

L 型麦弗逊前悬架横向稳定杆对整车性能影响研究

石 晶, 孙 艳, 陈 双, 李 刚, 王长明

(辽宁工业大学 汽车与交通工程学院, 辽宁 锦州 121001)

摘 要: 在 ADAMS/Car 中应用铁木辛柯梁力学模型建立了某微型电动汽车前横向稳定杆的精确模型及其它各个子系统的动力学模型。运用对比分析的方法, 将该车多体动力学模型与 ADAMS/Car 共享数据库中的整车模型进行试验对比, 验证所建动力学模型的可行性和有效性。以该模型为研究基础, 探究横向稳定杆对 L 型麦弗逊前悬架的定位参数及整车侧向特性、纵向特性的影响。

关键词: 麦弗逊悬架; ADAMS/Car; 横向稳定杆; 定位参数; 侧倾特性; 纵倾特性

中图分类号: U461.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3261(2015)04-0245-05

Study of Vehicle Performance Affected by L-type Macpherson Front Suspension Anti-roll Bar

SHI Jing, SUN Yan, CHEN Shuang, LI Gang, WANG Chang-ming

(Automobile & Transportation Engineering College, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China)

Abstract: Based on Timoshenko Beam mechanical model in ADAMS/Car, an accurate anti-roll bar model of a mini electric car is established and the other system is also established with ADAMS/Car. In order to prove the correctness of the dynamic mini electric car model, the method of comparative analysis is used between the multi-body dynamics model and the vehicle model in ADAMS/Car shared database. Then the paper studies the effects of anti-roll bar on wheel alignment parameters, body trim and roll.

Key words: macpherson suspension; ADAMS/Car; anti-roll bar; alignment parameters; trim features; roll features

麦弗逊式独立悬架系统是目前前置前驱轿车和某些轻型客车使用较为普遍的悬架系统结构形式^[1]。根据麦弗逊悬架的结构与外观, 将其分为 I 型和 L 型两种^[2]。与 I 型麦弗逊悬架相比, L 型麦弗逊悬架的下摆臂同时承受侧向力和纵向力, 横向稳定杆在防侧倾方面具有重要作用。此外, 近代轿车为获得较好的乘坐舒适性, 一般将悬架设计的都很软, 横向稳定杆的正确应用, 可有效减小车身倾斜和横向角振动, 且在汽车制动时能起到防纵倾的

作用, 改善驾驶和乘坐舒适性。

本文以铁木辛柯梁力学模型为基础, 利用 ADAMS 动力学仿真软件对该微型电动汽车 L 型麦弗逊悬架的横向稳定杆进行建模, 并研究其对整车性能的影响。通过仿真验证 L 型麦弗逊悬架横向稳定杆在车辆行驶过程中对侧倾和纵倾特性的影响。

1 微型电动轿车动力学模型建立

ADAMS/Car 中提供的铁木辛柯梁力学模型考

收稿日期: 2014-06-16

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51305190)

