

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0001.014

光纤传感器位移特性的研究与应用

王 恒

(安徽理工大学 电气与信息工程学院,安徽 淮南 232001)

摘 要:从理论和实验的角度出发,分析了光纤传感器的位移特性,阐述了一种利用光纤传感器位移特性检测工件磨损度的方法;对传感器位移特性实验原理、实测数据、理论分析进行了研究,实现了工业生产中易磨损工件磨损度检测的目的;证明了方案的可行性。

关键词:光纤传感器;位移特性;位移测量;补偿

中图分类号:TP212

文献标识码:A

文章编号:1672-058X(2015)01-0055-04

光纤传感器是以光纤为基础制作的新型传感器设备,具有抗电磁干扰能力强、电绝缘性好、耐腐蚀、测量范围广、体积小以及传输容量大等优点,常用于检测位移、温度、偏振、压力等,现代光纤传感器能在高压环境下代替人工完成作业,因此被广泛用于医疗、交通、电力、机械、航空航天等各个领域。

1 位移特性研究与结果分析

1.1 研究原理

反射式光纤位移传感器是一种传输型光纤传感器,其原理如图 1 所示。由 2 根光纤组成,光源发出的光经过入射光纤传播,从入射光纤出射到物体的表面,经过表面的反射,进入反射光纤,光敏元件负责接收光信号并通过光电转换器转化为电压信号 U 。在其他参数不变的情况下,电压信号的大小,取决于入射光纤端面与被测面之间的距离。经过后续的信号处理电路,即可检测出位移量。

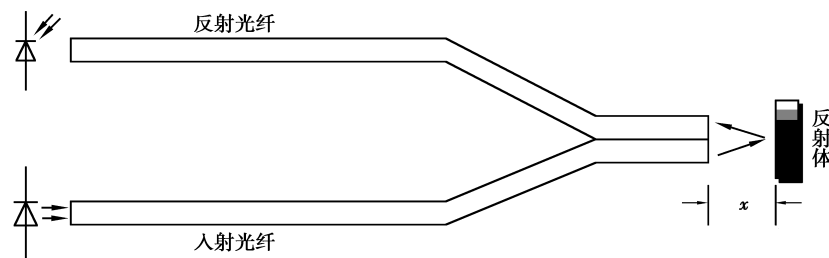


图 1 光纤传感器原理图

1.2 实验方法

光纤采用 Y 型结构,两束光纤一端合并在一起组成光纤探头,另一端分为两支,分别为入射光纤和反射光纤。将传感器固定在专用实验仪器上,为了便于实验,规定 5 mm 处为实验起始位置。手动在 5 mm 处将光纤探头紧贴反射体表面,打开光源,光耦合进入入射光纤并射向反射面,再被反射到反射光纤,经过传输

收稿日期:2014-05-02;修回日期:2014-06-27.

作者简介:王恒(1989-),男,安徽六安人,硕士研究生,从事自动控制与传感器检测研究.

由光电转换器接收转换成电压信号 U 并显示在电压表上。为了使实验结果更加明显,实验中选用表面反射率不同的反射体 1,2,每间隔 0.1 mm 测量一次并记录。最后通过软件绘出数据图。

光电转换器接收到的光强与探头和反射体之间的距离变化有关,通过测量电压信号的大小,再经过计算即可得到光纤探头和反射面之间的距离。

1.3 数据及结果分析

实验数据如图 2 所示。由图 2 可以看出,电压的变化可以反映接收到的反射光的光强变化。在一定距离范围内接收到的光强的强弱与光纤探头和反射体之间的距离以及反射体表面的性质有关。当光纤探头紧贴反射体(5 mm 处)时,接收到的光强为零。随着光纤探头和反射体之间距离的增加,接收到的光强逐渐增加,当到达最高点后又随着两者之间距离的增加而减小,在小范围位移内数据呈现线性化。

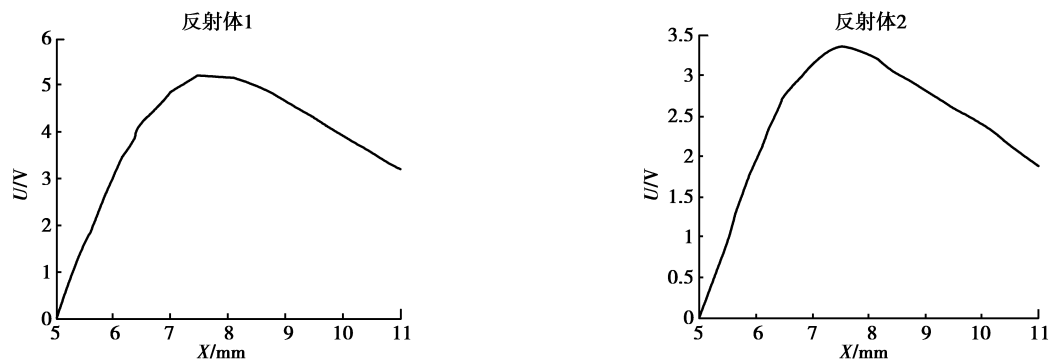


图 2 不同反射体实验数据图

2 应用举例

2.1 工件磨损度检测系统

工业生产中,对许多易磨损工件的磨损度的检测极为重要。工件磨损度的检测是指在机器正常运转时,对工件的表面形状进行检测。许多易损工件长时间工作后,其表面磨损状况直接影响生产。因此,工件磨损度的精确测量是提高产品质量的关键。

