

数字化技术在道路与桥梁工程施工管理中的应用研究

邹 展

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]道路和桥梁工程施工管理长期以来受到线路跨度大、工点分散、工序衔接繁杂等诸多结构性难题的限制,而数字化技术的加入给这些问题的解决开辟了新途径。但是技术工具的叠加不能自动地转化为管理效能,在实践中还存在着数据孤岛、监测虚设、业务脱节等现象。从平台协同、进度控制、风险监控、业务融合四个方面剖析数字化应用的结构障碍,给出相应的改善途径。

[关键词]数字化技术;道路与桥梁工程;施工管理

DOI: 10.33142/ec.v9i10.20525

中图分类号: U445.1

文献标识码: A

Research on the Application of Digital Technology in Construction Management of Road and Bridge Engineering

ZOU Zhan

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The construction management of road and bridge engineering has long been limited by structural problems such as large line spans, scattered construction sites, and complex process connections. The addition of digital technology has opened up new avenues for solving these problems. However, the combination of technical tools cannot automatically translate into management efficiency, and in practice, there are still phenomena such as data silos, virtual monitoring, and business disconnection. Analyze the structural barriers of digital applications from four aspects: platform collaboration, progress control, risk monitoring, and business integration, and provide corresponding improvement approaches.

Keywords: digital technology; road and bridge engineering; construction management

引言

道路与桥梁工程线路长、工点分散、参与方多,传统的层级传递式施工管理方式存在着信息衰减、决策滞后的问题。BIM、物联网、北斗定位等技术的发展成熟之后,施工管理的数字化才开始真正进入到工程实践中。2026年8月,公路工程智慧工地建设技术指南开始实施,公路施工数字化进入了规范化时期。但是技术工具的引入和管理效率的提高不是简单的线性关系。部分项目数字化系统变成数据看板,监测数据同决策流程相脱离,技术逻辑同管理逻辑的错位需要加以考察。

1 数字化技术在道路与桥梁工程施工管理中的重要性

道路、桥梁工程管理难,因为它的空间延伸性和工序耦合性叠加在一起。一条高速公路可以跨越几十甚至上百公里,桥梁、隧道、路基交叉相交,施工人员分布在各个工点上,传统的管理方式依靠层层汇报、人工巡查来保证

信息传递的完整性、时效性。数字化技术最根本的价值就是改变施工管理的信息基础。

就信息流转而言,数字化系统将施工过程中各个方面的人员、机械、材料、工艺、环境等转化为结构化数据流,从而将传统的依靠经验判断的管理方式改变为以数据为基础的科学决策。桩基施工过程中,传统模式下桩位偏差、成孔深度、垂直度等参数都是通过人工记录得到的,容易造成数据失真以及事后补录的情况发生,而采用数字化系统之后,可以对关键参数进行自动采集和实时上传,隐蔽工程的质量溯源有了可靠的依据。该转变的意义远远大于单纯的记录方式更新,它体现的是施工管理控制节点由事后检查提前到了过程控制。就组织协同而言,数字化平台冲破了建设、施工、监理、检测等各方面的信息壁垒。大型路桥项目的设计变更、质量验收、计量支付等业务牵涉到多方反复确认,传统的沟通方式造成大量的等待和返工。数字化协同平台把业务流程线上化,各个主体在同一个数

据源上工作,从而削减了由于信息不对称而产生的摩擦成本。有研究表明,BIM和GIS集成使用可以将工程实体的空间信息同业务数据联系起来,在同一个模型中实现各方的协作工作,设计变更传递时间由原来的几天缩短到几小时。协同效率提高对工期紧的大型项目来说尤其重要。

2 道路与桥梁工程施工管理数字化应用的主要内容

2.1 数字化技术在道路与桥梁工程施工管理中的应用价值

数字化技术在路桥施工管理中发挥的价值,是按照从记录到协同、从可视到可控这样的递进过程来实现的。最基本的使用就是施工过程的数字化记录,用传感器、定位终端、移动端录入等代替纸质台账,解决传统管理数据滞后、失真、无法追溯的问题。更深层次的价值就体现在管理流程的重组上。以BIM、GIS为基础搭建起来的集成平台可以实现工程实体的空间信息同业务数据的关联,按照模型位置来检索技术文档,按工序节点来追溯质量记录。该高速公路项目利用BIM管理平台对进度、成本、质量实行一体化管理,实际工期比原计划缩短了约8%,土方工程量减少了近8%,机械租赁费用降低了9%以上。

数字化技术的又一重要价值就是风险控制提前进行。边坡稳定性实时监测、高支模变形预警、隧道超前地质预报等应用,把安全管理由被动应对转变为主动预防。根据四川某山区高速公路的实测数据可知,采用实时监测系统之后,突发滑坡事件降低50%,监测系统一般能提前15min发现危险。相关研究显示,线状工程智慧工地管理系统的主要价值就是把分散的施工要素数据化、结构化,依靠统一的数据底座来达成质量、安全、进度等业务的协同管理,进而改变传统模式下各个业务条线各自为政的状况。

