

MS5724

化学非平衡对高超声速流动影响的理论分析

陈松¹, 孙泉华¹

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 100190

E-mail: qsun@imech.ac.cn

飞行器在大气层内作高超声速飞行时, 来流经过头部强激波压缩后达到很高的温度, 引发空气发生复杂的热化学变化。由于气动热环境等方面的约束, 高超声速飞行通常在较低密度的大气中进行。此时非平衡松弛过程变得重要, 在很大程度上影响到飞行器的气动性能, 使得热化学非平衡效应成为飞行器设计的一个重要因素。在连续流假设成立的前提下, 通过求解带化学反应的 Navier-Stokes 方程组可以获得化学非平衡对流动的影响。考虑到飞行器流场在不同飞行高度和速度条件下的化学非平衡存在差异, 发展简化的理论方法对飞行器的初步设计具有明显的实用价值。本文针对钝头体前缘流动的化学非平衡问题, 通过构建驻点线上的准一维理论模型, 研究不同来流条件下组分离解度的变化及其对流动的影响。考虑到飞行器周围空气中的氧气首先发生离解, 在分析氧气离解时可以把氮气视为惰性气体。在理想解离气体 (Ideal Dissociating Gas, IDG) 模型的基础上, 通过考虑空气的有限速率化学反应, 得到定常流动的氧气离解度的松弛方程。进一步对驻点线流动作合理假设, 联立松弛方程与流动方程, 可以快速求解驻点线上的流动参数。不同高度下的理论计算结果显示, 氧气离解度随飞行高度增加先增大后逐渐减小, 其原因是由于流动中存在化学平衡移动及非平衡松弛两个过程, 并与飞行高度相关。这一非单调变化趋势得到全 NS 方程数值模拟结果的验证。根据理论计算公式, 得到了速度-高度坐标上的最大氧气离解度及驻点线边界层外温度的分布, 获得了相关规律。上述理论模型仅考虑氧气的离解, 进一步的工作将考虑氮气的离解以及稀薄气体效益的影响。

Keywords: 化学非平衡;高超声速流动;离解度;

Preferred Presentation Type: