

加工番茄果秧分离装置运动过程分析*

李成松 坎 杂 谭洪洋 孙日宾 梁荣庆 冯玉磊

(石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003)

【摘要】 为了深入研究加工番茄果秧分离特性,分析了加工番茄果秧分离装置激振器的运动过程,利用达朗贝尔原理建立其理论模型。利用 SolidWorks 对激振器的运动过程进行了仿真,并在 FS-35 型加工番茄果秧分离试验台上,利用高速摄像机拍摄了分离滚筒的运动过程,利用 Blaster's Mas 软件对录像进行了处理和分析。分析结果表明,理论模型与实际运动吻合较好,验证了理论模型的正确性。

关键词: 加工番茄 激振器 运动分析 高速摄像

中图分类号: S225.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)04-0066-04

Movement Process Analysis on Processing Tomato Fruit Separation Device

Li Chengsong Kan Za Tan Hongyang Sun Ribin Liang Rongqing Feng Yulei

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract

To further study mechanism on the processing tomato separation, separation device vibrator movement was analyzed. Its theoretical model by using d'Alembert principle was established. Virtual prototype movement based on SolidWorks was simulated. Separation roller motion process was filmed by high-speed camera on homemade FS-35 type separation test rig and the test video was analyzed by blasting software Blaster's Mas. The simulation results and test analysis showed separation unit movement followed the rule of theoretical model, which verified the correctness of the theoretical derivation.

Key words Processing tomato, Vibrator, Kinematic analysis, High-speed camera

引言

新疆地处北纬 37°10' ~ 49°3' 之间,辐射量大、阳光充足、昼夜温差大,具有发展加工番茄生产得天独厚的农业资源^[1~2]。番茄的机械化采收已成为加工番茄产业发展的一个必然趋势^[3~5]。

加工番茄果秧机械化分离是机械化采收的关键工序之一,主要方法有梳齿法、机械手采摘法和振动分离法。近年来国内不少学者对番茄的果秧分离技术进行了研究^[6~9],但大多数只是针对小面积种植的鲜食番茄分离机构进行了研究,而对大面积种植的加工番茄果秧振动式分离机构的研究未见报道。为了从机理上深入研究加工番茄果秧分离特性,本

文对加工番茄果秧分离装置的运动过程进行仿真分析与试验验证。

1 分离装置结构原理及运动规律

1.1 结构原理

分离装置主要由激振器、分离滚筒和阻尼器 3 部分组成,如图 1 所示。激振器由质量相等且对置分布的偏心块及壳体组成,是分离装置的驱动机构。分离滚筒由呈圆柱辐射状排列的弹齿组成,是分离装置的执行机构。阻尼器由阻尼轮、阻尼带及阻尼弹簧组成,如图 2 所示。通过调节阻尼弹簧阻尼力可以调控分离滚筒的振动速度和频率,从而达到要求的分离效果。激振器和分离滚筒通过法兰联

收稿日期: 2011-06-22 修回日期: 2011-09-11

* 新疆兵团重大产学研专项(2010ZX05)

作者简介: 李成松,副教授,主要从事农业机械性能研究, E-mail: lcs_shz@163.com

通讯作者: 坎杂,教授,主要从事农牧机械装备研究, E-mail: kz-shz@163.com

接在一起,阻尼器通过阻尼轮联接在分离滚筒末端。

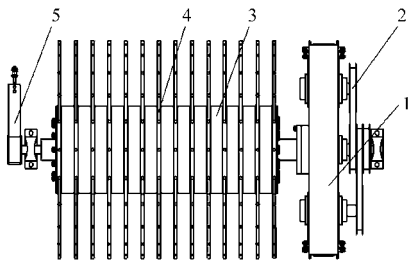


图 1 分离装置示意图

Fig.1 Structure of separation device

1. 激振器 2. 同步带轮 3. 分离滚筒 4. 分离弹齿 5. 阻尼器

分离装置由激振器偏心块回转运动产生的激振力偶驱动作周期性变速回转运动,由作用在分离滚筒弹齿上周期性变化的惯性力,对番茄茎秧产生抛甩作用,使番茄脱离果柄连接,实现番茄果实与茎秧的分离。

