

整车防抱死制动系统台架检测与道路对比试验*

郝茹茹 赵祥模 周 洲

(长安大学信息工程学院, 西安 710064)

摘要: 基于汽车防抱死制动系统整车性能检测的需要,提出了一种室内试验台架检测方法。该试验台检测系统主要由路面附着系数模拟装置、车辆运动惯量模拟装置、测控系统、数据采集系统等组成。在相同工况下对同一辆车进行 ABS 台架与道路对比试验,结果表明,该汽车 ABS 台架检测方法能够真实地模拟汽车在道路上的运行工况;台架检测结果中的关键技术参数与道路试验相应参数误差小于 5%,证明了该 ABS 台架检测方法的有效性。

关键词: 汽车 防抱死制动系统 台架检测 道路试验

中图分类号: U467.5⁺25; U463.52⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)04-0021-06

Bench Detection and Road Comparison Test for Auto Anti-lock Braking System

Hao Ruru Zhao Xiangmo Zhou Zhou

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to detect the integrative performance of auto ABS conveniently, an auto ABS indoor bench detection method was proposed. The bench detection system mainly consisted of road adhesion coefficient simulation unit, auto motion inertia simulation unit, measurement and control system, and data acquisition system. The same auto ABS bench and road comparison experiment in the same condition indicated that the ABS bench detection system could simulate the auto driving condition on the road more realistically. The key technical parameters of bench experiment were close to those of road experiment, and the errors were less than 5%. This proved the validity of the ABS bench detection method.

Key words: Auto Anti-lock braking system Bench detection Road experiment

引言

汽车防抱死制动系统(Anti-lock braking system, ABS)是汽车制动系统中重要的主动安全装置,能够提高紧急制动过程中的汽车稳定性,其工作状况对行车安全至关重要^[1]。目前汽车 ABS 整车性能检测主要通过道路试验完成,但该方法存在不足之处:重复性差、试验场地占地面积大、投资多、费用高、试验易受环境影响^[2]。因此,国内众多研究机构进行了汽车 ABS 整车制动性能检测方法研究,文献[2]提出一种用于 ABS 电子控制单元室内性能测试的

试验台,用于测试其控制功能和故障诊断功能,但没有考虑 ABS 与整车的匹配性能。文献[3~4]中提出了一种硬件在环仿真的 ABS 测试方法,把 ABS 实际部件嵌入到软件环境中进行混合仿真,为 ABS 产品开发提供了试验平台,但这种方法不便于在用汽车的 ABS 性能检测。本文提出一种整车 ABS 台架检测方法。

1 试验台及测控系统结构

1.1 试验台架结构

整车 ABS 试验台架结构见图 1。台架分为前

收稿日期: 2012-08-31 修回日期: 2012-12-06

* 国家自然科学基金资助项目(51278058)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CHD2011ZY009)和长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0951)

作者简介: 郝茹茹,博士生,主要从事道路交通系统智能检测研究, E-mail: haoru_2004@163.com

通讯作者: 赵祥模,教授,博士生导师,主要从事智能测控技术及其在交通中的应用研究, E-mail: xmzhao@chd.edu.cn

后两个部分,其中后台架固定不动,前台架由电动机驱动,可以沿预先铺设的轨道前后移动,以满足不同轴距汽车台架检测的需求。前后台架采用花键式伸缩型传动轴连接,实现前后台架之间的联动,台架上除滚筒组之外的其他部分均用托板结构遮盖^[5]。

图1中,第三滚筒用于常规制动检测;驱动滚筒代替路面承载汽车,传递制动力;同步装置用于传递

旋转运动;超越离合器用于ABS制动检测和常规制动检测之间的自动切换;制动电动机是常规制动检测的动力源;花键式伸缩型传动轴强制制动过程中前后台架扭矩控制器主动转子同步,保证车身速度一致;从动滚筒用于代替路面承载汽车;台架行走装置用于前台架的前后移动;飞轮用于模拟汽车运动惯量;扭矩控制器用来模拟不同路面附着系数;导轨承载前台架,为前台架前后移动导向。

