

# 模切机压花辊系统振动特性分析

凌静秀, 江吉彬, 杨晓静, 练国富

(福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118)

**摘要:** 随着旋转模切机转速的提高,刀架及齿辊等结构振动剧烈,使得整个系统的动态性能指标无法满足设计要求。基于虚拟样机技术及有限元法,采用 ADAMS 软件建立模切机压花辊系统的虚拟样机模型,对系统在 300 m/min 线速度且空载的情况进行动力学仿真,提取得到齿辊的支承轴承动态载荷历程。同时开展刀架的模态分析,并以动力学仿真结果作为输入条件,进行刀架的谐响应分析,探测结构的共振响应,为设备的动态性能校核及参数优化提供参考。

**关键词:** 旋转模切机; 刀架; 虚拟样机; 振动特性

**中图分类号:** TH113

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2016)04-0371-05

## Vibration characteristics analysis of embossing roller system for die-cutting machine

Ling Jingxiu, Jiang Jibin, Yang Xiaojing, Lian Guofu

(College of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** As the speed of rotary die-cutting machine increases, the cutter frame and tooth roller vibrate sharply, which affects the system dynamic performance of the die-cutting machine. Based on the virtual prototype technology and finite element method, ADAMS software was employed to establish a virtual prototype model of the embossing roller system. In addition, the system dynamic simulation was conducted at a load-free linear velocity of 300 m/min to extract the bearing loadings of the tooth roller. Then the cutter frame modal analysis was performed. The cutter frame harmonic response was analysed with the results of dynamic simulation as input to examine the structure resonance response. The results can contribute to the dynamic performance verification and the parameters optimization of equipment.

**Keywords:** rotary die-cutting machine; tool carrier; virtual prototype; vibration characteristics

旋转模切机是一种纸包装机械设备,主要用于纸板、双面胶、电子、手机胶垫等的模切、压痕和烫金作业、自动排废等,是印后包装加工成型的重要设备<sup>[1]</sup>。整机主要由刀具模组、送料、机械系统、电气控制系统、包装等单元组成,其中刀具模组是旋转模切装备的核心部件,主要由辊切成型模、辊压成型模和刀架组成;机械系统主要包括自动送料、自动除废、自动检测清废及自动包装等单元装置。

目前,学者们主要集中在模切压力、机架应力、运动学性能等方面的研究。文献[2]研究模切机工作台运动特征,得出工作台速度和加速度的曲线图。文献[3]对送纸机构主轴进行静力学分析,得到其应力、应变及位移分布,并进行了模态分析。薛超志、付兴娥等采用有限元法分析模切机机架的静力学性能,校核结构的刚度和强度,并对部分结构进行改进<sup>[4-5]</sup>。文献[6]对整个模压机构链传动机构进行了运动协调性分析。文献

收稿日期: 2016-06-15

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2015J01181);福建工程学院科研启动基金(GY-Z160048)

第一作者简介: 凌静秀(1985-),男,浙江温州人,讲师,博士,研究方向:机械系统动力学。

[7]考虑运动副间隙对模切机动态特性的影响,建立运动精度可靠性分析模型。

综上,文献对模切机的分析主要集中在静力学和运动学上,缺乏对其动态特性的研究。实际上,模切机皮带线速度的增加,加剧了刀架及齿辊结构的振动,使得整个系统的静动性能、可靠性及疲劳寿命等指标无法满足设计要求。为此,本文以实际模切机系统为研究对象,采用虚拟样机技术对系统进行动力学仿真,提取得到刀辊支撑轴承反力。在此基础上,采用有限元法对刀架进行模态分析及谐响应分析,探测结构的共振响应,为设备的动态性能校核及参数优化提供参考。

