



# 理正岩土计算系列

北京理正软件设计研究院有限公司

技术支持

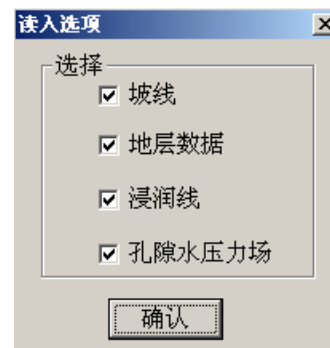
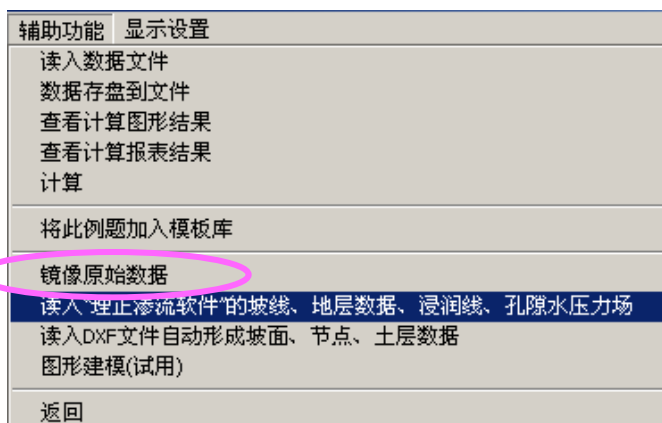
陈莹



# 边坡稳定分析

## 建模

- 直接交互坡线节点
- 导入dxg文件
- 导入渗流计算接口文件



## 镜像数据

- 边坡只能算左侧的稳定，如需计算右侧坡的稳定，可将数据镜像之后再计算；

# 边坡稳定→基本参数

## ● 采用规范

- 8个规范+通用方法
- 不同规范有不同的工期和算法

采用规范	通用方法
计算目标	安全系数计算
滑裂面形状	圆弧滑动法
岩土参数指标	输入C、 $\Phi$
地震烈度	不考虑地震

## ● 计算目标

- 安全系数
- 剩余下滑力计算（传递系数法）
- 锚杆（索）设计

通用方法
通用方法
堤防工程设计规范
碾压式土石坝设计规范
碾压式土石坝设计规范 (SL274-2001)
浙江省海塘工程技术规定
建筑边坡工程技术规范 (50330--2002)
水电水利工程边坡设计规范 DL/T 5353--2006
水利水电工程边坡设计规范 SL 386--2007
有色金属矿山排土场设计规范 GB 50421-2007

- 仅限于复杂土层模块的圆弧滑动和直线滑动法

## ● 滑裂面形状

- 圆弧、直线、折线
- 各种滑面形状的分析方法不同
- 圆弧和折线的搜索方法不同

圆弧稳定分析方法	简化Bishop法
	瑞典条分法
	简化Bishop法
	Janbu法
折线形滑面稳定分析方法	简化Janbu法
	简化Bishop法
	简化Janbu法
	摩根斯坦-普赖斯法

# 边坡稳定→基本参数

## ● 岩土参数指标

- 粘聚力和内摩擦角
- 十字板剪切强度

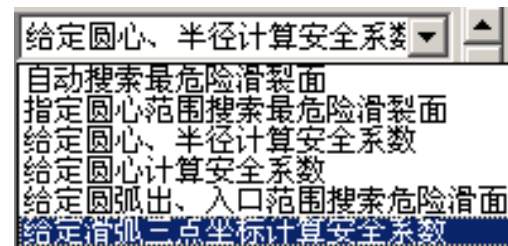
## ● 地震烈度

- 7度、8度、9度、不考虑
- 水平加速度分布：矩形、倒梯形、多边形

└ 地震作用综合系数	0.250
└ 地震作用重要性系数	1.000
└ 水平向地震系数	0.100
└ 水平加速度系数 (ah) 分布	矩形分布
└ 考虑竖向地震力	✓
└ 竖向加速度系数 (av)	$av = 2/3ah$
└ 竖向地震力耦合系数	0.50

