

# 强化地板数控横向开榫机主轴的有限元分析

马 岩<sup>1</sup>,宋明亮<sup>1</sup>,汪茜茜<sup>1</sup>,李 虎<sup>1</sup>,杨春梅<sup>2\*</sup>,周玉成<sup>3</sup>

(1. 东北林业大学 林业与木工机械工程技术中心,黑龙江 哈尔滨 150040;2. 东北林业大学 机电工程学院,黑龙江 哈尔滨 150040;  
3. 山东建筑大学 信息与电气工程学院,山东 济南 250101)

**摘 要:**在分析和研究强化地板加工工艺的基础上,结合强化地板全自动生产线的工艺流程,确定了强化地板数控横向开榫机的开榫工艺及加工运动方式。对强化地板数控横向开榫机的齐边锯主轴进行 ANSYS 有限元分析和静力学仿真分析,获得其应力、应变和变形云图,校核其强度、刚度;通过模态分析,获得齐边锯主轴的前六阶固有频率及振型,检验其振动稳定性,验证其结构设计合理性。为设备主轴的创新设计提供了新的思路。

**关键词:**强化地板数控横向开榫机;齐边锯主轴;ANSYS;静力学;模态分析

**中图分类号:**S776      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2018)02-0257-06

## Finite Element Analysis of the Spindle of Reinforced Floor CNC Transverse Tenoner

MA Yan<sup>1</sup>, SONG Ming-liang<sup>1</sup>, WANG Xi-xi<sup>1</sup>, LI Hu<sup>1</sup>, YANG Chun-mei<sup>1\*</sup>, ZHOU Yu-cheng<sup>2</sup>

(1. Forestry and Woodworking Machinery Engineering Technology Center, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China; 3. School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong 250101, China)

**Abstract:**Based on the analysis of the processing technique of laminate flooring panels, and combined with the characteristics of automatic panel production line, this paper determined tenon technology and processing movement of the CNC transverse tenoner of laminate flooring panels. The ANSYS finite element analysis and static simulation analysis were carried out to obtain the stress, strain and deformation cloud diagram for the edge saw main spindle of the tenoner, and the strength and stiffness were checked. Through the modal analysis, the first six natural frequencies and vibration modes of the edge saw main spindle were obtained, and were tested to verify the vibration stability and verify the rationality of the structural design. This paper provided a new idea for the innovative design of the equipment spindle.

**Key words:** laminate flooring panel CNC transverse tenoner; edge saw main spindle; ANSYS; statics; modal analysis

随着人们生活水平的提高,强化木地板得到了广泛应用,而强化木地板的加工过程中,木地板开榫是其生产的关键环节之一,榫槽加工质量直接关系到木地板铺装、使用质量以及使用寿命<sup>[1-2]</sup>。而开榫机的主机结构是影响榫槽加工质量的关键结构,通过 ANSYS 软件分析了设计中主要结构的性能,并总结分析结果,验证设计结构的可靠性。强化地板

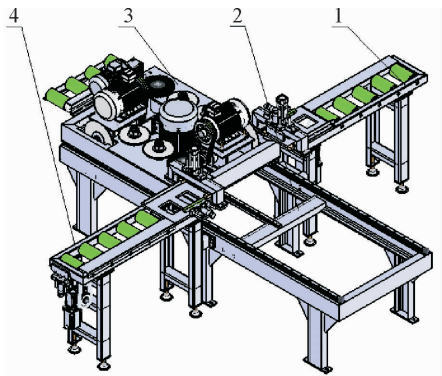
数控横向开榫机的主机部分是整个机床最核心的部件,主机的稳定性和性能好坏直接影响着整个机床的各项性能,因此对主机结构进行合理的设计与分析十分必要。在强化地板数控横向开榫机主机结构中,齐边锯主轴在加工过程中受到的切削力最大,其主轴的刚度和强度会直接影响机床的精度。有限元具有较高的计算精度,能对各种复杂的实际情况进

