

玉米全膜双垄沟残膜回收机改进设计与试验

辛尚龙¹ 赵武云¹ 戴飞¹ 王久鑫¹ 刘小龙¹ 吴正文²

(1. 甘肃农业大学机电工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃武威兴旺农机制造有限公司, 武威 733018)

摘要: 针对现有玉米全膜双垄沟残膜回收机作业过程中存在起膜齿仿形效果差、易拥堵,以及卷膜辊集膜、卸膜性能不理想等问题,对该机具的仿形弹齿部分和卷膜装置部分进行了改进设计。整个仿形弹齿由多个单铰接起膜齿和凸轮轴组成,每个单铰接起膜齿在凸轮轴的作用下可以实现单独仿形,且能完成相邻两起膜齿在空间上的间歇运动,以解决起膜装置局部仿形能力差、壅土及相互搂膜干涉问题;卷膜装置由主、从动滚筒及变径卷膜辊组成,其中,改进设计的变径卷膜辊依靠手动拉杆和内置弹簧实现外轮廓直径可变,优化后的活动叶片通过内外齿的啮合使其在打开与闭合状态下都能保证其外轮廓为“封闭”的圆柱体,从动滚筒外围加装了人字形输送齿,使得卷膜装置整体在工作时运转更加平稳,变径卷膜辊与主、从动滚筒可以始终保持接触,避免了因摩擦力突变引起的变径卷膜辊在主、从动滚筒上方停滞不转动的现象。通过分析偏心拨齿滚筒的搂集、抛送和脱落过程,确定了偏心拨齿滚筒的最小转速为 164.92 r/min。结合正交试验,以地膜回收率、缠膜率和含土率为评价指标,应用综合评分法得出作业机工作时各显著性参数对其各指标的综合性能影响主次顺序为:机具前进速度、反向刮膜板转速、偏心拨齿滚筒转速、凸轮轴转速。田间试验表明,在机具作业 3 km/h、输送辊转速 140.4 r/min、凸轮轴转速 130.6 r/min、偏心拨齿滚筒转速为 183.6 r/min、反向刮膜板轴转速为 120.8 r/min 时,残膜回收率为 90.26%,缠膜率为 1.94%,含土率为 25.41%,满足全膜双垄沟残膜回收技术要求,为残膜回收机具的设计提供了参考依据。

关键词: 旱区; 玉米; 全膜双垄沟; 残膜回收机; 仿形

中图分类号: S223.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)S0-0311-09

Improved Design and Experiment of Collector for Corn Whole Plastic Film Mulching on Double Ridges

XIN Shanglong¹ ZHAO Wuyun¹ DAI Fei¹ WANG Jiuxin¹ LIU Xiaolong¹ WU Zhengwen²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Wuwei Xingwang Machinery Manufacturing Co., Ltd., Wuwei 733018, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor profiling effect, easy congestion, unsatisfactory film collecting and unloading performance of the existing collector machine for corn whole plastic film mulching on double ridges, the improved design of part of profiling elastic tooth and film rolling device of the machine were carried out. The profiling teeth were made up of a plurality of single articulated film tooth and camshafts. Each single articulated film tooth can be modeled individually, and the two adjacent film teeth were arranged in space under the action of camshaft, so as to solve the problem of poor local copying ability, the soil and interference of cuddle film. The film rolling device was made up of driving roller, driven roller and curl-up film roller with variable diameter. Among them, relying on the manual pull rod and the built-in spring, the outer contour diameter of curl-up film roller was achieved. The optimized movable blade can ensure that its outer contour was a closed cylinder through the engagement of the inner and outer teeth. And the outer ring of the driven roller was installed with the conveyer teeth, so that the whole roll film device can operate more smoothly in the work, and the curl-up film roller with variable diameter can always keep in contact with the driving roller and the driven roller. It avoided the phenomenon that the curl-up film roller with variable diameter stayed on the top of driving and driven

收稿日期: 2018-07-14 修回日期: 2018-08-10

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201503105)和国家自然科学基金项目(51775115, 51405086)

作者简介: 辛尚龙(1990—),男,博士生,主要从事北方旱区作物生产装备工程研究, E-mail: xinshl@126.com

通信作者: 赵武云(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事北方旱区作物生产装备工程研究, E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn

roller because of the sudden change of friction force. By analyzing the assembling, throwing and dropping process of the eccentric gear roller, the minimum rotation speed of the eccentric gear roller was determined to be 164.92 r/min. Combined with orthogonal test, taking the recovery rate of plastic film, wrapping rate and soil content as evaluation indexes, the synthetical scored method was used to obtain the order of influence of significant parameters on comprehensive performance of each index when the machine was working as: the forward speed of the machine, reverse scraping diaphragm velocity, eccentric pick film roller velocity and the camshaft velocity. The field experimental results showed that the recovery rate of residual film was 90.26%, the film wrapping rate was 1.94% and the soil content was 25.41%, when the machine speed was 3 km/h, the conveyor roller velocity was 140.4 r/min, camshaft velocity was 130.6 r/min, eccentric pick film roller velocity was 183.6 r/min and reverse scraping diaphragm velocity was 120.8 r/min. The results met the technical requirements of residual film recovery in corn double ridges furrow and provided a reference for the design of residual film recovery equipment.

