

# 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用

王晓君 张耕野 王东

徐州市水利工程运行管理中心, 江苏 徐州 221000

**[摘要]**随着社会经济的快速发展和城市化进程的推进,水利工程的规模和复杂性不断增加。传统的工程管理方式逐渐显露出在应对多变环境和复杂运行条件下的不足,数字孪生技术的崭新理念为解决这一难题提供了全新的路径。通过将实体工程数字化,数字孪生技术为水利工程管理注入了实时性、智能性和全局性的元素,为实现更加精准、高效的水利工程管理开启了崭新的篇章。深入研究数字孪生技术在水利工程中的应用,对于推动水利工程管理的现代化迈进具有积极的现实意义。

**[关键词]**数字孪生; 水利工程; 运行管理

DOI: 10.33142/sca.v7i3.11526

中图分类号: TV21

文献标识码: A

## Application of Digital Twin Technology in the Operation and Management of Water Conservancy Engineering

WANG Xiaojun, ZHANG Gengye, WANG Dong

Xuzhou Water Conservancy Engineering Operation Management Center, Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

**Abstract:** With the rapid development of social economy and the advancement of urbanization, the scale and complexity of water conservancy engineering continue to increase. Traditional engineering management methods have gradually revealed their shortcomings in dealing with changing environments and complex operating conditions. The new concept of digital twin technology provides a new path to solve this problem. By digitizing physical engineering, digital twin technology injects real-time, intelligent, and global elements into water conservancy engineering management, opening a new chapter for achieving more accurate and efficient water conservancy engineering management, deeply studying the application of digital twin technology in water conservancy engineering has positive practical significance for promoting the modernization of water conservancy engineering management.

**Keywords:** digital twin; water conservancy engineering; operation management

### 引言

数字孪生技术的兴起为各领域的工程管理带来了新的思维与可能性。在这一潮流中,水利工程作为基础设施的重要组成部分,也迎来了数字化转型的契机。数字孪生技术通过模拟实体系统在数字环境中的精准映射,为水利工程提供了全新的运行管理方式。深入探讨数字孪生技术在水利工程中的应用,剖析其在实时监测、智能运维、全生命周期管理等方面的具体作用,以期为水利工程的高效、智能管理提供有益的启示。

### 1 数字孪生技术

数字孪生技术是一种基于物理实体的精确数学模型,通过模拟实体对象在数字环境中的行为和性能,实现对实际系统的全面理解和预测。它通过收集、整合实时数据,并结合物理规律和算法模型,构建起与实际系统一一对应的数字孪生模型<sup>[1]</sup>。这一模型不仅能够准确反映实体的结构和功能,更具备动态性,可以实时更新以反映实体在不同操作条件下的变化。数字孪生技术的独特之处在于能够在虚拟环境中对实体进行高度还原的模拟。这包括了各种影响实体性能的因素,如环境条件、操作策略和维护状况等。通过数字孪生技术,我们可以深入了解实体的运行状态、故障风险和性能瓶颈,为优化管理、提高效率 and 降低

成本提供了强大的支持。在工程领域,数字孪生技术的应用越来越广泛,特别是在水利工程运行管理中。通过数字孪生技术,水利工程的监测、控制、维护等方面的决策过程变得更为精准和可靠。这为实现水资源的高效利用、降低运营风险、提高工程可持续性带来了前所未有的机遇。因此,数字孪生技术不仅是一种技术手段,更是推动工程管理智能化和高效化的重要驱动力。

### 2 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用分析

#### 2.1 实时监测与数据采集

在水利工程运行管理中,实时监测与数据采集是数字孪生技术的重要应用方面。通过建立数字孪生模型,系统可以实时收集水利工程各个要素的数据,包括水位、流量、水质等关键参数。这实时数据的采集不仅涵盖了工程整体的运行状况,也包括了各个子系统和关键设备的状态。实时监测与数据采集的关键在于即时性和全面性。数字孪生技术通过传感器网络、遥感技术等手段,能够迅速、准确地捕捉水利工程各个关键点的数据,并将其实时传输至数字孪生模型。这种高频率、全方位的数据采集使管理者能够对工程的运行状况有更为全面的了解,及时发现潜在问题并采取相应的应对措施。实时监测与数据采集的应用进

进一步强化了水利工程的智能化运营。通过数字孪生模型，管理者可以随时随地监测工程的运行状态，及时发现异常情况并进行快速响应。这不仅有助于提高水利工程的稳定性和安全性，还为决策者提供了更为准确的数据支持，使其能够基于实际情况做出更为科学的管理决策。

