

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.01.024

基于遗传算法优化的汽车主动转向控制研究

霍春宝¹, 程 艳¹, 王 京², 吴玉尚³, 王 燕⁴

(1. 辽宁工业大学 电气工程学院, 辽宁 锦州 121001; 2. 辽宁省电力有限公司 锦州供电公司, 辽宁 锦州 121001;
3. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100; 4. 北京印刷学院 机电工程学院, 北京 102600)

摘要: 针对汽车线控主动转向行驶稳定性问题, 对汽车线控主动转向的控制策略和控制方法进行了研究; 并对汽车的动力学模型进行了建立及简化; 利用遗传算法可以克服 BP 网络收敛速度慢和极易陷入局部极小值等特点, 提出了一种基于遗传算法优化 BP 神经网络的线控转向系统。通过选择典型工况, 利用 Carsim 和 Matlab/Simulink 联合仿真平台对不同的控制方法进行了仿真验证。研究表明, 基于遗传算法优化的 BP 网络控制对汽车主动转向控制效果较好, 能使实际横摆角速度对理想的横摆角速度实现很好的跟踪, 并显著提高了汽车行驶稳定性。

关键词: 汽车; 汽车主动转向; 遗传算法优化 BP 网络的控制; 横摆角速度; 稳定性

中图分类号: TP301.6; U469.72

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)01-0122-05

Active steering control of vehicle based on genetic algorithm optimization

HUO Chun-bao¹, CHENG Yan¹, WANG Jing², WU Yu-shang³, WANG Yan⁴

(1. Electric Engineering College, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China;

2. Liaoning province power co., LTD, Jinzhou power supply company, Jinzhou 121001, China;

3. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 4. Beijing Institute of Graphic Communication, Mechanical and Electrical Engineering College, Beijing 102600, China)

Abstract: Aiming at the vehicle steering-by-wire control with active steering, the control method and strategy of SBW were researched. Then the SBW model was built up. The genetic algorithm method can overcome the problems such as slow convergence speed and easy to fall into minimum points of the BP network, a SBW based on optimized BP network with genetic algorithm was advanced. The typical conditions are selected, the control method was verified by using Matlab/Simulink and Carsim co-simulation. The results indicate that the control effect is good for vehicle active steering based on the optimized BP network with genetic algorithm, the actual yaw rate can recur the yaw rate preferably and the stability of vehicle is improved significantly.

Key words: vehicle; the vehicle active steering; the optimized network with genetic algorithm; the yaw rate; stability

0 引 言

随着汽车线控转向和控制方法等技术的不断发展, 人们对汽车行驶稳定性的要求也越来越高。汽车的行驶稳定性是影响汽车安全高速行驶的一项重要的性能, 影响汽车行驶稳定性的因素有很多, 包括汽车的

结构、参数、汽车的运行状态、方向盘转角和路面附着系数等^[1-2]。因此, 汽车行驶稳定性控制器的设计涉及到复杂的非线性问题。目前对汽车行驶稳定性的研究主要有两个方面: 一是根据汽车线控转向控制策略^[3-4], 研究了现代控制理论和控制方法^[5-6], 如 PID 控制、模糊控制和滑模控制等; 二是利用现代一些先进

收稿日期: 2015-06-25

基金项目: 辽宁省科技厅联合基金项目资助(2015020047); 北京市青年教师拔尖人才资助项目(TXM2015-014223-000007)

作者简介: 霍春宝(1972-), 男, 辽宁锦州人, 主要从事控制理论与控制工程等方面的研究。E-mail: huochunbao@sina.com

通信联系人: 王 燕, 女, 副教授, 硕士生导师。E-mail: Wangyanzi@bige.edu.cn

的技术对汽车的关键参数进行设计。

但是,PID控制和模糊控制很难随着车况的变化作出自动调整,BP网络控制的收敛速度慢,并极易使问题的解陷入局部极小点^[7]。因此,本研究设计了基于遗传算法优化的BP网络控制方法,使其能对参数作出自动调整以适应不同的车况^[8]。遗传算法优化的BP网络的基本思想是用个体代表神经网络的初始权值和阈值,初始化BP网络的误差代表个体的适应度值,通过选择、交叉和变异等操作得到最优个体,即最优的神经网络的初始权值。

本研究在汽车主动转向理论分析的基础上提出遗传算法优化的BP网络控制方法,通过Carsim和Matlab/Simulink搭建汽车线控转向联合仿真平台,并对控制策略和控制方法进行验证。

