DOI:10.13652/j.issn.1003－5788.2018.08.016

圆形水果自动分选和贴标签机的设计与应用

Design and application of round fruit sorting and labeling machine

孙　凯[1]　闫学慧[1]　朱荣胜[2]

SUN Kai[1]　*YAN Xue-hui*[1]　*ZHU Rong-sheng*[2]

（1. 东北农业大学工程学院，黑龙江 哈尔滨　150030；2. 东北农业大学理学院，黑龙江 哈尔滨　150030）

（1. *College of Engineering*, *Northeast Agricultural University*, *Harbin*, *Heilongjiang* 150030, *China*;
2. *College of Science*, *Northeast Agricultural University*, *Harbin*, *Heilongjiang* 150030, *China*）

摘要：针对农户依靠人力完成自种圆形水果分选和贴标签存在的效率低下问题，提出一种分选和贴标签一体化模式的解决方案，设计一款能够实现圆形水果自动分选和贴标签任务的机器。该机器主要包括滚筒式分选装置和自动贴标签装置，通过对整机结构和各主要部分工作原理的阐述以及主要单元参数的理论计算，确定各部分的最优涉及参数。试验结果表明，自动分选和贴标签样机能够自动完成分选和贴标签的工作，水果分选正确率达 97%，贴标签合格率达 98.7%，分选用时约为人工用时的 1/2。样机的制作成本远低于目前商业化的分选和贴标签机器，为小型农户完成自种圆形水果的分选和贴标签任务提供了一种新方法。

关键词：圆形水果；滚筒；分选机；自动贴标签机

Abstract: At present, the sorting and labeling of round fruits in peasant household is still depending on the manpower with low efficiency. This paper presents a solution for the integration of sorting and labeling. An automatic sorting and labelling machine is designed for selecting and labeling the size of round fruit in peasant household. This machine is mainly composed of roller type sorting device and automatic labelling device, which can automatically complete the sorting and labeling of round fruit. The optimal parameters of each part were determined through the elaboration of the whole structure and the working principle of each part and the theoretical calculation of the main element parameters. Test results show that the prototype sorting and labeling integration work mode can automatically complete the sorting and labeling work, with the fruit sorting accuracy rate of 97%, the labeling the percent of pass of up to 98.7%, sorting time of about 1/2 compared with the workers. The design cost of the prototype is much lower than the commercial sorting and labeling machine, which provides a new innovative technology for the automatic sorting and labeling of small round fruits.

Keywords: round fruit; drum; sorting machine; automatic label machine

随着水果产量的增加以及人们生活水平的提高，水果的销售市场日趋激烈，人们对水果包装的视觉要求也越来越高，使得水果包装越来越迎合消费者需求[1－2]。目前小型农户中水果的生产主要是以多种多收的模式进行，产品结构单一、生产效益低、产品的附加值小，传统的生产加工方法仍然占据重要的位置[3]。由于大型的分选贴标签机器价格昂贵，操作复杂，并不适合当前中国绝大部分果农的生产需求，因此目前中国小型农户多采用人工分选和贴标签，效率较低且劳动量大，不能满足现代化农业发展的要求[4－6]。因此研究和设计小型圆形水果自动分选和贴标签机器已成为当前重要的研究课题。

目前已有在水果分选方面的研究。徐力群等[7]利用大小不同的水果重心位置亦不同的原理设计出一款水果大小分选机，并采用 Inventor 软件对水果分选机的送料系统、分选系统、出料系统及机架等主要零部件进行三维建模和装配；白东升等[8]针对目前芒果的外观品质分级采取人工方法所存在的不足，构建了基于机器视觉、并联机器人等先进技术的芒果品质动态、实时检测及分选的高速机器人系统；张丽芬等[9]以樱桃为研究对象，设计开发了一种小型的集樱桃内部质量和外观判定为一体的计算机视觉自动分选系统；万宏强等[10]采用 SolidWorks 软件研制出一款苹果大小分选机，利用滚筒结构完成苹果大小的分选；意大利生产的 Italy-001-A 型分选机是根据水果的大小来进行分选，采用 CCD 摄像技术来判断水果的大小并对其进行分类；Leemans 等[11]则是通过分析水果表面图片进而依靠聚类实现分类。