## ● 搜索方法

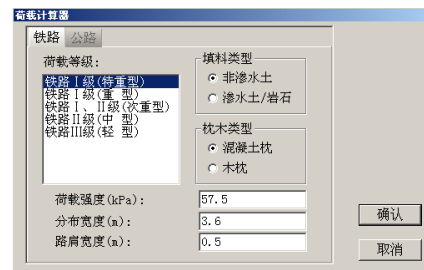
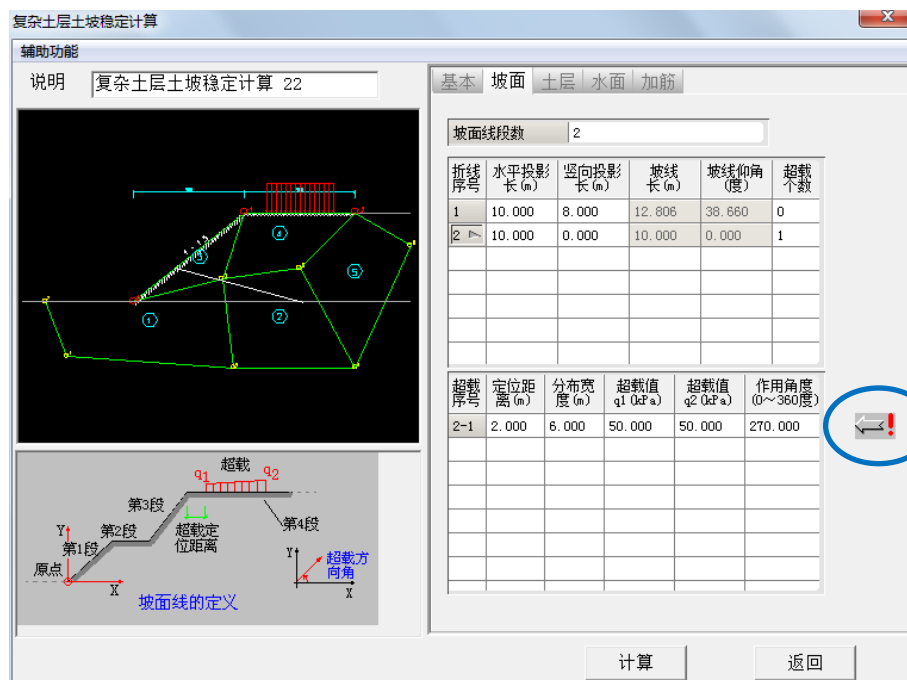
- 自动搜索最危险滑面
- 指定圆心范围搜索最危险滑面
- 给定圆心半径计算安全系数
- 给定圆心计算安全系数
- 给定圆弧出入口范围搜索危险滑面
- 给定滑弧三点坐标计算安全系数



# 边坡稳定→坡面参数

## ● 坡面参数

- 交互坡面线段数和每段坡线的水平竖直投影;
- 坡面超载
  - 任意方向的梯形分布荷载;
  - 软件提供荷载计算器, 公路铁路常用荷载可自动计算;



# 边坡稳定→土层参数

## ● 节点参数

- 导入dxf或交互坡线参数后，节点自动生成
- 可增加节点
  - 交互坐标
  - 图上点选

## ● 土层参数

- 重度
  - 指天然重度
- 粘结强度
  - 地层与锚固体粘结强度特征值
- 抗剪指标
  - 粘聚力和内摩擦角或十字板剪切强度
  - 水下抗剪强度指标如无试验数据，可按经验折减

基本   坡面   土层   水面   加筋						
除坡面上点外的节点数		7				
不同土性区域数		5				
节点与区域号显示比例		1.000				
是否开启捕捉功能		✓				
节点序号	节点编号	坐标X(m)	坐标Y(m)	注释		
1	0	0.000	0.000	坡面节点 0		
2	-1	10.000	8.000	坡面节点 -1		
3	-2	20.000	8.000	坡面节点 -2		
4	1	-6.000	-5.000	附加节点 1		
5	2	9.000	-6.000	附加节点 2		
6	3	8.000	2.000	附加节点 3		
7	4	20.000	-6.000	附加节点 4		
区域序号	重度(kN/m <sup>3</sup> )	饱和重度(kN/m <sup>3</sup> )	粘结强度(kPa)	抗剪指标	粘聚力(kPa)	内摩擦角(度)
1	18.000	---	120.000	C、 $\phi$ 值	10.000	25.000
2	18.000	---	120.000	C、 $\phi$ 值	10.000	25.000
3	18.000	---	120.000	C、 $\phi$ 值	10.000	25.000
4	18.000	---	120.000	C、 $\phi$ 值	10.000	25.000
5	18.000	---	120.000	C、 $\phi$ 值	10.000	25.000

