

车用乙醇汽油和无铅汽油对电喷汽车排放性能的影响

王春杰¹, 王玮^{2*}, 汤大钢², 崔平²

(1. 北京化工大学环境工程系, 北京 100029; 2. 中国环境科学研究院大气所, 北京 100012)

摘要: 分别对电喷车长时间燃用乙醇汽油、无铅汽油前后的喷油器流量进行了测试, 并采用轻型汽车整车排放测试系统对燃用不同油时的主要污染排放物 HC、CO 和 NO_x 进行了分析。结果表明: 与无铅汽油相比, 乙醇汽油能有效降低发动机排放的 CO 和 HC(均约 10%) 及经过三元催化转化器作用后 HC、CO 和 NO_x 的排放, 燃用无铅汽油时整车在装有三元催化转化器下的排放达到或接近欧洲 1 号排放标准, 换用乙醇汽油后, CO 降低较明显, 达 30% 左右, HC 和 NO_x 分别降低约 18%、10%, 此时排放达到或接近欧洲 2 号排放标准; 乙醇汽油还具有优于无铅汽油的其它性能, 如对喷油器有轻微的清净作用, 发动机排放的 CO 和 HC 恶化趋势较慢, 延长三元催化转化器的使用寿命。

关键词: 乙醇汽油; 污染物排放; 喷油器; 三元催化转化器

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)04-0113-04

Effect of Ethanol Gasoline and Unleaded Gasoline on Exhaust Emissions of EFI Vehicles with TWC

WANG Chun-jie¹, WANG Wei^{2*}, TANG Da-gang², CUI Ping²

(1. Department of Environmental Engineering, Beijing University of Chemical Engineering, Beijing 100029, China; 2. Atmosphere Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The injectors' flow-rate of all test vehicles that each was fixed with a three-way catalytic converter (TWC) and Electronic Fuel Injection System (EFI) was tested including before and after vehicles operated on unleaded and ethanol gasoline respectively running for a long time on real road. The three main engine-out exhaust emissions (HC, CO and NO_x) from vehicles operating on different fuels were also analyzed by exhaust testing procedure for the whole light-duty vehicle. Test results showed that comparing with unleaded gasoline and ethanol gasoline has a remarkable effect on decreasing engine-out exhaust emissions of CO and HC (both at about ten percent) and the exhaust emissions of CO, HC and NO_x from vehicles with TWC respectively. When burning with unleaded gasoline the three main pollutants from vehicles with TWC have already or nearly reached Europe Exhaust First Standard, after changing to ethanol gasoline CO has drastically decreased at about thirty percent, while HC and NO_x decreased at about eighteen and ten percent respectively, at this time which they were all above Europe Exhaust Standard First or nearly reached Europe Exhaust Second Standard; ethanol gasoline has also other better performance such as a slight cleaning function on injectors, a slower deteriorative trend of engine-out CO and HC and a longer operating life-span of TWC.

Key words: ethanol gasoline; exhaust emissions; injector; three-way catalytic converter (TWC)

近年机动车尾气治理一直是我国大气污染治理的重点。从经济和能源角度考虑, 推广使用乙醇汽油被认为是最有效可行的机动车尾气污染治理方法之一^[1], 它在有效解决机动车尾气污染的同时, 还能缓解石油紧缺的矛盾, 转化陈化粮, 带动农业及相关产业的发展。从 20 世纪 70 年代开始, 国外就对乙醇汽油进行了大量研究: Bata^[2] 等人曾在发动机排量为 2.3 L 1978 出厂的 Ford 汽车上研究了乙醇汽油对汽车尾气排放的影响, 结果表明, 与未掺混燃料乙醇的汽油相比, 乙醇汽油能使汽车尾气中的 CO 排放降低 40%; Stump^[3] 等人曾在 3 辆 1985 年以前出厂的轻型客车上对乙醇汽油的燃用效果进行了试验, 结果显示, 尾气中 HC 和 CO 的排放均有较大幅度地下降; Shing Tet Leong^[4] 等人对装有不同类型

催化转化器的车辆上燃用乙醇汽油的研究结果表明, 尾气中 VOC 的排放量大大降低了。国外大量研究表明: 在市售汽油中添加 10%~15% 的乙醇, 可以减少 CO 的排放 14%~43%, HC 排放也可减少 7%~14% 左右, 但 NO_x 的排放增加或减少 5% 左右^[5~8]。

