



化学反应界面Richtmyer-Meshkov不稳定性研究取得进展

作者: 李新亮 2022-05-16 15:22

【放大 缩小】

激波冲击密度界面导致的Richtmyer-Meshkov (RM) 不稳定性是惯性约束聚变 (ICF)、超新星爆发以及超燃冲压发动机中的重要流动现象。由于迫切的应用需求, 目前国内外已开展了大量RM不稳定性研究, 但含化学反应的RM不稳定性研究尚不充分, 尤其是发展到湍流混合阶段的化学反应RM不稳定性流动研究更为少见。而化学反应及湍流混合是超燃冲压发动机流动的重要特征, 因而研究包含化学反应及湍流混合的RM不稳定性问题是十分必要的。

力学所空天飞行器流动数值模拟课题组(李新亮研究团队)与中物院九所联合开展了化学反应界面RM不稳定性的直接数值模拟(DNS)研究。数值模拟对象为柱形界面与柱形激波进行干扰产生的RM不稳定性流动。柱形界面外部为空气, 内部为85%的氢气与15%的氮气组成的混合气体。激波扫过界面后产生RM不稳定性流动, 同时氢气与空气中的氧气发生化学反应。DNS使用李新亮研究团队开发的OpenCFD-Comb程序, 数值方法为该研究团队自行开发的OMP6格式, 化学反应采用9组分19反应详细机理, 计算在国产超算系统上进行, 网格量达到10243。通过对有化学反应及无化学反应两种工况对比, 研究了化学反应对RM不稳定性流动及后期湍流混合的影响规律。计算结果显示, 在RM不稳定性初期, 化学反应明显加速了界面混合过程, 导致混合厚度大幅提升; 而进入湍流混合阶段后, 由于化学反应释热导致粘性增加及密度降低, 进而明显抑制了湍流发展, 从而弱化了湍流混合过程。此外, 研究还给出了螺旋度(helicity)在RM不稳定过程中的产生及发展规律, 以及其对湍流混合的影响机制。

该研究以 "Effect of chemical reaction on mixing transition and turbulent statistics of cylindrical Richtmyer-Meshkov instability" 为题发表在 *Journal of Fluid Mechanics*, 作者为闫政、符耀威、王立锋、于长平、李新亮 (通讯作者)。该研究得到国家重点研发计划 (2019YFA0405300, 2020YFA0711800)和自然科学基金 (12072349, 91852203) 资助。

