

“强光一号”锥形丝阵内爆特性研究*

蒋树庆^{1)2)†} 叶繁²⁾ 杨建伦²⁾ 夏广新²⁾ 章法强²⁾ 李正宏²⁾
徐荣昆²⁾ 许泽平²⁾ 潘英俊¹⁾

1) (重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

2) (中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 绵阳 621900)

(2011年6月30日收到; 2012年3月10日收到修改稿)

在强光一号装置开展小倾角单层锥形钨丝阵实验, 获得了锥形丝阵在消融阶段, 拉链内爆阶段和滞止阶段的辐射参数和辐射图像. 消融阶段的物理图像印证了使用火箭模型对锥形丝阵消融过程及先驱等离子体形成的分析. 结合分幅像、针孔像和条纹像, 解释了锥形丝阵在内爆箍缩阶段阴极部分首先发生内爆并产生硬 X 射线成分的原因. 观察到的锥形丝阵的拉链内爆速度达到 2.59×10^7 cm/s, 拉链内爆及滞止的持续时间达到 40 ns, 远大于相近尺寸的柱形丝阵. 通过特殊构型丝阵内爆特性的研究, 为进一步验证基于柱形丝阵建立的 Z-pinch 理论模型, 完善 MHD 模型的普适性提供必要的实验数据.

关键词: 锥形丝阵 Z 箍缩, 拉链内爆, 拉链滞止, 波形调制

PACS: 52.58.Lq, 52.59.Qy, 52.70.La

1 引言

脉冲功率装置驱动的丝阵 Z 箍缩在内爆过程中, 特别是滞止阶段会产生大量的 X 射线. 利用这种实验室可获得的最强 X 射线, 可开展间接驱动 ICF^[1]、高能密度物理^[2] 等领域的研究. 通过研究特殊构型丝阵的内爆过程, 可以更深入地理解单丝消融^[3]、先驱等离子体形成^[4]、丝阵内爆动力学^[5]、能量转化机理^[6]、X 射线辐射功率波形调制^[7] 等 Z-pinch 物理基本问题.

锥形丝阵最早应用于天体物理学的研究, Canto, Lebedev 等使用重质量锥形丝阵, 在丝阵不发生内爆条件下获得类天体物理射流^[8,9]; Chittenden 等基于锥形丝阵的超音速射流, 设计了高能密度等离子体射流双端驱动 ICF 的物理模型, 并初步估算了能量耦合效率及可能达到的黑腔温度^[10]; Ampleford 在 MAGPIE 及 ZEBRA 装置上开展了锥形丝阵内爆动力学研究^[11], 并设计多种构型的单、双层锥形丝阵进行了脉冲功率波形调制

实验^[12]; Ciradi, Grabovski 等分别使用三维 MHD 程序模拟了锥形丝阵等离子体束流形成过程的动力学行为和锥形丝阵在内爆过程中等离子体密度分布情况^[13,14]. 本文在强光一号装置上, 使用约 9° 的小倾角锥形丝阵, 重点研究了锥形丝阵先驱等离子体及等离子体在内爆、滞止阶段的辐射特性. 为进一步验证基于柱形丝阵建立的 Z-pinch 理论模型, 完善 MHD 模型的普适性提供了初步的实验参数.

2 锥形丝阵及实验诊断系统描述

2.1 锥形丝阵概述

锥形丝阵由一系列轴对称的丝构成, 与传统柱面丝阵不同, 每根丝都与轴成一固定角度 α , 如图 1 示.

α 的值可通过下式确定:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R_H - R_0}{H}\right), \quad (1)$$

* 国家自然科学基金 (批准号: 10635050, 11005096)、中国工程物理研究院科学发展基金 (批准号: 2010B0102012) 和核物理与化学研究所科技创新基金 (批准号: 2011CX03) 资助的课题.

