

基于 GIS+BIM 的公路隧道智慧管养系统研究与设计

□ 王秋兰

(上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200125)

摘要:为解决公路隧道所处环境复杂,结构自身性能在多因素长期作用下不断劣化所带来的管养等问题,基于 GIS+BIM 的集成技术,研究设计了公路隧道智慧管养系统框架,通过对隧道建设的基础数据以及各类检测器所采集到的监测数据进行深度挖掘、关联分析与预测分析,实现隧道使用性能数据管理、健康检测、安全评估预警和隧道结构服役性能智慧管养等功能,进一步提升公路隧道养护维修精细化的管理水平,为隧道管养部门提供科学的管养决策支撑。

关键词: 交通工程; 公路隧道; BIM; GIS; 智慧管养

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1671-3400(2018)12-0050-04

Research of Highway Tunnel Intelligent Management & Mainten System Based on GIS+BIM

WANG Qiu-lan

(Shanghai Urban Construction Design & Research Institute (Group) Co., Ltd, Shanghai 200125, China)

Abstract: In order to solve the problems that the complex environment of the highway tunnel and the deteriorating performance of the structure under the long-term effects of multiple factors, it designs the framework of the intelligent maintenance system of the highway tunnel based on the integration technology of GIS and BIM. Tunnel performance data management, operational detection, safety assessment and warning, and the intelligent maintenance of tunnel structure service performance can be realized by deeply mine, correlation analysis and forecast based on the construction data and the monitoring data collected by various detectors, which is to further improve the management level of highway tunnel maintenance, and provide scientific management decision support for the tunnel management department.

Keyword: Traffic engineering; Highway tunnel; BIM; GIS; Intelligent maintenance

0 引言

据统计,截至2017年底,我国运营公路隧道16 229座,总长1 528.51 km^[1]。而作为城市重要的交通动脉,隧道所处岩土条件复杂、周边环境敏感、使用条件苛刻,结构自身在多因素长期作用下性能不断劣化,一旦损坏难以修复或不可更换,将会诱发地下工程灾害,因而对公路隧道健康服役提出了极高的要求。借助BIM模型可以有效组织和管理囊括设计、施工、养护等

全生命周期内的资源;同时,通过GIS技术搭建外围地理环境信息库,为隧道工程的综合规划提供科学支撑。因此,BIM模型和GIS技术的集成应用,对于全面掌握隧道的健康状态、合理有效利用资源有着重要意义。

1 隧道工程中 BIM 和 GIS 的应用

1.1 BIM 技术

BIM(建筑信息模型)是以三维数字技术为基础、集成了建筑工程项目相关信息的工程数据模型^[2],囊括了设计、施工、运营等过程的参数信息。相比于传统的信息管理方式,BIM模型能够整合分散信息源,为隧道的智慧管养提供了有效的数据支撑和可视化监测。

近年来随着BIM技术的发展,其逐步应用到地铁、隧道等项目中。黄廷、陈丽娟等将BIM运用至隧道的运维管理,建立运营管理平台,实现了可视化的管理^[2];

收稿日期: 2018-09-10

基金项目: 受上海市科学技术委员会科研计划(17DZ1204106)资助。

作者简介: 王秋兰(1985—),女,满族,河北承德人,硕士,工程师,主要研究方向:智能交通。

龚佳琦等设计 BIM 数据库并融合日常监测数据，为病虫害决策分析提供可视化支撑^[3]；李俊松等利用 BIM 模型集成隧道信息，实现施工的动态模拟、信息化管理和工程量统计^[4]；常莹等提出隧道全生命周期 BIM 云平台组织架构，探讨用户与平台间的信息交互方法^[5]。

