

高雷诺数复杂边界湍流的多可信度大涡模拟方法¹⁾

杨晓雷²⁾, 秦建华, 周志登, 李墨斌, 李世隆, 董国丹, 刘晓豪, 陈丹阳

(中国科学院力学研究所, 非线性力学国家重点实验室, 北京 100190)

(中国科学院大学, 工程科学学院, 北京 100049)

摘要: 能源、环境等工程应用中的湍流常具有较高雷诺数, 并具有复杂边界、多尺度等特点, 其数值模拟极具挑战。这个报告将介绍我们针对此类湍流问题的多可信度大涡模拟方法及其应用方面的研究进展, 包括 (1) 适用于复杂边界下颗粒湍流模拟的清晰界面和光滑界面混合的浸没边界方法, 数值模拟结果显示该方法可准确模拟颗粒间的相互作用及颗粒与壁面的相互作用, 并成功应用于周期山颗粒湍流模拟; (2) 粗糙壁湍流的机理和大涡模拟壁模型, 研究了立方体和椭球体粗糙壁湍流的统计特征, 系统验证了传统粗糙壁大涡模拟壁模型的预测能力, 结果显示传统模型不能准确预测不同壁法向位置的湍流尺度特征; (3) 叶片或桨叶的参数化模型及其在风电场和 水下航行器尾迹湍流模拟中的应用, 风电场模拟显示其尾迹在 55 个风轮直径处 (5.5 千米) 仍未完全恢复, 水下航行器模拟结果则重点关注了螺旋桨射流尾迹对航行器的速度亏损尾迹的影响。以上问题包含多个不同尺度, 从毫米量级的砂粒和表面粗糙度到千米量级的风电场。在具有多个特征尺度的湍流模拟中, 准确模化未解析小尺度, 是预测解析的大尺度流动结构的关键, 也是大涡模拟应用于实际工程的有效途径。未来工作将着重于发展基于流动机理和大规模数据的未解析小尺度模型。

关键词: 高雷诺数; 复杂边界; 多可信度

1) 资金资助项目 (国家自然科学基金委基础科学中心项目 (批准号 11988102)、国家自然科学基金面上资助 (批准号 12172360)、国家数值风洞项目 (批准号 NNW2021ZT1-B34))