

压缩比对均质充量压缩着火发动机性能影响的研究

刘圣华, 胡铁刚, 李 维, 周龙保

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 在一台 TY1100 单缸发动机上试验研究了 8.0、10.7、14.0 三种压缩比对均质压燃二甲醚发动机的动力性和经济性等运转特性的影响。研究表明:均质充量压缩着火发动机的最佳工作范围与发动机转速、混合气过量空气系数和负荷有密切的关系;在发动机试验条件下,三种压缩比均能使发动机稳定工作,但低压缩比时工作区域狭窄,高压压缩比时发动机的有效功率和热效率降低,压缩比为 10.7 时运转范围宽,热效率较高。研究发现,通过提高发动机转速可使发动机工作区向高负荷区扩展。

关键词: 均质充量压缩着火;内燃机;压缩比

中图分类号: TK42 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2005)03-0225-04

Study of Homogeneous Charge Compression Ignition Engine Performance with Different Compression Ratio

Liu Shenghua, Hu Tiegang, Li Wei, Zhou Longbao

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The effects of dimethyl ether (DME) homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine compression ratio on its power and economy were studied experimentally with a TY1100 single cylinder engine. The results show that the best operating region of HCCI engine is related to the engine load, speed, and the mixture excess air ratio. Under the compression ratio of 8, 10.7 and 14, HCCI engine can work stably. However, the working region is narrow at 8, and the power and thermal efficiency are lower at 14. There is a better fuel economy and wider operating region when this HCCI engine utilizes a compression ratio of 10.7. It can be concluded from the experiments that higher HCCI engine load can be achieved by the increase of engine speed.

Keywords: homogeneous charge compression ignition; engine; compression ratio

均质充量压缩着火(HCCI)发动机几乎可以实现 NO_x 和颗粒的零排放,因而成为当前世界范围内的研究热点之一。HCCI 燃烧是一种新的内燃机燃烧方式,它既不同于传统汽油机的火花点火后火焰传播的燃烧方式,也不同于传统柴油机燃油喷射后的预混和扩散燃烧方式。在 HCCI 燃烧过程中,空气与燃料预混形成较稀薄的均匀混合气,在活塞压缩到上止点附近时,依靠混合气的自燃,实现缸内混合气的着火燃烧。由于 HCCI 发动机燃烧的是稀薄均匀混合气,燃烧过程既不存在高温区,也无局部缺氧

区,因而有效地抑制了发动机缸内燃烧过程 NO_x 和颗粒物的生成与排放。

HCCI 燃烧方式在理论上可以达到全部混合气同时着火,燃烧放热速率快,缸内循环的定容度高,因而具有较高的热效率,但 HCCI 主要受化学动力学控制,很难在全部转速和负荷下控制着火时间和相位^[1],目前取得优越的燃烧与排放性能^[2-4]的研究主要集中在较窄的中低负荷范围内。

为了保持在较低的 NO_x 和颗粒排放及在较高热效率的条件下拓展 HCCI 发动机的工作范围,并

降低未燃 HC 和 CO 的排放,本文以二甲醚(DME)为燃料,在不同压缩比条件下进行了发动机的试验,研究了压缩比对 HCCI 发动机运转特性的影响。

1 试验装置与系统设计

本文在一台 TY1100 单缸柴油机上,通过扩大活塞顶燃烧室的容积,来改变发动机的压缩比,分别设计了压缩比为 8.0、10.7、和 14.0 的活塞,开展了 HCCI 发动机的动力性和经济性等运转特性的研究。发动机的主要技术参数和 DME 的燃料物性见表 1 和表 2。

表 1 发动机的主要技术参数

技术参数	性能指标
气缸直径/mm	100
活塞行程/mm	115
压缩比	8.0,10.7,14.0
额定转速/ $r \cdot \min^{-1}$	2 300
柴油机额定功率/kW	9
燃料供给方式	自然吸入

