

球形水果自动套网装置设计与试验

武正权¹, 张建霞², 郭祖华³, 刘静香¹, 孔浩帆⁴

(1. 河南工学院 机械工程学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南工学院 智能工程学院, 河南 新乡 453003; 3. 河南工学院 计算机科学与技术学院, 河南 新乡 453003; 4. 中建五洲工程装备有限公司, 江苏 南京 210034)

摘要: 为了提高球形水果套网的自动化水平, 以 PLC 为控制核心, 设计了集机械结构和电气控制系统于一体的全自动球形水果自动套网装置, 主要包括放置网套机构、限位输送装置、自动套网装置等, 该装置能够自动实现球形水果输送、套网、自动落料。测试结果表明: 该装置自动模式下套网速度 15 个/分钟, 网套大面积损伤率在 3.33% 左右, 套网合格率在 96% 以上, 该装置套网速度达到设计要求, 可以减少套网过程中网套的损伤率, 降低人工劳动强度和生产成本。

关键词: PLC; 球形水果; 自动套网

中图分类号: S220; S233.5

文献标志码: A

文章编号: 2096-7772-(2024)04-0006-07

0 引言

为降低球形水果在转运过程中损伤率, 市场上使用已经切割成小块的塑料发泡网对水果进行人工套网, 其劳动强度较高且效率较低。水果采摘及自动分拣装置目前已有较多学者进行了研究, 水果的自动套网已成为迫切需要解决的问题^[1-2]。刘满^[3]等设计了自动上果输送带, 苹果以各种姿态进入传输机构, 通过摩擦滚动, 在定位盘定位后, 夹紧机构夹住网套后, 撑开器下降到指定位置, 升降器上升顶压开合器, 开合器与固定座夹紧网套, 夹紧机构松开并向上运动至原点, 切断器水平运动, 切开连接在一起的网套。胡俊磊^[4]等设计的发泡网包装机工作过程是苹果跟随圆形限位运输机构运动到达包装作业点位, 支撑装置上升与发泡网撑开器对接, 电动夹爪拖动发泡网向下滑动, 套网完成后切割刀具切断发泡网。徐勤超^[5]等设计的网套包装机通过下膜卡筒内壁的倒刺勾住网套, 网套沿膜卡筒和扩膜锥体向下运动, 水果进入托盘后夹子闭合, 夹住网套和扩膜圆柱筒, 托盘将水果送至扩膜锥体内, 同时膜卡筒向上复位, 扩膜锥体下降, 水果撑开扩膜锥体进入网套中, 之后电热丝切断网套, 已包好

的水果沿滑道滑出。

综上所述, 目前水果自动套网的全流程自动化程度不够高, 有的水果取放需要人工, 有的结构比较复杂, 套网动作繁琐, 套网效率和合格率较低。本文以苹果、橙子和石榴等球形水果(果径在 65—85mm)自动套网为研究对象, 设计了基于 PLC 控制的具有网套存放装置、自动套网装置、自动上下料装置的球形水果自动套网机, 其具有容错率低、网套破损率低, 套网效率高的特点。

1 球形水果自动套网机械系统设计

球形水果自动套网装置有机械系统和控制系统两大部分组成。机械系统主要包括限位输送装置、自动套网装置、放置网套机构三大部分。限位输送装置以电机为动力元件, 通过联轴器与凸轮分割器连接, 带动凸轮分割器做间歇性运动; 凸轮分割器将运动传递给旋转平台, 从而带动旋转平台进行间歇工作。自动套网装置是设计的关键部分, 主要包括网套撑开器、网套牵引机构和网套切断机构。放置网套机构用于存储网套, 工作时通过拉力使网套存放机构旋转, 从而完成自动下料。水果自动套网装置设计思路如图 1 所示。

收稿日期: 2024-03-04

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102210029); 河南省高等学校重点科研项目(23B210005)