收稿日期:2017-05-10 修回日期:2017-08-30  
基金项目:泰山学者优势特色学科项目。  
作者简介:马 岩,男,博士,教授,研究方向:林业与木工机械设计。E-mail:myan@vip.163.com  
\*通信作者:杨春梅,女,博士,教授,研究方向:林业与木工机械设计。E-mail:823961935@qq.com

行准确计算,从而保证机器的稳定性,采用 Solid-works2010 和 ANSYS 软件,建立主轴模型的分析模型,对主轴进行有限元分析,依据分析结果对主轴模型进行改进和完善,提高结构的合理性<sup>[3-6]</sup>。

1 强化地板数控横向开榫机总体结构

强化地板数控横向开榫机主要由前进料辊台组件、主机、后出料辊台组件和机架 4 部分组成(图 1)。其加工运动方式为:工件通过进料辊台纵向进给,由定位夹紧机构定位夹紧,主机带动 4 组刀具进行横向进给,完成强化地板的端部的横向齐边、粗铣、精铣和抛光加工;再通过中间进给辊台,到达出料辊台。在总体结构中,机架对主机起支撑和固定作用;前进料辊台组件和后出料辊台组件通过螺栓连接固定在机架两侧,实现工件的进料、下料和纵向进给;主机通过步进电机控制齿轮和机架上的齿条啮合,推动主机在机架轨道上横向移动,完成强化地板端部的齐边、粗铣、精铣和抛光的加工。强化地板数控横向开榫主机是整机的核心,在强化地板开榫过程中主要完成对强化地板的齐边、粗铣、精铣和抛光等加工,加工的稳定性和加工性能的好坏直接影响到强化地板的加工质量和生产效率<sup>[7-10]</sup>,开榫机主机结构的设计是整个机床的设计关键。



注:1. 前进料辊台组件;2. 机架;3. 主机;4. 后出料辊台组件。

图 1 强化地板数控横向开榫机总体结构

Fig. 1 Overall structure layout of the laminate flooring panel

CNC transverse tenoner

2 强化地板数控横向开榫机齐边锯主轴静力学分析

齐边锯主轴组件是强化地板数控横向开榫机主机的关键部件,用来完成强化地板的齐边加工,其中齐边锯主轴组件在加工过程中受力较大。因此,本文运用 ANSYS12.0 软件对强化地板数控横向开榫机齐边锯主轴进行静力学分析,并依据分析结果指导齐边锯主轴的结构设计,齐边锯主轴结构如图 2 所示。

本设计中,利用三维设计软件建立齐边锯主轴三维模型,对模型进行简化处理,在保证计算分析精度的前提下,能够有效地减小有限元分析计算时间,提高分析效率<sup>[11-14]</sup>。主锯轴材料选用 45 号钢调质处理,对应的参数为弹性模量  $E=2.09 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ,泊松比  $\mu=0.269$ ,密度  $\rho=7.89 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,抗拉强度  $\sigma_b=355 \text{ MPa}$ ,齐边锯主轴有限元分析模型如图 3 所示。

本设计主锯轴有限元模型的划分方法采用自由网格划分法,能更加真实有效地模拟实际情况,自动化程度较高,无模型尺寸限制,无固定的网格模式,无需将复杂形状分解为规则形状,但自由网格划分法的不足之处在于,划分网格单元的尺寸较小、数量较多,对完成模型分析的耗时较长,计算效率较低<sup>[15]</sup>。主锯轴有限元模型网格划分结果为:节点个数为 326 651,单元个数为 231 828,网格划分如图 4 所示,能较为真实准确地反映主锯轴实际情况,提高有限元分析的可靠性。

网格划分后需对齐边锯主轴有限元模型进行边界约束条件及载荷进行添加,齐边锯主轴所受边界约束条件及载荷如图 5 所示。载荷的施加能够检测有限元模型对该载荷条件的响应,且施加载荷是否合理对有限元分析结果有直接的影响,对齐边锯主轴有限元模型进行载荷施加,由《机械设计》中压轴力计算可知,在带轮轴段位置施加压轴力  $F_{R1}=180.12 \text{ N}$ ,在带轮轴段位置施加输入扭矩  $T=3.5 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ,在三面刃铣刀轴段位置施加压轴力

