

对虾逐只分离装置设计与试验

熊 师¹ 赵 博² 胡小鹿³ 李 佳² 周利明² 方宪法²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083;

2. 中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室, 北京 100083;

3. 中国农村技术开发中心, 北京 100045)

摘要:为实现转盘式对虾剥制机自动、有序、逐只喂入,设计了一种对虾逐只分离装置,该装置主要由夹持器、导引勺、轮盘、后壳和传动机构等组成。以去头对虾的几何参数为依据,通过分析去头对虾的外形特征和受力情况,确定了夹持器、导引勺等关键部件的结构参数以及分离装置的转速范围。以转速为试验因素,以重排率、漏排率、对虾破损率和排料速率为指标,在对虾逐只分离装置试验台上进行了单因素试验,并利用图像采集系统分析了分离装置的工作过程。结果表明:对虾逐只分离装置的最优转速为 20 r/min,在该转速下重排率为 9.2%、漏排率为 7.7%、对虾破损率为 2.5%、排料速率为 164 只/min。研究表明,该装置结构设计可行,能够将对虾杂乱无序的状态变为单只输出状态。

关键词:对虾剥制机;自动喂入;分离;导引勺;夹持器;试验

中图分类号: S985.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)11-0357-09

OSID:



Design and Experiment on Prawn Single Separation Device

XIONG Shi¹ ZHAO Bo² HU Xiaolu³ LI Jia² ZHOU Liming² FANG Xianfa²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Soil-Plant-Machine System Technology,

Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

3. China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China)

Abstract: The directional feeding of rotary prawn peeling machine depends on manual work, which has the problems of high labor intensity and low efficiency. Feeding one by one is the premise of realizing automatic orientation of prawn. Aiming to discharge deheading prawns one by one, a prawn single separation device was designed, which was mainly composed of clamper, guide spoon, roulette, back shell and transmission mechanism. Based on the geometric dimension of deheading prawn, the structural parameters of clamper, guide spoon and other key components and the speed range of the separation device were determined by analyzing the shape characteristics and pressure conditions of deheading prawn. Single factor experiment was carried out on the experimental platform of the prawn single separation device, treating the rotation speed of the device as experimental factor, and the repeated discharge rate, leakage rate, damage rate and discharge rate of prawn as indexes. The working process of the separation device was analyzed by using image capture system. The results showed that the optimal speed of the prawn single separation device was 20 r/min. At this speed, the repeated discharge rate, leakage rate, damage rate of prawn and discharge speed of prawn were 9.2%, 7.7%, 2.5% and 164 pieces/min, respectively. The structure design of the device was feasible, and it can turn disordered prawns into single output status. The design of the prawn single separation device can provide technical support for the mechanized feeding of rotary prawn peeling machine.

Key words: prawn peeling machine; automatic feeding; separation; guide spoon; clamper; experiment

收稿日期: 2020-01-15 修回日期: 2020-05-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0700904)

作者简介: 熊师(1994—),男,博士生,主要从事农业机械设计及理论研究,E-mail: xiongs565@126.com

通信作者: 方宪法(1963—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化研究,E-mail: fangxf@caams.org.cn

0 引言

对虾是主要水产品之一,我国是世界上最大的对虾生产国^[1-2],实现对虾加工环节的机械化和自动化对水产行业的发展具有重要意义。对虾剥制的加工流程主要包括:清洗、分级、排序定向、去头、开背、去肠线、剥壳、虾仁收集^[3-7]。夹具转盘式对虾剥制机^[8-9]可一次性完成开背、去肠线和剥壳环节。该机器采用逐只顺序剥制的方式,需要在喂入过程将对虾以背部朝上、尾部伸出的姿态逐只放置于输送 V 型槽内,目前这一喂入工序只能依靠人工完成,其劳动强度大,极大地限制了机器效率。先将对虾分离至单只状态、再逐只定向是实现夹具转盘式对虾剥制机物料自动喂入的有效方法。逐只分离是对虾单只定向的前提,因此需要研究对虾的逐只分离方法,实现对虾的逐只自动喂入,以摆脱对人工喂入的依赖。

国内外关于对虾剥制预处理的研究主要集中在分级、去头、开背和剥壳等方面^[10-14],在对虾逐只分离、定向喂入方面的研究较少。文献[15]根据对虾的体型特征及摩擦特性,设计了对辊式对虾定向机,通过辊子上凸棱与凹槽的配合实现腹背定向,但该机未考虑定向前后的喂入环节,仍需人工逐只喂入。文献[16]研究了对虾在不同材料上的头尾和腹背定向的摩擦特性,为对虾头尾和腹背定向装置的设计提供了基础数据。文献[17]设计了对虾平铺单粒化装置,采用三级振动分离原理,通过调节振动频率和振动筛回角度控制对虾的分散效果,该装置可使相互粘连的对虾分散,以便于后续的图像识别,但无法实现逐只顺序分离。与逐只分离方法相类似的研究多见于精量播种领域,机械式精量排种器主要有指夹式^[18-19]、轮勾式^[20]、勺夹式^[21]等,其单粒取种的方式可为对虾逐只分离研究提供参考。

为实现对虾逐只自动排出,本文基于对虾外形结构尺寸的分析,研究伸缩式夹持与分离方法,设计一种适合去头对虾的逐只分离装置,以期实现夹具转盘式对虾剥制机的机械化喂入。

1 结构和工作原理

1.1 总体结构

逐只分离装置主要由排料导管、前壳、进料口、侧壳、分隔面、夹持器、导引勾、轮盘、后壳和传动机构等组成,如图 1 所示。导引勾均匀分布在轮盘上,每个导引勾内均嵌套一个夹持器。在传动机构的驱动下,导引勾和夹持器可随轮盘转动。前壳设有进

