

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80037

适于四角粽连续机械化生产的粽叶折叠成型技术及装置

祝文轩¹ 卢立新^{1,2} 潘 嘹^{1,2}

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要: [目的] 针对粽叶成型—馅料充填—捆扎的四角粽连续机械化生产, 设计粽叶自动折叠成型工艺及装置。[方法] 分析粽叶折叠成型的功能和要求, 研究其技术原理和工艺方法; 结合连续机械化生产要求, 探究粽叶折叠成型技术。[结果] 提出一种基于粽型模具实现粽叶旋转折叠成型及其连续作业的粽叶成型—充填—捆扎工艺, 并完成了整体装置及关键机构的设计。[结论] 所设计的粽叶移送—预成型—充填—折边—封顶的粽叶折叠成型工艺及装置, 能满足四角粽粽叶的柔性预成型。

关键词: 四角粽; 裹包; 粽叶折叠; 成型工艺; 装置设计

Technology and device for quadrangular Zongzi leaf folding and forming for continuous mechanized production

ZHU Wenxuan¹ LU Lixin^{1,2} PAN Liao^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Key Laboratory of Advanced Manufacturing Equipment Technology for Foodstuffs in Jiangsu Province, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: [Objective] This study focuses on the continuous mechanized production of quadrangular Zongzi leaves, involving the processes of zongzi leaf forming, filling, and strapping. The design of an automatic folding and forming process and device for Zongzi leaves is proposed. [Methods] The functions and requirements of Zongzi leaf folding and forming were analyzed, and the technical principles and processes were studied. In line with the requirements for continuous mechanized production, the folding and forming technology of Zongzi leaves was explored. [Results] A Zongzi leaf forming, filling, and strapping process was proposed, based on a Zongzi mold to achieve rotating folding and continuous operation. The overall device and key mechanisms were designed. [Conclusion] The designed process and device for Zongzi leaf transfer, pre-forming, filling, edge folding, and sealing can meet the flexible pre-forming requirements for the Zongzi leaves used in quadrangular Zongzi.

Keywords: quadrangular Zongzi; wrapping; Zongzi leaves folding; forming technology; device design

长期以来粽子是由人工裹包, 生产的规模化和标准化受限, 生产效率提升难度大^[1], 同时生产中也存在卫生隐患等^[2]。随着粽子需求量的增加^[3], 机械自动化生产是一个必然趋势。

目前, 粽子机械化裹包主要集中于其中单一工序技术的研究。针对粽子捆扎, 主要围绕捆扎装置设计^[4-9]、打结技术^[10-12]及其排线机构优化^[13-15]等; 针对粽叶折叠成型, 赵月霞等^[16]采用机械手夹持粽叶旋转折叠成型, 但

基金项目: 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室重点项目(编号: FMZ202306)

通信作者: 卢立新(1966—), 男, 江南大学教授, 博士生导师, 博士。E-mail: lulx@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2025-01-04 改回日期: 2025-03-10

引用格式: 祝文轩, 卢立新, 潘嘹. 适于四角粽连续机械化生产的粽叶折叠成型技术及装置[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 67-73.

Citation: ZHU Wenxuan, LU Lixin, PAN Liao. Technology and device for quadrangular Zongzi leaf folding and forming for continuous mechanized production[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 67-73.

需根据粽叶尺寸确定机械手夹角以保证成型效果,生产适应性受限。针对粽子整体裹包技术,相关研究主要采用人工将粽叶折叠成型,开展后续工序的机械化设备研发^[17-18];李莉^[19]研究了粽叶成型—馅料充填—捆扎的整体裹包,采用机械手旋转折叠成型,但针对特定尺寸、形状粽子设计设备,其生产的柔性不足。

研究拟针对传统四角粽自动裹包,设计粽叶成型—充填—捆扎的连续生产工艺,在此基础上,提出一种新型的适合连续机械化生产的粽叶折叠成型技术方案,以期为实现粽叶从输送到封顶成型的整体作业提供依据。

1 粽叶折叠成型工艺方案

1.1 整体方案设计

粽叶折叠成型是进行后续充填、粽子转移以及捆扎的前提。以传统四角粽作为研究对象,其形状如图 1 所示,其中 $h_1 \approx h_2 \approx 85 \text{ mm}$, $b_1 \approx b_2 \approx b_3 \approx b_4 \approx 100 \text{ mm}$,通常采用 2~3 片粽叶进行裹包。结合四角粽的人工裹粽过程,研究其折叠成型工艺。

