

分布式光纤测温技术在电力电缆运维中的应用

周琦,胡慧萍

(无锡供电公司,江苏无锡 214061)

摘要:介绍了分布式光纤测温系统在国内外的发展现状,阐述了基于拉曼散射测温系统的基本原理,重点分析了分布式光纤测温系统在电力电缆运维中的应用,并以实例论证了分布式光纤测温系统是电力电缆在线监测的有效手段。

关键词:分布式光纤测温;电力电缆;在线监测

中图分类号: TM764

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)05-0065-03

电力电缆作为电力系统输电载体,其运行状态直接关系到电网的安全和稳定。近年来,随着电力电缆输送负荷需求的持续增加及建设、改造工期过分紧张,给电力电缆安全运行埋下了隐患,电缆击穿和火灾的事件不断发生。为了确保电缆运行在最佳和最安全的状态,亟需有效的在线监测手段。其中在线温度监测就是一种极为有效的方法,可以发现潜在异常点,实现故障早期预警,防止和杜绝电力事故发生。传统的测温方法采用点式感温元件装在电力电缆的重要部位进行测温,此方法只能对电缆系统局部位置进行测温,无法对整条电缆线路实现温度在线监测。而分布式光纤测温系统能够实现多点、在线的分布式测量,其中光纤既作为传感元件感知温度信息又作为信息载体传输温度信息,具有抗电磁干扰、抗腐蚀、耐高温、本征安全、传输距离远、高带宽、高温度分辨率、高空间分辨率、定位精准等优点,可有效实现电力电缆全线温度在线监测,实时监测电缆的温度信息,及时发现和定位温度异常点,并输出报警信息,提高了电缆的运行安全性和可靠性。

1 分布式光纤测温技术现状

目前,分布式光纤测温技术主要采用2种基于拉曼散射的温度传感技术,一是基于拉曼光时域反射技术的分布式光纤传感技术;二是基于拉曼光频域分析技术的分布式光纤传感技术。

国外90年代,英国YORK公司和日本藤仓公司均研制成功了分布式光纤温度传感器。其在2km的光纤上实现了空间分辨率3.5m,温度分辨率3℃的传感测量。

国内多家院校从90年代始先后开展了分布光纤温度传感器的研究,并取得了可喜的成绩。重庆大学和中国计量学院研制成功多模拉曼分布式光纤温度传感器系统,该系统在1km的光纤上实现了空间分辨率7m,温度分辨率3℃的传感测量^[1]。

分布式光纤测温系统的技术发展主要集中在其性能指标的优化,如测量距离、空间分辨率、温度分辨率等。目前国外同类产品的监测最大距离达30km,空间分辨率达1~3m,温度分辨率达0.8℃;而国内同类产品的监测距离最大为5km,空间分辨率为2m,温度分辨率为1℃,国内产品相比国外产品在性能指标上还存在一定的差距。为了缩小与国际同类产品的距离,未来发展重点在于提高该产品的测量距离、空间分辨率、温度分辨率以及产品的其他性能指标。

2 分布式光纤测温系统工作原理

分布式光纤温度传感器(DTS),是近年来发展起来的一种用于实时测量空间温度场分布的传感系统,是一种分布式的、连续的、功能型光纤温度传感器,其利用光子的拉曼散射温度效应实现温度检测。

当激光脉冲在光纤中传输过程中与光纤分子相互作用,发生多种形式的散射,如瑞利散射、布里渊散射和拉曼散射。其中瑞利散射对温度不敏感;布里渊散射对温度和应力都敏感,容易受外界环境干扰,影响测量准确度;拉曼散射是由于光纤分子的热振动和光子相互作用发生能量交换而产生的,具体地说,如果一部分光能转换为热振动,那么将发出一个比光源波长更长的光,称为斯托克斯光(Stokes光),如果一部分热振动转换为光能,那么将发出一个比光源波长更短的光,称为反斯托克斯光(Anti-Stokes光)。其中Stokes光强度受温度的影响很小,可忽略不计,而Anti-Stokes光的强度随温度的变化而变化。根据拉曼散射理论,在自发拉曼散射条件下,2束反射光的光强和温度有关,其比值 $R(T)$ 为:

$$R(T) = I_{as}/I_s = \left(\frac{v_{as}}{v_s}\right)^4 \exp(-hc\Delta v/kT) \quad (1)$$

式中: I_s, I_{as} 分别为斯托克斯光强和反斯托克斯光强; h 为普拉克常数; k 为波尔兹曼常数; T 为绝对温度^[2]。可见, $R(T)$ 仅与温度 T 有关。因此可以借助斯托克斯和反斯托克斯光强之比来实现温度的测量。

