

# 神光-III原型装置两极驱动的均匀照明研究

李平 赵润昌 王伟 耿远超 蒲昱东 栗敬钦<sup>†</sup>

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

(2013年9月3日收到; 2013年12月12日收到修改稿)

梳理了两极驱动的研究思路和神光-III原型装置两极驱动的研究内容; 提出了针对靶丸表面均匀照明设计的光束近似原则, 基于该原则建立了“逐次递进”的方法. 优化设计了不同条件下靶丸表面均匀照明的激光条件, 并对设计方法进行了数值模拟分析. 设计内容在神光-III原型装置上进行了初步的实验验证, 结果进一步支持了靶丸表面均匀照明设计的合理性. 研究结果为后续的实验设计和理论研究提供了指导方向.

**关键词:** 两极驱动, 神光-III原型装置, 均匀照明

**PACS:** 52.57.-z, 42.60.-v, 42.60.Jf

**DOI:** 10.7498/aps.63.085206

## 1 引言

在惯性约束聚变 (ICF) 的研究<sup>[1,2]</sup>中, 激光驱动方式存在直接驱动和间接驱动两种模式<sup>[3,4]</sup>. 两种模式对激光驱动器光路排布方式的要求有明显差异: 间接驱动模式的激光注入分布在两极, 以保证激光产生的X光对靶丸表面辐照的均匀性, 尽量减少黑腔内能量通过注入口的损失, 而直接驱动模式则要求激光等立体角辐照, 以实现靶丸表面的均匀照明.

目前, 世界上最先进的美国国家点火装置 (NIF) 为间接驱动设计, 但在进行中心点火的实验中发现黑腔有效耦合能量与预期相差较大, 未能实现点火<sup>[5]</sup>. 因此, 在间接驱动遇到了较大困难的背景下, 以直接驱动为基础的新型点火方式再次受到了更多关注; 随着激光驱动器精密控制技术的进一步提升 (束匀滑控制、高X光转换效率的靶材料、精密波形的控制等)<sup>[6-10]</sup>, 理论模拟表明, 间接驱动模式的光路排布不做改动, 仍有可能实现直接驱动的均匀照明. 保持间接驱动光路排布不变, 通过研究激光在靶丸上的能量沉积特性并优化设计激光的弹道点位置、焦斑形态和脉冲波形, 实现直接驱动的方式称为两极驱动<sup>[11,12]</sup>.

总体上, 两极驱动研究内容分为物理设计部分和驱动器设计部分, 物理设计内容主要包含建立激光等离子体相互作用及后续内爆过程的物理模型, 获得满足两极驱动要求的激光和靶的参数; 驱动器设计部分主要是针对物理需求, 对激光器输出的主要参数进行设计, 且设计结果需耦合驱动器的实际输出进行多次迭代<sup>[13]</sup>. 为有效推进神光系列激光装置两极驱动的设计, 从驱动器的角度出发, 兼顾物理, 提出了两极驱动照明设计的三个研究阶段: 一是球靶表面瞬间均匀照明的设计, 它是纯光学辐照设计; 二是球靶瞬间内爆均匀压缩的照明设计, 它需耦合激光与靶丸作用, 激光吸收等物理过程; 三是保持整个压缩过程的照明设计, 它需耦合动态压缩过程. 神光-III原型装置是基于间接驱动模式的设计, 它光束数目少, 入射角度单一, 较难满足两极驱动的所有条件. 但研究发现, 合理设计激光输入条件, 可以实现两极驱动前两个研究阶段的内容.

本文以神光-III原型装置为依托, 提出了一套球靶表面均匀照明的设计方法, 该方法对神光-III原型装置实现两极驱动的均匀照明进行了优化设计, 并基于装置上间接驱动所用的连续相位板, 开展了两极驱动的内爆实验研究.

<sup>†</sup> 通讯作者. E-mail: [sujingqin@hotmail.com](mailto:sujingqin@hotmail.com)

## 2 神光-III原型装置两极驱动均匀照明设计背景条件

### 2.1 神光-III原型装置

神光-III原型装置为间接驱动的光路排布,如图1(左)所示,它包含八束激光,上下成 $45^\circ$ 单环注入黑腔,八束激光在水平面的投影均匀分布.近年来,神光-III原型装置采用了连续相位板(CPP)对焦斑形态进行主动控制开展了大量的物理实验,该措施为装置开展两极驱动的研究提供了可能<sup>[14]</sup>.图1为原型装置间接驱动展开为直接驱动的基本原理示意图:图1(左)为“间接驱动”打靶方式,此时激光注入图中所示的黑腔;图1(右)是“两极驱动”打靶方式,这种打靶方式不需要黑腔,相比“间接驱动”打靶,“两极驱动”的变化体现在两个方面:1)黑腔的有无,间接驱动需要黑腔将激光转换成X射线完成对靶丸的辐照驱动,两极驱动没有黑腔,直接利用激光辐照驱动;2)激光的焦点和弹道点位置发生了显著变化,间接驱动激光聚焦于黑腔的注入口,而两极驱动聚焦于靶丸上.原型装置能量水平离两极驱动点火相差甚远,但涉及两极驱动的光路设计模型、关键物理过程等可依托装置开展实验.实验内容包含靶丸表面均匀照明设计、直接驱动下激光等离子体相互作用模型、激光吸收模型等,以上问题的解决可为两极驱动的模式建立、未来大型激光器两极驱动的设计奠定坚实的基础.

