

4HLB-2型花生联合收获机清土机构运动分析与试验*

胡志超 王海鸥 彭宝良 陈有庆 吴峰 谢焕雄

(农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

【摘要】 对4HLB-2型花生联合收获机清土装置进行了机构运动特性分析和清土效果试验研究。拍土板拍击线速度、转动角速度均随时间呈正弦曲线规律变化,在一个清土周期中共完成2次拍土过程,且出现2次拍土作用最强烈状态。清土通道后半程的清土效果要优于前半程,拍土板由两端向中间拍土强度逐渐降低,清土通道中间段存在无效拍击区。清土试验表明,清土率主要决定于花生果系被拍土板拍击的次数,而落果损失主要决定于拍土板角振幅大小,实际作业时应选定高拍土频率、小角振幅的作业参数。

关键词: 花生 联合收获机 清土机构 运动分析 试验

中图分类号: S225.7⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0142-05

Motion Analysis and Experiment on Clod Cleaner of 4HLB-2 Type Peanut Combine Harvester

Hu Zhichao Wang Haiou Peng Baoliang Chen Youqing Wu Feng Xie Huanxiong

(Nanjing Research Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract

Motion analysis and experiment of clod cleaning effect were conducted on clod cleaner of 4HLB-2 type peanut combine harvester. Linear velocity and angular velocity of flap plate varied with time according to sinusoidal law. During one clod cleaning cycle, two flapping processes were completed, and the most intense flapping status appeared twice. Clod cleaning effect of the second half of the flapping path was better than that of the first half. The flapping strength of the plates decreased from the ends to the middle, and some of the middle path was viewed as invalid section. Clod cleaning experiment showed that clod cleaning rate was mainly affected by flapping times taken by peanut clusters, and dropped peanut loss was mainly determined by angle amplitude of the flap plates. Higher vibration frequency and smaller angel amplitude were preferred during field working.

Key words Peanut, Combine harvester, Clod cleaner, Motion analysis, Experiment

引言

我国花生机械化生产技术相对滞后,尤其是收获作业环节。近年来,随着花生种植面积不断增加及农村劳动力短缺问题的加剧,一次完成所有作业工序的花生联合收获技术已成为花生收获机械的主要发展趋势^[1-2]。4HLB-2型花生联合收获机为近年研发出来的一种新型花生收获设备,该机采用

自走式半喂入原理,能一次完成挖掘、清土、夹持输送、摘果、清选、集果等多种作业功能,已进入区域性推广和小批量生产阶段^[3-5]。

花生是典型的根系发达型土下果实,在进行联合收获时,花生植株被挖起后荚果及根部往往会带有大量泥土、沙石,如果不能及时清除,会增加摘果、清选、荚果输送等后续作业的负荷,易造成作业部件堵塞,引起机械故障,并且收获荚果中土杂含量高,

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-09-09

* 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-14-08B)和农业部2009年度公益性行业(农业)科研专项资助项目(200903053)

作者简介: 胡志超,研究员,博士,主要从事农业机械化工程及农产品加工技术装备研究,E-mail: nfzhongzi@163.com

增加花生果的产后处理工作。由此可见,清土是花生联合收获的关键技术之一,清土效果的好坏直接影响着花生联合收获机的作业性能和质量。为此,本文针对4HLB-2型花生联合收获机清土装置进行机构运动特性的理论分析,并开展清土试验研究,为其结构完善设计和作业参数优化提供依据。

1 清土装置结构设计

本清土装置结构设计如图1所示,为横向同向摆拍式结构。曲拐轴安装在链轮轴的一端,连杆一端与曲拐轴连接,另一端与焊接在链轮8轮毂上的转臂连接,链轮8与拍土板13固定连接,链轮11与拍土板12固定连接,链轮8与链轮11通过链条连接。清土装置运转时,链轮转动使安装在链轮轴一端的曲拐轴旋转运动,曲拐轴通过连杆带动转臂作前后摆动,链轮8和拍土板13连同转臂一起来回转动,在链条的带动下,链轮11和拍土板12也同时一起转动,拍土板12、13的转动方向相同。两拍土板平行对称配置形成清土通道,在通道的入口和出口处呈“八”字型张口,以便夹持输送的花生秧果顺利进出拍土通道,防止拍土板在进出口处引起挂果扯秧现象。花生秧果在夹持输送经过清土通道时,两侧拍土板均绕着各自的回转轴作同向摆动,对通道中的花生果系进行拍打,清除花生荚果及根部的沙土等。

