

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.05.010

# 轿车稳定杆连接杆布置位置对 整车操稳性能的影响研究

姜军平, 辛庆锋, 贾宝光, 郭志明, 叶明瑞, 徐晓宇, 杨全凯  
(浙江吉智新能源汽车科技有限公司, 浙江 杭州 311228)

**摘要:**针对横向稳定杆连接杆布置位置会影响整车操稳性能的问题,对两种布置方案(布置在主销前侧、主销后侧)从空间力学角度进行了受力分析。提出了稳定杆连接杆布置在主销后侧会增大悬架侧倾转向系数,从而有利于整车不足转向的方案,并在 ADAMS 中建立了带有非线性稳定杆的悬架、整车装配模型,通过悬架 K&C 仿真,对稳定杆影响比较大的悬架侧倾转向系数、侧倾角刚度等指标进行了分析;通过整车稳态回转工况仿真,就两种布置方案对整车性能的影响进行了分析。研究结果表明:横向稳定杆连接杆布置在主销后侧,整车不足转向度会增加 20.59%,车辆稳定性变好;但同时整车侧倾梯度也会增加 2.24%,车辆安全性变差。

**关键词:**稳定杆连接杆;侧倾角刚度;侧倾转向;不足转向度

中图分类号:TH122;U461.6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)05-0501-06

## Influence of the layout position of stabilizer bar's linkage on auto handling performance

JIANG Jun-ping, XIN Qing-feng, JIA Bao-guang, GUO Zhi-ming,  
YE Ming-ru, XU Xiao-yu, YANG Quan-kai  
(Zhejiang Jizhi New Energy Auto Technology Co., Ltd., Hangzhou 311228, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of layout position of stabilizer bar's linkage, two layouts (before or behind the kingpin) based the point of space force were analyzed, and pointed out that the layout of stabilizer bar's linkage behind the kingpin was beneficial to auto understeer. In the ADAMS, the suspension and auto assembly model with non-linear stabilizer bar were established, through the K&C simulation, the roll steer coefficient and suspension roll stiffness which with large influence by the stabilizer bar were analyzed, and through the whole vehicle steady static circular simulation, the influence of the two layout schemes on the performance of the whole vehicle were analysed. The results indicate that the understeer of the vehicle with the linkage behind the kingpin increases by 20.59%, and the vehicle handling stability improved, but the vehicle roll gradient also increases by 2.24%, safety get worse.

**Key words:** stabilizer bar's linkage; roll stiffness; roll steer; understeer

## 0 引言

横向稳定杆的作用是提高悬架侧倾角刚度,在车辆转弯时降低车身侧倾,从而提高车辆的操纵稳定性和安全性<sup>[1]</sup>。横向稳定杆一般用弹簧钢制成,形状呈“U”形,杆的中部通过衬套与副车架铰接,

两端通过连接杆和悬架安装在一起。当车身只作垂直运动时,两侧悬架变形相同,横向稳定杆不起作用;当车身侧倾时,两侧悬架跳动不一致,横向稳定杆发生扭转变形,从而对车身侧倾起抑制作用<sup>[2-4]</sup>。

汽车横向稳定杆的设计通常从避开与周边零件

相干涉的角度来确定几何形状,以车身侧倾角刚度为目标来确定稳定杆的直径<sup>[5-8]</sup>。目前,对于横向稳定杆的研究主要以提升悬架侧倾角刚度为出发点。刘敬忠<sup>[9]</sup>通过仿真,就横向稳定杆扭转刚度对车辆操纵性能的影响进行了研究,并得出横向稳定杆扭转刚度对整车转向灵敏度比较敏感的结论;李志魁<sup>[10]</sup>通过仿真后得出,稳定杆安装衬套的径向刚度对稳定杆侧倾角刚度的影响比较明显;刘一夫<sup>[11]</sup>通过仿真得出,横向稳定杆的结构参数和安装位置对悬架侧倾角刚度的影响都比较明显;梁毅<sup>[12]</sup>对稳定杆拉杆连接在下摆臂或减振器上两种方案进行了仿真分析,得出稳定杆拉杆安装在减振器上效率比较高的结论。

