

汽车共享底盘悬架仿真模块的开发与应用*

董希状¹, 宁晓斌^{1*}, 张 杰²

(1. 浙江工业大学 车辆工程研究所, 浙江 杭州 310014; 2. 万向集团 技术中心, 浙江 杭州 311215)

摘要:为分析共享底盘对不同车型操纵稳定性的适应性,在 Windows 环境下,以 VC++6.0 和 ADAMS/Car 为平台,开发了共享底盘悬架专用分析模块,通过该模块能够快速建立前、后悬架以及整车的参数化模型并完成运动学和操稳性的分析,在较大程度上提升分析的效率。应用该模块,首先对两款采用共享底盘车型 H1、C2 的前、后悬架进行运动学仿真分析;然后建立该两款车型的整车仿真模型,并根据国家标准进行稳态回转仿真分析和计分评价。仿真结果表明,该两款车型都拥有良好的稳态回转特性。

关键词:共享底盘;仿真;悬架;稳态回转特性

中图分类号:TH122;U463.1

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)10-0034-05

Development and application of an analysis module for suspension of shared chassis based on handling stability

DONG Xi-zhuang¹, NING Xiao-bin¹, ZHANG Jie²

(1. Institute of Vehicle Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Technical Center, Wanxiang Group, Hangzhou 311215, China)

Abstract: In order to analysis the adaptation of handling stability for different type cars with same chassis, VC++6.0 and ADAMS/Car were used as platforms to develop a module exclusively for suspension kinematic analyzing and vehicle handling analyzing in the Windows environment. By using the module, kinematic simulations of the front was firstly carried out, rear suspensions of two cars called H1, C2 that using shared chassis; then the parameterized models of H1, C2 were built and the cornering simulation and scoring evaluation were proceeded according to the Chinese National Standard; the results show that the cornering performances of H1, C2 are both qualified.

Key words: shared chassis; simulation; suspension; steady cornering performance

0 引 言

随着自主品牌汽车的快速发展,国内汽车产业正在从“开发车身、借用成熟底盘”向“自主开发、多车型共享底盘”过渡,企业对底盘总成系统的需求日益强烈,共享底盘平台的水平成为衡量一个汽车生产企业技术成熟度的标志。多车型共享底盘平台是当前国际主要汽车制造商的技术优势之一,可以在共用平台的基础上,针对具体车型的细分市场分析,对共用平台进行局部调整,甚而沿用现有平台,开发出能满足不同市场需求的车型,快速占领市场,赢得更大的市场份额和

利润^[1]。

从专业角度来说,平台共享是指同一套整车开发技术应用于不同车型,派生或衍生出多款车型。它意味着不同档次的车型在理论上可以在同一条生产线上生产,从而节省设计开发成本,提高生产效率^[2]。由于共享底盘可以衍生出多种车型,而各种车型对操稳性的要求都会有所不同,因此对衍生出的车型进行快速而准确的操稳性仿真和评价就显得非常必要^[3-5]。

本研究以 VC++6.0 为平台,开发了一套用于悬架运动学和共享底盘操稳性分析的专用模块。该模块以菜单和对话框为人机交互界面,通过调用多体动力

收稿日期:2010-03-18

基金项目:浙江省科学技术厅重大科技专项工业资助项目(2008C01002);浙江工业大学校级科学研究基金资助项目(20080174)

作者简介:董希状(1985-),男,浙江温州人,硕士研究生,主要从事汽车操纵稳定性方面的研究. E-mail: dxz19851203@126.com

通信联系人:宁晓斌,男,副教授. E-mail: nxb@zjut.edu.cn

学软件 ADAMS/Car, 快速地完成悬架和共享底盘的建模、悬架的运动学分析、共享底盘操纵稳定性分析以及优化, 并且在分析过程中自动完成有关数据的提取、管理和显示, 从而大大提升了对悬架和共享底盘性能的分析效率。

