

变电运行效率提升的优化路径

赵晨光

内蒙古电力公司包头供电公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8322

[摘要] 在电力需求持续攀升与新型电力系统建设加速推进的双重背景下，变电运行效率已成为衡量电力系统整体效能的核心指标。本文系统剖析当前变电运行领域存在的设备全生命周期管理不足、智能化应用深度欠缺、运维管理协同性弱等问题，结合电力行业发展趋势，从设备更新改造、智能技术融合创新、运维管理体系重构等维度，提出具有针对性和可操作性的优化路径。研究成果旨在为电力企业突破发展瓶颈、提升变电运行效率提供系统化解决方案，助力电力系统实现高质量、可持续发展。

[关键词] 变电运行；效率提升；设备升级；智能化转型；运维管理优化

Optimization path for improving the efficiency of substation operation

Zhao Chengguang

Inner Mongolia Power Company Baotou Power Supply Company

[Abstract] Against the dual background of continuous increase in electricity demand and accelerated construction of new power systems, the efficiency of substation operation has become a core indicator for measuring the overall efficiency of the power system. This article systematically analyzes the current problems in the field of substation operation, such as insufficient equipment lifecycle management, lack of depth in intelligent application, and weak coordination in operation and maintenance management. Combining with the development trend of the power industry, targeted and operable optimization paths are proposed from the dimensions of equipment updating and transformation, intelligent technology integration innovation, and operation and maintenance management system reconstruction. The research results aim to provide systematic solutions for power enterprises to break through development bottlenecks, improve substation operation efficiency, and help the power system achieve high-quality and sustainable development.

[Key words] substation operation; Efficiency improvement; Equipment upgrade; Intelligent transformation; Optimization of operation and maintenance management

引言

电力是现代经济社会发展的“生命线”，变电环节作为电力系统实现电压等级转换与电能合理分配的中枢，其运行效率决定着电力供应的稳定性、可靠性与经济性。近年来，随着我国“双碳”目标的推进以及新型电力系统建设的深化，风电、光伏等新能源大规模接入电网，负荷特性日趋复杂，对变电运行的安全性、灵活性与高效性提出了更高要求。然而，

当前变电运行过程中，设备老化、技术应用滞后、管理模式僵化等问题日益凸显，严重制约了变电运行效率的提升，甚至威胁电力系统的安全稳定运行。因此，深入研究变电运行效率提升的优化路径，不仅是电力企业应对行业变革的现实需求，更是推动能源电力行业高质量发展的关键举措。

一、变电运行现状及存在的问题

(一) 设备老化与故障问题突出

在我国电力事业快速发展的进程中，部分早期建设的变电站因资金投入有限和更新规划不合理，存在设备长期超期服役现象。以某省电网为例，2023年统计数据 displays，运行年限超过20年的变电站占比达18%，其内部的变压器、断路器、隔离开关等关键设备老化问题严重。变压器作为变电站的核心设备，老旧变压器由于铁芯材质和绕组设计落后，空载损耗和负载损耗明显高于新型节能变压器。据测算，一台运行25年的传统变压器，其年电能损耗比同容量新型变压器多出约15万度，不仅造成了能源浪费，还增加了运行成本。同时，绝缘老化导致的局部放电、机械部件磨损引发的接触不良等故障频发，如某地区因隔离开关触头氧化严重，在2022-2023年间累计引发8次线路跳闸事故，极大影响了变电运行效率与供电可靠性。

（二）智能化水平有待提高

尽管我国电力行业积极推进智能化建设，但在变电运行领域，智能化技术的应用仍存在诸多不足。在设备监测方面，部分变电站仍在使用功能单一的监测设备，仅能实现对少数参数的简单测量，无法对设备进行全方位、多维度的状态感知。例如，一些变电站对电缆的监测仅局限于温度测量，而忽视了局部放电、接地电流等关键参数，使得电缆潜在的绝缘劣化等故障难以早期发现。在数据处理层面，虽然部署了大量传感器采集数据，但由于缺乏高效的数据处理算法和分析平台，海量数据处于“沉睡”状态。某市级电网公司数据显示，其变电站每日产生的监测数据超过10TB，但实际用于故障诊断和运维决策的数据不足5%，数据价值未能得到充分挖掘。此外，不同厂家生产的自动化设备和系统之间存在通信协议不统一、接口不兼容等问题，导致信息交互不畅，难以实现变电运行的协同控制与优化调度。

