

The Simulation Research of ABS System based on Simulink

Wenyan Xia

School of Mechatronics & Vehicle Engineerings, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: Taking the single wheel vehicle model as the research object, the mathematical model of the automobile ABS system is established under the Simulink environment. The overall model of the ABS system is established by using the logic control strategy with the slip ratio as the main reference value. The simulation results are compared with those without ABS. The results show that the ABS system can significantly improve the braking performance of the vehicle and thus improve the safety factor of the vehicle during braking.

Keywords: Simulink; ABS; Logical control; Braking ability

基于 Simulink 的汽车 ABS 系统仿真研究

夏文艳

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆, 400074

摘要: 以单轮车辆模型为研究对象, 在 Simulink 环境下进行汽车 ABS 系统的数学建模, 采用以滑移率为主要参考值的逻辑控制策略, 建立了汽车 ABS 系统整体模型, 并与无 ABS 的制动工况进行仿真对比分析。结果表明, 汽车 ABS 系统可以显著地提高汽车的制动性能, 从而提高车辆制动时的安全系数。

关键词: Simulink; ABS; 逻辑控制; 制动性能

1 引言

ABS 系统是一种防抱死制动系统, 可以在汽车制动工况下避免车轮抱死, 从而提高车辆行驶的安全系数。汽车在行车过程中, 运动状态、道路条件和轮胎附着情况均比较复杂, 特别是在高速行驶或弯道、冰雪路面等复杂路况下紧急制动时, 很容易出现车轮抱死拖滑, 从而导致制动距离过长, 前轮抱死时还会导致车身侧滑掉头, 失去方向控制能力, 严重威胁汽车, 乘客及行人的安全[1]。ABS 系统作为一种主动安全装置[2], 在汽车制动车轮不抱死的前提下, 尽可能地获取最大地面制动力, 首先满足行车安全要求, 进而优化车辆制动性。本文在 Simulink 环境下对某汽车 ABS 系统进行建模仿真, 并与无 ABS 的常规制动进行仿真结果对比, 分析防抱死制动系统对汽车制动性能的改善情况。

2 ABS 基本组成与工作过程

ABS 系统一般由传感器、电控单元和执行器等组成, 但不同类型的 ABS 系统具有不同的内部结构

和控制方法, ABS 基本组成示意图如图 1 所示。

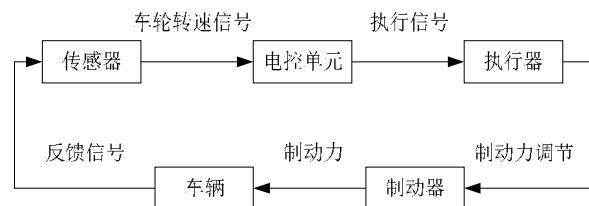


Figure 1. The sketch map of ABS basic component
图 1. ABS 基本组成示意图

汽车防抱死制动系统以最佳滑移率为控制目标[3], 通常是在制动过程中, 由传感器测得实时车轮转速值, 然后根据所得结果计算对应的车轮滑移率, 并与控制滑移率范围对比, 由对比结果进行决策, 自动控制制动器制动力大小直至车辆停止。车轮滑移率一直保持在控制范围内, 从而既能获得良好的侧向力, 又能得到较高的制动强度。

ABS 系统能够自动调节工作状态以适应各种随机条件。工作过程一般分为常规制动过程、减压过

程、保压过程、增压过程[4]。图 2 为防抱死制动系统工作过程示意图。在 0 阶段，由于驾驶员的作用是制动压力增加，车轮开始减速，ABS 系统不启用，为常规制动阶段。在 1 阶段，车轮角加速度达到下门限值(即 A 点)，车轮有抱死倾向，ABS 系统控制制动压力变小，为减压过程。在 2 阶段，车轮角加速度慢慢增大到临界值(即 B 点)，车轮附着状态变差，继续减压会使制动力丧失，此时保持制动压力不变，为保压过程。在 3 阶段，车轮角加速度再次变为临界值(即 C 点)，增加制动压力，为增压过程。

