

# ADAMS/CAR 与 EASY5 在车辆主动悬架动力学

张晓芬 丛华 晁志强 刘相波

(装甲兵工程学院机械系,北京 100072)

**摘要** 概括介绍了 ADAMS/CAR 与 EASY5 仿真软件在车辆主动悬架研究中的应用,通过 ADAMS/CAR 建立了整车主动悬架的多体动力学模型,采用 EASY5 软件设计了主动悬架的液压系统,并提出了 ADAMS/CAR 与 EASY5 联合仿真的方案,对联合仿真技术应用于主动悬架进行了可行性分析.同时,车辆平顺性的仿真结果表明,采用液压主动悬架的车辆与采用被动悬架的车辆相比平顺性有了明显的改善.

**关键词** ADAMS/CAR, EASY5, 联合仿真, 主动悬架, 平顺性

## 引言

大型通用软件 ADAMS 是数字化功能样机技术产品的杰出代表.其中的 ADAMS/CAR 模块是 MDI 公司与 Audi、BMW 和 Volvo 等公司合作开发的轿车模块,它能够快速建立高精度的整车虚拟样机,包括车身、悬架、传动系统、发动机、转向机构、制动系统等,通过高速动画可以直观地再现各种工况下的车辆运动学和动力学响应,并输出表征操作稳定性、制动性、乘坐舒适性和安全性的性能参数<sup>[1~3]</sup>.

MSC. EASY5 是一套面向多学科动态系统和控制系统的仿真软件,用于在产品的概念和系统级设计阶段,诞生于波音公司,是结合实际的工程问题,由富有经验的工程师和数值计算专家合作开发的,经过了近 30 年的改进,是波音公司工程仿真经验的结晶. MSC. EASY5 被广泛应用于各工业领域,如航空航天、车辆、工程设备、重型机械等,所有涉及到动态系统和控制系统的各种复杂工程问题,都可以通过 MSC. EASY5 进行仿真评价,从而减少物理样机试制的风险.

## 1 问题的提出

车辆行驶时,由于路面不平度引起振动,影响操纵稳定性和平顺性,甚至影响到车辆的行驶速度,损坏车辆的零部件和运载的货物.同时车辆振动也是车内噪声的主动来源.

对于车辆振动的改善,除了可以采用对车辆本身设计参数进行优化的方法外,还可以采用主动悬架的形式.主动悬架能够根据汽车载荷、行驶速度、路面状况等行驶条件的变化产生主动控制力,从而达到自动调整悬架刚度的目的,以同时满足汽车行驶平顺性和操纵稳定性等各方面的要求<sup>[4]</sup>.

利用 ADAMS/CAR 与 EASY5 仿真软件对车辆主动悬架进行联合仿真研究较传统研究方法有很大的优点.首先,ADAMS/CAR 可以建立复杂的整车多刚体机械模型,这是其它的仿真软件所不能比拟的,另外它还提供了良好的仿真试验环境,可以模拟车辆在不同路况下的道路试验.其次,EASY5 是真正面向工程的仿真工具,提供图形化的建模环境,可以直接根据系统原理图建立系统仿真模型,并且可以与多种软件紧密集成,实现多学科复杂系统的耦合仿真.结合二者的优点可以模拟机械、液压及控制的互作用过程,避免了建立复杂的整车动力学方程及推倒传递函数.

## 2 ADAMS/CAR 整车虚拟样机建模特点

ADAMS/CAR 是一种基于模板的建模和仿真工具,大大加速和简化了建模的步骤.利用 ADAMS/CAR 的数据库功能,可以有效地选择衬套、限位块、减振器等以装配各个子系统,节约用户每次重复输入数据的时间.

同时,ADAMS/CAR 还可以通过高速动画直观地显示在各种试验工况下整车动力学响应,并输出

标志操纵稳定性、制动性、乘坐舒适性和安全性的特征参数,从而减少对物理样机的依赖.

