

智能监测技术在10kV开关柜改造中的集成应用

黄梓涵¹ 杨易璋² 王 宏² 刘 旭¹

1. 贵州省乌江水电开发有限责任公司索风营发电厂 贵州贵阳 550000

2. 中国华电集团乌江公司索风营发电厂 贵州贵阳 550000

摘要: 10kV 开关柜作为电力系统电能分配与设备控制的核心设备, 其运行稳定性直接关系到电力供应安全, 而老旧开关柜普遍存在监测缺失、故障预警滞后等问题, 严重影响运维效率与供电可靠性。本文聚焦智能监测技术在10kV 开关柜改造中的集成应用, 系统梳理了在线温度监测、局部放电监测、开关状态监测等核心技术类型。

关键词: 10kV 开关柜; 智能监测技术; 集成应用; 改造升级; 运维优化

引言

10kV 开关柜广泛应用于工业生产、电力传输及水电厂厂用电系统等场景, 承担着电能分配、负荷控制与故障隔离的关键职能, 其运行状态的稳定性直接影响整个电力系统的供电安全与可靠运行^[1]。在老旧水电厂及工业设施中, 大量10kV 开关柜已运行超过15年, 受早期技术条件限制, 普遍缺乏有效的状态监测手段, 设备故障多依赖人工巡检发现, 不仅效率低下, 且难以捕捉早期隐性隐患, 易导致故障扩大引发停电事故^[2]。

一、10kV 开关柜智能监测核心技术及集成基础

(一) 智能监测核心技术类型

智能监控是以嵌入式视频服务器与智能行为识别算法为核心的技术系统, 通过目标检测、行为分析实现从被动记录到主动预警的转变, 具备禁区报警、人流统计、异常行为识别等功能, 主要应用于交通管理、工业质检及公共安防等领域^[3]。其技术架构涵盖数据采集层、传输网络层、智能分析层和应用服务层。

作者简介:

黄梓涵(1998.11-), 男, 汉族, 贵州贵阳人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电气一次(发电机、变压器、开关设备等);

杨易璋(1999.08-), 男, 土家族, 贵州铜仁人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力系统;

王宏(1974.10-), 男, 汉族, 贵州人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 电力系统及其自动化;

刘旭(1994.04-), 男, 汉族, 贵州贵阳人, 本科, 工程师, 研究方向: 电气一次。

(二) 技术集成关键要素

通信协议适配是智能监测技术集成的基础前提, 直接影响数据传输的稳定性与兼容性。10kV 开关柜改造中涉及多种监测设备与系统, 不同厂家的传感器、数据采集单元及配电后台往往采用不同的通信协议, 如Modbus、IEC61850、DL/T645等。需通过协议转换、统一接口标准等方式, 实现各类设备与系统间的数据互联互通, 确保温度、局放、开关状态等监测数据能顺畅传输至后台系统, 避免出现数据孤岛。

二、智能监测技术在10kV 开关柜改造中的集成应用设计

(一) 改造需求与监测目标分析

改造需求分析需基于开关柜的运行现状与运维痛点, 结合设备老化程度、现有配置缺陷及实际应用场景综合开展。在老旧开关柜改造中, 需重点梳理设备缺乏状态监测手段、故障排查困难、运维效率低下等核心问题, 明确监测范围涵盖母线接头、开关部件、绝缘结构等关键部位。需结合用户运维模式、人员技术水平及成本预算, 确定监测系统的功能需求, 如是否需要实时预警、远程监控、数据追溯等, 确保改造方案贴合实际应用需求^[5]。

监测目标需具体明确, 具备可量化、可实现的特点。从安全运行角度, 需实现对开关柜关键部位温度、局部放电、开关状态等核心参数的实时监测, 故障预警准确率达到95%以上, 确保早期隐患能及时被发现并处理; 从运维效率角度, 需通过监测数据集中管理, 减少人工巡检频次, 将故障排查时间缩短50%以上; 从数据应用角度, 需实现监测数据的长期存储与趋势分析, 为设备

全生命周期管理提供数据支撑，延长设备使用寿命。

（二）硬件系统集成设计

传感器选型需结合监测参数类型与开关柜运行环境，确保测量精度与稳定性。温度监测选用高精度PT100接触式传感器或红外非接触式传感器，其中接触式传感器部署于母线接头、开关触指等关键发热部位，非接触式传感器用于难以直接安装的区域；局部放电监测选用超声波与特高频组合传感器，兼顾不同类型局部放电信号的捕捉；开关状态监测选用耐腐蚀、抗振动的位置传感器与行程开关，确保在恶劣环境下稳定工作。

