

车用 M15 甲醇汽油燃料的动力性和排放特性试验研究

商红岩^{1,2}, 陈照军^{1,2}, 杨朝合^{1,2}, 刘晨光^{1,2}, 安高军³, 洪正鹏⁴, 韩 瑜⁴

(1. 中国石油大学重质油国家重点实验室, 山东青岛 266580; 2. 中国石油大学 CNPC 催化重点实验室, 山东青岛 266580;
3. 解放军总后勤部油料研究所, 北京 102300; 4. 北京东方红升新能源应用技术研究院, 北京 100723)

摘要:通过总功率、稳定工况全负荷特性、道路和尾气排放试验研究汽车燃用低比例 M15 甲醇汽油的动力性、燃油经济性和外排放特性。结果表明:M15 甲醇汽油的动力性、加速性能、总有效功率以及最低燃油消耗率(发动机转速 2000~3200 r/min)与普通国标 93[#]汽油相当;汽车燃用 M15 甲醇汽油的油耗略高于普通 93[#]汽油,与国标汽油的替代比约为 1.02;燃用 M15 甲醇汽油汽车尾气中未燃尽氢碳化合物的排放量比燃用普通汽油下降了 12%~61%, CO 的排放量下降了 18%~75%, 起亚、金杯车氮氧化合物的排放量增加了 1.0%~12%, 而帕萨特车氮氧化合物的排放量减少 34.1%;汽车尾气中非常规排放物甲醛略低于燃用普通 93[#]汽油,这与车型、车况、M15 甲醇汽油添加剂技术不同有关。

关键词:甲醇汽油;尾气排放;动力性;甲醇;道路试验;甲醛;替代能源

中图分类号:TE 626

文献标志码:A

Experimental investigation of power performance and emission characteristics using M15 methanol-gasoline as vehicle fuel

SHANG Hong-yan^{1,2}, CHEN Zhao-jun^{1,2}, YANG Chao-he^{1,2},
LIU Chen-guang^{1,2}, AN Gao-jun³, HONG Zheng-peng⁴, HAN Yu⁴

(1. State Key Laboratory of Heavy Oil Processing in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. Key Laboratory of Catalysis, CNPC, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
3. Beijing POL Research Institute, Beijing 102300, China;
4. DFHS Institute of New Energy Applied Technology, Beijing 100723, China)

Abstract: The engine dynamic properties, fuel economy and exhaust emission characteristics of vehicles using low proportion M15 methanol-gasoline and 93[#] gasoline were studied by means of total power, load test under stable condition, and road test. Bench test shows that the engine dynamic ability, acceleration performance, total power and minimum fuel consumption rate between M15 methanol-gasoline and GB 93[#] gasoline were quite equal and well-matched. Road test indicates that the oil consumption, when using M15 methanol-gasoline as fuel, is slightly higher than that of GB 93[#] gasoline, which is 1.02 : 1.0 in average. When using M15 methanol-gasoline instead of GB 93[#] gasoline, exhaust emission test proves that the amount of HC, CO in tail gas is greatly reduced by 12%~61% and 18%~75%, respectively. The exhaust NO_x emission for Kia and Jin Bei vehicles is increased by 1.0%~12%, while it is reduced by 34.1% for Passat vehicle. It is noticed that the formaldehyde in exhaust emission is a little lower than GB 93[#] gasoline, which may be attributed to vehicle condition and different additive technology adopted in M15 methanol-gasoline blending.

