

# 车辆的 ABS 建模与仿真分析

**摘要:** 用 Matlab simulink 建立了 ABS 模型; 控制器采用了 PID 控制器; 通过对比, 选择了一组控制效果较好的 PID 参数; 对比了包含 ABS 系统时和不包含 ABS 系统时汽车的制动情况, 说明了 ABS 系统对制动起到了良好辅助作用。

**关键字:** ABS; Matlab Simulink; PID 控制; 仿真

## ABS Modeling and Simulation Analysis of Vehicles

Wujun

(ShiJiaZhuang TieDao University, Hebei Province, 050043, China)

**Abstract:** The ABS model was established with Matlab simulink. The PID controller is selected in the model. By contrast, a set of PID parameters with better control effect is selected. Compare the braking of the car when the ABS system is included and when the ABS system is not included. Indicating that the ABS system has played a good supporting role in braking.

**Key words:** ABS; Matlab Simulink; PID control; Simulation

## 0 前言

随着汽车技术的不断进步, 汽车防抱制动系统 (anti-lock brake system, ABS) 已成为汽车的标准配置。汽车常规制动系统在制动时, 随着制动力的逐步加大, 车轮可能出现抱死的情况, 即失去转动而只在地面上滑动, 从而使车辆失去方向操纵性, 导致交通事故。同时, 车轮的抱死也将降低制动性能, 增长制动距离和制动时间。ABS 的作用是使汽车在制动时充分利用车轮的附着力, 使车轮处于最佳的制动状态, 以缩短制动距离, 同时保证汽车制动方向的稳定, 防止产生侧滑和跑偏。

汽车在制动过程中, 滑移率在 20% 左右时车轮与路面间的纵向附着系数最大, 可获得最大地面制动力, 能最大程度地缩短制动距离; 同时车轮与路面间横向附着系数也比较大, 使汽车制动时能较好地保持方向稳定性和转向控制能力。在 ABS 系统中, ECU 接受轮速传感器等输入的信号, 分析判断后输出控制指令, 控制制动压力调节器进行压力调节, 实现增压、保压和减压控制过程, 从而将滑移率控制在 20% 左右。

## 1 汽车制动时滑移率与附着系数的关系

汽车制动时, 随着制动强度的不断增加, 车轮滚动的成分会越来越少, 同时车轮滑动的成分将越来越多。一般用滑移率  $\lambda$  来说明制动过程中滑动成分的多少。滑移率的定义是:

$$\lambda = \frac{v - \omega r}{v} \times 100\%$$

式中， $v$  为车轮中心的速度； $r$  为车轮的滚动半径； $\omega$  为车轮的角速度。

图 1 为制动滑移率与附着系数的关系。由图可知，随着车轮的滑移率  $S$  不断增加，纵向附着系数会达到 1 个峰值点，其对应的滑移率为  $S_c$ ；当滑移率  $S$  继续增加大于  $S_c$  时，纵向附着系数将开始减小，当  $S=100\%$ ，即车轮抱死拖滑，纵向附着系数降低到最小值，地面制动力极小，这将导致制动距离增加。由图 1 还可以看出，随着滑移率的增加，侧向附着系数也在不断减小；当  $S=100\%$  时，汽车抗侧向干扰的能力接近于零。在传统制动下，汽车紧急制动时极易出现车轮抱死，即滑移率  $S=100\%$  的情况，这样不但不能充分利用路面提供的纵向附着力，导致制动距离加长，而且更为严重的是，此时侧向附着系数将非常小，抗侧滑能力将非常低，也即几乎丧失了转向能力。如果汽车此时受到很小的侧向干扰(如汽车重力的横向分力、路面不平整产生的横向力、横向风力等)，就有可能使汽车发生侧向滑动、跑偏或者甩尾掉头等危险工况。另外，如果制动时车轮经常抱死，也会加剧轮胎的磨损，大大降低轮胎的使用寿命。

