

数字化施工管理在水利工程项目中的应用探索

顾青林

安阳市水利工程运行保障中心 河南 安阳 455000

摘要: 本文旨在系统性地探索数字化施工管理在水利工程项目中的应用路径、核心价值与实践挑战。文章首先剖析了传统水利工程施工管理面临的痛点,继而阐述了数字化施工管理的核心内涵与技术架构;在此基础上,深入探讨了BIM、物联网、大数据、AI等关键技术在水利工程全生命周期各阶段的具体应用场景;文章指出了当前施工过程中存在的不足,并针对性地提出了构建标准体系、强化数据治理、培养复合型人才及创新组织模式等策略建议。研究表明,数字化施工管理不仅是提升水利工程效率、质量与安全水平的有效工具,更是实现行业转型升级、迈向智能建造与智慧水利的战略引擎。

关键词: 数字化施工管理; 水利工程; Bim; 物联网; 大数据; 人工智能

引言

从三峡大坝到南水北调,从防洪堤防到灌区渠系工程,水利工程发挥了巨大效益,是国家现代化的基石。但水利工程建设挑战重重,涉及复杂地质、严苛环境及多专业协同等。传统施工管理模式依赖经验、纸质文档,信息分散,在进度、成本、质量安全监管等方面存在诸多瓶颈,如设计变更、隐蔽工程质量追溯难、安全隐患难预警等,造成经济损失与安全隐患。在此背景下,全球工程建设行业正数字化转型,以“数字孪生”为核心理念的数字化施工管理应运而生。它集成信息技术,在虚拟空间精准映射与动态模拟工程项目,实现智能管控。对水利工程而言,数字化孪生平台是破局之道,更是实现“智慧水利”宏伟蓝图的必由之路。

1 传统水利工程施工管理的痛点分析

1.1 信息孤岛与协同低效

水利工程涉及业主、设计、施工、监理、供应商等众多参与方,各方使用的软件平台各异,数据格式不统一,导致信息在传递过程中严重失真、滞后甚至丢失。设计图纸的微小变更无法及时同步至施工现场,施工日志与监理报告脱节,材料进场信息与BOM(物料清单)无法匹配,形成了一个信息孤岛。这种割裂状态极大地阻碍了高效的跨部门、跨专业协同,使得项目整体运行效率低下。

1.2 进度与成本控制粗放

传统的进度管理多依赖甘特图或简单的Excel表格,难以直观反映复杂的工序逻辑关系和资源约束。一旦关键路径上的任务出现延误,其连锁反应往往难以被及时发现和有效干预。成本管理同样面临挑战,由于缺乏实时、准确的工程量和资源消耗数据,成本核算滞后,超支风

险预警能力弱,失去了过程控制的意义。

1.3 质量与安全管控不健全

水利工程质量关乎百年大计,尤其是大坝、隧洞等关键结构的安全。然而,传统质检多采用抽检方式,覆盖面有限,且对混凝土浇筑温度、碾压遍数、钢筋间距等关键工艺参数的监控依赖人工记录,主观性强、易出错^[1]。安全管理则更多停留在“人盯人”的层面,对高边坡、深基坑、大型起重吊装等高风险作业区域的实时监控手段,虽然做到了事前预警,事中控制、事后追责,但控制手段依然不够精准、管理措施不健全,还不能实现全过程控制。

1.4 决策缺乏数据支持

项目管理层的决策,如资源调配、方案优化、风险应对等,很大程度上依赖于个人经验和有限的报表数据。这些数据往往是静态的、滞后的,无法全面、动态地反映项目的健康状况。缺乏基于海量历史数据和实时感知数据的深度分析,使得决策带有较大的科学性和不确定性。

2 数字化施工管理的核心内涵与技术架构

2.1 核心内涵

数字化施工管理的本质是利用数字技术对工程项目进行解构、重构与赋能。它首先通过传感器、扫描仪、无人机等设备,将物理世界中的工程对象、业务流程、管理活动等转化为计算机可识别、可存储的数字信息,完成初步的数字化。随后,通过对这些信息进行分类、整合、关联,形成结构化的数据库,并通过信息系统实现信息的共享与流转,进入信息化阶段。最终,在信息化的基础上,运用人工智能、大数据分析等技术,对数据进行深度挖掘,实现对工程状态的智能感知、趋势的智能预测、风险的智能预警以及决策的智能辅助,从而迈向智能化。这

