



DeepEX 边坡稳定性分析

筑信达 詹毕顺

由于边坡表面倾斜，其上岩土体具有从高向低滑动的趋势。在土体自重、降雨以及其他外力作用下，边坡可能会失去原有稳定状态而破坏，从而诱发滑坡、泥石流等自然灾害，造成生命和财产损失。因此，对各类边坡进行稳定性分析，确定其安全系数，具有重要意义。DeepEX 不仅能够进行深基坑设计，而且具有强大的边坡稳定性分析功能。本文主要介绍 DeepEX 中边坡稳定性分析的常用方法以及操作步骤，并利用实际案例进行演示验证。

1. 常用分析方法

目前常用的边坡稳定分析方法主要有：极限平衡分析法、数值分析法以及极限平衡和数值分析相结合的方法。数值分析法可以对边坡施工过程进行模拟，反映边坡周围复杂的水文地质条件，考虑土体本构等影响。但是其概念较难理解，计算速度慢，对计算机性能要求较高，因此使用较少。而极限平衡分析法具有概念清晰、计算速度快、工程实践经验丰富等特点，在边坡设计软件中得到广泛应用。

与其他设计软件类似，DeepEX 也是利用极限平衡法进行边坡稳定性分析。具体来说主要有瑞典条分法、毕肖普法 (Bishop method)、摩根斯顿-普赖斯法 (Morgenstern-Price method, 下文简称 M-P 法) 以及斯宾塞法 (Spencer method)。

由于边坡稳定性分析实际上是一个高次超静定问题，为了使问题可解，必须引入一系列假定将滑动土体划分为一系列土条进行分析。因此，准确的说，上述四种方法应该称为极限平衡条分法。而这四种分析方法之间的区别主要在于计算时的假定不同，主要包括滑动面形状、是否考虑条间力以及是否满足平衡条件等。上述四种分析方法的具体差异，详见表 1。

表 1 四种极限平衡分析方法的比较

方法	滑动面形状	条间作用力	力矩平衡	水平力平衡	竖向力平衡
瑞典条分法	圆弧形	不考虑	满足	不满足	不满足
毕肖普法	圆弧形	考虑	满足	不满足	满足
斯宾塞法	任意形状	条间作用力的合力平行	满足	满足	满足
M-P 法	任意形状	假定条间作用力的合力方向	满足	满足	满足

从上述对比可以看出，由于忽略了条间作用力，瑞典条分法所计算的安全系数较小（一般偏低 5%-10%），工程应用偏于保守；毕肖普法与其他条分法的计算结果基本相同，但仅适用于圆弧形滑动面；斯宾塞方法在一些条件下会出现收敛困难的问题，如滑裂面包含拉裂缝、充水等情况；而 M-P 法计算结果较为准确，适用于大多数情形。

2. DeepEX 中边坡分析操作概述

在 DeepEX 中进行边坡稳定性分析时，其操作思路大体可以分为以下三步：1) 建立边坡模型；2) 边坡分析设置；3) 分析计算。

其中，边坡建模和分析计算操作比较简单。DeepEX 提供了两种边坡建模方法，一种是直接建模，另外一种是从 DXF 文件导入建模。当边坡形状比较复杂或者已有现成的 DXF 文件时，用户可以直接导入 DXF 文件建立边坡模型。当边坡比较简单时，可以在【一般】选项→【地表设置选项】中选择【左侧斜坡】或【右侧斜坡】选项，即可打开编辑边坡的对话框，如图 1 所示。在该对话框中可以编辑边坡坡度、放坡类型、台阶尺寸等数据，从而创建出边坡模型。分析计算只需点击【计算边坡】按钮即可，计算完成之后就能得到相应的安全系数结果。唯一需要注意的是，在进行边坡稳定性计算之前，必须先完成常规计算。



图 1 设置边坡形状

在建立边坡模型后，边坡稳定性分析中最关键的操作就是边坡分析设置。首先，用户需要在【边坡】选项中勾选【整体稳定性分析】（如图 2），才能进行边坡稳定性分析设置。勾选之后，单击【选项】按钮即可打开【边坡稳定性分析选项】对话框，如图 3 所示。在该对话框中用户可以选择边坡稳定性分析方法，设置圆弧中心范围、半径搜索方法，选择是否考虑边坡周围基础荷载、支撑极限承载力以及是否考虑坡顶土体拉裂等。完成边坡分析设置之后，即可进行稳定性计算。



