

文章编号:1000-582X(2003)12-0035-04

微型客车整车多体系统动力学的建模与仿真*

余成龙,张力,吴俊刚,徐宗俊

(重庆大学机械工程学院,重庆 400044)

摘要:国内某微型客车采用了若干体现当今微型车发展方向的结构特征。在 ADAMS 软件系统基础上,建立了该车整车多体系统动力学的仿真模型,验证了应用该模型模拟仿真整车操纵稳定性的准确性;通过方向盘转角阶跃输入、蛇行转向、直线制动和复杂道路等典型行驶工况性能仿真分析,从多个方面对整车的操纵稳定性进行了分析和评估。

关键词:多体系统动力学;模型;仿真;微型客车

中图分类号:U463

文献标识码:A

国内新近开发的某型微型客车采用了若干体现当今微型客车发展方向的结构特征,如:前悬架采用麦弗逊式独立悬架,后悬架采用螺旋弹簧、非独立式悬架;发动机采用全浮式支承,驱动桥采用整体式结构等等。针对该车结构特征,本文在 ADAMS 软件系统基础上,建立了该车的整车多体系统动力学的真模型,进行了方向盘转角阶跃输入、蛇行转向、直线制动和复杂道路等典型行驶工况性能仿真模拟和分析,从而对该车整车的操纵稳定性进行分析和评估。

1 仿真模型建立

首先应用 ADAMS/CAR 对悬架系统进行建模,其模型的构成因素包括点、构件、约束、数据信息、通讯器几个部分组成。ADAMS/CAR 的建模顺序是自下而上的,所有的分析模型都是建立在子总成基础之上,而子总成又是建立在模版的基础上。建立仿真模型就是要将复杂的汽车系统作适当程度的简化,使之以数学模型的形式来体现,从而有利于提高计算效率和抓住问题的本质在外^[1]。

1.1 前悬架模型

该车前悬架为典型的麦克弗逊式撑杆式悬架^[2]。前悬架模型是由下摆臂、羊角、减振器上端构成,各部件质量、惯量信息由 UG 给出,下摆臂与车身间由两个

弹性衬套(不考虑弹性衬套时为转动铰链)相连,下摆臂与羊角由球铰相连,减振器上端与羊角由圆柱铰相连,减振器上端与车身间用弹性衬套(不考虑弹性衬套时为万向节铰链)相连,减振器上端与羊角间还有弹簧、阻尼器力元。

1.2 后桥模型

后桥是整体式悬架,左右两侧与车轮相连的传动半轴装在一个整体式车桥上,并通过差速齿轮与传动轴相联,它们之间构成整车的传动系。在后桥模型中传动系部分进行如下简化:传动轴的滑动花键与发动机的动力输出轴通过滑动约束相联,滑动花键与套管通过恒速万向节约束相联,套管与主减速器转动轴也通过万向节相联,主减速器转动轴和左右半轴通过减速齿轮联结,主减速器转动轴和左右半轴转动的角速度满足以下关系:

$$2w_0 = i_0 \times (w_l + w_r) \quad (1)$$

式中: w_0 为主减速器转动轴转动的角速度; i_0 为主减速器的传动比; w_l 为左半轴转动的角速度; w_r 为右半轴转动的角速度。

1.3 转向系模型

在转向系模型中,方向盘和转向柱简化为一可绕车身转动的物体,转向机只考虑其轴绕车身的转动,转向柱与转向机的轴之间用万向节联接,左转向节绕主

* 收稿日期:2003-08-23

作者简介:余成龙(1971-),男,四川自贡人,重庆大学博士研究生,主要从事汽车设计与制造的研究。

销的转动角度与转向机的轴绕车身转动角度之间用角位移关系约束联接,约束关系如下式:

$$\theta_i = i \times \theta_l \quad (2)$$

式中: θ_l 是转向机的轴绕车身转动的角度; θ_i 是左转向节绕左主销转动的角度; i 是转向机的角传动比。

左右转向节绕各自主销转动的角度关系由转向梯形机构来保证,如下式所示:

$$\theta_r = \text{ctg}\left(\frac{L \times \text{tg}\theta_l}{L + a \times W \times \text{tg}\theta_l}\right) \quad (3)$$

