

基于 BIM 和 GIS 的超前地质预报可视化方法

杨党锋^{1,2}, 王宇昀^{3*}, 庞琦², 许墨陶²

(1. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048;

2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 西安 710065;

3. 同济大学土木工程学院, 上海 200092)

摘要: 当前超前地质预报通常采用书面报告的形式呈现, 直观性差, 信息获取效率低。为了解决这一问题, 提出了一种基于 BIM 和 GIS 的超前地质预报可视化方法。该方法以 GIS 和 BIM 模型为载体, 结合现场施工进度数据, 将超前地质预报数据在二维和三维视图中进行动态表达, 提高了获取超前地质预报信息的效率。根据该方法基于微服务的基本框架, 开发了超前地质预报可视化系统, 该系统多角度、全方位地展示超前地质预报信息, 可有效地辅助现场施工, 保障施工安全。

关键词: 地下工程; BIM; GIS; 超前地质预报; 可视化

中图分类号: TV221.2 **文献标识码:** A

VISUALIZATION METHOD OF ADVANCED GEOLOGICAL FORECAST BASED ON BIM AND GIS

YANG Dang-feng^{1,2}, WANG Yu-yun³, PAMG Qi², XU Mo-tao²

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Power China Northwest Engineering CO., Ltd., Xi'an 710065, China;

3. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: At present, advanced geological forecast is usually presented in the form of written report, which has poor intuitiveness and low information acquisition efficiency. In order to solve this problem, a visualization method of advanced geological forecast based on BIM and GIS is proposed. This method uses GIS and BIM model as the carrier, combines with the construction progress data, and dynamically expresses the advanced geological forecast data in 2D and 3D view, which improves the efficiency of obtaining advanced geological forecast information. According to this method, the visualization system of advanced geological forecast is developed based on the basic framework of micro-service. The system displays advanced geological forecast information from multiple angles and in all directions, which can effectively assist the site construction and ensure the construction safety.

Key words: underground engineering; BIM; GIS; advanced geological prediction; visualization

随着西部大开发战略的进一步实施,我国在西部开始了大量的工程建设,例如高速公路、铁路、大型水电站等^[1]。在这些工程中,均会存在不同规模和形式的地下洞室,地下洞室已成为上述工程的重要组成部分。然而由于地下洞室工程的结构面分布错综、地质构造复杂,各类洞室繁多、围岩受力状况复杂,大量地下洞室的工程环境恶劣,作业难度大,易发生地质灾害及工程事故,这些问题在我国西部地区尤为明显^[2,3]。

因此,准确预报施工前方地质条件是地下洞室建设的迫切需要。目前,国内外大多采用地质学方法与物探方法相结合并辅以超前钻探等来实现超前地质预报。各类超前地质预报方法,如 TSP、GPR、TCS 等得到了长足的发展,并广泛应用于工程实际中^[4,5,6]。然而,当前地下洞室超前地质预报通常采用书面报告的形式呈现,直观性差、报告翻阅费时费力。因此,研究超前地质预报可视化方法对快速获取地质信息、提高施工效率具有重要意义。

建筑信息模型(BIM)基于 IFC 标准,是建筑生命周期各种信息的集成,具有强大的可视化展示及分析功能,目前已广泛应用于岩土、地下工程中^[7,8]。地理信息系统(GIS)以直观的图形形式获取、存储、分析、展示与地球表面位置相关的各种数据^[9]。基于 BIM 和 GIS 实现超前地质预报可视化是高效利用超前地质预报数据,保障工程安全的有效途径。傅志超^[10]基于 Revit 平台进行了隧道地质的超前地质预报可视化和施工掌子面可视化的应用。周相等^[11]基于 BIM 建模软件及数字化平台管理提出了一种基于 BIM 的地下洞室三维可视化地质预报的方法。目前超前地质预报可视化仍存在模型创建复杂、施工实景欠缺、报告信息缺失等问题,为了解决该问题,本文通过对超前地质预报数据特点进行分析,基于轻量化 BIM 模型和 GIS 系统提出了一种超前地质预报可视化方法,并开发了相应软件系统,实现了超前地质预报轻量化建模及二维、三维可视化。该方法模型相对简单,实现了实景图与模型图的结合,具有全局可视化的能力,更直观高效地自动预报超前地质信息;相应的软件系统便于提高施工现场的工作效率,实现动态智能化管理,降低施工现场潜在的风险,有效保障施工现场的安全性。

