

基于建筑信息模型的地铁车站深基坑工程孪生仿真云平台的研发与应用^{*}

姚湘静

(上海申通地铁建设集团有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

摘 要 目的:针对地铁车站深基坑工程施工过程的监测问题与难点,研究基于 BIM (建筑信息模型) 技术的深基坑工程孪生仿真云平台。方法:介绍了深基坑孪生仿真云平台系统的架构及主要功能,研究了平台系统与数值计算软件的接口。以上海某深基坑工程为例,阐述了该项目基于深基坑工程孪生仿真云平台的核心内容(深基坑孪生轻量化模型的建立、监测点模型族库的建立、监测预警方案等),并以地下连续墙结构为例,对孪生模型与数值模型的转化、算例应用进行了说明。结果及结论:该平台系统能形象、直观地自动生成多种类型的数据报表和分析曲线,能较好地满足深基坑监测数据快速处理及信息反馈的需要。该平台可实现基坑模型与监测点数字孪生、测点信息实时输入、存储、处理及预警管控、数字孪生模型与数值分析模型转化分析等功能,提出合理的施工方案,提高施工效率。

关键词 地铁车站; 深基坑; 仿真云平台; 数字孪生; 数值仿真; 建筑信息模型

中图分类号 TP274:TU94

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.11.033

Research and Application of Twin Simulation for Deep Foundation Pit Engineering of Subway Station Based on BIM Technology

YAO Xiangjing

Abstract Objective: Aiming at the monitoring problems and difficulties in the construction process of deep foundation pit works for subway station, the twin simulation cloud platform for deep foundation pit works based on BIM (building information modeling) technology is studied. Method: The architecture and main functions of the twin simulation cloud platform system for deep foundation pit are introduced, and the interface between the platform system and numerical calculation software is studied. Taking a deep foundation pit project in Shanghai as an example, the core content of the project based on the twin simulation cloud platform for deep foundation pit

engineering is elaborated (including the establishment of a twin lightweight model for deep foundation pit, the establishment of a monitoring point model family library, and monitoring and warning schemes). Taking the underground continuous wall structure as an example, the transformation of the twin model and numerical model, as well as the application of examples are explained. Result & Conclusion: The platform system can visually and intuitively generate various types of data reports and analysis curves, which can better meet the needs of rapid processing and information feedback of deep foundation pit monitoring data. This platform can achieve functions such as digital twinning of deep foundation pit models and monitoring points, real-time input, storage, processing, and warning control of measurement point information, transformation and analysis of digital twinning models and numerical analysis models, and propose reasonable construction plans to improve construction efficiency.

Key words subway station; deep foundation pit; simulation cloud platform; digital twin; numerical simulation; BIM

Author's address Shanghai Shentong Metro Construction Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

在大型商业广场与既有城市轨道交通车站的接驳项目中,深基坑施工的风险很大。为保证施工过程中支护结构及周边建(构)筑物的安全,深基坑开挖与支护的实时监测、分析及信息反馈尤为重要。

文献[1]将 BIM (建筑信息模型) 技术与 GIS (地理信息系统) 技术相集成,研发了深基坑监测信息共享系统;文献[2]应用 BIM 技术对超大型复杂基坑工程进行了施工过程的全程模拟与分析;文献[3]引入四维、五维的可视化方法,通过数字化 BIM 模型与监测数据的交互,实现了施工过程的精细化

^{*}上海市 2021 年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目(21DZ1203500)

管理;文献[4]以某深基坑为例,介绍了深基坑三维模型的建立、基坑检测数据实时查看、复杂节点配筋及施工进度模拟等内容;文献[5]将基坑监测数据与 BIM 技术相结合,详细介绍了依托云平台进行施工监测的整体解决方案;文献[6]通过创建基坑工程 BIM 模型,实现了 BIM 技术在支护结构设计、土方开挖及基坑监测等方面的深度应用;文献[7]基于 Revit 软件平台,对复杂基坑开挖中的地形、地坪、承台及基础梁等进行了二次开发,并提供了开发计算的开源模块。

综上,BIM 技术在深基坑施工模拟、动态管控及监测预警等方面发挥越来越重要的作用,但上述研究大多仅聚焦了基坑工程的部分功能。本文将 BIM 三维模型信息、基坑施工信息及基坑变形监测信息等信息,同预报预警机制、孪生模型与数值仿真分析模型转化等模型进行有机融合,进而构建基于 BIM 技术的深基坑工程数字孪生-数值仿真 Web (万维网)协同云平台(以下简称“深基坑孪生仿真云平台”)。