第一作者简介: 武正权(1989—), 男, 河南南阳人, 讲师, 硕士, 主要从事结构和控制系统设计。

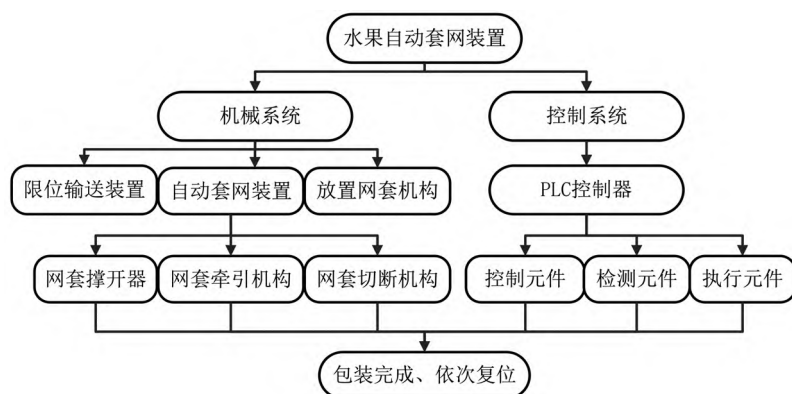
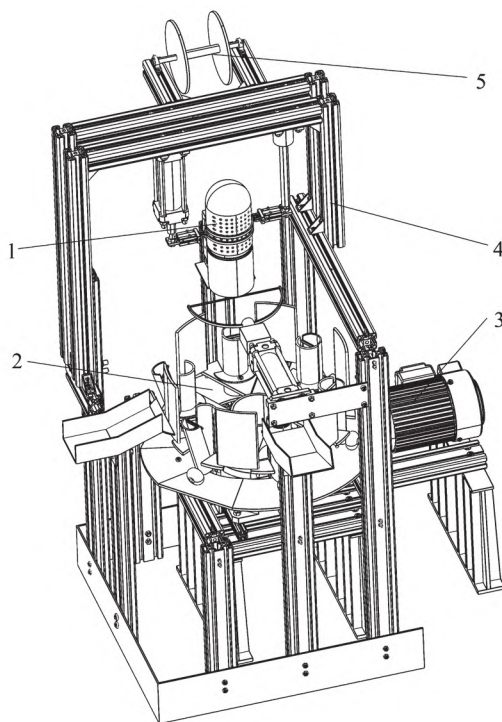


图1 球形水果自动套网装置设计思路图

开始工作时, 先将网套套在网套撑开器上, 当余量不足时, 控制系统发出警告, 提醒操作人员进行网套补充。球形水果从上料口处自行滚落至限位圆筒上, 凸轮分割器将其旋转到套网工位, 由于凸轮分割器的特性, 限位圆筒将会暂停在工位上, 套网机构的各执行元件根据 PLC 输出的控制信号按照既定的运动轨迹对水果进行套网, 套网完成后旋转轮会继续向前转动, 当经过旋转平台的斜坡时, 限位圆筒会发生倾斜, 包装好的水果因为限位圆筒发生倾斜, 向外侧进行翻转, 自动落入下料端口。水果自动套网装置的整体结构设计如图 2 所示, 各部

分主要为:

- (1) 限位输送装置: 主要包括限位筒、旋转平台、旋转平面、旋转轮、平台动力端等;
- (2) 自动套网装置: 主要包括套网撑开器、套网切割器、支撑台、套网气缸、拇指气缸等;
- (3) 动力装置: 主要包括减速电机, 以及联轴器、凸轮分割器等标准件;
- (4) 机架: 主要有三角支撑架、铝合金型材、角码、滑块螺母等组成;
- (5) 网套存放机构: 主要由轴、轴承、H 型尼龙轮等组成。

