

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80163

核桃脱青皮—清洗—分级一体机辊筒轴 与链板的仿真分析

赵德永 王 远 吴科阳 王英东 刘承洲

(西南林业大学机械与交通学院, 云南 昆明 650224)

摘要: [目的] 设计一种集脱青皮、清洗、分级于一体的核桃脱青皮机, 并分析该机器中关键构件辊筒轴与链板的强度、刚度以及振动特性, 确定其各项工况参数。[方法] 采用力学分析确定核桃脱青皮过程的受力, 确定辊筒、链板转速, 计算辊筒功率, 用 Solidworks 进行整机及关键零件建模, 并将辊筒轴与链板实体导入 Ansys Workbench 中进行静力学分析和模态分析。[结果] 当辊筒轴转速为 300 r/min 时, 一体机的最大变形为 0.003 mm, 最大应力为 60.62 MPa; 当链板转速为 120 r/min 时, 一体机的最大变形为 0.352 mm, 最大应力为 168.97 MPa, 符合设计要求; 辊筒轴与链板的工作频率远小于其前六阶固有频率, 工作过程中不会发生共振破坏。[结论] 该辊筒轴与链板的强度和刚度满足实际生产要求, 且正常工况下不会发生共振破坏。

关键词: 核桃脱青皮机; 一体机; 清洗; 分级; 力学分析; 模态分析

Simulation analysis of the roller shaft and link plate of a green walnut peeling-cleaning-grading integrated machine

ZHAO Deyong WANG Yuan WU Keyang WANG Yingdong LIU Chengzhou

(College of Mechanical and Transportation, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: [Objective] A green walnut peeling machine integrating peeling, cleaning, and grading was designed, and the strength, stiffness, and vibration characteristics of the roller shaft and link plate, the key components in the machine, were analyzed to determine its working condition parameters. [Methods] Mechanical analysis was conducted to determine the force of the green walnut peeling process, determine the rotational speeds of the roller and link plate, and calculate the roller power. Solidworks was used to model the whole machine and key parts, and the roller shaft and link plate entities were imported into Ansys Workbench for static analysis and modal analysis. [Results] At the roller shaft rotational speed of 300 r/min, the intact machine showed the maximum deformation of 0.003 mm and the maximum stress of 60.62 MPa. At the link plate rotational speed of 120 r/min, the intact machine showed the maximum deformation of 0.352 mm and the maximum stress of 168.97 MPa, which were in line with the design requirements. The working frequency of the roller shaft and link plate was much smaller than its first six-order inherent frequency, and thus resonance damage would not occur in the working process. [Conclusion] The strength and stiffness of the roller shaft and link plate meet the requirements of actual production, and no resonance damage will occur under normal working conditions.

Keywords: green walnut peeling machine; intact machine; cleaning; grading; mechanical analysis; modal analysis

核桃作为中国主要干果、经济作物之一^[1], 其种植规模不断扩大, 产量逐年提高^[2]。目前, 中国多数核桃种植户仍采用传统堆沤脱青皮和手工脱青皮去除核桃青皮^[3], 其中堆沤脱青皮易滋生细菌, 损害核桃品质; 手工脱青皮

劳动强度大, 工作效率低。因此, 机械化脱青皮成为促进核桃初加工产业迅猛发展的最有效途径^[4]。目前已研发了切削式^[5-6]、刮削式^[7-8]、挤压式^[9-10]、撞击式^[11-13]、混合式^[14]等核桃机械化脱青皮机理与对应装备, 但该装备

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目 (编号: 2023Y0771); 云南省农业基础研究联合基金重点项目 (编号: 202301BD070001-012)

通信作者: 王远 (1978—), 男, 西南林业大学教授, 博士生导师, 博士。E-mail: wyuan88@126.com

收稿日期: 2024-02-24 **改回日期:** 2024-09-22

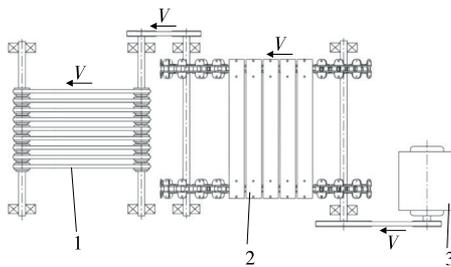
功能较单一,只能进行单一初加工,且核桃脱青皮时硬壳表面黏附大量汁液,如未及时清洗,易污染核桃坚果,损害核桃品质。同时,已有的多数核桃脱青皮装备不能实现脱青皮、清洗后核桃的分级处理,不利于核桃下一步的破壳加工等。

