

柴油机起动过程引入 EGR 对滞燃期影响的研究

袁 源, 崔 毅, 彭海勇, 邓康耀

(上海交通大学内燃机研究所, 上海 200240)

摘 要: 试验研究表明, 在柴油机首着火循环前引入 EGR 可以改善柴油机首着火循环的冷起动性能。在试验研究的基础上, 进行了化学动力学计算, 进一步研究了 EGR 对起动燃烧的影响。计算发现着火循环前排气成分中的完全燃烧产物少, 而未燃燃油和中间氧化产物的含量大, 因此改善了燃烧。通过对不同 EGR 率和不同燃空当量比下, 混合气在定容状态下的滞燃期进行分析, 得到了混合气着火性能随着 EGR 率的变化规律。

关键词: 柴油机; 冷起动; EGR; 滞燃期

中图分类号: TK421+.24 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2012)04-0006-04

Influence of Introducing EGR on Ignition Delay of Diesel Engine During Cold Starting Period

Yuan Yuan, Cui Yi, Peng Haiyong, Deng Kangyao

(Institute of Internal Combustion Engine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

Abstract: It has been investigated experimentally that introducing some amount of exhaust gas to the diesel engine before the first ignition cycle can help to improve the combustion performance. Based on experimental research, chemical kinetics simulation was taken to investigate the effect of EGR on the combustion performance of cold starting periods. The simulation results show that before the ignition cycle, the complete combustion products in exhaust gas is little, the content of residual fuel and intermediate oxidation products is big, therefore improving the combustion. For constant volume combustion, ignition delay of mixed gas under different EGR ratios and different fuel/air ratios was calculated and analyzed, and the changing rule of ignition characteristics of mixed gas relating to EGR rate was obtained.

Keywords: diesel engine; cold start; EGR; ignition delay

0 引 言

柴油机在冷起动过程中, 转速低, 燃烧室温度、压力低, 燃油雾化不良, 会导致起动倒拖时间长、燃烧不稳定。所以, 在柴油机冷起动过程中会产生大量的有害排放和较高的噪声。Zhong 等人^[1]的研究表明, 0 °C 下的冷起动 HC 排放峰值可高于 $20\ 000 \times 10^{-6}$, Piotr Bielaczyc 等人^[2]的研究表明, 在起动的前 30s 内, 冷起动过程的排放与热起动相比, HC 高 10 倍, CO 高 80 倍, PM 高接近 20 倍。

此外, 目前的一些高增压柴油机要求在提高平均有效压力的同时, 限制其最高燃烧压力, 这就需要降低柴油机的压缩比。随着压缩比的降低, 冷起动问题将更加突出^[3]。

在柴油机的正常燃烧状态下, 引入 EGR 可以降低气缸内的氧浓度和最高燃烧温度, 因此可以降低柴油机的 NO_x 排放。而在起动状态下, 由于燃烧不稳定, 往往不采用 EGR 技术。但有研究表明^[4], 留在气缸中的未完全燃烧产生的废气对新进入气缸的燃油的化学反应有促进作用。本文讨论

的是在柴油机未着火循环前引入EGR对首着火循环燃烧的影响,并将这种影响定量地反映在引入EGR后混合气的着火滞燃期上。

1 首着火循环前引入EGR改善燃烧的试验研究

1.1 试验条件

试验研究的对象是单缸水冷式直喷柴油机,具体参数见表1;试验所用的主要传感器型号见表2。采用高压共轨式燃油供给系统,试验中保持各次燃油喷射压力基本一致。

在发动机的排气系统中安装了背压调节阀和带EGR阀的废气再循环回路,不同的试验方案中,通过调节背压阀的开度(OCV)和EGR阀的开度(OEV)来控制EGR率的大小。EGR阀开度增大或者将背压阀的开度减小均会增大EGR率。

试验中,保持发动机的进排气门开关时刻、喷油时刻等试验条件一致,故各试验方案中燃烧性能的不同仅是由于引入EGR率大小的不同引起的。

表1 试验发动机主要技术参数

发动机型式	四冲程、直喷、水冷
缸径×行程/mm×mm	135×150
排量/L	2
压缩比	14.8:1
燃烧室型式	ω
喷油压力/MPa	80
额定功率/kW	18.4
喷油器参数(孔数×孔径×夹角)	6×Φ0.19mm×150°

