

氘氚-塑料靶丸变收缩比内爆物理实验研究

晏骥 张兴 郑建华 袁永腾 康洞国 葛峰骏 陈黎 宋仔峰 袁铮 蒋炜 余波 陈伯伦 蒲昱东 黄天昶

Variations of implosion performance with compression ratio in plastic DD filled capsule implosion experiment

Yan Ji Zhang Xing Zheng Jian-Hua Yuan Yong-Teng Kang Dong-Guo Ge Feng-Jun Chen Li Song Zi-Feng Yuan Zheng Jiang Wei Yu Bo Chen Bo-Lun Pu Yu-Dong Huang Tian-Xuan

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 125203 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.125203

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.125203>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I12>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于神光 III 原型的整形激光直接驱动准等熵压缩实验研究

Quasi-isentropic experiment based on Shen Guang-III prototype laser facility with laser direct drive illumination

物理学报.2015, 64(8): 085202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.085202>

玻璃微球内氘结晶行为研究

Crystallization behaviors of deuterium in glass microsphere

物理学报.2015, 64(1): 015202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.015202>

基于焦斑空间频率全域优化的偏振匀滑设计

Polarization smoothing design for improving the whole spatial frequency at focal spot

物理学报.2014, 63(21): 215202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.215202>

基于神光 III 原型装置的激光加载条件下准等熵压缩实验研究进展

Experimental progress of quasi-isentropic compression under drive condition of Shen Guang-III prototype laser facility

物理学报.2014, 63(18): 185202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.185202>

小收缩比内爆实验初步研究

Experimental studies of low-convergence-ratio implosions

物理学报.2014, 63(12): 125211 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.125211>

氘氘-塑料靶丸变收缩比内爆物理实验研究

晏骥¹⁾ 张兴¹⁾ 郑建华¹⁾ 袁永腾¹⁾ 康洞国²⁾ 葛峰骏²⁾ 陈黎¹⁾
宋仔峰¹⁾ 袁铮¹⁾ 蒋炜¹⁾ 余波¹⁾ 陈伯伦¹⁾ 蒲昱东¹⁾ 黄天暄^{1)†}

1) (中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

2) (北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100094)

(2014年10月25日收到; 2015年1月17日收到修改稿)

在神光 III 原型装置上利用 8 路 6400 J/1 ns 激光注入 $\Phi 1100 \mu\text{m} \times 1850 \mu\text{m}$ 的黑腔内产生约 200 eV 的高温辐射场均匀辐照填充氘氘燃料的靶丸实现内爆. 实验中, 保持靶丸的内径一致, 通过改变靶丸烧蚀层厚度的方式实现不同收缩比的内爆. 通过闪烁体探测器、分幅相机等多套诊断设备获取了中子产额、X 光 bang-time (聚变反应产生 X 光时刻)、飞行轨迹、热斑形状等关键内爆参数. 结合一维数值模拟表明: 对于小收缩比内爆, 受到非一维因素的影响小, 其 YOC_{1D} (实验测量中子产额与干净一维数值模拟计算结果之比) 可以达到 34%; 对于中等收缩比内爆, 受到非一维因素的影响显著, 其 YOC_{1D} 仅仅为 2.3%.

关键词: 惯性约束聚变, 收缩比, 内爆对称性

PACS: 52.57.-z, 52.57.Bc, 52.57.fg

DOI: 10.7498/aps.64.125203

1 引言

惯性约束聚变是当前人类获取清洁能源的两大重要途径之一. 惯性约束聚变的基本物理过程是利用强辐射场均匀内爆压缩填充聚变材料的靶丸, 形成高温、高密度、高压的点火热斑, 发生聚变反应, 并完成自持燃烧, 最终实现能量增益^[1-3]. 美国国家点火装置 (NIF) 从 2009 年开始到 2012 年结束的国家点火攻关战役未能如期实现点火, 其主要原因在于内爆压缩过程中由于高收缩比 (靶丸初始外半径与最终热核半径之比) 带来的非一维因素 (主要分为对称性^[4,5] 和混合^[6,7]) 影响远远高于预期, 导致内爆性能极差 (YOC_{1D} 仅仅 1%, 其中 YOC_{1D} 是评价内爆性能的关键指标, 其定义为实验测量的中子产额与干净一维数值模拟计算中子产额之比)^[8-11]. 同时, NIF 近两年开展了高脚脉冲内爆实验, 在较低的收缩比条件下 YOC_{1D} 达到 70%, 接近理想的实验结果^[12]. 因此, 惯性约束聚变能否实现能量增益的目标, 其关键因素是如何在高收缩条

件下仍然保持内爆处于准一维的状态. 从实验物理的角度出发, 建立表征内爆性能随着收缩比的增加逐渐偏离理想一维内爆的实验方法是至关重要的.

