

基于虚拟样机技术的新型机械式激振器的仿真分析

刘 丹, 邢海军

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:基于传统机械式激振器的工作原理及结构特点,设计了一种新型机械式激振器,目的是为了实现在当激振器从低频到高频变化时,激振力先增大后减小,但在一定范围内变化的效果。对新型机械式激振器的结构设计进行了介绍,运用 Solidworks 和 ADAMS 软件联合建立了新型机械式激振器的虚拟样机,并对其进行了动力学仿真与分析。仿真结果直观地显示了新型机械式激振器的激振力的变化情况,验证了激振器结构设计的合理性,同时为激振器的研究提供了新的方向。

关键词:机械式激振器;激振力;Solidworks 实体建模;ADAMS 仿真

中图分类号: TH122;O323 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2018)04-0025-05

0 引言

传统的机械设计研发通常根据结构设计参数进行实物制造,将测试数据与理论分析进行对比,并根据对比结果对实物进行优化。这就造成了每次分析优化后都需要对实物进行结构重建,不仅耗费了大量人力和财力,同时也增加了新产品研发的成本,得不偿失^[1]。虚拟样机技术的出现在一定程度上解决了传统设计方法面临的难题,通过计算机软件对虚拟样机进行三维建模,针对产品在不同工况下的实际工作情况仿真分析,根据仿真结果对产品的整体性能进行预测,并改进优化产品结构,从而提高产品性能^[2]。虚拟样机技术在很大程度上使得产品结构设计正确性和合理性得到了保证,同时大大缩短了产品的开发周期,并且在提高设计质量的同时,降低了设计成本。

目前,在振动实验中为试件提供激振力的设备主要有力锤、激振器和振动台等,其中激振器是振动力学实验中最关键的设备,并且现代工业中所涉及到的大多数振动机械主要是通过电动机驱动激振器来进行工作的^[3-4]。机械式激振器作为激振器的代表,具有结构简单,安装拆卸方便等特点,在工程技术领域得到了广泛的应用^[5]。结合传统机械式激振器的工作原理以及结构特点,本文提出了一种新型机械式激振器^[6],并对其整体结构进行了介绍,利用 MATLAB 软件编制了相应的程序对新型机械式激振器在运动过程中产生的激振力进行了算例分析,最后利用 Solidworks 和 ADAMS 软件联合建立了新型机械式激振器的虚拟样机,并对其工作过程进行了仿真,不仅节省了时间和精力,同时也对理论分析结果进行了验证^[7-8]。新型机械式激振器最大的研究意义是在一定程度上保证了当激振频率从低频到高频变化时,整个装置在竖直方向产生的激振力的最大幅值在较小范围内变化的效果,对激振器的研究具有重要的理论及实际意义。

1 新型机械式激振器介绍

本文设计了一种新型机械式激振器,包括传动装置、轴承、驱动装置、联轴器、连接罩、偏心装置、轴承端盖、花键轴一、花键轴二及箱体。偏心装置采用对称结构安装,偏心块与质量块反向布置。其结构示意图如图 1 所示。

收稿日期:2017-04-05 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2018.04.04

基金项目:河北省科技计划项目(14212202D)

作者简介:刘丹(1990—),女,硕士研究生,研究方向为机械设计及理论。E-mail:983305096@qq.com

刘丹,邢海军.基于虚拟样机技术的新型机械式激振器的仿真分析[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2018,31(3):25-29.

新型机械式激振器的工作原理是驱动装置将输出的动力通过联轴器传递给花键轴一,花键轴一上的齿轮一与花键轴二上的齿轮二啮合,花键轴一和花键轴二以 ω 的激振频率反向旋转,同时带动偏心装置同步转动。由于偏心装置的对称性,整个偏心装置在水平方向产生的激振力的合力为零,质量块 m 在竖直方向上产生的激振力对偏心块 M 在垂直方向上产生的激振力部分抵消,使得整个激振器产生的激振力在竖直方向上的合力相互叠加。随着激振频率 ω 在一定范围内变化时,使得新型机械式激振器产生的激振力达到在较小范围内变化的效果。

