



第四章

路基稳定性分析计算



主要内容

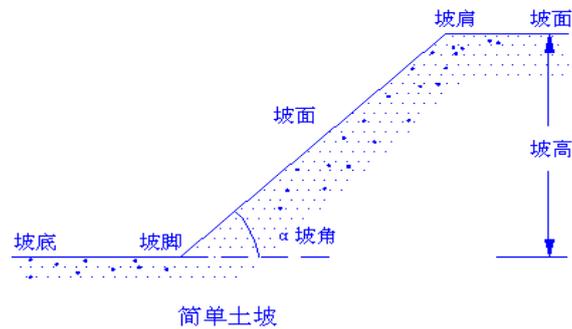
- ◆ 第一节 概述
- ◆ 第二节 直线滑动面的边坡稳定性分析
- ◆ 第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析
- ◆ 第四节 软土地基的路基稳定性分析
- ◆ 第五节 浸水路堤的稳定性分析
- ◆ 第六节 路基边坡抗震稳定性分析



第一节 概述



- **边坡**：具有倾斜坡面的**岩土体**。
- **土坡**：具有倾斜坡面的**土体**。
- **边坡种类**：天然边坡、人工边坡。



School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



天然边坡：江、河、湖、海岸坡
山、岭、丘、岗、天然坡



School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



人工边坡：挖方：沟、渠、坑、池

填方：堤、坝、路基、堆料



小浪底土石坝

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



■ 滑坡？

边坡丧失其原有稳定性，一部分土体相对与另一部分土体滑动的现象称滑坡。



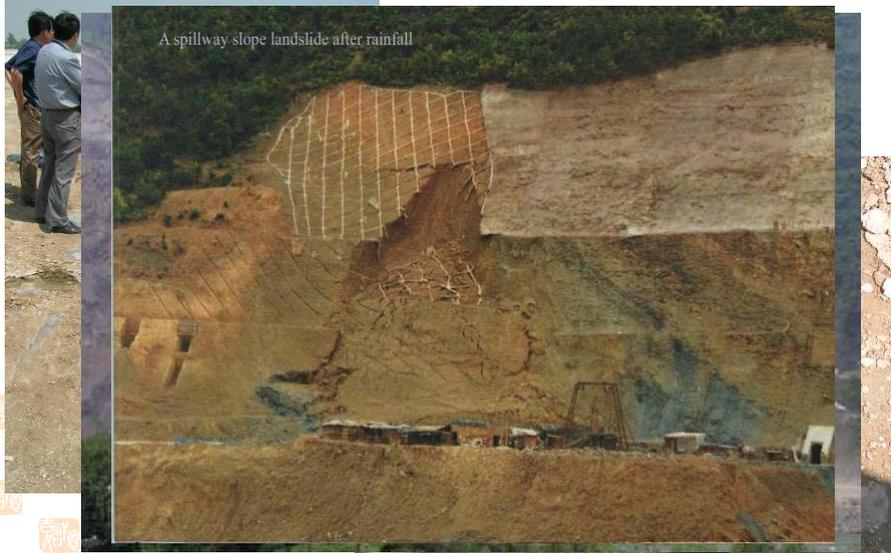
土坡滑坡前征兆：坡顶下沉并出现裂缝，坡脚隆起。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



◆1、路基稳定性分析的原因：

◆土坡失稳原因分析-内部原因

- ▶ (1) **土质**：各种土质的抗剪强度、抗水能力是不一样的，如钙质或石膏质胶结的土、湿陷性黄土等，遇水后软化，使原来的强度降低很多。
- ▶ (2) **土层结构**：如在斜坡上堆有较厚的土层，特别是当下伏土层(或岩层)不透水时，容易在交界上发生滑动。
- ▶ (3) **边坡外形**：突肚形的斜坡由于重力作用，比上陡下缓的凹形坡易于下滑；由于粘性土有粘聚力，当土坡不高时尚可直立，但随时间和气候的变化，也会逐渐塌落。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



◆1、路基稳定性分析的原因：

◆土坡失稳原因分析-外部原因

- (1) **降水或地下水的作用**：持续的降雨或地下水渗入土层中，使土中含水量增高，土中易溶盐溶解，土质变软，强度降低；还可使土的重度增加，以及孔隙水压力的产生，使土体作用有动、静水压力，促使土体失稳，故设计斜坡应针对这些原因，采用相应的排水措施。
- (2) **振动的作用**：如地震的反复作用下，砂土极易发生液化；粘性土，振动时易使土的结构破坏，从而降低土的抗剪强度；施工打桩或爆破，由于振动也可使邻近土坡变形或失稳等。
- (3) **人为影响**：由于人类不合理地开挖，特别是开挖坡脚；或开挖基坑、沟渠、道路边坡时将弃土堆在坡顶附近；在斜坡上建房或堆放重物时，都可引起斜坡变形破坏。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



