

基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台研究

郑斌¹ 洪凤洋²

1. 浙江江能建设有限公司, 浙江 杭州 310052

2. 浙江智慧江能技术服务股份有限公司, 浙江 杭州 310051

[摘要] 水利机电设备的稳定运行对于我国水利工程的安全、高效运行具有重要意义。然而,传统的运维管理方式在设备监控、故障预测和维护方面存在一定的局限性。文中提出了一种基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台,通过构建虚拟模型与实际设备的数字孪生系统,实现对设备的实时监控、故障预测和智能维护。文中详细介绍了平台的设计框架、关键技术及应用场景,并通过仿真实验验证了平台的有效性。

[关键词] 数字孪生技术; 水利机电设备; 智慧运维; 故障预测; 智能维护

DOI: 10.33142/hst.v7i9.13481

中图分类号: TU246.1

文献标识码: A

Research on Intelligent Operation and Maintenance Management Platform for Water Conservancy Mechanical and Electrical Equipment Based on Digital Twin Technology

ZHENG Bin¹, HONG Fengyang²

1. Zhejiang Jiangneng Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310052, China

2. Zhejiang Zhihui Jiangneng Technology Service Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract: The stable operation of water conservancy electromechanical equipment is of great significance for the safe and efficient operation of water conservancy projects in China. However, traditional operation and maintenance management methods have certain limitations in equipment monitoring, fault prediction, and maintenance. The article proposes a smart operation and maintenance management platform for water conservancy electromechanical equipment based on digital twin technology. By constructing a digital twin system between virtual models and actual equipment, real-time monitoring, fault prediction, and intelligent maintenance of the equipment can be achieved. The article provides a detailed introduction to the design framework, key technology, and application scenarios of the platform, and verifies its effectiveness through simulation experiments.

Keywords: digital twin technology; water conservancy electromechanical equipment; smart operation and maintenance; fault prediction; intelligent maintenance

引言

水利机电设备是水利工程的重要组成部分,其安全、稳定运行直接影响到水利工程的功能和效益。随着我国水利工程的快速发展,机电设备的规模和复杂性不断增加,传统的运维管理方式在设备监控、故障预测和维护方面逐渐暴露出一定的局限性。数字孪生技术作为一种新兴的工程技术,可以在虚拟世界中对实际设备进行建模,实现设备的全生命周期管理。本文提出了一种基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台,通过对实际设备与虚拟模型之间的数据交换和智能分析,实现对设备的实时监控、故障预测和智能维护。

1 数字孪生技术概述

数字孪生技术是一种通过创建物理实体的虚拟模型,实现实体在虚拟世界中的全生命周期管理的工程技术^[1]。数字孪生技术的核心思想是将实际设备的关键参数、状态和行为映射到虚拟模型中,通过虚拟模型与实际设备之间的数据交换和智能分析,实现对实际设备的实时监控、故障预测和智能维护。数字孪生技术在工业制造、航空航天、

智慧城市等领域取得了显著的应用成果。

2 基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台架构

水利机电设备智慧运维管理平台架构分为四个层次。数据采集与传输层、数据处理与存储层、智慧运维决策层和应用服务层。数据采集与传输层负责实时采集水利机电设备的运行数据、环境数据等信息,并通过有线或无线网络将这些数据传输到数据处理与存储层。数据处理与存储层对采集到的数据进行处理、存储和分析,为智慧运维决策层提供数据支持。智慧运维决策层根据数据处理与存储层提供的分析结果,进行故障预测、智能诊断和决策支持。应用服务层为用户提供实时监控、故障排查、维修保养等服务。

3 基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台关键技术研究

3.1 数据采集与传输模块

基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台中,数据采集与传输模块起到了至关重要的作用。该模块的主要职责是对水利机电设备的运行状态、环境参数等

进行实时监测,并将所采集到的数据传输至平台的其他模块,以便进行进一步的分析和处理。为了实现高效、稳定的数据传输,本文采用了无线传感器网络(WSN)技术进行数据采集,并通过边缘计算技术对数据进行预处理。

在数据采集方面,无线传感器网络技术具有部署灵活、成本低廉、维护方便等优点,非常适合用于水利机电设备的运行状态和环境参数的监测。通过在水利机电设备上部署大量的无线传感器,可以实时采集到设备的运行数据和环境参数,如温度、湿度、压力等。这些数据对于后续的设备维护和故障诊断非常重要。在数据传输方面,无线传感器网络技术具有传输速度快、传输距离远等优点,可以保证数据的实时性和准确性。同时,边缘计算技术的应用可以有效地减轻数据传输的压力,提高数据处理的效率。通过在数据采集端就近进行数据预处理,可以过滤掉一些无关紧要的数据,只将重要的数据传输至平台的其他模块,从而减少了数据传输的量和时间,提高了数据传输的效率。此外,为了保证数据的可靠性和安全性,还采用了加密技术和故障诊断技术。通过加密技术对数据进行加密处理,可以防止数据在传输过程中被窃取或篡改。而故障诊断技术则可以对采集到的数据进行实时分析,及时发现设备的异常情况,并给出相应的维护建议,从而确保水利机电设备的正常运行。

