

文章编号: 0258-7025(2001)08-0673-04

神光 II $\phi 45$ mm 口径 8 路分光系统 精密能量平衡*

管小鹏 蔡希洁 林尊琪 黄 杰 夏晋军* **

(中国科学院上海光机所高功率激光物理国家实验室 上海 201800)

提要 用 $\phi 45$ mm 半波片计算机自动控制系统对神光 II 装置分光系统输出的 8 路光束能量进行精确平衡控制, 并给出平衡控制的结果。

关键词 自动控制, 能量平衡, 半波片

中图分类号 TL 632⁺.1 文献标识码 A

Accurate Energy Balance Controlling For Eight Beams Splitting System of SHENGUANG II System

GUAN Xiao-peng CAI Xi-jie LIN Zun-qi HUANG Jie XIA Jin-jun

(National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract This paper introduces the method that has been used to accurately control eight beam energies of SHENGUANG II system by a half wave plate computer automatic controlling system and gives the balance controlling result.

Key words automatic controlling, energy balance, half-wave plate

神光 II 装置精密化^[1,2]的总体技术路线是以实现前端稳定、功率平衡、精密瞄准为主要目标, 兼顾脉冲整形及靶面均匀照明技术。功率平衡的第一步就是实现分光系统输出 8 束光的初级能量平衡。分光系统如图 1。

本系统正是为实现初级能量平衡而设计的计算机自动控制系统。其基本原理是利用半波片与偏振光的夹角来改变激光的透过率, 压低过高的能量, 从而达到平衡。具体的表达式是 $E' = E \cos^2 2\theta$, E' 为衰减后的能量, E 为衰减前的能量, θ 为偏振片光轴方向与光束偏振方向的夹角。通过转动马达改变 θ 即可改变透过率。本系统的设计要求是要能够将各路能量平衡的指标 rms 调整至 1% 以内, 并且总体能量损耗最小。初步实验表明, 在光学系统稳定的条件下, 本系统工作能力已完全达到设计要求。

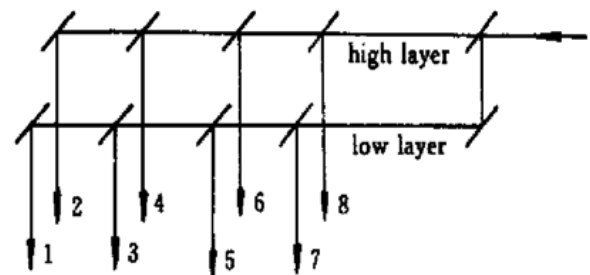


图 1 分光光路示意图
Fig. 1 Light splitting chart

1 系统结构

本系统包括数据采集系统和能量控制系统两部分。能量控制部分通过旋转半波片来执行能量衰减的功能, 数据采集部分完成能量的采样功能。两部分通过计算机上运行的软件来相互作用, 共同完成能量平衡功能。示意图如图 2。

