

高压超高压电力电缆光纤测温技术研究及应用

韩四保

(内蒙古赤峰抽水蓄能有限公司, 内蒙古 赤峰 024000)

【摘要】电力系统作为整个社会发展和经济活动的基础,其安全运行关系到国家经济和社会稳定发展。电力电缆是电力系统安全稳定运行的重要组成部分,其故障问题直接影响整个系统的安全。高压超高压电力电缆敷设在复杂的环境中,如潮湿、污秽、腐蚀等容易引起绝缘层的老化和损坏,造成电缆短路等事故。因此,在设计时要考虑对电缆的温度进行实时监测。光纤测温技术能够实现对电缆本体及接头温度的在线监测,具有动态测温、测量精度高、不受环境影响、不受电磁干扰等特点,基于此,本文对高压超高压电力电缆光纤测温技术及其应用进行了研究。

【关键词】超高压电力电缆; 光纤测温技术; 应用

引言:

电力电缆是一种重要的输电、配电、供电的电气设备,其运行状况直接关系到电网的安全、可靠运行。近年来,电力电缆故障不断发生,给电力系统的安全稳定运行带来严重威胁。因此,研究分析电力电缆故障原因和监测方法,实现对电缆故障的监测和预警,对保障电网安全运行具有重要意义。光纤测温技术是一种先进的传感技术,通过光纤信号传输,可对电缆接头、母排等处的温度进行监测和预警。

一、光纤测温技术的原理以及光纤传感器的特性分析

(一) 光纤测温技术的原理

光纤测温技术是利用布拉格光栅或拉曼散射原理,测量光纤中光波在特定波长处的变化,从而实现测温的一种方法。光纤测温技术可对高压特高压电缆进行高精度、高稳定度的温度监控,是保证电缆安全运行的关键。如采用布拉格光栅传感技术可实时监测电缆工作状态下的温度变化,测量精度可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,响应时间不超过1秒。该技术的应用不仅能及时发现电缆过热现象,还可以根据数据分析对潜在故障进行预测,从而达到预防性维修的目的。

(二) 光纤传感器的特性

光纤传感器是高压电力电缆温度测量的核心部件,它的分类和特性对测量系统的精度、可靠性具有重要意义。光纤传感器按其工作原理可分为:分布式光纤传感、光纤布拉格光栅、拉曼散射等。基于拉曼散射等原理的分布式光纤传感技术可实现远距离、连续监测,特别适用于长距离电力电缆温度监测,具有广阔的应用前景。

光纤布拉格光栅传感器具有精度高、多点测温

的优点,可以实现 0.01°C 的温度测量,并能同时监测多个测点的温度。光纤布拉格光栅传感技术可实现对电缆接头及终端温度的准确测量,是评估其健康状况的重要依据。

拉曼散射技术因其对温度变化的快速响应,特别适合用于温度变化快速检测的场合。拉曼散射传感技术能够提供毫秒量级的温度变化信息,对电力系统突发故障的预防有着重要的作用。

光纤传感器的种类和特性决定了它在高压特高压电力电缆测温技术中的应用范围和优势,通过对不同类型光纤传感器的合理选择和应用,可以实现对电缆温度的准确、连续、快速监测,进而提高电力系统的安全可靠性。

二、光纤测温技术面临的挑战

目前,在国内高压、超高压电网中,采用传统的测温方法是以电流热效应作为主要机理,对高压电缆接头、开关柜中的接头、绝缘子表面等部位进行测温。这些部位存在着很大的温度梯度,在绝缘材料较好的情况下,温度梯度可能达到数千伏/米,甚至更高。而现有的测温方法,如红外测温技术等由于技术和成本原因,适用范围较窄。随着对光纤传感器研究的深入和光纤传感器技术的发展,光纤测温技术正逐渐受到人们的关注。

利用光纤中瑞利散射、布里渊光时域光强分布等原理测量温度的光纤测温技术得到了较快发展,目前国内外主要研究有基于瑞利散射的光纤温度传感技术、基于布里渊散射的光纤温度传感技术、基于布里渊散射和反射光信号强度分析的光纤温度传感技术等。其中基于布里渊散射和反射光信号强度分析的光纤温度传感技术可在一个传感窗口内实

现多个传感器之间高精度温度测量；布里渊散射和反射光信号强度分析的光纤温度传感技术可对温度进行更细致、更精准地测量，其应用在电力电缆测温中具有一定优势；而基于瑞利散射和反射光信号强度分析的光纤温度传感技术能够实现对电缆接头、开关柜等重要部位温度变化进行高精度测量。但是，上述方法均需要对电缆进行预埋或者粘贴电极，应用于高压、超高压电网时需要通过特殊安装方式将被测点埋入电缆中，不仅影响电力电缆运行安全，还会产生一定程度的辐射、电磁干扰等。此外，这些方法只能实现单个传感器之间高精度测量，难以对多个传感器进行高精度测量。

