

基于树干振动原理的核桃采收机设计

刘浩,戴宁

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘 要:针对当前核桃人工采收作业中存在的劳动强度高和效率低的问题,设计一款基于树干振动原理的集振动落果与自动收集于一体的对称偏心式振动采收机,其具有自平衡和自动对心功能且高度可调节。其工作原理是利用将激振机构产生的振动通过夹持机构传递给树干,使果实做加速运动产生惯性力,实现振动落果与收集。利用 Adams 仿真软件验证采收效果。结果表明:所设计的采收机可达到采收效率 ≥ 25 株/h,采净率 $\geq 85\%$ 。

关键词:核桃采收;振动;自动收集;自平衡

中图分类号:TP278 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0226-04

Design of Walnut Harvester Based on Trunk Vibration

LIU Hao, DAI Ning

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to improve the high labor intensity and low efficiency in current manual walnut harvesting, a symmetrical and eccentric vibration harvesting machine integrating vibration fruit dropping and automatic collection based on the principle of tree trunk vibration was designed. The machine has the functions of self-balance and automatic centering and is highly adjustable. Its working principle is to use the vibration generated by the excitation mechanism through the clamping mechanism to transfer it to the tree trunk, rendering the fruit to accelerate its movement for generating inertia force to achieve vibration fruit fall and collection. The harvesting effect is verified by Adams simulation software. The results show that the harvesting efficiency of the designed harvester is expected to reach more than 25 plants /h with net harvesting rate over 85%.

Keywords: walnut harvesting; vibration; automatic collection; self-balance

0 引言

核桃具有较高的营养价值和经济效益,其需求量在众多林果中名列前茅,其栽培地分布在我国多省,尤其以长江两岸的山地丘陵地区居多。目前,我国核桃采收方式主要是利用竹竿敲打的方式振落核桃,再由人工收集。这种原始采收方式作业效率很低,劳动强度大^[1]。

国外相关研究起步较早,20世纪60年代机械化采收就已经得到重视和发展。首先在美、法、英等发达的西方国家,出现了较早的机械化采收。国外的核桃采收机一般都是先利用振动采摘原理振落核桃,再通过清扫收集装置将地面上的核桃收集装箱,随后通过清理、去皮、干燥等生产线一次性完成,并根据客户需求进行壳仁分离^[2]。国外的机械化采收机配套的组合件体积较大,工作空间开阔^[3]。大型林果种植园地域广阔的优势便于机械采摘,只是此类大型机械无法满足我国大多种植面积较小、果树行列间距比较小、树体低矮的核桃种植园的采收要求。

国内的核桃采收机械研究较晚,目前仍然处于起步阶段,应用较少。刘进宝团队设计了一款基于树干振动原理的林果采收机,主要是由液压传动部件、激振部件、夹持部

件、移动部件以及清扫集成部件组成,并利用拖拉机作为移动载具。采收作业时,夹持部件夹紧树干后,激振装置产生激振力,使果树振动,当果实果梗处惯性力大于果梗拉断力时核桃脱落。脱落后的核桃由清扫集成部件整理到一起,方便果实的收集^[4-5]。随着国内的核桃种植面积不断增加,而可获得的季节性劳动力非常少,许多地区亟需实现核桃采收机械化,以缓解对劳动力的大量需求。针对当前核桃采收存在劳动强度高、效率低的现状,本文设计了一款基于树干振动原理的集振动落果与自动收集于一体的具有自平衡和自动对心功能且高度可调节的对称偏心式振动采收机。

1 设计要求和主要技术指标

1.1 总体设计要求

本文所研究的振动式核桃采收一体机是来源于中国全椒薄壳山核桃协会委托加工设计制造,本文中采收机需要满足当地的种植环境和使用要求。经实地测量得到种植园的核桃树行列间距为4.5 m×5 m,树干直径在8 cm~19 cm之间,核桃树的整树高度在3.5 m~4.5 m之间,最低