表2 主要试验仪器设备的参数

名称	型号	精度	生产厂商
发动机测控仪	FC2000	—	湘仪(中国)
缸压传感器	AVL 12QP	1% FS	AVL(奥地利)
进排气压力传感器	CYG1609	1% FS	双桥(中国)
进、排气温度测量热电偶	E12-2-K-U	0.375% FS	Nanmac(美国)

1.2 试验结果

表3示出了各个试验方案,不同的EGR阀和背压阀的开度使得EGR率也不同。

表3 各个试验方案的EGR控制

试验方案	EGR阀开度/%	背压阀开度/%
1	0	100
2	50	100
3	100	100
4	100	50

图1示出了不同试验方案下,起动过程中气缸

压力的变化,可以清晰地判断出发动机的首着火循环的出现时刻。

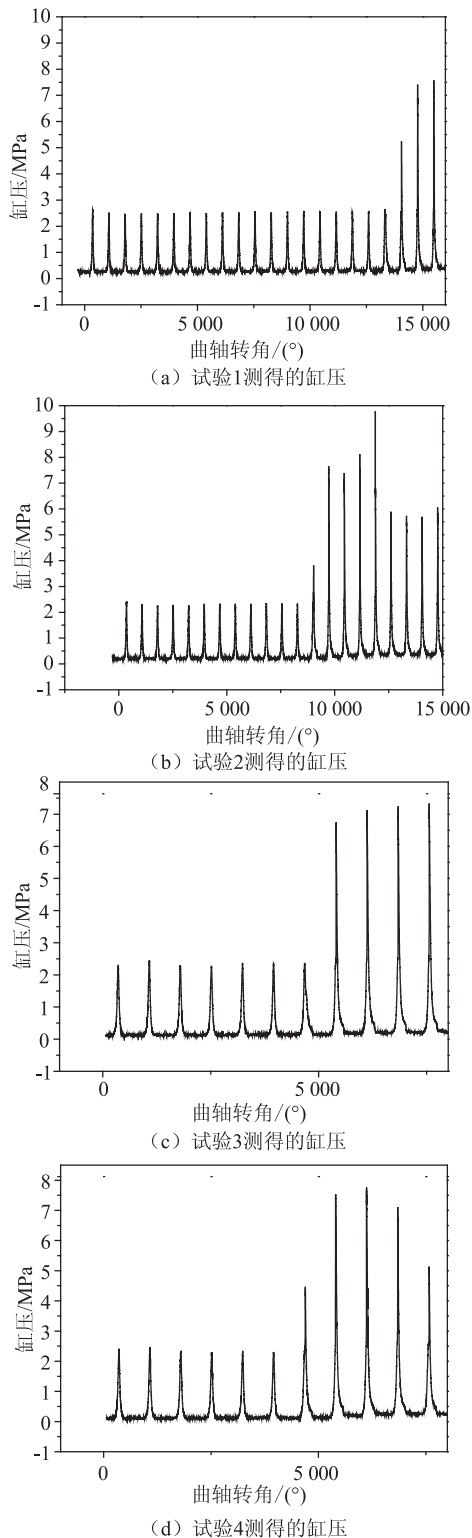


图1 不同试验方案下缸压的变化

可以看出,EGR率较大的试验方案的首着火循环的出现时刻也较早。说明起动阶段的EGR对燃烧有促进作用,并且随着EGR率的增大,改善作用越明显。

2 EGR 影响燃烧的化学动力学计算

起动过程中发动机的排温很低，EGR 对燃烧的改善必然是排气成分的影响。在实际柴油机的冷起动过程中，气缸内的温度和浓度是不均匀的，但这里为了简便地分析成分对燃烧的影响，采用了均值模拟进行分析。

分析软件采用化学动力学分析软件 CHEMKIN；采用柴油机的替代研究燃料正庚烷，计算发动机气缸内循环参数的变化。化学动力学计算的机理是基于 CURRAN 等人^[5]提出的正庚烷氧化反应机理。

计算采用软件中的 IC-Engine 模型，无 EGR 循环中，先对新鲜空气进行压缩冲程的计算得到压缩终点气缸内状态，按照燃空当量比加入正庚烷，继续进行燃烧与膨胀过程的计算。在引入 EGR 的循环中，进气温度的设置与无 EGR 循环一致，将 EGR 为 0 的循环计算得到的废气成分按照设定的 EGR 率引入下一循环，和新鲜空气混合作为进气，此后压缩和膨胀过程的计算与无 EGR 循环类似。

