

智慧化背景下公路工程项目全生命周期管理优化研究

杨丽花

云南经远工程咨询有限公司 云南昆明 650500

摘要：公路工程作为交通运输体系的核心组成部分，其项目管理水平直接关系到工程质量、建设效率与运营效益。在数字技术迅猛发展的智慧化背景下，传统公路工程项目管理模式面临着信息孤岛、协同低效、决策滞后等诸多瓶颈。本文以公路工程项目全生命周期管理为研究对象，系统剖析智慧化技术在项目规划决策、设计、施工、运营维护及报废回收各阶段的应用价值。通过探讨BIM、大数据、物联网、人工智能等技术与管理流程的深度融合路径，针对各阶段管理痛点提出具体优化策略，旨在构建一套高效协同、智能决策、动态可控的智慧化管理体系，为提升公路工程项目管理的精细化水平提供理论参考与实践借鉴。

关键词：智慧化；公路工程；全生命周期管理；BIM技术；管理优化

引言

公路交通是支撑国民经济发展的基础性、战略性产业，随着我国现代化建设进程的加快，公路工程项目呈现出投资规模扩大、技术复杂度提升、建设环境多元等特点，传统以人工为主导的管理模式逐渐难以适应新时代工程建设的需求。传统管理模式下，公路工程项目各阶段信息传递不畅，设计与施工衔接断层，施工过程质量与安全管控依赖经验判断，运营阶段养护决策缺乏精准数据支撑，这些问题不仅导致工程成本增加、工期延误，还可能影响公路的长期使用性能^[1]。智慧化技术的崛起为破解这些难题提供了新的思路，以BIM、大数据、物联网等为代表的数字技术能够打破信息壁垒，实现项目全要素、全流程的数据贯通与智能分析。

一、智慧化背景下公路工程项目全生命周期管理现存问题

1. 数据支撑不足与预判能力薄弱

规划决策是公路工程项目全生命周期的起点，其科学性直接决定项目的成败。当前，部分公路工程项目规划决策阶段仍依赖传统经验与有限数据，存在明显短板。一方面，数据采集范围有限，未能充分整合区域交通流量、地质环境、气象条件、经济发展规划等多维度数据，导致对项目建设必要性与可行性的分析不够全面。例如，部分项目仅参考短期交通数据制定建设规模，投入使用后很快出现交通拥堵问题，需进行二次改造。另一方面，缺乏智能分析工具支撑，决策过程多依赖专家主观判断，

难以对项目投资效益、环境影响、风险隐患等进行精准预判。传统分析方法无法有效处理复杂的多因素关系，可能导致决策偏差，增加项目后期的运营风险与调整成本^[2]。

2. 协同性不足与数字化程度偏低

设计阶段是将规划决策转化为具体技术方案的核心环节，当前智慧化技术在该阶段的应用仍存在诸多不足。首先，各专业协同设计机制不完善，公路工程设计涉及路线、桥梁、隧道、排水、电气等多个专业，传统设计模式下各专业多采用独立设计软件，设计成果以二维图纸为主，信息传递存在滞后性与损耗性。当某一专业设计方案调整时，难以快速同步至其他专业，容易出现设计冲突，导致施工阶段返工^[3]。其次，数字化设计深度不够，部分设计单位虽引入BIM技术，但多停留在三维建模层面，未能充分利用BIM的参数化、可视化优势进行设计优化与性能分析。此外，设计成果与施工阶段的衔接不畅，设计图纸中的信息难以直接转化为施工指导数据，增加了施工交底的难度与误差。

3. 过程管控粗放与信息传递不畅

施工阶段是项目落地的关键，也是管理难度最大的阶段，当前智慧化应用不足导致管控粗放。一是质量管控依赖人工检验，缺乏实时监测手段。传统模式下，施工质量检查多采用抽样检测方式，很难做到全过程、全覆盖监控，对于钢筋焊接、混凝土浇筑等关键工序的质量问题，往往在事后才能发现，整改成本高。二是进度管理缺乏动态协同，各参建方之间进度信息传递不及时，计划与实际施工脱节^[4]。三是安全管理有盲区，对于高