2.2 道路与桥梁工程施工管理数字化应用的技术体系

路桥施工数字化技术架构可以分为感知、传输、平台、应用这四个层次。感知层完成施工要素数据的采集工作,设备有北斗高精度定位终端、各种传感器、视频监控设备、无人机等。传输层依靠无线网络或者移动通信完成数据的实时回传。平台层用BIM模型作为数据组织框架,对各式各样的数据进行汇聚、治理以及关联。应用层就是面向质量、安全、进度、成本等业务场景的子系统。

BIM技术在系统中处于中心位置,它不只是一个三维可视化界面,更重要的是它是一个工程信息的结构化载体,把施工过程中产生的业务数据和空间位置结合起来。有学者提出用EBS和WBS相结合的方式组织工程数据,把工程实体结构和施工任务结构进行分解,建立模型构件、

工序任务、质量记录之间的映射关系,为施工过程的精细化管理提供数据基础。该方法在多个桥梁项目中得到验证,实现了质量验评记录按照构件自动归档^[1]。物联网和北斗定位技术的结合,在施工过程控制中使用最广。摊铺机、压路机安装北斗终端、传感器后,摊铺速度、温度、厚度、碾压轨迹、遍数、压实度等参数自动采集并实时监控。多个项目的实测数据显示,使用数字化压实系统可以将返工率降低20%以上,人工测量时间减少约40%。从表1可知,数字化技术主要应用到路桥施工的各个环节,技术组合具有很强的交叉融合性。

表1 道路与桥梁工程施工管理数字化技术应用场景

施工环节	主要技术手段	管理功能	典型指标
路基填筑	北斗定位+压实传感器	碾压轨迹追踪、压实度监控	遍数偏差≤1遍
桩基施工	北斗终端+成孔监测仪	桩位放样、垂直度控制	平面偏差≤5cm
桥梁上部结构	BIM+数字孪生	钢结构拼装模拟、线形控制	安装精度毫米级
隧道施工	超前地质预报+监控量测	围岩变形预警、衬砌质量	沉降预警值±10mm
边坡防护	实时监测+边缘计算	稳定性预警、滑坡防控	提前预警≥15min

3 道路与桥梁工程施工管理数字化应用存在的问题

3.1 施工管理数字化平台建设 with 数据协同不足

目前大部分路桥项目的数字化平台存在有系统无协同的现象。不同的业务模块是由不同的厂商提供的,数据格式和接口标准都不一致,质量管理体系中的检测数据不能自动流转到计量支付模块,进度数据和成本数据分别属于两个体系。一个省级路桥企业同时维护三四套监测平台的情况不是孤立存在的,总部层面很难对各个项目的监测数据进行横向比较和集中控制。部分项目BIM模型在交付施工阶段后,由于建模深度不够、构件信息缺失,施工单位不得不重新建模,设计阶段积累的数据资产不能有效地传递到施工管理环节,造成设计模型和施工管理模型两张皮的尴尬局面。数据协同的障碍不单存在于系统之间,也存在于参与方之间。建设、施工、监理、检测等各方所用的信息系统不同,数据交换依靠人工导出和重新录入,造成效率损失的同时又增加了新的错误风险。施工全过程数据按照统一标准结构化归档的制度没有得到有效的执行,数字化交付在实际项目中还很少见。

3.2 施工进度动态管控与资源配置效率有待提升

进度管理的数字化应用大多只是停留在可视化层面,

把甘特图从纸质搬到屏幕上,并没有改变进度编制的逻辑^[2]。真正意义上的动态控制,也就是根据实时施工数据进行进度偏差的识别和自动纠偏,在大部分项目中还没有实现。资源配置的智能化程度也很低。材料需求计划仍然依靠人工经验进行测算,拌合站生产计划和现场摊铺进度之间没有实现自动联动。机械调度依靠调度员电话协调,设备闲置和赶工抢工交替出现。根据某行业调研结果可知,在过去三年公路施工数字化投入中,有大约 35%的资金由于系统不匹配、数据孤岛等缘故没有达到预期的效果。这组数据从侧面反映了数字化投入和产出之间的差距。

3.3 工程质量安全风险数字化监测能力不足

质量检测的数字化覆盖面存在着明显的工序不均衡。桩基、路基压实等环节的数字化监测比较成熟,但是桥梁预应力张拉、隧道初支质量等环节仍然以人工检测为主。监测数据的分析能力差,大部分系统只停留在阈值报警上,没有对数据的趋势进行挖掘和风险的预判能力。安全监测上视频监控的智能识别程度不一样。部分项目 AI 视觉系统只能识别没有佩戴安全帽等表面违章,对于高支模变形、边坡位移等结构性风险没有自动预警的手段。缺少监测数据和应急响应之间的闭环机制,预警发出之后的处置过程还是依靠人工跟进。