传统的控制收缩比的方法是向靶丸样品内部填充不同气压的氘氘气体, 但在氘氘气压较大的情况 (大于 30 atm, 1 atm = 101325 Pa) 下, 氘氘气体容易泄漏, 需要在靶丸的气体层与碳氢烧蚀层之间添加一层约 3 μm 的玻璃作为阻气层. 国内近几年基于该设计在神光 II、神光 III 原型装置上开展了多种内爆物理实验研究^[13-15]. 实验中由于玻璃层的存在导致混合因素的影响加剧, 物理过程更加复杂, 不利于实验分析和物理解释. 另外, 还可以通过激光的脉冲整形来进行收缩比的控制, 但是该技术需要在多光束、长脉冲的激光条件下才能应用, 目前国内尚不具备该能力.

本文采用氘氘气体层结合纯碳氢烧蚀层的靶设计, 填充的氘氘气压以及靶丸内径保持不变, 通过改变碳氢层的厚度来控制内爆收缩比, 从而建立不同收缩比条件下的内爆性能实验研究方法; 利用一维流体力学数值模拟获得不同烧蚀层厚度下靶

† 通信作者. E-mail: yb1190@sohu.com

丸内爆收缩比以及中子产额变化规律, 选择其中两个典型的具有对比性的烧蚀层厚度开展实验研究. 实验中通过塑料闪烁体探测器、分幅相机等多套诊断设备获取了中子产额、X光 bang-time (聚变反应产生 X 光时刻)、飞行轨迹、热斑形状等关键参数. 同时基于打靶后数值模拟 (post-simulation) 方法对实验结果进行了分析. 实验结果表明, 对于小收缩比内爆靶, 其受到内爆非一维因素的影响小, YOC_{1D} 达到 34%; 对于中等收缩比内爆靶, 其收缩比增加, 受到内爆非一维因素的影响显著, 中子产额急剧下降, YOC_{1D} 仅仅为 2.3%. 本文的工作表明, 内爆压缩过程中随着收缩比的提升, 其核反应产生中子的机理逐渐由聚心冲击波转变为惯性压缩, 导致非一维的因素逐渐显著地影响内爆性能, 最终使得 YOC_{1D} 与中子产额急剧下降. 因此, 能否实现聚变点火的关键在于高收缩比条件下尽量控制内爆过程接近一维的状态.

2 变收缩比一维内爆实验设计

实验设计是基于一维辐射流体力学程序 RDMG 来模拟靶丸的内爆过程. 此程序中, 物质为局域热动平衡单流体模型, 辐射为输运模型. 模拟时采用平衡辐射参数. 在实验设计中将靶丸设计为氘氙气体层与纯碳氢烧蚀层结构. 数值模拟中保持靶丸的内径为 $330\ \mu\text{m}$, 内部填充 10 atm 氘氙气体, 改变碳氢烧蚀层的厚度, 模拟计算结果如图 1 所示 (图 1 计算中均采用 $7.5\ \text{kJ}/1\ \text{ns}/351\ \text{nm}$ 的激光对称注入在 $\Phi 1100\ \mu\text{m} \times 1850\ \mu\text{m}$ 黑腔内产生 215 eV 的辐射场内爆压缩靶丸). 在实验设计中, 靶丸内爆速度约为 $200\ \text{km}/\text{s}$, 中子 bang-time 随着碳氢烧蚀层的增加从 1100 ps 到 1600 ps.

