

大龄蚕饲育的双层对称循环式养蚕装置

刘 高 黄泽界 黄 峥 杨 莹

遵义职业技术学院, 贵州遵义 563000

摘 要: 针对现有养蚕机械功能单一、集约化程度较低等问题, 设计了一种基于大龄蚕饲育的双层对称循环式养蚕装置。机架为双层对称循环式养蚕装置中载荷的主要承载部件, 为了避免机架的结构强度不足和发生共振问题, 通过ANSYS软件对机架进行了静态力学分析和模态分析, 并根据分析结果对机架进行了优化设计, 优化后静态力学分析结果表明: 机架最大变形量为0.0775925 mm, 最大应变为7.0147 e-5 mm/mm, 最大应力值为9.6448 MPa, 机架最大应力值小于结构钢许用应力, 机架满足强度要求。模态分析结果表明: 机架前六阶固有频率区间为12.89-40.22 Hz, 外部激励为5 Hz, 外部激励频率小于机架一阶模态固有频率, 机架不会发生共振。

关键词: 集约化; 双层对称循环式; 机架; 仿真

Double - layer symmetrical circulating silkworm rearing system for older silkworm rearing

Gao Liu Zejie Huang Zheng Huang Ying Yang

Zunyi Vocational and Technical College, Zunyi, Guizhou 563000

Abstract: This paper proposes a double-layer symmetric cycle silkworm rearing device based on the problems of the existing silkworm breeding machinery such as single function and low degree of intensification. The frame is the main load-bearing component of the double-layer symmetric cycle silkworm rearing device. To avoid insufficient structural strength and resonance problems of the frame, static mechanical analysis and modal analysis of the frame were conducted using ANSYS software, and the frame was optimized according to the analysis results. The static mechanical analysis results after optimization show that the maximum deformation of the frame is 0.0775925 mm, the maximum strain is 7.0147e-5 mm/mm, and the maximum stress value is 9.6448 MPa. The maximum stress value of the frame is less than the allowable stress of structural steel, indicating that the frame meets the strength requirements. The modal analysis results show that the first six natural frequencies of the frame are in the range of 12.89-40.22 Hz, and the external excitation frequency is 5 Hz. The external excitation frequency is less than the first modal frequency of the frame, indicating that the frame will not resonate.

Keywords: Intensification; Double-layer symmetric circulation type; The rack; simulation

引言

蚕养殖业在我国有着悠久的历史, 新时期蚕养殖业更是巩固脱贫攻坚、实现乡村振兴的重要产业[1-3]。目前我国大部分地区的蚕养殖业仍采用人工养殖模式, 机械化程度低[4], 蚕养殖过程中采桑、喂桑、除砂、上蔴环节需要大量劳动力。

在农村地区劳动力严重缺乏的背景下, 蚕养殖业的发展受到很大制约, 实现蚕机械化养殖是解放劳动力、促进蚕养殖业进一步发展的的重要途径。定农等[5]设计了一种多层吊挂式循环大蚕饲养机械, 通过与地蚕育的对比试验表明该饲养机械明显提高了养殖工效。旁家柳等[6]设计了一种小蚕共育自动喂蚕机, 通过将小蚕与大蚕分开养殖的方式, 大大降低了养蚕的劳动强度。郭佳等[7]设计的自动给桑养蚕机实现了定量给桑的功能。

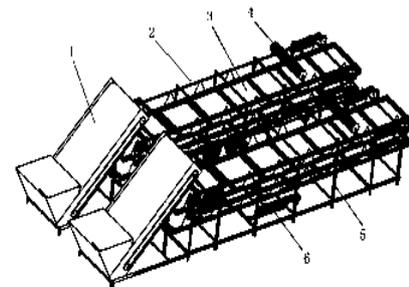
目前在蚕养殖业方面亟需一种自动化、集成化程度较高的一体化养蚕设备。本文针对大龄蚕食桑量大、除砂困难的问题设计了一种集给桑、除砂、消毒为一体的集约化养蚕设备, 以此解决

蚕养殖过程中人工成本高的难题。该设备的设计为机械化养蚕提供了一种参考。

一、双层对称循环式养蚕装置结构与工作原理

1.1 双层对称循环式养蚕装置结构

本文设计的双层对称循环式养蚕装置, 装置整体结构如图1所示。



1.给桑组件 2.蚕盘链条 3.蚕盘 4.消毒组件 5.机架 6.除砂组件

图1 双层对称循环式养蚕装置整机结构示意图

Fig 1 Schematic diagram of double-layer symmetrical circulating silkworm raising device

