

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.12.013

# 随动式残膜回收机捡拾装置设计与试验

杨松梅<sup>1</sup> 颜利民<sup>2</sup> 莫毅松<sup>3</sup> 陈学庚<sup>2</sup> 张慧明<sup>2</sup> 蒋德莉<sup>2</sup>

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130022; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003;

3. 常州汉森机械有限公司, 常州 213034)

**摘要:** 针对我国棉花覆膜种植模式所造成的大面积农田残膜污染问题, 在实施耐候地膜新的国家标准基础上, 基于耐候地膜在回收时的完整性, 设计了一种可将膜面翻转而清除杂质的随动式残膜捡拾装置。通过测试耐候地膜的力学特性, 计算捡拾时残膜的受力情况, 表明捡拾时残膜的受力小于其平均纵向拉断力; 对样机关键作业部件进行设计和分析, 运用 Matlab 软件绘制捡拾钉齿端点在土壤中的运动轨迹, 确定了捡拾钉齿长度及捡拾钉齿在链板上的排列尺寸; 通过捡拾滚筒上链板间距与起膜率、清杂率关系的单因素试验, 得到链板间距的最优值; 对捡拾滚筒、捡拾钉齿装置运动过程的受力情况进行了分析计算, 并对样机的作业性能进行了试验研究。田间试验结果表明, 当随动式残膜回收机的前进速度为 4.0~4.4 km/h 时, 残膜回收率为 89.54%, 表明其捡拾装置满足田间作业要求。

**关键词:** 残膜回收机; 随动式; 钉齿; 耐候地膜

中图分类号: S233.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)12-0109-07

## Design and Experiment on Collecting Device for Profile Modeling Residual Plastic Film Collector

YANG Songmei<sup>1</sup> YAN Limin<sup>2</sup> MO Yisong<sup>3</sup> CHEN Xuegeng<sup>2</sup> ZHANG Huiming<sup>2</sup> JIANG Deli<sup>2</sup>

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China

3. Changzhou Han-Sun Machinery Co., Ltd., Changzhou 213034, China)

**Abstract:** Plastic-film mulching has improved crop production of cotton greatly in Northwest China. With the use of plastic film year by year, the problem of pollution has become increasingly apparent. Film mulching has many advantages, such as water storage and weed control, but overmuch residual plastic film fragments influenced the physical property of agricultural soil. Aiming at the pollution problem, the new national standard of plastic film was published. On the basis of the new national standard of weathering film, a collecting and removing device for the residual plastic film recovery machine was designed as the integrity of weathering film. By testing the mechanical properties of the weatherproof film and force of the residual film when collecting, the results showed that the film would not be broken during the collecting process. The key working parts were designed and analyzed, while the length and the arrangement of the nail and the film collecting parts were determined by plotting trajectory of end of collecting nail in soil based on the software of Matlab. Through the single factor experiment on the relationship between distance of chains and residual film collecting rate and straw removing rate, the optimal value of the chains spacing was obtained. The stress analysis of ground roller, collecting and removing device was carried out during the movement process, and the performance of the machine was tested. The field experiment results showed that the recovery rate of residual film was 89.54% when the forward speed of the residual film recovery machine was between 4.0 km/h and 4.4 km/h, indicating that the collecting device can meet the requirements of residual plastic film collection.

**Key words:** residual film collector; master-slave type; nail; weather resistance film

收稿日期: 2018-06-08 修回日期: 2018-08-13

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201503105)

作者简介: 杨松梅(1987—), 女, 博士生, 主要从事农业机械装备及关键技术研究, E-mail: y. songmei@163.com

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

## 0 引言

由于地膜覆盖种植技术突出的抗旱保水优点,北方等干旱地区的农作物大幅增产增收<sup>[1]</sup>,但是大量破损的地膜残留在土壤中<sup>[2-3]</sup>,对土壤造成严重影响<sup>[4-8]</sup>。依据当前地膜覆盖现状并结合我国国情,开发新型农业装备回收地膜是解决当下问题的有效手段<sup>[9-12]</sup>。

我国多数地区使用的农膜厚度为 0.006 ~ 0.008 mm,秋后机械化回收残膜时,由于地膜过薄老化破损严重无法直接卷收,大量尺寸不一的碎膜散落在农田中。农业生产中地膜用量持续增加<sup>[9]</sup>,解决问题的根本在于使用并推广具有一定厚度、力学性能、耐候性能的地膜。随着国家对环保问题的重视,《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》强制性国家标准于 2018 年 5 月 1 日正式实施,新标准规定耐候农膜的最小厚度不小于 0.01 mm,力学性能同时较原标准有很大提高,新标准的实施将提高地膜的可重复利用和可回收性<sup>[13]</sup>。

