

基于 K&C 试验台的扭力梁与多连杆悬架研究

田中灵¹, 高大威¹, 方平², 林阳², 李杰²

(1. 上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093; 2. 上海汇众汽车制造有限公司, 上海 200122)

摘要: 以某新旧两款商务车为研究对象, 该两款车型后悬架分别采用扭力梁式悬架与多连杆式独立悬架, 利用 K&C 试验台获取其悬架系统的特性参数, 对比分析平行轮跳试验结果中的车轮外倾角以及车轮前束角的差异和特点, 然后基于整车基本数据使用汽车仿真软件 Carsim 分别建立整车模型, 进行转向盘转角阶跃输入仿真, 并通过整车侧向加速度与横摆角速度的变化来分析两种不同的后悬架对这款车型整车操纵稳定性的影响。结果表明, 相对于扭力梁式后悬架, 多连杆式后独立悬架能够加快稳态响应, 减小谐振幅度, 而且在特殊工况下, 侧倾现象明显更小, 响应速度更快。

关键词: 扭力梁悬架; 多连杆悬架; K&C 试验台; Carsim 仿真; 操纵稳定性

中图分类号: U 463.33 **文献标志码:** A

Research on Torsion Beam and Multi-link Suspension Based on K&C Test Rig

TIAN Zhongling¹, GAO Dawei¹, FANG Ping², LIN Yang², LI Jie²

(1. School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Huizhong Automotive Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: Taking the new and old MPVs (multi-purpose vehicles) as the research objects, and the two vehicles use torsion beam suspension and multi-link independent suspension as their rear suspension, respectively. The characteristic parameters of suspension system were obtained based on the K&C (kinematic and compliance) test rig. Compare and analyze the difference between the wheel camber angle and the wheel toe angle got from the parallel wheel jump test. Then Carsim vehicle model was established based on the basic data of vehicles. Steering wheel angle was simulated by step input. Effect of two different rear suspensions on the vehicle handling stability was analyzed by the changes in vehicle lateral acceleration and yaw rate. The results indicate that compared with the torsion beam rear suspension, the multi-link rear independent suspension can speed up the steady-state response, reduce the resonance amplitude. Especially in special conditions, it shows much less roll and faster response obviously.

Keywords: torsion beam suspension; multi-link suspension; K&C test rig; Carsim simulation; handling stability

收稿日期: 2018-07-24

第一作者: 田中灵(1994-), 男, 硕士研究生。研究方向: 车身现代化设计方法与结构强度。

E-mail: tianzhongling163@163.com

通信作者: 高大威(1979-), 女, 副教授。研究方向: 车身现代化设计方法与结构强度。E-mail: gddwww1999@163.com

悬架系统的特性直接决定着汽车的操纵稳定性，为了精确比较某商务车新旧两款悬架性能对操纵稳定性的影响，分析悬架特性参数，本文采用单轴式 K&C 试验台对某商务车的悬架进行测试并获取悬架系统的性能参数。根据悬架 K&C 试验结果对比分析部分 K&C(kinematic and compliance)特性参数及差异，然后基于相关测试数据依托整车参数化仿真平台 Carsim进行建模仿真和操纵稳定性分析，对比两款车的差异和特点，以及不同悬架对整车操纵稳定性的影响。

1 汽车悬架 K&C 台架试验及结果分析

1.1 悬架 K&C 台架试验

图 1 悬架 K&C 试验台为单轴试验设备，主要是一种将整车的悬架性能道路试验转变为台架试



图 1 K&C 试验台
Fig. 1 K&C test bench

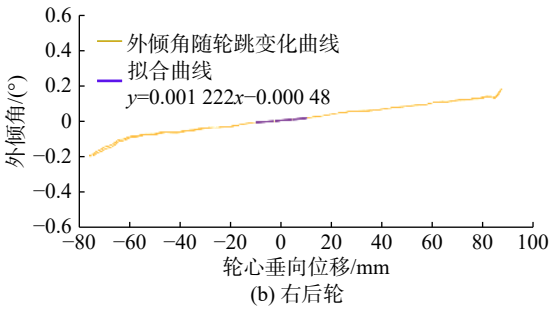
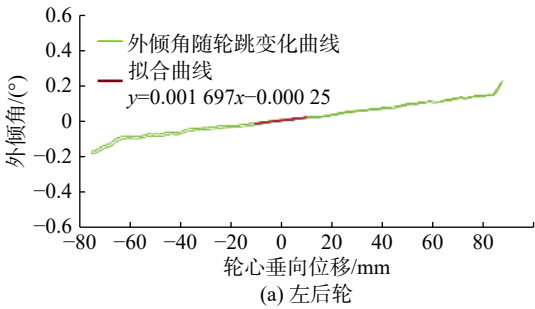


