力学所在湍流非湍流界面识别研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/12560.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

在自然界和工业界的流动中存在着大量湍流与非湍流共存的流动状态，找到湍流和非湍流的界面对发展计算模型十分重要。传统的湍流/非湍流界面识别通常基于湍流的某一特征（如非定常性、具有不同尺度的涡等），选择对应的物理量（如脉动能量、涡量幅值等）并指定相应阈值进行识别，这种方法的局限性在于特征量以及阈值的选择具有主观性，无法客观全面地反映湍流的特性。

中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室研究员杨子轩等人提出使用极端梯度提升法（XGBoost）算法对圆柱尾流（图1上）中的湍流/非湍流界面进行识别。XGBoost方法可以同时处理多个输入变量，为得到与坐标系无关的识别模型，科研人员选择流动变量中的不变量作为模型输入，经过一系列湍流输运方程的推导，选择了平均运动的应变率张量$\bar{S}$和涡张量$\bar{\Omega}$、脉动应变率张量S、脉动涡张量Ω，以及这些张量的二次张量的所有非平凡不变量，再加上脉动速度能量k，共计16个物理量作为输入变量进行模型训练。XGBoost方法属于机器学习中的监督学习方法，除了给出训练样本的输入变量外，还需要给出对应的流动状态，因此，科研人员从流动状态已知的区域进行采样（图1下），训练完成后将模型用于全场，得到每个离散点上的流动状态，从而得到湍流/非湍流界面（图2中的实线）。

与传统的湍流识别方法相比，机器学习方法体现出两点优势：一是同时使用多个变量进行识别，二是不需要人工指定阈值，因此机器学习方法得到的湍流/非湍流界面更具客观性。XGBoost方法除了能够给出界面位置，还可以给出所有输入变量的重要性，若一个变量重要性高，说明该变量在湍流和非湍流中的值区别显著。图2给出重要性最大的4个变量的云图，从上至下依次为脉动速度能量k、张量$S\cdot\Omega+\Omega\cdot S$的第二不变量、张量$S\cdot S+S\cdot S$的第三不变量，以及张量$\bar{\Omega}\cdot S+S\cdot\bar{\Omega}$的第二不变量，其中$k$反映了湍流的非定常特性，$S\cdot\Omega+\Omega\cdot S$的第二不变量和$\bar{\Omega}\cdot S+S\cdot\bar{\Omega}$的第二不变量反映了湍流中具有涡拉伸这一现象，而$S\cdot S+S\cdot S$的第三不变量反映了湍流的三维特性。此外，从图中还可看出单一使用其中某一个变量可能造成误判，例如，$S\cdot\Omega+\Omega\cdot S$的第二不变量反映了涡拉伸效应，但在非湍流分离区也存在涡拉伸，因此，单独使用$S\cdot\Omega+\Omega\cdot S$的第二不变量会造成该区域被误判为湍流区域。

相关研究成果发表在*Journal of Fluid Mechanics*上。

研究团队单位：力学研究所

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发