



2009年版

中国工程物理研究院 科技年报

Annual Report of China Academy of Engineering Physics



• 原子能出版社 •

TP13-54

20001
2009

阅 览

2009年版

中国工程物理研究院

科技年报

Annual Report of

China Academy of Engineering Physics

编辑部通讯地址

四川省绵阳市 919 信箱 805 分箱

邮编: 621900

电话: (0816) 2485754, 2485793

传真: (0816) 2485754

E-mail: HPLPB @caep.ac.cn

URL: www.caep.cetin.net.cn



原子能出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国工程物理研究院科技年报. 2009 年版 / 《中国工程物理研究院科技年报》编辑部编. — 北京: 原子能出版社, 2010.3

ISBN 978-7-5022-4844-4

I. 中… II. 中… III. 工程物理学—中国—2009
— 年报 IV. TB13-54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 041640 号

内容简介

本年报主要介绍2008年度中国工程物理研究院在物理、力学与数学、化学与材料科学和信息科学与电子工程等重点学科与研究领域的部分科研进展与科研成果。另外, 还介绍了2008年度中国工程物理研究院科研人员申请的国家自然科学基金资助项目、科研人员在全国性学会中部分任职情况、中国工程物理研究院组织或参加的国内外学术交流活动以及当年度硕博士论文题录。

本年报旨在加强与国内外同行之间的交流与合作, 并可供从事科学研究与管理的有关部门和科技人员、高等院校师生参考。

中国工程物理研究院科技年报/2009 年版

总 编 辑 杨树录

责任编辑 付 真

特约编辑 李代斌

印 刷 四川绵阳科学城曙光印刷厂

出版发行 原子能出版社 (地址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮编: 100048)

经 销 全国新华书店

开 本 880 mm×1230 mm 1/16

印 张 11.25 字 数 302 千字

版 次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-4844-4 定 价 100.00 元

出版社网址: <http://www.aep.com.cn> E-mail: atomep123@126.com

版权所有 侵权必究

《中国工程物理研究院科技年报》

编审委员会

主 任 杜祥琬

副主任 彭先觉 汪小琳 李志民

委 员 (以姓氏笔画为序)

王保健	邓文荣	冯建农	帅茂兵	司宝萍	叶春福
刘柯钊	何建国	何世达	何朝晖	李 华	李方军
李正宏	苏 伟	吴志杰	张 健	张 凯	张保汉
张明君	张文平	范泽辉	孟凡宝	赵 锋	赵成杰
顾 援	莫 军	黄 健	梅 军	傅思祖	舒远杰
隋 展	谢 平	魏智勇			

编辑部 李代斌 刘 剑



2008 年 11 月 16 日，在云南丽江召开中国核学会脉冲功率技术及其应用分会成立大会暨首届全国代表大会



2008 年 11 月 16 日～21 日，在云南丽江召开全国第十一届高功率粒子束学术交流会



第 17 届高功率粒子束国际会议



2008 年 10 月 27 日～ 11 月 1 日，在北京应用物理与计算数学研究所召开第六届原子分子数据及其应用国际会议

目录

院长致辞	赵宪庚	1
------------	-----	---

物理学科

CH调制靶RT不稳定性增长侧向诊断	董佳钦	5
高温烧蚀初始印记及其发展的研究	方智恒	7
自支撑金属薄膜厚度测量技术	高党忠	9
微球GDP涂层制备技术研究进展	何智兵	11
聚乙烯材料冲击绝热线测量	黄秀光	12
黑腔芯轴超精密加工	黄燕华	14
氘平面冷冻靶制备技术研究	雷海乐	16
电磁内爆模拟技术实验研究进展	李正宏	19
纳米金属功能材料研究进展	罗江山	22
任意反射面速度干涉仪的研制及在激光状态方程中的首次应用	舒 桦	26
功能薄膜材料研究进展	王雪敏	28
CH薄膜泡沫复合平面调制靶制备初步研究	尹 强	31
材料的微细加工技术研究	张继成	33
ICF靶用金空腔电化学制备技术研究进展	张云望	35
模拟钨部件的模板识别	刘素萍	37

力学与数学学科

材料动态响应的多尺度数值模拟研究	陈 军	41
铁基材料的冲击相变与“反常”层裂研究	陈永涛	43
实现材料高应变率拉伸加载的爆炸膨胀环技术	汤铁钢	45
对碰爆轰波驱动下几种金属平面飞层的动载行为	张崇玉	47
初始应力状态对材料层裂破坏特性影响研究	张世文	49
磁驱动准等熵平面压缩和超高速飞片发射实验技术	赵剑衡	51
扩散方程计算方法研究进展	袁光伟	53
二维三温流体力学高性能计算方法研究及程序研制	戴自换	55
基于MOF的欧拉方法界面重构技术	何长江	57
闪光照相理论分析与图像处理	刘 军	59

