

# 乙醇汽油发动机非常规排放及其催化转化的研究

刘方杰, 魏衍举, 刘圣华, 朱赞, 李广乐  
(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

**摘要:** 利用气相色谱-氦离子化快速检测方法, 研究了一台多点电喷汽油机分别燃用乙醇汽油混合燃料(乙醇的体积分数分别为 0%、10%、20% 和 85%, 记为 E0、E10、E20 和 E85)时的非常规醇醛排放特性及其催化转化特性. 研究表明: 与汽油机相比, E10 和 E20 混合燃料发动机的甲醛、乙醛和乙醇排放随乙醇掺混比的增加而增加, 而 E85 混合燃料发动机的甲醛、乙醛排放增幅略小, 约为 E0 发动机的 1.6 倍和 2.4 倍, 乙醇排放却大幅增加, 约为 E10 混合燃料发动机的 35 倍; 随负荷的增加, 乙醛排放整体呈增加的趋势, E10 和 E20 混合燃料发动机的乙醇排放降低, 而 E85 混合燃料发动机的乙醇排放却增加; 普通的三效催化器对乙醛、乙醇排放的转化效率均在 75% 以上, 但对甲醛的转化效果不佳, 对 E20 和 E85 混合燃料发动机甲醛排放的转化效率低于 30%.

**关键词:** 乙醇汽油; 非常规排放; 气相色谱仪; 三效催化器

**中图分类号:** TK464 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)01-0013-04

## Unregulated Emissions and Their Three-Way Catalytic Conversion of a Spark Ignition Engine Fueled with Ethanol-Gasoline

LIU Fangjie, WEI Yanju, LIU Shenghua, ZHU Zan, LI Guangle  
(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Four typical ethanol-gasoline blends, E0, E10, E20 and E85, containing 0%, 10%, 20% and 85% of ethanol in volume respectively were prepared to investigate the effects of ethanol/gasoline blends (gasohol) on engine unregulated emissions. A multiple-point injection gasoline engine was applied in the experiment and the unregulated emissions were detected by a gas chromatography with a pulsed discharge helium ionization detector. The performance of a three-way catalytic converter (TWC) was examined. The experimental results show that the emissions of formaldehyde, acetaldehyde and ethanol increased with the increase of ethanol ratio in E10 and E20. The emission of formaldehyde and acetaldehyde from the engine with E85 increased slightly, about 1.6 and 2.4 times as large as that with E0, respectively, while the emission of ethanol was about 35 times as large as that with E10. The emission of acetaldehyde increased with the load, and the ethanol emission from the engine with E10 or E20 decreased but that with E85 increased slightly with the increase in the load. The conversion efficiency of aldehyde and ethanol emissions with TWC was above 75% while the conversion efficiency of formaldehyde emission from the engine with E20 or E85 was less than 30%.

**Keywords:** gasohol; unregulated emissions; gas chromatography; three-way catalytic converter

乙醇来源广泛, 属于可再生燃料, 辛烷值比汽油高, 且能与汽油较好的互溶, 是点燃式内燃机优异的

代用燃料. 乙醇与汽油掺混用作汽车燃料不仅可以减少石油用量, 而且能够提高燃料含氧量和辛烷值,

改善燃烧. 围绕汽油掺混乙醇对汽车动力性和经济性的影响以及由此带来的环境效应等问题, 国内外均有广泛研究<sup>[1-2]</sup>, 但大多针对乙醇体积分数低于10%的混合燃料, 且排放的研究重点是常规CO、HC和NO<sub>x</sub>排放. 本文利用气相色谱法, 开展了发动机燃用乙醇体积分数分别为0%、10%、20%和85%(E0、E10、E20和E85)的混合燃料时甲醛、乙醛及未燃乙醇的非常规排放特性研究, 以及三效催化器对其催化转化的研究.

