

风电场电缆接头感知装置的高精度测温技术

卞全

国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210000

摘要：高精度测温技术在风电场电缆接头中的应用日益广泛。该技术主要基于热电偶与热电阻、声波以及光纤布拉格光栅等测温原理,实现对电缆接头温度的精准测量。通过构建实时监测与预警系统,该技术能够及时发现电缆接头温度异常,有效预防火灾或设备损坏事故。同时,高精度测温技术还提升了运维工作的效率与精准度,减少了人工巡检的频率。此外,该技术还为电缆接头的设计与选材提供了科学依据,有助于优化接头结构,选择更耐高温、导热性能更好的材料,从而延长接头使用寿命,降低故障率。

关键词：风电场; 电缆接头感知装置; 高精度测温

High precision Temperature Measurement Technology for Wind Farm Cable Joint Sensing Device

Bian Quan

Guodian Nanjing Automation Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 210000

Abstract: The application of high-precision temperature measurement technology in wind farm cable joints is becoming increasingly widespread. This technology is mainly based on temperature measurement principles such as thermocouples, thermistors, sound waves, and fiber Bragg gratings, to achieve accurate measurement of cable joint temperature. By constructing a real-time monitoring and warning system, this technology can promptly detect abnormal temperature at cable joints, effectively preventing fires or equipment damage accidents. Meanwhile, high-precision temperature measurement technology has also improved the efficiency and accuracy of operation and maintenance work, reducing the frequency of manual inspections. In addition, this technology provides a scientific basis for the design and selection of cable joints, which helps optimize the joint structure, select materials with higher temperature resistance and better thermal conductivity, thereby extending the service life of the joint and reducing the failure rate.

Keywords: wind farm; cable joint sensing device; high precision temperature measurement

风电场通常位于海上或内陆偏远地区,电力传输线路长且复杂,电缆接头作为电力传输系统中的重要部件,其运行状况直接影响整个风电场的稳定运行。现有的电缆温度测量技术如感温式电缆测温、热敏电阻式测温、红外传感式测温等,在实际应用中存在诸多限制,无法满足高精度、高可靠性和免维护的需求。因此,开发一种新型的电缆接头测温技术显得尤为重要。

一、高精度测温技术原理

(一) 热电偶与热电阻测温原理

热电偶与热电阻测温原理,作为温度测量的两大基石,均基于物理效应实现,为高精度测温提供了强有力的支持。热电偶测温的核心在于塞贝克效应的应用。当两种不同材质的导体被连接在一起,形成一个闭合回路,且两端存在温度差异时,这个回路中会产生一种电动势。这种电动势的大小与导体两端的温度差成正比,即温度差越大,产生的电动势也越大^[1]。通过精密的仪器测量这个电动势的大小,就可以准确地推算出温度值。热电偶测温

具有测量范围广、稳定性好、反应速度快等特点,尤其适用于高温、低温以及腐蚀性环境中的温度测量。

热电阻测温则是利用了导体电阻随温度变化的特性。在温度升高的过程中,导体的电阻值会随之增大,反之则减小。基于这一原理,可以使用铂、镍、铜等金属作为测温元件,通过精确测量这些金属电阻值的变化,来推算出温度的变化。热电阻测温具有精度高、稳定性好、重复性好等优点,被广泛应用于各种需要高精度测温的场合,如实验室、医疗设备、工业自动化等领域。热电偶与热电阻测温原理不仅具有高稳定性和宽测量范围,还具有良好的环境适应性。它们能够在各种恶劣环境下稳定工作,提

作者简介:卞全(1986.01-),男,汉族,江苏扬州,硕士,工程师,研究方向:从事电气设备预警诊断与智能运维关键技术的研究与应用,单位全称:国电南京自动化股份有限公司。

供准确可靠的温度测量数据^[2]。

(二) 声波测温原理

声波测温原理巧妙地利用了声波在介质中传播速度与温度之间的紧密联系，从而实现了温度的精确测量。在气体或液体这类流体介质里，声波的传播速度并非恒定，而是受到多种因素的共同影响，其中介质的密度、弹性模量以及温度是三个最为关键的参数，它们共同决定了声波在介质中的传播特性。

