

性能与排放

供油提前角对柴油/乙醇发动机经济性和排放特性的影响

肖 阳, 徐 斌, 吴 健, 马志豪, 王站成, 鲍学锋, 潘永方, 王 鑫

(河南科技大学车辆与动力工程学院, 河南洛阳 471003)

摘 要: 在 YTR3105 试验机上, 在最大扭矩转速 1 500 r/min(扭矩 192 N·m)和标定转速 2 400 r/min(扭矩 164 N·m)两个工况下进行了不同供油提前角和不同配比柴油/乙醇混合燃料发动机的经济性与排放特性试验。结果表明: 柴油/乙醇发动机的有效燃油消耗率较柴油机的有所升高, 但能量消耗率有所下降; 随着供油提前角增大, 碳烟排放明显降低, 但 NO_x 排放明显升高, CO 和 THC 排放均降低; 随着乙醇含量的加大, 在转速 1 500 r/min 时, CO 排放增大, 在转速 2 400 r/min 时, CO 排放降低, 而 THC 排放两个工况下均有所增大。

关键词: 供油提前角; 柴油/乙醇; 经济性; 排放特性

中图分类号: TK421+.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)01-0031-05

The Influence of Fuel Supply Advance Angle on the Economy and Emission Characteristics of Diesel-Ethanol Engine

Xiao Yang, Xu Bin, Wu Jian, Ma Zhihao, Wang Zhancheng,
Bao Xuefeng, Pan Yongfang, Wang Xin(Vehicle & Motive Power Engineering College,
Henan University of Science and Technology, Henan Luoyang 471003)

Abstract: Experiments are carried out on YTR3105 test engine to study its economy and emission characteristics when choosing different fuel supply advance angles and different diesel-ethanol mixing ratios, and at engine speed of 1 500 r/min (maximum torque 192 N·m) and 2 400 r/min (nominal speed, torque 164 N·m). Experimental results show that diesel-ethanol engine features increased brake specific fuel consumption and decreased brake specific energy consumption. With the increasing of fuel supply advance angle, soot emission decreased but NO_x emission increased obviously, both CO and THC emissions decreased. With the increase of ethanol ratio, CO emission increased at engine speed of 1 500 r/min, but decreased at engine speed of 2 400 r/min. THC emission increased under both conditions.

Keywords: fuel supply advance angle; ethanol-diesel; economy; emission characteristics

1 引 言

由于我国机动车保有量日益增多, 汽车尾气排放已成为大中城市大气污染的主要污染源。因此寻找清洁的可再生能源已成为解决我国能源与环境问

题的重点研究课题。

作为一种可再生的含氧燃料, 乙醇具有广泛的来源, 大规模生产具有很大的潜力。利用生物酶技术以及农产品发酵技术制取工业用乙醇, 已经取得了很大的进展^[1]; 而且有关乙醇从生产到作为汽车燃料的研

收稿日期: 2009-03-16

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(0524260048); 洛阳市科技发展计划项目(0701026A)。

作者简介: 肖阳(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为内燃机工作过程、代用燃料, E-mail: xiaoxy520@yeah.net。

究,也取得了令人鼓舞的成果。乙醇在内燃机上的应用,对降低大气环境污染具有重要的意义。

在国外,汽车使用汽油/乙醇混合燃料已经得到了比较系统的研究,实际应用也比较成熟;但在国内,柴油/乙醇混合燃料的利用处于探索阶段。

供油提前角是影响发动机性能的主要参数之一,供油提前角过大,燃料进入气缸时的温度和压力较低,滞燃期长,内燃机工作粗暴,噪声大;供油提前角小,虽然初期温度和压力高,但作用的时间缩短,可能着火前活塞已经下行,使空气温度和压力降低,也使滞燃期变长^[2-3]。因此,选取合适的供油提前角是十分必要的。