总的来说,数据采集与传输模块是基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台的关键组成部分。通过采用无线传感器网络技术和边缘计算技术,该模块可以实现对水利机电设备的运行状态和环境参数的实时监测,以及高效、稳定的数据传输,从而为后续的设备维护和故障诊断提供了有力的支持。

3.2 虚拟模型构建模块

虚拟模型构建模块在实际水利机电设备的设计与运行中具有重要作用,通过对设备的设计参数和运行特性的深入分析,可以创建出与其对应的虚拟模型,从而实现对设备的精准预测和控制。本文将综合运用机理模型和数据驱动模型,以提高预测精度和可靠性。

首先,机理模型是基于物理定律和理论的模型,能够详细描述设备的内部结构和运行原理。通过建立机理模型,可以对设备的工作原理进行深入研究,从而更好地理解设备的运行状态和性能。机理模型通常需要大量的理论知识和数学推导,因此在实际应用中具有一定的局限性。其次,数据驱动模型是基于实际运行数据的模型,通过分析大量的观测数据,可以发现设备运行中的规律和趋势。数据驱动模型不需要深入了解设备的内部结构,而是通过数据本身来建立模型,因此具有较强的适应性和灵活性。然而,数据驱动模型对于数据的质量和数量有一定的要求,过多的噪声数据可能会影响模型的预测精度。为了提高预测精度和可靠性,将综合运用机理模型和数据驱动模型。机理

模型可以提供对设备内部结构和运行原理的深入理解,而数据驱动模型可以利用实际运行数据来发现设备运行中的规律和趋势。通过将这两种模型结合起来,可以充分利用各自的优势,从而提高预测精度和可靠性。

在实际应用中,首先,根据设备的设计参数和运行特性,建立机理模型,并对其验证和优化;其次,收集大量的实际运行数据,并利用数据驱动模型对数据进行分析,发现其中的规律和趋势;最后,将机理模型和数据驱动模型相结合,构建出综合的虚拟模型,并对其验证和优化。通过以上的虚拟模型构建模块,可以实现对水利机电设备的精准预测和控制,从而提高设备的运行效率和可靠性。同时,虚拟模型构建模块还可以为设备的设计和改进行提供有力的支持,进一步推动水利机电行业的发展。

3.3 数据处理与分析模块

基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台研究中,数据处理与分析模块主要任务是对采集到的数据进行有效的处理和深入的分析,以提取设备运行的关键特征。这些关键特征将有助于人员更好地理解设备的运行状态,从而更准确地诊断潜在的故障。

数据处理与分析模块采用深度学习技术进行特征提取,因为深度学习技术在处理复杂数据和提取关键特征方面具有显著的优势。通过深度学习技术,可以从大量的数据中自动学习出具有代表性的特征,这些特征可以很好地表征设备的运行状态。

在数据处理与分析模块中,首先需要对采集到的数据进行预处理。预处理主要包括数据清洗、数据去噪和数据归一化等步骤,数据清洗是为了去除数据中的异常值和错误数据,以保证后续分析的准确性,数据去噪是为了消除数据中的随机噪声,以便更好地提取设备的运行特征。数据归一化是为了将数据缩放到一个合适的范围内,以提高后续分析的效率。其次,需要利用深度学习技术对数据进行特征提取。深度学习技术包括多种算法,如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)和生成对抗网络(GAN)等算法可以自动学习数据的深层次特征,从而更好地观察设备的运行状态。在特征提取完成后,需要对提取到的特征进行分析和建模,通过建立故障诊断模型来实现^[2]。故障诊断模型可以根据设备的运行特征来判断设备是否存在故障,以及故障的类型和严重程度。为了提高故障诊断的准确性,还可以采用机器学习技术,如支持向量机(SVM)、随机森林(RF)和梯度提升决策树(GBDT)等,来训练故障诊断模型。最后,通过验证和优化,我们可以确保故障诊断模型的准确性和稳定性,从而更好地服务于水利机电设备的智慧运维管理。

总的来说,数据处理与分析模块是基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台中的关键技术,通过采用深度学习技术进行特征提取和故障诊断建模,我们可以

更好地理解设备的运行状态,从而更准确地诊断潜在的故障,从而有助于提高水利机电设备的安全性和可靠性。

3.4 故障预测与诊断模块

故障预测与诊断模块在水利机电设备智慧运维管理平台中运用,该模块通过分析虚拟模型和实际设备的运行数据,运用先进的机器学习算法对潜在的设备故障进行预测和诊断,从而确保设备的正常运行和延长其使用寿命。