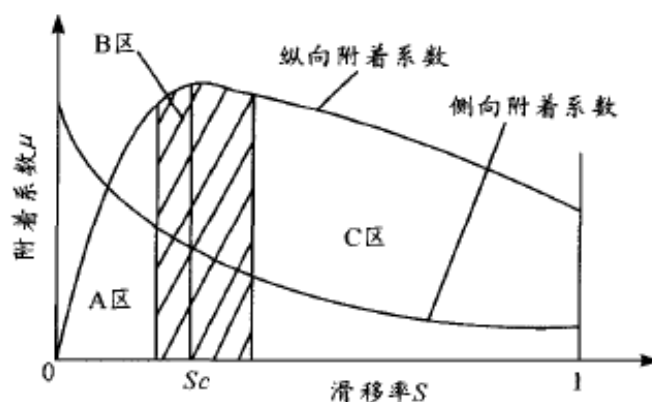


图 1 滑移率与附着系数的关系

根据制动时附着系数与滑移率的关系曲线可知，当把车轮滑移率的值控制在最佳滑移率  $S_c$  附近时，汽车将能够获得最好的制动效能同时还拥有较好的方向稳定性。

## 2 汽车 ABS 原理

汽车 ABS 作为一种主动安全装置，它可以通过调节车轮制动压力将汽车前后车轮的滑移率控制在最佳滑移率附近，使汽车在获得最大地面制动力的同时拥有良好的方向稳定性。

在常见的 ABS 系统中，每个车轮上各安装一个转速传感器，将有关各车轮转速的信号输入电子控制装置 ECU。电子控制装置 ECU 根据各车轮转速传感器输入的信号对各个车轮的运动状态进行监测和判定，并形成相应的控制指令。制动压力调节装置主要由 HCU、组合阀、电动泵和储液罐等组成一个独立的整体，通过制动管路与制动主缸和各制动轮缸相连。制动压力调节装置受电子控制装置 ECU 的控制，对各制动轮缸的制动压力进行调节。图 2 为 ABS 的控制原理。

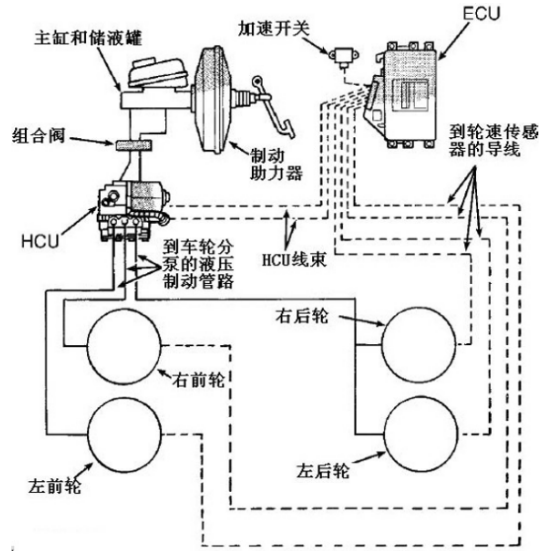


图2 ABS控制原理

### 3 汽车 ABS 的数学模型

汽车防抱制动系统数学模型主要包括汽车动力学模型、轮胎模型和制动器模型。

#### 3.1 汽车动力学模型

由于汽车动力学模型建立是个复杂的过程，故采用单轮模型建立汽车动力学模型。简化的单轮模型如图3

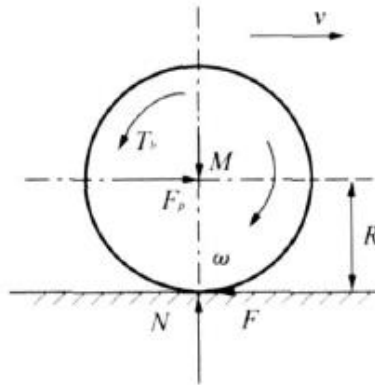


图3 单车轮模型

由图可得到车辆的动力方程：

车辆运动方程：

$$m \frac{dv}{dt} = -F \quad (1)$$

车轮运动方程：

$$I \frac{d\omega}{dt} = FR - T_b \quad (2)$$

车辆纵向摩擦力：

$$F = \mu N \quad (3)$$

式中， $m$  为 1/4 整车质量 (kg)； $F$  为地面制动力 (N)； $R$  为车轮半径 (m)； $I$  为车轮转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )； $T_b$  为制动力矩 ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )； $v$  为车身速度 (m/s)； $\omega$  为车轮角速度 ( $\text{rad/s}$ )；

$N$  为地面对车轮的法向反作用力 (N);  $\mu$  为地面摩擦系数。

### 3.2 汽车轮胎模型

汽车轮胎模型反映了车轮和地面附着系数与滑移率之间的关系。常用的轮胎模型有双线性模型、魔术公式模型等。本文采用双线性模型,把附着系数—滑移率曲线简化为两段直线。如图 4 所示

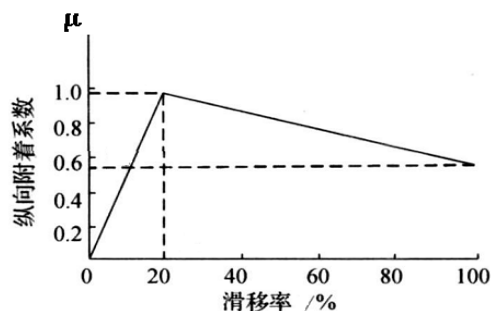


图 4 滑移率与附着系数的双线性模型

### 3.3 汽车制动器模型

汽车制动器模型指制动器力矩与制动系气液压力之间的关系模型。根据相关资料,制动系统压力的形成与液压回路、比例阀有关,建立模型如下:

$$T_b = K_f P \quad (4)$$

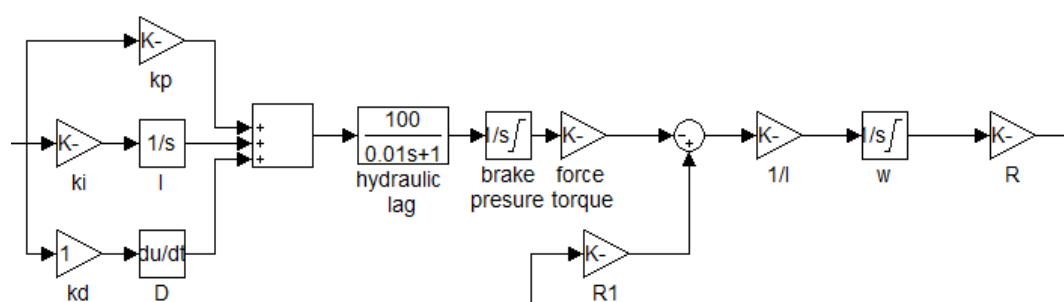
式中,  $T_b$  为制动器制动力矩 (N·m);  $K_f$  为制动器制动系数 (N·m/kPa);  $P$  为制动器气液压力 (kPa)。

由于制动器中各机械部件存在间隙和摩擦,导致了制动器滞后等强非线性动态特性,滞后系统模型如下:

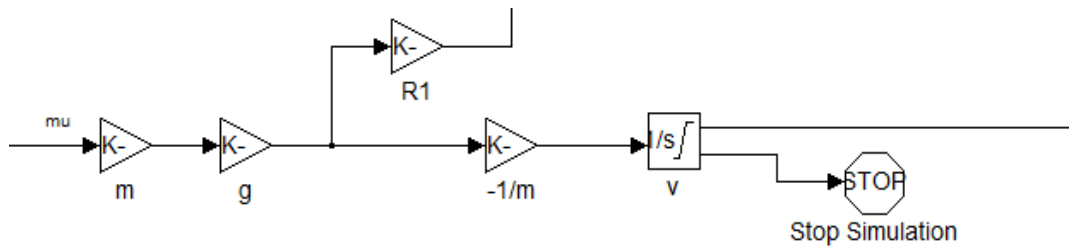
$$G(s) = \frac{100}{TB \cdot S + 1} \quad (5)$$

## 4 汽车 ABS 的 Simulink 模型

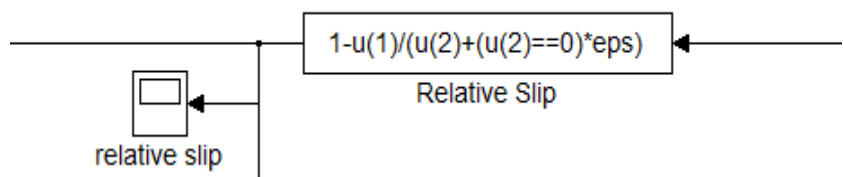
轮速仿真模型:



车速仿真模型：



滑移率模型：



采用 Matlab/ Simulink 图形化建模工具建立计算机仿真模型，将建立起来的汽车动力学模型、轮和车速模型以及制动器模型等连接成闭环仿真系统。最终得到的仿真模型如图 5 所示。

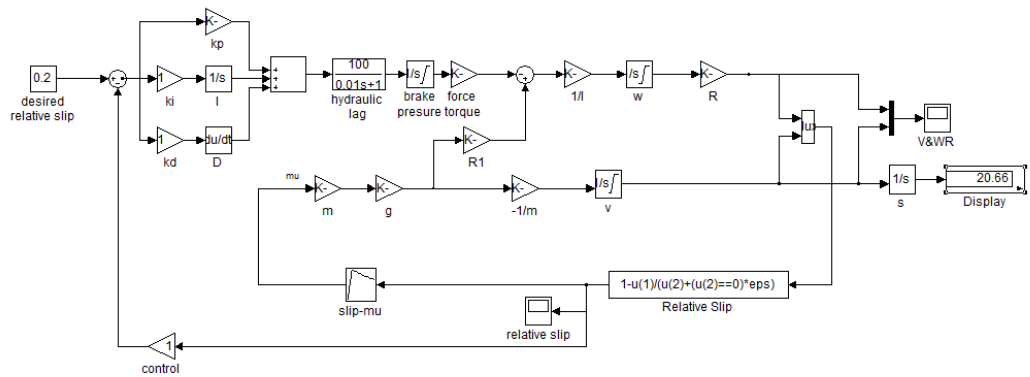


图 5 汽车 ABS 制动系统仿真模型

其中轮速计算模型包含了制动器模型和控制模型。以踏板制动力为输入，控制器根据最佳滑移率和实际滑移率控制输出制动器制动力矩，最终输出车轮线速度。汽车车速计算模型以附着系数为输入，以车身速度和制动距离为输出。最后将车轮线速度、车速输入到滑移率计算模块，计算获得实际滑移率。


本文所采用的汽车模型参数如表 2 所示。

表 2 单轮模型车辆参数

名称与符号	数值
-------	----

汽车整备质量 $M$	50
制动初速度 $v$	60/3.6
车轮转动惯量 $I$	0.45
车轮有效半径 $R$	0.38
重力加速度 $g$	9.8
制动器制动系数 $K_f$	1
最大制动压力 $PB_{max}$	1500
$TB$	0.01

