

基于地铁工程岩土工程勘察的城市级三维地质大数据平台技术开发和应用

陈大州, 诸子安, 宋博文

(浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司)

【摘要】文章围绕基于地铁工程岩土工程勘察的城市级三维地质大数据平台展开研究。随着国家对信息化建设的高度重视及行业发展需求,传统岩土勘察手段局限性凸显,大数据平台建设成为必然。研究旨在构建杭州市地铁项目地质三维模型及区域工程地质大数据平台,实现多参数查询统计功能。通过攻克数据多元融合、复杂地质体建模、BIM与GIS融合等关键技术,整合多源数据,开发系列功能模块并应用。目前该平台已基本解决数据及建模难题,提升勘察、生产管理效率,在勘察全过程发挥重要作用。未来需在平台接口、应用标准、模型协调、数据轻量化与智能分析等方面持续改进,以拓展应用范围、提升性能,更好地服务于地质勘察及工程建设领域,推动行业数字化变革与可持续发展。

【关键词】岩土工程勘察;三维地质大数据平台;勘察全过程数字化管理

中图分类号:U231.1

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.169

Development and Application of Urban-Level 3D Geological Big Data Platform Technology Based on Geotechnical Engineering Investigation for Subway Engineering

CHEN Da-zhou, ZHU Zi-an, SONG Bo-wen

(Zhejiang Huadong Geotechnical Investigation & Design Institute Co., Ltd.)

【Abstract】This paper focuses on the research of a urban-level 3D geological big data platform based on geotechnical engineering investigations for subway engineering. With the national emphasis on informatization construction and the development demands of industry, the limitations of traditional geotechnical investigation methods have become apparent, making the construction of a big data platform inevitable. The study aims to develop a 3D geological model for Hangzhou's subway projects and a regional engineering geological big data platform, enabling multi-parameter query and statistical functions. By overcoming key technologies such as multi-source data fusion, complex geological modeling, and the integration of BIM and GIS, multi-source data are integrated, and a series of functional modules are developed and applied. Currently, the platform has largely resolved data and modeling challenges, improving the efficiency of investigation and production management, and playing a significant role throughout the entire investigation process. In the future, continuous improvements efforts should focus on platform interfaces, application standards, model coordination, data lightweighting, and intelligent analysis to expand its application scope, enhance performance, and better serve the fields of geological investigations and engineering construction, thereby promoting digital transformation and sustainable development in the industry.

【Keywords】geotechnical engineering investigation; 3D geological big data platform; digital management of the entire investigation process

1 引言

《“十四五”国家信息规划》^[1]为行业发展指明方向,提出了发展目标。目前信息化在经济社会各领域的引领作用愈发凸显,数字中国建设全力推进,数字基础设施持续夯实,技术创新能力不断增强,数据要素价值充分挖掘,数字经济迈向高质量发展,数字治理效能显著提升,不断推动产业数字化转型与社会治理现代化,为岩土工程等行业的大数据建设营

造有利政策环境与技术支撑体系,促使行业积极顺应数字化变革潮流。

在此背景下,构建集成化、标准化、智能化的三维地质大数据平台已成为行业发展的必然趋势。此类平台不仅能整合多源历史与实时数据,统一数据标准,更能通过三维可视化、BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)融合等技术,深刻揭示地下空间结构,为工程规划、设计、施工和运维全生命周期提供科学依据^[2]。本研究旨在系统阐述以杭州地铁勘

察项目为实践基础的城市级三维地质大数据平台的开发总体架构、关键技术、应用成效,并探讨其未来发展方向。

2 平台总体架构及关键技术

平台采用分层设计理念,构建了从数据采集、管理、处理到应用的全过程技术体系,其核心在于解决数据从“采”到“用”过程中的一系列关键技术难题。

2.1 多源数据采集和标准化管理

数据是平台的基石,岩土工程勘察的数据可分为钻孔地理信息数据、钻孔地层数据、水文地质数据、地层物理力学数据、土工试验成果数据等,数据种类繁多,数据量大,不同数据结构、逻辑均不相同^[2],且存在历史纸质档案、电子档案和在建工程等多种数据来源,为实现数据的快速采集汇聚和管理,开发了以下关键技术模块。

2.1.1 岩途外业采集系统

该系统基于移动终端开发(手机、微信),集项目管理、数据采集、数据管理、送样管理、巡检误工、流程管理、人员管理等功能于一体,实现外业高效采集,同时外业数据与网页端实时在线同步,支持多人协同,且所有数据可定位、溯源,实现有效监管和高质量高效率的勘察全过程管理(见图1)。

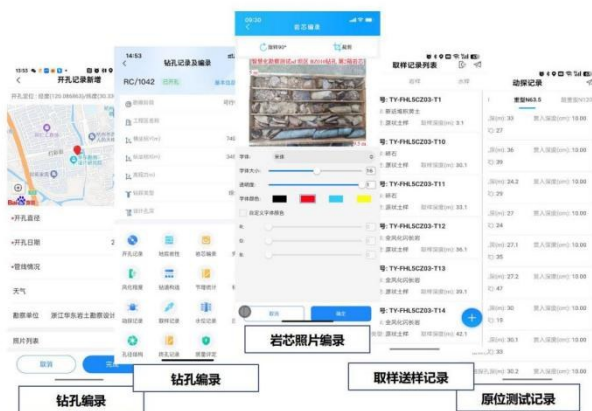


图1 岩途外业采集系统界面

该系统可实时进行项目进度展示、实时工作量统计、钻孔柱状图对比等功能,为项目的进度管理和技术管理决策提供数据支撑,还针对安全管理开发了巡检记录模块,在线记录各种安全相关问题的检查过程和整改闭环环节,全方位提高了项目管理的时效性、条理性、科学性。

2.1.2 历史数据提取和录入

1) 纸质数据提取

针对海量的纸质地质档案,可利用高速扫描OCR技术进行数字化,并结合人工校对和批量导入工具,形成结构化数据。

2) 电子数据导入

平台开发了针对主流勘察数据管理软件(理正、华岩等)数据库的批量导入工具,实现一键导入,同时支持excel格式数据导入。

2.1.3 数据标准化与数据管理

1) 地层数据标准化

本平台基于杭州地区地铁、城际铁路等工程的勘察成果建立的全市统一的标准地层,基本涵盖杭州地区所有地层,通过数据库管理模块,实现导入时批量替换数据库地层为标准地层。

2) 三维数据标准化

基于多个数字孪生城市(如雄安、深圳前海等)项目的实践,笔者公司已整理出一套成熟的三维数据标准化格式交付要求,包括模型建立方式、成果格式、钻孔及地层属性、地层模型颜色标准,通过Geo-Station可以实现更为丰富的模型属性关联,通过属性发布模块,可实现快速添加大量属性信息功能,为各种模型添加属性关联,并发布到在线展示平台中。

3) 数据管理模块

①数据结构化储存:通过选用具备强大空间数据管理能力且能很好支持地质数据类型的数据系统 ArcGIS GeoDatabase,以地层为核心构建数据存储架构,为每个地层单元设立独立的表结构,确保地层的关键信息能被系统、条理地记录。同时,关联存储该地层对应的钻孔地层数据,通过主键外键关联,方便从地层视角快速查询某一地层在各个钻孔中的具体表现。

②数据质量把控:建立严格的数据审核流程,利用交叉验证与地质统计学方法识别并修正异常数据,保障数据质量。

③数据备份与更新:执行分层级的数据备份策略,鉴于地层数据的基础性与重要性,优先对关键地层数据进行全量、高频次备份,如每天备份一次包含主要地层架构、核心地层属性的数据集;对于详细的钻孔地层数据、原位测试数据等海量但更新频率相对较低的数据,采用增量备份结合定期全量备份的

方式,既保障数据安全性又优化存储资源利用。

④项目资料管理:为解决项目过程资料杂乱的现状,平台具备了在线项目资料管理功能,并根据多年工程经验将工程资料分解为多个类型的专项文件夹,可通过在线共享汇总多人资料,使得项目资料管理条理化,共享化(见图2)。



图2 平台数据管理界面

2.2 三维地质建模技术突破

三维地质建模旨在将多源地质数据转化为可视化的、可分析的数字模型,其核心价值在于实现地质体的三维可视化、多源数据一体化管理与集成,并为工程地质评估和地质灾害预测提供定量依据。然而,建模过程面临显著挑战。首先,地层边界确定高度敏感,二维数据中的微小瑕疵在三维曲面构建中会被放大,导致模型失真。其次,在岩溶、褶皱等复杂地质区,线性插值算法难以准确刻画非线性变化,易产生模型表面不光滑与拼接不连续问题。此外,当数据点分布不均或分块建模时,不同地质体在交界处常因插值算法局限而出现地层错位与拼接困难。因此,为实现与BIM协同的高精度建模,必须攻克数据标准化、复杂地质精确模拟与多模型无缝整合等关键技术难题。

为此,笔者公司自主开发了工程地质领域的三维建模软件GeoStation®,集数据管理、计算分析、勘探布置、地质建模、二维出图、物探三维、模型展示等模块于一体,可根据数据库进行自动建模并进行模型的动态更新,解决了地质模型修改难、工作量大的问题,实现了勘探、物探、地质、监测和地下洞室等三维模型的实时生成并解决了以下关键问题。

复杂地质体建模:针对地层交互复杂(软土地区)、岩溶发育、构造断裂等情形,开发了专用的地层界面生成、透镜体生成、地质构造生成及基覆界面生成工具。通过引入更精确的空间插值算法(如克里

金法),改善了线性插值在复杂地质条件下易产生的模型失真问题,实现了对非线性地质现象的更准确模拟。

模型动态更新与一致性:实现了模型与数据库的联动,当勘察数据更新或修正时,三维模型可快速重构与属性动态更新,保证模型与数据的一致性。

BIM与GIS融合:平台实现了三维地质模型与工程BIM模型在统一空间基准(如CGCS2000坐标系)下的集成。这不仅实现了地上地下一体化展示,更为后续的协同设计与分析奠定了基础。