Key words: methanol-gasoline; exhaust emissions; power; methanol; road test; formaldehyde; alternative energy

汽油、柴油等燃油燃烧所排放出的碳固体微粒黑烟、碳氢化合物、CO、NO_x、SO_x 等已成为大中城市

的主要污染物来源^[1]。中国煤制甲醇、天然气制甲醇、焦炉气制甲醇等技术成熟^[2],但消费量的增长

速度远未跟上甲醇产能和进口量的增长速度,中国甲醇产能一直处于过剩状态,甲醇作为汽车替代燃料,技术路线包括化学转换甲醇制汽油^[3](MTG)和物理调和甲醇汽油混合燃料。将甲醇按一定比例添加到汽油中并辅助于助溶剂和功能性添加剂调和成为甲醇汽油^[4],低比例 M15 甲醇汽油燃料中,以国标汽油组分为主,甲醇在汽油中的体积分数只有 15%,汽车使用低比例掺烧甲醇汽油时不需要对发动机做改动,可单独使用,也可与成品汽油、乙醇汽油混合使用或互换使用。由于甲醇汽油燃料本身含氧、辛烷值高,在汽车发动机中燃烧更加完全。笔者通过总功率试验、稳定工况负荷性试验、道路试验和尾气排放检测试验,系统研究低比例的 M15 甲醇汽油的动力性、燃油经济性和外排放特性。

1 试验

1.1 试剂

试验试剂有:国标 93#汽油(市售);甲醇(AR,西陇化工股份有限公司);失水山梨糖醇单脂肪酸酯(AR,国药集团化学试剂有限公司);丙二醇二丁醚(AR,国药集团化学试剂有限公司);碳酸二甲酯(AR,国药集团化学试剂有限公司);清净分散剂(自制);铜片腐蚀抑制剂(自制);橡胶溶胀抑制剂(自制);动力促进剂(自制)。

1.2 M15 甲醇汽油的制备

在国标 93#汽油中加入 15% 的优等级工业甲醇、0.5% 的相稳定剂失水山梨糖醇单脂肪酸酯、2% 的助溶剂丙二醇二丁醚和碳酸二甲酯、0.5% 功能性添加剂(清净分散剂+铜片腐蚀抑制剂+橡胶溶胀抑制剂+动力促进剂),在调和罐中混合均匀得到 M15 甲醇汽油。

1.3 汽车的动力和排放特性试验

汽车的常规排放和甲醛非常规排放试验是在北京理工大学动力性与排放性测试国家专业试验室进行的。试验车辆是捷达舒适型 FV7160CIF E3。

采用 GB 18285-2000 在用汽车排气污染物限值及测试方法和 GB18352.3-2005 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)。

测试仪器包括:底盘测功机 PECD9400;排放分析仪 MEXA7200H;定容采样系统 CVS7400T;高效液相色谱仪 HPLC1200;采样泵 AirChek2000;皂膜流量计 Ultra Flow Calibrator709 和 DNPH Silica 吸附管 WAT037500。

采用 DNPH 管吸附排气中的甲醛,用固相萃取

装置进行洗脱,洗脱液用高效液相色谱进行定性和定量分析甲醛等非常规排放物。

汽车的总功率、稳定工况全负荷特性和加速性能试验分别采用 GB1105.2-87 内燃机台架性能试验方法试验方法、GB/T12534-1990 汽车道路试验方法通则和 GB/T12543-2009 汽车加速性能试验方法。

试验车型有:金杯 SY6480AC-ME、起亚 YQZ6490 和帕萨特 SVW7183LJ1。

2 试验结果分析

2.1 动力性和燃油经济性

工业甲醇和国标汽油在物性、燃烧特性、蒸发特性、辛烷值、热值、空燃比自然温度、饱和蒸汽压等方面有许多相似之处,也存在物性差异。汽油是由 C₆~C₁₂ 烃类组成的混合物,具有较高的辛烷值和优良的抗爆性,用于高压压缩比的点燃式汽油发动机上,具有良好的蒸发性和燃烧性,能保证发动机运转平稳。

