

基于 GT-power 的 HCCI/SI 双模式汽油机轿车 驾驶循环评估的研究

Driving Cycle Simulation of a HCCI/SI Gasoline Engine Passenger Car

李楠 谢辉 赵华

(天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室, 300072)

摘 要: : 本文充分利用GT-power和Simulink软件灵活的建模能力,建立了四缸HCCI/SI双模式汽油机模型、轿车动力学模型及其控制器模型。通过典型驾驶过程以及NEDC循环的仿真,对HCCI/SI发动机控制策略进行了评估,详细考查了HCCI/SI双模式汽油机轿车的燃油经济性的改善效果。仿真结果表明,HCCI/SI汽油发动机可以满足车辆行驶的动力需求,并显示出良好的经济性,在整个NEDC循环中比原机节油10.9%。

关键词: HCCI/SI 发动机、GT-power、汽车、驾驶循环、仿真

Abstract : In this paper, a 4-cylinder HCCI/SI gasoline engine model, a dynamic vehicle model and their controller model are established with GT-power and Simulink. The control strategies of the HCCI/SI engine are evaluated in typical driving processes and NEDC cycles, and the improvement of fuel economy of this HCCI/SI hybrid-mode car is analyzed. Results show that the HCCI/SI engine can meet the requirement of driving performance, and meanwhile, compared with the original SI engine, the improvement of fuel economy with a reduction of 10.9% is achieved during the whole NEDC cycle.

Key words: HCCI/SI engine; GT-power; Automobile; Driving cycle; Simulation

1 前言

随着能源和环境对人类生活和社会发展的影响越来越大,要求尽快改善人类生存环境的呼声也日益高涨,全世界的汽车研究人员都在试图利用各种手段降低汽车油耗和排放污染。在这种情况下,HCCI燃烧技术在节能和降低排放方面的潜力引起了内燃机和汽车界的高度关注,成为当今内燃机与汽车研究领域的新热点。

HCCI被认为是发动机燃烧技术的一个重大进步。与传统的火花点火发动机相比,HCCI方式采用均匀的空气与燃料混合气,但用压燃代替火花塞点火;与传统的柴油机相比,HCCI方式混合气充量是均质的。试验证明这种燃烧方式具有较高热效率、低NO_x和PM排放等优点。由于HCCI运行范围狭窄,采用双燃烧模式切实可行,即大负荷时用点燃或压燃,部分负荷时用HCCI燃烧模式。这种双燃烧模式发动机如果再结合EGR,则NO_x、PM、HC和CO排放很低。由于采用均质燃烧混合气,保持了原汽油机升功率高的特点;另一方面,它取消了节流损失,设计的压缩比高,采用多点同时着火的燃烧方式使得能量释放率较高,接近理想的等容燃烧,热效率较高,保持了柴油机部分负荷下燃油经济性好的特点。

根据实际研究的需要,四缸 HCCI/SI 汽油发动机模型利用 GT-power 软件中的气体交换模型和传热模型。由于基于内部 EGR 实现 HCCI 燃烧,依赖于特殊的气门升程曲线,为此,利用 GT-power 软件良好的对用户开放性,另外编写了可以描述 HCCI/SI 汽油发动机内部燃烧的燃烧模型[1][2],及符合全可变气门机构运动规律的全可变机构气门升程曲线模型[2]。

表 1 轿车及发动机各主要参数

轿车主要参数		发动机主要参数			
重量	1165kg	缸径	86.00mm	压缩比	10.44 (计算)
迎风面积	1.93 m ²	行程	86.00mm	吸气方式	自然吸气
风阻系数	0.31	缸数	4	排量	2L
变速器	5 档自动	标定转速	6000r/min	喷油压力	2.5bar
车轮半径	267mm	配气方式	顶置凸轮轴， 4 气门	燃油喷射方式	进气管喷射

2.2 控制器模型

控制器模型在Matlab/Simulink环境下建立，与四缸HCCI/SI汽油发动机车辆模型通过线束连接。控制器模型通过采集发动机、离合器、变速器等工作状态、车速以及驾驶员给出的加速踏板位置和制动踏板位置等信号计算发动机需求力矩，并发出控制指令。控制指令主要有气门4V参数、点火开关、点火提前角、喷油脉宽和节气门开度。

GT-power 提供的模块库包括了车辆动力学模块、离合器模块、变速器模块、轮胎模块、驾驶员模块和路况环境模块，建模过程中只需要对这些模块根据实际车辆参数进行配置即可。

3 基于驾驶循环的四缸HCCI/SI双模式汽油机轿车性能仿真

评价汽车的燃油经济性能和排放性能需要一个标准，这个标准就是让汽车按照具有高度统计意义和代表性的标准道路行驶循环行驶，考察其性能是否符合国家标准规定。本文采用了NEDC循环，对轿车性能进行了评价。

利用四缸HCCI/SI汽油发动机轿车模型按照NEDC道路循环进行仿真，结果如图2。从图2中可以看出，在HCCI/SI双模式发动机控制器的管理下，轿车的实际车速可以很好地跟随目标车速。由此看来，HCCI/SI汽油机能够满足车辆行驶的动力性需求。

