

高压共轨柴油机后喷对机油稀释影响的试验研究

李进普, 沈国华, 任向飞, 王 亮, 曹付广, 刘 健, 刘宏洋, 牛立亚, 马 燕, 侯 亮

(长城汽车股份有限公司, 河北 保定 071000)

摘 要: 针对高压共轨柴油机为实现 DPF 的主动再生, 实施燃油后喷导致发动机机油稀释的问题进行试验研究。试验使用两次后喷, 第一次后喷在上止点后 20°~40°, 第二次后喷在上止点后 120°~180°。研究表明: 通过适量使用后喷 1, 尽量减小后喷 2 的油量, 适当调整后喷 2 的喷油正时, 可实现达到 DPF 主动再生目标温度的同时, 最大程度地降低由于后喷作用引起的机油稀释现象。

关键词: 微粒捕集器; 再生; 机油; 稀释; 喷油正时; 喷油量

中图分类号: TK421+.42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2015)04-0011-03

Experimental Research on the Influence of Post-injection on Oil Dilution with High Pressure Common Rail Diesel Engines

Li Jinpu, Shen Guohua, Ren Xiangfei, Wang Liang, Cao Fuguang, Liu Jian,
Liu Hongyang, Niu Liya, Ma Yan, Hou Liang

(Great Wall Motor Co. Ltd., Hebei Baoding 071000)

Abstract: To solve the problem that high pressure common rail diesel engine met with oil dilution during post-injection for DPF regeneration, experimental research were carried out. The experiment used two injections method, the first injection was 20°~40° after the TDC, and the second injection was 120°~180° after the TDC. The research show that with proper amount of oil at the first post-injection, and minimize the oil injection at the second post-injection while properly adjust the injection timing, DPF regeneration temperature could be achieved, and the phenomenon of oil dilution due to post-injection could be minimized.

Key words: diesel particular filter; regeneration; oil; dilution; injection timing; injection volume

0 引 言

柴油机因其良好的经济性、动力性、可靠性, 被广泛应用于交通运输、工程机械等领域。但柴油机的微粒 (PM, Particulate Matter) 排放比较严重 (约为汽油机的 30~80 倍)。为了满足越来越严格的排放法规, 必须对柴油车的微粒排放进行控制^[1]。

微粒捕集器 (DPF) 技术是满足欧 5 及以上轻型柴油机排放法规的重要途径, 然而 DPF 的再生效率是制约其发展的关键因素^[2-3]。DPF 再生方式分为主动再生和被动再生。主动再生是利用外加能

量提高排气温度或捕集器滤芯的温度, 使其达到微粒的起燃温度 (500~600℃), 实现 DPF 再生; 被动再生则是利用贵金属的催化作用降低微粒的起燃温度, 使得微粒能在柴油机正常工作条件下氧化燃烧, 实现 DPF 再生。受柴油机排气温度较低限制, 被动再生方法很难使柴油机在所有运行工况内都实现可靠彻底的再生, 因此必须按照一定的再生控制策略定期地进行 DPF 主动再生^[4-6]。

目前, 高压共轨型柴油机使用缸内后喷助燃形式实现主动再生, 它不需要任何额外的辅助设备, 只是利用发动机原有的燃油喷射系统, 在远离上止

点后的时刻喷入燃油，不完全燃烧的 HC 进入排气，通过 DPF 上游的氧化催化器（DOC）对其进行氧化放热，从而提高排气温度，实现 DPF 主动再生。这种形式成本低、结构布置简单，但由于再生时喷油控制的变化（推后主喷、增加后喷），部分未汽化的后喷燃油留在缸壁上，沿缸壁进入油底壳，导致产生额外的机油稀释现象。所谓机油稀释，即燃油、不完全燃烧的产物、机油氧化物及摩擦产生的不溶物等混入机油，使机油黏度非正常下降，导致机油早期报废的现象^[7]。

本文以长城某款柴油机为研究对象，选取 1 800（r·min⁻¹）、40（N·m）工况点为例，通过试验调查分析上述导致机油稀释的关键因素。

1 试验对象

试验用发动机参数见表 1，后处理系统为 DOC + DPF。

表 1 试验发动机主要技术参数

型式	四冲程、直列、强制水冷、16 气门、电控高压共轨、涡轮增压、进气中冷	
气缸数	4	
缸径×冲程/mm×mm	83.1×92	
总排量/L	1.996	
压缩比	16.7:1	
额定功率及相应转速/kW/(r·min ⁻¹)	110/4 000	
最大扭矩及相应转速/(N·m)/(r·min ⁻¹)	310/1 800~2 800	
配气相位/°CA	进气门开（上止点前）	24
	进气门关（下止点后）	50
	排气门开（下止点前）	86
	排气门关（上止点后）	16

