

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D[®] 2017

案例教程

公路边坡支护与稳定性分析



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

目录

1. 模型概况.....	1
2. 几何模型.....	1
2.1 模型边界.....	1
2.2 结构模式.....	2
3. 网格划分.....	4
3.1 有限元网格加密.....	4
3.2 有限元网格自动划分和预览.....	4
4. 分步施工定义.....	5
5. 结果查看.....	9
5.1 破坏机理分析.....	9
5.2 不同阶段安全系数分析.....	10

1. 模型概况

近年来，我国高速公路建设飞速发展，高等级公路的修筑也逐步由东部转向西部，由平原地区转向山区，不可避免地会碰到一些深挖、高填等形式的半填半挖路堤。由于开挖、回填均改变了原边坡的坡率，路堤施工后的边坡稳定性状况发生较大变化；雨季持续的强降雨会导致山体水位抬升，也会较大程度影响路堤边坡稳定性。

本案例分析模型如图 1、图 2 所示，在施工阶段分别对旱季低水位、雨季强降雨高水位条件下边坡安全性进行了分析，对比了两种工况下的潜在滑移面位置、边坡安全系数，并进一步分析了高水位条件下采用三排土钉支护方式时的路堤边坡稳定性。通过学习本案例，读者可以掌握 PLAXIS 3D 中边坡稳定性的分析方法。

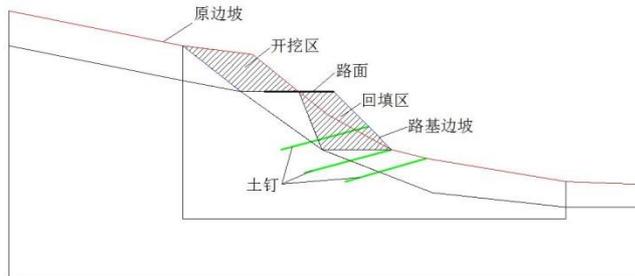


图 1 工程概况

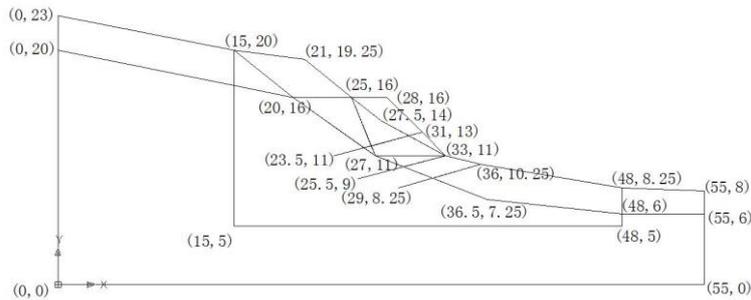


图 2 分析模型坐标

提示：学习本案例教程之前，需要已经掌握 PLAXIS 软件的基本操作。

2. 几何模型

2.1 模型边界

- 打开 PLAXIS 2D 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中土层模型尺寸可以采用默认值。

2.2 结构模式

读者可以通过定义钻孔、在 palxis 中创建土多边形、根据图 2 所示坐标绘制 CAD 图形后导入 palxis 三种方式建立分析模型，本案例介绍通过 CAD 文件导入的方法建立分析模型。

- 地层导入：在 PLAXIS 中，菜单栏**结构>>输入几何模型**。找到绘制完成的.dwg 文件路径，打开文件。在导入几何形状窗口，勾选线和多边形，导入地层，如图 3。导入成功后的分析模型见图 4。

