

# 几种乘用车典型独立前悬架 K&C 性能对比分析

徐忠诚<sup>1</sup>, 汪世义<sup>2</sup>, 吴文强<sup>2</sup>

(1. 优跑汽车技术(上海)有限公司, 上海 200233; 2. 蔚来汽车科技(安徽)有限公司, 安徽 合肥 230601)

**摘要:** 以某纯电动汽车双横臂式前悬架车型为基础, 通过改造其悬架形式, 研究不同悬架类型在同一车型上的性能差异。原型车采用双横臂式前悬架, 基于其整车及四轮定位参数将悬架分别改造成麦弗逊式和五连杆虚拟主销式悬架, 借助动力学分析软件 ADAMS 对各悬架类型进行 K&C(运动学和弹性运动学)性能仿真分析, 结果表明虚拟主销式悬架的总体性能优于双横臂式悬架, 双横臂式悬架的总体性能优于麦弗逊式悬架。

**关键词:** 汽车; 悬架; 四轮定位; K&C(运动学和弹性运动学)性能; 乘用车

中图分类号: U463.33

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)04-0008-03

悬架是车架与车桥或车轮之间一切传力连接装置的总称。在车轮上下跳动的过程中, 车轮定位参数(前束角、车轮外倾角、轮距、轴距)与主销定位参数(内倾角、后倾角)会产生运动学上的变化, 这种变化特性即为悬架运动学特性, 对汽车操纵稳定性、舒适性、制动性能等起着至关重要的作用, 对轮胎磨损也有较大影响。悬架对这些性能的影响称为悬架的 K&C(运动学和弹性运动学)特性<sup>[1-2]</sup>。本文以某纯电动汽车双横臂式前悬架车型为基础, 对麦弗逊式、双横臂式、虚拟主销式悬架的性能进行对比分析。

## 1 各悬架结构形式对比

当前, 乘用车上主流的悬架形式有麦弗逊式、双横臂式、虚拟主销式、四连杆、五连杆、集成连杆等, 其中麦弗逊式、双横臂式、虚拟主销式广泛应用在前悬架上, 四连杆、五连杆、集成连杆则更多用在后悬架上。图 1 为几种典型的前悬架结构形式。



图 1 典型的前悬架结构形式

### 1.1 麦弗逊式悬架

麦弗逊式悬架主要由减振器上支撑、弹簧、减振器总成、转向节、下横臂等组成, 其结构简单, 零件数

量少, 成本低, 横向尺寸小, 占用空间小, 利于舱内布置, 因而得到广泛应用。其主销轴线上点固定, 下点随车轮跳动而摆动, 变化较大, 前束角、车轮外倾角、侧倾中心变化较大且变化规律不理想。减振器除了要吸收来自车轮的振动和冲击外, 还要起导向作用, 活塞杆受到较大侧向力作用, 减振器易因偏磨导致早期失效。另外, 上点位置高, 离前排乘员近, 来自轮胎、地面、驱动系统的噪声容易影响到乘员。虽然其成本低廉、结构简单, 但其缺点同样明显, 主要应用在 A 级、入门 B 级车上<sup>[3]</sup>。

### 1.2 双横臂式悬架

双横臂式悬架在麦弗逊式悬架的基础上增加一根上控制臂, 横向刚度和稳定性增强; 减振器下点通过橡胶衬套安装在下横臂上, 减振器不受侧向力作用, 减振器阻尼及耐久性能、悬架 NVH(噪声、振动和声振粗糙度)性能得到提高<sup>[4-5]</sup>; 主销轴线基本固定且变化小, 操纵稳定性增强; 侧倾中心更趋近于簧载质量质心, 有利于减小侧倾力矩和侧倾角, 舒适性增强。但其结构较复杂, 增加上横臂及衬套, 零件数量增多, 成本增加, 横向空间占用较大, 对舱内空间造成一定挤压。双横臂式悬架可在成本增加不多的前提下大幅度提升悬架性能, 在 B 级及以上车型上得到广泛应用。

### 1.3 虚拟主销式悬架

虚拟主销式悬架是双横臂式悬架的一种变形, 它将双横臂外球头点一分为二, 整体臂拆分为前、后两根臂, 可实现主销轴线的外移, 更长的等效臂长, 车轮外倾角、前束角变化更小, 有利于减小轮胎偏

