

数字化技术在公路工程管理中的应用研究

董国太

云南交投集团投资有限公司 云南 昆明 650000

【摘要】：近年来，新一代数字技术研发水平和创新能力显著提高，适应产业发展的标准体系初步形成。数字技术已被广泛应用于建筑、能源、安防、交通等行业。当前，公路工程管理中积极引入数字化技术，正对公路工程管理方式产生深刻影响。公路工程管理中，可引入数字化技术，对 BIM 建模、物联网感知、大数据分析等与人工智能算法等进行整合，构建覆盖设计、施工、运维全周期的数字化管理体系，可精准控制工程进度，对质量风险进行动态预警，还可资源调配智能优化及通过数据驱动运维决策等。本文主要对数字化技术在公路工程管理中的应用意义及路径深入分析，可利用数字化技术来提升工程管理透明度，让变更成本降低，还可延长设施的使用寿命，为行业数字化转型提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：数字化技术；公路工程管理；物联网；全生命周期

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.011

引言

公路工程是国家基础设施建设的关键领域，公路工程管理效率对于项目质量、成本与工期有着直接影响。传统的管理模式往往依赖人工经验、纸质文档等，并且存在一些问题，如信息孤岛、决策滞后、资源浪费等。在当前数字化技术创新发展态势下，公路工程管理中引入数字化技术，可以数据采集、模型构建与智能分析等，为公路工程管理提供全要素、全过程的动态感知与决策支持，这样可以不断打破传统的管理痛点，以推动公路领域向着高质量方向发展。

1 数字化技术在公路工程管理中的应用意义分析

公路工程管理中引入数字化技术，是推动行业从传统经验驱动向数据智能驱动转型的关键路径，应用意义主要体现在多个维度的系统性提升方面，如管理效率、质量管控、资源优化与风险防控等。传统管理模式主要依赖人工记录与分散的信息系统，极易形成信息孤岛，这会造成信息滞后、资源浪费等现象。可利用数字化技术构建统一的数据平台，将设计、施工、运维等全生命周期信息整合，以实时感知工程状态，实现动态更新，也可为管理人员提供全要素、全过程的透明化视图，让信息传递效率与决策的响应速度显著提升。质量管控领域，数字化技术的应用，可借助物联网传感器、智能监测设备等，以连续采集、精准分析诸多关键参数，如混凝土强度、结构应力、设备运行状态等，这样也可打破人工检测的时空局限性，将质量风险识别从以往的“事后检查”转向“事前预警”，让质量事故发生率降低。资源优化方面，数字化技术的应用还要借助大数据分析、算法模型等，以动态调配及智能匹配相关资源，如人员、设备、材料等，防止出现资源闲置或过度投入，让资源利用效率

得以提升。风险防控方面，引入数字化技术，可构建工程知识库、风险预测模型等，对历史数据中的潜在规律深入挖掘，以量化评估与动态预警相关风险，如施工安全、环境影响及成本超支等，为管理部门决策提供科学、合理化依据。这些变革可共同推动公路工程管理向着精细化、智能化方向推进，为行业高质量发展奠定坚实的技术基础。

2 数字化技术在公路工程管理中的应用路径分析

2.1 BIM 与 GIS 集成：构建三维可视化管理体系

BIM（建筑信息模型）与 GIS（地理信息系统）的集成应用，可深度整合公路工程的核心数据，如几何信息、属性数据与地理空间数据等，这样可形成覆盖设计、施工、运维等三个维度的可视化管理体系。BIM 模型应用于设计阶段，可对地形地貌、线路走向、结构细节等方面精准模拟，利用 GIS 的空间分析功能，以精准评估路线对生态环境、土地利用等方面的影响，让设计方案得以优化。如国高网 G8512 景洪至打洛高速公路勐海县城至打洛段项目引入 BIM+GIS 模型，及时发现原设计路线要穿越生态敏感区，及时调整后，这样避开热带雨林保护区，让施工对植被的破坏力度得以降低，从而保障施工工期得以缩短。施工阶段，将 BIM 模型与进度计划紧密关联，则可智能生成 4D 模拟，会对各阶段工程状态与资源需求直观展示。管理人员可借助移动端来对模型实时查看。还可将实际进度与计划偏差进行对比分析，并对施工顺序或资源投入及时调整。运维阶段，可利用 BIM 模型这一设施“数字孪生体”，可将设备参数、维护记录与检修计划集成，运维人员可利用扫描构建二维码来获取完整信息，将故障点快速定位，让维修效率提升。如某跨江大桥运维中，利用 BIM 模型，对 12 万根预应力筋