† E-mail: info4edjiang@yahoo.com.cn

其中 R_0 为阴极端 ($z = 0$) 的半径, R_H 为丝阵在阳极端半径, H 为丝阵高. 丝阵与轴所成倾角使电流加载到锥形丝阵后存在径向的电流分量, 使等离子体在内爆过程中不仅会受到丝阵径向方向的洛伦兹力影响, 还会受轴向方向的洛伦兹力分量的作用. 丝阵在轴向不同位置处的半径可表示为^[15]

$$R(z) = R_0 + z \tan(\alpha). \quad (2)$$

丝阵中, 磁场强度与丝阵直径成反比, 可用下式描述:

$$B(z, t) = \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi R(z)} = \frac{\mu_0 I(t)}{2\pi(R_0 + z \tan(\alpha))}. \quad (3)$$

由于锥形丝阵在轴向不同位置处丝间隙和半径的非一致性, 由于锥形丝阵在轴向不同位置处丝间隙和半径的非一致性, 不同 r - θ 平面内的磁场有较明显的变化.

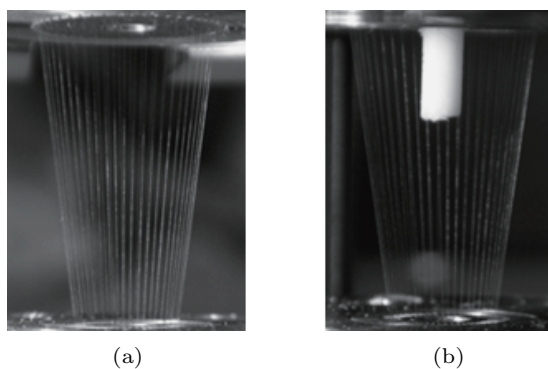


图1 (a) 锥形丝阵; (b) 阳极部分加有长度为丝阵长度 1/4 泡沫的锥形丝阵

2.2 实验装置及实验负载

“强光一号”是国内驱动能力最强的“短脉冲”脉冲功率装置, 负载电流上升时间 100 ns, 电流峰值可达到 1.5 MA, X 射线辐射总能量大于 30 kJ, 峰值辐射功率大于 0.5 TW^[16].

实验采用 48 根钨丝, 单丝直径 4.2 μm , 线密度为 128.2 $\mu\text{g}/\text{cm}$, 其中阳极端直径 $2R_H = 13 \text{ mm}$, 阴极端径 $2R_0 = 7.6 \text{ mm}$, 丝阵高度 $H = 17.7 \text{ mm}$.

2.3 诊断系统

诊断设备包括径向 X 射线功率测量仪 (XRPM)、纳秒门控多通道 X 射线分幅针孔相机 (TGMPC)、时间积分针孔相机 (TIPHC) 和时间分辨一维 X 射线成像系统. 诊断布局见图 2.

径向 XRPM 用来获得 X 射线辐射功率并估算 X 射线辐射能量, 具有响应时间小于 3 ns,

对 50—1250 eV 能段的光子具备能量平响应的特点. TGMPC 的门控时间为 1.5 ns, 幅间间隔在 2—10 ns 内可调, 针孔尺寸为 100 μm , 成 1 : 3 的缩小像, 使用 2 μm 的聚丙烯膜, 可对 100—10 keV 能量范围内的 X 射线辐射时间分辨成像^[17]. TIPHC 使用 25 μm Be 膜和 50 μm Be 膜作为滤片获得不同能区 ($> 1 \text{ keV}$ 和 $> 1.5 \text{ keV}$) 的 X 射线积分图像. 一维时空分辨的 X 射线条纹像系统显示丝阵轴向 X 射线辐射区域随时间的变化, 时间分辨、空间分辨分别为 4 ns 和 300 μm . 该系统 X 射线能量响应范围与 XRPM 一致.

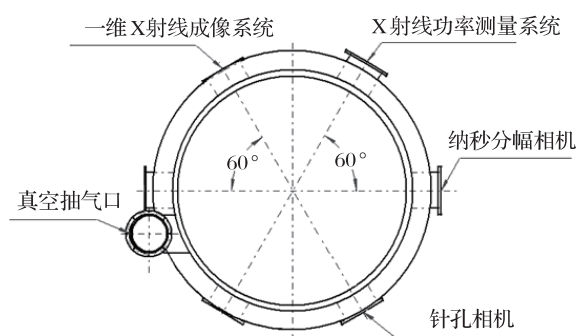


图2 强光一号实验诊断布局

3 实验结果及分析

3.1 锥形丝阵消融阶段的动力学及辐射特性

在丝阵内爆前期, 丝阵会在电流的作用下消融产生等离子体, 并形成芯晕结构^[18]. 由于晕等离子体的电阻率较低, 大部分电流会从晕等离子体中流过, 使得此部分等离子体在径向洛伦兹力作用下向丝阵轴心汇集. 当晕等离子体到达轴心后, 其离子碰撞频率在短时间内会迅速增高^[18]. 随着越来越多的等离子体在轴心汇聚, 轴心处等离子体的密度增高, 并辐射出能量. 在电子、离子之间实现热力学平衡后, 即形成低温、高密度的先驱等离子体柱^[19,20].