表 2 DME 与柴油的燃料特性对比

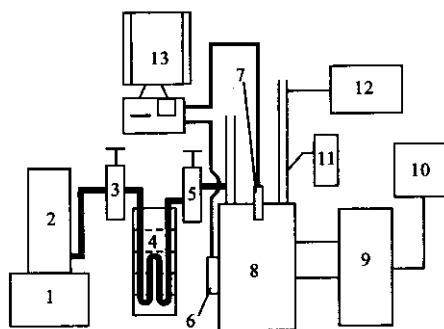
	DME	柴油
低热值/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	27.6	42.5
十六烷值	>55	40~50
自燃温度/ $^{\circ}\text{C}$	235	250
化学计量空燃比	9.0	14.3
沸点/ $^{\circ}\text{C}$	-25	180~370
汽化潜热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	410	250
燃料氧的质量分数/%	34.8	0

DME 作为 HCCI 发动机的燃料有以下特点:① DME 的十六烷值高,自然温度低,比柴油易于压燃;② DME 的沸点低,汽化潜热大,混合气制备容易,但若由进气吸入,需考虑进气温度变化对 HCCI 着火和燃烧过程的影响;③ DME 中氧的质量分数为 34.8%,热值低,燃油消耗率(以质量计)将高于柴油,需用发动机的热效率研究其经济性。

基于对 DME 燃料特性的分析,HCCI 发动机的台架试验系统设计如图 1 所示。由于 HCCI 发动机

的燃烧与混合气的温度密切相关,因而混合气的温度将直接影响发动机的燃烧时刻。DME 的汽化潜热较高,当发动机连续工作时,DME 在流量控制阀处节流汽化,将导致 DME 蒸气的温度下降,从而使发动机在不同负荷时混合气的进气温度有所不同。为了减少混合气温度对燃烧过程及发动机工作特性研究的干扰,发动机试验台架设计了 DME 加热器。DME 经过液体流量控制阀和蒸气流量控制阀两级调节,其蒸气以固定温度与空气混合。蒸气的温度由水温控制,在本文试验中,水温设定为 70°C 。发动机的转速与负荷由进入进气管的 DME 气体的流量决定,即发动机的转速由 DME 阀门的开度大小控制。

在发动机试验中,冷却水温度控制在 80°C 左右,机油温度高于 45°C ,使用 AVL DiGas 4000 尾气分析仪测量发动机的 NO_x 、CO、HC 和过量空气系数 λ 等,并记录发动机的转速、转矩和排温等试验参数,然后根据记录的数据对 DME HCCI 发动机的动力性、经济性能和排放特性进行研究。



1:电子秤;2:燃料罐;3:单向节流阀;4:电控加热装置;5:流量调节阀;6:角标器;7:压力传感器;8:发动机;9:测功机;10:转速表;11:排温表;12:AVL DiGas 4000 尾气分析仪;13:数据采集与燃烧分析系统

图 1 DME HCCI 发动机试验台架布置

2 发动机试验结果与分析

HCCI 受化学反应动力学控制,并强烈依赖混合气的温度。不同的压缩比所对应的压缩过程温度变化亦不相同,研究压缩比对 HCCI 发动机工作特性的影响,就是研究发动机在不同的压缩比下燃用不同空燃比的混合气时发动机的动力性、经济性及其排放特性。

2.1 压缩比对动力性能的影响

即使在冷机状态,使用本文设计的几种压缩比,无须专门的进气加热等辅助措施,DME HCCI 发动

机都能顺利起动,这是因为 DME 具有很高的十六烷值,易于压燃着火。

当压缩比为 8.0 和 10.7 时,保持一定的 DME 流量, HCCI 发动机的速度特性如图 2 所示,其中 ϵ 为压缩比, P_e 为功率, T_{tq} 为转矩。由于 DME 的流量一定,发动机的转速升高,意味着混合气变稀,转速降低,则混合气加浓。在 HCCI 工作状态下,当发动机燃用过稀的混合气时, DME 发生化学反应开始燃烧的时间增加,动力性下降,因而不能维持希望的转速,不可避免地将导致发动机工作不稳,而当混合气过浓时,发动机又受到爆震燃烧的限制,因此 HCCI 发动机在速度特性上表现出了工作转速区域狭窄、最高功率小的特点,与传统汽油机或柴油机宽广的转速和负荷运转范围形成鲜明的对照。

不仅如此, HCCI 发动机的负荷特性也具有相同的特征。图 3a 所示为压缩比为 8.0 时,发动机在不同转速下的负荷特性。当发动机的转速较低时,混合气反应的时间较长,因而只能燃用较稀的混合气,

