

# 分布式光纤温度监测与报警系统的研究

崔文华, 陈志斌

(鞍山钢铁学院信息系, 辽宁 鞍山 114044)

**摘要:** 分布式光纤温度传感器系统实质上是分布光纤喇曼光子传感系统(DOFTSS), 它是近年来发展起来的一种用于实时测量空间温度场的光纤传感系统, 具有自标定、自校准和自检测功能。对光纤测温系统的基本结构和基本原理进行了说明, 介绍了分布光纤喇曼光子传感系统基准值、定标和直线拟合算法的实现, 通过 RS232 和光纤测温系统串行通讯实现了系统状态的设置和显示, 并组成了火灾预测和报警系统, 对硬件结构的实现和软件流程进行了说明。

**关键词:** 分布光纤光子传感系统; 光纤测温; 标定

**中图分类号:** TN25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2002)02-0175-04

## Study on distributed optical fiber temperature measuring and warning system

CUI Wen-hua, CHEN Zhi-bing

(Information Department of Anshan Steel College, Anshan 114044, China)

**Abstract:** Self-demarcating, self-celebration and self-checking are the functions of the optical fibre temperature measuring system. The basic principle and structure of the optical fibre temperature measuring system and DOFTSS are introduced in detail. Methods of setting the benchmark value of the system, demarcating the system and realizing the baseline adjustment are also discussed. The structure of the system including parts of power supply, setting up and displaying and other controls is shown, as well as the system software flowchart. Prediction and warning system for fire hazard is set up making use of the technique of fiber temperature measuring system.

**Key words:** DOFTSS; Optical fibre temperature measuring; Demarcating

### 1 引言

随着半导体、激光和光电子以及计算机技术的飞

速发展, 产生了光纤测温等新的火灾探测方法, 从而提高探测的可靠性和抗干扰性。

第一个商品化分布式光纤测温 DTSII 是由英国 York 公司在 1987 年推出的。2001 年 6 月在北京展

收稿日期: 2001-09-15; 修订日期: 2001-11-04

作者简介: 崔文华(1968-), 女, 辽宁省喀左县人, 讲师, 研究方向为机电控制与自动化。

览会和10月上海展览会上,西门子公司 CERBERUS 有产品展出,其测温长度达4km。南京消防公司与华中理工大学合作开发研究的光纤测温已有两年,10月上海展览会上虽有样机展出,但还只是开发阶段。中国计量学院光纤测温研究从1994年开始,样机 FGC-W1 光纤测温系统已于当年通过鉴定,FGC-W2 光纤测温系统样机也于1997年完成,其测温长度达2km。

以往线型感温探测器有缆式定温探测器、可复用缆式感温探测器及空气管膜盒式差温探测器。

缆式定温探测器存在受热部位不可复用,电缆短路与报警状态相同,有误报现象,热敏电缆工作电流较小,易受干扰等缺点。

可复用缆式感温的优点是由负温度系数高的聚化合物探测温度,为非破坏性报警,缺点是不可测距,指示不出着火点,由于传感器工作电流较小,易受强磁场干扰。

空气管差温探测器由于传感器无电信号,能抗强电磁干扰;其缺点是膜盒易变形,空气管易堵、漏,必须定期进行流通检验和接点压力试验,维护麻烦。

光纤测温有如下优点:

- (1) 一根光纤可取代大量点型传感器,实现在线实时测量、灾情监测和预报,获取信息的成本大大降低;
- (2) 质量轻、柔性好、工程安装方便;
- (3) 抗电磁干扰能力强,绝缘性能高,可以工作在高压、大电流及爆炸环境中。

由于光纤测温具有测距、可复用、非破坏性报警、报警温度可调,传感器输出为光信号,抗电磁干扰等优点,因而可适用于下列环境:

- (1) 实时监测高压电力线路以及隧道(特别是地铁)的潜在过热点,并及时发出预警;
- (2) 对建筑物及化工、电子、冶金、制药等行业进行多点监控;
- (3) 测量大型工业变压器线圈、铁芯及其他复杂结构的温度场;
- (4) 用于炼油厂、文物单位、档案馆、井下等需要无电流监测的场合;
- (5) 强电磁场干扰的场合;
- (6) 爆炸环境。

光纤测温系统在国内虽还未大量应用,但在国外已有较广阔的市场前景,多家公司采用此项技术进行开发。随着光纤技术的成熟,可大大拓展适用范围。

## 2 光纤温度传感器

分布式光纤温度传感器系统实质上是分布光纤喇曼光子传感系统,它是近年来发展起来的一种用于实时测量空间温度场的系统,系统中光纤既是传输媒体又是传感媒体,利用光纤背向喇曼散射的温度效应,光纤所处的空间各点的温度场调制了光纤中的背向喇曼散射的强度(反斯托克斯背向喇曼散射光的强度),经波分复用器和光电探测器采集带有温度信息的背向喇曼散射光电信号,在经信号处理系统解调后将温度信息实时地从噪声中提取出来。它是一种典型的光纤通讯网络,在时域,利用光纤中光波的传输速度和背向光回波的时间间隔和光纤光时域反射(OTDR)原理对所测温度点进行定位;它又是一种典型的光雷达系统,系统可以对铺设在待测空间中的2km光纤上1000个点的温度信息进行实时采集,并能对被测点进行空间定位。分布光纤温度传感器系统中的传感光纤不带电,抗射频和电磁干扰,阻燃、防爆、抗腐蚀、耐高压和强电磁场,耐电离辐射,能在有害环境中安全运行。系统具有自标定、自校准和自检功能,在光纤受损时不仅可继续工作,还能检测出断点的位置。

