

三维基坑参数化自动建模与动态可视化软件开发研究

泮晓华^{1,2}, 马平³, 王媛媛⁴, 韩超^{1,2}, 李国梁^{1,2}

(1. 中国科学院工程地质力学重点实验室, 北京 100029; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 北京交科公路勘察设计院有限公司, 北京 100088; 4. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100094)

摘要: 为了能够简单、快速、高效、准确、直观地建立基坑三维模型并实现设计成果的三维可视化展示, 研究开发了一套集成化、可独立运行的三维基坑参数化自动建模与动态可视化软件。介绍了软件的整体功能、架构, 开发过程中的技术关键、难点、对策以及开发实现过程。同时, 通过中央电视台(CCTV)新台址基坑工程实例对软件的可行性、实用性进行了验证。结果表明, 本软件的开发研究在基坑工程领域有着重要的理论意义和应用价值。

关键词: 基坑; 参数化建模; 动态可视化; 三维显示

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0225-05

作者简介: 泮晓华(1986-), 男, 浙江台州人, 博士研究生, 主要从事岩土工程方面研究工作。E-mail: panxh616@163.com。

Development of 3D excavation software for parametric modeling and dynamic visualization

PAN Xiao-hua^{1,2}, MA Ping³, WANG Yuan-yuan⁴, HAN Chao^{1,2}, LI Guo-liang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. RIOH Transport Consultants Ltd., Beijing 100088, China; 4. Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to establish excavation 3D model simpler, more quickly, more efficient, more accurately, more directly and to realize 3D displaying of the design results, a 3D excavation software for parametric modeling and dynamic displaying is developed. The functions, architecture, key technology, difficulties, countermeasures and realization process of this software are introduced. Meanwhile, application of the software to the excavation of CCTV verifies the feasibility and practicality. The results show that this study has important theoretical significance and application value.

Key words: excavation; parametric modeling; dynamic visualization; 3D displaying

0 引言

加拿大的 Simon W Houlding 最早于 1993 年提出了地质体三维可视化技术的概念^[1], 基于计算机技术和现代空间信息理论, 将空间信息管理、地质解释、空间分析、地学统计与预测、实体内容分析与三维图像可视化等工具结合起来, 最终形象的模拟、再现三维地质体。该技术克服了日益显现的传统地质信息的模拟与表达主要采用平面图和剖面图的非直观、非形象化弊端, 被广泛应用于石油探测、数学地质、岩土及地理信息系统等相关学科^[2]。

随着现代计算技术的不断发展, 国内外已涌现了许多优秀的三维建模软件^[3-6], 如 CATIA、SolidWorks、UniGraphics、AutoCAD、Pro/Engineer、MDT、Cimatron、Solidedge、I-deas 及一些基于大型商业软件开发的专业性用途软件。

近年来国家开展大规模建筑工程的建设, 行业内竞争不断加大, 岩土工程勘察、设计等单位要想突出自身优势, 提高竞争力, 不仅要有更具性价比的设计方案, 还要能将设计成果通过三维可视化更直观地展示给管理者、决策者及其他相关人员。然而, 目前还没有能够独立运行且简单、快速、高效、准确、直观地建立基坑工程地质体三维模型的软件。现有通用大型三维建模软件或者基于此开发的用于基坑工程的三维建模软件^[7-8]建模过程不仅工作量大、工作效率低, 还要安装相关母软件和要求技术人员较好地掌握该软件复杂的建模方法和繁琐的操作过程。

因此, 三维基坑参数化自动建模与动态可视化软

基金项目: 国家十一科技支撑计划项目(2008BAJ06B-04)

收稿日期: 2012-08-24

件的开发研究有着重要的理论意义和工程应用价值。

1 软件整体架构

本软件包括界面、参数输入、支护结构施工过程数据库、三维动态显示、三维静态显示、坡段剖面图显示、坡段参数显示及文件、结果管理 8 个子模块系统，其整体架构如图 1 所示。