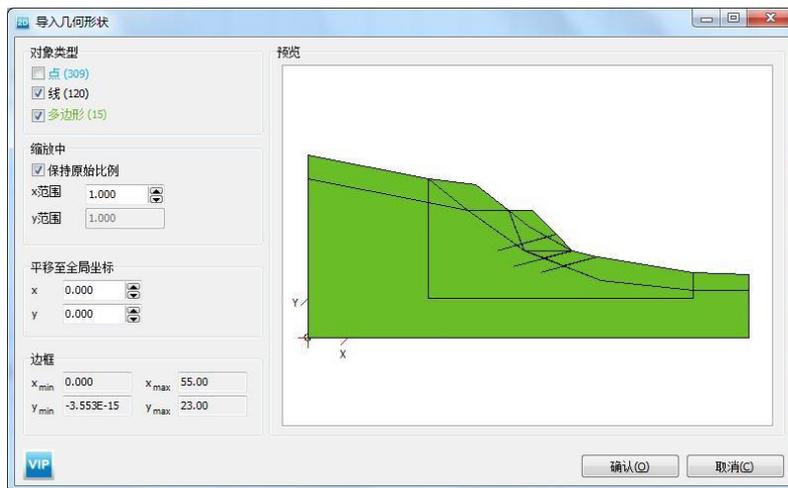


图 3 导入几何形状

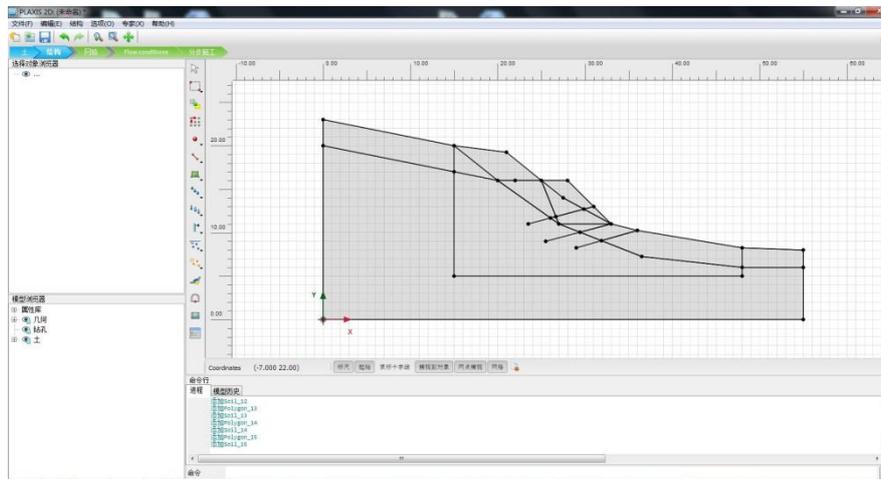


图 4 导入后的分析模型

注意：

通过.dwg 文件导入的方式建模详细方法参考筑信达官网知识库相关文章，文章链接如下：[如何将 AutoCAD 中创建的几何图形导入到 PLAXIS 2D AE 中？](#)

- 打开**显示材料**  定义岩层和填料材料参数，各层材料参数见表 1。

表 1 土层材料参数

参数	名称	中风化岩	强风化岩	填料		单位
一般						
材料模型	模型	摩尔库伦	摩尔库伦	摩尔库伦		-
材料类型	类型	排水的	排水的	排水的		-

水位以上土体容重	γ_{unsat}	16	16	19		kN/m^3
水位以下土体容重	γ_{sat}	17	17	21		kN/m^3
初始孔隙比	e_{int}	0.5	0.5	0.5		-
参数						
参考弹性模量	E'	12.00E3	12.00E3	20.00E3		kN/m^2
泊松比	ν'	0.3000	0.3000	0.3000		-
黏聚力	c_{ref}'	8.000	8.000	8.000		kN/m^2
内摩擦角	φ'	35.00	19.00	30.00		$^\circ$
剪胀角	ψ	0.000	0.000	0.000		$^\circ$
流动参数						
数据组	-	标准	标准	标准		-
土类别	-	粗	粗	粗		-
<2 μm	-	10	10	10		%
2 μm -50 μm	-	13	13	13		%
50 μm -2mm	-	77	77	77		%
默认参数	-	否	否	否		-
水平渗透系数	k_x	0.001	0.01	0.1		m/天
竖向渗透系数	k_y	0.001	0.01	0.1		m/天
渗透率变化	c_k	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$		-
界面						
界面强度折减因子	Rinter	1	1	1	1	-
初始						
K_0	-	自动	自动	自动	自动	-

- 创建路面：选中代表路面的线（点（22,16）至点（28,16）），右键选择**创建板**。按表 2 定义路面材料参数。

表 2 路面材料参数

参数	名称	路面	单位
材料类型	类型	弹性；各向同性	-
轴向刚度	EA	250.0E3	kN/m
抗弯刚度	EI	500.0	kNm^2/m
重度	w	3	kNm/m
泊松比	ν	0.2	-

- 创建荷载：为了模拟路面交通荷载，在板上创建荷载，选中板右键选择**创建线荷载**，荷载大小： -10kN/m/m 。
- 创建土钉：选中代表土钉的线，右键选择**创建 embedded beam row**，按表 3 定义土钉材料参数。定义完成的分析初始模型见图 5。

表 3 土钉参数

参数	名称	土钉	单位
刚度	E	$1\text{E}10^7$	kN/m^2

单位重度	γ	4	kN/m^3
桩类型	预定义	大直径圆桩	-
直径	D	0.042	m
水平间距	L_s	2.500	m
侧摩阻力	$T_{\text{top,max}}$	40.00	kN/m
	$T_{\text{bot,max}}$	40.00	kN/m
端阻力	F_{max}	0	kN