至于水果贴标签方面的研究，刘静等[12]提出了基于慧鱼模型的水果包装系统，主要针对直径 4～14 mm 的水果，

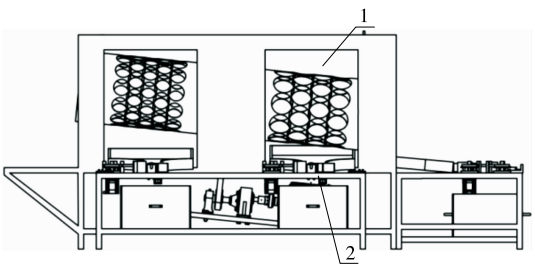
基金项目：国家自然科学基金（编号：31471516）
作者简介：孙凯，男，东北农业大学在读硕士研究生。
通信作者：朱荣胜（1975—）男，东北农业大学副教授，博士。
E-mail：rshzhu@126.com
收稿日期：2018-04-23

并能完成贴标、称量、存储等功能。刘瑞歌等[13]以 STM32 单片机为主控芯片，运用双路继电器、光电开关等传感器件，设计了一款水果包装机，主要适用于任何需要网套以及贴标签包装的水果，节省人力物力。

基于以上研究现状，为了提高中国水果产品竞争力，减轻果农的劳动强度，本研究设计了一种新型的圆形水果自动分选和贴标签机，该机器突破了目前圆形水果分选和贴标签机器价格昂贵、操作复杂等问题，实现了分选和贴标签的“同行”模式。试验表明，当样机各主要单元处于最佳工作参数时，能够实现分选和贴标签的自动化、无人化、精准化的操作模式，在满足节省人力、降低成本的基础上，进一步提高了分选精度、分选效率，提高了工作效率。

1　整体结构设计

圆形水果自动分选和贴标签机主要包括滚筒式自动分选装置和自动贴标签装置两部分，主要结构见图 1。



1. 分选装置　2. 贴标签装置

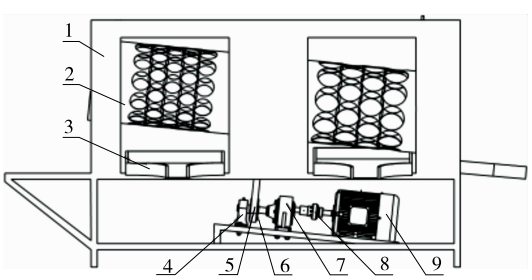
图 1　分选和贴标签机结构图

Figure 1　Structure diagram of sorting and labeling machine

在整体结构中，滚筒式自动分选机与贴标签机是相互分离的。滚筒式自动分选机的整体结构主要由外部框架组成，而贴标签机各部分则是将其中的每一个主要单元固定在可以移动的桌子上。这种设计能够实现分选和贴标签工序的分离与结合，满足不同的工作需求。

1.1　滚筒式自动分选机

1.1.1　滚筒式自动分选机结构设计　滚筒式自动分选机的主框架是通过焊接来完成的。在主框架的基础上，焊接若干镀锌铁管用来固定其他部件。该装置主要由外壳、分选滚筒、水果接盘、同步带以及电机等组成，见图 2。该部分的分选滚筒是可以分离的，因此农户可以根据实际情况选择不同规格的分选滚筒，既有普适性又能提高分选效率。



