

引用本文格式 刘学虎, 田辛亮, 赵岩, 等. 残膜回收机集膜装置研究进展[J]. 农业工程, 2024, 14(1): 5-14. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.01.001. LIU Xuehu, TIAN Xinliang, ZHAO Yan, et al. Research on film collection device of residual film recycling machine[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(1): 5-14.

残膜回收机集膜装置研究进展

刘学虎¹, 田辛亮¹, 赵岩^{1,2}, 李元超¹, 马华章¹

(1. 石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832003; 2. 农业农村部西北农业装备重点实验室, 新疆 石河子 832000)

摘要: 地膜覆盖技术的广泛应用, 导致农田残膜污染程度加剧, 严重影响农业生产与生活。针对目前国内外残膜回收机集膜装置研究现状, 对残膜回收机搂膜型、卷膜型、箱体型、圆捆型及方捆型机具类型进行总结, 分析了各类型装置特点、工作形式及优缺点, 指出了目前集膜装置发展所遇到的困难和问题, 并对残膜回收机集膜装置的发展提出了几点建议。

关键词: 残膜回收机; 集膜装置; 地膜覆盖技术; 残膜打包装; 农用地膜

中图分类号: S223.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-1795(2024)01-0005-10

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.01.001

Research on Film Collection Device of Residual Film Recycling Machine

LIU Xuehu¹, TIAN Xinliang¹, ZHAO Yan^{1,2}, LI Yuanchao¹, MA Huazhang¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China; 2. Key Laboratory of Northwest Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi Xinjiang 832000, China)

Abstract: The extensive use of mulching film technology has aggravated pollution degree of domestic farmland residual film, which seriously affects agricultural production and life. Current research status of film collecting device of residual film recycling machine at home and abroad was analyzed, types of equipment for residual film recycling machines, including wrap film type, roll film type, box type, round bundle and square bundle type, were summarized, characteristics, working forms, advantages, and disadvantages of each type of device were analyzed. Difficulties and problems encountered in developing current film-collecting device were put forward. Finally, some suggestions were proposed for developing film-collecting devices in a residual film recovery machine.

Keywords: residual film recycling machine, film collection device, mulching film technology, residual film packaging device, agricultural film

0 引言

自覆膜栽培种植技术引入我国, 因其具有调节光照、抑制杂草生长、节约水资源及控制作物生长周期等功能, 目前已成为我国冷凉干旱地区保障粮食作物和经济作物稳产增产的必备支撑技术^[1-6]。据中国统计年鉴, 2021年全国农用地膜使用量约132万t, 地膜覆盖面积1728.22万hm²^[7]。由于我国使用地膜厚度较低, 大部分以聚乙烯(PE)烃类化合物为主, 不易分解, 也难以降解, 在土壤中可存在100年以上, 影响作物生长、破坏土壤的内部结构, 直接影响农作物产量,

造成严重的土地白色污染^[8-11]。

当前残膜回收主要是人工捡拾、机械化回收及人工+机械回收结合等方式^[12]。采用人工回收费工、费力且效率不高。现有部分残膜回收机回收的残膜较为松散、完整度较低, 此外由于掺杂作物茎秆及土块等杂质, 不易运输, 大多残膜收集后被置于田间地头焚烧掩埋, 不仅容易造成二次污染, 而且又会对农业生产造成一定的影响。因此, 对残膜回收作业过程中进行收集或打包就显得尤为重要。本研究通过梳理目前国内外残膜回收机集膜装置的研究进展, 分析各类型集膜装置工作方式及适用条件, 提出残膜回收存在的问

收稿日期: 2023-05-18 修回日期: 2023-08-28

基金项目: 新疆生产建设兵团财政科技计划项目(2023CB008-09)

作者简介: 刘学虎, 硕士生, 主要从事农业机械化工程研究 E-mail: 2448630067@qq.com

赵岩, 通信作者, 教授, 硕士生导师, 主要从事农业机械化工程研究 E-mail: xjnkxxy_zy@126.com

在线投稿

www.d1ae.com

题,对我国目前残膜回收膜技术及装备研制进行展望,为残膜污染治理中残膜机械化回收应用环节提供参考。

1 国外研究现状

国外对地膜研究较早,并且出台了农膜使用及回收相关政策,明确规定较厚的地膜一般要重复使用3~4次,禁止废旧的地膜就地焚烧及随意丢弃,倡导有机农业、绿色农业和可持续农业。目前国外发达国家使用的农用地膜厚度多集中在0.015~0.250 mm,具有抗拉性好、抗撕裂能力强等优点,回收时破损度较小,一般使用卷收方式进行回收^[13-15]。

国外早期研究的机具多为半机械化作业,需要人工辅助捡拾地膜,工作效率较低。20世纪中后期,逐渐研究开发出新型全自动化残膜回收机具,如图1所示。Campbell Soup Co等^[16]发明了一种地膜回收机,回收部件主要使用卷膜辊对地膜进行回收,但是回收时地膜表面覆盖物一起被卷起,为后续除杂带来困难。BROOKS T W^[17]研制了一种残膜回收机,可将地膜从土壤中提起,利用振动传送机构除杂并将地膜运输至膜箱,最终将残膜打包成小型捆包进行回收。SARLD SYSTEM^[18]发明了一种卷筒式地膜回收机,地膜由起膜铲挑起,利用液压控制刷毛辊除杂,后被卷膜辊卷收。PARISH R L等^[19]设计了一套以控制液压马达流量来实现控制马达转速的装置,使卷膜辊及捡拾部件速度相协调,能够进行连续作业,同时提高了地膜回收机稳定性。SAWYER等^[20]研制了一种简单的地膜卷收装置,利用起膜铲分离地膜与土壤,通过液压马达控制卷膜辊,完成地膜回收。美国研究人员开发的PS610型残膜回收机,起边膜工作时同时除去部分土壤杂质,然后将整片地膜一分为二,配合人工完成收集工作。俄罗斯主要使用牵引后悬挂式地膜回收机,首先是松土铲进行膜土分离,后牵引机械利用金属网使残膜缠绕的方式进行收集。法国也是采用卷筒式地膜回收机,以拖拉机牵引机具,地膜由起膜铲起松,

