

激光自动对准系统中 快速反射镜机构研究

邵 帅

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 针对激光自动对准系统, 开展了快速反射镜机构研究。利用 2 个直线步进电机, 分别驱动 2 对楔块, 通过楔形摩擦副实现快速反射镜的两维转动, 应用楔块角度自锁, 实现快速反射镜对光轴的精密调整和精度保持。为保证激光对准系统工作时, 对准激光经快速反射镜后能始终返回 CCD 视场内, 确定快速反射镜的工作转角范围: 方位为 $\pm 6.975'$, 俯仰为 $\pm 5.25'$; 为保证分辨率 $< 1''$, 确定快速反射镜的楔块角度为 4° , 直线步进电机的步长为 $0.0015\ \mu\text{m}$ 。经过试验验证, 快速反射镜调整精度 $< 1''$ 。

关键词: 激光对准系统; 快速反射镜; 楔块

中图分类号: TH703 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112809.0029

Fast Steering Mirror in Laser Autocollimator

SHAO Shuai

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: A novel fast steering mirror was designed on the basis of the research on the structure and working principle of a laser autocollimator. The two-dimensional running of the fast steering mirror could be realized by two beeline motors driving two wedges. Self-locking of the wedge mechanism could be used to achieve precision and accuracy. The work scope of the fast steering mirror was $A \pm 6.975'$, $E \pm 5.25'$. When the laser autocollimator was working, the laser could always return the CCD. In order to ensure the precision less than $1''$, the angle of the wedge was 4° , and the step length of the motor was $0.0015\ \mu\text{m}$. The experiment results showed that the precision was less than $1''$.

Keywords: laser autocollimator; fast steering mirror; wedge

1 引言

随着激光技术的迅速发展、功率的不断提高,系统中包含了大量的激光器件、光学元件和组件。在复杂光学系统中,需要将光学元件放置在几个平台上,各平台之间允许有一定的相对运动,但要求全系统共轴。如在高能激光技术中,激光器和光束发射系统分别位于两个平台上,当两个平台相对运动时,要求两个平台上的光学元件实时共轴。这种采用控制系统来调整两个平台上光轴实时共轴的过程通常被称为自动对准^[1]。

激光对准系统主要由低能激光等辅助光源、快速控制反射镜和 CCD 传感器等组成。其中快速控制反射镜是系统的关键部件,该部件用于保证固定于其上的反射镜绕两个互相垂直并相交的轴旋转,可以对光束方向进行实时、动态校正,实现由静态对准到动态监测和校正的转变^[2-4]。

2 激光对准系统工作原理

激光对准系统的基本工作原理是:由低能激光器发射出激光束,经分光镜到达快速控制反射镜后,由快速控制反射镜反射到高能激光器输出镜,由高能激光器输出镜入射的光线按原光路返回,到达分光镜后激光束被反射到 CCD。激光对准系统用于实现对高能激光器输出镜监测,正常状态时位置检测器输出信号为零,此时控制系统没有信号输出;当高能激光器输出镜变动时,返回光束发生平移,在位置检测器上产生偏差信号。该信号输入到快速控制

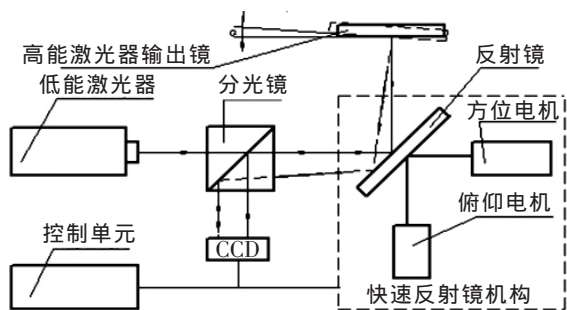


图1 激光对准系统工作原理

反射镜控制系统,驱动电机带动反射镜旋转改变进入快速控制反射镜的光束方向,从而校正激光倾斜的方向,使偏差信号减小,实现对高能激光器输出镜的监测^[5]。激光对准系统的工作原理如图 1 所示。

3 快速反射镜基本参数确定

3.1 快速反射镜机构组成及工作原理

快速反射镜机构组成包括:反射镜及其镜座、压块、楔块、球头、直线电机、弹簧、方位旋转轴、俯仰旋转轴、轴套等,其结构示意图如图 2。其工作原理是:通过方位、俯仰直线步进电机带动楔块移动,经过楔形摩擦副实现反射镜分别绕方位、俯仰两个旋转轴的两维转动来达到调节光轴的作用。