目前,我国科研人员自主研发出多种残膜回收机,其捡拾装置有耙齿式、弹齿式、立杆式等多种形式<sup>[14-16]</sup>。由于上述捡拾装置的设计主要基于原有地膜标准以回收破损后块状的残膜为主,对于厚度较大的耐候地膜,秋季回收地膜时其完整性和强度较好,已有的残膜回收机不适用于耐候地膜的捡拾回收工作。因此,在实施耐候地膜新标准的基础上应创新性设计适用于回收耐候地膜的随动式残膜回收机。本文以随动式残膜回收机捡拾装置为研究对象,通过分析其结构和工作参数,获取最优值,为残膜回收机捡拾装置的设计提供参考。

## 1 随动式残膜回收机结构与工作原理

### 1.1 整机结构与工作原理

如图 1 所示,棉花秸秆还田-随动式残膜回收联合作业机中的随动式残膜回收机主要由机架、起膜装置、捡拾装置、脱膜装置、清杂装置、卷膜装置等部件组成,其前端与棉花秸秆还田机通过机架相连接,作业时由拖拉机为秸秆还田机、卷膜装置和清杂装置提供动力。

作业时,拖拉机牵引机组前进,动力由拖拉机动力输出轴传递给秸秆还田机刀轴,刀轴高速旋转将棉花秸秆打碎后抛入秸秆螺旋输送机,螺旋叶片将打碎的秸秆推送至机组两侧,秸秆还田机作业后地表棉花根茬高度为 80 mm 左右。秸秆还田机后侧布置有液压限深行走轮,其作用有:工作过程中的限深作用,即作业前通过调节液压缸来调节秸秆还田

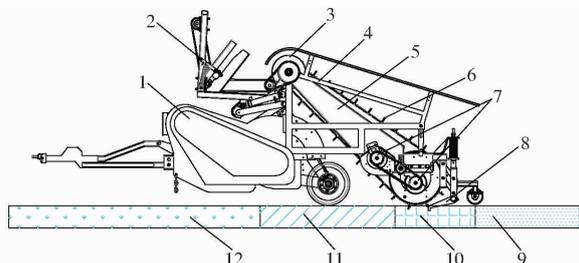


图 1 棉花秸秆还田-随动式残膜回收联合作业机结构图

Fig. 1 Structure diagram of combined operation machine for straw chopping and residual plastic film collecting

1. 秸秆还田机 2. 卷膜装置 3. 脱膜装置 4. 机架 5. 连接架
6. 捡拾装置 7. 清杂装置 8. 起膜装置 9. 清洁区 10. 残膜捡拾区
11. 待捡拾残膜区 12. 秸秆清理区

机刀片离地高度,此高度决定棉花根茬的留茬高度;在行走过程中,液压缸伸出,秸秆还田机上升并带动残膜回收机工作部件离开地面,便于运输。秸秆还田机作业区域为秸秆清理区,如图 1 所示,秸秆清理后的地表相对洁净,为残膜捡拾提供了良好的条件。秸秆清理后残膜回收机捡拾残膜,机组前进过程中捡拾钉齿刺破地膜、入土,在土壤的作用下捡拾钉齿与捡拾链板带动捡拾滚筒绕两侧端板旋转,同时带动脱膜装置工作。捡拾钉齿出土时在起膜装置的辅助作用下,地膜附着在捡拾钉齿上,随捡拾滚筒的转动离开土壤,完成残膜的捡拾工作。在图 1 的视角下,随捡拾钉齿绕捡拾滚筒逆时针旋转,地膜逐渐翻转,一部分地膜表面的杂质落入捡拾滚筒中的清杂螺旋输送机中,另一部分地膜表面杂质随着捡拾钉齿的继续运动落入到连接架中间的杂质导流板中,最终进入上部螺旋输送机中,由螺旋输送机将杂质排出到机组两侧,完成残膜回收的清杂工作。捡拾滚筒中的螺旋输送机和上部螺旋输送机的动力均由拖拉机提供。残膜继续随捡拾钉齿运动,当运动到脱膜装置位置时,由于耐候地膜的完整性和较大的强度,钉齿上的残膜在脱膜装置外圆的作用下,克服钉齿对残膜的摩擦力,逐渐脱离钉齿机构而附着在脱膜装置上,完成脱膜工作。残膜最终由脱膜装置落入到卷膜装置中,卷收的残膜由卷膜装置液压缸带动卷膜装置翻转卸膜,最终残膜落到地面上,完成残膜回收工作。随动式残膜回收机连接架可绕脱膜装置中心轴摆动,当捡拾滚筒遇到较大石块等硬物时,捡拾滚筒抬起,防止捡拾及起膜装置损坏。

