

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*

王峰^{1)†} 彭晓世¹⁾ 单连强¹⁾ 李牧²⁾ 薛全喜¹⁾ 徐涛¹⁾ 魏惠月¹⁾

1)(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

2)(中国工程物理研究院流体物理研究所, 绵阳 621900)

(2014年2月18日收到; 2014年5月5日收到修改稿)

激光加载条件下的准等熵压缩实验逐渐受到重视. 在间接驱动方式下, 利用气库靶的方式可以获得准等熵压缩的实验数据. 自由面速度和界面速度是两种常用的准等熵压缩诊断对象. 气库靶驱动准等熵压缩方式效率较低, 但是对打靶激光的强度变化不敏感. 长脉冲打靶的直接驱动方式驱动效率较高, 但对激光强度变化非常敏感. 基于神光III原型装置, 本文介绍了气库靶驱动的准等熵压缩实验靶型、部分实验结果, 并分析了实验中的关键技术, 为气库靶驱动准等熵压缩实验技术提供了思路. 同时, 介绍了长脉冲直接驱动准等熵压缩实验的靶型、典型实验结果, 并分析了致盲效应的影响. 利用激光直接驱动的方式, 获得了三台阶 Al/LiF 界面的加载过程. 该数据是目前国内使用该技术获得的最好数据. 通过这些实验结果, 证明了在神光III原型上开展准等熵压缩实验的可行性.

关键词: 冲击波, 准等熵, 气库靶, 干涉仪

PACS: 52.57.-z, 52.35.Tc, 52.50.Lp

DOI: 10.7498/aps.63.185202

1 引言

实验研究在强冲击波作用下各种材料的状态方程, 对于新材料科学、冲击波物理、地球物理学研究等多个领域都有重要的理论意义和广阔的应用前景. 激光驱动下的准等熵压缩技术是一种能够提供更高压力、更低温升的实验技术, 最近几年引起了国内外研究者的广泛兴趣^[1-8]. 这种实验技术在高能量密度物理等研究领域有着广阔的应用前景. 实际上, 理想的等熵压缩过程是不存在的, 只能做到近似等熵和准等熵. 准等熵压缩线是介于冲击绝热线和理想等熵绝热线之间的一条过程曲线, 它与理论等熵线越接近, 其等熵性就越好. 准等熵压缩的方法包括阻抗梯度飞片加载^[5]、真空腔爆轰加载^[6]、磁压加载^[7]以及近期实现的激光加

载^[8]等方法. 激光加载的优点是压强高、应变率高、效率高、样品尺寸小. 但缺点是存在预热影响, 样品制作困难, 实验条件要求高. 本文较全面地介绍了在神光III原型装置上开展的直接驱动和间接驱动气库靶实验、激光直接驱动准等熵压缩实验, 对实验靶型、实验结果、关键技术、实验特点和数据都进行了较详细的分析.

2 激光驱动准等熵压缩实验

近年来, 随着大型激光装置整形能力的提高, 整形激光加载方式已成为国外大型激光装置开展准等熵加载研究的主要方式^[9]. 图1介绍了目前主要的激光驱动准等熵压缩方式. 主要有激光波形驱动、辐射温度波形驱动和等离子体驱动几种方式. 可以看到, 利用直接驱动的方式获得的压力是最高

* 国家自然科学基金(批准号: 10805041)、等离子体重点实验室基金(批准号: 9140C6801021001) 和中国工程物理研究院科学技术发展基金(批准号: 2011B0102020) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: xiaozei7566@163.com

的, 因此, 可能是未来很有希望的技术. 目前, 美国国家点火装置上开展的压力最高的准等熵研究就是用激光整形方式获得的 [9,10].

在神光 III 原型装置上已经开展的准等熵实验主要有激光间接驱动气库靶实验和激光直接驱动准等熵压缩实验. 本文介绍利用基于神光 III 原型装置建立的成像型速度干涉仪技术完成的这两类实验, 对各个实验的特点和主要结果进行了介绍, 从而为下一步开展类似的实验提供指导. 其中, 气库靶实验中以 LiF 为窗口材料, 获得了三台阶 Al/LiF 界面的加载、匀速的过程. 利用激光直接驱动的方式, 获得了三台阶 Al/LiF 界面的加载过程, 获得界面速度达到 $11 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, 为目前国内使用激光直接驱动准等熵实验中获得最高界面速度.

