

激光动态测角系统

潘珍吾 苏 力 汤全安

(清华大学精密仪器与机械学系, 北京, 100084)

摘要: 动态测角应用广泛, 技术难度大。应用环形激光传感器(RLS)设计成功的动态测角系统, 具有精度高, 测量快, 结构简单, 操作方便等优点。RLS 输出信号作速度反馈, 控制系统控制转台恒速转动, 光学指零传感器将反射光束转换成电脉冲, 控制计数器工作, 通过多次重复测量和计算机数据处理, 使重复测量精度达到 $\pm 0.2 \text{ arcsec}$ 。

关键词: 环形激光传感器(RLS) 动态测角 光学指零传感器

Laser dynamic angle-measuring system

Pan Zhenwu, Su Li, Tang Quan'an

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract Dynamic angle-measuring system has various utilities, and its technology is hard to realize. The dynamic angle-measuring system using ring laser sensor (RLS) shows many advantages such as high accuracy, high speed, simple structure and easiness of operation, etc. We used output of RLS as the velocity feedback. The control system controls the table to rotate at a constant speed. Optical zero-pointing sensor converts the reflecting light into electrical impulse to control the counter. Through many times of measurement and data processing in the computer, the repeated measurement accuracy reaches $\pm 0.2 \text{ arcsec}$.

Key words: ring laser sensor angle-measuring system zero-pointing optic sensor

引 言

在高精度仪表测试、光学零件检测、惯性测量等诸多领域中, 动态测角有广泛的应用前景。我们将对测角系统的核心部件及测角原理作简要叙述, 以光学多面体作试件进行测量, 证明其重复测量精度达到了 $\pm 0.2 \text{ arcsec}$ 。该测角系统具有测量快, 精度高, 系统结构简单, 操作方便等优点。

整套动态测角系统由 RLS、光学指零传感器、匀速转台及控制系统、信号处理电路及计算机组成, 结构原理如图 1 所示。

RLS 及工作台面安装在精密转台转轴上, 控制系统控制转台恒速转动。当光源窄光束经台面反射镜扫过被测物面时, 反射光束通过透镜系统, 由光学指零传感器接收并转换成电脉冲。光电脉冲开启计数器的计数门, RLS 提供基准测量脉冲, 记下两个反射脉冲间的脉冲数目, 即可测量被测物两面夹角。当被测物运动时, 只要反射光束在系统视野内, 测量系统都可

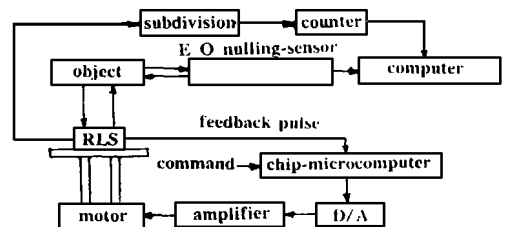


Fig. 1 Scheme of laser dynamic angle-measuring system

只要反射光束在系统视野内, 测量系统都可

以正常工作。

1 主要部件及工作原理

1.1 RLS

RLS 在测角系统中,既是基准测量脉冲发生器,又是控制系统角度反馈元件。系统中采用俄制 L-1 型 RLS,是正方形、全反射棱镜构成的环形激光器,当转台以 Ω_0 恒角速度转动时,RLS 的输出计数脉冲为:

$$\Delta N = N(t_2) - N(t_1) = 4A(\theta_2 - \theta_1) / (\lambda L)$$

$$\text{或 } \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = \lambda \Delta N / (4A) = SF \Delta N \tag{1}$$

式中, A 为 RLS 环形光路所包围的面积, λ 为激光波长, L 为环形光路长度, ΔN 为时间常数间隔 $t_2 \sim t_1$ 内,计数器记录的 RLS 输出脉冲数, $\Delta\theta$ 为在时间间隔 $t_2 \sim t_1$ 内,转台转过的角度, SF 为 RLS 的标度因子。(1) 式表明,被测转角 $\Delta\theta$ 与 RLS 输出脉冲 ΔN 成正比, SF 是 ΔN 和 $\Delta\theta$ 之间的比例系数,由 RLS 结构参数决定。

1.2 光学指零传感器

光学指零传感器光路原理如图 2 所示。光源 S 发出的光经过聚光镜 C 后,落在光栅 D_1 处,经过光栅 D_2 后成为矩形光束,落至棱镜 P 的入射面 1。 P 由 45° 的双棱镜组成,接触面涂覆有半透明层。在双棱镜 P 的出射面 2 和 3 形成了两束平行光,它们被检测镜面 CM 反射后,就有了相移。相移大小与转角 α 有关。两束光按相反方向通过 P ,在深层处产生干涉,然后经过反射镜 M_3 和 M_4 及透镜 L_2 ,由光电接收器件 PR 接收。当 CM 绕轴线转动角度 $\alpha(+)$ 时, PR 的输出端产生一个脉冲。

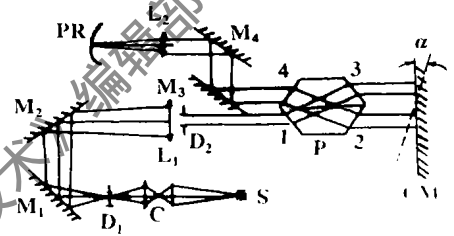


Fig. 2 Scheme of optical measurement

1.3 转台恒速控制系统

转台恒速控制系统如图 3 所示。电子线路产生参考信号和 RLS 反馈信号进行相位比较,其相位差反映了转台转速与参考信号之间的差别。鉴相器将相位误差转换为控制信号控制伺服电机,形成闭环控制系统,改变参考信号频率,通过闭环控制系统,也就改变了转台转速。

