

电力技术

数字技术在变电检修作业流程优化中的应用

周航 张滢蕊

国网中卫供电公司 宁夏回族自治区中卫市沙坡头区 755000

【摘要】数字技术正在显著优化变电检修的流程和管理方式，通过物联网、大数据分析、人工智能、数字孪生、云计算和增强现实等技术，传统的检修方式从依赖人工经验逐步转向数据驱动和智能化操作。本文从传统检修作业的现状与问题入手，分析了数字技术在检修流程中的具体应用，包括设备状态监测、故障预测、检修计划优化和操作辅助等，提出了基于数字技术的检修流程优化路径，为提升变电检修效率和安全性提供了科学依据。

【关键词】变电检修、数字技术、智能化管理、流程优化

Application of digital technology in the optimization of substation maintenance operation process

Zhou Hang Zhang Yingrui

State Grid Zhongwei Power Supply Company Ningxia Hui Autonomous Region Zhongwei City Shapotou District 755000

【Abstract】Digital technology is significantly optimizing the process and management of substation maintenance, through the Internet of things, big data analysis, artificial intelligence, digital twin, cloud computing and augmented reality technology, the traditional maintenance mode from relying on manual experience gradually to data driven and intelligent operation. From the present situation and problems of traditional maintenance operation, analyzes the concrete application of digital technology in the maintenance process, including equipment condition monitoring, fault prediction, maintenance plan optimization and auxiliary operation, etc., puts forward the maintenance process optimization path based on digital technology, to improve the substation maintenance efficiency and safety provides a scientific basis.

【Key words】substation maintenance, digital technology, intelligent management, process optimization

一、引言

变电站是电力系统运行的核心环节，其设备的安全稳定运行直接关系到电力供应的可靠性。然而，传统变电检修作业存在诸多问题，如检修计划制定依赖经验、数据采集分散、信息共享不足等，难以满足现代电力系统对高效运维的要求。近年来，数字技术的快速发展为变电检修流程的优化提供了全新的解决方案。通过物联网、大数据分析、人工智能、云计算和增强现实等技术，可以实现设备的实时监控、故障预测、检修作业的标准化与智能化操作，以及跨部门协同管理。本文旨在通过系统分析数字技术的具体应用，探讨其在优化变电检修流程中的实践路径，为电网智能化运维提供理论支撑和实践参考。

二、变电检修作业的现状与问题分析

随着变电检修任务的复杂性和规模的增加，传统检修作业流程的不足之处愈发显著。其中，数据管理分散且难以追溯是首要问题。传统检修过程中，数据采集和存储分散在不同设备和部门之间，缺乏统一的数据库和管理平台。这种分

散管理的模式不仅增加了检索和调用数据的难度，还导致数据分析能力的缺失，难以为后续的检修决策提供有效支撑。

信息共享不足和跨部门协调困难也是亟待解决的痛点。检修任务通常需要多个部门协同配合，例如运行部门、维护部门和调度中心。然而，由于信息流转不畅，不同部门之间的工作安排和资源调度容易出现冲突。这种沟通不畅不仅延误了检修进程，还可能引发安全隐患。

此外，实时监控和故障分析能力的缺失使得检修作业的动态调整和优化变得困难。在传统作业模式下，设备状态的监控主要依赖人工巡检和定期检测，难以及时发现潜在问题。一旦发生故障，数据的分散性和滞后性又限制了故障诊断和分析的速度，增加了设备非计划停运的风险。

三、数字技术在变电检修中的应用分析

3.1 物联网（IoT）技术

物联网技术在变电检修中的应用日益广泛，通过智能终端设备的使用，极大地提升了数据采集和实时传输的能力。传感器和巡检机器人是IoT技术在变电检修中最为显著的应用。例如，安装在变电站设备上的多功能传感器可以实时监

测电流、电压、温度等关键参数，同时捕捉设备的异常振动和噪声信号。这些数据不仅可以实时传输到云端平台，还能与历史数据进行比对分析，从而为设备运行状态提供全面、精确的评估。

巡检机器人则进一步减轻了传统人工巡检的压力。这些机器人能够在无人干预的情况下完成高精度巡检任务，特别是在高温、高压等危险区域，其优势更加突出。它们配备的高清摄像头和红外检测装置，可以捕捉设备的微小变化并自动生成报告。此外，基于 IoT 技术的网络架构，这些智能设备之间可以实现协同工作，共享采集到的数据，提升整体检修效率。

3.2 大数据分析技术

大数据分析技术在变电检修中的应用主要体现在数据的存储、挖掘和决策支持方面。变电站设备在运行中产生海量数据，传统数据管理模式难以满足存储和分析需求，而大数据平台为这些数据的集中管理和深度挖掘提供了可靠的解决方案。通过构建统一的数据库，所有设备的历史运行数据、检修记录以及故障日志均可实现集中存储与管理。这不仅提高了数据的可追溯性，还为后续分析提供了全面的数据基础。