## 1 试验装置和试验方法

试验用发动机为JL368Q<sub>3</sub>型三缸多点电喷汽油机, 缸径为68.5 mm, 行程为72 mm, 总排量为0.796 L, 压缩比为9.4, 额定功率为26.5 kW(5 500 r/min时), 最大扭矩为60.5 N·m(3 500 r/min). 电喷系统采用BOSCH公司的M1.5.4P闭环多点顺序喷射系统, 配合三效催化和处理, 排放可达到国Ⅱ标准. 发动机试验台为长沙湘仪公司生产的FC2000发动机自动测控系统. 排气中的甲醛、乙醛和未燃乙醇采用本实验室发展的气相色谱-氢离子化检测器(PDHID)<sup>[3]</sup>进行测量.

试验中用市售93#汽油与纯度(质量分数)为99.7%的工业乙醇配制乙醇体积分数分别为10%、20%、85%的混合燃料. 考虑到乙醇容易吸收空气中的水分导致燃料分层, 试验中所有混合燃料均为现场调配, 未加入任何助溶剂. 对于E10、E20混合燃料, 试验时发动机燃料供给系统参数未作任何调整.

由于E85混合燃料的单位体积热值只有汽油的72%, 试验中将原机的单孔喷油器换为四孔喷油器, 将供油量提高到原来的1.68倍(理论需要1.39倍)以恢复原机功率, 其他参数不作调整. 试验过程中待发动机运行稳定后, 用聚全氟乙丙烯采气袋采集排气, 然后在80℃恒温加热下检测各种工况下三效催化器前后排气中的非常规醇醛排放物<sup>[3]</sup>.

## 2 试验结果与分析

### 2.1 甲醛排放

图1为E0、E10、E20和E85混合燃料发动机的甲醛排放特性. 甲醛排放主要在未燃碳氢后氧化过程中生成<sup>[4]</sup>. 由于乙醇比碳氢更容易氧化<sup>[5]</sup>, 在相同的排气管温度和气体流速条件下, 它有更充分的时间氧化生成甲醛. 如图2所示, 汽油中低比例(体积分数)掺烧乙醇时碳氢排放比汽油高, 而碳氢中约1.5%(体积分数)转化成甲醛<sup>[6]</sup>, 因此低掺混比时, 甲醛排放随着乙醇掺混比增加而增加. E85混合燃料中主要为乙醇, 乙醇氧化生成的作用占据主导地位, 有利于甲醛的生成, 但E85混合燃料发动机的碳氢排放量明显低于汽油机, 如图2所示, 因此E85混合燃料发动机的甲醛排放增加幅度略小, 约为汽油机的1.6倍.

图3给出了普通的三效催化器(TWC)对甲醛排放的催化转化特性. 普通的TWC对E0、E10混合燃料发动机的甲醛排放改善明显, 转化效率在80%以上, 而对于E20、E85混合燃料发动机的转化

