

Application of charged testing technology in condition assessment of substation equipment

Jinsong Tong Daozhi Wang

State Grid Jingzhou Power Supply Company Substation Operation and Maintenance Branch, JingZhou, Hubei, 434000, China

Abstract

Live detection technology is pivotal for condition assessment and fault monitoring of substation equipment. It enables real-time or scheduled monitoring of operational parameters without disrupting normal equipment operation. This paper systematically examines the fundamental concepts, primary categories, and developmental trajectory of live detection technologies. Special emphasis is placed on analyzing the principles and characteristics of partial discharge detection, infrared thermal imaging, ultrasonic detection, and ultra-high frequency detection. Practical applications are explored in identifying equipment deficiencies, analyzing condition data, and evaluating health status. Additionally, the paper discusses technical application criteria, data maintenance protocols, and future development trends, aiming to provide theoretical references and practical guidance for condition-based maintenance and intelligent operation and maintenance of substation equipment.

Keywords

live detection; condition assessment; substation equipment; partial discharge; infrared thermal imaging; ultrasonic testing

带电检测技术在变电设备状态评估中的应用

童劲松 王道志

国网荆州供电公司变电运维分公司, 中国·湖北 荆州 434000

摘要

带电检测技术对于变电设备状态评定以及故障警报十分关键, 其在不影响设备正常运行的前提下, 可以随时或者定时监测并得到体现设备运行状况的特征值。本文详细阐述了带电检测技术的基本概念、主要类别及其发展脉络, 着重剖析了局部放电检测、红外热像检测、超声波检测和特高频检测等方法的原理与特性, 探究了该技术在识别不足之处、分析状态数据以及评判设备健康水平时的实际运用情况, 还就技术的应用准则、数据维护及其将来的发展走向展开了论述, 希望给变电设备的状态维修和智能运维提供理论参照和实践指导。

关键词

带电检测; 状态评估; 变电设备; 局部放电; 红外热像; 超声波检测

1 引言

带电检测技术可以有效的检测出变电设备中存在的问题, 并可以明确的指出出现问题的位置以及产生此问题的原因, 帮助维修人员合理地解决变电设备的故障, 提升变电设备运行的安全性, 被广泛的应用在变电系统的建设中。传统的定期检修模式无法符合电网精益化运作的的需求, 依靠即时检测、状态评价的预测性守护渐渐成了发展方向。带电检测技术是状态考量的重要支撑, 它可在不断电的情况下及时取得设备的运行状态信息, 有效地找出潜在缺陷, 从而改善运维的效率和经济性。本文就带电检测技术在变电设备状态

考量中的应用予以论述, 系统地阐述其技术原理、方法体系以及应用模式, 以此推动该技术在电力系统里深入应用并规范发展。

2 带电检测技术概述

2.1 带电检测的基本概念

带电检测属于一种技术, 它在电力设备正常运行电压的情况下, 利用专用仪器和手段来测量并判断其状态参数。这项技术重点在于无需中断供电就能得到体现设备绝缘性能、机械特性和热行为这些关键状态量的信息, 从而做到随时评定设备的运行状况。相比于停电试验而言, 带电检测存在不少优点, 比如不会影响系统运行、可重复性高而且可以捕捉到动态过程, 所以已经成为状态检修体系非常重要的根基。它的检测范围覆盖变压器、开关设备、容性设备等主要

【作者简介】童劲松(1973-), 男, 中国湖北公安人, 本科, 助理工程师, 从事变电运维技术研究。

变电设备,涉及局部放电、温度分布、振动噪声等多种物理特点,最终目的是用于识别设备缺陷并评判其健康状态。

2.2 主要技术分类

检测原理与信号类型存在差异,带电检测技术大致可被划分成电气类、机械振动类、光学类以及化学类等众多方法。电气检测拿局部放电检测来说,该检测会捕捉设备内部放电所产生的电脉冲、电磁波等信号来评定绝缘状态;机械振动类涵盖超声波检测,此检测可用于识别设备机械松动、部件磨损之类的瑕疵;光学类以红外热像检测最为典型,经由察觉设备表面温度分布的异常情况从而找出过热瑕疵;化学类则是借助检测设备所逸散的气体成分来判断内部故障。这些技术各有侧重之处,多种技术融合使用时,可以提升状态判断的全面性和准确性,进而形成起变电设备状态监测的技术体系。

