

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.07.017

# 横向稳定杆刚度对乘用车操纵稳定性的影响研究\*

邱卫明, 祝书伟

(台州广播电视大学 浙江省邱卫明技能大师工作室, 浙江 台州 318000)

**摘要:**针对横向稳定杆对乘用车的操纵稳定性影响的问题,对横向稳定杆与整车抗侧倾能力的关系进行了研究。提出了一种简化的乘用车数学模型,并建立了整车侧倾角与横向稳定杆刚度的函数关系;通过对某乘用车简化数学模型的分析,得到了横向稳定杆刚度对整车侧倾的影响,并基于 ADAMS 仿真软件,对某乘用车进行了整车建模,在中间位置转向和稳态回转两种工况下进行了试验仿真,得出了前桥/后桥横向稳定杆刚度对该乘用车操纵稳定性的影响规律曲线。仿真分析结果表明:随着横向稳定杆刚度增加,车架侧倾角呈非线性递减,侧倾角曲线斜率逐渐减小,仿真结果与理论建模分析结果一致,为乘用车横向稳定杆的刚度设计提供了理论依据。

**关键词:**操纵稳定性;横向稳定杆;刚度;侧倾角

**中图分类号:**TH122;U461.6

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-4551(2019)07-0744-05

## Influence of the anti-roll bar stiffness on the handling stability of passenger car

QIU Wei-ming, ZHU Shu-wei

(Zhejiang Qiuweiming Skills to Master Studio, Taizhou Radio&Television University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the influence of the anti-roll bar on the handling stability of the passenger car, the relationship between the anti-roll bar and the anti-rolling ability of the vehicle was studied. A simplified mathematical model of passenger car was proposed, and the relationship between the roll angle of the vehicle and the stiffness of the anti-roll bar was established. The influence of the stiffness of the anti-roll bar on the roll of the vehicle was obtained by analyzing the simplified mathematical model of a passenger car. Based on ADAMS, the vehicle model was established, and the influence of the anti-roll bar stiffness of the front axle/rear axle to the handling stability was obtained through the test and simulation under the two working conditions of intermediate position steering and steady state rotation. The simulation results show that with the increase of the stiffness, the roll angle of the frame decreases nonlinearly, and the slope of the roll angle curve decreases gradually. The simulation results indicate that the simulation results are consistent with the theoretical analysis results, and provides a theoretical basis for the stiffness design of anti-roll bars.

**Key words:** handling stability; anti-roll bar; stiffness; roll angle

## 0 引言

为改善行驶的平顺性,现代轿车悬架的垂直刚度通常较小,悬架的垂直刚度与侧倾刚度成正比关系,从而使得汽车的侧倾刚度也降低,汽车在转弯时车身有明显的侧倾现象,严重影响驾车安全。横向稳定杆可

以看成是一种特殊的弹性元件<sup>[1]</sup>,当车身倾斜两侧悬架跳动不一致时,稳定杆被扭转,杆身的弹力阻止车轮抬起,达到兼顾平顺性和侧倾性能的目的。

近年来,虚拟样机技术广泛应用于汽车建模和性能研究,戴姆勒-奔驰公司、福特汽车公司等已经将虚拟样机技术运用到汽车操纵稳定性的分析评价过程

中<sup>[2]</sup>。中国第一汽车股份有限公司的王吉亮等<sup>[3]</sup>采用不同直径的前悬架横向稳定性杆对乘用车操控稳定性进行了试验;合肥工业大学的常媛媛等<sup>[4]</sup>分析了不同参数的横向稳定性杆对车身倾角的影响。然而这些研究对于前后悬架横向稳定性杆的不同刚度值对整车平稳度的影响都没有具体分析,无法得到可靠的影响曲线和结论。

