

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.06.017

绷缝机橡胶垫隔振性能优化设计

邱卫明^{1,2}, 郑兵^{3*}, 祝书伟², 黄小青², 蔡炳清², 李朝国², 李小芬⁴

(1. 台州广播电视大学 高职学院, 浙江 台州 318000; 2. 杰克缝纫机股份有限公司, 浙江 台州 318000;
3. 浙江工商大学 工商管理学院, 浙江 杭州 310018;
4. 台州职业技术学院 信息技术工程学院, 浙江 台州 318000)

摘要:针对绷缝机高速运转时各运动组件产生较大的惯性力和惯性力矩,对机架及其他相关部件产生激励,带来强烈的振动以及噪声,而严重影响机器工作精度的问题,课题组对绷缝机橡胶垫隔振性能进行了优化设计。通过振动理论分析绷缝机橡胶垫对整机振动的影响,建立绷缝机橡胶垫刚度计算有限元模型,评估现有橡胶垫刚度。在此基础上,建立了绷缝机整机多体动力学模型,计算针板处振动位移并与实测结果对比,验证模型的可靠性。基于此模型选取橡胶垫的刚度作为试验因素,利用正交试验法完成橡胶垫刚度优化方案设计,通过仿真计算优化方案针板处振动位移峰值降低了11.7%,表明橡胶垫刚度优化对绷缝机振动性能改善具有一定作用。该方案不用对机器内部结构做任何改变,可实施性强,可作为整机振动性能改善辅助方案。

关键词:绷缝机;橡胶垫;正交试验法;多体动力学模型;有限元模型

中图分类号:TS941.562.9

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2019)06-0088-05

Optimization Design of Vibration Isolation Performance of Rubber Pad for Stretch Sewing Machine

QIU Weiming^{1,2}, ZHENG Bing^{3*}, ZHU Shuwei², HUANG Xiaoqing²,
CAI Bingqing², LI Chaoguo², LI Xiaofen⁴

(1. Higher Vocational College, Taizhou Radio & Television University, Taizhou, Zhejiang 318000, China;

2. JACK Sewing Machine Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang 318000, China;

3. School of Business Administration, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China;

4. School of Information Technology Engineering, Taizhou Vocational and Technical College, Taizhou, Zhejiang 318000, China)

Abstract: Aiming at the problem of vibration noise caused by inertia force and inertia moment during the vibration process of sewing machine, the vibration isolation performance of rubber pad for stretching sewing machine was optimized. The effect of rubber pad on the vibration of sewing machine was analyzed by vibration theory, the finite element model for calculating the stiffness of rubber pad was established, and the stiffness of existing rubber pad was evaluated. On this basis, the multi-body dynamic model of the whole machine was established, and the vibration displacement of the needle plate was calculated and compared with the measured results to verify the reliability of the model. Selection model based on the stiffness of the rubber mat as test factors, using the orthogonal experiment method to complete the rubber pad stiffness optimization design. Through the simulation optimization needle plate vibration displacement value was reduced by 11.7%, shows that the rubber pad stiffness optimization can improve the machine vibration performance. The scheme does not need to make any change to the internal structure for the machine. It has strong practicability and can be used as an auxiliary scheme to improve the vibration performance of the whole machine.

收稿日期:2019-05-18;修回日期:2019-09-06

基金项目:教育部人文社科基金资助项目(14YJC630206);台州市科技计划(1801gy23)。

第一作者简介:邱卫明(1980),男,浙江台州人,高级工程师,主要从事机电一体化及设备稳定性等方面的研究。E-mail: qwm800110@163.com

Keywords: stretch sewing machine; rubber bearing; orthogonal experiment method; multi-body dynamics model; FEM (Finite Element Model)

