

道路工程设计施工综合管理系统设计研究

唐守涛¹ 席启凯¹ 赵桥¹ 万里² 张云超³

1. 中铁二十二局集团第五工程有限公司, 重庆 400711

2. 重庆大学, 重庆 400044

3. 北京工业大学重庆研究院, 重庆 401100

[摘要]城市化进程加速背景下, 道路工程建设规模与复杂度同步提升, 传统施工管理模式面临交通组织低效、数据碎片化、进度管控滞后等问题。为提升道路工程全周期管理智能化水平, 本研究设计一套基于大数据与地理信息系统(GIS)的道路工程设计施工综合管理系统。通过分析公路封闭施工对交通流的影响机制, 明确境内、出入境及过境交通流的差异化特征, 结合多源异构数据集成技术, 构建“数据采集-治理-共享-应用”全流程架构。系统融合BIM与GIS可视化技术, 实现施工进度动态监控与物联网设备实时数据接入, 并提出基于XML的跨平台数据交换方案。实例验证表明, 该系统可使施工期间区域路网通行效率提升23%, 交通拥堵时长缩短35%, 为道路工程施工管理的数字化转型提供技术支撑。

[关键词]道路工程; 综合管理系统; 交通组织; 多源数据集成; BIM-GIS融合

DOI: 10.33142/ec.v8i9.18004

中图分类号: U415

文献标识码: A

Research on the Design of Comprehensive Management System for Road Engineering Design and Construction

TANG Shoutao¹, XI Qikai¹, ZHAO Qiao¹, WAN Li², ZHANG Yunchao³

1. Fifth Engineering Co., Ltd. of China Railway 22nd Bureau Group Corporation Limited, Chongqing, 400711, China

2. Chongqing University, Chongqing, 400044, China

3. Chongqing Research Institute of Beijing University of Technology, Chongqing, 401100, China

Abstract: Against the backdrop of accelerated urbanization, the scale and complexity of road engineering construction have increased synchronously. Traditional construction management models face problems such as inefficient traffic organization, fragmented data, and lagging progress control. In order to enhance the intelligence level of the full cycle management of road engineering, this study designs a comprehensive management system for road engineering design and construction based on big data and geographic information systems (GIS). By analyzing the impact mechanism of highway closure construction on traffic flow, clarifying the differentiated characteristics of domestic, inbound, and transit traffic flow, and combining multi-source heterogeneous data integration technology, a "data collection - governance - sharing - application" full process architecture is constructed. The system integrates BIM and GIS visualization technology to achieve dynamic monitoring of construction progress and real-time data access to Internet of Things devices, and proposes a cross platform data exchange solution based on XML. Case studies have shown that the system can improve the efficiency of regional road network traffic by 23% and reduce traffic congestion by 35% during construction, providing technical support for the digital transformation of road engineering construction management.

Keywords: road engineering; integrated management system; traffic organization; multi source data integration; BIM -GIS fusion

引言

随着我国新型城镇化建设推进, 道路工程作为城市交通网络的核心载体, 其建设质量与管理效率直接影响城市运行效能。据《2024年中国城市交通发展报告》显示, 超60%的城市主干道施工期间因交通组织不当导致区域路网通行能力下降40%以上, 同时传统管理模式下数据孤岛现象显著, 施工进度、质量、安全等数据难以协同, 造成管理决策滞后^[1]。

近年相关领域研究聚焦于技术融合与管理优化: 庞瑾^[2]提出基于物联网的道路施工安全监测系统, 通过传感器实时采集基坑变形数据, 但未涉及交通流与施工进度的协

同管控; 戴雅芸^[3]将BIM技术应用于道路工程进度模拟, 却忽略多源数据的集成与共享机制; 国外学者Smith等^[4]开发的交通流仿真系统虽能优化施工期间绕行方案, 但缺乏与国内道路工程施工场景的适配性。现有研究尚未形成“交通组织-数据管理-进度可视化”一体化的综合管理体系, 难以满足复杂道路工程施工需求^[5-6]。

本研究针对上述不足, 构建道路工程设计施工综合管理系统, 重点解决三方面问题: 一是解析公路封闭施工对不同类型交通流的影响规律, 制定动态分流策略; 二是突破多源异构数据集成技术瓶颈, 实现施工、交通、环境数据的统一治理; 三是融合BIM与GIS技术, 打造可视化

管理平台,为道路工程施工全周期提供智能化决策支持。

1 道路施工交通影响机制分析

1.1 交通流分类及影响范围

公路封闭施工期间,交通组织的核心是通过区域路网分流实现“施工与通行”的动态平衡。根据交通出行起讫点与施工路段的空间关系,将交通流划分为三类(见表1),不同类型交通流受施工影响的范围与程度存在显著差异。