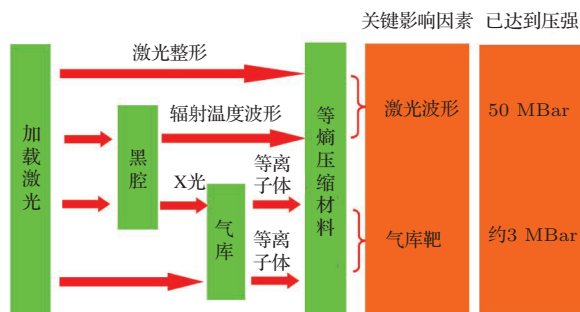


图1 激光驱动准等熵压缩实验布局图

2.1 激光直接驱动气库靶实验技术

图2是Al材料的准等熵压缩实验曲线示意图. 红色曲线表示冲击雨贡纽曲线, 粉红色区间表示的是气炮实验的数据区间, 蓝色短画线表示准等熵压缩曲线, 周围区间表示准等熵压缩能够获得的区域. 可以看到, 准等熵压缩曲线可以在较低的温升下产生很高的压力. 按照一般的概念, 在雨贡纽曲线以下与理想等熵线之间的压缩线都可以被称为准等熵压缩曲线, 只是准等熵的程度不同. 气库靶压缩产生准等熵压缩效果的基本原理如图3所示, 激光烧蚀气库材料产生等离子体并加载到样品上, 从而在样品中产生一个长时间的逐渐加载的过程. 如图3所示, 等离子体在样品表面再次加载, 在材料表面出现等离子体的减速和聚集, 同时在样品中产生逐渐增强的斜坡压缩波. 由于后续的等离子体逐步加强, 与前一个等离子体形成的压缩波相互作用并逐步增强, 所以可以实现样品材料中的准等熵压缩. 直到气库膜产生的等离子体加载过程结束, 这个斜坡压缩过程的驱动源才会消失. 通过测量样

品后界面的移动, 利用反演的方法或者拉格朗日法可以获得样品中各个界面和加载处的压力, 从而获得样品中的准等熵压缩状态.

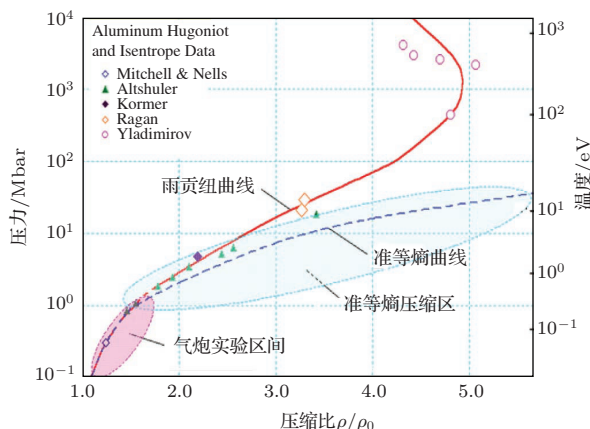


图2 (网刊彩色) 典型冲击雨贡纽曲线和准等熵压缩曲线 [10]

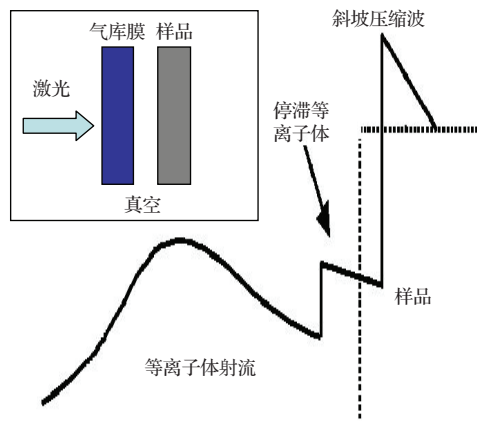


图3 气库靶准等熵压缩示意图 (左上角小图表示实验基本布局)

图4是实验用靶型示意图. 靶参数为气库材料厚 $194 \mu\text{m}$ 的 CHBr (掺杂 3% 的 Br), 真空间隙长 $300 \mu\text{m}$ 和 $400 \mu\text{m}$, 样品分别为 $34.54 \mu\text{m}$ 和 $25.85 \mu\text{m}$ 的 Al. 诊断系统采用成像型 VISAR (velocity interferometer system for any reflector) [11,12] 系统测量 Al 后表面速度, 针孔相机监测打靶情况. 时间窗口 15 ns , 空间范围 $500 \mu\text{m}$. 激光直接加载到气库靶上, 气库靶产生的等离子体加载到 Al 样品上. 激光脉冲为 2 束, 脉宽为 3 ns , 时间波形为平顶, 总能量 1700 J , 使用 2 mm 的束匀滑技术聚焦打靶. 成像型 VISAR 系统出射的探针光经过反射镜照射到样品表面. 样品表面的起伏可以被精确记录, 干涉仪的条纹灵敏度为每条纹 $2.46 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

图5是实验获得的 Al 样品后表面多次压缩的数据. 在压缩波到达 Al 后界面之前, 得到的是静态

的直条纹. 压缩波到达后界面后会驱动后界面的运动, 从而使条纹产生向上的跳变和移动. 经过 5 ns 左右, 二次压缩波到达, 产生条纹的二次跳变和移动. 材料后界面的多次冲击是由斜坡压缩波在材料内部传输过程中与自由面反射的压缩波相互作用后形成的. 而这个过程在文献 [13] 中已经进行了详细解释. 在改变激光能量、真空间隙和 Al 厚度的条件下, 可以获得不同的实验曲线. 国外利用反演的方法, 已获得加载处的压力达到 200 GPa^[5] 的实验数据, 压强上升约 4—5 ns. 图 6 显示了对图 5 的反演计算基本结果.

