

理正边坡稳定常见问题

- ▶ 一、土岩结合边坡
- ▶ 二、加筋专题
- ▶ 三、锚杆设计专题
- ▶ 四、不平衡推力法
- ▶ 五、安全系数的使用
- ▶ 六、工程实例

一、土岩结合的边坡计算

土和岩的计算稳定的方法有所不同，因此二者需要分开计算，一般需要分不同的情况进行分析。

下面分三种情况分别讨论。

1. 情况1：上面是土，下面是松散的强风化岩石

由于松散的强风化岩石的破坏形式接近土，可以简化用边坡稳定软件的**折线滑动法**直接计算。这种情况一般设计的难点为如何确定下面强风化岩石的抗剪强度指标。

2. 情况2：上面土层很薄，下面为较完整岩石

- ▶ 这种情况上面土层的稳定不是分析的重点，可以简化用岩质边坡稳定软件直接计算，**上部的覆土作为荷载加到岩块上计算**。
- ▶ 这种情况下需要设计的要点为用踏勘、打孔、物探等方法，探明可能的滑床和岩石的裂隙，以及确定滑床面上的抗剪强度指标。

3. 情况3：上面土，中间是强风化岩石，下面为较完整岩石

这种情况比较复杂，需要多个软件组合使用：

①对于上面的土，先用边坡稳定计算其稳定性，可用圆弧滑动法或折线滑动法进行搜索计算，此时，可将下面岩石部分的抗剪强度指标给的稍大，使得滑弧不会进入下面的岩石。

②用**边坡稳定中指定滑面计算安全系数**的计算项目，人为指定中间的强风化岩石的滑裂带，计算沿这个危险滑动带的安全系数。如果这个滑裂带较厚，还应分别指定土和强风化岩的交界面、强风化岩和下面较完整岩石的交界面进行计算。

③用岩质边坡计算下面较完整岩石的稳定，方法同情况2。

二、加筋专题

- ▶ 1、筋带力的计算
- ▶ 2、锚杆或土工布的抗拉力
- ▶ 3、水平方向与竖直方向
- ▶ 4、土工格栅参数

1.筋带力的计算

软件中可选择的筋带类型包括“土工布”和“锚杆”，选择不同材料筋带力的计算不同，筋带力取抗拉力和抗拔力中的较小值。

$$F_i = \min\{F_{1i}, F_{2i}\} \qquad F_{2i} = q_i \cdot l_{di} \cdot U_i + F_{\min}$$

F_i	——	筋带 <i>i</i> 的筋带力（kN）；
F_{1i}	——	筋带 <i>i</i> 抗拉力（kN），用户交互；
F_{2i}	——	筋带 <i>i</i> 抗拔力（kN）；
F_{\min}	——	土工布抗拔力最小值（kN）；
q_i	——	筋带 <i>i</i> 粘结强度（kPa）；
l_{di}	——	筋带 <i>i</i> 锚固段长（m），取滑弧以外锚固段长度；
U_i	——	筋带 <i>i</i> 锚固周长（m）。

注：筋带力、筋带抗拉力、筋带抗拔力作用方向：土工布取沿筋带方向或滑面切线方向，锚杆取沿筋带方向；

1.筋带力的计算

软件要求输入锚杆抗拉力、锚杆总长、锚固段长度、锚固体直径、粘结强度等参数，

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)	锚固直径 (m)	粘结强度 (kPa)
1	2.00	1.00	8.00	15.00	679.00	4.50	0.40	60.000
2	4.00	1.00	8.00	15.00	679.00	4.50	0.40	60.000
3	6.00	1.00	8.00	15.00	863.00	5.72	0.40	60.000

当锚杆穿过圆弧滑动面时，

则锚杆的有效作用力= $\min\{\text{锚杆抗拔力、锚杆抗拉力}\}$

锚杆抗拔力=滑弧外锚杆锚固段长度*锚固段周长*粘结强度

锚杆抗拉力=交互的锚杆抗拉力

筋带号	锚固抗拔力 (kN)	材料抗拉力 (kN)	计算采用值	有效锚固长度 (m)	滑面角度 (度)	切向抗力 (kN)	法向抗力 (kN)
1	20.396	100.000	抗拔力	1.275	0.000	20.396	0.000
2	19.426	100.000	抗拔力	1.214	0.000	19.426	0.000
3	30.064	100.000	抗拔力	1.879	0.000	30.064	0.000

总的下滑力 = 906.044 (kN)

总的抗滑力 = 1473.823 (kN)

土体部分下滑力 = 906.044 (kN)

土体部分抗滑力 = 1403.937 (kN)

筋带在滑弧切向产生的抗滑力 = 69.886 (kN)

筋带在滑弧法向产生的抗滑力 = 0.000 (kN)

计算结果中，筋带力输出的“材料抗拉力”和加筋界面上输入的抗拉力不相等，为什么？

答：出现这种情况，是因为锚杆的水平间距不为1，
软件计算时输入的抗拉力是单根锚杆的抗拉力，
输出计算书中的筋带力表示： $\text{材料抗拉力} = \text{输入的抗拉力} / \text{锚杆的水平间距}$ ，是单位宽度的抗拉力。