### 1.2 捡拾装置结构与工作原理

随动式残膜捡拾装置由捡拾钉齿、传动链板、捡拾滚筒组成,传动链板环绕捡拾滚筒和脱膜装置中心轴,其结构如图 2 所示。

当拖拉机牵引机具作业时,捡拾钉齿在机具重力的作用下刺破地膜进入土壤,捡拾钉齿扰动土壤

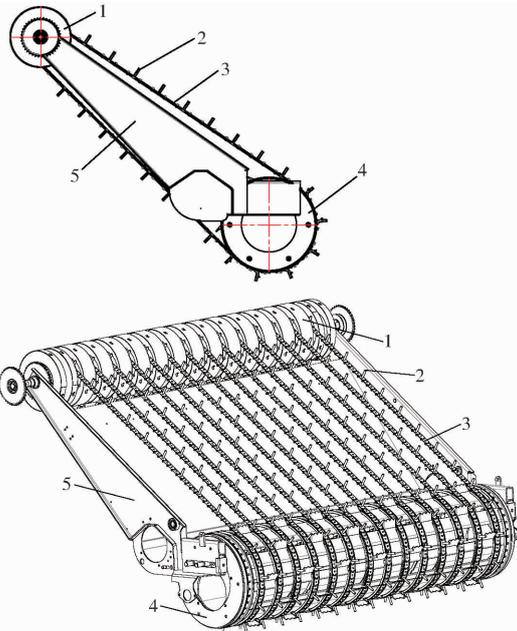


图 2 捡拾装置结构简图

Fig. 2 Structural diagram of film collecting and removing device

1. 脱膜装置 2. 捡拾钉齿 3. 传动链板 4. 捡拾滚筒 5. 连接架

对土壤造成挤压变形, 土壤对捡拾钉齿产生反作用力, 在机具及土壤反作用力作用下捡拾钉齿在土壤内转动, 随之带动传动链板运动。随着机组的前进传动链板上的若干捡拾钉齿依次刺破地膜—进入土壤—退出土壤, 形成连续稳定的运动, 进而传动链板带动捡拾滚筒、脱膜装置平稳转动。由于起膜齿破坏膜下土壤板结结构便于膜土分离, 同时辅助捡拾钉齿进行上膜, 因此在捡拾钉齿退出土壤时, 残膜附着在捡拾钉齿上, 随捡拾钉齿向上运动, 完成残膜捡拾工作。

### 1.3 主要技术指标

随动式残膜捡拾装置对应的农艺种植模式如图 3 所示。其中, 棉花种植模式为 2 膜 12 行, 采用宽窄行种植模式, 棉花行距为 660 mm + 100 mm, 株距为 130 mm, 地膜宽度 2 050 mm。

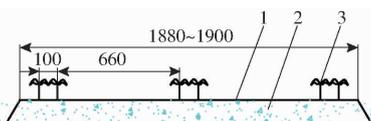


图 3 棉花宽窄行种植模式

Fig. 3 Planting pattern of cotton

1. 地膜 2. 土壤 3. 棉花秧苗

结合新疆棉花种植特点和动力计算结果, 机组主要技术参数如表 1 所示。

### 1.4 耐候地膜力学性能

选取耐候残膜为研究对象, 测定其主要的力学性能参数, 如表 2 所示。所测地膜厚度为 0.01 mm,

表 1 机具主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of operation machine

参数	数值/类型
外形尺寸(长×宽×高)/(m×m×m)	3.1×2.7×1.8
配套动力(含秸秆还田机)/kW	56.3
挂接方式	牵引
工作幅宽/m	2
作业速度/(km·h <sup>-1</sup> )	4.0~4.4
质量/kg	1 006

表 2 残地膜力学性能参数

Tab. 2 Mechanical property of residual film

参数	纵向拉伸	横向拉伸
拉断力/N	2.4	1.6
平均断裂拉伸位移/mm	273.3	273.8
平均断裂延长率/%	446.7	447.5

覆盖时间约为 180 d, 力学性能试验参照文献 [17]。试验时将残膜制备成纵向、横向拉伸试样, 试样宽度为 10 mm, 拉伸试验机速度为 500 mm/min。

## 2 捡拾装置结构设计与分析

### 2.1 捡拾钉齿

#### 2.1.1 捡拾钉齿结构设计

设计的捡拾钉齿垂直铆接在传动链板上, 如图 4a 所示, 挂接在捡拾滚筒部分的捡拾钉齿其延长线经过捡拾滚筒圆心, 如图 4b 所示。由文献 [18] 可知, 捡拾钉齿长度  $L$  的最小值为

$$L_{\min} = R \tan(\delta/2) \tan\varphi \quad (1)$$

式中  $R$ ——捡拾滚筒半径, mm

$\delta$ ——相邻捡拾钉齿圆心角, rad

$\varphi$ ——土壤内摩擦角, (°)

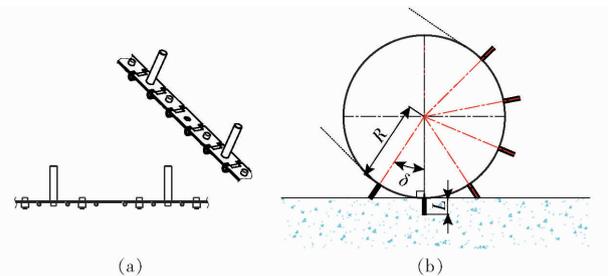


图 4 捡拾钉齿结构示意图

Fig. 4 Diagrams of collecting nail

由文献 [19] 可知, 当捡拾钉齿从入土到运动至铅垂位置, 此阶段钉齿对土壤的挤压有助于抵抗沉陷、同时起到一定推力的作用, 而从铅垂位置到出土的过程主要是增加了滚动阻力、消耗了能量。因此, 为保证链板传动的连续性和机组运行的稳定性, 当捡拾钉齿进入土壤在达到铅垂位置时, 其后方与其相邻的钉齿应开始进入土壤。因此, 捡拾滚筒半径