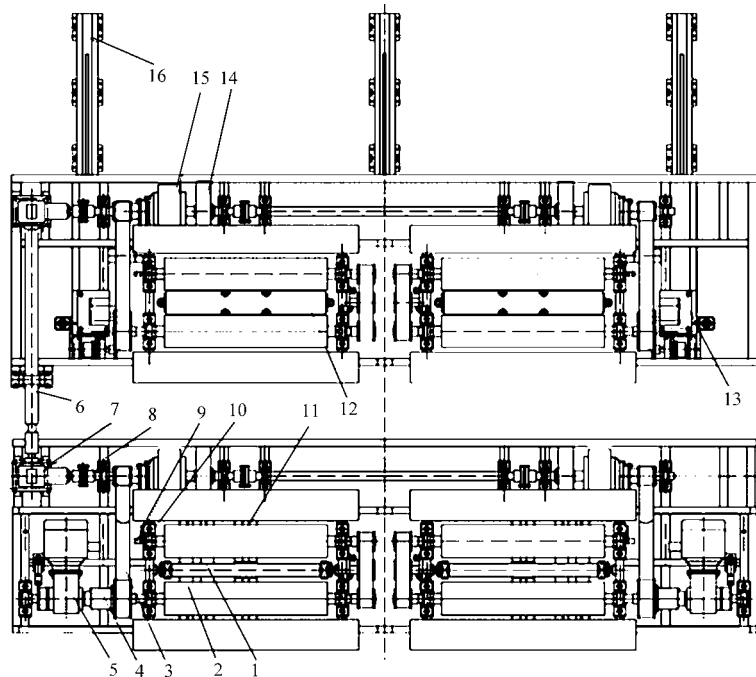


图1 ABS试验台架结构

Fig.1 Structure diagram of ABS test bench

1.第三滚筒 2.驱动滚筒 3.同步装置 4.超越离合器 5.制动电动机 6.花键式伸缩传动轴 7.减速器 8.联轴器 9.速度传感器 10.座式轴承 11.从动滚筒 12.举升器 13.台架行走装置 14.飞轮 15.扭矩控制器 16.导轨

图1中4组滚筒转动的动力源于汽车驱动轮,加速时,前驱汽车的前轮带动前台架的2组滚筒转动,通过齿形带及传动轴将动力传递给后台架的飞轮及扭矩控制器主动转子,主动转子通过电磁作用力驱动从动转子,从动转子利用齿形带带动驱动滚筒。由于采用高摩擦因数滚筒,在驱动滚筒驱动下,车轮与驱动滚筒同步转动,并带动从动滚筒转动。制动时,车轮与滚筒视为整体,受制动器制动力与从动转子驱动力(相当于地面附着力),当制动器制动力大于从动转子作用力时,扭矩控制器的主、从动转子之间出现差速转动,类似于路面制动时的车轮滑移。

1.2 测控系统结构

图2为汽车ABS试验台架测控系统结构图,包括扭矩控制模块、常规制动模块、速度采集模块、行程控制模块和升降台控制模块。整个测控系统采用基于CAN总线的分布式结构,各个功能模块通过

CAN总线与上位机通信。

扭矩控制模块根据需要模拟的路面附着系数计算出对应的扭矩控制器控制电流以控制输出扭矩;常规制动模块的功能包括轴重测量、制动力测量和制动电机控制,完成常规制动性能检测;速度采集模块实现车身、4个车轮及台架移动速度数据采集;行程控制模块控制试验台架移动行程,实现不同轴距的汽车可以上台检测的功能,主要任务是控制行程电动机、监测台架移动行程、采集限位开关状态;升降台控制模块控制升降台升、降及锁死、松开^[6]。

2 台架检测原理及方法

2.1 ABS台架检测指标

汽车的制动过程非常复杂,ABS性能除与自身控制逻辑、控制模式等有关外,还与ABS装车后其控制参数与整车参数的匹配性有着重要关系^[7],本文将各车轮和车身速度、滑移率、附着系数利用率、

