

## 数字孪生技术在农村绿色小水电站运行中的应用

张亚平

河北省水务中心石津灌区事务中心, 河北 石家庄 050000

[摘要]我国在农村绿色小水电站领域的现状下,数字孪生技术正逐步应用并展现出潜力。这一技术作为智能化管理的利器,已经在水电站的运行中开始发挥重要作用。通过实时数据采集与传感器技术,数字孪生技术实现了对小水电站运行状态的全面监控,提高了数据的及时性和精准度,为运维决策提供了更强有力的支持。数字孪生模型的构建进一步强化了小水电站的智能化管理能力,通过预测性维护和运行优化,实现了对设备运行状况的提前预警和调整,有效降低了运维成本,提高了发电效率。随着我国政府对可再生能源产业的支持力度不断增强,数字孪生技术在农村绿色小水电站领域的应用前景看好,有望进一步推动我国清洁能源产业的发展,助力我国能源结构的转型升级。

[关键词]数字孪生技术;农村;绿色小水电站;技术应用

DOI: 10.33142/hst.v7i8.13157

中图分类号: TP399

文献标识码: A

### Application of Digital Twin Technology in the Operation of Green Small Hydropower Stations in Rural Areas

ZHANG Yaping

Hebei Provincial Water Affairs Center Shijin Irrigation District Affairs Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** In the current situation of rural green small hydropower stations in China, digital twin technology is gradually being applied and showing potential. As a sharp tool for intelligent management, this technology has begun to play an important role in the operation of small hydropower stations. Through real-time data collection and sensor technology, digital twin technology has achieved comprehensive monitoring of the operation status of small hydropower stations, improved the timeliness and accuracy of data, and provided stronger support for operation and maintenance decision-making. The construction of digital twin models further strengthens the intelligent management capabilities of small hydropower stations. Through predictive maintenance and operational optimization, early warning and adjustment of equipment operation status are achieved, effectively reducing operation and maintenance costs and improving power generation efficiency. With the increasing support from the Chinese government for the renewable energy industry, the application prospects of digital twin technology in the field of green small hydropower stations in rural areas are promising, which is expected to further promote the development of Chinese clean energy industry and assist in the transformation and upgrading of Chinese energy structure.

**Keywords:** digital twin technology; rural areas; green small hydropower stations; technology application

#### 引言

随着可再生能源的重要性日益凸显和可持续发展的迫切需求,绿色小水电站作为清洁能源的代表之一,在农村地区得到了广泛关注和应用。而数字孪生技术作为一种融合了数字化建模、实时数据分析和智能决策支持的新兴技术,为小水电站的运行和管理提供了全新的解决方案。本文旨在探讨数字孪生技术在农村绿色小水电站运行中的应用,从数据采集与传感器技术、数字孪生模型的构建、实时监控与预测性维护以及优化运行与能效管理等方面,深入剖析数字孪生技术在提升小水电站运行效率、优化能源利用和保障环境友好型发展方面的作用和价值。通过对数字孪生技术在农村绿色小水电站中的应用进行全面而深入的探讨,旨在为促进农村可再生能源产业的发展和数字化转型提供理论和实践的指导,推动清洁能源在农村地区的普及和应用,助力可持续农村发展的目标实现。

#### 1 数字孪生技术基础

##### 1.1 数字孪生的特征

数字孪生的特征包括高精度的虚拟映射、实时性的数据交互和预测分析能力。通过高精度的虚拟映射,数字孪生能够在数字空间中准确再现物理实体及其动态行为,确保虚拟模型与实际物体高度一致。实时性的数据交互特性使得数字孪生能够即时获取和处理来自物理实体的各种数据,从而实现实时监控和动态调整。此外,数字孪生还具备强大的预测分析能力,能够通过对历史数据和实时数据的综合分析,提前预测可能出现的问题并提出优化方案,显著提高系统的可靠性和运行效率。

##### 1.2 数字孪生技术的核心组成

数字孪生技术的核心组成包括物理实体、虚拟模型、数据传输和处理系统以及反馈控制系统。物理实体是实际存在的设备或系统,是数字孪生的基础;虚拟模型则是物

理实体在数字空间中的高精度再现,通常由多种数字技术构建,如3D建模、计算机仿真等<sup>[1]</sup>。数据传输和处理系统负责实时采集、传输和处理来自物理实体的各种数据,确保虚拟模型能够实时更新和反映物理实体的状态。反馈控制系统则利用虚拟模型中的分析结果,对物理实体进行动态调整和优化,从而实现对物理实体的智能管理和高效运行。这些核心组成部分相互协作,共同构建了一个完整的数字孪生系统。

