

文章编号: 1008-2956(2004)05-0009-03

## 基于 ADAMS 的齿轮传动系统动态特性仿真

崔清斌, 吴大林, 康海英

(军械工程学院火炮工程系, 河北石家庄 050003)

**摘要:** 介绍了齿轮传动系统的特点, 建立了齿轮传动系统动力学仿真模型。基于 ADAMS 对齿轮传动系统的动力特性进行了仿真, 结果表明该模型与齿轮传动箱的动力学特性吻合。本模型和仿真方法为齿轮载荷获取、疲劳寿命预测提供了新的途径。

**关键词:** 齿轮; 传动; 动力学仿真; ADAMS

**中图分类号:** TH132.41; TP319.9

**文献标识码:** A

齿轮传动广泛地应用于各种机械产品和装备中, 其力学特性对整个机械系统的性能有极大影响, 准确地掌握齿轮传动的力学特性, 对于整个系统的优化设计、强度校核、故障诊断与预测试验结果起着很重要的作用。研究系统中动态激励的传递以及各零部件的动态响应, 是齿轮系统动力学的重要研究内容, 对减小动态激励的传递、降低系统各零件的振动、减小支承轴承的受载、提高寿命以及对齿轮强度和可靠性设计具有重要意义。由于齿轮装配位置一般不利于安装测量仪器, 广大工程人员迫切希望找到一种能全面、准确地预测齿轮传动动力学特性的办法。

多体理论是继有限元理论和模态理论之后, 又一项具有广阔前景的新理论。它能在许多传统的工程领域内建立反映实际的模型, 实现系统的仿真分析和研究。利用多体系统动力学仿真软件 ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System) 建立虚拟样机进行仿真, 可以方便地得到所需的各种数据, 可用于零部件的强度校核、寿命预测和指导工程设计等<sup>[1,2]</sup>。

## 1 齿轮传动系统的特点

齿轮传动是由多个齿轮及其支承零件组成的机械结构, 具有传动平稳可靠、传动效率高、传动功率范围广、速度范围大、结构紧凑、维护简便和使用寿命长等优点。齿轮传动的动力和运动是通过轮齿共轭齿面间的相互作用而传递的, 即使外界载荷恒定且工作负载稳定, 如果啮合时啮合轮齿之间的作用力的大小、方向或作用点中任何一个因素发生变化, 都会产生振动。负载在齿轮传动中是逐齿传递的, 在直齿圆柱齿轮中总是出现单齿对啮合和双齿对啮合的交替, 从而产生啮入冲击和啮出冲击, 引起齿轮上载荷的变化及转速的波动, 造成传动中的冲击和噪声。另外齿轮传动没有过载保护作用, 传动过程中动载荷过大会对齿轮造成致命性的危害, 如齿根断裂<sup>[3]</sup>。

## 2 齿轮传动系统仿真模型建立与分析

### 2.1 ADAMS 计算、求解方法<sup>[4,5]</sup>

ADAMS 作为具有仿真整个机械系统工作性能的大型仿真分析软件, 由于其独特的“虚拟样机”造型而倍受众多研究者关注。它使用交互式图形环境和部件库、约束库、力元库, 用堆积木式方法建立三维机械系统参数化模型。ADAMS 仿真可用于估计机械系统性能、运动范围、碰撞检测、峰值载荷以及计算有限元的载荷输入。

ADAMS 以刚体  $i$  的质心笛卡尔坐标和反映刚体方位的欧拉角或广义欧拉角作为广义坐标, 即,  $q_i = [x, y, z, \Psi, \theta, \Phi]_i^T$ ,  $q = [q_1^T, \dots, q_n^T]^T$ , 每个刚体用 6 个广义坐标描述。

收稿日期: 2004-06-24; 修回日期: 2004-09-09

作者简介: 崔清斌(1978—), 男, 硕士研究生。

程序采用拉格朗日乘子法自动建立系统运动方程:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E}{\partial \dot{q}} \right)^T - \left( \frac{\partial E}{\partial q} \right)^T + \phi_q^T \rho + \theta_q^T \mu = Q, \quad (1)$$