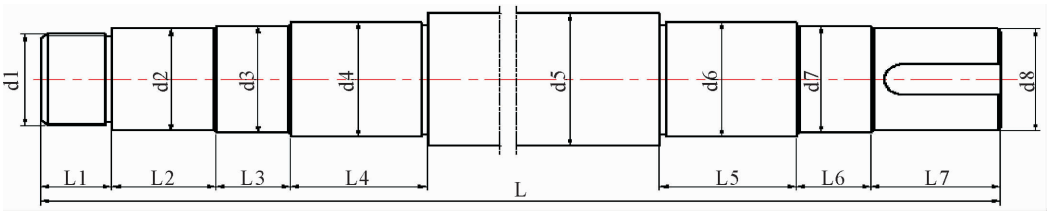


图 2 齐边锯主轴结构

Fig. 2 Structure diagram of the edge saw main spindle

$F_{R2}=24.03\text{N}$ ,在三面刃铣刀轴段位置施加负载扭矩  $M=3.5\times10^3\text{ N}\cdot\text{mm}$ 。

对齐边锯主轴有限元模型添加边界约束条件及载荷后进行求解计算,得到其应力云图、应变云图及最大变形云图,并据此进行齐边锯主轴静力学分析研究,应力、应变及变形云图分别如图 6、图 7、图 8 所示。

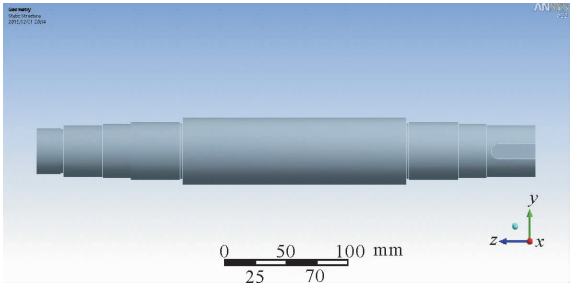


图 3 齐边锯主轴有限元分析简化模型  
Fig. 3 Finite element analysis simplified model of the edge saw main spindle

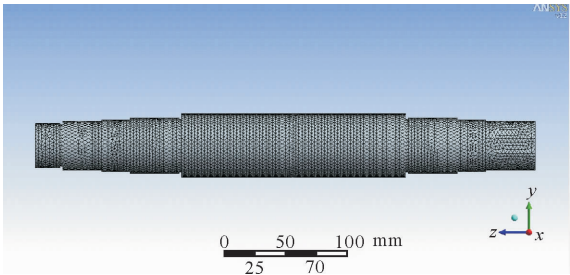


图 4 齐边锯主轴有限元分析模型网格划分  
Fig. 4 Finite element analysis model grid division of the edge saw main spindle

