

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2018.06.005

多因素影响下旋转模切机压花辊系统动态响应

凌静秀,张宁,杨晓静,李占福

(福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118)

摘要:以单个压花辊系统为研究对象,基于虚拟样机技术,采用 ADAMS 软件建立系统的动力学仿真模型,分析刀辊质心位置、刀辊间隙、轴承支撑位置及驱动转速对系统振动的影响,并提出系统的改进设计方案。研究结果表明,为减小系统振动,刀辊质心位置应适当偏离驱动端,刀辊间隙保持在 0.3~0.6 mm,轴承支撑位置适当向刀辊两端靠近,而刀辊驱动转速尽量在 478~956 r/min 运行。提出的压花辊改进设计方案较原方案的轴承支撑反力标准差下降约 72%,减振效果显著。结果可为模切装备的结构设计及参数匹配提供依据。

关键词:旋转模切机;压花辊;动态响应;ADAMS;参数影响

中图分类号: TH113

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2018)06-0530-06

Dynamic responses of the rotary die-cutting machine's embossing roller system under the influence of multi-factors

LING Jingxiu, ZHANG Ning, YANG Xiaojing, LI Zhanfu

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

Abstract: Based on the virtual prototype technology, an embossing roller system was taken as the research object, and the system's dynamic simulation model was established with the ADAMS software. The influence of the tool roller's centroid position and clearance, the bearing's support position and the drive speed on the system vibration were analyzed, and then an improved design scheme was proposed. Results show that, in order to reduce system vibration, the tool roller's centroid should be properly deviated from the driving end, its clearance should be maintained in the range of 0.3~0.6 mm, the bearing's support position should be close to the two ends of the tool roller, and the roller's drive speed should be kept within the range of 478~956 r/min. The standard deviation of the bearing support reaction force of the embossing roller's improved scheme decreased by about 72% compared with the original one, and the damping effect was remarkable. Such results can provide a basis for the structural design and parameter matching of the die cutting equipment.

Keywords: rotary die-cutting machine; embossing roller; dynamic response; ADAMS; parameter influence

旋转模切机具有高效、安全、环保、节能等特点,广泛运用于各种柔性材料制品的高效模切加工中,但高端旋转模切机主要还依赖进口^[1]。技术的发展和进步,模切机更新换代的速度也逐步加快。随着国内企业的转型升级,旋转模切机市

场占有率急剧扩大,并朝着自动化、智能化、多功能化方向发展^[2]。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。

在模切装备领域,国内外学者开展了大量的

收稿日期: 2018-09-07
基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2017J01675); 福建省科技计划(引导性)资助项目(2017H0002); 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:机械系统动力学及疲劳寿命预测。

设计、分析及仿真研究,并积累了一定的研究成果。张天轩、Ge 及 Verma 等^[3-5]对模切装备的主切机构、模切单元及复合模具进行结构设计,提出新型结构方案,并对各方案进行了性能分析。袁永宝^[6]等应用 ADAMS 软件对平模切机全清废机构分别在低速及高速两种情况进行了运动学仿真,为机构的后续优化奠定基础。葛彦桦^[7]对高速自动模切机输送纸系统的运行学、动力学及振动进行理论分析,并对实际机构进行了改进设计。卢军民^[8]等基于 LabVIEW 设计了圆压圆模切机监测系统,能同时监控转速、位移、电量等多个参数。Wang、丁毅^[9-10]等研究模切机的单自由度振动及运动学性能,分析结构的动态定位精度和运动学特征。薛超志、Wang^[11-12]等应用有限元法分析模切机的静力学性能,校核结构的刚度和强度,并对局部结构进行改进设计。