近年来，随着对传感器动态范围和动态响应速度要求越来越高，针对该问题出现了新型传感器。相较于传统传感器而言，新型传感器具有更高的动态范围和响应速度，并且具有更强的抗电磁干扰能力。

三、光纤测温技术在高压超高压电力电缆中的应用方法

（一）高压电缆测温系统的分布式传感网络设计

根据分布式光纤测温技术原理可知，在分布式传感网络中，每根光纤都能够接收到反射光，并将反射光传输给后端处理装置。在数据采集系统中，通过对采集的数据进行分析可以确定电缆的温度值，并根据温度值对电缆进行故障报警。

高压电缆测温系统由分布式光纤传感器、监测服务器、显示终端及管理软件等组成。其中，分布式光纤传感器主要采集电缆的温度信息；监测服务器用于收集、传输和处理数据；显示终端为现场监控软件提供所需的数据；管理软件通过对分布式光纤传感器采集的数据进行处理、分析并将处理后的数据显示在大屏上，从而实现对电缆故障的监控与管理。

（二）高压电缆故障点的快速定位技术

电缆故障检测工作是高压电缆线路维护的一项重要内容，是对电力系统进行安全运行的重要保证，因此，要在日常维护过程中时刻关注电力系统的安全运行状况。当前，在高压电缆故障检测中，电缆故障的快速定位是一项重要技术，高压电缆故障点的快速定位是指根据故障发生时的相关特征来确定故障点所在位置，主要分为三种技术：基于相关分析的定位方法、基于数字信号处理技术的定位方法以及基于声波法的定位方法。

基于相关分析法的定位方法主要是利用故障发生时产生的电磁信号，通过对信号到达电缆两端的时间差进行定位，该方法具有较高的定位精度，特

别适合长距离高压电缆线路的定位，但对信号的采集与处理有很高的要求，需要专业的设备和经验丰富的技术人员。

利用数字信号处理技术对故障电流、电压等信号进行检测，并对其频谱特征进行分析，进而确定故障点，该方法处理信号速度快，能实时监控电缆运行状况，但对信号的抗干扰能力要求很高，容易造成误判。

声波法定位法是利用声波信号对故障点进行定位，当电缆出现故障时会产生声波，这些声波信号可被布置在电缆上的声波传感器所捕获，能够利用声波信号到达各传感器之间的时间差来确定故障点，具有操作简单、速度快等优点，但受环境噪声影响较大，在长距离电缆中定位精度较低。

为提高高压电缆故障诊断的效率与精度，通常采用三种方法联合使用。如初定位时可利用声波法迅速缩小故障范围，再采用相关分析定位方法实现准确定位，最后利用数字信号处理技术对其进行校验与标定。综合运用多种技术可有效地提高高压电缆故障诊断的精度与效率，保证电力系统的安全稳定运行。

（三）电缆温度监测网络的构建与优化

从系统的角度来说，光纤测温系统主要由传感器、传输设备和监控中心组成。传感器主要有温度传感器、光纤等，传输设备主要有光端机、光纤通信模块等，监控中心主要由计算机、软件及硬件组成。电缆温度监测网络由传感器网络和传输网络组成，通过检测电缆内部温度及时发现电缆存在的问题，实现对电力电缆的远程监测。在构建温度监测网络时要遵循以下原则：1. 最大限度地提高传感精度和可靠性；2. 减小传感过程中的噪声；3. 尽量减少对传感系统的干扰。同时要加强对数据采集和传输的控制管理，对电缆温度监测网络进行优化和完善，提高数据采集和传输的可靠性和有效性。

（四）在极端温度和压力环境下的性能评估

电缆绝缘材料在温度超过其极限时会发生形变，导致绝缘强度降低，甚至击穿。电缆绝缘材料在极端温度环境下会因温度应力而变形，甚至会产生裂纹。因此，要当电缆发生故障时对其进行热应力分析，并根据热应力分析结果来评估电缆绝缘的性能。为保证电缆的安全可靠运行，在设计阶段选择交联聚乙烯（XLPE）、聚四氟乙烯（PTFE）等绝缘材料，使其在较宽的温域内保持良好的物理、电学性能。另外，要在电缆结构设计中充分考虑电缆的热膨胀、收缩效应，通过合理布局和使用热膨胀

