

文章编号:1671-6833(2006)03-0055-04

ADAMS 在汽车操纵稳定性仿真中的应用研究

岑少起, 潘 筱, 秦东晨

(郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 运用 ADAMS 软件建立了 C 型车多自由度整车多体动力学仿真模型, 详细分析了前悬架系统、后钢板弹簧系统和轮胎模型, 同时提出了一种建立钢板弹簧多体模型的新方法——中性面法, 并对不同方向盘转角及改变整车质心位置下的操纵稳定性进行了动力学仿真。经过与实际车型性能比较, 该模型与分析结果是准确、可靠的, 可应用于汽车平顺性研究中。

关键词: ADAMS; 汽车仿真; 操纵稳定性

中图分类号: U 461; TH 12 **文献标识码:** A

0 引言

数字化虚拟样机技术是缩短车辆研发周期、降低开发成本、提高产品设计和制造质量的重要途径。随着虚拟产品开发、虚拟制造技术的逐渐成熟, 计算机仿真技术得到大量应用。系统动力学仿真是数字化虚拟样机的关键技术。对汽车而言, 车辆动力学性能中较复杂的是主动安全性和操纵稳定性。操纵稳定性是指车辆确切响应操纵输入与抵抗外界扰动的能力。操纵稳定性研究一般给定驾驶员操纵输入, 观察车辆随驾驶员输入的随动特性。操纵稳定性仿真分析是在计算机上建立简化到一定程度的模型, 输入驾驶员对汽车的各种操纵信号, 解算出系统的时域响应和频域响应, 以此来表征汽车的操纵稳定性^[1~5]。

建立整车仿真模型常有多种方法, 笔者应用机械系统运动学、动力学仿真分析软件 ADAMS, 来建立 C 型车双横臂独立前悬架多体动力学及整车操纵稳定性仿真模型; 对后悬架钢板弹簧模型采用中性面方法建立其仿真模型; 并对 C 型车操纵稳定性进行虚拟试车场(VPG)仿真。

1 数字化分析模型的依据

1.1 仿真分析模型所需要的参数类型

建立多体系统动力学分析模型, 所需的参数主要可划分为四类: 尺寸(几何定位)参数、质量特性参数(质量、质心与转动惯量等)、力学特性参数(刚度、阻尼等特性)与外界参数(道路谱等)。

尺寸参数和大部分的质量特性参数可以通过建立三维数字模型得到, 其它参数尚需要别的参数获得手段来获取。总的来说, 参数的获得方法主要有以下几种: 图纸查阅法、试验法、计算法、CAD 建模法等。

1.2 数字模型间的数据传递

基于 CAD/CAM 软件建立三维数字模型是建立数字化分析模型的基础。使用 CAD/CAM 软件建立系统的三维实体数字模型, 并以各个运动部件的形式先将零部件, 装配好; 将模型存为 ADAMS 软件可调用的特定格式的数据文件; 然后利用 CAD/CAM 软件与 ADAMS 软件之间的数据接口文件将三维模型传递到 ADAMS 软件中去; 之后输入各运动部件的密度等参数, 就可以直接得到各运动部件的质量、质心与转动惯量等质量参数。将三维数字模型传递到 ADAMS 软件中后, 通过添加适宜的约束和力元素等建模元素就可以得到初步的多体系统分析模型。

2 整车模型的创建

2.1 双横臂式前悬架多体系统动力学模型

C 型车前悬架采用双横臂式独立悬架。前悬架主要零部件, 对整车操纵稳定性分析有重要影响的有: 上横臂(两个)、下横臂(两个)、转向节(两个)、转向横拉杆(两个)、转向主拉杆(一个)、转向摇臂(两个)、车身(一个)、横向稳定杆(一个)、纵置扭杆弹簧(两个)、减振器(两个)。上横臂一端通过球铰与转向节相连, 另一端通过转动铰

