

图 3.1 锚杆安装施工步

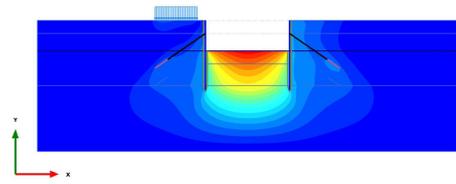


图 3.2 开挖下层土施工步

4. 小结

基坑支护结构除了要达到快速建模之外，还要注重简化结构的主要受力体系，采用恰当的结构单元，以达到高效、准确的求解分析。同时，对地下水控制的合理分析、孔隙水压力的准确评估，也关系到土层力学行为及结构受力情况的变化。为此，本文对挡土结构、结构与土层相互作用、内支撑系统及锚杆系统的模拟做了系统性介绍，并就基坑降水的水力条件问题做了讨论。此外，在施工过程模拟当中，要注意实际施工过程与模型分析工况的对应和吻合，以利用数值分析结果对施工过程给予比较准确的指导。

有关 PLAXIS 基坑开挖分析的更多资料，请关注筑信达 (www.cisec.cn) 网络课堂、知识库，以及案例教程：

- 板单元的材料重量参数如何计算
- PLAXIS 中结构 - 土相互作用的模拟
- 界面单元的材料属性
- 挡土结构两侧主被动区土压力如何输出
- 锚杆单元及其应用
- 锚杆预应力的施加
- 桩单元与土体的接触关系及承载力定义
- 基坑降水开挖的水力条件
- PLAXIS 渗流分析中结构体的透水性能定义方法
- 渗流分析中定义的水位线与渗流浸润线相同吗

PLAXIS 分步施工中常用结构对象及菜单的介绍

筑信达 孙立超

在 PLAXIS 软件中，提供了丰富的结构单元和菜单，可以在分步施工阶段中模拟不同土工结构物以及不同计算类型和不同计算工况。只有对这些结构单元的定义和菜单有一个清晰的认识，才能不会由于错误使用某些菜单而导致错误的计算结果。本节主要介绍分步施工阶段中常用结构对象的定义和常用菜单的概念。

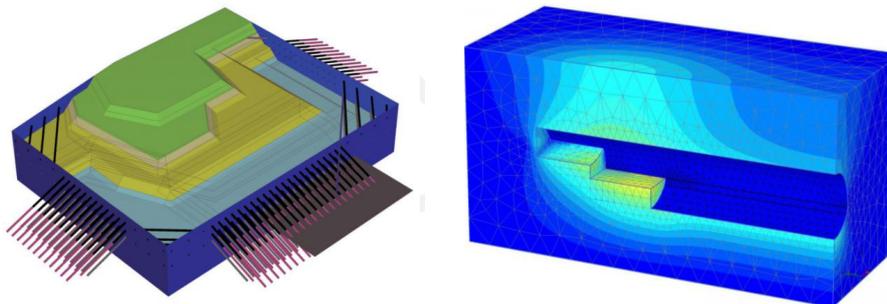


图 1 分步施工

1. 分步施工阶段的理解

数值模拟涉及的因素较多，这些因素有可能导致模拟的近似或者误差。因此要明确这些因素对整个数值模拟的影响。这些因素中几何的简化会对数值模拟结果产生很大的影响，而几何简化中的分步施工阶段模拟能否代表实际工况亦是不容忽视的。

岩土工程经常涉及不同荷载条件（包括地下水条件的改变）下的分步施工阶段。因为大部分临界应力状态、变形或者稳定性有可能出现在中间的分步施工阶段中，因此原则上这些情况都要考虑。但是，一般情况下，由于考虑的分步施工阶段越详细，几何模型越复杂，计算时间成本也越高，因此需要对分步施工阶段进行简化，当然简化必然会导致和实际工程施工阶段产生误差。所以要重视对分步施工阶段的模拟。

2. 分步施工结构对象的定义

在 PLAXIS 软件中，通过对几何对象的激活和冻结来实现分步施工阶段的模拟。对象的激活和冻结有三种常用的工具，即选择对象浏览器、模型浏览器和模型视图中右键下拉菜单。接下来针对典型的对象介绍分步施工中的定义内容和方法。

