doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.051

集成式电子驻车系统起步辅助控制策略研究

初　亮[1]　马文涛[1]　祁富伟[1]　陈　箭[1,2]　杨小雨[2]

(1. 吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室, 长春 130022; 2. 苏州萨克汽车科技有限公司, 苏州 215000)

摘要: 为了减小汽车起步时对驾驶员驾驶技术的要求和驾驶员误操作造成的驻车制动系统寿命的缩短,在集成式电子驻车制动系统的基础上研究汽车起步时的辅助控制。通过对车辆起步受力工况的详细分析,归纳了车辆起步的工况,同时详细计算得出车辆起步时的阻力,为控制策略的研究提供基础。对集成式 EPB 系统的结构和工作特点进行研究,分析实现车辆起步控制的可行性。通过实车试验,验证了集成式电子驻车系统起步控制策略的正确性,实现了起步时的辅助控制,解决了车辆起步时对驾驶员技术的依赖,提高了驻车制动系统的寿命。

关键词: 电子驻车制动; 起步辅助; 控制策略; 实车试验

中图分类号: U463.5　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2016)03-0361-06

Start Assist Control Strategy of Integrated Electronic Parking Brake System

Chu Liang[1]　Ma Wentao[1]　Qi Fuwei[1]　Chen Jian[1,2]　Yang Xiaoyu[2]

(1. *State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control*, *Jilin University*, *Changchun* 130022, *China*

2. *Department of Suzhou SAC Auto Technology Co.*, *Ltd.*, *Suzhou* 215000, *China*)

Abstract: In order to reduce the technical requirements of car start to the driver and avoid the wrong operation that will shorten the life of parking brake system, an integrated electronic parking brake system, which has motor and transmission mechanism, was proposed. The driver can realize the vehicle parking through the button of parking brake system operation. The start working conditions of vehicle were analyzed and concluded in detail. At the same time, the resistance of vehicle start was calculated, which provides basis for the research of control strategy. The research on structure and working characteristics of integrated electronic parking brake was carried out and the feasibility of start assist control was analyzed. The real vehicle test verified the correctness of start control strategy of integrated electronic parking brake system, realized the assistant control of vehicle start, reduced the dependence of driver's technology to vehicle start and increased the life of parking brake system.

Key words: electronic parking brake; start assist; control strategy; real vehicle test

引言

车辆行驶工况中的起步过程是驾驶过程中比较难控制的工况之一。对于装有传统机械拉索式驻车制动系统的车辆存在以下问题:起步前驻车释放,车辆起步时需要离合、制动踏板、油门配合驾驶员,操作繁琐;起步时驻车释放,释放点不容易把握,发动机油耗较高;驻车释放不完全,则会造成制动器在行驶过程中的磨损以及车辆的油耗增加[1-4]。

坡道起步在电子驻车系统中一直是研究的重点,本文基于集成式的电子驻车制动系统(Electronic parking brake, EPB)研究汽车起步时的控制策略[5-7]。通过分析车辆起步过程的工况以及车辆的受力状况,结合 EPB 的结构以及原理实现车辆在起步过程中的辅助控制功能[8-10]。

1　汽车坡道起步工况与受力分析

车辆静止的驻车工况可以分为有坡道与无坡道两种情况,车辆在起步时又有两种情况:直线起步与弯道起步。根据车辆状态总结车辆的起步工况为:

收稿日期: 2015-07-24　修回日期: 2015-09-27

基金项目: 国际科技合作计划项目(2012DFA61010)和吉林省科技发展计划项目(20130204019GX)

作者简介: 初亮(1967—),男,教授,博士生导师,主要从事车辆底盘控制和新能源汽车研究,E-mail: liangchu@jlu.edu.cn

工况 1,车辆水平直线起步;工况 2,车辆水平转弯起步;工况 3,车辆坡道直线起步;工况 4,车辆坡道转弯起步。

基于以上工况的受力分析过程如下。车辆起步是指车辆从静止到运动的过程,车辆静止说明车辆能够稳定驻车,所以在起步过程中可以忽略车轮的滑转、空气阻力等因素的影响。由于滚动阻力是由车轮的滚动引起的,在起步阶段的车轮轮速低,滚动阻力也可以忽略。

