

文章编号: 0258-702X(2002)03-0267-04

高功率激光精密小能量测量系统研究

于天燕, 蔡希洁, 刘仁红, 唐立家, 毕纪军, 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)

摘要 介绍了用于神光 II 装置 8 路功率平衡的全自动精密小能量测量系统, 并用自动控制半波片衰减装置对其性能进行了测定。系统稳定性精度优于 1% (rms), 量程可达三个量级范围。

关键词 功率平衡, 小能量测量, 半波片衰减器, 高精度探头, 通道开关

中图分类号 TH 741 文献标识码 A

Study on the Precision Energy Measurement System for High Power Laser

YU Tian-yan, CAI Xi-jie, LIU Ren-hong, TANG Li-jia, BI Ji-jun, 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 A full-automatic precision energy measurement system on small signal was described in detail, which was used for eight beams' power balance in Shenguang II. An assembly attenuator of half-wave plate and polarizers is used to check up the performance of the system. The precision of stability precedes 1% (rms). And the measuring range covers three magnitudes. It enlarges the measuring range of the original measurement facility of Shenguang II.

Key words power balance, small energy measurement, attenuator of half-wave plate and polarizers, high precision detector, channel switch

1 引言

惯性约束核聚变的成功爆破要求驱动器高度对称, 以实现靶球的最有效的对称压缩。其中一个必须的部分就是所有光束间的瞬时功率平衡^[1]。神光装置的功率平衡属于低通量功率平衡, 在此条件下 8 路子束小信号增益系数 $G_{ss, i}$ 的调整是功率平衡调试的关键步骤, 因此就需要有一套高精度的小信号能量测量系统。神光装置原有的高精度能量测量系统的测量范围为两个量级, 而功率平衡调试要求能量测量系统动态范围至少有三个量级以上, 精度为 2%。为了扩展其动态范围, 分别建立了 $\phi 70$ mm 和 $\phi 200$ mm 放大器小信号能量测量系统, 两套系统的基本构造相同, 其动态范围可拓展至三个量级。

2 系统结构及工作原理

小信号能量测量系统主要由四通道滤光片开关和探头两部分组成。四通道开关中一个通道为对标准通道, 放置对标滤光片, 透过率约为 1/100, 定为 B 通道; 一个为换档通道, 放置换档滤光片, 透过率约为 1/10, 定为 C 通道; 第三个通道为全通, 透过率为 1, 为 D 通道; 另外一个为全闭, 用于打大能量时保护探头, 为 A 通道。通道开关与步进电机相连, 由电脑提供信号进行通道切换。探头部分是由光电探测器和滤光片组成, 备有各种规格的滤光片以供替换。探头前面是一个 2 mm 的小孔, 与此处光斑尺寸相当, 主要是为了将杂散光减至最小。由于 $\phi 70$ mm 放大器处的电磁干扰较大, 探头及其底座都采取了相应的措施来屏蔽电磁干扰。两套系统均为封闭的整体。

收稿日期 2000-12-05; 收到修改稿日期 2001-02-20

基金项目 国家高技术 863 资助课题。

作者简介: 于天燕(1973—), 女, 硕士, 现主要从事高功率激光系统功率平衡研究。E-mail: ytygirl@21cn.com

探测器是系统的关键部分,探头选用的是硅光测量电池,它较一般的光电二极管有更高的线性度,具有光谱响应范围宽、噪声低、稳定性好等优点。其结构和工作原理如图 1(a)(b)所示。

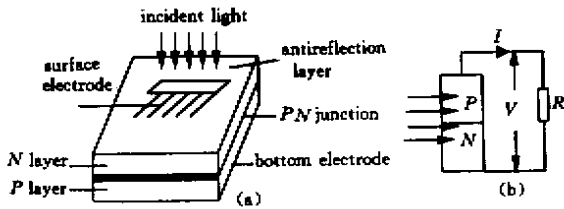


图 1 硅光电池结构示意图(a)和工作原理图(b)

Fig.1 Schematic structure (a) and schematic diagram (b) of silicon photo-cell

探测器上接收到的激光能量 E_d 和光电流 $I(t)$ 间的关系如下

$$E_d = \frac{h \cdot \nu \cdot \int I(t) \lambda dt}{Q_e \cdot e} \quad (1)$$

式中 h 为普朗克常数, ν 为光子频率, Q_e 为传感器的量子效率。由于激光单色性很好,对于特定的半导体传感器 Q_e 可以看成为常数。从(1)式可以看出探测器的响应速度对于激光能量传感器已不重要。根据其特性理论上线性范围可达三个量级以上。

实际所使用的硅光电池探头工作在 $10^{-5} \sim 10^{-3} A$ 输出电流范围,也就是说只有两个量级,所以必须借助外加滤光片来扩大量程,为此设计了四通道开关。另外为了保证光电探头有较好的工作环境和在工作点,系统采用了三级滤光的方法,除了步进电机控制的通道滤光片外,还设有前置滤光片和初始化滤光片,这主要是将量程向下扩展至三个量级,与神光 II 原有测量系统结合,可使整个量程扩大到四个甚至是四个以上的量级范围。

