

甲醇汽油发动机醇醛排放特性及其影响因素研究

魏衍举, 刘圣华, 刘方杰, 朱赞, 刘杰

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 在一台 JL368Q₃ 汽油机上分别燃用汽油和 M10(甲醇、汽油体积比为 1:9)甲醇汽油混合燃料,并利用气相色谱仪(氦离子化检测器)实验研究了甲醇和甲醛的排放特性及点火提前角对醇、醛排放的影响.结果表明,甲醇排放来源于燃油,其受最高燃烧温度影响较大,该排放将随着发动机转速和排气温度的升高而降低.甲醛由碳氢和甲醇在排气管中经氧化而生成,其排放量随着发动机转速和排气温度的提高而增加.汽油机的甲醛排放量随着转矩的增大先增后减,在中、高负荷时,M10 发动机甲醛排放量为汽油机的 1.5~4.5 倍,随着发动机转速的提高,这 2 种负荷下的甲醛排放量差距减小.

关键词: 甲醇汽油发动机;甲醛排放;点火定时

中图分类号: TK464 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)01-0001-04

Influencing Factors and Characteristics of Methanol and Formaldehyde Emissions from a Methanol/Gasoline Fueled SI Engine

WEI Yanju, LIU Shenghua, LIU Fangjie, ZHU Zan, LIU Jie

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

Abstract: The characteristics and the effects of ignition timing on methanol (CH_3OH) and formaldehyde (HCHO) emissions of a spark ignition (SI) engine fueled with gasoline and M10 (10% of methanol in blend by volume) blend respectively were experimentally investigated with gas chromatography (equipped with a helium ionization detector, HID). Results show that, CH_3OH emission was the unburnt part of fuel methanol, and it was greatly affected by the maximum in-cylinder temperature and decreased with engine speed and exhaust temperature while HCHO emission increased with them. HCHO was mainly formed in the exhaust pipe. HCHO emission from the gasoline engine increased first and then decreased with the increase in the engine torque. In addition, at middle and high engine load, HCHO emission from the M10 engine was 1.5-4.5 times that from the gasoline engine, and their HCHO emissions were close at high engine speeds.

Keywords: methanol-gasoline engine; formaldehyde emissions; ignition timing

点燃式发动机在燃用甲醇时,其常规排放物在保证原机功率的情况下均有所下降^[1-4],该排放量也容易达到排放要求.然而,排气中的甲醛及未燃甲醇会造成新的污染,其中甲醛尤为严重.虽然国内外学者对甲醇燃料发动机的甲醛排放规律进行了研

究^[5-8],但终因常规检测方法受制,所以仅得出了部分排放规律.本文基于甲醛快速检测方法^[9],针对一台 JL368Q₃ 电控汽油机分别燃用汽油和 M10(甲醇、汽油体积比为 1:9)甲醇汽油混合燃料,来全面研究各种工况下的甲醇和甲醛排放特性,并得出了

收稿日期: 2010-04-09. 作者简介: 魏衍举(1982—),男,博士,讲师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50876088); 西安交通大学新教师科研支持计划资助项目(0103-08141033).

网络出版时间: 2010-10-19

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/61-1069_t.20101019.2058.004.html

醇、醛排放的万有特性图,同时还考察了点火提前角等参数对醇、醛排放的影响。

1 实验装置及方法

实验用发动机为 JL368Q₃ 型电喷汽油机,缸径 68 mm,行程 72 mm,排气总量 0.796 L,压缩比为 9.4。为了研究发动机未燃醇、醛等非法规有害气体的排放特性,实验中用市售 93# 汽油和优等工业甲醇(纯度(质量分数)大于等于 99.5%)配制了 M10 燃料。考虑到甲醇容易吸收空气中的水分而导致燃料分层,实验中所有 M10 燃料均在现场调配,也未加入任何助溶剂。实验时,发动机的点火提前角通过分电器进行调整,在原点火提前角上止点前 8°(曲轴转角)的基础上分别提前和推迟了 3°,而发动机其他参数保持不变。

发动机 HC 和 NO_x 的排放采用 HORIBA 7100DEGR 汽车尾气分析仪进行检测。对于甲醇和甲醛的排放,采用 5 L 聚氟乙丙烯(FEP)采样袋从排气管采集,之后经烘箱加热至 80 °C 再用 Gs-Oxy-PLOT 毛细柱和脉冲放电氦离子化检测器(日本岛津 GC-2010 型气相色谱仪)进行检测^[9]。

