

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.008

基于 EtherCAT & GPRS 的智能残膜回收装置设计与试验

吴小艳 王书 周惠兴 侯书林 简建明

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 目前残膜回收作业需要根据实际状况人为地对其破土深度和收膜速度进行反复停车调节,为了提高残膜回收作业的智能化水平和工作效率,对自主研发的弹齿式残膜回收装置进行改进,利用 BECKHOFF CX2030 控制器及模块和 EtherCAT 总线接口与 GPRS 联网,以实现起膜铲自动升降调节、卷膜齿转速在线检测、残膜回收在线视觉反馈和数据传输与监控等功能。通过对智能起膜铲的结构设计、理论分析和试验验证,得到了铲刀的安全倾角为 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$,适宜破土深度为 20 ~ 50 mm。智能残膜回收装置的田间试验表明,该装置在机械化回收作业方面是可行的,智能起膜铲的抗扭矩能力、残膜回收率、卸膜率和整机工作效率均表现良好。

关键词: 农用地膜; 残膜回收; EtherCAT; GPRS; 智能

中图分类号: S216.2; TP242.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)09-0050-06

Design and Test of Intelligent Residual Film Recovery Device Based on EtherCAT & GPRS

Wu Xiaoyan Wang Shu Zhou Huixing Hou Shulin Jian Jianming

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: At present, the residual film recovery device needs to stop artificially and adjust repeatedly for its ground-breaking depth and rolling speed based on actual situation during the work. It often leads to low levels of mechanization and efficiency. In order to improve intelligence and efficiency of the plastic film recovery unit, the subject takes the elastic tooth residual film recovery device of existing independently developed as the research object. BECKHOFF CX2030 controller and the module were used to collect the data of each sensor in real time and control the operation of the servo motor. Then through the Ethernet interface which based on EtherCAT bus and the GPRS network, it can realize the film shovel automatic lifting adjustment, the film cutting speed online detection, the residual film recovery online visual feedback, the data transmission and monitoring. Through the structure design, theoretical analysis and experimental verification of the intelligent film shovel, the inclination angle of the blade was obtained as 65° to 75° , the safety ground breaking depth was 20 mm to 50 mm. The application of image technology and computer simulation software was conducive to the real-time feedback of residual film legacy and scientific calculation of residual film recovery rate and operating efficiency. The field experiment in sandy loam soil of potato ridge using the intelligent residual film recovery device based on EtherCAT & GPRS showed that, the effect of the residual film recovery operations was significant in the intelligent level and residual film recovery rate, and the overall level of the device was greatly improved. The successful research and development of the device will greatly promote the residual film recovery to multifunction, intelligence, digitization and automation.

Key words: agricultural plastic film; residual film recovery; EtherCAT; GPRS; intelligence

收稿日期: 2016-02-26 修回日期: 2016-06-14

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503105)和国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA10A503-4)

作者简介: 吴小艳(1987—),男,博士生,主要从事智能机器人研究,E-mail: perc_wxy@126.com

通信作者: 侯书林(1959—),男,教授,博士生导师,主要从事智能农机装备研究,E-mail: hsl010@126.com

引言

地膜覆盖种植技术因具有增温保墒、活化土壤养分和减轻作物病害等方面的显著特点而被大面积推广^[1]。目前我国的覆膜种植总面积已达到 1 979.1 万 hm^2 , 主要覆盖区域分布在干旱、半干旱及冷凉地区, 覆膜种植农作物种类达到 40 多种, 农用地膜使用量已达到 120 多万 $\text{t}^{[2-3]}$ 。由聚乙烯和聚氯乙烯制成的农用地膜在土壤中长期不易降解, 大量的残膜滞留在土壤中, 破坏了土壤的水分渗透循环系统和农田生态环境, 导致出现农作物根系生长缓慢、土壤板结、牲畜误食中毒和机械化作业受阻等现象^[4]。

