

文章编号 :0253-2239(2002)01-0126-03

组合式双程同轴放大器中单元放大器的增益控制*

唐立家 刘仁红 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”激光系统主放大器组合结构的特点,提出了一种利用角变反镜(AVM)实现单元放大器的增益控制的新方案,分析了角变反镜衰减引起的双程放大器增益的变化。

关键词: 角变反镜;增益;透过率

中图分类号:TL632+.1 文献标识码:A

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”激光系统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。世界其它国家同类型的高功率激光系统(如美国的“NOVA”,日本的“GEKKO III”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]。但“神光 II”激光系统的主放大器为两台组合式双程放大器,即每四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单独控制。但是,可以采用在各单元放大器中加入角变反镜(AVM)的方案来实现主放大器中单元放大器的增益控制,进而协同其它部分共同实现“神光 II”激光系统的功率平衡。

2 理论分析

角变反镜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。使用它的优点是光束各部分均匀衰减,不改变光束口径,性能稳定。根据主放大器的结构,角变反镜在光路中的位置如图 1 所示。

主放大器采用了双程放大的机制,角变反镜实质上是在第一程放大和第二程放大之间引入了一个集中损耗,因此角变反镜并不能对第一程的放大起任何作用,它只是使第二程放大的输入能量密度得

到了衰减。

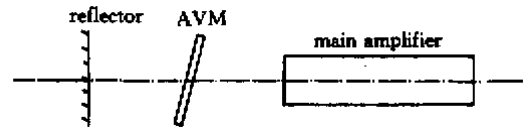


Fig.1 The position of AVM in the optical setup

令第一程放大的输入、输出能量密度分别为 E_{i1} 和 $E_{o1}(L)$,第二程放大的输入、输出能量密度分别为 E_{i2} 和 $E_{o2}(L)$,则在不考虑全反镜损耗的情况下有: $E_{i2} = E_{o1}(L) \cdot T^2$,其中 T 为角变反镜透过率, L 为放大器的单程有效长度。可以合理地假定第一程激光进入放大器前工作物质内初始反转粒子数密度是均匀分布的,则第一程放大和第二程放大的增益可表示成下列形式^[2]:

$$G_1 = \frac{E_{o1}(L)}{E_{i1}} = \frac{E_s}{E_{i1}} \ln \left[1 + \exp \left(\frac{E_{i1}}{E_s} - 1 \right) g_1 \right] \exp(-\alpha L), \quad (1)$$

$$G_2 = \frac{E_{o2}(L)}{E_{i2}} = \frac{E_s}{E_{i2}} \ln \left[1 + \exp \left(\frac{E_{i2}}{E_s} - 1 \right) g_2 \right] \exp(-\alpha L), \quad (2)$$

其中, E_s 为饱和能量密度, α 为吸收系数, g_1 、 g_2 分别为第一程和第二程放大的小信号增益,分别定义为

$$g_1 = \exp(\sigma \Delta n_0 L), \quad (3)$$
$$g_2 = \exp \left[\sigma \int_0^L \Delta n'_0(z) dz \right] =$$

$$g_1 \exp \left\{ \frac{-A}{2E_s} \left[E_{o1}(L) - E_{i1} + \alpha \int_0^L E_{o1}(z) dz \right] \right\} \quad (4)$$

* 国家科委高技术 863 资助课题。

式中 σ 为发射截面, Δn_0 为初始反转粒子数密度, $\Delta n'_0(z)$ 为第一程放大后反转粒子数密度分布, 参数 A 代表弛豫效应的影响, 其定义为

$$A = A_2 + A_1 \exp\left(-\frac{\delta}{\tau}\right), \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{1 + k_1 \exp(-\delta/t)}{1 + k_1} \\ A_2 &= \frac{1 + k_2 \exp(-\delta/t)}{1 + k_2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

k_1, k_2 分别为激光上能级和下能级在亚稳态和终态的玻耳兹曼分布常数, t 为子能级弛豫时间, τ 为终态寿命, δ 为第一程和第二程放大之间的时间间隔。

在光路中加入角变反镜对第一程放大没有影响, 所以 $\Delta n'_0(z)$ 不受角变反镜的影响, 因此在角变反镜透过率变化时 g_2 也是不变的。而 $\exp(-\alpha L)$ 是一常数, 所以 G_2 仅随角变反镜透过率的变化即 E_2 的改变而改变。以 g''_0 为参变量, 假设损耗为 0, 即 $\exp(-\alpha L) = 1$ (这不会影响定性分析), 可以作出 G_2 随 E_2 变化的关系曲线, 以及第二程输出能量密度 E_{o2} 随 E_2 变化的关系曲线分别如图 2、图 3 所示。