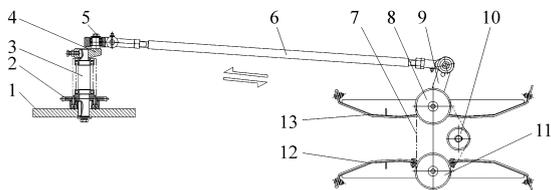


图1 清土装置结构简图

Fig. 1 Structural schematic of clod cleaner

1. 飞轮 2. 传动链轮 3. 链轮轴 4. 曲拐轴 5. 轴套 6. 连杆
7. 链条 8、11. 链轮 9. 转臂 10. 张紧轮 12、13. 拍土板

2 清土机构运动过程分析

2.1 拍土板线速度解析

拍土板线速度直接决定了拍土板对花生果系的作用强度,与清土效果密切相关。本清土装置的运动机构可以简化如图2所示,其中 O 点为拍土板的回转中心, X 是拍土板上任意一点, Z 是连杆与转臂的连接点。机构运动时,曲拐转动并通过连杆带动转臂和拍土板作等角速度回转运动。

曲拐作等速转动,其转动角速度和线速度计算公式分别为

$$\omega_q = \frac{2\pi f}{60} = \frac{\pi f}{30} \quad (1)$$

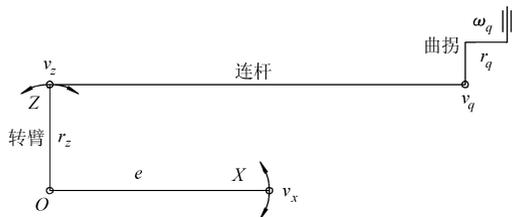


图2 清土装置运动机构简图

Fig. 2 Motion mechanism of clod cleaner

$$v_q = \omega_q r_q = \frac{\pi f r_q}{30} \quad (2)$$

式中 ω_q ——曲拐转动角速度,rad/s
 f ——清土频率,即曲拐转速,r/min
 v_q ——曲拐转动线速度,m/s
 r_q ——曲拐半径,m

转臂 Z 点作非等速回转摆动,其转动线速度计算公式为

$$v_z = v_q \sin(\omega_q t) = \frac{\pi f r_q}{30} \sin\left(\frac{\pi f t}{30}\right) \quad (3)$$

式中 t ——转动时间,s

由于 X 点与 Z 点以相同角速度回转, X 点转动线速度和角速度计算公式分别为

$$v_x = \frac{e}{r_z} v_z = \frac{\pi e f r_q}{30 r_z} \sin\left(\frac{\pi f t}{30}\right) \quad (4)$$

$$\omega = \frac{v_z}{r_z} = \frac{\pi f r_q}{30 r_z} \sin\left(\frac{\pi f t}{30}\right) \quad (5)$$

式中 r_z ——转臂长度,m

e ——拍土板 X 点回转中心距,m

通过式(4)、(5)可知,拍土板上任意一点 X 的拍击线速度 v_x 及转动角速度 ω 呈正弦曲线周期性变化规律,在清土周期中 X 点的最大线速度和角速度计算公式分别为

$$v_{x\max} = \frac{\pi e f r_q}{30 r_z} \quad (6)$$

$$\omega_{\max} = \frac{\pi f r_q}{30 r_z} \quad (7)$$

本清土装置设计时,曲拐半径 r_q 为28 mm,转臂长度 r_z 和清土频率 f 均设计成可调,具体方法为:转臂上设有3个连接孔,通过调整连杆在转臂上的安装位置来调节转臂长度 r_z 分别为130、100、80 mm;通过更换3种不同齿数的传动链轮来调节清土频率,在发动机额定转速下对应的清土频率分别为170、224、331 r/min。回转中心距 e 是由拍土板结构尺寸决定的变量,从拍土板端口到中心,拍土板回转中心距 e 逐渐减小,即拍土线速度也逐渐减小。