近年来, 残膜机械化回收逐步取代人工捡拾^[5], 出现了以前苏联和英国为代表的悬挂式收膜机; 以美国和以色列为代表的收卷式收膜机; 以法国为代表的卷筒式收膜机^[6-7]; 我国也相继出现了滚筒式、弹齿式、钉刺式和链耙式等残膜回收机^[8-9]。以自主研发的弹齿式残膜回收装置为例^[10], 该装置的动力来自拖拉机牵引, 其收膜作业由装置前端的起膜铲破土托膜和通过主动轮胶带传动驱动卷膜齿完成; 卸膜作业通过传送链上并排安装的弹齿完成, 其末端随着曲柄摇杆挑膜机构运动, 每个工作周期与地面接触一次, 将膜挑起, 挑起后再与脱膜震动轮配合, 膜被卸入集膜箱。然而, 作业过程中的破土深度和收膜速度不能在线调整, 需要人为地根据实际状况凭借经验和目测进行反复停车调节, 整机的机械化程度与智能化水平低下, 作业效率不高, 易导致破碎后的地膜呈现小而不规则的分布状态, 难以保证残膜回收率, 同时增加工耗和回收成本。

为了提高残膜回收作业的智能化水平和作业效率, 针对如何实现起膜铲破土深度的在线自动调节、卷膜齿转速在线检测、残膜回收在线视觉反馈和数据传输与监控等功能, 本文借鉴测控技术、EtherCAT 总线技术、GPRS 网络和视觉技术在工业领域中的成功应用^[11], 运用多学科综合交叉技术设计智能残膜回收装置。

1 智能残膜回收装置结构与工作原理

1.1 装置结构改进

智能残膜回收装置是在现有弹齿式残膜回收装置的基础上对其相关结构和功能进行了改进。改进措施如下: 在卷膜齿的主动轮齿轮两侧上安装霍尔式轮速传感器, 用于实时检测卷膜齿转速。将起膜铲固定在由伺服电动机驱动的丝杆滑块上, 丝杆滑

台选用 HIWIN KK40 型带外罩负载型, 并固定在装置前端的横梁两侧, 伺服电动机驱动由 BECKHOFF CX2030 型控制器(德国)及 EL7201 型驱动模块实现, 同时在铲尖内部加装 Arduino 压电陶瓷传感器。残膜回收状况通过安装在装置后下方横梁正中间的摄像头实时扫描获得, 选用 HIKVISION 型高清摄像头。控制系统选用德国 BECKHOFF CX2030 型控制器及模块, 无线通信监控通过以太网接口与 GPRS 联网实现。图 1 为现有的弹齿式残膜回收装置实物图。



图 1 弹齿式残膜回收装置实物图

Fig. 1 Physical diagram of elastic tooth type residual film recovery device

1.2 工作原理

1.2.1 联网通信原理

GPRS 的产生满足了移动数据业务的需求, 通过一个路由器(GGSN)直接与外部网络相连^[12]。BECKHOFF CX2030 型控制器搭载的计算机嵌入式 TwinCAT 平台兼容了运动控制功能、EtherCAT 总线功能和组态(HMI)功能。EtherCAT 总线基于以太网接口协议, 直达控制系统的 I/O 层, 能够与 GPRS 网络相连, 通过 TCP/IP 协议实现实时数据的无线传输^[13-14]。同时, GPRS DTU 包含 TCP/IP 数据通信和协议栈的功能, OPC 服务器与 GPRS DTU 采用 TCP/IP 协议进行实时双向通信, 人机界面和 OPC 服务器之间采用 DCOM/COM 通信^[15]。

1.2.2 数据传输工作原理

智能残膜回收装置的数据采集与处理过程如图 2 所示。数据传输工作原理为: 通过 BECKHOFF 模块实时采集按钮控制信号、起膜铲压力信号、视觉图像信号、卷膜齿速度信号和伺服电动机运行参数, 这些信号通过 CX2030 控制器处理后, 经过 EtherCAT 总线、无线路由器和 GPRS DTU 传输至 OPC 服务器, 进而在监控界面(HMI)上显示, 为操作者提供实时作业参数; 操作者根据残膜回收的在线视觉反馈和实际需要, 通过 HMI 下达控制指令, 该指令通过 OPC 服务器处理后, 经过无线网络和 EtherCAT 总线协议传输至 CX2030 控制器及相关模块实现对电控系统和起膜铲升降调节的控制; 系统内安装有电子狗和 Flash 闪存磁盘, 可以进行数据