2.3 技术发展历程

带电检测技术产生于二十世纪中叶,早期主要依靠简易红外点温仪和脉冲电流法局部放电检测。由于传感器灵敏度低以及信号处理能力有限,其应用范围较为狭窄。后来,微电子技术、数字信号处理和传感技术不断发展,检测手段渐渐朝着高频、宽频以及多物理量融合的方向去发展,于是便出现了特高频局部放电检测、紫外成像、高频电流互感器等新的方法。步入二十一世纪之后,智能化和物联网技术促使带电检测朝着在线监测、大数据分析以及智能判断的方向前行,检测系统的整合程度持续加强,慢慢创建起一个包含全面、反应快速且判断准确的设备状态感知网络,这成了智能电网创建过程中极为关键的技术支持。

3 关键技术原理与方法

3.1 局部放电检测

局部放电检测属于评价变电设备绝缘状态的重要技术,其核心在于获取设备内部由电场聚集引发的微小放电信号。局部放电过程中会产生诸多物理现象,比如电流脉冲、电磁辐射、声波以及光信号等。检测手段包含脉冲电流法、特高频法、超声波法和暂态地电压法等。脉冲电流法经由测量放电造成的接地线电流脉冲来执行定量分析;而特高频法则依靠天线传感器接收放电激发起来的电磁波信号,此方法具备较强的抗干扰能力并且定位准确。这些方法各自有所侧重,相互配合使用能够提升检测的灵敏度与可靠性,从而给绝缘故障的判断提供全方面的依据。

3.2 红外热像检测

红外热像检测依靠设备发热处向外界辐射红外能量的原理,经由红外热像仪把看不见的红外辐射转变成可视化的温度分布图,以此来直观表现设备表面的温度场。变电设备处于故障或者异常状态时,常常会出现局部过热现象,比如连接部位接触不良、介质损耗增多、内部循环受阻等情况都会引起温度异常。这项技术具备非接触、可视化、检测范围

大的优点,可以立即察觉到设备存在的热缺陷,适合用于导线接头、绝缘子、避雷器以及变压器外壳等部件的状况巡视检查,是预防性保养当中全面采用的关键方法。

3.3 超声波与特高频检测

超声波检测依靠接收设备来捕捉由局部放电或者机械摩擦产生的高频声波信号,以此做到对缺陷的位置判定及其种类区分。其特别适用于开关柜、GIS这种封闭式设备内部的放电检测。而特高频检测重点关注的是局部放电所激发出来的300MHz到3GHz频段的电磁波信号,并借助内置或者外置的传感器来执行接收和分析工作。它具备很强的抗干扰性能以及很高的灵敏度,可以有效地检测到变压器、电缆这些设备内部存在的绝缘问题。这两项技术往往会被结合起来一起运用,其中超声波用来达成精确的定位目标,特高频则负责发出早期警报并实施种类判断。二者相互配合,从而在复杂的工作环境下加强了对缺陷检测的精准度和可信度。

4 技术在状态评估中的应用方式

4.1 缺陷类型与特征识别

带电检测技术用于状态考量时,其主要任务在于辨别设备的缺陷种类及其特点表现形式。按照不同检测方法所得到的信号特点,可以将缺陷划分成局部放电类缺陷、过热类缺陷以及机械类缺陷等等。局部放电缺陷在脉冲电流图谱里体现为具有特定相位分布的脉冲群,在特高频频谱当中则表现出某一频段能量集中;过热缺陷经由红外热像图可察觉到局部温度明显高于周边环境;至于机械松动状况,会在超声波频谱上显现为持续或者断续的高频振动信号。经由多源信息整合并实施特征获取之后,便能形成起缺陷类别与信号特征之间的对照联系,从而给后续的状态评定提供依据。

4.2 状态数据分析

状态数据分析对于把设备状态从“信号”转变成“评价”十分关键,它覆盖数据预处理、特征获取、模式识别以及趋势分析这些步骤。最初的检测数据往往存在噪声和干扰现象,所以要经由滤波、去噪等方式来做预处理来优化信噪比。特征获取就是从时域、频域以及时频域当中获取能够体现设备状态的重要参数,放电幅值、频次、温度梯度、振动能量等等都是。按照历史数据和标准阈值,借助趋势分析、横向对比以及纵向跟踪,可以判定设备状态的改变趋向,找出不正常的发展规律,从而为设备健康状况分类和风险评定形成基础。

4.3 设备健康度评价

设备健康度评定意在综合各类检测数据,对设备整体状况实施分级考量。一般会把设备状态划分成正常、关注、异常以及严重等层级。其评定方法涵盖阈值对比法、权重评分法和智能模型评价法等。阈值法按照标准或者经验预设各参数的界限来执行判定;权重评分法给予不同的检测项目以相应的权重,经由计算综合得分来进行状态的分级;智能模