摩,提高操控性能;具有中心点转向特性,制动、驱动对主销均无转矩作用,方向稳定性及转向轻便性更好;纵向力作用下纵向位移更大,有利于降低冲击感,提升舒适性。但整体结构复杂,纵向空间占用较大,设计和制造难度、零件数量及成本增加,主要用在对操控性、舒适性、NVH 性能要求更高的高端车型上<sup>[6]</sup>。

2 性能对比

基于相同的基准分别搭建 3 种前悬架仿真模型进行仿真试验,对 3 种悬架的 K&C 性能进行定量分析。

2.1 仿真模型的建立

读取基础车悬架几何模型的硬点,在 catia V6 中创建麦弗逊式、虚拟主销式悬架几何模型,保持原车型下横臂内点位置不变,调整上横臂内球头点/外球头点、减振器上点、下横臂外球头点位置直至四轮

定位参数与基础车相同。基于 3 种悬架的硬点、基础车整车参数(见表 1)及弹性件参数,在 ADAMS 中分别搭建麦弗逊式、双横臂式、虚拟主销式前悬架仿真模型。

表 1 整车基本参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
轴距/mm	2 888	车轮外倾角/(°)	-0.37
轮距/mm	1 685	前束角/(°)	0.21
前轴载荷/kg	1 237	主销内倾角/(°)	7.70
后轴载荷/kg	1 453	主销后倾角/(°)	4.17

2.2 仿真对比分析

运用仿真模型对 3 种前悬架进行双轮同向跳动、反向跳动(侧倾)、制动力、侧向力、转向回正等工况的仿真分析,仿真结果见表 2,图 2~5 为双轮同向跳动特性图。

表 2 不同结构形式前悬架 K&C 性能仿真分析结果

工况	指标	3 种前悬架的仿真结果			参考范围
		麦弗逊式	双横臂式	虚拟主销式	
垂直跳动	前束角变化/[ $(^{\circ}) \cdot (100 \text{ mm})^{-1}$ ]	-1.37	-0.80	-0.70	-1~0
	车轮外倾角变化/[ $(^{\circ}) \cdot (100 \text{ mm})^{-1}$ ]	-3.20	-1.40	-1.24	-2~0
	轮心横向位移/( $\text{mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	0.40	0.10	0.06	1.5~0.0
	轮心纵向位移/( $\text{mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	0.08	0.10	0.12	1.5~0.0
侧倾	侧倾中心高度/mm	176.4	153.8	88.1	50~140
	侧倾转向角变化/[ $(^{\circ}) \cdot (100^{\circ})^{-1}$ ]	-12.5	-7.8	-7.6	0~-15
	侧倾外倾角变化/[ $(^{\circ}) \cdot (^{\circ})^{-1}$ ]	0.63	0.52	0.22	0~1
	侧倾轮心横向位移/[ $\text{mm} \cdot (^{\circ})^{-1}$ ]	-0.52	-0.30	-0.26	-1.5~0.0
制动点头	侧倾轮心纵向位移/[ $\text{mm} \cdot (^{\circ})^{-1}$ ]	-0.34	-0.52	-0.87	-1~0
	抗制动点头率/%	22.0	28.7	48.3	30~50
加速抬头	抗加速抬头率/%	93.6	94.4	99.0	80~95
制动力	车轮转角变化/[ $(^{\circ}) \cdot \text{kN}^{-1}$ ]	-0.002	-0.050	-0.150	-0.25~0.00
	车轮外倾角变化/[ $(^{\circ}) \cdot \text{kN}^{-1}$ ]	-0.004	-0.020	-0.010	-0.05~0.05
	轮心横向位移/( $\text{mm} \cdot \text{kN}^{-1}$ )	0.01	0.23	0.20	0.0~0.4
	轮心纵向位移/( $\text{mm} \cdot \text{kN}^{-1}$ )	0.3	1.8	4.1	2~5
侧向力	车轮转角变化/[ $(^{\circ}) \cdot \text{kN}^{-1}$ ]	0.005	-0.070	-0.330	-0.37~0.00
	车轮外倾角变化/[ $(^{\circ}) \cdot \text{kN}^{-1}$ ]	0.012	0.060	0.150	0.10~0.26
回正力矩	车轮转角变化/[ $(^{\circ}) \cdot (\text{kN} \cdot \text{m})^{-1}$ ]	0.29	0.64	1.77	1.5~3.0
	车轮外倾角变化/[ $(^{\circ}) \cdot (\text{kN} \cdot \text{m})^{-1}$ ]	0.003	-0.100	-0.520	-0.8~-0.2