计算采用了不同燃空当量比、不同的 EGR 率，从气缸压力的变化可以看出发动机运行状况的不同，如图 2 所示。

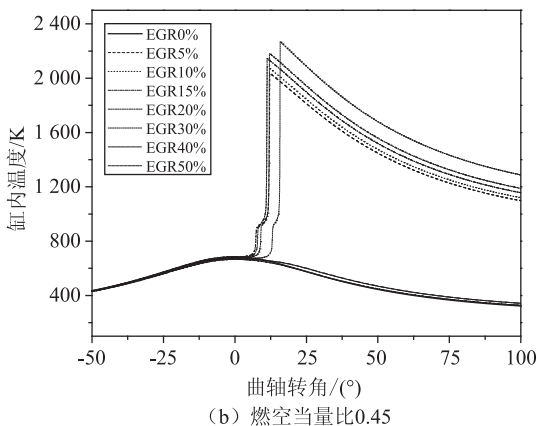
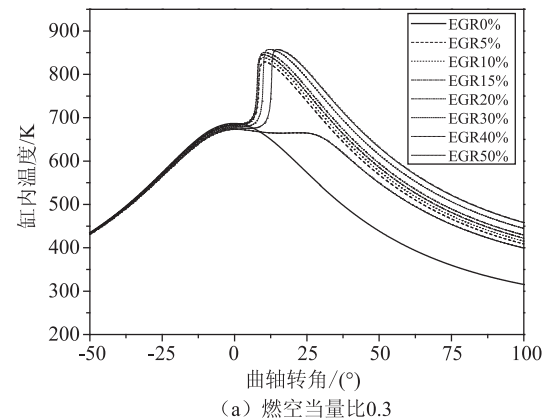


图 2 不同燃空当量比，缸压的计算值

计算采用的初始温度均为 280K，可以看出无

EGR 循环，发动机在压缩膨胀过程中没有发生着火反应，因而发动机的气缸温度较低；而引入一定量的 EGR 后，发动机的缸内温度明显升高，但过大的 EGR 率也会使燃烧恶化，因为 EGR 率越大，压缩终点的温度也越低。

3 不同 EGR 率下混合气的滞燃期计算

不同的燃空当量比和不同的 EGR 率得到的混合气的着火性能不同，计算这些混合气成分在定容状态下滞燃期的大小，可以反映其化学滞燃期的大小。

计算仍然采用化学动力学分析软件 CHEMKIN，但采用定容燃烧弹模型。混合气的成分由燃空当量比和 EGR 率决定，定容燃烧弹的初始温度需要选取不同的值。

图 3 示出滞燃期随着燃空当量比增大的变化规律。

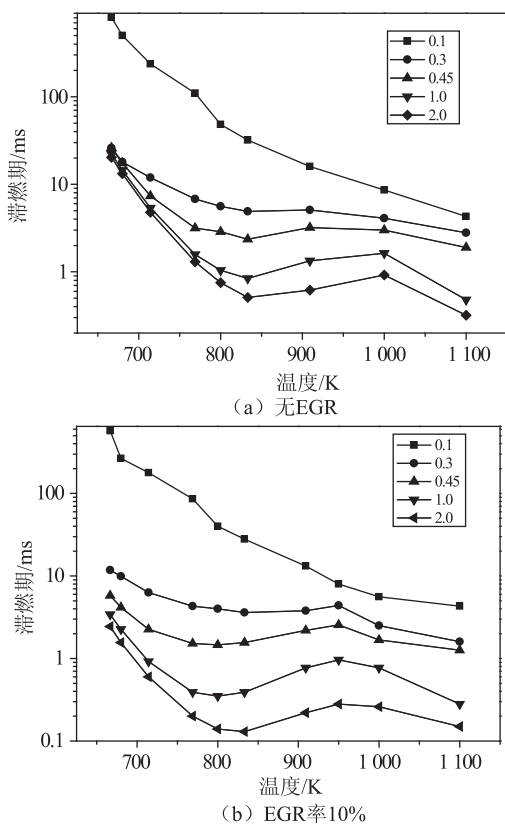


图 3 滞燃期随着燃空当量比的变化

可以看出，无论是有无 EGR，随着燃空当量比的增大，混合气的滞燃期明显减小，说明其着火性能提升，且随着温度的升高，混合气表现出了碳氢燃料的负温度系数现象。

图 4 示出燃空当量比为 0.3 和 0.45 时，滞燃期随着 EGR 率增大的变化规律。可以看出，随着 EGR 率的增大，混合气的滞燃期明显减小，说明 EGR 率越大混合气的着火性能越强，也说明在柴油机冷起