人工将地膜挂在卷膜辊上进行卷膜,动力由地轮驱动。澳大利亚研究人员研制的一种带有链式传送装置的地膜回收机,可选用不同作业幅宽,经松土机构起膜后通过链式传送装置清杂并将地膜传送到卷膜辊上进行缠绕回收^[21-22]。以色列研究的卷收式残膜回收机,人工辅助将地膜缠绕至卷膜辊,通过液压马达控制卷收机构,一次可进行4行作业,有效提高地膜回收效率。日本农作物种植面积少,而且土质疏松,覆膜时间很短,一般回收时地膜破损较少,力学性能相比铺设时差别较小,一般采取简单缠绕进行回收^[23]。

2 国内研究现状

我国20世纪70年代引入地膜覆盖种植技术,使用地膜为低密度聚乙烯,厚度一般0.008~0.010 mm,耐候性差,回收时地膜拉伸强度低,加上抽取滴灌带等农业操作,导致地膜破损严重,回收地膜零散、松弛,不易运输,易被风吹走造成二次污染^[24]。为了对废旧残膜进行规范化处理,降低残膜储备,提高机收残膜回收利用率,部分科研单位在农田残膜收集方面研制了多种机型。

20世纪80年代末开始研制残膜回收机,当年由新疆生产建设兵团农一师13团研制的4LM-3.2型残膜回收机,用于砍除棉秆后进行残膜回收,作业时圆盘耙将表层土切碎,将地膜切成条状,然后用搂膜盘将地膜搂集成40 cm的宽条,最后由人工捡拾运输,但由于此类型机具工作效率不高,杂质含量较大,推广应用较少^[25]。

2000年以来,陆续研制出立秆式搂膜型系列残膜回收机、卷收型残膜回收机。搂膜型残膜回收机可将秸秆与搂膜弹齿隔开,避免对搂膜作业干扰,完成搂膜、脱膜等工序,同时能够有效回收表层及耕层残膜,并可与部分耕整地机具联合作业;该机结构简单、工作可靠,但需要人工辅助进行卸膜。卷膜型残膜回收机是利用卷膜辊或者其他卷膜装置对残膜进行卷绕收集,此类机具主要作业于作物生长早中期,此阶段地



图1 国外残膜回收机

Fig. 1 Foreign residual film recycling machine

膜铺设时间较短，地膜破损率较低，可利用地膜本身的强度将地膜挑起收集；该机结构简单、工作可靠。

2010 年至今，研发的残膜回收机主要有播前残膜回收机、集条残膜打包机、秸秆粉碎还田与残膜回收联合作业机，以及秸秆粉碎还田与残膜打包联合作业机等，主要以耕层残膜回收、播前残膜回收、压缩打包及复式联合作业为主，而联合作业机部分机型均在机具后方加装一个膜箱或者打包机构来对残膜进行回收，已在生产中进行推广应用。部分典型机具及残膜回收装置介绍如下。

2.1 搂膜式集膜装置

王学农等^[26]研制的悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机如图 2 所示，利用 4 排搂膜齿同时作用于残膜及棉花根茬，工作 25~35 m 进行一次卸膜作业，可同时完成残膜搂集与秸秆粉碎还田两种作业。新疆生产建设兵团研制的 SMJ-2 型收膜集条机、新疆农垦科学院机械装备研究所研制的 1LM-5.0 型自卸式弹齿搂膜机（图 3）及新疆生产建设兵团农八师 149 团研制的 CMJ-5 型密排弹齿式残膜回收机（图 4），田间残膜最终由搂膜盘将薄膜搂集成条，然后运至地头，人工辅助卸膜。该类机具主要适用于春季整地后、播种前，结构简单、

作业幅宽大，但回收的残膜多为片状，遇大风天气易被吹散，残膜也易缠绕齿条，需人工清理，影响作业效率^[27-30]。

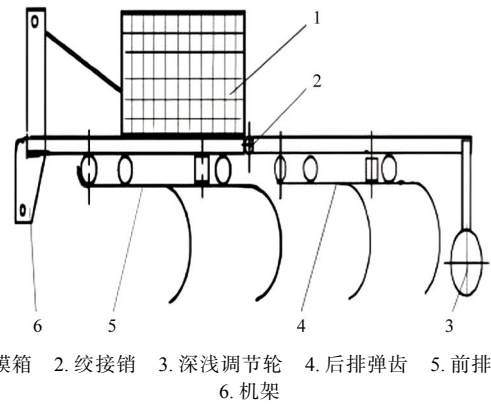


图 4 CMJ-5 型密排弹齿式残膜回收机
Fig. 4 CMJ-5 type densely packed spring-toothed residual film recovery machine

任萍等^[31]研制的 1MSF-2 型立秆式地膜回收机如图 5 所示，作业时双排搂膜齿将行间地膜及边膜挑起，达到一定膜量时通过液压控制自动卸膜；该机可完成起边膜、搂膜、自动卸膜等工序。其团队后期研制的 1MSF-3 型宽幅可折叠式地膜回收机，设计 7 m 左右宽幅可折叠机架，采用轻量化，降低动力输出^[32]。张炜等^[33]研制的 2TM-120 型地膜回收机如图 6 所示，清膜装置采用气压驱动，气动阀驱动清膜弹齿旋转，将残膜脱下；该机一次作业可完成耙地、回收残膜和秸秆等杂物、自动清膜等工序，机具体积小、易操作。

