

对虾剥壳设备的自动定向与分级控制

Research on automatic orientation and grading of shrimp shelling device

傅士伟¹刘建华¹黄道沛¹刘玉良²FU Shi-wei¹ LIU Jian-hua¹ HUANG Dao-pei¹ LIU Yu-liang²

(1. 舟山技师学院机电部, 浙江 舟山 316000; 2. 浙江海洋大学机电学院, 浙江 舟山 316000)

(1. *Electrical and Mechanical Services Department of Zhoushan Technician College, Zhoushan, Zhejiang 316000, China*; 2. *Mechanical and Electrical Engineering of Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316000, China*)

摘要:目的:实现对虾深加工的全自动化。方法:在分析南美白对虾形体特征的基础上,根据对虾重心位于虾体最厚处与虾尾之间的特点,设计一种对虾头尾自动定向与分级控制装置。以定向辊轴线与水平线的夹角、定向辊转速为试验因素,对定向部件进行试验。结果:当定向辊转速为 60 r/min,轴线与水平线夹角为 15°时,对虾下落速度均匀平稳,头尾定位成功率高,有利于对虾后续的分级输送。结论:该装置实现了对虾头尾定位及分类,有利于对虾加工的全自动化。

关键词:对虾;自动定向;分级控制;定向辊

Abstract: Objective: To realize the full automation of shrimp deep processing. Methods: Based on analysis of physical characteristics of northern and southern American shrimps, according to the feature of the center of gravity located between the thickest part of the shrimp body and the tail of the shrimp, an automatic orientation and grading device of shrimp head and tail was designed. Taking the clip angle between directional roller shaft line and horizontal line and the speed of directional roller as testing factors, the directional components were tested. Results: When the directional roller speed was 60 r/min, and the angle between axis line and horizontal line was 15°, the falling speed of shrimp was even and stable with high directional rate, which was benefit for subsequent grading transportation. Conclusion: The device realizes the shrimp head and tail positioning and classification, which is conducive to the full automation of shrimp processing.

基金项目:舟山市科技局市级公益类科技项目(编号: 2019C31064);浙江省自然科学基金(编号: LY18A010024)

作者简介:傅士伟,男,舟山技师学院高级讲师。

通信作者:黄道沛(1990—),男,舟山技师学院讲师,硕士。

E-mail: 645865135@qq.com

收稿日期:2022-04-11 **改回日期:**2022-09-12

Keywords: shrimp; automatic orientation; grading transportation; directional roller

对虾具有高营养、易消化、低脂肪等优点,深受多种人群的喜爱。对虾深加工后得到的虾仁出口量占中国虾类海产品出口的首位^[1-2]。对虾加工一般包括去头、开背、去虾线、剥壳等流程。国外开发的自动剥壳设备,以 Laitram Machinery 公司生产的 A 型自动剥壳机和 Gregor Jonsson 公司生产的圆式旋转盘自动剥壳机为代表,前者能够对已经去头、开背的对虾进行自动剥壳,后者能够自动完成去头、开背、去虾线、剥壳等过程,但仍需要人工进行对虾的定向进料,且对虾品级的分类也需要其他设备来完成^[3-5]。中国的对虾加工仍以人工为主,研制的剥虾设备虽然能够自动实现开背、去肠线、剥壳等步骤^[6-7],但进料还是由人工操作,且品级分类也是在其他设备上完成的。因此研究对虾预处理的定向分级技术,开发合适的对虾自动定位分级装置是提高对虾深加工效率和自动化的关键。

目前,国内外对对虾的自动定位研究多集中于理论研究阶段^[8-9]。研究拟参考鱼类分级定位的原理^[10],以南美白对虾为例,根据虾体外形特征,分析其头部、尾部特点,设计对虾头尾自动定向与分级装置,并进行试验验证,以期为中国对虾深加工预处理提供依据。