2.1 土体

当在模型视图中选中要激活或冻结的对象后，在选择对象浏览器中会显示选中对象的属性信息，在每种属性信息前面都会有对应的勾选框。当勾选框选中，代表激活该对象。反之，勾选框未选中，代表该对象为冻结状态，模型计算不会考虑该属性。

当在模型视图中选择土体后（图 2），选择对象浏览器中列出了土体的相关属性信息。土体单元的第一个信息就是材料，在分步施工阶段可以更改已经定义好的材料信息。当模拟基坑加固时，只需要将材料更改为加固体材料属性即可。PLAXIS 2D 软件中还包含是否考虑强度折减选项，程序默认勾选，即认为土体折减。对某些情况下，不考虑浅层滑坡时，可以将浅层土体勾选为不考虑强度折减法，这样有利于节约计算时间，排除我们已经知道不会破坏的土层，或者排除产生不真实浅层破坏机理的土层（图 3）。

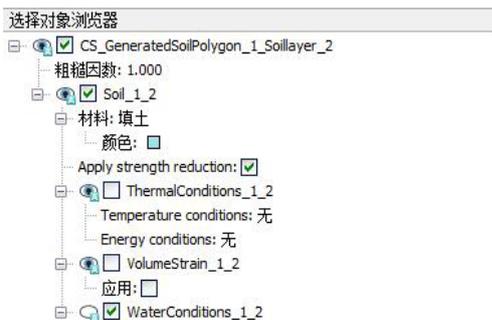


图 2 选择对象浏览器 - 土体激活

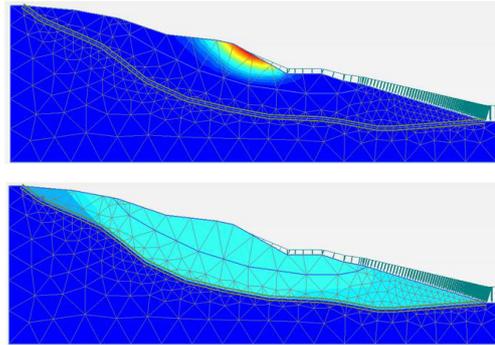


图 3 浅层土体考虑强度折减与否安全性计算滑裂面

当勾选 Soil 前面勾选框时代表冻结土体（图 4），注意此时水力条件前面的勾选框仍然处于选中状态。这意味着当该部分土体处于水位以下时，该部分土体水力条件未改变。以基坑开挖为例，该过程即代表水下开挖。如果想要模拟先降水在开挖即土体处于水位线以上，那么需要勾选水力条件前面的勾选框。

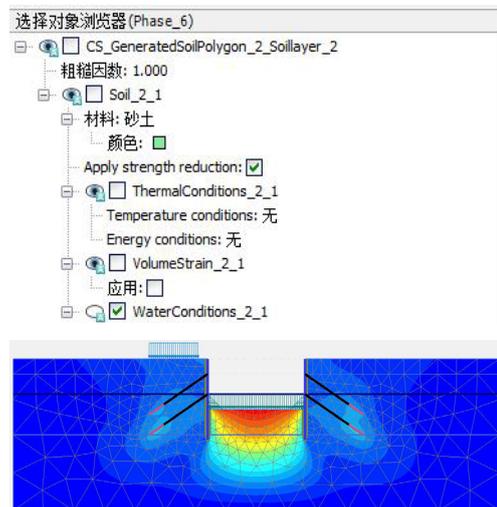


图 4 选择对象浏览器 - 土体冻结

2.2 板单元

当在模型视图中选择板单元后，选择对象浏览器中列出了板单元的相关属性信息（图 5）。和土体类似，也可以选择对板单元是否进行强度折减（锚杆、embeddedpile 等其它结构单元该选项功能一样）。在安全性计算时，如果对结构进行折减，则一定要将结构的材料类型修改为弹塑性，并指定材料的极限强度。

