

微型机械运动参数测试仪光学机械系统研究

张二星

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 微型机械运动参数的测试是微型机械研究工作的基础。本文介绍微型机械运动参数测试仪的工作原理和关键技术, 并对仪器的精度进行了分析。

关键词: 微型机械; 动态特性

1 引言

八十年代后期, 微型机械技术在国外得到迅速的发展。在不长的时间内, 人们研制出许多微型另件, 如齿轮、轴承、弹簧等, 曲柄连杆机构、液体泵、微型静电电机、压电陶瓷驱动机构, 甚至出现了微型机器人。随着这些构件、机构、系统的研制成功, 对测试技术也提出了相应的要求。

据报导, 美国麻省理工学院^[1], 用频闪测速的方法, 测量微电机转子的动态特性。他们用频闪转速计与显微镜联接, 再把一台 CCD 摄像机关于显微镜上并与一台磁带录像机相联。转子的旋转运动记录于磁带上, 事后逐帧进行分析。测量的转速达每分钟数万转。

美国加利福尼亚大学^[2], 他们把电视摄像机装于显微镜上, 通过录像确定微电机的转速及其它动态特性。测量过 150r/min, 500r/min。

另一种是用光电二极管作探测器件进行测量的^[3]。美国电报电话公司贝尔实验室和麻省理工学院, 他们在一种研究摩擦、磨损的装置中, 测量微小涡轮的转速时, 用 5mW 的 He-Ne 激光形成 5 μ m 的光斑聚焦于涡轮叶片。用光电二极管对准, 由电路分析器算出转速。测量的转速较高。

还有一种是用光纤传感器进行测量的^[4]。美国犹他州大学工程设计中心用激光转速计测量静电电机的转速。他们在电机转子轴上抛光出一小平面。由光纤来的激光束被抛光的小平面反射, 又经光纤传到光电池, 进行测量。

我国清华大学微电子研究所^[5], 通过在微电机转子下集成一光伏器件, 实现片内检测。

下面介绍我们的工作。

2 测量原理

由于被测目标很小,所以必须用一套能够放大的光学系统,把目标成像在光电接收器上并充满接收面。仪器采用了显微光学系统成像,并设置了二套测量系统。在被测件转速比较低,低于 50r/min 时,用 CCD 电视测量系统。在中、高转速即高于 50r/min 时,用光电三极管测量系统。此外,还可以测量平面直线运动和平面曲线运动。

测量原理如图 1 所示,从光源 1 发出的白光经聚光镜 2,视场光栏 3,透镜 4,分光镜 5,

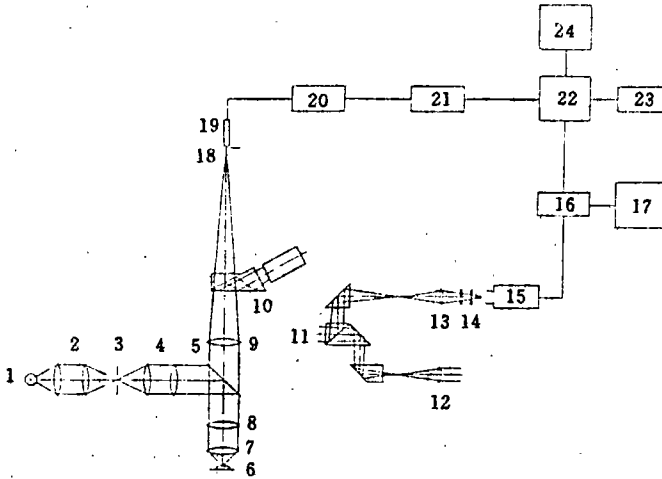


图.1 测量原理图

- | | | | |
|------------|------------|------------------|---------|
| 1. 光源 | 2. 聚光镜 | 3. 视场光栏 | 4. 透镜 |
| 5. 分光镜 | 6. 被测件 | 7. 物镜 | 8. 透镜 |
| 9. 补偿镜 | 10. 转向棱镜 | 11. 分光镜 | 12. 目镜 |
| 13. 1x 物镜 | 14. 偏光镜组 | 15. 面阵 CCD 摄像机 | 16. 图像板 |
| 17. 监视器 | 18. 微动光栏 | 19. 光电三极管及信号提取电路 | |
| 20. 数据采集电路 | 21. 数据传输电路 | 22. 计算机 | 23. 打印机 |
| | | 24. 监视器 | |

Fig. 1 Principle of operation

- | | | | |
|---|----------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1. light source | 2. condenser | 3. field diaphragm | 4. lens |
| 5. beam splitter | 6. tested object | 7. objective | 8. lens |
| 9. compensating lens | 10. inclination prism | 11. beam splitter | |
| 12. eyepiece | 13. 1x objective | 14. polarizers | 15. CCD camera |
| 16. picture quantizer | 17. monitor | 18. fine adjustable diaphragm | |
| 19. phototransistor and picked signal circuit | 20. extracted data circuit | | |
| 21. transferred data circuit | 22. computer | 23. printer | 24. monitor |

反射后通过透镜 8,物镜 7 至被测件 6。从被测件反射后又进入物镜 7,透镜 8,透过分光镜 5,补偿镜 9,经转向棱镜 10,进入分光镜 11。其中第一路从目镜 12 射出。第二路经 1×物镜 13,偏光镜组 14 进入面阵 CCD 摄像机 15,转变为视频信号后,进入图像板 16,计算机 22 由打印机 23 和监视器 24 输出。监视器 17 是供观察被测件用的。第三路为从被测件 6 反射的光,经

