

# 基于轮速和压力控制状态信息的 ABS 参考车速算法研究及其试验验证

王伟达 丁能根 徐向阳 杨 磊

北京航空航天大学, 北京, 100083

**摘要:**在现有 ABS 参考车速算法基础上, 研究了一种实用的自适应算法。该算法基于轮速和压力控制状态信息, 准确区分了每个控制循环, 在每一控制循环结束时重新估算车身减速度, 并据此估算下一控制循环的参考车速。编写了该参考车速自适应算法的程序, 并用自行开发的 ABS 控制软件进行了实车道路试验。试验结果验证了参考车速算法的有效性, 表明该算法满足 ABS 控制的要求。

**关键词:**ABS 控制; 参考车速算法; 压力控制状态; 道路试验

**中图分类号:**U461.3

**文章编号:**1004—132X(2008)03—0370—04

## Investigation and Test Validation of Vehicle Reference Speed Algorithm for ABS Based on the Information of Wheel Speeds and Pressure Control States

Wang Weida Ding Nenggen Xu Xiangyang Yang Lei

Beihang University, Beijing, 100083

**Abstract:** Based on the existing algorithms of vehicle reference speeds for ABS, an improved self-adaptive algorithm was investigated. This algorithm distinguished every control cycle exactly according to the information of wheel speeds and pressure control states. The vehicle deceleration was estimated at the end of each control cycle, and the reference speeds during the next cycle were determined according to the estimated value of deceleration. The codes of this self-adaptive algorithm was written and tested as part of the self-developed ECU of ABS through road tests. Test results show that this algorithm of reference speed is valid and can meet the demands of ABS control.

**Key words:** anti-lock braking system (ABS) control; vehicle reference speed algorithm; pressure control state; road test

## 0 引言

汽车防抱死制动系统 (ABS) 是提高汽车制动时的方向稳定性和操纵性的主动安全装置。ABS 控制方法主要包括基于车轮角加速度的控制和基于车轮滑移率的控制两大类。逻辑门限值控制方法属于第一类, 是实用的 ABS 控制器所采用的控制方法, 一般以车轮角加速度作为主要门限, 以车轮的滑移率作为辅助门限。研究表明, 单独采用上述任何一种门限进行防抱死控制, 都存在较大的局限性, 将车轮角加速度门限和滑移率门限结合起来, 有利于路面识别, 并可把车轮纵向滑移率控制在对应峰值纵向附着系数的最佳滑移率附近, 提高系统的自适应能力<sup>[1]</sup>。实际的 ABS 系统, 为了降低成本, 一般不安装车身加速度传感器。为此, 需要根据轮速信号估计出参考车速, 并据此计算参考滑移率。所以, 准确估算参考车速是 ABS 控制所必需的。

虽然已有很多研究者提出了多种参考车速算法<sup>[1-6]</sup>, 常见的有最大轮速法、斜率法、综合法、自适应斜率法<sup>[2]</sup>和基于模型的参考车速算法<sup>[3]</sup>等,

但这些算法还需要逐步完善。本文在现有的参考车速算法的基础上, 研究了制动过程中轮速和压力的变化规律, 确定了一种根据控制循环来及时调整车身减速度的参考车速自适应算法。

## 1 改进的参考车速自适应算法

最大轮速法取 4 个车轮轮速的最大值作为车身速度的估计值。斜率法依据试验结果, 事先确定车辆在各种制动工况下所能达到的平均减速度, 并在 ABS 控制过程中通过路面识别, 确定车辆初始速度和减速度来计算参考车速。综合法是指利用最大轮速法和斜率法分别实时计算车速, 选取两者中的较大者作为参考车速。自适应斜率法是根据制动防抱死过程特征, 估计参考车速的一种自适应算法。在计算过程中, 实时调整斜率法的初始点和车身参考减速度, 将斜率法计算出的参考速度与最大轮速进行比较, 较大者作为实时的参考车速。

