

变电运行管理的智能化与自动化技术研究

罗静

内蒙古电力（集团）有限责任公司包头供电分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i5.7985

[摘要] 在现代电力系统的持续发展进程中，变电运行管理的智能化与自动化技术成为提升电力系统稳定性、可靠性以及运行效率的关键要素。作者罗静凭借在变电运行领域的深厚经验，详细阐述智能化与自动化技术在变电运行管理中的应用场景、优势及发展方向。通过对各类先进技术的探讨，旨在为电力行业提供全面且实用的技术参考，助力变电运行管理水平实现质的飞跃，推动电力系统朝着更加智能、高效的方向稳健发展。

[关键词] 变电运行管理；智能化技术；自动化技术；电力系统

Research on intelligent and automatic technology of substation operation management

Luo Jing

Baotou Power Supply Branch of Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., LTD

[Abstract] In the continuous development of modern power systems, the intelligent and automated technologies in substation operation management have become key factors in enhancing the stability, reliability, and operational efficiency of power systems. Author Luo Jing, drawing on her extensive experience in substation operation, elaborates on the application scenarios, advantages, and future directions of intelligent and automated technologies in substation operation management. By exploring various advanced technologies, the aim is to provide comprehensive and practical technical references for the power industry, facilitating a qualitative leap in substation operation management levels and promoting the steady development of power systems toward greater intelligence and efficiency.

[Key words] substation operation management; intelligent technology; automation technology; power system

一、引言

随着社会经济的快速发展，电力需求持续增长，对电力系统的供电质量与可靠性提出了更高要求。变电运行管理作为电力系统中的关键环节，其运行状态直接影响着整个电力系统的稳定性与安全性。传统的变电运行管理模式在面对日益复杂的电力网络和庞大的设备规模时，逐渐暴露出效率低下、响应速度慢、人工成本高以及可靠性不足等问题。在此背景下，智能化与自动化技术在变电运行管理中的应用成为必然趋势。作者罗静凭借深耕变电运行的专业知识，聚焦变电运行管理的智能化与自动化技术研究，期望为电力行业提供切实可行的技术方案与发展思路，促进变电运行管理的革新与进步。

二、变电运行管理现状分析

（一）传统变电运行管理模式

1. 设备巡检与维护：传统变电运行管理中，设备巡检主要

依靠人工定期进行。运行人员需按照既定的巡检路线，对变电站内的变压器、断路器、隔离开关、互感器等各类设备进行逐一检查。例如，运行人员通过肉眼观察设备外观是否有异常，如有无放电痕迹、渗漏油现象等；利用红外测温仪测量设备关键部位的温度，判断设备是否存在过热故障。在设备维护方面，通常按照固定的周期进行预防性维护，如定期对断路器进行检修、对变压器进行油样检测等。然而，这种人工巡检和定期维护方式存在明显的局限性，一方面，人工巡检受主观因素影响较大，容易出现漏检或误判的情况；另一方面，定期维护可能导致过度维护或维护不足，既浪费资源又无法及时发现设备潜在的故障隐患。

2. 运行操作与监控：在运行操作方面，倒闸操作是变电运行中一项重要且频繁的工作。传统模式下，运行人员需严格按照操作票的步骤，在现场进行设备的分合闸操作。例如，在进

行变压器停送电操作时，运行人员要依次操作隔离开关、断路器等设备，操作过程繁琐且对操作顺序和准确性要求极高，一旦出現誤操作，可能引發嚴重的電力事故。在運行監控方面，主要依賴於變電站內的監控系統，該系統雖然能夠實時採集部分設備的運行參數，如電壓、電流、功率等，但對設備狀態的全面監測能力有限，難以實現對設備潛在故障的早期預警。

（二）智能化与自动化技术引入现状

1. 部分智能化设备应用：目前，一些智能化设备已逐步应用于变电运行管理中。例如，智能变压器开始在部分变电站投入使用。智能变压器内置多种传感器，能够实时监测变压器的油温、绕组温度、油位、局部放电等参数，并通过智能终端将这些数据上传至监控系统。相比传统变压器，智能变压器能够更准确地反映设备的运行状态，为运行人员提供更丰富的设备信息。此外，智能断路器也得到了了一定程度的应用，其具备智能操作机构和状态监测功能，可实现远程分合闸操作以及对断路器触头磨损、机械特性等参数的在线监测，提高了断路器运行的可靠性和操作的便捷性。

