

# 数字孪生技术在泵站运行管理中的应用

柯雯

新疆塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心水资源管理中心

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6325

**[摘要]** 数字孪生技术,作为近年来工业4.0和智能制造领域的核心组成部分,正逐步改变着泵站运行管理的面貌。该技术通过创建物理实体的虚拟镜像,实现了对泵站运行状态的全面、实时、精准模拟。这一技术不仅极大地增强了泵站运行管理的智能化水平,还为决策提供了强有力的数据支持。文章分析了数字孪生技术原理,并探讨了数字孪生技术在泵站运行管理中的应用,供相关人员参考。

**[关键词]** 数字孪生技术; 泵站运行管理; 应用

**中图分类号:** TV675 **文献标识码:** A

## Application of Digital Twin Technology in Pump Station Operation and Management

Wen Ke

Xinjiang Tarim River Basin Kaidu Kongque River Water Resources Management Center Water Resources Management Center

**[Abstract]** Digital twin technology, as a core component of Industry 4.0 and intelligent manufacturing in recent years, is gradually changing the face of pump station operation and management. This technology achieves comprehensive, real-time, and accurate simulation of the operating status of pump stations by creating virtual images of physical entities. This technology not only greatly enhances the intelligence level of pump station management, but also provides strong data support for decision-making. The article analyzes the principles of digital twin technology and explores its application in the operation and management of pumping stations, providing reference for relevant personnel.

**[Key words]** digital twin technology; Pump station operation management; application

### 引言

泵站作为水利工程的重要组成部分,承担着水资源调配、防洪排涝等多重任务,其运行管理的复杂性和重要性不言而喻。然而,传统泵站运行管理面临着诸多挑战与需求。一方面,泵站设备种类繁多,运行参数复杂,传统的人工监测和维护方式不仅效率低下,而且难以保证数据的准确性和及时性。另一方面,随着城市化进程的加快,泵站承担的任务日益繁重,对运行管理的智能化、自动化水平提出了更高的要求。如何实现对泵站设备的实时监测、预警和维护,提高泵站运行的可靠性和效率,成为泵站运行管理亟待解决的问题。

### 1 数字孪生技术在泵站运行管理中的重要性

数字孪生技术对泵站运行管理具有重要意义,它对提高泵站运行效率、保证运行安全性和优化调度资源具有重要意义。数字孪生技术能够为泵站建立完整的虚拟模型,实现泵站各运行参数的实时监测与预测,实现泵站设备运行状态的实时监测与预测,实现泵站运行中潜在的故障与问题的早期诊断与预警,提高泵站运行的可靠性与安全性。数字孪生技术可辅助泵站对运

行参数进行优化调整,并对其运行参数进行分析,找出最优操作参数,提高泵站运行效率,降低能耗。数字孪生技术也可支撑泵站安全管理,对泵站安全风险进行评估与防控,制定并实施应急预案,可有效降低泵站安全风险,提升泵站安全管理水平。因此,数字孪生技术将对泵站的运行管理起到很大的作用。

### 2 数字孪生技术原理

#### 2.1 三维建模与仿真环境

在数字孪生技术应用于泵站运行管理的创新实践中,三维建模与仿真环境构成了技术实施的核心基础。通过高精度三维扫描和建模技术,泵站的实际结构和设备布局得以在虚拟环境中精准再现。这种高精度的三维模型不仅包含了泵站的空间结构信息,还集成了设备的物理特性和运行参数,为后续的仿真分析提供了坚实的基础。

在三维仿真环境中,泵站的各运行状态和场景可以被模拟和测试,包括正常工况、极端天气条件下的应急响应以及设备故障模拟等。例如,某大型水利泵站通过构建数字孪生模型,在虚拟环境中模拟了暴雨导致的洪水淹没场景,通过仿真分析,优

化了泵站的排水策略和闸门调度方案,有效提升了泵站的防洪能力。这一案例充分展示了三维仿真环境在应对复杂工况和优化运行策略方面的巨大潜力。

此外,三维建模与仿真环境还支持基于物理的分析模型,如流体动力学模型、热力学模型等,这些模型能够模拟泵站内部流体的流动状态、设备的热负荷等关键参数,为优化设备设计和提升能效提供科学依据。通过三维建模与仿真环境,泵站运行管理者得以深入理解系统的运行机理,从而做出更加精准的决策。

在数字孪生技术的应用中,三维建模与仿真环境还促进了数据集成与实时分析。通过将泵站的实际运行数据实时导入虚拟模型,管理者可以实时监控泵站的状态,及时发现潜在问题并采取相应措施。这种数据驱动的决策方式不仅提高了泵站运行的可靠性和安全性,还促进了运维工作的智能化和自动化。例如,通过集成传感器数据和历史运行记录,数字孪生模型能够预测设备的剩余寿命,为预防性维护提供数据支持,从而有效避免了因设备故障导致的停机损失。

