

## 冷启动时 PTC-base 喷油器内高压瞬变流场传热研究<sup>\*</sup>

王 君<sup>1,2</sup> 谢铁邦<sup>1</sup> 李孝禄<sup>2</sup> 李 迎<sup>2</sup> 陈红岩<sup>2</sup> 严天宏<sup>2</sup> 顾乐峰<sup>2</sup> 严水良<sup>3</sup> 陈建良<sup>3</sup>

(1 - 华中科技大学机械科学与工程学院 湖北 武汉 430073 2 - 中国计量学院机电工程学院  
3 - 海宁永力电子陶瓷有限公司)

**摘 要:**汽车在冷启动时有害物质排放很高,这和燃油温度有很大关系。本研究提出一种基于 PTC 的喷油器,该喷油器是在普通喷油器内部油路周围嵌入 PTC 材料,并以车载电源供电。当温度低于居里温度时,PTC 材料的电阻很小,因此可产生大量热量,这些热量可以使流经管路的燃油得到加热。当温度达到居里温度时,PTC 材料电阻变得很大,材料停止发热。利用 PTC 材料的这种特殊的阻温特性,我们可以在车辆启动时把喷油器出口的燃油温度控制在一个理想的范围。本研究的主要工作是对 PTC-base 喷油器建立模型并对不同条件下该喷油器的燃油传热进行分析。分析结果表明,冷启动时,在 PTC-base 喷油器中,燃油可以得到很好的加热。这对降低汽车冷启动排放将产生重要的作用。

**关键词:**PTC-base 喷油器, FLUENT, 传热, 冷启动

中图分类号: TK403.7 文献标识码: A 文章编号: 1671-0630(2011)03-0038-04

## Study on Heat Transfer of Transient and High-pressure Flow Field in PTC-base Injector during Cold-start

Wang Jun<sup>1,2</sup>, Xie Tiebang<sup>1</sup>, Li Xiaolu<sup>2</sup>, Li Ying<sup>2</sup>, Chen Hongyan<sup>2</sup>,  
Gu Lefeng<sup>2</sup>, Yan Shuiliang<sup>3</sup>, Chen Jianliang<sup>3</sup>

1 - Mechanical School, Huazhong University of Science and Technology (Wuhan, Hubei, 430073, China)

2 - Mechanical and Electrical Engineering College, China Jiliang University

3 - Haining Yongli Electronic Ceramics Co., Ltd.

**Abstract:** The vehicle has a high harmful material emission during cold-start. It has a close relationship with temperature of the fuel oil. In this paper, a PTC-base injector is presented, in which PTC material is embedded around the fuel ducts of common injector and powered by car inverter. The PTC material possesses a low resistance and quickly generates heat while its temperature is lower than Curie point. This heat will be transferred to the fuel oil. And while the temperature coming to the Curie point, the resistance sharply rises and the PTC material almost stops generating heat. Utilizing this special resistance-temperature performance, the fuel oil temperature of nozzle can be controlled in an ideal scope while cold-start. The main work of this paper is modeling for PTC-base injector and analyzing fuel oil transfer heat in different conditions. According to the simulation results, a conclusion is drawn that the fuel oil can be heated very well in PTC-base injector. This result shows that PTC-base injector will produce important effect to reducing emission.

**Keywords:** PTC-base, Injector, FLUENT, Heat transfer, Cold-start

<sup>\*</sup> 基金项目: 浙江省自然科学基金( Y1110666); 国家自然科学基金( 51075377); 浙江省重点创新团队支持计划资助( 2009R50050)。  
作者简介: 王 君( 1969 - ) 男, 讲师, 主要研究方向为内燃机理论和测试技术。

## 引言

社会的发展是以人类的健康为目的和前提的。环境与资源是人类存在与发展面临的两个主要问题。随着世界经济的不断发展,车辆越来越多,燃油消耗数量越来越大。研究表明,汽车消耗的石油占总消耗的75%<sup>[1]</sup>。同时,由于燃油不完全燃烧导致的汽车尾气污染也随着汽车数量的增加而日益加重。据美国环保局一份研究报告介绍,内燃机冷启动时产生的 HC、CO 占全部排放的80%,NO<sub>x</sub> 为全部排放值的50%<sup>[2]</sup>。国家环保中心预测,2010年我国汽车尾气排放量将占空气污染源的64%<sup>[1]</sup>。由此可见,低温启动时的有害排放物是很严重的。冷启动时清洁、高效燃烧技术成为人们迫切的需要。

