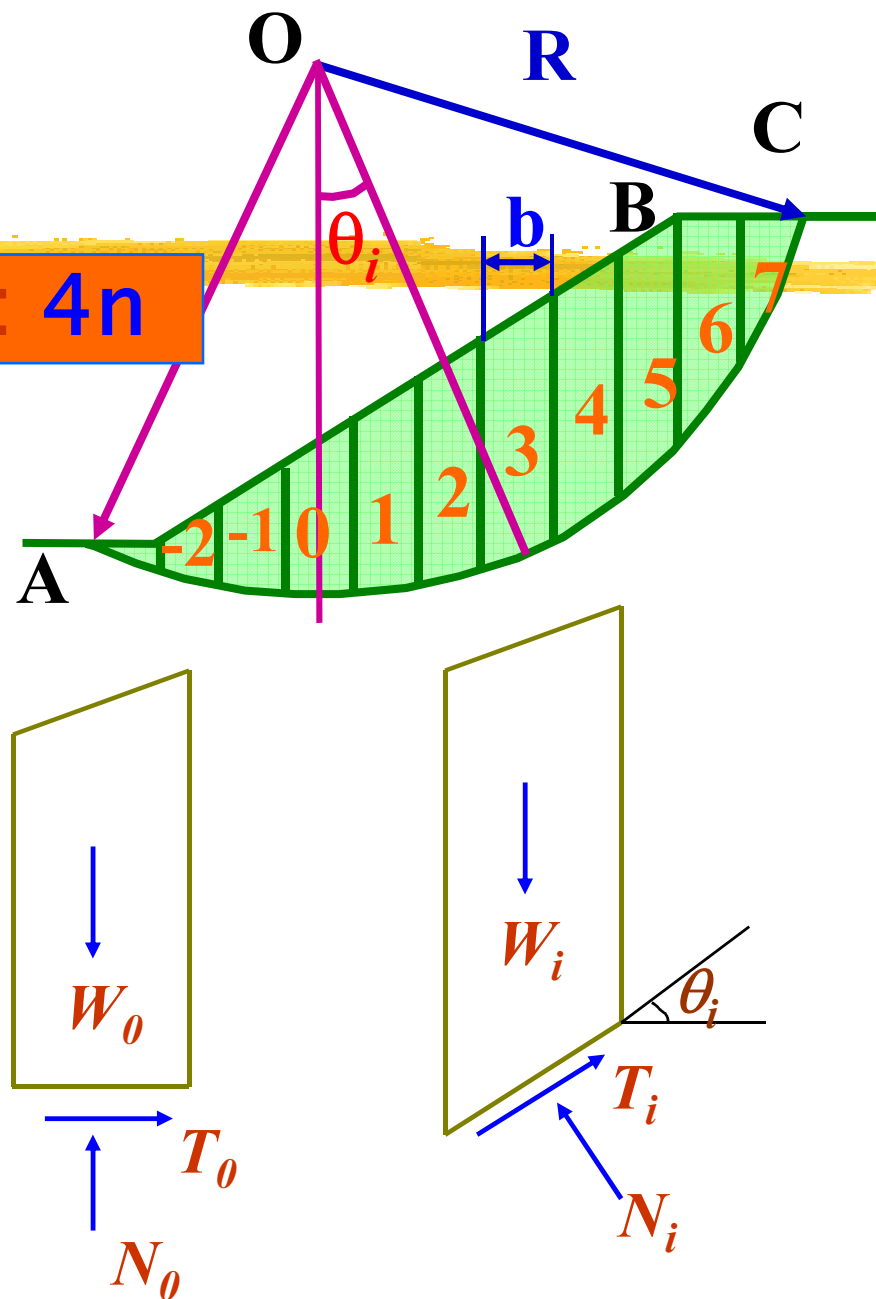
(1) 一些平衡条件不能满足

$$N_i = W_i \cos \theta_i$$

$$T_i = \frac{c_i l_i + N_i \tan \phi_i}{F_s} \neq W_i \sin \theta_i$$

对0#土条

$$T_0 = \frac{c_0 l_0 + N_0 \tan \phi_0}{F_s} > 0$$

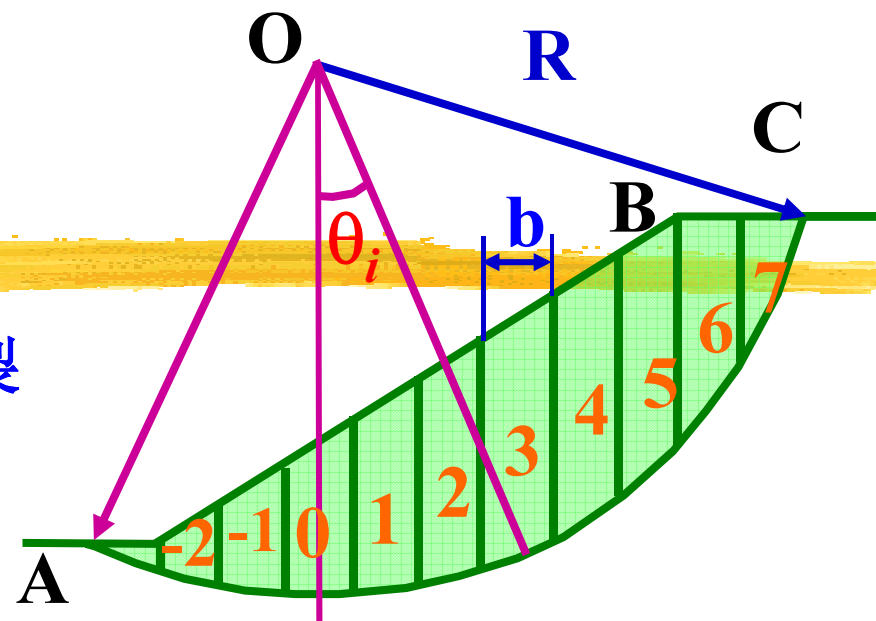


P180 优缺点有时会作为考点

8.3 粘性土坡的稳定分析

瑞典条分法的讨论

(2) 假设圆弧滑裂面，与实际滑裂面有差别



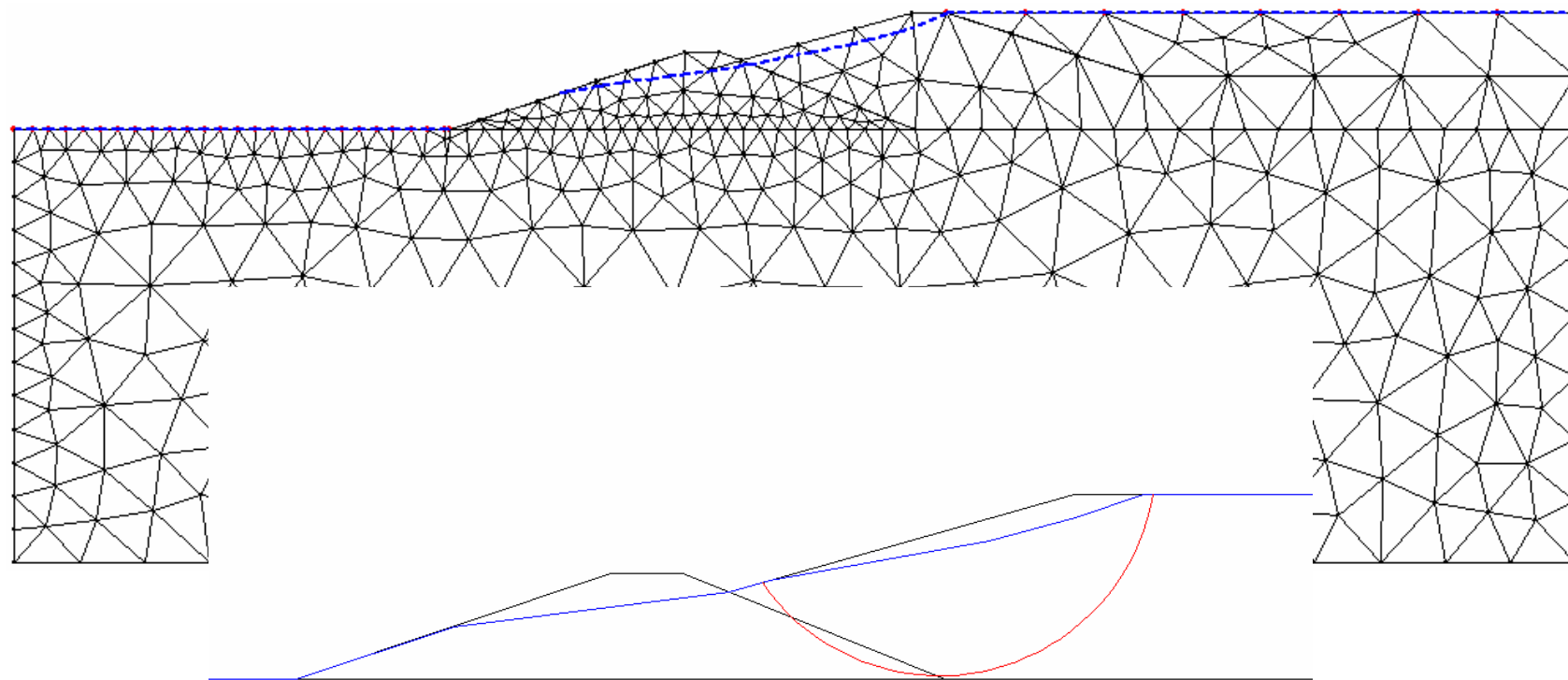
- 忽略条间力，使得计算安全系数 F_s 偏小
- 假设圆弧滑裂面，使 F_s 偏大