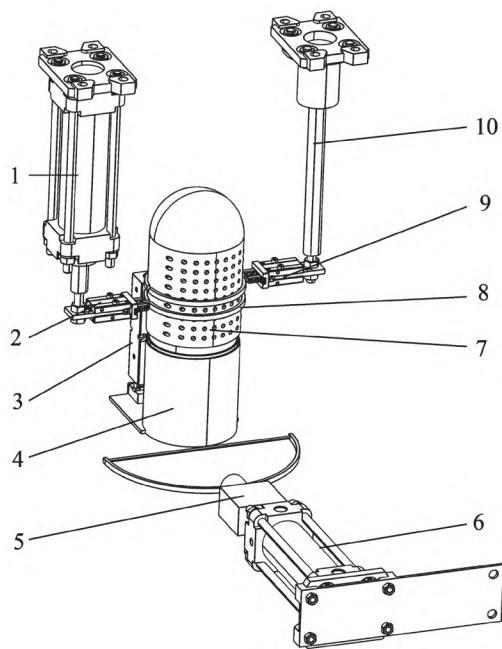


1—限位输送装置; 2—自动套网装置; 3—动力装置; 4—机架;
5—网套存放机构。

图2 水果自动套网装置

1.1 自动套网装置设计

网套材质为聚氨酯泡沫塑料网,宽度为70 mm^[6]。网套自动套网装置如图3所示,主要有定位杆、套网气缸、拇指气缸1、切割气缸、网套撑开器、拇指气缸2、切割器、支撑气缸、支撑平台等组成。网套撑开器的夹紧机构为拇指夹紧气缸1和拇指夹紧气缸2。它们分别与套网气缸和定位杆相连,采用左右对称的布置方式,水平安装在网套撑开器的两端。拇指夹紧气缸安装有夹紧圈,夹紧圈套入网套撑开器的外面。套网气缸和定位杆底端固定在机架的最上方,支撑圆台与支撑气缸连接在一起,在套网过程中对网套撑开器起到支撑作用。网套撑开器与支撑圆台同轴心,在设备还未启动时,支撑圆台停留在网套撑开器的正下方。网套切断机构由电热切割刀具与气缸组成,固定于机架侧面,呈水平方向布置,切割刀具与气缸组装在一起,切断机构所切割的平面位于撑开器的正下方。在套网过程中,网套撑开器保持不动,套网气缸带动拇指夹紧气缸向下移动,网套在网套撑开器外表面向下移动,支撑装置与网套撑开器之间相互啮合,抵消套网运动产生的向下作用力。当支撑机构到达底端时,切割刀具在切割气缸的推动下对网套进行切断工作,网套切割长度可控制在100—120 mm之间。



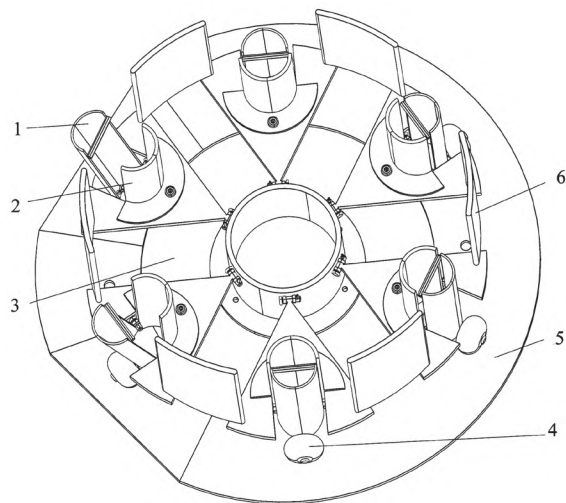
1—套网气缸; 2—拇指气缸1; 3—支撑气缸; 4—支撑圆台; 5—切割器; 6—切割气缸; 7—网套撑开器; 8—夹紧圈; 9—拇指气缸2; 10—定位杆。

图3 球形水果自动套网装置

1.2 限位输送装置设计

套网装置通过圆周转动的方式输送水果,限位输送装置如图4所示,其由水果限位圆筒、转动圆盘、平台动力端、旋转平台、旋转轮等部分组成,该限位输送装置能够将水果快速准确送到自动套网装置所在位置。

筛选后的水果滚落到水果限位圆筒内,水果限位圆筒仅能容纳固定一个水果,后面的水果将无法再进入到加工位置。但是在平台旋转到加工位置这个过程中,为了防止由于振动而引起的限位圆筒外壳转动,导致水果掉落,需要对上料的水果进行隔断,这就是旋转平台之间隔板的作用。当旋转轮经过旋转平台的斜坡时,限位圆筒外壳会发生倾斜,加工好的水果会因为限位圆筒外壳发生倾斜,向外侧进行翻转,自动落入下料端口。套网完成后旋转轮会继续向前转动,旋转轮又再一次进入旋转平台的平面,水果限位圆筒外壳恢复到载物状态。



1—限位圆筒外壳; 2—限位圆筒内壳; 3—转动圆盘;
4—旋转轮; 5—旋转平台; 6—挡板。

图4 水果限位输送装置

1.3 凸轮分割器的计算与选型

球形水果的套网过程是间歇性的,为了避免驱动装置频繁启停,延长设备使用寿命,采用电机驱动凸轮分割器,凸轮分割器带动圆盘做间歇性转动的运动模式。

凸轮分割器的选型需要计算输入轴扭矩,其包括惯性扭矩、摩擦扭矩和做功扭矩^[7]。在运转过程中凸轮分割器需要承受转盘质量、工位质量和工件质量带来的惯性扭矩。

(1) 惯性扭矩 T_i 。转盘的质量为旋转平台和挡

板的质量 $m_1=2\text{ kg}$, 半径 $r_1=240\text{ mm}$, 转盘的转动惯量

$$J_1 = \frac{m_1 r_1^2}{2} = 0.058 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

