

检测非理想惯性系统加速度的光纤传感器

何晓东

(长春邮电学院光通信工程系, 长春 130012)

张 力

(东北师范大学物理系, 长春 130024)

摘要 本文提出了一种测量加速度的新方法, 给出了其原理及实验装置, 并从理论和实验两方面验证了它的可行性。

关键词: 加速度; 光纤传感器

1 引 言

在光纤拉制、半导体材料和晶体生长等过程中, 其运行速度均需匀速, 但由于外界影响, 有时会出现速度不均匀的现象, 即有加速度产生, 这势必影响到所生成物质的结构状态及其质量。本文研制的加速度光纤传感器能对上述一些运行过程的加速度进行检测, 从而达到保证晶体、光纤的质量这一目的。

2 实验原理及装置

图1为光纤微振子型加速度光纤传感器原理图。在运动系统上固定一对光纤, 光纤孔径上下对准, 一个作为输入光纤, 一个作为接收光纤, 同时还固定一带有遮光片的单模光纤——光纤微振子。当运动系统匀速运动时, 光纤微振子相对运动系统静止, 此时遮光片刚好遮住光纤孔径面积一半。光纤接收系统接收到的光强为一恒量; 当运动系统产生加速度时, 此加速度作为外界条件施加给光纤微振子使之产生振动, 遮光片产生位移, 光纤接收系统接收到的光强有变化, 根据变化的光强可求出遮光片的位移, 再根据位移即可求出加速度。它的基本原理是: 一定质量物体在加速度作用下产生惯性力, 这惯性力可转变为位移变量, 通过对位移变量的测量, 就可得出加速度值。

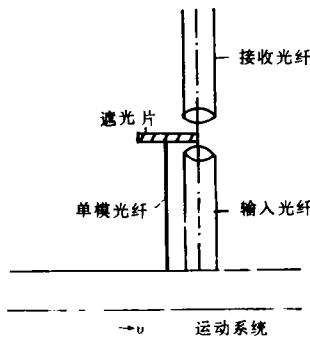


图1 加速度光纤传感器原理图

收稿日期: 1994年8月12日 下面从理论上给出加速度表达式。在材料力学中, 我们的振动系统可

看成梁结构,振动中它产生弯曲变形,在平面弯曲的情况下,梁的轴线将成为 xy 平面内的一条挠曲线,挠曲线微分方程为:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (1)$$

式中 $M(x)$ 为弯矩, I 为惯性矩, E 为弹性模量

由于惯性力 $F=ma$ 的作用下使任意截面上的弯矩为

$$M(x) = -F(l-x) \quad (2)$$

(1)、(2) 联立可得

$$a = \frac{3EIY}{ml^3} \quad (3)$$

式中 m 为遮光片质量, l 为单模光纤长度, y 为遮光片位移。

将牛顿第二定律和胡克定律, $F=ma=ky$ 代入(3)式可得

$$\omega^2 = \frac{3EI}{ml^3} = \frac{3E\pi}{64ml^3}d^4 \quad (4)$$

式中 $I = \frac{\pi}{64}d^4$, d 为光纤直径, ω 为光纤微振子振动频率。位移 y 取决于接收光强,当光纤微振子与运动系统相对静止时,遮光片正好遮住光纤孔径的一半,当运动系统有加速度时,遮光片相对光纤孔径有位移 y ,此时接收光强发生变化,变化光强与位移 y 之间有一定关系,在加速度 $a < 0$ 情形中,设光纤半径为 r ,遮光片位移为 y ,露光部分面积为 S 。

$$S = r^2 \left\{ \cos^{-1}\left(\frac{y}{r}\right) - \frac{y}{r} \sin\left[\cos^{-1}\left(\frac{y}{r}\right)\right] \right\} \quad (5)$$

传输光的能量密度在纤芯内可认为是均匀的,接收光纤接收到的光强与两纤芯重合部分的面积基本上成正比,设遮光片刚好遮住光纤孔径一半时,接收到的光强为 I 。当遮光片有位移 y 时,接收到的光强为 I

$$I = \frac{2I_0}{\pi} \left\{ \cos^{-1}\left(\frac{y}{r}\right) - \frac{y}{r} \sin\left[\cos^{-1}\left(\frac{y}{r}\right)\right] \right\} \quad (6)$$

