

基于 BIM 技术的道路桥梁智能化养护管理模式

黄亮亮

南京市鼓楼区市政设施综合养护中心，江苏南京，210000；

摘要：道路桥梁养护领域，传统模式的效率瓶颈、风险敞口与成本乱象日益凸显。从运维主体视角出发，本文提出融合 BIM 技术的智能化养护方案，结合国道养护试点与三类桥改造实例，构建数据驱动的养护体系。相较于传统人工巡检模式，该模式能显著提升应急响应效率，降低安全风险与全周期养护成本。某连续梁桥便因提前预警支座病害，成功规避重大结构修复隐患，为运维主体提供了可复制的管控范式。

关键词：BIM 技术；道路桥梁；智能化养护；运维管控；全生命周期成本

DOI：10.69979/3029-2727.26.01.003

引言

人工巡检与定期检测，曾是道路桥梁养护的主流手段。复杂结构与繁忙路段中，这类模式的弊端愈发突出——某跨江大桥箱梁积水问题，便因人工巡检视角局限而漏判，险些引发钢筋锈蚀。相关主管部门明确要求，运维主体需依托 BIM 数据提升决策精度^[1]。现有研究却存在明显偏向：过多聚焦构件建模、碰撞检测等技术细节，将运维主体等同于技术接收方，忽视了其在标准制定、资源统筹中的核心作用。

全生命周期管理理论的核心，是将设施视为有机整体。其管控缺失直接导致养护与设计、施工数据的“信息孤岛”，这种割裂违背“运维前置”共识。以 BIM 技术为纽带，将养护需求嵌入施工、数据标准贯穿养护全程，全周期管理闭环方能形成^[2]。某地区 BIM 运维标准经验值得借鉴，但需警惕——并非所有项目适用统一标准，中小桥梁 BIM 投入产出比仍需审慎评估。

1 运维主体的养护管控困局与技术适配难题

1.1 传统养护困局：运维主体的三重管控壁垒

成本失控，风险暗藏。运维主体的管控困境集中在三方面。成本上，某大桥早期病害处置因箱梁锈蚀范围研判不准，方案反复调整导致二次施工，产生不必要的额外成本；风险防控中，某连续梁跨线桥高位支座垫石老化，人工巡检受作业条件限制险些遗漏，多元监测补位机制的缺失暴露无遗；效率层面，某国道检测封闭期间，直接导致周边工业园物资运输受阻，企业投诉集中爆发——运维主体在养护作业与公共服务间的平衡能力，亟待提升。

1.2 BIM 应用瓶颈：数据衔接与标准缺失的双重制约

BIM 技术的应用，多停留在施工阶段。区域调研显示，多数在役桥梁 BIM 模型仅包含施工尺寸、材料等静态数据，养护记录与病害信息未能动态更新——运维主体无法依托这类“静态模型”实现病害趋势预判。技术标准的空白同样致命，某地区 BIM 标准出台前，运维人员对运维阶段模型深度、数据格式无明确依据，温度、应力等监测数据与模型脱节，设备采集的海量信息沦为无法利用的“无效数据”。

本质而言，这是“技术应用”与“管理需求”的协同失衡。运维主体主导的技术标准与养护流程未能同步构建^[3]。部分主体曾推内部指引，但缺乏行业共识，养护企业需重解数据格式，沟通成本攀升。全生命周期视角下，设施移交阶段 BIM 数据交接标准若未明确，施工方必优先保进度，忽视养护数据采集——某国道改造项目因此额外补录数据，背离成本管控初衷^[4]。值得注意的是，BIM 并非中小桥梁养护“万能钥匙”，其投入对县域场景适用性需审慎评估。

2 运维主导的智能化养护体系构建与实践

2.1 多维技术融合：从数据采集到决策输出的全链条设计

监测盲区的突破，需依托“空地一体”的数据采集体系。某山区公路养护中，无人机搭载红外热成像仪，在低能见度环境下仍能捕捉支座温度异常；智能巡检车配备激光扫描仪，能精准识别梅雨冲刷形成的细微裂缝^[5]。模型应用的核心是动态共识，某大桥改造时，运维主体组织施工、检测、养护三方敲定病害标注规则，将锈蚀程度细化为多级标准。算法的实践校准至关重要，区域病害趋势模型结合降雨数据生成支座预警后，运维团队并未直接采纳——而是结合近五年同类桥梁的病

害记录反向调整算法,通过优化温湿度影响权重提升预警可靠性^[6]。

2.2 协同机制创新:标准、资金与流程的联动设计

标准协同的博弈,聚焦短期效率与长期价值的平衡。某地区 BIM 标准制定时,设计方提出删减支座运维参数以简化模型,养护方则坚持补充构件维修周期、历史病害位置等数据。运维主体以成本数据破局:某立交桥因模型缺失运维参数,维修时反复核对纸质图纸,延长了工期并产生额外人工成本——设计方的诉求虽降低当下工作量,全生命周期运维成本的攀升却无法回避。最终达成的共识是:设计阶段保留核心结构数据,运维阶段动态补充养护记录。

