

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.12.017

生鲜食品包装机气力式超薄自粘膜横封装置设计与试验

郑兆启^{1,2} 梅文娟¹ 刘超冉¹ 杜志龙³ 董 舰⁴ 李占勇^{1,2}

(1. 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222;
2. 天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室, 天津 300222;
3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 4. 天津科技大学工程训练中心, 天津 300222)

摘要: 为解决气力式超薄自粘膜横封装置结构复杂、稳定性差等问题,以现有生鲜食品包装机为平台,设计了一套生鲜食品包装机气力式超薄自粘膜横封装置。该装置由立式输送带、前后平行布置的两个上风盒、下折膜机构、切断机构和无动力托辊等组成,其中下折膜机构包括下风盒、滚轮、气缸等,利用气力和机械结构的复合运动,可较好地完成超薄自粘膜横封作业。构建了横封作业过程中包装物料与横封部件的力学模型,利用 Fluent 软件对其关键部件下风盒进行结构优化分析,得到最优参数为:下风盒进风口位置和水平方向出风口位置对称布置,风腔高度 14 mm、水平出风口直径 3 mm、水平出风口个数 10 个。以后上风盒出风口压强、下风盒水平出风口压强、下折膜机构与包装盒底部折膜间距为试验因素,以托盘后部横封率为试验指标进行了正交组合试验。经试验和结果分析,得到最佳参数组合为:后上风盒出风口压强 113.3 Pa、下风盒水平出风口压强 85 Pa、下折膜机构与包装盒底部折膜间距 -3 mm。经试验验证,最佳参数组合下横封率为 99%,横封平整、美观,满足包装机横封作业要求。

关键词: 生鲜食品包装机; 气力式; 超薄自粘膜; 横封装置

中图分类号: TB486+.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)12-0158-08 OSID: 

Design and Experiment on Pneumatic Transverse Sealing Device for Ultrathin Self-adhesive Film of Fresh Food Packaging Machine

ZHENG Zhaoqi^{1,2} MEI Wenjuan¹ LIU Chaoran¹ DU Zhilong³ DONG Jian⁴ LI Zhanyong^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China
2. Tianjin Key Laboratory of Integrated Design and On-line Monitoring for Light Industry and Food Machinery and Equipment, Tianjin 300222, China
3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China
4. Engineering Training Center, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: In order to solve the problems of complex structure and poor stability of transverse sealing device for ultrathin self-adhesive film, a set of pneumatic transverse sealing device based on the existing fresh food packaging machine was designed, which can complete the transverse sealing problem of ultrathin self-adhesive film. And the device completed the transverse sealing operation through the cooperation of six main mechanisms, including vertical conveyor, two up wind boxes arranged in parallel in front and back, cutting mechanism, unpowered idlers and lower folding mechanism which was composed of rollers, a cylinder and a lower wind box, which combined movement of pneumatic and mechanical structure to complete the transverse sealing operation. Then the mechanical model of packaging materials and transverse sealing device were established during transverse sealing process. After that, the structure of the lower wind box which was the key part of device was analyzed by Fluent software. The optimal parameters of the lower wind box were obtained as follows: the position of the air inlet and air outlet in the horizontal direction was symmetrically arranged, the height of the air cavity was 14 mm, the size of outlet of the lower wind box was 3 mm in diameter, and the number of outlets was 10. Furthermore, aiming to obtain the best parameters of the rear transverse sealing, the outlet pressure of the

收稿日期: 2020-01-20 修回日期: 2020-03-24
基金项目: 国家自然科学基金项目(31901824)、天津市自然科学基金项目(19JCQNJC13600)和天津市教委科研计划项目(2018KJ120)
作者简介: 郑兆启(1989—),男,讲师,博士,主要从事食品和包装技术与装备研究,E-mail: zhengzhaoqi@tust.edu.cn
通信作者: 李占勇(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事农产品和食品加工技术与装备研究,E-mail: zyl@tust.edu.cn

rear up wind box, the pressure of the horizontal air outlet of the lower wind box, the distance between the lower folding mechanism and the bottom of the packaging box were chosen as the experimental factors, and the transverse sealing rate was selected as the experimental index. Through the experimental research and the result analysis, the optimal aggregative index could be obtained under the condition that the outlet pressure of the rear up wind box was 113.3 Pa, the pressure of the horizontal air outlet of the lower wind box was 85 Pa, the distance between the lower folding mechanism and the bottom of the packaging box was -3 mm. By verification of experiment, the maximum value of the transverse sealing rate was up to 99%, and the transverse sealing effect was flat and beautiful, which indicated that pneumatic transverse sealing device could satisfy operation demand of the fresh food packaging machine.

