

球形水果塑料发泡网套包装机设计与试验

徐勤超, 陈红*, 潘海兵, 李善军

(华中农业大学工学院, 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070)

摘要:塑料发泡网套能有效降低运输过程中水果发生机械损伤的概率。为了解决球形水果塑料发泡网套自动包装的问题,在分析苹果和脐橙等主要球形水果生物力学特性的基础上,提出一种柔性扩膜锥体扩膜、倒刺卡筒下膜的球形水果网套包装工艺方案,并确定了机器关键部件结构参数,设计了部件组合运行控制时序,加工了试验样机。30个苹果样本包装试验,包装成功率100%,损伤率0,平均单果包装时间25 s,工作效率35 kg/h,下膜长度主要分布在104~110 mm范围内,约占样本总数的76.6%。试验结果表明,样机机构设计合理性,结构紧凑,球形水果果面包覆完整,可实现连续包装功能,但是机器作业效率低于人工效率,需要优化包装流程,采用多组同时包装的方式提高效率。研究结果可为后续球形水果网套包装设备的研制和优化提供参考。

关键词:包装;水果;发泡网套;时序控制;包装机械

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.007

中图分类号: TP241.3; S225.93

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-19-0056-06

徐勤超, 陈红, 潘海兵, 李善军. 球形水果塑料发泡网套包装机设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 56—61. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.007 <http://www.tcsae.org>

Xu Qinchao, Chen Hong, Pan Haibing, Li Shanjun. Design and test of foam net packing machine for spherical fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(19): 56—61. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.007 <http://www.tcsae.org>

0 引言

塑料发泡网套能有效降低运输过程中球形水果发生机械损伤的概率,而且材料成本低^[1-3]。目前市场上几乎没有水果网套自动包装的机器。苹果、脐橙等球形水果的网套包装只能通过人工的方式进行。而人工包装劳动强度大,效率低,不能满足现代农业生产的需要^[4-5]。为了解决这一问题,急需研制一种能对苹果、脐橙等球形水果进行自动快速网套包装的机器。

国外在果蔬包装机械方面研究起步较早,设备大多针对多种对象进行包装,自动化程度比较高,速度快,而且维修方便^[6-15]。而国内果蔬包装设备的研究起步较晚,其技术含量也在逐渐提高,自动化趋势愈加显著^[16-24]。赵宁等^[25]设计了一种球形水果自动包装机,采用“水平送料,长卷包装,横纵封口”的包装技术,可以实现普通卷筒膜的自动制袋、高质薄膜的单个封口功能,智能化程度较高。李如虎等^[26]设计了一套对柚子进行清洗、分级和包装的自动包装生产线,可实现全过程自动化处理。2016年由江西绿萌科技有限公司生产一种XB-3220大型水

果自动包装机,其优点是既能对水果进行套袋包装,也可以对水果进行套网包装,但是套网包装连续性较低,包装效果差。

本文在分析苹果和脐橙生物力学特性的基础上,提出了一种柔性扩膜锥体扩膜、倒刺卡筒下膜的包装工艺方案,确定了关键部件结构参数,设计了部件组合运行控制时序,并加工了试验样机,样机机构设计合理性。

1 球形水果网套包装机的组成与工作原理

1.1 球形水果网套包装机的组成

球形水果网套包装机外形尺寸为800 mm×526 mm×1 240 mm,采用步进电机驱动,滚珠丝杠和同步带线性模组传动。其主要由主机架、网套膜转盘、进料装置、下膜装置、扩膜装置、切膜装置和出料滑道等部分组成,具体结构如图1。

主机架由40 mm×40 mm×3 mm的方管焊接而成,其他部件通过螺栓连接固定在机架上。扩膜锥体固定在竖直固定在滚珠丝杠滑台上;倒刺下膜卡筒、托盘、水果分离装置相互固连,整体构成悬臂结构,由滚珠丝杠滑台驱动;夹子与舵机相连,舵机可带动夹子夹紧与闭合;推切机构固定在水平滚珠丝杠滑台上。动作部件的位置控制通过固定在机架上的霍尔传感器实现。

1.2 球形水果网套包装机的工作原理

球形水果网套包装机启动前,夹子处于张开状态,扩膜锥体在上止点并支撑扩膜圆柱筒,下膜卡筒和托盘在上止点。开启机器,下膜卡筒、托盘向下运动,下膜卡筒内壁的倒刺勾住网套沿下膜卡筒和扩膜锥体运动,托