上述研究更多关注横向稳定杆对整车侧倾特性的影响,但忽略了由稳定杆拉力引起的车轮绕主销转动动力矩影响。该力矩会引起附加的转向,从而对侧倾转向系数造成影响,若稳定杆连接杆布置不合理,将会导致侧倾转向系数向差的方向变化,降低整车的不足转向度。

本研究先从理论上就横向稳定杆连接杆布置在主销前侧和主销后侧对整车性能造成的影响进行分析,再借助于 ADAMS 仿真,对两种布置方案造成的影响进行研究。

## 1 稳定杆连接杆布置位置影响分析

麦弗逊悬架稳定杆连接杆一般通过支架安装在减振器上,对于这种安装方式,目前主要有两种布置位置,一种是安装支架布置在减振器前侧,然后通过支架把稳定杆连接杆安装在减振器上;另一种是安装支架布置在减振器后侧,然后通过支架把稳定杆连接杆安装在减振器上。对于麦弗逊悬架来说,由于受到布置结构及空间位置的限制,减振器轴线跟主销轴线在 X 向偏差不是很大,因此稳定杆连接杆上安装点布置在减振器前侧就可以看做布置在主销前侧。同样,布置在减振器后侧可以看做布置在主销后侧。

### 1.1 连接杆布置在主销后侧影响分析

当稳定杆连接杆上安装点布置在主销后侧(即减振器后侧)时,以左前轮为例,本文假设车辆向右转弯,以车身为参照物进行受力分析。

连接杆受力如图 1 所示。

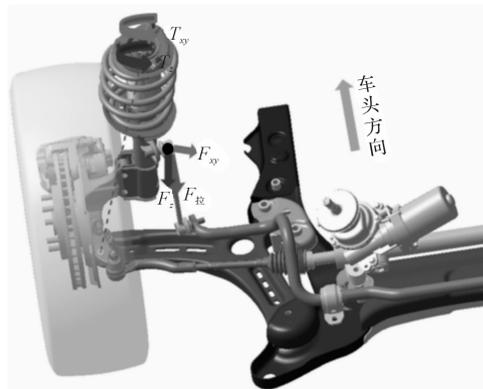


图 1 连接杆上安装点布置在主销后(后视图)

车辆向右转弯时,左轮向上运动,右侧车轮向下运动,稳定杆左侧连接杆受到拉力为  $F_{拉}$ ,可以把拉力  $F_{拉}$  分解为沿水平方向的力  $F_{xy}$  和垂向力  $F_z$ ,由于  $F_{拉}$  为空间力,故  $F_{xy}$  力的方向与 XY 平面平行,指向右后方;在车轮上跳过程中, $F_{xy}$ 、 $F_z$  会产生绕主销转动的力矩  $T_{xy}$ 、 $T_z$  拉着减振器绕主销转动,由于减振器和转向节及车轮固定在一起,因此车轮也随着一起转动。可以看出,稳定杆连接杆布置在减振器后侧时,上跳过程中,连接杆拉着减振器使车轮沿车辆外侧变化,即 toe out 方向变化,此时侧倾转向系数增大,有利于不足转向。

### 1.2 连接杆布置在主销前侧影响分析

当稳定杆连接杆上安装点布置在主销前侧(即减振器前侧)时,以左前轮为例,假设车辆向右转弯,以车身为参照物进行受力分析。

连接杆受力如图 2 所示。

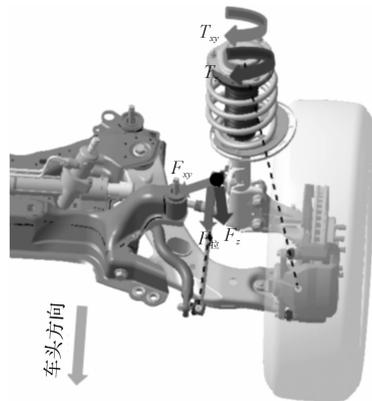


图 2 连接杆上安装点布置在主销前(前视图)