Key words: fresh food packaging machine; pneumatic; ultrathin self-adhesive film; transverse sealing device

0 引言

目前,生鲜食品包装基本采用托盘和超薄自粘膜作为包装材料,托盘承载生鲜食品,使用超薄自粘膜裹膜,超薄自粘膜具有质量轻、成本低、透明度高等优点。普通自动包装设备使用的包装膜厚度一般为 25 ~ 80 μm ,而超薄自粘膜(PVC、PE 等)厚度为 9 ~ 13 μm ,远低于普通包装膜。特别是超薄自粘膜还具有高粘性、易变形、易撕裂等特性,目前国内普通自动包装设备无法使用超薄自粘膜进行包装。

横封装置是包装机核心机构之一,决定物品包装的横封质量^[1-2],普通包装机横封装置无法使用超薄自粘膜进行裹膜包装^[3-6]。发达国家在使用超薄自粘膜进行生鲜食品机械化包装方面取得了一些成果。意大利 FABBRI 和西班牙 ULMA 等企业研制了四折模板式生鲜食品包装机横封装置,该装置属于裹包机,其原理是将生鲜食品放置在包装盒内,由保鲜膜覆盖食品及包装盒,包装盒由底部上升,接触到保鲜膜后机械式折叠板相向运动,完成纵封、横封,实现包装物的包裹^[7-10]。该装置使用伺服电机数量超过 10 个,其电气控制复杂,造价高昂。日本大森公司研发了负压式生鲜食品包装机横封装置,该装置采用纯机械或机械和负压相配合的横封、纵封方式,其稳定性较差^[11-13]。目前,国内基本采用手工或简易封口机进行超薄自粘膜包装,超薄自粘膜机械化包装尚处于研究起步阶段^[14-17]。

基于超薄自粘膜的特点,本文设计一款气力式超薄自粘膜横封装置,该装置利用气力和机械结构实现超薄自粘膜横封。使用上风盒、下风盒、滚轮等作为折膜动力部件,对超薄自粘膜折膜过程进行受力分析,研究影响折膜作业的关键因素;利用 Fluent 软件对关键部件进行结构参数优化;基于气力式超薄自粘膜横封装置试验台进行横封试验,利用响应曲面法优化性能参数,以期获得最佳参数组合。

1 横封装置结构与工作原理

1.1 结构组成

针对超薄自粘膜的材料特性,设计了一款气力式超薄自粘膜横封装置,超薄自粘膜横封装置结构如图 1 所示,主要由立式输送带、两个上风盒(前后平行布置)、下折膜机构(包含小型滚轮、下风盒和气缸)、切断机构和无动力托辊等组成。超薄自粘膜材料使用 9.5 μm 聚氯乙烯(Polyvinyl chloride, PVC)膜,包装用托盘使用聚丙烯(Polyethylene, PP)盒^[18-20],利用包装盒承载生鲜食品,用 PVC 膜对其进行裹包包装。立式输送带对称布置,位于机架的中轴线上,用于包装盒和包装物料的输送;切断机构位于机架中上部,主要执行包装盒之间保鲜膜的切断;无动力托辊位于机架尾部,支撑包装物料;上风盒和下折膜机构位于切断机构两侧,通过气力和机械结构复合运动,完成超薄自粘膜的横封作业。

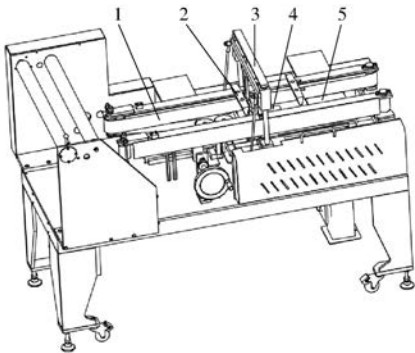


图 1 超薄自粘膜横封装置结构示意图
Fig. 1 Structure diagram of transverse sealing device for ultrathin self-adhesive film

1. 立式输送带 2. 上风盒 3. 切断机构 4. 下折膜机构 5. 无动力托辊

1.2 工作原理

超薄自粘膜横封装置工作原理如图 2 所示。横封作业前,两个包装盒 a 和 b 通过纵封机构使用超薄自粘 PVC 膜裹成筒^[13],两个包装盒之间间隔 200 mm。两个裹膜包装盒通过立式输送带向切刀

方向输送,当切刀位于两个包装盒中间位置时,立式输送带停止输送,切断机构切断包装膜。前后布置的两个上风盒出风口垂直向下,吹动 PVC 膜,分别保证两个包装盒 a 和 b 边沿的 PVC 膜垂直向下,完成包装盒的后部横封和前部横封。对于包装盒 b 需完成后部横封,此时立式输送带停止运送,下折膜机构由气缸带动下风盒向包装盒底部运动,下风盒上表面安装小型滚轮,推动 PVC 膜横封,同时下风盒水平方向出风口将 PVC 膜吹向盒底,配合滚轮横封过程,下风盒上部小孔出风,辅助横封,保证 PVC 膜有效粘在包装盒底部。气缸收缩运动时,下折膜机构与 PVC 膜反向运动,利用下风盒水平出风口吹风,防止 PVC 膜被下折膜机构带回,完成包装盒 b 的后部横封。包装盒 a 需完成前部横封,此时立式输送带拖动包装盒向前输送,通过刮板实现包装盒 a 的前部横封,完成一个横封作业循环过程。