工位质量为限位圆筒外壳、内壳、转动圆盘、平台动力端、旋转轮和限位筒等质量的总和 $m_2=8\text{ kg}$, 半径 $r_2=160\text{ mm}$, 则工位质量的转动惯量

$$J_2 = \frac{m_2 r_2^2}{2} = 0.102 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

运转过程中最多需要装配 6 个水果, 通常情况下每个水果的重量大概是 150—250g 之间, 计算时取 250 g, 半径是 $r_3=160\text{ mm}$, 工件质量带来的转动惯量

$$J_3 = \frac{m_3 r_3^2}{2} = 0.019 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

总转动惯量

$$J = J_1 + J_2 + J_3 = 0.179 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (1)$$

根据设备的设计和实际运行时间, 系统在驱动时间 $t_1=1\text{ s}$ 与停滞时间 $t_2=3\text{ s}$ 之间进行循环运动, 计算驱动角

$$\theta = 360^\circ \times \frac{t_1}{t_1 + t_2} = 90^\circ$$

已知凸轮分割器的曲线是正弦, 曲线角加速度 $A_m=5.53$, 输入力扭矩系数 $Q_m=0.99$, 工位数 $N=6$, 输入轴转速 $n=60\text{ rad/s}$, 输出轴最大角加速度

$$\alpha = A_m \times \frac{2\pi}{N} \times \left(\frac{360^\circ}{\theta} \times \frac{n}{60} \right)^2 = 92.61 \text{ rad/s}^2 \quad (2)$$

由式 (1) (2) 可计算出惯性扭矩

$$T_i = J\alpha = 16.58 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 摩擦扭矩 T_f 。本装置中存在摩擦力, 摩擦系数 $\mu=0.2$, 摩擦处的旋转半径 $r_4=160\text{ mm}$, 负载的总质量 m_c 为平台动力端、限位圆筒外壳、内壳、转动圆盘和 6 个水果等的正压质量。

$$m_c = m_1 + m_2 + m_3 = 11.5 \text{ kg}$$

则摩擦扭矩

$$T_f = \mu \cdot m_c \cdot r_4 = 0.368 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 做功扭矩 T_w 。凸轮分割器在间歇分割时没有做功, 所以其做功扭矩 $T_w=0$ 。

(4) 理论扭矩 T_t 。最终确定理论扭矩

$$T_t = T_i + T_f + T_w = 16.95 \text{ N} \cdot \text{m}$$

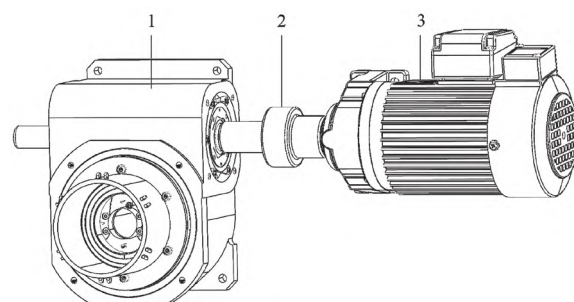
(5) 实际负载 T_e 。取安全系数 $f_e=1.5$, 则实际负载

$$T_e = T_t \times f_e = 25.43 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (3)$$

(6) 由此得到输入轴扭矩

$$T_c = \frac{360^\circ}{\theta \times N} \times Q_m \times T_e = 16.78 \text{ N} \cdot \text{m}$$

根据以上凸轮分割器选型的计算, 经过选型后, 决定选用 45DF 型凸轮分割器, 动力装置如图 5 所示。



1—凸轮减速器；2—联轴器；3—减速电机。

图 5 动力装置

2 球形水果自动套网控制系统设计

2.1 主电路设计

控制电路主要由三部分组成, 分别为直流控制电路、信号输入端和信号输出端, 如图 6 所示。直流控制电路主要对气压系统中的三位五通电磁换向阀进行控制, 从而完成对气缸行程的控制; 电流信号对 PLC 信号的输入端进行信息输入, 以此完成对 PLC 的信息报告, PLC 也是由此开展信号分析处理; 当 PLC 对信息加工完成后, 会通过信号输出端进行信号传输, 电路会根据所收到的信息进行相对应的动作反馈^[8-9]。