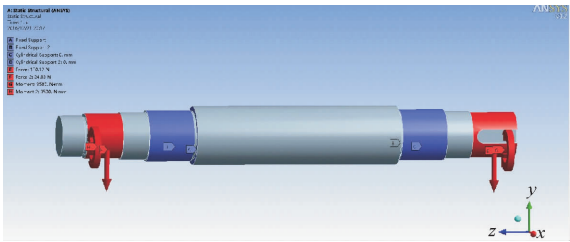


图 5 齐边锯主轴受力简图  
Fig. 5 Force diagram of the edge saw main spindle

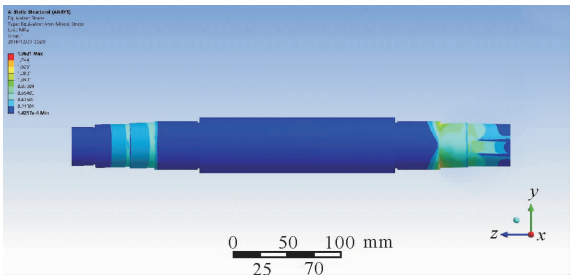


图 6 齐边锯主轴应力云图  
Fig. 6 Stress diagram of the edge saw main spindle

图 6 所示齐边锯主轴应力云图反映了齐边锯主轴的强度特性。从图 6 可以看出,齐边锯主轴的最大应力出现在主轴带轮与主轴套筒的轴段上,最大应力值可达  $1.9621\text{ MPa}$ ,而主轴使用的材料是 45 号钢,由于材料均匀且计算精度较低,选取材料强度安全系数  $[S]=2$ ,其屈服强度为  $\sigma_b=355\text{ MPa}$ ,因此最大许用应力为:

$$[\sigma]=\frac{\sigma_b}{[S]} \tag{1}$$

经计算确定支撑架材料的许用应力值  $[\sigma]=177.5\text{ MPa}$ ,齐边锯主轴所受的最大应力值为  $1.9621\text{ MPa}$ ,小于材料的许用应力值  $177.5\text{ MPa}$ ,未超过应力值  $[\sigma]$ 。因此齐边锯主轴结构的强度设计合理,在强化地板的横向齐边加工过程中,可有效避免因齐边锯主轴强度不足而造成齐边锯主轴总成的损坏,影响正常工作。

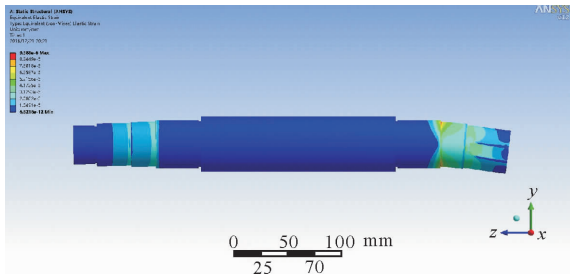


图 7 齐边锯主轴应变云图  
Fig. 7 Strain diagram of the edge saw main spindle

图 7 所示齐边锯主轴应变云图反映了齐边锯主轴的刚度特性。从图 7 可以看出,齐边锯主轴的最大变形处也出现在齐边锯主轴带轮与主轴套筒的轴段上,这与应力云图完全相符,最大应变值为  $0.00934\text{ mm/m}$ ,远远小于材料的极限挠度值  $2.39\text{ mm/m}$ 。因此,齐边锯主轴结构刚度设计同样合理,在强化地板的横向齐边加工过程中不会有刚度不足的情况出现。

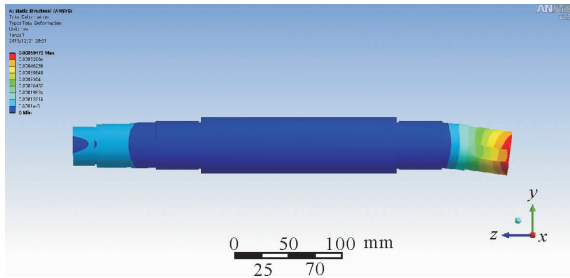


图 8 主轴轴变形云图  
Fig. 8 Deformation diagram of the edge saw main spindle

图 8 所示齐边锯主轴变形云图反映了齐边锯主轴在工作过程中受各种载荷作用下的变形情况。从图 8 可以看出,齐边锯主轴最大变形发生在带轮的安

装位置处,越是接近轴端处变形越大,这与齐边锯主轴总成的实际工作情况完全一致。齐边锯主轴的最大变形量为 0.000 59 mm,通常为保证加工精度,主轴工作时轴向传动累计误差保证在 0.25~0.75 mm,故齐边锯主轴设计满足精度要求。