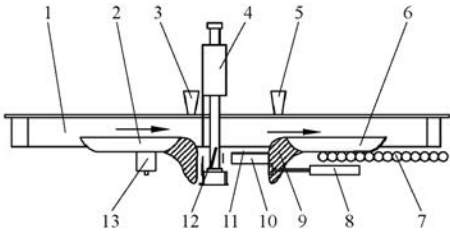


图2 横封装置工作原理图

Fig. 2 Principle diagram of transverse sealing device
1. 立式输送带 2. 包装盒 a 3. 前上风盒 4. 切断机构 5. 后上风盒 6. 包装盒 b 7. 无动力托辊 8. 气缸 9. PVC 膜 10. 下风盒 11. 小型滚轮 12. 刮板 13. 纵封机构

2 力学分析

2.1 前部横封力学分析

前部横封装置初始状态时,PVC 膜受力分析如图 3a 所示,PVC 膜主要受力有前上风盒的风力 F_1 、通过输送带带动的推力 F_2 以及自身重力 G 。当下刮板运动到包装盒底部时,PVC 膜受力分析如图 3b 所示,PVC 膜通过刮板时会受到拉力 F_3 ,利用刮板实现前部横封。

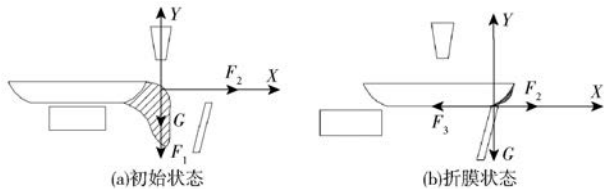


图3 前部横封 PVC 膜受力分析简图

Fig. 3 Diagram of force on PVC film of front transverse sealing

前部横封 PVC 膜受力公式为

$$F_1 = p_1 S_1 \tag{1}$$

$$F_2 = \mu_1 F_N \tag{2}$$

$$F_3 = \mu_2 F'_N \tag{3}$$

式中 p_1 ——前上风盒压强,Pa
 S_1 ——PVC 膜受前上风盒风力的面积,m²
 μ_1 ——输送带和 PVC 膜之间的静摩擦因数
 F_N ——输送带和 PVC 膜之间压力,N
 μ_2 ——输送带和 PVC 膜之间的动摩擦因数
 F'_N ——刮板和 PVC 膜之间压力,N

由于立式输送带可有效实现包装盒的夹紧,提供足够压力,包装盒 PVC 膜实现前部横封的关键因素为确定前上风盒的压强 p_1 ,试验过程中发现,为保证前部横封稳定性,包装盒输送带速度也是关键因素,经试验研究确定,前上风盒出风口尺寸为长 160 mm,宽 2 mm,在前上风盒压强 120 Pa,输送带速度 0.25 m/s 情况下可较好完成前部横封作业,经过三维建模和 3D 打印制成前上风盒,其结构如图 4 所示,由于作用条件一致,前上风盒和后上风盒采用同样结构参数。

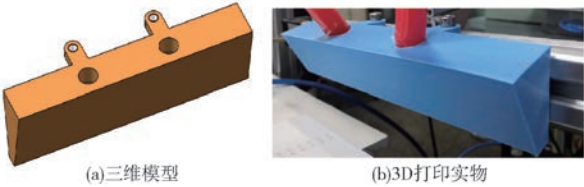


图4 上风盒结构图

Fig. 4 Structural diagrams of up wind box

2.2 后部横封力学分析

超薄自粘膜横封作业的主要难点在后部横封过程。后部横封装置初始状态时,PVC 膜受力分析如图 5a 所示,PVC 膜主要受力有后上风盒的风力 F_4 、下折膜机构气缸的推力 F_5 和下风盒水平方向风力 F_6 ,以及自身重力 G 。当下折膜机构运动到包装盒底部时,PVC 膜受力分析如图 5b 所示,此时 PVC 膜主要受力有后上风盒的风力 F_4 、下折膜机构气缸的推力 F_5 、下风盒水平方向风力 F_6 、竖直方向向上的风力 F_7 以及自身重力 G 。

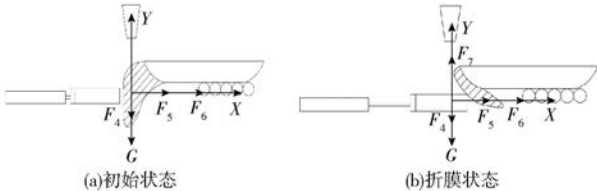


图5 后部横封 PVC 膜受力分析简图

Fig. 5 Diagram of force on PVC film of rear transverse sealing

后部横封 PVC 膜受力公式为

$$F_4 = p_2 S_2 \tag{4}$$

$$F_6 = p_3 S_3 \tag{5}$$

$$F_7 = p_4 S_4 \tag{6}$$

式中 p_2 ——后上风盒压强,Pa

S_2 ——PVC 膜受后上风盒风力的面积, m^2
 p_3 ——下风盒水平出风口压强, Pa
 S_3 ——PVC 膜受下风盒水平出风口风力的面积, m^2
 p_4 ——下风盒上出风口压强, Pa
 S_4 ——PVC 膜受下风盒上出风口风力的面积, m^2