2 算例分析

由新型机械式激振器的结构可知,整个装置产生的激振力由偏心装置产生。因此,激振力的大小由偏心装置的结构参数决定。偏心装置由偏心装置一、偏心装置二、偏心装置三及偏心装置四 4 部分组成,他们的结构相同且对称布置,因此仅对偏心装置一进行分析。偏心装置一的结构简图如图 2 所示。

其中偏心装置一的连杆 AB 的长度为 l ,连杆 BC 的长度为 al ,连杆 BD 的长度为 bl ,连杆的线密度为 m_0 ,弹簧原长为 $(1+b)l$,弹簧刚度为 k ,销轴连接处的质量为 m' ,偏心块 M 对应的偏心距为 E ,质量块 m 对应的偏心距 e ,其中偏心距 E 与偏心距 e 反向布置,连杆 AC 和连杆 AD 之间的夹角为 φ 。

利用 MATLAB 优化工具箱^[9]对偏心装置一的结构参数进行优化后得到的优化结果如下: $a=1, b=0.7, m=0.1 \text{ kg}, l=0.1 \text{ m}, M=0.6 \text{ kg}, E=0.02 \text{ m}, k=30 \text{ N/mm}, m_0=2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}, m'=0.1 \text{ kg}$ 。当 φ 在 $5^\circ \sim 36.5^\circ$ 变化时,新型机械式激振器产生的激振力与传统机械式激振器产生的激振力进行对比,如图 3 所示。

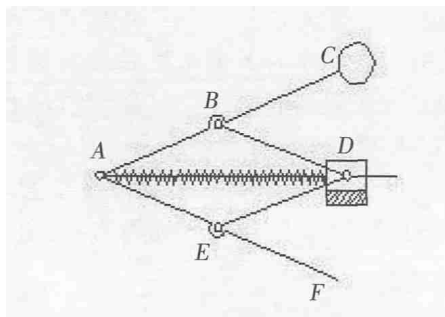


图 2 偏心装置一的结构简图

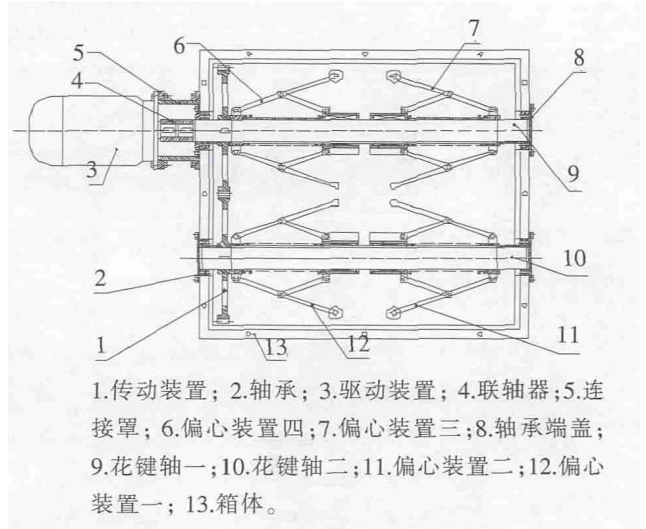


图 1 新型机械式激振器

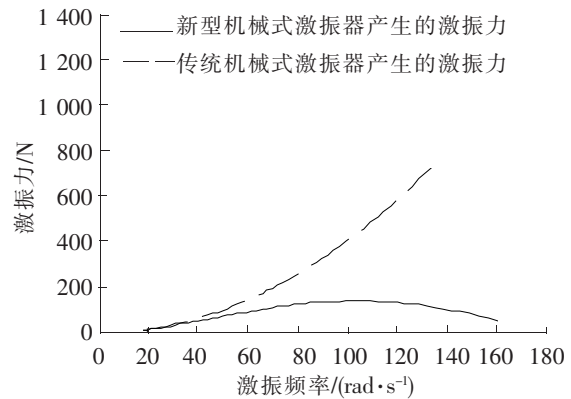


图 3 新型机械式激振器与传统机械式激振器产生的激振力比较

由图 3 可以得到,当激振频率 ω 在 $18 \sim 174 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间变化时,传统激振器产生的激振力在 $16 \sim 1200 \text{ N}$ 之间变化,而新型机械式激振器产生的激振力变化范围为 $16 \sim 140 \text{ N}$ 。由此可以看出,传统机械式激振器由于偏心块的质量和偏心距的大小固定不变,使得激振力以 ω^2 的倍数增加,当激振器在高频状态下工作时,产生的激振力很大;而当新型机械式激振器的激振频率从低频到高频变化时,激振力先增大后减小,且在较小范围内变化,达到了预期的效果。