2. 自动化系统初步构建：部分变电站构建了自动化系统，实现了对部分设备的自动化控制和监测。例如，变电站自动化系统能够根据预设的逻辑关系，自动完成一些简单的倒闸操作，如根据电网负荷变化自动投切电容器组，以实现无功补偿和电压调节。同时，通过自动化系统对设备运行数据的采集和分析，能够初步实现对设备运行状态的实时监测和故障报警。然而，当前的自动化系统在智能化程度、系统集成度以及与其他电力系统环节的协同性等方面仍存在不足，未能充分发挥智能化与自动化技术的优势。

三、智能化技术在变电运行管理中的应用

（一）人工智能技术

1. 设备故障诊断：人工智能技术中的神经网络、深度学习等算法在变电设备故障诊断方面具有显著优势。通过收集大量的设备运行数据，包括正常运行数据和故障数据，构建故障诊断模型。例如，利用深度学习算法对变压器的油温、绕组温度、油中溶解气体成分等多源数据进行分析，当设备出现异常时，模型能够快速准确地判断故障类型和故障位置。某电力企业应用基于深度学习的变压器故障诊断系统后，故障诊断准确率从传统方法的 70% 提升至 95% 以上，大大缩短了故障排查时间，提高了设备维护效率。

2. 负荷预测与优化调度：人工智能技术还可用于电力负荷预测。通过对历史负荷数据、气象数据、经济数据等多源信息的分析，建立负荷预测模型，能够准确预测未来一段时间内的电力负荷变化趋势。例如，采用时间序列分析与神经网络相结合的方法，对某地区电网的负荷进行预测，预测误差控制在 5%

以内。基于准确的负荷预测，调度人员可以提前制定优化的调度方案，合理安排变电设备的运行方式，实现电力资源的优化配置，提高电网运行的经济性和可靠性。

（二）物联网技术

1. 设备状态全面感知：物联网技术通过在变电设备上部署大量的传感器，实现对设备状态的全面感知。例如，在变压器、断路器、隔离开关等设备上安装温度传感器、振动传感器、压力传感器等，实时采集设备的运行参数。这些传感器通过无线通信技术将数据传输至物联网平台，运行人员可通过平台实时查看设备的运行状态。同时，物联网技术还能够实现设备之间的互联互通，例如，当变压器油温过高时，可自动触发冷却系统启动，实现设备的智能联动控制。

2. 远程运维与智能巡检：借助物联网技术，可实现变电设备的远程运维和智能巡检。运维人员无需到现场，即可通过物联网平台对设备进行远程监控和操作。例如，对智能断路器进行远程分合闸操作，对设备参数进行远程调整。在智能巡检方面，利用智能巡检机器人搭载各类传感器，按照预设的路线对变电站设备进行巡检。机器人能够自动识别设备的外观状态、读取设备仪表数据，并将采集到的数据上传至物联网平台进行分析。某变电站应用智能巡检机器人后，巡检效率提高了 3 倍以上，且能够发现一些人工巡检难以察觉的细微故障。

四、自动化技术在变电运行管理中的应用

（一）自动化监控系统

1. 实时数据采集与处理：自动化监控系统能够实时采集变电设备的运行数据，包括电压、电流、功率、频率等电气量，以及设备的温度、压力、液位等非电气量。通过高速数据采集装置和先进的数据传输技术，将这些数据快速准确地传输至监控中心。在监控中心，利用数据处理软件对采集到的数据进行实时分析和处理，如进行数据滤波、越限判断、故障诊断等。例如，当某条线路电流超过设定的阈值时，自动化监控系统能够立即发出报警信号，并启动相应的保护装置，确保电网的安全运行。

2. 设备远程控制与调节：自动化监控系统支持对变电设备的远程控制与调节。调度人员或运行人员可通过监控中心的操作界面，对变电站内的断路器、隔离开关、变压器分接头等设备进行远程操作。例如，在电网负荷变化时，调度人员可远程调节变压器的分接头，实现电压的优化调节；在进行设备检修时，运行人员可远程操作断路器和隔离开关，完成设备的停电和送电操作。自动化监控系统的应用，大大提高了变电运行管理的效率和操作的准确性，减少了人工现场操作带来的安全风险。

（二）智能操作技术

1. 自动化倒闸操作：智能操作技术实现了变电设备倒闸操作的自动化。通过制定详细的操作规则和逻辑关系，将倒闸操作流程编写成程序，存储在自动化操作装置中。当需要进行倒闸操作时，操作人员只需在监控界面上选择相应的操作任务，自动化操作装置即可按照预设的程序自动完成设备的分合闸操作。例如，在进行变电站的停电检修操作时，自动化操作装置能够按照正确的操作顺序，依次操作断路器、隔离开关等设备，避免了人工操作可能出现的误操作。同时，自动化操作装置还具备操作过程监测和故障自诊断功能，在操作过程中如发现异常情况，能够立即停止操作并发出报警信号。