1 压花辊系统虚拟样机模型

采用 Solidworks 软件建立压花辊的数字化样机,并对模型进行修正,删除螺纹、轴承滚子等,创建其等效三维模型。

1.1 模型的导入

将压花辊模型用 Parasolid 中性文件的格式导出,进而将其导入 ADAMS/View 环境中,保证实体数据格式的完整性。

1.2 虚拟样机的边界条件

通过施加约束、驱动及接触等边界条件,完成压花辊系统的虚拟样机模型如图 1。模型中轴承类型为深沟球轴承,采用衬套元元(Bushing)模拟轴承支撑,刚度及阻尼值参考文献[8]中的球轴承计算公式;齿轮为直齿轮,采用体与体的接触副(Contact)模拟;驱动采用点驱动,不影响系统的自由度,保持浮动支撑;其余没有相对运动的构件均采用固定约束。

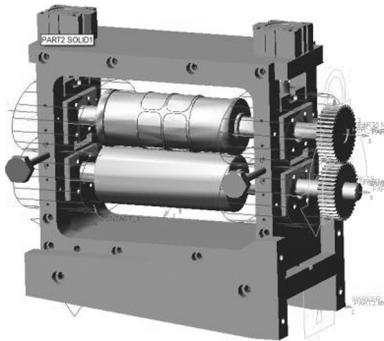


图 1 压花辊系统虚拟样机模型

Fig.1 Physical model of die-cutting machine embossing roller system

2 压花辊刀架的振动特性

2.1 压花辊系统的动力学仿真

本文重点分析压花辊系统在最高线速度 300 m/min 且空载工况下的振动特性。齿轮分度圆半径为 40 mm,即齿轮输入轴的转速设置为 1 194 r/min。

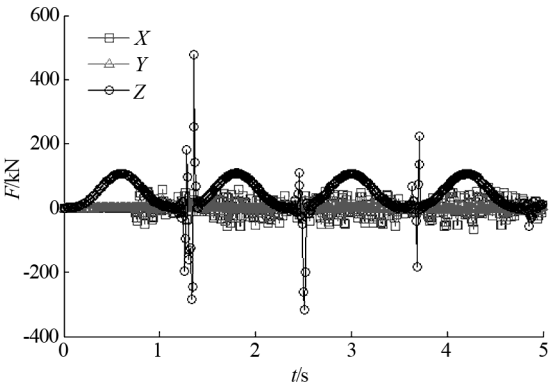
2.1.1 仿真输出步长设置

仿真步长越小,精度越高,但会延长计算时间。综合考虑精度及效率,设定步长为 0.01 s。

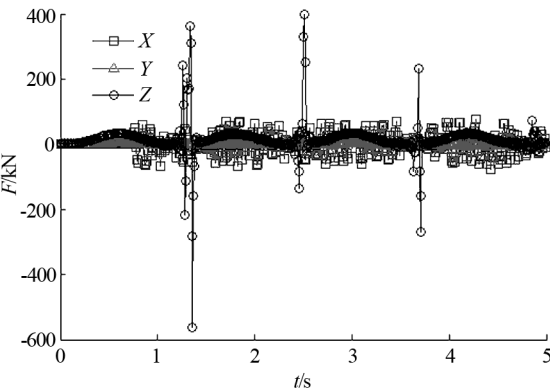
2.1.2 齿辊动态轴承载荷

设置求解时间为 5 s,对压花辊系统进行动力学分析,提取 4 个轴承的支撑反力如图 2。

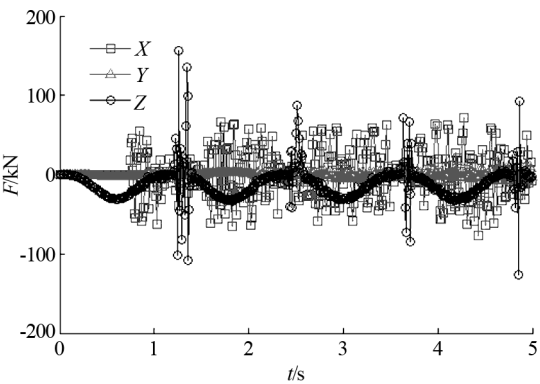
由以上结果可知,4 个轴承的支撑反力在 Z 方向(支撑方向)值均最大,总体呈现半余弦变化规律,和实际相符。由于齿轮啮合力的周期性作用使得轴承载荷出现较大的冲击波动,最大冲击值约 600 kN,出现在轴承 1 和 2 上,这与两刀辊的间隙有很大关系,分析结果可为轴承性能评估提供边界条件。



