

利用光纤温度传感系统检测天然气管道泄漏^{*}

袁朝庆^{1,2} 刘 燕¹ 才英俊¹ 靳志强³

(1.大庆石油学院 2.中国地震局工程力学研究所 3.北京品傲光电科技有限公司)

袁朝庆等.利用光纤温度传感系统检测天然气管道泄漏.天然气工业,2006,26(8):117-119.

摘 要 为实现天然气管道泄漏在线实时检测及泄漏位置的准确定位,利用光纤光栅温度传感器和分布式光纤温度传感器的温度特性,结合天然气管道泄漏处的温度场变化规律,进行了光纤光栅准分布式检测系统和分布式光纤泄漏检测系统研究。着重分析了光纤光栅准分布式传感系统的构成及其原理,分析了基于拉曼光反射的分布式光纤温度传感器系统的构成及其原理,介绍其具有其它传感系统无法比拟的优越性及应用领域,并初步建立了光纤检测系统实施方案。采用光纤光栅和分布式光纤温度传感检测技术,分别实现了管道的关键点和沿管道全线温度的连续检测,通过检测管道周围的温度场异常变化,及时发现泄漏,并进行漏点准确定位。

主题词 分布式 光纤 光栅 管道泄漏 检测

天然气管道泄漏常规的检测方法^[1,2]有漏噪声探测法、漏磁探测法、热红外成像、嗅觉传感器法、放射性示踪剂检漏法、负压波法、压力梯度法、质量或体积平衡法、SCADA 系统、应力波检测法、声波检测法等。除了 SCADA 系统结合其他检测方法可实现管道的实时在线监测外,其他都是泄漏发生时或发生后进行检测的方法,而 SCADA 系统的造价相当高。笔者应用光纤光栅和分布式光纤温度传感系统检测天然气管道泄漏,实现其在线实时监测。

一、光纤光栅系统

光纤光栅(特别是 Bragg 光纤光栅)传感技术^[3]已在桥梁、建筑、海洋石油平台、油田及航空、大坝等工程进行了实时安全、温度及应变监测。光纤光栅传感器可广泛地测量温度、应力、应变、压力、电流、流量、电磁场、振动等参量,还可实现准分布式传感测量网络,传感信号可传输到监控室进行遥测,即实现在线监测。其优点是精度高、可绝对测量、波长编码、可复用。最有前途的应用领域应是多点多参数的应力和温度测试。

1. 光纤光栅原理

Bragg 光纤光栅^[4,5]属于反射型工作器件,当光源发出的连续宽带光通过传输光纤射入时,在满足

Bragg 条件的情况下,它与光场发生耦合作用,对该宽带光有选择地反射回相应的一个窄带光,并沿原传输光纤返回,而透射光谱中将缺少这一部分窄带光。其反射光谱在 Bragg 波长 λ 处出现峰值。光栅受到外部物理场(如温度、应变等)的作用时,其栅距随之发生变化,从而改变了后向反射光的波长 λ 。反射回的窄带光的中心波长值随着作用于光纤光栅的温度和应变的改变而呈线性变化,从而使光纤光栅成为性能优异的温度、应变测量敏感元件。图 1、2 分别为光纤光栅原理图和光纤光栅传感器结构图。

光纤光栅是一种芯区折射率周期变化的光纤,

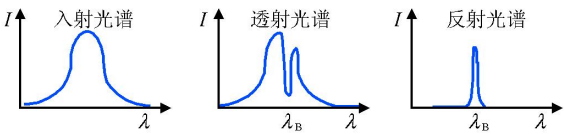


图 1 光纤光栅原理图

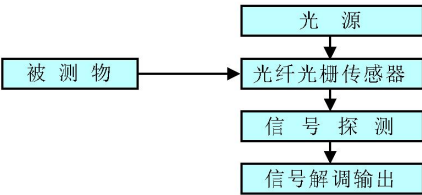


图 2 光纤光栅传感器结构图

^{*} 本成果属于黑龙江省教育厅科学技术研究项目(10551004)。

作者简介:袁朝庆,1970 年生,副教授,博士研究生,土木工程系副主任;2000 年硕士毕业于哈尔滨工业大学结构工程专业;现从事健康监测研究。地址:(163318)黑龙江省大庆市大庆石油学院土木建筑工程学院 133 号。电话:(0459)6504204, 13845903336。E-mail:yvq@sina.com