图 2 【边坡】选项



图 3 边坡稳定性分析选项

3 算例演示

本案例来自于 Giam 和 Donald（1989）给出解答的一系列边坡分析案例中最简单的一个。Giam 和 Donald 得到的计算结果在全世界范围内得到了广泛认可，因此他们的案例成为各种边坡分析软件的验证案例。本文选取该案例来验证 DeepEX 计

算结果的准确性。案例边坡尺寸如下图 4 所示，边坡只包含一种土体，其重度 $\gamma=20.0\text{kN/m}^3$ ，粘聚力 $c=3\text{kPa}$ ，内摩擦角 $\phi=30^\circ$ 。整个分析过程中不考虑地下水的影响。Giam 和 Donald 计算得到的安全系数为 1.00。

在 DeepEX 中建立图 4 所示边坡模型时，可以在【修改地表形状-放坡选项】对话框中设置边坡参数。各类参数按照图 5 输入即可得到如图 6 所示的边坡模型。

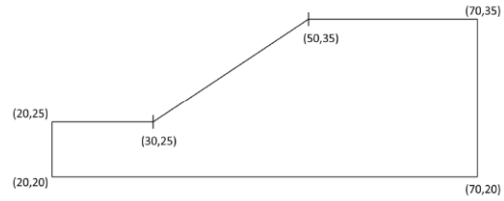


图 4 边坡模型



图 5 设置边坡形状参数

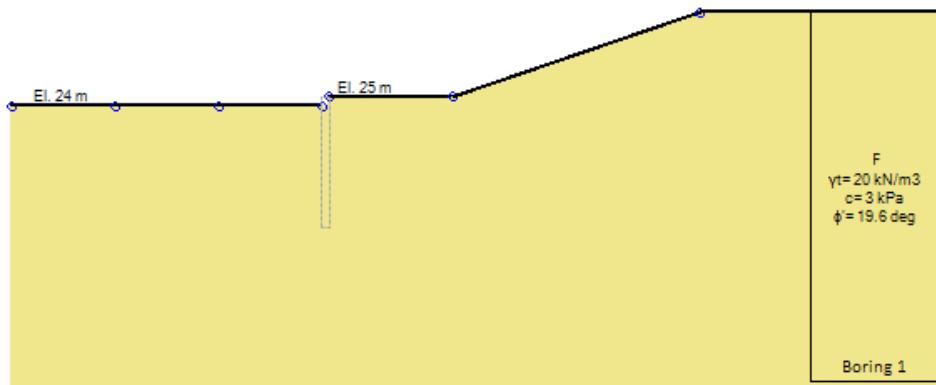


图 6 DeepEX 中建立的边坡模型

建立模型之后，即可在【边坡】选项中勾选【整体稳定性分析】，然后点击【选项】按钮，在弹出的【边坡稳定性分析选项】对话框中进行分析设置，具体如图 7~8 所示。边坡稳定性分析设置中最核心的操作是确定计算的搜索范围，包括滑弧圆心以及半径搜索区域的设置。确定搜索范围后，DeepEX 采用区格搜索法来计算最危险滑动面。区格搜索法是指将搜索区域划分成小的区格，在每一个区格点计算出一个安全系数，再对所有安全系数进行比较，找出最小安全系数，其所对应的滑动面即为最危险滑动面。该方法的特点是搜索范围广，不会陷入局部极小值，适合计算机计算。

由于本案例较为简单，边坡分析中主要涉及到边坡分析中的分析方法、圆弧中心以及半径搜索三个具体标签。在【分析方法】中选择毕肖普法。在【圆弧中心】中可以设置滑动圆弧圆心的搜索区域，为了尽可能得到最小安全系数，可以将搜索范围确定在一个相对较大的区域内。一般搜索区域水平方向应该覆盖从坡顶到坡底的范围，垂直方向应该为 3-4 倍坡高，对于一些复杂情况的边坡需要通过多次试算来确定具体的搜索范围。本例设为从坡底到坡顶的一个 $30\text{m}\times 40\text{m}$ 的矩形区域，具体参数见图 7。在【半径搜索】中可以利用不同方法设置圆弧半径的搜索范围。由于本例为均质边坡，最危险滑动圆弧一定通过坡脚，故可以通过勾选【指定精确坐标】选项设定两个半径搜索临界点来确定半径搜索范围，其中一点必定通过坡脚(10,25)，另一点可以设为(10,0)，整个半径搜索长度约为 2 倍坡高。