Key words: arid regions; corn; whole plastic film mulching on double ridge; plastic film residue recovery machine; profiling

0 引言

玉米全膜双垄沟播技术是针对中国西北地区旱作农业生产的一项突破性创新技术,具有“蓄水保墒、覆盖抑蒸、膜面集雨”功能与特点,因其经济效益明显得到了有效推广^[1-4]。但是由于地膜的回收不及时,以及回收不干净,导致土壤中大量残膜的残留,并逐年累加,使得土壤的物理结构层次发生改变,土壤严重污染^[5-8]。

玉米全膜双垄沟残膜回收有人工回收和机械回收两种模式。人工回收劳动强度大,效率低;机械回收残膜回收率不高,主要原因是起膜齿仿形能力差,辅助收膜与集膜装置易产生缠绕。目前,残膜回收装置普遍采用整体仿形,而整体仿形的搂膜机构与机架刚性连接,机具依靠行走轮随地面的起伏实现仿形,整体仿形结构简单,适于入土深度较大的机型^[9-10]。全膜双垄沟播玉米种植地的特殊农艺种植模式,使得残膜回收机具的入土深度受到限制,不易采取整体仿形机构。为了提高玉米种植地残膜回收作业效率以及地膜回收的拾净率,收膜装置应采用可变径卷膜辊集膜方式。

本文结合玉米全膜双垄沟播的种植方式^[11-12]和残膜回收机的工作特点,采用偏心拨齿滚筒与起膜齿组合的形式完成收膜作业,而集膜装置仍沿用卷膜辊集膜方式,只针对关键部件进行改进设计,以达到集膜、卸膜顺畅的效果。利用偏心拨齿滚筒捡拾、脱膜效果好的优点与起膜齿起膜效果较佳的特点,将两者组合在一起,以实现更好的起膜过程。

1 整机结构与工作原理

1.1 结构组成

玉米全膜双垄沟残膜回收机结构如图1所示,

主要由机架、悬挂装置、起膜装置、辅助送膜装置、卷膜装置及行走轮组成。

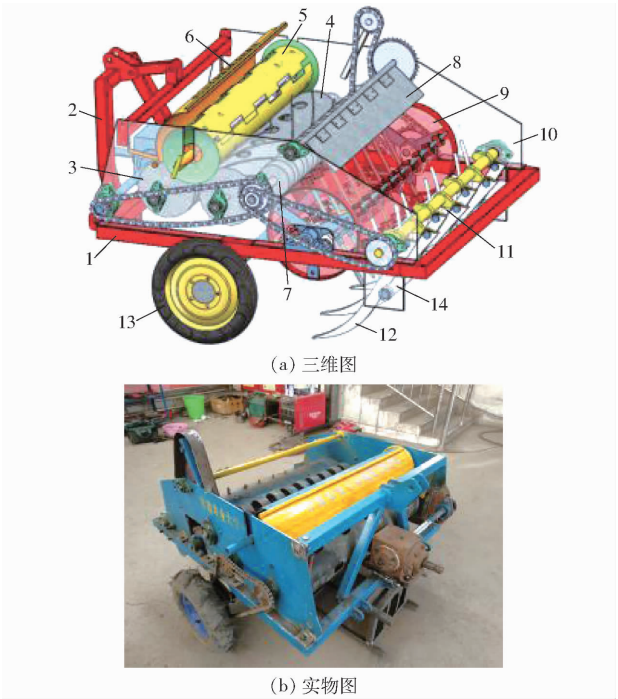


图1 玉米全膜双垄沟残膜回收机结构图
Fig.1 Structure diagrams of collector for corn whole plastic film mulching on double ridges

1. 机架 2. 悬挂架 3. 主动滚筒 4. 从动滚筒 5. 变径卷膜辊 6. 导膜板 7. 输送辊 8. 反向刮膜板 9. 偏心拨齿滚筒 10. 侧板 11. 凸轮轴 12. 起膜齿 13. 地轮 14. 固定轴

其中,起膜装置由偏心拨齿滚筒、起膜齿及凸轮轴构成;辅助送膜装置由输送辊和反向刮膜板构成;卷膜装置由主动滚筒、从动滚筒、变径卷膜辊及导膜板构成。作业机主要技术参数如表1所示。

1.2 工作原理

机具作业时,在拖拉机的带动下,地膜由起膜齿挑起并沿其弧形向上运动,并在偏心拨齿滚筒中伸

表 1 作业机主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of operation machine

参数	数值/类型
整机尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	1 300×1 250×1 000
配套动力/kW	23.2 ~ 29.4
挂接方式	后三点悬挂
整机质量/kg	260
作业速度/(km·h ⁻¹)	2.0 ~ 4.0
生产率/(hm ² ·h ⁻¹)	0.25 ~ 0.50
工作幅宽/mm	1 250
作业深度/mm	0 ~ 60

缩齿的作用下将地膜送至滚筒上方,当伸缩齿完全进入滚筒时,地膜在反向刮膜板的辅助拨动下进入输送辊,并在输送辊的转动下将地膜继续向卷膜装置输送,当地膜到达卷膜装置时,依靠变径卷膜辊与主、从动滚筒的摩擦力和导膜板的共同作用将地膜卷至变径卷膜辊上,完成集膜过程。在收膜过程中,偏心拨齿滚筒在转动的过程中能将残地膜检拾起,且当凸轮轴转动时,相邻的起膜齿间歇工作,可以避开玉米根茬、石块及较大土块等阻碍物料,并由辅助送膜装置将其运送至卷膜装置,残地膜与整块地膜一并收集于卷膜辊。在偏心拨齿滚筒及主、从动滚筒的表面加工有槽型开口,以便于收膜过程中膜上土壤的顺利落下。当地膜收集完后,变径卷膜辊由人工取下,拉动位于变径卷膜辊一端的拉杆并旋转 90°使得变径卷膜辊直径缩小,此时变径卷膜辊上的地膜可顺畅卸下。

