

压电式高压共轨喷油系统喷油量波动特性试验*

丁晓亮 张幽彤 熊庆辉

(北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081)

【摘要】 研究了压电式高压共轨喷油系统多次喷射过程中影响主喷油量波动的因素,采用 EFS IFR8420 型单次喷射仪对预喷和主喷的油量及喷油速率进行精确测量,总结了主喷油量波动的影响因素及其变化规律;预喷油量越小、主预间隔时间越短,主喷油量波动幅度越大,且随着主预间隔时间的增加,主喷油量呈周期性波动且波动幅度逐渐衰减。通过试验确定了预喷产生的压力波动是导致主喷油量波动的主要原因,为后续的多次喷射控制策略的设计和主喷油量的压力波动修正提供了可靠的试验数据。

关键词: 压电喷油器 高压共轨 油量波动

中图分类号: TK413.8⁴ 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)07-0011-04

Investigations into Multiple-injection Fuel Quantity Fluctuation for High Pressure Common Rail System with Piezo-actuated Injector

Ding Xiaoliang Zhang Youtong Xiong Qinghui

(School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract

The research on factors affecting injection quantity fluctuation for main injection was performed. The experiment was conducted by measuring the fuel quantity and flow rate for pilot and main injection with EFS IFR8420. The factors influencing were given as follows: main injection quantity fluctuated remarkably with short dwell time and small pilot injection quantity, with increasing dwell time between pilot and main injection, main injection quantity fluctuated periodically and the fluctuation range attenuated gradually. It is concluded that the injection quantity fluctuation is caused by the fluctuation of rail pressure generated by the pilot injection.

Key words Piezo-actuated injector, High pressure common rail, Fuel quantity fluctuation

引言

压电晶体喷油器与传统的电磁驱动喷油器相比,能够产生更大的推力、拥有更快的响应速度,从而能够执行更加迅速和精确的喷射动作^[1-2]。

在多次喷射,一次主喷和一次预喷两次喷射过程中,预喷结束会产生明显的压力波动,继而影响随后紧接着的主喷过程,国内外的很多研究均证实了这一点^[3-6],但这些研究中设计的数学模型和进行的试验都是基于电磁式喷油器共轨喷油系统,而

对于压电式喷油系统并未作过相应的研究。本文采用 EFS IFR8420 型单次喷射仪对压电式高压共轨喷油系统的预喷和主喷的油量及喷射速率同时进行精确的测量。

1 测试试验系统

1.1 压电晶体喷油器

压电晶体喷油器结构及其工作原理如图 1 所示。当压电堆未充电时,由于作用在针阀上表面和下部锥面处的燃油压力相同,但上表面的有效作用

面积大,所以此时针阀落座,处于关闭状态,如图 1a 所示。当给压电堆充电时如图 1b 所示,压电堆变形,向下垂直伸长推动推杆、阀门活塞、控制阀,这时控制阀打开,使控制室与低压部分相通从而导致其中的燃油压力下降,针阀在压力室中高压燃油的作用下克服针阀弹簧预紧力而被抬起,开始喷射过程。当卸载压电堆上的电压时,压电堆缩短,控制阀关闭,控制室压力升高,针阀落座,喷油过程结束^[2]。

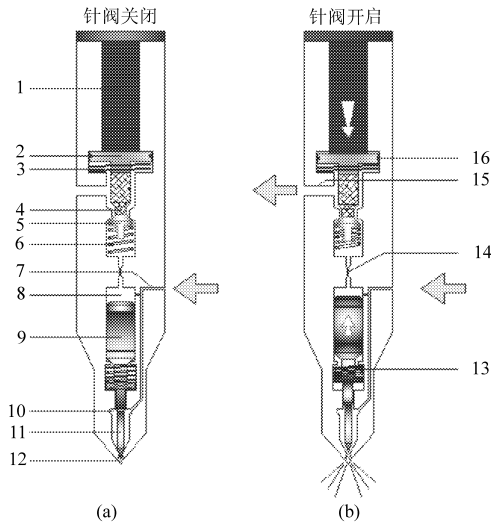


图 1 压电晶体喷油器结构及其工作原理示意图

Fig. 1 Operating schematic of the piezo-actuated injector

1. 压电堆 2. 推杆 3. 推杆弹簧 4. 阀门活塞 5. 控制阀
6. 回位弹簧 7. 节流孔 8. 控制室 9. 控制活塞 10. 压力室
11. 针阀 12. 喷孔 13. 针阀弹簧 14. 节流孔 15. 回油孔
16. 密封圈