2 试验设备及方法

本次试验所用的控制设备为洛阳南峰 CUM3A 型综合测试控制装置,测功机为 YP250 型水力测功机,排放设备为日本 HORIBA 公司生产的 MEXA-7100D 型气体排放测试仪,烟度计为温州产的 FQD-102 型滤纸式烟度计。

研究在 YTR3105 试验机上进行。该发动机的主要参数见表 1。

表 1 YTR3105 发动机主要性能参数

参数	规格
缸径/mm	105
标定功率/kW/(r/min)	40/2 400
压缩比	17:1
进气方式	自然吸气
缸数	3
燃烧室形状	ω
行程/mm	120
供油提前角(静态)/°CA(BTDC)	17

试验中采用的混合燃料的乙醇体积含量分别为 5%、10% 和 20 % (以下分别简称为 E5、E10 和 E20)。在制备柴油/乙醇混合燃料时,为保证其混合稳定性,在 E10 和 E20 中添加了少量正丁醇助溶剂^[4],乙醇、柴油和正丁醇的具体配比情况详见表 2。

表 2 柴油/乙醇混合比例(体积百分比)

单位:%

代号	柴油	乙醇	正丁醇
E0	100	0	—
E5	95	5	—
E10	87	10	3
E20	74	20	6

试验在最大扭矩转速 1 500 r/min、扭矩为 192 N·m 和标定转速 2 400 r/min、扭矩为 164 N·m 两个工况下进行,通过调整供油提前角(13°、17°和 21 °CA BTDC)的方式,比较了不同乙醇含量的柴油/乙醇混合燃料发动机的经济性和尾气排放特性。

3 试验结果及分析

3.1 供油提前角对经济性的影响

为了比较柴油/乙醇混合燃料的经济性,分别从燃油消耗率和能量消耗率 BSEC (Brake Specific Energy Consumption) 两个方面来考察。能量消耗率的计算公式如下:

$$B_{\text{BSEC}} = \frac{B_{\text{BSFC}} H_L}{1000} \quad (1)$$

式中: B_{BSEC} 为能量消耗率, MJ/(kWh); B_{BSFC} 为燃油消耗率, g/kWh; H_L 为混合燃料质量低热值, MJ/kg。

H_L 计算公式为:

$$H_L = \frac{(100 - E) \rho_d H_{\text{ld}} + E \rho_e H_{\text{le}}}{(100 - E) \rho_d + E \rho_e} \quad (2)$$

式中: H_L 为混合燃料低热值, MJ/kg; H_{ld} 为柴油低热值, MJ/kg; H_{le} 为乙醇低热值, MJ/kg; ρ_d 为柴油密度, kg/m³; ρ_e 为乙醇密度, kg/m³; E 为混合燃料中乙醇所占的体积比, %。

加入正丁醇后的计算公式与公式(2)类似,在此不再赘述。计算所用的柴油、乙醇和正丁醇的低热值以及密度如表 3 所示。

表 3 柴油、乙醇和正丁醇的部分理化特性

	柴油	乙醇	正丁醇
低热值/(MJ/kg)	42.5	26.77	35.153
密度/(20℃; kg/m ³)	0.82~0.88	0.790	0.810 9

图 1 给出了转速 1 500 r/min、扭矩为 192 N·m 和 2 400 r/min、扭矩为 164 N·m 两个工况下供油提前角与有效燃油消耗率(b_e)的关系。可以看出,在两个工况下,燃油消耗率随着供油提前角的增大都是先降低再升高。这是因为从 13°到 17 °CA 提前供油,混合气混合时间较长,混合得较为均匀,燃烧充分,燃油消耗率越低;从 17°到 21 °CA,进一步提前供油,预混燃烧的比重加大,喷入气缸内的燃料在活塞到达上止点前已经开始燃烧,因而此时燃料消耗加大;而且很显然,柴油/乙醇混合燃料的燃油消耗率要比纯柴油高, E20 在上述两个工况下的燃油消耗率较纯柴油分别平均提高了 8.3% 和