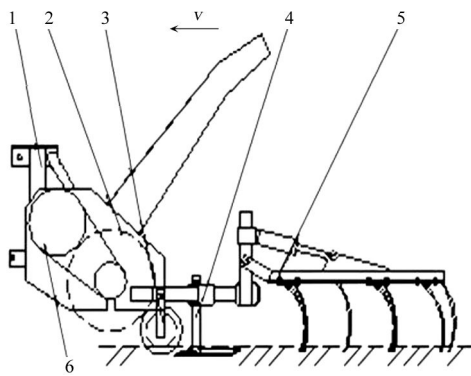


图 2 悬挂式秸秆还田及搂膜联合作业机结构
Fig. 2 Structure of suspended straw returning and mulching combined operation machine

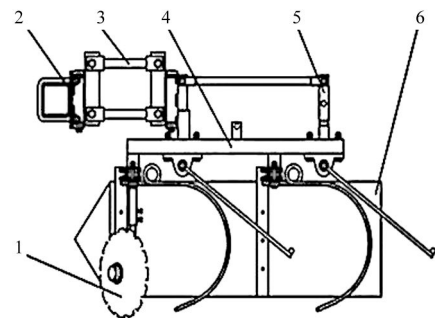


图 5 1MSF-2 型地膜回收机结构
Fig. 5 Structure of 1MSF-2 type film recycling machine

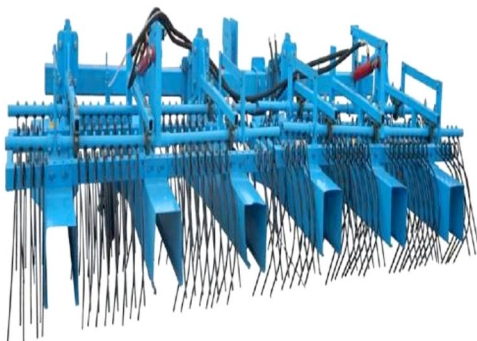
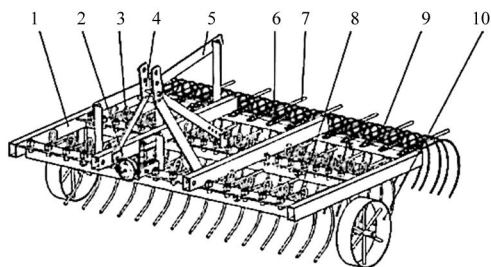


图 3 弹齿式搂膜机
Fig. 3 Recycling plastic film by raking

2.2 卷收式集膜装置

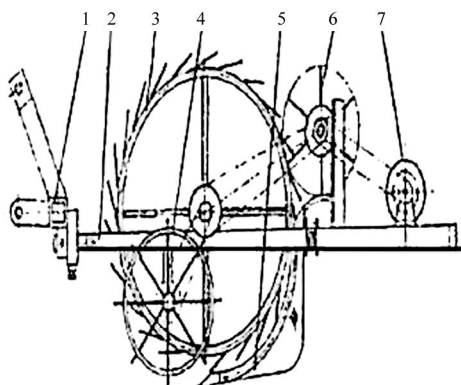
新疆农业科学院农业机械化研究所研制的 MSM-3 型系列苗期残膜回收机如图 7 所示，残膜回收主要依靠卷膜辊将残膜进行缠绕；该机将原有的采膜筐被动收集废膜的结构改成卷膜辊，提高了卸膜的灵活性和可操作性，但由于对地膜完整度要求较高，只适用于苗期地膜回收，使用范围有限^[34]。杨丽等^[35]研制的玉



1. 机架 2. 清膜气泵 3. 中接膜弹齿 4. 悬挂架 5. 清膜连杆 6. 搂膜弹齿压板 7. 清膜弹齿 8. 前搂膜弹齿 9. 后搂膜弹齿 10. 限深轮

图 6 2TM-120 型残膜回收机结构

Fig. 6 Structure of 2TM-120 type residual film recycling machine



1. 悬挂主梁 2. 机架 3. 起膜轮 4. 地轮 5. 起膜导轨 6. 卸膜轮 7. 卷膜辐

图 7 MSM-3 型残膜回收机

Fig. 7 MSM-3 type residual film recycling machine

米苗期残膜回收机(图 8)及薛文瑾等^[36]研制的 QSM-2 型苗期残膜回收机,残膜均由松土铲疏松,并通过卷膜轮使膜卷绕在卷膜机构,机具结构简单,操作方便。

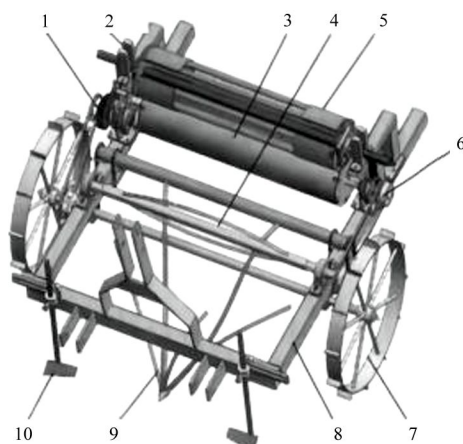


图 8 玉米苗期残膜回收机

Fig. 8 Seedling stage of corn residual film recycling machine

新疆生产建设兵团农八师和新疆生产建设兵团农机技术推广站联合研制的 CSM-130 型苗期残膜回收机,采用无芯圆捆卷膜,在苗期作业时可将地膜揭起并打成卷。杨丽等^[37]研制的棉花苗期地膜回收机,如图 9 所示,和上述机具采取相似原理,采取卷膜辊对残膜进行卷绕收集,可实现 1 膜 2 行种植模式的地膜回收,但后续需人工进行卸膜。张炳发^[38]研制的秋季卷膜式