甲醇是由 C、H、O 组成的有机化合物,含氧量 50%。甲醇的低热值 19.9 kJ/kg,约为汽油的 45%;纯甲醇的理论空燃比 6.45,而汽油空燃比 14.2~15.1,完全燃烧时所需的空气比汽油少得多,可使汽油燃烧更加充分,提高汽油的热效率,从而弥补甲醇热值低所造成的部分损失;甲醇的蒸发潜热 1.088 kJ/kg,而汽油蒸发潜热只有 0.31~0.34 kJ/kg^[5];甲醇的 RON 辛烷值约 115,汽油的辛烷值约为 90~97,所以甲醇和汽油按一定比例调和成为甲醇汽油作为点燃式发动机的液体燃料,需要甲醇在汽油中有一个合适量的范围。

1 kg 燃料完全燃烧理论上所需要的空气量可按下式^[6]计算:

$$L_o = \frac{28.95}{0.21} \times \left[\frac{g_C}{12} + \frac{g_H}{4} - \frac{g_O}{32} \right]$$

式中, g_C 、 g_H 、 g_O 分别为燃料中碳、氢、氧的质量分数。

甲醇汽油的低热值按下式计算:

$$H_u = H_{u\text{汽油}} \times M_{\text{汽油}} + H_{u\text{甲醇}} \times M_{\text{甲醇}}$$

式中, $M_{\text{甲醇}}$ 、 $M_{\text{汽油}}$ 分别为甲醇汽油燃料中汽油和甲醇的质量分数。

$$\text{理论混合气热值按下式估算: } H_m = \frac{H_u}{aL_o + \frac{1}{m_T}}$$

式中, a 为过量空气系数; m_T 为燃料的相对分子质量。

通过上式可以估算出不同掺烧比例甲醇汽油燃

料的理论空气量、燃烧低热值及化学计量混合气低热值,甲醇理论空气量 L_o 为每千克燃料所需空气质量,结果见图 1。从图 1 看出,M5~M20 甲醇汽油与普通汽油的特性相近,综合考虑能源替代、燃油经济性、安全性、可靠性,选用 M15 甲醇汽油做动力性、燃油经济性、排放特性研究。

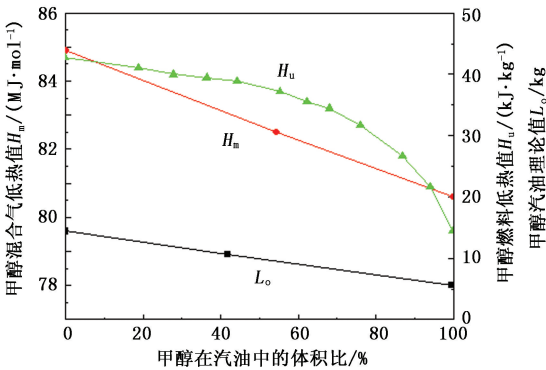


图 1 甲醇汽油燃料的性质参数随掺烧比例的变化曲线

Fig. 1 Variation curves for parameters of methanol gasoline fuel with mixing proportion

汽车燃用 M15 甲醇汽油和 93#号国标汽油的总

功率试验、稳定工况全负荷特性试验和加速性能试验结果见表 1、2。

由表 1 看出,M15 甲醇汽油的最大有效功率与 93#普通汽油相当,总功率仅仅降低了 0.98%。稳定工况全负荷特性试验结果表明,在发动机转速 2 000~3 200 r/min 范围内,M15 甲醇汽油的最低燃油消耗率与普通国标 93#汽油相当。在发动机转速 2 000~2 400 r/min 范围内燃用甲醇汽油比燃用 93#汽油节油 0.344%~0.575%;在发动机转速 2 600~3 200 r/min 范围内燃用 93#汽油比燃用甲醇汽油多耗油 0.094%~0.112%。由表 2 看出,帕萨特、金杯汽车燃用 M15 甲醇汽油时的加速性能与燃用普通 93#汽油相当,在误差范围之内。可见,汽车燃用 M15 甲醇汽油具有良好的动力性和燃油经济性,M15 甲醇汽油与国标汽油的替代比在(1.0~1.01):1.0。