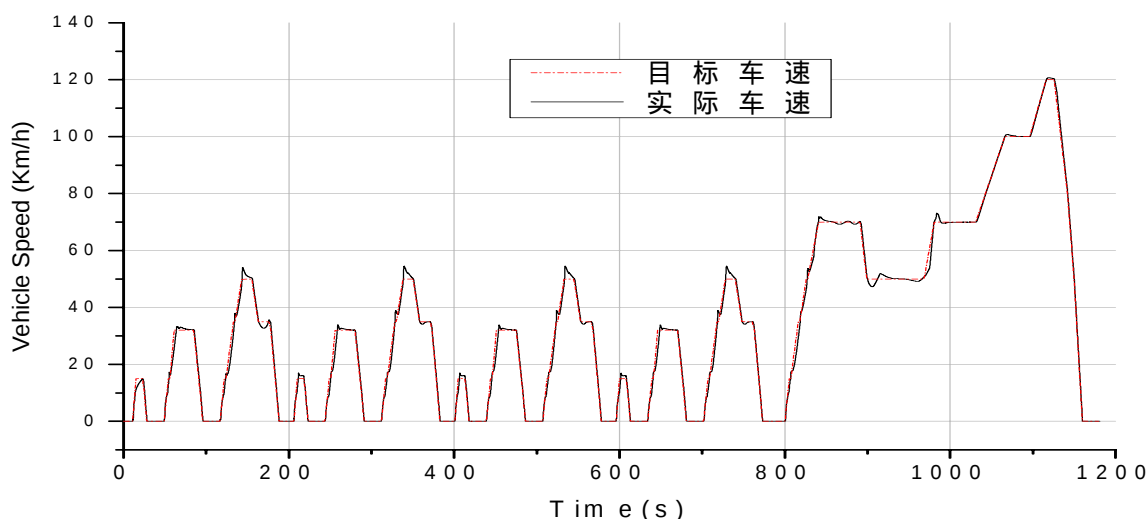


图 2 四缸 HCCI/SI 汽油发动机轿车模型 NEDC 道路循环进行仿真结果

图3给出轿车一个加减速过程(从310秒到390秒)发动机和轿车主要控制参数和状态参数。由图3可以看出，在加速过程中需要大量使用SI燃烧模式，这主要是为了满足车辆快速加速的

需要,此时SI与HCCI燃烧模式的切换也比较频繁,当加速过程完成后,如果车速不太大,使用HCCI燃烧模式就可以满足车辆行驶动力性的需求。图3中进排气门定时的变化,同时带来进排气门升程的变化,进排气门升程和相位的变化可以控制IMEP的变化,进而改变动力输出,并通过进排气门升程和相位的耦合控制完成HCCI和SI燃烧模式的切换。