1 主动转向控制策略

本研究所设计的主动转向控制策略原理如图1所示。

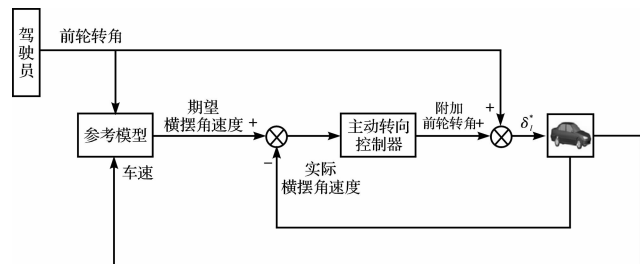


图1 汽车主动转向控制策略原理图

参考模型根据驾驶员的驾驶操作和汽车外部输出的车速得到期望横摆角速度 ω_r^* ,然后控制器再对理想横摆角速度和实际横摆角速度的偏差及偏差的变化率进行遗传算法优化BP网络的控制,从而得到前轮附加角度值 $\Delta\delta_f$,并与实际的前轮角度值 δ_f 进行叠加,得到希望的前轮角度值 δ_f^* ,最终控制汽车转向,使汽车的行驶稳定性提高。

本研究采用的参考模型为线性二自由度整车模型,根据驾驶员提供的方向盘转角和整车模型所输出的车速等信息计算出汽车的理想的横摆角速度。

根据汽车理论,线性二自由度汽车动力学模型如下^[9]:

$$\begin{cases} (k_1 + k_2)\beta + \frac{\omega_r}{u}(ak_1 - bk_2) - k_1\delta_f = m(\dot{\beta} + \omega_r) \\ (ak_1 - bk_2)\beta + \frac{\omega_r}{u}(a^2k_1 + b^2k_2) - ak_1\delta_f = I_z\dot{\omega}_r \end{cases} \quad (1)$$

理想的横摆角速度值为:

$$\frac{u}{L \cdot \left[1 + \frac{m}{L^2} \left(\frac{a}{k_2} - \frac{b}{k_1} \right) u^2 \right]} \delta_f$$

式中: a, b —前、后轴到汽车质心的距离; k_1, k_2 —两前轮、后轮侧偏刚度之和; m —质量; u —汽车在 X 轴上的质心速度分量; δ_f —前轮转角; L —轴距; β —质心侧偏角; ω_r —横摆角速度; I_z —汽车绕 z 轴的转动惯量。

2 基于遗传算法优化的BP网络控制器的设计

BP网络应用虽然很广泛,但是其收敛速度慢和极易陷入极小值点等问题是其瓶颈之一。而遗传算法具有收敛速度快和全局搜索等优点,考虑到遗传算法和BP网络的优点,因此将两种算法结合起来,不仅发挥了BP网络的泛化能力,而且克服了BP网络的收敛速度慢和容易陷入局部极小值等缺点。

遗传算法优化BP网络的算法流程图如图2所示^[10-13]。

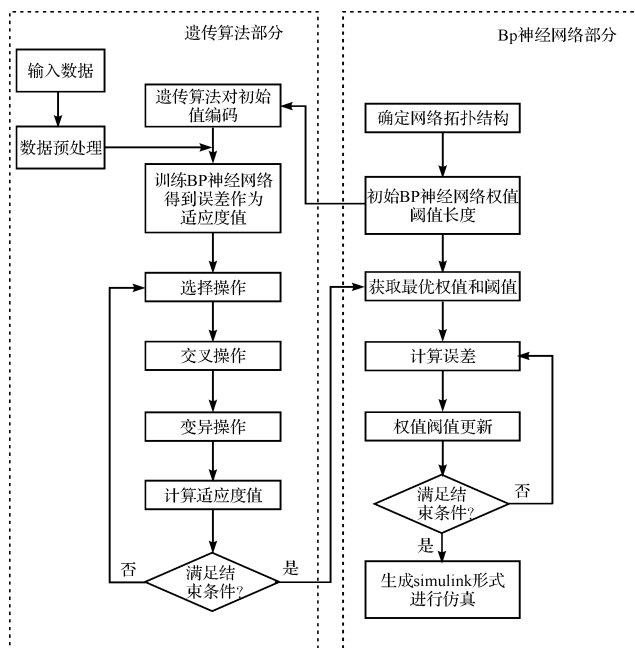


图2 遗传算法优化BP网络算法流程图

遗传算法优化的BP网络是用遗传算法优化BP网络的初始权值和阈值,使优化后的BP网络能更好地控制系统地输出。遗传算法优化BP网络主要包括编码、初始化种群、适应度函数、选择操作、交叉操作和变异操作^[14]。

