

文章编号: 0258-702X(2002)01-0079-03

“神光 II”主放大器角变反镜衰减曲线的精密测量

唐立家, 蔡希洁, 林尊琪

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

提要 针对“神光 II”功率平衡控制的要求, 提出了一种精密测量主放大器角变反镜(AVM)衰减曲线的方法, 并建立了一套计算机自动控制的测量装置, 利用该装置达到了极限相对误差 0.5% 的测量精度。

关键词 角变反镜, 衰减曲线, 透过率

中图分类号 TB 96 **文献标识码** A

Precise Attenuation Measurement of Angular Variable Mirror Used in “Shengguang II” Main Amplifiers

TANG Li-jia, CAI Xi-jie, LIN Zun-qi

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

Abstract Aiming at power balance control in “Shengguang II”, a means for precise attenuation measurement of angular variable mirror(AVM) used in main amplifiers are proposed, and a set of measurement equipment controlled by computer is established. Using this equipment, a limiting relative error 0.5% of measurement precision is achieved.

Key words AVM, attenuation curve, transmissivity

1 引 言

功率平衡是惯性约束聚变对“神光 II”激光系统提出的要求, 所谓功率平衡是指“神光 II”8 路光在最终到达靶球的光脉冲不但能量相等而且波形相同, 即功率时时相等。世界其他国家同类型的高功率激光系统(如美国的“NOVA”, 日本的“GEKKO XII”等)都是通过改变各级各路放大器的增益系数来控制能量和波形的^[1, 2]。但“神光 II”的主放大器为两台组合式双程放大器, 即每 4 路放大器共享一组氙灯, 这样就不能实现对各路增益系数的分别控制, 因此决定在各路放大器中加入角变反镜(Angular Variable Mirror, 以下简称 AVM)控制主放大器的增益进而实现功率平衡。

AVM 实际上是一块相对光轴倾斜放置的镀膜玻璃板, 通过调节它的倾斜角度, 即调节光束的入射角, 改变透射反射比, 从而控制透射光的强度。在最终实现功率平衡的过程中, 各路放大器中 AVM 的倾斜角度将严格按照事先测定的衰减曲线进行调节, 因此 AVM 衰减曲线的高精度测量是实现功率平衡的必要条件, 并且其测量精度直接关系到功率平衡的最终精度。

2 测量方法分析

若根据定义直接测量(图 1), 则只须分别测出光路中未加 AVM 时的激光脉冲能量 E_0 以及加入 AVM 在不同入射角 θ 时的激光脉冲能量 $E(\theta)$, 即可

收稿日期 2000-09-21; 收到修改稿日期 2000-12-22

基金项目 国家高技术 863 资助课题。

作者简介: 唐立家(1934.3—), 男, 河南, 中国科学院上海光学精密机械研究所硕士研究生, 主要从事激光与光电子学研究。E-mail: Lijia-tang@netease.com

求得透过率为 $\mathcal{T}(\theta) = E(\theta)/E_0$ 。由于激光器输出能量存在起伏,这种方法必然存在较大误差,为了消除激光器能量起伏对测量造成的影响,可以在原光路的基础上增加一路参考光路(图2)。由于分束器的分光比保持恒定,所以主探测光路和参考光路的能量比值不随激光器输出能量的起伏而变化,若令光路中未加入 AVM 时该比值为 $r_0 = E_0/E_r$,加入 AVM 后该比值为 $\mathcal{r}(\theta) = E(\theta)/E_r$,则透过率为 $\mathcal{T}(\theta) = \mathcal{r}(\theta)/r_0$ 。

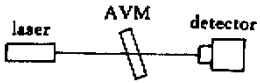


图1 直接测量原理图

Fig.1 Schematic diagram of direct measurement

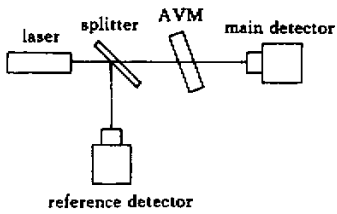


图2 参考测量示意图

Fig.2 Schematic diagram of reference measurement

实验中我们无法直接得到激光脉冲的能量,得到的只是相应于 $E_0, E_r, E(\theta)$ 的探测器读数 D_0, D_r 及 $D(\theta)$,因此探测器的灵敏度和线性对实验结果的精度和可靠性至关重要。实测中采用了 10^{-8} J 量级的高灵敏度探测器,而探测器的线性可以按照下面的分析进行检验,不失一般性,假设探测器相对于能量的响应函数为