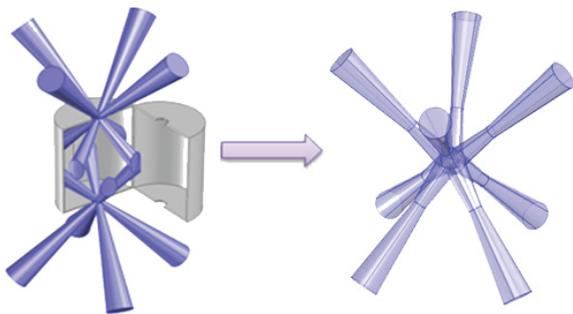


图1 神光-III原型装置间接驱动排布用于直接驱动的原理示意图

### 2.2 激光传输近似

神光-III原型装置内爆靶丸尺寸设计为 $400\ \mu\text{m}$ .在CPP对焦斑的整形大小与靶丸大小相当的条件,激光聚焦辐照靶丸如图2所示.激光参数如下:近场光束口径为 $290\ \text{mm}$ ,聚焦焦距为 $2.2\ \text{m}$ ,CPP整形焦斑大小为 $400\ \mu\text{m}$ (投影到水

平面).利用衍射理论可计算靶丸前后的焦斑形态分布,图3计算了焦点前后 $300\ \mu\text{m}$ 范围内的焦斑形态变化情况.由图可见,激光在焦点前后的小范围内有较好的保形能力,离焦引起的焦斑形态和均匀性的破坏均不会超过焦面上的 $10\%$ <sup>[15]</sup>.因此在靶丸大小的尺度范围内,激光焦斑可按均匀的柱状分布进行简化处理,柱截面与焦平面光束形态一致,图2对该近似进行了定性的图像解释.

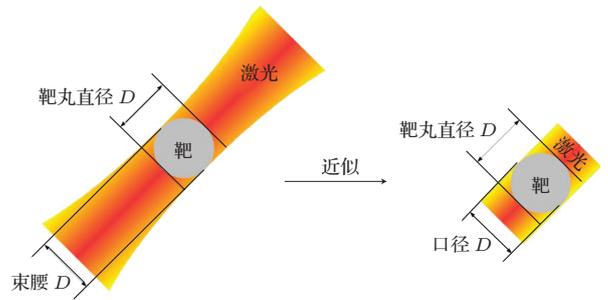


图2 CPP整形焦斑与靶丸尺寸相当时激光辐照靶丸的光束示意图

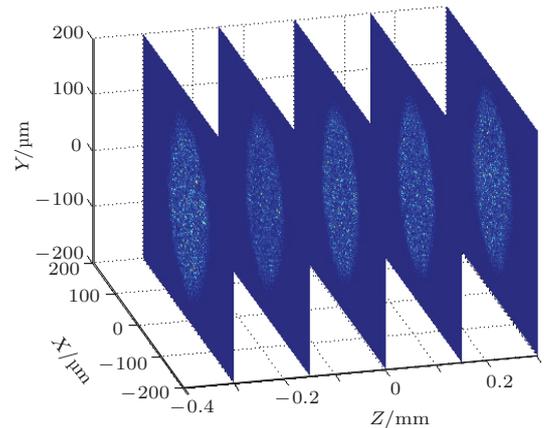


图3 (网刊彩色)基于衍射理论计算的神光-III原型装置打靶焦点及其前后( $-300\sim 300\ \mu\text{m}$ )的光强分布

### 2.3 焦斑轮廓近似

激光驱动压缩靶丸的最终目标是芯部物质达到高的面密度和离子温度,进而进行聚变反应,在同等激光驱动能量下,均匀辐照是实现高效压缩的重要条件.通常激光辐照靶丸的均匀性可分解为两部分:一是多束激光的不对称辐照引起的低频调制;另一部分是激光相干性引起的高频调制;其中低频调制影响内爆的芯部发射区的对称性和靶丸的最大压缩程度,高频调制则会给芯部发射区表面带来调制,诱发Rayleigh-Taylor不稳定性.已建立的内爆变形诊断技术(X光分幅相机和二维单能成像系统)可观测芯部发光区的对称性,观测的对称

性程度与低频调制紧密相关, 与激光相干性引起的高频调制无关. 本文所研究的激光均匀辐照是弹道点位置和焦斑形态的设计, 它主要影响靶丸表面辐照的低频调制, 因此靶丸表面的均匀照明设计将采用焦斑轮廓近似, 即考虑激光焦斑强度的低频轮廓和激光叠加所造成的光束调制, 忽略激光的相干性引起的高频调制, 设计的结果可通过芯部发光区的对称性程度进行实验验证.

靶丸表面照明的均匀性程度采用焦斑轮廓近似下靶丸表面有效光强分布的相对均方根(RMS)和相对最大峰谷值(PV)进行定量评价, 如(1)和(2)式所示, 其中RMS为靶丸表面有效光强的相对均方根, PV为相对最大峰谷值,  $\theta$ 为纬度,  $\varphi$ 为经度,  $I(\theta, \varphi)$ 和 $\bar{I}(\theta, \varphi)$ 分别为按纬度和经度展开的靶丸表面光强和平均光强.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\iint \left( \frac{I(\theta, \varphi)}{\bar{I}(\theta, \varphi)} - 1 \right)^2 d\theta d\varphi}{\iint d\theta d\varphi}}, \quad (1)$$

$$\text{PV} = \frac{\max(I(\theta, \varphi)) - \min(I(\theta, \varphi))}{\bar{I}(\theta, \varphi)}. \quad (2)$$