◆1、路基稳定性分析的原因：

根本原因：边坡中土体内部某个面上的剪应力达到了它的抗剪强度。

- 具体原因**：
- (1) 滑面上的剪应力增加；
 - (2) 滑面上的抗剪强度减小。



School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第一节 概述



◆2、边坡稳定性分析的计算参数

➢ 土的计算参数

γ 、 ϕ 、 c

(可分层划段, 使参数一致, 少用综合土体加权平均法)

➢ 边坡的取值

可取综合坡度值, 也可用坡顶与坡脚连线近似表达

➢ 汽车荷载的当量换算

$$h_0 = NQ / (BL \gamma)$$

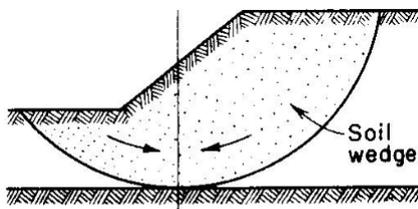


第一节 概述

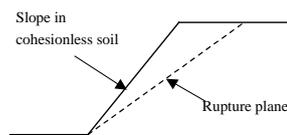


■ 2、假定

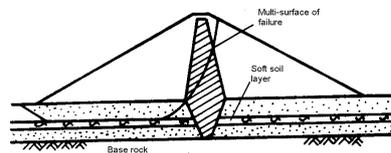
■ 滑动面的形状



均质粘性土: 光滑曲面
(圆柱面/圆弧)



无粘性土: 平面



非均质的多层土或含软弱夹层的土坡: 复合滑动面



第一节 概述



■ 2、假定

➤ 力学假设

- 1) 纵向取单位长，考虑为平面应变问题；
- 2) 松散的砂类土、砾（石）土按直线破裂面进行分析；
- 3) 粘性土按圆弧破裂面进行分析；
- 4) 不考虑滑动土体本身内应力的分布，将其视为刚性整体，在滑动面上考虑其静力平衡；
- 5) 极限滑动面的位置由试算确定。



第一节 概述



◆ 3、土坡稳定性分析方法

1) 按失稳土体的滑动面特征划分：

- ✓ 直线
- ✓ 曲线
- ✓ 折线

2) 稳定性分析计算方法：

- ✓ 工程地质法（比拟法）
- ✓ 力学分析法
- ✓ 图解法



第二节 直线滑动面的边坡稳定性分析

◆ 1、适用范围

直线法适用于砂土和砂性土（两者合称砂类土），土的抗力以内摩擦力为主，粘聚力甚小。边坡破坏时，破裂面近似平面。

直线滑动面示意图
a) 高路堤 b) 深路堤 c) 陡坡路堤

School of Transportation Southeast University, China 东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第二节 直线滑动面的边坡稳定性分析

◆ 试算法

$$K = \frac{R}{T} = \frac{N \cdot f + cL}{T} = \frac{Q \cdot \cos \omega \tan \varphi + cL}{Q \sin \omega}$$

式中： ω ——滑动面的倾角；
 f ——摩擦系数， $f = \tan \varphi$ ；
 L ——滑动面的长度；
 N ——滑动面的法向分力；
 T ——滑动面的切向分力；
 c ——滑动面上的粘聚力；
 Q ——滑动体的重力。

直线滑动面上的力系示意图

当 $c = 0$, $K = \frac{\tan \varphi}{\tan \omega}$ $\alpha < \varphi: F_s < 1$
 $\alpha = \varphi: F_s = 1$

School of Transportation Southeast University, C 东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

◆2、圆弧滑动面的条分法- 瑞典圆弧滑动法原理

假定滑动面为圆柱面，截面为圆弧，利用土体极限平衡条件下的受力情况：

$$K_s = \frac{M_f}{M} = \frac{\tau_f \widehat{L} R}{\tau \widehat{L} R} = \frac{\tau_f \widehat{L} R}{W d}$$

饱和粘土，不排水剪条件下， $\varphi_u = 0$ ， $\tau_f = c_u$

$$K_s = \frac{c_u \widehat{L} R}{W d}$$

滑动面上的最大抗滑力矩与滑动力矩之比

School of Transportation Southeast University, China 东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

粘性土土坡滑动前，坡顶常出现竖向裂缝

深度近似采用土压力临界深度

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

裂缝的出现将使滑弧长度由AC减小到A'C，如果裂缝中积水，还要考虑静水压力对土坡稳定的不利影响

Fs是任意假定某个滑动面的抗滑安全系数，实际要求的是与最危险滑动面相对应的最小安全系数

假定若干滑动面 → 最小安全系数

School of Transportation Southeast University, China 东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

