

出口压力对柴油喷油器流量特性影响的试验研究

仇滔^{1,2}, 冯祥¹, 雷艳¹, 代贺飞¹, 徐慧¹, 张传霞¹

(1. 北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100124; 2. 北京电动车辆协同创新中心, 北京 100081)

摘要: 柴油机高压燃油系统中, 喷油器内部燃油的高速流动易导致喷孔内部出现空化, 从而影响喷油特性。为了研究喷油器的进出口压力对燃油在喷嘴里的流动的影响, 设计了一套出口压力可调的试验装置, 针对高压共轨喷油器进行了不同出口压力下的喷油规律测量, 研究了出口压力对喷油率的影响。试验发现: 由于进出口压力差很大, 喷嘴内部为空化流动; 空化流动时, 当入口压力不变时, 改变出口背压, 喷油率不变化, 流动出现阻塞现象; 出现空化后, 增加出口压力, 流量系数增大。

关键词: 动力机械工程; 柴油机; 喷油器; 空化; 出口压力

中图分类号: TK421+.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2015)05-0777-04

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1093.2015.05.002

Experimental Study of Influence of Outlet Pressure on Discharge Characteristics of Diesel Injector

QIU Tao^{1,2}, FENG Xiang¹, LEI Yan¹, DAI He-fei¹, XU Hui¹, ZHANG Chuan-xia¹

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Collaborative Innovation Center of Electric Vehicles in Beijing, Beijing 100081, China)

Abstract: The high-speed flow of fuel in the injector of the high pressure fuel system for the diesel engine is easy to induce the cavitation in nozzles, which affects the injection characteristics. A set of test rigs is built to adjust the different outlet pressures for the study of the influence of outlet pressure on the discharge characteristics of injector. The injection characteristics of a high-pressure common-rail under different injection and outlet pressures are measured to investigate the influence of outlet pressure on fuel delivery rate. The test results show that the outlet pressure has little influence on the fuel delivery rate at the constant injection pressure; but as the flow chokes due to cavitation, the discharge coefficient increases with the increase in the outlet pressure.

Key words: power machinery engineering; diesel engine; fuel injector; cavitation; outlet pressure

0 引言

柴油机喷油器的燃油雾化性能直接影响着混合气的形成和缸内的燃烧过程, 而喷嘴内部燃油流动特性又是影响燃油雾化的关键因素之一^[1]。针对喷嘴内部燃油的流动, 研究者开展了大量的研究: 何

志震等^[2]通过数值模拟和喷嘴可视化试验系统研究, 发现喷嘴流量系数会随着进口压力的增加而减少; 张军等^[3]通过多维数值模拟的方法对不同类型喷嘴内部空化流动特性进行了研究, 发现增加出口压力对空化起抑制作用; 王忠远等^[4]通过对喷嘴的可视化试验研究, 分析了空化过程的影响因素。

收稿日期: 2014-06-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51006012); 天津大学内燃机国家重点实验室开放基金项目(SKLEK2012-01); 北京市教育委员会科技发展计划项目(KM201310005033)

作者简介: 仇滔(1976—), 男, 副教授。E-mail: qiutao@bjut.edu.cn

文献[5]通过实验得出喷孔的流量系数和空化数的关系,如图 1 所示。

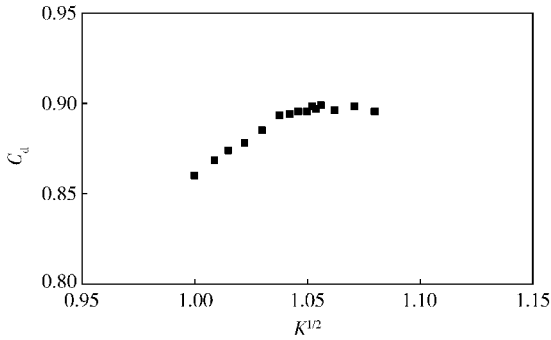


图 1 流量系数与空化数的关系

Fig. 1 Discharge coefficient versus cavitation parameter

图 1 中, C_d 为喷嘴流量系数, 空化数 K 为与压差有关的无量纲参数, K 的定义为

$$K = \frac{p_i - p_v}{p_i - p_o}, \quad (1)$$

式中: p_i 为入口压力 (MPa); p_v 为饱和蒸汽压力 (MPa); p_o 为出口压力 (MPa)。

文献[6]也得出过与图 1 类似的实验结论, 然而该文献认为出口压力 p_o 远小于入口压力 p_i , 因此出口压力不需考虑。所以, 研究只关注入口压力的影响。现代柴油机为了提高效率, 压缩比不断提高, 进气压力也在不断增加, 同时, 预喷使得主喷起始时刻对应的缸内压力很高, 实际喷油器的出口压力不断增加^[7], 因此, 柴油机燃油喷射特性必须考虑出口压力的影响。本文通过 AKRIBIS II 燃油喷射计量仪测量了高压共轨喷油器在不同出口压力下的喷油规律, 分析了不同出口压力对喷嘴流量的影响。

