

地质环境及岩土工程分析软件包 PLAXIS LE 功能介绍

筑信达 郭晓通

PLAXIS LE 是 Bentley 推出的地质环境及岩土工程分析软件包，其前身为加拿大著名的地质环境及岩土工程分析软件包 SoilVision，PLAXIS LE 可应用于涉及边坡稳定性、地下水、固结或这些复杂场景组合的工程项目的分析，LE 的含义是极限平衡(Limit Equilibrium)。PLAXIS LE 包含 5 个主要模块，分别为三维地质建模模块 PLAXIS Designer，边坡模块 Slope Stability，渗流模块 Groundwater，固结模块 Consolidation，动力模块 Dynamic。

1. PLAXIS Designer

Designer 模块是一个非常适合于岩土及工程地质领域的地质三维模型创建程序，可以自动/半自动地创建复杂三维地质模型。相比与传统地矿领域的三维地质建模产品，它在功能性与建模过程上弱化了地层层序、成因类型、特殊地质构造、储层等地学概念，而是偏向于高程数据、水位、钻孔、地层等对象的三维快速建模与可视化，同时可以快速创建坝、路、坑等工程对象。PLAXIS Designer 用户友好度高，即可以创建概念模型用于定性分析及展示，也可以作为数值分析的几何模型前处理工具。

Designer 中拥有多种几何对象类型，包括点、线、曲面、区域、体等，其中曲面对象又包括多边形面 (Polygon)、三角网格面 (mesh)、四边形网格面 (grid) 三种。Designer 中的模型创建主要分为两种。第一种模型创建方式是基于高程数据的，点、线、等对象记录的高程数据可由克里金插值方法生成三维曲面，多个曲面对象和区域对象组合可以生成体 (如图 1 所示)。而点、线、曲面、区域四种对象可以全自动地相互转化。

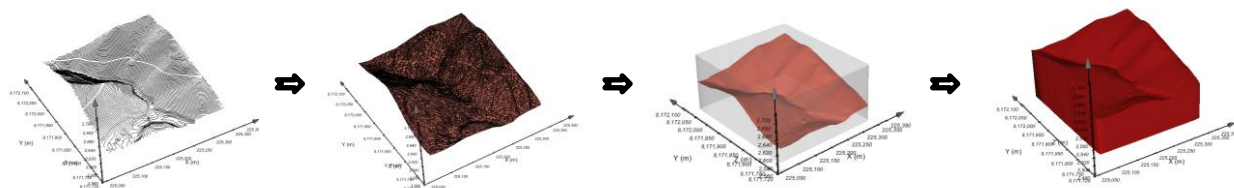


图 1 简单模型的快速创建

另一种模型创建方式是基于钻孔的。用户可以将钻孔及分层记录快速导入 Designer 或直接将 gINT/OpenGround 数据导入 Designer 进行钻孔建模。钻孔转化为地层面、地质体的方式同样是全自动的，程序会自动处理透镜体、尖灭等特殊地层分布特性。此外 Designer 中还提供了格栅功能，格栅即为钻孔剖面，该功能允许用户手动创建剖面并绘制剖面。基于绘制好的剖面用户可以进行地层界面、地质体重生成。