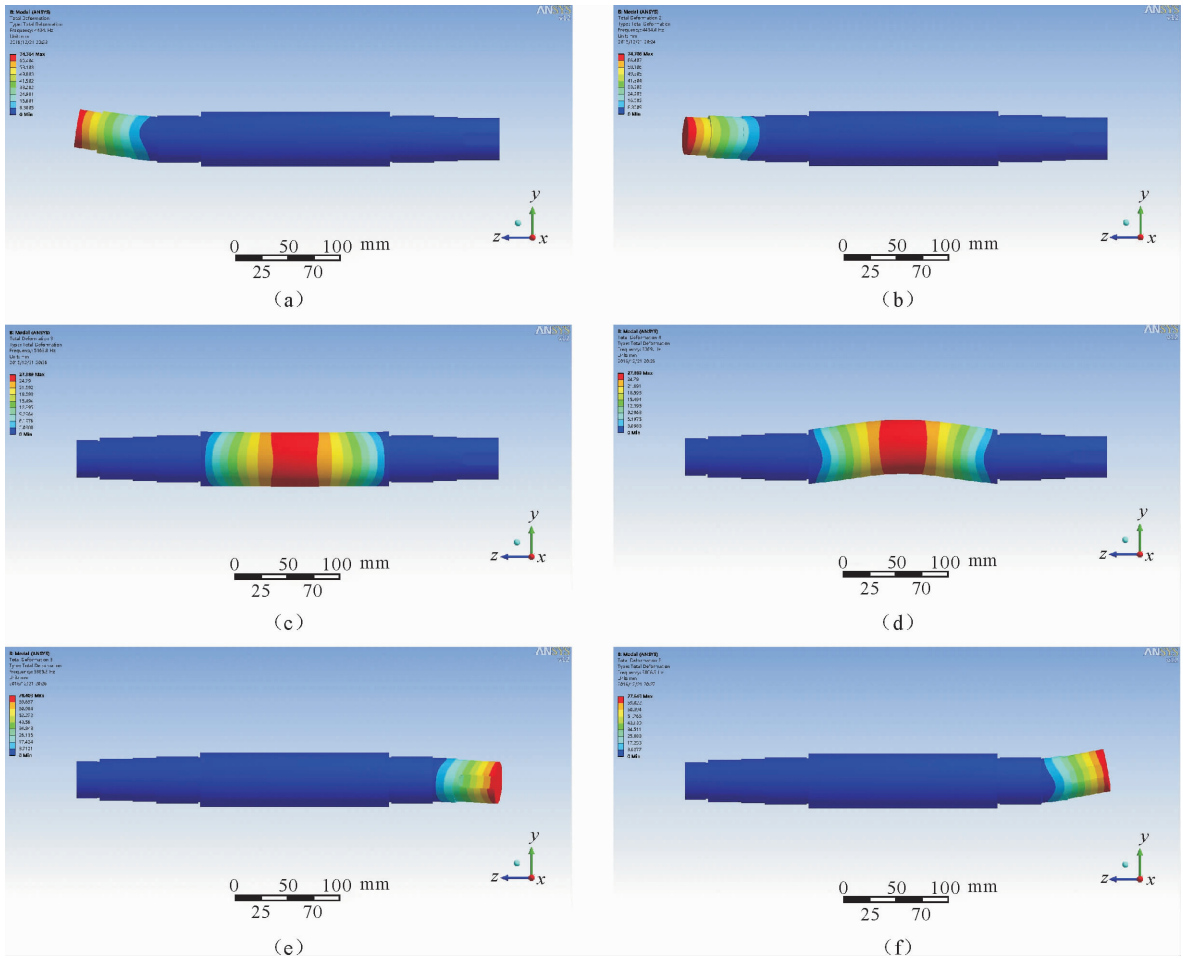
综合以上应力、应变和变形情况的分析可知,在齐边锯主轴总成工作过程中,齐边锯主轴的强度、刚度特性完全能够保证强化地板数控横向开榫机主机完成强化地板的横向齐边加工,并能保证较高的加工精度,说明齐边锯主轴结构设计合理。

3 强化地板数控横向开榫机齐边锯主轴模态分析

模态分析是结构动力学分析的基础,能够真实地反映出结构的动态特性。通过模态分析可确定结构的固有频率、阻尼及模态振型等动态性能,明确结构对不同类型动力载荷的相应情况,有效避免结构在工作过程中产生共振、噪声污染等现象,为结构的优化设计提供参考<sup>[16-17]</sup>。本文利用 ANSYS12.0 软件中模态分析模块对主机结构中关键零部件的动态

