新型运动款汽车前悬架设计及参数化分析

姜立标 刘永花 谷方德 魏 韬

(哈尔滨工业大学 汽车工程学院,威海 264209)

摘 要: 为了满足人们对个性的追求,提出了设计新型运动款汽车的设想. 根据整车设计参数及悬架设计理论设计了前双横臂独立悬架;基于 ADAMS/View建立了该悬架的虚拟样机模型,对该悬架进行设计研究,通过分析得知,上、下横臂与水平面的安装角度这两个设计变量对悬架的各性能评价指标影响均较大,不仅可以改变变化量的大小,甚至可以改变变化趋势;转向拉杆断开点的位置对车轮前束角的影响很大;对该悬架进行优化设计,优化目标不仅考虑到性能指标的变化量,同时考虑了变化趋势对操纵稳定性的影响,变化趋势保证了汽车具有不足转向特性和回正特性. 优化结果显示所设计悬架系统满足悬架设计要求,悬架的性能指标参数达到了理想的变化范围.

关 键 词: 汽车悬架; 优化设计; 参数化分析

中图分类号: U 461. 6

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2010)04-0482-04

Design and parametric analysis of front suspension of new sport car

Jiang Libiao Liu Yonghua Gu Fangde Wei Tao

(Department of Automotive Engineering, Harbin Institute of Technology, Weihai 264209, China)

Abstract: To satisfy people's pursuing for individuality, an assumption of designing a new sport car was presented. Front double-wishbone suspension was designed basing on the whole vehicle's design parameters and suspension design theories. Suspension's virtual prototype modeling was built in ADAMS/View. By doing the design study, the assembly angles with horizontal plane of lower control arm and upper control arm were the best influential design variable on each appraisable target of suspension's performance. These two design variable could change not only the size variation but also the trends. Cut-off point of tie rod influences toe angle greatly impacted wheels toe angle. When consider performance change and variation trend influences, optimization design was done. Lack of cornering and back to performance were ensured. The optimization results meet the demands of suspension design, and show that the suspension performance parameters achieve the ideal variation range, and is the combination of production, experiment and research.

Key words: vehicle suspension; optimization; parametric analysis

随着汽车的普及,人们已不再满足普通汽车代步的功用,越来越多的人追求充满操控乐趣的轻型跑车. 为了满足人们的这种需求,借鉴了国外先进的设计理念,本文提出了设计新型三轮跑车的设想.

该款车采用前两轮后一轮的布局,有利于改善高速行驶的稳定性;动力系统采用川崎(Kawasaki) ZZR1100cc发动机及变速器系统,动力强劲;链条传动,后轮驱动,省去了差速器,减轻了车体重量;在变速器与驱动轮之间加装倒档器,方便倒车. 该车重量轻、尺寸小,时速超过 200 km/h,动力性及经济性达到了高度的统一,同时具有灵活的机动性,是一款不折不扣的充满操控乐趣的轻型跑车.

收稿日期: 2009-04-03

基金项目: 哈尔滨工业大学(威海)研究基金资助项目(HIT(WH)ZB200813); 山东省自然科学基金资助项目(Y2007G19)

作者简介: 姜立标(1965-),男,黑龙江绥化人,副教授, jlb620620@163.com.

悬架是汽车底盘中最重要也是车型变型时经常需要进行重新设计的部件,它直接影响到汽车的行驶平顺性、操纵稳定性等整车性能.本文首先根据悬架设计理论及整车设计参数设计前悬架系统,并建立了三维模型;然后基于 ADAMS/View对前悬架进行参数化建模,并对其进行设计研究;最后对其进行优化设计,并依此制造了样车.

1　前悬架的设计

参考文献[1-3],通过分析对比常见独立悬架的运动学特性可知,双横臂悬架可以最大限度使轮胎和路面亲密接触而不会丧失抓地能力,对于不等长双横臂悬架,只要适当选择、优化上下横臂的长度,并通过合理的布置就可以使轮距及前轮定位参数变化均在可接受的限定范围内,保证汽车具有良好的操纵稳定性.因此,该车前悬架选用双横臂式独立悬架.

表 1所示为整车设计参数,根据该参数及悬架设计理论设计悬架的尺寸参数及前轮定位参数如表 2所示.

表 1　整车设计参数

参数	轴距/mm	前轮距/mm	整备质量/kg	总质量/kg	空载轴荷分配/kg	满载轴荷分配/kg
数值	2000	1500	400	550	220/180	280/270

表 2　悬架尺寸及前轮定位参数

参数	上横臂长/mm	下横臂长/mm	主销内倾角/(°)	主销后倾角/(°)	前轮外倾角/(°)	前束角/(°)
数值	445	610	10.8	2.4	1	0.9

根据悬架参数及前轮定位角在 CATIA里建立前悬架系统三维模型如图 1所示.