作者简介: 石晶(1962-), 男, 辽宁本溪人, 教授, 硕士。

虑了剪应力和转动惯量, 求解精度高^[3]。应用该模块建立的横向稳定杆具有柔性体特性, 柔性体在 ADAMS 中的应用, 可以提高动力学模型的仿真精度。

1.1 横向稳定杆建模

本文研究了具有 L 型麦弗逊前悬架的微型电动汽车。其横向稳定杆三维图如图 1 所示。

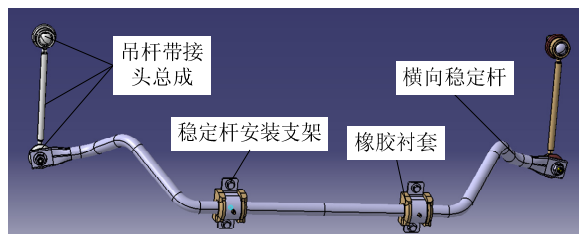


图 1 横向稳定杆及其吊杆 CATIA 三维图

ADAMS/Car 中建立横向稳定杆的动力学模型, 一般将横向稳定杆及其吊杆建立在一个 Template 模版文件中^[4]。首先, 在三维模型中提取建立横向稳定杆及其吊杆所需的硬点坐标、质量及转动惯量。其次, 完成 ADAMS/Car 中硬点坐标的建立, 建立以铁木辛柯梁力学模型为基础的横向稳定杆的 part 件和吊杆的刚性 part 件。再次, 建立保证横向稳定杆与前悬架能够完成装配的 mount 件; 吊杆与悬架、横向稳定杆与车架相连的橡胶衬套以及各部件之间需要定义的运动副。最后, 定义各个部件之间的运动副以及横向稳定杆与整车其它部件相互进行信息交流的通讯器。

需要指出的是: 在 ADAMS/Car 中以铁木辛柯梁力学模型为基础建立的横向稳定杆, 除了两端点与吊杆接头连接处需建立球铰外, 自身不需要添加其它运动副。ADAMS/Car 中的横向稳定杆及其吊杆的模版文件如图 2 所示。

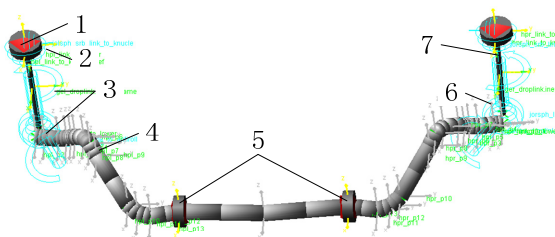


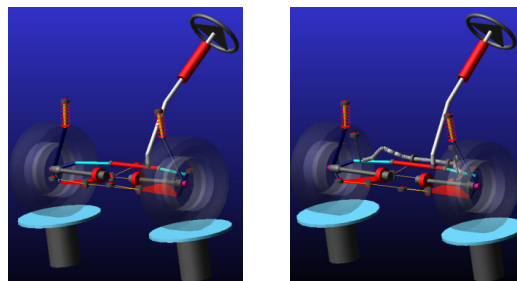
图 2 ADAMS/Car 中横向稳定杆的动力学模型

1、5-衬套; 2、6-球形副; 3-等速副; 4-横向稳定杆; 5-吊杆

1.2 其他子系统及其装配总成的建立

依据厂方提供的整车 CATIA 三维模型, 提取在 ADAMS 中建模所需的各个硬点坐标、部件的质量及其转动惯量。以该数据为依据, 在 ADAMS/Car 中依次建立该电动汽车的动力子系统、轮胎子系统、前后悬架子系统、转向子系统、车身子系统及

电池装配件等。在 ADAMS/Car Standard 中, 将前悬架系统、转向系进行组装, 建立无横向稳定杆的前悬架装配总成 1; 在装配总成 1 的基础上加入横向稳定杆, 建立有横向稳定杆的前悬架装配总成 2 (如图 3 所示); 将整车其它各个子系统进行组装, 建立整车动力学模型 (如图 4 所示)。



(a) 前悬架装配总成 1 (b) 前悬架装配总成 2

图 3 ADAMS/Car 前悬架装配总成

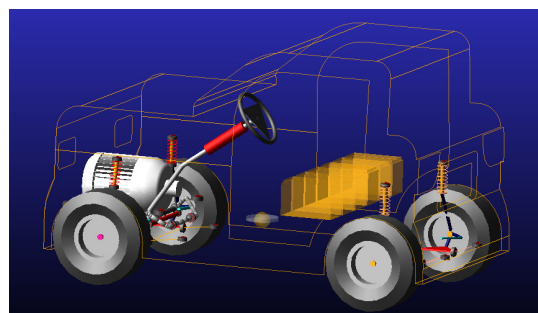


图 4 ADAMS/Car 中整车动力学模型

1.3 模型验证

ADAMS/Car 中本身自带初步的模型验证功能: 检测所建立模型的过约束情况及通讯器的匹配情况。经检测, 该微型电动车整车模型没有过约束现象, 各通讯器匹配完全。初步验证了本文所建立模型的可行性。

