

基于 ADAMS 的齿轮传动系统可靠性研究

郭术义, 杨杰

(华北水利水电学院, 郑州 450011)

摘要:利用 Pro/Engineer 完成齿轮三维虚拟造型, 运用 ADAMS 软件对三维造型进行虚拟装配、动力学仿真分析, 借助于 ANSYS 软件实现了对齿轮的可靠性寿命研究。计算结果略高于试验结果。本方法对研究齿轮可靠性提供了新的途径。

关键词:ADAMS 软件; 齿轮; 可靠性

中图分类号:TH132.41

文献标识码:A

文章编号:1006-0006(2007)06-0050-02

Gear Transmission Reliability Study Based on ADAMS

GUO Shu-yi, YANG Jie

(North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The traditional gear reliability experiments have been gotten in the way of the reliability development. The gear three-dimensional virtual modeling was accomplished by Pro/Engineer. The virtual assembly and dynamics emulate analysis was finished by ADAMS software. The gear reliability life study was carried out by ANSYS software. The computing results are larger than the results from the experiments. This method provides a new way to study gear reliability.

Key words: ADAMS software; Gear; Reliability

1 前言

传统齿轮传动系统的可靠性设计主要通过齿轮可靠性试验^[1]获得齿轮的弯曲疲劳寿命和强度等概率统计分布规律, 如研究采用新材料的齿轮的可靠性, 必须进行齿轮的全寿命试验, 这就需要选择大量高精度齿轮样本进行试验, 并浪费大量工作时间进行概率分布统计规律分析。

虚拟样机技术是近几年发展起来的, 基于智能设计技术、信息技术、多媒体/虚拟现实技术、仿真工程、系统技术和管理技术的先进技术, 它以计算机仿真和建模技术为支持, 利用虚拟产品模型, 使产品在实际加工之前即对产品的性能、行为、功能和产品的可制造性进行预测, 从而完成设计方案的评估和优化。因此, 虚拟样机技术能够完成虚拟产品设计、虚拟系统装配、虚拟系统测试、优化分析等多方面的工作, 大大缩短了产品的设计周期, 节省了产品设计费用。在虚拟样机软件中, ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System) 软件最具有权威性, 是机械系统使用范围最广的运动学、动力学虚拟分析软件。本文介绍利用 ADAMS 虚拟样机软件对齿轮可靠性进行研究, 为齿轮的可靠性研究提供新思路。

2 虚拟样机技术研究

2.1 齿轮动力学仿真研究

图1为采用 ADAMS 软件的齿轮虚拟样机技术路线。齿轮设计必须考虑齿轮工作的环境, 如温度、压力、环境腐蚀性等, 根据环境选择合适的材料, 并对材料进行力学、化学等基本性能分析。

ADAMS 并没有提供齿轮模块, 所以, 必须利用其它三维造型软件, 如 Pro/Engineer 完成齿轮虚拟样机设计。

虚拟样机系统仿真分析主要包括系统装配设计与分析和系统工作仿真设计与分析, 这些可通过 ADAMS 软件完成。虚拟样机的系统装配设计与分析内容包括虚拟样机的组装、造型, 调整以及系统的静

态干涉检查分析等; 确立零件之间合理的层次结构和空间定位关系; 建立虚拟样机的总体几何模型和物理模型, 直观地展示虚拟样机装配过程中零件的运动形态和空间位置关系。