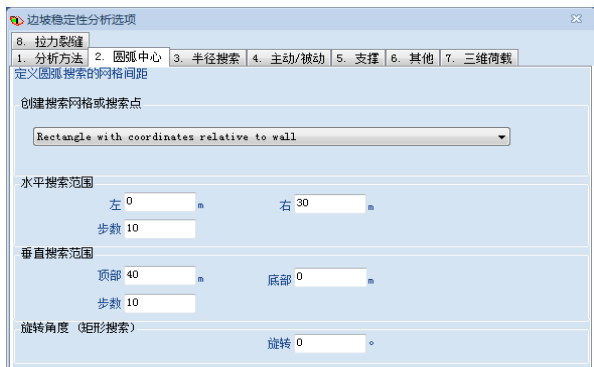


图7 边坡分析选项中圆弧中心设置



图8 边坡分析选项中半径搜索区域设置

完成边坡分析参数的设置后，点击【边坡】选项中的【计算边坡】按钮即可进行计算，最终计算结果如图9所示。安全系数为0.992，与Giam计算结果1.00相差较小，说明DeepEX边坡计算结果比较准确。同理，按照前面操作只需改变分析方法即可得到其他方法的计算结果，具体见表2。从表2可以看出，除瑞典条分法外，其他三种计算方法所得结果较为接近；而瑞典条分法与其他方法计算结果相差较大且安全系数偏小，说明瑞典条分法计算结果相对保守。

表2 对比四种计算方法的安全系数

瑞典条分法	毕肖普法	斯宾塞法	M-P法
0.945	0.992	0.989	0.989

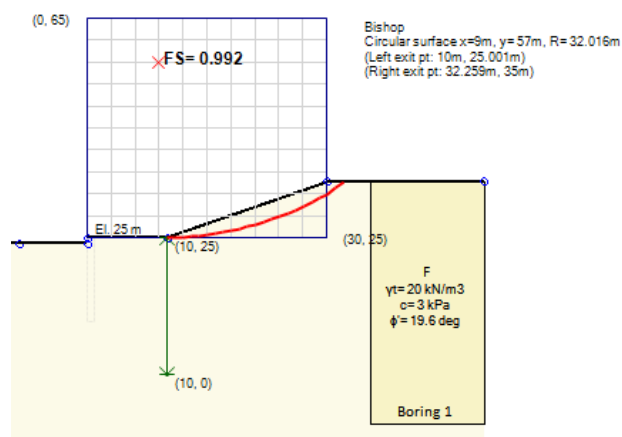


图9 DeepEX 计算结果

4 小结

本文主要介绍了DeepEX中边坡稳定性分析的相关内容，包括边坡稳定性分析的常用方法，DeepEX中的操作思路以及算例验证三部分。通过上述介绍，可以发现DeepEX进行边坡稳定性分析时，具有建模方便，方法众多，计算结果准确等优点。利用DeepEX进行边坡稳定性分析，能够极大地提高工作效率和计算精度。希望以上内容能够帮助工程师更好地理解和应用DeepEX边坡稳定分析模块，使DeepEX成为岩土工程师日常工作中强有力的辅助工具。

参考资料

- [1] 王成华, 夏绪勇. 边坡稳定分析中的临界滑动面搜索方法述评[J]. 四川建筑科学研究, 2002, 28(3):34-39.
- [2] 孙光林. 边坡滑坡稳定性分析研究综述[J]. 煤炭技术, 036(004):24-26.
- [3] 李扬波. 边坡工程中关键滑动面研究及其程序研发[D]. 长沙理工大学, 2013.
- [4] 陈勋辉, 陈义涛, 黄耀英, 等. 边坡稳定性分析的三种极限平衡法对比研究[J]. 人民黄河, v.38;No.365(01):120-123.
- [5] 张玉浩, 张立宏. 边坡稳定性分析方法及其研究进展[J]. 广西水利水电, 000(2):13-16,21.
- [6] 蔡文, 曹洪, 罗彦, 等. 边坡稳定分析的一个全面搜索危险圆弧滑动面的方法[J]. 广东水利水电(1):49-51+56.
- [7] 顾晓强. 边坡稳定分析方法及其应用研究[D]. 上海交通大学, 2007.