最终结果是 F_s 偏小，
 φ 越大 F_s 越偏小

工程应用中偏于安全

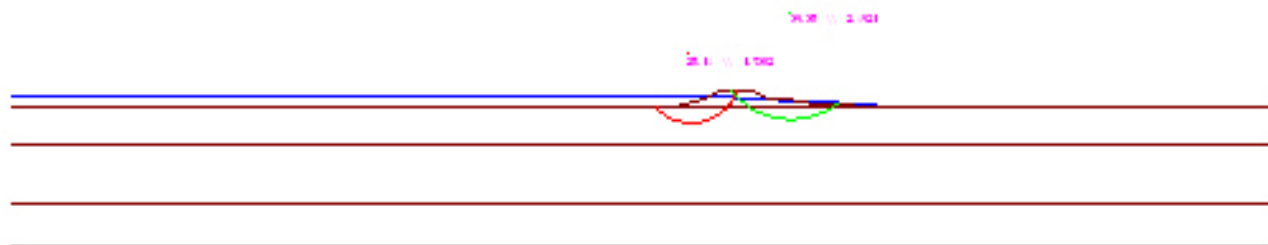
一般情况下， F_s
偏小 10% 左右

8.3 粘性土坡的稳定分析



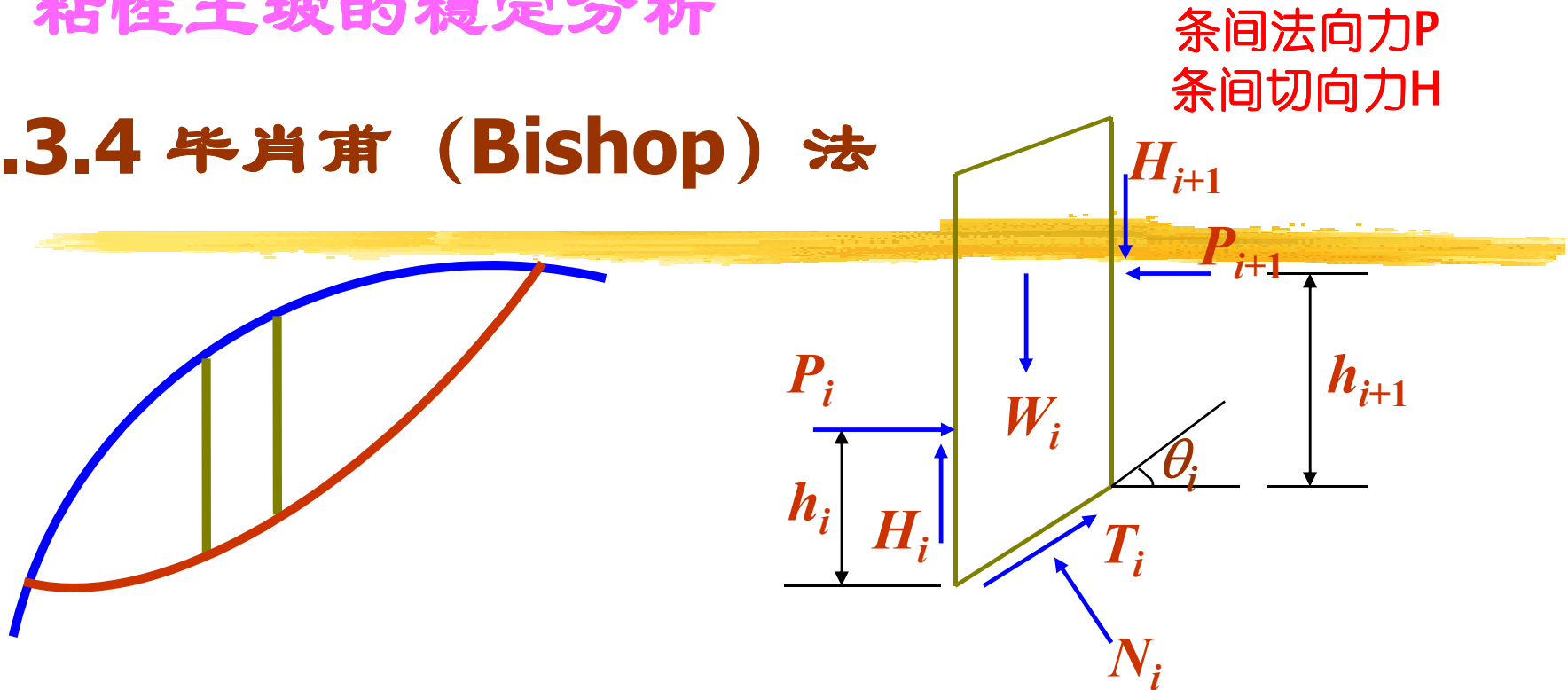
堤段稳定分析

SADSS



8.3 粘性土坡的稳定分析

8.3.4 毕肖甫 (Bishop) 法



假定： 圆弧滑裂面；条间力切向力=0

忽略条间切向力： $n-1$

假定滑动面上作用点位置： n

$2n-1$

未知数： $4n-1$ 方程数： $4n$

8.3 粘性土坡的稳定分析

$$\Sigma F_z = 0 \quad W_i = N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i$$

极限平

衡条件

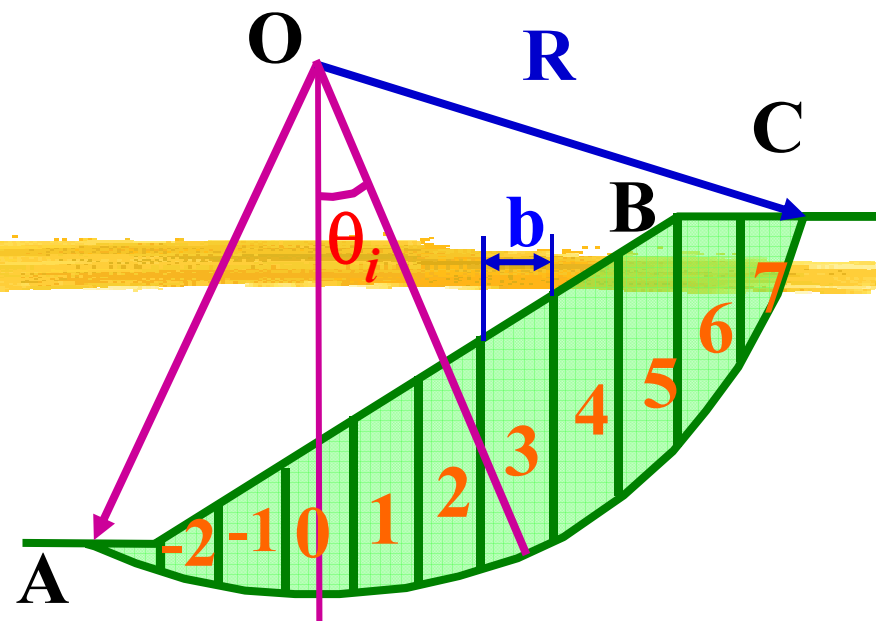
$$T_i = \frac{c_i l_i + N_i \tan \phi_i}{F_s}$$

方程组求解，得到：

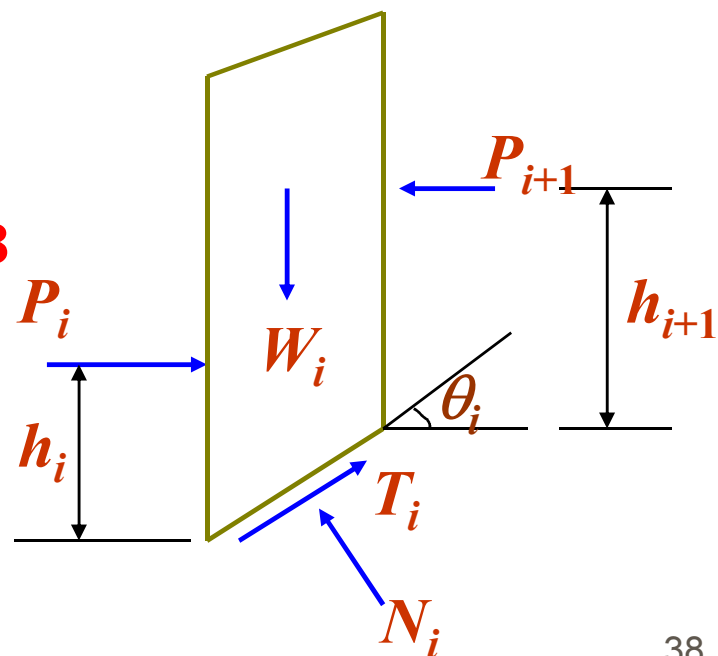
$$\left\{ \begin{aligned} N_i &= \frac{(W_i - \frac{c_i l_i}{F_s} \sin \theta_i)}{m_{\theta_i}} \\ T_i &= \frac{1}{F_s} \cdot \frac{W_i \tan \phi_i + c_i l_i \cos \theta_i}{m_{\theta_i}} \end{aligned} \right.$$

$$m_{\theta_i} = \cos \theta_i + \frac{\sin \theta_i \tan \phi_i}{F_s}$$

P180



7-18
式8-18



8.3 粘性土坡的稳定分析

整体力矩平衡：

$$\sum W_i \sin \theta_i R = \sum T_i R$$



$$F_s = \frac{\sum \frac{1}{m_{\theta_i}} [c_i l_i \cos \theta_i + W_i \tan \phi_i]}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