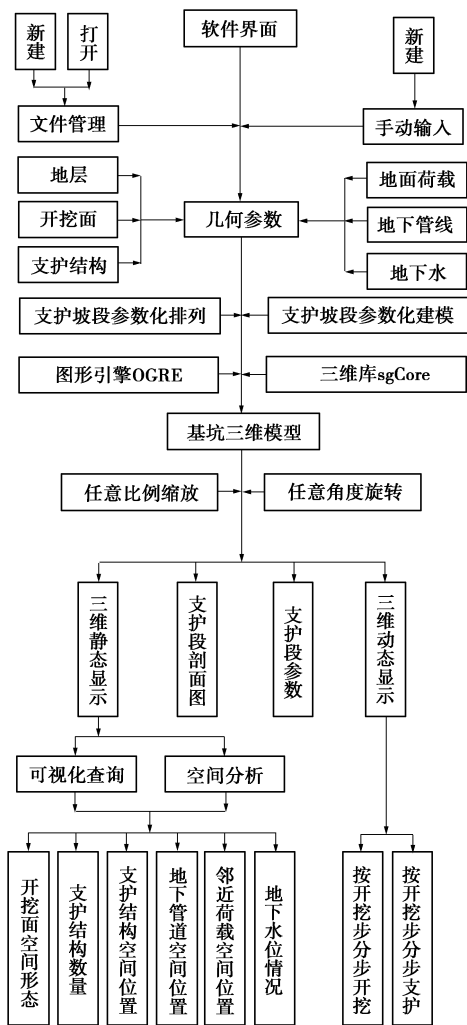


图 1 软件整体架构图

Fig. 1 Diagram of software overall architecture Framework

2 技术关键、难点及对策

2.1 参数化自动建模

基坑三维模型由支护坡段依次排列而成，各支护坡段三维模型主要由地层、开挖面、支护结构、地面荷载、地下管线及地下水等部分组成，不同支护段可以选择不同开挖面形式和支护结构。模型支护结构包括放坡、土钉墙（锚）、水泥土墙、桩（墙）锚（撑）和组合支护等形式。

综上所述，实现参数化自动建模的关键技术首先在于如何将支护坡段参数化排列；其次，根据排列好

的支护坡段和每一坡段确定了的支护结构形式，如何快速、便捷、高效地基于地层、开挖面、支护结构、地面荷载、地下管线及地下水等几何参数实现参数化建模。

（1）支护坡段参数化排列方法

支护坡段参数化排列方法采用相邻支护坡段通过方位角首尾相连法。

支护坡段方位角表示各支护坡段支护边在水平面上的投影与正北方向的顺时针夹角，单位为度。例如在图 2 中，基坑存在 9 个支护坡段，各支护边的方位角如图中所示，其描述遵循顺时针原则，方位角的取值范围 $[0^{\circ}, 360^{\circ}]$ 。然后，任意选择一个端点作为整个基坑支护边的起点（A 点），在方位角方向上的线段长度表示基坑该支护边的长度（AB 段），下一支护边以前一支护边在方位角方向的端点为起点（B 点），以该点为起点在方位角方向上的线段长度表示该支护边的长度（BC 段），其他依此类推。

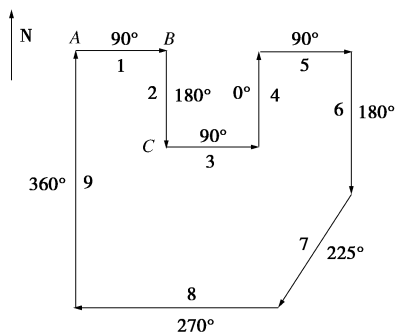


图 2 基坑支护坡段参数化排列方法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of excavation support segment parametric arrangement method

（2）支护坡段参数化自动建模

不同支护坡段可以具有不同开挖面形式、不同支护结构、不同地面荷载、不同地下管线以及不同地下水埋深等情况，但均有一个共同点是它们的空间组合、排列模式是完全一样的。支护结构设置在开挖面上，不同支护形式有其固定的支护结构组合、排列方式，地面荷载位于地面土层上，地下管线、地下水位于地下土层中，唯一的不同就是空间几何位置和数量的区别。因此，可以根据用户输入的相关参数，从而确定固定空间组合、排列模式下不同组成部分的数量和空间位置，达到参数化自动建模的目的。

