

甲醇-汽油混合燃料对汽油机性能和排放的影响

刘圣华, 李 晖, 吕胜春, Eddy R. Cuty Clemente, 祁东辉
(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 通过汽油机燃用甲醇-汽油混合燃料(其中甲醇的体积分数为 10%, 汽油的体积分数为 90%, 简称 M10 燃料)和汽油的对比试验, 研究了 M10 燃料对汽油机性能和排放的影响, 并用气相色谱仪测量了尾气中的甲醇和甲醛排放。试验研究表明: 汽油机燃用 M10 燃料对汽油机动力性影响不大, 但汽油机有效热效率和燃油经济性提高, 排温有所降低; CO 和 HC 排放减少, NO_x 排放与燃用汽油时相当; 甲醇和甲醛排放增加。排气经三效催化转化器后, CO、HC 和 NO_x 排放可以被控制在与常规汽油机排放相当的水平, 甲醇和甲醛排放可以被控制在接近零排放的水平。

关键词: 汽油机; 甲醇; 排放; 催化器

中图分类号: TK464 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2006)01-0001-04

Effects of Methanol-Gasoline Blend on Gasoline Engine Performance and Emissions

Liu Shenghua, Li Hui, Lü Shengchun, Eddy R. Cuty Clemente, Qi Donghui
(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: M10 methanol-gasoline fuel blend contains 10 % methanol and 90 % gasoline in volume. A 368 PFI gasoline engine was used to investigate its performance and emission characteristics when fueled with M10. The unburned CH₃OH and CH₂O were measured by GC 2010. Compared with gasoline operation, M10 engine gives the same power with a higher thermal efficiency. Under all operating conditions, HC and CO emissions of M10 engine are lower. However, the level of NO_x emission is comparable to that of gasoline operation. M10 engine emits more methanol and formaldehyde. After three-way catalytic converter, the regulated emissions of CO, HC, and NO_x are of the same order of magnitude as those of gasoline engine, and CH₃OH and CH₂O can be converted to near zero level.

Keywords: gasoline engine; methanol; emission; catalytic converter

自 2000 年以来,我国每年石油净进口量均突破 7 000 万 t, 超过总需求的 30 %, 处于能源不安全的状态。为了实现我国国民经济长期可持续发展, 石油替代就显得极为重要^[1]。我国能源的基本国情是富煤贫油, 发展煤基石油替代燃料是实现能源多样化战略转移、保障汽车工业快速发展的重要举措。同时, 汽车及发动机燃用煤基合成替代燃料, 可以改善尾气有害排放, 满足日益严格的排放法规。表 1 所示是甲醇、汽油和柴油燃料理化性质的比较, 由此可见,

甲醇比较适合作为汽油机的替代燃料。

甲醇是一种含氧燃料, 着火界限宽, 燃烧速度快, 有利于提高汽油机的某些性能指标。体积分数为 15 % 以下的小比例甲醇掺混燃烧, 不仅不会影响汽油机的动力性, 还可以改善汽油机的经济性, 并降低排放^[2,3]。由于甲醇-汽油混合燃料(其中甲醇的体积分数为 10 %, 汽油的体积分数为 90 %, 简称 M10 燃料)在不用添加剂的情况下互溶性很好, 因此可以不对原汽油机作任何改动。虽然 M10 燃料对改变我国

表 1 甲醇与汽油、柴油燃料理化性质的对比

性能指标	甲醇	汽油	柴油
液态密度/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	796	700~800	830
沸点/ $^{\circ}\text{C}$	65	30~225	180~330
闪点(闭)/ $^{\circ}\text{C}$	11~12	- 45 ~ - 38	75
自燃温度/ $^{\circ}\text{C}$	470	220~260	200~220
低热值/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	19. 7	44. 0	42. 8
汽化热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	1 100	350	300
黏度(20 $^{\circ}\text{C}$)/ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	0. 60	0. 29	3. 9
理论空燃比/ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	6. 4	14. 7	14. 6
辛烷值(研究法)	106~108	91~105	30
十六烷值	3	0~10	50
着火界限/ $\%$	6. 7~36	1. 4~7. 6	1. 5~8. 2
混合气热值/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	3 906	3 810	3 789

表 2 发动机部分性能和技术参数

型号	JL368Q3
形式	三缸、水冷、顶置凸轮轴式、电喷
标定转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	5 500
标定功率/ kW	26. 5
缸径、行程/ mm	68. 5, 72
压缩比	9. 4 : 1
总排量/ L	0. 796

地利 AVL 公司生产的 AVL Di Gas 4000 多组分汽车排气分析仪和岛津 GC-2010 气相色谱仪测量汽油机的常规排放和醇醛类排放.