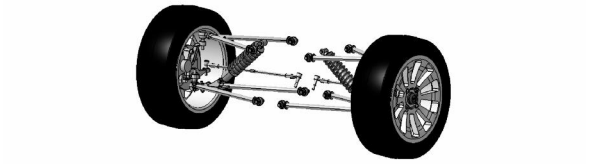


图 1　前悬架系统三维模型

2　前悬架参数化建模

双横臂独立悬架是由多节点连接的 RSSR空间机构[3],系统主要部件有上横臂(Uca, upper controlarm)、下横臂(Lca, lower controlarm)、转向节(Knuckle)、转向拉杆(Tie rod)、测试台(Test plane)、地面(Ground,由于车身固定在地面上,因此车身和地面视为一体),它们之间由铰链连接,并提供给其一个位移驱动,使其能绕轴上下转动[4].图 2所示为双横臂悬架的连接关系.

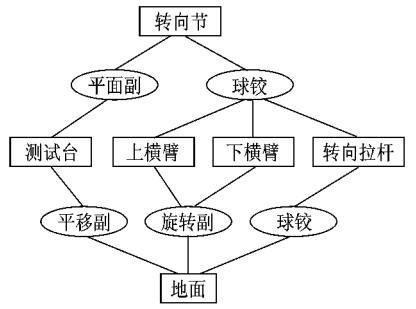


图 2　双横臂悬架模型拓扑结构

ADAMS/View提供了强大的参数化建模功能.在建立模型时,确定相关的关键变量,并将这些关键变量设置为可以改变的设计变量[5].本文将通过参数化点的方法建立前悬架模型.点坐标参数化时,修改点坐标值,与参数化点相关联的对象都得以自动修改.以两前轮接地中心连线的中点作为绝对坐标原点,创建 14个参数化点,根据悬架各部分连接关系(图 2)建立了双横臂独立悬架的模型如图 3所示.

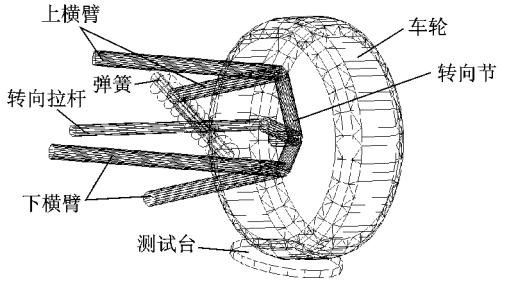


图 3　双横臂悬架参数化模型

本文主要针对双横臂悬架的运动学问题进行分析,不考虑其动力学特性,因此对模型做了如下简化与假设:

1) 悬架中各零部件以及轮胎均为刚体;

2) 减震器阻尼特性为线性;

3) 零部件之间的铰接内部间隙不计,各运动副内的摩擦力忽略不计.

3　前悬架运动学仿真及优化设计

悬架运动学的主要研究内容是车轮定位参数及轮距与悬架弹簧变形(或车轮跳动量)的关系[6].这些参数的变化会使车轮的地面附着情况及滚动趋向发生变化,进而影响车辆的动力性、制动性和操纵稳定性等性能,因此希望这些参数的变化尽可能小[7].同时,还要注意这些参数随车轮跳动的变化趋势,变化趋势对整车的操纵稳定性也有一定的影响.

3.1　悬架运动特性评价指标

评价悬架运动特性的指标主要有车轮定位参

数(前轮外倾角、主销后倾角、主销内倾角、车轮前束角)及车轮侧向滑移量.

3.2 前悬架的设计研究

设计变量的选取影响到仿真过程中样机性能的变化特性[7],这是设计研究主要考虑的内容.选取的设计变量要对样机性能有较大的影响,因此本文定义了5个设计变量,如表3所示.