2 实验结果分析

2.1 甲醇排放

在燃烧过程中,所有有机物均可通过甲基 CH₃ 和羟基 OH 或甲氧基 CH₃O 和游离氢原子 H 结合生成甲醇^[10]。在燃烧过程中,甲醇为中间产物,其数量较少且很快氧化为 CO,因而实验中未检测到发动机在燃用汽油时的甲醇排放。对于 M10 发动机,检测到的甲醇排放也仅为未燃烧且躲过后氧化的那部分燃料甲醇。因此,甲醇的排放量除了与循环喷油量有关之外,还与缸内温度和废气在高温环境下的停留时间有关。如图 1 所示,M10 发动机的甲醇排放量随着发动机转速和排气温度的提高而下降。在低速小负荷时,发动机转速提高将导致废气停留时间缩短,所以低速小负荷对甲醇排放的影响不明显。如图 2 所示,甲醇排放主要随排气温度的升高而下降。在中高负荷时,发动机转速提高将导致缸内温度升高和废气停留时间缩短,这 2 种因素将共同影响甲醇排放,该排放随着转速的提高而下降。当转速达到 3 500 r/min、排气温度为 803 K 时,在缸内和排气管中未燃甲醇被氧化,所以在排气管中未检测到甲醇排放。

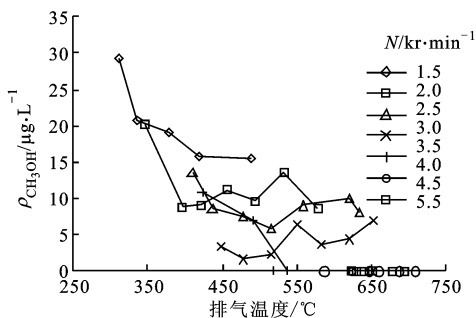


图1 M10 发动机的甲醇排放特性

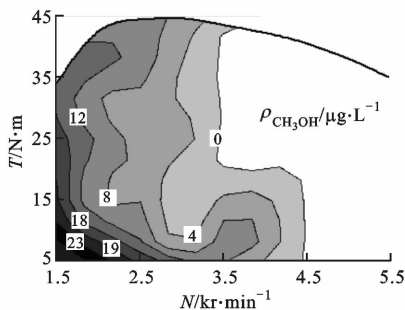


图2 M10 发动机甲醇排放的万有特性

2.2 甲醛排放

甲醛是 HC 氧化过程中的一个重要的中间产物,发动机的甲醛排放来自于碳氢氧化生成的甲醛和甲醛自身的氧化消耗,虽然甲醛的生成和消耗是同时进行的,并随着碳氢氧化过程的不断进行,生成和消耗速率都会先增后降,但二者并不同步,它们之间存在着一个速率差,最终使得生成在前消耗在后。所以,从净生成率来看,可以认为甲醛的氧化和消耗是 2 个独立的反应阶段(生成期和消耗期),而且在恒温条件下,这 2 个阶段耗时基本相当^[11]。在发动机中,排气管温度是逐渐降低的,由此甲醛的生成期和消耗期被延长,消耗期延长将导致消耗速率急剧下降,直至冻结。

当温度高于 1 200 K 时,氧化反应速率加快,生成的甲醛被迅速氧化^[11],因而不会造成甲醛排放。发动机的甲醛排放主要是由碳氢在排气管中经氧化生成的。由于碳氢的氧化进程受到了气体温度和反应时间的影响^[10, 12-14],所以在发动机排气中甲醛的浓度也会受排气温度和发动机转速的影响。随着转速的提高,在生成期形成的甲醛消耗时间逐渐缩短,因而甲醛残余量增加。由图 3、图 4 可以看出,汽油机和 M10 发动机的甲醛排放均随着转速的提高而增加。随着转矩 T 的加大,排气温度升高,甲醛的消耗进程加快,因而汽油机的甲醛排放随转矩增大而降低。高负荷时的排放量增加是由混合气加浓、当量空燃比降低造成的。如图 3b 所示,在中高速低负荷、

节气门全开和最高转速等 3 种极限工况下,汽油机的甲醛排放量较高. 由于 M10 发动机的排气中存在甲醇,使得甲醛排放随转矩变化的规律并不明显,仅随转速增大而增加,并在额定转速时达到最大值,如图 4b 所示.