传感器布局结合开关柜内部结构与部件分布合理规划安装位置。温度传感器优先安装于母线接头、电缆终端、断路器触头等易发热部位，每个关键部位至少部署1个传感器；局部放电传感器安装于柜体内部上方或关键绝缘部件附近，确保信号接收效果；开关状态传感器直接与断路器、手车等部件的传动机构连接，准确采集动作状态^[6]。传感器安装需避免影响开关柜正常操作与散热，确保设备运行不受干扰。数据采集与通信模块选型需满足多通道数据采集、稳定传输的需求。数据采集单元选用具备多协议兼容能力的工业级采集器，支持模拟量、数字量等多种信号类型输入，确保能接入不同类型的传感器；通信模块根据应用场景选用有线或无线传输方式，室内开关柜优先采用以太网或RS485有线通信，户外或远距离场景可选用LoRa、5G等无线通信技术。

（三）软件系统集成设计

数据存储系统，兼顾数据安全性与访问便捷性。本地存储选用工业级固态硬盘，用于存储实时监测数据与短期历史数据，满足快速查询与本地分析需求；云端存储通过接入电力行业专用云平台，实现监测数据的长期备份与异地访问，支持海量数据的分布式存储与管理。建立数据加密与权限管理机制，确保数据传输与存储过程中的安全性，防止数据泄露或篡改。实时监测层对采集到的温度、局放、开关状态等数据进行实时解析与校验，剔除异常数据，确保数据准确性；趋势分析层通过时间序列算法对历史数据进行分析，挖掘参数变化趋势，识别设备老化、性能衰减等潜在问题；故障诊断层基于专家系统与机器学习算法，建立故障特征库，通过对比监测数据与特征库信息，实现故障类型的精准识别与定位，并自动生成诊断报告与处理建议^[7]。可视化展示模块设计注重实用性与易用性，采用分层展示、多维度呈现的方式。主界面以开关柜3D模型为基础，直观展示设

备布局与实时运行状态，不同监测参数采用不同颜色标识，异常数据自动高亮提醒；数据详情界面提供参数实时曲线、历史趋势图、统计报表等多种展示形式，支持按时间、设备编号等条件进行查询与导出；预警界面实时推送故障预警信息，包含故障位置、类型、严重程度及处理建议，方便运维人员快速响应^[8]。

（四）配电后台系统的协同集成设计

接口适配是配电后台系统协同集成的核心，需实现智能监测系统与原有配电后台的无缝对接。针对不同配电后台的通信协议与接口标准，开发专用接口适配模块，将监测系统采集的温度、局放、开关状态等数据标准化处理后，传输至配电后台系统。支持配电后台向监测系统下发控制指令，实现监测数据采集与设备控制的双向交互，确保两大系统协同工作^[9]。数据整合与共享需建立统一的数据模型，实现监测数据与配电后台原有数据的融合管理。将智能监测数据与开关柜保护定值、操作记录、故障历史等数据进行关联分析，形成完整的设备运行档案。

三、智能监测技术集成应用案例分析

（一）案例背景与改造概况

索风营发电厂位于贵州省贵阳市修文县六广镇，其10kV I、II、III、VI段开关柜自2005年投运至2025年已运行19年，共涉及28面中压开关柜，包括4面进线柜、4面PT柜、13面馈线柜与7面母联柜。该批设备受运行年限过长影响，存在机械结构卡涩、无智能监测系统、故障预警滞后等问题，且原生产厂家已停止生产相关设备，备件供应困难，严重影响厂用电系统的安全稳定运行。

（二）集成应用实施流程

改造前期准备阶段主要完成技术方案细化、设备选型与现场勘查。组织技术人员与设备厂家进行设计联络，明确智能监测系统的功能需求、技术参数与集成要求；根据现场勘查结果，确定传感器安装位置、通信线路走向与数据采集单元部署方案；完成传感器、数据采集模块、通信设备、配电后台软件等设备的选型与采购，并进行出厂检验，确保设备质量符合要求。开展施工人员技术培训，使其熟悉设备安装流程、技术要点与安全规范。