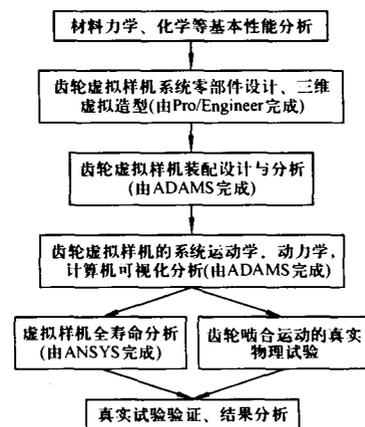


图1 采用 ADAMS 软件的齿轮虚拟样机技术路线
Fig. 1 Virtual Prototype Technique by Using ADAMS

虚拟样机系统工作仿真设计与分析完成虚拟样机系统运动学和动力学分析以及系统的动态干涉检查等, 主要步骤有: (1) 系统的初始状态确定, 包括齿轮对所受外力、计算自由度, 保证主动力的数目与系统自由度数目相等; (2) 系统运动求解的参数设定, 即指定齿轮以及齿轮对运动求解所需的时间、受力情况, 系统求解参数, 如位移、速度、加速度、作用力等; (3) 运动求解, 按照指定的参数计算齿轮对全部的运动, 生成运动过程各零、部件的运动动画和参数; (4) 运动仿真分析, 分析虚拟样机的运动数据及动画结果。

鉴于篇幅关系, 在此不再给出详细的 Pro/Engineer 几何造型过程以及 ADAMS 软件中齿轮啮合的运动学和动力学分析过程。图2

为利用 ADAMS 软件的齿轮虚拟装配后虚拟造型。图 3 为 ADAMS 软件完成的齿轮啮合运动虚拟仿真结果。

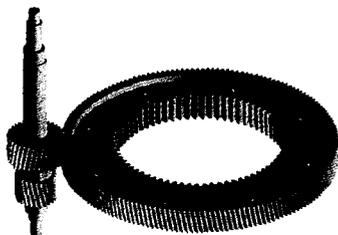


图 2 ADAMS 中斜齿轮的传动虚拟造型
Fig. 2 Helical Gear Virtual Modeling in ADAMS

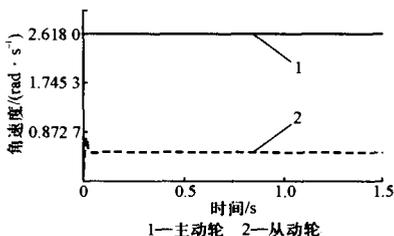


图 3 斜齿轮的运动分析
Fig. 3 Motion Analysis of Helical Gear

2.2 齿轮虚拟样机可靠性分析

ADAMS 软件完成的齿轮啮合的动力学分析过程,得到了齿轮传动的应力-时间($F-t$)曲线。将该曲线输入到软件 ANSYS 中,利用该软件的有限元分析功能,进行实际工况下齿轮应力-应变分析,确定出多级应力水平下的齿轮应力循环特性,得到可靠性-应力-寿命曲线,记为 $R-S-N$,也记为 $P-S-N$ 曲线,确定出齿轮的寿命。根据 $R-S-N$ 的关系,把上述计算的寿命数据和试验数据换算到同一应力水平下。以 42CrMo 材料的齿轮(齿面淬火)为例,齿轮虚拟样机的弯曲疲劳虚拟可靠性计算数据^[2]如表 1 所示。

表 1 齿轮虚拟样机可靠性计算数据
Tab. 1 Reliability Data of Gear Virtual Prototype

应力水平/MPa	寿命/($N \times 10^6$)				
314.27	0.166	0.230	0.374	0.550	0.604

表 2 的数据^[3]是 42CrMo 材料的齿轮通过电磁谱疲劳试验机测得的数据。对比表 1 与表 2 的数据,发现:虚拟样机计算出来的数

据普遍高于试验得到的数据,即齿轮通过预测的寿命值普遍偏高。究其原因,主要是由于在齿轮虚拟样机进行虚拟仿真分析时完全忽略了真实物理齿轮的表面粗糙度、齿轮的加工质量、加工误差、齿轮啮合间隙误差以及齿轮加工以及齿面淬火引起的应力等因素的影响。