综上,国内外学者对模切装备的研究主要集中在运动学和静力学分析上,对其动力学特性的研究还欠缺,也缺乏不同因素对系统动态响应的影响分析。在实际运行过程中,随着模切机转速的增加,会加剧刀架及刀辊等结构的振动,导致关键部件失效,使得系统的动态性能、可靠性及疲劳寿命等指标很难满足要求。解决此问题的关键在于分析模切机系统在运行过程中的振动机理,弄清楚不同参数对系统振动的影响规律。为此,本文以模切机单个压花辊系统为研究对象,采用多体动力学软件建立系统的虚拟样机模型,并分析刀辊质心位置、刀辊间隙、轴承支撑位置及驱动转速对系统振动的影响,进而提出结构的改进设计方案,为模切装备的结构设计及参数匹配提供参考。

1 压花辊系统虚拟样机模型

采用 Pro/E 软件建立模切机压花辊的数字化样机,忽略螺纹、轴承滚子等对系统振动性能影响不大的结构,创建其三维等效几何模型。

将压花辊三维模型用中性文件格式导出,并将其导入 ADAMS 环境中。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 所示。采用衬套力元(Bushing)模拟轴承支撑;齿轮副采用体与体的接触副(Contact)模拟;驱动端为图中下端齿轮轴,采用点驱动方式;其余没有相对运动的构件均用固定约束^[5]。

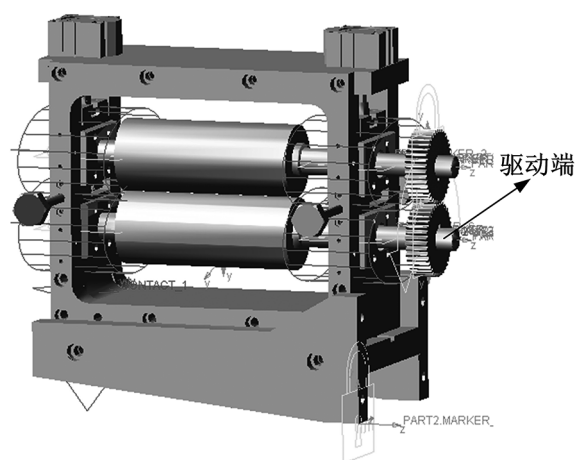


图1 压花辊系统虚拟样机模型

Fig.1 Virtual prototyping model of the embossing roller system

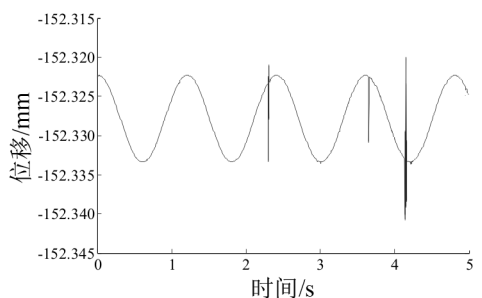
2 压花辊系统动态响应的影响因素

利用 Pro/E 软件参数化建模功能,建立压花辊系统的参数化模型,并结合 ADAMS 动力学软件,分析不同结构及装配等参数对系统振动响应的影响。通过参数的灵敏度分析可知,刀辊质心位置、刀辊间隙、轴承支撑位置及驱动转速对系统振动影响较大。

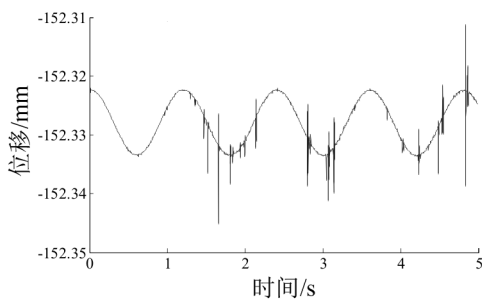
2.1 刀辊质心位置

基于刀辊系统参数化模型,改变刀辊质心位置,更新得到新模型,并在 ADAMS 中分析系统在额定转速 1 194 r/min 的振动响应。提取刀辊质心在不同位置时的系统响应,以质心偏移 3 mm 为例,得到系统振动时域曲线如图 2、3 所示。