并行自适应结构网格应用支撑软件框架研制进展	莫则尧	61
多介质流体模拟与实验研究进展	王双虎	63
“神光III”装置靶场结构设计	陈 刚	65
通用计算机辅助工时定额管理系统	陈 杨	67
磁流变抛光技术与装备研究	何建国	69
线阵高能工业CT研制进展	李 炬	71
虚拟样机技术在大型复杂试验装置建设中的应用	刘建波	74
铍材激光焊接热力响应问题	蒙大桥	76
正弦激励仪表板支架系统谐波响应分析	农绍宁	78
加工及装配过程中炸药部件声发射特性的在线监测	唐 兴	80
ITER第一壁认证模块研制	王锡胜	83
冲击动力学软件研制	魏建萍	85
小药量的炸药平面波发生器研制	尹 锐	86
大功率全固态激光数控加工机床	张日升	88

化学与材料学科

Ti-Hf合金的结构和吸气热力学性质	邴文增	91
炸药、高分子材料及部件贮存性能与老化机理研究进展	陈 捷	93
产氟锂陶瓷微球	陈晓军	96
耐高温高导电聚合物复合材料	邓建国	98
延性金属材料损伤断裂微观机制	邓小良	100
氟净化处理系统的发展	杜 阳	102
聚合物基导电复合材料的研究进展	贺江平	103
氢同位素交换催化剂制备及性能	胡 胜	105
钛(锆、铀)-氢体系氢同位素效应	黄 刚	107
放射性惰性气体监测技术	李 伟	109
基于天然多糖的可生物降解聚氨酯泡沫塑料	梁书恩	111
贵金属元素掺杂TiO ₂ 光催化剂	刘秀华	113
含能材料的理论与数值模拟进展	舒远杰	115
拆除解体技术模拟实验	谭昭怡	118
辐射伏特效应同位素电池研究进展	王关全	120
新型含能材料研究	王 军	122
橡胶薄膜中裂纹传播路径的理论研究	王文强	125
气体分子在 δ -Pu表面吸附离解行为的第一原理研究	魏洪源	127
氟废气处理用疏水催化剂的发展	杨 勇	130
V-Ni合金的制备及吸气性能	余铭铭	132

微纳米含能材料研究进展曾贵玉 134

三种黏结剂的力学性能对比周红萍 136

氟化钛时效行为研究周晓松 138

聚碳酸酯的力学性能及其在撞击力学中的应用胡文军 141

高性能插层复合型三元乙丙橡胶密封材料研究黄 琨 144

一种新型柔性相变材料复合薄膜张 凯 147

信息科学与工程学科

全固态腔外和频589 nm钠信标激光器鲁燕华 151

高效率中红外可调谐激光器彭跃峰 153

电感储能脉冲功率源郝世荣 155

固态开关技术研究及在科研中的应用甘孔银 157

Φ 100 mm钨酸盐阴极实验系统及其实验结果杨安民 159

附录

2008年度国家自然科学基金资助项目 163

2008年度中国工程物理研究院在全国性学会中部分任职情况 163

2008年硕士、博士研究生毕业学位论文题录 164

中国工程物理研究院院长

赵国洪



院长致辞

核武器是国家安全的重要基石，是大国地位和综合国力的重要标志。中国工程物理研究院作为我国唯一的核武器研制生产单位，必须瞄准国家安全战略需求，以高度的使命感和责任感担当起这个重任，确保我国战略核力量任何时候任何情况下都安全、可靠、有效。

人才是自主创新的力量源泉，是事业发展的决定性因素，也是我院未来发展的希望所在，而基础研究平台对院事业可持续发展担负着重要的支撑作用。2009 年版科技年报的 70 多篇研究报告虽然只是我院基础和应用基础研究的部分成果，但也反映了近几年我院在应用物理学、爆炸和冲击波动力学、化学与材料科学、计算数学与软件、信息与电子学、超精密加工和大型设备研制等领域的基础研究和应用基础研究的最新进展，同时也展示了新一代科研人员拓展我院未来发展的决心和希望。

中国工程物理研究院是国家研究院，面临新形势新机遇，在打牢战略核力量建设这个立院之本基础的同时，还应加快在国家高新技术研究和装备建设上发挥至关重要作用的步伐，代表国家参与若干重大科学技术领域的国际竞争并占有一席之地，解决关系国防安全和国民经济的重大问题，造福中华民族乃至人类社会。这是中国工程物理研究院的使命，也是责任。