1 模块功能和主界面

1.1 模块功能介绍

该模块是根据悬架和共享底盘分析时需要利用的建模、仿真、数据处理和优化设计等环节, 在 Windows 环境下, 以 VC++6.0 和 ADAMS/Car 为平台开发而成。该模块的主要功能包括以下几点:

(1) 前后悬架子系统、转向系子系统、前后横向稳定杆子系统、车身子系统、前后车轮子系统的参数化自动建模。

(2) 前后悬架仿真模型和共享底盘仿真模型的自动装配。

(3) 快速完成悬架的运动学仿真分析以及仿真结果的后处理和提取, 使用户方便地判断悬架的运动学性能。

(4) 根据国家标准对共享底盘进行操稳性分析以及仿真结果的后处理和提取, 并进行评价, 快速地判断该底盘是否满足操稳性的要求。

(5) 针对运动学性能不佳的悬架和操稳性不符合要求的底盘, 通过调整硬点坐标、弹簧刚度和减振器阻尼等来进行优化, 使设计的悬架和底盘最终都能达到良好的性能。

1.2 模块的主界面

模块的主界面在 VC++6.0 中开发, 主界面如图 1 所示。通过该界面可以调用各个对话框, 对话框在读取输入参数后自动生成 ADAMS/Car 所需的宏命令文件, 然后自动调用 ADAMS/Car 读取宏命令来实现模块的所有上述功能。



图 1 主界面

2 悬架建模与仿真

2.1 前悬架参数化建模

根据共享底盘的要求, 悬架模型应为参数化模型, 以便修改其硬点坐标、弹簧刚度、减振器阻尼以及车轮定位参数, 从而衍生出多款车型。采用共享底盘的车型一般都有着相同结构形式的悬架系统, 只要通过调整悬架的刚度和阻尼、轮距、轴距、轮胎和车身等就可以衍生出不同用途的车型。本研究以万向集团两款使用共享底盘的车型 H1、C2 为例, 运用开发的模块建立这两款车型的参数化模型, 包括前后悬架、轮胎、车身和动力系统等。该两款车型的前悬架均为麦弗逊式, 后悬架均为双天梯连杆式。

在相应的建模对话框中输入参数后, 模块自动调用多体动力学软件 ADAMS/Car 完成前悬架的参数化建模, 并将建好的模型自动保存在个人数据库中以便随时调用。本研究建立的这两款车型的麦弗逊前悬架仿真模型如图 2 所示, 它是由麦弗逊悬架子系统、前横向稳定杆子系统和转向子系统组装而成。



图 2 前悬架仿真模型

2.2 前悬架仿真分析

根据建好的前悬架模型, 模块中有两种分析模式可供选择, 分别为平行跳动仿真和反向跳动仿真^[6]。本研究采用的是第一种仿真模式, 利用仿真对话框对悬架装配模型进行平行跳动 ± 50 mm 仿真。输入参数之后, 自动打开 ADAMS/Car, 并调出数据库中的悬架仿真模型, 然后自动完成仿真和仿真结果的后处理以及相关数据的提取。获得这两款车型前悬架的前轮定位参数(前轮外倾角、前轮前束角)和前左侧车轮横向位移随车轮上下跳动的变化曲线, 如图 3 ~ 图 5 所示。

