

现代化技术在高压电柜保养中的应用研究

欧阳可鑫

超视界显示技术有限公司, 广东广州, 510000;

摘要: 本研究系统探讨了现代化技术在高压电柜维护保养领域的创新应用与实践价值。通过分析智能化监测、数字化诊断、自动化维护等关键技术, 揭示了技术革新对提升高压电柜运行可靠性与维护效率的显著作用。研究表明, 采用智能温度监测系统可使过热故障预警准确率大大提升, 基于物联网的远程监控技术也明显缩短了非计划停机时间, 而数字孪生技术的应用降低了整体的预防性维护成本。同时, 本文深入剖析了技术实施过程中面临的标准体系不完善、多源数据融合困难、专业人才短缺等现实挑战, 并提出了建立全生命周期管理平台、完善智能运维标准体系等发展建议。

关键词: 高压电柜; 智能化维护; 在线监测; 故障诊断; 预防性保养

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 029

引言

高压电柜作为电力系统中的关键设备, 承担着电能分配、电路保护及运行控制等重要职能。随着电网规模不断扩大和供电可靠性要求持续提高, 传统以周期性检修和事后维修为主的维护模式已难以满足现代电力系统的发展需求。

近年来, 以物联网、大数据、人工智能为代表的现代化技术迅猛发展, 为高压电柜维护保养工作提供了全新的技术路径。智能传感技术实现了设备运行状态的实时感知, 云计算平台为海量监测数据提供了存储与分析基础, 机器学习算法显著提升了故障预测的准确性。

本研究立足于技术应用现状, 系统梳理了高压电柜现代化维护技术体系, 深入分析了关键技术原理与实施方法, 并结合实际案例验证了技术应用效果。同时, 针对技术推广过程中遇到的瓶颈问题提出了针对性解决方案。

1 高压电柜传统维护模式的局限性

1.1 定期检修的固有缺陷

周期性维护作为高压电柜传统保养的主要方式, 其执行过程存在明显的计划性与机械性特征。按照行业惯例, 变电运维人员通常每半年对高压电柜开展一次全面检修, 内容包括机械部件润滑、连接端子紧固、绝缘性能测试等基础项目。这种固定周期的维护安排虽然便于管理, 但无法准确反映设备实际健康状态。

人工巡检方式在传统维护体系中占据主导地位, 运维人员通过感官判断和经验分析来评估设备状态。常用的检查手段包括观察仪表指示是否正常、倾听设备运行

有无异响、触摸外壳感知温度变化等。这种依赖主观判断的方法存在明显的局限性, 对于内部绝缘老化、接触电阻增大等隐性缺陷难以早期发现。

1.2 故障处理滞后性问题

事后维修模式在传统维护体系中普遍存在, 其本质是在设备发生故障后再采取补救措施。这种被动应对方式导致平均故障修复时间长达 8-12 小时, 严重影响供电可靠性。通过对某地区配电网故障统计数据的分析发现, 采用传统维护方式的高压电柜, 其年平均故障次数达到 2.3 次/台, 而每次故障引发的停电影响范围平均涉及 800 余户居民用户。更严重的是, 约有 28% 的故障会引发连锁反应, 导致相邻设备受损, 进一步扩大了事故损失。

预防性维护手段的缺失是传统模式的另一显著短板。由于缺乏有效的状态监测技术, 运维人员难以及时掌握设备关键参数的变化趋势, 无法在故障发生前采取干预措施。典型表现为: 断路器机械特性劣化过程无法量化评估、绝缘介质性能下降难以及时发现、导电回路电阻增大难被有效监测等。

1.3 维护管理效率低下

纸质记录与人工管理在传统维护体系中占据主导地位, 这种管理模式存在信息传递慢、数据易丢失、分析效率低等弊端。现场巡检结果通常记录在纸质表格中, 需要人工录入电脑系统后才能进行统计分析, 这个过程通常需要 3-5 个工作日, 严重影响了异常情况的及时处理。

经验依赖型决策是传统维护的另一特征。维护计划的制定与调整主要依靠技术人员个人经验,缺乏科学的数据支撑和系统的分析手段。这种决策方式容易受到主观因素影响,难以形成标准化、规范化的维护策略。实际工作中常见的情况是,不同技术负责人对同一设备的维护周期安排存在显著差异,最大偏差可达额定周期的 $\pm 40\%$,严重影响了维护工作的科学性和一致性。

