

## 数字孪生技术在水利水电生产运行管理中的应用分析

王启玉

塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心水资源调度中心, 新疆 库尔勒 841000

**[摘要]** 伴随信息技术的迅猛发展, 工程管理方式正在经历深刻变革。由于传统管理体系在数据共享、决策支持及信息流通方面的局限性愈发凸显, 面对现代化工程日益复杂的需求, 亟需引入更高效、智能的管理手段。近年来, 数字孪生技术凭借其精准的虚拟映射、智能仿真分析及实时监测能力, 逐渐成为提升工程管理水平的重要支撑。本研究立足于工程管理领域, 系统探讨数字孪生技术的实施策略。围绕政策引导、数据治理、技术创新、人才培养以及全生命周期管理等关键环节, 分析优化路径, 力求为工程数字化与智能化升级提供理论依据。同时, 研究成果可为行业提供一定的参考价值, 推动工程管理模式向更高效、更精准的方向发展。

**[关键词]** 数字孪生技术; 水利水电; 生产运行管理; 数据融合; 智能决策

DOI: 10.33142/hst.v8i3.15817

中图分类号: TV21

文献标识码: A

### Application Analysis of Digital Twin Technology in Water Conservancy and Hydropower Production and Operation Management

WANG Qiyu

Water Resources Dispatch Center of Tarim River Basin Kaidu Kongque River Water Resources Management Center, Korla, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** With the rapid development of information technology, engineering management methods are undergoing profound changes. Due to the increasingly prominent limitations of traditional management systems in data sharing, decision support, and information flow, there is an urgent need to introduce more efficient and intelligent management methods in response to the increasingly complex demands of modern engineering. In recent years, digital twin technology has gradually become an important support for improving engineering management level with its precise virtual mapping, intelligent simulation analysis, and real-time monitoring capabilities. This study focuses on the field of engineering management and systematically explores the implementation strategies of digital twin technology, analyze and optimize the path around key aspects such as policy guidance, data governance, technological innovation, talent cultivation, and full lifecycle management, striving to provide theoretical basis for the digital and intelligent upgrading of engineering. At the same time, the research results can provide certain reference value for the industry, promoting the development of engineering management models towards more efficient and precise directions.

**Keywords:** digital twin technology; water conservancy and hydropower; production and operation management; data fusion; intelligent decision

### 引言

长期以来, 工程建设过程中, 信息流通不畅、资源调配不均、管理效率低下等问题始终存在。尤其是水利水电行业, 由于项目规模庞大、施工环境复杂, 传统管理模式难以满足精准调度与科学决策的需求, 影响工程运行的稳定性及安全性。然而, 随着信息技术的进步, 数字孪生概念被引入工程管理领域, 并凭借数据驱动、智能分析及虚拟仿真的特点, 迅速成为行业关注的焦点。在水利水电领域, 数字孪生技术的应用已展现出广阔前景。依托多源数据的实时采集与智能分析, 工程调度的精准度得以提升, 安全防控体系日趋完善。借助虚拟仿真技术, 运维管理模式得到优化, 工程整体运行的稳定性进一步增强。随着技术架构的持续完善, 数字孪生逐步成为水利水电工程管理的重要支撑, 为行业数字化升级提供了技术保障。

### 1 数字孪生技术概述

数字孪生是指在数字空间中对物理实体进行全方位复制, 涵盖其外观、结构、参数和行为等各个层面。其核心构成主要包括以下三个方面: 一是多源异构数据融合。数据来源不仅包括物理实体、运行系统和传感器, 还涉及仿真模型、环境数据、物理对象设计数据、维护数据以及运行数据等, 贯穿于物理对象的整个生命周期, 正如“血液”般为数字孪生提供源源不断的活力。二是数据驱动的精准映射。依托物理实体及其行为逻辑构建的数据驱动模型构成了数字孪生的核心。通过孪生数据, 实现物理实体与数字模型之间的精准映射, 涵盖模型构建、行为逻辑、业务流程以及因参数调整而引起的状态变化, 从而在数字世界中全面呈现、精准表达并动态监控物理实体的状态和行为。三是智能分析与辅助决策。数字孪生系统实现了物理世界

