

## 壁面柔性效应对高超声速边界层稳定性的影响

纪晓阳\*, 董明\*, 1)

\* (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:** 边界层从层流到湍流的转捩是航空航天飞行器气动设计的关键基础难题。为了推迟转捩发生, 以减少飞行器表面总阻力和总热流, 人们致力于发展各种层流控制技术。在高超声速边界层中, 由于线性模态扰动的失稳机制与低速流中不同, 控制方案与控制机理也不同。一种有效的措施是在壁面的某个区域安装多孔壁, 并在表面覆盖柔性蒙皮。本文从三个方面展开了壁面柔性对高超声速边界层稳定性影响的研究:

(1) 基于可压缩 Orr-Sommerfeld 方程研究了壁面柔性对高超声速边界层中线性失稳模态的影响。结果显示, 在第二模态下支存在一个临界频率, 柔性壁会抑制高于该频率 (包括峰值频率) 的第二模态扰动, 而促进低于该频率的第二模态和第一模态扰动。

(2) 由于对于给定频率的扰动, 柔性壁的抑制作用出现在雷诺数较高的区域, 故在实际应用中应该把柔性面板设置在远离前缘的下游。这样就会出现一个从刚性壁到柔性壁的连接点, 在该处由于边界条件突变会带来局部散射效应。本文利用调和线性化 Navier-Stokes 方程 (HLNS), 计算了扰动从刚性壁到柔性壁的演化规律, 并引入了透射系数来量化局部散射效应的强度。数值结果显示, 连接处的局部散射效应会促进频率较低的扰动, 而对高频扰动表现出抑制作用。

(3) 基于留数定理建立了描述刚性壁柔性壁相接点处局部散射效应的理论计算方法。该理论能有效地揭示局部散射效应的产生原理, 并在阻抗系数足够小时给出定量准确的预测。

**关键词:** 柔性壁面; 边界层转捩; 局部散射; 线性稳定性