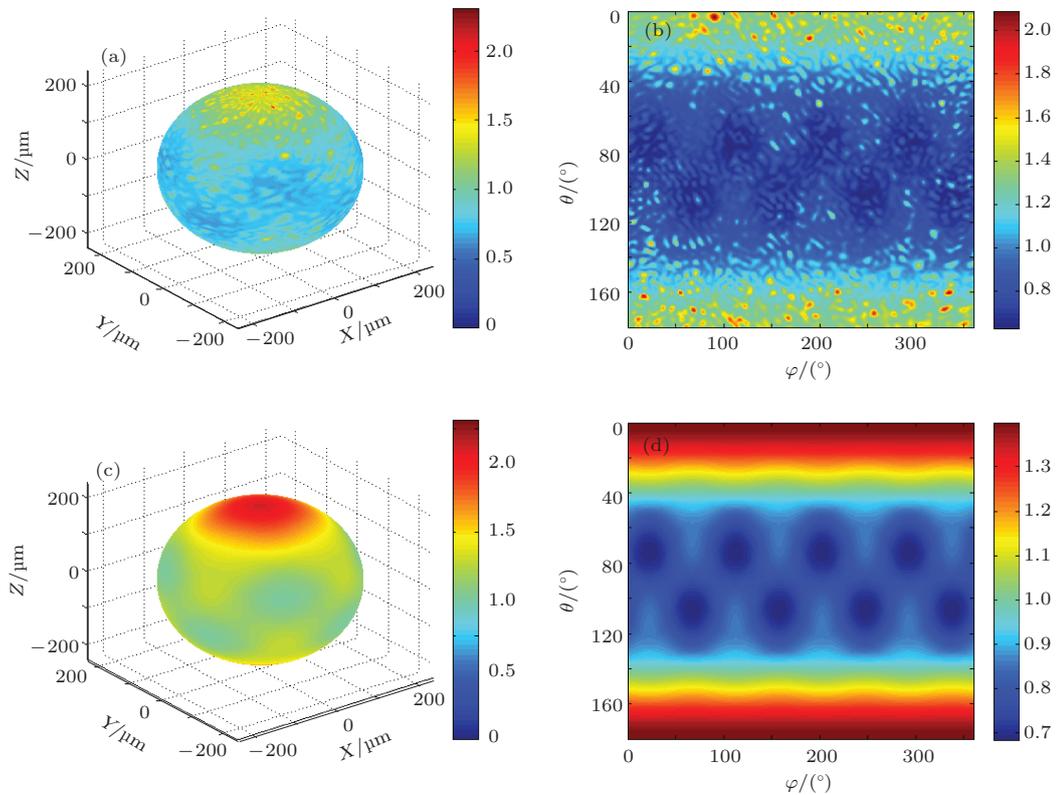


图4 (网刊彩色) 未采用和采用焦斑轮廓近似时靶丸表面光强分布的对比 (a), (b) 未采用焦斑轮廓近似的靶丸表面光强分布; (a) RMS = 0.245, PV = 1.45; (b) 偏离度  $\delta\theta = 0^\circ$ ; (c), (d) 采用焦斑轮廓近似靶丸表面光强分布; (c) RMS = 0.233, PV = 0.714; (d) 偏离度  $\delta\theta = 0^\circ$

图4列举了未采用和采用焦斑轮廓近似时靶丸表面的光强分布. 图4(a), (c)为靶丸表面辐照的三维分布, 图4(b), (d)是按纬度(纬度定义为与正上方向的夹角, 靶丸正上方纬度为 $0^\circ$ , 正下方纬度为 $180^\circ$ )和经度展开的光强分布, 其中图4(a), (b)未采用焦斑轮廓近似, 图4(c), (d)采用了焦斑轮廓近似. 由图可见, 采用焦斑轮廓近似后, 靶丸表面有效光强的RMS值剔除了光束中散斑带来的高频调制, 它的大小与所关心的辐照低频调制相关度更高, 便于分析靶丸表面辐照整体形态的特点.

### 3 神光-III原型装置两极驱动均匀照明设计

#### 3.1 靶丸表面光强均匀分布设计

靶丸表面均匀照明的设计内容为弹道点位置和焦斑形态优化, 如图5所示. 弹道点位置评价参数定义为瞄准点与靶心的角度偏差值, 激光瞄准靶心作为基准点, 原型装置各束激光具有环向对称特

点, 即光束在靶丸表面经度方向均匀分布, 因此弹道点的优化体现在靶丸表面纬度方向, 采用纬度方向的角度偏差  $\delta\theta$  表征弹道点的位置. 焦斑形态无法用简单参数进行表征, 但中心对称的焦斑、超高斯阶次可反映焦斑能量分布的中心集中程度, 超高斯阶次的定义如 (3) 式所示, 其中  $m$  为超高斯阶次,  $I_0$  为焦斑形态的二维分布,  $R$  为焦斑大小的半高宽. 本文采用超高斯阶次  $m$  作为焦斑形态分布的一个评价指标.

$$I_0(x, y) = \exp\left(-(\ln 2) \cdot \left(\frac{(x^2 + y^2)^{1/2}}{R}\right)^m\right). \quad (3)$$

基于以上定义的优化目标和优化内容, 提出了逐次递进的方法设计靶丸表面的均匀照明, 递进的内容是焦斑形态的约束程度. 从最简单的超高斯焦斑作为设计出发点, 通过研究靶丸表面辐照图像的特点, 提出具有一般性的特定焦斑来补偿靶丸表面辐照的光束调制; 具体而言, 焦斑形态包含特定的超高斯焦斑、对称焦斑、非对称焦斑三种约束条件, 因此设计过程包含三个重要步骤.

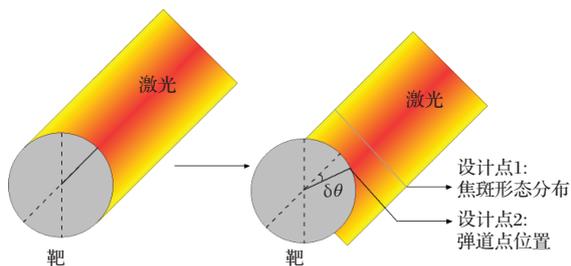


图5 (网刊彩色) 靶丸表面均匀辐照的激光设计内容

### 1) 超高斯焦斑形态下, 优化弹道点位置

考虑原型装置的输入条件, 靶丸大小  $400 \mu\text{m}$ , 为尽可能提高能量利用率, 焦斑大小设计为  $400 \mu\text{m}$ , 以保证正入射可以全面覆盖靶丸表面, 焦斑形态为间接驱动使用的 8 阶超高斯. 图 6 模拟了弹道点位置与靶丸表面辐照均匀度之间的关系, 其中  $0^\circ$  表示激光在基准入射位置. 由图可见, 光束下移  $11^\circ$ , 可获得最佳的表面辐照均匀度, 图 7 模拟了该角度下靶丸表面激光强度分布, 分布图样呈现显著的特点, 主要表现为靶丸表面有 8 个强度较弱的区域, 它对应为原型装置 8 束激光在靶丸上的弹道点; 靶丸表面各点激光强度为 8 束激光的带权重叠加, 权重系数受激光入射角度和焦斑形态分布共同影响, 图 7 的现象表明弹道点间隔区域的激光强

度高于弹道点区域, 反映了弹道点间隔区域的权重系数过高. 因此固定焦斑形态, 仅仅优化激光弹道点位置, 靶丸表面辐照的均匀度较差, 存在明显的强弱区; 如果将焦斑的能量分布向中心集中 (即重新设计焦斑形态), 可降低弹道点间隔区域的权重系数, 靶丸表面的激光辐照均匀度也会因此得到改善.

