

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.012

# 集条残膜打包机捡拾清理装置设计与试验

牛琪<sup>1</sup> 纪超<sup>2</sup> 赵岩<sup>2</sup> 陈学庚<sup>2</sup> 郑炫<sup>2</sup> 李洪文<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000)

**摘要:** 针对机收集条残膜因其质地松散、含杂量高造成的转运困难和二次利用率低等问题,在测定分析集条残膜主要物理特性参数的基础上,设计了一种由清杂辊、偏心捡拾滚筒机构、脱膜机构等组成的集条残膜捡拾清理装置。清杂辊弹齿采用双头螺旋线“人”字形对称排列方式,通过动力学分析,确定清杂辊在运动轨迹为余摆线时的转速为 86.3 r/min;利用 Matlab 软件优化了偏心捡拾滚筒的偏心连杆尺寸,通过性能试验优选滚筒转速为 65 r/min、弹齿安装角度为 45°;经力学分析和气力流场特性模拟获得残膜能被顺利脱下、抛离时,脱膜叶片端部的线速度最小值为 1.485 m/s。整机田间试验表明:在机具前进速度为 1.5 m/s 时,表层残膜拾净率为 90.96%,缠膜率为 1.09%,清杂率为 77.35%,整机工作效率为 0.19 hm<sup>2</sup>/h,满足田间作业使用要求。

**关键词:** 集条残膜;回收;捡拾机构;脱膜机构

中图分类号: S233.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)05-0101-07

## Design and Experiment on Collecting and Separating Device for Strip Plastic Film Baler

NIU Qi<sup>1</sup> JI Chao<sup>2</sup> ZHAO Yan<sup>2</sup> CHEN Xuegeng<sup>2</sup> ZHENG Xuan<sup>2</sup> LI Hongwen<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Mechanical Equipment Research Institute,

**Abstract:** It is widely recognized that the application of plastic film mulch technology is evolving from “white revolution” to “white pollution”, because the residual plastic film could damage the physical and chemical structures of soil. Consequently a variety of plastic film collectors were developed and most research aimed at enhancing the field plastic film collecting rate and working continuity. However, the residual plastic film strips collected by current collector were loose and easily disturbed by wind and transportation of these film strips were difficult as well as their utilization ratio was low. To solve these problems, a collecting and separating device for strip plastic film baler was designed based on statistical analysis for main physical parameters of the film strip, which decided the performance of the baler and deforming effect of plastic film package. The device consisted of separating roller, eccentric collecting cylinder and film removing mechanism. The layout of separating spring teeth was double helix herringbone symmetrical arrangement. When the motion tail of separating roller was trochoid, the revolving speed was determined as 86.3 r/min by force and motion analyses. The size of eccentric link mechanism was optimized by fitting tool of Matlab software, and the revolving speed and installation angle of collecting spring teeth was determined as 65 r/min and 45° by performance test, respectively. According to force analysis and flow simulation of vane-type film removing mechanism, the linear velocity of vane should be more than 1.485 m/s to ensure that the residual film could be removed and transported into film bin. Field experiments indicated that the surface residual plastic film collecting rate was 90.96%, film twining rate was 1.09%, stalk and soil removing rate was 77.35%, and the average working efficient of this baler was 0.19 hm<sup>2</sup>/h when forward velocity of the baler was 1.5 m/s, which met the requirements for residual plastic film collecting machine.

**Key words:** residual strip plastic film; recycle; collecting mechanism; film removing mechanism

收稿日期: 2016-08-30 修回日期: 2016-09-18

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31560336)、公益性行业(农业)科研专项(201503105)、中国博士后科学基金项目(2015M57266XB)和兵团重点领域创新团队项目(2015BD002)

**作者简介:** 牛琪(1992—),女,博士生,主要从事农业机械设计及理论研究,E-mail: causeven@163.com

**通信作者:** 陈学庚(1947—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械设计及关键技术研究,E-mail: chenxg130@sina.com

## 引言

地膜覆盖种植技术具有显著的保墒增产效果,在干旱、半干旱地区的棉花、玉米等作物种植作业中得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>。然而,随着地膜覆盖面积与使用量的不断增加,越来越多的地膜滞留田间,造成严重的农田白色污染<sup>[3]</sup>。据统计<sup>[4]</sup>我国地膜覆盖面积已达1 700万 $\text{hm}^2$ ,年使用量超过130万t,长期覆膜的农田土壤中残留量达71.9~259.1 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,农膜残留将破坏土壤结构、干扰微生物正常活动,导致土壤肥力及作物产量降低,严重威胁到农业生产的可持续发展。现残膜回收多以人工捡拾为主,劳动强度大、工作效率低、用工成本高,研制高效可靠的残膜回收处理机械已成为国内外的研究热点。