料口和分隔面,分隔面可将排料口与进料口分隔开,有效防止刚进料的虾直接排出。后壳作为安装固定的部件,为轮盘的旋转提供支撑。

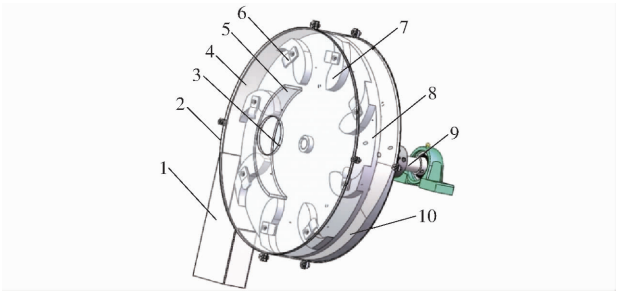


图 1 分离装置结构图

Fig. 1 Structure of separation device

1. 排料导管 2. 前壳 3. 进料口 4. 侧壳 5. 分隔面 6. 夹持器 7. 导引勾 8. 轮盘 9. 传动机构 10. 后壳

1.2 工作原理

对虾逐只分离装置通过夹持器前后伸缩实现对虾的单只夹持与分离。该装置的工作过程依次划分为填充区、夹持区、清理区、分离区、排料区,如图 2 所示。

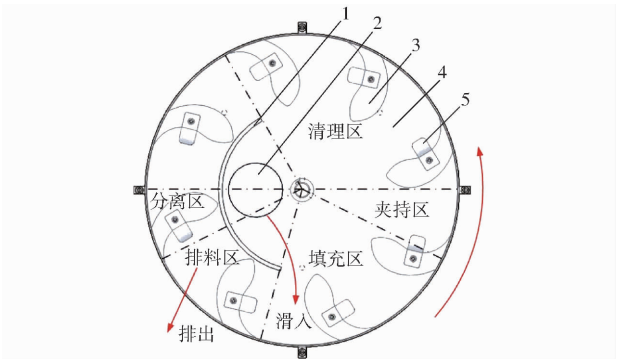


图 2 工作区域划分

Fig. 2 Work area division

1. 分隔面 2. 进料口 3. 导引勾 4. 轮盘 5. 夹持器

填充:多只对虾从进料口喂入,沿分隔面进入填充区,然后滑入导引勾。导引勾可对虾体姿态进行约束,使对虾进入夹持器与轮盘面之间的伸缩空间。夹持器受到后壳轨道的支撑,在转动过程中夹持器随着后壳轨道的起伏变化而前后伸缩。

夹持:导引勾随轮盘逆时针旋转进入夹持区。夹持区内的后壳轨道高度下降,夹持器在弹簧张力的作用下向后移动,伸缩空间逐渐减小,直至单只对虾被夹持。

清理:进入清理区后,导引勾上未被夹持的对虾由于导引勾坡度的增大而滑落至填充区,完成多余对虾的清理。

分离:导引勾进入分离区后,分离区内的后壳轨道高度增大,夹持器在轨道支撑力的推动下逐渐向前移动,夹持器与轮盘面的距离增大,使得对虾与夹

持器分离。

排料:对虾从分离区下滑至排料区,从排出口落下,实现对虾的单只排出。导引勾继续转动进入下一个夹持与分离循环。

2 对虾几何参数

夹具转盘式对虾剥制机所用的对虾一般为去头后的中大型虾。为保证逐只分离装置的适应性,测量了去头的中大型南美白对虾自然状态下的弧长(虾背部轮廓曲线的长度)、弦长(虾前端与尾部间的距离)、宽度(虾背部与腹部间的距离)和厚度(虾两侧面间的距离)。由于对虾尾部厚度小于 1 mm,不适合夹持,因此尾部不作为厚度的测量范围。测量结果如表 1 所示。

表 1 去头对虾的几何参数

Tab.1 Geometric parameters of deheading prawn

参数	弧长	弦长	宽度	厚度	尾长
最大值	115.2	107.4	25.2	15.4	20.7
均值	109.0	98.3	17.1	11.0	18.7
最小值	103.0	91.2	10.9	6.8	17.1

3 关键部件结构设计

3.1 轮盘

轮盘为光滑圆盘,如图 3 所示,其材料为 ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)塑料。在轮盘表面对去头对虾进行了滑动摩擦试验,试验测得动摩擦因数的范围为 0.42~0.74,最大摩擦角为 36.5°。为确保轮盘上的对虾能自动滑落,轮盘与水平面的夹角(轮盘倾角) α 应大于 36.5°。

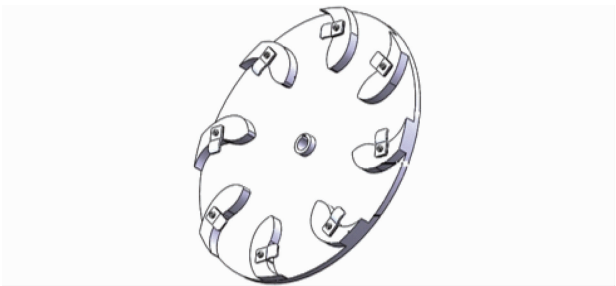


图 3 轮盘结构示意图

Fig.3 Structure diagram of roulette

对虾在平面上一般呈侧面贴合平面的姿态,以该姿态滑至填充区可使夹持范围限定在对虾厚度的方向,有利于提高夹持稳定性。为确定轮盘的最佳倾斜角度,将轮盘盘面与水平面的夹角分别设置为 40°、50°、60°、70°、80°和 90°,进行对虾下滑试验。试验发现倾斜 50°时对虾不仅能全部滑落而且下滑时不易发生翻转,且能够以侧面接触的姿态滑至底

