

Application of common faults and condition based maintenance techniques in the operation of substation maintenance equipment

Jia Ma Feiya Ma Zongtian Zhang Liming Ding

Changji Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Changji City, Xinjiang, China 831100

Abstract

Substation operation and maintenance equipment is a crucial component of the power system, and the condition of such equipment directly determines the safety and reliability of the entire power grid. This paper analyzes the types of faults that occur in substation operation and maintenance equipment during actual operation, and points out that the main issues existing in equipment operation, maintenance and overhaul work include transformer faults, circuit breaker faults, and disconnecter faults. It also focuses on expounding the application of condition-based maintenance technology in the operation and maintenance of substation equipment. The application of condition-based maintenance technology to substation operation and maintenance equipment by using online monitoring, data analysis and intelligent diagnosis technologies enables accurate assessment of equipment operating status and predictive maintenance, thereby reducing the fault rate and improving the work efficiency of maintenance and operation. Combining the theoretical basis of condition-based maintenance technology and practical application cases, this paper discusses the necessity and feasibility of condition-based maintenance technology, and demonstrates that it can provide guidance for the equipment management work of power enterprises.

Keywords

Substation Operation and Maintenance Equipment; Fault; Condition-Based Maintenance; Analysis and Handling

变电运维设备运行中常见故障及状态检修技术的应用

马佳 马菲雅 张宗田 丁立明

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司, 中国·新疆 昌吉市 831100

摘要

变电运维设备属于电力系统的重要组成元素, 运维设备好坏直接决定了整个电网的安全可靠性。文中对变电运维设备在实际运行过程中发生的故障类型进行了分析, 并提出了运维检修设备工作中的主要存在问题是变压器故障、断路器故障、隔离开关故障等问题, 并且着重阐述了状态检修技术在变电设备运维中的应用。运用在线监测、数据分析和智能诊断技术对变电运维设备进行状态检修技术的应用可实现设备运行状态的准确评估与预报预控性的维修保养, 进而降低故障率、提高检修运维的工作效率。结合状态检修技术的理论基础及实际应用实例, 论述了状态检修技术的必要性与可行性, 论证了其可以为电力企业设备管理工作提供指导作用。

关键词

变电运维设备; 故障; 状态检修; 分析处理

1 引言

因电力系统规模越来越庞大以及智能化程度越来越高, 所以变电运维设备的可靠性与安全性是保证电网安全稳定运行的重要环节, 同时, 由于设备一直处在高压、大电流、恶劣的工作环境下, 在实际运行过程中无法避免故障的发生, 对于这样一种只能寄希望于事后的抢修的做法并不利于变电运维工作的顺利进行。与传统定期检修方式相比, 状态

检修方式能准确的掌握设备运行状况, 实现故障预警。本文主要从变电设备常见故障出发, 运用状态检修技术手段对其进行处理, 并对其运行原理、过程以及方法进行说明和总结, 供变电运维工作者参考使用。

2 变电运维设备运行中常见故障分析

2.1 变压器故障

对于变电系统来讲, 变压器就是能量转换的核心部件和主要元器件, 如果其出现故障, 则会导致变电系统的正常运行受到严重的影响, 以至于最终导致大面积、长时间地停电, 其危害是非常大的; 绝缘老化和击穿是最常见的两种故障类型, 由于绝缘老化会形成热点引起过热放电, 从而击穿

【作者简介】马佳 (1990-), 女, 回族, 中国甘肃省敦煌人, 本科, 工程师, 从事变电运维研究。

绝缘，所以这种类型的故障最容易造成大范围长时间的停电事故。除以上外，其他故障的形成，主要也是由于长期电热作用下产生的自然老化以及短时过负荷造成的。其次还受到雷击过电压、操作过电压的作用影响。绝缘降低是由湿气进入、油纸绝缘受潮、表面污秽等引起的。故障发展的顺序从轻到重依次是局部放电信号增大、油中溶解气体含量超标，最终发展为绝缘击穿，造成绝缘介质内部出现电弧及压力骤增，导致油箱爆裂、着火等严重后果；绕组变形与短路：如题所述，在外力的作用下可使绕组产生径向或者轴向位移、扭曲、鼓包等变形，并形成积累效应，在机械强度下降的同时绝缘性能也不断衰减，最直接的结果就是匝间短路和层间短路。绕组变形、短路后出现的绕组频率响应特性和电抗的变化等。如果发生短路，则巨大的能量可以使绕组被瞬时烧毁，同时也会损坏铁芯，因而会把变压器彻底破坏掉。

2.2 断路器异常

电网的守护者是断路器，负责断开正常负荷电流与故障短路电流的工作，其可靠程度决定了故障是否能准确隔离。机械故障是造成断路器出现的第一种故障类型，包括操动机构出现卡涩、拒动或者误动，还有分合不到位等，是由于各部件因为时间长造成的摩擦损伤、或者零部件变形，还有润滑油老化或者是干涸、机构里面进入了异物，控制回路中有元器件损坏等原因所引起的。这种后果是非常严重的，

