

文章编号:1671-6833(2010)05-0099-04

基于 ADAMS 的汽车平顺性建模与仿真分析

李 成, 张万枝, 潘 旭, 铁 瑛

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 以某 SUV 汽车为研究对象, 运用机械系统多体动力学仿真软件 ADAMS/Car 建立了包括前后悬架、轮胎、车身和转向系等子系统在内的整车仿真模型; 根据谐波叠加法建立 B、C 级随机输入路面, 按照国家标准建立三角形凸块脉冲输入路面, 并分别进行汽车平顺性仿真. 通过计算随机输入下汽车总加权加速度均方根值和脉冲输入下车身最大垂向加速度, 对汽车平顺性进行评价, 研究了悬架弹簧刚度对汽车平顺性的影响. 结果表明: B、C 级随机输入路面下该车具有较好的平顺性, 脉冲输入路面下对乘员的健康不会产生危害; 降低悬架弹簧刚度可以改善汽车的行驶平顺性.

关键词: 虚拟样机; 汽车模型; ADAMS; 平顺性; 仿真

中图分类号: U46; TP391.9 **文献标识码:** A

0 引言

随着汽车产业的竞争越来越激烈, 人们对汽车的要求从最初具有良好的动力性和经济性逐步发展到具有良好的行驶平顺性和操纵稳定性, 因此, 汽车系统的动力学性能越来越值得深入研究. 汽车的行驶平顺性主要是指汽车对来自路面激励的振动响应程度, 是汽车乘坐舒适性的一个重要指标, 主要根据乘员主观感觉的舒适性来评价^[1]. 如何建立一个比较全面真实的汽车模型成为平顺性仿真的关键. 以往的做法大多是将汽车进行不同程度的简化, 建立汽车的空间状态方程, 由于对汽车模型简化过多, 得到的结果与真实情况相差甚远^[2].

随着计算机技术的发展, 数字化虚拟样机技术得到越来越多的应用^[3]. ADAMS 软件可以模拟结构复杂的机械系统, 真实地仿真其运动过程, 因此在汽车行业得到越来越多的应用. 笔者利用多体动力学分析软件 ADAMS 建立郑州日产公司开发的某款 SUV 汽车整车仿真模型, 按照国家标准在 B、C 级随机路面和脉冲路面下进行汽车平顺性仿真, 并对该车平顺性做出评价, 同时研究了悬架弹簧刚度对汽车平顺性的影响.

1 仿真模型

由于汽车本身结构比较复杂, 所以根据汽车平顺性仿真需要, 在建模过程中对汽车结构做了适当简化, 省略了发动机、传动系统以及动力总成等系统^[4]. 根据郑州日产开发的某款 SUV 型汽车设计参数, 在 ADAMS/Car 中建立了汽车整车仿真模型, 模型包括前后悬架、转向系、车身、轮胎等子系统.

1.1 悬架模型

在 ADAMS/Car 中的 Template Builder 下建立前、后悬架子系统. 子系统中各关键点的坐标由设计图纸查得, 减震器、弹簧、橡胶衬套等参数由实验得出. 前悬架采用双横臂独立式悬架模型, 后悬架采用螺旋弹簧非独立式悬架模型, 如图 1、2 所示. 其中, 减震器与车身用万向节铰相连; 下摆臂与车身用球铰相连; 转向横拉杆一端与转向齿条通过万向节铰相连, 另一端与转向节总成通过球铰相连; 驱动轴两端分别通过等速万向节与车轮轴和差速器相连^[5].

1.2 轮胎模型

ADAMS/Car 软件提供 4 种轮胎模型: UA 模型、Fiala 模型、Smithers 模型和 DELFT 模型. 另外, 用户还可以自定义轮胎模型^[6]. 笔者采用 UA 轮胎, 主要特性参数如表 1 所示.

收稿日期: 2010-03-01; 修订日期: 2010-06-10

基金项目: 河南省教育厅科技攻关项目 (072102260023)

作者简介: 李成 (1962-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 郑州大学教授, 博士, 主要研究方向为机械强度、复合材料结构强度与冲击损伤、车身结构强度, E-mail: chengli@zzu.edu.cn.