双层对称循环式养蚕装置以电动机作为动力源，通过链轮传递动力。整体结构主要由给桑组件、蚕盘链条、蚕盘、消毒组件、除砂组件、机架等部件组成，其主要技术参数如表1所示。

表1 双层对称循环式养蚕装置结构参数

Table 1 Structural parameters of double-layer symmetrical circulating silkworm raising device

项目	尺寸
整机尺寸(长×宽×高)/(m×m×m)	9×3.2×2.1
蚕盘驱动电机功率/kW	2.2
给桑组件驱动电机功率/kW	0.5
整机质量/kg	1480
工作速度/(m/s)	0.1
有效工作面积/m ²	27.7

1.2 双层对称循环式养蚕装置工作原理

双层对称循环式养蚕装置主要针对大龄蚕进行饲养，在小蚕共育期结束后，需将大龄蚕移置到蚕盘上饲养直至蚕结茧。

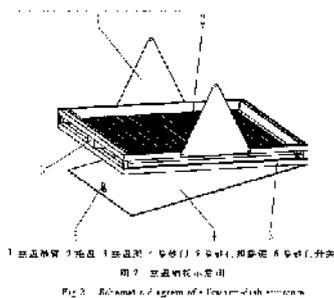
双层对称循环式养蚕装置集养蚕过程中的给桑、消毒、除砂功能为一体，在执行给桑作业时，启动给桑组件驱动电机和蚕盘驱动电机，输送带将料箱中的桑叶送出撒落到蚕盘上，实现给桑。当蚕将桑叶吃完后，需要对蚕沙进行清理，此时除砂组件中的传感器开始工作，除砂组件中的传感器和电动缸配合将蚕盘底部的除砂门打开，蚕沙落下，随后电动缸将除砂门关闭，即完成一个蚕盘的除砂作业，如此循环，逐一完成所有蚕盘的除砂作业。当需要对蚕盘进行消毒时，消毒组件开始工作，消毒组件内的震动机震动，石灰粉从消毒组件的缝隙中漏出撒到蚕盘上，完成消毒作业。

二、双层对称循环式养蚕装置关键零部件设计

2.1 蚕盘设计

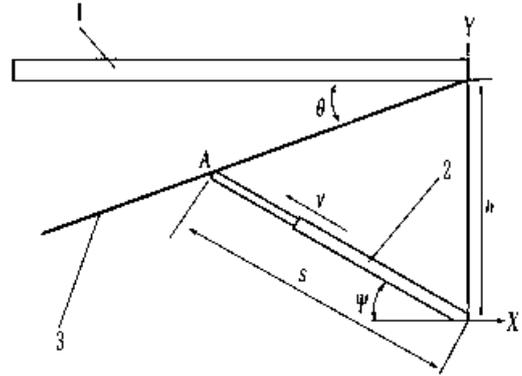
蚕盘是双层对称循环式养蚕装置的重要部件之一，是蚕主要的活动区域，蚕盘的设计直接影响给桑、消毒和除砂的效果。

蚕盘主要由托盘、蚕盘架及除砂门组成，如图2所示。蚕盘通过蚕盘吊臂连接到机架上，托盘在蚕盘架中下沉100mm距离，便于桑叶的盛放，也减少蚕爬出蚕盘的几率，蚕盘架采用型材焊接而成。除砂门的作用是在除砂作业时，除砂门在传感器的控制下打开，蚕沙从除砂门落下实现除砂功能，根据蚕盘安装环境及控制需要，除砂门最大打开角度 θ 为 45° ，除砂门在关闭时由电动缸向上推动除砂门，除砂门扣键插入除砂门开关中完成关闭。



2.2 除砂门受力分析

蚕盘通过除砂门的打开实现除砂功能，除砂完成后除砂门通过电动缸推动除砂门关闭。根据电动缸行程及空间布置，电动缸与地面的夹角 φ 为 30° ，除砂门在关闭过程中某一瞬间与蚕盘架的夹角为 θ ，电动缸的运动速度为 v 为0.1m/s，电动缸在推动除砂门运动的过程中，除砂门可以看成悬臂梁，对蚕盘架、除砂门及电动缸进行简化，以电动缸底部为坐标原点建立坐标系，如图3所示。