以下就支护坡段参数化自动建模的技术关键、难点及对策进行分析、阐述，三维空间具体几何参数见图 3。

a) 开挖面几何形态描述及确定方法

支护坡段开挖面的几何形态由线段类型和坡面条

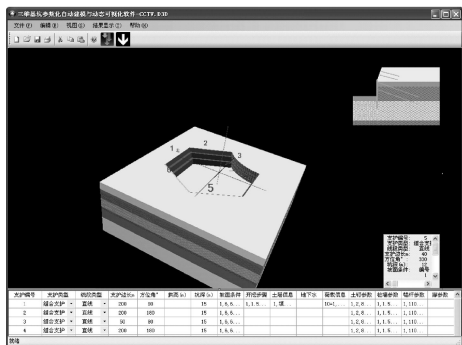


图 4 三维基坑参数化自动建模与可视化软件

Fig. 4 3D excavation software for parametric modeling and dynamic visualization

4 实例应用

4.1 工程概况

中央电视台（CCTV）新台址位于北京市中央商务区核心区域，位处朝阳区东三环以东、光华路以北、朝阳路以南。台址工程建筑用地面积总计 178000 m²，总建筑面积 59.7 万 m²，最高建筑高度 234 m。

地层情况为：①杂土，厚度 3.0 m，②粉土，厚度 7.0 m，③砂土，厚度 10.0 m，④黏性土，厚度 4.0 m，⑤砂土，厚度 12.0 m，⑥黏土，厚度 4.0 m，⑦碎石土，厚度 20.0 m。

承压水地下水埋深 21.5 m。

基坑基槽长约 267 m，宽约 220 m（如图 5）。主体部分由两座塔楼及空中悬臂组成，其中西北侧塔楼基础埋深-27.3 m，东南侧塔楼基础埋深-27.4 m；西侧及南侧群房部分基础埋深-10.6~-13 m；北侧纯地下部分基础埋深-17.3 m，东侧群房部分基础埋深-15.5~-18.7 m；中部群房部分埋深-19.3~-20.2 m。

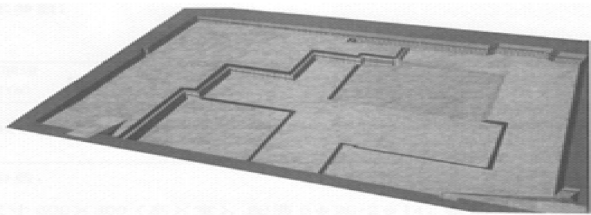


图 5 中央电视台新址基坑工程效果图

Fig. 5 Effect diagram of new CCTV excavation project

根据“中央电视台新台址建设工程（CCTV）主楼土方开挖、降水及护坡工程”设计方案，基坑护坡措施如下：基坑四周为桩锚加土钉墙联合支护工艺（-6 m 以上为土钉墙，以下为桩锚），并为结构施工预留 1 m 宽的肥槽；基坑中部区域存在高差的坡段采取直坡护坡，对于深度在 6 m 以内的采取土钉墙工艺，深度在 6 m 以上的采取护坡桩（或加预应力锚杆）工艺，为结构预留 0.4 m 宽肥槽。总护坡面积约 19000 m²，其中护坡桩护坡面积约 11000 m²，土钉墙护坡面积约 8000 m²。

4.2 三维建模结果

选取北边支护坡段西端点为起点，依次快速输入支护坡段的方位角、支护边长、土层、开挖步信息及每一支护坡段的支护结构、地面荷载、地下管线及地下水等几何信息，便成功生成图 6~8 所示三维模型，分别为不同角度和土层不显示模式下显示效果图。可以通过任意比例缩放查看不同大小下的模型；可以通过任意角度旋转查看不同角度下的模型；可以选择土层、支护结构、荷载、地下管线及地下水等模型组成部分显示或者不显示从而满足用户对不同部位可视化查询的需要，以使用户可以直观地分析支护结构与荷载、地下管线等之间的空间位置关系，实现三维直观展示设计成果合理性的目的；还可以通过鼠标点击相应支护面查看每一支护坡段的剖面图，如图 9 所示。