表3 设计变量

名称	位置	说明
DV1	下横臂与车架前铰接 x方向	控制下横臂长度
DV2	下横臂与车架前铰接 y方向	控制下横臂安装角
DV3	上横臂与车架前铰接 x方向	控制上横臂长度
DV4	上横臂与车架前铰接 y方向	控制上横臂安装角
DV5	转向横拉杆断开点 x方向	控制转向拉杆断开点

设计变量设置在标准值左右,分别进行两次试验,加标准值总共5次.每一次的浮动值按标准值的15%计算,然后定义车轮定位参数及车轮侧向滑移量的测量函数,以此研究哪些设计变量对样机性能影响的灵敏度较高.仿真时在地面和测试平台之间移动副上创建驱动方程:$S = 100 \times \sin(360d \times t)$,即悬架行程为200 mm.运行设计研究后得到各个设计变量对测量函数的灵敏度如表4所示.可知,变量DV2对各个测量函数的敏感度最高,即下横臂与水平面的安装角度对样机性能变化影响最大;其次变量DV4即上横臂与水平面的安装角度对各个测量函数的敏感度也较高,对悬架进行优化设计时要主要针对这两个因素进行优化分析.同时应该注意到,相比对于其他测量函数灵敏度的大小,变量DV5对车轮前束角的灵敏度最高,说明转向拉杆断开点的位置对车轮前束角的变化有较大影响.

表4 设计变量对测量函数的灵敏度

设计变量	初始值	初始值处敏感度				
		主销后倾角	主销后倾角	前轮外倾角	车轮前束角	车轮侧向滑移量
DV1	80	-8.3507×10^{-6}	-0.0010689	0.0025443	0.0015442	-0.025233
DV2	235	-0.00016969	-0.022075	-0.031331	0.043214	-0.19014
DV3	195	7.3968×10^{-6}	0.00094694	-0.0069245	0.00037499	0.016243
DV4	481	0.00015295	0.021492	0.015695	0.029126	0.089210
DV5	62.5	1.3943×10^{-10}	1.7848×10^{-8}	0.00019927	-0.0021030	-0.0010012

设计变量变化时,不仅影响测量函数变化量的大小,而且还会影响变化趋势,这将会影响整车的操纵稳定性.

3.3 前悬架的优化设计及仿真结果分析

通过ADAMS/View的优化分析功能对前悬架系统进行优化设计,在车轮数变化量基础上,以前轮外倾角的变化量为目标函数进行优化分析,设计变量DV2和DV4的浮动值按前值的5%选取;考虑到变量DV5对车轮前束角的影响,再针对变量DV5进行优化分析.经过数次优化分析及仿真试验,而且考虑到制造安装方便,对结果进行了圆整,最终优化结果:DV2取240,DV4取500,DV5取185.

根据优化分析结果修改原模型中相应参数,通过仿真分析,得到车轮4个定位参数及车轮侧向滑移量随车轮上下跳动的变化特性曲线.图4~图8所示为优化后与优化前变化特性曲线的对比.

1)前轮外倾角(图4),变化0.707°,且具有随车轮下落而减小的趋势,这有利于提高操纵稳定性;但随车轮上跳时同样减小,虽然这不符合操纵稳定性的要求,但是能够提高车轮的侧偏性能,而且变化范围较小,满足设计要求.

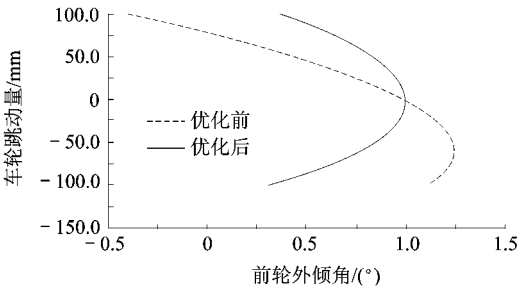


图4 前轮外倾角特性曲线

2)主销后倾角(图5),变化0.0056°,且具有随车轮上跳而增加的趋势,满足操纵稳定性的要求,能够改善制动时的行驶稳定性.

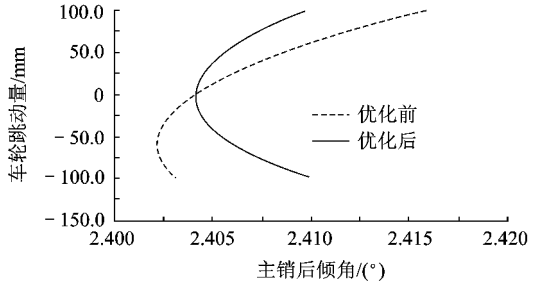


图5 主销后倾角特性曲线

3)主销内倾角(图6),变化0.676°,且具有随车轮下落而增加的趋势,有利于提高操纵稳定性,但是随车轮上跳也有增加的趋势,对操纵稳定

性有一定的影响.

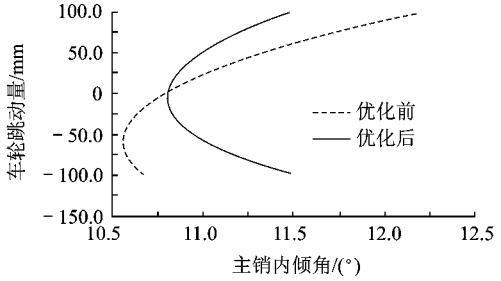


图 6　主销内倾角特性曲线

4) 车轮前束角 (图 7),变化 1. 605 °,而且变化趋势完全与优化前相反,随车轮上跳减小,下落增大,这使得悬架具有侧倾不足转向特性,有利于改善汽车的操纵性能.