1 试验

试验装置: 搭建高压共轨油泵试验台, 采用德国 BOSCH 公司生产的高压共轨喷油器为试验对象, 对喷油器瞬态流量及喷射压力、出口压力进行测量。采用 Kistler 压力传感器测量喷油器喷射压力, 意大利 INO8V 公司生产的 AKRIBIS II 燃油喷射计量仪测量喷油率。试验时, 高压共轨喷油器喷射的燃油喷入 AKRIBIS II 燃油喷射计量仪燃油室内, 同时燃油的冲击使燃油室的活塞移动, 经活塞下部的位移传感器测出位移量, 再经过换算可以测得喷油量、喷油率等数据。为了测试不同出口压力对喷射特性的影响, 该试验装置通过氮气瓶上的调压阀, 可以改变燃油室内的压力, 即改变喷油器的出口压力。高压油泵试验台架原理图如图 2 所示, 试验设备的参数

如表 1 所示。

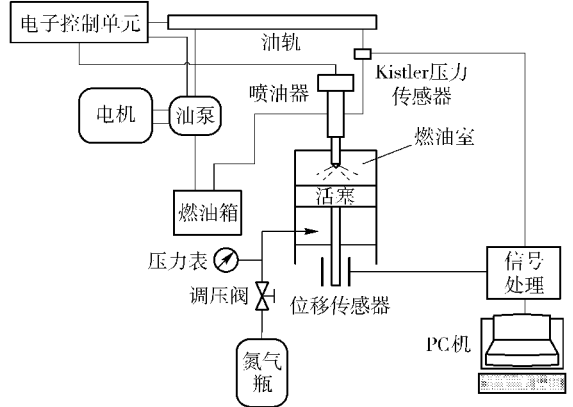


图 2 喷油试验装置原理图

Fig. 2 Schematic diagram of fuel injection test rig

表 1 试验设备

Tab. 1 Test apparatus

类型	参数	
喷油器	喷孔数	8
	喷孔直径/mm	0.173
Kistler 4067C3000 压力传感器	量程/MPa	0 ~ 300
	灵敏度/(mV·MPa ⁻¹)	33.3
AKRIBIS II -350 燃油计量仪	工作温度/°C	0 ~ 120
	喷油率范围/(mm ³ ·ms ⁻¹)	0 ~ 140
燃油喷射特性	精度/mm ³	±0.5
	采样周期/ms	0.005
	出口压力可调范围/MPa	0.7 ~ 10
	出口压力调节精度/MPa	0.01

喷油特性试验是在不同工况下进行。固定油泵转速为 500 r/min, 依次改变油泵流量调节阀将轨压保持在 40 MPa 和 90 MPa, 并调节氮气瓶上的调压阀, 使喷油器出口压力分别为 2 MPa、4 MPa、6 MPa 和 8 MPa; 试验时, 每个工况下喷油器喷油 3 次, 加电时间保持 3 ms, 为保证测量数据的可靠性, 每个工况下重复 10 次试验。

2 试验结果分析

2.1 试验结果

针对一系列的试验结果进行了数据处理, 由于不同工况下的试验结果趋势比较相近, 本文仅以其中一个工况(喷射压力 40 MPa, 出口压力 2 MPa)时的试验结果为例, 进行数据处理的说明。图 3 为入口压力 40 MPa、出口压力 2 MPa 时的试验结果。图 4 为单次喷射放大后的试验结果。由图 4 可见, 喷油时, 喷油率曲线可大致分成喷油器针阀开启初