根据表 2 所给汽车模型参数，部分模块具体设置步骤如下：

- (1) 制动压力 brake presure  $\rightarrow$   参数设置：由表 2 给出最大制动压力

$PB_{max}=1500\text{KPa}$ 。如图 6

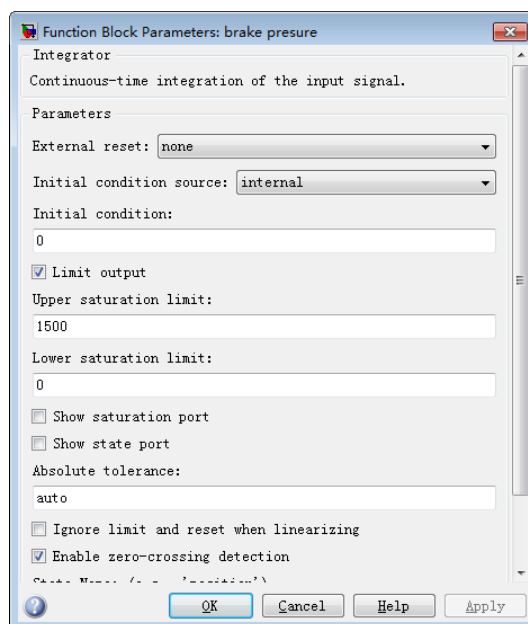



图 6 brake presure 设置

- (2) 车轮角速度  $\omega \rightarrow$   参数设置：由表 2 给出制动初始速度为 60/3.6，则制

动初始车轮速度为  $60/3.6/0.38$ ；上限可暂时设置为 1000。如图 7

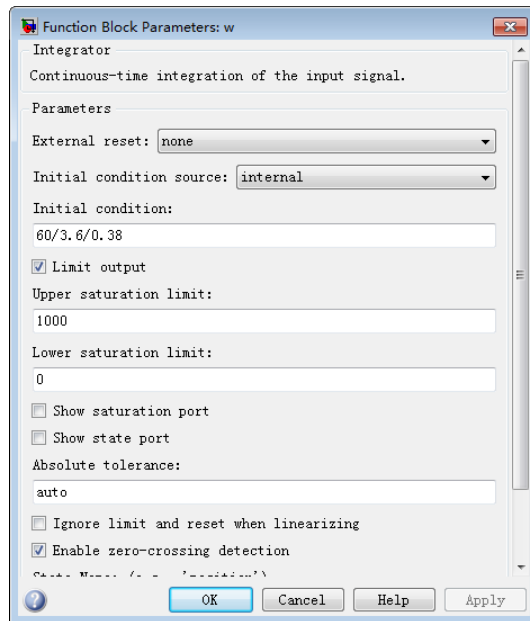


图 7 车轮角速度设置

(3) 车轮中心速度  $v \rightarrow \frac{1}{s} \int$  参数设置：由表 2 给出制动初始速度为 60/3.6，则

制动初始车轮中心速度为 60/3.6；上限暂时设置为 1000。如图 8

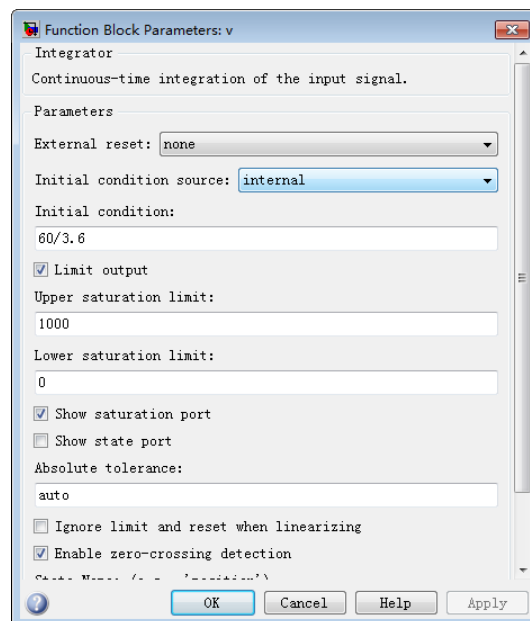



图 8 车轮中心速度设置

(4) 滑移率与附着系数函数关系  参数设置:

①根据图 6 给出的滑移率与附着系数的双线性模型,可以得到两组数组,其中一组是滑移率 slip, 另一组是滑移率所对应的附着系数 mu。

```
slip=[0 0.05 0.1 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60
0.65 0.70 0.75 0.80 0.85 0.90 0.95];
mu=[0 0.4 0.8 0.97 1 0.98 0.96 0.94 0.92 0.9 0.88 0.855 0.83 0.81
0.79 0.77 0.75 0.73 0.72 0.71 0.7];
```