锥形丝阵先驱等离子体的形成也遵循这一过程, 图 3 为 X 射线功率峰值前 45.2 ns 及 X 射线功率峰值前 35.2 ns (记为 -45.2 ns 和 -35.2 ns) 的分幅图像, 两幅图像反映了锥形丝阵先驱等离子体的情况. 在阳极一端的先驱等离子体柱出现了显著的、宏观尺度的不稳定性, 而阴极一端则相对均匀. 研究发现^[21], 柱形钨丝阵的先驱等离子体柱在形

成后至滞止阶段开始前非常稳定,也未出现明显的不稳定性发展特征.锥形丝阵阳极先驱柱呈现不稳定性特征可能与其阳极部分丝阵丝间隙较宽以及沿 Z 轴的 $r-\theta$ 平面内磁场有较明显的变化使得内部的磁场位型沿 Z 轴出现较大的差异有关.

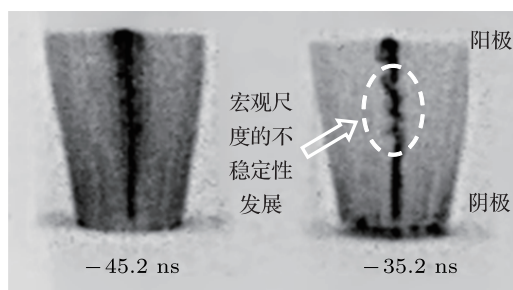


图3 shot 09296 先驱等离子体图像

在径向洛伦兹力和轴向洛伦兹力的共同作用下,晕等离子体向 Z 轴运动的路径会与直径方向成一夹角,根据 Haines 的研究 [22],晕等离子体的径向速度 (V_{cor}) 可表示为

$$V_{cor} = 1.5 \times 10^7 (1 - \exp(-x/3.4)), \quad (4)$$

其中 V_{cor} 的单位是 cm/s , $x = \text{gap}/\text{core size}$ (其中 gap 为丝间隙, core size 为芯直径). 国外研究表明,钨丝阵的丝芯直径大约在 0.1 mm [23],按 (4) 式,丝间隙在 $0.5-1 \text{ mm}$ 的范围内不会影响消融等离子体径向速度. 本文研究的锥形丝阵丝间隙在 $0.5-0.9 \text{ mm}$ 区间内,因此根据 (4) 式求得丝阵阴极、阳极的 V_{cor} 均为 $1.5 \times 10^7 \text{ cm/s}$.

洛伦兹力对丝阵消融速率 \dot{m} 的影响可用火箭模型 [24] 描述,可表示为

$$\dot{m} = \frac{J \times B}{V_{cor}} = \frac{\mu_0 I(t)^2}{4\pi V_{cor} (R_0 + z \tan(\alpha))}. \quad (5)$$

假设晕等离子体的运动速度一定,由上式可知,阴极端由于磁场强度更大,会受到更强的洛伦兹力作用,致使质量消融率高于丝阵其他部分,在同一时间周期内,丝阵阴极能消融出更多的等离子体,因而向 Z 轴汇聚的晕等离子体在阴极区域的质量密度高于阳极区域.更为准确的密度信息需要借助激光探针等主动探测手段获得.

3.2 锥形丝阵内爆箍缩、滞止阶段的动力学及辐射特性

丝阵空间位置各点消融速率的不同造成丝阵轴向各区域向心箍缩阶段开始时刻的差异.对柱面丝阵而言,当消融达到一定质量条件后 [25,26],丝阵就会开始向心箍缩.根据式 3,锥形丝阵的磁场强度由阴极向阳极递减,因此,阴极区域受洛伦兹力的作用要强于阳极区域,由 (5) 式可知锥形丝阵阴极区域消融速度也会高于其他部分,使得阴极部分最先达到内爆开始的质量需求.锥形丝阵在向心箍缩阶段的等离子体辐射图像见图 4,可以观察到在阴极与阳极间已形成内爆壳层,并呈现出向阳极发展及向心收缩的趋势,在已形成内爆壳层的区域,如图所示,可观察与柱形丝阵类似 bubble-spike 结构 [27].