随着介质温度的变化，其内部的微观结构会做出相应调整，这会导致介质的密度和弹性模量发生变化。这些变化进一步影响声波的传播速度，使声波在介质中的传播特性发生改变。基于这一原理，可以通过精确测量声波在已知距离上的传播时间，来计算出声波在该介质中的平均传播速度。声波的传播速度与温度之间存在着特定的函数关系。利用这一关系，可以将测量得到的声波传播速度转化为介质的温度值，实现温度的精确测量。声波测温技术具有非接触式测量的特点，避免了传统测温方法中需要与被测介质直接接触的问题，同时响应速度快，能够在极短的时间内完成温度的测量^[3]。声波测温技术的测量范围广泛，能够适用于从低温到高温的各种温度范围。另外，该技术还具备强大的环境适应性，能够在高温、高压或腐蚀性介质等恶劣环境中稳定工作，提供准确可靠的温度测量数据。

(三) 光纤布拉格光栅测温原理

光纤布拉格光栅测温原理，作为高精度测温领域的杰出代表，其精髓在于利用光纤内部精心构造的布拉格光栅作为温度感知元件。布拉格光栅，这一通过光纤内部折射率周期性调制形成的光学结构，具备独特的反射特性：仅当光波在光纤中行进而遭遇光栅时，满足布拉格条件的特定波长光波才会被精确无误地反射。这一物理现象构成了光纤布拉格光栅测温技术的核心基础。

环境温度的细微变动，会触发光纤材料的热胀冷缩效应，进而引发光栅周期的微妙调整。这一变化虽小，却足以导致反射光波长的显著偏移。借助高精度的光谱分析手段，这种波长的微小变化能够被精准捕捉，从而实现对环境温度波动的精确追踪与测量^[4]。光纤布拉格光栅测温技术不仅以其高精度和高灵敏度著称，更展现出卓越的抗干扰性能。光纤材料本身具备的出色绝缘性和对电磁干扰的强抵抗力，确保了该技术能在复杂电磁环境中保持稳定运行，提供准确无误的温度数据。另外，该技术还具备远程监测与多点分布式测量的能力。借助光纤网络的广泛覆盖，多个光纤布拉格光栅传感器可实现远程连接与数据收集，极大地提升了测温作业的效率与灵活性^[5]。这一特性为工业监控、科研探索及医疗诊断等需要大规模、高精度温度监测的领域开辟了新的应用空间，展现出广阔的市场前景与发展潜力。

二、高精度测温技术在风电场电缆接头中的应用

(一) 实时监测与预警系统构建

在风电场的庞大电力传输网络中，电缆接头扮演着举足轻重的角色，它们是连接电缆段落的桥梁，确保电能稳定、高效地传输至各个发电单元。这些接头的温度状态，无疑是衡量风电系统

健康与安全的关键指标之一。一旦电缆接头因电流过载、接触不良或环境因素导致温度异常升高，就可能迅速演变为火灾隐患，严重时甚至会损坏电缆及相关设备，对风电场的正常运行构成巨大威胁^[6]。

高精度测温技术的引入，为电缆接头的温度监控带来了革命性的改变。该技术能够不间断地、实时地监测电缆接头的温度变化，就像一个忠实的守卫，时刻警惕着任何可能的安全隐患^[7]。借助先进的传感器和数据处理系统，一旦检测到温度超过预设的安全阈值，预警系统便会立即启动，自动发送警报信息至运维团队。这种即时反馈机制，为运维人员争取到了宝贵的响应时间，使他们能够迅速定位问题源头，采取必要的干预措施，如调整电流负载、加强散热或进行紧急维修，从而有效遏制潜在事故的发生，确保风电场的安全稳定运行^[8]。

(二) 提升运维效率与精度

在风电场的日常运维工作中，电缆接头的温度监测是一项至关重要的任务。然而，传统的人工巡检方式受限于时间、人力和技术的局限，往往难以实时、准确地捕捉到电缆接头温度的细微变化。这种滞后和不精确的温度监测，可能会错过关键的预警信号，导致运维团队无法及时做出响应，增加了风电场运行的风险。