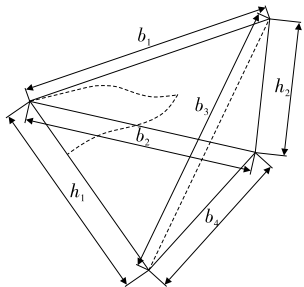
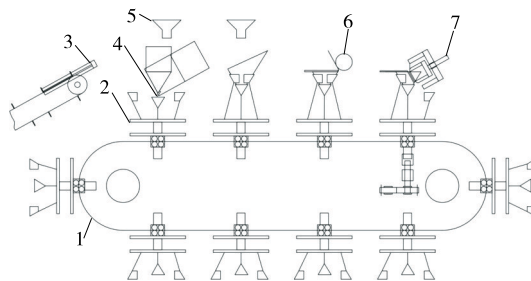


图 1 传统四角粽模型

Figure 1 Model of traditional quadrangular Zongzi

1.1.1 粽叶成型—充填—捆扎的连续生产工艺设计 考虑包装质量、生产效率、机构复杂程度等影响,提出粽叶成型—充填—捆扎的连续机械化生产工艺流程(图 2)。由移叶夹将粽叶从输送带上转移至预成型充填工位,预成型机构中的推板、承托机构的角托以及充填机构的粽型模具配合完成粽叶折叠预成型和馅料第一次充填工作,后续承托机构将粽体输送至二次充填、折边封顶以及捆扎工位并完成相应作业。承托机构的回转运动可实现各工位同步作业,提高生产效率。

1.1.2 粽叶折叠成型工艺设计 为保证粽叶折叠成型的可靠性,提高整体作业效率,将成型工艺动作进行分解,提出粽叶折叠成型工艺流程(图 3)。采用在粽型模具 2 上进行粽叶旋转折叠预成型,易实现粽叶依循预定路径进行有序折叠,利于提高成型质量;以粽型模具 2 底角为基准,使粽叶沿粽型模具 2 侧边超出底角的距离保持一致,

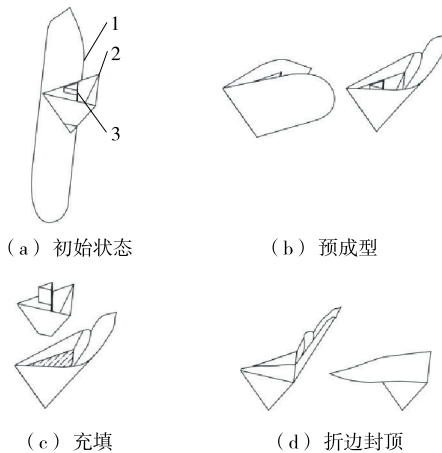


1. 环形输送 2. 承托 3. 移叶 4. 预成型 5. 馅料充填 6. 折边封顶 7. 捆扎

图 2 粽叶成型—充填—捆扎工艺流程

Figure 2 Production process of folding, filling, and strapping for Zongzi leaves

既可实现粽底角的双重折叠,避免馅料泄露及其对后续工序的影响,提升成型质量和工艺稳定性,又利于标准化生产和提高工艺对粽叶尺寸的适应性;粽型模具 2 通过中空设计和配置下料开关 3 以兼作下料通道,在脱模的同时实现馅料的第一次充填,可避免预成型后的粽体发生松散问题,功能复用也降低了系统的复杂程度和生产成本。



1. 粽叶 2. 粽型模具 3. 下料开关

图 3 粽叶折叠成型工艺流程

Figure 3 Production process of automatic folding and forming for Zongzi leaves

1.2 粽叶预成型方案确定

预成型的目的是实现粽叶旋转折叠成锥形,试验设计的预成型工序如图 4 所示。粽叶 1 由移叶夹 2 夹持并移送至预成型工位,使粽叶 1 与粽型模具 3 侧边相切;正角托 7 移动将粽叶 1 在粽型模具 3 中完成对折并压紧,并向内靠拢配合完成粽叶初次折叠;由右推板 8 按箭头所示方向完成粽叶 1 短边的折叠,再由右角托 5 将其压紧;左推