5.1%。燃油消耗率增加是因为乙醇的热值比纯柴油低(只有柴油的 2/3 左右), 要达到相同的输出功率, 必然要消耗更多的燃料。但从图 2 可以看到, 在两个工况下, 能量消耗率 $BSEC$ 都得到了不同程度的改善, 其中在 17°CA (BTDC) 时, E20 的改善效果最明显, 此时 E20 的 $BSEC$ 较纯柴油的分别降低了 1.7% 和 2.5%。因此, 使用柴油/乙醇混合燃料时, 由于含氧导致燃烧集中在较短时间内, 从燃油经济性角度讲, 发动机的供油提前角应该适当延迟^[5]。

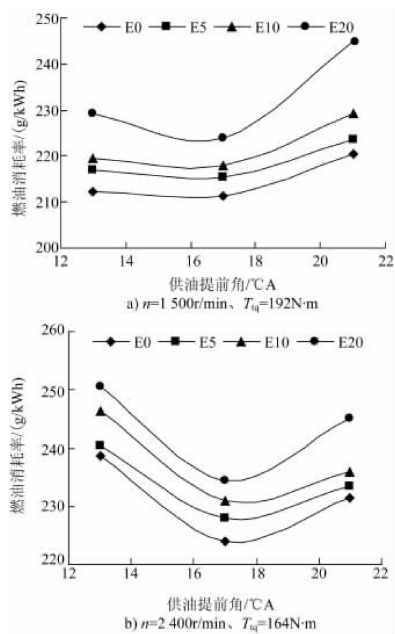


图 1 燃油消耗率 b_e 随供油提前角的变化规律

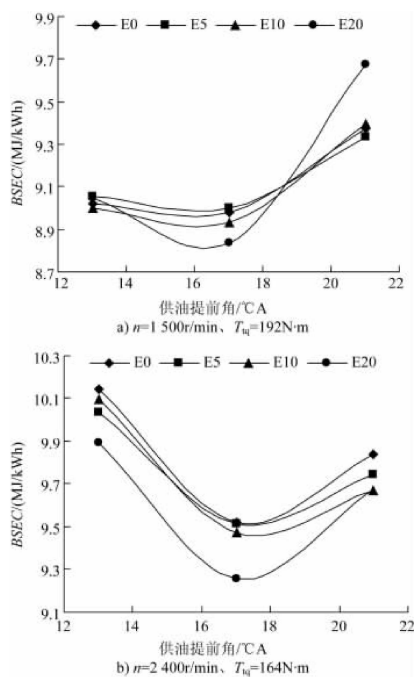


图 2 能量消耗率 $BSEC$ 随供油提前角的变化规律

3.2 供油提前角对排放性能的影响

3.2.1 对 NO_x 排放的影响

图 3 是两个工况下不同供油提前角下柴油机燃用不同比例的柴油/乙醇混合燃料的 NO_x 排放量的对比情况。可以看到, 在两个工况下, 随着供油提前角增大, NO_x 的排放升高明显。其原因是, 供油提前角增加, 则滞燃期延长, 滞燃期内的喷油量占循环喷油量的比例增加, 相应地使预混合燃烧的燃油量占循环喷油量的比例增加, 而预混合气混合均匀处于富氧的状态, 其量的增加必然使得急燃期内缸内温度迅速升高, 急燃期亦有所增长, 使 NO_x 生成的三要素均有加强, 故其排放量增加。不难看出, 不同比例混合燃料的 NO_x 排放量呈 0.5% 的缓慢减小趋势, 但总体变化不大。出现以上结果主要是一方面由于燃料的理化特性的影响, 乙醇的汽化潜热要远远高于柴油, 因此随着乙醇掺入量增加, 缸内燃烧温度下降, 同时会造成混合燃料的可压缩性变大, 使得燃烧持续期缩短, 不利于 NO_x 的形成; 另一方面在功率一定的情况下, 燃料掺入的乙醇量越多, 循环放热量就越少, 混合燃料蒸发所需的热量增加, 从而导致随着乙醇的掺入量增加, 燃料的滞燃期延长, 使发动机预混燃烧的比重加大, 加之乙醇是含氧燃料, 又有利于 NO_x 的形成。由于以上两方面的相互影响和制约, 对于同一个工况, 乙醇掺烧比例的变化对 NO_x 的排放浓度的影响不显著。