(1)车辆静止时,车辆坐标系绕 y 轴的转动角度为 α_1(α_1 的数值在车辆上坡时为正、下坡时为负),x 轴方向的车辆阻力如图 1 所示。

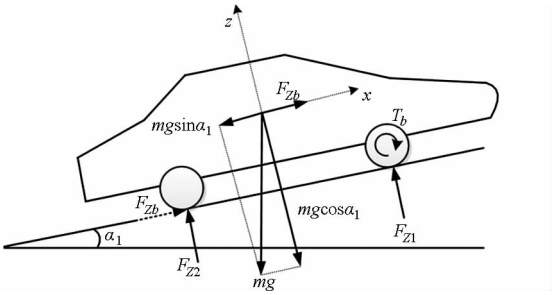

图 1 车辆静态纵向受力示意图

Fig. 1 Diagram of longitudinal force for static vehicle

图 1 中,F_{Z1} 为车辆前轮的正压力;F_{Z2} 为后轮的正压力;F_{Zb} 为车辆静止时的后轮地面制动力;α_1 为车辆所处位置的坡度角;T_b 为前轮驱动力矩;mg 为车辆的重力。

从图 1 中可以看出,车辆静止时在 x 轴方向的受力方程式为

$$F_{Zb} - mg\sin\alpha_1 = 0 \tag{1}$$

(2)车辆静止时,方向盘转动角度为 α_2(α_2 的数值遵守右手系标准),x 轴方向的车辆阻力如图 2 所示。

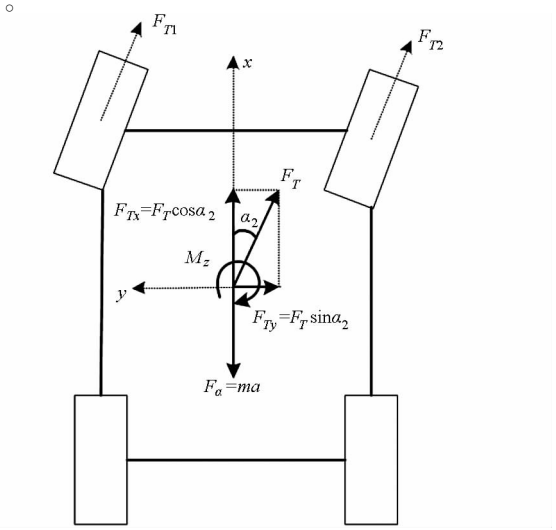

图 2 车辆起步驱动力受力示意图

Fig. 2 Diagram of started driving force for vehicles

图 2 中,F_T 为两个前轮驱动力 F_{T1}、F_{T2} 合力的等效力;F_a 为加速阻力;a 为车辆加速度;M_z 为车辆横摆力矩;α_2 为车轮转向角。

