

Research on the application of digital twin technology in operation and maintenance decision-making of offshore wind farms

Yongxin Yang¹ Xu Zhong²

1. Beijing Sifang Relay Protection Automation Co., Ltd., Beijing, 100085

2. Datang Shantou New Energy Co., Ltd., Shantou, Guangdong, 515000

Abstract

With the rapid development of offshore wind power industry, the continuous expansion of wind farm scale has increasingly highlighted the challenges and importance of operation and maintenance management. Traditional O&M decision-making methods can no longer meet the demands for efficient and reliable operations. The emergence of digital twin technology has brought new approaches and methodologies to offshore wind farm O&M decision-making. This paper conducts an in-depth study on the application of digital twin technology in offshore wind farm O&M decision-making, elaborating on its principles, characteristics, and key technologies for implementation in offshore wind farms. It analyzes how this technology enables real-time monitoring of equipment status, fault prediction, and supports scientific O&M decisions through data mining and analysis. The paper also discusses challenges such as data security, model accuracy, and cost-effectiveness during digital twin technology application, while proposing solutions. These efforts aim to provide theoretical support and practical references for enhancing O&M decision-making capabilities, reducing operational costs, and improving power generation efficiency in offshore wind farms.

Keywords

digital twin technology; offshore wind farm; operation and maintenance decision; application

数字孪生技术在海上风电场运维决策中的应用研究

杨泳鑫¹ 钟旭²

1. 大唐汕头新能源有限公司, 中国·广东 汕头 515000

2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 中国·北京 100085

摘要

随着海上风电产业的迅速发展, 风电场规模持续扩大, 运维管理的难度与重要性日益凸显。传统运维决策方式已难以满足高效、可靠运维的需求, 数字孪生技术的出现为海上风电场运维决策带来了新的思路与方法。本文深入研究数字孪生技术在海上风电场运维决策中的应用, 详细阐述数字孪生技术的原理、特点及其在海上风电场构建中的关键技术, 分析该技术如何实现对海上风电场设备状态的实时监测、故障预测以及通过数据挖掘与分析辅助制定科学合理的运维决策, 探讨数字孪生技术应用过程中面临的数据安全、模型精度、成本效益等挑战, 并提出解决建议, 旨在为提升海上风电场运维决策水平、降低运维成本、提高发电效率提供理论支持与实践参考。

关键词

数字孪生技术; 海上风电场; 运维决策; 应用

1 引言

海上风电身为清洁能源关键构成, 跟随全球能源转型步伐, 发展快速。与陆上风电作对比, 海上风电体现出风能资源丰富多样、风速稳定可靠、不占据陆地资源等趋势。海上风电场运行环境复杂而棘手, 设备长时间遭受高湿度、强腐蚀、海浪冲击及极端天气等恶劣状况, 造成设备故障的

出现概率偏高, 运维难度陡然上升, 成本显著攀升。以往海上风电场的运维决策主要依靠人工经验及定期巡检, 此种方法效率极为低下, 还不易在故障发作前做好有效的预测与预先防范, 较易引发设备停机的时间变长, 发电亏损, 怎样提升海上风电场运维的高效性与决策的科学性, 让运维成本下降, 成为当下海上风电领域亟需攻克的核心难题。数字孪生技术可借助搭建物理实体的虚拟模型, 达成物理实体全生命周期的实时映照与监控, 为海上风电场运维决策拿出了全新解决方法。采用数字孪生的技术方式, 运维人员可实时把握风电场设备的运行情形, 预先测知潜在的故障隐患, 制订更

【作者简介】杨泳鑫(1997-), 中国广东潮州人, 本科, 工程师, 从事电气工程及其自动化研究。

为科学且合理的运维规划,进而切实增强风电场的稳定性与效益性。因此,研究数字孪生技术在海上风电场运维决策中的应用具有重要的现实意义。

2 数字孪生技术概述

2.1 数字孪生的概念与原理

数字孪生为一种充分汲取物理模型、传感器数据、运行历史等信息的技术类型,采用多学科种类、多物理量值、多尺度跨度、多概率态势的模拟步骤,在虚拟范围内搭建与物理实体精准契合的虚拟模型,实现二者实时数据交互以及状态映射的一项技术。基本原理是借助数字化途径,针对物理实体的各种属性和行为进行描述与建模,形成一个呈虚拟状的数字模型,该模型可实时体现物理实体运行状态、性能参数及健康状况等讯息,凭借传感器采集物理实体实际的运行状况数据,把这些数据回传至数字模型里,实时对模型做更新及修正操作,借此达成虚拟模型和物理实体同步开展与双向协作。

2.2 数字孪生技术的特点

2.2.1 高度逼真的映射

数字孪生模型可精准呈现物理实体几何形状、结构特性、材料性质等静态数据,还囊括运行的实时状态、性能的主要参数、故障的可能模式等动态资料,完成对物理实体的高度相似映射。

