

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.12.020

基于 Simulink 的汽车 ABS 仿真分析

赵焱森, 朱 勇, 徐小东

(重庆交通大学 机电与车辆工程学院, 重庆 400074)

摘要:针对汽车在有无 ABS 情况下制动能否保证良好的稳定和制动性的问题,对汽车整个 ABS 系统模型进行了仿真研究。对单轮车辆模型进行了动力学分析,得出了其车辆动力学数学公式,然后利用 Simulink 搭建了单轮车辆模型的数学仿真模型;依次分析了基于魔术公式的汽车轮胎模型、制动系统模型、滑移率模型以及 PID 控制模型的数学公式,搭建了相关仿真模型;最后将各个模块组合成了一个完整的汽车 ABS 仿真模型,并对有无 ABS 下的汽车制动工况进行了对比。研究表明:所建立的 ABS 系统模型可靠,在制动过程中具有良好的稳定和制动性。

关键词:制动防抱死系统;仿真;PID;滑移率

中图分类号:TP391.9;U463.52+6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)12-1357-04

Simulation analysis of automobile ABS based on Simulink

ZHAO Yao-sen, ZHU Yong, XU Xiao-dong

(School of Electromechanics and Automobile Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Aiming at the problem that whether the good handling ability and braking ability could be guaranteed when the vehicle is braked under the condition of whether there is ABS or not, the dynamic analysis of the single wheel vehicle model was carried out, and the mathematical formula of the vehicle dynamics was obtained. Then the mathematical simulation model of the single wheel vehicle model was built by using Simulink. After that, the model of automobile tire based on magic formula, brake system model, slip rate model and the mathematical formula of PID control model were analyzed, and the related simulation model was built. Finally, each module was combined into a complete vehicle ABS simulation model, and the braking condition of automobile with or without ABS was compared. The results indicate that the established ABS system model is reliable, and has good handling stability and braking performance during the whole automobile braking process.

Key words: antilock brake system(ABS); simulation; PID; slip rate

0 引 言

我国 ABS 技术的研究开始于 20 世纪 80 年代初。近年来,我国参考联合国欧洲经济委员会的汽车制动法规 R13 的附件 13《采用制动防抱装置的车辆的试验要求》,也相应制定了强制安装 ABS 系统的国家标准 GB13594-92^[1]。

本文将通过软件搭建 ABS 的仿真模型^[2],模拟验证汽车的制动工况,探讨汽车安装 ABS 的必要性。

1 汽车 ABS 数学模型

1.1 车辆动力学模型

本文采用最简便的单轮车辆模型,并且假定车轮载荷为固定值^[3],忽略风阻和车轮滚动阻力。由此可得车辆动力学方程:

$$\text{车辆运动方程: } M\dot{v} = -F \quad (1)$$

$$\text{车轮运动方程: } I\dot{\omega} = FR - T_b \quad (2)$$

$$\text{车辆纵向摩擦力: } F = \mu N \quad (3)$$

收稿日期:2018-05-15

作者简介:赵焱森(1993-),男,重庆人,硕士研究生,主要从事汽车电子控制技术与汽车主动安全技术方面的研究。E-mail:9624239@qq.com

式中： M — 车辆总质量的 1/4； v — 车辆行驶速度； F — 纵向摩擦力； I — 车轮的转动惯量； ω — 车轮角速度； R — 车轮行驶半径； T_b — 制动器制动力矩； μ — 纵向附着系数； N — 地面支持力。

根据上面的车辆动力学方程，笔者建立对应的仿真模型。将车轮转速、车辆速度以及制动距离这 3 个指标作为输出结果，将纵向附着系数和制动力这 2 个参数作为该模型的输入。

1.2 汽车轮胎模型

常用的轮胎模型有魔术公式模型、双线性模型等^[4]，本文采用魔术公式模型。纵向附着系数与滑移率之间存在如下关系：

$$\mu(S) = f + D \sin \{ C \arctan [B S - E (B S - \arctan (B S))] \} \quad (4)$$

式中： μ — 纵向附着系数； f — 轮胎的静摩擦系数； B — 刚度因子； C — 曲线形状因子； D — 峰值因子； E — 曲线曲率因子； S — 滑移率。

其中，轮胎的静摩擦系数 f 相当于车轮在纯滚动时的附着系数，通常认定为 0^[5]。 B 、 C 、 D 、 E 这 4 个参数均为常数，其与路面息息相关，仿真模型中的地面附着系数可以通过这 4 个参数值的变化而变化，进而模拟不同状况的实际路面。对于干燥沥青路面，利用 Simulink 多次验证，此处取 $B = 16$ ， $C = 1.65$ ， $D = 0.85$ ， $E = 0.9$ ^[6]。

1.3 制动系统模型

制动系统主要包括传动机构和制动器。其中传动机构主要指液压传动系统，通常主要是考虑制动力调节器的制动压力与电磁阀电流变化的关系^[7]。此处选择性地忽略压力传送的延迟和电磁阀弹簧的非线性因素，将制动系统中的传动机构简化为一个电磁阀和一个积分环节^[8]。传递函数表示为：

$$G(s) = \frac{K}{S \times (TS + 1)} \quad (5)$$

式中： K — 系统增益，取 100； T — 时间常数，通常取 0.01^[9]。即有：

$$G(s) = \frac{100}{S \times (0.01S + 1)} \quad (6)$$

制动器的建模主要考虑到制动液压力的变化对制动器力矩改变的影响。假设制动器为理想元件，忽略滞后性带来的影响。因此，制动器方程为^[10]：

$$T_b = K_f \cdot P \quad (7)$$

式中： T_b — 制动器制动力矩； K_f — 制动器制动系数； P — 制动器气液压力。

1.4 滑移率模型

滑移率是指在车轮运动中滑动成分所占的比例，常用 S 来表示，其表达形式如下：

$$S = \frac{v - \omega R}{v} \times 100\% \quad (8)$$

式中： v — 车速； ω — 车轮滚动角速度； R — 车轮半径。

当车轮纯滚动时， $v = \omega R$ ， $s = 0$ ；当车轮抱死纯滑动时， $\omega R = 0$ ， $s = 100\%$ ；当车轮边滚边滑时， $v > \omega R$ ， $0 < s < 100\%$ ^[11]。

1.5 基于滑移率的 PID 控制器模型

本文的汽车 ABS 的控制系统主要是 PID 控制器，利用测得的汽车速度、车轮转速信息算出各轮胎实际滑移率，再将其与期望滑移率进行比较得出差值，作为控制器的输入量。制动器制动压力的大小调节就依赖于 PID 控制器的输出量。

PID 控制器 K_i 、 K_p 、 K_d 这 3 个参数的设置，本文采用 PID Controller 模块不断调节这 3 个参数并验证，直至控制系统响应速度快、稳定性好，最终使得实际滑移率维持在理想的数值范围内，使得汽车保持较好的制动工况。

其数学模型为^[12]：

$$\Delta(t) = M(t) - R(t) \quad (9)$$

$$W(t) = K_p \left[\Delta(t) + \frac{\int \Delta(t) dt}{T_i} + \frac{T_d \cdot d\Delta(t)}{dt} \right] + u_0 \quad (10)$$

式中： $\Delta(t)$ — 控制量偏差； $M(t)$ — 给定目标值； $R(t)$ — 实际控制输出量。 K_p — 比例系数； K_d — 微分系数； T_i — 积分时间常数； T_d — 微分时间常数； u_0 — 控制常量，即 $t = 0$ 时的输出量，对绝大多数系统都有 $u_0 = 0$ ^[13]。

2 汽车 ABS 仿真及结果分析

2.1 汽车 ABS 仿真模型

在有无 ABS 的情况下，利用 Simulink 分别进行仿真。汽车 ABS 仿真模型如图 1 所示。

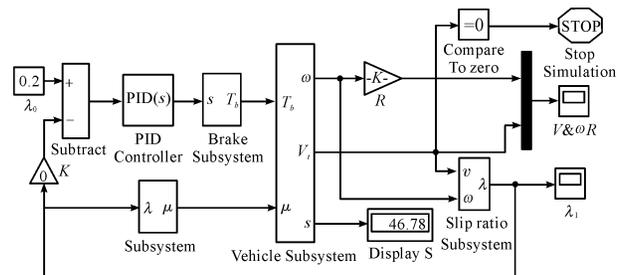


图 1 汽车 ABS 仿真模型

本文采用的汽车模型参数如表 1 所示。

表 1 汽车模型参数

名称与符号	数据
1/4 的汽车整备质量 M/kg	380
初速度 $V_0/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	25
重力加速度 $g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.8
制动器制动系数	8.8
车轮半径 R/m	0.28
车轮转动惯量 $I/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	0.89

2.2 有 ABS 的汽车制动仿真

当 PID 控制器输入端的增益模块 $K = 1$ 时,进行有 PID 控制的 ABS 制动仿真,其制动距离为 45.16 m。有 ABS 的车速与轮速的变化曲线如图 2 所示。