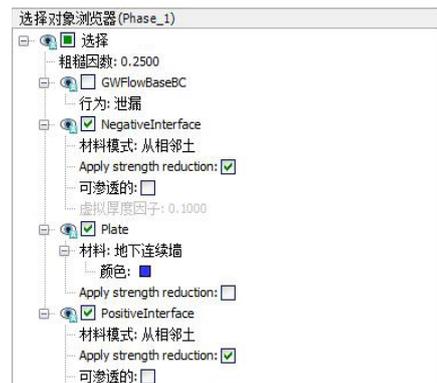


图 5 选择对象浏览器 - 板单元

注意程序默认正负界面单元也同时选中。通过更改界面单元的材料模式，可以为界面单元选择材料。一般情况下，使用从相邻土来模拟。当已知界面单元材料信息后可以单独为界面单元选择材料。通过更改界面单元的可渗透性，可以用来模拟止水作用。程序默认界面为透水的。

2.3 锚杆单元

当在模型视图中选择锚杆单元后，选择对象浏览器中列出锚杆单元的相关属性信息（图6）。需要注意，在结构模式中调整预应力选项不会显示，这是由于预应力不是锚杆本身的固有属性。一般在分步施工阶段才会定义该值。当锚杆选中时，勾选调整预应力将会出现 Fprestress 输入框（图7），可以在此输入单根锚杆预应力的大小。

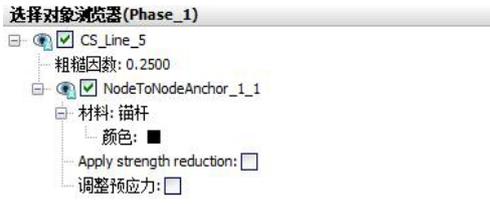


图6 选择对象浏览器 - 未选中调整预应力

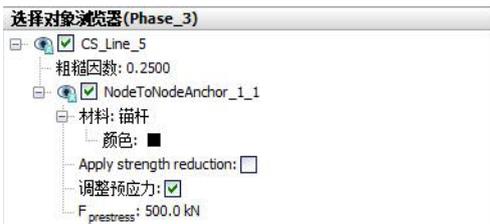


图7 选择对象浏览器 - 选中调整预应力

2.4 荷载

当在模型视图中选择点荷载后，选择对象浏览器中列出点荷载的相关属性信息（图8）。首先荷载分为静力荷载和动力荷载（图8），既可以在结构模式中定义也可以在分步施工阶段定义，并且都可以定义弯矩值。对静荷载部分，可以定义不同方向的荷载分量来创建一个任意方向、大小的静荷载。对动荷载部分，除了定义各个方向的荷载分量之外，还可以定义每个方向的动力乘子，即荷载随时间的变化规律。此时，通过激活与冻结静荷载与动荷载的任意组合，如，同一位置只激活静荷载，同一位置只激活动荷载，或同一位置同时激活静荷载和动荷载。

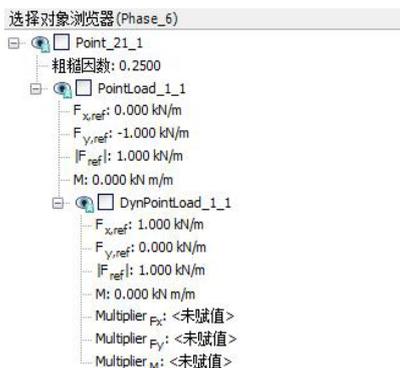


图8 选择对象浏览器 - 点荷载

计算中使用的动荷载由两部分组成，一是动荷载各个方向分量的大小，二是动力乘子的大小，因此， $\text{动力荷载} = \text{荷载输入值} \times \text{动力乘子}$ ，二者必须同时定义才能进行正确的动力计算。在属性库中可以定义不同的动力乘子，如图9所示。