◆2、圆弧滑动面的条分法- 瑞典圆弧滑动条分法

▶ 计算式:

$$K = \frac{f \cdot \sum N_i + cL}{\sum T_i}$$

式中:

- N_i ——各土条的法向应力;
- T_i ——各土条的切向应力;
- α_i ——各土条重心与圆心连接线对竖轴y的夹角;
- L ——滑动面圆弧全长;
- α_0 ——圆心角。

对于外形复杂、 $\varphi > 0$ 的粘性土土坡，土体分层情况时，要确定滑动土体的重量及其重心位置比较困难，而且抗剪强度的分布不同，一般采用条分法分析

School of Transportation Southeast University, China 东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

◆2、圆弧滑动面的条分法- 瑞典圆弧滑动条分法

滑动土体分为若干垂直土条

各土条对滑弧圆心的抗滑力矩和滑动力矩

土坡稳定安全系数

$$K = \frac{f \cdot \sum N_i + cL}{\sum T_i}$$

School of Transportation Southeast University, China 东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

假设两组合力
(P_i, X_i) =
(P_{i+1}, X_{i+1})

静力平衡

条分法分析步骤 I

- 按比例绘出土坡剖面
- 任选一圆心 O ，确定滑动面，将滑动面以上土体分成几个等宽或不等宽土条
- 每个土条的受力分析

$$\sigma_i = \frac{N_i}{l_i} = \frac{1}{l_i} W_i \cos \beta_i$$

$$\tau_i = \frac{T_i}{l_i} = \frac{1}{l_i} W_i \sin \beta_i$$

$$N_i = W_i \cos \beta_i$$

$$T_i = W_i \sin \beta_i$$

School of Transportation Southeast University, China
东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

条分法分析步骤 II

- 滑动面的总滑动力矩

$$TR = R \sum T_i = R \sum W_i \sin \beta_i$$
- 滑动面的总抗滑力矩

$$T'_R = R \sum \tau_i l_i = R \sum (\sigma_i \tan \varphi_i + c_i) l_i$$

$$= R \sum (W_i \cos \beta_i \tan \varphi_i + c_i l_i)$$
- 确定安全系数

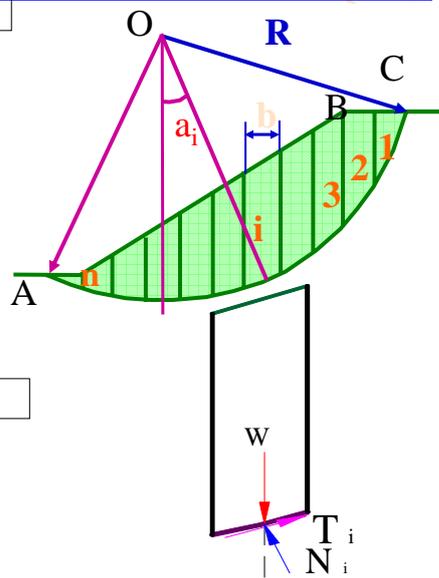
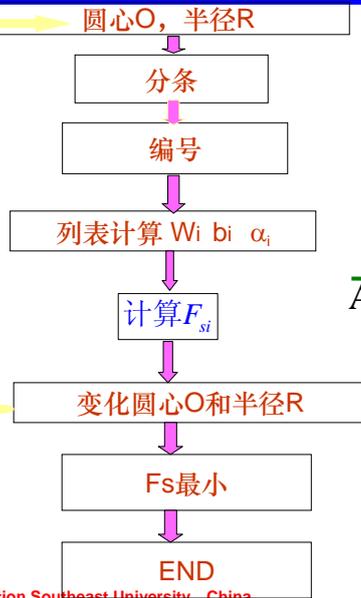
$$F_s = \frac{T'_R}{TR} = \frac{\sum (W_i \cos \beta_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum W_i \sin \beta_i}$$

条分法是一种试算法，应选取不同圆心位置和不同半径进行计算，求最小的安全系数

School of Transportation Southeast University, China
东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

条分法计算步骤



School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科

第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析

◆3、圆弧滑动面的解析法及图表法

1、解析法

针对高塑性土，具体分为坡脚圆法和中点圆法

见4-13 和 4-14式

2、图表法

主要是对条分法进行简化后的粗略估算使用

见4-9 和 4-10式

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四章

路基稳定性分析计算



第四节 软土地基的路基稳定性分析



➤ 宁淮高速公路



第四节 软土地基的路基稳定性分析



➤ 宁杭高速公路（浙江段）

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四节 软土地基的路基稳定性分析

3 一般路基	6
3.1 一般规定	6
3.2 路床	6
3.3 填方路基	7
3.4 挖方路基	9
3.5 路基填挖交界处理	11
3.6 高边坡路堤与陡坡路堤	11
3.7 挖方高边坡	15
3.8 填石路堤	18
3.9 粉煤灰路堤	20
3.10 路基取土	21
3.11 路基弃土	21

