

城乡公路工程施工质量动态监控与智能管理研究

朱荣峻, 陈 石

(上海市市政工程建设发展有限公司, 上海市 200025)

摘 要: 随着城乡公路工程项目的复杂性和规模的不断扩大, 传统的质量管理模式已无法满足现代工程项目的要求。依托淞沪路-三门路下立交工程项目提出了基于信息化的公路工程项目综合管理方法, 旨在通过整合物联网(IoT)、建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)等先进技术, 实现公路项目全过程的数字化、智能化管理。研究设计了一种涵盖项目全生命周期的管理体系, 包括核心平台、四大业务模块和三类保障机制, 以确保各阶段的数据流通和决策支持。在规划设计阶段, 通过BIM与GIS技术结合, 实现对项目的三维可视化与全周期适配性分析, 优化设计方案并确保与后期养护的有效衔接。施工阶段, 通过物联网技术和移动终端, 实时监控关键参数, 提升施工质量与效率, 确保项目按计划推进。运营养护阶段, 利用智慧养护平台与预防性技术, 实现对结构健康的实时监测和早期预警, 大幅降低维护成本, 延长项目使用寿命。

关键词: 公路工程; 信息化管理; 物联网; 动态监控

中图分类号: U415

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)03-0293-04

Research on Dynamic Monitoring and Intelligent Management of Construction Quality of Urban and Rural Highway Engineering

ZHU Rongjun, CHEN Shi

(Shanghai Municipal Engineering Construction Development Co., Ltd., Shanghai 200025, China)

Abstract: With the increasing complexity and scale of urban and rural highway engineering projects, the traditional quality management models can no longer meet the demands of modern engineering projects. Relying on the Songhu Road - Sanmen Road Underpass Project, an information-based integrated management approach for highway engineering projects is proposed. By integrating the advanced technologies such as the Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS), the aim is to achieve the digital and intelligent management throughout the entire process of highway projects. A management system covering the entire life cycle of a project is studied and designed, comprising a core platform, four business modules and three safeguard mechanisms to ensure the data flow and decision-making support at all stages. During the planning and design phase, the integration of BIM and GIS technologies realizes the 3D visualization and life cycle adaptability analysis of the project, optimizes the design solutions and ensure the effective coordination with future maintenance. In the construction phase, IoT technologies and mobile terminals are employed to monitor the key parameters in real time, enhancing the construction quality and efficiency and ensuring the project progress according to plan. During the operation and maintenance phase, a smart maintenance platform and preventive technologies are utilized to achieve the real-time monitor and early warnings of the structural health, significantly reducing the maintenance costs and extending the service life of the projects.

Keywords: highway engineering; information-based management; Internet of Things (IoT); dynamic monitoring

0 引 言

随着现代社会的快速发展, 工程项目的规模、复杂度和技术要求不断提升, 尤其是在城乡公路工程

建设领域^[1-2]。公路作为基础设施的重要组成部分, 其质量管理直接影响到交通安全、运输效率 and 经济发展。然而, 传统的工程管理模式在应对项目规模庞大、施工环境复杂、质量管控难度高等问题时, 常显现出较大局限性。特别是在多样性、易损性和长周期的特性下, 如何高效且精准地管理公路工程的全生命周期, 成为亟待解决的关键问题^[3-4]。

近年来, 信息化技术的迅猛发展, 尤其是物联网

收稿日期: 2025-10-14

作者简介: 朱荣峻(1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事代建项目管理工

通信作者: 陈石(1991—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事代建项目管理工。电子信箱: 504572612@qq.com

(IoT)^[5]、建筑信息模型(BIM)^[6]、地理信息系统(GIS)^[7]等技术的应用,为解决这一挑战提供了新的可能性。通过整合先进的信息技术与管理理念,能够实现项目从规划设计到施工、运营养护各阶段的协同与优化管理,极大提升项目管理的效率与质量控制水平。信息化管理体系在公路工程中的应用,不仅能实时监控施工质量,生成动态预警,提升施工过程的透明度,还能通过智能分析优化决策,降低养护成本,实现“建养并重”的可持续发展^[8-10]。