特性进行模态分析,及早发现并解决设计阶段存在的问题,大大缩短产品设计周期、降低设计成本,提高产品设计可靠性。

齐边锯主轴是强化地板数控横向开榫机主机中最关键零件,具有 6 000 r/min 的转速,其强度、刚度和振动频率等性能的好坏对整机工作性能将产生直接的影响。如设备工作时被加工工件自身的不均匀性、电动机产生的振动、运动零部件的精度误差等都可能造成主机和整机的受迫振动而产生“自激”振动,当此振动频率与齐边锯主轴固有频率相近时,齐边锯主轴会产生共振现象,造成噪声污染的增加,主机加工精度的降低,甚至造成零部件的破坏,降低机器使用寿命。结构的模态分析是线性分析,任何所施加的力载荷在模态分析中都不考虑,仅对齐边锯主轴施加约束,考虑到较低阶频率与环境中其他振源产生共振的可能性最高,对设备的破坏更为严重,所以利用 ANSYS12.0 软件对齐边锯主轴有限元模型(1~6 阶)模态振型进行分析,确定齐边锯主轴的前 6 阶固有频率及振型,齐边锯主轴前 6 阶模态分析如图 9 所示。



注:(a)第 1 阶;(b)第 2 阶;(c)第 3 阶;(d)第 4 阶;(e)第 5 阶;(f)第 6 阶。

图 9 齐边锯主轴前 6 阶模态分析

Fig. 9 First six modal analysis of the edge saw main spindle

根据图 9 所示的模态分析结果,可对齐边锯主轴前六阶固有频率及振型进行分析,齐边锯主轴第 1 阶模态振型表现为齐边锯主轴安装锯片一端 Y 向小幅振动,第 2 阶模态振型表现为齐边锯主轴安装锯片一端 X 向小幅振动,第 3 阶模态振型表现为齐边锯主轴安装两轴承中间位置 X 向小幅振动,第 4 阶模态振型表现为齐边锯主轴安装两轴承中间位置 Y 向小幅振动,第 5 阶模态振型表现为齐边锯主轴安装带轮一端 X 向小幅振动,第 6 阶模态振型表现为齐边锯主轴安装带轮一端 Y 向小幅振动。齐边锯主轴的前 6 阶固有频率及振型统计结果如表 1 所示。

表 1 齐边锯主轴前 6 阶固有频率及振型  
Table 1 First six natural frequencies and vibration modes of the edge saw main spindle

阶数	固有频率/Hz	振型
1	4 434.0	齐边锯主轴安装锯片一端 Y 向小幅振动
2	4 434.4	齐边锯主轴安装锯片一端 X 向小幅振动
3	5 368.8	齐边锯主轴安装两轴承中间位置 X 向小幅振动
4	5 369.0	齐边锯主轴安装两轴承中间位置 Y 向小幅振动
5	5 885.8	齐边锯主轴安装带轮一端 X 向小幅振动
6	5 886.5	齐边锯主轴安装带轮一端 Y 向小幅振动

从图 9 和表 1 可以看出,齐边锯主轴的前 6 阶模态的固有频率为 4 434.0~5 886.5 Hz,随着齐边锯主

表 2 齐边锯主轴前 6 阶临界转速  
Table 9 First six critical speed of the edge saw main spindle

阶数	1	2	3	4	5	6
固有频率 Hz	4 434.0	4 434.4	5 368.8	5 369.0	5 885.8	5 886.5
临界转速 r/min	$2.66\times10^5$	$2.66\times10^5$	$3.22\times10^5$	$3.22\times10^5$	$3.53\times10^5$	$3.53\times10^5$

