

Design and Verification of a Smart Switchgear

Hao Wu Quan Zhou

Chint Electric Co., Ltd., Shanghai, 201614, China

Abstract

To solve the pain points of traditional switchgear operation and maintenance response lag and insufficient state perception, an intelligent improvement plan based on Cloud Platform is proposed. By constructing a “end-edge-cloud” collaborative system, integrating innovative technologies such as multi-parameter perception, learning diagnosis, and AR visualization, an intelligent management system covering the entire life cycle of equipment is formed, providing key technical support for the construction of new power systems. Through the digital twin collaborative mechanism, the scheme combines cloud big data analysis to build a fault prediction model, introduces AR remote operation and maintenance to improve the maintenance efficiency, and finally forms an equipment health assessment system to help the power system to transform to digital and intelligent.

Keywords

smart Switchgear; cloud Platform; augmented reality

智能开关设备系统设计与验证

吴昊 周泉

正泰电气股份有限公司, 中国·上海 201614

摘要

为解决传统开关设备运维响应滞后、状态感知不足等行业痛点,设计基于云平台的智能化改进方案。通过构建“端—边—云”协同系统,集成多参量感知、学习诊断、AR可视化等创新技术,形成覆盖设备全生命周期的智能管理体系,为新型电力系统建设提供关键技术支持。该方案通过数字孪生协同机制,结合云端大数据分析构建故障预测模型,引入AR远程运维提升检修效率,最终形成设备健康度评估体系,助力电力系统向数字化、智能化转型。

关键词

智能开关设备;云平台;增强现实

1 引言

在“双碳”战略实施背景下,智能电网建设呈现多维需求驱动的特征。从政策导向来看,碳达峰、碳中和的战略目标,直接推动新能源装机量快速增长,这为输配电设备市场创造了巨大增量空间。就产业升级维度而言,半导体和数据中心的快速发展对开关设备的性能迭代形成倒逼机制。在技术应用层面,“云大物移智”(云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能)技术的深度融合正重构传统电网运维体系,这些技术突破推动电网资产管理向智能化、服务化方向演进。开关设备是电网输配电过程的关键控制装置,承担着电力传输质量保障和安全防护的重要职能。当前配电系统运维主要采用两种传统模式:首先是基于固定周期的预防性维护,通常根据设备运行时间或经验法则制定检修计划;其次是事故应急维修,即在设备发生故障后进行被动

修复等。

为适应电网智能化要求,开关设备应具备数字化、高可靠、在线检测和远程诊断等功能。国家相关智能化设备标准和规范的颁布,进一步推动了开关设备向信息化、自动化、互动化为特征的智能化方向发展。通过在开关设备上集成智能保护操控模块、传感模块、通讯模块等技术,将数据通过网关连入物联网云平台,经由部署在 SaaS 层上的智能运维系统进行展示、分析和计算,可以实现智能开关设备的状态监测、远程诊断和其他云服务功能。

2 平台架构设计

以某电气企业云平台建设为例,其平台采用分层式技术架构,覆盖设备接入、边缘计算、云端服务全流程:

①设备层:只要支持 MQTT/OPC UA/CoAP 等标准协议,即可快速接入云平台。②网络层:支持多种通信和传输协议,保障设备与云平台的可靠连接。③ PaaS 层:作为云平台的核心,提供丰富的 API 及微服务开发环境。④ SaaS 层:提供丰富的能源物联网应用和工业物联网应用,服务行业。

【作者简介】吴昊(1985-),本科,从事中压设备相关产品研发研究。

3 智能运维平台

为实现具有云服务功能的智能开关设备，需对平台功能进行搭建，实现在线监测、远程诊断、云服务等功能。其功能模块包含设备状态监测、报警功能、维护管理、报表功能、预测性维护、能效管理、电能质量管理、资产管理、集成辅助系统（视频、烟感、水浸、门禁等）和设备二维码快速访问等。需设计各回路电流模块、电压模块、有功/无功功率模块、电流谐波模块、局放监测与诊断模块、温度监测模块、断路器位置（开、合）状态信息模块、智能告警模块等。

4 多功能模块技术解析

4.1 多参量感知系统设计与验证

智能开关设备系统集成断路器机械特性信息，采集母排搭接处温度、开关柜触头温度、出线电缆搭接处温度，分析及诊断开关设备运行状态。同时能够按客户需求监测柜内局放状态、监测柜内弧光保护，还能够监视断路器和接地开关的工作位置，全方位全面感知开关柜的各项信息，实现开关设备的透明化。利用物联网技术、边缘计算技术及通讯技术，实现了开关柜健康情况的“自我感知”及远程的可视化全电动操作功能。传统开关柜通过加装智能组件及其相关传感器和适量的设备改造，也可实现向智能开关柜的转变^[3,6]。

