

# 空气悬架的 ADAMS 建模研究

袁 森, 肖 军, 罗卫东

(贵州大学 机械工程学院, 贵州 贵阳 550003)

**摘 要:**在对空气悬架的结构性能进行分析的基础上,以 1/4 车辆空气悬架为例,研究了空气悬架的简化模型、动力学方程,采用虚拟样机技术,在 ADAMS 的 View 模块中建立了 1/4 车辆二自由度动力学仿真模型。通过定义施加各种约束来限制构件之间的相对运动,从而构造出虚拟的实验平台。仿真结果表明,ADAMS 虚拟技术为实体建模提供了很好的平台,为避免推导机械系统数学模型提供了一种新的途径,特别是为比较复杂的机械系统建模带来了很大的方便。

**关键词:**空气悬架;ADAMS;仿真

**中图分类号:**U463;TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2009)08-0228-03

## Study of the Air Suspension Model Based on ADAMS

YUAN Sen, XIAO Jun, LUO Wei-dong

(College of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

**Abstract:** Analyzed the structure and the performances of the air suspension. Based on this, studied the simplified model and the equation of the air suspension, established a 1/4 vehicle 2 degrees dynamics model based on the ADAMS virtual model technology. Limited the relative movements of the components by defining some restrictions, and constructed the virtual experiment platform. The results of simulation showed that the method also offers a new way to establishing the model of the machine systems, especially to the complex ones.

**Key words:** air suspension; ADAMS; simulation

## 0 引言

ADAMS 是使用范围最广的机械系统动力学分析软件,可以对复杂机械系统进行静力学、运动学和动力学分析。现已大量用于汽车制造、航空航天等机械工程领域,它在缩短产品开发周期,降低产品研发成本方面发挥着巨大的作用<sup>[1]</sup>。

悬架是汽车中的一个重要总成,它把车架与车轮弹性地联系起来,关系到汽车的多种使用性能。悬架系统对汽车的乘坐舒适性和操纵稳定性有很大影响。良好的车辆悬架系统可以有效地降低由于路面不规则激励造成的过大的车体加速度,使车辆具有良好的行驶平顺性和安全性。空气悬架具有优良性能,它可以通过对空气弹簧刚度的调节和控制,得到较为理想的悬架特性曲线。

在汽车空气悬架系统设计中,利用 ADAMS/View 模块的基本形体 ADAMS/View 模块下建立 1/4 车辆二自由度动力学模型来对空气悬架的性能进行研究。

建模工具库,建立 1/4 车辆模型,通过各种约束限制构件之间的相对运动,定义施加了约束,从而构造出虚拟的实验平台。采用 ADAMS 虚拟样机技术,建立汽车空气悬架模型,可以大大提高后续研发的效率<sup>[2]</sup>。

## 1 空气悬架的结构及空气弹簧特性

空气悬架系统主要由空气弹簧、高度控制阀、减振阻尼装置、导向传力机构、传感器、空气压缩机、储气筒及管路等机械元件和电气元件组成。其中空气弹簧是空气悬架的重要组成部分<sup>[3]</sup>。

空气弹簧是一种新型的弹性元件,设计有橡胶/帘布结构的气囊,里面充满压缩空气。利用空气的可压缩性实现弹性作用的一种非金属弹簧,具有缓冲、减振和动作等功能。作为隔振支承装置使用时,空气弹簧具有优良的弹性特性,与普通的钢制弹簧和橡胶弹簧相比,它具有以下特点:

(1)空气弹簧具有非线性,可以将其特性曲线按实际需要进行理想设计,使其表现为在额定载荷附近具有较低的刚度值。

(2)即使支承载荷起变化时,借助高度调节阀可以使弹簧高度保持不变。

收稿日期:2008-11-10;修回日期:2009-03-09

基金项目:教育部资助贵州大学农机化二类特色专业建设项目(贵大发[2007]146号)

作者简介:袁 森(1974-),男,讲师,研究方向为机械工程。

(3)空气弹簧的刚度和承载能力可以通过调整内压来调节。

(4)能够隔离高频振动,隔音效果好。

(5)具有一定的阻尼。

空气弹簧特性如下:

1)空气弹簧的刚度  $k$  满足刚度特性方程:  $k = p_e \cdot$

$\frac{dA_E}{ds} + np \frac{A_E^2}{V}$ 。其中,  $p_e$  为空气弹簧内部气体有效压力;  $A_E$  为空气弹簧的有效承载面积;  $p$  为空气弹簧内气体绝对压力,  $p = p_a + p_e$ ,  $p_a$  为大气压力,  $V$  为气体容积,  $n$  是热力学指数(常数)。因此,不同于传统的金属弹簧悬架(弹簧刚度一般都是固定的),空气悬架的刚度是可变的<sup>[3]</sup>。

