 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i5.5701

Research on BIM based Information Operation and Automation Control of Water Conservancy Engineering

Nan Xiao Xiangguang Cao

Shandong Main Line Co., Ltd. of the East Route of the South to North Water Diversion Project, Zaozhuang, Shandong, 277000, China

Abstract

With the continuous increase in the scale and complexity of water conservancy projects in China, the traditional water conservancy project operation and control system can no longer fully meet the efficient and safe production and operation needs of water conservancy projects under the new situation in China. The East Route of the South to North Water Diversion Project, as a major cross basin water diversion project, has a crucial impact on water transfer efficiency, water resource security, and other issues due to its level of operation and maintenance management, information technology, and automation. This article is based on BIM and explores its application in the maintenance and control of water conservancy information technology according to the actual characteristics of the South to North Water Diversion East Line Project. It establishes a BIM operation and maintenance management system to maintain the full cycle data of the South to North Water Diversion East Line Project, as well as to provide intelligent monitoring, warning, and scheduling for facilities and equipment. The research shows that BIM technology can effectively improve the water conservancy operation and control system and effectiveness, providing technical support for the efficient and stable operation of the South to North Water Diversion East Line Project in the future, and providing new ideas for the operation and control of other large-scale water conservancy projects.

Keywords

BIM technology; Water conservancy engineering; Information technology operation and maintenance; Automated control

基于 BIM 的水利工程信息化运维与自动化管控研究

肖楠 曹祥光

南水北调东线山东干线有限责任公司，中国 · 山东 枣庄 277000

摘 要

随着我国水利工程规模和复杂度的不断增加，传统的水利工程运维管控制度已无法完全满足我国新形势下水利工程的高效安全生产运行需求。南水北调东线工程作为一项重大的跨流域调水工程，其运维管理和信息化、自动化水平的高低对于调水效益、水资源安全等问题有着至关重要的影响。本文基于BIM的基础，根据南水北调东线工程的实际特点，探究其在水利信息化维护与管控中的运用，建立BIM运维管理体系，实现对南水北调东线工程全周期数据的维护以及对设施设备、智能监控预警、调度，研究表明BIM技术能够有效地提升水利运维管控制度和效果，为后续南水北调东线工程的高效和稳定运行提供了技术支持，并对其他大型水利工程运维管控提供了新的思路。

关键词

BIM技术；水利工程；信息化运维；自动化管控

1 引言

南水北调东线工程横跨四大流域是缓解北方缺水战略工程，传统人工巡查与纸质记录运维方式有数据滞后等问题，工程沿线输水线路长且工况复杂难以满足精细化运维需求。BIM 技术能借助三维模型整合工程全生命周期信息，该技术在多领域已有成效可为水利工程运维提供新思路，不过其在大型调水工程信息化运维与自动化管控研究较少，开展基于 BIM 的南水北调东线工程研究对提升管理保障效益意义重大 [1]。

2 BIM 技术在水利工程运维管理中的应用基础

2.1 BIM 技术特点与优势

BIM 技术应用价值，主要体现在可视化、参量化、协同化和全生命周期管理。可视化方面，3D 动态模型，复杂关系直观呈现；参量化设计，自动更新信息；协同化方面，协同化平台，通过国际标准格式，打破多方信息闭塞的状况，各部门快速沟通、协同工作；全生命周期管理方面，无论是建设过程中，还是在维修过程中，BIM 模型都相当于一个信息中枢，把所有信息汇聚起来，为管理决策提供信息源，

【作者简介】肖楠（1987–），男，中国山东枣庄人，本科，工程师，从事水利信息化与自动化研究。

利于水利精细化管理工作发展。

2.2 水利工程运维管理需求分析

南水北调东线工程属于世界大型调水工程，其运维管理正面临着严峻挑战。该工程系统十分复杂，涵盖 13 座梯级泵站和 300 余座水工建筑物，输水距离超 1000 公里，需要管控多维度数据。传统管理模式存在“信息孤岛”问题，数据分散且人工巡检滞后，难以满足高效调度需求。应急响应缺乏支撑，工程沿线环境较为敏感，设施异常容易引发连锁反应，安全风险比较高，为降低高昂的运维成本，迫切需要构建实时监测与智能预警体系，用自动化技术替代传统人力模式来实现资源优化配置。