则 PVC 膜受到的两个方向上合力为

$$\begin{cases} F_X = F_5 + F_6 \\ F_Y = F_4 + G - F_7 \end{cases} \quad (7)$$

由以上力学性能分析可知,包装机进行后部横封时,需要垂直方向作用力 F_Y 改变 PVC 膜的方向,使 PVC 膜垂直向下,为后部横封做准备,再通过水平方向作用力 F_X 进行折膜横封。后上风盒和下风盒的结构参数对 PVC 膜后部横封具有重要影响,后上风盒结构参数在 2.1 节中已经经试验分析确定,由于下风盒结构复杂,需进一步分析优化。

3 流场仿真与分析

由于下风盒具有复杂开孔结构,因此对其进行流场仿真优化分析,以优化下风盒结构参数。经前期预试验,下风盒在工作过程中,其进风口和下风盒风腔高度对下风盒整体压强分布具有重要影响;另一方面下风盒水平方向的出风口,不仅吹动包装盒侧面的 PVC 膜,减少 PVC 膜皱缩,保证横封的平整度和美观度,同时辅助气缸进行横封作业,也具有重要作用。因此,选取对试验指标影响较为显著的下风盒进风口结构、下风盒风腔高度、水平出风口(水平出风口个数和水平出风口直径)为试验因素,进行单因素流场仿真与分析试验。

3.1 流场数学模型

下风盒为下折膜机构的重要部件,利用 SolidWorks

软件对下风盒内部风腔进行三维建模,如图 6 所示,利用 Fluent 软件对其进行流体仿真^[21-23]。

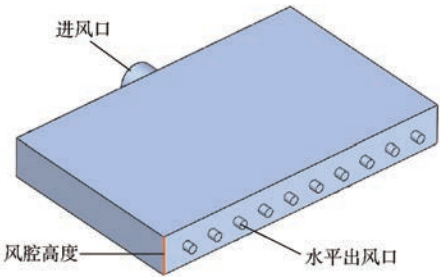


图 6 下风盒风腔模型

Fig. 6 Lower wind box air cavity model

下风盒进风口工作状态为:工作介质为空气,压强为 101.235 kPa,空气密度为 1.2 kg/m^3 ,空气流速为 62 m/s 。下风盒进风口为圆形截面,直径 11.3 mm ,雷诺数为 4.7×10^4 ,因此下风盒内部气体流场为湍流,下风盒仿真使用 Standard $k - \epsilon$ 湍流模型进行流场计算,其通用形式为

$$\frac{\partial(\rho\varphi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\delta\varphi) = \text{div}(\Gamma\text{grad}\varphi) + S \quad (8)$$

式中 φ ——通用传输量
 ρ ——流体密度
 Γ ——广义扩散系数
 δ ——流体速度矢量
 S ——广义源项

3.2 仿真分析

3.2.1 进风口对下风盒流体特性的影响

为满足横封工作需要,对下风盒进风口进行设计。针对进风口位置的不同,设计了 3 种结构形式,分别为进风口位于下风盒的底部;进风口位于下风盒侧面;进风口位置和水平方向出风口位置对称布置,以期获得最优的布风效果。

