

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.09.014

农用沙滩车的悬架与转向系统优化研究*

杨旭志¹, 陆华忠^{2*}, 吕恩利²

(1. 广东农工商职业技术学院 机电系, 广东 广州 510507; 2. 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要:针对某国产沙滩车在应用于农业生产研发、进行行车实验研究时,存在前轮侧滑量偏大引起轮胎磨损较大、转向横拉杆容易出现断裂等问题。通过对原车的结构特点、车辆参数和使用状态等方面进行了研究,对引起上述问题的原因进行了综合分析,最终确定了上下控制臂球销中心点等 10 个空间位置坐标作为控制目标要素,在 ADAMS/Car 模块中建立优化后的悬架与转向系统虚拟样机模型,采用多体运动学分析方法和多目标实验优化设计方法,对原车的悬架与转向系统存在的问题进行解决与优化,研究结果表明,优化后的车辆在轮胎磨损和操纵稳定性方面都有了较大改善,并对车辆在挂载与非挂载情况下的稳定性能进行了比较。

关键词:沙滩车;机械系统动力学自动分析;悬架;转向系统

中图分类号:U461.4;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)09-1214-04

Optimization of suspension and steering systems for agricultural ATV

YANG Xu-zhi, LU Hua-zhong, LV En-li

(1. Department of Mechanical and Electrical, Guangdong AIB Polytechnic College, Guangzhou 510507, China;
2. College of Engineering, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Aiming at to solve the problem of including significant wear of front wheels caused by major sideslip and vulnerability to fracture of the steering tie rods, in the running test. A virtual prototype model with optimized suspension and steering systems was built in the ADAMS/Car module, and the methods of multi-body kinematic analysis and multi-objective optimization and design experiments were employed to tackle the problems and optimize the suspension and steering systems of the original ATV. The results indicate that after optimization of the vehicle has greatly improved in tire wear and handling stability. the vehicle under the condition of mount and non-mount of stable performance are compared.

Key words: all terrain vehicle (ATV); automatic dynamic analysis of mechanical systems (ADAMS); suspension; steering system

0 引 言

沙滩车是一种广泛应用于农业、畜牧业、林业、狩猎、牧场经营、探险及军事等行业能适应各种地形的交通工具,在国内外得到了长足的发展。其具有车架结构简单、重量轻、越野能力强和方便改装的特点,所以被越来越多的年轻消费者所喜爱,同时,由于其具有一般车辆无法比拟的适应路面能力,并且能方便拖挂货架或者其它的附属装置,所以被越来越多的人用于农业生产,根据具体的农业生产项目需要,进行局部改装^[1]。

本项目将某国产沙滩车进行改造用于播种作业,为了解决样车在试车过程中出现的问题,本研究在 ADAMS/Car 模块中建立优化后的整车虚拟样机模型,通过综合采用多体运动学分析、数学分析和模拟分析的方法,对原车的悬架和转向系统进行优化设计。

1 悬架与转向系统仿真模型的建立

1.1 双横臂独立悬架模型的建立

原车的参数及结构特点如表 1 所示。

收稿日期:2015-03-30

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2013BAD19B01);广东省自然科学基金资助项目(S2012010010388)

作者简介:杨旭志(1983-),男,广东河源人,硕士,主要从事汽车检测与维修技术方面的研究。E-mail:zyyang@gdaib.edu.cn

通信联系人:陆华忠,男,教授,博士生导师。E-mail:huazlu@scau.edu.cn

表1 原车的参数及结构特点

参数	数据	参数	数据
轴距/mm	1 521	前轮距/mm	1 495
后轮距/mm	1 496	最大装载质量/kg	240
总质量/kg	345	最小转弯半径/mm	2 750
前悬架类型	双横臂独立悬架		
后悬架类型	单横臂独立悬架		
转向系统类型	齿轮齿条式转向器、断开式转向横拉杆		

悬架系统动挠度范围/mm ±100

双横臂独立悬架除了左右两侧横拉杆的长度不同外,左右对称于汽车纵向平面,本研究取左边 1/2 悬架进行分析,右边一半根据对称特性自动生成^[2-6]。前悬架的运动学简化模型如图 1 所示。