ADAMS/Car 是前 MDI 公司与 Audi、BMW、Renault 和 VOLVO 等公司合作开发的轿车专用软件包, 其共享数据库中提供的整车模型, 如图 5 所示。该模型可用于对在 ADAMS/Car 中建立的其它整车模型的有效性进行验证分析。

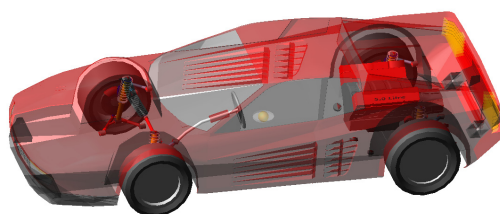


图 5 ADAMS/Car 共享数据库中的整车动力学模型

将该共享数据库的整车模型与所建微型电动汽车的整车模型进行正弦波扫描激励分析。试验的规划为对两辆整车模型的运动执行器设置相同的

运动模式且保持同向: 垂直振幅为 10 mm 的正弦波, 扫描频率为 0~20 Hz, 仿真时间为 10 s。共享数据库中的整车模型及该微型电动汽车的整车模型的仿真结果如图 6、7 所示。

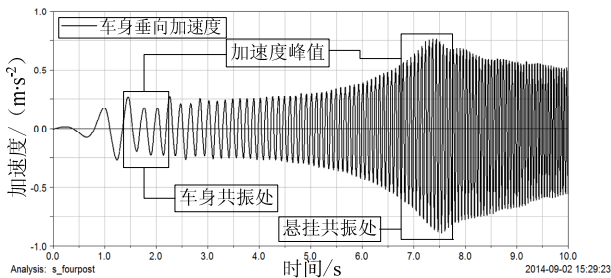


图6 共享数据库中整车动力学模型底板处垂向加速度

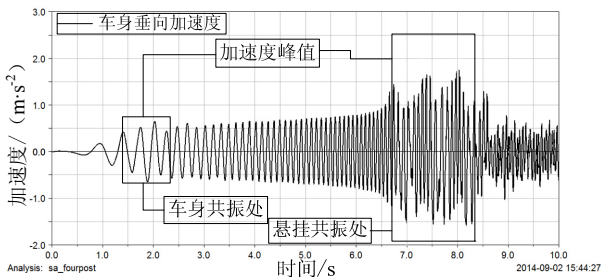


图7 微型电动汽车动力学模型底板处垂向加速度

在实验仿真过程中, 建立的电动汽车的整车装配总成没有出现报错现象, 实验顺利完成, 初步验证所建动力学模型的正确性。由图 6、7 可以看出, 共享数据库轿车动力学模型在 1.4~2.2 s 及 6.9~7.8 s 两处, 出现加速度峰值; 微型电动车装配总成在 1.2~2.5 s、7.6~8.4 s 处, 同样出现两次加速度峰值。第一次加速度峰值为车身发生共振处, 第二次峰值为车轮发生共振处。对比两动力学模型的加速度曲线, 初步判定微型电动车模型的有效可行性。

2 仿真实验分析

本文对该电动车的前悬架装配总成 1、2 分别进行 ±50 mm 的双轮同向跳动实验。

2.1 前悬架定位参数影响分析

悬架定位参数随车轮跳动而产生的变化量, 直接影响到整车的操纵稳定性与平顺性的好坏。

2.1.1 对外倾角的影响

车轮上下跳动时外倾角的变化量, 对车辆稳态响应特性有很大的影响, 应尽量减少外倾角随车轮上下跳动过程的变化量。

由图 8 看出, 在车轮跳动过程中, 前悬架装配总成 1 跟前悬架装配总成 2 的外倾角的变化范围及变化趋势基本保持一致。总的变化量之差仅为 0.008 (°)/100mm。

