

点火和喷射正时对甲醇发动机冷起动特性的影响

宫长明¹, 王舒², 邓宝清¹, 苏岩¹, 刘巽俊¹

(1. 吉林大学汽车工程学院, 130022, 长春; 2. 中国汽车工程研究院国家燃气汽车工程技术中心, 400039, 重庆)

摘要: 在一台 125 mL 的单缸电控喷射点燃式甲醇发动机上进行了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点火正时和喷射正时对甲醇发动机冷起动的着火特性和 HC 排放的影响。试验结果表明:点火正时和喷射正时对甲醇发动机的冷起动着火特性和 HC 排放均有显著影响;推迟点火从 -20° (上止点前,下同)到 10° ,发动机的后燃逐渐增多,气缸压力逐渐降低,直至最后不能起动,甲醇发动机点火正时优化为 -20° ;喷射正时比点火正时对冷起动着火特性影响更显著,合理控制起动喷射正时,可保证混合气全部在受控的着火循环时进入气缸,实现“即喷即着”的理想着火,并提高发动机的着火可靠性;曲轴转角为 471° (上止点后)喷射甲醇比 -35° 喷射甲醇时的气缸最高燃烧压力提高了 140%,HC 排放降低了 65%。

关键词: 甲醇发动机;冷起动;点火正时;喷射正时;循环控制

中图分类号: TK464 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)11-1367-05

Effects of Ignition and Injection Timing on Cold Start Behavior of Methanol Engine

GONG Changming¹, WANG Shu², DENG Baoqing¹, SU Yan¹, LIU Xunjun¹

(1. College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. National NGV Engineering Research Institute, China Automotive Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

Abstract: The firing behavior of a 125 mL single cylinder methanol engine with electronically controlled injection spark-ignition at cold start was investigated experimentally. The effects of the injection timing and the ignition timing of methanol on the firing behavior and HC emission of the engine were studied by means of the cycle-by-cycle control technique. The results show that retarding the ignition timing from -20° (before top dead center) to 10° , results in more after-burning and the decrease in cylinder pressure gradually, and finally the engine fails to start. The optimal methanol engine ignition timing is -20° . If the fuel injection timing is controlled reasonably during the engine cold start, it is possible to ensure the most fuel-air mixture to enter into the cylinder on time, leading to “next cycle combustion after fuel injection” and high cold start reliability. The maximum cylinder pressure increases by 140% and HC emission decreases by 65% when the methanol injection timing changes from -35° to 471° (after top dead center, crank angle).

Keywords: methanol engine; cold start; ignition timing; injection timing; cycle-by-cycle control

随着排放法规的趋严,冷起动阶段的 CO 和 HC 排在整车排放中所占的份额愈来愈大。在 FTP-75 测试循环中,当温度为 20°C 时,点燃式发动机冷起动的 CO 和 HC 排放达到整车的 70%~80%, -7°C 起动时,冷起动的 CO 和 HC 排放量比

20°C 起动时高 2.5~4 倍^[1]。因此,车用发动机冷起动阶段的排放控制成为当前研究的热点。Santoso 等人^[2]采用循环分析方法研究了点燃式发动机首循环混合气的形成和 HC 排放特性,指出首循环混合气形成对冷起动 HC 排放的影响至关重要。Lang 等

人^[3]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。Fulcher 等人^[4]通过试验分析了燃料的雾化、蒸发和混合对冷启动 HC 排放的影响,指出需采取循环控制的方法来减少 HC 排放。Gorey 等人^[5]利用激光方法测量了进气道喷射汽油机冷启动工况下的燃料分配特性。程勇等人^[6]详尽分析了电控汽油机在启动及暖机过程中的各种燃烧情况。李理光等人^[7-8]基于循环控制方法研究了汽油机和 LPG 电喷发动机的冷启动性能。Hu 等人^[9]研究了甲醇和汽油的混合燃料火花点火发动机冷启动时的燃烧和排放特性。

国内外对点燃式发动机冷启动的研究多采用汽油、LPG 以及甲醇和汽油的混合燃料,针对点燃式甲醇发动机的冷启动的报道较少。本文基于循环控制的方法研究点燃式甲醇发动机点火正时和喷射正时对冷启动着火和排放特性的影响,以使甲醇发动机实现“即喷即着”的理想着火,实现对点燃式甲醇发动机冷启动过程的燃烧和排放的主动控制,为点燃式甲醇发动机达到超低排放提供参考。