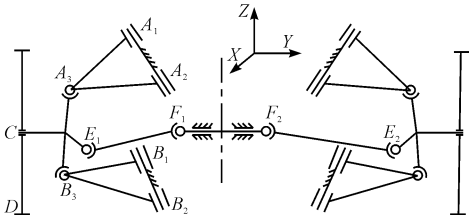


图1 1/2 双横臂前悬架结构简图

$A_1A_3A_2$ —上控制臂; $B_1B_3B_2$ —下控制臂; $A_3B_3E_1$ —转向节总成; E_1F_1 —转向横拉杆

关键点是原车的模型参数,坐标采用 ADAMS/Car 建模中默认的坐标系,原车前悬架模型硬点坐标如表 2 所示。

表2 原车前悬架模型硬点坐标

位置点	X 轴坐标/mm	Y 轴坐标/mm	Z 轴坐标/mm
A_1	212.33	-360.13	176
A_2	-13.7	-216.6	176
A_3	11.37	-595.26	115.7
B_1	-9.38	-594.03	-93.78
B_2	210.56	-358.73	-6.5
B_3	-13.1	-218.9	-6.5
C	0	-733.4	0
E_1	108.88	-585.52	21.74
F_1	76.9	-277	5.7
D	0	-731.3	-315.9

前悬架的结构及布置位置会直接影响到前轮定位参数,具体包括:主销内倾角、主销后倾角、车轮外倾角、车轮前束量和车轮侧向滑移量等^[7-9]。通过合理选择车轮外倾角与前束角可以抵消由于外倾角 γ 与前束角 λ 引起的侧偏,达到减小轮胎侧向滑移、降低轮胎磨损的目的。

根据该车的实际情况,笔者设定车轮外倾角 γ 为 1° ,前束角 λ 为 0.2° 。主销后倾角与主销内倾角可以产生回正力矩,直接影响车辆前轮转向回正性能和车辆直线行驶的稳定性。由于沙滩车具有重量轻和行驶路况复杂的特点,所以前轮主销后倾角初始值定为 8° 左右,主销内倾角为 5° 左右^[10]。

原车与改进后的前轮定位参数列表如表 3 所示。

表3 原车型与改进车型的前轮定位参数

前轮定位参数	车轮前束角(λ)	车轮外倾角(γ)	主销内倾角(ψ)	主销后倾角(φ)
原车型	0°	0°	4°	6.4°
新车型	0.2°	1°	5.2°	8.5°

1.2 前悬架与转向系统优化设计

为了使悬架能够与整车更好的匹配,保持车辆的操纵稳定性,并解决原车型存在的问题缺陷,本研究确定了上下控制臂球销中心点 A_3, B_3 的坐标、横拉杆外点球销中心点 E_1 的坐标、转向横拉杆断开点球销中心点 F_1 在 Z 轴方向坐标等 10 个设计变量,即:

$$X = [A_{3x}, A_{3y}, A_{3z}, B_{3x}, B_{3y}, B_{3z}, E_{1x}, E_{1y}, E_{1z}, F_{1z}]^T$$

双横臂独立悬架及转向系统的运动学特性优化目标函数为:

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^3 P_i \cdot f_i \tag{1}$$

式中: f_1 —车轮上、下跳动时,前轮定位参数变化量平方的加权和; f_2 —车轮上、下跳动时,前轮侧向滑移量绝对值的加权和; f_3 ——侧车轮实际转角与由阿克曼定理确定的转角之差的绝对值加权和; P_i —加权系数,

且 $P_i \geq 0, \sum_{i=1}^3 P_i = 1$ 。

考虑到各个影响因素的重要程度,笔者采用专家赋权的方法确定, $P_1 = 0.4, P_2 = 0.4, P_3 = 0.2$ 。

考虑到双横臂悬架及转向系统的空间布置的可能性和合理性,笔者确定如下约束条件:

(1) 上、下控制臂球销中心点 A_3, B_3 、横拉杆外点球销中心点 F_1 只能在有限的空间中变化,故可得到:

$$\begin{aligned} A_{3x} &\in \{A_{3x\min}, A_{3x\max}\} \\ A_{3y} &\in \{A_{3y\min}, A_{3y\max}\} \\ A_{3z} &\in \{A_{3z\min}, A_{3z\max}\} \\ B_{3x} &\in \{B_{3x\min}, B_{3x\max}\} \\ B_{3y} &\in \{B_{3y\min}, B_{3y\max}\} \\ B_{3z} &\in \{B_{3z\min}, B_{3z\max}\} \\ F_{1z} &\in \{F_{1z\min}, F_{1z\max}\} \end{aligned}$$

(2) 转向梯形的底角 θ ,纵向平面内上、下控制臂轴线与水平面的倾角 φ_1, φ_2 的变化应在一定的范围内,故可得到:

$$\begin{aligned} \theta &\in \{\theta_{\min}, \theta_{\max}\} \\ \varphi_1 &\in \{\varphi_{1\min}, \varphi_{1\max}\} \\ \varphi_2 &\in \{\varphi_{2\min}, \varphi_{2\max}\} \end{aligned}$$

2 优化结果与分析

本研究在 ADAMS/Car 建立原车型前双横臂式独

立悬架及转向系统模型^[11],将车轮上、下跳动的范围设置为 ± 100 mm 时,可以得到前束角和车轮外倾角的变化曲线如图 2 所示。

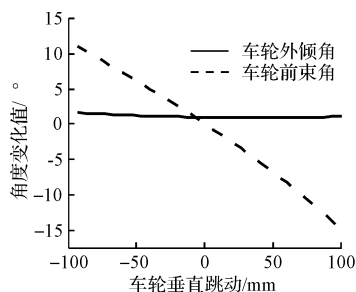


图 2 原沙滩车的车轮前束角和外倾角变化图

由图 2 不难发现,车轮上、下跳动过程中,车轮外倾角的变化较为平缓,几乎没有太大波动,但车轮前束角变化范围较大,变化差值达到 10° 左右,这说明原沙滩车悬架系统与转向系统运动干涉比较严重,从而造成前轮侧滑量偏大而引起轮胎的严重磨损,转向横拉杆易断裂、球头磨损严重等不良情况。

为了解决原车型存在的诸多问题,本研究利用 ADAMS/Insight 模块来进行悬架与转向系统的分析与优化:

首先,将之前确定的 10 个设计变量作为影响因素,并进行实验设计分析,最终确定 A_3 、 B_3 、 E_1 、 F_1 这 4 个点的 Z 坐标作为主要影响因素进行控制,并运用多目标控制计算方法,进行最优化设计,得到最优化的变量。

利用优化后的各个硬点坐标,重新建立悬架与转向系统模型,进行改进后的沙滩车的悬架系统运动学分析,得到其前轮定位参数的变化曲线如图 3、图 4 所示。

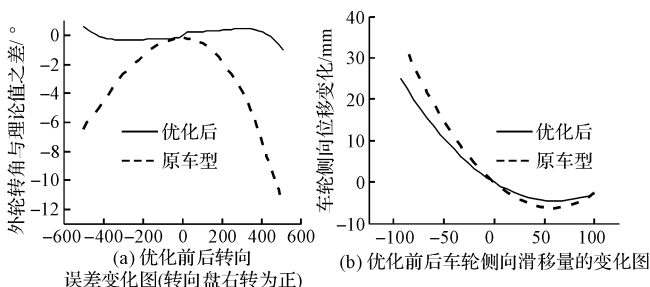


图 3 优化前后转向稳定性变化图

由图 3 不难发现,图 3(a) 中的外轮转角偏差不随方向盘转角的变化而有较大波动,内、外车轮之间的转角关系基本满足阿克曼转向理论,这样将有助于减少轮胎磨损,减少悬架系统与转向系统的运动干涉,并有助于解决横拉杆易断裂、球头磨损等问题。