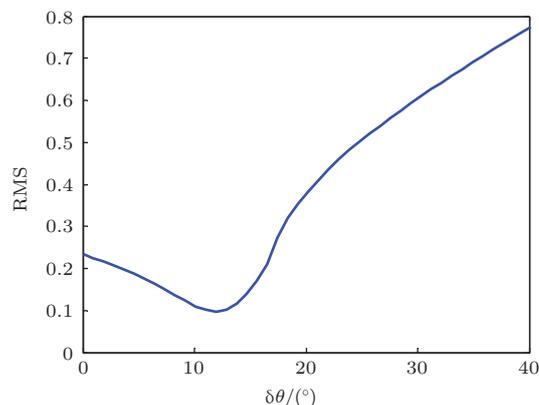


图6 靶丸表面的激光辐照均匀度与弹道点位置的依赖关系

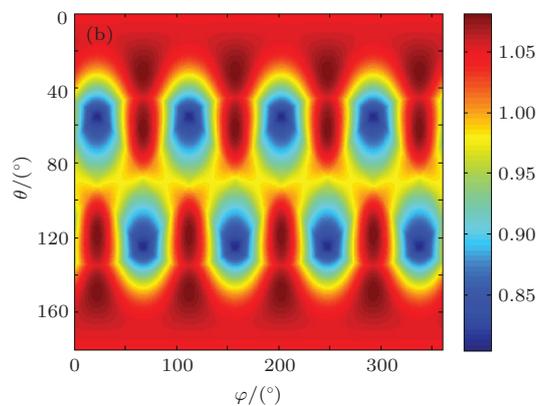
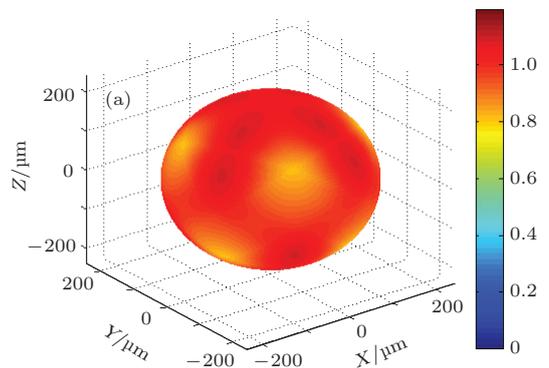


图7 (网刊彩色) 优化弹道点后靶丸表面激光辐照特性 (a) 靶丸表面辐照的立体图,  $\text{RMS} = 0.0674$ ,  $\text{PV} = 0.277$ ; (b) 靶丸表面辐照按纬度和经度展开后的分布, 偏离度  $\delta\theta = 11^\circ$

2) 优化焦斑形态的超高斯阶次

重新设计焦斑形态可改善靶丸表面激光辐照的均匀度. 图8模拟了焦斑形态的超高斯阶次和靶丸表面辐照均匀度的关系, 焦斑形态重新分布后有更佳的弹道点与之匹配, 因此同时对不同阶次下的激光弹道点进行了优化. 由图可见, 改变超高斯阶次, 同时适当调整弹道点位置, 可以获得更佳的靶丸表面辐照均匀度. 图9展示了在最佳点(超高斯阶次2.5, 弹道点位置 $10^\circ$ )的靶丸表面辐照分布: 重新设计的焦斑形态对光强在经度方向上的调制进行了有效补偿. 经线上的调制量化分析显示, 即使调制最厉害的 $90^\circ$ 经线, PV值也仅为4%, 远低于纬度上20%的调制; 此时, 靶丸表面辐照的调制主要来源于纬度方向. 纬度上的调制需通过焦斑的非对称式设计予以补偿.

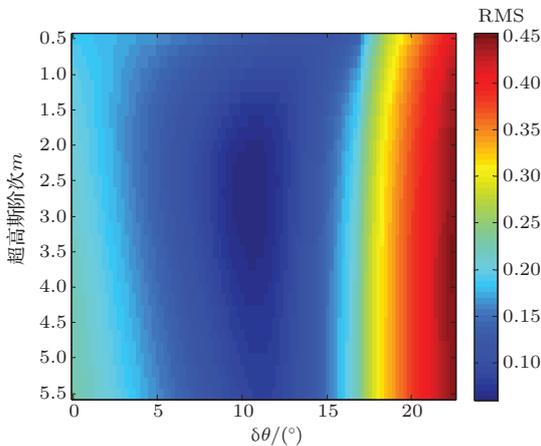


图8 (网刊彩色) 靶丸表面辐照均匀度对焦斑形态超高斯阶次和弹道点位置的依赖关系

3) 焦斑形态的非对称设计

靶丸表面辐照在纬度上的调制通过焦斑的非对称式设计予以补偿. 具体方法如下: 在完成焦斑形态的超高斯阶次和弹道点位置优化后, 计算激光在靶丸表面纬度方向强度的平均分布, 然后设计焦斑在纬度方向上共轭的强度分布补偿该调制.

