计算可压缩多介质流动的虚拟流体方法研究

摘要

本文研究由理想气体和满足刚性气体状态方程的液体所构成的多介质可压缩流的数值方法。采用水平集方法 Level Set Method 和虚流体方法 Ghost Fluid Method 相结合的方式来跟踪和模拟流体界面。众所周知，单独的 Level Set 方法不需要显式地跟踪流体界面，因而可以较容易地处理复杂的流体界面及其拓扑结构发生变化的情形。但它往往会抹平界面，或者在界面附近产生非物理的数值振荡。为了克服这些缺点，近年来人们发展了 Ghost Fluid 方法，随后又作了一些改进，但是还不清楚所有这些改进对于物性参数差别很大和大密度比情况的模拟能力。本论文工作的目的是进一步研究和改进 Ghost Fluid 方法对计算更极端情况的适用性。

在 Ghost Fluid 方法中，通常做为边界条件的虚流体的构造是带有一定经验性的，或者可以看作是不同的插值方式。到目前为止，构造虚流体主要有三种方法：由 Fedkiw 提出的早期的 Ghost Fluid 方法(简称为 OGFM)；在 OGFM 基础上，为专门处理气液问题提出的简单修改方法(简称 MGFM)；以及由刘铁刚等提出的在界面求解近似黎曼问题的方法 (简称 RGFM)。本文对上述三种方法进行了系统的比较研究，通过对几种两介质激波管问题、激波撞击物质界面问题和大密度比的气液两相流问题的数值计算，得到了各种方法的计算效果和适用范围。

本文的另一个工作是用 Rayleigh-Plesset 方程和气泡内部 Navier-Stokes 方程相耦合的方法数值模拟水中气泡在超声波辐照下向内塌缩所造成的高温化学反应流场。模型包括了气泡壁上非平衡的水蒸发-冷凝过程和气泡中电离气体的静电相互作用，得到了有关声致发光机理的新认识。将来的工作是将 Ghost Fluid 方法进一步发展应用于声空化气泡塌缩变形的数值模拟。