

风电场集电线路电缆终端接头状态监测技术研究

杨志勇

国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211100

摘 要： 本文研究了风电场集电线路电缆终端接头状态监测技术，旨在提高风电场电力系统的稳定性和可靠性。通过对现有技术的综合分析，提出了一种基于声学声表面波传感技术的监测方案，能够实时监测电缆接头的运行温度、局放参量及环境温湿度参数。同时，文章还探讨了超声波检测技术和分布式故障检测技术在电缆接头绝缘状态监测中的应用，研究表明，这些技术能够有效预防电缆接头故障，提高风电场的运行效率和经济性。

关 键 词： 风电场；集电线路；电缆终端接头

Research on the Monitoring Technology of Cable Terminal Joints in Wind Farm Collecting Lines

Yang Zhiyong

Guodian Nanjing Automation Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 211100

Abstract： This article studies the monitoring technology of cable terminal joints in wind farm collection lines, aiming to improve the stability and reliability of the wind farm power system. Through comprehensive analysis of existing technologies, a monitoring scheme based on acoustic surface wave sensing technology is proposed, which can monitor the operating temperature, partial discharge parameters, and environmental temperature and humidity parameters of cable joints in real time. At the same time, the article also explores the application of ultrasonic detection technology and distributed fault detection technology in monitoring the insulation status of cable joints. The research results show that these technologies can effectively prevent cable joint failures, improve the operational efficiency and economy of wind farms.

Keywords： wind farm; collection line; cable terminal joint

随着新能源行业的快速发展，风电场已成为重要的清洁能源发电基地，然而，风电场集电线路电缆终端接头由于工作环境复杂、运行时间长，容易发生绝缘击穿、温度过高烧融断线等故障，严重影响风电场的稳定运行和发电效率。传统的巡检和监测方法存在检测周期长、故障定位困难等问题，无法满足现代风电场对电缆接头状态实时监测的需求。因此，研究风电场集电线路电缆终端接头状态监测技术，对于提高风电场电力系统的可靠性和经济性具有重要意义。

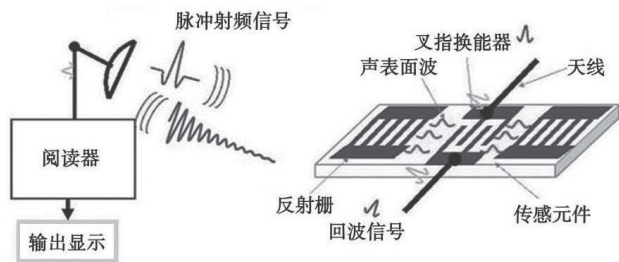
一、基于声学声表面波传感技术的监测方案

（一）声表面波传感技术原理

基于声学声表面波传感技术的监测方案是一种创新的、高效的电缆终端接头状态监测手段，充分利用了声表面波的传播特性和温度敏感性来实现对电缆接头温度的实时监测^[1]。声表面波传感技术原理主要基于声表面波在固体介质表面传播时，其传播速度与介质的物理特性（如密度、弹性模量等）以及环境温度密切相关。当环境温度发生变化时，介质表面的物理特性会随之改变，从而导致声表面波的传播速度发生变化。这种变化可以被声表面波传感器捕捉到，并转化为电信号进行传输和处理，从而实现对温度的间接测量。在固体介质中，声表面波主要沿着介质表面传播，其传播速度受到介质物理特性和环境温度的共同影响。

当环境温度升高时，介质表面的分子振动加剧，导致声表面波的传播速度增加，反之，当环境温度降低时，声表面波的传播速度会减小。这种传播速度与温度之间的线性关系，为利用声表面波传感技术进行温度监测提供了理论基础。由于声表面波无线测温探头的结构与工作原理通常由声表面波传感器、信号发射器、信号处理单元以及无线通信模块等部分组成，如图1所示。声表面波传感器负责捕捉声表面波的传播速度变化，并将其转化为电信号，而信号发射器则将电信号发送至信号处理单元进行进一步的处理和分析。所以，通过无线通信模块将处理后的温度数据上传至监测系统，在测温过程中，声表面波传感器通过激发和接收声表面波来感知环境温度的变化，能够实现对电缆接头温度的实时监测，这种无线测温方式不仅提高了监测的准确性和可靠性，还降低了监测系统的复杂性和成本。

