

# 数字孪生系统在极端天气下的应急保障实际应用及提升供电可靠性研究

侯丹颖

宁波轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 数字孪生技术在供电领域展现出巨大潜力,通过构建虚拟镜像实现实时监控与预警。在极端天气下,该系统能全面采集数据、模拟故障场景并制定防控方案,有效指导应急抢险。同时,数字孪生技术还助力设备状态预知、运行策略优化、故障快速恢复及供电系统规划与升级,显著提升供电系统的可靠性和稳定性,为电力服务提供有力保障。

**关键词:** 数字孪生技术; 供电系统可靠性; 应急保障

## 引言

随着电力需求的不断增长,供电系统的可靠性和稳定性成为关键。数字孪生技术作为一种前沿的创新理念,通过构建与现实物理系统精确对应的虚拟模型,实现了对供电系统的全面监控和智能管理。在极端天气条件下,供电系统面临严峻挑战,数字孪生技术的应用为应对这些挑战提供了新的思路和方法。本文将深入探讨数字孪生技术在极端天气下的应急保障作用及其如何助力供电系统可靠性的提升。

## 1 数字孪生技术概述

数字孪生技术作为一种前沿的创新理念,在供电领域展现出了巨大的应用潜力。其核心在于构建一个与现实物理系统精确对应的虚拟镜像,通过实时交互机制,实现两者间的无缝链接。在复杂的供电网络中,该技术依赖于广泛的传感设备部署,针对变电所、高架线路段及地面主变电所等关键设施进行全面监控,持续捕获设备运行过程中的详尽数据。基于这些实时采集的数据,数字孪生技术能构建出与实际供电设施高度一致的虚拟模型。该模型精确反映了实体设施当前的运行状态与性能特征,还能深入揭示其潜在的变化趋势与规律。通过持续的数据更新与模型迭代,数字孪生系统能敏锐地捕捉到设施运行中的细微偏差与异常,为后续的故障预警、性能评估及优化策略制定提供了坚实的基础。在极端天气条件下,供电系统往往面临严峻挑战。数字孪生技术的应用,提升了供电系统在应对这些极端情况时的可靠性与韧性。通过对历史天气数据与供电设施运行数据的综合分析,数字孪生模型能够预测极端天气对供电系统可能产生的影响,提前制定针对性的应急保障措施。在极端事件发生时,数字孪生系统还能迅速定位故障

点,指导现场抢修工作,有效缩短停电时间,确保供电服务的连续性与稳定性。

## 2 数字孪生在极端天气下针对变电所、高架段、地面主变电所的实际应用研究

### 2.1 极端天气前的数据全面采集与分析

在极端天气即将来袭之际,数字孪生系统迅速进入备战状态,开展全方位、精细化的数据采集作业。同时,借助环境监测设备,对变电所室内的湿度、温度、有害气体浓度等环境指标进行持续追踪,确保设备运行环境的适宜性。地面主变电所则综合运用各类传感器,全面收集设备运行数据,并对周边地形、地质条件以及气象微环境进行监测。积极与气象部门建立数据交互通道,获取精准的极端天气预测数据,如强风的风速、风向及持续时长,暴雨的降水量、降水范围等信息。所有采集到的数据通过高速、稳定的通信网络,以加密形式快速传输至数字孪生平台。平台运用先进的大数据分析算法与机器学习模型,将实时数据与正常天气条件下的历史数据进行深度比对与挖掘。立即触发预警机制,以短信方式向相关运维人员发送警报,为提前实施防护措施赢得宝贵的时间窗口,增强了对极端天气引发故障的预警防控能力。

### 2.2 极端天气下故障场景模拟与防控方案制定

(1) 基于前期全面且精确的数据采集,数字孪生系统能够启动针对极端天气的故障场景模拟程序。该程序依据各关键设备的设备特性、运行参数及环境因素,构建出高度逼真的物理模型,并结合实时气象数据,模拟极端天气条件下的复杂工况。通过模拟暴雨、强风、暴雪等极端天气对供电设施的影响,系统能够详细分析故障发生时的电流、电压突变特征,以及故障在供电网

络中的传播路径与影响范围,精准预估受影响的供电区域、停电用户数量及停电时长。(2)根据模拟结果,数字孪生系统能够迅速生成定制化的预警防控方案。在人员调配方面,依据故障风险区域分布,提前部署抢修队伍,并制定详细的应急响应流程;在物资储备上,确保排水泵、应急照明、备用电源及抢修工具等物资充足;在电力负荷转移策略上,提前规划负荷转移路径,以有效缩小停电范围。(3)通过综合措施的有效实施,数字孪生技术在供电系统中发挥了巨大作用。在极端天气条件下,该技术能够精准模拟供电系统的运行状态,及时发现并预警潜在故障,从而提升系统的综合应对能力。它增强了供电网络的韧性,还确保了供电服务的连续性和稳定性,有效降低了因天气原因导致的停电风险。数字孪生技术的应用,为供电系统的安全高效运行提供了有力保障,提升了电力服务的可靠性和质量<sup>[1]</sup>。