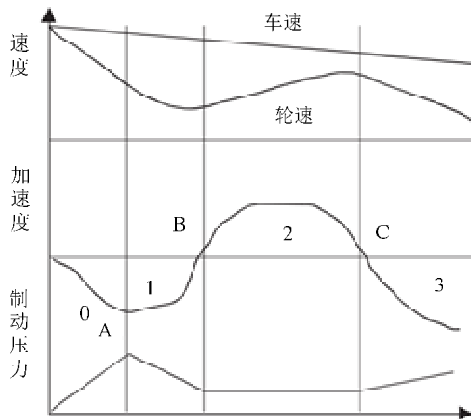


Figure 2. The sketch map which shows the working process of the anti-lock braking system

图 2. 防抱死制动系统工作过程示意图

3 ABS 系统理论基础

3.1 汽车制动时的受力分析

本文在进行受力分析时，以单轮为研究对象，参考简化的单轮车辆模型[5]来研究其制动过程，如图 3 所示。

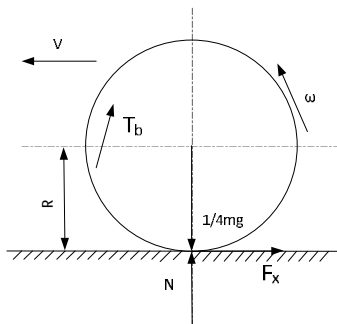


Figure 3 The analysis chart of wheel force.

图 3. 车轮受力分析图

由图 3 可得车辆动力学方程：

$$\frac{1}{4} m \dot{\omega} = -F_x \quad (1)$$

$$I \omega = F_x R - T_b \quad (2)$$

式中： m 为整车质量； F_x 为地面制动力； I 为车轮转动惯量； ω 为车轮中心速度； $\dot{\omega}$ 为车轮角速度； R 为车轮半径； T_b 为制动器制动力矩。

汽车制动过程中，受到的外力为地面制动力 F_x ，而 F_x 取决于附着力 F_m 和制动器制动力 F_b 。三者间的关系[6]如图 4 所示。

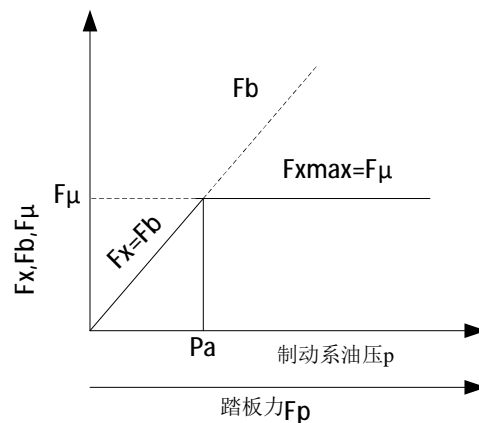


Figure 4. The relationship of Ground braking force and brake system during braking Power and adhesion

图 4. 制动过程中地面制动力、制动器制动力及附着力的关系

初始阶段，制动踏板力较小，因此 F_b 也不大， F_x 可以与其相平衡以保持车轮运动，此时的 $F_x = F_b$ ，并且一同随着踏板力的增大成比例增大，但是，受到车轮附着条件的影响， F_x 的最大值不能超过 F_m 。即：

$$F_x \leq F_{x \max} = F_m = mN \quad (3)$$

式中： m 为地面附着系数； N 地面垂直反力。

所以，只要 F_x 达到了 F_m 值， F_x 的值不再随踏板力或制动油压的继续增长发生任何变化，此时的车轮已经完全抱死只做纯拖滑运动。依此可以得知，改善汽车的制动效能，目标获得满足需求的地面制动力，既要制动器提供一定的制动力，又要满足车辆的附着条件。