2.2.2 实时性与动态性

数字孪生技术依靠实时采集物理实体运行中的数据,数字孪生模型可迅速更新自身状态,及时彰显物理实体的变化情形,为运维决策奉上最新信息之援。

2.2.3 多学科融合

数字孪生技术涉及到机械工程的应用、电气工程的实践、材料科学的探索、计算机科学的创新、数据分析的运用等多个学科范畴,利用多学科的交叉汇聚,实现对物理实体全方位、透彻的分析与探究。

2.2.4 预测性与优化性

借助历史数据跟实时的监测数据,数字孪生模型借助数据分析与机器学习算法,来预测物理实体未来的运行情形,且借助仿真对不同运维策略与工况条件加以模拟,为优化运维决策给予凭据。

3 海上风电场运维决策流程与方法

海上风电场的运维决策流程包含设备巡检、故障甄别、维修计划制定与资源调度等方面,针对设备巡检这一工作,以定期巡检与不定期抽检相融合的形式为主,采用人工也或无人机对风电机组、海底电缆、升压站等设备进行查验,就故障诊断事宜而言,判断主要借助设备自带监测系统,再结合运维人员经验,若检测到设备存在故障,结合故障的严重程度及其影响范围确定相应维修计划,囊括维修时间区间、维修人员力量、维修器械和备件等资源的统筹^[1]。

传统运维决策方式多以经验与规则为依据,好比根据

设备的运行时长及故障历史情况来明确巡检周期和维护方案,该方法虽简易可行,然而欠缺科学性与灵活性,较难契合海上风电场复杂易变的运行环境与设备情形。

4 数字孪生技术在海上风电场运维决策中的应用

4.1 海上风电场数字孪生模型的构建

4.1.1 数据采集与传输

若想构建精确可靠的数字孪生模型,需采集海上风电场各种器械的运行、环境、气象等多维度数据,数据采集可借助安装于设备的传感器、监测系统,还有卫星遥感、气象站等途径达成,采集的数据经有线或无线通信网络传至数据中心存储处理。

4.1.2 建模与仿真

依托所采集的数据,采用多物理场耦合建模、机器学习、深度学习之类的技术,构建海上风电场装置的数字孪生模型,模型应准确展现设备的几何架构及物理特征,还应可以模拟设备在不同工况环境下运行状态以及性能的相应变化,依靠仿真剖析,可对设备未来运行趋势以及潜在故障加以预测^[2]。

4.1.3 平台搭建

搭建面向海上风电场数字孪生的运维决策平台,把数字孪生模型、数据处理模块、分析决策模块等聚合于平台里,平台给出直观型用户界面,方便运维人员实时查看设备状态、获取历史数据、实施故障诊断并制订运维安排。

4.2 借数字孪生开展设备状态监测与故障预测

4.2.1 实时状态监测

凭借数字孪生模型和物理实体实时开展的数据互通,借助数字孪生运维决策平台,运维人员得以实时监测海上风电场设备运行状态,含有风机的转动速度参数、功率相关参数、温度方面参数、振动相关参数,海底电缆涉及的电流、电压、温度等相关参数,升压站设备的电气参量数值及运行状态情形等,若设备参数展现出异常,平台迅速发出告警信号,提示运维人员迅速实施解决办法。

4.2.2 故障预测与诊断

采用数字孪生模型跟数据分析算法,开展对设备历史运行数据和实时监测数据的深度挖掘分析,开发设备故障预测相关模型,运用模型预测设备有概率出现的故障样式、故障时间范围和故障程度高低,为提早制定维修策略供给凭据,将故障知识库同专家系统相结合,对故障原因实施诊断剖析,推动运维人员迅速排除故障^[3]。

4.3 基于数字孪生的运维决策制定与优化

4.3.1 运维计划制定

按照设备状态监测、故障预测的相关结果,再结合风电场运行历史数据以及气象预报讯息,凭借数字孪生运维决策平台规划科学合理的运维安排,运维计划当中有设备巡检规划、维护保养规划、维修规划等项目,恰当安排运维相关的人员、设备、备件等资源,实现运维工作高效有序开展局面。

4.3.2 资源调配优化

在系统运维阶段,借助数字孪生模型针对不同运维策略和资源调配方案实施仿真模拟,对各方案的运维绩效与成本效益进行评估,筛选出最适宜的资源调配方案,在安排维修任务这个环节,鉴于设备故障的紧急情况、维修难度系数和维修人员的技术水平高低,恰如其分地分配维修人员与维修工具,实现维修效率的增进,减少运维成本占用^[4]。

4.3.3 发电效率优化

结合实时的风资源数据,兼顾电网负荷需求,利用数字孪生模型针对风机运行参数做优化变动,像改变风机叶片的倾斜角度、转动速率之类,让风机在各异风况中始终维持最佳发电效能,增强风电场的整体发电规模。