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四节 软土地基的路基稳定性分析

7 特殊路基	62
7.1 一般规定	62
7.2 滑坡地段路基	62
7.3 崩塌与岩堆地段路基	65
7.4 泥石流地区路基	66
7.5 岩溶地区路基	68
7.6 软土地区路基	69
7.7 红粘土与高液限土地区路基	74
7.8 膨胀土地区路基	76
7.9 黄土地区路基	78
7.10 盐渍土地区路基	81
7.11 多年冻土地区路基	84
7.12 风沙地区路基	86
7.13 雪害地段路基	89
7.14 涎流冰地段路基	91
7.15 采空区路基	92
7.16 滨海路基	94
7.17 水库地区路基	95



第四节 软土地基的路基稳定性分析

- 公路工程线长面广，沿线地质、水文条件复杂多变，受多种因素制约，线路不可避免要穿越软土区；
- 软土特点是细粒土组成的空隙比大 ($e > 1$)、天然含水量高 ($w > w_L$ ，大于30~50%)、压缩性高 ($a_{1-2} > 0.5 \text{Mpa}^{-1}$)、强度低 ($C_u < 30 \text{Kpa}$) 和具有灵敏结构性的土层。



第四节 软土地基的路基稳定性分析

◆ 软土分布：

沿海地区、内陆湖泊和河流谷地分布着大量淤泥、淤泥质粘土等软土。

➤ 软土分类：

➤ 河海沉积

➤ 湖泊沉积

➤ 江滩沉积

➤ 沼泽沉积



软土地段高填方路基

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四节 软土地基的路基稳定性分析

主要病害

➤ 在软土地基上修建高速公路会遇到

路基不稳定

沉降过大及

不均匀沉降等问题

➤ 且工程性质恶劣，尤其在振动荷载的作用下，易产生侧向滑移及蠕变，对路基、构筑物的影响较大。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四节 软土地基的路基稳定性分析

➤ 主要措施:

薄层软土—原则上清除换土

厚层软土---- { 稳定分析,达到要求;
加固措施;
采用其他结构物-修筑桥梁



第四节 软土地基的路基稳定性分析

◆ 1、临界高度的计算

➤ 临界高度

指天然路基状态下，不采取任何加固措施，所容许的路基最大填土高度。

➤ 计算公式

1) 均质薄层软土地基

2) 均质厚层软土路基

式中:

$$H_c = \frac{c}{\gamma} \cdot N_w$$

$$H_c = 5.52 \frac{c}{\gamma}$$

H_c ——容许填土的临界高度;

c ——软土的快剪粘聚力;

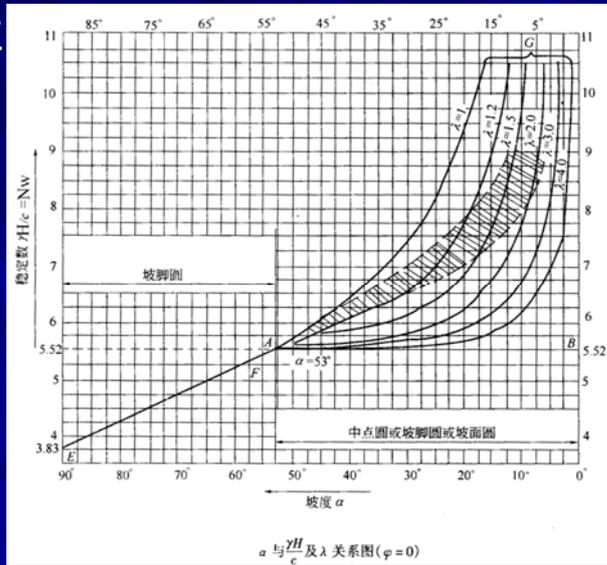
γ ——填土的容重;

N_w ——稳定因数。



第四节 软土地基的路基稳定性分析

◆ 临界高度的计算



School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四节 软土地基的路基稳定性分析

➤ 规范规定:

7.6.3 稳定验算

软土地基路堤的稳定验算一般采用瑞典圆弧滑动法中的固结有效应力法、改进总强度法,有条件时也可采用简化 Bishop 法、Janbu 普遍条分法。验算时按施工期和营运期的荷载分别计算稳定安全系数。施工期的荷载只考虑路堤自重,营运期的荷载包括路堤自重、路面的增重及行车荷载。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第四节 软土地基的路基稳定性分析