式中,  $E$  为系统动能,  $q$  为系统广义坐标列阵,  $\rho$  为对应于完整约束的拉氏乘子列阵,  $\mu$  为对应于非完整约束的拉氏乘子列阵,  $Q$  为广义力列阵。

完整约束方程:  $\phi(q, t) = 0$ 。非完整约束方程:  $\theta(q, \dot{q}, t) = 0$ 。

## 2.2 动态仿真模型建立

传动系统的几何参数、物理参数可采用三维实体 CAD 软件 Pro/E 计算得到。根据已有的二维零件和总成图纸, 在 Pro/E 中建立齿轮传动系统三维模型, 输入材料特性参数后, 即可获得齿轮传动系统的零部件质量、质心位置、转动惯量等原始模型数据。

ADAMS 提供了与 Pro/E 软件的数据交换接口 M/Pro, 在 Pro/E 环境中将传动系统的三维实体模型定义成为刚体传送到 ADAMS/View 模块中, 零部件经这样导入 ADAMS 后, 各零部件之间还是毫无联系地独立存在于 ADAMS 中。这种状态下即使全部零部件都已导入, 也不能构成一台具有现实意义的虚拟样机。只有在此基础上加入适当的铰链连接、作用力矩、运动约束, 才能建立传动系统仿真模型即虚拟样机, 如图 1 所示。

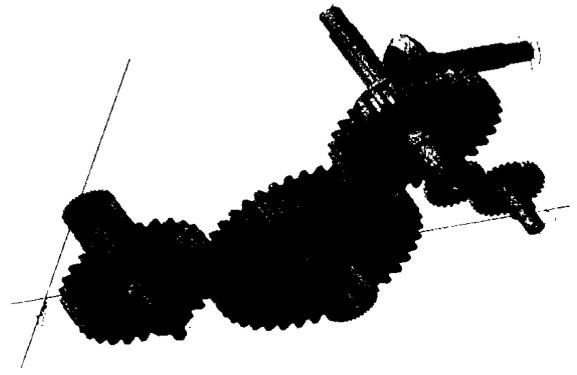


图 1 齿轮传动仿真模型

## 2.3 基于模型的仿真

ADAMS/Solver 模块在机械系统的仿真模型建立后自动生成动力学方程, 提供静力学、运动学、动力学的解算结果, 为用户提供位移、速度、加速度、力和自定义的数据。

以某型自行火炮齿轮传动箱为例进行仿真分析。自行火炮齿轮传动箱是传递发动机至主动轮动力的主要部件, 带动风扇、高压空气压缩机、液压系统主泵工作, 使传递给主离合器的转速升高, 扭矩降低, 减小了主离合器、变速箱、行星转向器的传递扭矩, 从而缩小了这些部件的尺寸。齿轮传动箱承受着来自发动机、风扇、高压空气压缩机、液压系统主泵和主离合器等外界激励的作用, 使得它工作过程中的动载荷变得非常复杂, 这也是导致齿轮传动箱产生振动、冲击、噪声和齿轮轮齿折断的主要原因。

### 1) 施加约束

根据齿轮传动箱的运动关系, 在各齿轮加上转动副约束, 齿轮对之间加上齿轮副约束。

### 2) 施加驱动力矩

考虑到发动机的功率特性, 将发动机的输出扭矩作为齿轮传动箱的驱动力矩, 用一次线性函数表示:

$$T = -158.84\omega + 3.0165 \times 10^6, \quad (2)$$

式中,  $T$  为力矩,  $\omega$  为被动齿轮轴转速。函数曲线通过计算说明书上提供的扭矩与转速之间的关系拟合得出。

### 3) 施加负载

风扇处的阻力力矩用二次函数表示:

$$T = 0.0029843\omega^2 - 0.0034239\omega + 20.236. \quad (3)$$

空气压缩机被动齿轮轴的阻力力矩为  $49\text{N} \cdot \text{m}$ , 不考虑液压泵的阻力矩, 被动齿轮轴处的负载用运动约束代替, 数值通过自行火炮在水泥路面上的行驶实验测主离合器起动齿圈转速得到, 如图 2 所示, 发动机的转速控制在  $1500\text{r}/\text{min}$  (即  $157\text{rad}/\text{s}$ ) 左右。