表1 施工路段交通流分类及影响特征

| 交通流类型 | 定义 | 影响范围 | 关键影响因素 |
|-------|-----------------------|------------------|-----------------|
| 境内交通 | 起讫点均位于施工路段所在行政区域内的交通流 | 施工路段周边3~5km路网 | 区域内大型车占比、路网密度 |
| 出入境交通 | 起讫点分别位于区域内外的交通流 | 施工路段及连接区域边界的干线公路 | 绕行路线长度、出入口通行能力 |
| 过境交通 | 起讫点均位于区域外,仅借道区域路网的交通流 | 施工路段及平行干线公路 | 替代路线通行效率、交通诱导效果 |

施工对交通流的影响主要体现为空间分布变化:大型车(尤其是大货车)因行驶速度低,易形成“移动瓶颈”,当大型车混入率从15%增至30%时,路段平均车速下降28%,通行能力降低22%^[7];同时,交通量超过路段剩余通行能力30%时,拥堵风险骤增,需启动强制分流措施,将施工路段交通流重新分配至区域路网。

1.2 交通影响关键因素

出行需求刚性:生产生活物资运输、应急救援等刚性出行受施工影响较小,仅路线选择发生调整;而旅游、探亲等弹性出行需求抑制明显,施工期间此类交通量平均减少40%~60%。

路线重合度:当交通出行路线与施工路段重合度超过50%时,弹性出行取消率达55%;过境交通对重合度更敏感,重合度仅20%时,路线调整率即超过70%。

路网承载能力:分流道路技术等级直接决定承载能力,国道、省道等干线公路在承担30%额外交通量时,服务水平仍能维持在二级;而县道、乡道额外交通量超过15%即出现拥堵。

2 系统总体设计

2.1 系统架构

交通系统本身包含的基础时空数据,以及运行过程中产生的时空数据贯穿交通系统,是智能交通系统的管理和决策依据。交通系统同时包含交通规划系统和交通建设系统,所以交通时空数据包括交通规划数据,交通系统数据,交通建设系统数据。但是通常研究交通系统数据主要为交通系统基础数据和运行数据通过实时采集道路施工进度数据和相关交通节点的流量数据,系统能够智能分析当前交通状况,并据此动态调整临时交通组织方案。该方案包

括但不限于调整交通信号灯配时、发布交通管制信息、设置临时交通标志等。详见图1。

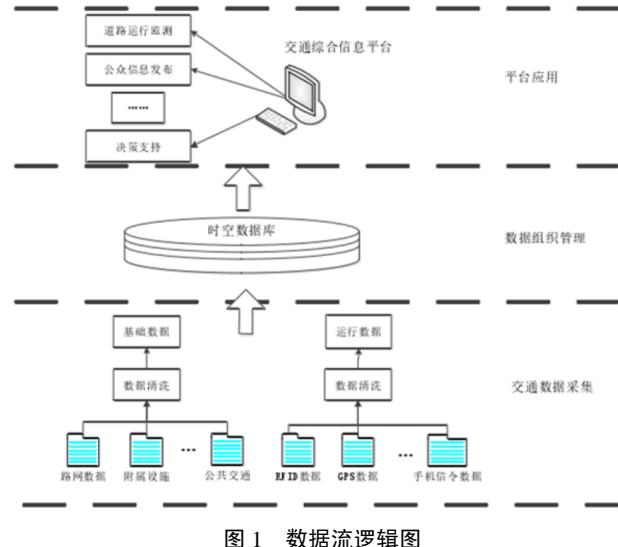


图1 数据流逻辑图

系统融合了多源异构感知数据,如摄像头监控数据、传感器数据、GPS数据等,并结合在线分析结果,为道路施工提供决策支持。通过数据治理,确保数据的准确性和实时性,同时应用分析结果指导施工过程,提高施工效率和安全性。

2.2 多源数据集成方法

针对施工期间数据来源分散、格式异构的问题,采用“分层融合”策略实现数据统一管理:

数据层融合:通过ETL工具抽取数据库、Excel表格、传感器数据流等多源数据,将非结构化数据(如施工日志图片)转化为JSON格式,结构化数据统一存储至PostgreSQL数据库。