为了改善冷启动时发动机的燃烧和排放,内燃机学术界较为系统地研究了燃油雾化特性。

总的说来,燃油雾化能改善发动机冷启动性能、燃烧和排放<sup>[3~6]</sup>。基于上述考虑,研究汽车冷启动时喷油器的燃油传热状况是提高燃烧技术的重要课题之一。

## 1 燃油传热原理

流动和传热的现象十分复杂,但都受最基本的三个物理规律的支配,即质量守恒、动量守恒和能量守恒。内燃机中的流体运动都为湍流运动,在数值仿真计算中,湍流模型采用时均形式的微分方程<sup>[7]</sup>。

质量守恒方程,也称作连续性方程:系统流动与传热的数值计算理论:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{U}) = 0 \quad (1)$$

动量守恒方程,又称为 Navier-Stokes 方程:

$$\frac{D(\rho \bar{U})}{Dt} = \rho \bar{F} - \nabla p + \mu \Delta \bar{U} \quad (2)$$

能量守恒方程为:

$$\frac{D(\rho c_p T)}{Dt} = \Phi + \lambda \Delta T + \rho q \quad (3)$$

式中:  $\bar{U}$ ——速度矢量;  $p$ ——流体压力;  $\rho$ ——流体密度;  $\nabla$ ——微分算子;  $\mu$ ——流体的动力粘度;  $c_p$ ——流体的比热容;  $\lambda$ ——导热系数;  $\bar{F}$ ——作用在流体上的质量力,在重力场中  $\bar{F} = g$ ;  $q$ ——流体所吸收的热量;  $T$ ——流体温度;  $\Phi$ ——能量耗散函数:

$$\Phi = 2\mu [\varepsilon]^2$$

其中:  $\varepsilon$ ——湍流动能耗散率,代表流体克服粘性所消耗的机械能,它将不可逆地转化为热而耗散掉;在充分发展的湍流区域,反映湍流脉动量对流场影响的湍流动能方程和湍流应力方程可通过标准  $\kappa-\varepsilon$  方程得到,其形式为:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

式中:  $k$ ——湍流动能;  $\varepsilon$ ——湍流动能耗散率;

$\mu_t$ ——湍流粘度:  $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ ;  $G_k$ ——由于平均速度梯度引起的湍动能  $k$  的产生项:  $G_k = -\rho \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ , 其中:

$u_i', u_j'$ ——湍流的脉动速度;  $G_b$ ——由于浮力引起的湍动能  $k$  的产生项:  $G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}$ , 其中:  $Pr_t$ ——湍动普朗特数,可取  $Pr_t = 0.85$ ;  $g_i$ ——重力加速度在第  $i$  方向上的分量;  $\beta$ ——热膨胀系数,其定义为:  $\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T}$ ;

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ ——经验常数,取值分别为  $C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_{3\varepsilon} = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$ 。

2 PTC-base 喷油器模型建立和边界条件确定

### 2.1 PTC 智能加热材料及 PTC-base 喷油器结构示意图

笔者提出一种用 PTC (positive temperature coefficient) 材料内置喷油器加热柴油的方法,可以降低柴油的粘度,提高柴油机冷启动性能,降低冷启动排放。将 PTC 材料内置于喷油器中自限温加热,保证喷油器内燃油在冷启动和暖机过程中,不会超过其沸点,避免燃油在喷油器内产生相变。

PTC 材料就是当它的电阻率在某一一定的温度范围内时基本保持不变或仅有很小的变化,而当温度达到材料的居里温度附近时,材料的电阻率会在几度或几十度较窄的温度范围内迅速增大,接近绝缘体<sup>[8]</sup>。典型 PTC 材料的电阻-温度特性曲线如图1所示。

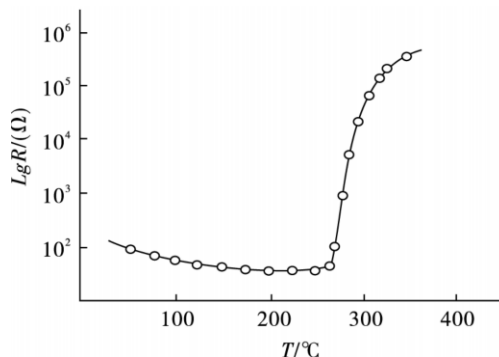


图1 典型 PTC 材料的电阻-温度特性曲线



其他部件壁面间传热方式为耦合。与空气接触的表面热流量为零。该实验是稳态传热模拟实验,所以也不考虑入口流速波动。同时,依据上述喷油器的燃油流量范围,把燃油加热到温升 50℃ 需要的热量是 10.5J 到 73.3J 之间。这样 PTC 加热装置给燃油提供至少 50℃ 的温升。