（三）关键技术难点与解决措施

新旧设备兼容性问题本次改造的核心难点之一。原有开关柜保护装置运行年限长，通信协议与接口类型与新增智能监测设备存在差异，导致数据传输与协同控

制困难。为解决这一问题，专门开发了协议转换模块，支持Modbus、IEC61850等多种协议的相互转换，实现监测数据与保护装置数据的标准化处理；对原有保护装置的接口进行改造升级，确保与新的数据采集单元实现无缝对接，保障数据传输稳定可靠。数据传输稳定性问题主要受现场电磁环境与通信距离影响^[10]。针对这一问题，选用抗干扰能力强的工业级通信模块，采用无线与有线相结合的通信方式，对于距离较远的柜体采用LoRa无线通信，近距离柜体采用RS485有线通信；在数据采集单元中增加信号放大与滤波功能，减少环境干扰对数据传输的影响。

（四）智能监测集成应用效果评估

索风营发电厂10kV开关柜智能监测集成应用效果评估从技术性能运维效益安全经济三个核心维度展开，通过改造后半年的连续运行数据跟踪与分析，各项关键指标均达到或优于预设目标，充分验证了智能监测技术集成应用的工程实用性与技术先进性。

表1 智能监测集成应用效果评估数据表

指标类别	具体指标	改造前数据	改造后数据	行业标准
技术性能	温度监测精度℃	无	0.4	±0.5
技术性能	局放监测精度pC	无	0.8	≤1.0
技术性能	开关状态响应时间ms	无	28	≤50
技术性能	故障识别率%	无	98	≥95
技术性能	数据传输成功率%	无	99.9	≥99.5
技术性能	3D画面响应速度ms	无	45	≤60
运维效益	月均人工巡检频次次	12	3	-
运维效益	单次故障处理时长小时	8	2	≤3
运维效益	日均运维人员投入人	4	2	-
安全经济	半年故障发生次数次	年均12	0	-
安全经济	设备预计寿命延长年	无	8	≥5
安全经济	项目实际投入万元	无	352	≤358

数据分析显示，智能监测技术的集成应用实现了多维度效能提升。技术性能方面，监测精度全面达标且优于行业标准，温度监测精度0.4℃局放监测精度0.8pC均满足运行要求，开关状态响应时间28ms故障识别率98%数据传输成功率99.9%确保了设备状态的实时精准感知。运维效益显著优化，月均人工巡检频次从12次降至3次单次故障处理时长从8小时缩短至2小时日均运维人员投入减半，大幅降低了运维工作量与时间成本。安全经济

方面，改造后半年无故障发生较改造前年均12次的故障情况实现零突破，设备预计寿命延长8年项目实际投入352万元控制在预算范围内，月均运维成本降至3200元，实现了安全效益与经济效益的双重提升。

结论

本文聚焦智能监测技术在10kV开关柜改造中的集成应用，系统梳理了在线温度监测局部放电监测开关状态监测等核心技术类型，深入分析了通信协议适配硬件兼容性匹配软件系统协同等集成关键要素，构建了需求分析硬件集成软件设计后台协同的完整集成应用框架。通过索风营发电厂10kV开关柜改造案例的实践验证，详细阐述了集成应用的实施流程，并针对新旧设备兼容性传感器布局优化数据传输稳定性等关键技术难点提出了有效的解决措施。

参考文献

- [1]白鹏飞, 纪喜园.10kV开关柜电缆室接线排应力优化改造与运行稳定性提升[C]//第八届全国石油和化工电气设计与应用论文大赛入选论文集.2025.
- [2]朱俊.带电作业下10kV配网开关柜局部放电自动定位方法[J].自动化与仪器仪表, 2025(5).
- [3]宋庆东, 刘颖.智能化“对接”——10kV开关柜自动对位检修小车的研制[J].企业管理, 2024(S2).
- [4]高如月.论述10kV高压开关柜的故障及防范[J].Mechanical & Electronic Control Engineering, 2024, 6(23).
- [5]周恬徐云飞.供电企业10kV开关柜精益化检修浅析[J].2024.
- [6]陈惟杰.智能化变电站10kV高压开关柜无线测温技术[J].石油石化物资采购, 2023(2): 170-172.[7]刘书泉.10kV开关柜电动底盘车的可靠性分析与研究[D].厦门理工学院, 2023.
- [8]曾凡威, 王星, 刘专红, 等.基于远程遥控的10kV开关柜移动手车设计与实现[J].今日制造与升级, 2024(11): 103-106.
- [9]于晓.变电站中10kV开关柜安装调试技术研究[J].电气技术与经济, 2024(6): 319-321.
- [10]朱宝旗.10kV高压开关柜故障原因及处理措施[J].Mechanical & Electronic Control Engineering, 2024, 6(22).