

BIM 技术在公路桥梁全寿命周期管理中的应用

杜见坤

湖北交投建设集团有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：公路桥梁全寿命周期管理中存在多阶段信息割裂、协同效率不足及数据利用率偏低等问题。引入 BIM 技术构建统一数字化管理体系，融合三维建模、多源数据集成与信息标准化处理，实现设计、施工及运维阶段数据贯通与动态更新。通过进度成本联动控制、跨阶段协同机制及智能决策支持方法，提高全过程信息一致性与管理精细化水平。研究提升桥梁工程全周期管控能力与运行安全性，为基础设施数字化管理提供技术支撑与应用路径。

【关键词】：BIM；公路桥梁；全寿命周期管理；数字化建模；信息协同

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.083

引言

公路桥梁全寿命周期涉及设计、施工及运营维护多个阶段，信息来源复杂且数据标准不统一，导致管理过程存在协同不畅现象。在规划设计与施工组织及后期养护衔接过程中，常出现信息断层与数据重复采集问题，影响整体决策效率与结构状态掌控能力。BIM 技术通过构建统一数字模型，实现多阶段数据融合与可视化表达，强化各环节信息传递效率并提升协同管理水平。基于信息集成与动态更新机制，可提升运维阶段决策支持能力并优化全流程管控效果。推动精细化管理落地应用水平提升。

1 数字建模驱动信息整合路径

1.1 多源数据统一建模机制

多源数据统一建模机制依托 BIM 核心数据结构，将设计阶段的几何信息、施工阶段的进度与资源数据、运营阶段的监测与养护数据进行统一编码与关联映射处理，通过构建参数化构件库实现跨阶段信息一致性表达。在数据组织层面采用面向对象的数据封装方式，将桥梁结构分解为可追踪的构件单元，实现属性信息与空间位置的同步绑定。在数据融合过程中引入语义关联规则，对异构数据进行结构化重组，消除不同阶段数据格式差异带来的信息孤岛现象。通过统一数据模型驱动全生命周期信息流转，使设计参数能够向施工控制与运维监测延伸，实现数据连续性与逻辑一致性同步提升，强化数字化管理基础架构的稳定性与扩展性。

1.2 三维可视化表达构建方式

三维可视化表达构建方式基于 BIM 三维几何引擎，对桥梁结构进行空间分层表达与精细化建模处理，通过构件级 LOD 分级机制实现不同管理阶段模型精度的动态调整。在模型构建过程中融合结构拓扑关系与工程属性信息，使空间形态与功能属性形成一体化表达结构^[1]。通过视图分解技术实现主桥、墩台、附属设施等多维对象的协同展示，并结合时间维度形成进度驱动的动态演化模型。利用多源数据叠加机制，将施工进度、材料消耗及健康监测数据映射至三维空间，实现状态信息的直

观反馈与实时更新。该表达方式强化空间认知能力与数据交互效率，使复杂结构关系具备可视觉解析路径。

1.3 信息标准化处理方法

信息标准化处理方法依托统一编码体系与数据规范框架，对桥梁全生命周期数据进行分类分级管理，通过建立构件编码规则实现数据唯一标识与可追溯管理。在数据处理过程中引入统一属性字典，对材料规格、构件参数及施工工艺进行标准化定义，减少多源数据表达差异带来的信息偏差。采用规则校验机制对输入数据进行一致性验证与完整性检查，确保数据质量满足建模需求。在信息交换层面构建标准化接口协议，实现设计软件、施工管理系统及运维平台之间的数据无缝对接。

前端终端信息采集、联动与数据处理是 BIM 数字化管理的基础核心环节。前端依托智能传感设备、移动巡检终端、施工智能记录仪、无人机航拍等终端设备，全覆盖采集桥梁设计参数、施工工艺数据、结构形变、环境温湿度、车辆荷载、养护作业记录等全维度现场数据，实现工程全场景、全时段原始信息捕捉。所有前端采集的异构数据通过 5G、无线物联网、有线传输双通道方式，实时上传至 BIM 后台数据中心，依托前置数据处理模块完成原始数据清洗、去重、降噪与格式标准化转换，统一适配 BIM 模型数据规范。同时搭建前端终端与 BIM 后台的双向联动通道，后台模型可向推送施工标准、运维规范、整改指令至前端设备，前端现场作业数据、状态反馈可实时回传更新模型数据，形成“前端采集传输-后台处理存储-前端指令落地”的闭环信息流转体系。

2 多阶段协同控制体系构建

2.1 设计施工衔接控制机制

设计施工衔接控制机制基于 BIM 协同设计平台，将设计阶段形成的结构参数、构件属性及空间约束条件转化为施工可执行数据模型，通过构件级信息拆解实现设计意图的可施工性表达。在控制逻辑中引入碰撞检测与施工可行性校核模块，对结构净空、钢筋布置及预埋件位置进行多维约束分析，提前识别设计与施工之间的不匹配问题。在数据流转过程中构建设计

