

激光 12 号实验装置——高功率激光技术的新成就

激光 12 号实验装置是建立在中国科学院上海光学精密机械研究所的一台大型高功率激光实验装置。它的输出功率高达 10^{12} 瓦量级，并配有物理实验用靶室及全套诊断测量设备，是世界上为数不多、国内规模最大的激光系统。

装置的研制始于 1980 年，经过二年的技术论证和预研，三年半的工程建造和调试，二年多的运行考核和打靶实验，于 1987 年 6 月通过国家级鉴定，并被正式命名为“神

光”装置。

鉴定委员会的专家们一致确认：“神光”装置是我国激光技术发展的重大成就，达到了国际同类装置的先进水平，并有若干独创性成果，是我国跟踪世界高技术领域的一个范例。它的建成为进行世界前沿领域的激光物理实验提供了有力的手段，也对国防尖端科研和国民经济有重要意义。

一、“神光”装置概貌

装置的目的与用途决定了它的指标、规模和技术路线，同时也决定了所能得到的投资强度与重视程度。“神光”装置既有长远的战略目标又有近期的阶段性应用，两者互相依存、互相促进。

研制“神光”装置的长远目的是用来进行“惯性约束聚变”研究。从根本上说，人类的能源来自核聚变反应，这就是发生在太阳上的“重力约束聚变”。近40年前，在地球上实现了不可控的热核反应，这就是氢弹的爆炸。为了获得几乎是取之不尽的新能源，必须使这一反应在可控的条件下持续地进行。为实现这一理想，30多年来，科学家用托卡马克装置进行了“磁约束聚变”的研究。近10多年来，又提出了另一条新的技术路线。它的基本原理是把强大的激光束聚焦到热核材料制成的微型靶丸上，在一瞬间产生数千万度的高温和上千万个大气压的压力，被高度压缩的稠密等离子体在因惯性而扩散之前，即完成全部核聚变反应。这就是“惯性约束聚变”。许多国家的实验室已经在 10^{12} 瓦量级的激光装置上做了大量研究工作；美国、日本则已走过这一阶段，进而建立了 10^{13} 瓦及 10^{14} 瓦的装置，并着手建造更大规模的激光器，期望在不远的将来实现激光热核“点火”。激光聚变的最后成功并投入工业应用还要走漫长的道路，但是，许多阶段性的应用对科学研究和国防尖端科研有直接的实用价值，相干X射线激光的产生就是其中的一个典型例子。为了及时地跟踪这一高技术的发展，“神光”装置的研制是十分必要的。

下面从四个方面具体叙述。

(一) 对激光器的要求

惯性约束聚变对激光器的输出光束有十分苛刻的要求，主要有：

(1) 激光的波长 已有的理论分析和实验结果表明：波长过长，大部分光能量从靶面反射，不能有效地用于靶的加热，而且会产生有害的“过热”电子；波长过短，激光会穿透靶而逃逸，同样不利于靶的加热。10几年来的大量实验表明，0.2—0.5微米的波长是适宜的。用最合适的波长，靶对激光的吸收率可高达80%以上。“神光”装置采用掺钕玻璃作激光器的工作物质，发射波长为1.054微米，较为偏长。需要利用非线性晶体(如KDP)把红外光转换为短波长激光，以满足今后打靶实验的需要。

(2) 激光脉冲宽度 从惯性约束的基本原理容易理解激光脉冲的持续时间不能太长，否则等离子体早已膨胀飞散，激光能量不能充分利用。但脉宽也不能太小，不仅有技术上的困难，而且会在靶面集中过高的激光功率，由此衍生出许多有害的非线性光学效应。因此适宜的激光脉冲宽度与靶的尺寸有关，一般在 10^{-10} — 10^{-9} 秒范围。根据近期物理实验的需要，“神光”装置的激光脉宽确定为0.1, 1和3纳秒，今后还将增加20—30皮秒