将其分别输入至 Excle, 并分别以 slip.xls 和 mu.xls 命名。

②通过以下 Matlab 命令将数组导入到工作空间:

```
slip=xlsread('slip.xls','A1:A21')
```

```
mu=xlsread('mu.xls','A1:A21')
```

③找到 simlink 模块库中的 Lookup Tables 模块库, 拖入 Lookup Table 模块, 设置参数。如图

9

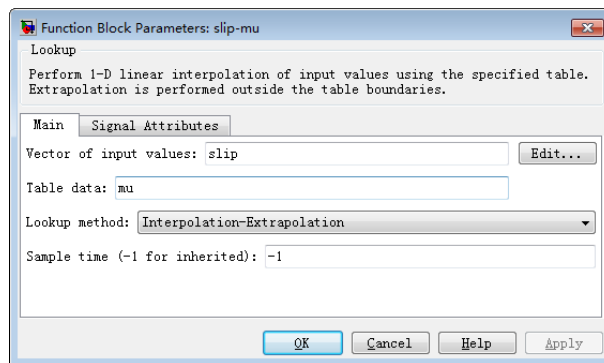


图 9 Lookup Table 参数设置

④经过参数设置之后, 点击 Edit 按钮, 可以发现之前的两组数据已经导入。如图 10

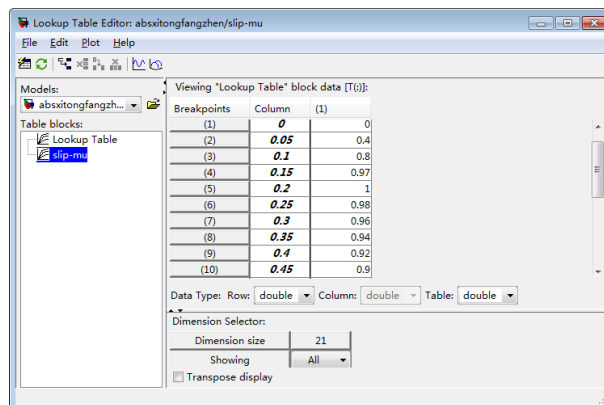


图 10 数组导入结果

⑤滑移率与附着系数函数关系模块设置完成。



(5) 滑移率计算模块— $1-u(1)/(u(2)+(u(2)==0)*eps)$  ←设置。  
Relative Slip

找到 user-Defined Functions 模块库中的 MATLAB Fcn 模块，由于该模块输入变量默认为  $u$ ，所以将滑移率公式处理为  $1-u(1)/(u(2)+(u(2)==0)*eps)$ 。其中  $u(1)$  表示  $\omega R$ ， $u(2)$  表示  $v$ ，这里为了防止分母为 0，所以加入  $(u(2)==0)*eps$

滑移率公式输入至 Expression。结果如图 11

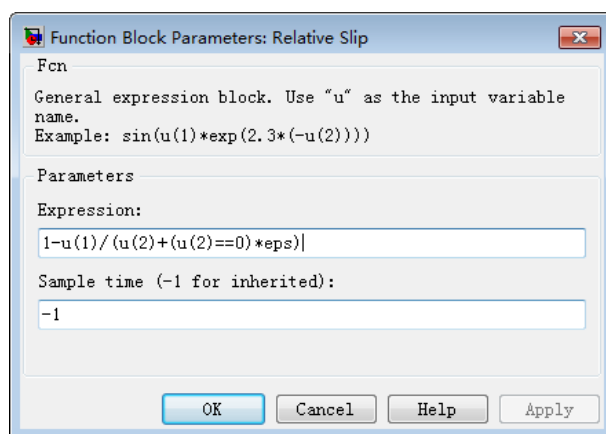


图 11 输入滑移率公式

## 5 调整控制器参数，分析仿真结果

根据车辆参数进行仿真，最佳滑移率设置为 0.2。ABS 系统采用的是 PID 控制，当参数选为  $K_p = 1$ 、 $K_I = 1$ 、 $K_D = 1$  时，滑移率控制效果并不好。如图 12

