

汽车制动防抱死系统分离路面的控制策略

初亮¹, 蔡健伟¹, 王彦波¹, 富子丞¹, 姚亮¹, 张永生²

(1. 吉林大学 汽车仿真与控制国家重点实验室, 长春 130022; 2. 中国第一汽车股份有限公司 技术中心, 长春 130011)

摘要: 分析了汽车制动防抱死系统(ABS)在分离路面制动过程中的制动特点。提出分离路面的识别和汽车控制算法, 并以此控制车辆横摆角速度和侧偏角的变化, 以保证车辆的横向稳定性和制动距离。并据此进行了实车试验, 试验结果表明, 所提出的路面对识别方法和控制策略能改善汽车在分离路面制动的横向稳定性并且能保证制动距离。

关键词: 车辆工程; 制动防抱死系统; 分离路面; 侧向稳定; 实车试验

中图分类号: U463.52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2014)02-0287-05

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb201402002

Antilock braking control algorithm on split-mu road

CHU Liang¹, CAI Jian-wei¹, WANG Yan-bo¹, FU Zi-cheng¹, YAO Liang¹, ZHANG Yong-sheng²
(1. State Key Laboratory of Automotive Dynamic Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. R&D Center, China FAW Group Corporation, Changchun 130011, China)

Abstract: The features of the Antilock-Braking System (ABS for short) while braking on split-mu road are analyzed in this paper. To guarantee the yaw stability and the braking distance, an identification method of split-mu road and the control algorithm are presented to control the changes of the yaw velocity and the sideslip angle. The simulation and test results show that the identification method of split-mu road and the control strategy can not only improve the yaw stability but also guarantee the braking distance. The proposed method and control strategy play an important role in improving the safety while braking on split-mu road.

Key words: vehicle engineering; anti-lock braking system; plit-mu road; lateral stability; vehicle field test

0 引言

ABS 系统是改善汽车主动安全的重要装置, 随着人们对于行驶安全的重视, 它的应用日益广泛^[1]。汽车在分离路面(一边车轮处于高附着系数路面如沥青路面, 另一边车轮处于低附着系数

路面如冰路面)上紧急制动时容易出现跑偏或者甩尾等危险工况, 甚至偏离原行驶车道而驶入对方车道, 具有很大的危险性^[2-3]。对于未加装动力学控制装置的车辆更容易发生事故。ABS 系统能够提高分离路面上汽车紧急制动时的侧向稳定性, 并缩短制动距离^[4-5]。文献[6]提出利用前轮

收稿日期: 2013-01-04.

基金项目: 国际科技合作计划项目(2010DFB70360).

作者简介: 初亮(1967-), 男, 教授, 博士生导师。研究方向: 节能与新能源汽车关键技术。

E-mail: chuliang@jlu.edu.cn

主动转向来减小车辆的横摆运动,并且利用滑模控制的方法实现。文献[3]提出利用横摆角速度和侧向位移为控制变量,采用模糊 PID 控制横摆力矩的方法,实现对汽车在分离路面的稳定性控制。文献[4]提出在四通道 ABS 基础上采用主动前轮转向的方法提高侧向稳定性,并且若主动前轮转向无法将偏航纠正时,则四通道 ABS 切换到三通道模式,以保证车辆的稳定性。文献[7]提出了利用滑移率控制实现弯道分离路面的 ABS 控制。文献[8]则采用滑移率和加速度作为路面识别参数,但对于分离路面的识别涉及较少,控制方法主要集中在通过前轮主动转向和复合横摆力矩控制。

目前,四传感器四通道 ABS 系统较为常用,可以实现四轮独立控制。在分离路面上制动时,ABS 作用下,4 个车轮均能各自达到相应于路面条件的最佳滑移率,4 个车轮的地面制动力均达到相应路面的最大值,制动距离最短,由于两侧车轮制动力分配不平衡,将使横摆力矩增大,导致产生横摆角加速度,并使车辆的横摆角速度迅速增大,车辆将产生较大的制动跑偏,因此会使车辆处于不稳定状态。