图 2 扭力梁式悬架车轮外倾角随轮跳变化曲线

Fig.2 Wheel camber angle versus wheel jump in the vehicle using torsion beam suspension

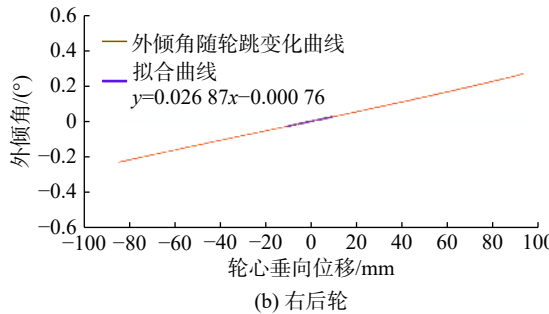
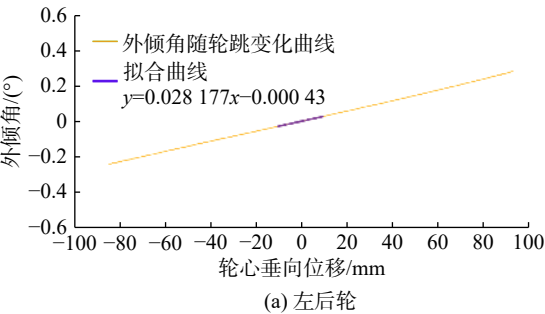


图 3 多连杆式独立悬架车轮外倾角随轮跳变化曲线

Fig.3 Wheel camber angle versus wheel jump in the vehicle using multi-link independent suspension

验，具有可重复性的操作和分析汽车底盘悬架预定义激励来反馈性能的设备^[1]。通过将车身固定的方式，对前、后悬架进行单独试验测试，并进行试验数据的分析。

1.2 悬架 K&C 试验结果分析

通过对某商务车新旧两款的基本信息的统计，前悬架均为麦弗逊式，后悬架旧款车为扭力梁式，新款车为多连杆式独立悬架，所以，暂且不考虑前悬架对整车性能的影响，对后悬架扭力梁与多连杆的试验数据进行分析。因为，平行轮跳试验最能反映出悬架系统的运动学和弹性运动学性能的优劣，故研究悬架 K&C 特性时，无论何种车型和悬架类型都需要进行平行轮跳分析试验^[2-3]，所以，对该新旧两款商务车后轴进行平行轮跳试验并对车轮外倾角与前束角分别进行对比分析。

1.2.1 车轮外倾角的对比分析

当车轮上跳时前轮外倾角向减小的方向变化，在下跳时朝正值方向变化，则汽车具有较好的操纵稳定性，可以防止制动时因左右制动力误差造成的直线行驶稳定性变差，有利于减小因外倾角而引起的地面对轮胎的侧向力使汽车跑偏的趋势。

由图 2 和图 3 可知，扭力梁式悬架在车轮上下跳动过程中整体变化趋势符合悬架的设计规律，左右外倾角的变化率大致相等，但是，在车轮上

跳 80~90 mm 处, 以及下跳 60~70 mm 处, 外倾角随位移的变化有一个突变, 斜率突然变得较大, 这样将较为明显地影响车辆的稳定性, 从而使车辆产生不稳定工况。多连杆式悬架在车轮上下跳动过程中, 外倾角的变化趋势符合车辆内外倾角的设计规律且变化趋势比较平滑, 没有突变的情况出现。

扭力梁式悬架左后轮外倾角随轮跳变化梯度约为-0.001 7°/mm, 右后轮外倾角随轮跳变化梯度约为 0.001 2°/mm, 多连杆式悬架左后轮外倾角随轮跳变化梯度约为 0.028 2°/mm, 右后轮外倾角随轮跳变化梯度约为 0.026 9°/mm。多连杆式悬架外倾角的变化量比扭力梁式悬架的变化量大, 多连杆式悬架可以更有效地控制外倾角在车轮跳动过程中的变化, 且多连杆式悬架的变化趋势更为合理, 可以减少轮胎的磨损和提高轮胎的侧偏性能。