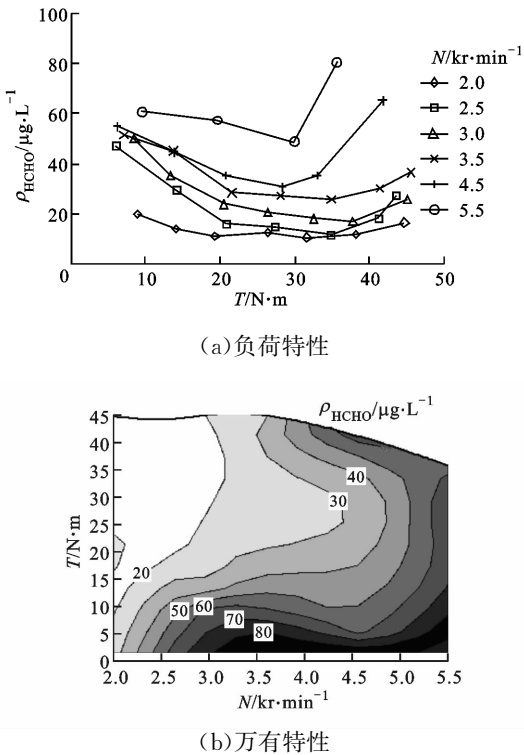


图 3 汽油机的甲醛排放特性

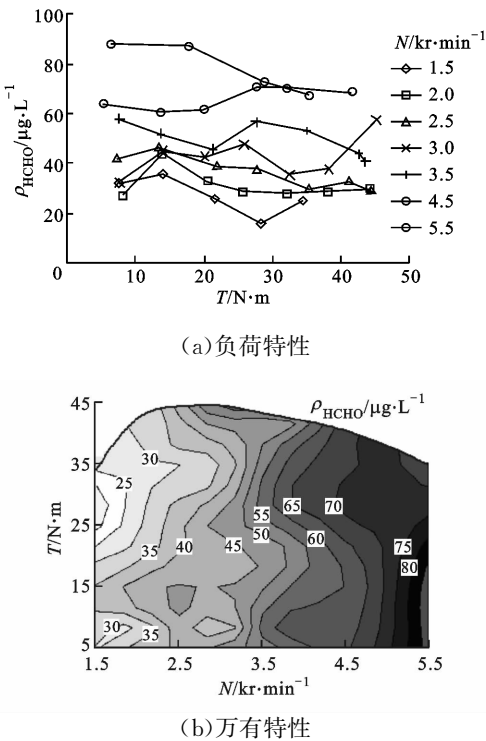


图 4 M10 发动机甲醛排放特性

为了比较汽油机和 M10 发动机的甲醛排放水平,本文将相同工况下二者排放之比设为 $k = C_{M10} / C_{Gas}$,其中 C_{M10} 和 C_{Gas} 分别为 2 种发动机甲醛排放的浓度. 如图 5 所示,低负荷时,发动机排气温度较低,排气中 HC 和甲醇的后氧化作用较弱,甲醛排放主要是燃料不完全所致,因而汽油机的甲醛排放在小负荷时较为接近甚至大于 M10 发动机. 由于 2 种燃料的甲醛排放随转矩变化的规律有所不同,这样 k 在中等转矩时最大,最高达到 4.5. 随着转速的提高,M10 发动机的甲醛排放逐渐接近汽油机, k 从 4.5 逐渐减小至 1.