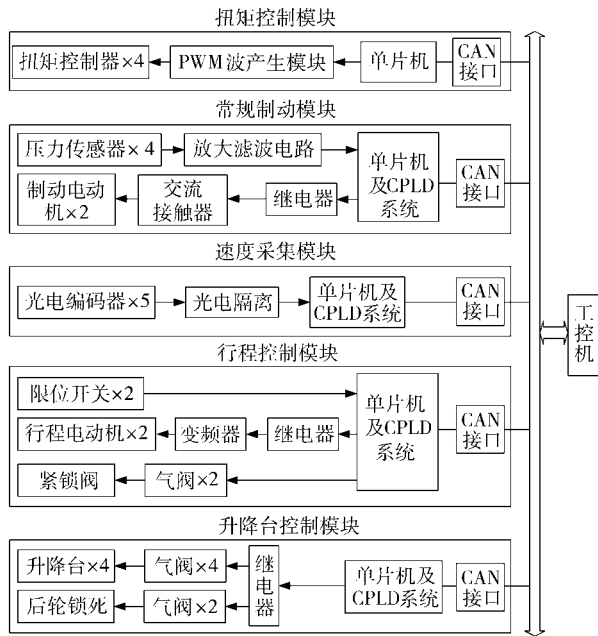


图 2 系统硬件结构

Fig. 2 Structure diagram of system hardware

制动减速度作为台架检测指标,并结合滑移率均值、滑移率方差、制动时间等参数评价整车 ABS 工作性能。

车辆制动过程中,不同滑移率对应不同的路面附着系数,附着系数的最大值称为峰值附着系数 φ_p , φ_p 一般出现在车轮滑移率 S 为 10% ~ 25% 之间^[8],此时可获得最大的地面制动力。ABS 控制的作用就是通过不断调整制动压力,将滑移率控制在一定范围内,使每个车轮获得尽可能大的地面制动力,防止车轮抱死,提高汽车制动过程中的稳定性^[9]。

附着系数利用率是指 ABS 工作时整车对地面的最大附着力的有效利用程度,它是在某一确定的附着系数路面上,ABS 制动效率的具体体现,其计算公式为

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{\mu_r} \times 100\% \quad (1)$$

式中 Z_{AL} ——最大制动强度
 μ_r ——路面附着系数

2.2 路面附着系数动态模拟

利用磁粉扭矩控制器实现不同路面附着系数的模拟。由于扭矩控制器的输出扭矩受输入电流的控制,根据需要模拟的附着系数调整输入电流 I_c ,即可得到相应的输出扭矩 M_c 。假设制动器作用于车轮的制动力矩为 M_b , M_b 强制车轮停止转动,而扭矩控制器输出扭矩 M_c 相当于地面附着力,驱动车轮转动,当 $M_b > M_c$ 时,扭矩控制器的主、从动转子之间出现差速转动,类似于路面制动时的车轮滑移。调整 I_c ,则 M_c 随之变化,即改变道路的附着系数。通

过 4 个独立的扭矩控制器及电流控制模块分别模拟 4 个车轮所处的路面附着系数。扭矩控制器输入电流 I_c 的控制通过 PWM 波产生模块实现,控制原理如图 3 所示。

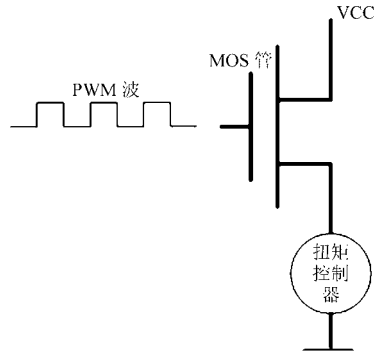


图 3 扭矩电流控制原理图

Fig. 3 Input current control of torque controller

PWM 波产生模块根据上位机控制命令调整 PWM 波的占空比,然后输入到 MOS 管,使 MOS 管根据 PWM 波的高低电平不断通断,以产生需要的电流给扭矩控制模块,实现扭矩控制器输入电流的控制。

2.3 汽车运动惯量模拟

ABS 台架检测系统利用飞轮的转动惯量模拟汽车旋转体的转动惯量及汽车直线运动的平动惯量,汽车在道路上运行时的动能为

$$W = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_f\omega_f^2 + \frac{1}{2}J_r\omega_r^2 + W_0 \quad (2)$$

式中 m ——汽车质量 v ——汽车速度
 J_f, J_r ——前、后车轮转动惯量
 ω_f, ω_r ——前、后车轮角速度
 W_0 ——汽车传动系统旋转动能

汽车在滚筒试验台架上加速时,在同一车速下,汽车及滚筒、飞轮系统和其他主要旋转部件所具有的动能为

$$W' = \frac{1}{2}J_f\omega_f^2 + \frac{1}{2}J_r\omega_r^2 + \frac{1}{2}J_0\omega_0^2 + \frac{1}{2}J_w\omega_w^2 + \frac{1}{2}J_h\omega_h^2 + W_0 \quad (3)$$