2.2 清土运动周期及状态分析

拍土板往复运动一个来回所需的时间设为清土周期 T ,假定清土作业过程中花生植株沿着夹持链

连续输送,拍土板及花生果系在某一个清土周期内的位置示意如图 3 所示。

图中 $t = 0$ 、 $t = T/2$ 分别为拍土板的两个极限位置状态,此两个极限位置的夹角 η 被称作角振幅,本清土装置角振幅与转臂长度 r_z 相对应,有 20° 、 24.5° 、 29° 三种供选择。由拍土板的线速度解析可知,在整个清土周期内拍土板转动线速度和角速度呈正弦曲线变化,图中 5 个位置状态的拍土板转动角速度按照“零—最大—零—最大—零”的规律周期性变化。在 $t = 0$ 、 $t = T/2$ 、 $t = T$ 的 3 个位置状态时,拍土板均处于极限位置,转动角速度为零,拍土板各点的线速度为零,此时花生果系只是在拍土通道内滑移,并未受到拍土作用;在 $t = T/4$ 、 $t = 3T/4$ 的 2 个位置状态时,拍土板转动角速度为最大,拍土板各点的线速度也达到最大,此时果系受到的拍土作用最强烈。拍土板从一侧的极限位置运动到另外一侧的极限位置,则对拍土通道内的果系完成 1 次拍土过程,在一个清土周期 T 中,共完成 2 次拍土过程。

在拍土板摆动过程中,拍土板沿清土通道长度方向的各处线速度大小和方向都不同。由于两个拍土板均围绕各自的回转轴摆动,回转中心距对拍土的效果有着较大的影响。将清土周期中 $t = 3T/4$ 时刻(即清土作用最强状态)简化如图 4 所示,在拍土板 1、2 上分别从两端向中间选取 A、B、C、D 4 个点, A 点与 D 点之间的任意一点速度均可分解为水平方向和垂直方向两个分速度。拍土板 AB 段为“八”字型张口段,相对于 BD 段而言,其距离花生果系较远,所以 AB 段主要作用是在入口端和出口端对花生果系导入和导出,而对果系的实际拍击作用有限。因此,以下仅对 BD 段的拍土板线速度进行详细分析,以考查拍土板回转中心距对拍击效果的影响。

设定 X 为 BD 段上的任意一点,其绝对对线速度为 v_x ,水平分速度为 v_{x1} ,垂直分速度为 v_{x2} ,在 $3T/4$ 时刻,此 3 个速度的具体计算公式分别为

