

Bell-Plesset 效应下的分层流体界面稳定性理论研究

宋广毅^{*,+}, 王静竹^{*,+2)}, 王一伟^{*,+,**}

* (中国科学院力学研究所, 北京 100190)

+ (中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

** (中国科学院大学未来技术学院, 北京 100049)

摘要: 不稳定性现象在自然科学和工程应用等领域都是不可忽视的问题。虽然失稳一般是由于多种不稳定性机制综合作用导致的, 但是对于界面失稳, 瑞利-泰勒不稳定性 (RTI) 发挥了主要作用。通目前对 RTI 的研究, 主要集中在给定初始扰动条件下的界面 RTI 演化情况, 对于 RTI 的初始条件的确定性问题研究较少。本文基于流体质量守恒, 通过势流理论方法, 分析多层柱壳流体的界面运动规律, 重点讨论收缩几何效应、界面密度比以及表面张力等因素对于界面扰动模态以及界面扰动发展的影响。理论分析基于无黏不可压缩假设, 通过势流理论求解线性化 NS 方程, 得到流体界面的基本流动特征和小扰动演化规律。由于界面存在基本流动, 收缩几何 (Bell-Plesset, BP) 效应对界面扰动演化具有显著影响; 表面张力不仅维持着流体界面的几何形状, 还进一步影响着界面扰动模态并进一步影响界面扰动发展; 界面两侧密度比更是直接影响界面扰动增长率。线性理论结果表明, 各分层流体间的界面运动通过界面间的流体质量守恒相互影响, 界面扰动模态会受到界面基本流动频率、界面密度比以及表面张力的影响, 界面基本流动会直接影响本界面小扰动演化, 对于其他界面上的小扰动发展并无直接影响。同时, 采用数值模拟对理论结果进行验证, 结果表明, 线性稳定性分析理论可以很好地预测界面扰动模态以及扰动发展早期的演化规律, 当扰动发展到非线性阶段, 线性理论会失去预测能力。需要进一步考虑非线性以及界面厚度等因素对界面运动及界面扰动的影响。

关键词: 界面不稳定性; 收缩几何效应; 表面张力; 扰动模态