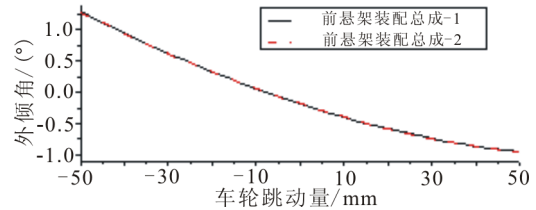


图8 外倾角随车轮跳动变化量比较

2.1.2 对后倾角的影响

在实际整车设计过程中, 一般希望主销后倾角随车轮上跳而增加, 以增加车辆高速行驶稳定性。由图 9 知, 在车轮跳动过程中, 前悬架装配总成 1、2 均满足设计时的变化趋势要求, 总变化量之差为 0.033 (°)/100mm。

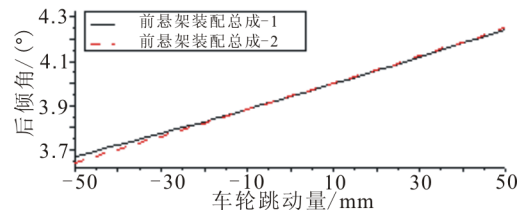


图9 后倾角随车轮跳动变化情况

2.1.3 对主销内倾角的影响

主销内倾角主要在车辆低速行驶时, 对车轮的回正作用产生影响。由图 10 可以看出, 悬架装配总成 1 和 2 的主销内倾角随车轮跳动变化的两曲线基本重合。因而在车辆上下跳动过程中, 有无横向稳定杆对主销内倾角的变化基本无影响。

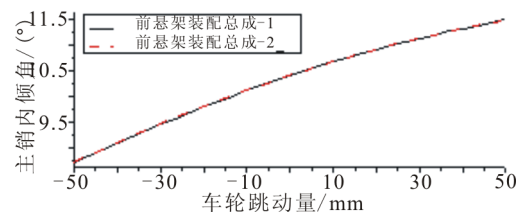


图10 主销内倾角随车轮跳动变化情况

2.1.4 对前束角的影响

前束角主要是确保汽车具有良好的行驶稳定性, 防止汽车行驶过程中由于路面不平而导致前束发生变化。由图可以看出, 在车轮上下跳动过程中, 前束角随车轮变化的曲线基本重合, 总的变化量仅相差 0.04 (°)/100mm。

由图 8~11 对比分析可得出, 悬架装配总成中有无横向稳定杆, 对悬架的定位参数几乎无影响。

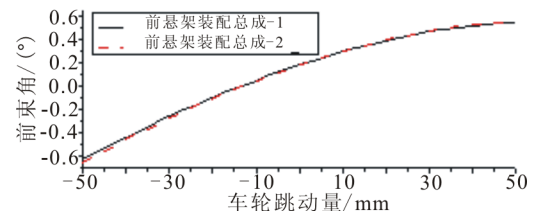


图11 前束角随车轮跳动的变化情况

2.2 侧倾特性的影响分析

现代轿车为改善行驶平顺性,悬架的垂直刚度往往设计的比较低,导致悬架的侧倾刚度值随之降低。横向稳定杆的正确应用,可有效改善这一不足。本文主要研究该电动汽车侧倾外倾系数和侧倾角刚度随车轮跳动的变化情况,分析横向稳定杆对该电动汽车侧倾特性的影响。

2.2.1 对侧倾外倾系数的影响

车厢引起外倾角的变化可由公式(1)计算:

$$\gamma = \frac{\partial \gamma}{\partial \Phi_r} \Phi_r \quad (1)$$

式中: $\frac{\partial \gamma}{\partial \Phi_r}$ 即为侧倾外倾系数。轿车欲满足不足转向特性,侧倾外倾系数的变化范围一般为 0.61~0.88。