1 对虾的头尾自动定向机理

1.1 对虾的形体特征

该研究对象为南美白对虾,主要由虾头(头胸部)、虾体(腹部)、虾尾(尾节)3部分组成(图1)。南美白对虾整个外形呈偏扁的长筒结构,头大尾小,重心居中;虾头坚硬且顶端细长较尖,分节不明显;虾体分节明显,从头至尾逐节变小;虾头和虾体间覆盖一层头胸甲,是虾体的最

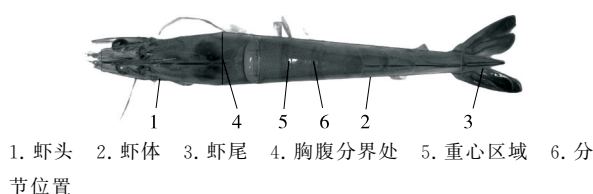


图 1 对虾的外形特点

Figure 1 Appearance characteristics of shrimp

宽处,且对虾最宽处始终位于重心与虾头之间。对虾头大尾小、重心居中的特点,为后续利用自重进行头尾定位创造了条件。

1.2 对虾的定位机理

由图 2 可知,当对虾最宽处(Z)与重心位置(O)中间受到垂直向上的支撑力时,虾体将由于自重开始旋转,保持尾部朝下、头部朝上的姿态。观察虾体各部位的厚度,虾头胸甲至虾尾逐渐变窄,根据此特点设计一组直径渐变的倾斜定向辊来实现虾体的支撑与定向。对虾刚进入定向辊时处于直径渐变辊较大一端,两辊间间距较小,对虾虾头和虾尾均有支撑,对虾基本与轴线平行。随着定向辊转动,对虾向定向辊间隙较大的一端移动,虾尾支撑点逐渐向虾头移动,当越过重心位置时,虾尾开始向下跌落,虾头翘起。

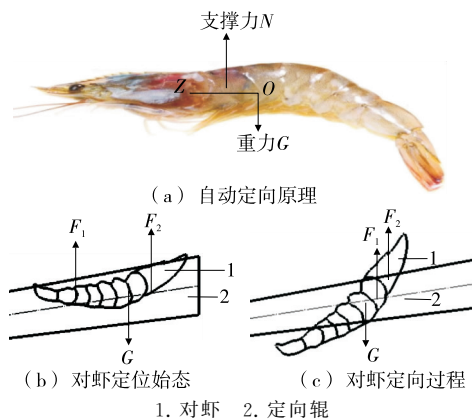


图 2 自重平衡示意图

Figure 2 Schematic diagram of the dead-weight balance

1.3 对虾定位受力分析

对虾受力分析如图 3 所示, O_1O_2 为定向辊轴心, F_1 、 F_2 是虾体所受支撑力, G 为虾体重力,对虾在定向辊的夹持支撑力 F_1 和 F_2 的作用下,其合力 F 与重力保持平衡,对其单侧进行受力分析得:

$$\begin{cases} F_1 = \frac{G}{2} \cos \theta \\ f = F_1 \mu \\ \mu = \tan \alpha \\ F_{\text{合}} = F_1 \cos \theta + f \sin \theta - \frac{G}{2} \end{cases} \quad (1)$$

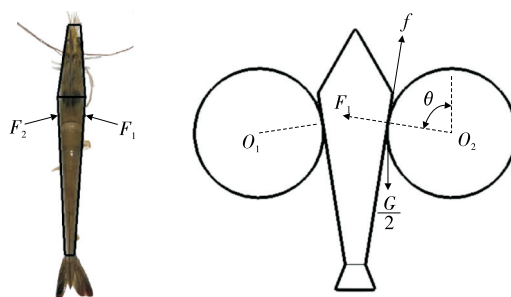


图 3 平衡处受力图

Figure 3 Force analysis of balance position

式中:

α ——定位辊与对虾的摩擦角, $^\circ$;

F ——定位辊与对虾的摩擦力,N;

G ——对虾自重,N;

$F_{\text{合}}$ ——单侧所受合力,N;