### 1.3 数字孪生技术的发展现状

数字孪生技术的发展现状表明,该技术已在多个行业取得了显著进展,特别是在制造业、航空航天、能源、医疗和城市管理等领域得到了广泛应用。现代数字孪生技术不仅依赖于高精度的物理和虚拟模型映射,还集成了先进的物联网、人工智能和大数据分析技术,使其能够实现更高层次的实时性和智能化。各大科技公司和研究机构积极推动相关技术的创新与应用,开发出多种面向特定行业和应用场景的解决方案,覆盖从产品设计与制造、设备维护与管理,到城市规划与基础设施建设等诸多方面。此外,随着5G通信技术的普及和边缘计算的发展,数字孪生技术的实时数据传输和处理能力得到了进一步提升,为其在更多复杂系统中的应用奠定了基础。

## 2 绿色小水电站概述

### 2.1 小水电站的分类

小水电站的分类主要依据装机容量和功能用途来划分。根据装机容量,小水电站通常分为微型水电站(装机容量小于100千瓦)、小型水电站(装机容量在100千瓦至1兆瓦之间)和中型水电站(装机容量在1兆瓦至10兆瓦之间)。根据功能用途,小水电站可以分为单一发电型和综合利用型,前者主要用于提供电力,后者则兼顾农业灌溉、防洪、供水和生态旅游等多种用途。此外,小水电站还可以根据水流利用方式进行分类,包括径流式电站、蓄水式电站和抽水蓄能电站,径流式电站利用河流的自然流量发电,蓄水式电站通过修建水库蓄水后发电,抽水蓄能电站则在电力需求低谷时将水抽到高位水库,在电力高峰时释放水发电。不同分类方法帮助我们更好地理解 and 规划小水电站的建设和运营,以满足多样化的能源和环境需求。

### 2.2 绿色小水电站的标准与要求

绿色小水电站的标准与要求主要包括环境保护、资源利用效率、社会效益和技术规范等方面。首先,在环境保护方面,绿色小水电站必须尽量减少对生态环境的影响,确保水质不受污染,河流生态系统不被破坏,并采取有效措施保护鱼类及其他水生生物的生存环境。其次,在资源利用效率方面,绿色小水电站应具备高效的水能利用率,采用先进的技术设备和管理模式,最大限度地提高发电效率和能源利用率。第三,绿色小水电站需兼顾社会效益,项目的规划和建设要符合当地经济社会发展需求,积极推

动地方经济发展,创造就业机会,同时要尊重和保护当地居民的利益和文化遗产。最后,绿色小水电站还需符合一系列技术规范 and 标准,包括设计、建设、运行和管理等各个环节,确保工程的安全性、可靠性和可持续性。例如,必须严格遵守国家和行业制定的相关法律法规、技术标准和操作规程,进行科学规划和合理布局,确保工程质量和运行稳定性。

### 2.3 绿色小水电站的环境影响与优势

绿色小水电站的建设和运行对环境影响相对较小,且具有诸多优势。首先,相比于传统的大型水电站,绿色小水电站通常对河流生态系统的干扰较小,不需要建造大型水库,减少了对河流域和周边生态环境的破坏,有利于维护当地生态平衡。其次,绿色小水电站具有较低的温室气体排放量,能够减少对大气环境的污染,有利于应对气候变化和减缓全球暖化的进程。此外,绿色小水电站在建设过程中通常会采用清洁的能源和环保材料,减少了对自然资源的消耗和破坏,有利于促进可持续发展<sup>[2]</sup>。另外,绿色小水电站还能为当地经济发展提供支持,创造就业机会,增加税收收入,促进地方社会稳定与繁荣。

