

## Z 箍缩聚变研究发展现状及前景分析

丁 宁

北京应用物理与计算数学研究所

ding\_ning@iapcm.ac.cn

### 摘 要：

Z 箍缩可以产生实验室最强的 X 光辐射源 (330TW /2.3MJ)，是可能实现惯性约束聚变的技术途径之一。报告将简要概述 Z 箍缩技术发展历史，分析国内外 Z 箍缩聚变研究发展现状，展示 Z 箍缩研究取得的重大成果，梳理 Z 箍缩技术应用于在聚变领域研究存在的问题，简要论述建造大电流 Z 箍缩装置的科学研究必要性，展望 Z 箍缩聚变研究发展前景。

Z 箍缩技术的各种应用取决于脉冲功率驱动源与负载的匹配关系。负载是实现超高功率电脉冲能量高效转换的载体，其动态行为演变由驱动源和本身初始状态共同决定。快 Z 箍缩是指其内爆时间在几十纳秒到百纳秒量级。面向 Z 箍缩驱动惯性约束聚变 (ICF) 研究，快 Z 箍缩物理过程复杂，涵盖了磁流体力学、辐射输运、原子物理、等离子体微观不稳定性、强脉冲磁场下的输运机制等多种物理过程和复杂物理效应。超强脉冲磁场是 Z 箍缩过程最显著的特征，在此条件下的等离子体形成、磁瑞利-泰勒不稳定性发展对内爆过程及内爆品质产生决定性影响。典型的 Z 箍缩过程具有柱形内爆特征，而聚变靶为球形内爆，设计合适的黑腔构型，使负载等离子体 Z 箍缩过程与靶内爆在时间和空间上有效分离，是 Z 箍缩驱动惯性约束聚变的核心问题。

我国现已成建 8~10MA 的“聚龙一号”装置<sup>[1]</sup>，为开展 Z 箍缩等离子体内爆物理及 Z 箍缩驱动惯性约束聚变基础问题的研究提供了重要的实验平台。目前的实验平台还无法对聚变点火进行直接的实验验证，数值模拟是研究 Z 箍缩驱动 ICF 物理问题的重要手段。近二十年来，北京应用物理与计算数学研究所的 Z 箍缩研究团队，围绕 Z 箍缩辐射源物理和驱动 ICF 技术路线开展了大量研究工作<sup>[2]</sup>。研制和发展了一维、二维 MHD 程序，研究了驱动器与负载耦合、丝消融、先驱等离子体形成、主体等离子体内爆加速和滞止辐射过程，分析了辐射定标率、MRT 不稳定性和角向不均匀性变化规律，获得了辐射源的时空特性和能谱特征。研究了利用 Z 箍缩动态黑腔构型驱动 ICF 的整体物理过程，并对动能加载和直接驱动等技术路线进行了初步探索。彭先觉院士带领的中物院联合研究团队提出并形成了 Z 箍缩驱动的惯性约束聚变混合能源概念 Z-FFR<sup>[3,4]</sup>。

建造大电流 (30MA~50MA) 的脉冲功率实验平台，有利于开展 Z 箍缩辐射源、黑腔以及靶内爆等 Z 箍缩驱动惯性约束聚变关键物理问题的实验研究，检验并验证：电流前沿与 Z 箍缩负载参数和内爆动力学的关系、Z 箍缩等离子体辐射源定标律和 Z 箍缩动态黑腔辐射场 (温度) 定标律，以及 Z 箍缩惯性约束聚变过程中几个重要物理过程的能量转换效率等。

**关键词：**Z 箍缩聚变，快 Z 箍缩，脉冲功率驱动器，负载，动态黑腔

### 参考文献：

- [1] Jianjun Deng, Weiping Xie, Suping Feng, Wang Meng, Li Hongtao *et al.*, 2013 *IEEE Trans. Plasma Sci.***41(10)** 2580
- [2] Ning Ding, Yang Zhang, Delong Xiao, Jiming Wu, Zihuan Dai *et al.*, 2016 *Matter and Radiation at Extremes***1** 135
- [3] 彭先觉, 2010 西南科技大学学报, **25** 1
- [4] 李正宏, 黄洪文, 王真, 陈晓军, 祁建敏, 郭海兵, 2014 强激光与粒子束, **25** 1