$$D(E) = c_0 + c_1 E + c_2 E^2 + c_3 E^3 + \dots \quad (1)$$

则探测器读数 D_0, D_r 可分别写成如下形式

$$D_0 = D(E_0) = c_0 + c_1 E_0 + c_2 E_0^2 + c_3 E_0^3 + \dots \quad (2)$$

$$D_r = D(E_r) = c_0' + c_1' E_r + c_2' E_r^2 + c_3' E_r^3 + \dots \quad (3)$$

在保持比值 $r_0 = E_0/E_r$ 不变(r_0 的选取具有任意性)的前提下,当 E_0, E_r 在较大范围内变化,若比值 $r_0' = D_0/D_r$ 也能保持恒定,则可以证明(2)(3)式中只存在一次项,即

$$D_0 = D(E_0) = c_1 E_0 \quad (4)$$

$$D_r = D(E_r) = c_1' E_r \quad (5)$$

因此 $r_0' = D_0/D_r = \frac{c_1 E_0}{c_1' E_r} = cr_0, \mathcal{r}(\theta) = D(\theta)/D_r = \mathcal{r}(\theta)$,于是透过率可由 $\mathcal{T}(\theta) = \mathcal{r}(\theta)/r_0'$ 求得。

3 测量装置

实验所用的测量装置及光路布置如图3所示。光源采用 Nd:YLF 激光器,输出波长 $1.053 \mu\text{m}$,与“神光 II”的波长保持一致。 L_1, A_4, L_2 组成扩束准直和空间滤波系统,改善输出光束质量。 $P_1, \text{HW1}, P_2$ 和 $P_2, \text{HW2}, P_3$ 组成两套用于精密衰减控制的组合装置^[3],旋转 HW1 可以连续调节输入总光路的能量,旋转 HW2 可以调节参考光路的能量,这样通过 HW1, HW2 的组合调节,可以对输入主探测光路和参考光路的能量分别进行连续调节以使 MD, RD 均工作于其线性范围,其中 P_2 的偏振方向相对于 AVM 为 p 偏振,这是因为在“神光 II”主放大器中通过 AVM 的光也是 p 光。AVM 装在特制的调整架上,由步进马达精密控制其转角。在 AVM 后放置全反镜使光束折返两次通过 AVM,这既与 AVM 在“神光 II”中的实际情况保持一致,又消除了光束通过 AVM 产生的横向偏移,使得在入射角 θ 变化时 MD 的位置可以保持不变。我们选用的偏振镜为偏振分束棱镜,光束经过后分为两束偏振方向互相垂直的光,所以在 P_1, P_2, P_3 后面分别放置光阑 A_1, A_2, A_3 以滤掉其中一束不需要的光,避免产生干扰。由于探测器灵敏度非常高,所以在其前面都加有滤光片,并且在实际测量过程中整个装置置于暗室中,以避免杂散光对探测器的干扰。为避免经 HR3 全反并经 SP 反射的光返回对光源产生影响,在调光路时应使该反射光略微偏离激光器谐振腔。整个光路很长,

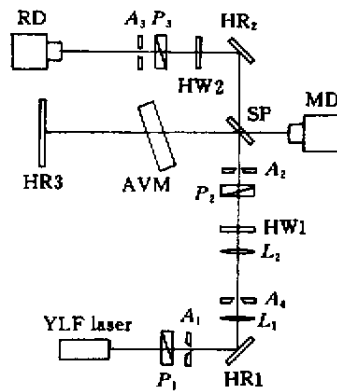


图3 实验装置图

P_1, P_2, P_3 : 偏振镜; L_1, L_2 : 透镜; SP: 分束镜; A_1, A_2, A_3, A_4 : 光阑; HR1, HR2, HR3: 全反镜; HW1, HW2: 半波片; MD: 主探测器; RD: 参考探测器

Fig.3 Experimental setup

P_1, P_2, P_3 : polarizer; L_1, L_2 : lens; SP: splitter; A_1, A_2, A_3, A_4 : aperture; HR1, HR2, HR3: high reflector; HW1, HW2: half-wave plate; MD: main detector; RD: reference detector