在光纤中,激光传输到任意一点都会在此处产生拉曼散射光,并且产生的拉曼散射光均匀分布在空间角内,其中一部分被光纤重新捕获,沿光纤原路返回,称作背向拉曼散射光,被光探测单元接收并分别滤出 Anti-Stokes 光和 Stokes 光,通过获得两者的强度之比,就可以得到对应光纤中某点的温度值^[3],采用该技术实现温度监测称为分布式光纤测温。

3 分布式光纤测温技术在电力电缆运维中的应用

3.1 无锡配电网分布式光纤测温系统

2010 年国家电网公司在无锡配电网开展电力光纤到户试点工程,工程中采用光纤复合低电压电缆(OPLC)承载自动化信息,并同步开展分布式光纤测温技术研究,实现运行电力电缆温度在线监测。

分布式光纤测温系统主要由 DTS 测温主机、测温光缆及电力电缆状态监测(CSM)主机三部分组成,如图 1 所示。

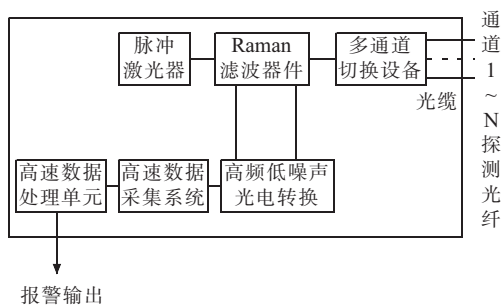


图 1 分布式光纤测温系统结构

3.1.1 DTS 测温主机

DTS 测温主机由内置激光器、波分复用器、光开关、滤波器、高速数据采集单元、高速数据处理单元、继电器、RS485、RJ45、MODBUS、LED 等组成^[4]。DTS 测温主机安装于变电站的监控室内,并与测温光缆相连,实现对电力电缆表面温度信息的采集、处理,输出温度报警信息。目前针对电力探测领域应用的分布式光纤测温主机具有模块化设计、结构紧凑、功耗低、价格低、性能高、系统稳定和便于维护,系统测量速度快,并可精确的定位事故点;同时系统的报警方式更加灵活,可以多重报警叠加,大大提高报警效率。

3.1.2 测温光缆

测温光缆沿着电力电缆表面敷设并固定,既作为温度传感器探测电缆表面的温度信息,又作为通信媒介传输信息。

根据探测光缆的安装方式,可分为内置式光纤测温系统和外置式光纤测温系统。内置式光纤测温系统是将探测光缆敷设于电力电缆内部的绝缘屏蔽和金属护套之间;而外置式光纤测温系统是将光缆敷设在电

力电缆外护套之外。探测光缆的内置式和外置式的优缺点如表 1 所示,用户可以根据需求进行选择。

表 1 探测光缆内置式和外置式特点

| 光缆安装方式 | 优点 | 缺点 |
|--------|------------------------------------|------------------------------|
| 内置式 | 更加接近导体,测出的温度更加准确,适合于排管 | 熔接困难,熔点多,光纤损耗大,安装后不可替换,维护不方便 |
| 外置式 | 易于安装,光纤熔接点少,损耗小,成本低,光缆安装方便,可替换,易维护 | 离电缆导体距离远,计算模型复杂 |

综合考虑以上 2 种方式的优缺点,在实际应用中外置光纤的方式更适合电缆测温。

3.1.3 CSM 主机

CSM 主机安装于变电站监控室或者中央控制室内,通过以太网或 modbus 等通信接口与 DTS 测温主机通信,以及与外部网络通信。CSM 软件内置于 CSM 主机内,主要功能为:实现对 DTS 测温主机参数设置,如通道选择、监测区域划分、报警参数设置、通信参数设置等;采集和显示电缆表面的温度数据和温度曲线;计算电缆导体温度数据,并显示温度数据和温度曲线;实现对被测电缆布局的组态;输出多级报警等。

3.2 实例分析

3.2.1 无锡金域蓝湾小区分布式光纤测温系统

无锡金域蓝湾小区分布式光纤测温系统是在配电网无源光网络系统的基础上采用合波技术和高速信号采集与 DTS 技术,实现电力电缆温度数据的采集、处理、识别以及报警输出等功能。

该小区供配所至 7 号楼 10 kV 电缆采用了外置式进行在线监测。分布式光纤测温系统现场安装如图 2 所示,CSM 主机和 DTS 测温主机均安装于监控室的控制柜中,探测光缆沿着电缆表面敷设,且每隔 1 m 使用尼龙扎带或固定夹具进行绑扎,探测光缆安装如图 3 所示。

探测光缆将温度信息传输到 DTS 测温主机进行处理。DTS 测温主机与 CSM 主机通过 TCP/IP 协议进行通信,CSM 主机内置的软件可以对 DTS 测温主机及监测范围进行配置,DTS 测温主机将温度信息传输给 CSM 内置软件进行后期处理,输出实时电缆温度及报警信息等。