从仿真结果可以看出, 各参数的变化均在合理范围之内, 两款车型的前悬架均满足运动学性能和操稳性的要求, 且 C2 车型前悬架的运动学性能要稍好一些。

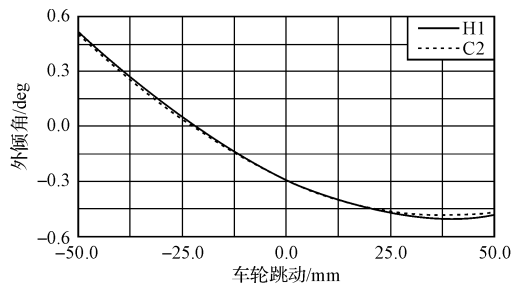


图 3 前轮外倾角变化曲线

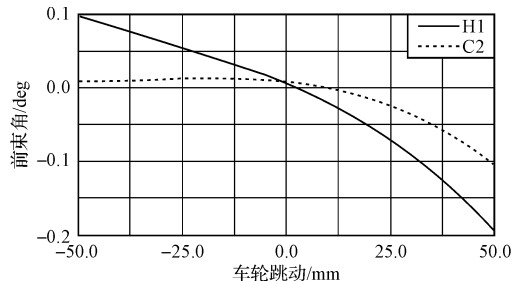


图 4 前轮前束角变化曲线

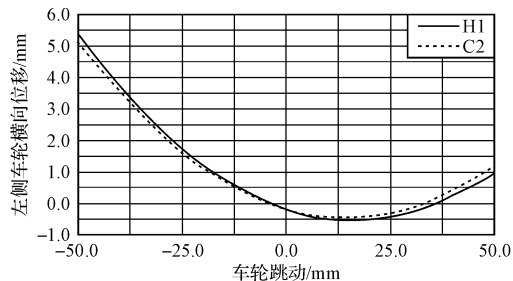


图 5 左侧车轮横向位移曲线

2.3 后悬架参数化建模

后悬架的建模方式跟前悬架一样,通过相应的建模对话框建立其参数化模型并保存到数据库中。本研究建立的该两款车型的后双天梯连杆悬架仿真模型如图 6 所示,由后悬架子系统和后横向稳定杆子系统装配而成。