现代工业缝纫机高速运转时各运动组件产生较大的惯性力和惯性力矩,对机架及其他相关部件产生激励,带来强烈的振动以及噪声,严重影响机器工作精度以及缝纫工人的身心健康^[1]。为降低缝纫机振动过程中惯性力及惯性力矩造成的振动噪声,文献[2-4]通过多体动力学方法,对高速工业平缝机刺布机构、挑线机构进行动力学分析,提取惯性力及惯性力矩并作为优化目标,完成上轴配重块优化设计。文献[5-7]对缝纫机振动与噪声之间的关系展开研究,基于分部运行法,通过试验分析各机构对整机噪声与振动的贡献度;通过频谱分析及相关函数分析查找声-振信号来源并分析原因。目前学术界对于缝纫机减振研究主要集中于动平衡优化设计,即通过优化缝纫机配重块,降低机器运转过程中的不平衡力及不平衡力矩,而对于缝纫机橡胶垫对机器振动影响研究鲜有提及。课题组以杰克某款绷缝机(以下简称为绷缝机M)为研究对象,通过仿真分析研究橡胶垫刚度对该机器振动的影响,并进行橡胶垫刚度优化设计,改善机器的振动特性。

1 绷缝机整机振动理论分析

绷缝机的振动来源于内部偏心质量回转,为分析各个因素对整机振动的影响,将绷缝机的振动简化为单自由度偏心质量所引起的受迫振动问题。绷缝机振动简化模型如图1所示。假设机器只在垂向振动,设机器位移为 x (从静平衡位置算起,向下为正),则系统振动方程为:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_1 e \omega^2 \sin \omega t. \quad (1)$$

式中: m 表示机器质量; m_1 表示偏心质量; e 表示偏心距离; k 表示支撑刚度,指绷缝机整机与机架台板之间的连接刚度,即此处支撑橡胶垫的刚度; c 表示系统阻尼; ω 表示回转速度。

方程稳态解为:

$$x = B \sin(\omega t - \varphi). \quad (2)$$

式中: B 表示振幅; φ 表示相位角。

对于绷缝机振动的研究,通常是对其振幅的研究:

$$B = m_1 e \omega^2 / \sqrt{(k - m \omega^2)^2 + (c \omega)^2}. \quad (3)$$

由式(3)可知,影响机器振动振幅的因素包括偏心质量 m_1 、偏心距离 e 、支撑刚度 k 、机器质量 m 、系统阻尼 c 以及回转速度 ω 。其中,回转运动是机器工作需要,因此回转速度 ω 不宜做调整。此外,对于绷缝机而言,机器总质量 m 基数较大,很难进行大幅度改

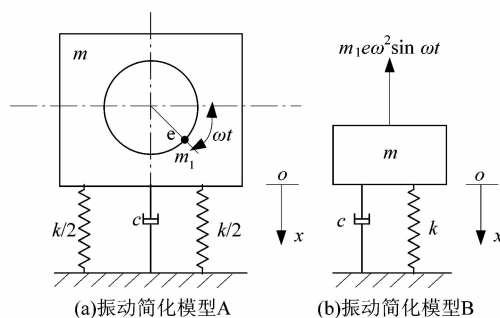


图1 绷缝机振动简化模型

Figure 1 Simplified vibration model of tension sewing machine

动,该因素对实际振动影响十分有限。综上,绷缝机的减振研究应围绕偏心质量 m_1 、偏心距离 e 、支撑刚度 k 和系统阻尼 c 这4个因素来展开。目前学术界对绷缝机的减振研究主要集中于偏心质量 m_1 、偏心距离 e 的优化,即通过动平衡设计降低偏心质量及偏心距离,从而实现整机振动幅值降低。课题组研究工作主要围绕支撑刚度 k 展开,分析橡胶垫刚度对整机振动影响并完成刚度优化设计。