◆2、路基稳定性的计算方法

➤1) 总应力法-地基抗剪强度采用总强度，或采用直剪快剪指标。

表征稳定性的安全系数为：

$$K = \frac{\sum S_i + \sum (S_j + P_j)}{P_T}$$

式中：

i, j ——路堤填料内的分条编号；

P_T ——各土条在滑弧切线方向的下滑力的总和；

S_i ——路基土内（AB弧）的抗剪力；

S_j ——路基土内（BC弧）的抗剪力。

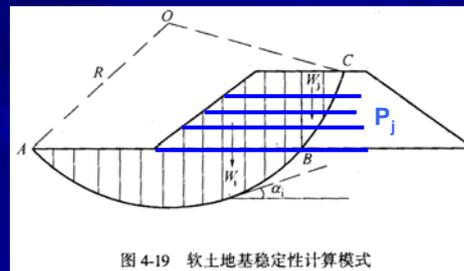


图 4-19 软土地基稳定性计算模式



第四节 软土地基的路基稳定性分析

➤2) 有效固结应力法

可以求固结过程中任意时刻已知固结度的安全系数，但本身不计算固结度，只是将其作为已知条件。

安全系数为：
$$K = \frac{\sum (S_i + \Delta S_i) + \sum (S_j + P_j)}{P_T} \quad \Delta S_i = W_{li} U_i \cos \alpha_i \tan \varphi_{gi}$$

$$\Delta S_i = W_{li} U_i \cos \alpha_i \tan \varphi_{gi}$$

式中： S_i —— $W_{li} \cos \alpha_i \tan \varphi_{qi} + c_{qi} L_i$ 或 $S_i = \tau_i L_i$ ；

U_i ——地基的固结度；

c_{qi} 、 φ_{qi} ——当第 i 土条的滑裂面处于地基内（AB 弧）时，分别为该土条所在土层的快剪（直剪）粘聚力 c (kPa) 及快剪内摩擦角；

$\tan \varphi_{gi}$ φ_{gi} 、 U_i ——当第 i 土条的滑裂面处于地基（AB 弧）时，分别为该土条所在土层的固结快剪（直剪）的内摩擦角及滑裂面所处位置的固结度；

其他符号意义同前。

第五节 浸水路堤的稳定性分析

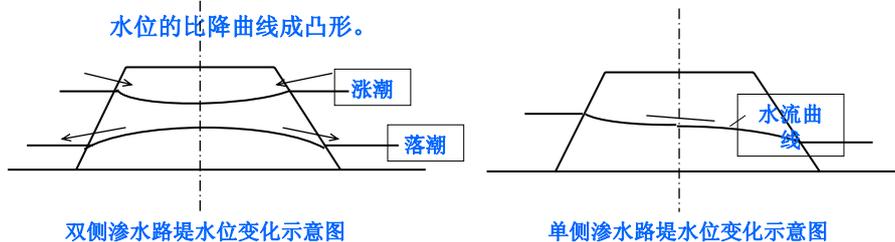
◆1、浸水路堤及水的浸润曲线

- 浸水路堤

浸水路堤是指受到季节性或长期浸水的沿河路堤、河滩路堤等。

- 浸水路堤的水的浸润曲线

由于土体内渗水速度远慢于河水，因此，当堤外水位升高时，堤内水位的比降曲线（即浸润线）成凹形，当堤外水位下降时，堤内水位的比降曲线成凸形。



第五节 浸水路堤的稳定性分析

◆2、渗透动水压力对浸水路堤的作用

- **水位急速上升时**，浸水路堤的浸润曲线下凹，土体除承受竖向的向上浮力外，还承受渗透动水压力的作用，作用方向指向土体内部，有利于土体稳定，经过一定时间的渗透，土体内水位趋于平衡，不再存在渗透动水压力。
- **水位骤然下降时**，浸水路堤的浸润曲线上凸，渗透动水压力的作用方向指向土体外，这将剧烈破坏路堤边坡的稳定性，并可能产生边坡凸起和滑坡，不利于土体稳定，但经过一定时间的渗透，土体内水位也会趋于平衡，不再存在渗透动水压力。
- 浸水路堤边坡稳定的最不利情况一般发生在**最高洪水水位骤然降落的时候**，此时渗透动水压力指向路基体外。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第五节 浸水路堤的稳定性分析

◆3、渗透动水压力对浸水路堤的作用

- 1) 浸水路堤的受力: 自重、行车荷载、浮力 渗透动水压力。
- 2) 浸水路堤的不利时刻: 涨水?、落水?。
- 3) 土的渗透性: 由于土中含有空隙, 在水位变化过程中伴有土中含水量的变化。
 - 对砂性土—渗透性好, 动水压力较小;
 - 对黏性土—渗透性不好, 动水压力也不大;
 - 对亚砂土、亚黏土—具有一定的渗透性, 动水压力较大, 边坡容易失稳。

