高压电缆接头安全防护监测装置研究

郭 煊，桑志超，李枭鹏，段少辉，焦 亘，张亮亮

国网河南省电力公司安阳供电公司 河南安阳

【摘要】本文研制了高压电缆接头安全防护监测装置，主要由光纤光栅解调仪、光纤光栅温度传感器和全氟己酮灭火装置组成。光纤光栅温度传感器安装在中间接头冷缩绝缘管的外表面，在大电流和高电压的情况下，中间接头因为大接触电阻或局部放电等情况产生的热量通过冷缩绝缘管，传递到光纤光栅温度传感器，进而导致反射波长的移位，最终达到对电缆中间接头温度的实时在线监测，温度超过一定报警值时联动全氟己酮装置进行降温灭火，达到电缆接头防护的目的。

【关键词】高压电缆接头；光纤光栅解调仪；光纤光栅传感器；全氟己酮

【收稿日期】2025 年 5 月 30 日 【出刊日期】2025 年 6 月 30 日 【DOI】10.12208/j.aics.20250009

Research on safety protection monitoring device for high-voltage cable joint

Xuan Guo, Zhichao Sang, Xiaopeng Li, Shaohui Duan, Gen Jiao, Liangliang Zhang

State Grid Henan Electric Power Company, Anyang Power Supply Company, Anyang, Henan

【**Abstract**】This study developed a safety protection monitoring device for high-voltage cable joints, primarily comprising a fiber Bragg grating demodulator, fiber Bragg grating temperature sensors, and a perfluorohexanone fire suppression system. The fiber Bragg grating temperature sensors are installed on the outer surface of the cold-shrink insulation tube of the cable intermediate joint. Under high-current and high-voltage conditions, heat generated by factors such as excessive contact resistance or partial discharge is transferred through the cold-shrink insulation tube to the sensors. This heat transfer induces a shift in the reflected wavelength, enabling real-time online temperature monitoring of the cable intermediate joint. When temperatures exceed a preset threshold, the system triggers the perfluorohexanone fire suppression device to achieve cooling and fire extinguishing, thus fulfilling the purpose of protecting cable joints.

【 **Keywords** 】 High-voltage cable joint; Fiber Bragg grating demodulator; Fiber Bragg grating sensor; Perfluorohexanone

1 引言

随着电气设备容量的扩大和社会总需求电量的日益增长，电缆已经成为输送电力的动脉，电缆中间接头长期在高电压、大电流下连续运行，成为线路中最薄弱环节，容易发生故障。事故一旦发生就会影响正常供电和电网的稳定性，造成电力系统的瘫痪和巨大的经济损失。因此对电缆中间接头的温度进行实时在线监测和灭火防护，更加全面地掌握电缆中间接头的运行情况，提示相关工作人员应及时停电并维修，减少了接头事故的发生，具有重要意义。

2 系统整体设计方案

电缆接头防护监测系统的总体设计方案图 1 所示，主要由光纤测温传感器、光纤光栅解调仪、全氟己酮灭火装置、CT 感应取电装置等组成。

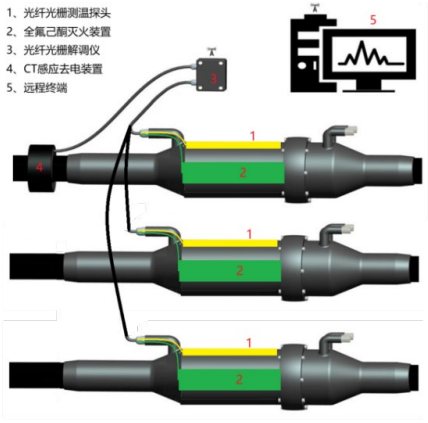

图 1 高压电缆接头安全防护系统总体设计方案

第一作者简介：郭煊（1996-）男，汉族，河南省新乡人，本科，职称：助理工程师，研究方向：输电运维检修。

2.1 光纤光栅解调仪原理与实现

光栅解调仪解调原理[1]，如图 2 所示。光栅解调仪的解调原理是以光纤可调滤波器为核心，包括一个波长可调的扫描光纤激光器，激光器的扫描波长范围覆盖所有 FBG（Fiber Bragg Grating）特征波长，光电探测器接收经过波长参考和 FBG 返回的信号，经过数据采集卡将两路信号送入计算机中处理，计算机端使用 MFC（Microsoft Foundation Classes）编写解调算法程序和用户界面。

光纤光栅解调仪，如图 3 所示，达到的性能指标如下所示：波长分辨率 1pm，每通道传感器数 20 个，通道数 8 个，扫描频率 100Hz，波长重复性±3pm，工作波长范围 1520nm~1560nm。

2.2 软件设计

光栅解调仪上位机软件用 MFC（Microsoft Foundation Classes）编写，主界面如所示。主要功能包括光栅解调仪软件启动与停止、光谱图、物理量图、传感器配置与标定、数据保存和数据回放等。

2.3 全氟己酮灭火装置原理与实现

本文设计的全氟己酮灭火装置图 5 所示，全氟己酮灭火剂具有快速的热交换效率，可瞬间降低火场温度。同时灭火剂分子可破坏燃烧的链式反应自由基，以达到抑制火灾效果。由于这些特殊的灭火和冷却效果，具有 110kV 绝缘特性。