数据采集系统由 L 形板、平移反射镜、平移反射镜控制部分、固定反射镜、透镜、高灵敏探头、数据采集盒和 8 路集线盒组成。平移反射镜控制部分包

* 国家高技术 863-416 资助课题。

** 参加本系统研究的其他人员有杨斥、魏荣、甘柏辉、俞敦和、毛楚生、张宝生。

收稿日期: 2000-05-18; 收到修改稿日期: 2000-07-04

括控制卡、限位开关输入卡、驱动盒和8只步进马达。具体结构如图3。

能量控制系统由φ45mm石英半波片、控制卡、驱动盒及步进马达组成。结构如图4。平移反射镜控制部分的结构在图4的基础上,还增加了检测限位开关的机构。

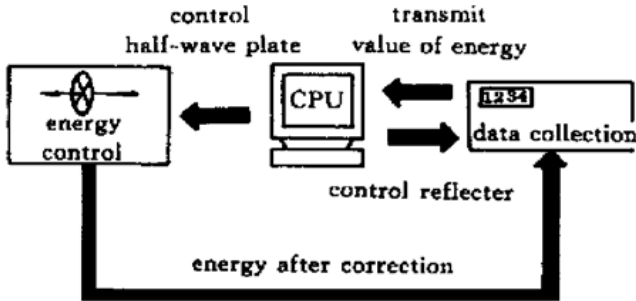


图2 系统结构示意图

Fig. 2 Structure of this system

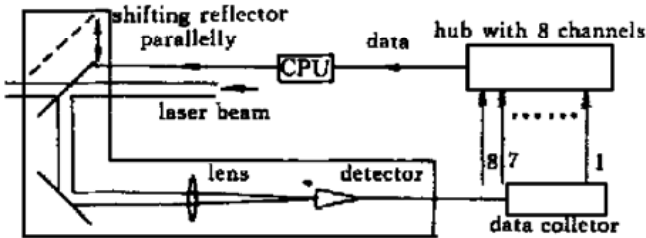


图3 数据采集部分结构图

Fig. 3 Data collection devices

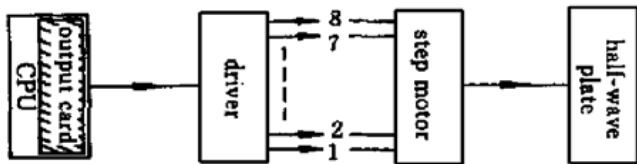


图4 能量控制部分示意图

Fig. 4 Energy controlling devices

2 控制过程

图5为整个系统控制流程图。

平移反射镜进入主光路,对主激光采样。探头接收采样光并进行光电转换,将转换结果送给数据采集盒。数据采集盒完成A/D转换并锁存数据。CPU通过连接于串行口的8路数据集线盒(多路串行口转换接口)与数据采集盒中的单片机通讯,读出数据采集盒中锁存的数据。CPU将采集的数据处理后给出平衡度的度量(rms),并根据处理结果作出预测性自动平衡动作或提供参数给操作者进行手动微调平衡。对平衡后的光束再次采集数据,作为判断平衡效果的反馈信息。若还未达到平衡要求,则继续调整半波片进行平衡操作,否则结束调整过程。

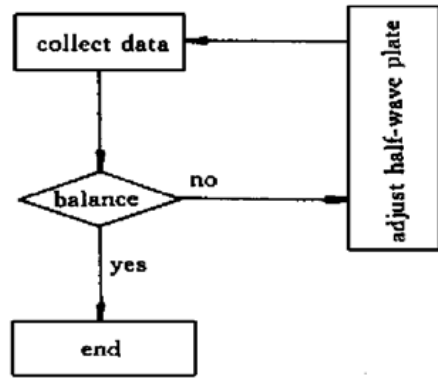


图5 控制流程图

Fig. 5 Controlling flow chart

3 实验

3.1 判断半波片零点位置

作出平衡动作的依据是半波片的透过率曲线 $T(\theta) = \cos^2 2\theta$ 。只有知道了当前半波片的位置对应的角度 θ ,才能决定半波片的转动方向及转动角度的大小。由于通过马达驱动记录可以知道半波片相对于初始位置转过的角度,因此只要确定了半波片的初始位置,就可以确定当前半波片的位置对应的角度 θ 。为清晰起见,规定半波片的初始位置(零点)为透过率最大位置。零点的位置要通过实验来确定。图6是测定的半波片实际透过率曲线(实线)和理论透过率曲线(虚线)。横轴为半波片位置(对应的电机转动的步数),纵轴为透过率。实际透过率曲线基本与理论透过率曲线吻合。底部的截断是由于能量衰减至探头最低响应阈值以下,只能以0代替的结果。因为底部一般不可能作为半波片的工作位置(否则,只能说明原始光路的各路分光比例相差太大,需要重新调整),所以不会对平衡带来影响。顶部的小波动则是镜片加工的误差所致,但由于顶部的变化范围很小,其对平衡带来的误差完全可以通过手动微调来纠正。通过分析该曲线,找到透过率最大位置并以此位置作为半波片零点位置。总体能量损耗最小的设计要求事实上也就是要求平衡后至少有一路的半波片是在零点位置。

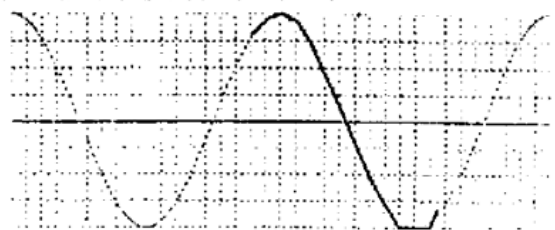


图6 半波片透过率曲线

Fig. 6 Transmissivity curve of a half-wave plate

3.2 探头标定

由于探头自身的差异,对能量的响应并非完全一致。也就是说,同样的读数,各个探头对应的能量可能并不是一样的。因此,需要测量出各个探头对同样能量的响应比,这是探头间的相对标定;或者通过测量,给出各个探头的读数所代表的绝对能量值,这是绝对能量标定。另外,由于数据采集系统的安装会影响探头对光路上能量的响应,因此将数据采集系统视为一个整体进行能量标定,能更方便准确地反映光路特征,从而进行能量平衡。