在高压共轨系统中,压电晶体喷油器由压电堆控制喷油过程,在喷油系统和喷嘴结构固定的条件下,喷油控制信号和喷射压力是决定喷油量的主要因素。通过喷孔的喷油量在稳定流动的情况下为^[7]

$$m_f = \mu A t \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_f}}$$

式中 μ ——喷孔流量系数 A ——喷孔面积
 ρ_f ——燃油密度 t ——喷油器通电时间
 Δp ——喷孔前后的压力差,试验过程中喷射背压始终保持在 2 MPa

1.2 试验设备

本试验是在自主开发的电控单元的第三代 BOSCH 高压共轨燃油喷射系统上进行的,采用 EFS IFR8420 型单次喷射仪精确地测量每次喷射的油量和喷射速率,喷射压力、喷射次数等喷射参数的修改是通过基于 Visual C 的自主开发的标定平台来实现的。

试验台架由油路系统、控制系统、测量系统和监

控系统组成,其布局如图 2 所示。在油路系统中,高压油泵由电动机直接驱动,将燃油加压后经高压油管输送到共轨管中。在控制系统中,ECU 通过轨压传感器采集共轨管中的燃油压力,然后调节调压阀使其稳定在目标压力上。通过标定平台的标定界面可以实时修改循环喷射次数、喷射脉宽和主预间隔时间等喷射参数。测量系统主要是用来精确测量每一次喷射的油量和喷射速率。在数据监控系统中,可以实时地监测喷射油量和喷射速率,并可以保存数据进行数据的后处理。

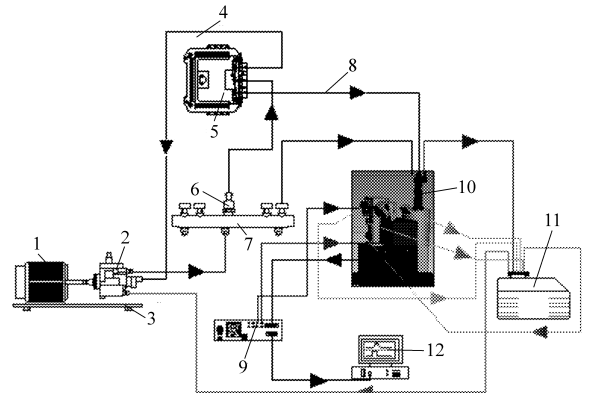


图 2 试验台架结构布局示意图

Fig. 2 Test-bench layout and instrumentation

1. 电动机 2. 高压泵 3. 调压阀 4. 驱动控制信号线 5. ECU
6. 轨压传感器 7. 共轨管 8. 驱动控制信号线 9. IFR 信号处理模块
10. EFS IFR8420 型单次喷射仪 11. 油箱 12. 数据监控系统

2 试验分析

根据试验设计仅对两次喷射即一次预喷和一次主喷的情况进行研究,分析在不同的预喷油量和主预间隔条件下,预喷产生的压力波动对主喷油量的影响。在试验中为方便调试,将主预间隔定义为预喷结束时刻与主喷开始时刻之间的间隔时间。

2.1 主预间隔时间对主喷油量的影响

将目标轨压设置为 60 MPa,同时保持预喷脉宽 400 μs 和主喷脉宽 800 μs 恒定不变,整理后的试验结果如图 3 所示。同样的试验也在 100 MPa 轨压下进行,试验趋势与轨压 60 MPa 时相同,故在此仅以轨压为 60 MPa 时的工况为例进行分析。从图 3 可以看出在很大范围内改变主预间隔时间,预喷油量的波动幅度很小。相反,主喷油量出现了很明显的周期性的变化,且随着主预间隔时间的增加波动的幅度逐渐变小。由此推断可知预喷所产生的压力波动对主喷有明显的影