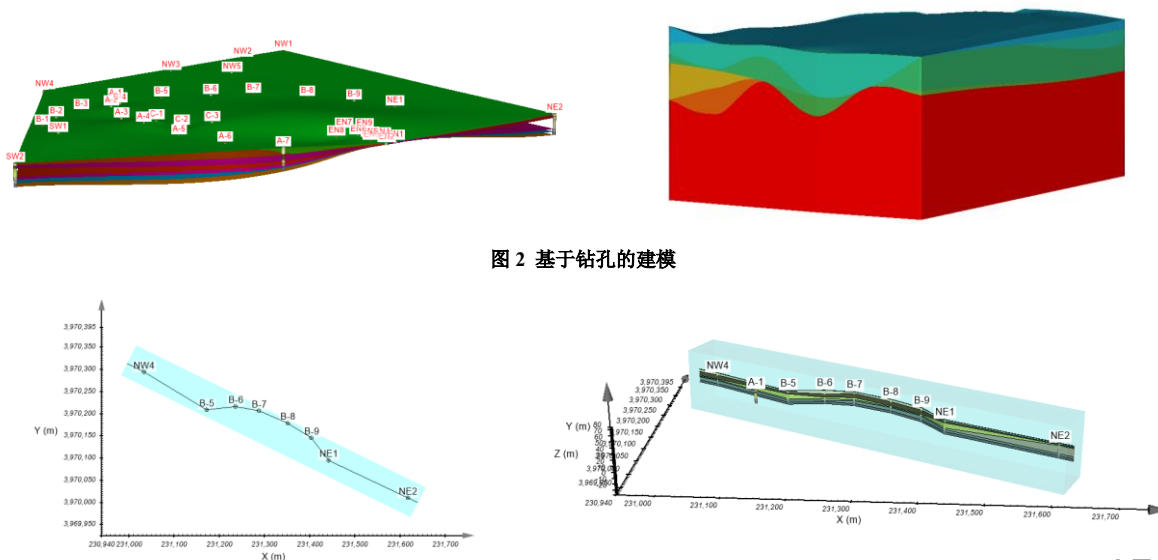


图 2 基于钻孔的建模

图 3 钻孔格栅功能

Designer 拥有十分强大的三维模型贴图功能，用户可以将卫星图片粘贴到地表面上，程序会自动进行曲面与图片的匹配（如图 4）。

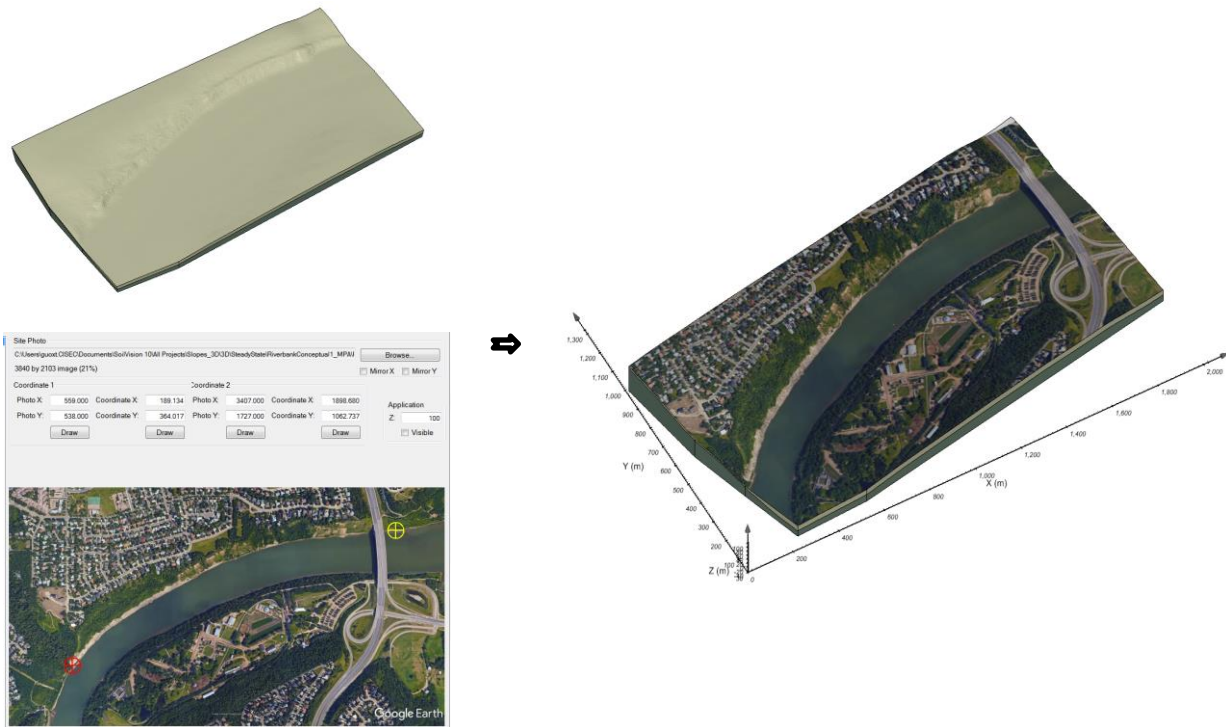


图 4 地表面粘贴卫星图片

此外，Designer 还有如下主要功能：

- (1) 允许用户进行 dxf、3ds、csv、dem、xml、.node 等多种格式的对象导入及 dxf、csv、stl、.obj 等格式的对象导出。
- (2) 允许用户自由绘制点、线、面等几何图形，并在模型上添加各类标注，支持对三维模型进行二维切片。
- (3) 允许用户进行几何图形间的交叉、捕捉、合并等布尔运算，允许用户自由编辑曲面的节点数据。
- (4) 测量模型中各点间距、坡度，计算挖方、填方体积。
- (5) Designer 中的体模型可直接导入 PLAXIS LE 分析模块进行分析计算。