国外使用的地膜较厚(厚度大于0.015 mm)、耐破损能力强,秋收后仍保持较好的完整性,一般经简易的卷辊式回收机械揭拾并卷成圆捆,膜捆质地紧实、便于储运<sup>[5-7]</sup>。我国使用的地膜普遍厚度薄、强度差,在机械回收过程中易被扯断、撕裂,回收难度大。为此相关人员研制了卷辊式<sup>[8]</sup>、滚筒式<sup>[9]</sup>、弹齿式<sup>[10]</sup>、链条导轨式<sup>[11]</sup>等多种形式的残膜回收机具,以提高田间地膜的拾净率与机具作业的连续性。受集膜箱容积与搂膜弹齿挂膜能力的限制,现有残膜回收机具通常每作业一段距离须将收回的残膜以集条或集堆的形式卸于田间、地头。集条(堆)残膜质地松散、含杂率高,大大增加了储运成本,同时给废旧地膜的回收利用带来了困难。

为解决机收残膜的后续处理问题,降低残膜储运成本,提高地膜资源二次利用率,本文设计一种集条残膜打包机,可同时完成集条残膜捡拾、清理和压缩打包作业。其中,残膜捡拾、清理机构是机具的核心部件,其性能直接影响整机作业效率与残膜包成型效果。因此本文将重点对残膜打包机捡拾清理装置进行理论分析与参数设计,旨在提高集条残膜捡拾率、降低杂质含量,有效改善集条残膜压缩成型效果、减少残膜储运空间、降低运输成本,为地膜的循环利用提供条件。

## 1 集条残膜物料特性

本文选取新疆平作区的机收集条残膜作为研究对象,测定其关键物理特性参数(表1),为捡拾清理装置关键部件的参数设计提供理论参考。所测地膜厚度为0.008 mm,覆盖时间约为180 d,力学性能试验参照文献<sup>[12]</sup>。

表1 残膜主要物理特性参数

Tab.1 Main physical parameters of plastic film

统计参数	长度/mm	宽度/mm	拉断力/N	断裂伸长率/%
最大值	1 814.8	382.3	1.8	123.3
最小值	67.2	14.1	0.6	58.3
平均值	742.9	214.7	1.3	88.7
标准差	61.4	24.9	0.3	18.3
变异系数/%	8	12	23	21

## 2 整机结构与工作原理

集条残膜打包机(图1)由机架、动力传动机构、捡拾清理装置和液压打包机构组成,其中捡拾清理装置包括限深轮、清杂辊、偏心捡拾滚筒机构、脱膜机构(脱膜小辊、脱膜大辊、脱膜外罩)和行走轮。该机作业时,可同时完成集条残膜的捡拾、清理、压缩打包作业,具体工作原理如下:

(1)残膜捡拾与杂质清理。清杂辊快速旋转以完成集条残膜的捡拾、抛送,并利用旋转离心力将混杂在残膜物料中的土块、茎秆抛出,实现一次清杂;偏心捡拾滚筒机构的弹齿伸出滚筒时将清杂辊上的残膜勾住,并沿滚筒外壁向脱膜机构处输送,输送过程中,土块、茎秆因自重及机具振动而掉落,实现二次清杂。

(2)脱膜与压缩打包。相对旋转的大、小脱膜辊将捡拾弹齿上的残膜脱下并抛送至打包箱中,残膜经液压缸压缩成型后以方包形式卸下。

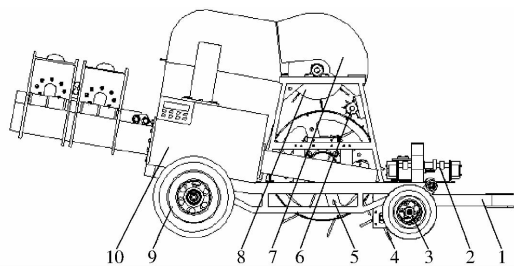


图1 集条残膜打包机结构简图

Fig.1 Structural diagram of strip plastic film baler

1. 机架 2. 动力传动机构 3. 限深轮 4. 清杂辊 5. 偏心捡拾滚筒机构 6. 脱膜小辊 7. 脱膜外罩 8. 脱膜大辊 9. 行走轮 10. 液压打包机构