## 3 系统的组成

### 3.1 光纤测温系统的结构图

系统结构如图1所示。

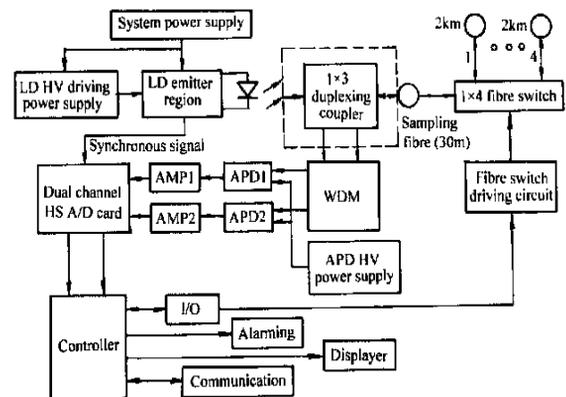


图1 光纤温度测量系统结构图

Fig. 1 Structure of the optical fiber temperature measuring system

### 3.2 基本工作原理

根据理论推导,光纤上的温度与反斯托克斯喇曼散射信号和瑞利散射信号的比值有下列关系:

$$\frac{V_a(T)/V_R(T)}{V_a(T_0)/V_R(T_0)} = \frac{[\exp(h\nu/kT_0) - 1]}{[\exp(h\nu/kT) - 1]} \quad (1)$$

式中  $\nu_a$  ——反斯托克斯频率;

$k$  ——波耳兹曼常数;

$h$  ——普朗克常数;

$T_0$  ——绝对温度;

$V_a(T_0)/V_R(T_0)$  ——系统的基准值。

$V_a(T)/V_R(T)$  为经过 A/D 卡对信号采集、处理后传送给 CPU 卡的含有现场温度信息的值。

由公式(1),在  $V_a(T_0)/V_R(T_0)$ 、 $V_a(T)/V_R(T)$  已知的情况下,便可确定现场的温度值。在实际系统中,是通过系统基准值、定标和直线拟合算法来实现的。

#### (1) 系统基准值的获得

将系统置于温度恒定的环境中,工作于基准值的获得状态,通过在恒定温度下对信号的采集和处理,获得系统的基准值,并记录到系统中。

#### (2) 系统的定标

将距离前端 200m 处的定标用的光纤绕组和二级以上标准温度计一起放在定标用的温度可调的恒温槽中,使系统处于定标状态。每隔 5℃(定标最高温度为 100℃)取得一组  $(T, [V_a(T)/V_R(T)]/[V_a(T_0)/V_R(T_0)])$  数据,通过直线拟合算法便可得到直线方程  $T = kx - b$  的拟合参数  $k$  和  $b$  ( $x = [V_a(T)/V_R(T)]/[V_a(T_0)/V_R(T_0)]$ )。这样通过获得  $[V_a(T)/V_R(T)]/[V_a(T_0)/V_R(T_0)]$  值得到现场的温度。

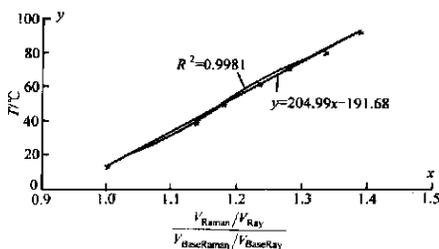


图 2 LDOFTS 系统的温度划分曲线

Fig. 2 Temperature demarcating curve of LDOFTS system

#### (3) 漂移的补偿 —— 取样环修正法

为了补偿由于器件老化和其它原因带来的系统的稳定性和测量精度的下降,采用了光纤取样环修正法。光纤取样环处于恒温状态,作为修正用的取样信号。修正系数  $C$  为:

$$C = [V_a(T_0, t)/V_R(t)]/[V_a(T_0, t_0)/V_R(T_0)]$$

将求得的  $C$  值乘以采集到的含有现场温度信息的  $[V_a(T)/V_R(T)]/[V_a(T_0)/V_R(T_0)]$ ,即修正后  $x = C \times [V_a(T)/V_R(T)]/[V_a(T_0)/V_R(T_0)]$ ,再通过  $T = kx - b$ ,便可得到经计算机修正的现场温度。

