

# 商用车气压式 EPB 后轮防抱死功能研究

毛乐勇 刘旺昌 金杰 陈杭锋 陈腾炜  
浙江万安科技股份有限公司 浙江诸暨 311835

**摘要:** 本文基于商用车气压式制动系统开发了应急制动模式下的由 EPB(电子驻车制动系统)执行的后轮防抱死功能,该功能通过获取整车车速和轮速信号,再通过相应的防抱死控制策略来实现单独由后轴弹簧制动缸来提供制动能量的防抱死应急制动。该功能可以保证车辆在常规制动失效的情况下,驾驶员依旧可以稳定的控制和刹停车辆。

**关键词:** 气压式 EPB、应急制动、后轮防抱死

**Study on Anti-lock Braking Function of Pneumatic EPB Rear Wheel of Commercial Vehicle**

**Leyong Mao Wangchang Liu Jie Jin Hangfeng Chen Tengwei Chen**

**Zhejiang VIE Science & Technology Co.,Ltd., Zhuji 311835**

**Abstract:** Based on the pneumatic braking system of commercial vehicles, this paper develops the rear wheel anti-lock braking function implemented by EPB(Electrical Park Brake) in emergency braking mode. The function achieves the anti-lock emergency braking by obtaining the vehicle speed and wheel speed signals, and then through the corresponding anti-lock control strategy to achieve the braking energy provided by the rear axle spring brake cylinder alone. This function can ensure that the driver can still control and stop the vehicle stably in the case of conventional brake failure.

**Keywords:** Pneumatic EPB; Emergency Braking; Rear Wheel Anti-lock Braking

## 引言

制动系统作为汽车底盘的关键部件之一,直接关系到交通安全与人员安全,故制动系统是汽车安全行驶的重要保障。商用车因载荷需求较大,所以通常采用气压式制动系统。气压式 EPB 是通过控制驻车腔里的气压来实现驻车 and 解除驻车的功能,具体是往驻车腔充气时,气压压缩弹簧制动缸里的弹簧使驻车解除,当把驻车腔的气压排空时,弹簧缸里的弹簧力提供驻车力。

本文以国内某轻卡车型为样车,通过自主开发 EPB 阀模块和后轮防抱死控制软件,实现了 EPB 应急制动模式下后轮防抱死功能。对该车型分别在高附和低附路面进行了后轮防抱死功能测试,实现了较好的控制效果,当整车行车制动失效时,EPB 的后轮防抱死功能可帮助车辆进行应急制动,从而提高车辆的安全性。

## 一、系统方案

本系统主要由供气气源、EPB 阀总成、手控单元,弹簧制动缸及整车信号组成,EPB 需要从整车 CAN 信号中获取高精度车速和轮速信号用于计算各车轮滑移率,再通过手动单元来判断驾驶员的操作意图,EPB 阀模块中的 ECU 会根据需求对弹簧制动缸进行充气或放气,当 EPB 给弹簧缸放气时车辆实现驻车,当 EPB 给弹簧缸充气时车辆实现解除驻车

