

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.014

# 抛膜链齿输送式残膜回收机设计与试验

王旭峰<sup>1,2</sup> 胡 灿<sup>2</sup> 鲁 兵<sup>1</sup> 弋晓康<sup>2</sup> 侯书林<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 塔里木大学机械电气化工程学院, 阿拉尔 843300)

**摘要:** 新疆棉田残膜污染问题严重,机械回收残膜是目前主要的回收方式。现有残膜回收机普遍采用弹齿或伸缩杆齿式起膜装置,回收过程中容易出现残膜缠绕工作部件、卸膜难等问题,影响起膜和卸膜效果。为此,借鉴现有机型的优点,通过刨膜辊刀起膜、抛膜辊刀抛送原理,设计一种起膜抛送、链齿输送、自动脱膜的抛膜链齿输送式残膜回收机。该机具主要由起膜装置、输送装置、脱膜装置、传动系统和集膜箱等组成。残膜通过抛送起膜,配合链齿输送,实现残膜与土块分离,保证了起膜的可靠性;利用自动脱膜和刮板式脱膜机构完成卸膜,解决了残膜缠绕、卸膜难的问题。田间试验结果表明:当作业速度为4~7 km/h时,残膜回收率均值为90.6%,机具作业效率均值为0.84 hm<sup>2</sup>/h,残膜含杂率均值为3.971%,当作业速度较快时,提高了作业效率,但回收率降低,含杂率增大。当作业速度为5 km/h时,回收率均值为91.8%,作业效率均值为0.733 hm<sup>2</sup>/h,含杂率均值为2.605%,为较适宜的作业速度。该机具运行可靠,起膜与脱膜效果较好,可用于新疆棉田残膜回收。

**关键词:** 棉田; 残膜回收; 抛膜链齿输送式; 田间试验

中图分类号: S223.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)03-0122-08

## Design and Experiment of Sprocket Conveying Residual Film Recycling Machine of Casting Film

WANG Xufeng<sup>1,2</sup> HU Can<sup>2</sup> LU Bing<sup>1</sup> YI Xiaokang<sup>2</sup> HOU Shulin<sup>1,2</sup>

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

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Tarim University, Alar 843300, China)

**Abstract:** The problem of residual film pollution is serious in the cotton fields of Xinjiang, and the mechanical recycling of residual film is the main recycling method. In the existing residual film recycling machines, spring tine or telescopic rod tine film producing device are commonly used, thus the phenomenon that residual film winds work piece is prone to occur, affecting the effect of film producing and removal. In view of the above problems, a sprocket conveying residual film recycling machine of casting film with film producing throwing, sprocket conveying and automatic film stripping was designed according to the advantages of the existing models based on the principles of planer cylinder knife film producing and casting film cylinder knife throwing. The machine was mainly composed of film-producing device, conveying device, film stripping device, transmission system and film collecting box. The residual film by throwing up film with chain gear conveying realized the separation of residual film and film clod, ensured the reliability of automatic stripping, and the scraper stripping mechanism to complete unloading film, plastic film, solved the difficult problem of removing film winding. The results of the field experiment showed that when the operating speed was 4~7 km/h, the average value of the recycling rate of residual film was 90.6%, the average value of working efficiency of the machine was 0.84 hm<sup>2</sup>/h, and the average value of impurity rate of residual film was 3.971%. When the operating speed was fast, the working efficiency was improved, but the recycling rate was reduced, and the impurity rate was increased. When the operating speed was 5 km/h, the average value of the recycling rate was 91.8%,

收稿日期: 2017-08-02 修回日期: 2017-09-19

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2017YFD0701102-1)、国家自然科学基金项目(11562019)、国家星火计划项目(2015GA891005)和塔里木大学校长基金群体创新项目(TDZKCX201501)

**作者简介:** 王旭峰(1974—),男,博士生,塔里木大学教授,主要从事现代农业机械装备设计研究,E-mail: wxfwyq@126.com

**通信作者:** 侯书林(1959—),男,教授,博士生导师,主要从事现代农业机械装备设计研究,E-mail: slhou@cau.edu.cn

the working efficiency was 0.733 hm<sup>2</sup>/h, and the average value of impurity rate was 2.605%, so it was more suitable operation speed. The machine was operated well, which had good effects of film producing and stripping, and it can be used for the recycling of residual film in the cotton fields of Xinjiang, it can also provide design reference for residual film recycling machine.