1.2 GIS 技术

GIS（地理信息系统）是以空间分析、空间数据库和三维可视化为核心，以地理空间数据为对象进行存储、管理、分析、显示和描述的信息系统。目前，GIS 系统在科学调查、资源管理、财产管理、发展规划、绘图和路线规划等方面均有比较成熟的应用，可以对工程线路中的环境监测、地质分析等外部空间进行分析，便于相关图形数据的输入和输出。

隧道工程具有“带状分布、与地质关系密切”等特征^[6]，其受力状态和性能常常在服役环境不断变化、材料劣化等内外因素共同作用下逐步退化。因此，项目的地理信息和周边环境信息就显得尤为重要。早些年，徐晓核等就已运用 GIS 原理与方法开发了公路隧道监控量测管养信息系统，以保障隧道设计和施工安全^[7]；张刚等通过建立公路隧道数据库和应用 GIS 技术，设计了公路隧道信息管理系统，为用户提供了准确的“建、管、养、运”数据^[8]。

1.3 BIM+GIS 的集成应用

GIS 侧重于宏观的地理空间信息表达，由于普通建模成本太高，一般对于隧道内部或结构等信息采用生成的外部模型的方式。因此，常缺少隧道内部信息。而 BIM 模型在构建隧道三维空间信息和结构性能方面有着强大的能力。

近两年来，也有学者开展关于方面的研究，林晓东等提出了 BIM 和 GIS 的集成方案，并建立盾构隧道全寿命管理系统^[9]；李福健借助 BIM 和 GIS，从实际应用层面实现了隧道围岩量测自动化监测^[10]。由此可以看出，BIM 与 GIS 的集成应用，不仅提高长线工程和大规模区域性工程的管理能力，还增强了大规模公共设施的管理能力。但是 BIM 的应用特点也决定了 BIM 数据在信息结构、数据存储等方面与 GIS 有很大差别。因此，本文在智慧管养系统建设中，首先，基于 GIS 和 BIM 的国际通用标准，制订基础设施全寿命管养一体化数据标准，实现与现有的 GIS、BIM 软件的无缝数据融合和数据交换。其次，为了提升用户体验，对设计阶段的 BIM 信息进行了轻量化设计。

将 BIM 模型和 GIS 技术结合起来，实现 BIM 模型与二维、三维地理信息的交互融合，在确保结构安全的前提下，延长隧道结构使用寿命、降低结构维护成本、提高运营管理效率，为运营管理科学决策提供

技术支撑，最终实现公路隧道的“智慧管养”。

2 智慧隧道管养系统框架设计

公路隧道智慧管养系统是基于 BIM 和 GIS 技术，获取隧道基础信息数据以及实时的状态信息，实现基础数据管理、使用性能检测、结构功能检测、安全评估预警等功能。将来源于道路基础设施管理部门的业务系统以及外场健康监测设备的信息，融合云计算、云存储、数据仓库、以及大数据挖掘分析处理等技术，针对隧道基础设施的生命周期、结构信息、养护信息、运行信息以及财务信息进行深度挖掘、关联分析与预测分析，建立交通基础设施管养模型，并通过 GIS+BIM 技术将隧道管养监测信息可视化，为隧道管养部门提供强有力的养护决策和支持。