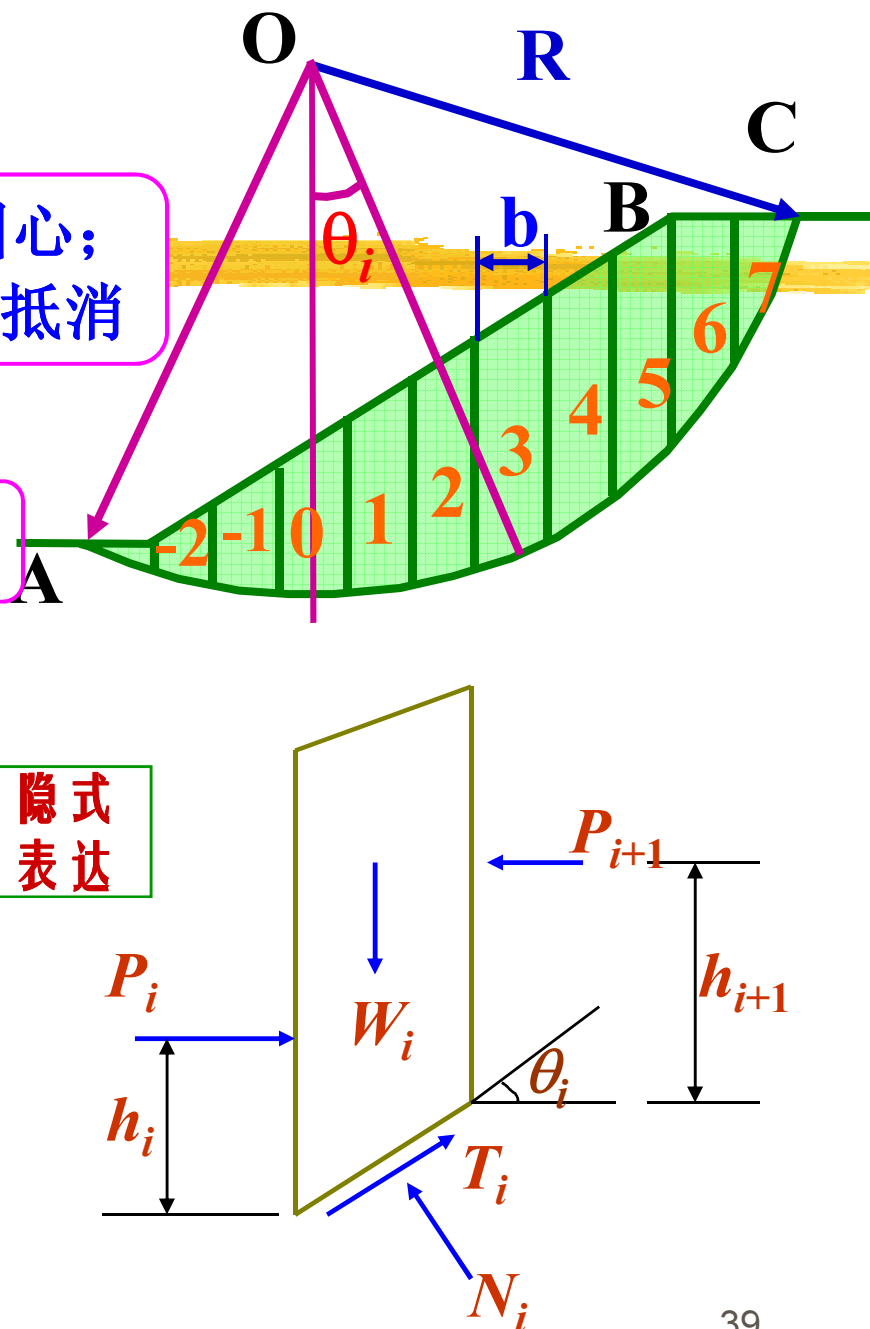
$$m_{\theta_i} = \cos \theta_i + \frac{\sin \theta_i \tan \phi_i}{F_s}$$

N_i 过圆心;
 P_i 互相抵消

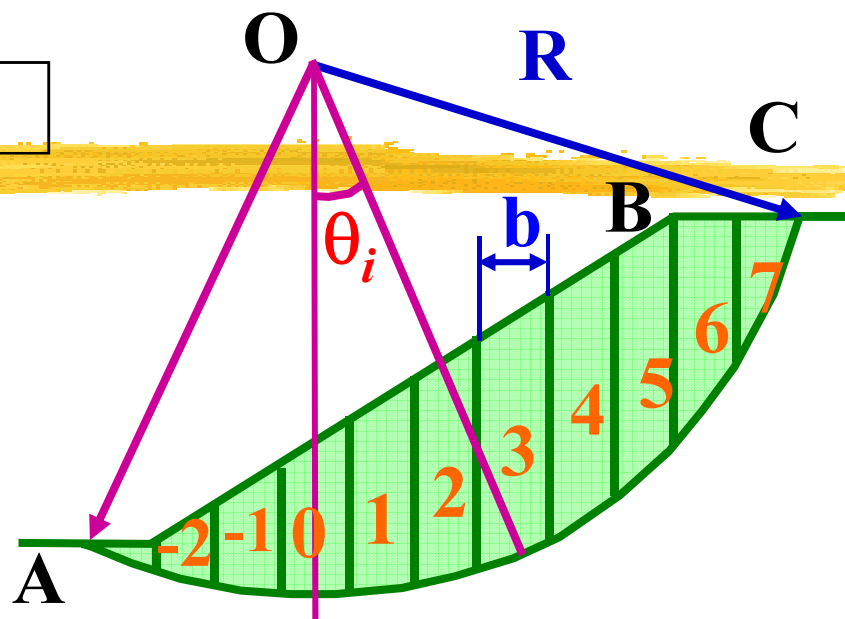
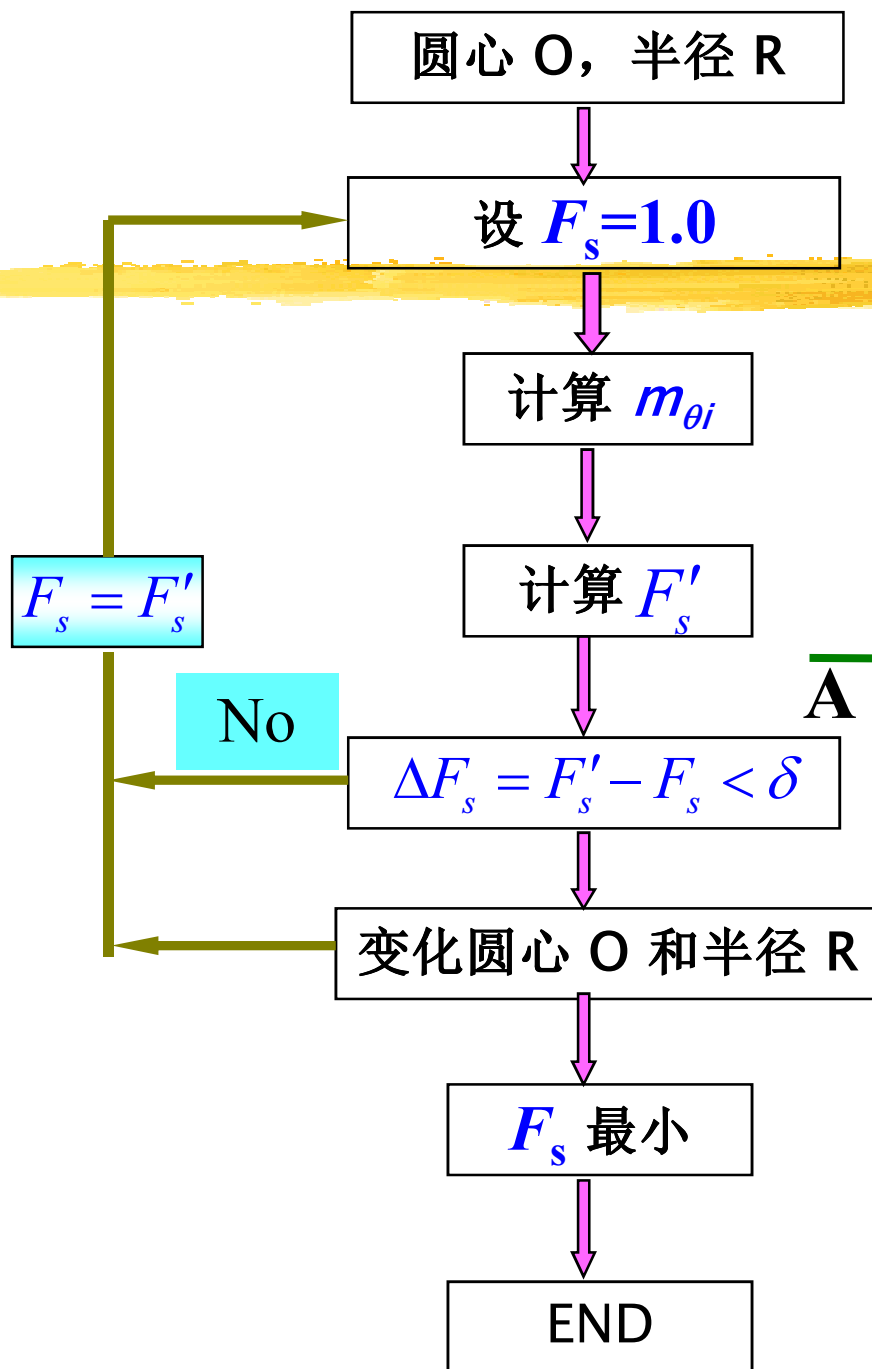
$$l_i \cos \theta_i = b_i$$