θ ——对虾和定位辊接触点与轴心连线在垂直方向的夹角, $^\circ$ 。

由式(1)可知, $F_{\text{合}} = \frac{G}{2} \sin \theta \cos \theta (\tan \alpha - \tan \theta)$,当 $\alpha < \theta$ 时, $F_{\text{合}} > 0$,此时对虾受力不平衡,会先向上移动。因此,为保证对虾在定位辊中平滑,其摩擦角应小于等于对虾和定位辊接触点与轴心连线在垂直方向的夹角。

2 机械结构设计

2.1 机械结构

试验设计的对虾头尾自动定向与分级控制装置,通过机械结构的特殊设计实现功能,主要由进料口、定向辊、分级输送装置 3 部分组成,如图 4 所示。两根定向辊平行倾斜放置,直径较大的一端位置稍高于另一端,工作时两辊等速对旋。进料口位于定向辊的一端,对面设置挡板以防止对虾滑出。在定向辊下方,放置与定向辊平行的输送带,输送带上设计同速转动的等距挡环,能对定向后的对虾进行分级并输送至下一道加工位置。传动装置分为两部分:① 定向辊转动装置,由步进电机进行定速

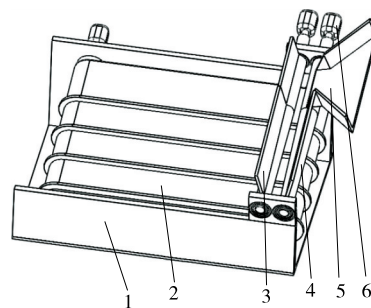


图 4 对虾自动定向与分级装置结构图

Figure 4 Structure diagram of automatic orientation and grading device of shrimp

驱动;② 皮带转动装置,根据两辊与水平位置的夹角调节速度,满足定位后下落速度不同的对虾的输送要求。

2.2 工作原理

利用对虾的重心位于体形最宽点与虾尾之间的特点,进行头尾定向。首先,对虾从进料口滑入由两倾斜放置的定向辊形成间隙中,此定向辊的直径相同,且从间隙下方向上相对旋转,对虾在其作用下初步实现头尾定向。然后,对虾随着定向辊的转动逐渐向较低一端移动。由于下一段两定向辊间的间隙逐渐增加,对虾在自重作用下,虾尾将先于虾头从间隙中掉落,实现对虾头上尾下的头尾定向。最后,定向后的对虾随着定向辊间隙增大将从定向辊上脱离,掉落至输送带上,此过程中,虾尾将优先接触输送带,在输送带的带动下,实现了虾尾在前,虾头在后的对虾定位。因倾斜的定向辊设计较长,在对应的输送带上设置有同速转动的挡环,不仅能保证对虾定位,也能实现对虾厚度分级。

3 关键部件设计

3.1 对虾外形参数

在 SB/T 10524—2009《鲜活对虾购销规范》中,将每 500 g 对虾的个数作为对虾分级的依据,会造成同一规格的对虾体型大小差异较大,无法满足试验对对虾厚度的需求。因此,选用市场随机采购的一批活虾进行试验,其外形数据按图 5 所示位置进行测量。

