

# 便携式双刀片电动果园采收装置设计

何家成, 汪洋, 蒋猛\* (西南大学工程技术学院, 重庆 400716)

**摘要** [目的]解决华南丘陵山区水果采摘机械化难度大的问题。[方法]采用计算机模拟设计了一款便携式双刀片电动果园采收机具。首先通过建立力学模型的方式,论证了方案的可行性,排除了一次剪切不成功的情况;其次对机具的硬件选择和电路控制,计算机工作程序等进行了设计。[结果]设计的双刀片机械辅助果园采收机具,由两片切割刀片,两台直流伺服电机、可伸缩支架杆等组成,工作时刀片始终在水果筐范围内移动,不会出现因为刀片移动到筐外而损伤其余未摘水果的情况,可有效降低因采收机具而产生的产量损失。[结论]该设计方案通过切割力分析验证,不存在一次切割不成功的情况;该机具搭载的直流电机,选用12V/6AH电池,每次可工作10h,可满足山地工作需求。

**关键词** 便携式;电动;水果采摘

**中图分类号** S225 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)05-01563-03

## Design of Portable Double Blade Electric Orchard Recovery Device

HE Jia-cheng, JIANG Meng et al (College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400716)

**Abstract** [Objective] To solve the problems in fruit picker mechanization in the hilly region of southern China. [Method] A portable double blade electric orchard recovery device was designed using computer simulation. First, we set up a model of physics to prove the feasibility of this project and also prove that the blade can cut off the branch in one time. Then we discuss the design of circuitry and software with this project. [Result] The designed recovery device consists of double blades, two DC servo motor, the telescopic support rod. [Conclusion] The design scheme was verified by cutting force; the DC motor used 12V/6AH battery, which can work 10 h each time and satisfy mountain work demands.

**Key words** Portable; Electric; Fruit

中国作为水果生产大国,截止2009年我国水果生产量为1.14亿t,占全世界水果产量的19.42%,其中苹果、梨、橙等生长在果树上的水果产量均占世界前三<sup>[1]</sup>。整个水果生产过程中,果园采摘所占劳动力占其整个生产过程的35%~45%<sup>[2]</sup>,但是我国果园采摘机械化程度较低。农业机械化对提高单位耕地面积的农业总产值、降低农业劳动力的使用量、提高农业劳动生产率,以及优化农业的种植结构等方面发挥着十分重要的作用<sup>[3]</sup>。因此研制水果采摘机械改善果园作业方式具有重要而实际的意义。

当前果园机械采摘方法主要分为:机械辅助采收和机械化采收两种形式<sup>[4]</sup>。国内机械化采收存在着效率不高,容易损伤果实、产量损失大等问题<sup>[4]</sup>。尤其是在我国南方丘陵山区地带,这一地区恰好又是水果采摘园的所在地。这片地区由于地形限制,拖拉机等大型机械难以工作,加大了实现机械化采收的难度。但是在未来的日子里对于这一地区,机械辅助采收作为主流的采收形式。基于这种情况,课题组设计了双刀片机械辅助果园采收机械。采用了两片刀片,使得刀片进行切割工作时始终在水果筐范围移动,不会出现因为刀片移动到水果筐外而损伤其余未摘水果的情况,有效地降低了因采收水果而产生的产量损失。

### 1 系统基本结构及原理

该装置由两片切割刀片、两台直流伺服电机、可伸缩支架杆、切割按钮、控制器、电池、软管等组成。其装配方式为:切割刀片安装在直流伺服电机的旋转轴上,直流伺服电机安装在支架杆的顶端,在支架杆的手持部分安装有切割按钮以及电池。工作时,由控制器检测到切割按钮被按下后,控制

