

文章编号: 1001-4322(1999)05-0551-04

# MOPA 系统建立中的三个技术问题<sup>\*</sup>

马景龙, 马维义, 王孝君, 单玉生, 龚 坤

(中国原子能科学研究院, 北京 275-7 信箱, 102413)

**摘 要:** 介绍了原子能科学研究院准分子激光研究室在建立 MOPA 系统中遇到的几个技术问题及解决方案。该系统已于 1998 年 12 月完成了系统整体的同步, 并进行了单束的同步放大工作。

**关键词:** MOPA 系统; 同步; 种子光; 激光开关; KrF 激光; CaF<sub>2</sub>

**中图分类号:** TN78<sup>+</sup>.1; TN722.3<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A

脉冲压缩是高功率 KrF 激光用于 ICF 需解决的技术问题。脉冲压缩有 SBS、SRS、角多路等方法, 我室采用角多路法。电子束泵浦的激光器输出脉宽一般在 100ns 以上, 如果以单束种子光提取, 效率太低, 所以使用不同角度的多束种子光顺序提取。我们的种子光是由一台 LAMBDA PHYSIK 公司生产的 LPX-150 产生的, 脉宽 23ns。种子光经过一次空间滤波后, 通过两次分束, 产生四束间隔 25ns 的子光束, 利用其中的三束, 从三个角度扩束后注入预放大器, 经预放大器双程放大后通过透镜变为平行光束。这三束光各自再经过一次分束, 变为间隔 25ns 的六束光, 注入主放大器<sup>[1,2]</sup>双程放大, 最后光束经过消除时间延迟, 利用透镜聚焦在靶上。在 MOPA 系统的建立过程中, 我们遇到了许多需要解决的技术上的问题, 这里介绍实验中发现的三个问题及其解决方法。

## 1 激光触发开关抖动的减小

要实现系统的同步, 要求种子光链条与预放大器 and 主放大器的电子束同步, 即种子光链条在放大的过程中, 始终处于电子束功率曲线中。用一台精密延时器 DG535 作为总控制器, 发出不同时刻的多路触发信号去分别触发种子光激光器 LPX-150、预放大器、主放大器和触发主开关的激光器 TOL-100A。LPX-150 出光的延时抖动为几个 ns, 满足要求。主要的抖动来自于两台放大器。这两台放大器的触发过程基本上是一样的。首先 DG535 发出一个 +30V 的信号去触发另一台输出 -600V 的触发器, 这个负信号再去触发一台用闸流管作为开关的触发器, 它输出 -30kV 信号, 然后用这个信号去触发一台输出 -150kV 的小 MARX 发生器(主放大器采用的是一台磁开关), 最后用 -150kV 的信号去触发主放大器的 MARX 发生器。MARX 发生器串联放电, 向脉冲形成线充电, 开关间隙上的电压达到击穿电压时, 主开关导通。实际上, 所有的高压气体开关器件都有较大的延时抖动, 包括小 MARX、主放大器的 MARX 发生器内的球隙开关以及主开关, 它们的导通时间在不同的条件下, 分散性很大。即使在触发信号及欠压比都优化<sup>[3]</sup>的条件下, 总的抖动也在几十 ns。采用激光触发主开关, 可以大大消除导通的分散性。

采用 KrF 激光器 TOL-100A 作为激光开关的触发器, 该激光器的参数为: 平行平面腔,

<sup>\*</sup> 国家 863 惯性约束聚变领域资助课题  
1999 年 6 月 15 日收到原稿, 1999 年 8 月 20 日收到修改稿。第五届全国激光科学技术青年学术交流会优秀论文  
马景龙, 男, 1968 年 8 月出生, 硕士, 助研

发散角大于 3mrad, 能量 160mJ, 半高宽 40ns。开关中充 0.3MPa 的 SF<sub>6</sub>, 对于 KrF 激光而言, 击穿阈值为 2GW/cm<sup>2</sup>[4]。预放大器有两个开关, 透镜焦距 10cm, 聚焦点在离高压电极 1cm 的位置。主放大器开关的透镜焦距 90cm, 聚焦点在高压电极的表面。即使不考虑光束传输中的各种损失, 激光器输出能量也远不足以触发两台放大器(三个开关)。如果将激光器平面平行腔改为非稳腔, 发散角降低为 0.3mrad, 输出 120mJ, 则完全可以满足触发两台放大器的任务。下表是两种腔触发开关所需要的最小能量。