研究拟设计一种集脱青皮、清洗、分级于一体的核桃脱青皮机,对其关键构件辊筒轴与链板进行受力确定、静力学以及模态仿真分析,以期对相关装备的研制提供依据。

1 核桃脱青皮—清洗—分级一体机结构及工作原理

1.1 整机结构

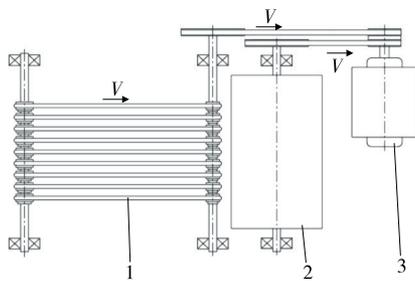
为实现青核桃高效完成脱青皮、清洗、分级等工序,整机的传动系统包括链板输送机构传动系统和辊筒机构传动系统两个部分。其中,链板输送机构传动系统(图1)为减速电机通过V带传动带动链轮链条和链板运动,再通过V带传动带动果皮分离装置输送带运动。辊筒机构传动系统(图2)为电机分别通过V带传动带动辊筒转动,以及分级筛选装置输送带运动。



1. 果皮分离装置输送带 2. 链板 3. 减速电机

图1 链板输送机构传动系统图

Figure 1 System diagram of the chain conveyor



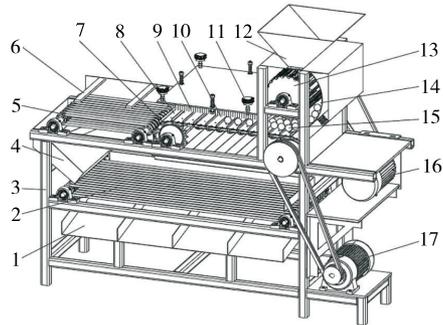
1. 分级筛选装置输送带 2. 辊筒 3. 电机

图2 辊筒机构传动系统图

Figure 2 System diagram of the roller

该一体机主要由脱青皮、清洗与分级三大部分组成(图3)。其中,脱青皮部分由辊筒机构、钢丝板刷、链板输送机构、机架、电机和减速电机等组成,辊筒机构和链板输送机构固定在机架上;钢丝板刷可通过直纹把手调节其高度和角度。清洗部分由喷水装置、果皮分离装置等组成,果皮分离装置由尼龙轮、输送带、出料装置等组成,

并固定在机架上,尼龙轮上设置紧定螺钉,方便调节和固定尼龙轮在轴上的位置,出料装置位于输送带下方倾斜向下安装,方便破碎脱落后青皮的出料,果皮分离装置上输送带间距可通过尼龙轮手动自由调节。分级部分由分级筛选装置、核桃出料口等组成,并固定在机架上,分级筛选装置上输送带间距可通过尼龙轮手动自由调节。



1. 核桃出料口 2. 分级筛选装置 3. 机架 4. 导向装置 5. 果皮分离装置 6. 喷水装置 7. 链板输送机构 8. 链板 9. 钢丝板刷 10. 梯形脱青皮通道 11. 直纹把手 12. 进料口 13. 辊筒机构 14. 楔形脱青皮通道 15. 青核桃 16. 电机 17. 减速电机

图3 核桃脱青皮—清洗—分级一体机

Figure 3 Green walnut peeling-cleaning-grading machine

1.2 辊筒机构工作原理

辊筒与弧形外壁之间的间隙变化是核桃挤压脱壳破碎的关键参数,青核桃长径值为46~59 mm,脱皮核桃长径值为33~44 mm。为避免大果脱皮核桃被挤压破碎,小果核桃漏剥,曲面楔形脱青皮通道挤压区域最大间隙为59 mm,最小间隙为45 mm,如图4所示。

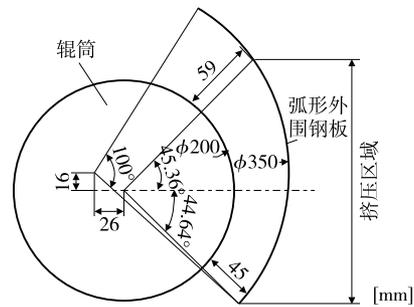


图4 辊筒机构示意图

Figure 4 Schematic diagram of the roller

1.3 分级筛选装置工作原理

分级筛选装置主要由光轴、尼龙轮、输送带、轴承等组成。其中,尼龙轮上设有紧定螺钉,可手动调节紧定螺钉改变尼龙轮在光轴上的位置,进而调节输送带之间的间距。在实际生产过程中,已脱青皮核桃经清洗后,核桃短径长度分为28~30,30~32,32~34,34~36 mm 4个尺寸等级进行分级筛选,如图5所示。