式中: θ_r 是右转向节绕右主销转动的角度; θ_l 是左转向节绕左主销转动的角度; L 是轴距; W 是左右主销中心线延长线到地面交点之间的距离; a 是转向系数,当左转向时, $a = 1$,右转向时, $a = -1$ 。左右主销考虑了内倾角和后倾角。

1.4 动力传动系模型

在进行仿真分析中,发动机输出相应的扭矩,使汽车根据仿真所需的车速行驶。动力传动系扭矩输出基本思想是:建立发动机能够输出的最大扭矩与扭矩控制因素之间的线性关系,将发动机复杂的扭矩输出形式进行线性化处理,具体公式表示如下:

$$T = T_{\max} \times S \times t \times i \times \frac{T_h}{100} - L \quad (4)$$

其中: T 是发动机输出扭矩值传递到后桥两侧传动半轴上的扭矩之和; T_{\max} 是最大扭矩(由发动机外特性曲线得到); S 表征整车状态(0 表示静止状态,1 表示运动状态); T_h 是油门开度值; i 是差速器主减速比; L 是动力损失,其值由不同的发动机工况来决定。式中乘以 t 平滑过渡时间是为了防止输入信号的突变可能引起整车车速在某个时期刻的突然性不稳定。

1.5 稳定杆模型

横向稳定杆常用来提高悬架的侧倾角刚度或是调整前、后悬架侧倾角刚度的比值。作为刚体模型时,横向稳定杆被分为左右对称的两段,并在稳定杆的中间对称剖面位置以扭转弹簧相连。利用有限元分析方法,计算得到横向稳定杆等效的扭转弹簧的等效扭转刚度值,并输入到 ADAMS 软件中进行仿真分析。

整车的其它模型还包括:前后轮胎模型(采用 Fiala 轮胎模型^[3])、刹车模型、车体模型。约定考虑弹性衬套为多柔体模型,从表 1 中可以看出整车系统的约束与自由度情况。有柔性连接的刚体动力学模型的自由度达到 88,而且该模型能够比较准确的模拟实际整车各个部件的功能情况,模型在结构上与原车的结

构比较接近,实验与计算机仿真验证表明该模型能正确模拟实际样车的操作稳定性。整车仿地具模型参见图 1。

表 1 整车系统的约束与自由度情况

铰链类型	铰链数目	约束自由度	整车模型
移动副	2	2 × 5	48 个运动部件,88 个自由度
圆柱副	6	6 × 4	
转动副	10	10 × 5	
球副	6	6 × 3	
万向节副	4	4 × 4	
固定副	10	10 × 6	
橡胶套筒连接	24	0	

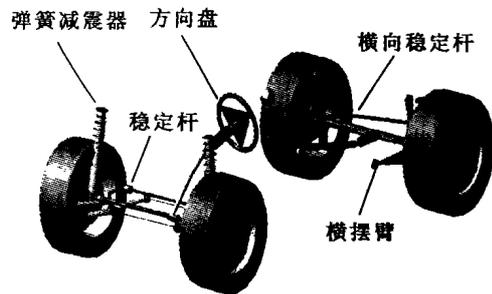


图 1 整车仿真模型示意

2 实验仿真分析

在整车多系统动力学仿真模型的基础上,进行了悬架仿真分析(包括:前后悬架平行垂直跳动仿真、前后悬架反向垂直跳动仿真、前悬架方向盘转向仿真)和整车仿真分析(包括:方向盘转角阶跃输入、直线自由滑行仿真试验、恒半径转向对比分析、整车蛇形轨迹运动仿真、整车 ISO 换道运动仿真、直线制动性仿真、直线加速性仿真、整车复杂路仿真)。重点进行了方向盘转角阶跃输入、蛇形转向、直线制动和复杂道路等典型行驶工况性能仿真模拟和分析^[4],从而对整车的操纵稳定性进行分析和评估。

2.1 方向盘角阶跃输入仿真

实验时仿真模型以某一车速匀速前进,直线行驶一段距离后,方向盘在 0.1 s 内由 0° 转动到 60° 并固定下来,形成方向盘的角阶跃输入信号。

让仿真模型在空载条件下,以 30 km/h、50 km/h、70 km/h 匀速行驶,并进行方向盘阶跃输入仿真实验,得到该车在不同车速下的响应参数,如表 2 所示。

