

电控喷射甲醇发动机掺烧液化石油气的冷起动着火特性

宫长明¹, 王舒^{2,3}, 邓宝清¹, 于晓璐³, 高青¹, 刘巽俊¹

(1. 吉林大学 汽车工程学院,长春 130022;2. 重庆汽车研究所,重庆 400039;3. 车辆排放与节能重庆市市级重点实验室,重庆 400039)

摘要:在一台 125 mL 单缸电控喷射点燃式甲醇发动机上进行了掺烧 LPG 后冷起动瞬态工况着火特性的试验研究。基于循环控制研究了 LPG 掺烧量、甲醇和 LPG 的喷射时刻对甲醇发动机冷起动着火特性和 HC 排放的影响。试验结果表明:低温起动时进气道内喷射适量 LPG 可使点燃式甲醇发动机可靠起动;LPG 掺烧量对甲醇发动机冷起动着火特性有很重要的影响;合理控制 LPG 的喷射时刻可提高起动可靠性,降低 HC 排放。

关键词:动力机械工程;电控喷射;甲醇发动机;冷起动;着火特性;液化石油气

中图分类号:TK464 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2008)Sup.-0075-05

Cold start firing behavior of electronically controlled injection methanol engine with LPG as ignition improver

Gong Chang-ming¹, Wang Shu^{2,3}, Deng Bao-qing¹, Yu Xiao-lu³, Gao Qing¹, Liu Xun-jun¹

(1. College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Chongqing Automotive Research Institute, Chongqing 400039, China; 3. Chongqing City Key Laboratory of Vehicle Emission and Energy, Chongqing 400039, China)

Abstract: The transient firing behavior of a spark-ignition engine fueled with methanol blended with LPG at cold start was investigated experimentally in a 125 mL single cylinder electronically controlled fuel injection engine. The effects of the blended LPG amount, the injection timings of the methanol and the LPG on the firing behavior and HC emission of the engine were studied by means of cycle-to-cycle control technique. The results show that a propriety amount of LPG injected into the intake port promotes the cold start of the methanol engine and the LPG amount affects the cold start firing behavior significantly. Optimal control on the LPG injection timing improves the cold start reliability and reduces the HC emission at the cold start.

Key words: power machinery and engineering; electronically controlled injection; methanol engine; cold start; firing behavior; liquefied petroleum gas (LPG)

为了缓解日益严重的大气污染问题,排放法规的制定日趋严格,从低排放、超低排放直至零排放。未来的车用发动机排放法规中愈来愈重视冷起动工况下的排放控制,如美国的 FTP-75 测试

收稿日期:2007-06-18.

基金项目:国家自然科学基金项目(50576031);吉林省科技发展计划项目(20050542).

作者简介:宫长明(1964-),男,副教授,博士.研究方向:发动机排放与控制. E-mail:gongcm@jlu.edu.cn

循环从冷起动开始测试;欧Ⅲ、欧Ⅳ排放测试中取消了发动机起动后怠速 40 s 的暖机时间,要求从初始温度 -7 ℃ 起动并立即开始排放测试。冷起动工况对点燃式发动机整车工况法排放的 CO 和 HC 排放贡献量极为突出,约占整个测试过程的 50%~80%^[1],因此,车用发动机冷起动的排放控制是当前排放研究的热点^[2-6]。Fulcher 等^[2]通过试验分析了燃料的雾化、蒸发和混合对冷起动 HC 排放的影响,指出了混合气循环控制可能是减少冷起动未燃 HC 排放的最有效措施。Lang 等^[7]研究了点燃式汽油发动机燃料特性对首循环燃料供给量的影响,得出了发动机在各种边界条件下稳定燃烧的最小循环燃料供给量。国内外对冷起动的研究多侧重于汽油、LPG 燃料,针对点燃式甲醇发动机的冷起动尚未见相关报道。作者根据甲醇燃料的特点,针对点燃式甲醇发动机在低温(16 ℃ 以下)时甲醇燃料的蒸发量不足,混合气浓度达不到着火界限,起动困难^[8,9],采用掺烧适量 LPG 提高混合气浓度,以确保点燃式甲醇发动机可靠起动。

1 试验装置及测试系统

1.1 试验用发动机主要参数

试验是在经过改造的重庆嘉陵 JL125T-3 风冷四行程汽油发动机上进行的,该发动机的主要技术参数如下:缸径为 52.4 mm,行程为 57.8 mm,压缩比为 10.55 : 1,排量为 125 mL,标定功率/转速为 6.5 kW/7500 r · min⁻¹,最大转矩/转速为 9 N · m/6000 r · min⁻¹,发动机采用顶置式凸轮轴配气机构。