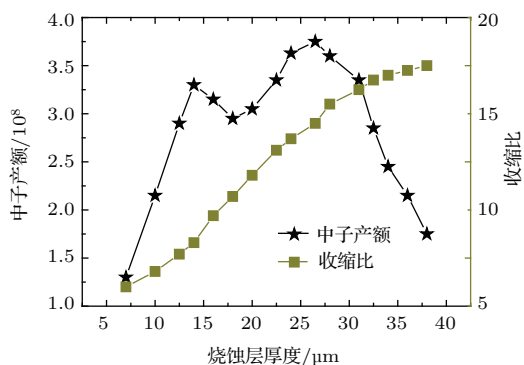


图 1 靶丸烧蚀层厚度与中子产额以及收缩比的关系
Fig. 1. Ablator thickness versus neutron yield and compression ratio.

从图 1 可以看到: 在烧蚀层非常薄的条件 ($\Delta_{\text{CH}} < 14\ \mu\text{m}$) 下, 中子来源于聚心冲击波. 在该过程中, 烧蚀层过薄会导致激光产生的辐射场提前烧穿烧蚀层, 激光能量利用效率降低, 因此, 中子产额随着烧蚀层厚度增加而快速提升; 在烧蚀层比较薄的条件 ($14\ \mu\text{m} < \Delta_{\text{CH}} < 18\ \mu\text{m}$) 下, 随着烧蚀层变厚, 冲击波强度会略微降低, 导致聚心冲击波产生的氘氙离子温度略微降低, 从而中子产额下降, 同时在该过程中剩余烧蚀层 (非常薄) 的存在会产生惯性压缩的中子, 由于惯性压缩并不充分, 因此, 总的中子产额呈现下降趋势, 但下降有限; 在烧蚀层比较厚的条件 ($18\ \mu\text{m} < \Delta_{\text{CH}} < 27\ \mu\text{m}$) 下, 聚心冲击波产生的中子进一步降低, 同时由于收缩比增加以及剩余烧蚀层变厚, 使得压缩比较充分, 惯性压缩产生的中子将会显著提升, 因此, 中子产额又会再次提升并达到最大值; 在烧蚀层进一步增厚的条件 ($\Delta_{\text{CH}} > 27\ \mu\text{m}$) 下, 由于烧蚀层过厚, 降低了流体力学效率, 使得中子产额再次降低. 总体而言, 烧蚀层在过薄与过厚的情况下会因为激光能量利用效率以及流体力学效率过低导致中子产额偏低; 烧蚀层厚度适中阶段 ($14\ \mu\text{m} < \Delta_{\text{CH}} < 27\ \mu\text{m}$), 中子通过冲击波聚心以及惯性压缩两种方式产生, 并且随着烧蚀层厚度变化, 两种方式处于相互竞争的过程 [16,17]. 特别需要关注的是, 冲击波聚心产生中子仅仅是冲击波加热氘氙离子的过程, 与对称性等非一维因素弱相关; 惯性压缩是通过剩余烧蚀层压缩做功产生中子, 与对称性等非一维因素强相关. 另一方面, 收缩比则是随着烧蚀层厚度的增加单调增加, 但是当烧蚀层足够厚的条件下, 其收缩比的增长将会变缓. 基于图 1 的数值计算结果, 最终选择了具有代表性的烧蚀层厚度 $14\ \mu\text{m}$ (薄壳靶) 以及 $27\ \mu\text{m}$ (厚壳靶) 开展实验研究. 其中薄壳靶主要通过聚心冲击波产生中子, 收缩比为 9; 而厚壳靶主要通过惯性压缩产生中子, 收缩比为 16.

3 实验排布与实验结果

3.1 实验排布

在神光 III 原型装置上开展了本次实验, 实验排布如图 2 所示. 实验中选择 8 路激光 $6400\ \text{J}/1\ \text{ns}/351\ \text{nm}/\text{CPP}$ 束匀滑注入 $\Phi 1100\ \mu\text{m} \times 1850\ \mu\text{m}$ 黑腔 (黑腔注入孔 $800\ \mu\text{m}$, 腰部开 $\Phi 500\ \mu\text{m}$ 对穿诊断孔) 内产生均匀辐射场内爆压缩靶丸. 利用闪烁体探测器诊断中子产额. 同时第

九路背光束 2700 J/3 ns/351 nm/CPP 束匀滑与 Sc 金属靶相互作用产生 4.3 keV 准单能背光对靶丸样品的飞行过程进行照相, 并利用分幅相机测量, 获得飞行轨迹、X 光 bang-time 以及热斑形状的信息. 总计开展了 8 发次内爆实验, 其中薄壳靶 6 发次, 厚壳靶 2 发次.

