



郑坚教授课题组取得双锥对撞点火掺杂靶结构优化方面进展

发布时间：2022-09-08 浏览次数：215

近日，等离子物理与聚变工程系的郑坚教授课题组，针对直接驱动双锥点火方案进行了优化研究，通过对靶丸的烧蚀层掺杂中高Z元素，并借助一系列的模拟手段和算法来优化设计参数，提升ICF的内爆品质，相关研究已取得进展。相关成果发表在Plasma Physics and Controlled Fusion期刊(Guannan Zheng et al 2022 Plasma Phys. Control. Fusion 64 105003)上。

双锥点火是张杰院士在2020年提出的一种新型直接驱动点火方案，该方案有望借助更少的激光能量实现聚变点火，降低对激光装置的能量需求。在直接驱动ICF中，内爆流体力学不稳定性一直是实现点火的主要障碍。内爆加速中，靶丸烧蚀层和燃料层向内的加速度，使得烧蚀面存在瑞利-泰勒不稳定性(RTI)，这种不稳定性会破坏靶丸壳层的完整性，使DT燃料和中高Z烧蚀材料发生混合，降低点火温度。

为了提高内爆品质，研究中对靶丸的CH烧蚀层进行了中高Z元素的掺杂(如Si、Cl)。中高Z元素的掺杂可以提高烧蚀材料的辐射特性，通过辐射烧蚀增大烧蚀面的密度标长，降低RTI的增益。为了获取掺杂材料的不透明度数据，研究中发展了快速插值方法，插值数据的可靠性得到了LANL的TOPS掺杂程序的验证。为了设计合适的靶参数，该工作中借助了辐射流体程序MULTI-1D，它是一维的拉氏网格程序，可读取真实物质的EOS和不透明度数据。借助Betti等人发展的拟合方法，结合MULTI-1D的模拟数据，可以实现半定量地评估内爆过程RTI的发展。

研究中定义了一个评分函数来综合考虑内爆的RTI增益和压缩面密度。借助全局优化算法-粒子群算法(PSO)，对双锥点火的具体方案进行了优化。PSO是一种启发式的种群算法，适合大规模并行计算，提高全局优化效率。为了验证优化的结果，该工作中将一维优化参数进行了二维FLASH模拟。一维和二维模拟表明，掺入Si或Cl可以有效地缓解加速阶段的RTI，且不会导致峰值面积密度的显著下降。一维和二维模拟的结果定性相符，证明了优化的有效性。这套的优化程序将是一个有价值的工具，帮助我们设计靶丸，并提高我们对直接驱动内爆物理的认识。该项研究得到了中科院先导专项等基金资助。文章全文见<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6587/ac89ac>。

等离子体物理与聚变工程系简介：

等离子体物理与聚变工程系(校内编号52系)成立于2020年，是中国第一个专门从事等离子体物理与聚变工程教学科研的系级单位，其前身是成立于1974年的等离子体物理教研室。52系具有应用物理和工程物理两个本科专业，招收物理学(等离子体物理)以及核科学技术(核能工程)两个培养方向的研究生。

图1. 优化流程的示意图。在全局优化算法(PSO、GA等)的框架下，在前四个模块中进行一维模拟，以找到最优参数。在输出之前，优化的结果将通过FLASH的二维模拟进行验证。

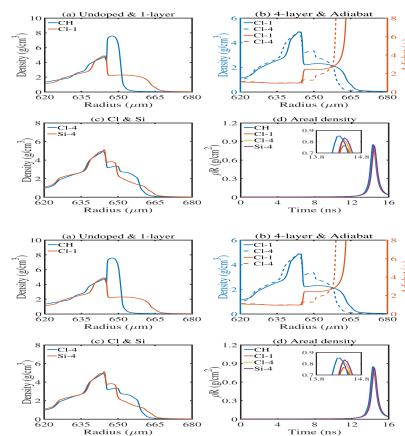
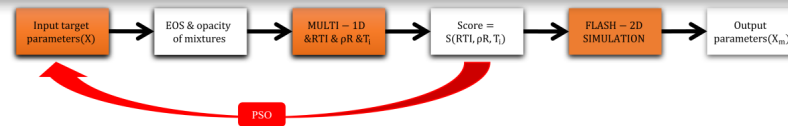


图2. MULTI-1D的优化模拟结果。(a) 未掺杂算例CH和单层掺杂Cl-1的密度对比。(b) 算例Cl-1和Cl-4的密度和绝热因子示意图。(c) Cl-4和Si-4的密度比较。前面三幅图是在time = 10.5 ns时。(d) CH、Cl-1、Cl-4和Si-4的面密度时间演化。

图3. 二维FLASH模拟。(a) 未掺杂算例CH, (b) 单层掺杂算例Cl-1, (c) 4层掺杂情况的Cl-4, 和 (d) 算例Si-4在time = 7 ns的密度示意图。