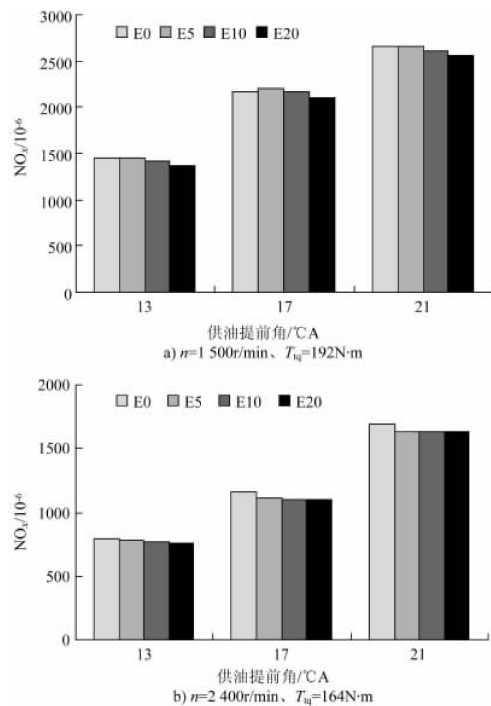


图 3 NO_x 排放量随供油提前角的变化规律

3.2.2 供油提前角对碳烟排放的影响

图 4 是两个工况下不同供油提前角柴油机燃用不同比例的柴油/乙醇混合燃料的碳烟排放值。可以看到,随着供油提前角的增大,碳烟的排放值降低。从 13° 到 17° $^{\circ}\text{CA}$, 碳烟排放明显降低, 而从 17° 到 21° $^{\circ}\text{CA}$, 碳烟排放值继续降低, 但不是很明显。这是因为提前供油, 混合气混合时间较长, 混合得较为均匀, 燃烧充分, 碳烟生成量减少。同时还可以看到, 碳烟排放随着乙醇比例的增大而有所降低, 其中 E5 的烟度降低不是十分明显, E10 的烟度较纯柴油降低了 15%, E20 的烟度更是降低了 40% 以上。这是由于随着混合燃料中乙醇比例的增大, 燃料中氧的含量增大, 使燃烧更加充分, 从而降低了碳烟排放。此外, 一般认为碳烟的生成机理是燃烧室内部过浓区高分子烃尤其是芳香烃高温缺氧裂解而产生的^[6,7], 而乙醇中不含芳香烃, 而且 $m(\text{H})/m(\text{C})$ 高, 所以碳烟减少。

