

# 全喂入式花生捡拾收获机捡拾输送装置研制

王申莹,胡志超\*,徐弘博,曹明珠,于昭洋,彭宝良

(农业农村部南京农业机械化研究所,南京 210014)

**摘要:**为了提高直立形花生捡拾收获质量和效率,解决花生捡拾输送装置制造工艺复杂、成本高、易卡堵、易缠绕跳齿、链耙扭曲等问题,该文设计了一种大型全喂入花生收获机捡拾输送装置,设计了其总体结构和传动系统。该装置可完成果秧的捡拾、推送归拢、交接输送以及部分去土等作业。对关键部件进行了结构设计和关键参数的分析确定;采用倒八字椽檐交接技术,设计了一种“凸”字形滑板滚筒式防卡滞捡拾器;采用静套动防缠绕技术,设计了链耙式输送装置。田间试验表明,平均捡拾率97.39%,捡拾落果率1.12%,可靠性达到98.91%,各作业性能指标满足设计要求。该研究可为直立形花生捡拾输送装置以及其他作物捡拾输送装备的研发提供技术参考。

**关键词:**农业机械;设计;花生;捡拾台;输送装置;全喂入式

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.003

中图分类号:S225.7 文献标志码:A 文章编号:1002-6819(2019)-19-0020-09

王申莹,胡志超,徐弘博,曹明珠,于昭洋,彭宝良.全喂入式花生捡拾收获机捡拾输送装置研制[J].农业工程学报,2019,35(19):20-28 doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.003 http://www.tcsae.org

Wang Shenying, Hu Zhichao, Xu Hongbo, Cao Mingzhu, Yu Zhaoyang, Peng Baoliang. Design and test of pickup and conveyor device for full-feeding peanut pickup harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(19): 20-28. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.003 http://www.tcsae.org

## 0 引言

花生是重要的油料作物和经济作物之一,在世界油料生产和贸易中仅次于大豆,对保障世界食用油安全有重要作用<sup>[1-3]</sup>。根据联合国粮农组织(FAO)统计数据,2016年中国花生种植面积 $4.75 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,占世界16.68%;产量 $1.7 \times 10^7 \text{ t}$ ,占世界40.26%。但中国花生收获机械化水平较美国、巴西、阿根廷等国家相对滞后,2017年中国花生机械化收获水平仅为39.72%<sup>[4]</sup>,大部分种植区花生收获方式仍以半机械化和分段收获为主<sup>[5-9]</sup>,严重制约了花生产业的发展。

花生收获方式主要分为联合收获、分段收获和两段收获。联合收获即用一种机械可一次完成花生的挖掘、去土、摘果、清选和集果等全过程;分段收获即用不同的机械分别依次完成花生收获的各个环节;两段收获即先用花生起收机完成花生挖掘、去土并摊铺在田间地表晾晒后,再

用花生捡拾收获机完成后续的捡拾、摘果和清选等环节<sup>[10-11]</sup>。联合收获由于收获时受土壤特性(如硬度、含水率等)影响较大,且收获的荚果为鲜果,含水率高不易储藏,不适合大规模种植的花生收获,目前主要应用于中国台湾省、山东省等部分地区。分段收获由于对机械化水平要求不高,主要集中应用在收获技术相对落后一些的国家,如印度等南亚、东南亚国家和尼日利亚等非洲国家。以美国为代表的两段式收获,研究早、机械化程度和效率高,适合大规模种植的花生收获;巴西、澳大利亚和阿根廷等花生生产条件相似的国家也主要采用两段式收获<sup>[5]</sup>;目前中国河南、新疆等花生大规模种植地区也逐渐采用两段式收获。但由于中国花生品种(直立形)和美国、巴西等国家(蔓生形)的不同及进口花生收获机价格昂贵等原因,美国的花生收获机难以适应中国花生生产实际需求。

捡拾输送装置是花生捡拾收获机的关键装置,主要完成将花生果秧从田间地表捡起并通过输送装置传送给后续摘果装置的工作,其性能的好坏直接影响着捡拾联合收获机的作业质量和效率。近年来农业农村部南京农业机械化研究所、沈阳农业大学和青岛农业大学及农业机械生产企业对花生捡拾联合收获机进行了研究和生产。目前,花生捡拾输送装置的设计主要是借鉴油菜、牧草等收获机械,多采用弹齿滑道滚筒式捡拾装置和链耙式输送装置<sup>[12-17]</sup>。刘洋成等进行了花生捡拾摘果机设计与试验,设计了凸轮滑道式弹齿捡拾器<sup>[18]</sup>。王东伟等设计了弹性组合式滑道捡拾装置<sup>[19]</sup>,在4HJL-2型背负式花

收稿日期:2019-05-05 修订日期:2019-08-28

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(S201916);国家重点研发计划(2016YFD0702102);国家现代农业花生产业技术体系收获机械化岗位(CARS-13-收获机械化岗位)

作者简介:王申莹,助理研究员,主要从事农业机械装备机电液一体化技术和虚拟仿真技术研究。Email:465499517@qq.com。

※通信作者:胡志超,研究员,博士生导师,主要从事土下果实生产机械化技术与装备研究。Email:nfzhongzi@163.com。

中国农业工程学会高级会员:胡志超(E041200498S)。

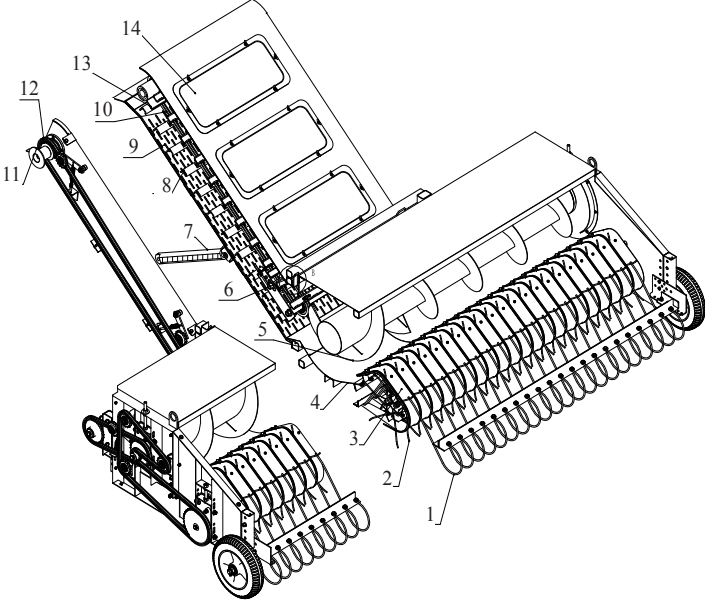
生捡拾摘果联合收获机的基础上,设计了链式尼龙弹齿捡拾装置和链板式输送装置,并进行了试验研究<sup>[20]</sup>。许涛等对弹齿滑道式捡拾机构进行了设计和仿真优化,并对优化结果进行了土槽试验,试验结果表明花生植株捡拾率为98.9%,掉过损失率为2.5%,略优于行业标准<sup>[21]</sup>。由于中国花生收获机械研究起步晚、进展缓慢,已研发的产品都还不成熟,尤其是两段式收获的花生捡拾联合收获机,尚处在试验摸索阶段。花生捡拾输送装置还存在诸如漏捡损失和落果损失大、捡拾器和螺旋输送机交接处易挂秧卡堵、输送装置易缠绕以致跳齿、制造工艺复杂、成本高等问题,亟需一种适合中国花生收获的经济高效、可靠顺畅的捡拾输送装置。