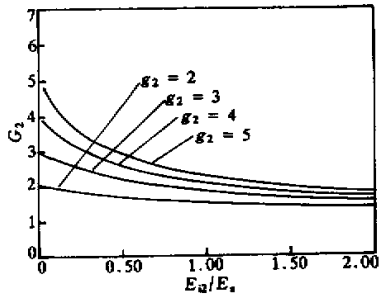


Fig.2 Gain vs input fluence of the second amplification

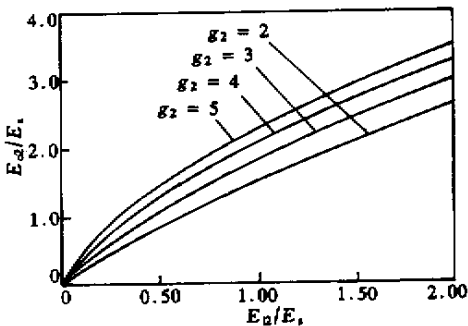


Fig.3 Output fluence vs input fluence of the second amplification

由图 2、图 3 可以看出, 在第一程输入 E_{i1} 不变的前提下, 随着角变反镜衰减的增大, 第二程输入能量减小, 第二程放大的增益随之增加, 第二程的输出

E_{o2} 随之减小, 而双程放大器总增益

$$G = \frac{E_{o2}}{E_{i1}} = G_1 G_2 T^2$$

随之下降。

3 数值模拟分析

取一组主放大器的特征值进行分析: 小信号增益系数为 $\beta_0 = \sigma \Delta n_0 = 0.064 \text{ cm}^{-1}$, 吸收系数 $\alpha = 0.005 \text{ cm}^{-1}$, 单程有效长度为 $L = 28 \text{ cm}$, 增益饱和能量密度 $E_s = 4 \text{ J/cm}^2$, 第一程输入能量密度 $E_{i1} = 0.2184 \text{ J/cm}^2$ 。主放大器第一程、第二程放大的时间间隔 $\delta \approx 12.7 \text{ ns}$, 这一时间与弛豫时间 t 相当, 所以^[3] $A \approx 1.412$ 。将上述数据代入(1)式、(2)式、(3)式、(4)式, 可得主放大器的总增益为

$$G(T^2) = G_1 G_2 T^2 =$$

$$15.92 \ln\{1 + [\exp(0.2523 T^2) - 1] \times 5.151\} \quad (7)$$

令 $T^2 = 100\%$ 时的总增益为 G_0 , 做出归一化的总增益 $\frac{G(T^2)}{G_0}$ 随角变反镜衰减变化的关系曲线如图 4 所示。由该图可以看出, 总增益几乎随角变反镜透过率的降低线性地减小。

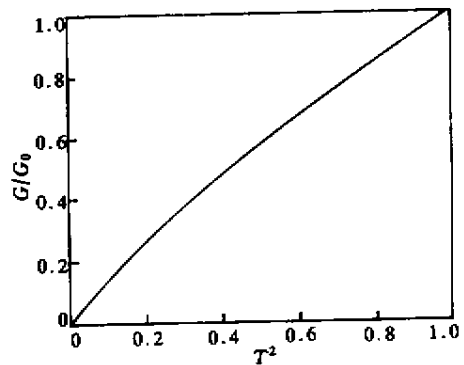


Fig.4 Unitary gain vs AVM transmissivity

取 $T^2 = 85\%$, 由(7)式可求得 $G_0 = 14.4489$, $G(85\%) = 12.7831$, 所以此时总增益降为 G_0 的 88.5%。再用变率方程数值求解的方法^[3] 对上述特征值进行数值计算, 可得相应的 $G'_0 = 14.8993$, $T^2 = 85\%$ 时 $G'(85\%) = 13.1364$, 即降为 G'_0 的 88.2%。而两种方法计算出的总增益之间的差别是由于上述分析中采取了集中损耗近似所致。但也正是由于采用了集中损耗近似, 才得以能够求出总增益随角变反镜衰减变化的解析表达式, 由两种方法得出的角变反镜衰减对总增益的影响来看, 这种近似基本上反映了实际情况。

参 考 文 献

- [1] Caird J A , Lerche R A , Ehrlich R B *et al.*. Precision power balance. *ICF Quarterly Report* , October ~ December 1993 ,18卷(1):10 ~ 17. Lawrence Livermore National Laboratory ,Livmore ,CA. UCRL-LR-105821-94-1
- [2] Fan Dianyuan , Yu Wenyan. High power multi-pass amplifier. *Lasers J.*(激光) ,1980 ,7(9):1 ~ 6(in Chinese)
- [3] Liu Renhong , Tan Weihai. An exact solution for laser amplification. *Acta Physica Sinica*(物理学报) ,1995 ,44(7):63 ~ 68(in Chinese)

Control of Unit Amplifier Gain in Built-up Double-Pass Coaxial Amplifiers

Tang Lijia Liu Renhong Cai Xijie Lin Zunqi

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

(Received 23 November 2000 ; revised 25 December 2000)

Abstract : In accordance with the built-up structure of the main amplifier in “ SHENGGUANG II ” laser system , a new scheme of using angular variable mirror (AVM) to control unit amplifier gain for power balance is proposed. The gain change of double-pass amplifier caused by the AVM attenuation is analysed.

Key words : angular variable mirror ; gain ; transmissivity