3 新型机械式激振器的三维建模与仿真分析

3.1 新型机械式激振器三维模型的建立

在进行虚拟样机的仿真分析之前,首先需要建立一个合格的三维模型,这将直接影响到后期的仿真效果。本文利用 Solidworks 软件建立新型机械式激振器的三维模型,如图 4 所示。

由于新型机械式激振器的偏心装置、齿轮等各轴向均已定位,因此最可能发生干涉对的地方是用于传动的齿轮之间以及偏心装置的连杆与花键套之间,所以需要对这些零部件进行干涉检验。检验结果显示各个齿轮之间均为正常啮合,偏心装置的连杆与花键套之间不存在干涉。

3.2 新型机械式激振器虚拟样机的建立

采用 Parasolid 格式输出数据的方式,将新型机械式激振器的三维模型导入到 ADAMS/View 软件中,如图 5 所示。经检查,导入的新型机械式激振器的结构参数均无误。

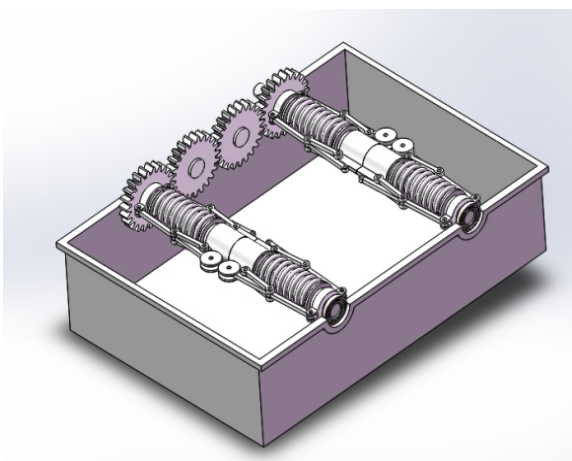


图 4 新型机械式激振器的实体模型

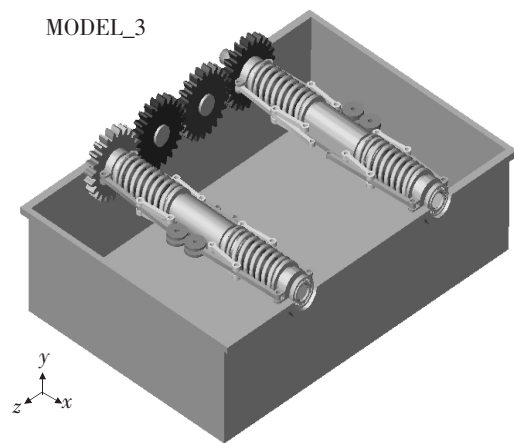


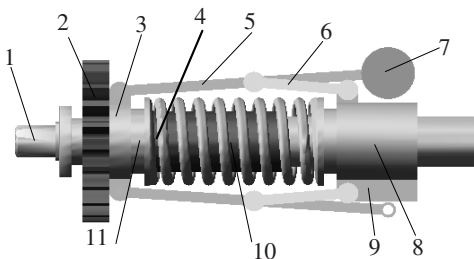
图 5 导入到 ADAMS 后的新型机械式激振器模型

由于新型机械式激振器的结构涉及到的零部件较多,整体仿真误差较大,又因为仿真结果主要与偏心装置有关,偏心装置包括的偏心装置一、偏心装置二、偏心装置三以及偏心装置四的结构相同且对称安装,因此仅对花键轴一与偏心装置一零部件组成的结构进行仿真即可,其结构如图 6 所示。

通过分析新型机械式激振器的结构组成、运动规律以及各零件间的装配关系,对简化后的激振器模型添加的约束如下:花键轴一和大地之间添加旋转副约束;偏心装置一中的连杆一和连杆固定之间添加旋转副约束,连杆二和花键套之间添加旋转副约束,连杆一和连杆二之间添加旋转副约束,花键套和花键轴一之间添加移动副约束,偏心块和花键套之间添加固定副约束,质量块和连杆一之间添加固定副约束。简化后的激振器虚拟样机共使用 10 个约束副,包括 1 个移动副,2 个固定副以及 7 个旋转副。不考虑各个运动副之间的摩擦。