图9 在属性库中定义动力乘子

动力乘子分为位移乘子和荷载乘子，以荷载乘子为例，可以按照乘子的变化规律，采用简谐荷载乘子或列表荷载乘子，荷载乘子的定义窗口见图10。

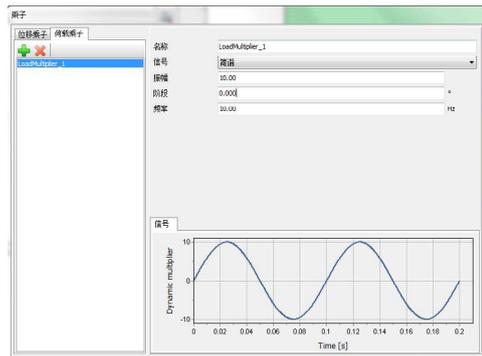


图10 简谐荷载乘子的定义

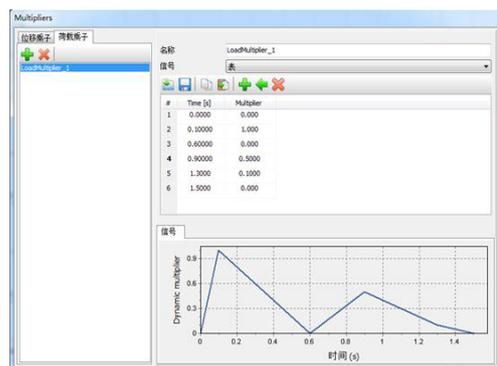


图11 列表荷载乘子的定义

线荷载的分布形式有多种，见图12。比如，当选择分布形式为统一的，那么荷载分布可以定义为图13所示。当选择分布形式为线性的，那么荷载分布可以定义为图14所示。

3D 中的面荷载属性信息和上述点荷载和线荷载类似，可参照上述内容定义。

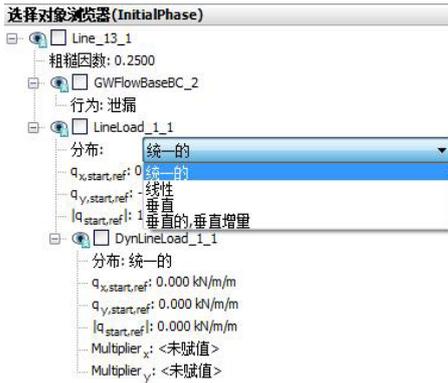


图 12 选择对象浏览器 - 线荷载

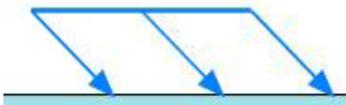


图 13 线荷载 - 统一的

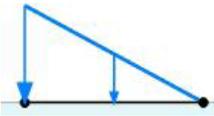


图 14 线荷载 - 线性

3. 常用菜单概念

3.1 改变参考阶段

根据工程分析工况不同，分析类型不同可以在同一个阶段（父阶段）后面添加多个阶段（子阶段）。比如，初始阶段之后，想要分别考虑塑性计算和固结计算不同工况下的安全系数，此时只需要在初始阶段后面定义两个阶段，阶段 1 和阶段 9。然后阶段 1 和阶段 9 分别定义塑性计算和固结计算，并且分别添加安全性计算，如图 15 所示。

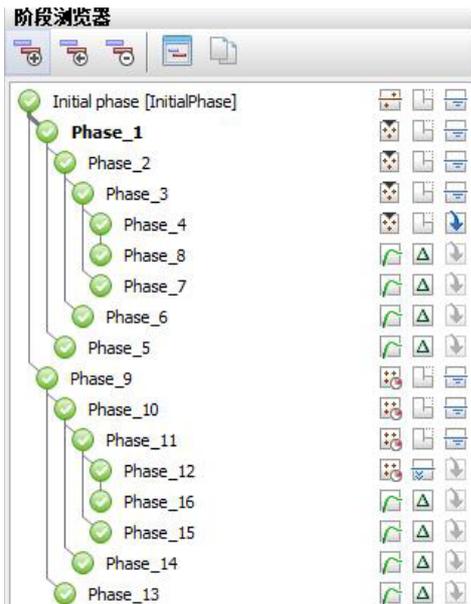


图 15 阶段浏览器 - 不同计算类型

3.2 初始应力计算

岩土工程问题分析当中，在施加工程荷载或分

步施工之前，首先要进行初始地应力的平衡计算，即工程问题开始之前，最初的地层应力分布情况。土层中的初始应力主要与土体的自重和形成历史有关。PLAXIS 中关于初始应力的计算主要有三种方法：K0 过程、重力加载和场应力。