1.蚕盘架 2.电动缸 3.除砂门

图3 蚕盘受力示意图

Fig 3 Diagram of force on silkworm-dish

除砂门采用锌铝合金板，根据除砂门的质量及截面长度，得到除砂门的分布载荷为

$$q = 200 \cos \theta$$

(1)

式中 q —除砂门竖直方向的分布载荷 (N/m)；

θ —除砂门与蚕盘架之间的夹角 (rad)。

电动缸在收回时电动缸的总长度为405mm，在除砂过程中，电动缸匀速推动除砂门，其行程为

$$s = 405 + vt$$

式中 s —电动缸的行程 (m)；

v —电动缸的运动速度 (m/s)；

t —电动缸的运动时间 (s)。

根据图3各几何变量间的关系可以得出

$$\cos \theta = s \times \sin \theta / h$$

(3)

式中 h —蚕盘架到电动缸底部的高度 (m)。

电动缸与除砂门的接触点A是电动缸运动过程中除砂门所受瞬时弯矩最大的位置，此时除砂门的瞬时弯矩方程为

$$M = q(l \cos \theta - s \cos \varphi)^2 / 2$$

(4)

式中 M —除砂门在A点的瞬时弯矩 (N·m)；

l —除砂门截面长度 (m)；

三、双层对称循环式养蚕装置静力学分析

3.1 静力学分析理论

静力学分析用于在载荷不变的情况下分析部件结构在形变、应变、应力等方面的响应。双层对称循环式养蚕装置在工作时, 机架受给桑组件、蚕盘、消毒组件等部件的重力作用而产生形变, 在蚕盘起停的过程中也会使机架产生变形, 而机架的强度对于保证整个装置正常工作至关重要。对机架进行有限元静力学分析, 能够得到机架在在多重载荷作用产生的应力、应变和位移分布情况, 从而对机架结构薄弱位置进行改进设计。仿真过程中机架产生的变形、力和位移满足如下关系

$$[K] \cdot \{\delta\} = \{F\}$$

(5)

式中 $[K]$ —系统结构刚度矩阵;

$\{\delta\}$ —系统节点位移矩阵;

$\{F\}$ —总载荷矩阵。

3.2 建立机架有限元分析模型

机架是双层对称循环式养蚕装置的主要构件, 机架主要由角钢结构焊接而成。本文使用NX10.0建立机架的三维模型, 对机架模型进行简化, 忽略焊接对机架的影响, 去除倒角、圆角、非关键位置小孔及其他对分析结果影响不大几何特征, 简化后的机架模型如图4所示。

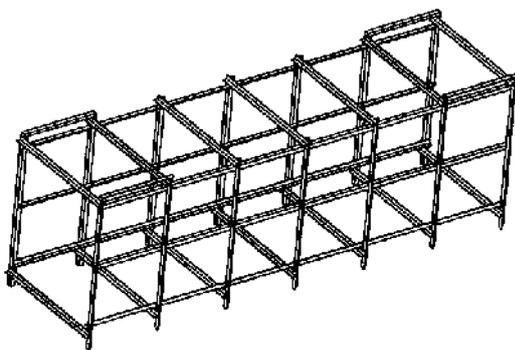


图4 机架简化结构图

Fig 4 Frame simplified structure drawing

3.3 网格划分

将简化后的双层对称循环式养蚕装置机架模型导入ANSYS Workbench中, 进行网格划分。根据有限元分析原理, 网格越小, 求解精度越高, 在实际工程中, 网格划分越小, 需要的求解时间越长, 对计算机的存储空间要求越高。本文根据机架工况, 选择软件自动划分网格, 网格大小为5mm, 最后生成网格1288309个, 网格节点2619593个, 平均网格质量0.85。

3.4 施加分析仿真边界条件

双层对称循环式养蚕装置在工作时蚕盘运动速度低, 因此机架只考虑安装在机架上各部件的重力, 通过NX10.0软件对各部件进行分析测量得出各部件的重力, 对应部分重要部件的重力参数如表2所示。

表2 部分重要部件的重力参数

Table2 Gravity parameters of some important components

项目	值/N	数量/个
蚕盘	105	24
除砂门	30.5	24
蚕盘链条	89.4	2
消毒具	88	1
顶部横杆及装配件	141	1
电动缸	40.3	1
两端齿轮及配件	96.8	4