枝干高度约为 0.6 m~1.2 m,要求达到采收效率 ≥ 25 株/h,采净率 $\geq 85\%$ 。

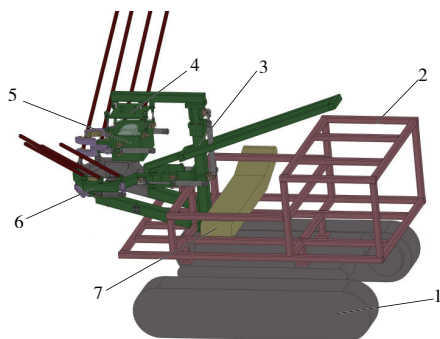
1.2 采收机的主要技术指标

外形尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)(mm):3 200 $\times$ 1 900 $\times$ 2 000;
采收夹手夹持直径范围(mm):80~200;
采收夹手工作时高度范围(mm):300~500;
激振频率范围(Hz):0~29;
采收效率(株/h) ≥ 25 ;
采净率(%) ≥ 85 。

2 总体结构设计和工作原理

2.1 总体结构设计

采收机总体机构如图 1 所示,主要由履带式底盘、机架平台、升降机构、隔振-自平衡机构、激振-夹持机构、收集机构和提升机输送机构等组成。其中激振机构采用一组由电机驱动的转速相同转向相反的对称半圆式偏心轮,这样可以保证核桃树体在竖直方向受到的合力为 0,在水平方向受到的合力为原来的两倍。



1—履带式底盘;2—机架平台;3—升降机构;4—隔振-自平衡机构;
5—激振-夹持机构;6—收集机构;7—提升机输送机构。

图 1 振动式核桃采收机总体结构图

2.2 工作原理

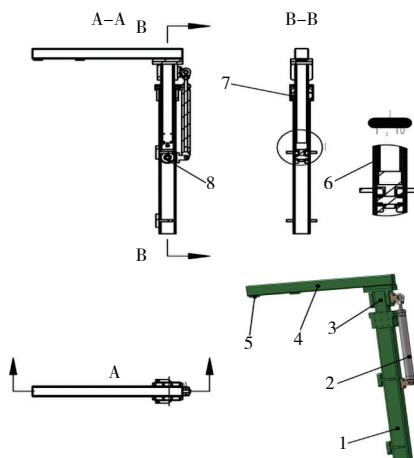
振动式核桃采收机是将激振机构产生的振动通过夹持机构传递给树干,树体带动核桃果实做加速运动产生惯性力。当果实受到的惯性力大于果实与枝条之间的果梗结合力时,果实就会从树上掉落^[5],再经收集装置收集存储。

工作时,通过调节升降机构 3 中的油压缸伸缩高度,带动垂直移动梁升降,使激振-夹持机构位于合适的工作高度。隔振-自平衡机构可以有效阻止激振机构产生的振动传递给升降装置和机架平台,并且可以保证激振夹持机构不产生倾斜,以保持平衡。当果树位于夹持装置的左右两夹爪中间时,通过调节油压缸的伸缩长度带动两个夹爪向内闭合夹紧树干。夹紧树干后电机启动带动两个偏心轮做转速相同转向相反的运动,使树体产生一定振幅及频率的振动,带动果实掉落。果实掉入收集机构中的收集料斗后,再经收集滑道落到提升机输送带上,实现核桃的振动落果与自动收集于一体。

3 关键部件的设计

3.1 升降机构的设计

升降机构通过连接块固定于机架平台上,其组成结构如图 2 所示,主要由垂直固定梁、RO 系列油压缸、垂直移动梁、水平横端梁、自平衡机构连接板、移动梁摩擦板、固定梁摩擦块和移动梁滚轮组成。工作时,油压缸的伸缩带动垂直移动梁在垂直固定梁的内腔做上下直线运动,使激振夹持机构处于适合的位置。移动梁的底下滚轮、侧面的摩擦板和固定梁上部的摩擦块起着导向作用,有效保证了工作时移动梁的运动不会发生倾斜。