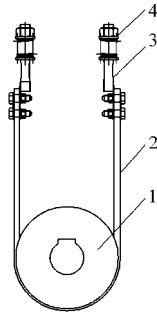


图 2 阻尼器示意图

Fig.2 Structure of damper

1.2 运动分析

激振器的偏心块旋转产生离心惯性力,通过自转轴传递给壳体,作用在壳体上的力形成一对力偶,此力偶形成的力偶矩驱动壳体绕公转轴转动。随着偏心块和壳体的相对转动,激振力偶矩时刻在变化,如图 3 所示。当偏心块与壳体的相对位置如图 3a 时,此时壳体所受 F_a 、 F_b 可分解为通过 O_1O_2 连线的分力 F_{ax} 、 F_{bx} 和垂直于 O_1O_2 连线的分力 F_{ay} 、 F_{by} 。

$$\begin{cases} F_{ax} = F_a \sin \phi \\ F_{ay} = F_a \cos \phi \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} F_{bx} = F_b \sin \phi \\ F_{by} = F_b \cos \phi \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$\phi = \omega_0 t$$

式中 ϕ ——受力方向与 O_1O_2 连线的夹角

F_a 、 F_b ——2 个偏心块产生的惯性力

ω_0 ——偏心块的自转角速度

由于 $F_a = F_b$,所以 F_{ay} 和 F_{by} 相互抵消,而 F_{ax} 与 F_{bx} 形成一对力偶,此力偶产生的力偶矩驱动整个装置作顺时针变速回转运动。

当偏心块与壳体的相对位置如图 3b 时

$$\begin{cases} F'_{ax} = -F'_a \sin \phi \\ F'_{ay} = -F'_a \cos \phi \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} F'_{bx} = -F'_b \sin \phi \\ F'_{by} = -F'_b \cos \phi \end{cases} \quad (4)$$

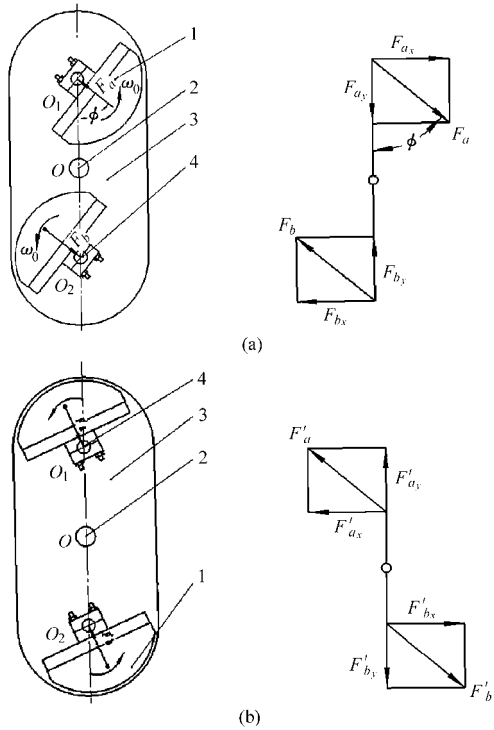


图 3 运动分析

Fig.3 Kinematic analysis

1. 偏心块 2. 公转轴 3. 壳体 4. 偏心轴(自转轴)

此时 F'_{ax} 与 F'_{bx} 形成的力偶矩驱动整个装置作逆时针变速回转运动。

由上述分析可以得到,当 ϕ 在 $(0, \pi)$ 时,驱动力偶矩顺时针方向驱动壳体及分离滚筒作顺时针加速转动;当 ϕ 在 $(\pi, 2\pi)$ 时,驱动力偶矩逆时针方向驱动壳体及分离滚筒作逆时针减速转动。