发动机系统、台架试验布置和后处理系统如图 1 所示。试验中监测 DOC 入口温度、DPF 入口温度和压力。

2 试验方法及步骤

试验中通过测功机标定发动机转速和扭矩，使发动机维持在同一工况运转；使用标定工具调整后喷油量和正时，通过单个参数变化分别进行试验，从而进行机油稀释影响因素的分析。

该试验中使用两次后喷，第一次后喷在上止点后 20°~40°，此次喷射离主喷较近，在做功冲程，所喷射的燃油一部分参与做功，一部分用于提高缸内和排气的温度；第二次后喷在上止点后 120°~

180°，此次喷射在做功冲程后期，排气门已经开启，燃油不参与做功，只是用来提高 DPF 前的温度。试验中的参数组合方案见表 2 所示。

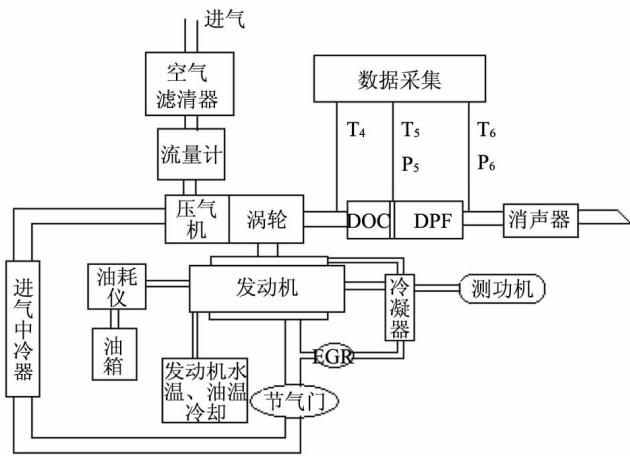


图 1 发动机系统及台架试验整体布置示意图

表 2 试验参数组合方案

发动机转速/(r·min ⁻¹)	指示扭矩/(N·m)	输出扭矩/(N·m)	主喷油量/(mg·str ⁻¹)	主喷正时/°CA	后喷 1 油量/(mg·str ⁻¹)	后喷 1 正时/°CA	后喷 2 油量/(mg·str ⁻¹)	后喷 2 正时/°CA
1 800	80	40	6	-1	6	-35	6	-120
1 800	80	40	6	-1	6	-35	0	-120
1 800	80	40	9	-1	0	-35	6	-120
1 800	80	40	6	-1	6	-35	6	-140
1 800	80	40	6	-1	6	-35	6	-160
1 800	80	40	6	-1	6	-35	6	-170
1 800	80	40	6	-1	6	-35	5	-140
1 800	80	40	6	-1	6	-35	7	-140
1 800	80	40	6	-1	6	-35	6	-130
1 800	80	40	6	-1	6	-35	6	-150
1 800	80	40	6	-1	6	-35	4	-140
1 800	80	40	6	-1	6	-35	8	-140
1 800	80	40	6	-1	6	-35	9	-140

试验步骤如下：

（1）加入新机油至发动机油标尺中上限，启动后，尽快调到试验工况，运转 1 h，且机油温度稳定后，停机；均匀转动曲轴，在 1min 以内顺转曲轴一圈，再继续顺转至第 1 缸上止点，在这 1 min 终了时，在油底壳放油塞处开始放油，放油时间为 15 min。

（2）待机油温度冷却至 65℃，用量杯测量机油体积 V₁，将机油加入发动机，即为新加机油的体积。

（3）启动发动机迅速调到试验工况，激活再生，调整相关参数至预定值，并保证增压压力等参

数一定，开始试验，连续运行 3h，停机；按上述方法转动曲轴、放油、测量体积，得到试验后放出机油体积 V_2 。

(4) 机油的稀释率 $R = (V_2 - V_1) / V_1 \times 100\%$ ，考虑到每次加新机油体积存在差异，可以通过体积的增加 $(V_2 - V_1)$ ，即燃油的进入量来判断相应设置对机油稀释的影响。