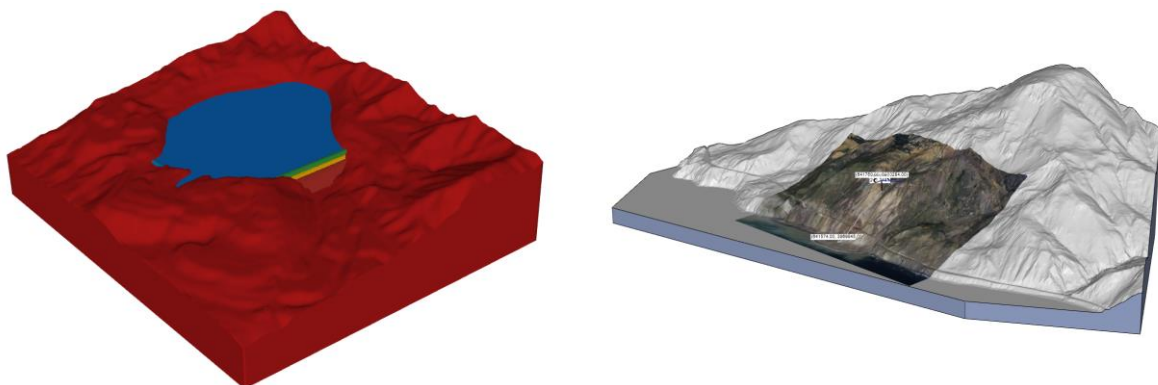


图 5 PLAXIS Designer 创建的典型模型

2. Slope Stability 模块

作为 PLAXIS LE 的核心分析模块，Slope Stability 具有世界先进的边坡极限平衡分析功能。除常规的二维边坡滑移面搜索与极限平衡计算外，Slope Stability 具有三维极限平衡计算、多平面分析、布谷鸟搜索等先进功能特性。

首先，Slope Stability 模块包含了国际常用的 Bishop、Janbu、Ordinary、Spencer、Mogenson-Price、GLE、Sarima 等极限

平衡计算方法及应力相关的 **Kulhawy** 计算方法，并允许用户选择同时使用多种算法进行边坡稳定性计算，方便用户进行不同方法间的结果对比（如图 6）。除常规的二维计算外，该模块把各计算方法扩展到三维，允许用户定义三维的滑移面进行三维极限平衡法的稳定性分析（如图 7）。