3.2 汽车制动时的车轮滑移率

汽车制动时的车轮滑移率定义如下：

$$S = \frac{n - wR}{n} \times 100\% \quad (4)$$

车轮制动到抱死拖滑是从纯滚动到边滚边滑，最后纯滑动逐渐递进的[7]。在纯滚动阶段， $n = wR$ ，车轮与路面间没有滑移运动， $S = 0$ 。车轮完全抱死拖滑时，没有任何转动成分的运动， $w = 0$ ， $S = 100\%$ 。在边滚边滑的过渡阶段，既有车轮相对轮面的滑移运动，又有车轮的转动， $n > wR$ ， $0 < S < 100\%$ ，并且滑移运动越多，滑移率就越大，越倾向于车轮抱死。滑移率对汽车制动车轮的附着系数有很大的影响，也就不可避免地会影响汽车的制动性能。

3.3 附着系数

附着系数分为纵向附着系数和横向附着系数，纵向附着系数为路面附着力与垂直载荷之比，横向附着系数为轮胎所受的侧向力与相应轮胎的垂直载荷之比[8]。在车轮转动期间附着系数与滑移率的关系如图 5 所示。

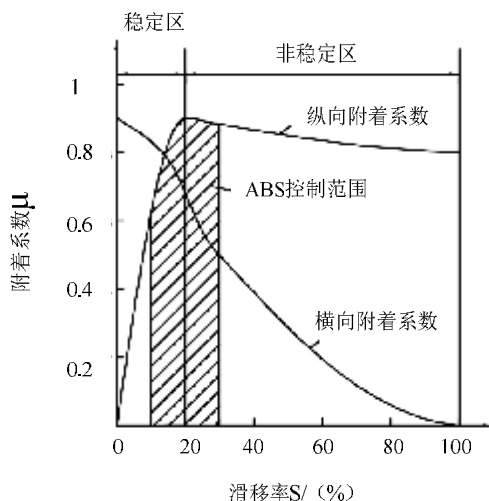


Figure 5. The relation curve of Slip rate and adhesion coefficient
图 5. 滑移率与附着系数关系曲线

从图中曲线可以看出，横向附着系数随着滑移率的增大逐渐减小，而纵向附着系数随着滑移率的增大先增大后变小。在合适的滑移率范围内，横向附着系数和侧向附着系数均能取得较高值，从而获得良好的轮胎附着情况。ABS 系统的基本原理正是将车轮制动时的滑移率维持在这一理想范围内，在利用尽可能大的地面制动力的同时改善汽车制动时的方向稳定性。

4 ABS 系统的 Simulink 仿真建模

4.1 车辆动力学模型

根据式 (1)、(2)、(3) 建立相应的 Simulink 仿真模型，如图 6 所示，输入为制动力和纵向附着系数，输出为轮速、角测量下的车速和制动距离。

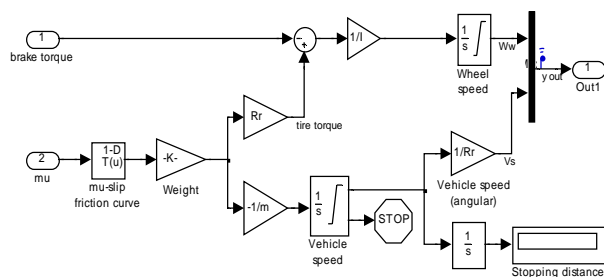


Figure 6. The model of Vehicle dynamics
图 6. 车辆动力学模型

4.2 轮胎模型

用汽车制动过程中车轮与路面间的附着情况来描述轮胎模型[10]，本文模拟的路面附着系数与滑移率数据表如表 1 所示。

Table 1. The data table of slip ratio and adhesion coefficient
表 1. 滑移率与附着系数数据表

滑移率 S/100%	附着系数 μ	滑移率 S/100%	附着系数 μ	滑移率 S/100%	附着系数 μ
0	0	35	0.940	70	0.790
5	0.400	40	0.920	75	0.770
10	0.800	45	0.900	80	0.750
15	0.970	50	0.880	85	0.730
20	1	55	0.855	90	0.720
25	0.980	60	0.830	95	0.710
30	0.960	65	0.810	100	0.700