将绷缝机振动简化为单自由度偏心质量回转引起的受迫振动问题,实际上绷缝机结构复杂,由多个回转机构共同作用,且机器底部4个橡胶垫共同实现弹性支撑作用,机器在6个自由度方向均存在振动。因此,仅凭式(3)无法直接分析各橡胶垫刚度对整机振动影响。为深入了解各橡胶垫刚度对整机振动影响,需要建立机器整机动力学模型,运用多刚体动力学方法开展相关研究。

2 橡胶垫刚度有限元分析

橡胶垫刚度参数是整机动力学建模过程中的关键参数,其获取方法包括试验法及有限元分析方法。试验法需要制作特定的工装,借助专用的设备真实再现绷缝机橡胶垫实际工作中的受力情况,测量橡胶垫刚度。课题组采用有限元方法计算橡胶垫刚度,通过建立橡胶垫工作过程的有限元模型,提取橡胶垫压缩方向的压力及变形量,计算橡胶垫刚度。

绷缝机M整机三维模型如图2所示,橡胶垫位于油盘与油盘托板之间,其中油盘与机器主体固定,油盘托板与机架固定。

为简化计算规模,提高计算效率,橡胶垫刚度计算有限元模型仅包含油盘、油盘托板及橡胶垫3个部件。

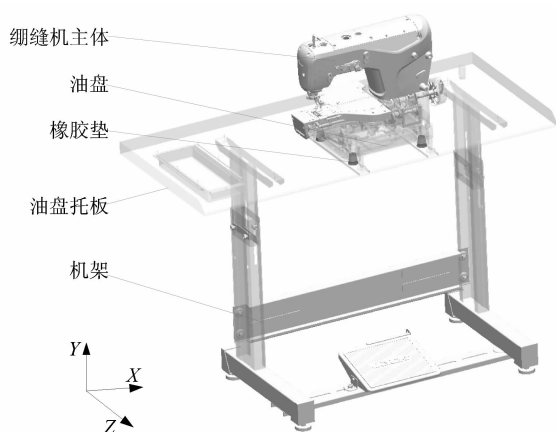


图2 绷缝机 M 整机三维模型

Figure 2 Stretch sewing machine M complete three-dimensional model

橡胶垫刚度计算有限元模型如图3所示。各组件均采用六面体单元进行离散,采用有限元分析软件自动划分有限元计算单元,其中油盘及油盘托板单元为减缩积分单元,单元数量分别为6 076和969,橡胶垫单元为杂交单元,单元数量为5 400。为模拟真实加载情况,固定油盘托板边缘,对油盘施加Y向的集中力载荷。

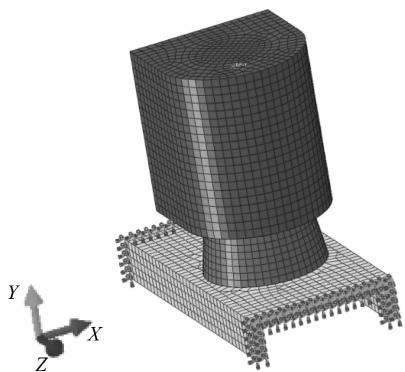


图3 橡胶垫刚度计算有限元模型

Figure 3 Finite element model for stiffness calculation of rubber pad

通过有限元计算软件计算,橡胶垫刚度曲线计算结果如图4所示。由图可知,加载力-变形量曲线近似为直线,说明橡胶垫在工作过程中刚度几乎不变,这为后续整机动力学建模提供了极大的便利。

3 绷缝机整机动力学建模及验证

绷缝机 M 机构复杂,主要运动机构包括刺布机构、挑线机构、喂针机构、弯针机构和送布机构等。机器主体部分动力学建模方法在文献[8-9]中已有详细

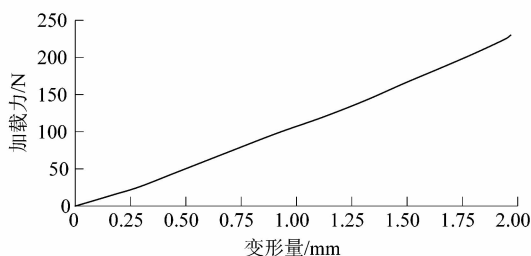


图4 加载力-变形量的关系曲线

Figure 4 Loading force-deformation curve

说明,这里不再赘述。为研究橡胶垫对整机振动特性的影响,需要建立包含橡胶垫及台板组件的整机多刚体动力学模型。在绷缝机工作过程中橡胶垫刚度几乎不变,因此课题组采用bushing单元近似模拟橡胶垫。绷缝机 M 整机多体动力学模型如图5所示。