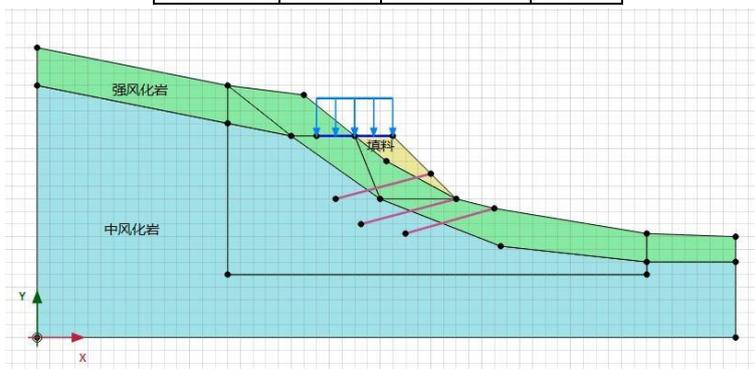


图 5 创建完成的几何模型

3. 网格划分

切换到**网格**模式，进行有限元网格剖分。

3.1 有限元网格加密

- 程序已自动将结构单元（路面，土钉）网格进行加密，以绿色显示，其余部分未加密，以灰色显示。
- 为了更准确的分析路堤周围土层的变形，将路堤附近土层进行网格加密。选中这些土层类组，在选择浏览器中将粗糙系数修改为 0.5。设置完成后如图 6 所示。

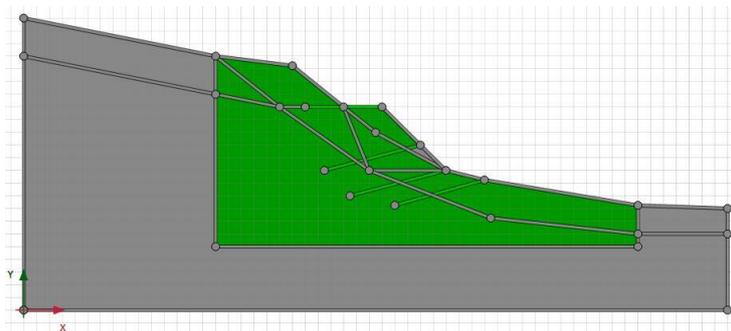


图 6 网格局部加密

3.2 有限元网格自动划分和预览

- 点击  **创建网格**，设置单元分布(Element distribution)为**中等**，点击确认自动划

分网格。

- 点击  **预览**生成的网格。
- 单击**关闭**按钮，关闭输出窗口，图 7 为生成的网格。

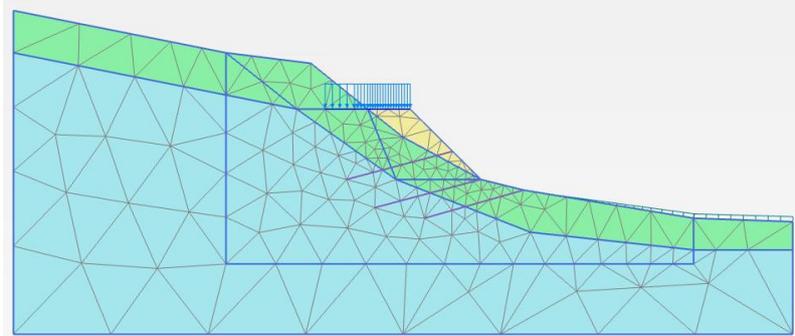


图 7 生成的网格

4. 分步施工定义

1. 初始阶段 (initialphase): 原始边坡状态。

- 切换到渗流模式，点击**创建水位线**  定义原始水位线: user waterlevel_1 (-1,10) (56,10)
- 冻结所有结构单元，冻结填料，恢复原始山坡地层。计算类型: **重力加载**。初始应力阶段定义完成后见图 8。

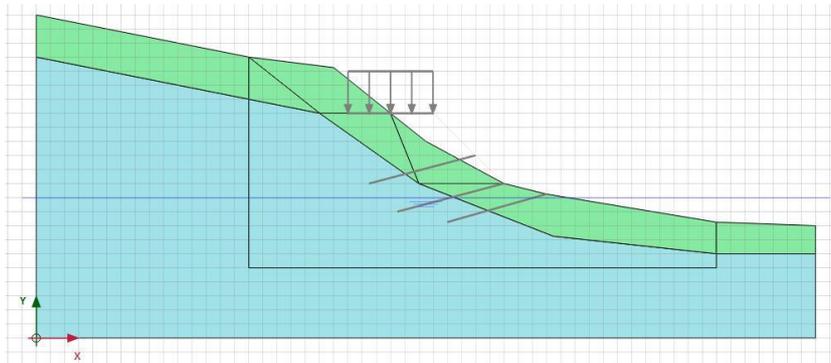


图 8 初始应力

2. 原山坡安全系数 (phase1)