2 试验结果和分析

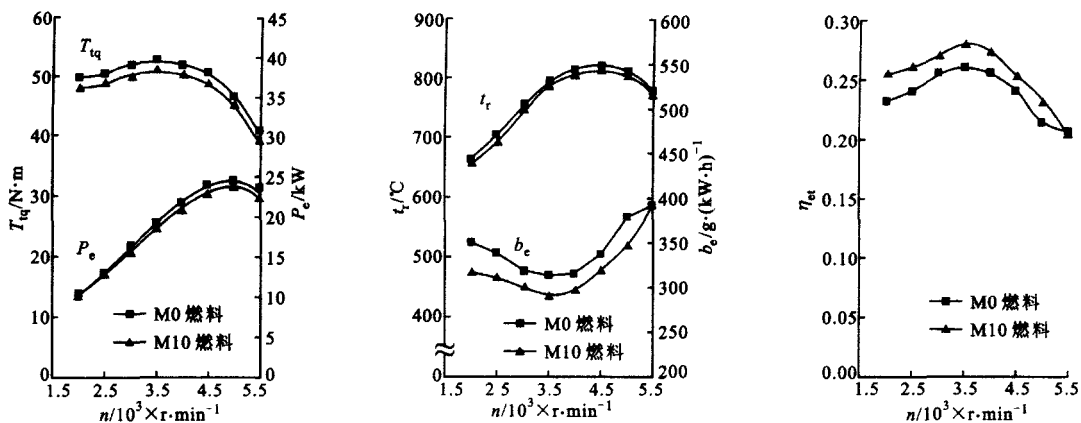
2. 1 燃用 M10 燃料对发动机性能的影响

由图 1 可以看出:当燃用 M10 燃料时,汽油机的外特性功率有所下降(见图 1a),但对发动机的动力性影响较小.在全负荷时(汽油机在开环控制状态下运行) M10 燃料的燃油喷射持续时间与 M0 燃料的相同,由于甲醇的热值低,在同样的喷油量时 M10 燃料的总热值有所降低,循环放热量减少,造成发动机功率略微下降.但是,甲醇的火焰传播速度高,使发动机缸内的燃烧速度提高.由于甲醇中氧的质量分数为 50%,混合气燃烧相对更充分,燃烧效率提高,使 M10 燃料的燃油消耗率减小,经济性提高.同时,由于甲醇汽化潜热大,最高燃烧温度降低,相应的排温有所下降(见图 1b).缸内燃烧温度降低,可减少传热造成的向冷却水的散热损失,一定程度上也提高了汽油机的有效热效率.如图 1b 中 b_e 曲线所示,按甲醇的低热值换算到与汽油的低热值相等的方法计算, M10 燃料的燃油消耗率平均降低

现阶段能源结构的作用不明显,但是其在不增加汽油机开发及生产成本的情况下,为降低汽油机工作成本及满足日趋严格的排放极限仍有一定的研究价值,希望在满足现阶段排放法规的情况下能得到大力的推广.本文对汽油机分别燃用纯汽油(M0)和 M10 燃料的经济性、动力性和排放特性进行了试验研究.

1 试验方法和仪器

试验用发动机为 JL368Q3 汽油机,其部分性能和技术参数见表 2.电喷系统的软硬件均采用 BOSCH 公司生产的多点汽油喷射系统.在试验中所用到的发动机自动测控系统是长沙湘仪动力测试仪器有限公司生产的 PowerLink FC2000.另外,试验中所用三效催化转化器为该机标准催化器.汽油机分别燃用 M0 燃料和 M10 燃料,用沈阳龙腾电子有限公司生产的 ES30 K-1 电子天平测出相应时间内的燃油消耗量,同时在三效催化转化器前后用奥



(a) 扭矩与功率随转速的变化

(b) 温度与燃油消耗率随转速的变化

(c) 热效率随转速的变化

图 1 M10 燃料对汽油机全负荷速度特性的影响

20 g/(kW·h)左右,而热效率提高了 2 %左右(见图 1c)。

如图 2 所示,在中等负荷下,汽油机在闭环反馈控制下运行,过量空气系数接近 1.0。当汽油机发出相同功率的情况下,由于掺烧的甲醇量比较少,按甲醇的低热值换算到与汽油的低热值相等的方法计算,M10 燃料的燃油消耗率略有降低,热效率稍有提高。

