

高速公路建设中的智能化施工管理系统实施与效果评估

秦绍峰

云南交投公建隧道工程有限公司 云南 昆明 650200

【摘要】：随着我国交通基础设施建设的高质量发展，高速公路工程规模不断扩大，施工环境日趋复杂，传统施工管理模式已难以满足高效、精准、安全的管理需求。智能化施工管理系统依托物联网、大数据、北斗定位、人工智能等先进技术，实现对高速公路施工全过程的动态监测、智能调度与科学管控，成为提升施工管理水平核心手段。本文结合高速公路建设实际，阐述智能化施工管理系统的核心架构与功能模块，详细分析系统实施的具体流程与关键点，构建科学的效果评估体系，通过实际工程案例验证系统应用成效，为高速公路智能化施工管理的推广应用提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：高速公路；智能化施工；管理系统；实施路径；效果评估

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.005

1 引言

近年来，随着《交通强国建设纲要》《关于推进公路数字化转型加快智慧公路建设发展的意见》等政策的推进，物联网、大数据、北斗定位、人工智能等新技术与高速公路施工管理深度融合，智能化施工管理系统应运而生。该系统通过整合施工过程中的人、机、料、法、环等各类信息，实现施工全过程的可视化、智能化、精细化管理，有效破解传统管理模式的痛点难点。开展智能化施工管理系统的实施与效果评估研究，对于提升高速公路施工管理水平、保障工程质量安全、缩短工期、降低成本具有重要的现实意义，也是推动高速公路建设数字化、智能化转型的必然要求。

2 高速公路智能化施工管理系统总体设计

2.1 系统设计原则

高速公路智能化施工管理系统的设计需结合高速公路施工的特殊性，遵循实用性、兼容性、可扩展性、安全性及智能化五大原则。实用性要求系统贴合施工实际需求，聚焦进度、质量、安全、成本等核心管理环节，操作便捷、功能落地，避免冗余设计；兼容性要求系统能够对接现有施工设备、监测仪器及管理平台，实现数据互通共享，降低系统部署成本；可扩展性要求系统具备灵活升级能力，能够适应不同规模、不同工况的高速公路施工需求，支持后续功能拓展；安全性要求系统具备完善的数据加密、权限管控、应急备份机制，保障施工数据安全与系统稳定运行；智能化要求系统能够通过数据挖掘、AI分析实现智能预警、智能调度与科学决策，减少人工干预。

2.2 系统核心架构

结合高速公路施工管理需求，智能化施工管理系统采用“端-边-云”三层架构，自上而下分为感知终端

层、边缘协同层、云端平台层，各层协同联动，实现施工全过程的智能化管控。上述“端一边一云”三层架构为系统实施提供了技术框架，结合高速公路施工的现场特点，需通过分阶段的实施路径将技术架构落地为实际应用。

(1) 感知终端层：作为系统的数据采集源头，覆盖高速公路施工全场景，部署各类智能传感设备、定位设备与监测设备。主要包括北斗定位终端、激光雷达、高清摄像头、毫米波雷达、物料溯源RFID标签、扬尘与噪声传感器、设备状态传感器等，实现对施工人员、机械设备、建筑材料、施工工序、现场环境等各类信息的实时采集，为系统后续分析与管控提供数据支撑。其中，北斗卫星导航配合地面基准站，可为所有施工设备提供厘米级精准定位，结合激光雷达等传感器数据融合，全方位感知现场施工环境。

(2) 边缘协同层：承担数据传输与本地化处理功能，解决高速公路施工线路长、网络信号弱、断网易中断的问题。该层部署工业级长距离网关，支持多协议通信，传输距离可达5-10公里，覆盖数公里施工标段，在-20℃~60℃户外施工环境下断网时可本地存储3个月以上数据；同时配备高防护边缘计算模块，具备防尘防水、耐温差特性，可本地实现安全隐患、设备异常预警，在4G/5G断连、局域网正常的测试环境下响应延迟低于500ms，确保数据不丢失、预警不延迟。

(3) 云端平台层：是系统的核心管控中枢，整合数据中台、AI引擎、可视化管控看板等核心组件，实现数据存储、分析、展示与决策支持。该层采用云计算技术，对感知终端层采集的海量数据进行分类处理、挖掘分析，生成施工进度报表、质量检测报告、安全预警信息等；通过可视化管控看板，地图化展示全标段施工点位、设备位置、安全隐患、进度节点等信息，