本文采用前轮独立、后轮低选控制,该控制下 ABS 系统制动距离变长,但是由于横摆力矩较四轮独立控制变小,因此横向稳定性相对变好。另外,制动时载荷前移,后轴所需制动力较前轴小,所以后轮采用低选控制对于制动效能影响较小。

1 分离路面识别

及时准确地识别分离路面能够提高系统的响应速度,有利于提高车辆的稳定性。由于车辆两侧附着系数相差较大,紧急制动时,两侧车轮压力和滑移率存在差值。本文以两侧车轮压力差和滑移率差为分离路面识别的输入量。识别算法流程见图 1。其中门限值需要经过试验标定得到最佳值。

路面识别过程中所用参数如下: ΔP_{FA} 为前轴左右两侧车轮压力差; $\Delta \lambda_{FA}$ 为前轴左右两侧车轮滑移率差; F_p 为初次修正后的压差; P_{split} 为最终修正后的压差; $F_{\Delta P}$ 为压差因子; $F_{\Delta \lambda}$ 为滑移率差因子; F_{ax} 为车辆纵向加速度因子; F_{ay} 为车辆横向加速度因子; $Pdiff$ 为压差门限值; V_0 为车速门限值; a_{xsplit} 为分离路面纵向减速度; a_{ymax} 为分离路面纵向减速度最大值; a_{ysplit} 为分离路面横向减速度; a_{ymin} 为分离路面横向减速度最大值; Δa_x 、 Δa_y 为

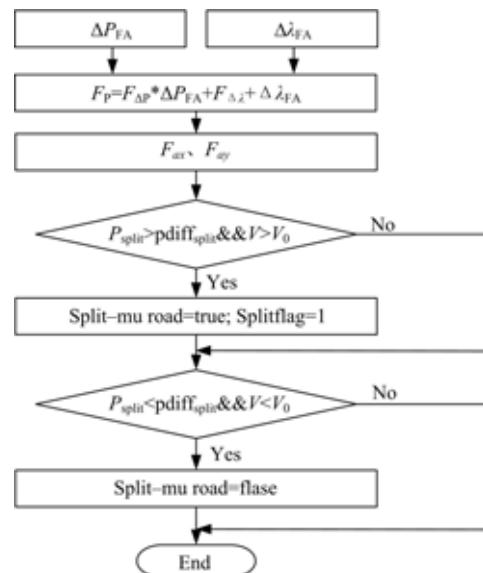


图 1 路面识别算法流程图

Fig. 1 Detection algorithm of split-mu road

斜率的倒数;Splitflag 为分离路面标志位 Split-mu road 为分离路面。

算法步骤如下:

(1) 计算前轴左、右两轮压差和滑移率差:

$$\Delta P_{FA} = P_{FL} - P_{FR} \quad (1)$$

$$\Delta \lambda_{FA} = \lambda_{FL} - \lambda_{FR} \quad (2)$$

(2) 考虑滑移率的影响,初次修正后的压差为

$$F_p = F_{\Delta P} \cdot \Delta P_{FA} + F_{\Delta \lambda} \cdot \Delta \lambda_{FA} \quad (3)$$

(3) 计算车辆横向加速度和纵向加速度因子。制动减速度和侧向加速度会影响车辆的载荷转移,减速度越大要求左右的压力差别越大;侧向加速度越大要求左右的压力差别越大。

$$F_{ax} = \frac{(a_{xsplit} - a_{ymax})}{\Delta a_x} \quad (4)$$

同理,可以得到横向加速度因子:

$$F_{ay} = \frac{(a_{ysplit} - a_{ymin})}{\Delta a_y} \quad (5)$$

(4) 考虑纵向和侧向加速度的影响,最终修正后的压差值为

$$P_{split} = F_p (1 - F_{ax} - F_{ay}) \quad (6)$$

(5) 判断是否为分离路面。如果修正后的压差值大于门限值 pdiff,并且同时满足滑移率差值大于 $\Delta \lambda_{FA}$,则认为车辆处于分离路面,如果不能满足上述任一条件,则认为车辆没有处于分离路面。