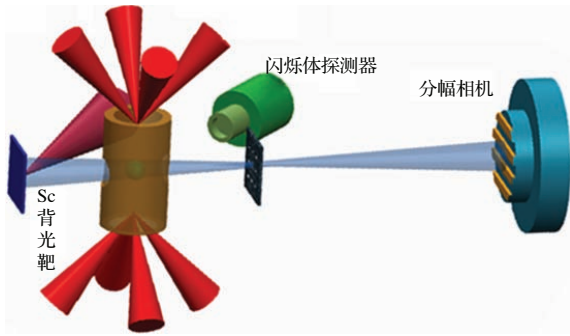


图 2 (网刊彩色) 实验排布

Fig. 2. (color online) Experimental schematic.

3.2 中子产额

中子产额是内爆实验中最关键的物理量, 中子产额高低能够直接反映整个内爆性能. 实验中选择塑料闪烁体作为诊断设备, 测量精度为 $\pm 15\%$ (该精度为探测器自身标定精度), 具体结果如图 3 所示. 从图 3 可以看到, 薄壳靶的中子产额 ($Y_n = 4.7 \times 10^7$) 相比较于厚壳靶的中子产额 ($Y_n = 5.65 \times 10^6$) 高约一个量级. 对比图 1 的数值模拟理论设计可以看到, 在理想的一维内爆条件下, 厚壳靶的中子产额应当比薄壳靶的中子产额还要略高. 这样的实验结果表明, 厚壳靶在较高的收缩比条件下, 由于其中子产额贡献主要来自于惯性压缩, 受到对称性等非一维因素影响大, 导致其内爆性能降低.

针对较多实验数据的薄壳靶可以看到, 激光输出能量不同发次之间会出现抖动, 虽然激光能量整体变化幅度并不大 ($\Delta E_L = \pm 6\%$), 但是引起中子产额的变化超过了一倍. 这主要是因为薄壳靶本身是通过聚心冲击波加热氘氚离子发生核反应产生中子, 其内爆过程本质上是接近一维的能量传递过程, 因此输入激光能量抖动对于最终中子产额是一个较为敏感物理量 (其中一发次薄壳靶的产额特别小, 是由于该发次靶丸装配偏心较为严重导致的).

鉴于以上分析, 选择了两发次薄壳靶 ($Y_n = 6.8 \times 10^7$), 一发次厚壳靶 ($Y_n = 6.3 \times 10^6$) (图 3 中实

心标记的发次) 开展打靶后的数值模拟分析 (post-simulation 指在打靶之后根据实际输出激光能量、靶丸参数等实验条件再次进行数值模拟分析) 进一步评估不同收缩比下的内爆性能. Post-simulation 表明: 对于小收缩比的薄壳靶, 一维中子产额为 2.1×10^8 , YOC_{1D} 达到 34%; 对于中等收缩比的厚壳靶, 一维中子产额为 2.2×10^8 , YOC_{1D} 仅为 2.3%. 可以看到, 在当前的实验条件下, 小收缩比内爆可以获得较好的内爆性能, 而随着收缩比的提升, 其内爆性能急剧下降. 这是由于不同收缩比条件下其内爆产生中子的机理有差异造成的.

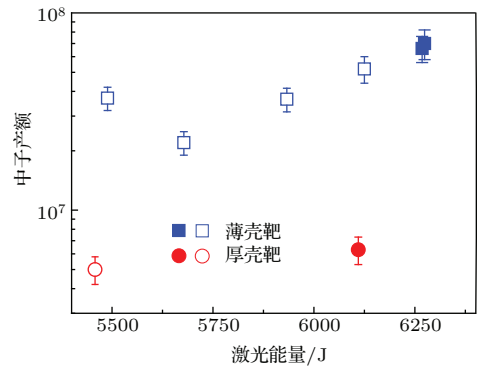


图 3 (网刊彩色) 不同发次激光能量与中子产额的关系 (方块标记为薄壳靶, 圆形标记为厚壳靶)

Fig. 3. (color online) Laser energy versus neutron yield with different shots (box symbol represents thin shell capsule and round symbol represents thick shell capsule).