图10是在最佳优化点下靶丸表面辐照在纬度方向上的方位平均图, 将该分布均匀扩展至靶丸全表面, 并逆向计算至焦斑形态, 如图11所示. 其中图11(a)是焦斑形态的二维分布, 图11(b)是焦斑在纬度方向上的光强分布. 需要说明的是, 考虑CPP整形能力和光束畸变的影响, 逆向计算的焦斑形态进行了低频滤波处理, 以保证CPP实际加工的可操作性. 为进一步确认设计结果, 将设计出的弹道点和焦斑形态分布进行了正向计算, 获得的靶

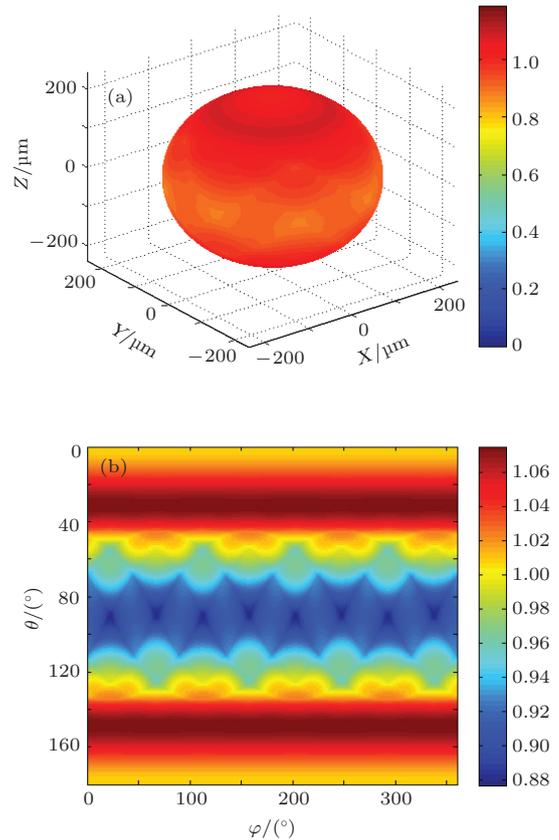


图9 (网刊彩色) 优化焦斑超高斯阶次和弹道点后靶丸表面激光辐照特性 (a) 靶丸表面辐照立体图,  $RMS = 0.0563$ ,  $PV = 0.199$ ; (b) 靶丸表面辐照按纬度和经度展开后的分布, 偏离度  $\delta\theta = 10^\circ$

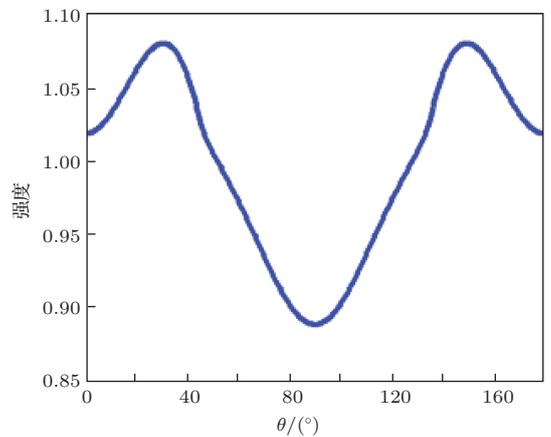


图10 靶丸表面辐照在纬度方向上进行方位平均的分布

丸表面光强分布如图12所示. 图12(a)为立体图显示, 颜色坐标的区间为0—1.1, 它显示靶丸表面辐照的分布较为平坦, RMS值小于1%, PV值也控制在5%左右, 远小于激光相干性引入的调制(RMS值超过20%), 表明此时靶丸表面辐照有较好的均匀度; 为尽量展现靶丸表面辐照的特点, 图12(b)的展开图像进行了坐标拉伸, 颜色坐标的

区间为0.97—1.02, 图像反映了靶丸表面辐照的调制集中在赤道附近区域, 其原因是该区域的光束叠

加较为复杂, 各束激光的权重因子在该区域变化较快.

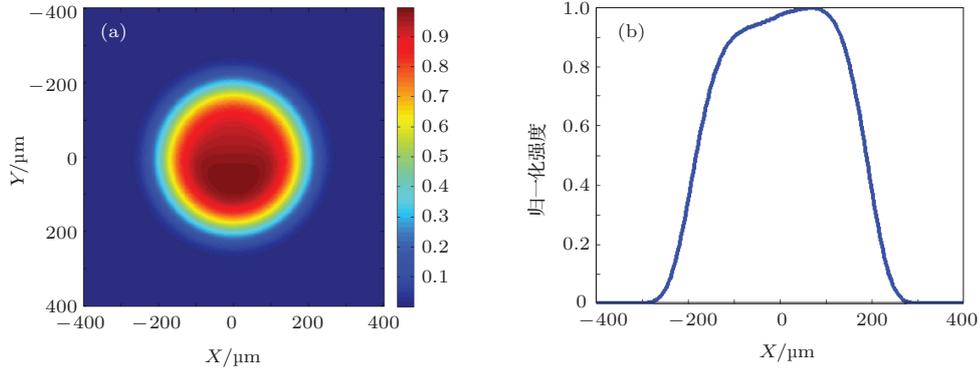


图11 (网刊彩色) 补偿靶丸表面辐照的纬度调制所需的焦斑强度分布 (a) 焦斑二维光强分布; (b) 焦斑在竖直方向上的光强分布

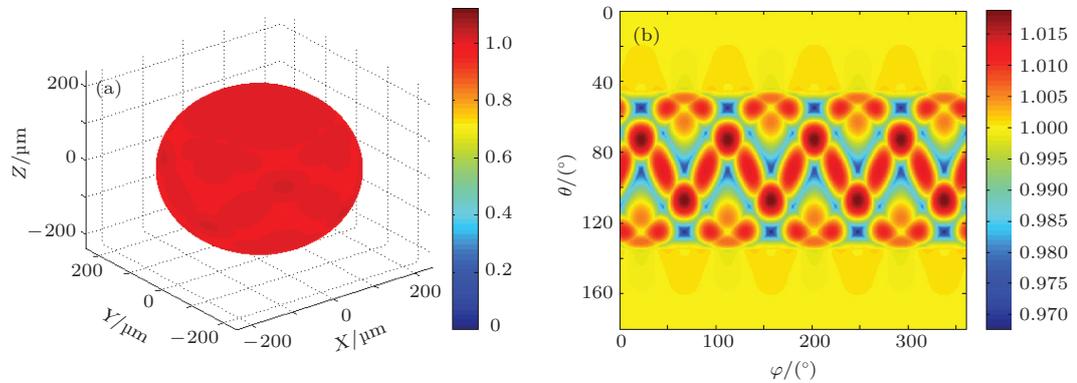


图12 (网刊彩色) 非对称焦斑下靶丸表面辐照的均匀分布特性 (a) 靶丸表面辐照立体图, RMS = 0.00626, PV = 0.0512; (b) 靶丸表面辐照按纬度和经度展开图, 偏离度  $\delta\theta = 10^\circ$