1. 外壳　2. 分选滚筒　3. 水果接盘　4. 带座轴承　5. 同步带　6. 同步带轮　7. 减速器　8. 联轴器　9. 电机

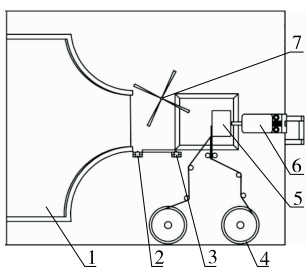
图 2　自动分选机结构图

Figure 2　Schematic diagram of automatic sorting machine

1.1.2　滚筒式自动分选机的工作原理　首先，在分选之前须人工挑选出有损伤或者形状怪异的水果，以防对正常水果分选和贴标签造成阻碍。工作时，水果随旋转的滚筒内壁上升至一定高度后松散落下，如此反复进行，连续进入滚筒内的水果受到滚筒内部的压力和松散性的影响，逐步向滚筒的出口移动。同时，在这一过程中小于前端分选孔径的水果则优先在滚筒的前端落入水果接盘中，大于前端分选孔径的水果在力的作用下继续向前滚动，直到遇到相应的分选孔后落入水果接盘中。经过上述过程，水果接盘中可以获得三级大小不同的水果。

1.2　自动贴标签机

1.2.1　自动贴标签机结构设计　贴标签机主要结构由标签桌、2 个联轴器[14]、2 根轴、1 个行程为 60 mm 的滑块、可水洗胶不干胶标签(可定制)、1 个符合水果大小的旋转推板、1 个压紧滚筒、2 个红外传感模块、1 个 12 V 四路继电器[15]以及 2 个 12 W 步进电机组成，每个部分按照各自位置安装在贴标签桌上，结构见图 3。



1. 水果接盘　2. 传感器 1　3. 传感器 2　4. 标签盘　5. 压紧滚筒　6. 弹簧滑块　7. 旋转推板

图 3　自动贴标签机结构图

Figure 3　Structure diagram of automatic labeling machine

步进电机容易控制停启，还可以在相对较短的时间内加减速[16]，能够提供足够的动力。因此自动贴标签机部分的动力装置采用 2 个 12 W 的步进电机，分别是控制旋转推板转动的步进电机 1 和控制标签盘转动的步进电机 2。

由于步进电机功率大、电平高对单片机会有很大的干扰，所以不能直接把单片机发出的信号与步进电机相连，需要进行强弱隔离。本设计中采用了低成本、电路简单的四路继电器来实现隔离和电路放大功能。该部分同时采用了传感器检测，提高了装置贴标签的精准度。

1.2.2　自动贴标签机工作原理　水果在落入水果接盘后，由于接盘有一定的倾斜度，水果会沿着倾斜的轨道下滑，当水果下滑到接盘的出口时，传感器 1 发射的具有一定频率的红外线就会被反射，随即信号通过接收、分析等处理后实现控制旋转推板的步进电机旋转 90°。

在旋转推板推着水果旋转的过程中，传感器 2 检测到水果时，同样对信号处理后实现控制标签的步进电机按照预先设定好的程序转动一定角度。步进电机在转动的同时，标签就会在步进电机的带动下转出 2/3 的长度。

当水果进入落口处时,由于自身重力的作用会和已经准备好的标签以及滑块上的压紧滚筒相接触,滑块上安装有弹簧,当水果与压紧滚筒接触时,标签随即就会被压紧,同时滚筒也会随滑块向后滑动预定的行程,当挤压滚筒与落口边的距离大于水果的直径时,水果就会自动落入果箱内。弹簧被压紧后靠着自身的弹力作用会自动将滑块送回,之后进行重复操作,即可完成自动贴标签的工作。工作流程见图 4。

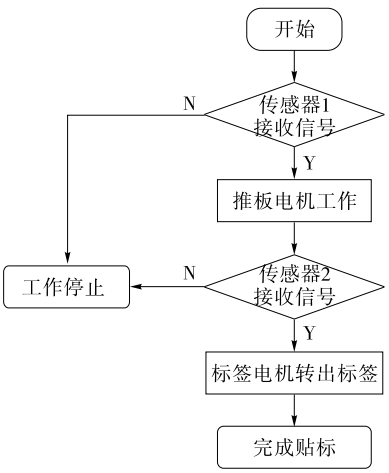


图 4　贴标签机的工作流程图

Figure 4　Working flow chart of labeling machine

2　主要单元设计

2.1　分选滚筒设计

分选滚筒是利用进行回转运动的带孔滚筒将水果按大小进行分级的工具。工作时分选滚筒倾斜安装并且通过 3 个支承滚轮将滚筒固定在支架上,本设计中采用聚丙烯管[17]。

2.1.1　分选滚筒的设计参数　分选滚筒设计参数分为几何参数和运动参数。几何参数包括滚筒长度 L、滚筒直径 D、安装倾角 θ、分选孔直径 d,运动参数为滚筒转速 n。