车辆向右转弯时,左轮向上运动,右侧车轮向下运动,稳定杆左侧连接杆受到拉力为  $F_{拉}$ , $F_{拉}$  可以分解为沿水平方向的力  $F_{xy}$  和垂向力  $F_z$ ,其中, $F_{xy}$  力的方向平行于 XY 平面,指向右前方;在车轮上跳过程中, $F_{xy}$ 、 $F_z$  产生绕主销转动的力矩  $T_{xy}$ 、 $T_z$  拉着减振器

绕主销沿顺时针转动,由于减振器和转向节及车轮固定在一起,因此车轮也随着一起转动。可以看出,上跳时,连接杆拉着减振器使车轮沿车辆内侧变化,即 toe in 方向变化,此时侧倾转向系数变小,不利于不足转向。

## 2 横向稳定杆仿真模型搭建

### 2.1 稳定杆建模理论

在 ADAMS 中横向稳定杆的建模主要有两种方法:(1) 采用 ADAMS 自带的非线性梁(Nonlinear beam)进行建模;(2) 先通过有限元软件把稳定杆进行柔性化处理,转换成 mnf 文件后,再代入 ADAMS 中进行建模。这两种建模方法中,非线性梁法更为简便快速。

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{22} & 0 & 0 & 0 & K_{26} \\ 0 & 0 & K_{33} & 0 & K_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{53} & 0 & K_{55} & 0 \\ 0 & K_{62} & 0 & 0 & 0 & K_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - L \\ y \\ z \\ a \\ b \\ c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} & c_{31} & c_{41} & c_{51} & c_{61} \\ c_{21} & c_{22} & c_{32} & c_{42} & c_{52} & c_{62} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{43} & c_{53} & c_{63} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{54} & c_{64} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{65} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $F_x, F_y, F_z$ —两刚体间的作用力; $T_x, T_y, T_z$ —作用力矩; $[K_{ij}]$ —刚度矩阵; $x, y, z$ — $I, J$ 坐标系的相对线位移; $L$ — $I, J$ 坐标原点的初始距离; $a, b, c$ — $I, J$ 坐标系的相对角位移; $[C_{ij}]$ —阻尼矩阵; $V_x, V_y, V_z$ — $I, J$ 坐标系相对线速度; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ — $I, J$ 坐标系相对角速度;刚度矩阵 $[K_{ij}]$ ,阻尼矩阵 $[C_{ij}]$ —对称阵,由 ADAMS 根据实际横向稳定杆的截面形状和材料特性自动给出。

### 2.2 稳定杆仿真模型搭建

根据横向稳定杆的尺寸参数,将横向稳定杆离散为多个小刚体后进行连接。其中,横向稳定杆与副车架连接处采用 bushing 连接,两端通过连接杆跟减振器连接。

建立的稳定杆仿真模型,如图 4 所示。

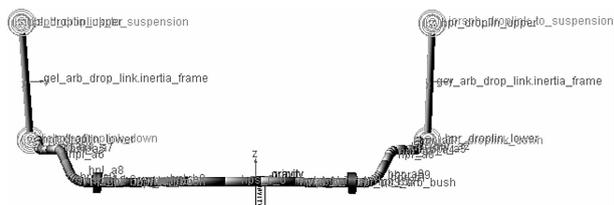


图 4 稳定杆非线性仿真模型

本文将横向稳定杆分解成多段刚体,然后刚体之间通过无质量的铁木辛柯梁连接,如图 3 所示。

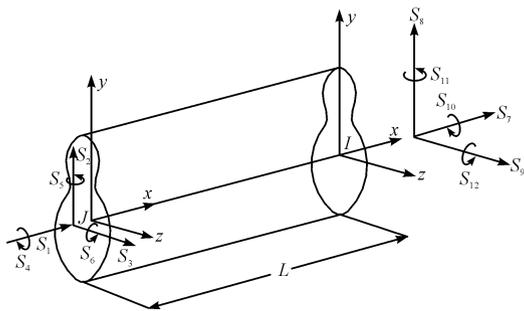


图 3 无质量的铁木辛柯梁

$I, J$ —固定连接在相邻两刚体上的坐标系

两刚体间的作用力和力矩大小与  $I, J$  坐标系的相对位移和速度有关,即:

## 3 K&C 仿真分析

### 3.1 前悬架仿真模型建立

以某车型为例,本文在 ADAMS 中搭建了考虑稳定杆连接杆两种布置方案的前悬架装配模型,两个模型中稳定杆的外形尺寸、几何参数以及悬架参数均完全相同,区别在于稳定杆连接杆的布置位置和稳定杆在副车架的安装点位置不同。

### 3.2 K&C 仿真分析

对比两种布置方案下 K&C 性能的变化。侧倾工况下前束随轮跳的变化曲线如图 5 所示。

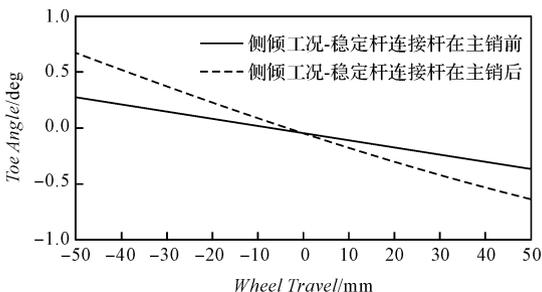


图 5 前束随轮跳的变化

侧倾角刚度随侧倾角的变化曲线如图 6 所示。

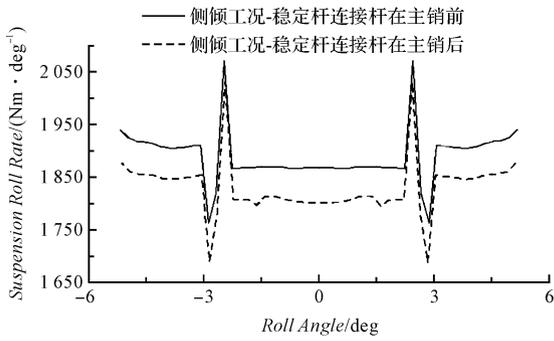


图 6 悬架侧倾角刚度随侧倾角的变化

由图 6 可以看出:稳定杆连接杆布置在主销后侧,前束随轮跳的变化率增大,但悬架的侧倾角刚度变小。原因在于车轮上跳过程中,因受到转向拉杆的作用,拉着车轮绕主销向车身外侧转动;而当稳定杆连接杆布

表 1 连接杆不同布置位置下 K&C 参数变化

布置位置	跳动转向/(deg · m <sup>-1</sup> )	悬架刚度/(N · mm <sup>-1</sup> )	侧倾转向/(%)	侧倾角刚度/(Nm · deg <sup>-1</sup> )
无稳定杆	-7.3	28.06	-8.76	598.5
主销前	-6.1	88.37	-5.93	1867.8
主销后	-13.7	85.31	-13.6	1802.3
变化率/(%)	104.11	-10.91	87.56	-10.94

由表 1 可以看出:连接杆布置在主销后侧,跟车辆转向相关的参数 ride steer(跳动转向系数)、roll steer(侧倾转向系数)得到了提升,最大提升量为 104.11%,但是跟悬架刚度相关的参数 wheel rate(悬架刚度)、roll rate(悬架侧倾角刚度)却减小了,最大减小量为 10.94%。因此,侧倾时,如果要提高车辆跟转向相关参数,就把稳定杆连接杆布置在后侧;反之,要提高稳定杆的效率,就把稳定杆连

表 2 连接杆上安装点调整 K&C 参数变化

布置位置	跳动转向/(deg · m <sup>-1</sup> )	悬架刚度/(N · mm <sup>-1</sup> )	侧倾转向/(%)	侧倾角刚度/(Nm · deg <sup>-1</sup> )
主销后	-13.7	85.31	-13.6	1802.3
上点后移 10	-14.6	83.82	-14.6	1770.9
上点前移 10	-12.6	86.7	-12.5	1831.7