隐式
表达

7-20
式8-20



计算步骤

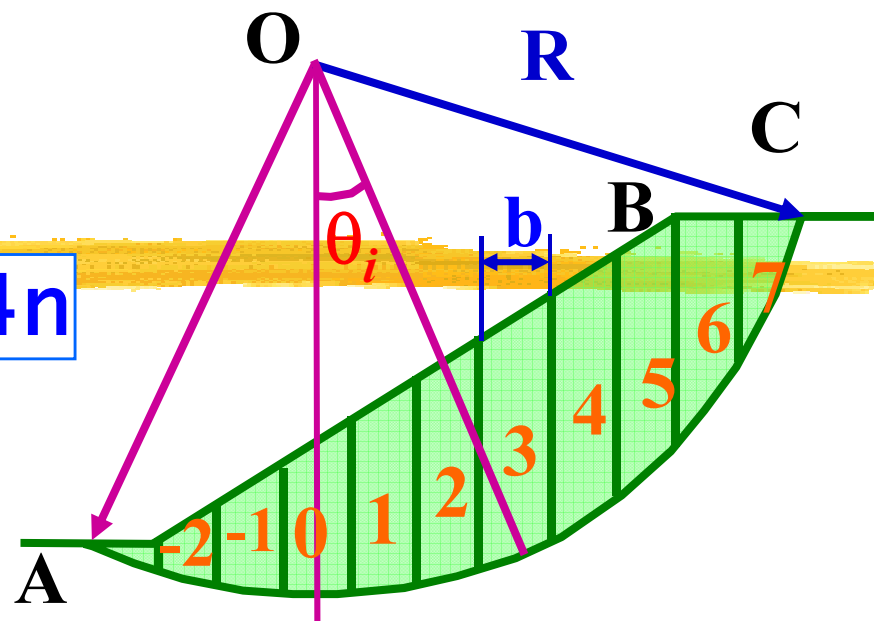


8.3 粘性土坡的稳定分析

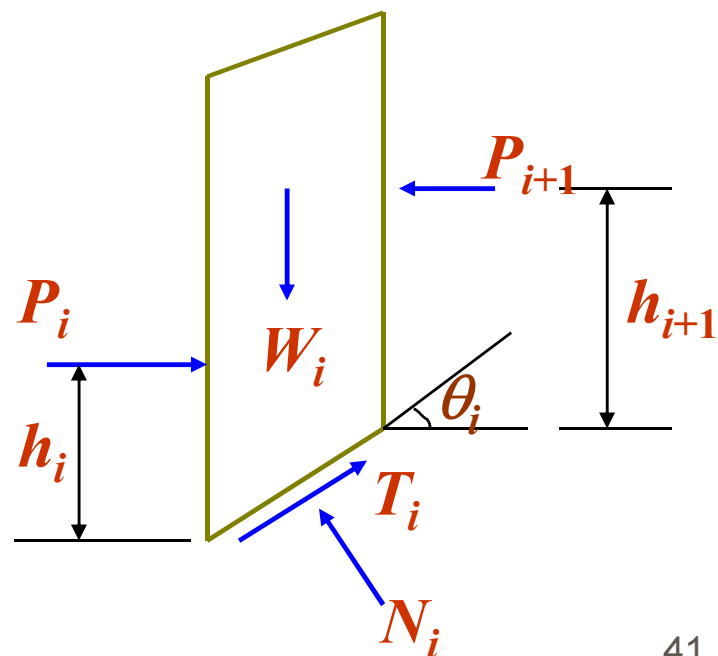
毕肖甫法的讨论

未知数: $4n-1$ 方程数: $4n$

- (1) 假设圆弧滑裂面
- (2) 大多数情况下是精确的



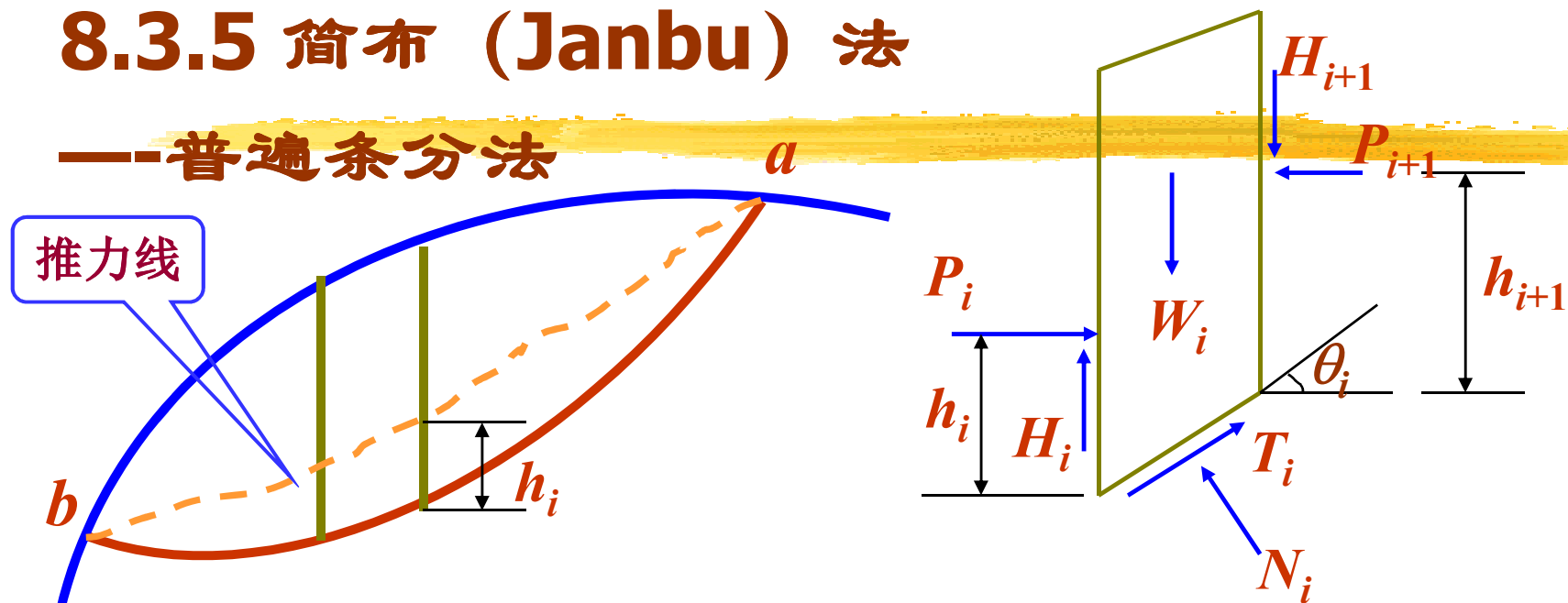
例题8-2一起看一下



8.3 粘性土坡的稳定分析

8.3.5 简布 (Janbu) 法

——普遍条分法



假定：假定各土条间推力作用点连线为光滑连续曲线 $\leftrightarrow$ “推力作用线”
即假定了条块间力的作用点位置

条块间力的作用点位置： $n-1$ }
假定滑动面上作用点位置： n } $2n-1$

未知数： $4n-1$ 方程数： $4n$

8.3 粘性土坡的稳定分析

$$\Sigma F_z = 0 \quad W_i + \Delta H_i = N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Delta P_i = T_i \cos \theta_i - N_i \sin \theta_i$$