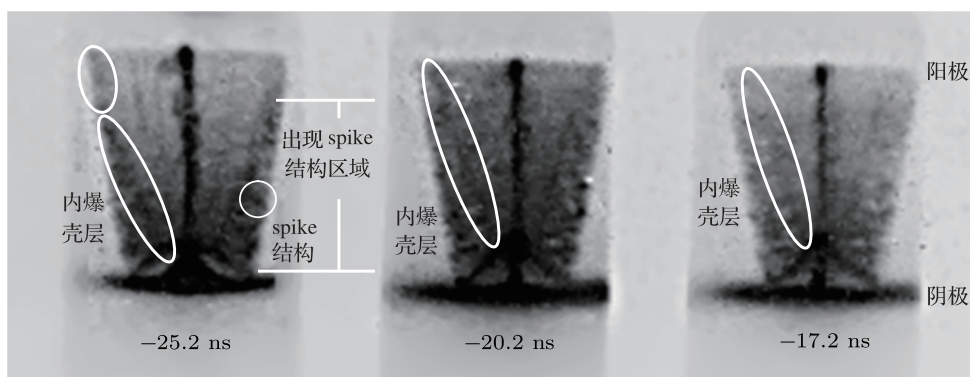


图4 shot 09296 锥形丝阵滞止内爆加速、滞止阶段等离子体辐射图像

图 5 反映了在向心箍缩阶段后期以及滞止阶段分幅像测量的结果.丝阵的初始边界已在图中标注,圆圈指示了丝阵边界出现裂口的位置. -15.2 ns 时,丝阵阴极区域首先出现裂口,表明该部分丝阵

的丝芯已达到内爆条件,并开始向轴心方向运动.当丝芯部分的等离子体到达轴心,随着等离子体碰撞的加剧,即会形成滞止等离子体.在阴极区域的等离子体开始向心箍缩时,其余部分阵仍未出现明

显裂口, 丝芯需要继续消融才能满足内爆开始的质量条件. 在已经出现裂口的区域, 出现了明显的拖尾质量. 裂口的边界随时间不断向阳极发展, 可认为丝阵也呈拉链形式由阴极向阳极逐步内爆. 已完成内爆的阴极等离子体中一定存在电流通路, 使得电流能够持续流过其中并到达电感较低的阳极区域丝阵. 在阴极区域, 电极辐射强度极强, 可能的原因是电极表面的局部不均匀导致两极表面的畸变电场过高, 从而在阴极产生场致发射, 并形成场致等离子体. 在阴极区域, 可观察到类似三角型的结构, 该结构在形成后, 未向阳极进一步移动, 基本维持在其形成的位置.

图 6(a), (b), (c), (d), (e), (f) 分别为 shot 09292, shot 09294 和 shot 09295 中大于 1 keV 和大于 1.5 keV 的 X 射线针孔像, 由图可见, 阴极区域的三角形结构在轴心处滞止时会产生 > 1.5 keV 的硬 X 射线, 并形成热点. 阴极区域外的其他部分丝阵内

爆、滞止仅会释放大于 1 keV 的 X 射线.

图 7 为 shot 09294 的 X 射线分幅像, 图中可观察到在阴极区域丝阵完成向心箍缩后, 阳极区域仍会继续消融达到内爆条件, 说明电流会经由阴极端已经内爆的等离子体到达阳极区域丝阵; 靠近阴极的滞止等离子体出现了显著的模式 $m = 1$ 扭曲不稳定性 MHD 不稳定性发展, 使得该区域等离子体出现不规则的变化. 由于锥形丝阵等离子体辐射转换过程的持续时间比柱形丝阵长, 与传统柱形丝阵的峰后过程有较大的差异, 阴极端先内爆的等离子体在后期的反弹飞散也是阴极区域等离子体出现不规则变化的一种可能原因. 另外, 在阴极部分滞止等离子体出现坍塌时, 阳极外的其余部分等离子体 (阳极部分由于加有长度为丝阵 1/4 的低密度泡沫, 无法观察到该区域丝阵滞止的情况) 仍处于压缩较紧的滞止状态. 等离子体坍塌也呈现由阴极向阳极发展的趋势.