4 结论

利用 ANSYS 有限元分析软件对强化地板数控横向开榫机主机的核心部件进行静力学分析、模态分析,得出如下结论。

- 1)通过对强化地板数控横向开榫机主机齐边锯主轴进行静力学分析,验证其结构设计的合理性,其刚度、强度等均满足使用要求,并为主机组件及其他关键零部件的结构设计提供设计思路及依据。
- 2)通过对强化地板数控横向开榫机主机齐边锯主轴进行模态分析,获得齐边锯主轴的固有频率及临界转速,证明强化地板横向开榫加工过程中齐边锯主轴与主机机架之间不会发生共振现象,保证强化地板数控横向开榫机主机加工的稳定性的。

完成了强化地板数控横向开榫机齐边锯主轴的有限元分析,运用 ANSYS12.0 有限元分析软件对强化地板数控横向开榫机主机的齐边锯主轴部件进

轴固有频率的增加,齐边锯主轴的振动在两端和中间发生交替变化,振动幅度伴有小幅增长,考虑到主锯轴轴承支撑点较远,这样的变化属于正常情况。

当轴的转速与共振临界转速接近时,轴的挠度和变形将迅速增大,导致轴及轴上零件发生破坏。因此,为了保证强化地板数控横向开榫机的加工精度和安全性,需对高速轴进行振动稳定性计算,即进行临界转速值计算,保证轴的工作转速远离临界转速,避免共振现象发生。轴的临界转速有多个,每阶固有频率对应每阶临界转速,对于刚性轴,应保证  $n\leqslant(0.75\sim0.8)n_{cr1}$ , $n_{cr1}$  为轴第 1 阶临界转速。利用频率、转速计算公式对齐边锯主轴每阶临界转速进行计算,齐边锯主轴前 6 阶临界转速如表 2 所示。轴的临界转速公式为:

$$n=60f \tag{2}$$

式中, $n$  为转速,r/min; $f$  为频率,Hz。

本文中齐边锯主轴为刚性轴,根据表 2 可知,主锯轴实际转速  $n=6\ 000\text{ r/min}$ ,远小于临界转速的 75%~80%,可有效地避免共振区域。由于齐边锯主轴是齐边锯主轴组件的核心部件,要保证足够的制造、安装精度,同时,当测得齐边锯主轴组件及整机激振频率与上述振型所在频率带相近时,要通过相应的减振措施避开这些频率带,保证设备的高精度运转。

行了静力学分析,获得其应力云图、应变云图及最大变形云图。分析结果显示,齐边锯主轴和主机机架结构满足其工作时的刚度和强度要求;对齐边锯主轴和主机机架还进行了模态分析,结果显示其在正常工作状态下不会产生共振,能够满足工作要求。因此,本研究对各种轴类零件的仿真分析提供了一定的参考价值和理论依据。

参考文献:

[1] 周捍东,丁涛,陆斌,等.强化木地板生产用工分析与过程装备技术升级[J].木材加工机械,2015(5):1-4,41.  
[2] 曹平祥.强化木地板生产的关键设备[J].木材工业,2010(3):19-21.  
[3] 张云秀.多功能数控开榫技术的研究[J].高等职业教育(天津职业大学学报),2006(4):48-50.  
[4] LIU B. Environmental engineered wood laminate flooring manufacturing method[P]. US9434147,2016-09-06.  
[5] 花军.浅析木地板榫槽加工机床[J].人造板通讯,2005(6):31-



33.  
HUA J. Elementary analysis of tenoning & grooving machines for wood flooring[J]. China Wood-based Panels, 2005(6): 31-33. (in Chinese)

[6] SHU W. Analysis on production and market of flooring in Europe[J]. China Wood-Based Panels, 2014, 04: 38-41.

[7] 马岩. 中国数控木工机械的开发方向[J]. 林业机械与木工设备, 2007, 35(11): 4-10, 13.

[8] ZHENG C L, YAO Z. Mechanism-structure integrative optimal design on construction machinery[J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2012, 29(1): 81-85.

[9] GAYEN, DEBABRATA. Finite element based vibration analysis of graded spinning shaft system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2014, 228(18): 97-103.

