

激光扫描动态测量管外径的研究

李承志

(山东省科学院激光研究所, 济宁, 272117)

摘要: 本文报导利用激光扫描, 在 $\varnothing 5\text{mm}$ 至 $\varnothing 60\text{mm}$ 的外径上, 实现 $\pm 0.02\text{mm}$ 动态检测精度的研究结果。文中对研制原理及精度分析作出简明阐述。

关键词: 激光扫描 $f\theta$ 透镜

Study on dynamically measuring outer diameter with a scanning laser

Li Chengzhi

(Institute of Laser, Academy of Sciences of Shandong Province)

Abstract: In this paper, a new measuring device characterized by the performances of measuring range from 5mm to 60mm, accuracy $\pm 0.02\text{mm}$ is reported. The device is composed mainly of a scanning laser and a optical system. This paper describes the principles of the device and analyzes the measuring accuracy.

Key words: laser scan $f\theta$ lens

一、引言

生产现场对于处在自动线上的管外径测量提出了愈来愈高的要求。我们的研制实践稳定地实现了三方位、动态、非接触式外径测量, 并以数字显示、打印制表和超差报警的方式, 使操作者及时掌握被测外径的尺寸精度和椭圆度。研制仪器在冶金厂家获得了长时间的稳定运行。

利用激光扫描、动态检测外径, 据资料报导^[1], 1985年日本曾研制成功检测精度为 $\pm 0.05\text{mm}$ 的检测仪器; 我国北京605厂^[2]亦于同年制作出单方向检测石英管外径的测量仪, 检测精度为 $\pm 0.1\text{mm}$, 但其无法测量椭圆度, 且不宜应用于其他行业。

二、仪器的研制原理

整机光路及电路系统如图1所示。

氦氛激光器射出连续的激光束, 经棱镜1, 2转折后, 平行于透镜5主光轴入射, 并聚焦在置于透镜5焦点处、且由同步电机驱动的旋转镜鼓3的界面上, 从而形成扫描光束8。该光束

经准直物镜 5 后平行于主光轴,再由会聚透镜 6 将其聚焦于光电元件 4 的光敏面上,变为电信号输出。

透镜 5,6 间的平行光束随着旋转镜鼓的旋转而平移。当它被待测外径 7 挡住时,信号放大及半波峰值检出器 9 将输出一个代表被测外径的脉冲。另置一稳定的石英晶体振荡器作为晶振源,以其发出的时钟脉冲作为计数系统的基频。被测外径脉冲同晶振源脉冲通过与门复合后输出待测外径信号,再进入前置计数器、可逆计数器及储存器进行计数显示。

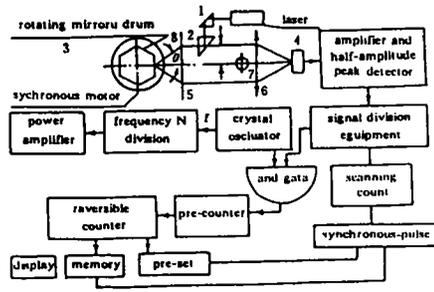


Fig. 1 Configuration of optical system and data processing system

三、分析与讨论

1. $f\theta$ 透镜的应用

由扫描测量原理知,待测直径 φ 是由测定扫描光束在被测物上经过的时间 t 确定的,故光路应能实现 φ 与 t 间的线性关系。而 $t = \frac{\varphi}{v}$, 式中 v 为平行光束在待测外径上的扫描速度。由此, v 应为定值。

由图 1, 光束 8 与光轴成 θ 角, 经透镜 5 后所成的平行光束与光轴间距离为 h 。欲使前述 v 为定值, 则应实现:

$$v = \frac{dh}{dt} = \text{常数}$$

h 随 θ 变化, 而 θ 取决于旋转镜鼓的转速。当旋转光束 8 的角速度为 ω (此时镜鼓转束为 $\omega/2$), 即 $\theta = \omega t$ 时, 对于不同的透镜, 其扫描特性是不同的, 如图 2 所示。一般称 θ 与 h 成线性关系的准直物镜为 $f\theta$ 透镜。