- 阶段窗口: 计算类型: **安全性**; 勾选**重置位移为零**，见图 9。

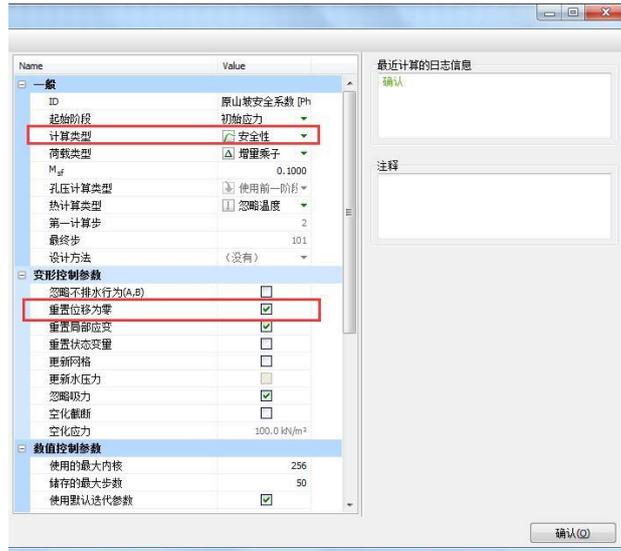


图 9 原山坡安全性分析

3. 路堤施工 (phase2): 模拟挖方段、填方段、路堤施工完成, 并且施加交通荷载之后地基变形。
 - 阶段窗口: 如图 10, 起始阶段选择为初始阶段, 计算类型: 塑性计算; 勾选重置位移为零;

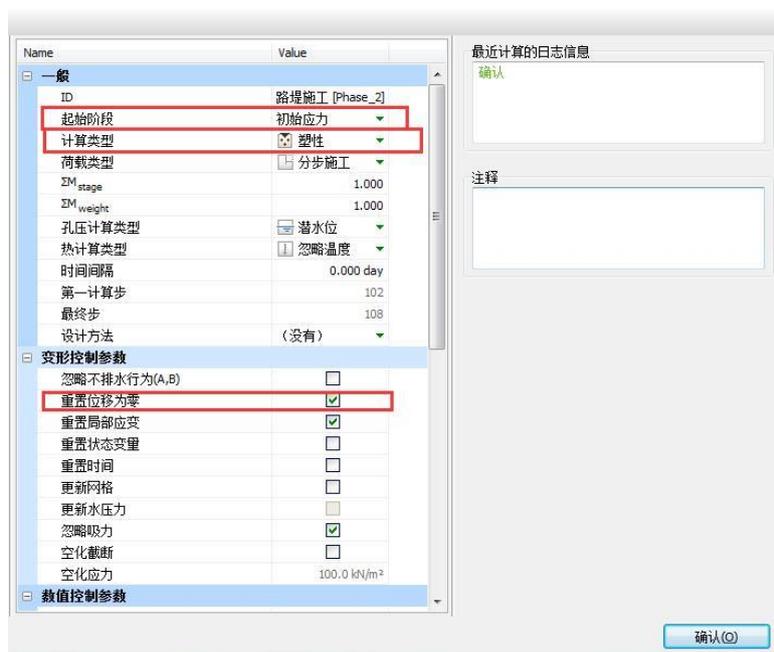


图 10 路堤施工设置

- 选中并冻结设计路面上方的原坡体;
- 激活设计路面下方新填筑部分网格, 将材料设为填料; 替换路面下部相应区域强风化土层为填料;
- 激活代表路面的板单元;
- 激活荷载, 勾选线荷载后在选择浏览器中将 $q_{y,start,ref}$ 设置为 -10kN/m 。定义完成后的分析模型如图 11 所示。

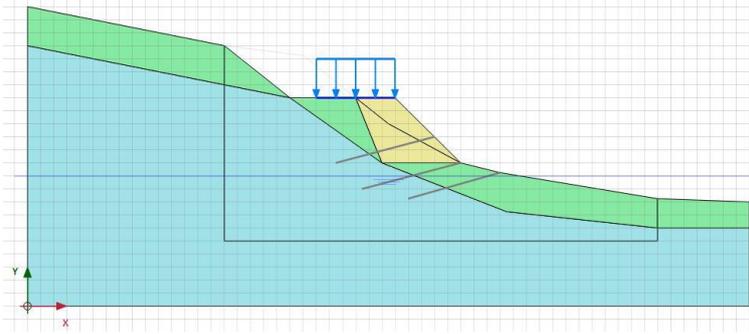


图 11 施工路堤

4. 无降雨安全系数 (phase3)
 - 阶段窗口: 计算类型: **安全性**; 勾选**重置位移为零**;
5. 强降雨水位抬升 (phase4): 用于模拟雨期强降雨条件下地下水位抬升。
 - 阶段窗口: 如图 12, 起始阶段选择为 phase2; 计算类型: 塑性计算; 孔压计算类型: **稳态地下水渗流**。