极限平
衡条件

$$T_i = \frac{c_i l_i + N_i \tan \phi_i}{F_s}$$

↓ 方程组求解

$N_i \quad T_i \quad \Delta P_i$

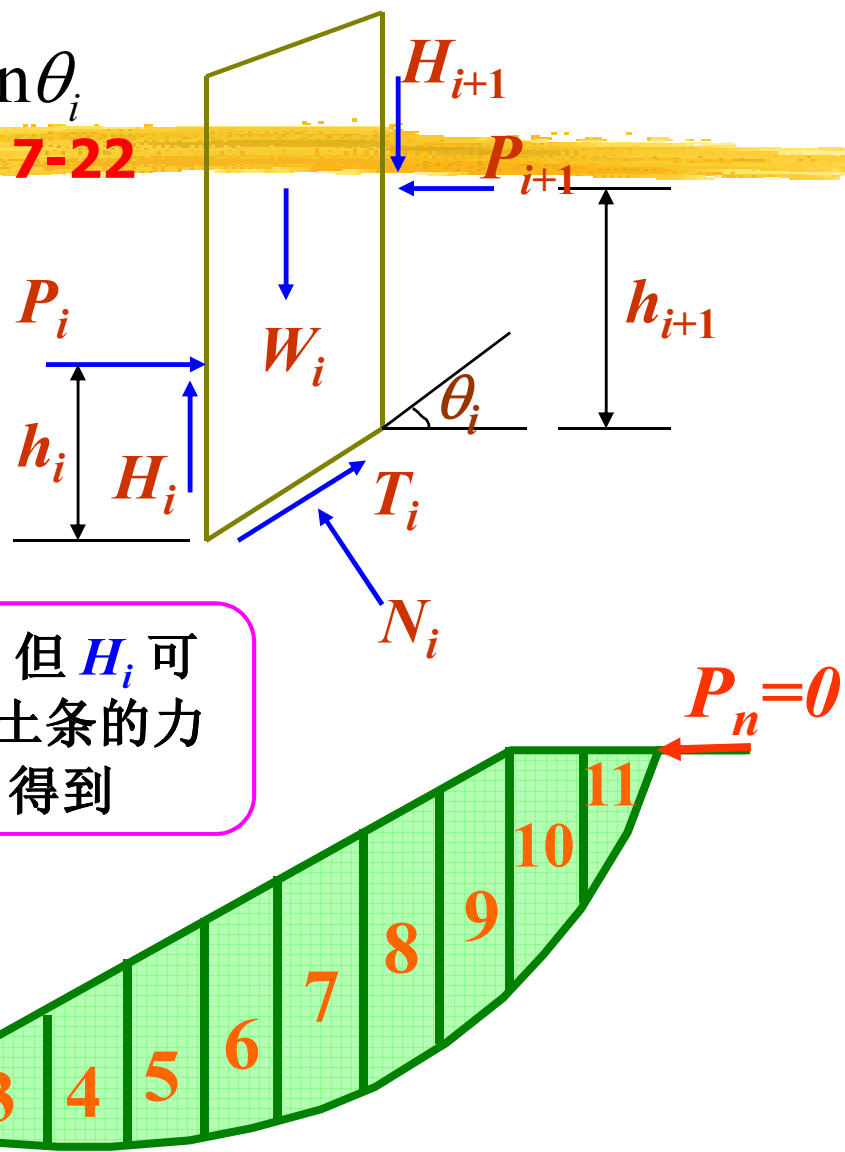
与 H_i 有关, 但 H_i 可以通过每个土条的力矩平衡由 h_i 得到

$$P_1 = \Delta P_1$$

$$P_2 = P_1 + \Delta P_2 = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

$$P_j = \Sigma \Delta P_i \quad (i=1, j)$$

$$P_n = \Sigma \Delta P_i = 0 \quad (i=1, n)$$



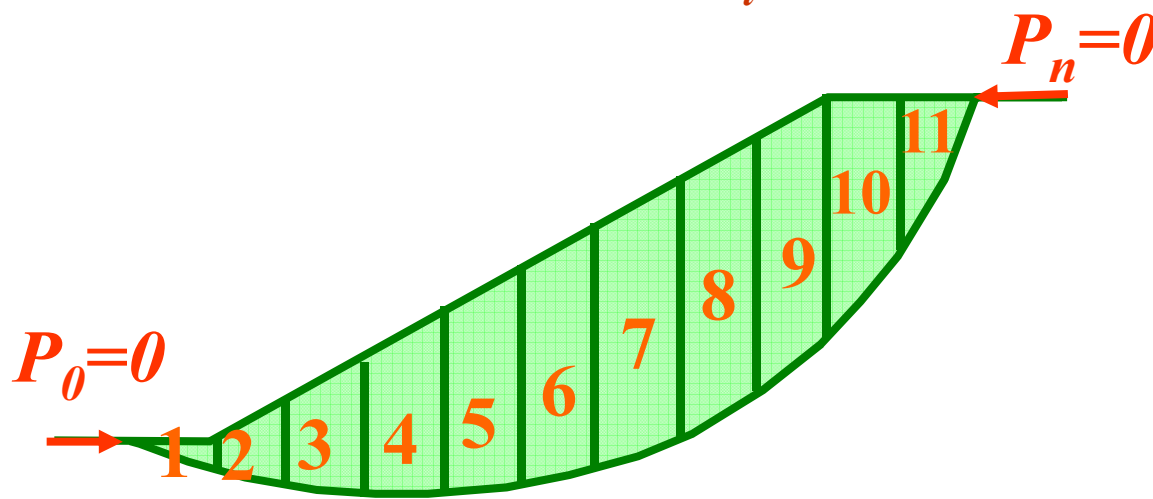
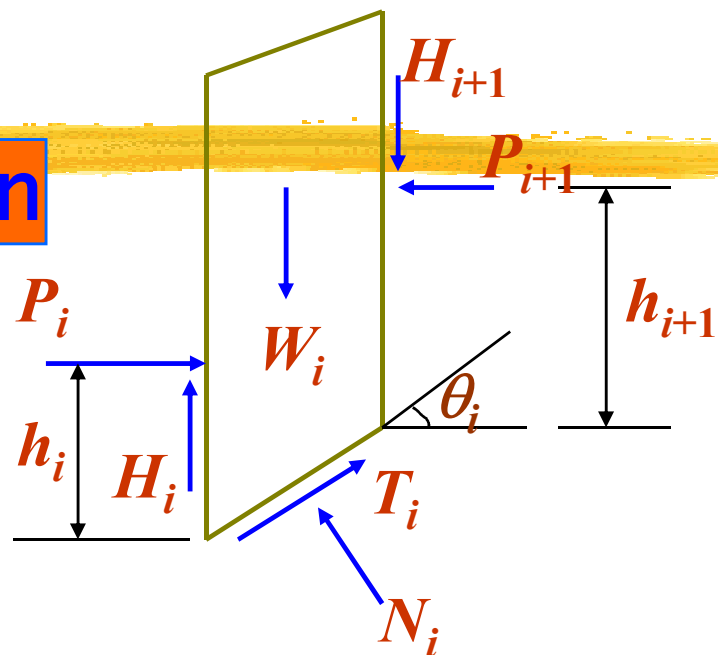
8.3 粘性土坡的稳定分析

简布法的讨论

未知数: $4n-1$ 方程数: $4n$

(1) 任意形状滑裂面，不一定是圆弧

(2) 计算较复杂

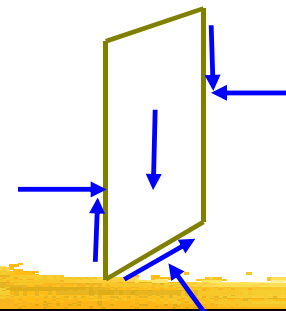


8.3 粘性土坡的稳定分析

危险圆心位置7.3.7 P273看书

几种方法总结

P176



方法		整体圆弧法	简单条分法	毕肖普法	简布法
滑裂面形状		圆弧	圆弧	圆弧	任意
假设		刚性滑动体 滑动面上极限平衡	忽略全部条间力	忽略条间切向力	条间力作用点位置
适用性		饱和软粘土, $\phi=0$	一般均质土	一般均质土	任意
精度		/	偏小10%	误差20~70%	难以确定
平衡条件	整体力矩	√	√	√	√
	各条力矩	√	×	×	√
	各条垂向力	√	/	×	√
	各条水平力	√	×	√	√

8.4 总应力法与有效应力法

两种分析方法：

⌘有效应力法：使用有效应力强度指标 c' 、 ϕ'