通过智能开关设备专家诊断系统，能够实现智能的在线监测开关设备的状态：综合评判开关设备的健康情况，排

查设备的隐患，降低预防性试验和定期检修的次数。开关设备故障后能够实现准确定位故障、快速分析故障原因，提供直观可视化的数据报告，加快故障处理速度，减少经济损失。基于层次分析法的开关柜健康状态评估方法，通过多维度数据融合与层次化分析实现设备状态量化评价。该方法首先整合开关柜历史运维记录、实时监测数据（温度/电流/触头状态等）及结构参数构建多源数据集，经去重和线性插值预处理后，依据 DL/T 2276-2021 电力行业标准，从柜体、断路器、接地开关等核心部件，选取运行状态、检修记录、试验数据三类关键指标，采用层次分析法构建三级评估体系：通过 1-9 标度法构造判断矩阵，计算各层权重并进行一致性校验（CR<0.1），最终加权计算综合得分，根据阈值（正常≥90，注意≥80，异常≥70，严重<70）判定健康等级。该方案实现了设备状态的动态跟踪与风险预判，为开关设备全寿命周期管理提供技术支撑。

对于开关柜健康状态评估模型，采用以下公式：

$$S^{(k+1)} = \sum_{i=1}^n S_i^{(k)} W_i^{(k)}$$

其中 i 为某一层的某一子项的第 i 个因素， n 为某一层的某一子项的因素总数， k 为从下至上的第 k 层， S 为得分数， W 为权重向量。

某电气企业 NXM-12 智能开关设备的各模块分布及功能按图 2。

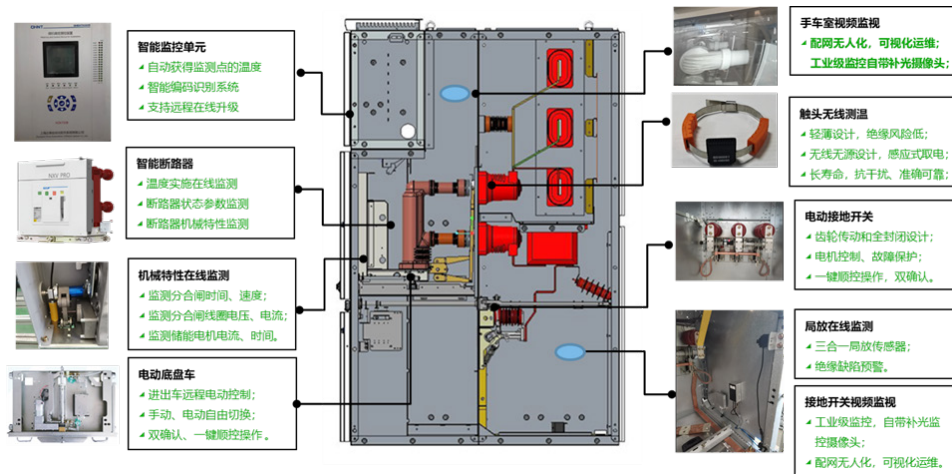


图 2 NXM-12 智能开关设备功能分布

以智能断路器方案为例，其包括断路器状态监测设备、非介入式电流传感器、非接触式角位移传感器等。实时监测开关设备在分/合闸过程中或储能过程中，机械行程、驱动部件的电流等信息，并对信息进行预处理，同时触发录波，并将各个通道信息按标准格式写入录波文件，对录波文件进行分析并上传文件。并通过试验测试，对比了智能化组件及传统测量方式的精度，数据允差满足 NB/T 42044-2014 《3.6 kV-40.5 kV 智能交流金属封闭开关设备和控制设备》等行业标准要求。

4.2 一键顺控设计与验证

智能监控单元装置采用多 CPU 架构，高速 DSP 保证了高精度的快速计算，采用自适应算法。高性能 ARM 保证了顺畅的通信以及显示等人机交互功能，可组成自愈式光纤环网型以太网，并具备以下功能：

数据显示功能：测控本体电压、电流等配电量监测数据，断路器、底盘车、接地刀分合等遥信量状态，手车室、电缆室传感器温湿度信息及告警，其他传感器数据显示及告警；局放监测装置数据显示。

通讯功能：本装置能够正确接收温度采集装置、局放接收装置和机械特性在线监测装置等 IED 报送的报文信息，并上传至配套监控后台。由上级系统对主 IED 发送断路器、电动底盘车、电动接地开关的操作指令，本装置能正确响应，并完成相关的操作控制。

报警功能：当开关设备和控制设备各状态监测单元发出异常信息，主 IED 可按产品要求发出正确的响应信息。

一键顺控功能：满足 3 路遥控（电动底盘车的遥控电动操作、接地开关的遥控电动操作、断路器的遥控电动操作）、涉及 12 路遥信采集（电动底盘车的双位置遥信、接地开关的双位置遥信、断路器的双位置遥信）、涉及电压/电流的模拟量采集（实现断路器的双确认），视频双确认的开入量为开关量。根据逻辑，进行了一键顺控程序化操作，包括：①停电操作程序：断路器分闸 - 底盘车从工作位置退到试验位置 - 接地开关合闸；②送电操作程序：接地开关分闸 - 底盘车从试验位置推进到工作位置 - 断路器合闸。并通过了型式试验。