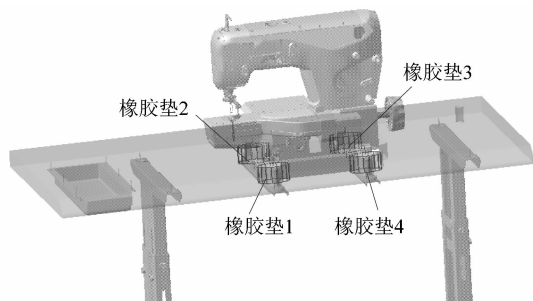


图5 绷缝机 M 整机多体动力学模型

Figure 5 Multibody dynamic model of stretch sewing machine M

优化前针板处振动位移随时间变化曲线如图6所示。由图可知启动阶段振动位移较大,这是由于启动阶段机器各个部件由静止开始急剧加速,部件运动加速度较大,造成较大的惯性力,加剧机器振动。不过由于加速过程较短,并且在阻尼的耗散作用下,振动位移迅速降低,机器运动趋于平稳,最后进入稳定受迫振动状态,振动位移维持在 $839.4 \sim 1\,060.6\ \mu\text{m}$,振动位移峰峰值为 $221.2\ \mu\text{m}$ 。该振动位移由机器运转产生的垂向惯性力压缩橡胶垫变形导致。

为验证课题组建立的模型的准确性,通过手持式HY-103工作测振仪对针板处振动位移进行测量。抽取10台机器,测试机器针板处振动位移峰峰值。针板处振动位移峰峰值测试结果如表1所示。其中第3组测试结果明显偏大,其他9组振动测试结果较为吻合。为避免异常数据对测试结果的影响,统计平均值时剔除第3组参数,振动位移峰峰值测试结果平均值为 $211\ \mu\text{m}$,与仿真计算结果 $221.2\ \mu\text{m}$ 较为接近,二者之

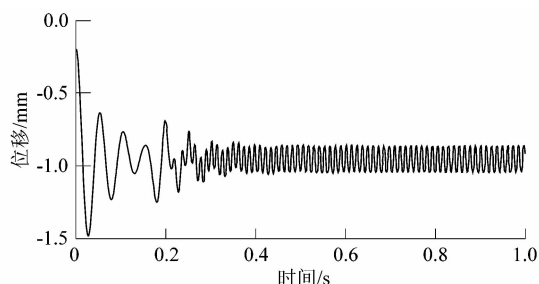


图6 优化前针板处振动位移随时间变化曲线
Figure 6 Vibration displacement curve of needle plate changes with time before optimization

间的误差仅为4.83%。仿真计算与实际测试结果的吻合在一定程度上验证了课题组建立的整机多刚体动力学模型的可靠性。

表1 针板处振动位移峰峰值测试结果

Table 1 Peak-to-peak test results of vibration displacement at needle plate

编号	测试结果/ μm	编号	测试结果/ μm
1	206	6	218
2	215	7	204
3	317	8	211
4	211	9	214
5	201	10	220

4 橡胶垫刚度隔振性能正交试验分析

针板垂向振动位移是评估缝纫机振动性能的关键指标,课题组以此为优化目标,基于建立的整机多体动力学模型,对绷缝机M的4个橡胶垫进行正交试验优化设计。

橡胶垫位置编号如图5所示。选取橡胶垫的刚度作为试验因素,每个因素具有5个水平,进行 $L_{25}(5^4)$ 正交试验,橡胶垫刚度优化正交试验因素水平如表2所示。