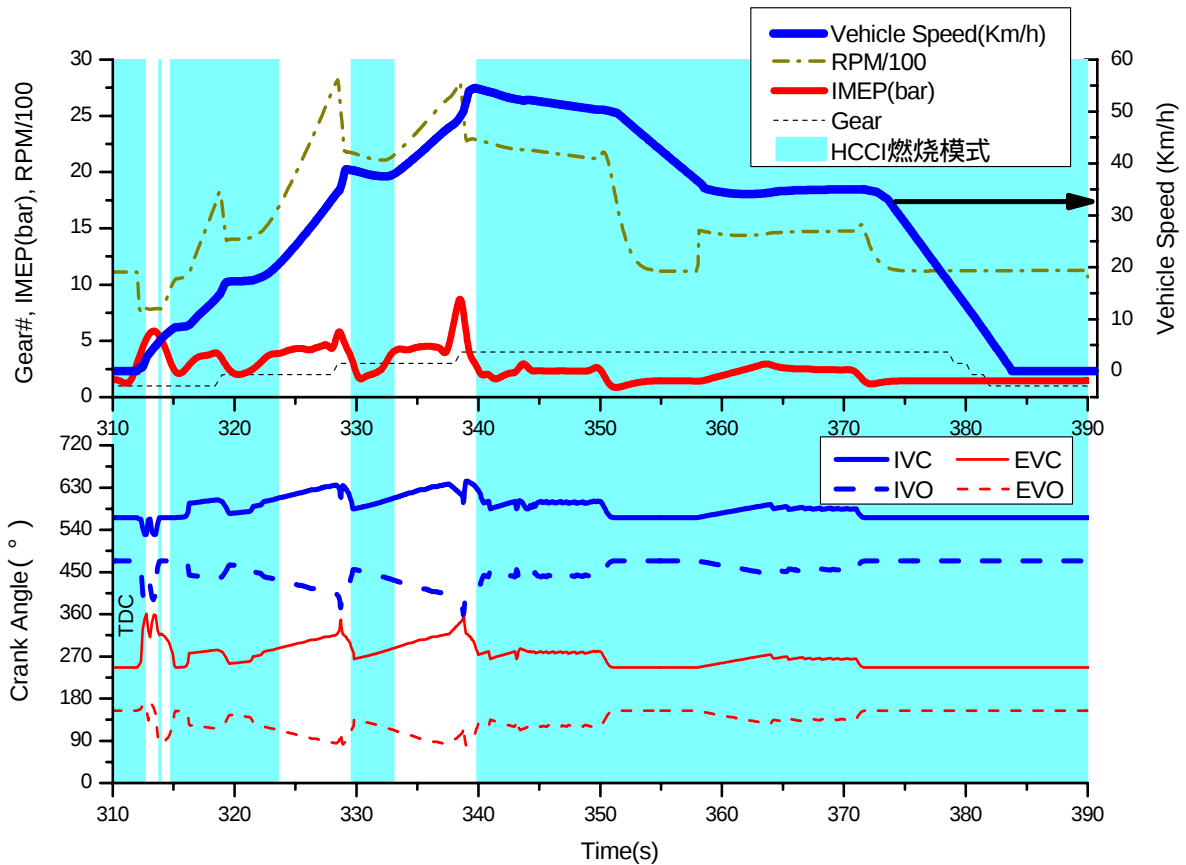


图 3 加减速过程发动机和轿车主要控制参数和状态参数

表2为双模式汽油机轿车与原汽油机轿车在不同驾驶循环下的百公里油耗对比。在整个NEDC循环中,用HCCI/SI汽油机代替原普通汽油机平均节油效果为10.9%,其中,郊区循环为11.4%,城市循环9.8%,郊区循环效果略好于城市循环。理论上讲,城市循环中怠速、低速部分比例较大,可以实现HCCI燃烧模式的比例较大,应该得到更好的经济性。但

表 2 基于 NEDC 循环的 HCCI/SI 汽油机轿车模型仿真结果与原轿车模型仿真结果比较

	城市循环百公里油耗 (L/100Km)	郊区循环百公里油耗 (L/100Km)	整个NEDC循环百公 里油耗 (L/100Km)
原汽油机轿车模型 仿真结果	11.489	8.5551	9.2143
HCCI/SI汽油机轿车 模型仿真结果	10.3626	7.5818	8.2066
HCCI/SI汽油机节油 效果	9.8%	11.4%	10.9%

实际上,由于城市循环中包含启动过程,以及在城市循环中HCCI与SI燃烧模式存在频繁切换,导致模式过渡过程中的燃烧恶化,HCCI燃烧带来的节油效果被部分抵消,而未能达到最佳的燃油经济性。所以优化控制HCCI与SI燃烧模式切换过程引起的燃烧过渡过程,整个循环的燃油经济性有进一步优化的空间。

4 结论

- (1) 利用GT-power丰富的模块库和开放的接口,建立了四缸HCCI/SI汽油机轿车模型,用于驾驶循环的评估。
- (2) NEDC循环下的仿真结果表明,所建立的控制策略可以较好的满足整车驾驶性能要求。
- (3) 与原普通汽油机轿车比较,HCCI/SI汽油机轿车表现出良好的经济性,整个NEDC循环节油10.9%。

参考文献:

- [1] Jing Qin, Hui Xie, Yan Zhang and Hua Zhao, "A Combustion Heat Release Correlation for CAI Combustion Simulation in 4-Stroke Gasoline Engines", SAE paper 2005-01-0183.
- [2] 谢辉,张岩,李楠,秦静,赵华. "全可变气门机构动态调节特性对HCCI运行的影响". 烧科学与技术, 2006年第3期.
- [3] Jari Hyvönen, Göran Haraldsson, Bengt Johansson, "Operating Conditions Using Spark Assisted HCCI Combustion During Combustion Mode Transfer to SI in a Multi-Cylinder VCR-HCCI Engine", SAE 2005-01-0109.
- [4] Andreas Vressner, Petter Strandh, Anders Hultqvist, et al. "Multiple Point Ion Current Diagnostics in an HCCI engine", SAE Paper 2004-01-0934.
- [5] Gregory M. Shaver, Matthew Roelle and J. Chritian Gerdes, "Modeling cycle-to-cycle coupling in HCCI engines utilizing variable valve actuation". IFAC,2004.
- [6] O. Lang, W. Salber and J. Hahn, "Thermodynamical and Mechanical Approach Towards a Variable Valve Train for the Controlled Auto Ignition Combustion Process", SAE 2005-01-0762.
- [7] Petter Strandh, Johan Bengtsson, Rolf Johansson, et al. "Cycle-to-cycle Control of a Dual-Fuel HCCI Engine", SAE Paper 2004-01-0941.
- [8] A. Fuerhapter, W.F. Piock, G.K. Fraidl, "The new AVL CSI Engine – HCCI Operation on a Multi Cylinder Gasoline Engine", SAE 2004-01-0551.
- [9] Shiro Yamaoka, Hiromu Kakuya, Shinji Nakagawa, et al. "HCCI Opertion Contral in a Multi-Cylinder Gasoline Engine", SAE 2005-01-0120.