[筋带信息]

采用锚杆
锚杆道数：3
筋带力调整系数：1.000

筋带号	距地面高度(m)	水平间距(m)	总长度(m)	倾角(度)	材料抗拉力(kN)	锚固段长度(m)	锚固段周长(m)	粘结强度(kPa)	法向力发挥系数
1	2.00	1.50	12.00	15.00	100.00	6.00	0.40	40.00	0.00
2	3.00	1.50	12.00	15.00	100.00	6.00	0.40	40.00	0.00
3	4.00	1.50	12.00	15.00	100.00	6.00	0.40	40.00	0.00

筋带号	锚固抗拔力(kN)	材料抗拉力(kN)	计算采用值	有效锚固长度(m)	滑面角度(度)	切向抗力(kN)	法向抗力(kN)
1	16.524	66.667	抗拔力	1.549	62.984	7.506	14.721
2	27.724	66.667	抗拔力	2.599	70.010	9.477	26.054
3	41.092	66.667	抗拔力	3.852	76.735	9.429	39.996

加筋录入界面中的粘结强度和计算书中的的锚固抗拔力、切向抗力、法向抗力是标准值还是设计值？

规范	公式
堤防工程设计规范（GB50286-2013）	这6个采用水工规范 计算锚杆力
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	
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	
通用方法	这3个采用建坡规范 计算锚杆力
建筑边坡工程技术规范（GB50330-2013）	
有色金属矿山排土场设计规范 GB 50421-2007	

以建坡规范和水工规范为例来说明界面交互及计算书:

规范	粘结强度	锚固抗拔力	切向抗力	法向抗力
建坡规范	设计值	标准值		
水工规范	标准值	设计值		

同一题，用不同规范计算出来的锚固力值不一致。

2.锚杆或土工布的抗拉力和间距

软件交互的“抗拉力”，是在“水平间距”宽度范围内的土工布或锚杆的抗拉力。

①对于锚杆

在“抗拉力”交互单位宽度的抗拉力，在“水平间距”栏输1；

在“抗拉力”交互为单个锚杆的抗拉力，在“水平间距”输锚杆的水平间距，此间距为中到中的距离。

②对于土工布

在“抗拉力”交互单位宽度的抗拉力，在“水平间距”栏输1；

在“抗拉力”交互为某段范围的抗拉力，在“水平间距”输该范围的长度。

	抗拉力	水平间距
锚杆	单位宽度	1
	单个锚杆	锚杆间距
土工布	单位宽度	1
	某段范围内	两段的中心距

土工布

- 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

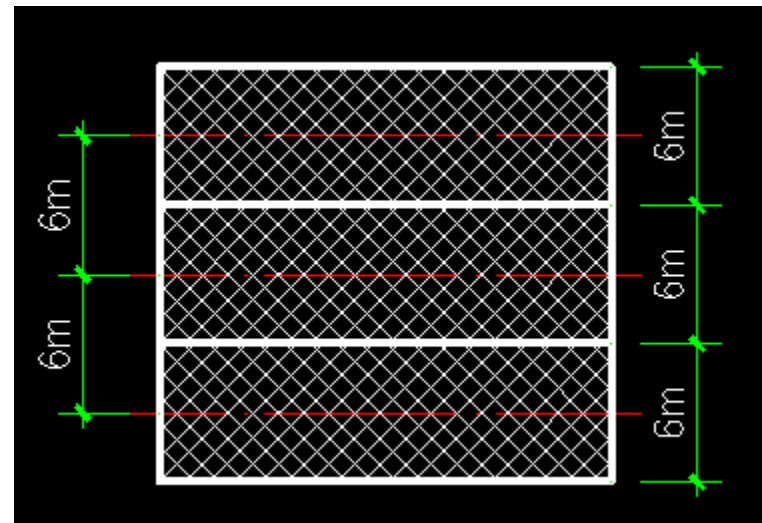
间隔布置

- 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

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
 $100 \times 6 = 600\text{KN}$
- 软件在计算时会自动换算成每延米的抗拉力，
即 $600 / 6 = 100\text{KN}$