一层层递进的过程，构成了数字化施工管理的完整内涵。

2.2 技术架构

一个完整的水利工程数字化施工管理平台通常采用分层架构。最底层是感知层，通过部署在施工现场的各类传感器、摄像头、定位终端等设备，实时采集工程结构、人员、设备、环境等多维度的物理数据，为整个系统提供原始输入。网络层作为数据传输的“神经”，利用5G、Wi-Fi6、LoRa等通信技术，构建高速、稳定、全覆盖的工地物联网，确保感知数据能够低延迟、高可靠地上行^[2]。平台层是系统的“大脑”和“心脏”，其中BIM模型作为核心载体，承载了工程的几何信息、物理属性、功能特性及管理信息，是所有数据的集成中心；数据中台则负责对来自不同源头的异构数据进行清洗、融合、治理，并建立统一的数据标准和API接口。在此之上，应用层面向具体业务场景，开发出如4D/5D进度-成本模拟、智慧工地综合管理、智能质量验评、AI安全巡检等功能模块。最终，所有信息通过PC端、移动端、大屏等多种终端，以直观、友好的方式向不同层级的用户呈现项目全景视图和关键指标，完成整个闭环。

3 关键技术在水利工程中的应用场景

3.1 BIM技术：构建工程的数字骨架

BIM技术在水利工程中的应用早已超越了单纯的三维建模范畴，成为贯穿项目全生命周期的数字骨架。在设计深化阶段，工程师可以利用高精度的BIM模型对复杂的水工结构，如闸门井、廊道、压力管道等进行精细化推敲，并自动进行各专业间的碰撞检查，提前发现并解决管线冲突、空间干涉等潜在问题，有效避免了施工阶段因设计错误而导致的返工和浪费。进入施工阶段后，BIM的价值进一步凸显。通过将施工进度计划（WBS）与BIM模型进行时间维度的关联，形成4D模型，管理人员可以直观地模拟整个施工过程，优化工序安排和场地布置，实现“先模拟，后施工”。更进一步，当成本信息也被关联进来，形成5D模型后，系统便能实现工程量的自动统计和动态成本预测，为精细化的成本管控提供了前所未有的数据支撑。而在项目竣工之际，这个承载了全生命周期信息的BIM模型，便作为一份宝贵的数字化资产移交给运维单位，为未来的工程检修、改造和应急管理提供强大的数据基础，真正实现了从“建造”到“运维”的无缝衔接。

3.2 物联网（IoT）与传感技术：赋予工程生命体征

如果说BIM是工程的骨架，那么物联网与传感技术就是为其注入生命的神经系统。在大型水利枢纽工程中，尤其是在大坝安全监测方面，物联网技术发挥着至关键

要的作用。通过在大坝内部及周边布设成百上千个应力应变计、位移计、渗压计等传感器，可以实时、连续地监测坝体的变形、渗流、应力、温度等关键参数。这些数据通过物联网网关汇集到中央平台，一旦某项指标超出预设的安全阈值，系统会立即触发多级报警机制，并通过数字孪生平台精确定位异常位置，为抢险决策赢得宝贵时间。在具体的施工环节，物联网同样大显身手。例如，在混凝土生产环节，拌合站的配料比例、搅拌时间、出机温度等数据可被实时上传并记录，确保每一方混凝土的质量可追溯^[3]。在土石坝填筑过程中，通过在碾压机上安装GNSS和振动传感器，可以精确记录每一遍碾压的轨迹、速度和激振力，系统自动分析压实度是否均匀达标，彻底告别了过去“凭感觉碾压”的粗放模式。此外，通过为工人佩戴内置定位芯片的智能安全帽，为大型设备安装定位终端，管理人员可以实时掌握现场人员分布、设备位置及工作状态，有效防止无关人员进入危险区域，并根据实时数据优化设备调度，提升整体作业效率。

3.3 大数据与人工智能（AI）：驱动智能决策

当海量的工地数据被有效汇聚后，如何从中提炼出有价值的信息，便成为决定数字化成败的关键。这正是大数据与人工智能技术大展拳脚的舞台。在安全管理方面，利用部署在工地的高清摄像头配合先进的AI视觉识别算法，系统可以7×24小时不间断地自动识别未戴安全帽、未系安全带、违规烟火等安全隐患，并实时将告警信息推送至相关安全员的移动终端，极大地提升了安全监管的覆盖面和响应速度。在质量管理上，AI同样能够替代大量重复性的人工巡检工作，通过对图像的深度学习，自动识别混凝土裂缝、钢筋锈蚀等表观质量缺陷，并进行量化评估。更为深远的影响在于预测性维护和风险智能预警。通过对水泵、闸门启闭机等关键机电设备的历史运行数据和实时状态数据进行机器学习，AI模型可以预测其潜在的故障模式和剩余寿命，从而实现从“坏了再修”到“该修才修”的转变，保障工程运行的连续性和可靠性。同时，结合外部的气象预报、水文数据、地质雷达探测结果以及内部的现场监测数据，可以构建一个多源数据融合的风险评估模型。例如，在汛期来临前，系统可以提前数天预测某个高边坡的滑坡风险概率，并自动生成包含人员疏散、物资调配等内容的应急预案，将风险管理从事后处置真正转变为事前预防。