为保证后续设备研发的需要,对选购对虾中体型最

大、最小以及随机选择的 4 个参照对象进行测量记录,结果见表 1。

3.2 定向辊设计

定向辊是对虾头尾自动定向与分级装置的核心部件,其直径是影响工作性能的主要参数,定向辊根据直径大小分为两部分:进料口处的不变直径段和分级定位作用的变直径段。

在直径不变段,实现初步定向,并将虾体输送至下一工序现场,由图 6 可知,当两辊间隙一定时,定向辊的直

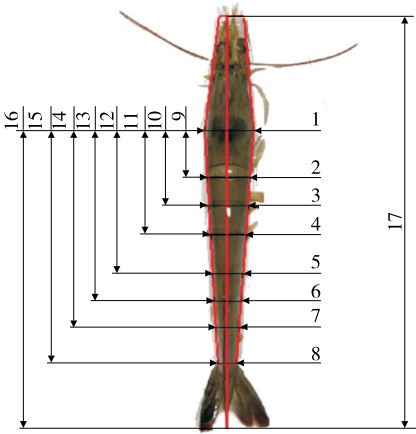


图 5 对虾外形尺寸位置示意图

Figure 5 Schematic diagram of measuring position of shrimp

表 1 对虾外形尺寸数据

Table 1 Shrimp appearance data

mm

虾体上位置	试验对象中最大型	试验对象中最小型	随机对象 1	随机对象 2	随机对象 3	随机对象 4
1	15.2	11.0	14.0	13.0	13.5	14.2
2	14.0	10.0	13.2	12.0	12.5	13.5
3	13.0	9.5	12.0	11.0	11.0	11.6
4	11.2	8.2	9.5	9.2	10.0	10.1
5	10.0	7.0	9.2	8.2	9.0	9.0
6	9.0	6.0	8.5	7.2	8.0	8.0
7	7.8	5.2	7.0	6.5	7.0	7.2
8	6.2	4.8	6.0	5.2	5.8	6.5
9	10.0	8.5	10.2	9.0	10.0	9.2
10	19.2	17.5	18.8	19.0	19.5	19.9
11	26.0	22.5	27.8	26.5	27.8	29.0
12	33.0	27.8	35.5	32.5	34.5	37.0
13	40.1	32.5	42.5	37.5	40.5	45.0
14	49.5	39.0	51.0	46.5	48.5	54.0
15	68.2	54.0	66.5	62.0	65.0	70.1
16	91.0	74.0	91.0	82.5	86.0	92.5
17	131.0	105.0	130.0	120.0	125.0	129.0

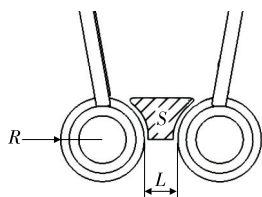


图 6 直径不变段定位示意图

Figure 6 Schematic diagram of constant diameter segment positioning

径越大,对虾越容易滑落在 S 区域内,越容易实现初步定位。根据表 1 的尺寸测量结果,取两辊间间隙为 10 mm。

由于定向辊与水平方向有一定夹角,在转动过程中,对虾会因自重向水平位置较低的一段滑动,逐渐进入定向辊的定位直径段,该部分定位辊直径逐渐减小,两辊间间隙逐渐增大,如图 7 所示;该段用来实现所有对虾头朝上尾朝下的定位要求,并将对虾输送至下一工序。由于对虾从定位段滑出跌落至皮带上的最佳位置是虾体最宽处脱离定位辊时虾尾刚好触碰到皮带,因此此段定位辊各处半径应小于对应位置滑落对虾的虾体长度。又因为厚度较小的对虾会先从缝隙较小处滑落,即渐变段定向辊直径较大的一边开始,因此直径较大处满足需求时,较小处必然满足。根据对虾形体数据表,以及定位辊直径不变段的需求,定向辊直径渐变段最大端半径为 40 mm,直径不变段半径为 40 mm。

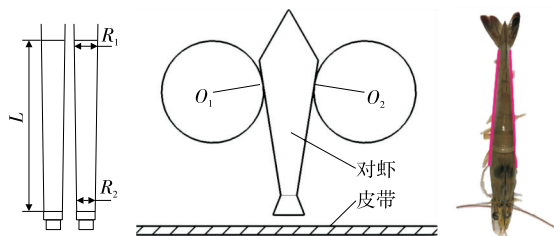


图 7 变直径段定位示意图

Figure 7 Schematic diagram of variable diameter positioning

由图 7 可知,定向辊直径渐变的大小应小于虾体渐变的最大值,否则对虾可能头尾同时向下滑落,甚至虾头部先下落。根据表 1 可以求出对虾两侧的轮廓线相对虾体轴线的变化趋势,其拟合直线的斜率见表 2,其中最小值 $k=0.060\ 2$,试验取 $k=0.05$ 进行计算。由表 2 可知,对虾最大宽度为 15.2 mm,取 20 mm 进行变直径定位辊设计。又因定位辊渐变段的初始最小间隙为 10 mm,求得定位辊变直径段总长度为 100 mm,即图 7 中 $R_1=40\text{ mm}$, $R_2=35\text{ mm}$, $L=100\text{ mm}$ 。