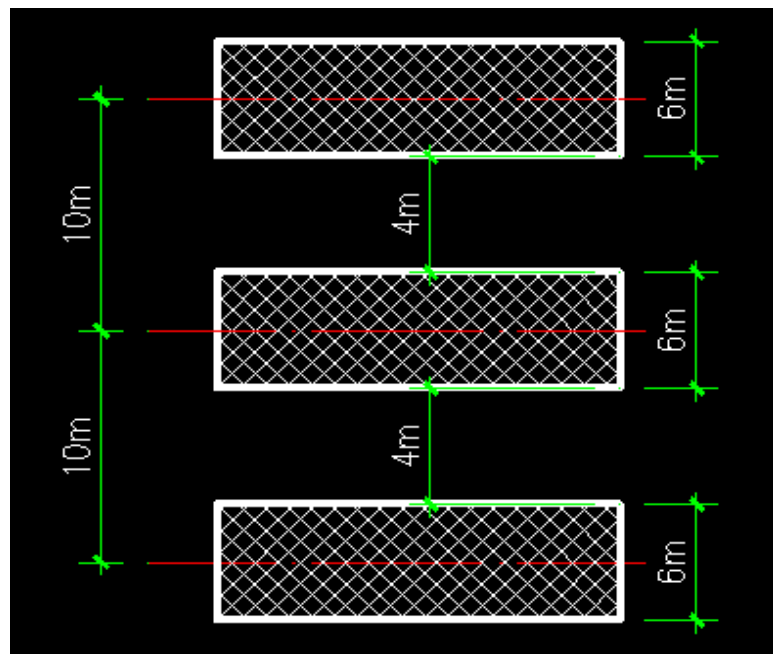
- 6m宽土工布，净距4m布置，每延米土工布抗拉力100KN

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， $100 \times 6 = 600\text{KN}$
- 软件在计算时会自动换算成每延米的抗拉力，即 $600/10 = 60\text{KN}$