本文将围绕基于信息化的公路工程项目综合管理方法展开研究,着重探讨如何通过信息化管理体系的构建,提升公路项目的质量管控能力,降低运营养护成本,并推动区域经济的协调发展。通过分析项目的各个阶段,包括规划设计、施工管理与运营养护阶段,本文提出了一种全新的信息化管理架构,并阐述了其实施路径、优势与优化方案。研究结果为提升公路项目管理水平、推动智慧公路建设提供了重要参考依据。

1 项目管理概念与分析

1.1 项目管理的定义与历史

项目管理作为管理学的重要分支,旨在通过系统化的观点、方法和理论,高效管控项目全流程。从投资决策到项目收尾,项目管理包括计划制定、组织协调、指挥控制和效果评估等环节,确保项目目标顺利实现。根据PMI(项目管理协会)的定义,项目是为交付特定产品、服务或成果而开展的临时性工作,涉及独特、复杂且相互关联的活动,必须在规定时间内、预算和资源限制内达成明确目标。

历史上,项目管理的实践已有悠久传统,从长城、坎儿井到都江堰和京杭大运河,均依赖精细的规划和过程管控。随着社会发展,现代工程项目的规模、领域和复杂度显著增加,要求更高的专业性与科学性。三峡水利、西气东输、南水北调等大型项目,若缺乏科学管理,可能造成巨大的经济损失和社会影响。

1.2 城乡公路工程项目存在问题分析

1.2.1 工程特性带来的质量管理挑战

(1)多样性与固定性

城乡公路项目因其功能、技术标准及地理环境差异,呈现极强的异质性,每项工程均为“唯一产品”,难以标准化复制,要求高精度规划和个性化设计。质量缺陷一旦发生,修复成本高且可能影响周围环境。

(2)易损性与庞大性

公路作为线性结构,直接承受车辆荷载和自然侵蚀,质量缺陷会迅速影响通行安全。同时,广泛的地域分布和大量结构物使得质量控制点位繁多,管理难度加大。举例而言,淞沪路-三门路下立交工程各类跨线交叉使质量控制复杂度成倍增加。

1.2.2 施工特点加剧质量管理难度

(1)高投资与长周期

大规模投资和长工期(如淞沪路-三门路下立交工程14.7亿元、4年工期)带来了宏观经济政策、材料价格波动及技术更新等多重风险,可能干扰质量目标的稳定实现。

(2)点线面特征与复杂环境

项目点多、线长、面广,涉及多个施工单位,管理协调难度大。复杂的野外环境,如高原、峡谷等地质条件,也增加了施工难度和质量控制的不确定性,影响安全性和耐久性。

1.2.3 当前质量管理外延问题

(1)总体规划前瞻性不足

部分地区缺乏科学规划,导致建设与后期养护脱节,普遍存在“重建设、轻养护”现象,缺乏全生命周期管理理念,导致高质量工程因失养而提前报废。

(2)技术力量薄弱与监管缺失

基层专业技术人员不足,且依赖经验解决问题,农村公路施工队伍专业化程度低。行业内部监管体系不健全,信息不公开,导致公众监督缺位,影响质量管理的有效性和持续性。

2 基于信息化的公路工程项目综合管理方法

2.1 工程概况

淞沪路-三门路下立交工程位于杨浦区江湾五角场地区,毗邻发展成熟的五角场商圈,周边为大体量的商业、办公核心区域,人流量、车流量较大,交通环境复杂。新建一双层Y字型下立交连接五角场商业区和新江湾城及中原两个住宅社区,主体结构大部分采用明挖基坑方法施工,周边存在轨道交通10号线、多个高层商用办公建筑物、合流污水总管以及大量市政公用管线,环境极为复杂,实施难度大,下立交共分为三个不同的施工区域,见图1。

2.2 信息化管理体系的核心架构设计

公路工程项目的复杂性与多样性要求在各个阶段实现信息的精确管理和快速响应^[11-14]。基于这一需求,信息化管理体系将贯穿项目的全生命周期,依



图1 项目平面图

托“一个核心平台+四大业务模块+三类保障机制”的框架,实现数据互通、流程闭环与精准决策支持,见图2。核心平台为数据汇聚、处理与实时决策提供基础,整合传感器数据、人工智能分析、物联网设备反馈等信息流,确保从规划设计到施工、运营养护各阶段的信息流动畅通且精准^[15-16]。