## ● 土层参数

### – 强度增长系数m

- 当试验方法为**十字板剪切试验**时，需输入土层的抗剪强度及强度随深度增长系数，则地层中任意点的抗剪强度为：

$$\tau = \tau_0 + mZ$$

- 进行整体稳定分析时，取内摩擦角为**0**，粘聚力为 **$\tau$** 进行计算。

### – 全孔压系数B

- 碾压土石坝规范、**施工期**、有效应力法计算的参数；

$$u = u_0 - \gamma_w Z \quad u_0 = \gamma \cdot hB$$

- 该系数取值见碾压土石坝规范附录**C**



# 边坡稳定→水面参数

## ● 水作用考虑方法

- 总应力法
- 有效应力法

## ● 渗透压力

## ● 孔隙水压力

- 近似方法
  - 认为孔隙水压力近似等于静水压力
- 渗流方法
  - 导入渗流计算结果的孔隙水压力场

## ● 坡外静水压力

- 将作用于斜坡上的静水压力分解成竖向压力与水平压力，分配到土条中参与稳定分析计算；
- 不同规范不同计算时期，对静水压力的考虑也不同；

基本   坡面   土层   水面   加筋				
是否考虑水的作用		是		
水作用考虑方法		有效应力法		
是否考虑渗透压力		否		
孔隙水压力		采用渗流方法计算		
坡面外静水压力		考虑		
坝坡低水位(m)		3.000		
水面线段数		6		
水面线起始点X0		0.000		
水面线起始点Y0		-0.500		

折线序号	水平投影长(m)	竖向投影长(m)	坡线长(m)	坡线仰角(度)
1	1.000	0.500	1.118	26.565
2	2.000	1.000	2.236	26.565
3	3.000	1.000	3.162	18.435
4	4.000	1.000	4.123	14.036
5	5.000	1.000	5.099	11.310
6	6.000	0.500	6.021	4.764

孔隙水压力场

# 边坡稳定→水面参数

## ● 坝坡低水位

- 输入上下游水位中的低水位值

## ● 水面线参数

- 导入渗流浸润线
- 交互浸润线

## ● 降落前水位

- 碾压土石坝规范D.2.3条4款
- 条件：
  - 碾压土石坝规范
  - 水位降落期
  - 总应力法



基本	坡面	土层	水面	加筋																		
<table border="1"><tr><td>是否考虑水的作用</td><td>是</td></tr><tr><td>水作用考虑方法</td><td>总应力法</td></tr><tr><td>是否考虑渗透压力</td><td>否</td></tr><tr><td>孔隙水压力</td><td>采用近似方法计算</td></tr><tr><td>坡面外静水压力</td><td>考虑</td></tr><tr><td>坝坡低水位(m)</td><td>3.000</td></tr><tr><td>水面线段数</td><td>6</td></tr><tr><td>水面线起始点X0</td><td>0.000</td></tr><tr><td>水面线起始点Y0</td><td>-0.500</td></tr></table>					是否考虑水的作用	是	水作用考虑方法	总应力法	是否考虑渗透压力	否	孔隙水压力	采用近似方法计算	坡面外静水压力	考虑	坝坡低水位(m)	3.000	水面线段数	6	水面线起始点X0	0.000	水面线起始点Y0	-0.500
是否考虑水的作用	是																					
水作用考虑方法	总应力法																					
是否考虑渗透压力	否																					
孔隙水压力	采用近似方法计算																					
坡面外静水压力	考虑																					
坝坡低水位(m)	3.000																					
水面线段数	6																					
水面线起始点X0	0.000																					
水面线起始点Y0	-0.500																					

降落前水位

# 边坡稳定→加筋参数

## ● 材料类型

- 锚杆、锚索
- 土工布

## ● 筋带拉力作用方向

- 滑面切线方向
- 滑面法线方向

## ● 筋带参数

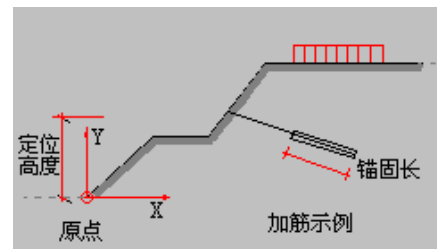
- 定位高度
  - 筋带距离原点的垂直高度
- 竖向间距
  - 筋带与下一层筋带的垂直距离
- 水平间距（图示）

基本 坡面 土层 水面 加筋								
材料类型	土工布							
筋带数	1							
筋带拉力作用方向	作用于滑面切线方向							
筋带力调整系数	1.000							
序号	定位高度(m)	水平间距(m)	总长(m)	倾角(度)	抗拉力(kN)	锚固长度(m)	锚固周长(m)	抗拔力小值(kN)
1	3.00	1.00	12.00	15.00	100.00	6.00	0.40	0.00

筋带布置	
筋带数	3
水平间距(m)	1.000
竖向间距(m)	3.000
总长(m)	12.000
倾角(度)	15.000
锚固长度(m)	6.000
锚固周长(m)	0.400