## 3 捡拾清理装置关键部件设计

清杂辊、偏心捡拾滚筒机构与脱膜机构是捡拾清理装置的核心工作部件,决定了该装置的残膜拾净率与膜杂分离效果。

### 3.1 清杂辊

清杂辊由空心钢管和清杂弹齿构成,用于集条残膜的捡拾、抛送和膜杂分离。由于捡拾清理装置的作业对象是厚度为100~150 mm、宽度为1 200~

1 400 mm 的集条残膜，且清杂弹齿需入土 10 ~ 15 mm，故预设清杂辊作业幅宽  $B$  为 1 500 mm，回转半径  $r$  为 160 mm，清杂弹齿长度  $l$  为 120 mm。

### 3.1.1 清杂弹齿设计及其排列方式

为保证良好的检拾、聚拢、翻旋效果，本设计将清杂弹齿折弯  $20^\circ$ ，并采用双头螺旋线“人”字形对称排列方式<sup>[13]</sup>（图 2），使检拾扭矩较为均匀分布，减小波动幅度，平衡清杂弹齿的侧向反力。相邻弹齿夹角为  $72^\circ$ ，轴向间距为 65 mm，共计 48 根弹齿。

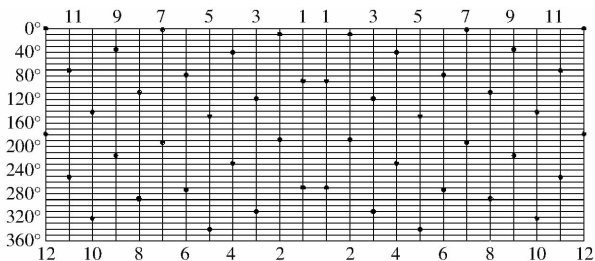


图 2 清杂弹齿排列示意图

Fig. 2 Arrangement sketch of separating spring teeth

根据弹齿排列方式可知弹齿的周向夹角及轴向距离为均匀分配。以左侧第 1 个清杂弹齿所在平面  $A$  为初始工作面，将各离心力  $F_i$  向原点  $O$  简化并建立空间坐标系<sup>[14]</sup>进行受力分析，如图 3 所示。

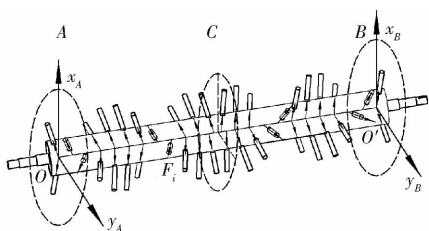


图 3 清杂弹齿在辊轴上的离心力分解示意图

Fig. 3 Centrifugal force analysis diagram of separating roller

由图 3 知平面  $C$  两侧弹齿受到的离心力  $F_i$  呈中心对称，即大小相等、方向相反，则弹齿对  $x$  轴的合离心力  $F_x$ 、对  $y$  轴的合离心力  $F_y$ 、合离心力  $\sum F$ 、合离心力矩  $\sum M$  计算式分别为

$$F_x = F_i \cos \frac{2\pi(i-1)}{n} \quad (1)$$

$$F_y = F_i \sin \frac{2\pi(i-1)}{n} \quad (2)$$

$$\sum F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} = 0 \quad (3)$$

$$\sum M = \sqrt{(\sum M_x)^2 + (\sum M_y)^2} =$$

$$\sqrt{[\sum F_x(i-1)d]^2 + [\sum F_y(i-1)d]^2} = 0 \quad (4)$$

式中  $F_i$ ——清杂辊旋转时第  $i$  个清杂弹齿所受的离心力，N

$n$ ——清杂齿数目，为 48 个

$M_x$ ——离心力对  $x$  轴的合力矩，N·m

$M_y$ ——离心力对  $y$  轴的合力矩，N·m

$d$ ——相邻清杂弹齿轴向距离，为 65 mm

经计算得合离心力  $\sum F$  与合离心力矩  $\sum M$  均为零，即理论上清杂辊轴承受的动反力为零，满足动平衡。

### 3.1.2 清杂辊转速

机具工作时，清杂辊的旋转方向与行走轮的转向相反，使物料具有较长的检拾、提升距离和时间，利于残膜与土块、茎秆等杂物的充分分离，同时为避免出现漏检，弹齿运动轨迹应为余摆线。以清杂辊中心  $O$  点为坐标原点（图 4），机具前进方向为  $x$  轴正向，物料检拾方向为  $y$  轴正向，可得清杂弹齿端部  $P$  点的运动轨迹参数方程为

$$\begin{cases} x_p = v_m t + r \cos \omega t \\ y_p = r \sin \omega t \end{cases} \quad (5)$$