2)空气悬架的自身固有频率  $f$  满足方程:  $f = c \cdot$

$\sqrt{1 + \frac{p_a}{p_e}}$ ;  $c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{ng}{h}}$ ;  $h = V/A_E$  表示空气弹簧的有效高度。上述方程说明了空气弹簧内的压力和固有频率的关联关系。可以代入数值试算,空气悬架的固有频率是随着空气弹簧内部气体有效压力的变化而变化的,但变化幅度很小<sup>[4]</sup>。

## 2 简化空气悬架模型与动力学方程

汽车悬架可分为整车模型(七自由度模型)、1/2车模型(四自由度模型)、1/4 自由度模型(二自由度模型)<sup>[5,6]</sup>。当汽车对称于其纵轴线,且左右车辙的不平度函数相等时,此时汽车车身只有垂直振动和俯仰振动,这两个自由度的振动对平顺性的影响最大,故可将整车模型简化为四自由度模型。而在四自由度模型中,当簧载质量分配系数的值接近于 1 时,前后悬挂系统的垂直振动几乎是独立的,则可将四自由度模型简化为二自由度模型。所以文中采用既能反映汽车振动状况,又相对简单的二自由度模型。

在建立模型时(以汽车四悬架中的某一个悬架为例),将悬架所承受的车身质量简化为一质量块  $m_s$ ,将与悬架和车轮相连接的部件(轮毂、车轴等部件)简化为簧下质量块  $m_t$ ,  $m_s$  与  $m_t$  之间用空气弹簧、阻尼器和控制力相连,车轮同地面之间用轮胎连接,从而建立简化模型如图 1 所示。由于空气弹簧有其刚度,故用  $k$  表示空气弹簧的刚度,同样的用  $b$  和  $u$  分别表示阻尼和主控制力。轮胎也有一定的刚度,但其阻尼相对于悬架而言可以忽略不计,故轮胎在简化为一圆形的同时,其与簧下质量块  $m_t$  的连接上用弹簧  $k_t$  连接。 $x_s$ 、 $x_t$ 、 $q$  分别是簧载质量、簧下质量和路面输入的位移量。

分别取  $m_s$  与  $m_t$  为受力分析的研究对象,故可得到空气悬架的动力学方程如下:

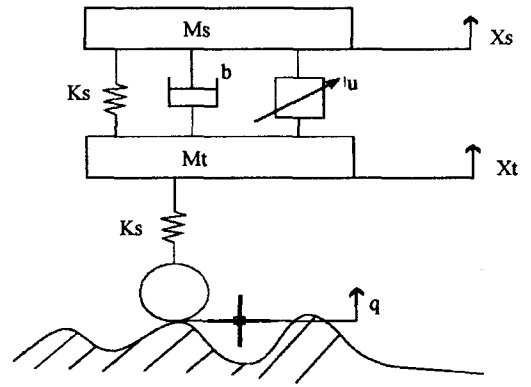


图 1 空气悬架模型

$$\begin{cases} m_s \ddot{x}_s = k_s(x_t - x_s) + b(\dot{x}_s - \dot{x}_t) - u + k_t(q - x_t) \\ m_t \ddot{x}_t = k_s(x_s - x_t) + b(\dot{x}_t - \dot{x}_s) - u \end{cases}$$

其中,位移的一阶导数表示速度,位移的二阶导数表示加速度。两个独立的式子,分别表示  $m_s$  与  $m_t$  两个质量块的力学平衡方程。

## 3 ADAMS 虚拟样机模型

利用 ADAMS 软件中 view 模块来建立空气悬架模型来建立仿真模型的步骤是:

(1)空气悬架仿真模型的参数准备。

在车辆仿真模型建立后,模型参数的精度是影响模型分析精度的主要因素。因此,模型参数的准备工作,必须引起仿真分析人员高度重视。建立车辆仿真模型所需的参数,可以总结归纳为四类:运动学参数(几何定位)、质量参数(质量、质心与转动惯量等)、力学特性参数(刚度、阻尼等特性)与外界参数等。获得模型参数有数种方法:图纸查阅法、实验法、计算法、CAD 建模法等。文中采用图纸查阅法参考了相关资料<sup>[3]</sup>的数据参数。

本模型的建立如表 1 拟定各参数。

表 1 模型参数

项目	簧上质量 (kg)	轮胎质量 (kg)	弹簧刚度 (kN/m)	阻尼	轮胎刚度 (kN/m)
数值	250	30	80	6	200

(2)创建空气悬架仿真模型。

在创建空气悬架仿真模型时,首先要创建构成模型的物体(Part),它们具有质量、转动惯量等物理特性<sup>[7,8]</sup>。创建物体的方法是使用 ADAMS/View 中的零件库创建形状简单的物体。创建完物体后,需要使用 ADAMS/View 中的约束库创建两个物体之间的约束副,这些约束副确定物体之间的连接情况以及物体之间是如何相对运动的。最后,通过施加力和力矩,以使模型按照要求进行运动仿真。