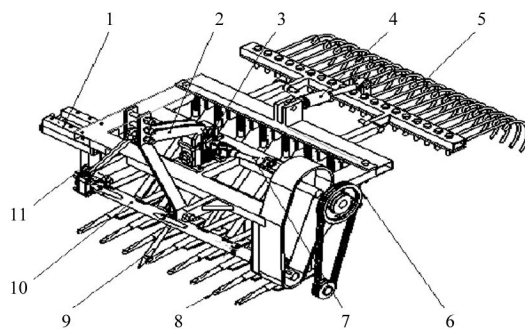
残膜回收机如图 10 所示,作业幅宽 1.5 m,残膜经托膜铲与拾膜齿作业送至卷膜辊进行缠绕,回收残膜较为完整适用性较好。



1. 卷膜传动机构 2. 浮动滑槽 3. 卷膜驱动辊 4. 抖土辊 5. 卷膜辊 6. 抖土传动机构 7. 地轮 8. 机架 9. 起膜铲 10. 松土铲

图 9 棉花苗期地膜回收机结构

Fig. 9 Structure of residual film recycling machine at cotton seedling stage



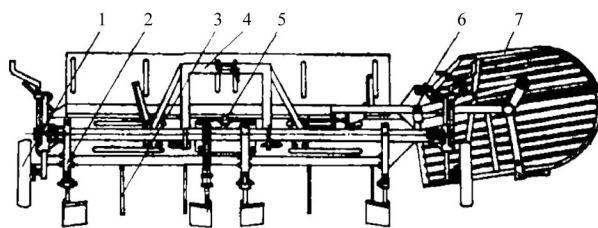
1. 移动装置 2. 牵引架 3. 减速器 4. 液压缸 5. 搂膜耙 6. 带轮 7. 万向联轴器 8. 托膜铲 9. 拾膜齿 10. 卷膜辊 11. 移动机架

图 10 卷膜式残膜回收机结构

Fig. 10 Structure of roll film residual film recycling machine

2.3 箱体类集膜装置

辽宁省农业机械化研究所研制的 1SQ-2.0 型塑料残膜清除机如图 11 所示,残膜由犁起膜装置翻起,经搂膜齿送至集膜栏,后经液压手柄控制集膜栏翻转将残膜倒至地头;该机适用于机械铺膜农田残膜回收作业,

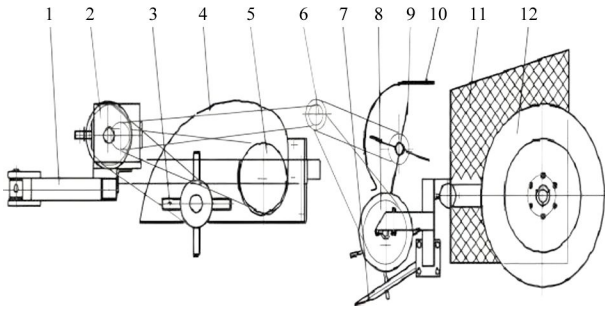


1. 地轮 2. 犁起膜装置 3. 搂膜齿 4. 主梁 5. 万向节和传动轴 6. 进油管装配 7. 集膜栏机构

图 11 1SQ-2.0 型塑料残膜清除机

Fig. 11 1SQ-2.0 type residue plastic recycling machine

但集膜栏装置容量较小，需要经常卸膜，工作效率较低^[39]。新疆农业科学院农业机械化研究所早期研制的4FX-2型、4SJ-2.0型残膜回收联合作业机，以及4SJ-1.6型残膜回收与茎秆粉碎联合作业机（图12），可对秸秆进行粉碎，并通过捡拾辊筒回收残膜，输送至集膜箱，装满后成堆卸下。该类机型较搂膜型集膜装置结构复杂，残膜清洁率及回收率较好^[40-41]。



1. 机架 2. 齿轮箱 3. 茎秆粉碎装置 4. 茎秆还田机罩壳 5. 茎秆输送搅龙 6. 传动机构 7. 起膜梳齿 8. 捡拾滚筒 9. 残膜脱送叶轮 10. 叶轮罩壳 11. 集膜箱 12. 地轮

图12 4SJ-1.6型残膜回收与茎秆粉碎联合作业机

Fig. 12 4SJ-1.6 type residual film recovery and straw chopping combined operating machine

新疆农业科学院农业机械化研究所研制的4JLM-1800型悬挂式地膜回收机及4FSZ型地膜回收机，作业时齿耙面向土壤疏松膜，挑膜装置挑起地表残膜经送膜轮将残膜刮下并抛至残膜收集箱，完成整个收膜过程，作业效果较好，残膜收净率高^[42]。新疆农垦科学院机械装备研究所研制的4JSM-2000型秸秆还田弹齿搂膜联合作业机如图13所示，集膜栏位于机具后方，由仿形搂膜机构进行搂膜，并可实现自动卸膜，同时可完成秸秆粉碎工作，工作效率高。新疆农业科学院农业机械化研究所研制的4JSM-2100型秸秆粉碎还田残膜回收联合作业机如图14所示，膜箱位于机具的后部，呈半圆形，收集残膜达到膜箱容量时，液压缸将膜箱翻转180°，残膜被倾倒入集堆，工作效率高，使用方便^[43-45]。



图13 4JSM-2000型秸秆还田弹齿搂膜联合作业机

Fig. 13 4JSM-2000 type straw return elastic and spring-toothed combined operation machine



图14 4JSM-2100型秸秆粉碎还田残膜回收联合作业机

Fig. 14 4JSM-2100 type cotton straw smashing and plastic film recycling combined operation machine

新疆农垦科学院机械装备研究所研制的链耙式残膜回收机如图15所示，地膜由链耙齿挑起，同时向上运动落入残膜回收箱内；机具工作稳定、回收效果好及残膜回收率高，但由于链耙齿入土前端会堆积大量残茬等杂物，影响作业速度^[46]。王吉奎等^[47]研制的SMS-1500型残膜回收机，使用链齿耙将残膜挑起并输送至残膜箱，该机可将膜秆有效分离，方便后续残膜的再利用。王旭峰等^[48]研究的抛膜链齿输送式残膜回收机如图16所示，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。