表 1 两种腔触发开关所需要的最小能量

Table 1 The laser energy required to trigger spark gap

divergency	3mrad	0.3mrad
preamplifier	56mJ	0.56mJ
mainamplifier	4580mJ	45.8mJ

透镜材料为石英。实验发现, 经过 10~20 次放电, 透镜就会“发雾”, 注入球隙间的能量逐渐减少, 使得开关导通抖动增加。首先我们从溅射的角度来解决这个问题。提出了增加透镜焦距和偏离电场方向放置透镜的方法。经过实验发现, 透镜“发雾”, 并不是放电溅射产生的, 而是 SF<sub>6</sub> 在放电过程中与开关中的水蒸气反应生成 HF, HF 对石英的腐蚀使得透镜透过率下降。换为 CaF<sub>2</sub> 材料的透镜, 使用几百次放电后, 透过率未下降, 解决了透镜的寿命问题。

## 2 闸流管反击电压的消除

如上所述, 主放大器、预放大器、TOL-100A 的触发信号应在一定的时刻发出, 但是实验发现, TOL-100A 的触发信号偶尔有提前发出的现象。测量了 TOL-100A 的闸流管的触发信号。发现在闸流管导通后, 沿着触发线返回一个幅度 200V 的尖脉冲。这个反击信号经过小触发器的隔离, 回到 DG535 的幅度仍然有 40V。示于图 1。

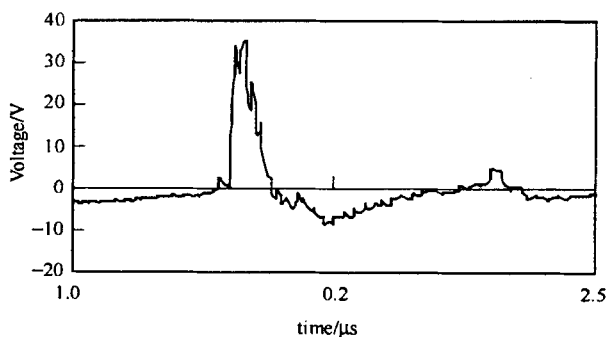


Fig. 1 Feedback of thyatron

图 1 闸流管的反击电压

反击信号从 DG535 的输出端耦合到内部, 扰乱了 DG535 的正常动作。为此需要衰减闸流管的反击电压。我们参考 EG&G 公司的产品说明书提出的四种方法, 如图 2 所示: (1) 二极管滤波, (2) 稳压管削波, (3) LC 滤波, (4) 光电隔离, 并对 (1)、(2)、(3) 进行了试验。对于 (1)、(2), 由于未找到合适的元件, 反击现象还不能消除。对于 (3), 在选取了合适参数的条件后效果非常明显, 图 3 显示了未加 LC 滤波和加了滤波后 DG535 另一路的输出波形。从波形上看, 如果不采取滤波措施, 则在正常输出方波前面产生一个尖脉冲, 就是这个脉冲提前触发了激光

器;而且使输出波形变坏。加了滤波器后,前面的尖脉冲被消除了,而且波形也变好了。虽然用一个简单的 LC 电路就可以解决闸流管反击电压的干扰问题,但从保护同步的核心部件 DG535 来说,应该采取(4)所示的光电隔离电路。因为 DG535 触发的后续电路是几十千伏以上的高压脉冲器件,经常存在着漏电、击穿以及对地放电的可能,高压脉冲有可能沿着触发线的芯线、外屏蔽线,或者地线返回来,打坏低压器件 DG535。所以下一步我们将在所有的触发线上串联光电隔离器。