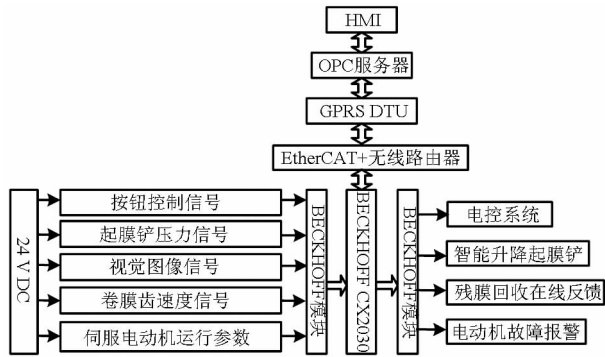


图2 智能残膜回收装置数据采集与处理原理图

Fig.2 Data acquisition and processing of intelligent residual film recovery device

的实时存储和调阅;控制器电源选用24V直流供电。

2 主要部件设计

2.1 智能起膜铲结构设计

起膜铲的破土深度关系到农用地膜的破坏程度和残膜的回收率。改良后的智能起膜铲由伺服电动机、弹性联轴器、丝杆、滑块、外罩、起膜铲、铲尖和压电传感器构成。起膜铲固定在丝杆滑块上,压电传感器安装于铲尖内部,其破土深度的自动升降调节由伺服电动机驱动丝杆滑台实现。

残膜回收作业时影响起膜铲破土深度的因素众多,智能起膜铲的自动升降调节参数由压电传感器实时检测的压力、卷膜齿转速和起膜铲刚度综合换算得到,在防止起膜铲过载的前提下,根据土壤类型、土壤含水率和作业速度设定压力的最大阈值,在允许的压力区间,通过残膜回收在线视觉反馈和监控界面实时自动微调细调起膜铲的破土深度。图3为智能起膜铲结构示意图。

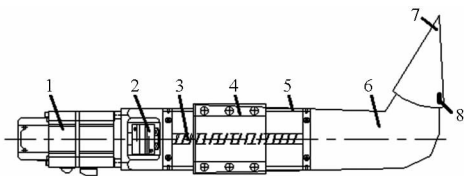


图3 智能起膜铲结构示意图

Fig.3 Schematic of intelligent lifting film shovel structure

1. 伺服电动机 2. 弹性联轴器 3. 丝杆 4. 滑块 5. 外罩
6. 起膜铲 7. 铲尖 8. 压电传感器

2.2 卷膜齿转速检测设计

卷膜齿转速由霍尔式轮速传感器实现在线检测。该传感器由永磁铁、霍尔元件、齿圈和电路组成,其在线测速原理为:主动轮在牵引动力的作用下转动时,不同转速导致霍尔元件周围的磁力线密度发生改变,进而影响霍尔电压的变化,霍尔电压经过运算放大和施密特触发器后转换为脉冲信号被

BECKHOFF 模块采集,并将速度实时显示在监控界面上。

由于牵引动力和传动机构的限制,卷膜齿转速不能实现自动调节,但该转速的在线检测意义重大,一方面可作为收膜传动机构调整的依据;另一方面在智能起膜铲破土深度的自动升降调节参数设定方面将产生影响。

2.3 在线视觉反馈设计

残膜回收在线视觉反馈工作过程为:在智能残膜回收装置作业区域内,当残膜回收作业进行时,在装备作业后方未被回收的残膜透过4mm光学镜头被摄像头以1/100000~1/3s的速度拍照生成数字图像信号,再经过数字信号处理芯片加工后,以25~30帧/min的帧率通过以太网接口向CX2030控制器传输,最后视觉图像被实时显示在监控界面上。