2 关键部件设计与参数确定

2.1 机械传动设计

玉米全膜双垄沟残膜回收机的动力传动系统如图 2,工作时其动力输入轴与拖拉机输出轴连接,经变速箱转向后由动力输出轴输出,经由一级链传动带动输送辊工作,在输送辊的转动轴上布置有二级链传动与三级链传动,二级链传动将动力输出至起膜齿上方的凸轮轴,三级链传动则将动力输出至偏心拨齿滚筒;利用侧板上设置的由固定撑杆限定位置的小链轮、输送辊上的小链轮及反向刮膜板上的大链轮实现反向刮膜板的旋转方向与其他装置相反,在玉米全膜双垄沟残膜回收过程中能够起到辅助送膜的作用。

在整个传动系统中,起膜装置与辅助送膜装置的动力传动由拖拉机输出轴控制其转速和动力的切断,而卷膜装置由拖拉机的行驶速度决定,因此,在机具工作时,拖拉机的行驶速度必须与其输出轴的转速相匹配。

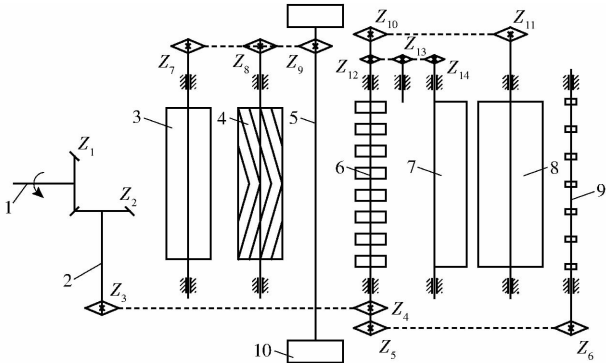


图 2 玉米全膜双垄沟残膜回收机传动系统

Fig.2 Drive system of collector for corn whole plastic film mulching on double ridges

1. 动力输入轴 2. 动力输出轴 3. 主动滚筒 4. 从动滚筒
5. 地轮轴 6. 输送辊 7. 反向刮膜板 8. 偏心拨齿滚筒 9. 凸
- 轮轴 10. 地轮

由试验确定其传动比为： $\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{32}{16}, \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{25}{13}, \frac{Z_6}{Z_5} =$

$\frac{31}{15}, \frac{Z_8}{Z_7} = \frac{19}{19}, \frac{Z_{10}}{Z_9} = \frac{17}{38}, \frac{Z_{11}}{Z_{10}} = \frac{25}{17}, \frac{Z_{12}}{Z_{11}} = \frac{22}{20}, \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{38}{17}$ 。则

各链传动速比分别为： $i_1 = \frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_4}{Z_3}, i_2 = \frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_4}{Z_3} \frac{Z_6}{Z_5}, i_3 =$

$\frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_4}{Z_3} \frac{Z_{11}}{Z_{10}}, i_4 = \frac{Z_2}{Z_1} \frac{Z_4}{Z_3} \frac{Z_{14}}{Z_{13}}$ 。

按照拖拉机动力输出轴转速为 540 r/min 计算,则输送辊转速 $n_1 = 140.4$ r/min,凸轮轴转速 $n_2 = 130.6$ r/min,偏心拨齿滚筒转速 $n_3 = 183.6$ r/min,反向刮膜板轴转速 $n_4 = 120.8$ r/min。

2.2 起膜装置

为了解决壅堵问题,课题组在一代样机起膜齿单体仿形的基础上加装了凸轮轴并优化了起膜单体的排列方式,以便消除相邻两起膜齿之间的干涉,排除机具作业过程中出现的局部仿形效果差和壅堵现象^[13],以更好地实现“先拢膜、后收膜”的玉米全膜双垄沟机械化残膜回收要求。

如图 3 所示,起膜装置由起膜齿与偏心拨齿滚筒两部分组成。其中,起膜齿各单体铰接在固定轴上,每个起膜齿的上方加工有开口槽,在开口槽中安装有 6203RS 型轴承,在其单体上方安装有凸轮轴,凸轮轴上相邻两凸轮(基圆半径 25 mm)呈 180°布置,每个单铰接起膜齿可以实现单独仿形,且在凸轮轴的强制转动下可以实现相邻两起膜齿在空间上的错开布置,以解决局部仿形起膜能力差、壅土及相互搂膜干涉问题,此组合形式有利于减轻在全膜双垄沟播残膜回收过程中玉米根茬对收膜性能的影响。偏心拨齿滚筒采用偏心轴与滚筒组合的形式实现拨齿可伸缩,此装置在收膜过程中可以将地膜捡起并

向机具后上方输送,当地膜运动至滚筒最上方时,伸缩拨齿完全进入滚筒内部,不会影响地膜的继续输送;与此同时,可伸缩拨齿还可以较好地完成对田间碎地膜的捡拾^[14-15]。

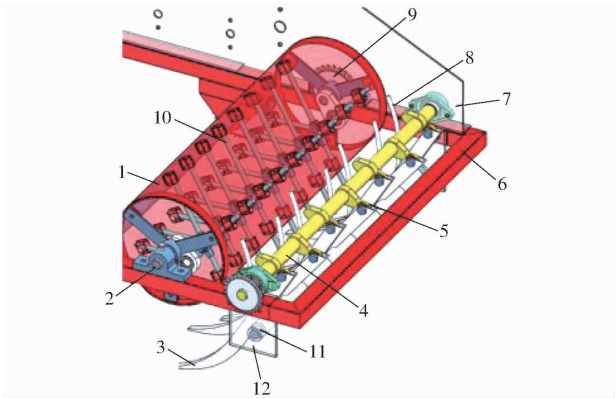


图 3 起膜装置

Fig.3 Film pickup device

1. 偏心拨齿滚筒 2. 半轴 3. 起膜齿 4. 凸轮轴 5. 轴承
6. 机架 7. 侧板 8. 弧形导向杆 9. 链轮 10. 伸缩齿 11. 固定轴 12. 固定轴座