为了使整车多体动力学模型的仿真研究具有可比较性,建模时选择某型轿车作为参考对象.应用 ADAMS/Car 建模时,应考虑在满足实际工程研究需要的前提下,对汽车模型进行一些合理的简化.建模过程中遵循以下几点假设:

(1) 整车系统中,除弹性元件、橡胶减振元件,其余零部件均认为是刚体,在仿真计算中不考虑其变形.

(2) 该车的前、后悬架系统的左、右结构相同,可以认为左、右悬架以车辆的纵向轴线对称.

(3) 在进行车辆行驶平顺性分析时,主要研究低频振动响应,不计发动机和传动系统的振动对汽车平顺性能的影响.

(4) 驾驶室、底盘及车身室内附件简化为车体质心处的集中质量球和绕质心的转动惯量.

参考某型轿车参数建立车辆仿真模型:前悬架系统为带横向稳定杆的麦弗逊式独立悬架;后悬架采用带纵拉力杆的麦弗逊式独立悬架;转向系统为齿轮齿条式;轮胎形式为 245\_70R16. 为了简化模型不考虑发动机及传动系统,且假设前、后悬架均为左右对称.所建立的整车多体动力学仿真模型如图 1 所示:

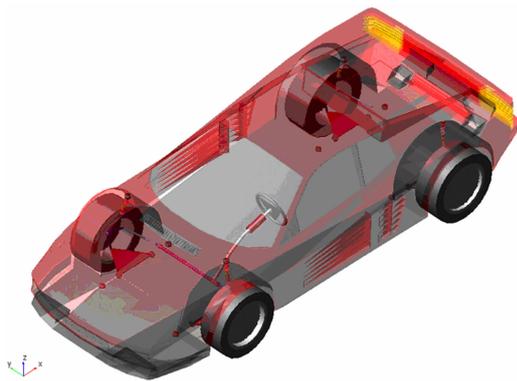


图 1 整车多体动力学仿真模型  
Fig. 1 Dynamics simulation model of vehicle

### 3 主动悬架液压系统设计

MSC. EASY5 的图形化建模环境允许用户直接在计算机屏幕上绘制工程系统原理图或控制理论框图,从而构建仿真模型.模型元件既包括基本的数学和控制环节,加法器、积分器和超前-滞后滤波器,也包括来自专业应用库的系统级部件,比如

阀、作动器等.每一个系统级部件都代表一组方程,用以描述一个物理器件或是一个物理现象<sup>[5]</sup>.

液压主动悬架的工作原理如图 2 所示:产生力的主动作动器(阀控液压缸)通过下支柱和被动弹簧底座连接到车体,它利用主动悬架产生的主动控制力来抵消车身与车体间的相互作用,其理想的状况是,主动控制力等于车身与车架间的相互作用力的反力,故主动控制力可以表达为:

$$F_a = - [k_s(z_u - z_s) + c_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s)]$$

式中,  $F_a$  为主动控制力,  $z_u, z_s, \dot{z}_u - \dot{z}_s$  为车身与车桥的垂直运动位移和垂直运动速度,  $k_s, c_s$  为悬架刚度和阻尼系数.

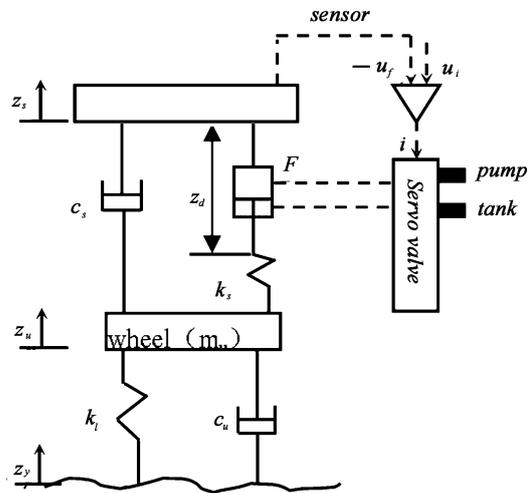


图 2 1/4 车辆主动悬架系统  
Fig. 2 vehicle with active suspension system

利用 EASY5 的工程应用库 hc(液压库)建立的 1/4 车辆主动悬架的液压系统模型如图 3 所示:

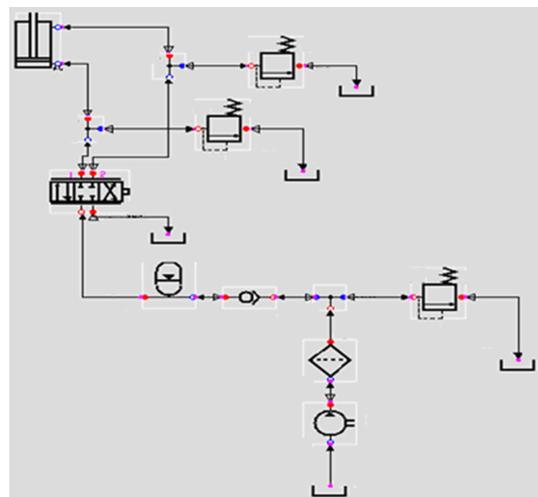


图 3 1/4 车辆主动悬架液压系统图  
Fig. 3 Hydraulic active suspension system of 1/4 vehicle

## 4 联合仿真设计方案

EASY5 与 ADAMS/CAR 通过 ADAMS/CONTROLS 和 EXTENSION 接口模块实现系统输入量和输出量的交互. 在 ADAMS/CAR 的前、后悬架中定义与 EASY5 进行交互的四个输入变量,它们分别是由 EASY5 输入的四个液压缸的主动控制力;利用 ADAMS/CONTROL 模块输出变量为车体的纵向加速度(longitudinal acceleration),侧倾角(roll angle),俯仰角(pitch angle).

ADAMS/CAR 与 EASY5 联合仿真的设计流程如图 4 所示:

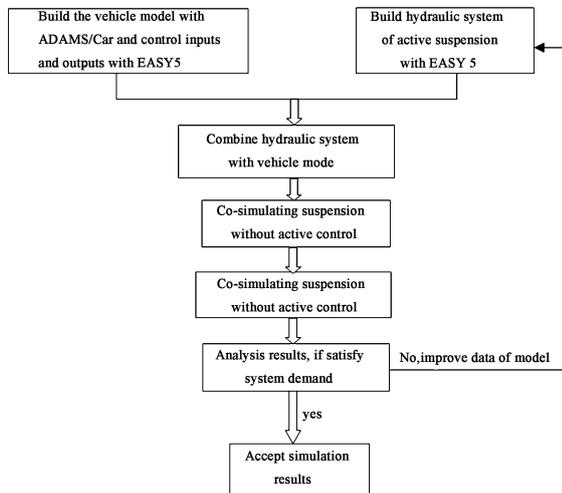


图 4 联合仿真设计流程

Fig. 4 Design flow of co-simulation

## 5 仿真结论

本文简要介绍了基于 ADAMS/CAR 与 EASY5 联合仿真技术研究车辆主动悬架的方法,该方法在车辆主动悬架的研究手段上具有一定的创新性和很高的研究价值.

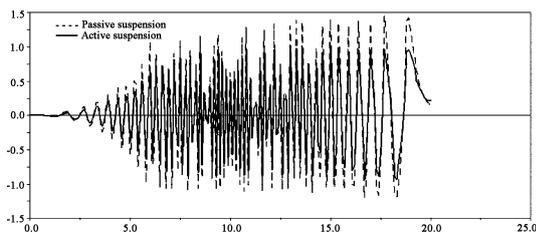


图 5 整车质心垂直加速度

Fig. 5 Vertical acceleration of the vehicle center

利用 ADAMS/CAR 与 EASY5 对车辆进行正弦输入的联合仿真. 正弦激励输入的频率为 10Hz, 振

幅为 15mm, 仿真时间为 20 秒, 采用等步长求解, 得到的仿真结果如图 5 所示:

正弦激励仿真结果显示, 被动悬架质心垂直加速度的均方根值为 0.7198, 采用液压主动悬架的整车质心垂直加速度均方根值为 0.5385, 与被动悬架相比衰减了 25.2%, 使车辆的平顺性得到一定的改善.

