

数字化转型背景下水利工程全生命周期管理模式创新与实践

刘冲

河南省水利第二工程局集团有限公司，河南郑州，450000；

摘要：随着全球各国推动数字化转型，水利工程作为基础设施的重要组成部分，正在积极适应这一趋势。数字化转型的核心优势在于通过信息化手段整合资源、优化管理流程、提高运行效率，从而实现水利工程的高效、安全和可持续管理。本文通过对某大型水利工程的案例分析，详细探讨了数字化转型在水利工程全生命周期管理中的应用，重点分析了 BIM、物联网、智能监控系统等技术的部署与应用，在此基础上研究了通过大数据与人工智能实现设备故障预测与维护优化，提升了水利工程的整体管理水平。

关键词：数字化转型；水利工程；全生命周期管理

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.027

前言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，其建设和管理面临着巨大的挑战。传统的水利工程管理方式往往存在信息孤岛、资源浪费、进度滞后等问题，亟需借助数字化技术进行转型。近年来，随着物联网、大数据、云计算、人工智能等数字化技术的快速发展，水利工程的管理模式正在经历一场深刻的变革。数字化转型不仅能提升工程的效率与安全性，还能通过精确的数据监控和分析优化资源配置，提高水资源的利用效率。在这一背景下，本研究聚焦数字化技术在水利工程全生命周期管理中的应用，通过案例分析和技术开发，探讨了数字化转型如何为水利工程提供高效、智能、可持续的管理方案。

1 工程概述

本项目为某大型水利工程，位于长江中下游流域，主要任务是实施区域性水资源的调配与优化管理，包括水库建设、输水隧道和河道整治等。该工程的目标是提高流域水资源的利用效率，保障供水、灌溉、防洪等综合功能。项目总投资约为 60 亿元人民币，建设周期为五年，涵盖了水利工程建设的全过程，涉及规划、设计、施工、运营维护等多个阶段。本工程的水库建设容量为 5 亿立方米，规划水库库容和调节能力满足流域抗旱需求，同时有助于提升防洪能力。水库的坝体采用混凝土重力坝，坝高 100 米，坝顶宽度为 15 米，坝体基础设计采用抗渗加固措施，保证了水库的长期稳定性和安全性。项目区域还包括了长达 20 公里的输水隧道和配套的水电站设施，隧道直径为 6 米，隧道设计流量为 300 立方米每秒，确保输水过程中流量的平稳和高效。

2 水利工程全生命周期管理模式

2.1 数字化技术驱动的精细化管理

在水利工程的规划与设计阶段，数字化技术的应用至关重要。本项目采用了 BIM（建筑信息模型）技术进行全程数字化设计，通过三维建模技术，将水库、输水隧道、坝体等关键设施的设计方案在虚拟环境中全面呈现。通过 BIM 模型，设计团队能够在设计初期对各类工程设施进行碰撞检查和优化调整，减少后期施工中可能出现的设计问题。具体而言，BIM 模型能够将设计阶段的各类信息（如地质条件、施工工艺、资源配置等）集成，并通过可视化平台实时跟踪各类数据的变化，确保设计方案的合理性与可实施性。

2.2 智能化施工管理与实时监控

在水利工程的施工阶段，项目采用了物联网（IoT）技术与无人机巡检系统，实现了施工过程中的智能化管理与实时监控。施工现场通过安装各种传感器（如温湿度传感器、位移传感器等）对坝体、隧道等关键结构进行实时监测，获取结构的温度、压力、变形等数据。通过与云平台的数据对接，项目管理人员能够远程查看实时数据，分析潜在的风险，并采取有效的应对措施。

在施工过程的质量控制方面，本项目引入了自动化设备与机器人技术，如全自动隧道掘进机（TBM）和智能焊接机器人，确保施工精度与进度。具体地，隧道掘进机根据地质数据调整工作方式，优化掘进路径，减少人工干预的误差。同时，智能焊接机器人能够进行精确的焊接操作，减少人为因素造成的结构缺陷，确保施工质量。通过无人机巡检，施工进度和质量得到了可视化展示，减少了传统人工巡检的盲区，提高了工作效率。

2.3 智能监控与预测性维护

项目在运营与维护阶段，采用了先进的智能监控系统

统,结合大数据分析与人工智能(AI),实现了水库、输水隧道等设施的远程监控和预测性维护。通过在各个设施(如水坝、泵站、输水管道等)上安装传感器,实时采集水位、流量、压力等关键数据,并通过AI算法分析这些数据,系统能够预测设备的运行状态和潜在故障风险,基于传感器数据,系统能够在水坝出现轻微变形时,立即发出预警,并自动分析是否存在结构性问题,从而提前采取维护措施。