起膜装置作为机具的关键部件,对该装置的性能要求应满足:能够将土壤表层中所有大于 50 mm 的残地膜捡拾干净;在捡拾过程中不得再次破碎地膜;捡拾的地膜应能顺利地输送到下一装置。

起膜装置的两种布置方案如图 4 所示,为了提高机具的捡拾效率以及捡拾过程中避开根茬对收膜过程的影响,结合玉米全膜双垄沟播的农艺要求,设计初期对起膜齿的个数进行了限定,选取 9 把起膜齿在转动轴上均等布置,两起膜单体间的中心距为 125 mm,机具工作时地轮从大垄垄面通过,设计机架宽为 1 150 mm,因全膜双垄沟播种植所用地膜宽为 1 200 mm,为了防止地轮通过大垄垄面造成对地膜膜侧的压实,将地轮布置在机架的外侧。所用起膜齿材料为 65 锰钢^[16],宽度为 20 mm,则两起膜单体间距为 105 mm,田间试验过程中发现,在振幅不变(凸轮一定)的情况下,由于部分土壤的黏度较大而两起膜单体之间的距离显得过小,尽管其振动幅度可达 42 mm,还是会造成较大程度的壅堵现象,不利于地膜捡拾。

因此,对起膜单体进行重新排列,减少起膜单体至 7 个,此时起膜齿间的中心距增大至 150 mm,除去起膜齿自身的厚度,两起膜单体之间的间距为 130 mm,这种组合方式在后期田间试验中得以验证,符合玉米全膜双垄沟残膜捡拾的设计要求。

凸轮轴上链轮大小决定了起膜齿单体上下摆动的频率,频率越大对地膜造成的损害与撕扯越大。起膜单体齿尖的运动呈正(余)弦规律运动,在机具

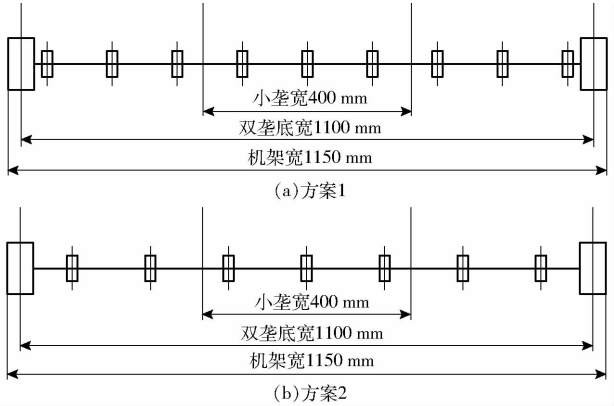


图 4 起膜齿单体布置方案

Fig.4 Assumption diagrams of single spring tooth distribution

行走速度一定时,试验中当起膜单体上下摆动的次数过多时,起膜单体齿尖对地膜的伤害较大,因此在设计时增大凸轮轴上的链轮齿数至 31 齿,即凸轮轴转速为 130.6 r/min,此时起膜单体完成上下振动 2.2 次/s。

2.2.1 搂集与离地过程

伸缩齿从滚筒后下部伸出,插入表土层(含残地膜)并划出沟槽,此时伸缩齿主要受到其穿过土层受到的阻力,由于土层深度、土壤中各点的土壤组成、土壤湿度和坚实度、残膜及残茬在土壤中的含量等不同,该阻力的大小很难表示。工作时,机具前进速度和滚筒转速不宜过高,否则易出现残地膜过于破碎以及损坏偏心拨齿滚筒。

如图 5 所示,设被捡拾残膜的重心在伸缩齿齿端 B 点,由于伸缩杆绕偏心轴转动,其端点 B 做非匀速圆周运动,在 B 点有指向偏心轴的向心加速度和沿轨迹的切向加速度,当伸缩齿离开地面时,要使伸缩齿能带起残地膜,需满足伸缩齿端 B 沿轨迹的切线方向残膜所受的力(惯性力)不小于其沿法向的下滑力,即

$$f(G\sin\alpha_2 + P\cos\beta) \geq G\cos\alpha_2 + P\sin\beta \quad (1)$$

其中

$$\alpha_2 = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) \quad (2)$$

$$P = G\omega_1^2 R/g \quad (3)$$

式中 f ——地膜与伸缩齿的摩擦因数

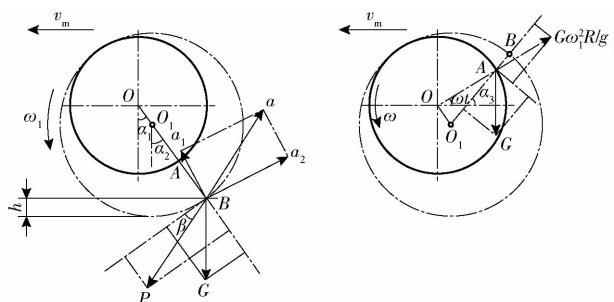


图 5 伸缩齿离地与脱落过程

Fig.5 Off ground and shedding process of telescopic tooth

α_2 ——伸缩齿离开地面时的角度, ($^\circ$)

β ——沿轨迹的切向力与伸缩齿法线方向的夹角, ($^\circ$)

ω_1 ——伸缩齿端点 B 的角速度, rad/s

R ——伸缩齿长, m

h ——最大入土深度, m

G ——地膜重力, N

P ——被捡残膜的惯性力, N

由式(1)~(3)得

$$\omega_1 \geq \sqrt{\frac{g(\cos\alpha_2 - f\sin\alpha_2)}{R(f\cos\beta - \sin\beta)}} \quad (4)$$

伸缩齿齿端 B 在不同位置时 ω_1 与滚筒角速度 ω 的关系为^[17-18]

$$\omega_1 = \omega \frac{1 - \varepsilon \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{1 + \varepsilon^2 - 2\varepsilon \cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (5)$$

其中 $\varepsilon = E/r$ (6)