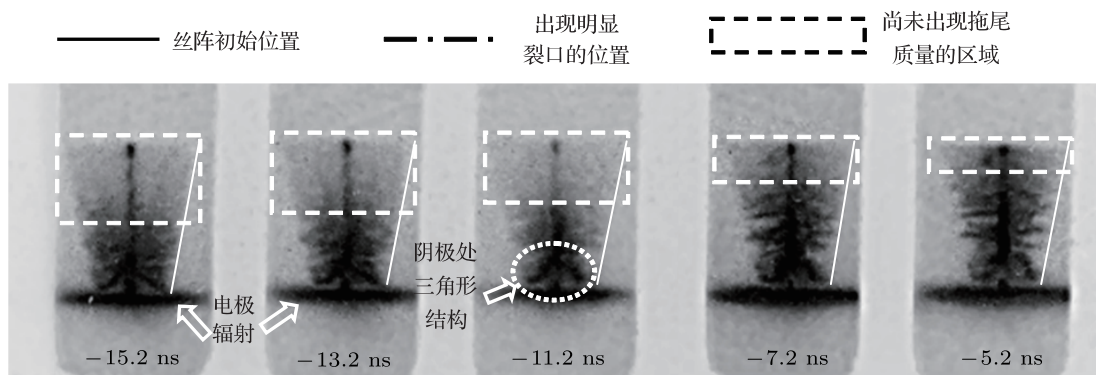


图 5 shot 09296 内爆过程丝阵边界的变化

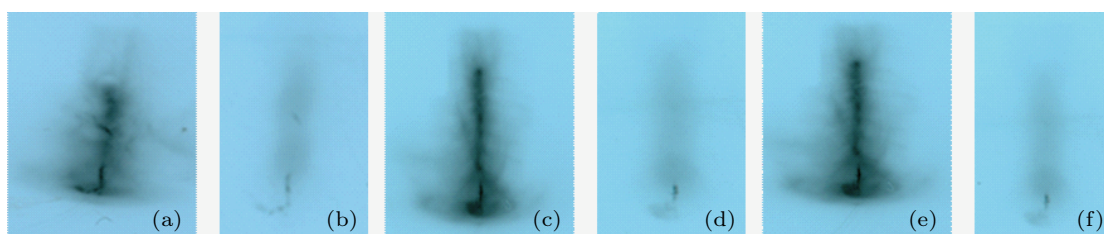


图 6 锥形丝阵 X 射线针孔像

图 8 是锥形丝阵 (shot 09294) 的功率波形, 其功率脉宽达到了 39 ns. 而线质量与锥形丝阵相同的 $\Phi 8$ 和 $\Phi 12$ 柱形丝阵 (直径分别与锥形丝阵阳极一端和阴极一端相近) 功率波形的脉宽分别为 11.2 ns 和 22.3 ns, 均远小于锥形丝阵. 图 9(b) 为 shot 09295 的功率波形, 该发次阳极端未加泡沫,

其功率脉宽为 35 ns. 由此, 脉宽差异是完全由锥形、柱形的构型差异引起, 泡沫仅影响到功率峰的尖锐程度. 由于拉链滞止, 锥形丝阵 X 射线辐射脉冲持续时间明显增长, 并且 X 射线辐射功率波形出现了两个时间间隔 20 ns 的功率峰. 从定标的 X 射线条纹像可知, 第一个峰为阴极内爆所致, 强度

略低于靠近阳极一端内爆产生的第二个峰. 在阴极内爆到心并辐射时, 阳极区域尚未开始内爆; 当阳极开始内爆并辐射时, 阴极等离子体并未完全飞散 (见图 7), 可认为阴极等离子体辐射对第二个功率峰也存在贡献.

shot 09294 的 X 射线条纹像见图 9(a), 图中可

以观察到典型的锥形丝阵轴向等离子体拉链内爆及拉链滞止, 丝阵由阴极至阳极以 2.59×10^7 cm/s 的拉链速度先后发生内爆, 见图 9(b), 并最终形成拉链滞止. 整个拉链内爆和拉链滞止过程的持续时间约为 30 ns.

