

汽车双横臂悬架优化设计及振动分析

智淑亚, 贺钰腾, 吴钟鸣, 辛玉红, 吴少凯

(金陵科技学院机电工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要:为改善汽车振动特性,缩短开发周期并降低成本,以汽车双横臂悬架为研究对象,借助于 ADAMS/CAR 首先建立悬架参数模型,然后对悬架的平行轮跳动进行仿真分析,分析车轮定位参数,对不符合要求的车轮定位参数采用合理的优化算法,改变部分硬点坐标使之符合要求。为进一步分析悬架对整车振动特性的影响,最后对整车平顺性进行仿真分析,结果表明:优化后的悬架能够有效改善整车振动特性。

关键词:双横臂悬架; ADAMS/CAR; 仿真分析; 振动特性

中图分类号: U463

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2020)04-0036-05

Optimization Design and Vibration Analysis of Car Double Wishbone Suspension

ZHI Shu-ya, HE Yu-teng, WU Zhong-ming, XIN Yu-hong, WU Shao-kai

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: In order to improve the vibration characteristics of the car, shorten the development cycles of the car and reduce the costs, the double wishbone suspension of car was studied with the help of ADAMS/CAR. Firstly, the parametric model of the suspension was established. Then, the runout of the parallel wheels of the suspension was simulated and analyzed. The wheel positioning parameters were analyzed and a reasonable optimization algorithm was adopted for the positioning parameters that do not meet the requirements, and some hard point coordinates were changed to make them meet the requirements. Finally, in order to further analyze the influence of the suspension on the vibration characteristics of the vehicle, the simulation analysis of the ride comfort of the vehicle was simulated. The results show that the optimized suspension can effectively improve the vibration characteristics of the vehicle.

Key words: double wishbone suspension; ADAMS/CAR; simulation analysis; vibration characteristics

近年来,基于运动学理论和多刚体动力学理论对汽车悬架进行优化设计的研究较为盛行。郎长俊利用动力学软件 ADAMS 建立悬架系统的虚拟样机模型,分析硬点变化对悬架定位参数的影响,并对其进行优化设计^[1]。张向东利用 ADAMS 软件对悬架模型的 K&C 特性进行仿真及优化,搭建整车模型进行整车操纵平顺性能仿真分析^[2]。本文以某车型双横臂悬架为研究对象,运用 ADAMS 软件建立模型,分

收稿日期: 2020-08-06

基金项目: 江苏省创新训练计划重点项目(202013573003Z);江苏省现代教育技术研究课题(2020-R-80314)

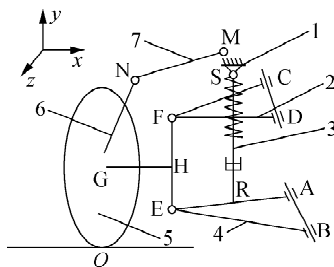
作者简介: 智淑亚(1968—),女,山东济宁人,副教授,硕士,主要从事机电一体化技术及应用、汽车结构设计与分析研究。

析悬架振动特性并对其进行优化设计,优化结果通过整车仿真分析来进行验证。

1 双横臂悬架模型建立及仿真分析

1.1 物理模型的简化

悬架结构对车辆振动特性的影响十分重要。为便于分析,建模前需对悬架进行假设和简化。根据车辆动力学知识可知,双横臂悬架是一个多刚体系统,是由多节点连系的 RSSR 结构(R 表示旋转副,S 表示球面副)构成,系统中每个刚体在各方向均不受惯性力影响。悬架各处铰链所受各方向的约束力较小,对整车动力学的影响也很小,可忽略不计。因各运动副之间的作用力可忽略不计,所以减振器可等效为线性弹簧与阻尼的组合,轮胎等效成刚性体,从而化简为刚性铰链来连接模型。简化后的双横臂悬架的空间拓扑结构如图 1 所示。