资金保障采用“预算单列+市场补充”模式。某国道养护项目中,智能巡检设备费用被纳入专项预算,与常规养护资金严格区分;某三类桥改造通过争取区域更新补助,引入第三方参与设备运维,权责清单的明确使财政压力有效缓解^[7]。流程重塑聚焦“监测-研判-处置”的高效衔接,某大桥发现腹板裂缝后,监测平台即时推送模型截图至专家库,专家在线标注关键核查点,养护企业据此制定方案,大幅减少现场踏勘次数。协同效能的提升,离不开针对性培训——运维主体推行的“理论+实操”模式,不仅讲解数据录入规范,更通过模拟台风季病害处置场景,显著提升一线人员的模型应用能力。

考核机制的刚性约束不可或缺。履约保证金与季度动态评估直接挂钩,数据提交滞后、方案响应超时的企业,将被直接扣减保证金;多次违规的企业,会被暂停区域内投标资格^[8]。某养护企业曾因延误数据提交受到处罚,后续服务响应速度明显提升——制度设计的倒逼作用,远超单纯的口头要求。

3 模式落地的关键实施路径与案例验证

3.1 新建项目: BIM 数据与运维需求的同频设计

新建项目的核心,是实现 BIM 数据与运维需求的“同频共振”。沿海台风季频发区域的某国道大中修项目中,运维主体提前介入施工环节,明确提出三项要求:以 BIM 正向设计构建道路、桥梁、管线标准化图库;针对沿海高地下水位特征,合理设置管线与路基安全距离及水位监测节点;模型精度需满足运维需求,预留应力、温度等关键数据接口。这些要求并非凭空提出——台风季的强降雨易引发路基沉降,水位监测数据的实时接入正是规避这类风险的关键。

施工阶段“周跟踪、月核查”机制确保要求落地。施工方每周更新的模型需关联钢筋保护层厚度、支座安

装精度等运维数据;基于模型的交通模拟提前规划临时导流车道,保障施工期通行效率。养护作业智能化优势凸显,模型引导无人机精准定位病害,避免人工寻点致拥堵。一次突发大风使无人机航线偏移,运维团队调用模型数据快速修正路径——极端天气参数优化由此纳入常态化管理。设备验收时,对照模型核查传感器位置,调整未覆盖关键区域的设备,消除监测盲区。

3.2 存量项目:“一桥一策”的历史数据融合方案

存量设施改造,“一桥一策”是核心原则。一座建成于上世纪末的连续梁桥被评定为三类桥后,运维主体牵头组建专项小组,联合设计机构与高校推行“图纸修复-力学仿真-模型整合”方案。第一步,通过比对同期同类型桥梁图纸,结合现场回弹检测,修复模糊尺寸;第二步,用有限元软件模拟重载、高温等多种工况,定位应力集中区域;第三步,将图纸、仿真数据、二十年病害记录全部整合至 BIM 模型——历史数据的价值,在模型中得到充分释放。

改造方案经多轮论证。运维主体参照技术评审规范,组织结构、材料、交通三类专家评审,否决“全域布设传感器”的冗余方案——仅在应力集中区加装设备,兼顾监测需求与成本控制。数据应用成效显著,模型比对新旧数据精准定位应力异常支座,及时启动更换。吊装路径经模型推演,避开高压线路与车流,作业零安全事故。改造后跟踪显示,模型预判的潜在病害多被提前处置,方案可持续性得到验证。

3.3 效益复盘:成本与安全的双向优化逻辑

成本管控的成效,贯穿设施全生命周期。预算阶段,某国道项目通过 BIM 模拟优化施工方案,有效降低材料损耗;施工期间,提前预判交通疏导关键节点,大幅压缩封路补偿成本;运维阶段,某大桥因精准处置支座病害,避免二次施工,节约返工成本。这些实践印证了全生命周期理论的核心:前期的技术与数据投入,能通过减少后期故障实现成本对冲。但需警惕“技术崇拜”——部分项目为追求“智能化”标签,盲目堆砌设备,反而导致运维成本上升,违背了“预防性养护降本”的本质。

安全风险防控,实现了从“被动补救”到“主动预警”的转型。空地一体巡查系统替代人工登高作业,某项目安全防护投入相应减少,坠落风险彻底消除;病害识别滞后问题得到根本改善,某连续梁桥支座病害因预警及时,未发展为危及结构安全的重大隐患。区域内试点项目的实践表明,高危作业安全目标全部达成,病害