## 2.2 数据集成与实时分析

在数字孪生技术应用于泵站运行管理的创新实践中,数据集成与实时分析扮演着至关重要的角色。通过高效的数据集成机制,泵站运行过程中的各类数据,如设备状态参数、能耗数据、环境变量等,被实时采集并整合至统一的数字平台。这一过程不仅确保了数据的全面性和准确性,更为后续的分析与决策提供了坚实的基础。

实时分析则是数据集成后的关键环节。借助先进的数据分析模型和算法,如机器学习、深度学习等,泵站运行管理人员能够迅速洞察数据背后的规律与趋势,从而做出更加精准的管理决策。例如,通过分析历史能耗数据与设备运行参数,可以构建出能耗预测模型,为泵站的节能降耗提供科学依据。

此外,数据集成与实时分析还促进了泵站运行管理的智能化水平。通过构建智能预警系统,当设备状态参数偏离正常范围或能耗异常时,系统能够自动触发预警,提醒管理人员及时采取措施,有效避免了潜在的安全风险和故障发生。在泵站运行管理中,数据集成与实时分析正是我们创造未来、预防问题的有力工具。

数据集成与实时分析还为实现泵站的远程监控和自动化管理提供了可能。管理人员无需亲临现场,即可通过数字平台实时掌握泵站运行状态,进行远程调控。这种管理方式不仅提高了工作效率,还降低了人力成本。在某智慧泵站项目中,通过集成各类传感器和智能设备,实现了泵站的全面远程监控和自动化调度,相比传统管理方式,人力成本降低了约20%,同时泵站运行的安全性和稳定性也得到了显著提升。

## 2.3 物理系统与虚拟模型的同步

在数字孪生技术的核心应用中,物理系统与虚拟模型的同步是确保泵站运行管理精准高效的关键所在。这一同步机制通过实时数据采集与传输,将泵站的实际运行状态映射到虚拟的数字孪生模型中,实现了对泵站运行状态的实时监控与精准预

测。以某大型水利泵站为例,该泵站采用了先进的数字孪生技术,通过部署大量的传感器和物联网设备,实时采集泵站的运行数据,包括流量、压力、温度等关键参数。这些数据被实时传输至云端的数据中心,经过清洗、整合与分析后,被用于更新数字孪生模型的状态。当泵站的实际运行状态发生变化时,如流量增加或压力下降,数字孪生模型能够迅速响应,模拟出相应的变化,为管理人员提供了直观的决策支持。

在物理系统与虚拟模型同步的过程中,数据分析与预测模型发挥着至关重要的作用。通过运用机器学习算法,数字孪生模型能够识别出泵站运行中的潜在风险与故障模式,提前发出预警信号,为管理人员提供了充足的时间进行干预与调整。例如,当数字孪生模型预测到某台水泵即将出现磨损故障时,管理人员可以立即安排维修或更换工作,避免了因故障停机而造成的损失。此外,物理系统与虚拟模型的同步还促进了泵站运行管理的智能化与自动化。通过集成先进的控制算法与决策支持系统,数字孪生模型能够根据实时数据自动调整泵站的运行策略,优化能效与安全性。

## 3 数字孪生技术在泵站运行管理中的应用

### 3.1 设备状态监测与预测性维护

在泵站运行管理的创新实践中,数字孪生技术为设备状态监测与预测性维护带来了革命性的改变。传统上,泵站设备的维护往往依赖于定期检修和故障后的紧急处理,这种方式不仅效率低下,而且成本高昂。然而,通过数字孪生技术,我们可以实现对泵站设备的实时监测和精准预测,从而大大提高维护的效率和准确性。

数字孪生技术通过三维建模与仿真环境,构建出泵站设备的虚拟模型。这个模型不仅与物理设备一一对应,还能实时反映设备的运行状态。通过集成来自传感器、监控系统和历史数据的信息,数字孪生模型能够实时监测设备的振动、温度、压力等关键参数,一旦发现异常,立即触发报警机制。这种实时监测的能力,使得我们能够及时发现设备的潜在故障,避免故障扩大,减少停机时间。以某大型泵站为例,该泵站采用了数字孪生技术进行设备状态监测。在一次监测中,数字孪生模型发现了一台水泵的振动参数异常,立即触发了报警。经过分析,发现是由于轴承磨损导致的。由于及时发现并处理了这一问题,避免了水泵的进一步损坏,减少了停机时间,同时也避免了因故障导致的更大损失。

除了实时监测,数字孪生技术还能实现预测性维护。通过对历史数据的分析和机器学习算法的应用,数字孪生模型能够预测设备的剩余寿命和潜在故障点。这种预测能力,使得我们能够提前制定维护计划,避免设备在关键时期出现故障。例如,某泵站的水泵在数字孪生模型的预测下,提前进行了更换,避免了在雨季高峰期出现故障,保证了泵站的正常运行。