2 控制策略

对于分离路面的汽车防抱死制动,本文分为

两个阶段进行控制。第一阶段以阶梯增压为主^[9],当前轴处于低附着路面的车轮有抱死倾向时,进入ABS控制,而同轴的高附着路面的车轮则进入保压、减压、阶梯增压或者减压、保压、阶梯增压的控制过程,前者适用于制动强度相对较小、后者适用于制动强度相对较大的情况。

如图2所示,分离路面紧急制动后,低附着路面车轮首先进入ABS控制,与其同侧的车轮则保压、减压,进入阶梯增压控制阶段,然后进入以滑移率为门限的ABS控制。实时计算车轮滑移率,如果出现滑移率大于门限值 λ_0 ,则保压,滑移率小于 λ_0 则增压,滑移率再次大于 λ_0 ,车轮再次保压,随着车轮转速恢复,滑移率小于 λ_1 ,则车轮进入减压状态。如此反复,调节车轮压力,使得车轮滑移率处于最佳值附近,充分利用路面附着系数。

图3和图4分别为车轮在阶梯增压控制阶段和滑移率ABS控制阶段的控制流程图。图中

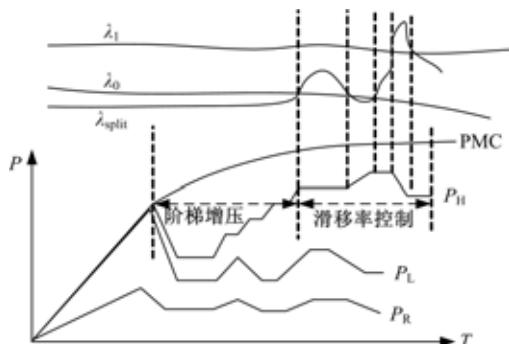


图2 分离路面控制示意图

Fig. 2 Control diagram of split-mu road

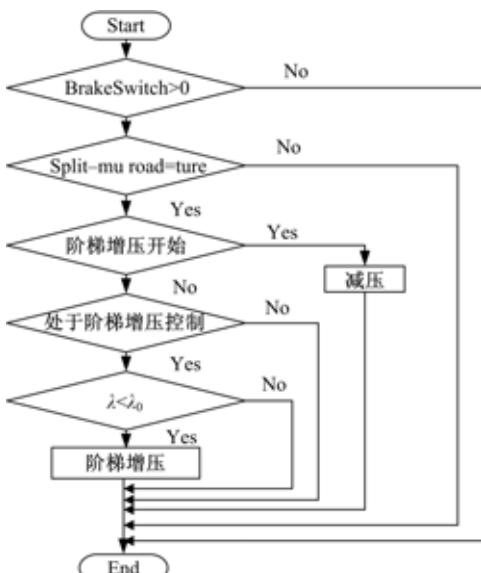


图3 阶梯增压控制流程图

Fig. 3 Control of stepped pressurized

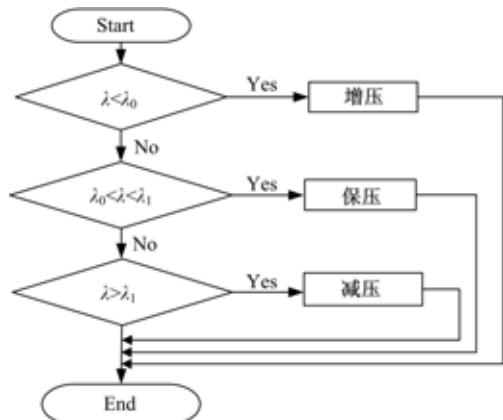


图4 滑移率门限值控制流程图

Fig. 4 Control of slip rate threshold

PMC为主缸压力, P_H 、 P_L 分别为前轴高附着路面和低附着路面侧轮缸压力, P_R 为后轴轮缸压力,BrakeSwitch为制动开关信号。

图3所示为进入和退出阶梯增压控制的判断流程图和控制流程图。当满足车速V大于门限值 V_0 、并且侧向加速度 a_y 小于门限值 a_{y0} 时,若前轴低附着路面侧车轮趋于抱死,则前轴另一侧车轮开始阶梯增压控制。退出阶梯增压或者触发滑移率门限后,则进入ABS控制,控制流程图如图4所示。

3 试验分析

实车试验中所用车型部分参数如下:整车质量为1290 kg,车轮半径为307 mm,质心至前轴距离为1053 mm,质心至后轴距离为1059 mm,前轮距为1505 mm,后轮距为1489 mm。

试验车辆分别装有4个轮缸压力传感器、VBOX测速仪和陀螺仪。分离路面条件如图5所示,驾驶员一侧为高附着路面,另一侧为抛光冰路面。

利用dSPACE系统实现快速控制原型系统,通过RTI编译器生成目标代码,并下载至dSPACE-MicroAutoBox后完成实车道路试验,进行控制算法的调试和验证^[10]。

为了验证本文所提出的控制算法,同时考虑到车辆没有加装防护装置,首先在软件中取消阶梯增压控制,在30 km/h的速度下,进行ABS试验,结果如图6所示。其中,Vehicle Speed为通过VBOX获取的车速,Wheel_{FL}、Wheel_{FR}、Wheel_{RL}和Wheel_{RR}分别为左前、右前、左后和右后车轮轮速; P_{MC} 、 P_{FL} 、 P_{FR} 、 P_{RL} 和 P_{RR} 分别为主