整车侧倾刚度主要与悬架垂向刚度、悬架垂向力中心距、横向稳定杆综合刚度相关<sup>[5]</sup>,其中,横向稳定杆综合刚度则由横向稳定杆扭转刚度和安装硬点决定。横向稳定杆安装硬点往往由其他零部件的布置位置决定,在设计过程中可调整性较小,因此需要着重匹配设计横向稳定杆扭转刚度。横向稳定杆影响整车抗侧倾能力,进而对整车操纵稳定性产生影响。

本文将基于 ADAMS 建立整车虚拟样机模型,以探究前桥、后桥横向稳定杆扭转刚度对操纵稳定性的影响。

## 1 仿真建模方法

### 1.1 简化车身理论模型

车身侧倾简化模型如图 1 所示。

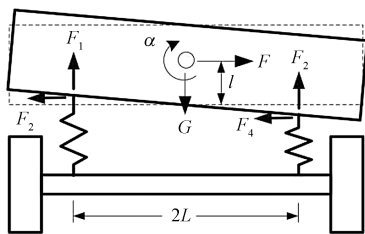


图1 车身侧倾简化模型

$F_1$ —左侧板簧垂向力和横向稳定杆等效的垂向力; $F_2$ —右侧板簧垂向力和横向稳定杆等效的垂向力; $F$ —侧向加速度产生的惯性力; $G$ —车身重量; $\alpha$ —车身侧倾角; $F_3, F_4$ —板簧作用车架的侧向力; $L$ —板簧作用点侧向中心距; $l$ —侧倾中心距板簧作用点高度

由于车身侧倾角度较小,忽略侧倾产生的惯性力矩,以左侧板簧作用点建立力矩平衡方程:

$$\begin{cases} GL + Fl = 2F_2L \\ F_1 + F_2 = G \end{cases} \quad (1)$$

因此有  $F_2 - F_1 = \frac{Fl}{L}$ 。两侧板簧作用力差值主要由两部分组成,即:

$$\alpha = \frac{Fl}{K_s L^2 + K_\theta} \quad (2)$$

式中: $F$ —侧向加速度产生的惯性力; $l$ —侧倾中心距

板簧作用点高度; $K_s$ —悬架板簧垂向刚度; $L$ —板簧作用点侧向中心距; $K_\theta$ —横向稳定杆扭转刚度。

考虑达到一定侧向加速度时,侧向惯性力保持不变,板簧垂向刚度不变,因此侧倾角  $\alpha$  与横向稳定杆刚度呈反比关系,即:  $\alpha \propto \left(\frac{1}{K_\theta}\right)$ ,即在横向稳定杆刚度较小时,改变刚度对侧倾有显著改善,当横向稳定杆刚度较大时,增大刚度对侧倾影响很小。

### 1.2 仿真对象与工况设定

本文针对某商用车进行仿真,分别分析前后桥横向稳定杆不同刚度对操纵稳定性影响。

仿真对比组横向稳定杆刚度参数如表 1 所示。

表 1 仿真对比组横向稳定杆刚度参数

刚度变化率 /(%)	前横向稳定杆刚度 /(Nm·deg <sup>-1</sup> )	后横向稳定杆刚度 /(Nm·deg <sup>-1</sup> )
-90	35	72
-60	140	288
-30	245	504
0	350	720
100	700	1 440
400	1 750	3 600
900	3 500	7 200

仿真工况为中间位置转向和稳态回转。中间位置转向试验是汽车以固定车速做近似于正弦曲线的蛇形行驶<sup>[6]</sup>。

中间位置转向试验工况如表 2 所示。

表 2 中间位置转向试验工况

类别	初始状态	标准车速/ (km·h <sup>-1</sup> )	输入 类型	输入频 率/Hz	最大侧向 加速度/g
工况	等速直线行驶	80	正弦波	0.2	0.2

稳态回转试验是汽车定方向盘转角由静止加速行驶<sup>[7]</sup>,其仿真参数设置为车辆静止逐渐加速<sup>[8]</sup>,转弯半径  $R$  为 50 m,具体仿真方法参照 GB/T 6323—2014<sup>[9]</sup>,本文不再赘述。

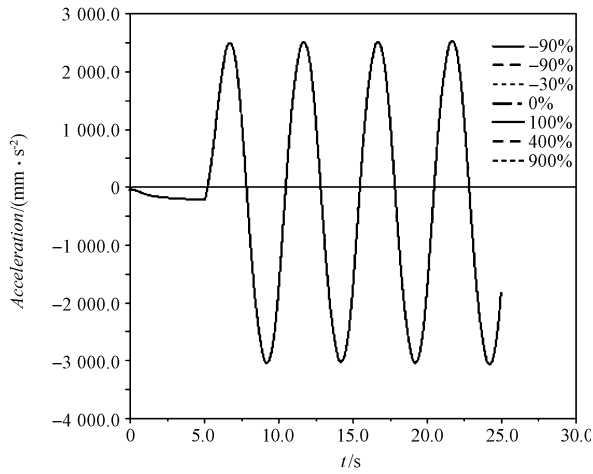
## 2 横向稳定杆刚度对操纵稳定性影响分析

### 2.1 仿真参数曲线对比

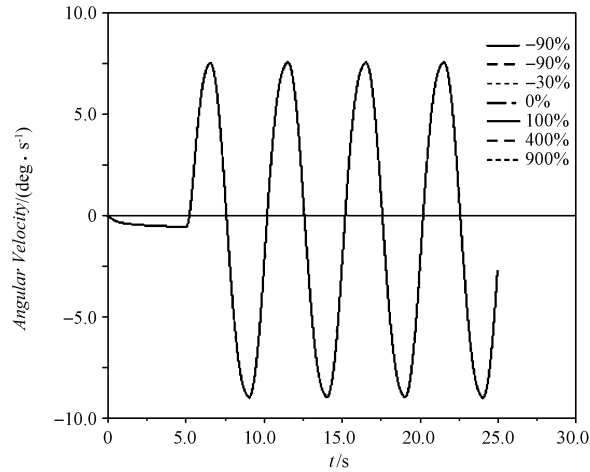
本研究分别改变前桥和后桥横向稳定杆刚度,并进行中间位置和稳态回转仿真,可知改变横向稳定杆刚度对车架侧向加速度、横摆角速度无明显影响。