驱动力在 x 轴方向的受力方程式为

$$F_T - F_a = F_T\cos\alpha_2 - ma = 0 \tag{2}$$

由上面分析可知,车辆起步总的受力公式为

$$F_{Zb} + F_T\cos\alpha_2 = mg\sin\alpha_1 + ma \tag{3}$$

针对工况 1,车辆处于水平位置且车辆没有转向角度,则公式中的 α_1、α_2 为 0,根据公式(3)驱动方程为

$$F_T = ma - F_{Zb} \tag{4}$$

车辆的驱动力只需要克服惯性就能起步。

针对工况 2,车辆处于水平位置且车辆起步时有方向盘转角,说明车辆是在平地转弯起步,根据公式(3),这时车辆的驱动方程式为

$$F_{Zb} = ma - F_T\cos\alpha_2 \tag{5}$$

车辆的驱动力在车辆坐标系 x 轴方向上的分力克服车辆惯性就能起步。

针对工况 3,车辆处于有角度的坡路上且车辆起步时没有方向盘转角,说明车辆在 x 轴方向坡起,根据公式(3),这时的车辆驱动方程式为

$$F_{Zb} = mg\sin\alpha_1 + ma - F_T \tag{6}$$

车辆的驱动力与车辆重力分力的合力在 x 轴方向的大小能克服车辆的惯性就能起步。其中根据 α_1 值的正负可以判定车辆是在上坡还是下坡,这时释放策略是不同的。

针对工况 4,车辆处于有角度的坡路上且车辆起步时有方向盘转角,说明车辆转向坡起,根据公式(3),这时的车辆驱动方程式为

$$F_{Zb} = mg\sin\alpha_1 - F_T\cos\alpha_2 + ma \tag{7}$$

车辆的驱动力与车辆重力分力的合力在 x 轴方向与工况 3 一致,同时根据 α_2 值设定是左转还是右转制定不同的控制策略。

2 EPB 系统结构与工作原理分析

2.1 集成式 EPB 系统结构

集成式 EPB 系统代替了原来的拉锁式手刹,是线控制动的典型代表。其系统结构如图 3 所示。

如图 3 所示,EPB 系统由控制器、按钮、通信网关、执行器卡钳构成。

控制器中包含按键识别电路,与按键内部电路一起识别当前按键的状态,由控制器中的程序检测驾驶员当前需要执行什么动作;H 桥驱动电路可以通过不同的通路来实现驻车制动执行器电动机的正反转,实现卡钳的夹紧释放[11]。

通信网关用于接收整车 CAN 网络的信号,其中

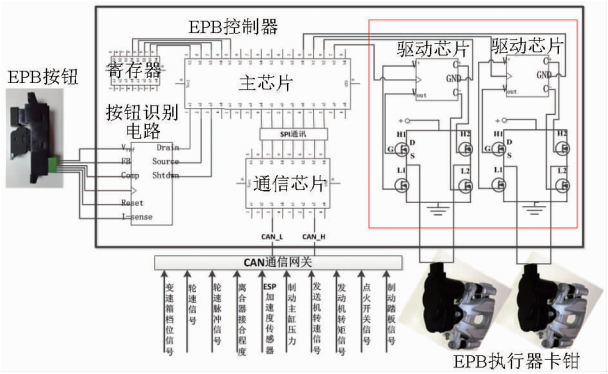

图 3　集成式 EPB 结构图

Fig. 3　Structure of integrated EPB

包括变速箱挡位信号、轮速信号、整车扭矩信号、ESP 加速度传感器信号、发动机转矩信号、加速踏板信号[12-13]。相关 CAN 信号的精度如表 1 所示。

表 1　接收的 CAN 总线信号

Tab. 1　Received CAN bus signal

信号名	长度/bit	数值单位精度	节点
轮速(例:前左轮)	12	0.068 75 m·s^{-2}/bit	ESP
x 方向加速度	12	0.027 12 m·s^{-2}/bit	ESP
y 方向加速度	12	0.027 12 m·s^{-2}/bit	ESP
整车扭矩信号	16	1 N·m/bit	TCU
挡位	4	1	TCU
油门	8	0.01/bit	ECM
加速踏板位置	8	0.392%/bit	ECM
方向盘转角	16	0.1°/bit	SAS

注:int 型值为 CAN 信号十六进制原始数值。例如:精度为 0.068 75 m·s^{-2}/bit表示原始值 int 乘以精度 0.068 75,信号单位是 m·s^{-2}。