**Key words:** cotton fields; residual film recycling; sprocket conveying type; field experiment

## 0 引言

新疆是我国主要的优质棉生产区,2016年,棉花种植总面积185余万hm<sup>2</sup>,其中地膜覆盖总面积150万hm<sup>2</sup>,年地膜使用总量达5.6万t。由于长期覆膜种植,造成农田残膜污染问题日益突显,影响农田耕作、农业可持续发展<sup>[1-3]</sup>。残膜污染的综合治理目前主要有生物降解膜技术和残膜机械回收技术两类方案。生物降解膜技术仍处于研究阶段<sup>[4-5]</sup>,覆膜周期与膜下温度等问题难以解决;机械收膜技术成为目前主要应用技术<sup>[6]</sup>。

国外主要采用厚膜覆盖,地膜的力学性能较好,便于回收利用。我国主要采用厚度为0.006~0.010mm的农用地膜,2015年起,规定新疆地区统一使用厚度大于0.010mm的地膜。新疆农田残膜回收主要以机械式收膜为主,侯书林等<sup>[7]</sup>研究了弹齿式残膜回收机,通过田间试验,地表面当年膜的残膜回收率在72%~82%之间。新疆农科院农机化所研制了4JSM-1800型棉秆还田及残膜回收联合作业机,该机械由茎秆粉碎装置和地膜回收装置两部分组成,能一次完成茎秆粉碎还田和地膜回收两项作业,地表残膜回收率达到85%。王学农等<sup>[8]</sup>结合棉秆粉碎与残膜回收特性,基于搂膜机原理,设计了一种悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机。现有的残膜回收机主要有伸缩杆齿式、弹齿式、搂耙式等机型,使用较普遍的残膜回收作业机主要是搂耙式和拔杆起膜式,搂耙式残膜回收机虽然作业效率较高,但残膜回收率较低,为70%左右,回收残膜含杂率较高,难以再利用加工<sup>[9-11]</sup>。拔杆起膜式残膜回收机结构简单,使用可靠,但只能起膜,功能单一,需要人工配合捡拾。传统的弹齿式起膜装置主要依靠弹齿扎膜的方式回收地表残膜,此方式结构简单,可靠性较好,但起膜效果欠佳,弹齿间容易漏膜,降低了残膜回收率,且卸膜较为困难,作业部件易缠绕,回收后残膜破碎程度大,回收后残膜含杂率较高,残膜的资源化利用率较低。在弹齿起膜的基础上,增加动力部件辅助起膜,能增加起膜效果,增大残膜回收率。

根据新疆农田残膜回收现状,综合前期弹齿式残膜回收机的机型特点<sup>[12]</sup>,对起膜装置、卸膜装置进行技术改进,提出一种入土刨膜再抛膜输送的新

型起膜方式,设计一种具有整膜回收功能且带自卸膜装置的残膜回收机。

## 1 整体结构与工作原理

残膜机械回收技术主要难点在于起膜与卸膜。起膜能确保残膜回收率的提高,良好的卸膜能解决残膜缠绕、机具可靠性低等问题。另外,新疆棉田均采取平作栽培模式,种行间的边膜在耕作后入土较深,再经采棉机、拖拉机等大型机具碾压后地膜破损较大,回收困难。为了解决上述问题,在综合弹齿起膜的基础上,设计一种可实现起膜抛送、链齿输送、自动卸膜的抛膜链齿输送式残膜回收机。

链齿输送式残膜回收机如图1所示,主要由起膜装置、输送装置、脱膜装置、传动系统和集膜箱等部分组成。机具动力由拖拉机后悬挂带动,通过三点悬挂装置与拖拉机牵引装置相连,动力输入轴与拖拉机的动力输出轴相连,带动刨膜辊刀旋转,残膜输送装置和自动卸膜装置动力采用链条传送方式。工作时,刨膜辊刀旋转,将一定深度的耕层土壤和残膜刨起并抛出,在惯性力的作用下残膜和土壤被抛向残膜输送装置;残膜输送装置分为两级输送辊和链齿输送装置,通过两级输送辊提高残膜与土壤向后抛射的射程和进一步破碎土块,再通过链齿输送装置实现残膜与土壤的分离和残膜向后输送,在向后输送残膜的过程中,通过链齿输送装置下方2或3排钉齿与地面接触实现对起膜作业后区域进行二次挑膜回收作业;较大块残膜在自动脱膜片的作用下进入集膜箱;小部分碎膜在刮板式脱膜机构的作用下进入集膜箱。

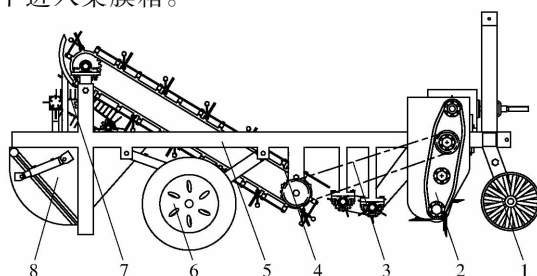


图1 抛膜链齿输送式残膜回收机结构示意图

Fig.1 Sketch map of design of cast film conveyor

1. 限深轮 2. 起膜装置 3. 传动系统 4. 残膜输送装置 5. 机架
6. 行走轮 7. 脱膜装置 8. 集膜箱

## 2 关键部件设计

### 2.1 起膜装置

起膜装置主要由刨膜辊刀与抛膜辊刀组成,通过二者之间的相互配合,实现地表残膜与土壤的分离与抛膜,完成残膜的起膜过程。

#### 2.1.1 刨膜辊刀

刨膜辊刀是起膜装置的核心工作部件,主要用于实现地表残膜及土壤的分离、刨出浅耕层土壤中残膜以及将残膜和土壤抛向残膜输送装置,其主要由刨膜辊刀轴、刨膜刀片以及连接螺栓组成。为实现棉田秋收后刨膜回收作业,设计了一种分段错开式刨膜辊刀,如图2a所示。刨膜辊刀在轴向方向预留出棉茬空隙,轴向相邻两组刨膜刀片采用错开均匀布置,按照棉花种植模式,中间空隙为100 mm,刨膜刀片宽度分别采用100 mm和660 mm,使边膜与中间膜均能有效起膜,其作业过程中与棉茬的相互位置关系如图2b所示。