图 5 分离路面
Fig. 5 Split-mu road

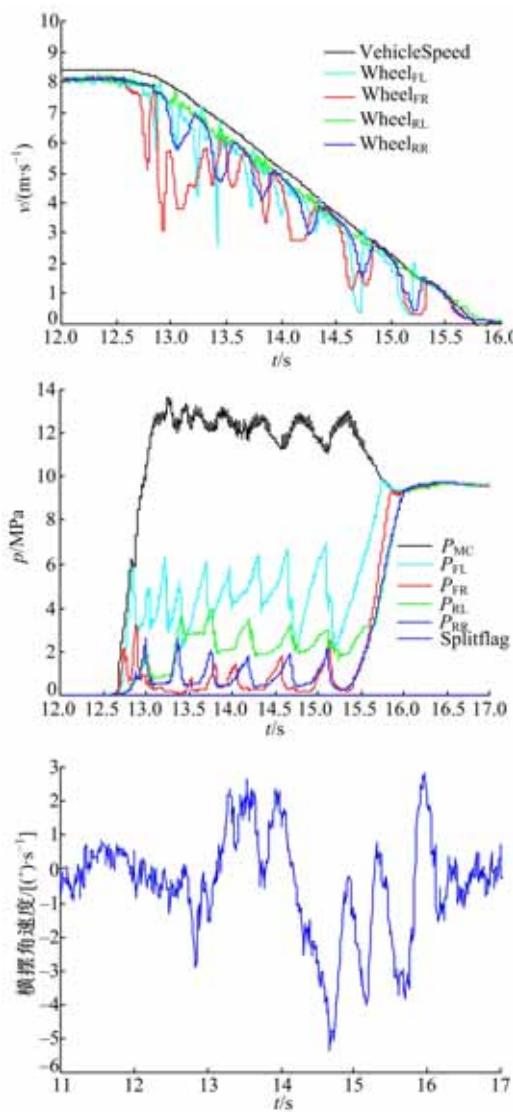


图 6 30 km/h 下的速度、压力和横摆角速度

Fig. 6 Speed, pressure and yaw rate under 30 km/h

缸、左前、右前、左后和右后车轮轮缸压力; YawRate 为通过陀螺仪获取的车辆横摆角速度; Splitflag 为分离路面标志位。为了更好地对比所

提出的控制算法的有效性,可以通过 VBOX 测得制动距离,并在试验过程中记录数值。由于没有安装方向盘转角传感器,故不能对驾驶员输入的方向盘转角变化情况进行对比。

由图 6 可知,车辆进入 ABS 控制,每个车轮轮缸压力都充分发挥出其制动能力。但为了维持车辆稳定性,驾驶员需要及时施加很强的方向盘修正控制才能维持车辆稳定性。制动距离为 8.96 m。

