

文章编号: 1002-2082(2008)SO-0012-03

二维转动机构与闭环伺服系统的方案设计

胡雯雯, 顾小超, 黄丽俐, 杨志文

(长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘 要: 二维转动平台装置是某可靠性试验设备的关键组件之一, 通过其固定的平面反射镜的二维转动来模拟动目标的方位运动和俯仰运动。给出二维转动机构的设计方案, 绘出此机构的结构图, 在反射镜二维转动平台设计基础上, 进行其闭环伺服系统的稳态设计, 以便与机械系统参数匹配。通过对二维转动平台的运动特征进行分析, 求出相应机构所需的负载转矩, 以选择合适的执行电动机, 并完成此闭环伺服系统的稳态设计。

关键词: 二维转动平台; 反射镜; 负载转矩; 闭环伺服系统

中图分类号: TH39

文献标志码: A

Design of two-dimensional rotation mechanism and closed-loop servo system

HU Wen-wen, GU Xiao-chao, HUANG Li-li, YANG Zhi-wen

(School of Photo-electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: The two-dimensional rotation platform is one of the important subassemblies of a certain reliability test equipment. The azimuthal and pitching movement of the moving target can be simulated by two-dimensional rotating of the reflector fixed on the rotation platform. The design of the two-dimensional rotation platform is offered, and its CAD diagram is drawn. The stable design of closed-loop servo system was carried out to match its parameters of the mechanical system based on the design of two-dimensional rotation of the reflector. By the characteristic analysis for the movement of the two-dimensional rotation platform, the load torque corresponding with its construction was derived to select the appropriate operating motor and achieve its stable design of the closed-loop servo system.

Key words: two-dimensional rotation platform; reflector; load torque; closed-loop servo system

引言

装有反射镜的二维转动平台装置是某可靠性试验设备关键组件之一。通过转动反射镜, 使跟踪仪获得来自平行光管的模拟动目标的方位角和俯仰角, 并准确控制目标的移动速度。为此, 设计一套同时实现方位和俯仰转动的装置, 并通过闭环伺服系统控制其转动的方位和速度。

1 技术参数

反射镜二维转动装置是由方位转动平台、平面反射镜组件以及俯仰转动组件构成。本装置结构框图如图 1 所示。

平面反射镜的法线与动目标模拟装置中的平行光管光轴成 45° 角放置, 然后通过转动平台上的电动机分别带动平面反射镜实现俯仰和方位转动。

收稿日期: 2007-07-16; 修回日期: 2007-10-06

作者简介: 胡雯雯(1982—), 女, 吉林省通化市人, 长春理工大学光学工程专业硕士研究生, 研究方向为现代光学制造与测试技术。E-mail: sangsang8418@sina.com

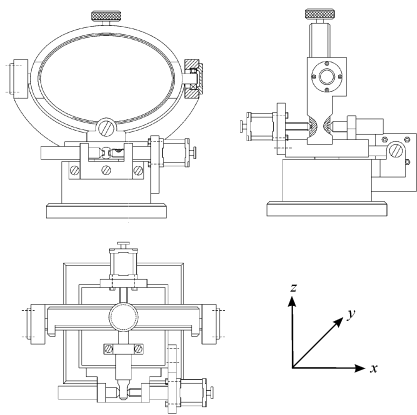


图1 二维转动结构框图

Fig. 1 Block diagram of two-dimensional rotation mechanism

由K9光学玻璃制成的平面反射镜具有精确的面形,且在其前表面需镀全反射膜。镜框材料选用质地较轻的合金铝。

反射镜的外形呈椭圆状。在考虑反射镜组绕 X, Z 轴的转动量分别为 $\pm 5^\circ$ 及平行光管通光口径的要求,反射镜参数确定为:椭圆长轴 $2a = 260$ mm,短轴 $2b = 170$ mm,厚度 $d = 30$ mm,质量密度 $\rho' = 2.52$ g/cm³。镜框外形尺寸取 $2a' = 300$ mm, $2b' = 210$ mm, $d' = 40$ mm,铝的质量密度 $\rho' = 2.8$ g/cm³。镜耳长度 $l = 31$ mm,半径 $r = 10$ mm。