[10] YANG X W, LI Y M. Structural topology optimization on dynamic compliance at resonance frequency in thermal environments [J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2014, 49(1): 81-91

[11] 宿艳彩. 基于 ANSYS 软件的桥架结构参数化有限元分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.

[12] 张兴朝. 基于有限元分析的模块化数控机床结构动态设计研究[D]. 天津: 天津大学, 2001.

[13] 马岩, 岳彩裙, 郝思明. 暗直榫欧式木窗专用数控机床主轴的有限元分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 185-187.

[14] XIAO L X, WU G Q, ZHANG X D, *et al.* Statics analysis on workbenches of three kinds of electromaglev linear feed unit [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 189: 340-344.

[15] 宋明强, 沈隽. 有限元与 ANSYS 在家具结构分析中的应用[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 174-177.

[16] 吕艳红, 张远群. 有限元软件 ANSYS 在果木家具强度分析中的应用[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 181-184.

[17] 袁安富, 郑祺. 基于 ANSYS 的机床模态分析[J]. 电脑知识与技术, 2008(1): 177-180, 193.

(上接第 223 页)

[3] 任学敏, 杨改河, 王得祥, 等. 环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 605-613.

REN X M, YANG G H, WANG D X, *et al.* Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an *Abies-fargesii*-*Betulautilis* mixed forest [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 605-613. (in Chinese)

[4] 吴喆滢, 赵从举, 徐文娴, 等. 幼龄桉树茎流特征及其对环境因子的响应[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5): 46-52.

WU Z Y, ZHAO C J, XU W X, *et al.* Characteristics of the sap flow rate of the young *Eucalyptus* and its response to environment [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(5): 46-52. (in Chinese)

[5] 任学敏, 杨改河, 朱雅, 等. 环境因子对太白山高山植被物种组成和丰富度的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 6993-7003.

REN X M, YANG G H, ZHU Y, *et al.* Effect of environmental variables on species composition and richness of alpine vegetation in Taibai Mountain [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 6993-7003. (in Chinese)

[6] 赵春燕, 李际平, 马文俊, 等. 顾及耦合作用的森林景观类型多尺度分类[J]. 林业科学, 2013, 49(11): 183-188.

ZHAO C Y, LI J P, MA W J, *et al.* Multi-scale forest landscape classification considering coupling effect [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(11): 183-188. (in Chinese)

[7] 袁晓红, 李际平, 赵春燕, 等. 基于灌木层植物多样性的森林景观类型斑块耦合网络研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(16): 82-88.

YUAN X H, LI J P, ZHAO C Y, *et al.* Research on the coupling network of forest landscape patches based on shrubs diversity [J]. China Agricultural Science, 2012, 28(16): 82-88. (in Chinese)

[8] 赵春燕. 森林景观类型斑块边缘效应和耦合机理研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.

[9] 李际平, 陈端吕. 森林景观类型环境耦合度模型的构建与应用[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(4): 67-71.

LI J P, CHEN D L. Construction and application of environment-based coupling degree model for forest landscape types [J]. Central South University of Forestry and Technology, 2008, 28(4): 67-71. (in Chinese)

[10] 陈端吕, 李际平, 陈哲夫. 森林景观类型“斑块耦合网络”视角下森林经营的思考[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5): 268-272.

CHEN D L, LI J P, CHEN Z F. Forestry management in perspective of coupling network of landscape patches [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(5): 268-272. (in Chinese)

[11] 耿志伟, 薛伟, 万雷. 基于灰色关联度分析的东北林区贮木场火险评价[J]. 森林工程, 2014, 30(4): 34-38.

[12] 邓聚龙. 灰色系统理论简介[J]. 内蒙古电力, 1993(3): 51-52.

[13] 蹇黎, 秦小军, 余丹凤, 等. 喀斯特山区野生燕麦农艺性状的主成分与灰色关联度分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(21): 57-60.

[14] 张宝东, 孙占祥, 白伟, 等. 基于灰色关联度分析的辽西地区典型种植模式评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(12): 2452-2456.

[15] 黄涛. 基于灰色关联度分析的模糊群决策方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.