由以上结果可知,刀辊质心位置对刀辊振动、接触力及轴承支撑反力影响较大。当质心位置在原始方案基础上向左偏移 3 mm 时,刀辊振动及轴承支撑力的波动程度均有明显下降;反之,质心位置向右偏移 3 mm 时,这三者的波动剧烈程度均有所增加。这是由于驱动端是激发振动的源头之一,越靠近驱动端,系统振动会越激烈。为此,为减小刀辊振动冲击,设计时应使刀辊质心位置适当偏离驱动端。为了得到大小合适的质心位置,分析质心偏移量对刀辊振动及轴承支撑反力的影响。因受安装条件等因素限制,本文分析的质心偏移量集中在 -9~3 mm,以 3 mm 作为变化量,得到分析结果如图 4 所示。图中横坐标为质



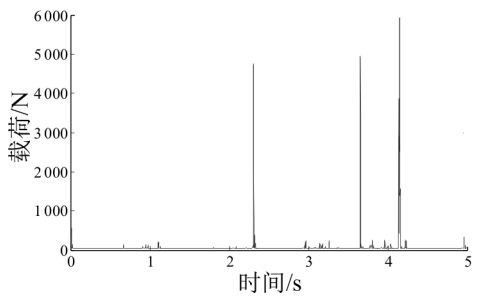
(a) 质心偏移驱动端3 mm



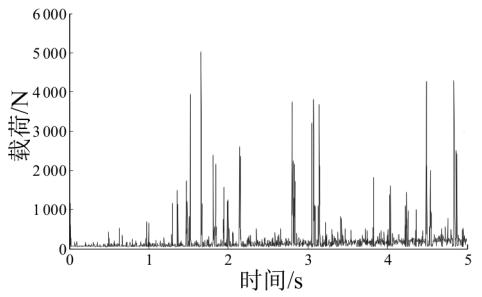
(b) 质心向驱动端偏移3 mm

图 2 刀辊垂向振动位移

Fig.2 Vertical vibration displacement of the toolroller



(a) 质心偏移驱动端 3 mm



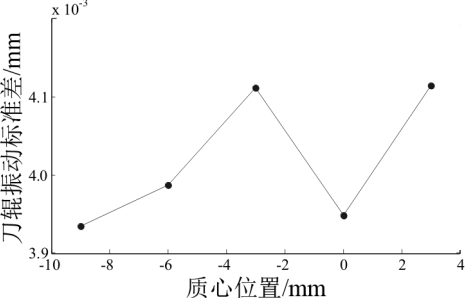
(b) 质心向驱动端偏移 3 mm

图 3 轴承垂向支撑力

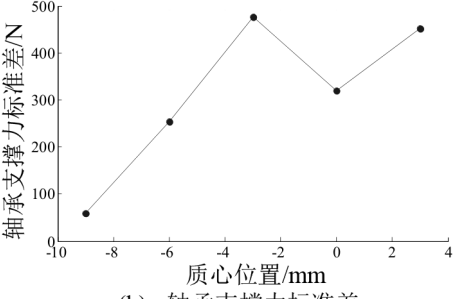
Fig.3 Vertical support force of the bearing

心偏移量,0 表示原始方案,负值表示质心偏移驱动端距离,正值则表示质心向驱动端靠近值。

由以上结果可知,随着刀辊质心偏移驱动端距离的增大,刀辊垂向振动位移及轴承支撑力波



(a) 刀辊振动位移标准差



(b) 轴承支撑力标准差

图 4 质心偏移量对系统振动的影响

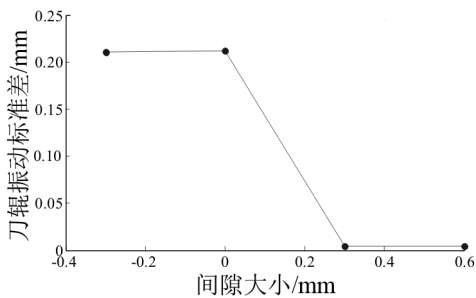
Fig.4 Influence of the centroid deviation on system vibration

动程度先变大后变小。说明远离驱动端时,系统振动整体变小,靠近驱动端则振动相对较大,但受到轴承等安装因素影响,刀辊偏移驱动端的距离有限。结合图中曲线变换趋势,设计时建议将刀辊原始方案的质心偏离驱动端 6 mm,便于减小系统的振动。

