

乙醇燃料 SI-HCCI-SI 燃烧模式发动机的工作区域

彭亚平, 郭英男, 刘金山, 黄为钧, 谭满志, 许艳军

(吉林大学 汽车工程学院, 长春 130022)

摘要:为了研究火花点火和均质压燃两种燃烧方式的转换,在一台 ZS1105 柴油发动机的基础上通过改变压缩比、燃料供给方式和进气系统,采用进气预热成功实现了 HCCI 和 SI 两种燃烧方式的转换。试验结果表明:所开发的双燃烧模式发动机运行可靠,可方便地实现火花点火和均质压燃两种燃烧方式的转换,可作为研究这两种燃烧方式转换的平台。确定了乙醇燃料 HCCI 工作区域的上、下边界判断方法,得到了乙醇燃料 SI-HCCI-SI 燃烧的工作区域。

关键词:动力机械工程;发动机;乙醇;双燃烧模式;工作区域

中图分类号:TK46 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2007)03-0509-04

Operation region of ethanol SI-HCCI-SI combustion mode engine

Peng Ya-ping, Guo Ying-nan, Liu Jin-shan, Huang Wei-jun, Tan Man-zhi, Xu Yan-jun

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

Abstract: In order to investigate the engine combustion mode switchover between the spark ignition (SI) combustion and the homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion, a test engine was developed from refitting the ZS1105 series production diesel engine by modification of the compression ratio, the fuel supply system, and the intake system. By means of the adjustment of the intake charge preheating, the dual combustion mode switchover was realized smoothly on the test engine, which can be used as a platform for investigation of such combustion mode switchover. The criteria to distinguish the upper and lower boundaries of HCCI combustion were defined and the operation regions of the ethanol SI-HCCI-SI combustion modes were obtained.

Key words: power machinery and engineering; engine; ethanol; dual combustion mode; operation region

均质压燃(HCCI)综合了点燃和压燃两种燃烧方式的优点,取消了节气门,泵气损失小,采用均质稀混合气压燃着火,燃烧温度低,因此 NO_x 和碳烟排放极低。研究表明,均质压燃燃烧的化学反应速度主要由混合气的化学反应动力学控制^[1-5],燃烧几乎是同步的,控制 HCCI 着火燃烧的方法之一是使用稀混合气^[6-8]。但过稀的混合气在小负荷时发动机难以形成稳定的着火条件,

容易发生失火;而发动机处于大负荷时,由于混合气加浓,过快的化学反应速度将产生爆震燃烧。因此在全工况范围内实现 HCCI 燃烧非常困难^[9]。为了能使发动机在全工况范围内运行,在小负荷、大负荷工况下采用 SI 方式,在中等负荷工况下采用 HCCI 方式是切实可行的方法。

基于此,作者介绍了一套双燃烧模式的发动机系统,使发动机在冷起动、小负荷以及大负荷条

收稿日期:2006-04-03.

基金项目:“973”国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB209206);国家自然科学基金资助项目(50476007).

作者简介:彭亚平(1980-),男,博士研究生.研究方向:内燃机新能源与代用燃料技术. E-mail: sinfei2002@163.com

通讯联系人:刘金山(1963-),男,教授.研究方向:内燃机新能源及代用燃料. E-mail: jiangdingzhan@jlu.edu.cn

件下采用火花点火方式工作,在中等负荷下采用 HCCI 燃烧方式运行。并确定了 SI-HCCI-SI 燃烧的工作区域。

1 试验用发动机

试验使用的发动机是在 ZS1105 柴油机的基础上改造而成的,ZS1105 柴油机的技术参数为:气缸直径为 105 mm;活塞行程为 115 mm;单缸排量为 0.99 L;压缩比为 17;额定功率/额定转速为 13.3 kW/2200 r/min⁻¹;进气门开、关角度分别为 14°和 43°;排气门开、关角度分别为 43°和 14°。为了使该发动机能够实现 SI/HCCI 双燃烧模式,而在中等负荷采用 HCCI 燃烧模式,对发动机的压缩比、燃料供给系统和进气系统进行了改进,并增加了点火系统和缸内压力采集系统。

1.1 压缩比的选择

对于低十六烷值的乙醇燃料而言,HCCI 燃烧模式需要较大的压缩比,但在大负荷时,采用火花点火燃烧模式时,过大的压缩比将产生爆震燃烧。因此为了兼顾两种燃烧模式,本研究通过试验最后将发动机的压缩比确定为 11.8。