3.2.2 分布式光纤测温系统测试

待工程施工及软件配置完成后,系统进入正常运行状态,通过观察监控界面的实时数据,可以时刻掌握被测电缆的运行状态。

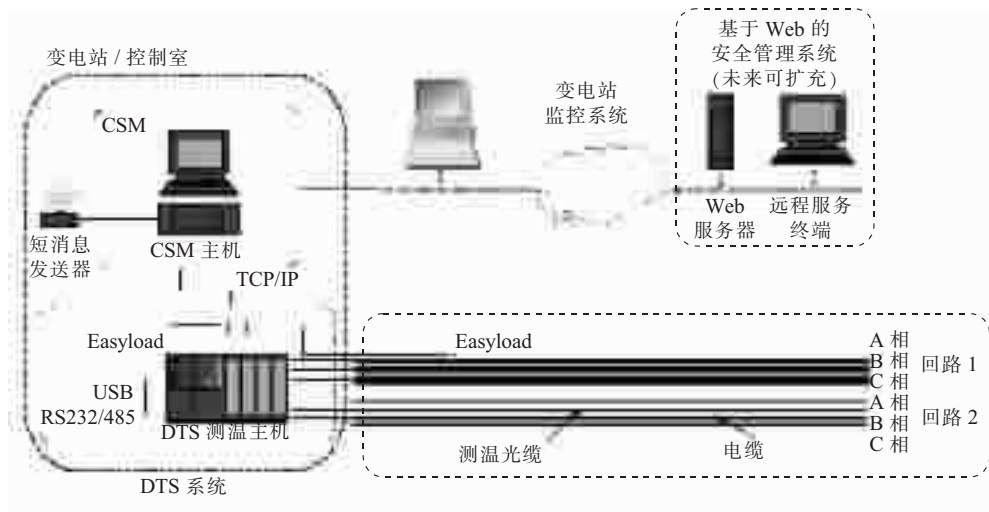


图2 分布式光纤测温系统应用示意图

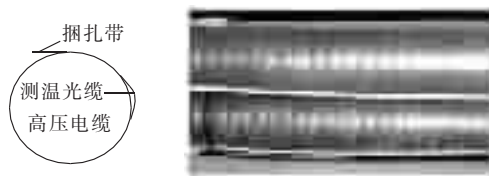


图3 探测光缆安装示意图

监控界面显示了项目名称、工控机CPU的使用率与内存的使用率、DTS分布式距离至用户对象距离的映射图、各个点的分布式温度信息，通过观察这些信息，可随时掌握电缆的运行温度、温度曲线等状态信息。一旦电缆发生局部过热，将在监控界面上显示出温度异常信息，弹出报警信息框，并启动短信模块，发出报警信息。

分布式光纤测温系统对电缆运行状态的温度信息进行实时监测，能及时发现潜在故障，采用多种报警方式提醒用户，以便尽早采取行动，避免事故发生。

4 结束语

在电力系统不断发展的情况下，电力设备的温度

监测将会受到越来越多的重视。分布式光纤测温系统能够实时提供待测电缆全程的表面温度、导芯温度、接头温度等信息，且具有抗干扰、本征安全、测量距离远、精度高、定位准等优势，是电力电缆在线状态监测的最佳手段。通过在电缆上安装分布式光纤测温系统，能够为用户提供电缆实时运行状态信息，及时发现潜在异常点，实现故障早期预警，防止和杜绝电力事故发生，保证电缆运行的安全性和可靠性。

参考文献：

- [1] 刘媛,张勇,雷涛,等.分布式光纤测温技术在电缆温度监测中的应用[J],山东科学,2008,21(6):50-54.
- [2] 陈军,李永丽.应用于高压电缆的光纤分布式温度传感技术[J].电力系统及自动化学报,2005,17(3):47-49.
- [3] 何明科,张佩宗,李永丽.分布式光纤测温技术在电力设备过热监测中的应用[J].电力设备,2007,8(10):30-32.
- [4] 彭超,赵建康,苗付贵.分布式光纤监测技术在线监测电缆温度[J],高电压技术,2006,8(32):43-45.

作者简介：

周琦(1963),男,江苏无锡人,工程师,从事电力通信管理工作;
胡慧萍(1964),女,江苏无锡人,工程师,从事电力科技情报工作。

Application of Distributed Temperature Sensor System in Power Cable Operation and Maintenance

ZHOU Qi, HU Hui-ping

(Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China)

Abstract: This paper first gives a state of the art of the development of distributed temperature sensor system at home and abroad. Then an introduction of the principles of raman based temperature sensor system is given with emphasizing on its application in power cable operations. At last, a practical example is used to demonstrate that distributed temperature sensor system is an effective means for power lines on-line monitoring.

Key words: distributed temperature sensor system; power cable; on-line monitoring