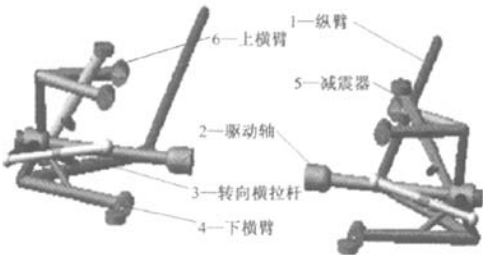


图1 前悬架模型
Fig.1 The front suspension model

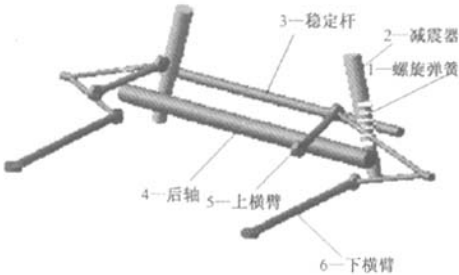


图2 后悬架模型
Fig.2 The rear suspension model

表1 主要特性参数
Tab.1 The main characteristic parameters

| 参数 | 数值 |
|--|-------|
| 自由半径 R_1/mm | 356.5 |
| 胎体半径 R_2/mm | 105.6 |
| 纵向滑移刚度 $K_s/(\text{N} \cdot (\text{mm})^{-1})$ | 3 680 |
| 侧偏刚度 $K/(\text{N} \cdot (\text{mm})^{-1})$ | 963.4 |
| 外倾刚度 $K_e/(\text{N} \cdot (\text{mm})^{-1})$ | 106.5 |
| 径向相对阻尼系数 δ | 0.82 |
| 滚动阻力系数 f | 5.65 |

1.3 整车各子系统装配

依次在 Template Builder 界面下建立前后悬架、轮胎、车身(简化为同质量钢球)、转向系统,用通讯器将各子系统连接,建立整车各子系统模块。在 Standard Interface 界面下依次打开各子系统,进行整车装配,得到如图3所示的整车仿真模型。

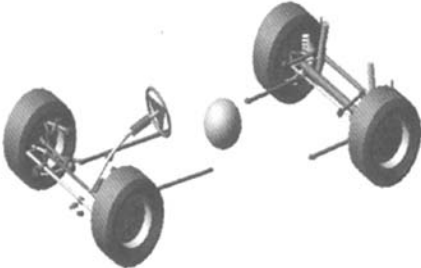


图3 整车仿真模型
Fig.3 The full car simulation model

2 不同路面下的汽车平顺性仿真

2.1 随机路面输入下整车平顺性仿真

在汽车行驶过程中,路面状况多属于随机激励形式,如各种等级的高速公路路面,因此对汽车进行随机路面输入下的整车平顺性仿真是现实所需要的。建立随机路面的方法有很多,如积分白噪声法、滤波白噪声法、谐波叠加法等。笔者根据谐波叠加法分别建立 B、C 级随机路面,其中 B 级路面不平度空间分布如图4所示。

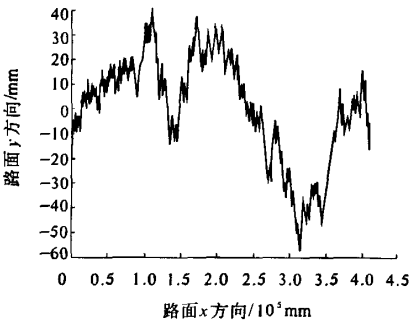


图4 B级随机路面不平度空间分布
Fig.4 Class B road incentive space domain curves

根据 GB/T4970—1996《汽车平顺性随机输入行驶试验方法》^[7],分别在 B、C 级随机路面下对汽车进行平顺性仿真,B 级路面车速分别为 60,70,80,90,100 km/h,C 级路面车速分别为 30,40,50,60,70 km/h。利用 ADAMS 后处理功能得到车身各轴向加速度时间历程,图5为 B 级路面下 60 km/h 时汽车垂向加速度 a_z 时间历程曲线。

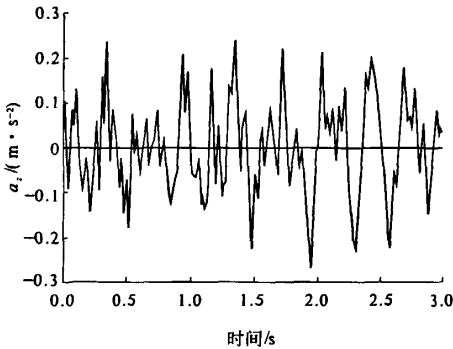


图5 B级路面下车身垂向加速度
Fig.5 Vertical acceleration by B class road

通过频谱分析得到功率谱密度函数,进而计算出各轴向加权加速度均方根值 a_{xw}, a_{yw}, a_{zw} 。图6为 B 级路面下 60 km/h 时汽车垂向加权加速度均方根值曲线。