$$v_x = \omega_{\max} e = \frac{\omega_{\max} e_0}{\sin\alpha} \quad (8)$$

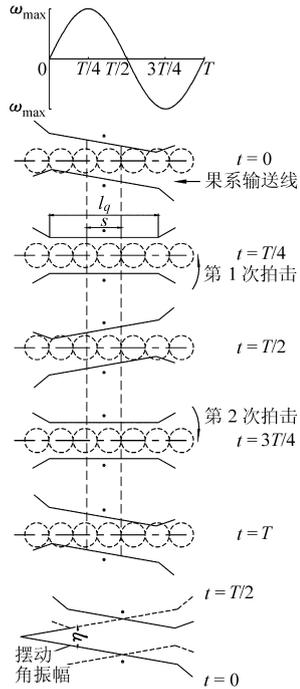


图 3 清土周期的位置示意图

Fig. 3 Pods position in a clod flap cycle

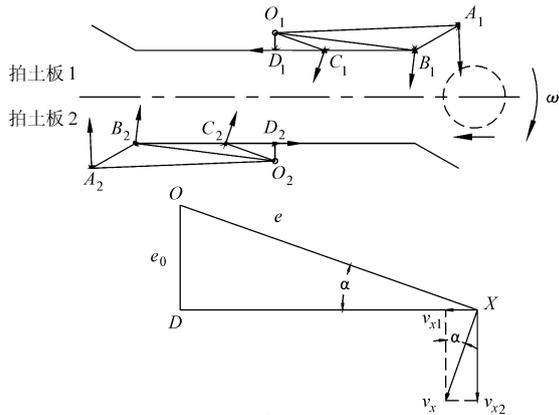


图 4 拍土板回转中心距及速度分解

Fig. 4 Decomposition of flap plate velocity

$$v_{x1} = v_x \sin\alpha = \omega_{\max} e_0 \quad (9)$$

$$v_{x2} = v_x \cos\alpha = \frac{\omega_{\max} e_0}{\sin\alpha} \cos\alpha = \omega_{\max} e_0 \cot\alpha \quad (10)$$

式中 e_0 ——拍土板最小回转中心距, m
 α ——OX 与 DX 夹角, ($^\circ$)

通过上述公式分析可知,随着 X 位置点由端口向中间移动, α 逐渐增大,绝对速度 v_x 和垂直分速度 v_{x2} 按照 B—D 的顺序逐渐减小,而水平分速度 v_{x1} 与回转中心距 e 的大小无关,为恒定值。

图 4 所示状态为一个清土周期中某一拍土作用最强烈状态,此时刻拍土板对花生果系的作用区域主要是拍土板 1 的前半部分 ($B_1—D_1$) 和拍土板 2 的后半部分 ($B_2—D_2$)。在拍土板 1 的前半部分与拍土板 2 的后半部分的垂直分速度均按照 B—D 的位置顺序逐渐减小,即从端口向中间拍土板拍土强度逐渐降低;而拍土板 1 的前半部分各位置点的水平分速度方向与果系前进方向一致,拍土板 2 的后半部分各位置点的水平分速度方向与果系前进方向正好相反,因此拍土板 2 的后半部分对果系的拍土强度要高于拍土板 1 的前半部分,即花生果系在拍土通道后半程清土效果要好于前半程。

2.3 花生果系在清土通道受拍击次数

由于两个拍土板均围绕各自的回转轴作同向摆动,当花生果系运动到清土通道中心段附近时,拍土板回转中心距小,中心段摆动幅度无法使拍土板触及花生果系,几乎形成不了拍土条件;另一方面,越靠近清土通道中心段,拍土板的拍击线速度越小,当拍击线速度减小到不足以将土壤从花生果系中拍落时,也认为是无效拍击。所以基于上述分析,认为本装置的清土通道中间段存在无效拍击区(图 3)。在一个清土周期内,拍土板对花生果系完成 2 次拍击过程,可以通过计算花生果系在有效拍土段输送时间内清土周期的个数来确定果系受拍击的次数,计

算公式为

$$N_q = \frac{2(l_q - s)}{v_0 T} = \frac{f(l_q - s)}{30v_0} \quad (11)$$

式中 N_q ——花生果系通过清土通道完成拍击的次数

l_q ——清土通道长度, m

s ——清土通道无效长度, m

v_0 ——夹持输送速度, m/s

其中清土通道中间段无效长度 s 受拍土板形状、两拍土板间距、拍土幅度、拍土角速度以及花生果系大小、土壤特性等多方面的影响。实际设计时, l_q 取 0.6 m, 根据图 3 的清土周期中果系与拍土板的位置示意, 并结合实际作业情况, 估测本清土装置的无效清土段距离 s 约为 0.15 m。

3 清土作业参数试验

清土装置作业时不仅要求清除尽可能多的土, 而且要减少落果损失, 清土率和落果损失率是清土作业参数优化的主控目标。由花生果系经过清土通道受拍击次数计算公式可知, 当拍土板结构尺寸确定后, 清土效果与夹持链输送速度、清土频率有关, 同时还受拍土板角振幅影响。而本联合收获机传动设计中夹持速度比(夹持输送速度与机器前进速度比)为 1.2, 而机器前进速度又受田间工况、机手操作水平影响, 一般为 0.8 ~ 1 m/s, 因此夹持输送速度为 0.9 ~ 1.2 m/s。而拍土板的角振幅和清土频率均可根据土壤性质和落果损失等情况进行相应调节, 清土频率为 170、224、331 r/min, 角振幅为 20°、24.5°、29°。为简化作业参数优化问题, 夹持链输送速度采用 1.2 m/s, 按照两因素三水平的全试验方案, 通过台架试验考察清土频率和角振幅 2 个因素对清土率和拍土落果损失率的影响。