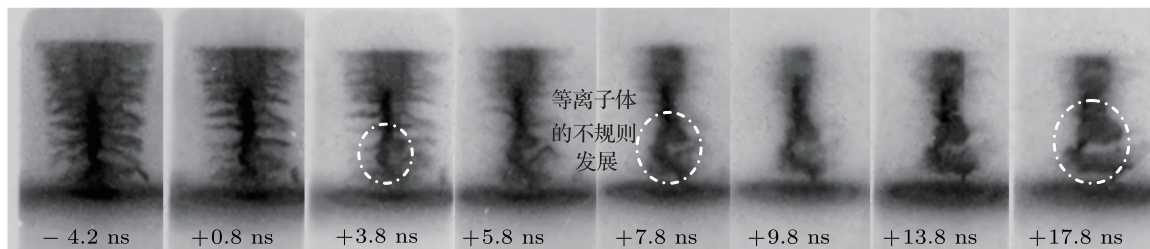


图 7 锥形丝阵 (shot 09294) 滞止、飞散阶段 X 射线分幅像

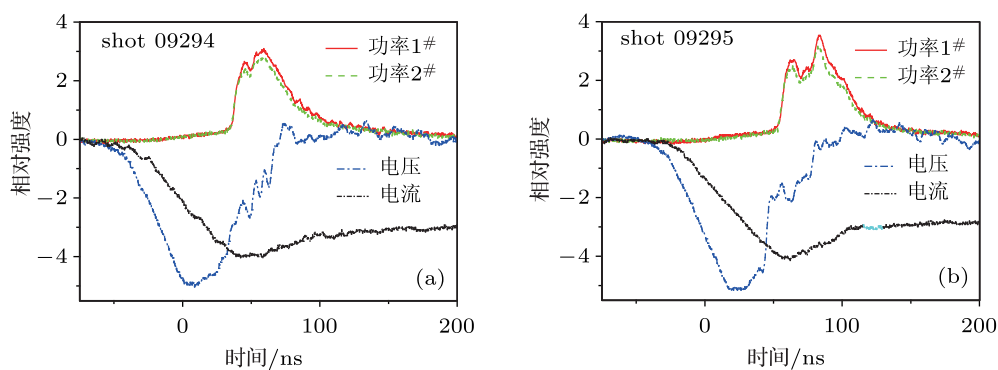


图 8 (a) shot 09294 功率波形; (b) shot 09295 功率波形

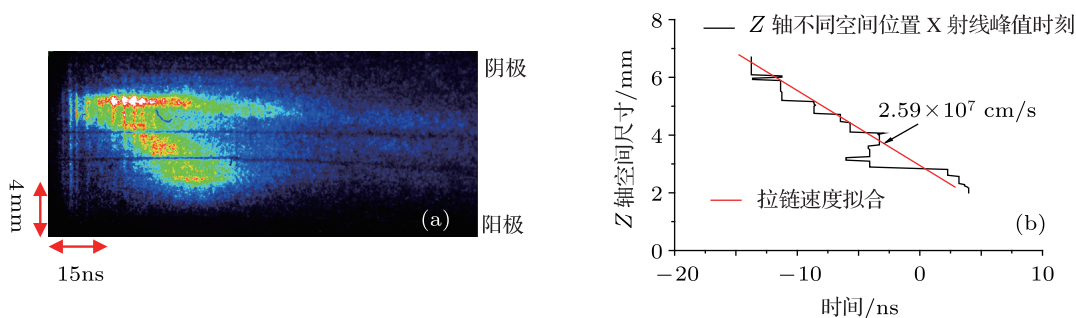


图 9 (a) shot 09294 X 射线条纹像; (b) shot 09294 轴向拉链速度拟合

4 结论

本文利用多种物理图像, 研究了锥形丝阵消融及内爆阶段等离子体的辐射特性. 分析了先驱等离子体的辐射特点并观察到拉链内爆和拉链滞止现象. 由于锥形丝阵拉链滞止及拉链内爆的特点, 其功率脉冲的半高全宽 (FWHM) 接近 40 ns, 明显长

于柱形丝阵, 这种特点对功率波形调制的重要研究意义.

感谢中国工程物理研究院核物理与化学研究所王真博士、高启博士、储衍运博士, 北京应用物理与计算数学研究所丁宁研究员、肖德龙博士、黄俊博士提供的帮助和有益讨论.