式中 J_0 ——滚筒转动惯量
 ω_0 ——滚筒角速度 ω_w ——飞轮角速度
 J_w ——飞轮转动惯量
 J_h ——链轮及链转动惯量
 ω_h ——齿轮角速度

汽车在台架上运行时的动能 W' 等于在道路上行驶的动能 W ,即 $W' = W$,整理式(2)、(3)得

$$J_0\omega_0^2 + J_w\omega_w^2 + J_h\omega_h^2 = mv^2 \quad (4)$$

汽车在台架上加速时,车轮与滚筒相对静止,即车轮与滚筒边缘线速度相等,则有

$$v = r\omega = r_0\omega_0 \tag{5}$$

式中 r ——车轮半径 ω ——车轮角速度
 r_0 ——滚筒半径

本系统中,由于加速过程中没有相对滑转,扭矩控制器主动转子和从动转子同步转动,此时滚筒、飞轮、齿轮是联动的,且

$$\omega_0 = \omega_w = \omega_h \tag{6}$$

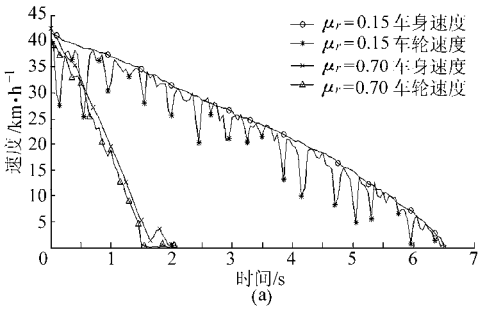
把式(5)、(6)代入式(4)有

$$J_0\omega_0^2 + J_w\omega_0^2 + J_h\omega_0^2 = m(r_0\omega_0)^2 \tag{7}$$

整理式(7)得

$$J_w = mr_0^2 - J_0 - J_h \tag{8}$$

只要确定汽车质量 m ,滚筒半径 r_0 ,滚筒转动惯量 J_0 和链轮及链的转动惯量 J_h 即可确定飞轮的转动惯量^[10-11]。



3 试验

3.1 汽车 ABS 试验

GB/T 13594—2003 对 ABS 试验路面类型要求为:①附着系数小于或等于 0.3 的低附着系数路面。②附着系数约为 0.8 的高附着系数路面。③对开路面。④对接路面。

图 4a 是附着系数分别为 0.15 和 0.70 的单一路面工况下制动的速度曲线,图 4b 为对应路面工况下的滑移率曲线。从图 4 中可以看出,0.15 低附着系数路面制动时轮速波动较大,并且相同初速度情况下,0.70 高附着系数路面制动时间为 2 s,而低附着系数路面制动时间为 6.5 s,高附着系数路面速度下降快,减速度大。