补偿装置来减少热应力。

在施工过程中还要考虑温度因素对电缆敷设方式的影响，如在高温环境中敷设电缆时应避免紧贴热源，避免因局部过热而加速绝缘材料的老化。为降低温度循环引起的疲劳破坏，电缆敷设路径应尽量避免温度变化较大的区域。为进一步改善电缆在极端环境中的使用性能，也可采取隔热护套、隔热材料或冷却系统等外部防护措施，这些措施能有效控制电缆周围温度，对绝缘材料起到很好的保护作用。在运行过程中对电缆进行定期维修和监控也是必要的，利用红外热成像等先进设备可对电缆内部温度场进行实时监测，及时发现异常热点，避免因热应力而引起的故障。此外，通过搭建电缆温度监测系统可以对不同载荷、环境温度条件下电缆的温度变化进行监测，为电缆的维修与更换提供科学依据。

（五）光纤测温数据的智能分析与故障预测

光纤测温系统可以实现对电力电缆温度数据的实时监控，并能有效地识别出电力电缆故障点。由于光纤测温系统的传感机制不同，它的数据采集、传输和处理并不依赖于人工，因此，可以根据数据采集到的温度信号来判断电力电缆运行的状态，当温度达到一定值时，系统将发出报警信号。

光纤测温系统对电力电缆运行状态进行智能分析是基于光纤测温系统提供的大量温度数据，对其进行深入分析后得出其运行状态的相关信息。当光纤测温系统发现电力电缆运行中有异常情况时会及时发出报警信号，这种智能分析不仅可以提高故障检测和预警的准确性，还能大大提高电力电缆的可靠性。

（六）实时监控与报警系统

电力电缆运行的安全性、可靠性、经济性是电力系统正常运行的基础，为提高电缆运行的安全性，可通过对电缆的运行状态进行监测，及时发现并处理故障。该系统主要由分布式光纤测温系统、监控中心计算机系统、电缆线路巡视系统、报警系统等部分组成。通过在电力电缆上安装分布式光纤测温系统，在整个电缆线路中设置若干个光纤测温终端，其中每一个终端上安装有一台分布式光纤测温主机，实时监测其周围介质温度，当某一终端或多个终端同时发生故障时即可准确地判定故障部位，及时发出报警信号。监控中心计算机系统与各分布式光纤测温主机通过以太网进行数据交换和控制，监控中心计算机可对各测温终端进行实时监控和管理，可查询某一终端的运行参数及历史曲线，当某一终端发生故障时，报警系统会自动报警。

四、未来发展趋势分析

随着光纤传感技术的不断发展，其在电力系统中的应用越来越广泛。可以预见，随着电力系统智能化程度的不断提升，光纤传感技术将在电力系统中发挥越来越重要的作用。

在高压超高压电力电缆测温方面将出现更多新的测温技术和设备，高压超高压电力电缆光纤测温系统将会实现与其他智能监控系统的数据共享。随着网络通信和计算机技术的快速发展，数据传输速度越来越快，为实现远程实时在线监测提供了有力支撑。通过数据共享和联动控制可以实现对电力电缆运行状态的全面实时监控，及时发现隐患、分析故障、采取有效措施，大幅提高电力电缆运行的可靠性和安全性。

五、结语

在电力电缆的应用中，光纤测温技术具有多种优势，应用比较广泛，如安装方便、使用寿命长、测量结果准确等。另外，光纤测温技术还具有较高的可靠性和稳定性，不受外界环境因素影响。利用光纤测温技术可以进行温度监测能够为电力电缆运行中的故障诊断提供参考依据，有助于实现对故障的实时监控与定位，能够更好地提高电力电缆的安全运行水平。随着现代科学技术的快速发展，电力行业也迎来了发展的新阶段，但是在新时期下也面临着许多挑战与机遇。要想实现电力行业更好地发展，就要积极引进先进的科学技术，不断提高自身技术水平和管理能力，才能更好地应对市场变化和挑战，使电力行业能够实现更高层次的发展。

参考文献：

- [1] 邓声华，江福章，刘和平，黎照铭，谭定彩.高压电缆缓冲层材料及结构特性研究[J].电线电缆，2019(2): 19-27.
- [2] 汪传斌，金海云.高压XLPE绝缘电力电缆缓冲层与金属护层结构设计仿真计算与优化[J].电线电缆，2018(3): 6-12.
- [3] 杨帆，朱宁西，刘晓东，刘刚.基于阻抗评估电缆缓冲层间隙状况的实验与分析[J].广东电力，2018，31(12): 93-98.
- [4] 李陈莹，李鸿泽，陈杰，胡丽斌，谭笑，曹京荣.高压XLPE电力电缆缓冲层放电问题分析[J].电力工程技术，2018，37(2): 61-66.
- [5] 杨毅，朱文滔，肖莹莹.电缆内置测温光纤的绝缘与温度特性测试[J].广东电力，2015，28(4): 112-116.