的张拉数据实时记录，并及时检测到了某区域的应力异常，系统还自动推送了历史维护记录与相应的处理方案，也可防止后续出现重大的安全事故。

2.2 物联网设备协同：实现工程状态实时感知

物联网技术可将传感器、RFID 标签与摄像头等部署，以构建覆盖公路工程全要素的感知网络，并实时采集系列核心数据，如温度、湿度、应力、位移等，这可为管理层决策提供动态化依据。在混凝土浇筑施工中，物联网传感器可对入模温度、养护湿度与强度发展等数据实时监测，当数据超出阈值时，则会自动触发预警，这样也可对施工人员进行指导，并可及时调整养护措施，以防止出现裂缝、强度不够等质量病害。如普立至宣威高速公路项目普立特大桥应用了物联网温控系统后，则会让混凝土裂缝发生率显著降低。设备管理方面，可将 RFID 标签与 GPS 定位有机结合，则可实时追踪与调度大型设备，如挖掘机、压路机等。系统可对设备运行时间、油耗与维修记录等实时记录，可借助数据分析对故障风险进行预测，还可提前安排检修，让停机时间减少。人员管理中，智能安全帽可将模块与生理监测传感器内置，也可实时获取工人位置、心率与体温数据等，若检测到异常现象时，则会实现自动报警，会让施工安全得以保障。如国高网 G8512 景洪至打洛高速公路勐海县城至打洛段项目布朗山特长隧道引入了智能安全帽后，则未发生因中暑或疲劳导致的安全事故。物资管理领域，物联网技术可以电子标签与称重系统进行联动，以实现砂石、钢筋等材料的自动入库、盘点与出库。系统可将设计用量与实际消耗等进行对比分析，当偏差超过了设定值时，则会自动触发核心查流程，以避免出现材料浪费或盗用。如某高速公路项目应用物联网物资管理系统后，会降低材料损耗率，也可让成本降低。

2.3 施工模拟与优化：提升资源利用效率

数字化施工模拟技术可建立虚拟的工程环境，以动态推演施工方案，对不同工况下的资源需求、工期安排及风险因素等智能评估，为方案优化提供更科学的依据。在路基填筑施工中，引入模拟系统可将相关参数输入进去，如土方量、运输距离与机械效率等，可智能生成最优的施工顺序与机械组合。如临沧临翔至双江高速公路某填方路段在模拟时发现，通过“分层填筑+强夯压实”工艺，与传统的“一次填筑+振动碾压”工艺相对比，会减少压实遍数，还可提升压实度的均匀性。在桥梁施工模拟中，系统可对关键工序的力学状态与空间碰撞生动模拟，如挂篮行走、钢箱梁吊装等。如 G7611 都香高速公路守望（滇黔界）至

红山（滇川界）段金沙江大桥可对挂篮行走过程生动模拟，可发现原设计行走轨道存在的局部应力集中现象，还可对轨道布局及时调整，这样也会防止出现施工中的结构损伤。隧道施工中，模拟系统可分析爆破参数对围岩稳定性的影响，将孔网参数与装药量不断优化。如临沧临翔至清水河高速公路项目王家寨特长隧道在开展模拟调整后，每循环进尺增加，会让超挖量减少。资源调配模拟方面，系统可将相关资源数据予以整合，如人员、设备、材料等，还可对不同施工阶段的资源需求与供应能力生动模拟，并智能生成资源动态调配方案。如墨江至临沧多标高速公路项目以模拟后，及时发现了标段间设备有着较高的闲置率，及时调整后，则可实现设备共享，还可提升设备利用率。

2.4 全生命周期成本管控：降低工程总体投入

数字化技术可构建全生命周期成本模型，可覆盖设计、施工、运维等方面，还可动态预测与控制各阶段成本，以实现成本管理的精细化与前瞻性。在设计阶段，成本模型可将 BIM 模型的构件信息紧密关联，并对工程量与材料用量自动计算，再将市场价格生成概算有机结合，经过多方案比选，将成本最优的设计方案选择出来。如临沧临翔至双江高速公路项目施工中，可通过成本模型发现，采用装配式桥梁结构比现浇结构来增加初期投资，这样也可让施工周期与现场人工减少，也会降低全生命周期成本。施工阶段，可将成本模型、进度计划与资源计划等紧密关联，并对实际成本与预算偏差实时跟踪。当偏差超过了阈值时，系统会对材料价格波动、工程量变更等原因自动分析，可对管理人员进行提示，并及时采取纠偏措施。如 S11 师丘高速公路项目引入成本模型时发现，某分项工程混凝土用量超出了预算，在后续核查后发现其原因是设计出现了变更，则对采购计划及时调整，这样则规避了成本增加现象。运维阶段，成本模型则可对设施动态监测数据、维护记录等予以整合，并对未来维护需求与成本精准预测，再采取合理的预防性措施，让设施使用年限得以延长，让全生命周期成本得以降低。

