

火花点燃对乙醇 HCCI 燃烧稳定性的影响

谷艳华, 郭英男, 刘发发, 彭亚平, 梁晓明

(吉林大学 汽车工程学院, 长春 130022)

摘要:针对实现均质压燃(HCCI)燃烧的难点之一:着火和燃烧的控制,在一台由柴油单缸机改造而成的乙醇燃料 HCCI 燃烧单缸试验机上实现了 HCCI 燃烧,研究了火花点燃对 HCCI 燃烧稳定性的影响。结果表明:HCCI 燃烧方式的燃烧循环变动比火花点火燃烧低,燃烧速度快,热效率高,NO_x 的排放大幅降低。在 HCCI 临界温度工况下引入火花辅助点燃能提高燃烧稳定性,减少失火循环的产生;随着缸内温度逐渐高于混合气的临界着火温度,火花点燃对 HCCI 燃烧的影响逐渐减弱。

关键词:动力机械工程;乙醇;火花点燃;均质压燃;燃烧稳定性;燃烧稳定性

中图分类号:TK401 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2008)04-0782-04

Effect of spark ignition on homogeneous charge compression ignition combustion stability of ethanol

GU Yan-hua, GUO Ying-nan, LIU Fa-fa, PENG Ya-ping, LIANG Xiao-ming

(College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The control of the ignition and combustion phases is one of the main difficulties in the homogeneous charge compression ignition(HCCI) combustion. The HCCI combustion of ethanol was realized in a test engine modified from a series produced single-cylinder diesel engine and the effect of the spark ignition(SI) on the HCCI combustion stability was investigated. The results show that the combustion rate and the thermal efficiency in the HCCI combustion are higher than those in the SI combustion, being accompanied by a remarkable reduction of the NO_x emissions and the cyclic variation of combustion. At the critical temperature operation conditions, introduction of the SI improves the HCCI combustion stability and reduces the misfire rate. As the temperature rises above the critical, the effect of the SI on the HCCI combustion decreases.

Key words: power machinery and engineering; ethanol; spark ignition (SP); homogeneous charge compression ignition(HCCI); combustion stability

尽管均质压燃(HCCI)具有高的热效率、极低的 NO_x 和颗粒物(PM)的排放,但在技术上存在的最大问题是对燃烧着火时刻和反应速度的控

制。目前基本上都是通过间接的手段来实现对 HCCI 燃烧速度的控制,比如进气压力、进气温度、压缩比、废气再循环等技术^[1]。也有一些是通

收稿日期:2007-05-16.

基金项目:“973”国家重点基础研究发展规划项目(2001CB209206)

作者简介:谷艳华(1963-),女,博士研究生.研究方向:内燃机代用燃料与新能源. E-mail:guyh@jlu.edu.cn

通信作者:郭英男(1946-),男,教授,博士生导师.研究方向:内燃机代用燃料与新能源. E-mail:guoyan@jlu.edu.cn

过加装辅助装置来控制燃烧始点,如电热塞、引燃喷嘴等^[2]。研究表明,在缸内喷射一定附加数量的燃料,可以改变缸内混合气的浓度分布以及缸内温度分布达到影响混合气的自燃过程的目的^[3-4]。另外,还可以通过引入额外的能量实现对自燃过程的控制,如火花点火。作者在一台由柴油机改造而成的单缸发动机上实现了乙醇燃料的均质压燃,并就火花点火对 HCCI 着火和燃烧的影响进行了初步研究。结果表明,火花点火能改善临界条件下 HCCI 燃烧的着火和稳定性。

1 试验装置和方法

1.1 试验装置

试验发动机是由一台柴油单缸机改造而成的单缸发动机,技术参数如下:气缸直径为 105 mm;活塞行程为 115 mm;排量为 0.99 L;压缩比为 11.8;额定转速为 2200 r/min;进气门开为 14° BTDC,进气门关为 43° ABDC;排气门开为 43° BBDC;排气门关为 14° ATDC;燃烧室类型为 ω 。通过在原机的喷油器位置改装火花塞,点燃混合气。改进了原机的进气管道,在进气歧管处加装喷嘴,采用电控方式向进气管道内喷射乙醇形成均匀混合气。对于高辛烷值燃料而言,实现 HCCI 燃烧方式的方法之一是采用进气预热的方式^[5],因此在进气管道的前端加装一套进气预热装置,以实现乙醇 HCCI 燃烧。同时为了实现火花点火和均质压燃两种燃烧方式,在进气管道上还加装了一套燃烧模式转换控制装置。详细的发动机改造与文献^[6]相同。实验装置如图 1 所示。