中国工程物理研究院院长

赵克



铸国防基石

做民族脊梁



物理学科

等离子体物理与计算物理
核物理与军控物理





董佳钦

助理研究员

021-69914207

qbcatt@netease.com

CH调制靶RT不稳定性增长侧向诊断

流体力学不稳定性是惯性约束聚变中的重要物理问题之一，它直接影响靶丸的压缩效率和点火热斑的有效半径。特别是在激光直接驱动ICF技术路线中，流体力学不稳定性显得更为至关重要。通过分解实验，研究流体力学不稳定性的发展规律进而探索抑制流体力学不稳定性发展的途径，是ICF实验研究中的重要一环。本轮实验利用X射线针孔辅助点投影技术，通过侧向诊断方法，观测了CH平面调制靶在激光直接驱动下的不稳定性演化过程。

实验在“神光II”装置上进行，Ti背光靶利用4束三倍频激光驱动，激光能量约为30 J/beam，脉宽约为80 ps。产生的Ti等离子体的X射线脉冲宽度约为120 ps，经过合适滤片选通后获得约为4.75 keV准单色背光。这种背光经过约为10 μm孔径的针孔约束后成为点源对样品进行投影照相，并以X射线CDD记录。主靶为聚苯乙烯(C₈H₈)平面调制靶，初始靶整体厚度约为25 μm，正弦调制周期约为75 μm，振幅峰谷差2.20~2.75 μm，宽度200~300 μm。利用第9路二倍频激光经过列阵透镜束匀滑后正入射辐照在主靶调制面上，主靶驱动激光能量1 400~1 500 J，脉宽约为2.2 ns，激光辐照强度约为5.8×10¹³ W/cm²。

侧向诊断系统空间分辨力约为10 μm，时间分辨力约为120 ps，放大倍率约为46倍。通过调节4束背光驱动激光和第9路主靶驱动激光直接的时间匹配，可以获得样品在不同阶段的投影图像。第9路激光不同发次之间的波形一致性较好，输出能量涨落在±10%以内。实验中通过6发实验记录了样品在6个不同时刻的不稳定性增长情况，如图1所示。

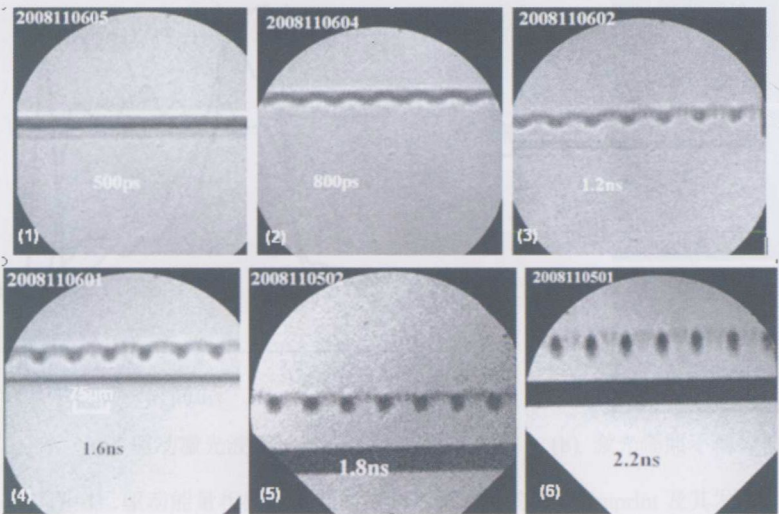


图1 CH靶在6个时刻的不稳定性增长

每幅图像具有较大的视场 (包含样品的近 7 个调制周期), 并有较高的图像质量, 能够比较清晰直观地反映出样品不稳定性的增长, 甚至能观测到较精细密度分布结构。图 1(1) 为初始位置之后 500 ps 时刻, 根据 CH 靶状态方程数据估算, 此时冲击波尚未穿出 CH 靶背面, 瑞利泰勒 (RT) 不稳定性的发展尚未开始, 冲击波作用可能已经使调制幅度有一定的增长, 但这种调制幅度尚不足以让诊断系统清晰地分辨。图 1(2) 在 800 ps 时刻, 冲击波已经穿出 CH 靶背面, CH 靶被加速了约为 35 μm (以靶背面为基准), 调制幅度获得近 6 倍的增长, 峰谷差增长到约为 12 μm , 从调制的形貌和调制幅度判断, 此时刻不稳定性的增长尚处在线性阶段, 冲击波的反馈效应已经使调制尖峰对应的后表面处密度变得稀疏。图 1(3)–(5) 靶继续被加速, 不稳定性继续增长, 非线性效应越来越明显, 靶背面的调制也得以增长。此过程中, 物质逐渐向尖峰处流动, 尖峰处的不透明度增大并越来越“胖”, 而低谷处被烧蚀得越来越薄且越来越稀疏。图 1(6) 为主靶驱动激光脉冲的后沿, 此时, CH 调制靶的谷处似乎已经被局部烧穿, 峰变长, 且峰、谷区域之间表现出明显的密度间断。