发动机的功率小;相反地,当发动机的转速较高时,循环的时间短,浓的混合气才能使反应加速,同时发动机的功率也提高了。总的来讲,当压缩比为 8.0 时, HCCI 发动机最佳的混合气过量空气系数 λ 应在 2~3 之间。

随着压缩比的提高,压缩温度和压缩压力提高, DME 化学自燃的条件改善,因而发动机的转速对发动机燃烧过程的影响减弱。由图 3b、图 3c 可以看出,不同转速之间的空燃比和有效功率有较大的重叠区域,可以在过量空气系数为 3~4 之间运转,而不像压缩比为 8.0 时那样,不同转速的重叠区域小。此外,压缩比高,机械损失增加,在图 3 中,随着压缩比的提高,发动机的最高功率减小,特别是当图 3c 中压缩比为 14.0 时,在相同空燃比的混合气下,发动机的有效功率反而下降,但它可以燃用更稀的混合气,最大混合气过量空气系数可以达到 4。总的来说,后 2 种压缩比最佳的混合气过量空气系数主要集中在 2.5~3.5 之间。

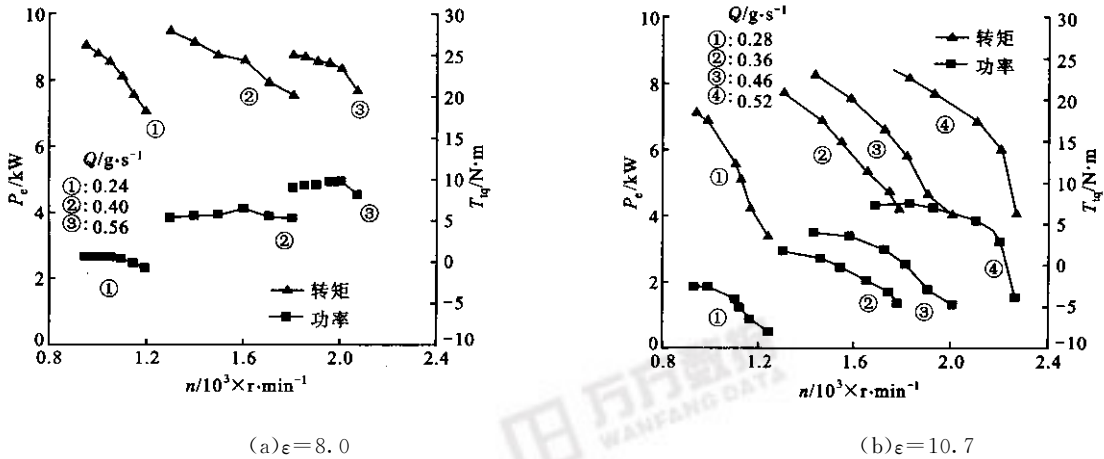


图 2 HCCI 发动机在不同压缩比时的速度特性

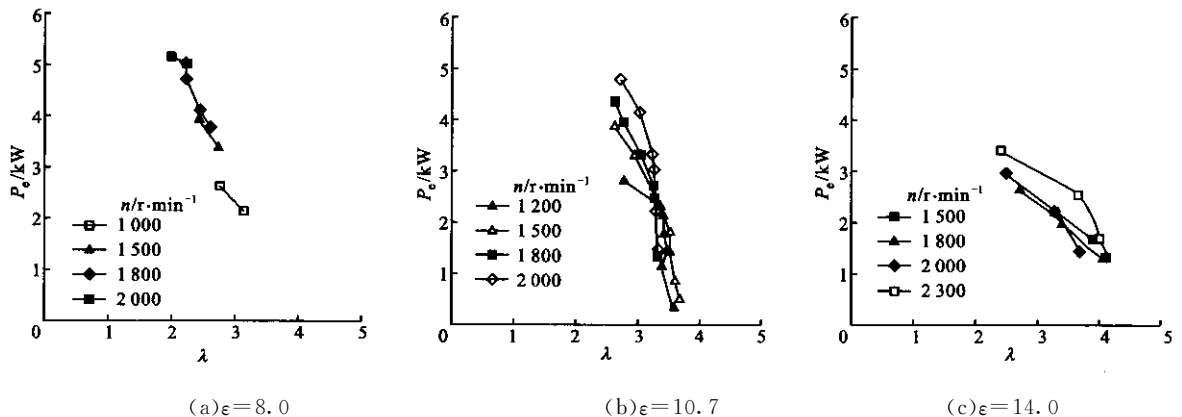


图 3 HCCI 发动机在不同压缩比时的负荷特性

此外,试验发现,通过提高试验发动机的转速可使发动机负荷区向高负荷区扩展,受本文试验发动机额定转速的限制,更高转速的试验有待进一步开展.

