

文章编号:1672-3961(2008)03-0064-05

# 一种车用燃油加热器燃烧器的流场数值分析

王伟<sup>1</sup>,毛华永<sup>2</sup>,李国祥<sup>2</sup>,潘世艳<sup>2</sup>,巩厅房<sup>2</sup>,晋世强<sup>3</sup>,郝胜兵<sup>3</sup>

(1. 河南机电高等专科学校, 河南 新乡 453002; 2. 山东大学能源与动力工程学院, 山东 济南 250061;  
3. 河北宏业机械股份有限公司, 河北 泊头 062150)

**摘要:**由数值计算分析知:切向进气孔所产生的旋流对锥盖内表面形成冲刷,并影响一级燃烧室内部三层进气孔的进气,其旋流影响贯穿整个燃烧室.一级燃烧室的第一层进气孔所进气流在其燃烧室轴心碰撞翻转,形成锥盖内腔绕轴线分布的轴向涡流,从而加强了锥盖内表面的冲刷卷吸流动.而在一级燃烧室锥形缩口处,因进气分流孔的分流作用,使二级燃烧室的前端形成若干小旋涡,这些小旋涡与锥形缩口处的大旋涡并存,使燃烧室边缘区域的混合得到了强化.锥盖形燃烧器能减少流动死区,有利于油气的充分混合燃烧,从而减少积炭的生成.计算结果与样机试验数据基本吻合.

**关键词:**燃油加热器;燃烧器;气体流动;数值模拟

**中图分类号:**TK403 **文献标志码:**A

## Numerical simulation of the flow in a fuel burned vehicle heater

WANG Wei<sup>1</sup>, MAO Hua-yong<sup>2</sup>, LI Guo-xiang<sup>2</sup>, PAN Shi-yan<sup>2</sup>,  
GONG Ting-fang<sup>2</sup>, JIN Shi-qiang<sup>3</sup>, HAO Sheng-bing<sup>3</sup>

(1. Henan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453002, China;  
2. School of Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;  
3. Hebei Hongye Machinery CO., LTD, Botou 062150, China)

**Abstract:** The simulation results show that the swirl of intake air generated by tangent inlet holes washes the inner face of the cone-cover, which can influence the air intake of the three-layer inlet holes in the first combustor through the whole combustor. The air intake through the first-layer inlet holes of the first combustor crashes and turns at the center of the combustor, which forms axial swirls around the axis of the cone-cover cavity, so as to strengthen the wash and engulfment at the inner face of the cone-cover. At the cone shrinking part of the first combustor, many small swirls were produced at the forepart of the second combustor for the diffuence effect of the intake diffuent holes, which coexist with the large swirls at the cone shrinking part and intensify the mixture at the fringe area of the combustor. The cone-cover combustor can reduce flow stagnation and make full use of the full mixture and combustion of fuel and air, which will decrease soot formation. Simulation results basically agreed with the sample engine test data.

**Key words:** fuel burned heater; combustor; gas flow; numerical simulation

## 0 引言

作为独立热源的车用燃油加热器,由于它不仅

可用于冬季或寒冷地区的车内取暖和驾驶室前窗玻璃除霜,还可用于低温冷启动时发动机预热<sup>[1]</sup>.基于加热器可提供适宜的车内温度,具有解决发动机低温启动困难,降低冷启动过程排放,减少发动机磨损

收稿日期:2007-06-21

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2007F26)

作者简介:王伟(1981-),男,河南焦作人,硕士,主要从事车用燃油加热器的设计与开发.

E-mail: wangwei119230@mail.sdu.edu.cn

等作用,故市场对车用燃油加热器的需求愈来愈大.目前,加热器热功率在 10 kw 以上的一般为压力喷射式和离心甩油式,而中小型车辆所用的小型燃油加热器多为蒸发雾化式,针对该种加热器易产生积炭及知识产权等问题,作者在设计新加热器时,对其核心部件燃烧器进行了细致的研究,设计出一种具有自主知识产权的锥盖形燃烧器<sup>[2]</sup>.为分析该燃烧器流场分布和检验其结构是否合理,对这一新发明的锥盖形燃烧器(已申请专利)进行了模拟计算和分析.文中数值模拟是将燃烧器及相关的流动区域分离出来,采用  $\kappa$ - $\epsilon$  双方程模型,选用 CFD 模拟计算软件 STAR-CD 对燃烧器内气体流动进行数值模拟.