部,因此轮盘倾角 α 设计为 50°。

3.2 夹持器

夹持器是夹持和分离对虾的关键部件,包括夹持片、伸缩轴、弹簧、底座和滚动轴承,如图 4 所示。在轮盘的旋转驱动下,夹持器通过滚动轴承沿后壳轨道运动。由于轨道高度的变化,弹簧的压缩量发生变化。夹持片在弹簧压缩力的驱动下前后伸缩,实现对虾的夹持与分离。

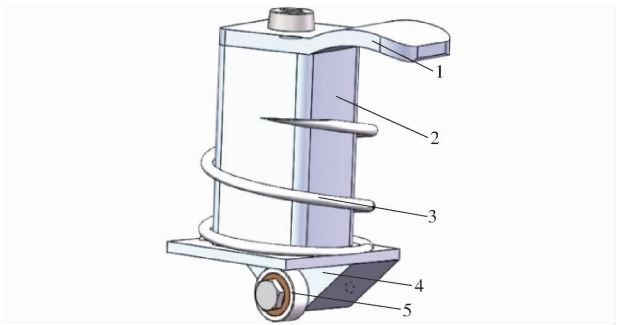


图 4 夹持器结构示意图

Fig.4 Structure diagram of clasper

1. 夹持片 2. 伸缩轴 3. 弹簧 4. 底座 5. 滚动轴承

3.2.1 夹持片

夹持片是夹持对虾的直接接触部件,如图 5 所示,其夹持长度需依据对虾外形参数确定。一般情况下,夹持长度超过对虾宽度的 0.6 倍可稳定夹持单只虾,夹持长度超过对虾宽度的 1.5 倍可能会夹持两只虾。因此根据单只夹持要求,夹持长度 s 需满足

$$0.6s_{\max} < s < 1.5s_{\min} \tag{1}$$

式中 $s_{\min}$ ——对虾最小宽度,mm
 $s_{\max}$ ——对虾最大宽度,mm

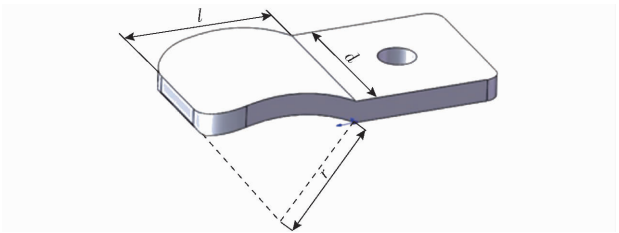


图 5 夹持片结构示意图

Fig.5 Structure diagram of clamping slice

根据表 1 可得 $15.1\text{ mm} < s < 16.4\text{ mm}$,因此夹持长度取整为 16 mm。夹持片宽度 d 根据导引勾的滑槽宽度设计,取 20 mm。

对虾腹部截面为类似楔形的轮廓,因此平面形夹持片在夹持过程中与对虾的接触面积小,同时考虑到对虾表面光滑,会增大对虾滑落的可能性。因此为提高夹持片与对虾的接触面积,夹持片表面形状设计为半径 $r = 18\text{ mm}$ 、弦长 $l = 16\text{ mm}$ 的圆弧面,如图 5 所示。

3.2.2 弹簧

夹持片与轮盘面的距离在填充区取得最大值 h_1 ,在清理区取得最小值 h_2 。由于从对虾体厚度方向进行夹持, h_1 需满足

$$h_1 = h_{\max} + \Delta = 15.4 + \Delta = 16.4 \sim 17.4 \text{ mm} \quad (2)$$

式中 $h_{\max}$ ——去头对虾的最大厚度,mm
 Δ ——夹持冗余量,取 1~2 mm

h_1 根据实际加工需要取整为 17 mm。夹持片与轮盘面的距离值为最小值 h_2 时,弹簧可达到最大伸长量,即弹簧的压缩量为零。为确保最小厚度的对虾能被夹持, h_2 需小于 6.8 mm,此时弹簧的压缩量为 $6.8 - h_2$,弹簧的压缩量需保证弹簧产生对虾体足够的压力以防止对虾滑落。最终 h_2 取 3 mm,经计算 3.8 mm 的弹簧压缩量可使所选弹簧满足要求。因此夹持器的伸缩行程为: $h = h_1 - h_2 = 14 \text{ mm}$ 。

由伸缩行程可知弹簧的最大压缩量为 14 mm,弹簧的设计需满足被夹持的对虾既不滑落也不会受压破损。对虾被夹持时的静态受力分析如图 6 所示。

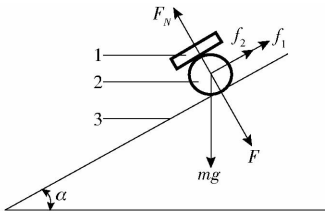


图 6 对虾受力分析
Fig. 6 Force analysis of prawn
1. 夹持片 2. 对虾 3. 轮盘面

保证对虾不滑落受力关系应满足

$$\begin{cases} f_1 + f_2 \geq mg \sin \alpha \\ F = kx_1 \\ f_1 = \mu F_N = \mu (mg \cos \alpha + F) \\ f_2 = \mu F \end{cases} \quad (3)$$

