

开闭口对三维相交双楔流场区域的影响

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, 100190)

摘要 本文采用了降维的理论分析方法, 将三维定常双楔面上的流动问题转换为二维非定常问题, 利用激波动力学理论分析二维非定常问题, 并将结果反馈到三维流场中。并考虑了将双楔开口, 考虑开闭口对波系结构和转变准则的影响以及对流场区域参数的影响。经过研究发现对于闭口双楔压力平衡准则比较适用, 开口双楔对波系结构的影响较大。

关键词: 降维 开闭口双楔 流场区域 波系结构 激波/激波相互作用

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、模型的理论分析方法

2.1 物理模型

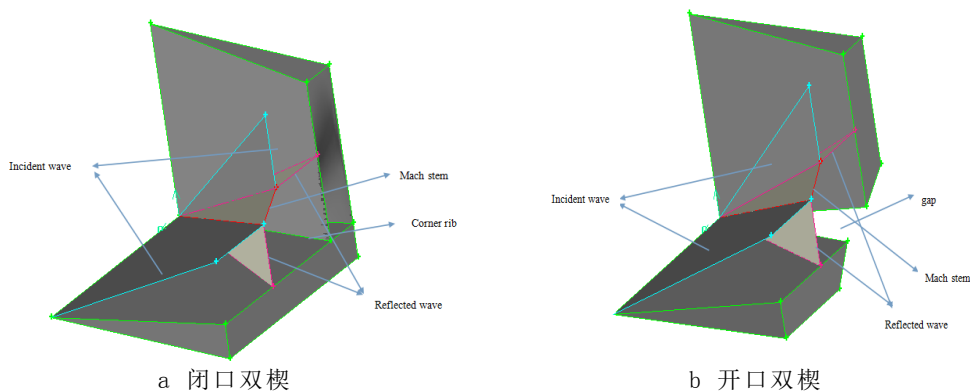


图1 开闭口双楔模型

图中为给定来流的开闭口双楔结构图。

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定常问题。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。

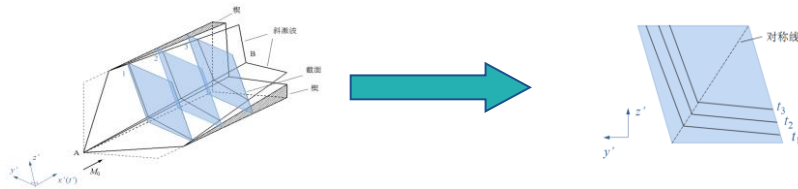


图2 三维转换为二维示意图

2.3 结果分析

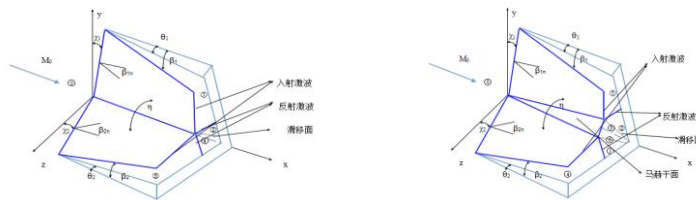


图3 规则构型和马赫构型流场区域图

对于给定双楔 $\theta_1 = \theta_2 = 10^\circ$, $\chi_1 = \chi_2 = 0^\circ$, $\nu = 90$, 改变来流马赫数。