1 超前地质预报数据分类与标准化

超前地质预报主要针对掌子面前方的地层岩性、地质构造、不良地质及地下水进行预测^[12]。为

了实现超前地质预报数据的统一管理及可视化应用,需根据超前地质预报报告信息特点建立标准化的数据结构。杨党锋等^[13]基于地质相关规范,通过规范字段语义、统一数据单位及类型构建数据表建立了适用于岩石隧道工程的地质数据标准。本文依据该标准实现了超前地质预报数据的标准化。

根据超前地质预报报告数据特点可将其分为超前地质预报基本信息、掌子面信息、预测段信息。各类信息中包含文本、整数、时间等各种类型的数据。

1.1 基本信息

基本信息是指超前地质预报报告的描述信息,主要用于表达超前地质预报的时间、位置、探测方法等。表 1 为超前地质预报基本信息表。

1.2 掌子面信息

掌子面信息是指掌子面的地层岩性、地质构造、不良地质、地下水等地质信息,主要用于表达地下洞室掌子面的地质情况。表 2 为掌子面信息表。

1.3 预测段信息

预测段信息是指超前地质预报探测区段内的地质信息,可分为多个普通区段和重点风险段,用于表达掌子面前方的地质情况,提供施工警示信息。表 3 为预测段信息表。

1.4 数据用途分析

根据超前地质预报数据在可视化中的作用,各类数据又可分为数据标识信息、定位信息和属性信息。数据标识信息主要用于区分不同超前地质预报、掌子面、预测段,实现超前地质预报数据的统一管理,例如超前地质预报编号、掌子面编号等;定位信息包括时间定位和空间定位,如隧道编号、里程等,该类数据可实现与 BIM 模型的关联及实体建模;属性信息主要为掌子面或预测段的地质信息,例如岩性、风化程度、坚硬程度、完整程度等,根据工程实际需求可分为重要属性信息和一般属性信息。

表 1 超前地质预报基本信息表

中文名	属性名	类型	备注
超前地质预报编号	advanceGeoPreId	ID	
报告时间	time	T	
隧道编号	tunnelCode	X	通过该字段与隧洞关联
掌子面位置	faceMileage	INT	
探测范围	detectRange	X	
探测方法	detectMethod	X	
施工建议	constructionAdvise	X	
附件	file	X	pdf 文件

注:ID 表示唯一标识符;T 表示时间;X 表示文本;INT 表示整数;YN 表示是否值,下同。

表 2 掌子面地质信息表

中文名	属性名	类型	备注
编号	id	ID	
超前地质预报编号	advanceGeoPreId	ID	通过该字段 关联表 2.1
掌子面编号	tunnelFaceId	ID	
隧道编号	tunnelCode	X	
里程	mileageNum	INT	关联掌子面 位置
岩性	lithology	X	
产状	attitude	X	
节理	joints	X	
风化程度	weatheringRate	X	
坚硬程度	rigidity	X	
完整程度	integrity	X	
结构构造	structure	X	
主要结构面	structuralFace	X	
地下水	groundWater	X	
围岩稳定性	stability	X	
断层	fault	X	
设计围岩类别	designRockClassification	X	
掌子面围岩类别	actualRockClassification	X	
附件	file	X	掌子面素描图