$R$  和捡拾钉齿长度  $L$  有如图 4b 所示的直角三角形的几何关系,由半角公式可知

$$\tan(\delta/2) = \sqrt{L/(2R+L)} \quad (2)$$

同时,由于整机结构尺寸的限制,捡拾滚筒的半径不宜过大,本文取捡拾滚筒半径  $R$  为 250 mm,土壤内摩擦角  $\varphi$  取  $33^\circ$ ,则由式(1)和式(2)可计算出捡拾钉齿长度  $L$  的最小值为 50 mm。

在不考虑滑移的情况下,捡拾滚筒沿地面做纯滚动,捡拾滚筒上的捡拾钉齿的运动轨迹是余摆线,捡拾钉齿端点的参数方程<sup>[20]</sup>为

$$\begin{cases} x = R\theta - (R+L)\sin\theta \\ y = R - (R+L)\cos\theta \end{cases} \quad (3)$$

式中  $\theta$ ——动圆滚过的角度,rad

分析捡拾钉齿的运动轨迹是设计参数的主要依据,捡拾钉齿在随动过程中在地面形成刺孔,一般来说,刺孔越大则滚动阻力越大,能耗也越大<sup>[19]</sup>。根据式(3)及其参数的取值范围,在 Matlab 中绘制图形<sup>[21]</sup>,寻找刺孔面积  $S$  与  $L$  变化趋势的关系。图 5 所示是在捡拾滚筒半径  $R$  为 250 mm,捡拾钉齿长度  $L$  分别取 50、75、100 mm 时绘制的图形,捡拾钉齿从图像最高点进入土壤,图像最低点为捡拾钉齿运动的最低位置,图中钉齿轨迹所围成的面积即捡拾钉齿在土壤中形成的单个刺孔面积的一半。

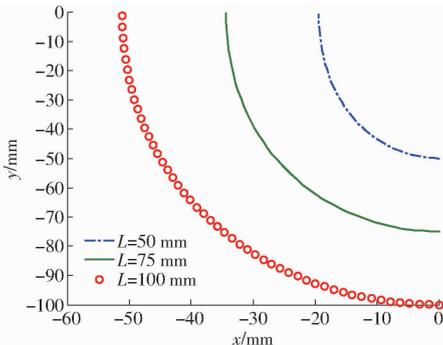


图 5 捡拾钉齿末端的轨迹

Fig. 5 Trajectory of end of collecting nail

分析图 5 可知,当捡拾滚筒半径  $R$  不变时,刺孔面积  $S$  随捡拾钉齿长度  $L$  的增大而增大,因此为使能耗最小,在满足功能要求的前提下捡拾钉齿长度  $L$  取其最小值 50 mm,根据以往设计和实践经验,捡拾钉齿的直径取 10 mm。

### 2.1.2 捡拾钉齿排列尺寸

捡拾钉齿在传动链板上的安装间距关系到残膜回收机的工作性能。如前述分析可知,当捡拾钉齿进入土壤达到铅垂位置时,其后方与其相邻的钉齿应开始进入土壤,则根据图 4b 所示的几何关系,可以求得

$$\delta = \arccos(R/(R+L)) \quad (4)$$

$R$  为 250 mm, $L$  为 50 mm,计算可得捡拾钉齿沿圆周方向的排列角度为  $33.6^\circ$ ,则捡拾钉齿安装在传动链板上的间距为 150 mm。

## 2.2 捡拾滚筒

捡拾滚筒结构如图 6 所示,其主体部分由栅格板和链板轨道圆环组成,其内部布置清杂螺旋输送机构。两侧端板沿圆周方向各布置 6 个滚动轴承,捡拾滚筒无中心轴,其两端搭接在滚动轴承上,与端板形成转动连接,端板与连接架固定为一体,如图 6 所示。捡拾滚筒径向均布栅格板,栅格板之间的间隙便于杂质落入内部清杂装置。捡拾滚筒轴向布置链板轨道圆环,圆环上均布圆孔,圆孔与传动链板底部的圆柱配合传递动力。