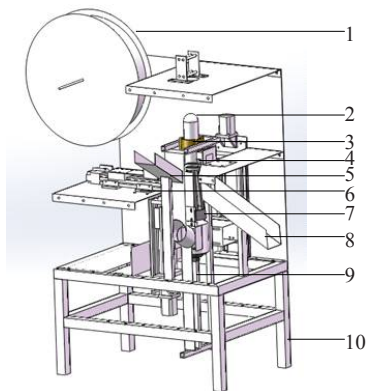
收稿日期:2019-05-19 修订日期:2019-09-11

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(2662019PY064);湖北省自然科学基金项目(2017CFC815)

作者简介:徐勤超,博士,讲师,主要从事农业装备及贮藏环境调控研究。Email:hlxqc@mail.hzau.edu.cn

※通信作者:陈红,博士,副教授,主要从事水果生产机械化技术与装备研究。Email:chenhong@mail.hzau.edu.cn

盘向下运动到下止点时,水果从分离装置进入托盘。夹子闭合,夹住网套及扩膜圆柱筒,扩膜锥体下降从扩膜圆柱筒下端移出。托盘将水果托送至扩膜锥体内的固定位置,同时下膜卡筒向上复位。扩膜锥体下降,由于锥片为柔性材料,水果撑开锥体进入网套中。推切机构向右运动,电热丝切断网套,已包好的水果顺势沿滑道滑出。最后,扩膜锥体复位,运动至扩膜圆柱筒孔中,支撑扩膜圆柱筒,夹子张开。具体包装工艺流程如图2。



1. 网套膜转盘 2. 扩膜圆柱筒 3. 下膜卡筒 4. 夹子 5. 进料装置 6. 切膜装置 7. 扩膜锥体 8. 出料滑道 9. 果料托盘 10. 主机架
1. Foam nets turntable 2. Foam nets expanding cylinder 3. Inverted pricking chuck 4. Clip 5. Inlet 6. Punching device 7. Expandable cone 8. Outlet 9. Tray 10. Frame

图1 球形水果网套包装机结构简图

Fig.1 Structural of spherical fruit netting packaging machine

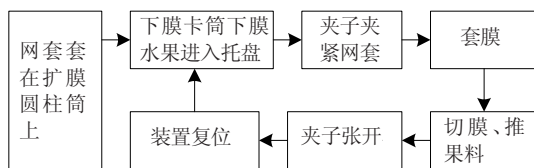


图2 球形水果网套包装工艺流程

Figure.2 Package process for for spherical fruit

2 包装机关键部件设计

2.1 球形水果力学特性分析

为了确定网套包装机,利用高度尺(量程为0~250 mm,精度为0.02 mm)对市场上随机选取的30个红富士苹果样品和30个赣南脐橙样品的果径、果高进行了测量。结果表明,脐橙样品的果高主要分布在80~100 mm区间范围内,最大值为118.22 mm;果径主要分布在75~85 mm之间,最大值为90 mm;苹果样品果高主要分布在77~83 mm范围内,最大值86.56 mm,果径主要分布在75~87 mm范围内,最大为95 mm。因此,样机设计主要针对果径范围为75~95 mm范围内的球形水果。

利用TMS-PRO质构仪(精度为0.01N)对样品的力学性能进行了测量^[27],部分结果如图3。通过测量,苹果样品的平均硬度为18.1N,最大不超过20N,脐橙挤压的屈服力在200~400N范围内,脐橙样品平均硬度为342.4N。因此网套包装机对苹果和脐橙作用力应小于其硬度要求。