确认 取消

筋带参数快速录入

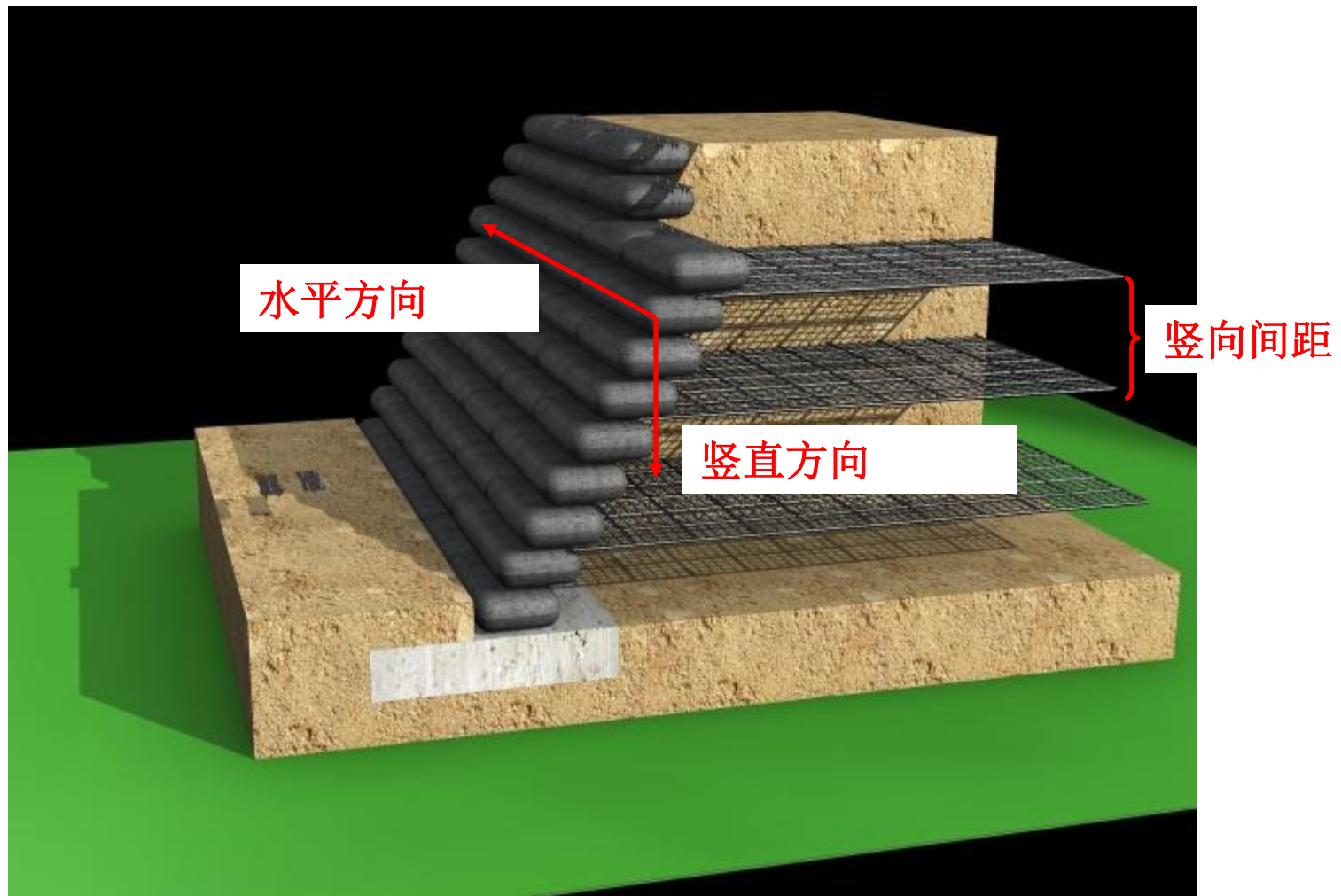


# 边坡稳定→加筋参数

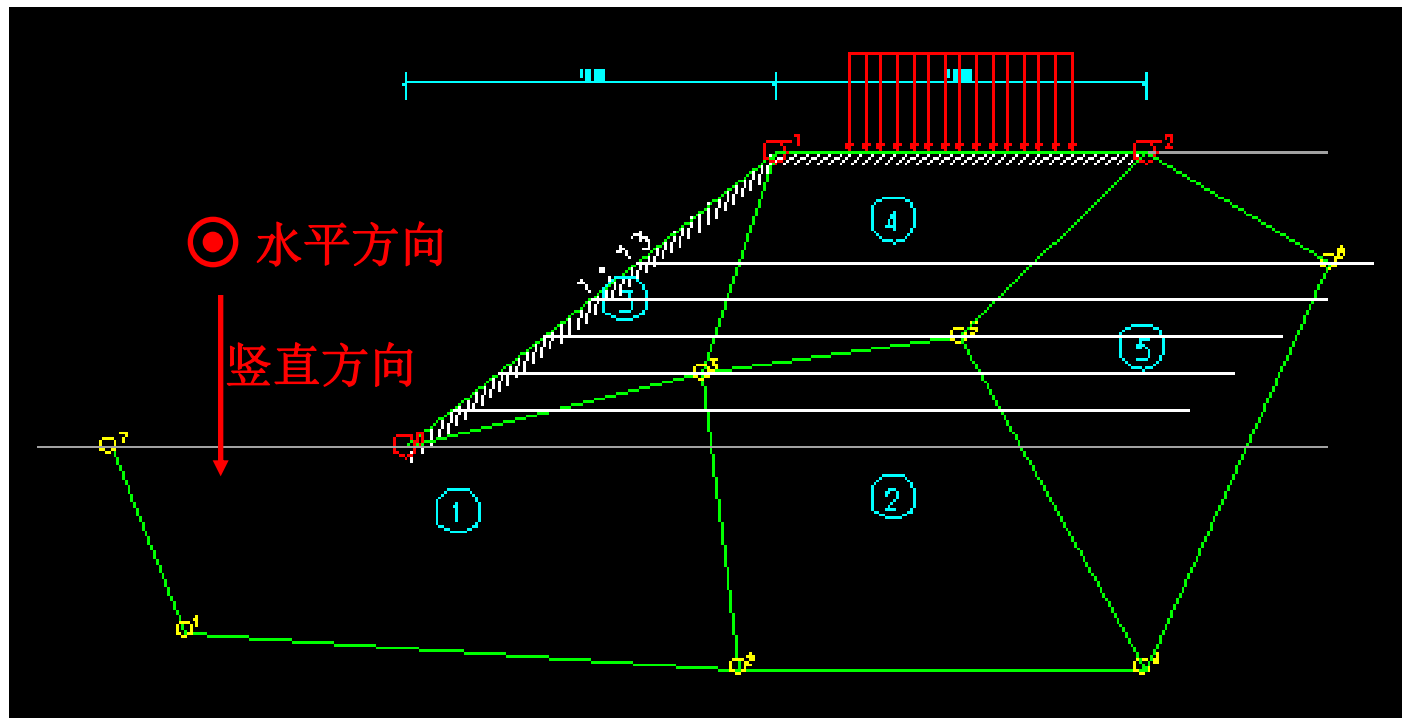




## 边坡稳定→加筋参数



## 边坡稳定→加筋参数



# 边坡稳定→加筋参数

## ● 筋带参数

- 总长和倾角
- 抗拉力
  - 锚杆：单根锚杆的抗拉力；
  - 土工布：与铺设方式有关（后附专题说明）；
- 锚固长度
  - 锚杆：锚固段长度；
  - 土工布：一般认为全长锚固；
- 锚固周长
- 抗拔力最小值
  - 端头锚固段提供的抗拔力；
- 法向力发挥系数
  - 用于调节筋带在滑弧法向产生抗滑力的发挥；

基本 坡面 土层 水面 加筋								
材料类型		土工布						
筋带数		1						
筋带拉力作用方向		作用于滑面切线方向						
筋带力调整系数		1.000						