（三）运维管理模式滞后

传统的变电运维管理模式以定期巡检和事后维修为主，这种模式已难以适应现代电力系统发展的需求。定期巡检受限于人力、时间和检测手段，存在巡检周期长、覆盖范围有限等问题，无法及时发现设备的突发故障和隐性缺陷。据统计，在定期巡检中，约30%的设备缺陷在巡检间隔期内发生恶化，最终发展为故障。事后维修则具有明显的被动性，往往在设备故障导致停电后才进行维修，不仅增加了停电时间和经济损失，还可能对设备造成二次损坏。同时，随着新型智能设备和先进

技术在变电领域的广泛应用，运维人员的专业技能和知识结构更新滞后。调查显示，超过40%的运维人员对智能巡检机器人、大数据分析等新技术的掌握程度较低，难以有效开展新型设备的运维工作。此外，变电运维管理涉及多个部门，部门间职责划分不明确、沟通协调机制不完善，导致故障处理流程繁琐，各环节衔接不畅，进一步降低了运维效率。

二、变电运行效率提升的优化路径

（一）推进设备升级改造

1. 更新关键设备

电力企业应结合电网发展规划和设备实际状况，制定科学合理的设备更新策略。对于超期服役、性能严重下降的变压器，优先更换为节能型非晶合金变压器或高过载能力变压器。以某工业园区变电站为例，将2台S9型变压器更换为SCB13型干式变压器后，空载损耗降低了75%，负载损耗降低了20%，年节约电能约20万度，显著提高了电能传输效率。在断路器和隔离开关更新方面，采用具备智能化监测功能的新型设备，如智能真空断路器，该设备内置传感器可实时监测触头温度、分合闸次数等参数，为设备状态评估提供数据支持。同时，在设备更新过程中，注重设备选型的兼容性和扩展性，确保新设备与原有系统的无缝对接，避免因设备更换导致的系统运行不稳定问题。

2. 加装状态监测装置

构建全面的设备状态监测体系，在变压器、断路器、GIS组合电器等关键设备上加装在线监测装置。对于变压器，安装油色谱在线监测仪、局部放电在线监测系统、绕组变形测试仪等，通过分析油中气体成分、局部放电信号和绕组变形情况，实现对变压器内部故障的早期预警。在断路器上部置机械特性监测装置，实时监测分合闸速度、行程等参数，及时发现机械部件的磨损和故障隐患。同时，利用物联网技术将各类监测装置的数据进行整合，通过无线通信网络传输至变电站监控中心，实现设备状态数据的集中管理与共享。例如，某500kV变电站通过加装设备状态监测装置，在2023年成功预警了3起变压器内部潜伏性故障，避免了重大设备损坏事故的发生，有效减少了设备故障停机时间。

（二）深化智能化技术应用

1. 构建智能监测与控制系统

基于物联网、大数据、人工智能等先进技术，打造变电站

智能监测与控制系统。在物联网层面,通过部署大量传感器,实现对变电站设备运行状态、环境参数、安全防护等信息的实时采集。这些传感器涵盖温度、湿度、振动、电流、电压等多个类型,构建起全方位的感知网络。在大数据处理方面,建立变电站数据中心,对采集到的海量数据进行存储、清洗、分析和挖掘。运用机器学习算法,构建设备故障预测模型,如基于随机森林算法的变压器故障诊断模型,可根据油色谱数据、电气参数等对变压器故障类型和严重程度进行准确判断,预测准确率达90%以上。在人工智能应用上,引入计算机视觉技术,利用高清摄像头和图像识别算法对变电站设备外观进行自动巡检,识别设备漏油、绝缘子破损、导线断股等故障。例如,某省级电网公司应用智能监测与控制系统后,设备缺陷发现效率提高了40%,故障处理时间缩短了30%。