3.3 热斑形状

热斑形状能够反映对称性和收缩比的情况. 实验中选择分幅相机作为诊断设备 (分幅相机放大倍数为 15 倍, 采用 4096×4096 阵列、像素单元尺寸为 $9 \mu\text{m}$ 的 CCD 记录), 测量靶丸内爆压缩至热斑状态后形成高温氘等离子体自发光的图像, 从而获得内爆对称性以及收缩比信息. 薄壳靶小收缩比内爆测量结果如图 4 (a) 所示, 可以看到整体热斑形状为椭圆形, 表明在当前激光束较少的情况下, 很难实现均匀辐照获得理想圆形的热斑. 图 4 (a) 中将 17% 峰值强度作为等高线选取判据并进行勒让德多项式拟合, 其内爆对称性的 P_2 分量高达 18%, P_4 分量达到 5% (点火靶设计中 P_2 的容忍值仅仅为 2%); 另一方面, 收缩比从腔轴方向看 (图 4 (a) 的 Y 方向) 为 9.7, 从腔横截面方向看 (图 4 (a) 的 X 方向) 为 12.5, 实验结果略高于理论设计值 9. 图 4 (b) 为热斑区域状态分布的一维流体力学数值模拟计算结果. 图 4 (b) 表明, 影响热斑发光的最敏感

参数电子温度呈现梯度分布, 在靠近热斑中心处 ($R < 15 \mu\text{m}$), 其电子温度较高, 可以发射出较强的韧致辐射, 从而被诊断设备所测量. 而在半径较大处 ($15 \mu\text{m} < R < 20 \mu\text{m}$), 电子温度从大于 1000 eV 急剧下降至 500 eV, 导致 X 光发光效率降低, 使得该区域很难被诊断设备所探测. 因此, 实验中测量的热斑尺寸偏小, 收缩比偏高.

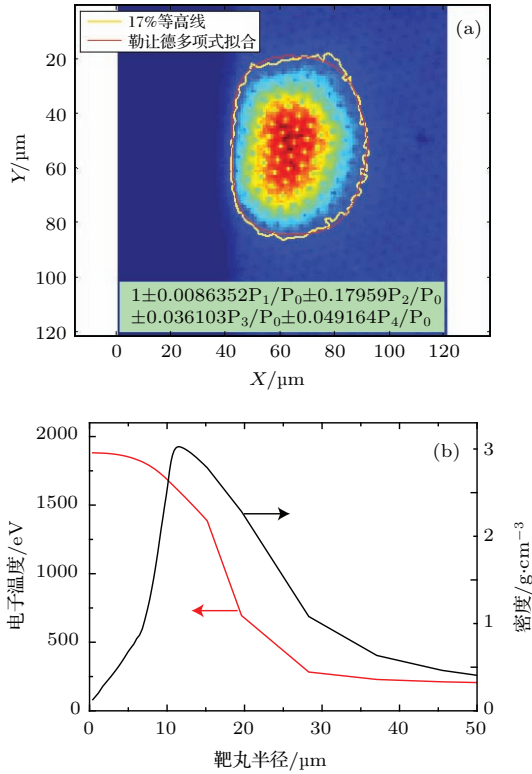


图 4 (网刊彩色) (a) 薄壳靶热斑形状 (等高线判据选择 17% 峰值强度); (b) 数值模拟计算得到的热斑区域电子温度、密度分布
Fig. 4. (color online) (a) The shape of thin shell capsule hot core (contour is collected by 17% peak intensity); (b) the distribution of electron temperature and density by numerical simulation.

从热斑形状可以看到, 当前的内爆对称性虽然很差, 但是对聚心冲击波产生中子为主的小收缩比内爆而言, 由于其本身对对称性等非一维因素并不敏感, 实验中仍然获得了非常可观的 YOC_{1D} ; 而中等收缩比内爆则恰好相反 (本次实验没有测量中等收缩比厚壳靶的热斑形状, 因为收缩比较高的情况下, 热斑尺寸过小, 诊断设备的空间分辨不足以获得清晰真实的物理图像).

3.4 飞行轨迹与 bang-time

本次实验中通过背光照相的方式利用分幅相机获取了小收缩比薄壳靶内爆过程中二维飞行轨

迹的图像以及 X 光 bang-time. 其中二维飞行轨迹可以获得靶丸飞行过程中的状态信息, X 光 bang-time 则是对收缩比非常敏感的参数. 实验结果如图 5 和图 6 所示. 图 5 (a)–(d) 为不同时刻靶丸内爆的二维时间分辨图像, 图 6 为实验结果与一维流体力学数值模拟结果比对.