激光直接驱动气库靶实验方法的优点和缺点

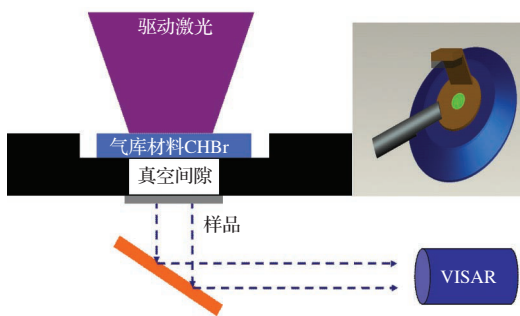


图 4 直接驱动准等熵压缩实验布局图

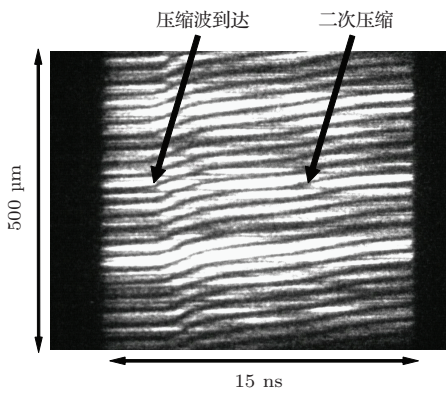


图 5 准等熵压缩的实验结果

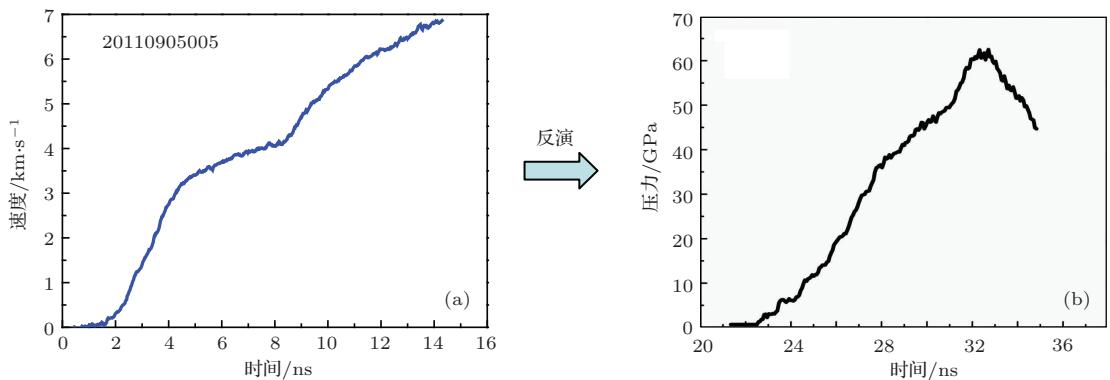


图 6 准等熵压缩的实验处理数据 (a) 实验曲线; (b) 反演数据曲线

都比较明显. 优点是容易实现准等熵压缩状态, 缺点是很难达到很高的压力. 由于直接驱动靶型设计相对简单, 又是进行自由面的测量, 所以比较容易达到在样品中产生多次压缩的状态. 但是, 由于自由面不受束缚, 所以在压力较高的状态下很容易产生飞散、熔化等现象, 从而限制了该技术的使用. 我们在神光 III 原型上获得的压力预计最大只能达到接近 200 GPa 的状态^[13].

2.2 激光间接驱动气库靶实验技术

激光直接驱动的气库靶技术为实现在神光 III 原型平台下的准等熵压缩材料实验提供了很好的实验数据, 整个平台工作稳定, 可以为后续状态方程实验提供技术基础. 但是, 直接驱动的气库靶方式产生的压力不够高, 因此需要进行间接驱动的气库靶实验的技术探索. 图 7 是间接驱动的气库靶实验靶型. 使用半腔靶, 尺寸为 $\Phi 800 \mu\text{m} \times 1100 \mu\text{m}$, 气库材料是 2 mm 正方形 CH/Cu/CH 的夹层结构, 其厚度分布为 $24 \mu\text{m}/12 \mu\text{m}/155 \mu\text{m}$, 样品是 2 mm 正方形的 Al/LiF. 其中, 三台阶中的 part 2 只有 $150 \mu\text{m}$, 其目的是为了使其 VISAR 记录窗口中三个台阶的信号尽量一致. 而选用 2 mm 大的样品是为了减小 part 1 和 part 3 上边缘部分对中心视场内的稀疏效应的影响.

使用 Cu 夹层的目的是增加气库材料射流的动能, 以达到在 Al 上重新加载时增压的目的. LiF 晶体是冲击波物理常用的窗口材料, 可以在很高的压力范围内保持透明, 阻抗与 Al 材料很接近, 所以是我们进行准等熵加载比较理想的窗口材料. 实验中成像型 VISAR 系统的视场为 $500 \mu\text{m}$, 探针光脉宽为 15 ns 左右. 所以, 设计的准等熵状态必须在这个时间窗口内出现并达到稳定状态.