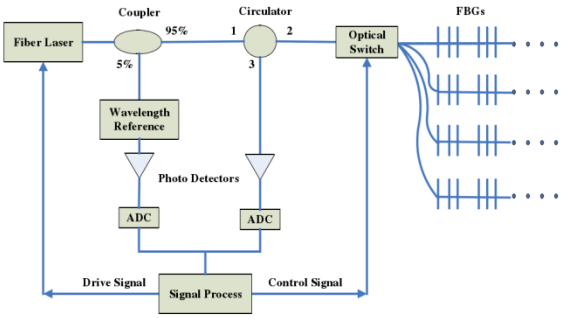

图 2　光纤光栅解调仪原

图 3　光纤光栅解调仪

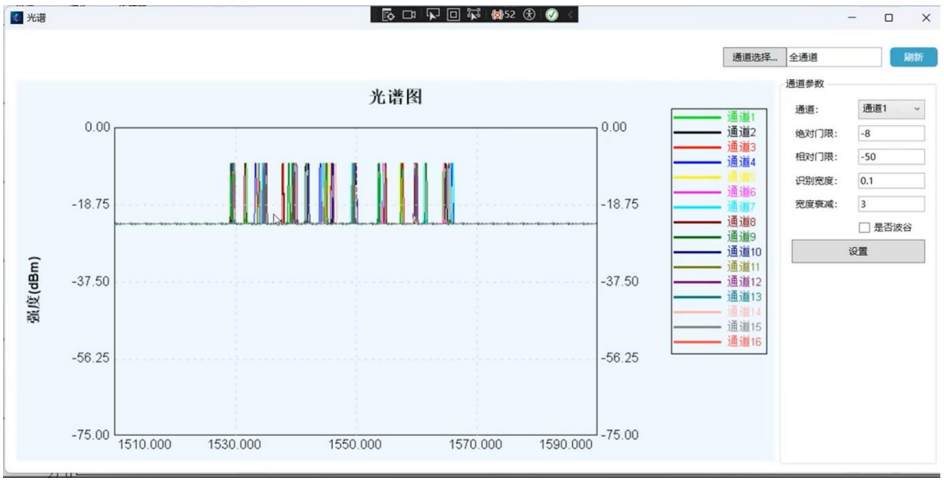

图 4　光栅解调仪主界面

图 5　全氟己酮灭火装置

灭火系装置性能特点[2]：

（1）灭火剂更换周期为 10 年，免维护；

（2）有人区域喷发：喷射后对人员安全无影响；

（3）不导电：具有良好的绝缘性能，耐电强度 110kV，对电器电子设备无腐蚀及污损，电子设备无腐蚀及污损，适宜扑灭电器火灾；

（4）灭火装置为非贮压产品，罐体内灭火剂以液态储存，内部无压力，适合高振动频率场景使用；

（5）产品封口为机械膜片密封，无电磁干扰及振动等误启动风险；

（6）绿色环保，全氟己酮灭火剂在灭火过程中不会产生有害的分解产物，对环境友好，符合现代社会对绿色环保的要求，减少了对大气、土壤和水资源的潜在污染。

3 试验分析与结论

3.1 光纤光栅传感器系统环境试验

在温度恒为 25℃[3]时的试验数据如图 6 所示，波长分辨率为 1pm，波长的重复性为±3pm，上位机软件显示与光栅解调仪的重复性一致。

把光栅传感器放在温箱中，半小时升温一次，温度间隔为 10℃，从-20℃升到 80℃，温变化试[4]验数据如图 7 所示，波长-温度曲线具有良好的线性度。

3.2 高压电缆接头灭火模拟试验[5]

3.2.1 试验模型

木材采用云杉、冷杉或密度相当的松木。木条经干燥处理，使其含水率保捋在 9%～13%。木垛由四层构成，每层六根方木，方木的横截面和长度见表 1，木垛层间呈直角交错放置，每层方木之间间隔均匀摆成正方形，将方木及层间钉起来形成木垛。