3.3 输送带设计

由于对虾的大小各有不同,在对虾的后续加工处理

表 2 对虾外形变化斜率

Table 2 Change slope of shrimp appearance

样品名称	变化趋势(k)	吻合程度(R^2)
试验对象中最大型	0.070 5	0.977 6
试验对象中最小型	0.065 3	0.931 6
随机对象 1	0.064 8	0.968 4
随机对象 2	0.067 9	0.972 1
随机对象 3	0.062 9	0.987 3
随机对象 4	0.060 2	0.961 4

中,需对对虾进行分级,试验设计了具有等距挡环的皮带来完成分级处理。在定向辊直径不变段,由于整体长度较短且间隙均为 10 mm,因此此段只能分离出厚度小于此间隙的对虾,考虑到 10 mm 厚度的对虾较小,因此在此段不再进行细分。在定向辊的渐变段,设计 3 道同步挡环,不仅将厚度每增加 4 mm 的对虾进行分级,也能保障对虾下滑至皮带上的头尾定向。

对虾在定向过程中,当虾体的最宽处通过定向辊的轴线时,虾体开始下落,又因同样厚度的对虾长度变化较小,因此皮带与定向辊轴线平行安装,安装高度能保障最长的对虾能很好的落至皮带上即可。

4 对虾头尾定向试验

4.1 试验设备和材料

对对虾头尾自动定位装置的关键部件进行试验验证。试验设备包括垫高块(用于调整定向辊角度)、游标卡尺(测量精度 0.02 mm,测量虾体厚度和长度)和自动定向辊机构(用于试验验证定向效果)。试验材料为浙江舟山水产市场随机采购的一批对虾,虾体最宽处厚度为 11~17 mm。

4.2 试验目的

该试验目的是验证对虾头尾定向的成功率,以及对虾大小分类的准确性。当对虾头上尾下从定向辊滑落时,视为成功定位,其余姿态或从定向辊两侧掉落视为失败,按式(2)计算定位成功率。

$$p = \frac{p_1}{p_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

p ——定位成功率,%;

p_1 ——每组试验成功定向的对虾个数;

p_2 ——每次试验的总个数。

随机选取采购对虾中的 20 只作为一组,每组试验 3 次,结果取平均值。

4.3 试验及结果分析

4.3.1 试验方案 定向辊轴线与水平线之间的夹角 β 从水平位置开始,每上升 5° 进行一组对比试验,测定不同速

度下对虾定位的成功率和分级准确率。

4.3.2 试验结果及分析 由图 8 可知,当 $\beta < 20^\circ$ 时,定位成功率接近 100%,随着角度的增加,定位成功率逐渐下降,当 β 为 40° 时,定位成功率受转速直接影响,当 $\beta > 45^\circ$ 时,定位成功率主要受对虾进入角度影响,试验装置有一定作用,但几乎可以忽略。

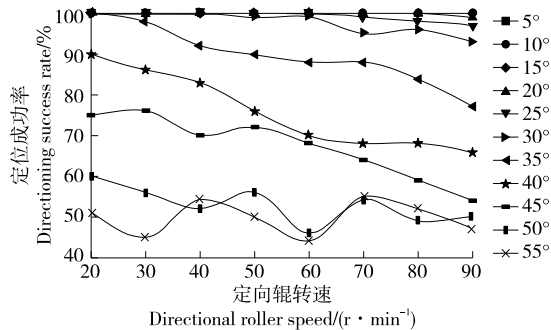


图 8 定向辊与水平线夹角对定位成功率的影响

Figure 8 Effects of directional roller and horizontal line clip angle on the success rate of positioning

由图 9 可知,当 $\beta < 20^\circ$ 时,转速对定位基本无影响,当 β 为 $20^\circ \sim 50^\circ$ 时,随着转速的增加,定位成功率逐渐下降;当 $\beta > 50^\circ$ 时,试验装置几乎失去作用。