按芯区折射率变化周期的周期大小可分为短周期光纤光栅(周期为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下)和长周期光纤光栅(周期为几百 μm)。对于短周期光纤光栅,满足布拉格条件的入射光被反射:

$$\lambda = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

式中: λ 为中心波长; Λ 为折射率变化周期; n_{eff} 为有效折射率。

光纤光栅的中心波长会随温度和应变而变化,则有:

$$\Delta\lambda = \frac{\partial\epsilon}{\partial\lambda}\epsilon + \frac{\partial T}{\partial\lambda}\Delta T \quad (2)$$

式中: $\Delta\lambda$ 为光纤光栅中心波长变化量; ϵ 为应变; ΔT 为温度变化; T 为温度值。根据 λ 变化的大小就可以确定待测部位相应的温度和应变的变化。

2. 光纤光栅温度传感系统工作原理

光纤光栅准分布式传感系统主要由光纤光栅传感器阵列、光纤光栅传感网络分析仪、数据处理中心3部分组成。整个准分布式传感系统中关键技术就是传感器的工程化技术、光纤光栅传感网络分析仪的解调技术和光纤传感头的制备封装工艺及技术。

把多个不同周期的光纤光栅温度传感器按一定规则排成阵列,构成准分布式温度传感系统。从光源发出连续的宽带光,经光缆传输到光纤光栅温度传感器。光纤光栅对该宽带光有选择地发射回相应的一个窄带光,经同一传输光缆返回到光探测器,通过后续接收系统测定各传感器所返回的不同窄带光的中心波长,利用光纤光栅网络分析仪解析出各被测量的数值。由于多个传感器所返回的窄带光信号中心波长范围不同,所以可将这些传感器串接组网实现多点同时测量,大大简化了传感器及引出线的布设,避免了以往逐点测量的不便。

光纤光栅传感器是波长调制型传感器,其解调方法有光谱分析法、波长扫描法、光学滤波法、相干涉等。

光纤光栅传感系统采用光信号进行测量和传输,现场实现了无电检测。同时该系统使用光栅技术,检测信号以光信号中心波长为表征量,克服了传统光传感器依赖光强大小的缺点,实现了数字化检测,稳定性好,使用寿命长。

二、分布式光纤温度传感系统

1. 分布式光纤温度传感系统的性能及应用

分布式光纤温度传感器是一种用于实时测量空

间温场分布的高新技术。它能够连续测量光纤沿线处的温度,测量距离可达数十公里,空间分辨率可达 $1\sim 5\text{ m}$,能够进行不间断的自动测量,具有精度高、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、耐辐射、数据传输及读取速度快、自适应性能好等优点,能在各种有害的环境中工作,特别适用于需要大范围多点测量的应用场合。

2. 分布式光纤温度传感系统的工作原理

在光纤中注入一定能量和宽度的激光脉冲,它在光纤中传输的同时不断产生后向散射光波,光波的状态随所在光纤散射点的温度影响改变,将散射回来的光波经波分复用、检测解调后,送入信号处理系统,将温度信号实时显示出来,利用光时域反射(optical time domain reflection,简称 OTDR),即光纤中光波的传输速度和背向光回波的时间进行定位。目前分布式光纤温度传感器系统主要基于拉曼光反射、布里渊光反射和光纤光栅原理,其中基于拉曼光反射的 DTS(Distributed Temperature Sensing 分布式光纤温度传感系统)应用较多。拉曼反射的原理^[5-7]是:光通过光纤时,光子和光纤中的光声子会产生非弹性碰撞,发生喇曼散射,一部分光能转换成热振动,产生波长大于入射光的斯托克斯光;一部分热振动转换成热能,产生波长小于入射光的反斯托克斯光。反斯托克斯光对温度更为敏感,采用斯托克斯光与反斯托克斯光的强度比可消除光纤的固有损耗和不均匀性所带来的影响。通常用反斯托克斯光作信号通道,斯托克斯光作比较通道。基于拉曼散射的分布式温度传感技术最为成熟。据报道国外已将其应用于管道检漏,国内尚没有应用。该方法可实现实时监测,精确定位($0.5\sim 2\text{ m}$)。