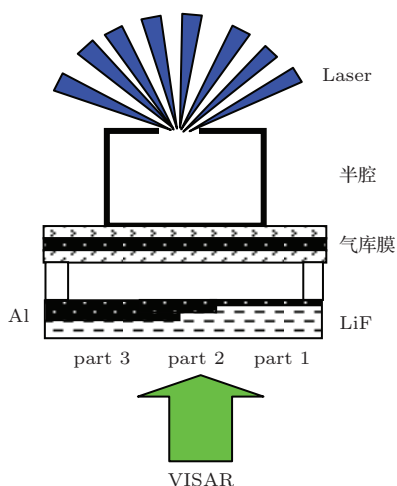


图7 间接驱动气库靶实验布局

一般的制靶工艺中,为了使LiF和Al能够紧密结合,都使用水溶胶将两者粘合起来.但是,在激光间接驱动的实验中,腔靶产生的X射线会导致胶层离化,吸收探针光,进而影响成像型VISAR探针光的强度.严重时会导致诊断窗口的“致盲”^[14],使得实验失败.而在透明窗口后界面镀厚度1 μm左右的Al层,以隔断胶层离化对探针光影响的方法又会使靶出现Al-胶-Al-LiF的多层结构,从而使冲击波在样品中传输的波系复杂化,影响物理过程的判断.所以,最后选择将Al材料直接蒸镀到LiF上,形成Al/LiF的完整结构.靶制作中要控制空气隙的间隙和平整度.通过优化激光能量、气库靶厚度与材料、空气隙长度,可以获得一个比较高的准等熵压缩压力.实验中所用单端驱动,激光能量为8束共4800 J.

图8是三台阶压缩的实验数据,图9是三个台阶的界面速度曲线.综合图8和图9后,可以看到第一个台阶的条纹没有出现明显的冲击,基本上是连续的,说明冲击波在到达两个界面时还没有形成冲击.而第二和第三个台阶上的条纹存在冲击,说明在到第二个台阶的位置时,压缩波已经加强成冲击波了.而到第三个台阶厚度时,冲击波已经比较明显了.图9的实验数据获得的加载处压力可以达到300 GPa.这个数据比激光直接驱动气库靶的数据要高,但是仍然有改进的余地.图10为三个台阶信号强度的分析.通过对图10前两个台阶的反射率的分析,发现第三个台阶反射率很低.经过探针光的强度修正后,发现第三个台阶的反射率为10%左右.

对图9和图10进行分析后发现,第一个台阶的

信号没有出现冲击,基本上按照比较接近理想等熵线的曲线;第二个台阶处的信号已经出现了冲击,压力为95 GPa;第三个台阶出现的冲击更加明显,压力达到124 GPa.图11是对实验结果的初步分析,等熵压缩线、Hugoniot、熔化曲线的数据取自文献[3].第一个台阶出现的信号比较接近等熵线,第二个台阶的初始位置在冲击Hugoniot线上95 GPa的位置,第三个台阶的初始压力为124 GPa,正好在Al材料冲击Hugoniot线熔化点的位置.从实验结果看,在这种压力下,金属Al已经溶化,导致这个界面电导率下降,从而导致反射率下降很多.总体来看,在半腔靶4800 J驱动下,第一个台阶的冲击没有出现,说明这种设计结构是合理的.而第二和第三个台阶上出现的冲击信号从另外一个方面也说明了在15 ns左右的记录窗口范围内,出现非常理想的准等熵压缩数据是非常困难的.如果可以将探针光脉冲宽度加长到100 ns左右,将会得到非常好的准等熵压缩实验结果,可以为材料研究提供非常好的研究手段.

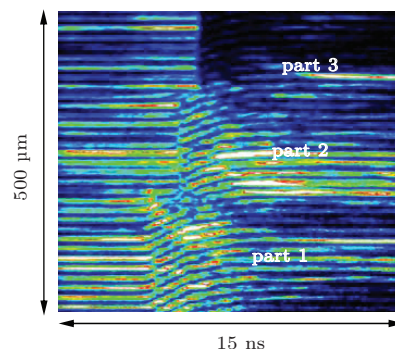


图8 间接驱动气库靶实验结果

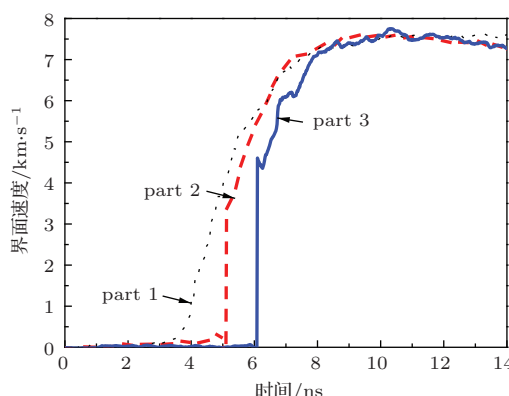


图9 三个台阶界面速度比较分析

激光间接驱动气库靶实验技术的优点是使用间接驱动方式,可以获得更好的辐射源.选择

CH/Cu/CH的多层结构,可以增加等离子体的惯性压力,同时阻挡X射线的预热.但是,三个台阶厚度和实验条件的控制要求更加精细,为实际操作增加了难度.这种实验技术需要事先进行气库材料、空气间隙以及窗口材料的优化计算才能获得比较好的实验结果.

