

初级能量平衡

黄 杰 蔡希洁 林尊琪

高功率激光物理国家实验室, 上海 201800
中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800

摘 要 针对“神光 II”精密化的要求, 采用半波片和偏振片组合衰减装置精确控制光束能量, 达到能量平衡。简要论述了半波片组合衰减器的工作原理。采用独特的方法, 对高精度光电探头和半波片的特性进行了检测。在此基础上, 运用自动控制技术进行智能调节, 实现了闭环自动控制模拟实验, 达到了均方根为 2% 的激光能量控制精度。

关键词 高精度探头, 衰减器, 闭环控制。

1 引 言

在大型激光系统的多路能量平衡中, 拟采用大口径半波片和偏振片组合装置 (简称半波片组合衰减器) 作为各路精密衰减控制的主要措施之一。在“神光 II”高功率固体激光装置的精密化研究中, 8 路分光系统要求激光能量有平衡的输出, 因此需要对此进行理论和实验研究。由于 8 路分光系统的分光板膜层反射率不可能精确地达到预定设计值, 分光板膜层反射率还将随实验室环境参数起伏发生变化, 此外还存在着分光板膜层老化以及反射率不可调等因素, 因此, 为了获得精密平衡的分光, 需在分光以后的各路放大链中增加一个精密衰减控制元件来实现多路能量平衡。此方法是利用预反馈方法, 构成一个智能分光系统, 使得分光较多的放大链路有较大的衰减值, 从而自动达到各路分光输出能量平衡。

2 半波片组合衰减器的工作原理

半波片和偏振片组合装置的基本构成为两平行放置的偏振片对 (P_1, P_2) 以及在它们之间插入的一块半波片 ($\lambda/2$), 如图 1 所示。半波片是平行光轴切割的石英平板, 可使出射光的偏振方向发生转动。只要改变半波片的光轴方向, 就可改变通过此装置的光强。

假设半波片 $\lambda/2$ 的光轴 c 置于坐标系的 x 方向上; 入射光的偏振方向与偏振片 P_1 的通光方向相同, 与 x 轴成 θ 角; 偏振片 P_2 的通光方向也与 x 轴成 θ 角, 如图 2 所示。这样在 $\theta = 0$ 时, 透射率为 1。

设入射光光场振幅为 U_1 , 光束通过波片后为 U_2 , 两分量间发生相位延迟 $\delta = (\phi_y - \phi_x)$, 光从 P_2 出射后为 U_3 。于是有

* 国家科委 863 高科技项目。

收稿日期: 1999-06-21; 收到修改稿日期: 1999-08-19

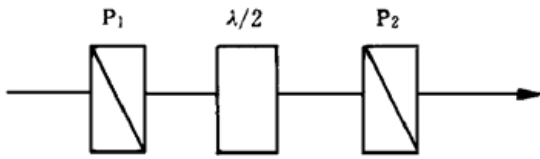


Fig. 1 Assembly of half-wave plate and polarizers.

P₁, P₂: polarizer; λ/2: half-wave plate

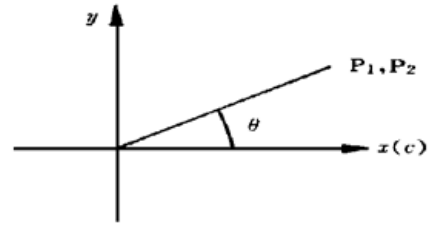


Fig. 2 Coordinate system of assembly

$$U_3 = U_{2x} \cos \theta + U_{2y} \sin \theta = (U_1 \cos \theta) \cos \theta + [U_1 \sin \theta \exp(i\delta)] \sin \theta,$$

组合装置的透射率为

$$T = I_3/I_1 = U_3 U_3^* / (U_1 U_1^*) = (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta \cos \delta)^2 + (\sin^2 \theta \sin \delta)^2 = \sin^4 \theta + \cos^4 \theta + 2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta \cos \delta = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2(\delta/2).$$

实验中, 选用的是 $\delta = \pi$ 的半波片, 此时半波片组合装置的透射率简化为

$$T = 1 - \sin^2(2\theta) = \cos^2(2\theta),$$

其值在 0~ 1 之间连续变化, 正符合我们的需要。

3 光电探头及半波片的特性测试

作为实验中定量标准的光电探头, 对实验精度起着决定性的作用。根据“神光 II”激光装置精密化的要求, 光电探头的相对精度必须达到 1%。由于没有一台性能优于 1% 精度的光电探头作为比照标准, 故采用将两个探头自对标的方法进行光电探头重复精度的测定。装置如图 3 所示。旋转半波片 λ/2, 维持两路激光的能量比不变, 并改变到达探头的激光强度, 进行了多次实验来测定光电探头的动态范围。实验证明光电探头在 8~ 90 μJ 的范围内, 具有较好的线性响应, 均方根值基本保持在 1% 以内。实验结果说明我们自行研制的探头已经达到了预定的精度和稳定性要求。