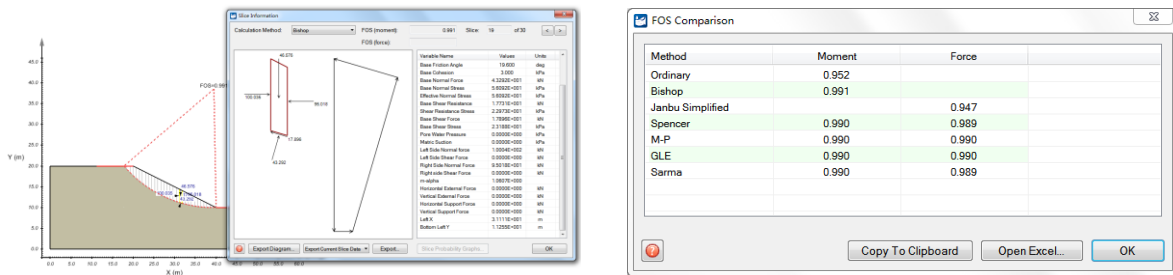


图 6 多种极限平衡计算方法的对比

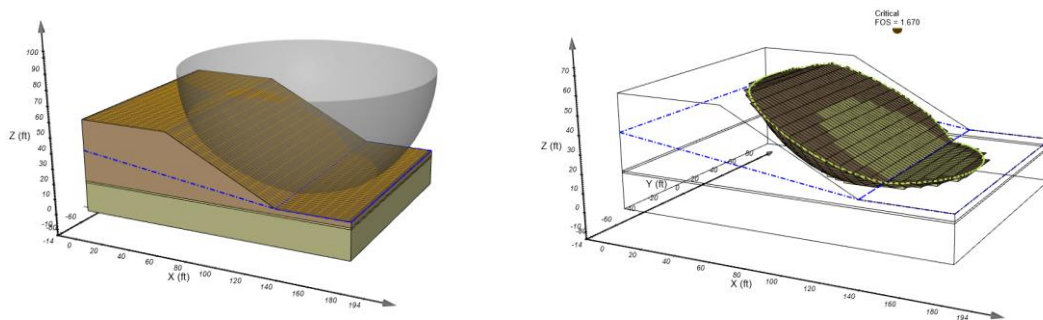


图 7 三维极限平衡分析

Slope Stability 模块具有多平面分析功能，用户可以直接在三维模型上手动/半自动指定需要进行计算的二维剖面，程序会统一计算这些剖面上的安全系数。如图 8 所示，地表面上白色的线即为需要计算的二维剖面，计算后，程序会在三维模型上展示各二维剖面的安全系数计算结果。

多平面分析可以进行三维极限平衡计算。如图 6 所示，程序会基于用户定义的剖面整体范围及各剖面所在位置进行三维滑移面搜索，之后，程序会给出各三维滑块的安全系数及模型范围内的安全系数分布云图。

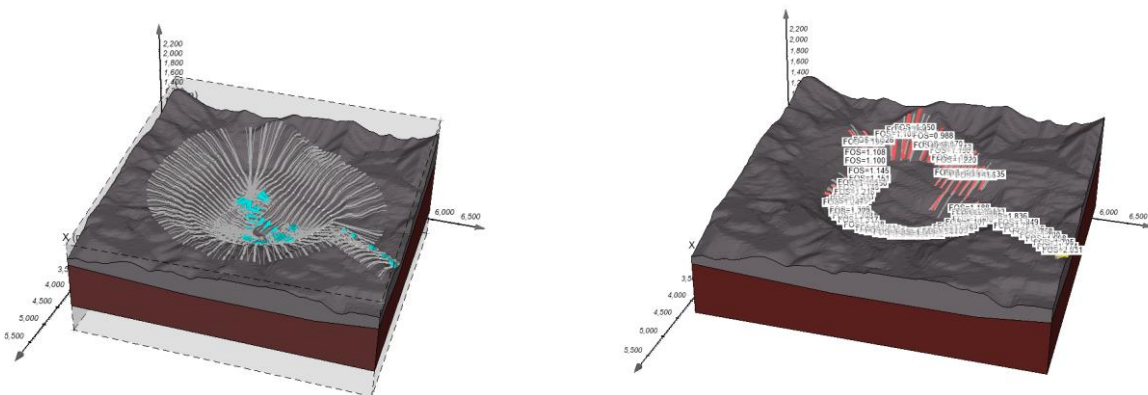


图 8 二维多平面分析

Slope Stability 模块包含了 5 种滑移面搜索方法，除常规的全自动/半自动搜索方法外，程序包含了布谷鸟搜索(Cuckoo Search)功能。布谷鸟搜索^[1]是最新的自然启发式优化算法之一，该算法基于一些杜鹃物种的孵化寄生行为，由剑桥大学的 Xin-She Yang 和 Suash Deb 开发。**Slope Stability** 模块中将布谷鸟搜索法作为滑动面的主要搜索方法之一，可单独使用或结合多平面分析功能在模型中快速搜索二维、三维的潜在滑移面。