收稿日期: 2006-04-17; 修订日期: 2006-05-18

作者简介: 岑少起(1946-), 男, 河南杞县人, 郑州大学教授, 主要从事机械设计和润滑理论方面的研究工作。

与车身相连,使其可相对车身上下摆动。下横臂一端通过球铰与转向节相连,另一端通过转动铰与车身相连。转向横拉杆一端通过球铰与转向节相连,另一端通过球铰与转向主拉杆相连,纵置扭杆弹簧一端通过固定铰与下横臂相连,另一端通过固定铰与车身相连。车轮(即 hub 构件)通过转动铰与转向节相连。稳定杆中部自由地支承在两个固定在车架上的橡胶套筒内。稳定杆连杆一端通过等速万向节与稳定杆连接,另一端通过球铰与下控制臂连接。具体结构简图见图 1 所示:

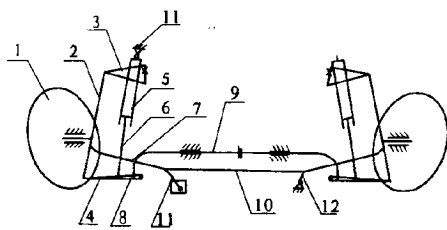


图 1 前悬架双横臂多体动力学结构图

Fig.1 The block diagram of the multi-body model of front suspension two-arms

1—车轮;2—左转向节;3—左上控制臂;4—左下控制臂;5—左减振器的上部;6—左减振器的下部;7—左转向横拉杆;8—左横向稳定器下拉杆;9—左横向稳定器;10—转向主拉杆;11—转向垂臂;12—转向摇臂

2.2 后钢板弹簧多体动力学模型

由于钢板弹簧由多片长短不一的簧片叠加组成,力学特性较为复杂,既是弹性元件,又是传递纵向、侧向地面作用力的传力元件,因此建立钢板弹簧悬架模型是构造车辆多体模型的一大难点。笔者利用等效中性面法建立 C 型车用钢板弹簧悬架模型并验证了模型的正确性。其原理是:所有主簧可以简化为在某个等效中性面的单片主簧,即沿板簧厚度方向中间层组成的近似曲面,再将中性面按厚度基本相似原则分成若干等强度直线段,利用 ADAMS 中的 BEAM 单元模拟这些等强度直线段,每段间以 Flexible(柔性)方式连接小刚体过渡;按板簧中性面上各段真实质量特性设定对应 BEAM 单元质量参数。副簧的建模可以单独划分若干段,每段的长度应和其对应的主簧分段长度接近。主副簧之间的约束问题通过在接触位置加 IMPACT 力来实现。

完成后的钢板弹簧自由状态时多体模型见图 2 所示:

2.3 扭杆弹簧参数及模型

扭杆弹簧一端与下控制臂相连,另一端与车身相连。根据实际问题的需要,在 ADAMS 软件中

采用力约束 rotational-spring-damping 来模拟扭杆弹簧的作用。



图 2 ADAMS 中钢板弹簧多体动力学模型

Fig.2 The ADAMS multi-body model of steel plate spring

2.4 横向稳定杆模型

横向稳定杆对汽车的操纵稳定性有重要影响。在 ADAMS 中,建立简化的横向稳定杆的模型:方法是:将稳定杆中间断开,联以扭杆弹簧,其扭转刚度由中间处的扭转弹簧表示。

2.5 减振器模型

减振器是悬架系统的主要元件,与弹性元件并联安装,车轮与车身的相对振动,主要是通过减振器衰减的,即由于悬架匹配了适当的阻尼,车身的自由振动被迅速衰减,车身的强迫振动也会受到抑制。根据前、后减振器的速度-阻力力特性曲线,在 ADAMS 中,可以在 Data-element 下,创建 Spline 二次样条插值函数。利用这个命令,使模型更接近于汽车的实际工况。

2.6 轮胎与路面模型^[6]

