

壁温影响的高超声速湍流边界层特征

梁贤, 李新亮, 傅德薰, 马延文

(中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室, 北京海淀区 100190)

对来流马赫数等于 8, 壁温分别等于 1.9 倍 (低温壁) 和 10.03 倍 (高温壁) 的来流参考温度的平板可压缩边界层湍流做了直接数值模拟. 求解 NS 方程组的高解析度稳定的数值算法基于 7 阶 WENO 和 6 阶非线性滤波格式构造. 本文重点关注了壁温变化对压缩性效应、Walz 公式、Van Driest 变换、Morkovin 假设、强雷诺比拟关系、湍动能输运和扩展自相似性的影响. 研究工作有助于高马赫数情况下的大涡模拟方法研究和湍流模型的构造. 当 $T_w/T_\infty = 1.9$ 和 10.03 时边界层外缘马赫数分别为 7.42 和 6.92, 冷却壁面增强了压缩性效应. 当 $T_w/T_\infty = 1.9$ 时, 低温壁面条件, 近壁区最大湍流马赫数达到 0.6, 压缩性效应显著增强, 强雷诺比拟不再有效, Morkovin 假设不再成立; 当 $T_w/T_\infty = 10.03$ 时, 高温壁面条件, 近壁区最大湍流马赫数达到 0.4, 压缩性效应相对较弱, 强雷诺比拟依然有效, Morkovin 假设仍然成立. 计算表明, 在高马赫数情况下, 当分析边界层结构和统计特征时, 半局部壁面坐标 y^+ 比传统的壁面坐标 y^* 更合适, 特别对于压缩性增强或温度梯度增大的情况, 优势更明显; 扩展自相似性在高马赫数情况下依然保持, 但有效范围随马赫增大或者壁面温度降低而减小, 准流向涡受压缩性约束不易破碎得到验证.

关键词 高超声速, 可压缩湍流, 边界层, 扩展自相似性