由表中数据可得仿真路面的附着系数-滑移率关系拟合曲线如图 7 所示：

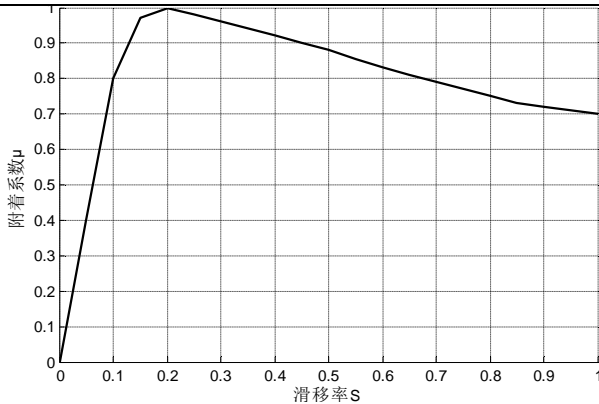


Figure 7. The relation curve of adhesion coefficient - slip ratio
图 7. 附着系数-滑移率关系曲线

利用 Simulink 中的 1-D Lookup Table 模块输入图 7 中的拟合曲线数据建立轮胎模型。

4.3 制动系统模型

制动系统由两部分组成：传动机构和制动器 [11]。本文所研究的制动系统是液压传动的，建立仿真模型时，忽略传动延迟和一些影响比较弱的非线性因素，将液压传动系统简化为一个电磁阀环节和一个积分环节 [12]。传递函数：

$$G(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)} \quad (5)$$

式中：T 为惯性环节参数，电磁阀的响应时间一般小于或等于 10 ms，故 T 取 0.01；同时 K 取 100。

对制动器进行建模，同样忽略影响比较弱的一些非线性因素，并将制动器视为理想元件 [13]，制动器方程如下：

$$T_b = K_f p \quad (6)$$

式中：T_b 为制动器制动力矩；K_f 为制动器制动因数；p 为液压传动系统输出压力。

本文采用门限值逻辑控制策略 [14]，控制车轮在制动过程中的实时滑移率维持在 15%~25% 的理想范围内。利用 Bang-bang 控制器 [17]，根据式 (5) 和式 (6) 建立的制动系统模型如图 8 所示。

