

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.021

# 玉米根茬根土分离装置\*

武涛<sup>1</sup> 马旭<sup>2</sup> 齐龙<sup>1</sup> 陈学深<sup>1</sup> 陈国锐<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642;

2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642)

**摘要:** 设计了一种玉米根茬根土分离装置, 该装置主要以双辊碾压脱土机构和双组柔性连接飞锤击打脱土机构的联合作用, 对玉米根土复合体施以碾压、揉搓、击打和撞击等多种方式进行脱土作业。试验结果表明, 在土壤质地为中壤土, 土壤含水率为15%~20%的情况下, 该装置平均根土脱净率为98.12%, 平均根茬损失率为0.92%, 平均生产率为2.43 t/h, 实现了根茬与土壤的有效分离。

**关键词:** 玉米根茬 根土分离 工作部件 设计 试验

**中图分类号:** S225.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0133-07

## 引言

玉米根茬是一种清洁的生物质能燃料, 具有根系丰富、热值高等特点。根茬的获取是根茬能源化利用的首要环节, 然而传统的手工刨茬劳动强度大, 生产效率低, 要实现根茬的规模化利用, 必须采用机械化收获的方式。因此, 研制玉米根茬收获机具, 进而实现玉米根茬的规模化利用, 对解决我国能源问题具有重要的实际意义<sup>[1]</sup>。

国内外对根茬的处理主要有两种方式: 粉碎还田和免耕播种<sup>[2-3]</sup>, 对于玉米根茬收获装备的研究报道较少。现有的根茎类作物收获机械, 如马铃薯收获机和花生收获机的作业机理不能满足玉米根茬收获的要求<sup>[4]</sup>。

目前, 国外尚未有关于玉米根茬收获机具的研究报道; 国内主要有华南农业大学、吉林大学、佳木斯大学等单位对玉米根茬收获装备与机理进行了相关研究, 研制的机具能够实现玉米根茬的挖掘、捡拾、根土初步分离以及放铺<sup>[2, 5-11]</sup>。关于根土分离机构, 国内已开展一些相关研究, 徐宝库采用碾辊栅板去土机构实现对根土复合体的碾压、冲击、揉搓<sup>[4]</sup>; 权龙哲运用碾压辊与抖动升运链进行根土分离<sup>[12-18]</sup>; 杨新义采用碾压碎土滚筒与抖动杆条链实现根土分离<sup>[19]</sup>。上述分离技术的根土分离率还需进一步提高。

本文设计一种基于双辊碾压脱土机构和双组

柔性连接飞锤击打脱土机构联合作用的玉米根茬根土分离装置, 采用碾压、揉搓、强力击打和撞击反弹等多种脱土方式实现根土分离, 并进行性能试验。

## 1 总体结构与工作原理

### 1.1 总体结构

玉米根茬根土分离装置总体结构如图1所示。主要由机架、换向器、传动系统、杆条链输送机构、双辊碾压脱土机构、双组柔性连接飞锤击打脱土机构、罩板、地轮和集茬箱等组成。利用双辊碾压脱土机构实现碾压揉搓脱土; 利用柔性连接飞锤击打机构实现强力击打和撞击脱土。其主要技术参数如表1所示。

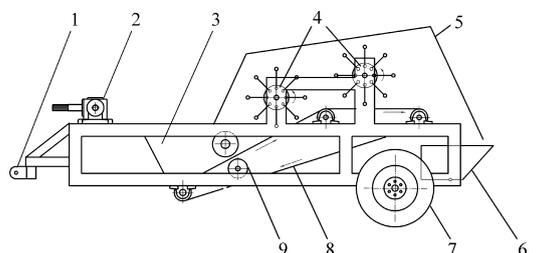


图1 玉米根茬根土分离装置总体结构示意图

Fig. 1 Structure of roots-soil separating device of corn stubble

1. 机架 2. 换向器 3. 喂料口 4. 双组柔性连接飞锤击打机构
5. 罩板 6. 集茬箱 7. 地轮 8. 杆条链输送机构 9. 双辊碾压脱土机构

收稿日期: 2013-09-05 修回日期: 2013-12-31

\* 国家自然科学基金资助项目(51175188)和国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2009AA043604)