表 2 齿轮可靠性试验数据
Tab. 2 Experimental Data of Gear Reliability

应力水平/MPa	寿命/($N \times 10^6$)				
314.27	0.187	0.230	0.240	0.314	0.331

3 结论

- 1) 利用 Pro/Engineer 完成齿轮虚拟样机的三维造型,利用 ADAMS 软件可以完成齿轮虚拟样机的虚拟装配,模拟多种工况条件下齿轮啮合运动学、动力学分析。
- 2) 真实齿轮疲劳寿命试验需投入大量人力、物力和财力,历经很长的时间,ADAMS 软件可以在比较短的时间内完成齿轮的动力学仿真分析。
- 3) 尽管虚拟样机模拟得到的齿轮寿命与齿轮疲劳试验存在一定的偏差,但从这些数据上可以大致了解实际齿轮的寿命分布概况。
- 4) 不同材料的齿轮可靠性试验,虚拟样机仿真工作只需调整 ADAMS 软件的参数即可,不必准备真实齿轮样本。

因此,ADAMS 软件在齿轮可靠性的应用为齿轮可靠性研究提供重要的参考价值,也为复杂机械系统的可靠性研究提供了一种新的思路,在实际工程中有切实的意义。

参考文献:

[1] 李和. 齿轮弯曲疲劳的可靠性试验研究[D]. 北京:北京科技大学,1990.
 [2] 郭毅之. 小试样复杂机械系统可靠性研究[D]. 山东:山东大学机械工程学院,2002.
 [3] 陈举华,张丽丽,张洪才. 复杂机电系统全寿命设计研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2004,22(4):459-464.

(编辑 郭聚臣)

作者简介:郭术义(1971-),男,山东济南人,博士,主要从事机械系统可靠性研究。

(上接第 49 页)

因此拖拉机离合器碟形弹簧的优化设计是含有 8 个不等式约束,1 个等式约束的 5 维变量的非线性规划问题。

2 MATLAB 算例

本文利用 MATLAB 6.5 优化工具箱中的优化函数对上述数学模型进行求解^[2]。先在工作目录下分别编制目标函数文件 fun. h 和约束函数文件 con. h,在命令窗口输入优化变量的初始值和上下限,调用优化函数 fmincon() 进行优化。[x, f_opt, c, d] = fmincon('fun', x0, A, B, Ae, Be, lb, ub, 'con', OPT); x, f_opt, kk = d. funcCount, 给定初值 x_0 , 求解 fun 函数的最小值, opt 为控制选项。lb 和 ub 分别为设计变量 x 的下界和上界,使得 $lb < x \leq ub$, con 为定义约束条件的函数。当参数 A, B, Ae, Be 没有定义时,可设为[" "]。优化变量以 x 的形式返回,目标函数值以 f_opt 的形式返回。

某拖拉机离合器及原碟簧设计参数:发动机最大功率 $P_e = 257.25$ W, $f = 0.25$, $Z_c = 2$, $\Delta s = 1$ mm, $[\sigma] = 1.4 \times 10^3$ N/mm², $\mu = 0.3$, $\beta = 1.7$, $E = 2.06 \times 10^5$ N/mm², $\varepsilon = 0.2$, $m = 2$, $H = 8$ mm; $h = 3$ mm; $\lambda = 5$ mm, $R = 140$ mm, $r = 60$ mm。

利用 MATLAB, 经过 459 次迭代后, 得到如下优化结果:

$H = 6.7799$ mm; $h = 2.784$ mm; $\lambda = 4.6459$ mm; $R = 139.3205$ mm; $r = 73.841$ mm。

3 结论

优化后离合器工作压紧力变化比优化前降低了 6%, 优化后的目标函数很小, 表明弹簧磨损前后工作压紧力变化小。用 MATLAB 工具箱求解约束非线性优化问题, 比一般的复合形法收敛速度快, 具有较好的稳定性和可靠性。

参考文献:

[1] 邵忍平, 刘丽春, 黄欣娜. 拖拉机离合器碟形弹簧优化设计[J]. 机械科学与技, 1996(2): 227-229.
 [2] 薛定宇, 陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.

(编辑 姜洪君)

作者简介:姜早(1974-), 女, 山东烟台人, 讲师, 硕士。