器启动伺服电机带动切割刀片切割。

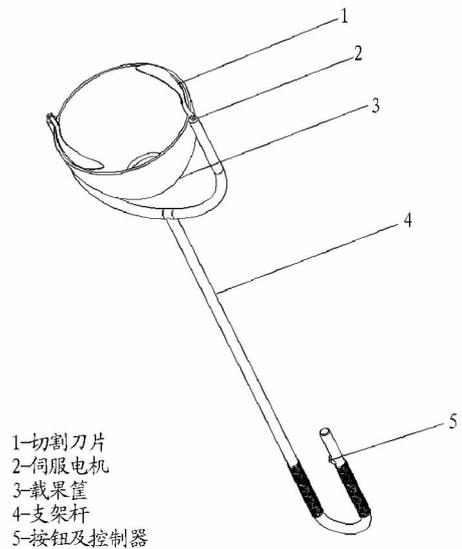


图1 便携式双刀片电动果园采收装置

**1.1 供电系统的设计** 考虑到整套装置的移动性能,不宜采用220V交流电直接供电,考虑电瓶重量的因素也不宜采用高于24V的电瓶供电。故装置采用12V电瓶供电,其重量轻,且持续工作时间长。

**1.2 电机的选择** 考虑到系统的工作特性,即需要切割刀片能够快速启动和切割完成后刀片快速停止旋转并且切割刀片返回初始位置。由于伺服电机具有快速启动以及停止的特点,并且配合光电传感器易于实现闭环控制。鉴于以上特性,该系统采用伺服电机,而不采用步进电机。

**1.3 支架杆的设计参数** 系统采用的铝合金管作为支架杆的制造材料,铝合金管外径30mm,内径27mm,其单位的理论重量为0.276kg/m,支架杆设计高度3m。

**作者简介** 何家成(1992-),男,重庆北碚人,在读本科生,专业:农业机械与自动化。\*通讯作者,蒋猛(1964-),男,四川岳池人,副教授,从事电机一体化研究。

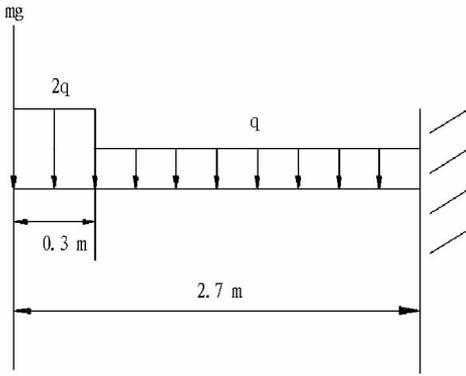


图2 支架杠受力分析

2 系统的方案设计与分析

2.1 系统机械设计力分析

2.1.1 对于支架杠的受力分析。支架杠主要受到人给予支架杠的支持力；支架杠自身的重力和电机及刀片的重力。由于支架杠较长，支架杠的重力应视为分布载荷，而电机与刀片可以一起视为一个点的集中载荷。

假设：支架杠受到重力的载荷集度为  $q$ ，支架杠总长度为  $3\text{ m}$ ，人手持部分的长度为  $0.3\text{ m}$ ，则剩余部分长度为  $2.7\text{ m}$ ，其中杆的头部长  $0.3\text{ m}$ ，伺服电机及切割刀片总质量为  $m$ ，人手持的力为  $F$ 。不难发现，当支架杠处于与地面水平时，支架杠所受到的力为最大。此时，杆的受力分析可简化为悬臂梁的受力分析，其中人手持部分可以视为悬臂梁的固定支座，其余部分受力情况如图2所示。

支架杠的受力方程：

$$\frac{dF_s(x)}{dx} = qx$$

由于支架杠顶端还存在集中载荷的作用，故该系统的受力方程为：

$$F_s = \int_0^x q(x) + mg$$

则支架杠的受力函数表达式在  $0 \sim 0.3\text{ m}$  内为：

$$F_s = 2qx + mg$$

在  $0.3$  到末端的范围内为：

$$F_s = qx + mg + 0.6q$$

整个范围内函数如图3所示。

由于支架杠所受弯矩与受力之间的关系为：

$$\frac{dM(x)}{dx} = F_s(x)$$

则支架杠的弯矩函数式在  $0 \sim 0.3\text{ m}$  内即为：

$$M(x) = qx^2 + mgx$$

在  $0.3$  到末端的范围内为：

$$M(x) = \frac{1}{2}qx^2 + (mg + 0.6q)x$$

易得，当  $X = 2.7\text{ m}$  时，弯矩最大。

又由于弯曲正应力计算公式为：

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{\frac{\pi D^3}{32} (1 - \frac{d^4}{D^4})}$$

其中： $D$  为大圆直径， $d$  为小圆直径。由于刀片及电机总质量

为  $1.5\text{ kg}$  即  $M = 1.5\text{ kg}$ ， $q = 0.276\text{ kg/m}$  算得弯曲正应力为： $31\text{ MPa}$ 。由于铝合金管材的极限许用应力为  $150\text{ MPa}$ <sup>[5]</sup>，而该系统设计应力为  $31\text{ MPa}$  可见铝合金可满足强度条件。