为了更好地模拟新型机械式激振器运动特性,需要对激振器添加驱动。由于新型机械式激振器是由电动机直接驱动的,主动轴与电机通过联轴器连接。在主动轴即花键轴一上添加的旋转副处施加一个旋转运动即可达到电动机驱动的效果。为了更加真实地模拟激振器的运动情况,需要在旋转运动中添加 STEP 函数:

$$\text{Function}(\text{time}) = \text{STEP}(\text{time}, 0, 1.032\text{d}, 10, 7.788\text{d}) \quad (\text{time 为时间变量})$$



1.花键轴一;2.齿轮一;3.连杆固定;4.弹簧;
5.连杆一;6.连杆二;7.质量块;8.花键套;
9.偏心块;10.导向套筒;11.弹簧挡圈。

图 6 简化后的激振器模型

此函数的含义为:激振器的转速在 10 s 内从 172 r/min 增加到 1 662 r/min(转换为激振频率即为 $18 \sim 174 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$)。由于 ADAMS/View 中转速的单位为 $^{\circ}/\text{s}$,进行单位转化后即为激振器的转速,在 10 s 内从 $1\ 032^{\circ}/\text{s}$ 增加到 $9\ 972^{\circ}/\text{s}$ 。

由于导入到 ADAMS/View 软件中新型机械式激振器的模型中的弹簧是刚性的,无法实现弹簧的压缩,因此需要将模型中原有的弹簧去除,在 ADAMS/View 中重新创建弹簧。在运转过程中,新型机械式激振器所受到的载荷包括:偏心块产生的激振力、质量块产生的激振力,连杆产生的激振力,弹簧的弹力,花键套与花键轴之间的作用力等。其中偏心块所产生的激振力的施加过程如下:单击单向力按钮,选择 Two Bodies 选项,在图形中选择偏心块与花键轴的中心确定惯性力的方向,通过选择 Modify 选项中的 Function 添加激振力的计算公式,如图 7 所示。质量块所产生的激振力的施加过程同上。

在之前的属性修改中,新型机械式激振器的零件特性已经定义,因此激振器在运行过程中产生的其它作用力由 ADAMS/Solver 求解器在后台自动计算。至此,新型机械式激振器的虚拟样机建立完成。

3.3 基于虚拟样机的仿真分析

在 ADAMS/View 中,点击仿真按钮,在系统弹出的仿真对话框中设置仿真时间和步长,单击开始仿真按钮,对模型进行仿真,如图 8 所示。由图 8 可知,在运动过程中,随着时间的增加,激振器的转速不断增加,使得偏心块和质量块产生的激振力均不断增大,在惯性的作用下,质量块不断向外运动,质量块的偏心距不断变大。