各发实验靶背面的移动距离、调制峰谷差值及对应的驱动激光能量实验表明: 800 ps 时刻峰谷差为 11.9 μm , 进入非线性阶段后, 1.2, 1.6, 1.8 ns 时刻的调制峰谷差分别为 19.9, 21.9, 22.9 μm , 调制增长速率显著下降, 这与 RT 不稳定性的经典发展规律相吻合。飞行距离的变化表现出较大的不规则性, 这主要是由于驱动激光的涨落引起的。我们对驱动激光能量较一致的 3 发实验 (0.5, 0.8, 1.2 ns) 的飞行距离进行了拟合, 得出 CH 靶的飞行加速度 $a \approx 69.8 \mu\text{m}/\text{ns}^2$ 。

本轮实验通过较为新颖的实验诊断方法, 比较清晰地展示了 CH 调制靶在激光直接驱动过程中的各个阶段不稳定性增长的物理图像, 实验表明: 在 2.2 ns、约 $6 \times 10^{13} \text{ W}/\text{cm}^2$ 的 2 倍频激光直接驱动下, 烧蚀 RT 不稳定性的增长非常显著, 75 μm 周期的 CH 靶的调制振幅增长了 20 多倍。实验结果具有较高的可靠性, 并可为数值模拟工作提供参考。

参考文献

- [1] 董佳钦, 等. 针孔辅助点投影诊断方法实验研究 [J]. 光学学报, 2008, 28(3): 604–608.



方智恒

研究实习员

021-69918276

smallfang2000@yahoo.com.cn

高温烧蚀初始印记及其发展的研究

直接驱动惯性约束聚变 (ICF) 中, 高温烧蚀初始印记 (Imprint) 产生的密度调制经过瑞利泰勒 (RT) 不稳定性发展得到放大, 会破坏对称压缩, 降低聚变增益, 甚至导致点火失败。为此, 从实验上研究了调制深度约为 1/5 的正弦调制激光作用厚 CH 靶 (驱动激光结束时刻, 靶背未开始移动) 时的 Imprint 及其发展情况, 并进行了初步的模拟计算分析。

在“神光 II”激光装置上利用列阵透镜与主透镜的组合聚焦作用形成了激光辐照靶面强度调制。实验采用平面 CH 靶, 沿投影图空间分辨方向, 靶面激光强度空间调制周期为 23 μm , 分布大致表征为:

$$I(x,t) = I_0(t) + \frac{1}{5} I_0(t) \sin\left(\frac{2\pi}{23} x\right) \quad (1)$$

对于不同形状激光脉冲辐照 CH 靶, 诊断得到了脉冲下降沿半高处针孔辅助点投影成像图。如图 1 所示, 驱动激光能量相同时, 梯形波作用下, 靶面调制幅度最小 (调制峰谷差 $a = (5 \pm 1) \mu\text{m}$); 无预脉冲的缓慢上升波形驱动时, 靶面调制幅度最大 ($a = (18 \pm 1) \mu\text{m}$)。XRL2D 程序模拟显示, 在 1.0~3.0 ns 时间段内, 梯形波作用时的靶面烧蚀速率高于其他两种波形。由于烧蚀速率越大, RT 增长率越小, 因此梯形波作用时, 初始激光 Imprint 引起的靶面调制幅度最小。