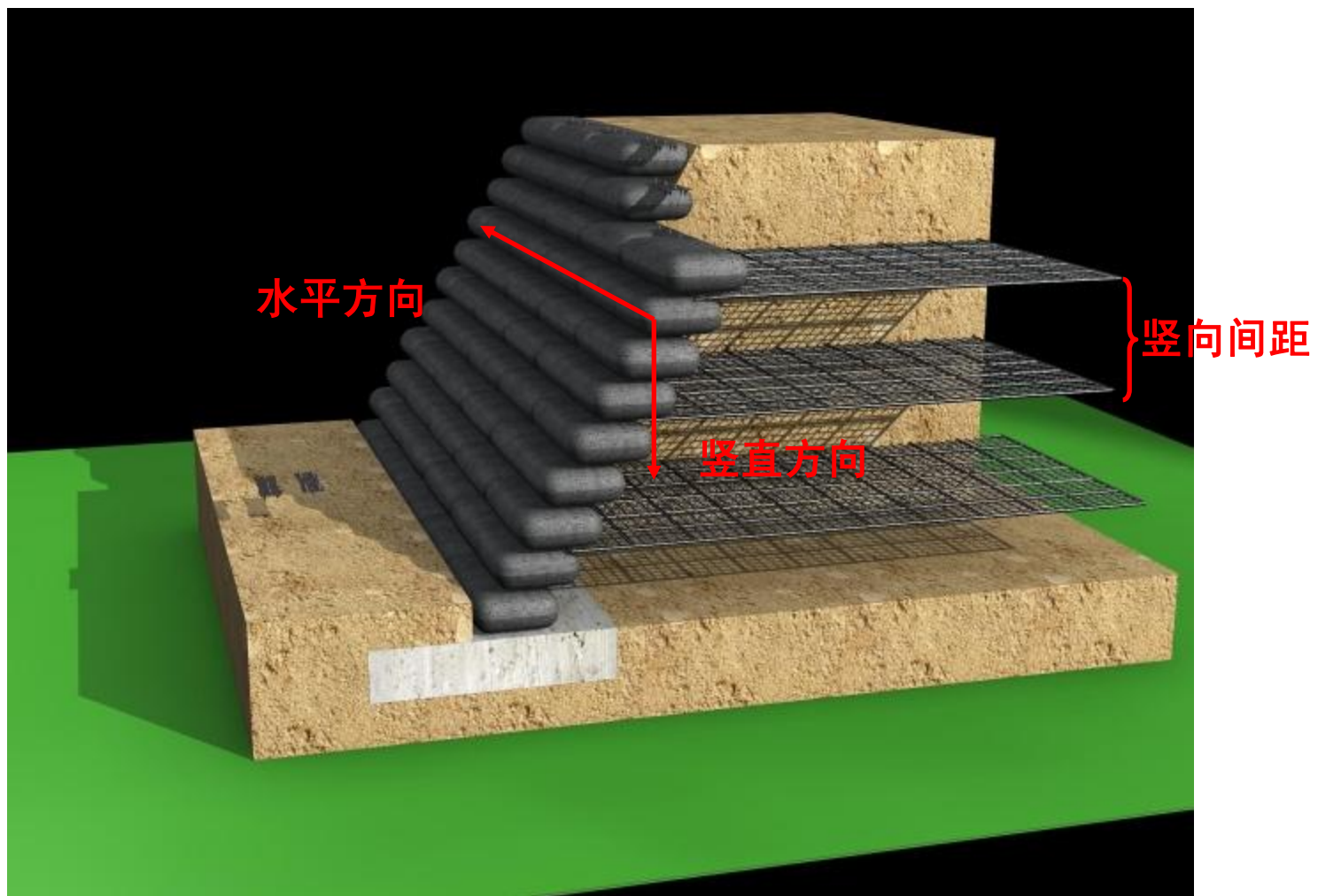
- 非均匀布置

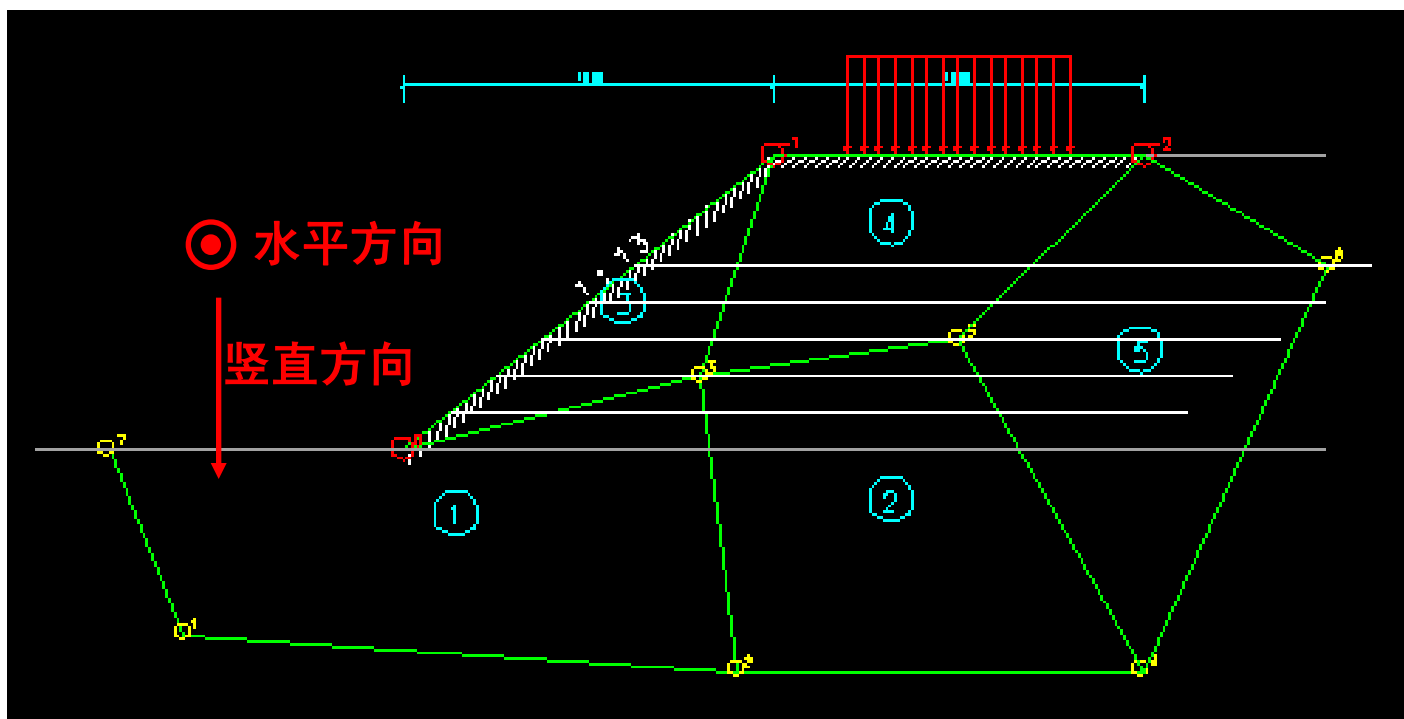
- 自己等效



3.水平方向和竖直方向







4.土工格栅参数

参数名称	说明
定位高度	坐标原点为坡脚点，加筋所在位置的竖向高度；
水平间距	两块土工格栅的中心距； 如果是满铺，可以1m为一个计算宽度，此时水平间距为1m；
总长	土工布的长度，不包括端头构造；
倾角	土工格栅与水平方向的夹角，一般土工格栅都是水平铺设，夹角为0；
抗拉力	与“水平间距”有关联。如“水平间距”是取两块土工格栅的中心距，则抗拉力输每块土工格栅的抗拉力；如满铺，取1m为计算宽度，“水平间距”取1m，此时抗拉力输1m宽度土工格栅的抗拉力。
锚固长度	土工格栅可以认为是全长锚固，也就是锚固长度等于总长；
锚固周长	与“水平间距”有关联。如“水平间距”是取两块土工格栅的中心距，则锚固周长为每块土工格栅的宽度乘2；如满铺，取1m为计算宽度，“水平间距”取1m，此时锚固周长为 $1m \times 2 = 2m$ 。

参数名称	说明
粘结强度	<p>土工布的粘结强度=作用在某层筋材上的上覆压力（按自重应力计算）×土与土工合成材料的摩擦系数，《公路土工合成材料应用技术规范》JTJ/T019-98中85页有摩擦系数计算公式，另外，可参考《公路路基设计手册》749页表格3-5-1和铁路路基手册450页的公式23-112。</p> <p>依据《水利水电工程土工合成材料应用技术规范SL/T225-98》85页的3.2.7</p> <p>$f_{GS}=0.667tg\varphi_q$ ——土工织物</p> <p>$f_{GS}=0.9tg\varphi_q$ ——土工格栅、土工布</p> <p>φ_q——土体快剪内摩擦角 无粘性土</p> <p> 考虑C影响综合内摩擦角 粘性土</p> <p>综合内摩擦角依据《公路路基设计规范JTJ015》</p> <p>粘结强度——f_{GS}·上部土体自重标准值。</p>
抗拔力最小值	<p>土工布端头构造部分提供的最小抗拔力。</p>
法向力发挥系数	<p>通过此参数可调节筋带在滑弧法向产生抗滑力的发挥，此参数为0-1之间，若为0，则不考虑法向分力产生的抗滑力。</p>

