

# 基于中型水果的自动分级包装一体机设备的设计

刘晓君, 郑少梅, 孟广耀, 王建

(青岛理工大学 机械与汽车工程学院, 山东 青岛 266520)

**摘要:** **目的** 为解决现有分级包装设备存在劳动强度大、效率低、易损伤果皮等问题, 设计一种基于自动化水果筛选分级包装一体机。**方法** 将水果通过上料装置输送到果杯中, 通过齿轮齿条的配合实现水果的 360° 旋转, 筛选后通过特制的冲模分流装置进行一次分流, 进入包装机后利用 45DF 型凸轮分割器搭配电机带动棘轮实现水果的二次单个分流, 利用发泡型塑料网的物理特性, 通过凸轮的急回特性来实现单个水果包装自动化。**结果** 基于机械原理和机械设计, 对关键部件进行计算设计和仿真设计, 得到传送盘与地面的安装角度为 3°, 传送盘工作时最大变形量为 0.503 69 mm, 棘轮工作时最大变形为  $5.763\ 9 \times 10^{-5}$  mm, 最大应变为  $4.799 \times 10^{-7}$ , 最大应力为  $9.56 \times 10^{-4}$  N, 满足使用要求。**结论** 通过实现分级包装一体机的自动化, 减少了劳动力, 降低了人工成本, 提高了经济效益。

**关键词:** 一体机; 自动化; 包装机械; 设计

中图分类号: TB486; TS226.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)21-0025-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.21.004

## Design of Automatic Grading and Packaging Integrated Machine for Medium-sized Fruit

LIU Xiao-jun, ZHENG Shao-mei, MENG Guang-yao, WANG Jian

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology,  
Shandong Qingdao 266520, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design an integrated machine based on automatic fruit screening, grading and packaging, so as to solve the problems of high labor intensity, low efficiency and high probability of damage to the peel found in the existing grading and packaging equipment. The fruit was transported into the cup by the feeding device and rotated for 360° through the cooperation of the gear and rack. After screening, a special punching die diverting device was used for diversion. After the fruit was delivered to the packaging machine, the 45DF cam divider was used together with the motor-driven ratchet to realize the secondary single diversion, and the physical characteristics of the foamed plastic mesh were used to realize the automation of single fruit packaging through the rapid return characteristics of the cam. Based on mechanical principle and mechanical design, the calculation design and simulation design of key components were carried out. The results showed that the installation angle between the conveyor and the ground was 3°, the maximum deformation of the conveyor tray was 0.503 69 mm, the maximum deformation of the ratchet was  $5.763\ 9 \times 10^{-5}$  mm, the maximum strain was  $4.799 \times 10^{-7}$ , and the maximum stress was  $9.56 \times 10^{-4}$  N, which met the use requirements. The realization of automation of the grading and packaging integrated machine reduces labor force, lowers the labor cost and improves the economic benefit.

收稿日期: 2021-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52075003)

作者简介: 刘晓君 (1995—), 男, 硕士生, 主攻先进装备制造。

通信作者: 郑少梅 (1976—), 女, 博士, 副教授, 硕导, 主要研究方向为先进装备制造、材料加工工程以及金属材料表面改性等。

KEY WORDS: integrated machine; automation; packaging machinery; design

现阶段国内的水果分级包装一体机发展较为落后,并且只针对小型果进行研发,普及面较窄,不能形成水果分级包装流水线发展,导致在分级包装过程中消耗大量人力物力,自动化程度较低。常用包装材料有塑料发泡网、瓦楞纸板衬垫、塑料薄膜袋等。通过对常用缓冲包装材料进行力学试验,分析不同缓冲包装材料对水果振动传递率和损伤率的影响,结果表明,水果套网包装材料使用塑料发泡网时,水果的损伤率会大幅度降低<sup>[1]</sup>。