1.2 测试系统

本试验测试系统主要由气缸压力测试系统、甲醇燃料喷射系统、LPG 燃料喷射系统、废气采集系统几部分组成,图 1 为测试系统结构示意图。

气缸压力采用 Kistler 6125B 型压电式传感器测量。采用日本小野的一套光电编码器系统产生上止点信号和角度信号。气缸压力信号由多通道高速数据采集卡 PLC-818HG 采集,并传送给计算机。采用 FGA4015 废气分析仪测量 HC 排放。

甲醇和 LPG 分别采用两套独立的进气道电控燃料喷射系统,其喷射脉宽和喷射时刻由自主开发的控制系统单独控制。LPG 喷嘴安装在甲醇

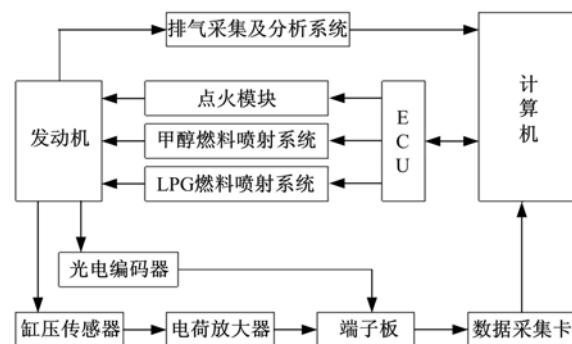
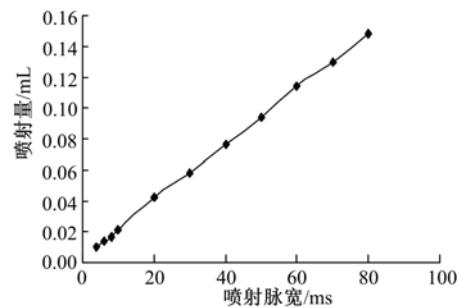


图 1 测试系统结构示意图

Fig. 1 Sketch map of measurement system structure

喷嘴和发动机气缸盖之间。LPG 只起辅助起动作用,其最大喷射脉宽不超过单独使用 LPG 燃料时怠速工况稳定燃烧喷射脉宽(3 ms)。

图 2 是甲醇和 LPG 喷嘴的流量特性。



(a) 甲醇喷嘴

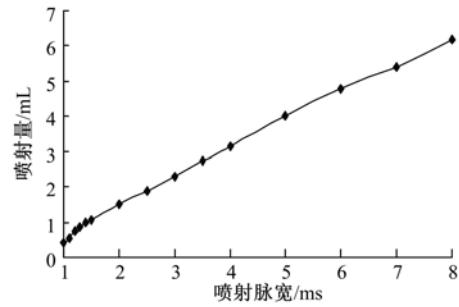


图 2 甲醇和 LPG 喷嘴的流量特性

Fig. 2 Flow characteristics of methanol and LPG nozzle

1.3 测试方法

本试验中通过程序控制,使起动电机拖动发动机,从第 2 循环开始喷射甲醇和 LPG,研究只喷射一次燃料的冷起动着火特性。磁电机信号在上止点前 35 °CA, ECU 利用磁电机信号作为控制甲醇和 LPG 喷射正时的触发信号,以此作为基准调整喷射正时和点火正时。

2 试验结果及分析

2.1 LPG 掺烧量对冷起动着火特性的影响

图 3 表示 LPG 掺烧量对不同甲醇喷射脉宽

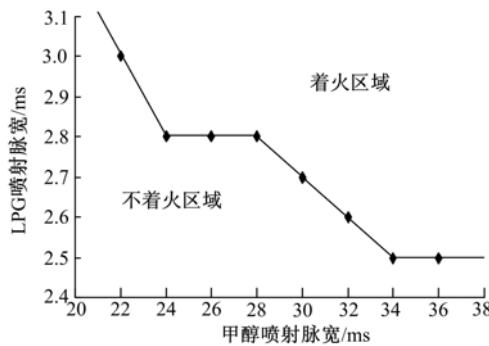


图 3 LPG 掺烧量对不同甲醇喷射脉宽下冷起动着火特性的影响

Fig. 3 Effect of LPG blending quantity on cold start firing behavior under different methanol injection pulse widths