三、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 、 Φ		
地震烈度		不考虑地震		

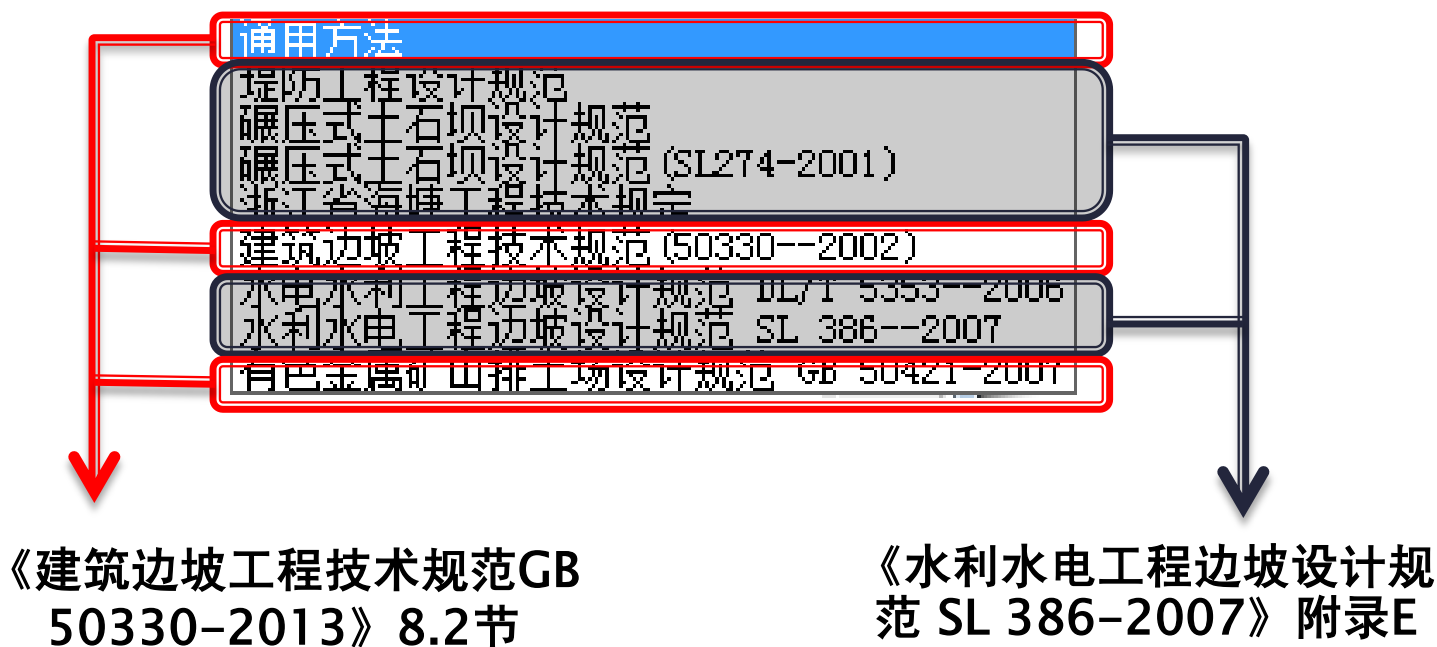
计算目标选择锚杆(索)设计;
交互设计要求的安全系数;

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 γ_G	1.300		
锚杆钢筋等级	HRB335	锚杆最大长度(m)	15.000		
系数 ξ_1	1.000	锚杆锚固构造长度(m)	4.000		
系数 ξ_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;

- 锚杆设计计算原理

- 《建筑边坡工程技术规范GB 50330-2013》 8.2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：



《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2002的锚杆设计是根据规范中“8.2 设计计算”进行锚杆设计。

锚杆（索）轴向拉力标准值和设计值按下式计算

$$N_{ak} = \frac{H_{tk}}{\cos\alpha}$$

截面面积计算

锚杆

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_y}$$

式中： A_s ——锚杆钢筋或预应力锚索截面面积（ m^2 ）；

锚索：

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_{py}}$$

f_y, f_{py} ——普通钢筋或预应力钢绞线抗拉强度设计值（kPa）；

K_b ——锚杆杆体抗拉安全系数，应按表 8.2.2 取值。

锚杆锚固体与地层的锚固段长度 l_a 应满足下式要求

式中： K ——锚杆锚固体抗拔安全系数，按表 8.2.3-1 取值；

l_a ——锚杆锚固段长度（m），尚应满足本规范第 8.4.1 条的规定；

f_{rbk} ——岩土层与锚固体极限粘结强度标准值（kPa），应通过试验确定；当无试验资料时可按表 8.2.3-2 和表 8.2.3-3 取值；

D ——锚杆锚固段钻孔直径（mm）。

$$l_a \geq \frac{K N_{ak}}{\pi \cdot D \cdot f_{rbk}}$$

《水利水电工程边坡设计规范 SL 386-2007》

预应力锚杆采用黏结式锚固体时，锚杆及单元锚杆的锚固段长度可分别按下式计算

$$l_a = \frac{KP_t}{\pi D \tau_q}$$

- l_a —— 锚固段长度（m）求；
- P_t —— 锚杆的设计轴向拉力值（kN）；
- K —— 安全系数，参见规范《水利水电工程边坡设计规范 SL 386-2007》表E.0.3.
- τ_q —— 灌浆结石体与岩土孔壁间的黏结强度（kPa），宜通过试验确定；
- D —— 锚固段钻孔直径（m）。