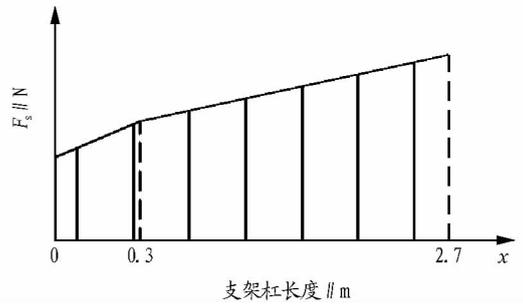


图3 支架杠的函数分析

2.1.2 对于刀片切割的受力分析。切割刀片进行切割作业时，其受力如图4，切应力计算公式：

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

其中： $F_s$  为剪力， $A$  为截面面积；视果柄为圆形截面，面积  $A = \pi R^2$ 。对于剪力  $F_s$  可以分为2个部分：(1)电机提供的扭矩；(2)切割刀片运动后的冲量。

对于扭矩部分： $F = M \cdot S = 5 \cdot 0.2 = 1\text{ N}$ 。对于冲量部分：伺服电机扭矩为  $5\text{ Nm}$ ，转速  $120\text{ r/min}$ ，刀片长度  $0.2\text{ m}$ 。则切割刀片线速度  $v$ ：

$$V = r \frac{\pi n}{30} = 2.5\text{ m/s}$$

割刀片冲量：

$$I = mv$$

总剪力  $F_s$ ：

$$(F_s - F) \cdot t = mv$$

即为：

$$F_s = \frac{mv + 1}{t}$$

切应力即为：

$$\tau = \frac{mv + 1}{t\pi r^2}$$

由于刀片重量为  $0.4\text{ kg}$ ，果柄半径约为  $0.75\text{ mm}$ ，时间  $t$  约为  $0.05\text{ s}$ ，算得切应力为： $22.63\text{ MPa}$ 。完全能够满足要求。

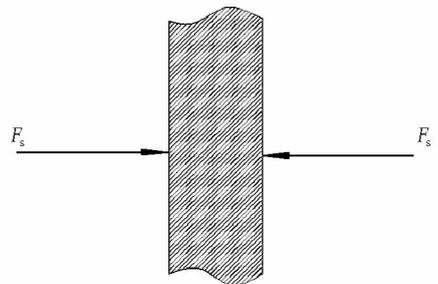


图4 刀片切割受力分析

2.2 系统电路部分设计 该系统采用PIC系列单片机为主控芯片。系统整个电路可分为两个单元：控制及监测单元与伺服电机驱动单元。

**2.2.1 伺服电机驱动单元。**伺服电机驱动单元主要功能为,驱动伺服电机正转、反转以及立即停转。为了实现以上功能,系统采用桥式驱动电路,当个驱动单元电路如图 5 所示。若伺服电机正转:Q1,Q4 接通,Q2,Q3 关断;若伺服电机反转:Q2,Q3 接通,Q1,Q4 关闭。当需要伺服电机立即停转则:Q3,Q4 接通,Q1,Q2 关断。由于 Q3,Q4 接通伺服电机运转时产生的感应电动势经 Q3,Q4 形成感应电流,所以伺服电机内部形成一个巨大的停转扭矩迫使伺服电机立即停转。

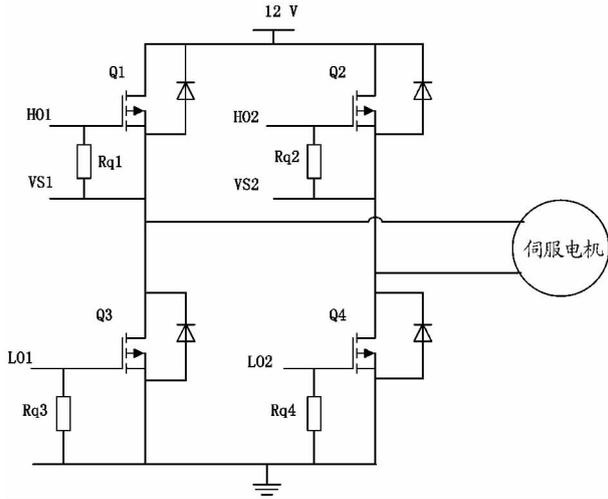


图 5 电路图

**2.2.2 控制及监测单元。**系统主控芯片采用美国 microchip 公司的 PIC18F23K20 该芯片具有:支持 3.3 V 低压工作,最大工作频率 64 MHz,支持 PWM 输出,支持 CCP 捕捉等特性。功率驱动芯片采用美国 IR 公司的 IR2136,其最大支持驱动 6 个场效应管工作。当需要电机工作时,单片机发出指令给 IR2136,IR2136 接收到指令以后,控制相关场效应管导通以及关闭,伺服电机也就执行相应的动作。