由于分布式光纤温度传感系统具有上述特性,可广泛用于煤矿、隧道、仓库、大型货轮、油轮、发电厂各种管网,各种大中型输油管道,化工原料、摄影材料、食品等生产过程,智能大厦、一般民用建筑物内的温度检测及火灾报警系统和其他用于防止火灾的用途。

三、天然气管道泄漏判定

管道内的天然气一般低于环境温度,一旦发生泄漏,布置在管道外侧的光纤光栅温度传感系统或分布式温度传感系统可感知温度降低,从而发现泄漏并精确定位。管道正常运行时,沿线各点的温度

场分布应处于稳定趋势下,其温度分布曲线如图 3 所示。当某一时刻管线发生泄漏时,管线漏点附近产生温度场的突然变化,通过光纤温度传感器即时监测到其温度变化,其温度场分布如图 4 (温度降低时)所示。利用计算机监测系统,即可准确判断管道泄漏及泄漏点的位置,实现天然气管道泄漏的在线监测。

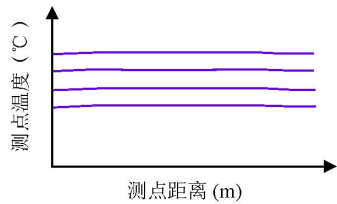


图 3 未泄漏时测点温度分布曲线

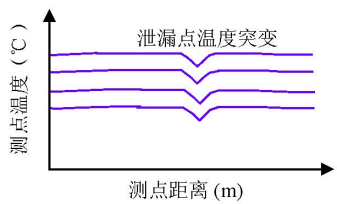


图 4 管道泄漏发生后测点温度分布曲线

光纤光栅温度传感系统或分布式光纤温度传感系统布置在管道正上方,光缆和传感器布设时保证一定的曲率,尽量减少光损耗。将光缆终端接入监测站内,安装分析仪和计算机,从而实现对管道系统的关键点或全程的实时在线监测,可以及时发现泄漏并准确定位。现场监测布置见图 5。

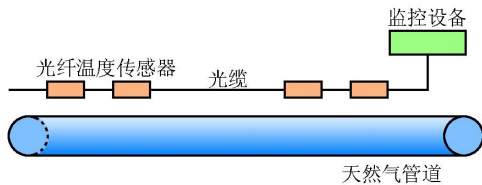


图 5 监测方案示意图

四、结 论

光纤温度传感系统具有其它传感系统无法比拟的优越性,应用其检测天然气管道泄漏具有广阔前景,将为天然气管道的安全运营提供有力保证,并可广泛用于油气管道、热力管道等管道内介质与周围环境温度不同的各种管道泄漏的实时监测。

参 考 文 献

[1] 王占山,等.长输管道泄漏检测和定位技术[J].沈阳工业学院学报,2003,22(2):32-36.

[2] 夏海波,等.王朝辉国内外油气管道泄漏检测技术的发展现状[J].油气储运,2001,20(1):1-5.

[3] 姜德生,等.光纤光栅传感器的应用概况[J].光电子·激光,2002,13(4):420-430.

[4] 张兴周.Bragg 光纤光栅与光纤传感技术[J].光学技术,1998(4):70-74.

[5] 胡晓东,等.分布式光纤传感技术的特点与研究现状[J].航空精密制造技术,1999,35(1):28-31.

[6] 张在宣,等.分布式光纤光子传感器与测量网络的进展[J].中国计量学院学报,2001,12(2):77-85.

[7] 张在宣,等.激光喇曼型分布光纤温度传感系统[J].光学学报,1995,15(11):1585-1589.

(修改回稿日期 2006-06-23 编辑 赵 勤)