比如说断路器如果短路拒分，则会形成越级跳闸，断路器会出现运行扩大化停电的问题。首先是绝缘性能下降。以 SF₆ 断路器为例，主要是 SF₆ 气体泄漏导致气压减小，灭弧能力和绝缘能力大幅下降，极易引发内部闪络；对于油断路器而言，一般是由于绝缘油碳化、受潮、劣化等原因引起灭弧和绝缘能力下降，可能会发生内部击穿；对于真空断路器来说，真空泡寿命比较长，而真空断路器外壳的外部绝缘支柱可能会因为污染以及潮湿而造成闪络损坏。每次开断时，主触头、弧触头都会被烧伤或氧化，接触不良使接触电阻增大，在通大电流时会产生局部过热，温度最高可达几百摄氏度，会继续加速氧化，形成恶性循环，直至将触头烧坏，甚至有在合闸状态导电杆烧断的危险^[1]。

2.3 隔离开关问题

隔离开关用于提供一个明显的断开点，但因其机构简单，没有灭弧功能，所以一旦出故障就更复杂，再加上使用过程中的频繁操作容易引起故障。触头接触不良、发烫是典型的故障。开关长期暴露于空气中，触头表面有氧化或积灰等情况。安装调整不到位或操作过程中发生机械偏移，容易造成触头压力不够或接触面积减少。表现在接触电阻过大，在运行中有负荷时，接头发热，从测温中可发现明显的高温点，如不及时处理将出现触头发熔焊、粘连以及过热导致线路拉断等恶性事故。

表 1 变电运维设备常见故障类型及成因分析

设备类型	常见故障现象	主要成因	影响后果
变压器	绝缘击穿、绕组短路	老化、过负荷、环境因素	停电、设备损坏
断路器	拒动、误动、过热	机械磨损、绝缘劣化	保护失灵、系统稳定性下降
隔离开关	触头烧蚀、操作卡涩	接触不良、润滑不足	局部停电、操作失败
互感器	测量误差、二次开路	绝缘受潮、接线错误	保护误动、数据失真
避雷器	泄漏电流增大、爆炸	阀片老化、密封失效	过电压破坏、设备损毁

3 状态检修技术的原理与应用

3.1 状态检修的技术基础

实施状态检修需有一套集感知、传输、分析、决策于一体的闭环的技术体系，这是状态检修的基础。在线监测技术是状态检修之眼，全天候、无间歇的运行于各类设备上，获取设备的状态信息，感知设备状态。放置在设备的关键位置的各类传感器为其核心，比如电气量监测中常见的泄露电流、介质损耗因数、避雷器阻性电流等都是用来直接表征设备的绝缘状态；物理量监测中的红外热像仪监测触头、导体的温度分布；以及化学量监测中常用的油中溶解气体分析在线监测装置监测变压器油中 H₂、CH₄、C₂H₂ 等特征气体的含量和增长速率，可以作为诊断变压器内部潜伏性故障的有力武器之一。

数据分析与诊断技术是状态检修的大脑，是基于大量数据信息而产生，目的在于从大量的数据信息中提炼出有用的内容，如传统的基于阈值报警的方法已经不能满足现在的

需求，此时的大数据分析要基于长时段内来源多种的数据之间进行关联分析，从而找出设备的正常基准状态值，并发现其中存在的一些微妙的变化；人工智能算法通过一些基础模型来对故障的不同模式实现智能化的识别和分类，譬如利用 DGA 的数据训练好相应模型，可以使得该系统能自动判定故障属于过热、放电或二者兼有的情况，并能粗略地判定故障所在部位。此模型综合考虑了设备的历史运行数据、当前的状态评估结果、设备的实时负荷情况、环境应力等因素，利用威布尔分布、神经网络等预测方法，对设备剩余寿命的概率分布进行分析，并利用模型中的参数计算出设备未来可能发生故障的时间；通过量化分析设备故障造成的影响，包括：停电损失大小、设备损坏程度，以此给出维修决策，具有经济性及可靠性两方面的保证。

3.2 状态检修在变电设备中的具体应用

现阶段，状态检修技术已经在变电主设备的全生命周期内广泛应用，并进行了如下实践：变压器状态检修：核心的检测方式就是通过油色谱在线监测作为变压器状态检修

的重要工具,如果检测时发现 C₂H₂ 气体,就意味着有放电性故障,而如果 CO、CO₂ 含量很高,则说明固态绝缘已经老化严重了。将高频电流传感器监测局部放电和光纤测温点监测绕组热点温度结合使用,构成一种全方位状态监测网。