1 试验设备和测试系统

1.1 试验用发动机

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/7 500 r · min⁻¹;最大扭矩/转速为 9 N · m/6 000 r · min⁻¹;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、废气采集系统几部分组成。采用 Kistler 6125B 型压电式传感器测量气缸压力。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。用日本小野光电编码器系统产生上止点信号和角度信号。点火正时和喷射正时利用自行开发的在线测控系统通过计算机输入控制信号来控制。用 FGA4015 废气分析仪测量 HC 排放。甲醇喷嘴安装在进气管的接近进气门处,在甲醇喷嘴和进气道之间安装了用于预热的电热塞。

1.3 测试方法

本试验通过循环控制,启动电机拖动发动机,从第 2 循环开始喷射甲醇,研究只喷射一次燃料的冷启动着火特性。单次喷射甲醇的喷射时刻均以第 2

循环压缩上止点为基准点进行调整。每次试验前根据光栅盘的上止点信号转动曲轴,确保压缩上止点信号先到,这样可确保以压缩上止点为基准控制喷射正时和点火正时。

点燃式甲醇发动机在环境温度低于 16 °C 时必须采取辅助启动措施方可启动^[10]。本研究中分别采用使进气道外表面达到 45 °C 的电阻丝预热法和使进气道表面达到 42 °C 的电热塞预热法 2 种辅助启动方法。

2 试验结果及分析

2.1 点火正时对甲醇发动机冷启动性能的影响

图 1 是不同点火正时的气缸压力 p 和 HC 排放峰值。这时环境温度为 11 °C,大气压力 p_a 为 100.66 kPa,节气门开度为 10%,启动电压为 12.05 V,拖动转速为 770 r/min,甲醇循环喷射量 Q_m 为 74.9 mg,甲醇喷射正时为 -35°(上止点前,下同),采用电阻丝预热法辅助启动。从图 1 可以看出,点火正时对甲醇发动机启动过程的着火有较大的影响。甲醇在第 2 循环压缩上止点前喷入进气道,着火发生在第 4 循环,这主要是由于环境温度低时甲醇的蒸发量不足,在第 3 循环混合气浓度达不到着火界限的缘故。点火正时从 -30°推迟到 -20°时,最高燃烧压力从 1.85 MPa(见图 1a)提高到 1.93 MPa(见图 1b),着火性能有所改善;进一步推迟点火正时到 -10°时,气缸最高燃烧压力为 1.45 MPa(见图 1c),比 -30°和 -20°时压力都有所降低,但仍可稳定着火;再进一步推迟点火到 0°时,气缸最高燃烧压力(0.91 MPa)明显降低(见图 1d),只有微弱的着火发生;点火正时推迟到 10°时,发动机不能启动(见图 1e)。在着火性能较好的一 20°点火时 HC 排放最低(图 1f 中 HC 的体积分数为 1.229×10^{-6}),进一步推迟点火,HC 排放增加,点火正时为 10°时的 HC 排放要比 -20°时的 HC 排放高 100%。

综上所述,点火正时为 -20°时启动性能最好,此时气缸的最高燃烧压力最高,HC 排放最低。

2.2 喷射正时对甲醇发动机冷启动性能的影响

图 2 是不同喷射正时的气缸压力。这时环境温度为 13 °C,大气压力为 100.66 kPa,节气门开度为 10%,启动电压为 12.05 V,拖动转速为 770 r/min,甲醇循环喷射量为 51.5 mg,点火正时为 -20°,电热塞预热法辅助启动。从图 2 可以看出:喷射正时对甲醇发动机的着火性能影响很大,在 471°时喷射甲醇与在 -35°时比较,最高燃烧压力增大 140%,