考虑到系统内部轴承的摩擦阻力, 轴承处的摩擦系数取机械设计说明书上提供的数据  $0.002^{[6]}$ , 取步长为  $0.001$ , 时间为  $0.5\text{s}$ , 对自行火炮齿轮传动箱进行仿真, 仿真结果如图 3-7 所示。

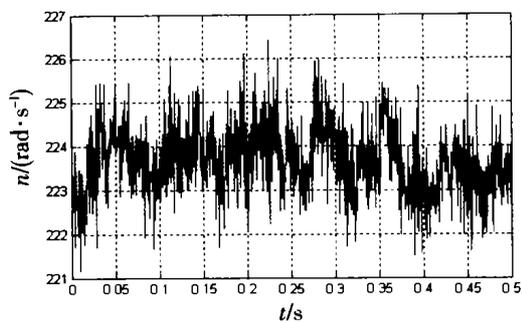


图2 被动齿轮轴转速

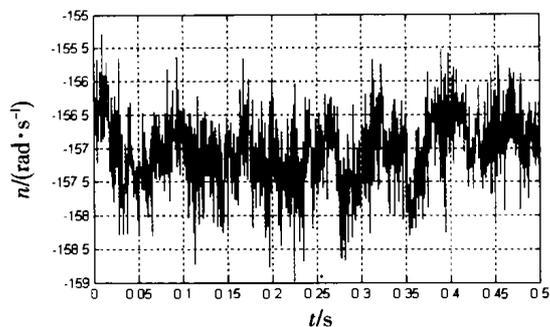


图3 主动齿轮轴转速

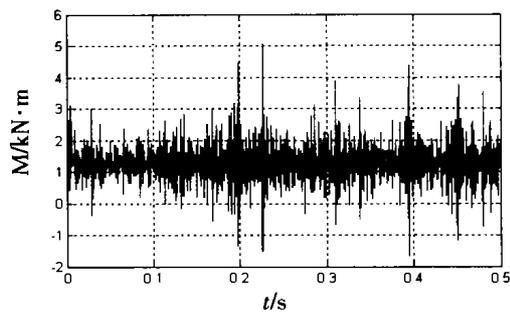


图4 被动齿轮轴的阻力扭矩

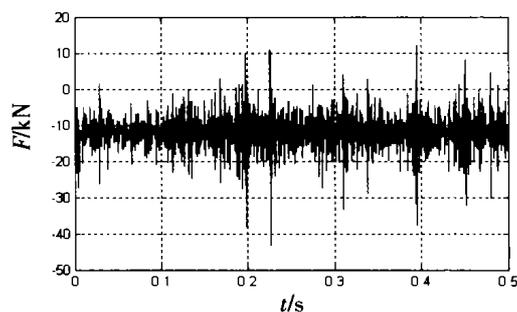


图5 主动齿轮轴的支反力

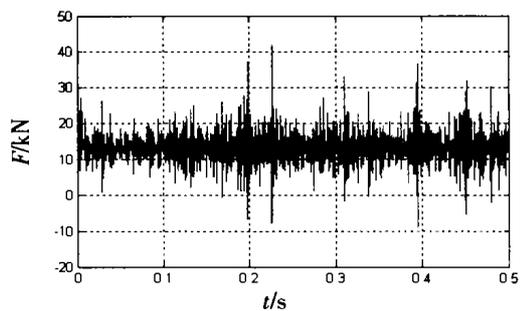


图6 被动齿轮轴的支反力

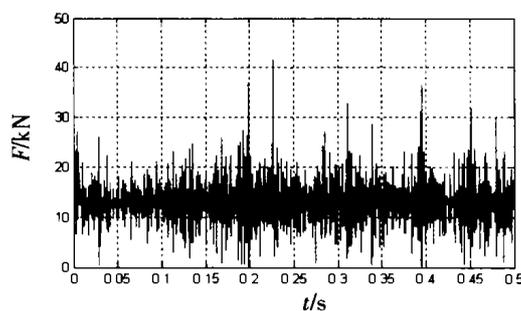


图7 主、被动齿轮轴的啮合力

由图2、3可知,主、被动齿轮轴的转速比满足设计的传动比(0.7),说明建立的齿轮传动系统仿真模型比较合理,能对齿轮传动箱系统的各种运动工况进行仿真分析;由图4可知,利用发动机的功率特性曲线和在被动齿轮轴施加运动约束,仿真得到被动齿轮轴上的阻力扭矩的大小及变化趋势,再根据自行火炮传动系统的传动比,可以反映在发动机的输出力矩与地面行驶阻力共同作用下主动轮的受力矩大小及变化趋势,为自行火炮行走部分的仿真提供了载荷参考;由图5-7可知,仿真得到的各轴约束处的支反力和齿轮的啮合力,这些数据在物理样机实验中很难测量,为测量轴约束处的支反力和齿轮的啮合力提供了一种可行且简便的方法。

### 3 结束语

本文建立了齿轮传动系统动力学特性的仿真模型,在ADAMS环境下,结合实验数据进行了仿真计算,结果表明用ADAMS建立的齿轮传动系统仿真模型是有效的,能真实地仿真系统的工作过程,可以迅速地分析和比较多种参数方案,能对机械传动系统动力学性能做出较为全面的预测,对于改善机械传动系统动力学性能和关键零部件设计起到重要的指导作用,同时,结合有限元软件和疲劳分析软件可以对关键零部件进行寿命预测,为关键零部件疲劳寿命预测提供动态载荷谱,尤其是在齿轮传动箱物理样机开发前期进行虚拟样机的性能分析及寿命预测,对于指导齿轮传动箱的参数化设计具有重要意义。

(下转第16页)

**参考文献:**

- [1] 徐清泉, 程受浩. 近炸引信测试技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
- [2] 杨宝强, 崔忠伟, 许爱国. 一种无线电引信信号传输装置 [P]. 中国: ZL97211267, 1999.
- [3] 李彦学. 无线电与电子时间引信 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1996. 201 - 210.
- [4] 王军波. 引信系统分析与设计原理 [M]. 北京: 解放军出版社, 2001. 106 - 112.
- [5] 刘迎春, 叶湘滨. 传感器原理、设计与应用 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000. 215 - 221.

(责任编辑: 刘宏波)

### Design of Radio Fuze Dynamic Simulation Test System Based on Fiber - optic Technology

JING Yu - huan<sup>1</sup>, WANG Jun - bo<sup>2</sup>, YU Xin - feng<sup>2</sup>