支持多标段数据对比；同时提供分级权限管理，适配总包方、各标段、监理单位的不同管理需求，实现跨部门、跨标段的协同管理。



图1 高速公路智能化施工管理系统云端平台层数据处理与终端查看示意图

3 高速公路智能化施工管理系统实施路径

高速公路智能化施工管理系统的实施是一项系统工程，需结合工程实际，分阶段、有步骤推进，重点做好前期准备、试点运行、全面推广、运维保障四个环节，确保系统落地见效。

3.1 前期准备阶段

前期准备是系统顺利实施的基础，主要包括需求调研、设备选型、人员培训三个方面。需求调研需深入施工一线，了解施工流程、管理痛点、各部门管理需求，明确系统功能边界与实施目标，结合工程规模、施工工况制定个性化实施方案。设备选型需遵循兼容性、实用性、耐用性原则，优先选用适配高速公路户外复杂环境的设备，确保设备性能稳定、数据采集精准，同时兼顾设备成本与后期运维难度，避免盲目选型。人员培训需覆盖管理人员、技术人员与一线作业人员，开展系统操作、设备使用、数据解读等专项培训，编制操作手册与常见问题手册，提升相关人员的系统应用能力，消除操作壁垒。

3.2 试点运行阶段

试点运行旨在检验系统功能的实用性与稳定性，及时发现并解决实施过程中存在的问题。选取工程中具有代表性的段落作为试点区域，部署感知终端设备、搭建边缘协同层与云端平台，开通系统核心功能模块。试点运行期间，安排技术人员全程跟踪，记录系统运行数据、设备运行状态、人员操作情况，收集各部门的反馈意见，重点排查数据采集不精准、系统卡顿、预警不及时等问题。针对试点过程中发现的问题，联合技术服务商进行优化调整，完善系统功能与操作流

程，形成可复制、可推广的试点经验。苍梧至容县高速公路项目（全长约 105 公里，双向四车道，设计时速 100 公里）的试点优化经验，为后续项目系统部署提供了算法与通信优化参考，该项目在试点中通过优化 AI 算法与设备通信方式，解决了无人摊铺机群施工中数据传输延迟的问题，提升了施工精度与效率。

3.3 全面推广阶段

在试点运行成功的基础上，逐步扩大系统应用范围，实现整个高速公路项目的全面覆盖。按照实施方案，分区域、分工序部署感知终端设备，完成系统与现有施工设备、管理平台的对接，确保数据互通共享。湖北省新港高速双柳长江大桥项目（主桥长 1.6 公里，连接线长约 20 公里，设计时速 120 公里）在试点成功后，将无人摊铺机群施工模式推广至全线路面摊铺，实现了全程无人摊铺，大幅提升了施工效率与质量，为系统全标段推广提供了施工工序全覆盖的实践参考。

3.4 运维保障阶段

系统运维保障是确保系统长期稳定运行的关键，需建立完善的运维管理体系，包括技术运维、数据运维与人员运维。

(1) 技术运维：安排专业技术人员，定期对感知终端设备、边缘网关、云端平台进行巡检与维护，及时排查设备故障、系统漏洞，确保设备正常运行、系统稳定可靠；建立设备故障应急处置机制，针对施工标段内的设备故障，就近运维点人员 2 小时内到场处置，偏远标段通过远程调试先解决基础问题、现场人员 4 小时内到场，保障系统快速恢复运行。

(2) 数据运维：加强数据管理，建立数据加密、备份与清理机制，确保施工数据的安全性、完整性与准确性，定期对数据进行分析整理，为施工管理决策提供支撑；对传感器进行每日校准，关键参数异常时进行人工复检，确保数据采集精准。

(3) 人员运维：建立月度系统应用培训、季度考核机制，培训内容结合系统优化更新动态调整，考核结果与个人绩效挂钩，及时更新系统操作知识，提升相关人员的系统应用能力；设立线上反馈通道，实时收集人员使用意见，每月整理并推动系统功能优化，持续完善系统实用性。

4 高速公路智能化施工管理系统效果评估

4.1 评估体系构建

结合高速公路施工管理的核心目标，构建“定量

“定性”的综合效果评估体系，从进度、质量、安全、成本、环保、管理效率六个维度选取评估指标，确保评估结果科学、全面、客观。定量指标主要反映系统应用的具体成效，可量化、可对比，包括：施工效率提升率、工期缩短比例、质量合格率、安全事故发生率、成本降低比例、扬尘达标率、数据采集准确率等。其中，施工效率提升率=（应用后施工工程量/应用后作业时长-应用前施工工程量/应用前作业时长）/（应用前施工工程量/应用前作业时长）×100%；质量合格率通过关键工序质量检测结果统计；成本降低比例=（应用前总成本-应用后总成本）/应用前总成本×100%。定性指标主要反映系统对施工管理模式的优化作用，难以量化，包括：管理规范程度、部门协同效率、决策科学性、人员管理水平、绿色施工水平等。通过问卷调查、现场访谈等方式，收集管理人员、技术人员、监理单位的评价意见，进行综合评分。

4.2 评估方法选择

采用对比分析法与综合评分法相结合的方式开展效果评估。对比分析法通过对比系统应用前后施工管理的各项指标，分析系统应用带来的具体变化，量化系统应用成效；综合评分法针对定性指标，制定评分标准，邀请行业专家、项目管理人员、监理人员进行打分，结合定量指标的计算结果，得出系统应用的综合评估得分，判断系统应用效果等级。本次综合评估采用百分制，定量指标占比70%（进度20%、质量20%、安全10%、成本10%、环保5%、管理效率5%），定性指标占比30%；分值≥90分为优秀，80-89分为良好，70-79分为合格，<70分为不合格。