序号	定位高度 (m)	水平间距 (m)	总长 (m)	倾角 (度)	抗拉力 (kN)	锚固长度 (m)	锚固周长 (m)	抗拔力最小值 (kN)
1	3.00	1.00	12.00	15.00	100.00	6.00	0.40	0.00

$$F_i = \min \{F_{1i}, F_{2i}\}$$

$$F_{2i} = q_i \cdot l_{di} \cdot U_i + F_{\min}$$

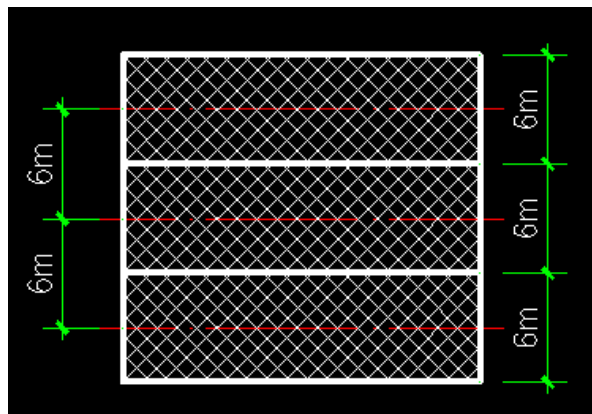
## ● 土工布铺设方式

- 满布，按每延米宽度输入
  - 间距：1m
  - 抗拉力：1m宽土工布的抗拉力
- 满布，按实际宽度输入
  - 间距：相邻两块土工布的中心距，即每块土工布的宽度
  - 抗拉力：每块土工布的抗拉力
- 间隔布置
  - 间距：相邻两块土工布的中心距
  - 抗拉力：每块土工布的抗拉力
- 举例说明（见下页）