3 遗传算法优化的BP网络控制器的应用

3.1 训练样本

为了实现遗传算法优化的BP网络的控制方法,需要训练数据,本研究采用仿真的方法来获取训练样本,在Matlab/Simulink中搭建基于PI控制的汽车主动

前轮转向数据采集模型,任意输入一组方向盘转角和车速,将得到的理想横摆角速度与实际横摆角速度的偏差及偏差的变化率作为遗传算法优化的 BP 网络的输入,并记录输入数据,同时将得到的附加前轮转角作为遗传算法优化的 BP 网络控制器的输出,记录需要附加的前轮转角。得到的训练样本如表 1 所示。

表 1 训练样本						
序号	输入样本				输出样本	
	低附着系数		高附着系数		低附着系数	高附着系数
1	0	0	0.439	0.992	0	0.525 8
2	3e-04	0.0443	0.439	0.992	0.001 7	0.525 9
3	-0.067	-6e+07	0.258	0.992	-0.463	0.352 0
4	0.399 6	1.2e+09	0.939	1	2.614 0	1
5	-0.003	102.40	0.687	-1	0.067 8	0.786 7
6	-0.891	0	-0.811	0.999 2	-5.783 6	-0.664 3
7	-1.013	0	-1	0.999	-6.906	-1
8	0.383 3	0	1	0.999 2	2.135 5	0.885 9
9	0.014 5	0	0.435 2	0.999 2	-0.172 2	0.392 0
10	0.031 0	-9.9e-01	0.552 9	0.999 2	-0.063 4	0.508 7
11	0.038 2	0.2847	0.555 4	0.999 2	-0.005 7	0.521 9
12	0.035 9	-1.2e-05	0.543 4	0.999 2	-0.010 5	0.520 3
13	0.034 4	1.8e+03	0.534 0	0.999 2	-0.010 4	0.520 4
14	0.032 9	-0.0013	0.525 7	0.999 2	-0.010 7	0.520 8
15	0.031 5	-4.8e-04	0.517 9	0.999 2	-0.010 8	0.521 0

3.2 样本训练

本研究将表 1 中的 15 个训练数据导入 BP 网络的输入层,然后将遗传算法和 BP 网络相结合进行训练^[15-16]。遗传算法的参数设置为:种群的规模为 10,最大的遗传代数为 50,交叉概率为 0.4,变异概率为 0.2。初始权值的取值范围为 $[-3,3]$;神经网络的参

数设置为:最大的迭代次数为 100 次,学习速率为 0.1,误差的目标值为 0.000 01。

本研究依据遗传算法和 BP 网络等理论,在 Matlab 中编程从而实现遗传算法优化的 BP 网络的控制方法,因此,在遗传算法进行优化的过程中,在低、高附着系数的工况下得到的最优个体适应度值变化如图 3 所示。

利用遗传算法进行优化得到 BP 网络最优的初始权值和阈值如表 2 所示。

表 2 最优初始权值和阈值							
输入层		隐层		隐层输出		输出层	
隐层间权值		节点阈值		层间权值		节点阈值	
低附着系数	高附着系数	低附着系数	高附着系数	低附着系数	高附着系数	低附着系数	高附着系数
3.98	-1.17	1.68	4.53	-4.04	-0.21	3.28	-2.68
-3.56	-2.37	-4.24	-1.76	1.45	-2.49		
-2.54	0.91	-1.07	1.36	-0.04	-2.85		
-3.69	-1.27	-2.68	0.91	-2.40	0.25		
2.03	-3.01	4.46	4.59	2.33	-2.39		
-1.70	1.22	-1.41	-3.57	4.49	4.28		
-3.97	-1.23	-2.09	-1.51	4.66	0.78		
-2.79	-2.26						
3.50	0.97						
-2.88	-2.72						
-3.14	-1.39						
-1.05	4.39						
-2.40	-3.14						
0.98	-0.86						