1 深基坑孪生仿真云平台系统的研发

1.1 系统的架构

深基坑孪生仿真云平台的系统架构由数据层、服务层、业务层及应用层 4 层架构组成。其中:数据层由中心数据库组成,用于存储采集得到的用户数据、BIM 模型数据及监测数据,并将服务和应用层分析产生的数据进行固化;服务层基于云端服务器搭建,通过 Web 服务的形式,实现数据和模型的接入、分析及预警服务,该层是深基坑孪生仿真云平台系统的核心功能层;业务层将数据层的操作进行组合,以实现视图控制与预警消息分发;应用层提供基于 B/S(浏览器/服务器)架构的 Web 应用,用于对数据层信息进行处理,对测点数据进行分析汇总,以实现深基坑的预警计算与监测报警,为用户作出合理、精准的决策意见。

1.2 系统的主要功能

深基坑孪生仿真云平台系统的主要功能包括信息收集、统计管理、基坑建模、数据处理、报警管控等,如图 1 所示。

1.3 系统与数值计算软件的接口

仿真生成深基坑孪生轻量化模型,并将模型转化为 ANSYS 数值计算软件可运行的结构分析模型,其模型数据转换流程如图 2 所示。首先在平台



图 1 深基坑孪生仿真云平台系统的主要功能

Fig. 1 Main functions of the twin simulation cloud platform system for deep foundation pit

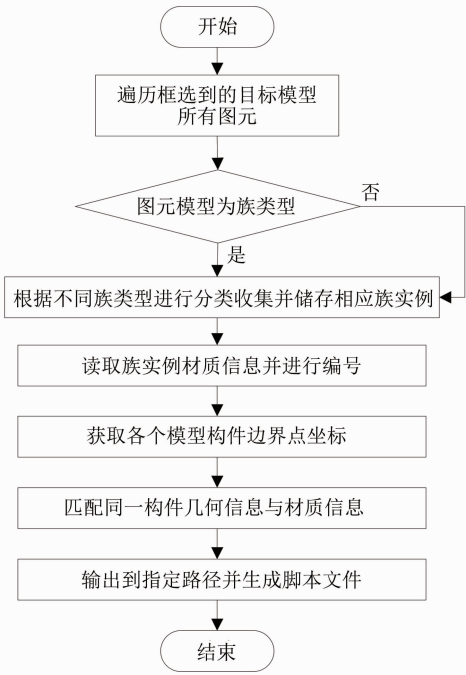


图 2 深基坑模型与 ANSYS 软件结构分析模型间数据转换流程图

Fig. 2 Flow chart of data conversion between deep foundation pit model and ANSYS software structural analysis model

模型项目中遍历框选到的目标模型图元,判断图元类型是否为实体族类型,并过滤掉点、线、面等不需要转换的类型;然后对采集到的族类型模型进行分类,并读取每个族实例的几何信息、材质信息并进行编号;最后将整合数据转换为数值分析软件可读取的脚本文件。

2 深基坑孪生仿真云平台的应用

2.1 案例工程背景

上海某发展项目地块东西跨度约为 225 m,南

北跨度约为 170 m,总建筑面积约为 43 万 m²。该项目由 I 区两栋办公塔楼(T1 和 T2)及 II 区商业裙房两个部分构成,其中:塔楼为 33 层,高度约 170 m,底板底面埋深约 20.0 m;裙房为地上 7 层的商业楼,高度为 55.0 m,底板底面埋深约为 18.5 m。

该项目的地下空间与城市轨道交通车站接轨,其基坑开挖深度为 19.20~20.85 m,施工风险等级高。根据 DG/TJ 08-61—2018《基坑工程技术标准》,确定该基坑安全等级为一级。

2.2 深基坑孪生轻量化模型的建立

根据设计单位提供的施工图纸,利用 Revit 软件建立基坑的 BIM 模型,并采用 C#语言构建基于 Revit API(应用程序接口)的二次开发环境^[8],将 .rvt 模型文件转为 .json 格式并导入深基坑孪生仿真云平台中,生成的深基坑孪生轻量化模型如图 3 所示。