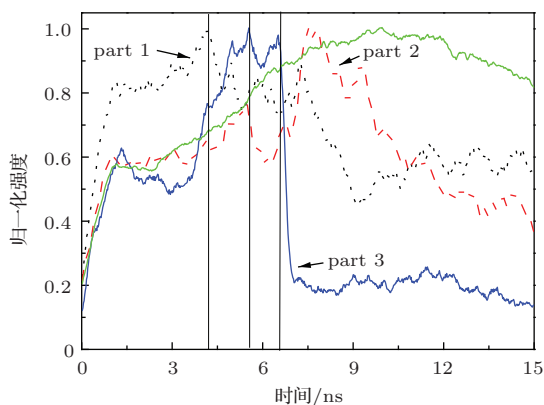


图10 三个台阶反射率的比较分析

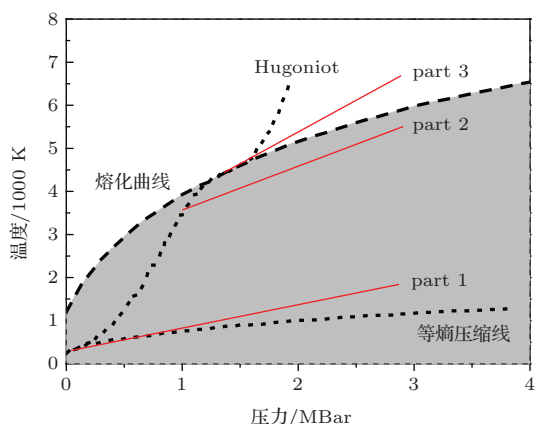


图11 Al/LiF实验三个台阶数据分析,实线表示三个台阶数据的走向

在该技术使用的功率密度范围内,存在X射线的预热问题.预热主要是引起后界面的反射率下降^[15]和后界面的移动^[16],从而影响获得数据的准确性.同时,在预热导致温升的条件下^[15],从获得的条纹图反演加载处的压力历史时也会存在较大的偏差.气库靶技术虽然把激光加载改为等离子体加载,从而减小了材料的预热,但是仍然存在类似的问题,所以这种间接驱动气库靶的技术存在一定的局限性.具体实验中,用加中Z阻挡层CH/Cu/CH的方式,将大部分X射线阻挡在样品之前,从而在样品后界面上不能探测到预热引起的背景条纹移动,尽量减小预热效应的影响.

2.3 整形激光直接驱动准等熵压缩技术

气库靶具有能够更好逼近准等熵压缩的能力,但其效率却比较低.因为激光首先需要在黑腔中转化为X光,再利用X光烧蚀气库材料产生等离子体射流,之后等离子体射流在靶上重新加载,才能产生准等熵压缩实验所需要的压缩波.显然,气库靶的这种结构需要经过多个步骤才能产生真正的能够进行压缩的驱动源.近年来,激光直接驱动产生准等熵压缩的方式受到越来越多的重视.主要原因是:第一,这种驱动方式的效率比较高,由于是激光直接驱动,所以激光能量大部分都用于产生冲击波,而没有中间过程的损失;第二,采用这种驱动方式产生的压力会更高,气库靶的驱动方式能够产生的压力受限于其驱动方式,只能达到200 GPa或再高一点^[3],而激光直接驱动方式可以突破这个限制.下面介绍在神光III原型上进行的激光直接驱动准等熵压缩实验的关键技术,实验结果以及改进的方向.

图12(a)是激光直接驱动打靶示意图,靶的尺寸由如图12(b), (c)所示. CH/Al/LiF和Al/LiF均为方形1000 μm的样品. Al/LiF样品的三台阶厚度差别为10 μm,其中part 2部分的宽度为100 μm.通过蒸镀获得的Al基底厚度为20 μm,三台阶数据分别为20 μm/30 μm/40 μm,即图12中的part 1, part 2和part 3.实验采用单端驱动加连续相位板(CPP)匀滑的方式,将多束激光照射到靶上,焦斑直径500 μm.长脉冲整形激光照射到靶上后产生逐渐加强的压缩波.在Al中产生的压缩波经过Al/LiF界面后,就可以被成像型VISAR系统记录下来整个压缩、追赶的过程.该实验主要诊断设备是成像型VISAR系统,探针光通过一个反射镜照射到样品上.为了发现该实验技术的问题,实验中采用多种打靶方式,有4束打靶也有2束打靶.

图13为激光设计的波形,是一个强度为指数变化的长脉冲缓变的脉冲.在这种直接驱动的准等熵压缩实验中,激光波形的设计和控制是该实验的核心技术.从图13可以看到,实际的激光波形与设计波形有不同,是由实际激光调试能力不足造成的.前半程的激光脉冲强度比设计值略高,这会造成准等熵压缩的曲线在预想的压缩波出现之前先出现一个速度的跳变,从而增加样品的温度,减小准等熵压缩的压缩度.

图14是直接驱动的实验结果.实验基本条件

是: 直接驱动, 4束激光, 每束 500 J, 脉宽 10 ns 整形, 焦斑 2000 μm 的 CPP 用于束匀滑. 在这个实验中, Al 材料在面向激光的方向有 9 μm 厚的 CH 材料. 激光首先烧蚀 CH 材料, 产生的低能 X 射线将被 Al 台阶阻挡, 从而消除了致盲效应对 LiF 窗口的影响^[14]. 从图 14 中可以看到, 在很长一段时间内, 条纹没有移动, 而且没有致盲的黑区出现. 而压缩波到达后, 出现多次冲击, 而后信号消失, 从而看到完整的界面加速和融化过程. 整个准等熵的压缩过程仅有 2 ns 左右.