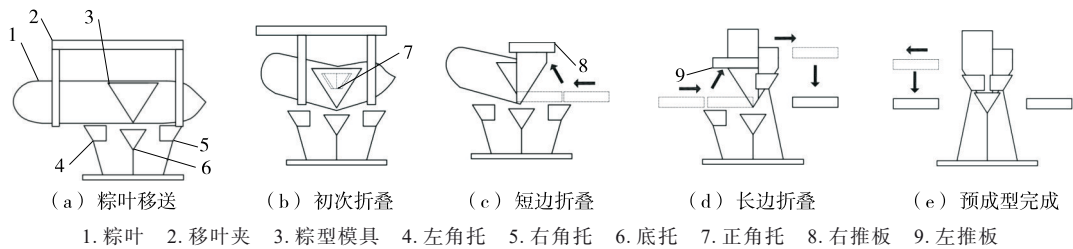


图4 粽叶预成型工序过程

Figure 4 Process of pre-forming for Zongzi leaves

板9和左角托4按照上述方式完成对粽叶1长边的折叠和压紧;左右推板撤回原位,并由底托6对底部进行压紧,以此完成粽叶的预成型作业。

1.3 馅料充填方案的确定

馅料充填的目的是在进行馅料充填至锥形粽体的同时实现粽型模具脱模,试验设计的工序如图5所示。粽叶预成型作业完成后,由粽型模具1和下料开关2组成的模具对其固定以保持形状;定量杯3盛装馅料至粽型模具1中空开口处上方,随定量杯3下方开关打开,下料开关2上移打开粽型模具1底部,粽型模具1上移使馅料从底部铺实压住粽叶;最后粽型模具1和下料开关2撤出粽体内部,完成馅料充填作业。

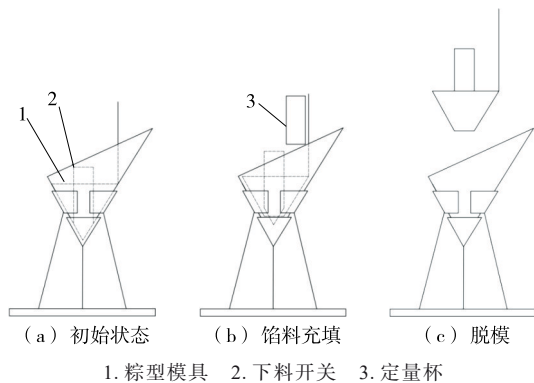


图5 馅料充填工序过程

Figure 5 Process of filling for Zongzi leaves

1.4 折边封顶方案的确定

折边封顶的目的是实现两侧粽叶的内折以及多余粽叶的折叠封顶,试验设计的工序如图6所示。左右两侧翻折板1初始所在平面与粽体两侧面平行,通过平移贴近粽体3,并以其两侧边为轴线旋转至水平,以实现粽体3两侧边粽叶的折叠;封顶辊2移动至粽体上方,以翻折板1为支撑对多余粽叶进行初步折叠,形成折痕后封顶辊2停止移动;由承托机构4带动粽体3穿过封顶辊2,将多余粽叶压平完成封顶。

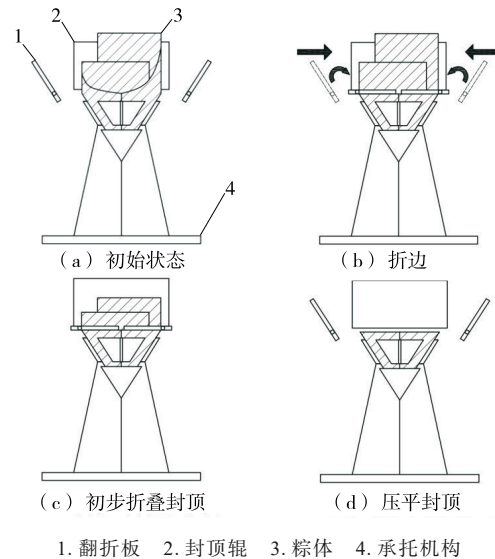


图6 折边封顶工序过程

Figure 6 Process of folding and sealing for Zongzi leaves

2 粽叶折叠成型装置设计

依据试验提出的粽叶折叠成型工艺,确定粽叶折叠成型装备需满足的主要要求为:

(1) 移叶机构将粽叶移送至粽型模具上,粽叶应切于粽型模具侧边并沿其侧边超出粽型模具的底角,以满足粽身接缝处搭接和粽底的双重折叠;同时,应满足一定范围粽叶尺寸变化的适应性。

(2) 承托机构在粽叶折叠预成型后需及时配合粽型模具实现对粽体的固定,同时在粽叶预成型过程中避免与移叶机构、预成型机构发生运动干涉。

(3) 为保持粽体形状和提高工艺整体效率,粽型模具同时用作下料通道,满足粽叶成型在脱模同时进行第一次馅料充填,以保持粽体形状;同时结合实际需求设置二次充填机构完成多馅料充填、封顶机构完成粽体封顶作业。

为此,设计粽叶折叠成型装置工作循环图(图7),同时设计粽叶折叠成型装置(图8)。粽叶由粽叶传送带1传

送至移叶工位,移叶机构 2 中移叶夹将其夹紧平移并旋转 90°与充填机构 3 中的粽型模具侧边相切,并由承托机构 4 中正角托将其压紧在粽型模具上实现初次折叠,后续由预成型机构 5 中的推板配合角托完成粽叶的折叠预成型;随后充填机构 4 撤离,同时下料开关打开,馅料经其到达粽叶以完成充填作业;承托机构 5 将充填完成的粽体运输至封顶机构 6 下方,由翻折板旋转实现折边,封顶辊借助翻折板实现多余粽叶的折叠,最后承托机构 5 继续运动,未完全折叠的粽叶在其运动下配合封顶辊实现封顶作业。应用三维软件完成四角粽捆扎装置的装配设计,并进行机构动态运动仿真以确保各机构运动能准确实现相应的执行动作,且彼此不会发生运动干涉。

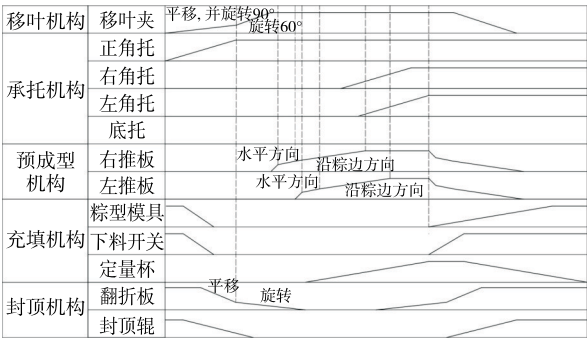


图 7 粽叶折叠成型装置工作循环图
Figure 7 Working cycle diagram of the folding and forming device for Zongzi leaves

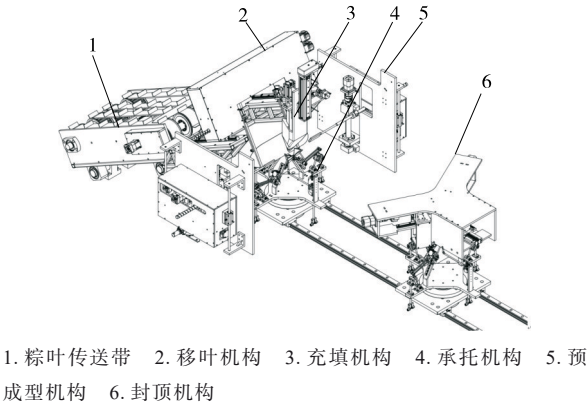


图 8 粽叶折叠成型装置
Figure 8 Folding and forming device for Zongzi leaves

2.1 承托机构设计

粽叶预成型工序中,承托机构的作用是辅助完成粽叶预成型并维持粽体形态,故要求角托作业时行程精准同时避免与其他机构发生干涉,且在运动结束时冲击小以避免对粽叶的损伤。

根据设计要求完成承托机构设计(见图 9)。为满足成型时角托与粽型模具的贴合,4 个角托内部结构与粽型模具保持一致;为避免承托机构中角托作业时相互干涉以及与移叶机构、预成型机构发生干涉,同时需对粽体提供一定的支持力,正角托、左右角托作业时与水平面呈 60°,行程为 60 mm;为满足工作行程的精度要求,采用曲柄滑块机构,通过精准控制曲柄旋转角度和设置止动机构使角托精准抵达预定位置;为降低轨道凸轮的加工难度并提高对曲柄滑块机构的控制精度,采用平底推杆凸轮机构驱动、滑块连杆机构传动,将推杆竖直方向的运动转换成曲柄的旋转运动;为提高角托的装调精度,在其与滑块间设置手动滑台用于位置调节。