汽车燃用 M15 甲醇汽油和 93#国标汽油的道路试验结果见表 3。由表 3 看出,M15 甲醇汽油的油耗略高于普通 93#汽油,M15 甲醇汽油与国标汽油的替代比约为 1.02:1.0。

表 1 帕萨特稳定工况全负荷特性试验结果

Table 1 Full load characteristic test results in stable working condition for Passat

汽油类型	最大有效功率/kW	最低燃油消耗率/(g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)				
		2 000 r/min	2 400 r/min	2 600 r/min	2 800 r/min	3 200 r/min
93#汽油	142.1	290.5	312.8	319.5	284.1	268.1
M15 车用甲醇汽油	140.7	289.5	311.0	319.8	284.4	268.4

表 2 加速性能试验结果

Table 2 Acceleration performance test results

车型和汽油类型		直接档加速 (40~90 km/h) 耗时/s	连续换档加速至 90 km/h 耗时/s
帕萨特	93#汽油	10.12	24.13
	M15 车用甲醇汽油	10.13	24.15
金杯	93#汽油	12.35	24.24
	M15 车用甲醇汽油	12.36	24.26

这说明两方面的问题:①在国标 93#汽油中混入 15% 的甲醇,由于甲醇的热值是汽油组分的 45%,所以损失了 6.75% 的热值;②甲醇氧含量 50%,甲醇汽油混合燃料的自供氧能力提高了热效率,使燃料燃烧更充分,并且甲醇的辛烷值高达 110,M15 甲醇汽油与普通 93#汽油相比提高了辛烷值,从而提高了燃烧效率。燃烧效率的提高可以弥补 98% 热值的损失,换句话说讲,M15 甲醇汽油的热效率比普通汽油提高了 6.615% 的热效率。所以,M15 甲醇汽油的动力性、加速性能、总功率与普

通汽油相当。

表 3 道路试验结果

Table 3 Road test results

汽油类型	性能试验/ (L·(100 km) ⁻¹)	道路试验/ (L·(100 km) ⁻¹)	
		帕萨特	金杯
93#汽油	8.60	7.30	9.60
M15 车用甲醇汽油	8.78	7.50	9.80

注:性能试验为金杯汽车 40、50、60 km/h 等速油耗;道路试验为 60 km/h 等速油耗。

2.2 排放特性

2.2.1 常规排放特性对比

汽车燃用 M15 甲醇汽油和国标 93#汽油尾气中未燃尽碳氢化合物含量及其对比见表 4。可以看出,与国标 93#汽油相比,燃用 M15 甲醇汽油汽车尾气中未燃尽碳氢化合物的排放量降低了 12%~61%,这是因为甲醇含氧量高,使得燃料在整个燃烧过程中燃烧充分,减少了碳氢化合物的生成量。

汽车燃用 M15 甲醇汽油和国标 93#汽油尾气中

碳氧化合物含量及其对比见表 4。碳氧化合物的排放量降低了 18% ~ 75%。当供氧不足、有部分燃料不能完全燃烧的情况下会有大量碳氧化合物释放。由于甲醇汽油的自含氧效应,使得发动机在补偿了甲醇汽油汽化潜热的前提下会形成均匀的混合气,从而生成较少的碳氧化合物。

汽车燃用 M15 甲醇汽油和国标 93#汽油尾气中 NO_x 化合物含量及其对比见表 4。NO_x 的排放量总体来看增加 1.0% ~ 12%。这是因为影响 NO_x 生成主要有两个方面的因素:①氧含量。氧含量低会抑

制 NO_x 的生成,相反氧含量高则促进 NO_x 的生成,甲醇因其高富氧而促进 NO_x 的生成;②滞留时间。因为 NO 化合物的生成速度低于燃烧反应,所以如果停留时间长,则利于 NO_x 的生成。甲醇虽然在燃烧初期能够促进反应,但是由于其热值低,燃烧逐渐趋于缓慢,所以造成停留时间延长,从而促进 NO_x 的生成。但是车型不同、发动机不同,结果也差别很大。比如帕萨特燃用 M15 甲醇汽油时尾气中 NO_x 的排放量比用 93#国标汽油时尾气中 NO_x 的排放量减少约 34.1%。