⌘总应力法：使用总应力强度指标 c_u 、 ϕ_u 或 c_{cu} 、 ϕ_{cu}

	总应力法	有效应力法
无粘性土		√
土坝施工期	c_u 、 ϕ_u	√
土坝渗流稳定期		√
土坝地震时	c_{cu} 、 ϕ_{cu}	

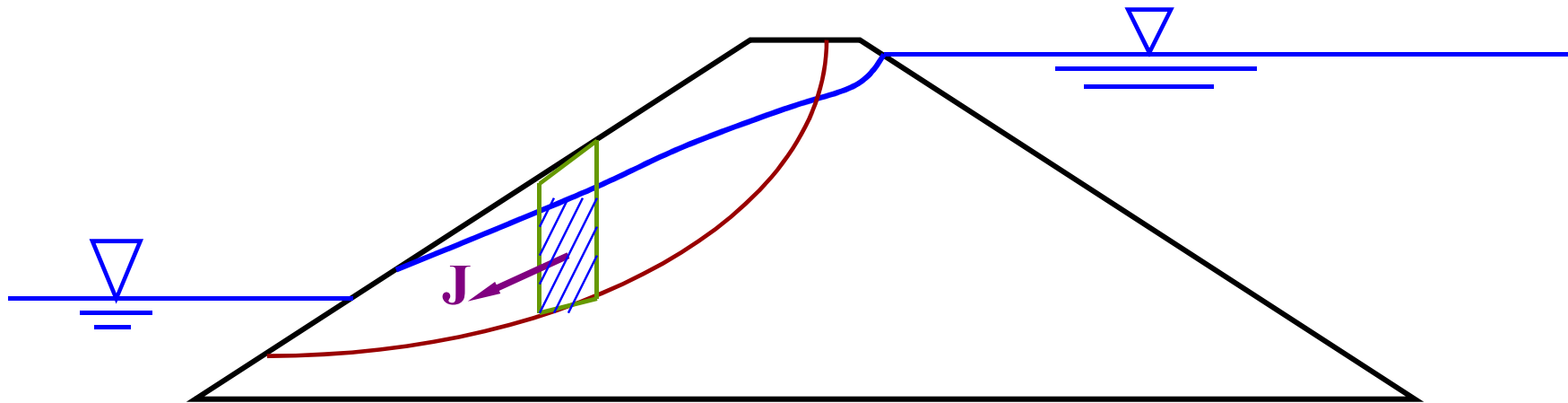
8.4 总应力法与有效应力法

8.4.2 稳定渗流期土坝的边坡稳定分析

P278

特点：已形成稳定渗流，流网可唯一确定

方法1：取土骨架作为隔离体



计算比较繁琐

8.4 总应力法与有效应力法

方法2： 将土水整体作为隔离体

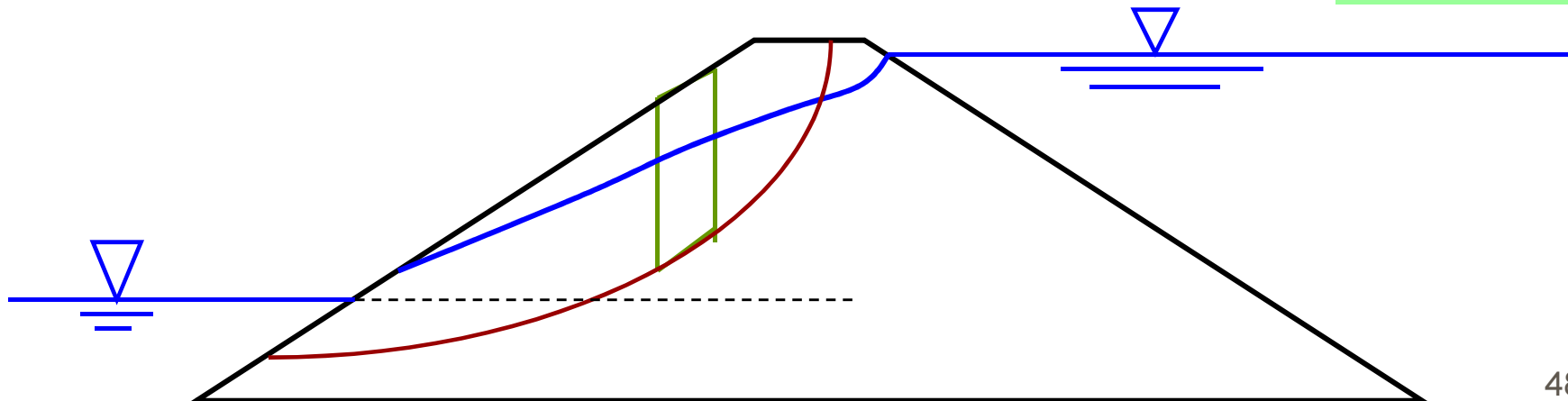
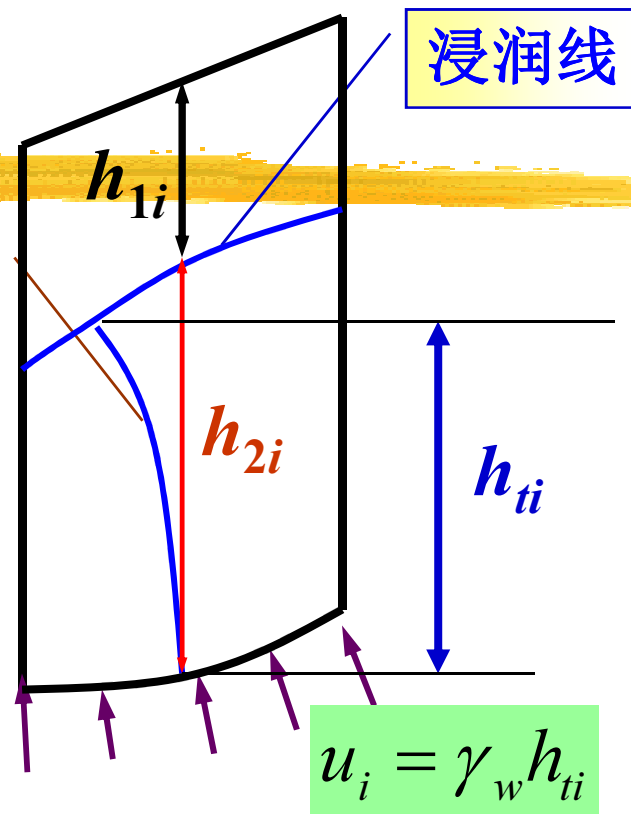
(1) 土条在下游水位以上时

$$F_s = \frac{\sum [c'_i l_i + (W_i \cos \theta_i - \gamma_w h_{ti} l_i) \tan \phi'_i]}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

$$W_i = (\gamma h_{1i} + \gamma_{sat} h_{2i}) b_i$$

等势线

浸润线

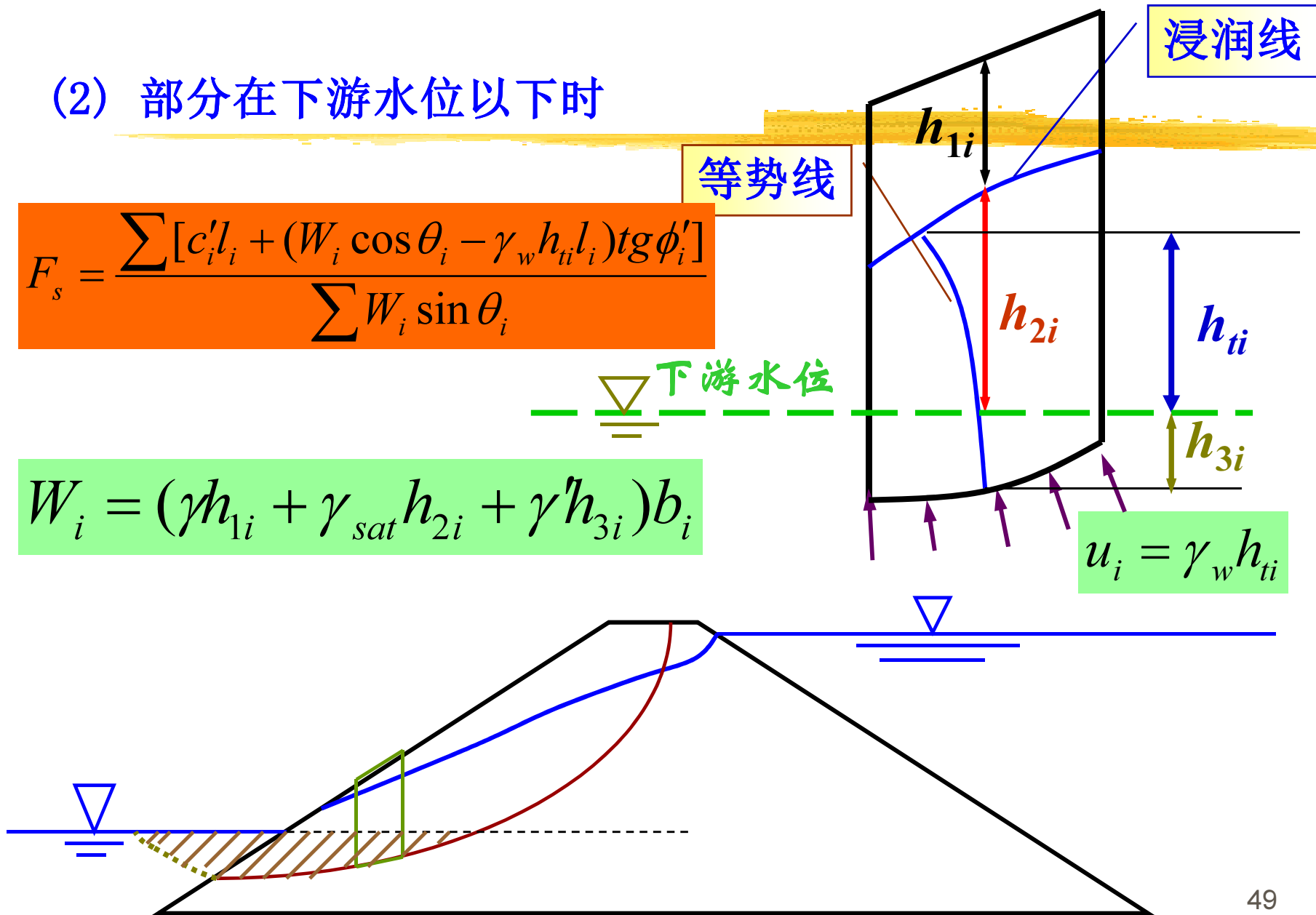


8.4 总应力法与有效应力法

(2) 部分在下游水位以下时

$$F_s = \frac{\sum [c'_i l_i + (W_i \cos \theta_i - \gamma_w h_{ti} l_i) \tan \phi'_i]}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

$$W_i = (\gamma h_{1i} + \gamma_{sat} h_{2i} + \gamma' h_{3i}) b_i$$



8.4 总应力法与有效应力法

8.4.3 施工期土坝的边坡稳定分析

P284

总应力法： 使用总应力强度指标 c_u 、 ϕ_u

有效应力法：

(1) 确定土坝中超静孔隙水压力

$$\begin{aligned}\Delta u &= B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \\ &= B\Delta\sigma_1\left[\frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} + A\left(1 - \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1}\right)\right] \\ &= B\Delta\sigma_1\left[A + (1 - A)\frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1}\right] = \bar{B}\Delta\sigma_1\end{aligned}$$

$$\bar{B} = B\left[A + (1 - A)\frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1}\right] \quad \Leftrightarrow \quad \text{土坝中} \quad \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} \approx \text{const.}$$