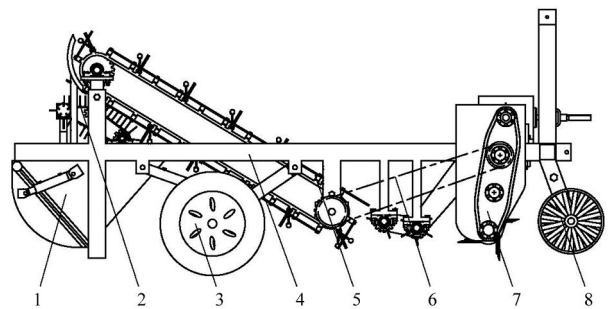
2.4 方捆型集膜装置

新疆科神农业装备科技开发股份有限公司与新疆



图15 链耙式残膜回收机

Fig. 15 Shovel-chain gear typed residual film recycling machine



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

图16 抛膜链齿输送式残膜回收机

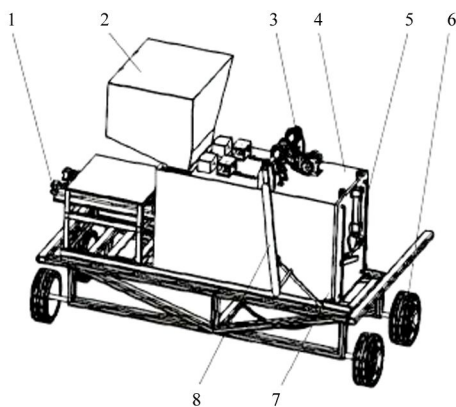
Fig. 16 Picking film and chain teeth conveying type residual film recycling machine

农垦科学院机械装备研究所联合研制的 CMJY-1500 型农田残膜捡拾打包联合作业机如图 17 所示, 该机采用 3 组相互垂直的液压油缸对回收残膜进行压缩, 最终将其压缩成方包; 打包机捡拾率高, 单包成型时间短, 残膜成捆率高。较之前集膜箱装置, 打包机构使用液压压缩方式, 使残膜压缩成型, 方便运输, 同时能避免因残膜松散随意飘散带来的二次污染, 并且结构简单, 残膜回收效果显著^[49]。张海春等^[50]在 4JLM-1800 (A) 型残膜回收机的基础上加装钢辊打包 (捆) 装置, 研制成棉田地膜回收打包一体机, 作业时, 输送至成捆室的残膜在旋转辊筒作用下, 被快速旋转形成残膜捆芯; 不断送入的残膜在旋转作用下卷绕至残膜捆芯上, 最终形成圆捆状。该机具将圆捆机与现有秸秆粉碎还田及残膜回收机联合作业, 机具作业效率高、功能齐全, 但结构复杂, 配套性差, 制造成本较高。李伟平等^[51]研究的田间残膜压缩打包装置如图 18 所示, 残膜回收机从田间收集地膜之后通过残膜送入口送入压缩腔腔体, 先后约需要进行 4 次压缩-退回循环动作。该机设计了一种线材预定位机构及穿针式送线机构对压缩残膜包进行打结, 有效捆紧膜包, 防止中途逸散, 方便运输。



图 17 CMJY-1500 型农田残膜捡拾打包联合作业机

Fig. 17 CMJY-1500 type farmland residual film picking and packing combined machine



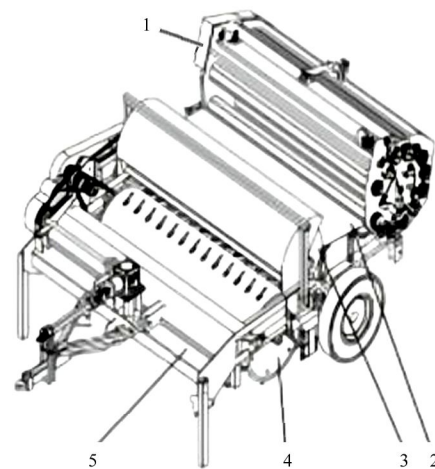
1. 压缩机构 2. 残膜送入口 3. 打结机构 4. 压缩腔 5. 线材预定位机构 6. 地轮 7. 龙门锁紧机构 8. 穿针式送线机构

图 18 压缩打包装置结构

Fig. 18 Structure of compression and packing device

2.5 圆捆型集膜装置

廖培旺等^[52]研制了一种安装有曲柄摇杆输膜机构的棉田地膜回收打捆机如图 19 所示, 该机主要通过圆捆打捆机钢辊的旋转运动将残膜打捆, 捆包密度 146.5 kg/m^3 , 作业效果良好。郭笑欢等^[53]研制的全膜双垄沟废膜捡拾打捆机, 废膜被弧形起膜齿挑起, 捡拾的废膜被风机吹入卷压室, 随着钢辊的连续转动, 进入卷压室的废膜逐渐由小变大形成紧密圆捆。该打包机构加装自动报警系统, 膜包达到预定密度时进行预警, 作业容错率较低。陈学庚院士团队将农机、农艺、农膜相结合, 创新发明了农田残膜回收新原理, 发明了随动式残膜回收秸秆粉碎联合作业机、二阶链板式秸秆还田残膜回收联合作业机及 4JMLQ-210 型秸秆还田残膜回收联合作业机, 如图 20 和图 21 所示, 并进行多次田间试验示范, 地表残膜回收率较高, 成捆率较高。王征等^[54]研制的带式残膜揉搓打包机如图 22 所示, 作业时主要依靠前后打包带与残膜之间的摩擦产生相对运动将残膜打包成圆捆, 残膜包密度可达到 89.8 kg/m^3 , 但机具结构较为复杂, 维修不便, 推