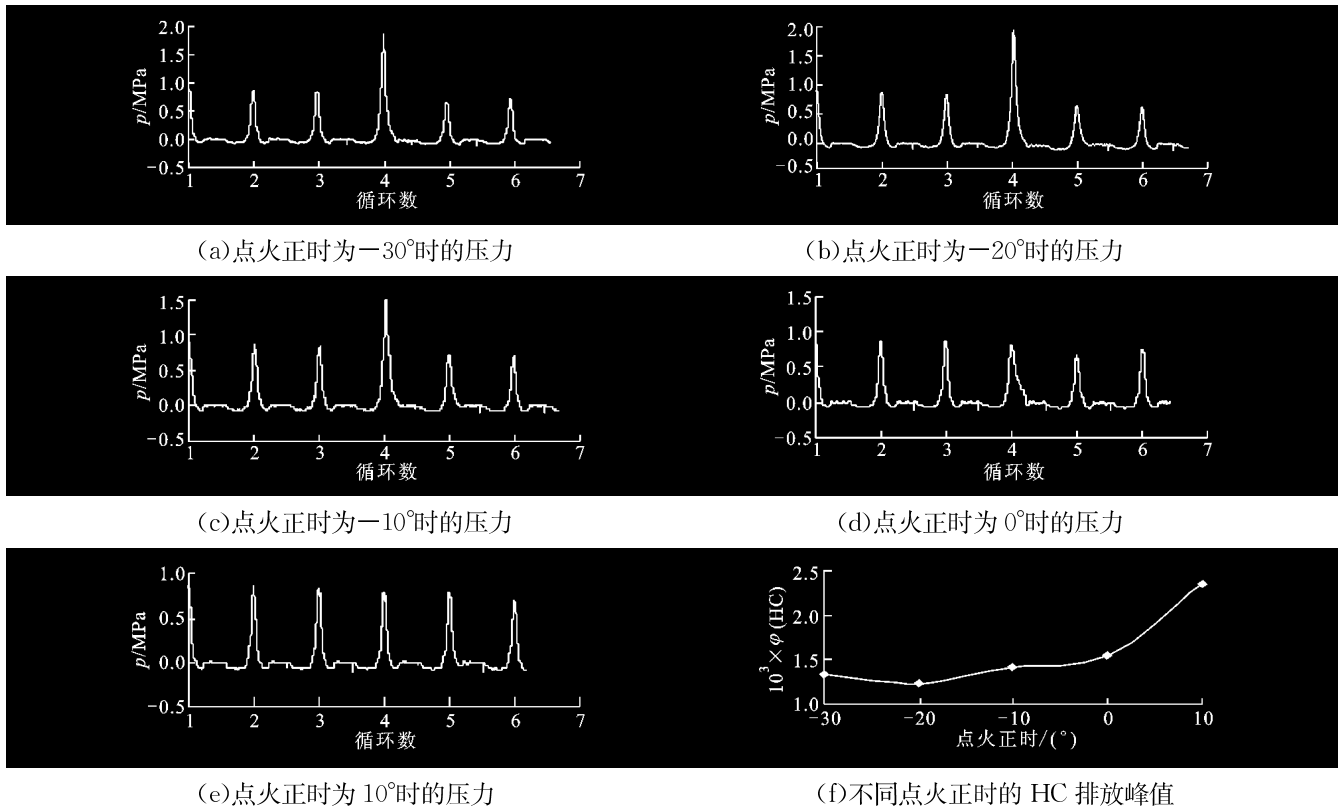
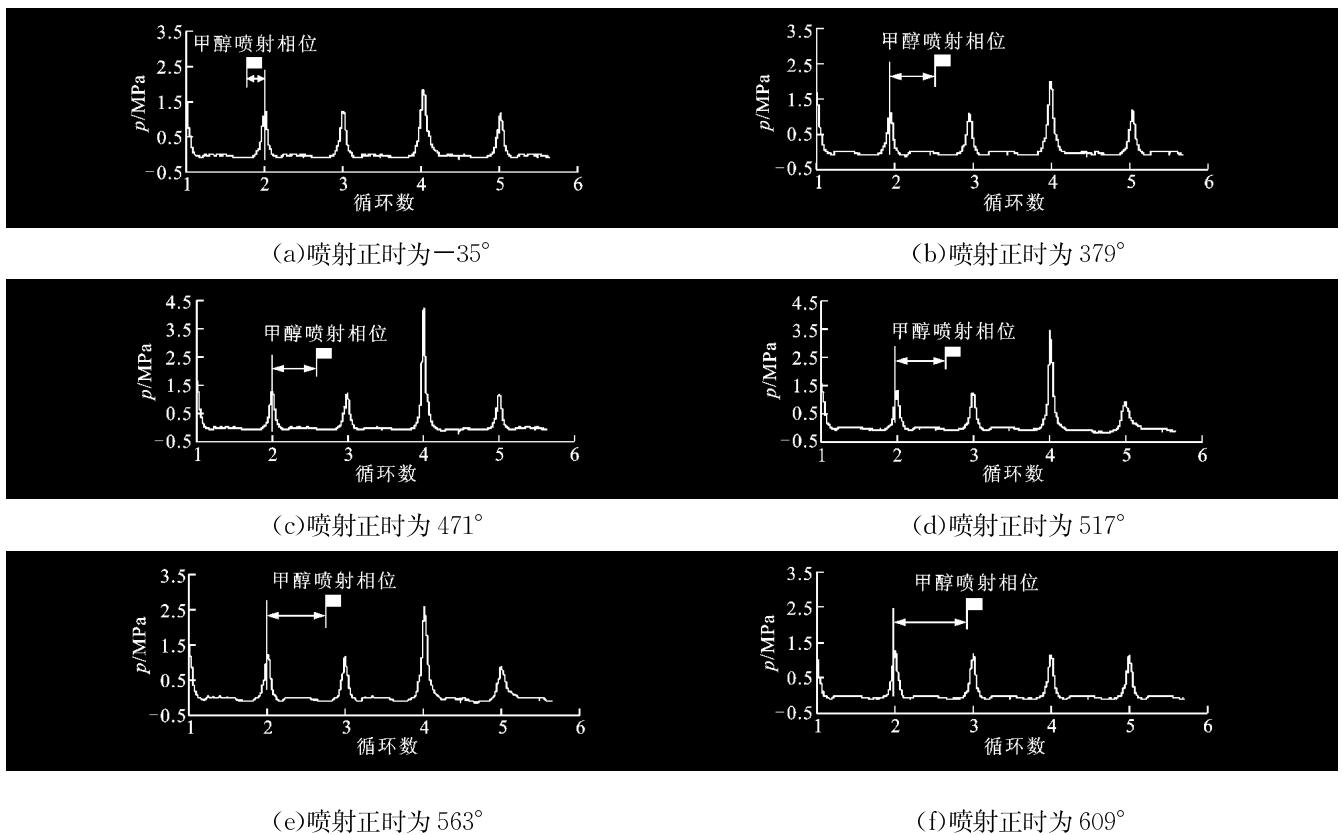