式中  $\omega$ ——清杂辊角速度，rad/s

$v_m$ ——机具前进速度，为 1.5 m/s

$t$ ——时间，s

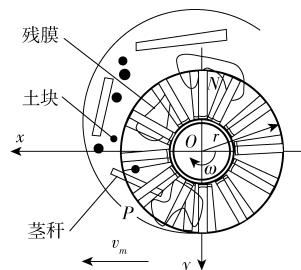


图 4 清杂弹齿运动分析

Fig. 4 Motion analysis of separating spring teeth

将清杂弹齿旋转的切线速度与机具前进速度<sup>[13]</sup>定义为清杂速比  $\lambda = \omega r / v_m$ ，代入式(5)并对时间  $t$  求导，可得清杂弹齿端部  $P$  点对  $x$  轴、 $y$  轴的分速度方程

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx_p}{dt} = r \left( \frac{\omega}{\lambda} - \omega \sin \omega t \right) \\ v_y = \frac{dy_p}{dt} = \omega r \cos \omega t \end{cases} \quad (6)$$

为保证残膜等物料在清杂辊顶部  $N$  处能自由抛离，则清杂辊转速  $n_s$  与机具前进速度  $v_m$  的关系<sup>[14]</sup>为

$$n_s = \frac{60v_m}{2\pi \sqrt{r^2 + 0.25l^2 + r l \cos \alpha}} \quad (7)$$

式中  $\alpha$ ——清杂弹齿倾斜角度，为  $20^\circ$

由式(7)计算得清杂辊转速  $n_s$  为 86.3 r/min，代入式(5)应用 Matlab 软件模拟得清杂弹齿的运动轨迹为余摆线，即弹齿对残膜可进行多次检拾，满足设计要求。

### 3.2 偏心捡拾滚筒机构

偏心捡拾滚筒机构(图5)由滚筒总成、弹齿总成、中心转轴、偏心连杆等组成,用于将清杂辊清理后的残膜挑起并输送至脱膜机构,同时实现膜杂二次分离。具体通过链轮传动驱动弹齿总成旋转,经偏心连杆机构带动滚筒同步转动,弹齿在滚筒外壁的条形开孔中做伸缩往复运动。当弹齿旋转至与清杂辊重叠作业区时达到最大伸出量,将残膜勾起并继续转动;当到达脱膜机构处时,弹齿完全缩进滚筒内,完成残膜的向上抛送和脱膜,同时土块、茎秆等杂质在弹齿旋转离心力与自身重力作用下实现二次膜杂分离。

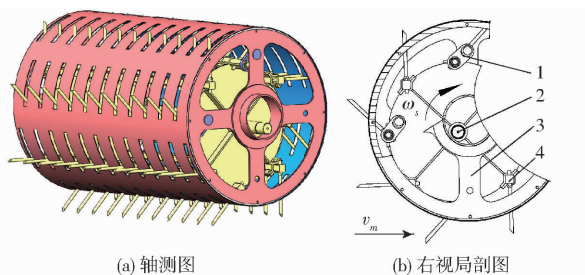


图5 偏心捡拾滚筒机构

Fig. 5 Eccentric collecting cylinder

1. 滚筒总成 2. 中心转轴 3. 弹齿总成 4. 偏心连杆

#### 3.2.1 偏心连杆设计

为实现捡拾弹齿与滚筒条孔间的伸缩运动,设计了如图6所示的不等边双曲柄模型,各杆长及铰接点位置均为随机设置。图中 $AB$ 为主动曲柄,其长度为弹齿总成回转中心与偏心连杆安装点间的距离 $a$ ;  $BC$ 为连杆,其长度为偏心连杆的杆长 $b$ ;  $CD$ 为从动曲柄,其长度为偏心连杆安装点与滚筒总成回转中心间的距离 $c$ ;  $AD$ 为机架,其长度为中心转轴与滚筒回转中心的偏距 $e$ ;  $\gamma_1$ 和 $\gamma_2$ 分别为两次共线位置下的传动角,  $\omega_1$ 为曲柄 $AB$ 转动的角速度。