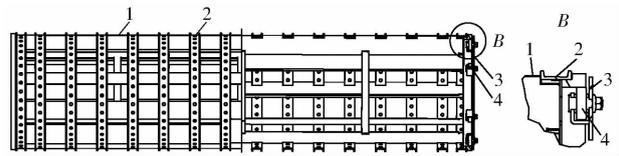


图 6 捡拾滚筒简图

Fig. 6 Structure diagram of ground roller

1. 栅格板 2. 圆环 3. 端板 4. 轴承

传动链板沿捡拾滚筒轴向的排列关系到起膜及清杂效果等,传动链板布置得越多起膜效果越好,当传动链板达到一定数量时,其数量的增加对其起膜效果影响不大,对清杂的效果影响极大。2017 年秋季试验得到链板间距与起膜率、清杂率关系的单因素结果如图 7 所示,同一膜面上布置的链板间距超过 140 mm 时,随着链板间距的增大起膜率下降;当链板间距小于 140 mm 时,随着间距的减小清杂率下降,膜面上大部分杂质无法通过链板间隙掉落到捡拾滚筒中的清杂装置中,杂质随链板运动到卷膜装置,造成所收残膜含杂率高。因此本设计取起膜率曲线和清杂率曲线交点处的链板间距值,即圆整后一个膜面宽度内布置 16 个传动链板。

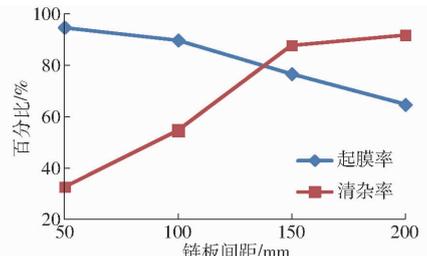


图 7 链板间距与起膜率、清杂率关系曲线

Fig. 7 Relationship line between chains distance and residual film collecting rate and straw removing rate

## 2.3 捡拾作业条件分析

### 2.3.1 残膜受力分析

秋后回收残地膜时,地膜上存在播种时所覆土壤和少量的棉花秸秆。捡拾地膜时,地膜在捡拾钉

齿拉力、膜上土壤重力的作用下发生变形,能够完成残膜顺利捡拾的条件是残膜所受拉力应小于其拉断力。如图 8 所示,残膜受力情况为

$$\begin{cases} F_L = G_1 \sin\Omega \\ f_z = G_1 \cos\Omega \end{cases} \quad (5)$$

式中  $F_L$ ——残膜所受拉力, N  
 $G_1$ ——单个苗行处相邻捡拾钉齿捡拾残膜中所含杂质的重力, N  
 $f_z$ ——残膜所受捡拾钉齿的摩擦力, N  
 $\Omega$ ——捡拾钉齿与竖直方向夹角, ( $^\circ$ )

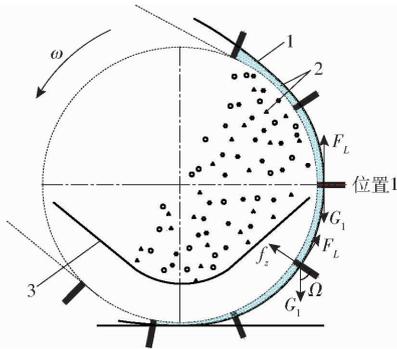


图 8 残膜受力分析

Fig. 8 Force analysis of residual film

1. 残膜 2. 杂质 3. 清杂装置

分析可知,残膜在位置 1 处所受拉力最大,此时残膜所受拉力为  $G_1$ 。忽略杂质中少量棉秆的重力,根据播种时覆土的质量计算可得单个苗行 150 mm 长度内(相邻捡拾钉齿间距为 150 mm)覆土重力  $G_1$  为 1.6 N,假设  $G_1$  只作用在 10 mm 宽度的残膜上(捡拾钉齿直径为 10 mm)。根据表 2 可知残地膜的纵向拉断力为 2.4 N,大于  $G_1$ ,因此,残膜在捡拾过程中所受的拉力小于其纵向拉断力,残膜强度满足装置的捡拾要求。

### 2.3.2 捡拾装置作业条件分析

随动式残膜捡拾滚筒作业动力来自捡拾钉齿,捡拾钉齿在运动过程中若出现打滑现象则会对残膜的回收产生重大影响。同时,捡拾滚筒支撑传动链板作业,由于实际工作状态下捡拾滚筒与土壤接触后存在土壤变形现象,因此,分析捡拾钉齿及捡拾滚筒在土壤中的受力情况尤为重要。

当拖拉机带动残膜捡拾装置前进作业时,由上述分析可知,捡拾钉齿的受力可以分成两种情况,即捡拾钉齿从进入土壤到运动至铅垂位置、从铅垂位置运动到离开土壤,且工作时每组捡拾钉齿机构同时有两个捡拾钉齿入土。如图 9a 所示,捡拾钉齿带动捡拾滚筒逆时针旋转,入土的钉齿受到土壤对其反作用力及摩擦力。