1.2 燃料供给系统

为了形成乙醇燃料的均质混合气,且能独立、精确地控制试验的供油量,在进气管上加装了一套电控低压燃料喷射系统,在进气道内形成均匀混合气。本装置的油轨、油泵和喷油器均与 CA-6102 汽油机喷射系统中的相同,乙醇燃料喷射量可根据试验要求自由控制。采用 Intel 公司 80C196KC 型 16 位单片机作为整个控制系统的电控单元。其特点是最高可以选用 16 MHz 晶振,运行速度快,一个状态周期仅为 125 ns。具有 4 个高速输入和 4 个高速输出(HSI/HSO),高速输入最多可记下 8 个外部事件的发生时间,高速输出可以悬挂起 8 个输出控制事件,按规定时间触发,容易实现实时控制。具有 8 个 AD 通道,除可采用 10 位转换方式外,还可以采用 8 位转换方式,以加快转换过程。具有丰富的中断源及全双工串行口,可以与计算机进行通信,对控制参数进行在线调整修改,监测发动机运行状况。

1.3 点火系统

由于基础发动机没有点火系统,为此在原机上加装了一套点火系统。基础发动机齿轮箱内惰轮的转速恰好为曲轴转速的一半,满足分电器对转速的要求,因此废除了原来惰齿轮的手摇起动

功能,将惰轮轴原来手摇起动的一端经过加工与分电器精确连接,保证发动机工作过程中分电器能正常工作。火花塞安装在原机的喷油器位置,将原来缸盖上的喷油器孔经过攻丝后装上火花塞,为了避免缸外跳火,选用了绝缘性能好的点火线。通过试验确定了发动机不同转速、不同负荷下的最佳点火提前角。

1.4 进气预热系统和进气系统

在压缩比一定的发动机上要实现低十六烷值燃料的 HCCI 燃烧,采用进气预热系统加热进气,使混合气的压缩终了温度达到自燃温度以上,保证其能自燃着火燃烧是一种行之有效的方法^[10]。为此设计了一套电加热装置。该装置是由普通市售的柴油机空气加热器改造而成的,设计功率可在发动机全速、全负荷运行时把进气温度加热到 350 °C。空气加热器片工作原理如图 1 所示^[11],单片功率为 1.8 kW,外接电压为 24 V,通过调整加热功率实现对进气温度的控制。但是,当发动机工作在大负荷时,必须从 HCCI 工作方式切换到 SI 工作方式。如果此时依然采用热空气,同样会导致爆震,因此改进了原机的进气系统,如图 2 所示。发动机在冷起动、小负荷以及大负荷工况时,调整联动阀,关闭热气通道,打开冷气通道,缸内吸入冷空气。在中等负荷工况时,打开热气通道,关闭冷气通道,缸内吸入热空气。选用直径为 46 mm 的节气门来控制发动机的负荷大小。

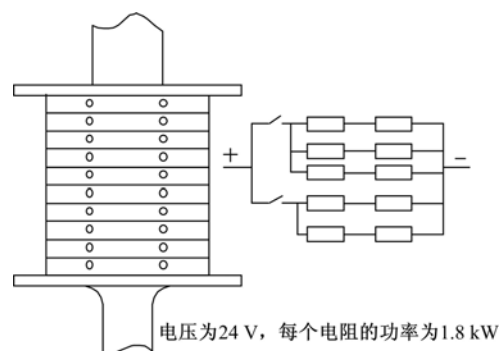


图 1 加热器工作原理示意图

Fig. 1 Schematic of heater operation principles

1.5 缸内压力采集系统

为了进行燃烧分析以及了解两种燃烧模式转换时的过渡过程,需要在缸盖上安装缸压传感器。同时为了获得曲轴转角信号,在曲轴的前端安装了 LF-102.4BM-C05E 型光电编码器。该编码器的光栅盘产生的角度信号为方波信号,频率为 720 次/转,分辨率为 0.5°曲轴转角,光栅盘上同