边坡、深基坑等危险作业区，缺乏智能预警设备，对人员的违规操作、环境风险等难以实时监测与预警，安全事故发生率较高。

4. 养护决策滞后与资源配置不合理

运营维护阶段直接关系到公路的使用质量与寿命，当前智慧化管理缺失导致养护效率低下。一方面，养护决策基于经验判断，缺乏精准数据支撑。在传统养护模式下，公路病害的发现多靠人工巡检，不仅效率低、成本高，而且难以发现隐蔽性病害。养护方案是根据巡检人员的主观经验制定的，无法针对公路的实际损耗情况进行准确养护，存在过度养护或养护不足的问题。另一方面，资源配置不合理，对养护人员、设备、材料的调度缺乏智能规划，造成资源浪费。例如，同一区域多条公路同时出现病害时，通过智能调度无法实现资源的最优配置，延长养护工期。另外，公路运营过程中的交通流量、通行状态等数据未能得到很好地分析利用，无法为交通疏导、收费管理等提供科学支撑。

二、智慧化背景下公路工程项目全生命周期管理优化路径

1. 构建多源数据融合的智能决策体系

规划决策阶段的优化核心是利用智慧化技术实现数据全面整合与智能分析，提升决策科学性。首先，搭建多源数据采集平台，整合区域交通、地质、气象、经济、环保等各类数据资源。通过物联网设备采集现有公路的交通流量、通行速度等实时数据，依托地理信息系统获取地质地貌、土地利用等空间数据，对接政府部门数据库获取经济发展规划、环保要求等政策数据，构建全面的项目数据库^[5]。其次，引入大数据与人工智能分析技术，建立智能决策模型。利用大数据技术对多源数据进行清洗、整合与挖掘，分析区域交通需求变化趋势、项目建设对环境的影响等关键问题；通过人工智能算法构建投资效益分析模型、风险预警模型等，对项目建设规模、投资额度、路线方案等进行多维度评估，为决策提供精准数据支撑。

2. 推行BIM协同设计与数字化交付模式

设计阶段的优化重点是依托BIM技术打破专业壁垒，实现协同设计与数字化交付。首先，构建统一的BIM协同设计平台，整合各专业设计软件与标准。各专业设计人员基于同一BIM模型进行并行设计，设计过程中可实时查看其他专业的设计成果，实现信息共享与同步更新。当某一专业设计方案调整时，系统可自动提醒相关专业

进行联动修改，有效避免设计冲突。其次，深化BIM技术的应用深度，开展智能化设计分析。利用BIM模型参数化特性，对公路路线平纵断面、桥梁结构等进行优化设计；通过内置的分析工具进行力学性能模拟、抗震分析、行车安全性分析等，提升设计方案的技术可行性。最后，实现设计成果的数字化交付，将BIM模型中的设计信息转化为施工阶段可直接使用的数据格式，如施工进度计划、材料清单、构件加工参数等，打通设计与施工的信息壁垒。

3. 打造实时可控的智慧工地管理系统

施工阶段的优化核心是利用智慧化技术实现对质量、进度、安全的全过程动态管控。构建智慧工地管理平台，整合BIM、物联网、人工智能等技术，实现施工过程的可视化、智能化管理。在质量管控方面，在钢筋、混凝土等材料进场时，通过二维码技术实现材料溯源管理；在关键工序施工中，安装智能监测设备实时采集施工数据，如混凝土浇筑温度、钢筋间距等，数据自动上传至管理平台与BIM模型进行比对，一旦出现偏差立即发出预警，实现质量问题的实时整改。在进度管理方面，将施工进度计划与BIM模型关联，通过物联网设备采集施工班组的实际作业数据，实时更新模型进度，与计划进度进行对比分析，及时发现进度滞后问题并分析原因，通过平台协调各参建方调整施工方案。在安全管理方面，为施工人员配备智能安全帽，实时监测人员位置与作业状态；在危险区域安装视频监控与环境监测设备，利用人工智能算法识别人员违规操作、边坡位移等安全隐患，立即发出声光预警并通知管理人员，降低安全事故风险。

4. 建立精准高效的智能养护体系

运营维护阶段的优化重点是通过智慧化技术实现养护精准化与资源高效配置。首先，构建公路健康监测系统，在公路路面、桥梁、隧道等关键部位安装传感器，实时采集结构应力、沉降、裂缝等数据，结合无人机巡检获取路面病害信息，所有数据整合至BIM运维模型，形成公路全生命周期健康档案。通过大数据分析技术对监测数据进行挖掘，预判公路病害发展趋势，实现从“事后养护”向“事前预防”的转变。其次，建立智能养护决策模型，基于公路健康监测数据与养护历史数据，通过人工智能算法制定个性化养护方案，明确养护时间、范围、工艺与材料，避免过度养护与养护不足。最后，实现养护资源智能调度，通过管理平台整合养护人员、设备、材料等资源信息，当收到养护需求时，系统自动