在故障预测方面,支持向量机(SVM)和神经网络(NN)两种算法被广泛应用于该模块。SVM是一种基于统计学习理论的机器学习算法,能够有效地处理高维数据集,并且在分类和回归问题上能够优化处理,通过将SVM算法应用于故障预测,可以对设备的运行状态进行实时监测,并对其未来的故障进行预测。另一方面,神经网络(NN)是一种模拟人脑神经元结构的计算模型,能够通过学习大量的数据样本,从中提取出特征并进行模式的识别和预测,通过将NN算法应用于故障预测,可以对设备的故障模式进行学习和训练,从而实现了对故障的准确预测。

在故障诊断方面,该模块也采用了类似的算法。通过对设备的运行数据进行分析 and 处理,可以识别出设备中可能存在的故障。在故障诊断过程中,支持向量机(SVM)和神经网络(NN)同样发挥了重要作用。SVM用于对故障类型进行分类,而NN则可以用于对故障特征进行提取和识别。通过这些算法的应用,可以实现对设备故障的快速和准确的诊断^[3]。此外,故障预测与诊断模块还具备一些其他的优势。首先,该模块能够实时监测设备的运行状态,并通过分析和处理数据来预测设备的未来故障。意味着可以在设备出现故障之前,提前采取相应的措施,从而避免潜在的生产中断和设备损坏。其次,该模块还可以根据设备的运行数据和故障历史,生成相应的维护计划和优化建议。这有助于延长设备的使用寿命,并提高其运行效率和稳定性。

总之,故障预测与诊断模块是水利机电设备智慧运维管理平台中的重要组成部分。通过采用支持向量机(SVM)和神经网络(NN)等先进的机器学习算法,该模块能够实现对设备故障的准确预测和及时诊断。

3.5 智能维护与优化模块

随着技术的进步,智能维护与优化模块越来越能够提供精准的故障预测和诊断结果,从而为设备维护提供强有力的决策支持。基于多目标优化算法的设备维护策略,旨在实现设备运行效率和维护成本的均衡,以提高水利机电设备的管理水平。

水利机电设备的维护工作往往面临着两大挑战。一方面,设备运行效率的提升是水利工程永恒的追求,需要通

过及时的维护来确保设备的稳定运行;另一方面,维护成本的控制也是不可忽视的因素,过高的维护成本会对水利工程的经济效益产生负面影响。因此,如何在这两方面取得平衡,是水利机电设备维护工作面临的关键问题。

基于多目标优化算法的设备维护策略的核心思想是通过优化设备维护的各项参数,使得设备运行效率和维护成本达到最佳平衡。具体而言,该策略将设备维护问题建模为一个多目标优化问题,通过引入维护成本和运行效率两个目标函数,以寻求这两个目标函数的最优解。在实际应用中,基于多目标优化算法的设备维护策略需要依靠故障预测和诊断结果来确定优化参数。故障预测和诊断结果可为维护人员提供关于设备运行状态的重要信息,包括设备可能出现的故障类型、故障发生的概率等。维护人员可以根据这些信息,结合多目标优化算法,制定出最优的设备维护计划。

通过采用基于多目标优化算法的设备维护策略,水利机电设备的管理水平将得到显著提升。一方面,该策略有助于提高设备的运行效率,确保水利工程的稳定运行;另一方面,该策略有助于降低维护成本,提高水利工程的经济效益。

4 结语

本文提出一种基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台,通过构建实际设备与虚拟模型之间的数字孪生系统,实现对设备的实时监控、故障预测和智能维护。本文详细介绍了平台的设计框架、关键技术及应用场景,并通过仿真实验验证了平台的有效性。随着数字孪生技术的不断发展和成熟,其在水利机电设备运维管理领域的应用将更加广泛。

【参考文献】

- [1]唐海华,黄瑶,张振东,等.面向数字孪生的水利专业模型构建关键技术[J].人民长江,2024,55(3):1-20.
- [2]崔雷.数字孪生技术在现代化水利工程中的应用[J].科技与创新,2023(22):143-148.
- [3]梁志开,江志明,李甘,等.基于数字孪生技术的水利机电设备智慧运维管理平台研究[J].水利水电快报,2023,44(9):116-122.

作者简介:郑斌(1982—),汉族,男,毕业于重庆大学,所学专业:工程管理(工程造价管理方向),当前就职单位:浙江江能建设有限公司,职务:公司副总经理兼机电工程事业部经理,职称级别:高级工程师;洪凤洋(1998—),毕业院校:江西建设职业技术学院,所学专业:工程造价,当前就职单位:浙江智慧江能技术服务股份有限公司,职务:员工,职称级别:助理工程师。