ADAMS/View 提供了 5 种轮胎模型,它们是: Delft 轮胎模型、Fiala 轮胎模型、Smithers 轮胎模型、UA 轮胎模型和 User Defined(用户自定义)轮胎模型。这里选用 UA 轮胎模型。UA 轮胎模型所需要的轮胎特性参数为:轮胎自由半径 R1(mm);轮胎胎冠半径 R2(mm);轮胎垂直变形量为零时的垂直刚度 CN(N/mm);轮胎侧偏角为零时的侧倾刚度 CALPHA(N/deg);轮胎外倾角为零时的外倾刚度 CGAMMA(N/deg);纵向滑移刚度 CSLIP(N/slip);轮胎滚动阻力矩系数 CRR(mm);径向相对阻尼系数 RDR;静摩擦系数 U0;动摩擦系数 U1。根据轮胎的特性参数,可以编制 ADAMS/View 中的轮胎特性文件(*.tpf)。

2.7 车身系统简化模型所用参数

车身模型的合理可行,取决于车身的惯性参数及车身与悬架的连接位置和方式的正确性。对于车身的惯性参数(车身质量及其绕质心三根轴的转动惯量)原则上应依据实测数据来确定。

2.8 传动系简化模型

考虑到所研究的问题与传动系无关,传动系不作为重点考虑。在整车动力学性能仿真分析中,

传动系模型简化为各轮上的力矩输入,其中左右轮按等力矩输入.在稳态转向特性分析中,采用连续加速法,驱动轮输入常力矩.

2.9 整车多体系统的开环模型

将前悬架系统模型、前稳定杆系统模型、转向系统模型、前轮胎系统模型装配可建立前悬挂转向系统模型;将后悬架系统模型、后稳定杆系统模型、后轮胎系统模型装配可建立后悬挂系统模型.将所有子系统进行装配可建立一个十分精确的整车模型.

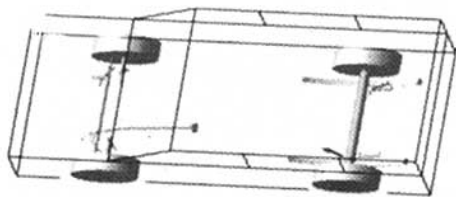


图3 ADAMS 中整车操纵稳定性模型

Fig.3 The ADAMS handling stability model of whole vehicle

3 操纵稳定性主要仿真结果

3.1 转向盘转角阶跃输入仿真分析

整车模型以一定速度(本例为 42 km/h)行驶中,突然加方向盘阶跃输入,以尽快的速度(起阶时间不大于 0.2 s)转动方向盘到 150°,分别将整车质心位置前移和后移 100 mm 时横摆角速度、侧向加速度随时间变化曲线.

由图 4、图 5 可知,当整车质心位置前移时,横摆角速度峰值及稳态值降低,达到第一峰值的反应时间短,反应快.质心前移,不足转向加剧,所以侧向加速度及横摆角速度减小.

3.2 稳态回转仿真分析

在整车稳态回转的仿真分析中,将汽车的传动系模型简化为各轮上的力矩输入,其中左右轮按相等的力矩输入.采用连续加速法,驱动轮输入力矩.由图 6 可知,转弯半径随着汽车行驶速度的增加而增加.

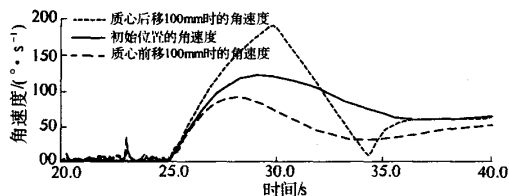


图4 阶跃输入时横摆角速度—时间变化曲线

Fig.4 The angular velocity-time curve of the lateral swinging in the phase step

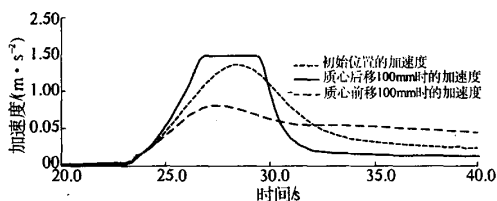


图5 阶跃输入时侧向加速度—时间变化曲线

Fig.5 The angular velocity-time curve of the side swinging in the phase step

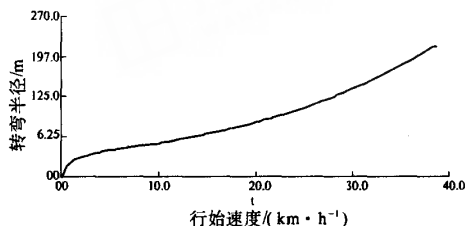


图6 转弯半径随行驶速度变化关系

Fig.6 The variation relationship between turning radius and driving velocity

图 7 为汽车底盘质心的运动轨迹,它直观地表现了汽车的不足转向特性.