分选滚筒设计之前首先要考虑:① 生产率,即单位时间内分选水果的量,通常按体积为单位进行计算;② 分选孔径的大小。经过实际调查得到苹果的直径范围约 60～85 mm、橙子的直径范围约 65～90 mm、猕猴桃的直径范围约 45～65 mm,因此可以根据不同圆形水果的直径范围进行相应孔径的加工。

2.1.2　水果在滚筒内的运动轨迹　由于滚筒倾斜安装,并且自身做回转运动,因此水果在滚筒内的运动轨迹见图 5。水果的运动过程可分解为沿滚筒轴线方向的直线运动和垂直于滚筒轴线的 xoy 平面运动。水果的直线运动速度等于水果通过滚筒的速度,水果在 xoy 平面内的运动与滚筒的转速相关[18]。

2.1.3　水果在 xoy 面的运动分析　假设在滚筒内选择一点 A 代替某一水果,A 进入滚筒后由于滚筒的旋转作用开始做圆周运动被带至 O 点,在 O 点处做抛物运动,当到达最高点 B 处后,落回滚筒面 C 处,循环进行螺旋轨迹运动,直到找到适合的孔径,运动轨迹见图 6。

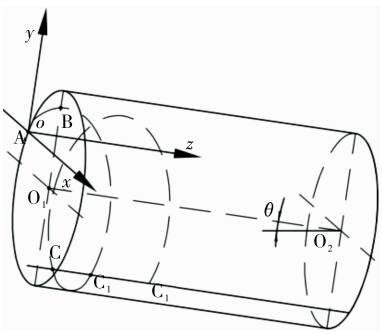


图 5　滚筒内水果运动轨迹图

Figure 5　The trajectory of the fruit in the drum

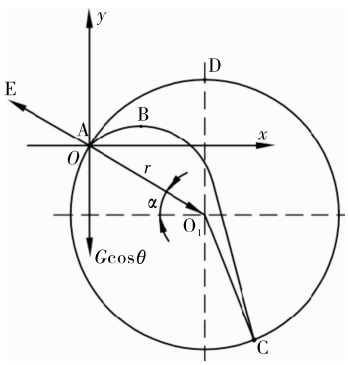


图 6　水果在 xoy 面的运动轨迹图

Figure 6　The trajectory of the fruit on xoy surface

当水果进入滚筒到转动到 O 点时,水果在滚筒中的运动轨迹方程:

$$(x-r\cos\alpha)^2+(y+r\sin\alpha)^2=r^2,0<r\leqslant R。\tag{1}$$

在 O 点到 D 点时,水果的运动轨迹方程:

$$y=x\cot\alpha-\frac{x^2}{2r\sin^3\alpha},0<r\leqslant R。\tag{2}$$

水果在 A 点脱离筒壁进行抛物运动,水果受到的重力 G 在 xoy 平面内大小为 $G\cos\theta$,此时水果受到的法向分力 $N=G\cos\theta=mg\cos\theta$ 和所受到的离心力 E 相等,即

$$\frac{mv^2}{r}=G\sin\alpha=mg\sin\alpha,\tag{3}$$

$$v=\frac{\pi nr}{30}。\tag{4}$$

可得到滚筒的转速:

$$n=\frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{r}},\tag{5}$$

式中:

m ——1 个水果的质量,kg;

v ——水果 A 的切向速度,m/s;

n ——滚筒的转速,r/min。

当水果运动到 D 点,此时处于临界状态,转速为临界转速。

$$n_c=\frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g}{r}}。\tag{6}$$

2.1.4　滚筒轴线方向的运动分析　水果的轨迹为不规则的螺旋线,则水果完成 1 个循环的路程可以表示为:

$$l=|y_A-y_C|\tan\theta=4r\sin\alpha\cos^2\alpha\tan\theta。\quad(7)$$

则 1 个循环所需要的时间：

$$t=c_1\left(\frac{3\alpha}{3n}+\frac{120\sin\alpha\cos\alpha}{\pi n}\right)。\quad(8)$$

因此水果 A 在轴向的速度：

$$v=\frac{l}{t}。\quad(9)$$

2.2 分选滚筒主要参数的确定

分选滚筒设计参数的确定一定要满足所要求的生产率和分选效率。

2.2.1 滚筒的转速 分选滚筒的转速直接影响水果的运动轨迹和分选效率。如果想要高效的分选效率，就必须保证 $|y_B-y_C|=\frac{1}{2}r\sin\alpha\cos^2\alpha+4r\sin\alpha\cos^2\alpha$ 的值最大。令 $|y_B-y_C|'=0$ 得到 $\alpha=54.7°$，此时分选效率最高。由式(5)可得：

$$n=\frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{r}}=0.76n_c。\quad(10)$$

所以滚筒的最优转速值约为临界转速的 0.76 倍，根据以上计算和实际调查，分选滚筒的转速适宜范围为 4～20 r/min，并且可使用变频调速器进行速度调节。

2.2.2 滚筒的直径 分选滚筒的直径也是影响分选效率和生产率的重要因素。但是由于安装情况、使用环境等因素，分选滚筒的直径很难使用明确的公式得到。所以直径的大小可根据已有的分选滚筒直径计算经验公式确定[19]。

2.2.3 滚筒的安装倾角 分选滚筒的安装倾角 θ 会直接影响到水果在滚筒内完成一个循环所前进的距离和时间，进而会影响分选的效率等。在保证筒长和转速一定的情况下，增加安装倾角会增大水果前进方向的重量分力，提高了水果的分选量。但是安装倾角过大，水果在滚筒内的时间减少，循环次数也相应减少，降低了分选效率。根据已有资料[20]显示，安装倾斜角在 5°～15°时最好。

2.2.4 滚筒的长度 分选滚筒的长度 L 由 L_1、L_2、L_3 和 L_4 组成，结构如图 7 所示。为了便于分选孔的布置和滚筒的制造，一般 L_2、L_3 段的长度取 $3D$～$5D$（D 为筛筒体的直径）[18]。增加分选滚筒的长度，可以延长水果在分选滚筒内的时间，提高分选效率。但是过长的分选滚筒会增加占地面积和成本，所以分选滚筒的 L_1、L_4 段可根据实际安装情况进行选择。

3 样机试验

3.1 试验样机

根据计算后的设计数据，通过三维软件 SolidWorks 建立了滚筒式自动分选和贴标签机的三维模型[21]见图 8。根据本试验中只对中等大小水果贴标签的工作要求进行了样机的加工制作。

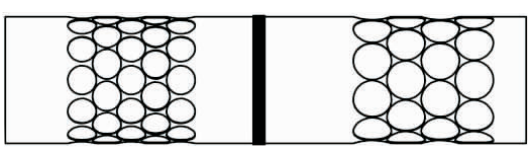


图 7 分选滚筒结构图

Figure 7 Structure diagram of sorting drum

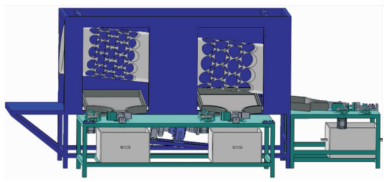


图 8 三维模型

Figure 8 3D model and test prototype

在样机制作时，滚筒式自动分选机的整体结构是采用 25 mm×25 mm 的镀锌铁管搭建焊接而成，整体尺寸为 1 500 mm×50 mm×1 000 mm。分选滚筒选择直径初值为 325 mm、总长度初值为 1 000 mm（此长度可以根据实际工作情况决定）的 PPC 管，并将其搭放在主框架上，与水平面夹角初值暂定为 5°。在距滚筒左端 160 mm 处用专用打孔器依次交叉打 5 排直径为 75 mm 的圆孔，排间距为 65 mm，每排中均等分打 12 个孔，在距离滚筒的右端用打孔器依次交叉打 4 排直径为 100 mm 的圆孔，排间距为 99 mm，每排中均等分打 10 个孔。

图 8 中滚筒左边缘有 3 个支撑轮，左端包括 3 个支撑轮和 1 个定位支撑轮，其中下方的 4 个支撑轮均用 M5 的螺栓连接到主框架上，上方的支撑轮用一根滚珠丝杠连接到主框架上，这样就可以灵活调节支撑轮的高度，方便滚筒的拆装。在滚筒左边缘的定位支撑轮既可为滚筒旋转导向，又可以起一定的支撑作用，可防止滚筒在自身重力的作用下向右滑动。

分选滚筒右端 646 mm 处安装有同步带，该同步带通过胶紧黏连在分选滚筒上，主要是为了和同步带轮上的同步带进行啮合，从而才能带动分选滚筒的转动，结构见图 7。

在实际分选贴标签的过程中，由于考虑到水果在运动过程中可能会出现碰撞损伤等问题，因此需要对圆孔边缘进行去毛刺处理并在边缘粘贴气泡防震垫。水果接盘和水果箱中均会根据实际情况铺放一层防震海绵垫，以减少水果损伤。

3.2 试验

试验在烟台某苹果加工车间进行，试验中选择 500 个圆形苹果作为试验对象，采用正交试验方法，并且选择综合评分中的排队评分法、公式评分法进行试验结果评价[22]。

3.2.1 排队评分法 排队评分法是综合考虑各项指标的优劣，排序给出评分值，并把它作为单指标进行数据分析[22]。该方法可先把每项指标的优秀值定为满分，对其他试验所得的该指标值，根据其与该优秀值的差异按比例打分，然后对每次试验的所有指标的分数相加即得综合评分。

3.2.2 公式评分法 公式评分法是利用一个包含有各项指标加权系数的公式计算每号试验结果的综合评分。加权系数的大小由试验指标的重要程度来决定，指标越重要加权系数越大[22]。在本试验中，水果损伤率、标签合格率及分选正

确率为试验最终关注的目标,因此权数分别取 2。对于分选时间相对于其他试验目标而言,权重相对较低,故权数选 1。

根据生产实践经验,影响试验指标的因素很多,本试验进行四因素三水平正交试验,考察滚筒转速、滚筒直径、滚筒长度、滚筒倾角对试验结果的影响。正交试验因素水平表见表 1。

本试验根据 $L_9(3^4)$正交表安排,为了提高准确性,每个试验号都采用实物样机试验。试验方案及评分结果见表 2。

表 1　圆形水果分选和贴标签机性能试验因素水平表

Table 1　Table of performance test factors of fruit sorting and labeling machine

水平	A 滚筒转速 n/(r·min^{-1})	B 滚筒直径 D/cm	C 滚筒长度 L/m	D 滚筒倾角 θ/(°)
1	10	30	1	5
2	15	50	1.5	7
3	20	100	2	15

表 2　试验结果统计表

Table 2　Statistical table of test results

试验号		A	B	C	D	综合评分	
						排队评分法	公式评分法
1		1	1	1	1	23	44
2		1	2	2	2	15	29
3		1	3	3	3	24	45
4		2	1	1	1	22	39
5		2	2	2	2	29	54
6		2	3	3	3	29	53
7		3	1	1	1	24	40
8		3	2	2	2	32	58
9		3	3	3	3	28	56
排队评分法	k_1	20.7	23.0	28.0	26.7		
	k_2	26.7	25.3	21.7	22.7		
	k_3	28.0	27.0	25.7	26.0		
	R	7.3	4.0	6.3	4.0		
公式评分法	k_1	39.3	41.0	51.7	51.3		
	k_2	48.7	47.0	41.3	40.7		
	k_3	51.3	51.3	46.3	47.3		
	R	12.0	10.3	10.4	10.6		

根据表 2 可得排队评分法和公式评分法试验中评分较高的均为第 8 次试验,试验条件均为 $A_3B_2C_2D_2$。根据极差分析比较好的试验顺序可选择 $A_3B_3C_1D_1$。因此样机的最优组合参数为 $A_3B_3C_1D_1$,即转速 30 r/min、滚筒直径 100 cm、倾斜角 5°、长度 1 m。

样机采取优组合设计数据和工人同时对一定量苹果进行分选和贴标签,分别重复 3 次试验,试验结果见表 3、4。

表 3　分选试验结果

Table 3　Results of sorting experiment

指标	时间/min	正确率/%	损伤率/%
样机	3.6	97.3	1.35
	3.2	97.1	1.42
	3.0	96.9	1.21
人工	9.0	97.1	1.13
	8.4	98.1	1.10
	9.1	97.8	1.12

试验结果表明,对于同等数量的苹果,样机用时明显少于人工用时,正确率和标签合格率均优于人工且损伤率相近,样机能够完成预先的设计目标。

4　结论

(1) 该设计在理论方面,对水果在滚筒内的运动轨迹及受力进行详细的分析,更加精确地确定分选滚筒的各个参

表 4　贴标签试验结果

Table 4　Results of labeling experiment

指标	时间/min	损伤率/%	标签合格率/%
样机	6.0	0.67	98.7
	6.2	0.58	97.6
	6.8	0.71	97.5
人工	7.0	0.67	98.0
	7.5	0.54	97.2
	7.1	0.48	97.2

数。在结构设计方面，通过 SolidWorks 软件对样机进行三维建模并且对整体结构进行运动学仿真分析，加快设备的设计与开发。

(2) 样机的实际车间试验表明：转速 $n=30$ r/min，滚筒直径 $D=100$ cm、倾斜角 $\theta=5°$以及长度 $L=1$ m 为最优选择，此条件下滚筒式自动分选机能够有效地完成不同大小水果的分选任务且分选效率不低于 97%，自动贴标签机也能够实现贴标签的无人化、精准化，准确率达 98.7%，整机工作性能稳定。

(3) 该设计思路为小型农户自种圆形水果的分选和贴标签提供了创新技术，同时也可以应用到其他圆形物品分选和贴标签机器的研发设计中，有利于加快自动化食品包装的国产化进程。

参考文献

[1] 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.

[2] 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.

[3] 王新亭. 电子称重式水果分选机微机测控系统的研究[D]. 北京：中国农业大学，2003：1-2.

[4] 梁海龙，白峭峰，梅小龙，等. 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.

[5] 邓良平. 水果产后商品化处理设备现状与发展方向[J]. 粮油加工：电子版，2000(6)：7-8.

[6] 高锐，章海亮. 水果自动分选设备的研究现状[J]. 农业机械，2004(3)：41-41.

[7] 徐力群，陈旭，姬中林，等. 基于 Inventor 的重心变换式水果大小分选机设计[J]. 科学家，2017(15)：5-6.

[8] 白东升，李康. 基于计算机视觉的高速机器人芒果分选系统设计[J]. 农机化研究，2017，39(8)：231-233.

[9] 张丽芬. 基于计算机视觉技术的樱桃自动分选系统设计[J]. 农机化研究，2017，39(9)：212-214.

[10] 万宏强，张晓，吴万欣，等. 基于 SolidWorks 的苹果大小分选机三维设计[J]. 林业机械与木工设备，2016，44(4)：33-36.

[11] LEEMANS V，DESTAIN M. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects[J]. Journal of Food Engineering，2004，61(1)：83-89.

[12] 刘静，黄声德，张义猛，等. 基于慧鱼模型的水果包装系统设计与搭建[J]. 包装工程，2018(5)：136-140.