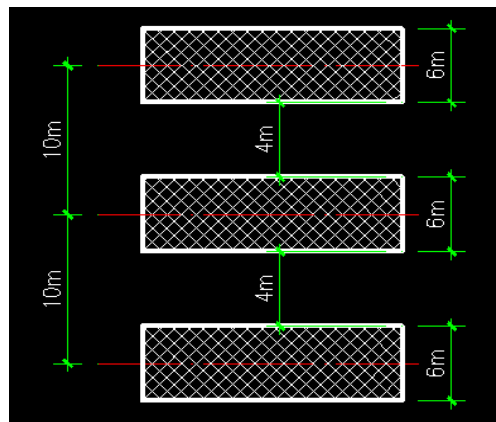
## 专题：土工布的抗拉力

- 例1：6m宽土工布满布，每延米土工布抗拉力100KN



- 按每延米宽度输入
  - 间距：每延米宽土工布的中心距，即1m
  - 抗拉力：1m宽土工布的抗拉力，即**100KN**
- 按实际宽度输入
  - 间距：相邻两块土工布的中心距，即6m
  - 抗拉力：每块土工布的抗拉力，即 $100 \times 6 = 600\text{KN}$
  - 软件自动换算成每延米的抗拉力，即 $600/6 = \text{100KN}$

- 例2：6m宽土工布，净距4m布置，每延米土工布抗拉力100KN



- 均匀布置
  - 间距：相邻两块土工布的中心距，即10m
  - 抗拉力：每块土工布的抗拉力， $100 \times 6 = 600\text{KN}$
  - 软件自动换算成每延米的抗拉力，即 $600/10 = 60\text{KN}$
- 非均匀布置
  - 自己等效

# 边坡稳定→锚杆设计

## 锚杆设计

- 仅限于复杂土层模块的圆弧滑动和直线滑动法

基本	坡面	土层	水面	加筋
采用规范		通用方法		
计算目标		锚杆(索)设计		
安全系数 $K_0$		2.000		
滑裂面形状		圆弧滑动法		
岩土参数指标		输入 $C$ 、 $\Phi$		
地震烈度		不考虑地震		

计算目标选择锚杆（索）设计；  
交互设计要求的安全系数；

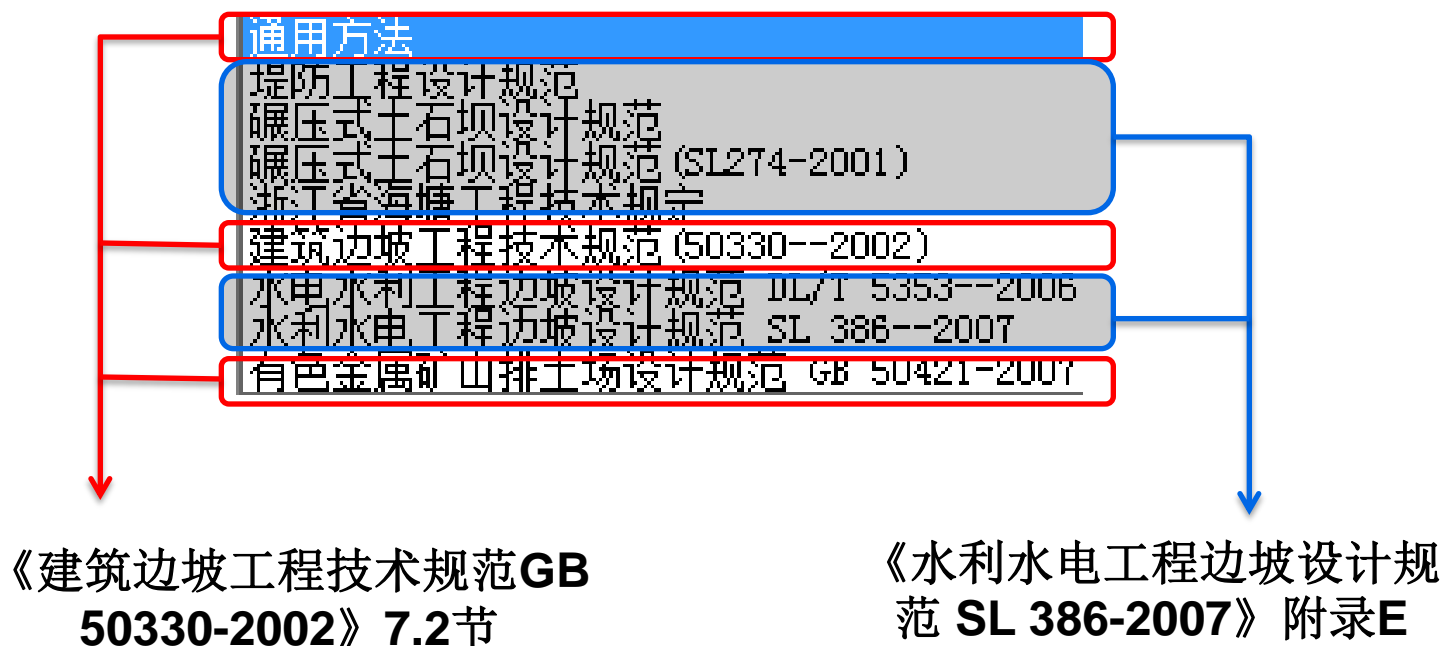
基本	坡面	土层	水面	加筋	
材料类型	锚杆	边坡工程重要性系数	1.000		
锚杆数	3	荷载分项系数 $\gamma_Q$	1.300		
锚杆钢筋等级	HRB335	锚杆最大长度(m)	15.000		
系数 $\xi_1$	1.000	锚杆锚固构造长度(m)	4.000		
系数 $\xi_2$	0.690	锚固增加步长(m)	0.500		
筋带力调整系数	1.000	自由长超过滑面长度	0.000		
序号	定位高度(m)	水平间距(m)	倾角(度)	锚固周长(m)	法向力发挥系数
1	3.00	1.00	15.00	0.40	0.00
2	5.00	1.00	15.00	0.40	0.00
3	7.00	1.00	15.00	0.40	0.00