表 3 预测段信息表

中文名	属性名	类型	备注
编号	id	ID	
超前地质预报编号	advanceGeoPreId	ID	通过该字段关联 表 2.1
区段编号	sectionId	ID	
风险段	IsRisk	YN	
隧道编号	tunnelCode	X	
起始里程	startNum	INT	关联预测段 起始位置
终止里程	endNum	INT	关联预测段 终止位置
电磁波振幅变化 同相轴	EleWaveAmplitude event	X	
反射频率变化	reflectiveFrequency	X	
岩性	lithology	X	
风化程度	weatheringRate	X	
坚硬程度	rigidity	X	
完整程度	integrity	X	
结构构造	structure	X	
主要结构面	structuralFace	X	
地下水	groundWater	X	
围岩稳定性	stability	X	
断层	fault	X	
设计围岩类别	designRockClassification	X	
预测围岩类别	actualRockClassification	X	
附件	file	X	图片

2 超前地质预报可视化方法

2.1 可视化基本思路

本文提出的超前地质预报可视化方法是以地下洞室轻量化 BIM 模型和 GIS 为载体,随着施工的进

行动态更新超前地质预报地质信息的一种方法。该可视化方法依据施工进度信息,获取地下洞室的实际施工位置,重点表达掌子面地质信息及掌子面前方一定距离的预测信息,对重点风险段重点标识,自动计算掌子面与重点风险段的距离,为预防事故发生、采取合理工程措施、优化设计和施工方案提供依据。该方法以实体模型为基础,主要采用平行坐标系表达属性信息,表达方式分为二维表达方式和三维表达方式两种。该方法的主要步骤如下:

(1) 收集地下洞室基础设计资料,包括地下洞室的平面线型、剖面线型、起止里程、截面形状、地层岩性、围岩等级等。

(2) 利用收集的资料建立二维模型和三维地下洞室轻量化 BIM 模型,将地下洞室按照里程划分不同区段,赋予各区段基础地质属性。

(3) 基于 GIS 构建二维和三维工程场景,并将模型分别加载到场景中。

(4) 随着地下洞室施工的进行,动态更新实际施工进度信息,在场景中自动标识掌子面位置及开挖方向。

(5) 将超前地质预报信息结构化,超前地质预报地质信息按掌子面位置及起始里程桩号赋予对应的区段。

(6) 结合施工进度信息,重点表达掌子面及掌子面前方一定距离的地质信息,并着重强调前方的重点风险段。

2.2 平行坐标系

地下洞室工程具有线状延伸的特点,因此本文采用了平行坐标系^[14]对地下洞室超前地质预报的信息进行表达。平行坐标系即与隧道轴线平行的一系列隧道信息查看器,可用于查看隧道围岩等级、岩性、风化程度等地质属性,也可用于表达隧道收敛变形、沉降等监测数据。平行坐标系直观地展现了地下洞室的地质信息,同时将地下工程各个勘察阶段的调查数据进行整合,提高了施工单位获取地质信息的效率,便于施工单位及时全面地了解隧道区域地质条件及其变化,进而为隧道施工提供指导。