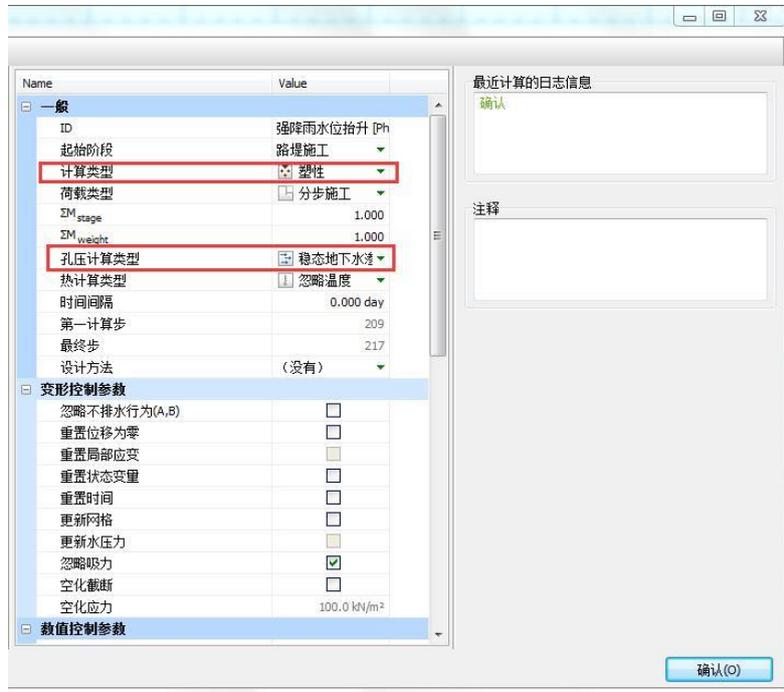


图 12 强降雨水位抬升阶段定义

- 切换至渗流条件模式, 点击**创建水位线** 定义强降雨水位线: user waterlevel_2 (-1,20) (5,20) (20,10) (56,10), 选中水位线 user waterlevel_2 点击鼠标右键将该水位设置为**全局水位**, 如图 13。定义完成的分析模型如图 14。

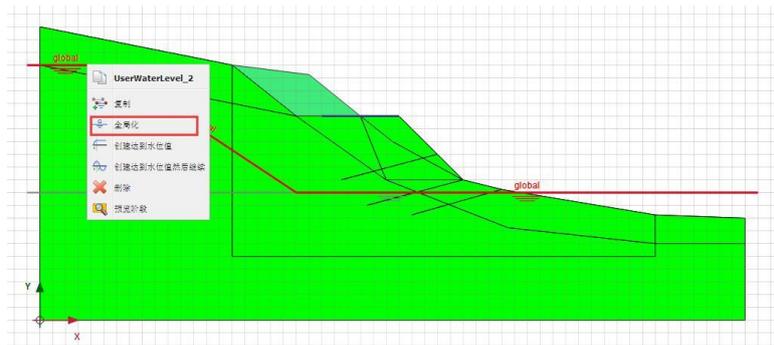


图 13 设置全局水位为 user waterlevel_2

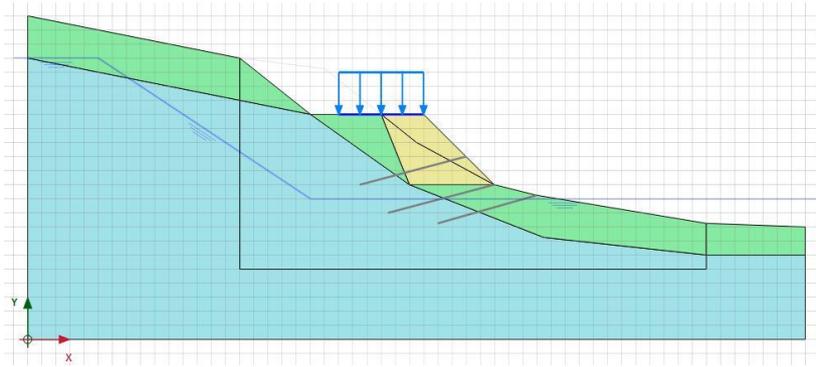


图 14 强降雨条件下山坡水位

6. 强降雨安全系数 (phase5)

- 阶段窗口：起始阶段选择为阶段 4；计算类型：安全性计算；勾选重置位移为零。

7. 打设三排土钉 (phase6)

- 阶段窗口：起始阶段选择为阶段 4；计算类型：塑性计算；
- 选中代表土钉的线点击鼠标右键选择激活三排土钉；设置方法如图 15。

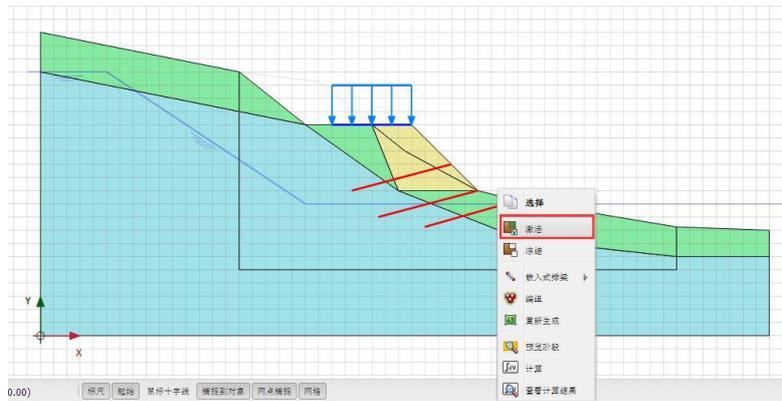


图 15 打设三排土钉

8. 三排土钉安全系数 (phase7)