执行器卡钳是指电动机集成到卡钳上的后制动器,其具体结构如图 4 所示。

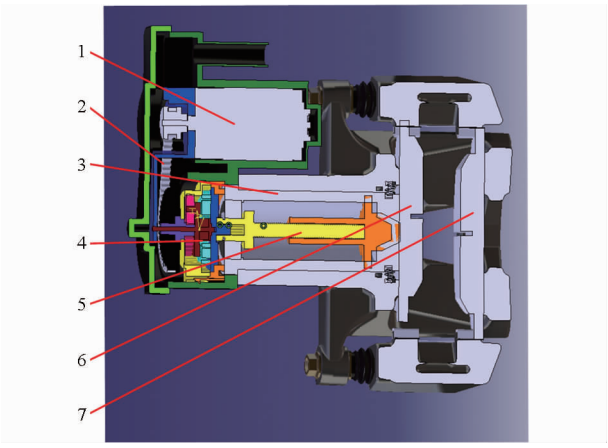

图 4　执行器剖面图

Fig. 4　Profiles of actuator

1. 电动机　2. 齿形带传动　3. 活塞　4. 双级行星排减速机构　5. 丝杠螺母机构　6、7. 摩擦片

其中执行器结构部分参数如表 2 所示。

2.2　EPB 的工作原理

EPB 系统的控制器上电后,通过 CAN 通信网关接收外部的信号并分析判断是否能满足 EPB 工作的条件。如果信号满足 EPB 控制正常工作的要求,控制器会监控按钮的状态以及 CAN 通信网关的信号状态。

表 2　执行器参数

Tab. 2　Parameters of actuator

参数	数值	参数	数值
电动机额定功率/kW	0.24	齿形带传动比	3
电动机额定电压/V	12	行星排传动比	41.5
电动机额定电流/A	25	丝杠导程/mm	1
电动机额定频率/Hz	60	丝杠有效长度/mm	35
电动机额定转速/(r·min^{-1})	10 000	丝杠精度	C7

如果监控到 EPB 按钮的状态满足夹紧状态,控制器会控制 H 桥电动机驱动电路实现电动机的正转。电动机正转会驱动齿形带进而带动行星排减速机构来实现降速增扭。电动机的扭矩经过放大后通过丝杠螺母机构将丝杠的旋转运动转换成螺母的直线运动,从而推动制动缸使制动摩擦片夹紧制动盘实现制动过程,相反如果 EPB 的按钮状态满足释放时,执行器会相应实现制动摩擦片释放制动盘减小制动力。

3　起步辅助控制策略

3.1　车辆状态识别策略

车辆驻车时,停靠在不同路面状态的车辆有不同的起步过程,所以首先要识别车辆起步时的状态[14-15]。车辆状态主要通过车辆加速度信号,以及 EPB 上一次工作时的状态来识别。其中车辆加速度信号从 ESP 节点得到,EPB 的上次工作状态从控制器得到。其中加速度传感器中的信号如表 3 所示。

表 3　加速度传感器参数

Tab. 3　Parameters of acceleration signal

传感器信号	信号精度	信号范围	工作温度/℃
加速度 a_x	1 V/g	−1.7 ~ 1.7g	−40 ~ 125
加速度 a_y	1 V/g	−1.7 ~ 1.7g	−40 ~ 125

其中坡度角的计算公式为

$$\alpha = \arcsin a_{x_or_y} \tag{8}$$

式中　$a_{x_or_y}$——车辆轴向加速度

根据加速度信号可以判断车辆处于坡道上还是平路面上。

车辆上次工作状态主要包括 EPB 的状态以及状态的数值,如表 4 所示。

根据当前车辆的状态和 EPB 上次工作状态可判断车辆的初始状态是否为夹紧,进而判断 EPB 是

表 4 EPB 上电初始状态

Tab. 4 Initial state of EPB charged with electricity

EPB 的状态	夹紧力/N	EPB 故障
释放状态	0	0(功能正常)
夹紧状态	F_C(上次夹紧力)	1(系统报警)