在线视觉反馈作为智能残膜回收作业的辅助装置,通过实时视觉反馈残膜回收作业过程中残膜的回收状况,为自动升降调节破土深度和弹齿入土深度提供实时参考,有利于提高残膜回收率和整机作业效率,减少工耗和成本。

3 智能起膜铲理论分析与试验

3.1 起膜铲刀受力平衡方程

起膜铲由铲刀、铲柄和支撑件构成。在回收残膜作业过程中,为使铲刀与土壤之间不发生堵塞或过多积土,运用牛顿第二定律对铲刀作业过程进行受力分析,得到铲刀作业的受力平衡方程为

$$\begin{cases} F\cos\alpha - G\sin\alpha - f = 0 \\ N - F\sin\alpha - G\cos\alpha = 0 \\ f = \mu N \end{cases} \quad (1)$$

式中 F ——铲刀作业时所受土壤阻力
 N ——铲刀作业面所受垂直作用力
 G ——铲刀作业时自身和积土重力
 f ——铲刀作业时与土壤和残膜之间摩擦力
 μ ——摩擦因数
 α ——铲刀倾角

图4为铲刀质心处的受力分析。

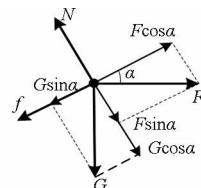


图4 铲刀质心处的受力分析

Fig.4 Stress analysis of center of mass of blade

由式(1)可得

$$\alpha = \arctan((G + \mu F)/(F - \mu G)) \quad (2)$$

其中,土壤阻力 F 能够通过通过在铲刀处的压力传感器检测后取平均后得到,铲刀和积土重力 G 可以通过试验模拟近似得到。为防止铲刀作业时发生堵塞或过摩擦,实际设计的铲刀倾角 $\alpha' \leq \alpha$ 。

3.2 起膜铲柄运动学分析

在牵引力的作用下,智能起膜铲从静止状态以一定的速度 v_1 破土破膜作业,利用运动学原理和牛顿第二定律对铲柄作业过程进行运动学分析,得到铲柄破土深度 H 与铲刀倾角 α' 、土壤阻力 F 和牵引速度 v_1 之间的量化关系,有

$$\begin{cases} F = M(v_1 - v_0)/\Delta T \\ v_0 = 0 \\ M = \rho V = \rho s S \sin \alpha' \\ s = \frac{1}{2} v_1 \Delta T \\ S = lb \\ H = l \sin \alpha' \end{cases} \quad (3)$$

- 式中 M ——土壤质量
- ΔT ——土壤从 v_0 运动到 v_1 的作业时间
- ρ ——土壤密度
- V —— ΔT 内掘土体积
- s —— ΔT 内作业位移
- S ——铲柄作业横截面积
- l ——铲柄切面边长
- b ——铲柄厚度

由式(3)可得

$$H = 2F/(\rho v_1^2 b) \quad (4)$$

由式(3)、(4)可以算得 H 的理论值。

图 5 为起膜铲柄运动学分析。

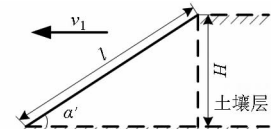


图 5 起膜铲柄运动学分析

Fig. 5 Kinematics analysis of shovel handle

3.3 智能起膜铲刀测试试验

利用 PC 工控机、Arduino 压电传感器、NI 6366 X 数据采集卡和 LabVIEW 编程软件等搭建测力试验平台,其 NI 采集卡设置及测力界面如图 6 所示。分别在甘肃省小康营乡、宁夏自治区中河乡、内蒙古自治区赛罕区和河北省柳泉镇等地针对不同土质实地测试智能起膜铲的工作性能和破土深度 H 、铲刀倾角 α' 、土壤阻力 F 、牵引速度 v_1 与垂直作用力 N 之间的量化关系。测试分为 2 类:第 1 类试验针对地膜地表覆盖的特点和倾角过小易造成积土的问题,选取当破土深度 H 为 20 ~ 50 mm 和 α' 不小于 45° 时,在牵引速度 v_1 相同的情况下,分 4 组测试不同土质上作业时, F 和 N 随 α' 变化的量化关系,根据正态分布,结果如表 1 所示;第 2 类试验是在 α' 为 65° ~ 75° 且 v_1 相同时,针对上述相同土质,测试 F 和 N 随 H 变化的量化关系,结果分别如图 7 和图 8 所示。