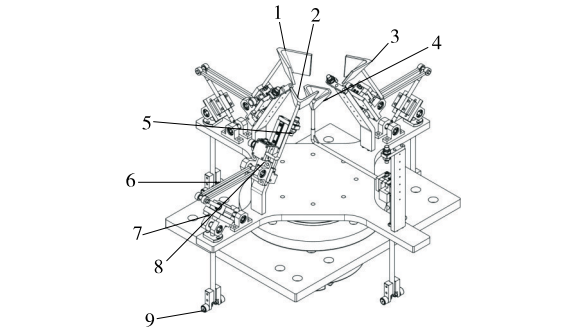


图 9 承托机构
Figure 9 Supporting mechanism

根据上述设计确定承托机构中角托运动简图如图 10 所示。根据设计要求,先对曲柄滑块机构进行运动分析,再根据工作行程、停留时间等设计凸轮的轮廓曲线。

在封闭矢量多边形 $ABCD$ 中,可得滑块 C 位移:

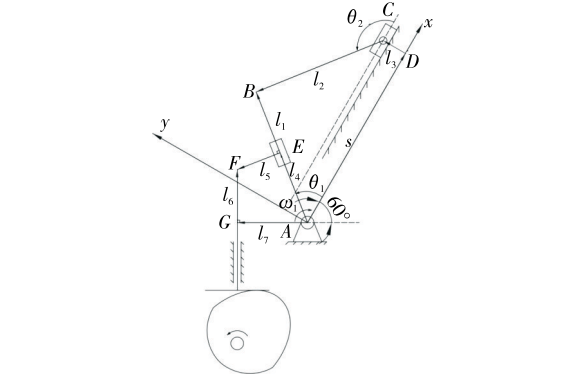


图 10 承托机构角托运动简图
Figure 10 Angle support movement of supporting mechanism

$$s = l_1 \cos \theta_1 + \sqrt{l_2^2 - (l_1 \sin \theta_1 + l_3)^2}, \quad (1)$$

滑块C速度:

$$v_3 = \frac{-l_1 \omega_1 \sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos \theta_2}, \quad (2)$$

滑块C加速度:

$$a_3 = \frac{l_2 \omega_2^2 + l_1 \alpha_1 \sin(\theta_1 - \theta_2) - l_1 \omega_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_2)}{\cos \theta_2}. \quad (3)$$

在封闭矢量多边形AEFG中,可得滑块E位移:

$$l_4 = \frac{l_7 - l_5 \cos\left(\theta_1 - \frac{\pi}{6}\right)}{\sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{6}\right)}, \quad (4)$$

平底推杆位移:

$$l_6 = \frac{l_7 \cos\left(\theta_1 - \frac{\pi}{6}\right) - l_5}{\sin\left(\theta_1 - \frac{\pi}{6}\right)}, \quad (5)$$

平底推杆速度:

$$v_6 = \frac{l_4 \omega_1}{\sin\left(\frac{\pi}{6} - \theta_1\right)}. \quad (6)$$

根据上述要求,对驱动凸轮进行设计。为减小起点、终点冲击,凸轮的推程和回程均采用余弦加速度运动规律^[20],则在一个运动周期中的推程:

$$k = \begin{cases} \frac{h}{2} \left(1 - \cos \frac{\varphi \pi}{120}\right) & (0 \leq \varphi < 120^\circ) \\ h & (120^\circ \leq \varphi < 180^\circ) \\ \frac{h}{2} \left[1 + \cos \frac{(\varphi - 180)\pi}{120}\right] & (180^\circ \leq \varphi < 300^\circ) \\ 0 & (300^\circ \leq \varphi < 360^\circ) \end{cases}, \quad (7)$$

式中:

k ——推程,mm;

h ——凸轮的最大推程,mm;

φ ——凸轮转动的角度,°。

凸轮在 ω_3 匀速转动下,在凸轮推程时曲柄AB转动角度 θ_1 与 φ 的关系为:

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left[\frac{l_7 l_5 + \sqrt{(l_7^2 - l_5^2)(k + l_{6,0}) + (k + l_{6,0})^2}}{(k + l_{6,0})^2 + l_7^2} \right] + \frac{\pi}{6}. \quad (8)$$

$$\text{其中}, \quad k = \frac{h}{2} \left(1 - \cos \frac{\varphi \pi}{120}\right), \quad l_{6,0} =$$

$$\frac{l_7 \cos\left(\frac{75.73\pi}{180} - \frac{\pi}{6}\right) - l_5}{\sin\left(\frac{75.73\pi}{180} - \frac{\pi}{6}\right)}.$$

为此可获得承托机构设计参数,见表1。进一步分析可得到曲柄AB的转动角度 θ_1 、角速度 ω_1 ,滑块C的位移 s 、速度 v_3 、加速度 a_3 ,平底推杆的位移 l_6 、速度 v_6 以及滑块E位移 l_4 随时间的变化关系(图11),满足角托运动设计要求。根据滑块加速度 a_3 与时间的关系可知,角托在起步和终点(即压紧粽叶时)冲击较小,从而避免了角托对粽叶的损伤。

表1 承托机构设计参数

Table 1 Design parameters of supporting mechanism

参数名称	单位	数值
滑块C位移 Δs	mm	60
杆AB转动角度 θ_1 初始值	(°)	75.73
杆AB转动角度 θ_1 终点值	(°)	51.43
杆AB长度 l_1	mm	110
杆BC长度 l_2	mm	120
CD间距 l_3	mm	0.87
杆EF长度 l_5	mm	36
AG间距 l_7	mm	55
凸轮角速度 ω_3	rad/s	2/3
凸轮的最大推程 h	mm	38.25

2.2 预成型机构设计

预成型工序中,粽叶在成型模具上的旋转折叠是通过推板实现的,这要求推板精准沿预定路径移动带动粽叶旋转折叠,并提供一定的摩擦力。为此,设置推板与在粽型模具上进行折叠作业的侧面平行,并可沿垂直于粽型模具中心面方向以及沿粽型模具侧面向上运动。为提高机构的适应性和柔性,采用四自由度预成型机构设计(图12)。通过两副滚珠丝杆和一副滚珠花键丝杆,以实现推板沿XYZ轴方向移动和绕X轴旋转。针对不同规格的粽型模具,可通过快速调控X轴和Y轴滚珠丝杆的初始位置、转速比以及滚珠花键丝杆旋转角度,以满足推板在粽型模具侧面上的运动要求。