作者简介：杨志勇（1977.05—），男，汉族，河南焦作人，硕士，研究方向：电力电子、电气设备智能运维关键技术的研究与应用。



> 图1：声表面波传感技术工作原理图

（二）监测方案设计

基于声学声表面波传感技术的监测方案设计，旨在实现对风电场集电线路电缆终端接头状态的实时监测。监测系统的构成主要包括声表面波传感器、数据采集模块、数据处理与分析中心以及远程监控平台等部分。在传感器布置方面，可根据风电场集电线路电缆终端接头的实际布局和工作环境，制定合理的传感器布置方案。传感器被安装在电缆接头的关键位置，以确保能够全面、准确地捕捉到接头的状态信息^[2]。同时，还应采用先进的无线传输技术，实现传感器与数据采集模块之间的无线连接，降低了监测系统的复杂性和成本。而数据处理与分析算法是监测系统的核心，直接关系到监测结果的准确性和可靠性。为此，可采用先进的信号处理技术和机器学习算法，对采集到的声表面波信号进行滤波、降噪和特征提取，以提取出与电缆接头状态相关的关键信息。然后，运用分类、回归等算法对提取出的特征进行进一步的分析和建模，以实现对接头状态的准确判断。而在实验验证与结果分析时，通过在实验室环境下模拟风电场集电线路电缆终端接头的工作状态，对监测系统进行了全面的测试和验证。实验结果表明，该监测系统能够准确地捕捉到电缆接头的状态信息，并对其进行有效的分析和判断。同时，还对监测系统的稳定性和可靠性进行了评估，确保了其在复杂多变的风电场环境中能够持续、稳定地工作。

二、超声波检测技术在电缆接头绝缘状态监测中的应用

（一）超声波检测原理与方法

超声波检测技术在电缆接头绝缘状态监测中的应用是一种非破坏性检测技术，通过利用超声波在介质中的传播特性，检测超声波与介质内部缺陷相互作用产生的反射、散射等现象，从而评估电缆接头的绝缘状态。当超声波在介质中传播时，会遇到不同介质界面或介质内部缺陷时，会发生反射、折射、散射等现象，而通过检测这些现象，可以推断出介质内部的结构和缺陷信息^[3]。在电缆接头绝缘状态监测中，通常使用脉冲反射法进行检测，该方法利用超声波在介质中的传播速度和遇到缺陷时的反射特性，通过测量超声波的往返时间和反射波幅值等参数，来评估电缆接头的绝缘状态。超声波的传播特性与介质缺陷的关系是超声波检测技术的关键，在电缆接头中，绝缘材料的内部缺陷如裂纹、气泡、夹杂物等，会改变超声波的传播路径和传播速度，从而产生反射波或散射波。这些反射波或散射波的幅值、相位和频

