

基于BIM+GIS的公路隧道维护技术综述

洪皓珏¹ 陈 军² 俞远征³

1. 浙江师范大学 道路与交通工程研究中心 浙江金华 321000

2. 金华市婺城区公路与运输管理中心 浙江金华 321000

3. 金华迅达建设有限公司 浙江金华 321000

摘要: 公路隧道作为交通基础设施的重要组成部分,其运营维护关键技术的应用具有深远的意义。本文综述了基于BIM+GIS的公路隧道维护技术应用现状,从BIM和GIS集成的理论基础、关键技术和效益分析三个方面对公路隧道维护策略进行总结梳理,探讨了BIM+GIS应用的优势和存在的难点,并对隧道维护技术的未来发展进行展望,分析了BIM与GIS技术应用潜力和创新应用前景。通过综合分析,旨在为公路隧道维护技术的进一步发展提供全面的理论参考与实践指导。

关键词: 公路隧道; BIM; GIS; 维护技术

公路隧道技术在现代交通基础设施建设中扮演着至关重要的角色,其研究涵盖了从设计、施工到运营管理的各个方面。近年来,随着技术的发展和工程需求的增加,许多学者对公路隧道的结构安全、环境影响以及维护管理进行了深入研究。其中,隧道的维护管理是隧道长期运营过程中的研究重点。然而,伴随运营年限增长,隧道病害问题日益突出。传统维护模式依赖人工巡检与被动式修复,存在检测效率低、病害定位精度不足等缺陷,难以满足长大隧道的精细化运维需求。因此,开发一种高效且精准的隧道运维技术是转变现有隧道维护管理方式的关键。

当前以BIM(Building Information Modeling)和GIS(Geographic Information System)为代表的数字化技术为隧道维护提供了新思路。BIM技术可实现隧道的三维参数化建模,通过全生命周期的数据集成,可实现隧道结

基金项目: 金华市科技计划(2021-3-174, 2024-3-033)项目。

作者简介:

- 洪皓珏(1994—),男,硕士研究生,浙江师范大学道路与交通工程研究中心实验师,研究方向为道路工程,为本文通讯作者;
- 陈军(1971—),男,本科,金华市婺城区公路与运输管理中心高级工程师,研究方向为道路工程;
- 俞远征(1978—),男,本科,金华迅达建设有限公司高级工程师,研究方向为道路工程。

构状态的可视化;GIS技术则依托地理空间分析能力,将隧道病害与地质环境(断层分布、地下水位等)、交通荷载等外部因素动态关联在一起,BIM+GIS的融合可构建“空间-结构-环境”多维信息模型,为病害监测、风险评估和修复决策全链条动态维护提供支撑。

基于此,本文从公路隧道维护技术理论基础、维护策略及关键技术等方面阐述了目前公路隧道维护技术的最新进展。并在总结已有成果的基础上,归纳了现有技术的应用现状与未来发展趋势,提出了隧道维护后续的研究方向及存在的挑战。

一、公路隧道维护技术基础

1. BIM技术在公路隧道中的应用

BIM是一种基于三维数字技术的工程管理工作,通过集成建筑全生命周期中的几何信息、物理属性和业务数据,实现项目设计、施工、运维等环节的高效协同与可视化管控。

BIM技术在隧道的三维建模和设计优化上具有较大优势,利用BIM技术创建隧道及其组件的三维模型,能显著提高设计的精确性和可视化程度。Wang等人将BIM技术用于隧道组件的批量参数化和放样,不仅提高了设计阶段的精确度,还能在正式施工前发现潜在问题,减少施工的成本浪费^[1]。同时,BIM技术也可用于施工过程中的风险预测和管理,对隧道施工造成地面沉降风险进行预测。BIM技术不仅可在设计和施工阶段发挥作用,还可以为隧道维护和生命周期管理提供支持。如