## 2.2 控制策略优化

在水利工程运行管理中，数字孪生技术的另一个关键应用领域是控制策略优化。这一应用方面强调数字孪生技术对水利工程控制系统的优化和提升。通过建立数字孪生模型，系统可以模拟不同的控制策略，评估其对水利工程运行的影响，并实时调整控制参数以实现最优效果。控制策略优化的核心在于提高水利工程的响应性和适应性。数字孪生技术通过对实体系统的精准建模，能够快速而准确地预测不同控制策略下的工程运行状况。这使得工程管理者能够根据实时的需求和环境变化调整控制策略，从而实现系统的精细化操控。在数字孪生技术的支持下，水利工程的控制策略不再仅仅基于经验和静态规则，而是能够实现实时的动态优化。这意味着系统可以更灵活地应对变化的水情、气象等因素，最大程度地提高水资源的利用效率，降低能耗和运营成本。数字孪生技术通过模拟不同的控制方案，帮助管理者更好地了解系统响应的特性，进而优化控制策略，提高工程整体性能。

## 2.3 数字孪生建模和仿真

数字孪生建模和仿真是水利工程运行管理中的关键环节，它通过将实体系统精确映射到数字环境中，实现了对水利工程行为和性能的高度模拟。数字孪生技术的独特之处在于其能够在虚拟环境中对实体进行高度还原的模拟，包括了实体的结构、功能以及动态变化。通过数字孪生建模，水利工程的实际物理特征和运行机理得以准确刻画，这包括了水体流动、设备运转、水质变化等复杂的物理过程。同时，数字孪生仿真能够模拟各种工况下的水利工程行为，包括正常运行、紧急情况应对等，为工程的安全运行提供了全面的测试和评估。数字孪生建模和仿真不仅仅停留在静态的模拟，更注重动态的模拟过程。模型可以实时更新，根据实时采集的数据反映实际系统的变化，使得仿真更具实时性和真实性。这种动态建模使得数字孪生技术不仅能够还原水利工程的现实情况，更能够反映其在不同操作条件下的实时响应和变化。

## 2.4 操作和维护优化

操作和维护优化是数字孪生技术在水利工程运行管理中的关键应用领域之一。通过数字孪生建模，系统可以准确模拟水利工程设备的运行状态，并通过实时数据采集不断更新模型，使其与实际设备保持高度一致。在这个基础上，操作和维护的决策过程得以优化，从而提高水利工程的整体效率和可维护性。数字孪生技术通过模拟不同的操作方案，帮助操作人员更好地理解系统响应的规律。这

不仅包括日常运行，还包括应对突发事件和紧急状况的应急响应。通过数字孪生建模，操作人员可以在虚拟环境中进行模拟操作，提前了解可能的结果和影响，为实际操作提供科学的依据，降低操作风险。在维护方面，数字孪生技术为维护团队提供了更为精确的设备状态信息。通过对设备运行状态的实时监测和预测，数字孪生模型能够提前发现潜在问题，优化维护计划，实现更加精准和预防性的维护。这种智能化的维护方式不仅降低了维护成本，还延长了设备的使用寿命，提高了水利工程的整体可靠性。

## 2.5 实时监测和预测

实时监测和预测是数字孪生技术在水利工程运行管理中的重要应用领域。通过建立高度准确的数字孪生模型，系统能够实时监测水利工程的各项关键参数，包括水位、流量、水质等。这实时监测不仅覆盖了整个工程系统，还包括了各个子系统和关键设备的状态。数字孪生技术的独特之处在于其能够实现对水利工程的实时预测。通过将实时监测数据输入数字孪生模型，系统可以模拟不同情景下的工程行为，并预测未来的水情、设备状态等。这使得管理者能够提前了解潜在问题，迅速采取应对措施，实现对工程的及时调控。实时监测和预测的优势在于其高度灵活性和精准性。数字孪生技术通过动态更新模型，反映实际系统的变化，实时监测的数据也能够随之变化，使得预测更为准确。这种实时性的预测不仅提供了对突发事件的快速响应，还为系统的运行优化提供了及时的决策支持。

## 2.6 智能运维支持

智能运维支持是数字孪生技术在水利工程运行管理中的战略性应用。通过数字孪生模型，系统能够实时监测和模拟水利工程的各个方面，为运维团队提供精确、实时的设备状态信息。这为智能运维提供了强大的数据基础，使得运维决策更为科学而高效。数字孪生技术在智能运维中的角色主要体现在两个方面：一是提供全面的设备健康状况信息，二是支持决策过程中的模拟和优化。首先，通过数字孪生建模，系统能够准确还原水利工程的实体设备，实时监测其运行状态，预测可能的故障点。这使得运维团队能够提前发现潜在问题，实现预防性维护，避免设备发生严重故障。其次，数字孪生技术支持智能运维的决策过程。通过模拟不同维护方案和操作策略，系统可以评估每种情况下的设备性能，预测维护的效果，从而为运维团队提供最优的决策支持。这种基于数字孪生技术的智能决策使得运维更加精准和高效，有助于降低运维成本、提高设备利用率，实现水利工程的可持续稳定运行。