否进入起步辅助控制,根据驾驶员制动意图来实现相应的控制。

3.2 驾驶员的意图识别策略

当知道车辆的状态后,可以根据驾驶员的意图实现车辆正常的起步控制。驾驶员的意图识别可以通过有关驾驶员操作的信号来实现,如图 5 所示。

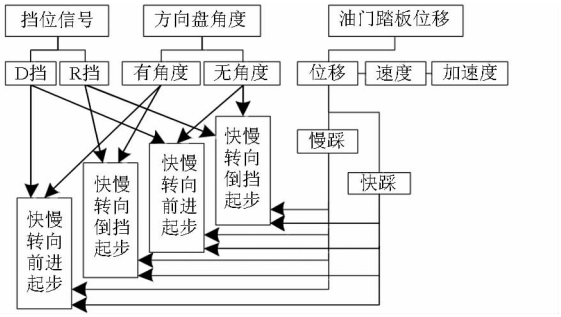

图 5 驾驶员意图识别逻辑

Fig. 5 Intention recognition logic for driver

通过以上信号可以实现识别驾驶员在起步时的驾驶意图,驾驶意图是车辆最终达到的目标。

3.3 EPB 协调控制策略

车辆起步时,只要驱动力大于坡道阻力后驻车制动即可解除,根据前文的分析,在车辆的起步过程中由于车辆状态或者驾驶员的起步意图不同则会有不同的车辆表现形式。根据 EPB 的系统特点可以得知 EPB 系统从制动状态到释放状态过程需要的时间,如图 6 所示。

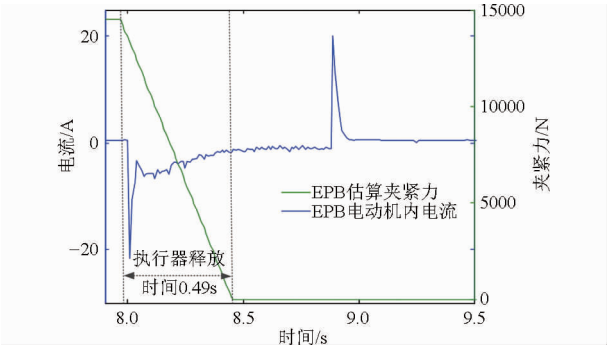

图 6 执行器特性曲线

Fig. 6 Characteristic curve of actuator

从图 6 中可以看出,EPB 在释放时,电动机内电流的数值为负。启动时会有一个反向脉冲,是由电动机启动时负载较大引起的。随后电流缓慢下降,EPB 的夹紧力下降。从 EPB 的夹紧力开始减小到零的时间为 0.49 s。

图 7 所示车辆驻车阻力是指车辆的重力在车辆坐标系 x 轴上分力为负(车辆上坡即车辆前行)时,EPB 夹紧状态下车辆所受的起步阻力。车辆的驱动力矩是指车辆动力系统传递到驱动轮使车辆产生驱动力的力矩大小。根据红色曲线分成上下两部分。当车辆驱动力曲线处于红色曲线下的区域 1 时,车辆驱动力小于车辆的驻车阻力,不满足释放的标准。

在驾驶员踩加速踏板使车辆驱动力矩增加时,网关会通过 CAN 网络转发发动机的输出力矩到 EPB 的控制器。实车 EPB 控制软件的计算周期为 10 ms,EPB 控制软件会监控 10 个循环的发动机输出力矩数值,根据其变化来估算整车驱动力矩的增长速率,而后 EPB 软件每执行一次即 10 ms 整车驱动力矩的数值被重新计算,进而监控驱动力矩达到图 7 中红色分界线的时刻。

车辆在这种条件下,其驱动力矩按照图中曲线 b 增长,则 EPB 控制器释放时间点为 $t_1 + t_3 - t_2$。如果车辆的驱动力矩按照图 7 中曲线 a 增长,则 EPB 的释放时间点为 t_1。

图 8 所示车辆驻车阻力是指车辆的重力在车辆坐标系 x 轴为正(车辆上坡即车辆倒行)时,EPB 夹紧状态下车辆所受的起步阻力。由红色曲线与蓝色曲线分成上下两部分。在时间区域 t_1 内时,EPB 产生的驻车阻力减小,车辆的驱动力矩增加,车辆静止不动;在时间区域 t_3 内时,EPB 产生的驻车阻力仍在减小,车辆的驱动力矩继续增加,当车辆驱动力矩大于阻力矩时,车辆起步。