模拟工况下不同进风口位置仿真云图如图 7 所示。由仿真结果可得,底部进风口和侧面进风口时,

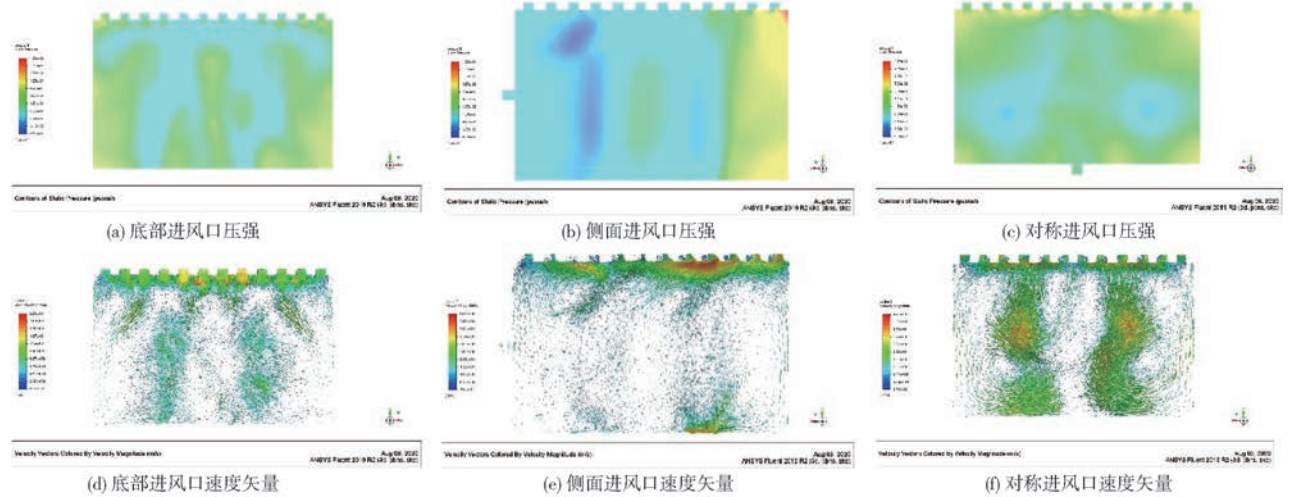


图 7 不同进风口位置仿真云图

Fig. 7 Simulation cloud diagrams of different air inlet positions

虽然进风、出风距离最近,但出风口压强分布不均匀,差值较大。为满足横封工作,要求下风盒的水平出风口压强均匀。对称结构设计时,出风口压强均匀且水平出风口压强偏高,为理想效果。因此选择进风口位置和水平方向出风口位置对称布置结构形式。

3.2.2 风腔高度对下风盒流体特性的影响

以下风盒风腔高度为变量,根据总体结构空间设计要求,选取下风盒风腔高度分别为 12、13、14、15、16 mm,保持下风盒水平出风口个数和水平出风口直径不变,建立下风盒风腔模型。利用 Fluent 软件进行仿真,仿真结果显示下风盒的风腔高度为 12 ~ 16 mm 时下风盒水平出风口压强基本稳定在 1 000 Pa,压强变化较小。因为下风盒由 3D 打印制造,存在制造误差,为保证风压稳定,风腔高度选取中间值 14 mm。

3.2.3 水平出风口参数对下风盒流体特性的影响

以下风盒水平出风口个数和水平出风口直径两个因素为变量进行单因素试验,对下风盒水平出风口参数进行优化。

以下风盒水平出风口直径为变量,选取下风盒水平出风口直径分别为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mm,保持下风盒水平出风口个数和下风盒风腔高度不变,利用 Fluent 软件对三维模型进行仿真,仿真结果如图 8 所示,随出风口直径增大下风盒水平出风口静压先上升然后趋于平稳。在下风盒水平出风口

直径为 2.0 ~ 3.0 mm 时水平出风口静压较大,为 954 ~ 1 028.5 Pa,在此范围内压强变化较小,趋于稳定。由于出风口直径越大,出风口的风量越大,同时小型通孔出风口直径越大加工难度越小,因此选择下风盒水平出风口直径为 3 mm。

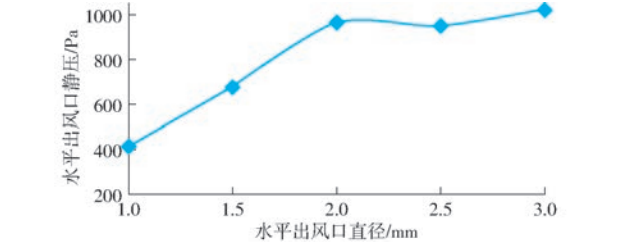
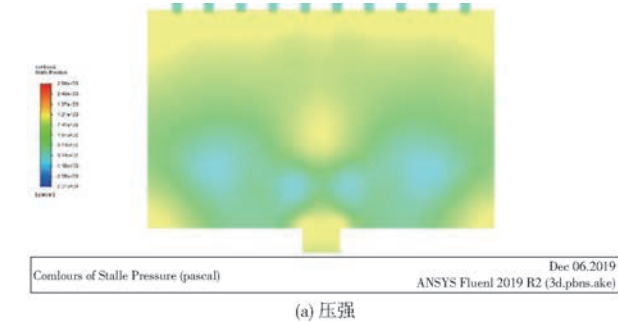


图 8 不同水平出风口直径时出风口静压变化曲线

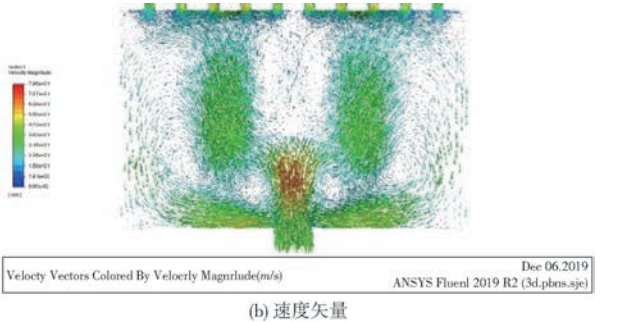
Fig. 8 Impact of diameter of horizontal air outlet on air pressure

以下风盒水平出风口个数为变量,选取下风盒水平出风口个数为 7、10、13,保持下风盒水平出风口直径和下风盒风腔高度不变,利用 Fluent 软件对三维模型进行仿真。仿真结果显示下风盒水平出风口个数为 7、10、13 时,出风口压强分别为 1 026.7、1 028.5、938 Pa,因此选取下风盒水平出风口个数为 10 个。