1.2.2 车轮前束角的对比分析

当车轮上下跳动时, 前束角会相应改变, 其变化趋势对车辆的稳态响应特性(不足转向或过度转向)有较大的影响, 是汽车悬架设计的重要

参数之一^[4]。设计后悬架时, 车轮上跳工况下的前束角经常设计成向负前束角变化的趋势, 前束值的变化量与轮心上跳的行程值应尽量趋于一条直线, 这样可以方便调整车辆的不足转向度, 而且前束角变化量不宜过大, 否则会使车辆直行过程中前束角变化较大而导致车辆不稳定并且增加轮胎磨损^[5]。

通过观察图 4 与图 5, 发现扭力梁式悬架和多连杆式悬架曲线变化趋势大致相同, 但是, 扭力梁式悬架在上跳 80~85 mm 处有突变, 会影响车辆的稳定性。在车轮上跳过程中, 产生负的前束角, 车轮下跳时, 产生正的前束角, 由此可以改善车辆的综合行驶性能。而多连杆式悬架则符合此设计规律, 有利于保持车辆的操纵稳定性。由图 4 可以看出, 扭力梁式悬架整体的变化量较小。两种悬架左右轮都存在差异, 将会造成汽车左右后车轮磨损不一, 并且可能会造成整车左转弯和右转弯的转向特性的差异而降低整车的操纵稳定性。

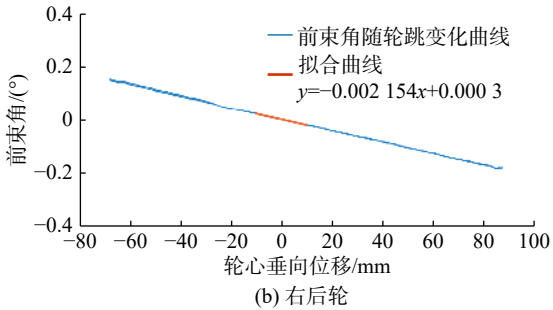
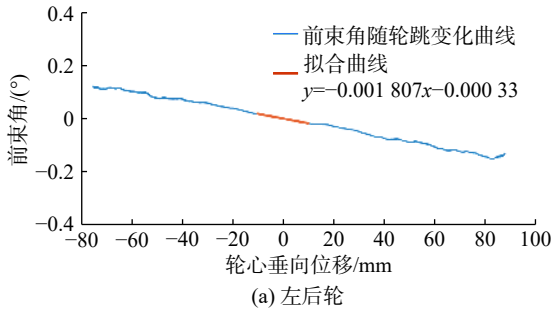


图 4 扭力梁式悬架车轮前束角随轮跳变化曲线

Fig.4 Wheel toe angle versus wheel jump in the vehicle using torsion beam suspension

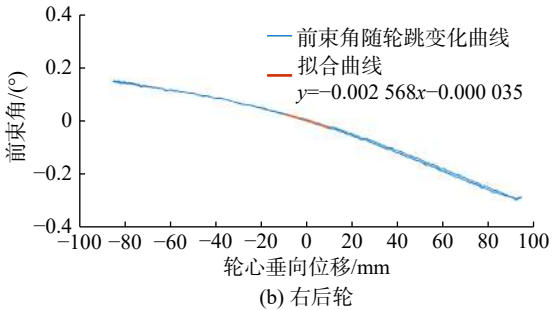
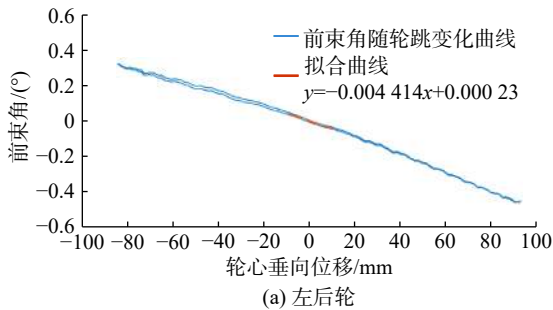


图 5 多连杆式独立悬架车轮前束角随轮跳变化曲线

Fig.5 Wheel toe angle versus wheel jump in the vehicle using multi-link independent suspension

