

艾建军,高韶坤,刘建敏,等. 大枣收获机设计[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):434-436.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.133

大枣收获机设计

艾建军,高韶坤,刘建敏,张德田,张东升

(保定职业技术学院机电工程系,河北保定 071000)

摘要:针对人工采收大枣劳动强度大、费时费力、效率低、成本高等问题,设计了适用于河北阜平大枣的收获机,并分别阐述打枣、收枣装置的结构及工作原理。打枣装置采用曲柄连杆机构,对枣树枝进行高频率、低振幅的上下往复振动,实现机械化打枣;收枣装置采用与吸尘器类似的原理,由汽油机带动高压离心风机运转,使箱体内部与外部产生压力差,从而将地面的枣吸入箱体内部,完成大枣的收集。田间试验表明,本机生产率 ≥ 20 株/h,采净率 $\geq 80\%$,机器收获成本仅为人工收获的40%左右。

关键词:大枣;收获机;曲柄连杆;气吸式;设计

中图分类号: S225.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)12-0434-03

河北阜平大枣是全国700余个大枣品种中最好的制干品种之一,品质优良,深受消费者欢迎。枣树为暖温带阳性树种,对土壤要求较低,除沼泽地和重碱性土外,在平原、沙地、沟谷、山地均能生长^[1-2]。枣树在阜平县及周边丘陵地带种植广泛,种植面积超过26 667 hm²,达1 500万株以上,鲜枣的年产量高达5 000万~6 000万kg。随着阜平枣加工产业的不断发展^[3],大枣的种植面积迅猛增长,人工采收严重制约了阜平大枣产业的快速、可持续发展。大枣的机械化采收已成为大枣产业发展的必然趋势,是实现大枣生产现代化的必经之路^[4]。本研究针对阜平大枣设计了收获机,分为打枣装置与收枣装置2个部分。

1 打枣装置设计

1.1 打枣装置的工作原理

打枣装置应用曲柄滑块机构的运动原理,利用打枣杆迫使树枝进行小幅高频振动,当树枝上的大枣所受惯性力大于果柄拉力时,大枣与果树脱离,从而实现大枣的采收^[5]。

采收作业时,根据树枝的分布情况将打枣杆上端挂于枣树的主要枝干,打枣杆在偏心机构的作用下进行小幅高频直线往复运动,进而带动树枝运动,使树枝上的大枣产生惯性力。在打枣过程中,树枝的高频小幅运动对枣树和枣的损伤

小,落果率高,并使枣的坠落范围尽可能集中,从而减少收集枣的劳动强度。

1.2 打枣装置的整体结构

为便于工作位置的移动,将打枣装置整体安装在底板上,底板具有能吸震的橡胶轮子,可用手推动机构移动位置。采用汽油机作为动力源,通过带传动将运动传递至变速箱,曲轴通过离合器与变速箱相连。曲轴的转动带动铰接在打枣杆上下往复运动,打枣杆通过顶端钩子连接到枣树枝,带动枣树枝上下振动,使枣掉落^[6]。

打枣杆工作时直接与枣树枝接触,而枣树枝的位置高低各异,因此将杆件设计为长短可伸缩,材料选用铝镁合金,使其轻便并具有一定抗弯强度,直径为20 mm。

曲轴进行圆周运动的转速由变速箱控制,变速箱具有高、中、低速3个档位,可改变振动频率以适应不同直径树枝、不同成熟度大枣的采收(图1)。

1.3 参数设计

1.3.1 振动频率和振幅的确定 大枣振动时的运动很复杂,机械振动采收大枣时,虽然大枣受到的强迫振动是在某个平面内,但大枣却可任意摆动,而摆动可作为振动采收时的主要运动方式。简化后的枣树及其受力情况见图2,其中 L_1 为树干长度, L_2 为大枣果枝长度。

在果枝A处施加的胁迫简谐振动力 $F(t)$ 为:

$$F(t) = a \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

在 $F(t)$ 的作用下,B点进行平面运动,大枣C则以B点为中心摆动,可对B点与大枣的运动情况进行简化^[7](图3)。

选择坐标 $X'O'Y'$,取C点在 $X'O'Y'$ 平面内的倾角 θ 为广

收稿日期:2015-05-26

基金项目:河北省高等学校科学技术研究青年基金(编号:QN20132021)。

作者简介:艾建军(1974—),男,河北武邑人,硕士,副教授,主要从事机械设计与制造的教学和研究。E-mail:329710529@sina.com。

[6] Eschenauer H A, Olhoff N. Topology optimization of continuum structures: a review[J]. Appl Mech Rev, 2001, 54(4): 331-390.