大数据分析在故障预测与检修策略优化中扮演了关键角色。通过对历史故障数据的统计和分析，可以提取出设备故障的规律和趋势。例如，某些设备在特定运行时间后更容易发生某类故障，这为预测设备的潜在问题提供了依据。此外，基于大数据分析的结果，可以对检修策略进行优化，如调整检修周期、优先处理高风险设备等。这种以数据驱动的检修决策不仅提升了检修效率，还有效降低了非计划停运的概率。

3.3 人工智能 (AI) 技术

人工智能技术的引入为变电检修带来了显著的技术升级。在语音识别与辅助操作系统方面，AI 技术使得现场操作人员能够通过语音指令完成信息查询和设备操作，从而解放双手，提高工作效率。例如，操作人员可以通过语音输入查询某台设备的运行状态或调取历史检修记录，而无需通过繁琐的手动操作。这种语音交互方式尤其适合复杂的检修场景，在保证信息获取效率的同时也降低了出错率。图像识别技术是 AI 在变电检修中的另一重要应用，特别是在设备故障诊断领域发挥了重要作用。通过安装在巡检机器人或固定点的高清摄像头，AI 算法可以实时分析设备的外观状态，例如发现裂纹、变形或异常污垢等问题。相比于传统的人眼巡检，AI 图像识别不仅速度更快，而且精度更高。此外，结合红外成像技术，AI 可以对设备的热分布进行分析，发现可能存在的过热或散热不均等隐患。人工智能技术通过深度学习和数据分析，大幅度提升了变电检修的智能化水平。语音识别简化了操作流程，图像识别提高了设备诊断的准确性，这些技术的应用共同推动了检修作业向自动化、精准化的方向发展。

3.4 数字孪生技术

数字孪生技术是当前变电检修领域的核心创新之一，其通过建立设备的数字模型，实现物理设备与虚拟空间的双向映射，为设备的运行监测与检修优化提供了全新的解决方案。在变电站中，通过高精度建模技术将设备的结构、性能参数、运行状态等信息以数字化形式展现，可以创建一个实时更新的“虚拟孪生体”。这个数字模型不仅能够反映设备的当前状态，还能预测设备的未来行为，从而为检修工作提供精确的数据支持。

虚拟检修流程模拟与优化是数字孪生技术的另一重要应用。在数字环境中，检修人员可以通过模拟不同的操作步骤和检修场景，验证各种操作的可行性及风险。这种虚拟模拟能够帮助优化检修流程，提前识别可能的问题，并制定更高效的操作方案。特别是在复杂设备的检修中，这种技术可以极大地降低风险，确保作业安全 and 质量。

3.5 云计算与边缘计算技术

云计算与边缘计算技术在变电检修中的融合应用，为数据的存储、处理和分析提供了强有力的支持。云平台在检修计划管理与数据整合方面具有显著优势。通过云计算技术，分布在不同区域的变电站设备数据可以实现集中管理，所有的运行数据、历史检修记录和故障日志均可存储于统一的云平台中。基于这一平台，检修计划可以结合设备的实时状态和历史数据进行动态调整，从而提升计划的精准性和执行效率。边缘计算则通过在靠近设备端布置计算节点，实现了实时数据处理与反馈。在变电站现场，边缘设备能够实时采集关键数据，如电流、电压和温度变化，并进行初步分析。如果检测到异常信号，这些边缘设备可以直接触发告警并反馈至云平台，大幅缩短响应时间。同时，边缘计算还可以在本地完成部分复杂的数据处理任务，减轻云平台的负担，提高系统整体的运行效率和稳定性。云计算和边缘计算技术的结合，构建了一种灵活、高效的数据处理架构。这种架构不仅提高了检修数据管理的智能化水平，还提升了设备运行状态的实时监控能力，为变电检修的科学决策提供了强大的技术支撑。

3.6 移动终端与 AR 技术

移动终端与增强现实 (AR) 技术的应用，为现场检修人员提供了全新的操作工具和作业体验。移动终端，如平板电脑和智能手机，成为检修人员随身携带的数字助手。这些设备通过内置的应用程序，能够实时访问设备运行数据、检修计划和操作指导等信息。例如，检修人员可以通过移动终端查看某台设备的数字孪生模型，直接在现场获取设备的运行状态和故障分析结果。这种便捷的信息获取方式大幅度提升了现场作业效率。增强现实技术更是将传统的作业指导与培训方式提升到了新的高度。通过 AR 眼镜或移动终端，检修人员可以在设备面前看到叠加的虚拟操作指引。例如，当需要拆解一台复杂设备时，AR 技术可以实时展示每一步操作的关键步骤和注意事项。这种技术不仅降低了操作难度，