图1 不同点火正时的气缸压力和 HC 排放峰值



图中带箭头线段的长度代表喷射正时的大小

图2 不同喷射正时的气缸压力

冷起动着火性能改善非常明显,而且在 471° 时喷射甲醇相当于在第3循环进气过程喷射甲醇,着火发

生在第4循环,实现了“即喷即着”的理想着火方式(见图2c).对甲醇发动机来说,由于甲醇是单一成

分燃料,沸点高(65℃),而且汽化潜热大(是汽油的3.5倍),所以甲醇从蒸发到形成混合气直至进入气缸燃烧的过程相比于汽油和LPG慢了许多,致使出现在第2循环喷射燃料、可靠的着火循环皆发生在第4循环的情况。在这种情况下,有一部分燃料可能在第3循环就已经进入气缸,由于达不到着火的浓度(温度)而被排出,通过控制甲醇的喷射时刻使甲醇在进气门外等待到第4循环再进入气缸,可以改善着火性能,实现“即喷即着”。从图2d、图2e可以看出,此时喷射燃料已经不能够在第4循环的进气行程全部进入气缸,有一部分残留在进气门处,直到第5循环才进入气缸继续燃烧,但这时混合气浓度可能刚好达到着火稀限,燃烧并不充分。从图2f可以清楚地看出,在609°喷射甲醇时,甲醇没有着火,这主要是因为喷射甲醇时进气门已关闭,混合气形成的时间太短,第4和第5循环都不能形成足以着火的混合气浓度。