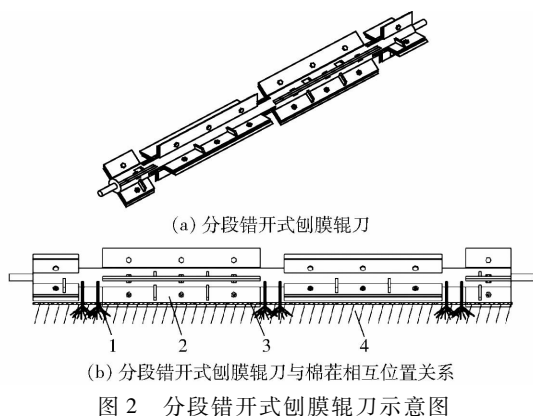


Fig. 2 Schematic diagrams of sectional stagger film shaping roller

1. 棉茬 2. 分段错开式刨膜辊刀 3. 地表覆膜 4. 土壤

#### 2.1.2 抛膜辊刀

抛膜辊刀主要作用是增加刨膜后残膜回收抛送射程。当刨膜辊刀进行刨膜作业时,一些较大的土块在惯性的作用下不能由刨膜辊刀抛向残膜输送装置,需要借助抛膜辊刀进行二次抛送才能将全部土块和残膜抛送到输送装置。抛膜辊刀轴上均匀布置有抛膜刀片,具体结构如图3所示。设计抛膜辊刀幅宽为2 000 mm,辊刀刀片高度为100 mm。工作过程中,抛膜辊刀高速旋转,抛膜叶片将残膜和土壤抛向后方的输送装置。

### 2.2 刨膜抛送式起膜运动过程分析

#### 2.2.1 刨膜运动过程分析

分段错开式刨膜辊刀运动轨迹如图4所示。在进行刨膜作业时,刨膜辊刀随着拖拉机前进的同时,自身进行旋转刨膜作业,因此刨膜辊刀做向前直线

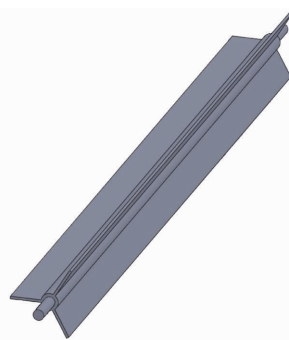


图3 抛膜辊刀刀片

Fig. 3 Sketch of throwing film roller

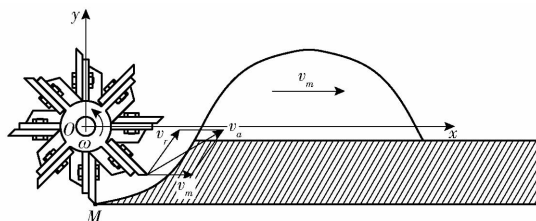


图4 刨膜刀片运动轨迹

Fig. 4 Motion trajectory of plane film blade

运动和回转运动。分段错开式刨膜辊刀所做的绝对运动为上述两运动的合成<sup>[13]</sup>:刨膜刀片随机具前行做直线牵连运动,刨膜辊刀刀片自身的旋转运动为相对运动<sup>[14-15]</sup>,根据矢量合成原理,刨膜刀片的绝对速度为

$$\mathbf{v}_a = \mathbf{v}_r + \mathbf{v}_m \quad (1)$$

式中  $\mathbf{v}_a$ ——刨膜辊刀的绝对速度, m/s

$\mathbf{v}_r$ ——刨膜辊刀的旋转切线速度, m/s

$\mathbf{v}_m$ ——机具的前进速度, m/s

若机具前进速度  $v_m$ 、刨膜辊刀的旋转角速度  $\omega$ 、刨膜辊刀的半径  $R$  给定,则可根据运动学基本原理计算出刨膜辊刀刀片各时刻各点的轨迹路线。规定刨膜辊刀轴的轴心为坐标原点  $O$ ,机具前进方向为  $x$  轴正向,过坐标圆心  $O$  且竖直向上为  $y$  轴正向,刨膜辊刀最下刨膜刀片末端点为  $M$ ,则  $M$  点各时刻的轨迹如图4所示。

任意时刻刨膜辊刀  $M$  点的轨迹可由参数方程表示为

$$x = v_m t + R \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$y = -R \cos(\omega t) \quad (3)$$

联立式(2)和式(3)可得

$$x = v_m \frac{\arccos\left(-\frac{y}{R}\right)}{\omega} + \sqrt{R^2 - y^2} \quad (4)$$