目前, 使用乙醇汽油的国家主要是美国和巴西, 欧共体自 20 世纪 90 年代初也开始生产使用此种燃料而且数量一直在增加。借鉴国外成功推广乙醇汽油的经验, 从 2001 年开始, 我国已采取相关政策来

收稿日期: 2003-09-11; 修订日期: 2003-11-20

基金项目: 国家技术创新计划项目 (02CB4-01-09)

作者简介: 王春杰 (1977~), 女, 辽宁省大连市人, 硕士研究生, 主要研究方向为车用乙醇应用技术研究。

* 联系人

推进乙醇汽油的推广工作.但迄今为止,国内对乙醇汽油的应用还处在实验技术研究和试点推广阶段.为此,笔者以我国最典型的轻型汽车——电喷车为对象,综合研究了乙醇汽油对其排放的影响情况,为我国进一步推广乙醇汽油提供了科学依据.

1 试验部分

1.1 试验材料

长春一汽大众公司生产的多点喷射式的捷达 Ci 型电喷车 2 辆,车型:Jetta FV7160CI,出厂日期:2001 年 9 月,排量:1.6L,基准质量:1130kg.2 辆车的车况正常,将其编号分别为 A 和 B,牌照号依次为豫 A. T5613、豫 A. T1585,已行驶里程分别为 163 060km 和 166 650km;从捷达车专用的三元催化转化器(three-way catalytic converter, TWC)生产厂家——大连华克公司购置了专用于捷达 Ci 车型的、未涂布任何催化剂的“白载体”;与试验车喷油器同型号的新喷油器 2 个;来自中石化郑州市分公司紫荆山加油站的 93 号车用无铅汽油(以下简称无铅油)和 93 号 E10 车用乙醇汽油(在不添加含氧化合物的液体烃类中加入一定量变性燃料乙醇后用作点燃式内燃机的燃料,加入量为 10.0%(V/V),称为 E10,以下简称乙醇油).

1.2 主要仪器

英国 ASNU 公司生产的型号为 ASNU-01 型喷油器流量测试仪.污染物排放测试在中国环境科学研究院汽车排放实验室进行,主要测试设备是日本堀场(HORIBA)制作生产的轻型汽车排气污染物测试系统,主要包括:直流电力底盘测功机(CTDY-1211),定容取样系统(CVS-9100),排气分析系统(MEXA-9400),其中 HC 分析仪是氢火焰离子化型(FID),CO 分析仪是不分光红外线吸收型(NDIR),NO_x 分析仪是化学发光型(CLA)和数据处理系统(PC-VETS).

1.3 试验流程及方法

(1) 试验流程 ①对 A 和 B 的喷油器进行流量测定;②原车在装有白载体下的整车排放分析,其中 A 和 B 均要燃用无铅油和乙醇油;③原车在装有 TWC 下, A 燃用无铅油, B 燃用乙醇油进行约 1.2 万 km 的道路行车试验;④道路行车试验结束后, A 和 B 均要在装有白载体、TWC 的条件下进行燃用无铅油和乙醇油的整车排放分析;⑤对 A 和 B 的喷油器再次进行流量测定.

(2) 试验方法 对 A、B 车的喷油器进行流量测

试时,首先设定喷油压力为 2.60×10^5 Pa,然后使用专用的喷油器流量测试液进行喷射,喷射时间为 1 min.电喷车燃用不同油时污染物排放的测试方法严格按照我国现行国家标准 GB18352.1-2001《轻型汽车污染物排放限值及测量方法》中规定的“轻型汽车冷启动后排气污染物排放试验”进行的.试验中电喷车进行的运转循环由 1 部(市区运转循环)和 2 部(市郊运转循环)即 ECE + EUDC 组成的.

2 试验结果与分析

2.1 乙醇油和无铅油对喷油器堵塞作用的对比

喷油器是电喷车电控汽油喷射系统(Electronic Fuel Injection System, EFI)中的一个重要部件,常用的 EFI 为多点喷射式.试验车为四缸发动机电喷车,每一个气缸有一个喷油器.它工作的好坏直接影响着整车的排放性能,如果四缸发动机中有一个喷油器工作不正常,汽车将不能正常运行.