- 式中 μ ——对虾在轮盘面的动摩擦因数
 k ——弹簧的弹性系数, N/mm
 x_1 ——弹簧的压缩长度, mm
 m ——去头对虾质量, kg
 F ——夹持片对对虾的压力, N
 F_N ——轮盘面对对虾的支持力, N
 f_1 ——对虾受到轮盘面的摩擦力, N
 f_2 ——对虾受到夹持片的摩擦力, N

得到 $k \geq 0.022 \text{ N/mm}$ 。因此选择弹性系数为 0.2 N/mm 的弹簧可满足需要。弹簧压缩量最大时,对虾受到的压力最大,为 2.8 N。由对虾压缩试验的结果可知,对虾在不破损状态下所能承受的最小载荷为 19.8 N,因此弹簧的设计不会对虾损伤。

3.3 导引勺

3.3.1 结构

由于对虾为近似圆弧的外形结构,对虾易出现背部朝上的凸形和腹部朝上的凹形两种姿态。为适应不同姿态,设计了导引勺如图 7 所示。导引勺由承托面、后弧面和滑槽构成。滑槽贯穿导引勺,作为夹持器伸缩轴的安装位置。承托面是导引勺的主要功能部位,用以承托对虾并引导对虾进入伸缩空间。

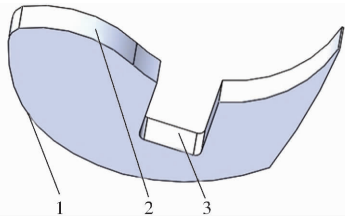


图 7 导引勺结构示意图
Fig. 7 Structure diagram of guide spoon
1. 后弧面 2. 承托面 3. 滑槽

3.3.2 承托面曲线设计

承托面的轮廓曲线是根据对虾外形结构设计的。由于对虾尾节的厚度极小,为无法夹持区域,因此去掉对虾尾节长度后得到去头对虾的有效轮廓为弧长 90.3 mm、弦长 83.8 mm 的圆弧。对虾存在凸形和凹形两种姿态,其有效轮廓分别为圆弧 ABC 和圆弧 CEF,将两者结合起来可得到曲线 ABCEF,如图 8 所示。理想状态下,凸形对虾可贴合在曲线 ABC 上,凹形对虾可贴合在曲线 CEF 上。

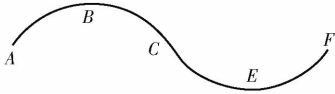


图 8 设计曲线
Fig. 8 Curve of design

3.3.3 承托面曲线优化

为保证在曲线 ABCEF 上的对虾能够被夹持,夹持片需置于曲线中点 C 处。但是当曲线上同时存在两种姿态的对虾时,两只对虾各占夹持片宽度的一半,因此夹持片会同时夹住两只虾,这样就达不到逐只分离的目的。

为解决该问题,通过相互交叉使两曲线融合的方法来改进曲线设计。图 8 中有曲线 ABC 和曲线 CEF,取弧 BC 的中点 D。将曲线 CEF 从 C 点平移至 D 点,得到新曲线 ABDCEF,如图 9 所示。DC 之间的交叉区域设为夹持片的夹持区,夹持片宽度 d 需满足 $d \leq l_{DC} = 20.1 \text{ mm}$ 。

为提高曲线 ABDCEF 对未被夹持虾的清理能力,取弧 AB 的中点 G,截去弧 AG 后得到曲线 GBDCEF。当凸形虾贴合在弧 GBD 上时,弧线的缩短会导致凸形虾重心不稳,因此未被夹持的凸形虾

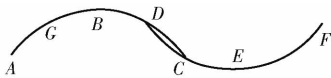


图 9 优化曲线
Fig. 9 Curve of optimization

易掉落。

3.3.4 承托面曲线数学模型

以 D 点为原点建立平面直角坐标系,计算得到各点坐标为: $G(-44.2\text{ mm},0)$ 、 $B(-22.1\text{ mm},3.7\text{ mm})$ 、 $D(0,0)$ 、 $C(19.8\text{ mm},-10.9\text{ mm})$ 、 $E(41.9\text{ mm},-14.6\text{ mm})$ 、 $F(83.8\text{ mm},0)$ 。通过曲线拟合得出拟合曲线如图 10 所示,其决定系数为 0.977 7。因此导引勺承托面曲线的数学模型为

$$f(x)=0.000\,094x^3-0.003\,341x^2-0.361\,7x-1.347$$

($-44.2\text{ mm}\leq x\leq 83.8\text{ mm}$) (4)

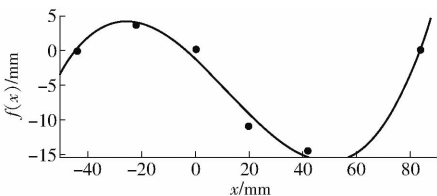


图 10 拟合曲线
Fig. 10 Curve of fitting

3.3.5 承托面曲线的可行性分析

两种姿态的对虾在曲线 $GBDCEF$ 上的分布情况如图 11 所示。

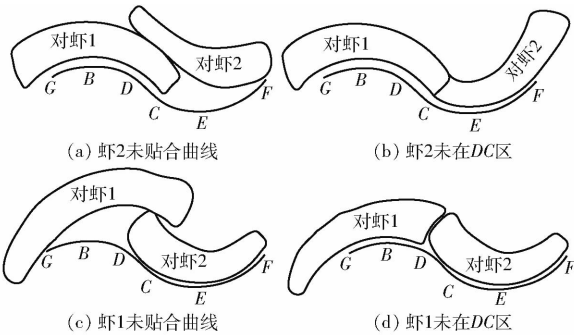


图 11 对虾在曲线上的姿态
Fig. 11 Posture of prawn on curve

图 11a 和图 11b 表示凸形对虾 1 先贴合曲线。由于接触面 $GBDC$ 仍占对虾 1 弧长的 $3/4$,因此对虾 1 不会掉落。由于 DC 区域已被占用,随后而至的凹形对虾 2 存在两种情况:紧靠凸形虾背部置于 $DCEF$ 区域,由于夹持片夹持空间的长度是根据逐只对虾宽度设计的,因此凹形虾不会被夹持;贴合曲线 CEF 并在 C 点与凸形虾端部接触,此时凹形虾在 F 处伸出一段,由于夹持片宽度不超过 DC 长度,因此只会夹持凸形虾。未被夹持的凹形虾在进入清理区后会自然滑落,实现逐只分离。