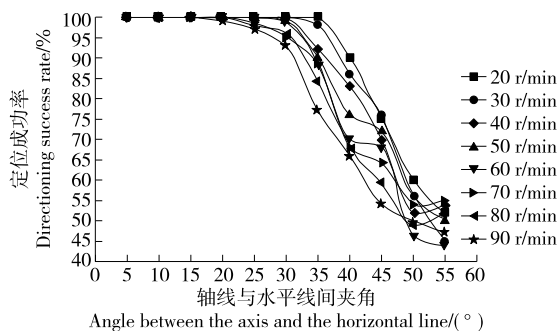


图 9 转速对定位成功率的影响

Figure 9 Effects of rotational speed on positioning success rate

参照试验结果,在保障该装置工作效率与定位准确性的前提下,结合对虾在定向辊上的下滑速度,确定定向辊轴线与水平线夹角 β 为 15° ,定向辊转速为 60 r/min 为最优选择。通过试验验证,此条件下,虾体下滑速度均匀,定位效果较好,同时,无论对虾以何种姿态进入,在对虾的前进方向上,其始终只有头上尾下背前腹后或头上尾下背后腹前两种姿态,即该装置实现了对虾的头尾定位。

5 结论

在分析对虾形体特征的基础上,设计了对虾头尾自动定向与分级装置。经试验,证明了该设备的可行性,且

当定向辊轴线与水平线夹角为 15° ,定向辊转速为 60 r/min 时,对虾下滑速度平缓均匀,有利于输送带的分级输送;实现了对虾头尾的自动定位,方便后续对虾剥壳处理等工艺,大大减轻了工人的劳动强度。另外,该试验装置若考虑定向辊与对虾间摩擦力的作用,以及进料速度对定向成功率的影响,将进一步提高工作效率。

参考文献

- [1] 苗庆波, 王伟, 张秀花, 等. 螺旋挤压式对虾去头装置设计研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 106-108.
MIAO Q B, WANG W, ZHANG X H, et al. Design and study of screw extrusion device of shrimp[J]. Food & Machinery, 2017, 33(5): 106-108.
- [2] MAO X, GUO N, SUN J, et al. Comprehensive utilization of shrimp waste based on biotechnological methods: A review [J]. J Clean Prod, 2017, 143: 814-823.
- [3] 郝淑贤, 杨肖杰, 黄卉, 等. 虾类剥壳加工现状与预处理便捷剥壳技术[J]. 南方水产科学, 2020, 16(4): 121-128.
HAO S X, YANG X J, HUANG H, et al. Current situation of shrimp peeling processing and convenient pretreatment peeling technology[J]. South Aquatic Sciences, 2020, 16(4): 121-128.
- [4] CHIU Y C, WU H Y, CHEN S M, et al. Automatic size-grading and shrimp peeling machinery: US5346424[P]. 1994-09-13.
- [5] 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: 3-8.
ZHANG W. Study on online identification and elimination of shrimp based on machine vision technology [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018: 3-8.
- [6] 李铎. 对虾去头设备研制综述[J]. 广东蚕业, 2019, 53(11): 33, 37.
LI D. Development of shrimp removal equipment[J]. Guangdong Silkworm Industry, 2019, 53(11): 33, 37.
- [7] 李珊珊, 袁永伟, 孔德刚, 等. 对虾清洗分级机的设计[J]. 河北农机, 2017(2): 66-67.
LI S S, YUAN Y W, KONG D G, et al. Design of shrimp cleaning machine[J]. Hebei Agricultural Machinery, 2017(2): 66-67.
- [8] 熊师, 方宪法, 牛康, 等. 对虾定向输送装置设计与参数优化试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(5): 324-331.
XIONG S, FANG X F, NIU K, et al. Design and parameter optimization test of shrimp directional transport device[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2021, 52(5): 324-331.
- [9] LEANDER L. Method and apparatus for orientation of fish upon a conveyor: US5115903A[P]. 1992-05-26.
- [10] 高星星, 谭鹤群. 淡水鱼头尾与腹背定向装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 342-347.
GAO X X, TAN H Q. Design and experiment of directional transport device of freshwater fish bodies[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2011, 27(5): 342-347.