动过程中引入EGR会使得发动机着火性能提升。

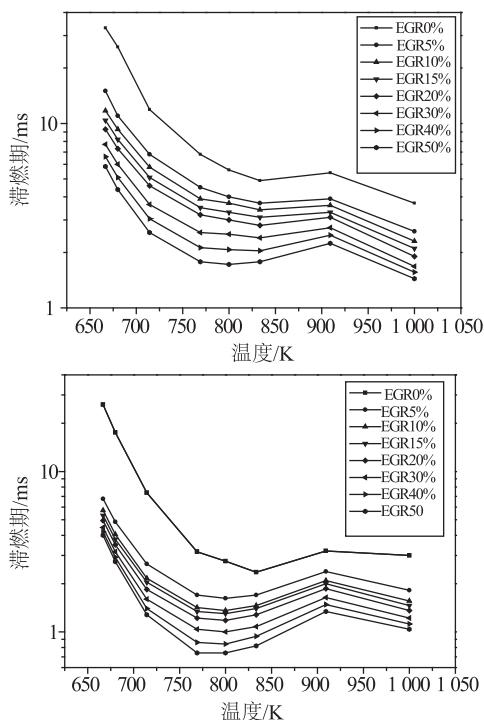


图4 不同EGR率下混合气滞燃期的变化

4 结论

本文通过试验数据证明了在柴油机起动过程的

首着火循环前引入EGR有助于首着火循环的提早出现。化学动力学计算同样表明引入EGR使得气缸内的燃烧明显改善。在此研究的基础上,通过分析不同燃空当量比和不同EGR率下混合气成分在定容燃烧弹环境中滞燃期的变化,定量地研究了起动阶段废气成分对燃烧的影响,为进一步研究起动阶段柴油机着火模型奠定了基础。

参考文献

- [1] Lurun Zhong, Steve Gruenewald, N. A. Henein. Lower temperature limits for cold starting of diesel engine with a common rail fuel injection system[C]. SAE Paper 2007-01-0934.
- [2] Piotr Bielaczyc, Jersy merkisz, Jacek Pielecha. Investigation of exhaust emissions from DI diesel engine during cold and warm start. [C]. SAE Paper 2001-01-1260.
- [3] 范建新,胡文忠,施远强. 高速柴油机高增压试验研究[J]. 柴油机,1998(3):6-9.
- [4] Z. Liu, G. A. Karim. An examination of the role of residual gases in the combustion processes of motored engines fuelled with gaseous fuels[C]. SAE Paper 961081.
- [5] H J Curran, P Gaffurl, W J Pitz, et al. A comprehensive modeling study of n-heptane oxidation [J]. Combustion and Flame, 1998, 114: 149-177.

信息动态

三菱重工将开发低速双燃料船用柴油机

三菱重工(MHI)将开发UEC-LSGi低速双燃料船用柴油机。该机不但可以烧传统的重油,还能以天然气作为燃料。

新机将对三菱UEC系列柴油机(该公司的二冲程、低速船用柴油机品牌)形成补充。计划于2015年推向市场的UEC-LSGi低速双燃料船用柴油机的目标是减轻船舶经营者的经济和环保压力。

对于新机,三菱重工将进行必不可少的双燃料用零部件的开发,包括新的直接燃油喷射系统、气体-燃油供应系统和控制系统的开发,目标是在2014年3月底前在单缸机上完成初步试验。然后三菱重工将进行全系列双燃料使用能力的验证试验,并向市场推出缸径为600mm,功率覆盖范围为11000~18000kW的UEC-LSGi船用柴油机。

三菱重工为日本唯一的低速二冲程船用柴油机许可生产厂。通过在功能上将船用机械和技术进行广泛整合后,三菱重工正在促进“三菱海洋能源与环境系统的技术解决方案(MEET)”的实施,这一解决方案将有助于强化环境法规并满足节能需求。

(李积轩 编译)