

# 三维压缩进气道流动分析和性能的理论研究

项高翔 王春 姜宗林

(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)

**摘要:** 超燃冲压发动机性能的研究尤其是进气道性能的研究对高超推进有重要的指导意义。进气道的压缩性能和总压恢复性能与进气道几何构型紧密相关, 进气道中激波/激波的相互作用、激波/边界层的作用对进气道性能的影响也很敏感。目前对于三维进气道的研究主要集中在实验和数值模拟上, 理论分析比较少。本文主要是用特定的降维方法将三维问题转换为二维问题进行解析, 并利用该方法对不同马赫数的双楔进行了理论研究。

**关键词:** 进气道性能 激波/激波相互作用 降维 极曲线分析

## 一、引言

高超推进的超燃发动机的研究是近些年来比较热门的课题和难题, 尤其是进气道性能的研究更是重中之重。超燃发动机进气道性能包括压缩性能、总压恢复系数、启动性能和流量捕获。这些性能和进气道的几何构型紧密相关, 进气道中激波/激波的相互作用、激波/边界层的作用对进气道性能的影响十分敏感。目前对三维进气道进行理论分析的研究较少, 本文采用特定的降维的方法对三维进气道中激波/激波相互作用进行了理论分析, 并考虑了对于给定双楔不同马赫数对于其流场特性的分析研究。

## 二、模型和理论分析方法

### 2.1 物理模型

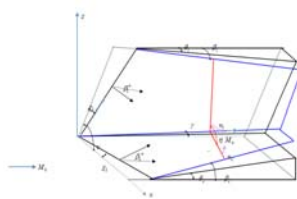


图1 双楔模型

图中为给定来流的双楔结构图, 蓝色的表示斜激波面, 红色的表示特征方向上的特征面。

### 2.2 理论分析方法

选择两斜激波交线方向作为特征方向, 垂直于交线方向作为特征平面, 将三维定常问题转换为二维非常问题。在二维特征面内对波形结构进行极曲线分析, 判断出波形结构后对该波形进行分析求解得出各个区域的流场参数, 然后再反馈到三维空间中去, 求出三维各个区域的静压、密度、温度、速度和总压恢复系数。



图2 三维转换为二维示意图

### 2.3 结果分析

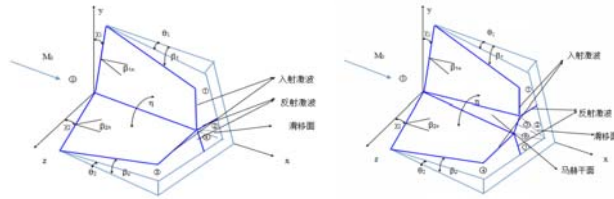


图3 规则构型和马赫构型流场区域图

对于给定双楔  $\theta_1 = \theta_2 = 5^\circ, \chi_1 = \chi_2 = 2^\circ, \nu = 90^\circ$ , 改变来流马赫数。

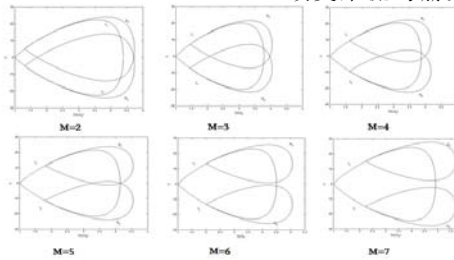


图4 三维激波构型的极曲线分析

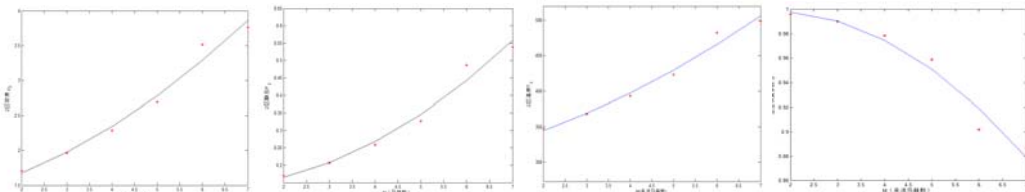


图5 气流通过反射激波后的密度、静压、温度和总压恢复系数图

初始气流状态 (0 区) 密度为  $1.169\text{kg/m}^3$ , 压力为  $0.1\text{MP}$ , 温度为  $298\text{K}$ 。

### 三、结论

通过特定的方法对三维激波进气道中的激波相互作用进行理论分析。在楔角和掠角较小的情况下, 进气道的压缩性能较弱, 随着马赫数的增加气流通过入射激波、反射激波后的静压、密度和温度逐渐增加, 总压恢复系数逐渐降低。对于马赫反射, 气流通过马赫干面后的温度和密度比通过反射激波面的要高, 但是气流通过马赫干面后的总压损失比较严重。

### 参 考 文 献

- 1 杨旸. 三维激波相互作用的复杂流动研究. 2012: 64~94
- 2 童秉纲, 孔祥言, 邓国华. 气体动力学. 北京: 高等教育出版社, 2012: 135~161
- 3 Ben-Dor G. Shock wave reflection phenomena (2<sup>nd</sup> edition). Springer Press, 2007.