本文在综合法和自适应斜率法的基础上, 提出了一种改进的参考车速自适应算法。根据 ABS 控制过程中每个控制循环的车轮速度信息,

在相邻两个控制循环分界点处,对斜率法估算车身参考速度的初始点、初始参考车速和车身参考减速度进行调整和修正。

如图 1 所示,自适应算法选择初始制动速度(点 1)及设定的车身参考减速度,从点①到点②过程中按斜率法估算车辆参考车速,从点②到点③过程中将车轮速度作为参考车速估计值,此时将点③作为斜率法计算参考车速的初始点,并将车身参考减速度调整为

$$a = \frac{v_1 - v_3}{t_3 - t_1} \tag{1}$$

式中, $a$  为车身参考减速度; $v_3$ 、 $t_3$  分别为点 ③ 对应的轮速和时刻; $v_1$ 、 $t_1$  分别为点①对应的轮速和时刻。

同理,从点③到点④过程中按斜率法估算车辆参考车速,从点④到点⑤过程中将车轮速度作为参考车速估计值,到达点⑤时,与点③作同样处理,依次类推<sup>[4]</sup>。

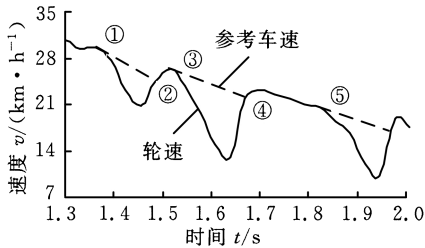


图 1 参考车速自适应算法示意图

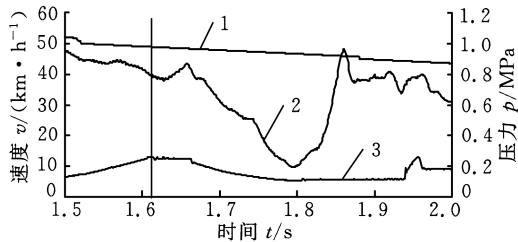
此自适应算法能够很好地识别路面,提高了自适应性。但是此方法实现起来具有一定的难度,即如何准确选取各控制循环的起止点。此外,此方法是利用前一个控制循环的斜率作为车身参考减速度来估算下一个循环的参考车速,具有一定的时间延迟。

在应用此自适应算法计算参考车速时,每个控制循环起始点和终止点的确定是算法实现的关键。下面分第一个控制循环和后续控制循环两种情况加以介绍。

### 1.1 第一个控制循环起止点确定

图 2 所示为汽车在高附着系数(简称高  $\mu$ ) 路面上的 ABS 第一个循环的车轮速度、实际车速和压力变化情况(竖线位置为压力调节开始的时刻),图中,实际车速、车轮速度和制动压力由试验数据采集系统测得。在制动初始阶段,制动管路内的压力迅速增大。由于制动系统的响应滞后以及车轮本身转动惯量的影响,在一定的时间内,车轮速度并没有急剧下降,而是较为平缓地减小,车轮角减速度平缓增大。之后,车轮的角减速度迅速增大,并达到角减速度门限值<sup>[5]</sup>,即在图中竖线位置,此时切换为保压(也可能是减压,依不同的

控制逻辑和制动工况而定)。从角减速度迅速增大到达到门限值只有很短的时间,车轮速度下降不大,所以在第一个控制循环内就以达到角减速度门限值的时刻,即 ABS 介入控制的时刻作为本循环的起始点。本循环的终止点设为阶梯增压开始的时刻,理由在讨论后续控制循环的起止点时详述。