2 激振器运动模型及运动规律

2.1 激振器运动模型

激振器偏心块转动产生的相对惯性力和牵连惯性力驱动分离装置作变速回转运动,由于激振器的公转轴通过质心,此时可将激振器的惯性力系简化为质心上的力矩 M_{I0} ,并建立其运动学方程。建立如图 4 所示的坐标系,得到质心的运动轨迹方程为

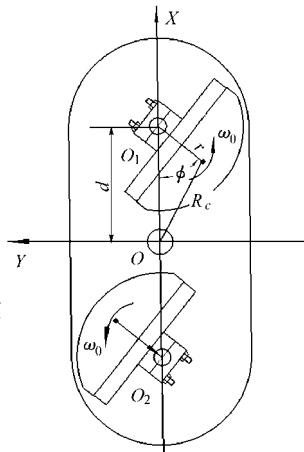
$$\begin{cases} x = d + r \cos \omega_0 t \\ y = r \sin \omega_0 t \end{cases} \quad (5)$$

图 4 参考坐标系

Fig.4 Reference coordinate system

式中 d ——自转轴 O_1 与公转轴 O 的距离

r ——偏心块质心半径



通过质心的轨迹方程,利用余弦定理可得到偏心块质心绕 O 轴运动的轨迹半径,即

$$R_c = \sqrt{d^2 + r^2 + 2dr\cos\omega_0 t} \quad (6)$$

根据平行轴定理求得偏心块对 O 轴的转动惯量为

$$J_o = 2(J_{zc} + mR_c^2) \quad (7)$$

根据动静结合的方法得到

$$M_{io} = 2mdr(\omega + \omega_0)^2 \sin\omega_0 t \quad (8)$$

$$M_{io} = J\alpha \quad (9)$$

$$J = J_o + 2J_{zc} + 2m(d^2 + r^2 + 2dr\cos\omega_0 t) \quad (10)$$

式中 m ——偏心块质量

J_o ——壳体对公转轴 O 的转动惯量

J_{zc} ——偏心块质心对自转轴的转动惯量

ω ——壳体转动角速度

α ——壳体转动角加速度

J ——振动器总转动惯量

整理得

$$\omega = -\frac{\omega_0(\ln J \pm \sqrt{1 + 2\ln J} + 1)}{\ln J} \quad (11)$$

对式(11)整理得

$$\omega = -\frac{\omega_0(\ln J - \sqrt{1 + 2\ln J} + 1)}{\ln J} \quad (12)$$

对式(12)求导得到激振器运动的角加速度

$$\alpha = \frac{mdr\omega_0^2(2\ln J - \sqrt{4\ln J + 1} + 1)\sin\omega_0 t}{2J\ln J \sqrt{4\ln J + 1}} \quad (13)$$

2.2 振动速度和频率

由上述分析可知,当对阻尼器上施加一个阻尼力偶 M_1 ,此时对系统分析可得到

$$J\alpha = 2M_0 + M_1 \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{2M_0 + M_1}{J} \quad (15)$$

式中 M_0 ——动力输入主力偶

M_1 ——阻尼器输入阻尼力偶

2.3 激振器运动规律

由于 J_o 、 J_{zc} 相对于偏心块对公转轴的转动惯量小得多,因此将 J_o 、 J_{zc} 取零。 $m = 36 \text{ kg}$, $\omega_0 = 38 \text{ rad/s}$, $r = 0.12 \text{ m}$, $d = 0.28 \text{ m}$ 。根据参数值,求出理论模型在 0.32 s 内角速度及角加速度随时间变化曲线如图5所示。

从图5知,角速度随着角加速度增大而增大,但角加速度最大时,角速度并未达到最大值。对两者的角加速度进行分析可知,壳体在 $(0, \pi/\omega_0)$ 作加速回转运动,在 $(\pi/\omega_0, 2\pi/\omega_0)$ 内作减速回转运动。经过计算得到,当 $\phi < 2\pi$ 时,壳体的角速度已为零,但此时的角加速度仍然为逆时针方向,壳体继续摆