作者简介: 武涛, 博士生, 主要从事根茎类作物收获技术与装备研究, E-mail: wt55pub@scau.edu.cn

通讯作者: 马旭, 教授, 博士生导师, 主要从事现代农业技术装备研究, E-mail: maxu1959@scau.edu.cn

表1 主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters

参数	数值
外型尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	3 380×1 698×1 267
整机质量/kg	410
配套动力/kW	30
运输方式	牵引式
动力输入轴转速/(r·min <sup>-1</sup> )	540~900
杆条输送链线速度/(m·s <sup>-1</sup> )	0.55~0.91
碾压辊转速/(r·min <sup>-1</sup> )	80~133
飞锤击打机构转速/(r·min <sup>-1</sup> )	180~300

## 1.2 工作原理

该装置由拖拉机动力输出轴或电动机连接换向器提供动力。玉米根茬由喂料口喂入,被杆条链输送机构向后上方输送,进入双辊碾压机构碾压间隙,受到碾压和揉搓脱土,接着进入双组柔性连接飞锤机构,旋转飞锤相继锤打根茬实现强力击打脱土,最后将根茬向后上方快速抛出撞向罩板,实现撞击脱土,破碎的土壤经过杆条链输送机构的杆隙下落至地表,脱土后的根茬由杆条链输送机构运送到集茬箱中。工作原理如图2所示。

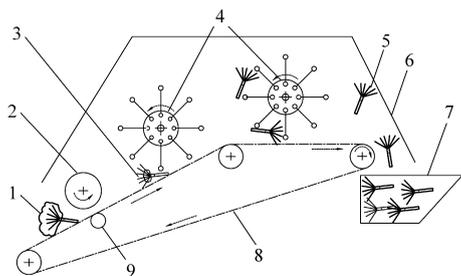


图2 工作原理示意图

Fig.2 Sketch of working principle

1. 脱土前的根茬
2. 碾压辊
3. 碾压脱土后的根茬
4. 双组柔性连接飞锤击打机构
5. 击打脱土后的根茬
6. 罩板
7. 集茬箱
8. 杆条输送链
9. 支撑辊

## 2 关键部件设计

该机主要采用双辊碾压脱土机构和双组柔性连接飞锤击打脱土机构2个关键部件实现玉米根茬的根土分离作业。

### 2.1 双辊碾压脱土机构

双辊碾压脱土机构主要由碾压辊和支撑辊组成。上辊筒为主动碾压辊,下辊筒为被动支撑辊,杆条输送链从两辊间隙中穿过(图2)。通过上、下辊筒的碾压,使包裹在根茬上的土壤团块破碎;同时,碾压辊、输送链与支撑辊存在速度差,从而对土壤团块起到揉搓作用。

#### 2.1.1 受力分析

根茬与包裹其上的土壤形成的复合结构称为根

土复合体,为近似分析根土复合体与双辊碾压机构的力学关系,首先作如下假设:①根土复合体外形如图3所示,土壤紧密包裹在根须上,其结构可简化为球体。②根土复合体自重相对其他作用力较小,其影响忽略不计。③根土复合体与输送链的接触形式简化为球体与平面的接触。