#### (4) 系统的设置和显示

通过 PC 机的 RS232(或报警控制器 RS485)和光纤测温系统串行通讯实现对系统状态的设置和显示。

1) 系统的设置:包括基准值工作状态,定标工作状态,现场工作状态,采样速率,触发电平,累加次数,工作模式(单次测量或连续测量),图形显示类型的设置。

2) 系统状态数据的显示:

a. 光时域反射 OTDR(喇曼散射、瑞利散射)曲线信号;

b. 光纤上各点的温度信号电平值;

c. 光纤上各点的温度值;

d. 光纤上各点升温速率。

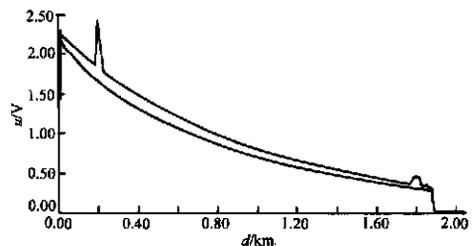


图 3 喇曼和瑞利信号波前

Fig. 3 Signal waveform of Raman and Rayleigh

## 4 系统的实现

### 4.1 硬件的实现

系统以工业控制计算机为核心,加双通道高速瞬态(50MHz)信号采集处理卡(A/D卡)和 I/O 板,配备以下器件和设备:

(1) 用在线式、长效型 UPS 和工业控制机开关

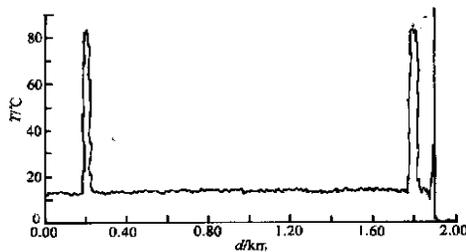


图4 解调温度分布曲线

Fig. 4 Temperature distributing curve after demodulation

电源供给系统  $\pm 5V$  和其它电源;

(2) 激光二极管 LD-905 采用 PGAS1S09, 驱动采用 ZTX853/953;

(3) 双向耦合器 BDC(62.5/125, 50/125);

(4) 光电接收 APD C30902E/ C30724E, 放大器采用 MAXIM 的 MAX4107 高增益、宽带、低噪声放大器。

上述关键部件放置在恒温箱(恒温 20°C), 与火灾报警器组成系统的硬件部分。

同时, 系统配备了 RS232 和 RS485 通信接口, 用于系统的设置、系统运行状态、采集数据的传输与显示以及报警功能。

#### 4.2 软件部分

主要包括: 数据采集与数据处理子程序; 定标与温度计算子程序; 通信子程序。图 5 为主程序框图。

### 5 结论

系统测试和开发过程表明: 光纤测温就是将温度敏感度高的反斯托克斯信号和对温度敏感度较低的斯托克斯信号(或瑞利散射信号)的比值作为监测参数, 该比值由公式(1)给出。

当  $\nu$  一定时, 比值只与温度  $T_v$  有关。

样机的性能指标如下:

温度分辨率: 2°C;

测量光纤长度: 2000m;

空间分辨率: 8m;

温度测试时间: 60s;

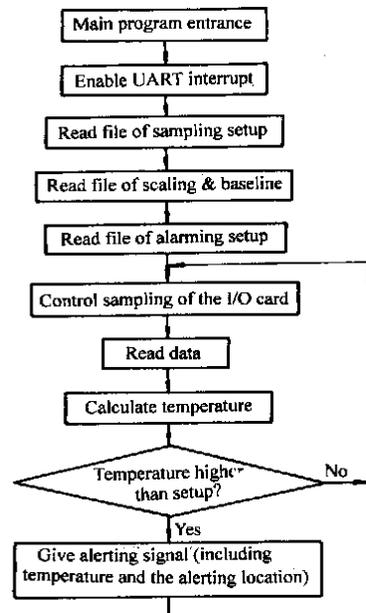


图5 主程序流程图

Fig. 5 Flowchart of main program

测温不确定度:  $\pm 1^\circ\text{C}$ ;

测温范围: 0 ~ 130°C。

光纤测温作为一种新兴的技术有非常广阔的市场前景, 经过对分布式光纤系统的研究, 以及电路结构进行的测试, 给出了整条线路温度分布图。探测的可靠性和抗干扰性都优于以往的方法, 系统在实际应用中效果良好。

#### 参考文献:

- [1] Hartog A H, et al. Distributed temperature sensor in solid-core fiber [J]. Electron Lett., 1985, 22:1060-1062.
- [2] Samson P J. Analysis of the wavelength dependence of raman backscatter in optical fiber thermometry[J]. Electro Lett., 1990, 26:163-165.
- [3] Zhang zaixuan, et al. Research of temperature effect on back-direction laser spontanrous raman scattering in optical fiber[J]. Acta photonics, 1996, 25(3):273-278.
- [4] Rogers A J. Distributed optical-fiber sensors for the measurement of pressure, strain and temperature[J]. Physics Reports, 1998, 169(2): 99-143.