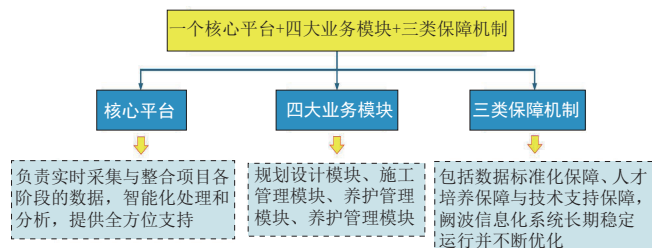


图2 信息化管理核心架构设计图

核心平台:负责实时采集与整合项目各阶段的数据,智能化处理和分析,提供全方位支持。四大业务模块分别包括:

规划设计模块:提供 BIM 与 GIS 集成支持的三维可视化、全周期适配性分析。

施工管理模块:依托物联网技术实现实时监控、动态预警与协同调度。

养护管理模块:利用结构健康监测系统和预防性技术实现从“被动修复”到“主动养护”的转型。

经济效益评估模块:基于数据分析,提供全生命周期内的成本效益评估。

三类保障机制:包括数据标准化保障、人才培养保障与技术支持保障,确保信息化系统长期稳定运行并不断优化。

2.3 分阶段信息化管理实施路径

2.3.1 打破传统设计思维,实现智能化全周期分析

在规划设计阶段,结合 BIM(建筑信息模型)与

GIS(地理信息系统)技术,构建数字化模型,通过三维协同设计整合地形、地质、水文等多方面的数据,对每个环节的影响进行精确模拟,见图3,提前进行适配性分析。利用BIM组件形式将各类结构(如桥梁、隧道等)嵌入模型,模拟不同设计方案对周边环境、施工难度及后期养护的影响,避免设计阶段与后期养护脱节的情况。通过全周期成本测算,计算不同设计方案的建设成本、养护成本及社会效益,为决策者提供科学的参考依据,推动“建养并重”的理念。

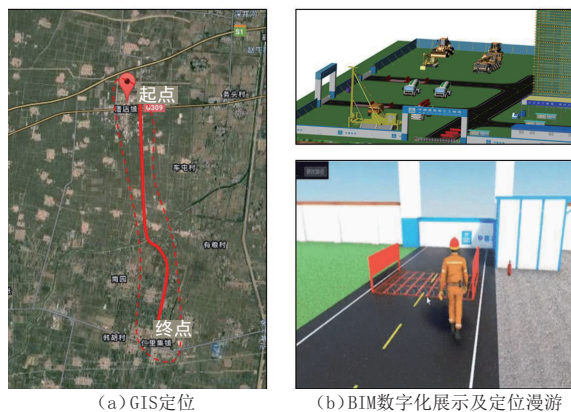


图3 模拟规划示意图

2.3.2 利用物联网与移动终端进行实时质量管控

在施工阶段,基于物联网(IoT)技术与移动终端,构建一个全新的质量管控网络,重点解决施工点多线长、管理复杂的问题。智能传感器实时监测关键参数如温湿度、压实度、混凝土强度等,通过5G等低延迟通信网络汇聚到云端管理平台。在平台内,实时分析施工数据并生成动态预警,确保每个环节得到有效管控,提升施工效率与质量。在施工过程中,通过与智能穿戴设备相结合的移动终端,项目人员可以实时获取作业指导与进度监控信息,大大降低现场管理的复杂度。

2.3.3 转型为主动养护,确保长期可持续性

进入运营养护阶段后,信息化管理体系将重心转向从“被动维修”到“主动养护”的转型。通过“智慧养护平台+预防性技术”相结合,实现了对结构健康的实时监测与早期预警。通过在桥梁、隧道等关键结构部位安装长期监测传感器,实时采集数据并传输至智慧养护平台。利用人工智能(AI)算法对结构的退化趋势进行分析,提前识别潜在的病害问题并推送修复方案,避免故障的恶化与高额的修复成本。同时,平台能动态调度养护资源,结合环境因素、交通流量等,自动生成最优的养护计划。