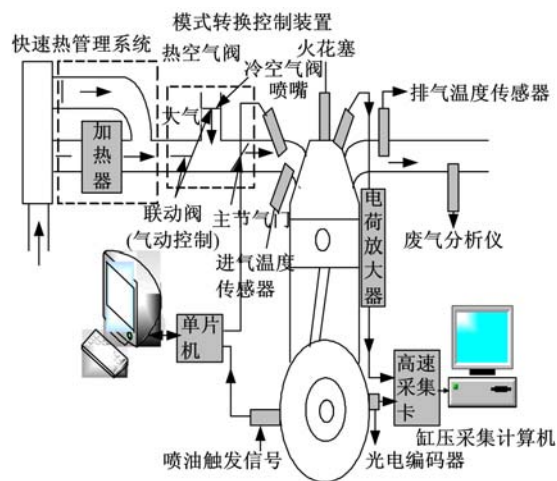


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental set

1.2 试验方法

试验时,发动机采用火花点燃方式启动和热机,此时冷空气阀全开,热空气阀全关,发动机通过主节气门控制负荷。当冷却水温度超过 80°C 、进气温度超过 220°C 时,关闭火花点火,全关冷空气阀,全开热空气阀,全开主节气门,实现 HCCI 燃烧。本文所指的 HCCI 临界着火状态是指混合气的温度和浓度刚好达到自燃着火的条件,例如进气温度为 210°C 、过量空气系数在 5 附近,此时的 HCCI 燃烧不稳定,降低进气温度将出现失火,提高进气温度将基本消除失火循环,减小燃烧循环变动,提高燃烧稳定性。

通过安装在缸盖上的 AVL GM12D 型缸压传感器、电荷放大器和光电编码器并结合相应的数据采集系统采集缸内燃烧压力。采用 AVLCEB200 型废气分析仪测量了相应工况下的各项排放。本文把燃烧上止点位置称为零度曲轴转角,转角为负表示在上止点之前。

2 试验结果及分析

2.1 乙醇 HCCI 和 SI 燃烧特性的比较

图 2 分别给出了发动机转速为 1200 r/min、

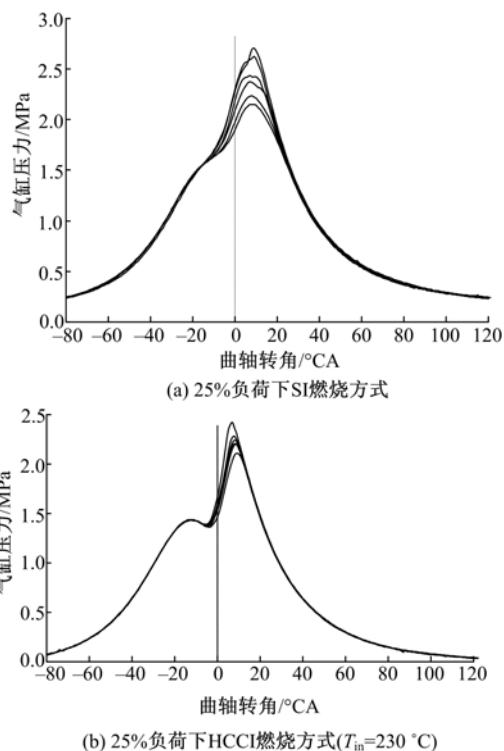


图 2 两种燃烧方式下的示功图 (1200 r/min)

Fig. 2 Indicated diagram of SI and HCCI combustion modes (1200 r/min)

工作在 SI 和 HCCI 两种方式下连续循环的缸内示功图。图 3 是相同条件下发动机工作在两种燃烧方式下的排放特性对比。当发动机工作在 HCCI 方式下时,多点同时着火,燃烧速度快,通过最大燃烧压力计算了燃烧的循环变动。从图中可以明显地看到,HCCI 稳定工作时的循环变动比 SI 工作模式下降了约 50%, NO_x 排放大幅度降低。这是因为 HCCI 的燃烧是缸内多点同时着火燃烧,不存在火焰传播,受缸内流场的影响较小,缸内不存在局部高温反应区,同时采用的是稀混合气,燃烧温度低,因此 NO_x 的排放低;而 SI 方式靠火花点火实现着火燃烧,而火花塞附近的湍流对火花影响很大,因此各循环间火焰传播差别较大,所以 SI 的循环变动要比 HCCI 方式下大, NO_x 排放高。