前悬架装配总成 1、2 在随车轮上下跳动过程中,侧倾外倾系数的变化范围分别为 0.684~0.912、0.726~0.850。很显然在双轮同向轮跳动过程中,安装横向稳定杆的前悬架装配总成 2 较没有安装横向稳定杆的前悬架装配总成 1,不仅侧倾外倾系数的变化率降低,而且其变化范围完全在轿车欲满足不足转向特性时,侧倾外倾系数应满足的取值范围中。因此,安装横向稳定杆可以明显改善侧倾外倾系数随车轮跳动的变化情况,以使该微型电动汽车具有良好的不足转向特性。

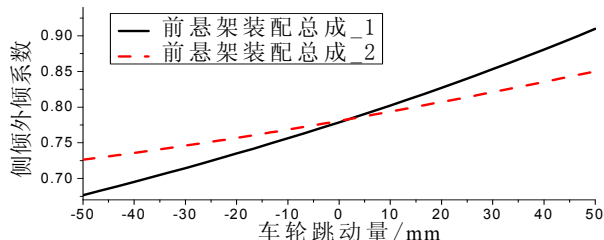


图 12 侧倾外倾系数随车轮跳动的变化曲线

2.2.2 对侧倾角刚度的影响

侧倾角刚度是指使悬架发生单位侧倾角时,轮胎接地点处施加的力矩。增加前悬架的侧倾角刚度有利于使汽车趋于不足转向,而且在汽车转弯时侧倾角刚度的增大可较好地抑制车身侧倾角的增大。

由图 13 可知,在平衡位置处,前悬架装配总成 1 的侧倾角刚度为 565.9 N·m/(°),前悬架装配总成 2 的侧倾角刚度为 1 544.9 N·m/(°)。前悬架装配总成 1、2 在随车轮上下跳动过程中,侧倾角刚度的变化率不大,但装配总成 2 在平衡位置处的侧倾角刚度值明显大于装配总成 1。

图 12、图 13 表明,安装横向稳定杆的前悬架装配总成 2 较没有安装横向稳定杆的装配总成 1 侧倾

特性明显改善。具有较好侧倾特性的悬架装配总成的整车,将具有较好的操纵稳定性。

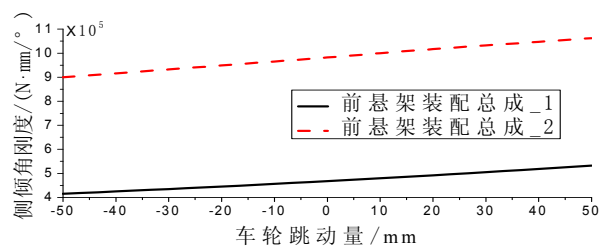


图 13 侧倾刚度随车轮跳动的变化情况

2.3 纵倾特性的影响分析

制动点头量是指汽车以 1g 的加速度制动时,前悬架的压缩下移量。加速抬头量是指汽车以 1g 的加速度加速时,前悬架的伸张上移量。这两个参数反应了汽车在制动和加速时悬架对轮心垂直位移的约束能力。

图 14、图 15 是在前悬架刹车比例 56%, 加速度 1g, 前驱情况下的点头量、抬头量随车轮跳动的变化曲线。前悬架装配总成 1 制动点头量随车轮跳动变化范围为 3.39~10.00 mm/g 略优于装配总成 2 的抗点头量 3.40~13.31 mm/g, 在车轮上下跳动±50 mm 过程中总的变化量相差 3.29 mm/g。前悬架装配总成 1 的加速抬头量-10.13~15.59 mm/g 不如装配总成 2 的加速抬头量-4.63~9.85 mm/g 好, 在车轮上下跳动±50 mm 过程中的变化量相差了 15.8 mm/g。