图 4 所示。

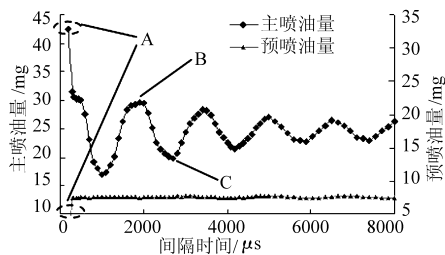


图 3 60 MPa 轨压对应的预喷油量和主喷油量

Fig. 3 Injected quantity for pilot and main injections at $p_{rail} = 60$ MPa

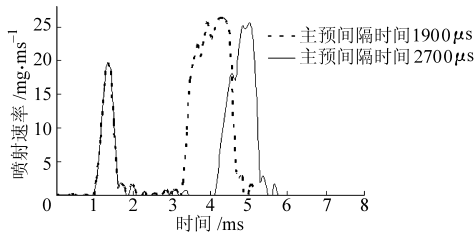


图 4 轨压为 60 MPa 时 B 和 C 工况燃油喷射速率

Fig. 4 Injected flow rate of working condition B and C at $p_{rail} = 60$ MPa

从图 4 可以看出,两种工况下的预喷射速率基本一样,故预喷油量相差无几,证实了上文所述的主预间隔时间对预喷油量影响很小的结论。B 工况的主喷射速率在前期高于 C 工况,且主喷的实际喷油持续期也比 C 工况长一些,故主喷的油量比 C 工况要大。由式(1)可以看出,对于同一个喷油器,喷孔有效流通面积 μA 恒定不变,燃油温度是由单次喷射仪内部冷却油路精确控制,其差别可忽略不计,进而燃油密度 ρ_f 的变化也可忽略不计,喷油持续时间 t 是由 ECU 精确控制。B、C 两个工况在 μA 、 ρ_f 、 t 均相同的情况下,喷油量却相差很大,分析式(1)可知,是因为主喷过程中 Δp 发生了变化,在试验过程中喷孔背压由测量系统精确控制,稳定在 20 MPa,因此推断可得 B 工况主喷过程中的平均喷油压力要大于 C 工况,所以 B 工况的平均喷射速率高。由于实际喷射压力高其针阀升起速度快所以 B 工况的实际喷油持续期也较 C 大,进而导致 B 工况的主喷油量比 C 大。

在图 3 中,随着主预间隔时间的增加主喷油量波动的幅度是逐渐变小的,这主要是因为,随着主预间隔时间的增加,预喷所引起的压力波的能量逐渐衰减,致使对主喷的影响逐渐减弱。值得注意的是,当主预间隔时间减小至 200 μs 时,不再呈周期性的变化,相反,主喷油量出现了陡增而预喷油量出现了陡减,如图 3 中 A 工况所示,为分析产生这种现象的原因,对其燃油喷射速率进行了测量,结果如图 5 所示。

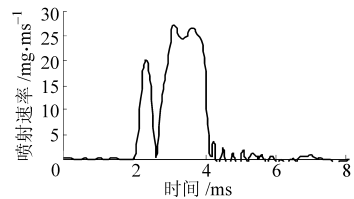


图 5 轨压为 60 MPa 时 A 工况燃油喷射速率

Fig. 5 Injected flow rate of working condition

A at $p_{rail} = 60$ MPa

分析图 5 可知,此时的预喷和主喷已经合并成为一次喷射,由于两次喷射间隔时间过短,当预喷结束针阀还没有完全落座时主喷就开始喷射了,所以单次喷射仪认为其只有一次喷射,即只有一次主喷,其测量出的“主喷油量”实际上是预喷油量和主喷油量两者之和,故在 A 工况点主喷油量和预喷油量出现了突变。

2.2 预喷油量对主喷油量影响

在 60 MPa 共轨压力的条件下,保证主喷脉宽 800 μs 和主预间隔时间 1 900 μs (B 工况对应主预间隔时间)恒定不变。取 200、300 和 500 μs 3 组预喷脉宽进行试验,测得的主喷油量分别是 18.6、22.6 和 24.4 mg。3 组工况对应的主喷喷射速率如图 6 所示。

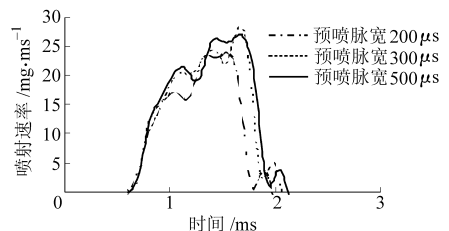


图 6 相同轨压、主预间隔时间,不同预喷油量对应的主喷喷油速率

Fig. 6 Injected flow rate of main injection at the same pressure, DT and different pilot injection quantity

分析可知,预喷油量对主喷油量亦有影响,预喷油量越大,主喷过程中的平均喷油速率越大并且主喷持续时间越长,对应的主喷油量也越大,进而可以推断预喷油量同样影响共轨中的压力波动,预喷油量越大这种影响的幅度越明显。

3 结论

(1) 在压电式高压共轨系统中,由于预喷的影响主喷油量会出现明显的波动,这主要是由于预喷在共轨系统内产生的燃油压力波动所致。

(2) 随着主预间隔时间的变化,主喷油量会呈现周期性的波动,且波动的幅度是随着主预间隔的增加而不断衰减,推断可知,由预喷引起的共轨内燃油压力波动变化的趋势亦是如此,如果主喷是在压