半波片是精密衰减控制的执行元件, 它的实际特性曲线决定了衰减量的可控制精度。从实验特性曲线和理论值接近的程度也可以判断装置性能的优劣。实验中采用口径为 42 mm, 波长为 1.064 μm 的 1/2 波片。分别旋转两路半波片, 可以得到不同角度时的对应的透射率。进而与理论值进行比较。经过多方面的改进, 得到了与理论值符合得较好的实验特性曲线, 见图 4。衰减量的可控制精度达到百分之一以内。这是采用函数法进行能量平衡的基础。

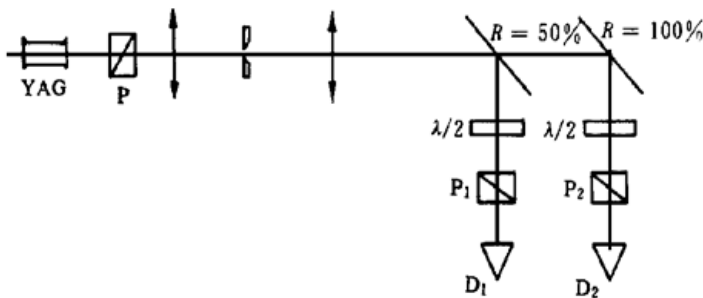


Fig. 3 Schematic of the experimental setup

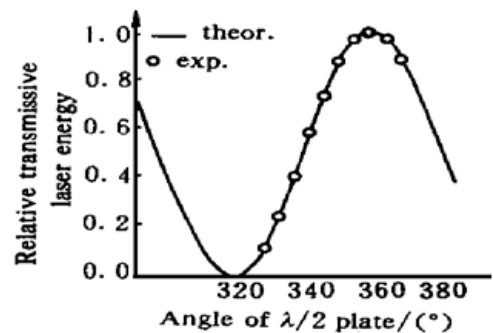


Fig. 4 Transmissivity curve of assembly

4 两路分光系统能量平衡的闭环自动控制实验

在前面工作的基础上, 加入计算机程序设计等自动控制技术, 进行了两路分光系统能量平衡的闭环自动控制实验。实验装置如图 5 所示。在自动控制系统中, 能量采集系统的数据通过单片机和 PC 机之间的多机通信来传送。计算机程序设计采用了 VC++ 语言编程, 可在 WINDOWS 界面下方便操作。

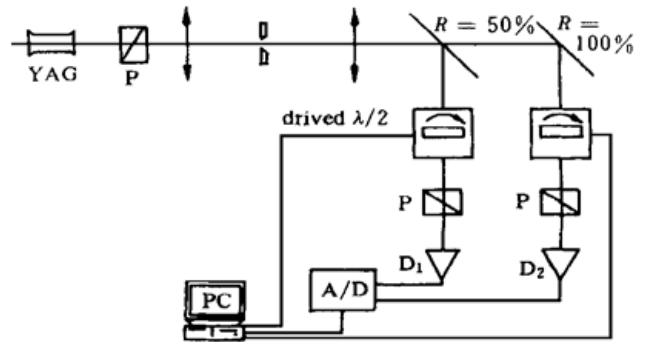


Fig. 5 Schematic of close-loop automation experiment setup

图 6、图 7 分别给出了用比较法和函数法进行修正的两路能量平衡过程, 以及最后获得的分光比的多次测量结果。比较法指根据每次的测量结果, 调整半波片的光轴方向, 逐次逼近所需目标。函数法则是在定好零位的基础上, 根据理论曲线进行计算, 得到需旋转的角度, 进行旋转。 D_1 、 D_2 分别为两路光电探头测得的能量值。设定能量平衡状态 $D_1/D_2 = 1$ 为控制目标进行自动调整。从图中可以看出两路能量比逐渐趋近目标值 1 的过程。函数法得到的结果与预定结果有较大的偏离, 均方根约为 6%。这是由于半波片的实际特性曲线与理论值存在差异, 以及定零位时有一定偏差。而比较法则获得了均方根为 1% 的能量平衡精度。