式中 α_1 ——偏心轴偏离垂线的角度, ($^\circ$)

ω ——滚筒的角速度, rad/s

r ——滚筒半径, m

E ——偏心距, m

以试验样机为例, 取 $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 52^\circ$, $\beta = 25.5^\circ$, $f = 0.5$, $R = 0.2$ m, $r = 0.18$ m, $E = 0.06$ m。经计算得, $\omega_1 > 25.72$ rad/s, $\omega \geq 17.27$ rad/s, 则滚筒转速 $n \geq 164.92$ r/min。

2.2.2 抛送与脱落过程

当滚筒转过一定角度, 伸缩齿进入滚筒内部时, 孔 A 处残膜的受力如图 5 所示, 为了防止残膜进入滚筒内部, 此时应满足: 残膜的脱离惯性力不小于残膜与伸缩齿的摩擦力和下滑力之和, 即

$$\frac{G}{g} \omega^2 R \cos(\alpha_3 - \omega t) \geq$$

$$f \left(\frac{G}{g} \omega^2 R \sin(\alpha_3 - \omega t) + G \cos\alpha_3 \right) + G \sin\alpha_3 \quad (7)$$

其中 $f = \tan\varphi$ (8)

式中 α_3 ——伸缩齿的回转角, ($^\circ$)

φ ——摩擦角, ($^\circ$)

由式(7)、(8)得

$$\omega \geq \sqrt{\frac{g \sin(\varphi + \alpha_3)}{R \cos(\varphi + \alpha_3 - \omega t)}} \quad (9)$$

由式(9)可知, 为了顺利完成脱膜, 理论上伸缩齿在不同位置时对滚筒的转速要求也不同。经试验测定, 选取偏心拨齿滚筒转速为 183.6 r/min, 在该转速下不会产生打碎地膜和抛掷现象。

2.3 辅助送膜装置

如图 6 所示, 辅助送膜装置位于整机起膜装置和卷膜装置之间的位置, 起到衔接两者的作用, 其主

要由输送辊和反向刮膜板组成, 由链传动传递动力。由于全膜双垄沟膜上覆土带的存在以及种植过程中存在膜下土壤与地膜的粘合现象, 因此在起膜装置捡起地膜的过程中无法避免土壤被带到机具上方。辅助送膜装置最大的特点就是除去地膜上的土壤等杂物、提高地膜拾净率。

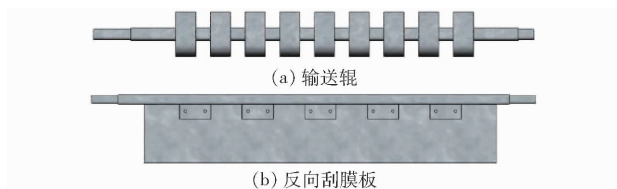


图 6 辅助送膜装置

Fig. 6 Assistant transport film device

输送辊由 9 个直径为 120 mm、厚度为 50 mm 的橡胶轮和中心轴组成, 其中两橡胶轮之间的距离为 50 mm, 中心轴通过 UCF 轴承固定在机架上。反向刮膜板位于起膜装置偏心拨齿滚筒和辅助送膜装置输送辊的上方, 反向刮膜板由一块 1 000 mm × 200 mm × 5 mm (长 × 宽 × 厚) 的橡胶板和中心转轴组成, 橡胶板通过中心转轴上设置的固定板来固定, 由于地膜易发生缠绕现象, 反向刮膜板转速过高时会出现地膜缠绕在橡胶板上的现象。

在工作时, 为了防止反向刮膜板将起膜装置输送上来的地膜扯碎, 增大中心转轴上链轮的齿数, 使反向刮膜板的转速降低。以橡胶板与偏心拨齿滚筒相接触开始为一个周期的起点, 试验测得当反向刮膜板转过一圈, 偏心拨齿滚筒转过约一圈半时, 地膜不会拉断, 此时, 偏心拨齿滚筒与反向刮膜板的速比约为 1.5。

2.4 卷膜装置

卷膜装置位于残膜回收机前端, 由主动滚筒、从动滚筒、导膜板及变径卷膜辊组成, 变径卷膜辊置于主、从动滚筒上方, 其中, 变径卷膜辊优化了活动叶片形状, 在活动叶片的两侧边依次加工有大小相等的开口, 形成内外齿。为了实现变径卷膜辊在最大直径与最小直径两种状态下, 两两活动叶片都能完全啮合, 加工时对活动叶片凸起部分的中间位置处进行小弧度的折弯, 并对每个叶片进行打磨处理, 使两活动叶片啮合处为间隙配合, 避免每个凸起部分造成的挂膜与啮合处的夹膜现象。

如图 7 所示, 变径卷膜辊主要由中心轴、连接组件、活动叶片、拉杆、回位弹簧等组成^[19], 为了使卷膜装置整体在工作时运转平稳, 变径卷膜辊与主从动滚筒可以始终保持接触, 在从动滚筒外围加装了人字形输送齿^[20]。

在机具工作之前, 拉动变径卷膜辊一端的拉杆,

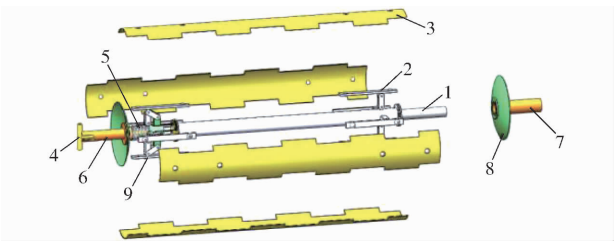


图7 变径卷膜辊

Fig.7 Curl-up film roller with variable diameter

1. 中心轴 2,9. 连接组件 3. 活动叶片 4. 拉杆 5. 回位弹簧
6. 固定轴套 7. 活动轴套 8. 挡盘

使卷膜辊外径处于最大位置,此时,两活动叶片之间的突出部分相衔接,可以保证卷膜辊的外圆呈“圆柱体”状,卷膜辊在工作过程中不会出现转动停滞现象。在主从动滚筒的转动下,依靠摩擦力带动变径卷膜辊转动,在变径卷膜辊外径逐渐增大的情况下,可保证其线速度不变,不会造成撕膜。图8a为活动叶片的展开示意图,图8b为两种状态下的变径卷膜辊实物图。