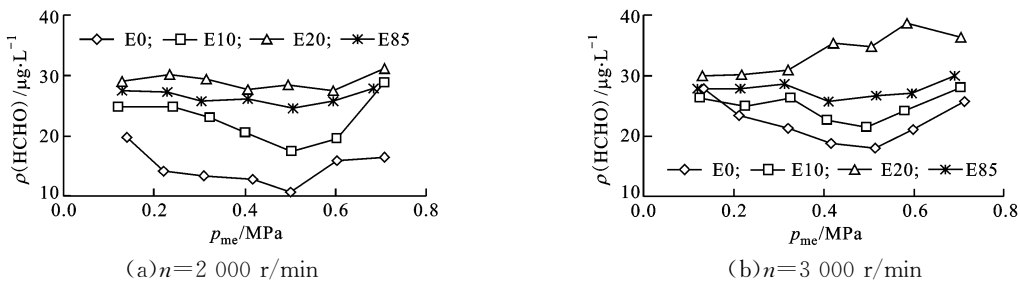


图1 甲醛排放随乙醇掺混比的变化规律

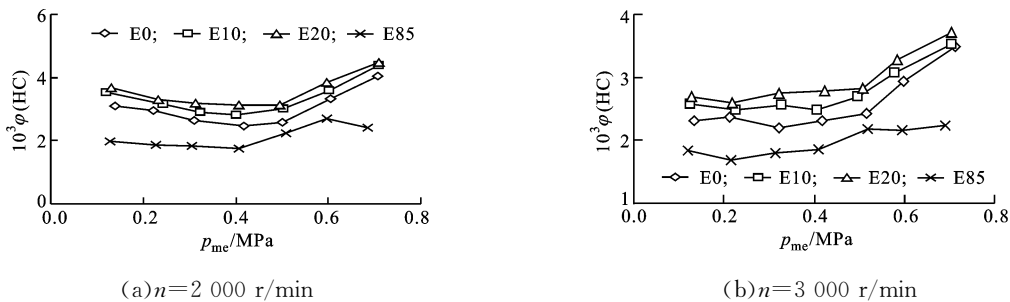


图2 碳氢排放随乙醇掺混比的变化规律

效果差,转化效率低于 30%,这可能是因为在催化器中存在生成和消耗两种效应。

2.2 乙醛排放

图 4 为乙醇汽油混合燃料发动机的乙醛排放特性。乙醇是二碳醇,它可以直接脱氢生成乙醛,因此比其他 C<sub>2</sub> 以上碳氢氧化生成乙醛简单<sup>[7]</sup>。Maria 等人<sup>[5]</sup>通过对常压石英流动反应器中乙炔/乙醇混合气的燃烧研究发现,乙醇的性质比乙炔活泼,它的氧化温度较低,在乙炔气体中掺入乙醇会明显使乙炔氧化的初始温度升高,一旦乙醇完全消耗,乙炔的浓度会迅速降低,亦即乙醇在完全氧化消耗以前对碳氢的氧化有抑制作用。乙炔为最活泼的烃类化合物之一,所以乙醇对其他碳氢化合物也有相似的抑制作用。随着负荷的增加,排气温度逐渐升高,在不同负荷工况下,乙醇氧化生成乙醛,乙醛氧化消耗,碳氢氧化生成乙醛,乙醛氧化消耗,这几项依次占据主要地位,所以随负荷的增加乙醛排放先增加后降低,再增加再降低,整体呈增加的趋势。

由于乙醇氧化生成乙醛比其他碳氢氧化生成乙

醛简单,发动机燃用 E10、E20 混合燃料时,更多的乙醇氧化生成乙醛,乙醛排放随掺混比增加。当发动机燃用 E85 高比例乙醇汽油混合燃料时,乙醛排放较低,约为汽油机的 2.4 倍,因为燃用 E85 混合燃料时未燃碳氢中大部分是未燃乙醇,可能是其低温氧化时其他支链反应占主导地位,并且由于乙醇含氧,乙醛快速氧化为其他物质的缘故。催化转化后,乙醛排放大幅下降,如图 5 所示,TWC 对乙醛转化效率在 75%以上。

2.3 乙醇排放

虽然 Zervas 等人<sup>[8]</sup>研究表明,汽油燃烧也可以产生乙醇,然而由于作为氧化中间产物的乙醇的量很少,发动机燃用汽油时未检测到乙醇排放。乙醇排放是混合燃料中未燃烧且躲过后氧化的那部分燃料乙醇,因此循环喷入乙醇量越高、排气温度越低,未燃乙醇氧化时间越短则未燃乙醇量越高,其被氧化的消耗速率越低,乙醇排放量越高。如图 6 所示,随着乙醇掺混比的增加,乙醇排放量急剧增加,E85 混合燃料发动机的乙醇排放量大约为 E10 混合燃料