根据表2各部件及各部件与其装配件的重力, 在机架上施加载荷, 并求解机架的总位移云图、等效应变云图和等效应力云图, 如图5、图6和图7所示。



图5 机架总位移云图

Fig 5 Total deformation cloud image of Frame

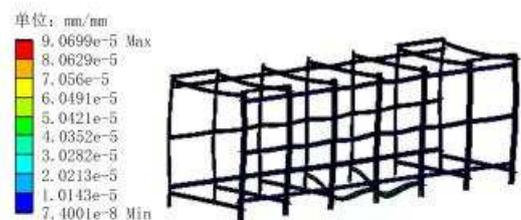


图6 机架等效应变云图

Fig 6 Equivalent elastic strain cloud image of Frame



图7 机架等效应力云图

Fig 7 Equivalent stress cloud image of Frame

从图5仿真结果分析, 机架底部承载电动缸的角钢变形量较大, 其最大变形量为0.1273mm。从图6可以看出, 机架最大应变发生在机架底部承载电动缸的角钢上, 最大应变为9.0699e-5mm。

从图7分析，最大应力集中在机架底部承载电动缸的角钢上，其最大应力为10.511MPa。机架采用结构钢材料，材料为Q235，查阅金属材料手册知该材料的屈服强度为235MPa，抗拉强度为370~500MPa，强度安全系数取1.2~3，故该材料的许用应力范围为78.33~195.83MPa。根据机架静态分析结果，机架最大应力为10.511MPa，远小于结构钢许用应力，因此该机架具有足够的强度。

3.6 优化设计

根据机架静力学分析结果可知，机架底部承载电动缸的角钢由于在关闭除砂门时受到反作用力大，产生的总变形量最大为0.1273mm，在工作过程中，由于疲劳破坏，该变形量会进一步增大。由于角钢变形量大会导致除砂门无法正常关闭，为了保证除砂门能够可靠关闭，对底部角钢进行优化，在两侧增加电动缸承载钢板，增加角钢的稳定性和强度，优化后对机架重新进行变形量静力学分析，分析结果如图8、图9和图10所示。从分析结果可以看出，底部承载电动缸的角钢最大变形量由优化前的0.1273mm变为0.0775925mm，可以忽略不计，机架结构稳固。

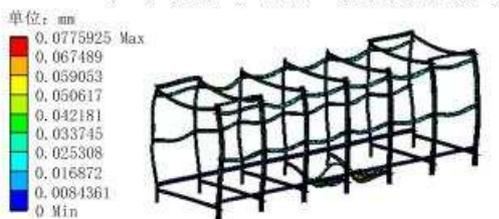


图8 优化后机架总位移云图

Fig 8 Total deformation cloud image of optimized Frame



图9 优化后机架等效应变云图

Fig 9 Equivalent elastic strain cloud image of optimized Frame

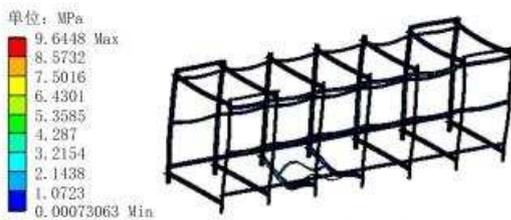


图10 优化后机架等效应力云图

Fig 10 Equivalent stress cloud image of optimized Frame

四、双层对称循环式养蚕装置模态分析

4.1 模态分析理论

机架在设计过程中需要考虑机械共振问题。机械共振会产生噪音，减少设备使用寿命。当机架设计结构完成后，机架就具有

自身的固有频率，当外部激励与机架固有频率相近时，机架就会产生共振。有限元模态分析满足如下方程

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{F(T)\} \quad (6)$$

式中 $[M]$ —质量矩阵；

$[C]$ —阻尼矩阵；

$\{X\}$ —一位移矩阵。

4.2 机架模态分析

机架具有多阶模态，在实际工程中，多取前几阶模态进行分析。本文对机架进行模态分析时，选取机架的前六阶模态，模态分析结果如表3所示。

表3 机架前六阶模态固有频率

Table3 The first six mode natural frequencies of the frame

模态阶数	固有频率
1	12.89
2	14.82
3	22.81
4	28.70
5	31.73
6	40.22

根据表3分析结果，机架前六阶固有频率区间为12.89-40.22Hz，各阶固有频率依次递增。机架前六阶模态振型如图11所示。双层对称循环式养蚕装置由电动机提供动力，电动机经减速后输出转速为300r/min，即外部激励频率为5Hz，比机架一阶固有频率小，因此外部激励与机架不会产生共振。