2.3 BIM 技术与水利工程运维管理的契合性

BIM 技术的特性跟水利工程运维需求高度契合，由此形成了三大核心解决方案。在数据整合这个层面，BIM 模型能够把设计阶段的水力计算数据、施工阶段的隐蔽工程记录以及运维阶段的传感器监测数据（像泵站电机温度、水闸开合角度等）进行结构化集成，进而形成工程的“数字档案”。就拿水闸运维来说，借助 BIM 模型可以快速调取设计荷载参数，并且与实时监测的应力数据进行对比，以此精准评估结构健康状态。在功能应用层面，基于 BIM 的运维平台能够实现“可视化监测 - 智能预警 - 科学决策”的闭环管理。例如在输水渠道监测当中，系统会自动把实时水位数据映射到 BIM 模型，当水位出现异常时，模型会立即高亮标记风险区域并推送预警信息，同时结合历史数据与应急预案，为运维人员提供维修优先级排序和资源调配建议。在管理模式层面，BIM 技术推动水利工程从“被动响应”朝着“主动预防”转变。通过构建设备故障预测模型，系统能够基于运行数据（例如振动频率、能耗变化等）提前识别潜在故障，用计划性维护替代事后抢修，显著降低突发事故风险，同时延长设施使用寿命，契合大型水利工程“安全、高效、可持续”的运维目标。

3 南水北调东线工程 BIM 运维管理平台构建

3.1 工程概况与数据采集

南水北调东线工程作为国家跨流域调水的战略工程，从长江下游的扬州江都水利枢纽取水，以京杭大运河、并行河为输水干线，多级泵站逐级提水跨长江、淮河、黄河、海河 4 条河流，输水线路全长 1000 多公里，沿线的大型泵站（含江都泵站、皂河泵站等）、节制闸、分水闸、渡槽、倒虹吸等水工建筑物及设备、水泵、电气、启闭机等一万台套设备，工况条件复杂，受水位、流量、环境等条件影响大，控制管理难度大。

数据信息采集是数据建模的第一环节，准确采集多源数据，空间信息方面以全站仪、GPS 等对输水道路、水工建筑进行坐标测量获取空间信息，通过无人机倾斜摄影，快速建立地形、设施、工程三维影像模型，为 BIM 建模提供直观参考。工程设计图纸、施工记录扫描。将 CAD 图、施工日志、隐含工程数据等通过手工录入，采用数字化扫描；设施设备监测。将泵站泵、电机等设备的振动传感器、温感探头等安装于设备，实时监测设备振动频率、轴承温度等数据，输水渠道、节制闸等安装水位计、水量计、水质传感器等，实时监测水位、流量、水质等数据；构建物联网，从分散的位置通过数据传输网络（4G ／ 5G、网线光纤等）实时采集，形成数据库，包含工程空间信息、设计施工数据、监测运行数据，为 BIM 建模提供数据信息基础。

3.2 BIM 模型构建与信息集成

BIM 模型构建选用 Revit、Bentley 这类专业建模软件，并且结合南水北调东线工程线性长以及设施复杂的特点，采用“分模块建模 - 协同整合”的策略来开展工作。首先针对泵站、水闸、渡槽等单体建筑物，依据设计图纸和施工参数精细化构建三维几何模型，以此精确还原结构尺寸、部件连接关系以及设备安装位置，对于输水渠道，则借助地形数据和设计断面参数，通过参数化建模技术生成连续的三维模型。为解决多软件间的数据交互难题，把 IFC（IndustryFoundationClasses）国际标准当作数据交换桥梁，从而实现不同建模软件（像 Revit 与 Civil3D）以及分析软件（如 ANSYS 结构分析数据）的无缝对接，确保工程全生命周期数据的完整性和一致性。在信息集成过程中，通过建立数据映射规则，将设计阶段的材料属性、结构计算书，施工阶段的进度记录、质量验收报告，运行阶段的监测数据等信息，以参数化形式关联到 BIM 模型对应构件。比如将泵站水泵的型号、额定功率等设计参数嵌入模型构件属性，把设备安装调试记录、维修保养日志与模型设备建立超链接，通过 API 接口开发，实现模型与监测系统的数据实时交互，当传感器监测到泵站电机温度异常时，BIM 模型对应设备构件自动高亮显示并弹出报警信息，真正达成“模型即数据载体，数据驱动模型更新”的动态管理 [2]。

3.3 运维管理平台功能设计

运维管理平台以 BIM 模型为载体，结合物联网、大数据、人工智能，构建 4 大功能模块。可视化功能模块将加工后的 BIM 模型用于工程设施全景展示，管理人员随时可以在电脑端和手机端切换视角浏览输水线路和建筑、设备分布；利用 VR 技术可实地实景巡检，为运维人员的运维操作带来极大的便利。智能预警功能模块利用机器学习 (LSTM、随机森林) 算法挖掘数据，构建水位流量平衡模型、设备健康状况模型，自动诊断故障工况，如渠道某部分水位过低，水位流量未发生变化，通过关联检测，及时排查可能渗漏的部位，将预警级别附加至 BIM 模型，并将处置信息推送至管理人员电脑端。

自动化调度模块会依据调水计划和实时工况情况，运用遗传算法、模拟退火算法这类优化算法。自动生成泵站的启停方案以及水闸的启闭指令，以枯水期调度这一情况为

例，系统会综合考虑各个输水节点的用水需求、泵站能耗、水位约束等相关条件。动态调整泵站的开机组合，在保障供水得以实现的前提之下，达成能耗降低 10%-15% 的目标，维修决策支持模块通过分析设备运行数据、故障历史记录这些内容，结合 RCM（以可靠性为中心的维护）理论，来制定预测性的维护计划，提前规划备件采购与维修资源的调配，避免突发故障所导致的停水风险。