图 10 岩质边坡的分析

PLAXIS LE 中保留了 SoilVision 中的非饱和土数据库, 该数据库包含了 6200 多种土-水特征曲线 (SWCC) 数据, 包含 V-G, Fredlund and Xing 在内的 9 种非饱和模型, 用户可以基于土体类型、颗分数据、基本物理力学属性估算土的 SWCC 曲线 (如图 8 所示)。除非饱和特性外, 该数据库也支持用户对土的抗剪强度、渗透系数、导热性能等参数进行估算。

Volume Mass		Vol-Mass State...
	Saturated GWC:	0.2194
	Specific Gravity, Gs:	2.35
	SWCC	
	Fitting Method:	Fredlund and Xing Fit 
	Source Type:	Data 
	Source:	Laboratory data 
	af:	27.7406
	nf:	0.9388
	mf:	0.2921
	hr:	217049.00
	Fit:	☒
	Error:	0.9985
	Residual VWC:	0.0518
	Residual Suction:	513634.02
	AEV:	12272.72
	Saturation Conditions	
	Saturation Suction:	0.1000
	Consolidation	
	Shrinkage volume change:	☐

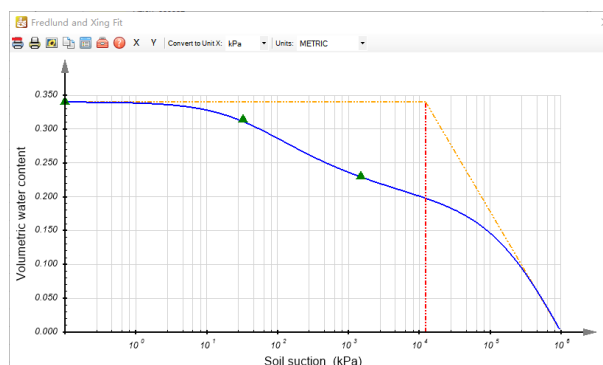


图 8 非饱和土 SWCC 估算

PLAXIS LE 中提供了基于有限元法的一维、二维、三维渗流、固结、动力分析功能。其整体使用逻辑与 PLAXIS 类似,

首先创建几何模型，施加边界条件，然后进行三角形/四面体网格剖分，设置分析阶段进行计算。PLAXIS LE 中不含结构单元，无法进行土-结构相互作用的分析，其功能特性方面偏向于处理大范围、复杂地质结构及边界条件下的岩土体应力场、渗流场、动力场问题。

