

Discussion on the Construction Strategy of Intelligent Automation Early Warning Mechanism of 10kV Switchgear

Erjun Lou

State Grid Henan Electric Power Company, Ruyang County Power Supply Company, Luoyang, Henan, 471299, China

Abstract

As a core component of power distribution systems, 10kV switchgear directly determines the stability and reliability of electricity supply. Traditional operation and maintenance approaches often exhibit delayed detection of potential equipment failures, failing to meet the requirements of modern lean power system management. Establishing an intelligent automated early-warning system represents a key solution to enhance the operational reliability of 10kV switchgear. This mechanism integrates technologies such as perception monitoring, data transmission, and intelligent analysis to enable real-time equipment status control and predictive risk assessment. Starting with the classification and functions of 10kV switchgear, this paper analyzes the necessity of developing intelligent automation early-warning mechanisms. It proposes specific implementation methods focusing on perception layer optimization, data link construction, and algorithm model development, providing practical support for the application and implementation of relevant technologies.

Keywords

10kV switchgear; intelligent automation; early warning mechanism; strategy

10kV 开关柜智能化自动化预警机制构建策略探讨

娄二军

国网河南省电力公司汝阳县供电公司, 中国·河南 洛阳 471299

摘要

10kV开关柜属于配电系统的核心设备,其运行状况直接影响到电力供应是否稳定可靠。传统运维模式对于设备潜在故障的察觉通常具有滞后性,不能满足现代电力系统精益化管理的要求。创建智能自动预警体系,是改善10kV开关柜运行保证才干的主要途径,该机制将感知监测、数据传输、智能分析等技术融合,从而可以对设备运行状态进行实时控制以及对潜在风险做出预判。本文从10kV开关柜的分类和功能入手,分析智能化自动化预警机制建立的必要性,从感知层优化、数据链路搭建、算法模型建立等几个方面提出具体实现方法,为相关技术的应用和实践提供支持。

关键词

10kV开关柜;智能化自动化;预警机制;策略

1 引言

10kV 高压开关柜的内部构造复杂,一般由高压断路器、绝缘接地开关、负载断路器、电压电流互感器、驱动机构等组成。高压开关柜的主要功能是架空进出线、电缆进出线、母线连接,其容量大,担负着配电工作,对系统的分析和运行尤其重要。10kV 开关柜属于电力配电网的关键节点,且作为电网 110kV 及以上电压等级变电站装用量最大的开关类设备,其可靠性直接关系到主变乃至变电站的安全稳定运行。开关柜主要失效形式是放电烧毁,其中发热、受潮是主要失效形式:一方面,开关柜受运行时间的影响,设备老化、自身设计缺陷、绝缘下降等原因会造成设备发热,进而

引发短路、接地等故障,致使设备烧毁、损失负荷;另一方面,开关柜采用全封闭式结构,各气室相互独立且为电缆出线,电缆沟上的潮气易积聚在柜内,加之柜内通风效果差,产生凝露现象,同样会造成设备绝缘降低,致使设备烧毁、损失负荷。智能化自动化预警机制指的是借助智能化技术手段,对设备运行状况展开持续监测,并提前发出风险警报的系统架构。

2 10kV 开关柜的分类与使用功能

根据不同的分类标准可以将 10kV 开关柜分成以下几类:首先,根据电压的波形进行分类,可以分成交流开关柜、直流开关柜;其次,按照开关柜的内部结构可以分成抽出式开关柜、低压分隔式开关柜等;最后,根据开关柜的主要用途可以分成进线柜、出线柜、计量柜以及母线柜等。由于开关柜具有架空进出线、母线联络等诸多功能,现阶段,主要

【作者简介】娄二军(1987-),男,中国河南通许人,硕士,高级工程师,从事电力工程研究。

被应用在发电厂、变电站、工业企业以及住宅小区等。

3 10kV 开关柜智能化预警机制构建意义

3.1 保障配电系统运行稳定性

10kV 开关柜运行状态与整个配电系统的稳定运行息息相关，任何一个局部异常如果没有得到及时地解决就会引起连锁反应。智能化预警系统可以不停地对开关柜的关键参数进行监测，从而在问题出现之前就发现元件老化、接触不良等隐藏的故障。传统的预警装置一般都是等到环境参数超过阈值之后才发出警报，这样的被动式预警方式会造成响应时间较长，从而增加事故发生的可能性，而预警机制通过设置的监测逻辑把隐患转换成预警信号，及时传递给运维人员，可以在故障发生之前进行处理，防止异常状态的发展。提前干预模式可以减少由于开关柜故障而造成的配电系统停电事件，保证电力供应的连续性，为各种用电场合提供可靠的电力保障。同时对开关柜内环境实施实时监测并调节，改善设备运作参数，削减能耗，缩减污染排放，具有环保作用。