针对上述问题,本研究旨在研究一种新型的花生捡拾输送装置,以期解决目前花生捡拾收获机的捡拾输送装置存在的问题。

1 总体结构与工作原理

1.1 总体结构

本文以由农业农村部南京农业机械化研究所研制的4HLJ-8型大型高效花生捡拾联合收获机为载体(配套动力92 kW,收获行数:8行,喂入量:2.0~3.0 kg/s,生产效率0.5~1.0 hm<sup>2</sup>/h,适用范围:花生主产区大面积垄作和平作的花生收获),捡拾输送装置如图1所示(轴侧剖视断开画法,以展示内部结构),主要由捡拾台(主要包括:限深轮、压秧杆、滑秧板、捡拾器、螺旋输送器等)、快速挂接机构、输送装置(主要包括:输送槽、链耙式输送机、防缠绕装置等)、液压缸和传动系统等组成。主要完成花生秧果捡拾、推送集中、输送等作业。其捡拾、集中、输送等动力由后续的摘果部件通过传动系统提供,装置的离地高度调节动力由液压系统提供。捡拾输送装置主要结构参数如表1所示。



1. 压秧杆 2. 捡拾弹齿 3. 滑秧板 4. 螺旋输送机凹板 5. 螺旋输送机 6. 挂接导向耳板 7. 液压缸 8. 输送链耙 9. 输送槽底板 10. 输送链 11. 输送装置主动链轮 12. 输送装置从动链轮 13. 防缠绕限制板 14. 输送槽盖板  
1. Pressure rod 2. Pickup elastic teeth 3. Slide plate 4. Spiral conveyor concave plate 5. Spiral conveyor 6. Hooking guide ear plate 7. Hydraulic cylinder 8. Conveyor chain harrow 9. Conveyor tank bottom 10. Conveyor chain 11. Conveyor drive sprocket 12. Conveyor driven sprocket 13. Anti-winding limit plate 14. Conveyor cover plate

图1 捡拾输送装置结构组成

Fig.1 Structure components of pickup and conveyor device

表1 捡拾输送装置主要参数  
Table 1 Main parameters of pickup conveyor

参数 Parameters	数值 Values
捡拾台尺寸(长×宽×高) Pickup table size (length×width×height)/mm×mm×mm	3 000×1 500×800
输送装置尺寸(长×宽×厚) Conveyor size (length×width×height)/mm×mm×mm	1 800×1 050×340
限深轮高度调节范围(相对地面) Depth control wheel height adjustment range/ mm	-100~100
装置总质量 Total mass of the device/kg	1 100
配套动力 Supporting power/kW	2.4
输送装置主动轴额定转速 Conveyor drive shaft rated speed/(r·min <sup>-1</sup> )	215
捡拾台动力主轴额定转速 Pickup table power spindle rated speed/(r·min <sup>-1</sup> )	165

1.2 工作原理

工作时,花生秧果在旋转捡拾弹齿的带动并与压秧杆的相互作用下沿着滑秧板进入到螺旋输送机,在螺旋输送器的旋转聚拢作用下,花生秧果被聚集到与输送装置对接的中间部分,并在输送槽中输送链耙回转运动的带动下经输送链耙与输送槽底板之间的空间进入到后续摘果部件。同时通过液压缸调节捡拾台距地表的高度,从而调节捡拾弹齿的离地间隙。

2 主要部件结构与参数

2.1 传动系统

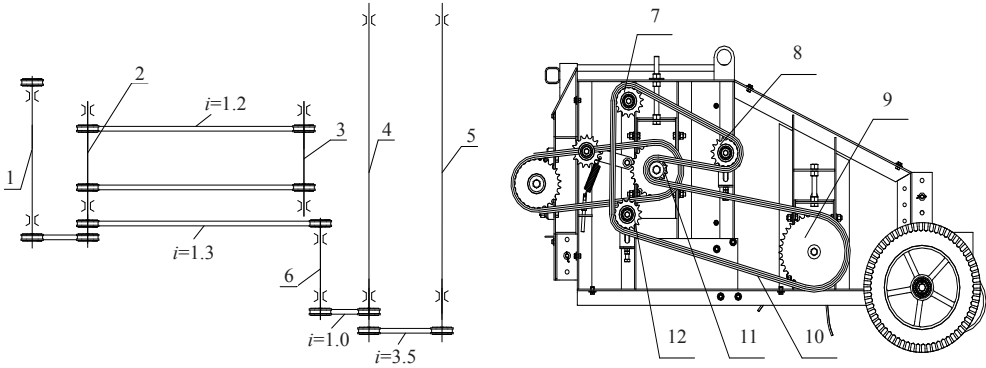
捡拾输送装置采用分路传动系统,包括输送装置传动和捡拾台传动2路,如图2a所示。动力由发动机经摘果辊轴传给输送装置主动轴。一路动力通过输送装置主动轴带动输送装置主动链轮转动,并通过链条带动输送装置从动轴旋转,实现链耙式输送器的抓取输送功能。另一路动力由输送装置主动轴通过链条带动捡拾台动力输入轴的转动,为捡拾台提供动力;捡拾台动力输入轴通过链条带动螺旋输送器的旋转,实现螺旋输送器的集中归拢功能,并带动捡拾器驱动链轮的旋转;捡拾器驱动链轮通过链条和3个张紧轮带动捡拾器的换向旋转(如图2b所示),并带动捡拾弹齿做圆周运动,实现螺旋输送器和捡拾弹齿的相向转动和捡拾功能。

2.2 捡拾器

捡拾器位于捡拾联合收获机的最前端,完成花生秧果的捡拾。目前市场上中小型的花生捡拾联合收获机多参考牧草和青储机的弹齿滑道滚筒式捡拾器。此类捡拾器为了防止牧草花叶的脱落和弹齿在捡拾后带草,对滑道的形状和弹齿曲柄的运动轨迹提出了严格的要求,致使制造工艺复杂、成本高。花生大规模收获时,若采用此类捡拾器,由于捡拾台幅宽大、曲柄轴长、挠度大,工作时跳动大,弹齿的运动轨迹亦得不到保证<sup>[17]</sup>。目前,市场上的花生捡拾联合收获机捡拾台的滑秧板是直接固定在螺旋输送机凹板上,两滑秧板间隙在捡拾弹齿运动的全过程中不变。但由于花生荚果外形(呈一端大一端小的“8”

字形)的不规则性和秧的杂乱性,花生秧果很容易进入到两滑梯板的间隙中,并在捡拾弹齿的推动下沿滑梯板向螺旋输送机运动,当运动到滑梯板末端与螺旋输送机凹

板交接处时容易发生卡滞现象,导致花生秧果在交接处堆积直至卡死,甚至造成捡拾弹齿折断,迫使作业中断、停车清理,降低了收获机的作业效率和顺畅性。



a. 传动系统  
a. Transmission system  
1. 摘果辊轴 2. 输送装置主动轴 3. 输送装置从动轴 4. 螺旋输送机轴 5. 捡拾器轴 6. 捡拾台动力输入轴 7. 第一张紧链轮 8. 第二张紧链轮 9. 捡拾器链轮 10. 螺旋输送机捡拾器传动链 11. 捡拾器驱动链轮 12. 第三张紧链轮  
Note: 1. Pick roller shaft 2. Conveyor drive shaft 3. Conveyor driven shaft 4. Screw conveyor shaft 5. Picker shaft 6. Pickup bench power input shaft 7. First tension sprocket 8. Second tension sprocket 9. Picker sprocket 10. Screw conveyor picker drive chain 11. Picker drive sprocket 12. Third tension sprocket  
 $i$  为传动比  $i$  is the transmission ratio.