量级的脉宽。

(3) 激光脉冲的信噪比 这里借用了电子技术的术语,指的是:激光脉冲的峰值功率(信号)与主脉冲到达靶面以前的背景杂光功率(噪音)之比。这是一个很重要的参数,如果信噪比不高,背景杂光过大,就会在主脉冲到达之前先把靶烧蚀了,整个靶加热过程就会失控,甚至完全失败。高的信噪比是对激光器极其苛刻的要求。因为任何激光在产生过程中不可避免地存在着背景光,即使在极限情况下,也还有量子噪音;而且激光放大器对低功率杂光的增益大于主激光,同时还要叠加放大器产生的背景光。“神光”装置对信噪比的要求是大于 10^6-10^7 ,要采取很多技术措施才能达到这一指标。

(4) 激光束的光学质量(发散度) 光束的质量决定了被会聚透镜聚焦后在靶面上光能量的集中程度。即使是一个理想的激光束,由于光的波动本性也不可能聚成几何点,而是总有一定的发散度。这个最小的极限发散度称为“衍射极限”,可用来作为度量实际光束质量的基本单位。对“神光”装置这样的大型激光系统,要获得高质量的光束是极其困难的。根据应用的要求,光束发散度的指标确定为0.13毫弧度,相当于10倍衍射极限。为此,付出了高昂的代价。主要的技术措施有以下三方面:首先是要求装置中的光学材料有极高的均匀性,允许的折射率涨落(Δn)必须小于 $2-4 \times 10^{-6}$,数百个大口径光学元件的表面平度必须加工到十分之一波长以内;其次,放大器氙灯照射靶玻璃所引起的热形变必须足够小;最后,要严格地控制强光通过光学元件所造成的非线性波象差。在研制“神光”装置过程中,我们还采用了一项先进的技术——自适应光学技术去补偿材料和元件不完善,大幅度地改善了光束的质量。

(5) 激光脉冲的能量 能量的高低决定了所能进行的物理实验的等级,同时也决定了装置的规模和造价,它们是相互制约的。根据现阶段的实际需要与可能,“神光”装置的最大输出能量是1000焦耳(每束激光,共两束)。为此需要近50台套各种激光器件,数百个光学元件,300多支氙灯,20多台充电机,2500台电容器和8公里大容量高压电缆等。

(二) 对靶室的要求

靶室是高功率激光和靶发生相互作用的场所,是进行物理实验的核心部件。它一方面要和激光器系统对接,把光束精确地引导并聚焦到靶上;一方面又要把各种形式的微型靶可靠地固定,并在XYZ三维方向上精密地定位;同时还要便于安放测量高温等离子体参数的各种诊断设备。“神光”装置的靶室规模、结构和性能参数就是依据这些要求确定的。

核心部分是两个半径为1米的近似半球与一圆柱环合成的不锈钢椭球。长轴1.3米,短轴1米。椭球中心有固定靶的靶架及传动机构。外表面开有52个窗口,用于物理探测、光学调整及主激光输入。位于椭球长轴两端的激光入射窗口直径为300毫米,在其内侧各放置一块聚焦透镜,可以通过导轨沿长轴方向精密平移。在通过靶心的水平面上,放置二个相互垂直的定位监视显微镜,用以重复确定靶的中心位置。由于聚焦后的激光具有极高的功率密度,足以使空气电离而击穿,所以整个不锈钢球内部必须保持 10^{-6} 托(1托=133.322帕)以上的高真空。为此,配备了四台分子泵和一台离子泵组成的真空机组,有效抽速达 10^3 升/秒。

研制这一靶室的难度不仅在于很大的规模，更在于物理实验有极高的精度要求。例如，用于聚变实验的空心玻壳靶，壁厚不到 1 微米，内部充以高压氖氟气体，靶直径只有 100 微米左右。黑洞靶实验中要求聚焦的高功率激光束准确地穿过直径 100—200 微米的洞口，射入靶的内侧壁。冲击波实验中的台阶靶，台阶厚度约 10—15 微米，要求聚焦光束的焦斑有十分均匀的强度分布，等等。为此，靶室必须达到如下的性能指标：

