

预混充量压缩着火和直接喷射 对发动机性能影响研究

汪映, 郭振祥, 周杰

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 在一台 2105 柴油机上进行了部分预混充量压缩着火和直接喷射(PCCI-DI)复合燃烧对发动机有效热效率和排放等性能影响的研究. 试验包括:在进气道预先对二甲醚燃料和空气进行混合,再将形成的均质混合气送入燃烧室;在压缩行程末期,利用压燃式发动机的燃油喷射装置将柴油喷入燃烧室,从而实现了 PCCI-DI 燃烧. 试验结果表明,与传统直喷压缩燃烧方式相比,在中低转速和低负荷工况下,采用 PCCI-DI 燃烧模式的发动机能降低 NO_x 和碳烟的排放量,提高有效热效率,但 HC 和 CO 排放量显著增加;随着二甲醚预混比的增加, NO_x 排放量略有所降,碳烟排放量可进一步降低.

关键词: 预混充量压缩着火;直接喷射;发动机性能

中图分类号: TK42 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)03-0044-04

Influence of Premixed Charge Compression Ignition and Direct Injection Combustion on Engine Performance

WANG Ying, GUO Zhenxiang, ZHOU Jie

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

Abstract: The study on the influence of partial premixed charge compression ignition-direct injection (PCCI-DI) compound combustion on engine performance such as brake thermal efficiency and emission was experimentally conducted in a 2105 engine. In the experiment, PCCI-DI combustion was realized by the way that the partial homogeneous mixture composed of the pilot DME and air entered a combustion chamber through the intake pipe and diesel fuel was directly injected into the combustion chamber with the fuel injection equipment of the compression ignition engine at the terminal stage of a compression stroke. Experimental results show that, compared with the conventional compression ignition combustion, both NO_x and smoke emission decreased and the brake thermal efficiency rised, however, HC and CO emissions were significantly higher with PCCI-DI combustion at low and medium speed and load. In addition, NO_x emission decreased slightly and smoke emission decreased by 30%-40% with an increase in DME premixed ratio.

Keywords: partial premixed charge compression ignition; direct injection; engine performance

PCCI-DI 是一种部分预混充量压缩着火和燃料直接喷射燃烧的组合工作方式,预混合燃料可先用进气管喷射或用向气缸直喷的方法为气缸供给燃料,再在压缩上止点附近向气缸直接进行主喷射. 整

个燃烧过程的前期是预混稀薄混合气燃烧,而在后期,受燃料喷入时间的影响,缸内最高燃烧温度偏低,这有利于抑制 NO_x 的生成. 此外,主喷射装置喷射的燃油油束在遇到高温燃气后会迅速着火并形成

多个火焰中心,从而使整个燃烧持续期缩短,发动机燃油经济性也不会受到影响^[1-5].

本文是在发动机进气道先将二甲醚(DME)燃料与空气预先进行混合,再将预混均质混合气喷入燃烧室;在压缩行程末期,利用压燃式发动机的燃油喷射装置将柴油喷入燃烧室,从而实现了 PCCI-DI 燃烧,并由此展开了 PCCI-DI 燃烧对发动机性能影响的试验研究.

1 试验台架

试验用发动机为中国一拖集团生产的东方红 YTR2105 四冲程、水冷、非增压直喷式柴油发动机,发动机主要的性能参数见表 1. PCCI-DI 发动机试验台如图 1 所示. 由两路供给系统为发动机提供燃料,一路是传统的泵-管-嘴柴油供给系统,另一路是由进气道导入的气态 DME 燃料供给系统.

表 1 发动机主要技术规格

气缸个数	2
缸径,行程/mm	105,120
排量/L	2.078
吸气方式	自然吸气
燃烧室形状	ω 型
压缩比	17
标定功率/kW,转速/r·min ⁻¹	26, 2 300
最大扭矩/N·m,转速/r·min ⁻¹	123.7,1 700
原机直喷压缩燃烧供油提前角/(°)	22
PCCI-DI 燃烧供油提前角/(°)	8

DME 与空气在进气道内经混合形成均匀预混合气体. 从进气道进入的 DME 存储在小气罐中,小气罐放在电子称上,可以方便地测量 DME 的实际消耗. 本文试验选用了 ES-20KA 型电子称,其测量精度为 0.1 g. DME 出口在燃料罐的底部,以避免罐内气化造成测量误差. 小气罐和单向阀之间用耐高压橡胶管连接,单向阀与铜管连接,这样 DME 在通向加热器时被加热气化. 单向阀具有流量调节功能,通过该阀的 DME 燃料可以减压膨胀. 由喷油器喷入燃烧室的柴油存储在燃料箱中,经过燃料箱的柴油通过滤清器过滤后送入高压油泵. 为了减小混合气温度对燃烧过程及发动机工作特性的影响,在发动机试验台上专门设计了 DME 加热器. 加热器内有液体流量控制阀和蒸气流量控制阀,DME 蒸气经过两级控制阀的调节可以固定温度与空气混合后进入燃烧室. 试验中,HC 和 CO 排放测量采用不分光红外吸收法,NO_x 测量依据电化学原理,烟度测

量采用不透光烟度计,用消光系数 k 表示.