注:1. 车身;2. 上横臂;3. 螺旋弹簧和减振器;
4. 下横臂;5. 车轮总成;6. 转向节总成;7. 转向横拉杆

图 1 双横臂悬架空间拓扑简化图

1.2 模型的建立与仿真

在 ADAMS/CAR 中建立双横臂悬架模型,所用到的建模数据参考某车型的悬架得到,把模型中的转向节和摆臂等杆件简化为刚体,弹性元件、橡胶衬套元件、轮胎、阻尼元件等参考相关属性文件得到。把车身坐标系作为参考坐标系, z 轴向上, y 轴向右, x 轴向后^[3],建立的悬架模型如图 2 所示。

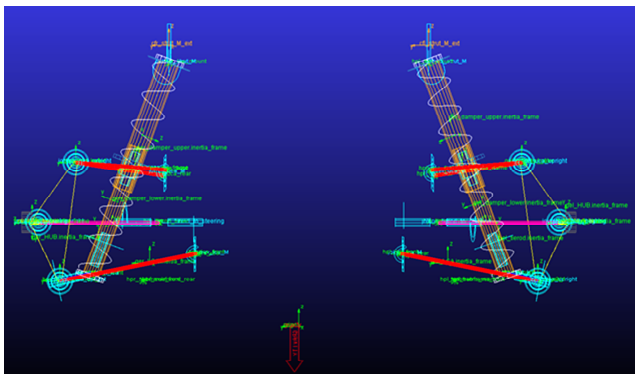


图 2 双横臂悬架模型

考虑到车辆悬架硬点坐标等因素的变化会引起车轮定位参数发生改变,这里对建立的悬架系统进行平行轮跳仿真试验,仿真步数设置为 100,车轮上跳 50 mm,下跳 50 mm。仿真结果如表 1 所示。

表 1 双横臂悬架车轮定位参数

(°)				
项目	主销后倾角	主销内倾角	车轮外倾角	车轮前束角
试验参数	0.74~2.3	5.38~10.28	2.26~-2.62	-0.017~-2.67
初始定位参数	0.015 6	7.68	0	0

当主销后倾角较大时,能够提高汽车在直线行驶时的稳定性, $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 为前轮驱动轿车的一般范围;但主销后倾角过大时,转向沉重,不利于转向。所以对于前置前驱汽车来说,主销后倾角应设置合适的范围。

主销内倾角能够使车轮产生回正力矩,从而使汽车具有自动回正功能,但角度过大会增加转向时车轮与道路间的摩擦,导致转向沉重,加剧轮胎磨损,一般主销内倾角 $\leq 8^{\circ}$,优化前的主销内倾角最大为 10.281° ,需要适当减小其值。

车轮外倾角可减小悬架发生变形时车轮的内倾趋势。车辆直行车轮跳动时,车辆外倾角的变化对车轮产生外倾推力和横向力,影响车辆直行的稳定性,故车轮外倾角不宜过大。车辆转向时,外倾角使内外两侧车轮发生反向变化,降低侧偏性能,增加转向附着力。通常车轮外倾角的变化范围为 $+0.5^{\circ} \sim -2^{\circ}$,因此需对车轮外倾角进行优化。

车轮前束角能抵消外倾角产生的外滚,减小车轮磨损。在车轮上跳过程中,前束角需逐渐减小,多设计为 0 至弱负的变化范围,在车轮上跳时理想的前束角变化范围为 $0^{\circ} \sim -0.5^{\circ}$ 。本文车轮上跳时前束角变化范围为 $-0.0169^{\circ} \sim -2.6165^{\circ}$,基本符合此要求。

2 ADAMS/INSIGHT 试验设计优化

2.1 响应曲面法研究

响应曲面法是指在一个过程或系统中,研究其响应与因子之间的关系。响应曲面法是对曲面进行合理的多项式拟合,当达到近似或等于真实的响应函数时,对多项式的求解过程就等同于对真实的响应过程^[2]。此方法适用于因子初始值为定值的研究。