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Department of Ammunition Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** To improve the accuracy of radio fuze pole tests, aiming at the outstanding problem of old equipment purchased from abroad, the radio fuze dynamic simulation test system based on fiber - optic technology is designed in this paper. Test principles, design of software and hardware and the calibration of the system are given out.

**Key words:** radio fuze; fiber optic; doppler; software



(上接第 11 页)

**参考文献:**

- [1] 洪嘉振. 计算多体系统动力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [2] 刘又午. 多体动力学在机械工程领域的应用 [J]. 中国机械工程, 2000, 11 (1 - 2): 144 - 149.
- [3] 李润方, 王建军. 齿轮系统动力学——振动、冲击、噪声 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [4] 郑建荣. ADAMS——虚拟样机技术入门与提高 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [5] 邹怀武, 石端伟. 基于虚拟技术的减速器动力学建模与仿真 [J]. 水利电力机械, 2003, 25 (1): 41 - 44.
- [6] 吴宗泽. 机械设计实用手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.

(责任编辑: 牛燕平)

### Study on Dynamics Characteristics about Gear Transmission Based on ADAMS

CUI Qing - bin, WU Da - lin, KANG Hai - ying

(Department of Guns engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The characteristic of gear transmission is described, and the dynamic simulation model of gear transmission system is built by means of ADAMS. According to experimental data, the simulation results are given. All the results show that this gear transmission model is practical. A new method of obtaining load data and predicting gear fatigue life are presented in this paper.

**Key words:** gear; transmission; dynamic simulation; ADAMS