下冷起动着火特性的影响。这时环境温度为 11 ℃, 节气门开度为 10%, 起动电压为 12.05 V, 由程序控制甲醇在第二循环压缩上止点前磁电机信号到来后喷射, LPG 的喷射时间相对于甲醇滞后 20 ms。从图中可以看到, 两种燃料的喷射量对发动机的着火性能都有影响。相比而言, LPG 喷射量的影响更大一些, 当 LPG 喷射脉宽低于 2.5 ms, 即使加大甲醇的喷射量也不能改善着火性能。这是因为当环境温度和喷射条件一定时, 甲醇的蒸发速度是一定的, 所以在固定时间内能够进入气缸的甲醇的量也是一定的, 此时一味地增大喷射量只会造成更多的 HC 排放。总体上看, LPG 的喷射量每提高 0.1 ms, 稳定着火所需要的甲醇的喷射量可以降低 2 ms, 可见在改善甲醇发动机的起动性能方面, LPG 的作用非常明显。

图 4、图 5 分别是 LPG 不同掺烧量对气缸压力和 HC 排放的影响。从图中可以看出, 当 LPG 喷射脉宽大于 2.5 ms 时, 都实现了可靠的着火, 但是着火循环发生在第四循环, 与喷射时刻第二循环之间有一个不着火的循环存在。这是由于甲醇在环境温度低的条件下蒸发速度较慢, 虽然 LPG 对着火的影响比较大, 但是仅靠 LPG 的量也是不足以着火的, 所以要等到第四循环气缸内的混合气浓度在两种燃料的共同作用下才能形成可靠的着火。

随着 LPG 掺烧量的加大, 最高燃烧压力也明

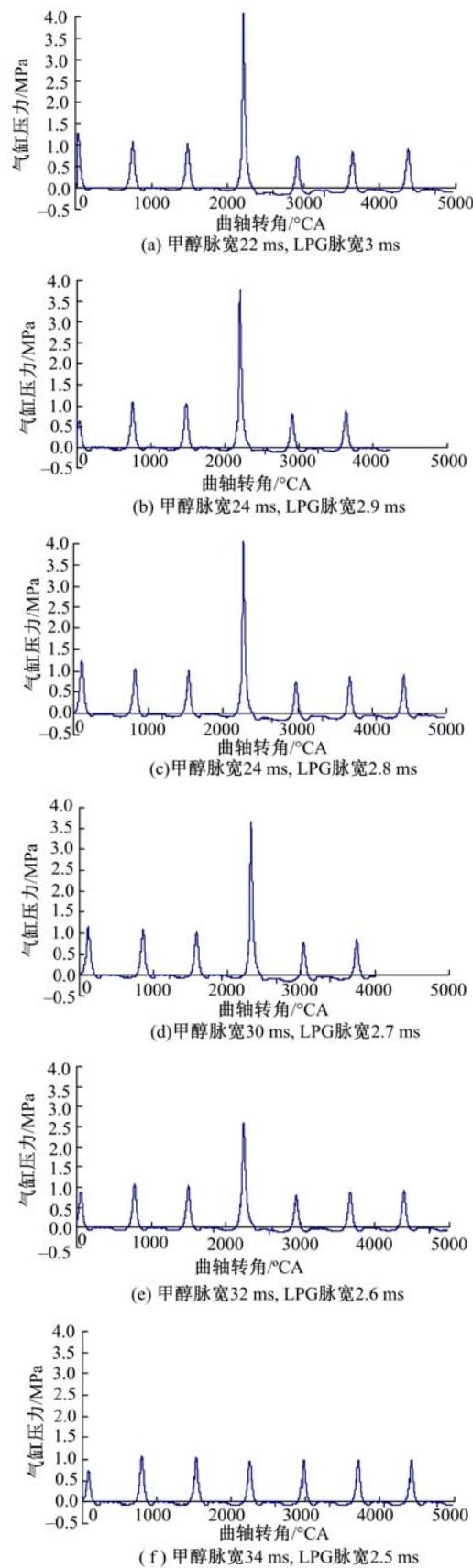


图 4 LPG 不同掺烧量对气缸压力的影响

Fig. 4 Effect of LPG blending quantity on cylinder pressure histories

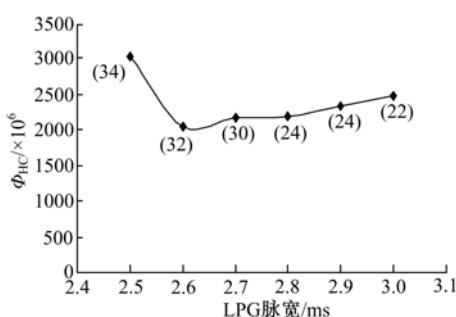


图 5 LPG 不同掺烧量对 HC 排放的影响

Fig. 5 Effect of LPG blending quantity on HC emission
显升高,这说明混合气浓度是随着 LPG 掺烧量的加大而变浓,因此掺烧 LPG 可以明显地改善甲醇发动机的冷起动性能。