与数字世界之间的双向映射<sup>[1]</sup>。通过数字化复制物理对象,模拟其在现实环境中的行为,能够对产品、制造流程乃至整个工厂进行虚拟仿真。这不仅有助于提高制造企业在产品研发与生产过程中的效率,还能提前预判潜在风险,从而在不干扰实体运作的前提下,实现成本节约、生产损耗降低与效率提升的目标。

## 2 数字孪生技术在水利水电生产运行管理中的应用现状

### 2.1 国内外典型应用案例分析

全球范围内的实践表明,数字孪生技术在水利水电工程中具有广阔的发展前景。以我国三峡工程与南水北调工程为例,其数字化管理平台在整合实时监控数据、历史运维信息及环境参数时展现出卓越实力<sup>[2]</sup>。在三峡工程中,虚拟平台不但能够全天候监控水库蓄水量、泄洪能力及设备运行状况,其数据模拟功能也促成了预防性维护与预警体系的构建;南水北调工程则采用跨区域信息集成与动态仿真技术,确保水资源调度与水质监控的精确实施。如此实践无不印证数字孪生技术在大型水利工程管理中所蕴含的独特优势与巨大潜力。

### 2.2 智慧水利水电系统建设进展

传统工程管理模式正在被新兴数字技术深刻改写,数字孪生与 BIM、GIS 等先进工具协同构建出全新的管理平台。整合后的三维信息模型配合精确地理空间数据,使得从设计、施工到运营各阶段的信息流得以贯通。实时监测系统与云计算平台之间的协作,使得设备运行状态、环境影响以及安全隐患能够直观展示,管理人员从中提炼出关键信息后作出科学决策。由此,自动化与智能化的高效管理模式正稳步迈向成熟,推动水利水电系统不断革新。

### 2.3 不同工程类型的应用差异

不同类型的水利水电工程在应用数字孪生技术时呈现出各自鲜明的模式。在水电站领域,设备状态监控与发电效率提升被置于核心位置,实时数据结合仿真模型使得故障预警及能耗管理取得显著效果。水库管理主要侧重于水位调控、洪水预警以及生态保护,高精度水文气象数据搭配动态模拟确保防汛调度与水资源配置具备科学依据。针对泵站工程,传感器数据与运维历史记录经过深度整合后能够实现设备异常的迅速诊断,运行参数也得以实时调整,从而在高负荷工况下维持系统平稳运转。各种应用模式正展示出数字孪生技术在不同工程场景下的灵活适应能力与高效响应水平。

### 2.4 当前应用中的主要挑战

尽管水利水电工程管理中数字孪生技术展现出巨大潜力,但实际应用时仍遭遇数据整合障碍、仿真模型精度欠缺以及算力平台受限等问题。数据采集过程中出现格式不统一、采样频率各异以及传输协议不匹配,导致部分信息难以实现无缝共享;在构建仿真模型时,部分复杂工况

下的物理现象难以被精确再现,致使预测结果出现偏差。数据量急速增加、模型计算复杂度不断提升,使得现有算力平台面临更高要求,硬件配置、云计算与边缘计算领域亟需不断革新。只有在不断优化数据标准化、提升模型精度及扩展算力的技术条件下,未来智能决策的可靠性才能获得更加坚固的技术支撑。

## 3 数字孪生技术关键技术与方法研究

### 3.1 数据采集与融合技术

构建精准、高度仿真的数字孪生模型,首要任务便是确保数据的全面性、实时性及准确性。不同来源的数据,包括传感器监测信息、历史运维记录以及环境参数反馈,均需进行严格采集与整合,以保证数据输入的一致性。当前,物联网设备已广泛应用于工程现场,边缘计算模块承担了初步的数据过滤、降噪及压缩任务,以减少数据传输延迟,提高存储与计算效率。经过预处理后的数据再被传输至云端计算平台,依据设定的协议标准,完成格式转换和结构化存储,确保不同系统间的信息可以高效交互。随着智能感知技术的进步,数据采集的颗粒度得到了显著提升,不仅能够实时捕获设备状态、能耗波动及运行负荷等关键参数,还能针对异常情况进行早期预警。与此同时,大数据融合技术的引入,使得来自不同设备、不同时间尺度的数据能够被有效集成与分析,从而为工程管理提供更为精准的决策依据。在这一过程中,数据接口技术的优化发挥了重要作用,统一的数据标准确保了信息交换的稳定性与高效性,降低了多源数据融合的复杂度。