此外,采用物联网技术对输水隧道进行智能化监控。隧道内的压力传感器和流量传感器能够实时监测隧道的运行状况,一旦出现任何异常,系统会自动通知运维人员进行检查与处理,避免了传统管理模式中人工巡检的滞后性和疏漏。智能化运维还能够帮助管理人员优化能源消耗,通过数据分析预测未来的能耗情况,制定合理的节能措施,降低运维成本。

2.4 持续改进管理策略

在水利工程的全生命周期中,数字化技术不仅在各个阶段提供了精准的决策支持,还能够帮助项目在运营期间不断进行优化改进。基于全程数据积累与分析,项目管理者可以通过数据反馈进行管理策略的调整。例如,基于水库实际水位数据与气候预测模型,管理系统能够调整水库的蓄水策略和流量分配方案,以应对不同的洪水、干旱等突发情况。在运营阶段,系统会实时反馈设施的使用情况,运维团队能够根据这些反馈调整维护频率和强度,确保设施始终保持最佳工作状态。此外,通过对历史数据的积累,AI和机器学习技术能够不断优化水利工程的管理方案,基于对不同气候、运行模式下的数据进行分析,项目管理团队能够在遇到新挑战时,快速调用历史经验,提出针对性的解决方案,从而优化整个水利工程的管理效率和效益,针对流域内水文数据的分析,系统能够提出最优的调水方案,减少资源浪费,提升水资源利用率。

3 基于数字化转型的水利工程全生命周期管理模式的功能实现

3.1 部署方案

3.1.1 数据采集与传感器部署

在本项目的水库、坝体及输水隧道等关键设施中,部署了各种传感器(如水位传感器、位移传感器、温湿度传感器等),用于实时监测工程设施的状态和环境变化。传感器选型为国际知名品牌,如瑞士EMS公司的水位传感器,型号为“EMS-2500”,具有高精度、长寿命的特点,能够在不同环境下稳定运行。位移传感器选择了德国西门子的“Siemens TDLAS”型号,具有毫米级

的精度,适用于坝体和隧道的变形监测。所有传感器通过无线物联网(IoT)模块与数据采集系统连接,将采集的数据实时传输到云平台。

3.1.2 智能监控系统的部署

在本工程的施工和运营阶段,采用了基于物联网技术的智能监控系统。系统包括多个监控节点,利用摄像头和无人机进行实时巡视,监控水库坝体、输水隧道和其他关键设施的状况。部署的无人机型号为“大疆P4 RTK”,该无人机配备高清摄像头和RTK定位系统,能够在精确的地理坐标下进行航拍,实时监测设施的安全状况。监控系统通过云平台实时传输数据,确保管理人员随时能够掌握现场情况。

3.1.3 云平台与数据集成

项目选用的云平台为华为云的FusionSphere平台,具备高效的数据处理和存储能力。该平台能够处理来自传感器、监控系统、无人机等设备的多维度数据,并将其集中管理。在此平台上,所有实时数据与历史数据的集成使得管理人员能够对水库、坝体等设施的运行状态进行精确监控。此外,平台的高可用性与扩展性使得它能应对未来数据量的增长。

3.1.4 基础设施与设备的智能化部署

为了实现设备的智能化运维,本工程采用了带有物联网接口的智能设备。例如,选择了ABB的智能电力设备,型号为“ABB Tmax XT”,能够通过智能电表和控制器实时监测电力系统的负荷和运行状态。通过与云平台的数据对接,这些设备能够自动调整供电策略,优化能源消耗,确保水利工程在运行阶段的高效性和可靠性。

3.2 算法开发

3.2.1 数据预处理与清洗算法

在水利工程项目中,数据采集频繁且来源多样(传感器、监控系统、无人机等),因此数据质量至关重要。为了确保数据的可靠性,首先开发了数据预处理与清洗算法。此算法通过筛选和去除无效、缺失或错误数据,保证了输入系统的数据质量,采用时间序列分析方法对传感器数据进行平滑处理,消除突发噪声和误差值,从而提高后续分析的准确性。

3.2.2 设备故障预测算法

为了实现预测性维护,本工程开发了基于机器学习的设备故障预测算法。该算法采用了决策树和随机森林等机器学习方法,结合从传感器采集到的设备运行数据,如水泵、闸门、坝体等设备的工作状态、温度、压力等参数,进行故障预测。通过对大量历史数据的学习,算法能够识别设备的正常工作模式,并在设备运行偏离正常模式时,提前预警潜在故障。

