

基于 AI 的变电站智能运维技术研究

李永增 张志刚 周航

国网宁夏中卫供电公司

DOI:10.12238/jpm.v6i2.7725

[摘要] 随着智能化技术的飞速发展，人工智能（AI）在变电站的运维中逐渐展现出巨大的应用潜力。本文旨在探讨基于人工智能的变电站智能运维技术，研究其在设备监测、故障预测、智能诊断及自动化处理中的应用。通过对现有技术的分析，结合实际案例，提出 AI 在变电站智能运维中的优势与挑战，并探讨未来发展趋势。研究表明，AI 技术可以大幅提高变电站运维的效率与安全性，为电力行业提供更加可靠、智能的运维管理方案。

[关键词] 人工智能；变电站；智能运维；故障预测；设备监测；自动化

Research on substation intelligent operation and maintenance technology based on AI

Li Yongzeng Zhang Zhigang Zhou Hang

State Grid Ningxia Zhongwei Power Supply Company

[Abstract] With the rapid development of intelligent technology, artificial intelligence (AI) gradually shows great application potential in the operation and maintenance of substation. This paper aims to explore the intelligent operation and maintenance technology of substation based on artificial intelligence, and study its application in equipment monitoring, fault prediction, intelligent diagnosis and automatic processing. Through the analysis of existing technologies and combined with actual cases, the advantages and challenges of AI in the intelligent operation and maintenance of substation are proposed, and the future development trend is discussed. The research shows that AI technology can greatly improve the efficiency and security of substation operation and maintenance, and provide more reliable and intelligent operation and maintenance management solutions for the power industry.

[Key words] artificial intelligence; substation; intelligent operation and maintenance; fault prediction; equipment monitoring; automation

引言：

随着电力需求的持续增长和电网规模的不断扩大，变电站作为电力传输的重要环节，其安全运行和高效运维变得尤为重要。传统的变电站运维方式主要依靠人工巡检、定期检测及手动操作，存在响应速度慢、效率低、故障诊断不及时等问题。近年来，人工智能（AI）技术迅速发展，其在变电站智能运维中的应用为提升运维效率和保障电网安全提供了新的思路和方法。本文将重点研究基于 AI 技术的变电站智能运维技术，探讨其在设备健康监测、故障预测、智能诊断及自动化运维等方面的应用。通过对当前技术的梳理与分析，结合实际运用案例，深入探讨 AI 技术如何解决变电站运维中的瓶颈问题。

一、变电站智能运维概述

1.1 变电站运维的传统模式

变电站是电力系统中的重要组成部分，承担着将高电压电能转化为适用于用户的低电压电能的关键任务。传统的变电站运维模式主要依赖人工巡检、定期检测以及手动操作。这些传统方法依赖大量人力进行现场巡视，检查设备的运行状态、温度、振动等参数，遇到故障时则需要人工干预进行诊断与修复。然而，这种人工巡检方式存在多个局限性，首先是劳动强度大且易受人为因素影响，巡检人员可能疏忽漏检，导致设备故障的隐患未能及时发现。其次，传统模式无法实现实时监控，设备的潜在问题常常在发生故障后才会被察觉，造成了不可预见的停运和电力中断，影响了供电的稳定性。此外，传统运维模式的工作效率低，运维成本高，无法满足现代电网高效、安全、

智能化管理的需求。

1.2 智能运维的定义与特点

智能运维（Intelligent Operation and Maintenance）是借助先进的信息技术和人工智能技术，实现对变电站设备状态的实时监控、故障诊断、预测维护等功能，进而提高设备运维效率与可靠性。智能运维不仅能通过智能传感器对设备进行全面监测，还能够通过数据分析与模型预测，为决策提供支持，并自动调整运维策略。其特点在于高度依赖大数据、云计算、物联网（IoT）等技术进行设备状态的远程监控与数据采集，通过机器学习、深度学习等 AI 技术的辅助分析，能够对设备的潜在故障进行精准预测，从而实现提前预警、减少故障发生。

1.3 AI 技术在变电站中的应用背景

随着人工智能（AI）技术的快速发展，尤其是机器学习、深度学习和数据分析技术的应用，AI 已成为变电站智能运维的重要推动力。传统的运维方式虽然在过去几十年中有效保障了电力系统的稳定性，但随着电力需求的增长和电网规模的扩大，传统方法已经无法满足现代化变电站的高效运维需求。而 AI 技术则能够从数据中提取价值，通过精确的故障诊断、健康预测和自动化运维，提升变电站运维效率。

