

## 射流冲击引起的混相湍流研究 1)

李荣<sup>\*,+</sup>, 杨子轩<sup>\*,+,2)</sup>, 卢敏<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> (中国科学院力学研究所, 北京 100190)

<sup>+</sup> (中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

**摘要:** 混相湍流特指两种流体(如水和空气)充分混合的湍流,以界面变形破碎、密度剧烈变化为主要特征。诱导混相湍流的主要物理过程包括飓风大浪、水面航行、水下通气、空化相变等,在海气交换、节能减排、减阻降噪、高速航行等环境和工程问题中具有广泛应用。本文对射流冲击水面引起的混相湍流进行了数值模拟,并对混相湍流的统计特性进行了研究,提出了湍流质量通量的动力学封闭模型。

本文采用自主开发的高密度比不可压两相流动求解软件 CAS-Tank,对射流冲击水面这一典型的引起混相湍流的过程进行了高保真数值模拟。求解器采用了耦合水平集-体积分方法捕捉水气界面,该方法优势在于能够准确计算界面法向,并保证质量守恒,求解器还采用了密度预估-同步方法来保证计算稳定。本文基于雷诺平均框架对混相湍流的统计特性进行了研究,并通过多组算例分析了弗劳德(Fr)数的影响。数值结果表明,湍流统计量随Fr数的变化呈现出非单调特性。为了研究平均动量方程的封闭问题,本文进一步分析了湍流动能(TKE)、湍流质量通量(TMF)以及它们的输运方程。结果表明,TKE各输运项的平衡关系与单相湍流类似。与单相湍流相比,TMF是混相湍流中额外的待封闭量。研究发现,TMF输运方程中的产生项与TKE高度相关。在此基础上,本文进一步提出了TMF产生项的封闭模型。该工作有利于加强对混相湍流的统计特性的理解,为工程中计算混相湍流的模型发展提供了新的思路。

**关键词:** 湍流数值模拟; 湍流封闭模型; 两相流

1) 资金资助项目:国家自然科学基金基础科学中心“非线性力学多尺度问题”项目(No.11988102)和国家自然科学基金委员会项目(No.1197203812272357)