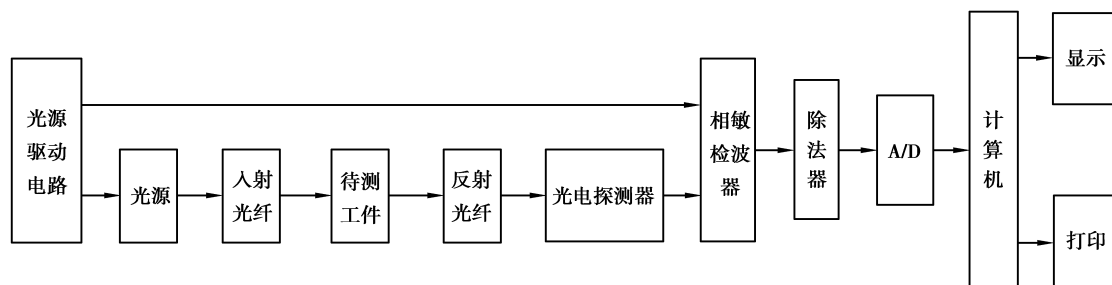


图 3 工件磨损度检测系统结构图

图 3 为工件磨损度检测系统结构图。光源驱动电路驱动光源提供原始光信号,进入入射光纤,接触到待测工件表面,这时光信号反射进入反射光纤,由反射光纤传递进入光电探测器,其中反射光纤传输的光信号为测量对象;随后,光信号再进入相敏检波器,采用相敏检波电路的目的是为了消除测量时背景光的影响;之后,光信号在经过相敏检波器处理之后,进入除法器,除法器的作用是进一步消除光源波动、反射体反射率的差异及光纤损耗的影响;所得的数据再进入 A/D 转换器转变为数字信号,并通过计算机计算处理,由显示器或打印机输出最终结果。

2.2 补偿分析

通过位移特性研究了解到,传统的反射式光纤位移传感器在可测范围内具有一定的线性度,实测中通常只利用线性相对较好的前波,这样会对测量结果产生一定程度的影响。而且,测量过程中由于光源强度、反射体表面性质等因素的变化也会对测量产生一定的影响。

为了避免上述因素带来的影响,提出了一种有效的补偿机制,即采用等间距双路接收的三探头反射式光纤位移传感器对被测量体进行测量,其结构如图 4 所示。对于图 4 所示的三探头光纤传感器结构,可以以入射光纤心轴线为 Z 轴,以过三光纤端面中心的连线为 R 轴建立坐标系,如图 5 所示。

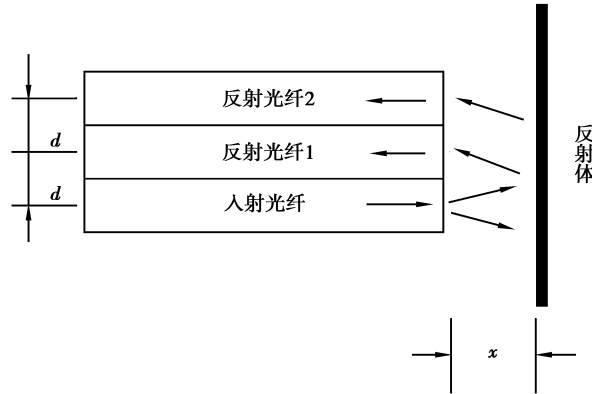


图 4 等间距双路接收的三探头反射式光纤位移传感器结构图

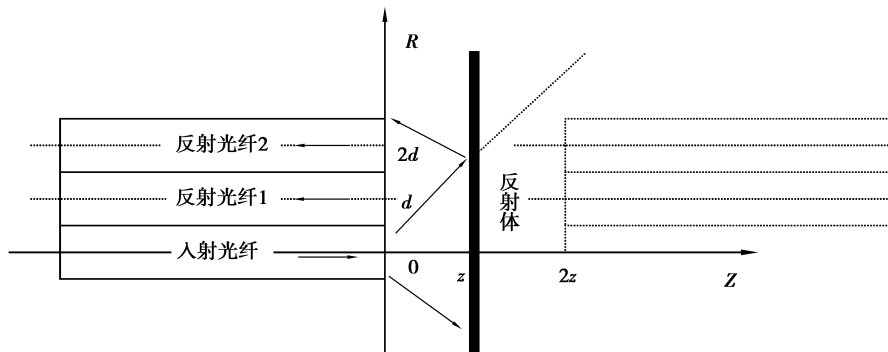


图 5 耦合原理图

假设反射面为光滑镜面,忽略由于散射带来的影响,则反射光纤接收到的光强与将它置于反射体镜像处直接接收到的光强乘以镜面的反射系数是等价的。根据纤端光强的分布假设,将式(1)代入,可得反射光纤接收到的光通量为式(2);再由式(2)可以计算出图中反射光纤 1,2 接收到的光通量 Φ_1, Φ_2 ,如式(3),式(4)所示。