动作,EPB 的后轮防抱死功能也是基于这两个基础的动作来实现,其系统布置方案如图 1 所示。

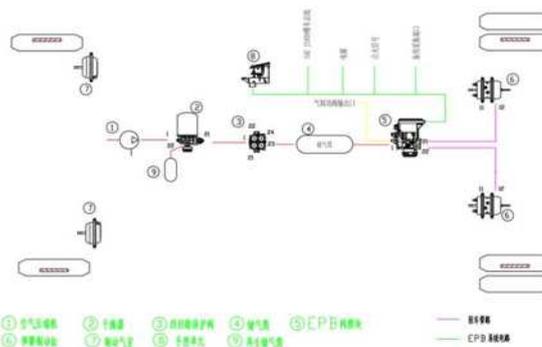


图 1 EPB 系统布置图

## 二、主要设计

### 1 系统描述

以本次的研究对象为例,EPB 的后轮防抱死控制策略本质上和 ABS 的防抱死策略一致,都是利用路面与轮胎之间的作用力,将车轮的滑移率控制在最佳区间,使路面附着性能得到最充分的发挥<sup>[1]</sup>。不同点在于 ABS 是通过四个车轮进行控制,而 EPB 只能通过装有弹簧制动缸的后轴来进行控制,且不能单独控制后轴的左右车轮,因此 EPB 相当于只能实现 ABS 的部分防抱死功能,制动效果也不及四轮制动的 ABS,但可以在 ABS 系统失效的情况下,起到应急制动的作用,

作为一种商用车法规要求的备份制动，依然具有研究意义。

### 2 地面制动力

为研究防抱死制动的控制过程和它在纵向平面的特性，车辆可简化为图 2 所示的单轮车辆模型<sup>[2]</sup>。图中滚动阻力偶矩和减速时的惯性力、惯性力偶矩均忽略不计。 $T_{\mu}$ 是车轮制动器中摩擦片与制动鼓或制动盘相对滑转时的摩擦力矩，单位为  $N \cdot m$ ； $F_{xb}$ 是地面制动力，单位为  $N$ ； $W$ 为车轮垂直载荷， $F_p$ 为车轴对车轮的推力， $F_z$ 为地面对车轮的法向反作用力，他们的单位均为  $N$ 。

从力矩平衡可得到

$$F_{xb} = T_{\mu} / r;$$

(1)式中， $r$ 为车轮半径 ( $m$ )。

地面制动力是使汽车制动而减速行驶的外力，其取决于制动器的摩擦力和轮胎与地面间的附着力。

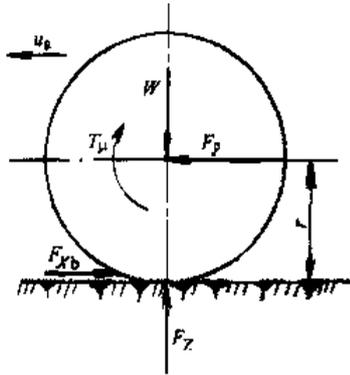


图 2 车轮在制动时的受力情况

### 3 制动器制动力

在轮胎周缘为了克服制动器摩擦力矩所需的力称为制动器制动力，以  $F_{\mu}$ 表示，可以得到以下公式：

$$F_{\mu} = T_{\mu} / r; \quad (2)$$

$T_{\mu}$ 是车轮制动器摩擦力矩 ( $N \cdot m$ )。

由式 (2) 可知，制动器制动力由制动器结构参数所决定，即取决于制动器的形式、结构尺寸、摩擦片的摩擦因素以及车轮半径，并与制动踏板力成正比。

#### 2.4 地面制动力、制动器制动力与附着力的关系

如图 3 所示，在制动时，当制动踏板力较小时，地面与轮胎之间的摩擦力即地面制动力，当制动压力  $P$  上升到某一值  $P_a$  时，地面制动力  $F_{xb}$  达到附着力  $F_{\phi}$  值时，车轮即出现抱死不转而出现拖滑现象。当制动压力  $P$  再度增加时，制动器制动力  $F_{\mu}$  会继续增加，但地面制动力  $F_{xb}$  达到附着力  $F_{\phi}$  值后

就不再增加。

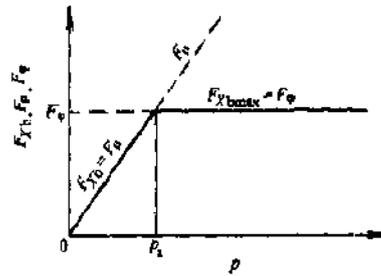


图 3 制动过程中各力关系

由此可见： $F_{xb} \leq F_{\phi} = F_z * \phi$ ，其中  $\phi$  为路面附着系数。

### 4 滑移率的计算与控制

基于以上模型，本文 EPB 的后轮防抱死控制策略采用滑移率作为被控对象<sup>[3]</sup>，计算方法为

$$s = (v_e - v_w) / v_e \quad (3)$$

式 (3) 中， $v_e$  为车辆车速， $v_w$  为车辆轮速，这两个信号均可以通过 CAN 总线获取， $s$  表示滑移率。

在纯滚动时，滑移率  $s=0$ ，在纯拖滑时，滑移率  $s=100\%$ ，边滚边滑时， $0 < s < 100\%$ ，实际控制中，我们通常要把滑移率控制在如图 4 所示的峰值附着系数  $\phi_p$  附近。