4 BIM 技术在南水北调东线工程中的应用实践

4.1 设施设备可视化管理

通过 BIM 运维管理平台，南水北调东线工程设施设备达成高精度三维可视化呈现。该平台利用轻量化处理技术把复杂 BIM 模型转化成便于操作的交互式界面，管理人员凭借电脑、平板或者手机终端能够从全局到局部、宏观到微观自由浏览工程全貌，在输水渠道管理当中可直观查看渠底坡度、边坡防护结构以及沿线附属设施分布情况。针对泵站能立体展示水泵机组、配电设备、输水管道的空间布局，甚至可以穿透查看设备内部构造精准获取叶片角度、轴承型号等技术参数。可视化管理打破传统二维图纸与文字资料所存在的局限，从而大幅提升巡检工作的效率。比如在某大型泵站日常巡检工作中，运维人员借助 BIM 模型快速定位巡检路线并一键调取设备运行参数与历史维护记录，将原本需要多人耗时半天的巡检工作缩短到 1 小时内完成。在设备更换场景之下，技术人员利用模型模拟拆卸、安装流程提前预判管线碰撞、空间不足等问题，让电机更换周期从 5 天压缩到 3 天显著降低停机损耗 [3]。

4.2 智能监测预警系统应用

智能监测预警系统通过在输水渠道、泵站、水闸等部位布设水位、流量、水质、震动、温度等 2000 多个传感器，每分钟采集一次数据通过 5G、光纤通信网络传输给 BIM 运维管理平台，并应用长短期记忆网络（LSTM）、随机森林等机器学习算法对数据进行深度挖掘和分析，建立不同工况条件下的设备状态和运行状态模型，监测数据一旦超出正常值，预警系统自动触发黄色预警和红色预警，并在 BIM 模型上高亮闪烁定位到问题部位。例如某次泵站电机振动频率偏高，根据以往泵站电机故障发生时的数据、当时的温度、电流，智能判断出轴承磨损，提前一天预警，工作人员及时进行维修，避免了设备抱死停水。据了解，该系统应用以来，隐患排查率提升 80%，安全事故率降低 65%。

4.3 自动化调度与优化运行

基于 BIM 运维管理平台运行调水自动化系统，通过采集调水计划、实时气象水文等数据，构建调度模型，基于供水保障、节能等调度目标，通过遗传、粒子群算法等自动生成各节点输水水位、流量等调度需求条件下，各水泵开机组合、泵站水闸开关，由物联网远程控制系统执行。在枯水期调度阶段，基于长江水量、沿线用水需求、泵站能效曲线，将 12 座梯级泵站运行工况进行调度调整，降低泵站总体能耗 12%；在暴雨汛情应急条件下，基于天气预报、沿线水位，将水闸提前调度至防汛位置，快速泄洪，沿线抢险防洪。此外，调度模型还可用于调度方案试运行，构建虚拟场景，对比调度方案输水效率、能耗成本，为调度员决策提供方案参考与依据，调水效率平均节省 18%。

4.4 应用效果分析

BIM 技术在南水北调东线工程的应用取得显著成效。设施设备的可视化管理，提升了人工巡验效率 35%，故障定位时间由原来 2 小时缩短至 40 分钟；智能检测预警，提前预知设备故障发生 37 次，输水异常 21 跺，避免了上千万元的直接经济损失；调水自动化调度，提升调水效率 16%；运行费用每年减少 11%；增加节水效益 500 万 m^3；整合协同管理工程项目数据，提升了工程信息传递效率 70%，有效的消除了信息孤岛；等等，为工程的安全稳定运行提供了保障，为未来水利工程智能化管理维护提供了良好的示范。

5 结语

BIM 在水利设施设备管理维护与自动控制领域有较大优势。以项目全寿命周期信息为基础，构建项目可视化运维管理系统，完成设施设备智能化管理维护、智能检测预警、智能调度，提升项目运行效率，强化保障能力。依托物联网、大数据、人工智能等发展，进一步深化项目 BIM 和水利设施设备管理维护的深度应用，数字孪生进行可视化映射虚拟，人工智能进行优化调度，加快完善 BIM 在水利项目领域的应用标准，促进 BIM 在更多水利项目运维管理工作中应用，支撑项目智能化发展。

参考文献

[1] 李维琴.信息化技术在水利工程管理中的应用探究[J].科技与创新,2025,(09):211-214.

[2] 李蓉.水利工程信息化建设中的数据标准化问题探析[N].安徽科技报,2025-04-18(012).

[3] 冯海军.智慧水利信息化系统在水利工程中的应用探究[J].中国设备工程,2025,(06):254-256.