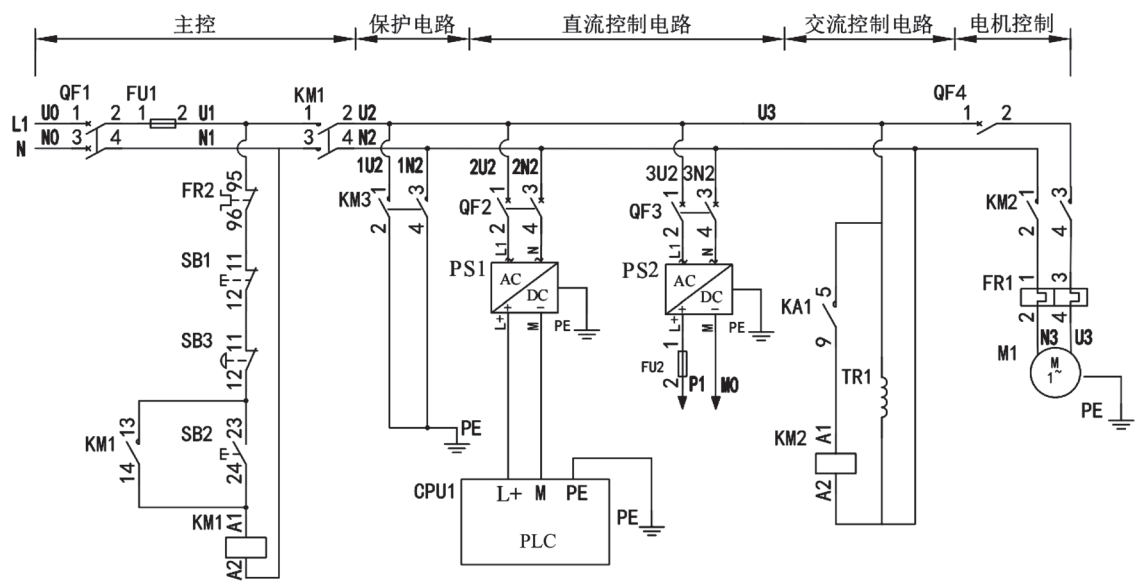


图 6 主电路图

在图 6 中，QF 作为电路总开关负责整台设备的电路通断，SB1、SB2、SB3 分别是电路总停止按钮、总启动按钮、急停按钮。QF2 是 PLC 系统的电源，通过变频器 PS1 把单相交流电转换为直流电，为 PLC 提供电力支持；PS2 为直流控制回路供电，