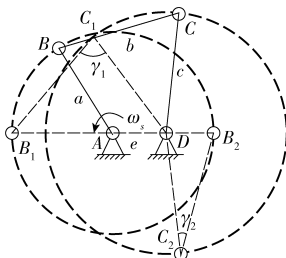


图6 双曲柄机构原理图

Fig. 6 Principle diagram of double crank mechanism

其中 $AB_1C_1D$ 和 $AB_2C_2D$ 分别是主动曲柄 $AB$ 与机架 $AD$ 两次共线的工作位置,则有

$$\cos\gamma_1 = \frac{b^2 + c^2 - (a + e)^2}{2bc} \quad (8)$$

$$\cos\gamma_2 = \frac{b^2 + c^2 - (a - e)^2}{2bc} \quad (9)$$

为使实际传动角等距离偏离理想值,应满足

$$\gamma_{\max} - 90^\circ \approx 90^\circ - \gamma_{\min} \quad (10)$$

以获得最佳传动角<sup>[15]</sup>。

利用 Matlab 软件优化工具箱中的 fsolve 函数进行尺寸优化<sup>[16]</sup>,对运行结果取整后确定主动曲柄为 340 mm,连杆为 200 mm,从动曲柄为 280 mm,机架长度为 75 mm。

#### 3.2.2 弹齿总成设计

弹齿总成由捡拾弹齿、方钢、弹齿安装盘、定位卡组成。其中捡拾弹齿与清杂辊配合工作,采用交错排列方式,可使中心转轴受力均匀、冲击载荷小,工作稳定。同排相邻弹齿轴向间距为 130 mm,弹齿通过螺纹连接安装在钻有通孔的方钢(30 mm × 30 mm)上;弹齿安装盘直径为 680 mm,圆周方向均布焊接有 8 个下定位卡,通过螺栓将方钢安装在上下定位卡中间,方钢安装角度可调,拆卸简便。

由于捡拾弹齿提升物料高度范围较大,材料选用 65Mn 钢,利用 Solidworks 软件的 Simulation 模块对其进行应力、位移变化分析。为保证残膜在作业过程中不被拉断,根据表 1 中地膜平均拉断力为 1.3 N 可得平均抗拉强度为 16.25 MPa,而残膜物料厚度最大为 150 mm、捡拾弹齿直径为 12 mm,可确定施加载荷为 3 kN。由图 7 可看出,弹齿受到的最大应力为 185 MPa,小于材料许用应力(570 MPa),且集中分布在弹齿根部;最大变形出现在弹齿端部,变形量为 0.72 mm。

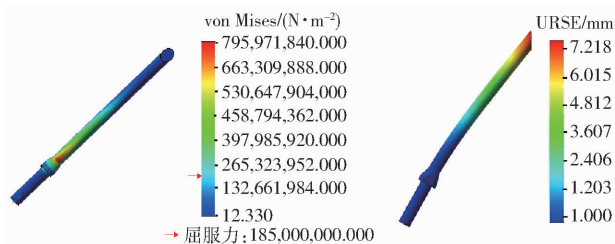


图7 捡拾弹齿应力、位移变化分析

Fig. 7 Stress and displacement analyses of collecting spring teeth

在偏心捡拾滚筒机构工作时,弹齿总成的转速和捡拾弹齿安装角度决定了残膜的捡拾、清理效果,通过台架试验确定合理的运动参数和结构参数<sup>[17]</sup>。具体是比较捡拾机构作业 1 min 后残膜拾净率(作业后收回残膜的质量与作业前残膜总质量的比)和清杂率(作业后清除杂质的质量与作业前物料中含杂质量的比)与其参数的关系<sup>[18]</sup>。

从试验结果(图 8、图 9)可看出残膜拾净率和清杂率均随转速和弹齿安装角度的变化出现显著波峰。当安装角度为 45°、转速为 70 r/min 时,捡拾效果最好;安装角度为 45°、转速为 60 r/min 时,清杂

效果最好。主要原因是弹齿安装角度和转速过小，弹齿的捡拾、提升能力较差，不易将残膜勾住，部分残膜在向上输送的过程中将会从弹齿上滑落；而安装角度过大，影响了弹齿在滚筒条孔中的伸缩运动，转速过大则难以将残膜中的杂质及时清理。因此，优选弹齿安装角度为 45°，转速为 65 r/min。