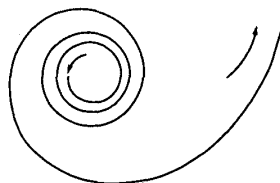


图7 稳态回转试验的运动轨迹

Fig.7 The motion trace of the stable revolution test

4 结束语

利用 ADAMS 软件把分散的零部件设计和分析技术揉合在一起,以提供一个全面了解产品性能的方法,并通过仿真分析中的反馈信息指导设计,建立了 C 型车的多体系统动力学整车模型,并进行了不同方向盘转角及整车质心位置前后改变下的操纵稳定性仿真,从设计—试验—改进设计—再试验—再设计的设计理念转为设计—仿真—试验,使设计中的主要问题利用数字化样机技术在设计初期得以解决.

参考文献:

- [1] 金睿臣,宋 健.路面不平度的模拟与汽车非线性随机振动的研究[J].清华大学学报,1999,39(8):76~79.
- [2] 宋 健,穆希辉.机械系统分析软件 ADAMS 在汽车

- 列车动力学仿真中的应用[J]. 汽车工程, 1997, 19(5): 286 ~ 290.
- [3] 李智峰, 吴光强. 基于虚拟样机的整车系统动力学研究[J]. 上海汽车, 2000, (2): 8 ~ 10.
- [4] 顾柏良, 鲁三才, FISCHER G, 等. 在中国使用条件下汽车零部件设计谱和试验谱的确定[J]. 汽车工程, 1996, 18(2): 65 ~ 71.
- [5] LEE G H, LIM J H, KIM G T. Improving ride quality on the cab suspension of a heavy duty truck. SAE SP-1201, SAE SP-1201, SAE 962151.
- [6] 李 军. ADAMS 实例教程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 129 ~ 133.

Application Research on Vehicle Handling Stability Dynamics Simulating Using ADAMS

CEN Shao-qi, PAN Xiao, QIN Dong-chen

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A multi-body simulation approximate model of one vehicle is established by using ADAMS software. Especially the front rear suspension system and the tire model are studied and analyzed in detail. At the same time, a new medium surface method (in building leaf spring) is proposed and vehicle handling stability is simulated under different steering angle and different location of vehicle mass center. Compared with the performance of the practical vehicle, the simulation result is precise and reliable. It can be applied for the study in vehicle performance.

Key words: ADAMS; vehicle simulation; handling stability

(上接第 41 页)

- [8] JTJ F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S]. 南大学, 2005. 25 ~ 31.
- [9] 曾凡奇. 重载交通沥青关键指标研究[D]. 南京: 东

An Analysis of the Experiments on the Shearing Strength of Asphalt Binding Course

HOU Hang-jian

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: At a given shearing temperature, shearing tests are conducted with a self-made shearing test fixture at a given shearing speed. In the tests, the shearing strength of four kinds of asphalt binding courses is compared, namely modified asphalt, modified emulsified asphalt, emulsified asphalt and bonding emulsified asphalt. In addition, the influences of three common base materials-cement concrete, cement-stabilized macadam and lime-flyash-stablized macadam-on the shearing strength of binding course are also compared. Through the tests, the conclusion is drawn that if using the right amount of binding materials, the higher the intensity of the base material, the better the binding of different courses. In addition, emulsified asphalt undersealing course is comparatively cheap and convenient for construction. Therefore, emulsified asphalt undersealing course is recommended for building expressways.

Key words: emulsified asphalt; undersealing course; shearing strength; amount of asphalt; base material; binding strength