

维持近壁湍流的必要尺度和运动

李千千*, 邓冰清^{*,2)}, 杨子轩⁺

* (中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

⁺ (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)

摘要: 长条带和短流向涡是近壁湍动能的主要贡献者, 因此被视为近壁湍流的两种主要相干结构得到了学者们的广泛关注。现有的研究基于最小槽道内条带和流向涡构成的近壁自循环过程, 解释了近壁湍流的自维持机制。由于最小槽道具有计算域小、离散波数稀疏的特征, 其中包含的比条带和流向涡尺度更大的结构仅为流向无穷长和展向无穷宽的运动, 故基于最小槽道无法确定维持近壁湍流所必需的结构尺度。

我们采用直接数值模拟方法开展了数值实验, 研究了维持近壁湍流所需运动的尺度和它们在维持近壁湍流中所发挥的作用。通过在离散波数更密集的大计算域下, 对充分发展槽道湍流中特定的尺度运动进行人为抑制, 得到了维持近壁湍流所必需的尺度范围。该尺度阈值既不同于最小槽道的计算域大小, 也区别于条带和流向涡的特征尺度。在数值实验中, 我们还观察到流场可以呈现出两种不同的湍流状态, 一种是条带强度相对减弱但流向涡增强的状态, 另一种是流向涡强度显著降低而条带强度基本保持不变的状态。这两种状态的存在说明条带和流向涡在近壁湍流的维持过程中并不存在强烈的直接相互依存关系。以上结果也说明, 除了条带和流向涡之外, 还有其他尺度的运动对近壁湍流的维持起着重要作用, 从而为探索并从其他途径控制湍流提供理论依据。

关键词: 壁湍流; 相干结构; 直接数值模拟

1) 资金资助项目 (自然科学基金“基于不同流向尺度近壁相干结构的壁湍流机理研究” (12302291))