图 11c 和图 11d 表示凹形对虾 2 先贴合曲线。由于 DC 区域已被占用,随后而至的凸形对虾 1 也

存在与上述原理一致的情况,因此夹持片只会夹持凹形虾。在图 11d 情况下,由于接触面 CBD 只占对虾 1 弧长的 $1/2$,则对虾 1 重心处于曲线边缘容易掉落,提高了清理对虾的能力。因此曲线 $GBDCEF$ 可满足对虾夹持与分离过程的需求。

3.3.6 导引勺倾斜设计

导引勺在轮盘上的排布如图 12 所示。将导引勺向左倾斜以扩大张角,有利于对虾顺利滑入轮盘底部的导引勺承托面上。承托面曲线两端点的连线 GF 为导引勺主轴线, GF 与轮盘外圆切线 FH 间的夹角即为导引勺的倾斜角 β 。从分离装置整体工作过程考虑, β 不宜过大。综合考虑导引勺倾斜角 β 设计为 120° 。

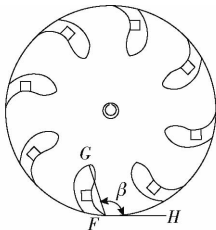


图 12 导引勺排布
Fig. 12 Arrangement of guide spoon

3.4 后壳

后壳为分离装置的支撑部件,其表面分布的环状轨道为夹持器提供滚动路径,如图 13 所示。夹持器与后壳环状轨道组成圆柱凸轮机构。后壳上的环状轨道分为高轨道(远休止)、收缩轨道(回程)、低轨道(近休止)和伸长轨道(推程)4 个区域,依次推动夹持器实现对虾的填充、夹紧、保持和分离。夹持器的伸缩行程即是夹持器的推程和回程位移,为 14 mm 。

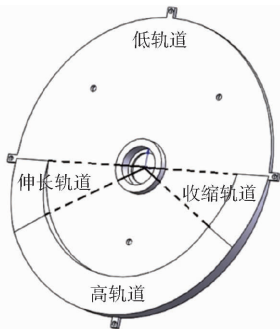


图 13 后壳结构示意图
Fig. 13 Structure diagram of back shell

当导引勺从竖直状态转动至水平状态时,夹持器的填充过程就此结束,随后进入夹持区,因此导引勺处于水平状态的位置即为高轨道与收缩轨道的分界线。根据分离装置的工作原理,在排料区和填充区时夹持器位于高轨道,在夹持区时夹持器位于收缩轨道,在清理区时夹持器位于低轨道,在分离区时夹持器位于伸长轨道。因此结合导引勺倾斜角度和

分离装置的工作区分配,收缩轨道和伸长轨道所占区域角度设计为 30°,高轨道设计为 120°,低轨道设计为 180°。

3.5 分离装置转速

根据分离装置的工作原理,进入清理区后,导引勺上未被夹持的对虾会在自身重力的作用下沿盘面下滑,实现逐只分离。分离装置的转动对对虾产生离心力作用,离心力过大可能会抵消对虾重力引起的下滑效果。因此分离装置的转速会影响清理区的对虾清理过程。

在清理区,未被夹持的对虾在转动角超过 60°时就不再受到导引勺的支持作用,因此转动角 60°~120°的区域为对虾的自由下滑区,该区未被夹持对虾在轮盘面方向的受力分析如图 14 所示。

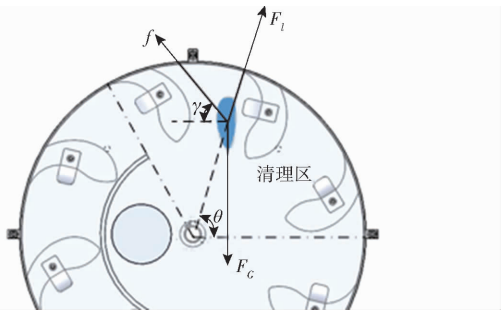


图 14 对虾的动态受力分析

Fig. 14 Dynamic stress analysis of prawn

为保证转动过程中未被夹持对虾能顺利下滑,需满足

$$\begin{cases} F_g > F_l \sin \theta + f \sin \gamma \\ F_g = mg \sin 50^\circ \\ F_l = 4 \pi^2 n^2 m r_1 \\ f = \mu mg \cos 50^\circ \end{cases} \quad (5)$$

- 式中
- n ——分离装置转速, r/min

r_1 ——对虾到圆心的距离, m

F_g ——对虾重力沿轮盘面向下的分力, N

F_l ——对虾受到的离心力, N

f ——对虾受到的摩擦力, N

θ ——轮盘转动角, (°)

γ ——摩擦力 f 与水平线的夹角, (°)

根据对虾受力分析可知,随着转动角 θ 的增大, γ 也逐渐增大。当 θ 为 90° 时, f 、 F_l 与 F_g 处于同一直线上, $\sin \theta$ 与 $\sin \gamma$ 均为最大值 1, 可得 $n < 41.6$ r/min。