图2 传动系统示意图  
Fig.2 Schematic of transmission system

本文在分析上述问题的基础上,设计了一种弹齿滑梯板滚筒式捡拾器,其主要由捡拾弹齿、滑梯板、滑梯板交接支撑架、螺旋输送机、凹板、限深轮和压秧杆等组成,如图3a所示。相邻2排弹齿夹角为 $60^\circ$ ,齿间距为10 cm (综合考虑花生果秧的最短长度并尽量减少弹齿个数以降低成本),“凸”字形滑梯板与捡拾器轴架偏心配置,具体结构如图3b所示。

隙中,结合结构空间布置,取 $\alpha=35^\circ$ )的滑梯板下降斜面上 $O_0$ 点时,秧果在后续秧果的挤推和螺旋输送机叶片携带以及自身重力的作用下沿滑梯板下降斜面落入到螺旋输送机里。

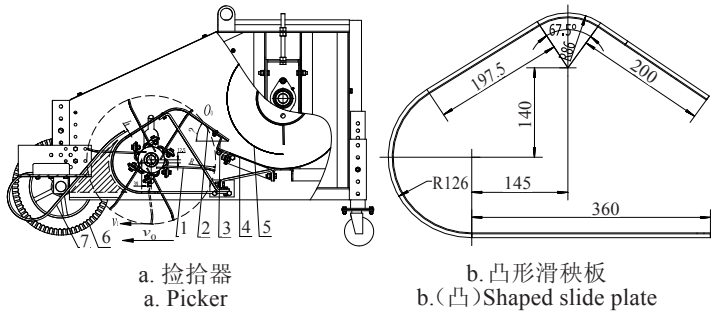
同时,为了避免花生秧果在三角区的运动阻力过大而导致花生荚果掉落,压秧杆末端直杆部分距滑梯板上斜面的距离 $h$ 应满足如下条件:

$$h \geq l \tag{1}$$

式中 $l$ 为花生荚果的长度,mm。

$h$ 的大小可通过压秧杆安装架上下调节。根据花生主产区实测情况( $l=25\sim65$  mm)和捡拾收获前晾晒数天后的果秧状态(一般为 $2\sim4$  d)并参考相关研究<sup>[22]</sup>,取 $h=50$  mm。

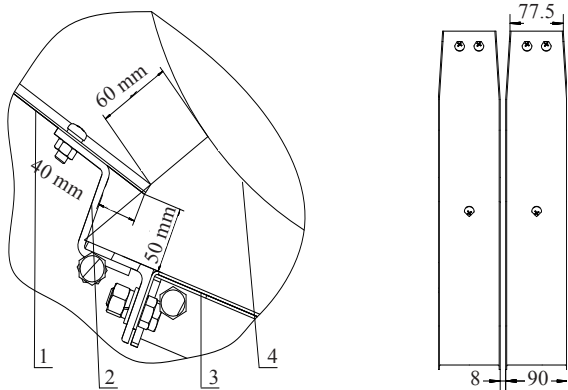
为解决交接处的卡滞问题,捡拾器和螺旋输送机之间采用倒八字椽檐交接技术,即将滑梯板悬空在螺旋输送机凹板上方并深入到螺旋输送机内,类似椽檐,且滑梯板末端逐渐变小,两滑梯板形成类似倒“八”字形,如图4所示。



1. 捡拾弹齿 2. 滑梯板 3. 滑梯板交接支撑架 4. 螺旋输送机凹板 5. 螺旋输送机 6. 限深轮 7. 压秧杆  
1. Pickup elastic teeth 2. Slide plate 3. Slide board transfer support 4. Spiral conveyor concave plate 5. Spiral conveyor 6. Limited depth wheel 7. Pressure rod  
注: $h$ 为压秧杆末端直杆部分距滑梯板上斜面的距离,mm; $v_0$ 为花生收获机前进速度, $m\cdot s^{-1}$ ; $v_1$ 为弹齿端部圆周切向速度, $m\cdot s^{-1}$ ; $R$ 为捡拾器转动半径,mm; $\alpha$ 为滑梯板下降斜面与水平方向的夹角, $^\circ$ ; $O_0$ 为捡拾弹齿转动轨迹与滑梯板下降斜面的交点。  
Note:  $h$  is the distance from the straight part of the end of the pressure rod to the rising slope of the slide plate, mm;  $v_0$  is the forward speed of the peanut harvester,  $m\cdot s^{-1}$ ;  $v_1$  is the circumferential tangential speed of the end of the elastic tooth,  $m\cdot s^{-1}$ ;  $R$  is the rotating radius of the pickup elastic tooth, mm;  $\alpha$  is the angle between the falling slope of the slide plate and the horizontal direction,  $^\circ$ ;  $O_0$  is the intersection of the rotating track of the pickup elastic tooth and the falling slope of the slide plate.

图3 捡拾器和滑梯板结构示意图  
Fig.3 Diagram of picker and slide plate structure

工作时,花生秧果被捡起并送到由压秧杆、捡拾弹齿和滑梯板形成的弧形三角区(如图3中阴影区所示)。花生秧果在三角区的挤压作用下(蓬松度降低),平稳的贴着滑梯板表面运动。当捡拾弹齿运动到图3中与水平方向成 $\alpha$ 角(为使弹齿以尽量大的卸秧角缩进滑梯板内,近似 $90^\circ$ ,以防止弹齿将果秧带入相邻两滑梯板的缝



a. 交接示意图  
a. Schematic of handover  
b. 相邻滑梯板示意图  
b. Schematic of adjacent slide plates  
1. 滑梯板 2. 滑梯板交接支撑架 3. 螺旋输送机凹板 4. 螺旋输送机  
1. Slide plate 2. Slide board transfer support 3. Spiral conveyor concave plate 4. Spiral conveyor

图4 倒八字椽檐交接示意图  
Fig.4 Schematic of funnel rafter eaves handover

滑梯板下降斜面延伸至螺旋输送机凹板之上,且与螺旋输送机形成距离为 $B$ 的喂入口;滑梯板下降斜面与凹板之间通过交接支撑架固定连接,且滑梯板下降斜面端部与凹板之间形成高度为 $A$ 的下落空间;同时下降斜面的末端超出交接支撑架形成长度为 $C$ 的檐檐(设计灵感来源于古代房屋建筑屋檐排水,依靠雨水的重力和后续雨水的推力进行排水,且雨水不至于落到房屋内)。为了避免花生荚果喂入至螺旋输送机时花生荚果被挤破或花生荚果架空在滑梯板下降斜面和凹板之间, $A$ 、 $B$ 应满足如下条件:

$$A \geq 1 \quad (2)$$

$$B \geq 1 \quad (3)$$

且 $A$ 、 $B$ 值越大越好,但 $B$ 不应太大以免降低螺旋输送机携带能力。檐状长度 $C$ 满足如下条件:滑梯板下降斜面末端 $O_2$ 至螺旋输送机回转中心连线的反向延长线与凹板末端平面交于 $O_3$ 点, $O_3$ 点需落在凹板上,以防止花生果秧被螺旋输送机从2滑梯板交接支撑架的间隔中挤出。根据实际调研情况和结构空间限制,取 $A=50$  mm,  $B=60$  mm,  $C=40$  mm。