断路器状态监测:机械特性监测是十分重要的,通过记录每次分合闸过程中的行程-时间曲线、分合闸线圈电流波形与标准值相比较便可判断出机构是否有卡涩、弹簧是否疲劳、润滑是否良好。应用价值在于,若某个断路器的合闸时间比较长,并且有线圈电流波形出现抖动时,那么系统可提前告知运维人员设备操动机构可能出现卡涩情况,运维人员可以利用下次停电的机会进行维护,这样就可以避免因为“拒动”而发生越级跳闸的情况^[2]。

4 提升状态检修效能的措施

4.1 加强顶层设计与标准化建设,奠定数据互联互通基石

目前状态检修中最大的困难就是采集的数据种类繁多,各种类型的数据其数据格式也不尽相同,造成了目前大量数据呈现“数据孤岛”的状况,无法实现横向对比和深入挖掘。一是要建立统一的监测数据规范,制定主变压器、断路器、GIS 等关键设备在线监测装置的技术规范、通信协议以及数据接口标准。二是要使不同的厂家、不同时期的设备采集到的同类数据具有相同的定义、量纲、精度。这样才能使后续的大数据分析有可以进行横向对比的基础。

建立状态评估与诊断导则:对于不同设备家族,可分别细化各自的状态量权重分配、故障诊断逻辑树、状态等级划分等,例如,在变压器绝缘状态评估过程中,规定油色谱数据、局部放电量、糠醛含量等重点评价指标,并规定阈值及它们之间的关系,从而使不同的运维人员或者不同的智能系统均用同样的标尺作出相对相近的判断结果,减小了由于运维人员经验的不同所造成的不确定度。

规范预警与决策流程:建立起对应状态等级的预警发布机制、预警响应机制、检修决策机制,并明确每种状态等级对应的观察措施、加强监视措施和停运检修措施,做到由数据到预警再到决策的规范化、流程化管理,提高应急响应的效率。

4.2 推进技术融合与智能化升级,构建预测性决策大脑

基于规范化的数据,在结合前沿信息技术的基础上进行深度融合是实现状态检修预测准确性以及决策智能化的关键,深化大数据、机器学习等应用,不只是用简单的阈值报警,而是要通过大量的历史数据来训练机器学习模型。如通过建立基于时序预测的变压器油中溶解气的增长趋势,对

未来何时可能发生过程或者达到超标情况作出判断。

探索数字孪生技术应用:为重要的设备构建高保真度的数字孪生体,就是具有与物理设备时刻保持映射关系的一个虚拟模型,在数字世界中,模拟设备在任意运行工况及任何的载荷下,不同的运维状态会呈现怎样的变化态势,并对其虚拟应力变化进行施压,对不同的运维方法所造成的可能结果先期模拟和仿真,模拟不同运维方式带来的不同的风险。由检测结果驱动变为基于风险驱动。

4.3 强化专业人才培养与团队建设,打造核心人力资本

最先进都要有人来使用,而状态检修对于运维人员的知识结构以及能力也具有非常高的要求,应该由原来只有设备的操作员转变成数据的分析师以及状态诊断员。开展系统的技能培训,要针对运维人员开展专项的培训,培训的内容主要包括监测的技术原理、数据分析方法、故障图谱的辨识以及一些智能化诊断工具的使用等等。要开展基于案例的实际作战式训练,着力提升他们对监测数据出现的一些异常情况的综合分析和判断的能力^[3]。建立好专家的支持体系。一方面要培育好企业里面的这些状态检修方面的专家队伍,他们主要就是对于比较疑难杂症的问题能够来进行把关和做出一个决断性的建议;第二方面是利用好高校、科研院所或者说是设备厂家这些外部专家资源,建立起一个内、外并举的支持网络,来解决我们的现场碰到一些技术性的难题。

5 结语

变电运维设备故障防控是保证电力系统安全运行的重要手段。但是传统的定期检修方式已经不能够满足现今电网发展的需要,而状态检修可以通过实时在线监测并利用数据分析预测完成检修维护工作,其具有了精准化与智能化的特点。以变电设备故障为出发点进行了常见故障类型的总结阐述,并对其状态检修的工作原理、实际应用与实践效果做了详细的分析。结合今后状态检修的发展趋势可知:随着后期传感器、人工智能等技术的不断发展进步,未来的状态检修工作对于设备本身工作时的可靠性能、经济性能都能有进一步的提升。

参考文献

- [1] 易金明.基于变电运维运用于设备状态检修中分析[J].低碳世界,2017,(27):52-53.
- [2] 杨旭琼,朱熹.设备状态检修中变电运维的应用[J].中国战略新兴产业,2018,(36):246-247.
- [3] 李波.变电运维设备运行中常见故障及状态检修技术的应用[C]//中国智慧城市经济专家委员会.2016首届全国智慧城市建设应用高峰论坛论文集.国网四川明珠集团有限责任公司螺丝池水电厂,2016:93.