2.2 扩膜锥体设计

扩膜锥体的主要作用是支撑扩膜圆柱筒、引导网套下膜、扩张网套。扩膜锥体结构设计为底座和锥片,具体结构如图4。

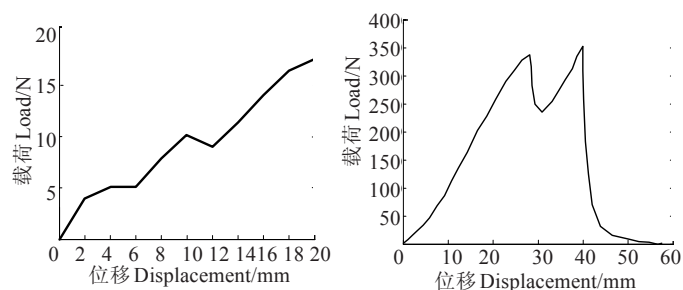


图3 测量载荷位移曲线

Fig.3 Force and displacement curves

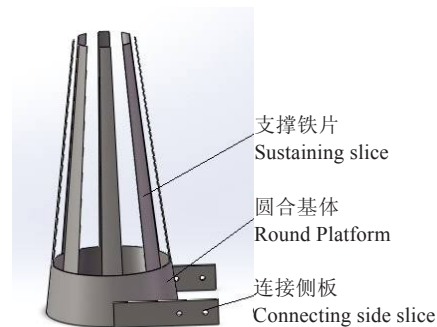


图4 扩膜锥体结构简图

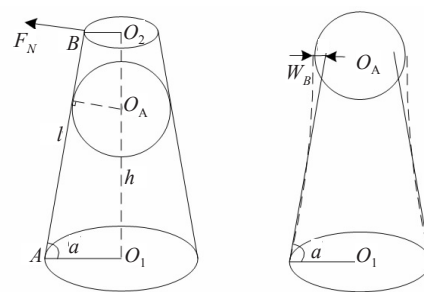
Fig.4 Structure of expandable cone

为了保证水果能从锥片中穿出,扩膜锥片必须具有一定柔韧性。因此把锥片的变形简化为细长悬臂梁,并对其挠曲变形进行分析。球形水果在向上运动过程中始终与锥片相切,对锥片的正压力 F_N 垂直于锥片,如图5a。

由于要保证水果不发生挤压损伤,极限正压力 F_N 应在水果屈服极限范围内。取极限正压力作用在锥片顶部进行计算。锥片上任一点的挠度 $w(x)$ 计算为:

$$w(x) = \frac{F_N}{EI} \left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) \quad (1)$$

式中 E 为锥片材料的弹性模量,MPa; I 为锥片材料的惯性矩, m^4 ; l 为锥片的长度,m; x 为锥片上任一点到固定端的距离,m。



a. 锥片未变形

b. 锥片最大变形

a. Undeformed cone

b. Maximum deformation of cone

注: F_N 为球形水果对锥片的正压力,N; l 为锥片的长度,m; h 为扩膜锥体的高度,m; α 为锥片倾斜的角度,rad; W_B 为锥片顶部的最大变形量,m; O_1 、 O_2 、 O_A 分别为锥体底面、顶面、球形水果的圆心位置; A 、 B 分别为锥片的两端。

Note: F_N is the normal pressure of spherical fruit on cone, N; l is the length of cone, m; α is the inclined angle of cone, rad; W_B is the maximum deformation at the top of the cone, m; O_1 , O_2 , O_A are the centers of cone bottom, cone top and spherical fruits respectively; A , B are the two ends of the cone.

图5 扩膜过程

Fig.5 Expansion of foam net

球形水果被推出扩膜锥体时(图5b)。锥片顶部的最大变形量 W_B 为:

$$W_B = R_A - R_2 \quad (2)$$

式中 R_A 为球形水果的半径, m ; R_2 为扩膜锥体顶面的半径,

$$R_2 = R_1 - \frac{h}{\tan \alpha}, \tag{3}$$

$$l = \frac{h}{\sin \alpha} \tag{4}$$

R_1 为扩膜锥体底面的半径, m ; h 为扩膜锥体高度, m ; α 为锥片倾斜的角度, rad 。

当球形水果半径 R_A , 扩膜锥体底面半径 R_1 和扩膜锥体高度 h 确定时, 通过式(1)~式(4)建立锥片倾斜角度和锥片材料参数之间的关系。通过设计计算确定扩膜锥体底面直径为 100 mm, 顶面直径为 50 mm, 锥体的高度为 110 mm, 8 片锥片材料为 0.3 mm 不锈钢。

2.3 扩膜圆柱筒设计

扩膜圆柱筒是包装机实现的关键部件之一, 主要将扁平的网套膜展开, 同时是网套膜向下运动时附着的载体, 具体结构如图 6。

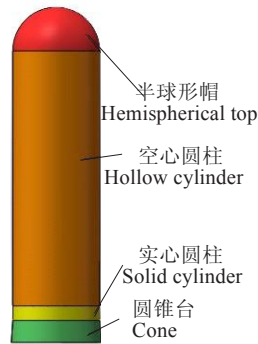


图 6 扩膜圆柱筒筒图
Fig.8 Foam nets expanding cylinder

在下膜过程中扩膜圆柱筒是由扩膜锥体伸进圆柱台支撑的, 锥片必须承受整个圆柱筒的重力以及下膜过程中网套膜与圆柱筒的摩擦力作用。由于锥片的挠性设计, 因此必须对锥片的承受能力进行校核, 才能保证扩膜圆柱筒的稳定性。