以上计算分析表明, 采用逐次递进方法完成的弹道点位置和焦斑形态的设计可以实现靶丸表面的均匀照明, 其RMS值控制在1%以内, 且基本为中高频调制, 调制幅度远小于CPP整形带来的激光散斑调制.

### 3.2 靶丸表面有效吸收光强均匀分布设计

靶丸表面吸收的激光能量与入射激光的角度紧密相关<sup>[12]</sup>, 本节将考虑靶丸对激光的吸收特性, 对靶丸表面有效吸收光强的均匀分布进行设计. 图13是神光-III原型装置单束激光辐照靶丸不同位置造成夹角变化的示意图, 其中入射激光与竖着方向的夹角为 $45^\circ$ , 此时, 只有在靶丸表面纬度为 $45^\circ$ 的位置, 激光采垂直靶丸表面入射, 如图中光线a所示, 而其他位置存在夹角, 图中光线b引入了 $\theta$ 的入射光夹角, 因此计算靶丸表面有效吸收光强时需考虑靶丸表面各点激光的角度关系. 激光吸收曲线的精确关系需通过深入研究获得, 在对曲线尚

不明确的情况下, 本文针对特定的曲线开展照明设计, 以便掌握一种普适的方法. 假设激光吸收曲线与角度呈余弦关系, 应用该曲线计算了上节焦斑形态和弹道点位置对应的靶丸表面有效吸收光强的分布, 结果如图14(a)所示: 靶丸表面激光在纬度方向有明显的强度分布, 而在经度方向也呈现了强度调制, 需要重新设计焦斑形态和弹道点位置来补

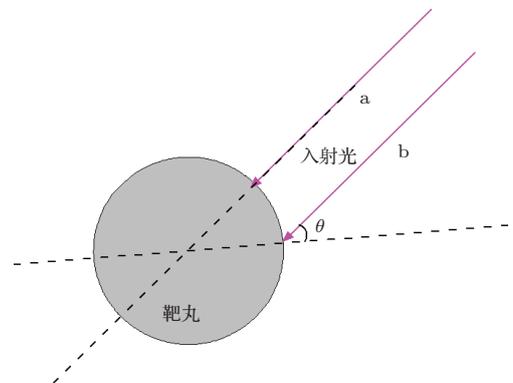


图13 原型装置单束激光辐照靶丸不同位置造成夹角变化的示意图

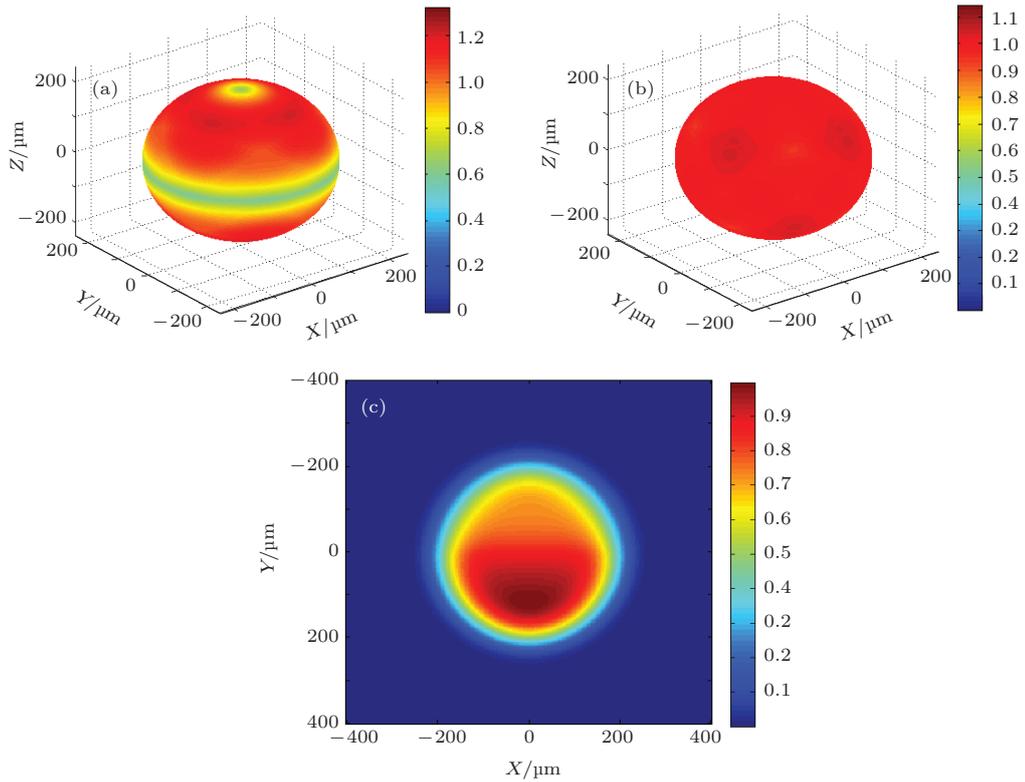


图 14 (网刊彩色) 激光吸收曲线下的靶丸均匀照明的设计 (a) 原设计,  $RMS = 0.166$ ,  $PV = 0.615$ ; (b) 优化设计,  $RMS = 0.00148$ ,  $PV = 0.102$ ; (c) 优化设计对应的焦斑二维形态分布

偿靶丸表面的激光吸收效率曲线带来的调制. 仍可采用上节的设计思想对焦斑形态和弹道点位置进行设计: 焦斑形态的高斯阶次补偿靶丸表面经度方向的幅度调制, 焦斑在纬度方向的非对称分布补偿纬度方向的调制. 设计结果如图 14 所示, 其中图 14 (b) 为靶丸表面有效吸收光强分布的优化设计结果, 此时靶丸表面辐照 RMS 值控制在 1.5% 内, 仍远低于光束相干性引起的调制, 表明靶丸表面吸收的激光能量仍能保持较好的均匀度; 图 14 (c) 为焦斑形态, 相比不考虑吸收曲线, 焦斑形态更加偏心. 该设计结果验证了提出的设计方法可以适应于不同设计目标, 具有一定的普适性.