由反射镜组的外形尺寸可求出反射镜、镜框、镜耳与轴承的质量分别为

$$M_{\text{镜}} = \pi ab d \rho = 2.62 \text{ kg}; M_{\text{框}} = \pi(a'b' - ab) \times d' \rho' = 1.65 \text{ kg}; M_{\text{镜耳}} = 2\pi r^2 l \rho' = 0.06 \text{ kg}; M_{\text{轴承}} = 0.14 \text{ kg}$$

$$\text{故绕} X \text{轴转动的总质量} M_X = M_{\text{镜}} + M_{\text{框}} + M_{\text{镜耳}} + M_{\text{轴承}} = 4.47 \text{ kg}。$$

2 负载力矩的计算

以绕 X 轴转动机构为例,利用螺旋推动使反射镜转过 $\pm 5^\circ$ 角,计算得到相应的线位移量为: $l = 2 \tan 5^\circ \frac{b_0}{2} = 16.62$ mm。故弹簧的最大变形量 $\lambda_{\max} = l = 16.62$ mm。

2.1 弹簧的选择及稳定性计算

为使反射镜定位可靠并消空回,采用压缩弹簧的回复力使反射镜的转动随时锁紧定位。

对二维转镜可选用II类碳素弹簧钢丝,查表得许用应力 $\tau_T = 0.4\sigma_B = 704$ N·mm⁻²。最大工作载荷 $F_{\max} = -K\lambda_{\max} = -79.8$ N;弹簧预受压缩力 $F_1 = 39.9$ N,对应 $\lambda_1 = 8.31$ mm;取簧丝直径 $d = 2$ mm,弹簧中径 $D_2 = 15$ mm,得旋绕比 $C = D_2/d = 7.5$;曲度系数 $k_1 = 4C - 1/4C - 4 + 0.615/C = 1.20$;有效圈数 $n = \frac{G\lambda_{\max}D_2}{8F_{\max}C^4} = 9$;自由高度 $H_0 = np + (n' - n - 0.5)d = 48$ mm;弹簧的工作高度 $H_1 = H_0 - \lambda_1 = -44.7$ mm。验算高径比: $b = H_0/D_2 = 3.2 < 3.7$,满足稳定性要求。

2.2 螺旋传动部分

现取螺旋的公称直径 $d = 16$ mm,螺距 $P = 2$ mm,中径 $d_2 = 14.70$ mm,小径 $d_1 = 13.84$ mm,牙型角 60° 。

螺母高度 $H = \epsilon d_2 = 20.6$ mm(ϵ 取1.4);螺母螺纹扣数 $n = \frac{H}{P} = 10.3$;螺纹工作高度 $H = 0.541P = 1.08$ mm;螺纹摩擦角 $\rho = \arctan(f/\cos \frac{60^\circ}{2}) = 70^\circ 14'$;螺纹升角 $\gamma = \arctan \frac{S}{\pi d_2} = \arctan \frac{2P}{\pi d_2} = 4^\circ 57'$ 。由上述分析可知 $\gamma < \rho$,满足自锁条件。

2.3 负载力矩的计算

对于旋转的机械系统,输出轴上的负载力矩 T_L 等效到电动机轴上的等效力矩 T_{eL} 为

$$T_{eL} = \frac{T_L}{i\eta} \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