## 参 考 文 献

- 1 陈立平, 张云清等. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程. 北京: 清华大学出版社, 2005, 1: 86 ~ 91 (Chen Liping, Zhang Yunqing. Mechanical dynamics analysis and ADAMS tutorial. Beijing: Tsinghua University Press, 2005, 1: 86 ~ 91 (in Chinese))
- 2 F. B. Hoogterp, M. K. Eiler, W. J. Mackie. Active suspension in the automotive industry and the military. *Society of Automotive Engineer Paper*, 1996, 105(2): 96 ~ 101
- 3 张云清, 高斯, 李凌阳, 覃刚, 陈立平. 基于多体力学的车辆动力学控制系统仿真及优化. *动力学与控制学报*, 2007, 5(1): 68 ~ 74 (Zhang Yunqing, Gao Si, Li Lingyang, Qing Gang, Chen Liping. Vehicle dynamic control system simulation and optimization using multibody dynamics. *Journal of Dynamics and Control*, 2007, 5(1): 68 ~ 74 (in Chinese))
- 4 王昊, 胡海岩. 基于磁流变阻尼器整车半主动悬架的开关控制. *动力学与控制学报*, 2004, 2(4): 71 ~ 76 (Wang Hao, Hu Haiyan. The on-off control of a semi-active suspension of the full-vehicle model based on MR dampers. *Journal of Dynamics and Control*, 2004, 2(4): 71 ~ 76 (in Chinese))
- 5 杨英, 刘刚, 赵广耀. 基于 ADAMS 机械模型的车辆主动悬架控制策略与仿真. *东北大学学报(自然科学版)*, 2006, 27(1): 72 ~ 75 (Yang Ying, Liu Gang, Zhao Guangyao. Control strategy based on ADAMS mechanical model for vehicle's active suspension and simulation. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 2006, 27(1): 72 ~ 75 (in Chinese))
- 6 赵霞, 张永发. 基于电流变阻尼器的履带式车辆悬架振动控制. *动力学与控制学报*, 2006, 4(2): 168 ~ 171 (Zhao Xia, Zhang Yongfa. Vibration control of tracked vehicle with ER damper. *Journal of Dynamics and Control*, 2006, 4(2): 168 ~ 171 (in Chinese))
- 7 孙跃东, 王冰, 周萍, 李春. 车辆主动悬架控制器的仿真设计. *起重运输机械*, 2007, (2): 11 ~ 14 (Sun Yuedong, Wang Bing,

- Zhou Ping, Li Chun. Simulation design of controller of vehicle active suspension. *Hoisting and Conveying Machinery*, 2007,(2):11~14 (in Chinese)
- 8 李洪人. 液压控制系统. 北京:国防工业出版社,1981, 6:265~275( Li Hongren. Hydraulic control system, Beijing: national defence Industries Press,1981,6:265~275 (in Chinese))

## ADAMS/CAR AND EASY5 CO-SIMULATION TECHNOLOGY IN ACTIVE SUSPENSION VEHICLE RESEARCH

Zhang Xiaofen Cong Hua Chao Zhiqiang Liu Xiangbo

(Department of Mechanical Engineering of the Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract** This paper introduced the ADAMS/CAR and EASY5 co-simulation technology into active suspension vehicle research. The vehicle with active suspension was built by using ADAMS/CAR, and the active hydraulic system was designed based on EASY5. The co-simulation project was discussed, and the feasibility of this method was proved through the analysis results. The simulation results showed that the ride comfort of the vehicle with active hydraulic suspension was better than the vehicle with passive suspension.

**Key words** ADAMS/CAR, EASY5, co-simulation, active Suspension, ride Comfort