Huymajer等人指出,通过采集历史数据和实时监控信息,BIM技术可以优化隧道的维护策略,以延长隧道的使用寿命^[2]。

由上可知,BIM技术在公路隧道建设和管养过程中的应用涵盖了设计、施工、风险管理和维护等诸多方面,能够显著提高隧道建设的效率和质量,在隧道建成后BIM技术的应用后续会更加偏向于隧道的维护管理工作。

2.GIS技术在公路隧道中的应用

GIS属于空间信息系统,它是在计算机硬、软件系统支持下,可以对整个或部分地球表层空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术。

GIS技术可用于隧道位置的选定,Sandrone等人通过分析隧道选址位置对周边交通网络发展的影响,评估隧道建设对地质环境、交通流量和区域发展的潜在影响,提升隧道位置规划的合理性^[3]。在施工过程中,GIS技术可用于施工质量问题的早期定位。在隧道后期运行维护过程中,GIS技术还可以对隧道设备的监控和管理,孙玉梅等人通过实时查看隧道设备的运行状态和报警信息,实现了隧道的智能化管养^[4]。

由上可知,GIS技术在公路隧道中的应用,不仅提高了数据管理和分析的效率,还为隧道的设计、施工、维护和运营提供了全面的数字化支持。随着技术的不断发展,GIS在隧道管理中的应用将更加广泛和深入。

3.公路隧道维护技术现状

隧道维护是确保隧道结构安全、延长使用寿命的重要环节,隧道维护主要包括定期检查、特殊检查、性能评估以及修复加固等措施。目前隧道的维护管理面临诸多挑战,一是信息孤岛,传统的维护管理方式往往依赖纸质记录,导致信息难以整合和共享。二是维护效率低,维护决策往往因缺乏实时数据支持而滞后,造成资源浪费和安全隐患。三是环境复杂,隧道内部环境复杂,设备种类繁多,维护难度大,管理手段需要更智能化。而BIM+GIS技术在隧道维护中的优势能够有效解决上述问题,实现公路隧道的设计、施工和维护将更加高效、安全和智能化。

二、BIM+GIS结合下的公路隧道维护策略

1.BIM+GIS隧道维护技术集成理论基础

在公路隧道维护技术中,BIM+GIS的集成理论基础主要围绕信息集成与数据共享、协同管理与可视化以及

全生命周期管理三方面展开。信息集成与数据共享的主要目的是规整隧道从前期规划、建设过程和后期维护中所有的数据,提升隧道信息集成度与协同性。协同管理与可视化是指将全生命周期信息进行数据化管理和可视化展现。全生命周期管理是通过构建隧道信息模型,使管理者实时获取隧道的结构数据、设备运行状态和历史维护记录。

2.BIM+GIS隧道维护的关键技术

在公路隧道维护工作中,BIM+GIS隧道维护的可靠性受到维护技术、隧道实际情况以及隧道所处环境的影响。在BIM+GIS两种技术集成的过程中,如何让将隧道的三维模型和详细数据与地理空间信息有效结合,实现维护计划的优化选择和资源分配是关键。在此基础上,隧道的设施条件和维护质量也是影响隧道维护工作的重要因素,隧道的排水设施、施工质量、养护水平等多种因素都会对隧道的维护管养产生重要影响。除此之外,隧道所处的地理位置和周边环境对养护工作有重要影响。因此,BIM+GIS隧道维护技术在实际使用过程中,需要根据隧道所处条件因地制宜地制定合理的维护措施。

3.BIM+GIS隧道维护技术的效益分析

在隧道施工过程中,BIM技术通过全过程监控,可保障施工的效率 and 精确度,节约时间成本和人力成本;在隧道维护阶段,则通过GIS技术监测隧道的地理位置、环境条件和周边设施的变化制定合理的维护计划。在此基础上可优化维护团队资源配置,通过分析隧道使用频率和损坏情况,能够在提高维护效率的同时降低维护成本。