加入本文所提出的控制算法后,首先进行 30 km/h 的试验,测得制动距离为 9.88 m。与没有分离路面控制时制动距离相比,制动距离增加了 0.92 m,稍有变大,但是横摆角速度较小,保证车辆具有一定的操纵稳定性和侧向稳定性。

进行了 80 km/h 的试验,结果如图 7 所示。

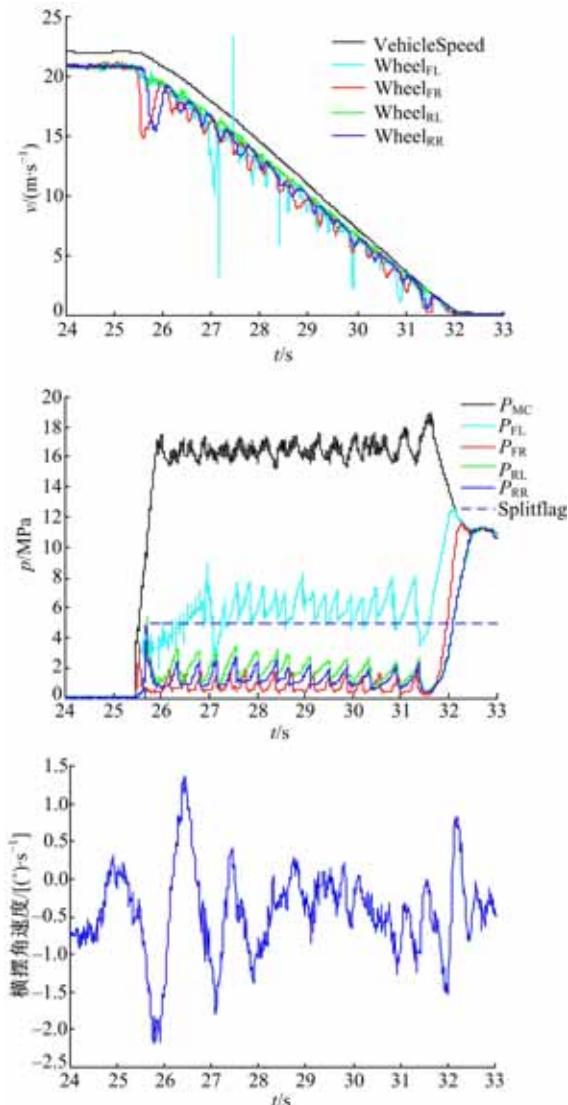


图 7 80 km/h 下的速度、压力和横摆角速度

Fig. 7 Speed, pressure and yaw rate under 80 km/h

由图7可知,前轴较早识别出分离路面 Splitflag = 1,车辆进入分离路面控制。前轴高附着一侧的车轮的制动压力首先是阶梯增压,然后进入以滑移率为控制参数的车轮防抱死独立控制,后轴车轮轮缸压力保持在相同的压力水平,实现了低速控制,维持了车辆的稳定性。车辆横摆角速度维持在一个可控的范围内,并且,驾驶员有充分的时间做出反应来修正方向盘,维持车辆的行驶路径,使得车辆不发生跑偏。