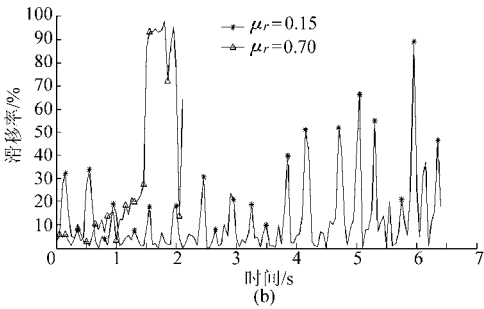


图 4 单一路面速度及滑移率曲线

Fig.4 Speed and slip ratio curves on single adhesion road

图 5 为对开路面工况下制动速度及滑移率曲线。汽车左轮处于附着系数为 0.50 的路面,右轮处于附着系数 0.15 的路面。从图 5a 中可以看出,左、

右轮速度下降趋势一致,由于低附着系数路面上车轮容易打滑,右轮速度曲线明显比左轮波动大。从图 5b 中也可看出右轮滑移率曲线波动较大。

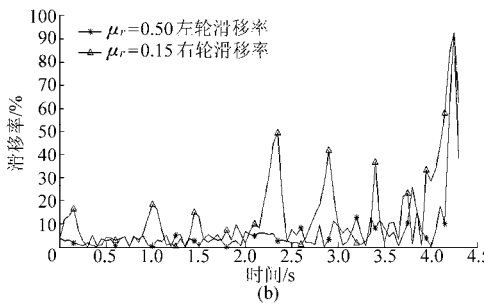
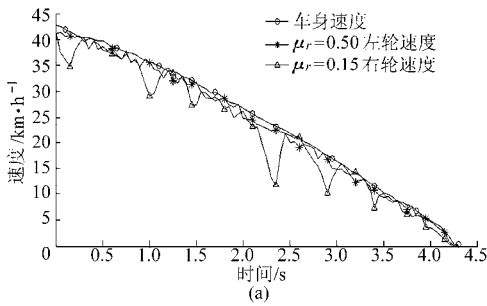


图 5 对开路面速度及滑移率曲线

Fig.5 Speed and slip ratio curves on bisect adhesion road

图 6a、6b 分别为从低附着系数 0.15 到高附着系数 0.70 路面的对接路面工况下制动速度及滑移率曲线。从图 6a 可以看出,在 3.5 s 处汽车从附着系数 0.15 路面驶入附着系数 0.70 路面,此时出现转折点,速度下降趋势加剧,并且从图 6b 可以看出,在车轮抱死前,3.5 s 后的滑移率曲线波动要小于 3.5 s 前。图 6c、6d 分别为从高附着系数 0.70 到低附着系数 0.15 路面的对接路面工况下制动速度及滑移率曲线。从图 6c 可以看出,在 0.9 s 处,汽车从附着系数 0.70 路面驶入附着系数 0.15 路面,此时

出现转折点,速度下降趋势变缓,并且从图 6d 可以看出,0.9 s 前的滑移率曲线波动要小于 0.9 s 后。

3.2 台架与道路对比试验及结果分析

在长安大学汽车综合试验场(拥有组合型附着系数路面)进行了道路试验,并与相同车辆的台架试验进行对比。以伊兰特单一低附着系数路面工况为例,分析道路与台架对比试验。试验曲线如图 7 所示。图 7a 和图 7b 的车身速度变化趋势基本相同,车轮速度均有反复调整过程。根据 ABS 台架检测指标对台架试验和道路试验相应技术参数进行对