汽油的品质会间接影响喷油器的正常工作,汽油中的轻组分蒸发后在喷嘴尖端留下重组分液体膜,残余烃氧化聚合形成“漆膜”(高烯烃及过氧化物含量更易氧化)，“漆膜”捕捉空气中及燃烧后的颗粒物在喷嘴处形成沉积物,导致喷油器堵塞,从而影响汽车的动力性和行驶性能,最终导致污染物排放增加.

为探讨长期燃用乙醇汽油后对电喷车喷油器堵塞作用的影响,在 A、B 车上分别燃用无铅油和乙醇油进行约 1.2 万 km 的道路行车试验.道路行车试验前后分别对喷油器流量进行测试,其结果见表 1.由表 1 可以看出,道路行车试验前,与新喷油器相比知 A、B 车的喷油器工作状况良好.道路行车试验后,燃用无铅油的 A 车其喷油器流量基本上没有变化(增加值在仪器测量误差范围内);燃用乙醇油的 B 车其喷油器流量平均增加了 $2.00 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,这表明与无铅油相比,乙醇油对喷油器的堵塞作用不明显,有轻微的清净作用.

表 1 喷油器流量测试结果¹⁾/ $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$

Table 1 Flow-rate test results of injectors/ $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$

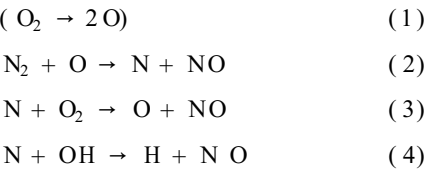
	里程表读数/km	喷油器编号			
		1	2	3	4
A	163 060	93.2	92.1	92.7	93.0
	174 730	93.6	93.1	93.5	94.0
A 行驶	11 670km 后流量变化	0.4	1.0	0.8	1.0
B	166 650	94.0	93.6	94.2	94.0
	180 030	95.9	95.6	96.6	95.8
B 行驶	13 380km 后流量变化	1.9	2.0	2.4	1.8

1) 与试验车同型号的新喷油器的流量为 $94.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$

2.2 在装有白载体下燃用乙醇油和无铅油后的整车排放(发动机排放)对比

发动机排放主要是考察电喷车燃油后的污染物净排放水平,因此它可以直接反映出不同油燃烧后排放污染物的能力.在本次试验中为考察车辆燃用不同油时的发动机排放,将原电喷车的 TWC 换成白载体来模拟发动机排放.表 2 给出了燃用乙醇油和无铅油的发动机排放测试结果.分析 3 种主要污染物(HC、CO 和 NO_x)的排放特点如下:与无铅汽油相比,A 车燃用乙醇油后,HC、CO 分别降低了 11.95%、9.52%,NO_x 略有降低;B 车燃用乙醇油后,HC、CO 分别降低了 6.17%、6.93%,而 NO_x 上升了 11.30%.可见电喷车燃用乙醇油后 HC 和 CO 的发动机排放水平均有较为明显的下降.

分析主要原因如下:发动机中 CO 和 HC 的产生主要来自燃料的不完全燃烧,因而二者的产生量与过量空气系数 a 有密切关系,一般来说,在发动机允许的正常工作条件范围内, $a > 1$ 时有利于降低 HC 和 CO 的排放.由于乙醇是含氧化合物,分子量中含 35% 的氧,如果以 10% 掺合比调到汽油中其氧含量将达到 3.5% (质量分数),远优于国家现行车用汽油对氧含量的规定.本试验过程中车辆的燃料计量系统保持操作条件不变,这相当于使混合气处于略稀的贫燃状态($a > 1$),从而有利于减少尾气中 HC 和 CO 的排放.目前对汽车发动机中的 NO_x (主要指 NO) 的生成机理较为一致的看法是高温 NO 的生成.根据扩大的捷氏反应机理^[9] 见式(1)~(4),在高温下 O₂ 分子裂解成 O 原子,通过(2)式和(3)式生成 NO.其中(2)式和(3)式都是强烈的吸热反应,只有在大于 1600℃ 的高温下才能进行,因此,影响 NO_x 生成的主要因素可认为是温度和燃料燃烧过程中氧气的浓度.在具体试验操作过程中由于发动机中燃料燃烧温度并不是控制在某一个固定的范围内,而是处在不停的波动状态,同时由于乙醇汽油本身的氧含量要高于无铅汽油,二者的综合作用效果使得与燃用无铅油相比,燃用乙醇油后 NO_x 排放的变化并不呈现单纯升高或降低的趋势.



