

## 分布式传感器在电力电缆温度系统中的应用

随着光纤传感技术的不断发展,单晶光纤是目前高温环境下最适用的光波导材料之一,其测量温度最高 $2000^{\circ}\text{C}$ ,温度分辨率 $0.1^{\circ}\text{C}$ ,因而利用光纤传感技术设计高压电力电缆温度在线监测系统具有精度高、坚硬而且弯曲灵活、体积小和抗电磁干扰强等特点。高压电力电缆网是呈一定空间分布的场,为了获得被测对象较完整的信息,采用基于拉曼分布式光纤传感系统,该系统在空间狭小、强电磁场、易燃及易爆等恶劣环境中具有良好的应用价值。

### 1 系统构成原理

光纤的光时域反射技术(OTDR)是实现分布测量的基本依据。当窄带光脉冲被注入光纤中时,通过测后向散射光强随时间变化关系检查光纤的连续性并测量其衰减。

激光脉冲在光纤中传输时,由于光纤中存在折射率的微观不均匀性,产生拉曼散射。拉曼散射是由光纤中非传播的局域密度不均匀和成分不均匀所致,这种不均匀性是在拉纤阶段,二氧化硅由熔融态转变为凝固态的过程中形成的。激光脉冲在光纤中所走过的路程为: $2L=vt$ 。其中, $t$ 为入射光经后向散射返回到光纤入射端所需时间; $v$ 为光在光纤中的传播速度, $v=c/n$ , $c$ 为真空中的光速, $n$ 为光纤的折射率; $L$ 为光纤某处到光纤入射端的距离。

在 $t$ 时刻测量距光纤入射端距离为 $L$ 处局域的后向拉曼散射光,OTDR为分布式测量提供可靠的理论依据。

本系统采用基于Raman后向散射的分布式光纤温度传感原理,采用双通道双波长比较方法,即分别采集Anti-Stokes光和Stokes光,利用两者强度的比值解调温度信号。由于Anti-Stokes光对温度更灵敏,因此Anti-Stokes光作为信号通道,Stokes光作为比较通道,则两者之间的强度比为

式中, $\lambda_s$ , $\lambda_{as}$ 分别为Stokes和Anti-Stokes光波长; $h$ 为普朗克常数; $c$ 为真空中的光速; $k$ 是玻耳兹曼常量; $\Delta\gamma$ 为偏移波数; $T$ 为绝对温度。

可见,在测温系统中通过测定 $R(T)$ 就可以确定沿光纤各测量点的温度值。

### 2 系统构成

分布式光纤测温系统在整个测量光纤长度上,以距离的连续函数形式表示被测点的温度随光纤长度的变化。电力电缆温度监测系统的核心——基于拉曼分布式光纤温度传感器系统,该系统分为光纤温度场信息采集、光电探测和电路信号后处理3个子系统。

#### 2.1 光纤温度场信息采集

光纤温度场信息采集子系统包括半导体激光器及其脉冲驱动电路、光功率放

大器(EDFA)、光纤分束器、传感光纤及窄带光滤波器。激光技术中激光高速调制与大功率输出是一对矛盾,大功率激光器窄脉冲调制困难;同时其驱动电流大,而大电流、窄脉冲的激光器驱动源设计和实现困难。光通信采用950 nm的高速调制半导体激光器则易于实现10 ns的脉冲输出。使用光功率放大器提升光功率可获得瓦数量级光功率输出。采用30 dB以上功率放大倍数的低噪声EDFA掺铒光纤放大器。选用插入损耗小,分束比高的光纤分束器以保证最小光能量损失。为了能够最大程度提高整个系统的信噪比SNR,实现系统高技术指标要求。光发射端采用EDFA提升发射光功率和信号光功率。

## 2.2 光电探测

采用波长为150 nm的InGaAs高量子效率的APD及噪声的前放单元,实现微弱光信号的接收转换和低噪声预放大。主放大电路主要完成信号光经光探测器转换为光电流形式,再经其自身带有的低噪声前置放大后,输出差动形式的电平信号,进入宽带放大电路。

## 2.3 电路后处理

电路后处理子系统包括信号采集和处理2部分。2路系统被测信号经前置放大后,变成0~2 V的信号分别送至模拟开关,分时选通后送入差分输入器送至A/D转换器,当A/D转换器被DSP信号触发后启动转换,并将转换结果存储在外扩的RAM中。当数据存储到一定数量后,进行统计分析。提取其中有效数据进行综合处理,最后将处理结果传给上位机最示。

分布式光纤拉曼后向散射温度传感器的传感信号属于淹没在噪声中的时间快速变化信号,而其频带极宽。后向散射随时间变化的微弱信号波形的每一点幅值与时间的关系,均代表空间各点位置的温度变化,因此快速恢复需整个传播与接收时间内的散射光波。分布式光纤温度传感器中采用时域积累平均改善信噪比并恢复波形的方法,即采用多点平均的线性累加模式经多点积累平均后。

采用数字平均法可大大提高采样信号的信噪比,有效地从噪声中提取微弱信号。而且,这种方法对具有专门累加指令和零开销循环指令的DSP易于实现。

## 3 系统实例

分布式光纤传感器在高压电力电缆中的安装法通常有表贴式和内绞合式。电缆内部的内绞合光纤能对负载的变化做出快速响应,而绑缚在电缆表面的表贴光纤由于受电缆外界环境以及电缆本身绝缘屏蔽层的影响,无法真实跟踪负载的实时变化情况,仅能反应电缆周围环境的温度变化情况。

高压电力电缆故障多数是因为着火引起的,包括内外部火源。内部火源主要是电缆绝缘老化,引起发热着火。外部火源是指电缆隧道或电缆夹层内其他火源及隧道外各种火源。外部火源可使电缆表层着火,产生大量的热和烟。把到达起火前的温度点设为阈值,超过阈值系统发出警报。

分布式光纤传感系统除应用于高压电力电缆测温外。还可监测电力系统光缆。电力系统光缆种类繁多，加之我国地域广阔，各地环境差异很大，所以光缆的环境复杂，其中温度和应力是影响光缆性能的主要环境因素。因此，在监测光纤断点的同时也应监测光缆所处温度和应力情况，这对光缆的故障预警及维护具有广泛意义。

#### 4 结束语

基于分布式光纤传感技术的测量系统已广泛应用于多个领域。分布式光纤温度测量系统能在整条光纤的长度上，以距离的连续函数形式给出被测温度随光纤长度方向的变化信息。将其应用于电力系统电缆、铁塔等设施，实时测量其温度、压力等参数，并及时排险，从而尽可能减少经济损失，为电力设备安全运行提供保障。

OFweek 电子工程网