表 4 汽车尾气排放物含量对比
Table 4 Comparison of vehicle emissions

试验 车型	碳氢化合物含量/10 ⁻⁶			碳氧化合物含量/%			NO _x 含量/10 ⁻⁶		
	限值	M15 甲醇汽油	93#汽油	限值	M15 甲醇汽油	93#汽油	限值	M15 甲醇汽油	93#汽油
金杯	130	96.5	110	0.8	0.860	1.055	1000	2497.0	2218.5
起亚	110	10.0	24	0.6	0.130	0.165	750	1347.0	1332.5
帕萨特	160	2.3	6	0.9	0.045	0.180	1200	184.5	280.0

2.2.2 非常规排放物

甲醇燃料汽车的常规排放优于汽油车,没有致癌物苯的排放,但是发动机尾气中的未燃甲醇和甲醛浓度较高,并且随着燃料中甲醇比例的增加而增加。从环保考虑,甲醇燃料汽车尾气中未燃甲醇和甲醛等非常规排放对环境及人类健康的潜在危害不容忽视^[7-8]。为此,在北京理工大学动力性与排放性测试国家专业试验室进行了汽车尾气非常规排放试验,试验车辆是捷达舒适型 FV7160CIF E3,车况良好,行驶里程 18 000 km。尾气中非常规排放物的对比结果见表 5。可以看出,汽车燃用 93#汽油非常规排放物中也有甲醛,但是没有乙醛、丙醛、丙烯醛和丙酮;汽车燃用 M15 甲醇汽油尾气非常规排放物中既有甲醛,也有乙醛、丙醛、丙烯醛和丙酮。燃用 M15 甲醇汽油的尾气中甲醛排放量略低于燃用普通 93#汽油,并且非常规排放物总量也略低于燃用普通 93#汽油,这与其他研究机构的结论不一致^[9],可能是由试验车型、车况、M15 甲醇汽油添加剂技术不同造成的。

和甲醇相比,汽油由几百种不同的烃类物质组成,其中有一些如苯是强致癌物,尾气排放中的丁二烯、甲醛、乙醛、苯、HC、NO_x 都是有毒物质。尾气中含有烷烃、烯烃、芳烃及含氧有机化合物,用气相色谱法可以识别的有 200 多种。其中,苯、1,3-丁二烯、甲醛、乙醛和环状有机化合物为毒性有机化合物。应该指出,这些毒性有机化合物不仅来源于烯烃,汽油中的其他组分亦有贡献,甚至烷烃氧化后也

会生成毒性有机化合物。甲醇在水中降解比柴油和汽油更快,甲醇泄露到地上土壤中时,微生物会使醇的浓度迅速降低,比汽油和柴油造成的污染小、时间短。

甲醇燃料对环境更为有益,低比例甲醇汽油是清洁的替代能源。能够代替石油的产品必须产量大、成规模,原料来源充分且获取方便。甲醇汽油是一种廉价而清洁的车用燃料,由甲醇改性 with 汽油调配而成。甲醇可来源于煤、天然气、焦炉气、煤层气及煤化工企业。发展煤基醇燃料,可大幅度提高煤炭的附加值,对促进中国能源资源更深层次的开发和利用具有重要意义。

表 5 汽车尾气中非常规排放物对比
Table 5 Comparison of vehicle emissions
of unregulated emissions 10⁻⁶

燃料	甲醛	乙醛	丙醛	丙烯醛+ 丙酮	非常规物 总排放量
93#汽油	3.152	0.100	0.080	0.010	3.342
M15 甲醇汽油	2.798	0.118	0.200	0.206	3.322