2 转向盘转角阶跃输入仿真分析

为了分析两种不同的悬架在整车中对操纵稳定

性的影响, 根据整车基本信息(表 1), 运用 Carsim 整车建模, 依据我国现行整车操纵稳定性试验国家标准, 对整车分别进行了转向盘转角阶跃输入、

表 1 仿真车辆基本信息

Tab.1 Basic information of the testing vehicle

整车参数		数量信息
轴距		3 095 mm
前轮距		1 612 mm
后轮距		1 626 mm
整备质量		1 960 kg
驱动形式		前轮驱动
悬架布置形式	前悬架	麦弗逊独立悬架
	后悬架	多连杆独立悬架(新款车)
		扭力梁(旧款车)

转角脉冲输入、转向回正、稳态回转、转向轻便性及蛇形虚拟试验的仿真分析^[6], 本文只对最具代表性的转向盘转角阶跃输入试验进行对比分析^[7]。

仿真过程中整车为满载状态, 整车模型按照该车型最高车速的 70%(四舍五入取 10 的整数倍)沿直线行驶, 在预定的时刻快速使转向盘达到预定的转角并保持住, 在此过程中, 保持恒定车速^[8]。读取新旧两款车型的侧向加速度和横摆角速度等运动参数的仿真结果。

2.1 整车侧向加速度

该车新旧两款车型的侧向加速度响应曲线如图 6 所示。g 为重力加速度。

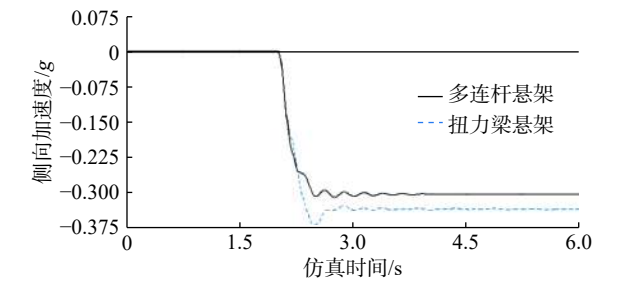


图 6 侧向加速度响应曲线

Fig. 6 Lateral acceleration response curve

对比图中数据可知, 在同样的转向盘转角输入的前提下, 两款车型的侧向加速度稳态值有明显差异, 采用扭力梁式悬架的旧款车型的侧向加速度稳态值为 3.37 m/s^2 , 而采用多连杆式独立悬架的新款车型的侧向加速度稳态值为 3 m/s^2 , 比旧款车少了 0.37 m/s^2 。而且在转角阶跃输入后, 两款车的最大超调量也有不同, 旧款车型约为 0.4 m/s^2 , 而新款车型可忽略不计。多连杆式悬架车型的过渡过程时间也比扭力梁式悬架车型的要小, 转向盘转动之后, 虽然新款车的谐振幅度比旧款车

的大一些, 但是, 在其达到稳态值之后就基本不再变化, 说明相较于扭力梁式悬架的旧款车, 多连杆式悬架的新款车的稳定性更好一些, 响应也更快些。

2.2 整车横摆角速度

该车新旧两款车型的横摆角速度响应曲线如图 7 所示。

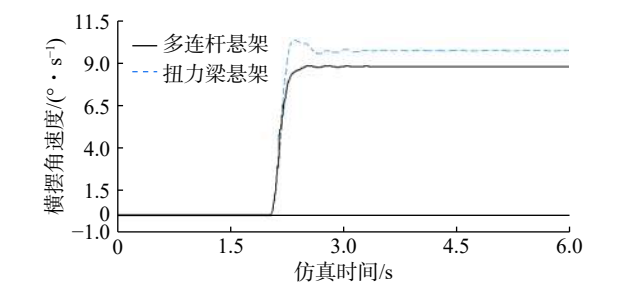


图 7 横摆角速度响应曲线

Fig. 7 Yaw rate response curve

观察仿真结果可知, 在输入相同的转向盘转角之后, 新旧两款车型的过渡过程时间差别不明显, 但是, 横摆角速度的最大值与稳态值都是有差异的。新款车型的横摆角速度的稳态值为 $8.84^\circ/\text{s}$, 超调量可以忽略不计。旧款车型的横摆角速度的稳态值为 $9.73^\circ/\text{s}$, 超调量为 $0.59^\circ/\text{s}$ 。旧款车的横摆角速度的稳态值比新款车的高 $0.89^\circ/\text{s}$, 该差值与旧款车横摆角速度的超调量 $0.59^\circ/\text{s}$ 相差很小, 说明多连杆式后悬架的车型稳定性更好, 在相同的转向盘转动角度下, 侧倾现象相对于旧款车型要弱一些, 侧倾稳定性较好。而且, 新款车型的谐振幅度比旧款车的要小, 说明多连杆式后悬架整车的响应速度较快。