机具作业时捡拾钉齿需克服机具内部摩擦力、

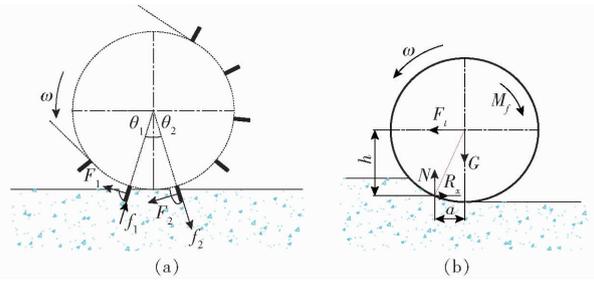


图 9 捡拾钉齿与捡拾滚筒的受力分析

Fig. 9 Force analyses of collecting nail and ground roller

带动捡拾滚筒及其他阻力矩,捡拾滚筒的受力参考刚性光滑滑轮受力情况<sup>[22-25]</sup>,如图 9b 所示。

综合图 9 可知,捡拾钉齿和捡拾滚筒滚动而不产生滑动的临界条件是

$$\begin{cases} F_i + F_1 \cos\theta_1 + F_2 \cos\theta_2 \leq R_x + f_1 \sin\theta_1 + f_2 \sin\theta_2 \\ F_i h > Ga + M_f + F_1 L_1 + F_2 L_2 \end{cases} \quad (6)$$

式中  $F_1$ 、 $F_2$ ——土壤对捡拾钉齿的反作用力, N  
 $f_1$ 、 $f_2$ ——土壤对捡拾钉齿的摩擦力, N  
 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ——捡拾钉齿与竖直方向夹角, rad  
 $F_i$ ——捡拾滚筒所受牵引力, N  
 $R_x$ ——捡拾滚筒所受土壤支撑面的水平行走阻力, N  
 $G$ ——捡拾滚筒所承受的载荷, N  
 $a$ ——地面反作用力的合力作用点与捡拾滚筒垂直中心线的距离, m  
 $h$ ——地面反作用力的合力作用点与捡拾滚筒水平中心线的距离, m  
 $M_f$ ——总阻力矩, N·m  
 $L_1$ 、 $L_2$ ——土壤对钉齿垂直向作用力力臂, m

## 3 田间试验与结果分析

### 3.1 试验条件

为检验随动式残膜捡拾装置的田间作业性能,验证其捡拾装置的可靠性,于 2018 年 5 月在新疆兵团第一师 12 团进行了田间作业性能试验,作业地块为棉花收获后的棉田,地面平整,滴灌带已经取出,试验用地面积约为 30 hm<sup>2</sup>。配套动力机具为雷沃 904 型轮式拖拉机,残膜回收机试验前经调试运行状况良好。

试验田地膜为厚度 0.01 mm 的耐候地膜,幅宽为 2 050 mm,铺设宽度为 1 900 mm,铺设时间约为 380 d,残膜的力学性能参照表 2。

### 3.2 试验方法

按照 GB/T 25412—2010《残地膜回收机》规定的试验方法进行随动式残膜回收机田间作业性能试验(图 10)。试验选取残膜回收率为试验指标,同时

考察捡拾装置的运动情况。



图10 试验机具

Fig. 10 Experimental machine

试验小区在试验地块随机选取,试验在一个膜幅上进行,测试区长度为50 m,残膜回收试验重复5次,试验结果取5次测试结果的平均值。残膜回收率 $\varepsilon$ 的计算式<sup>[26]</sup>为

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{M_1}{M_0}\right) \times 100\% \quad (7)$$

式中  $M_1$ ——收膜作业后地表剩余残膜质量,g

$M_0$ ——试验田当年地膜投入量,g

### 3.3 试验结果与讨论

随动式残膜回收机残膜回收率田间试验结果如表3所示。

表3 田间试验结果

Tab. 3 Result of field experiment

试验小区编号	残膜回收率/%
1	88.36
2	87.50
3	90.03
4	90.78
5	91.01
平均值	89.54

由试验结果可以得出,随动式残膜回收机残膜回收率为89.54%,捡拾装置能够在起膜装置的辅助作用下将残地膜捡拾起来,运送到脱膜装置进行脱膜,并在此过程中膜面翻转、杂质掉落进行清杂,残膜捡拾率达到国家和行业标准要求,残膜机工作正常,运行状况良好、性能参数稳定,作业前后对比及地膜捡拾效果如图11所示。

试验过程中发现,残膜回收率随机组前进速度的增加有减小的趋势,当机组作业速度保持在4.0~4.4 km/h范围时,残膜回收率和工作效率能够保持较好的平衡。当机组前进速度过高时,捡拾钉齿与土壤接触时间缩短,不能形成稳定的刺孔而产生滑移,因此发生滑移位置的残膜无法及时捡拾而撕裂,进而留在土壤中造成残膜漏收,影响机组工作的连续性;同时机组前进速度过高时,残膜从起膜到脱膜过程时间过短,杂余没有足够的时间掉落使得膜杂分离不彻底。残膜回收过程表明,由于试验地块采用了厚度、



(a) 作业前

(b) 作业效果



(c) 收膜效果

图11 田间试验

Fig. 11 Field experiment

强度较大的耐候地膜,保持了收获后地膜的完整性,使得在脱膜过程中完整的地膜可以在脱膜装置的支撑下从捡拾钉齿上顺利剥离。

此次春季试验存在的不足之处是地膜经过一个冬天,由于铺设时间过长,其完整性和力学性能与秋季试验相比会有所下降;作业条件与秋天存在较大差距,膜面上存在一些倒伏的棉花秸秆,对机组作业效果和残膜回收率造成了一些影响;同时试验地块宽窄苗行处地表粗糙度较大,其表面的部分残膜由于起膜齿未压入凹陷处地表下,从而出现凹陷处地膜与已收起地膜撕裂,造成残膜漏收的情况,该现象从另一方面证明只要起膜齿托起地膜,捡拾装置可以将地膜挑起完成上膜。