4 仿真实验与对比

本研究利用 CarSim 与 Matlab/Simulink 搭建了汽车线控转向整车模型,其主要参数如表 3 所示。

表 3 整车模型主要参数		
名称	符号	数值
整车质量/kg	m	1 274
簧下质量/kg	m_1	100
质心到前轴的距离/mm	a_1	1 040
质心到后轴的距离/mm	b_1	1 560
绕 z 轴的转动惯量/kg·m	I_z	1 523

为证明笔者所设计的控制器的有效性,本研究在 CarSim 中选择的仿真工况为:车辆以 80 km/h 的速度在附着系数为 0.8 的高附着路面和以 80 km/h 的速度在附着系数为 0.5 的低附着路面上进行行驶。

方向盘的输入转角如图 4 所示。
低附着路面的仿真结果如图 5 所示。

如图 5(a)所示,采用遗传算法优化的 BP 神经网络控制的横摆角速度相比于无控制、传统神经网络控制的横摆角速度能更好地跟踪理想的横摆角速度,同时减少

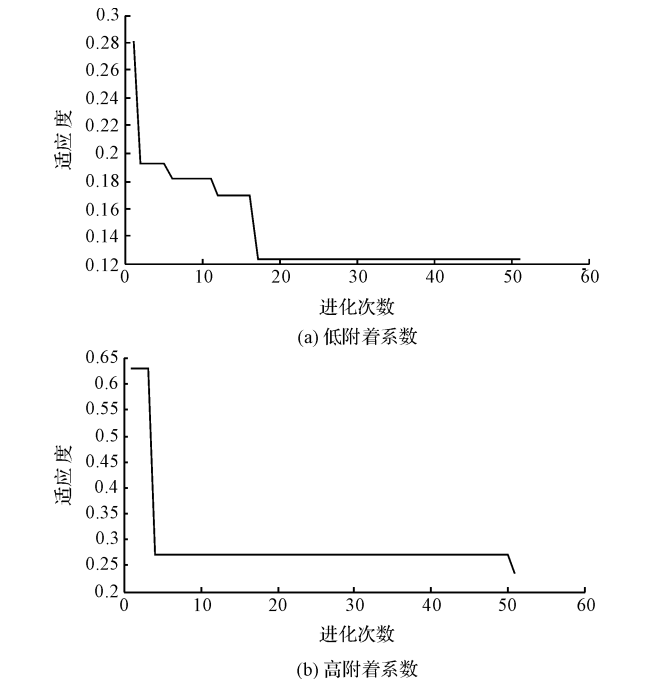


图 3 最优个体适应度值

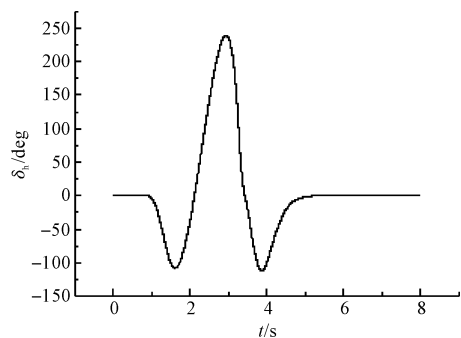


图 4 方向盘转角

了其振荡的幅值。由此可见本研究所建立的遗传算法优化的 BP 神经网络控制器可以很好地使汽车的横摆角速度收敛速度加快,从而提高了汽车的行驶稳定性。

如图 5(b)、5(c)所示,无控制的侧向加速度、质心侧偏角的变化范围很大,基于遗传算法优化的 BP 神经网络控制与传统神经网络控制相比,遗传算法优化的 BP 神经网络控制能很好地使侧向加速度值、质心侧偏角值变小,提高了汽车的横向稳定性。

