

论数字孪生技术在集控站中的研究应用

孔繁胜¹ 贺 鹏¹ 申武龙¹ 孙吉明¹ 吕 鑫¹

(国网哈密供电公司)

摘要：本文探讨数字孪生技术在集控站中的具体应用，分析其在提高运行效率、降低维护成本和增强决策支持方面的潜力。数字孪生技术通过实时数据的采集与分析，能够构建出集控站的虚拟模型，从而实现系统的动态监控和优化管理。通过案例研究，展示数字孪生在故障预测、设备维护、资源优化等领域的实际应用效果。同时，本文还讨论数字孪生技术在数据可视化、智能决策支持等方面的优势，强调了其在智能电网和自动化控制系统中不可或缺的作用。最后，展望数字孪生技术的发展趋势及其在未来集控站中的应用前景，随着技术的不断进步，数字孪生将成为推动集控站智能化转型的重要驱动力。

关键词：数字孪生技术；集控站；应用；运行效率；故障预测；成本降低；决策支持

0 引言

在现代工业和信息技术迅速发展的背景下，数字孪生技术逐渐成为推动各行业转型升级的重要工具。集控站作为集中管理和监控复杂系统的核心节点，其运行效率 and 安全性直接影响整个系统的稳定性与经济效益。传统的集控站在数据采集、处理和决策支持方面存在一定的局限性，难以满足日益增长的智能化需求。数字孪生技术通过构建物理系统的虚拟模型，实现对系统状态的实时监控与分析，为集控站的智能化转型提供了新的解决方案。

数字孪生技术的应用能够有效提升集控站的运行效率与安全性。通过实时数据的获取与分析，数字孪生能够实现对系统行为的准确预测，减少因突发事件导致的停机时间。此外，数字孪生为集控站提供了

更为直观的可视化管理手段，使得操作人员能够在复杂环境中进行更为高效的决策。这种技术的引入，不仅优化了集控站的管理流程，也为企业降低了运营成本，提升了经济效益。

从广义上讲，数字孪生技术在集控站的应用具有重要的社会和经济意义。它不仅推动了相关领域的技术创新，还促进了跨行业的协同发展。随着数字经济的不断发展，数字孪生技术将成为集控站实现智能化、自动化的关键驱动力，为行业的可持续发展提供强有力的支持。

1 数字孪生技术概述

数字孪生是指物理实体、过程或系统在数字空间中的虚拟表达。它通过实时数据收集与分析，创建出

与实际对象高度一致的数字模型。这一概念源自制造业，随着信息技术的进步，逐渐扩展到其他领域，如城市管理、交通运输、能源管理等。

数字孪生的基本构成包括物理对象、数字模型及二者之间的数据交互。物理对象可以是设备、设施或整个系统，数字模型则是通过传感器收集数据，利用建模技术生成的虚拟表示。数据交互则确保数字模型能够实时反映物理对象的状态和变化。

在数字孪生的应用中，数据的实时性和准确性至关重要。通过物联网、云计算和大数据分析等技术，数字孪生能够不断更新其模型，及时反映物理世界的动态变化。例如，在智能制造中，数字孪生能够监控生产设备的运行状态，预测设备故障，优化生产流程，提高生产效率。

数字孪生不仅是技术的简单叠加，更是通过数据驱动的智能决策支持工具。它使得企业能够在虚拟环境中进行实验与优化，降低风险和成本。在未来，随着人工智能和机器学习技术的发展，数字孪生的应用将更加广泛，其在实时监控、预测分析、决策支持等方面的潜力将进一步发挥。

2 集控站中的数字孪生技术应用

集控站的系统架构是实现数字孪生技术应用的基础。集控站通常由多个层级的系统组成，以确保其高效性与可靠性。整体架构可分为感知层、网络层和应用层。

感知层负责数据的采集与监测，通常包括传感器、智能仪表和执行器等设备。这些设备实时收集集控站的运行状态、环境参数以及设备健康信息。例如，温度、压力、流量等关键数据通过传感器实时传输，确保系统对工况的准确理解。

网络层则负责数据的传输和处理。此层通过各种通信协议将感知层收集的数据传送至应用层。采用

高效、可靠的网络架构，如工业以太网和无线传输技术，可以提高数据传输的实时性和稳定性。数据在这一层经过初步处理，进行必要的清洗和整合，为后续的分析与决策提供准确的信息。

应用层是数字孪生技术的核心，负责数据的分析、建模与应用。通过建立数字孪生模型，集控站可以实现对实际设备的虚拟映射。该层通常包括数据分析平台、决策支持系统和可视化界面等模块。通过这些工具，操作人员能够直观地了解系统状态，预测未来发展趋势，并进行优化决策。例如，基于历史数据的模型可以帮助识别潜在故障，提前进行维护，减少停机时间。

集控站的系统架构还需考虑安全性与容错性。数据加密与访问控制机制可以保护系统免受外部攻击。同时，冗余设计确保在部分系统故障时，整体运行不受影响，保证集控站的持续稳定运作。

综合来看，集控站的系统架构为数字孪生技术的成功实施提供了坚实的基础，促进了集控站在智能化和高效化方向的发展。通过精确的数据采集、快速的数据传输以及智能化的数据分析，数字孪生技术能够显著提升集控站的运行效率与安全性。