配套后台监控能接入其 IEC 61850 通信协议，完成数据显示、保护事件提示，能对其发送断路器、电动底盘车、电动接地开关的操作指令。

4.3 增强现实交互系统

增强现实（AR），也被称为混合现实。它通过电脑技术，将虚拟的信息应用到真实世界，真实的环境和虚拟的物体实时地叠加到了同一个画面或空间同时存在。增强现实提供了在一般情况下，不同于人类可以感知的信息。它不仅展现了真实世界的信息，而且将虚拟的信息同时显示出来，两种信息相互补充、叠加。在视觉化的增强现实中，用户利用头盔显示器，把真实世界与电脑图形多重合成在一起，便可以看到真实的世界围绕着它。AR 技术不仅在与 VR 技术相类似的应用领域，诸如尖端武器、飞行器的研制与开发、数据模型的可视化、开关设备等产品虚拟培训远程运维指导，等领域具有广泛的应用^[8]。

智能开关设备可以配备 AR 增强现实眼镜。通过预先的建模，当运维人员站到柜子面前时，佩戴 AR 眼镜，可识别出相应的部位、器件，显示相应的产品信息，和系统实时数据，并可以和后台专家进行远程技术支持。

4.4 数字孪生协同机制

数字孪生作为实现物理设备与虚拟模型深度交互的关键技术，在智能开关设备云服务系统中扮演着重要角色。通过构建与物理设备高度一致的虚拟模型，实现对设备全生命周期状态的实时监控、预测性维护以及优化设计。

数字孪生（Digital Twin）是物理实体在虚拟空间的动态映射，通过传感器实时采集数据，结合算法模拟不同工况下的电气性能，优化散热、绝缘结构；实时映射柜体状态，如触头磨损程度、内部温升趋势；评估剩余寿命，辅助设备更换决策。

通过云数据分析及诊断，可以随时随地全面了解开关设备各电气设备的实时状态，第一时间获悉故障发生的准确信息，缩短故障处理时间，降低故障影响，提升应对故障的响应质量；通过大数据分析系统，对电气设备的电气参数，比如开关柜电压、电流、局放，温度、机械特性等进行实时诊断，采取预警措施，及时消除故障隐患。

5 行业应用前景

随着新能源与分布式能源发展，新型电力系统对电力设备要求提升。智能开关设备云服务系统在多方面适配良好。

①新能源接入与消纳：新能源发电不稳定，智能开关设备实时监测发电侧参数，精准控制分合闸，保障接入与运行。利用云服务数据分析预测发电功率，优化调度，提升消纳，减少弃能。②分布式能源管理：分布式能源系统复杂，智能开关设备作为关键节点，监测控制分布式电源、储能与负荷。边缘计算快速处理数据，结合云平台优化配置，提高能源利用率^[10]。③提升电网韧性与可靠性：新型电力系统风险多，智能开关设备能快速诊断隔离故障，配合云平台全局监测，减少停电范围和时间。实时监控与预测性维护可提前发现隐患，降低故障率。

虽然智能设备的初始投资相对较高，但在运维费与故障损失方面有大幅降低，后续全周期内降本效益显著。这表明从长期来看，智能开关设备云服务系统具有更高的经济价值，能够为电力企业带来显著的成本节约与经济效益提升。

参考文献

- [1] 邓磊, 邓成中. 基于云服务的远程控制系统 [J]. 信息工程, 2021(09): 38 - 40.
- [2] 陈志胜. 智能化中压开关设备的应用及发展前景 [J]. 中国高新技术企业, 2014(5): 31 - 32.
- [3] 薛勤, 项力恒. 智能开关设备的现状和应用前景 [C]// 2010 输变电年会论文集. 北京: 2010: 55 - 57.
- [4] 黄鑫晨. 智能化变电站运行维护技术发展趋势研究 [J]. 电子技术与软件工程, 2013(18): 188.
- [5] 全国智能电网用户接口标委会. 3.6 kV - 40.5 kV 智能交流金属封闭开关设备和控制设备: NB/T 42044 - 2014 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [6] GB/T 30155-2013, 智能变电站技术导则 [S]. 2014 - 08 - 01 实施.
- [7] 司洁, 张华. 基于增强现实技术的电力设备运维检修仿真方法 [J]. 自动化技术与应用, 2024, 43 (2): 156-159+168.
- [8] 张洪波. 增强现实技术在教学中的应用研究 [D]. 开封: 河南大学, 2012.
- [9] 杜羽, 张兆云, 赵洋. 边缘计算在智能电网中的应用综述 [J]. 湖北电力, 2021, 45(03): 72 - 81.
- [10] 胡瑞东. 电力调度系统中分布式能源的协调控制策略 [J]. 家电维修, 2025(03): 128- 130.