根据中华人民共和国汽车行业标准 QCT480-1999《汽车操纵稳定性指标限值与评价方法》^[9]中所规定的汽车横摆角速度的评价方法, 分别计算该新旧两款车型横摆角速度的评价分值

$$N_J = 60 + \frac{40}{T_{60} - T_{100}} (T_{60} - T) \tag{1}$$

式中: T_{60} 为汽车横摆角速度响应时间的下限值, 为 0.20 s ; T_{100} 为汽车横摆角速度响应时间的上限值, 为 0.06 s ; T 为侧向加速度为 2 m/s^2 时的汽车横摆角速度响应时间, 新款车为 0.10 s , 旧款车为 0.14 s 。

经计算得出新款车横摆角速度的评价分值为 88.57 , 旧款车为 77.14 , 该评价分值也论证了新款车型的操纵稳定性要优于旧款车型。

3 结 论

a. 对比分析扭力梁和多连杆后悬架的平行轮跳试验结果，对部分特性参数如车轮外倾角和车轮前束角的试验数据进行分析，可以看出，多连杆悬架的 K&C 特性参数变化较为合理，可以更加有效地控制外倾角在车轮跳动过程中的变化，可以减少轮胎的磨损和提高轮胎的侧偏性能，但是，两种悬架左右轮前束角都存在差异，将会造成汽车左右后车轮磨损不一。

b. 基于悬架 K&C 试验数据，使用仿真软件 Carsim 建立整车动力学模型，进行了转向盘转角阶跃输入仿真分析，得出采用多连杆式后独立悬架的新款车型要比采用扭力梁式后悬架的旧款车型的稳态响应快、谐振幅度小、过渡过程时间少。在特殊工况下，侧倾现象明显更小，响应速度更快。

综上所述，相对于扭力梁式后悬架，多连杆式后悬架的 K&C 特性的变化更为合理，有利于保持良好的整车操纵稳定性。但是，由于扭力梁式后悬架工艺简单、成本比较低，而且可以满足轿车大部分的行驶工况，所以，在中低端轿车上得到了广泛使用。虽然多连杆式后悬架有着较高的生产制造成本，相信随着技术的进步以及人们对舒适性要求的进一步提高，多连杆式后悬架会在

更多的车型上得到进一步推广使用。

参考文献：

[1] MITCHELL W C, SIMONS R, SUTHERLAND T, et al. Suspension geometry: theory vs. K&C measurement[R]. Warrendale: SAE International, 2008.

[2] 冯金芝, 梁鹏, 郑松林, 等. 扭力梁后悬架 K&C 特性仿真分析[J]. 现代制造工程, 2015(10): 57-61.

[3] 梅声远, 张维刚, 赵国锋, 等. 扭转梁半独立后悬架结构强度及动态特性的有限元分析[J]. 汽车工程, 2012, 34(11): 990-994.

[4] 陈文越. 基于 ADAMS 的一种轻型商用客车悬架 K&C 特性分析与研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.

[5] 鲍捷, 侯宇, 王伟, 等. 基于车轮定位参数匹配的悬架优化方法研究[J]. 车辆与动力技术, 2015(2): 49-52.

[6] 冯金芝, 胡学坤, 郑松林, 等. 轿车操纵稳定性的虚拟试验研究[J]. 上海理工大学学报, 2013, 35(1): 65-70.

[7] 陈蓉. 转向盘转角阶跃输入下汽车操纵稳定性仿真分析[D]. 长春: 吉林大学, 2006.

[8] 赵立军, 白欣. 汽车试验学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2008: 213-214.

[9] 郭孔辉, 王德宝, 伦景光, 等. QC/T 480-1999, 汽车操纵稳定性指标限值与评价方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

(编辑: 石 瑛)