

正弦楔块细分机构的设计

俞志祥 李维刚 郭旭 陈慧

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 文章介绍了我所研制的分布反馈染料盒中的染料盒转动机构, 着重介绍了细分机构的设计, 对细分机构—正弦楔块机构的精度进行了详细的分析。

关键词: 正弦原理; 细分机构; 精度

1 问题提出

分布反馈激光的原理见图1 泵浦激光束由分光镜A分成两束光, 分别经反射镜B和C射入染料盒D。输出的双路分布反馈激光波长 $\lambda = \frac{n\lambda_p}{m \sin \alpha}$, 式中 λ_p 为泵浦激光波长, α 为相干泵浦激光束对染料盒的入射角。为得到不同波长的分布反射激光, 必须对镜A, B, C和染料盒D作调整。对设计者提出的要求为: 镜A, B, C可在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 转动粗调, 并要求在 1° 动态范围内作精调, 其读数和精度必须在 $2''$ 以内。

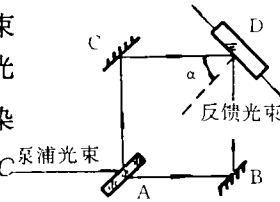


图1 分布反馈染料激光器原理

2 设计方案

因为各调整部分的调节均为在需变动波长时进行, 次数不多, 调好后必须固定, 所以不必采用光电系统, 而采用了纯机械调整的方案。

粗调 360° 旋转采用手动, 刻度盘读数为 $30'$, 粗调后机械固定, 然后细调。

细调曾作“直接细分”和“间接细分”两方案比较。直接细分的方法即或用小螺距的精密丝杆转动螺母来实现。间接细分主要由两部分组成, 即正弦杠杆微转轴系和楔块移动机械, 见图2。间接细分的传动链长, 但由于通过楔块传动, 将丝杆误差缩

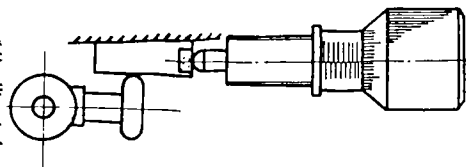


图2 具有正弦杠杆的细调轴系

小了,因而降低了对丝杆要求,而且在同样的丝杆磨损量的情况下,损失的精度大大减小,另外也提高了读数精度,减小了回程误差。回程误差又称变动度,直接反映了机构本身的优劣,它表示机构的系统误差,所以本设计采用了“间接细分”机构—正弦杠杆微转轴系。

3 刻线与读数

间接细分鼓轮转动,通过楔块带动微转轴系和工作转台旋转。为满足使用要求,细分读数必须在 $2''$ 以内。

因各镜片和染料盒的粗调机械其最小读数值为 $30'$,并据使用要求在 1° 动态范围内作精调,故细分机构的调节范围取为 1.5° 。刻线如图3所示,如普通百分尺一样,螺杆上刻线90格,每格读数为 $1'$,鼓轮圆周刻度为60等分,则每格读数为 $1''$ 。图示读数为 $82'5''$,即 $1^\circ 22' 5''$ 。

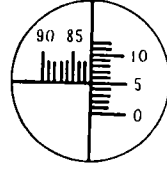


图3 刻度尺与读数

4 细分精确度设计

精确度设计即精度分配,亦即误差的分配。该细分机构要求读数精度在 $2''$ 以内,本设备就以 $2''$ 精度作精度分配。一般系统误差限制在总误差的 $1/3$ 范围内,即系统误差小于 $0.67''$;随机误差取总误差的 $2/3$,即小于 $1.33''$ 。下面就分配后的各项误差进行计算,进而进行总误差的校核。

由于采用了正弦楔块结构,当 ψ 角很小时, $\psi \approx \sin\psi = L/R$ (见图4)

$$d\psi = \frac{L}{R}dL - \frac{L}{R^2}dR$$

在本机构中, $R = 50, L \approx 1.3\text{mm}, d\psi = 0.002dL - 5.2 \times 10^{-4}dR$,式中 $d\psi$ 为 dL 及 dL 及 dR 引起的角度误差。

取 dL 和 dR 的单位为 μm ,则 $d\psi = 4.1dL - 0.11dR$ (s)。右式表示短臂 L 方向每差 $1\mu\text{m}$ 引起的角度误差约为 $4.1''$,而长臂 R 方向每差 $1\mu\text{m}$ 引起的角度误差约为 $0.11''$ 。

由于本细分机构主要由两部分组成,故对原理误差、制造误差和使用误差分别进行计算。

4.1 正弦杠杆微转轴系误差 $\Delta\psi Z$:

1 正弦原理误差 $\Delta\psi Z_1$:

$$\Delta\psi Z_1 = 2(\psi - \sin\psi) = 2(45' - \sin 45') = 7.26 \times 10^{-7}\text{rad} = 0.15''$$

2 正弦杠杆微转轴系径向跳动引起之误差 $\Delta\psi Z_2$:

正弦杠杆微转轴系小角度内跳动 $\leq 0.1\mu$,将 $dL = 0.1\mu$ 代入公式则得

$$\Delta\psi Z_2 = 0.41''$$

3 转臂刚性引起的死程 $\Delta\psi Z_3$:

在本机构中微转轴系的摩擦力估算为 250g ,由此引起转臂端点的初挠度折算为角度误差约为:

$$\Delta\psi Z_3 = 0.15''$$

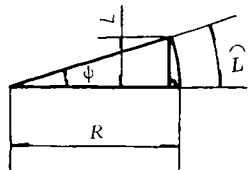


图4 正弦原理

4 转臂球端与楔块平面间接触变形引起的死程 $\Delta\psi Z_4$:

由于微转轴系摩擦力及弹簧压力变化等引起的接触点弹性变形量的变化产生的死程误差约为:

$$\Delta\psi Z_4 = 0.11''$$

5 转臂球端形状精度引起之误差 $\Delta\psi Z_5$:

制造时局部误差控制在 0.04μ 之内, 故:

$$\Delta\psi Z_5 = 0.16''$$

4.2 楔块移动机构误差 $\Delta\psi x$

1 楔块平面引起的误差 $\Delta\psi x_1$:

楔块的平面性要求为 $\leq 0.07\mu$ 。由于使用面有三个(两个滑动配合面, 一个与转臂球端接触), 故三个面的综合误差约为 $\sqrt{3} \times 0.07 = 0.12\mu$ 折算到角度误差约为:

$$\Delta\psi x_1 = 0.49''$$

2 丝杆示值误差(包死程)引起的角度误差 $\Delta\psi X_2$:

所采用的丝杆包括死程在内的误差 $\leq 4\mu$ 。由于楔块的斜度为 20 : 1 故丝杆误差的影响缩小了 20 倍, 这样折算到角度误差约为:

$$\Delta\psi x_2 = 0.17''$$

3 丝杆与楔块接触点变形差引起的死程 $\Delta\psi x_3$:

由于楔块正反方向运动时接触面的摩擦力反向和楔块拉簧的拉力变化, 使丝杆上楔块接触点的变形量发生变化, 从而引起的角度误差和死程约为:

$$\Delta\psi x_3 = 0.012''$$

4 读数鼓轮秒刻等分及偏心引起的误差 $\Delta\psi x_4$:

$$\Delta\psi x_4 = 0.036''$$

5 读数鼓轮的对线读数误差 $\Delta\psi x_5$:

取读数鼓轮最小刻度值 $1''$ 的三分之一, 则:

$$\Delta\psi x_5 = 0.3''$$

其它尚有正弦杠杆微转轴系与转台中心偏心及歪斜引起的误差; 螺杆刻线与螺杆轴线不垂直引起的误差等, 由于数量极微, 故忽略不计。另外尚有一些线性误差, 如楔块的制造角度及安装位置误差; 丝杆的安装位置歪斜等均可通过改变长臂 R 的长度消除, 故不予考虑。最后, 还有温度引起的误差, 由于组成机构正弦臂的长臂 R 和短臂 L 均采用工具钢制造, 故线膨胀系数之差甚微, 当温度变化时, $\Delta L/L$ 和 $\Delta R/R$ 的增量基本相等, 对机构的精度不会有多大影响, 故也不考虑。

系统误差的各单项误差都线性正相关, 且在一定条件下为固定误差, 故用绝对值和法, 即 $\Delta\psi_{\text{系}} = \pm \sum_{i=1}^n \Delta\psi_i$, 本机构中的原理误差 $\Delta\psi Z_1$ 、转臂刚性引起的死程 $\Delta\psi z_3$ 、转臂球端与楔块平面间接触变形差引起死程 $\Delta\psi z_4$ 和丝杆与楔块接触点变形差引起的死程 $\Delta\psi x_3$ 属系统误差, 可选加为:

$$\begin{aligned} \Delta\psi_{\text{系}} &= \Delta\psi z_1 + \Delta\psi z_3 + \Delta\psi z_4 + \Delta\psi x_3 \\ &= 0.15 + 0.15'' + 0.11'' + 0.012'' \\ &= 0.42'' < 0.67'' \end{aligned}$$

满足精度要求。

相互独立均匀的随机误差有时也称偶然误差，相关甚微，故采用散根法，即 $\Delta\psi_{\text{随}} = \pm \sqrt{\sum \Delta\Psi_i}$ ，本机构中的正弦杠杆微转轴系径向跳动之误差 $\Delta\psi_{z_2}$ 、转臂球端形状精度引起之误差 $\Delta\psi_{z_5}$ 、楔性平面性引起的误差 $\Delta\psi_1$ 、丝杆示值误差 $\Delta\psi_{x_2}$ 、读数鼓轮秒刻等分及偏心引起的误差 $\Delta\psi_{x_4}$ 和读数鼓轮的对线读数误差 $\Delta\psi_{x_5}$ 属随机误差，则：

$$\begin{aligned} \Delta\psi_{\text{随}} &= \sqrt{\Delta\psi^2_{z_2} + \Delta\psi^2_{z_5} + \Delta\psi^2_{x_1} + \Delta\psi^2_{x_2} + \Delta\psi^2_{x_4} + \Delta\psi^2_{x_5}} \\ &= \sqrt{0.41^2 + 0.16^2 + 0.49^2 + 0.17^2 + 0.036^2 + 0.3^2} \\ &= 0.74'' (\text{此值未考虑置信系数}) \end{aligned}$$

$$\Delta\psi_{\text{随}} = 0.74'' < 1.33''$$

满足精度要求

由此得到本细分机构的总误差约为：

$$\begin{aligned} \Delta\psi_{\text{细}} &= \Delta\psi_{\text{系}} + \Delta\psi_{\text{随}} \\ &= 0.42'' + 0.74'' \\ &= 1.16'' \end{aligned}$$

该细分机构鼓轮读数为 1”，读数精度为 1.16”，其精度在 2”以内，所以满足使用部门提出的设计要求。经使用证明，正弦楔块细分机构的设计完全满足使用要求。

**Design of the Fine-dividing Mechanism
with Sine Wedge Block**

Yu Zhixiang, Li Weigang, Guo Xi and Chen Hui

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract

The dye cell turning mechanism in distribution feedback dye laser made by our Institute is introduced. Emphasis is the design of the fine-dividing mechanism-Sine wedge block mechanism is analysed in detail.

Key words: Sine principle, Fine-dividing mechanism, Precision