$$I(r, z) = \frac{K_0 \Phi_0}{\pi R^2(z)} \cdot \exp\left[-\frac{r^2}{R^2}(z)\right] \quad (1)$$

$$\Phi(r, z) = \rho \cdot \iint_s K \cdot I(r, z) \cdot \exp\left(-\sum_i \eta_i r_i\right) ds \quad (2)$$

$$\Phi_1 = \rho_1 \cdot \frac{K_0 K_1 S_1 \Phi_0}{\pi R^2(2z)} \cdot \exp\left(-\sum_i \eta_i r_i\right) \cdot \exp\left[-\frac{d^2}{R^2(2z)}\right] \quad (3)$$

$$\Phi_2 = \rho_2 \cdot \frac{K_0 K_2 S_2 \Phi_0}{\pi R^2(2z)} \cdot \exp\left(-\sum_j \eta_j r_j\right) \cdot \exp\left[-\frac{(2d)^2}{R^2(2z)}\right] \quad (4)$$

K_0 表示光波在入射光纤中的损耗; $R(z)$ 为光场分布等效半径,且 $R(z) = a_0 + k \tan \theta_c z^{3/2}$; a_0 为纤芯半径; θ_c 为

光最大入射角; k 为光场耦合系数; ρ_1 表示镜面反射率; ρ_2 表示反射光纤光功率损耗系数; $\exp(-\sum_i \eta_i r_i)$ 表示由于接收光纤弯曲所带来的损耗; S 为光纤有效接收面积。

采用二者比值,可以得到光纤传感器的输出特性调制函数 $M(z) = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}$,若忽略表面反射率的影响,假设两反射光纤为同种光纤,光纤端面的纤芯面积、本征损耗和弯曲损耗近似一致,则有关系: $\rho_1 = \rho_2, S_1 = S_2, K_1 = K_2, \exp(-\sum_i \eta_i r_i) = \exp(-\sum_j \eta_j r_j)$ 。结合式(3),式(4), $M(z)$ 计算可得

$$M(z) = \exp\left\{\frac{-3d^2}{[a_0 + k \cdot \tan \theta_c (2z)^{\frac{3}{2}}]^2}\right\} \quad (5)$$

由式(5)可知,当结构参数 d, a_0, θ_c 一定时,光纤输出特性仅与光纤端面到反射体之间的距离有关。通过对其补偿机制的分析表明,这种方法可以有效地对光源强度、反射体表面性质以及光纤光强损耗和弯曲损耗等因素变化带来的影响进行补偿,从而提高对磨损度的测量精度。

3 结 语

将光纤传感器的位移特性应用与工件磨损度的检测中,给出了一种具有灵敏度高、抗电磁干扰、安全可靠等特点的磨损度检测系统。该系统能满足磨损度测量系统的精度及分辨率要求,具有较好的实用性,而且也可以作为其他反射式光纤测量系统的配套电路使用。

参考文献:

- [1] 徐涛,吕海宝,杨华勇,等.一种强度补偿反射式光纤位移传感器的研究[J].国防科技大学学报,2000(6):109-112
- [2] 陈玉,王幼民,许德章.光纤位移传感器的研制与应用[J].仪表技术与传感器,2007(9):1-3
- [3] 阮顺龄.光纤小位移传感器实验[J].大学物理实验,1997,10(1):21-24
- [4] 肖韶荣,李剑自.双通道光纤位移传感器实时测量系统[J].半导体光电,2000,21(6):414-417
- [5] 王小军.基于光纤传感器的转速测量系统设计[J].传感器世界,2011(2):20-21
- [6] 付松年,苏立国,游佰强,等.新型反射式光纤位移传感器的分析与设计[J].传感器与微系统,2003(3):15-17
- [7] 尹爱国.反射型光纤束的研究及其应用[J].仪器仪表学报,1990,11(3):244-249
- [8] YUAN L. The Analysis of the Compensation Mechanism of a Fiber-optic Displacement Sensor[J].Sensor and Actuators:A,1993,36(3):177-182
- [9] XIAO S. Investigation on the Properties of the Two-way Optical Fiber Sensor for Displacement[J].光子学报,1998,27(1):126-129

Research and Application of the Feature of Optical Fiber Sensor Displacement

WANG Heng

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Technology, Anhui Huainan 232001, China)

Abstract: From the perspective of theory and experiment, this paper analyzes the feature of optical fiber sensor displacement, expounds a method to test the abrasability of a workpiece, by using a kind of optical fiber sensor displacement features, studies experimental principle, practically testing data and theoretical analysis of the sensor displacement features, attains the goal on the abrasability test on easily-worn workpieces in industrial production, and proves the accuracy of the experimental data and the feasibility of the scheme.

Abstract: optical fiber sensor; displacement feature; displacement measurement; compensation

责任编辑:代小红

校 对:李翠薇