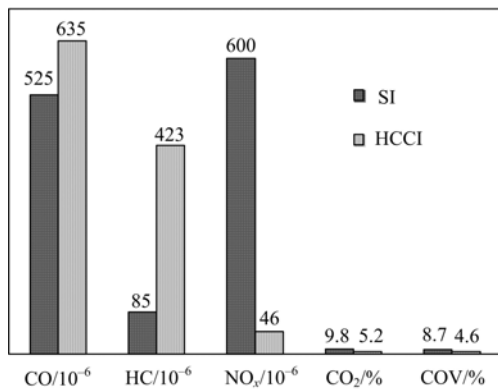


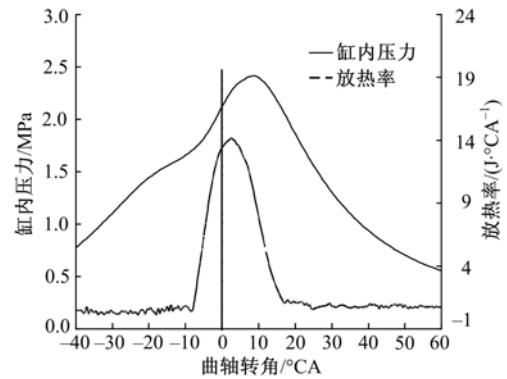
图 3 两种燃烧方式下的排放特性 (1200 r/min)

Fig. 3 Emission characteristics of two combustion modes (1200 r/min)

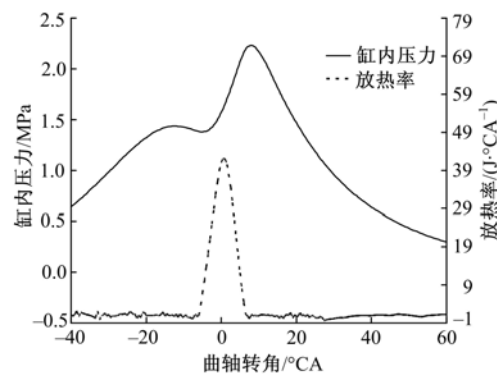
图 4 给出了 SI 和 HCCI 两种燃烧方式连续 100 个工作循环的平均示功图和燃烧放热率曲线。从图中可以看出,与 SI 方式相比,HCCI 方式燃烧速度快,放热迅速,燃烧持续期短,放热率曲线窄且峰值高。通过热力学分析可知,燃烧越集中在上止点附近,燃烧的等容度越好,从而发动机的热效率就越高。因此,HCCI 方式的热效率要比 SI 方式的高。

2.2 火花点火对乙醇 HCCI 燃烧稳定性的影响

图 5 给出了 1200 r/min、乙醇 HCCI 临界着火状态时有无火花点火条件下连续循环的示功图。从图中可以看到,在 HCCI 临界状态时,燃烧稳定性差,循环波动大,快速燃烧和失火交替发生。而在 HCCI 临界状态引入火花点火后,燃烧稳定性得到明显改善,火花点火有助于触发 HCCI 燃烧,减小燃烧循环变动,避免失火循环的



(a) 25%负荷下SI燃烧方式



(b) 25%负荷下HCCI燃烧方式($T_{in}=230\text{ }^{\circ}\text{C}$)

图 4 两种燃烧方式下的示功图与燃烧放热率 (1200 r/min)

Fig. 4 Indicated diagram and heat release rate of SI and HCCI combustion modes(1200 r/min)

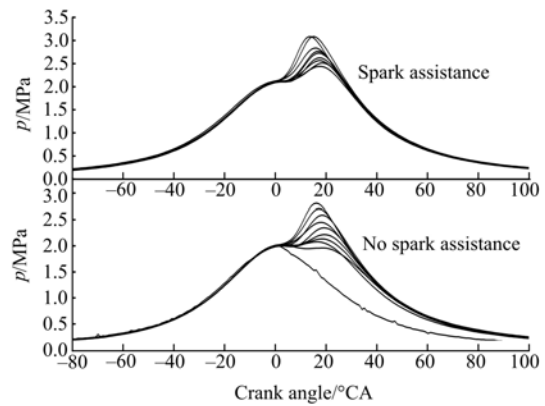


图 5 火花点火对临界工况乙醇 HCCI 燃烧稳定性的影响

Fig. 5 Effects of spark ignition on ethanol HCCI combustion stability at critical operation conditions