试验地点为泰州市农科所试验田, 土壤类型为沙壤土, 土壤含水率在 15% 左右。采用田间台架模拟收获试验的方法: 将联合收获机停在地头平坦位置, 清土试验时, 将塑料布平铺在拍土装置正下方, 承接清土段落下的物料; 断掉清选风机动力, 在振动筛面上安装橡胶板, 停止设备的清选功能, 将清土段未清除的土块连同荚果一起收集, 直接从振动筛出料口袋装料。由人工完成挖掘启秧, 尽可能多地保留根须自带土, 再手工喂入夹持链进行清土试验, 每次试验喂秧 20 株, 结束后测定地面落果质量、土块质量以及振动筛出料口物料中的荚果质量、土块质量, 计算拍土落果损失率和清土率, 每种试验工况重复试验 3 次, 取平均值为测试值。拍土落果损失率和清土率计算方法分别为

$$D_q = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \times 100\% \quad (12)$$

式中 G_1 ——清土段地面落果质量, g

G_2 ——集果后的荚果质量, g

$$F_q = \frac{G_3}{G_3 + G_4} \times 100\% \quad (13)$$

式中 G_3 ——清土段地面落土质量, g

G_4 ——收集荚果中含土质量, g

试验结果如图 5、6 所示。从图中可以看出: 采用高频率(5.5 Hz)时, 清土效果较好, 清土率接近 90%, 而采用低频率(2.8 Hz), 清土率不足 80%; 采用 29°角振幅时落果损失率在 2% 左右, 采用 20°角振幅时落果损失率相对较小, 约为 1%。试验中清土频率和角振幅两个因素对清土率、落果损失率影响的显著性检验结果如表 1 所示, 可见: 清土频率对清土率影响极显著, 对落果损失率不显著; 角振幅对清土率影响不显著, 对落果损失率影响极显著。针对本次试验结果, 综合考虑清土率和落果损失率两个指标, 确定最佳参数组合为: 清土频率 5.5 Hz、

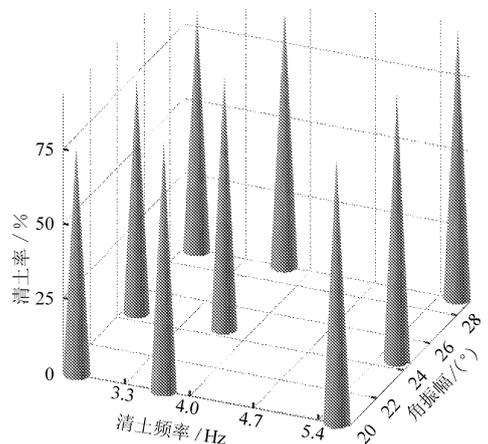


图 5 清土频率和角振幅对清土率的影响结果

Fig. 5 Impact of vibration frequency and amplitude on clod cleaning rate

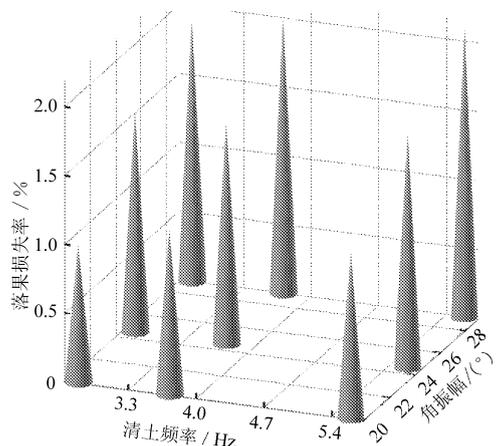


图 6 清土频率和角振幅对落果损失率的影响结果

Fig. 6 Impact of vibration frequency and amplitude on dropped peanut loss

表1 清土频率和角振幅显著性检验

Tab.1 Significance test of clod cleaning rate and dropped peanut loss rate

影响因素	清土率		落果损失率	
	F 值	P 值	F 值	P 值
清土频率	43.54	0.000 1*	0.11	0.897
角振幅	0.18	0.843	63.875	0.000 1*