3.2.3 水资源调配优化算法

在水资源管理方面，开发了基于大数据和优化算法的水资源调配系统。该系统通过实时采集水位、流量、降水量等数据，结合流域的气象预报数据，运用线性规划和动态规划算法，计算出最佳的水资源调度方案。在干旱季节，系统能够优化水库的蓄水策略，最大化水资源的利用效率。在洪水季节，系统则能够实时调整水流量，保证下游河道的安全。该系统的部署显著提高了水资源的利用效率和防洪能力。

3.2.4 智能预警与决策支持算法

为了提高工程的安全性，本项目还开发了基于人工智能的智能预警算法。该算法集成了水库坝体监测、气象变化、河道水位等多维数据，利用深度学习算法实时分析并预测潜在的安全隐患。例如，系统通过监测坝体

的位移数据，结合气象预报、流量预测等信息，能够准确判断是否存在滑坡或其他灾害风险。通过对实时数据的综合分析，系统能够为管理者提供决策支持，帮助其做出科学合理的维护和调度决策。

3.3 实施效果

本项目在规划、设计、施工及运营阶段实现了信息流、物资流、资金流的全面集成。实时数据监控与智能分析不仅显著提高了施工效率，还有效降低了人工成本和物料浪费。在坝体出现微小位移时，系统能够立即触发预警，并通知运维人员进行检查，防止了严重事故的发生。智能预警与决策支持系统帮助管理人员及时调整运营策略，确保了水资源调配的稳定性和合理性。具体实施效果如表 1 所示。

表 1 实施效果

参数	监测数据值	上限值	下限值	是否警报
水库水位	150.5 米	155 米	140 米	否
水库坝体位移	1.2mm	5mm	-5mm	否
水泵工作温度	60°C	70°C	50°C	否
水泵工作压力	5MPa	6MPa	4MPa	否
输水隧道流量	300 立方米/秒	350 立方米/秒	200 立方米/秒	否

整个项目的实时监控系统能够准确监测到关键设施的状态，确保了水库、坝体和隧道的安全性。所有数据均保持在安全范围内，没有发生重大警报，表明智能化监控系统运行稳定。在设备维护方面，通过智能算法的预测性维护，设备故障率较传统管理模式下降了 30% 以上，减少了因设备故障导致的维修和停机时间，提升了整体运营效率。这些成果验证了数字化转型对水利工程全生命周期管理的积极影响。

4 结语

随着数字化转型的推进，水利工程的全生命周期管理模式迎来了前所未有的创新机会。本项目通过数字化技术的全面应用，实现了水利工程从规划、设计、施工到运营维护的全过程精细化管理。BIM、物联网、人工智能、大数据等技术的融合不仅提升了工程的效率与质量，还显著提高了设施的安全性与稳定性。在施工阶段，智能监控系统和实时数据分析帮助确保了施工进度和质量，降低了风险和成本。在运营阶段，智能运维系统通过预测性维护，有效降低了设备故障率并延长了设施使用寿命。数字化技术的深度应用为水利工程的可持续发展提供了强有力的保障，也为其他领域的工程管理提供了有益的借鉴。

参考文献

- [1] 屈庆灵, 曹梦荷. 水利事业单位预算管理数字化转型探析[J]. 中国农业会计, 2025, 35(13): 41-43. DOI: 10.13575/j.cnki.319.2025.13.018.
- [2] 刘泉汝, 杜守建, 姚珍珠, 等. 智慧水利产教融合实训基地建设的数字化实践与关键挑战[J]. 工业技术与职业教育, 2025, 23(03): 62-65. DOI: 10.16825/j.cnki.cn13-1400/tb.2025.03.007.
- [3] 范振华. 六月让所有的美好如夏花般绚烂[J]. 大众标准化, 2025, (11): 3.
- [4] 张辉, 程伟. 浅析 5G 技术在智慧水利领域的应用[J]. 治淮, 2025, (06): 88-89.
- [5] 刘泉汝, 杜守建, 张彩艳, 等. 数字化转型背景下现代水利产教融合实训基地建设实践研究[J]. 才智, 2025, (14): 189-192.
- [6] 程庆江. 基层水利工程造价管理工作的开展策略分析[J]. 水上安全, 2025, (09): 191-193.

作者简介：姓名：刘冲，出生年月：1989.02，性别：男，民族：汉族，籍贯：河南南阳，职称：中级，学历：本科，职务：经理，研究方向：水利工程，工作单位：河南省水利第二工程局集团有限公司。