### 2.3 极端天气应急抢险中数字孪生系统的实时监控与策略优化

在极端天气的应急抢险过程中,数字孪生系统扮演着至关重要的角色,成为应急指挥的核心枢纽。该系统与现场作业人员的智能终端设备保持紧密的通信联系,确保能够实时、准确地捕捉变电所周边、高架段沿线以及地面关键设施的实际状况。在应急响应展开期间,数字孪生系统不仅持续监控着各关键点的动态变化,还具备高度的灵活性和应变能力。遭遇如道路被洪水淹没、暴雪严重阻碍交通等突发状况,导致抢险队伍和物资无法按预定计划及时到达现场,系统便立即启动应急调整机制。依托其强大的数据分析和决策支持功能,数字孪生系统能够迅速评估当前形势,对原有的应急方案进行智能化优化。它运用地理信息系统(GIS)技术,重新规划出最为高效、可行的抢险路线,确保抢险力量能够以最短的时间抵达受灾区域。系统还积极协调周边区域的抢险资源,实现跨区域的快速支援和协同作战。数字孪生系统还通过实时监测和数据分析,为抢险指挥提供科学依据,确保应急抢险工作能够有条不紊地进行。在系统的助力下,抢险效率得到显著提升,受灾区域的影响得到有效控制,最大限度地减轻了极端天气对社会正常秩序和民众生活的冲击。在灾害发生时,数字孪生技术的运用限于路线规划和资源调配。它还能模拟灾害对基础设施的潜在影响,指导救援人员采取最合适的应对措施。通过模拟不同抢险方案的可能结果,系统帮助决策者选择最佳行动路径,减少不必要的风险和损失。数字孪生系统还能够实时更新受灾区域的三维模型,为指挥中心提供直观的灾情展示,辅助决策者做出更加精准的

判断。这种技术的综合运用,使得应急响应更加迅速和高效,提高了救援行动的成功率。

## 3 数字孪生技术助力供电系统可靠性提升

### 3.1 设备状态提前预知与维护

(1)数字孪生技术在供电系统的设备状态提前预知方面展现出了巨大潜力。供电系统包含众多关键设施,其长期运行会产生大量数据。数字孪生系统能够全面收集这些数据,并运用其强大的数据处理和分析能力,对设备的运行状态进行深度剖析。以变电所的变压器为例,系统通过挖掘油温、绕组温度等关键参数的历史数据,构建精确的温度变化趋势模型,从而敏锐捕捉到油温上升速率的异常变化,提前预警潜在的安全隐患。

(2)在设备维护方面,数字孪生技术也提供了创新的解决方案。对于断路器等关键设备,系统通过关联分析分合闸次数、动作时间等多维度数据,精准预测其机械与电气性能的衰退趋势。在高架段,系统则融合图像识别技术与传感器数据,对导线和绝缘子进行实时监测,如果发现设备参数偏离正常运行区间,便迅速启动故障预测程序。(3)数字孪生系统的故障预测能力为运维人员提供了精准的决策支持。如预测到设备存在故障风险,系统将生成详细的故障预测报告。运维团队依据报告内容,提前制定维护计划,并在设备性能劣化但尚未引发严重故障之前,采取针对性的维护措施。这有效避免了停电事故,还延长了设备使用寿命,降低了运维成本,明显提升了供电系统的可靠性和稳定性。通过实时监控和分析设备运行数据,数字孪生技术能够识别潜在的异常模式,实现故障预警。这种先进的预测性维护策略,提高了电力系统的运行效率,还确保了供电的连续性和安全性。运维人员能够根据系统提供的预测信息,优化资源配置,减少紧急维修的频率,在保障电力供应的同时,也提升了整个系统的经济效益<sup>[2]</sup>。

### 3.2 运行策略优化调整

数字孪生技术在供电系统运行策略优化调整方面发挥着至关重要的作用。该技术构建的高度仿真模型,能够精确复刻供电系统在各种工况下的运行状态,为优化运行策略提供了坚实的数据基础和科学的决策依据。在负荷高峰期,供电系统面临着巨大的压力,此时数字孪生模型通过模拟多种电网拓扑结构调整方案,深入分析电力在变电所、高架段、地面主变电所及整个供电网络中的分配情况。通过对不同方案的模拟运行和数据分析,模型揭示出最优的电力传输路径和分配策略,确保电力在复杂的供电网络中实现高效、稳定的传输。为了实现更精准的优化,数字孪生模型引入智能算法,如遗