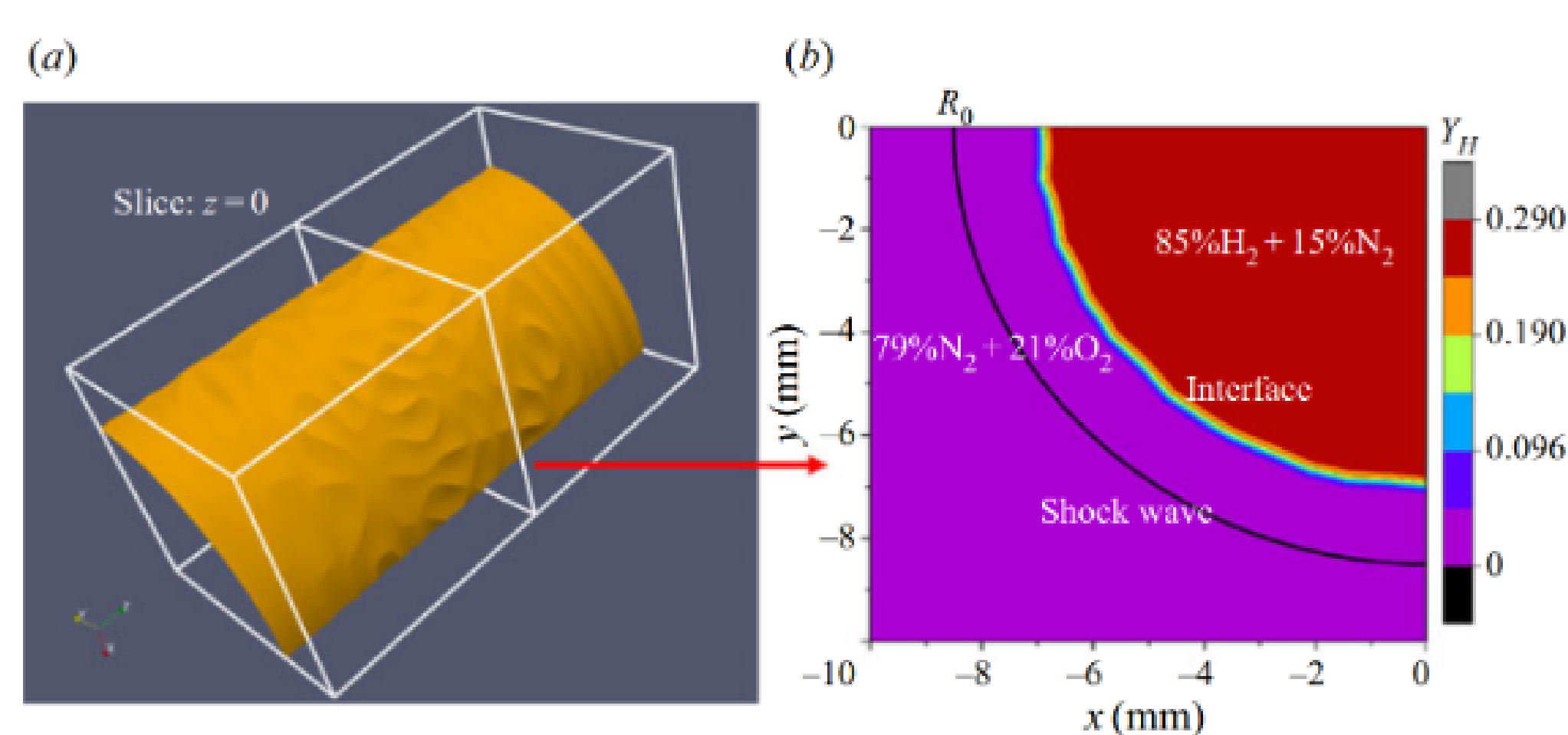


图1. 计算区域及初始状态示意图

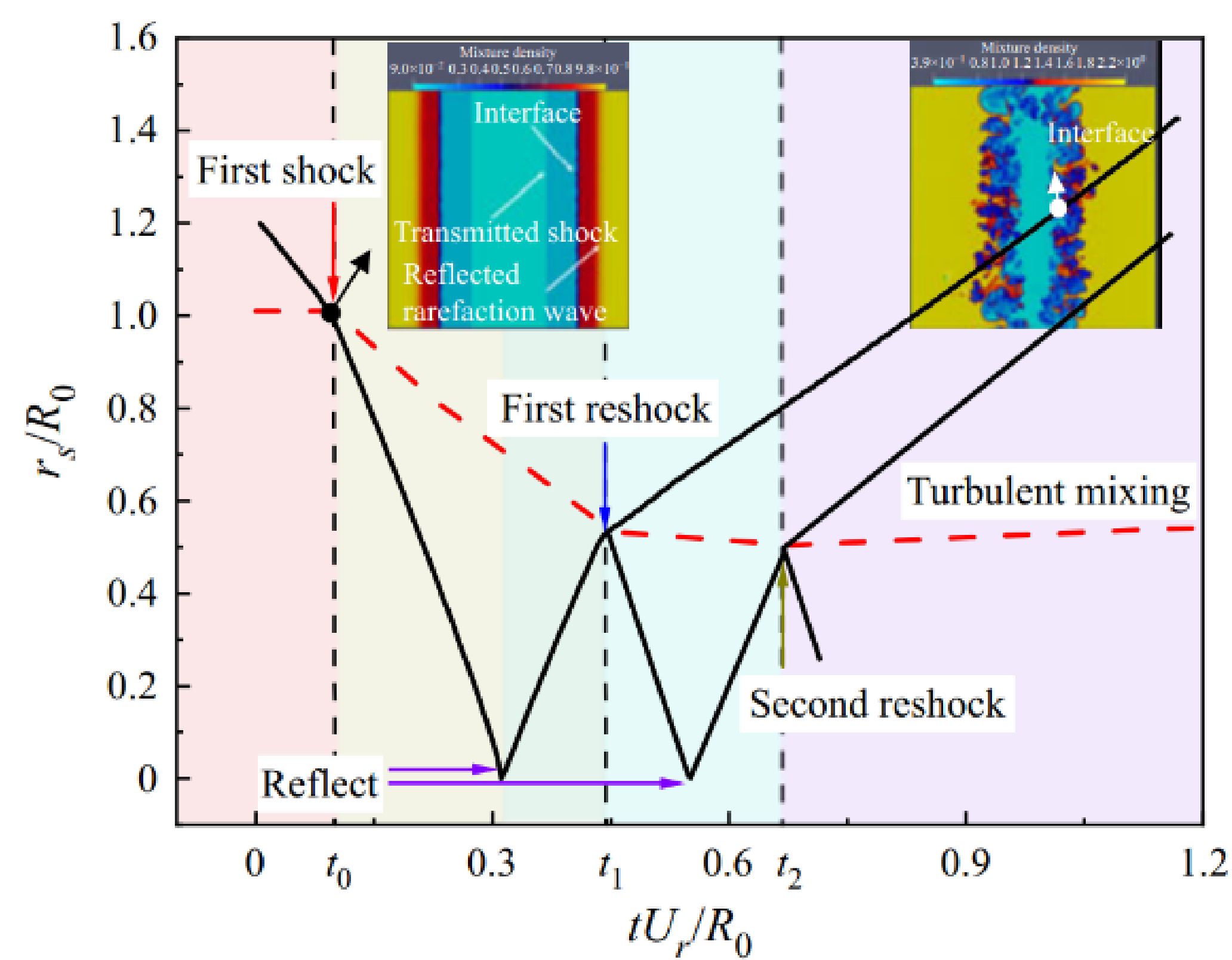


图2. 激波及界面发展过程