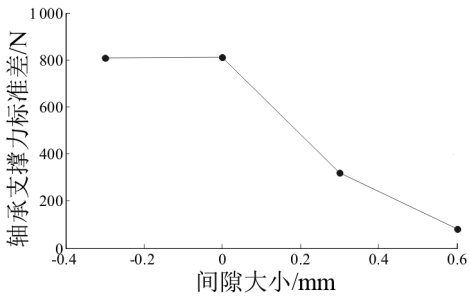
2.2 刀辊间隙

同理,可分析额定转速下刀辊间隙对系统振动的影响,通过不同模型的动力学仿真,提取得到刀辊间隙对系统振动的影响如图 5 所示。

从以上结果可知,由于接触力的影响,总体而言,正间隙时系统的振动离散程度比负间隙时小。当间隙在-0.2~0 mm 时,刀辊垂向振动位移及轴承反力波动程度基本保持不变;而间隙值在 0~0.3 mm 时,这二者振动标准差随着间隙增加呈直线下降;间隙值在 0.3~0.6 mm 时,刀辊垂向振动位移振动标准差保持不变,而轴承反力标准差继续下降,但下降斜率比前阶段小。由此可知,适当的间隙值有利于减小系统的振动,但间隙过大,会影响产品的加工质量。考虑实际加工对象,为兼顾加工质量及系统振动,安装一对刀辊时,建议将间隙控制在 0.3~0.6 mm 较为合适。



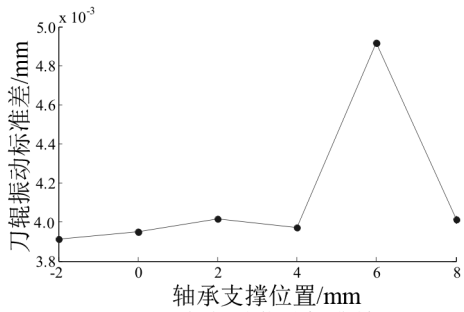
(a) 刀辊振动位移标准差



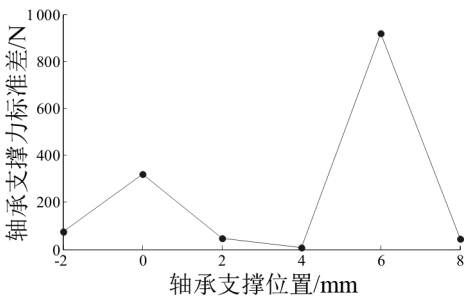
(b) 轴承支撑力标准差

图 5 刀辊间隙对系统振动的影响

Fig.5 Influence of the toolroller's clearance on system vibration



(a) 刀辊振动位移标准差



(b) 轴承支撑力标准差

图 6 轴承支撑位置对系统振动的影响

Fig.6 Influence of the bearing's support position on system vibration

2.3 轴承支撑位置

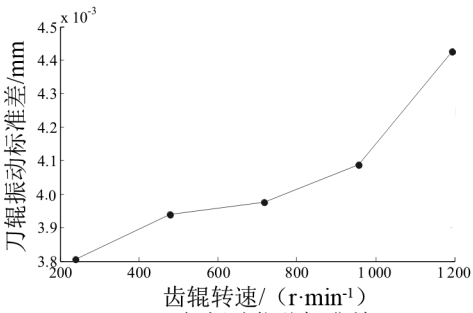
同理,通过分析得到额定转速下不同轴承支撑位置时系统的振动响应。并由统计分析得到轴承支撑位置对系统振动的影响如图 6 所示,图中 0 表示轴承支撑原始位置,负值表示轴承支撑位置向质心靠拢,而正值表示轴承支撑位置向刀辊两端偏移。