伺服电机转角监测是通过伺服电机尾部光电编码器传出的脉冲信号以便计算转角以及伺服电机旋转方向。该单元的电路图如图 6 所示。

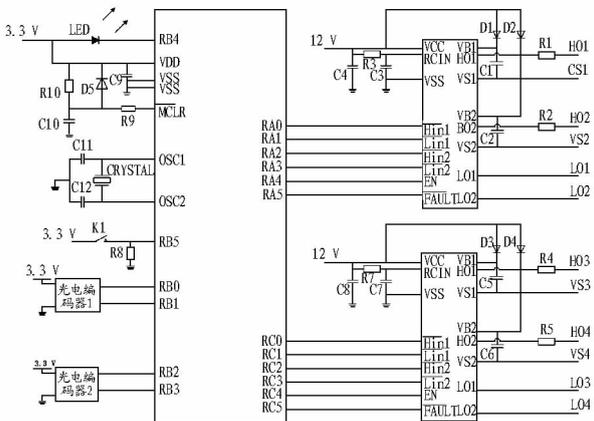


图 6 系统主控芯片电路图

### 2.3 系统软件设计

**2.3.1 主程序设计。**主程序主要功能为:完成整个系统的

初始化以及等待采摘按钮按下。控制器检测到采摘按钮按下后,主程序将进入采摘子程序,采摘子程序会自动控制系统进行采摘作业。完成本次采摘作业后,将继续等待采摘按钮的下次按下(图 7)。

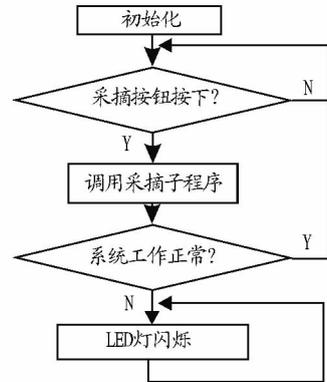


图 7 主程序流程

**2.3.2 采摘子程序设计。**采摘子程序流程如图 8 所示。采摘子程序主要功能为:控制切割刀片完成一次采摘作业。完成采摘作业后,控制刀片回到初始位置以便进行下一次采摘作业。在完成上述功能后采摘子程序自动返回主程序,并且等待主程序下一次调用。

由于在前面在切割力分析时,已经论证了不存在刀片一次切割无法切断果柄的情况。因此,该程序主要是通过:控制伺服电机启动、计算切割刀片转过的角度、急停以及反转实现该程序的设计功能,无需考虑切割刀片一次切割切不断的情况。

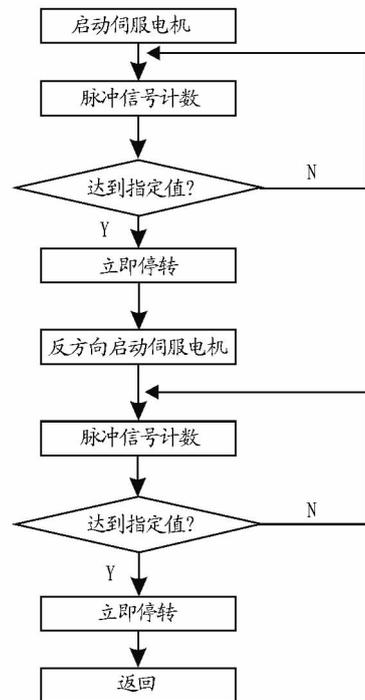


图 8 采摘子程序流程

### 3 结论

便携式双刀片电动果园采收装置的设计及控制进的关

为了避免上述现象的发生,完善刀片的剪切功能是改进采摘剪设计的方向,也是该产品创新设计的出发点。

表1 组件作用结构

序号	功能载体	行动	功能对象	改变参数	功能种类	完成级别
1	①	固定	④	强度	有益	充足
2	①	固定	⑤	强度	有益	充足
3	③	支撑	②	力	有益	充足
4	②	连结	④	长度	有益	充足
5	②	连结	⑤	长度	有益	充足
6	⑥	固定	④	强度	有益	充足
7	⑥	固定	⑤	强度	有益	充足
8	④	切割	⑦	形状	有益	不足
9	⑤	切割	⑦	形状	有益	不足