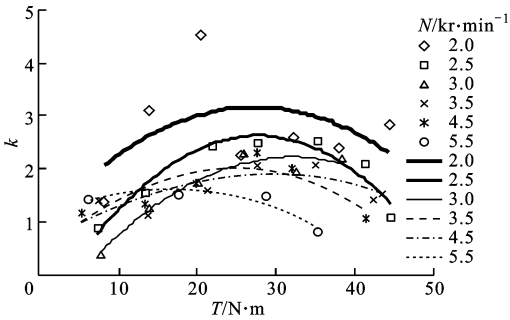


图 5 M10 发动机和汽油机甲醛排放量的对比

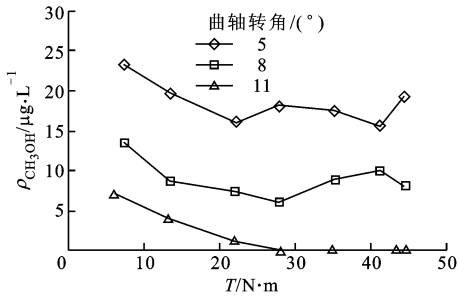
2.3 点火提前角的影响

甲醇排放是由未燃烧甲醇所致,其受缸内温度影响显著. 随着点火时刻的提前,燃烧等容度增加,缸内最大燃烧压力和最高温度均有所提高并提前,因而 M10 发动机在 NO_x 排放增加的同时甲醇排放降低,如图 6 所示. 这说明甲醇和 NO_x 均对缸内最高温度具有高度的依赖性,但是高温有利于生成 NO_x ,从而加速甲醇的消耗.

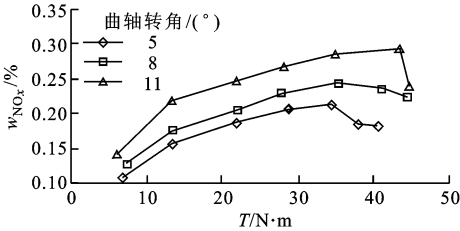
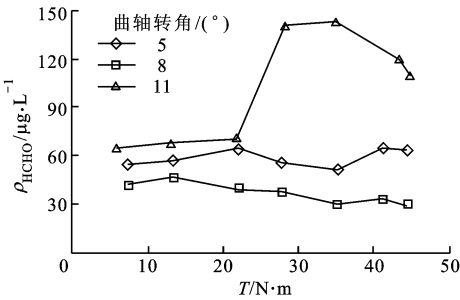
甲醛和 HC 排放受排气温度的影响较大. 提前点火则使得在膨胀和排气过程中降低已燃气体的温度,这不利于 HC 氧化和甲醛的氧化消耗. 过度推迟点火则会延长混合气燃烧的时间,进而导致放热率减小. 过度降低最高燃烧温度也会降低膨胀过程中的温度,同样不利于 HC 和甲醛的氧化消耗,因此甲醛和 HC 的排放规律相似,如图 7 所示. 所以,推迟和提前点火都会增加 HC 排放量.

3 结 论

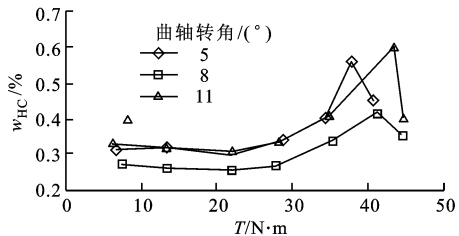
(1)M10 发动机的甲醇排放源自未燃烧的燃料甲醇,其与缸内最高温度有关,并随发动机转速和排气温度的提高而降低,在低速小负荷时受排气温度的影响尤为明显.



(a) 甲醇排放

(b) NO_x 排放图6 点火提前对 M10 发动机甲醇和 NO_x 排放的影响

(a) 甲醛排放



(b) HC 排放

图7 点火提前对 M10 发动机甲醛和 HC 排放的影响

(2) 甲醛是 HC 和甲醇氧化的中间产物, 发动机的甲醛排放受排气温度和转速的影响较大。随着转速的提高, 发动机的甲醛排放量增加; 随着转矩的加大, 汽油机甲醛排放量降低, 而在汽油中掺混甲醇后的甲醛排放随转矩的变化规律并不明显。低负荷时, M10 发动机和汽油机的甲醛排放量相当, 中高负荷时, M10 发动机甲醛排放量是汽油机的 2 倍左右,

但随着转速的提高, 甲醛排放量逐渐降低, 直至接近汽油机的水平。

(3) 甲醇和 NO_x 的排放均依赖于缸内最高温度, 点火提前, 甲醇排放降低, 同时 NO_x 排放增加; 甲醛和 HC 排放受排气温度的影响较大, 过度推迟或提前点火均会降低排气温度, 由此加大了甲醛和 HC 的排放。

参考文献:

- [1] 葛蕴珊, 尤可为, 王军方, 等. 甲醇燃料汽车的排放特性研究 [J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(4): 314-318.
GE Yunshan, YOU Kewei, WANG Junfang, et al. A study on exhaust emission on methanol vehicle [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2008, 28(4): 314-318.
- [2] 汪洋, 王静, 史春涛, 等. 甲醇发动机排放特性 [J]. 内燃机学报, 2007, 25(1): 73-76.
WANG Yang, WANG Jing, SHI Chuntao, et al. Study on emission characteristics of a methanol fuel gasoline engine [J]. Transactions of CSICE, 2007, 25(1): 73-76.
- [3] BILGIN A, SEZER I. Effects of methanol addition to gasoline on the performance and fuel cost of a spark ignition engine [J]. Energy Fuels, 2008, 22(4): 2782-2788.
- [4] ABU-ZAID M, BADRAN O, YAMIN J. Effect of methanol addition on the performance of spark ignition engines [J]. Energy Fuels, 2004, 18(2): 312-315.
- [5] 张仲荣, 范国梁, 宋崇林, 等. 火花点火式电控甲醇发动机非常规污染物的排放特性 [J]. 燃烧科学与技术, 2006, 12(1): 86-89.
ZHANG Zhongrong, FAN Guoliang, SONG Chonglin, et al. Unregulated emission from SI electronic control methanol engine [J]. Journal of Combustion and Science, 2006, 12(1): 86-89.
- [6] 龚彩荣, 宋崇林, 黄齐飞, 等. 2,4-二硝基苯肼衍生反应法测量醇类燃料发动机醛类排放物的研究 [J]. 燃烧科学与技术, 2007, 13(1): 15-19.
GONG Cairong, SONG Chonglin, HUANG Qifei, et al. Analytical method of aldehydes-style unregulated emissions from alcohol engine [J]. Journal of Combustion and Science, 2007, 13(1): 15-19.
- [7] 吕胜春, 李晖, CLEMENTE E R C, 等. 甲醇/汽油混合燃料发动机非常规排放成分测量方法研究 [J]. 内燃机学报, 2006, 24(1): 57-61.
LÜ Shengchun, LI Hui, CLEMENTE E R C, et al.

- Measurement of non-regulated pollutants from SI engine fuelled with methanol/gasoline blends [J]. Transactions of CSICE, 2006, 24(1):57-61.
- [8] 张辉, 李君, 王立军, 等. 甲醇汽油发动机甲醛排放的测量与分析[J]. 吉林大学学报, 2008, 38(1):32-36.
- ZHANG Hui, LI Jun, WANG Lijun, et al. Measurement of formaldehyde emission from an engine fueled by gasoline-methanol blends [J]. Journal of Jilin University, 2008, 38(1):32-36.
- [9] 魏衍举, 刘杰, 朱赞, 等. 甲醇汽油发动机甲醛排放快速检测方法研究 [J]. 内燃机学报, 2008, 26(6):533-537.
- WEI Yanju, LIU Jie, ZHU Zan, et al. Fast measurement of formaldehyde emission from methanol/gasoline fueled SI engine [J]. Transactions of CSICE, 2008, 26(6):533-537.
- [10] ZERVAS E, MONTAGNE X, LAHAYE J. Emission of alcohols and carbonyl compounds from a spark ignition engine; influence of fuel and air/fuel equivalence ratio [J]. Environ Sci Tech, 2002, 36 (6):2414-2421.
- [11] WEI Yanju, LIU Shenghua, LIU Fangjie, et al. Aldehydes and methanol emission mechanisms and characteristics from a methanol/gasoline-fueled spark-ignition (SI) engine [J]. Energy Fuels, 2009, 23 (12):6222-6230.
- [12] HELD T G, DRYER F L. A comprehensive mechanism for methanol oxidation [J]. Int J Chem Kinet, 1998, 30 (8):805-830.
- [13] CHAOS M, KAZAKOV A, ZHAO Z W, et al. A high-temperature chemical kinetic model for primary reference fuels [J]. Int J Chem Kinet, 2007, 39(11):399-414.
- [14] PETROVA M V, WILLIAMS F A. A small detailed chemical-kinetic mechanism for hydrocarbon combustion [J]. Combustion and Flame, 2006, 144(6):526-544.

(编辑 苗凌)