基于上述假设,双辊碾压机构与根土复合体的力学关系如图4所示。



图3 根土复合体实物图

Fig.3 Sketch of roots-soil complex

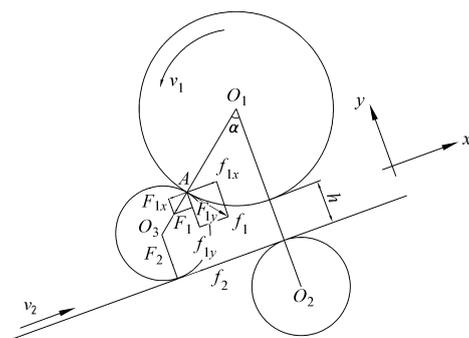


图4 碾压辊对根茬作用力示意图

Fig.4 Rolling roller force on stubble

根土复合体在输送链的带动下,向碾压辊与支撑辊形成的碾压间隙中运动,根土复合体与碾压辊接触时的状态为临界状态。碾压辊的圆周线速度为 $v_1$ ,输送链的线速度为 $v_2$ ,且 $v_1 > v_2$ 。当根土复合体处于临界状态时,由于 $v_1 > v_2$ ,在摩擦力 $f_1$ 的作用下,根土复合体呈顺时针滚动状态进入碾压间隙中,根土复合体同时受到碾压作用和速度差引起的搓擦作用,即受到正压力和剪切力的综合作用。

临界状态时,根土复合体与碾压辊接触点A称为轧入点,接触点A到碾压辊轴心 $O_1$ 的连线与碾压辊轴心到支撑辊轴心 $O_2$ 的连线所形成的夹角 $\alpha$ 称为轧入角<sup>[20]</sup>。根土复合体在临界状态时受到的作用力主要有:碾压辊对根茬的正压力 $F_1$ ,碾压辊面对根茬的摩擦力 $f_1$ ,输送链对根茬的支撑力 $F_2$ ,输送链对根茬的摩擦力 $f_2$ 。欲使根茬能够进入碾压间隙中,应保证根茬所受外力的合力方向指向 $x$ 方向,

各作用力之间应满足

$$\begin{cases} \sum F_x \geq 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

即

$$\begin{cases} f_{1x} + f_2 \geq F_{1x} \\ F_{1y} + f_{1y} = F_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中  $f_{1x} = f_1 \cos\alpha$   $f_1 = F_1 \mu_1$   $f_2 = F_2 \mu_2$   
 $F_{1x} = F_1 \sin\alpha$   $F_{1y} = F_1 \cos\alpha$   $f_{1y} = f_1 \sin\alpha$

式中  $\mu_1$ ——辊筒与根茬间的摩擦因数  
 $\mu_2$ ——输送链与根茬间的摩擦因数

由式(2)得

$$\begin{cases} \mu_1 \cos\alpha - \sin\alpha \geq -\frac{F_2 \mu_2}{F_1} \\ \cos\alpha + \mu_1 \sin\alpha = \frac{F_2}{F_1} \end{cases} \quad (3)$$

由式(3)得

$$\tan\alpha \leq \frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2} \quad (4)$$

式(4)说明:轧入角的取值受摩擦因数  $\mu_1$ 、 $\mu_2$  的制约。当满足式(4)条件时,根茬可以进入碾压间隙。

### 2.1.2 轧距

轧距  $h$  是碾压间隙的高度,它是影响根土复合体碾压破碎效果的重要因素,轧距越小,根土复合体的压缩率越高,压缩率可定义为

$$K = \frac{d-h}{d} \times 100\% \quad (5)$$

式中  $d$ ——根茬直径,mm

为获得压缩率与根土复合体所受压力的关系,将含水率为 15%~20% 的根土复合体(模拟实际收获时的含水率)在 WD-E 精密型电子式万能试验机上进行压缩试验,获得的根土复合体受压过程典型曲线如图 5 所示。由图中可以看出,随压缩率的升高,根土复合体所受压力随之升高。当压缩率达到 11% 时,土壤受压破碎,开始松散脱落,随着压缩率的继续提高,土壤逐渐破碎脱落;当压缩率达到 45% 时,土壤不再脱落,而是被压实在根茬上,压力随之迅速升高。

通过以上分析可知,根土复合体受压破碎的压缩率取值范围为  $11\% \leq K \leq 45\%$ 。统计测得根土复合体直径范围  $d = 93 \sim 163$  mm,利用式(5)可得  $h$  的取值范围。本装置中, $h$  可在 90~140 mm 范围内调整,在处理不同品种玉米根茬时可根据根土复合体的直径选取合适的轧距。