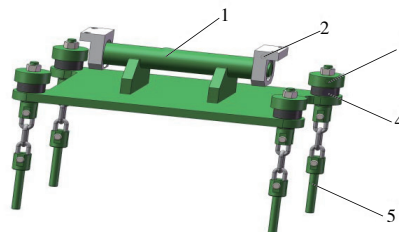


1—垂直固定梁;2—RO 系列油压缸;3—垂直移动梁;
4—水平横端梁;5—自平衡机构连接板;6—移动梁摩擦板;
7—固定梁摩擦块;8—移动梁滚轮。

图 2 升降机构

3.2 隔振-自平衡机构的设计

隔振-自平衡机构通过两个 L 型轴承座组件固定于升降机构的水平横端梁上,其组成结构如图 3 所示,主要是由平衡器转轴组件、L 型轴承座组件、隔振垫圈盖板、隔振垫圈和隔振链条组件等组成。工作时平衡器轴承组件可以在 L 型轴承座组件内自由转动,由于自身的重力作用,可以使机构自动保持平衡。隔振垫圈和隔振链条组件可以有效阻隔激振机构产生的振动传递给升降机构和机架,使得整个采收机可以平稳运行。



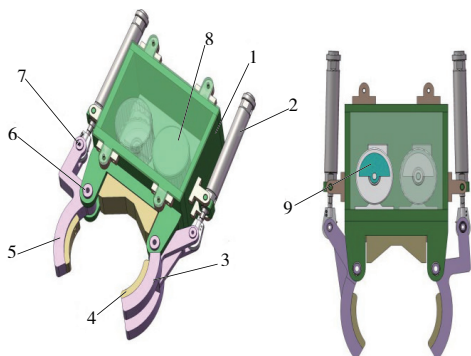
1—平衡器转轴组件;2—L 型轴承座组件;3—隔振垫圈盖板;
4—隔振垫圈;5—隔振链条组件。

图 3 隔振-自平衡机构

3.3 激振-夹持机构的设计

1) 方案设计

激振-夹持机构通过螺纹连接的方式固连于隔振-自平衡机构的底部,其组成结构如图4所示,主要是由振动箱体、油压缸、右爪手、聚氨酯垫、左爪手、长销轴、短销轴、电机和半圆式偏心轮等组成。工作时,固连于振动箱体上的油压缸伸缩带动左、右爪手绕着长销轴转动,实现夹爪的张合运动。夹爪与树体接触的表面固定有聚氨酯垫,可以有效减轻对树皮的损伤。夹紧树干后电机启动带动两个偏心轮做转速相同转向相反的运动,使树体产生一定振幅及频率的振动,带动果实掉落。



1—振动箱体;2—油压缸;3—右爪手;4—聚氨酯垫;
5—左爪手;6—长销轴;7—短销轴;8—电机;9—半圆式偏心轮。

图4 激振、夹持机构

2) 偏心轮质量距的计算与分析

偏心轮作为激振机构的主要零件,其尺寸参数和结构的合理性直接影响整个采收机的性能。而偏心轮的质量距是确定偏心轮尺寸和结构的重要条件。根据振幅表达式推导出质量距的公式为

$$mr = \frac{A(k - M\omega^2)}{2\omega^2 \cos\theta} \quad (1)$$

式中: m 为偏心轮的偏心质量,kg; r 为偏心轮的偏心距,mm; A 为树体的全振幅,mm; ω 为偏心轮转动的角速度,rad/s; M 为振动系统的整体质量,kg; θ 为两偏心轮的相位差角,rad; k 为弹性系数。

根据韩清凯团队的研究^[6]可知,在研究振动系统的质量距时,因激振力远大于系统的阻尼力和弹性力,可以忽略。而本设计中采用两偏心轮速度相同,方向相反,相位差角为 0° ,因此公式可简化为

$$mr = \frac{AM}{2} \quad (2)$$

研究表明:振幅为10mm时采净率能达到90%~95%,因此 A 确定为10mm^[7]。根据LÁNG Z^[8]团队的方法估算出直径在120mm左右的核桃树等效质量约为110kg,激振机构的质量为83kg,带入公式算出质量距为960kg·mm。因此得出单个偏心轮的质量距为480kg·mm,次质量距为理论质量距,这可为偏心轮的尺寸计算提供理论支持。

3) 激振力的计算与分析

偏心轮在电机的带动下绕输出轴转动,产生离心力,使得果树受到激振力。激振力的大小由偏心轮的偏心距

和激振频率决定。单个偏心轮产生的最大离心力为

$$F_d = m\omega^2 = mr(2\pi f)^2 = 0.48 \times (2 \times \pi \times 29)^2 = 15.93 \text{ kN} \quad (3)$$

