

开拓创新 持续发展中的神光装置

朱健强*

(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)

关键词 高功率激光物理,多功能高能激光系统,神光II装置

高功率激光物理国家实验室是中国科学院和中国工程物理研究院合办的跨部门的科学技术研究实体。实验室主要从事高功率激光实验装置的工程研制,开展高功率激光物理和技术的研究;保障激光装置高质量运行,并开展激光等离子体物理研究。

1986年,经王淦昌、王大珩院士倡导并在中科院和中国工程物理院的支持下,在上海光机所成立高功率激光物理联合实验室。实验室打破部门所有制,实行管委会领导下的实验室主任负责制。

实验室现有在编科技人员180余人,其中研究员18名,副研究员(或高级工程师)约40名,在学研究生60余人;先后有4位科学家当选两院院士。实验室通过20多年的发展,形成了专业配套、年龄结构合理、具有可持续发展能力的科研和激光工程技术梯队。在高功率激光驱动器的总体技术、先进单元、高水平运行等方面,取得了一系列重要的成果,打下了扎实的技术功底,积累了丰富的实践经验,是我国研制更大规模高功率激光装置不可或缺的核心团队之一。

神光II装置(包括8路装置和第9路装置两大部分)是目前国内已经投入运行的规模最大的高功率钕玻璃激光实验装置,其8

路基频激光输出总能力为6kJ/1ns,并可作倍频或三倍频运行,已经成为我国目前及今后更长时间内在惯性约束聚变(ICF)、X光激光和高能量密度物理等前沿科技基础领域开展研究工作的重要实验平台。该装置在2001年通过了中科院、中物院联合主持的技术鉴定和验收,2002年获上海市科技进步奖一等奖,2004年2月获首届中科院杰出科技成就奖,2005年获国家科技进步奖二等奖。

有关神光II装置的8路激光基本情况已在《中国科学院院刊》(No.1, Vol.20, 2005)上做了简介。

2002年底启动的为神光II装置配套的多功能高能激光系统(简称第9路),于2005年基本建成投入试运行。这一束激光的基频输出能力达到5.2kJ/3ns,倍频和三倍频转换效率大于50%,装置能够提供一束输出能量更大、输出脉冲宽度等特性都不同于神光II 8路的激光束,作为探针光,能够为物理实验提供主动的诊断手段,使物理实验人员更加全面、准确地了解有关等离子体的物理现象状态,定量地理解有关物理过程和物理规律。同时也为相关物理实验提供了重要的更大能量的驱动激光,而且为研制皮秒帕瓦激光系统创造了放大链路的必要条件。

第9路的建成不仅满足了我国惯性约

* 中科院上海光学精密机械所高功率激光物理国家实验室主任(E-mail:jqzhu@mail.shcnc.ac.cn)
收稿到日期:2010年1月5日

束聚变研究不断发展中的需求,也大大地促进了我国高功率激光技术的发展,为我国在未来建造更大规模的高功率激光器积累了有益的经验。

安放第 9 路激光器的实验大厅于 2003 年开始基建施工,2004 年 4 月交付使用。

2004 年 5 月开始第 9 路器件的安装调试,2005 年 5 月 10 日器件投入试运行,至 2008 年 1 月器件共打靶及发射大能量近

800 发次,满足了物理实验的需求。

2008 年 1 月完成了全部 8 类 16 项指标的测试,测试结果表明第 9 路研制项目全面达到设计要求(见表 1)。

研究水平和研制工作中解决的关键技术问题:

(1) 集成波导前端。国内领先水平的集成波导前端实现了单纵模、高稳定、高同步精度、高对比度、快前沿和满足高通量光谱

表 1 第九路研制项目指标

	指标要求	2006 年测试结果	2007 年测试结果
路数口径	1 束末端口径 $\Phi 350\text{mm}$	通光口径 $\Phi 350\text{mm}$, 光束口径 $\Phi 325\text{mm}$	通光口径 $\Phi 350\text{mm}$, 光束口径 $\Phi 315\text{mm}$
基频输出能量	4 500J/3ns	5 177J/3.3ns	5 126J/3.4ns
短脉冲基频输出能量	300J/100ps	309J/60ps	—
倍频输出能量	2 250J/3ns,效率 >50%	2 795J/3.2ns,效率 72.2%	—
三倍频输出能量	2 250J/3ns,效率 >50%	2 422J/3.3ns,效率 55.9%	2 689J/3.4ns,效率 55.2%
四倍频输出能量	200J/3ns	301J/3.5ns	—
小口径短脉冲四倍频	0.2J/80ps	0.5J/71ps	—
输出基频能量涨落	15%(RMS)	7.9%(RMS)	—
梯形脉冲	前后沿 <300ps	前沿 <100ps,后沿 <150ps	前沿 <200ps,后沿 <250ps
与八路激光延迟调整	$\pm 5\text{ns}$	$\pm 5\text{ns}$,分辨率 6.7ps	—
与八路激光同步抖动	<80ps	15.7ps(PV),4.3ps(RMS)	—
激光束角漂	$\leq 5''$ (RMS)	1.25''(RMS)	—
激光方向性	5 倍衍射极限(包含 70%以上能量)	3.5 倍衍射极限(包含 70%以上能量)	2.8 倍衍射极限(包含 70%以上能量)
靶定位瞄准精度	30 μm (RMS)(F/4.5)	27.2 μm (RMS)	—
激光束近场分布	填充因子 0.6	最好 0.63	最好 0.62
大焦斑均匀照明	幅度涨落 2%—5%(RMS)	间接测量 <4ps(RMS)	直接测量 横向 4.94%(RMS) 纵向 4.21%(RMS) 间接测量 ~4ps(RMS)