型法则凭借机器学习、深度学习等手段创建检测数据和健康状况之间的非线性对应关系。评定的结果可以直接引导检修决策,达成从计划检修到状态检修的过渡。

5 应用管理与发展

5.1 技术应用规范

带电检测技术若要规范应用,则检测结果可靠、评价一致才有可能达成。其应用规范覆盖诸多方面,检测期限、检测环境、仪器校准、人员资质以及作业流程等均在其中,而且要清楚各类设备包含哪些检测项目、怎样选取检测方法并规定数据记录规则。标准的检测作业指导书及流程利于统一操作,缩减人为因素造成的偏差。规范还关乎检测数据的格式、保存形式以及传递规则,从而为数据整合与共享形成基础。规范当中应当明确不同检测方法的合适范围及其局限之处,促使多种技术相互弥补、协同合作,进而改善状态评定的系统性与科学性。

5.2 检测数据分析管理

检测数据分析运作包含对数据采集、存储、处理以及应用的全过程控制,这对于发挥数据价值十分关键。要形成起统一的数据运作平台,达成多源异构检测数据的整合并做到标准化存储,依靠数据库技术来保证数据的安全及其可追溯性。在数据分析方面,应当塑造起从原始数据过渡到状态评价的自动处理流程,采用数据挖掘、趋势预测这些高级分析手段,从而加深数据的应用水平。而且,还要创建数据质量评价体系,以保证数据的准确无误和完备无缺。经由数据的共享与交流,助力跨区域、跨设备的综合状态评价以及决策改良。

5.3 技术发展趋势

展望未来,带电检测技术会朝着智能化、综合化、标准化以及多技术融合的方向发展。伴随人工智能和大数据技术的全面应用,检测数据自动判断能力和智能警报能力将会得到很大改善,从而做到从“检测”迈向“决策”的转变。所谓综合化就是硬件设备变小、功能变得更多样,检测系统被整合成一个平台,以此来优化检测效率并使其更加方便。标准化工作要完善技术标准体系,促使检测方法、数据接口和评判准则达成一致。而且,把多物理量检测技术和新型传

感技术结合起来,可以进一步加强状态感知的层次和准确度,引导带电检测朝着全方位感知、精确评定、自动报警的方向去发展。

5.4 技术集成与智能诊断平台建设

技术整合并创建智能判断平台属于带电检测深入应用的关键走向,目的在于达成多源数据的融合与协作分析。搭建起统一的软硬件平台之后,就可以针对局部放电、红外、超声波这些不同的检测技术所产生出来的数据执行整合运作,从而打破信息孤岛现象。这个平台会凭借数据挖掘以及机器学习算法去深入剖析大量历史和即时数据,形成设备故障的特征数据库以及判断模型,做到对异常情况的自动识别并且发出故障的智能警报。此平台具备检测任务的智能派遣功能,能够自行生成报告,并给予决策支持,大幅改善了状态评价的自动化程度及其判断的精准度,给电网的数字化运维供应关键性依靠。

6 结语

带电检测技术是变电设备状态评定的关键手段,其技术体系与应用模式已趋于完善,在加强电网运行可靠性、改良检修策略上有着重要意义。从基本概念到关键技术,从瑕疵识别到健康度评定,该技术持续融入先进传感、信息处理及智能分析方法,促使状态检修朝着智能化、精准化方向发展。未来,伴随技术不断革新,应用管理不断完善,带电检测将会在电力设备全寿命管理、电网智能运检体系创建进程中起到更为关键的作用,给形成安全、高效、绿色的现代电力系统提供稳固支撑。

参考文献

- [1] 朱旭光,江萌.带电检测技术在变电设备运检实践中的应用[J].设备管理与维修,2025,(16):125-127.
- [2] 杜守成,杨洋,王凤雪,等.带电检测技术在变电运维工作中的应用与实践[J].电子元器件与信息技术,2025,9(05):122-124.
- [3] 浦昊,吴怡.变电运维中的带电检测技术分析[J].集成电路应用,2024,41(08):350-351.
- [4] 梁军,陈赫.变电设备局部放电带电检测技术分析[J].光源与照明,2024,(06):81-83.
- [5] 刘佳佳,李春雨.变电设备带电检测技术的应用[J].集成电路应用,2022,39(11):198-199.