率等特征参数，与缺陷的类型、大小、位置等密切相关。通过分析这些特征参数，可以实现对电缆接头绝缘状态的有效监测。

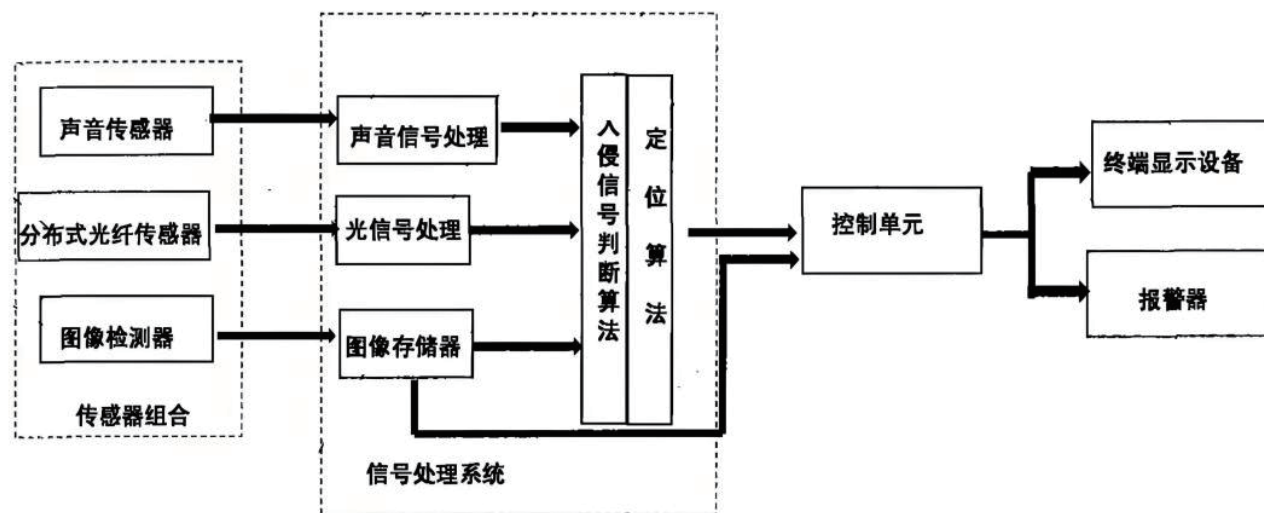
（二）监测方案设计

在对超声波检测方案的设计时，首先需要考虑监测点的选择与布置，由于电缆接头是电力系统中的关键部件，其绝缘状态直接影响到整个系统的安全运行，因此监测点的选择应基于电缆接头的结构特点、工作环境以及历史故障数据等因素进行综合考量^[4]。通常，监测点会布置在电缆接头的关键位置，如接头本体、绝缘层与导体之间的界面等，以确保能够全面、准确地捕捉到超声波信号。并且，为了提高监测的准确性和可靠性，还应根据实际需要设置多个监测点，以形成多点监测网络。其次，在数据采集与处理流程方面，超声波检测设备会接收从监测点反射回来的超声波信号，并将其转换为电信号进行记录。这些信号包含了电缆接头内部缺陷的信息，如缺陷的位置、大小、类型等。为了提取这些信息，需要对采集到的数据进行预处理，包括滤波、去噪、放大等步骤，以提高信号的信噪比和分辨率。然后，利用先进的信号处理技术和算法对预处理后的数据进行深入分析，以识别出潜在的缺陷特征。最后，根据超声波信号的特征参数，如反射波的幅值、相位、频率等，可推断出电缆接头内部是否存在缺陷以及缺陷的类型和严重程度^[5]。为了准确判断缺陷，需要制定一套科学的判定标准，这些标准通常基于大量的实验数据和统计分析结果，并结合电缆接头的实际运行情况和安全要求来确定。通过对比实际监测数据与判定标准，可实现对电缆接头绝缘状态的准确评估，并为后续的维护和修复工作提供有力的支持。

三、分布式故障检测技术在电缆接头故障定位中的应用

（一）分布式故障检测原理与方法

分布式故障检测技术在电缆接头故障定位中，通过在电缆沿线设置多个分布式检测单元，可实现对电缆接头故障的快速、准确定位。这种技术基于故障行波在电缆中的传播特性，通过检测故障行波到达各个检测单元的时间差和波形特征，来确定故障点的位置^[6]。分布式故障检测原理与方法的核心在于利用故障行波的传播特性进行故障定位。当电缆接头发生故障时，会产生故障行波，这些行波会以一定的速度在电缆中传播。分布式检测单元沿着电缆布置，能够捕捉到这些行波的传播过程，通过测量故障行波到达各个检测单元的时间差，可计算出故障点与各个检测单元之间的距离，同时，结合故障行波的波形特征，如幅值、频率等，可进一步确认故障的类型和严重程度。分布式检测单元通常由传感器、信号处理电路和数据传输模块等组成，传感器负责捕捉电缆中的故障行波信号，将其转换为电信号进行传输。信号处理电路则对接收到的电信号进行预处理，包括滤波、放大、去噪等步骤，以提高信号的信噪比和分辨率。数据传输模块则将处理后的信号传输至中央处理器或远程监控中心，进行进一步的分析和处理，如图2所示。