本机构中的两个偏心轮的尺寸相同、转速相同、转向相反,在竖直方向产生的激振力相互抵消合力为0,水平方向产生的激振力叠加。因此在激振作业时产生的最大激振力为

$$F_{\max} = 2F_d = 2 \times 15.93 = 31.86 \text{ kN} \quad (4)$$

4) 夹紧力的计算

夹紧力是夹持机构的主要技术参数。夹紧力如果过小则无法夹紧树干,容易发生滑动,激振力无法很好地传递到树体,不能使核桃脱落;夹紧力如果过大则容易对树皮造成损伤,减少来年的产量。因此要在保证可靠夹紧的前提下确定一个合适的夹紧力。夹紧力的计算公式为

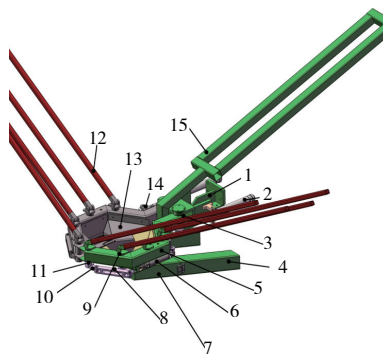
$$F_N \geq K_a K_b K_c G \quad (5)$$

式中: K_a 为安全系数; K_b 为工况系数; K_c 为方位系数; G 为被抓取对象的重力。

通常 K_a 取1.2~2.0,此处定为1.6,工况系数 K_b 取1,方位系数 K_c 取1.3,上式中的树体质量等效为110kg,因此 G 为1100N。将数据代入式(5)得出夹持机构的夹紧力为2288N最为合适,既可以夹紧树干,又不会对核桃树体造成较大的损伤。

3.4 收集机构的设计

收集机构通过固定座连接在机架平台上,其组成结构如图5所示,主要是由固定座、两组油压缸、扇状旋转拐支架、收集料斗和收集滑道组成。工作时,油压缸A和油压缸B共同作用带动扇状旋转拐支架绕着转轴旋转。振落的果实掉入收集料斗中,左、右两个料斗闭合时呈倒伞状,中间的开口避让树干。由于自身重力作用,果实会再从收集滑道中滑出。为了防止核桃果实在滑道中堵塞,收集滑道做成两端可打开的形式,中间用铰链连接,保证作业的可靠性。



1—收集机构固定座;2—油压缸A;3—收集机构固定座转轴;
4—收集滑道B;5—扇状旋转拐支架;6—油压缸B;
7—收集滑道A;8—连杆A;9—拐支架转轴A;10—连杆B;
11—拐支架转轴;12—扇状旋转拐枝;13—收集料斗;
14—油压缸A固定座;15—中间伞支架。

图5 收集机构

4 振动式核桃采收机采收效果验证

合适的激振力是使核桃脱落的关键因素,振动采收作

业时,当夹持高度在 350 mm~450 mm、激振力在 2 500 N~4 000 N 时,核桃果梗处受到的力小于七成核桃的果梗结合力,同时大于九成核桃的果梗结合力,可实现分批采收^[9]。本节通过 Adams 软件对优化后的偏心轮旋转时产生的惯性力大小进行验证,观察其是否能达到 4 000 N,如图 6 所示。

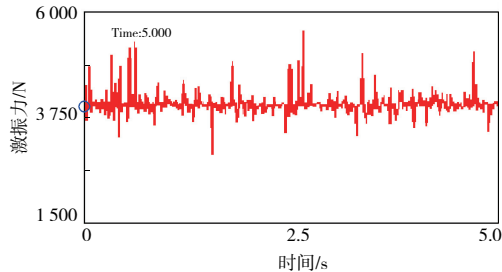


图 6 偏心轮惯性力曲线图

通过观察图 6 可知偏心轮旋转时产生的激振力大小分布在 3 950 N~4 200 N 之间,可满足分批采收的需求,采收效果较好。

5 结语

针对当前核桃采收存在劳动强度高、效率低的问题,本文设计了一款基于树干振动原理的集振动落果与自动

收集于一体的具有自平衡和自动对心功能且高度可调节的对称偏心式振动采收机,为解决广大种植户的采收困难提供了解决方案。对采收机的整体方案和主要零部件进行了分析设计,经验证该机结构设计合理,方案可行。