## 1 几何模型及网格划分

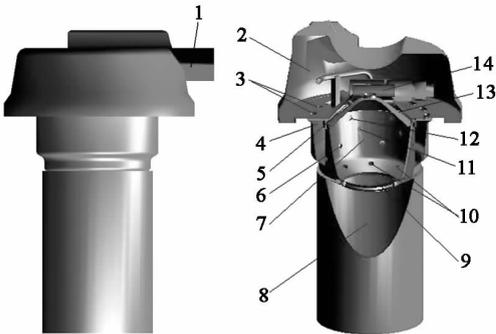
### 1.1 几何模型的建立

图 1 为锥盖形燃烧器的几何模型.在建模过程中,为节省计算时间,对实际模型进行了简化处理.

(1) 因进气正压腔内部结构比较复杂,在不影响计算精度的前提下,只将其内部对流动影响明显的电热塞室外壁,燃油管以及燃油管支柱进行建模.

(2) 因电热塞头部几乎贴靠在燃油吸附网的表面上,为避免出现质量很差的网格影响计算时间和精度,所以未对电热塞的顶端建模.

(3) 点焊在锥盖内壁面上的锥形燃油吸附网(图 1 中未画出)作为一种吸附燃油的多孔载体,在计算上难以找到合理的模型来模拟其材料属性,因此建模时只考虑了其厚度(厚为 2 mm).



1. 进气口;2. 进气正压腔;3. 进气分流孔;4. 进气导流筒;  
5. 切向进气孔;6. 第三层进气孔;7. 一级燃烧室;  
8. 二级燃烧室;9. 锥形缩口;10. 分流孔;11. 第二层进气孔;  
12. 第一层进气孔;13. 锥盖;14. 电热塞室

图 1 锥盖形燃烧器几何模型

Fig. 1 The geometric model of the cone burner

锥盖形燃烧器如图 1 所示,其主要流动燃烧区由进气正压腔 2、进气导流筒 4、一级燃烧室 7 和二级燃烧室 8 组成.加热器工作时,助燃空气由进气口 1 进入正压腔 2,其中部分空气通过切向进气孔 5 进

入一级燃烧室的锥顶部,并在其蒸发燃油的内锥面形成旋流,组织燃油蒸发混合,而大部分空气经过进气分流片上的分流孔 3 流入导流筒 4,再通过一级燃烧室壁上的三层相间均布的进气孔 6,11,12 进入一级燃烧室 7 参与油、气的混合燃烧.燃烧的高温燃气经过一、二级燃烧室之间的锥形缩口 9 和缩口壁上的分流孔 10 进入二级燃烧室 8 后继续燃烧.

### 1.2 网格划分

为了提高网格的质量,将计算模型分成两部分,第一部分以加热器上部进气正压腔和燃烧器一级燃烧室为主的复杂流动区,第二部分为燃烧器二级燃烧室后半段和排气稳压箱组成的简单流动区.对于复杂流动区,使用 STAR-CD 中的 Pro-am 自动划分网格,并采用多面体网格划分技术,保证了流动计算区域内部核心部分的网格为六面体网格,且对流动敏感区域,如进气孔和锥形缩口等局部加密,这样可取得较好的收敛速度和计算精度.对于简单流动区,建立相应的坐标系生成规则的网格,以提高网格的质量.最后在两部分区域之间的接触面上建立 Couple 实现连接,生成图 2 所示的最终计算模型.