2.3 云化与可视化与交互

为实现模型的广泛共享与便捷应用,笔者公司开发了“汇建云”可视化平台。在云功能的加持下,使用者可通过网页浏览三维地质模型,并且可以与三维模型进行交互,浏览地质模型内的数据,或者根据工程需要对三维地质模型进行剖切,生成二维剖面图,为工程提供地质数据支撑。

2.3.1 Web端轻量化展示

平台支持将三维地质模型一键自动上传并转换为轻量化的3D Tiles等格式,在网页浏览器中进行流畅渲染与交互,用户无需安装专业软件即可访问,同时可叠加地图或卫星影像,支持EPSG编号坐标系。

2.3.2 模型交互及展示

平台提供了模型旋转、缩放、平移、动态剖切、地层单元展开、固定路径漫游、第一人称探索等多种交互工具。用户可任意剖切模型获取剖面图,并点击模型查询任一位置的详细地质属性(见图3)。

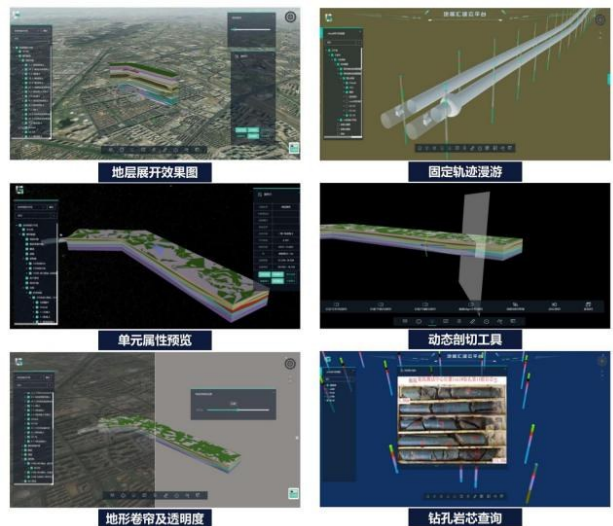


图3 模型交互界面

3 平台应用成效

3.1 勘察全过程效率提升

通过“外业采集—内业管理—三维建模—云端应用”的闭环流程,彻底改变了传统勘察工作模式。

①外业效率提升:“岩途外业采集系统”使数据录入效率大幅提高,并实现了数据的实时同步与项目进度的透明化管理。

②内业管理优化:云平台实现了项目流程、数据、资料的在线协同管理,避免了数据重复录入与版本混乱,外业影响资料自动规整,报表统计工作自动化程度大幅提高,节约技术人员的低级工作成本。

③成果输出加速:GeoStation 软件能够基于标准化数据快速自动生成三维模型及各类二维图件(如剖面图、柱状图、平切图),将建模和出图时间从数周缩短至数天。

3.2 城市级地质模型构建与服务

目前平台已整合杭州地铁1号~7号线勘察数据生成三维地质模型,包含171个工点9000多个钻孔数据,初步构建了覆盖杭州主要城区的三维地质模型“骨架”。未来通过融合线路周边的市政、工民建项目数据,将逐步演变为真正的城市级三维地质模型,为城市地下空间规划、地质灾害风险评估、重大工程选址等提供宏观决策支持。

3.3 设计施工协同与决策支持

面向设计单位:设计人员可在云平台上对集成模型进行自由剖切,快速获取任意位置的地质剖面,并快速提取地层属性信息,获取地层参数等,为线路选址、基础选型、基坑支护设计等提供了更可靠的依据。

面向施工单位:施工方可利用平台进行可视化交底,也可结合开挖功能模块预估土方量,还可结合BIM软件模拟地下工程开挖过程,分析工程风险点等。未来,还可以结合物联网监测数据,通过现场数据与监测数据自动分析,实现施工期地质安全风险的实时预警与反馈控制。

3.4 AI智能应用的初步探索

基于模块化和自然语言处理技术,自动从项目数据库中提取关键数据,按章节生成勘察报告,极大减轻了技术人员在数据整理和文档编写上的负担。

4 结论与建议

地质大数据平台为勘察工作提供了另一条便捷高效的工作流程,为工程建设提供了全新的地质数据展示方式,为城市更迭提供了全面的数据支撑。

①平台接口开放性:面向更加广阔的市场平台需要有更加稳定的兼容性及更广阔的开放性来接纳外部数据。

②应用标准的统一性:目前各个地方对于地质三维领域的建模实施细则还不够完善,没有相对统一且规范化的标准作为指导。

③大范围模型的协调性:对于城市辖区内不同工程不同类型的模型边界问题需进行协调优化才能确保大数据模型整体的准确性。

④数据分析的智能化:结合AI技术,实现市域甚至更大范围的模型应用数据智能分析。

地质大数据平台作为连接物理世界与数字世界的核心载体,是岩土工程乃至整个城市建设领域数字化转型的关键基础设施。其持续演进与深度应用,必将为城市的智慧化建设与安全可持续发展提供不可或缺的强大支撑。

参考文献

- [1] 中央网络安全和信息化委员会.“十四五”国家信息化规划[Z].2021.
- [2] 冯玉石.地质大数据应用与地质信息化发展的思考[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(1):159-162.