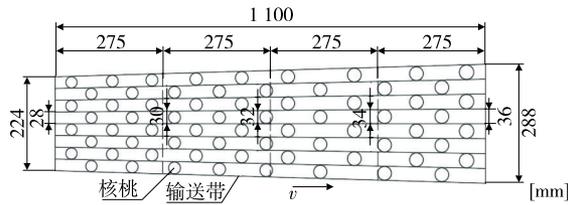


图5 核桃分级筛选示意图

Figure 5 Schematic diagram of walnut grading and screening

1.4 核桃脱青皮—清洗—分级一体机工作原理

青核桃从进料口掉落到曲面楔形截面脱青皮通道内,在辊筒机构的碰撞与挤压下进行初次脱青皮后平铺一层进入梯形脱青皮通道内,在链板输送机构与钢丝板刷的挤压与摩擦作用下完成二次脱青皮,进而彻底剥落核桃表层青皮,混合物料一起输送至果皮分离装置处经喷水装置喷冲、清洗,破碎的青皮被喷水装置喷冲掉落至出料装置后漏出,已脱青皮核桃经清洗后由输送带输送至导向装置,从导向装置掉落至分级筛选装置上进行筛选,根据核桃外形尺寸大小自行分为4个等级从核桃出口依次漏出,从而完成核桃脱青皮、清洗、分级工作。

2 关键零部件设计

2.1 脱青皮装置的受力分析

脱青皮时,核桃在辊筒机构中经过撞击、挤压进行破皮后,进入到链板板刷机构中进行脱青皮,故辊筒轴和链板为脱青皮过程中的主要受力构件,也是该机的关键构件。

对于单个核桃,脱青皮时核桃受辊筒挤压力 F 作用,由此产生辊筒与核桃之间的摩擦力 f_1 ,同时受弧形外围钢板支撑力 F_1 作用,由此产生核桃与弧形外围钢板的摩擦力 f_2 ; f_1 与 f_2 产生力偶 M_1 推动核桃跟随滚筒转动,由于辊筒与弧形外围钢板之间间隙逐步减小,完成对核桃的挤压,最终实现核桃脱青皮加工。受力如图6(a)所示,各力的关系可表示为式(1):

$$\begin{cases} f_1 = f_2 \\ f_2 = \mu_1 F_1, \\ F = F_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中:

μ_1 ——弧形钢板表面动摩擦系数。

依据设计,304不锈钢弧形钢板的表面动摩擦系数 μ_1 取0.5,挤压力 $F=280\text{ N}$ ^[15],代入式(1),可得摩擦力 f_1 为140 N,且青皮破裂但硬壳不破裂。依据辊筒设计长度,单排单层进入时,整个辊筒长度最多可容纳10个青核桃,故辊筒所受摩擦力载荷为1400 N。

核桃受辊筒机构撞击、挤压青皮破碎处理后,进入链板板刷机构,单个核桃受到链板的挤压力 F_2 、钢丝绳板刷的搓合力 F_3 、链板的支持力 F_N 、链板的摩擦力 f_2 及核桃自重 mg 共同作用,受力如图6(b)所示。受力按 x,y 轴分解可得各力关系式:

$$\begin{cases} F_3 \cos \beta + f_2 = F_2 \\ mg = F_N + F_3 \sin \beta, \\ f_2 = \mu_2 F_N \end{cases} \quad (2)$$

即

$$F_2 = F_3 (\cos \beta - \mu_2 \sin \beta) + \mu_2 mg, \quad (3)$$

式中:

m ——单个核桃质量,kg;

β ——板刷倾斜角度, $^\circ$;

μ_2 ——链板表面动摩擦系数。

由于核桃经辊筒撞击预处理后,青皮更加容易脱落,取钢丝绳板刷搓合力 $F_3=280\text{ N}$ ^[16],304不锈钢链板的表面动摩擦系数 $\mu_2=0.5$,夹角 β 取 $5^\circ\sim 10^\circ$ ($\beta=5^\circ$ 时, F_2 值最大),代入式(3),可得挤压力 F_2 的最大值约为270 N,故链板所承载荷为270 N。

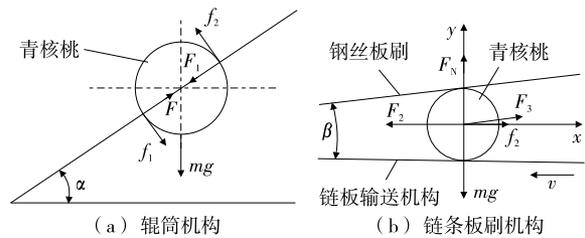
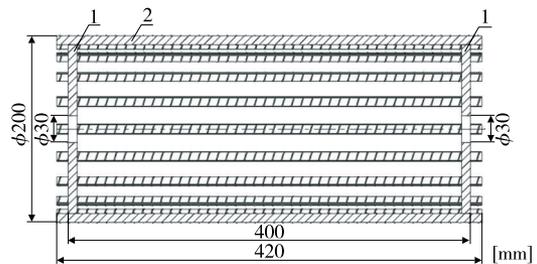