LPG 喷射量为 2.5 ms 时,由于起动失败,HC 排放很高,达到 3000×10^{-6} 。进一步增加喷射量,由于着火,HC 排放有一定程度的下降,但是总体来说,HC 排放还是很高,而且随着 LPG 掺烧量的增大,HC 排放也有所上升。造成 HC 排放较高的原因主要是由于喷射时刻没有基于循环控制进行优化,导致有一部分燃料(大部分是 LPG)在(喷射循环和着火循环之间的)一个未着火循环随尾气排出。

2.2 甲醇与 LPG 喷射时刻对冷起动着火特性的影响

掺烧 LPG 进行辅助起动时的 HC 排放比通过预热的方法辅助起动时的 HC 排放高了近一倍^[8],这主要是由于甲醇的雾化不良、气化不足,致使甲醇和 LPG 一起形成的混合气浓度达不到着火条件,使部分 LPG 在第三循环随尾气排出而造成 HC 排放升高。图 6、图 7 分别是 LPG 不同喷射时刻对气缸压力和 HC 排放的影响(固定甲醇的喷射时刻为触发信号后 100 ms,甲醇和 LPG 的喷射脉宽分别为 30 ms 和 2.8 ms)。

从图中可以看到,当 LPG 和甲醇同时喷射时,由于 LPG 的喷射位置靠近气门,且 LPG 在进气道的状态为气态,进入气缸的速度更快一些,导致一部分 LPG 在不着火的第三循环随尾气排出,第四循环混合气浓度达不到着火的界限,最终起动失败,HC 排放达到了 2830×10^{-6} 。

当喷射时刻推迟 20 ms 时,有更多的 LPG 进入第四循环,使得第四循环混合气浓度达到着火稀限,着火成功,HC 排放也有所下降。喷射时刻进一步推迟直至滞后甲醇喷射 80 ms,都能够保证着火的可靠性。延时 60 ms 和 80 ms 的 HC 排