三、隧道维护未来发展方向

1.BIM+GIS隧道维护技术的应用潜力

在公路隧道维护过程中,利用先进技术提升维护效率,并在此基础上优化资源管理、降低运营成本、提高安全性是维护技术的发展方向。在BIM+GIS技术的应用过程中,BIM技术对隧道结构的变形、裂缝等病害的实时反馈可以提升响应速度;而GIS技术的空间分析功能,能对问题区域进行快速定位,优化设备、人员、物资等资源的调配,在减少突发时间发生的情况下,提升维保工作的效率^[5]。BIM+GIS技术的配合展现了两者在隧道动态运维中的发展潜力,实现了隧道维护的信息化和可视化,可以在施工中还降低人为错误导致的隧道使用风险^[6]。

随着BIM+GIS隧道维护技术的进一步深化,结合人

工智能、大数据和数字孪生技术，BIM+GIS技术的标准化和兼容性将进一步提高，后续必将实现隧道维护的智能化，运维平台自动识别隧道风险并生成维护方案。

2. BIM+GIS隧道维护技术的拓展发展

BIM+GIS的集成技术在公路隧道维护过程中显示了巨大的潜力，但在实际使用过程中面临着一些挑战，BIM和GIS之间的数据互操作性问题还没有完全解决，需要统一标准和开发更多融合工具。此外，随着物联网（IoT）和人工智能（AI）技术的发展，未来BIM+GIS隧道维护系统将进一步智能化，实现隧道全生命周期的自动化管理和预测维护。

3. 政策与标准对隧道维护技术的影响

近年来，国内政策和标准对先进技术的助推加快了相关技术的发展，《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》中明确提出，要加快数字化技术在交通基础设施中的应用，这些政策推动了BIM+GIS维护技术的发展。但在实践层面，技术融合仍面临系统性挑战，突出表现为跨平台数据交互的技术壁垒与系统集成难题，这些问题根源在于缺乏统一的技术规范体系。技术标准体系的构建必须依赖多方协同推进，当前存在区域间技术规程不协调、行业间参数体系不一致的现象，容易导致技术应用呈现分散化态势。为突破这一发展瓶颈，亟需构建涵盖数据接口、模型转换、平台架构的全方位技术标准框架。

结束语

综上所述，近年来公路隧道维护技术在隧道BIM三维建模、隧道GIS地理空间数据展示、隧道BIM+GIS协同管理和全生命周期平台建立等方面取得了一系列进展，为隧道的设计、施工、维护和运营提供了数字化和智能化的解决方案。尽管隧道维护已有大量研究成果，但BIM+GIS的隧道维护技术仍面临了众多挑战，诸如多源

异构数据的整合统一、隧道结构的复杂性和动态变化和决策方案的科学性。因此，新技术、新方法和跨学科合作必将成为推动隧道技术发展的重要力量，通过规范统一的数据标准和接口、引入实时监测技术（如传感器网络）和自动化建模工具、结合人工智能（AI）和机器学习（ML）技术，开发智能决策支持系统等，不同领域的知识融合将为隧道工程带来更多的创新和突破。

参考文献

- [1] Wang J, Hou X, Deng X J, et al. Application of BIM in Tunnel Design with Compaction Pile Reinforced Foundation Carrying Carbon Assessment Based on Advanced Dynamo Visual Programming: A Case Study in China[J]. Sustainability, 2022, 14 (23).
- [2] Huymajer M, Melnyk O, Wenighofer R, et al. Building Information Modeling in the execution phase of conventional tunneling projects[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2024, 146.
- [3] Sandrone F, Labiouse V. A GIS based approach for analysing geological and operation conditions influence on road tunnels degradation[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2017, 66: 174-185.
- [4] 孙玉梅, 李勇, 聂振钢. 3D GIS与BIM集成技术在公路隧道智慧运维中的应用[J]. 测绘通报, 2020 (10): 127-130.
- [5] Han Z H, Wang Z K, Gao C, et al. Application of GIS and BIM Integration Technology in Construction Management[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 526 (1): 012161.
- [6] Zhou D, Pei B D, Li X Q, et al. Innovative BIM technology application in the construction management of highway[J]. Scientific Reports, 2024, 14 (1).