#### 4 实验验证

在原型装置的现有条件下开展了两极驱动的初步验证实验. 实验条件如下: 靶丸大小为  $400 \mu\text{m}$ , 采用间接驱动的 CPP 进行焦斑整形, 整形焦斑如图 15 所示, 其中图 15 (a) 为实测的呈现椭圆分布二维焦斑形态, 投影在水平面上为直径  $500 \mu\text{m}$  的圆, 图 15 (b) 是焦斑长轴方向的光强分布与 3 阶超高斯的对比. 焦斑形态理论设计为 8 阶超高斯, 实际焦斑采用轮廓近似后与 3 阶超高斯形态

分布相当. 单束激光能量为  $800 \text{ J/ns}$ . 实验主诊断设备为安装在赤道上 X 光分幅相机, 可测试靶丸压缩过程中两极方向与赤道方向的对称性, 关注的图像为压缩终点芯部发光体的对称性. 采用纵横比  $a/b$  (两极方向尺寸与赤道方向尺寸之比) 来表示靶丸压缩的对称性,  $a/b$  越趋近于 1, 对称性越好.

在原型装置上开展了相关的两极驱动压缩实验, 在弹道点位置为基准点和优化点 ( $11^\circ$  位置) 进行对比实验 ( $11^\circ$  是不考虑激光吸收与入射角关系条件下, 最大限度实现靶丸表面激光的均匀照明的角度). 靶丸压缩结果如图 16 所示, 它是 X 光分幅相机中的最大压缩时刻图像的截取, 可代表压缩过程产生的芯部发光体. 图 16 (a) 是弹道点位置为基准点对应的图像, 它的纵横比  $a/b$  为 0.53, 靶丸此时被压缩成饼状; 图 16 (b) 是弹道点位置为优化点对应的图像, 此时压缩变形得到了大幅改善, 纵横比变为 0.8, 但仍表现为出饼状, 这反映了在靶丸表面激光辐照基本均匀的条件下, 压缩仍然不对称, 且两极压缩更强, 分析其原因是靶丸对入射光不同角度的吸收程度不同. 实验结果可验证以下两条结论: 1) 弹道点位置的改变可改善靶丸压缩的对称性, 支持均匀照明的设计方法; 2) 在激光辐照基本

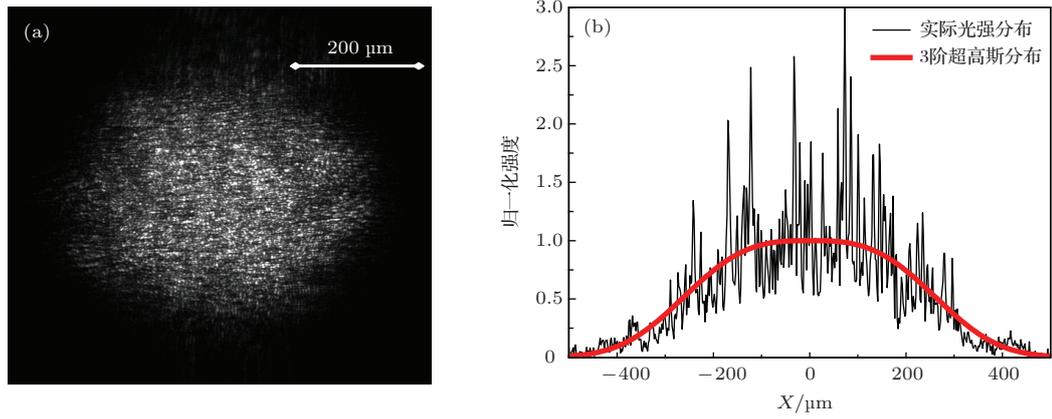


图 15 原型装置两极驱动的入射激光焦斑形态 (a) 实测焦斑二维图; (b) 焦斑轮廓近似图

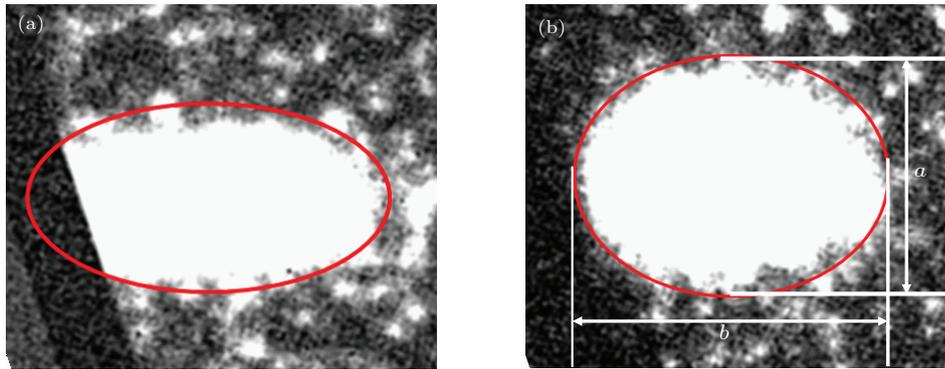


图 16 不同激光弹道点位置对应的芯部发光体图像, 弹道点为 (a) 基准点, (b) 优化点 (11°)

