

超燃冲压发动机凹腔稳焰器非定常现象的数值研究

孙晓峰 姜宗林 王春
(中国科学院力学研究所 100190)

摘要: 数值研究了冷态及化学反应流动情况下超燃冲压发动机中壁面二维凹腔火焰稳定器流场的非定常特性。模拟了凹腔剪切层的演化发展过程, 并得到凹腔诱导的超声速流场振荡的频谱分布。针对上游有缝式燃料射流和有化学反应的情况进行了对比。并结合计算结果阐述了凹腔火焰稳定器的流动周期特性和稳焰作用机理。无射流情况下得到的振荡频率和 Rossiter 预测结果基本一致, 射流的影响使剪切层升高且厚度增加, 涡合并过程更充分, 同时压力振荡幅度增大, 频率减小。有化学反应情况下, 释热的作用使剪切层进一步被抬高, 厚度进一步增大。

关键词: 超燃 凹腔 剪切层 非定常

一、引言

分析了超声速凹腔剪切层发展演化的过程; 凹腔剪切层的非定常运动对凹腔内外流场的影响; 在凹腔上游添加燃料射流情况下和燃烧释热的影响。

由于空腔内部低速区域的存在, 超声速来流在凹腔上方形成一道速度剪切层, 剪切层从上游壁面的固定壁面边界层发展而来, “漂浮”在凹腔之上。把凹腔内外分成两部分, 同时把高速来流和凹腔内部的低速流动配平, 形成自由剪切层。来自剪切层上游小扰动被选择性的放大, 而最终主要的波动能量集中在若干种频率。最终在下游形成即可以捕捉到的主控频率。

二、计算结果及结论

2.1 超声速凹腔流场

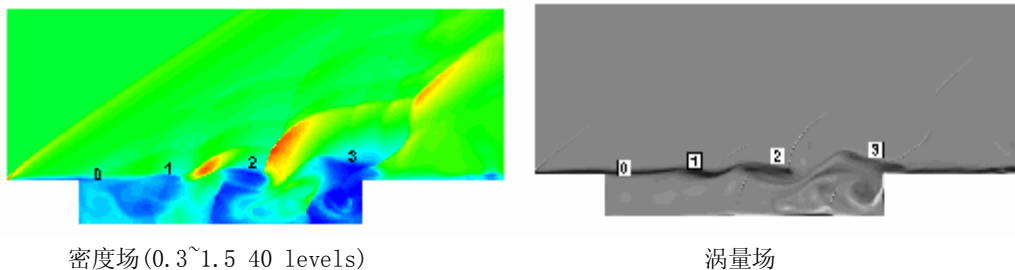
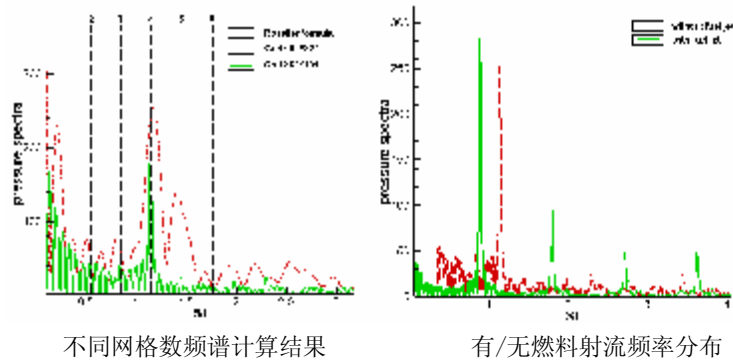


图5 流动中的周期性现象

2.2 频谱分析



采用两套不同尺度的网格计算频谱分析结果如图所示，在计算工况下，脉动频率吻合良好，脉动能量主要集中于 Rossiter 公式给出的三、四、五阶模态频率。

2.3 有射流流场

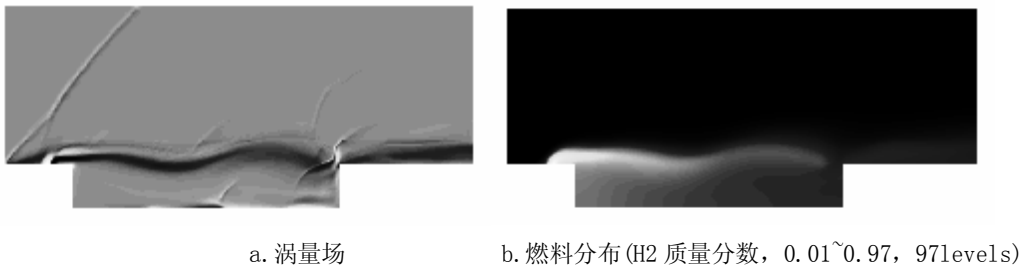


图6 有燃料射流流场

2.4 有燃烧的流动

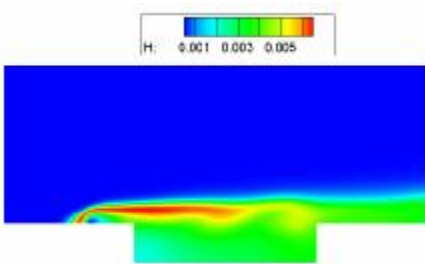


图8 有化学反应流动(H基分布)

三、结论

超声速来流中在凹腔上方形成自由剪切层，匹配凹腔内外的速度差异，剪切层运动过程不断扩展周期性生成向下游传播的大尺度涡结构，当大尺度结构涡打在后壁面上时候，后壁面压力升高，逆序涡的波动造成了后壁面上压力值的脉动。在计算工况下，Rossiter公式能较好的预测脉动的频率，说明其对凹腔内振荡过程分析模型有一定的合理性。

在增加射流之后，燃料带随着涡量的集中而卷曲增加了和来流的接触面积，发生比

较剧烈的掺混。掺混程度和剪切层的横向尺度发展情况一致，说明燃料和来流之间的掺混能力直接受到剪切层扩展的影响。振荡的主要能量的向低频转移，主要由于射流的扰动使剪切层能够更充分的发展，大尺度涡波长和强度增加，频率下降。

有燃烧情况下，燃烧释热使气体膨胀，剪切层被拖举到更高，对后壁面的撞击变弱；剪切层成为化学反应带集中区域，释热作用使得剪切层横向尺度更大。化学反应的进行程度、组分的扩散是和流体的运动强相关的。

参 考 文 献

- 1 Adela Ben-Yakar and Ronald K. Hanson†, Cavity Flame-Holders for Ignition and Flame Stabilization in Scramjets: An Overview
- 2 C.W.R.Rowley, T.Colonius, On Self-Sustained Oscillations in Two-Dimensional Compressible Flow over Rectangular Cavities
- 3 R.L.Stalling, F.J.Wilcox, Experimental Cavity Pressure Distributions at Supersonic Speeds
- 4 K.Krishnamurty, Sound radiation from surface cutouts in high speed flow
- 5 Hanno H.Heller, Donald B.Bliss, Aerodynamically induced pressure oscillations in cavities-physical mechanisms and suppression concepts