### 2.1.3 碾压辊直径

根据图 4 中的几何关系可知,轧入角由碾压辊

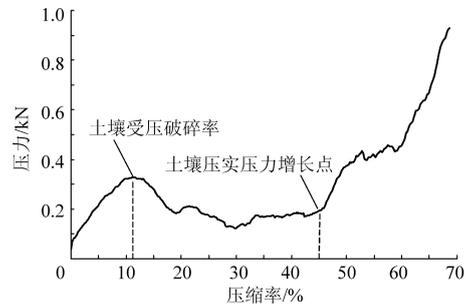


图5 根茬的压力与压缩率关系曲线

Fig.5 Relationship between pressure and compression rate on stubble

直径、根土复合体直径以及轧距共同决定,其关系满足

$$l_{O_1B} + h = (l_{O_1A} + l_{O_3A}) \cos\alpha + l_{O_3C}$$

即

$$\frac{D}{2} + h = \left( \frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right) \cos\alpha + \frac{d}{2}$$

整理得

$$\cos\alpha = \frac{D + 2h - d}{D + d} \quad (6)$$

式中  $D$ ——碾压辊直径,mm

式(6)表明,当轧距与根土复合体直径不变时,碾压辊直径越小,轧入角越大。从结构设计上考虑,碾压辊直径越小,越有利于减小装置质量,但当碾压辊直径的取值减小到不满足式(4)时,根茬无法进入碾压工作区。根据以上分析,在满足式(4)的前提下,碾压辊直径取  $D = 160$  mm。

### 2.1.4 碾压辊转速

碾压辊的圆周线速度高于杆条链输送机构运动速度,这种速度差使根茬进入轧区时受到揉搓作用。即

$$v_1 > v_2$$

且

$$v_1 = \frac{n_1 D \pi}{60 000} \quad (7)$$

式中  $v_1$ ——碾压辊圆周线速度,m/s

$v_2$ ——输送链运动速度,m/s

$n_1$ ——碾压辊转速,r/min

本设计中,输送链运动速度需满足输送效率需求,取  $v_2 = 0.55$  m/s;碾压辊圆周线速度取  $v_1 = 0.65$  m/s,由碾压辊直径  $D = 160$  mm,得碾压辊转速  $n_1 = 80$  r/min。

## 2.2 柔性连接飞锤击打脱土机构

柔性连接飞锤击打脱土机构的工作原理是利用飞锤对根土复合体的冲击使得包裹在根茬上的土壤破碎,同时使根土复合体获得一个撞向罩板的速度,根土复合体与罩板的碰撞力使包裹土壤再次破碎,从而实现根土分离。

### 2.2.1 主要结构

柔性连接飞锤击打脱土机构由锤头、钢丝绳、绳扣、接盘短轴、连接盘、中轴和链轮组成,如图6所示。飞锤用钢丝绳连接在接盘短轴上,工作时中轴带动整个机构转动,在离心力的作用下飞锤绕中轴做圆周运动,对根土复合体进行击打。

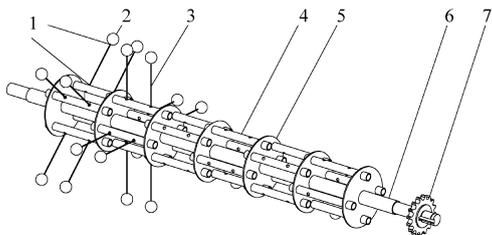


图6 柔性连接飞锤击打机构(拆去部分飞锤)

Fig.6 Flexible connection flyweights striking mechanism

1. 绳扣 2. 锤头 3. 钢丝绳 4. 接盘短轴 5. 连接盘 6. 中轴  
7. 链轮

### 2.2.2 钢丝绳长度

为避免工作时柔性钢丝绳缠绕在击打机构的接盘短轴上,钢丝绳长度应小于接盘短轴周向布置的周长。即

$$2\pi r \geq l \quad (8)$$

式中  $r$ ——短轴绕中轴旋转的旋转半径,mm

$l$ ——钢丝绳长度,mm

在满足式(8)的前提下,根据结构要求,取  $r = 60 \text{ mm}$ ,  $l = 110 \text{ mm}$ 。

### 2.2.3 飞锤转速

飞锤在离心力的作用下张开,需满足

$$F_c \geq G$$

$$\text{即} \quad \left(2\pi \frac{n}{60}\right)^2 \frac{R}{1000} \geq g \quad (9)$$