二、基于 AI 的设备监测与故障诊断技术

2.1 设备健康监测方法

设备健康监测是变电站智能运维的基础，通过实时监控变电站设备的运行状态，能够及早发现潜在的故障隐患。传统的设备监测方式依赖定期的人工检测和巡检，但由于时间间隔较长且人工巡检存在疏漏，往往错过了设备发生故障的最佳预警时机。而基于 AI 技术的健康监测方法，则通过部署传感器和智能终端，实时采集设备的运行数据，如温度、压力、振动等多项参数，并通过物联网技术将数据传输至云平台进行集中分析。这些数据经过机器学习算法的训练，可以实时生成设备的健康报告，帮助运维人员及时识别潜在的故障风险，采取有效措施。例如，南方电网通过在变电站内安装智能传感器，采集变电站设备的实时数据，并结合大数据分析技术，实现对设备运行状态的远程监控。该系统的实时监控功能确保了设备状态能够随时被掌握，并通过 AI 技术分析这些数据，在设备出现故障迹象时提前进行预警。具体展示变电站设备健康监测的效果，如表 1 所示。

表1 南方电网智能健康监测系统实施前后的设备故障率对比

项目	实施前	实施后	改善百分比
设备故障率	12%	8%	33.3%
设备检修响应时间	48小时	36小时	25%
系统检测准确率	70%	90%	28.6%

2.2 AI 技术在故障诊断中的应用

AI 在故障诊断中的应用主要体现在通过模式识别和智能算法分析设备运行数据，自动识别设备故障并进行诊断。传统的故障诊断主要依赖人工经验和设备手册，容易出现误诊或漏诊的问题，而基于 AI 的故障诊断技术则能够依托海量数据和强大的计算能力，通过机器学习模型不断优化诊断精度。通过

与历史故障数据的比对，AI 系统能够在设备发生故障前提前识别出异常信号，并提供详细的故障原因分析和解决方案。根据一项应用数据，基于 AI 的故障诊断系统能将变电站设备的故障响应时间缩短 20%至 30%。

2.3 监测数据的处理与分析

AI 技术在变电站运维中的应用，不仅仅依赖于数据的采集，更关键的是对这些数据的处理与分析。变电站设备的运行数据通常是大规模的多维数据，这些数据不仅包括温度、压力等传统参数，还涉及到设备的负载、振动频率等细节数据。为了从中提取有价值的信息，AI 技术采用了先进的数据处理方法，包括数据预处理、特征选择、降噪、异常值检测等。对于数据的分析，AI 技术通常采用机器学习和深度学习算法，基于大量历史数据训练模型，并通过实时数据与模型对比，判断设备是否存在潜在故障。举例来说，国家电网的“智慧运维平台”通过对变电站设备数据的深度分析，能够在异常状态发生前，通过算法预测并自动报警。通过这些分析与预测，国家电网的变电站故障率已经显著下降，运维效率提高了 25%以上，表 2 展示了数据分析模型对不同设备的故障预测准确率。

表2 不同设备故障预测准确率对比

设备类型	故障预测准确率
变压器	88%
开关设备	85%
断路器	90%
电缆系统	82%

三、AI 技术在故障预测与预防中的应用

3.1 故障预测的基本原理

故障预测是变电站智能运维中的一项核心技术，旨在通过对设备历史数据的学习和实时数据的监测，提前预测设备可能发生的故障。传统的运维方式主要依赖定期检查和设备寿命周期的管理，而故障预测则侧重于通过数据分析对设备的运行状态进行实时监控和评估，预测出设备可能出现的故障类型和故障时间。基于机器学习和深度学习的算法，可以通过不断学习设备的运行模式，识别出设备出现故障的前兆和趋势。以中国南方电网为例，其通过大数据分析与人工智能技术，构建了变电站设备故障预测模型。通过对设备的历史运行数据进行训练，AI 系统能够实时监控设备的状态，预测可能出现的故障并提前报警。根据统计数据，南方电网的变电站故障发生率在引入 AI 故障预测技术后减少了 18%，提升了电力供应的可靠性。

3.2 基于 AI 的故障预测模型

基于 AI 的故障预测模型主要依赖于机器学习和深度学习技术，尤其是支持向量机（SVM）、神经网络（ANN）、决策树（DT）等算法。通过对设备的运行数据进行学习，预测模型能够识别出设备在正常运行时的各项指标和数据规律，在发生异常时进行异常检测，从而预测故障的发生。机器学习模型不仅可以用于单一设备的故障预测，还能够对整个变电站的运行状态进行整体评估，为运维决策提供科学依据。国网电力科学研究院在此方面的应用中，通过支持向量机算法建立了变电站设

备故障预测模型。在试点变电站中,该预测模型能够提前 30 天发现设备的潜在故障,极大地降低了运维成本并提高了设备的使用寿命。通过这些 AI 技术的辅助,故障预测的准确性已经达到了 85%以上,提前预警的时间可根据设备不同而有所差异。

3.3 预测结果的优化与决策支持

故障预测结果的优化是 AI 技术在变电站智能运维中的重要应用之一。优化不仅包括通过调整预测模型提高预测精度,还包括根据预测结果做出合理的决策,安排检修和维护工作。AI 通过实时数据的输入和预测结果的分析,能够为运维人员提供可操作的决策支持,避免人工决策的盲目性和延误。通过优化预测结果,决策支持系统可以帮助变电站运维人员选择最佳的检修时间、合理安排维修资源并提高维修效率。以华北电网为例,采用智能故障预测与决策支持系统后,检修计划的安排准确率达到 92%以上,且设备的平均维修时间减少了 15%。