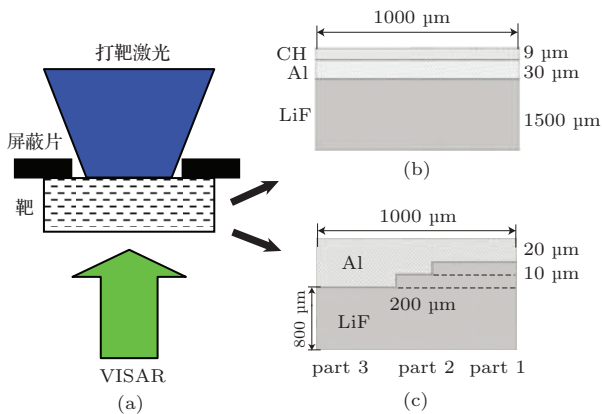


图 12 (a) 直接驱动准等熵压缩实验布局; (b) 4 束激光, 2000 J 能量打靶时的靶型; (c) 2 束激光, 1000 J 能量打靶时的靶型

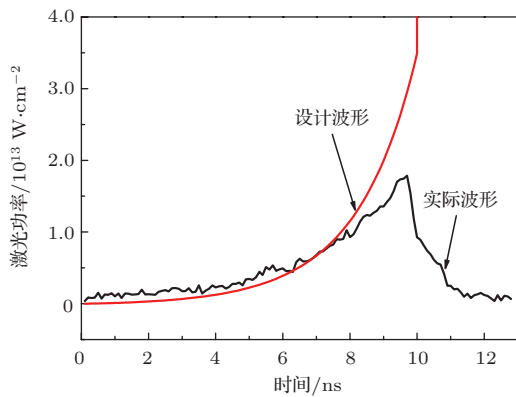


图 13 直接驱动准等熵压缩激光波形

图 15 是使用 LiF 作窗口的实验数据. 在 6 ns 时, 出现一个从 0.5 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 跳变到 4 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的压缩波, 这是激光直接驱动准等熵压缩实验中很难避免的速度跳变. 原因是激光脉冲无法调试出一个纯粹的强度从零开始的激光脉冲, 总会产生一个强度台阶, 从而在实验中出现一个初始速度跳变. 从 6 ns 到 8 ns, 压缩波的速度从 4 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 增加到 11 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, 信号突然消失. 初步分析认为, 这时 Al 界面的温度已经到达 Al 的熔点, 产生相变, 吸

收了探针光, 导致信号消失. 而从 4 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 增加到 11 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 过程中速度曲线的多次起伏, 可能是激光波形上的起伏造成的. 由此也可以看出, 直接驱动准等熵压缩技术由于没有气库膜对光强的匀滑作用, 所以对激光脉冲强度的变化非常敏感, 这是该技术的优点, 同时对激光调控技术也提出了很高的要求.

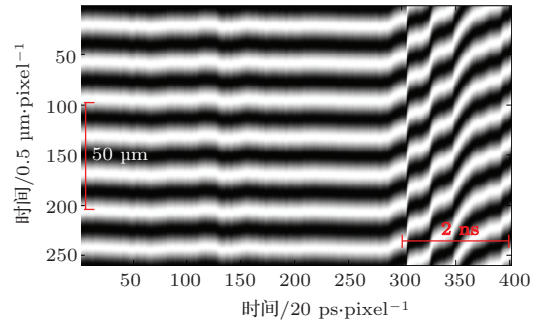


图 14 直接驱动准等熵压缩实验结果 (4 束打靶, 激光能量 2000 J)

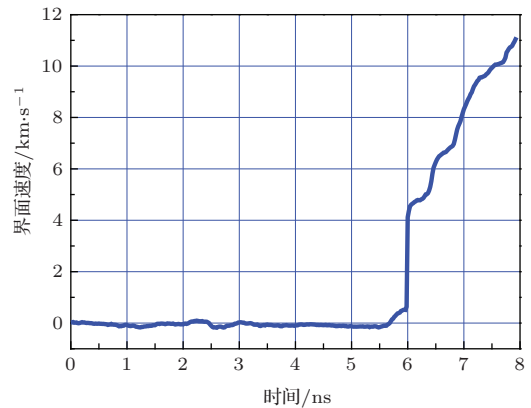


图 15 直接驱动准等熵压缩实验结果

正如预料的一样, 该技术容易产生 X 射线的致盲^[14] 问题. 打靶时直接将激光照射到 Al 上, X 射线穿透 Al 材料, 在 LiF 中沉积能量, 会在 LiF 材料中产生致盲的黑区, 从而导致实验失败. 图 16 就是有致盲效应的实验结果. 实验条件为 2 束激光, 总能量 1000 J, 焦斑直径 2 mm, 使用 CPP 匀滑技术, 激光脉宽为 10 ns, Al 台阶厚度为 20 μm /30 μm /40 μm . 激光波形与图 13 相同, 实验结果如图 16 所示. 在图 16 中, 在冲击压缩波到达之前, 背景的直条纹上就出现了强度上明显下降的黑区. 图 17 是对图 16 三个部分进行强度分析的曲线. 三部分 part 1/part 2/part 3 的 Al 厚度为 40 μm /30 μm /20 μm . 可以看到, part 3 部分 20 μm 厚 Al 材料的黑区强度很低, 已接近背景强度