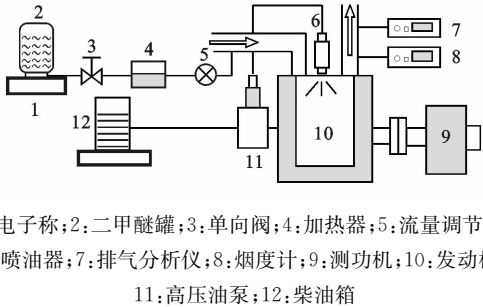


图 1 2105 PCCI-DI 发动机试验台

为了方便表述,本文定义了预混比 r ,用来表示从进气管引入的二甲醚消耗量与燃烧过程消耗燃料总量的比例关系,计算式为

$$r = \frac{m_{\text{DME}} h_{\text{DME}}}{m_{\text{DME}} h_{\text{DME}} + m_{\text{diesel}} h_{\text{diesel}}} \times 100\%$$

式中: m_{DME} 表示单位工作循环内从进气管引入的二甲醚质量,kg; h_{DME} 表示二甲醚的热值,kJ/kg; m_{diesel} 表示单位工作循环缸内直喷的柴油质量,kg; h_{diesel} 表示柴油的热值,kJ/kg.

2 PCCI-DI 燃烧式发动机性能研究

在 1700 r/min、2100 r/min 2 种转速和不同的过量空气系数 ϕ 下,分别测量了 PCCI-DI 和传统压缩燃烧(CI)发动机的主要排放物及有效热效率. 经过大量试验确定了 PCCI-DI 燃烧的预混比 $r = 15\%$,理由是预混二甲醚的量对 PCCI-DI 燃烧的影响很大,预混二甲醚的量过小,对燃烧和排放的影响不明显,预混二甲醚的量过大,容易出现爆震现象,从而导致燃烧和排放恶化.

PCCI-DI 和 CI 发动机的性能对比如图 2 所示. 从图 2a 看出,在大部分工况下,PCCI-DI 发动机的有效热效率比 CI 的有效热效率略高. 这是因为,PCCI-DI 燃烧下的预混二甲醚首先压燃,柴油油束喷入燃烧室后遇到高温燃气迅速着火并形成多个火焰中心,使得整个燃烧持续期缩短,从而提高了扩散燃烧的速度,所以热效率提高. 另外,在上述 2 种转速下,PCCI-DI 燃烧的混合气浓度普遍比 CI 的小,随着 ϕ 的增大,发动机的有效热效率随之下降.

从图 2b 看出,在测试工况下,PCCI-DI 发动机的 NO_x 排放量比 CI 的小. 这是由于,预混燃烧主要是 DME 的均质压燃,柴油主要是扩散燃烧,从而抑制了 NO_x 的生成. 另一方面,在进气道内,DME 与空气预混之后,预混燃料以气态方式进入气缸,抢占了原本空气的进气容积,从而降低了燃烧室的氧浓

度,破坏了 NO_x 生成的富氧条件,导致了 NO_x 排放量减少.此外,采用 CI 和 PCCI-DI 燃烧的 NO_x 排放量均随着 Φ 的增大而下降.这是因为,随着 Φ 的增加,缸内燃烧温度相应下降.

从图 2c 看出,PCCI-DI 发动机的 HC 排放量比 CI 的大.这是由于,在压缩行程中,DME/空气混合气进入了活塞顶隙和环岸间隙,受缸壁的淬熄作用,使得一部分混合气不能完全燃烧.从图 2c 还可以看出,CI 和 PCCI-DI 发动机的 HC 排放量随着 Φ 的增加变化并不大.

从图 2d 看出,PCCI-DI 发动机的 CO 排放量比 CI 的大.这由于,在预混均质压燃阶段,DME 比较稀薄,燃烧不完全,在进气道内 DME 与空气预混合后,预混燃料以气态方式进入气缸,抢占了原本空气的进气容积,所以燃烧室内的氧浓度下降,从而导致 CO 排放量上升.从图 2d 还可以看出,随着 Φ 的增加,CI 和 PCCI-DI 发动机的 CO 排放量下降,但当 Φ 增加到一定程度时,燃烧温度下降,燃烧速率下降,CO 排放量又显著增加.