结合仿真结果,设置下风盒风腔模型的最优参数为:进风口位置和水平方向出风口位置对称布置,风腔高度 14 mm、水平出风口直径 3 mm、水平出风口个数 10 个时,可获得最大出风口压强,布风均匀,下风盒仿真云图如图 9 所示。



(a) 压强



(b) 速度矢量

图 9 下风盒仿真云图

Fig. 9 Simulation cloud diagrams of lower wind box

4 后部横封试验

4.1 设备与材料

试验采用自行设计的试验台架,如图 10 所示,由下风盒、后上风盒、变频器(SIEMENS-6SE6440-2UD21-5AA1)、风机(RB-41D-1, 380 V, 0.75 kW)、空气压缩机(230V-AC-50Hz)、气缸(SNS CYLINDER 20X80-S)及电气控制元件组成。其中后上风盒和下风盒为 3D 打印制成;空气压缩机为下折膜机构提供动力,推动气缸运动;后上风盒

和下风盒配有风机,风机转速由变频器进行控制;风盒出风口压强由风压计测定。

试验材料为包装机使用的 PP 托盘(1910)和 PVC 保鲜膜(恩希爱 M-350),包装物品为市场采购的番茄。

4.2 试验方法与指标

生鲜食品包装机后部横封作业时,立式输送带停止输送,后上风盒和下折膜机构配合完成折膜及 PVC 膜平整是主要难点。后上风盒和下折膜机构相互配合,完成横封作业的同时,保证生鲜食品包装

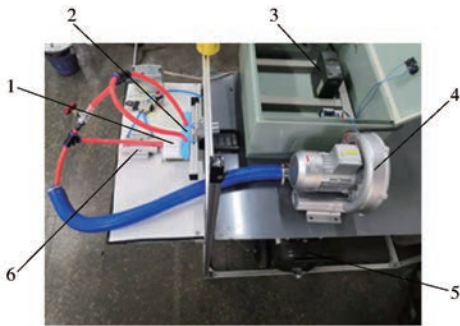


图 10 试验台

Fig. 10 Test bench

1. 下风盒 2. 后上风盒 3. 变频器 4. 风机 5. 空气压缩机
6. 气缸

完好,PVC 膜包裹美观。结合预试验结果,后上风盒的出风口压强和下风盒水平出风口压强是实现横封的关键因素,对横封效果影响较大,并且在利用试验台进行试验过程中发现,包装盒底部与下折膜机构的折膜间距对横封效果影响很大,如图 11 所示。

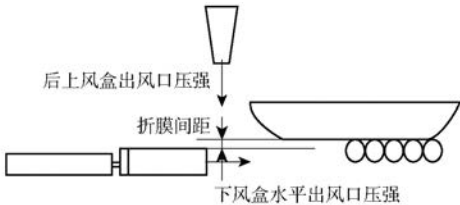


图 11 影响因素示意图

Fig. 11 Influencing factors schematic

为了深入研究各因素对横封装置横封效果的影响,选用后上风盒出风口压强、下风盒水平出风口压强、下折膜机构相对于包装盒底部折膜间距(以下简称折膜间距)3 个因素进行试验分析。

采用横封率 y 作为试验指标,托盘后部横封率为

$$y = \frac{n}{N} \times 100\% \tag{9}$$

式中 n ——包装机作业后托盘后部横封成功的托盘数量,个

N ——包装机作业后总的托盘数量,个

4.3 试验方案及结果分析

采用正交组合试验设计方法安排试验,以托盘后部横封率为评价指标,三因素三水平的试验因素见表 1 (折膜间距为负值表示过盈配合)。采用 $L_9(3^3)$ 正交表,每组试验重复 10 次,结果取平均值,得出每组横封率,试验设计^[24-25]及结果见表 2。利用 Minitab 软件对试验结果进行数据分析,以确定试验指标在不同试验因素水平组合下的变化规律。

经过方差分析,回归模型误差占总误差的百分比为 97.05%,说明回归方程拟合较好,可进行显著性检验。横封率的试验结果方差分析如表 3 所示,

表 1 试验因素水平

Tab.1 Factors and levels of experiment

水平	因素		
	后上风盒出风口	下风盒水平出风口	折膜间距 x_3 /
	压强 x_1 /Pa	压强 x_2 /Pa	mm
1	60	45	-3
2	90	65	0
3	120	85	3

表 2 试验设计与结果

Tab.2 Experimental design and results

试验号	因素			y /%
	x_1 /Pa	x_2 /Pa	x_3 /mm	
1	60	45	3	30
2	60	65	0	30
3	60	85	-3	40
4	90	45	0	70
5	90	65	-3	90
6	90	85	3	80
7	120	45	-3	99
8	120	65	3	80
9	120	85	0	90

表 3 横封率方差分析

Tab.3 Variance analysis of transverse sealing ratio

来源	自由度	平方和	均方	F	p
回归	3	5 718. 4	1 906. 13	54. 90	<0. 000 1
x_1	1	1 467. 8	1 467. 85	42. 27	0. 001
x_1x_3	1	273. 7	273. 72	7. 88	0. 038
x_1^3	1	684. 5	684. 50	19. 71	0. 007
误差	5	173. 6	34. 72		
合计	8	5 892. 0			