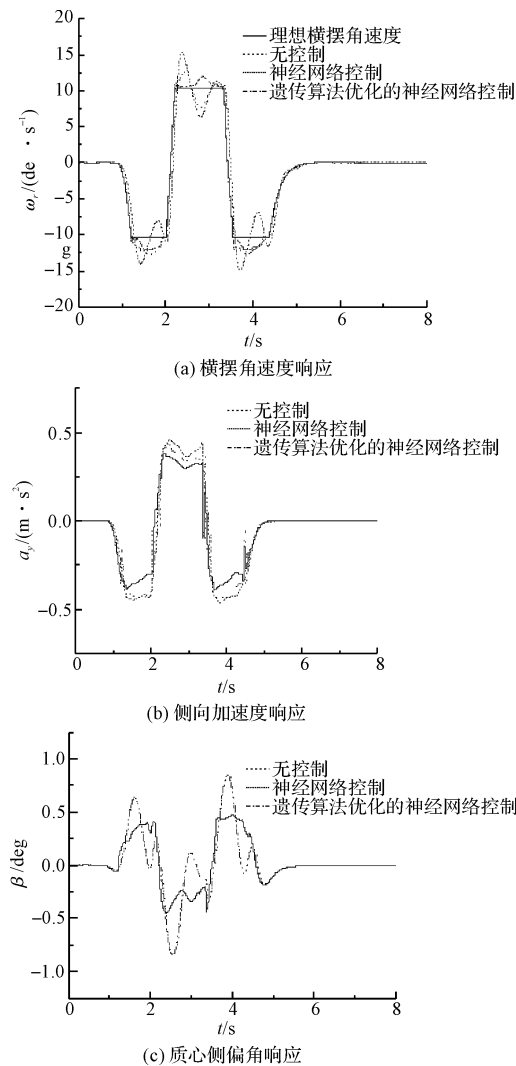


图 5 低附着路面仿真结果

高附着路面的仿真结果如图 6 所示。

如图 6(a)所示,无控制和神经网络控制时的横摆角速度急剧变大,特别是在 2 s~4 s 时,汽车出现严重失稳,而基于遗传算法优化的 BP 神经网络的的控制能很好的跟踪期望值,使汽车的稳定性提高。

如图 6(b)、6(c)所示,汽车在高速行驶的状态下,基于遗传算法优化的 BP 神经网络控制方法能很好的对汽车不足转向控制更好,提高了汽车的稳定性。

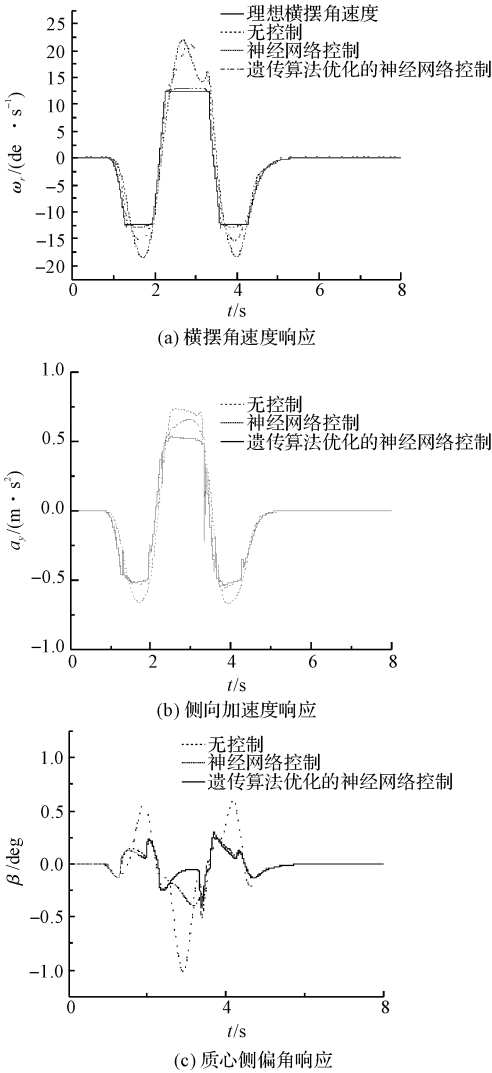


图 6 高附着路面仿真结果

5 结束语

本研究论述了汽车的主动转向控制策略,以及简要概述了线性二自由度汽车动力学模型。为了克服了 BP 网络收敛的速度慢和极易陷入局部极小值等缺点,本研究提出了遗传算法优化 BP 神经网络的控制方法,并设计控制器的线控转向系统。笔者通过本研究设计的控制器与无控制和传统控制器来作比较,仿真结果表明,本研究提出的控制方法对理想的横摆角速

度跟踪效果好,且侧向加速度和质心侧偏角比无控制时的收敛性能好,明显地提高了汽车转向时的行驶稳定性,也有效地降低了驾驶员的操作负担。

参考文献 (References):