的10%。这样的数据已无法处理,属于“失败”状态。黑区的持续时间约1.5 ns。从时间上分析,黑区出现的时间是10 ns脉冲接近峰值的时刻。在峰值时刻,致盲效应最明显。而part 1部分40 μm厚Al材料的黑区不是非常严重。像part 1这样的数据在实际中还可以进行处理,从而反演出速度来。关于图15实验获得的压力和对图16致盲效应的解释,将会有后续的文章阐明。

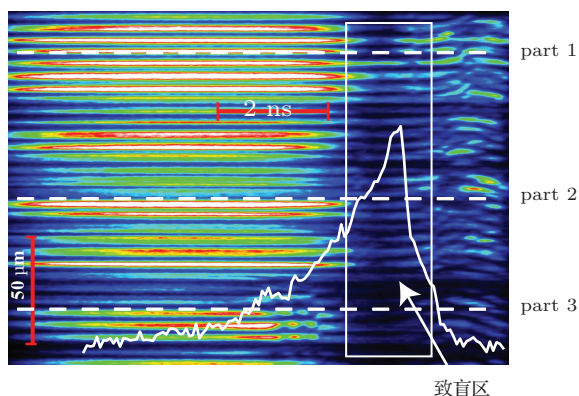


图16 有致盲现象的直接驱动准等熵压缩实验结果(2束打靶,激光能量1000 J)

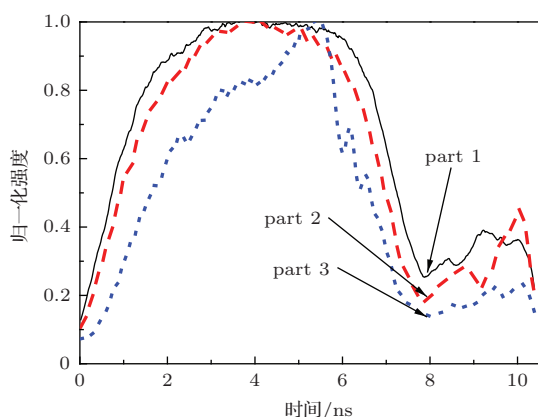


图17 有致盲效应的强度分布,在8 ns左右有明显的致盲现象

整形激光直接驱动方式的优点很多。第一,可以充分利用神光III原型上打靶激光的整形能力,将物理需求与装置的特点紧密结合;第二,转化效率高,可以在使用较低激光能量的条件下,获得很高的压力;第三,靶设计简单,仅仅使用烧蚀层/窗口的设计就可以完成实验。但是,该技术也有明显的缺点。第一,对激光波形的变化非常敏感,当激光波形偏离设计值10%的时候,就会产生偏离物理设计的压缩曲线,这就对精密的波形控制提出了很高的要求;第二,该技术容易产生致盲效应,如果不采取措施,当总能量只有1000 J左右时就出现

了比较明显的致盲效应,从而导致实验失败。所以,使用该技术的激光能量不能太高。

3 结 论

准等熵压缩是近年来高压密度物理研究领域比较关心的问题。本文较全面地介绍了在神光III原型装置上开展的气库靶和激光直接驱动准等熵压缩实验,对实验中的关键问题进行了较详细的分析。

使用气库靶直接驱动方式的优点是,驱动方式简单,使用方波脉冲即可;样品使用不加窗的设计,制作工艺也比较简单。但是,这种方式能够达到的压力偏低,只能达到200 GPa左右^[3],这个压力并不能为准等熵压缩提供很好的手段。使用气库靶的间接驱动方式的优点是可以充分利用X射线烧蚀产生更高压力的潜力,适当设计气库靶,可以使其压力达到更高,从而可以为开展准等熵压缩实验提供很好的实验参考。在这个实验中,发现在Al/LiF界面反射率下降到10%左右,探针光反射率已经很低了。这个反射率也许是该驱动技术与成像型VISAR技术耦合的反射率下限值。初步分析可能是冲击波后由于温度升高,产生Al材料的相变,导致探针光反射率下降引起的。

整形激光直接驱动准等熵压缩的优点是驱动方式更加简单,其关键技术是精密激光波形的设计与控制。由于没有气库靶的阻挡,这种驱动方式有致盲的问题,需要在激光与靶作用时考虑新的靶型设计。在这些实验中,如果将靶粗糙度降低,也会有条纹分裂现象,但是信号会有比较好的光滑性。激光直接驱动准等熵压缩实验的Al/LiF界面速度达到了11 km·s⁻¹,可以预期其压力会达到400 GPa左右,这为开展基础物理实验提供了更多的技术支撑。

参考文献

- [1] Munro D H, Celliers P M, Collins G W, Gold D M, Da Silva L B, Haan S W, Cauble R C, Hammel B A, Hsing W W 2006 *Phys. Plasmas* **8** 2245
- [2] Boehly T R, Vianello E, Miller J E, Craxton R S, Collins T J B, Goncharov V N, Igumenshchev I V, Meyerhofer D D, Hicks D G, Celliers P M, Collins G W 2006 *Phys. Plasmas* **13** 056303