从图 2e 看出,PCCI-DI 发动机的碳烟排放量比 CI 的少.碳烟排放降低有 2 个原因:①在所有工况下,混合燃烧中吸入的 DME 可以进行无烟燃烧,相同扭矩下 PCCI-DI 的柴油量小于纯柴油运行时喷入的柴油量,因此产生的碳烟量也相应减少;②柴油喷射前,气缸内已出现 DME 预混均质压燃,缸内温度高,空气流动快,这样便促进了后期喷入柴油的扩散燃烧,有利于降低烟度.从图 2e 看出,随着 Φ 增加,CI 和 PCCI-DI 发动机的碳烟排放量显著下降.

3 预混比对发动机排放特性的影响

图 3 给出了转速为 1700 r/min、平均有效压力 p_{me} 分别为 0.24 MPa 和 0.51 MPa 时的发动机主要排放物和 Φ 随 r 的变化.从图 3 看出,在同一负荷下,随着 r 的逐渐增大, NO_x 和碳烟排放量进一步降低, Φ 基本保持不变,但 CO 和 HC 排放量进一步升高. NO_x 排放量随着 r 的增大进一步降低的原因是:预混均质压燃 DME 增多,滞燃期缩短,从而导致 NO_x 排放量减少.碳烟排放量随着 r 的增大而降低的原因是:PCCI-DI 复合燃烧中吸入的可进行无烟燃烧的 DME 随着 r 的增大而增加. HC 排放量随着 r 的增大而上升的原因是:进入活塞顶隙和环岸间隙的 DME/空气混合气增多,造成了更多混合气不能完全燃烧. CO 排放量随着 r 的增大而上升的原因是:预混燃料以气态方式进入气缸,抢占了原本