(1) 聚焦透镜弥散圆小于 10 微米 专门设计了消像差的非球面-球面型透镜，配以精密加工工艺及检验方法。

(2) XYZ 三维定位精度均达 ± 5 微米 使用目视（二维测微目镜）、光电及电视摄像三套并行的定位装置，可实现高精度的瞄准，定位和换靶的全自动操作。

(3) 调焦精度 ± 5 微米 建立了一套微机控制的自动调焦系统，确保靶面准确地位于透镜的焦点处。

(4) 两束激光的共焦精度 5 微米。

(5) 两束激光同步精度 10 皮秒。

(6) 大焦斑靶面能量分布的不均匀度小于 15%。采用我们独创的列阵透镜，获得了极好的靶面均匀照明。

综上所述，“神光”装置的靶室是一个精密机械、精密光学和微机自动控制的综合体，若干性能指标已达到国际先进水准。

(三) 对诊断测量设备的要求

诊断测量设备可分成两大类：一类是测量注入到靶上的激光参数，另一类是诊断靶在激光作用下的状态参数。两者皆备，才能把物理实验结果真正拿到手。

第一类测量包括下列 9 项：

(1) 能量卡计，测量激光器输出能量、每次发射的能量涨落、两束光能的平衡及靶面反射能量。

(2) 条纹相机，测量激光脉冲的宽度和波形。

(3) 列阵相机，测量激光束的发散度。

(4) 硅光电导器件，测量激光脉冲的信噪比。

(5) 三平板剪切干涉仪，测量激光束的波面曲率半径。

(6) 监漂仪，测量光束方向的角漂移。

(7) 条纹相机辅以 KDP 晶体和光纤，抽测两束光到达靶面的同步性。

(8) 灵敏卡计，抽测 ASE（放大的自发辐射）。

(9) 二维光强显示仪，抽测大焦斑照明均匀性。

第二类诊断要根据具体的物理实验来选定，下面列举一些常用的测量设备：

(1) X 射线针孔相机、X 射线条纹相机，X 射线晶体谱仪，亚千 X 射线谱仪、荧光谱仪以及 X 射线卡计。

(2) 受激散射谱仪及散射光能量卡计。

(3) 电子能谱、离子能谱测量仪。

(4) 闪烁体和 BF_3 中子探测器。

(四) 对实验室环境的要求

为保证物理实验的顺利进行，要求装置能长期稳定地运行，实验室环境是不可忽视的重要条件。如前所述，微球靶只有 0.1 毫米大小，从激光振荡器发出的光脉冲经过上百个元、器件和近 100 米光路后，是否能精确地命中靶球，不仅取决于事前瞄准的精度，在很大程度上也决定于实验室环境的安定；否则可能会打偏，甚至脱靶。在建造“神光”装置的同时，我们认真改善了实验室环境，主要有以下几方面：

(1) 地基的隔振 建造了高质量的隔振地基，整个装置全部放置在这个地基之上。尤其是激光光源和靶室所在处，地基的振幅均控制在 2 微米以内。经测定，由此引起的光束角偏移小于 2"。

(2) 气流的控制 一方面精心设计了空调系统的进风和回风通道，工作区的气流速度降低到小于 0.5 米/秒；同时，把经过实验大厅的激光光路全部用管道密封起来。前级激光器所在的小厅采用密闭式结构。

(3) 温度恒定 在同一轮物理实验周期内，实验室温度变化控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内。

(4) 保持干燥 全年相对湿度保持在小于 60%，以保护光学元件，特别是防止磷酸盐钽玻璃潮解。

(5) 空气净化 对高功率激光系统来说，环境的洁净是至关重要的。空气中的尘埃会引起光束局部衍射，从而引起局部强区的非线性增长，不仅破坏了光束质量，严重的还会造成光学元件的永久性损伤。尽管已采取了若干措施，实验室内的洁净度仍不理想。因此，对特别重要的设备，如片状放大器，在特备的 100 级超净室内清洗安装，密封后再放入光路使用。

二、“神光”装置的激光系统

激光系统是“神光”装置二大主体之一，关系整个装置的成败。这里具体介绍它的总体结构、特点和运行性能等。

(一) 总体设计和技术方案

作为激光系统的基本单元，有四类器件：振荡器，放大器，光开关和隔离器，空间滤波器；以及上百个不同功能的光、机、电元件和组件。只有通过总体设计把它们恰当地组合起来，才能充分发挥作用，实现物理实验所要求的总体指标。