对现有包装设备进行研究发现,大部分设备只支持塑料薄膜袋包装,通用性较差,并且由于塑料薄膜不能实现运输途中的减震缓冲作用,容易使水果受到损伤;对于塑料发泡网的研究较国外发展较晚,现阶段只停留在手工包装或者半自动包装的基础上<sup>[2]</sup>,无法与自动化生产线的生产能力相比<sup>[3]</sup>,人工成本越来越高<sup>[4]</sup>。为解决这一问题,现设计一种基于塑料发泡网的自动化的水果分级包装一体机,以减轻劳动力,提高包装精度<sup>[5-8]</sup>,降低成本,达到先进水平,降低劳动危险系数<sup>[9]</sup>,提高竞争力,对我国这样一个水果生产大国具有深远意义<sup>[10-11]</sup>。

### 1 整机结构

整机由水果分级机、包装机和传送带等3个部分组成。首先通过分级机对水果进行等级筛选,经过特定传送机构输送到包装机部分,然后利用棘轮来实现对水果的单独分流包装,最后通过传送带输送到指定区域进行存储,整机设备见图1。

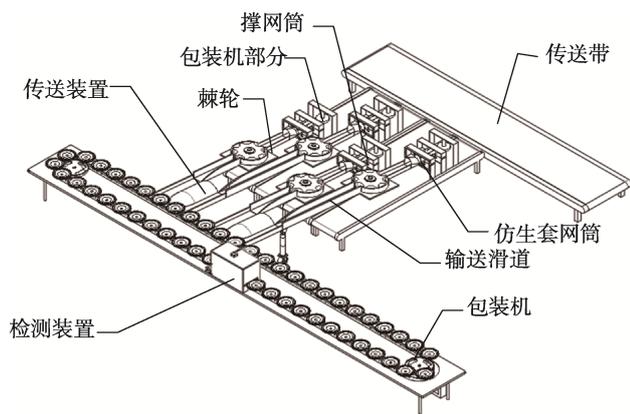


图1 整机模型  
Fig.1 Complete machine model

### 2 工作原理

从果园采摘的水果进入仓库进行筛选时,通过上料装置运送至分级机部分,经过分级系统的筛选后,

利用落差法通过特制的分流装置和棘轮相互配合,使水果单个进入包装机部分,利用塑料发泡网的物理特性,通过导向滑轮和挂钩相互配合使发泡网套在输送滑道末端的仿生套筒上,在进行一次单果包装完成后,利用电机带动切断装置对发泡网进行剪断,水果落入放在传送带上的纸箱内,纸箱下方有重力感应装置,当达到设定质量时,传送带启动,运送至指定位置。

### 3 主要机构及参数设计

#### 3.1 传送盘

包装机部分主要由传送、棘轮分流、水果套网等部分组成,水果从分级机到包装机需经过特制的冲压模型分流,见图2。

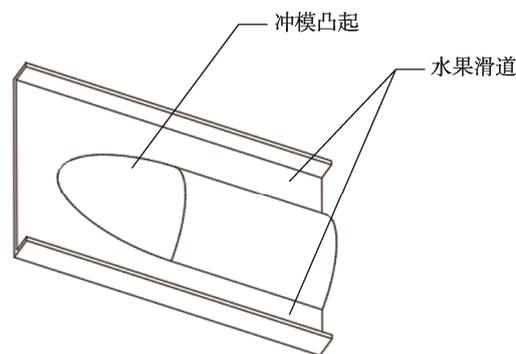


图2  
Fig.2 Fruit conveyor model diagram

水果传送盘部分结构是利用水果的圆形特性进行设计,当水果从分级机倾倒至传送盘时,由于传送盘中间有凸起,自动向两边滚动,实现第1次分流;为方便计算将水果考虑成球形,为了保证水果能顺利进行分流,对传送盘的倾斜角度进行分析计算,见图3。

