

文章编号: 0258-7025(2003)11-0981-04

带角变反镜的组合放大器在神光 II 装置上的实验研究

周华珍¹, 蔡希洁², 林尊琪², 王世绩¹

¹ 上海激光等离子体研究所, 上海 201800

² 中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800

摘要 为了实现神光 II 装置的功率平衡, 研究了在组合主放大器中插入角变反镜的新方案。报道了新方案在神光 II 装置上获得的工程研究结果, 包括方案设计要点、在线性能测量与考核以及能量平衡总体实验结果。

关键词 激光技术; 角变反镜; 组合放大器; 功率平衡; 能量平衡; 高功率激光系统

中图分类号 TL 632⁺.1 **文献标识码** A

Experiment Research of Main Array Amplifier with Angular Variable Mirror on “SHENGUANG II”

ZHOU Hua-zhen¹, CAI Xi-jie², LIN Zun-qi², WANG Shi-ji¹

¹ Shanghai Institute of Laser and Plasma, Shanghai 201800, China

² National Laboratory on High Power Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

Abstract With the aim of achieving the power balance of “SHENGUANG II”, the innovative project of the main array amplifier with the angular variable mirror is studied. The first engineering research results of the new project which were attained on “SHENGUANG II” are reported in this paper, including the project design essentials, the outcome of the performance measurement and check in-line, and the result of general energy balance experiment.

Key words laser technology; angular variable mirror; array amplifier; power balance; high power laser system

1 引 言

功率平衡是惯性约束聚变对神光 II 装置激光系统提出的要求, 所谓功率平衡是指神光 II 装置八路光在最终到达靶室的光脉冲不但能量相等而且波形相同, 即功率时时相等。要实现功率平衡、能量平衡和波形一致是缺一不可的。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]。神光 II 装置的主放大器为两台组合式同轴双程放大器, 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, 因此决定采用在各路放大器中加入角变反镜(Angular Variable Mirror, 以下简称 AVM)的新方案来独立控制各路主放大器的增益^[3], 进而实现神光 II 装置基频功率平衡。

AVM 新方案的可行性研究已经完成^[4~6]。本文报道了 AVM 应用到神光 II 装置上的工程设计要点, 在线测定了 AVM 膜片透过率曲线。在高能实验中考察了 AVM 膜片插入主放大器的运行安全性, 给出了应用 AVM 实现神光 II 装置能量平衡的总体实验结果。

收稿日期: 2003-03-17; 收到修改稿日期: 2003-04-18

基金项目: 国家高技术 863 项目(863-804-02, 2002AA842110)资助课题。

作者简介: 周华珍(1977—), 女, 中国工程物理研究院上海激光等离子体所硕士研究生, 主要从事精密化功率平衡研究。

E-mail: huazhen_zhou@hotmail.com

2 设计要点

神光 II 装置主放大器为两台 4 单元组合式同轴双程放大器,单元主放大器光路如图 1 所示,每路主放大器包含 6 个以布儒斯特角放置的钨玻璃片。主激光以同轴双程方式通过。角变反镜(AVM)被放置在钨玻璃片和片后反射镜之间,如图 1 所示。相应的 AVM 组合调整架也由 4 个单元组成,结构支架的外形尺寸为 820 mm×375 mm×990 mm,如图 2 所示。AVM 膜片尺寸为 210 mm×270 mm×25 mm。通过 AVM 膜片的主激光为 P 偏振光,其透过率随入射角而改变。

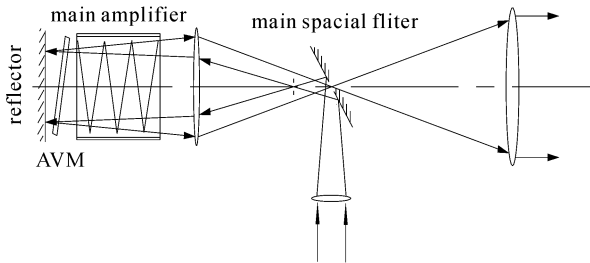


图 1 带角变反射镜的主放大器单元结构图

Fig. 1 Schematic plan of one cell main amplifier with AVM

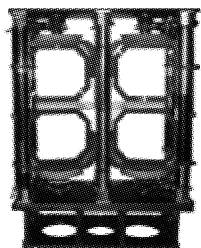


图 2 角变反射镜组合结构图

Fig. 2 Picture of AVM structure

主放大器运行在高能量和高功率状态,插入 AVM 后运行的安全性必须得到保证。AVM 实质上是通过将一部分光反射出主光路来实现能量衰减的。我们认为随着反射率的增加,反射光偏出主光