TR1 是电热切割丝，KA1 控制电机的启停。

2.2 气动回路设计

套网流程由多个装备相互配合完成，PLC 通过对气压阀的控制来操控气压缸的运动，其气动系统如图 7 所示。

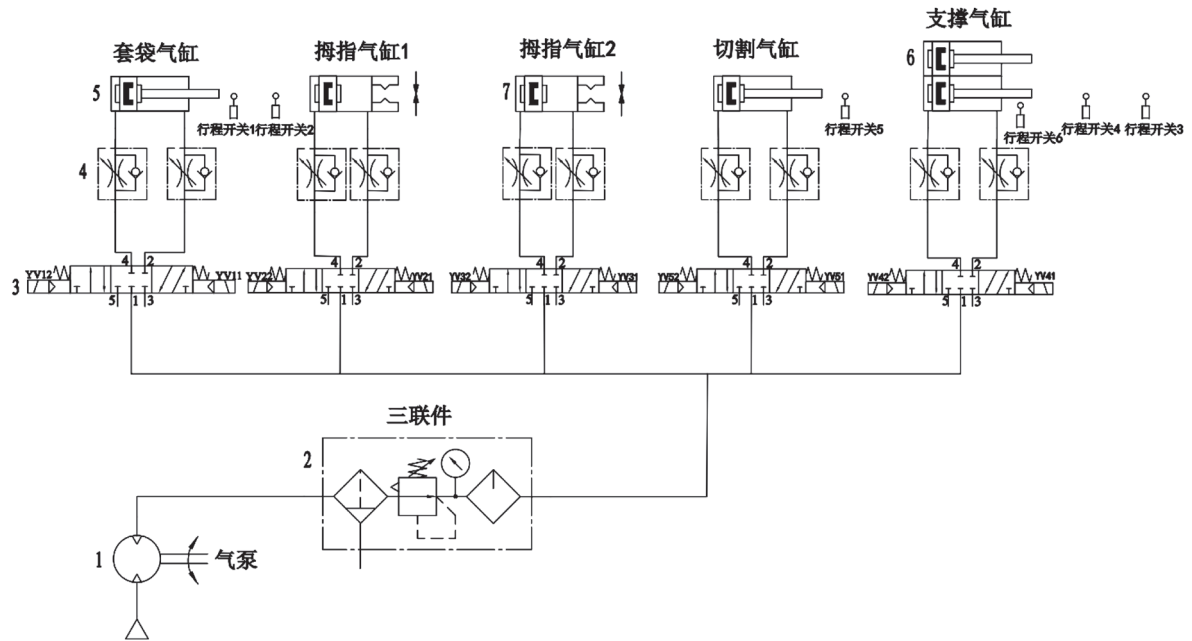


图 7 气动系统

(1) 在 PLC 通电之初，网套穿过撑开器，然后电机通电，平台转动，将工件运送到加工位置后，凸轮分割器使转盘处于暂停状态。

夹紧之外，其余的都是收缩状态。系统到达初始位置。在这个阶段中，PLC 在扫描用户程序过程中一直遵循着由上而下的顺序（梯形图）^[10]。

(2) 气压缸总开关闭合，除了夹紧拇指气缸 1

(3) 套网气缸运行，当触碰到行程开关 1 后，

支撑气缸动作。

(4) 套网气缸行程结束，触碰到行程开关 2 后，拇指气缸 1 张开，拇指气缸 2 闭合，套网气缸回程。

(5) 支撑气缸行程结束后，触碰到行程开关 3，切割气缸伸出。

(6) 切割器到达指定位置后，触碰行程开关 5，

切割气缸回程，操纵支撑平台的气缸回程。

(7) 支撑平台在回程过程中，触碰到行程开关 4，拇指气缸 2 张开，支撑平台带动撑开器复位。

(8) 支撑平台行程结束，触碰到行程开关 6，拇指气缸 1 闭合，开始再次套网。

在加工过程中电磁换向阀中的电磁铁的得电顺序表如表 1 所示。

表 1 电磁铁得电顺序图

	YV11	YV12	YV21	YV21	YV31	YV32	YV41	YV42	YV51	YV52
开始套网	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-
拇指气缸切换	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-
开始切割	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+
切割结束	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-
撑开器上移	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
流程结束	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-

2.3 I/O 分配

综上考虑，最终选择 S7-1200/CPU1214C（DC/DC/DC）进行编程设计，其作为中央控制元件，接线口数目足够，不必再加入其余控制模块^[11]，I/O 具体分配如表 2 所示。

表 2 自动套网控制系统 I/O 分配表

	I/O 口	元器件	功能
输入	I0.0	SB4	PLC 启动
	I0.1	SB5	PLC 复位
	I0.2	SB6	PLC 停止
	I0.3	SB7	电机控制
	I0.4	SB8	气缸电路开启
	I0.5	ST1	气缸状态切换
	I0.6	ST2	气缸状态切换
	I0.7	ST3	气缸状态切换
	I1.0	ST4	气缸状态切换
	I1.1	ST5	气缸状态切换
	I1.2	ST6	气缸状态切换
	I1.3	SB9	手动开启
	I1.4	SB10	自动开启
	I1.5	SB11	手动控制
输出	Q0.0	KA1	控制减速电机
	Q0.1	KA2	控制气缸总开关
	Q0.2	KA3	套网气缸
	Q0.3	KA4	夹紧拇指气缸 1
	Q0.4	KA5	夹紧拇指气缸 2
	Q0.5	KA6	支撑平台气缸
	Q0.6	KA7	切割器气缸