当 $n < 41.6$ r/min 时,清理区内被夹持对虾的受力关系满足 $f_1 + f_2 > \sqrt{F_l^2 + F_c^2 - 2F_l F_c \cos(90^\circ - \theta)}$, $0^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$, 因此被夹持的对虾不会在转动过程中脱落,可保证稳定的夹持。

综上所述,对虾逐只分离装置的转速设计为 $n < 41.6$ r/min。

4 试验材料与方法

4.1 试验材料

试验材料为世界上养殖量最大的南美白对虾,采购的大型对虾规格为 20~50 只/kg。对每只对虾进行去头处理。

4.2 试验条件

为测试对虾逐只分离装置的分离效果,搭建了对虾逐只分离装置试验台,主要由喂料斗、喂料软管、逐只分离装置、台架和输送带组成,如图 15 所示。试验台上设置两套逐只分离装置可实现双通道的排料,输送带匀速运动可记录对虾的逐只排出效果。

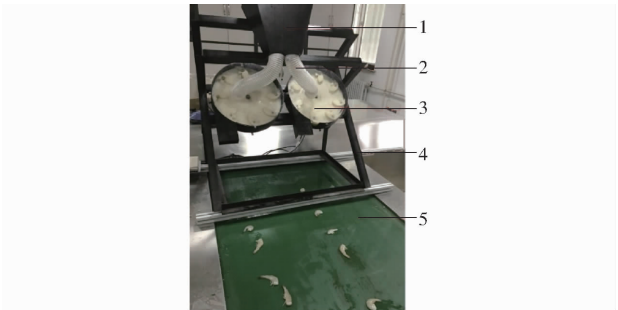


图 15 试验台

Fig. 15 Experimental platform

1. 喂料斗 2. 喂料软管 3. 逐只分离装置 4. 台架 5. 输送带

采用图像采集系统记录分离装置的工作过程,用以分析对虾的夹持与分离过程。该图像采集系统如图 16 所示,由摄像头和计算机组成。由于对虾分离装置的转速低,无需采集高速图像,因此试验采用 c920 USB 型摄像头作为图像采集设备,使用基于 LabVIEW 开发的图像采集软件进行图像抓取与存储,图像抓取间隔设置为 100 ms。



图 16 图像采集系统

Fig. 16 Image acquisition system

4.3 试验方法

根据对虾逐只分离装置的设计可知,装置对对虾的尺寸和姿态具有自适应能力,因此物料个体变化不作为试验因素。物料的喂入是对虾从装满对虾的喂料斗自动滑入分离装置的过程,转速越大对虾下滑越快,喂入量可随转速自动变化,因此喂入量不作为试验因素。所以影响分离装置工作性能的主要

因素是转速。以分离装置转速为因素,以重排率、漏排率、对虾破损率、排料速率为指标,进行对虾逐只分离装置的单因素试验。

试验前将摄像头放置在分离装置的轮盘面正上方,将喂料斗中装满对虾,然后依次启动输送带、图像采集系统和分离装置,试验开始。试验台每次排料结束后测量输送带上相邻对虾间的距离,记录破损对虾个数和排出的对虾总个数,并记录每次试验的时间。

输送带上的对虾理论间距 k_1 计算公式为

$$k_1 = \frac{15v_1}{2n} \tag{6}$$

式中 v_1 ——输送带速度, m/s

将试验记录的对虾实际间距与理论间距进行对比,并参考 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》,计算得到重排率和漏排率。

对虾破损率和排料速率计算式为:
破损率

$$P = \frac{w}{W} \times 100\% \tag{7}$$

单套分离装置排料速率

$$V = \frac{W}{2t} \times 100\% \tag{8}$$

式中 w ——对虾破损数,只

W ——排出对虾的总数,只

t ——每次试验时间, min

试验分为转速 10、20、30、40 r/min 共 4 组,每组试验重复进行 5 次,对试验结果取平均值。

5 试验结果与分析

5.1 工作过程分析

为验证对虾逐只分离装置的设计可行性,采用图像采集系统记录了分离装置工作过程的图像,然后对整个夹持与分离循环过程进行分析。

5.1.1 填充、分离与排料过程

图 17 记录了对虾在填充区、分离区与排料区的运动过程。对虾 1 和对虾 2 从喂料口进入后呈侧面贴合盘面的姿态向导引勾滑落。然后对虾 1 先滑入伸缩空间,对虾 2 滑向另一个导引勾,随后将进入下一个伸缩空间。被夹持的对虾 3 逐渐与夹持片分离,在排料区脱离导引勾,随后从排出口滑出。因此对虾分离装置的填充、分离与排料过程满足设计要求。