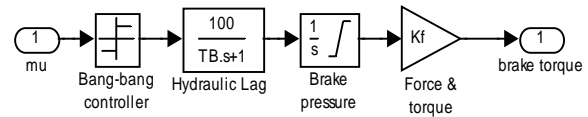


Figure 8. The model of ABS brake system
图 8. ABS 制动系统模型

4.4 ABS 系统整体模型

将建立的各个子模型整合得到 ABS 系统的整体仿真模型如图 9 所示

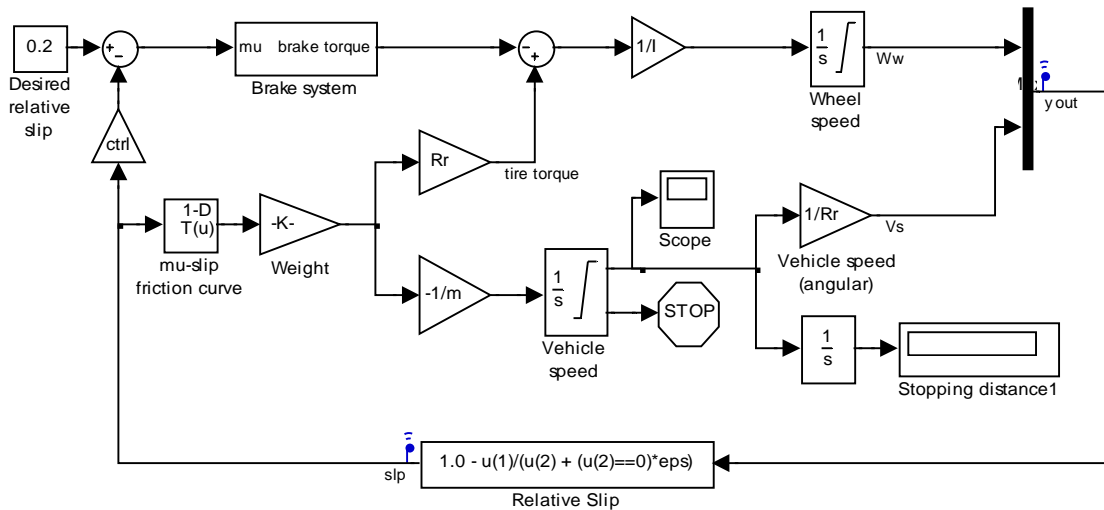


Figure 9. The overall model of ABS system
图 9. ABS 系统整体模型

5 ABS 系统仿真及结果分析

在 Matlab/Simulink 环境中，对建立的 ABS 系统整体模型进行仿真。仿真车辆参数如表 2 所示。

Table 2. The argument list of the simulation of vehicle
表 2. 仿真车辆参数表

参数	代号	数值
整车质量	m	1609kg
车轮半径	R_r	1.25
车轮转动惯量	I	5
制动初始车速	V_o	88
最佳滑移率	S_o	0.2

当 ABS 系统整体模型中的控制模块 Ctrl 参数由 1 变为 0 时, 控制系统不再起作用, 相当于无 ABS 的制动系统仿真。在 Ctrl=1 和 Ctrl=0 两种条件下进行仿真, 仿真结果如图 10~12 和表 3 所示。

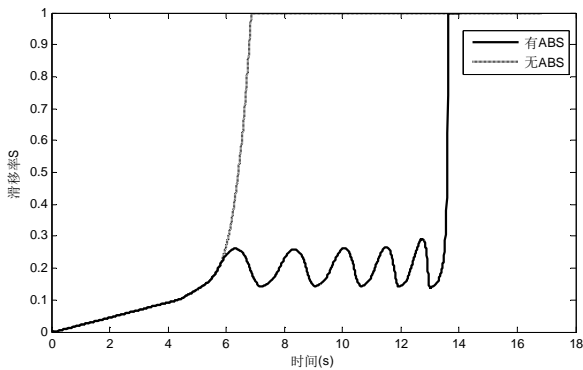


Figure 10. The correlation curve of with or without ABS slip rate
图 10. 有无 ABS 滑移率对比曲线

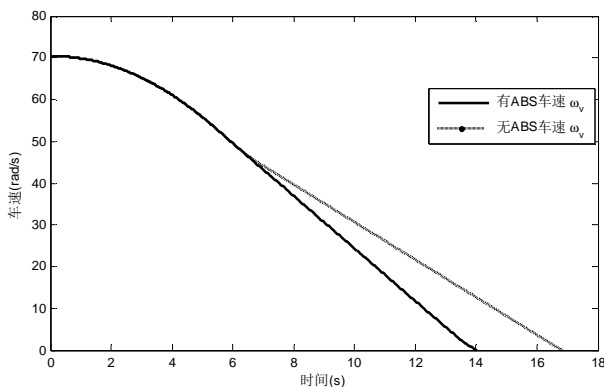


Figure 11. The correlation curve of with and without ABS speed
图 11. 有无 ABS 车速对比曲线