表2 橡胶垫刚度优化正交试验因素水平

Table 2 Rubber pad stiffness optimization orthogonal test factor level

水平	刚度/ $(\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$			
	因素A 橡胶垫1	因素B 橡胶垫2	因素C 橡胶垫3	因素D 橡胶垫4
1	80	80	80	80
2	100	100	100	100
3	120	120	120	120
4	140	140	140	140
5	160	160	160	160

正交试验方案及仿真结果如表3所示。由表3可知,第10组试验对应针板振动位移最小,这是正交试验中较好的方案。为获取最优方案,还需对正交试验结果进行极差分析,对每个因素5种水平对应的试验数据分别求和并计算均值,并由此计算出各因素对应的极差。根据文献[10]可知极差大小直接反映该因素对优化目标影响,因此各因素对优化目标影响重要性排序为 $C > A > B > D$,但极差大小极为接近,说明各因素对目标影响程度相当。根据极差优化结果,最优参数为 $A_4-B_5-C_1-D_1$ 。正交试验结果极差分析如表4所示。

表3 正交试验方案及仿真结果

Table 3 Orthogonal test scheme and simulation results

试验 编号	水平				垂向振动 位移/ μm
	因素A	因素B	因素C	因素D	
1	1	1	1	1	217.6
2	1	2	2	2	218.8
3	1	3	3	3	226.0
4	1	4	4	4	225.2
5	1	5	5	5	213.6
6	2	1	2	3	225.6
7	2	2	3	4	223.6
8	2	3	4	5	214.8
9	2	4	5	1	198.8
10	2	5	1	2	197.6
11	3	1	3	5	224.0
12	3	2	4	1	200.8
13	3	3	5	2	202.0
14	3	4	1	3	198.2
15	3	5	2	4	202.8
16	4	1	4	2	205.2
17	4	2	5	3	204.4
18	4	3	1	4	201.6
19	4	4	2	5	208.4
20	4	5	3	1	198.6
21	5	1	5	4	205.6
22	5	2	1	5	204.0
23	5	3	2	1	211.6
24	5	4	3	2	241.0
25	5	5	4	3	204.8

表4 正交试验结果极差分析

Table 4 Range analysis of orthogonal test results

因素						μm
	均值1	均值2	均值3	均值4	均值5	
A	220.24	212.08	205.56	205.44	213.40	14.80
B	215.60	210.32	211.20	217.32	203.99	13.33
C	203.48	213.44	218.44	210.16	204.88	14.96
D	203.28	213.92	211.80	211.76	214.72	11.44

为评估正交试验优化方案的有效性与可靠性,对优化方案进行仿真分析验证。优化方案针板处振动位移随时间变化曲线如图7所示,机器稳定状态下针板处振动位移曲线对比,由于两种方案橡胶垫刚度存在差异,因此针板变形波动范围并不重合。为便于对比振动位移峰峰值,将优化方案曲线往下移动,至最低点与优化前曲线重合。由图可知,优化方案针板振动位移峰峰值有一定程度降低,振动位移峰峰值为195.4 μm ,相对于现有方案221.2 μm ,降低11.7%。计算表明,对绷缝机M而言,橡胶垫刚度优化对整机振动性能改善具有一定作用,该方案不用对机器内部结构做任何改变,可实施性强,可作为整机振动性能改善辅助方案。