图6 青核桃受力分析图

Figure 6 Force analysis diagram of green walnut

2.2 辊筒及辊筒轴结构设计

辊筒作为脱皮机中重要的脱皮部件,由两个支撑轮和若干螺纹钢组成(图7),其中,螺纹钢均匀焊接在两端的支撑轮上。设计辊筒半径100 mm,转速300 r/min,根据式(1)计算辊筒所受摩擦力载荷1400 N,得辊筒输入功率为4.4 kW。



1. 支撑轮 2. 螺纹钢

图7 辊筒结构

Figure 7 Structure of the roller

辊筒轴支撑辊筒机构,将电机输出的运动和动力传递给辊筒。辊筒轴在工作时会承受较大扭矩,所承受的弯矩则较小。故在设计辊筒轴轴径及长度时,需优先考虑其抗扭能力,而所承受较小的弯矩通过降低许用扭转切应力的方法可以有效解决^[17]。轴的扭转强度条件为:

$$\tau_T = \frac{T}{W_T} \approx \frac{955\,000P/n}{0.2d^3} \leq [\tau_T], \quad (4)$$

因此,采用式(5)初步估算其直径:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6 P/n}{0.2[\tau_T]}} = \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6}{0.2[\tau_T]} \cdot \frac{P}{n}}, \quad (5)$$

式中:

P ——辊筒轴功率,取 4.4 kW;

n ——辊筒轴转速,取 300 r/min;

d ——截面处轴径,mm;

$[\tau_T]$ ——许用扭转切应力,MPa。

辊筒轴材料为 45 钢正火处理,许用扭转切应力 $[\tau_T]$ 为 25~45 MPa^[17],因按扭矩初步计算轴径,忽略弯矩,故取材料最小 $[\tau_T]=25$ MPa,代入式(5)可得 $d_{\min}=30$ mm。辊筒轴上开设 1 个 10 mm×5 mm×20 mm 键槽,轴径应增大 5% 左右,因此取辊筒轴的最小直径为 $d=32$ mm。辊筒轴结构如图 8 所示。

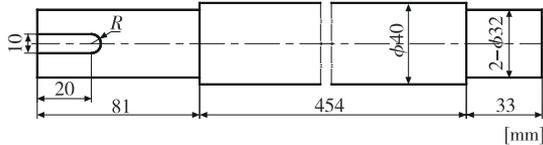


图 8 辊筒轴

Figure 8 Roller shaft

2.3 链板结构设计

链板的主要功能是在链条带动下输送青核桃,在钢丝绳板刷的挤压力与搓合力共同作用下,促使已产生裂口或裂纹的核桃青皮剥落。脱青皮过程中会受到青皮汁液腐蚀,故选用 304 不锈钢制作,其具体结构与尺寸如图 9 所示。

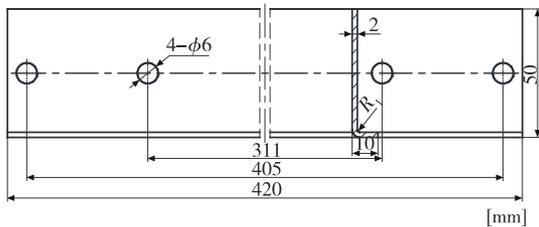


图 9 链板

Figure 9 Link plate

2.4 辊筒轴与链板的有限元模型

2.4.1 网格划分 将 Solidworks 建模的辊筒轴与链板三维模型,以 Parasolid(*.x_t;*.x_b)格式导出并存储,导入 ANSYS Workbench 中,得到各自的有限元分析模型,并分别进行网格单元划分,网格大小与精确度密切相关,网格越大精确度越低^[18]。由于辊筒轴与带轮采用平键连接,正常工作时,键槽为辊筒轴的主要受力部位,故需对辊筒轴键槽相关平面进行网格单元局部细化。经多次单因素

分析,由网格无关性可得,将辊筒轴整体网格单元大小设置为 10 mm,键槽及过渡圆角局部网格单元大小设置为 1 mm 时,效果较好,可得到 32 286 个节点和 18 681 个单元,网格划分如图 10 所示。将链板网格单元大小设置为 5 mm,螺栓孔位置局部网格单元大小设置为 0.5 mm,过渡圆角局部网格单元大小设置为 1 mm 时,效果较好,可得到 29 511 个节点和 15 440 个单元,网格划分如图 11 所示。

2.4.2 边界条件设置及施加载荷 辊筒轴材料 45 钢和链板材料 304 不锈钢的材质特性见表 1,并在系统中进行对应设置。

根据实际工况,脱青皮机辊筒与辊筒轴焊接为一体,工作时辊筒会对多个青核桃进行初次脱青皮,当脱青皮核桃数为 10,辊筒轴转速为 300 r/min 时,所受摩擦力载荷为 1 400 N,相当于承受 140 N·m 扭矩载荷,故可在辊筒轴两端实施远程位移约束,分别设置 6 个自由度 X 分量为 0, Y 分量为 0, Z 分量为自由,旋转 X 为 0,旋转 Y 为 0,旋转 Z 为 0,并在辊筒轴上施加 140 N·m 的载荷。

脱青皮机链板工作时会对多个青核桃进行再次脱青皮,当脱青皮核桃数为 10,链轮转速为 120 r/min,即链板速度为 1.25 m/s 时,所受挤压力为 2 700 N,故可在链板两端实施固定约束,在链板上施加 2 700 N 的载荷。

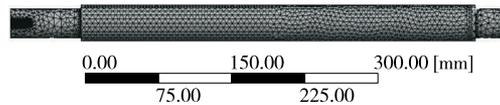


图 10 辊筒轴网格单元划分

Figure 10 Mesh cell division of the roller shaft

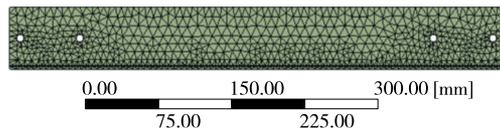


图 11 链板网格单元划分

Figure 11 Mesh cell division of link plate

表 1 辊筒轴及链板的材料特性

Table 1 Material properties of the roller shaft and the link plate

材料	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)
45 钢	2.06e5	0.28	7 890
304 不锈钢	1.94e5	0.30	7 930

3 结果与分析

3.1 辊筒轴与链板的静力学分析

实际工作中,辊筒轴和链板会受到核桃反作用力的影响产生一定的变形,若变形量不超过允许范围就不会影响实际生产。静力学分析的数学模型为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\}, \quad (6)$$

式中:

$[M]$ ——质量矩阵;

$[C]$ ——阻力矩阵;

$[K]$ ——刚度系数矩阵;

$\{x\}$ ——位移矢量;

$\{F\}$ ——力矢量。

根据材料力学理论,在进行静力学分析时,若材料表

现出轻微的弹性形变,且其刚度系数保持稳定,表明其所受的力为恒定的。具体操作过程中,力与时间的关系并非非线性关系。因此,静力学分析的数学模型可简化为:

$$[K]\{x\}=\{F\}。 \quad (7)$$

通过 ANSYS Workbench 静力学分析,得到辊筒轴的总变形、应力、应变云图如图 12 所示,链板的总变形、应力、应变云图如图 13 所示。

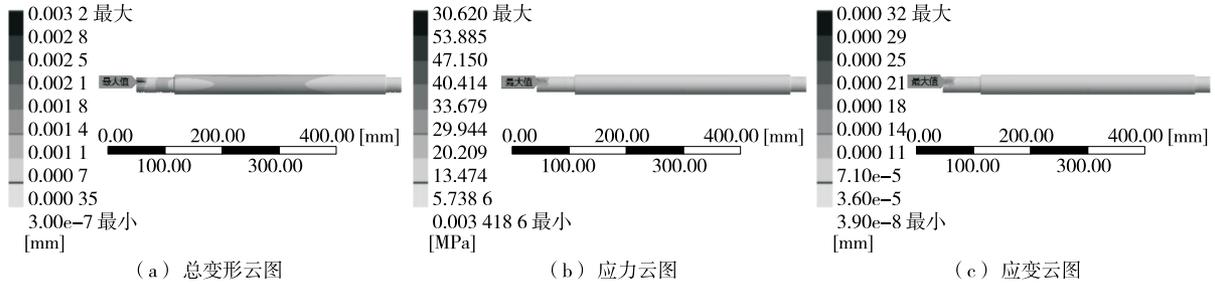


图 12 辊筒轴总变形、应力及应变云图

Figure 12 Total deformation, stress and strain nephogram of the roller shaft

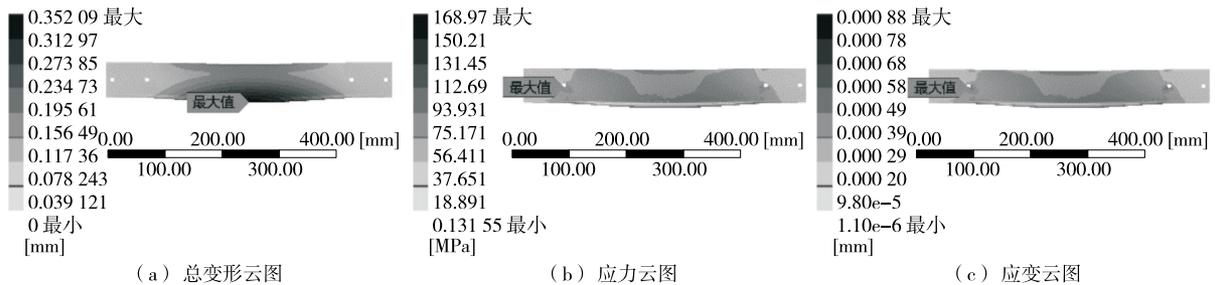


图 13 链板总变形、应力及应变云图

Figure 13 Total deformation, stress and strain nephogram of the link plate

由图 12 和图 13 可知,辊筒轴上键槽处的应力、应变和总变形最大;链板窄边中间边缘处的总变形最大,左端第 2 个螺栓连接孔处的应力和应变最大,其总变形量分别为 0.003, 0.352 mm, 变形量非常小,不会对实际工作产生影响,可以忽略不计。辊筒轴最大应力为 60.62 MPa, 小于其材料 45 钢的屈服强度。链板最大应力为 168.97 MPa, 小于其材料 304 不锈钢的屈服强度,说明辊筒轴和链板的设计符合工作要求。

3.2 辊筒轴与链板的模态分析

通常情况下,模态分析的控制方程为:

$$[M]\{\ddot{u}\}+[C]\{\dot{u}\}+[K]\{u\}=\{F(t)\}。 \quad (8)$$

在进行模态分析计算时, $F(t)=0$,且按照无阻尼线性结构进行机械零件分析,即结构阻尼矩阵 $[C]=0$,因此控制方程可以简化为:

$$[M]\{\ddot{u}\}+[K]\{u\}=\{0\}。 \quad (9)$$

简化后的方程变为无阻尼线性结构自由振动的控制方程,假设结构的运动为简谐运动,则:

$$\begin{cases} \{u\}=\{\Phi\}_i \sin(\omega_i t + \theta_i) \\ \{\ddot{u}\}=-\omega_i^2 \{\Phi\}_i \sin(\omega_i t + \theta_i)^\circ \end{cases} \quad (10)$$

将式(10)中的位移和加速度代入式(9)得:

$$([K]-\omega_i^2[M])\{\Phi_i\}=\{0\}, \quad (11)$$

式中:

ω_i ——固有频率,Hz;

Φ_i ——振型。

模态分析时,有限元模型的建立与 2.4 中相同,不施加任何载荷作用。由于辊筒轴及链板实际工作转速较低,故选取低阶频率进行分析。

辊筒轴的前六阶模态结果如图 14 所示,分析结果见表 2;链板前六阶模态结果如图 15 所示,分析结果见表 3。

由表 2 可知,辊筒轴的前六阶模态固有频率为 616.55~2 889.90 Hz,当辊筒轴转速为 300 r/min 时,转动频率为 0.80 Hz。由于辊筒轴的工作频率远小于其前六阶固有频率,因此辊筒轴在正常工作条件下不会发生共振现象。