3.4 无人机与倾斜摄影：打造空中视角

无人机技术的普及为水利工程带来了全新的空中视角。在项目前期，利用无人机搭载的倾斜摄影相机，可以

在极短时间内获取整个工区的高精度实景三维模型。这个模型不仅可以用于精确计算开挖、回填的土方量,取代传统耗时费力且精度有限的人工测量,还能为施工总平面布置提供直观、准确的地理信息支持。在施工过程中,定期进行航拍已成为一种高效的进度核查手段。生成的正射影像图和三维模型可以与BIM进度模型进行直观对比,清晰地展示出哪些区域已经完成,哪些区域存在滞后,为进度纠偏提供直接依据^[4]。更重要的是,这些定期采集的影像数据共同构成了项目全过程的珍贵数字档案,为日后可能出现的工程纠纷、质量追溯或改扩建工程提供了无可辩驳的客观证据。

4 面临的挑战与对策建议

4.1 主要挑战

一是标准体系信息缺失: BIM建模标准、数据交换格式、物联网接口协议等缺乏统一的行业规范,导致不同系统间集成困难,“数据烟囱”现象依然存在。二是初期投入成本高: 软硬件采购、系统开发、人员培训等需要较大的前期投入,对于中小型水利项目而言,投资回报周期较长,存在一定顾虑。三是复合型人才匮乏: 既懂水利工程技术,又精通信息技术的“T型”人才极度稀缺,制约了数字化系统的深度应用和价值挖掘。四是组织与文化阻力: 部分传统企业存在路径依赖,管理层对数字化转型的战略意义认识不足,一线员工技术力量薄弱,缺乏对新工具、新技术、新流程学习热情。

4.2 对策建议

要破解当前困局,需要多方协同发力。首先,必须加快标准化体系建设。建议由行业协会牵头,联合龙头企业、科研院所,尽快制定并发布一套适用于水利工程的数字化施工管理系列标准,从源头上打通数据壁垒,为系统的互联互通奠定基础。其次,应积极探索多元化的投融资模式。鼓励在项目招标和合同中明确数字化投入,并将其纳入项目总投资。政府层面也可设立专项引导基金,对具有示范效应的数字化标杆项目给予财政补贴或税收优惠,降低企业的成本。第三,人才培养是根

本。高等教育机构应积极回应产业需求,增设智能建造、智慧水利等交叉学科,培养具备复合知识背景的新一代工程师。企业自身则需建立长效的内部培训机制,通过“传帮带”、外部专家讲座、认证考试等方式,持续提升现有员工的数字化素养。最后,推动组织模式的创新至关重要。数字化转型必须是“一把手”工程,需要企业最高决策者亲自挂帅,从战略高度进行顶层设计和资源保障。同时,应打破传统管理模式,建立由IT工程、商务等多部门骨干组成的跨职能数字化推进小组,营造开放、共享、协作的数字化文化,让每一位员工都成为数字化转型的参与者和受益者。

5 结语

数字化浪潮不可逆,对水利工程建设行业而言,数字化施工管理是关乎生存发展的“必答题”。其借助BIM、物联网等技术深度融合,正从根本改变水利工程建设与管理模式,实现从被动到主动、经验到数据、碎片到系统的转变。数字化施工管理能破解传统模式信息孤岛、协同低效等痛点,提升工程在进度、成本等方面的综合绩效,为全生命周期价值最大化创造条件。虽在标准、成本等方面存在挑战,但只要行业凝聚共识、加强顶层设计、加大投入、勇于创新,就能跨越障碍,迎来水利工程高质量发展新纪元。未来水利工程将成为高度互联的“智慧生命体”,为守护江河湖海贡献强大力量。

参考文献

- [1]樊金兰,张晋.水利工程建设管理中数字化技术的应用与前景展望[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(30):196-198.
- [2]刘德平.数字化时代水利水电工程施工技术的优化研究[J].水上安全,2025,(20):64-66.
- [3]王生村.探究数字化时代水利水电工程施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(25):151-153.
- [4]孙岩民,曹校天.信息化数字化对水利施工效率的提升研究[J].智能建筑与智慧城市,2023,(10):181-183.