引燃用燃料盘为钢质正方形，面积见表 1，燃料盘高度为 100mm，用壁厚 6mm 的钢扳制成，燃料为商业级正庚烷。

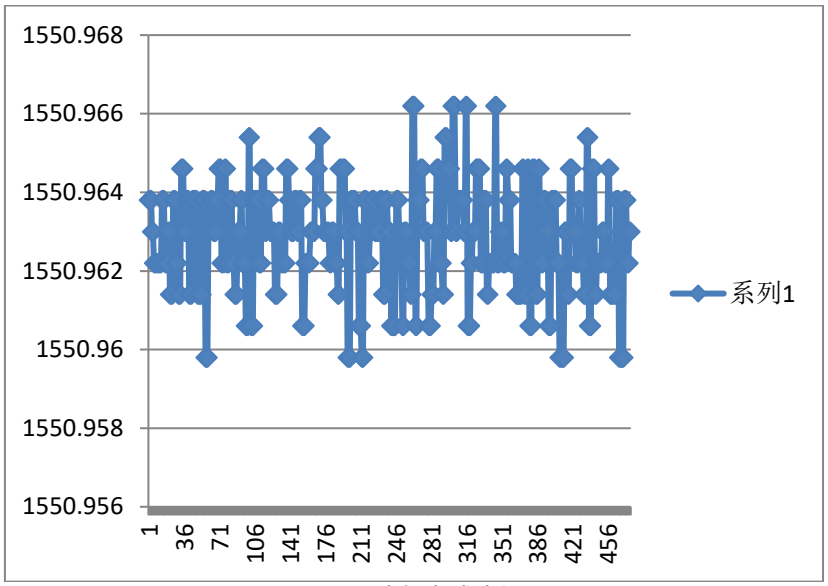

图 6　温度恒定试验数据

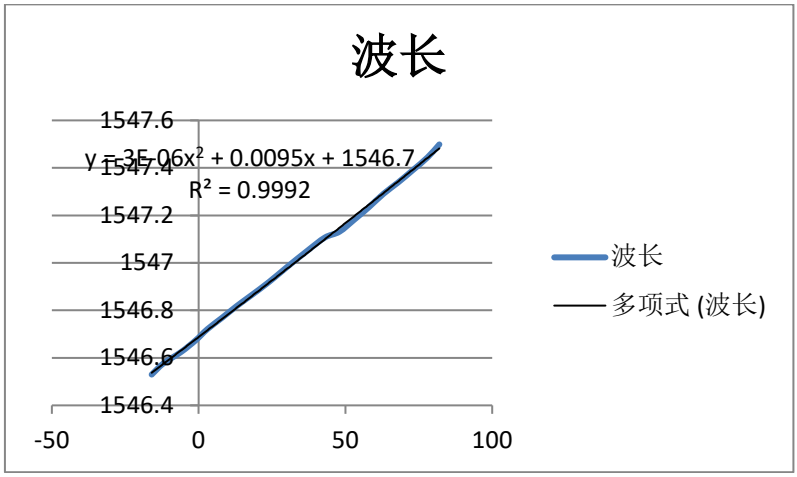

图 7　温度循环试验

表 1　灭火试验模型参数

试验模型参数		5m³ 以下的试验空间
A 类火	木条截面/mm	40×40
	木条长度/mm	300
	引燃盘面积/㎡	0.05±0.01
	引燃盘正庚烷注入量/L	1.0
	木垛底部距地面/mm	300
	引燃盘上沿距木垛底部/mm	200

3.2.2 灭火试验

将灭火装置布置在试验空间内，其喷口方向不应正对木垛，使灭火装置处于正常工作状态。将木垛放在钢质试验架上，木垛底部距地面高度见表 1，引燃盘置于木垛正下方。盘上沿距木垛底部距离见表 1，试验架的结构应使木垛底部充分暴露在大气中。在试验空间外引燃木垛，但不应受阳光、两雪等天气条件的影响，风速不大于 3m/s，必要时可采取适当的防风措施。

将正庚烷注入引燃盘内，注入量见表 1，点燃正庚烷引燃木垛，自由燃烧 3min，正庚耗尽后，使木垛继续燃烧 3min，在试验空间外总预燃时间为 6min，预燃结束后将木垛移入试验空间，关闭试验空间所有开口，启动灭火装置。在灭火期间，由于燃烧引起试验空间内氧浓度的变化最不应超过 1.5%。通过光纤光栅温度传感器、红外摄像仪监测扑灭木垛明火的时间。灭火装置喷放结束后，试验空间维持密封 10min 浸渍期。记录灭火系统扑灭明火的时间，观察 10min 浸渍期内有无余火或复燃。

按照以上试验方法进行 A 类灭火试验，灭火剂用量 0.5L（约 0.8kg），灭火剂喷射后 8.5s 内扑灭明火，继续抑制 10min，开启空间通风，木垛不复燃。灭火试验前如图 8 所示，灭火试验后如图 9 所示。

图 8　灭火试验前

图 9　灭火试验后

3.3 结论

本文利用光纤光栅技术监测电缆中间接头的温度，温度超过一定报警值时联动全氟己酮装置进行降温灭火，达到电缆接头防护的目的。项目的实施能有效填补国家电网在电缆接头在电磁干扰、高效灭火及绿色环保方面的研究空白，降低电缆接头事故的风险，保障电缆安全稳定运行。同时，通过本项目可以推动电缆接头防护的工程应用，并积累工程经验和实际数据。

参考文献

[1] 杨天成.基于半导体激光器的光纤光栅传感解调关键技术研究[D].北京邮电大学,2024.

[2] 张鑫.2-溴-3,3,3-三氟丙烯和全氟己酮灭火动力学机制研究[D].郑州大学,2023.

[3] GB/T 2423.1-2008. 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 A:低温[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[4] GB/T 2423.22-2008.电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 N:温度变化[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[5] T/CECS 10171-2022. 预制式全氟己酮灭火装置[S]. 北京: 中国工程建设标准化协会, 2022.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心（OAJRC）所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
OPEN ACCESS