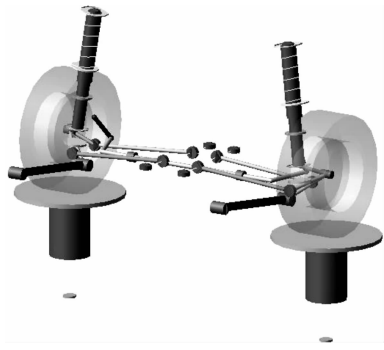


图 6 后双天梯连杆悬架仿真模型

2.4 后悬架仿真分析

根据建好的后悬架模型,利用仿真对话框对其进行平行跳动 ± 50 mm 仿真,获得该两款车型后悬架的

后轮定位参数(后轮外倾角、后轮前束角)和后左侧车轮横向位移随车轮上下跳动的变化曲线,如图 7 ~ 图 9 所示。

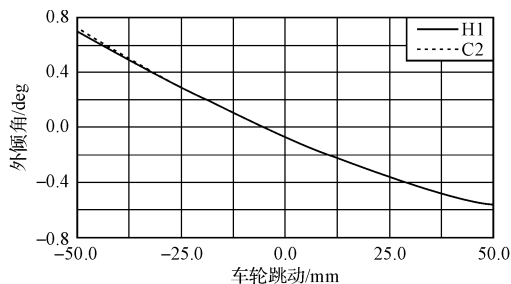


图 7 后轮外倾角变化曲线

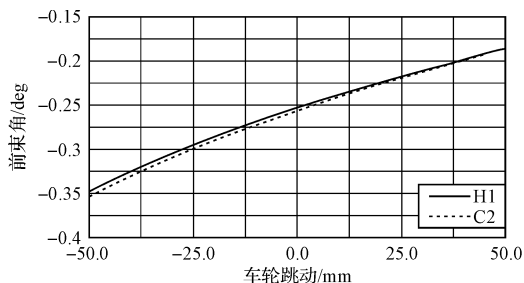


图 8 后轮前束角变化曲线

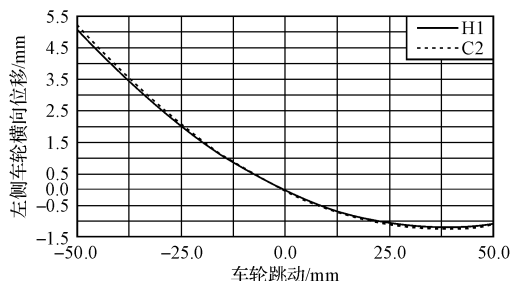


图 9 左侧车轮横向位移曲线

从仿真结果可以看出,各参数的变化均在合理范围之内,两款车型的后悬架均满足运动学性能和操稳性的要求,且 H1 车型后悬架的运动学性能要稍好一些。

3 整车参数化建模与仿真

3.1 整车参数化模型的建立

整车模型是由前麦弗逊悬架、后双天梯连杆悬架、轮胎、车身、制动系统、转向系统和发动机等 7 个子系统装配而成。建模对话框读取各子系统的信息后,打开 ADAMS/Car,并选取 MDI_SDI_TESTRIG 试验台与各个子系统组装成整车仿真模型,然后自动保存到数据库中,以便进行操稳性仿真时调用。

为了验证建立的共享底盘能适用于不同的车型,本研究以采用共享底盘的两款车型 H1、C2 为例,通过修改共享底盘的悬架刚度、轴距、轮距、整车满载质量、

质心高度以及轮胎等参数,分别建立两款不同车型的参数化模型(如图 10 所示)。该两款车型的前后悬架结构形式一样,发动机均采用前置前驱结构,制动器也都采用盘式制动器,车身系统都是简化的刚性车身,质量简化到质心处,并包含转动惯量。

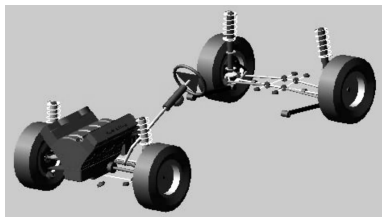


图 10 H1、C2 仿真模型

两款车型主要参数对比如表 1 所示。

表 1 两款车型主要参数对比

主要参数	H1	C2
满载质量/kg	1 579	1 845
质心高度/mm	658	595
前轴荷/kg	799	849
后轴荷/kg	780	996
前轮距/mm	1 470	1 420
后轮距/mm	1 470	1 440
轴距/mm	2 610	2 695
前悬架弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	24.7	25.1
后悬架弹簧刚度/(N·mm ⁻¹)	16.56	16.85
轮胎型号	205/50 R16	185/70 R14

3.2 两款车型稳态回转特性仿真分析对比

3.2.1 仿真方法

由于汽车的稳态回转特性是汽车操稳性中最重要的特性,本研究以稳态回转仿真为例来分析这两款车型的操稳性,其步骤参照国标 GB/T 6323.6-94^[7]中规定的试验方法:

- (1) 先让汽车以最低稳定车速沿着半径为 15 m 的圆周缓慢行驶,并固定转向盘;
- (2) 使汽车缓慢而匀速地加速,纵向加速度不超过 0.25 m/s²;
- (3) 待汽车的侧向加速度达到 6.5 m/s² 时停止仿真;
- (4) 仿真按右转方向进行。

3.2.2 仿真结果分析

本研究根据国家标准对 H1 车型和 C2 车型进行稳态回转特性仿真分析,得到的稳态特性对比曲线如图 11~图 13 所示。图 13 中 R/R_0 表示某一时刻的转弯半径 R 与初始转弯半径 R_0 的比值。