由上述分析结果可知,当轴承支撑位置向刀辊两端各移动 3 mm 时(图中横坐标 6 mm 位置),刀辊垂向振动位移及轴承力标准差出现峰值突变,给系统带来较大振动;而轴承支撑在其他位置时,二者波动相差均不大,向两端各移动 2 mm(图中横坐标 4 mm 位置)时,刀辊垂向振动及轴承力波动相对达到最小。为减小系统振动,安装轴承时,建议将原方案轴承位置向刀辊两端各移动 2 mm。

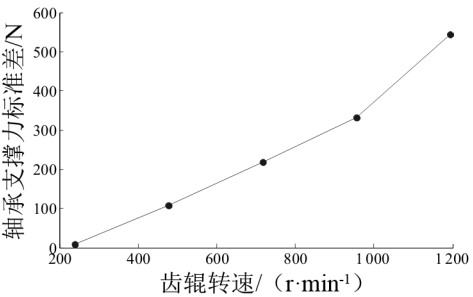
2.4 刀辊转速

为了匹配合理的刀辊转速,分析得到不同转速下刀辊垂向振动位移及轴承支撑力的振动标准差如图 7 所示。

由上述结果可知,随着刀辊转速增加,刀辊振动及轴承力的波动程度明显变大。为兼顾系统运



(a) 刀辊振动位移标准差



(b) 轴承支撑力标准差

图 7 刀辊转速对系统振动的影响

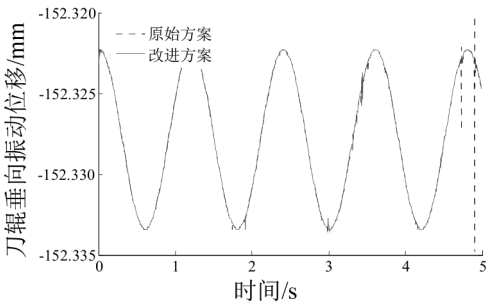
Fig.7 Influence of the toolroller's drive speed on system vibration

行稳定性及工作效率,建议将刀辊工作转速设定在 478~956 r/min,系统振动相对较为稳定。

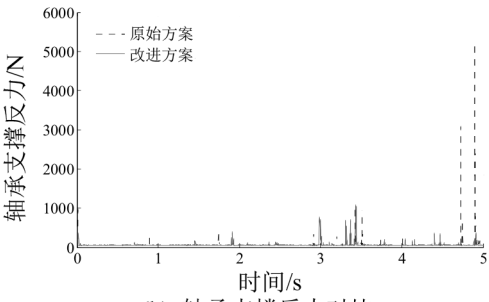
3 压花辊系统参数匹配及性能评价

通过对刀辊质心位置、刀辊间隙及轴承支撑位置 3 个设计参数的影响分析,得到各自较优的参数区间值。提出刀辊系统的改进设计方案为:原始方案的刀辊质心偏移驱动端 6 mm,刀辊间隙调整为 0.3 mm,轴承支撑位置向刀辊两端各偏移 2 mm。

通过 Proe/E 的参数化模型建立刀辊结构的改进方案,基于 ADAMS 平台动力学仿真,得到原始方案和改进方案的系统动态响应对比如图 8 所示。



(a) 刀辊垂向振动位移对比



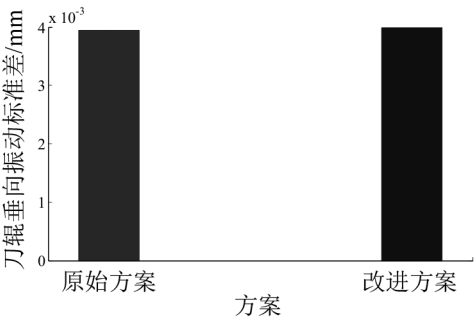
(b) 轴承支撑反力对比

图 8 系统振动响应对比

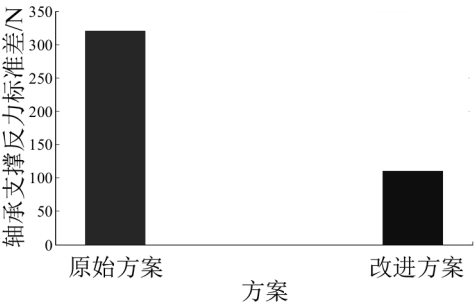
Fig.8 Comparison of system vibration responses