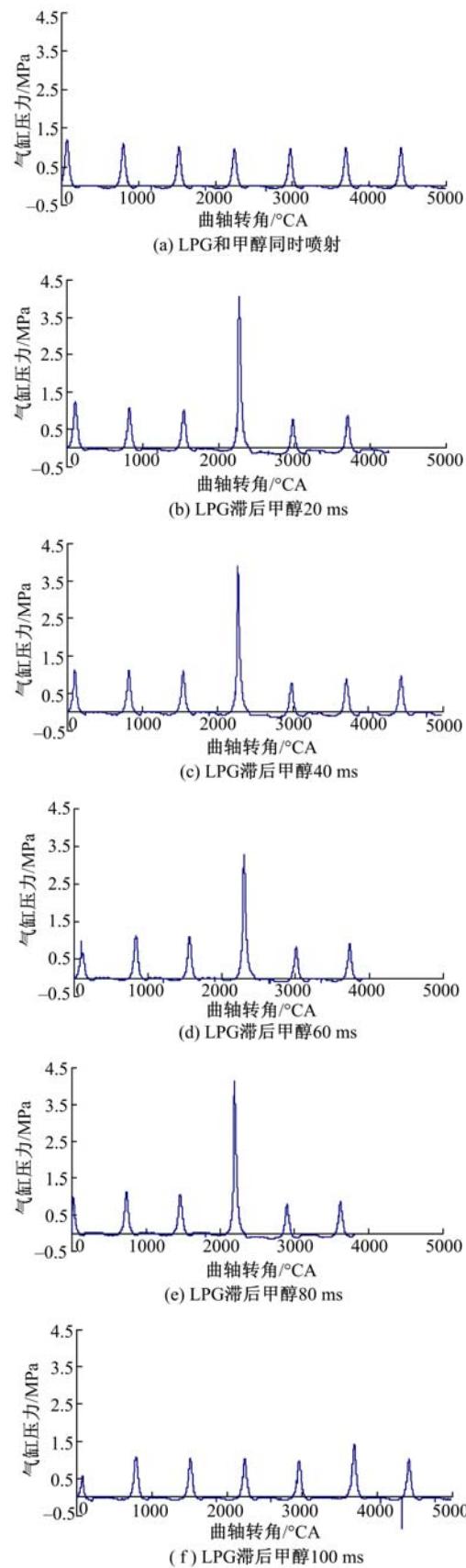


图 6 LPG 不同喷射时刻对气缸压力的影响

Fig. 6 Effect of LPG injection timing on cylinder pressure histories

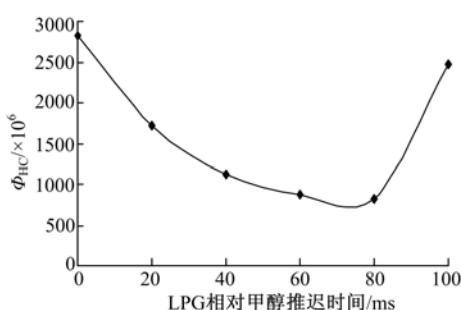


图 7 LPG 不同喷射时刻对 HC 排放的影响

Fig. 7 Effect of LPG injection timing on HC emission

放值分别为 870×10^{-6} 和 820×10^{-6} , 这两个喷射时刻距离前一循环压缩上止点触发信号分别为 160 ms 和 180 ms, 已经是第三循环的进气门关闭之后, 都能保证 LPG 在第四循环全数参加燃烧, 所以 HC 排放的差别不是很明显。

如果喷射时刻进一步推迟至落后甲醇 100 ms, 会造成第四循环 LPG 供给量不足, 从气缸压力曲线上可以看到, 第四循环并没有着火, 只是在第五循环有非常微弱的着火现象, HC 排放也上升到了 2500×10^{-6} 左右。所以说, 甲醇和 LPG 的喷射时刻对发动机起动性能有很大的影响。

3 结 论

(1) 采用在进气道喷射适量 LPG 可使甲醇发动机低温下实现可靠起动。

(2) LPG 掺烧量对甲醇发动机冷起动着火特性有很重要的影响。当 LPG 喷射脉宽低于 2.5 ms 时, 即使加大甲醇的喷射量也不能改善甲醇发动机的着火性能。

(3) 合理控制 LPG 的喷射时刻, 使甲醇和 LPG 两种燃料在同一循环进入气缸, 达到着火界限, 可提高起动可靠性, 降低 HC 排放。

参考文献:

- [1] Karwa M K, Hill F B, Biel P J, et al. Integration of engine controls, exhaust components and advanced catalytic converters for ULEV and SULEV applications[C]// SAE Paper 2001-01-3664.
- [2] Fulcher S K, Gajdeczko B F, Felton P G, et al. The effects of fuel atomization, vaporization, and mixing on the cold-start UHC emissions of a contemporary S I. engine with intake-manifold injection[C]// SAE Paper 952482.
- [3] Piotr Bielaczyc, Jerzy Merkisz. Cold start emissions investigation at different ambient temperature conditions[C]// SAE Paper 980401.
- [4] Cheng Yong, Wang Jian-xin, Zhuang Ren-jun, et al. Analysis of combustion behavior during cold-start and warm-up process of SI engine[C]// SAE Paper 2001-01-3557.
- [5] 刘志敏, 李理光, 邓宝清, 等. 基于首次着火循环的低温冷起动特性的研究[J]. 燃烧科学与技术, 2005, 11(4): 374-378.
Liu Zhi-min, Li Li-guang, Deng Bao-qing, et al. Cold start characteristics at low temperature based on the analysis of the first firing cycle[J]. Journals of Combustion Science and Technology, 2005, 11(4): 374-378.
- [6] Tony K, Quay B D, Zello J V, et al. Fuel volatility effects on mixture preparation and performance in a GDI engine during cold start[C]// SAE Paper 2001-01-3650.
- [7] Lang K R, Cheng W K. Effects of fuel properties on first cycle fuel delivery in a SI engine[C]// SAE Paper 2004-01-3057.
- [8] 王舒. 电控喷射点燃式甲醇发动机起动性能研究[D]. 长春: 吉林大学汽车工程学院, 2007.
Wang Shu. An investigation on the start performance of a SI methanol EFI engine[D]. Changchun: College of Automotive Engineering, Jilin University, 2007.
- [9] 宫长明, 邓宝清, 张永平, 等. 电控 LPG 发动机首循环冷起动特性[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2005, 35(3): 272-276.
Gong Chang-ming, Deng Bao-qing, Zhang Yong-ping, et al. Cold start characteristics of first cycle in an electronic controlled LPG engine[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2005, 35(3): 272-276.