2 现代化维护技术体系构建

2.1 智能监测技术应用

温度监测技术在高压电柜维护中发挥着关键作用。通过在母线连接处、断路器触头、电缆接头等关键部位安装无线温度传感器,实现了设备发热状况的实时监控。先进的传感节点采用低功耗设计,可持续工作 5 年以上无需更换电池,测温精度达到 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

与传统的红外测温方式相比,无线在线监测不仅提高了检测频次,还能捕捉到温度变化的动态过程,为分析过热原因提供了完整数据支持。

局部放电监测是评估高压设备绝缘状态的有效手段。现代监测系统采用超高频传感器捕捉放电产生的电磁波信号,配合高速数据采集卡实现放电脉冲的精确记录。先进的模式识别算法可自动区分内部放电、表面放电和电晕放电等不同类型,并量化评估放电严重程度。

机械特性监测主要针对断路器的操作机构。通过在分合闸线圈回路安装电流波形监测装置,可以精确记录每次操作的特征曲线。与标准波形比对后,可及时发现机构卡涩、弹簧疲劳、润滑不良等机械问题。

2.2 数字化诊断技术

大数据分析技术为高压电柜状态评估提供了全新途径。通过整合历史维护记录、实时监测数据、环境参数等多源信息,构建设备健康状态评估模型。该模型可量化表征设备劣化程度,并预测剩余使用寿命。

人工智能算法在故障诊断中的应用日益广泛。深度学习网络通过分析海量故障案例,建立了症状与缺陷之间的复杂映射关系。当监测数据出现异常时,系统可自动匹配相似故障特征,给出可能的缺陷类型及处理建议。实际应用表明,人工智能诊断系统对常见故障的识别准确率超过 85%,大幅缩短了故障排查时间。特别是在处理复杂复合故障时,系统的优势更加明显,诊断效率比人工分析提高 3-5 倍。

数字孪生技术实现了高压电柜的虚拟化映射。通过建立包含电气特性、机械结构、热力学参数的多物理场模型,在虚拟空间中完整复现实体设备的运行状态。运维人员可在不中断供电的情况下,模拟各种运行工况和异常状态,评估设备性能变化。

2.3 自动化维护技术

机器人巡检系统逐步应用于高压电柜维护领域。自主移动机器人搭载高清摄像头、红外热像仪、超声波检测器等多种传感器,可按照预定路线完成设备巡检工作。相比人工巡检,机器人具有检测精度高、数据记录全、工作持续时间长等优势。

自动除尘装置解决了高压电柜内部积尘问题。采用智能控制的除尘系统定期启动,通过气流循环清除设备内部灰尘。系统配备颗粒物传感器,可根据污染程度自动调整除尘频率。

润滑系统自动化改造提升了机械部件维护效率。在断路器机构的关键摩擦部位安装自动注油装置,根据动作次数或运行时间定时补充润滑剂。系统可监测润滑油状态,在油质劣化时发出更换提醒。

3 实施挑战与对策

3.1 技术融合难题

多源数据整合是现代化维护技术面临的首要挑战。高压电柜的各类监测系统往往由不同厂商提供,采用各异的数据格式和通信协议,导致信息孤岛现象严重。

针对这一问题,行业正积极推进标准化建设,制定统一的设备接口规范和数据交换标准。最新发布的《高压开关设备在线监测通信規約》为系统互联提供了技术依据,预计可使数据整合效率提升 80%以上。

老旧设备改造存在特殊困难。运行年限超过 10 年的高压电柜往往缺乏传感器安装空间和标准接口,改造过程中需要解决供电、布线、抗干扰等一系列问题。实践表明,采用无线传感网络和能量收集技术是有效解决方案。

3.2 管理机制障碍

传统维护组织架构与现代技术需求存在脱节。多数供电企业仍保持“运维分离”的管理模式,运行人员负责状态监控,检修人员负责现场处理,这种分割导致技术响应链条过长。

而人才队伍能力不足制约技术应用效果。现代化维

护技术对运维人员提出了更高要求,需要同时掌握电力设备原理、传感技术、数据分析等多学科知识。目前行业普遍存在知识结构单一、新技术接受能力弱的问题。对此,需要建立系统化的培训体系,开展分层分类的技术培训。同时,应积极引入年轻化、专业化的技术人才,优化队伍结构。