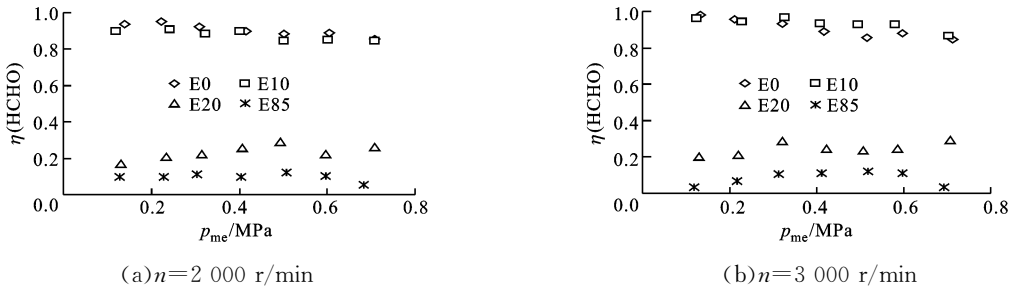


图 3 甲醛的催化转化效率

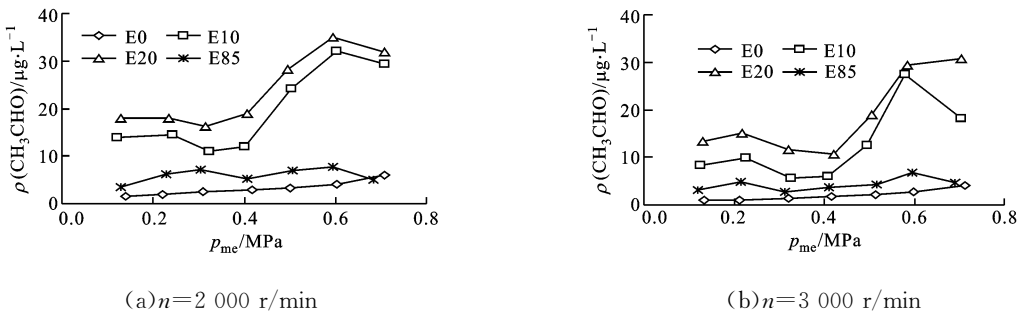


图 4 乙醛排放随乙醇掺混比的变化规律

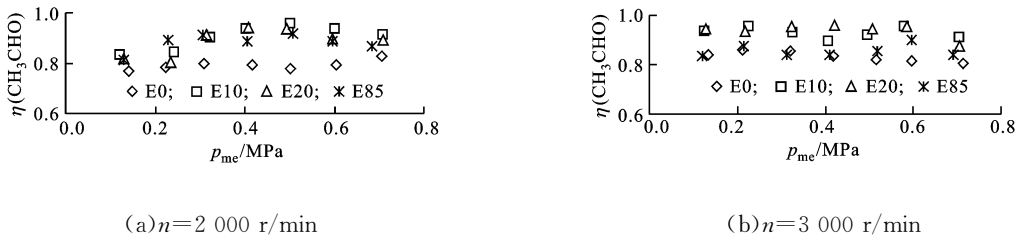


图 5 乙醛的催化转化效率

发动机的 35 倍。

随着负荷的增加,缸内温度逐渐升高,乙醇被氧化的速率加快,所以发动机燃用 E10、E20 混合燃料时乙醇排放随负荷的增加而降低。燃用 E85 混合燃料时,循环喷醇量随负荷增加,而由于乙醇汽化潜热高,缸内温度比 E10 和 E20 时低,乙醇排放的增加

速率比其消耗速率增加得快,而在平均有效压力为 0.7 MPa 附近,由于高负荷下排气温度较高,有利于乙醇的后氧化,乙醇排放量有所下降,所以随着负荷的增加,乙醇排放先增加再降低。催化转化后,乙醇排放大幅下降,如图 7 所示,TWC 对乙醇的催化转化效率高于 75%。