## 4 结论

(1)对随动式残膜捡拾装置进行了设计,通过对捡拾钉齿和捡拾滚筒的理论计算及运动轨迹分析,确定了捡拾滚筒半径、捡拾钉齿的结构尺寸和排列形式;对链板间距进行了单因素试验,分析试验结果获得了最佳链板间距。

(2)对耐候残膜的力学特性进行了测试和分析,得到了横、纵向拉伸载荷等关键参数,对捡拾过程中地膜的受力情况进行了计算,结果表明捡拾过程中残地膜的受力小于其纵向拉断力。

(3)田间试验表明,当机具前进速度保持在4.0~4.4 km/h范围时,随动式残膜回收机的残膜回收率为89.54%,说明残膜回收机捡拾装置满足设计和使用要求。

## 参 考 文 献

- 1 温浩军,牛琪,纪超. 地膜机械化技术现状及分析[J]. 中国农业大学学报,2017,22(3):145-153.  
WEN Haojun, NIU Qi, JI Chao. Current status of and analysis on the mechanical technology of plastic film[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(3):145-153. (in Chinese)
- 2 王志超,李仙岳,史海滨,等. 含残膜土壤水分特征曲线模型构建[J]. 农业工程学报,2016,32(14):103-109.  
WANG Zhichao, LI Xianyue, SHI Haibin, et al. Water characteristic curve model for soil with residual plastic film[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(14):103-109. (in Chinese)
- 3 赵岩,陈学庚,温浩军,等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):1-14. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170601&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170601&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.001.  
ZHAO Yan, CHEN Xuegeng, WEN Haojun, et al. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6):1-14. (in Chinese)
- 4 董合干,刘彤,李勇冠,等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(8):91-99.  
DONG Hegan, LIU Tong, LI Yongguan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8):91-99. (in Chinese)
- 5 解红娥,李永山,杨淑巧,等. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(增刊1):153-156.  
XIE Honge, LI Yongshan, YANG Shuqiao, et al. Influence of residual plastic film on soil structure, crop growth and development in fields[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007,26(Supp.1):153-156. (in Chinese)
- 6 王志超,李仙岳,史海滨,等. 农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(5):101-106,140. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150515&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150515&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.015.  
WANG Zhichao, LI Xianyue, SHI Haibin, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5):101-106,140. (in Chinese)
- 7 牛文全,邹小阳,刘晶晶,等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. 农业工程学报,2016,32(14):110-119.  
NIU Wenquan, ZOU Xiaoyang, LIU Jingjing, et al. Effects of residual plastic film mixed in soil on water infiltration, evaporation and its uncertainty analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(14):110-119. (in Chinese)
- 8 WANG Lin, LI Xiaogang, LÜ Jieting, et al. Continuous plastic-film mulching increases soil aggregation but decreases soil pH in semiarid areas of China[J]. Soil & Tillage Research,2017,167:46-53.
- 9 SINTIM H Y, FLURY M. Is biodegradable plastic mulch the solution to agriculture's plastic problem? [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(3):1068-1069.
- 10 牛琪,陈学庚. 地膜应用与残膜回收技术的研究现状[J]. 农机科技推广,2014(11):38-40.
- 11 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)
- 12 王坤,谢建华,曹晓冉,等. 浅谈国内外地膜应用及残膜回收机的研究现状[J]. 新疆农机化,2016(3):22-25.  
WANG Kun, XIE Jianhua, CAO Xiaoran, et al. Research status of applying plastic and polythene film collector at domestic and overseas[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization,2016(3):22-25. (in Chinese)
- 13 GB 13735—2017 聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜[S]. 2017.
- 14 段文献,王吉奎,李阳,等. 夹指链式残膜回收装置的设计及试验[J]. 农业工程学报,2016,32(19):35-42.  
DUAN Wenxian, WANG Jikui, LI Yang, et al. Design and test of clamping finger-chain type device for recycling agricultural plastic film[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(19):35-42. (in Chinese)
- 15 谢建华,侯书林,付宇,等. 残膜回收机弹齿式拾膜机构运动分析与试验[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):94-99. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2013s118&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s118&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.018.  
XIE Jianhua, HOU Shulin, FU Yu, et al. Motion analysis and experiment on spring-tooth mulching plastic film collector[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.1):94-99. (in Chinese)
- 16 赵岩,郑炫,陈学庚,等. CMJY-1500型农田残膜捡拾打包联合作业机设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(5):1-9.  
ZHAO Yan, ZHENG Xuan, CHEN Xuegeng, et al. Design and test of CMJY-1500 type plastic film residue collecting and balling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(5):1-9. (in Chinese)
- 17 GB/T 1040.3—2006 塑料 拉伸特性的测定[S]. 2006.
- 18 丁亮,高海波,邓宗全,等. 月球车轮刺效应的理论分析与实验研究[J]. 宇航学报,2009,30(4):1351-1358.  
DING Liang, GAO Haibo, DENG Zongquan, et al. Theoretical analysis and experimental research on wheel lug effect of lunar rover[J]. Journal of Astronautics, 2009, 30(4):1351-1358. (in Chinese)

//www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\_abstract.aspx?flag=1&file\_no=20170716&journal\_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.016.