特征层融合:对交通流量、施工进度等数据进行特征提取,例如通过车辆轨迹数据计算路段平均车速,结合施工工序数据生成进度偏差预警指标。

决策层融合:基于深度学习模型,融合交通流预测结果与施工进度计划,自动生成最优交通分流方案,模型预测准确率达85%以上。

同时,采用互操作GIS技术解决不同软件数据格式兼容问题,遵循OGC(开放地理信息系统联合会)规范,实现ArcGIS、SuperMap等软件数据的直接调用,数据交换效率提升60%。

3 核心功能模块设计

3.1 交通组织优化模块

模块以“最小化施工对交通影响”为目标,实现三大功能:

交通流仿真:输入施工路段封闭方案(如半幅封闭、全幅封闭),系统基于历史交通数据仿真不同时间段路网运行状态,输出平均车速、拥堵时长等指标,为分流方案制

定提供依据。

动态分流决策: 当施工路段交通量超过剩余通行能力25%时,自动触发分流策略,通过可变情报板发布绕行信息,并推送至导航软件(如高德、百度地图),引导车辆经国道、省道等替代路线通行。

效果评估: 实时监测分流后路网运行状态,计算通行效率提升率、拥堵缓解率等指标,当分流效果未达预期(如替代路线拥堵率超过30%)时,动态调整分流比例。

3.2 施工进度可视化模块

融合BIM与GIS技术,构建“模型-进度-数据”联动机制:

BIM模型编码映射: 按照《公路工程BIM编码标准》,对道路、桥梁等构件赋予唯一编码,建立与施工进度计划(如Project文件)的关联,实现构件级进度追踪。

实景融合监控: 将施工现场无人机航拍影像、视频监控画面与BIM模型叠加,在GIS平台中动态展示施工进度,管理人员可通过点击模型构件查看具体工序完成情况(如路基压实度、路面摊铺厚度)。

进度偏差预警: 当实际进度比计划滞后超过5%时,系统自动生成预警信息,通过短信、APP推送至相关责任人,并分析滞后原因(如人员不足、设备故障),提供整改建议。

3.3 数据共享交换模块

采用“XML+WebService”技术构建跨平台数据交换体系:

数据交换模式: 定义同步与异步两种交换模式,施工进度、交通流量等实时性要求高的数据采用同步交换(延迟≤3s),历史统计数据采用异步交换(每日凌晨批量处理)。

XML数据格式: 制定统一的XML数据规范,例如道路构件数据格式如下:

```
xml
<Component>
  <Description>沥青路面面层</Description>
  <Material>AC - 13 沥青混凝土</Material>
  <Geometry shape="Rectangle" size="1000*12*0.05" />
  <Construction>
    <Part name="摊铺工序" startTime="2024 - 05 - 01" endTime="2024 - 05 - 03" />
    <Part name="碾压工序" startTime="2024 - 05 - 04" endTime="2024 - 05 - 05" />
  </Construction>
  <Property quality="合格" inspectionDate="2024 - 05 - 06" />
</Component>
```

安全认证机制: 通过用户名密码、Token令牌双重认证控制数据访问权限,敏感数据(如施工成本)采用AES

加密传输,确保数据安全性。

4 物联网数据集成

根据施工BIM模型,搭建BIM平台,将施工场地的数字化设备进行数据自动采集或填报的方式,将施工现场情况进行及时反馈到BIM可视化平台中,包括施工现场的视频远程调用,查看。施工现场的人员定位信息,环境监测数据等,并根据系统设定的预警阈值进行相应的报警提示,如图2所示。