### 3.2 模型构建与仿真分析

在工程运行管理过程中,数字孪生模型的构建不仅要求高精度的数据支撑,还需要具备动态调整与自适应优化能力。基于多源数据,仿真模型能够逐步优化并趋近实际工况,使虚拟环境对物理实体的映射更加精准。通过深度学习和人工智能算法的介入,历史数据被系统挖掘,关键变量与参数的权重得以精准计算,进而提升模型的可靠性。为了更真实地模拟复杂系统的运行状态,仿真分析技术需要考虑多物理场耦合、多尺度计算及非线性动态变化的影响。例如,在水利水电工程管理中,水流动力学、结构应力分析以及电力调度等多个领域的数值仿真需要协同运行,以便实现全局优化。高性能计算平台在此发挥了关键作用,极大提升了模型计算的效率,使得复杂系统的实时仿真成为可能。

### 3.3 智能决策与优化调度

在数字孪生技术的应用框架下,智能决策系统的核心目标在于提升工程管理的自动化水平,并增强对复杂环境的适应能力。结合大数据分析、机器学习与强化学习等技术,系统可从海量历史数据中提取关键特征,并据此建立智能调度模型。虚拟环境中的多轮仿真测试,使不同调度方案在数字平台上得以模拟评估,从而筛选出最优方案,

提升资源配置的合理性。工程现场的数据与仿真平台保持同步更新,使得调度系统能够实时响应动态变化。例如,在水利工程管理中,流域水情监测数据的变化可直接影响水库调度方案,而基于数字孪生的智能决策系统可自动调整放水计划,以应对突发水情。面对突发事件,如设备异常、自然灾害或能源供需变化,智能调度系统能够迅速识别问题并采取适应性调整策略。实时反馈机制确保了调度系统的高效运作,使工程运行更具灵活性和安全性。

### 3.4 可视化与交互技术

为了提高数字孪生系统的实用性,直观、高效的可视化技术成为必不可少的环节。借助三维建模、虚拟现实(VR)和增强现实(AR)等技术,工程现场的物理实体可被完整复现于数字平台之中,使管理人员能够通过交互界面直观查看设备运行状态、历史数据趋势及预测结果<sup>[3]</sup>。在监测平台上,数据可视化不仅包括传统的图表、曲线分析,还能够以动画、热力图等方式展示设备负载、能耗分布及结构应力变化情况。通过交互式操作,管理人员可以对关键区域进行放大分析,或调用历史数据进行趋势对比,从而更精准地掌握系统的运行特征。交互式可视化技术的应用,不仅提升了数据分析的效率,同时降低了工程管理的复杂度,使不同层级的用户均能便捷地获取所需信息,为决策提供了更为直观的依据。

## 4 数字孪生技术在工程管理中的实施策略

### 4.1 顶层规划统筹与政策体系支撑

构建高效且可持续运行的工程管理体系,离不开系统性的统筹规划以及政策制度的有效引导。随着数字化转型的推进,政府机构在工程管理模式变革中的作用日益凸显。通过加强政策引导,制定相关激励机制,推动项目在立项、施工建设及后期运维阶段的信息壁垒逐步被打破,从而实现各环节之间的高效联通。为了确保数字孪生技术的稳步发展,相关部门制定了一系列支持性政策,促使科研院所、企业单位等积极投入到技术攻关和产业化应用中。与此同时,行业标准与技术规范的推广,使得数据采集方式、信息建模方法、网络安全管理以及隐私防护体系得到全面规范,有效提升了工程管理的科学性和安全性。在多方协同努力下,跨领域的信息共享模式逐步建立,各类资源实现优化配置,推动了工程管理模式向更加智能化、开放化的方向发展。大量工程实践的成功案例,进一步证明了数字孪生技术在提升管理效率、优化资源利用及提高安全保障水平方面的显著价值。

### 4.2 数据治理体系构建与标准化发展

在工程管理体系的优化过程中,数据治理作为核心环节,对于数字孪生技术的应用效果具有决定性作用。由于工程数据来源广泛,涉及实时监测设备、历史运行记录、环境参数分析等多个方面,数据类型的复杂性使得信息采集、传输、存储与处理过程必须符合统一的技术标准,确