[7] 王建超,张建筑,张帆,等. ANSYS在旋耕起垄机刀片设计中的应用[J]. 农机化研究, 2012(1): 215-217, 221.

[8] 王荣,王宏宇,金镜,等. 基于ANSYS的大耕深旋耕刀结构优化设计[J]. 农机化研究, 2015(5): 136-139.

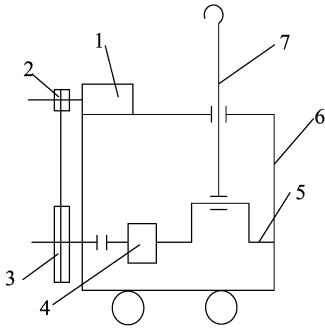
[9] 董向辉. 旋耕机刀片运行轨迹及进刀量计算[J]. 农业科技与装

备, 2014(10): 18-19.

[10] 葛云. 微型旋耕机主要工作部件的应力仿真与可靠性设计[D]. 石河子: 石河子大学, 2005.

[11] 王建定, 桑正中, 陈翠英, 等. 旋耕机所需功率推算[J]. 农业机械学报, 1987(3): 44-50.

[12] 管西强, 方在华. 旋耕机耕耘转矩的仿真分析[J]. 洛阳工学院学报, 1999, 20(1): 3-6.



1—汽油机；2—主动带轮；3—从动带轮；4—变速箱；5—曲轴；6—箱体；7—打枣杆

图1 打枣装置的整体结构

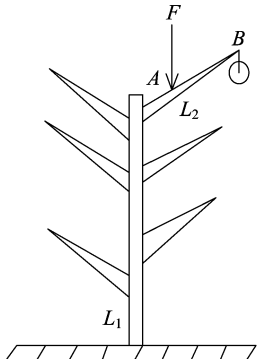


图2 树干与大枣的受力情况

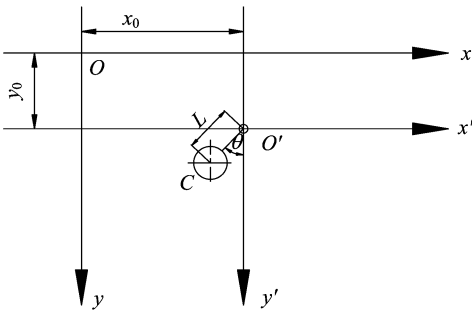


图3 大枣的运动

义坐标, C点在 XOY 平面内的绝对运动坐标为:

$$x = x_0 \pm L \sin \theta; y = y_0 \pm L \cos \theta. \quad (2)$$

拉格朗日方程为:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W}{\partial \dot{\theta}} \right) + \frac{\partial U}{\partial \theta} = \frac{\partial W}{\partial \theta}. \quad (3)$$

式中, W 为动能, U 为势能。

$$W = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_y^2); \quad (4)$$

$$U = -mgL \cos \theta. \quad (5)$$

将 W、U 分别代入拉格朗日方程得到:

$$\theta = \frac{\alpha \beta^2 (\sin \beta t - \beta \omega^{-1} \sin \omega t)}{h(\omega^2 - \beta^2)}. \quad (6)$$