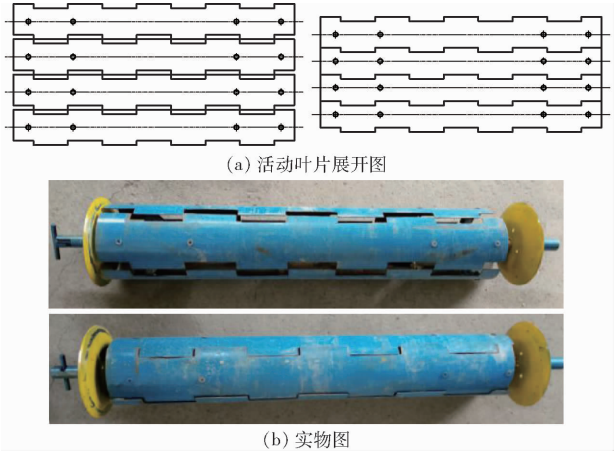


图8 两种状态下的变径卷膜辊

Fig.8 Curl-up film roller with variable diameter in two states

在工作时,随着变径卷膜辊上地膜越卷越多,变径卷膜辊的直径增大,其理论卷膜量为

$$V = \pi (R_2^2 - R_1^2) L \tag{10}$$

式中 R_1 ——变径卷膜辊在最大直径状态下的卷辊直径,mm

R_2 ——变径卷膜辊在最大直径状态下卷上地膜后卷辊的直径,mm

L ——变径卷膜辊的长度,mm

3 田间试验

3.1 试验条件与材料

验证改进后玉米全膜双垄沟残膜回收机的作业性能,对机具进行田间验证性试验。所需试验仪器有:米尺(0~3 m)、卷尺(0~100 m)、电子秤(上海花潮电器有限公司)、相机(佳能数码单反相机

EOS700D)。选用国产东方红 MF404 型拖拉机,标定功率 29.4 kW,要求拖拉机技术状态良好,驾驶员驾驶技术熟练,并了解残膜回收机的使用和要求。

试验于 2017 年 10 月在甘肃省榆中县甘肃农业大学试验田进行。玉米种植采用全膜双垄沟农艺模式,行距为 400 mm,株距为 360 mm,收获后的玉米秸秆已被清理,留茬高度为 10~15 cm,地面不平整,土壤硬度适中,田间地膜铺设时间约 6—7 月,大部分地膜位于地表,地膜幅宽 1 200 mm,垄沟及垄面两地膜交接处有覆土,覆土厚度为 15~25 mm,地膜有一定程度的破损。

3.2 评价指标的测定

试验选取土壤含水率基本相同的试验地作为测区,测区长度不少于 100 m。每次试验结束将卷膜辊上残地膜卸下,分离残地膜与土壤,分别对分离后的残地膜与土壤进行称量,分别测定残膜回收率、缠膜率、含土率作为评价指标^[21-23],试验结果取 10 次试验测定指标的平均值。其计算方法为

$$\begin{cases} Y_1 = \frac{W_3}{W_1 + W_2 + W_3} \times 100\% \\ Y_2 = \frac{W_2}{W_2 + W_3} \times 100\% \\ Y_3 = \frac{W_0}{W_0 + W_3} \times 100\% \end{cases} \tag{11}$$

式中 Y_1 ——残膜回收率,%

Y_2 ——缠膜率,%

Y_3 ——含土率,%

W_1 ——测区内漏在地里未回收的残地膜质量,g

W_2 ——测区内缠绕在作业机上的残地膜质量,g

W_3 ——测区内回收到卷膜辊上的残地膜质量,g

W_0 ——测区内回收到卷膜辊上土壤的质量,g

3.3 正交试验

考虑到实际作业效果和回收作业效率,将机组试验速度设置为 2~4 km/h,机组卷膜装置主动滚筒转速也由拖拉机行走速度决定;凸轮轴转速低于 120 r/min 时会出现壅堵现象,凸轮轴转速高于 140 r/min 时地膜会被撕破,选择凸轮轴转速范围在 120~140 r/min;偏心拨齿滚筒转速过高容易将地膜划烂而影响起膜过程,选取偏心拨齿滚筒转速范围在 160~200 r/min;反向刮膜板转速大于 130 r/min 时地膜缠绕严重,因此选择反向刮膜板转速范围在 120~130 r/min。田间试验如图 9 所示,表 2 为因素水平表。



图9 样机田间试验
Fig.9 Field test of prototype

表2 因素水平
Tab.2 Factors and levels

水平	因素			
	前进速度/ (km·h ⁻¹)	凸轮轴转速/ (r·min ⁻¹)	偏心拨齿滚筒转 速/(r·min ⁻¹)	反向刮膜板转 速/(r·min ⁻¹)
1	2	120	160	110
2	3	130	180	120
3	4	140	200	130