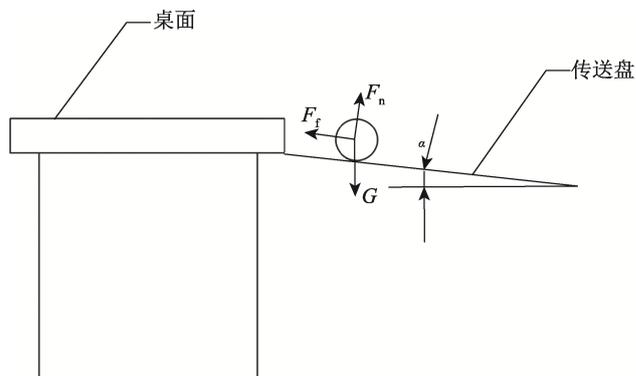


图3 水果受力分析示意图  
Fig.3 Schematic diagram of fruit stress analysis

$$F_n = G \cos \alpha \quad (1)$$

$$F_f = G \sin \alpha \quad (2)$$

$$F_f = F_n \delta_1 \quad (3)$$

式中:  $F_n$  为传送带对水果的支撑力;  $F_f$  为传送带对水果的摩擦力;  $G$  为水果重力;  $\alpha$  为传送带和桌面夹角;  $\delta_1$  为传送盘对水果的滚动摩擦阻力因数。

结合式 (1)、(2)、(3) 可得:

$$\alpha = \tan^{-1} \delta_1 \quad (4)$$

由式 (4) 可知, 传送盘的倾斜角度与水果质量无关, 与传送盘和水果间的滚动摩擦阻力因数有关。为更加精准地设计每种尺寸传送盘的角度, 需要充分考虑  $\delta_1$  的值, 防止因角度过大, 水果从果杯翻转至传送盘时的高度过大, 从而对水果表面造成损伤。根据文献[12]提到的实验方法可知, 水果从高空落下整个过程中滚动摩擦所做的功为  $W_1$ , 水平抛出的动能为  $E_k$ , 重力所做的功为  $W_{\text{重}}$ , 根据能量守恒定理可知:

$$W_1 + E_k = W_{\text{重}} \quad (5)$$

水果在滚落时转动角度非常小, 为  $a$  时, 通过微元法知, 水果对每段经过的圆弧的正压力是不变的, 因此认为此过程摩擦力都为:

$$f = \delta_1 mg \cos(\theta - a) \quad (6)$$

水果相对滑动距离为:

$$L = 2\pi R \frac{a}{2\pi} \quad (7)$$

则水果滚动摩擦所做的功为:

$$\Delta W_1 = fL \quad (8)$$

即:

$$\Delta W_1 = \delta_1 mg \cos(\theta - a) \cdot 2\pi R \cdot \frac{a}{2\pi} \quad (9)$$

滚动摩擦力所做的功为:

$$W_1 = \int_0^\theta 2Ra \cdot \delta_1 mg \cos(\theta - a) da \quad (10)$$

水平抛出的动能为:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (11)$$

重力所做的功为:

$$W_{\text{重}} = mgH \quad (12)$$

将式 (10) - (12) 带入式 (5) 可得:

$$\int_0^\theta 2Ra \cdot \delta_1 mg \cos(\theta - a) da + \frac{1}{2} mv^2 = mgH \quad (13)$$

其中:

$$R(1 - \cos \theta) = H \quad (14)$$

不同材料的摩擦因数实验原理见图 4。

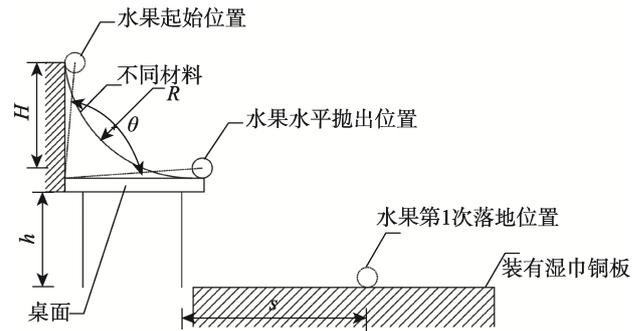


图 4 实验原理  
Fig.4 Experimental principle

经实验可知, 各种工业用材料和水果间的滚动摩擦因数及安装角度见表 1。

表 1 水果和不同材料间滚动摩擦因数及安装角度  
Tab.1 Rolling friction coefficient and installation angle between fruit and different materials

材料名称	$\delta_1$	$\alpha / (^\circ)$
PTFE	0.040	2.290
ABS	0.480	25.64
PVDC	0.520	27.47
PVC	0.400	21.80
HDPE	0.110	6.277