从图3可以看出:在471°时喷射甲醇比在-35°

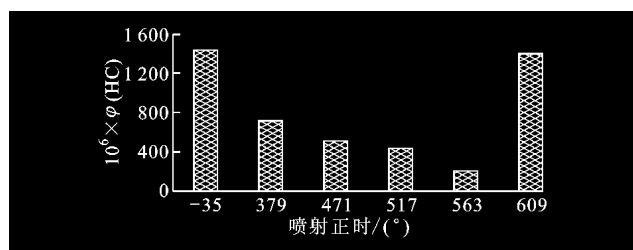


图3 喷射正时对HC排放峰值的影响

时喷射甲醇的HC排放降低了65%,比在379°时喷射甲醇的HC排放降低了31%,这说明在471°时喷射甲醇可以最大限度地减少第3循环进入气缸的燃料量,而使第4循环的混合气浓度最高,改善了燃烧状况;甲醇喷射时刻早于471°时,还是有部分燃料在第3循环进入气缸,继而随尾气排出,所以着火循环的燃烧相对较弱;甲醇喷射时刻晚于471°时,由于混合气形成时间相对缩短,部分燃料可能要等到第5循环才能进入气缸,所以混合气浓度也相对较稀,燃烧强度较低;在563°时喷射甲醇使HC排放能够进一步减小的原因是第5循环的连续燃烧比在471°时喷射甲醇的燃烧更强烈,更彻底;如果喷射时间进一步推迟到609°,第4循环能够进入气缸的燃料将不足以维持着火,而缺少了第4循环着火对缸内热氛围的改善和对发动机转速的提高的积极效果,第5循环即使混合气浓度有所提高,也无法可靠着火,从而造成起动失败和HC排放急剧升高。

3 结 论

(1)点火正时对甲醇发动机首循环着火燃烧和HC排放有一定影响。点火正时由-20°逐渐推迟到10°时,发动机的后燃增多,气缸燃烧压力下降,直至不能起动。为提高发动机着火的可靠性及其燃烧稳定性,甲醇发动机点火正时优化为-20°。

(2)喷射正时显著影响甲醇发动机冷起动的着火特性和HC排放。最优的喷射正时可以保证混合气全部在受控的首次着火循环进入气缸,实现精确的循环控制,可以提高发动机的着火可靠性,大幅度提高气缸的最高燃烧压力,减少起动初始阶段的HC排放。

(3)在471°时喷射甲醇与在-35°时喷射甲醇相比,气缸的最高燃烧压力提高了140%,HC排放降低了65%。

参考文献:

- [1] LAURIKKO J. Emission performance of current TWC vehicles at low ambient temperature over and ECE test cycles: global emission technique and analysis, SAE paper 1994, 940933 [R]. Detroit, Michigan, USA: SAE, 1994.
- [2] SANTOSO H, CHANG W K. Mixture preparation and hydrocarbon emissions behaviors in the first cycle of SI engine cranking [J]. SAE Transactions, 2002, 111(4): 1644-1654.
- [3] LANG K R, CHENG W K. Effect of fuel properties on first cycle fuel delivery in a SI engine [J]. SAE Transactions, 2004, 113(4): 2095-2105.
- [4] FULCHER S K, GUJDECZKO B F, FELTON P G, et al. The effects of fuel atomization, vaporization, and mixing on the cold-start UHC emission of a contemporary SI engine with intake manifold injection [J]. SAE Transactions, 1995, 104(3): 2345-2365.
- [5] GOREY W, STEVE W. PLIF measurements of fuel distribution in a PFI engine under cold start condition [J]. SAE Transactions, 2002, 112(4): 2548-2567.
- [6] 程勇, 王建昕, 庄人隽, 等. 电控汽油机起动及暖机工况燃烧状况的分析统计 [J]. 内燃机学报, 2002, 20(1): 62-65.
CHENG Yong, WANG Jianxin, ZHUANG Renjun, et al. Analysis of indicator diagram under cold-start and warm-up conditions of SI gasoline engine [J]. Transactions of CSICE, 2002, 20(1): 62-65.
- [7] 李理光, 王振琐, 邓宝清, 等. 基于可控循环着火的电控

- 汽油机冷起动性能研究 [J]. 汽车工程, 2004, 26(4): 417-422.
- LI Liguang, WANG Zhensuo, DENG Baoqing, et al. A study on ignition and HC emission of a gasoline EFI engine during cold-start [J]. Automotive Engineering, 2004, 26(4): 417-422.
- [8] 王振锁, 李理光, 宫长明, 等. 基于循环控制的 LPG 电喷发动机冷起动初探 [J]. 内燃机学报, 2004, 22(4): 337-343.
- WANG Zhensuo, LI Liguang, GONG Changming, et al. Investigation of cold-start based on cycle-by-cycle control strategy in a LPG EFI engine [J]. Transactions of CSICE, 2004, 22(4): 337-343.
- [9] HU Tiegang, WEI Yanjü, LIU Shenghua, et al. Improvement of spark-ignition (SI) engine combustion and emission during cold-start, fueled with methanol/gasoline blends [J]. Energy & Fuels, 2007, 21(1): 171-175.
- [10] 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.
- (编辑 王焕雪)