## 3 数字孪生技术在小水电站中的应用

### 3.1 数据采集与传感器技术

数字孪生技术在小水电站中的应用中,数据采集与传感器技术起着至关重要的作用。通过数据采集和传感器技术,可以实时、精准地获取水电站各个环节的数据,包括水流量、水位、水质、温度、压力、电流、电压等参数信息。这些数据不仅能够反映小水电站的运行状态,还能够提供给数字孪生模型进行分析和预测,为决策提供科学依据。数据采集与传感器技术的应用使得小水电站的运行管理更加智能化和精准化。首先,通过实时监测各项数据,可以及时发现水电站运行中的异常情况和问题,有利于及时采取措施进行调整和修复,确保水电站的安全稳定运行。其次,通过长期积累和分析数据,可以发现水电站运行的规律性和趋势性,为优化调度和管理提供参考和支持。此外,数据采集与传感器技术还能够帮助水电站实现远程监控和自动化控制,提高运行效率,降低运维成本,延长设备寿命,提升整体运行水平。

### 3.2 数字孪生模型的构建

数字孪生模型是对实际水电站的物理过程、运行状态和行为的高度仿真,其构建需要结合水电站的实际情况和特点,利用各种数字技术和工具进行建模和仿真。首先,数字孪生模型的构建需要准确获取水电站的基础数据,包括水电站的地理位置、水资源情况、设备参数、运行状态等信息。这些数据可以通过现场调查、传感器监测、历史纪录等方式获得,为模型构建提供基础数据支撑。其次,数字孪生模型的构建还需要考虑到水电站的各个组成部分之间的相互作用和影响。例如,需要考虑水流对水轮机

的影响、水位对发电效率的影响等因素,确保模型的真实性和准确性。在建模过程中,可以利用各种数字技术和工具,如计算机仿真、数值模拟、数据挖掘等,对水电站的运行过程进行模拟和分析。同时,还可以结合现代先进技术,如人工智能、大数据分析等,提高模型的预测能力和智能化水平。最后,数字孪生模型的构建是一个持续优化和更新的过程,需要不断根据实际运行数据和反馈信息对模型进行修正和调整,以确保模型与实际水电站的运行状态保持一致。

### 3.3 实时监控与预测性维护

在小水电站中,数字孪生技术的实时监控与预测性维护是关键的应用方向。通过实时监控,数字孪生技术可以实时收集水电站各个环节的数据,包括水流量、水位、水质、设备状态等信息,以及环境变化等外部因素。这些数据经过实时传输和处理后,可以立即反映在数字孪生模型中,实现对水电站运行状态的实时监控和分析。实时监控不仅可以帮助运维人员及时发现和解决水电站运行中的异常情况和故障,确保水电站的安全稳定运行,还可以通过对历史数据和实时数据的分析,发现潜在的问题和隐患,预测可能出现的故障和损坏,并提前采取预防性维护措施,避免事故的发生,降低运维成本,提高设备的可靠性和寿命。预测性维护是数字孪生技术在小水电站中的重要应用方向之一。通过对历史数据和实时数据的综合分析,数字孪生模型可以建立起对水电站运行状态的预测模型,预测设备的寿命和故障发生的可能性,提前发现并修复潜在问题,避免因故障而导致的停机损失,最大程度地保障水电站的连续运行。

### 3.4 优化运行与能效管理

通过数字孪生技术,可以对水电站的运行参数、设备状态和环境条件进行全面的监测和分析,从而实现对水电站运行的优化调整和能效管理。首先,数字孪生技术可以通过模拟和预测水电站的运行状态和性能,优化水电站的运行策略和调度方案。例如,根据实时监测的水流量、水位和水质等数据,可以动态调整水轮机的输出功率和调节水位,以最大化发电效率和水能利用率,实现能源的有效利用。其次,数字孪生技术可以通过对水电站各个设备的运行数据进行分析,及时发现和纠正设备运行中存在的问题和不良趋势,减少设备损耗和能源浪费,提高设备的运行效率和寿命,降低运维成本<sup>[3]</sup>。此外,数字孪生技术还可以通过水电站运行数据和环境数据的综合分析,优化水电站的运行计划和调度安排,使得水电站的运行更加灵活高效,适应不同的水资源情况和电力需求,提高水电站的运行灵活性和适应性。