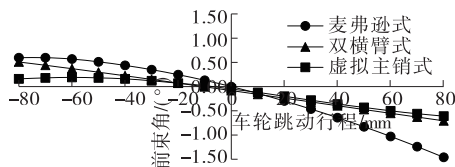


图2 前束角随车轮跳动行程的变化

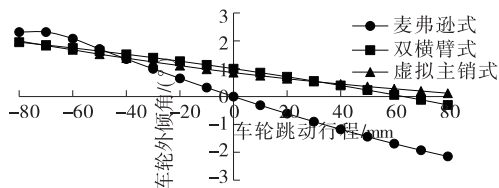


图3 车轮外倾角随车轮跳动行程的变化

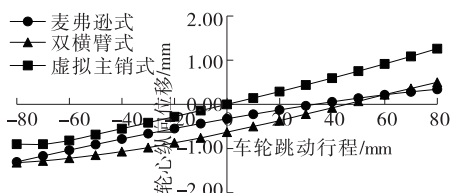


图4 轮心纵向位移随车轮跳动行程的变化

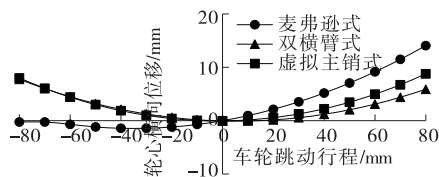


图5 轮心横向位移随车轮跳动行程的变化

从表2、图2~5可以看出:总体上,麦弗逊式悬架、双横臂式悬架、虚拟主销式悬架的性能逐渐提升,即双横臂式悬架的性能优于麦弗逊式悬架,虚拟主销式悬架的性能优于双横臂式悬架。具体表现在:四轮定位参数变化率逐渐减小,悬架控制更精准,操控性能更优;轮心纵向位移不断增大,过障碍/制动时轮心退让程度更高,舒适性更好;轮心横向位移逐渐减小,轮胎的横向磨损逐渐减小,轮胎的抓地力逐渐增大;制动点头率逐渐增加,制动舒适性提升;侧倾中心高度逐渐减小,有利于减小轮心横向位移,减少轮胎横向磨损,增强方向稳定性<sup>[7-9]</sup>。

### 3 结论

通过对麦弗逊式、双横臂式、虚拟主销式前悬架结构和性能的分析,结合仿真试验结果及工程经验,

得出以下结论:

(1) 虚拟主销式悬架的总体性能优于双横臂式悬架,双横臂式悬架的总体性能优于麦弗逊式悬架。

(2) 在车轮定位参数(前束角、车轮外倾角)方面,双横臂式悬架优于麦弗逊式悬架,其变化率更小、更稳定,轮胎磨损及抓地性能更优;虚拟主销式悬架优于双横臂式悬架。

(3) 麦弗逊式悬架在车轮垂直跳动时轮心向前,舒适性差;双横臂式、虚拟主销式悬架轮心向后,在过障碍时轮心的退让会大大提升舒适程度,其舒适性更优。

(4) 在抗制动点头、轮心横向位移、轮心纵向位移方面,双横臂式悬架优于麦弗逊式悬架,虚拟主销式悬架优于双横臂式悬架。

### 参考文献:

- [1] 李广英.瓦特杆扭梁悬架 K&C 特性分析及对整车操稳性的影响研究[D].长沙:湖南大学,2014.
- [2] 张梅,黄如君,张晓伟.基于 MapleSim 独立前悬架 K&C 特性对比分析[J].机械设计与制造,2017(5): 170—173.
- [3] 辛运.五连杆悬架运动学特性的分析与优化[D].长沙:湖南大学,2016.
- [4] 魏娟,王志雷,窦登科,等.全地形消防车双横臂悬架仿真分析与优化[J].制造业自动化,2021,43(7): 73—76.
- [5] 余志生.汽车理论[M].5版.北京:机械工业出版社,2009.
- [6] 熊飞,兰凤崇,陈吉清,等.两种典型轿车前悬架运动特性的对比研究[J].汽车工程,2015,37(10): 1161—1166+1201.
- [7] 吴志成,陈思忠,杨林,等.几种独立悬架运动学特性对比研究[J].北京理工大学学报,2006,26(10): 867—870+882.
- [8] 陆润明,廖抒华,覃紫莹.两种越野赛车前悬架运动学性能对比分析[J].农业装备与车辆工程,2019,57(7): 75—78.
- [9] 孟志强,杨晓俊,林阳,等.悬架 K&C 特性参数对整车操纵稳定性的影响分析[J].机电技术,2014,37(5): 116—121.

收稿日期:2022-12-28