> 图2: 分布式故障检测原理图

(二) 故障定位方案设计

分布式故障检测技术在电缆接头故障定位中的应用是一种创新且高效的解决方案,旨在实现对电缆接头故障的精确、快速定位,以保障电力系统的稳定运行^[7]。为了实现这一目标,需要设计一套完整的故障定位方案,该方案涵盖了故障定位系统的构成与功能、故障行波的检测与识别方法以及故障点定位算法与实现等关键环节。故障定位方案设计首先需要考虑电缆接头的分布特点、工作环境以及故障类型等因素,以确定故障定位系统的整体架构和部署策略。故障定位系统通常由多个分布式检测单元、中央处理器以及远程监控中心等组成,这些组件通过有线或无线方式连接,形成一个完整的监测网络^[8]。分布式检测单元负责捕捉电缆中的故障行波信号,并将其传输至中央处理器进行进一步处理和分析,而中央处理器则根据接收到的信号,运用先进的算法和模型,计算出故障点的具体位置,并将结果发送至远程监控中心进行显示和报警。由于分布式检测单元作为系统的前端设备,其构成主要包括传感器、信号处理电路和数据传输模块等部分,传感器负责捕捉电缆中的故障行波信号,信号处理电路则对接收到的信号进行预处理,以提高信号的信噪比和分辨率。数据传输模块则负责将处理后的信号传输至中

央处理器。中央处理器则具备强大的数据处理和分析能力,能够运用先进的算法和模型,对接收到的信号进行深度挖掘和分析,以实现故障点的精确定位。

而故障行波是电缆接头故障时产生的一种特殊信号,其传播速度和波形特征等参数与故障点的位置和类型密切相关。因此,通过检测和分析故障行波的参数,可实现对故障点的有效识别^[9-10]。

四、结束语

本文通过研究风电场集电线路电缆终端接头状态监测技术,并提出了一种基于声学声表面波传感技术的监测方案。该方案能够实时监测电缆接头的运行温度、局放参量及环境温湿度参数,具有检测精度高、可靠性好、免维护等优点。同时,文章还探讨了超声波检测技术和分布式故障检测技术在电缆接头绝缘状态监测中的应用,为风电场电缆接头状态监测提供了多种技术手段,有助于提高风电场的运行效率和经济性,为风电行业的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 朱永利, 彭华, 胡智强. 基于 VPMCD 的中性点经低阻接地风电场集电线路单相接地智能区段定位 [J]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 2022, 49(03): 1-8.
- [2] 王凡武, 康磊, 张书哈, 等. 关于高原风电场集电线路防雷研究 [J]. 云南水力发电, 2021, 37(09): 122-125.
- [3] 张意. 35kV 电缆型集电线路振荡波技术研究 [J]. 电工技术, 2021, (15): 98-100.
- [4] 杜来会, 房新栋, 程飞, 等. 风电场集电线路行波故障测距与系统设计 [J]. 电气技术与经济, 2021, (03): 32-35.
- [5] 党旭亮, 邓忠建, 牛朝东. 集电线路地理电缆故障快速检测研究与应用 [J]. 河南电力, 2021, (S1): 83-86.
- [6] 马小伟. 山区风电场集电线路过河方案研究 [J]. 中国科技投资, 2021, (14): 116-117.
- [7] 谭显亮. 一起风电场电缆分支箱接地事故分析 [J]. 电世界, 2021, 62(05): 18-19.
- [8] 王坤. 风电场集电线路工程施工常见问题分析及对策建议 [J]. 电气时代, 2021, (04): 16-18.
- [9] 刘玮. 沿海山地风电场集电线路故障分析及治理 [J]. 自动化应用, 2021, (02): 91-93.
- [10] 阮佳磊. 35kV 集电线路直埋式电缆施工的探索 [J]. 四川水泥, 2021, (01): 113-114.