

编号: CSTAM2015-A35-B0078

## 二维隔离段激波迟滞现象研究

马生虎, 岳连捷, 贾轶楠, 张新宇

(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** 隔离段是位于超燃冲压发动机进气道与燃烧室之间的关键部件, 主要作用是防止燃烧室燃烧造成的高反压上传而影响进气道正常工作。隔离段流动现象复杂, 包含激波与边界层、激波与激波的相互作用等流动。虽然国内外对隔离段进行了大量的研究, 但仍然有很多问题尚不是很清楚, 需开展相应工作。激波迟滞现象最近十几年成为研究的热点问题, 其广泛存在于航空航天器外部扰流和内部流场中, 对隔离段激波迟滞问题的深入研究不仅是因为其本身重要的流体物理意义, 更重要的是其对隔离段认识的极大帮助和其很强的工程应用背景。

目前国内外对隔离段中所存在的迟滞现象研究比较少, 需要开展相应的研究。所以本文通过理论分析和数值模拟相结合的手段, 考察了抽吸和入射激波对二维等直隔离段流场的影响。首先, 根据 Zhukoski 分离区压力与主流马赫数的量化关系, 通过 Rankine-Hugoniot 关系得到激波串首道激波及其反射波后的流动参数并进行深入分析, 结果显示: 来流马赫数大于 2.15 时, 在无控制措施条件下, 二维隔离段激波串首道激波反射为规则反射, 隔离段本身不会出现激波迟滞现象。其次通过数值方法考察壁面抽吸和入射激波对二维等直隔离段流场的影响。研究结果表明: 壁面抽吸有利于吸除近壁面边界层流动, 使激波串固定在抽吸缝的位置。随着背压的不断升高, 抽吸作用迫使激波串首道激波的强度不断增强, 首道激波分离角和激波角不断增大, 从而进入 Von Neumann 准则的双解区甚至马赫反射区。在降低背压的过程中, 隔离段出现激波迟滞现象。对于入射激波条件下的隔离段, 入射激波和膨胀波在隔离段多次反射。激波串在随背压变化前后移动的过程中, 激波串的位置偏向于稳定在激波串前缘与反射波相交的位置。在背压变化的过程中, 隔离段出现激波位置的迟滞现象。

编号: CSTAM2015-A35-B0079

## 下游反压引起的激波多迟滞环分析

贾轶楠, 岳连捷, 张新宇

(中国科学院力学研究所 高温气体动力学国家重点实验室 北四环西路 15 号, 北京 100190)

**摘要** 早期对于激波反射双解现象的研究分为马赫数引发的双解现象与尖楔角度引发的双解现象两类。1999 年, Ben-Dor 在数值模拟尖楔激波反射现象中发现存在下游反压引起的迟滞效应<sup>1</sup>, 但按照激波反射理论, 压缩角小于 von Neumann 角时不能出现双解现象, 该迟滞现象产生的原因还有待研究。本文通过数值计算对 Ben-Dor 的模型进行模拟, 并利用苹果线理论对其下游反压双解机理进行分析。在数值模拟中, 对相同来流条件下, 尖楔角度不同的模型诱导的尖楔激波  $i$  在对称面上反射产生  $r_1$  后, 与由高

背压压缩诱导的  $r_2$  相交反射形成的复杂波系进行了模拟。改变反射激波后的压强, 让其逐渐升高再降低。模拟结果显示在前端马赫杆出现之前, 底部对称面上先产生了底部马赫杆, 随着背压激波后压强的增大, 其苹果线向右移动, 激波角逐渐增大, 尖楔反射激波、背压激波交点  $R$  左移, 同时, 两者在点的反射激波在底面反射的马赫杆增长, 背压比达到 20 时, 底部马赫杆将交点  $R$  吞没, 与前方两道斜激波汇合形成中部马赫杆。在两道激波处于反射形式单解区的条件下, 让他们由常规反射(RR)转为马赫反射(MR)。由此解释了尖楔反射激波、背压激波在压缩角小于 von Neumann 角时产生马赫反射的原因是由于背压引起激波角增大, 诱导下游马赫杆前推至激波交点  $R$  并将其吞没而导致的。在  $r_2$  后压强增高与降低的过程中, 达到同一状态时, 会产生流态的双解现象。表现为反射形式的不同或马赫杆长度的不同。同时发现, 增压到不同高度再降压时, 流动状态也可能产生不同: 在  $r_2$  背压变化的部分区间, 对于同一背压, 增压过程与从不同大小背压开始降压的过程流态均不相同, 对于同一来流条件与边界条件, 流动出现了“三解”现象。增压、降压过程中不同位置的马赫杆高度迟滞环出现嵌套现象。

编号: CSTAM2015-A35-B0081

## 高超声速进气道活门旋转辅助起动的动态调控机理探索

季宇轩, 苏纬仪, 张堃元

(江苏省航空动力系统重点实验室, 南京航空航天大学能源与动力学院, 南京 210016)

**摘要** 采用非定常网格技术, 研究了高超声速进气道活门旋转过程中内通道流场的三维变化过程。研究表明, 旋转过程中, 活门后会形成一个回流区, 回流区的“凸包”会堵塞部分内收缩段, 从气动层面上减小了进气道的内收缩比, 是辅助起动成功的关键。然而, 活门旋转过程中, 回流区的演变会影响辅助起动的效果。之后, 在来流马赫数为 3.5 时探索了在活门上开缝, 从而利用高速来流的动能抑制回流、改善起动的流动控制概念。研究发现, 活门旋转过程中, 从活门缝隙进入的高速气流冲击活门后区域, 能够有效抑制回流区发展, 使进气道在活门贴壁的状态起动。研究进一步拓展了活门旋转辅助起动的控制方法。

编号: CSTAM2015-A35-B0082

## 非均匀来流条件下激波串长度预估方法

李楠, 常军涛, 于达仁, 鲍文

(哈尔滨工业大学高超声速技术研究中心, 哈尔滨 150001)

**摘要** 在很多隔离段激波串的研究中发现其长度变化并非连续变化的, 在一些位置上存在着突越。很多文章已经对其机理进行了解释分析, 影响其突越的主要因素是隔离段入口激波在隔离段内的反射形成的背景波系。本文重点在于通过来流马赫数、气流折转角、激波角之间的关系以及利用附面层修正来预估某特定几何构型的进气道-隔离段内波系结构; 并根据隔离段内斜激波反射点位置决定激波串长度突越位置及长度; 在 Billig 公式的基础上对其进