设响应输出与因子为非线性关系时,采用二阶或更高阶的多项式进行拟合,二阶响应曲面模型见公式(1)。

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \epsilon \quad (1)$$

其中 β_i 为 x_i 的线性效应; β_{ij} 为 x_i 与 x_j 之间的线性交互效应。

2.2 D Optimal 设计法

试验设计算法有单因子设计法、部分因子设计法、全因子设计法、D Optimal 设计法等,这里采用系统性试验方法 D Optimal 设计法。设某系统试验回归模型如下:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \dots + \beta_k x_{kj} + \epsilon_j \quad (2)$$

$$V_{(\epsilon)} = \frac{(m+2)^{\frac{m}{2}} \pi^{\frac{m}{2}}}{\left(\frac{m}{2} + 1\right) \sqrt{A(\epsilon)}} \quad (3)$$

其中 $A(\epsilon)$ 为试验设计信息。

2.3 优化目标选取

首先要定义设计目标,根据悬架振动特性要求,选择车轮前束角、车轮外倾角、主销内倾角以及主销后倾角作为优化目标。为了寻找优化目标与各因子之间的关系,找出各因子的最佳组合设计,使设计变量因子和目标函数响应的拟合度更精确,利用 ADAMS/INSIGHT 进行联合优化,依次对每个目标函数进行迭代计算,得到拟合结果,再根据此结果,分析各影响因子对目标函数的敏感程度,得到车轮前束角、车轮外倾角、主销内倾角以及主销后倾角的灵敏度影响因子,以及硬点坐标所对应的定位参数的响应百分比。

车轮定位参数对悬架硬点的敏感程度有所不同,且硬点对车轮定位参数的影响是交叉混合的,试验次数会随着设计变量的增长呈指数增长趋势,这将会导致工作量增加,因此应首先考虑车轮定位参数对各个硬点的敏感程度,选取影响较大的因素作为设计参数。这里优化变量选择 7 个硬点,即悬架上横臂的前点(lca_front)、外点(lca_outer)、后点(lca_rear),悬架下横臂的前点(uca_front)、外点(uca_outer)、后点(uca_rear),转向横拉杆的外点(tierod_outer)。x、y、z 方向上共有 21 个设计变量。

3 基于 ADAMS/INSIGHT 悬架优化仿真分析

先运行一次双轮同向跳动仿真试验,上下跳动量设置为 ± 50 mm,在不影响仿真精度的条件下,为节省时间,仿真步数设置为 10 步;为缩短试验时间,可采取 256 次试验,可以保证实现所有可能发生的情况。在 INSIGHT 中优化策略选择响应曲面法,其类型选择 D Optimal 设计法^[4]。

优化硬点坐标结果如表 2 所示。

表 2 优化前后硬点坐标对比

项目	lca_front	lca_outer	lca_rear	tierod_outer
优化前	(-168,-293,210)	(-4,-690,130)	(162,-308,206)	(150,-752,300)
优化后	(-158,-283.01,200)	(-9.024 8,-704.88,140)	(158.82,-298,196)	(150.82,-774.69,290.22)

项目	uca_front	uca_outer	uca_rear
优化前	(-81,-381,451)	(5,-644,473)	(88,-391,434)
优化后	(-71,-386.08,461)	(-3.658 8,-688.98,463)	(89.27,-388.68,444)

目标变量优化结果如图 3—图 6 所示。与前文优化前的主销后倾角相比,优化后的主销后倾角有所下降,由优化前的 0.738 1°~2.294 8°降低到优化后的 0.085 8°~1.766 4°,符合设计要求,而且主销后倾角的降低能够使转向轻便,减小转向所需横向力。由前文可知,主销内倾角是需要优化的,主销内倾角由优化前的 5.368 9°~10.281°降低到 5.081°~8.033 2°,符合设计要求,且减小了轮胎磨损。