图 3(b) 中显示优化后的车型前轮侧向滑移量减少,这将有助于因此而造成轮胎的过度磨损。

由图 4 不难发现,图 4(a) 中前轮前束值的变化范围及变化波动的斜率得到了较大的改善,从而有效改

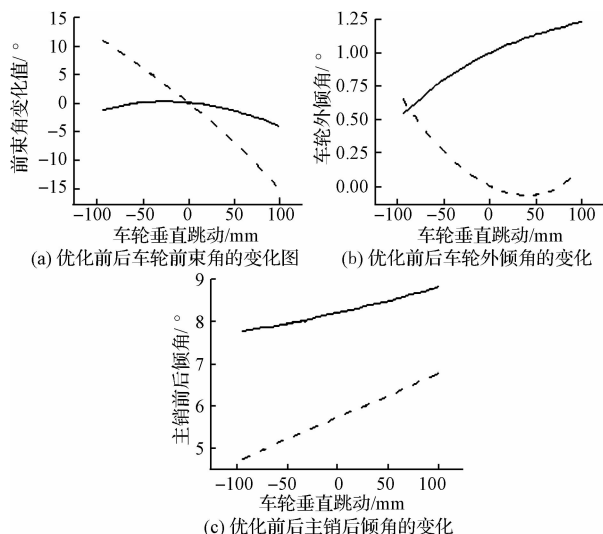


图 4 优化前后前轮定位参数变化图

善了由此引起的悬架系统与转向系统的运动干涉及相关问题。

图 4(b)、4(c) 显示,优化后前轮外倾角及主销后倾角在车轮垂直跳动时变化的绝对值都得到了较大改善,有助于解决跳动过程中造成方向盘回正力矩时大时小及操纵稳定性欠佳等问题。

影响汽车操纵稳定性的因素有很多,前、后轴重量和承载变化是其中重要因素。笔者所研究的沙滩车主要用于播种、收割等农业生产,所以需要考虑牵挂了播种机和收割机后对车辆的稳定性所产生的影响。

在 ADAMS/Car 中,本研究将牵挂了辅助农业机械的车辆默设置为满载状态,将未牵挂辅助农业机械的车辆设置为空载状态,对空载和满载工况进行转向盘角阶输入试验,载荷增加使得侧向加速度和横摆角速度以及它们的稳定时间增加,使整车瞬态响应特性变差。

3 结束语

农业机械朝着轻量化、“一机多用”的趋势发展,本项目旨在探索将轻型的沙滩车作为牵引车辆,应用于农业生产。本研究采用的虚拟样机技术在汽车的设计研发中广泛使用,但是在农业机械开发中还不常见,所以,在进行农业机械设计改造时,可以尝试借鉴一些成熟的汽车开发技术和理念。

沙滩车原车存在前轮侧向滑移量偏大造成前轮磨损严重、悬架系统与转向系统运动干涉严重、转向横拉杆易断裂等问题,本研究通过对其进行多目标优化,在 ADAMS/Car 建立改进前后的模型实验测试对比,发现优化后的沙滩车能较好的避免原车型存在的问题。

考虑到该沙滩车需要适用于农业生产,所以还做了载荷变化情况下的操纵稳定性分析,后续可以考虑

将作业环境作为激励响应加入到项目研究之中,使研究具有更好的真实性。

参考文献(References):

[1] 阎春利,于建国. 四轮摩托车操纵稳定性分析[J]. 小型内燃机与摩托车,2010,39(1):42-44.

[2] 廖中文,王海林. 基于灵敏度分析的某汽车悬架布置方案优化[J]. 重庆工学院学报:自然学科,2009,23(6):5-8.

[3] 卞学良,白 杨. 轮式车辆双横臂悬架转向机构优化设计[J]. 兵工学报,2000(21):1-4.

[4] 陈 晓,秦冬晨. 某 MVP 麦弗逊前独立悬架的 ADAMS/View 建模与性能仿真[J]. 机械,2013(10):51-53,70.

[5] 张晓亮,于 英,龚晨俊. 组合式半挂车特殊工况下的液压悬架性能研究[J]. 液压气动与密封,2015(3):48-51.