1. 钢辊 2. 曲柄摇杆输膜机构 3. 刷膜辊 4. 捡拾滚筒 5. 地膜回收装置

图 19 棉田地膜回收打捆机

Fig. 19 Cotton residual film picking and packing machine



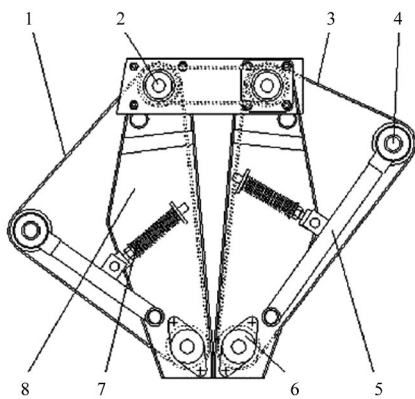
图 20 二阶链板式秸秆还田残膜回收联合作业机

Fig. 20 Second-order chain plate type cotton straw smashing and plastic film recycling combined operation machine

广面积较少。张学军等^[55]研制的钢辊圆捆式残膜捡拾打包机，废膜由弧形钉齿挑动，经链杆式振动输膜机构将残膜传送至打包装置，钢辊顺时针旋转将残膜进行压缩打包，一次作业完成残膜捡拾、膜土分离、打包作业，膜包成捆率较高，机具作业时运转平稳，工作稳定。



图 21 4JMLQ-210 型秸秆还田残膜回收联合作业机
Fig. 21 4JMLQ-210 type cotton straw smashing and plastic film recycling combined operation machine



1.前侧打包带 2.上支撑辊 3.后侧打包带 4.张紧辊 5.张紧支架
6.下支撑辊 7.张紧装置 8.侧板

图 22 带式残膜揉搓打包机结构

Fig. 22 Structure of belt-type residual film rubbing and baling machine

3 存在问题

(1) 残膜回收机集膜装置作业范围有限，效果不佳。据有关资料，我国残膜回收机具研究位于前列，但现有残膜收集作业机械化程度依旧较低、作业效果不理想。卷膜及揉膜型残膜回收机使用范围有限，并且需要人工配合作业，秋后残膜回收机则多数加装一个集膜箱，回收后的残膜大部分呈松散状态，密度较低，占用空间较大，作业过程中不能对回收的残膜直接卷捆，机具结构复杂且造价高昂，需要及时卸膜，很难实现连续作业。

(2) 残膜回收机农机-农艺-农膜结合性不足，机具结构较为复杂。由于目前地膜产品质量及农户实际应用情况差异较大，增加了残膜回收机挑膜、送膜及集膜装置的研究难度。同时残膜回收机具农机农艺融合不够，机具捡拾机构无法满足不同土壤条件、不同

种植模式的要求，适应性差，回收后的残膜很难达到理想洁净率、含杂率等。目前利用常规机具改装的残膜回收机，回收后的残膜混有秸秆、泥土等杂质，影响膜包密度，对残膜后续再利用加工造成困难。

(3) 卷捆及打包技术不成熟，装置性能较低。残膜回收机残膜卷捆（打包）装置设计主要有辊筒式、胶带式等。辊筒式卷捆装置中辊筒容易产生漏膜，作业时残膜易缠绕辊筒，损坏部件；而胶带式卷捆装置对残膜中土杂清理效果不好，依旧存在膜卷含土量大等问题。

4 结论与建议

根据目前我国地膜覆盖栽培技术应用现状可以判断，降解膜技术应用于大田作物仍有待进一步研究，聚乙烯材料的不可降解地膜在一定时期内仍将继续使用。要根本解决残膜污染问题，首要问题是“膜”，其次必须进一步推进我国农田地膜机械化回收技术的推广应用。

(1) 促进地膜使用正规化。我国当前地膜生产标准宽松，对地膜生产、销售、使用和回收监管不足，大量超薄、低强度、易老化、寿命短的地膜充斥市场，导致大量地膜残留在农田中，难以回收。国家及相关部门应强制规定使用农膜厚度需 >0.01 mm，并设置检测机构对地膜生产企业生产产品进行监督检查。同时开展地膜使用及回收宣讲会，提高农民地膜回收意识。加大财政补贴，保证农民可以在符合其经济效果的前提下购买使用适宜产品，减少低厚度地膜的使用，从源头上降低后期残膜回收难度。同时各地区应该修订和完善残膜回收及污染治理相关法律法规，加强执行力。加大信息化、大数据手段在残膜污染治理监管中的作用，使地膜生产至回收利用全过程更加系统化。

(2) 发展多种类、多适用性、多功能性残膜回收机械。研究残膜回收机具时，应坚持农机-农艺-农膜相结合的标准，需因地制宜，根据现有地膜实际应用情况，以提高农田表层及耕层残膜捡拾率为目的，对机具起膜装置及膜杂分离装置开展更深入的研究，在回收残膜的同时降低含杂率，提高耕层小块残膜回收效率，减少后期残膜收集及再利用阻碍。同时加大集膜箱的容量，发展残膜捡拾压缩技术，减少卸膜次数，提升作业效率。

(3) 创新残膜打捆原理，发展新型残膜打包装置。残膜打包技术主要借鉴秸秆和牧草打包技术，因此需采取多学科联合攻关，研究残膜卷捆过程膜包成型机理，集中突破残膜回收卷捆关键技术，提高残膜回收机械化程度，注重机构的多适用性，加大对残膜打包装置的研发。同时可结合虚拟仿真及机械设计技术进

行创新, 改变原田间试验步骤, 减少设计研发成本。此外在现有研究基础上, 开发残膜包密度控制技术、打包实时状态监控与报警技术, 使其能够在高速作业状态下自动监控、报警。运用云端控制实现残膜打包及卸膜作业, 使残膜回收作业更具智能化。