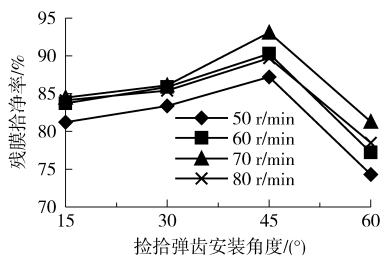


图 8 拾捡弹齿安装角度与残膜拾净率关系曲线  
Fig. 8 Relationship curves between installation angle and residual film collecting rate

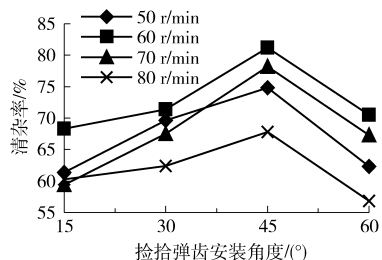


图 9 拾捡弹齿安装角度与清杂率关系曲线  
Fig. 9 Relationship curves between installation angle and stalk and soil removing rate

### 3.3 脱膜机构

残膜质轻、延伸性好，在回收过程中易吸附、缠绕捡拾装置，通过增设脱膜装置可有效脱下滚筒表面的残膜并送至液压打包机构的集膜箱中，从而保证残膜拾净率，并避免因残膜缠绕引发的机械故障。

#### 3.3.1 脱膜方式

脱膜机构由脱膜大辊、脱膜小辊及脱膜外罩组成。其中大、小脱膜辊相对旋转可将残膜从捡拾弹齿上快速脱下；输膜过程中，脱膜大辊借助外罩的作用，可形成向上运动的气流，避免了残膜的掉落和缠绕。

#### 3.3.2 脱膜机构参数确定

为使脱下的残膜顺利输送至集膜箱，需保证残膜在脱膜辊顶端受到的离心力大于与脱膜叶片间的吸附与缠绕力<sup>[19]</sup>。当残膜即将运动至脱膜辊顶端时，选取 M 点进行受力分析，如图 10 所示， $F_n$  为残膜运动时受到的推力， $F_0$  为残膜所受的离心力， $G$  为残膜物料受到的重力。得到残膜脱离膜辊的条件为

$$\frac{mv^2}{R} > f + mgsin\theta \quad (11)$$

其中

$$f = \mu mgcos\theta \quad (12)$$

$\theta$ ——脱膜叶片与水平面的夹角，(°)

$R$ ——脱膜辊回转半径，m

$f$ ——脱膜叶片对残膜的摩擦力，N

$m$ ——单个叶片上的残膜质量，kg

$v$ ——脱膜叶片端部的线速度，m/s

$\mu$ ——平带的静摩擦因数，取 0.6

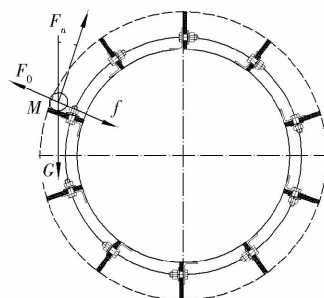


图 10 脱膜辊上残膜受力分析

Fig. 10 Force analysis of film on removing roller

利用 Solidworks 中 Flow Simulation 模块对残膜物料进行气力流场特性模拟<sup>[20]</sup> (图 11)，以单个脱膜叶片上的残膜物料质量流量 (试验测得为 0.15 kg/s) 为输入条件，可得脱膜外罩内气流的运动速度约为 1.485 m/s，并由式 (11) 计算得回转半径  $R$  应不大于 0.375 m，本文取脱膜大辊回转半径为 0.35 m，脱膜小辊回转半径为 0.08 m，计算得转速分别为 300、900 r/min。

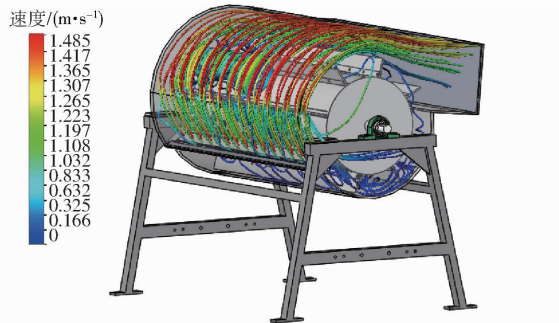


图 11 脱膜外罩内气流分布云图

Fig. 11 Air distribution cloud in cover

## 4 田间试验

### 4.1 试验条件

2015 年 10 月棉花收获后在新疆共青团农场进行集条残膜打包机田间试验 (图 12a)。试验面积为 40 hm<sup>2</sup>，试验地膜覆盖时间约 180 d，厚度 0.008 mm，经机具按膜集条后，各集条残膜 (图 12b) 宽度为 1 200 ~ 1 400 mm、厚度为 100 ~ 150 mm。