后桥横向稳定杆刚度不同变化率下,对中间位置进行仿真。

车架侧向加速度和横摆角速度曲线-中间位置转向-后桥如图 2 所示。



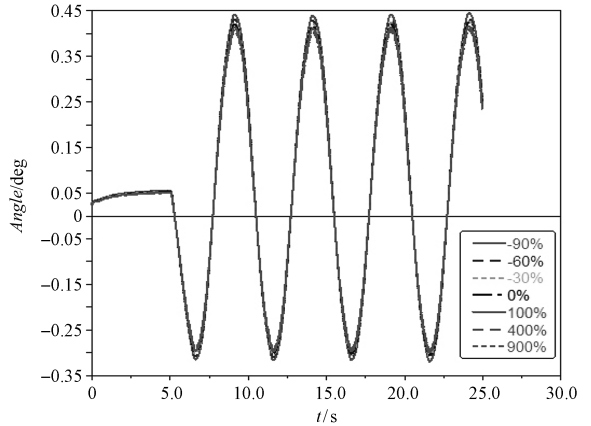
(a) 侧向加速度



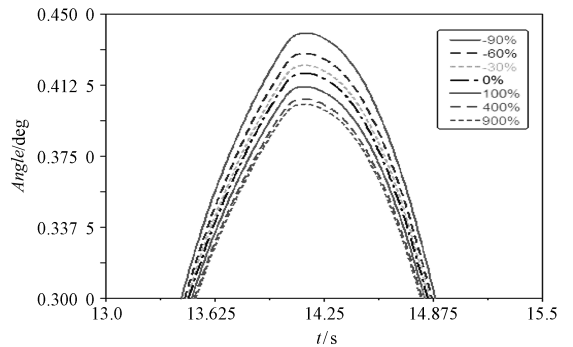
(b) 横摆角速度

图 2 车架侧向加速度和横摆角速度曲线-中间位置转向后桥

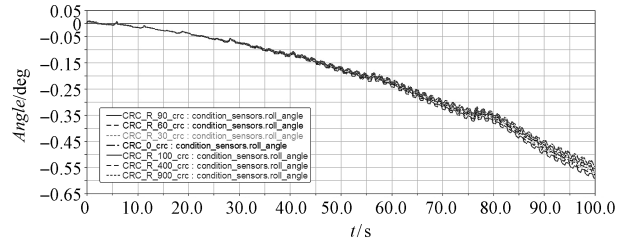
仿真得到的横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响曲线如图 4 所示。



(a) 横向侧倾角-后桥



(b) 中间位置转向-后桥



(c) 稳态回转-后桥

图 4 横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响曲线

## 2.2 中间位置转向指标对比

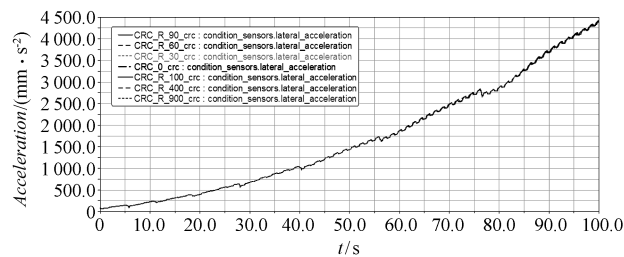
由 2.1 中结论可知:改变横向稳定杆刚度主要对侧倾角有影响。

中间位置转向时,前桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响-中间位置转向如表 3 所示。

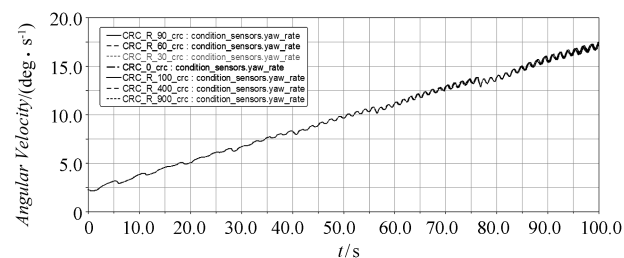
表 3 前桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响-中间位置转向

刚度 /(Nm · deg <sup>-1</sup> )	刚度变化率 /(%)	车架侧倾角 /deg	侧倾角变化率 /(%)
0	-100	0.447 9	6.87
35	-90	0.438 1	4.53
140	-60	0.430 4	2.70
245	-30	0.424 1	1.19
350	0	0.419 1	0.00
700	100	0.407 5	-2.77
1 750	400	0.392	-6.47
3 500	900	0.383 1	-8.59
/	前后均无稳定杆	0.479 7	14.46

车架侧向加速度和横摆角速度曲线-稳态回转-后桥



(a) 侧向加速度



(b) 横摆角速度

图 3 车架侧向加速度和横摆角速度曲线-稳态回转-后桥

由图 3 可以看出:改变横向稳定杆的刚度,主要对整车的侧倾特性有较显著影响。

后桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响-中间位置转向如表4所示。

表4 后桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响-中间位置转向

刚度 /(Nm·deg <sup>-1</sup> )	刚度变化率 /(%)	车架侧倾角 /deg	侧倾角变化率 /(%)
0	-100	0.445	6.18
72	-90	0.440 3	5.06
288	-60	0.429 5	2.48
504	-30	0.423 2	0.98
720	0	0.419 1	0.00
1 440	100	0.412	-1.69
3 600	400	0.405 5	-3.25
7 200	900	0.402 7	-3.91
/	前后均无稳定杆	0.479 7	14.46