从模态振型图分析，一阶模态表现为机架前端顶部向左的扭转变形，二阶模态为机架顶部整体的扭转变形，三阶模态为机架顶部弯曲变形，四阶模态为机架前端顶部向左的扭转变形，五阶模态为机架纵向的扭转变形，六阶模态表现为机架顶部纵向（与五阶模态相反方向）的扭转变形。

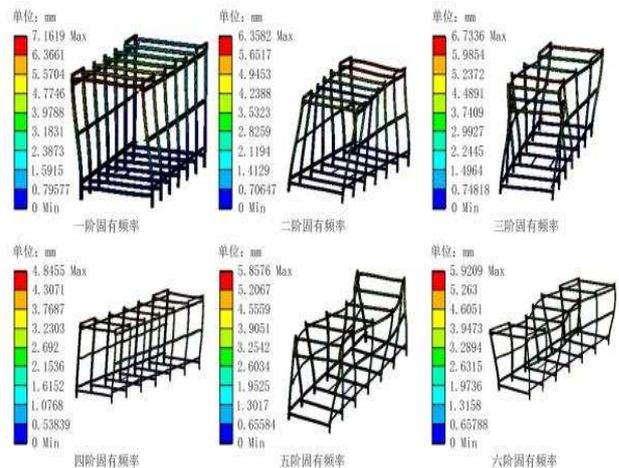


图11 机架前六阶模态分析云图

Fig 11 The first six mode analysis cloud image of frame

五、结论

本文通过NX10.0软件进行双层对称循环式养蚕装置设计,并建立了该装置的三维模型,运用ANSYS分析软件对机架进行了静态力学分析和模态分析,结论如下。

(1) 通过对机架模型进行简化、网格划分以及施加边界条件,对机架进行了静力学仿真分析,基于静力学仿真结果对机架进行了优化设计,优化后分析结果表明机架最大变形量为0.0775925mm,最大应变为7.0147e-5mm/mm,最大应力值为9.6448MPa。机架材料Q235许用应力范围为78.33~195.83MPa,机架最大应力值小于结构钢许用应力,因此该机架满足强度要求。

(2) 虑到机架底部承载电动缸的角钢变形量大且该位置影响除砂门的正常关闭,对机架底部角钢位置进行了优化设计,优化后其变形量由0.1273mm降为0.0775925mm,增强了机架底部角钢的稳定性,进而增强了除砂门正常关闭的可靠性。

(3) 通过对机架进行模态分析,结果表明机架前六阶固有频率区间为12.89~40.22Hz,外部激励为5Hz,小于机架一阶模态固有频率,机架不会发生共振。

参考文献:

- [1] 刘俊,刘腊银,姚正行.机械化养蚕 助力脱贫攻坚[J].广西农业机械.2021,(1):12-13.
- [2] 曹锦升.浅析桑蚕产业发展前景与高效种桑养蚕技术[J].广东蚕业.2021,(2):1-2.

- [3] 郑涵之,贾双.乡村振兴背景下传统养蚕织绸技艺的发展探析[J].轻纺工业与技术.2021,(8):91-92.
- [4] 刘程哲.国内养蚕机械化设施研究现状、问题及建议[J].农民致富之友.2019,(4):40.
- [5] 丁农,倪建新,陈礼玲,等.多层吊挂式循环大蚕饲养机械的养蚕应用试验[J].中国蚕业.2020,(2):49-52.
- [6] 青学刚,李文学,陈宝瑞,等.小蚕共育环境智能化控制系统与技术要点[J].四川蚕业.2021,(1):49-51.
- [7] 郭佳,赵帮泰,王义鹏,等.自动给桑养蚕机的研制[J].新疆农垦科技.2021,(2):37-39.

论文说明:

1.本研究的论点:基于大龄蚕饲育劳动强大的问题设计了双层对称循环式养蚕装置,并对装置进行设计与仿真,分析其结构问题并改进设计。

2.学术水平:本文选题基于养蚕过程中现实问题提出的,在课题开始之前做了相关调研和准备工作。3.解决的关键问题或创新点:针对大龄蚕饲育劳动强大的问题,设计出双层对称循环式养蚕装置实现给桑、消毒、除砂机械化作业,解放劳动力。

作者简介

作者姓名:刘高(1992-),男,贵州遵义人,汉族,硕士研究生。

中图分类号:S23-9 文献标识码:A

基金项目:市级项目[NS(2020)175]