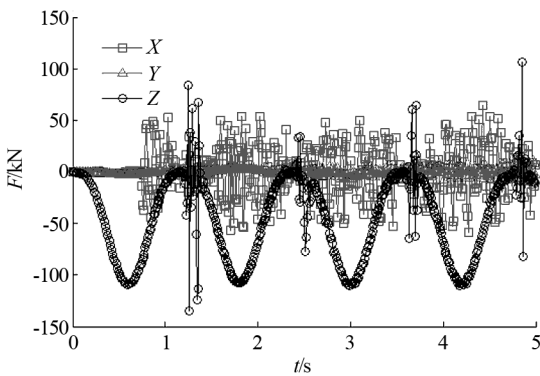
(a) 轴承 1 支撑力



(b) 轴承 2 支撑力



(c) 轴承 3 支撑力



(d) 轴承 4 支撑力

图 2 轴承支撑力时变曲线

Fig.2 Time varying curve of bearing forces

2.2 刀架模态分析

模态分析是承受动态载荷结构设计中的近代方法,同时也作为动力学分析的起点,用以求解系统自由振动下的固有频率和相应振型。本文采用 Workbench 软件对刀架结构进行模态分析,确定结构的低阶固有频率及振型,为谐响应分析奠定基础。

2.2.1 刀架有限元模型

利用有限元法进行刀架结构的模态分析时,需要对模型进行边界条件的设置和有限元网格的划分。将刀架三维模型导入 ANSYS/Workbench 中,螺栓连接采用绑定接触算法 (bonded) 模拟,同时考虑轴承结合面刚度,刀架底面施加固定约束。用六面体网格占优的方法 (hex dominant method, HDM) 进行网格划分,细化局部区域网格,不断调试获得高效可行的刀架有限元网格模型。

2.2.2 模态分析结果

由振动理论可知,对结构振动起主要作用的

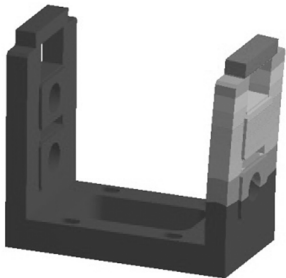
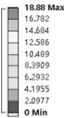
是低阶模态,高阶模态的贡献很小,且衰减很快,本文只考虑前 6 阶模态对刀架振动的影响。

对刀架模型进行约束模态计算,得到结构的前 6 阶固有频率及其对应的振型如表 1 和图 3。

表 1 刀架结构的前 6 阶固有频率及振型  
Tab.1 The first 6 orders of natural frequencies and vibration modes of cutter frame

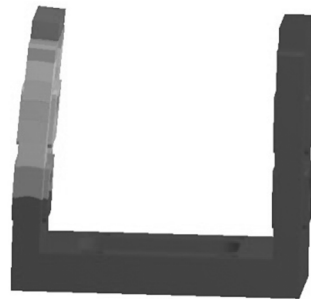
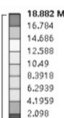
阶数	频率/Hz	固有振型
1	332.46	右侧板左右摆动
2	334.58	左侧板左右摆动
3	933.37	右侧板扭转振动
4	941.54	左侧板扭转振动
5	1 136.8	右侧板扭摆振动
6	1 175.5	左侧板扭摆振动

B: Modal  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Frequency: 332.46 Hz  
Unit: mm