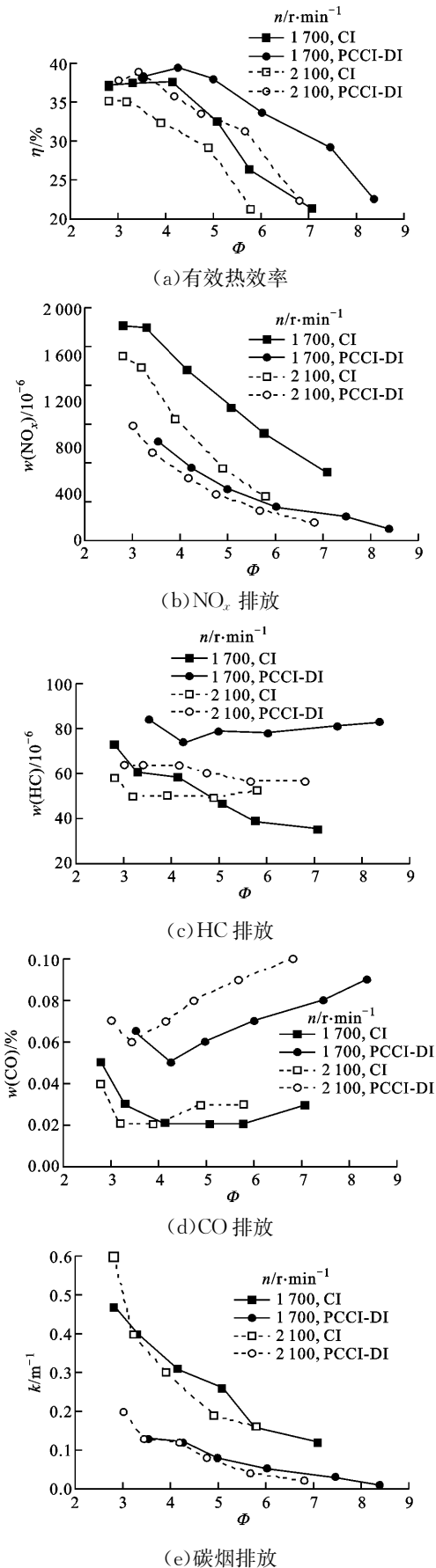


图2 PCCI-DI 和 CI 发动机的性能对比

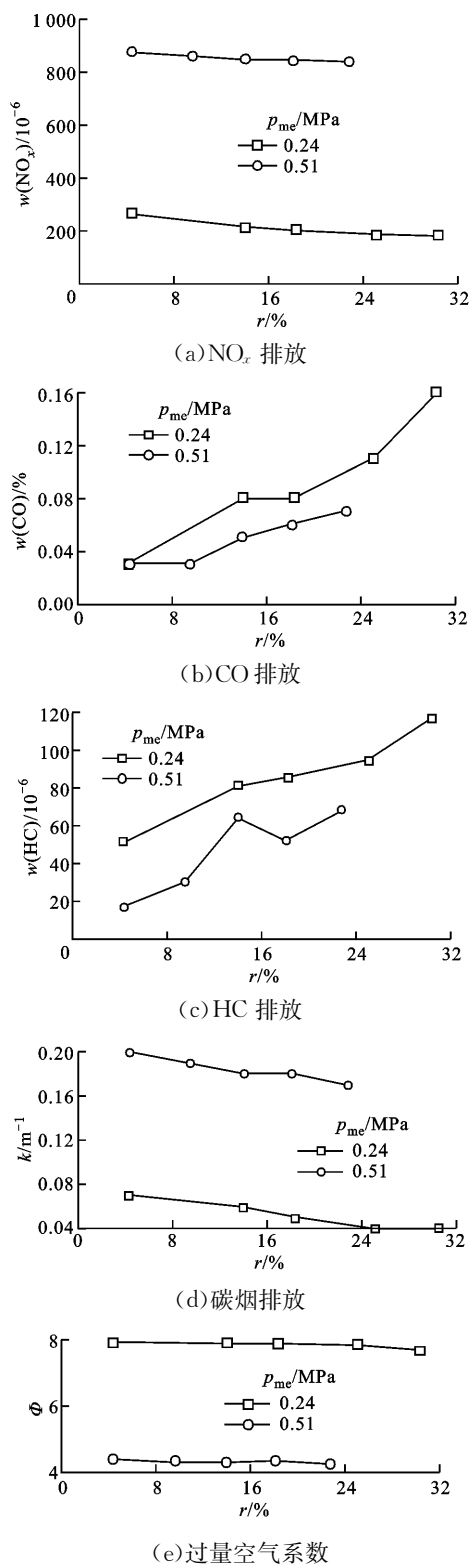


图3 r 对发动机排放和 Φ 的影响 ($n=1700 \text{ r/min}$)

空气的进气容积,使得 Φ 减小,燃烧室内的氧浓度下降,从而导致 CO 排放量上升。

4 结 论

本文在中低转速和负荷下分别对 CI 和 PCCI-

DI 发动机的性能进行了试验,并开展了不同 r 对 PCCI-DI 发动机主要排放物影响的试验研究,结论如下。

(1)与 CI 相比,PCCI-DI 发动机的 NO_x 和碳烟排放量有所降低,并且随着 r 的增大, NO_x 和碳烟排放量将进一步降低。

(2)与 CI 相比,PCCI-DI 发动机的 HC 和 CO 排放量有所提高,并且随着 r 的增大,HC 和 CO 排放量进一步增加。

(3)本文试验中,PCCI-DI 发动机的有效热效率比 CI 的有效热效率略高。

(4)要改善 PCCI-DI 发动机的经济性,降低排放量,必须从控制 DME 预混均质压缩燃烧入手,结合优化预混比和柴油喷射时间等参数进行协同控制。

参考文献:

- [1] 汪映,郭振祥,何利,等.二甲醚发动机采用 PCCI-DI 燃烧方式的研究 [J]. 内燃机学报, 2008, 26(4): 319-324.
WANG Ying, GUO Zhenxiang, HE Li, et al. Study on PCCI-DI combustion in a DME engine [J]. Transactions of CSICE, 2008, 26(4): 319-324.
- [2] 朱昌吉,李君,高莹,等.二甲醚与柴油混合燃料发动机燃烧性能试验 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 6-9.
ZHU Changji, LI Jun, GAO Yin, et al. Experiment on blended combustion of dimethyl ether (DME) with diesel [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 6-9.
- [3] 潘雪伟,平银生,丁贤华.二甲醚均质压燃、柴油补燃混合燃烧模式的试验研究 [J]. 内燃机工程, 2006, 27(1): 34-37.
PAN Xuewei, PING Yinsheng, DING Xianhua. Experimental investigation of hybrid combustion system with DME HCCI and diesel fuel injection in a DI diesel engine [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2006, 27(1): 34-37.
- [4] GARYD N, SHIZUO S, JEFFREY A L. Experimental investigation of PCCI-DI combustion on emissions in a light-duty diesel engine, SAE 2004-01-0121 [R]. Washington, USA: Society of Automotive Engineers Inc., 2004: 34-45.
- [5] CHAPMAN E M, BOEHMAN A L. Pilot ignited premixed combustion of dimethyl ether in a turbodiesel engine [J]. Fuel Processing Technology, 2008, 89(9): 1262-1271.

(编辑 苗凌)