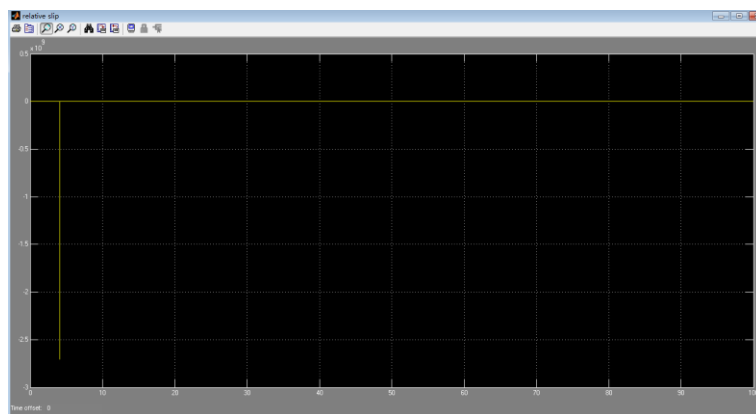


图 12  $K_p=1$   $K_I=1$   $K_D=1$  时滑移率

此时需要增大比例环节，当参数选为  $K_p = 100$ 、 $K_I = 1$ 、 $K_D = 1$  时得到滑移率如图 13

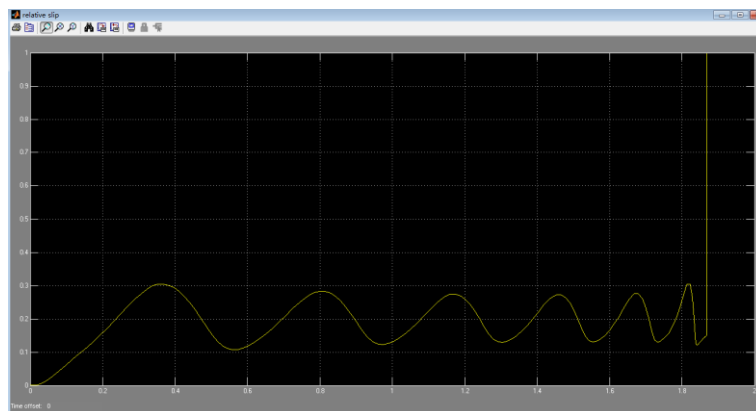


图 13  $K_p=100$   $K_I=1$   $K_D=1$  时滑移率

由图 15 可以看出，滑移率控制效果较为理想，始终保持在最佳滑移率 0.2 附近，并在 0.1~0.3 的大致范围内，上下波动。所以 PID 控制器的参数选为  $K_p=100$   $K_I=1$   $K_D=1$ 。

最终得到的车身和车轮速度(含 ABS)仿真结果如图 14

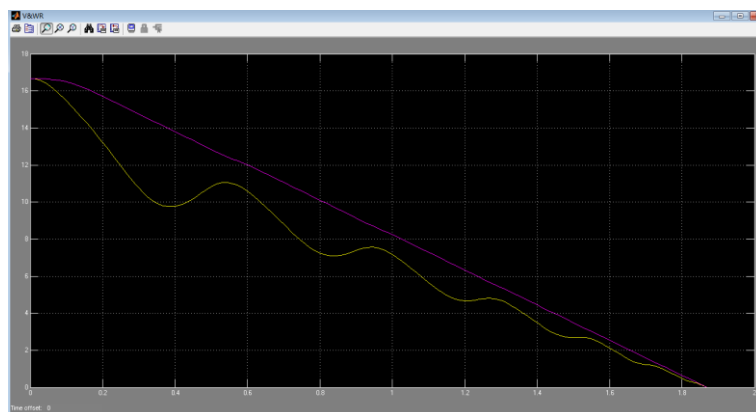
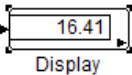