规划最优养护路线，匹配最合适的人员与设备，实现资源高效配置。同时，利用智能交通系统实时采集公路通行数据，分析交通流量变化规律，合理安排养护施工时间与区域，减少对交通的影响。

5. 搭建一体化智慧管理平台

实现公路工程项目全生命周期管理优化，关键在于打破各阶段的信息壁垒，构建一体化智慧管理平台。该平台以BIM模型为核心载体，整合规划决策、设计、施工、运营维护各阶段的数据资源，实现数据全周期贯通与共享。平台采用云计算技术搭建弹性架构，满足各参建方的访问需求，业主、设计单位、施工单位、监理单位、运营单位等可通过平台获取权限范围内的项目信息，实现协同工作。例如，设计单位将BIM设计模型上传至平台，施工单位基于该模型开展施工模拟与现场管控，运营单位则基于施工阶段完善的BIM模型建立运维档案。平台还应具备智能分析与决策支持功能，通过大数据与人工智能技术对全周期数据进行深度挖掘，为项目各阶段的管理决策提供科学支撑，实现项目全生命周期的高效协同与智能管控。

三、智慧化管理优化实施保障措施

1. 完善技术标准体系

智慧化技术在公路工程管理中的应用需要统一的标准支撑，避免出现技术壁垒与数据孤岛。相关部门应联合行业协会、企业与科研机构，制定完善的技术标准体系，包括BIM模型标准、数据采集与传输标准、平台接口标准等。明确各阶段BIM模型的深度要求、数据格式与交付内容，规范物联网设备的数据采集范围与传输协议，确保不同系统与平台之间的数据互通。同时，建立智慧化管理评价标准，从技术应用、管理效率、效益提升等方面对项目智慧化管理水平进行评估，引导行业规范发展。

2. 加强人才队伍建设

智慧化管理模式的推行需要既懂公路工程专业知识，又掌握数字技术的复合型人才。企业应加强人才培养与引进，一方面，对现有管理人员与技术人员开展智慧化技术培训，重点提升BIM、大数据、物联网等技术的应用能力，通过案例教学、实操训练等方式，让员工熟悉智慧化管理平台的操作与应用；另一方面，引进数字技术领域的专业人才，组建专门的智慧化管理团队，负责

平台建设、维护与技术创新。同时，加强与高校、职业院校的合作，设立相关专业方向，培养符合行业需求的复合型人才，为智慧化管理的长期发展提供人才保障。

3. 强化政策支持与引导

政府部门应出台相关政策支持公路工程智慧化管理的发展，加大政策引导与资金投入力度。在项目审批环节，鼓励建设单位采用智慧化管理模式，将智慧化技术应用情况作为项目评审的重要指标；设立专项扶持资金，支持企业开展智慧化技术研发与平台建设，对成效显著的项目给予奖励。同时，加强行业监管，规范智慧化技术应用过程中的数据安全与信息保密工作，制定数据安全规范，保障项目数据的完整性与安全性，为智慧化管理的推行创造良好的政策环境。

结论

智慧化技术的发展为公路工程项目全生命周期管理优化提供了重要机遇，传统分段式、经验型的管理模式已难以适应新时代工程建设的需求。通过在规划决策阶段构建智能决策体系，在设计阶段推行BIM协同设计，在施工阶段打造智慧工地，在运营维护阶段建立智能养护体系，并搭建一体化智慧管理平台实现全周期协同，能够有效解决传统管理模式存在的信息孤岛、协同低效、决策滞后等问题，提升项目管理的精细化水平与全周期效益。然而，智慧化管理的推行并非一蹴而就，需要完善技术标准、加强人才培养、强化政策支持等多方面的保障措施。

参考文献

- [1] 王斌, 王伟, 于含. 智慧工地在公路工程项目中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2025, (07): 10-12.
- [2] 师哲博. 基于BIM技术的公路工程项目全生命周期管理[J]. 中国勘察设计, 2024, (10): 88-90.
- [3] 杨松; 董标; 齐兵. 高速公路全生命周期BIM应用实践[M]. 中国水利水电出版社: 202303.178.
- [4] 张智勇, 王小强, 马浩然, 王言林, 范勃新. 钢结构全生命周期智慧管理平台助力工程项目数字化建造[J]. 国际工程与劳务, 2022, (04): 28-31.
- [5] 刘永平. 公路工程PPP项目全生命周期工程造价管理风险及控制措施[J]. 智能城市, 2020, 6(23): 73-74.