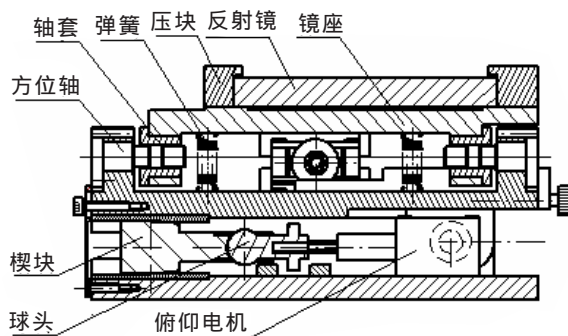


图2 结构示意图

3.2 工作转角范围的确定

激光对准系统中选定的 CCD 摄像机型号为 JVI 公司的 CV-A60 型像机,具体参数如表 1 所示。

由表 1 可知, CV-A60 型 CCD 摄像机光敏面尺寸为 $4.9\text{ mm} \times 3.7\text{ mm}$,像元尺寸为 $6.5\text{ }\mu\text{m} \times 6.25\text{ }\mu\text{m}$,像素为 $752(\text{H}) \times 582(\text{V})$ 。

激光对准系统中 CCD 前端的光学系统焦距: $f=300\text{ mm}$;经过计算可知, CCD 相机方位视场角为 0.93° ,俯仰视场角为 0.7° 。

根据快速反射镜在激光对准系统中的位置,快速反射镜转动 γ 角度,则对应返回 CCD 的光线转动 4γ 角度。

因此,在保证返回 CCD 的光线不超出 CCD 视场的情况下,计算得出反射镜的方位转角范围为 $\pm 6.975'$,

表1 CCD性能参数

型 号	CV-A60
成像元件	1/3"JAI CCD
像元尺寸	6.5 μm×6.25 μm
像素	752(H)×582(V)
信号系统	PAL
水平解析度	570线
最低照度	0.05 lx, Max gain, 50% video
信噪比	>58 dB
电子快门	1/100~1/10 000/s
电子快门控制	开/关
自动增益控制	开/关
背光补偿	开/关
白平衡	开/关
视频输出	1.0 V _{p-p} , 75 Ω
供电电源	DC12 V
工作温度	-5~+45 °C
尺寸	44(W)×29(H)×66(D)

俯仰转角范围为±5.25'。

3.3 直线电机和楔块角度的确定

根据快速反射镜机构原理，楔块在垂直方向的移动量和快速反射镜的转角数学关系可由下式表示：

$$\tan\beta = \frac{H}{R} \quad (1)$$

其中， β 为快速反射镜的转角； H 为楔块在垂直方向的移动量； R 为快速反射镜的回转半径， $R=66$ mm。

由(1)式可以计算出在快速反射镜转动最小工作角度时，楔块在垂直方向的最小移动量。因此，快速反射镜要达到调整精度，其实质就是要求步进电机的直线步长量缩小到楔块垂直方向的微小移动量。

取调整精度的一半，即 $\beta=0.5''$ ，代入公式(1)得出 $H=0.00016$ ，

$$H=t \cdot \tan\sigma \quad (2)$$

式中， t 为直线电机的直线步长； σ 为楔块的楔角。

由(2)式可以看出，减小直线电机的直线步长和减小楔块的楔角 σ 都可以提高快速反射镜调整的灵敏度。选用苏州海顿公司的21000系列直线步进电机，直线电机的步长可达 $0.0015 \mu\text{m}$ ，电机具体参数如表2所示。

为了使楔块楔角能自锁而不会自动滑出，保持稳定的调整，楔块的楔角应满足斜面的自锁条件，即斜面的倾角小于或等于摩擦角 θ 。

表2 电机参数

Size 8: 21 mm(0.8")混合式直线电机(1.8° Step angle)				步 长		步长 编码
				in	mm	
固定轴式		21H4(X)-V		.000 06	.001 5'	U
贯通轴式		21F4(X)-V		.000 098'	.002 5	AA
外部驱动式		E21H4(X)-V		.000 12	.003 0'	N
绕组类型		双极性		.000 19'	.005	AB
工作电压	2.5 V DC	5 V DC	7.5 V DC	.000 24	.006'	K
每相电流	0.49 A	0.24 A	0.16 A	.000 39'	.01	AC
每相电阻	5.1 Ω	20.4 Ω	45.9 Ω	.000 48	.012 1'	J
每相电感	1.5 mH	5.0 mH	11.7 mH	.000 78'	.02	AD
功耗		2.45 W		.001 57'	.04	AE
转子惯量		1.4 gcm ²				
温升		135°F(75 °C)				
重量		1.5 oz (43 g)				
绝缘电阻		20 MΩ				