3 结 论

(1) M15 甲醇汽油的动力性、加速性能、总有效功率、发动机转速 2 000 ~ 3 200 r/min 内最低燃油消耗率与普通国标 93#汽油相当。

(2) 汽车燃用 M15 甲醇汽油的油耗略高于普通 93#汽油,与国标汽油的替代比约为 1.02 : 1.0。

(3) 燃用 M15 甲醇汽油汽车尾气中未燃尽碳氢化合物的排放量比燃用普通汽油降低了 12% ~

61%;碳氧化合物的排放量降低了18%~75%;起亚、金杯车 NO_x 的排放量增加了1.0%~12%,而帕萨特车 NO_x 的排放量却减少34.1%。

(4)燃用M15甲醇汽油汽车尾气中除甲醛外,还有少量的乙醛、丙醛、丙烯醛和丙酮,但是甲醛的排放量甚至低于燃用普通93#汽油。

参考文献:

- [1] 艾宏志,周围. 气相色谱质谱联用分析机动车尾气中的有机成分[J]. 光谱实验室,2010,27(3):839-843.
AI Hong-zhi, ZHOU Wei. Analysis of organic components in tail gas with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Spectroscopy Laboratory, 2010,27(3):839-843.
- [2] 朱兵,张博,周文戟,等. 我国甲醇行业 CO_2 的排放评估与对策[J]. 清华大学学报:自然科学版,2010,50(5):686-690.
ZHU Bing, ZHANG Bo, ZHOU Wen-ji, et al. The countermeasures and evaluation of the emission of CO_2 in methanol industry in China[J]. Journal of Tsinghua University(Edition of Natural Science), 2010, 50(5):686-690.
- [3] 曹永坤. 甲醇制汽油、甲醇制烯烃技术进展和工业应用[J]. 煤化工,2010,149(4):25-27.
CAO Yong-kun. Progress and industrial application of methanol to gasoline and methanol to olefins technology[J]. Coal Chemical Industry, 2010,149(4):25-27.
- [4] 姚春德,徐元利,张志辉,等. 一种高效清洁燃烧纯甲醇燃料的新方法探索[J]. 天津大学学报,2008,41(10):1198-1201.
YAO Chun-de, XU Yuan-li, ZHANG Zhi-hui, et al. Explore of a new method for the efficient and clean burning of pure methanol[J]. Journal of Tianjin University,

2008,41(10):1198-1201.

- [5] 李晶晶,郁良,刘晓辉,等. 甲醇汽油性能的试验研究[J]. 天然气与化工,2008,33(3):22-25.
LI Jing-jing, YU Liang, LIU Xiao-hui, et al. Experimental study on the performance of methanol gasoline[J]. Natural Gas Chemical Industry, 2008,33(3):22-25.
- [6] 范例,席海华,司利增. 车用甲醇燃料的资源可行性与经济效益分析[J]. 公路与汽运,2010(5):18-21.
FAN Li, XI Hai-hua, SI Li-zeng. Analysis of vehicle methanol fuel resource feasibility and economic benefits[J]. Highways & Automotive Applications, 2010(5):18-21.
- [7] 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:工学版,2008,38(1):32-36.
ZHANG Hui, LI Jun, WANG Li-jun, et al. Measurement and analysis of formaldehyde emission of methanol gasoline engine[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2008,38(1):32-36.
- [8] 张凡,帅石金,肖建华,等. 低比例甲醇汽油燃料非常规排放特性的试验研究[J]. 内燃机工程,2010,31(6):1-7.
ZHANG Fan, SHUAI Shi-jin, XIAO Jian-hua, et al. Experimental study on non conventional emission characteristics of low proportion methanol gasoline fuel[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2010,31(6):1-7.
- [9] 姚英,林灵,魏远文. 甲醇汽油混合燃料的甲醛排放试验研究[J]. 车用发动机,2008,174(2):87-89.
YAO Ying, LIN Ling, WEI Yuan-wen. Experimental research on formaldehyde emission of methanol gasoline[J]. Vehicle Engine, 2008,174(2):87-89.

(编辑 刘为清)