2.3 二维表达方式

二维表达分为平面图和剖面图两种表达方式。除了展示基本的地质信息外,二维表达有助于更好地展示超前地质预报探测获得的二维图片,如地质雷达探测图等。

平面表达方法在隧道轴线旁设置与隧道轴线平行的平面坐标系,用于显示沿桩地质信息。将地质雷达探测图像叠加在隧道轴线上,便于查看地质情

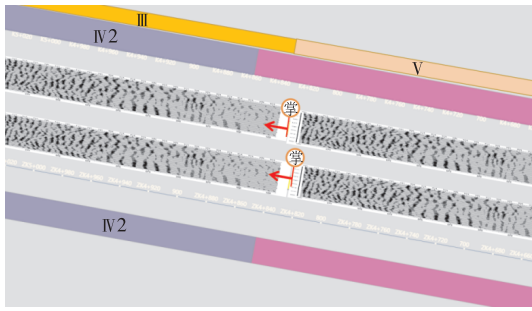


图 1 平面表达方法

况的变化。同时平面表达方法中配备了信息显示面板,用于展示更加详细的超前地质预报信息,如图 1 所示。

剖面表达方法与平面类似,可形象地将探测得到的剖面图片在剖面图中进行表达,如图 2 所示。

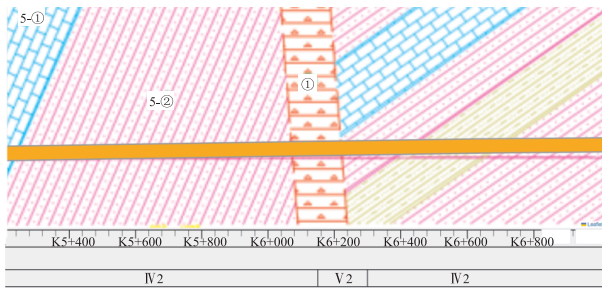


图 2 剖面表达方式

2.4 三维表达方式

三维表达中共有三维实体、面板、平行坐标系 3 种表达形式。通过高亮预报区段、重点风险段的三维实体,强调探测范围及需重点关注的区段,同时将掌子面素描叠加在隧道轴线上,表达掌子面的地质信息。此外,三维实体形式可以结合 BIM 模型同步展示实际地理信息,实现全局可视化。面板及平行坐标系与二维类似,用于展示详细的超前地质预报信息及沿桩地质信息。三维表达方式如图 3、图 4 所示。

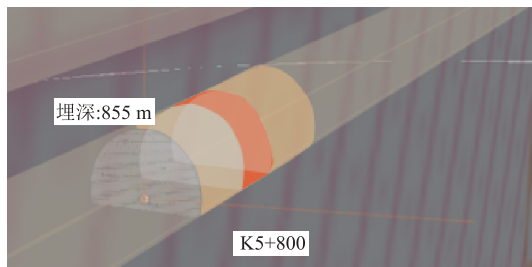


图 3 三维表达方式

2.5 BIM 与 GIS 结合应用

BIM 与 GIS 的结合应用包含了隧道地质信息、

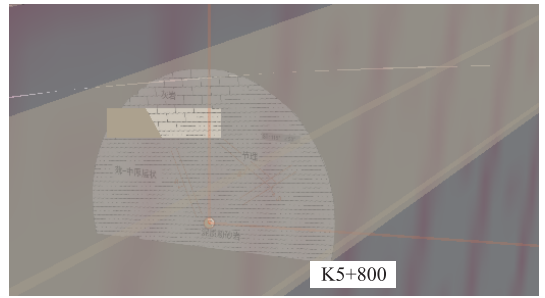


图 4 沿轴线分布掌子面素描

结构信息、周边信息、施工进度信息等工程实体与施工工序信息。利用 GIS 空间计算技术,将 BIM 模型准确加载到工程场景中,同时依据施工进度信息,自动计算当前掌子面的埋深、里程位置等空间信息,与超前地质预报数据相关联,自动获取掌子面前方的超前地质预报信息,实时计算掌子面与重点风险段或不良地质体的距离,并将其更新到 BIM 模型中。

最后将施工进度、超前地质预报数据等实时信息,与 BIM 隧道结构模型及周边环境 GIS 数据进行整合,综合分析掌子面前方地质风险,在 Web 平台上以三维可视化的形式展示,并向各专业设计人员和施工人员发布相关信息,以方便现场进行动态管理。

3 系统应用

本文自主研发了超前地质预报可视化系统,系统后端按照 SpringCloud 微服务架构设计思想,采用 Java 语言进行开发,前端以 Vue.js 作为基本框架,辅以 Element、Leaflet、Three.js、Cesium 等组件进行开发设计。