3 测试试验

3.1 试验指标

选取套网速度和套网合格率两个指标来考察设计的球形水果自动套网装置的生产效率和作业质量^[4,12]。

套网速度是指完成水果套网的数量 n 与套网所需时间 t 之比，计算公式为：

$$v = \frac{n}{t} \tag{4}$$

套网合格率是指除去网套大面积损伤外的水果数量 n_1 与套网作业水果的总数量 n 之比，计算公式为：

$$\eta = \frac{n_1}{n} \times 100\% \tag{5}$$

3.2 试验结果与分析

样机有手动和自动两种套网模式，以 30 个橙子作为套网对象，与人工进行对比试验，手动、自动和人工套网对比如表 3 所示。手动模式操作下塑料发泡网产生损伤率略高于自动和人工。人工套网大面积损伤率为 0，套网合格率 100%，但自动模式操控时套网速度明显较手动和人工快，套网合格率在 96.67%，符合设计预期。

表 3 手动、自动和人工套网对比

实验组别	套网总数 n/个	套网速度 v/(个/分钟)	套网小面积损伤率 /%	套网大面积损伤率 /%	套网合格率 η /%
手动	30	8	13.33	6.67	93.33
自动	30	15	6.67	3.33	96.67
人工	30	10	6.67	0	100

4 结语

本文设计了基于 PLC 控制的球形水果自动套网装置，包括网套存放装置、自动套网装置、自动上下料装置。通过测试，对比了手动、自动、人工三种套网模式的套网速度、套网损伤率和套网合格率。自动套网模式下套网速度 15 个 / 分钟，套网大面积损伤率在 3.33% 左右，套网合格率在 96.67%，套网速度较手动和人工快。该装置套网质量稳定，大幅度降低了套网过程中网套的损伤率、人工劳动强度和生产成本，为球形水果进入市场时的新鲜度和完好度提供了保障。

参考文献：

[1] 姚素红,陈凯峰,赵华洋.基于 PLC 控制的苹果分拣系统设计与测试[J].包装与食品机械,2022,40(4):62-67.
[2]唐媛红,刘月云.基于 PLC 的水果分拣机器人动作控制优化[J].农机化研究,2021,43(12):233-237.
[3] 刘满.基于 PLC 的苹果套网装置设计[D].泰安:山东农业大

学,2016.
[4] 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.
[5] 徐勤超,陈红,潘海兵,等.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.
[6] 张鹏,杨自春,张震,等.二氧化硅气凝胶及其复合材料吸声性能的研究进展[J].稀有金属材料与工程,2022,51(11):4306-4322.
[7] 夏会芳,汪芳,孙文文,等.发热盘自动生产线钻孔攻牙机设计[J].机械工程与自动化,2023,(2):71-72.
[8] 刘静香,陈华红.基于 PLC 控制的自动下料清洗装置设计[J].河南工学院学报,2021,29(3):1-6.
[9]李松涛,吴素珍.基于 PLC 的枕式包装机速度控制系统设计[J].制造业自动化,2022,44(5):95-98.
[10] 李亚清.PLC 在种子包装生产线上的运用研究[J].中国设备工程,2022,(8):108-109.
[11] 鄢然,秦杨,殷勤,等.基于 PLC 的螺柱焊自动化装配控制系统设计[J].机电工程技术,2024,53(4):16-19.
[12] 刘平,高德政,王春颖,等.鲜食葡萄袋中袋包装装置设计与试验[J].农业机械学报,2023,54(1):376-384.

Design and Test of Automatic Netting Device for Spherical Fruits

WU Zhengquan¹,ZHANG Jianxia²,GUO Zuhua³,LIU Jingxiang¹, KONG Haofan⁴

(1. School of Mechanical Engineering,Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003,China;2.School of Intelligent Engineering,Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003,China;3.School of Computer Science and Technology,Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003,China;4.CSCEC Wuzhou Engineering Equipment Co., Ltd., Nanjing 210034,China)

Abstract:In order to improve the automation level of spherical fruit netting, a fully automatic spherical fruit netting device integrating mechanical structure and electrical control system was designed with PLC as the control core. The device mainly includes a placement net cover mechanism, a limit conveyor device, an automatic net cover device, etc. The device can automatically realize the transportation, net cover, and feeding of spherical fruits. The test results show that under the automatic netting mode, the netting speed is 15 pieces/minute, the large-area damage rate of the netting is about 3.33%, and the netting qualification rate is over 96%. The networking speed of the device not only meets the design requirements, but also reduces the damage rate of the mesh during the installation process, lowers labor intensity and production costs.

Key words: PLC; spherical fruit; automatic netting

(责任编辑 王磊)