式中, α 为振幅, β 为大枣进行强迫振动的震动频率, L 为大枣重心到悬点的距离, ω 为大枣进行自由振动的频率, θ 为大枣摆动倾角, m 为大枣质量。

由上述计算结果可知, 运动由打枣杆带给大枣的肋迫简谐运动和大枣的自由振动组成, 由此得到大枣的基本运动规

律, 作用于大枣的法向分力 F_s 、切向分力 F_n 分别为:

$$F_s = mL \dot{\theta}^2; F_n = mL \ddot{\theta}. \quad (7)$$

式中, $\dot{\theta}$ 为大枣摆动角速度, $\ddot{\theta}$ 为大枣摆动角加速度。

F_s 与 F_n 的大小由摆动倾角 θ 决定, 而 θ 由 $F(t)$ 决定, 因此可根据大枣果柄的强度、大枣质量来选择振动机构的振动频率、振幅。初步确定该采收装置的振动频率为 500 ~ 600 次/min, 振幅为 20 ~ 30 mm。

1.3.2 曲柄连杆机构的设计 曲柄连杆机构(图4)可将发动机的旋转运动转化为连杆往复直线运动, 本机采用偏距为 30 mm 的偏心式曲柄连杆方式连接, 以实现较小行程的往复直线运动, 满足设计需求^[8]。偏心式曲柄的动力由便携式汽油机的动力经带传动输入。

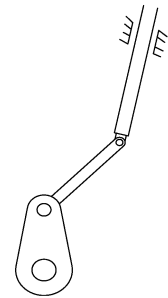
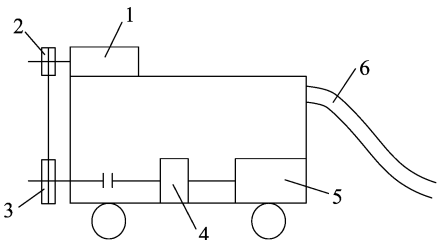


图4 曲柄连杆机构

2 采收装置设计

2.1 采收装置的工作原理

采收装置的设计原理与吸尘器类似, 由汽油机带动高压离心风机运转, 将大枣收集机械内部的气体排出箱体, 使箱体内部与外部产生压力差; 大枣收集机械进口处由于压力差的作用产生吸力, 将地面上的大枣通过进气口经可灵活活动的软管吸入箱体内部, 从而完成大枣的收集。采收装置的整体结构见图5。



1—汽油机；2—主动带轮；3—从动带轮；4—减速器；5—风机；6—橡胶管

图5 采收装置的整体结构

2.2 风机的计算与选型

2.2.1 大枣悬浮速度的计算 悬浮速度即固体或液体的颗粒在流体中处于悬浮状态时流体的速度。分析阜平大枣在上升气流中的受力情况, 根据绕流阻力与大枣所受到的浮力、重力相平衡, 可得到大枣悬浮速度。

根据悬浮速度公式可得到平衡方程:

$$m_{\max} g - 0.5 \rho C_d S_j V_i^2 = 0. \quad (8)$$

式中, m_{\max} 为阜平大枣单个最大质量, g 为重力加速度, ρ 为空气密度, C_d 为阻力系数, S_j 为大枣在运动方向上的投影面积,

V_i 为悬浮速度。

根据阜平大枣的最大者, m_{\max} 取 0.025 kg, ρ 取 1.205 kg/m³, C_d 取 0.5, 大枣在运动方向上的投影面积最大值 S_j 取 0.002 5 m², 求得 $V_i = 18.037$ m/s。为保证可靠输送的气流速度, 需计算可吸起大枣的安全风速 V , 将悬浮速度乘以气流速度系数 K , 取值 1.2。

$$V = KV_i \quad (9)$$

由上式得到安全风速 $V = 21.64$ m/s。

2.2.2 系统压力 风机的选取需满足风压要求, 即系统整体的风压损失。风压损失主要为动压损失、摩擦压力损失、吸口局部压力损失^[9]。

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 + \frac{\lambda}{4R_s} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot L + \frac{(\xi + \sigma_\varphi) \rho v_3^2}{2} \quad (10)$$

式中, R_s 为管道的水力半径, 直径为 D 的圆形管道 $R_s = \frac{D}{4}$; λ 为摩擦系数, 橡胶 $\lambda = 0.028 5D^{-0.285} V^{-0.01}$, D 为圆形管道直径; v_3 为橡胶管内气流速度; ρ 为空气密度, 取 $\rho = 0.6$; ξ 为吸口局部压损系数, 取 $\xi = 6$; σ_φ 为混合比, 对于收获机 $\sigma_\varphi = 0.01 \sim 0.03$, 取 $\sigma_\varphi = 0.02$ 。