公路隧道智慧管养系统共划分为 4 个子系统，分别是隧道使用性能数据管理系统、隧道健康监测系统、隧道安全评估预警系统和隧道结构服役性能智慧管养系统（见图 1）。

3 公路隧道智慧管养子系统功能设计

3.1 隧道使用性能数据管理系统

隧道使用性能数据具有种类繁多、异型以及和环境关联密切等特征，主要包括隧道基础数据、隧道健康监测数据和隧道维修数据。

3.1.1 隧道基础数据

将隧道建设过程中的基础数据，主要包括隧道种类、隧道的组成、隧道施工技术等信息分类整理后录入

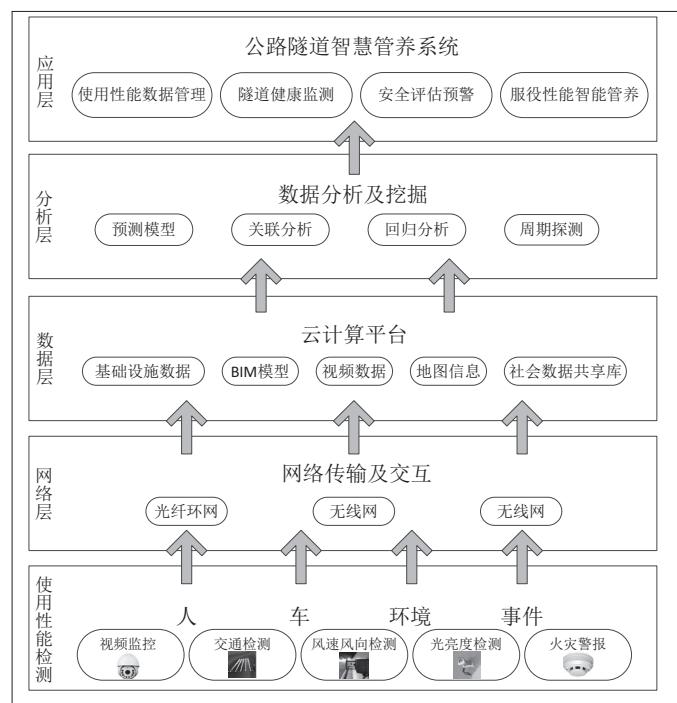


图 1 基于 GIS+BIM 的公路隧道智慧管养系统框架

数据库中存储。

3.1.2 隧道健康监测数据

通过气体检测器、风速风向检测器、形变监控、接缝监测和视频监控等设备对隧道结构、环境和设施进行监测，采集相关时序数据，包括结构侵蚀检测数据、结构检测数据、地层检测数据等，并对数据进行预处理，将其转化为能够进行健康状态实时监控与决策的结构化数据集存储于云平台中。

3.1.3 隧道维修数据

隧道维修数据主要为隧道的维修记录，包括维修内容、维修工艺、材料等，并采用时空分布模型与隧道病害数据形成一一关联、对应，从而有助于后续的数据挖掘与分析。

再通过创建 BIM 模型集成隧道基础数据，以及无线传感器技术采集到的隧道健康监测数据和隧道维修数据等信息，融合多维 GIS 技术，形成多维度的信息模型数据库，实现管养信息的可视化。管理人员可通过人机界面掌握隧道属性，了解隧道结构、设备分布、维修记录等信息。

3.2 隧道健康检测系统

隧道处于健康状态是保障隧道安全运行的充分必要条件。对隧道内的设施设备进行健康监测不仅可以认识不同工况下，隧道结构、地层及相邻环境的变化及发展规律，以便有针对性的改进施工工艺、调整施工参数；为研究岩土性质、地下水条件、施工方法与隧道变形、水土压力及地表沉降的关系积累数据，为改进设计提供依据；还可以预测隧道未来的工作状态，对发现的隧道异常进行初步分析，并提供经济合理的维护建议。

该系统主要应用了传感技术、自动化数据采集和传输技术、统计分析技术、数据库技术、网络技术等构建一个智能化的系统开展日常检查、定期检测、特别检测和专项检测，为相关管理人员提供最及时的检测数据及现场信息。隧道健康检测系统主要有以下三部分功能：

3.2.1 管片接缝张开量检测

管片接缝张开量检测在线提供当前各监测管片之间的间隙大小，为进行隧道截面收敛性分析提供基础数据，并能够通过管片接缝张开量，预判可能发生的危险事件。

3.2.2 隧道温度分布（火灾）检测

光纤分布式火灾检测系统，能将隧道内任意位置的实时温度显示出来，并连接到火灾报警信息网，做到预防为主。隧道内一旦发现所测量环境温度值超过标准设定报警温度时，光纤分布式温度监测系统把实时报警