由式(4)可知,刨膜辊刀的轨迹与机具的前进速度  $v_m$ 、刨膜辊刀的半径  $R$  以及刨膜辊刀转动的角速度  $\omega$  有关。若规定刨膜辊刀的旋转切线速度  $v_r$  与机具前进速度  $v_m$  的比值为刨膜速比  $\lambda$ <sup>[15]</sup>,则可

表示为

$$\lambda = \frac{v_r}{v_m} = \frac{R\omega}{v_m} \quad (5)$$

联立式(4)、(5)可得

$$x = \frac{R}{\lambda} \arccos\left(-\frac{y}{R}\right) + \sqrt{R^2 - y^2} \quad (6)$$

由式(6)可以明显看出, 刨膜辊刀的轨迹为摆线, 刨膜速比  $\lambda$  直接影响刨膜辊刀的轨迹特征, 当  $\lambda$  处于  $\lambda < 1$ 、 $\lambda = 1$ 、 $\lambda > 1$  不同情况时, 其刨膜刀片轨迹有如图 5 所示的 3 种基本特征。

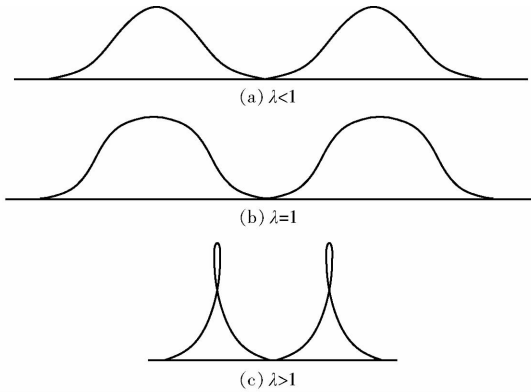


图 5 不同特征的刨膜辊刀轨迹

Fig. 5 Tracks of film roller with different characteristics

由图 5 可知, 当  $\lambda < 1$  时, 刨膜辊刀任何时刻的绝对速度在水平方向的分速度均与机具前进方向相同, 刨膜刀片做无扣摆线运动, 残膜和土壤不能向后刨送。此时, 刨膜刀片旋转对土壤、残膜的作用小于机具受牵引作用, 刨膜刀片刨膜作业质量差。

当  $\lambda = 1$  时, 刨膜辊刀的碎土效果差, 不能较好地实现残膜与土壤分离。当  $\lambda > 1$  时, 刨膜辊刀刀片转向辊刀的最高部位时, 刨膜刀片绝对速度在水平方向分量与机具前进方向相反。此时, 刨膜刀片运动有助于实现残膜与土壤的分离, 并将部分残膜和土壤向后抛送, 可以完成起膜, 但当  $\lambda > 5$  时, 刨膜刀片摆线运动轨迹变大, 使抛膜位置过高, 不利于残膜回收。因此, 设计刨膜速比为  $1 < \lambda < 5$ 。

### 2.2.2 刨膜辊刀和抛膜辊刀起膜运动过程分析

刨膜辊刀和抛膜辊刀相对安装位置如图 6 所示。

设刨膜辊刀最前端刃口部位残膜及土壤的绝对速度为  $v_r$ , 其方向为垂直于刀片倾斜向上, 则其在水平方向和竖直方向的速度分量分别为

$$v_H = v_r \cos\theta_4 \quad (7)$$

$$v_V = v_r \sin\theta_4 \quad (8)$$

其中

$$\sin\theta_4 = \frac{\sqrt{2RH - H^2}}{R} \quad (9)$$

$$\cos\theta_4 = \frac{R - H}{R} \quad (10)$$

$$v_r = R\omega \quad (11)$$

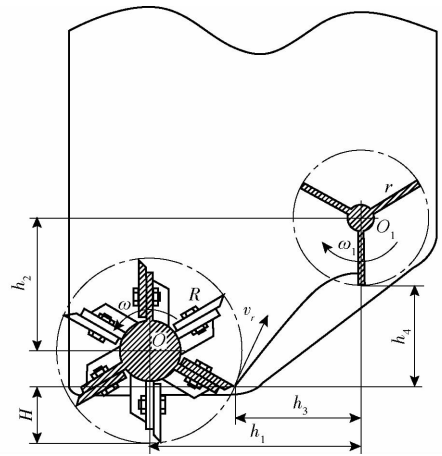


图 6 抛膜辊刀与刨膜辊刀相对位置关系

Fig. 6 Relative position relationship of film polishing roller and shaping roll

式中  $v_H$ ——土壤和残膜的绝对速度在水平方向的分量, m/s

$v_V$ ——土壤和残膜的绝对速度在竖直方向的分量, m/s

$\theta_4$ ——土壤和残膜的绝对速度与水平方向的夹角, rad

$H$ ——刨膜辊刀的作业深度, mm

联立公式(7)~(11)可得

$$v_H = R\omega \frac{R - H}{R} = R\omega - H\omega \quad (12)$$

$$v_V = R\omega \frac{\sqrt{2RH - H^2}}{R} = \omega \sqrt{2RH - H^2} \quad (13)$$