2.5 大数据与人工智能：驱动管理决策智能化

大数据技术可对设计文件、施工记录、监测数据、运维日志等全生命周期的海量数据进行整合，以构建工程知识库，为管理决策提供数据方面的支撑。可引入机器学习、深度学习等人工智能算法，以对数据中隐藏的规律深入挖掘，精准预测质量风险，并优化进度、诊断故障等。如普立至宣威高速公路项目可对历史施工数据深入分析，以发现混凝土强度与浇筑温度、

养护时间等存在的非线性关系,构建预测模型后,可将施工参数提前调整,确保强度达标。质量风险预测方面,系统可对核心因素进行整合,如材料检测数据、施工工艺参数与环境因素等,再利用机器学习算法来对风险预测模型进行训练。若监测数据偏离了正常范围时,模型则会对风险等级自动评估,并自动推送处理建议。进度优化领域,人工智能算法可对工序间的逻辑关系与资源约束智能分析,并自动生成最优的进度计划。当实际进度滞后时,系统会对不同赶工措施的成本与效果生动模拟,并推荐最优调整方案。如国高网G8512景洪至打洛高速公路勐海县城至打洛段项目因雨季影响路基施工进度,系统模拟后建议增加夜间施工班次,比传统“增加设备”方案节约成本。

2.6 数字孪生与虚拟调试:推动管理前置与风险预控

公路工程管理中,可引入数字孪生技术,通过构建公路工程的虚拟镜像,实时映射物理实体与数字模型,以实现全流程数字化,如设计验证、施工预演与运维模拟等。在设计阶段,数字孪生模型可对不同气候条件、交通荷载下的结构响应生动模拟,并对设计方案的耐久性、安全性等评估。如临沧临翔至清水河高速公路项目勐撒立交在引入数字孪生模型后,发现所设计的匝道在极端温度下可能出现伸缩缝变形风险,相关人员及时予以调整,应用了新型材料,则让其结构适应性显著提升。施工阶段,利用虚拟调试技术,可对架桥机、盾构机等大型设备进行数字化组装与运行模拟,则可提前发现问题,如机械干涉、动力不足等。如保山至腾冲高速公路龙江特大桥施工中,

引入虚拟调试,让架桥机吊装顺序更优化,让现场调试时间减少。运维阶段,利用数字孪生模型可让传感器数据集成,还可对设施健康状态实时反映,对剩余使用寿命精准预测。如临沧临翔至双江高速公路天生桥特长隧道隧道数字孪生系统通过对衬砌应力与渗水量监测,对结构劣化趋势推算,提前制定了有效的加固方案,避免了突发坍塌现象。

风险预控层面,数字孪生技术可结合历史事故数据与实时监测信息,构建风险演化模型,动态评估施工安全、交通影响等风险。如云南临沧机场高速公路项目引入数字孪生风险模型,对高边坡开挖的滑坡风险区域精准识别,及时调整了施工时序并加强支护,成功规避了灾害。这些应用使工程管理从“被动应对”转向“主动防控”,为项目全生命周期安全提供技术保障。

3 结语

总之,数字化技术在公路工程管理中的应用,通过BIM+GIS集成、物联网感知、施工模拟优化、全生命周期成本管控与人工智能决策,构建了覆盖工程全要素、全过程的动态管理体系。该体系不仅提升了管理透明度与决策科学性,更通过数据驱动的资源优化与风险防控,降低了工程变更成本、提高了设施使用寿命,为公路工程高质量发展提供了技术保障。未来,随着5G、数字孪生等技术的深化应用,数字化管理将向更实时、更智能的方向演进,推动公路工程管理迈向“智慧化”新阶段。

参考文献:

- [1] 吴昌松.公路工程数字化设计施工一体化关键技术[J].西部交通科技,2023,(08):91-93.
- [2] 王国新.数字化技术在公路工程施工阶段中的应用研究[J].中国住宅设施,2023,(04):61-63.
- [3] 肖冰清.公路工程招标投标管理工作数字化技术应用[J].运输经理世界,2022,(31):47-49.
- [4] 彭建宏.数字化技术在公路路面施工中的应用研究[J].工程建设与设计,2022,(06):89-91.
- [5] 宋秉元.数字化成图技术及其在公路工程中的应用[J].公路与汽运,2021,(04):48-49.