取 $\alpha = 0. 05$, x_1 、 x_1x_3 、 x_1^3 对横封率影响极显著,其余因素对试验指标横封率的影响不显著。剔除不显著项后,得到各因素对横封率 y 的回归方程为

$$y = -121. 7 + 2. 857x_1 - 0. 024\ 14x_1x_3 - 0. 000\ 076x_1^3 \tag{10}$$

通过对式(10)回归系数的检验可以得出,影响横封率指数的因素主次顺序为:后上风盒出风口压强、折膜间距、下风盒水平出风口压强。

4.4 响应面优化

通过 Minitab 软件对数据处理,得出各因素对试验指标横封率 y 的响应曲面。后上风盒出风口压强和折膜间距两因素的交互作用对横封率 y 的影响如图 12 所示,当折膜间距一定时,横封率 y 随着后上风盒出风口压强的增加呈现先逐渐增加后逐渐减小的趋势;当后上风盒出风口压强一定时,横封率 y 随着折膜间距的减小呈现逐渐增加的趋势,且趋于平稳。

通过 Minitab 软件对响应曲面分析,得出后上风

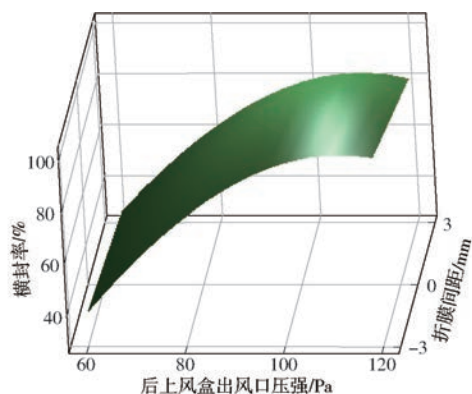


图12 横封率响应曲面

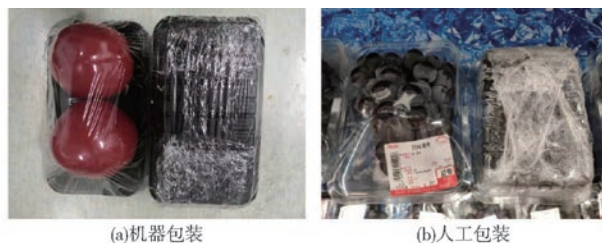
Fig. 12 Response surface analysis graph of transverse sealing ratio

盒出风口压强最佳参数为 113.3 Pa, 折膜间距最佳参数为 -3 mm, 横封率的拟合值为 99.5%。下风盒水平出风口压强对横封率的影响较小, 但可在折膜过程中通过吹膜促使 PVC 膜保持平整和减少褶皱, 对保持横封作业产品的美观有重要作用, 结合前期试验, 下风盒水平出风口压强参数选用 85 Pa。

4.5 试验验证

验证试验的试验条件和试验测试方法与前文所述相同, 使用最佳模型参数对试验台进行改进, 经 200 次试验验证, 横封率可以达到 99%, 满足生鲜食品包装机的横封作业要求。将本文设计的横封装置横封作业效果与在超市中人工包装的效果进行对比, 如图 13 所示。从图中可以看出, 人工包装的产品背面, PVC 膜撕扯痕迹明显, PVC 膜使用量较多, 而且 PVC 膜在包装盒底部呈不均匀分布状态, 没有完全贴合包装盒, 包装效果较差; 使用气力式折膜横

封装置横封的包装产品, PVC 膜分布整齐, PVC 膜使用量相对较少, 形态美观, 包装效果较好。



(a) 机器包装 (b) 人工包装

图13 机器和人工包装效果对比

Fig. 13 Effect comparison of machine and manual packaging

5 结论

(1) 设计了一种气力式超薄自粘膜横封装置, 该装置主要由立式输送带、前后平行布置的两个上风盒、下折膜机构、切断机构和无动力托辊等组成, 采用了气力和机械结构结合的横封方式。

(2) 通过理论研究和 Fluent 模拟分析了下风盒结构, 得到最优参数为: 下风盒进风口位置和水平方向出风口位置对称布置、风腔高度 14 mm、水平出风口直径 3 mm、水平出风口个数 10 个。

(3) 以后上风盒出风口压强、下风盒水平出风口压强、下折膜机构与包装盒底部折膜间距为试验因素, 以托盘后部横封率为试验指标进行了正交组合试验。经试验和结果分析, 得到最佳参数组合为: 后上风盒出风口压强 113.3 Pa、下风盒水平出风口压强 85 Pa、下折膜机构与包装盒底部折膜间距为 -3 mm。利用试验台进行试验验证, 在最佳参数组合下横封率为 99%, 横封平整、美观, 满足包装作业要求。