图 14 车身和车轮速度变化曲线（含 ABS）

得到的制动距离为 16.41 →  。

当设置比例模块 control 参数为 0 时  ，即关闭 PID 反馈控制器，此时 ABS 系统失效。

得到 ABS 失效时的滑移率变化曲线如图 15，车身和车轮速度变化曲线如图 16

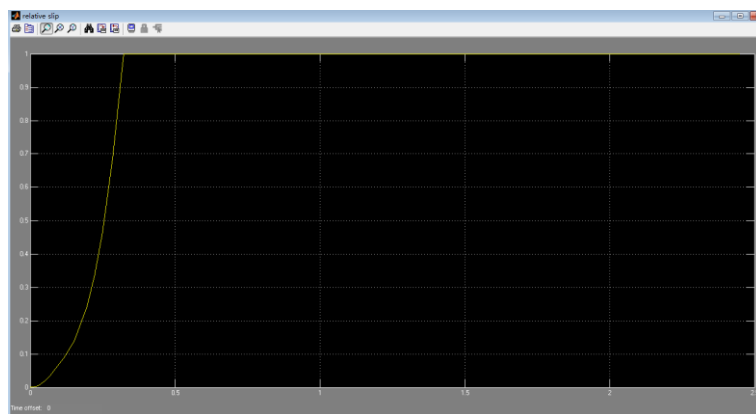


图 15 滑移率变化曲线变化曲线（不含 ABS）

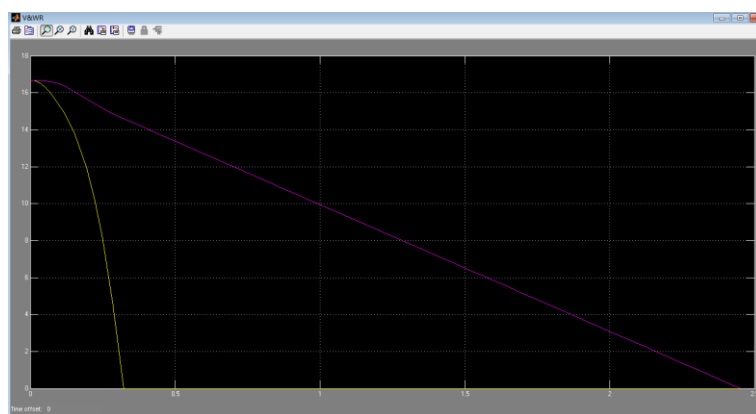


图 16 车身和车轮速度变化曲线（不含 ABS）

得到的制动距离为 20.66 →    
 Display

根据仿真结果可知，当含有 ABS 系统的汽车以初速度  $V_0=60/3.6$  进行制动时，制动距离为 16.41，在制动过程中，滑移率能控制在 0.2 左右；当不含有 ABS 的汽车以初速  $V_0=60/3.6$  进行制动时，制动距离为 20.66，制动过程中滑移率在 0.5s 左右已经达到 100%，即车轮抱死。

分析仿真结果，直观上看 ABS 防抱制动系统可以将滑移率始终控制在 0.2 附近，有效的缩短了制动行程，避免车辆发生抱死拖滑的现象。从而保证了汽车制动时行驶的稳定性和操纵性，为汽车的行驶安全保驾护航。

## 参考文献

- [1]郭建亭,王少勇,吕魁超. 基于 Matlab 的汽车 ABS 仿真研究[J].汽车实用技术,2012,(11):24-27.
- [2]付百学,胡胜海. 基于 Matlab/Simulink 的汽车防抱死制动系统的仿真研究[J]. 黑龙江工程学院学报,2008,(04):17-20.
- [3]喻 凡, 林 逸. 汽车操纵动力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.