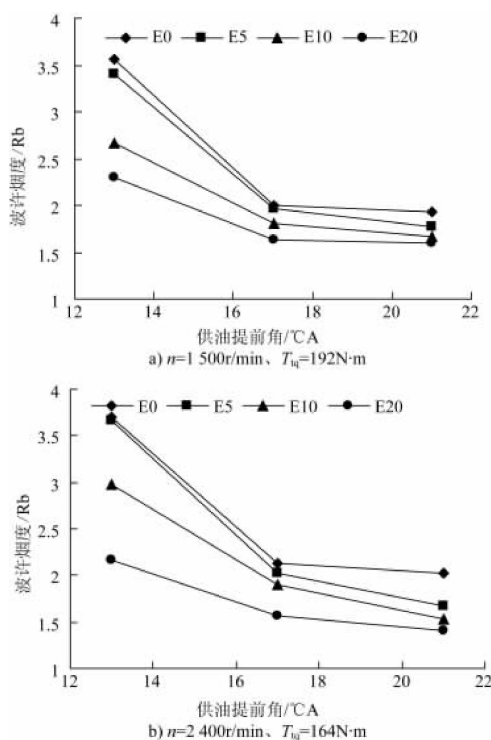


图 4 烟度随供油提前角的变化规律

3.2.3 供油提前角对 CO 和 THC 排放的影响

图 5 是两个工况下不同供油提前角柴油机燃烧不同比例的柴油/乙醇混合燃料的 CO 排放量的对比情况。可以看到,随着供油提前角的增大, CO 排放逐渐降低。这是因为,随着供油提前角的增大,滞燃期延长,缸内温度提高,另外乙醇的含氧也使燃烧更加充分,因而不完全燃烧的产物 CO 生

成率随着供油提前角的增大而减小。由图 5(a) 可见,在转速为 $1\,500\text{ r/min}$ 时,随着乙醇掺烧比例的增大, CO 的排放量逐渐增多。E20 和 E10 的 CO 的排放量较纯柴油的平均增大了 21.1% 和 11.4%, 这是由于发动机在低转速时,缸内温度较低,乙醇燃料较大的汽化潜热进一步降低缸内燃烧温度,不利于 CO 的继续氧化反应的进行,因而随着乙醇掺混比例的增加, CO 排放量呈现上升趋势。由图 5(b) 可见,当转速增大为 $2\,400\text{ r/min}$ 时,随着乙醇掺烧比例的增大, CO 的排放量逐渐减少, E20 和 E10 的 CO 排放量较纯柴油的平均减小了 19.8% 和 13.6%。这是由于在高转速时,气缸内温度较高,柴油乙醇的乳化燃料更容易发生微爆效应,从而有助于混合燃料的雾化,此外,由于乙醇燃料为含氧燃料,更加有利于混合燃料的燃烧,因而随着乙醇掺混比例的增加, CO 排放量呈现降低趋势^[8]。

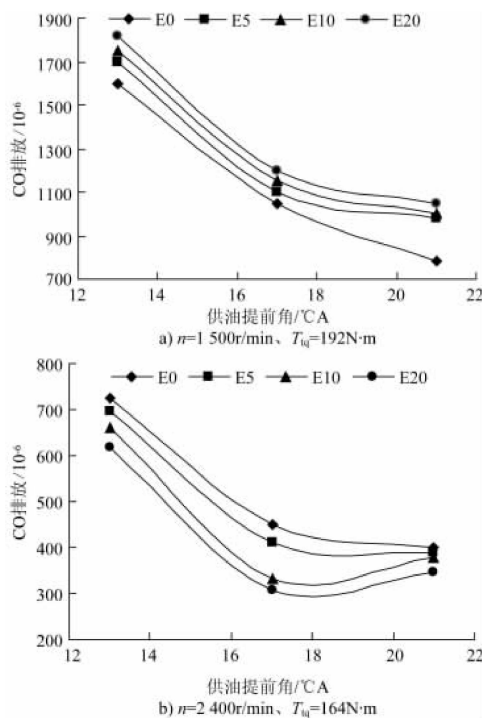


图 5 CO 排放量随供油提前角的变化规律

图 6 是两个工况下不同供油提前角柴油机燃用不同比例的柴油/乙醇混合燃料的 THC 排放量的对比情况。可以看到,各种燃料的 THC 排放随着供油提前角的增大而减小,这可能是由于加入了乙醇,燃料的雾化更好,另外供油提前,缸内的燃烧温度提高,使得此时 THC 的排放随着供油提前角的增大而减小。而且,在两个工况下,随着乙醇掺混比例的增大, THC 的排放有很明显的增大,尤其是 E20 的 THC 排放恶化最为严重。在 $1\,500\text{ r/min}$ 、 $192\text{ N}\cdot\text{m}$ 工况下,