2.3 在装有 TWC 下燃用乙醇油和无铅油后的整车排放对比

表 2 乙醇油和无铅油的发动机排放/ $g \cdot km^{-1}$

Table 2 Engine-out exhaust emissions of ethanol and unleaded gasoline/ $g \cdot km^{-1}$					
车辆	行驶里程/km	燃油种类	污染物		
			HC	CO	NO _x
A	174 779	无铅油	1.59	7.46	3.03
	174 783	乙醇油	1.40	6.75	3.02
B	180 061	无铅油	0.81	7.21	2.39
	180 116	乙醇油	0.76	6.71	2.66

电喷车在装有 TWC 下,燃用不同油时的污染物排放测试结果见表 3.与发动机排放相比,电喷车在装有 TWC 的排放反映了经三元催化转化器作用后的车辆排放污染物的能力.分析表 3 可知,与无铅

表 3 装有 TWC 下乙醇油和无铅油的整车排放及 TWC 对不同污染物的转化效率

Table 3 Exhaust emissions of ethanol and unleaded gasoline from vehicles with TWC and conversion efficiency of TWC to different pollutants

车辆	行驶里程/km	燃油种类	污染物/ $g \cdot km^{-1}$			三元催化转化器的转化效率/%		
			HC	CO	NO _x	HC	CO	NO _x
A	174 739	无铅油	0.23	3.15	0.32	85.53	57.77	89.44
	174 812	乙醇油	0.20	1.29	0.31	85.71	80.88	89.74
B	180 041	无铅油	0.17	2.68	0.50	79.01	62.83	79.08
	180 126	乙醇油	0.13	2.08	0.41	82.89	69.00	84.59

油相比,燃用乙醇油后 3 种主要污染排放物均有不同程度的降低.A 车燃用无铅油后,HC 和 NO_x 的排放达到了欧洲 1 号排放标准,CO 的排放尚未达到欧洲 1 号排放标准,换用乙醇油后,HC、CO 和 NO_x 分别降低了 13.04%、59.05%、3.12%,此时 CO 的排放达到了欧洲 2 号排放标准,HC 和 NO_x 的排放接近欧洲 2 号排放标准;B 车燃用无铅油后,HC、CO 和 NO_x 的排放均达到了欧洲 1 号排放标准,换用乙醇油后,HC、CO 和 NO_x 分别降低了 23.53%、22.39%、18.00%,此时 CO 的排放达到了欧洲 2 号排放标准,HC 和 NO_x 的排放接近欧洲 2 号排放标准.可见燃用乙醇油后,在装有 TWC 下 HC、CO 和 NO_x 的整车排放水平均有较为明显的下降.另一方面,由上面的讨论知,与无铅汽油相比,乙醇汽油能有效降低污染物的净排放水平,但从降低的幅度来讲,其降低水平远小于在装有 TWC 下 HC、CO 和 NO_x 的整车排放的情况,这主要是由于 TWC 对污染物具有较好的去除效果,根据 TWC 对污染物的平均转化效率的计算公式^[9]:

$$\eta = \frac{C(i)_1 - C(i)_2}{C(i)_1} \times 100\%$$

式中, η 为催化转化器对 i 种污染排放物的转化效

率, %; $C(i)_1$ 为 i 种污染排放物在催化转化器入口处的排放量, g/km ; $C(i)_2$ 为 i 种污染排放物在催化转化器出口处的的排放量, g/km .

表 2 和表 3 中污染物的排放值分别代表了 $C(i)_1$ 和 $C(i)_2$, 由此计算出的 η 见表 3. 分析表 3 中的数据可知, TWC 对电喷车燃用乙醇油后所排放的 HC、CO 和 NO_x 的转化效率略高于无铅油或基本相同, 但由于燃用乙醇油后 TWC 入口处污染物的浓度要小于无铅油, 因此, 就 2 种油对 TWC 的老化速率来说, 乙醇油的要慢一些, 使得 TWC 的使用寿命相对长一些.