信号传送到消防报警主机，消防报警控制主机随后将发出火灾声光报警并显示，同时把报警信号上传至隧道管理部门。

3.2.3 隧道结构安全检测

根据隧道结构安全评价指标体系，针对盾构法隧道结构特定的服役环境，整合现行所有指标项的监测、检测的方法、设备，感知温湿度、加速度、裂缝张开度、变形量、渗漏量等物理量指标，从而检测隧道结构安全。

3.3 隧道安全评估预警系统

隧道健康检测系统得出的检测结果分别传输到设在现场和设在中心内的计算机上。首先，运用泛函理论确定指标层和准则层的权重，使用安全检查表法和作业条件危险性评价法等不同评价方法，获得各指标层、准则层的危险等级；其次，使用模糊综合评判方法对准则层进行评价得出目标层的危险等级，形成隧道安全分级的预警体系，对隧道结构是否会开裂给出预警，给出结构破坏趋势的预测，分析结构变形可能对结果造成的影响和影响范围。依据上述分析结果和安全度分析结果，给出分级预警报告，同时用于对设计模型的修正。在此基础上，按预警体系划分出预警过程中的不同预警级别，形成一定的隧道预警机制。

采集隧道工程施工参数、隧道结构监测数据和环境监测信息，并将施工参数和监测信息与隧道 BIM 模型进行集成整合，同时结合周边环境及隧道结构监测数据，应用决策树、神经网络、支持向量机等算法进行大数据深层次的挖掘并对未来施工情况进行辅助分析评估，并对可能存在的风险进行分析、评估、告警，实现主动实时安全管控（见图 2）。

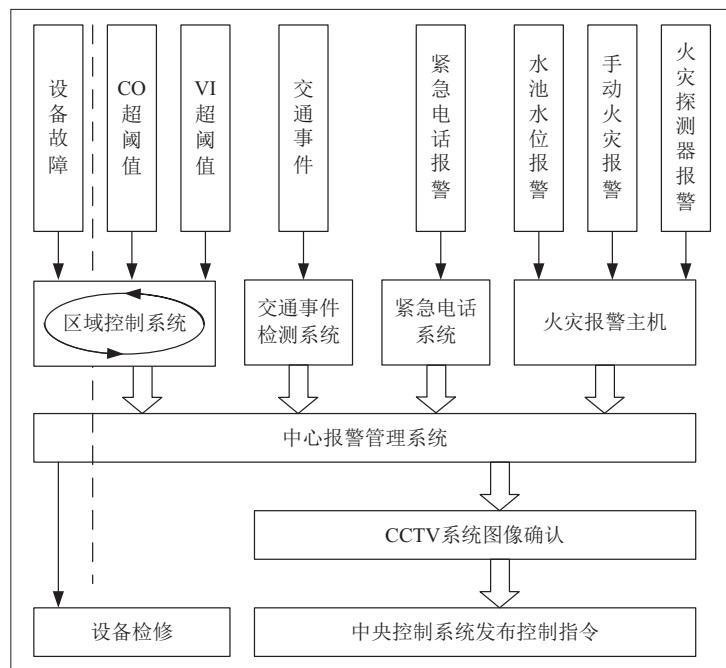


图 2 隧道设施设备安全告警

3.4 隧道结构服役性能智慧管养系统

基于隧道安全监测检测数据、智慧感知数据和安全评价数据，准确地得到结构服役性能现状并预测未来的服役性能，据此提供主动控制措施建议，优化管养决策。对于待维修的隧道，根据结构性能状况，基于隧道BIM模型，研究病害成因可视化分析和挖掘技术，并制订有针对性的维修加固备选方案，进行成本优化和性能优化综合分析，为确定维修加固专项方案提供决策支持。