但是车辆的重力在车辆坐标系 x 轴上分力为负(车辆下坡即车辆倒行)与车辆的重力在车辆坐标系 x 轴上分力为正(车辆下坡即车辆前行)时,EPB 根据 CAN 总线网接收加速踏板信号,当识别信号有效、稳定并且车辆的驱动力矩增加时,执行 EPB 的释放,其释放点为识别到驾驶员踩加速踏板车辆转矩增加的时间。

4 实车试验

4.1 试验条件与过程

根据所提出的电子驻车系统的起步辅助控制策略,在北安冬季试验场进行试验,试验车辆为装有集成式 EPB 控制系统和液力机械式自动变速器的 SUV 车型,试验车辆的总质量为 1.44 t,前制动器为盘式液压制动器,后制动器为 EPB 集成式液压制动盘式制动器。由于试验场所限未拍摄到车辆在坡道上的图片。图 9 所示为试验车辆在雪路面、冰路面、分离路面等起步复杂的路面上进行起步测试。

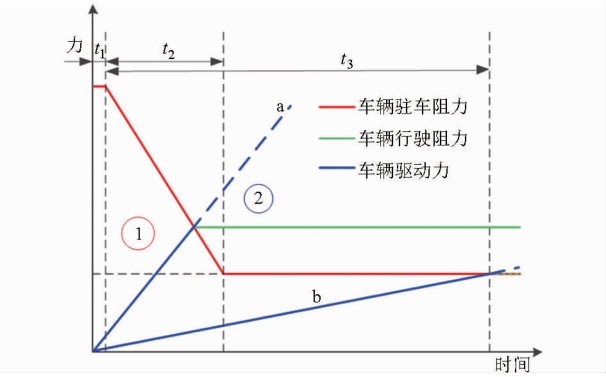

图 7　上坡释放策略图

Fig. 7　Release strategy diagram of uphill

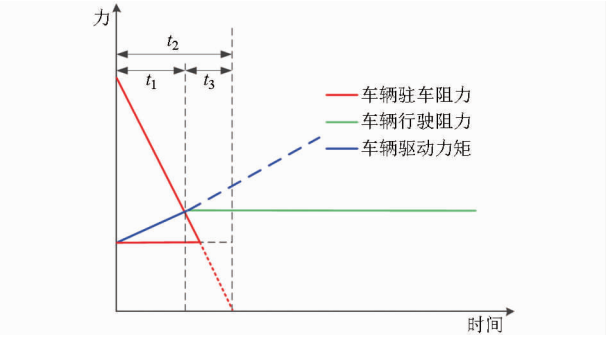

图 8　下坡释放策略图

Fig. 8　Release strategy diagram of downhill

图 9　试验现场图片

Fig. 9　Test pictures

4.2　试验结果分析

选取的实车试验数据为水平起步与坡道起步，如图 10 ~ 13 所示。

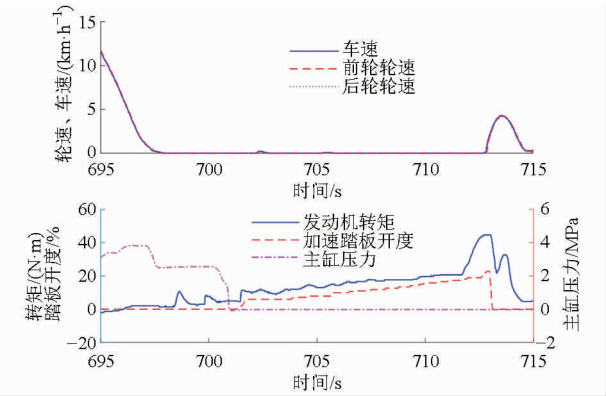

图 10　平路车辆起步信号 1

Fig. 10　Start signal 1 of vehicles on flat road

图 10 中车辆的状态是从动态到制动停车，主缸压力从有数值到零然后车辆完全静止。驾驶员踩加速踏板发动机转矩稳步上升，最终实现起步，然后驾驶员制动车辆减速停车。

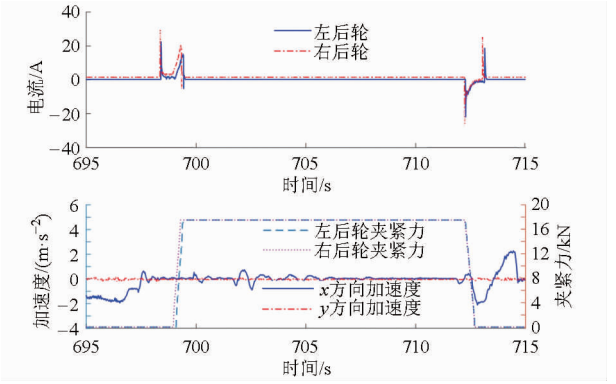

图 11　平路车辆起步信号 2

Fig. 11　Start signal 2 of vehicles on flat road