参考文献

- [1] 卢立新. 包装机械概论[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- [2] 杨良渠, 杜力. 包装机械原理与设计[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2014.
- [3] ISHIDA Co. Ltd. Transverse sealing mechanism for bag-manufacturing and packaging machine and bag-packaging machine equipped therewith; US, 7171795B2[P]. 2007-02-06.
- [4] HERRMANN Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG. Ultrasonic treatment device and transverse sealing sonotrode for the same; US, 9056427B2[P]. 2015-06-16.
- [5] ROBERT Bosch GmbH. Horizontal transverse sealing unit; US, 9266636B2[P]. 2016-02-23.
- [6] 孟康, 陈田, 吴入军. 枕式包装机的纵封-横封机构设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(3): 12-14.
MENG Kang, CHEN Tian, WU Rujun. Vertical seal-horizontal mechanism design of pillow packaging machine[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2018, 56(3): 12-14. (in Chinese)
- [7] WALDYSSA S A. Method and apparatus for wrapping articles in stretchable sheet material; US, 3662513[P]. 1972-05-16.
- [8] ULMA C, COOP S. Machine for wrapping products with an extensible film; European, 1036738A1[P]. 2000-09-20.
- [9] 高国华, 马帅. 曲柄滑块滚轮滑槽用于蔬菜封膜装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 9-16.
GAO Guohua, MA Shuai. Simulation and test of film sealing device for tray packaged vegetables preservation based on crank-slider mechanism and roller chute mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(5): 9-16. (in Chinese)
- [10] 温州质为机械有限公司. 一种托盘保鲜膜包装机: 201611112507.1[P]. 2016-12-07.
- [11] OMORI S. Method for automatically packing goods; US, 3973372[P]. 1976-08-10.
- [12] 中国包装和食品机械有限公司. 一种自动保鲜膜包装机: 201521108458.5[P]. 2015-12-28.

- [13] 郑兆启,马季威,杜志龙,等. 负压式生鲜食品包装机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(1):344-351. ZHENG Zhaoqi, MA Jiwei, DU Zhilong, et al. Design and experiment on fresh food packaging machine with negative pressure[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1):344-351. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180143&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.043. (in Chinese)
- [14] 雄县丽亚包装材料有限公司. 一种小型保鲜膜包装机:201820547961.8[P]. 2018-04-18.
- [15] 徐灿. 水培生菜自动包装装置的设计与研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019. XU Can. Design and research of automatic packaging device for hydroponic lettuce[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019. (in Chinese)
- [16] 深圳市创智联科技发展有限公司. 一种保鲜膜包装机上结构改进的切断装置:201910030160.3[P]. 2019-01-14.
- [17] 马义东,王明辉,崔永杰,等. 水培生菜自动纵向包装装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(9):113-121. MA Yidong, WANG Minghui, CUI Yongjie, et al. Design and test of automatic machine for hydroponic lettuce longitudinal packaging[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9):113-121. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20190913&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.09.013. (in Chinese)
- [18] 陈乐. 食品包装保鲜膜的选用[J]. 食品安全导刊,2017(30):46. CHEN Le. Selection of food packaging wrap film[J]. China Food Safety Magazine, 2017(30):46. (in Chinese)
- [19] ZALEWSKA M, MARCINKOWSKA-LESIAK M, ONOPIUK A, et al. Modified atmosphere packaging for extending the shelf life of fresh *Agaricus bisporus*[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(12):1-9.
- [20] DONG Z, LUO C, GUO Y, et al. Characterization of new active packaging based on PP/LDPE composite films containing attapulgite loaded with allium sativum essence oil and its application for large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillets[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 20:1-10.
- [21] YANG S, LI X, YANG C, et al. Computational fluid dynamics simulation and experimental measurement of gas and solid holdup distributions in a gas-liquid-solid stirred reactor[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2016, 55(12):3276-3286.
- [22] 杨风波,张玲,薛新宇,等. 果园风送喷雾机气助式喷头风力性能数值模拟与试验[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(6):38-47. YANG Fengbo, ZHANG Ling, XUE Xinyu, et al. Numerical simulation and test of wind performance of gas spray nozzle for orchard air-assisted sprayer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6):38-47. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180605&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.005. (in Chinese)
- [23] 高筱钧,徐杨,贺小伟,等. 气送式高速玉米精量排种器导流涡轮设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(11):42-52. GAO Xiaojun, XU Yang, HE Xiaowei, et al. Design and experiment of diversion turbine of air-assisted high speed maize precision seed metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(11):42-52. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20191105&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.11.005. (in Chinese)
- [24] 迟媛,李蒙福,杨月斌,等. 禽蛋壳膜旋风式气流清选装置研究[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(8):339-350. CHI Yuan, LI Mengfu, YANG Yuebin, et al. Cyclone device collecting eggshell membranes and eggshells separately from eggshells mixture[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8):339-350. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190837&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.037. (in Chinese)
- [25] 吕金庆,王鹏榕,杨晓涵,等. 舀勺式马铃薯播种机排种器清种装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(7):51-60. LÜ Jinqing, WANG Pengrong, YANG Xiaohan, et al. Design and experiment of seed-clearing device for cup-belt type potato seed-metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(7):51-60. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190705&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.005. (in Chinese)