车轮外倾角的变化会使得外倾推力引起横向力,因此要保持车轮直行的稳定性,就要使车轮外倾角变化范围减小,车轮外倾角由优化前的 2.259 2°~ -2.616 5°降低到优化后的 1.259 7°~ -1.677°,符合设计要求。

汽车行驶时要保持车轮前束角较小,车轮前束角由优化前的 0.682 6°~ -0.557 3°降低到优化后的 0.562 6°~ -0.360 6°,提高了车辆的行驶稳定性。

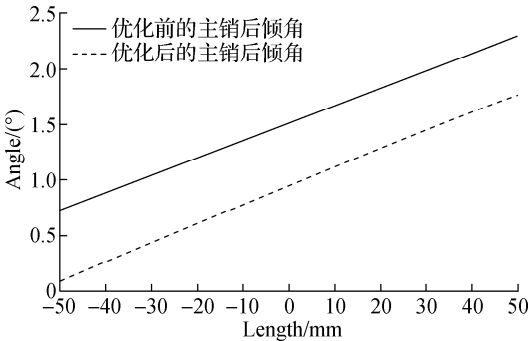


图 3 优化前、后的主销后倾角比较

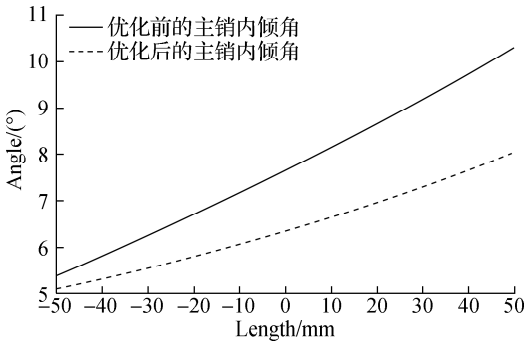


图 4 优化前、后的主销内倾角比较

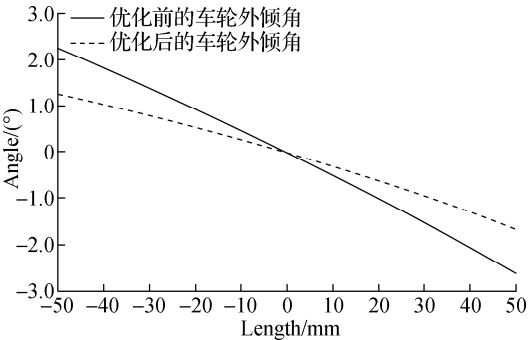


图 5 优化前、后的车轮外倾角比较

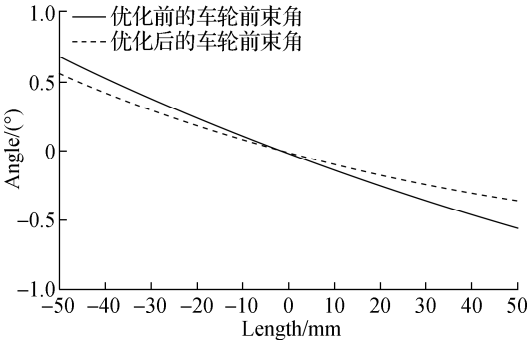


图 6 优化前、后的车轮前束角比较

4 整车平顺性仿真分析

为了进一步分析优化后悬架对整车振动特性的影响,利用 ADAMS 软件对整车平顺性进行仿真分析,以汽车通过规定形状的凸起路面的振动情况为依据,评价整车平顺性。以包含所设计双横臂悬架的整车模型为仿真对象,模拟汽车通过三角形凸块,进行不同车速的仿真试验,比较悬架优化前后所引起的变化,进而判断汽车的平顺性是否可通过改变悬架硬点坐标来加以改善^[5]。测得底盘垂直加速度如图 7、图 8 所示。

由图 7、图 8 底盘垂直加速度最大值可知,在 10、20、30、40、50、60 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,优化后的底盘垂直加速度均有所减小。例如在 30 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时底盘垂直最大加速度由优化前的 0.958 7 g 减小到优化后的 0.859 1 g。

