

# 智慧电力系统中变电运维技术的创新与实践

简丹

国网宁夏电力有限公司宁东供电公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i1.7607

**[摘要]** 随着电力系统智能化进程的加快, 变电运维技术的创新成为提高电力系统可靠性、效率和安全性核心驱动力。传统的变电运维依赖人工巡检和定期检修, 存在效率低下和故障响应迟缓的问题。随着物联网、大数据、人工智能等技术的引入, 智慧电力系统中的变电运维逐步实现了设备的实时监控、故障预警与预测性维护, 大大提高了设备管理的智能化水平。未来, 随着5G、边缘计算等新兴技术的发展, 变电运维的智能化将进一步提升, 运维成本将降低, 设备故障率也将显著下降。本文重点分析了当前变电运维面临的技术挑战, 探讨了创新技术在提升运维效率与精准性方面的应用, 并展望了未来变电运维技术的发展趋势。

**[关键词]** 智慧电力系统, 变电运维, 智能化, 物联网, 人工智能

## Innovation and practice of transformer operation and maintenance technology in smart power systems

Lin Dan

State Grid Ningxia Power Co., Ltd. Ningdong Power Supply Company

**[Abstract]** With the acceleration of the intelligentization of the power system, the innovation of transformer operation and maintenance technology has become the core driving force to improve the reliability, efficiency and safety of the power system. Traditional transformer operation and maintenance relies on manual inspection and regular overhaul, which has the problems of inefficiency and slow response to failures. With the introduction of the Internet of Things, big data, artificial intelligence and other technologies, the operation and maintenance of transformers in the intelligent power system have gradually realized the real-time monitoring, fault warning and predictive maintenance of equipment, which has greatly improved the intelligent level of equipment management. In the future, with the development of emerging technologies such as 5G and edge computing, the intelligence of transformer operation and maintenance will be further improved, the operation and maintenance costs will be reduced, and the equipment failure rate will also be significantly reduced. This article focuses on analyzing the current technical challenges faced by transformer operation and maintenance, discusses the application of innovative technology in improving the efficiency and accuracy of operation and maintenance, and looks forward to the development trend of transformer operation and maintenance technology in the future.

**[Key words]** intelligent power system, transformer operation and maintenance, intelligence, Internet of Things, artificial intelligence

### 引言:

随着全球电力系统向更加智能、自动化的方向发展, 变电运维技术的创新成为确保电力供应稳定性和可靠性的关键因素。传统的变电运维模式面临诸多挑战, 主要表现为人工巡检的效率低、故障响应不及时等问题, 已难以满足现代电力系统的高效、智能运行需求。智慧电力系统的引入, 通过融合物联

网、大数据、人工智能等先进技术, 为变电运维提供了新的解决方案。智能化的变电运维不仅提高了设备监控和故障预测的精度, 还在降低运维成本、优化资源配置方面展现出显著优势。

### 一、智慧电力系统的发展背景与应用前景

随着全球能源结构的转型, 电力系统正从传统的集中式、单向流动模式向更加智能、高效、灵活的分布式多元化结构转

变。智慧电力系统的核心特征是将信息技术、自动化控制技术、通信技术与电力设备深度融合，通过大数据、云计算、人工智能等技术的应用，实现电力系统的智能感知、决策优化与实时调控。变电站作为电力系统中的重要节点，其运行维护的智能化、自动化水平直接影响到电力系统的稳定性、可靠性与经济性。

在智慧电力系统中，变电运维技术的变革是推动整体系统智能化的关键环节。传统的变电运维主要依赖人工巡检和定期检修，存在效率低、故障排查周期长等问题，难以适应当前电力系统日益复杂的运行需求。随着物联网技术的成熟与应用，变电站设备的状态可以实时监控，设备运行数据、环境数据等通过传感器采集并上传至云平台，运维人员可以通过智能分析工具对设备状态进行预测性维护。这种变电运维方式不仅提高了设备管理的效率，还能够提前发现潜在故障，避免了因设备突发故障导致的停电事故。

与此同时，人工智能和大数据技术的广泛应用为智慧电力系统提供了强大的技术支撑。通过对历史数据的深度学习与分析，系统能够自动识别设备的运行规律并优化运维策略，形成最优的调度与维修方案。尤其是在设备故障诊断、剩余寿命预测和负荷预测等领域，智能化技术的引入极大提升了运维的精准度和科学性。这不仅降低了运维成本，还大幅提升了变电站的供电可靠性，保证了电力系统的稳定运行。未来，随着5G、边缘计算等新兴技术的不断发展，智慧电力系统将在更广泛的应用场景中实现更高效、更安全的运维管理。尤其是在分布式能源和微电网的背景下，变电运维的智能化将更加重要，如何实现复杂系统的精确控制和优化调度，依赖于技术创新的持续推动。