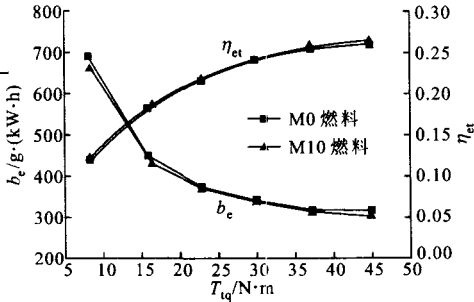
2.2 燃用 M10 燃料对常规排放的影响

汽油机燃用 M10 燃料的排气温度与燃用 M0 燃料时相比,因甲醇汽化潜热较大而略有降低,但幅度不大,故排气温度的变化不会影响三效催化转化器对排气的催化转化效果,如图 3 所示。

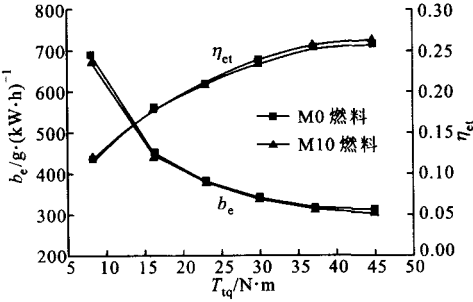
的 HC、CO 排放特性试验结果。无论是在部分负荷工况下(汽油机在闭环反馈控制下运行,过量空气系数接近 1.0),还是在高负荷时(汽油机处于开环控制状态),当汽油机燃用 M10 燃料时,因甲醇自身含氧,燃烧更加充分,三效催化转化器前的 HC 和 CO 排放与燃用 M0 燃料时相比均有一定程度的降低。

汽油机燃用 M10 燃料时,一方面最高燃烧温度降低,有利于抑制 NO_x 的生成,另一方面又因为甲醇自身含氧,燃烧速度增加,又增加 NO_x 的生成,因此汽油机排气中的 NO_x 排放与纯汽油的基本相当(见图 6),在中低负荷时稍有降低,而大负荷时 2 种燃料的 NO_x 排放相当,甚至 M10 燃料的 NO_x 排放略高。

图 4 和图 5 是汽油机在 2 500、3 000 r/min 时

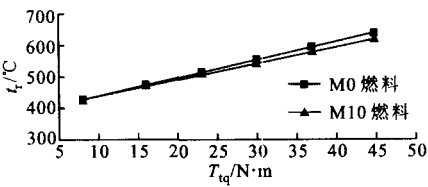


(a) n = 2 500 r/min

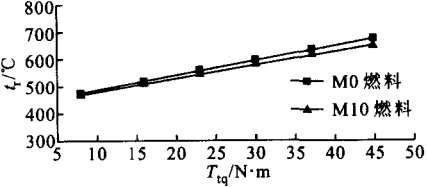


(b) n = 3 000 r/min

图 2 M10 燃料对汽油机负荷特性的影响

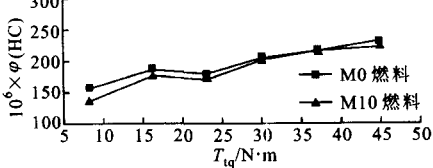


(a) n = 2 500 r/min

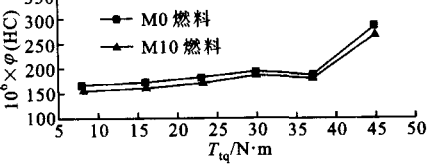


(b) n = 3 000 r/min

图 3 M10 燃料对汽油机排气温度的影响

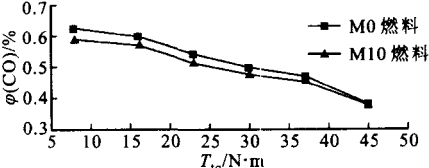


(a) n = 2 500 r/min

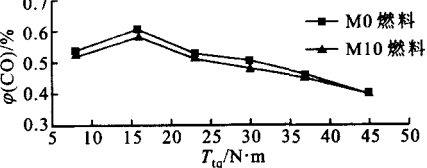


(b) n = 3 000 r/min

图 4 M10 燃料对汽油机 HC 排放的影响

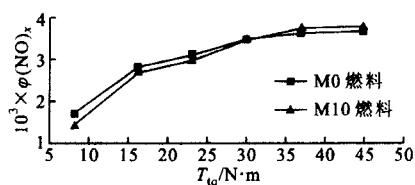
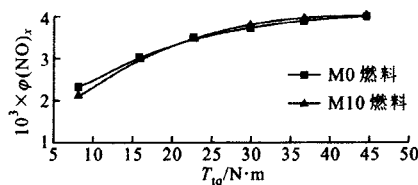