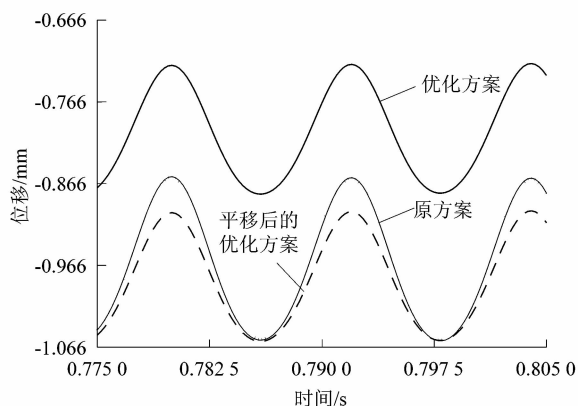


图7 优化前后针板处振动位移随时间变化曲线
Figure 7 Curve of vibration displacement at needle plate changes with time before and after optimization

5 结语

课题组通过振动理论分析了缝纫机橡胶垫对整机振动影响,建立了绷缝机橡胶垫刚度计算有限元模型,评估了现有橡胶垫刚度。在此基础上,建立了绷缝机整机多体动力学模型,计算针板处振动位移并与实测结果对比,验证了模型的可靠性。选取橡胶垫的刚度作为试验因素,利用正交试验法进行橡胶垫刚度优化,通过仿真计算优化方案针板处振动位移峰峰值降低了11.7%,表明橡胶垫刚度优化对绷缝机整机振动性能具有明显的改善作用,为工业缝纫机整机减振降噪提供了参考。

参考文献:

- [1] 张志勇,刘鑫,黄彩霞,等.工业平缝机的噪声源识别与运行噪声预测研究[J].振动与冲击,2016,35(20):220-225.
- [2] 王玉喜.无油润滑工业平缝机机构设计与分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007:31-35.
- [3] 郑子明.工业绷缝机减振降噪技术的研究[D].上海:东华大学,2009:33-37.
- [4] 樊养余,尚久浩,赵文荣.绷缝机振动分析及整机平衡方法[J].机械设计,1997,14(7):40-42.
- [5] 黄彩霞,杨振东,曹申,等.工业平缝机噪声源定位与低噪声结构设计[J].噪声与振动控制,2018,38(5):239-248.
- [6] 刘其洪,邵汝椿,林颖,等.高速工业平缝机减振降噪试验研究[J].华南理工大学学报(自然科学版),1996,24(8):67-73.
- [7] 张国庆,林康,林海波,等.高速双针平缝机振动与噪声分析[J].机械传动,2011,35(5):52-55.
- [8] 陈卫宁.高速工业平缝机运动性能改进及动态特性优化[D].西安:西安理工大学,2010:32-36.
- [9] 单琦磊.3D缝制设备减振及其动态特性研究[D].西安:西安理工大学,2018:10-15.
- [10] 刘振学,黄仁和,田爱民.实验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2005:73-76.

[信息·资讯]

· 行业简讯 ·

2020 第十六届北京国际工业自动化展览会即将召开

2020 第十六届北京国际工业自动化展览会将于2020年6月4-6日在北京中国国际展览中心召开。北京国际工业自动化展览会国际工业自动化展览会创办于2005年,是工业智能及自动化领域的行业例会,更是工业智能及自动化领域一年一度翘楚云集的璀璨盛会;自2005年至今已成功举办15届,已经被国内外智能工业及自动化制造商及相关服务商视为国际盛宴。

中国制造2025明确提出选择十大重点领域进行突破,其中高端数控机床、机器人及智能工业具有核心地位。工业4.0是制造业与信息技术结合发展的必然趋势,实现从“制造”到“智造”,再到“创造”的转变。在信息化、智能工业等领域不断推进的情况下,中国企业的创新能力具备活力,智能工业实力始终不容小觑,从传统行业的飞机、高铁和核电,到今天新兴领域的工业智能、数字技术、现代智能工厂及高端制造都在稳步发展。

AIAE 中国北京国际工业自动化展览会覆盖多个行业重要领域,包括机器人、图像技术、传感器、工业测量、连接系统、传动和机械驱动系统及控制技术,为中国迅速增长及日趋精密的制造业提供与时俱进的解决方案。

(王超)