由表 2 可以看出:稳定杆连接杆后移,跟转向相关的参数会增大,但跟悬架刚度相关的参数会变小;反之,稳定杆连接杆前移,跟转向相关的参数会减小,但跟悬架刚度相关的参数会增大。原因在于稳定杆上安装点调整过程中,造成稳定杆连接杆到主销的力臂变化,引起连接杆绕主销的力矩发生变化,最终导致跟转向和悬架刚度相关参数发生变化。这说明稳定杆连接杆布置在主销后侧,要保证车辆跟转向相关的参数足够理想,也需要对稳定杆连接杆的布置位置进行优化。同样,稳定杆布置在主销前侧,为了使车辆跟悬架刚度相关的参数足够理想,也需要对稳定杆连接杆的布置

置在主销前侧时,稳定杆连接杆会拉着车轮绕主销向车辆内侧转动,后者会对转向拉杆产生的力矩起一定的抵消作用。由于转向拉杆对车轮产生的拉力远大于稳定杆连接杆产生的拉力,在上跳时车轮最终会向外侧转动,但车轮的转动量有所减小;反之,稳定杆连接杆布置在主销后侧,车轮上跳时,会增加车轮向外的转动量。

稳定杆连接杆布置在主销前侧或后侧时,悬架的侧倾角刚度不同,这是由于两种布置方案稳定杆在副车架的安装位置不同,导致稳定杆的效率发生变化。

悬架不装稳定杆、稳定杆连接杆布置在主销前侧和后侧 3 种情况下,部分悬架 K&C 参数的仿真结果如表 1 所示。

接杆布置在前侧。同时,从表 1 中可以看出:稳定杆连接杆布置位置对转向参数的影响比悬架刚度相关的参数敏感。

以稳定杆连接杆布置在主销后的仿真模型为基础,调整稳定杆连接杆上安装点位置,对比 K&C 参数的变化,稳定杆连接杆上点前移 10 mm、后移 10 mm 后跟原始方案的仿真对比结果如表 2 所示。

位置进行匹配。

## 4 操稳仿真分析

横向稳定杆连接杆布置位置会对 roll steer, roll rate 等参数造成影响,而 roll steer 的变化会影响整车不足转向度,roll rate 的变化会影响整车侧倾。为了研究稳定杆连接杆布置位置对整车性能的影响,在 ADAMS/CAR 中分别搭建稳定杆连接杆布置在主销前和布置在主销后的整车模型,如图 7 所示。

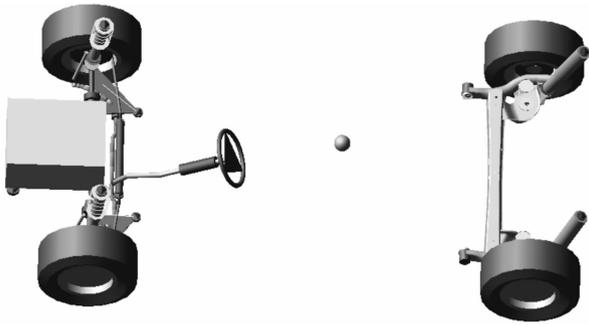


图7 整车仿真模型(连接杆布置在主销前)