5 数字孪生技术应用面临的挑战与对策

5.1 技术层面的挑战

5.1.1 数据安全与隐私保护

海上风电场数字孪生系统牵扯大量设备运行数据与敏感资料,数据安全与隐私防护刻不容缓,在数据的采集、流转、保存及处理期间,也许会面临数据出现泄露、错误篡改、意外丢失等安全隐患,为直面这一挑战,应采用加密类技术、访问管控办法、数据备份与恢复相关技术等,增进数据安全管理水平,实现数据隐秘性、完整性及可用性保障。

5.1.2 模型精度与可靠性

数字孪生模型的精确性跟可靠性,直接影响运维决策准确与否、有效与否,因海上风电场设备运行环境存在复杂性,影响要素繁杂,创建高精度度、高度可靠的数字孪生模型困难重重,为强化模型精度度和可靠水平,得不断革新建模的手段与算法,拓宽数据采集的维度边界和深度层次,加大对模型验证及校准的力度,加强模型与实际运行状况的贴合度^[5]。

5.1.3 多源数据融合与处理

海上风电场数字孪生系统应把来自不同设备、各类传感设施、多样数据出处的数据加以整合,数据的格式、频率、精度等方面显示出非一致性,数据融合及处理的难度颇高,为处理好多源数据融合与处理相关问题,要打造统一化的数据标准及接口规范,采取数据筛选、数据更替、数据融合等技术,实施多源数据预处理及融合操作,为构建数字孪生模型及开展运维决策供给高质量数据。

5.2 成本与效益层面的挑战

5.2.1 初期投入成本高

打造海上风电场数字孪生系统需耗费大量资金在硬件设备购买、软件开发、数据采集及处理、人员培训方面,从一些规模较小的风电场角度看,说不定会陷入较大资金困局,为缩减初期投入经费,可借助模块化、轻量化的设计理念开展,分阶段推进数字孪生系统搭建,优先择取关键设备、重点区域进行试点探索,待成效得到体现后开展全面推广。

5.2.2 投资回报周期长

数字孪生技术在海上风电场运维决策应用里的效益,需一定时间才得以体现,投资实现回报的周期相对漫长,此

举或许会削弱企业应用数字孪生技术的主动性,为达成缩短投资回报的周期,要进一步强化对数字孪生技术应用效应的评估分析,及时改变运维策略和管理模式安排,全力挖掘数字孪生技术潜力,增强风电场运维效率及经济利益,迅速实现投资资金回笼。

5.3 管理与人才层面的挑战

5.3.1 组织管理模式变革

数字孪生技术的引入,要求对海上风电场旧有组织管理模式作出变革,适应数字化运维态势,这大概涉及部门职责的重新界定、业务流程的重塑、人员岗位的调换等范畴,容易激起内部的矛盾与阻力,为驱动组织管理模式实现变革突破,应强化企业内部沟通协作,明确各部门在数字孪生系统建设与应用阶段的责任和分工内容,构建适配的绩效审核体系,促成变革的平稳实施。

5.3.2 专业人才短缺

新兴交叉学科里有数字孪生技术这一学科,需有既掌握风电技术又擅长信息技术的复合型专业人才,该类专业人才呈现相对稀缺情形,限制了数字孪生技术在海上风电场里的应用落地及发展步伐,为化解专业领域人才短缺困境,企业应拓展与高校、科研机构的合作范畴,实施人才培养及招纳事项,与此同时强化内部员工培训与再教育,提升员工数字素养及业务能力。

6 结论

本文深入剖析数字孪生技术在海上风电场运维决策当中的运用,凭借建立海上风电场数字孪生模型,实现设备状态实时检视、故障预测以及运维决策制订与改良,数字孪生技术能切实解决传统运维决策遭遇的问题及挑战,带动海上风电场运维效率上扬,降低运维经费,增强发电效率及设备可靠度,海上风电场采用数字孪生技术,当前依然面对技术、成本效益、管理与人才等多层面的挑战,要政府、企业、科研机构等各方齐心协力,采用恰当办法予以处理。未来,数字孪生技术有望与人工智能、大数据、物联网、区块链等新兴技术深度融合,进一步提升海上风电场的智能化运维水平。

参考文献

- [1] 陈勇.海上风电场智慧数字化运维研究[J].中国设备工程,2024,(09):28-30.
- [2] 官峰,詹海宁,杨博,等.基于区块链技术的海上风电运维信息管理与安全性研究[J].信息记录材料,2024,25(05):38-40. DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2024.05.026.
- [3] 郑彦春,时旭航.全自主漂浮式海上风电场运维系统关键技术与系统架构探讨[J].科技资讯,2023,21(24):66-69. DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2311-5042-4143.
- [4] 陈金路,张翔宇,郑向远,等.海上风电智能运维关键技术与发展建议[J].海洋开发与管理,2023,40(06):117-128. DOI:10.20016/j.cnki.hykyfjgl.20230713.001.
- [5] 黄洪钧.基于海上风电场智慧数字化运维研究[J].能源与环境,2022,(06):70-71+74.