均匀的条件下, 靶丸压缩仍表现为两极与赤道的不对称, 证明了激光吸收与入射角有明显关系, 可通过进一步实验获取准确的吸收曲线图像。

## 5 结 论

基于间接驱动模式的神光-III 原型装置非对称式光路排布, 梳理了装置两极驱动的研究思路: 在原型装置的输出指标下, 具备开展一些两极驱动的分解性实验条件, 包含两极驱动的光路设计模型、球面均匀光照设计、直接驱动下激光等离子体相互作用模型、激光吸收模型等。在与激光弹道点和焦斑形态分布紧密相关的靶丸表面均匀照明设计中, 提出了激光准远场的传输近似和焦斑轮廓近似理论; 基于采用的近似条件, 提出了“逐次递进”的方法设计不同边界条件下靶丸表面均匀照明的激光条件, 并对设计方法进行了数值模拟。最后在神光-III 原型装置上进行了初步实验研究, 实验验证了弹道点位置的优化可明显改善靶丸表面激光辐照的均匀性, 同时也反映了靶丸吸收激光的角度效

应。获得的结果为后续的实验设计和研究提供了理论与实验基础。

## 参考文献

- [1] Basov N G 1993 *Quantum Electron* **23** 262
- [2] Wang G C 1987 *Chin. J. Laser* **14** 641
- [3] Nakai S, Mima K 2004 *Rep. Prog. Phys.* **67** 321
- [4] Bodner S E, McCrory R L, Afeyan B B 1998 *Phys. Plasmas* **5** 1901
- [5] Brumfiel G 2012 *Nature* **491** 170
- [6] McKenty P W, Goncharov V N, Town R P, Skupsky S, Betti R, McCrory R L 2001 *Phys. Plasmas* **8** 2315
- [7] Skupsky S, Betti R, Collins T J B, Goncharov V N, Harding D R, McCrory R L, McKenty P W, Meyerhofer D D, Town R P 2001 *2nd International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications* Kyoto Japan, September 10–24, 2001 p240
- [8] Li P, Su J Q, Ma C, Zhang R, Jing F 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6210 (in Chinese)[李平, 栗敬钦, 马驰, 张锐, 景峰 2009 物理学报 **58** 6210]
- [9] Zhang R, Li P, Su J Q, Wang J J, Li H, Geng Y C, Liang Y, Zhao R C, Dong J, Lu Z G, Zhou L D, Liu L Q, Lin H H, Xu D P, Deng Y, Zhu N, Jing F, Sui Z, Zhang X M 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 054204 (in Chinese)[张锐, 李

- 平, 粟敬钦, 王建军, 李海, 耿远超, 梁樾, 赵润昌, 董军, 卢宗贵, 周丽丹, 刘兰琴, 林宏免, 许党朋, 邓颖, 朱娜, 景峰, 隋展, 张小民 2012 物理学报 **61** 054204]
- [10] Collins T J B, Skupsky S 2002 *Phys. Plasmas* **9** 275
- [11] Skupsky S, Marozas J A, Craxton R S, Betti R, Collins T J B, Delettrez J A, Goncharov V N, McKenty P W, Radha P B, Boehly T R, Knauer J P, Marshall F J, Harding D R, Kilkenny J D, Meyerhofer D D, Sangster T C, McCrory R L 2004 *Phys. Plasmas* **11** 2763
- [12] Anderson K S, Betti R, McKenty P W, Collins T J B, Hohenberger M, Theobald W, Craxton R S, Delettrez J A, Lafon M, Marozas J A, Nora R, Skupsky S, Shvydky A 2013 *Phys. Plasmas* **20** 56312
- [13] Yuan Q, Wei X F, Zhang X M, Zhang X, Zhao J P, Huang W H, Hu D X 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 114206 (in Chinese)[袁强, 魏晓峰, 张小民, 张鑫, 赵军普, 黄文会, 胡东霞 2012 物理学报 **61** 114206]
- [14] Jiang S E, Ding Y K, Miao W Y, Liu S Y, Zheng Z J, Zhang B H, Zhang J Y, Huang T X, Li S W, Chen J B, Jiang X H, Yi R Q, Yang G H, Yang J M, Hu X, Cao Z R, Huang Y X 2009 *Sci. China* **39** 1571 (in Chinese) [江少恩, 丁永坤, 缪文勇, 刘慎业, 郑志坚, 张保汉, 张继彦, 黄天暄, 李三伟, 陈家斌, 蒋小华, 易荣清, 杨国洪, 杨家敏, 胡昕, 曹柱荣, 黄翼翔 2009 中国科学 **39** 1571]
- [15] Li P, Ma C, Su J Q, Jia H T, Cheng W Y, Zhou L D, Jing F 2009 *High Power Laser and Particle Beams* **22** 1059 (in Chinese) [李平, 马驰, 粟敬钦, 贾怀庭, 程文雍, 周丽丹, 景峰 2009 强激光与粒子束 **22** 1059]

## The laser uniformity of polar drive design on the SG-III prototype facility

Li Ping Zhao Run-Chang Wang Wei Geng Yuan-Chao Pu Yu-Dong Su Jing-Qin<sup>†</sup>

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

( Received 3 September 2013; revised manuscript received 12 December 2013 )

### Abstract

In this paper, the train of thought and contents of studying the polar drive for SG-III prototype facility are teased out, and the beam approximation principle regarding the illumination uniformity on the target is proposed. Based on such a principle, the increase-by-degrees design method is developed and numerically simulated as well. The required laser parameters of target symmetrical illumination are optimally designed under various conditions. The investigation results are experimentally demonstrated on SG-III prototype facility, showing that they are in excellent agreement with the designed illumination uniformity on the target. The obtained conclusions can give powerful guidance for the theoretical and experimental study of polar drive in the future.

**Keywords:** polar drive, SG-III prototype facility, laser uniformity

**PACS:** 52.57.-z, 42.60.-v, 42.60.Jf

**DOI:** 10.7498/aps.63.085206

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: [sujingqin@hotmail.com](mailto:sujingqin@hotmail.com)