“神光”装置总体设计具有下列特点：

(1) 分析了国外同类装置的经验，参考了美国 Shiva、Argus 装置成功的总体结构；同时又立足于本国的实际条件，以两年预研取得的第一手数据作为总体设计的依据。

(2) 建立了用于总体设计的计算机程序，对激光系统的总体性能进行了详尽的计算机模拟研究。定量地评价各种可能的方案，从中择优选定一种合理、稳妥、综合效果优良的方案。

(3) 注意了总体和单元之间的协调，合理地分配指标。明确规定了各分系统及主要单元的技术要求和性能指标。

实践证明，总体设计是成功的，系统的实际性能和方案的预期符合良好。

总体设计的要点如下：

(1) 选定激光工作物质 在当时国际上仅有硅酸盐钕玻璃系统的情况下，我们果断地选择了磷酸盐钕玻璃作为激光系统的工作物质。这是基于对增益能力、负载强度、非线性系数和总体造价等参数作了详尽、定量的综合评估后作出的决策。当初的预计已被证实，磷玻璃成功地使用于“神光”装置是激光系统具有先进性的重要标志。

磷玻璃材料本身的研制取得了重要的进展。它的理化参数和激光性能均达到了总体设计的要求，并且和国际先进水平相当。

(2) 放大器系列的选型和增益的定量计算 比较了当时国际上已有的两大类型放大系列的优劣，结合我们的实际情况，选定了二路放大，棒、片放大器组合，末级口径 200 毫米的方案。为确定需要的放大级数，必须定量地计算增益。我们改进了光能流传输方程：

$$\begin{cases} d\beta/dt = -\beta I/E, \\ dI/dZ = (\beta - \alpha)I - \gamma I^2 \end{cases}$$

它有二个特点：第一，考虑了磷玻璃对激光脉冲的双光子吸收所引起的非线性吸收（体现于 γI^2 项）。实验证明，它对多级放大器总增益的影响是不可忽视的。第二，初始增益系数是根据实验确定的半经验公式确定的，它和放大器氙灯的泵浦强度直接相关。这样不仅提高了计算的可靠性，而且可以进而确定氙灯、储能电容、充电电压等的有关参数。上述特点，在很大程度上保证了设计参数和实测结果相符。

(3) 非线性效应的控制和 B 积分计算 由材料的非线性折射率 (n_2) 引起的自聚焦效应，是高功率激光系统中最为严重的问题，自聚集会造成光束截面上的局部强区，从而破坏光束质量，甚至使元件永久性损伤。它在很大程度上限制了激光系统所能达到的输出水平。控制这种非线性效应是总体设计的一个重要内容。除了选用低 n_2 的材料外，主要的措施就是采用像传递和空间滤波技术。此外，还要合理地分配各元件承受的激光功率密度。为了最好地发挥上述措施的效益，必须有一个定量描述的手段，这就是 B 积分：

$$B(t, r, Z) = \frac{8\pi^2}{\lambda_0 C} \times 10^7 \int_0^z \frac{n_2}{n_0} I(t, r, Z) dZ,$$

它能够反映非线性效应严重的程度。它的数值和总体排布有关，因此可以反过来作为总体设计的一个依据，寻求使 B 值最小的最佳方案。

另外，自聚焦还同时引起光脉冲频率的“啾啾”和光谱加宽。同样可以通过 B 积分来计算：

$$\Delta\omega = dB/dt。$$

(4) 光束质量的指标分配 前面已说明过，可以用衍射极限 θ_a 作为度量光束质量的单位，“神光”装置规定的总体指标是 $10\theta_a$ 。在总体设计中，我们根据技术上的现实可能性，将总指标合理地分配到以下四个主要方面：

总体 $10\theta_d$	材料不均匀性	$4\theta_d$ 相当于 1.2λ 波差
	元件表面面形	$4\theta_d$ 相当于 1.2λ 波差
	放大器热畸变	$6\theta_d$ 相当于 1.8λ 波差
	非线性效应	$6\theta_d$ 相当于 1.8λ 波差