## 3 数字孪生技术在水利工程运行管理中的前景展望

### 3.1 实现全生命周期管理

数字孪生技术在水利工程运行管理中的前景展望之

一是实现全生命周期管理。这意味着数字孪生技术不再仅仅局限于工程建设和初期运行阶段,而是能够贯穿整个水利工程的生命周期,包括规划设计、建设施工、运行管理、维护保养,甚至是工程退役阶段。通过建立全生命周期的数字孪生模型,水利工程能够在各个阶段都得到智能、高效的支持<sup>[2]</sup>。在规划设计阶段,数字孪生技术可以辅助工程设计人员模拟不同方案的效果,预测工程在不同环境条件下的性能,提高设计的科学性和针对性。在建设施工阶段,数字孪生模型可以协助监测施工过程中的实时数据,及时发现潜在问题,提高施工的安全性和效率。在运行管理阶段,全生命周期管理意味着数字孪生技术能够持续提供实时监测、预测和智能运维支持。这使得水利工程能够随时适应不断变化的外部条件,确保系统的稳定运行。在维护保养阶段,数字孪生技术可以实现更加精准的设备健康管理和维护决策,延长设备寿命,降低运维成本。

### 3.2 实现自动化信息管理

实现自动化信息管理是数字孪生技术在水利工程运行管理中的重要前景。随着大数据、物联网和人工智能等技术的蓬勃发展,数字孪生技术在水利工程中将扮演着更为关键的角色,促使信息管理实现自动化和智能化。首先,数字孪生技术能够实现实时数据的自动化采集和处理<sup>[3]</sup>。通过传感器网络和自动监测设备,水利工程可以实时地获取各项运行参数,并将这些数据自动导入数字孪生模型中。这不仅实现了数据的自动采集,也确保了数据的准确性和完整性。这样的自动化数据管理为水利工程提供了实时监测的基础,为智能决策和优化提供了可靠的数据支持。其次,数字孪生技术通过智能分析和学习算法,能够对大量的数据进行自动化的处理和归纳。系统可以识别数据中的模式、异常和潜在问题,自动进行数据清洗和分析。这为管理人员提供了更为清晰和有针对性的信息,帮助他们更好地理解系统的运行状况,迅速作出决策。另外,数字孪生技术支持自动化的信息呈现和报告生成。通过可视化界面和自动生成报告,数字孪生技术能够将复杂的数据呈现为直观的图表和报告,使管理者能够迅速理解水利工程的状况,并基于这些信息做出决策。这种自动化的信息呈现不仅提高了管理效率,也降低了人为错误的可能性。

### 3.3 构建数字化模型体系

构建数字化模型体系是数字孪生技术在水利工程运行管理中的前景之一,核心在于建立一个全面而高效的数字孪生模型网络,以更好地模拟和管理水利工程的复杂系统。首先,数字化模型体系将涵盖水利工程各个方面,包括水文水质模型、设备运行模型、工程结构模型等。这些子模型将相互关联,形成一个综合而完整的数字孪生体系,

能够全面反映水利工程的多元化特征。通过数字化模型的互联,实现水利工程各个组成部分的实时协同工作,提高系统整体运行的智能性和协同性。其次,数字化模型体系的建立将依托先进的数据整合和处理技术。通过将实时监测的数据、历史运行数据以及其他相关数据集成到数字化模型中,系统能够更准确地还原实际工程的运行状态。这为数字孪生技术提供了更为丰富和真实的数据基础,增强了模型的可靠性和预测能力。另外,数字化模型体系还将借助先进的计算和仿真技术。通过高性能计算和先进的算法,数字化模型能够更精细地模拟水利工程的各种复杂过程,包括水流、水质传输、设备运转等。这不仅提高了数字孪生模型的准确性,也为工程管理提供了更为详实的信息,支持智能决策和优化运行。

## 4 结语

数字孪生技术的应用为水利工程管理带来了深刻的变革。通过实时监测与数据采集,工程能够全面掌握实时数据,实现精准的运行监控。控制策略优化使得系统的控制更为灵活,能够及时应对多变的运行状况。数字孪生建模和仿真提供了高度还原的虚拟环境,使得工程行为能够在数字领域中得以准确模拟。操作和维护优化通过数字孪生技术的智能支持,提高了水利工程的整体效率和可维护性。实时监测和预测为管理者提供了即时的信息,帮助他们更好地做出决策。智能运维支持使得运维决策更加科学和高效。未来展望中,数字孪生技术将实现全生命周期管理,为水利工程提供全方位的数字支持。自动化信息管理将使得数据的采集、分析和呈现更为自动化,提高了管理的效率和决策的准确性。构建数字化模型体系将使得水利工程的数字孪生模型更为全面、精细,为工程管理提供更为强大的工具和手段。数字孪生技术的应用为水利工程管理注入了新的活力与智慧,在不断创新与发展中,数字孪生技术将为水利工程带来更为广阔的发展前景,为实现智能、高效、可持续的水利工程管理迈出坚实的步伐。

### [参考文献]

- [1]孙伟.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J].山西水利,2023,11(5):51-53.
- [2]申振,姜爽,聂麟童.数字孪生技术在水利工程运行管理中的分析与探索[J].东北水利水电,2022,40(8):62-65.
- [3]蔡健.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用研究[J].长江技术经济,2022,6(11):245-247.

作者简介:王晓君(1986.9—),毕业院校:扬州大学,所学专业:水利工程,当前就职单位:徐州市水利运行管理中心,职称级别:工程师。