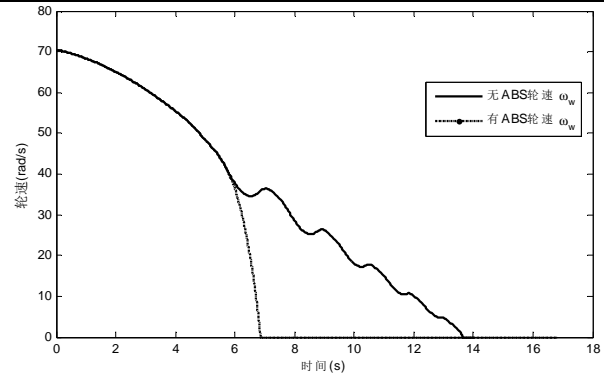


Figure 12. The correlation curve of with and without ABS speed curve

图 12. 有无 ABS 转速对比曲线

Table 3. Comparison of simulation data of braking condition
表 3. 制动工况仿真数据对比

制动工况	制动时间/s	制动距离/m	车轮抱死时刻
有 ABS	14.01	720.7	无
无 ABS	16.82	806.2	第 6.86s

由仿真结果可知, 有 ABS 的车辆, 车轮滑移率增长到 0.2 附近后始终在最佳滑移率的控制范围 0.15~0.25 内, 直至车辆停止, ABS 系统结束工作。整个制动过程中, 车轮轮速逐渐降低, 无抱死拖滑现象, 制动性能良好。无 ABS 车辆, 车轮滑移率在第 6s 开始迅速上升, 到第 6.86s 滑移率上升到 1, 车轮轮速降为 0 出现抱死拖滑。比较两种制动情况可知, ABS 系统能够很好地实现控制滑移率维持在设定范围 0.15~0.25 内, 保证车轮制动不抱死, 缩短制动距离和制动时间, 显著提高车辆的制动效能。

6 结论

本文基于 Simulink 建立汽车 ABS 系统单轮模型, 采用以滑移率为主要参考值的逻辑控制策略, 对其进行仿真, 并与无 ABS 工况下的制动仿真进行对比。分析表明, ABS 系统门限制控制策略能够准确地控制车轮滑移率在理想范围内, 使车轮在制动过程中同时获得良好的侧向力和较高的制动强度, 从而提高汽车的制动安全系数。

References (参考文献)

- [1] 余志生. 汽车理论. 第 5 版. 机械工业出版社. 2009.
- [2] Yun D S, Kim H S, Boo K S. Brake performance evaluation of ABS with sliding mode controller on a split road with driver model. International Journal of Precision Engineering & Manu-

- facturing. 2011, 12(1), 31-38.
- [3] Cabasino M. Diagnosability Analysis of an ABS System Modeled Using Petri Nets. Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes. 2012, 842-847.
- [4] 潘开广. 基于 MATLAB 的汽车防抱死制动系统仿真研究. 农业装备与车辆工程. 2008, (8), 51-54.
- [5] 宋龙龙, 郑培, 范满珍. 基于 MATLAB 的汽车 ABS 制动过程仿真. 现代机械, 2015, (4), 21-25.
- [6] 李松焱, 闵永军, 王良模, 等. 轮胎动力学模型的建立与仿真分析. 南京工程学院学报(自然科学版). 2009, 7(3), 34-38.
- [7] 吴玲, 孙宇, 孙永荣. 基于 Matlab/Simulink 的汽车 ABS 系统的建模与仿真. 自动化应用. 2014, (5), 75-77.
- [8] 郭建亭, 王少勇, 吕魁超. 基于 Matlab 的汽车 ABS 仿真研究. 汽车实用技术. 2012, (11), 24-27.
- [9] 高志朋, 王志勇, 马鹏鹏. 基于 Matlab 的电动汽车 ABS 仿真分析. 机械研究与应用. 2016, 29(5), 31-33.
- [10] 肖启瑞. 车辆工程仿真与分析: 基于 MATLAB 的实现. 机械工业出版社. 2012.
- [11] 李南, 宋真玉, 马亚乾. 基于实时滑移率的汽车防抱死系统仿真. 轻型汽车技术. 2012, (Z4), 18-22.
- [12] 任肖, 齐超飞. 基于 MATLAB 的制动防抱死系统的建模与仿真. 汽车实用技术. 2015, (4), 94-96.
- [13] 李少廷, 徐家川. 基于 simulink 的汽车防抱死制动系统的仿真研究. 山东理工大学学报(自然科学版). 2016, 30(5), 44-48.
- [14] 王亚琴. 基于汽车理论的 SIMULINK 入门实例教学. 四川建材. 2014, (3), 332-333.
- [15] 谷昭斌, 陈丁跃, 景琳琅. 基于 Simulink 的汽车 ABS 仿真研究. 汽车实用技术. 2012, (7), 27-30.
- [16] 杜春臣, 周孙锋, 孙浩. 基于 Matlab 的 ABS 不同控制方式的仿真. 汽车实用技术. 2011, (z1), 34-38.
- [17] 安永东, 杜嘉勇, 罗萌. 基于 Simulink 的汽车 ABS 建模与仿真. 黑龙江工程学院学报. 2008, 22(2), 40-43.