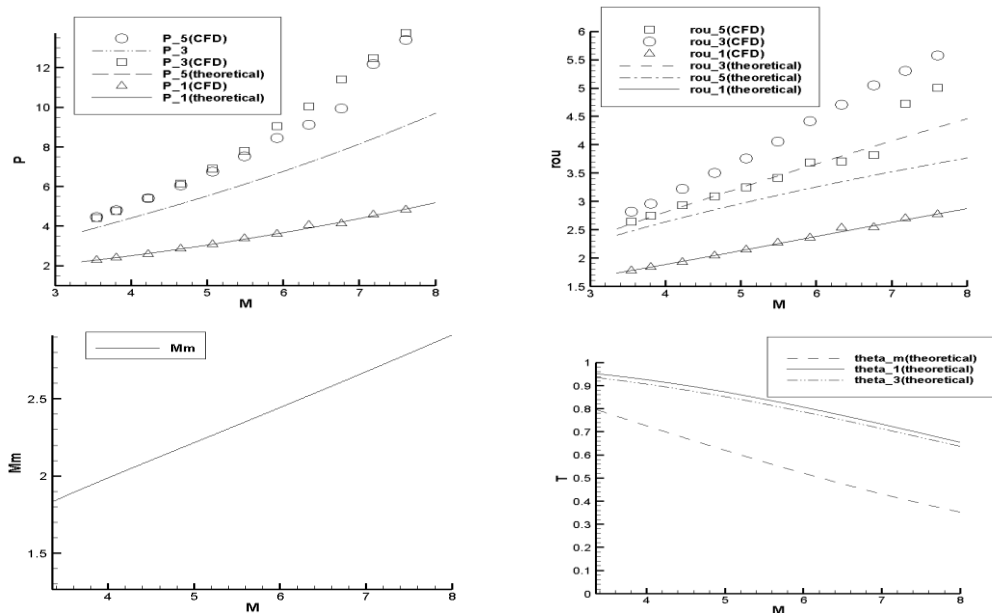


图4 马赫数对流场区域压力、密度、马赫干强度、总压恢复系数的影响

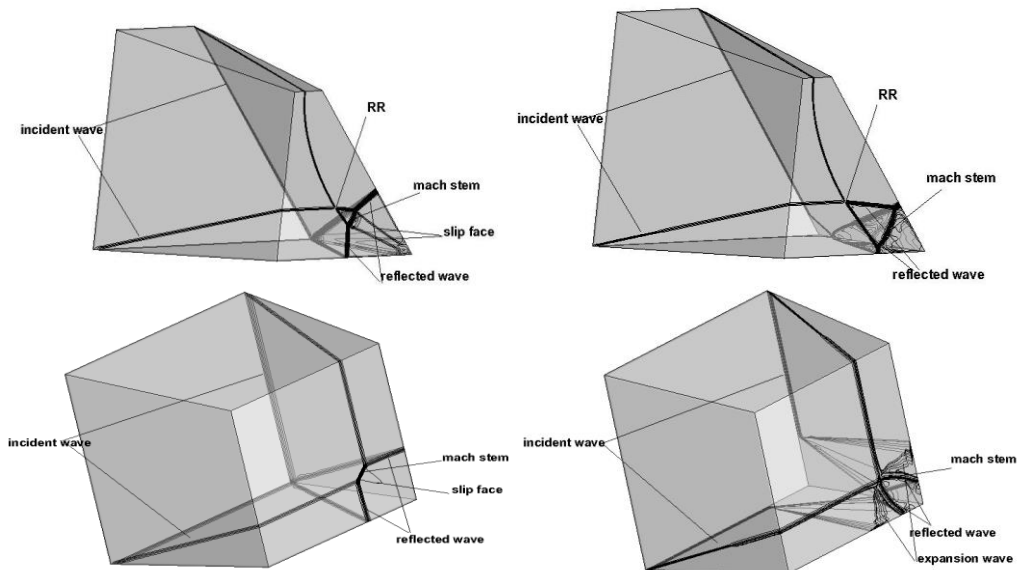


图 5 开口和闭口波系结构对比（规则和马赫）

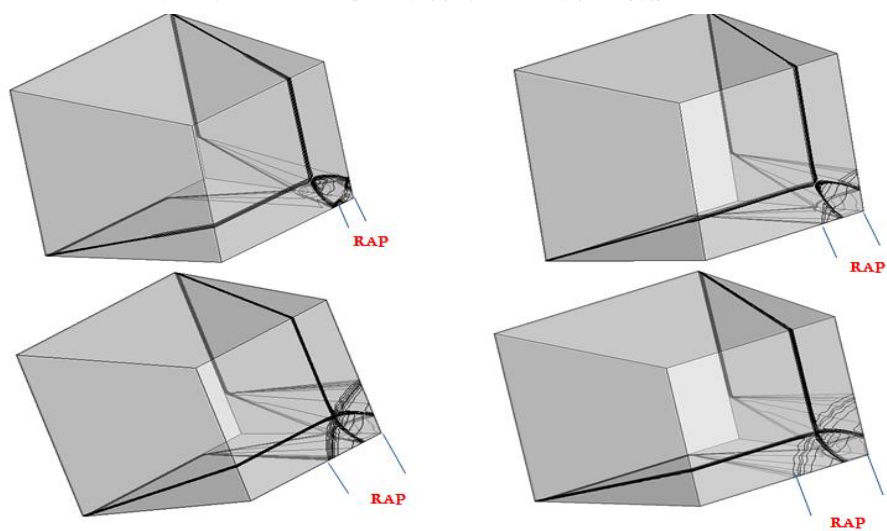


图 6 开口尺寸大小对波系结构的影响（马赫）

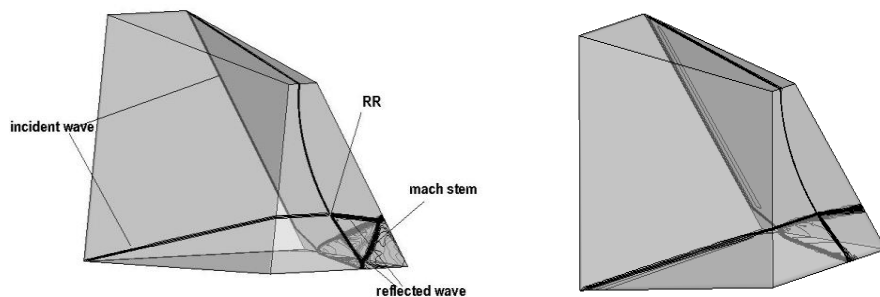


图 7 开口尺寸大小对波系结构的影响（规则）

三、结论

马赫数的增加导致流场区域温度、密度、压力、马赫干强度的增加，马赫数越大反射激波后的总压损失越严重。马赫干后的密度低于反射激波后的密度，马赫干后的温度低于反射激波后的温度。开口后规则反射两波点后的马赫杆位置后移，两波点、入射激波、反射激波的位置不变。开口后马赫反射的三波点、马赫干位置后移，反射激波受开口处膨胀波的影响向楔角移动，且反射激波变得更弯曲。

开口尺寸的大小不改变入射激波，马赫干反射激波的位置。开口尺寸放大两倍后规则反射的入射激波两波点的位置不改变，两波点后的马赫干消失。闭口双楔压力平衡准则比较适用，开口双楔对波系结构的影响较大。

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(2nd edition). Springer Press, 2007.
- 4 SKEWS B W. Aspect ratio effects in wind tunnel studies of shock wave reflection transition [J]. Shock waves, 1997, 7: 373-383.
- 5 CHARWAT A, REDEKEOPF L. Supersonic interference flow along the corner of intersecting wedges [J]. AIAA Journal, 1967, 5(3): 480-488.
- 6] GOONKO Y, KUDRYAVTSEV A, CHPOUN A. 3D interaction of shock waves in corner flow [A]// Shock Waves, Proceeding of the 24th international symposium on shock waves [C]. Beijing, 2004.