

Research on construction of whole-life cycle quality management system for water conservancy projects under the background of smart water conservancy

Tuo Zhao

Tianjin Water Engineering Construction Affairs Center, Tianjin, 300000, China

Abstract

The advancement of smart water management has created innovative pathways for enhancing quality control in hydraulic engineering. This study explores establishing a comprehensive lifecycle quality management system tailored to smart water initiatives. By analyzing limitations in traditional approaches—including inadequate information sharing, coarse process control, and delayed risk alerts—the paper outlines a three-tier architecture: a data-driven BIM and digital twin support layer, an integrated management platform layer, and an intelligent decision-making application layer. Through data-driven methodologies, this framework enables closed-loop quality control spanning planning, design, construction, and operation. The paper proposes implementation strategies focusing on institutional frameworks, technological integration, and talent development, emphasizing the importance of standardization, deep integration of next-generation technologies, and cultivating interdisciplinary professionals. These recommendations provide theoretical foundations for achieving refined, intelligent, and forward-looking quality management in hydraulic engineering.

Keywords

smart water conservancy; whole life cycle; quality management system; digital twin; BIM

智慧水利背景下水利工程全生命周期质量管理体系构建研究

赵拓

天津市水务工程建设事务中心, 中国 · 天津 300000

摘 要

智慧水利的发展为提升水利工程质量管理水平提供了全新路径。本文旨在探讨如何构建一个与智慧水利背景相适应的全生命周期质量管理体系。文章首先分析了传统质量管理模式在信息共享不畅、过程管控粗放、风险预警滞后等方面的局限性,进而系统阐述了该体系的总体架构,包括基于BIM与数字孪生的数据支撑层、全流程集成管理平台层及智能决策应用层,通过数据驱动实现从规划、设计、施工到运维各环节的闭环质量管控。最后,从制度建设、技术融合与人才培养三方面提出具体实施路径,强调标准规范制定、新一代信息技术深度融合以及复合型人才梯队建设的重要性,以期为实现水利工程质量的精细化、智能化与前瞻性管理提供理论参考。

关键词

智慧水利; 全生命周期; 质量管理体系; 数字孪生; BIM

1 引言

水利工程作为国家基础设施重要构成部分,其质量直接关联到国计民生、生态安全以及公共安全等方面,传统质量管理模式大多着重于施工阶段现场控制工作,存在着信息割裂、管理滞后以及协同效率低下等诸多问题,以至于难以达成对工程从规划设计、施工运营维护直至报废拆除全过程有效掌控。伴随物联网大数据、人工智能建筑信息模型(BIM)等新一代信息技术蓬勃兴起与发展,“智慧水利”战略顺势

而生,其核心是基于数字化、网络化、智能化手段来重塑水利行业管理与运营模式。在这样的背景状况下,把智慧化理念与技术深度融入水利工程质量管理中,进而构建一个覆盖全生命周期、动态协同且智能质量管理体系,已然成为行业发展必然趋向以及迫切需求,本研究将会针对此展开系统性探讨。

2 传统水利工程质量管理模式局限性与变革必要性

2.1 信息管理呈现碎片化致使决策依据欠缺

在传统工程管理模式情形下,于项目各个阶段(诸如勘察设计、施工监理这些阶段)所产生质量信息,其中涵盖

【作者简介】赵拓(1993-),男,中国天津人,本科,工程师,从事水务工程建设管理研究。

报告图纸验收记录等内容,大多是分散于纸质档案之中,或者是存在于相互独立且无法实现互联互通的信息系统里,进而形成了坚固犹如“信息孤岛”般状况,鉴于缺乏统一数据标准以及接口,这些异构数据很难进行有效整合共享以及逆向追溯,其直接产生的后果便是,项目管理者在进行决策时候,无法获取到一个能够呈现全景化的具备连续性的数据视图以此作为支撑,就如同盲人摸象一样,仅仅只能依据碎片化信息去进行判断,这不但使许多潜在质量问题无法通过数据关联而被及时洞察以及预警,而且在问题发生之后,也难以快速且准确追溯到根本原因以及责任环节,严重削弱了质量管理所应具备科学性以及前瞻性^[1]。

2.2 过程管控出现滞后化致使难以达成事前预防

传统工程质量控制高度依赖于现场管理人员凭借个人经验进行判断,以及在工序完成之后开展抽样检测与验收工作,这种属于“事后把关”类型管理方法存在着天然滞后性,它没有办法针对施工过程中对质量产生影响的各类关键参数(材料性能环境变化、工艺精度等)进行动态连续监测以及反馈,所以,管理行为往往落后于施工进度,无法达成对潜在质量风险实时感知早期预警以及事前主动干预,通常情况下,只能在质量问题已经显现出来甚至已经造成损失之后,才去采取代价高昂补救措施,这不但显著增加了质量成本以及时间成本,而且还埋下了长期安全隐患,这与现代质量管理所倡导“预防为主”原则是背道而驰。