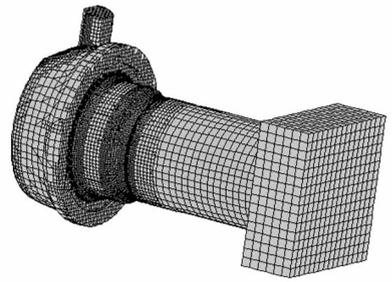


图 2 锥盖形燃烧器计算模型

Fig. 2 The computational grids of the cone burner

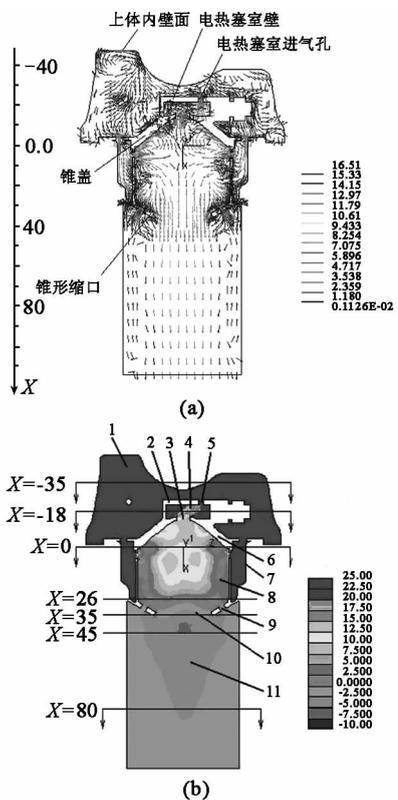
## 2 燃烧器流场数值模拟

利用 STAR-CD 软件对锥盖形燃烧器内流场进行了数值模拟,湍流模型选用标准  $\kappa$ - $\epsilon$  双方程模型,近壁面处选用标准壁面函数,在入口处设定空气入口速度,出口设为压力边界,用 SIMPLE 算法进行计算.在此基础上对锥盖形燃烧器内流场进行数值模拟分析.

## 3 结果与分析

图 3 为  $Y=0$  时,通过  $Z$  轴的燃烧器纵剖面上的速度矢量图和压力分布图.由图 3(a)可看出,有少量气流从与进气正压腔相通的电热塞室进气孔进入电热塞室内,再通过点火孔进入一级燃烧室,这在

加热器正常工作中(电热塞已断电),气流对电热塞具有冷却作用,而在点火过程中,因风扇转速低(约为正常转速的一半),故进入电热塞室的风量、风速很小,此时该股气流与点火孔周围的燃油所形成的浓混合气能被电热塞迅速加热点燃而形成先期火焰.由电热塞室经点火孔出来的气流与锥盖上的切向进气孔的气流相配合,在锥盖的内锥腔顶部形成小旋涡,该旋涡可加强油气的混合,并带动锥顶处的油气边混合燃烧边向下游流动.而由一级燃烧室壁上均布的第一层进气孔所进的12股气流共同冲向一级燃烧室中心,从而形成绕一级燃烧室轴线并沿上下两个方向流动的气流簇,向上运动的外翻气流旋涡可对锥盖的内表面形成冲刷.该旋涡有利于燃油吸附网表面的燃油迅速蒸发混合;同时在燃烧过程中能参与带动燃气回流,与锥形缩口一并起到稳定火焰的作用.



1. 进气正压腔; 2. 电热塞室壁; 3. 点火孔; 4. 电热塞室; 5. 电热塞室进气孔; 6. 锥盖; 7. 进气导流筒; 8. 一级燃烧室; 9. 分流孔; 10. 锥形缩口; 11. 二级燃烧室  
图3 通过Z轴( $Y=0$ )纵剖面的速度矢量图与压力分布图  
Fig.3 Distributions of velocity vector and pressure when  $Y=0$

气流在一、二级燃烧室之间的锥形缩口处,流速增加,压力降低,在缩口下游出现最大负压区.而由锥形缩口壁上均布的8个分流孔分流的部分气流,使分流孔与缩口之间也形成了负压区,致使二级燃烧室中的最大负压区呈倒锥形(参见图4(b)).该负压区能使二级燃烧室下游的部分燃气也产生回流,

以对燃烧过程起到稳焰作用.由图4(a)还可看出,经分流孔分流的气流,能在锥形缩口壁外产生多股流束,这些流束能显著减小无孔时二级燃烧室前端的流动死区.

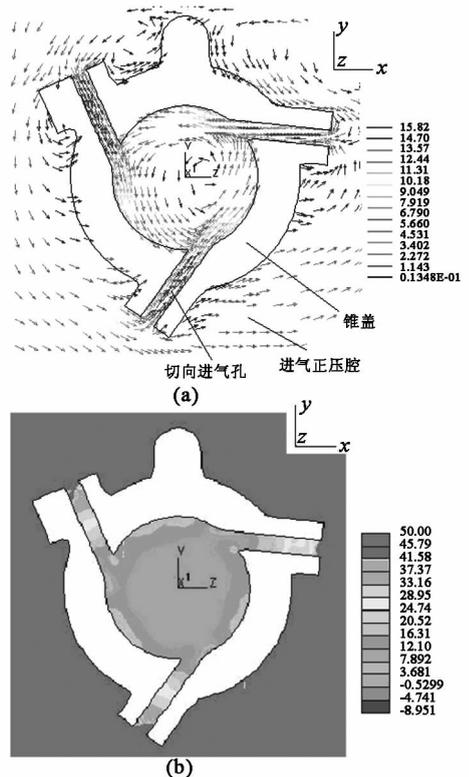


图4 通过切向进气孔中心( $X=-9\text{ mm}$ )横截面的速度矢量图与压力分布图  
Fig.4 Distributions of velocity vector and pressure in the cross section of tangent holes( $X=-9\text{ mm}$ )