由以上结果可知,两种方案的刀辊垂向振动位移变化不大,但刀辊改进方案的轴承支撑反力大小有明显程度的下降。为量化这种变化程度,统计两种方案的振动响应,得到不同指标的振动标准差如图 9 所示。

通过以上两个指标的标准差对比可知,两种方案的刀辊垂向振动位移波动程度基本一致;而改进方案的轴承支撑反力标准差较原方案下降了约 72%,降低程度明显,对系统的振动有很大程度的改善。而随着系统振动性能的改善,刀架等结构的静力学及疲劳性能理论上也能得到提高。



(a) 刀辊振动位移标准差



(b) 轴承支撑反力标准差

图 9 振动响应标准差对比

Fig.9 Comparison of the standard deviation of vibration responses

4 结论

1) 刀辊质心位置对系统振动影响显著,随着刀辊质心偏离驱动端,系统整体振动先变大后变小,考虑到轴承等安装因素影响,设计时建议将原方案的刀辊质心偏离驱动端 6 mm,便于降低振动。

2) 得到了刀辊间隙对系统振动的影响,适当的间隙值有利于减小振动,结合实际加工对象,为兼顾加工质量及系统振动,建议安装刀辊时将间隙控制在 0.3~0.6 mm。

3) 当压花辊原始方案的轴承支撑位置向刀辊两端各移动 3 mm 时,系统振动出现峰值突变,引起较大振动;安装时建议将原方案的轴承支撑位置向刀辊两端各移动 2 mm,此时振动最小。

4) 随着刀辊转速的增加,系统振动波动程度明显增加。为兼顾系统稳定性及效率,建议将刀辊工作转速设定在 478~956 r/min 之间运行。

5) 基于刀辊质心位置、刀辊间隙及轴承支撑位置 3 个设计参数对系统振动的影响规律,提出压花辊系统的改进方案,并对改进方案进行性能评价,改进方案的刀辊垂向振动位移波动程度与

原方案基本相当,而轴承支撑反力标准差则下降约 72%。

动实验,验证虚拟样机模型参数选择的合理性,为系统的结构设计及参数匹配提供校核依据。

下一步将开展该工况下的单个刀辊系统的振

参考文献:

[1] 廖昌城. 模切机模切刀辊设计与砧辊的装配要点[J]. 模具工业, 2016, 42(5): 35-37.

[2] 廖芸. 试论模切技术的应用与发展趋势[J]. 科技创新导报, 2014, 11(21): 86-86.

[3] 张天轩. 自动平压平模切机主切机构的创新设计与研究[D]. 太原: 中北大学, 2014.

[4] GE R, WU Y, WANG H. Structure design of die cutting unit in corrugated carton production line[M]. Singapore: Springer, 2016.

[5] VERMA A. Design of compound die for production of cutting blades for nonactive rotary paddy weeder[J]. Advanced Materials and Manufacturing Processes, 2015, 30(12): 1-5.

[6] 袁永宝, 沈景凤, 徐建军, 等. 基于 ADAMS 的平压平模切机全清废机构的建模与仿真[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2014, 31(6): 65-68.

[7] 葛彦桦. 高速自动模切机输送纸系统的动力学分析和振动控制[D]. 上海: 同济大学, 2007.

[8] 卢军民, 王蕊, 张平格. 基于 LabVIEW 的模切机监测系统设计[J]. 机床与液压, 2014(16): 135-137.

[9] WANG F, CHEN H. Dynamicposition accuracy analysis of paper-conveying grippers in die-cutting machine[J]. Advanced Materials Research, 2012(466/467): 935-939.

[10] 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.

[11] 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.

[12] WANG J. Optimum design of the lower plate in die cutting machine based on ANSYS[J]. International Journal of Control & Automation, 2015, 8(7): 273-282.

(责任编辑: 陈雯)