如果锚杆的位置或最大长度设置不当，设计后的安全系数可能达不到交互的安全系数；

# 边坡稳定→锚杆设计

## 锚杆设计计算原理

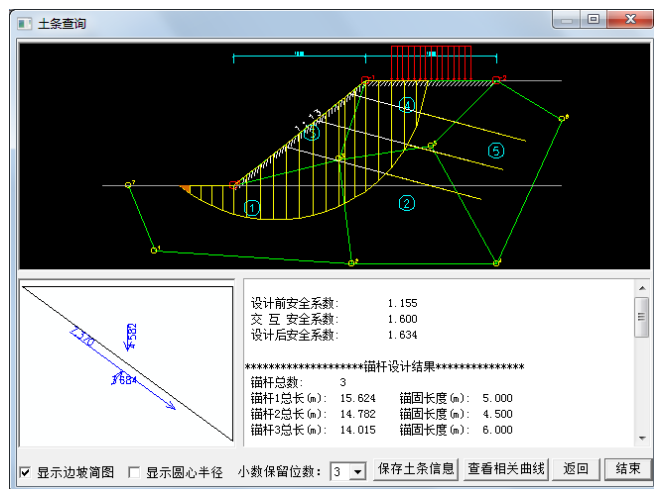
- 《建筑边坡工程技术规范GB 50330-2002》7.2节
- 《水利水电工程边坡设计规范 SL 386-2007》附录E
- 选择不同规范时，采用的计算方法不同，具体对应关系如下：



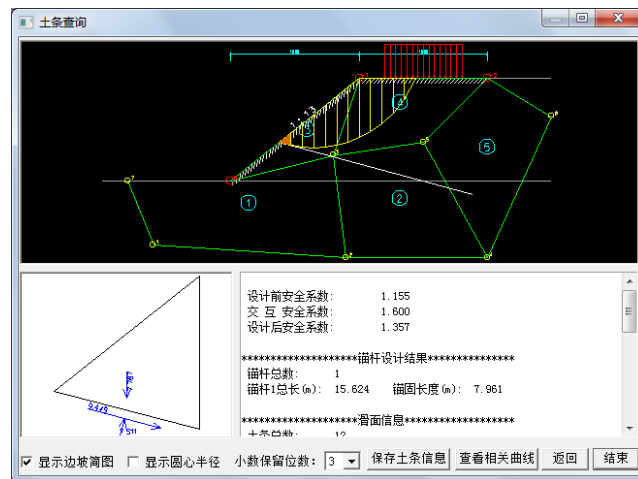
# 边坡稳定→锚杆设计

## 锚杆设计计算搜索方法

- 根据用户交互的安全系数值搜索比其小的安全系数及对应的滑面，然后对其进行锚杆设计，然后再搜索再设计，搜索一个设计一个，最后选出每道锚杆中最长的作为其总长，锚固长度最长的作为其锚固长度；
- 如果锚杆的位置或最大长度设置不当，设计后的安全系数可能达不到交互的安全系数，此时软件会在计算书中给出提示。