路的角度也随之增大,应该是一种比较安全的工作模式。为此在工程设计中对早期的 AVM 膜系作了修改^[6]。

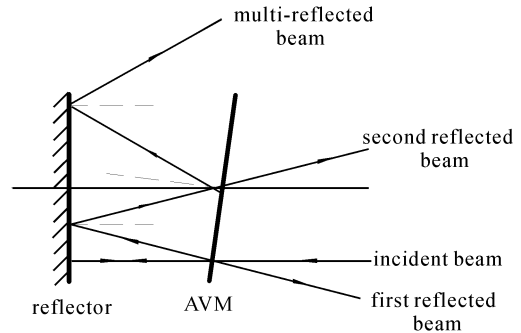


图 3 角变反射镜的反射光

Fig. 3 Reflected beams of AVM

当然,反射光能够完全偏出主光路最好,但由于空间限制难以做到。图 3 是 AVM 的反射光示意图,经 AVM 3 次反射后的光已经偏离主光路,因此具体考虑一、二次反射光。现在用简化的模型对 AVM 的最小安全角 θ_{\min} 进行理论计算,光路如图 4 所示,图中给出最靠近 AVM 的一个钨玻璃片。钨玻璃片与光轴的夹角 $\theta_0 = 32.6^\circ$,设激光束为口径 $D = 200$ mm 的平行光,AVM 与光轴的夹角为 θ ,AVM 的一次反射光和两次反射光的边缘光线用特征光线 1 和 2 表示。假设特征光线 1 和 2 与最靠近的钨玻璃片的边缘相交,也就是 AVM 的一次反射光和两次反射光不能进入最靠近的钨玻璃片,这时由几何关系得出计算公式分别如下

$$\tan 2\theta_{\min} = D / \left(627 + \frac{D}{2} \cdot \cot \theta_0 - \frac{D}{2} \cdot \tan \theta_{\min} \right) \quad (\text{特征光线 1})$$

$$\tan 2\theta_{\min} = \left[D - (206 - \tan \theta_{\min} \cdot \tan 2\theta_{\min}) \right] / \left(206 + 627 + \frac{D}{2} \cdot \cot \theta_0 - \frac{D}{2} \cdot \tan \theta_{\min} \right) \quad (\text{特征光线 2})$$

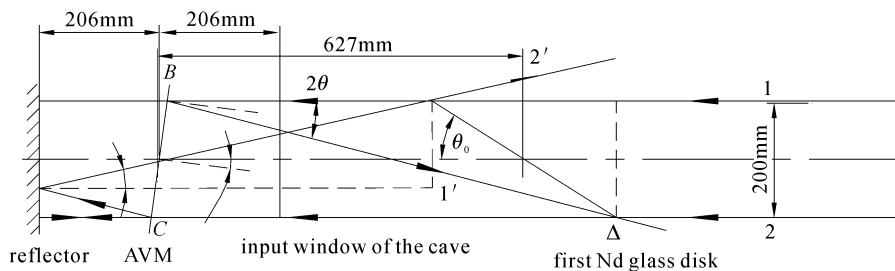


图 4 最小安全角度计算光路示意图

Fig. 4 Calculation schematic plan of the θ_{\min}

计算得 θ_{\min} 分别为 7.28° 和 5.49° , 所以 AVM 的最小安全角为 7.28° 。只要 $\theta > \theta_{\min}$, AVM 反射光和铍玻璃不会相交。

本设计采用的 AVM 工作角度 $17^\circ \leq \theta \leq 28^\circ$, 透过率为 $97\% \sim 80\%$, 透过率变化率为 $1E-3/\text{步}$ 。