(5) 重复上述步骤，对不同设置参数分别进行试验，测量机油前后体积变化。

3 试验结果及分析

3.1 后喷 1 对机油稀释的影响

再生时后喷 1 对发动机机油稀释的影响如表 3 所示，表中只体现了不同的油量，其他如发动机转速、扭矩、喷油正时、增压压力等均保持一致。可以看出：后喷 1 对机油稀释影响很小；后喷 2 对机油稀释的影响很大，没有后喷 1 只有后喷 2 即使总油量少，由于做功冲程后期缸内温度过低，对机油稀释影响会更大。

表 3 后喷 1 对机油稀释的影响

主喷油量/ (mg · str ⁻¹)	后喷 1 油量/ (mg · str ⁻¹)	后喷 2 油量/ (mg · str ⁻¹)	DPF 前 温度/℃	机油稀 释率	燃油进 入量/L
6	6	6	613	17.1%	1.11
6	6	0	391	1.7%	0.1
9	0	6	551	24.3%	1.46

3.2 后喷 2 油量对机油稀释的影响

再生时后喷 2 对机油稀释及 DPF 前温度的影响如图 2 所示，每个试验点工况、喷油正时、增压压力、后喷 1 的油量等均保持一致。可以看出：燃油进入量随后喷 2 油量的增加几乎呈线性增长，会造成严重的机油稀释现象；同时 DPF 前的温度也有适当增加。

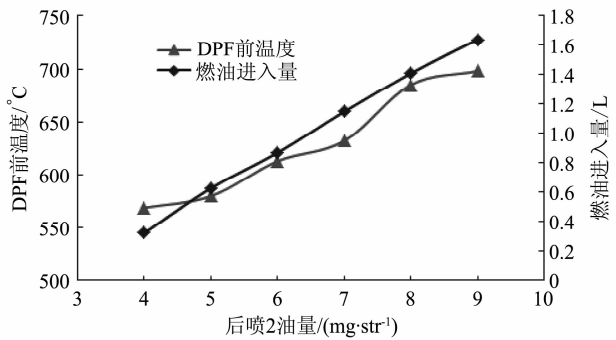


图 2 后喷 2 对机油稀释及 DPF 前温度的影响

3.3 后喷 2 喷油正时对机油稀释的影响

后喷 2 的正时对机油稀释及 DPF 前温度的影响如图 3 所示，每次试验时保持工况、喷油量、增压压力等参数一致。可以看出：后喷 2 的正时对机油稀释的影响很大，试验工况的最佳后喷 2 正时在上止点后 150°左右，此时在同样的油量下 DPF 前的温度也最高。

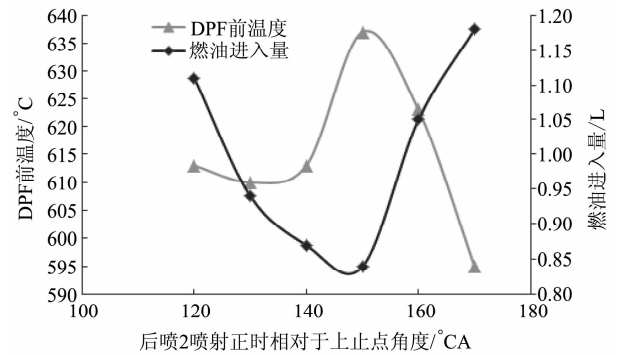


图 3 后喷 2 喷油正时对机油稀释及 DPF 前温度的影响

4 结论

试验表明，后喷 1 本身对机油稀释的影响并不大，适量的后喷 1 有助于提高做功冲程后期缸内的温度，便于第二次后喷时燃油更好地汽化，有利于降低后喷 2 对机油稀释的影响；同时可以提高排气温度，使 DOC 达到起燃温度，促使未燃 HC 在 DOC 中的氧化放热。

后喷 2 对机油稀释的影响特别严重，后喷 2 油量越大机油稀释率越大；后喷 2 的喷油正时对机油稀释的影响也很大，试验工况点对机油稀释影响最低的正时是在上止点后 150°左右，此时 DPF 前的温度也是最高的。不同的发动机工况，后喷 2 的最佳正时也会有差异，需通过台架试验寻找使 DPF 前温度最高的喷油正时，判断对机油稀释影响最小的正时。

通过本文的试验研究可得出：在 DPF 的再生标定试验中，可以通过适量使用后喷 1，尽量减小后喷 2 的油量，适当调整后喷 2 的喷油正时，在实现 DPF 主动再生目标温度的同时，最大程度地降低由于后喷作用引起的机油稀释现象。