8.4 总应力法与有效应力法

(2) 绘制等孔压图

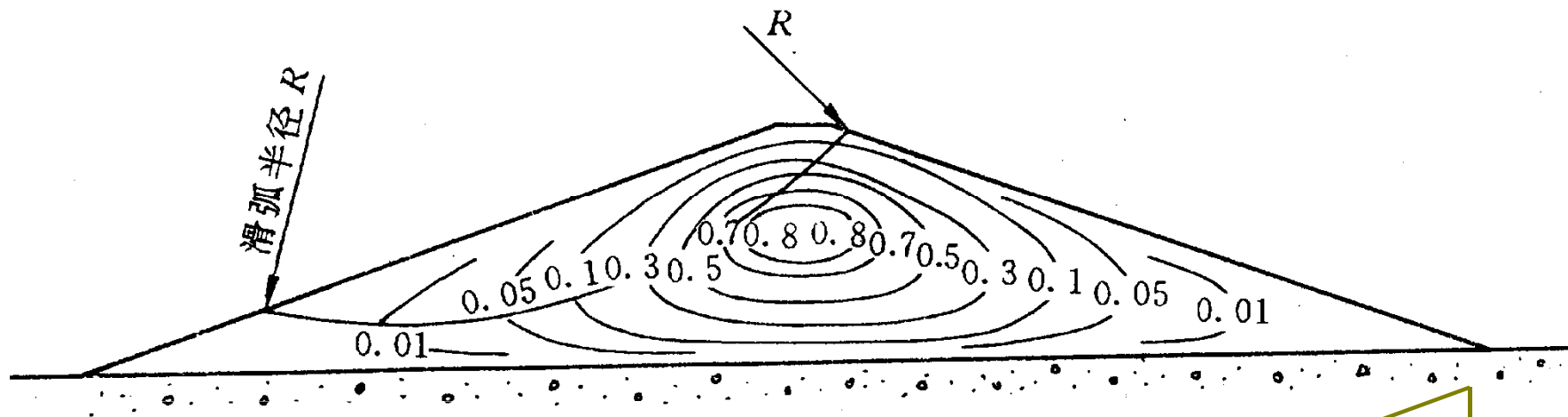


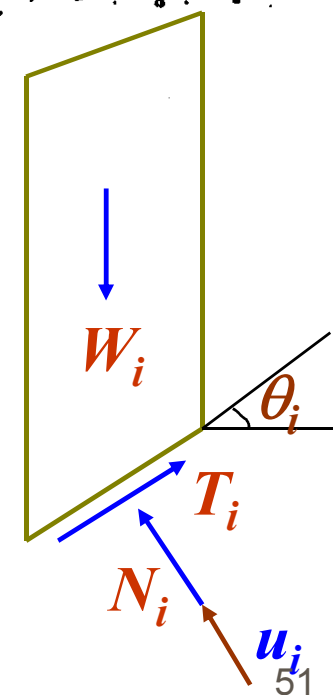
图 7-32 坝体孔隙水压力等值线图

(3) 计算抗滑稳定安全系数

$$F_s = \frac{\sum [c'_i l_i + (W_i \cos \theta_i - u_i l_i) \tan \phi'_i]}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