其中  $R = r + l = 170 \text{ mm}$

式中  $F_c$ ——飞锤离心力,N

$G$ ——飞锤重力,N

$n$ ——飞锤转速,r/min

$R$ ——飞锤旋转半径,mm

$g$ ——重力加速度,取  $9.8 \text{ m/s}^2$

由式(9)计算可得飞锤在离心力下张开的转速需大于  $73 \text{ r/min}$ 。飞锤转速越大,其击打根土复合体的冲击力越大,有利于实现根土分离,但转速过大一方面会增加功耗并引起机具的振动,另一方面会造成根茬被击碎,导致根茬损失率增大。试验分析得到,当飞锤转速高于  $300 \text{ r/min}$  时,功耗和振动增大。本文中取柔性连接飞锤击打机构转速范围为  $180 \sim 300 \text{ r/min}$ 。

### 2.2.4 飞锤质量

飞锤质量在根土复合体破碎分离过程中起重要

作用,影响破碎效果、破碎效率以及生产能力,飞锤质量的选定与根土复合体的性质、受力情况和飞锤转速有关。飞锤冲击根土复合体后,若速度损失过大,会使锤头绕旋转轴回转而导致下一次击打根土复合体时无法破碎土壤,因此冲击根土复合体后只允许速度损失小于  $50\% \sim 60\%$  [21],由此原理确定飞锤质量的方法为经验推算法,飞锤质量可由下式计算

$$m_1 = (0.7 \sim 1) m_2 \quad (10)$$

式中  $m_1$ ——飞锤质量,kg

$m_2$ ——进入飞锤击打机构的根土复合体质量,kg

由于根土复合体在被飞锤击打机构冲击前,先被双辊碾压机构碾压,脱去了部分土壤,试验测得,经双辊碾压机构碾压脱土后,根土复合体的平均质量减小为  $0.28 \text{ kg}$ ,因此本装置中选取锤头质量为  $0.27 \text{ kg}$ 。

### 2.2.5 飞锤布置

如图5所示,每根短轴上连接有2个飞锤,沿中轴周向布置的4根短轴及与之连接的飞锤构成一个击打单元。为使杆条输送链上的所有根土复合体都有机会被击中,相邻击打单元的短轴交错布置。飞锤在平面上的击打印记展开图如图7所示。

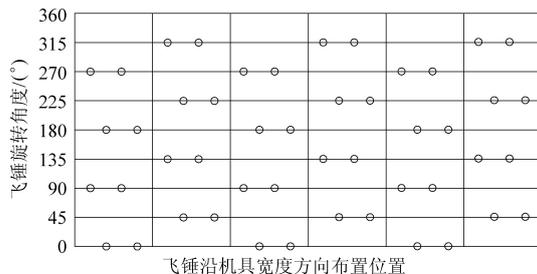


图7 飞锤排列方式

Fig.7 Arrangement for flyweights

## 3 性能试验

### 3.1 材料与仪器

相关研究表明,土壤含水率对根土分离效果影响较大,当土壤含水率为  $25\% \sim 30\%$  时,土壤组分主要为壤土和粘土的土质条件下,对根土复合体的外力作用将导致土壤更加紧密地包裹在玉米根系中,使得根系与土壤的分离更为困难;当土壤含水率为  $15\% \sim 20\%$  时,土壤呈现较为松散的状态,此时易于根茬脱土 [22]。

试验于2013年12月9日在华南农业大学内进行。试验材料取自华南农业大学试验田,土壤质地为中壤土,土壤含水率为  $30\% \sim 35\%$ 。将玉米根茬连同裹夹的土壤整株挖出,经晾晒风干后,根土复合

体土壤含水率降为 15% ~ 20%。

主要仪器包括转速计(欣宝瑞 DT2235A 型),电子秤(保衡 XK3190 型),电子天平(双杰 TC3K-H 型),声级计(衡阳 HY104A 型),采用东风 404 型拖拉机为根土分离装置提供动力。