为保证每一单元的 AVM 反射光不会对相邻光路产生影响, AVM 组合调整架中四个单元之间设置隔板。

3 安全性考察

AVM 方案安全性考察主要有两方面。第一, AVM 反射光是否会对器件产生直接的破坏作用。如果产生, 其破坏现象应该是严重的, 经过几次作用就足以显示出来。第二, AVM 反射光在聚光腔体内部引发的散射光会不会对器件产生破坏作用。这种作用如果存在, 其破坏现象轻微, 要经过长期积累才能被观察到。

为了避免不必要的损失, 我们首先对一路 AVM 方案进行安全考核。

实验 1: 考虑到几何关系和反射率损耗的综合效应, 我们将插入主放大器的 AVM 工作角度放置在 23° 。激光输出能量由 100 J 递增到 500 J 。在大能量发射后, 经过检查主放大器系统一切正常, 并无破坏发生, 如表 1 所示。

实验 2: 激光输出能量保持在 450 J 左右, AVM 工作角度由 17° 变化到 29° 。实验后检查, 系统一切正常, 并无破坏发生, 如表 2 所示。

表 1 安全考核实验 1 的结果

Table 1 Result of the security check 1

Angle / ($^\circ$)	23	23	23	23
Energy / J	108.12	210.57	355.88	482.54
Main amplifier	Normal	Normal	Normal	Normal
Damage	None	None	None	None

表 2 安全考核实验 2 的结果

Table 2 Result of the security check 2

Angle / ($^\circ$)	17	21	25	29
Energy / J	473.37	468.86	455.88	420.54
Main amplifier	Normal	Normal	Normal	Normal
Damage	None	None	None	None

接着将 4 单元 AVM 组合调整架吊装到神光 II 装置北路主放大器中, 进行多路 AVM 的安全考核,

同时检查 AVM 反射光有无窜入相邻各路主放大器的情况发生。经过连续 10 发每路输出 450 J 左右的大能量实验, 各路主放大器系统均未发现异常。

以上实验表明, AVM 反射光受到控制, 并没有对主放大器产生直接的破坏作用。

4 AVM 膜片透过率曲线在线测量实验

AVM 基频功率平衡控制的依据是透过率随入射角度的变化曲线, 所以 AVM 透过率曲线的精确测定是很重要的。由于 AVM 膜板口径很大, 膜层通常存在不均匀性, 激光束有一定的场分布, 此外各膜板在总体光路上的初始取向也不尽相同, 因此, AVM 透过率曲线的在线测量是需要的。

测量 AVM 透过率曲线采用神光 II 装置能量卡计测试系统, 小能量发射(棒状放大器工作)。 θ 角的变化范围为 $17^\circ \sim 33^\circ$ 。 $R(\theta)$ 为 AVM 不同 θ 时 $\phi 200 \text{ mm}$ 卡计和 $\phi 70 \text{ mm}$ 卡计的比值, R_0 是无 AVM 时的比值。AVM 双程透过率 $T^2(\theta) = R(\theta)/R_0$, 测量精度优于 $2\% \text{ RMS}$ 。实验获得 8 路透过率衰减曲线如图 5 所示, 对应 17° 的透过率为 $95.14\% \sim 98.26\%$, 对应 33° 的透过率为 $64.53\% \sim 72.40\%$ 。

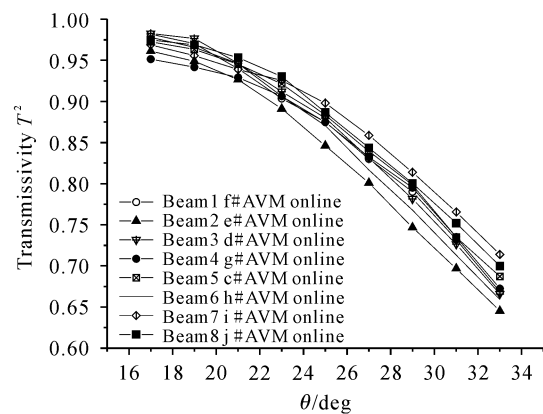


图 5 8 路角变反镜在线测定的透过率衰减曲线

Fig. 5 Online AVM attenuation curves of eight

5 AVM 能量平衡总体实验

AVM 新方案总体实验考核的第一步就是用来实现多路激光系统能量平衡。能量平衡的基本原理是调节各路 AVM 膜片的水平偏转角来改变主放大器的透过率和增益, 从而达到多路能量平衡。根据在线测量得到的 AVM 膜片透过率数据进行曲线拟合, 采用 AVM 专用计算机自动平衡控制系统进行了神光 II 装置北 4 路基频能量平衡实验, 取得了预