### 4.2 试验方法

为考察集条残膜捡拾清理装置的捡拾、清理效果和整机作业稳定性，根据 GB/T 25412—2010《残地膜回收机》确定试验方法与下述 4 个试验指标：





(a) 集条残膜打包机

(b) 集条残膜

图 12 集条残膜打包机田间试验

Fig. 12 Field experiment of baler

(1) 表层残膜拾净率: 机具作业后收回残膜的质量与机具未作业前残膜总质量之比。

(2) 缠膜率: 机具作业前后缠绕在机器上地膜的质量与残地膜总质量之比。

(3) 清杂率: 机具作业时清除杂质的质量与机具未作业前物料中含杂质量之比。

(4) 工作效率: 机具平均单位时间作业面积。

### 4.3 试验结果分析

机具在作业试验过程中, 连续行走 500 m 未出现残膜堵塞、缠绕造成停机等现象, 未见清杂弹齿与拾拾弹齿折断, 基本能够完成集条残膜的拾拾、清理任务, 稳定性良好。依据上述试验方法测得集条残膜打包机拾拾清理装置的性能参数, 如表 2 所示。

试验结果表明: 该集条残膜打包机拾拾清理装置工作时运行稳定、振动小, 样机平均工作效率为  $0.19 \text{ hm}^2/\text{h}$ , 平均残膜拾净率为 90.96%, 缠膜率小于标准(2%), 清杂率达 77%, 满足残地膜回收机作业性能要求。同时, 收回的残膜含土量明显降低, 有效解决了大量集条残膜拾拾困难、转运成本高的问题。

机具作业时, 清杂辊虽然能够平稳的捡起残膜, 但由于作业地表凹凸不平, 部分集条残膜位于地面

表 2 主要性能指标测试结果  
Tab. 2 Experimental results of main performance indicators

试验区 编号	残膜拾净率 /%	缠膜率 /%	清杂率 /%	工作效率 / $(\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1})$
1	91.97	1.34	82.13	0.18
2	90.95	1.12	75.17	0.16
3	91.01	0.86	76.77	0.23
4	90.24	1.02	73.92	0.19
5	90.63	1.09	78.76	0.21
平均值	90.96	1.09	77.35	0.19

凹陷处, 清杂辊弹齿难以捡拾, 影响了残膜拾净率, 同时清杂辊两端与轴承座连接处易出现缠膜现象。因此, 在后续研究中, 还需对清杂辊进行改进, 进一步提高集条残膜的捡拾、清理效果。

## 5 结论

(1) 基于集条残膜的物料特性, 设计了一种集条残膜打包机拾拾清理装置, 利用清杂辊和偏心拾拾滚筒机构完成残膜拾拾及两次膜杂分离; 采用高速相对旋转的大、小脱膜辊完成残膜的脱下和抛送。

(2) 通过理论分析和性能试验确定了拾拾清理装置关键部件的结构及工作参数: 通过运动分析确定了清杂辊转速为  $86.3 \text{ r/min}$ ; 应用 Matlab 软件优化了偏心机构各杆件的尺寸, 并通过性能试验优选拾拾弹齿安装角度为  $45^\circ$ , 转速为  $65 \text{ r/min}$ ; 经力学分析及气力流场特性模拟得出脱膜辊的圆周速度最低为  $1.485 \text{ m/s}$ 。

(3) 田间试验表明, 在机具前进速度为  $1.5 \text{ m/s}$  时, 表层残膜拾净率为 90.96%, 缠膜率为 1.09%, 清杂率为 77.35%, 整机工作效率约为  $0.19 \text{ hm}^2/\text{h}$ , 满足残膜回收作业使用要求。