## 4 未来发展方向

### 4.1 数字孪生技术的创新与进展

未来,数字孪生技术将继续在小水电站领域发展创新,取得更大的进展。首先,随着人工智能、大数据分析和物

联网技术的不断发展和融合,数字孪生技术将更加智能化和自动化。未来的数字孪生模型将能够更精准地模拟水电站的实际运行情况,实现更高水平的预测分析和决策支持,从而进一步提高水电站的运行效率和安全性。其次,数字孪生技术将更加注重与其他新兴技术的集成应用。例如,与区块链技术相结合,可以实现对水电站数据的安全性和可信度的增强,确保数据的真实性和完整性;与5G通信技术相结合,可以实现对水电站数据的实时传输和处理,提高数字孪生模型的响应速度和精度。此外,数字孪生技术还将更加关注对水电站整个生命周期的全面管理和优化。从水电站的规划设计、建设运行到退役拆除,数字孪生技术都可以发挥重要作用,实现对水电站的全程监控和智能化管理,为水电站的可持续发展提供全方位支持。

### 4.2 在其他可再生能源中的应用前景

未来,数字孪生技术在其他可再生能源领域的应用前景十分广阔。除了小水电站,数字孪生技术还可以在风能、太阳能、生物质能等可再生能源领域发挥重要作用。首先,在风能领域,数字孪生技术可以通过实时监测和预测,优化风力发电设备的运行状态和风场布局,提高风力发电厂的发电效率和稳定性。其次,在太阳能领域,数字孪生技术可以通过模拟光伏组件的性能和太阳辐射情况,优化光伏电站的布局和倾角,提高光伏发电系统的发电效率和能量收益。此外,在生物质能领域,数字孪生技术可以通过对生物质能源的生产、转化和利用过程进行建模和仿真,优化生物质能源的生产工艺和能量转换效率,实现生物质能源的可持续利用和综合利用。

### 4.3 政策支持与行业标准化

未来,政策支持与行业标准化将成为推动可再生能源产业和数字孪生技术发展的重要驱动力。政府在可再生能源领域的政策支持将更加重视技术创新和应用推广,为数字孪生技术的研发和应用提供政策支持、资金扶持和市场激励,推动数字孪生技术在可再生能源领域的广泛应用。同时,政府还将加强对可再生能源领域的监管和管理,制定相关法律法规和行业标准,明确可再生能源产业的发展方向和技术要求,为数字孪生技术在可再生能源领域的应用提供规范和指导。行业标准化是数字孪生技术在可再生能源领域应用的关键环节<sup>[4]</sup>。通过制定和推广行业标准,可以促进数字孪生技术在可再生能源领域的标准化和规范化应用,提高技术的通用性和互操作性,降低技术应用的成本和风险,促进行业内的合作与共享,推动数字孪生技术在可再生能源领域的广泛应用和产业化进程。同时,行业标准化还可以提高行业内的技术水平和服务质量,增强企业的竞争力和可持续发展能力,推动整个可再生能源产业链的优化和升级。

## 5 结语

数字孪生技术在农村绿色小水电站运行中的应用,为

我国清洁能源产业的发展注入了新的活力和动力。通过实时数据采集、智能分析和预测性维护，数字孪生技术为小水电站的安全稳定运行提供了可靠的保障，同时也提高了发电效率，降低了运维成本，推动了小水电站的可持续发展。在我国政府积极推动可再生能源产业发展的政策支持下，数字孪生技术在农村绿色小水电站中的应用前景广阔。未来，随着技术的不断创新和发展，数字孪生技术将进一步完善和普及，为农村地区的清洁能源发电提供更加智能、高效的解决方案，助力我国实现能源生产与环境保护的双赢目标。

#### [参考文献]

- [1] 罗小林,隋欣,张爽,等. 面向智慧化管理的数字孪生小水电工程建设技术研究[J]. 中国水利,2024(7):51-55.
- [2] 邢佳源. 基于数字孪生技术的 110kV 电力设备运行状态监测方法[J]. 科技创新与应用,2024,14(15):163-166.
- [3] 沈鹏飞,江岚,童览,等. 数字孪生在水利应用中的探索——以数字孪生分水江为例[J]. 浙江水利科技,2024,52(3):1-7.
- [4] 耿振云,徐寅生,王帅. 数字孪生水利实践案例分析与创新思考[J]. 中国水利,2024(3):39-43.
- 作者简介:张亚平(1992.11—),女,毕业院校:河北农业大学,大学本科,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:河北省水务中心石津灌区事务中心,职称级别:中级。