(a) n = 2 500 r/min



(b) n = 3 000 r/min

图 5 M10 燃料对汽油机 CO 排放的影响

(a) $n = 2\,500\text{ r/min}$ (b) $n = 3\,000\text{ r/min}$ 图6 M10燃料对汽油机 NO_x 排放的影响

试验中发现,汽油机的排气经过三效催化转化器后,燃用M10燃料时汽油机的CO和HC排放与燃用M0燃料时相比仍然较低,而 NO_x 排放相当。

2.3 燃用M10燃料对醇醛类排放的影响

采用气相色谱仪可以分析排气中未燃甲醇(CH_3OH)和甲醛(CH_2O)等排放成分^[4]。图7示出了2500 r/min时的 CH_3OH 排放对比。汽油机燃用M10燃料时,相同工况下的 CH_3OH 排放均有所提高,并且汽油机的 CH_3OH 排放都随着负荷的增加而增加,这主要是因为喷油量随负荷增加而增加的缘故。

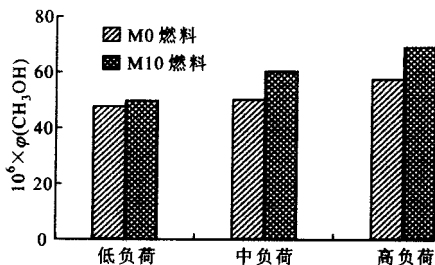
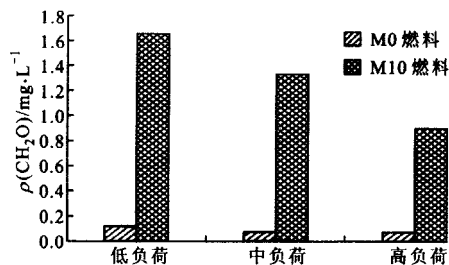
图7 $n = 2\,500\text{ r/min}$ 时 CH_3OH 的排放对比

图8给出了2500 r/min时的 CH_2O 排放对比。 CH_2O 是 CH_3OH 被氧化的中间产物,当汽油机燃用M10燃料时,相当量的未燃 CH_3OH 氧化成了 CH_2O ,故此时相同工况下的 CH_2O 排放要比M0燃料高得多。从图8还可以看出,三效催化转化器前的 CH_2O 排放都随负荷增加而减少,这主要因为 CH_2O 容易进一步氧化成 H_2O 和 CO_2 ,低负荷时缸

图8 $n = 2\,500\text{ r/min}$ 时 CH_2O 的排放对比

内燃烧和排气温度低,后氧化能力差,故 CH_2O 排放较多,随着汽油机负荷的增加,燃烧温度和排气温度升高,后氧化作用增强, CH_2O 排放有所降低。

另外,经过三效催化转化器催化转换后, CH_3OH 和 CH_2O 排放仅为百万分之几,大部分工况下可以实现零排放。

3 结论

在本试验条件下,汽油机燃用M10燃料和燃用M0燃料相比,可以有以下几个方面的结论。

(1) 动力性相当,有效热效率有所提高,燃油经济性和排温得到改善。如果能够适当提高压缩比,优化燃油喷射脉宽、点火提前角等参数,将会取得更好的效果。

(2) CO和HC排放有所改善, NO_x 排放相当。

(3) CH_3OH 和 CH_2O 排放有所增加。 CH_3OH 排放随负荷增加而增加,而 CH_2O 排放随着转速和负荷的增加而减少。

(4) 排气经三效催化转化器后,CO、HC和 NO_x 的排放与常规汽油机相当, CH_3OH 和 CH_2O 排放都可以被控制在极低的水平,在高负荷工况下可以实现零排放,这表明三效催化转化器能够满足汽油机燃用M10燃料时对排放控制的要求。

参考文献:

- [1] 周龙保. 内燃机学 [M]. 第2版. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 刘巽俊. 内燃机的排放与控制 [M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [3] 高国珍,王育辉,陈光敏. 醇类燃料理化性质对汽油机性能及排放的影响 [J]. 江西能源,2004(3):8-20.
- [4] Liu Shenghua. Measurement of non-regulated pollutants from SI engine fuelled with gasoline-methanol blends [A]. 7th Sino-Korea Intl Conference on ICE Engineering, Hangzhou, 2005.

(编辑 王焕雪)