保数据完整性、精准度以及高效利用。建立健全的数据标准化体系,不仅可以提高信息处理的效率,还能从根本上提升数据安全水平。政府部门联合行业龙头企业,共同制定数据接口标准、格式转换规则及安全加密措施,进一步构建多层次的数据安全屏障。与此同时,开放式数据平台的建设,促进了工程管理系统内部不同模块之间的信息交互,使数据资源的流通性和共享度大幅提升。在此基础上,区块链技术被引入数据管理体系,实现数据溯源管理和篡改防护,确保信息在传输与存储过程中具备高度的安全性和可靠性。此外,加密算法的优化应用,使得信息在多平台协作环境中的传输更具隐私保护性。完整的数据治理体系覆盖从数据的采集、清洗、存储、分析到共享的全流程管理,各业务模块之间的紧密衔接,确保了工程运行数据的动态更新和实时同步。随着技术不断完善,工程管理体系的可扩展性与协同能力得到持续增强,为数字孪生技术在更大范围的推广应用奠定了扎实的基础。

### 4.3 技术创新驱动与产学研深度融合

推动数字孪生技术的不断发展,既依赖于先进理论的创新突破,也离不开工程实践中积累的反馈优化。近年来,企业、高等院校、科研机构之间的紧密合作,已成为促进技术升级、推动行业革新的重要方式。在工程管理领域,数据采集优化、智能建模、自动化决策支持等核心技术的研发成果,经过实验室测试与试点工程的实践验证后,迅速应用于实际项目中。这种以实践促进理论优化、再由理论指导实践升级的双向互动模式,使得技术应用的可靠性和成熟度不断提升。从已投入应用的案例来看,产学研协作机制不仅加快了新技术的研发进度,同时提升了工程管理体系的智能化水平<sup>[4]</sup>。在水利水电工程的应用场景中,基于数字孪生技术的远程监测系统、设备健康评估模型、智慧调度优化方案等,均依赖于多方力量的协同开发,使工程管理决策更加精准高效。

### 4.4 复合型人才培养与团队建设

随着数字孪生技术在工程管理领域的渗透率不断提高,对复合型专业人才的需求愈加突出。水利工程、信息技术、人工智能、大数据分析等学科的交叉融合,使得工程管理所需的知识体系日益复杂,传统的单一学科背景已难以满足现代化工程管理的需要。在数字孪生工程的实施过程中,专业技术团队的建设发挥着关键作用。团队成员之间的紧密协作,使得从前期规划、系统开发到工程实施及后期维护各环节的衔接更加顺畅。结合工程项目实际需求,培养具备数据分析、智能建模、工程仿真以及系统运维能力的复合型人才,使整个管理体系的技术支撑更加稳固。

## 5 结语

工程管理模式持续优化,依托智能分析、实时监测及虚拟仿真等技术手段,项目全生命周期管理逐步向精准化、高效化发展。施工及运维阶段的管理效率大幅提升,

工程运行的安全性得到有效保障。本文围绕数字孪生技术在工程管理中的应用,深入剖析实施路径。从政策导向、数据治理、技术突破、人才培养及全生命周期管理等多个方面,探讨该技术的应用策略。研究表明,构建完善的数字孪生体系,不仅有助于优化管理流程、提高资源利用率、降低运维成本,还能创造显著的经济及社会价值,为行业提供可借鉴的经验。未来,随着人工智能、云计算、大数据等先进技术的进一步发展,数字孪生在工程管理中的应用空间仍有巨大拓展潜力。

#### [参考文献]

- [1]罗炜,谢明霞,陈杰,等.数字孪生水利水电工程中 BIM 自适应流转技术研究[J].水利水电快报,2024,45(3):118-123.
- [2]李文谕.基于数字孪生技术的水利水电工程地质勘察

[J].陕西水利,2024(4):118-121.

[3]曹顺亚,李月华,裴志方,等.数字孪生技术在水利水电工程中的应用[Z]河海大学,浙江水利水电学院,河北工程大学,浙江省水利学会.2024(第三届)城市水利与防洪防治学术研讨会论文集.黄河建工集团有限公司;黄河水文勘察测绘局;,2024:12-22.

[4]阮廷益.水利水电工程施工质量控制与管理[Z]《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(四).广西国凯建设工程有限公司;,2024:113-114.

作者简介:王启玉(1990.2—),毕业院校:国家开放大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心水资源调度中心,就职单位职务:一般干部,职称级别:工程师。