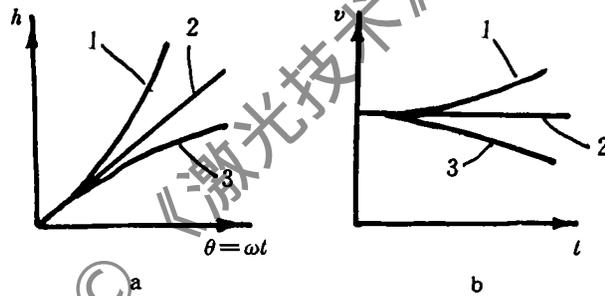


Fig. 2 Scanning characteristics curves

图中曲线 1 为一般透镜, 2 为 $f\theta$ 透镜, 3 为傅氏透镜。由 a 图可见, 只有 $f\theta$ 透镜才能实现:

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{dh}{\omega \cdot dt} = \text{常数}$$

亦即 $\frac{dh}{dt} = \text{常数}$, 即 v 为常数, 见图 2b。

由此可见, $f\theta$ 透镜的应用为实现扫描法正确测量外径的关键。

2. 提高仪器检测精度的途径

设图 1 中旋转镜鼓同步电机的转速为 f_n (r/s), 则其角速度为:

$$\omega_n = 2\pi f_n \text{ (1/s)}$$

由平面反射镜特性, 光束 8 旋转的角速度为:

$$\omega = 2\omega_n = 4\pi f_n$$

设 $f\theta$ 透镜 5 的焦距为 F , 则可以认为光束 8 经透镜 5 后在测量区间形成的光束之平移速度为:

$$v = \omega F = 4\pi f_{\text{晶}} F$$

令被测外径为 φ , 其对应的信号脉宽 t 为 φ/v , 即

$$\varphi = vt = 4\pi f_{\text{晶}} Ft \quad (1)$$

若晶振源脉冲周期为 T_0 , 则在 t 内信号分离器所输出的待测外径信号中所含晶振源的脉冲数为:

$$n = \frac{t}{T_0} \quad (2)$$

由(1),(2)式可得, 每个晶振源脉冲所代表的外径尺寸值为:

$$\frac{\varphi}{n} = \frac{4\pi f_{\text{晶}} F}{f_0} \quad (3)$$

式中, $f_0 = \frac{1}{T_0}$, 为晶振源频率。

令 $N = \frac{f_0}{f_{\text{晶}}}$ 为分频比, 代入(3)式得:

$$\varphi = \frac{4\pi F}{N} n \quad (4)$$

上式中, $\frac{4\pi F}{N}$ 值相当于误差一个晶振源脉冲所造成的外径测量误差的大小, 亦即仪器的理论分辨精度。

由此, 欲提高仪器的精度, 须降低 $\frac{4\pi F}{N}$ 值。这可以取用小的 F 值和大的 N 值实现之。但此举在设计实践中将受到条件的制约。

F 值的减小会影响仪器的线性度, 而增大 N 值势必导致提高晶振源脉冲频率或降低 $f_{\text{晶}}$ (因为 $N = \frac{f_0}{f_{\text{晶}}}$)。前者须有更高频率响应的数字电路; 后者则受到同步电机本身性能的限制——从而形成测量速率太低而不适应测量快速运动着的外径。

上述均为我们的研制实践所证实。

四、结 果

研制仪器于山东张店钢铁厂焊管生产线应用于焊管外径测量已逾三年, 运行正常, 效益显著。现场检测结果为, 在 $\varnothing 5\text{mm}$ 至 $\varnothing 60\text{mm}$ 范围内, 于强电磁干扰、强振动、多粉尘的恶劣环境中, 稳定地实现了 $\pm 0.02\text{mm}$ 的外径测量精度。研究课题于 1991 年底通过鉴定。鉴定意见认为, 经调研和国际联机检索, 成果在国内处领先地位, 达到 80 年代国际先进水平。

参 考 文 献

- 1 徐家骅. 计量工程光学. 北京: 机械工业出版社, 1981, 177~178
- 2 王之江. 光学技术手册. 北京: 机械工业出版社, 1987, 1173~1175

* * *

作者简介: 李承志, 男, 1942年3月出生。副研究员。现从事激光检测研究工作。

收稿日期: 1993-10-27