图 6 NI 采集卡设置及测力界面

Fig. 6 NI acquisition card set and force interface

表 1 不同土质上作业时, F 和 N 随 α' 的变化情况 (v_1 相同)

Tab. 1 When working on different kinds of soil, F and N changing with α' (same v_1)

土壤类型 ($H = 20 \sim 50$ mm)			$\alpha' \in (45^\circ \sim 55^\circ)$		$\alpha' \in (55^\circ \sim 65^\circ)$		$\alpha' \in (65^\circ \sim 75^\circ)$		$\alpha' \in (75^\circ \sim 85^\circ)$	
土质	湿度/%	硬度/kPa	F/N	N/N	F/N	N/N	F/N	N/N	F/N	N/N
草原土	5.6 ~ 9.7	4.5 ~ 9.9	159	179	142	153	105	112	147	179
中壤土	6.2 ~ 11.5	6.0 ~ 9.2	152	168	132	149	83	94	141	167
重壤土	6.7 ~ 10.9	5.1 ~ 7.9	496	602	426	541	346	382	512	631
砂砾土	4.5 ~ 11.4	6.8 ~ 9.1	762	814	678	743	601	685	842	992

表 1 所示的测试结果表明在铲刀倾角 α' 为 65° ~ 75° 时,草原土、中壤土、重壤土和砂砾土所受的 F 和 N 最小,没有超过自动升降起膜铲的承受范围。图 7、8 所示的测试结果表明随着破土深度的加深, F 和 N 呈递增趋势,且不同土质表现的 F 和 N 也差别很大。为防止智能起膜铲过载作业,设计的智能起膜铲铲刀的倾角 α' 为 65° ~ 75°,适宜的破土深度 H 为 20 ~ 50 mm,且不适于在砂砾土环境中作业。

4 田间试验与分析

4.1 试验环境

田间试验在河北省固安县柳泉土豆覆膜种植基地进行,试验对象为收获土豆后的地膜残膜,土豆起垄种植,垄高为 150 ~ 170 mm,垄宽为 700 mm,垄沟宽为 700 mm,残膜回收作业区域地形平整,土质为中壤土,地表无明显硬物,土壤硬度为 6.1 kPa,土壤

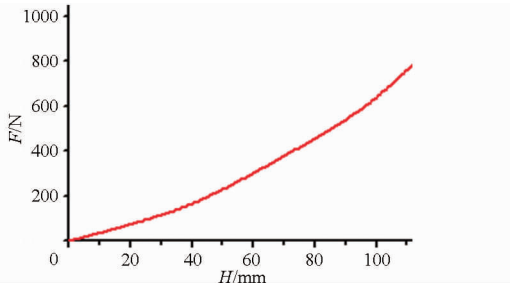


图7 当 α' 为 $65^\circ \sim 75^\circ$ 时 F 与 H 的关系曲线

Fig.7 Quantitative relationship between F and H at α' of $65^\circ \sim 75^\circ$

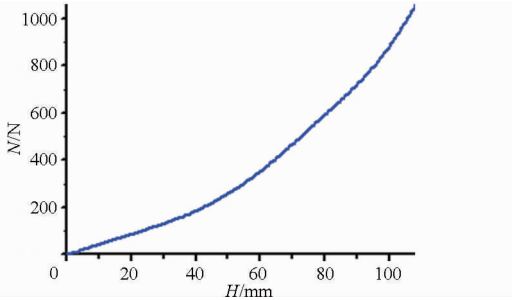


图8 当 α' 为 $65^\circ \sim 75^\circ$ 时 N 与 H 的关系曲线

Fig.8 Quantitative relationship between N and H at α' of $65^\circ \sim 75^\circ$