选用的传送盘材料为 PTFE (聚四氟乙烯), 传送盘与地面角度为  $2.290^\circ$ , 为了方便安装取角度为  $3^\circ$ 。

### 3.2 棘轮

经过传送盘的水果自动向两侧分流, 输送至棘轮处进行二次分流, 棘轮处设有多个凹型槽, 凹型槽的大小根据水果直径设计, 该设备设计有 70、75、80、85、90、100 mm 等 6 种尺寸, 确保每个水果在输送至此处时不会因果径过大或者过小而受到损伤, 这里以 80 mm 为例, 利用电机带动棘轮旋转  $45^\circ$ , 将单个水果运送到套网机构处进行单独包装。

为更好地保护水果, 避免在包装过程中对水果表面造成损伤, 这就要求电机满足精确、频繁的启停要求, 而普通电机难以实现, 因此, 这里选用 45DF 型凸轮分割器搭配电机使用<sup>[13]</sup>。现在市面上电机主要有步进电机和伺服电机, 2 种电机优缺点见表 2。

通过对比可发现, 步进电机能很好地满足使用要求, 且成本较低, 因此选用 45DF 型凸轮分割器搭配步进电机进行定角度旋转。当棘轮处于图 5 所示位置时, 凸轮分割器停止工作, 水果从水果出口进入下一阶段工序。

表2 不同电机优缺点对比  
Tab.2 Comparison of advantages and disadvantages of different motors

名称	优点	缺点
伺服电机	工作可靠、惯量小、维修保养要求低、散热方便	会出现电刷粉末,须根据负荷调整伺服
步进电机	可靠性较高、启停响应好、结构简单、经济型较高	难运行较高转速,控制不当易引起共振

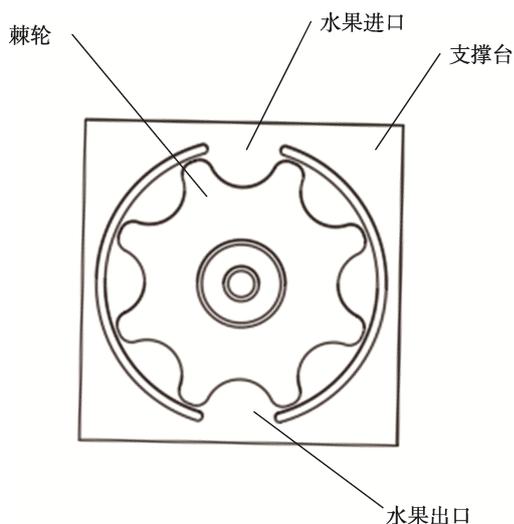


图5 棘轮工作示意图  
Fig.5 Ratchet working diagram

这里以 80 mm 尺寸为例,包装机工作状况:空载启动,有轻微振动,单向运转,满载状态双班制工作。水果套网包装动力依靠电动机提供,其经济性、合理性、安全性是选择电动机应遵循的原则,能否正确合理地选用电动机,对设备的工作性能会产生较大的影响<sup>[14]</sup>。

电机在运行时分为启动和正常工作 2 个阶段。启动阶段的转矩为  $T_1$ , 正常工作时的转矩为  $T_2$ 。

$$T_1 = F_1 R_1 \tag{15}$$

$$F_1 = ma \tag{16}$$

$$a = \frac{v}{t} \tag{17}$$

式中:  $F_1$  为惯性力;  $R_1$  为惯性半径;  $m$  为棘轮和电机轴质量;  $a$  为由静止到正常工作的加速度;  $t$  为加速时间;  $v$  为正常工作速度。