为了将花生荚果及时捡起,避免其被弹齿推着前进而与地面产生拖刷作用,降低捡拾落果率,捡拾弹齿端部圆周切向速度应满足如下条件:

$$v_1 - v_0 \geq 0 \quad (4)$$

$$v_1 = \frac{2\pi}{60} R n_1 \quad (5)$$

式中 $v_0$ 为花生收获机前进速度, m/s;  $v_1$ 为弹齿端部圆周切向速度, m/s;  $R$ 为捡拾器转动半径, mm;  $n_1$ 为捡拾器转

动速度, r/min。

参考油菜等作物收获机械,设计理论值 $v_0=0.8$  m/s, 则 $v_1 \geq 0.8$  m/s, 且 $v_1$ 越大越不易产生拖刷作用;但 $v_1$ 过大, 弹齿对花生荚果的冲击加大以致落果损失剧烈增加。借鉴油菜等谷物收获机实践经验,设计 $v_1=1.3$  m/s, 则由公式(5)可知:

$$n_1 = \frac{60v_1}{2\pi R} \quad (6)$$

设计 $R=265$  mm, 将其带入公式(6)可知捡拾器转速 $n_1=46.85$  r/min, 圆整取 $n_1=47$  r/min。

### 2.3 螺旋输送机

螺旋输送机位于捡拾器和输送装置之间, 主要完成花生果秧捡拾后的横向推送集中工作。主要由端部防缠绕护板、旋转滚筒、左右螺旋叶片、左右凹板、花键套、花键轴、螺旋叶片与凹板间隙调节机构、防回带机构等组成, 结构如图5a所示。

为防止花生果秧进入到螺旋输送机端部与机架侧板的间隙中而缠绕在花键轴上, 在机架侧板上安装有弧形导草护板(如图5a、5b所示), 阻止花生果秧进入此间隙中, 起到了防缠绕的作用。同时, 为避免落入到螺旋叶片与凹板间隙中的花生果秧在旋转叶片的作用下回带到捡拾器与螺旋输送器的交接处, 造成二次甚至多次喂入, 增大喂入量, 造成交接处的拥堵, 在叶片回转中心等高处安装一防回带板(如图5a、5b所示)。防回带板与叶片边缘形成3~5 mm的间隙, 阻止花生果秧通过, 确保花生果秧在螺旋输送器的下半腔沿输送机轴向由两端向中间推送, 避免了回带现象的发生。

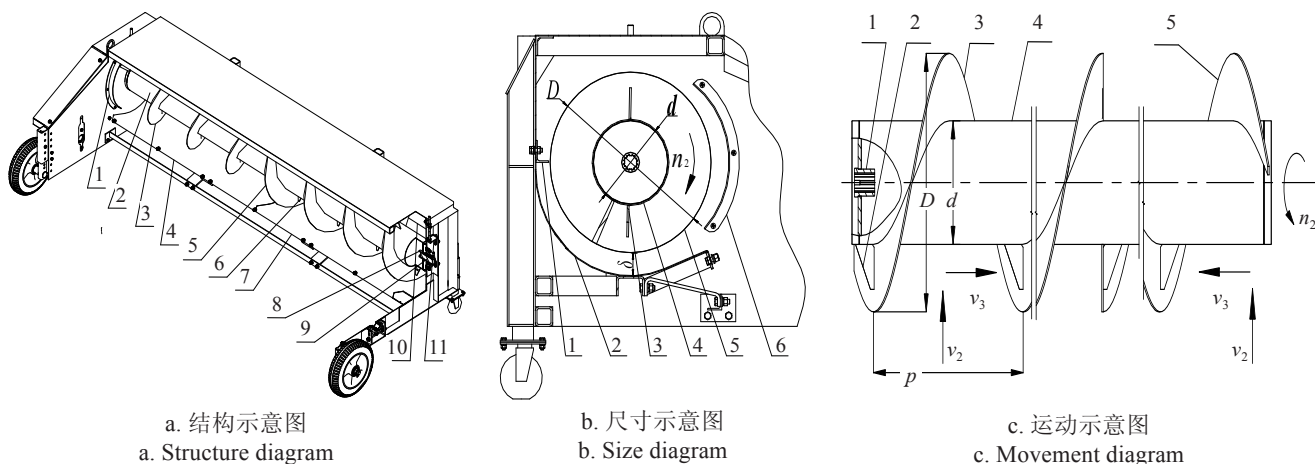


图 5a: 1. 防缠绕护板 2. 滚筒 3. 右螺旋叶片 4. 右凹板 5. 左螺旋叶片 6. 加强筋 7. 左凹板 8. 花键套 9. 花键轴 10. 防回带角钢 11. 间隙调节机构

图 5b: 1. 防回带板 2. 凹板 3. 加强筋 4. 滚筒 5. 螺旋叶片 6. 防缠绕护板

图 5c: 1. 花键套 2. 加强筋 3. 右螺旋叶片 4. 滚筒 5. 左螺旋叶片

Fig. 5a: 1. Anti-wrenching guard plate 2. Roller 3. Right spiral blade 4. Right concave plate 5. Left spiral blade 6. Reinforcing rib 7. Left concave plate 8. Spline sleeve 9. Spline shaft 10. Anti-return angle steel 11. Gap adjustment mechanism

Fig. 5b: 1. Anti-return plate 2. Concave plate 3. Reinforcing rib 4. Roller 5. Spiral blade 6. Anti-wrenching guard plate

Fig. 5c: 1. Spline sleeve 2. Reinforcing rib 3. Right spiral blade 4. Roller 5. Left spiral blade

注:  $\delta$  为螺旋叶片与凹板之间的间隙, mm;  $d$  为滚筒直径, mm;  $D$  为螺旋叶片外径, mm;  $n_2$  为螺旋输送机转速, r·min<sup>-1</sup>;  $v_2$  为捡拾弹齿在交接处脱离滑梯板时水平方向的速度, m·s<sup>-1</sup>;  $v_3$  为螺旋输送器的轴向速度, m·s<sup>-1</sup>;

Note:  $v_2$  is the horizontal speed of the pickup teeth when they are separated from the sliding plate at the junction, m·s<sup>-1</sup>;  $v_3$  is the axial speed of the screw conveyor, m·s<sup>-1</sup>;  $\delta$  is the gap between the spiral blade and the concave plate, mm;  $d$  is the diameter of the roller, mm;  $D$  is the outer diameter of the spiral blade, mm;  $n_2$  is the speed of the screw conveyor, r·min<sup>-1</sup>;  $v_2$  is the horizontal speed of the pickup teeth when they are separated from the sliding plate at the junction, m·s<sup>-1</sup>;  $v_3$  is the axial speed of the screw conveyor, m·s<sup>-1</sup>.