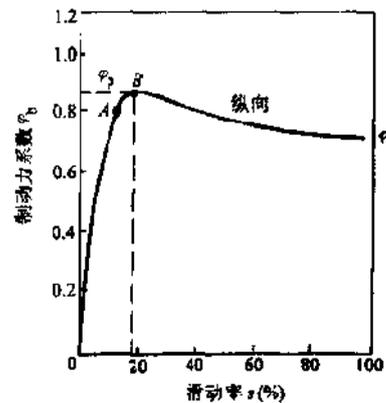


图 4 制动力系数曲线

### 5 设计实现

本文选用了英飞凌 XC2000 系列 16 位单片机作为运算平台，针对 EPB 产品开发了专用的电子控制单元和机械阀体，并将以上的控制理论以 Simulink 模型自动生成代码<sup>[4]</sup>的方式集成到控制软件中，实现了基于气压式 EPB 的后轮防抱死功能。

#### 三、试验条件

##### 1 试验基本信息

图 5 为试验样车照片，图 6 为试验路面，采用洒水玄武岩路面来模拟低附路面。



图 5 试验样车



图 6 试验路面

## 2 试验结果分析

以下数据中绿色曲线为车速信号，红色曲线为左后轮速，灰色曲线为右后轮速，蓝色为 EPB 开关触发信号曲线。

图 7 为高附路面测试曲线，可以看到测试车辆的后轮轮速一直控制在车速值附近，此时车轮达到了一种似抱非抱的状态，也就是滑移率一直维持在图 4 制动力系数曲线的峰值附着系数附近，这样就可以尽可能的利用地面附着系数，从而产生一个较好的制动效果。

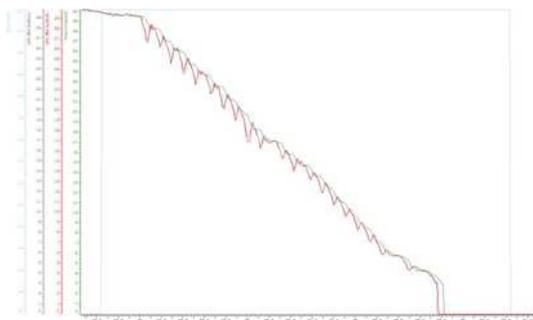


图 7 高附路面

图 8 为低附路面测试曲线，可以看到车轮的变化较高附路面剧烈了很多，这是由于路面附着系数较低的原因造成，受制于商用车驻车制动器的机械结构<sup>[5]</sup>，EPB 只能通过轴控的方式来进行后轮防抱死控制，但测试车辆依然可以稳定的控制和制动，单次车轮抱死时间小于 200ms，可以满足使用

要求。

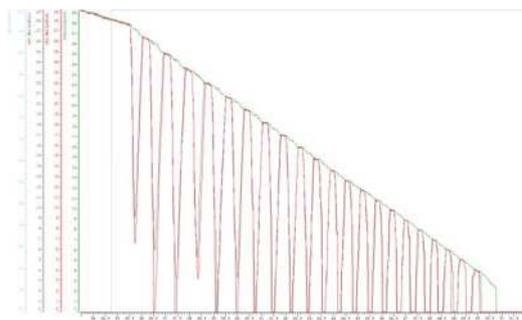


图 8 低附路面

图 9 为高低对接路面测试曲线，该项测试是模拟车辆在 EPB 应急制动过程中由高附路面驶向低附路面的工况，该工况考验的核心是控制策略对路面识别的准确性，因为不同附着系数的路面，峰值附着系数所对应的滑移率范围是不一样的<sup>[6]</sup>，因此软件控制策略中需要能够识别不同的路面来调整控制参数，从而达到最优的制动效果。本文采用滑移率阈值和减速度值通过算法来识别路面<sup>[7]</sup>，图 9 中可以明显看到高附和低附的分界点，控制策略对路面的识别较为精准，完成路面识别后采用了合适的控制参数来保证不同路面下的制动效果和稳定性。