注意到各部分不完善对光束质量的影响均带有随机性，所以分指标和总指标之间是均方根关系。

(5) 激光脉冲的初始时空参数 作为初始条件，必须确定激光系统输入端脉冲的时空参数。时空参数包括脉冲的宽度和波形。我们假定振荡器输出脉冲形状是接近高斯形的，而脉冲宽度则可取一系列不同的值。空间参数指脉冲强度在横截面上的空间分布，为计算简单，取6级超高斯形。无论是时间或是空间参数，在传输和放大过程中都会变化。从最后系统输出的脉冲时空特性中，选择最接近总体指标的结果，从而反过来确定振荡器应有的脉冲参数。

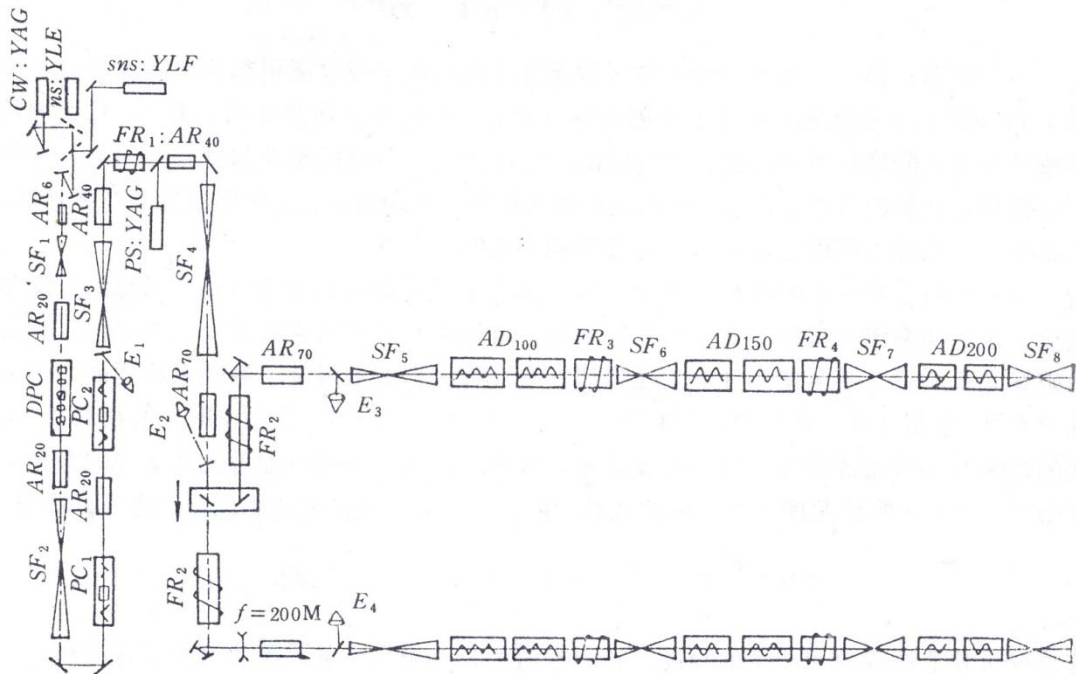


图 1

根据以上的设计原则，我们编制了计算机程序，进行总体方案的评估和选择。这个计算程序，根据预研得到的第一手实测结果作为原始输入数据，可计算出以下各项总体参数及其它参考参数：

- (1) 末级输出能量及各级光能流。
- (2) 末级激光脉冲的宽度、波形及其在横截面上的变化。
- (3) 总体及级间的 B 积分值。
- (4) 各级负载的光功率密度及其在横截面上的分布。
- (5) 非线性波象差的均方根值。

- (6) 总体电光能量变换效率。
- (7) 各种主要元件、材料数量。
- (8) 非线性光谱加宽。
- (9) 填充因子。
- (10) 放大介质激发态折射率的影响。