5.1.2 夹持与清理过程

图 18 记录了对虾从夹持区进入清理区的变化过程。对虾 1 和对虾 2 滑入同一导引勾内,两只虾前后排列,但只有对虾 1 被夹持片夹持,对虾 2 未

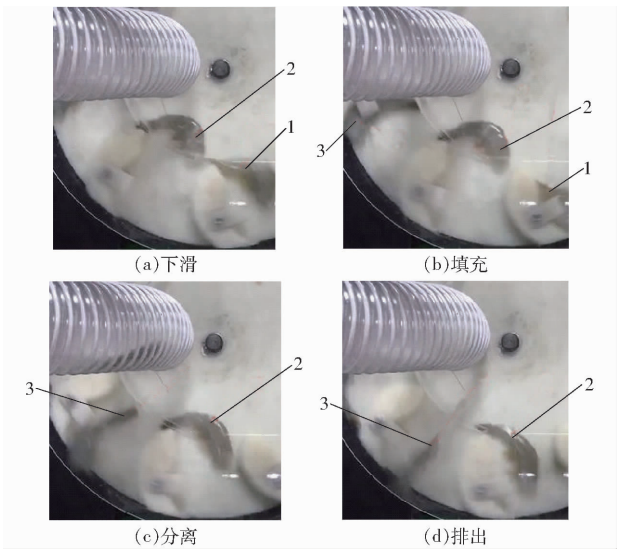


图 17 填充、分离与排料过程

Fig. 17 Filling, separation and discharging process

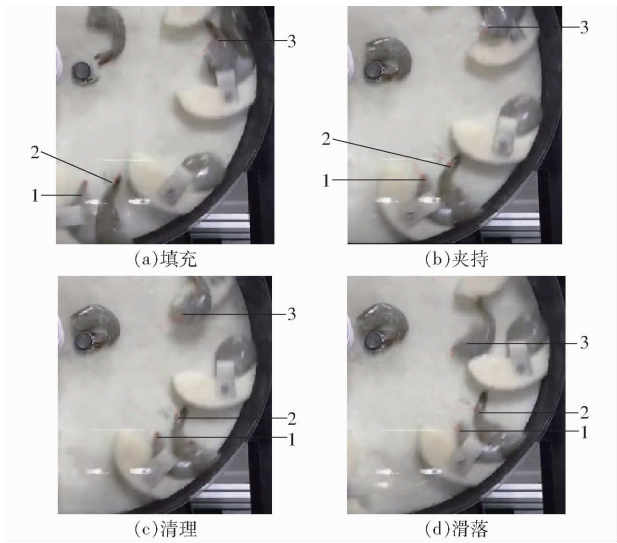


图 18 夹持与清理过程

Fig. 18 Clamping and cleaning process

被夹持,这证明了夹持片夹持长度设计的合理性。对虾 3 为另一导引勾上未被夹持的虾,随导引勾进入清理区后,由于导引勾坡度增大,对虾 3 在重力作用下滑落。因此夹持与清理过程满足设计要求。

5.1.3 导引勾适应性分析

图 19 显示了对虾在导引勾上的两种姿态。凸形虾 1、4 和凹形虾 2、5、6、8 均贴合在导引勾上,被夹持片稳定夹持。凹形虾 6 和凸形虾 7 被同一导引勾承托,凹形虾 2 和凸形虾 3 也被同一导引勾承托,该现象与图 11d 的分析一致,处于伸缩空间的对虾 2 和对虾 6 被夹持,处于伸缩空间外的对虾 3 和对虾 7 会随着导引勾的继续转动而滑落。因此导引勾的设计适合对虾的外形特征,能够承托凸形和凹形两种姿态的对虾。

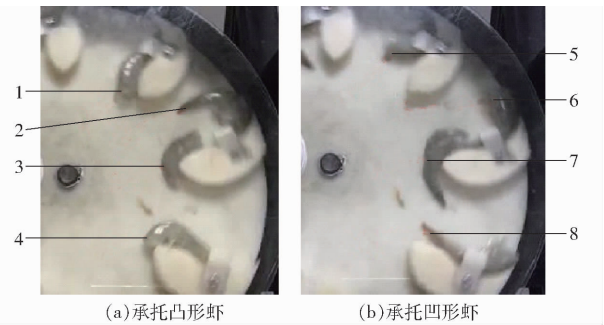


图 19 导引勺上对虾姿态
Fig. 19 Prawn posture on guide spoon

5.2 单因素试验

按照试验方法中所述过程计算得到的各试验指标如表 2 所示。

表 2 对虾逐只分离装置试验结果

Tab.2 Experimental results of single separation device				
转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	重排率/ %	漏排率/ %	破损率/ %	排料速率/ ($\text{只}\cdot\text{min}^{-1}$)
10	8.3	5.6	1.0	82
20	9.2	7.7	2.5	164
30	9.7	9.9	5.6	232
40	17.9	14.5	10.8	331

由表 2 可知,随转速的增加,重排率、漏排率、破损率和排料速率均增大。

当转速超过 30 r/min 后,转速过快使对虾经过清理区的时间缩短,多余对虾在清理区未来得及滑落就进入下一环节,导致导引勺上存在多只虾,因此转速低于 30 r/min 时重排率较优。

夹持器未能夹持住对虾是出现漏排的主要原因

因,较低的转速有利于降低漏排率。从喂料口和清理区滑落的对虾会与导引勺和夹持片产生碰撞,同时处于轮盘边缘的对虾在旋转过程中会与侧壳产生摩擦。转速的增加会加大碰撞力和摩擦力,导致对虾破损增多。转速在 10 ~ 20 r/min 时破损率不超过 3%,处于较低水平。

转速增加会提高单位时间内经过排料口的夹持器数量,导致对虾排出量增多,因此转速增加有利于提高排料速率。从实际生产效率考虑,排料速率越高越好。

因此综合考虑,对虾逐只分离装置的最优转速为 20 r/min,对应的重排率为 9.2%、漏排率为 7.7%、对虾破损率为 2.5%、每套逐只分离装置的排料速率为 164 只/min。

6 结论

(1)根据对虾外形特性,设计了基于伸缩式夹持与分离方法的对虾逐只分离装置,该装置能够将对虾杂乱无序的状态变为逐只输出的状态,解决了对虾无法逐只自动喂入的问题。

(2)确定了对虾逐只分离装置的主要结构和关键参数,通过图像采集系统对分离装置的工作过程进行了分析,结果表明该装置结构设计满足要求。

(3)对对虾逐只分离装置进行了单因素试验,得出其最优转速为 20 r/min,在该转速下重排率为 9.2%、漏排率为 7.7%、对虾破损率为 2.5%、排料速率为 164 只/min。

参 考 文 献

[1] 农业部渔业渔政管理局. 2015 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.