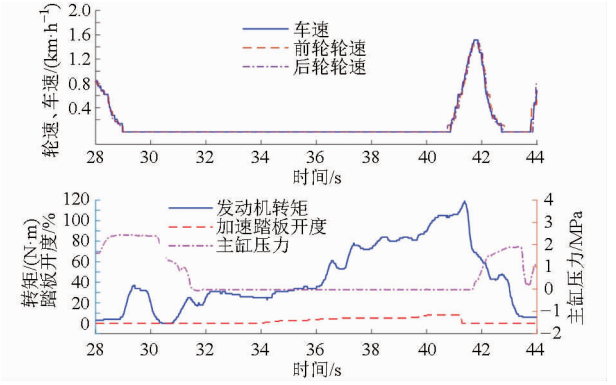

图 12　坡路车辆起步信号 1

Fig. 12　Start signal 1 of vehicles on hill road

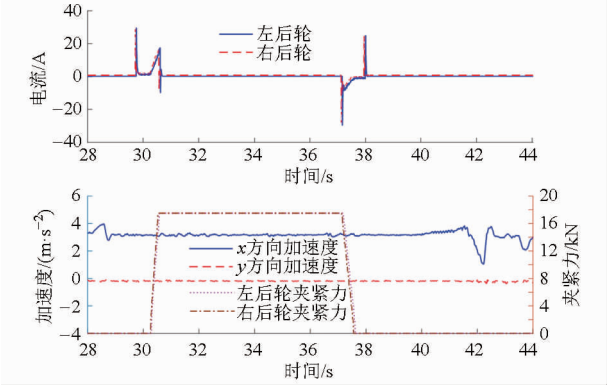

图 13　坡路车辆起步信号 2

Fig. 13　Start signal 2 of vehicles on hill road

从图 11 中可以看出，x 方向的加速度由制动时的负数到零，车辆通过 EPB 来实现车辆驻车制动，这时车辆由于存在惯性，x 方向的加速度在零上下波动，最终稳定在零值，车辆静止。然后驾驶员踩踏加速踏板，车辆转矩升高达到 EPB 算法释放的要求，车辆实现起步。

图 12 中车辆的状态是在坡度为 15% 的坡道上驾驶员通过踩踏制动踏板使车辆停止，然后通

过 EPB 按钮实现车辆的驻车制动,主缸压力从有数值到零。然后驾驶员踩加速踏板,这时发动机转矩稳步上升,最终实现起步,然后驾驶员制动车辆减速停车。

从图 13 中可以看出,x 方向的加速度数值始终在 3 m/s^2 左右,同时车辆在起步过程中 x 方向的加速度数值始终保持不变,说明通过驾驶员踩踏加速踏板车辆转矩升高达到 EPB 算法释放的要求,车辆可以实现坡道平稳起步过程。

5 结论

(1)分析了汽车起步的详细受力过程,划分了车辆起步的各种工况,为车辆起步工况识别奠定了理论基础。

(2)详细介绍了集成式 EPB 的结构,对集成式 EPB 执行器进行试验,并分析得到执行器的工作特性。

(3)研究了车辆起步辅助的详细控制策略,并通过实车验证了控制策略的正确性。

参 考 文 献

1 DELVECCHIO D, SAVARESI S M, SPELTA C, et al. A control system for hill start assistance for commercial vehicles[C]// ASME 2009 Dynamic Systems and Control Conference, 2009: 517 - 524.