3.1 系统介绍

该系统包含以下 3 个模块:基础数据上传模块、属性信息管理模块和可视化模块。

(1) 基础数据上传模块用于上传模型创建所需要的基础资料,如图 5 所示。

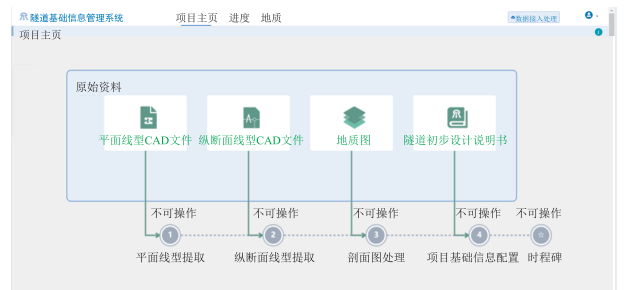


图 5 基础数据上传模块

(2) 属性信息管理模块用于管理二维模型和三

维模型的相关属性信息以及施工进度信息,可一键 导入相关信息,如图 6 所示。



图 6 属性信息管理模块

(3) 可视化模块用于将二维模型和三维模型加载到实际场景中,动态展示相关地质预报信息,如图 7 所示。



图 7 可视化模块(三维)

3.2 模型创建

BIM 模型建模和加载通常采用 Revit 等专业软件,模型体量大,加载速度慢^[15]。因此本文采用 Leaflet、Cesium、Three.js 组件构建轻量化三维模型,依据隧洞的平面线型、剖面线型及截面形状自动构建二维及三维模型。

3.3 附加属性信息

在属性信息管理模块,可采用快速导入功能,将超前地质预报数据按照上文中标准的数据格式快速导入,与里程信息关联,将地层岩性、风化程度、围岩等级等地质信息赋予相应区段的地下洞室。同时,该模块可进行进度信息的导入与管理,施工单位可实时填报并更新施工进度信息。

3.4 工程应用与可视化表达

某分离式隧道右幅起点 K1+440,终点 K12+

955,右幅隧道长 11 515 m,最大埋深 1 255.01 m;左幅起点 K1+490,终点 K12+995,左幅隧道长 11 505 m,最大埋深 1 259.03 m。

该隧道区域出露的地层主要有寒武系(ϵ)、奥陶系(O)、志留系(S)、泥盆系(D)、第四系(Q)等,地质时代跨度较大,岩石种类多,岩相较为复杂,沉积岩、变质岩、岩浆岩三大岩均有不同程度的出露。隧道区域围岩主要由花岗岩和灰岩组成,共发育有 5 条断层。

将项目结构信息、地质信息、施工进度信息录入系统中,即可实现该工程的可视化。

可视化模块在 GIS 的基础上,集成了二维和三维模型。在该模块中,可采用图层控制功能,控制图层开关,查看所需要的信息类型;也可采用视图控制功能,按需查看二维视图或三维视图。

二维视图如图 8、图 9 所示,随着施工进度的进行动态加载掌子面前方的不良地质信息,点击可查看该不良地质体的详细信息。地图放大到隧道尺度,可查看掌子面位置及掌子面处的地质信息。地

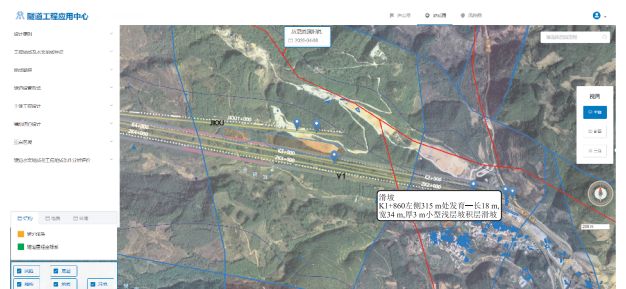


图 8 平面视图(整体)

质雷

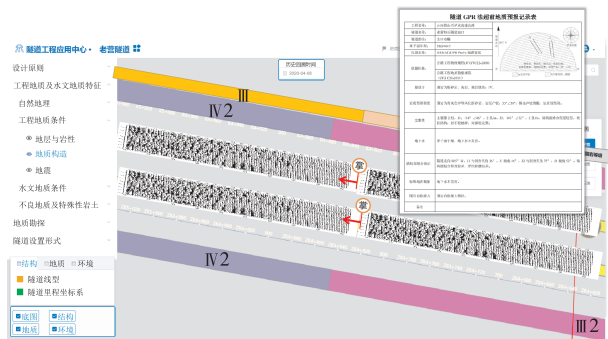


图9 平面视图(隧道)