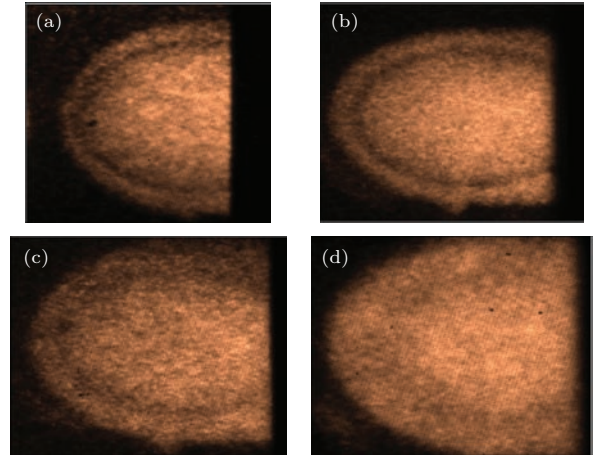


图 5 (网刊彩色) 不同时刻靶丸二维图像 (a) $t = 20 \text{ ps}$; (b) $t = 375 \text{ ps}$; (c) $t = 515 \text{ ps}$; (d) $t = 854 \text{ ps}$
Fig. 5. (color online) The two-dimensional trajectory of capsule: (a) $t = 20 \text{ ps}$; (b) $t = 375 \text{ ps}$; (c) $t = 515 \text{ ps}$; (d) $t = 854 \text{ ps}$.

在图 5 中, 利用 4.3 keV 的 Sc 背光源获得了不同时刻的靶丸图像 (受限制于视场, 只获取靶丸大半球图像). 图 5 (a) 为内爆初始时刻, 靶丸基本处于静态; 图 5 (b) 中靶丸已经开始内爆压缩一段时间, 由于冲击波仍在烧蚀层中传播, 因此靶丸处于缓慢运动状态; 图 5 (c) 中冲击波已经从烧蚀层卸载进入了气体层, 靶丸开始剧烈运动; 图 5 (d) 为内爆加速往减速转变的阶段, 靶丸尺寸明显变小. 其中图 5 (a) 和图 5 (b) 的靶丸图像非常清晰, 而图 5 (c) 和图 5 (d) 由于烧蚀层受到辐射烧蚀逐渐变薄, 在成像系统空间分辨有限的条件下图像变模糊. 从图 6 可以看到, 蓝色标记 (实验获取靶丸球壳外界面位置) 的飞行轨迹实验结果与数值模拟计算结果符合得较好.

另一方面, 利用分幅相机获取了热斑最大发光时刻 (图 4 (a) 时刻). 实验测量中 X 光 bang-time 为 $1155 (\pm 80) \text{ ps}$ (该误差是由于激光与诊断设备同步的时间抖动造成的), 而数值模拟结果表明中子 bang-time (聚变反应产生中子时刻) 为 1100 ps (图 6 红色线条中子反应速率上升沿半高位置). 在内爆后期由于氘氘离子首先被加热使得离子温度达到足够高温而发生核反应 (即为中子 bang-time),

氘电子随即也升温使得电子温度达到足够高而发生 X 光韧致辐射(即为 X 光 bang-time). 因此模拟计算的中子 bang-time 略早于实验测量的 X 光 bang-time.

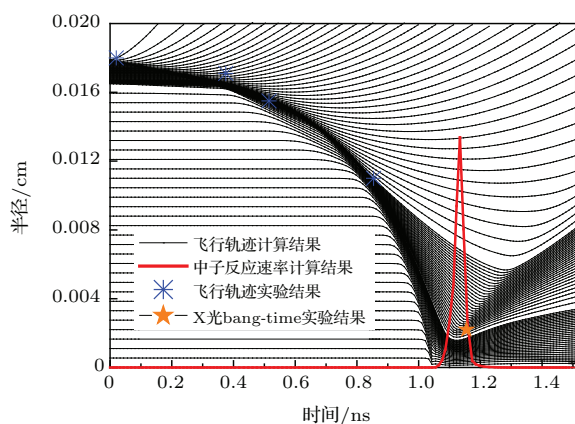


图 6 (网刊彩色) 飞行轨迹和 bang-time 的数值模拟与实验结果对比

Fig. 6. (color online) The trajectory and bang-time compared with simulations.