ZHENG Yuan, CHEN Yujie, ZHANG Rui, et al. Analysis on unsteady stall flow characteristics of axial-flow pump [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7):127-135. (in Chinese)

- 12 ZHANG Desheng, SHI Weidong, CHEN Bin, et al. Unsteady flow analysis and experimental investigation of axial-flow pump [J]. Journal of Hydrodynamics, 2010, 22(1):35-43.
- 13 RAINS D A. Tip clearance flows in axial compressors and pumps [D]. Pasadena: California Institute of Technology, 1954.
- 14 张德胜, 石磊, 陈健, 等. 轴流泵叶轮叶顶区空化特性试验分析 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(8):1585-1592. ZHANG Desheng, SHI Lei, CHEN Jian, et al. Experimental analysis on characteristic of cavitation in tip region of axial flow pump impeller [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 50(8):1585-1592. (in Chinese)
- 15 张德胜, 吴苏青, 施卫东, 等. 轴流泵小流量工况条件下叶顶泄漏空化特性 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(22):68-75. ZHANG Desheng, WU Suqing, SHI Weidong, et al. Characteristics of tip leakage vortex cavitation in axial flow pump at small flow rate condition [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(22):68-75. (in Chinese)
- 16 李琪飞, 谭海燕, 李仁年, 等. 异常低水头对水泵水轮机压力脉动的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(2):99-104. LI Qifei, TAN Haiyan, LI Rennian, et al. Influence of abnormally low head on pressure fluctuation of pump turbine [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2016, 34(2):99-104. (in Chinese)
- 17 蒋玲林, 刘厚林, 王凯, 等. 径向导叶出口型式对洒水车泵压力脉动的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(4):289-293. JIANG Linglin, LIU Houlin, WANG Kai, et al. Effects of radial diffuser outlet pattern on pulsation of sprayer pump [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2016, 34(4):289-293. (in Chinese)
- 18 郑源, 陈宇杰, 毛秀丽, 等. 混流泵压力脉动特性及其对流动诱导噪声的影响 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(23):67-73. ZHENG Yuan, CHEN Yujie, MAO Xiuli, et al. Pressure pulsation characteristics and its impact on flow-induced noise in mixed-flow pump [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(23):67-73. (in Chinese)
- 19 戴辰辰, 郭鹏程, 罗兴铤. 轴流泵端壁间隙流动特性的数值分析 [J]. 流体机械, 2009, 37(6):32-35. DAI Chenchen, GUO Pengcheng, LUO Xingqi. Numerical analysis of tip clearance flow characteristic in axial flow pump [J]. Fluid Machinery, 2009, 37(6):32-35. (in Chinese)
- 20 梁开洪, 张克危, 许丽. 轴流泵叶顶间隙流动的计算流体动力分析 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(9):36-38. LIANG Kaihong, ZHANG Kewei, XU Li. Analysis of the flow through the blade tip clearances of axial pump by CFD [J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2004, 32(9):36-38. (in Chinese)

(上接第 115 页)

- 19 曾德超. 机械土壤动力学 [M]. 北京:北京科学技术出版社, 1995:414-433.
- 20 阿德里安·班纳. 普林斯顿微积分读本 [M]. 杨爽, 赵晓婷, 高璞, 译. 北京:人民邮电出版社, 2016.
- 21 陈杰. MATLAB 宝典 [M]. 北京:电子工业出版社, 2011.
- 22 戴飞, 赵武云, 孙伟, 等. 马铃薯收获与气力辅助残膜回收联合作业机设计与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(1):64-72. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\_abstract.aspx?flag=1&file\_no=20170109&journal\_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009. DAI Fei, ZHAO Wuyun, SUN Wei, et al. Design and experiment of combined operation machine for potato harvesting and plastic film pneumatic auxiliary collecting [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1):64-72. (in Chinese)
- 23 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:中国农业科学技术出版社, 2007.
- 24 李宝筏. 农业机械学 [M]. 北京:中国农业出版社, 1999.
- 25 高玉璐. 免耕播种机地轮滑移现象的研究 [D]. 北京:中国农业大学, 2002.
- 26 王旭峰, 胡灿, 鲁兵, 等. 抛膜链齿输送式残膜回收机设计与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(3):122-129. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\_abstract.aspx?flag=1&file\_no=20180314&journal\_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.014. WANG Xufeng, HU Can, LU Bing, et al. Design and experiment of sprocket conveying residual film recycling machine of casting film [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3):122-129. (in Chinese)