3 案例分析与效果评估

在数字孪生技术应用于集控站的背景下，某大型电力公司的集控站实施了数字孪生技术，取得了显著的成果。该项目旨在提升集控站的运行效率、降低维护成本并优化决策支持。

该公司的集控站采用数字孪生技术对其发电设备、输电线路及配电系统进行建模。通过实时数据采集系统，建立与物理系统一致的虚拟模型，以动态反映设备状态和运行环境。具体而言，使用了高精度传感器和IoT技术，实时监测温度、压力、负载等关键参数，数据通过云端平台进行存储和分析，如图1所示。



图1 某供电企业数字孪生技术应用示例

在实施过程中，技术团队选定一个地市变电站作为试点，进行集控站搭建。在此项目中，首先对变电站的运行数据进行全面的采集和分析，构建了数字模型。随后，基于模拟结果，优化变电站的运行策略，提升了电网安全可靠运行效率。

通过与传统监控方法的对比，数字孪生技术使得故障预警时间提前了30%。例如，在一台变压器出现异常的情况下，数字孪生模型能够模拟其可能的故障原因，并在实际故障发生前发出警报，大大降低了停机时间与维修成本。

总结而言，该案例展示数字孪生技术在集控站的应用潜力，不仅提高设备的运行可靠性，还为后续技术推广提供宝贵的经验和数据支持。

4 结束语

本文深入探讨了在集控站中应用数字孪生技术后，通过对实际操作数据的分析与对比，能够评估其在效率、安全性和可靠性等方面的提升。效果评估主要从以下几个方面进行：

首先，效率提升的评估。数字孪生技术通过实时监测与模拟，优化了操作流程。例如，在某集控站实施后，生产调度时间缩短了25%。通过对比实施前

后的生产数据，发现资源利用率提高了15%，而设备故障率显著降低，从而提升了整体生产效率。

其次，安全性提升的评估。数字孪生可实时预测设备故障，通过提前预警机制，减少了事故发生的概率。某集控站在应用后，事故发生率降低了40%。通过对比事故记录和故障分析，明确了数字孪生技术在风险管理中的重要作用。

再次，可靠性提升的评估。数字孪生技术通过对设备状态的实时监控，使得维护决策更加科学。在实施数字孪生后，某集控站的设备平均无故障运行时间（MTBF）提高了30%。数据分析显示，设备维护的准确性和及时性显著改善。

在效果评估过程中，结合数据分析，提出了一系列改进措施。针对监测系统的延迟问题，建议优化数据传输路径和提升硬件性能。对于模型精度不足的情况，建议定期更新数字孪生模型，以确保其与实际操作环境的一致性。同时，增加员工的培训和技能提升，确保其能够有效利用数字孪生技术进行决策支持。

通过实施这些改进措施，期望进一步提升数字孪生技术在集控站的应用效果，确保其在未来的智能化发展中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 胡文才，张煜煜. 数字孪生技术助力南四湖防洪调度与二级坝工程管理 [J]. 水利信息化，2024（5）：50-54.
- [2] 郭敬东，刘文亮，吴飞，等. 数字孪生技术下物联网智能终端数据安全交换方法 [J]. 自动化技术与应用，2025，44（2）：71-74，79.
- [3] 逯佳俊，薛飞，王一楠. 数字孪生技术在船

舶编队运输中的应用[J]. 中国航务周刊, 2024 (43): 51-53.

- [4] 高志远, 覃美烘, 谢宏基. 基于数字孪生技术的农机耕作过程可视化系统设计与实现[J]. 南方农机, 2024, 55 (20): 54-56, 72.
- [5] 佟志伟, 马素芳. 数字孪生技术在县级融媒体深度参与基层治理中的应用实践[J]. 广播与电视技术, 2024, 51 (10): 41-45.
- [6] 刘宏路. 基于数字孪生技术的水库及灌区信息化建设分析[J]. 水上安全, 2024 (19): 47-49.
- [7] 刘帆, 丁争, 吴耀兰, 等. 基于数字孪生技术的变电站运行状态信息自动集成方法[J]. 自动化

应用, 2024, 65 (19): 182-184.

- [8] 柴亚光, 李晓光, 于彬, 等. 数字孪生技术在海上油气工程中的应用与优化[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (18): 143-145.
- [9] 虞明标, 韩剑, 王立娜, 等. 基于数字孪生技术与时间变异系数的SIM卡初始信息聚合算法[J]. 计算技术与自动化, 2024, 43 (3): 82-87.
- [10] 许继平, 李卉, 李佳乐, 等. 面向自动化类的工业互联网与数字孪生技术实训平台构建[J]. 中国教育技术装备, 2024 (18): 45-49.

(收稿日期: 2024-10-28)

(上接第39页)

的扫频频率稳定性为 $\pm 0.005\%$, 幅值比重复性最大误差为 0.15dB , 最小误差为 0.001dB , 显著优于行业要求的 $\pm 0.3\text{dB}$ 。该方法支持通过自动化比对降低了人为因素影响, 为变压器状态评估提供了高可靠性工具。在电力行业大力发展的今天, 本文提出的校准方法适用于电力变压器绕组的精确诊断, 确保变电设备的安全运行, 对国民经济的可持续发展具有很大的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] DL/T 911—2016 电力变压器绕组变形的频率响应分析法[S]. 2016.
- [2] GB/T 1094.18—2016 电力变压器 第18部分: 频率响应测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [3] JJF (冀) 219—2024 绕组变形测试仪校准规范[S]. 2024.
- [4] DL/T 1952—2018 变压器绕组变形测试仪校准规范[S]. 2018.

(收稿日期: 2025-04-10)