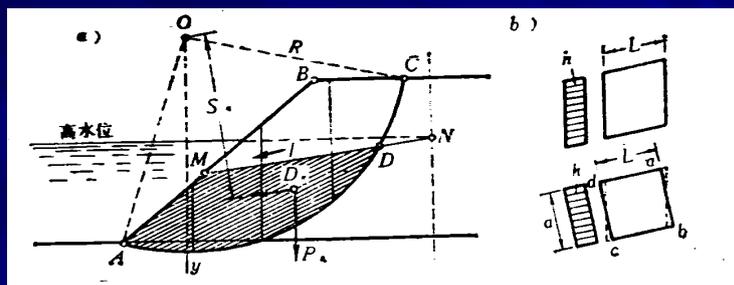
School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第五节 浸水路堤的稳定性分析

➤ 4) 动水压力的计算



$$D = l \Omega_B \gamma_0$$

D ——作用于浸润线以下土体重心的渗透动水压力, kN/m ;

l ——渗流水力坡降 (取用浸润曲线的平均坡降);

Ω_B ——浸润曲线与滑动弧之间的面积, m^2 ;

γ_0 ——水的容重, kN/m^3

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第五节 浸水路堤的稳定性分析

◆4、渗水路堤的边坡稳定性计算方法

➢1) 假想摩擦角法

✓基本点:

适当改变填料的内摩擦角，利用非浸水时的常用方法，进行浸水时的路堤稳定性计算。

(只适用于全浸水路堤)

$$\tan \varphi_B = \frac{Q_B}{Q} \tan \varphi$$



第五节 浸水路堤的稳定性分析

➢2) 悬浮法

✓基本假设:

假想用水的浮力作用间接抵消动水压力对边坡的影响，即在计算抗滑力矩中，用降低后的内摩擦角反应浮力的影响，而在计算滑动力矩中，不考虑浮力作用，滑动力矩没有减小，用以抵偿动水压力的不利影响。

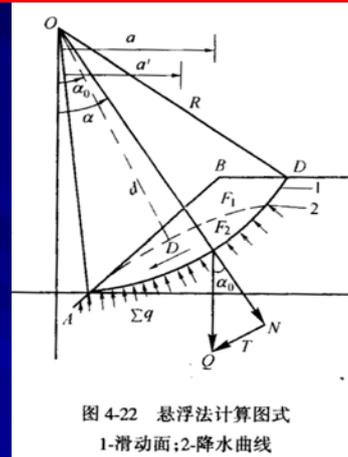


图 4-22 悬浮法计算图式
1-滑动面;2-降水曲线

悬浮法计算图式：1-滑动面；2-降水曲线

$$K = \frac{M_y}{M_{01}} = \frac{[(Q - W) \cos \alpha_0 \tan \varphi + cL]R}{(F_1 + F_2) \gamma \cdot a} \quad (4-25)$$



第五节 浸水路堤的稳定性分析

➤3) 条分法

非浸水路堤的条分法基本相同。**干燥 浸水两部分**
浸水路堤的边坡稳定系数:

$$K = \frac{\sum N_i f_x + \sum c_x l_i}{\sum T_i + D(d/R)}$$

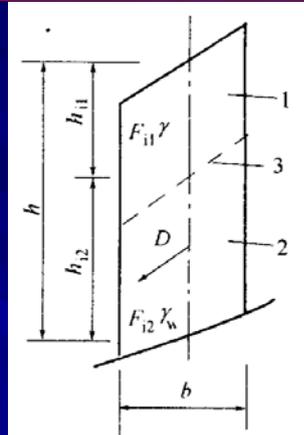


图 4-23 浸水土条示意图

1-未浸水部分;2-浸水部分;3-降水线



第五节 浸水路堤的稳定性分析

➤4、措施

- 通过调查,充分预估一浪高、洪水位;
- 放缓边坡;
- 设置护坡道;
- 设置导流结构物。



第六节 路基边坡抗震稳定性分析

➤ 地震的危害

软弱地基沉陷；

液化；

挡土墙等结构物破坏；

边坡路基失稳等

➤ 要求：对地震烈度大于等于8的地区进行地震验算。



第六节 路基边坡抗震稳定性分析

➤ 1、地震力

地面产生地震波加速度形成的力；

设边坡滑动体的重力为 Q ，则：

$$P = ma = \frac{Q}{g}a = K_H Q \quad (4-27)$$

式中： m ——滑动体的质量(kg)；

g ——重力加速度(m/s^2)；

K_H ——水平地震系数。

如图 4-25 所示，滑动体在重力 Q 与水平地震力 P 的共同作用下，将产生一个偏移 θ_s ，称为地震角，由此可得 $\tan\theta_s = K_H$ 的关系。