图4是通过三个切向进气孔中心即 $X=-9\text{ mm}$ 处(参见图3(b))的横截面上的速度矢量图与压力分布图.从速度矢量图可看出,切向进气孔的入口方向与进气正压腔内旋流方向基本一致,其切向进气孔的出口端处于锥盖内锥面的切向方向.这样,流经三个切向进气孔的高速射流冲刷内锥面,形成了强度很高的旋流.该旋流能卷吸点焊在内锥面上的油网(图中未画出)表面上的燃油蒸气参与混合燃烧,且中心的压力相对较低,有利于在轴心处形成稳定的火焰并迅速扩散燃烧.

图5至图7依次为通过一级燃烧室三层进气孔横截面上的速度矢量图.第一层上均匀分布有12个进气孔,第二、三层各均布6个进气孔,三层进气孔在圆周方向上呈相间交错分布.对比图5至图7可见,三层进气孔的气流均以较高的流速在截面中心汇集,且均受上游切向进气孔的影响而出现旋流.不同的是,因第一层进气孔孔数较多,且靠近进气正压腔,故有较多的空气通过第一层进气孔进入燃烧室,该截面的平均流速也高于其它两个截面,因此气流

混合强烈,相应燃烧室壁面处的流动死区很小.这样,在燃烧时,可认为第一层进气孔的进气大大强化了油气的混合燃烧过程,有利于提高燃烧效率,而第二、三层进气孔的进气可保证燃气得以进一步充分燃烧.

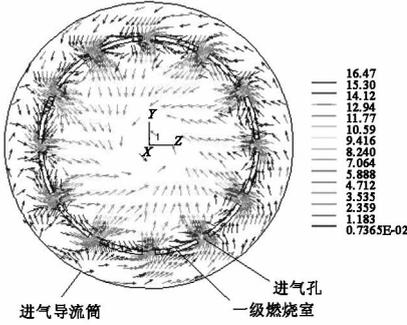


图5 第一层进气孔( $X = 4.5\text{ mm}$ )处横截面速度矢量图  
Fig.5 Distribution of velocity vector in the cross section of the first inlet holes ( $X = 4.5\text{ mm}$ )

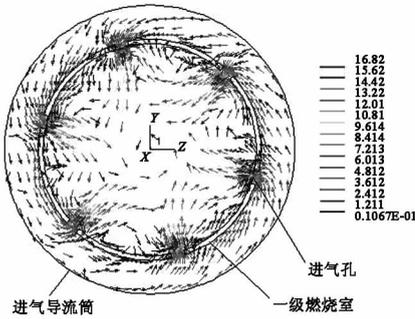


图6 第二层进气孔( $X = 11.5\text{ mm}$ )处横截面速度矢量图  
Fig.6 Distribution of velocity vector in the cross section of the second inlet holes ( $X = 11.5\text{ mm}$ )

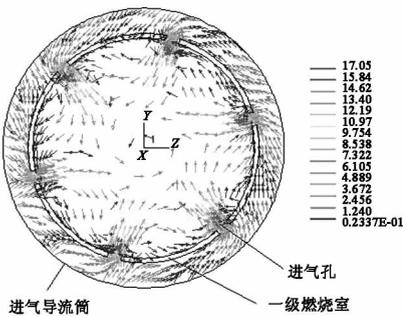
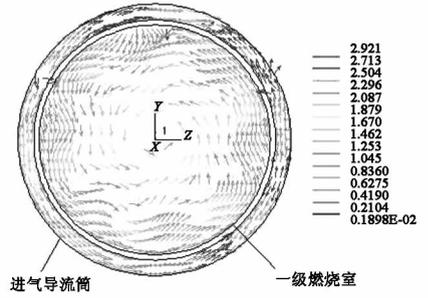


图7 第三层进气孔( $X = 19.5\text{ mm}$ )处横截面速度矢量图  
Fig.7 Distribution of velocity vector in the cross section of the third inlet holes ( $X = 19.5\text{ mm}$ )