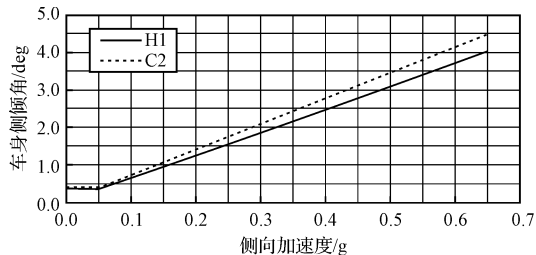


图 11 车身侧倾角与侧向加速度关系曲线

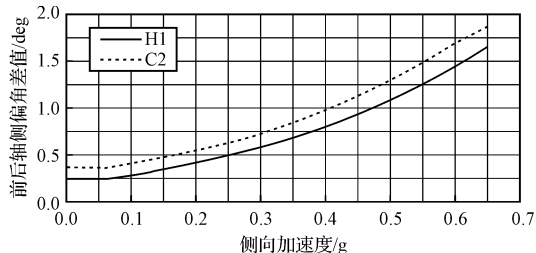


图 12 前、后轴侧偏角差值与侧向加速度关系曲线

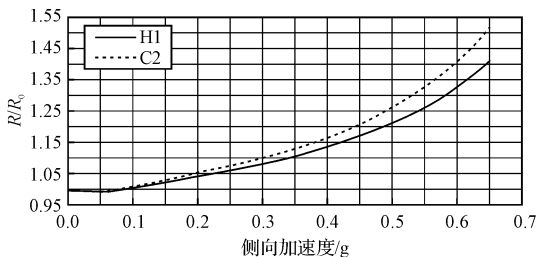


图 13 转弯半径比与侧向加速度关系曲线

3.2.3 稳态回转特性评价

按照国标 QC/T 480—1999^[8]和《汽车操纵性评价指标的研究》^[9]中稳态回转试验的评价标准,对这两款车型的稳态回转特性进行评价计分。

稳态回转试验是根据中性转向点的侧向加速度值 a_n 、不足转向度 U 和车厢侧倾度 K_ϕ 等 3 项指标进行评价计分,这两款车型的这 3 项指标的仿真试验值如表 2 所示。 a_n 为前、后轴侧偏角差与侧向加速度关系曲线上斜率为零处的侧向加速度值,未出现中性转向点时, a_n 值用最小二乘法按无常数项的三次多项式拟合曲线进行推算; U 按前、后轴侧偏角差值与侧向加速度关系曲线上侧向加速度值为 2 m/s² 处的平均斜率(纵坐标值除以横坐标值)计算; K_ϕ 按车厢侧倾角与侧向加速度关系曲线上侧向加速度值为 2 m/s² 处的平均斜率(纵坐标值除以横坐标值)计算。

表 2 稳态回转仿真评价数据表

评价指标	H1	C2
$a_n/(m \cdot s^{-2})$	8.5	8.9
$U/((^\circ) \cdot (m \cdot s^2)^{-1})$	0.22	0.27
$K_\phi/((^\circ) \cdot (m \cdot s^2)^{-1})$	0.62	0.7

2002,49(3):903-909.

[4] 智文广. 专用印刷技术[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2001.

[5] LEUNG A Y T. An accurate method of dynamic substructuring with simplified computation[J]. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, 1999(14):1241-1256.

[6] 张立彬, 胥芳, 占红武, 等. 邮资机自动供油墨装置: 中国, ZL200510061011.1[P]. 2009-04-22.

[7] 史伟民, 张立彬, 占红武, 等. 邮资机自动供油墨装置: 中

国, ZL 200820086325.6[P]. 2009-02-25.

[8] PROAKIS J G. Digital Communications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.

[9] ZHOU B M, FAN B C, CHEN Z H. Investigation of the flow field structure controlling around a circular cylinder by means of electromagnetic forces[J]. **Experiments and Measurements in Fluid Mechanics**, 2004(18):10-14.

[10] 李全利, 迟荣强. 单片机原理及接口技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. [编辑: 张翔]

(上接第 37 页)

中性转向点的侧向加速度值 a_n 的评价计分公式为:

$$N_{a_n} = 60 + \frac{40}{a_{n100} - a_{n60}} \times (a_n - a_{n60}) \quad (1)$$

式中 N_{a_n} — a_n 的评价计分值; a_{n100} — a_n 的上限值, $a_{n100} = 9.8 \text{ m/s}^2$; a_{n60} — a_n 的下限值, $a_{n60} = 5.0 \text{ m/s}^2$ 。

计算可得 $N_{a_n}(\text{H1}) = 89(\text{分})$; $N_{a_n}(\text{C2}) = 92.5(\text{分})$ 。

不足转向度 U 的评价计分公式为:

$$N_U = 60 + \frac{U(U_{60} - U)(\lambda - U)}{U_{100}(U_{60} - U_{100})(\lambda - U_{100})} \times 40 \quad (2)$$