参考文献:

- [1] 牛秀雨. 经济林果产业发展现状及对策[J]. 农民致富之友, 2019(4):167.
- [2] 陈度,杜小强,王书茂,等. 振动式果品收获技术机理分析及研究进展[J]. 农业工程学报,2011,27(8):195-200.
- [3] 罗明英,戴俊生. 世界核桃生产形势与贸易格局[J]. 世界农业,2014(10):18-22.
- [4] 刘进宝,韩长杰,杨宛章,等. 振动式林果采摘机械的设计[J]. 中国农机化学报,2014,35(3):41-44,58.
- [5] 刘进宝,韩长杰,郭辉,等. 偏心式林果采摘振动系统[J]. 农业工程,2013,3(1):68-71.
- [6] 韩清凯,翟敬宇,张昊. 机械动力学基础及其仿真方法[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2017.
- [7] 王长勤,许林云,周宏平,等. 偏心式林果振动采收机的研制与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(16):10-16.
- [8] LÁNG Z. Dynamic modelling structure of a fruit tree for inertial shaker system design[J]. Biosystems Engineering,2006,93(1):35-44.
- [9] 尹逊春. 振动式核桃采摘机的设计与优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨商业大学,2020.

收稿日期:2021-09-22

(上接第 225 页)

- [4] 王洪涛,丁国清. 基于不变矩图像匹配的工件种类判别应用研究[J]. 制造业自动化,2012,34(1):141-144.
- [5] 王红涛,傅卫平,康业娜. 工件图像识别的边缘匹配方法研究[J]. 仪器仪表学报,2008,29(5):986-991.
- [6] 王彦,傅卫平,朱虹,等. 基于边缘特征的工件图像匹配[J]. 机械科学与技术,2009,28(10):1297-1302.
- [7] 张慧,张海滨,李琼,等. 基于人类视觉系统的图像感知哈希算法[J]. 电子学报,2008,36(增刊1):30-34.
- [8] 刘一玮,杨韬,刘瑾,等. 基于余弦相似度的人脸识别系统的实现[J]. 电子技术与软件工程,2015(9):90.
- [9] HE K M, ZHANG X Y, REN S Q, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2016:770-778.
- [10] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[EB/OL]. (2014-10-02) [2021-8-13]. <http://blog.csdn.net/stdcoutzyx/article/details/39736509>.
- [11] SANDLER M, HOWARD A, ZHU M L, et al. MobileNetV2: inverted residuals and linear bottlenecks[C]//2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City, UT, USA: IEEE, 2018:4510-4520.
- [12] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004,

60(2):91-110.

- [13] BAY H, TUYTELAARS T, VAN GOOL L. SURF: speeded up robust features[C]//ECCV'06: Proceedings of the 9th European conference on Computer Vision - Volume Part I. [S. l.]: s. n.: 2006:404-417.
- [14] RUBLEE E, RABAU D V, KONOLIGE K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]//2011 International Conference on Computer Vision. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2564-2571.
- [15] 宋毅,崔平远,居鹤华. 一种图像匹配中 SSD 和 NCC 算法的改进[J]. 计算机工程与应用,2006,42(2):42-44.
- [16] 吴培景,陈光梦. 一种改进的 SSDA 图像匹配算法[J]. 计算机工程与应用,2005,41(33):76-78.
- [17] 程云,黄瑞,蒋俊峰,等. 基于增强现实的产品制造信息传输方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2019,31(5):859-868.
- [18] 袁伟. 一种多视角自适应的模板匹配目标检测方法[J]. 电讯技术,2018,58(6):682-689.
- [19] 丁小艳,王婷. 基于交叉检验 ORB 和 MCC 的图像模板匹配算法[J]. 电子测量与仪器学报,2019,33(5):39-45.
- [20] 陈冰红,祝振宇. 基于图像分块模板匹配的高速运动目标跟踪技术[J]. 国外电子测量技术,2019,38(7):81-85.

收稿日期:2021-09-13