最后选定的总体方案及光路排布如图 1。

(二) 激光系统中各元、器件及材料的性能

根据总体设计的要求，确定了各单元的性能参数。它们已经全部达到预定要求，这不仅保证了“神光”装置的顺利建成，而且也较全面地反映了在激光技术上所取得的进展和水平。兹列举如下：

1. 激光器件

(1) 振荡器

- 准连续主动锁模和 Q 开关振荡器

脉宽 100ps，幅度稳定性 5%。

- 单纵模调 Q 振荡器

脉宽 50ns，经削波开关后可达 1—3ns，经光电导开关后可缩短为 600—800ps。幅度稳定性 5%，波形光滑。

(2) 放大器

- 棒状放大器

工作口径	增益系数 β	不均匀性 $\Delta\beta/\beta$ (80%口径内)
20mm	0.16/cm	3.8%
40mm	0.084/cm	11.3%
70mm	0.044/cm	28%

- 片状放大器

工作口径	钽玻璃片数	增益系数	不均匀性
100mm	6	0.083/cm	10%
150mm	4	0.066/cm	13%
200mm	3	0.054/cm	15%

(3) 脉冲选择器和削波器

消光比 (双级) 优于 10^6 ；透过率 (全匹配液结构) 65%。

(4) 磁光隔离器

工作口径	隔离比	透过率
70mm	500 : 1	87%
100mm	>200 : 1	85%
150mm	450 : 1	86%

2. 光学材料及加工精度

(1) 磷酸盐钕玻璃

受激发射截面 $3.5 \times 10^{-20} \text{cm}^2$; 光吸收 $0.177\%/\text{cm}$; 非线性折射率 $1.06 \times 10^{-13} \text{esu}$; 均匀性 $\Delta n = 2-4 \times 10^{-6}$ 。

(2) 包边玻璃

折射率匹配 $\Delta n \leq 0.01$; 剩余反射率 $\leq 1\%$; 吸收系数 $\sim 50/\text{cm}$ 。

(3) 特种光学玻璃

均匀性 $\Delta n = 2-4 \times 10^{-6}$;

非线性折射率 $1.6 \times 10^{-13} \text{esu}$;

光吸收 $\sim 0.15\%/\text{cm}$ 。

(4) 光学平面加工平度

口径 100 毫米以下时 $1/20\lambda$ ($\lambda = 1.06\mu$);

口径大于 100 毫米时 $1/10\lambda$ 。

3. 光学薄膜

(1) 反射膜

反射率误差 $< 1\%$; 破坏阈值 $15 \text{GW}/\text{cm}^2$ 。

(2) 偏光膜

p 分量透过率 $\geq 96\%$;

s 分量透过率 $\leq 1\%$;

破坏阈值 $15 \text{GW}/\text{cm}^2$ 。

(3) 增透膜

剩余反射率 $\leq 0.1\%$; 破坏阈值 $15 \text{GW}/\text{cm}^2$ 。

4. 光泵供电系统

(1) 供电能源

供电路数 204 路; 总能量 4×10^6 焦耳; 充电时间 60 秒; 电压等级 5, 20, 25KV; 电压精度 $\pm 0.1\%$ (振荡器用)、 0.5% (放大器用)。

(2) 光泵氙灯

$\varnothing 15 \times 350$: 爆炸能量 ($500\mu\text{s}$) 8KJ

$\varnothing 20 \times 350$: 爆炸能量 ($500\mu\text{s}$) 11KJ

$\varnothing 20 \times 1200$: 爆炸能量 ($500\mu\text{s}$) 40KJ

(三) 在使用中不断提高

“神光”装置建成后,投入打靶实验的实际使用。激光系统已先后经受了成千次发射的严格考核。有些指标超过了原定的要求,图 2 展示的是二个例子,它们是在两种脉宽下的最高发射能量。激光波形是用条纹相机测得的。可见最大功率已超过 10^{12} 瓦的 25% 以上。当然,也存在不足和问题,它推动着我们去改进和提高。应用自适应光学技术改