土壤和残膜在竖直方向做匀减速运动, 直到竖直方向的速度为零, 土壤和残膜斜上抛达到最高点。土壤和残膜斜上抛达到最高点经历的时间  $t_1$  为

$$t_1 = \frac{v_V}{g} = \frac{\omega \sqrt{2RH - H^2}}{g} \quad (14)$$

土壤和残膜斜上抛达到最高点时, 其在水平方向和竖直方向的最大位移分别为

$$S_{H_{\max}} = v_H t_1 = \frac{\omega^2 (R - H) \sqrt{2RH - H^2}}{g} \quad (15)$$

$$S_{V_{\max}} = \frac{1}{2} g t_1^2 = \frac{\omega^2 (2RH - H^2)}{2g} \quad (16)$$

由分析可知, 当满足  $h_3 = S_{H_{\max}}$ ,  $h_4 = 2R - H$ ,  $S_{V_{\max}} - h_4 \leq r \leq S_{H_{\max}}$  时, 抛膜辊刀能够完成残膜和土壤的二次抛送任务, 抛膜辊刀对应满足的条件有

$$\begin{cases} h_1 = \frac{\omega^2 (R - H) \sqrt{2RH - H^2}}{g} + \sqrt{2RH - H^2} \\ h_4 = 2R - H \\ \frac{\omega^2 (2RH - H^2)}{2g} - h_4 \leq r \leq \frac{\omega^2 (R - H) \sqrt{2RH - H^2}}{g} \\ h_2 = h_4 + r - R + H \end{cases}$$

式中  $h_1$ ——刨膜辊刀与抛膜辊刀旋转轴中心水平方向距离

$h_2$ ——刨膜辊刀与抛膜辊刀旋转轴中心垂直方向距离

$h_3$ ——刨膜辊刀旋转外圆与抛膜辊刀旋转轴中心水平方向距离

$h_4$ ——刨膜辊刀旋转外圆与抛膜辊刀旋转轴中心垂直方向距离

由于刨膜辊刀相邻两组刨膜刀片采取三叶刀片错开均匀布置,并且抛膜辊刀也采取三叶抛膜片设计,为了避免抛膜辊刀出现抛膜作业滞后,还应满足  $\omega_1 \geq 2\omega$ ,即抛膜辊刀的作业角速度应达到刨膜辊刀作业角速度 2 倍以上,此时可完成对残膜的二次抛送。

### 2.3 残膜输送装置

输送装置主要用于将刨膜辊刀和抛膜辊刀抛送过来的残膜、土块和少部分残茬向后输送,在输送的过程中完成残膜与土块、残茬的分离,最终将含杂较少的残膜输送到集膜箱上方,实现残膜输送。由于刨膜辊刀作业转速较小,抛射力度有限,因此增加叶片式传送辊组提高残膜与土壤的抛射速度和高度,再利用链齿式输送装置完成残膜与杂质的分离并将除杂后的残膜向集膜箱上方输送,主要由叶片式传送辊和链齿式输送装置组成,如图 7 所示。

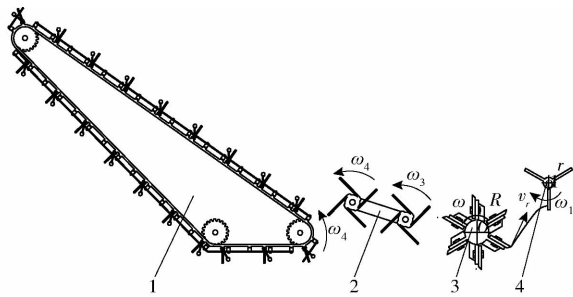


图 7 残膜输送装置结构简图

Fig. 7 Sketch of residual film conveying device

1. 链齿式输送机构 2. 叶片式传送辊组 3. 刨膜辊刀 4. 抛膜辊刀

叶片式传送辊是把扁钢叶片焊接在传送辊轴上,并且各叶片保持与传送辊轴圆周表面相切,作业时,刨膜辊刀刨射出的土块和残膜落在最下端的传送辊叶片上,高速旋转的传送辊将残膜和土壤向后抛射。其中一部分残膜和土壤直接被抛射到链齿式输送装置,另一部分残膜和土壤被抛送到下一级传送辊,在第二级传送辊的进一步抛射作用下被抛射到链齿式输送装置。在传送辊组进行残膜和土壤输送时,传送辊组的叶片对土壤的撞击抛射有助于土块进一步破碎,实现残膜与土壤的分离。本文主要针对当年表层残膜回收。新疆棉田主要采取

$(660 + 100) \times 100$  mm 覆膜播种模式,当年表层残膜主要为片状整膜,结合农艺特点,基于前期研究基础<sup>[16-18]</sup>,设计链齿排列间距为 120 mm,链齿长度为 80 mm,以便于残膜输送与卸膜。

### 2.4 脱膜装置

脱膜装置作用是将集膜箱上方链齿式输送装置上残膜分离出来,分离出的残膜在自身重力及惯性作用下进入集膜箱。挑膜回收和链齿式输送装置输送残膜过程中,少量残膜被挑膜钉齿刺穿或由于挑膜齿上泥土对残膜有较大粘附作用导致残膜在集膜箱上方不能在自身重力作用下进入集膜箱。为了更加可靠地实现残膜与链齿式输送装置分离,设计了两道脱膜工序依次进行脱膜作业,两道脱膜工序分别由链齿式输送装置自带的自动脱膜机构和刮板式脱膜机构完成,具体结构如图 8 所示。

