

组合件 H<sub>2</sub> 燃料超燃流场的三维数值研究\*岳朋涛<sup>1</sup> 徐胜利<sup>1</sup> 张梦萍<sup>2</sup> 张新宇<sup>3</sup>

(1 中国科学技术大学力学和机械工程系, 合肥 230026)

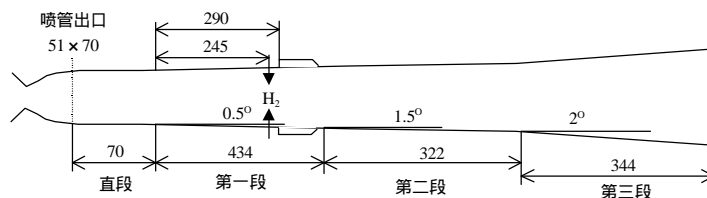
(2 中国科学技术大学数学系, 合肥 230026)

(3 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

如图 1 所示, 针对直联式组合件 (燃烧室和尾喷管) 超燃的实验研究, 本文目的是: (1) 获得组合件超燃化学反应流场的详细信息, 从而对其混合和燃烧性能作出评价。(2) 定量考核燃烧加热器产生的 H<sub>2</sub>O 对组合件超燃化学反应流场的影响。(3) 初步了解凹槽强化混合、稳焰的流动特征。本文方法是: 采用隐式迎风 TVD 格式<sup>[1]</sup>求解多组分反应体系的全 N-S 方程, 化学反应源项采用隐式处理, 用 12 组元/23 模型<sup>[2]</sup>描述 H<sub>2</sub>/空气的化学反应过程。用代数方法生成网格, 然后求解 Laplace 方程修正网格的正交性, 再用插值方法加密网格以捕捉壁面边界层。取物理域的一半为计算域。由于沿 Y 方向喷嘴数较多 (20 个), 为节省计算量, 因此, 取相邻喷嘴之间的区域为计算域。采用二维无喷射流场的定常计算结果为初始条件。边界条件取法与通常的方法相同。

计算结果主要包括: 给出流场组分、温度和压力等值线以及速度场的分布。图 2 给出了凹槽附近计算网格的分布。图 3 给出了沿 x-z 截面等压线分布。图 3、图 4 分别给出了 x-z 截面 H<sub>2</sub>O 和 OH 质量百分数等值线分布。图 5 给出了出口截面 H<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 质量百分数等值线的分布。图 6、图 7 给出了凹槽附近当量比、速度场的分布。

初步的计算结果表明: (1) H<sub>2</sub> 超燃是混合控制的。化学反应占据了组合件的大部分空间, 燃料/空气混合得较均匀、燃烧效率较高, 但出口截面仍有少量的 H<sub>2</sub> 未参加反应。(2) 本方案中 H<sub>2</sub> 的喷射压力高,  $P_j/P_0$  (喷射压力/气流静压) 约为 16, 致使 H<sub>2</sub> 射流柱前的分离区变大, 几乎到达隔离段上游。分离激波在上、下壁面反射, 导致沿喷嘴之间对称面的静压波动大, 通道的总压损失也相对较大。(3) 采用壁面凹槽具有强化混合和稳焰的作用。凹槽内的流速几乎为 0, H<sub>2</sub> 在此点火, 达到了稳焰目的。凹槽内的流体振荡强化了燃料/空气的混合和燃烧。



喷管出口条件:  $M=2.5$ ,  $T=1000K$ ,  $P=80kPa$ , 气流成份:  $O_2=21\%$ ,  $H_2O=30\%$ ,  $N_2=49\%$   
 喷氢条件: 孔径为 1mm, 声速喷射, 喷射总压 3MPa, 孔数为 10 个/列, 共上、下 2 列  
 凹槽:  $H=12mm$ ,  $L=88mm$ ,  $\alpha=45^\circ$