4 分析与讨论

本文利用改变靶丸烧蚀层厚度的设计来实现不同收缩比的内爆, 并通过实验研究其内爆性能. 相比于以往采用的玻璃层结合碳氢层的靶设计, 本次实验采用纯碳氢层的方式减少了混合的影响, 将内爆过程中非一维对称压缩的因素主要集中在对称性方面. 研究表明: 首先在飞行轨迹、X 光 bang-time 等一维相关的参数方面数值模拟计算与实验符合得较好, 这表明能量从激光到内爆靶丸的传递是目前相对容易控制与理解的; 其次热斑形状表明在当前激光束数量较少情况下, 由于激光弹着点晃动、束间功率平衡等问题, 很难将内爆对称性控制到较高的水平; 最终在关键的中子产额测量方面, 对于小收缩比薄壳靶内爆在对称性较差的条件下仍然获得了可观的内爆性能, 而对于中等收缩比厚壳靶内爆则受到对称性的影响显著, 内爆性能急剧下降. 另一方面, 国外科学家在 21 世纪初基于具备 60 束激光驱动能力的欧米伽激光装置开展了大量相关实验研究, 他们的结果表明, 在收缩比小于 10 的条件下, 其 YOC_{1D} 可以达到 70%; 而当收缩比达到 20 的条件下, 其 YOC_{1D} 降低到小于 30% [2]. 对比国内外研究结果可以发现, 国内目前大型激光装置受限于激光束较少的客观条件, 使得内爆过程中的固有驱动不对称性极为严重. 在收缩比较小的

内爆中, 由于其对对称性等非一维因素不敏感, 因此其内爆性能保持得较好; 当收缩比进一步增加, 内爆过程则会显著地偏离理想一维条件, 最终使得内爆性能降低. 因此, 在中高收缩比内爆实验中, 通过改善驱动对称性、靶丸表面光洁度等手段降低非一维因素的影响是开展进一步研究的关键.

5 结论

本文基于一维数值模拟计算以及实验在神光 III 原型装置上建立了变收缩比内爆研究方法. 通过不同收缩比条件下内爆获得的中子产额及 YOC_{1D} 来表征其内爆性能. 在原型装置上对于小收缩比内爆其 YOC_{1D} 达到 34%; 同等驱动条件下中等收缩比内爆的 YOC_{1D} 仅仅为 2.3%. 本文工作结合美国 NIF 开展的研究结果表明, 随着内爆收缩比的提高, 聚变核反应产生中子的机理逐渐由聚心冲击波转变为惯性压缩. 由于惯性压缩对于非一维因素极端敏感, 将会显著影响内爆性能, 使得其偏离理想的球形聚心压缩. 因此, 惯性约束聚变能否实现聚变点火的关键在于高收缩比条件下尽量控制内爆过程接近一维的状态. 要实现该目标需要从激光装置的输出功率平衡、靶丸样品表面光洁度、黑腔辐射场辐照均匀性等多方面提升.

参考文献

- [1] Lindl J 1995 *Phys. Plasmas* **2** 3933
- [2] Lindl J D, Amendt P, Berger R L, Gail Glendinning S, Glenzer S H, Haan S W, Kauffman R L, Landen O L, Suter L J 2004 *Phys. Plasmas* **11** 339
- [3] Atzeni S, Meyer-ter-vehn J (translated by Sheng B F) 2008 *The Physics of Inertial Fusion* (Beijing: Science Press) (in Chinese) [Atzeni S, Meyer-ter-vehn J 著 (沈百飞译) 2008 惯性聚变物理 (北京: 科学出版社)]
- [4] Rygg J R, Jones O S, Field J E, Barrios M A, Benedetti L R, Collins G W, Eder D C, Edwards M J, Kline J L, Kroll J J, Landen O L, Ma T, Pak A, Peterson J L, Raman K, Town R P J, Bradley D K 2014 *Phys. Rev. Lett.* **112** 195001
- [5] Town R P J, Bradley D K, Kritcher A, et al. 2014 *Phys. Plasmas* **21** 056313
- [6] Smalyuk V A, Barrios M, Caggiano J A, et al. 2014 *Phys. Plasmas* **21** 056301
- [7] Rinderknecht H G, Sio H, Li C K, Zylstra A B, Rosenberg M J, Amendt P, Delettrez J, Bellei C, Frenje J A, Gatu Johnson M, Seguin F H, Petrasso R D, Betti R, Glebov V Y, Meyerhofer D D, Sangster T C, Stoeckl C,