3 结论

针对四角粽自动裹包,提出了粽叶成型—充填—捆扎的连续机械化生产工艺以及粽叶折叠成型技术方案。针对粽叶机械化折叠成型的难点,提出了在模具上实现

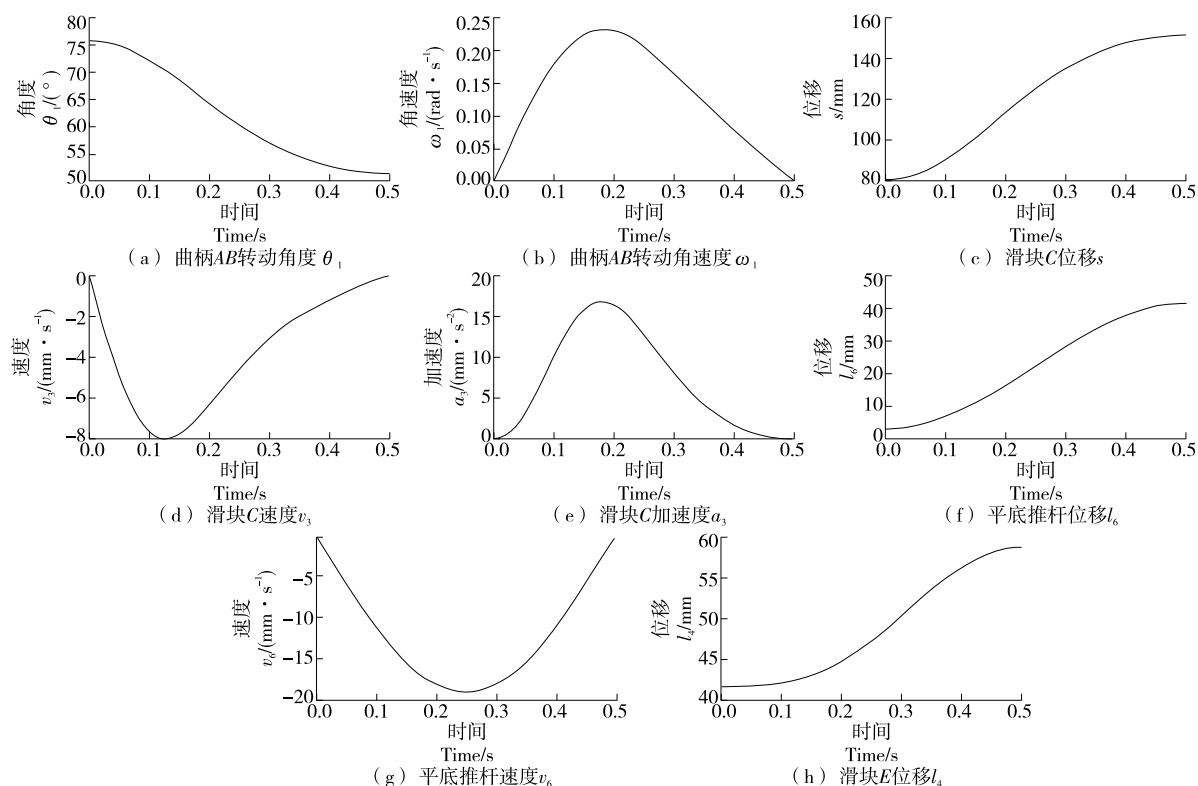


图 11 曲柄、滑块、推杆运动参数与时间关系图

Figure 11 Relationship between time and motion parameters of crank, slider, and push rod

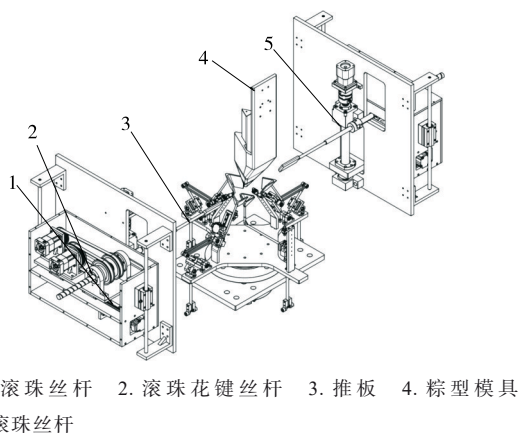


图 12 预成型机构

Figure 12 Pre-forming mechanism

粽叶旋转折叠成型,保证了工艺可靠性,解决了装置对粽叶尺寸的适应性低以及生产效率低的难题;开展粽叶折叠成型装置及其关键机构设计,基于粽叶折叠成型装置及机构的动态运动仿真验证了设计方案的有效性。后续将进一步开展实体装置的验证。

参考文献

[1] 李媛媛, 韦华. 乡村振兴背景下广西粽子产业高质量发展策

略研究[J]. 产业与科技论坛, 2024, 23(18): 20-23.

LI Y Y, WEI H. Study on high-quality development strategy of Guangxi zongzi industry under the background of rural revitalization[J]. Industrial & Science Tribune, 2024, 23(18): 20-23.

[2] 季月明, 陆佳平, 王淑慧, 等. 粽子自动折叠裹包集成机构研究[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 79-83.

JI Y M, LU J P, WANG S H, et al. Automatic folding and wrapping integrated mechanism for rice dumplings[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 79-83.

[3] 谢岚, 梁傲男. 端午消费升温 小粽子如何撑起大产业[J]. 中国食品工业, 2024(11): 26.

XIE L, LIANG A N. How a small zongzi can sustain a large industry with the uprising consumption of Dragon Boat Festival [J]. China Food Industry, 2024(11): 26.

[4] 徐亚军. 粽子自动捆扎绕线机研究与开发[D]. 上海: 华东理工大学, 2016: 15.

XU Y J. Design and research on automatic winding machine for rice dumplings[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2016: 15.

[5] 索利利, 陆佳平. 粽子自动化捆扎夹持机构的研究[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(4): 61-65.