下膜时圆柱筒重量及网套膜与圆柱筒的摩擦力作用在锥片上, 且该力由锥体的 8 片不锈钢片共同承受, 锥片材料属性参考文献[28-29]。由于苹果样品最大硬度不超过 20 N, 所以作用在膜片上的力也应小于 20 N。在作用力为 20 N 时, 对扩膜圆柱筒的稳定性进行分析。采用有限元分析软件 ANSYS 进行计算, 扩膜锥体的应力应变计算结果如图 7。

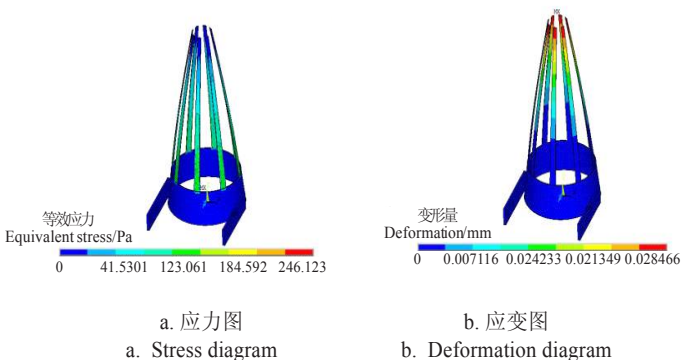
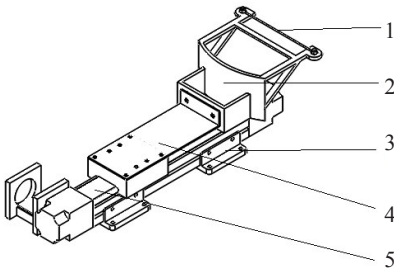


图 7 扩膜锥体应力应变图
Fig.7 Stress and deformation of expandable cone

结果显示, 在作用力为 20 N 时, 应力均匀分布在 8 片不锈钢上, 且在支撑铁片与圆台基体结合部位应力最大, 276.8 Pa 远小于材料的屈服强度, 而最大变形量在锥片顶部, 为 0.03 mm, 能够支撑整个圆柱筒, 保证圆柱筒的稳定。



1 电热丝 2 侧推架 3 固定底座 4 连接架 5 同步带滑轨
1. Electric heating wire 2. Pushing frame 3. Fixed base 4. Connecting frame 5. Synchronous belt slide
图 8 推切装置示意图
Fig.8 Punching device

2.4 下膜卡筒装置设计

下膜卡筒主要是将宽度为 7 cm 的成卷网套沿着扩膜圆柱筒向下拉动, 到达扩膜锥体的指定位置时, 完成下膜功能。同时在卡筒复位过程中, 卡筒与膜脱离, 不会带动膜运动。因此, 下膜卡筒设计为带有倒刺的内圆柱形状。根据扩膜圆柱筒套网套后的宽度确定下膜卡筒倒刺刺尖所组成的内包络线的直径为 68 mm。根据网套孔距的大小确定倒刺距轴向距离为 15 mm, 根据圆周方向的网孔数确定卡通内壁一圈倒刺个数为 16 个, 共设置 4 圈, 其高度为 80 mm, 内圈直径为 76 mm。

2.5 推切装置

推切装置的作用是将连续的网套包装膜按水果包装大小切断, 并将包装好的球形水果连同网套膜一起推出托盘。推切装置主要由电热丝、侧推架、底座、连接架和同步带滑台组成。同步带滑台带动推切装置做往复直线运动, 电热丝负责切断连续的网套膜, 侧推架则将包装有网套膜的水果推出托盘, 电热丝安装架两内侧边距离为 110 mm, 电热丝距离 U 形推板 80 mm, 具体结构如图 8。