E10 和 E20 的 THC 排放较纯柴油的分别平均提高了 33% 和 40%; 在 2 400 r/min、164 N·m 工况下, E10 和 E20 的 THC 排放较纯柴油的分别平均提高了 29.3% 和 42.5%。这可能是由于乙醇燃料着火性(较低的十六烷值)较差的缘故, 且由于其较大的汽化潜热进一步降低缸内燃烧温度, 导致随着乙醇掺混比例的增大, THC 排放逐渐恶化。

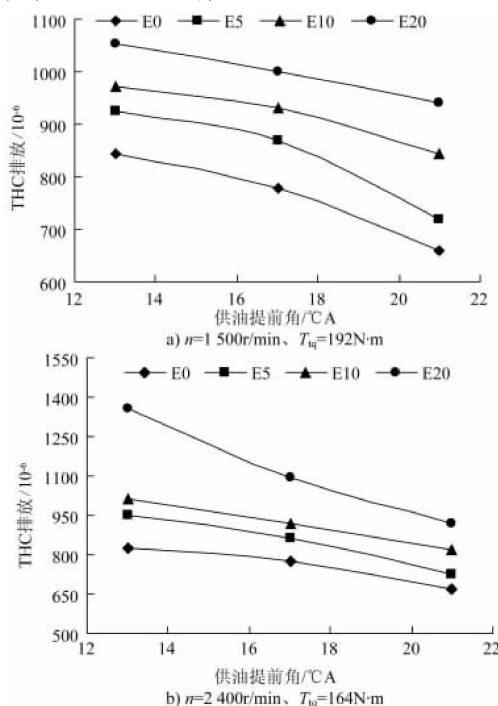


图6 THC排放量随供油提前角的变化规律

4 结论

(1) 柴油机燃用不同比例的乙醇柴油, 在最大扭矩转速和标定转速, 不同的供油提前角下, 原机的供油提前角 17 °A 的燃油经济性最好。

(2) 供油提前角增大, 排气烟度降低明显, 但是 NO_x 的排放也有较明显增加。不同比例的乙醇

柴油的 NO_x 排放变化不大。

(3) 柴油/乙醇混合燃料对 CO 和 THC 的排放的影响与乙醇比例和发动机工况有关。乙醇含量对 CO 的排放影响不明显, 而对 THC 的排放影响较为明显。在最大扭矩转速和标定转速工况下, CO 和 THC 的排放都随着供油提前角的增大而减小。随着乙醇含量的增大, 在转速 1 500 r/min、扭矩 192 N·m 时, CO 排放增大; 在转速 2 400 r/min、扭矩 164 N·m 时, CO 排放降低, 而 THC 排在两个工况下均有所增大。

参考文献

- [1] Nancy Ho. Successful metabolic engineering of saccharomyces yeasts for effective cofermentation of glucose and xylose to ethanol[J]. Kwa-zulu Natal, 1999, (8): 22-26.
- [2] 胡毅, 蒋德明, 黄佐华, 等. 供油提前角对柴油/甲醇混合燃料燃烧排放性能的影响[J]. 内燃机工程, 2005, 26(4): 1-4.
- [3] 欧阳爱国, 罗俊. 供油提前角对 375 柴油机性能影响的试验研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(5): 785-786.
- [4] 李会芬, 李双定, 黄锦成. 室温下正丁醇作为乙醇-柴油混合燃料助溶剂的试验研究[J]. 装备制造技术, 2007, (11): 4-5.
- [5] 李冠峰, 陈亮, 李遂亮, 等. 柴油机供油提前角对乙醇/柴油混合燃料经济性的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 90-93.
- [6] 杜德兴, 元广杰. 混燃甲醇和乙醇改善柴油机碳烟排放[J]. 环境科学学报, 2001, 21(6): 759-762.
- [7] Lu H B, Huang Z H, Jiang D M, et al. Engine performance and emissions of a compression ignition engine operating on the diesel-methanol blends [EB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>, 2004-01-19.
- [8] 胡强, 彭美春, 黄华, 等. 喷油压力与供油提前角对乙醇柴油发动机的性能影响[J]. 拖拉机与农用运输车, 2007, 34(4): 9-14.