表3 试验方案和结果
Tab.3 Test scheme and result

试验号	因素				回收率/ %	缠膜率/ %	含土率/ %	综合评分
	A	B	C	D				
1	1	1	1	1	86.68	2.21	30.61	26.246
2	1	2	2	2	91.35	1.92	29.28	28.548
3	1	3	3	3	87.62	2.88	31.26	26.225
4	2	1	2	3	93.16	1.92	32.54	28.457
5	2	2	3	1	90.26	1.72	28.60	28.352
6	2	3	1	2	93.41	1.95	30.28	29.192
7	3	1	3	2	89.63	2.72	28.92	27.670
8	3	2	1	3	90.32	2.93	29.47	27.735
9	3	3	2	1	89.45	3.04	27.56	27.826
K ₁	81.019	82.751	83.173	82.424				
K ₂	86.001	84.635	84.831	85.410				
K ₃	83.231	82.393	82.247	82.417				
极差	4.982	2.424	2.584	2.993				
最优方案	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂				

动部件转速相接近,在机具前进速度为3 km/h、凸轮轴转速为130.6 r/min、偏心拨齿滚筒转速为183.6 r/min、反向刮膜板轴转速为120.8 r/min时,按照3.2节中的测量方法进行田间验证性试验。田间试验结果各性能指标与GB/T 25412—2010《残地膜回收机》标准对比结果如表4所示。

表4 整机性能试验结果
Tab.4 Test results of machine performance %

参数	试验值	技术要求
残膜回收率	90.26	≥80
缠膜率	1.94	≤2
含土率	25.41	≤30

由表4试验结果可知,在拖拉机行走速度为

3.4 正交试验结果与分析

正交试验设计及结果如表3所示,A、B、C、D为因素水平值。采用综合评分法分析^[24-25],实际生产中需优先保证机具在缠膜率低的情况下,提高回收率、降低含土率,因此,拟定回收率权重为0.4,缠膜率权重为0.35,含土率权重为0.25,以加权后的综合分作为评价标准,得分越高效果越好,每组试验重复3次,取平均值。

由表3可知作业机工作时各显著性参数对其各指标的综合性能影响主次顺序为:前进速度、反向刮膜板转速、偏心拨齿滚筒转速、凸轮轴转速。工作时作业机各参数的最优组合为A₂B₂C₂D₂,即机具前进速度为3 km/h,凸轮轴转速为130 r/min,偏心拨齿滚筒转速为180 r/min,反向刮膜板转速为120 r/min。

3.5 田间验证性试验与分析

以上各最优组合参数与2.1节所设计的机械传

3 km/h时,玉米全膜双垄沟残膜回收机残膜回收率为90.26%,缠膜率为1.94%,含土率为25.41%,试验指标均符合相应指标要求。试验过程中玉米全膜双垄沟残膜回收机传动运行平稳,在凸轮轴的作用下起膜齿单体齿尖的运动轨迹为正(余)弦曲线,且有效解决了玉米根茬对收膜作业的影响;卷膜辊卸膜顺畅,试验效果满足设计和农艺要求。

本研究针对现有玉米全膜双垄沟残膜回收机作业过程中存在的起膜齿仿形效果差、壅堵以及卷膜辊集膜、卸膜性能不理想等问题,对该机具的仿形弹齿部分和卷膜装置部分进行了改进设计,在一代卷膜辊的基础上重新设计了一种易操作的变径卷膜辊。对地膜的捡拾从“起膜—送膜—集膜—卸膜”

的过程进行分析,优化改进了起膜装置相邻两起膜单体的运动方向,以实现起膜过程中不壅土和使较大根茬和土块等物料通过起膜装置的作用。对卷膜辊活动叶片的改进设计,解决了以往卷膜辊在主从动滚筒上方停滞不转动的现状,在导膜板的作用下能够较好地地完成地膜的卷膜过程;通过转动卷膜辊一侧的拉杆,并在回位弹簧的作用下可以将卷膜辊的外圆直径缩小,以实现残地膜从卷膜辊上卸除。

4 结 论

(1)改进后的起膜装置能实现相邻两起膜单体的相对运动,减少了作业时在起膜装置处玉米根茬及土块等的拥堵;卷膜装置在集膜与卸膜两种作业状态下均正常工作,集膜过程中卷膜辊不卡顿、不打

滑,卸膜过程中通过改变卷膜辊直径的方法使卸膜顺畅;辅助送膜装置可以保证起膜过程与集膜过程的有效衔接。

(2)结合正交试验,通过改变作业机的前进速度、凸轮轴转速、偏心拨齿滚筒转速、反向刮膜板转速,以地膜回收率、缠膜率和含土率为评价指标,应用综合评分法得出作业机工作时的最优组合为:机具作业速度为 3 km/h,凸轮轴转速为 130 r/min,偏心拨齿滚筒转速为 180 r/min,反向刮膜板转速为 120 r/min。

(3)田间试验表明,在拖拉机行走速度为 3 km/h 时,玉米全膜双垄沟播残膜回收机残膜回收率为 90.26%,缠膜率为 1.94%,含土率为 25.41%,满足全膜双垄沟残膜回收技术基本要求。

参 考 文 献

1 赵武云,戴飞,杨杰,等. 玉米全膜双垄沟直插式精量穴播机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(11):91-97.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20131117&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.11.017.
ZHAO Wuyun,DAI Fei,YANG Jie,et al. Design and experiment of direct insert precision hill-seeder with corn whole plastic-film mulching on double ridges[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(11):91-97. (in Chinese)

2 QIN S H,ZHANG J L,DAI H L,et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching planting patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area[J]. Agricultural Water Management,2014,131:87-94.

3 BU L D,LIU J L,ZHU L,et al. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region[J]. Agricultural Water Management,2013,123(10):71-78.

4 LIU C A, JIN S L, ZHOU L M,et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. European Journal of Agronomy,2009,31(4):241-249.