- Landen O, Smalyuk V A, Wilks S, Greenwood A, Nikroo A 2014 *Phys. Rev. Lett.* **112** 135001
- [8] Haan S W, Lindl J D, Callahan D A, et al. 2011 *Phys. Plasmas* **18** 051001
- [9] Landen O L, Edwards J, Haan S W, et al. 2011 *Phys. Plasmas* **18** 051002
- [10] Edwards M J, Lindl J D, Spears B K, et al. 2011 *Phys. Plasmas* **18** 051003
- [11] Lindl J, Landen O, Edwards J, Ed Moses, NIC Team 2014 *Phys. Plasmas* **21** 020501
- [12] Hurricane O A, Callahan D A, Casey D T, et al. 2014 *Phys. Plasmas* **21** 056314
- [13] Jiang S E, Miao W Y, Kuang L Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 055206 (in Chinese) [江少恩, 缪文勇, 况龙钰 2011 物理学报 **60** 055206]
- [14] Jing L F, Huang T X, Jiang S E, Chen B L, Pu Y D, Hu F, Cheng S B 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 105205 (in Chinese) [景龙飞, 黄天暄, 江少恩, 陈伯伦, 蒲昱东, 胡峰, 程书博 2012 物理学报 **61** 105205]
- [15] Teng J, Zhang T K, Wu B, Pu Y D, Hong W, Shan L Q, Zhu B, He W H, Lu F, Wen X L, Zhou W M, Cao L F, Jiang S E, Gu Y Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 075207
- [16] Kang D G, Gao Y M, Huang T X, Wang F, Peng X S, Chen J B, Zheng W D, Jiang S E, Ding Y K 2012 *High Power Laser and Particle Beams* **24** 2110 (in Chinese) [康洞国, 高耀明, 黄天暄, 王峰, 彭晓世, 陈家斌, 郑无敌, 江少恩, 丁永坤 2012 强激光与粒子束 **24** 2110]
- [17] Wang F, Peng X S, Kang D G, Liu S Y, Xu T 2013 *Chin. Phys. B* **22** 115204

Variations of implosion performance with compression ratio in plastic DD filled capsule implosion experiment

Yan Ji¹⁾ Zhang Xing¹⁾ Zheng Jian-Hua¹⁾ Yuan Yong-Teng¹⁾ Kang Dong-Guo²⁾
 Ge Feng-Jun²⁾ Chen Li¹⁾ Song Zi-Feng¹⁾ Yuan Zheng¹⁾ Jiang Wei¹⁾ Yu Bo¹⁾
 Chen Bo-Lun¹⁾ Pu Yu-Dong¹⁾ Huang Tian-Xuan^{1)†}

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

2) (Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China)

(Received 25 October 2014; revised manuscript received 17 January 2015)

Abstract

The plastic DD filled capsule implosion experiment is performed on Shenguang III prototype laser facility. One-dimensional hydrodynamic numerical simulations show that the implosion compression ratio can be controlled by changing the capsule ablator thickness. In experiments, two types of capsules are studied and most of important implosion parameters are collected, such as neutron yield, X-ray bang-time, trajectory, and shape of hot core. The comparison between post-simulations and experimental results is performed. In our experiments, the neutron yield is 6.8×10^7 and YOC_{1D} reaches 34% for low compression ratio implosion; the neutron yield is 6.3×10^6 and YOC_{1D} is only 2.3% for middle compression ratio implosion. Meantime, the shape of hot core obtains an extra higher Legendre partial (P_2 is 18% and P_4 is 5%). On another side, the trajectory and bang-time are compared with simulations well.

Keywords: inertial confinement fusion, compression ratio, implosion symmetry

PACS: 52.57.-z, 52.57.Bc, 52.57.fg

DOI: 10.7498/aps.64.125203

† Corresponding author. E-mail: yb1190@sohu.com