由此可知,通过优化悬架硬点坐标,使得悬架的运动特性有所提高,整车平顺性得到改善。

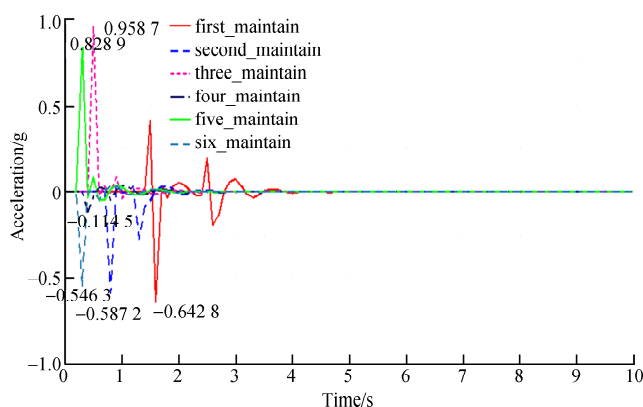


图 7 优化前 10~60 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 车速时底盘垂直加速度示意图

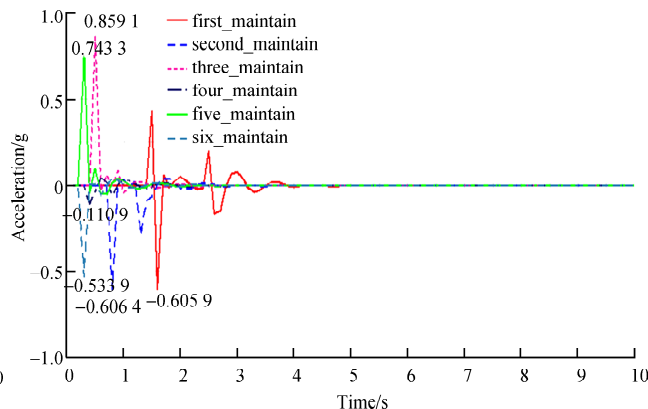


图 8 优化后 10~60 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 车速时底盘垂直加速度示意图

5 结 语

以某车型的双横臂悬架为例,利用 ADAMS 软件进行仿真分析。基于响应曲面法和 D Optimal 设计法,通过 INSIGHT 模块对悬架硬点坐标进行了优化。为了进一步分析悬架对整车振动特性的影响,最后对整车平顺性进行了仿真分析。结果表明:优化后的悬架能够改善整车振动特性,对汽车振动特性的评估和优化具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 郎长俊. 基于虚拟样机的双横臂悬架设计与整车平顺性仿真[D]. 南京:南京航空航天大学,2010
- [2] 张向东. 汽车双横臂独立悬架动力学建模与优化设计[D]. 长春:吉林大学,2017
- [3] 王琳,韦鹏,梁玉瑶. 基于 ADAMS 的双横臂前悬架参数优化设计[J]. 噪声与振动控制,2019,39(4):120-124
- [4] 覃紫莹,廖抒华,黎炯,等. 基于 ADAMS/INSIGHT 的双横臂悬架硬点优化[J]. 汽车零部件,2019(3):49-51
- [5] 智淑亚,许牧天,李维秋,等. 基于 ANSYS 的车架有限元分析[J]. 金陵科技学院学报,2019(2):1-5

(责任编辑:谭彩霞)

本刊“工程技术”栏目稿约

《金陵科技学院学报》是面向国内外公开发行的自然科学学报(季刊),曾获“中国高校特色科技期刊”称号,是江苏省一级刊物。“工程技术”栏目是本刊创刊以来的固定栏目。

特长期向校内外作者征集以下学科的文章:软件工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、信息与通信工程、控制科学与工程、建筑学、土木工程、机械工程、材料科学与工程等。优先发表省部级以上基金项目的阶段性成果,按质择稿,优稿优酬。欢迎广大作者踊跃投稿,我们将提供高效优质的服务,快速审稿,来稿必复。

《金陵科技学院学报》编辑部