图 1 实验装置图

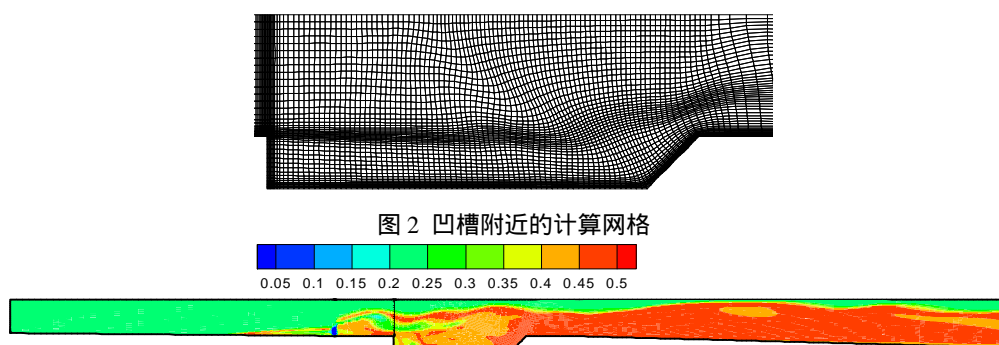


图 2 凹槽附近的计算网格

\* 国家自然科学基金 (19882005) 和 863 青年基金 (863 - 2.99.9) 资助课题

图 3 H<sub>2</sub>O 质量百分数等值线分布 (x-z 截面)

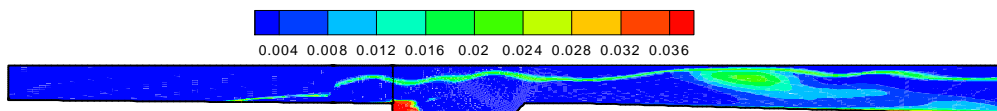
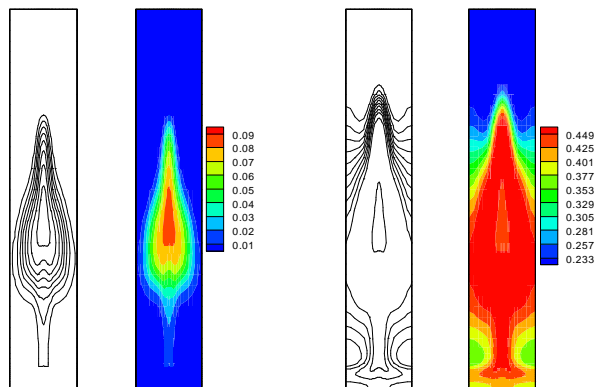


图 4 OH 质量百分数等值线分布 (x-z 截面)



(a) H<sub>2</sub> (b) H<sub>2</sub>O  
图 5 出口截面质量百分数等值线分布

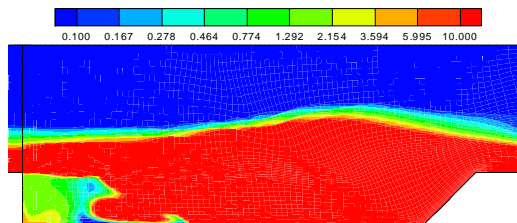
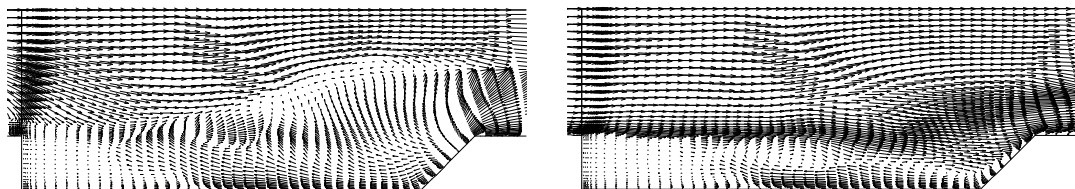


图 6 凹槽附近当量比等值线的分布



喷嘴中心截面

两喷嘴间中心截面

图 7 凹槽附近速度场的分布

### 参 考 文 献

- [1] Yee H C. Upwind and Symmetric Shock-Capturing Schemes. NASA 89464, 1987
- [2] Kee R J, Rupley F M, Miller J A. Chemkin-II: a Fortran Chemical Kinetics Package for the Analysis of Gas-phase Chemical Kinetics. SAND 89 - 8009B, 1989