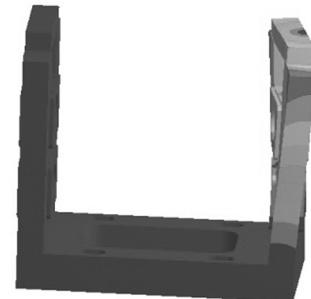
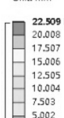
(a) 第 1 阶模态振型

B: Modal  
Total Deformation 2  
Type: Total Deformation  
Frequency: 334.58 Hz  
Unit: mm

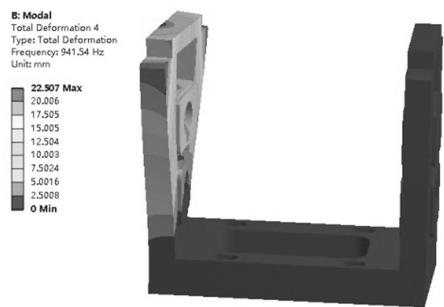


(b) 第 2 阶模态振型

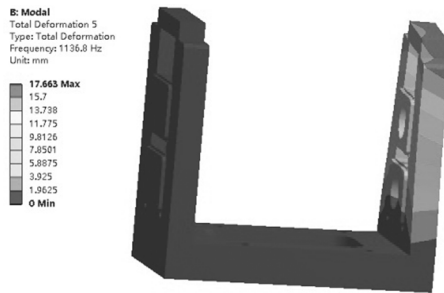
B: Modal  
Total Deformation 3  
Type: Total Deformation  
Frequency: 933.37 Hz  
Unit: mm



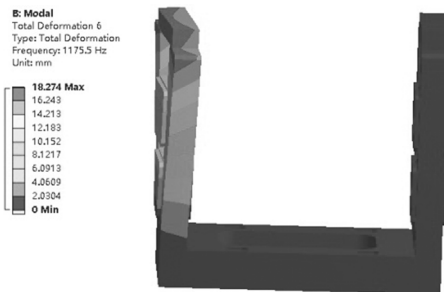
(c) 第 3 阶模态振型



(d) 第 4 阶模态振型



(e) 第 5 阶模态振型



(f) 第 6 阶模态振型

图 3 刀架前 6 阶模态振型

Fig.3 The first 6 orders of cutter frame vibration modes

由图 3 可知,刀架前 6 阶振型基本为左右对称出现,频率大小也基本一致,和实际情况相符;刀架 1 阶固有频率约为 332 Hz,齿轮输入轴转速为 1 194 r/min,对应的转频及啮合频率分别为 19.9 Hz 及 796 Hz,二者与基频不重合,系统不易发生共振。

2.3 刀架谐响应分析

由动力学结果可知,轴承载荷总体呈现半余弦变化规律,且输入轴齿轮啮合频率大于系统基频,有必要对刀架结构开展谐响应分析,探测结构的共振响应。基于刀架有限元模型,添加轴承载荷及约束条件,应用 Workbench 软件进行谐响应分析,得到刀架结构在接近固有频率下的共振响应曲线。

2.3.1 边界条件

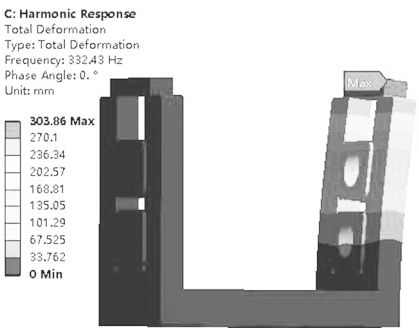
刀架谐响应分析约束和模态分析一致,轴承位置施加载荷幅值为 130 kN。基于系统固有频率大小,选取谐响应的计算频率范围 64.3~1 138 Hz,分 8 步计算响应情况,尽量覆盖模型的低阶固有频率,探测结构的共振响应。