我们发现两路系统处在平衡位置时, 光电探头作连续多次测量时虽然同一组 10 次测量值的重复精度仍然得以保持, 可是不同组的平均值有时会出现漂移。最大偏差在 $\pm 2\%$ (rms) 以内。原因有待进一步查找。尽管如此, 在较长的时间内, 两路分光系统能量平衡精度已经达到 $\pm 2\%$ (rms)。

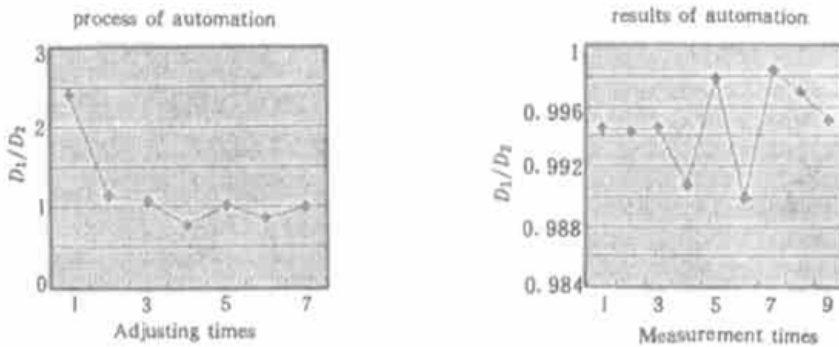


Fig. 6 Process of energy balance with adjustment means

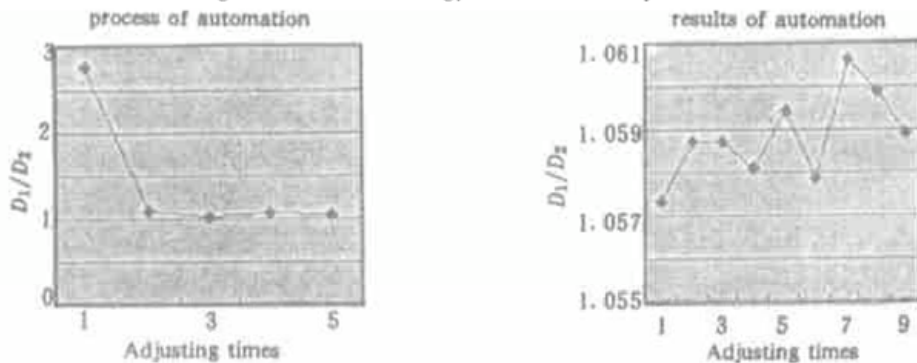


Fig. 7 Process of energy balance with function means

小 结 半波片组合衰减器的特点是组合装置的透射率 T 可以在 0~ 1 之间连续可调, 再配上高精度角偏转机构后, 可以达到精密衰减的目的。另外, 由石英晶体制成的半波片具有大口径、高能量负载、高光束质量的特点。因此, 在高功率固体激光装置“神光 II”精密化项目中, 具有很好的使用效果。作者进行的高精度两路能量平衡闭环自动控制模拟实验, 为半波片组合衰减器在“神光 II”激光装置中的实际使用打下了重要基础。同时, 模拟实验中所得到的高精度半波片衰减器和高精度光电探头也一定会在其它精密物理实验、精密光学实验、高精度自动控制等方面获得应用。

参 考 文 献

- [1] Powell H T, Caird J A, Murray E *et al.*. Laser improvements for the precision Nova project. *ICG Quarterly Report*, 1991, I (4) : 169~ 177, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, UCRL-LR-105821-91-4
- [2] 蔡希洁, 许发明, 林尊琪等. 用于精密衰减控制的半波片和偏振片组合装置. *中国激光*, 1999, **A26** (1) : 47~ 51
- [3] Xu Faming, Cai Xijie, Lin Zunqi *et al.*. Study on intelligent light splitting system. *Chinese J. Lasers*, 1998, **B7** (5) : 419~ 422

Primary Energy Balance

Huang Jie Cai Xijie Lin Zunqi

National Laboratory on High Power Laser Physics, Shanghai 201800

Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

(Received 21 June 1999; revised 19 August 1999)

Abstract To meet the need of precision for high power laser system, SHENGUANG II, assembly of half-wave plate and polarizers is used to precisionly control the beam energy. The principles of attenuator assembly of half-wave plate and polarizers are discussed briefly. The characteristics of high precision photoelectric detector and half-wave plate are measured by a special way. Then, automation technology is applied to intelligent adjustment. An energy precision of 2% (rms) is obtained in closed loop automation simulation experiments.

Key words high precision detector, attenuator, close-loop control.