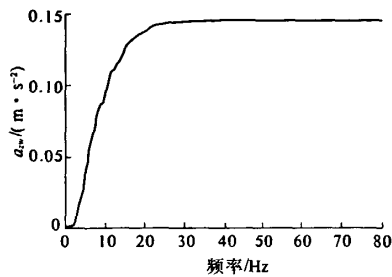


图6 B级路面下车身垂向加权加速度均方根值
Fig. 6 Chassis vertical accelerations root - mean - square value by B class road

对于随机路面输入下的平顺性评价,较为常用的是采用车身的总加权加速度均方根 a_w .

$$a_w = [(1.4a_{zw})^2 + (1.4a_{yw})^2 + a_{zw}^2]^{\frac{1}{2}}$$

分别计算各车速下汽车质心处3个轴向加权加速度均方根值,进而计算总的加权加速度均方根值,结果见表2所示.从表中可以看出,最大总加权加速度均方根值为0.304.由文献[1]中 a_w 和人的主观感受之间的关系判断可知,当总加权加速度均方根值小于0.315时,人的主观感觉为没有不舒适性.因此,该车的平顺性较好.

表2 汽车平顺性仿真结果
Tab.2 The simulation results of full car ride comfort

| 道路 条件 | 速度/ (km·h ⁻¹) | a_{zw} | a_{yw} | a_{zw} | a_w | 评价 |
|----------|------------------------------|----------|----------|----------|-------|-------|
| B级 路面 | 60 | 0.004 | 0.097 | 0.146 | 0.199 | 没有不舒适 |
| | 70 | 0.004 | 0.097 | 0.150 | 0.202 | 没有不舒适 |
| | 80 | 0.005 | 0.097 | 0.169 | 0.216 | 没有不舒适 |
| | 90 | 0.007 | 0.097 | 0.178 | 0.225 | 没有不舒适 |
| | 100 | 0.007 | 0.098 | 0.181 | 0.227 | 没有不舒适 |
| C级 路面 | 30 | 0.006 | 0.107 | 0.185 | 0.238 | 没有不舒适 |
| | 40 | 0.007 | 0.105 | 0.203 | 0.251 | 没有不舒适 |
| | 50 | 0.009 | 0.121 | 0.215 | 0.274 | 没有不舒适 |
| | 60 | 0.010 | 0.127 | 0.235 | 0.295 | 没有不舒适 |
| | 70 | 0.012 | 0.132 | 0.241 | 0.304 | 没有不舒适 |

2.2 脉冲路面输入下整车平顺性仿真

在汽车行驶过程中,有时也会突然遇到障碍物,这些障碍物会以脉冲输入的形式使得汽车的振动突然增大,因此这种路面称为脉冲输入路面.虽然脉冲输入形式很少出现,但是它在瞬间使得汽车的振动加剧,影响乘员的舒适性,因此对汽车进行脉冲路面随机输入平顺性仿真是很有必要的.

根据 GB/T5902—86《汽车平顺性脉冲输入行驶试验方法》^[8],建立三角形凸块脉冲输入路面,其中三角形凸块高为60 mm,长为400 mm;汽车分别以30,40,50 km/h的速度通过凸块,车身垂向加速度曲线如图7所示.

由图7可以看出,当汽车经过凸块时,车身垂向加速度明显增加;随着车速的增大,车身振动响应加剧,但加速度并没有随着车速的增加而增大.根据 ISO 2631 新草案对健康的评价方法,脉冲输入路面下座椅传递给乘员的最大加速度大于43.02 m·s⁻²时将危害乘员的健康,小于31.44 m·s⁻²时对乘员的健康没有危害,在31.44~43.02 m·s⁻²之间时对乘员的健康有一定危

害^[9].从图中可以看出,车身垂向加速度振幅约为4.9 m·s⁻²,远远低于31.44 m·s⁻².因此,该车的乘坐舒适性较好.