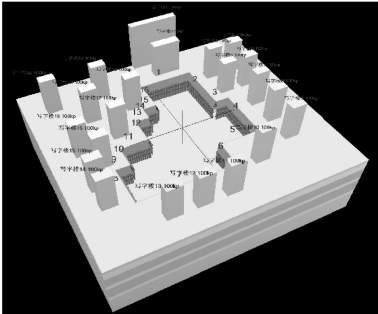


图 6 中央电视台新址基坑工程三维模型

Fig. 6 3D model of new CCTV excavation project

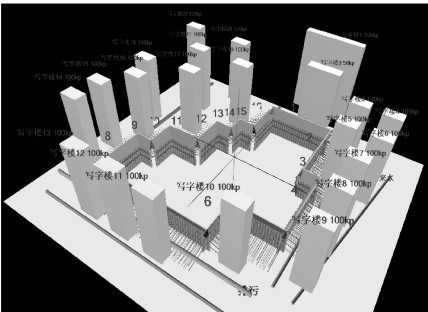


图 7 中央电视台新址基坑工程土层不显示三维模型俯视图

Fig. 7 Top view of new CCTV excavation project without soil layers

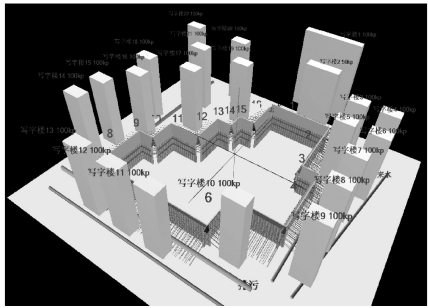


图 8 中央电视台新址基坑工程土层不显示三维模型平视图

Fig. 8 Head up diagram of CCTV excavation project without soil layers

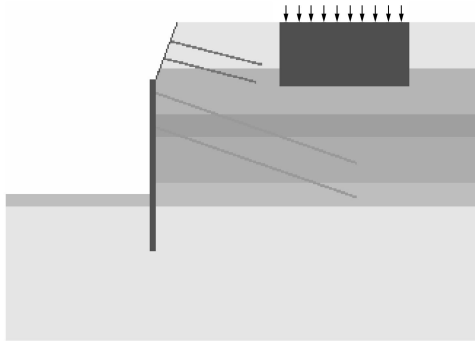


图9 中央电视台新址基坑工程三维模型剖面图

Fig. 9 Profile of CCTV excavation project

5 结 语

本文结合笔者开发实践,介绍了三维基坑参数化自动建模与动态显示软件的整体功能、架构,开发过程中的技术关键、难点、对策以及开发实现过程。同时,通过中央电视台(CCTV)新台址基坑工程的实例应用表明,软件能够基于地层、开挖面、支护结构、地面荷载、地下管线及地下水等几何参数简单、快捷、准确地生成三维模型,且可以任意比例缩放、任意角度旋转进行可视化查询、空间分析和按开挖步动态显示,真正实现了基坑工程简单、快速、高效、准确、直观的三维可视化展示。

参考文献:

- [1] SIMON W. 3D geoscientific modeling computer technique for geological characterization[M]. Springer-Verlag, 1994.
- [2] 王明华, 白云. 三维地质建模研究现状与发展趋势[J]. 土工基础, 2006, 20(4): 68 - 70. (WANG Ming-hua, BAI Yun. The status quo and development tendency of 3D geosciences modeling[J]. Soil Eng and Foundation, 2006, 20(4): 68 - 70. (in Chinese))
- [3] 王秋明, 胡瑞华. 基于 CATIA 的三维地质建模关键技术研究[J]. 人民长江, 2011, 42(22): 76 - 78. WANG Qin-ming, HU Rui-hua. Research on key technology of 3D geological modeling based on CATIA[J]. Yangze River, 2011, 42(22): 76 - 78. (in Chinese))
- [4] ZHANG Hong-yang, LI Tong-chun, LI ZONG-kun. Modeling in Solid Works and analysis of temperature and thermal stress during construction of intake tower[J]. Water Science and Engineering, 2009, 2(1): 95 - 102.
- [5] FENG Sheng-qiang, HU Sheng-sun, SHEN Jun-qi. Kinematic study on motoman hp6 arc welding robot based[J]. Transactions of Tianjin university, 2011, 17(3): 199 - 202.
- [6] 徐文杰, 胡瑞林, 李厚恩, 等. CAD 软件在工程地质三维建模中的应用[J]. 工程地质学报, 2007, 15(2): 279 - 283. (XU Wen-jie, HU Rui-lin, LI Hou-en, et al. Applection of CAD software in 3D modeling of engineering geology[J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(2): 279 - 283. (in Chinese))
- [7] 熊春宝, 马路滨, 房闫林. 基坑变形监测三维可视化模拟系统设计[J]. 低温建筑技术, 2010(10): 65 - 67. (XIONG Chun-bao, MA Lu-bin, FANG Yan-lin. Design of 3D visual simulation system for foundation pit deformation monitoring[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2010(10): 65 - 67. (in Chinese))
- [8] 董文澎, 朱合华, 李晓军, 等. 大型基坑工程数字化施工仿真方法研究与应用[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(4): 776 - 781. (DONG Wen-peng, ZHU He-hua, LI Xiao-jun, et al. Research on digital construction simulation in large foundation pit engineering[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(4): 776 - 781. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)