式中 N_U — U 的评价计分值; U_{100} — U 的上限值, $U_{100} = 0.4(^\circ)/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$; U_{60} — U 的下限值, $U_{60} = 1.0(^\circ)/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$; λ —根据 U_{60} 和 U_{100} 的比值计算的系数, $\lambda = \frac{2U_{60}/U_{100}}{(U_{60}/U_{100}) - 2} \times U_{100} = 4$ 。

计算可得 $N_U(\text{H1}) = 90(\text{分})$; $N_U(\text{C2}) = 94(\text{分})$ 。

车厢侧倾度 K_ϕ 的评价计分公式为:

$$N_\phi = 60 + \frac{40}{K_{\phi60} - K_{\phi100}} \times (K_{\phi60} - K_\phi) \quad (3)$$

式中 N_ϕ — K_ϕ 的评价计分值; $K_{\phi100}$ — K_ϕ 的上限值, $K_{\phi100} = 0.7(^\circ)/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$; $K_{\phi60}$ — K_ϕ 的下限值, $K_{\phi60} = 1.2(^\circ)/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$ 。

计算可得 $N_\phi(\text{H1}) = 100(\text{分})$; $N_\phi(\text{C2}) = 100(\text{分})$ 。

稳态回转特性的综合评价计分值为:

$$N_W(\text{H1}) = (N_{a_n} + N_U + N_\phi) / 3 = (89 + 90 + 100) / 3 = 93(\text{分})。$$

$$N_W(\text{C2}) = (N_{a_n} + N_U + N_\phi) / 3 = (92.5 + 94 + 100) / 3 = 95.5(\text{分})。$$

从以上结果可以看出, 两款车型的稳态回转特性计分值都比较高, 都具有良好的稳态回转特性, 且 C2 车型的计分值稍高于 H1 车型的计分值, 前者的稳态回转特性更好一些。

4 结束语

本研究以 VC++6.0 和 ADAMS/Car 为平台开发了基于汽车操纵稳定性的悬架分析模块。通过该模块可以快速自动地实现悬架和整车的建模、悬架运动学分析、整车操纵稳定性分析、仿真结果后处理, 能在较大程度上提升分析的效率。

运用开发的模块建模和仿真对话框, 以采用共享底盘的某两款车型为例, 对该两款车型的前、后悬架进行了运动学分析, 从仿真结果可以看出其前、后悬架都具有良好的运动学性能; 然后对该两款车型的稳态回转特性进行仿真分析和评价, 评价计分结果表明该两款车型都有良好的稳态回转特性。同时也验证了该模块在悬架运动学分析和整车操稳性分析中良好的应用性。

参考文献 (References):

[1] SCHLIE E, YIP G. Regional follows global; strategy mixes in the world automotive industry[J]. **European Management Journal**, 2000, 18(4):343-354.

[2] MUFFATTO M. Introducing a platform strategy in product development[J]. **International Journal of Production Economics**, 1999(60):145-153.

[3] 蔡章林. 动力学仿真技术在悬架和整车开发中的应用研究[D]. 长春: 吉林大学汽车学院, 2004.

[4] JOONHONG P, GUENTHER D A, et al. Kinematic suspension model applicable to dynamic full vehicle simulation[C]. SAE Paper 2003-01-0859. Detroit: [s. n.], 2003.

[5] EDARA R, SHIH S. Effective use of multibody dynamics simulation in vehicle suspension system development[C]. SAE Paper 2004-01-1547. Detroit: [s. n.], 2004.

[6] Mechanical Dynamic, Inc.. Using ADAMS/Car[M]. Mechanical Dynamic, Inc., 2002.

[7] 汽车操纵稳定性试验方法: 稳态回转试验[S]. 中华人民共和国国家标准 GB/T 6323.6-1994.

[8] 汽车操纵稳定性指标限值与评价方法[S]. 中华人民共和国汽车行业标准 QC/T 480-1999.

[9] 赵又群, 郭孔辉. 汽车操纵性评价指标的研究[J]. 汽车工程, 2001, 23(1):1-5. [编辑: 柴福莉]