2.3 各方协同呈现低效化对管理效能提升形成制约

工程项目涉及设计施工监理运维等多个参与方面,在传统管理框架之下,各方之间的沟通协调主要是依靠定期会议电话以及纸质文件流转等传统方式来进行,这种线性信息传递模式具有链条长速度慢效率低下特点,并且信息在传递过程当中极易出现衰减或者失真情况,尤其是在不同建设阶段进行交接或者不同专业团队进行配合时候,复杂技术交底以及质量责任转移过程因为缺乏透明且共享协同平台而异常困难,容易引发各方对于技术要求质量标准理解上出现偏差,并且常常会导致在出现问题时候责任难以厘清,各方相互推诿,这种低效协同机制已然成为制约整体质量管理效能提升的关键瓶颈所在^[2]。

3 智慧水利背景下全生命周期质量管理体系的总体架构

3.1 数据感知与集成层:夯实全生命周期数据基础

此层是整个质量管理体系的根本支撑,重点是借助BIM(建筑信息模型)技术,打造一个高精度且一体化的水利工程三维可视化信息模型,该模型并非单纯的几何形状展示,而是整合了设计、施工、运维等全生命周期信息的统一数据集合,它把传统的二维图纸、技术参数、材料清单等零散信息集成到一个统一的数字平台里,为后续质量数据集成和分析夯实基础,促成信息的高度协同与共享。

通过大量部署物联网传感器、实施无人机定期航测和应用智能穿戴设备等先进技术举措,达成对施工现场环境、材料性能、结构应力、设备运行状态等海量多元质量数据的自动化实时采集,将这些动态数据不断集成并映射进BIM模型,进而构建出与物理实体工程同步更新、虚实交互的“数字孪生”体,数字孪生体恰似工程的动态影像,为建设各参与方搭建了能真实、直观且实时展现工程质量状况的可视化平台,为全流程、精准化质量管理提供了前所未有的动态数据支撑与决策凭据。

3.2 平台支撑及流程协同模块:连接质量管理核心节点

此层作为整个质量管理体系的核心枢纽,要点在于搭建一个覆盖水利工程整个生命周期的统一质量管理信息平台,此平台并非简易的信息集合地,而是对涵盖规划论证、设计审查、施工过程把控、验收评估直至长期运营健康监测等各阶段的质量管理业务流程,实施深度数字化重塑与无缝衔接,它消除了传统管理模式里各阶段和各参与方间的信息隔阂,把分散的管理活动整合为一个连贯整体,保障了质量指令和信息流在项目全流程的高效、精确传递^[3]。

依托该平台,项目各参建方(如建设方、设计方、施工方、监理方等)可在统一数字空间中实现线上协同工作,平台承载了线上设计交底、电子质量无纸化验评、移动端便捷现场巡检以及质量问题在线发起、指派、整改与销项的闭环智能工作流程,这些功能不但大幅提升了协同效率,它以强制方式对每一项质量活动的执行流程予以规范,保证了所有操作记录具备可追溯性,让每个质量环节都能明确责任、有章可循,从根本上保障了质量管理的规范和透明。

3.3 智慧决策及应用服务层级:达成对质量风险的精准把控

该层级充当整个质量管理体系的“智慧大脑”,其核心动力来自对平台汇集的全生命周期所有数据的深度挖掘和智能分析,它并非仅进行简单的信息存储与呈现,而是整合运用大数据分析、人工智能和机器学习等前沿算法,把海量数据转化成具备预见能力和决策辅助价值的智能应用服务,这些服务好似大脑的神经网络体系,可精准察觉数据背后潜藏的规律与风险,进而引发质量管理模式的彻底革新。

多个关键场景中呈现出这些智能应用:借助历史数据以及实时环境参数,对混凝土浇筑温度把控及后期养护条件开展模拟预估与方案改良,从根源上保证关键工序的质量;借助传感器网络与算法模型,对高边坡、大坝体等关键结构的稳定性和变形趋势开展全天候智能评估与安全预警,做到提前预防;还可依据设备运行数据构建预测模型,促成从“事后维修”到“预测性维护”的转化,大幅提高运行可靠性。这一智慧层助力质量管理从传统的“被动应对问题”跨越至“主动预警风险”,并迈向“智能优化决策”,实现质的突破,为工程管理增添了前所未有的前瞻性与科学性^[4]。