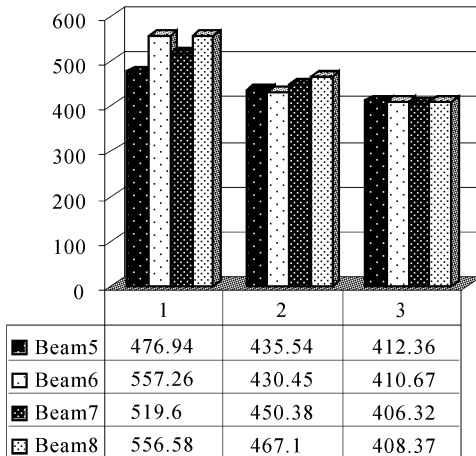


图 6 平衡前后北四路基频输出能量
Fig. 6 North 4 beams ω energy of before and after balance

表 3 平衡前后的极值能量和 AVM 位置

Table 3 North 4 beams ω energy and AVMs' position of before and after balance

	Beams	5	6	7	8	Balancedegree
1-Before balance	Position of AVM (Steps)	1207	1207	1207	1207	
	Output energy of ω /J	476.94	557.26	519.6	556.58	RMS 7.22%
2-First Balance	Position of AVM (Steps)	1207	1922	1814	1893	
	Output energy of ω /J	435.54	430.45	450.38	467.1	RMS 3.70%
3-Second balance	Position of AVM (Steps)	1207	1892	1933	2074	
	Output energy of ω /J	412.36	410.67	406.32	408.37	RMS 0.64%

参 考 文 献

- J. A. Caird, R. A. Lerche, R. B. Ehrlich *et al.*. Precision Power Balance [R]. ICF Quarterly Report, Lawrence Livermore National Laboratory, Livemore, CA. UCRL-LR-105821-94-1, October~December 1993, **18vc**(1):10~17
- Masahiro Nakatsuka. Status report of New Gekko System—Power balance control [R]. ILE Osaka University. JAPAN-US-CHINA WORKSHOP on interaction of strong EM wave with plasma. Feb. 22~23, 1996, Osaka, Japan
- Tang Lijia, Liu Renhong, Cai Xijie *et al.*. Control of unit amplifier gain in built-up double-pass coaxial amplifiers [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(1):126~128 (in Chinese)
- Huang Jie, Cai Xijie, Lin Zunqi. Study on film attenuator of variable angular [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(8):1008~1011 (in Chinese)
- Wei Rong, Cai Xijie, Lin Zunqi. Effect of angular variable mirror on light beams of SHENGUANG II laser system [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(7):869~873 (in Chinese)
- Tang Lijia, Cai Xijie, Lin Zunqi. Precise attenuation measurement of angular variable mirror used in "SHENGUANG II" main amplifiers [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2002, **A29**(1):79~81 (in Chinese)

期的结果,如图 6 所示,相应的数据处理结果列于表 3。激光系统初始的能量不平衡度为 7.22% RMS (超过能量平衡要求 5% RMS)。根据初始的基频激光能量数据进行第一次能量平衡控制,能量不平衡度降低到 3.70% RMS;再根据第一次平衡后能量数据进行第二次能量平衡控制,能量不平衡度进一步降低到为 0.64% RMS,实现了高精度能量平衡。我们只进行了两次能量平衡操作就使多路激光系统能量不平衡度降低到 1% RMS。实验表明大口径 AVM 主放大器计算机控制系统能够在高能量负载情况下完成主放大器透过率精密连续可调,不但性能良好,工作有效,而且使用方便。

致谢 感谢马维新老师的指导以及刘坦、张志祥、杨琳、毕纪军、刘仁红和运行组同志的大力支持。