2.2 压缩比对经济性的影响

图4对比了不同压缩比下发动机的有效热效率 η_e .当压缩比为8.0时,必须燃用较浓的混合气,并在中等负荷下工作(相对原柴油机),才能使发动机稳定运转.其原因在于发动机的压缩比低,混合气的温度低,发动机在燃用稀混合气时容易失火,转速波动也大.此时,发动机的功率大,具有较高的有效热效率,但稳定工作区域非常狭窄.随着压缩比的增大,混合气的温度和压力提高,压缩自燃着火条件改善,发动机可以燃用更稀的混合气,工作区域向低负荷区域扩展.当压缩比增大到14.0时,受爆震燃烧的限制,发动机转速较低,只能燃用较稀的混合气,在狭窄的小负荷区域稳定工作,有效热效率难以提高.当发动机的压缩比为10.7时,在本文研究的发动机转速范围内,受爆震燃烧限制较小,同时由于压缩比的增大可以向小负荷区域扩展,因此可燃用非常稀的混合气,并兼有工作范围宽和热效率高的特点.

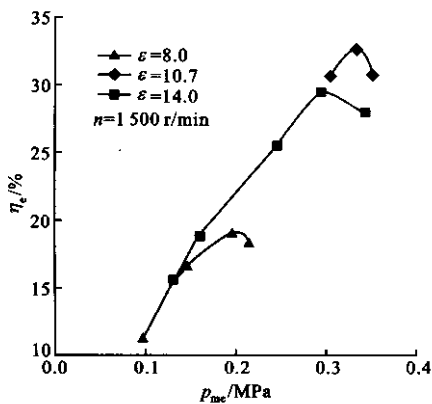


图4 压缩比对 HCCI 发动机有效热效率的影响

由于 DME HCCI 燃烧主要受燃料化学反应动力学控制,当混合气过稀时,发动机工作不稳,转速

波动较大,此时 HC 和 CO 排放大大增加.相反,当发动机燃用过浓混合气时,燃烧受到爆震的影响.不同于变质调节的柴油机,发动机的负荷特性和速度特性的工作范围较窄,HCCI 发动机的混合气浓度或空燃比、转速和负荷相互依赖,只能在某一较窄的范围内关联调整,即一定的空燃比须对应一定范围的发动机转速和负荷,反之亦然.混合气浓度决定发动机转速及其负荷,而不能单独根据所需要的发动机的转速或者负荷来调整发动机的混合气浓度.

3 结论

本文通过对不同压缩比 DME HCCI 发动机的试验研究,可以得出以下结论.

(1) DME 沸点低,十六烷值高,均质混合气制备容易,是 HCCI 发动机理想的代用燃料.

(2) 对于本文所研究的发动机,在低压缩比时,发动机需燃用较浓混合气,工作在狭窄的中等负荷区;在高压缩比时,受爆震限制,发动机工作于热效率较低的低负荷区;当压缩比为 11.0 左右时,HCCI 发动机兼有工作范围宽和有效热效率高的优点.

(3) 混合气过量空气系数在 2.5~3.5 的范围内时,发动机具有较好的动力性、经济性,发动机运转稳定.

(4) HCCI 发动机的混合气空燃比、转速和负荷三者相互依赖,只能在某一较窄的范围内关联调节.

参考文献:

- [1] 汪映,周龙保,蒋德明.均质充量压缩燃烧方式的研究进展及存在问题[J].车用发动机,2002(5):1-4.
- [2] Ryan T W, Callahan T. Homogeneous charge compression ignition of diesel fuel [R]. SAE paper, 961160. USA: Society of Automobile Engineers Inc, 1996. 157-165.
- [3] 刘圣华.均质充量压燃发动机运转特性研究[A].国际内燃机学术年会,天津,2002.
- [4] 朱驰,刘圣华.二甲醚均质充量压燃发动机排放特性的试验研究[J].内燃机学报,2004,22(1):51-55.

(编辑 王焕雪)