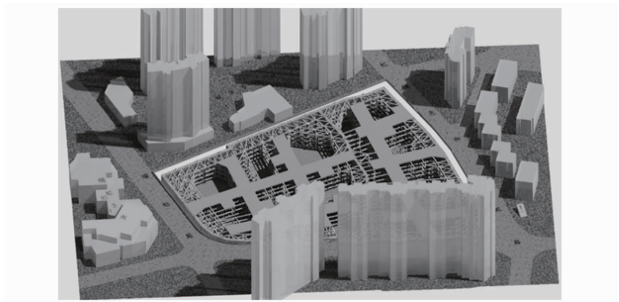


图 3 深基坑孪生轻量化模型截图

Fig. 3 Digital twin lightweight model of deep foundation pit

基于图 3 的轻量化模型,利用 BIM 技术信息关联性、可视化及可协调性等优势,根据工程监测需求在深基坑轻量化模型上创建监测点专用族库。再根据不同监测类型,在模型中布设变形监测点三维构件,在监测点添加相应参数,以满足监测数据与模型的关联需求。采用四维技术(即在三维模型中添加时间轴),以实现 BIM 模型的日常监测与管控。

2.3 监测点模型族库的建立

基于该工程拆分出监测点的模型族库,根据监测方案与测点布置图,通过参数化设计添加各模型测点的编码属性,并在模型中快速定位和布设变形监测点三维构件,从而为后续在深基坑孪生仿真云平台系统中监测点模型的布置与数据的关联提供实现途径。本工程的孪生监测点模型族库界面如图 4 所示,主要包括基坑外地下潜水水位监测孔模型、围护墙体测斜监测孔模型、地面沉降监测点模型、围护墙顶变形监测点模型、支撑轴力监测点模型、支撑立柱隆沉监

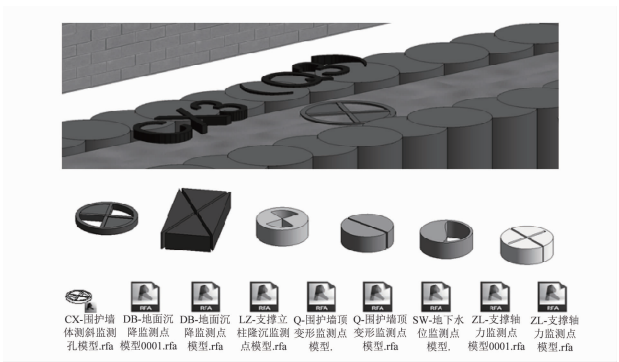


图 4 孪生监测点模型族库界面截图

Fig. 4 Interface screenshot of twin monitoring point model family library

测点模型及围护地墙内力监测点模型等。

模型测点编辑界面通过 Web 端深基坑轻量化模型与后台采集到的测点数据进行交互,对数据变化速率、累计量及预报警事件等内容进行可视化反馈。图 5 为深基坑孪生仿真云平台数据监测模块模型测点编辑的界面截图。如图 5 所示,通过鼠标左键单击事件,点击“添加预警测点标签”即可关联轻量化模型中的测点族,此时可选取相应类型数据测点,将数据结合至预警测点标签中。双击鼠标左键事件即可实现测点标签的删除。

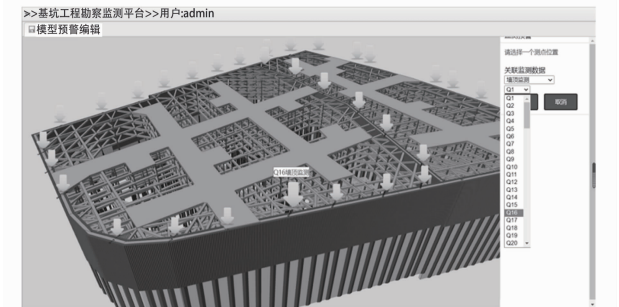


图 5 数据监测模块模型测点编辑界面截图

Fig. 5 Screenshot of the measurement dots editing interface for data monitor module model

2.4 监测预警方案

深基坑孪生仿真云平台可三维展示整个基坑、周边环境、场地布置及测点的信息。报警点使用颜色测点模型进行定位和级别划分,当监测到超出预警值时,该平台系统可用不同的警示声音来达到预警的目的:①监测值达到允许限值的 60%时,用时长 3 s 的“嗡”提示音警示;②监测值达到允许限值的 80%时,用时长 5 s 的“滴”提示音警示;③监测值达到允许限值的 100%时,用时长 1 s 的连续“滴”提示音警示。