实践证明，上述理论关系还需要引入修正系数 C_H ，称为综合影响系数或结构系数，对公路边坡而言，抗震设计时取 $C_H = 0.25$ ，所以得：

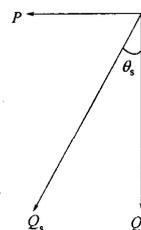


图 4-25 地震角示意图



第六节 路基边坡抗震稳定性分析

➤ 2、边坡抗震稳定性的计算方法：

数解法

图解法

➤ 3、数解法-按照非地震地区的路基边坡稳定性验算方法确定最危险的滑动面，然后再考虑地震力的作用。

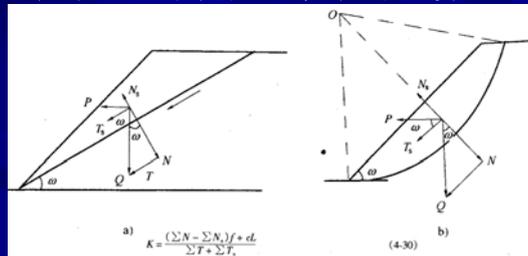


图 4-26 地震区边坡稳定性计算图

a) 直线滑动面; b) 圆弧滑动面

School of Transportation Science

路与铁道工程国家重点学科



复习思考题：

- 1、路基稳定性设计中所用各种近似方法的基本假定？
- 2、分别指出路堑与路堤边坡稳定性验算时所需土的实验资料有哪些？
- 3、行车荷载是怎样计入路基边坡稳定性计算的？
- 4、路基边坡稳定性验算的目的何在？
- 5、指出非浸水路堤边坡稳定性验算时，圆弧滑动面条分法计算中抵抗力矩与滑动力矩的各组成部分。在什么情况下小条块沿滑动面的切向分力也起抗滑作用？
- 6、简述圆弧法验算边坡稳定性时，确定滑弧圆心轨迹的辅助线的基本方法？

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



复习思考题：

- 7、已知某土质边坡的破裂面及其对应的K值，现问如何确定最危险破裂圆弧？如何评价该路基断面边坡的稳定性？
- 8、何为陡坡路堤？如何进行陡坡路堤的稳定性分析计算？
- 9、绘简图表示河滩浸水路堤内渗透浸润曲线的两种形式（两侧堤外水位相等）及其成因，并分别标出两种情况下的渗透动水压力的方向及其对边坡稳定性的影响。
- 10、如何确定河滩浸水路堤稳定性验算时的最不利条件？为什么？
- 11、浸水路堤的稳定性验算与一般路堤有何不同？
- 12、为什么粘土填筑的路堤，其边坡稳定性分析方法与一般路堤边坡稳定性分析方法相同？



课外任务

课外任务三：

用条分法针对P91的例4-11进行不考虑浸水的稳定性分析计算！

（提交书面作业）



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

◆1、陡坡路堤及其稳定性

1) 陡坡路堤

陡坡路堤是指修筑在陡坡（地面横坡大于1:2）上及不稳固山坡上的路堤

2) 陡坡路堤的稳定性问题：

路堤有沿陡坡或不稳定山坡下滑的可能性，涉及稳定问题，有以下几种可能情况：

- ①基底接触面较陡或强度较弱，路堤整体沿基底接触面滑动；
- ②路堤修筑在较厚的软弱土层上，路堤连同其下的软弱土层沿某一滑动面滑动；
- ③基底岩层强度不均匀，致使路堤沿某一最弱层面滑动。



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

3) 陡坡路堤稳定性分析：

陡坡路堤产生下滑的主要原因是地面横坡较陡、基底土层软弱或强度不均匀，因此，计算参数应取滑动面附近较软弱的土的实测数据，并考虑浸水后的强度降低。一般可在基底开挖台阶时选择测试数据中较低的值并接受水浸湿的程度予以适当折减。

陡坡路堤的稳定性分析假定路堤整体沿滑动面下滑，因此，稳定性分析方法可按滑动面形状分为直线法和折线法。



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

◆2、陡坡路堤稳定性分析方法

1) 直线法

当滑动面为基底的单一坡面时按直线滑动面考虑

$$F = (Q+P) \cos \alpha \tan \phi + cL$$

$$T = (Q+P) \sin \alpha$$

稳定系数: $K = F/T$



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

2) 折线法

当滑动面为基底的多个坡度的折线倾斜面时, 可按折线滑动面考虑, 将滑动面上土体按折线段划分成若干条块, 自上而下分别计算各土体的剩余下滑力, 根据最后一块土体的剩余下滑力的正负值确定整个路堤的整体稳定性。