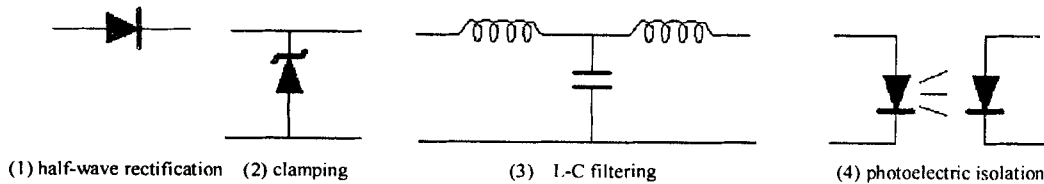


Fig. 2 Four proposed methods to eliminate the feedback of thyatron

图 2 消除闸流管反击电压的四种方法

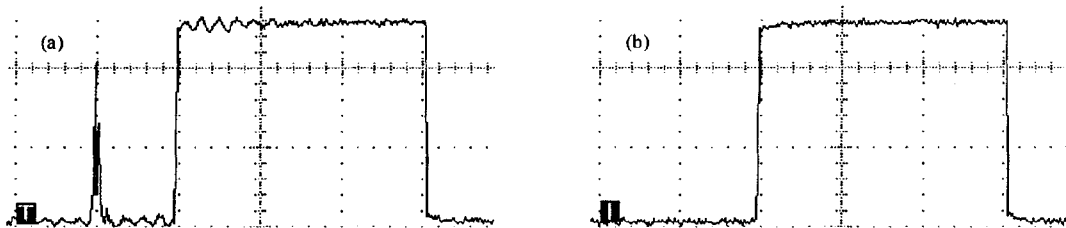


Fig. 3 Output of DG535 without (a) and with (b) filtering

图 3 (a)未加 LC 滤波和(b)加 LC 滤波时 DG535 输出波形

### 3 种子光的选取

种子光的选取是一个非常重要的问题。光束品质采取其它方法加以改善,我们着眼于输出能量的最佳化。LPX-150 工作在单脉冲状态时,输出能量有较大的不稳定性。而在连续脉冲工作几分钟后,输出能量有一段稳定的时间。我们目前采取的方式是:首先让 LPX-150 以连续方式工作,同时监测输出的激光时间信号,从信号的幅度判断输出能量的高低。由于放大器和 LPX-150 使用的是同一台触发器 DG535,所以在放大器加压的过程中 LPX-150 的触发就得停下来。加压结束,由 DG535 发出触发信号,完成一次放大过程。这里有一个问题,加压的过程需要持续几分钟,LPX-150 在等待放大器加压的过程中“冷却”下来,用于放大的那一个种子脉冲可能正好处于输出能量下降的时候。为解决这个问题,我们考虑了几种选择种子光的方法。可以完全保证输出足够能量的方法是在给放大器加压的同时,让 LPX-150 连续运转,并获取 LPX-150 的激光时间信号,给定一个幅度阈值以判别它的输出能量是否满足要求,当激光信号的幅度大于给定的阈值时,判别电路向放大器的触发器发出触发信号。但是由于放大器从触发信号到电子束到达激光腔需要 1 微秒以上,为了使种子光和电子束同步,种子光就要绕行几百米。经过这样长距离的传输,种子光从品质和能量上都会严重下降。所以这种方法是不可行的。其它的方法都是基于对被选种子光前面的脉冲的观察。有两种实现方法,一种是通

过一个逻辑电路,首先让 LPX-150“预热”一连续运转,而截止放大器的触发信号。当幅度判别电路判别到前几个脉冲的幅度都大于设定的阈值时,即认为 LPX-150 输出稳定,下一个脉冲被选为种子脉冲。此时开启放大器的触发信号,下一次触发即完成一次放大。另一种更简单的方法是通过软件来实现控制逻辑。我们用 Labview 编写了一个控制程序,用它来控制 DG535,可以满足种子光选取的任务。

#### 4 小结

简单介绍了“天光”装置在构成 MOPA 系统中所遇到的激光开关透镜寿命问题、同步控制中间流管反击电压问题,以及种子光的选取问题。采用  $\text{CaF}_2$  代替石英玻璃,延长了透镜的寿命,采用滤波的方法,克服了闸流管的反击电压对低压电器 DG535 的干扰,采用逻辑控制软件,基本解决了种子光的选取问题。这些结果都已应用在 MOPA 系统中。

#### 参考文献

- 1 Ma Weiyi, Shan Yusheng. *Chinese Journal of Laser*, 1996, **B5**:485
- 2 马维义,周坤刚等. 强激光与粒子束, 1999, **11**(3):277
- 3 赵荣生等. KrF 激光触发气体开关的实验研究. 强激光与粒子束, 1994, **6**(2):23
- 4 Woodworth J R, Forst C A and Green T A. UV laser triggering of high-voltage gas switches. *J Appl Phys*, 1982, **53**: 4734-4742

### THREE TECHNICAL PROBLEMS IN MOPA SYSTEM

MA Jing-long, MA Wei-yi, WANG Xiao-jun, GONG Kun, SHAN Yu-sheng  
*China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-7, Beijing, 102413*

**ABSTRACT:** Jitter of the laser triggered switch, feedback of the thyatron and output instability of the discharge pumped KrF laser as a front-end were discussed, and solutions were given.

**KEY WORDS:** MOPA system; synchronization; seed pulse; laser triggered switch; KrF laser,  $\text{CaF}_2$