### 3.2 试验方法

试验方法参考 GB/T 5667—2008《农业机械生产试验方法》。测试指标包括根土脱净率、根茬损失率、生产率和噪声。测试工况选择低、中、高 3 种转速,如表 2 所示。

表 2 测试工况参数  
Tab. 2 Testing conditions

测试工况	飞锤转速/(r·min <sup>-1</sup> )	碾压辊转速/(r·min <sup>-1</sup> )
低转速	180	80
中转速	240	106
高转速	300	133

#### (1) 根土脱净率

根土脱净率是衡量样机脱土性能的关键参数,其定义为样机脱去的土壤与投入样机前的根茬所包裹土壤的质量比。根土脱净率计算方法为

$$T = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100\% \quad (11)$$

式中  $T$ ——根土脱净率, %

$W_1$ ——投入样机的根土复合体总质量, kg

$W_2$ ——经样机脱土后含残余土壤的根茬总质量, kg

$W_3$ ——不含残余土壤的根茬净总质量, kg

#### (2) 根茬损失率

根茬损失是指根茬在脱土过程中被碾碎或击碎成小块后从杆条链间隙或部件间隙中落下而未能进入集茬箱。根茬损失率计算方法为

$$S = \frac{W_4}{W_4 + W_3} \times 100\% \quad (12)$$

式中  $S$ ——根茬损失率, %

$W_4$ ——被碾压或击打成小块而散落在机具外的根茬质量, kg

#### (3) 生产率

生产率为单位时间内处理的根土复合体原料质量,生产率计算方法为

$$E = \frac{3.6NW_5}{t} \quad (13)$$

式中  $E$ ——生产率, t/h

$N$ ——投入样机的样品数量, 个

$t$ ——样品投入样机到样品全部进入集茬箱的时间, s

$W_5$ ——投入样机的样品净平均质量, kg

试验步骤为:

(1) 随机选取 50 根玉米根茬根土复合体作为试验样品,称取样品总质量  $W_1$ 。

(2) 将样品连续投入试验样机中,用秒表记录从样品开始投入样机到样品全部进入集茬箱的时间  $t$ 。

(3) 清点集茬箱内样品数量  $N_2$ ,并称取样品总质量  $W_2$ 。

(4) 将集茬箱内样品采用人工敲打去除残留于根茬上的土壤,并称取根茬净总质量  $W_3$ 。

(5) 收集被样机碾碎或击打成小块导致未能进入集茬箱而散落在地面的根茬,并称质量  $W_4$ 。

(6) 利用式(11)~(13)计算各项测试指标。

(7) 调整输入轴转速,改变测试工况,重复以上步骤,每种转速下进行 3 次重复试验。

### 3.3 结果与分析

样机设计指标为:根土脱净率不小于 90%,根茬损失率不大于 5%,生产率不小于 2 t/h。试验测试结果如表 3 所示。根土分离效果如图 8 所示。

表 3 试验结果

Tab. 3 Experiment results

测试工况	试验号	$W_1$ /kg	$W_2$ /kg	$W_3$ /kg	$W_4$ /kg	$t$ /s	根土脱净率/%	根茬损失率/%	生产率/(t·h <sup>-1</sup> )	噪声/dB
低转速	1	74.18	7.28	5.08	0.02	114				
	2	66.90	8.46	6.58	0.01	100	96.71	0.31	2.02	88.5
	3	58.24	6.94	5.02	0.02	108				
	4	56.84	6.42	5.46	0.01	91				
中转速	5	50.18	4.06	3.70	0.03	88	98.56	0.88	2.47	92.6
	6	56.74	5.06	4.22	0.04	83				
	7	59.06	3.98	3.30	0.04	78				
高转速	8	57.68	4.54	4.14	0.05	80	99.10	1.57	2.81	110.7
	9	58.66	4.18	3.78	0.09	73				

注:本试验中,生产率计算中所需参数  $W_5$  为 1.20 kg。



图8 根土分离效果图

Fig. 8 Effect of root and soil separation

(a) 试验前的根土复合体形态 (b) 试验后的裸根形态

从表2测试结果可以看出:

(1)在土壤含水率为10%~20%,土壤质地为中壤土条件下,根土脱净率为96.71%~99.10%,根茬损失率为0.31%~1.57%,生产率为2.02~2.81 t/h。

(2)随样机转速的升高,根土脱净率从96.71%上升到99.10%,样机转速与根土脱净率呈正相关。这是因为随样机转速升高,各种机械力对根茬的作用强度也随之升高。飞锤转速的升高导致根茬受到飞锤的击打力升高,根茬受到击打后撞向罩板的速度随之升高,根茬与罩板间的撞击力也升高。

(3)随样机转速的升高,根茬损失率从0.31%上升到1.57%。样机转速的升高导致机械力对根茬的作用强度升高,一些较为弱小的根茬被碾压辊碾碎或被飞锤击碎成小块而散落在地面。

(4)随样机转速的升高,样品在样机内停留的时间减少,对样品处理时间的减少使生产率从2.02 t/h增长到2.81 t/h。

(5)在高转速工况下,样机振动明显升高,噪声达到110.7 dB,一方面是随样机转速的升高,飞锤对

根茬的冲击力大幅提高,冲击力被传导至杆条输送链,导致整机振动增加,另一方面是由于随样机转速的升高,各旋转部件的动不平衡效应导致整机振动增加。

#### 4 结论

(1)玉米根茬根土分离装置采用双辊碾压脱土机构和双组柔性连接飞锤击打脱土机构相结合的方式进行玉米根茬脱土作业。试验结果表明,在土壤含水率为15%~20%,土壤质地为中壤土的条件下,样机平均根土脱净率为98.12%,平均根茬损失率为0.92%,平均生产率为2.43 t/h,满足设计与应用要求。

(2)对玉米根茬根土分离装置主要工作部件的结构与运动参数进行了设计计算,建立了双辊碾压脱土机构的力学模型,分析了柔性连接飞锤击打脱土机构的工作参数。

(3)在高转速工况下,样机的根土脱净率和生产率指标都显著增加,但样机振动与噪声增大,根茬损失率有所提高。

#### 参 考 文 献

- 1 Ma X, Liao X, Chen X. Research on root stubble digging and soil separation mechanism[C]// ASABE 2011 Annual Meeting, ASABE Paper 1111702, 2011.
- 2 王俊发,马浏轩,邵东伟,等. 玉米根茬收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 68-72.  
Wang Junfa, Ma Liuxuan, Shao Dongwei, et al. Design and experiment of maize root stubble harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 68-72. (in Chinese)
- 3 蒋金琳. 玉米免耕播种机切茬挖茬装置研究[D]. 北京:中国农业大学, 2004.  
Jiang Jinling. Study on the corn roots cutting and digging device of no-tillage planter[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 4 徐宝库. 玉米根茬收获机整机的结构设计与优化[D]. 长春:吉林大学, 2012.  
Xu Baoku. Structural design and structure optimization of corn stubble harvester[D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)
- 5 Ma Xu, Chen Xueshen, Qi Long, et al. Design and experiment of root stubble harvester for corn[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(Supp.): 21-25.
- 6 陈学深,马旭,武涛,等. 玉米根茬挖掘机根土分离装置设计[J]. 广东农业科学, 2011, 38(13): 158-160.
- 7 廖醒龙. 玉米根茬起铺机关键部件的研究[D]. 广州:华南农业大学, 2011.  
Liao Xinglong. Research on key parts of root stubble digging and paving machine[D]. Guangzhou: South China Agricultural