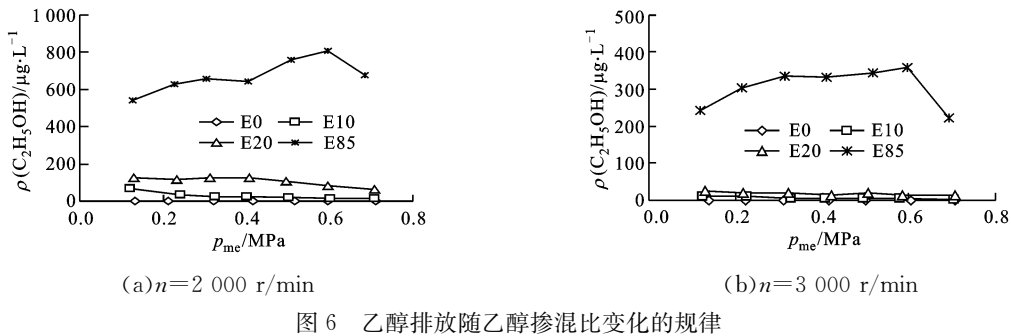


图 6 乙醇排放随乙醇掺混比变化的规律

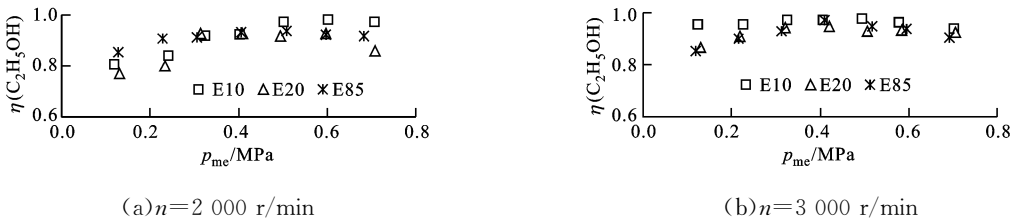


图 7 乙醇的催化转化效率

### 3 结 论

本文利用气相色谱仪对不同掺混比乙醇汽油混合燃料的非常规醇醛排放进行了试验研究,得到以下结论。

(1)与汽油机相比,E10 和 E20 混合燃料发动机的甲醛、乙醛排放均增大,且随乙醇掺混比的增加而增加;E85 混合燃料发动机的甲醛、乙醛排放略有增加,没有 E20 发动机增加得明显。随负荷的增加,乙醇汽油发动机的乙醛排放整体呈增加的趋势,而甲醛则变化不明显。

(2)汽油机排气中未检测出乙醇排放,它来自燃料中未燃烧的乙醇,乙醇掺混比越大,其排放量越高。随负荷的增加,E10、E20 混合燃料发动机的乙醇排放降低,而 E85 混合燃料发动机的乙醇排放则逐渐增加,仅在最大节气门开度处有所降低。

(3)普通的三效催化器对乙醛和乙醇的转化效率均大于 75%,对汽油机和 E10 混合燃料发动机甲醛排放的转化率也大于 80%,而对 E20、E85 混合燃料发动机甲醛排放的转化率却低于 30%。

#### 参考文献:

[1] 何邦全,闫小光,王建昕,等. 电喷汽油机燃用乙醇-汽

油燃料的排放性能研究[J]. 内燃机学报,2002,20(5):399-402.

HE Bangquan, YAN Xiaoguang, WANG Jianxin, et al. A study on the emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuel [J]. Transactions of CSICE, 2002,20(5):399-402.

[2] POULOPOULOS S G, SAMARAS D P, PHILOPOPOULOS C J. Regulated and unregulated emissions from an internal combustion engine operating on ethanol containing fuels [J]. Atmospheric Environment, 2001,35(26):4399-4406.

[3] 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.

[4] CHARLES E M, DANIEL B O. Formaldehyde formation in large bore natural gas engines, part 1: formation mechanisms[J]. ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, 2000, 122:603-610.

[5] MARIA A, CLAUDIA E, ANGELA M, et al. Oxidation of acetylene/ethanol mixtures and their interac-

tion with NO[J]. Energy and Fuels, 2008, 22(6): 3814-3823.

[6] DANIEL B O, CHARLES E M. Formaldehyde formation in large bore natural gas engines, part 2: factors affecting measured CH<sub>2</sub>O[J]. ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, 2000, 122: 611-616.

[7] ALZUETA M U, HERNNDEZ J M. Ethanol oxidation and its interaction with nitric oxide[J]. Energy and Fuels, 2002, 16(1):166-171.

[8] ZERVAS E, MONTAGNE X, LAHAYE J J. Emission of alcohols and carbonyl compounds from a spark ignition engine. influence of fuel and air/fuel equivalence ratio[J]. Environ Sci Technol, 2002, 36: 2414-2421.

(编辑 王焕雪)