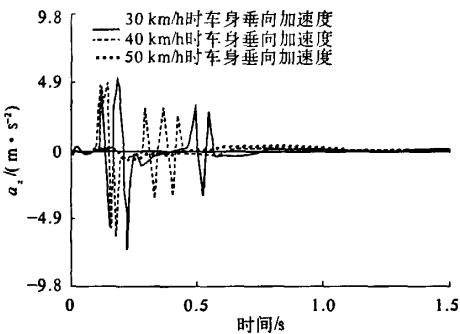


图7 车身垂向加速度
Fig. 7 Chassis vertical chassis acceleration

3 悬架弹簧刚度对平顺性的影响

影响汽车行驶平顺性及乘员的乘坐舒适性的部件主要是悬架、轮胎、座椅等,其中以悬架影响最为突出,因此悬架结构设计的好坏直接影响着汽车的平顺性.在B级随机路面输入下,汽车以

50 km/h 的速度行驶,改变悬架弹簧刚度系数,分析悬架对汽车平顺性的影响,结果如图 8 所示。

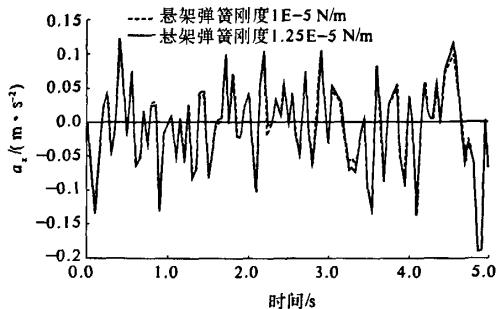


图 8 不同弹簧刚度下的车身垂向加速度
Fig. 8 Chassis vertical acceleration of different spring stiffness

由图 8 可以看出,当悬架弹簧刚度为 $1\text{E}-5\text{ N/m}$ 时,车身垂向加速度峰值为 $0.164\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (图中虚线);而当悬架弹簧刚度为 $1.25\text{E}-5\text{ N/m}$ 时,车身垂向加速度峰值为 $0.189\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (图中实线)。所以随着悬架弹簧刚度的增大,车身垂向加速度也有所增大,说明降低悬架弹簧刚度可以改善汽车的平顺性。

4 结论

(1) 基于 ADAMS 软件建立汽车模型,按照国家标准进行平顺性仿真,结果表明该车在随机路面输入下最大加权加速度均方根值为 0.304,小于 0.315,说明汽车平顺性较好;在脉冲路面输入下车身加速度仅为 $4.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$,对乘员的健康没有任何危害。

(2) 随着悬架弹簧刚度的增大,车身垂向加速

度由原来的 $0.164\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 增大到 $0.189\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$,由此可以看出,降低悬架弹簧刚度可以改善汽车的行驶平顺性。但是降低悬架弹簧刚度会增加悬架的工作空间,因此在实际设计过程中应综合考虑悬架的工作性能。

参考文献:

- [1] 余志生. 汽车理论[M]. 4 版. 北京:机械工业出版社,2007:206-207.
- [2] 荆友录,田庆斌,张明光. 基于多体系统的汽车平顺性仿真分析[J]. 山东交通学院学报,2006,14(4):11-13.
- [3] 王其东,乔明侠,梅奋永. 汽车随机路面输入平顺性的仿真分析[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2005,28(4):346-350.
- [4] 岑少起,潘筱,秦东晨. ADAMS 在汽车操纵稳定性仿真中的应用研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2006,27(3):55-58.
- [5] 魏寒冰,邓楚南,何文波. 基于 ADAMS 软件的汽车平顺性仿真分析[J]. 机械设计与制造,2006(7):75-76.
- [6] 雷良育,周晓军. 基于虚拟样机技术的汽车平顺性仿真分析[J]. 传感技术学报,2006,19(6):2646-2649.
- [7] 长春汽车研究所. GB/T 4970—1996 汽车平顺性随机输入行驶实验方法[S]. 北京:中国标准出版社,1996:197-203.
- [8] 长春汽车研究所. GB/T 5902—86 汽车平顺性脉冲输入行驶试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,1986:204-207.
- [9] 李惠彬,刘亚彬,上官云飞. 基于 ADAMS 的重型货车汽车平顺性仿真研究[J]. 重型汽车,2007,12(6):10-12.

Modeling and Simulation Analysis of Ride Comfort based on ADAMS

LI Cheng, ZHANG Wan-zhi, PAN Xu, TIE Ying

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Using the mechanical system dynamics simulation of the ADAMS software, the multi-body system of car model is established in which suspensions, tires, vehicle body and steering system are considered. Establishing the B and C class and triangle pulse road, the car ride comfort is carried out under the different velocity and under the B class road the impact of suspension parameters on vehicle ride comfort is researched. By calculating the chassis vertical accelerations root-mean-square value of random input and the maximum vertical acceleration of the pulse input, the ride comfort is evaluated. The result shows that the car is suitable on the B and C class road; the pulse road does not harm the health of crew; reducing the suspension spring stiffness can improve the car ride comfort.

Key words: virtual prototype; car model; ADAMS; comfort; simulation