变更动态更新机制,使设计调整能够同步映射至施工计划与资源配置体系,减少信息滞后引发的执行偏差。

2.2 施工运营数据传递路径

施工运营数据传递路径依托 BIM 与物联网融合架构构建,实现施工阶段形成的质量检测数据、材料追踪信息及结构监测数据向运营阶段的连续转移。在数据组织层面采用构件生命周期绑定机制,使每一结构单元在施工阶段即生成完整数据档案,并在交付阶段完成数据封装与迁移。通过标准化数据接口实现施工管理系统与运维平台之间的无缝连接,确保监测信息在传递过程中保持结构完整性与语义一致性^[2]。

2.3 跨阶段协同响应流程

跨阶段协同响应流程基于统一 BIM 数据中心构建多角色联动机制,通过事件驱动模型实现设计、施工及运营阶段信息的实时触发与响应。在流程设计中引入状态感知与规则匹配机制,对结构异常、进度偏差及质量波动进行自动识别,并生成对应协同指令。各阶段数据节点通过消息总线实现动态交互,使信息更新能够在不同管理模块间同步传播。在响应执行过程中采用分级处理逻辑,将一般性调整与关键性结构问题区分处理路径,提高决策效率与执行精度。

BIM 后台接收全周期数据后,依托预设参数阈值、行业规范及模型基准数据,可精准研判各阶段管控偏差与核心问题并形成闭环处置方案。设计阶段可识别构件碰撞、参数不符、结构尺寸偏差等设计缺陷,通过模型优化、参数修正、方案迭代完成整改;施工阶段可自动比对计划进度、标准工艺、预算成本与实际数据,快速甄别进度滞后、成本超支、施工工艺不规范、构件安装偏差等问题,通过调整施工工序、优化资源配置、规范现场作业完成纠偏;运维阶段可实时监测结构形变、裂缝扩展、荷载超标、设备老化等安全隐患,针对轻微病害自动生成养护方案,针对重大结构偏差及时发出预警,联动运维人员开展加固、维修、管控整改,同时将所有偏差问题与处置结果同步录入 BIM 模型,实现问题溯源、过程管控与成果归档,保障全寿命周期工程管控的精准性与规范性。

3 进度成本联动管控机制优化

3.1 进度模拟与节点控制方法

进度模拟与节点控制方法依托 BIM 进度管理模型与施工工序分解体系,将整体施工过程拆解为可计算的时间单元与工序节点,通过四维施工模拟实现时间维度与空间模型的耦合表达。在模拟过程中引入关键路径分析机制,对影响整体工期的核心工序进行优先级排序,并通过节点约束条件设定控制阈值,实现施工节奏的动态约束。利用参数化进度模型对不同施工方案进行对比推演,使工序衔接关系与资源占用情况可视化呈现。在节点控制层面建立偏差识别与自动校正机制,对进度偏离进行实时反馈并调整后续工序安排。通过时间链条的精细

化管理,实现施工过程的可预测性与可控性提升,增强整体进度执行稳定性。

3.2 成本动态核算管理模式

成本动态核算管理模式基于 BIM 构件成本数据库与工程量自动计算机制,将工程造价拆解至构件级与工序级,通过模型驱动实现成本数据的实时更新与自动汇总^[3]。在核算过程中引入动态价格映射机制,使材料单价、人工费用及机械消耗能够随市场变化进行同步调整,确保成本数据的时效性与准确性。结合施工进度信息构建成本消耗曲线,对不同阶段资金占用情况进行连续跟踪分析。在数据处理层面采用多维成本分解结构,将直接成本与间接成本进行分离建模,提高成本分析精度。

3.3 资源配置优化调度策略

资源配置优化调度策略依托 BIM 与施工资源管理系统的融合机制,将人力、材料及机械设备纳入统一调度模型,通过资源需求预测与供给匹配实现动态优化配置。在调度过程中构建多约束优化算法,对施工进度、资源可用性及现场空间条件进行综合分析,实现资源分配的最优解计算。通过施工阶段负荷分析识别资源瓶颈环节,并依据优先级规则进行调度调整,减少资源闲置与冲突现象。在空间组织层面结合三维施工模型优化资源布置路径,提高现场作业协同效率。利用实时反馈机制对资源使用效率进行持续评估,并动态调整分配策略,使资源流动与施工节奏保持一致,实现全过程资源配置的精细化与高效化管理。

4 运维状态感知与决策支持方法

4.1 结构状态数据采集方式

结构状态数据采集方式依托多源感知融合体系,将桥梁结构健康监测数据转化为连续可解析信息流,通过布设应变、位移、振动及温度等多类型传感单元,实现对关键受力部位的全域覆盖。在采集过程中采用分层采样与高频采集结合机制,对动态荷载作用下的结构响应进行实时捕捉,并通过边缘计算节点完成初步数据筛选与异常值剔除。在数据组织层面引入统一时间戳同步机制,保证不同类型传感数据在时间维度上的一致性。结合无线传输与有线回传混合网络架构,实现复杂环境下数据稳定传输能力提升。