(下转第 27 页)

证机器在 30 s 转动一整圈。

“Exvclosing Offset”为排气阀关闭角度补偿，用来平衡各缸压缩压力。该参数调整范围为 $-3.0 \sim +3.0 <^{\circ}$ ，六个缸的补偿数值平均值应在 $-0.2 \sim +0.2 <^{\circ}$ 之间。

“InjBegin Offset”喷油角度补偿，用来调节最高燃烧压力，平衡各缸负荷。喷油角度补偿分为两级： $-0.5 \sim +0.5 <^{\circ}$ 、 $-1.5 \sim +1.5 <^{\circ}$ 。六个缸的补偿数值平均值应在 $-0.2 \sim +0.2 <^{\circ}$ 之间。

“Injection Corr. factor”喷油修正系数，在新机磨合、某缸出现故障或排温出现偏差时可适当将某些缸的实际油门指令调至 80% ~ 110%。不允许所有缸一起调至 100% 以上，即使个别缸要调至 100% 以上时也必须经轮机长同意。

“FQS”为燃油质量设定，即根据燃油质量适当调整喷油角度，范围为 $-5.0 \sim +5.0 <^{\circ}$ 。

3.7 柴油机控制功能测试

在 flexView 中，用户界面：“Inj. Venting”用来实现对 ICU 和喷油器管路放气，可以选择泄放所有气缸也可以选择单独泄放某个缸，整个过程持续 30 s，此时电动伺服油泵要开启，燃油共轨压力要低于 25 MPa。在柴油机备车时可使用该功能使没有伴行加热管的油路得以循环，有助于柴油机的启动。

“Exv. A/M Cmd”为排气阀工作模式选择，分别有自动、手动打开、手动关闭、曲柄角度控制开启等。在开启电动伺服油泵、空气弹簧后，可以通

过此功能来测试排气阀的动作。

“Main Start Valves #1/#2”为主启动阀功能测试，可分别选择两个主启动阀为有效或无效状态，通过吹车来试验其功能是否正常。

4 结束语

如今新造船舶中电控柴油主机应用越来越多，电控柴油机技术也日臻完善。轮机管理人员亟须学习和认知有关柴油机电控技术。相信随着对电控柴油机认识的不断提高和管理经验的积累，电控柴油机的优势定能得到充分发挥。

参考文献

[1] Wärtsilä Switzerland Ltd. Wärtsilä RT-flex48T-D Operating Manual [R]. 2012 .
[2] Wärtsilä Switzerland Ltd. Wärtsilä RT-flex48T-D Maintenance Manual [R]. 2012.
[3] Wärtsilä Switzerland Ltd. Operator flexView Manual Revision 3.0 [R]. 2012.
[4] Wärtsilä Switzerland Ltd, RT-flex Training: Function of the CLU-4 Pulse Feed Cylinder Lubrication System [R]. 2012. 11
[5] 王征, 杨建国, 余永华. RT-flex 低速大功率智能化柴油机的技术分析 [J]. 船海工程, 2009 (10): 100-102.
[6] 纪宏伟. RT-flex 共轨柴油机的有效管理 [J]. 天津航海, 2013 (1): 30-32.

(上接第 13 页)

参考文献

[1] 李勤. 现代内燃机排气污染物的测量与控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
[2] 谭丕强, 胡志远, 楼狄明, 等. 微粒捕集器再生技术的研究动态和发展趋势 [J]. 车用发动机, 2005, 155 (5): 6-9.
[3] Toorisaka H, Minamikawa J, Narita H, et al. DPF developed for extremely low PM emissions in production commercial vehicles [C]. SAE Paper, 2004-01-0824.
[4] Suresh A, Yezerets A, Currier N, et al. Diesel particulate filter system-effect of critical variables on the regener-

ation strategy development and optimization [C]. SAE Paper, 2008-01-0329.
[5] 王丹, 刘忠长, 王忠恕, 等. 柴油机微粒捕集器缸内次后喷主动再生方法 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2012 (3).
[6] Frobert A, Creff Y, Lepreux O, et al. Generating thermal conditions to regenerate a DPF: impact of the reductant on the performance of diesel oxidation catalysts [C]. SAE Paper, 2009-01-1085.
[7] 刘永长, 内燃机原理 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2001.