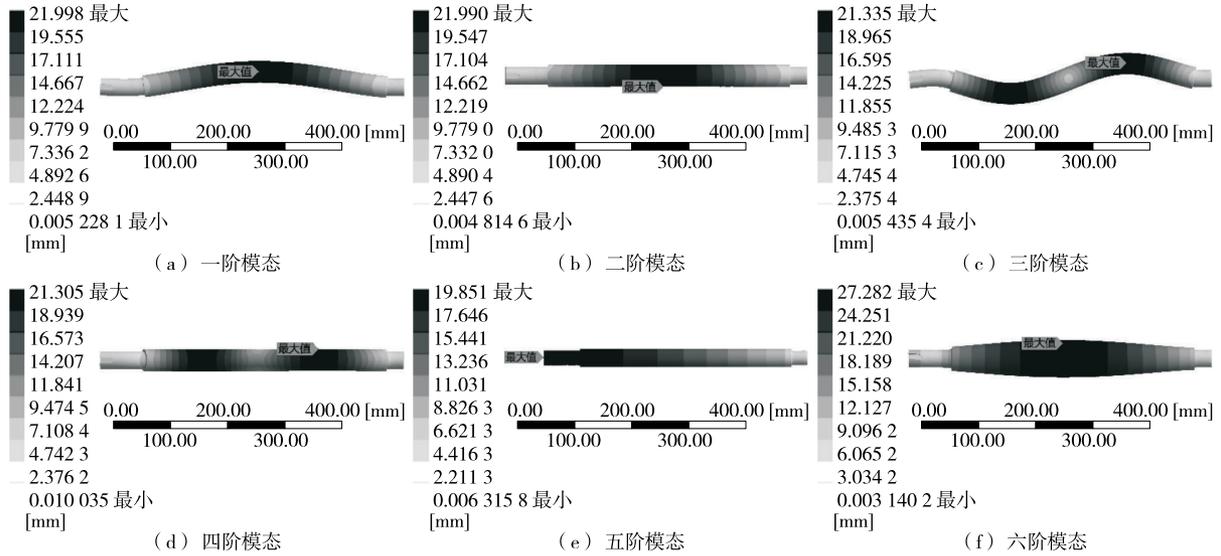


图 14 辊筒轴的模态振型

Figure 14 Modal vibration mode of the roller shaft

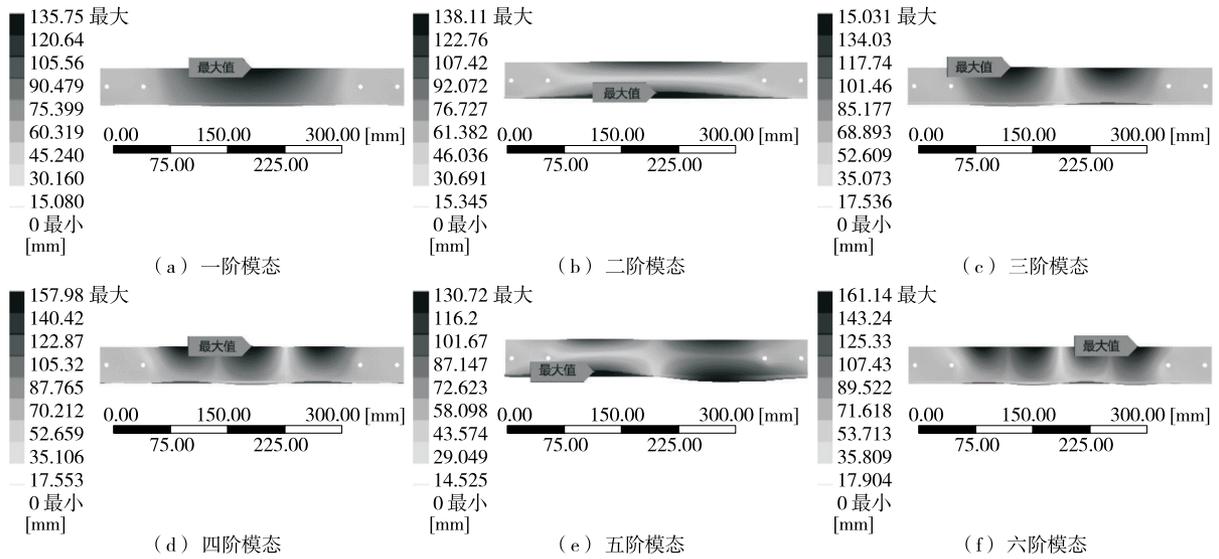


图 15 链板的模态振型

Figure 15 Modal vibration mode of the link plate

表 2 辊筒轴前六阶固有频率、最大变形量及振型

Table 2 Inherent frequency, maximum deformation and vibration mode of the roller shaft

阶数	频率/Hz	最大变形量/m	振型
1	616.55	0.022	在 YZ 平面内弯曲振动
2	617.09	0.022	在 XZ 平面内弯曲振动
3	1 740.4	0.021	在 YZ 平面内弯曲振动
4	1 741.7	0.021	在 XZ 平面内弯曲振动
5	2 412.5	0.020	沿 Z 轴轴向振动
6	2 889.9	0.027	绕 Z 轴扭转振动

表 3 链板前六阶固有频率、最大变形量及振型

Table 3 Inherent frequency, maximum deformation and vibration mode of the link plate

阶数	频率/Hz	最大变形量/m	振型
1	216.54	0.136	在 XY 平面内弯曲振动
2	433.67	0.138	在 XY 平面内弯曲振动、绕 X 轴扭转振动
3	517.73	0.150	在 XY 平面内弯曲振动
4	885.23	0.158	在 XY 平面内弯曲振动
5	992.40	0.131	绕 X 轴扭转振动
6	1 319.00	0.161	在 XY 平面内弯曲振动

由表3可知,链板的前六阶模态固有频率为216.54~1 319.00 Hz,当链板转速为120 r/min时,转动频率为0.32 Hz。由于链板工作频率远小于其前六阶固有频率,因此链板在正常工作条件下不会发生共振现象。

4 结论

通过仿真分析可知,辊筒轴与链板在特定工况下的最大变形量分别为0.003, 0.352 mm;最大应力分别为60.62, 168.97 MPa,其最大值均小于各自材料45钢与304不锈钢的屈服强度,满足脱皮机的使用要求。通过对脱皮机的辊筒轴与链板进行强度、刚度以及振动分析,确定了各项工况参数。试验仅着眼于脱皮机中关键构件辊筒轴与链板的结构强度、刚度和振动特性,并未深入研究脱皮机的脱皮率、清洗效果、分级效率及破碎率等方面,后续需进一步优化以提高脱皮机的脱皮率、清洗效果和分级效率,并降低其破碎率。