相比之下，高精度测温技术的运用则带来了显著的改进。该技术能够实现对电缆接头温度的连续、实时监测，通过高精度的传感器和先进的数据处理系统，将温度数据实时传输至监控中心^[9]。运维人员可以直观地看到每个电缆接头的温度曲线，从而准确判断其健康状况。这种连续采集与分析的能力，不仅让运维人员能够及时发现潜在的过热问题，还能对温度变化的趋势进行预测，为运维策略的制定提供了科学依据。高精度测温技术的应用，不仅大幅提升了运维工作的效率，减少了人工巡检的频次和强度，还确保了温度监测的精准度和可靠性。运维人员可以更加专注于问题的分析和解决，而不是花费大量时间在数据的收集和整理上。

表1 高精度测温技术在提升风电场运维效率与精度方面的优势

项目	传统人工巡检方式	高精度测温技术
温度监测频率	每日巡检1-2次，每次耗时约1-2小时	连续实时监测，每秒可采集多次数据
温度监测精度	误差范围在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 左右	误差范围小于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
预警响应时间	平均响应时间约为30分钟至1小时	平均响应时间缩短至几秒至几分钟
故障率	电缆接头因温度问题导致的故障率约为每年2%-3%	电缆接头因温度问题导致的故障率约为每年0.1%-0.2%

(三) 优化电缆接头设计与选材

在风电场的建设与运维过程中，电缆接头的性能与可靠性直接关系到整个电力系统的稳定运行。而通过高精度测温技术，可以获得大量、详尽的电缆接头温度数据，这些数据如同一扇窗，让我们得以窥见电缆接头在实际运行中的温度表现。

工程师们利用这些宝贵的温度数据，可以对电缆接头的温度

分布情况进行深入分析。他们观察接头在不同工况、不同负载下的温度变化，识别出温度异常的区域，进而推断出可能导致温度升高的设计缺陷或材料问题。基于这些发现，工程师们可以对电缆接头的结构进行优化设计。他们可能会调整接头的内部结构，改善电流的传输路径，减少热量的积聚^[10]。同时，他们还会选择更耐高温、导热性能更出色的材料来制造接头，以提高其承受高温的能力，延长使用寿命。这样的优化设计与选材，不仅能够有效降低因温度问题导致的电缆接头故障率，还能提升整个风电场的运行效率和安全性。

三、结语

高精度测温技术在风电场电缆接头中的应用，凭借其热电偶与热电阻、声波及光纤布拉格光栅等测温原理，实现了对电缆接头温度的精准、实时监测。这不仅构建了有效的预警系统，降低了运维成本，提升了工作效率，还为电缆接头的优化设计与选材提供了科学依据。随着技术的不断发展，高精度测温技术将在风电场运维中发挥越来越重要的作用，为风电场的长期稳定运行提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 王光耀, 孙建平, 李婷, 汪洪军, 李嘉豪, 陈泽川, 高传吉. 集成电路高精度晶圆测温技术研究 [J]. 计量科学与技术, 2023, 67 (04): 77-82+27.
- [2] 赵紫程. 无人机频谱远距探测和高精度测向技术探索 [J]. 无线互联科技, 2022, 19 (21): 113-115.
- [3] 张晓娟, 付杨涛, 成晋军. 一种高精度的基于红外技术的测温系统设计 [J]. 山西电子技术, 2022, (01): 13-15.
- [4] 蔡李婧, 周凯来, 沈桂竹, 姚一杨, 邱兰馨, 字崇德, 曹汛. 红外热像仪高精度测温标定技术 [J]. 红外与激光工程, 2021, 50 (10): 202-209.
- [5] 陶杰, 居来提·买提肉孜, 罗辉卿, 郭图盟, 汪平, 任航宁. 基于负温度系数热敏电阻多通道高精度可穿戴式体温采集系统的设计 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (14): 5733-5741.
- [6] 范殿梁, 田真真. 无人机频谱远距探测和高精度测向技术初探 [J]. 中国安防, 2021, (04): 39-44.
- [7] 周志强, 彭水. 匹配场高精度测向技术在海底线列阵中的应用研究 [J]. 舰船电子工程, 2021, 41 (01): 145-149.
- [8] 杜永胜. 浅谈热计量仪表高精度测温技术 [J]. 科学技术创新, 2020, (20): 179-180.
- [9] 张志强, 王萍, 于旭东, 张剑, 李婷. 高精度红外热成像测温技术研究 [J]. 仪器仪表学报, 2020, 41 (05): 10-18.
- [10] 张凯临, 杨铭伦, 曲利芹, 管磊. 高精度海表皮温红外辐射测量系统 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2020, 50 (05): 157-162.