在 ADAMS/View 模块下建立简化的二自由度 1/

4 车辆空气悬架动力学模型。简化的动力学模型如图 2 所示,它包括简化的车身、轮胎模型、弹簧阻尼器模型以及路面激励。

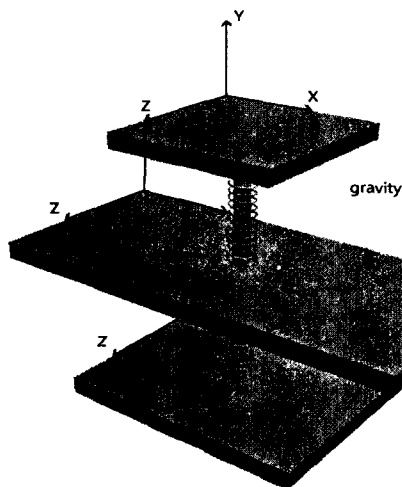


图 2 空气悬架虚拟样机模型

### (3) 测试和验证空气悬架模型。

创建完模型后,通过测试整个模型或模型的一部分,以验证模型的正确性。将机械系统的物理实验数据输入到 ADAMS/View 中,并且以曲线的形式叠加在 ADAMS/View 的仿真曲线中,通过比较这些曲线,就可以验证创建模型的精确度<sup>[5]</sup>。

### (4) 空气悬架模型仿真试验。

给测试平台施加一个竖直方向的运动激励,车轮随测试平台做上下运动,预先定义需要的测量函数,设置该仿真时间、迭代子步,就可以进行仿真了。

### (5) 空气悬架模型仿真结果后处理。

观察仿真结果的曲线变化,分析空气悬架模型各部分结构的变化,判断悬架的结构参数是否合理。

## 4 建模分析

在上面的建模中给定了空气弹簧的刚度为 80,现在在空气弹簧处创建一个执行器,使空气弹簧的刚度和自身频率分别满足:

$$k = p_e \frac{dA_E}{ds} + np \frac{A_E^2}{V}, f = c \sqrt{1 + \frac{p_a}{p_e}}$$

对于与  $k$  和  $f$  相关的参数分别由所创建的各个传感器提供;对于阻尼  $c$ ,它可以由路况信号决定的离散

参数提供,这样就完成了空气悬架电控化的虚拟样机化。由动力学方程:

$$\begin{cases} m_t \ddot{x}_t = k_s(x_s - x_t) + b(\dot{x}_s - \dot{x}_t) - u + k_t(q - x_t) \\ m_s \ddot{x}_s = k_s(x_t - x_s) + b(\dot{x}_t - \dot{x}_s) + u \end{cases}$$

在 ADAMS 中设定  $x_t$ 、 $q$  为输入量,  $x_s$  为输出量,且将  $k = p_e \frac{dA_E}{ds} + np \frac{A_E^2}{V}$  代替  $k_s$  代入动力学方程,  $u$  为已知的主控力,显然可以得到关于  $x_t$ 、 $q$  为输入量,  $x_s$  为输出量的二阶微分方程。在 ADAMS 的 Solver 模块中就可以得到所要的  $x_s$  的一般关系式和在不同的输入情况下不同的输出,从而完成用 ADAMS 对电控空气悬架的性能分析<sup>[6]</sup>。

## 5 结束语

在对空气悬架进行结构及其动力学的分析的基础上,采用 ADAMS 虚拟样机技术,建立了简化悬架几何模型,为后续的汽车空气悬架动力学分析或优化设计提供了一种先进高效快捷的方法。

### 参考文献:

- [1] 刘刚,程勉宏,王文竹. 基于 ADAMS 的汽车主动悬架控制策略和仿真研究[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2005, 22(5): 37-39.
- [2] 支龙,昌放辉,陈立平,等. 汽车半主动悬架的 ADAMS 和 MATLAB 联合仿真[J]. 自动化与仪表, 2004(6): 43-45.
- [3] 孙为群,柳玉春,陈建武. 汽车空气弹簧的理论分析与试验研究[J]. 汽车科技, 1999(2): 1-5.
- [4] 陆正刚. 铁道车辆主动、半主动空气弹簧悬挂系统的研究[J]. 铁道学报, 2001, 23(1): 33-38.
- [5] 陈业斌. 关于天空动态仿真技术研究及实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(6): 171-173.
- [6] Ballo I. Properties of Air Spring as a Force Generator in Active Vibration Control Systems[J]. Vehicle System Dynamics, 2001, 35: 67-72.
- [7] Ogawa K, Satoh K, Enomoto T. Development of damping control system for air suspension[J]. JSAE Review, 1996, 17: 319-324.
- [8] Toyofuku K, Yamada C. Study on dynamic characteristic analysis of air spring with auxiliary chamber[J]. JSAE Review, 1999, 20: 349-355.