标定采用的方法如下:首先,在安装好数据采集

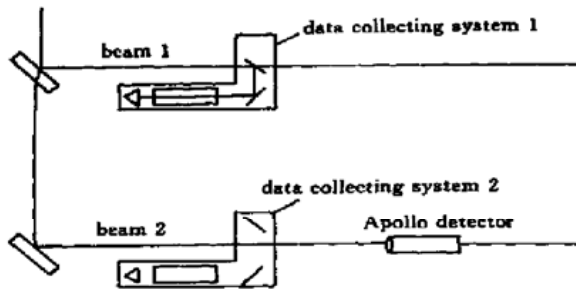


图 7 探头标定示意图

Fig. 7 Calibration of the detector

系统后,测定探头读数比 $D_1/D_2 = \text{CONST1}$;其次,将欲定标的一路的数据采集系统的平移反射镜移出光路,在光路中装上 Apollo 标准探头,测定探头的比值 $D_1/C = \text{CONST2}$ 。于是可以得到数据采集系统 2 在光路 2 上的能量对应关系: $C/D_2 = \text{CONST1}/\text{CONST2}$ 。由此可得(如图 8)

$$D_2 = 0.916372 \times D_1 + 54.697980$$

$$C = 1.294753 \times D_1 - 135.290218$$

$$\text{Average}(D_1/D_2) = 1.070662$$

$$\text{Average}(D_1/C) = 0.7942577$$

再考虑 Apollo 前的滤光片的透射率,得到 $C/D_2 = 1.08823 \times 10^{-8}$ J;然后,根据探头 2 的读数,可以得到光路 2 上 Apollo 标准探头处的能量。

该标定方法有两点假定:1) 标定时光路 1,光路 2 的能量比不变。实验验证,此条件可以满足;2) 数据采集系统对光能量的响应为线性关系。整个数据采集系统需要仔细调整才能较好地满足此条件。实际标定结果如表 1。

表 1 标定系数一览表

Table 1 Calibrated coefficient for each beam

	Beam 1	Beam 2	Beam 3	Beam 4
$1.0e^{-8}$ J per unit	1.10840	1.08823	1.08973	1.00551

3.3 能量平衡

原始光路的分光比是不满足平衡要求的。需要根据采集的数据进行平衡调节。调节的结果如图 9 所示。具体能量数据(单位 $1.0e^{-8}$ J)如表 2。

数据处理结果如表 3(以第 1 路为基准归一)。

从表 3 可见,第二次平衡后已达到 $\text{rms} < 1\%$ 的平衡指标。事实上,本系统甚至能够只通过两次调整就将神光 II 装置全系统能量的平衡度控制在 5% 的偏差范围内。其调节能力已不仅限于前端初级能量平衡。图 9 为以上三次平衡前后的能量分布图。

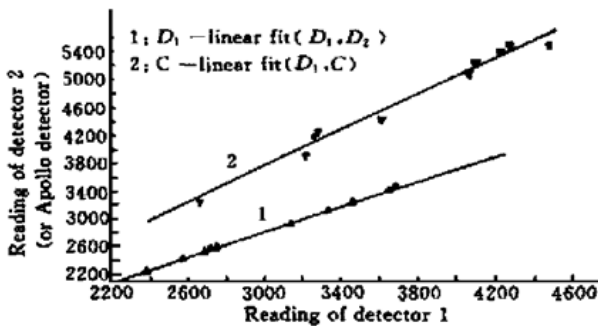


图 8 线性拟合结果

Fig. 8 Results of the linear-fitting

表 2 能量平衡过程

Table 2 Process of energy balance

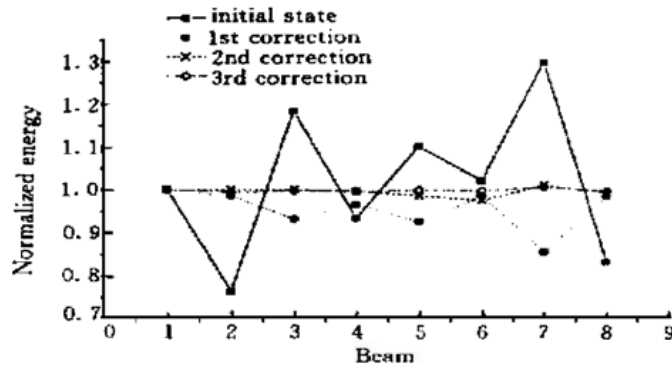
	Beam 1	Beam 2	Beam 3	Beam 4	Beam 5	Beam 6	Beam 7	Beam 8
Initial state	5373.52	4073.13	6306.09	4956.10	5799.00	5408.00	6960.00	4423.00
	3887.15	2959.90	4571.29	3604.71	4238.00	3923.00	5048.00	3223.00
	3316.33	2531.15	3917.47	3092.91	3646.00	3383.00	4295.00	2759.00
First correction	1701.39	1676.91	1585.51	1641.98	1574.00	1675.00	1453.00	1675.00
	2687.87	2639.97	2501.95	2529.83	2406.00	2627.00	2304.00	2615.00
Second correction	2254.48	2240.60	2258.94	2248.29	2239.00	2224.00	2270.00	2233.00
	3031.47	3030.63	3031.54	3019.51	2986.00	2953.00	3061.00	3006.00
	2848.58	2854.34	2840.84	2859.64	2810.00	2817.00	2879.00	2823.00
Third correction	2967.18	2962.08	2960.71	2957.17	2963.00	2966.00	2996.00	2954.00
	2665.70	2657.38	2661.04	2632.39	2669.00	2668.00	2691.00	2655.00
	2880.73	2865.23	2870.26	2865.67	2874.00	2870.00	2897.00	2868.00
	2758.80	2758.58	2744.95	2759.09	2754.00	2767.00	2778.00	2753.00