孔压项

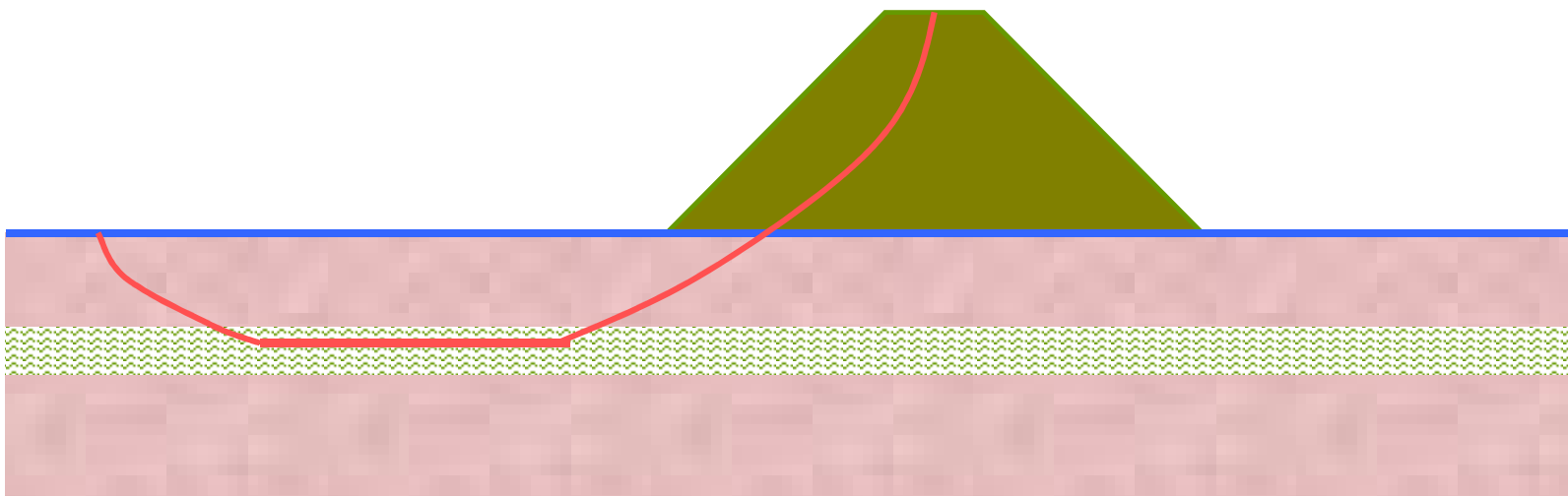
瑞典条分法



8.5 工程实际中的边坡稳定问题

1 超固结粘土边坡

2 软弱夹层



8.5 工程实际中的边坡稳定问题

其它：最小安全系数的搜索

⌘ **1· 初级方法：枚举法**

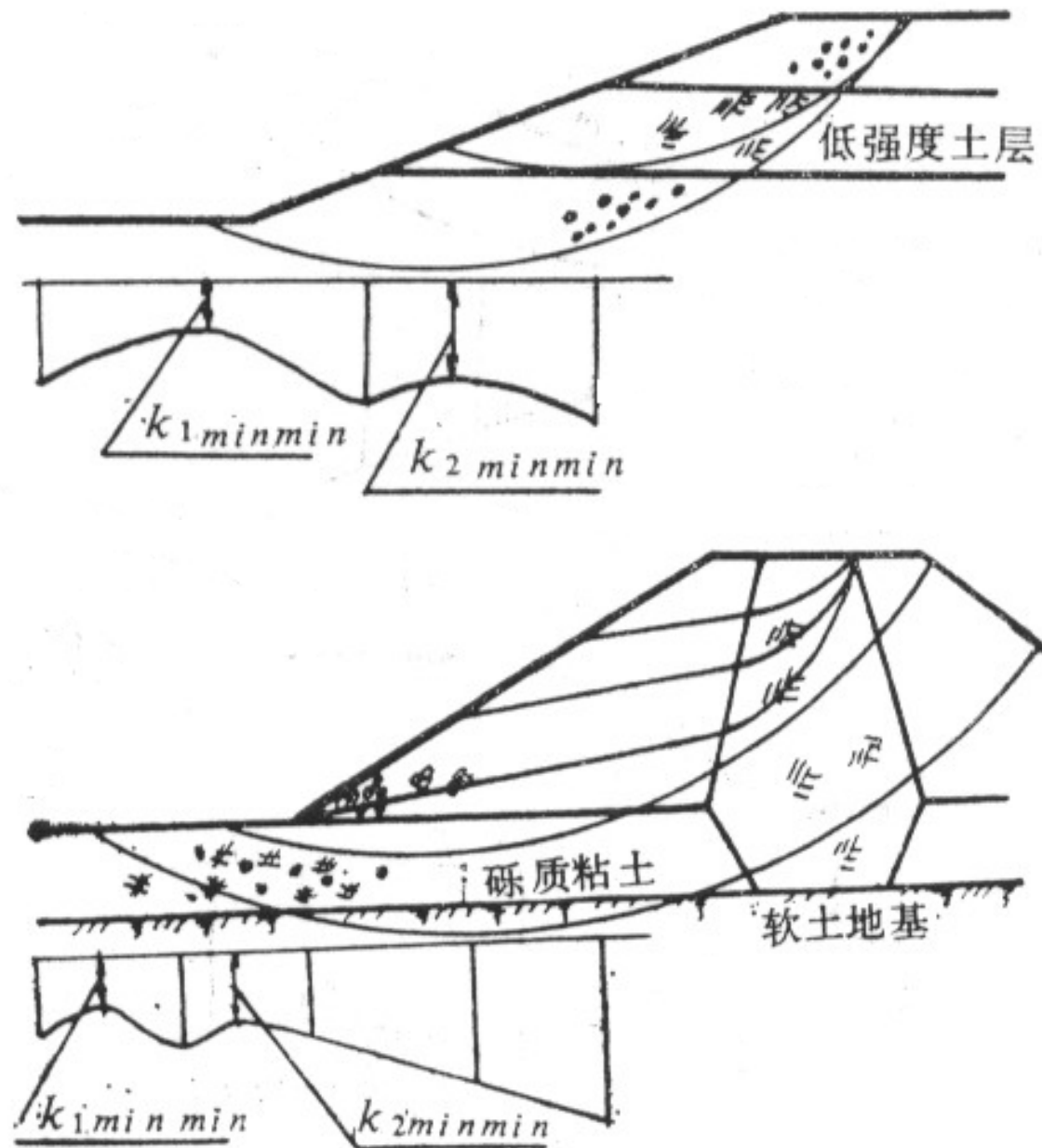
⌘ **2· 解析法：单形法、负梯度法、DFP法**

⌘ **3· 随机搜索法**

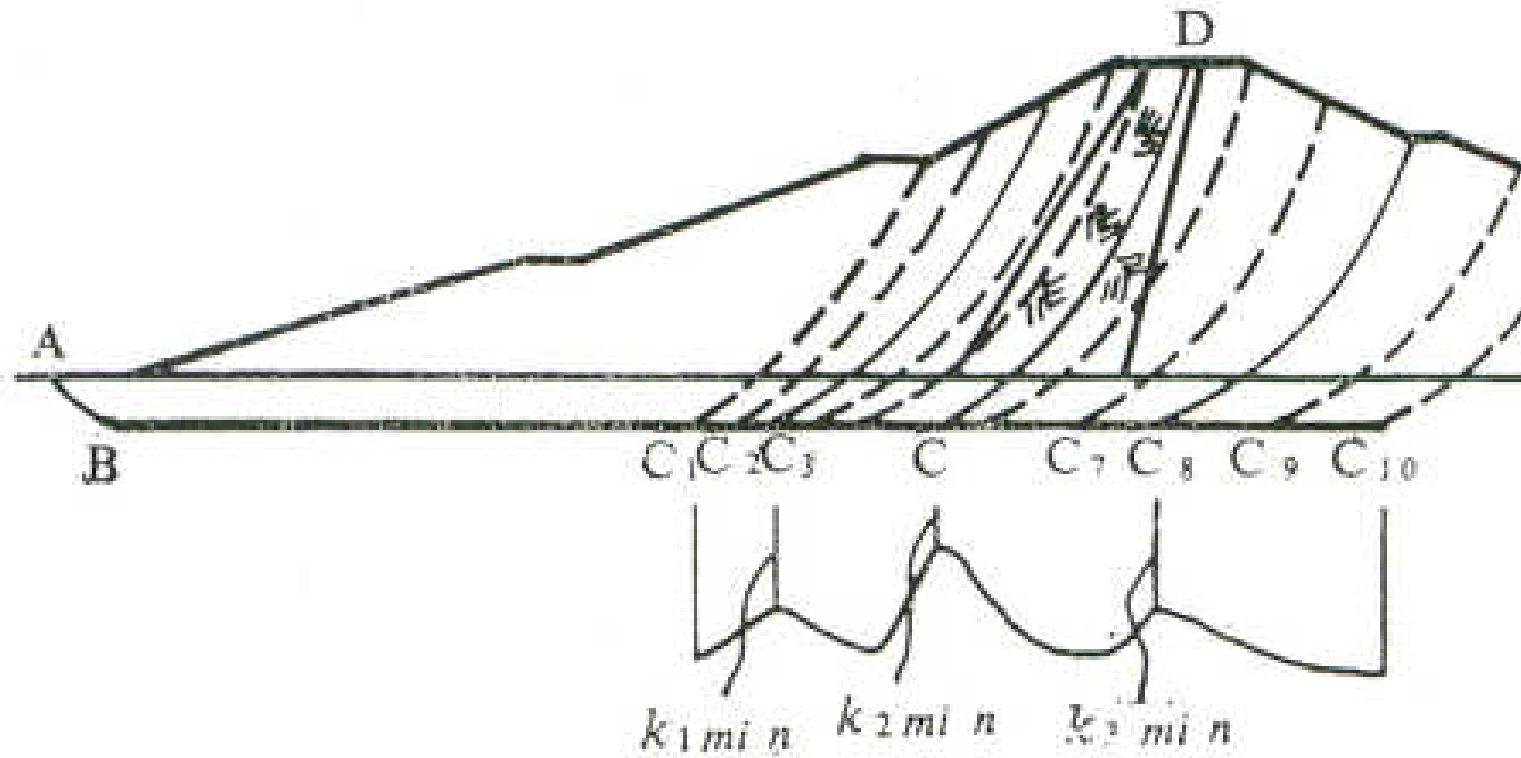
⌘ **4· 优化方法：模拟退火法、神经网络法、遗传算法……**

主要为了避免
局部极小问题

8.5 工程实际中的边坡稳定问题

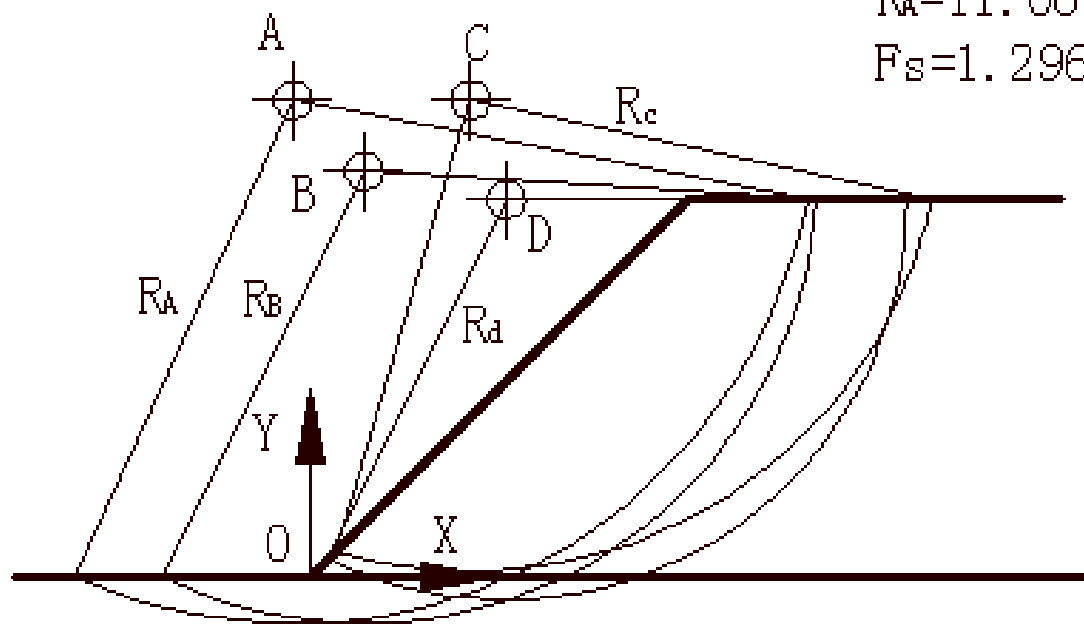


8.5 工程实际中的边坡稳定问题



8.5 工程实际中的边坡稳定问题

$A_x = -0.36$	$B_x = 1.14$	$C_x = 3.39$	$D_x = 4.14$
$A_y = 10.06$	$B_y = 8.56$	$C_y = 10.06$	$D_y = 7.96$
$R_A = 11.06$	$R_B = 9.56$	$R_C = 9.96$	$R_D = 8.46$
$F_s = 1.296$	$F_s = 1.3$	$F_s = 1.296$	$F_s = 1.289$



Wu's publications related to the slope stability analysis

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

Wu X.Z. *Development of fragility functions for slope instability analysis*. Landslides. 2015, 12(1):165–175. Technical note. 强降雨和地震作用下边坡失稳的易损性曲线.

Wu X.Z. *Using copulas to characterise the dependency of GCL shear strengths*. Geosynthetics International. 2013, 20 (5):344–357. 考虑GCL剪切强度相关性的概率稳定分析.

Wu X.Z. *Trivariate analysis of soil ranking-correlated characteristics and its application to probabilistic stability assessments in geotechnical engineering problems*. Soils and Foundations. 2013, 53(4):540–556. [SCIE:0.41]. 土体多变量参数的相关性及其在岩土工程中概率稳定评估中的应用.

Wu X.Z. *Probabilistic slope stability analysis by a copula-based sampling method*. Computational Geosciences. 2013, 17(5):739–755. [SCIE:1.61] 基于关联函数的取样方法及其在概率边坡稳定分析应用.

Wu X.Z. *Modelling dependence structures of soil shear strength data with bivariate copulas and applications to geotechnical reliability analysis*. Soils and Foundations. 2015, 55(5):1243–1258. 采用关联函数模拟土体抗剪强度参数的互相关性及其应用.

吴兴征, 丁留谦, 张金接. 防洪堤的可靠性设计方法探讨. 水利学报. 2003, (4):87–93.

吴兴征, 栾茂田, 徐又建. 土工网加筋土堤坝的稳定分析. 第五届全国土工合成材料学术会议. 现代知识出版社, 2000. 326–329. [[pdf](#)]

国外:

Plaxis2d 荷兰

SLIDE RockSci ence

Geo-slope 加拿大

国内 :

STAB IWHR

北京理正

同济启明星



h 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