

神经网络湍流建模的集合变分方法 1)

罗清勇^{*,+}, 张鑫磊^{*,+,2)}, 何国威^{*,+,2)}

* (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: 雷诺平均方法 (RANS) 被广泛用于工程应用, 但其准确性严重依赖湍流模型。数据驱动方法逐渐成为构造高可信湍流模型的有效工具。无导数的集合方法, 是数据驱动湍流建模的重要途径之一。但是, 集合方法的训练精度, 受限于线性化假设和样本坍塌问题。鉴于这些问题, 我们提出了集合变分方法, 通过结合无导数的集合方法和非线性的变分方法, 显著提高神经网络模型的训练精度。此外, 我们提出了一种基于收敛状态的自适应方差膨胀格式, 能够减轻样本坍塌带来的不利影响。利用该方法, 我们构建了基于神经网络的非线性涡黏模型, 并在合成方槽流动、周期山分离流动、S809 翼型流动中, 测试了所提出方法的训练效果。研究表明, 集合变分方法较集合卡尔曼方法, 可以在小样本数量和小样本方差的情况下学习相对准确的神经网络湍流模型。该方法有望降低训练神经网络湍流模型的计算成本并保证训练过程的稳定性。

关键词: 集合卡尔曼方法; 集合变分方法; 神经网络; 湍流建模; 雷诺平均

1) 受国家自然科学基金委基础科学中心项目“非线性力学的多尺度问题研究”(No. 11988102), 国家自然科学基金(No. 12102435)、中国博士后科学基金(No. 2021M690154)和青年人才托举工程(No. 2022QNRC001)资助