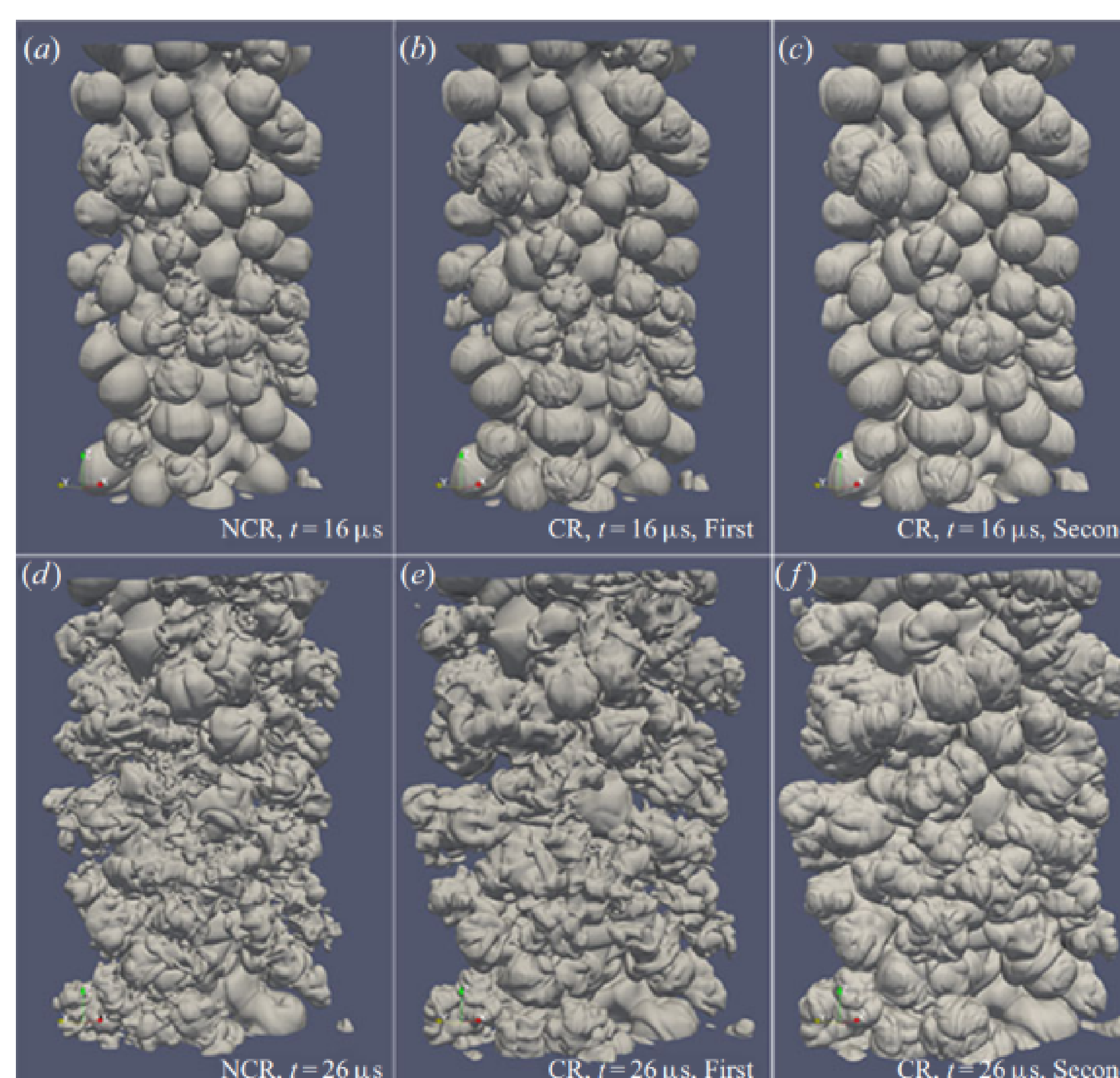


图3. $t = 16\mu\text{s}$ 及 $26\mu\text{s}$ 时刻的界面图像 (NCR:无化学反应; CR:有化学反应)