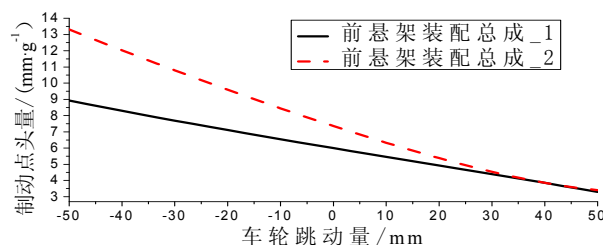


图 14 制动抗点头量随车轮跳动变化曲线

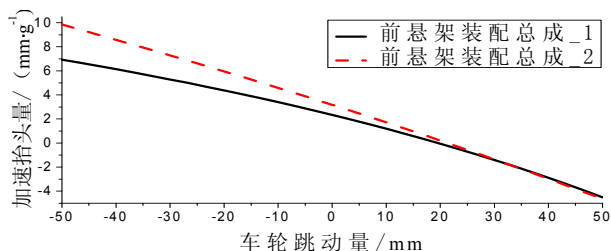


图 15 加速抗抬头量随车轮跳动变化曲线

由图 14~15 加速抬头量跟制动点头量随车轮跳动的变化曲线可知,安装横向稳定杆对整车的纵倾特性也有一定程度的改善。

3 结 语

本文在 ADAMS/Car 中完成以铁木辛柯梁力学模型为基础的横向稳定杆及该电动汽车其它各个

子系统的建立,并初步验证了整车动力学模型的可行性和有效性。探究了横向稳定杆对车轮定位参数,侧倾特性及纵倾特性的影响。主要得出以下结论:

(1) 对于L型麦弗逊悬架,有无安装横向稳定杆,对车轮定位参数随车辆上下跳动的变化量基本没有影响;(2) 悬架装配总成在随车轮跳动过程中,安装横向稳定杆的装配总成2的悬架的侧倾外倾系数以及侧倾角刚度明显优于没有安装横向稳定杆的动力学总成1。安装横向稳定杆不仅可以防止车轮转弯发生侧倾,而且使汽车具有良好的不足转向。(3) 综合分析制动点头量和加速抬头量的变化曲线,可以看出,安装横向稳定杆对整车纵倾特性有一定的改善。

责任编辑:刘亚兵

(上接第244页)

5 结 论

针对状态可测情形下的连续时间互联模糊切换大系统的分散切换控制问题,利用Takagi-Sugeno模糊模型对控制对象建模。按照Lyapunov理论和平均驻留时间切换理论,设计了模糊切换分散状态反馈控制器,并给出了能够确保连续时间互联模糊切换大系统一致渐近稳定的严格的数学证明。数值仿真算例表明本文提出的切换模糊控制方法是正确的。

参考文献:

- [1] Bakule L. Decentralized control: An overview, Annu. Rev[J]. Control, 2008, 32(1): 87-98.
- [2] Jabri D K, Guelton N, Manamanni, Decentralized control of large scale switched Takagi-Sugeno systems[C]. in Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Fuzzy Syst., Taipei, Taiwan, 2011: 322-328.
- [3] Jabri D N, Manamanni K, Guelton M N, et al. Decentralized stabilization of discrete-time large scale switched systems[C]. 18th Mediterranean Conference on Control & Automation, 2010: 1230-1234.
- [4] Koo G B, Park J B, Joo Y H. Decentralized fuzzy observer-based output-feedback control for nonlinear large-scale systems: an LMI approach[J], IEEE Trans. Fuzzy Syst., 2014, 22(2): 406-419.
- [5] 佟绍成, 王涛, 王艳平, 等. 模糊控制系统的设计及稳定性分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

责任编辑:刘亚兵

参考文献:

- [1] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 宋江涛, 冯金芝, 郑松林. 传统型和L型麦弗逊悬架运动学仿真[J]. 制造业自动化, 2011, 33(7): 84-88.
- [3] 刘一夫, 朱茂桃, 陈阳, 等. 横向稳定杆对整车侧倾及纵倾特性的影响[J]. 机械设计, 2013, 30(2): 92-96.
- [4] 饶剑. 基于ADMAS的悬架系统动力学仿真分析与优化设计[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [5] 刘金霞, 胡仁喜, 康士廷, 等. ADAMS2012虚拟样机从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [6] 陈军. MSC.ADAMS技术与工程分析实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.