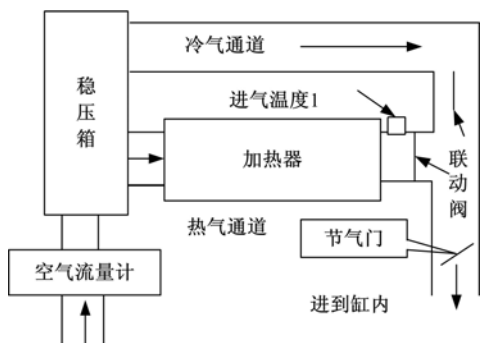


图 2 进气系统简图

Fig. 2 Schematic of intake system

时设有曲轴止点触发信号。采用 AVL GM12D 型缸压传感器,同时配用电荷放大器、高速数据采集卡和数据采集软件进行缸内燃烧压力的采集。

2 试验装置和方法

试验装置简图如图 3 所示。试验时,发动机采用正常火花点火的方式起动,此时调整联动阀

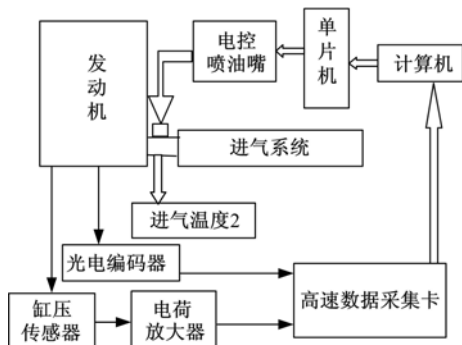


图 3 试验装置简图

Fig. 3 Schematic of experimental set-up

关闭加热器通道,使空气通过冷空气通道进到缸内。发动机起动后,使用节气门采用量调节方式进行暖机和小负荷区域工作。在热机的同时打开加热器进行加热,当进气温度 2 超过 220 °C 时,调整联动阀,关闭冷气通道,打开热气通道,缸内吸入热空气。将发动机的节气门开到最大,关闭火花点火,即可实现 HCCI 燃烧。

发动机工作在 HCCI 方式时,负荷的调节采用质调节。随着负荷的增加,混合气逐渐变浓,达到某一值时,由于化学反应速度过快,将出现爆震燃烧,这就是 HCCI 工作方式的上限,因此试验过程中使用共振型爆震传感器对燃烧状况进行实时监测。该传感器的输出信号是一个电压信号,与正常燃烧相比,有爆震时该输出信号的幅值大幅度增加。图 4 为 1200 r/min 时有无爆震时爆震

传感器的输出。可明显看到,无爆震时传感器的电压输出为±1 V,有爆震时输出电压幅值明显增大,据此确定乙醇燃料 HCCI 燃烧工作区的上边界;在小负荷时,过稀的混合气使 HCCI 燃烧不稳定,甚至失火,因此可根据是否失火确定乙醇燃料 HCCI 燃烧工作区的下边界。在 HCCI 工作区的上、下边界之外的区域采用 SI 燃烧方式。依照上述方法,作者进行了不同转速下的乙醇燃料 HCCI 和 SI 两种燃烧模式转换的试验,计算了平均有效压力 (BMEP),得到了以发动机转速、BMEP 表示的乙醇燃料 SI-HCCI-SI 燃烧工作区域。

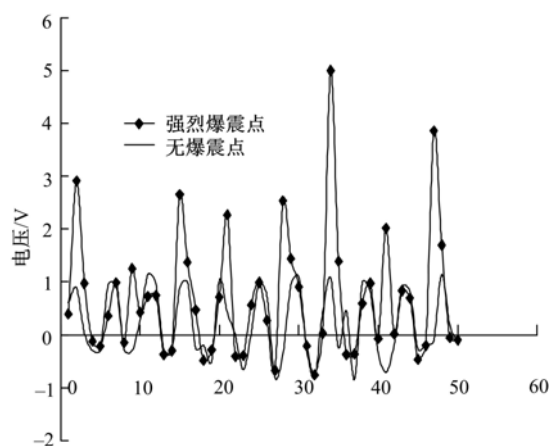


图 4 1200 r/min 时有无爆震时传感器的电压输出

Fig. 4 Voltage outputs of knock sensor with without knock at 1200 r/min

3 试验结果

为了使发动机在 SI 方式下的工作状态最佳,首先确定最佳点火提前角脉谱(见图 5)。

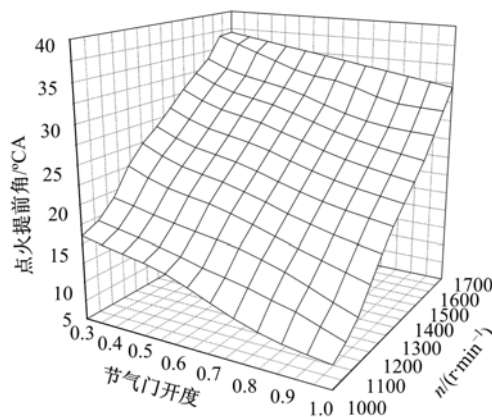


图 5 点火提前角脉谱图

Fig. 5 Map of ignite advance angle

图 6 是以发动机转速 n 和平均有效压力 BMEP 表示的乙醇燃料 SI-HCCI-SI 的工作区域。由图可见,此时乙醇 HCCI 燃烧的负荷上限接近 0.5 MPa,混合气再加浓将产生强烈的爆震燃烧,HCCI 燃烧负荷的下限为 0.1~0.2 MPa,混合气过稀将导致失火。因此必须从 HCCI 方式切换到 SI 方式。