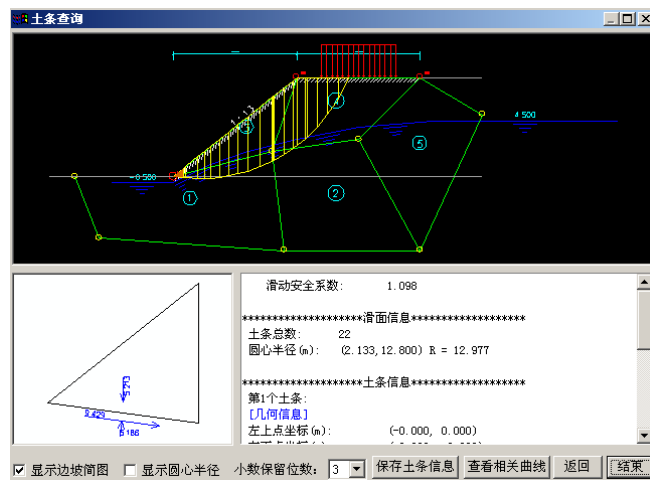


正常结果

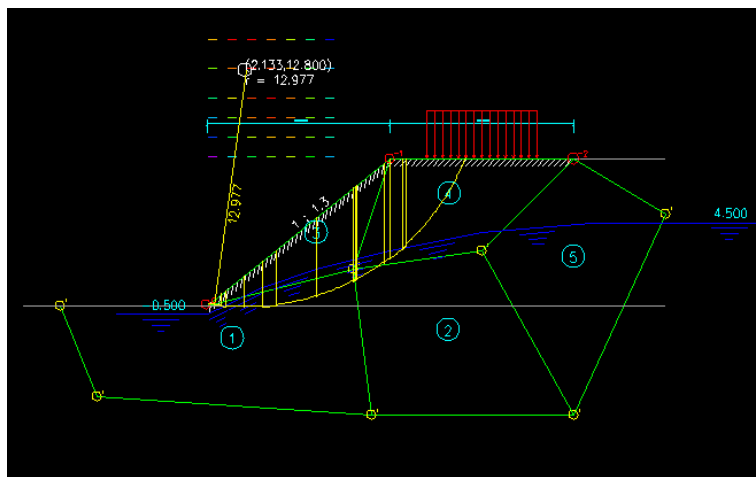


锚杆位置不合适

## 边坡稳定→计算结果



## 中间结果



最不利滑动面:

滑动圆心 = (2.133, 12.800) (m)

滑动半径  $= 12.977 \text{ (m)}$

滑动安全系数 = 1.098

总的下滑力  $= 512.337 \text{ (kN)}$

总的抗滑力  $= 562.448 \text{ (kN)}$

土体部分下滑力 = 512.337 (kN)

土体部分抗滑力 = 562.448 (kN)

筋帶在滑弧切向產生的抗滑力 = 0.000 (kN)

筋帶在滑弧法向產生的抗滑力 = 0.000 (kN)

# 实例→某船闸工程

## ● 计算流程

### - 计算模型

- 读入渗流接口

### - 基本参数

- 选择规范和算法
- 堤防规范—稳定渗流期
- 搜索精度

### - 土层参数

- 来自地勘报告

### - 水面信息

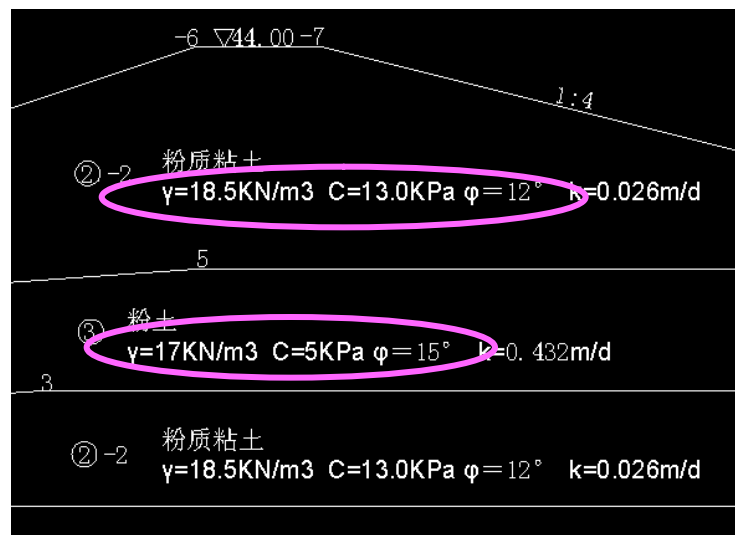
- 孔隙水压力场

### - 输出结果

- 安全系数

采用规范	堤防工程设计规范
计算工期	稳定渗流期
计算目标	安全系数计算
滑裂面形状	圆弧滑动法

条分法的土条宽度 (m)	10.000
搜索时的圆心步长 (m)	5.000
搜索时的半径步长 (m)	5.000



区域序号	重度 (kN/m³)	饱和重度 (kN/m³)	抗剪指标	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (度)	水下粘聚力 (kPa)
1	18.500	19.000	C、φ值	13.000	12.000	13.000
2	17.000	18.000	C、φ值	5.000	15.000	5.000
3	18.500	19.000	C、φ值	13.000	12.000	13.000