非预应力锚杆也按照上述公式计算

表9.2-1 预应力锚杆锚固体最小抗拔安全系数

边坡等级	最小抗拔安全系数	
	临时锚杆 (服务年限不大于2年)	永久锚杆 (服务年限大于2年)
1	1.8	2.2
2、3	1.6	2.0
4、5	1.4	1.8

◦ 锚杆设计计算搜索方法

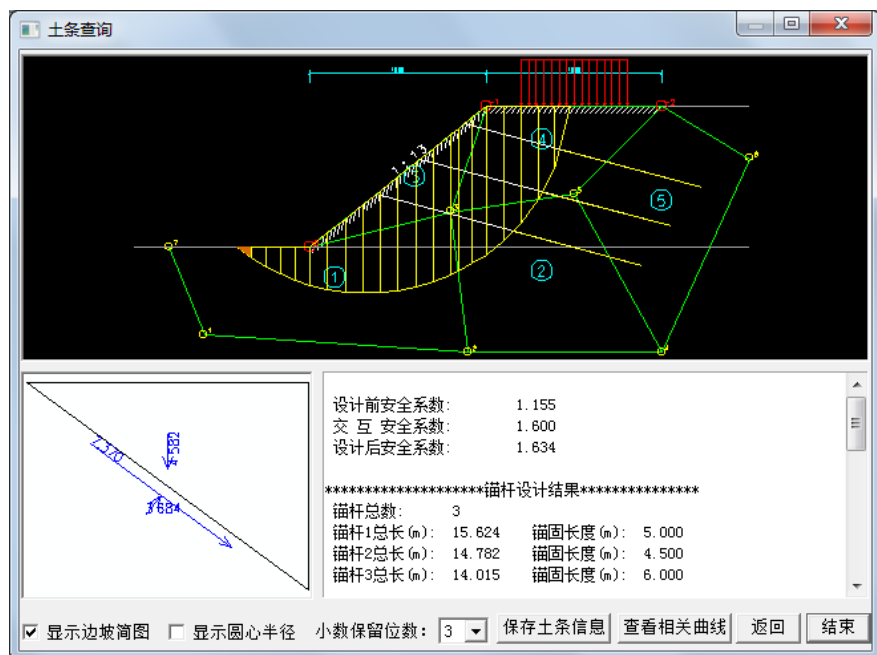
- 根据用户交互的安全系数值搜索比其小的安全系数及对应的滑面，对其进行锚杆设计，然后再搜索再设计，搜索一个设计一个，最后选出每道锚杆中最长的作为其总长，锚固长度最长的作为其锚固长度；

设计失败的原因有两种：

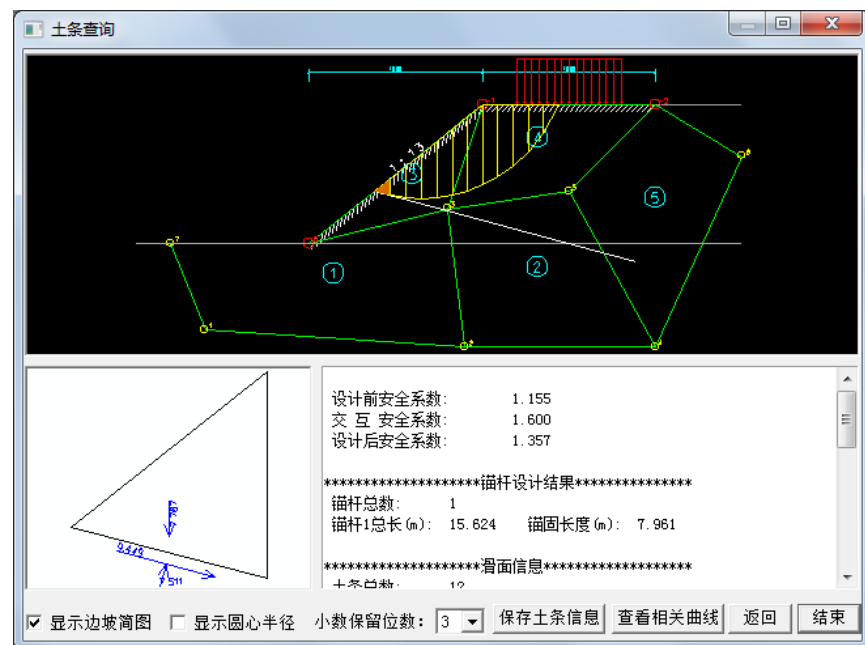
1. 滑弧与锚杆不相交。如果锚杆的位置或最大长度设置不当，设计后的安全系数可能达不到交互的安全系数，此时软件会在计算书中给出提示。
2. 锚杆长度已达到锚杆允许的最大长度，但仍然达不到交互的安全系数。