图 5 螺旋输送机

Fig. 5 Spiral conveyor

因为螺旋叶片与凹板之间的间隙 $\delta$ 过小会导致花生荚果在螺旋推送的过程中破碎或裂荚, 所以 $\delta$ 应满足条件:

$$\delta \geq 1 \quad (7)$$

而 $\delta$ 过大则会降低螺旋叶片对花生荚果的携带能力, 花生荚果得不到及时输送而导致拥堵, 增加花生荚果的破碎和裂荚。根据对主产区花生荚果的实测情况, 取

$\delta=60$  mm。实际工作时,  $\delta$  值可根据花生品种和田间长势情况通过间隙调节机构(如图5所示)进行无级调节。

如图7所示, 为防止花生果秧缠绕在螺旋输送机滚筒上, 滚筒直径应满足:

$$\pi d \geq L_1 + L_2 \quad (8)$$

式中  $d$  为滚筒直径, mm;  $L_1$  为收获期花生果秧的植株长度, mm;  $L_2$  为收获期花生果秧的主根长度, mm。根据实地调研和相关文献<sup>[23-24]</sup>,  $L_1=310\sim 510$  mm,  $L_2=70\sim 140$  mm。将上述数据代入式(8)可得  $d \geq 207$  mm, 且  $d$  越大越好, 但  $d$  过大会增加螺旋输送器的结构; 结合市场制造材料规格, 设计  $d=220$  mm。依据实际设计需求并参考稻麦等联合收获机的设计经验, 取螺旋叶片外径  $D=460$  mm, 螺距  $p=400$  mm。

如图5c所示, 为保证花生果秧被螺旋输送机及时推送至后续输送装置而不产生拥堵, 则:

$$v_3 - v_2 \geq 0 \quad (9)$$

由图3和图5c可知:

$$v_2 = v_1 \cos \alpha \quad (10)$$

$$v_3 = \frac{pn_2}{60} \quad (11)$$

将式(10)和(11)代入式(9), 得:

$$n_2 = \frac{60v_1 \cos \alpha}{p} \quad (12)$$

带入数据得  $n_2 \geq 160$ 。  $n_2$  越大, 螺旋输送机推送越及时, 越不易产生拥堵, 但  $n_2$  过大会增加捡拾台的振动和花生荚果的掉落, 综合考虑取  $n_2=165$  r/min。

参考籽粒和杂余螺旋输送器的设计依据<sup>[17]</sup>, 螺旋输送器的生产率(推运量)  $Q$  可按下式计算得出:

$$Q = \frac{\pi}{24} \times [(D-2\delta)^2 - d^2] \psi p n_2 \rho C \times 10^{-10} \quad (13)$$

式中  $\psi$  为充满系数;  $\rho$  为输送物单位容积的质量, kg/m<sup>3</sup>;  $C$  为输送机倾斜输送系数。

根据农业机械螺旋输送标准 NJ175-79 和实际设计需求, 充满系数  $\psi$  取 0.3; 花生果秧的单位容积质量  $\rho$  根据实测取 200 kg/m<sup>3</sup>; 横向输送机(即倾斜角度为 0)倾斜输送系数  $C$  取 1; 结合上述数据, 螺旋输送器的推运量  $Q$  可达到约 3.5 kg/s, 满足喂入量要求。

为在螺旋输送过程中清除部分花生果秧夹带的泥土, 减少后续清选部件的负担, 在左右凹板上开设有对称的长腰型孔, 如图6所示。

其尺寸和方向满足如下条件:

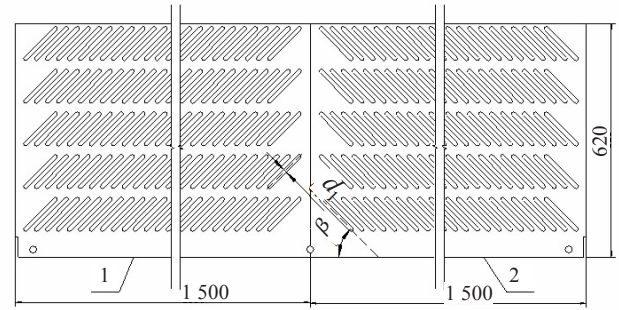
$$d_1 \leq d_0 \quad (14)$$

$$\beta = \gamma \quad (15)$$

式中  $d_0$  为花生荚果直径, mm;  $d_1$  为长腰型孔的宽度, mm;  $\beta$  为长腰型孔与螺旋输送机轴向夹角, (°);  $\gamma$  为螺旋叶片的螺旋角, (°)。由驻马店花生主产区实测可知花生荚果直径(品种为皖花2号)  $d_0=8\sim 13$  mm, 而  $d_1$  应尽量大以便清土, 取  $d_1=8$  mm。由螺旋角公式可知:

$$\beta = \gamma = \arccos \frac{p}{\pi D} \quad (16)$$

将数据带入式(16)得  $\beta=73.9^\circ$ , 圆整取  $\beta=75^\circ$ 。



1. 右凹板 2. 左凹板

1. Right concave plate 2. Left concave plate

注:  $d_1$  为长腰型孔的宽度, mm;  $\beta$  为长腰型孔与螺旋输送机轴向的夹角, (°)。

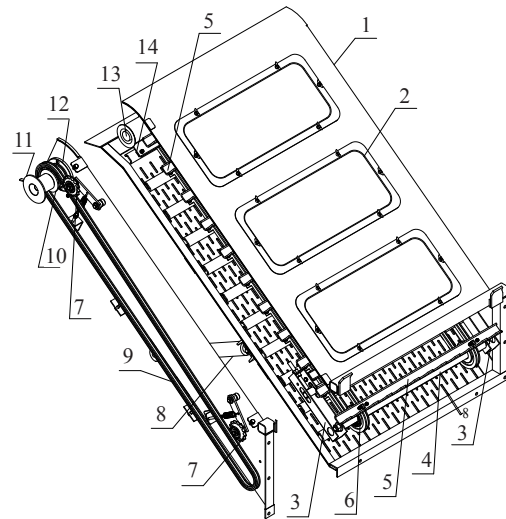
Note:  $d_1$  is the width of the long waist hole, mm;  $\beta$  is the angle between the long waist hole and the axial direction of the screw conveyor, (°).

图6 凹板展开示意图

Fig.6 Diagram of concave plate expansion

## 2.4 输送装置

输送装置位于捡拾台后上方, 是将捡拾台的花生果秧输送给后续摘果装置的过渡部分。同时, 也起到升降捡拾台调节捡拾高度的作用, 结构如图7所示, 主要由输送槽体、张紧机构、输送链耙、驱动轴、从动轴、液压缸、捡拾台驱动链轮、连接套筒和防缠绕装置等组成。



1. 输送槽 2. 盖板 3. 张紧机构 4. 从动轴 5. 输送链耙 6. 从动链轮 7. 张紧轮 8. 液压缸 9. 捡拾台驱动链 10. 捡拾台驱动链轮 11. 驱动链轮 12. 连接套筒 13. 主动轴 14. 防转动限制板

1. Conveying groove 2. Cover plate 3. Tensioning mechanism 4. Driven shaft 5. Conveyor chain harrow 6. Drive sprocket 7. Tensioning wheel 8. Hydraulic cylinder 9. Pickup table drive chain 10. Pickup table drive sprocket 11. Drive sprocket 12. Connection sleeve 13. Drive shaft 14. Anti-rotation limit plate