根据 GB 50497—2019《建筑基坑工程监测技术标准》的规定,若支护结构监测项目的变化速率连续 3 d 超过该点位规定限值的 70%,触发预警。图 6 为深基坑孪生仿真云平台中深层墙体测斜监测预警界面。单击测点模型,模型视角会自动拉近到预警点位置,同时右侧会弹出显示该报警点的当日监测数据及累计监测数据的图表信息。

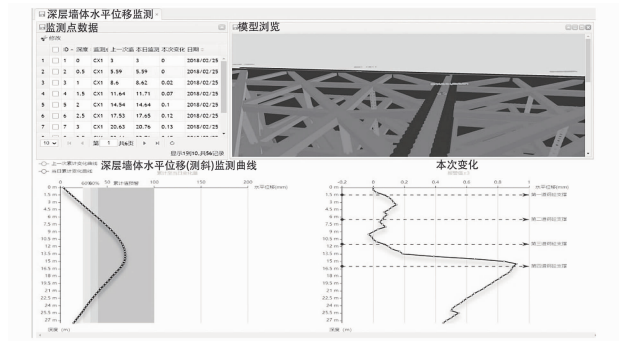


图 6 深层墙体测斜监测预警界面截图

Fig. 6 Interface screenshot of deep wall inclination monitor and warning

2.5 孪生模型与数值模型的转化

由于基坑模型体量较大,本文现仅以地下连续墙结构为例对孪生模型与数值模型的转化进行说明。图 7 是该工程地下连续墙部分构件孪生模型与数值模型的转化界面。

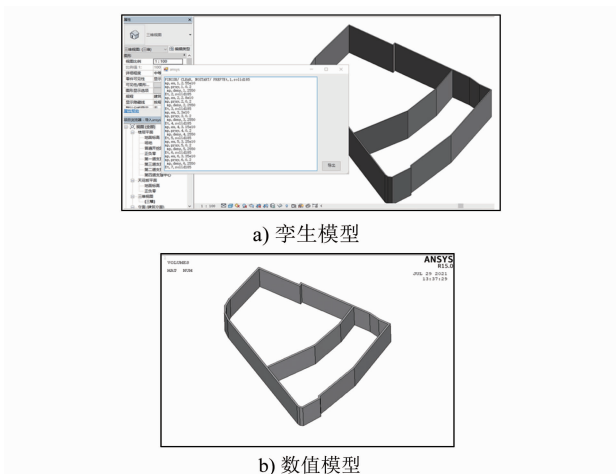


图 7 地下连续墙部分构件孪生模型与数值模型转化界面截图

Fig. 7 Interface screenshot of the transformation between twin model and numerical model of underground continuous wall components

2.6 算例应用

仍以地下连续墙为例说明基于深基坑孪生仿真云平台的算例应用。计算各地下围护结构主体采用弹性本构模型,地基各层岩土体采用弹塑性本构模型进行计算。基坑开挖深度按 20 m 计算,基坑围护结构地下连续墙深度按 40 m 计算,厚度为 1.0 m。设开挖深度为 h ,图 8 为该项目在不同开挖深度下的地下连续墙水平位移等值云图。

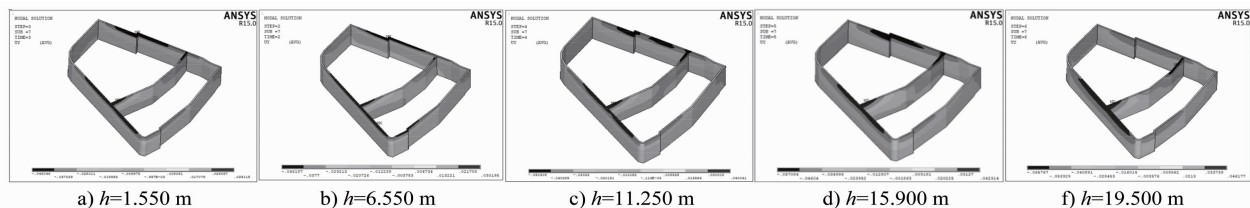


图 8 不同开挖深度下的地下连续墙水平位移等值云图

Fig. 8 Horizontal displacement contour map of underground continuous wall under different excavation depths

由图 8 可知:基坑开挖过程中,围护结构水平横向与纵向两个方向的变形均是一个不断增加的过程;不架设支撑体系时,地下连续墙的墙体向基坑内侧产生变形;地下连续墙顶部的位移最大,随着深度增加逐渐变小,且沿深度方向呈悬臂式分布;在考虑支撑体系的情况下,地下连续墙墙体发生最大水平位移的位置逐渐下移,均出现在各开挖工况前一个开挖面的附近。