表3 数据处理结果

Table 3 Result of data processing

	Average	Rms(%)	Max	Min	Stder	Max/Min
Initial state	1.01140	16.6878	1.2986	0.7580	0.16888	1.7132
First correction	0.94925	4.97515	1.0000	0.8541	0.04719	1.1710
Second correction	0.99611	0.8522	1.0107	0.9741	0.00849	1.0375
Third correction	0.99901	0.4446	1.0097	0.9875	0.00444	1.0225

折线图:



直方图:

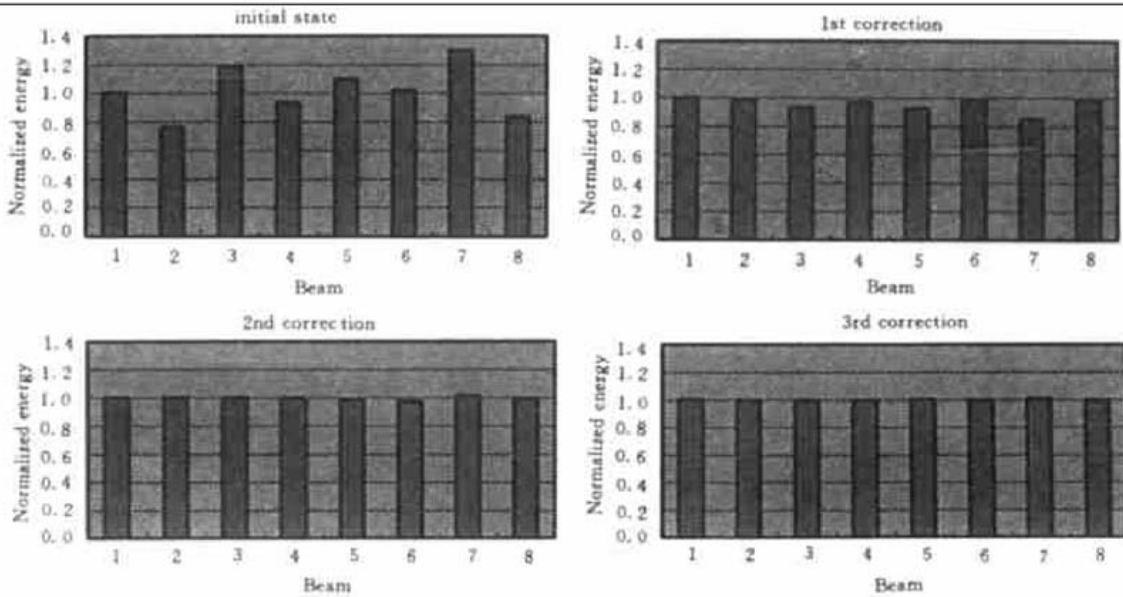


图9 平衡结果

Fig. 9 Final results of three balancing operations

4 讨论

神光 II 装置的每一次发射代价昂贵, 因此在尽量少的调整次数内达到平衡, 是十分必要的。目前调整采用的是利用透过率函数来求平衡点的所谓“函数法”。此方法在较大程度上依赖于半波片加工的精度, 亦即半波片的实际透过率曲线与理论透过率曲线的吻合程度。当半波片的实际透过率曲线与理论透过率曲线有较大偏差时, 应怎样调整还有待研究。

致谢 感谢朱俭、刘凤翘、马维新、徐振华、林贤平同志的大力支持。

参 考 文 献

- 1 Xu Faming, Cai Xijie, Lin Zunqi *et al.*. Study on intelligent light splitting system. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **B7**(5): 419~ 422 (in English)
- 2 Cai Xijie, Xu Faming, Lin Zunqi *et al.*. An assemble of a half-wave plate and polarizers for precision controlled attenuator. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(1): 47~ 51 (in Chinese)