

前馈神经网络构造周期山状流的大涡模拟壁模型¹⁾

周志登^{* +}, 何国威^{* +}, 杨晓雷^{* +, 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: 自然界以及工程流动通常处于高雷诺数、非定常的湍流状态, 大涡模拟是预测非定常湍流的重要工具。在具有强压力梯度、分离和再附等流动特征的复杂壁湍流中, 基于均衡假设的传统大涡模拟壁模型常常难以准确计算壁面切应力, 从而无法为外区流动提供准确的边界条件。针对传统壁模型无法准确预测复杂壁湍流的问题, 我们以周期山状流为研究对象, 以壁面解析的大涡模拟数据为基础, 采用机器学习方法构造数据驱动的壁模型。首先进行数据准备, 我们输出较长时间的展向截面瞬时流场, 从下壁面的不同流向位置, 沿法向取点, 插值得到近壁流动数据。随后以壁面法向距离、近壁速度和压力梯度为输入特征, 以流向和展向壁面切应力为输出标签, 对其分别进行线性归一化, 采用多隐层前馈神经网络训练壁模型。模型训练成功后, 对其进行先验研究。在先验研究中, 对于训练集内的瞬时应力和时均应力, 模型都可以准确地预测, 表明模型具有较高的预测精度; 对于训练集以外的流动截面, 模型预测与真实的时均应力在不同流向位置也有较好吻合, 关联系数接近于 1、相对误差接近于 0, 预测与真实的瞬时应力的变化趋势基本一致, 脉动幅值略有差异, 表明训练的壁模型具有较强的泛化能力。

关键词: 周期山状流; 大涡模拟; 壁模型; 神经网络; 近壁流动

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)资助