传算法和粒子群优化算法。这些算法根据实时的负荷需求数据、供电设备的额定容量以及当前运行状态,动态生成最优的电力分配方案。该方案考虑了电力传输的效率和稳定性,还充分兼顾了分布式电源、储能设备与常规电网电源之间的协同调度。通过合理安排各类电源的出力,使它们能够根据系统需求灵活分担负荷,实现资源的优化配置。通过持续对变电所、高架段、地面主变电所运行策略进行优化,数字孪生技术确保了供电系统在不同工况下都能保持高效、稳定的运行状态。这种优化提高了供电系统的可靠性和电能质量,还降低了能源损耗,为社会经济的可持续发展提供了有力的电力保障<sup>[3]</sup>。

### 3.3 故障快速恢复与协同处理

(1) 数字孪生系统在供电系统故障快速响应方面发挥着关键作用。当系统出现故障时,数字孪生能够迅速利用其强大的故障定位和分析能力,对故障进行精准判断。它整合故障录波数据、智能电表实时采集的数据以及传感器监测的设备状态信息,通过先进的故障诊断算法,快速且准确地确定故障发生的具体位置和类型。无论是变压器内部的短路故障、高架段线路的断线问题,还是地面主变电所的母线故障,数字孪生系统都能在极短时间内做出精确的诊断。(2) 数字孪生系统基于预先构建的故障场景模拟库和应急方案知识库,能够高效调配抢修资源,组织多部门协同作战。调度部门依据系统提供的详细负荷转移策略,迅速调整电网运行方式,将故障区域的负荷安全、有序地转移至其他正常线路或备用变电所,从而最大限度地缩小停电范围,减轻故障对社会生产生活的影响。(3) 在抢修过程中,数字孪生系统通过移动终端与现场人员保持实时通信,持续跟踪抢修进度,确保各部门工作无缝衔接。若遇到现场环境复杂等突发情况,导致抢修难度增加,系统能够迅速调整抢修方案,及时调配更多资源和力量进行支援。运维团队在系统的指导下,携带专业检修工具和备品备件,以最优路径迅速赶赴现场进行维修,确保故障得到快速、有效的处理,进一步提升供电系统的可靠性和稳定性。

### 3.4 辅助供电系统规划与升级

在规划新的供电设施时,借助数字孪生系统可构建

虚拟模型,模拟不同建设方案下供电系统的运行情况。结合区域未来的用电需求增长预测、地理环境因素以及现有供电网络布局,该模型能对多种规划方案进行全面评估。在规划新的变电所选址和容量配置时,数字孪生模型通过模拟不同位置和容量的变电所接入后的电力潮流分布、电压稳定性以及设备负载率等指标,为规划人员提供直观且详细的数据参考。这有助于规划者确定最优的变电所建设方案,确保新建设施既能满足未来的用电需求,又能与现有供电网络实现良好的协同运行,避免出现供电能力不足或设备利用率低下的情况。对于供电系统的升级改造项目,数字孪生技术同样能发挥关键作用。在对老旧设备进行升级时,数字孪生系统可模拟升级过程中以及升级后的系统运行状态,提前评估升级方案可能带来的影响。通过分析不同升级方案下系统的可靠性指标变化、能源损耗降低程度以及对供电质量的改善效果等,为选择最合适的升级策略提供科学依据<sup>[4]</sup>。

### 结束语

数字孪生技术在供电系统的应用,不仅提升了系统的可靠性和稳定性,还为应对极端天气等突发情况提供了有力的应急保障。通过实时监控、故障预警、运行策略优化以及辅助规划与升级,数字孪生技术为供电系统的安全高效运行提供了全方位的支持。未来,随着技术的不断发展和完善,数字孪生技术在供电领域的应用前景将更加广阔,为电力行业的可持续发展注入新的活力。

### 参考文献

- [1]阮前途,叶荣.保障极端天气下供需安全的新型电力系统电源规划[J].电力系统自动化,2025,49(4):103-115.
- [2]刘文霞,刘佳怡,万海洋,王雅姝,张帅,冯伟,杨天蒙.面向多类型极端天气的新型电力系统规划方案全场景风险评估[J].电力系统自动化,2025,49(4):65-78.
- [3]王文海,刘沛宇,谢辰承,武岳.基于数字孪生的工业互联网系统综合安全分析与验证平台[J].自动化博览,2025,42(1):24-28.
- [4]葛水金,宋雪,樊雪莲.数字孪生技术在城市排水系统中的进展与挑战[J].可持续发展,2025,15(1):46-54.