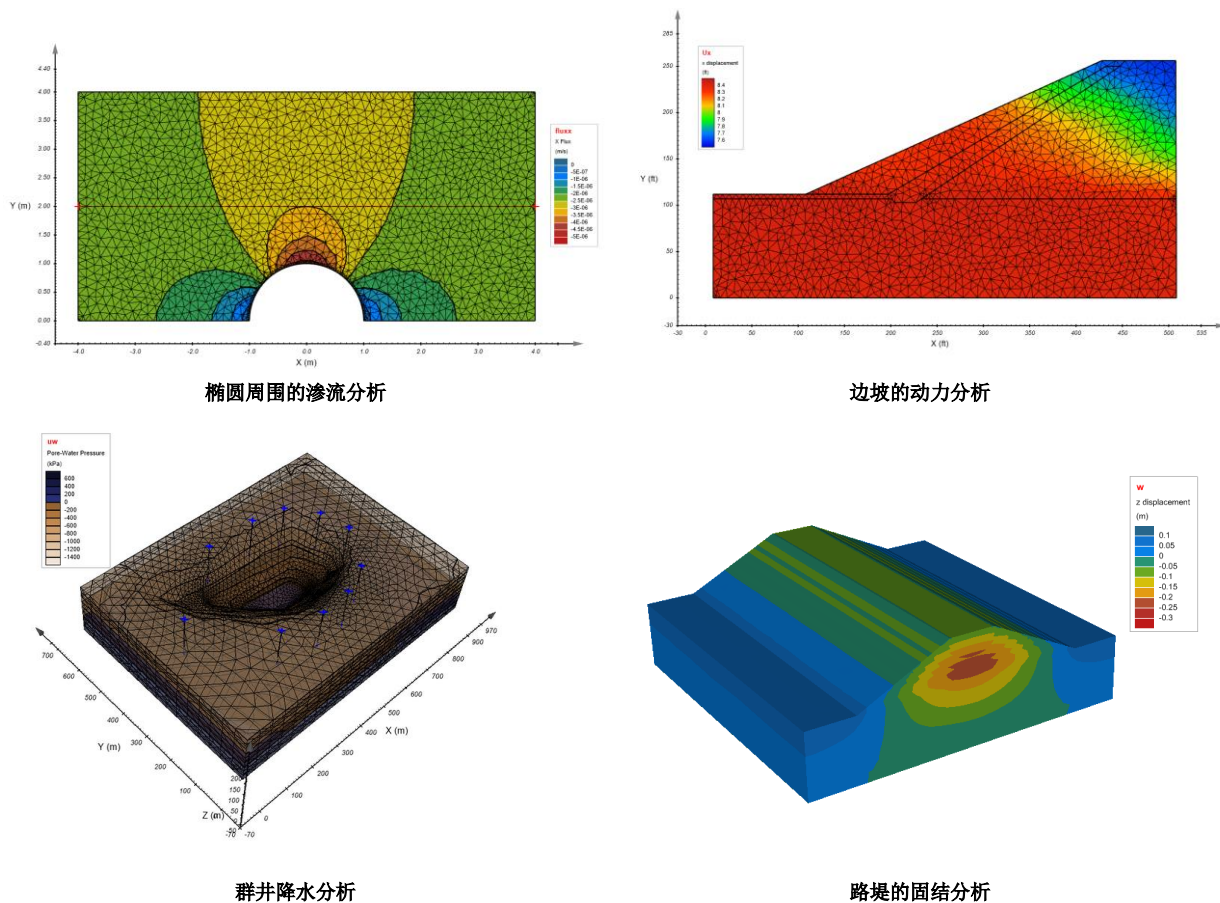


图 9 PLAXIS LE 中的渗流、固结、动力分析模型

4. 小结

PLAXIS Designer 模块具有良好的用户友好度与建模自动化程度，创建的展示模型可协助工程师进行场地三维地表、地层的可视化，直观地了解场地特性，也可应用于各类成果报告中；同时 Designer 创建的三维模型可作为几何模型应用于 PLAXIS LE 的其它模块或导入其它程序进行分析计算。

PLAXIS LE 的 Slope Stability 模块非常适合应用于涉及边坡问题的工程设计与分析中。其强大的多平面分析、三维滑动面搜索、三维极限平衡计算等功能可利用于水利、道路、矿业、地质灾害等多个领域中。一方面，Slope Stability 模块可利用于单一或区域斜坡稳定性的评估，获取坡体安全系数及分布；另一方面，可以在常规的边坡设计计算中使用，并加入到三维边坡设计流程中，相比于传统的二维剖面计算，可显著提高工程师的设计效率。

PLAXIS LE 的非饱和数据库具有强大的 SWCC 估算功能，可协助用户在科研与工程中获取精确的土体非饱和参数。

PLAXIS LE 中的渗流、固结、动力模块可方便工程师处理大范围及复杂地质条件下的岩土体渗流、应力、动力场分布问题。

参考资料

- [1] X.-S. Yang, S. Deb, Cuckoo search via Levy flights, in: Proc. of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), December 2009, India. IEEE Publications, USA, pp. 210-214 (2009).
- [2] PLAXIS LE SlopeStability_Theory_Manual, The Bentley System Teams (2021).