进光束质量就是一个例子。它利用插入光路的一块可变形反射镜，通过适当的改变镜面的局部形状，补偿光学材料和表面面形不完善造成的像差，使北路光束的质量由 11 倍衍射极限改进到 $8\theta_d$ ，而南路光束质量则由 $8.5\theta_d$ 提高到 $6\theta_d$ 左右。

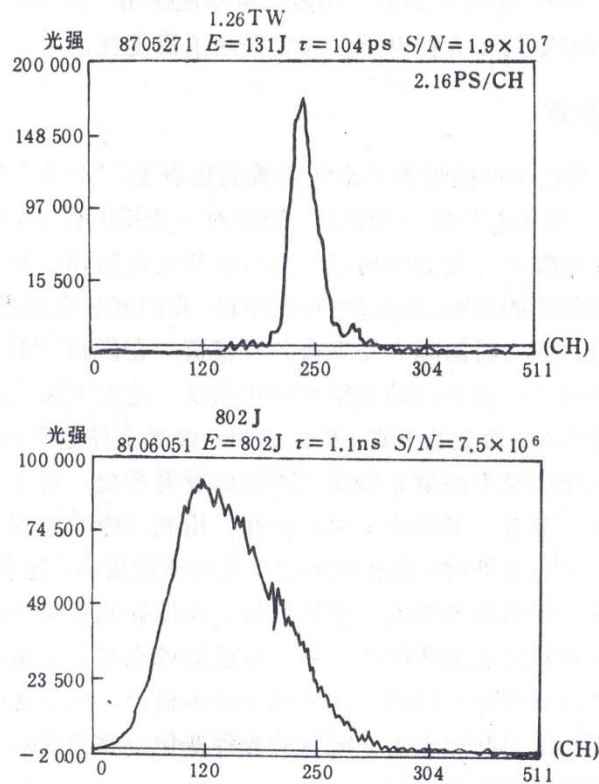


图 2

三、“神光”装置的靶室系统

靶室是“神光”装置另一个主体部分。它的概况已在前面介绍过，这里着重介绍三项达到国际先进水平的成果。

(一) 超高精密伺服反射镜

这种反射镜用于引导激光束进入真空靶室，是联接二大主体——激光系统和靶室系统的关键部件。它的精度和稳定性是决定激光能否准确地击中 0.1 毫米量级靶球的主要因素。它的结构参数应达到如下指标：

通光口径	300mm
角度调整范围	$\pm 2\text{mrad}$ ($\sim 400''$)
角调整精度	$< 3\mu\text{rad}$ ($\sim 0.6''$)
镜座稳定性	$< 3\mu\text{rad}/30\text{min}$
结构自振频率	10—20Hz
阻尼时间	$< 2.5\text{s}$

我们采用了弹性差微动机构、十字簧板支承、滚珠丝杆驱动。这种机构具有精度高，微动量极小，主要件为内摩擦、无间隙等优点，并在不提高驱动件加工精度条件下提高了调节精度。但是除了高调节精度外，还需要好的稳定性。每次调节之后，发生自由振动，振动周期长达 2—3 分钟，实际上影响了精度，也不便使用。经多次试验，选定乳胶海绵为阻尼器，振动周期缩短到 2.5 秒以下，大大提高了稳定性。

(二) 光电自动调焦系统

“调焦”的含意是把靶准确地置于聚焦透镜的焦点上。“神光”装置总体指标规定调焦精度为±5 微米。它要求对任何一次调焦，靶相对于透镜的位置，均能重复在 5 微米公差范围内。这是极高的要求，过去所用过的刀口法和电视摄像法都达不到这一精度，而且还受操作人员主观判读的影响。还在 70 年代中期，我们就独立地提出了光电调焦原理，作了成功的判断实验，而当时国际上尚未有公开报道。在研制“神光”装置时，我们作了若干技术改进，制成了一套全自动高精度调焦系统，达到国际先进水平。