即: 剩余下滑力 = 下滑力 - (抗滑力)/K

其中: $T_n = (Q_n + P_n) \sin \alpha_n$

$$N_n = (Q_n + P_n) \cos \alpha_n$$

第七节 陡坡路堤的稳定性分析

3) 折线法陡坡路堤稳定性分析示例

请用剩余下滑力方法分析下图所示的折线坡上路堤的抗滑稳定性。已知：

1) 路堤的几何参数如图所示，其中：

$$\sin \alpha_1 = 0.707 \quad \cos \alpha_1 = 0.707 \quad \tan \alpha_1 = 1.0$$

$$\sin \alpha_2 = 0.242 \quad \cos \alpha_2 = 0.970 \quad \tan \alpha_2 = 0.25$$

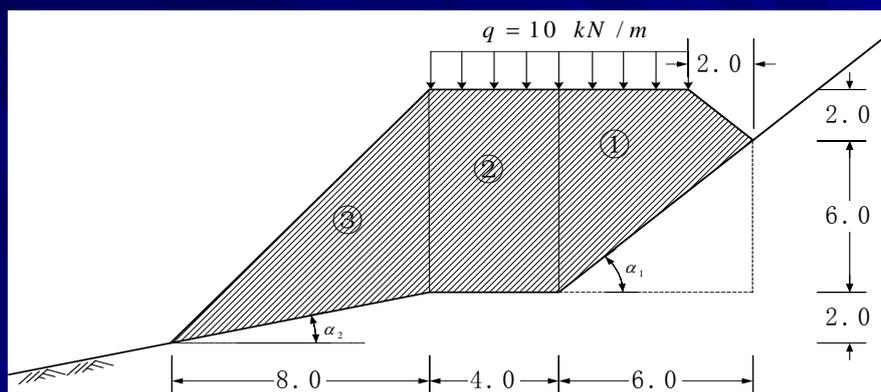
2) 土的参数为： $\varphi = 15^\circ$ $c = 10 \text{ kPa}$ $\gamma' = 18 \text{ kN/m}^3$ ；

3) 作用在路堤上的超载 $q = 10 \text{ kN/m}$ ；

4) 抗滑安全系数 $k = 1.25$



第七节 陡坡路堤的稳定性分析



图中尺寸单位均为 m

图 4.1 折线边坡抗滑稳定性分析



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

计算：

1) 首先求土块①的剩余下滑力；

$$\text{①的面积: } S_1 = 1/2(4+6) \times 2 + 1/2 \times 6 \times 6 = 28 \text{ m}^2$$

$$\text{①的重量: } G_1 = 28 \times 18 = 504 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{①的抗滑力: } R_1 &= 1/K[(G_1+q \cdot b_1) \cos \alpha_1 \times \text{tg}\varphi + c \cdot L_1] \\ &= 1/1.25[544 \times 0.707 \times 0.268 + 10 \times 6.0/0.707] \\ &= 150.36 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{①的下滑力: } T_1 &= (G_1+q \cdot b_1) \sin \alpha_1 = 544 \times 0.707 \\ &= 384.608 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{所以, ①的剩余下滑力为: } F_1 = T_1 - R_1 = 234.25 \text{ kN/m}$$

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

2) F_1 当作外力, 求土块②的剩余下滑力；

$$\text{②的面积: } S_2 = 4 \times 8 = 32 \text{ m}^2$$

$$\text{②的重量: } G_2 = 32 \times 18 = 576 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{②的抗滑力: } R_2 &= 1/K[(G_2+q \cdot b_2 + F_1 \times 0.707) \times \text{tg}\varphi + c \cdot L_2] \\ &= 1/1.25[781.61 \times 0.268 + 10 \times 4.0] \\ &= 199.58 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{②的下滑力: } T_2 &= F_1 \times 0.707 = 234.25 \times 0.707 \\ &= 165.61 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

②的剩余下滑力为: $F_2 = T_2 - R_2 = -33.97 \text{ kN/m} < 0$,
也即①和②可以自平衡, 所以令 F_2 为0, 不带入下块计算。

School of Transportation Southeast University, China

东南大学道路与铁道工程国家重点学科



第七节 陡坡路堤的稳定性分析

3) 求土块③的剩余下滑力；

$$\text{③的面积: } S_3 = 1/2 \times 8 \times 8 = 32 \text{ m}^2$$

$$\text{③的重量: } G_3 = 32 \times 18 = 576 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{③的抗滑力: } R_3 &= 1/K [G_3 \times \cos \alpha_2 \times \text{tg} \varphi + c \cdot L_3] \\ &= 1/1.25 [576 \times 0.97 \times 0.268 + 10 \times 8.0 / 0.97] \\ &= 185.8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{③的下滑力: } T_3 &= G_3 \times \sin \alpha_2 = 576 \times 0.242 \\ &= 139.4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{③的剩余下滑力为: } F_3 = T_3 - R_3 = -46.4 \text{ kN/m} < 0$$

4) 因为③的剩余下滑力小于0，折线路堤满足抗滑要求。