光学系统 7、8、9、10 和微动光栏 18 至光电三极管和信号提取电路 19, 转变为电信号后经电路 20、21 至计算机 22, 数据由打印机 23 和监视器 24 输出。

3 探测微弱信号的措施

仪器在计算机管理下, 对两路信号均有灵活的数据采集与处理功能, 能够测量瞬态过程, 实时地给出被测物运动过程中各点的位移、速度、加速度, 包括数据、图表或曲线。

为了对微小构件进行动态测量, 光源、光学系统及接收器应该很好地匹配。这里的问题是信号光很弱, 又有杂光干扰。为此, 对光学系统的能量进行了分析计算。我们推导出, 光电器件接收面上光的照度应该用下式计算。

$$E = \frac{\eta W \tau \rho}{M^2 S} \sin^2\left(\frac{u}{2}\right) \quad (1)$$

式中

η ——光源的发光效率, 钨卤素灯为 30lm/W;

W ——光源的功率;

τ ——光学系统的透过率;

ρ ——要计算的被测件或背景的反射率;

M ——物镜的放大倍率;

S ——要计算的被测或背景的面积 m^2

计算出的能量是很微弱的, 因此, 选用了高灵敏度的 CCD 摄像机和光电三极管接收信号。

为了提高信噪比, 设置了光栏 3 和微动光栏 18, 限制杂光。实验已证明, 光栏是决定我们能否探测微小目标的关键因素之一。

4 精度分析

4.1 光电三极管测量系统的精度

由转速公式

$$N = 60f/Q \quad (2)$$

式中

f ——计数时钟频率, Hz;

Q ——计数器计数;

N ——转速, r/min;

可得仪器本身误差的表达式

$$\Delta N_1 = \frac{60}{Q} \Delta f - \frac{60f}{Q^2} \Delta Q \quad (3)$$

ΔQ ——计数误差, $\Delta Q = \pm 1$;

Δf ——计数时钟频率误差。

由于计数时钟频率误差 Δf 很小, 可以忽略不计, 因此可以认为

$$\Delta N_1 = -\frac{60f}{Q^2} \Delta Q \quad (4)$$

实际测量时,测量精度除与仪器本身的误差 ΔN_1 有关外,还与被测件以及测量的条件有关。例如,被测件旋转中心的变动以及仪器的振动等。其中数值比较大的是旋转中心的变动误差

$$\Delta N_2 = \frac{e}{2\pi r} N \quad (5)$$

式中

- e ——被测件旋转中心的变动量, μm ;
- r ——测量标记的回转半径, μm ;
- N ——转速, r/min 。

这样,总的误差的表达式为

$$\Delta N = \left[\left(\frac{60f}{Q^2} \Delta Q \right)^2 + \left(\frac{eN}{2\pi r} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

4.2 CCD 电视测量系统的精度

用电视测量系统测量的误差为 ± 1 像素。整个图像 512×512 个像素。当测量做平面曲线运动目标的位移时,测量的坐标 x, y 的误差为

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= \frac{x}{n_x} \\ \Delta y &= \frac{y}{n_y} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中

- n_x, n_y ——分别为对应于 x, y 值的像素数。

测量做圆周运动的目标时,角位移的误差为

$$\left. \begin{aligned} \Delta \theta &= \frac{\sqrt{2}}{r} \Delta x \\ \Delta \theta &= \frac{\sqrt{2}}{r} \Delta y \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中

- $\Delta x, \Delta y$ —— x, y 坐标的误差, μm ;
- r ——测量标记的回转半径, μm 。

测量的角速度的误差为

$$\Delta \omega = 2 \sqrt{2} f / r \quad (9)$$

式中

- f ——采样频率。

测量时,在采样周期内的变化,如振动、旋转中心的变动等会引起测量误差。

5 结 束 语

象微型机械技术本身一样,它的测试技术也在迅速发展。功能较强的专用测试仪器会逐渐多起来。随着相关技术的发展,特别是目前我们看到的高频响的面阵 CCD 的出现,为进一步提高仪器的性能,增添了希望。

课题组的专家们在立题、定方案和方案实施的过程中,曾做出了大量的工作,仅致谢意。

参考文献

- [1]Stephan F. et al. , Electric Micromotor Dynamics. IEEE Transactions on Electron Devices, 1992, 39(2), 566—575
- [2]Yu Chong Tai et al. , IC—processed Electro-static Synchronous Micromotors. Sensors and Actuators, 1989, 20, 49~55
- [3]K. J. Gabriel et al. , In situ Friction and Wear Measurements in Integrated Polysilicon Mechanisms. Sensors and Actuators, 1990, A21—A23, 184—188
- [4]S. C. Jacobsen et al. , A Design overview of and Eccentric motion Electrostatic Microactuator. Sensors and Actuators, 1989, 20, 1~15
- [5]孙曦庆,李志坚等,一种结构改进了的硅基微静电马达. 半导体学报, 1993, 14(7), 453—455

Research into an Optical and Mechanical System of the Instrument for Measuring Dynamics of Micromechanism

Zhang Erxing

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022)

Abstract

It is important to measure dynamics of micromechanism in its research work. In this paper, the work principle and key technique of the instrument for measuring dynamics of micromechanism are presented and the measurement accuracy is analysed.

Key words: Micromechanism, Dynamics

张二星 男,生于1940年2月6日,1963年毕业于长春光机学院光学精密机械专业。多年来,一直从事光学精密机械方面的研究工作。先后研制过多种干涉仪器和其它光学测试仪器。目前,研制的微型机械运动参数测试仪已鉴定并准备交付使用。在国内外刊物上发表有关论文十五篇。