## 参 考 文 献

- 谢建华, 侯书林, 刘英超. 残膜清理回收机具的研究现状及存在的问题[J]. 中国农机化, 2012(5): 41-44.  
XIE Jianhua, HOU Shulin, LIU Yingchao. Research status and trend of plastic film residue collectors[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012(5): 41-44. (in Chinese)
- RAKEL Berglund, BIRGITTA Svensson, ULLA Gertsson. Impact of plastic mulch and poultry manure on plant establishment in organic strawberry production[J]. Journal of Plant Nutrition, 2006, 29(1): 103-112.
- 马辉. 典型农区地膜残留特点及对玉米生长生长发育影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(2): 95-102.  
YAN Changrong, LIU Enke, SHU Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2): 95-102. (in Chinese)
- SRIVASTAVA A K, GOERING C E, ROHRBACH R P. Engineering principles of agricultural machines [M]. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1993: 92-108.
- PARISH R L, BRACY R P, MCCOY J E. Field incineration of plastic mulch [J]. Journal of Vegetable Crop Production, 2000, 6(1): 17-23.
- PAEISH R L. An automated machine for remove of plastic mulch [J]. Transactions of the ASAE, 1998, 42(1): 49-51.
- 杨丽, 张东兴, 侯书林, 等. 玉米苗期地膜回收机结构参数分析与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 29-34.

- YANG Li, ZHANG Dongxing, HOU Shulin, et al. Analysis of structural parameters and experiment of plastic film collector for corn fields during seedling period[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 29 - 34. (in Chinese)
- 9 王吉奎,付威,王卫兵,等. SMS-1500型秸秆粉碎与残膜回收机的设计[J]. 农业工程学报,2011,27(7):168-172.  
WANG Jikui, FU Wei, WANG Weibing, et al. Design of SMS-1500 type straw chopping and plastic film residue collecting machine[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 168 - 172. (in Chinese)
- 10 张惠友,侯书林,那明君,等. 收膜整地多功能作业机的研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8):130-134.  
ZHANG Huiyou, HOU Shulin, NA Mingjun, et al. Multifunctional machine for retrieving the used plastic film after harvesting and soil preparation[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 130 - 134. (in Chinese)
- 11 吕钊钦,张磊,张广玲,等. 链条导轨式地膜回收机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(18):48-54.  
LÜ Zhaoqin, ZHANG Lei, ZHANG Guangling, et al. Design and test of chain guide rail-type plastic film collector[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18):48-54. (in Chinese)
- 12 GB/T 1040.3—2006 塑料拉伸性能的测定(3):薄膜和薄片的试验条件[S]. 2006.
- 13 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,2007:235-237.
- 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.  
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 Agricultural Machinery, 2001, 32(5): 59 - 61. (in Chinese)
- 15 唐锦茹. 双曲柄机构的最佳传动角及其优化综合[J]. 华北电力大学学报,1997,24(1):52-55.  
TANG Jinru. Most suitable transmission angle of double crank mechanism and its optimal synthesis[J]. Journal of North China Electric Power University, 1997, 24(1): 52 - 55. (in Chinese)
- 16 胡晓珍,陈忠维. 基于MATLAB/fsolve函数的四连杆机构运动轨迹仿真[J]. 机械工程师,2007(7):44-45.  
HU Xiaozhen, CHEN Zhongwei. The simulation of the plane four links mechanism based on fslove function of MATLAB[J]. Mechanical Engineer, 2007(7): 44 - 45. (in Chinese)
- 17 陈学深,马旭,武涛,等. 虎杖根系脱土装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(7):59-65. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20150709&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150709&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.009.  
CHEN Xueshen, MA Xu, WU Tao, et al. Design and experiment of roots-soil separating device of knotweeds [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 59 - 65. (in Chinese)
- 18 NIU Qi, CHEN Xuegeng, JI Chao, et al. Experiment and optimal design of a collection device for a residual plastic film baler [J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2015, 2(4): 347 - 354.
- 19 李斌,王吉奎,胡凯,等. 残膜回收机顺向脱膜机理分析与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(21):23-28.  
LI Bin, WANG Jikui, HU Kai, et al. Analysis and test of forward film removing mechanism for polythene film collector[J]. Transaction of the CSAE, 2012, 28(21): 23 - 28. (in Chinese)
- 20 李天文,丁双双,高明勇,等. 基于Flow Simulation的气力脱膜装置流场分析[J]. 农机化研究,2015(4):40-43.  
LI Tianwen, DING Shuangshuang, GAO Mingyong, et al. Flow field analysis of wind-driven film removing device based on Flow Simulation[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(4): 40 - 43. (in Chinese)