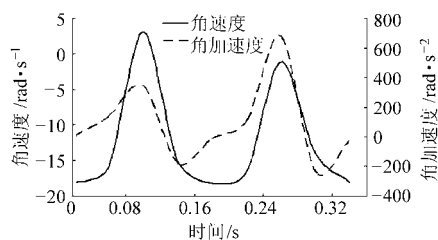


图5 壳体运动的角速度和角加速度随时间变化曲线

Fig.5 Shell movement of angular velocity and angle acceleration curves

动,产生了一定的回摆运动。

3 激振器运动过程仿真

将激振器的虚拟模型导入 SolidWorks Comotion 环境下进行运动仿真,仿真得到的角速度和角加速度曲线如图6所示。

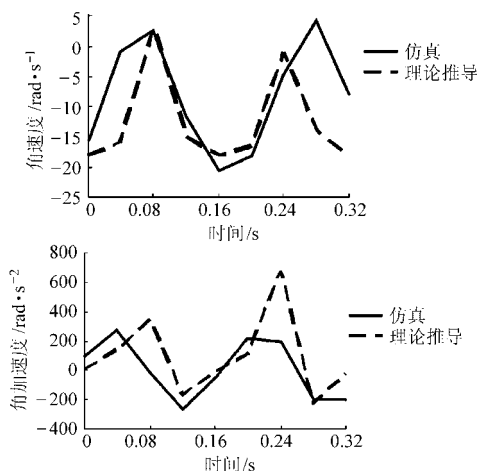


图6 角速度、角加速度仿真值与理论值对比曲线

Fig.6 Contrast curve on simulation angular velocity, angular acceleration velocity and theories value

由图6知,由于理论推导过程中,将壳体对公转轴及偏心块对自转轴的转动惯量取为零,致使角速度及角加速度的理论计算和仿真值有所浮动,总体而言,仿真曲线与理论推导曲线吻合较好。

4 试验验证

为了验证理论推导,利用高速摄像进行验证。试验在 FS-35 型试验台上进行,如图7所示。试验时果秧分离装置传动速度 $n = 380 \text{ r/min}$, $d = 0.28 \text{ m}$, $m = 36 \text{ kg}$, $r = 0.12 \text{ m}$,且不加阻尼力,分离弹齿用黑色胶布进行标记。

试验采用加拿大 CPL-MS70K 型高速摄像机,分辨率为 504×504 像素,拍摄频率采用 1000 帧/s。试验台运动正常时,利用高速摄像机进行拍摄,并用 Blaster's Mas 软件对录像进行分析和处理。首先对软件进行设置,创建起始点和跟踪点,逐帧对其标记位置跟踪,设置所要得到的角速度、