2. 基于智能算法的优化操作：利用智能算法对变电设备的操作进行优化，可提高设备的使用寿命和运行可靠性。例如，对于断路器的分合闸操作，通过建立断路器的操作模型，结合设备的实时运行状态和历史操作数据，采用遗传算法、粒子群优化算法等智能算法，优化断路器的操作参数，如合闸速度、分闸时间等，使断路器在最佳的工作状态下运行，减少触头磨损，延长设备使用寿命。某变电站应用基于智能算法的断路器优化操作技术后，断路器的维护周期延长了 20%，设备故障率降低了 30%。

五、智能化与自动化技术协同发展策略

（一）系统集成与数据共享

1. 构建统一的智能变电运行管理平台：将智能化技术和自动化技术所涉及的各类系统进行集成，构建统一的智能变电运行管理平台。该平台整合设备状态监测系统、自动化监控系统、故障诊断系统、负荷预测系统等，实现数据的集中管理和共享。例如，设备状态监测系统采集的设备运行数据可实时传输至故障诊断系统和负荷预测系统，为故障诊断和负荷预测提供数据支持；自动化监控系统根据故障诊断系统的结果和负荷预测系统的预测信息，自动调整设备的运行方式，实现智能化与自动化技术的协同工作。

2. 制定数据标准与接口规范：为实现不同系统之间的数据共享和交互，制定统一的数据标准和接口规范。明确各类设备运行数据的格式、编码规则、传输协议等，确保数据在不同系统之间能够准确无误地传输和识别。同时，规范系统之间的接口设计，使各类智能化与自动化设备和系统能够方便地接入统一平台，实现无缝集成。例如，制定变压器、断路器等设备的传感器数据采集标准，以及自动化监控系统与智能操作装置之间的通信接口规范，促进智能化与自动化技术在变电运行管理中的深度融合。

（二）技术创新与人才培养

1. 加强技术研发投入：电力企业应加大对智能化与自动化技术研发的投入，鼓励科研机构 and 高校开展相关技术研究。针

对当前智能化与自动化技术在变电运行管理中存在的问题，如人工智能算法的准确性和实时性提升、物联网技术的安全性增强、自动化系统的可靠性提高等，开展联合攻关。例如，设立专项科研基金，支持对基于大数据和人工智能的变电设备故障预测与健康监测技术的研究，推动智能化与自动化技术的创新发展。

2. 培养复合型专业人才：智能化与自动化技术在变电运行管理中的应用，需要既懂电力系统知识又掌握智能化与自动化技术的复合型专业人才。电力企业应加强人才培养，通过内部培训、外部培训、校企合作等多种方式，提升员工的专业素质。例如，组织员工参加智能化与自动化技术的培训课程，邀请专家进行技术讲座；与高校合作开展人才培养项目，定向培养电力系统智能化与自动化方向的专业人才。同时，建立人才激励机制，吸引和留住优秀人才，为智能化与自动化技术在变电运行管理中的应用提供人才保障。

六、结论

智能化与自动化技术在变电运行管理中的应用，为提升电力系统的运行水平提供了有力支撑。通过对变电运行管理现状的分析，明确了传统管理模式的不足以及智能化与自动化技术引入的现状和存在的问题。深入探讨了人工智能、物联网等智能化技术以及自动化监控系统、智能操作技术等自动化技术在变电运行管理中的具体应用，展示了这些技术在设备故障诊断、负荷预测、设备状态感知、远程控制与调节等方面的显著优势。同时，提出了智能化与自动化技术协同发展的策略，包括系统集成与数据共享、技术创新与人才培养等方面。随着这些技术的不断发展和应用，变电运行管理将朝着更加智能、高效、可靠的方向发展，为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。未来，电力行业应持续关注智能化与自动化技术的发展动态，不断探索新技术在变电运行管理中的应用场景，推动电力系统智能化转型的深入发展。

【参考文献】

- [1]李明.基于人工智能的变电设备故障诊断技术研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(12):160-166.
- [2]王强.物联网技术在变电站智能化改造中的应用[J].电力建设,2024,45(8):100-106.
- [3]张悦.变电站自动化监控系统的优化与升级[J].中国电力,2023,56(10):190-196.
- [4]赵宇.智能操作技术在变电运行中的实践与探索[J].电力自动化设备,2024,44(12):170-176.
- [5]刘阳.智能化与自动化技术在变电运行管理中的协同应用[J].电力工程技术,2023,42(5):110-116.