2 MATSUO M, TAKAGISHI K, TOBITA K, et al. Electric parking brake system for a vehicle: U. S. Patent 4,629,043[P]. 1986 -12 - 16.

3 彭忆强. 轿车电动手闸控制仿真系统研究与实现[J]. 西华大学学报:自然科学版,2005,24(6):10 - 12,17.
PENG Y Q. Study and implementation of the simulation system for the control of automobile electric parking brake [J]. Journal of Xihua University: Natural Science, 2005,24(6): 10 - 12,17. (in Chinese)

4 PENG Y Q, LI W. Research on fuzzy control strategies for automotive EPB system with AMESim/simulink co-simulation[C]// Control and Decision Conference, CCDC09,2009: 1707 - 1712.

5 郭立书, 施正堂, 张正兵, 等. 电子驻车制动系统[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12): 31 - 33.
GUO L S, SHI Z T, ZHANG Z B, et al. Electric park brake system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 31 - 33. (in Chinese)

6 钟师. TRW 电子驻车制动 (EPB) 先进技术[J]. 轻型汽车技术,2006(9): 41.

7 王洪亮, 苑庆泽, 钟焕祥, 等. 基于 EPB 的汽车坡道起步自动控制技术[J]. 北京理工大学学报, 2014, 34(4): 344 - 348.
WANG H L, YUAN Q Z, ZHONG H X, et al. Research on the hill-start auto control for the vehicle with EPB[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2014, 34(4): 344 - 348. (in Chinese)

8 黎薇, 彭忆强. 线控驻车制动系统辨识方法研究[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2008,27(1): 9 - 11.
LI W, PENG Y Q. Study on remote parking brake system identification method[J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2008,27(1): 9 - 11. (in Chinese)

9 彭忆强, 黎长青. 汽车电子驻车制动控制系统的仿真研究[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2007, 26(4): 14 - 16.
PENG Y Q, LI C Q. Simulation research on the brake control system of automobile electronic parking brake system[J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2007, 26(4): 14 - 16. (in Chinese)

10 王斌, 过学迅, 张成才, 等. 电子驻车制动系统仿真与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 45 - 49.
WANG B, GUO X X, ZHANG C C, et al. Simulation and test of electronic parking brake system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 45 - 49. (in Chinese)

11 王超勇. 车辆电子驻车制动 (EPB) 控制系统的硬件设计研究[D]. 南京:南京理工大学, 2009.
WANG C Y. Hardware design of vehicle electronic parking brake (EPB) control system[D]. Nanjing: Journal of Nanjing Institute of Technology, 2009. (in Chinese)

12 赵育良, 王超勇, 孙忠云, 等. 基于 CAN 总线的电子驻车制动系统[J]. 兵工自动化, 2010, 29(3): 54 - 57.
ZHAO Y L, WANG C Y, SUN Z Y, et al. Electronic parking brake system based on CAN bus[J]. Ordnance Industry Automation, 2010, 29(3): 54 - 57. (in Chinese)

13 程安宇, 赵国庆, 冯辉宗, 等. 基于 CAN 总线的电子控制单元功能测试方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(1): 139 - 142.
CHENG A Y, ZHAO G Q, FENG H Z, et al. Functional test method of electronic control unit based on CAN bus[J]. Computer Application, 2012, 32(1): 139 - 142. (in Chinese)

14 徐晓芬. 车辆电子驻车制动系统辅助坡道起步的研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2011.
XU X F. Research on the auxiliary ramp of the vehicle electronic parking brake system[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011. (in Chinese)

15 宋艳芳. 汽车电子驻车制动系统 (EPB) 的研发及运用研究[J]. 电子技术与软件工程, 2014(17): 265.