标准电机的绝缘等级为B级，
额定最高温度为130 °C

输出轴全部伸出或全部收回
时应考虑专门的驱动条件。

*单极性驱动比双极性驱动的推
力大约小30%

$$\tan\theta = \frac{F_{\max}}{N} = \frac{fN}{N} = f \quad (3)$$

查手册, 楔联接的摩擦因数和摩擦角如表 3 所示^[6]。

表3 摩擦因数与摩擦角

材料	表面状况	摩擦因数 μ	摩擦角 ρ
钢—钢	刨削、涂脂	0.07	4°

由公式 (1)、(2) 式可知, 减小楔角使反射镜的转角也减小, 为了使快速反射镜在不安装转角机械限位装置时, 转角范围大一些, 楔角选择 4°。

4 试验验证

试验设备主要包括: 快速反射镜、快速反射镜控制模块、计算机、0.1"数显自准直平行光管等。

实验原理: 快速反射镜控制模块接收计算机送来的位置调整命令, 发出方位、高低两路 PWM 波; 这两路 PWM 波分别加到方位、高低步进电机功率驱动模块上, 使方位步进电机和高低步进电机运转; 对快速反射镜实时控制, 通过自准直平行光管监测快速反射镜的转角, 试验原理图如图 3 所示。

通过试验, 验证了快速反射镜机构运动平稳,

光轴无跳动, 分辨率<1", 满足激光对准系统的使用要求。

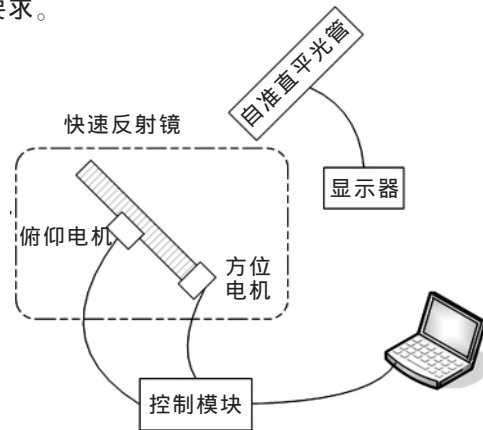


图3 试验原理图

5 结 论

激光对准系统中的快速反射镜机构, 分别采用 2 个直线步进电机带动 2 对楔形副, 使反射镜分别绕方位、俯仰轴旋转, 实现反射镜在激光对准系统中对光轴的两维调整功能。通过试验验证, 机构运动平稳、控制精度高, 反射镜的转角精度<1"; 快速反射镜结构形式简单, 便于加工制造, 实用性强, 可广泛应用于各种光路中进行光轴调节。

参考文献

- [1] 刘泽金, 舒柏宏, 王永仲, 等. 高能激光束自动对准和稳定系统的结构设计 [J]. 光学技术, 1999(1): 19-20.
- [2] Yuan J, Long X W. CCD-area-based autocollimator for precision small-angle measurement[J]. *Review of Scientific Instruments*, 2003, 74(3): 1362-1365.
- [3] Yusuke S, Wei G, Satoshi K. A micro-angle sensor based on laser autocollimation[J]. *SPIE*, 2005, 6052: 1-9.
- [4] 刘炳国, 宫娜, 刘国栋, 等. IFC 靶场坐标系的建立及其监测方法[J]. 光学 精密工程, 2007, 15(7): 1070-1076.
- [5] 史亚莉, 高云国, 张磊, 等. 提高 CCD 激光自准直测角精度的硬件方法[J]. 光学 精密工程, 2008, 16(4): 726-732.
- [6] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

作者简介: 邵帅 (1978-), 女, 汉族, 吉林长春人, 博士, 副研究员, 2009年于中科院长春光机所获得博士学位, 主要从事光束控制技术研究。E-mail: shaoshuaiciomp@163.com