图7 输送装置结构示意图

Fig. 7 Schematic diagram of conveying device

市场上的花生捡拾联合收获机存在输送装置主动轴上缠绕花生秧致使输送链跳齿、链耙扭曲的现象。为解决这一问题, 本文设计了静套动防缠绕装置, 其结构如图8a所示。

连接套筒通过螺栓固定在输送槽体上。主动轴通过轴承 II 与连接套筒连接, 并安装有链耙驱动链轮; 链轮的两侧分别焊接有高度 40 mm 的圆管, 一侧圆管与链轮轴

部形成一间隙,连接套筒伸入此间隙内,如图8b所示;薄壁圆管通过轴承 I 套在在主动轴上,两端分别伸入到链轮的另一侧圆管内;与输送槽体固定连接的防转动限制板的凸起部分伸入到薄壁圆管中部开设的圆孔内,限制薄壁圆管转动。连接套筒和薄壁圆管组成了外面的静止筒管,主动轴在筒管内转动。

为增强输送链耙的强度,并防止链耙挂带花生果秧,链耙采用J形齿形板,如图8c所示。为利于链耙抓取果

秧和增强对果秧层厚度的适应性,从动轮直径 $d_3$ 应大于主动链轮的直径 $d_2$ 。参考油菜、稻麦等作物收获机和实际设计需求,取 $d_2=144\text{ mm}$ , $d_3=178\text{ mm}$ ;且从动轴处链耙齿顶与输送槽底板的间隙 $h=40\text{ mm}$ (等于花生荚果的平均长度)。为适应果秧层厚度的变化,防止堵塞和挤破荚果,且保证输送链的合适张紧度,从动轴设计有 $\Delta h=20\sim 40\text{ mm}$ 的上下浮动量( $h+\Delta h\geq l$ ,但 $\Delta h$ 过大,输送链张紧度降低,增大了输送链的抖动)。

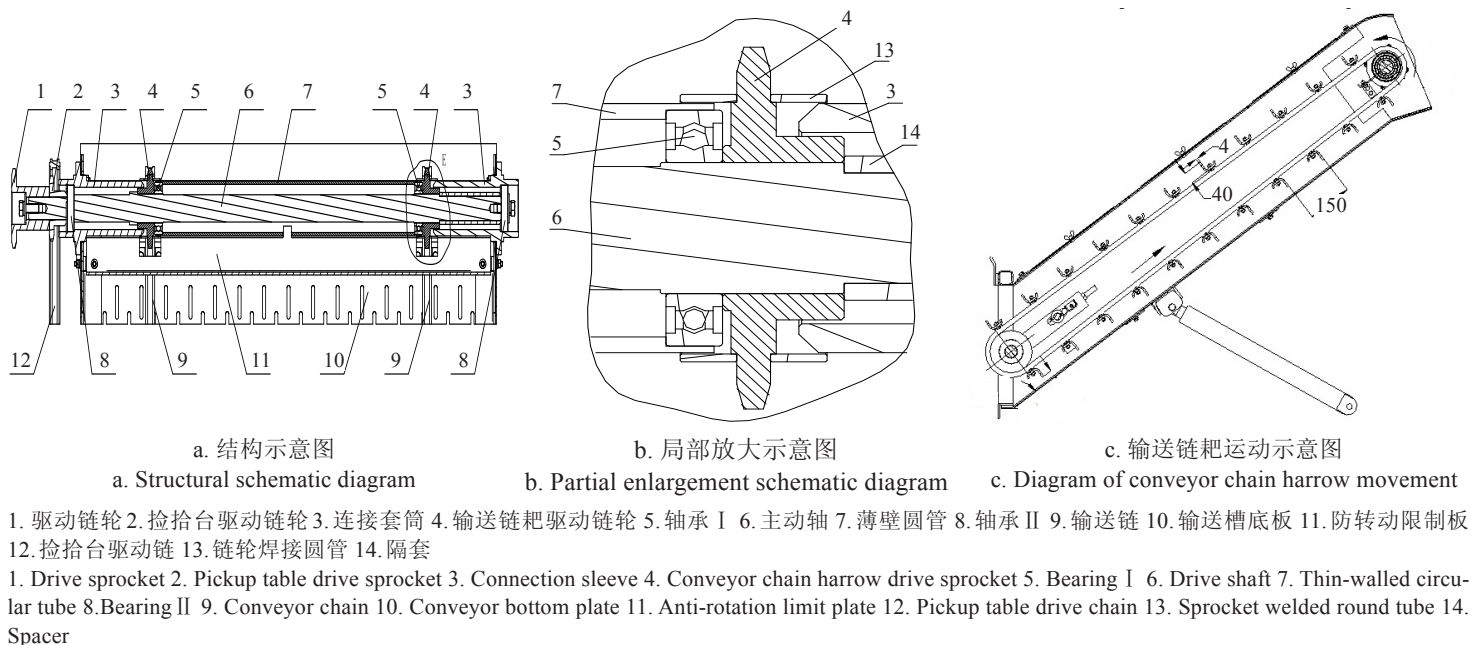


图8 静套动防缠绕结构与链耙运动示意图

Fig.8 Schematic diagram of anti-winding structure of static outside dynamic and harrow movement

为及时将果秧输送给后续摘果装置而不致在输送槽拥堵,输送链耙的速度应满足如下条件:

$$v_4 \cos \theta \geq v_1 \quad (17)$$

式中 $v_4$ 为输送链耙的直线速度, m/s;  $\theta$ 为输送装置与水平方向的夹角, 结合整机高度和长度等空间尺寸, 取 $\theta=35^\circ$ 。忽略链轮的跳动, 将链轮近似为圆周运动, 则:

$$v_4 = \frac{n_3 \pi d_2}{60} \quad (18)$$

式中 $n_3$ 为输送链耙主动轴的转速, r/min;  $d_2$ 为主动链轮直径, m。将式(18)化入式(17)得:

$$n_3 \geq \frac{60 v_1}{\pi d_2 \cos \theta} \quad (19)$$

代入数据得 $n_3 \geq 210.5\text{ r/min}$ , 而 $n_3$ 过大会增加输送装置的震动, 为减小震动, 取 $n_3=215\text{ r/min}$ 。

### 3 田间试验

#### 3.1 试验条件与材料

为检验捡拾输送装置的作业性能质量, 将其安装在农业农村部南京农业机械化研究所研制的4HLJ-8型花生捡拾联合收获机上, 在江苏省宿迁市泗阳县八集乡花生试验田进行了试验。参照GB/T5262-2008《农业机械试验条件 测定方法的一般规定》<sup>[25]</sup>, 对花生田间状况进行测定: 花生品种为天府9号, 土壤属沙壤土, 种植模式为单垄双行, 垄距700~800 mm, 株距250~300 mm, 花生

株高一般在300~400 mm, 根长120 mm左右, 产量9000 kg/hm<sup>2</sup>左右。试验前, 4垄8行的花生果秧采用市场上常见的5HZ-175型花生挖掘收获机挖掘, 自然铺放, 不加人工干预, 果秧带土、分枝多、蓬松度大、韧性大, 呈宽700~800 mm、厚100~350 mm杂乱无章相互交织的条状。挖掘后晾晒3 d(通常收获时晾晒的天数), 此时花生植株含水率20%~30%。