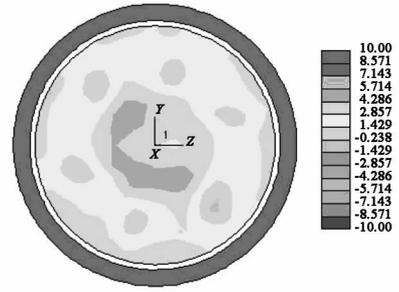
图8是位于分流孔上游  $X = 26\text{ mm}$  处横截面上的速度矢量图与压力分布图.由该图可看出,因进气分流孔的分流作用,在一级燃烧室底部形成一个环形低压区,所对应的速度矢量图中一级燃烧室内壁面附近出现了扰动,上游的中心涡流在此处变成梅花形,使燃烧室壁面处的流动得到强化.在锥形缩口所处的横截面上,二级燃烧室内对应分流孔的位置出现了小旋涡,同时缩口处的气流涡旋得到了加强(见图9).随着气流向下游的流动,进气分流孔形成

的小旋涡逐渐与中心缩口处的大旋涡相混合,最终趋于一致,形成一个单独的旋涡(见图10).



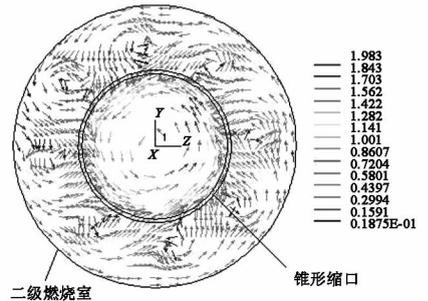
进气导流筒 一级燃烧室

(a)



(b)

图8  $X = 26\text{ mm}$  处横截面速度矢量图与压力分布图  
Fig.8 Distributions of velocity vector and pressure when  $X = 26\text{ mm}$



二级燃烧室 锥形缩口

图9 锥形缩口( $X = 35\text{ mm}$ )处横截面速度矢量图  
Fig.9 Distribution of velocity vector when  $X = 35\text{ mm}$

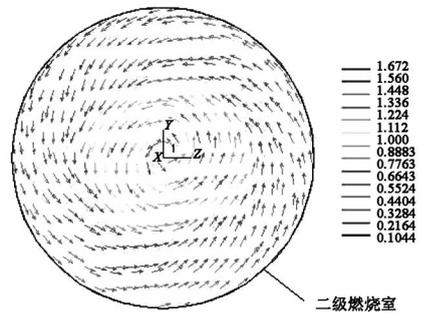


图10  $X = 45\text{ mm}$  处横截面速度矢量图  
Fig.10 Distribution of velocity vector when  $X = 45\text{ mm}$

#### 4 结束语

通过对燃烧室各截面流场的分析可知,切向进气孔所产生的旋流对锥盖内表面形成冲刷,影响一

级燃烧室的三层进气孔的进气,并在锥形缩口处强化燃气混合,其旋流影响贯穿了整个燃烧室.第一层进气孔的气流在其轴心处汇聚翻转形成了锥盖内绕轴心分布的轴向涡流,强化了锥盖表面附近的流动.在一级燃烧室锥形缩口处,由于进气分流孔的分流,使二级燃烧室的前端形成若干小旋涡,这些小旋涡与锥形缩口处的大旋涡并存,构成梅花形流场,该流场使燃烧室边缘区域的混合得到了强化.

通过以上计算分析知,新设计的锥盖形燃烧器能减少流动死区,有利于油气的充分混合与燃烧,从而减少积炭的生成.其计算结果与样机试验基本吻合.

#### 参考文献:

- [1] 刘海涛. 车用燃油加热器的优化设计与计算[D]. 济南: 山东大学能源与动力工程学院, 2005.  
LIU Hai-tao. Optimization and simulation of fuel-burned vehicle heater[D]. Jinan: School of Energy and Power Engineering of Shandong University, 2005.
- [2] 毛华永, 李国祥, 王伟, 等. 一种燃油加热器的锥盖形燃烧器: 中国, 200610070045.1[P]. 2006-11-07.  
MAO Hua-yong, LI Guo-xiang, WANG Wei, et al. A cone-cover burner for fuel-burned vehicle heater: China, 200610070045.1[P]. 2006-11-07.

(编辑: 陈燕)