K0 过程

初始应力分布包括竖向（有效）应力和水平（有效）应力，二者之间的关系用 $\sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_{v,0}$ 表示。在程序中正常固结土的 K0 默认值计算方法为 Jaky (1948) 的经验公式 $K_0 = 1 - \sin(\phi')$ 。超固结土的 K0 值用超固结比 OCR 或上覆压力 POP（适用于高级本构模型，不包含 MC 模型）表达土层的应力历史。该方法试用条件，地表水平，土层和潜水位均平行于地表。

重力加载

重力加载就是一种塑性计算，土体自重作为荷载。该方法使用条件，当不考虑构造应力时，当地表、土层和潜水位非水平。

场应力法

场应力法用来考虑构造应力，可以直接输入应力大小和方向，生成均匀应力场（图 16）。注意由于应力是直接指定的，此时地层材料自重要为零。由于边界处的应力场不平衡因此需要将模型边界全部约束。

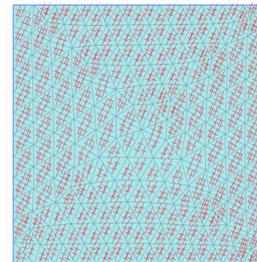


图 16 场应力

3.3 重置位移为零

重置位移为零是指当前计算阶段计算时不考虑上一阶段已经产生的位移。例如，生成初始应力，计算类型为重力加载时，由此产生的位移没有任何物理意义，因此需要选中该选项，将位移重置为零。如果没有选中该选项，则先前计算阶段产生的位移将增加到当前计算阶段。



图 17 重置位移为零选项

3.4 边界条件

程序的默认边界条件设置在模型浏览器 >> 模型

条件中，包含变形边界条件、地下水边界条件和动力边界条件等。

程序默认变形边界条件为顶部自由、底部全部约束以及侧面法向约束，竖向自由。一般情况下都使用默认边界条件。在特殊情况下，也可以根据实际边界条件修改默认边界条件，每个方向有五种选项可以选择，即自由、法向约束、水平向约束、竖向约束和全部约束。

以 2D 地下水流动边界条件为例，程序默认顶部和侧向打开，底部封闭。特别要注意当模型为轴对称时，由于对称性在对称轴的边界上要将侧向边界改成关闭。

当考虑动力作用时，需要定义动力边界条件。以 2D 动力边界条件为例，程序默认 X 轴最小值与 X 轴最大值边界为粘性边界，Y 轴最小值和最大值为无，固定所有节点为无。此时适用于地震波沿 X 方向传播。

3.5 计算状态表示

当计算完成后，在阶段窗口 >> 最近计算的日志信息中会显示计算成功与否的相关信息提示。比如当计算成功后，提示确认。当计算失败时，有可能会提示土体将要倒塌。请核对输出结果 [错误代码: 101] (图 18)，此时要根据错误代码，找到参考手册附录 G (2D) 计算警告和错误代码提示、附录 I (3D)

计算警告和错误代码提示。根据表中给的提示信息进行修改 (图 19)。



图 18 阶段窗口日志信息

Error code	Message	Hint
101	Soil body collapses.	The program has detected soil failure. Please evaluate the calculation results in Output to show why it fails

图 19 错误代码 101 提示

4. 小结

根据日常技术支持工作经验以及参考手册相关章节，主要介绍了分步施工阶段中工况的实现和常用结构单元及菜单的概念。更多相关内容请访问筑信达教学视频和网络课堂，如下：

- [关于初始应力计算](#)
- [对称模型的边界条件](#)
- [土体将要倒塌如何解决?](#)
- [分步施工基本概念](#)