参考文献

- [1] 严昌荣, 何文清, 刘爽, 等. 中国地膜覆盖及残留污染防治[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [2] 平全荣. 旱地农业覆盖栽培技术研究应用进展与展望[J]. 山西农业科学, 2008, 36(2): 63-66.
PING Quanrong. Research and using development and prospect of farming in dry land covers technology[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2008, 36(2): 63-66.
- [3] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269-272.
YAN Changrong, MEI Xurong, HE Wenqing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(11): 269-272.
- [4] 原红娟, 郝建平. 旱作棉田渗水地膜覆盖的生态及产量效应研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 442-447.
YUAN Hongjuan, HAO Jianping. Studies of ecological and yield effect of water-osmosis plastic membrane in rainfed cotton field[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(5): 442-447.
- [5] 李治国, 周静博, 张丛, 等. 农田地膜污染与防治对策[J]. 河北工业科技, 2015, 32(2): 177-182.
LI Zhiguo, ZHOU Jingbo, ZHANG Cong, et al. Pollution and control countermeasures of farmland mulching film[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2015, 32(2): 177-182.
- [6] 严昌荣, 何文清, 梅旭荣, 等. 农用地膜的应用与污染防治[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [7] 国家统计局. 中国统计年鉴 2021[J]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [8] 祁虹, 赵贵元, 王燕, 等. 我国棉田残膜污染危害与治理措施研究进展[J]. 棉花学报, 2021, 33(2): 169-179.
QI Hong, ZHAO Guiyuan, WANG Yan, et al. Research progress on pollution hazards and prevention measures of residual film in cotton field in China[J]. Cotton Science, 2021, 33(2): 169-179.
- [9] 兰印超, 申丽霞, 李若帆. 不同地膜覆盖对土壤温度及水分的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(12): 120-126.
LAN Yinchao, SHEN Lixia, LI Ruofan. Effects of different film mulching on soil temperature and moisture[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(12): 120-126.
- [10] 牛瑞坤, 王旭峰, 胡灿, 等. 新疆阿克苏地区棉田残膜污染现状分析[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(2): 283-288.
NIU Ruikun, WANG Xufeng, HU Can, et al. Analysis of the current situations of plastic films residue pollution of cotton field in Xinjiang Aksu Area[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(2): 283-288.
- [11] 何文清, 严昌荣, 刘爽, 等. 典型棉区地膜应用及污染现状的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1 618-1 622.
HE Wenqing, YAN Changrong, LIU Shuang, et al. The use of plastic mulch film in typical cotton planting regions and the associated environmental pollution[J]. Journal of Agro-Environmental Science, 2009, 28(8): 1 618-1 622.
- [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.
- [13] 王征. 揉搓式残膜打包装置的设计与试验[D]. 石河子: 石河子大学, 2021.
WANG Zheng. Design and test of the rubbing type baling device for residual film[D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.
- [14] 徐伟. 农用残膜回收机主要结构设计与分析研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
XU Wei. Design and analysis study on main working parts of agricultural used plastic film collector[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [15] 闫盼盼, 曹肆林, 罗昕, 等. 弹齿链耙式播前残膜回收机的设计研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(6): 137-142.
YAN Panpan, CAO Silin, LUO Xin, et al. Research on the spring-tooth-chain-rake Incomplete plastic film recycling machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(6): 137-142.
- [16] Campbell Soup Co. Farm machine for removing protective ground covers from a cultivated field: USD3687392[P]. 1972-08-29.
- [17] BROOKS T W. Apparatus for removing and baling plastic mulch: US19940213688[P]. 1995-09-26.
- [18] SARL DL SYSTEM. Machine for removing wide strips laid out on the ground: US19920888767[P]. 1995-02-07.
- [19] PARISH R L, BRACY R P. Removal and collection of plastic mulch[J]. Removal and Collection of Plastic Mulch, 2000: 1-8.
- [20] SAWYER, ALAN G, ROBERSON, et al. Plastic sheet take-up implement: US19920821081[P]. 1993-08-17.
- [21] KYRIKOU I, BRIASSOULIS D, HISKAKIS M, et al. Analysis of photo-chemical degradation behaviour of polyethylene mulching film with pro-oxidants[J]. Polymer Degradation and Stability, 2011, 96(12): 2 237-2 252.
- [22] TUNA E. Producing biodegradable plastics using activated-sludge polyhydroxyalkanoates in mixed composition[M]. University of California, Davis, 2012.
- [23] 刘香丽. 白色污染治理现状与对策[J]. 当代化工研究, 2017(12): 65-66.
- [24] 杨松梅, 颜利民, 莫毅松, 等. 随动式残膜回收机捡拾装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(12): 109-115, 164.
YANG Songmei, YAN Limin, MO Yisong, et al. Design and experiment on collecting device for profile modeling residual plastic film collector[J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(12): 109-115, 164.
- [25] 王志青. 浅谈残膜回收机发展现状及存在的问题[J]. 农业机械, 2008(27): 48-49.
- [26] 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机搂膜机构的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 135-140.
WANG Xuenong, SHI Jianxin, GUO Junxian, et al. Experimental