它以线偏振连续 YAG 激光为光源，扩孔成 200 毫米直径的平行光束，通过聚焦透镜照射到待定靶上。从靶面反射的激光沿原光路返回发射系统，用分光镜取出，通过一透镜把光束会聚成小点，穿过一个合适口径的小孔，用光二极管监视其幅度。光电法的基本点在于当靶恰好位于焦点处时，反射光穿过小孔的能量最多，靶在焦前或焦后位置时，能量透过率都要下降。用微机处理这一差值信号，反馈控制步进马达，指挥聚焦透镜沿轴前后移动，就能自动地完成调焦操作。这一方法的难点在于 5 微米的精度已经小于焦深，一般的技术是难以分辨的，同时，任何部分的不稳定，包括地基的微振动，光路上气流的微小抖动，都足以引起远大于 5 微米的光程变化。我们在物理上、技术上——解决了这些问题，才实现了预定的目标。

(三) 靶面均匀照明

许多前沿的物理实验都迫切要求聚焦到靶上的激光焦斑，有极好的空间均匀性。已经证明，通常所用的聚焦方法不可能达到这一要求。靶面均匀照明问题，已成为世界范围的攻关难题。我们在多年基础光学研究和技术积累的基础上，提出了具有独创性的物理思想和设计方案，加上高难度的光学加工，成功地解决了这一问题。我们设计制作了一个特殊的“列阵透镜”，它由几十个正六角形的小透镜紧密地并接而成，总直径为 200 毫米。它和原有的非球面透镜组合使用，就能实现大焦斑面的均匀照明。它的结构参数为：

非球面主聚焦镜：	口径 200mm
	焦距 340mm
小六角形透镜：	口径 30mm
	焦距 19m
	同心度≤10"
	焦距一致性 $\Delta f/f \leq 1.5 \times 10^{-2}$
靶面几何光斑直径	54μm

用这一组合透镜进行了平面靶和台阶靶的冲击波物理实验，获得了十分均匀的照明，

产生了波阵面极为平坦的冲击波。这一结果是国际上发表的同类实验中最好的结果。我们的这一独特方法，得到国际上同行科学家的高度评价，被称为“上海方法”。

四、装置的物理应用

“神光”装置正式投入使用后，运行良好。在使用过程中不断有所发展，不仅超过了原设计要求，而且比鉴定指标又有大幅度的提高。装置的应用领域进一步拓宽，取得一批国际一流水平的物理实验成果，择要列举如下：

1. 惯性约束聚变实验研究

主要进行辐射驱动的基础研究。在黑腔靶内获得 130 eV 辐射温度，并实现了辐射驱动出中子的目标。在我国激光聚变研究史上具有里程碑意义。

2. 材料在极高压下的状态方程

采用独创的列阵透镜均匀照明技术，在台阶靶中获得十分平直的冲击波阵面，从而精确测出冲击波速度和压力。在国际上首次用激光法获得 Fe 和 SiO₂ 的冲击绝热线，压力范围分别为 (0.35—0.82) TPa 和 (0.21—0.41) TPa。特别是利用飞片空腔靶实现了高倍增压，在铝中的最高压力达三千多万大气压 (3.3 TPa)。

3. X 射线激光实验研究

在国际上首次观察到复合机制的类锂硅在 5f—3d (8.89nm) 和 5d—3p (8.73nm) 跃迁的明显增益；还实现了类锂钙、类锂钾和类锂钛离子在 4f—3d 跃迁的 X 射线激光增益，波长分别为 5.77 nm、6.47 nm 和 4.7 nm。

在类氙锆碰撞机制的高增益 X 射线激光研究中，采用独创的多靶串接方案，取得了 23.2 nm 和 23.6 nm 的饱和增益，最大 GL 值（增益靶长乘积）达 17 左右。用拉长靶间距的方法改善 X 射线的射线束质量，发散角达毫弧度量级。

INTRODUCTION TO LASER-12 FACILITY

Deng Ximing, Fan Dianyuan and Yu Wenyan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Laser-12 Facility, named “SHEN-GUANG”, is the largest Nd: glass laser system in China. The general technical performances of the facility have reached an internationally advanced level in comparing with the similar facilities in the world.

It consists of laser driver subsystem with two beams, high accuracy target chamber, diagnostic subsystem and laboratory environment engineering, etc. The output laser power is up to 10¹² W for each beam with diameter 200 mm and wavelength