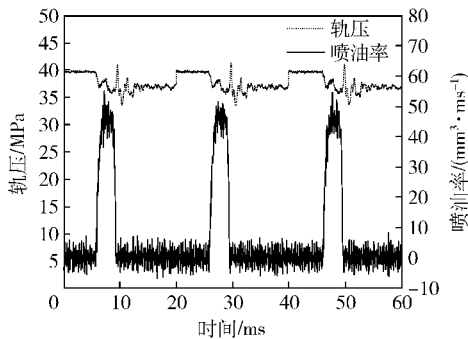


图3 入口压力 40 MPa、出口压力 2 MPa 时的试验结果

Fig. 3 Test results at injection pressure of 40 MPa and outlet pressure of 2 MPa

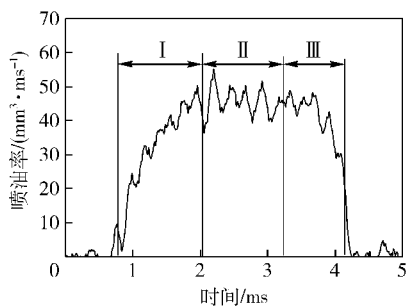


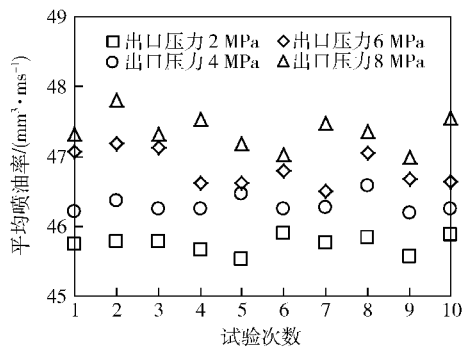
图4 单次喷射放大后的试验结果

Fig. 4 Enlarged test results of single injection

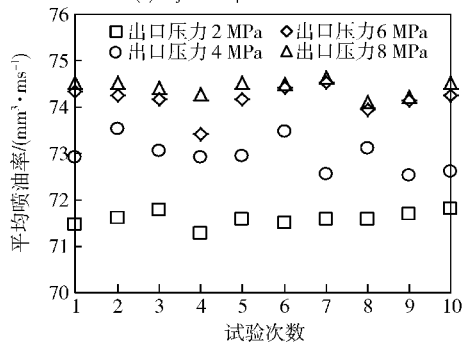
期 I、针阀全开阶段 II、针阀关闭阶段 III 共 3 个阶段。其中:在开启初期、针阀关闭 2 个阶段中,针阀处于上升和下降过程,导致喷油率迅速变化;在针阀完全开启的阶段 II 中,针阀保持位移不变,喷油率趋于稳定。在研究喷油器的喷射特性时,应当避免由于针阀的移动对喷油率造成的影响^[8],为了消除这种针阀运动带来的波动影响,本文的数据分析只针对全开阶段的结果,而不考虑阶段 I 和阶段 III 中的数据;对于每次喷射,阶段 II 的取值时域均为 1 ms,对阶段 II 中所有数据求取平均值。图 5 (a) 和图 5 (b) 分别为轨压 40 MPa 和 90 MPa 时,不同出口压力下 10 次试验的平均喷油率计算结果。图 6 为两组工况下喷油率相对误差的计算结果。由图 6 可见,在不同的出口压力下,每次喷油率试验结果的相对误差均不超过 1%,说明这些试验数据有良好的稳定性和代表性。

2.2 出口压力对喷油特性的结果分析

根据图 1 的结果,可知 K 小于 2,一般为空化流动,且 K 越小,空化越显著。本文试验 K 取 1.02 ~ 1.17,远小于 2,说明在本文试验结果中,喷嘴内部的流动出现空化。



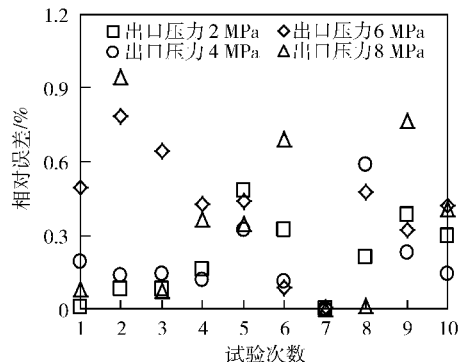
(a) 轨压 40 MPa
(a) Injection pressure of 40 MPa



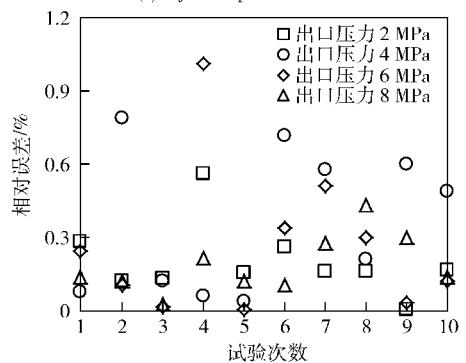
(b) 轨压 90 MPa
(b) Injection pressure of 90 MPa

图5 平均喷油率

Fig. 5 Average fuel delivery rate



(a) 轨压 40 MPa
(a) Injection pressure of 40 MPa



(b) 轨压 90 MPa
(b) Injection pressure of 90 MPa

图6 相对误差

Fig. 6 Relative errors

图 7 为入口压力分别为 40 MPa 和 90 MPa 时喷油率随出口压力的试验结果。由图 7 可见:当入口压力分别保持 40 MPa 和 90 MPa 不变时,出口压力从 2 MPa 增加到 8 MPa,喷油率变化不显著,说明该试验工况下,出口压力不再影响喷油率;当出口压力相同时,入口压力由 40 MPa 提升到 90 MPa,喷油率显著增加,这表明在该工况下,入口压力对喷油率有显著影响。