- [1] ZUO G, KUMAMOTO H, NISHIHARA O, et al. Quantitative reliability analysis of different design alternatives for steer-by-wire system[J]. **Reliability Engineering and System Safety**, 2005, 89(3): 241-247.
- [2] ZHU X C, ZHANG Y C, QIU H. Power control system of four-wheel independent drive electric vehicle[C]//Proceedings of the International Conference on Remote Sensing Environment and Transportaion Engineering. Nanjing: [s. n.], 2011: 1819-1822.
- [3] 朱小春,董铸荣,贺 萍. 线控转向电动汽车运动控制系统的研究[J]. 机电工程, 2014, 31(6): 779-782.
- [4] JIANG D, BALDICK R. Optimal electric distribution system switch reconfiguration and capacitor control [J]. **IEEE Transactions on Power Systems**, 1996, 11(2): 890-897.
- [5] 郑宏宇,李 君,宗长富,等. 线控转向汽车横摆角速度增益优化设计[J]. 吉林大学学报:工学版, 2012, 42(1): 7-11.
- [6] 朱凌俊,于苏楠,刘晓帆,等. 基于改进 H_∞ 算法的线控转向系统仿真研究[J]. 机电工程, 2014, 31(11): 1436-1440, 1478.

- [7] 王小川,史 峰,郁 磊,等. Matlab 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
- [8] 刘弈君,赵 强,郝文利. 基于遗传算法优化 BP 神经网络的瓦斯浓度预测研究[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(2): 56-60.
- [9] 余志生. 汽车理论[M]. 4 版. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [10] 李喜盼,刘新侠,张安兵,等. 遗传算法神经网络在滑坡灾害预报中的应用研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2009, 26(1): 69-71.
- [11] 邓晖飞,苏 平,徐晟逸,等. 神经网络结合定性预测的订单预测方法研究[J]. 机电工程技术, 2014, 43(9): 37-40, 109.
- [12] 宁梓呈,郑玉航,王爱亮,等. 基于 PCA-GA-BP 神经网络的状态评估算法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(9): 31-34.
- [13] 王小川,史 峰,郁 磊,等. Matlab 神经网络 43 个案例分析[M]. 1 版. 北京:北京航空航天大学出版社, 2013.
- [14] 王志兴,李成振,范宝山,等. 基于遗传神经网络的河流冰凌预报[J]. 水利水电技术, 2009, 40(2): 57-59.
- [15] 段侯峰. 基于遗传算法优化 BP 神经网络的变压器故障诊断[D]. 北京:北京交通大学电气工程学院, 2008.
- [16] 陈 宁,周志峰,王永泉,等. 一种纯追踪模型改进算法[J]. 轻工机械, 2014, 32(4): 69-72.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

霍春宝,程 艳,王 京,等. 基于遗传算法优化的汽车主动转向控制研究[J]. 机电工程, 2016, 33(1): 122 - 126.

HUO Chun-bao, CHENG Yan, WANG Jing, et al. Active steering control of vehicle based on genetic algorithm optimization[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2016, 33(1): 122 - 126.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 121 页)

- [2] VELLIS G. Model-based development of synchronous collaborative user interfaces [C]//Proceedings of the 1st ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems. Pittsburgh: [s. n.], 2009: 309-312.
- [3] 王 焯. 基于数字化工厂的信息代码标准体系开发[D]. 重庆:西南大学工程技术学院, 2007.
- [4] 尉 进. 混合动力汽车整车控制器的开发与试验[D]. 合肥:合肥工业大学机械与汽车工程学院, 2012.
- [5] CTANIA A E, FERRARI A, MANNÒ M, et al. Experimental investigation of dynamics effects on multiple-injection common rail system performance[J]. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, 2008, 130: 1-13.

- [6] 郑金保,缪雪龙,洪建海,等. 共轨系统电磁喷油器盛油槽压力测量与分析[J]. 内燃机学报, 2012, 30(1): 86-90.
- [7] 刘振明,邵利民,欧阳光耀. 基于近似模型的共轨柴油机喷射系统参数优化研究[J]. 内燃机工程, 2011, 32(6): 63-67, 73.
- [8] HANG C C, HOW K, CAO L S. A comparison of two designmeth 2ods for PID controllers [J]. **ISA TRANS**, 1994, 33(2): 147-151.
- [9] 王洪荣,张幽彤,蔡乐乐. 高压共轨柴油机轨压控制和匹配研究[J]. 农机化研究, 2008(5): 166-169.
- [10] 董 伟,于秀敏. 共轨柴油机启动油量和主喷提前角对启动特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 64-68.

[编辑:张 豪]