## 二、变电运维面临的挑战与瓶颈

在智慧电力系统的不断发展过程中，变电运维技术的创新与应用虽取得了显著进展，但仍面临着诸多挑战和瓶颈，制约了其全面普及与深入发展。变电运维的复杂性与高度集成化特点，使得现有的技术体系在实际应用中暴露出一定的局限性，尤其是在数据采集、分析和响应的效率上，仍存在一定的短板。变电设备和系统的高度复杂性要求运维技术必须具备极强的适应性和灵活性，但目前大多数变电站的智能化改造仍处于初级阶段，设备之间的数据互通与兼容性问题较为突出。许多变电站仍未实现全面的数字化和自动化，传统的设备监控系统和新的智能化系统在信息传递与处理方面存在较大差距，数据孤岛现象严重，难以充分发挥智慧电力系统的协同效应。

智能化运维技术所依赖的传感器、通讯网络和大数据分析平台等技术的成熟度与可靠性仍需进一步提升。传感器的准确性与数据采集的实时性对智能运维至关重要，但在实际应用中，部分设备的传感器精度不足或故障率较高，导致数据偏差甚至误判，影响故障诊断和预警效果。同时，现有通信网络在

高负荷条件下，尤其是在远程控制和实时数据传输方面，存在延时和带宽不足的问题，导致运维人员无法实时掌握变电站的运行状态，影响决策的时效性。

变电运维的智能化要求强大的数据分析能力，然而数据量的快速增长和分析模型的复杂性也带来了新的挑战。大数据分析在预测性维护和故障诊断中的应用需要依赖高效的算法和足够的计算资源，但当前的人工智能算法在面对海量异构数据时，仍存在计算能力不足和模型精度不高的问题。此外，运维人员对新技术的应用能力和认知水平也成为了一大瓶颈。虽然智能化技术已在部分地区和企业得到了初步应用，但许多运维人员缺乏足够的技术培训和操作经验，导致智能运维系统的潜力未能完全释放。智能化运维技术的普及和推广面临着高昂的投入成本和系统集成难度。在设备升级、系统改造及人员培训等方面，电力企业往往需要承担较大的资金压力，这使得一些中小型电力企业难以承受。在缺乏足够资金支持和技术保障的情况下，智能化运维的应用进程受到了明显制约。

## 三、创新技术在变电运维中的有效应用

随着科技的不断进步，越来越多的创新技术被引入到变电运维领域，为提升运维效率、降低故障率、优化资源配置提供了新的解决方案。物联网技术作为智慧电力系统的基础，已在变电站的设备监控和运行管理中得到了广泛应用。通过在变电设备上安装传感器和智能仪表，实时采集设备的运行状态、环境参数和电气数据，形成全方位的监控网络。这些数据通过无线通信网络传输到中央控制系统，运维人员能够实时掌握设备的健康状况，及时发现隐患和异常，提高了运维响应速度和决策精度。

与此同时，云计算技术为变电运维提供了强大的数据存储与处理能力。传统运维依赖现场人工巡检，往往存在信息滞后和遗漏的风险。而云平台能够对海量数据进行高效的存储和计算，通过数据融合与深度分析，提供设备状态的全面评估和预测性维护方案。借助云计算，变电站管理者可以在不同地点、不同时间通过终端设备查看设备运行状况，调度运维资源，极大提升了远程监控和应急处理的能力。在智能诊断与故障预测方面，人工智能技术也发挥了重要作用。机器学习和深度学习算法可以基于历史数据训练模型，自动识别设备故障的早期征兆。通过对设备的振动、温度、电流等参数进行多维度分析，AI系统能够预测设备的剩余寿命，提前发出预警信息，从而为运维人员提供及时的维护建议，避免了因设备故障导致的突发停电事故。这种预测性维护方式不仅降低了维护成本，也提高了变电站的可靠性。

大数据分析在运维中的应用同样具有重要意义。通过收集和分析大量设备运行数据，运维人员可以识别出影响设备性能的潜在因素，进而优化运行参数和调度策略。例如，在负荷预

测方面，大数据分析能够基于历史运行数据、气象信息以及电力需求变化趋势，精确预测未来一段时间内的电力负荷情况，帮助变电站做好负荷调度，避免过载或低效运行，提升整体电网的运行效率。移动互联网和智能终端设备的结合，也使得变电运维更加灵活和高效。

#### 四、智慧电力系统变电运维的典型案例分析与实践分析

在智慧电力系统的建设过程中，多个变电站通过引入先进的技术，实现了运维的智能化和自动化，提升了电力系统的可靠性与效率。以某地区的智能变电站为例，该站通过应用物联网、云计算与大数据分析技术，显著提高了设备监控与故障预警的精度。在该站中，所有关键设备都配备了智能传感器，实时监测设备的温度、振动、电压等运行数据，并将这些数据传输至云平台进行集中分析。通过云平台的智能分析系统，运维人员能够实时获取设备的健康状况，并基于大数据分析模型，对设备的剩余寿命、故障趋势进行预测，大大提高了设备维护的精准度与效率。与传统的人工巡检模式相比，智能化运维系统的引入使得变电站的设备故障率大幅下降，运维成本显著降低。