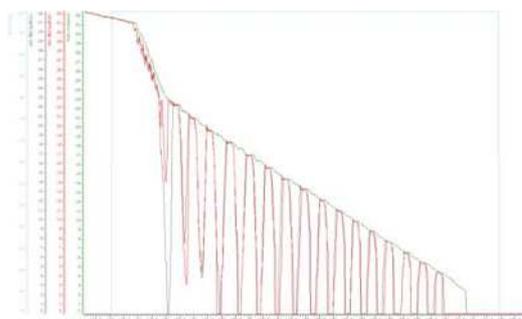


图 9 高低对接路面

图 10 为左高右低对开路面测试曲线。该项测试主要模拟左右轮在不同附着系数路面时的使用工况，要求车辆在保持车身稳定的情况下提供较好的制动力，由于商用车 EPB 只能采用轴控的方式<sup>[8]</sup>，因此在该路面工况下我们采用的是低选控制的方式，也就是说检测左右两轮的滑移率，如果其中一侧的车轮达到了减压或增压的条件，那么两侧同时动作，可以看到也取得了较好的控制效果。

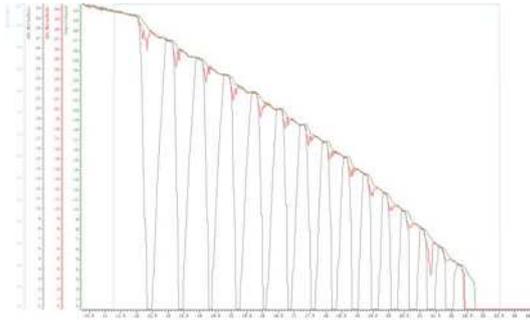


图 10 左高右低对开路面

#### 四、结论

本次研究车型的测试结果表明, EPB 后轮防抱死功能可以使被控车辆在不同路面较为平稳的制动, 且在对开和对接路面均能准确识别路面情况, 并采取了合适的控制策略。能够满足用户在不同路面情况下的应急制动功能, 从而提高车辆的安全性。

#### 参考文献:

[1]周云山、钟勇.汽车电子控制技术[M].北京:机械工业出版社, 2008: 78-86.

[2]余志生.汽车理论[M].6版.北京:机械工业出版社, 2020: 113-120.

[3]Sergio M.Savaresi、Mara Tanelli. 汽车主动制动控制系统设计[M].1版.北京:机械工业出版社, 2014: 14-25.

[4]孙忠潇.Simulink 仿真及代码生成技术入门到精通[M].北京:北京航空航天大学出版社, 2015: 350-374.

[5]陈家瑞.汽车构造[M].3版.北京:机械工业出版社, 2020: 341-351.

[6]康拉德·莱夫.BOSCH 车辆稳定系统和驾驶员辅助系统[M].2版.北京:北京理工大学出版社, 2017: 20-32.

[7]张彪、张俊智、刘昭度. 基于车身减速度估计的 ABS 路面识别方法[J].中国公路学报, 2011: 109-113.

[8]郑太雄、马付雷. 基于逻辑门限值的汽车 ABS 控制策略[J].交通运输工程学报, 2010: 69-74.

作者简介:毛乐勇(1987-),男,工程硕士,主要研究方向:汽车底盘电控系统。

刘旺昌(通信作者)(1981-),男,电子工程师,主要研究方向:汽车电子。