根据设计要求选用直径为 300 mm 的棘轮,棘轮每转过 45°后间隔 1 s 再进行转动,周期为 16 s,匀速运动时间为 8 s,棘轮周长为 942 mm,由此可计算出速度  $v$  为 117.75 mm/s。为了实现快速加工,取加速时间为 0.5 s,  $m$  为 6 kg, 则有:

$$a = \frac{v}{t} = 0.2355 \text{ m/s}^2 \tag{18}$$

$$F_1 = 1.413 \text{ N} \tag{19}$$

由于棘轮半径为 150 mm, 那么惯性半径为棘轮半径的  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  倍, 即为 106 mm, 则:

$$T_1 = F_1 R_1 = 0.149778 \text{ N}\cdot\text{m} \tag{20}$$

启动后正常工作时:

$$T_2 = F_2 R_2 \tag{21}$$

$$F_2 = fN \tag{22}$$

式中:  $F_2$  为摩擦阻力;  $R_2$  为受力点的旋转半径;  $f$  为轴承滚动摩擦因数, 可根据使用轴承的结构查表;  $N$  为正压力, 其值为棘轮和电机轴重力之和。

为了使摩擦力尽可能减少, 这里选用深沟球轴承,  $f$  为 0.0015, 则:

$$F_2 = fN = 0.09 \text{ N} \tag{23}$$

$R_2$  为受力点半径, 即为电机主轴半径,  $R_2=40$  mm, 则:

$$T_2 = F_2 R_2 = 0.0036 \text{ N}\cdot\text{m} \tag{24}$$

根据式 (25) 可计算电机功率。

$$T = 9550 \cdot \frac{P}{n} \tag{25}$$

电动机常见的转速为 750、1000、1500、2000 r/min 等, 根据电动机制造原理, 功率相同时, 电动机若额定转速越高, 其电磁转矩外形尺寸就越小, 成本就越低且质量也越小, 故选择功率因数和工作效率相对较高的 4 极转速为 1500 r/min 的电机, 电机额定功率为 24 W<sup>[15]</sup>。电机工作时间和角度关系见图 6。

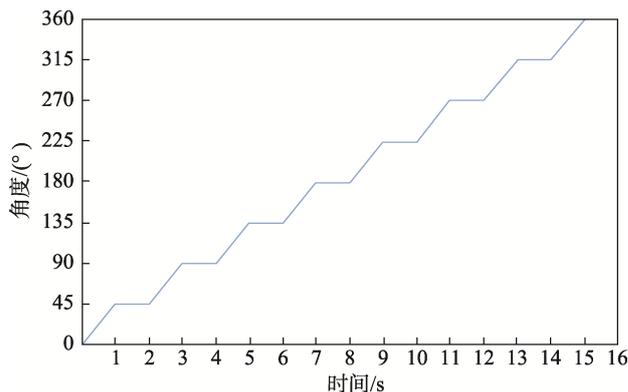


图6 时间与角度的关系  
Fig.6 Relationship between time and angle

由图 6 可知, 以每 16 s 为 1 个周期进行旋转运动来对水果进行单个分流。

### 3.3 包装机构

水果经过棘轮的筛选, 进入包装机构, 见图 7, 该包装机构利用仿生学原理, 将滑道末端设计成鸭嘴形状便于发泡型塑料网进行包装。该机构的包装原

理: 发泡型塑料网套固定在撑网筒上, 滑轮通过电机的带动旋转进而带动网套向前移动, 在经过挂钩时, 安装在挂钩上的传感器将信号传送给滑道处的电动机, 带动凸轮旋转, 利用凸轮的推程将网套套在仿生套网装置上, 利用凸轮远休止完成套网后, 凸轮回程挂钩复位, 刀片接收到挂钩复位信号后, 由电机带动旋转 1 周切断网套, 水果落入下方收集箱, 完成一次套网。

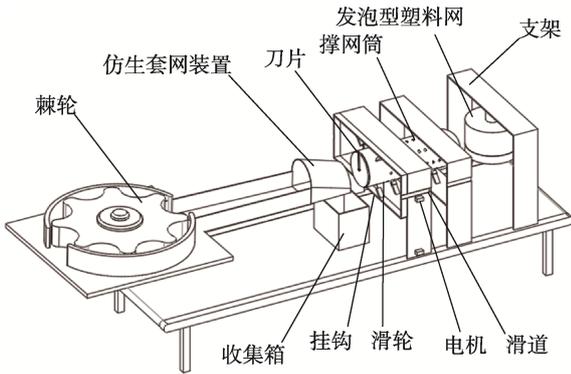


图 7 包装机示意图

Fig.7 Schematic diagram of packaging machine

挂钩结构见图 8。该挂钩底部采用球面副, 可以根据实际情况来调节角度, 通过紧定螺钉锁紧, 在带动网套前进时, 网套挂钩可以很好地钩住网孔。在挂钩复位时, 由于挂钩有一定的倾斜角度, 可以很好地进行脱离, 不会对网套产生拉扯作用, 在下一个套袋行程开始时插刀重新插入网套进行拉网包装运动<sup>[16]</sup>。