四、智能运维系统的自动化与优化

4.1 自动化运维系统架构

自动化运维系统是智能运维技术的重要组成部分,通过实现设备的自动监测、故障诊断、报警及自动处理等功能,极大地提高了变电站的运维效率。智能运维系统的核心架构通常包括数据采集层、通信层、分析层和决策支持层。在数据采集层,智能传感器和物联网技术被用来实时采集设备的运行数据并上传至云平台;在通信层,通过高效的数据传输网络将数据实时传输至云端平台;在分析层,基于 AI 和大数据技术对采集到的数据进行实时分析、预测和优化;最后,决策支持层则通过智能算法提出最优的运维决策。以国家电网的“智能电网平台”为例,其自动化运维系统架构通过高度集成的硬件设施和智能分析算法,能够实现对各类电力设备的自动监控与故障诊断。

4.2 基于 AI 的优化算法

AI 优化算法在智能运维中的应用,主要体现在如何根据实时监测数据对运维策略进行优化。这些算法通过分析设备运行数据、故障预测结果以及运维资源,计算出最优的维修周期、检修顺序和设备更换方案。常见的优化算法包括遗传算法、蚁群算法、粒子群优化(PSO)等,这些算法通过模拟自然界的进化过程,寻找到最优的解决方案。华电集团在其智能运维系统中,采用了基于粒子群优化的算法,成功优化了变电站的检修计划。在此基础上,检修周期缩短了 15%,设备故障发生率下降了 10%,并且整个运维成本减少了 12%。

4.3 自动化运维的实现与效果评估

自动化运维系统的实现主要通过信息化、智能化技术的融合,包括设备的自动监测、故障诊断、自动报警以及自动修复等功能。通过实现这一系列自动化功能,变电站的运维效率得到了显著提升。效果评估通常包括两个方面,一方面是设备运行效率和故障率的变化,另一方面是运维成本的变化。以江苏省电力公司为例,通过引入自动化运维系统后,变电站的设备故障率下降了 22%,停机时间减少了 18%,而运维成本则下降了 12%。这表明自动化运维不仅提升了设备的可用性,还优化了资源的使用效率。

五、变电站智能运维的挑战与未来发展方向

5.1 当前技术应用中的挑战

尽管基于 AI 的智能运维技术已取得了一定成果,但在实际应用中仍面临许多挑战。首先是数据质量问题,变电站设备产生的数据种类繁多,质量参差不齐,这给 AI 模型的训练与应用带来了一定的困难。其次,AI 技术在变电站智能运维中的部署需要大量的高性能计算资源和稳定的通信网络,这对现有的基础设施提出了更高的要求。此外,AI 技术的黑箱特性也使得一些运维人员难以理解其决策过程,从而影响了技术的推广与应用。

5.2 未来发展趋势与研究热点

未来,AI 技术在变电站智能运维中的应用将更加深入和普及。随着深度学习和强化学习等先进算法的发展,故障预测的准确性和实时性将进一步提高。除此之外,边缘计算和 5G 技术的应用将使得设备的数据采集和分析更加高效,甚至可以在设备端实时进行数据处理与决策。未来的智能运维系统将不再依赖单一的数据来源,而是通过多源数据融合,提升故障诊断与预测的能力。

六、结语

综上所述,基于人工智能的变电站智能运维技术在提升运维效率、保障电力供应的安全性和稳定性方面具有重要意义。通过 AI 技术在设备监测、故障预测、诊断及自动化运维中的有效应用,可以显著提高运维人员的工作效率,减少人力成本,并增强故障响应的速度与准确性。然而,AI 在变电站智能运维中的应用仍面临着技术瓶颈与实施难度,需要进一步的技术创新和实践验证。未来,随着 AI 技术的不断发展和成熟,智能运维系统将在变电站的管理中扮演越来越重要的角色,推动电力行业向更加智能、高效、绿色的方向发展。

[参考文献]

- [1]基于人工智能技术的变电站联合巡检系统应用研究[J].葛志超;谷艺林;黄山;郑克;徐继要;王伊彬.电力大数据,2023(11)
- [2]基于人工智能技术的变电站二次设备智能巡检技术[J].彭明智;许尧;胡永波;吴永恒;袁洪德.高电压技术,2023(S1)
- [3]变电站运维管理中人工智能技术的应用[J].李默煊.光源与照明,2022(11)
- [4]人工智能技术在电气自动化控制中的应用[J].喜翔.无线互联科技,2019(13)
- [5]智能电网新时代下的运维模式[J].王振;程金芳;钱程.电气时代,2018(11)
- [6]变电运维智能巡视量化管理系统[J].陈斌;梁建来;朱从刚.电子世界,2018(21)
- [7]智能巡检机器人在变电运维工作中的应用研究[J].李海英.技术与市场,2018(07)
- [8]人工智能技术在风力发电领域的应用.董恩旭.中国科技投资,2021(24)