表2 车速下的汽车响应参数

参数名称	车速 /km · h ⁻¹		
	30	50	70
横摆角速度稳态值 r_0 /rad · s ⁻¹	12.8	20.8	17.6
横摆角速度峰值 r_{max} /rad · s ⁻¹	13.6	20.9	22.8
侧向加速度稳态值 a_{y0} /m · s ⁻²	-0.16	-0.51	-0.6
侧向加速度峰值 $a_{y_{max}}$ /m · s ⁻²	-0.18	-0.51	-0.62
横摆角速度响应时间 τ /s	0.286	0.82	0.243
横摆角速度峰值响应时间 ε /s	0.292	0.85	0.63

方向盘阶跃输入仿真实验中,随着车速的增加,汽车横摆角速度的波动越来越大。在车速为30 km/h时,汽车的横摆角速度很快达到稳态值后几乎没有波动,在70 km/h时,横摆角速度已有明显波动。同时,车速在50km/h时横摆角速度的值大于车速在30 km/h和70 km/h时的横摆角速度的值,这与原车试验测试值和测试结果是一致的。

2.2 蛇行转向仿真

蛇行线实验是评价汽车操纵稳定性的重要实验,可以考核汽车在接近侧滑或侧翻工况下的操纵性能,综合评价汽车行驶稳定性及乘坐舒适性。

蛇行转向仿真实按标准实验方法的规定进行^[5]。在实验路面上布置标桩,标桩间距是30 m,基准车速为65 km/h。实验仿真选用机器自动控制,即使用缺省的驾驶员模型,由闭环控制分析机理可知,控制文件为采用模型参数控制文件(采用机器控制方式,主要设置参数见下表)和驾驶员控制数据文件(驾驶员控制数据文件是为驾驶员控制文件服务的,实验的输入激励为方向盘转角,可通过方向盘转角和速度控制车辆行驶)。

图2为车辆运动的轨迹,从图中可见车辆行使轨迹与设计的实验轨迹基本一致,从而证实系统具有良好的追随性;图3为仿真过程中横摆角速度随时间变化曲线,其变化情况为正弦波的形状,这与实际情况比较吻合。

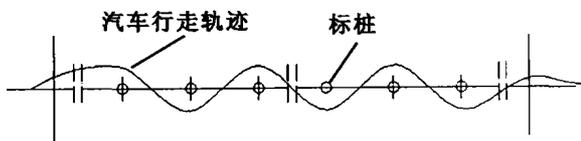


图2 蛇形转向运动轨迹图

2.3 直线制动仿真

为了分析整车在规定制动强度下的制动距离,制动特性进行了仿真计算。仿真时初速度为40 km/h时,制动强度为0.4 g,下图是制动时速度随时间变化曲线

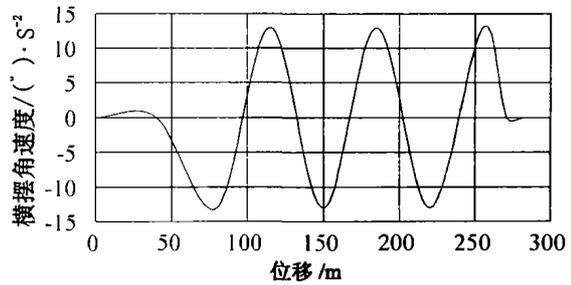


图3 蛇形转向横摆角速度变化曲线

和制动时发生侧向偏移随前进位移之间变化的曲线。

在图4的速度变化曲线中显示,速度随着制动力的开始起作用而迅速下降直到在某个时刻制动力的消失。根据文献[4]中的规定:制动时,整车不能有太大的侧向滑移。因此输出制动时侧向位移随位移变化的曲线(见图5),使整车评价人员可以很方便的观察侧向位移量在不同条件下的变化量。