4.2 运行信息动态更新机制

运行信息动态更新机制基于 BIM 运维模型与实时监测系统的融合架构,将结构运行数据、环境变化数据及养护记录进行持续集成与模型映射^[4]。在更新过程中采用事件触发与周期刷新双重机制,对关键状态变化进行即时更新处理,同时对常规运行数据进行定时批量同步,提高数据更新效率与系统稳定性。通过构件级数据绑定方式,使运行信息能够精准定位至具体结构单元,实现空间维度与时间维度的双重关联。

4.3 智能决策支持实现路径

智能决策支持实现路径基于 BIM 数据平台与人工智能分析模型构建,将结构状态数据、运行环境数据及历史养护记录进行多维融合分析,通过规则引擎与机器学习算法实现风险识别与趋势预测。在决策过程中构建多指标评价体系,对结构安全性、耐久性 & 运行稳定性进行综合量化分析,并生成分级决策建议。在数据处理层面引入知识图谱结构,将结构病害类型与处置方案进行关联映射,提高决策匹配效率。结合实时数据输入与模型迭代更新机制,使决策结果能够随结构状态变化动态优化。通过多模型协同计算路径,实现从数据感知到决策输出的闭环处理流程,提升运维管理的前瞻性与精准性。

5 全流程集成管理成效分析框架

5.1 管理效率提升评价体系

管理效率提升评价体系基于 BIM 全生命周期数据平台构建,通过多维指标体系对设计、施工及运维各阶段的协同效率进行量化评估。在指标构建层面涵盖信息传递时效性、数据更新频率、任务响应周期及跨阶段协同完成率等关键维度,并采用标准化权重分配方法实现综合评价。在数据处理过程中引入时间序列分析与对比分析机制,对不同阶段管理效率变化趋势进行动态刻画。通过构件级信息流转速度与任务闭环周期的关联分析,识别效率瓶颈节点并进行结构化归因。在评价模型中融合实时数据反馈机制,使效率评估结果具备动态更新能力,从而形成持续优化的管理绩效分析体系,为全流程协同管理提供量化依据。

5.2 成本控制效果评估方式

成本控制效果评估方式依托 BIM 成本数据库与全过程造

价跟踪模型,通过构建多层次成本对比体系,对预算成本、动态成本及实际成本进行全过程比对分析。在评估结构中采用构件级成本分解方法,将总体成本细化至材料、人工及设备消耗单元,实现成本偏差的精确定位^[5]。在数据分析过程中引入偏差率计算与趋势分析机制,对不同施工阶段成本变化规律进行连续监测。结合资金流动路径与进度关联关系,构建成本消耗曲线与进度匹配模型,实现成本与时间维度的同步分析。

5.3 全周期管理协同验证路径

全周期管理协同验证路径基于 BIM 统一数据模型构建跨阶段验证机制,通过设计、施工及运维数据的闭环比对实现协同一致性检验。在验证过程中采用数据一致性校核与逻辑匹配分析方法,对不同阶段构件信息、空间关系及属性数据进行交叉验证,确保信息传递过程无断层与失真。在模型层面构建生命周期映射关系,将设计参数与施工结果及运维状态进行动态关联,形成可追溯验证链条。结合多源数据融合分析技术,对结构状态变化与管理决策执行效果进行一致性评估。在验证路径设计中引入阶段性反馈机制,使异常数据能够反向修正前端模型,实现全过程数据闭环管理,从而提升跨阶段协同管理的可靠性与一致性水平。

6 结语

BIM 技术驱动下的公路桥梁全寿命周期管理体系呈现出数据贯通、协同联动与智能决策融合的发展特征,通过多阶段信息整合与动态控制机制强化工程管理精细化水平。数字建模与多源数据融合构建统一信息底座,进度、成本及资源实现一体化联动管控,运维阶段状态感知与决策支持能力显著增强,全流程协同机制提升工程运行稳定性与管理连续性。

参考文献:

- [1] 李永光.基于“BIM+”的公路桥梁设计及施工技术研究[J].工程与建设,2024,38(6):1307-1310.
- [2] 史真钢.基于 BIM 技术的某国际公路桥梁施工进度管理研究[D].重庆交通大学,2024.
- [3] 邱俊达.基于 BIM 的公路桥梁设计优化探索[J].工程抗震与加固改造,2024,46(6):196.
- [4] 李英杰,金花,丁广炜.BIM 技术在公路桥梁施工中的应用技术[J].科技资讯,2024,22(14):139-141.
- [5] 李嘉楠.基于大数据技术的公路桥梁全寿命周期管理[J].交通世界,2022,(12):127-128.