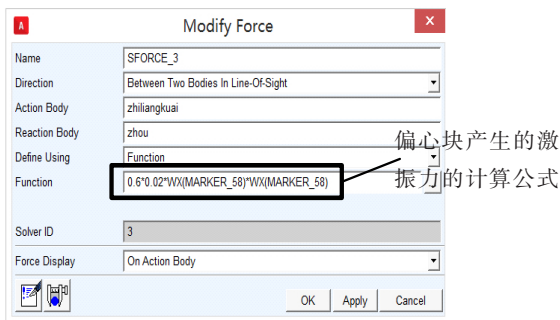


图 7 激振力的修改

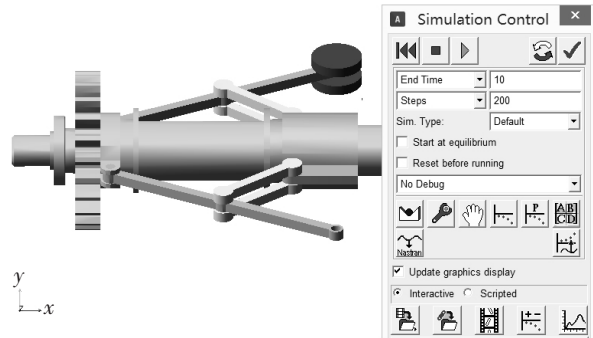


图 8 激振器虚拟样机仿真

仿真结束后,进入 ADAMS/PostProcessor 后处理模块,观察仿真结果。整个新型机械式激振器产生的激振力曲线如图 9 所示。

由图 9 可知,随着时间的增加,激振器的振频率由 $18 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 增大到 $174 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$,整个新型机械式激振器产生的激振力在 $10 \sim 135 \text{ N}$ 之间变化,ADAMS 动态仿真分析结果与静态分析下的理论结果之间存在一定的误差,但在误差允许的范围之内。因此,动态仿真得到的激振力的变化情况与本文第二节算例分析中得到的激振力变化情况基本相符。由此可以看出新型机械式激振器的仿真分析结果验证了理论分析的合理性,说明激振器的结构设计合理,满足设计要求。

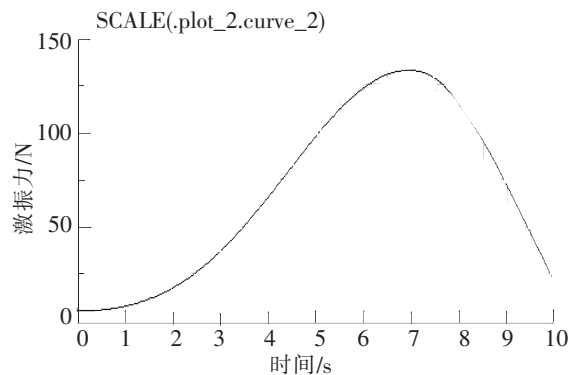


图 9 整个新型机械式激振器的激振力曲线图

4 结论

本文基于传统机械式激振器的工作原理,设计了一种新型机械式激振器,对其结构组成以及工作原理进行了介绍,根据优化得到的偏心装置的结构参数对新型机械式激振器在运动过程中产生的激振力进行了算例分析,利用 Solidworks 软件建立了新型机械式激振器的三维实体模型,将实体模型导入到 ADAMS/View 软件进行动力学仿真分析,得出了激振力随时间变化的曲线,激振力在 $10 \sim 135 \text{ N}$ 之间,并与理论分析结果进行对比,可以确定新型机械式激振器的结

构设计合理,满足设计要求,具有较高的研究价值。

参 考 文 献

- [1]陈峰华. ADAMS 2012 虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2013.
- [2]郝云堂,金焯,季辉. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 中的实践[J]. 机械设计与制造,2003(3):16-18.
- [3]张杰,杜宇波,杨明亮. 一种内凸轮摇块式激振器原理与运动分析[J]. 陕西工学院学报,2002,18(3):1-3.
- [4]杨万东. 同一轴线上双激振器驱动的振动系统同步运动状态分析[D]. 上海:复旦大学,2009.
- [5]Appoloni M, Cozzani A. Virtual testing simulation tool for the new quad head expander electrodynamic shaker[C]// Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Testing for the Space Programmes. Noordwijk[s. n], 2007: 1-16.
- [6]刘丹,邢海军,杨绍普,等. 新型机械式激振器:中国,ZL201520878396.X[P]. 2016-03-30.
- [7]刘祥. 微振平台中激振器的设计建模与仿真研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [8]吕志杰,沈嘉琪. 计算机动画仿真及在机构分析中的应用[J]. 山东工业大学学报,1999,29(3):228-232.
- [9]杨世文,许小健. MATLAB 优化工具箱在结构优化设计中的应用[J]. 科学技术与工程,2008(5):1347-1349.

Simulation Analysis of a New-type of Mechanical Vibration Exciter Based on Virtual Prototyping Technology

Liu Dan, Xing Haijun

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: According to the working principle and structure characteristics of traditional mechanical vibration exciter, a new type of mechanical vibration exciter is designed. The purpose is to realize the exciting force increases at first and then decreases within certain range when the vibration changes from low to high frequency. In this paper, the working principle and structure design of the new type of mechanical vibration exciter is introduced. A virtual prototype model of mechanical vibration is built by using Solidworks and ADAMS software, and the dynamic simulation and analysis has been carried out. The simulation results intuitively show the change of exciting force of the new type of mechanical vibration exciter, and verify the rationality of the structure design of the exciter. This provides a new direction for the study of the exciter.

Key words: mechanical vibration exciter; exciting force; Solidworks entity modeling; ADAMS simulation