车架侧倾角随横向稳定杆刚度变化而改变,横向稳定杆刚度与车架侧倾角变化曲线如图5所示。

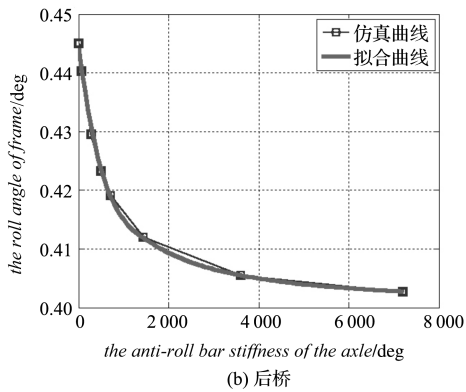
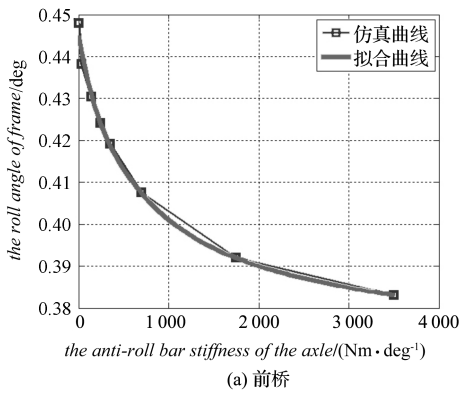


图5 横向稳定杆刚度与车架侧倾角变化曲线

由图5可知:横向稳定杆刚度与侧倾角变化趋势符合1.1节中导数函数;在横向稳定杆刚度较小时改变刚度对侧倾有显著改善,当横向稳定杆刚度较大时,增大刚度对侧倾影响很小。

对比前后桥横向稳定杆刚度对侧倾影响可知:当前后桥均不安装横向稳定杆时,侧倾角增大14.46%;当不安装前桥横向稳定杆时,侧倾角增大6.87%;当不安装后桥横向稳定杆时,侧倾角增大6.18%。在同样刚度变化率时,改变前桥横向稳定杆的刚度对侧倾角的影响更大。

### 2.3 稳态回转指标对比

稳态回转工况下,横向稳定杆刚度主要对车架侧倾有影响,其中,前桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角的影响-稳态回转如表5所示。

表5 前桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响-稳态回转

刚度 /(Nm·deg <sup>-1</sup> )	刚度变化率 /(%)	车架侧倾梯度 (deg/m/s <sup>2</sup> )	侧倾梯度变化率/(%)
0	-100	0.144 9	6.74
35	-90	0.142 8	5.21
140	-60	0.140 0	3.13
245	-30	0.137 7	1.41
350	0	0.135 8	0.00
700	100	0.131 2	-3.39
1 750	400	0.125 1	-7.83
3 500	900	0.121 8	-10.30
/	前后均无稳定杆	0.156 2	15.01

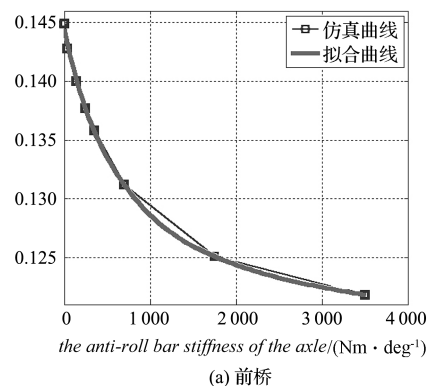
后桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角的影响-稳态回转如表6所示。

表6 后桥横向稳定杆刚度对车架侧倾角影响-稳态回转

刚度/(Nm·deg <sup>-1</sup> )	刚度变化率/(%)	车架侧倾梯度 /(deg·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-2</sup> )	侧倾梯度变化率/(%)
0	-100	0.145 4	7.08
72	-90	0.143 7	5.82
288	-60	0.139 8	2.96
504	-30	0.137 4	1.18
720	0	0.135 8	0.00
1 440	100	0.133 0	-2.04
3 600	400	0.130 2	-4.14
7 200	900	0.129 1	-4.89
/	前后均无稳定杆	0.156 2	15.01