- 阶段窗口：起始阶段选择为阶段 6；计算类型：安全性计算；勾选重置位移为零。如图 16。

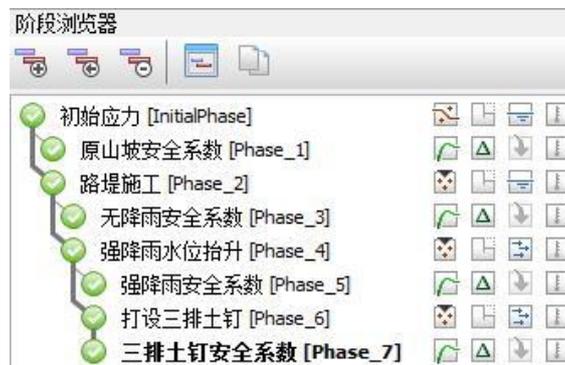


图 16 分步施工工况

9. 选择生成曲线所需要的节点

- 选择生成曲线所需的点 ：如图 17，选择节点 (15,20)、(25,16)、(28,16)、(33,11)，

点击更新 ，保存选中的节点。

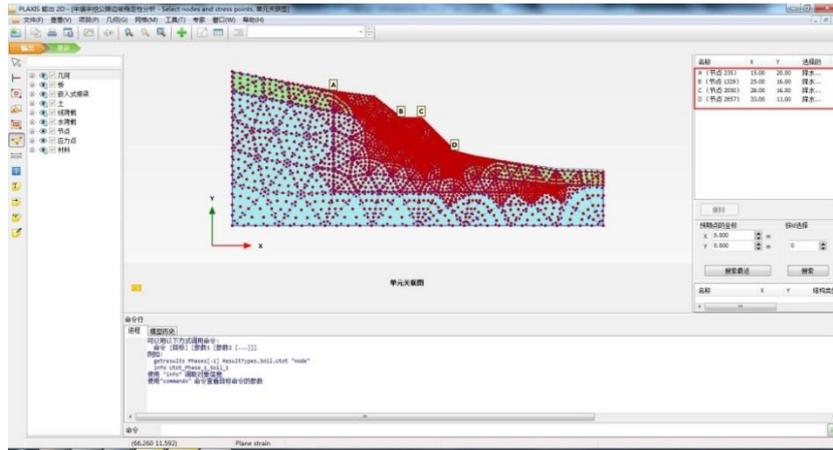


图 17 选择生成曲线所需的点

- 开始计算 ，计算完成后保存  计算结果。

5. 结果查看

计算完成后，在后处理程序中可以查看计算结果 。

5.1 破坏机理分析

通过查看安全性分析阶段的增量位移，可以看出路堤边坡潜在滑移面的位置。

- 计算完成后点击查看计算结果 ，弹出输出程序窗口。
- 点击菜单栏**变形>>增量位移**，查看增量位移云图。
- 切换显示阶段，查看无降雨安全系数、强降雨安全系数、三排土钉安全系数等不同阶段的增量位移。

图 18、图 19 分别显示了无降雨和强降雨时边坡的增量位移云图，图中可以看出边坡潜在滑移面的位置，对比可以发现无降雨和强降雨条件下路堤边坡潜在滑移面位置未发生明显变化，这是由于水位变化影响范围处于潜在滑移面以下，对边坡破坏影响较小。无降雨时边坡安全系数为 1.192，强降雨条件下边坡安全系数为 1.112。图 20 为采用三排土钉加固后的增量位移云图，可以看出潜在滑移面明显向坡体内部移动，此时边坡安全系数为 1.583。