4.3 工程案例验证

以某高速公路项目为例，该项目全长35公里，双向六车道，设计时速120公里，施工过程中部署智能化施工管理系统，应用无人摊铺机群、智能监测设备等，实现施工全过程智能化管控。本文结合前文构建的“定量+定性”评估体系，按进度、质量、安全、成本、环保、管理效率六大定量维度及定性评估维度分级开展案例分析，系统应用前后的定量指标对比如下表。

表1 系统应用前后的定量指标对比

评估维度	具体指标	系统应用前	系统应用后	提升/下降幅度
进度维度	日均沥青摊铺量	800米	1000米	提升25%
进度维度	路面摊铺工期	100天	85天	缩短15天，工期缩短15%

质量维度	沥青路面压实度合格率	88%	≥94%	提升6个百分点以上
质量维度	沥青路面下中面层平整度	>1毫米	<1毫米	从不达标至全达标，达标率提升100%
安全维度	年均安全隐患数量	20起	5起	下降75%
成本维度	项目总成本	基准值	基准值×94%	降低6%
成本维度	物料损耗率	基准值	基准值×92%	降低8%
环保维度	施工扬尘达标率	85%	98%	提升13个百分点
管理效率维度	跨标段协同响应平均时间	4小时	1小时	缩短75%
管理效率维度	单份数据报表生成时间	2小时	5分钟	缩短95.8%

注：基准值为系统应用前该项目的成本、物料损耗率原始核算值，按项目施工定额及现场实际消耗统计；所有量化指标均为项目施工标段平均数据，统计周期为系统应用前后各1个施工周期。

系统应用前，该项目日均沥青摊铺量为800米，系统应用后，依托无人摊铺机群施工与智能调度，实现24小时不间断作业，日均摊铺量提升至1000米，施工效率提升25%，整个路面摊铺工期缩短15天，进度管控精度显著提升，有效避免了工期延误。沥青路面压实度合格率为88%，平整度偏差较大；系统应用后，通过北斗高精度定位与AI算法动态调整施工参数，压路机碾压精度提升至2厘米以内，实时统计碾压遍数，杜绝过压漏压现象，沥青路面下中面层平整度均小于1毫米，压实度合格率稳定在94%以上，工程质量显著提升。

定性评估方面，本次定性评估共发放调查问卷120份，回收有效问卷115份，调查对象涵盖总包方管理人员（30%）、监理单位人员（20%）、现场技术人员（30%）、一线作业人员（20%），通过问卷调查与现场访谈，参与调查人员对系统的整体满意度

达 92%，认为系统有效提升了施工管理规范化程度与部门协同效率，施工决策的科学性与及时性显著增强，现场人员管理的精细化水平得到有效提升。结合定量指标计算结果与定性指标评分，本项目综合评估得分 89 分，判定为系统应用效果良好，达到了预期实施目标。

5 结论

高速公路智能化施工管理系统依托“端—边—云”三层架构，整合物联网、北斗定位、人工智能等先进技术，通过进度、质量、安全、成本、环保、管理效率六大核心功能模块，实现了高速公路施工全过程的可视化、智能化、精细化管控。该系统的实施需遵循

前期准备、试点运行、全面推广、运维保障的科学路径，通过需求调研、设备选型、人员培训夯实实施基础，以试点运行优化系统功能与操作流程，再逐步实现全项目覆盖推广，并建立技术、数据、人员三位一体的运维保障体系，确保系统落地见效、长期稳定运行。

通过工程案例验证，智能化施工管理系统能够有效提升高速公路施工效率与管理效率，保障工程施工质量，降低现场安全风险与施工综合成本，同时满足绿色施工的环保要求，显著优化传统施工管理模式，有效解决传统管理中数据不互通、管控不精准、协同效率低、决策凭经验等痛点难点，在高速公路建设领域具有重要的推广应用价值。

参考文献：

- [1] 游瑞.高速公路无人化养护施工技术的探索与实践[J].流体测量与控制,2025,6(12):101-104(前瞻性研究成果,为系统设计提供技术参考).
- [2] 张凯,吴宇航,廖汝锋,等.高速公路桥梁施工智能化安全管控体系的应用[J/OL].公路,2025,(12):299-303[2026-02-27].<https://link.cnki.net/urlid/11.1668.U.20260203.1450.080>.
- [3] 王兴海.高速公路机电工程供配电施工技术分析[J].时代汽车,2025,(12):31-33.
- [4] 阳迎军,蒋宏飞,李安杰.高速公路施工现场临时用电智能化安全管理体系研究[J].广西电业,2025,(10):58-65.
- [5] 顾明达.高速公路路面材料性能优化及新型施工技术探索[J].价值工程,2025,44(31):101-103.