1. 滑弧与锚杆不相交，无论如何设计长度，对安全系数都没有影响，设计失败。

如下图：



正常结果

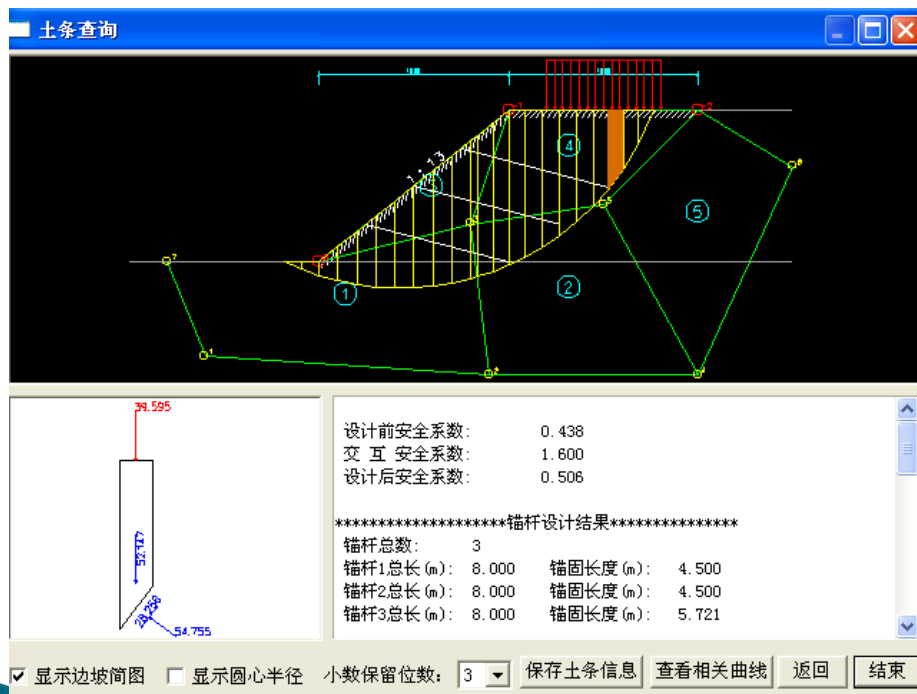


锚杆位置不合适

2. 锚杆长度已达到锚杆允许的最大长度。

——锚杆的最大长度不满足要求

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 γ_s	1.300
锚杆钢筋等级	HRB335	锚杆最大长度 (m)	8.000
系数 ξ_1	1.000	锚杆锚固构造长度 (m)	4.000
系数 ξ_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



最不利滑动面:

滑动圆心 = (4.267, 12.800) (m)

滑动半径 = 14.187 (m)

设计前安全系数 = 0.438

交互安全系数 = 1.600

设计后安全系数 = 0.506, 锚杆设计失败!

锚杆设计失败的滑面:

锚杆长度达到最大允许长度、安全系数最小的滑弧: 圆心(1.067, 14.400) 半径: 14.429 K = 0.440

四、不平衡推力法

(剩余推力法, 推力传递法, 余推力法, 传递系数法)

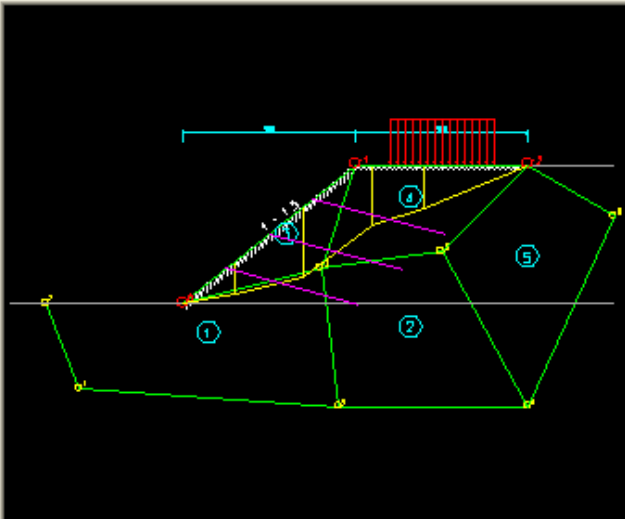
计算目标: 剩余下滑力计算

剩余下滑力计算目标: 计算安全系数

复杂土层土坡稳定计算

辅助功能

说明 复杂土层土坡稳定计算 3



超载

基本 坡面 土层 水面 加筋 滑面

采用规范	通用方法
计算目标	剩余下滑力计算
岩土参数指标	输入C、 Φ
地震烈度	不考虑地震
剩余下滑力计算目标	计算安全系数
安全系数使用办法	扩大自基下滑力
剩余下滑力计算安全系数	---
可变C、 Φ 的滑动边号	---
自动搜索可动边上点数 (≤ 3)	---
圆弧面条分法土条宽度 (m)	---
自动搜索时采用步长 (m)	---
变化因素	---
最大的C (kPa)	---
最大的 Φ (度)	---