式中 i 为系统的总传动比($i = 1$); η 为传动系统的总效率 $\eta = \tan \gamma / \tan(\gamma + \rho) = 0.587$;输出轴上的负载转矩 $T_{eL} = T_1 + T_2$,其中 $T_1 = F_{\max} P / 2\pi\eta = 43.3$ N·mm为螺旋丝杠的摩擦力矩; $T_2 = Mg \cdot \delta / \eta = 3.73$ N·mm为反射镜框与镜座的滚动摩擦力矩。计算得 $T_{eL} = 0.047$ N·m。类似算法,可求得反射镜组绕 Z 轴的负载力矩值。

3 闭环伺服系统及其稳态设计

3.1 闭环伺服系统

伺服系统应使被控对象能自动、精确地复现输入信号的变化,实现特定规律的运动。

闭环伺服系统是负反馈系统,检测元件将执行部件的位移、速度等变换成电信号,反馈到系统的输入端并与指令比较,再按照减小误差大小的方向控制驱动电路,从而提高了系统的定位精度。

由于半闭环伺服系统中的检测元件构造简单,系统较容易调整,故本装置选用半闭环伺服系统。

即检测元件安置在伺服电机上,实现环内误差的补偿。半闭环伺服系统构成如图 2 所示。

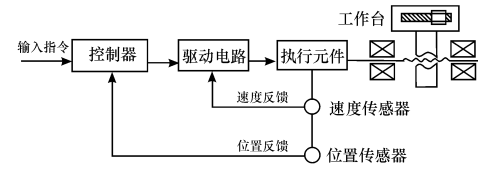


图 2 半闭环伺服系统框图

Fig. 2 Block diagram of half-closed-loop servo system

通过半闭环伺服系统,将控制信号转变为 2 轴转动所需要的角位移和角速度,实现反射镜精确的二维转动,模拟跟踪的动目标。

3.2 闭环伺服系统稳态设计

闭环伺服系统的稳态设计主要包括执行元件(电动机)、传动机构的传动方式和传动比、检测元件参数等。

3.2.1 电动机选型

步进电动机是一种将电脉冲信号严格转换成相应的角位移的数字模拟装置。

现以带动反射镜实现俯仰转动的步进电机为例。由于要求的转矩较小,故选响应快、运行频率高、价格较低的反应式步进电动机,其最大静转矩 T_{max} 应大于 2 倍的负载力矩。

初选电动机的型号为 45BF005- II,其最大静转矩为 $0.196 \text{ N} \cdot \text{m}$,则 $T_{max}/T_{cl}=4.17 > 2$,满足转矩匹配。

3.2.2 检测元件的选择

半闭环控制的伺服系统主要采用角位移传感器。在位置伺服系统中,为了获得良好的性能,往往

还要对执行元件的速度进行反馈控制,因此还要选用速度传感器,半闭环伺服系统常采用光电编码器,同时测量电动机的角位移与角速度。

4 结论

本文给出了反射镜二维转动平台的设计方案,分析并求出转动平台各组件所需负载转矩。选择步进电机和闭环伺服系统使其与平台系统匹配,满足设计要求。

参考文献:

[1] 舒志兵,刘峻泉,林锦国,等. 闭环伺服系统的数学模型研究[J]. 系统仿真学报,2002,14(12):1611-1613. SHU Zhi-bing, LIU Jun-quan, LIN Jin-guo, et al. Mathematical model research of close-loop servo system[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(12):1611-1613. (in Chinese)

[2] 金凤鸣,邓志平. 闭环伺服系统的动态和稳态性能分析[J]. 组合机床与自动化加工技术,2006(6):38-40. JIN Feng-ming, DENG Zhi-ping. The dynamic performance and steady-state performance for the close-loop servo system[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2006(6): 38-40. (in Chinese)

[3] 张卫国,冯卓祥,陶忠,等. 扫描镜动态面形变化和模态分析[J]. 应用光学,2006,27(1):58-61. ZHANG Wei-guo, FENG Zhuo-xiang, TAO Zhong, et al. Modal analysis and dynamic deformation of scanning mirror [J]. Journal of Applied Optics, 2006,27(1):58-61. (in Chinese)