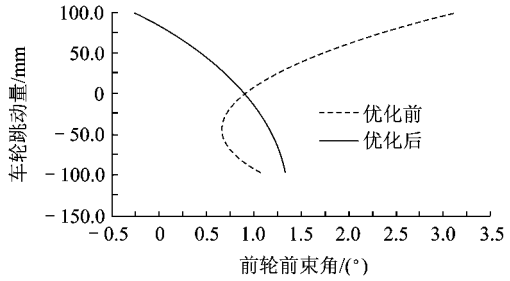


图 7　车轮前束角特性曲线

5) 车轮侧向滑移量 (图 8),在 - 6. 32～0. 034mm之间变化,满足当车轮上下跳动时,轮距变化量应为 - 10～10 mm 的要求,且变化范围小,减轻了轮胎的磨损.

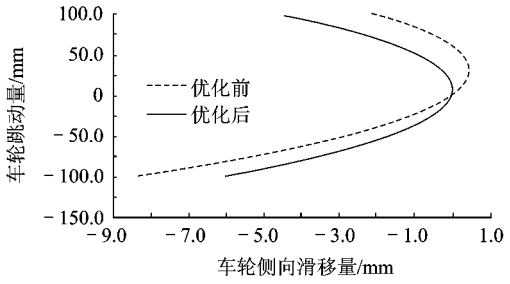


图 8　车轮侧向滑移量特性曲线

根据本文所设计的悬架系统生产的样车如图 9所示.



图 9　第一台样车

4　结　论

1) 基于 ADAMS/View的参数化分析有利于了解各设计变量对样机性能的影响,针对影响最大的变量进行优化设计,提高了悬架的设计速度与设计质量.

2) 通过 ADAMS/View的设计研究可知,上下横臂与水平面的安装角度这两个设计变量对悬架的各性能评价指标影响均较大,不仅可以改变变化量的大小,甚至可以改变变化趋势;转向拉杆断开点的位置对车轮前束角的影响很大,减小转向拉杆的长度可以减小车轮前束角的变化量.

3) 通过仿真分析得出,悬架主要性能指标在车轮上下跳动时的变化量小,变化趋势保证了汽车具有不足转向特性和回正特性,有利于提高操纵稳定性. 只有前轮外倾角及主销内倾角在车轮上跳时的变化趋势对操纵稳定性不利,但是变化范围小,对操纵稳定性不会造成太大的影响.

4) 本文所设计的悬架系统满足悬架设计要求,悬架的性能指标参数达到了理想的变化范围,能够指导实践生产.

参考文献 (References)

[1] 姜立标,倪强. 基于 ADAMS/View的 6 ×6越野车前独立悬架参数化设计与分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(2): 249 - 252
Jiang Libiao, Ni Qiang. Parametric design and analysis of front independent suspension of 6 ×6 off-road vehicle with ADAMS/View[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(2): 249 - 252 (in Chinese)

[2] Staniforth A. Competition car suspension [M]. Yeovil: Haynes Publishing, 2002: 107 - 116

[3] Orlandea N, Chase M A. Simulation of a vehicle suspension with the ADAMS computer program [R]. SAE paper 770053, 1978

[4] 勾治践,鲍明全. 基于 ADAMS/VIEW 的双横臂式独立悬架机构运动学分析 [J]. 机械设计与制造, 2007, 8: 171
Gou Zhijian, Bao Mingquan. Kinematic analysis of double wishbone independent suspension based on ADAMS/VIEW [J]. Machine Design and Manufacturing, 2007, 8: 171 (in Chinese)

[5] 陈立平,张云清,任卫群,等. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005: 265 - 268
Chen Liping, Zhang Yunqing, Ren Weiqun, et al. Dynamic analysis of mechanical systems and ADAMS application tutorial[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 265 - 268 (in Chinese)

[6] 姜立标,张冠哲,谷方德,等. 新型三轮跑车操纵稳定性仿真分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(8): 32 - 35
Jiang Libiao, Zhang Guanzhe, Gu Fangde, et al. Handling stability analysis of new three wheels sport car[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(8): 32 - 35 (in Chinese)

[7] Donald B. Car suspension and handling[M]. London: British Library Cataloguing in Publication Data, 1987: 23 - 28

(编　辑:李　晶)