中国科学院

需求及复杂整形等的需求。系统已在两年多的神光Ⅱ及其第9路装置运行中得到了全面的考核,性能达到了设计要求,确保了第9路的顺利达标。其中若干指标已超过国外同类装置的水平。

(2) 研制出了国内最大口径的 $\Phi 350\text{mm}$ 激光放大器、 $\Phi 200\text{mm}$ 磁光隔离器和 $\Phi 400\text{mm}$ 能量计。

(3) 采用棱镜的色分离技术。国内首次在理论和实验上研究了基于棱镜色散特性的三倍频谐波分离技术,在考核实验中基本达到了各项功能和具体的指标要求。对神光Ⅱ升级项目三倍频谐波分离的方案有很好的参考价值,对未来我国建设更大规模的高功率激光装置中三倍频谐波分离的方案有重要的指导意义。

(4) 远场光束质量的控制。在确保大口径光学元件表面加工质量的基础上,针对试运行中暴露出的高能激光束经过小孔时的堵孔现象,重新设计了空间滤波器输入透镜的表面形状,并结合对笔形光束的控制,使大能量发射时,基频终端输出激光的波前畸变小于 2.5λ ,远场分布70%的能量集中在5倍衍射极限以内。

(5) 鬼像和笔形光束的控制。通过结合对远场光束质量控制的理论模拟计算和设计,有效地控制了激光器高能发射时鬼像和笔形光束对光学元件的破坏,保证了器件的安全运行。

自2000年以来的10年中,神光Ⅱ装置为多轮物理实验提供了3000余发次的有效物理打靶实验,装置的运行成功率近80%,为国际同类装置的先进水平,为激光聚变等相关基础实验研究取得一系列重要进展提供了根本的保障。

2007年正式启动的神光Ⅱ装置升级项目,将实现8路三倍频激光输出能力

24kJ/3ns的高水平技术指标,第9路系统将增加1kJ/(1—10)ps基频激光的输出功能,不仅能支持开展更高水平的激光聚变研究,而且可支持开展“快点火”前期物理研究工作。

美国能源部于2009年3月31日宣布, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) 已经建成世界上最大的激光装置——国家点火装置 (National Ignition Facility)。国家点火装置将在实验室验证点火,实现能量增益。目前,激光聚变研究已成为最热门的世界性前沿领域之一,它将在战略安全、清洁能源及高能密度物理等研究中发挥极其重要的作用。

神光Ⅱ装置(含第9路激光装置)在多年物理实验研究的基础上,进一步拓展并细化定向物理实验研究,在国家重大战略安全研究方面取得了若干具有标志性的重要实验结果。同时,装置将进一步开放在高能量密度物理、天体物理及材料等前沿基础领域的研究。

2008年9月,由中、日、韩三方8个研究单位组成的联合实验小组在神光Ⅱ装置(8路加第9路)上进行了一轮成功的无碰撞冲击波实验。无碰撞冲击波是天体物理中非常重要的现象之一,也是天体物理研究的热点之一。人们通过对超新星爆发过程的观测,已多次记录到了无碰撞冲击波的产生,同时观测到大量的高能宇宙射线和高能离子。但该现象形成过程复杂,也存在着大量的不稳定性。

一直以来,科学家们只能被动地在天空中观测到上述现象。此次联合实验小组进行的一轮无碰撞冲击波实验,是在神光Ⅱ装置上模拟进行的。实验人员通过对感兴趣的部分进行操控,观测实验现象,从而验证天体物理对超新星爆发过程中无碰撞冲击波的产生机制的推论,并对伴随其产生的高能宇

宙射线及高能粒子的加速过程获得进一步了解。

由于该物理实验对装置有许多特殊要求,因此装置运行工作面临着新的挑战。在联合实验室科技人员的努力下,神光Ⅱ装置在要求多变的情况下,激光输出保持了稳定可靠的状态。中外联合实验小组在神Ⅱ装置上拍出了满意的图片,得到了预想的实验结果。联合实验小组认为,神Ⅱ装置与他们曾使用过的英国卢瑟福实验室的 Vulcan 装置、日本大阪大学的 Gekko-XII 装置相比,其输出的激光质量达到国际先进水平,而在靶场运行服务、神光第 9 路探针光模式多样性方面,更有其独到之处。同时,联合实验小组还就增强完善装置辅助性设施,扩大开放度,合作开展基础性、探索性研究,提出了建设性的意见,以期在神光Ⅱ装置平台上取得更多世界一流研究成果。

联合室来依托神光Ⅱ激光装置,在国家科技部的支持下,通过实施中、日、韩激光聚

变高能量密度物理项目的合作研究,建立了技术优势互补的国际合作平台,共同解决激光聚变装置研制过程中的技术难题。合作的目标是在亚洲北部、东部建立一套成熟的高功率激光聚变系统。2008 年 2 月 26 日,该联合实验室主任作为中、日、韩激光聚变高能量密度物理国际合作研究项目负责人,与日方项目负责人——日本大阪大学激光工程所所长 Kunioki MIMA 教授讨论了相互合作事宜,为进一步开展合作奠定了基础。上述合作为积极推进我国在激光聚变高技术领域的进一步快速发展,提升我国在该领域的国际影响和竞争力具有重要意义。

中科院开展高功率激光驱动器以及相关物理方面的研究已有 40 多年,不但拥有一系列激光装置,而且还集聚了一批优秀人才,在未来的发展中必将发挥更重要的作用。

(相关图片请见封二、封三)



中国科学院