1. 实际车速 2. 车轮速度 3. 制动压力

图 2 高  $\mu$  路面 ABS 第一个循环的试验曲线

ABS 系统一般不安装压力传感器,所以此自适应算法基于车轮速度信息并结合控制逻辑确定参考车速起止点。在自主开发的 ECU 软件中,车轮速度处理程序中的滤波和拟合算法对原始信号中的粗大误差进行剔除,较为准确地实时计算车轮的轮速和角加/减速度,使其能够作为控制依据。控制逻辑由经过滤波和拟合计算后的车轮速度和角加/减速度决定进行何种压力调节,并设置相应的控制状态标志位。参考车速算法根据控制状态标志位,判断 ABS 系统是否介入控制或开始阶梯增压。当出现可以作为控制循环起止点的控制状态标志位时,还要判断此时刻和上一个控制循环起止点时刻的差值是否大于设定的时间门限值。如果大于该门限值,则作为新控制循环的开始,否则,仍按照原来的控制循环继续进行计算。这样可以进一步消除可能出现的车轮速度振荡对参考车速计算的影响。制动系统在响应某个控制状态对应的压力调节时存在滞后,但由于参考车速是以控制周期为单位进行更新的,即每个控制周期只更新一次,故压力响应的迟滞时间小于控制周期,而且在这段迟滞时间内车轮速度的变化也不大,所以压力响应滞后引入的参考车速计算偏差不会很大,参考车速计算的试验结果也证明了这一点。因此,可以利用控制状态的标志位判定 ABS 介入控制或阶梯增压开始的时刻,进而利用此时刻界定某个控制循环的起止和持续的时间。

在第一个控制循环中,路面信息有限,所以采用最大轮速法以控制循环起始点的最大轮速作为初始车速,按高附着路面设定车身减速度。由于起始点的车轮速度已有一定的下降,所以要通过

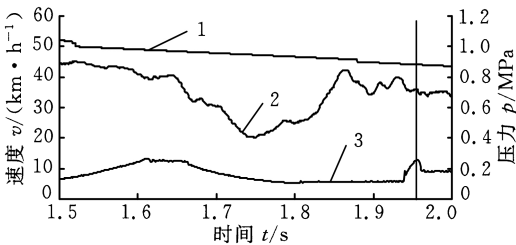
经验数据补偿车轮速度和车身速度的差值,对计算出的参考车速进行修正。一般补偿的办法是在参考车速的基础上加一个固定值。这里补偿值是一个经验值<sup>[2]</sup>,其大小根据实验数据确定,并通过试验加以验证。

1.2 后续控制循环起止点确定

后续控制循环的起止点设定在每个控制循环的阶梯增压开始的时刻。通过对控制逻辑的理论研究和试验数据的对比分析,阶梯增压作为控制循环的起止点符合实际。经试验验证,参考车速是比较准确的,满足 ABS 控制的要求。

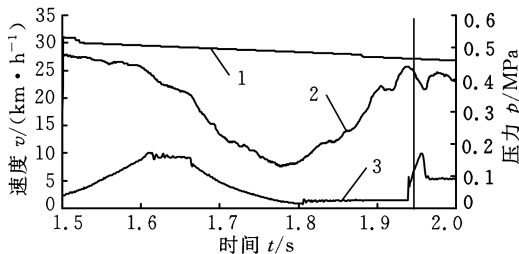
BOSCH 逻辑门限值控制方法<sup>[7]</sup>采用的门限值主要有车轮角减速度门限  $\alpha_1$ 、车轮角加速度第一门限  $\alpha_2$  和第二门限  $A_k$  以及参考滑移率第一门限  $S_1$  和第二门限  $S_2$ 。压力的调节方式主要为增压、减压、保压、阶梯增压和阶梯减压,由门限值决定。

分析 BOSCH 控制逻辑可知,阶梯增压是一个完整的控制循环中必然出现的压力调节方式。这是因为经过减压和保压调节后,车轮速度已回升而制动压力较低,此时车轮滑移率在峰值附着系数对应的滑移率附近,通过阶梯增压的方式既能提高制动压力水平,又能使车轮在峰值附着系数附近的稳定区域停留较长的时间。在阶梯增压开始时,车轮速度较为接近车身速度,以阶梯增压的开始时刻作为上一个控制循环的结束和下一个控制循环的开始能够真实地区分每个控制循环。图 3 和图 4 所示的实际轮速和压力曲线(图中竖线表示阶梯增压开始时刻),也证明阶梯增压具备以上分析得出的特征,可以作为控制循环的起止点。