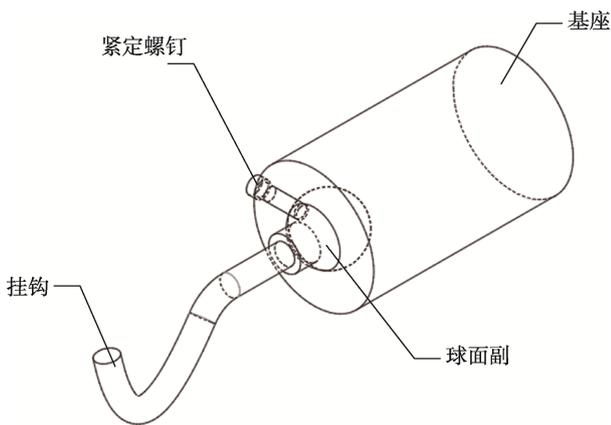


图 8 挂钩结构

Fig.8 Hook structure

### 4 关键部件仿真分析

#### 4.1 传送盘

为了更好地使水果进行第 1 步分流, 将输送装置导入 Ansys 中进行分析, 结果见图 9。由图 9 可知, 最大变形量出现在传送盘的末端, 最大值为 0.503 69 mm,

由此可知传送盘在运行过程中并不会对第 1 次分流结果产生影响, 可以实现分流效果。

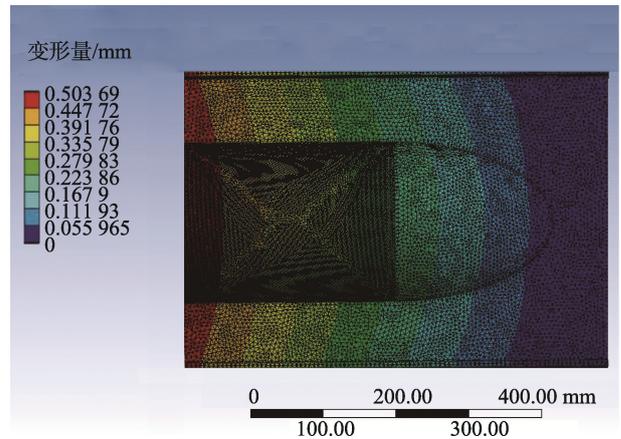
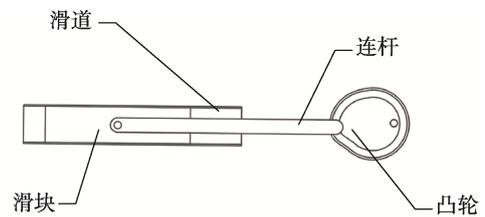


图 9 传送盘仿真分析结果

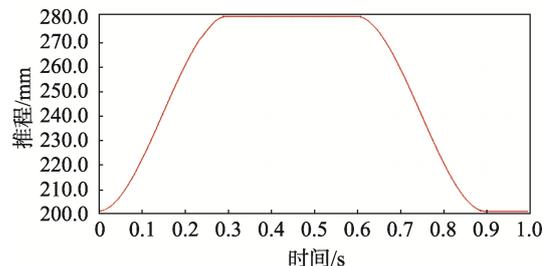
Fig.9 Conveyor simulation analysis result