比,各项参数误差均在 5% 范围内,如表 1 所示。

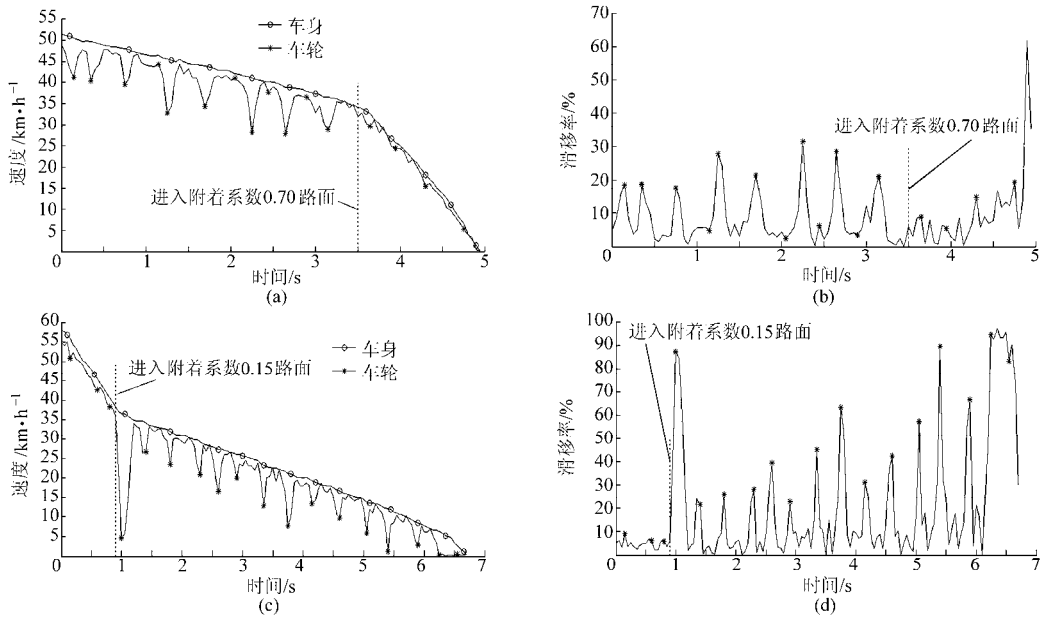


图 6 对接路面速度及滑移率曲线
Fig. 6 Speed and slip ratio curves on variational adhesion road

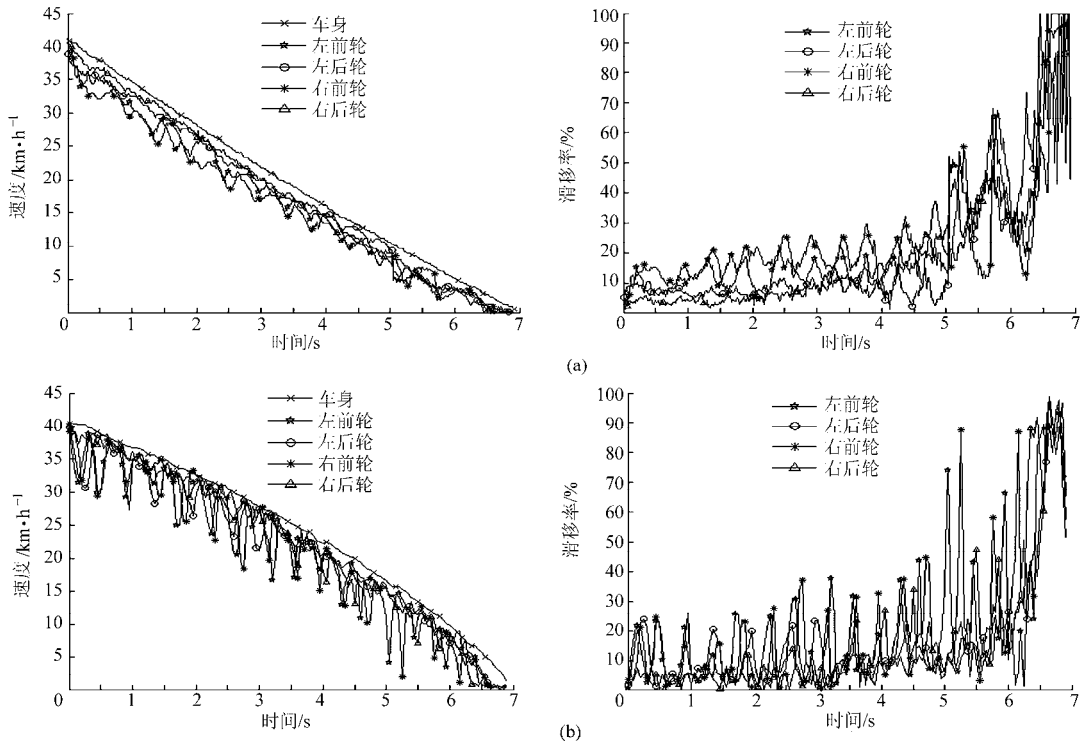


图 7 低附着系数路面台架与道路对比试验
Fig. 7 Bench and road comparison test on low adhesion road
(a) 台架试验 (b) 道路试验

表 1 关键技术参数对比					
Tab.1 Contrast of key technical parameters					
试验方法	滑移率均值 $\bar{S}/\%$	滑移率方差 σ_s	制动减速度 $a/m \cdot s^{-2}$	制动时间 t/s	附着系数利用率 $\varepsilon/\%$
台架试验	15.87	1.3287×10^{-2}	1.63	6.6	97.84
道路试验	16.37	1.3574×10^{-2}	1.57	6.9	94.24
误差/%	3.05	2.11	3.82	4.35	3.82