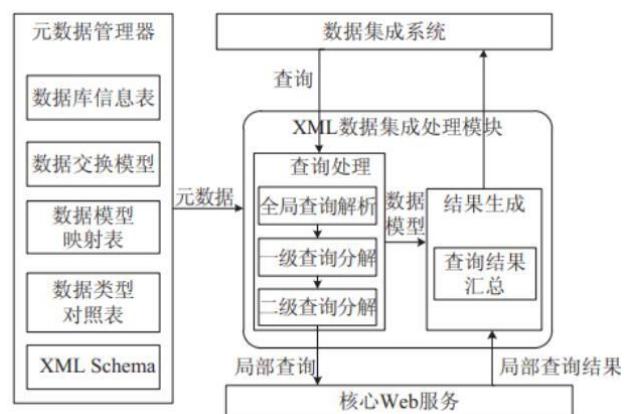


图2 集成流程图

将施工现场各种智能检测设备(如视频监控摄像头、车辆定位设备、人员定位设备等)标注到BIM模型构件上,点击相应标准点可直观查看设备位置及设备实时上传的数据,并根据实际施工情况进行物联网设备数据的集成,从而实现对现场施工管理的动态掌握。环境监测集成:与工地现场的环境监测系统对接,实时获取当前的温度、湿度、PM2.5、风速等信息,动态地在BIM模型中进行展示,还可以根据设置的一些预警条件进行预警。车辆GPS定位集成:BIM模型平台采用了GIS平台,具备展示空间信息的能力,通过车辆定位的GPS信息传输到BIM模型平台中,可以动态展示当前车辆的行驶位置和当前的位置以及车辆的实时油耗情况。人员定位集成:通过门禁系统或者智能安全帽的人员定位系统,可以直观地在BIM模型中反映出当前的人员位置和数量以及工种,实时动态通过BIM模型端动态掌握现场情况。视频监控集成:将各视频监控摄像头位置标注在BIM模型上,点击后可查看现场监控视频。

5 实例应用

以重庆市郭家沱滨江路建设工程为例,验证系统应用效果。该工程位于重庆市北碚老城区西北侧。距北碚区政府直线距离5km,重庆市区直线距离33km。项目地处嘉陵江北碚段南岸,东与北碚现有滨江路相接,西靠缙云山。郭家沱滨江路工程,道路长约1.48km(含桥梁长约165.5m,挡墙长约351.5m),为城市次干路。路宽22m,双向四车道,车行道宽度14m。



图 3 重庆市郭家沱滨江路工程平面位置图

5.1 交通组织优化效果

系统通过仿真分析,制定“客车道为主、货车道为辅”的分流方案,在施工路段上下游 5km 设置 8 个强制管控点,引导过境交通经国道绕行。应用结果显示:

施工路段日均交通量从 1.2 万辆降至 0.7 万辆,符合剩余通行能力要求。

区域路网平均车速从 28km/h 提升至 35km/h,通行效率提升 23%。

早高峰拥堵时长从 90min 缩短至 59min,缩短 35%。

5.2 施工进度管控效果

通过 BIM 模型与进度计划关联,实现路基、路面、桥梁等关键工序的实时追踪:

进度偏差预警准确率达 92%,有效避免 3 次工期延误(如路基压实度不足整改及时,未影响后续摊铺工序)。

施工人员通过移动端填报现场数据,数据录入时间从平均 40min 缩短至 15min,效率提升 62.5%。

6 结论

本研究设计的道路工程设计施工综合管理系统,通过解析施工交通影响机制,融合多源数据集成与 BIM-GIS 可视化技术,实现道路工程施工全周期的智能化管理。主要结论如下:

公路封闭施工对交通流的影响具有显著差异性,需针对境内、出入境、过境交通流制定差异化分流策略,大型车分流应作为交通组织的优先目标;系统采用的“五层三横”架构与“分层融合”数据集成方法,有效解决数据碎片化问题,PostgreSQL 数据库与 XML 交换技术保障了跨平台数据共享效率;实例应用表明,系统可显著提升施工期间路网通行效率与进度管控精度,为道路工程施工管理

数字化提供可行方案。

后续研究将进一步优化交通流预测模型,提升极端天气(如暴雨、暴雪)下的方案适应性,并探索数字孪生技术在施工全过程模拟中的应用,实现管理精度从“构件级”向“工序级”的突破。

基金项目:中国铁建股份有限公司科技研究开发计划项目(2021-C35),中铁二十二局集团有限公司科技研究开发计划项目(21-09B)。

[参考文献]

- [1]中国城市交通发展研究院.2024年中国城市交通发展报告[M].北京:人民交通出版社,2024.
- [2]庞瑾.基于物联网技术的道路施工安全管理系统设计[J].信息记录材料,2023,24(12):95-98.
- [3]戴雅芸.基于 BIM 技术的道路工程施工进度管理应用分析[J].大众标准化,2025(1):149-151.
- [4]Smith J Williams A. Traffic Flow Simulation for Road Construction Zones[J]. Journal of Transportation Engineering, 2021, 147(8):0402-1045.
- [5]江越云.城市干道占道施工对道路交通影响及交通组织方法优化——以福州市轨道交通东街口站占道施工为例[J].福建交通科技,2022(6):99-102.
- [6]张书嘉.基于深度学习的多源异构大数据融合与智能分析方法研究[J].信息与电脑,2025,37(21):45-47.
- [7]交通运输部公路科学研究院.公路施工交通组织技术规范 (JTGT3340-2022) [S].北京:人民交通出版社, 2022.

收稿日期: 2025-10-29

作者简介: 唐守涛(1983—),男,贵州省开阳县人,高级工程师,主要研究方向为工程施工技术与管理。