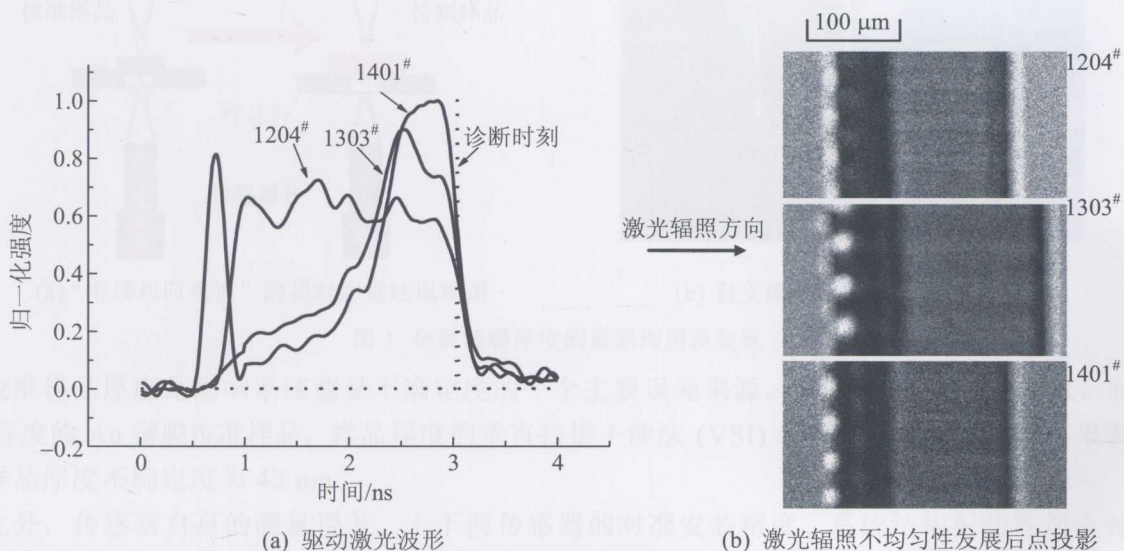


图 1 驱动能量相同, 不同波形激光驱动下的激光 Imprint 及其发展

理论与实验研究均表明, 预脉冲会改变靶内的熵分布, 使得烧蚀靶面附近的熵增加, 靶面烧

蚀速率提高。同时,预脉冲在靶表面迅速产生等离子体,减弱后续低强度脉冲的 Imprint 效应,因此增加预脉冲能有效抑制激光 Imprint 及其增长。实验中采用 100% 强度预脉冲(预脉冲峰值与主脉冲峰值强度比)时,激光 Imprint 引起的靶面调制幅度从 $a=(18\pm1)\mu\text{m}$ (未加预脉冲)下降到 $a=(7\pm1)\mu\text{m}$ 。

参考文献

- [1] 方智恒,等.高温烧蚀初始印记及其瑞利泰勒不稳定性发展德研究[J].物理学报,2009,58(10):7057.

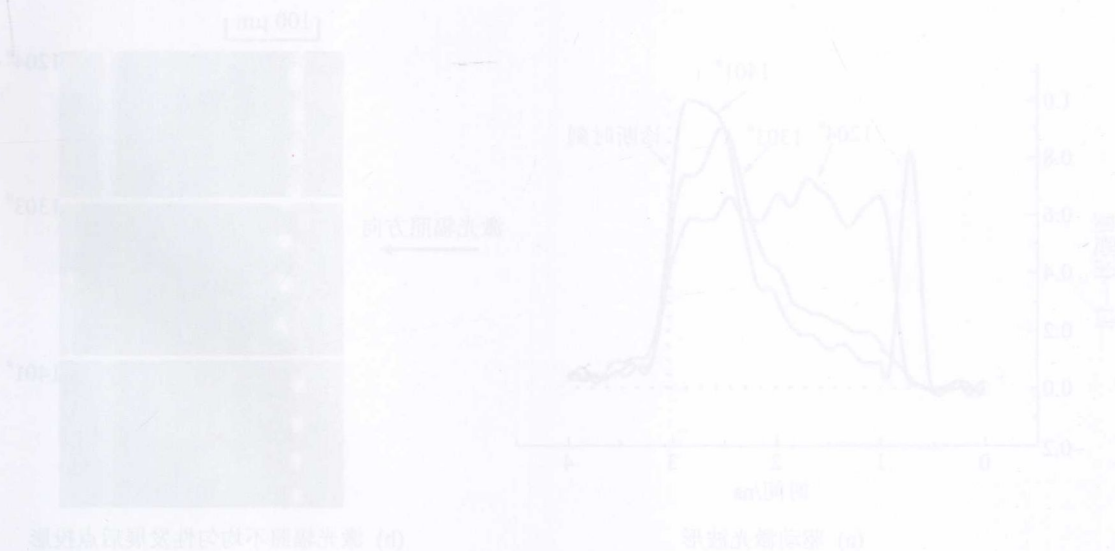


图 1 (a) 预脉冲激光烧蚀靶面示意图 (b) 预脉冲激光烧蚀靶面归一化强度随时间变化曲线