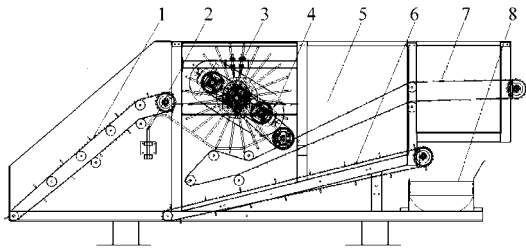


图 7 FS-35 型分离试验台示意图

Fig. 7 Structure of FS-35 type separation test rig

1. 果秧输送链 2. 扶秧器 3. 阻尼器 4. 果秧分离装置 5. 机架 6. 果实输送链 7. 抛秧输送链 8. 接果箱

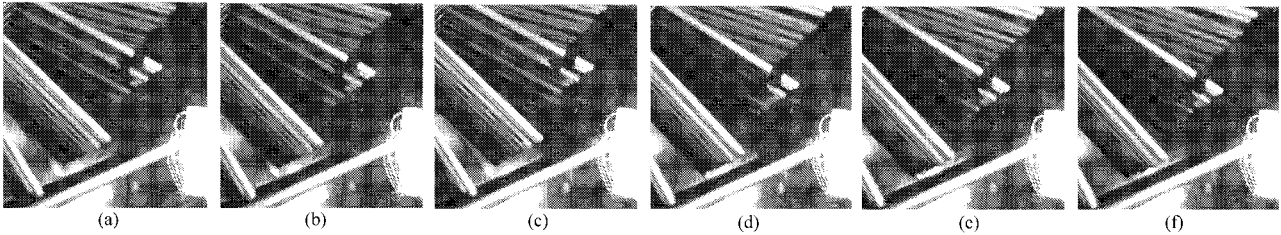


图 8 分离滚筒的运动轨迹高速摄像结果

Fig. 8 High-speed camera results of separation roller track

(a) $t=0.001\text{ s}$ (b) $t=0.009\text{ s}$ (c) $t=0.017\text{ s}$ (d) $t=0.082\text{ s}$ (e) $t=0.120\text{ s}$ (f) $t=0.162\text{ s}$

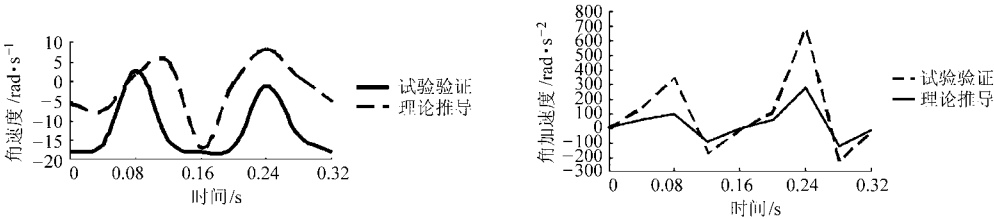


图 9 角速度和角加速度试验值与理论值对比曲线

Fig. 9 Contrast curves of experiment and theory value of validation angular acceleration velocity

5 结论

(1) 通过对分离装置的运动过程分析,建立了

激振器的运动学理论模型。

(2) 试验验证结果表明:理论模型与实际运动吻合较好,验证了理论模型的正确性。

参 考 文 献

1 庞胜群,王祯丽,张润,等. 新疆加工番茄产业现状及发展前景[J]. 中国蔬菜,2005(2):39~41.
Pang Shengqun,Wang Zhenli,Zhang Run,et al. Industrial situation and development prospect on Xinjiang processing tomato [J]. China Vegetables,2005(2):39~41. (in Chinese)

2 梁勤安,余庆辉,冯斌,等. 新疆加工番茄机械化收获发展对策的研究[J]. 新疆农业科学,2007,44(2):225~230.
Liang Qin'an,Yu Qinghui,Feng Bin,et al. Research of Xinjiang processing tomato mechanized harvesting development[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2007,44(2):225~230. (in Chinese)

3 彭霞,曹杰,徐为民. 西红柿收获机往复式切割器试验研究[J]. 农业机械,2009(3):72~73.

4 徐声彪. 以机械化促进加工番茄产业化[J]. 新疆农机化,2008(4):34~35.

5 Hartsough B. The mechanizing miracle of tomato harvesting[J]. Resoure: Engineering & Technology for a Sustainable World, 2007(10):6~7.

6 季坚柯 H Φ. 蔬菜收获机械[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981.

7 Bettencourt T S, Thomas S. Tomato harvester separator: US, 4088570[P]. 1978-05-09.

8 梁喜凤,苗香雯,崔绍荣,等. 番茄收获机械手运动学优化与仿真试验[J]. 农业机械学报,2005,36(7):96~100.
Liang Xifeng, Miao Xiangwen,Cui Shaorong,et al. Kinematics optimization and simulation experiment on tomatoes harvest manipulator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(7):96~100. (in Chinese)

9 卢勇涛,李成松,陈永成. 关于西红柿机械化采收的探讨[J]. 农业机械,2008(7):52~53.