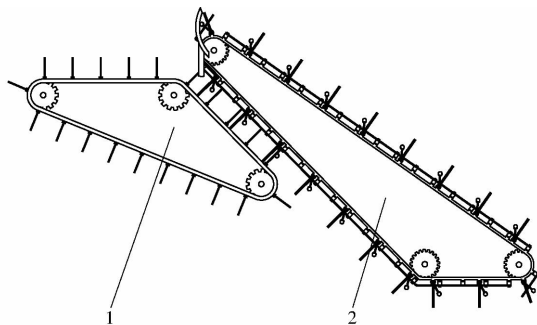


图 8 脱膜装置结构简图

Fig. 8 Sketch of film stripping device

1. 刮板式脱膜机构 2. 自动脱膜机构

#### 2.4.1 自动脱膜机构

自动脱膜机构是在链齿式输送装置的基础上,在集膜箱上方的链轮轴处通过圆弧挡臂挡块触发钉齿连接圆管挡臂,实现挑膜钉齿和自动脱膜片的相对运动,最终实现自动脱膜片从挑膜钉齿(图 9 中挑膜钉齿 8)根部将残膜刮刷。自动脱膜片采用柔性耐磨材料,呈长方形片状,安装于钉齿根部,长度设计为 100 mm,确保将钉齿根部残膜卸下。整个机构由挑膜钉齿、自动脱膜片、圆弧挡臂挡块、链轮轴、自动脱膜片连接矩形管、钉齿连接圆管、钉齿连接圆管挡臂、输送链条等组成,具体结构如图 9 所示。

#### 2.4.2 刮板式脱膜机构

挑膜钉齿上约 70% 的残膜在自动脱膜机构作用下,可实现残膜与挑膜钉齿的分离。仍有一小部分残膜未能实现与挑膜钉齿的分离,为了提高卸膜效果,在自动脱膜机构的后下方设计刮板式脱膜机构,进行重复再脱膜作业。刮板式脱膜机构主要由链轮轴、工业输送链条 II、刮板组成,具体结构如图 10 所示。刮板采用柔性耐磨材料,呈长方形片状,设计长度为 2 000 mm,宽度为 100 mm。刮板式

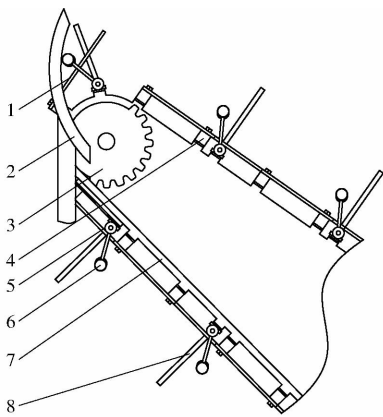


图9 自动脱膜机构结构简图

Fig. 9 Schematic diagram of automatic film stripping mechanism

1. 自动脱膜片 2. 圆弧挡臂挡块 3. 链轮轴 4. 自动脱膜片连接矩形管 5. 钉齿连接圆管 6. 钉齿连接圆管挡臂 7. 工业输送链条 8. 挑膜钉齿

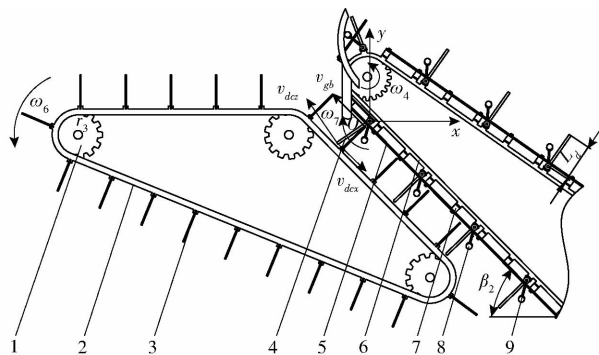


图10 刮板式脱膜机构结构简图

Fig. 10 Sketch of scraper type film stripping mechanism

1. 链轮轴 2. 工业输送链条II 3. 刮板 4. 挑膜钉齿 5. 自动脱膜片 6. 工业输送链条I 7. 自动脱膜片联接矩形管 8. 钉齿连接圆管挡臂 9. 钉齿连接圆管

脱膜机构作业时,工业输送链条II带动刮板通过相对运动实现对挑膜钉齿的刮刷脱膜作业;在刮板对挑膜钉齿进行刮刷作业的同时,刮板触动挑膜钉齿绕挑膜钉齿连接圆管中心进行转动,使挑膜钉齿和自动脱膜片产生相对位移,达到自动脱膜效果。为了更加可靠地保证刮板式脱膜机构进行脱膜作业,设计每根挑膜钉齿要通过3或4块刮板进行重复刮膜作业和自动脱膜作业。

### 3 田间试验

#### 3.1 试验材料

试验地点为新疆阿拉尔市六团农业推广站东1号试验地,该地块连续覆膜种植棉花10a以上,具有较强的试验代表性。试验时间为2017年4月1日,春耕前,利用棉花秸秆粉碎机对田间棉秆进行粉碎还田。试验用田间地膜厚度大于0.010mm、耐候期大于180d,产品的其它指标符合国家标准