3.4 数字化技术应用与施工管理业务融合不够深入

技术系统和管理流程两张皮的现象最为明显。数字化平台所采集的数据没有被纳入到管理决策链条当中,项目例会中讨论的依旧是传统的报表,系统数据成了事后查阅的档案。一线人员把数据录入当作额外的工作,而不是管理流程的一部分。融合不足的原因在于系统设计阶段没有进行管理逻辑的设计。大部分数字化产品开发以技术功能为出发点,缺少对施工管理实际决策路径的把握。技术交底、质量验收、计量支付等主要业务在系统里只是简单的表单填写,没有对业务流程进行重构和优化。结果就是系统功能越来越繁杂,但是现场人员的使用意愿却越来越低。

4 道路及桥梁工程管理中数字化技术应用的优化策略

4.1 完善数字化管理平台与工程数据协同机制

解决数据协同的前提就是统一数据标准。新建项目应按照《公路工程智慧工地建设技术指南》的要求,在项目策划阶段就确定好数据格式、接口规范和交付标准,不能在系统建成之后再被动的改造。对于存量项目,可以利用数据中台建设将异构系统数据汇聚起来进行治理,用中间层来屏蔽底层系统之间的差异。平台建设要先采用模块化架构,各个业务系统可以利用标准接口对接到同一个

数据底座上。用 BIM 模型来建立数据关联的纽带,把质量、进度、成本等业务数据挂接到工程实体构件上,从而达到按照空间位置或者工序节点进行数据检索和追踪的目的。数据协同机制的创建既不是技术问题,也不是合同问题,而是在合同中规定各方数据提交的形式、时间及责任。

4.2 构建施工进度动态管理与资源智能配置体系

进度动态控制要形成计划和执行之间的数据闭环。将 WBS 任务节点同 BIM 构件联系起来,现场获取的施工进度数据会实时更新到模型中,系统自动对比计划进度和实际进度,找出偏差并给出纠偏建议。资源需求计划要根据进度数据自动产生,材料采购、机械调度、人员安排的动态调整有数据支撑。资源配置的智能化要先从重要的工序开始^[3]。拌合站和摊铺现场的联动调度、压路机群的协同作业编排、预制梁场的生产节拍优化等场景,技术条件比较成熟,实施效果可以量化。单个的突破会产生一个示范效应,从而带动整个环节的智能化改造。

4.3 强化工程质量安全数字化监测与风险预警

质量监测的数字化应该从关键隐蔽工程、容易出现质量问题的环节开始。桩基施工成孔参数、预应力张拉应力和伸长量、隧道初支厚度和密实度等均应实现自动采集并实时上传,不得事后补录。监测数据不单是合规的证明,还要用统计分析来发现质量波动的趋势,在偏差积累到不合格之前发出预警。安全监测由原来的单点报警变为现在的风险预判。通过历史监测数据建立风险识别模型,用实时数据做趋势预测。边坡位移监测的加速度突变识别、高支模变形的位移速率异常检测、隧道围岩收敛的加速阶段判断等都可以用算法来提前发出预警。预警信息的处置流程要固化在系统里,从预警发出到处置完毕形成可以追踪的闭环记录。

4.4 推动数字化技术与施工管理业务深度融合

融合的前提就是使数字化系统真正为管理决策服务,而不是增加管理层级。系统设计阶段要梳理施工管理的关键决策节点,确定每一个节点需要的数据输入和判断逻辑,使得系统功能同业务需求精准对接。技术交底、质量验收、进度确认、计量支付等高频业务流程要先行推进数字化,使一线人员在操作中体会到效率的提高而不是负担的加重。融合的层次可以由数据嵌入、流程嵌入、决策嵌入逐层推进:数据嵌入把系统记录变成管理档案的一部分,流程嵌入要求关键业务节点必须在系统中完成,决策嵌入要求管理判断以系统数据分析为依据。目前大多数项目都处在第一层次上,仅有少数达到了第二层次,而第三层次的

项目很少出现。管理考核方式改变为推进融合赋予了重要杠杆。将数字化系统数据作为进度确认、质量评定、计量支付的依据,把数据录入变成业务流程的一部分。当不使用系统就无法完成计量支付的时候,融合的动力就会由外部要求变成内在需求。培训重点应该由系统的操作转向数据驱动的管理方法,使管理人员养成依靠数据来做出决策的习惯。

5 结语

数字化技术在路桥施工管理中发挥效用,要依附于技术系统同管理逻辑是否相契合来判定。目前应用中出现的各种问题,诸如数据孤岛、监测虚设、业务脱节等问题,不是因为缺少了技术手段而产生的,而是把数字化当成工具取代的结果,而没有进行流程再造。统一数据标准、打

通决策闭环、以业务需求驱动系统设计,这是数字化由有到有用的途径。伴随着行业标准的出台、工程经验的积累,数字化技术会由辅助管理工具变成施工管理的主要设施。

[参考文献]

- [1]傅清丁.基于数字化建造的公路工程项目管理平台架构探究[J].中国交通信息化,2026(4):37-41.
- [2]尹彬.信息化技术在市政道路桥梁施工管理中的应用与优化[J].中国建筑金属结构,2025,24(14):169-171.
- [3]陈海波.线状工程智慧工地管理系统研究进展[J].城市建筑,2026,23(14):159-162.

作者简介:邹展(1981—),毕业于塔里木大学土木工程专业,现就职于新疆北新路桥集团股份有限公司,中级工程师。