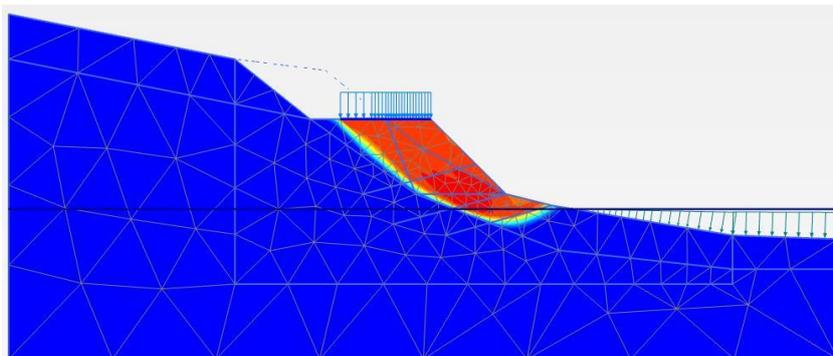


图 18 无降雨时边坡潜在滑移面

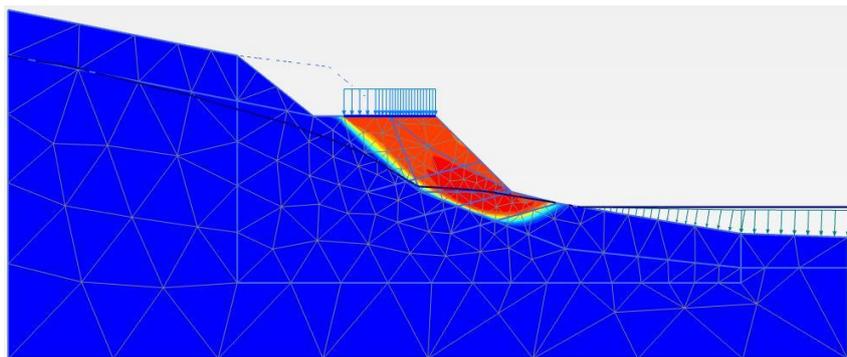


图 19 强降雨时边坡潜在滑移面

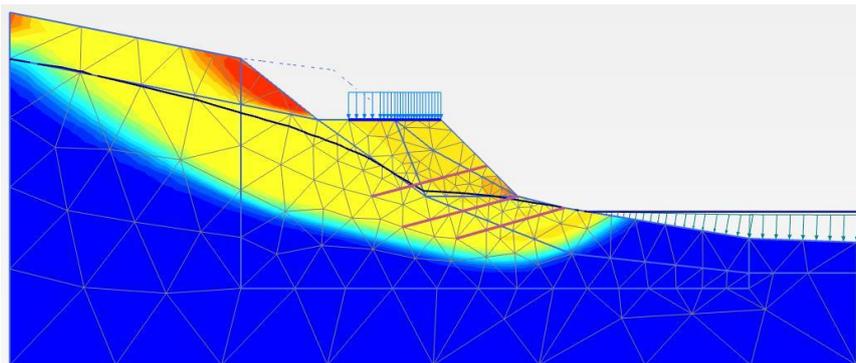


图 20 打设三排土钉时边坡潜在滑移面

5.2 不同阶段安全系数分析

- 点击曲线管理器 ，新建曲线，X 轴选择节点 B (25,16)，窗口内选择变形>>总位移|u|，Y 轴选择项目，窗口内选择乘子>> $\sum Msf$ 。本案例仅以节点 B 为例进行分析，读者可以选择其他几个节点进行练习。
- 点击设置 ，弹出设置窗口，如图 21。设置标题为原山坡，点击右上角阶段，弹出图 22 所示的选择阶段窗口，表示选择生成曲线的阶段，仅勾选 phase1。完成生成原山坡安全系数曲线相关设置。

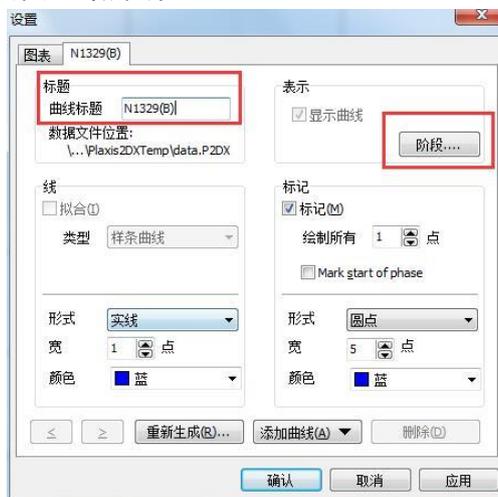


图 21 曲线设置窗口



图 22 选择生成曲线的阶段

- 右键点击任意位置，选择**添加曲线>>从当前项目**，弹出曲线生成窗口，如图 23，点击确认。修改曲线标题为无降雨，点击**阶段**，仅勾选 phase3。完成对无降雨安全系数阶段的曲线添加。