少量偏离对光路产生的影响可忽略)。整套装置采用计算机自动控制,同时实现了数据采集、数据处理的自动化。

在光路的调整过程中会改变 HW1, HW2 的旋转角度,但在 AVM 透过率实际测量的整个过程中, HW1, HW2 的旋转角度是固定不变的,所以虽然实际使用的光路较图 2 复杂了许多,但最本质的一点是一致的,那就是主探测光路和参考光路的能量比值固定不变,因此上面关于测量方法的分析对于实际使用的光路也是适用的,只是此时直接测得的是两次通过 AVM 的透过率,即 $\pi(\theta)^2 = r(\theta)/r_0'$,而实际上我们需要的正是 $\pi(\theta)^2$ 。

由于该测量装置是一个多元件系统,为了实现高精度测量,对系统的稳定性提出了更高的要求。只有在各光学调整架牢固固定的情况下,才能实现满足应用要求的高精度测量。

4 实验结果

4.1 探测器的线性检验

因为所用的两个探测器为同一类探测器,所以它们的线性响应范围应该大体一致。基于此,首先调节 HW1, HW2 使 D_0, D_r 大致相等,然后通过调节激光器氙灯放电电压改变输入到光路的总能量,使得 D_0, D_r 在较大范围内变化,实验中测量了 57 组 D_0, D_r (图 4),其中 D_0 的动态范围($D_{0\max}/D_{0\min}$)为

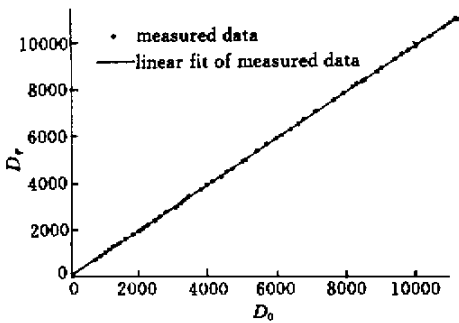


图 4 探测器的线性检验

Fig.4 Verification of the detectors' linearity

14.8,这样得到了一组 57 个 r_0' ,它们的 rms 误差为 0.7%,用最小二乘法对这 57 个点进行线性拟合的结果为: $D_r = 0.993663D_0 + 4.41909$, D_0, D_r 的相关系数 $\rho = 0.999964$,因此两探测器具有良好的线性一致性,其相对能量的响应函数可以由(4)(5)两式表示。

在下面的测量中我们将使探测器工作于其线性响应范围的中部。

4.2 AVM 衰减曲线

图 5 示出了一条实测的 AVM 衰减曲线和一条根据薄膜参数计算的理论曲线,其中 $r(\theta)$ 与 r_0' 均取 20 个测量值的均值,每组 20 个测量值的 rms 误差小于 0.5%,则 $r(\theta)$ 与 r_0' 的极限相对误差为 $^{[4]}\delta_{\lim} = \pm \frac{3 \times 0.5\%}{\sqrt{20}} = \pm 0.34\%$,再根据函数误差公式可计算出 $\pi(\theta)^2$ 的极限相对误差为 $\pm 0.5\%$ 。相对于功率平衡最终精度 5% 的要求,这种测量精度已完全可以满足应用要求。

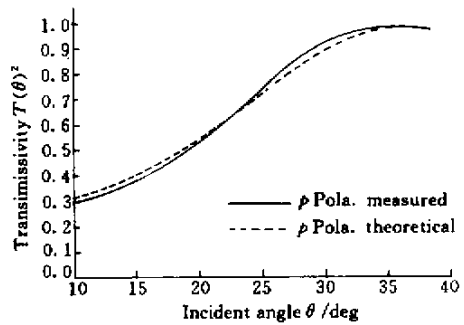


图 5 AVM 衰减曲线

Fig.5 AVM attenuation curve

参 考 文 献

- 1 J. A. Caird, R. A. Lerche, R. B. Ehrlich *et al.*. Precision Power Balance [R]. ICF Quarterly Report, October ~ December 1993, 18vc(1):10 ~ 17. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA. UCRL-LR-105821-94-1
- 2 S. Urushihara, H. Fujita. GEKKO XII Power Balance Control [R]. ILE Osaka Univ. 1997.7. Japan-China
- 3 Cai Xijie, Xu Faming, Lin Zunqi *et al.*. An assemble of a half-wave plate and polarizers for precision controlled attenuator [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(1):47 ~ 51 (in Chinese)
- 4 Fei Yetai. Error Theory and Data Processing [M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing Company, 1982. 10 ~ 11, 41 ~ 43