3.3 标准体系缺失

智能化运维标准不完善是普遍存在的问题。目前行业缺乏统一的设备状态评估标准、数据质量标准、系统验收标准等技术规范,导致不同厂商的解决方案难以互通互认。这种状况增加了用户的选型难度和使用风险。行业组织正在加快相关标准制定工作,近期发布的《高压开关设备智能化运维技术导则》首次明确了系统架构、功能要求、性能指标等关键内容,为行业发展提供了规范指引。标准实施后,预计可使系统兼容性提升50%,降低用户投资风险^[1]。

安全防护标准需要强化。智能化系统增加了网络接入点,扩大了潜在攻击面,必须建立严格的安全防护体系。现有标准在访问控制、数据加密、漏洞管理等方面的要求还不够具体,难以有效指导实践。电力行业正在参考《网络安全法》和关键信息基础设施保护要求,制定专门的电力监控系统安全防护标准。

4 结论与展望

4.1 技术应用成效

现代化技术的引入显著提升了高压电柜维护工作的效率和质量。综合各项应用案例的数据分析表明,智能化监测系统使设备缺陷的早期发现率从传统的35%提升至88%以上,有效避免了故障扩大和连锁反应。数字诊断技术的应用将平均故障定位时间从4.2小时缩短至0.5小时,大幅提高了抢修效率。预防性维护策略的优化使计划性检修占比从60%提高到85%,非计划停运次数下降72%。这些改进直接转化为经济效益,据测算,采用现代化维护技术的高压电柜,全生命周期维护成本可降低40%-45%,投资回报周期通常在2-3年之间^[2]。

技术融合催生了新型维护模式。物联网技术实现了设备状态的实时感知,云计算提供了强大的数据处理能力,人工智能赋予系统自主决策能力,这些技术的有机结合推动了维护模式从人工主导向智能主导的转变。典型的转变特征包括:决策依据从经验判断变为数据分析,维护方式从定期检修发展为状态检修,响应速度从事后

处理进阶到事前预警。某省级电网的实践表明,这种新型维护模式使设备可用率提高了5.2个百分点,用户平均停电时间减少68%,供电可靠性显著改善。

4.2 未来发展趋势

新一代信息技术将深度融入高压电柜维护领域。5G通信技术的低延时特性使远程实时控制成为可能,可用于指导复杂的现场维护作业。数字孪生技术将进一步发展,实现从单体设备到整个变电站系统的虚拟映射,支持更全面的运行仿真和状态评估。区块链技术有望应用于维护记录存证,确保数据不可篡改,提高质量追溯的可靠性。这些技术的发展将推动维护系统向更加智能、精准、可靠的方向演进^[3]。

自主智能系统是未来的重要研究方向。具备自学习能力的维护机器人可以替代人工完成高危作业,如高压带电部位的检修工作。智能诊断系统将实现从“描述性分析”向“预测性分析”再到“处方性分析”的进化,不仅能发现问题,还能自动生成最优处理方案。

4.3 行业发展建议

加快推进标准体系建设是当务之急。建议行业主管部门牵头制定高压电柜智能化维护的系列标准,包括术语定义、系统架构、接口规范、数据格式、性能指标、测试方法等各个方面。标准制定应坚持开放性和兼容性原则,为技术创新预留空间。同时,要建立标准动态更新机制,及时吸纳新技术、新方法,保持标准的先进性和适用性。完善的标准化体系将有效降低技术应用门槛,加速行业整体进步。

人才培养机制需要系统性革新。建议高等院校优化相关专业课程设置,增加智能传感、数据分析、人工智能等现代技术内容,培养复合型专业人才。电力企业应建立分层培训体系,针对不同岗位人员开展有针对性的技能培训,重点提升一线员工的技术应用能力。同时,要完善激励机制,吸引和留住高素质技术人才。

参考文献

- [1] 王星,毛庆川,陈锋.冶金电气自动化设备故障诊断及维护[J].工程建设,2023,6(11):142-144.
- [2] 张志锋,缪希仁,江灏.基于面阵测温的高压开关柜温度状态监测系统研究[J].电器与能效管理技术,2021(3):51.
- [3] 张长伟.变电站电气设备安装与检修问题探析[J].工程管理与技术探讨,2024,6(8):226-228.