2.4 长时间燃用乙醇油和无铅油后发动机排放劣化速度对比

随着行驶里程的增加, 电喷车的发动机及内部其它部件均要受到不同程度的磨损因而会使污染物的排放水平有一定程度的上升. 燃油品质的好坏将影响着发动机和其它部件的老化速度. 为此, 试验中测试了长时间(行驶里程约为 1.2 万 km) 燃用乙醇油和无铅油后发动机排放的劣化情况, 试验结果见表 4. 分析表 4 可知, 电喷车燃用无铅油行驶 11 670 km 后, HC、CO 和 NO_x 的发动机排放均有不同程度的劣化, 劣化率依次为 54.37%、15.30% 和 13.91%, 每万 km 的发动机排放量分别增加了 0.48 g 、0.85 g 和 0.32 g ; 电喷车燃用乙醇油行驶 13 380 km 后, HC、CO 和 NO_x 的劣化率依次为 13.43%、0.75% 和 34.34%, 每万 km 的发动机排放量分别增加了 0.067 g 、0.037 g 和 0.508 g , 尽管燃用乙醇油的电喷车在道路行车试验中比燃用无铅油的电喷车多运行了约 1700 km , 但 3 种主要污染物的发动机排放中除 NO_x 外, 其劣化速度均要小于燃用无铅油的劣化速度.

表 4 道路行车试验前后乙醇油和无铅油的发动机排放/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$
Table 4 Engine-out exhaust emissions of ethanol and unleaded gasoline before and after running test/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$

车辆	燃油种类	行驶里程/ km	污染物		
			HC	CO	NO_x
A	无铅油	163 060	1.03	6.47	2.66
		174 730	1.59	7.46	3.03
B	乙醇油	166 650	0.67	6.66	1.98
		180 030	0.76	6.71	2.66

3 结论

乙醇汽油具有优于无铅汽油如下性质:

- (1) 对电喷车的喷油器有轻微的清净作用.
- (2) 电喷车燃用乙醇汽油后, 发动机排放的 CO 和 HC 约有 10% 的下降, NO_x 略有降低或约有 10% 的上升.
- (3) 电喷车在有三元催化转化器下燃用无铅汽油时 3 种污染物的排放达到或接近欧洲 1 号排放标准, 换用乙醇汽油后, 3 种主要污染物 CO、HC 和 NO_x 的排放均有不同程度的降低, 其中 CO 降低最为明显, 达 30% 左右, HC 和 NO_x 分别下降约为 18% 和 10%; 此时车辆的排放接近欧洲 2 号排放标准.
- (4) 长时间燃用乙醇汽油发动机排放的 CO、HC 具有较小的劣化速度.
- (5) 电喷车燃用乙醇汽油后, 在一定程度上延长了三元催化转化器的使用寿命.

参考文献:

[1] Michael Kaylen, Donald L, Van Dyne, Youn - Sang Choi, Melvin Blase. Economic feasibility of producing ethanol from lignocellulosic feedstocks[J]. Bioresource Technology, 2000, 72: 19 ~ 32 .

[2] Bata R M, Roan V P. Effects of ethanol and/ or methanol in alcohol-gasoline blends on exhaust emissions[J]. Engineering for Gas Turbines and Power, 1989, 111: 432 ~ 438 .

[3] Stump F, Knapp K, Ray W, Siudak P, Snow R. Influence of ethanol blended fuels on the emissions from three pre-1985 light duty passenger vehicles[J]. Air and Waste Management Association, 1996, 46: 1149 ~ 1161 .

[4] Shing Tet Leonga, S Muttamara, Preecha Laortanakul. Applicability of gasoline containing ethanol as Thailand's alternative fuel to curb toxic VOC pollutants from automobile emission[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 3495 ~ 3503 .

[5] He Bang-quan, Wang Jian-xin, Hao Ji-ming, et al. A Study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37: 949 ~ 957 .

[6] Al-Hasan M. Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission[J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44: 1547 ~ 1561 .

[7] Winnington T L, Siddiqui K M. Engine performance on gasohol-the Kenyan experience[J]. Automotive Engineering, 1983, 8(3): 12 ~ 3 .

[8] Pouloupoulos S G, Samaras D P, Philippopoulos C J. Regulated and unregulated emissions from an internal combustion engine operating on ethanol-containing fuels[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 4399 ~ 4406 .

[9] 王建昕, 傅立新, 黎维彬. 汽车排气治理及催化转化器[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 261 .