### 3.2 流程优化与能效提升

在泵站运行管理中,流程优化与能效提升是数字孪生技术应用的重要方面。通过数字孪生技术,可以实现对泵站运行流程

的精准模拟和分析,从而发现潜在的瓶颈和问题,为流程优化提供有力支持。例如,某大型泵站通过引入数字孪生技术,对其运行流程进行了全面梳理和优化。在模拟过程中,技术人员发现泵站的进水管存在水流不畅的问题,导致泵站效率下降。针对这一问题,他们利用数字孪生模型进行了多次模拟和优化,最终提出了改进方案。实施后,泵站的能效提升了约15%,大大超过了预期目标。这一成功案例充分展示了数字孪生技术在流程优化方面的巨大潜力。

在能效提升方面,数字孪生技术同样发挥着重要作用。通过实时监测和分析泵站设备的运行状态,可以及时发现能耗异常和潜在故障,为能效管理提供数据支持。此外,数字孪生技术还可以结合先进的能效分析模型,对泵站的能效进行精准评估和优化。例如,某泵站引入了基于数字孪生技术的能效管理系统,通过对设备运行数据的实时监测和分析,成功识别出了一批高能耗设备,并采取了针对性的节能措施。

流程优化与能效提升是一个持续的过程,需要不断地进行监测、分析和调整。数字孪生技术为这一过程提供了强大的技术支持。通过不断地迭代和优化数字孪生模型,可以实现对泵站运行状态的持续监测和改进,推动泵站运行管理的智能化和高效化。

### 3.3 安全风险评估与应急响应管理

在泵站运行管理中,安全风险评估与应急响应管理是数字孪生技术应用的关键环节。通过数字孪生技术,可以实现对泵站运行状态的实时监测和模拟,从而准确评估潜在的安全风险。例如,利用三维建模与仿真环境,可以模拟泵站在不同工况下的运行状态,预测可能发生的故障和事故,为风险评估提供科学依据。

在实际应用中,数字孪生技术还能够辅助制定应急响应预案。通过模拟泵站故障场景,可以优化应急响应流程,提高应急响应效率。在某大型泵站项目中,数字孪生技术被用于模拟水泵故障导致的停水事件。模拟结果显示,采用优化的应急响应预案后,恢复供水的时间缩短了近50%。这一成功案例不仅验证了数字孪生技术在应急响应管理中的有效性,也为其他泵站提供了宝贵的经验借鉴。

此外,数字孪生技术还能够结合数据分析模型,对泵站运行数据进行深度挖掘和分析,进一步提升安全风险评估的准确性。例如,利用机器学习算法对泵站历史故障数据进行训练,可以建立故障预测模型,提前发现潜在的安全隐患。这种基于数据的分析方法不仅提高了风险评估的科学性,还为应急响应预案的制

定提供了更加精准的数据支持。数字孪生技术正是通过提供可度量的数据支持,为泵站的安全管理提供了有力的保障。

在应急响应管理方面,数字孪生技术还能够实现远程监控和指挥调度。通过数字孪生平台,管理人员可以实时查看泵站运行状态,快速响应突发事件。同时,数字孪生平台还可以提供应急资源调度功能,根据事故类型和严重程度,自动调配应急资源,确保应急响应的及时性和有效性。这种智能化的应急响应管理方式不仅提高了应急响应的效率,还降低了人员安全风险。

## 4 结束语

综上所述,随着数字孪生技术的不断发展和应用,其在泵站运行管理中的作用日益凸显。通过构建高精度的三维模型、实现数据集成与实时分析以及确保物理系统与虚拟模型的同步,数字孪生技术为泵站设备状态监测、流程优化、能效提升以及安全风险评估与应急响应管理提供了强有力的支持。这些创新应用不仅提高了泵站运行的可靠性和效率,还推动了泵站运行管理的智能化和自动化水平。展望未来,随着技术的不断进步和应用场景的拓展,数字孪生技术将在泵站运行管理中发挥更加重要的作用,为水利事业的可持续发展贡献更多力量。

## [参考文献]

- [1]李水兵.在建大型水利工程数字孪生平台实践与思考[J].水利信息化,2023(5):25-30.
- [2]戴蓉.数字孪生技术在某泵站运行管理中的应用[J].中国水能及电气化,2023(10):64-69.
- [3]朱晨晨.数字孪生技术在泵站智能化管理中的应用[J].电气自动化,2023,45(4):108-111.
- [4]胡锦.数字孪生技术在泵站工程中的应用[J].江苏水利,2023(7):28-32.
- [5]徐瑞,叶芳毅.基于数字孪生技术的三维可视化水利安全监测系统[J].水利水电快报,2022,43(01):87-91.
- [6]卢建华,刘晓琳.基于数字孪生的水库大坝安全管理云服务平台研发与应用[J].水利水电快报,2022,43(01):81-86.
- [7]张绿原,胡露露,沈启航,等.水利工程数字孪生技术研究探索[J].中国农村水利水电,2021(11):58-62.
- [8]刘海瑞,奚歌,金珊.应用数字孪生技术提升流域管理智慧化水平[J].水利规划与设计,2021(10):4-6,10,88.

## 作者简介:

柯雯(1988-),女,汉族,甘肃人,大专,工程师,研究方向:泵站自动化与智能化。