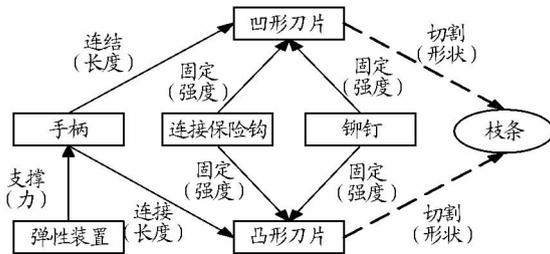


图3 采摘剪功能模型

### 3 采摘剪矛盾求解

运用 TRIZ 理论中的矛盾解决理论定义果实采摘中存在的功能问题。由于矛盾组件是刀片与枝条,欲改进刀片与枝条之间的作用关系,所以改善参数为刀片的形状,刀片形状的改变很可能导致采摘效率的降低,所以恶化参数为功率。根据改善参数与恶化参数查询矛盾矩阵表,可得到解决问题的发明原理:第2、4、6条。

原理2:提取法。此原理是指将物体中 useful 或有利的部分提取出来进行相应的处理。包含2方面的含义,一方面是指从物体中抽出产生负面影响的部分或属性;另一方面是指从物体中抽出必要的部分或属性。

原理4:非对称法。此原理利用非对称性进行创新设计。包含2方面的含义,一方面是指将物体的对称形式转化为不

对称形式;另一方面是指如果物体已经是不对称的,则加强它的非对称程度。

原理6:一物多用法。也称多元性原理,是指使一个物体能够执行多种不同功能,以取代其他物体的介入。

### 4 采摘剪改进设计方案

对查询矛盾矩阵所得到的发明原理进行逐条分析,由原理4和原理6所得启示,结合本领域实际应用需要,提出2种改进设计方案。

方案1:根据原理4,改进现有刀片形状,加剧凸形刀片和凹形刀片的非对称程度,使其在采摘果实时能够夹紧枝条,避免枝条打滑倾斜,从而保证将枝条90度剪下,避免枝端尖锐。

方案2:根据原理6,增加刀片的功能,使其在执行剪切作用的同时能够实现枝端的打磨功能。具体做法为:在凸形刀片和凹形刀片的内侧制作类似于锉刀的不平纹路,这样在刀刃逐渐剪切夹紧的过程中,纹路与枝端之间会有相互的摩擦作用,从而降低枝端的尖锐程度。

### 5 结论

将功能分析与 TRIZ 理论相结合的林果采摘装置概念设计方法应用于已有产品的创新设计当中,不仅有助于研究设计人员打破思维惯性和经验设计的约束,指明改进设计方向,还可以帮助他们解决创新设计中所遇到的技术矛盾,实现高水平的改进创新。以采摘剪为例的改进设计,通过组件分析、结构分析、功能建模和矛盾求解4个步骤,获得了最终设计方案,表明了该概念设计方法的实用性和健壮性。

### 参考文献

- [1] 韩彦良. 基于 TRIZ 理论功能裁剪的产品创新设计[J]. 制造业自动化, 2013, 35(1): 150-156.
- [2] NETTEN B D, VINGERHOEDS R A. EADOCs: Conceptual Design in Three Phases—An Application to Fibre Reinforced Composite Panels[J]. Engng Applic Artif Intell, 1997, 10(2): 129-138.
- [3] 吕欣. 基于 TRIZ 理论中39矛盾矩阵与40创新原则的产品创新设计研究[J]. 包装工程, 2009(5): 211-213.
- [4] 蒲娟, 陈勇, 熊艳, 等. 基于 TRIZ 理论和模糊层次分析法的产品概念设计及评价[J]. 制造业自动化, 2014, 36(1): 14-17.
- [5] 宋健, 张铁中, 徐丽明, 等. 果蔬采摘机器人研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 158-162.

(上接第1565页)

关键在于:由于采用了双刀片的形式,刀片始终在水果筐范围移动,有效地避免了由于刀片旋转而误伤。通过切割力分析论证了,不存在切割刀片一次切割行程无法切断果柄的情况。经试验测定,系统搭载的伺服电机作电流为0.3A。由于系统采用的12V/6AH电池,即系统工作支持连续工作10h,并且,由于双刀片的设计思路,有效地降低了因采摘过程而产生的水果产量损失。

### 参考文献

- [1] 2009年世界主要国家豆类、蔬菜、水果产量[J]. 世界农业, 2012(1): 103-104.
- [2] SANDERS K F. Orange harvesting systems review[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(2): 115-125.
- [3] 卢明湘. 农业机械化对区域农业的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(2): 180-182.
- [4] 段洁利, 陆华忠, 王慰祖, 等. 水果采收机械的现状与发展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(16): 189-192.
- [5] 曾正明. 实用有色金属材料手册[M]. 2版. 北京:机械工业出版社, 2008: 572-573.