4 结论

(1)该 ABS 台架检测方法有效降低了试验成本,提高了检测效率及试验安全性。

(2)台架试验中的车身速度、车轮速度及滑移

率曲线的变化趋势与相应的 ABS 直线紧急制动道路试验一致,说明提出的台架检测方法能够模拟汽车在道路上进行直线紧急制动时的运行工况。

(3)以道路试验结果作为参考标准,台架试验结果中的关键技术参数与道路试验接近,误差小于5%。

参 考 文 献

- 1 杨坤,李静,李幼德,等.基于汽车电子机械制动系统的 EBD/ABS 研究[J].系统仿真学报,2009,21(6):1785~1788.
Yang Kun, Li Jing, Li Youde, et al. Study of EBD/ABS based on electromechanical brake system [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(6):1785~1788. (in Chinese)
- 2 张为,丁能根,余贵珍,等.汽车 ABS 电子控制单元综合性能测试试验台[J].农业机械学报,2009,40(9):37~40.
Zhang Wei, Ding Nenggen, Yu Guizhen, et al. Development of integrative performance test bench of the vehicle ABS ECU [J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2009, 40(9):37~40. (in Chinese)
- 3 Cheli F, Concas A, Giangiulio E, et al. A simplified ABS numerical model: comparison with HIL and full scale experimental tests [J]. Computers and Structures, 2008, 86(13~14):1494~1502.
- 4 黄有林.气压 ABS 硬件在环仿真试验台开发[D].长春:吉林大学,2007.
Huang Youlin. Development of air-ABS-HIL-simulation test bench [D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)
- 5 Ben Abdallah M, Ayadi M, Rotella F, et al. Linear time-varying flatness-based control of anti-lock brake system (ABS) [C]//2012 9th International Multi-conference on System, Signals and Devices, 2012:1~6.
- 6 Zheng Taixiong, Wang Ling, Ma Fulei. Research on road identification method in anti-lock braking system [J]. Procedia Engineering, 2011, 15:194~198.
- 7 Bera T K, Bhattacharya K, Samantaray A K. Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2011, 19(10):2131~2150.
- 8 William Pasillas-Lépine, Antonio Loria, Mathieu Gerard. Design and experimental validation of a nonlinear wheel slip control algorithm [J]. Automatica, 2012, 48(8):1852~1859.
- 9 Bhandari R, Patil S, Singh R K. Surface prediction and control algorithms for anti-lock brake system [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2012, 21(1):181~195.
- 10 张小龙,李亮,宋健,等.汽车稳定性控制系统性能试验与数据处理方法[J].农业机械学报,2011,42(5):1~6.
Zhang Xiaolong, Li Liang, Song Jian, et al. Performance test and data processing method for vehicle electronic stability control system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2011, 42(5):1~6. (in Chinese)
- 11 Jeonghoon Song. Performance evaluation of a hybrid electric brake system with a sliding mode controller [J]. Mechatronics, 2005, 15(3):339~358.

(上接第 49 页)

- 4 孙国祥,汪小岳,何国敏,等.穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J].农业机械学报,2010,41(10):48~53.
Sun Guoxiang, Wang Xiaochan, He Guomin, et al. Design of the end-effector for plug seedlings transplanter and analysis on virtual prototype [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):48~53. (in Chinese)
- 5 张丽华,邱立春,田素博,等.指针夹紧式穴盘苗移栽爪设计[J].沈阳农业大学学报,2010,41(2):235~237.
Zhang Lihua, Qiu Lichun, Tian Subo, et al. Design of a needle clamping claw for plug seedling transplanting [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2010, 41(2):235~237. (in Chinese)
- 6 刘凯,辜松. PLC 在穴盘苗移栽机器人控制系统中的应用[J].农机化研究,2009,31(12):179~180.
Liu Kai, Gu Song. The application of PLC in the control system of transplanting potted seedlings manipulator [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(12):179~180. (in Chinese)
- 7 Tong Junhua, Jiang Huanyu, Zhou Wei. Development of automatic system for the seedling transplanter based on machine vision technology [C]//2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, 2012, 2:742~746.
- 8 孙慧平,李健,郭伟刚.遗传算法在束流切割路径优化中的应用[J].农业机械学报,2008,39(9):158~160.
Sun Huiping, Li Jian, Guo Weigang. Application of genetic algorithm on optimization of high power beam cutting paths [J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2008, 39(9):158~160. (in Chinese)
- 9 Lawrence V Snyder, Mark S Daskin. A random-key genetic algorithm for the generalized traveling salesman problem [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(1):38~53.
- 10 梁旗军,舒坚,樊鑫,等.一种基于遗传算法的 TSP 建模方法[J].计算机工程,2011,37(5):68~70.
Liang Qijun, Shu Jian, Fan Xin, et al. TSP modeling method based on genetic algorithm [J]. Computer Engineering, 2011, 37(5):68~70. (in Chinese)
- 11 周明,孙树栋.遗传算法原理及应用[M].北京:国防工业出版社,2005.