- [1] Chittenden J P, Lebedev S V, Bell A R, Aliaga-Rossel R, Bland S N, Haines M G 1999 *Phys. Rev. Lett.* **83** 100
- [2] Lebedev S V, Mitchell I H, Aliaga-Rossel R, Bland S N, Chittenden J P, Dangor A E, Haines M G 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 4152
- [3] Bland S N, Lebedev S V, Chittenden J P, Hall G N, Suzuki-Vidal F, Ampleford D J, Bott S C, Palmer J B A, Pikuz S A, Shelkovenko T A 2007 *Phys. Plasmas* **14** 056315
- [4] Ivanov V V, Sotnikov V I, Sarkisov G S, Cowan T E, Bland S N, Jones B, Coverdale C A, Deeney C, Laca P J, Astanovitskiy A L, Haboub A 2006 *Phys. Rev. Lett.* **97** 125001
- [5] Ivanov V V, Kantsyrev V L, Sotnikov V I, Fedin D A, Astanovitskiy A L, Le Galloudec B, Nalajala V., Shrestha I, Cowan T E, Jones B, Coverdale C A, Deeney C, LePell P D 2006 *Phys. Plasmas* **13** 012704
- [6] Lebedev S V, Beg F N, Bland S N, Chittenden J P, Dangor A E, Haines M G, Kwek K H, Pikuz S A, Shelkovenko T A 2001 *Phys. Plasmas* **8** 3734
- [7] Min H, Kusse B R 2005 *Phys. Plasmas* **12** 102701
- [8] Canto J, Tenorio-Tagle G, Rozyczka M 1988 *Astron. Astrophys* **192** 287
- [9] Lebedev S V, Ciardi A, Ampleford D J, Bland S N, Bott S C, Chittenden J P, Hall G N, Rapley J, Jennings C A, Frank A, Blackman E G, Lery T 2005 *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **361** 97
- [10] Chittenden J P, Dunne M, Zepf M, Lebedev S V, Ciardi A, Bland S N 2002 *Phys. Rev. Lett.* **88** 235001
- [11] Ampleford D J, Ciardi A, Lebedev S V, Bland S N, Bott S C, Chittenden J P, Hall G N, Frank A, Blackman E 2007 *Astrophys. Space Sci.* **307** 29
- [12] Ampleford D J, Lebedev S V, Ciardi A, Bland S N, Bott S C, Hall G N, Naz N, Jennings C A, Sherlock M, Chittenden J P, Frank A, Blackman E 2007 *Astrophys. Space Sci.* **307** 51
- [13] Ciardi A, Lebedev S V, Chittenden J P, Bland S N 2002 *Laser Part. Beams* **20** 255
- [14] Grabovski E V, Aleksandrov V V, Volkov G S, Kubes P, Kravarik J, Bakshaev Y L 2008 *Plasma Phys. Rep.* **34** 815
- [15] Lebedev S V, Beg F N, Bland S N, Chittenden J P, Dangor A E, Haines M G, Kwek K H, Pikuz S A, Shelkovenko T A 2001 *Phys. Plasmas* **8** 3734
- [16] Xu R K, Li Z H, Guo C, Yang J L, Li L B, Song F J, Ning J M, Xia G X, Xu Z P 2003 *Acta. Phys. Sin.* **52** 1203 (in Chinese) [徐荣昆, 李正宏, 郭存, 杨建伦, 李林波, 宋凤军, 宁家敏, 夏广新, 许泽平 2003 物理学报 **52** 1203]
- [17] Xia G X, Zhang F Q, Xu Z P, Xu R K, Chen J C, Ning J M 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 97 (in Chinese) [夏广新, 章法强, 许泽平, 徐荣昆, 陈进川, 宁家敏 2010 物理学报 **59** 97]
- [18] Ning C, Li Z H, Hua X S, Xu R K, Peng X J, Xu Z P, Yang J L, Guo C, Jiang S L, Feng S P, Yang L B, Yan C L, Song F J, Smirnov V P, Kalinin Y G, Kingsep A S, Chemenko A S, Grabowski E V 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2244 (in Chinese) [宁成, 李正宏, 华欣生, 徐荣昆, 彭先觉, 许泽平, 杨建伦, 郭存, 蒋世伦, 丰树平, 杨礼兵, 晏成立, 宋凤军, Smirnov V P, Kalinin Y G, Kingsep A S, Chemenko A S, Grabowski E V 2004 物理学报 **53** 2244]
- [19] Xiao D L, Ning C, Lan k, Ding N 2010 *Acta. Phys. Sin.* **59** 430 (in chinese) [肖德龙, 宁成, 蓝可, 丁宁 2010 物理学报 **59** 430]
- [20] Ryutov D D, Derzon M S, Matzen M K 2000 *Rev. Mod. Phys.* **72** 167
- [21] Bott S C, Lebedev S V, Ampleford D J, Beg F N, Bland S N, Chittenden J P, Ciardi A, Haines M G, Jennings C, Sherlock M, Palmer J, Hall G, Rapley J 2006 *Phys. Rev. E* **74** 046403
- [22] Haines M G, Lebedev S V, Chittenden J P, Bland S N, Sherlock M, Ampleford D J, Bott S C, Hall G N, Jennings C, Rapley J, Le Pell P D, Coverdale C A, Jones B, Deeney C 2004 *Proc. IAEA FEC* 2004 OV/3-5Rb
- [23] Lebedev S V, Beg F N, Bland S N, Chittenden J P, Dangor A E, Haines M G, Pikuz S A, Shelkovenko T A 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 98
- [24] Lebedev S V, Chittenden J P, Beg F N, Bland S N, Ciardi A, Ampleford D, Hughes S, Haines M G, Frank A, Blackman E G, Gardiner T 2005 *Plasma Phys. Controlled Fusion* **47** A91
- [25] Haines M G, LePell P D, Coverdale C A, Jones B, Deeney C, Apruzese J P 2006 *Phys. Rev. Lett.* **96** 075003
- [26] Rudakov L I, Velikovich A L, Davis J, Thornhill J W, Giuliani J L, Deeney C 2000 *Phys. Rev. Lett.* **84** 3326
- [27] Ding N, Wu J M, Dai Z H, Zhang Y, Yin L, Yao Y Z, Sun S K, Ning C, Shu X J 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 8707 (in Chinese) [丁宁, 邹吉明, 戴自焕, 张扬, 尹丽, 姚彦忠, 孙顺凯, 宁成, 束小建 2010 物理学报 **59** 8707]