2.4 整体框架下的效益分析与优化路径

基于信息化的综合管理方法能够有效提升公路工程项目的质量与运营效率,降低长期养护成本。信息化管理系统打破了传统管理模式中的“信息孤岛”,通过数据的实时传输与智能分析,实现了从规划设计、施工到运营养护全过程的协同管理,见图4。通过全生命周期的监控与动态优化,项目管理者可以根据实时数据与预警信息,灵活调整管理策略,提升工程的长期经济效益。

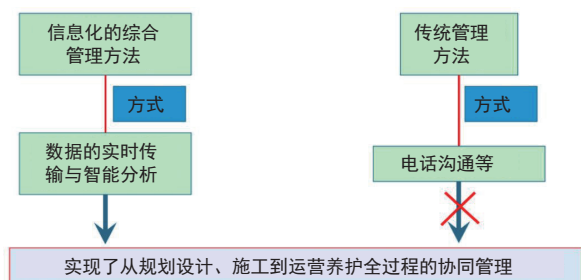


图4 信息化综合管理方式的优点

此外,信息化管理系统为区域经济发展带来深远影响,特别是在提升物流效率、降低运输成本和促进产业升级等方面,信息化的应用不仅优化了公路建设的成本结构,还促进了区域经济的协调发展。

3 结 语

随着信息技术的迅猛发展,基于信息化的公路工程项目综合管理方法展现了巨大的潜力与优势。本研究依托淞沪路-三门路下立交工程,提出并分析了一个涵盖公路工程全生命周期的信息化管理体系,该体系通过构建核心平台与四大业务模块,结合先进的物联网、BIM、GIS等技术,实现了从规划设计到施工、运营养护阶段的全面数字化管理。

(1)规划设计阶段通过BIM与GIS的协同应用,打破了传统设计思维,实现了对各类设计方案的全周期适配性分析,有效避免了设计与后期养护之间的脱节,并为决策者提供了科学的成本效益参考。

(2)在施工阶段,物联网技术与移动终端的结合,构建了一个实时质量管控网络,通过智能传感器与云端平台的实时数据分析,不仅提升了施工效率,也确保了工程质量的可控性。

(3)在运营养护阶段,智慧养护平台与预防性技术的融合,实现了对关键结构的实时监测与早期预警,有效提升了养护效率,降低了修复成本。

参考文献:

- [1] 杨荣光. 建筑工程项目质量管理分析—以建筑施工实践为例[D]. 成都:西南交通大学,2013.
- [2] 王志国. 杨家坝大桥项目管理研究[D]. 成都:西南交通大学,2011.
- [3] 余志峰,胡文发. 项目组织[M]. 清华大学出版社,2000.
- [4] 姚天一. 风电辅机建设项目质量管理方法研究[D]. 北京:华北电力大学(北京),2013.
- [5] 巩珍珍. 基于信息新鲜度的物联网智能优化研究[D]. 北京:北京邮电大学,2025.
- [6] 王炳林. BIM技术在装配式建筑施工阶段的应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市,2025(10):103-105.
- [7] 杨桐舒. 健康城市视角下老城区公园绿地布局评估与优化——基于大理下关的GIS空间分析[J]. 中南农业科技,2025,46(4):182-186.
- [8] 逢强,高玉松. 基于数字化技术的建筑工程信息化管理体系建设[J]. 住宅与房地产,2024(14):65-67.
- [9] 刘维韬. 基于BIM的高层建筑施工的信息化管理体系[J]. 中国建筑金属结构,2024,23(3):17-19.
- [10] 丁嘉亮,邱硕涵,马岩,等. 建筑工程施工信息化管理体系建设研究[J]. 建筑经济,2023,44(4):79-88.
- [11] 唐先刚. 公路工程路基施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025(19):146-148.
- [12] 陈亮,林令南. 公路工程项目中可持续发展理念下的循环利用实践[J]. 智慧中国,2025(6):42-43.
- [13] 刘文金. 公路工程项目投资决策阶段造价控制对策研究[J]. 交通科技与管理,2025,6(12):166-168.
- [14] 王青军. 高速公路工程项目物资采购风险管理和控制措施研究[J]. 中国物流与采购,2025(2):105-106.
- [15] 李玉光. 建设单位工程项目信息管理要点研究[J]. 中国信息界,2024(7):69-71.
- [16] 张智蕾. BIM技术工程项目信息管理模式与策略[J]. 中国高新科技,2022(2):138-139.