产生。这是因为引入火花点火后,点燃了火花塞附近的混合气,使缸内温度升高,进一步触发了缸内混合气的自燃着火,从而避免了失火循环的产生。因此可知,引入火花点火可以控制乙醇燃料 HCCI 燃烧的着火时刻。试验过程中,当进一步

提高进气温度(从 215 °C 升高至 230 °C)时,引入火花点火对 HCCI 的燃烧影响不明显(见图 6),这说明此时在压缩上止点附近的温度已经远超过混合气的着火温度,当前条件下火花点火的能量对于 HCCI 燃烧稳定性的改善作用不明显。因此在进行 HCCI 和 SI 两种燃烧模式相互切换时,引入火花点火能明显改善切换过程中的平稳性。

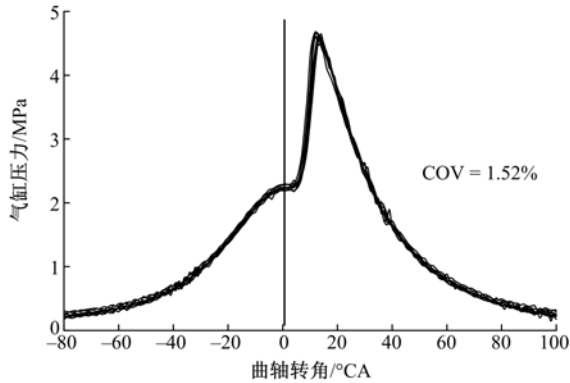


图 6 乙醇 HCCI 燃烧方式示功图(1200 r/min, $T_{in} = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Fig. 6 Consecutive cycle in-cylinder pressure of ethanol HCCI (1200 r/min, $T_{in} = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$)

3 结 论

(1)在自行改造的乙醇燃料单缸双燃烧模式发动机上进行了 SI 和 HCCI 两种燃烧模式试验,结果表明,HCCI 的燃烧循环变动比 SI 要小,其燃烧速度快, NO_x 显著降低。

(2)HCCI 临界状态时,火花点火能改善燃烧稳定性,而进一步提高进气温度后,当前条件下的火花点火能量对改善 HCCI 燃烧稳定性作用不明显。

参考文献:

- [1] Stanglmaier R H, Roberts C E. Homogeneous charge compression ignition (HCCI): benefits, compromises and future engine applications[C]// SAE Paper 1999-01-3682.
- [2] 王志,王建昕,帅石金,等. 火花点火对缸内直喷汽油机 HCCI 燃烧的影响[J]. 内燃机学报,2005,23(2): 105-112.
Wang Zhi, Wang Jian-xin, Shuai Shi-jin, et al. Effects of spark ignition on HCCI combustion in gasoline direct-injection engines [J]. Transactions of CSICE, 2005,23(2):105-112.
- [3] Tanet A, Philip W, John O, et al. Expanding the HCCI operation with the charge stratification [C]// SAE Paper 2004-01-1756.
- [4] Wang Zhi, Wang Jian-xin, Shuai Shi-jin, et al. Numerical simulation of HCCI engine with multistage gasoline direct injection using 3D-CFD with detailed chemistry[C]// SAE Paper 2004-01-0563.
- [5] 黄为钧,彭亚平,郭英男,等. 进气温度对乙醇燃料均质压燃燃烧过程的影响[J]. 车用发动机,2006(4): 13-16.
Huang Wei-jun, Peng Ya-ping, Guo Ying-nan, et al. Effects of intake charge temperature on ethanol homogeneous charge compression ignition combustion process[J]. Vehicle Engine, 2006(4):13-16.
- [6] 郭英男,彭亚平,黄为钧,等. 乙醇燃料 SI-HCCI-SI 双燃烧模式发动机的工作区域[J]. 吉林大学学报: 工学版,2007,37(3):509-512.
Guo Ying-nan, Peng Ya-ping, Huang Wei-jun, et al. Operation region of ethanol SI-HCCI-SI dual combustion mode engine[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2007,37(3): 509-512.