3.2 提升运维工作实际效能

运维工作的效果直接影响到开关柜维护质量和成本控制，传统运维大多采取定期巡检的方式，这种依赖人工的方式不仅耗费人力物力，而且效率低下，容易漏检或误检。智能化预警机制的建立，把运维工作由被动变主动，预警机制用智能化的监测设备对开关柜的运行状况实施 24 小时监视，无需人工经常到现场去查看，当设备出现异常的时候，预警系统可以准确地找出发生异常的原因以及发生的具体部位^[1]。运维人员不用进行全方位的排查，可以直接根据预警所指的问题展开检修工作，以精准化的运维模式缩短故障处理时间，减少无效运维操作造成的成本浪费，提高运维工作的效率和质量。

3.3 助力设备全生命周期管理

10kV 开关柜属于一种带有生命周期的电力设备，在全生命周期里，其状态变化具有阶段性特征，精准把握这些特征是设备管理的重要内容。智能化预警机制在持续监测的过程中，会产生大量的开关柜运行状态原始数据，这些数据包括不同运行阶段的参数变化以及异常记录，对这些数据进行系统的整理和分析，可以清楚地发现设备老化规律以及性能衰减趋势。根据上述规律和趋势，设备管理人员制定相应的设备维护保养和更换计划，在设备性能下降的初期进行设备维护保养，在设备达到使用寿命之前做好更换工作。依靠数据支撑的管理模式能解决设备维护过度或者不足问题，提高设备有效使用寿命，达到设备全生命周期内高效管理。

4 10kV 开关柜智能化预警机制构建策略

4.1 优化感知层监测设备配置

感知层属于预警机制的数据采集源头，其中配置的设备是否合适，会直接影响到预警数据是否全面且准确。

10kV 开关柜智能化运行监测预警装置感知层应该整合多模块协同采集，具体包括：环境参数采集装置模块：通过高精度传感器实时监测开关柜内部温度、湿度等环境参数，把采集到的数据送到处理器处理；处理器：处理从环境参数采集装置模块送来的数据；热成像采集模块：采用热成像技术，用热成像摄像头实时监测开关柜内部温度分布情况，重点关注高温区域；电气数据采集模块：作为电力监测和自动化系统的核心组件，实时采集到电气设备的运行参数（电压、电流、有功/无功功率等）；高精度传感器：保证采集数据的精度和实时性；为后续分析、控制与预警提供基础数据支持。

在开关柜的重要部位合理布置上述监测设备，对触头、母线等易发热部位通过温度传感器与热成像技术双重监测，捕捉温度变化及分布差异；对断路器、驱动机构等运动部件装设振动传感器，用振动频率、振动幅值的变化判断部件磨损、卡滞等问题。同时也要有容量的蓄电池保证感知层一直运行，无线充电模块：采用无线充电技术，不需要使用电线或者其他物理连接，可以减少电线的杂乱，简化充电过程，用户无需拆卸装置即可进行充电，利用电磁场在充电站和设备之间传输能量，从而为设备充电。在设备布置时，需要考虑传感器的安装位置和布线方式，防止由于安装不当造成开关柜不能正常工作或者监测数据不准确。选择具有抗干扰性能的感知设备，采用特有的抗干扰技术设计，减小开关柜内电磁环境对监测数据的影响，保证采集到的原始数据可以真实反映设备的运行状态，为后面预警分析打下可靠的基础。

4.2 搭建高效数据传输网络架构

数据传输网络是感知层和分析层之间的桥梁，其所具有的传输效率和稳定性，直接决定预警是否能够得到及时准确的信息。网络架构的搭建要结合开关柜安装环境和监测数据传输要求，用分层设计的方法构建出高效数据传输线路，核心配置数据传输 DTU 模块：装置内置边缘计算模块，对原始数据进行预处理（如滤波、特征提取），减少数据传输量。支持 4G/5G、LoRa、光纤等多种通信方式，确保数据实时上传至云平台或调度中心。边缘节点属于数据传输的中间环节，可以对采集到的数据执行初步筛选和预处理，剔除无效数据及干扰数据，缩减后续传输的数据量^[2]。

远距离数据传输时可通过 4G/5G、LoRa 等无线通信实现灵活传输，光纤作为有线通信核心保障关键数据稳定传输，形成无线与有线结合的传输模式。在数据传输过程中，实时校验网络数据是否存在丢失或者数据是否正确，当检测到数据丢失或者是传输不准确时，可以触发数据重传。利用标准通信接口，实现预警系统与配电系统内其他设备的数据交换，保证预警数据可以顺利地各个系统之间传递，为多系统协同工作提供支持。