#### 3.2 试验方法

参照NY/T 502-2016《花生收获机 作业质量》<sup>[26]</sup>和NY/T 2204-2012《花生收获机 质量评价技术规范》<sup>[27]</sup>, 选取捡拾率、捡拾落果率、可靠性为试验指标。在花生捡拾联合收获机作业区内, 随机抽取3个小区进行测试, 每个小区长度为50 m, 宽度为作业幅宽。用秒表记录时间, 计算出每次试验收获机的平均前进速度。每次试验后, 将集秧箱中花生秧、粮仓中的花生荚果以及掉落的花生秧果进行称质量, 计算出每次试验的平均喂入量。试验情况如图9所示。

##### 3.2.1 捡拾率测定

在每个小区内沿长度方向随机选取长度为10 m的测试区, 待收获机前进速度稳定且捡拾输送装置达到额定转速后进行测试。试验重复5次, 取平均值, 计算公式如下:

$$\eta_j = \frac{M - \Delta m_1}{M} \times 100\% \quad (20)$$

式中 $\eta_l$ 为捡拾率,%; $\Delta m_1$ 为漏捡的花生果秧质量,kg; $M$ 为试验花生果秧总质量,kg。



图9 样机田间试验情况  
Fig.9 Prototype field test situation

3.2.1 捡拾落果率测定

在小区内随机选取捡拾台到摘果装置前长度为2 m、宽度为收获机作业幅宽的测试区。试验前,人工捡拾测试区自然掉落和由挖掘机挖掘掉落的花生荚果,不计入结果。共做5个测试,取平均值:

$$\eta_L = \frac{\Delta m_2}{m} \times 100\% \tag{21}$$

式中 $\eta_L$ 为捡拾落果率,%; $\Delta m_2$ 为捡拾后地面掉落的荚果质量,g; $m$ 为试验荚果总质量,g。

3.2.2 可靠性测定

可靠性按照NY/T 2204-2012《花生收获机 质量评价技术规范》<sup>[27]</sup>和GB/T 5667-2008《农业机械 生产试验方法》<sup>[28]</sup>检测。

$$K = \frac{\sum T}{\sum T_z + \sum T_g} \times 100\% \tag{22}$$

式中 $K$ 为使用有效度(即可靠性),%; $T_z$ 为生产考核期间的班次作业时间,h; $T_g$ 为样机在生产考核期间每班次因为捡拾输送导致的故障时间,h。

3.3 试验结果与分析

捡拾输送装置的性能试验结果如表2所示。

表2 捡拾输送装置田间试验结果  
Table 2 Field test result of pickup conveyor

试验序号 Test Na	前进速度 Forward speed /(m·s <sup>-1</sup> )	喂入量 Feeding rate/(kg·s <sup>-1</sup> )	捡拾率 Pickup rate/%	捡拾落果率 Picking pods drop rate /%	可靠性 Reliability/%
1	0.62	2.17	98.27	0.98	96.35
2	0.77	2.37	98.82	1.46	98.61
3	1.12	2.55	95.64	1.12	100.00
4	0.93	2.46	96.32	0.87	99.58
5	0.81	2.56	97.88	1.16	100.00
平均值Mean	0.85	2.42	97.39	1.12	98.91
设计要求 Design requirements			≥95	≤3	≥96

由表2可知,捡拾输送装置的有效使用度(即可靠性)达到98.91%,优于技术要求。捡拾落果主要由于部分花生果柄腐烂、连接力小和捡拾弹齿的打击作用而导致;还有部分由于花生果秧堆积、捡拾弹齿不能及时全部捡起而与地面产生刷拖现象而导致的捡拾落果。捡拾率

为97.39%,大于95%的技术要求。经试验观察分析,有个别花生植株长势不好,果秧比较稀疏、矮小,且铺沿机器前进且位于两捡拾弹齿之间,捡拾弹齿不易捡起果秧花生果秧漏捡的原因,主要有2点:一是部分花生果秧位于2排捡拾弹齿之间,导致第二排弹齿还没来得及捡拾,机器已经前进过去;二是由于捡拾台离地高度是通过液压缸手动调节,在机具行进过程中不能实时调整捡拾弹齿的离地间隙,使低洼处的部分果秧漏捡。

4 结 论

1)研制了一种全喂入花生收获机捡拾输送装置,进行了总体结构和传动系统设计,并对各关键部件进行了结构设计和关键参数的分析确定。采用倒八字椽檐交接技术,设计了一种全新的“凸”字形滑板滚筒式防卡滞捡拾器,解决了传统捡拾器制造工艺复杂、成本高且与螺旋输送器交接不畅易卡堵的问题;采用静套动防缠绕技术,设计了链耙式输送装置,避免了输送装置易缠绕、跳齿、链耙扭曲等现象的发生;采用快速挂接技术,设计了机器转运快速拆装机构,解决了收获机场地转运捡拾台拆装不便、费时耗力的问题。提高了花生捡拾输送装置的工作效率和可靠性。

2)花生捡拾输送装置可完成果秧的捡拾、推送归拢、交接输送以及部分去土等作业。田间试验结果表明捡拾率达到97.39%,捡拾落果率达到1.12%,可靠性达到98.91%,各作业性能指标均满足设计要求。该研究可为直立形花生捡拾输送装置以及其他作物捡拾输送装备的研发提供技术参考。

[参 考 文 献]

[1] 陈中玉,高连兴,Chen Charles,等.中美花生收获机械化技术现状与发展分析[J].农业机械学报,2017,48(4):1—21.  
Chen Zhongyu, Gao Lianxing, Chen Charles, et al. Analysis on technology status and development of peanut harvest mechanization of China and the United States[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 1—21. (in Chinese with English abstract)

[2] Jay W Chapin. Peanut money-maker production guide 2015[R]. South Carolina: National Peanut Board, 2015.

[3] Fletcher S M, Chen C, Zhang P, et al. Competitiveness of peanuts: United States versus China[R]. Georgia: University of Georgia, 2009.

[4] 中华人民共和国农业部. 2018中国农业机械化年鉴[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2018.

[5] Jaime Cuauhtemoc Negrete. Current status and strategies for harvest mechanization of peanut in Mexico[J]. SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science (SSRG-IJAES), 2015,2(1):7—15.