3 结语

本文依托实际项目研发了基于 BIM 技术的深

基坑孪生仿真云平台。该平台系统在深基坑信息管理、监测管控等方面均取得了良好的收效,构建了基于实际工程的数字孪生模型及各类孪生监测点。随着数据的更新与累积,该平台系统能形象、直观地自动生成多种类型的数据报表和分析曲线,能较好地满足了深基坑监测数据快速处理及信息反馈的需要。

此外,本文研发了孪生平台与 ANSYS 有限元软件之间的数据交互端口,提出了数字孪生模型与数值模型数据交互的方法,这为深基坑有限元模型的实时分析提供了实现途径。基于该平台,可得到

基坑开挖过程中围护结构的变形规律,进而为工程施工选择合理的支护方案提供依据。

参考文献

- [1] 汪丽, 张军平. 基于 BIM 的深基坑安全监测信息系统设计与实现研究[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(12): 91.
WANG Li, ZHANG Junping. Design and implementation of deep foundation pit safety monitoring information system based on BIM[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2018, 47(12): 91.
- [2] 吴清平, 时伟, 戚铎钟, 等. 超大深基坑 BIM 施工全过程模拟与分析研究[J]. 工程建设, 2013, 45(5): 20.
WU Qingping, SHI Wei, QI Huazhong, et al. The whole process BIM simulation and analysis research of extra large deep foundation pit construction [J]. Engineering Construction, 2013, 45(5): 20.
- [3] 石云轩. 基于 BIM 的基坑多维可视化监测方法探索与实践[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(2): 55.
SHI Yunxuan. Research and practice of multi-dimensional visualization monitoring technology of foundation pit based on BIM [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2017, 9(2): 55.
- [4] 段龙飞. 多层内支撑深基坑施工 BIM 技术应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.

DUAN Longfei. Study on the BIM technology applied to the construction process of deep foundation pit with multi-layered inner supports[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2015.

- [5] 刘素军, 李强, 杨猛, 等. BIM 技术在深基坑监测数据处理中的应用[J]. 建筑技术, 2018, 49(10): 1049.
LIU Sujun, LI Qiang, YANG Meng, et al. Application of BIM technology in data processing of deep foundation pit monitoring [J]. Architecture Technology, 2018, 49(10): 1049.
- [6] 谭佩, 陈立朝, 周龙翔. BIM 技术在深基坑施工中的应用[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2016, 15(1): 64.
TAN Pei, CHEN Lichao, ZHOU Longxiang. Application of BIM in deep foundation pit construction[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2016, 15(1): 64.
- [7] 何建军, 王硕, 姚守俨. 基坑工程 BIM 应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(6): 55.
HE Jianjun, WANG Shuo, YAO Shouyan. BIM application in the foundation pit engineering[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2016, 8(6): 55.
- [8] 肖贝. Revit 二次开发在基坑土方工程中的应用研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
XIAO Bei. Application reaserch of autodesk Revit redevelopment in earthwork calculation of excavation engineering [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016.

(收稿日期:2023-04-23)

(上接第 175 页)

- LUO Zhixiang, ZHANG Minchao, ZHONG Zuliang. Study on the influence of blasting construction of space cross tunnel on adjacent tunnel[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2018, 14(S1): 205.
- [4] 樵平, 张维明, 卜俊锐, 等. 复杂地质条件下高边坡爆破控制技术[J]. 爆破, 2017, 34(3): 74.
QIAO Ping, ZHANG Weiming, BU Junrui, et al. Control blasting technique of high slope in complex geological conditions [J]. Blasting, 2017, 34(3): 74.
- [5] 于丽, 路明, 王明年, 等. 基于改进灰色关联度法对超小净距交叉隧道爆破施工研究[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(增

刊 1): 336.

- YU Li, LU Ming, WANG Mingnian, et al. Study on blasting construction of super-closely-spaced cross tunnel based on improved grey relational analysis[J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(S1): 336.
- [6] 王崑, 白琦瑞. 卡洛特水电站溢洪道梯段爆破控制设计[J]. 人民长江, 2018, 49(增刊 2): 142.
WANG Wei, BAI Qirui. Control design of bench blasting of Karot Hydropower Station spillway[J]. Yangtze River, 2018, 49(S2): 142.

(收稿日期:2022-11-29)

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题, 以及新技术、新成果, 邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述, 是您及时获知行业资讯深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