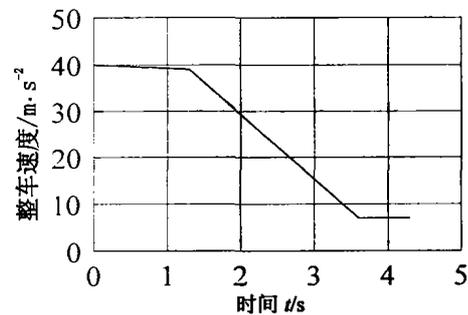


图4 直线制动速度变化曲线

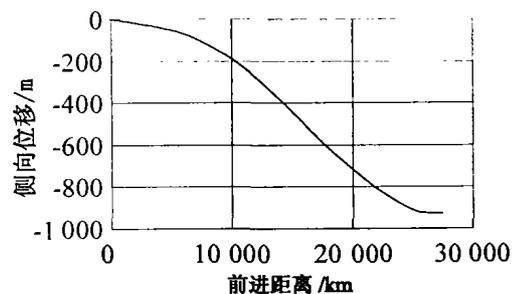


图5 制动侧位移随位移变化曲线

2.4 复杂道路仿真

利用ADAMS/driver(驾驶员模块)使用确定驾驶员行为的特征文件来确定各种操纵工况^[6],在如下图所示的道路曲线进行复杂道路仿真实验,实验的初始速度35 km/h,转向、油门、换挡、离合由程度进行控制。此实验可以综合地考察车辆行使时的加速、制动、转向性能,可以通过在各种实验工况下(例如:天气和道路状况)的整车动力学响应,并输出标志操纵稳定性、制动性等特征参数,目的是更好地提高车辆动力学

仿真的真实感。

图6为整车沿复杂道路行驶时的速度变化曲线;图7是进行复杂道路仿真的道路轨迹示意图。从速度变化曲线中可以看出整车在复杂道路上行驶时速度的剧烈变化情况,既有加速段也有迅速减速段,这与设计的弯道要求基本一致。

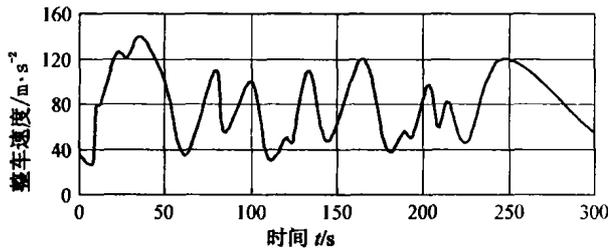


图6 运动时速度随时间变化曲线

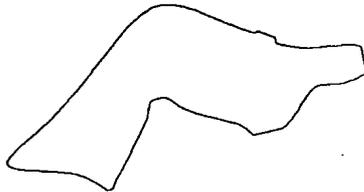


图7 复杂仿真实验道路轨迹

3 结论

根据国内新近开发的某型微型客车的结构特点,建立了该车整车多体系统动力学的仿真模型,包括:前后悬架模型、转向系模型、稳定杆模型、车体模型、动

力传动系模型、刹车系模型、前后轮胎模型。在此基础上,完成了悬架仿真分析(包括:前后悬架平行垂直跳动仿真、前后悬架反向垂直跳动仿真、前悬架方向盘转向仿真)和整车仿真分析(包括:方向盘转角阶跃输入、直线自由滑行仿真试验、恒半径转向对比分析、整车蛇形轨迹运动仿真、整车ISO换道运动仿真、直线制动性仿真、直线加速性仿真、整车复杂路仿真)。重点进行了方向盘转角阶跃输入、蛇形转向、直线制动和复杂道路等典型行驶工况性能仿真模拟和分析,从多个方面对整车的操纵稳定性进行分析和评估。实验仿真与原车试验测试情况相吻合,证明该模型能够较为准确地模拟整车操作稳定性。

参考文献:

- [1] 张越今. 汽车多体动力学及计算机仿真[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1998.
- [2] 张洪图. 汽车构造[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
- [3] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [4] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [5] 鲍晓峰. 汽车实验与检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [6] 李军. ADAMS 实例教程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.

Modeling and Simulation of a Mini-bus With Dynamics of Multi-body Systems

YU Chen-long, ZHANG Li, WU Jun-gang, XU Zong-jun

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A few of new structures, which represent technical characteristics of mini-bus design today, have been applied into development of a new type mini-bus. Modeling of the mini-bus with dynamics of multi-body systems was researched into by using the ADAMS software, and then validity of the vehicle model was verified. Furthermore the operational stability of the mini-bus was investigated and evaluated by simulation analyses such as step steer analyses, snake cornering analyses, braking analyses in line, as well as complicated course analyses and so on.

Key words: dynamics of multi-body systems; modeling; simulation; mini-bus

(编辑 张小强)