力波波峰时刻开始喷射其喷射油量就较大,反之,如果主喷开始时刻处于压力波的波谷处,喷射油量就较小,但需进一步试验验证。

(3)当主预间隔时间过小时(小于 200 μs 时),预喷针阀尚未落座主喷便已开始,使得两次喷射合

并为一次喷射,在发动机多次喷射匹配过程中应保证主预间隔时间大于此极限值。

(4)预喷油量对主喷油量亦有较明显的影响,预喷油量越大这种影响的程度越明显,进而可以推断出大的预喷油量会引起更为明显的燃油压力波动。

参 考 文 献

- 1 Lee T, Reitz R D. Response surface method optimization of a high-speed direct-injection diesel engine equipped with a common rail injection system[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2003, 125(2):541~546.
- 2 Sunwoo Kim, Namhoon Chung, Myoungcho Sunwoo. Injection rate estimation of a piezo-actuated injector[C]. SAE Paper 2005-01-0911, 2005.
- 3 Andrea E Catania, Alessandro Ferrari, Michele Manno, et al. Experimental investigation of dynamics effects on multiple-injection common rail system performance[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2008, 130(3):032806-1~032806-13.
- 4 祝轲卿,王俊席,卢成委,等. GD-1 电控柴油机主预喷时间间隔的影响[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1):52~58.
Zhu Keqing, Wang Junxi, Lu Chengwei, et al. Study of time gap between pilot and main injections of GD-1 electronically controlled diesel engine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1):52~58. (in Chinese)
- 5 Bianchi G M, Falfari S, Pelloni P, et al. A numerical and experimental study towards possible improvements of common rail injectors[C]. SAE Paper 2002-01-0500, 2002.
- 6 Mulemane A, Han J S, Lu P H, et al. Modeling dynamic behavior of diesel fuel injection systems[C]. SAE Paper 2004-01-0536, 2004.
- 7 Ding Xiaoliang, Zhang Youtong, Wang Jun. A study of calibration of electronic-controlled injector employed in high pressure common rail system[C]. SAE Paper 2008-01-1742, 2008.

(上接第 5 页)

- 6 马凡华, 刘海全, 李勇, 等. 氢内燃机缸内燃烧特性[J]. 内燃机工程, 2008, 29(1): 29~33.
Ma Fanhua, Liu Haiquan, Li Yong, et al. Analysis of in-cylinder combustion of hydrogen fueled engine[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2008, 29(1): 29~33. (in Chinese)
- 7 王金华, 黄佐华, 苗海燕, 等. 利用定容燃烧弹研究天然气掺氢混合燃料直喷燃烧循环变动[J]. 内燃机学报, 2008, 26(5):410~419.
Wang Jinhua, Huang Zuohua, Miao Haiyan, et al. Study of cycle-by-cycle variations of direct-injection combustion fueled with natural gas/hydrogen blends using a constant volume bomb[J]. Transactions of CSICE, 2008, 26(5): 410~419. (in Chinese)
- 8 闫皓, 纪常伟, 汪硕峰. 汽油/氢发动机燃烧特性试验与仿真[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6):6~9.
Yan Hao, Ji Changwei, Wang Shuofeng. Experiment and simulation on combustion characteristics of a four cylinder SI engine fueled with hydrogen and gasoline[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6):6~9. (in Chinese)
- 9 王宇, 马凡华, 刘海全, 等. 火花点火天然气掺氢发动机稀燃极限的影响因素[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7):9~13.
Wang Yu, Ma Fanhua, Liu Haiquan, et al. Influence factors of the lean operation limit for a spark ignition hydrogen enriched natural gas engine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 9~13. (in Chinese)
- 10 Thurnheer T, Soltic P, Eggenschwiler P D. S. I. engine fuelled with gasoline, methane and methane/hydrogen blends: heat release and loss analysis[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34(5):2494~2503.
- 11 Heywood J B. Internal combustion engine fundamentals[M]. New York: McGraw-Hill, 1988:413~423.
- 12 Ozdor N, Dulger M, Sher M. Cyclic variability in spark ignition engines—a literature survey[C]. SAE Paper 940987, 1994.
- 13 Hoard J, Rehagen L. Relating subjective idle quality to engine combustion[C]. SAE Paper 970035, 1997.
- 14 Ma Fanhua, Wang Junjun, Wang Yu, et al. Influence of different volume percent hydrogen/natural gas mixtures on idle performance of a CNG engine[J]. Energy & Fuels, 2008, 22(3): 1880~1887.