

高超声速进气道唇缘钝化流动的数值研究

卢洪波¹, 岳连捷^{1,2}, 肖雅彬^{1,2}, 张新宇^{1,2}

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

(2 中国科学院高超声速科技中心, 北京海淀区 100190)

本文结合高超声速进气道典型飞行状态(飞行高度 $h=26\text{km}$ 、马赫数 $Ma=6$), 计算分析了钝化半径 $R=1\text{mm}$ 的进气道唇口流动控制方程的适用性, 发现进气道唇口处在连续介质流中, 可用 N-S 方程及粘性无滑移边界条件描述其运动状态。在此基础上, 采用 CFD++ 软件数值研究了进气道钝化唇缘局部流动及热负荷特性及三种不同唇缘钝化方式的进气道流场, 并对比分析了三种唇缘钝化方式不同钝化半径下的进气道性能。钝化唇缘局部流动及热负荷特性的研究结果表明, 钝化唇口的载荷分布和进气道的流动特性直接取决于斜激波与弓形激波相互作用的位置。斜激波作用于唇口弓形激波的强激波部分时, 热流最大, 约为自由流驻点热流的 10 倍; 而激波相互作用区域位于唇口内或外侧(唇口处于自由流或斜激波波后气流)时, 热负荷较低, 但处于斜激波波后气流下的唇口热负荷高于唇口处于自由流的。不同唇缘钝化方式的进气道流场的研究结果表明: 不同唇缘钝化方式的进气道导致唇缘附近流场结构不同。这不仅改变了唇缘的热负荷特性, 而且对进气道性能影响很大。唇口处在激波相干状态时, 唇缘热负荷最大, 进气道性能居中, 随钝化增加热负荷及阻力明显增大。唇口处在入射激波波后气流状态时, 唇缘热负荷居中, 进气道性能最差, 且钝化半径增加急剧恶化。唇口处在自由来流状态时, 唇缘热负荷最小, 进气道性能最好, 且随钝化半径增加其性能明显优于其它两者。

关键词 高超声速进气道, 钝化唇缘, 激波相干, 气动热, 超燃冲压发动机