4 新型质量管理体系有效实施的路径与保障

4.1 完善标准规范与制度建设

迅速构建涵盖数据采集、传输、存储、应用等环节的统一标准体系,是保障数据互操作性的核心要素,此体系要为各类数据格式、接口协议以及处理流程明确具体的技术规范,让不同来源、不同形态的数据能在异构系统间顺利流通与完美整合,它既关乎数据自身格式的统一和语义的连贯,更关联到底层技术架构的兼容协同,以此有效突破信息孤岛,为跨部门、跨领域的数据融合与价值挖掘消除技术障碍,唯有处于统一标准的框架之中,才能充分挖掘数据的潜在价值,为智能决策与业务创新筑牢根基。

应同步修正和健全契合数据全生命周期质量管理的管理制度、合同范本以及责任追溯机制,标准体系给出了技术方面的遵循准则,制度保障促使这些标准在实际运作中得以有效落实和持续监管,管理制度应当明确数据对于各流程的质量指标、操作准则和管控任务,合同范本需以契约形式确定数据质量标准、安全责任与合规义务,责任追溯机制要可清晰分辨数据问题的产生源头和相关责任主体,构建有效的约束与问责闭环,这三者相互配合,共同搭建起一套紧密相连的规则体系,让数据质量管理理念全程贯穿。将标准体系与制度建设紧密融合,可为数据生态的良性运转提供双重支撑,统一标准让数据在技术上具备可用性并实现互联互通,完善的制度从管理角度对行为加以规范、明确权责归属、增强追溯能力,二者相互配合,共同营造出规范、高效、可信的数据治理环境^[5]。

4.2 推动前沿技术与业务深度融合

激励产学研深度融合,是促进水利工程智能化转变的关键途径,应大力推动高校、科研院所和行业龙头企业构建长期稳固的合作,共同搭建研发团队或者联合实验室,把前沿学术研究和企业一线实际需求紧密相连,合作要点需放在攻克适配水利工程复杂环境的智能传感技术上,开发可抵御水流冲击、泥沙淤积以及温湿度变化的耐用传感器;开发能适应野外严苛条件的边缘计算节点,达成数据的就近处理与实时回应;并且大力开发专门面向水文预报、工程安全监测、水资源调度等特定场景的AI算法模型,增强其在实际运用中的准确性和稳定性。

开展技术研发工作,应始终突出应用的实际效果,以解决工程实际的质量和安全性问题为核心,设计技术方案需深入基层一线,全面了解水利工程运行维护业务流程及痛点难题,保证研发的智能传感设备便于安装维护、边缘计算单元

算力配置恰当、AI算法模型输入输出契合现有决策流程,应果断杜绝脱离业务实际、单纯聚焦技术指标的现象,防止产生研发成果看似高端,却在现场复杂条件下不能稳定运行,也难以融入现有工作体系的“两张皮”现象。技术创新的价值最终需借由在实际业务场景中落实应用来检验,要设立以实际应用效果作为关键评判尺度的评价体系,推进研发成果在典型水利工程里开展试点证实,且按照反馈持续迭代改良。

4.3 加强复合型人才培养与组织变革

全力培育兼具水利工程技术精通与信息技术熟练掌握能力的复合型人才,是驱动水利行业智慧化转型的核心要素,培养此类人才需突破传统学科的壁垒,凭借系统的课程规划、跨领域的项目实操以及不间断的继续学习,让人才深入掌握水文、水资源、水工结构等专业知识的核心,还能熟练运用大数据分析、人工智能、物联网等现代信息技术,应推动高校对课程体系进行优化,助力企业与科研机构共同创建实训基地,让人才在实践中锻炼将技术理论与工程实际相结合的能力,由此组建一支可驾驭复杂智慧水利项目建设与运营的专业队伍。

5 结语

在智慧水利的浪潮下,构建以数据为核心、以数字孪生为载体、以智能决策为特征的水利工程全生命周期质量管理体系,是提升工程品质、保障长效安全、实现可持续发展的关键举措。这一体系的构建并非一蹴而就,它是一项系统性工程,需要从理念、技术、管理和人才等多个维度协同推进。未来,随着技术的不断演进和实践的深入,该体系必将日益完善,为推动我国水利事业的高质量发展注入强大动能。

参考文献

- [1] 唐云清.重大水利水电工程全生命周期质量管理探索与实践[J].中国水利,2025,(09):42-49+27.
- [2] 姜震宇,田菁,郭殷奇,徐晶,沈佳.数字孪生技术在水利设备全生命周期管理中的应用[J].设备管理与维修,2023,(17):154-155.
- [3] 赵楠,李万渠,陈燕萍.基于BIM技术的水利工程全生命周期管理研究[J].四川水利,2022,43(04):116-121.
- [4] 孙少楠,宋宜昌.基于BIM+GIS的水利工程全生命周期建设管理研究[J].中国农村水利水电,2022,(10):131-137+142.
- [5] 黄勇,杨觉锋,苏锋,刘晓东,贾新会,刘立峰.基于BIM的水电工程全生命周期数字化移交应用研究[J].中国农村水利水电,2020,(11):182-187.