5 侯书林,胡三媛,孔健铭,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)

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. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150515&flag=1. 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. (in Chinese)

7 张丹,胡万里,刘宏斌,等. 华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J]. 农业工程学报,2016,32(3):1-5.
ZHANG Dan,HU Wanli,LIU Hongbin,et al. Characteristics of residual mulching film and residual coefficient of typical crops in North China[J]. Transactions of the CSAE,2016,32(3):1-5. (in Chinese)

8 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)

9 罗威,王吉奎,罗新豫,等. 夹指链式残膜回收装置仿形及收膜机构的改进设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(22):27-35.
LUO Wei,WANG Jikui,LUO Xinyu,et al. Improved design and experiment of profiling and recycling plastic film mechanism for clamping finger-chain type device of recycling residual plastic film [J]. Transactions of the CSAE,2017,33(22):27-35. (in Chinese)

10 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)

11 戴飞,赵武云,张锋伟,等. 西北旱区玉米全膜双垄沟机械化播种技术与装备研究进展[J]. 中国农机化学报,2016,37(8):217-222.

- DAI Fei,ZHAO Wuyun,ZHANG Fengwei,et al. Current status of mechanization planting technology and equipment for corn whole plastic-film mulching on double ridges in the arid of northwest China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2016,37(8):217-222. (in Chinese)
- 12 辛尚龙,赵武云,戴飞,等. 全膜双垄沟播玉米穗茎兼收对行联合收获机的研制[J]. 农业工程学报,2018,34(4):21-28. XIN Shanglong,ZHAO Wuyun,DAI Fei,et al. Development of corn combine harvester reaping both corn ear and stalk for whole plastic film mulching on double ridges[J]. Transactions of the CSAE,2018,34(4):21-28. (in Chinese)
- 13 吴一非,戴飞,赵武云,等. 全膜双垄沟地膜捡拾机的设计[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(6):292-296. WU Yifei,DAI Fei,ZHAO Wuyun,et al. Design of the film picking machine for double furrows[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2016,34(6):292-296. (in Chinese)
- 14 安军芳,王赞,张涛,等. 残膜回收机伸缩杆式捡拾滚筒的改进设计[J]. 农业装备与车辆工程,2014,52(3):7-9. AN Junfang,WANG Yun,ZHANG Tao,et al. The improvement design on telescopic rod type collecting roller of residual film recycling machine[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering,2014,52(3):7-9. (in Chinese)
- 15 徐新惠,王维新,吴杰,等. 滚筒式残膜回收机的理论设计和试验研究[J]. 农机化研究,2006,28(3):123-124. XU Xinhui,WANG Weixin,WU Jie,et al. Theoretical design and experiments on used plastic film collector with roller[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2006,28(3):123-124. (in Chinese)
- 16 施丽莉,胡志超,顾峰玮,等. 耙齿式垄作花生残膜回收机设计及参数优化[J]. 农业工程学报,2017,33(2):8-15. SHI Lili,HU Zhichao,GU Fengwei,et al. Design and parameter optimization on teeth residue plastic film collector of ridged peanut[J]. Transactions of the CSAE,2017,33(2):8-15. (in Chinese)
- 17 郭笑欢,戴飞,赵武云,等. 全膜双垄沟废膜捡拾打捆机的设计[J]. 中国农机化学报,2016,37(9):32-36,55. GUO Xiaohuan,DAI Fei,ZHAO Wuyun,et al. Design of the whole double furrow film picking baler machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2016,37(9):32-36,55. (in Chinese)
- 18 徐良庆. 伸缩扒杆式残地膜捡拾装置[J]. 农业机械学报,1994,25(2):60-64. XU Liangqing. A study on the retractable finger type pickup collector for residual mulching plastic film[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1994,25(2):60-64. (in Chinese)
- 19 甘肃农业大学. 一种地膜捡拾机卷膜辊:201711417242.0[P]. 2017-12-25.
- 20 辛尚龙,戴飞,赵武云,等. 马铃薯挖掘与残膜回收一体机的改进设计与试验[J]. 中国农业大学学报,2017,22(11):164-172. XIN Shanglong,DAI Fei,ZHAO Wuyun,et al. Improved design and experiment of combined operation machine for both potato harvesting and plastic film collecting[J]. Journal of China Agricultural University,2017,22(11):164-172. (in Chinese)
- 21 程兴田,赵建托,潘卫云,等. 两级升运链卷轴式残膜捡拾机的设计与试验[J]. 中国农机化学报,2016,37(4):31-34. CHENG Xingtian,ZHAO Jiantuo,PAN Weiyun,et al. Design and experiments of two elevator chain reel plastic film collector[J]. Journal of Chinese Agriculture Mechanization,2016,37(4):31-34. (in Chinese)
- 22 张文群,金维续,孙昭荣,等. 降解膜残片与土壤耕层水分运动[J]. 中国土壤与肥料,1994(3):12-15. ZHANG Wenqun,JIN Weixu,SUN Zhaorong,et al. Motion of degradable film fragments and soil water in the tilled layer[J]. Soil and Fertilizer in China,1994(3):12-15. (in Chinese)
- 23 严伟,胡志超,吴努,等. 铲筛式残膜回收机输膜机构参数优化与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(1):17-24. YAN Wei,HU Zhichao,WU Nu,et al. Parameter optimization and experiment for plastic film transport mechanism of shovel screen type plastic film residue collector[J]. Transactions of the CSAE,2017,33(1):17-24. (in Chinese)
- 24 辛尚龙,戴飞,石林榕,等. 单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机工作参数优化[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(5):282-287. XIN Shanglong,DAI Fei,SHI Linrong,et al. Optimization of working parameters of potato planter with fertilizer and mulching[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2017,35(5):282-287. (in Chinese)
- 25 廖庆喜,万星宇,李海同,等. 油菜联合收获机旋风分离清选系统设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(14):24-31. LIAO Qingxi,WAN Xingyu,LI Haitong,et al. Design and experiment on cyclone separating cleaning system for rape combine harvester[J]. Transactions of the CSAE,2015,31(14):24-31. (in Chinese)