将数据代入式(10), 得到风压为 1 861.8 Pa。

2.2.3 风量 风速-压力方程为:

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \quad (11)$$

式中, $P = 1 861.8$ Pa, ρ 为空气密度, 代入式(11)得到风机出口风速 $v = 55.6$ m/s。

所需风量为:

$$Q = A' \cdot v/n \quad (12)$$

式中, n 为系统的密封效率系数, $n = 0.90 \sim 0.95$, 取 $n = 0.90$; A' 为截面积, 计算得到 $A' = 0.011 8$ m²; v 为风速。

计算得到 $Q = 0.729$ m³/s。

2.2.4 风机功率和效率

风机的有效功率为:

$$N_e = \frac{QP}{1 000} = \frac{0.729 \times 1 861.8}{1 000} = 1.357 \text{ kW} \quad (13)$$

风机的效率为:

$$\eta = 0.65。$$

风机的功率为:

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{1.357}{0.65} = 2.09 \text{ kW} \quad (14)$$

根据以上计算结果, 选用 4S2200 型离心风机, 动力源为汽油机, 以便于枣园作业^[10]。

3 试验情况及效果

于 2014 年 10 月在阜平县北果元乡东城铺村进行试验,

打枣装置以震动方式收获的大枣损伤率 < 1%, 采净率 $\geq 80\%$ ^[11]。人工采收大枣的劳动生产率仅为 4~6 株/h, 机械收获的生产率超过 20 株/h。机械采收的效率约比人工采收提高 4~5 倍, 可极大减少用工数量、降低收获成本。人工采收大枣的收获成本为 20 元/h, 机器收获成本仅为人工的 40% 左右, 且该收获机价格低、经济效益好, 深受枣农欢迎^[12]。

4 结论

通过对传统打枣原理进行优化分析, 针对阜平大枣设计了一款高效大枣收获机, 以期减轻枣农繁重的劳动, 为枣农解决实际问题。该收获机结构紧凑、操作简单、生产率高, 单人即可实现高效率打枣、收枣, 无需任何培训。本研究对于提高我国枣产业机械化水平、促进我国枣产业的发展具有重要意义, 并为果园大枣机械化收获的进一步研究提供了理论基础^[13]。

参考文献:

- [1] 叶春秀, 杨雷, 田琴, 等. 应用 RAPD 标记技术鉴定 2 个新疆枣品种[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 55.
- [2] 孙慧波, 魏玲玲, 李万明. 新疆生产建设兵团农产品比较优势分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 363-366.
- [3] 张惠, 贾首星, 郑炫, 等. 红枣各阶段分级设备应用现状[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 341-343.
- [4] 杨红英, 坎杂, 王丽红, 等. 矮化密植红枣采收装置的设计[J]. 农机化研究, 2012, 34(6): 77-80.
- [5] 高团结, 坎杂, 马俊贵, 等. 果园核桃机械化采收装置的设计[J]. 中国农机化学报, 2013(5): 185-189.
- [6] 汤智辉, 孟祥金, 沈从举, 等. 机械振动式林果采收机的设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(8): 65-69.
- [7] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 陈志, 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [9] 史高昆, 马少辉. 气吸式红枣捡拾机设计与试验[J]. 农业工程, 2014(3): 109-112.
- [10] 郭立君, 何川. 泵与风机[M]. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [11] 汤智辉, 沈从举, 孟祥金. 4YS-24 型大枣收获机的研制[J]. 新疆农机化, 2010(1): 30-32.
- [12] 牛长河, 王学农. 可移动式果实收集装置的设计[J]. 新疆农机化, 2011(1): 33-34.
- [13] 蓝峰, 苏子昊, 黎子明, 等. 果园采摘机械的现状与发展趋势[J]. 农机化研究, 2010, 32(11): 249-252.