#### 4.2 凸轮机构

为了使挂钩很好地进行工作, 将模型 (图 10a) 导入软件进行分析, 其工作时推程  $s$  和时间关系见图 10b。由图 10b 可知, 推程最远为 280 mm, 所用时间为 1 s, 远休止进程时间为 0.3 s, 满足套网需求。



a 凸轮模型



b 仿真结果

图 10 凸轮模型仿真结果

Fig.10 Cam model simulation result

#### 4.3 棘轮部分仿真分析

为了验证棘轮在运行过程中的受力和变形情况, 将模型导入 Ansys 软件得到变形及应力应变结果, 见图 11。由图 11 可知, 最大变形量为  $5.763 9 \times 10^{-5}$  mm, 最大应变为  $4.799 \times 10^{-7}$ , 最大应力为 0.959 6 Pa, 都符合设计要求, 不会因变形过大导致水果传送不流畅。

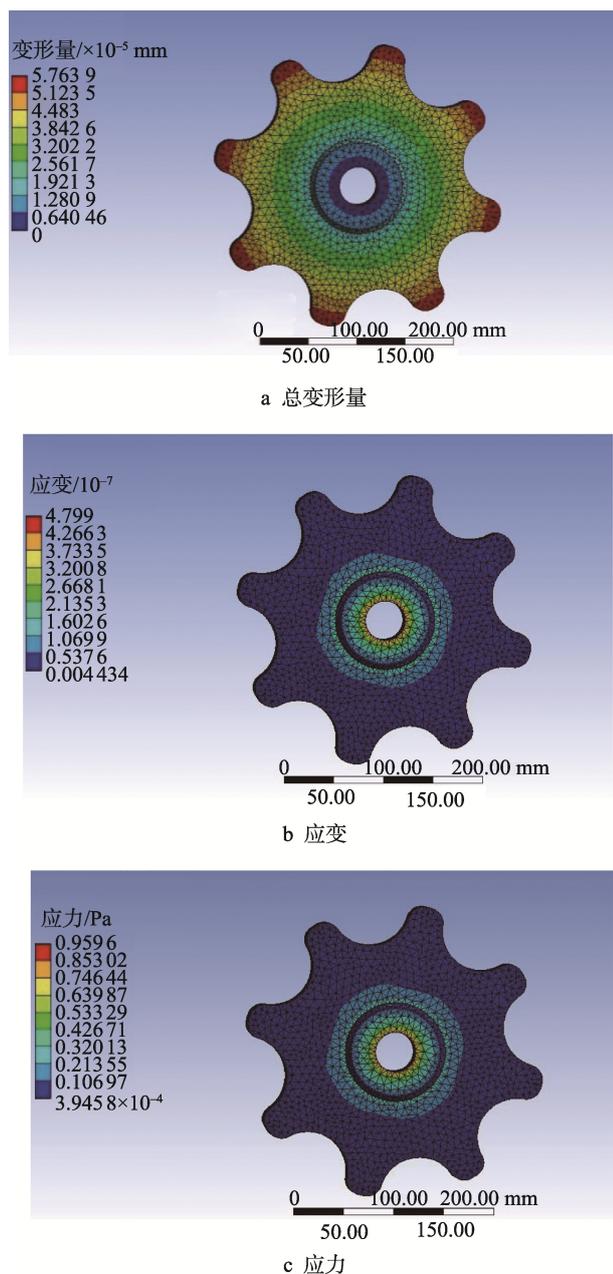


图 11 仿真分析结果  
Fig.11 Simulation analysis result

## 5 结语

1) 针对水果分级包装生产线存在不能连续加工的缺点,利用发泡型塑料网的物理特性,设计了一种可以实现单个连续包装的分级包装一体机。

2) 通过实验得出传送盘的最佳倾斜角度,并用 Ansys 进行力学分析校核,利用凸轮急回特性实现挂钩的快速套网功能,并利用 Adams 验证挂钩套网的可行性。

3) 通过该一体机可以有效降低劳动力成本,提高经济效益,满足自动化、智能化发展趋势。

## 参考文献:

- [1] 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 Bao-liang, HU Zhi-chao, LYU Xiao-lian, et al. Overview and Development of China's Agro-Processing Equipment Industry[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(1): 12-16.
- [2] 张晓光, 周天, 张永庆. 基于 Ansys 的水果包装一体化装置的设计[J]. 包装工程, 2018, 39(19): 165-169.  
ZHANG Xiao-guang, ZHOU Tian, ZHANG Yong-qing. Design of Fruit Packaging Integrated Device Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(19): 165-169.
- [3] 冯斌, 汪懋华. 基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术[J]. 农业工程学报, 2002(2): 141-144.  
FENG Bin, WANG Mao-hua. Computer Vision Classification of Fruit Based on Fractal Color[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002(2): 141-144.
- [4] 徐惠荣, 应义斌, 盖玲. 双锥式滚子水果输送翻转机构的研究[J]. 农业机械学报, 2003(6): 100-103.  
XU Hui-rong, YING Yi-bin, GAI Ling. Research on Fruit Feeding and Rolling Installation with Bicone Rollers[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2003(6): 100-103.
- [5] 张俊雄, 荀一, 李伟, 等. 基于计算机视觉的柑橘自动化分级[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2007(2): 100-103.  
ZHANG Jun-xiong, XUN Yi, LI Wei, et al. Automatic Citrus Grading Based on Computer Vision[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2007(2): 100-103.
- [6] 毕玉, 杨智勇. 基于 DSP 和 ARM 的苹果分类机器人智能控制系统[J]. 农机化研究, 2020, 42(3): 203-207.  
BI Yu, YANG Zhi-yong. Intelligent Control System of Apple Classification Robot Based on DSP and ARM[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(3): 203-207.
- [7] 郑冠楠, 谭豫之, 张俊雄, 等. 基于计算机视觉的马铃薯自动检测分级[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 166-168.  