本文通过稳态回转试验中定半径工况仿真,对两种布置方案造成的影响进行分析。

方向盘转角随侧向加速度的变化曲线如图8所示。

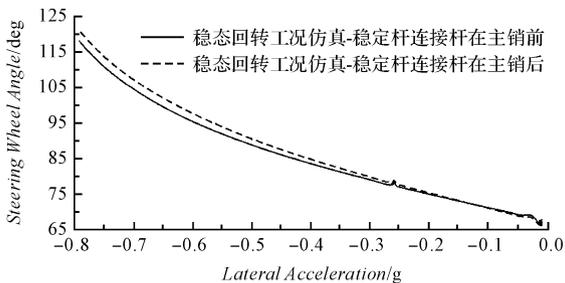


图8 方向盘转角随侧向加速度的变化

车身侧倾角随侧向加速度的变化曲线如图9所示。

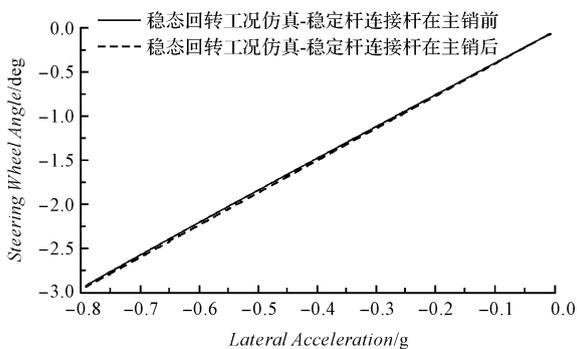


图9 整车侧倾角随侧向加速度的变化

由此可得出整车不足转向度、侧倾角梯度、0.5g 车身侧倾角的计算结果,如表3所示。

表3 连接杆布置位置对整车操稳的影响

布置位置	不足转向度 /(deg · g <sup>-1</sup> )	侧倾角梯度 /(deg · g <sup>-1</sup> )	0.5g 车身侧倾角 /deg
主销前	2.04	3.57	1.83
主销后	2.46	3.65	1.86
变化率	20.59%	2.24%	1.64%

通过对比可以看出:稳定杆连接杆布置在主销后与布置在主销前相比,整车的不足转向度增大了20.59%,整车侧倾增大了2.24%。原因在于连接杆布置在主销后,roll steer增大,从而导致不足转向度增大;同时,布置在主销后,稳定杆效率降低,整车侧倾角刚度减小,导致整车侧倾梯度和侧倾角增大。

## 5 结束语

本文就横向稳定杆连接杆布置位置对车辆性能的影响进行了研究,得到了以下几点结论:

(1)稳定杆连接杆布置在主销后侧,跟转向相关的参数 ride steer、roll steer 会增大,最大增幅为104.11%,但跟悬架刚度相关的参数 wheel rate、roll rate 会减小,最大减小量10.94%;

(2)稳定杆连接杆布置在主销后侧,会导致整车不足转向度增加20.59%,车辆稳定性变好;但也会造成整车侧倾梯度增加2.24%,整车安全性变差;

(3)稳定杆连接杆布置在主销前,跟转向相关的参数会减小,但跟悬架刚度相关的参数会增大;反之,稳定杆连接杆布置在主销后,跟转向相关的参数会增大,但跟悬架刚度相关的参数会减小;同时,稳定杆连接杆在主销前后的位置确定后,对稳定杆连接杆位置的微调也会造成转向和悬架刚度相关参数发生变化,因此,在对稳定杆连接杆进行设计时也需要考虑。

## 参考文献 (References) :

[1] 吴礼军,管欣.汽车整车性能主观评[M].北京:北京理工大学出版社,2016.

[2] 日本自动车技术会.汽车工程手册5-底盘设计篇[M].中国汽车工程学会组,译.北京:北京理工大学出版社,2010.

[3] 安部正人.汽车操纵动力学[M].北京:机械工业出版社,2012.

[4] THOMAS D, GILLESPIE.车辆动力学基础[M].赵六奇,金达锋,译.北京:清华大学出版社,2006.

[5] 胡久强,陈显莉,罗亮,等.基于MATLAB的汽车侧倾角刚度匹配及稳定杆设计[J].农业装备与车辆工程,2013,51(7):21-24.

(下转第548页)

### 本文引用格式:

姜军平,辛庆峰,贾宝光,等.轿车稳定杆连接杆布置位置对整车操稳性能的影响研究[J].机电工程,2019,36(5):501-505,548.

JIANG Jun-ping, XIN Qing-feng, JIA Bao-guang, et al. Influence of the layout position of stabilizer bar's linkage on auto handling performance[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(5):501-505,548.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>