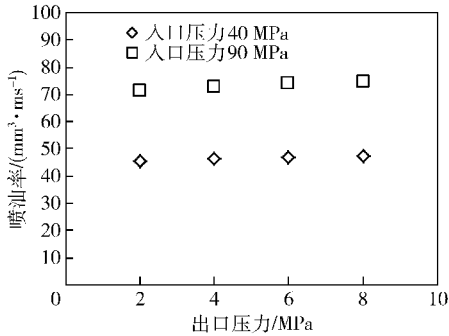


图 7 出口压力对喷油率的影响

Fig. 7 The effect of back pressure on fuel delivery rate

根据喷嘴流量系数的定义

$$C_d = \frac{q_v}{A \sqrt{\frac{2(p_i - p_o)}{\rho}}}, \quad (2)$$

式中: q_v 为体积流率,即喷油率(mm^3/ms); A 为喷孔的几何截面积(m^2); ρ 为燃油密度(kg/m^3)。

由(2)式可得到流量系数随出口压力的变化曲线结果如图 8 所示。由图 8 可见,在入口压力分别保持为 40 MPa 和 90 MPa 不变时,随着出口压力的增加,流量系数增加。

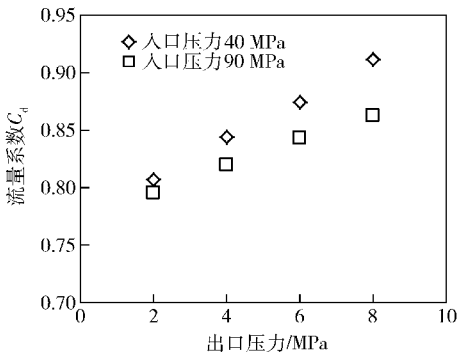


图 8 流量系数随出口压力的变化

Fig. 8 Variation of discharge coefficient with back pressure

3 结论

本文采用一套出口压力可调的试验装置,研究

了出口压力对柴油机高压共轨喷油器喷油量的影响,得出以下结论:

1) 喷射入口压力不变,出现空化流动时,由于喷嘴内部空化流动会导致流动阻塞现象,出口背压不影响喷油率。

2) 喷油器进出口压力对流量系数有较大影响,出口压力的提高使空穴流动程度减弱,流量系数增加。

参考文献 (References)

- [1] 何志霞,钟汝君,黄云龙,等. 针阀运动对柴油机喷嘴瞬态流动特性的影响[J]. 内燃机学报,2012,30(4):337-342.
HE Zhi-xia,ZHONG Wen-jun,HUANG Yun-long, et al. Investigation of transient behavior of cavitation flow in injector nozzles affected by the needle movement[J]. Transactions of CSICE, 2012, 30(4): 337-342. (in Chinese)
- [2] 何志霞,柏金,王谦,等. 柴油机喷嘴内空穴流动可视化试验与数值模拟[J]. 农业机械学报,2011,42(11):6-9.
HE Zhi-xia,BAI Jin,WANG Qian, et al. Visualization experiment and numerical simulation for cavitating flow in a diesel injector nozzle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 6-9. (in Chinese)
- [3] 张军,杜青,杨延相,等. 柴油机不同类型喷嘴内部空化流动特性的研究[J]. 内燃机学报,2010,28(2):134-140.
ZHANG Jun,DU Qing,YANG Yan-xiang, et al. Study on cavitating flow in different types of diesel nozzle orifice[J]. Transactions of CSICE, 2010,28(2):134-140. (in Chinese)
- [4] 王忠远,孙剑,董庆兵,等. 柴油机喷孔内部空化效应的可视化实验研究[J]. 燃烧科学与技术,2012,18(3):281-287
WANG Zhong-yuan,SUN Jian,DONG Qing-bing, et al. Visualization of cavitation in diesel nozzle orifice[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2012, 18(3):281-287. (in Chinese)
- [5] Payri R, Salvador F J, Gimeno J, et al. Study of cavitation phenomena based on a technique for visualizing bubbles in a liquid pressurized chamber[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2009,30(4):768-777.
- [6] Schmidt D P,Su T F,Goney K H, et al. Detection of cavitation in fuel injector nozzles[C]//8th ISTP Conference. San Francisco: ISTP,1995:1995-10.
- [7] 徐家龙. 柴油机电控喷油技术[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
XU Jia-long. Diesel engines electric injection technology[M]. Beijing:China Communications Press,2011. (in Chinese)
- [8] Payri R,Salvador F J,Gimeno J, et al. Diesel nozzle geometry influence on spray liquid-phase fuel penetration in evaporative conditions[J]. Fuel,2008,87(7):1165-1176.