直接放在光电探头前面的前置滤光片 T_{pre} (如图 2 所示)的作用在于消除环境杂光,保证光电探头能正常工作。前置滤光片 T_{pre} 的配置对于每种测量系统的光电探头而言是统一的。光电探头前面还加有适当的初始化滤光片 T_{ini} 进行探头工作点的较为细致的调节,以适应各路测量系统实际存在的差别从而保证采样光信号幅度的正确选择。因此测量系统总的能量透过率 T 为

$$T = T_{ch} \cdot T_{pre} \cdot T_{ini} \quad (2)$$

其中 T_{ch} 为通道滤光片的透过率。

根据测定的各种滤光片透过率的实验数据,由

公式

$$T = \exp(-\alpha L) (0.96)^2 \quad (3)$$

可推算出滤光片玻璃的吸收系数 $\alpha [1/mm]$, 再按(3)式也可计算出所需透过率对应的滤光片厚度 L 。

通过步进电机控制的通道滤光片换档可以在量级上改变透过率数值,从而改变了测量系统的量程。

3 系统性能测试实验

实验采用的是自行研制的自动控制半波片组合衰减装置和自控数据采集系统^[2],实验光路如图 2 所示。系统精度优于 2% rms。所用激光源为 1.053 μm 的 YLF 激光,输出能量为 10 mJ。

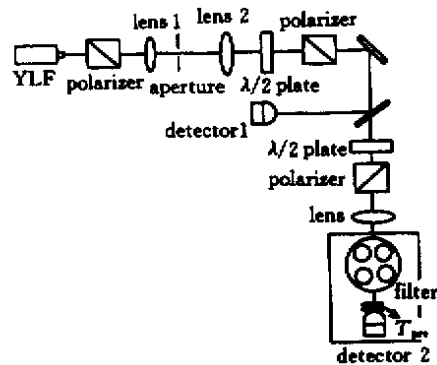


图 2 系统性能测试光路图

Fig.2 Experimental setup of the measurement system

半波片组合衰减器是由两个平行放置的偏振片和置于其间的可旋转半波片构成,两偏振片的光轴是固定的,与入射光的电场振动方向平行,随着半波片转动到不同位置,组合装置的透过率则随之发生变化。设半波片透过率最大位置对应零度旋转角,那么组合装置的透过率和波片旋转角度之间的关系为^[3]

$$T = 1 - \sin^2(2\theta) \sin^2(\delta/2) \quad (4)$$

通过调节两套波片的旋转角度改变阿波罗(Apollo)卡计或光电探头的输入能量,从而将测量范围拓展至探头的整个动态范围。

为了保证实验的精度,在性能测定实验之前,先用两个探头进行了对标实验,以确定其具有良好的线性。实验结果如图 3 所示。图中的 X 代表动态范围, P_1, P_2 为 Detector 1, Detector 2 的读数,对应所测两路的功率。结果表明探头本身具有很好的线性,而且精度皆优于 1%。

小能量测量系统的稳定性应该是整个性能中的

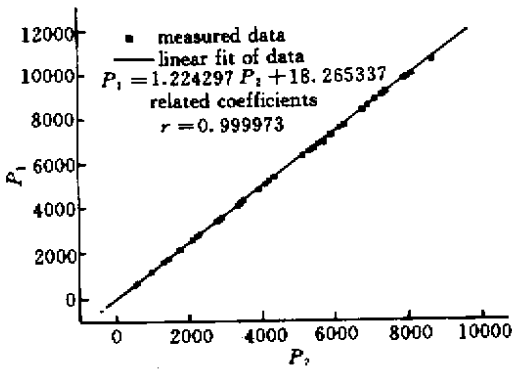


图 3 探头的标定曲线图

Fig.3 Calibration curve of the detector
($X = 16.69606$ rms(%) = 0.65873)

关键,也是一个系统可用性的前提。对于这套系统,四通道开关的稳定性决定了整个系统的稳定性,因此有必要对其进行检测,以便确定对于同一通道(主要是 B,C 两个通道),在经过多次转动换档之后是否能够回到原位。仍然使用上面的装置,驱动马达转动不同的周数,分别采集数据,观察其采样系数是否变化。实验结果见图 4。

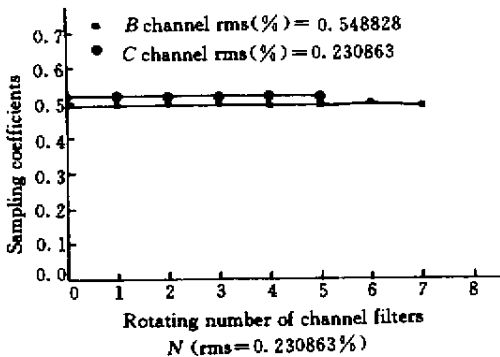


图 4 通道滤光片稳定性测试实验曲线图

Fig.4 Curve of the stability of channel filters

从图中可以看出,在马达转过数周之后,采样系数变化不大,也就是说通道滤光片基本能回到原位,而且精度远小于 1%。

小信号能量测量系统中的 B,C 通道滤光片分别采用不同厚度的滤光片,两面均镀 0°增透膜。为了更准确地配置初始化滤光片,必须知道通道滤光片的准确透过率值,因此采用图 2 中的自控采样系统和阿波罗卡计来精密测量。将图 2 中的 Detector 1 换成阿波罗卡计,前面分别放置 T_{pre} , T_{ini} 两种滤光片作为待测端,通过转动 Detector 2 对应一端的半波