3 仿真结果分析

下面三幅图是三种工况下 X 轴剖面温度云图。

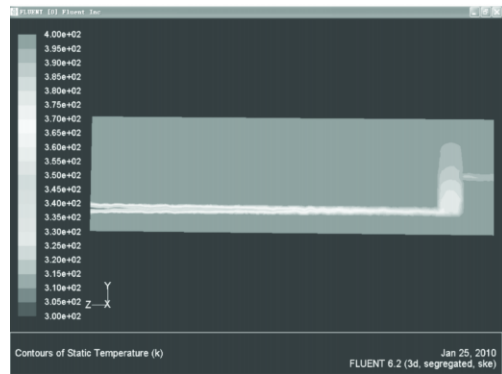


图 4 入口速度为 38mm/s 时 X 轴剖面温度云图

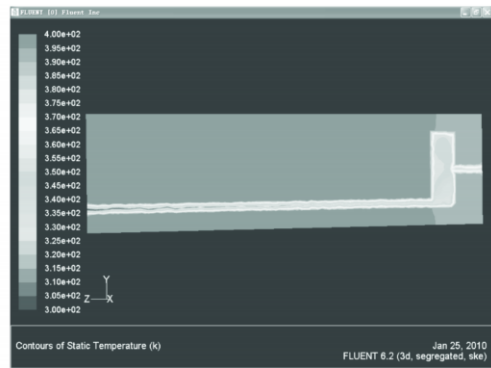


图 5 入口速度为 153mm/s 时 X 轴剖面温度云图

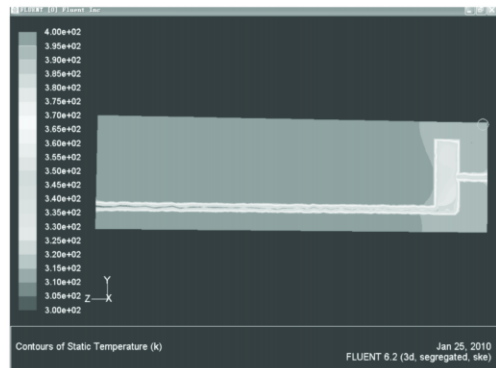


图 6 入口速度为 268mm/s 时 X 轴剖面温度云图

从图 4、图 5、图 6 可以看出,在不考虑热阻的情况下,PTC 材料与喷油器主体传热将很快达到热平衡。

在图 4 中,由于燃油流速较慢,在管道中得到充分加热,在出口时燃油温度达到了 400K。

在图 5 中,燃油流速较快,在管道中加热不充分,在出口时温度约为 365K 左右。

从图 6 上看到,燃油流速最快,出口的温度约为 350K。

4 结论

1) 本研究的仿真实验结果表明,发动机在预热 20 s 后燃油温升达到 50℃ 以上。这对减少汽车的排放具有重要的意义。

2) 本研究对柴油的入口流速进行了常值假设。这种假设和实际情况不相符合。所有实验结果仅具有定性意义。

3) 本研究实验是对预热了 20 s 以后的稳态传热进行分析。对 0 ~ 20 s 之间发生的情况进行分析将是作者下一步要做的工作。

4) 本研究假设 PTC 材料处于开关状态,这种假定与实际情况有一定偏差。

参考文献

- 1 张鹏. 二甲醚闪急沸腾喷雾的数值模拟和实验研究: [D]. 武汉: 华中科技大学, 2009
- 2 姜水生, 陈立伟, 高伟, 等. 内燃机冷启动性能测试与评价 [J]. 内燃机 2003( 5): 53 ~ 58
- 3 Frank R Z, Ren W M, John B, et al. An internally heated tip injector to reduce HC emissions during cold – start [C]. SAE Paper 1999 – 01 – 0792
- 4 Masaru K, Koji Y, Hideo S, et al. A study of the influence of fuel temperature on emission characteristics and engine performance of compression ignition engine [C]. SAE Paper 2002 – 32 – 1777
- 5 Kenjiro N, Eiji M, Masahito I, et al. Effects of high – temperature fuel on in – cylinder fuel mixture formation process for direct injection engine [C]. SAE Paper 2003 – 32 – 0003
- 6 Seoksu M, Jaejoon C, Essam A S, et al. The effects of injector temperature on spray and combustion characteristics in a single cylinder DISI engine [C]. SAE Paper 2005 – 01 – 0101
- 7 陶文铨. 数值传热学( 第二版) [M]. 西安: 西安交通大学出版社 2004
- 8 祝炳和, 姚尧, 赵梅瑜, 等. PTC 陶瓷制造工艺与性质 [M]. 上海: 上海大学出版社, 2001

( 收稿日期: 2011 – 03 – 04)