- study and design on film raking mechanism of hanging film raker with cotton-stalk crushing and returning to field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 135-140.
- [27] 李明洋, 马少辉. 我国残膜回收机研究现状及建议[J]. 农机化研究, 2014, 36(6): 242-245, 252.
- LI Mingyang, MA Shaohui. Present situation of research on plastic film residue collector in China and some suggestions[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(6): 242-245, 252.
- [28] 营雨琨, 曹肆林, 王敏, 等. 1LM-5.0型播前搂膜机的研制[J]. 新疆农机化, 2016(4): 11-12.
- YING Yukun, CAO Silin, WANG Min, et al. Developing of 1LM-5.0 film raking machine[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2016(4): 11-12.
- [29] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(2): 8-15.
- [30] 王浦舟, 吴雪梅, 张富贵, 等. 梳齿式自动仿形残膜捡拾机的设计及性能试验[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 56-62.
- WANG Puzhou, WU Xuemei, ZHANG Fugui, et al. Design and performance test of comb-type automatic profiling residual film collecting machine[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(3): 56-62.
- [31] 任萍, 胡斌, 罗昕. 1MSF-2型立秆式地膜回收机的研制[J]. 农机化研究, 2016, 38(9): 136-140.
- REN Ping, HU Bin, LUO Xin. Research on manufacturing the 1MSF-2 plastic film recycling machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(9): 136-140.
- [32] 王科杰, 罗昕, 胡斌, 等. 1MSF-3型残膜回收机机架的设计与优化[J]. 农机化研究, 2017, 39(3): 144-149.
- WANG Kejie, LUO Xin, HU Bin, et al. Design and optimization of 1MSF-3-type plastic film residue collecting machine frame[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(3): 144-149.
- [33] 张炜, 王海涛, 魏海, 等. 2TM-120型残膜回收机的研制[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(10): 40-43.
- ZHANG Wei, WANG Haitao, WEI Hai, et al. Development of 2TM-120 residual film recycling machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(10): 40-43.
- [34] 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]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 1-14.
- ZHAO Yan, CHEN Xuegeng, WEN Haojun, et al. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 1-14.
- [35] 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.
- [36] 薛文瑾, 王春耀, 朱振中, 等. 卷膜式棉花苗期残膜回收机的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 148-149, 147.
- XUE Wenjin, WANG Chunyao, ZHU Zhenzhong, et al. Brief report on research works of three papers[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 148-149, 147.
- [37] 杨丽, 刘佳, 张东兴, 等. 棉花苗期地膜回收机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(S1): 73-77.
- YANG Li, LIU Jia, ZHANG Dongxing, et al. Design and experiment of plastic film collector for cotton fields during seedling period[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(S1): 73-77.
- [38] 张炳发. 秋季卷膜式残膜回收机的设计研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
- ZHANG Bingfa. Design and study of film recycling film recycling machine in autumn[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015.
- [39] 王刚, 曹志佳. 残膜回收机的类型及应用[J]. 新农业, 2013(21): 58-59.
- [40] 何义川, 王序俭, 王吉亮, 等. 棉花秋后残膜回收与茎秆粉碎联合作业机设计[J]. 西北农业学报, 2013, 22(8): 199-204.
- HE Yichuan, WANG Xujian, WANG Jiliang, et al. Research and design of cotton plastic film collector&field straw chopper combined machine after autumn[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(8): 199-204.
- [41] 于云海, 陈学庚, 温浩军. 秸秆粉碎与残膜集条联合作业机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 1-8.
- YU Yunhai, CHEN Xuegeng, WEN Haojun. Development and experiment of straw chopping and plastic film strip-collection combined machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(24): 1-8.
- [42] 周新星, 胡志超, 严伟, 等. 国内残膜回收机脱膜装置的研究现状[J]. 农机化研究, 2016, 38(11): 263-268.
- ZHOU Xinxing, HU Zhichao, YAN Wei, et al. Research status of domestic residual film recovery machine to take off the film device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(11): 263-268.
- [43] 张佳喜, 陈发, 王学农, 等. 一种新型可自动卸膜滚刀式秸秆粉碎残膜回收联合作业机的研制[J]. 中国农机化, 2012(1): 122-125.
- ZHANG Jiayi, CHEN Fa, WANG Xuenong, et al. Study on a new type of hob plastic film residue recovery machine with self-motion unloading plastic film[J]. China Agricultural Mechanization, 2012(1): 122-125.
- [44] 张海春, 龚冠豪, 郭红娟, 等. 棉田地膜回收打捆机关键参数设计及试验探析[J]. 现代制造技术与装备, 2018(4): 67-68.
- ZHANG Haichun, GONG Guanhao, GUO Hongjuan, et al. Design and test of key parameters of cotton field film recovery and baling machine[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2018(4): 67-68.
- [45] 由佳翰, 陈学庚, 张本华, 等. 4JSM-2000型棉秆粉碎与残膜回收联合作业机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 10-16.
- YOU Jiahao, CHEN Xuegeng, ZHANG Benhua, et al. Design and experiment of 4JSM-2000 type combined operation machine for cotton stalk chopping and residual plastic film collecting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(10): 10-16.

- 10-16.
- [46] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(19): 24-32.
- [47] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 168-172.
- [48] 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]. 农业机械学报, 2018, 49(3): 122-129.
WANG Xufeng, HU Can, LU Bing, et al. Design and experiment of sprocket conveying residual film recycling machine of casting film[J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 122-129.
- [49] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(5): 1-9.
- [50] 张海春, 张丽, 蒋永新, 等. 棉田地膜回收打捆机关键参数设计及试验研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(5): 28-31.
ZHANG Haichun, ZHANG Li, JIANG Yongxin, et al. Design and experimental study on key parameters of plastic film recycling and bundling machine used in cotton field[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(5): 28-31.
- [51] 李伟平, 张新昌. 田间残膜压缩打包装置及其关键技术[J]. 轻工机械, 2017, 35(5): 70-75.
LI Weiping, ZHANG Xinchang. Research on residual film compression and packaging device and key technology[J]. Light Industry Machinery, 2017, 35(5): 70-75.
- [52] 廖培旺, 嵇冬玲, 王成, 等. 棉田地膜回收打捆机关键部件的优化设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(8): 27-31.
LIAO Peiwang, ZHUO Dongling, WANG Cheng, et al. Optimization design and test of key parts of cotton field film recycling and baling machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(8): 27-31.
- [53] 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.
- [54] 王征, 王吉奎, 唐永飞, 等. 带式残膜揉搓打包机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 11-18.
WANG Zheng, WANG Jikui, TANG Yongfei, et al. Design and test of the belt-type residual film rubbing and baling machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(19): 11-18.
- [55] 张学军, 黄爽, 史增录, 等. 残膜捡拾打包机的设计与试验[J/OL]. 吉林大学学报(工学版): 1-10. <https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20210788>.
ZHANG Xuejun, HUANG Shuang, SHI Zenglu, et al. Design and test of the remaining film picking and baling machine[J/OL]. Journal of Jilin University (Engineering Edition): 1-10. <https://doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20210788>.