复发情况较传统模式明显减少。BIM 技术的核心价值，并非单纯的“技术展示”，而是通过“全时监测+精准干预”，为桥梁结构安全筑起坚实防线。

4 运维主体的 BIM 技术深化应用方向

4.1 数据资产管控：权属、标准与价值挖掘

数据管控关键是建立“权属清晰、分级可控、价值可控”机制。核心数据归属养护统筹部门，施工与养护企业仅获操作权限。参照区域“数、图、模”一体化要求，数据分三级管理：一级数据属核心机密，仅限技术负责人调用，需双签字审批；二级数据对养护企业开放，支撑方案制定；三级数据（如交通流量）经政务平台公示，保障公众知情权。“双人双锁”机制使核心数据泄露风险归零。

数据标准化聚焦“互通与延续”。对接区域内河航道工程信息模型规范，病害编码、数据格式与模型精度得到统一，不同项目、企业的数据跨平台对接成为可能。数据全生命周期归档制度同步推行，模型成果与监测数据按区域 BIM 标准整理后，移交档案中心永久保存——某 2000 年建成的桥梁拆除时，正是依托这些历史数据，精准定位地下管线位置，避免了管线破损事故。养护统筹部门主导的数据价值转化，更具实践意义：融合 20 年历史病害数据与当地气候、交通数据，构建的构件衰变预测模型，让养护决策从“经验判断”转向“数据支撑”。

4.2 技术适配：创新与稳定的平衡之道

技术适配的核心，是平衡创新引领与稳定可控。养护统筹部门建立“技术跟踪-试点验证-标准输出”机制，密切关注低空经济、AI 识别等新技术动态。山区公路养护场景中，“BIM+智能巡检车”的试点应用颇具代表性，其集成的高精定位与高清摄像模块，能精准捕捉雨水冲刷形成的细微裂缝，识别效果达到行业领先水平。引入技术成熟度评估体系后，萌芽期技术被设置试点观察期——某 AI 病害识别技术因在阴雨天气下稳定性不足，观察期内被否决推广。在用设备的性能更新标准同样明确，梅雨季等潮湿环境下，部分传感器易出现性能波动，一旦影响监测可靠性便启动更换程序。

试点成熟后，养护统筹部门牵头编制的《区域公路 BIM 技术运维应用操作手册》已成为区域通用规范；专职运维专班实现故障快速响应。但局限仍存：试点周期偶滞后于技术迭代，某 AI 检测设备因未适配梅雨环境，识别效果下降。对此，既要求供应商优化防护性能，更将“环境适配性测试”纳入新设备准入标准。供应商动

态评估机制同步建立，通过测试的设备需经试运行，运行数据纳入性能数据库——“问题反馈-标准完善-试点验证-数据库迭代”闭环，实现技术创新与风险控制良性互动。

5 结束语

BIM 技术赋能的智能化养护模式，本质是重塑运维主体的养护管控地位。技术融合与机制创新双轮驱动下，养护管理从“经验驱动”转向“数据驱动”，区域实践的成本、效率与安全成效，已充分验证其价值。运维主体需持续强化两种能力：一是数据资产的管控能力，通过标准化与分级管理释放数据价值；二是技术适配能力，在创新与稳定间找到平衡点。

跨区域协同的瓶颈，仍是当前模式的主要挑战。各地 BIM 标准的差异，导致模型数据无法互通，全国性养护资源统筹受阻。破解之道需从顶层设计发力，以省级数据接口规范为基础，逐步推动全国统一的 BIM 数据交互标准建设。未来的探索方向清晰可见：BIM 与数字孪生的深度融合，通过实时数据与虚拟模型的动态映射，让养护决策更精准、更智能、更具前瞻性——这并非技术噱头，而是道路桥梁全生命周期管理的必然趋势。

参考文献

- [1] 相关主管部门办公厅。关于推进公路水运工程 BIM 技术应用的指导意见[Z]. 2018-03-05.
- [2] 区域住房和城乡建设局。建筑信息模型应用统一标准（征求意见稿）[S]. 2024.
- [3] 中国网。区域首次运用 BIM 技术进行桥梁养护管理[N]. 2015-12-02.
- [4] 李明华，张晓东，陈静。区域公路 BIM 技术全生命周期应用实践研究[J]. 公路交通科技，2024，41（6）：138-145.
- [5] 区域综合交通运输学会。内河航道工程信息模型设计交付规范（T/JSCTS44-2024）[S]. 2024.
- [6] 相关主管部门。巡查“黑科技”把脉区域路桥隧[N]. 2024-10-16.
- [7] 区域人民政府。公路养护迈入“数字时代” BIM 技术让市民出行更舒心[N]. 2025-06-30.
- [8] 相关主管部门。公路工程技术评审专家管理办法[Z]. 2024-02-10.

作者简介：黄亮亮，1993.3，男，汉族，籍贯：江苏盐城，学历：本科，现有职称：助理工程师，研究方向：工程管理。