- University, 2011. (in Chinese)
- 8 邵东伟,王俊发,姜东华. 基于 Pro/E 的玉米根茬收获虚拟样机设计[J]. 农机化研究, 2010, 32(10): 67-70.  
Shao Dongwei, Wang Junfa, Jiang Donghua. Design of virtual prototype for harvesting corn stubble based on Pro/E[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(10): 67-70. (in Chinese)
  - 9 邵东伟. 玉米根茬收获机的仿真研究[D]. 佳木斯:佳木斯大学, 2010.
  - 10 邵东伟,王俊发,姜东华,等. 玉米根茬挖掘弹齿的有限元分析[J]. 农机化研究, 2011, 33(5): 81-83, 87.  
Shao Dongwei, Wang Junfa, Jiang Donghua, et al. Finite element analysis for excavating spring tooth of corn stubble harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(5): 81-83, 87. (in Chinese)
  - 11 Yang Chuanhua, Ge Yiyuan, Wang Junfa, et al. Design and simulation analysis for maize stubble harvester[C] // New Technology of Agricultural Engineering (ICAE), Zibo, 2011.
  - 12 Quan Longzhe, Tong Jin. Design and experiment on corn stubble screening conveyor device[C] // New Technology of Agricultural Engineering (ICAE), Zibo, 2011.
  - 13 Tong J, Quan L, Zeng B. Design and experiment on com stubble harvester[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2011, 20(2): 8-13.
  - 14 权龙哲. 玉米根茬收获模式及采收机理[D]. 长春:吉林大学, 2012.  
Quan Longzhe. Corn stubble harvest mode and mechanisms[D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)
  - 15 权龙哲,曾百功,马云海,等. 基于 TRIZ 理论的玉米根茬收获系统设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 26-32.  
Quan Longzhe, Zeng Baigong, Ma Yunhai, et al. Design of corn stubble harvester based on TRIZ theory[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(23): 26-32. (in Chinese)
  - 16 权龙哲,佟金,曾百功,等. 玉米根茬铲切刃刀具的滑切刃曲线优化设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 13-17.  
Quan Longzhe, Tong Jin, Zeng Baigong, et al. Optimization design of sliding cutting edge curve of corn rootstalk cutting tool[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(12): 13-17. (in Chinese)
  - 17 权龙哲,佟金,曾百功,等. 玉米根茬收获系统的有限元模态分析与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 15-20.  
Quan Longzhe, Tong Jin, Zeng Baigong, et al. Finite element mode analysis and experiment of corn stubble harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 15-20. (in Chinese)
  - 18 权龙哲,张丹,曾百功,等. 玉米根茬抖动升运机构的建模与优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 23-29.  
Quan Longzhe, Zhang Dan, Zeng Baigong, et al. Modeling and optimizing dither mechanism for conveying corn stubble[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(3): 23-29. (in Chinese)
  - 19 杨新义. 玉米根茬根土分离装置的设计与研究[D]. 长春:吉林大学, 2011.  
Yang Xinyi. Design and study on the roots and soil separation device of maize stubble[D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)
  - 20 李君,陆华忠,杨洲,等. 刀豆脱壳机构的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 26-32.  
Li Jun, Lu Huazhong, Yang Zhou, et al. Design and experiment of canavalia shelling mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(1): 26-32. (in Chinese)
  - 21 于鹏军. 锤式破碎机锤头重量的确定[J]. 矿山机械, 2002, 30(4): 23-24.
  - 22 曾百功. 玉米根茬收集装置研制及关键机构机理分析[D]. 长春:吉林大学, 2013.  
Zeng Baigong. Development of maize stubble harvesting machine and mechanism analysis of its key components[D]. Changchun: Jilin University, 2013. (in Chinese)

## Roots-soil Separating Device of Corn Stubble

Wu Tao<sup>1</sup> Ma Xu<sup>2</sup> Qi Long<sup>1</sup> Chen Xueshen<sup>1</sup> Chen Guorui<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of mechanical harvest of corn stubble, a roots-soil separating device of corn stubble was developed. It consisted of a double roller compacting mechanism and a dual flyweights-hit mechanism with flexible connection. The co-action of two mechanisms on corn roots-soil complex were compaction, rub, hit, impact and other ways to achieve the function of roots-soil separation. When the soil texture was medium loam and the soil moisture was 15% ~ 20%, the test results showed that the average roots-soil separating rate was 98.12%, the roots-soil separating loss rate was 0.92% and the average efficiency reached 2.43 t/h. The device could realize the effective separation of stubble and soil.

**Key words:** Corn stubble Roots-soil separation Working parts Design Experiment