* $P < 0.001$ (极显著)角振幅 20° 。

按照式(11),当清土频率采用 5.5 Hz 时,花生果系通过清土通道被拍击 4 次,当清土频率采用 2.8 Hz 时,花生果系被拍击 2 次。按照式(6),拍土板最大线速度与转臂长度 r_2 呈反比,当拍土板角振幅越高,即 r_2 越小,其摆动幅度越大,拍土板最大线速度越高,其对花生荚果的拍击强度越大,清土时荚果就容易脱落造成落果损失。因此,清土率主要决定于花生果系被拍土板拍击的次数,而落果损失率主要决定于拍土板角振幅。实际收获作业中,清土率和落果损失率还受土壤条件、花生植株特性等影响,所以应该综合考虑各种影响来选取合适的清土

作业参数,清土作业的确定原则是在落果损失率相当时尽可能确保较低的含土率,一般要求选定高清土频率、小角振幅的作业参数。

4 结论

(1) 对联合收获机清土机构运动解析表明,拍土板上任意一点 X 的拍击线速度 v_x 及转动角速度 ω 随时间呈正弦曲线周期性规律变化,在一个清土周期 T 中共完成 2 次拍土过程,出现 2 次拍土作用最强烈状态。

(2) 在拍土作用最强烈状态时刻,拍土板上某点的绝对速度 v_x 和垂直分速度 v_{z2} 随着回转中心距 e 减小而降低,而水平分速度 v_{x1} 保持恒定值。清土通道后半程的清土效果要优于前半程,拍土板拍土强度由两端向中间逐渐降低,清土通道中间段存在无效拍击区。

(3) 清土频率和角振幅对清土效果试验表明,清土率主要决定于花生果系被拍土板拍击的次数,而落果损失率主要决定于拍土板角振幅,实际作业时选定高清土频率、小角振幅的作业参数。

参 考 文 献

- 尚书旗,刘曙光,王方艳,等. 花生生产机械的研究现状与进展分析[J]. 农业机械学报,2005,36(3):143~147.
Shang Shuqi, Liu Shuguang, Wang Fangyan, et al. Current situation and development of peanut production machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3):143~147. (in Chinese)
- 胡志超,彭宝良,谢焕雄,等. 升运链式花生收获机的设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(11):220~222.
- 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 4LH2 型半喂入自走式花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报,2008,24(3):148~153.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design of 4LH2 type half-feed and self-propelled peanut combine[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3):148~153. (in Chinese)
- 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 多功能根茎类作物联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):58~61.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design and experiment of multifunctional root-tuber crops combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8):58~61. (in Chinese)
- 胡志超,王海鸥,王建楠,等. 4HLB-2 型半喂入花生联合收获机试验[J]. 农业机械学报,2010,41(4):79~84.
Hu Zhichao, Wang Haiou, Wang Jiannan, et al. Experiment on 4HLB-2 type half feed peanut combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4):79~84. (in Chinese)

(上接第 141 页)

- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:下册[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- 刘建军,宋建农,陆建伟,等. 大蒜收获工艺的分析和探讨[J]. 农机化研究,2008,30(1):32~39.
Liu Jianjun, Song Jiannong, Lu Jianwei, et al. Analysis and discussion of garlic harvesting machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(1):32~39. (in Chinese)
- 卢泽民,蒯杰,饶勇. 分段式大蒜收获机械试验研究[J]. 农业装备与车辆工程,2011(1):28~31.
Lu Zemin, Kuai Jie, Rao Yong. Test and analysis of segmented garlic bulb harvest machine [J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2011(1):28~31. (in Chinese)