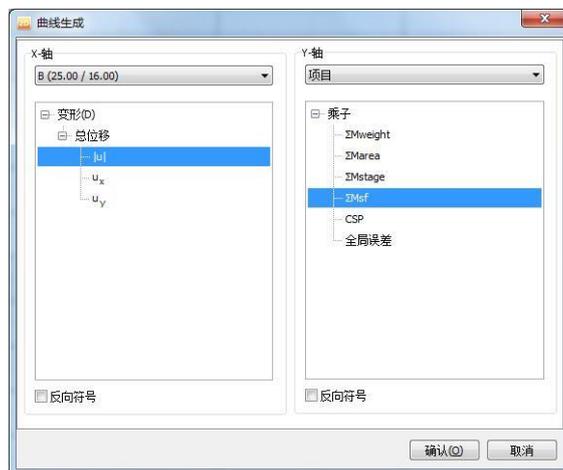


图 23 曲线生成

- 重复上述操作，分别完成对 phase5、phase7 两个阶段的曲线添加。Phase5 曲线标题为强降雨，phase7 曲线标题为三排土钉。
- 如图 24，在**图表**菜单设置曲线显示比例、名称：X 轴缩放更改为手动，最大化：0.00，最大 10.0；Y 轴缩放改为手动，最大化：1.00，最大：1.70；设置图标名称：位移—安全系数。点击确认关闭窗口，点击保存  图表。

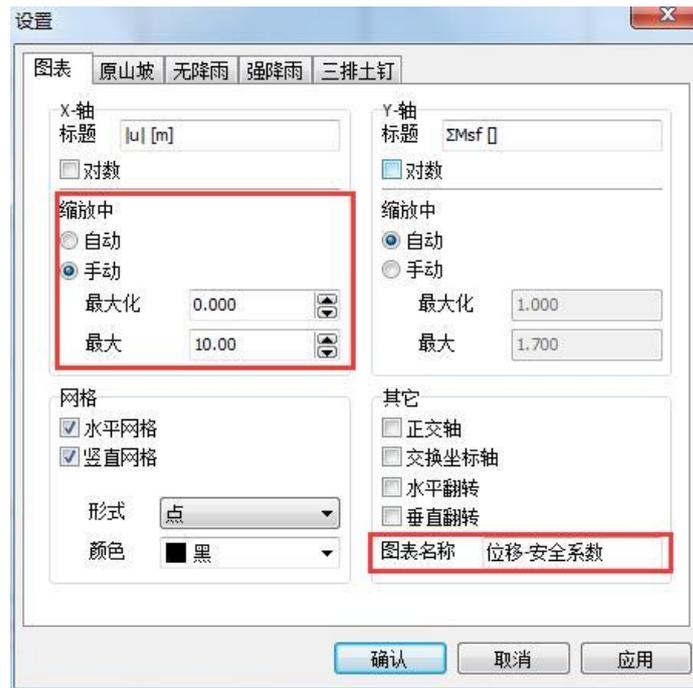


图 24 曲线显示比例设置

查看计算过程保存的曲线，图 25 为节点 (25,16) 位置位移—安全系数曲线，曲线达到稳定阶段后的纵坐标值即为安全系数。从图中可以看出，无降雨时安全系数为 1.192，强降雨时安全系数为 1.112，强降雨条件下边坡安全系数比无降雨条件下低；三排土钉加固时安全系数为 1.583，采用三排土钉支护时边坡安全系数提高。

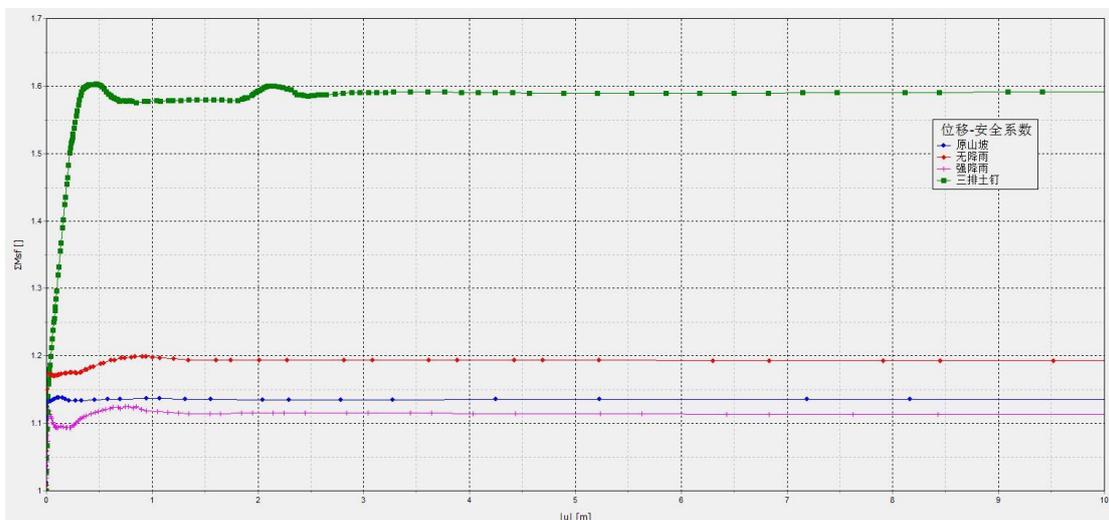


图 25 位移—安全系数曲线

本教程到此结束！