电热丝的选择直接影响到发泡网套的切割效果, 为了有效的切割发泡网套, 电热丝的温度必须满足发泡网套的切割温度。电热丝的切割温度 T_2 为:

$$T_2 = T_1 + \frac{Q}{mc} \tag{5}$$

式中 T_1 为电热丝初始温度值, $^{\circ}C$; Q 为电热丝产生的热量, J ; m 为电热丝的质量, kg ; c 为电热丝比热容, $J/(kg \cdot ^{\circ}C)$ 。

由欧姆定律可知, 电热丝的发热量为:

$$Q = \frac{U^2}{R} t \tag{6}$$

式中 U 为电热丝两端电压, V ; R 为电热丝电阻, Ω ; t 为电热丝通电时间, s 。

通过计算, 推切装置电热丝为 0.2 mm, 两端的电压为 6V 时, 能够满足发泡网套的切割温度, 且切口平整, 受到的阻力较小。

3 包装机控制系统设计

球形水果网套包装机各部分动作由单片机控制电机实现。电机正反转带动滚珠丝杠和同步带的往复直线运动,实现包装机的下膜、扩膜、包装、切膜、推果等一系列的动作。控制系统硬件包括:控制扩膜锥体运动的滚珠丝杠滑台(型号KR100,行程200 mm);控制下膜卡筒和托盘的滚珠丝杠滑台(型号KR100,行程300 mm);控制夹子的舵机(型号RDS3115,堵转扭矩14.2 kg/cm);控制推切机构水平滚珠丝杠滑台(型号DSK45,行程200 mm);控制位置的霍尔传感器(型号NJK-5002C,检测距离10 mm,检测物体为磁铁,输出方式NPN)。具体控制时序如图9。

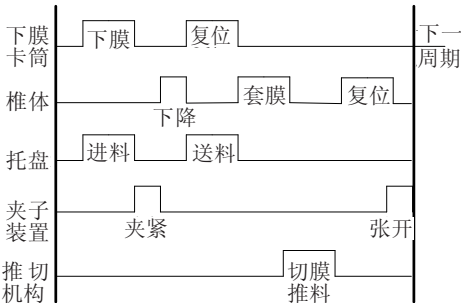


图9 包装机控制系统时序

Fig.9 Control system design of the packaging machine

4 样机试验

根据球形水果网套包装机关键部件及控制系统设计结果,加工了试验样机,如图10。通过实际包装试验,考核样机的包装功能,包装过程的可靠性、稳定性,并测试样机单果包装时间及整体工作效率。



图10 球形水果包装机样机

Fig.10 Spherical fruit packaging machine prototype

在市场上随机购买一批红富士苹果,选用30个成熟度一致,表面均无损伤的样本进行包装试验。样品平均果高 80 ± 6 mm,平均果径 81 ± 6 mm。试验结果如表1。

表1 包装试验结果

Table 1 Packaging test results

包装方式 Packing method	单果包装时长 Packing time/s	包装膜长及数量 Length and amount of packing net		成功率 Success ratio /%	损伤率 Damage ratio /%	工作效率 Productivity/(kg · h ⁻¹)
机器 包装	25	113~115 mm	2个	100	0	35
		110~112 mm	4个			
		107~109 mm	9个			
		104~106 mm	10个			
		101~103 mm	5个			
人工 包装	6	固定膜长, 140 mm		100	0	144

由表1可知,包装机750 s完成30个苹果的包装试验。人工和机器均能实现对苹果的包装,成功率均为100%,损伤率均为0。包装过程中样机稳定运转,单果的平均包装时间为25 s,人工平均单果包装时间约为6 s,但是人工包装网套为提前剪切为包装长度(140 mm)的网套,而机器包装的网套为成卷网套。机器工作效率为35 kg/h,低于人工包装效率144 kg/h。机器包装,苹果网套膜长在104~110 mm范围内,约占样本总数的76.6%,膜长最大值为116 mm,最小值为101 mm,平均值为106.97 mm,果面包覆完整,能够起到减小其受到机械碰撞时所受到的损伤的功能。人工包装,由于固定膜长,不能很好适应果径的变化。

5 结 论

1)本文研制了一种能对苹果、脐橙等球形水果进行自动快速网套包装的机器,该机器采用柔性扩膜锥体扩膜,倒刺卡筒下膜的方式,可实现连续包装功能,网套包装效果好。

2)样机包装试验表明,样机稳定运转,包装成功率

100%,损伤率均0,平均单果的包装时间为25 s,工作效率为35 kg/h,下膜长度主要分布在104~110 mm范围内,约占样本总数的76.6%,果面包覆能够起到减小其受到机械碰撞时所受到的损伤的功能。

3)样机包装效率低于人工包装效率,可以优化包装流程,采用多组同时包装的方式提高效率。设计的机器可为后续球形水果网套包装设备的研制和优化提供参考。

[参 考 文 献]

[1] R. Xu, F. Takeda, G. Krewer, et al. Measure of mechanical impacts in commercial blueberry packing lines and potential damage to blueberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 110 (12): 103—113.