[2] 林漫婷, 牛志凯, 曹俊明, 等. 2015 年广东对虾产业发展形势与对策建议[J]. 广东农业科学, 2016, 43(6): 18 - 22.

[3] 赵玉达, 张秀花, 王泽河, 等. 对虾机械式剥壳技术的探讨与研究[J]. 农机化研究, 2014, 36(7): 42 - 45.

ZHAO Yuda, ZHANG Xiuhua, WANG Zehe, et al. Discuss and research on shrimp mechanical shelling technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(7): 42 - 45. (in Chinese)

[4] 张秀花, 王利光, 弋景刚, 等. 带式夹持输送对虾开背机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 284 - 291.

ZHANG Xiuhua, WANG Liguang, YI Jinggang, et al. Design and experiment of shrimp backside cutting machine formed by belt clamping and conveying[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 284 - 291. (in Chinese)

[5] 李影欣, 崔保健, 弋景刚, 等. 双辊式对虾分级设备的试验与研究[J]. 食品与机械, 2014(3): 94 - 97.

LI Yingxin, CUI Baojian, YI Jinggang, et al. Test and research on double roller shrimp grading device[J]. Food and Machinery, 2014(3): 94 - 97. (in Chinese)

[6] 赵庆龙, 张秀花, 王泽河, 等. 基于对虾体型特征的定向排序装置的设计[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 394 - 396.

[7] 李铎, 张秀花, 王伟, 等. 对辊挤压式对虾去头装置研究[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(1): 97 - 101.

LI Duo, ZHANG Xiuhua, WANG Wei, et al. Experimental study on the dual-roller squeeze device for shrimp head cutting[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2017, 40(1): 97 - 101. (in Chinese)

[8] BETTS E D. Shrimp processing machine having improved cutting structure; United States, US4414709[P]. 1981.

[9] BETTS E D. Shrimp peeling machine and method; United States, US4769871[P]. 1986.

[10] WIMBERLY J. Peeling with self-adjusting rollers; United States, US7811157B1[P]. 2010.

[11] 弋景刚, 马骏原, 王泽河, 等. 对虾加工装备现状与发展[J]. 现代农业装备, 2020, 41(1): 2 - 11.

- YI Jinggang, MA Junyuan, WANG Zehe, et al. Status and development of shrimp processing equipment[J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(1): 2–11. (in Chinese)
- [12] 易俊洁, 丁国微, 胡小松, 等. 南美白对虾剥壳工艺比较及其对虾仁品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 287–292.
- YI Junjie, DING Guohui, HU Xiaosong, et al. Comparison of shucking techniques for white shrimp and its effect on quality of peeled shrimp[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(17): 287–292. (in Chinese)
- [13] 韩翠, 张秀花, 李娜, 等. 对虾去头柔顺机械手的设计与研究[J]. 食品与机械, 2015(5): 132–135.
- HAN Cui, ZHANG Xiuhua, LI Na, et al. Design and research on compliant for shrimps head cutting[J]. Food and Machinery, 2015(5): 132–135. (in Chinese)
- [14] 张秀花, 赵庆龙, 赵玉达, 等. 对虾对辊挤压式剥壳工艺参数及预处理条件优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 308–314.
- ZHANG Xiuhua, ZHAO Qinglong, ZHAO Yuda, et al. Parameter and pretreatment condition optimization of dual rollers extrusion peeling device for *Litopenaeus vannamei*[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 308–314. (in Chinese)
- [15] 赵庆龙, 张秀花, 李铎, 等. 对辊式对虾定向机的设计[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 410–412.
- [16] 张秀花, 王泽河, 张丽丽, 等. 基于摩擦特性的轮式对虾背腹定向装置[J]. 河北农业大学学报, 2015, 38(1): 122–127.
- ZHANG Xiuhua, WANG Zehe, ZHANG Lili, et al. Wheel directional device for shrimp based on the friction characteristics of its back and abdomen[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2015, 38(1): 122–127. (in Chinese)
- [17] 张伟. 基于机器视觉技术的缺损对虾在线识别与剔除系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- ZHANG Wei. Study of online identification and elimination system of incomplete shrimp based on machine vision technology [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018. (in Chinese)
- [18] 王金武, 唐汉, 周文琪, 等. 指夹式精量玉米排种器改进设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 68–76.
- WANG Jinwu, TANG Han, ZHOU Wenqi, et al. Improved design and experiment on pickup finger precision seed metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 68–76. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150910&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.010. (in Chinese)
- [19] 耿端阳, 李玉环, 孟鹏祥, 等. 玉米伸缩指夹式排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 38–45.
- GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Pengxiang, et al. Design and test on telescopic clip finger type of metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 38–45. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160506&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.006. (in Chinese)
- [20] 李玉华, 张智龙, 李天华, 等. 轮勺式大蒜单粒取种装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(3): 61–68.
- LI Yuhua, ZHANG Zhilong, LI Tianhua, et al. Design and experiment of wheel-spoon type garlic precision seed-picking device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(3): 61–68. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20200307&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.03.007. (in Chinese)
- [21] 李玉环, 杨丽, 韩英, 等. 勺夹式蚕豆精量排种器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 108–116.
- LI Yuhuan, YANG Li, HAN Ying, et al. Design and experiment of spoon-clamping type metering device for faba beans[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 108–116. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2018s015&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.015. (in Chinese)