- SUO L L, LU J P. Automatic strapping holding mechanism of rice dumplings[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(4): 61-65.
- [6] 肇庆市皇鼎皇裹蒸粽有限公司. 一种传统粽子捆扎机: CN201921632959.1[P]. 2020-06-16.
- Zhaoqing Huangzhonghuang Guozhengzong Co Ltd. A traditional Zongzi strapping machine: CN201921632959.1[P]. 2020-06-16.
- [7] 山西青合成食品有限责任公司. 一种粽子捆扎机: CN202222614423.5[P]. 2023-01-24.
- Shangxi Qinghecheng Food Co Ltd. A Zongzi strapping machine: CN202222614423.5[P]. 2023-01-24.
- [8] 李树森. 一种全自动数控粽子捆扎机: CN2021285730.8[P]. 2021-07-16.
- LI S S. An automatic numerical control Zongzi strapping machine: CN2021285730.8[P]. 2021-07-16.
- [9] 嘉兴市真真老老食品有限公司. 一种耐高温的全自动粽子捆扎设备: CN202122863684.6[P]. 2022-06-10.
- Jiaxing Zhenzhenlaolao Food Co Ltd. A high-temperature resistant automatic Zongzi strapping device: CN202122863684.6 [P]. 2022-06-10.
- [10] 曲迪, 周一届. 打结器在粽子机械化捆扎中的应用[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 141-142, 146.
- QU D, ZHOU Y J. Application of knotter in mechanical strapping of Zongzi[J]. Food & Machinery, 2013, 29(5): 141-142, 146.
- [11] 赵铁惠, 梁庆华, 王石刚. 粽子自动扎线机总体方案设计[J]. 机械设计与研究, 2008, 24(3): 118-120.
- ZHAO Y H, LIANG Q H, WANG S G. Conceptual design of automatic machine for Zongzi binding[J]. Machine Design & Research, 2008, 24(3): 118-120.
- [12] 索利利, 陆佳平. 粽子捆扎机技术方案设计[J]. 轻工机械, 2016, 34(5): 63-66, 71.
- SUO L L, LU J P. Technical solution design of strapping machine for rice dumplings[J]. Light Industry Machinery, 2016, 34(5): 63-66, 71.
- [13] 陈锦海, 梁庆华, 王石刚. 实现复杂运动的高速排线凸轮机构优化设计[J]. 机械设计与研究, 2009, 25(3): 19-21, 26.
- CHEN J H, LIANG Q H, WANG S G. Optimal design of the high-speed traversing cam mechanism for complex follower motion[J]. Machine Design & Research, 2009, 25(3): 19-21, 26.
- [14] 孙锋. 机械运动系统行为结构时序优化及应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011: 35.
- SUN F. Sequential optimization and application research for behavior structure of mechanical motion system[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2011: 35.
- [15] 邱显焱, 赵朕祥, 谢雨杰, 等. 粽子自动扎线机的排线机构设计及仿真分析[J]. 科技创新与应用, 2017(6): 26-27.
- QIU X Y, ZHAO Z X, XIE Y J, et al. Design and simulation of the wiring mechanism in Zongzi automatic strapping machine [J]. Technology Innovation and Application, 2017(6): 26-27.
- [16] 赵月霞, 陆佳平, 高妮, 等. 粽叶斗形自动折叠成型机构的研究[J]. 机械设计, 2016, 33(6): 10-13.
- ZHAO Y X, LU J P, GAO W, et al. Research of the automatic folding forming mechanism of funnel-shaped rice dumpling leaf[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(6): 10-13.
- [17] 浙江五芳斋实业股份有限公司. 一种半自动裹粽机: CN201520244870.3[P]. 2015-09-02.
- Zhejiang Wufangzhai Industry Co., Ltd. A semi-automatic Zongzi wrapping machine: CN201520244870.3[P]. 2015-09-02.
- [18] 王艺洁, 李芙蓉, 周涛, 等. 自动化家用式包粽子机[J]. 科技资讯, 2019, 17(26): 45-46.
- WANG Y J, LI F R, ZHOU T, et al. Automatic household Zongzi wrapping machine[J]. Science & Technology Information, 2019, 17(26): 45-46.
- [19] 李莉. 全自动包粽子装置: CN201610619875.9[P]. 2016-11-09.
- LI L. Automatic Zongzi wrapping device: CN201610619875.9 [P]. 2016-11-09.
- [20] 徐一村, 张磊. 基于ADAMS的平底从动件凸轮轮廓曲线设计[J]. 郑州大学学报(工学版), 2020, 41(3): 42-46.
- XU Y C, ZHANG L. Design of cam profile curve of flat bottom follower based on ADAMS[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2020, 41(3): 42-46.