▶ 《水利水电工程边坡设计规范》(SL386-2007) 15页，

当滑动面呈圆弧形时，宜采用简化毕肖普法和摩根斯顿-普莱斯法，

当滑面呈非圆弧时，宜采用摩根斯顿-普莱斯法和**不平衡推力法**进行抗滑稳定计算。

▶ 《水电水利工程边坡设计规范》(DL/T5353-2006) 7.4.6

沿土或堆积物底面或其内部特定软弱面发生滑动破坏时，推荐

采用摩根斯顿—普莱斯法，也可采用**传递系数法**。

对应程序的“**剩余下滑力计算**”时，安全系数计算方法采用“**降低抗剪强度**”

传递系数法的两种模型：K T 模型、R / K 模型。

显式法（KT模型）

安全系数使用方法设为“扩大自重下滑力”时，使用的是传递系数法中的KT模型；
（直接把剩余下滑力计算安全系数乘在自重下滑力上。安全系数乘在下滑力项递推）（有些规范在采用、简单）

隐式法（R/K模型）

安全系数使用方法设为“降低抗剪强度”时，使用的是传递系数法中的R/K模型。
（安全系数除抗剪强度项递推）（更符合强度理论）

专家推荐采用隐式解法（R/K法）

五、安全系数的使用

如何求已知安全系数滑面的剩余下滑力的计算。

计算目标：剩余下滑力

滑面信息中输入圆心和半径。

第1个土条：

[几何信息]

左上点坐标 (m) : (0.439, 0.218)

左下点坐标 (m) : (0.439, 0.218)

右上点坐标 (m) : (1.496, 0.742)

右下点坐标 (m) : (1.496, -0.262)

滑面线段数	10
滑面线起始点X	0.439
滑面线起始点Y	0.218

圆弧转为折线

最不利滑动面：

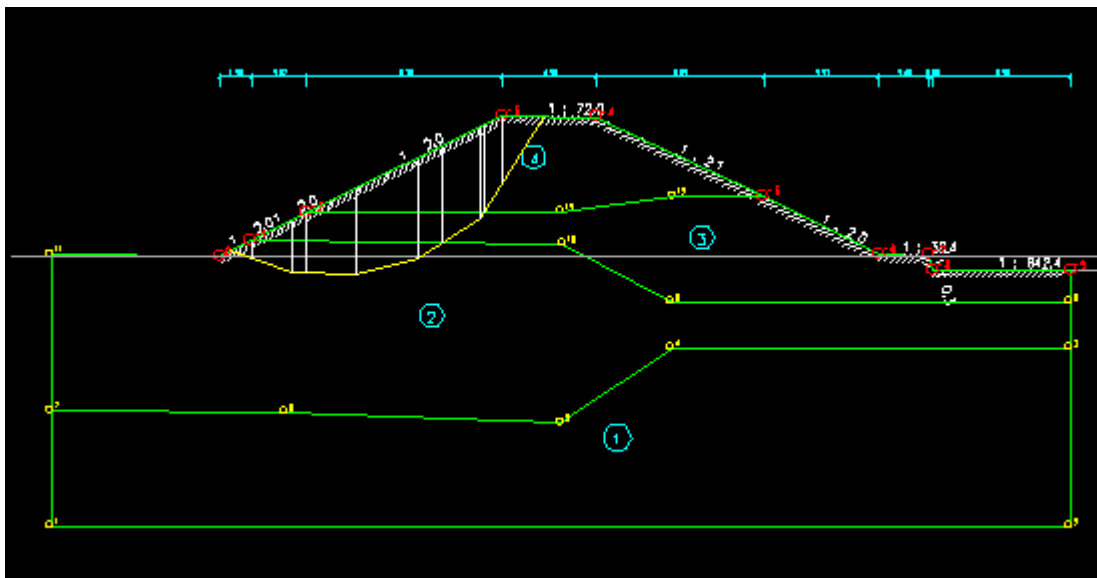
滑动圆心 = (5.356, 9.645) (m)

滑动半径 = 10.633 (m)

滑动安全系数 = 1.913

圆弧滑面转化为折线参数

圆心x坐标 (m)	5.356
圆心y坐标 (m)	9.645
圆弧半径 (m)	10.600
分段数	5



计算出每一个滑块的剩余下滑力，找个剩余下滑力大的滑块，可以选择在这些滑块前加支档。

六．工程实例

复杂土层 边坡	长江水利委员会.WD3	复杂边坡、深层滑动； 通用方法；计算安全系数； 圆弧滑动法；瑞典条分法； 有效应力法；
	福建东辰（下滑 力）.WD3	通用方法；计算剩余下滑力； 有超载； 有效应力法；

复杂 土层 边坡	贵阳勘测（直线滑动法）. WD3	通用方法；计算安全系数； 直线滑动法； 考虑地震； 有效应力法；
	山西水利上游坝坡. WD3	碾压土石坝规范；计算安全系数； 圆弧滑动法； 简化Bishop法； 有效应力法；
	中兰连海. WD3	多级子坝尾矿； 通用方法；计算安全系数； 圆弧滑动法； 瑞典条分法； 总应力法；

谢谢!

技术服务：010-68002096，68002098