由表(5,6)可知:当前后桥均不安装横向稳定杆时,侧倾梯度增大率为15.01%;当不安装前桥横向稳定杆时,侧倾梯度增大率为6.74%;当不安装后桥横向稳定杆时,侧倾梯度增大率为7.08%。在同样刚度变化率时,前桥横向稳定杆较后桥对车身侧倾梯度影响更大。

横向稳定杆刚度与车架侧倾角变化曲线如图6所示。



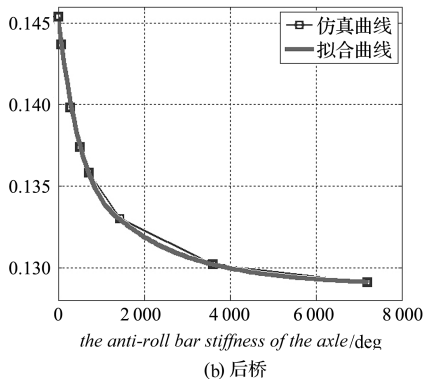


图 6 横向稳定杆刚度与车架侧倾角变化曲线

由图 6 结果可知:横向稳定杆刚度与侧倾角变化趋势同样符合 1.1 节中导数函数。

### 3 结束语

基于 ADAMS 建立整车模型,结合中间位置转向和稳态回转两种工况,本文分别仿真绘制了前后桥横向稳定杆刚度与车架侧向加速度、横摆角速度和车架侧倾角的关系图,分析了前后桥横向稳定杆对操纵稳定性的影响。分析结果表明:

- (1) 改变横向稳定杆刚度对车身侧向加速度、横摆角速度无明显影响;
- (2) 横向稳定杆刚度与整车侧倾角呈反比关系,增大向稳定杆刚度能够减小侧倾角,提升抗侧倾能力;
- (3) 在横向稳定杆刚度较小时改变刚度对侧倾有显著改善,当横向稳定杆刚度较大时,增大刚度对侧倾

影响很小。

本文的研究结果为横向稳定杆刚度匹配设计提供了工程依据。

### 参考文献 (References):

- [1] 周琦. 横向稳定杆计算与汽车侧倾[J]. 客车技术, 2008(5): 14-17.
- [2] HUSSAIN K, STEIN W, DAY A J. Modelling commercial vehicle handling and rolling stability[J]. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K Journal of Multi-body Dynamics**, 2005, 219(4): 357-369.
- [3] 王吉亮, 李彦钊. 前悬架横向稳定杆对汽车操纵稳定性的影响[J]. 上海汽车, 2016(12): 3-5.
- [4] 常媛媛, 雍文亮. 重型牵引车侧倾仿真分析与优化[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2013, 27(2): 15-18.
- [5] 赵亮, 晏海军, 郭孔辉. 某扭转梁后悬架侧倾刚度的解算与优化[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2014, 41(5): 20-25.
- [6] 王德平, 侯国政, 高树林. 汽车操纵稳定性的中间位置转向试验[J]. 汽车技术, 2003(11): 21-22.
- [7] 曾敬. 汽车稳态回转试验数据处理及评价[J]. 低碳世界, 2015(11): 288-290.
- [8] 徐中明, 张志飞, 贺岩松. 15 自由度重型汽车乘坐舒适性计算机仿真[J]. 计算机仿真, 2005, 22(2): 195-198.
- [9] GB/T 6323—2014. 汽车操纵稳定性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

[编辑: 周昱晨]

#### 本文引用格式:

邱卫明, 祝书伟. 横向稳定杆刚度对乘用车操纵稳定性的影响研究[J]. 机电工程, 2019, 36(7): 744-748.

QIU Wei-ming, ZHU Shu-wei. Influence of the anti-roll bar stiffness on the handling stability of passenger car[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019, 36(7): 744-748.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>