1. 实际车速 2. 车轮速度 3. 制动压力

图 3 高  $\mu$  路面 ABS 第一个循环的试验曲线



1. 实际车速 2. 车轮速度 3. 制动压力

图 4 低  $\mu$  路面 ABS 第一个循环的试验曲线

2 自适应算法的程序实现及试验验证

根据参考车速自适应算法的基本原理,在自行开发的 ABS 控制软件中,编写了参考车速的计算程序。图 5 所示为其计算流程。

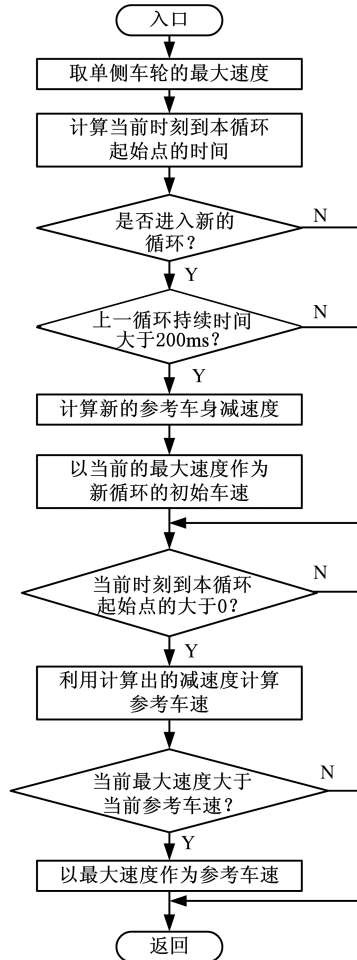
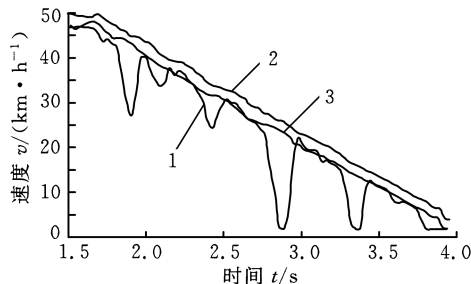


图 5 参考车速计算流程图

根据国家标准《机动车和挂车防抱制动性能和试验方法》的要求,把自主开发的 ABS 控制器安装在某商用车上进行了高附着、低附着和对接等路面状况下的实车试验。图 6~图 8 所示为一些 ABS 试验结果曲线。

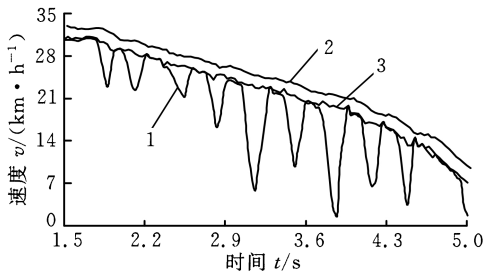


1. 某轮轮速 2. 实际车速 3. 参考车速

图 6 高  $\mu$  路面 ABS 试验曲线

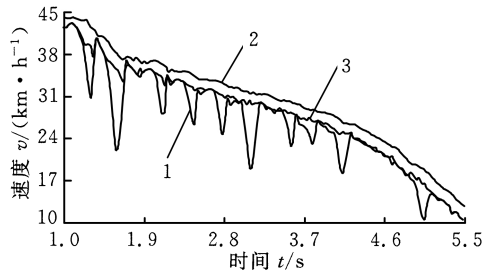
从试验曲线可以看出,参考车速虽然与实际车速有一定偏差,但是偏差值较小而且参考车速