[6] 高连兴,陈中玉,Charles Chen,等.美国花生收获机械化技术演变历程及对中国的启示[J].农业工程学报,2017,33(12):1—9.  
Gao Lianxing, Chen Zhongyu, Charles Chen, et al. Development course of peanut harvest mechanization technology of the United States and enlightenment to China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(12): 1—9. (in Chinese with English abstract)

- [7] 姚礼军,胡志超,王申莹,等.花生收获机收获台研究现状与关键技术分析[J].江苏农业科学,2016,44(12):33—38.
- [8] 王冰,胡志超,彭宝良,等.半喂入四行花生联合收获机弹指筛结构运行参数优化[J].农业工程学报,2017,33(21):20—28.  
Wang Bing, Hu Zhichao, Peng Baoliang, et al. Structure operation parameter optimization for elastic steel pole oscillating screen of semi-feeding four rows peanut combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(21): 20—28. (in Chinese with English abstract)
- [9] Antiaobong E A, Bhatta RaI K R. Growth trends and sources of output growth for oil palm and groundnut production in Nigeria (1961—2007)[J]. Trends in Agricultural Economics, 2012, 5(3): 96—103.
- [10] 高连兴,刘维维,王得伟,等.典型花生收获工艺流程及相关机械术语研究[J].花生学报,2014,43(3):26—30.
- [11] 杨然兵,范玉滨,尚书旗,等.4HBL-2型花生联合收获机复收装置设计与试验[J].农业机械学报,2016,47(9):107,115—120.  
Yang Ranbing, Fan Yubin, Shang Shuqi, et al. Design and experiment of twice-receiving device on 4HBL-2 peanut combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2016, 47(9): 107, 115—120. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王文明,王春光.弹齿滚筒式捡拾装置的研究与发展[J].农机化研究,2012,34(10):221—225.  
Wang Wenming, Wang Chunguang. Study and Development of Spring-finger Cylinder Pickup Collector[J]. Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(10): 221—225. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王文明,王春光.弹齿滚筒式捡拾装置参数分析与仿真[J].农业机械学报,2012,43(10):82—89.  
Wang Wenming, Wang Chunguang. Parameter Analysis and Simulation of Spring-finger Cylinder Pickup Collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2012, 43(10): 82—89. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王国权,余群,卜云龙,等.秸秆捡拾打捆机设计及捡拾器的动力学仿真[J].农业机械学报,2001,32(5):59—61,68.  
Wang Guoquan, Yu Qun, Bu Yunlong, et al. Design of pickup baler and dynamic simulation of pickup roller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2001, 2(5): 59—61, 68. (in Chinese with English abstract)
- [15] 袁彩云,刁培松,张道林.弹齿滚筒捡拾器的设计与运动仿真[J].农机化研究,2011,33(5):73—76.  
Yuan Caiyun, Diao Peisong, Zhang Daolin. Design and motion simulation of spring-finger cylinder pickups[J]. Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(5): 73—76. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吴崇友.齿带式油菜捡拾收获机设计与参数优化[D].南京:南京农业大学,2011.  
Wu Chongyou. Design and Parameter Optimization of Tooth-belt-pickup Combine for Oilseed Rape Harvest[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [17] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册:下册[K].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [18] 刘洋成,何珂,王骞,等.4HJZ-4A花生捡拾摘果机设计与试验[J].农机化研究,2019,(5):121—126,132.  
Liu Yangcheng, He Ke, Wang Qian, et al. Design and experiment of 4HJZ-4A peanut collecting and picking machines[J]. Agricultural Mechanization Research, 2019(5): 121—126, 132. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王东伟,王延耀,尚书旗,等.大型花生捡拾摘果收获机的研究与分析[C].中国农业工程学会2011年学术年会论文集,2011:121—127
- [20] 王东伟,尚书旗,韩坤.4HJL-2型花生捡拾摘果联合收获机的设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(11):27—36.  
Wang Dongwei, Shang Shuqi, Han Kun. Design and test of 4HJL-2 harvester for peanut picking-up and fruit-picking[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(11): 27—36. (in Chinese with English abstract)
- [21] 许涛,沈永哲,高连兴,等.基于两段收获的弹齿式花生捡拾机构研究[J].农业机械学报,2016,47(3):90—97,111.  
Xu Tao, Shen Yongzhe, Gao Lianxing et al. Spring-finger peanut pickup mechanism based on two-stage harvest[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2016, 47(3): 90—97, 111. (in Chinese with English abstract)
- [22] 关萌,沈永哲,高连兴,等.花生起挖晾晒后的果柄机械特性[J].农业工程学报,2014,30(2):87—93.  
Guan Meng, Shen Yongzhe, Gao Lianxing, et al. Mechanical properties of peanut peg after digging and drying[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(2): 87—93. (in Chinese with English abstract)
- [23] 周德欢,胡志超,曹明珠,等.两段式花生摘果特性试验研究[J].农机化研究,2017(6):183—187.  
Zhou Dehuan, Hu Zhichao, Cao Mingzhu, et al. Study on Properties of Two-step Type Peanut Stripping[J]. Agricultural Mechanization Research, 2017(6): 183—187. (in Chinese with English abstract)
- [24] 陈中玉.弯齿螺杆滚筒式轴流花生摘果装置试验研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.  
Chen Zhongyu. Experimental Study on Curved Tooth Screw Drum Type Axial Flow Peanut Picking Device[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [25] GB/T5262—2008,农业机械试验条件测定方法的一般规定[S].
- [26] NY/T 502—2016,《花生收获机 作业质量》[S].
- [27] NY/T 2204—2012,《花生收获机 质量评价技术规范》[S].
- [28] GB/T 5667-2008《农业机械 生产试验方法》[S].

## Design and test of pickup and conveyor device for full-feeding peanut pickup harvester

Wang Shenyang, Hu Zhichao<sup>\*</sup>, Xu Hongbo, Cao Mingzhu, Yu Zhaoyang, Peng Baoliang

*(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and*

*Rural Affairs, Nanjing 210014, China)*

**Abstract:** In order to improve the quality and efficiency of the upright peanut pickup harvest in China, and solve the problems of the peanut pickup conveyor in China, such as the complex manufacturing process, high cost, poor handover and easy to jam, easy to entangle and skip tooth, easily twisted chain harrow, etc. a new large-scale full-feed peanut harvester pick-up conveyor was designed, including its overall structure and transmission system. The device is mainly composed of depth limiting wheel, vine and pods pressing rod, slide plate, pickup device, spiral conveyor, quick hook mechanism, conveying groove, chain harrow type conveyor, anti-winding device, hydraulic cylinder and transmission system, etc. The power of pickup, push concentrating and conveying was provided by the subsequent picking parts through the transmission system, and the high and low lifting adjustment power of the device was provided by the hydraulic system. The device can complete the operations of picking, pushing and squeezing, transferring and partial soil removal of peanut pods and plants. When working, the peanut vine and pods were driven by the rotating pickup teeth and interact with the pressing rods to enter the spiral conveyor along the slide plate. Under the rotating gathering of the spiral conveyor, the peanut vine and pods were gathered to dock with the conveyor of the middle section, and conveyed into the subsequent picking component, driven by the rotary movement of the conveyor chain harrow, through the space between the conveyor chain harrow and the bottom plate of the conveyor groove. At the same time, the ground clearance of the pickup teeth can be adjusted through adjusting the height of the pickup bench by the hydraulic cylinder. The structural design of key components and the analysis and determination of key parameters were carried out. Adopting funnel rafter eaves handover technology, a new type of sliding plate roller anti-stuck pick-up device shaped with Chinese character "凸" was designed, solving the problems of the complex manufacturing process, high cost, poor handover with spiral conveyor and easy to jam of traditional pickup device. Adopting static outside dynamic anti-winding technology, a chain harrow type conveyor was designed, avoiding the phenomenon like those that the conveying device is easy to be entangled, tooth skipping, chain harrow twisting. The above technology improved the efficiency and reliability of the peanut pick-up conveyor device. The field test showed that the pickup rate was 98.31%, the pickup-and-rods-drop rate was 1.12%, and the reliability was 98.91%. The performance indicators met the design requirements. This study can provide technical reference for the research and development of upright peanut pickup conveyor and other crop pickup conveyor equipment.

**Keywords:** agricultural machinery; design; peanut; pickup bench; conveying device; full-feeding type