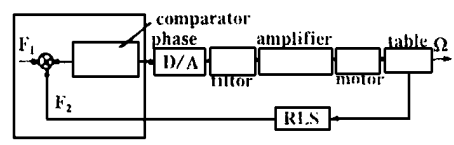


Fig. 3 Control system of rotating table

1.4 测角原理

测量时,将平面反射镜安置在被测平面上,另一反射镜安放在转台工作台上。当被测物是多面体棱镜时,将多面体安装在工作台上,另一反射镜安放在固定位置,下面以测量多面体夹角为例,说明测角的原理。

在测量过程中,令转台以恒速旋转,每次测量前都对 RLS 标度因子进行标定,通过换算,即可将计数器的结果变换为两个面的夹角。为了更加准确地测量角度,一般采用多圈连续测量的方法,并使转台正反向转动,以消除地球自转的影响,被测角 φ 可以用下式表示:

$$\varphi = 360^\circ N_i / N_0 \tag{2}$$

式中, N_0 为 RLS 运行一周的脉冲数; N_i 为被测物体输出信号的计数脉冲数。

当被测物为有 i 个面的多面体棱镜时, (2) 式变为:

$$\varphi_i = \frac{2\pi}{J} \sum_{j=1}^J \left[\int_{t_{i-1}^j}^{t_i^j} \nu(t) dt \right] \left/ \sum_{j=1}^n \int_{t_{i-1}^j}^{t_i^j} \nu(t) dt \right. \quad (3)$$

式中, φ_i 为待测角度(多面体第 i 面角度), J 为转台旋转圈数, n 为多面棱体的面数, $\nu(t)$ 为 RLS 输出的信号频率, t_i^j 为第 j 圈中第 i 面光束指零时间。

2 测试结果及精度分析

1993 年的一次测试结果为: 测试时间: 1993. 10. 12; 测试地点: 俄罗斯莫斯科包曼技术大学; 被测物: 四面体棱镜, 标准夹角 179.975° 。

2.1 RF 测量

利用光学指零传感器测试转台 360° 转角, 计数器记下相应的 RLS 的输出脉冲, 结果如表 1 所示。 $\overline{SF} = 1.2667 \text{arcsec/pulse}$ 。

2.2 对四面体棱镜两相对面的测量

对四面体棱镜两相对面进行了 40 次测量, 测试结果如表 2 所示。

平均计数脉冲: $N = 511507.7$ 。测试结果为: 四面体相对面夹角平均值为 179.975° , $\delta = 1.4 \text{arcsec}$ 。

影响测量精度的因素主要有: RLS 的标度因子 SF 的分辨率和稳定性; 指零脉冲宽度和转台速率稳定性。

为了达到测量的高精度, SF 的标度精度和稳定性是重要参数。对 L-1 型 RLS 的标度因子进行反复测试说明, 稳定性为 7ppm 。

为了提高测角分辨率, 电子线路将 RLS 输出脉冲进行细分再送至计数器。对于 $SF = 1.267 \text{arcsec/pulse}$ 的 RLS, 经四倍频细分后, 脉冲当量提高到 $0.317 \text{arcsec/pulse}$ 。

指零传感器的分辨率也是至关重要的。为了达到 0.1arcsec 的分辨率要求, 对光学系统和电子线路都有严格要求。转台速率采用锁相恒速控制方式, 其速率精度可得到保证, 为了满足指零脉冲宽度要求, 转台速率应大于 $40^\circ/\text{s}$ 。

3 结 论

利用 RLS 的高分辨能力 (0.317arcsec 相当于 22 位码盘) 和光学指零传感器的分辨率 (0.1arcsec), 激光动态测角系统可在动态情况下进行高精度的角度测量, 反复测试表明, 该测角系统的测角精度达到了 $\pm 0.2 \text{arcsec}$ 。如果进一步采用细分方法提高 RLS 分辨率, 还可以提高系统的测角分辨率。

参 考 文 献

- 1 Zhang Y Sh, Tang Q A, Su L. SPIE, 1994; 2321: 302~ 304
- 2 Zheng L D, Tang Q A. SPIE, 1996; 2899: 50~ 52

* * *

作者简介: 潘珍吾, 男, 1941 年 6 月出生。副教授。长期从事机电系统自动化和激光传感器的研究工作。

Table 1 RLS output pulse measurement

rate of table (deg/s)	RLS	RF (arcsec/pulse)	unsuitability (ppm)
49.97	1023084	1.26676	5.1
66.71	1023077	1.26677	4.6
83.45	1023060	1.26697	2.7
91.83	1023028	1.26683	3.0

Table 2 Measurement data

511508	511508	511508	511510	511508
511508	511509	511506	511508	511509
511506	511509	511508	511507	511507
511507	511508	511508	511507	511506
511506	511507	511508	511507	511508
511507	511510	511507	511509	511507
511507	511507	511509	511506	511508
511510	511508	511507	511506	511508