- [3] Lorenz K T, Edwards M J, Jankowski A F, Pollaine S M, Smith R F, Remington B A 2006 *High Energ. Dens. Phys.* **2** 113
- [4] Jia G, Xiong J, Dong J Q, Xie Z Y, Wu J 2012 *Chin. Phys. B* **21** 095202
- [5] Smith R F, Pollaine S M, Moon S J, Lorenz K T, Celliers P M, Eggert J H, Park H S, Collins G W 2007 *Phys. Plasmas* **14** 057105
- [6] Jin K, Li P, Wu Q 2004 *Explosion and Shock Waves* **24** 419 (in Chinese) [金柯, 李平, 吴强 2004 爆炸与冲击 **24** 419]
- [7] Sun C W 2005 *Detonation and Shock Waves* **2** 84 (in Chinese) [孙承伟 2005 爆轰波与冲击波 **2** 84]
- [8] Smith R F, Eggert J H, Jankowski A, Celliers P M, Edwards M J, Gupta Y M, Asay J R, Collins G W 2007 *Phys. Rev. Lett.* **98** 065701
- [9] Bradley D K, Eggert J H, Smith R F, Priskrey S T, Hicks D G, Braun D G, Biener J, Hamza A V, Rudd R E, Collins G W 2009 *Phys. Rev. Lett.* **102** 075503
- [10] Cauble R, Reisman D B, Asay J R, Hall C A, Knudson M D, Hemsing W F, Goforth J H, Tasker D G 2002 *J. Phys.: Condens. Matter* **14** 10821
- [11] Celliers P M, Bradley D K, Collins G W, Hicks D G, Boehly T R, Armstrong W J 2004 *Rev. Sci. Instrum.* **75** 4916
- [12] Wang F, Peng X S, Liu S Y, Li Y S, Jiang X H, Ding Y K 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 025202 (in Chinese) [王峰, 彭晓世, 刘慎业, 李永升, 蒋小华, 丁永坤 2011 物理学报 **60** 025202]
- [13] Shan L Q, Gao Y L, Xin J T, Wang F, Peng X S, Xu T, Zhou W M, Zhao Z Q, Cao L F, Wu Y C, Zhu B, Liu H J, Liu D X, Shui M, He Y L, Zhan X Y, Gu Y Q 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 135204 (in Chinese) [单连强, 高宇林, 辛建婷, 王峰, 彭晓世, 徐涛, 周维民, 赵宗清, 曹磊峰, 吴玉迟, 朱斌, 刘红杰, 刘东晓, 税敏, 何颖玲, 詹夏雨, 谷渝秋 2012 物理学报 **61** 135204]
- [14] Wang F, Peng X S, Liu S Y, Jiang X H, Xu T, Ding Y K, Zhang B H 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 115203 (in Chinese) [王峰, 彭晓世, 刘慎业, 蒋小华, 徐涛, 丁永坤, 张保汉 2011 物理学报 **60** 115203]
- [15] Benuzzi A, Koenig M, Faral B, Krishnan J, Pisani F, Batani D, Bossi S, Beretta D, Hall T, Ellwi S, Huller S, Honrubia J, Grandjean N 1998 *Phys. Plasmas* **5** 2401
- [16] Zhang C, Wang Z B, Zhao B, Hu G Y, Wang F, Peng X S, Jiang S E, Ding Y K, Zheng J 2013 *Phys. Plasmas* **20** 122706

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

Wang Feng^{1)†} Peng Xiao-Shi¹⁾ Shan Lian-Qiang¹⁾ Li Mu²⁾
Xue Quan-Xi¹⁾ Xu Tao¹⁾ Wei Hui-Yue¹⁾

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

2) (Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

(Received 18 February 2014; revised manuscript received 5 May 2014)

Abstract

Laser indirect-drive has the potential to obtain ultra-high pressure which is very useful for shock physics. The isentropic compression can be obtained with reservoir target in laser indirect-drive experiment. The free surface velocity and interface velocity are the two important parameters in isentropic compression experiment. The efficiency with reservoir target is lower than that in the isentropic compression experiment with long pulse laser direct-drive. However, the isentropic compression experiment with long pulse in laser direct-drive is very sensitive to the laser intensity variation. In this paper, the isentropic compressions with reservoir target with indirect-drive and direct-drive on Shen Guang-III prototype laser facility are investigated separately. And the important technique is introduced to provide the reference data in this field. And the isentropic compression with long pulse laser direct-drive is analyzed on Shen Guang-III prototype laser facility. The interface velocity on Al/LiF is achieved with three steps. The blank effect is provided and analyzed. These data show that with long pulse in laser direct-drive, a pressure, which has been highest in China up to now, can be obtained. With these experiment data, the feasibility to do the isentropic compression experiment on Shen Guang-III prototype laser facility has been approved.

Keywords: shock wave, isentropic, reservoir target, interferometer

PACS: 52.57.-z, 52.35.Tc, 52.50.Lp

DOI: 10.7498/aps.63.185202

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10805041), Science and Technology on Plasma Physics Laboratory, China (Grant No. 9140C6801021001) and the National High Technology Research and the Science Foundation of China Academy of Engineering Physics (Grant No. 2011B0102020).

† Corresponding author. E-mail: xiaozei7566@163.com