2.3.2 结果分析

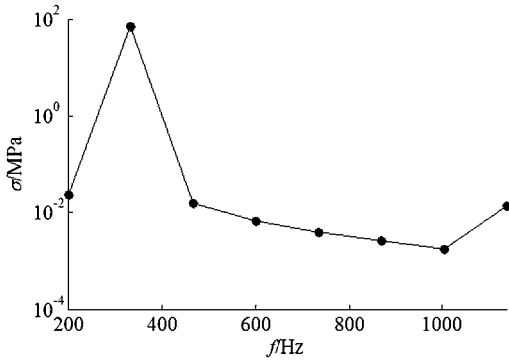
对模型进行求解,得到刀架在第 1 阶固有频率下的整体应力分布、变形分布及各阶频率下轴承处的应力及变形振幅如图 4。



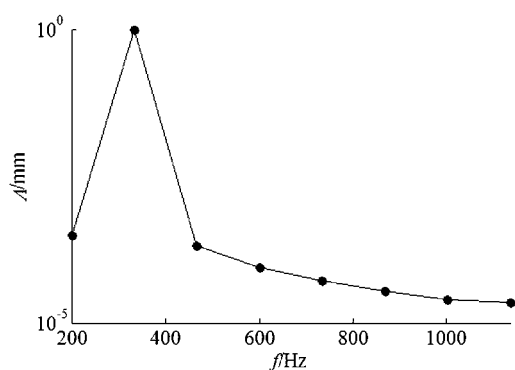
(a) 第 1 阶固有频率下的应力响应分布



(b) 第 1 阶固有频率下的位移响应分布



(c) 各阶频率下轴承处应力振动幅值



(d) 各阶频率下轴承处变形振动幅值

图 4 刀架谐波响应分析结果

Fig.4 The harmonic response analysis result of cutter frame

由图 4 可知,当外载频率等于刀架基频时,系统发生强烈共振,最大应力出现在轴承位置,最大变形出现在侧板顶端,数值远超结构许用值。另

外,轴承部位的应力振幅在 332.43 Hz 和 1 138 Hz 两个频率处出现明显峰值,而变形振幅也在 332.43 Hz 处出现峰值。说明机架若发生共振,外载频率等于基频时振动最恶劣,应合理匹配系统控制参数。

3 结论

1) 刀辊支撑轴承力在 Z 方向值最大,总体呈现半余弦变化规律,其中冲击最大值约 600 kN,出现在轴承 1 和 2 上。

2) 刀架前 6 阶振型基本为左右对称出现,同振型下频率大小基本一致,结构第 1 阶固有频率约 332 Hz。

3) 当外载频率等于刀架第 1 阶固有频率时,系统发生强烈共振,峰值部位的谐响应值远超结构许用值,系统参数匹配时要合理避开机架的基频,避免发生共振。

参考文献:

[1] 张玲.高速自动模切机主机墙板的应力分析和结构优化[D].上海:同济大学,2007.  
[2] 丁毅,张波,曾珊珊.模切机工作台运动特征分析及实现[J].机械设计与制造,2011(7):197-198.  
[3] 赵荣丽,陈新,李克天,等.简化橡胶层材料的送纸机构主轴有限元分析[J].机械设计与制造,2011(8):10-12.  
[4] 薛超志,齐元胜,张伟,等.模切机机架的有限元分析[J].包装工程,2011(9):62-65.  
[5] 付兴娥,李磊,李伟.全自动圆压平模切机机架的有限元分析及改进[J].机械与电子,2010(11):42-44.  
[6] 李桂红,成刚虎.平压模切机构及其运动协调性的分析研究[J].包装与食品机械,2003,21(5):5-7.  
[7] 王西珍.全自动平压平模切机肘杆机构精度分析及可靠性设计[D].西安:西安理工大学,2006.  
[8] 吴昊.滚动轴承动特性及轴承-转子系统动力学模型研究[D].上海:华东理工大学,2010.

(责任编辑: 陈雯)