[2] A. Sun, S. Gunasekaran. Yield stress in foods: measurements and applications [J]. International Journal of Food Properties, 2009, 12 (1): 70—101.

[3] S. Mangaraj, T. K. Goswami, P. V. Mahajan. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegeta-

- bles: A review [J]. Food Engineering Reviews, 2009, 1(2): 133—158.
- [4] 何南至. 中国食品和包装机械行业现状及发展趋势[J]. 包装世界, 2003, (6):31—35.
He Nanzhi. Current situation and development trend of food and packaging machinery industry in China[J]. Packaging World, 2003, (6):31—35. (in Chinese with English abstract)
- [5] 孔凡真. 世界包装机械市场需求概况[J]. 中国包装, 2010, 30(12):28—30.
Kong Fanzhen. Overview of world packaging machinery market demand[J]. China Packaging, 2010, 30(12):28—30. (in Chinese with English abstract)
- [6] N. P. Mahalik, A. N. Nambiar. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology [J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21:117—128.
- [7] V. Arora, M. Kempkes. Industry perspective and roles[J]. Food science and technology international, 2008, 14(5): 455—457.
- [8] J. Baliga. Packaging foundry employes MES to manage production [J]. Semiconductor International, 1998, 21(2): 46.
- [9] F. Chain, H. K. Chan, K. L. Choy. A systematic approach to manufacturing packaging logistics[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 29(9-10): 1088—1101.
- [10] F. T. Cheng, H. C Yang, T. L Kuo, et al.. Modeling and analysis of equipment managers in manufacturing execution systems for semiconductor packaging[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics e Part B: Cybernetics, 2000, 30(5): 772—782.
- [11] C. Connolly. Sensor trends in processing and packaging of food and pharmaceuticals[J]. Sensor Review, 2007, 27(2): 103—108.
- [12] N. D. R. Goddard, R. M. Kemp, R. Lane. An overview of smart technology[J]. Packaging Science and Technology, 1997, (10): 129—143.
- [13] Y. S. Kim, S. Y. Yang. Development of an automatic vegetable bundling machine using thermal bonding [J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2010, 23(12):3366—3373.
- [14] T. Defraeye, R. Lambrecht, A. A. Tsige, et al. Forced-convective cooling of citrus fruit: Package design [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 118(1):8—18.
- [15] Y. Wakasawa, M. Hashimoto, E. Marui. The damping capacity improvement of machine tool structures by balls packing [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004, 44(14): 1527—1536.
- [16] 杨燕. 我国食品包装机械发展现状与趋势分析[J]. 中国包装工业, 2005, (3):20—22.
Yang Yan. Current situation and trend analysis of food packaging machinery in China[J]. Packaging industry in China, 2005, (3): 20—22. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李莉, 刘超超, 李蕾. 我国水果包装现状及问题启示[J]. 保鲜与加工, 2016, (2): 105—107.
Li Li, Liu Chaochao, Li Lei. Current situation and problems of fruit packaging in China[J]. Storage and Process, 2016, (2): 105—107. (in Chinese with English abstract)
- [18] 卢兆麟, 张悦, 金亚林. 基于构成艺术的包装设计方法研究[J]. 包装与食品机械, 2009, (1): 33—35.
Lu Zhaolin, Zhang Yue, Jin Yalin. Method of packaging design based on construction art[J]. Packaging and Food Machinery, 2009, (1): 33—35. (in Chinese with English abstract)
- [19] 杨福馨. 保鲜包装的发展与未来研究[J]. 中国包装工业, 2003, (5): 9—11.
Yang Fuxin. Fresh-keep package: Development and research[J]. Packaging Industry in China, 2003, (5): 9—11. (in Chinese with English abstract)
- [20] 梁海龙, 白峭峰, 梅小龙. 圆形水果无损检测输送翻转装置设计[J]. 机械研究与应用, 2012, (5):118—120.
Liang Hailong, Bai Qiaofeng, Mei Xiaolong. Design of round fruit nondestructive testing conveying upender [J]. Mechanical Research and Application, 2012, (5):118—120. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘喜平, 许士超, 李游, 等. 似球形多功能礼品水果包装机的发展现状与研究[J]. 价值工程, 2016, (29):99—101.
Liu Xiping, Xu Shichao, Li You, et al. Development and research of multi-function round gift fruit packaging machine[J]. Value Engineering, 2016, (29): 99—101. (in Chinese with English abstract)
- [22] 彭宝良, 胡志超, 吕小莲, 等. 我国农产品加工装备产业概况与发展[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(1): 12—16.
Peng Baoliang, Hu Zhichao, Lv Xiaolian, et al. General situation and development of agricultural products processing equipment industry in China[J]. China Journal of Agricultural Mechanochemistry, 2013, 34(1): 12—16. (in Chinese with English abstract)
- [23] 屈能胜. 我国食品包装机械发展综述[J]. 轻工机械, 2005, 23(2): 1—3.
Qu Nengsheng. A review of the development of food packaging machinery in China[J]. Light Industry Machinery, 2005, 23(2):1—3. (in Chinese with English abstract)
- [24] 崔爽. 水果保鲜包装技术研究现状与发展[J]. 包装工程, 2011, (15):127—130.
Cui Shuang. Research status and development of fruit fresh-keeping packaging technology[J]. Packaging Engineering, 2011, (15): 127—130. (in Chinese with English abstract)
- [25] 赵宁, 李平贵. 柑桔类水果自动包装机的研究与设计[J]. 湖南农机, 2009, 36(11):15—18.
Zhao Ning, Li Pinggui. Research and design of automatic packaging machine for citrus fruits[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2009, 36(11):15—18. (in Chinese with English abstract)
- [26] 李如虎, 邵明. 全自动柚子包装生产线设计[J]. 农产品加工, 2010(8):72—73.
Li Ruhu, Shao Ming. Design of automatic pumelo packaging production line[J]. Processing of Agricultural Products, 2010(8): 72—73. (in Chinese with English abstract)
- [27] 冯慧敏, 郭玉明, 武新慧. 基于穿刺试验苹果力学性质的研究[J]. 农机化研究, 2016, (1):188—191.
Feng Huimin, Guo Yuming, Wu Xinhui. Mechanical properties research of apple based on puncture test[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, (1): 188—191. (in Chinese with English abstract)
- [28] 郑宝锋, 舒赣平, 沈晓明. 不锈钢材料常温力学性能试验研究[J]. 钢结构, 2011, 26(5):1—6.
Zheng Baofeng, Shu Ganping, Sheng Xiaoming. Experimental study on mechanical properties of stainless steel at room temperature[J]. Steel Structure, 2011, 26(5):1—6. (in Chinese with English abstract)
- [29] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.