Implosion characteristics of conical wirearray Z pinches on “Qiangguang1” facility*

Jiang Shu-Qing^{1)2)†} Ye Fan²⁾ Yang Jian-Lun²⁾ Xia Guang-Xin²⁾

Zhang Fa-Qiang²⁾ Li Zheng-Hong²⁾ Xu Rong-Kun²⁾

Xu Ze-Ping²⁾ Pan Ying-Jun¹⁾

1) (*The Key Laboratory of Optoelectronic Tchnology and System, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

2) (*Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China*)

(Received 30 June 2011; revised manuscript received 10 March 2012)

Abstract

Implosion and radiation characteristics of conical wire array in different regimes of implosion are investigated at the 1 MA Qiangguang-1 facility by X-ray self-emission diagnostics. Experimental results show that the shape of precursor plasma is also conical. The initial implosion takes place near the cathode by a stronger Lorenz force, forming a triangle-like structure that produces harder X ray. The current crossing the bubble in the front of the wire array near the anode persists in persist ablating, thereby leading to a zippered stagnation. The initial implosion of a bubble near the cathode is followed by the implosion zippering upwards as the zipper implosion speed is 2.59×10^7 cm/s. The results shows that the conical array has a broader X-ray power pulse than cylindrical wire array due to the zippered stagnation and zippered implosion of the array. The study of implosion characteristics of specialized axis symmetric wire array Z-pinch-like conical wire array can provide a valuable test bed for understanding the regime of implosion as well as theoretical model and magneto-hydrodynamic (MHD) codes, both of which primarily develop for the modeling of cylindrical wire array Z pinches.

Keywords: conical wire array Z-pinches, zippered stagnation, zippered implosion, pulse shaping

PACS: 52.58.Lq, 52.59.Qy, 52.70.La

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10635050, 11005096), the Science Foundation of China Academy of Engineering Physics (Grant No. 2010B0102012), and the Foundation of Institute of Nuclear Physics and Chemistry (Grant No. 2011CX03).

† E-mail: info4edjiang@yahoo.com.cn