还有效减少了因经验不足而导致的误操作。此外,AR技术还可用于远程指导,资深专家通过AR平台实时为现场人员提供支持,大幅提高检修效率和质量。

四、数字技术优化变电检修流程的具体路径

4.1 检修流程数字化管理

检修流程数字化管理是变电检修领域实现效率提升和科学化决策的核心路径之一。通过自动化的检修计划编排与任务分配,传统依赖人工制定和调度的方式得到了根本性的改进。在数字化系统中,设备的运行数据和检修需求能够被实时汇总并分析,系统可以根据设备的重要性、故障历史和当前运行状态自动生成优化的检修计划。任务分配也通过系统智能分派至相关人员或部门,确保资源的高效利用和检修进度的顺利推进。基于历史数据的检修周期优化是数字化管理的重要组成部分。系统能够通过对设备历史运行记录和故障频率的分析,动态调整检修周期。例如,对于故障率较低的设备,可以适当延长检修周期,以降低维护成本;而对于高风险设备,则可以缩短周期,确保设备安全运行。通过这一数据驱动的检修策略,数字化管理不仅提高了检修工作的精准性,还显著减少了非计划性停运的发生。

4.2 实时监控与反馈机制

实时监控与反馈机制是数字技术在变电检修流程优化中的重要应用,直接提升了作业的安全性和效率。通过远程监控设备运行状态,变电站的运维人员可以实时掌握关键设备的工作情况。配备智能传感器的设备能够在异常情况发生时立即向监控中心发送报警信息,使故障能够在早期被发现和处理,避免事态进一步恶化。远程监控不仅减少了人员巡检的频次,还提升了检修的响应速度。

在检修作业过程中,实时追踪和质量评价机制发挥了重要作用。数字化系统能够通过现场传感器、移动终端或视频监控,实时记录检修人员的操作过程。这些数据可以用于监测作业是否按照规范执行,同时在任务完成后对作业质量进行综合评价。这种机制不仅保障了检修工作的高质量完成,还为后续的作业优化提供了可靠的依据。

4.3 检修作业标准化与智能化

检修作业标准化与智能化是提升变电检修流程科学性和可靠性的重要途径。智能设备操作流程规范化能够将复杂的检修任务分解为清晰的步骤,通过标准化的操作流程减少

人为错误的可能性。例如,基于设备数字孪生模型,可以为检修人员提供精准的操作指导,确保每个环节的操作符合技术要求。这种规范化流程不仅提升了作业质量,还大幅度缩短了检修时间。智能辅助系统的应用则进一步降低了人工操作的难度。例如,语音识别技术可让检修人员在操作过程中通过语音指令完成数据查询或任务调度;基于人工智能的辅助决策系统能够实时提供最佳的操作建议。智能化的检修作业有效地减轻了人员负担,同时提升了整体作业的精准度和效率。

4.4 协作平台的搭建

协作平台的搭建是实现跨部门信息共享和提升团队协作效率的关键手段。在传统检修流程中,各部门之间的信息流往往存在延迟或断层,影响了任务的整体进度和协调性。数字化协作平台通过集成运行数据、检修计划和任务进度,为所有相关部门提供了统一的操作界面。这种透明化的信息流转机制不仅减少了沟通中的信息误差,还加快了资源调度的响应速度。协作平台还可以显著提升团队的协同效率。例如,在紧急检修任务中,平台能够自动通知相关部门并提供实时的任务进展更新。各团队可以基于平台共享的动态信息快速调整工作计划,确保任务高效完成。此外,平台还支持检修记录的实时更新与归档,为后续工作提供数据支持和经验积累。通过数字技术搭建的协作平台,检修任务的执行不再是各自为战,而是形成了一个有机的整体。这种协作方式不仅优化了流程管理,还增强了变电检修团队的整体工作能力,为变电站的安全高效运行提供了可靠保障。

五、结论与展望

数字技术在变电检修中的应用正在从根本上改变传统的检修模式。通过引入物联网、大数据分析、人工智能和数字孪生等技术,不仅实现了设备状态的精准监测和故障的提前预测,还通过智能化管理提升了检修效率和安全性。同时,云计算和协作平台的搭建增强了部门之间的信息共享和任务协同,为变电站运维带来了全新的智能化管理模式。然而,技术的应用也面临数据安全、成本投入和人员培训等挑战,未来需在技术创新和实践推广方面不断探索。总体而言,数字技术为变电检修的优化提供了强有力的支撑,推动了电网运维向更加智能、高效和安全的方向发展。

参考文献

- [1]作业标准成本在电网设备检修项目可研评价中的应用[J]. 陶猛.中国新技术新产品, 2021(23)
- [2]变电站变电检修的工作要点和优化措施[J]. 邓爱军.科技创新与应用, 2018(25)
- [3]Y供电公司变电检修班组精益管理研究[D]. 陈思奇.扬州大学, 2022
- [4]T检修公司变电检修作业安全的风险管控研究[D]. 刘齐.天津工业大学, 2023
- [5]Q供电公司变电检修作业安全的风险管控研究[D]. 黄培珊.华侨大学, 2020