达波叠加在隧道轴线上,帮助专业人员分析掌子面前方地质条件的变化。同时右侧面板中展示了掌子面地质信息及掌子面前方的超前地质预报信息。

三维视图如图7所示,根据掌子面位置及三维地理空间信息,自动计算得到的掌子面位置及埋深并在场景中实时更新。隧道BIM模型中,黄色区域表示超前地质预报探测区段,红色区域表示重点风险段,施工人员需重点关注。同时,三维可视化场景中,仍以平行坐标系与面板的形式展示沿桩地质信息及超前地质预报信息。

在地下洞室开挖过程中,可根据超前地质预报数据,动态更新相关地质属性信息,并结合施工进度信息,及时更新掌子面位置,获取掌子面前方可能存在的风险信息,为实际工程中采取合理的施工措施提供依据。

4 结语

本文提出了一种基于BIM和GIS的地下洞室超前地质预报可视化方法,将超前地质预报信息在二维和三维视图中表达,提高了施工单位获取超前地质预报信息的效率。结合BIM技术和施工进度信息,可实现地质信息随施工进度的动态更新及可

视化表达,及时发现掌子面前方可能存在的风险,为施工提供依据。该方法对地下工程的结构、地质条件等无任何限制,广泛适用于地下洞室、隧道、矿山等其他类型的地下工程。

参考文献

- [1] 陈刚. 锦屏二级水电站地下厂房围岩稳定性研究[D]. 中国地质大学(武汉), 2012.
- [2] 刘同有. 西部大开发中的岩石力学与工程地质问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(S2): 2541-2543.
- [3] 李中慧. 西部大开发中的环境工程地质问题研究[J]. 甘肃科技纵横, 2007, 180(6): 59.
- [4] 贾光辉, 管仁杰, 李沼霏. TSP203在隧道超前地质预报中的应用[J]. 北京测绘, 2022, 36(10): 1307-1310.
- [5] 董伟伟, 麦燕午. 地质雷达法在隧道超前地质预报中的应用[J]. 建材世界, 2022, 43(4): 96-98.
- [6] 许明亮, 姚海波, 肖剑, 等. TGS360Pro在岩溶隧道不良地质体识别中的应用[J]. 科技创新与应用, 2020, 301(9): 182-183.
- [7] 刘照球, 李云贵. 建筑信息模型的发展及其在设计中的应用[J]. 建筑科学, 2009, 25(1): 96-99, 108.
- [8] 杨东升, 费秉宏, 孙春华. 基于BIM技术的水电站地下洞室定位关键块体分析方法[J]. 西北水电, 2022, 195(2): 81-85.
- [9] 何高峰, 罗先启, 张辉, 等. 基于BIM与GIS结合应用的地铁隧道安全预警预报技术[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(7): 161-164.
- [10] 傅志超. BIM技术在隧道监控量测与超前地质预报中的应用[D]. 山东交通学院, 2020.
- [11] 周相, 段斌, 靳玉鹏, 等. 基于BIM的地下洞室三维可视化地质预报方法研究[J]. 人民长江, 2022, 53(S2): 64-66, 79.
- [12] 李勇. 超前地质预报在隧道施工中的应用[J]. 交通世界, 2020, (Z1): 124-125.
- [13] 杨党锋, 成涛, 李晓军, 等. 岩石隧道工程地质数据标准化及其应用[J]. 土木工程学报, 2022, 55(S2): 110-118.
- [14] Thum L, De Paoli R. 2D and 3D GIS-based geological and geomechanical survey during tunnel excavation[J]. Engineering Geology, 2015, 192: 19-25.
- [15] 周明升, 张雯. 一种基于轻量化BIM的工程全过程管理系统的设计与实现[J]. 计算机时代, 2023, 367(1): 127-131, 136.

作者简介: 杨党锋(1979—),男,博士研究生,正高级工程师,主要从事工程三维数字化相关研究。E-mail: ydf_217@nmh.cn

通讯作者: 王宇响(2000—),男,硕士研究生,主要研究方向:隧道工程数字化研究。E-mail: 1094275717@qq.com