GB/T 1.1—2009规定的聚乙烯吹塑农田地面覆盖地膜,地膜于2016年春播时使用,经田间耕作风化影响时间为1a。试验选用纽荷兰SNH950B型轮式拖拉机作为动力单元。试验时配置卷尺、天平、转速测量仪等记录仪器。田间试验如图11所示。



(a) 样机起膜效果

(b) 作业后田间效果

图11 田间试验

Fig. 11 Field test scenarios

#### 3.2 试验方法

采用单因素试验对样机进行测试试验,通过大量重复性试验测试样机的连续作业性能。依据国家标准GB/T 25412—2010《残地膜回收机》,并结合实际情况确定试验指标,主要测试样机残膜回收率、机具作业效率和残膜含杂率<sup>[19-21]</sup>。根据设计要求,样机测试时,调整限深轮,使刨膜辊刀入土深度为5mm,设定拖拉机输出轴转速为720r/min,利用测速仪测定拖拉机速度,选取4、5、6、7km/h的作业速度测试出样机的残膜回收率、机具作业效率和残膜含杂率等作业指标,试验得出样机较适宜的作业速度。

##### (1) 残膜回收率

残膜回收率计算式为

$$\delta = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\% \quad (17)$$

式中  $\delta$ ——残膜回收率,%

$M_0$ ——试验田2016年地膜投入量,g

$M_1$ ——收膜作业后地表剩余残膜质量,g

##### (2) 机具作业效率

作业效率是衡量残膜回收机在单位时间内作业面积的重要指标。作业效率 $\eta$ 为

$$\eta = \frac{S}{t} \quad (18)$$

式中  $\eta$ ——作业效率,  $\text{hm}^2/\text{h}$

$S$ ——残膜回收机作业面积,  $\text{hm}^2$

$t$ ——残膜回收机作业时间, h

##### (3) 残膜含杂率

残膜含杂率主要测算回收后残膜中所含棉茬质量,以衡量残膜回收的干净度。含杂率为

$$\rho = \frac{G_1}{G_2} \times 100\% \quad (19)$$

式中  $G_1$ ——回收后残膜中所含棉茬的净质量,kg



$G_2$ ——试验区所有棉茬的净质量,按新疆种植模式,棉田有效棉株数为12 000~13 000株,统计所有棉茬的净质量,取平均值,kg

### 3.3 试验结果与分析

试验结果表明,样机运行稳定,试验过程中无运行故障,可靠性较好,分别测试出样机的残膜回收率、机具作业效率和含杂率指标,如表1所示。当作业速度为4~7 km/h时,残膜回收率均值为90.6%,机具作业效率均值为0.84 hm<sup>2</sup>/h,残膜含杂率为3.971%。当作业速度为7 km/h时,回收率均值为84.55%,作业效率均值为1.067 hm<sup>2</sup>/h,含杂率均值为5.495%;当作业速度为5 km/h时,回收率均值为91.8%,作业效率均值为0.733 hm<sup>2</sup>/h,含杂率均值为2.605%,此时为较适宜的作业速度。参考对比前期传统的链齿式残膜回收机试验数据,在保证一定作业效率前提下,通过增加刨膜抛送装置,提高了8.4个百分点,降低了含杂率,增加了卸膜效果,也增强了机具的可靠性。试验结果表明,增大机具行进速度能提高机具作业效率,但回收率降低,含杂率增大。原因是,随着作业速度增加,残膜与残茬在残膜输送装置内快速通过,残膜残茬受抛送运动的离心力增加,影响了残膜和残茬的分离效果,也使残膜在残茬的作用下抛送力过大,部分残膜抛出运行轨道,难以进入集膜箱,降低了残膜回收率。当作业速度一定时,残膜和残茬所受离心力差

别增大,质量较大的残茬与残膜分离,降低了含杂率,增加了残膜回收率。

表1 样机田间测试结果

Tab.1 Prototype field test results

试验序号	作业速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	残膜回收 率/%	作业效率/ (hm <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	含杂率/ %
1	4	96.10	0.667	4.71
2	4	94.31	0.667	5.20
3	5	92.40	0.733	3.10
4	5	91.20	0.733	2.11
5	6	90.06	0.933	3.59
6	6	89.50	0.933	3.01
7	7	83.70	1.067	5.23
8	7	85.40	1.067	5.76
均值		90.60	0.84	3.971

## 4 结论

(1)采用抛膜辊刀输送抛膜的原理,设计了一种可实现起膜抛送、链齿输送、自动卸膜的抛膜链齿输送式残膜回收机,机具运行可靠,残膜回收效果较好。

(2)当作业速度为4~7 km/h时,残膜回收率均值为90.6%,机具作业效率均值为0.84 hm<sup>2</sup>/h,残膜含杂率均值为3.971%,样机运行平稳,收膜与脱膜效果好。