加速度 $a > 0$ 情形有

$$I = \frac{2I_0}{\pi} \left\{ -\cos^{-1}\left(\frac{y}{r}\right) + \frac{y}{r} \sin\left[\cos^{-1}\left(\frac{y}{r}\right)\right] \right\} \quad (7)$$

将(6)式对 y 求导可得光强对加速度的响应为

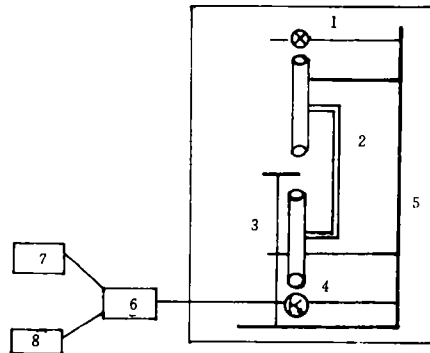
$$\frac{dI}{da} = \frac{-4I_0}{\pi\omega^2} \frac{\sqrt{r^2-y^2}}{r^2} \quad (8)$$

根据上述原理制作的加速度传感器的装置如图 2

3 实验结果

本实验所用单模光纤直径 $d = 100\mu\text{m}$, 光纤弹性模量 $E = 7.3 \times 10^{11}$ 达因/厘米², 玻璃柱体直径 $d_0 = 2.4\text{mm}$

(1) 选单模光纤长度 $l = 5\text{cm}$, 用不同的质量测出频率与质量的实验曲线, 实线如图(图中虚曲线代表由(4)~(8)计算出的理论曲线)



(1)光源:聚光小灯泡;(2)输入接收媒介:玻璃柱体;(3)光纤微振子;(4)光强探测器:硅光电三极管;(5)封闭外壳;(6)电路放大器;(7)数字式电压毫伏表;(8)台式记录仪

图 2 加速度光纤传感器装置图

(2)选质量 $m=20\text{mg}$,用不同的长度测出频量与长度的实验曲线如图 4 实线曲线,(虚线部分为理论计算曲线)

(3)选 $l=5\text{cm}$,用不同的质量测出加速度与质量的关系曲线如图 5 实线曲线,(虚线部分为理论计算曲线)

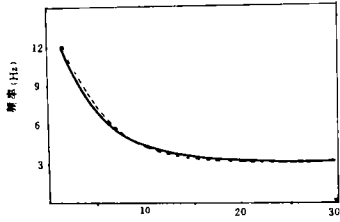


图 3 光纤加速度计的频率
随质量变化曲线

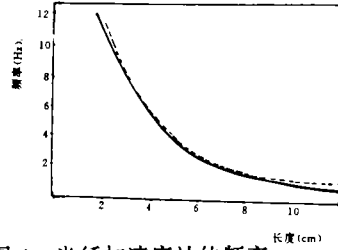


图 4 光纤加速度计的频率
随长度变化曲线

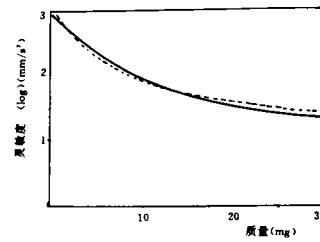


图 5 光纤加速度计的灵敏度
随质量变化曲线

由图 3、4、5 可看出,本实验所得的实验曲线与理论曲线基本一致,这就从实验上验证了该传感器是一种可行的新型传感器,由于这种传感器制造简单,造价较低,灵敏度高,可以预计,它可应用于非理想惯性制系统中。

参 考 文 献

- [1] Richard A. etc. Tilting-mirror fiber-optic accelerometer. Appl opt,1984,123(3)
- [2] A. B. Tveten et al. Fiber optic accelerometer. Elec. lett leff,1980,116(22)
- [3] 张国顺等,光纤传感技术. 水利电力出版社

A Fiber-optic Sensor for Examining Accelavation in Nonideal Inertia System

He Xiaodong

(Department of Optical Communication Engineering, Changchun Institute of
Posts and telecommunications, Changchun, 130012)

Zhang Li

(Department of Physics, Northeast Normal University, Changchun, 130024)

Abstract

A new method of measuring acceleration is put forward in this paper. The principle and experiment install are expanded here and possibility is verified both by theory and experiment.

Key words: acceleration, fiber-optic sensors