Design and test of foam net packing machine for spherical fruit

Xu Qinchao, Chen Hong^{*}, Pan Haibing, Li Shanjun

*(College of Engineering, Huazhong Agriculture University, Key Laboratory of Agricultural Equipment in
Mid-lower Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China)*

Abstract: Foam packing net can effectively reduce the probability of mechanical damage for spherical fruits during transportation, but there is few automatic foam packing net for fruit on the market at present. In order to solve this problem, in this study, a package technology with flexible expanding cone and inverted pricking chuck was proposed based on the analysis of the biomechanical properties of apple and navel orange. The key parts structure parameters of the machine were determined. The time sequence control of component movement was designed. Then, the test prototype was processed. The packaging experiments of 30 apple samples showed that the successful rate of packaging was 100%, the damage rate was 0, the average packaging time of single apple was 25 seconds, the working efficiency was 35 kg/h, and the length of the foaming nets were mainly distributed in the range of 104-110 mm which was 76.6% of the total samples. The experimental results showed that the design of the prototype mechanism was reasonable, the structure was compact, the spherical fruits were completely packed, and the continuous packaging function can be realized. However, the efficiency of the machine was lower than the manual efficiency. It was necessary to optimize the packaging process and use multiple groups of machine for improving the efficiency. The designed machine can provide reference for the development and optimization of the following spherical fruit net packing equipment.

Keywords: packaging; fruits; foam packing net; timing control; packaging machine