ZHENG Guan-nan, TAN Yu-zhi, ZHANG Jun-xiong, et al. Automatic Detecting and Grading Method of Potatoes with Computer Vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 166-168.
- [8] 王习文. 基于机器视觉的水果变尺寸包装控制系统研

- 究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018: 3-8.
- WANG Xi-wen. Research on the Control System of Fruit Variable Size Packaging Based on Machine Vision[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2018: 3-8.
- [9] 田佳壮. 圆形水果自动套网包装机的设计研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018: 3-5.
- TIAN Jia-zhuang. Design and Research of Automatic round Fruit Netting Packaging Machine[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018: 3-5.
- [10] 赵静, 何东健. 果实形状的计算机识别方法研究[J]. 农业工程学报, 2001(2): 165-167.
- ZHAO Jing, HE Dong-jian. Studies on Technique of Computer Recognition of Fruit Shape[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001(2): 165-167.
- [11] 应义斌, 饶秀勤, 黄永林, 等. 运动水果图像的实时采集方法与系统研究[J]. 农业机械学报, 2004(3): 179-180.
- YING Yi-bin, RAO Xiu-qin, HUANG Yong-lin, et al. Research on Real-Time Acquisition Method and System of Moving Fruit Images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2004(3): 179-180.
- [12] 刘万锋, 徐武彬, 李冰, 等. 滚动摩擦系数的测定及 EDEM 仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2018(9): 132-135.
- LIU Wan-feng, XU Wu-bin, LI Bing, et al. Measurement and Simulation of Rolling Friction Coefficient[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(9): 132-135.
- [13] 胡俊磊, 戴姚辉, 吴海钰, 等. 苹果保护网套自动包装设备的设计[J]. 制造业自动化, 2021, 43(2): 102-106.
- HU Jun-lei, DAI Yao-hui, WU Hai-yu, et al. Design of Automation Equipment for Apple Protect Foam Net Packaging[J]. Manufacturing Automation, 2021, 43(2): 102-106.
- [14] 葛纪帅. 水果分选机械系统和称重模块的设计与实现[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012: 12-16.
- GE Ji-shuai. Design and Implementation of Mechanical System and Weighing Module of Fruit Sorter[D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2012: 12-16.
- [15] 刘满. 基于 PLC 的苹果套网装置设计[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016: 29-30.
- LIU Man. Design of Apple Netting Device Based on PLC[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016: 29-30.
- [16] 田佳壮, 张克平, 孙步功, 等. 基于 ADAMS 的一种套网机构的设计及运动分析[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(10): 38-42.
- TIAN Jia-zhuang, ZHANG Ke-ping, SUN Bu-gong, et al. Design and Motion Analysis of a Network Based on ADAMS[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(10): 38-42.

责任编辑: 曾钰婵