1. 某轮速度 2. 实际车速 3. 参考车速

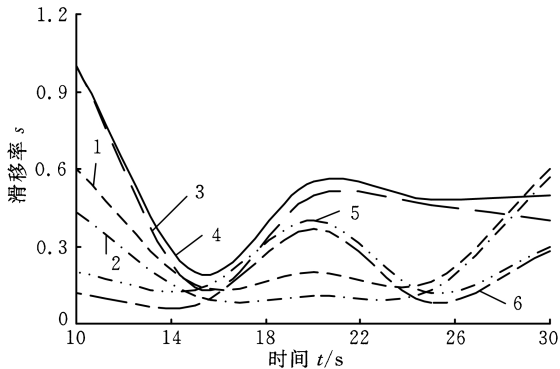
图 7 低  $\mu$  路面 ABS 试验曲线



1. 某轮速度 2. 实际车速 3. 参考车速

图 8 对接路面 ABS 试验曲线

的计算值基本反映了实际车速的变化趋势。不同速度段和不同路况的参考滑移率和实际滑移率的对比值如图 9 所示。



1. 对接路面实际滑移率 2. 对接路面参考滑移率  
3. 低  $\mu$  路面参考滑移率 4. 低  $\mu$  路面实际滑移率  
5. 高  $\mu$  路面实际滑移率 6. 高  $\mu$  路面参考滑移率

图 9 参考滑移率和实际滑移率对比值

由图 9 可以看出,一般情况下,以参考车速计算出的参考滑移率和实际滑移率相差不大,可以满足滑移率门限控制需要。参考滑移率略小于实际滑移率,这是因为在应用自适应斜率法计算参考车速时,每个控制循环的初始车速选取的是当时的最大轮速值。由于制动压力的存在,最大轮速值总是略小于当时的实际车速。所以,由此计算出的参考车速都略小于实际车速,参考滑移率也略小于实际滑移率。

在低附着路面参考车速曲线开始阶段其计算值和实际车速偏差较大,导致参考滑移率的偏差增大,这是因为第一个控制循环的参考减速度是按照高附着路面设定的,所以参考车速的计算值

偏低。在高附着路面到低附着路面的对接路面试验中,进入低附着路面的第一个控制循环由于计算参考车速时用的参考减速度是上一个循环高附着路面的计算值,所以计算出的参考车速也存在上述问题。但是由于低附着路面每个控制循环的最大滑移率都很大,所以根据参考车速计算出的参考滑移率的偏差并没有影响控制过程中根据滑移率门限所作的判断。试验曲线表明,采用参考车速自适应算法的 ABS 控制软件在高附着、低附着和对接路面上都取得了较好的控制效果,这也间接说明了该参考车速算法的合理性。

### 3 结论

通过理论分析和试验研究,对自适应参考车速算法进行改进,得到以下结论:①较之一些传统方法,改进算法的逻辑更为合理;②该算法中参考减速度能够及时更新,提高了参考车速算法对路面变化的适应性;③试验表明,该算法自适应能力和实用性强,满足 ABS 的滑移率辅助门限控制的需要。

本文提出以阶梯增压的开始时刻作为控制循环的起止点,然后根据每个控制循环确定参考减速度。参考车速曲线证明这种方法确定的参考减速度与实际减速度较为接近,提高了参考车速估算的准确性。

### 参考文献:

[1] 张厚忠,李劲松. ABS 与 ASR 控制算法研究及对比分析[J]. 农机化研究,2004(6):92-94.  
[2] 齐志权,刘昭度. 汽车制动防抱系统参考车速确定方法[J]. 农业机械学报,2005,36(11):8-11.  
[3] 余卓平,刘高翔. 汽车制动过程中参考车速计算方法的研究[J]. 上海汽车,1998(5):1-3.  
[4] 杨磊. 气动 ABS 控制技术研究及 ECU 开发[D]. 北京:北京航空航天大学,2006.  
[5] 王仁广,刘昭度. 汽车 ABS 参考车速的确定方法[J]. 农机化研究,2006(3):198-200.  
[6] 边明远,李志强. 基于车轮信息的制动车辆参考车速算法研究[J]. 农业机械学报,2005,36(6):5-7.  
[7] 程军. 汽车防抱死系统的理论与实践[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.

(编辑 张 洋)

作者简介:王伟达,男,1980 年生。北京航空航天大学交通科学与工程学院博士研究生。主要研究方向为汽车电子控制技术。发表论文 2 篇。丁能根,男,1965 年生。北京航空航天大学交通科学与工程学院副教授。徐向阳,男,1965 年生。北京航空航天大学交通科学与工程学院教授、博士研究生导师。杨磊,男,1982 年生。北京航空航天大学交通科学与工程学院硕士研究生。