[13] 刘瑞歌，宋锋，刘雪涛. 全自动水果包装机的设计[J]. 机电工程技术，2017，46(9)：79-81.

[14] 刘利东. 几种新型联轴器简介[J]. 林业机械与木工设备，2003，31(3)：31-32.

[15] 张江立. 继电器的简介[J]. 科技创新导报，2013(2)：80.

[16] 栾东海. 某步进电机应用系统设计及其快速重复启停特性研究[D]. 南京：南京理工大学，2012：1-2.

[17] 王新良. 硅橡胶与聚丙烯材料粘接用底涂剂制备及性能研究[D]. 杭州：杭州师范大学，2015：1-2.

[18] 盛金良，高君. 垃圾滚筒筛参数设计[J]. 建筑机械化，2004，25(3)：62-63.

[19] 姜学东，庄振春. 介电种子分选机分选滚筒设计分析[J]. 青岛农业大学学报：自然科学版，2006，23(2)：126-128.

[20] 蔡玉良，杨学权，丁晓龙，等. 滚筒筛内物料运动过程的分析[J]. 水泥工程，2010(2)：5-8.

[21] 宁朝阳，皮智谋，任成高，等. SolidWorks 软件在机械设计中的应用[J]. 现代机械，2007(2)：43-44.

[22] 苑玉凤. 多指标正交试验分析[J]. 湖北汽车工业学院学报，2005，19(4)：53-56.

(上接第 4 页)

[10] 姚胜文，赵倩竹，鲜傲霜，等. 低聚糖阿魏酸酯对美拉德反应挥发性产物的影响[J]. 现代食品科技，2016，32(3)：113-118.

[11] 向小乐，余佶，杨万根，等. 预处理方式对古丈毛尖茶香气成分的影响[J]. 食品与机械，2015，31(4)：232-236.

[12] LIN Lian-zhu，ZHUANG Ming-zhu，LEI Fen-fen，et al. GC/MS analysis of volatiles obtained by headspace solid-phase microextraction and simultaneous-distillation extraction from Rabdosia serra (MAXIM.) HARA leaf and stem[J]. Food Chemistry，2013，136(2)：555.

[13] YAN Liu-jun，ZHANG Yan-fang，TAO Wen-yi，et al. Rapid determination of volatile flavor components in soy sauce using head space solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Chromatography，2008，26(3)：285-291.

[14] 何保江，李成刚，刘珊，等. 反应条件对葡萄糖/苯丙氨酸和葡萄糖/丙氨酸 Maillard 模型体系挥发性产物的影响[J]. 食品科学，2015，36(23)：143-149.

[15] 方杰，冯小敏，王维民，等. 对虾头酶解液 Maillard 反应中挥发性成分变化及影响因素[J]. 食品与机械，2011，27(5)：39-43.

[16] 甘学文，王光耀，邓仕彬，等. 外源美拉德反应中间体在卷烟加工中的含量变化及致香效果[J]. 食品与机械，2017，33(5)：77-82.

[17] ADAMS A，KIMPE N D. Formation of pyrazines from ascorbic acid and amino acids under dry-roasting conditions[J]. Food Chemistry，2009，115(4)：1 417-1 423.

[18] 周永妍，李亚，余爱农. 顶空固相微萃取法萃取 Maillard 反应体系中吡嗪类化合物的条件优化[J]. 食品科学，2015，36(6)：119-123.

[19] 朱丽芳. Mucor sp.转化肉桂酸生成苯乙酮和 1-苯乙醇及分析方法的研究[D]. 南宁：广西大学，2013：10-11.

[20] MAJCHER M，JELEN HH. Comparison of suitability of SPME，SAFE and SDE methods for isolation of flavor compounds from extruded potato snacks[J]. Journal of Food Composition & Analysis，2009，22(6)：606-612 .

[21] 孙美环，齐欣，唐向阳，等. 由月桂烯合成香叶基丙酮的研究[J]. 化学工业与工程，2016，33(1)：51-56 .