片使其读数处于某一合理值,作为基准端进行测量。测得结果列于表 1 中。

表 1 滤光片透过率测定结果

Table 1 Results of the penetration coefficients measurement

Filters	Measuring number	$T / \%$	Accuracy /rms%	Average
C channel	1	11.769	0.312772	11.7144
	2	11.738	0.384730	
	3	11.706	0.482453	
	4	11.704	0.538373	
	5	11.655	0.547057	
B channel	1	1.289	0.524123	1.2932
	2	1.285	0.451881	
	3	1.301	0.496290	
	4	1.298	0.593120	
	5	1.293	0.474905	

每次测量的结果有所不同,分析认为最主要的原因是所用脉冲激光器的输出有波动,因为器件在长时间使用后,由于热效应等原因不可避免地引起对输出的影响,从而影响到最终的测量结果。不过其变化值都小于 0.1%,对我们的测量精度没有影响,可忽略。以上测量的结果与理论计算结果相吻

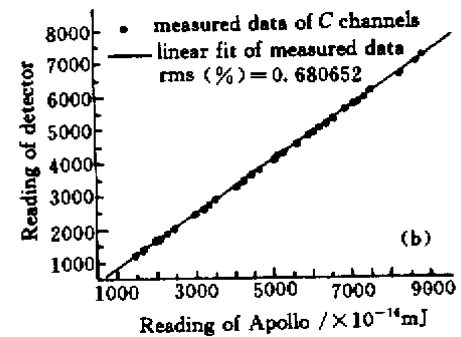
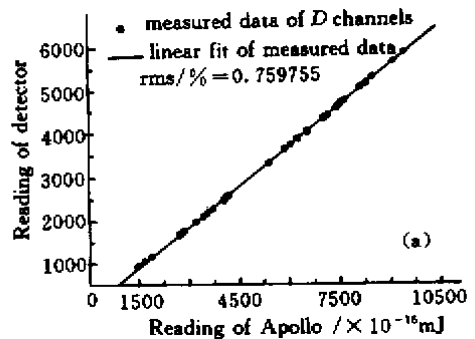


图 5 阿波罗卡计对标小能量测量系统实验结果曲线

Fig.5 Calibration curve of the measurement system by Apollo calorimeter

合。

去掉阿波罗卡计前的滤光片,将该端作为基准端,Detector 2 端作为待测端,分别在 C、D 两通道下进行探头对标实验,以确定系统的实际精度。由于所用激光源输出功率太小,无法对 B 通道进行大动态范围的实验。实验结果如图 5(a)(b)所示。从图中可以看出,该套系统具有很好的线性度和高的精度。

目前,本测量系统已应用到神光装置中。以 $\phi 200\text{ mm}$ 系统为例给出了它们在神光装置中的实验测量框图,如图 6 所示,虚线框内为整个 $\phi 200\text{ mm}$ 测量系统。

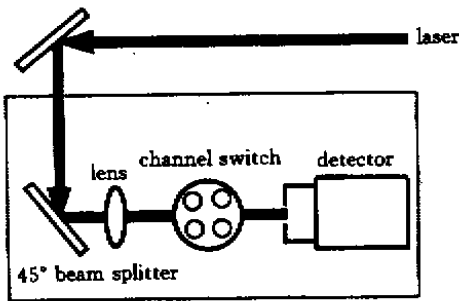


图 6 $\phi 200\text{ mm}$ 系统实验测量框图

Fig.6 Experimental diagram of $\phi 200\text{ mm}$ system

4 结 论

通过一系列的性能测试实验,证明小能量测量系统无论在稳定性和精度上都达到了实际使用要求。尤其是四通道开关的自动换挡功能大大简化了工作过程,配合前置滤光片和初始化滤光片以及高精度探头,解决了扩大量程这一难题,将神光 II 装置的测量范围拓展至四个及四个以上量级。从性能测试实验中可以看出各部分的测试精度均小于 1%,高于功率平衡调试所要求的测量系统 2% 的精度指标。这套系统为精密测量小信号增益提供了一个便捷而精确的测量装置,它将在整个精密化功率平衡的调试过程中起到重要作用。

参 考 文 献

- 1 J. A. Caird, R. A. Lerche, R. B. Ehrlich *et al.*. Precision Nova power balance [R]. *ICF Quarterly Report*, October ~ December 1993, **18**(1):10 ~ 17. Lawrence Livermore National Laboratory. UCRL-LR-105821-94-1
- 2 Guan Xiaopeng, Cai Xijie, Lin Zunqi *et al.*. Accurate energy balance controlling for eight beams of SHENGUANG II system [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **28**(8):673 ~ 676 (in Chinese)
- 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)