另一个典型案例是在某地区的智能化调度变电站，该站通过引入人工智能算法和大数据分析，优化了负荷预测和电网调度策略。通过对历史负荷数据、气象条件及其他相关信息的综合分析，该系统能够在不同负荷条件下优化电力资源的分配，提前预测可能出现的负荷波动和供电压力，从而实现了变电站负荷的平稳调度。该系统还能够根据实时负荷变化和和设备运行状态自动调整运行策略，确保电力供应的稳定性和高效性。在该变电站运行的第一年内，电力调度的准确度提高了15%以上，极大地减少了因负荷波动造成的设备损耗和停机时间。

还有一些变电站在采用智能诊断与故障预警系统后，成功避免了几起潜在的大型故障。通过引入振动分析、红外热成像等技术，结合人工智能算法，这些变电站能够及时发现设备运行中的异常信号，提前进行故障诊断和维修。在一个实例中，某变电站通过智能化监控系统检测到一台变压器出现异常振动，系统自动发出故障预警，运维人员及时进行检修，避免了变压器严重损坏和电力中断事件的发生。这种智能化的预防性维护方法，使得运维团队能够更加高效地识别和处理设备故障，避免了传统运维模式下由于巡检周期长或故障检测滞后导致的设备损坏与停电风险。

#### 五、未来智慧电力系统运维技术的发展趋势与展望

随着科技的不断发展与电力需求的变化，智慧电力系统的运维技术正朝着更加智能化、自动化和精细化的方向发展。未来，变电运维技术将在数据驱动、智能化决策、精准维护等方面取得更大突破，推动电力系统向更加高效、稳定和灵活的目标迈进。一个重要趋势是深度集成物联网、大数据、人工智能等技术，形成更加高效的设备监控与运维管理体系。通过全面

布局智能传感器和物联网设备，变电站将能够实时获取设备的各类运行数据，为后续的数据处理和分析提供更加丰富的信息来源。同时，基于云计算平台的大数据分析将能够有效挖掘设备运行中的潜在规律，辅助运维人员提前发现设备异常并做出智能决策。

随着人工智能技术的进步，未来的智慧电力系统将进一步提升故障预测与智能诊断能力。借助深度学习和机器学习算法，系统能够自动分析历史运行数据、实时监控信息以及外部环境因素，生成更加精确的故障预测模型。这些智能化工具不仅能够提供提前预警，还能自动建议优化的维护方案，减少人工干预，提升运维效率。更为精准的故障诊断和剩余寿命预测将大大降低运维成本，并提高设备的可靠性与电力供应的稳定性。未来的运维模式还将更加强调自主智能化的运行与管理，特别是在无人值守和远程智能运维方面。借助先进的通信技术与人工智能，变电站将实现更加灵活、远程的设备管理模式，运维人员可以通过移动终端或远程监控平台实时获取设备运行状态，进行远程控制和调整。这一技术的推广将进一步减少人工巡检和现场维修的需求，降低运维人员的工作强度，提高整体工作效率。无人巡检和自主决策能力的增强，也使得设备管理更加智能化，能在设备出现问题时自动执行相应的维修或应急响应。

#### 结语：

随着智慧电力系统的不断发展，变电运维技术的创新将成为提升电力系统效率、可靠性和安全性的关键因素。通过物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合，变电运维实现了设备的实时监控、故障预测与精准维护，大幅提高了运维效率和设备管理水平。尽管在技术应用上仍面临一些挑战，如数据互通、传感器精度及人员培训等问题，但随着5G、边缘计算等新兴技术的进步，变电运维的智能化水平将进一步提升。未来，变电运维将更加自动化、智能化和精细化，为电力系统的稳定运行与能源转型提供有力支撑，推动全球电力行业迈向更加高效、绿色和智能的未来。

#### [参考文献]

- [1]周伟.基于物联网的变电站智能化运维技术研究[J].电力系统自动化, 2022, 46(12): 102-108
- [2]陈勇, 李泽.智慧电力系统中的智能化运维技术及其应用分析[J].电力技术, 2023, 35(9): 55-60
- [3]张腾.大数据在变电运维中的应用及发展前景[J].电网与清洁能源, 2021, 37(4): 42-47
- [4]高涛, 张建.电力系统中智能运维技术的应用与挑战[J].电力工程技术, 2022, 51(6): 78-84
- [5]李斌, 王峰.面向未来的智能电网变电运维技术研究与实践[J].电力系统技术, 2023, 47(2): 121-127