4 结 论

(1) 汽车在分离路面上紧急制动是比较常见的危险工况,本文提出了以修正后的压差和滑移率差作为识别参数,可以准确和迅速地识别分离路面。限制分离路面高附着一侧的前轮轮缸压力的增长速度,从而控制车辆横摆的增长速度,给驾驶员足够的反应时间。

(2) 在分离路面制动时,装有ABS的车辆能充分利用路面附着系数,使两侧车轮制动力不平衡,影响车辆横向稳定性。本文所提出的分离路面控制算法,在制动距离和车辆稳定性中间取一个折中,既能保证制动距离不致过长又能保证车辆具有一定的操纵稳定性和侧向稳定性。对于提高汽车的安全行驶具有一定的意义。

(3) 为进一步验证所提出的分离路面控制算法对于驾驶员的反应时间、驾驶员在制动时施加于方向盘上的力矩和方向盘转角的对比效果,在后期试验时安装方向盘转角和力矩传感器,重复文中所述试验。

参 考 文 献:

- [1] Cai Jian-wei, Chu Liang, Cheng Wei-feng, et al. Modeling and simulation of ABS hydraulic control unit[C]//2012 Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), Shenyang, China, 2012.
- [2] Zhou Shu-wen, Zhang Si-qi. Study on stability control during split-mu ABS braking[C]//2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Mianyang, China, 2011.
- [3] 赵伟,魏朗,杜峰. 基于模糊-PID控制的对开路面汽车制动稳定性研究[J]. 河北工业大学学报, 2008, 37(1):48-49.
- Zhao Wei, Wei Lang, Du Feng. Study of vehicle braking stability on bisectional road based on fuzzy-PID control method[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2008, 37(1):48-49.
- [4] 张思奇,张天侠,周淑文. 分离路面上车辆紧急制动时稳定性分析与控制[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2011, 32(5):728-731.
- Zhang Si-qi, Zhang Tian-xia, Zhou Shu-wen. Analysis and control of vehicle emergency braking stability on split-mu road surfaces[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2011, 32(5):728-731.
- [5] 晏蔚光,毋茂盛,余达太,等. 一种基于横摆力矩和主动前轮转向控制的制动稳定性控制方法[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(4):505-508.
- Yan Wei-guang, Wu Mao-sheng, Yu Da-tai, et al. A method to improve braking stability by the integrated control of yaw-moment control and active front steering[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(4):505-508.
- [6] Hebdon R G, Edwards C, Spurgeon S K. An application of sliding mode control to vehicle steering in a split-mu Manoeuvre[C]//2003 Proceedings of the American Control Conference, Denver, Colorado, 2003.
- [7] 王国业,刘昭度,王仁广,等. 汽车ABS在对开路面上的弯道制动性能[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(4):318-321.
- Wang Guo-ye, Liu Zhao-du, Wang Ren-guang, et al. Performances of ABS-equipped vehicles during cornering braking on bisectional roads[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2006, 26(4):318-321.
- [8] 潘辉,李礼夫. 基于路面对识别的汽车ABS滑膜控制方法的研究[J]. 现代制造工程, 2011(2):43-47.
- Pan Hui, Li Li-fu. The research of ABS sliding-mode controlmethod based on road automatic identification [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(2):43-47.
- [9] Barton A D, Farrelly Jop, Tucker M R, et al. Steering control during split-mu ABS braking[P]. USA: US6968920B2, 2005-09-29.
- [10] 初亮,王彦波,祁富伟,等. 基于ABS轮速的车轮半径补偿方法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2011, 40(11):129-132.
- Chu Liang, Wang Yan-bo, Qi Fu-wei, et al. ABS wheel speed-based wheel radius compensation method[J]. Journal of Huazhong University & Technology(Natural Science Edition), 2011, 40(11):129-132.