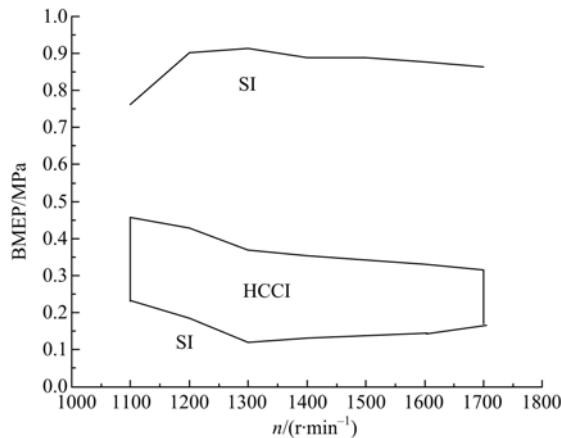


图 6 乙醇燃料 SI-HCCI-SI 工作区域

Fig. 6 Operation regions of ethanol SI/HCCI combustion

4 结束语

建立的双燃烧模式发动机系统实现了火花点火燃烧和均质压燃燃烧两种燃烧模式的转换,确定了乙醇燃料 HCCI 燃烧工作区域上、下边界的判断方法,并在此基础上得到了乙醇燃料 SI-HCCI-SI 燃烧的工作区域,为进一步研究燃烧模式转换提供了平台。

参考文献:

[1] U S department of energy efficiency and renewable energy office of transportation technologies [Z]. Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Technology — A Report to the U S Congress, April 2001.

[2] Christensen M, Johansson B, Amneus P, et al. Supercharged homogeneous charge compression ignition [C] // SAE 980787.

[3] Aceves S, Martinez Frias J, Flowers D, et al. A decoupled model of detailed fluid mechanics for prediction of iso-octane HCCI combustion [C] // SAE Paper 2001-01-3612.

[4] Najt P M, Foster D E. Compression ignited homogeneous charge combustion [C] // SAE 830264, 1983.

[5] 刘金山, 黄为钧, 郭英男, 等. 乙醇燃料均质压燃发动机的试验研究 [J]. 吉林大学学报:工学版, 2005, 35(6): 596-600.

Liu Jin-shan, Huang Wei-jun, Guo Ying-nan, et al. Experimental study on homogeneous charge compression ignition engine fueled with ethanol [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2005, 35(6): 596-600.

[6] Lucien Koopmans, Hans Strom, Staffan Lundgren, et al. Demonstrating a SI-HCCI-SI mode change on a volvo 5-cylinder electronic valve control engine [C] // SAE Paper 2003-01-0753.

[7] 方俊华, 黄震, 乔信起, 等. 均质充量压缩着火发动机燃烧的研究与进展 [J]. 柴油机, 2002 (6): 8-12.

Fang Jun-hua, Huang Zhen, Qiao Xin-qi, et al. Research and development of homogeneous charge compression ignition combustion technology [J]. Diesel Engine, 2002 (6): 8-12.

[8] 尧命发, 郑尊清, 沈捷, 等. 废气再循环对二甲基醚均质压燃燃烧过程影响的试验研究 [J]. 内燃机学报, 2004, 22(2): 104-109.

Yao Ming-fa, Zheng Zun-qing, Shen Jie, et al. Experimental study on the effects of exhaust Gas recirculation (EGR) on the HCCI combustion of dimethyl ether (DME) [J]. Transactions of CSICE, 2004, 22(2): 104-109.

[9] Multiple operating mode engine and method of operation [P]. United States Patent 06907870. June 21 2005.

[10] 彭亚平. 进气温度对醇类燃料均质压燃发动机燃烧过程影响的试验研究 [D]. 长春: 吉林大学汽车工程学院, 2005.

Peng Ya-ping. Experimental study of effects of intake charge temperature on ethanol HCCI combustion [D]. Changchun: College of Automotive Engineering, Jilin University, 2005.

[11] 刘金山, 郭英男, 谭满志, 等. 乙醇燃料均质压燃 (HCCI) 燃烧边界 [J]. 燃料科学与技术, 2005, 11(4): 369-372.

Liu Jin-shan, Guo Ying-nan, Tan Man-zhi, et al. HCCI combustion boundaries of ethanol as engine Fuel [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2005, 11(4): 369-372.