根据隧道运营养护标准和规范，建立面向运营的隧道工作状态综合评估的评价集，对隧道进行安全性、耐久性、适应性三个方面进行评估，建立隧道工作状态综合评估的因素集。在建立的评价模型、评价集以及因素集的研究基础上，基于成本优化的隧道结构养护模式，形成面向运营的隧道标准化养护体系，为隧道结构服役性能智慧管养提供依据。

4 结语

本文基于GIS+BIM技术，研究并设计了公路隧道智慧管养系统，从而实现了隧道使用性能数据管理、健康检测、安全评估预警以及结构服役性能智慧管养等功能，完善相关应用数据标准，实现与GIS信息和BIM软件间数据的无损传递和转换，提升公路隧道养护维修管理水平，保障隧道高效、安全运行。

参考文献：

- [1] 交通运输部. 2017年交通运输行业发展统计公报 [R]. 2004.
- [2] 黄廷, 陈丽娟, 史培新, 俞蔡城. 基于BIM的公路隧道运维管理系统设计与开发 [J]. 隧道建设, 2017, (1): 48-55.
- [3] 龚佳琦, 胡珉, 喻钢. BIM可视化辅助下的隧道病害决策分析 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7 (6): 31-36.
- [4] 李俊松, 董凤翔, 张毅, 叶明珠. 基于达索平台的铁路隧道工程全生命周期BIM技术应用探讨 [J]. 铁路技术创新, 2014, (2): 53-56.
- [5] 常莹, 瞿文婷. 隧道工程全生命周期BIM云平台建设方案 [J]. 铁路技术创新, 2015, (6): 65-69.
- [6] 戴林发宝. 隧道工程BIM应用现状与存在问题综述 [J]. 铁道标准设计, 2015, (10): 99-102.
- [7] 徐晓核, 张永兴, 欧敏, 胡居义. 基于GIS的公路隧道监控管理信息开发及应用 [J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3 (1): 78-82.
- [8] 张刚, 张平, 蒋春杭, 孙星亮. 公路隧道信息管理系统GIS应用研究 [J]. 中国交通信息产业, 2007, (10): 104-106.
- [9] 林晓东, 李晓军, 林浩. 集成GIS/BIM的盾构隧道全寿命管理系统研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2018, (6): 963-970.
- [10] 李福健. 基于BIM和GIS的隧道围岩量测自动化监测系统研究与应用 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, (12): 89-93.

(上接第49页)

- Coordinating Signals[J]. Trtl Laboratory Report, 1981.
- [12] Systems F, Incorporated. EVALUATION OF THE OPTIMIZED POLICIES FOR ADAPTIVE CONTROL STRATEGY. FINAL REPORT[J]. Mathematical Models, 1989.
- [13] Gartner N H, Tarnoff P J, Andrews C M. EVALUATION OF OPTIMIZED POLICIES FOR ADAPTIVE CONTROL STRATEGY[M]. 1991.
- [14] Liao L C. A Review of the Optimized Policies for Adaptive Control Strategy (OPAC) [J]. 1998.
- [15] Dell'Olmo P, Mirchandani P B. REALBAND: an approach for real-time coordination of traffic flows on networks[J]. Transportation Research Record, 1995.
- [16] Head L, Mirchandani P. RHODES-ITMS[J]. 1997.
- [17] Sen S, Head K L. Controlled Optimization of Phases at an Intersection[J]. Transportation Science, 1997, 31(1): 5-17.
- [18] Turksma S. AN OVERVIEW OF UTOPIA-SPOT DEPLOYMENT IN NORTHERN EUROPE: World Congress on Intelligent Transport Systems, 2001[C].
- [19] 李瑞敏. SPOT/UTOPIA 交通信号控制系统 [J]. 中国交通信息化, 2004(6): 69-71.
- [20] Wahlstedt J. Evaluation of the two self-optimising traffic signal systems Utopia/Spot and ImFlow, and comparison with existing signal control in Stockholm, Sweden: International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems[C]. 2014.