2. 推动变电运维数字化转型

搭建变电运维数字化平台,实现运维管理全流程的数字化与信息化。该平台整合设备台账、运行数据、检修记录、试验报告等信息资源,形成设备全生命周期管理数据库。通过数字化平台,运维人员可实时查看设备运行状态、历史数据和健康评估报告,基于数据驱动制定科学合理的运维计划。利用虚拟现实(VR)技术,构建变电站三维虚拟场景,运维人员可在虚拟环境中进行设备操作培训、故障模拟演练等,提高培训效果和应急处置能力。同时,借助增强现实(AR)技术,运维人员在现场检修时,通过佩戴智能终端设备,可实时获取设备相关信息、检修指导手册和历史故障案例,辅助现场作业,提高检修效率和准确性。

(三) 优化运维管理模式

1. 推行状态检修策略

建立基于设备状态监测的状态检修体系,改变传统的定期检修模式。通过对设备在线监测数据、离线试验数据、历史运行数据等进行综合分析,运用模糊综合评价、灰色关联分析等方法,对设备健康状态进行量化评估,确定设备的检修周期和检修内容。例如,对于状态良好的设备,适当延长检修周期;对于存在潜在故障的设备,及时安排针对性检修。同时,建立状态检修专家决策系统,邀请行业专家和技术骨干组成专家团队,对复杂设备故障和检修方案进行远程会诊和决策支持。某220kV变电站实施状态检修策略后,设备停电时间减少了50%,运维成本降低了30%,设备可用率提升至99.8%。

2. 加强运维人员培训与管理

制定系统的运维人员培训计划,培训内容涵盖新型设备操作、智能化技术应用、故障诊断与处理、安全规范等多个方面。采用线上线下相结合的培训方式,线上利用网络课程、虚拟仿真平台开展理论学习和技能训练,线下组织现场实操培训和技术交流活动。定期组织运维人员参加行业新技术、新设备培训班和学术研讨会,拓宽技术视野,更新知识结构。建立科学合理的绩效考核机制,将运维人员的工作质量、故障处理效率、设备维护水平、培训学习成绩等指标纳入考核体系,考核结果与薪酬待遇、职业晋升挂钩,充分调动运维人员的工作积极性和主动性。此外,加强部门之间的沟通协作,建立跨部门联合办公机制和故障处理协同工作流程,明确各部门在运维管理中的职责和分工,提高故障处理效率和运维管理水平。

三、结论

在能源电力行业变革发展的大背景下,提升变电运行效率是保障电力系统安全稳定运行、推动能源绿色低碳转型的必然要求。本文通过深入分析变电运行现状及存在的问题,从设备升级改造、智能化技术应用、运维管理优化等方面提出了具体的优化路径。这些路径的实施能够有效解决当前变电运行中的痛点和难点问题,显著提高变电运行效率,降低设备故障率,提升供电可靠性和经济性。未来,随着新技术的不断涌现和电力行业改革的持续深化,电力企业应持续关注行业发展动态,不断探索创新,进一步完善变电运行管理体系,推动变电运行向更加智能、高效、可靠的方向发展,为我国能源电力事业的高质量发展提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]刘振亚.智能电网技术[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [2]孙宏斌,郭庆来,潘昭光,等.智能电网调度控制中心总体设计[J].电力系统自动化,2012,36(17):1-6.
- [3]宋永端,李剑,陈民铀,等.智能电网中的物联网技术[J].中国电机工程学报,2011,31(29):1-8.
- [4]郭创新,杨莉,曹一家,等.基于本体的电力系统故障诊断专家系统的研究[J].电力系统自动化,2004,28(14):42-45.
- [5]王晓茹,王海风,林家骏.基于多智能体技术的电力系统广域保护控制体系结构[J].电网技术,2005,29(14):1-5.