(3)当作业速度增大时,提高了作业效率,但回收率降低,含杂率增大,综合试验结果,作业速度5 km/h为样机较适宜的作业速度。

## 参 考 文 献

- 刘建国,李彦斌,张伟,等.绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(2):246-250.  
LIU J G, LI Y B, ZHANG W, et al. The distributing of the residue film and influence on cotton growth under continuous cropping in Oasis of Xinjiang[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(2):246-250. (in Chinese)
- LIU Enke, WANG J B, ZHANG Y Q, et al. Priming effect of <sup>13</sup>C-labelled wheat straw in no-tillage soil under drying and wetting cycles in the Loess Plateau of China[J]. Scientific Reports, 2015, 5:13826.
- 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):1-12. [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):1-12. (in Chinese)
- 马少辉,张学军.边膜残膜回收机的设计与试验[J].农业工程,2012,2(1):73-75.  
MA Shaohui, ZHANG Xuejun. Design and experiment of side of use plastic film collector machine[J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(1):73-75. (in Chinese)
- 李勇,赵武云,戴飞,等.马铃薯挖掘与残膜回收联合作业机的研制与试验[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2016,43(1):102-107.  
LI Yong, ZHAO Wuyun, DAI Fei, et al. Development and experiment of combined operation machine for potato harvesting and plastic film collecting[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2016, 43(1):102-107. (in Chinese)
- 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](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)
- 7 侯书林, 胡三媛, 孔建铭, 等. 国内残膜回收机研究的现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 186 - 190. HOU Shulin, HU Sanyuan, KONG Jianming, et al. Present situation of research on plastic film residue collector in China[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 186 - 190. (in Chinese)
- 8 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机构的设计与研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 135 - 140. WANG Xuenong, SHI Jianxin, GUO Junxian, et al. Experiment study and design on film raking mechanism of hanging film raker with cotton-stalk crushing and returning to field[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 135 - 140. (in Chinese)
- 9 由佳翰, 张本华, 温浩军, 等. 铲齿组合式残膜捡拾装置设计与试验优化[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 97 - 104. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20171112&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171112&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.012. YOU Jiahao, ZHANG Benhua, WEN Haojun, et al. Design and test optimization on spade and tine combined residual plastic film device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 97 - 104. (in Chinese)
- 10 康建明, 王士国, 颜利民, 等. 残膜回收机起膜铲设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 143 - 148. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2016s022&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s022&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.022. KANG Jianming, WANG Shiguo, YAN Limin, et al. Design and experiment of loosen shovel installed on plastic film collecting machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.): 143 - 148. (in Chinese)
- 11 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 text forward film removing mechanism for polythene film collector[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 23 - 28. (in Chinese)
- 12 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]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 94 - 99. XIE Jianhua, HOU Shulin, FU Yu, et al. Motion analysis and experiment on spring-tooth mulching plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.1): 94 - 99. (in Chinese)
- 13 张炳发, 杨宛章. 卷膜式残膜回收机的设计[J]. 农业工程, 2015, 5(1): 79 - 82. ZHANG Bingfa, YANG Wanzhang. Design on roll film residual recover machine[J]. Agricultural Engineering, 2015, 5(1): 79 - 82. (in Chinese)
- 14 朱豪杰, 杨宛章, 周艳生, 等. 指盘式残膜回收机捡拾机构设计[J]. 农业工程, 2015, 5(3): 89 - 92. ZHU Haojie, YANG Wanzhang, ZHOU Yansheng, et al. Design of finger disc residual film recover machine[J]. Agricultural Engineering, 2015, 5(3): 89 - 92. (in Chinese)
- 15 NAGASAKA Y, SAITO H, TAMAKI K, et al. Anautonomous rice transplanter guided by global positioning system and inertial measurement unit[J]. Journal of Field Robotics, 2009, 26(6-7): 537 - 548.
- 16 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, 22(7): 168 - 172. WANG Jikui, FU Wei, WANG Weibing, et al. Design of SMS-1500 type straw chopping and plastic film residual collector machine[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 22(7): 168 - 172. (in Chinese)
- 17 HU Can, HU Yunsha, WANG Xufeng, et al. Effect of residual plastic films on survival rate of cotton seeds in South Xinjiang[J]. IAEJ, 2017, 26(2): 19 - 25.
- 18 胡凯, 王吉奎, 李斌, 等. 棉秆粉碎还田与残膜回收联合作业机研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 24 - 32. HU Kai, WANG Jikui, LI Bin, et al. Development and experiment of combined operation machine for cotton straw chopping and plastic film collecting[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(19): 24 - 32. (in Chinese)
- 19 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)
- 20 王文明, 王春光. 弹齿滚筒式捡拾装置参数分析与仿真[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 82 - 89. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20121015&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20121015&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.10.015. WANG Wenming, WANG Chunguang. Parameter analysis and simulation of spring-finger cylinder pickup collector[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 82 - 89. (in Chinese)
- 21 陈发, 史建新, 赵海军, 等. 固定凸轮残膜捡拾机构的优化设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 43 - 46. CHEN Fa, SHI Jianxin, ZHAO Haijun, et al. Optimum design of fixing cam combination mechanism for collecting plastic residue[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(12): 43 - 46. (in Chinese)