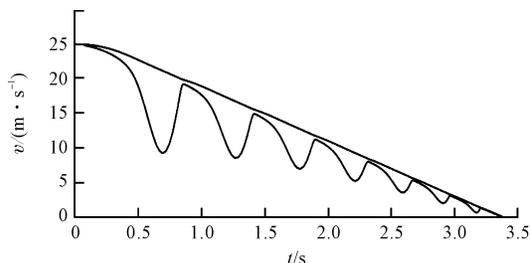


图 2 车速与轮速变化曲线

由图 2 可知:轮速线一直处于车速线下方并靠近车速线。根据滑移率公式(8)可推知滑移率数值较小,滑移率控制效果较好。

滑移率变化曲线如图 3 所示。

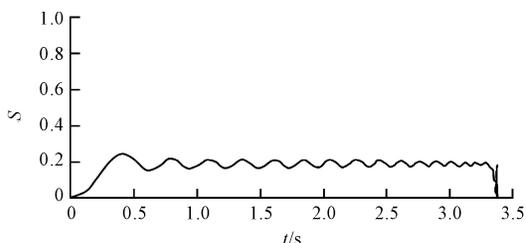


图 3 滑移率变化曲线

由图 3 可知:滑移率始终维持在 0.2 的数值附近波动,说明了本文的 PID 控制器发挥了较好的调节作用。

2.3 无 ABS 的汽车制动仿真

当 PID 控制器输入端的增益模块 $K = 0$ 时,进行无 PID 控制的制动仿真。其制动距离为 46.98 m。

无 ABS 的车速与轮速的变化曲线如图 4 所示。

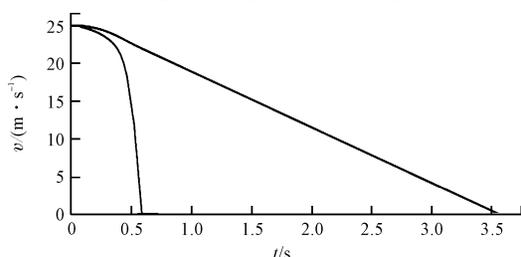


图 4 无 ABS 的车速与轮速变化曲线

无 ABS 的滑移率变化曲线如图 5 所示。

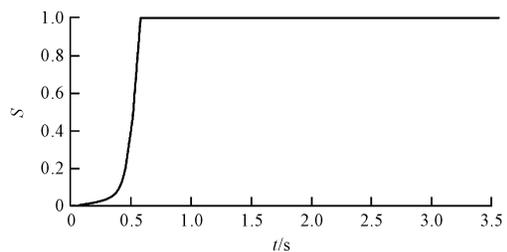


图 5 无 ABS 的滑移率变化曲线

2.4 仿真结果分析

两种制动工况的仿真数据对照表如表 2 所示。

表 2 两种制动工况下的仿真数据对照表

制动工况	制动距离/m	制动时间/s	车轮抱死时刻/s
有 ABS	45.16	3.393	无
无 ABS	46.78	3.702	0.606

从表 2 可以看出:

(1) 安装 ABS 制动时,在开始制动后滑移率不断调节,在时间为 0.317 s 时达到最大值 0.262,并且随着控制器的不断调节,滑移率波动的幅度越来越小,越来越趋于稳定,趋于设定的理想滑移率数值,没有出现纯滑动、车轮抱死现象,说明在制动特别是紧急制动时,ABS 一定程度上保证了汽车的方向操纵性和制动性能;

(2) 未安装 ABS 制动时,汽车车轮在 0.606 s 时完全抱死,此时汽车基本失去转向能力,基本失去了对车子的控制。

3 结束语

本文利用 Matlab Simulink 板块搭建了干燥路面下汽车制动系统的相关模型,并进行了仿真测试;通过对比是否安装 ABS 的汽车制动情况可知:ABS 在汽车紧急制动时可以极大地减小或者避免车轮抱死滑动,使得汽车在制动时的转向操纵性、方向稳定性得到较大改善。

本文下一步还将模拟泥泞、湿滑、积雪等道路条件下的制动工况,以及不同制动速度下的制动情况。

参考文献 (References):

[1] 孙 丽. 汽车 ABS 的发展状况和技术趋势[J]. 装备制造技术,2009(7):110-111.
 [2] 吴 玲,孙 宇,孙永荣. 基于 Matlab/Simulink 的汽车 ABS 系统的建模与仿真[J]. 自动化应用,2014(5):75-77.
 [3] 郑太雄,李倩敏,邬 彪. 基于 ADAMS 与 MATLAB 的汽车 ABS 控制策略的联合仿真[J]. 计算机应用与软件,2014(5):68-70.
 [4] 吴 玲,闻 凯,董 敏. 基于 Matlab 和模糊 PID 的汽车

- ABS 系统的研究[J]. 自动化博览, 2015(4): 82-85.
- [5] 林柏忠, 李振洋, 何 磊, 等. 基于功能原理和模糊控制的路面附着系数估计[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2016, 44(9): 131-136.
- [6] 高新朝. 轿车主动前轮转向与电子稳定性系统协调控制策略研究[D]. 长春: 吉林大学汽车工程学院, 2012.
- [7] 边明远. 用于纵向道路附着系数评估的简化轮胎模型[J]. 重庆理工大学学报, 2012, 26(1): 1-5.
- [8] 吴 迪, 郝 亮, 张芳芳, 等. 汽车 ABS 控制联合仿真分析[J]. 汽车工程师, 2017(5): 21-23.
- [9] 张立军. 急刹车情况下汽车防抱死制动性能影响因子分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(3): 310-314.
- [10] 王甜甜, 王 翌, 马权铄. 基于 PID 控制的防抱死制动系统的仿真研究[J]. 汽车实用技术, 2017(4): 148-150.
- [11] 高志朋, 王志勇, 马鹏鹏. 基于 Matlab 的电动汽车 ABS 仿真分析[J]. 机械研究与应用, 2016, 29(5): 31-33.
- [12] 李香桂. 汽车 ABS 系统的 PID 控制策略及仿真分析[J]. 机械研究与应用, 2011(5): 20-22.
- [13] 张 利, 宋年秀, 于明晓. 基于模糊 PID 控制的 ABS 系统研究[J]. 公路与汽运, 2016(6): 9-12.

[编辑: 张 豪]

本文引用格式:

赵焱森, 朱 勇, 徐小东. 基于 Simulink 的汽车 ABS 仿真分析[J]. 机电工程, 2018, 35(12): 1357-1360.

ZHAO Yao-sen, ZHU Yong, XU Xiao-dong. Simulation analysis of automobile ABS based on Simulink[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018, 35(12): 1357-1360.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1347 页)

的可行性和对杀青效果提升的有效性, 得到以下结论:

(1) 基于工艺和杀青经验, 可针对要求, 根据输入由模糊算法推导出可行的滚筒温度, 降低纯依靠经验的不可靠性和盲目性;

(2) 相较于 PID 温度控制系统, BP 神经网络 PID 对温度的控制效果更好, 且可以进行自适应调整;

(3) 基于模糊算法和 BPPID 算法改进后的控制系统可以将整个加工过程更加精确化, 模式化, 提升作业效率和可控性。

参考文献 (References):

- [1] 周智修, 段文华, 吴海燕, 等. 我国名优茶发展现状与趋势[J]. 茶叶科学, 2013(2): 171-178.
- [2] 孙少华, 张文斌, 张龙全, 等. 茶叶杀青设备比较研究[J]. 中国农机化, 2010(3): 47-50.
- [3] 赵 阳, 曲兴华, 李 睿. 基于模糊算法的自调整温度控制系统[J]. 天津大学学报, 2011, 44(1): 73-78.
- [4] 吕艳玲, 冯 曦, 朱 博, 等. 双馈风力发电机 BP 神经网络并网策略研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2017, 22(5): 40-45.
- [5] 吴卫国, 谢昌瑜. 茶叶电热滚筒杀青机的研究[J]. 中国茶叶加工, 2009(1): 30-31.
- [6] 葛良志, 曹成茂, 吴正敏. 基于 PLC 的茶叶滚筒杀青机温度控制系统设计[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(4): 647-650.
- [7] PATEL R, PANDA A K. Real time implementation of PI and fuzzy logic controller based 3-phase 4-wire interleaved buck active power filter for mitigation of harmonics with id-iq control strategy[J]. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, 2014, 59(11): 66-78.
- [8] 陈寿松, 占 杨, 郑功宇, 等. 茶叶含水率常用测定方法及比较分析[J]. 中国茶叶加工, 2013(3): 33-36.
- [9] 袁海波, 邓余良, 陈根生, 等. 不同杀青工艺原料茶加工饮料品质稳定性的研究[J]. 茶叶科学, 2012(3): 236-246.
- [10] 孙 杰, 张学军, 刘 云, 等. 基于单片机的温度控制系统设计及仿真[J]. 农机化研究, 2015(4): 219-222.
- [11] 王紫薇, 孙丽萍, 王清文, 等. 木塑挤出机温度的 BP 神经网络 PID 控制算法[J]. 木材加工机械, 2016(2): 21-24.
- [12] PATEL R, KUMAR V. Multilayer neuro PID controller based on back propagation algorithm[J]. **Procedia Computer Science**, 2015(54): 207-214.
- [13] 朱宪良. 影响绿茶杀青质量的主要因素[J]. 农机科技推广, 2014(1): 41-43.
- [14] 赵淑娟, 王坤波, 傅冬和, 等. 茶多酚氧化酶酶学性质研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(1): 84-86.
- [15] ETEDALI S, SOHRABI M R, TAVAKOLI S. Optimal PD/PID control of smart base isolated buildings equipped with piezoelectric friction dampers[J]. **Earthquake Engineering and Engineering Vibration**, 2013(1): 39-54.
- [16] 沈 斌, 张 宪, 赵章风, 等. 基于模糊 PID 的双闭环茶叶杀青控制系统研究[J]. 机电工程, 2013, 30(10): 1218-1221.

[编辑: 张 豪]