[6] WITTENBURG J. Dynamics of Multibody System Second Edition[M]. Berlin:Springer,2007.

[7] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

[8] MANTARAS D A, LUQUE P. Development and validation of a three edimension kinematicmodel for the Mepherson steering and suspension mechanisms[J]. **Mechanism and Machine Theory**,2004,39(6):603-629.

[9] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 4 版. 北京:人民交通出版社,2002.

[10] 上官文斌,王江涛. 全地形越野车前双横臂独立悬架与转向系统的设计分析[J]. 汽车工程,2008,30(4):345-348.

[11] KAMATA Y, NISHIMURA H. System identification and attitude control of motorcycle by computer-aided dynamics analysis[J]. **JSAE Review**,2003(24):411-416.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

杨旭志,陆华忠,吕恩利. 农用沙滩车的悬架与转向系统优化研究[J]. 机电工程,2015,32(9):1214-1217.

YANG Xu-zhi, LU Hua-zhong, LV En-li. Optimization of suspension and steering systems for agricultural ATV[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(9):1214-1217.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>

(上接第 1185 页)

导设计方向的同时提供了具体的设计方案,有效、全面、灵活地提高了车身各项性能,实际指导意义更大。

通过轻量化分析实现减重的同时,系统性能也有所提升。该方法具有很强的通用性,不仅能够用在汽车车身设计中,还能用在底盘,零部件以及其他工程领域,具有很强的借鉴性与实际指导意义。

参考文献(References):

[1] 陈 虹. 上汽自主品牌产品开发的架构策略[J]. 汽车工程,2010,32(6):461-466.

[2] 靳玉涛. 汽车平台及发展趋势[J]. 汽车工程师,2010,13(10):57-60.

[3] 杨国培. 面向模块化的整车架构开发策略研究[J]. 上海汽车,2013,13(5):49-52.

[4] 刘显贵. 基于刚度灵敏度分析的轿车白车身结构优化[J]. 机械设计,2009(12):58-61.

[5] 陈 鑫. 轿车车身静刚度计算及静态竖直弯曲刚度优化分析[J]. 汽车技术,2004,32(1):32-36.

[6] PADMANABAN R, WADHEAR Y, SHEH M. Mesh morphing based shape optimization of a clutch lever[C]//Abaqus Global User Conference. Baston: [s. n.],2004:1-33.

[7] 潘金坤. 基于 MeshWorks/Morpher 和 Isight 的液压机上横

梁结构优化[J]. 制造技术与机床,2011,32(12):77-80.

[8] DONALD R, JONES G M. A taxonomy of global optimization method based on response surfaces[J]. **Journal of Global Optimization**,2001,21(4):345-383.

[9] ROUSSELET B, HANG E J. Design sensitivity analysis in structural mechanics,III,effects of shape variation[J]. **Journal of Structural Mechanics**,1983,10(3):273-310.

[10] 张代胜,张林涛,谭继锦,等. 基于刚度灵敏度分析的客车车身轻量化研究[J]. 汽车工程,2008,30(8):719-720.

[11] 夏国林. 轿车白车身动态特征灵敏度分析及优化设计[J]. 汽车技术,2008,10(1):45-50.

[12] 郝 琪. 车门结构优化设计的灵敏度分析研究[J]. 汽车技术,2010,6(1):521-525.

[13] 曹文钢,曲令晋,白迎春. 基于灵敏度分析的客车车身质量优化研究[J]. 汽车工程,2009,31(3):279-281.

[14] 胡志远,浦耿强,高云凯. 轻型客车车身刚度灵敏度分析及优化[J]. 机械强度,2003,25(1):67-70.

[15] 周达达,陈国金,龚友平. 基于 Isight 的多学科优化方法研究[J]. 机电工程,2009,26(12):78-81.

[16] 刘宝越,刘静岩. 基于 Isight 的白车身轻量化多学科优化方法研究[C]. 2012 年 SIMULIA 用户大会,2012:34-39.

[编辑:李 辉]