4.3 构建精准预警算法模型

预警算法模型是实现智能预警的核心，围绕开关柜的

运行特点和故障规律来设计预警算法模型,从而保证预警判断准确。模型的建立要采取分层的办法,利用边缘计算和云端分析的优点来达成高效预警,边缘节点可以安装轻量化算法模型,快速处理感知层传来的实时数据,对电压、电流、温度这些重要的参数设置动态基线。动态基线生成要依靠设备全生命周期运行数据,采用滑动时间窗方式实时更新,可以适应设备老化引起参数变化,避免固定阈值造成的误报漏报问题。

边缘节点难以准确判断的复杂数据,将数据上传到云端系统之后,依靠数据预警平台来处理,数据预警平台利用多源流式数据采集技术从各种数据源获取数据,并使用数据存储模块对数据进行存储和管理;平台利用数据挖掘以及机器学习算法对数据展开深度分析,找出数据里隐藏的规律和趋向,察觉异常状况。同时设置指标监控预警模块,对重要的指标设置预警阈值,当指标超限或者达到预警阈值的时候,系统就会发出提醒。预警平台支持一站式实时数据处理和规则预警,利用实时计算引擎把数据与规则执行模式匹配运算,产生预警信息并把消息投递到消息中间件以及数据库当中。算法模型要有自学能力,通过不断累计运行数据,慢慢调整模型参数,以此提高对复杂故障的识别能力。靠边缘节点快速反应,云端精准分析,就能对各种级别的异常做出有效的预警。此外还需要具备数据报表和可视化组件,用图表、表格、报表等形式对数据进行可视化展示,使用户可以实时监控数据并分析。并且可以自动生成智能报告,给用户提供数据分析与决策建议^[4]。

4.4 推进系统标准化建设与优化

智能化预警机制的大规模应用与实现长时间的高效运转,离不开标准化系统的建设与优化,由此形成“建立→应用→优化”的正向循环。目前电力系统中10kV开关柜设备型号繁多、厂家技术规范不一,容易造成预警系统与设备、跨系统之间不兼容,数据交互效率低,制约机制的推广应用,所以标准化创建、动态更新,这是保证预警机制实用性和可扩展性的重要环节。标准化建设要集中力量来创建统一规范,接口方面要制订行业通用的感知设备通信协议及数据交互接口标准,使得不同厂家生产的传感器、监测模块可以无缝对接预警系统,进而解决设备兼容问题,数据方面要

统一核心参数(温度、振动、电力参数等)的采集精度、数据格式和存储规范,实现预警数据和配电管理系统、设备档案系统数据互通共享,实施方面要明确系统部署、设备安装、运维操作的技术规范和质量标准,提高系统建设和维护的统一性。优化工作要建立动态反馈和技术融合的机制,从运维实践中获取预警准确率、故障处理成效等数据,剖析系统运作的短处,形成改进清单,依照电力运维智能化的发展趋向,不断引入人工智能大模型,数字化新技术,丰富故障模拟推演效率,实现运维方案智能生成,按照设备全生命周期数据以及新的故障案例,定时更新算法模型参数,优化预警阈值体系,适应设备老化,运行环境改变等状况,保证预警机制一直保持准确并且具有适应性,为配电系统的精益化运维带来持久可靠的科技支持。

5 结语

10kV开关柜运行安全以及电力供应的可靠程度与开关柜有着直接联系,随着电力系统智能化水平的逐步提升,对开关柜运维管理的精确性要求也越来越高。智能化预警机制依靠智能化技术手段,达成对开关柜运行状况的持续观测并就潜藏的风险予以提前警报,为运维工作带来了科学的导向。形成这样的机制,就要从感知层、传输层、算法层、运维层、安全层这五个方面出发,通过改善设备的配置,搭建起高效的网络,创建精确的模型,把运维体系融合起来,并且加强安全防护,构建一个全面的预警保障体系。该机制实行后可大幅提高开关柜运行稳定性、减少运维成本,为配电系统安全、高效运行打好基础,促进电力运维管理精益化、智能化发展。

参考文献

- [1] 王刚,伍俊霖.基于大数据分析的10kV高压开关柜监测与预测策略[J].灯与照明,2025,49(5):102-104.
- [2] 冯肖荣,杨贺强,谷志远,等.光伏电站10kV开关柜火灾预警系统设计[J].中国新技术新产品,2025(4):139-142.
- [3] 刘建广.AI时代对10KV开关柜智能化改进的途径探索[J].机电元件,2024,44(3):62-64.
- [4] 侍海将.基于智能巡检机器人技术的10kV开关柜自动化转运小车研究[J].汽车知识,2024,24(12):242-244.