参考文献

- [1] ZHANG H, LIU H, ZENG Y, et al. Design and performance evaluation of a multi-point extrusion walnut cracking device[J]. *Agriculture*, 2022, 12(9): 1 494.
- [2] 吴萍, 周际松, 邓乾春, 等. 核桃蛋白的结构、营养价值、制备、功能特性及在食品中的应用[J]. *食品科学*, 2024, 45(15): 329-337.
- WU P, ZHOU Z S, DENG Q C, et al. Structure, nutritional value, extraction, functional properties of walnut proteins and their application in foods: a review[J]. *Food Science*, 2024, 45(15): 329-337.
- [3] 张永成, 马佳乐, 唐玉荣, 等. 我国核桃初加工现状与分析[J]. *食品工业*, 2020, 41(7): 198-202.
- ZHANG Y C, MA J L, TANG Y R, et al. Status and analysis of walnut primary processing in China[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(7): 198-202.
- [4] 李康, 李长河, 刘明政, 等. 青核桃脱皮机理及装置设计与试验[J]. *食品与机械*, 2023, 39(8): 89-97, 185.
- LI K, LI C H, LIU M Z, et al. Analysis of green walnut peeling mechanism and device design and experiment[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(8): 89-97, 185.
- [5] 向忠顺. 一种用于核桃加工的脱青皮清洗机: CN21605910.8U [P]. 2022-03-18.
- WIANG Z S. Walnut processing green husk cleaning machine: CN21605910.8U [P]. 2022-03-18.
- [6] 王秉富. 一种立式核桃脱青皮机: CN20690964.1U [P]. 2018-01-23.
- WANG B F. Vertical walnut green husk removal machine: CN20690964.1U [P]. 2018-01-23.
- [7] 刘东琴, 卢军党, 王维, 等. 滚刷型青核桃脱皮机的研制[J]. *农产品加工*, 2016(12): 63-64.
- LIU D Q, LU J D, WANG W, et al. Design of rolling brush green walnut peeling machine[J]. *Farm Products Processing*, 2016(12): 63-64.
- [8] 陕西省农业机械研究所. 一种青核桃脱青皮机: CN20424509.4 [P]. 2015-04-08.
- Shanxi Provincial Agricultural Machinery Research Institute. Green walnut dehulling machine: CN20424509.4 [P]. 2015-04-08.
- [9] 王亚妮, 卢军党, 王维, 等. 一种青核桃去皮机的设计与试验研究[J]. *包装与食品机械*, 2014, 32(1): 32-34.
- WANG Y N, LU J D, WANG W, et al. A design and experimental research on a practical green walnut peeling machine[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2014, 32(1): 32-34.
- [10] 梁金生, 宋智超, 张威. 核桃挤压揉搓脱青皮方式研究及机器设计[J]. *南方农机*, 2016, 47(4): 12, 26.
- LIANG J S, SONG Z C, ZHANG W. Study on the squeezing and rubbing method for green husk removal of walnuts and machine design[J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2016, 47(4): 12, 26.
- [11] 王维, 刘东琴, 王亚妮, 等. 一种实用型青核桃去皮机的设计与试验[J]. *包装与食品机械*, 2014, 32(3): 14-16.
- WANG W, LIU D Q, WANG Y N, et al. A design and experimental research on a practical green walnut peeling machine[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2014, 32(3): 14-16.
- [12] 杨忠强, 崔宽波, 闫圣坤, 等. 离心筛网式青核桃脱皮机的设计与实验[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(8): 195-198, 214.
- YANG Z Q, CUI K B, YAN S K, et al. Design and experiment of centrifugal-mesh green walnut peeling machine[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(8): 195-198, 214.
- [13] HUSSAIN S Z, AHAD T, RATHER A H, et al. Development of walnut dehulling machine and assessment of its performance using Ethephon and Tween-80 as pre-treatments for hull loosening[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(6): 2 835-2 843.
- [14] 杨忠强. 卧式青核桃脱皮机的设计与试验研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021: 12-13.
- YANG Z Q. Design and experimental study of horizontal walnut peeling machine[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021: 12-13.
- [15] 李龙. 青核桃脱青皮机的设计与研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023: 16.
- LI L. Design and study of green walnut peeling machine[D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023: 16.
- [16] 陈秀文, 李文彬, 白效鹏, 等. 香玲核桃青皮破裂力学特性试验研究[J]. *中国油脂*, 2023, 48(11): 135-140.
- CHEN X W, LI W B, BAI X P, et al. Cracking mechanical properties of Xiangling walnut green peel[J]. *China Oils and Fats*, 2023, 48(11): 135-140.
- [17] 蒋快乐, 陈治华, 李亚南, 等. 澳洲坚果脱皮机脱皮辊的力学特性仿真[J]. *食品与机械*, 2021, 37(8): 110-114.
- JIANG K L, CHEN Z H, LI Y N, et al. Simulation analysis on mechanical properties of macadamia nut peeler roll[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(8): 110-114.
- [18] 石章成, 许燕, 周建平, 等. 核桃脱青皮机脱皮辊数值仿真与力学特性分析[J]. *机床与液压*, 2019, 47(19): 136-139, 152.
- SHI Z C, XU Y, ZHOU J P, et al. Numerical simulation and mechanical characteristics analysis of peeling roller for green walnuts peeling machine[J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2019, 47(19): 136-139, 152.