含水率为 26.5%，地膜两边压入土中，地膜厚度为 0.008 mm，膜宽为 800 mm，覆膜时间长 142 d，地膜出现一定程度的破损。智能回收装置由东方红 40 型拖拉机提供牵引力，作业速度为 5.0 ~ 5.5 km/h，作业幅宽为 800 mm。

4.2 智能残膜回收装置作业测试

4.2.1 测试准备与作业流程

智能残膜回收装置由 BECKHOFF CX2030 型控制器及模块、PC 工控机、GPRS DTU、TP-LINK 11AC 900M 5G 型双频智能无线路由器、HIKVISION 型高清摄像头、霍尔式轮速传感器、Arduino 压电陶瓷传感器、HIWIN KK40 型负载型丝杆滑块、EL7201 型驱动模块和 BECKHOFF AM8111 型伺服电动机等主要设备组成。

在测试作业之前，检查电控系统，调整摄像头角度，同时为了防止因牵引速度过快或土壤阻力过大造成的起膜铲扭矩过大，需要对牵引速度和破土深度进行试作业，确定匹配的牵引速度和设定压力最大阈值。准备工作就绪后，操作者启动智能残膜回收装置监控系统，便携式监控界面(HMI)进入初始化过程，检查 EtherCAT 与 GPRS 网络连接是否正常，不正常情况下需要重启 GPRS DTU 或停机检查，正常联网后，在 HMI 上设置匹配的相关参数，并下达控制指令，实时观察图像角度和在线调节相关参数。监控系统正常工作后，在东方红 40 型拖拉机牵引下，智能残膜回收装置开始作业。如遇到故障报

警，系统会自动发出警鸣，提示中止作业。智能残膜回收装置作业流程和田间作业分别如图 9、10 所示。

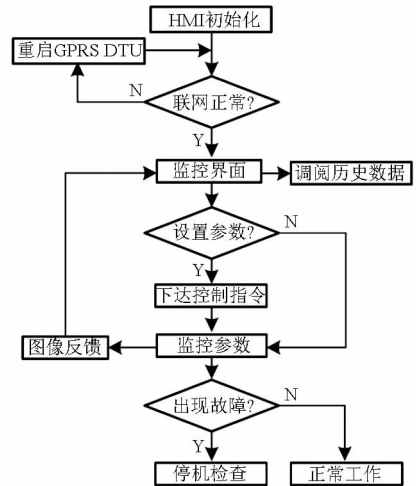


图9 智能残膜回收装置作业流程

Fig.9 Work process of intelligent residual film recovery device



图10 智能残膜回收装置田间作业

Fig.10 Field work of intelligent residual film recovery device

4.2.2 试验方案

为了实地验证智能残膜回收装置的系统整体性能、抗扭矩能力、作业效率和残膜回收率，整个测试过程共分为 3 组：试验 A 中行走距离为 100 m，破土深度分别为 20 mm、50 mm 和 80 mm。试验 B 中行走距离 300 m，破土深度分别为 20 mm、50 mm 和 80 mm。试验 C 中行走距离为 500 m，破土深度分别为 20 mm、50 mm 和 80 mm。

测试过程中自动在线调节破土深度，残膜回收率和作业效率根据比较行走位移内扇形图像区域前后残膜总量由模拟软件计算得到，过载保护通过设定最大压力阈值实现，采用报警提示。

4.3 试验结果

通过多次测试，对每一项试验结果去除头尾后取平均值，得到了如表 2 所示的田间测试结果。测试结果表明，所设计的装置系统性能稳定，起膜铲抗扭矩能力适用于在破土深度为 20 ~ 50 mm 内作业，残膜回收率和卸膜率表现突出，整机作业效率大幅提高；同时，该装置在破土深度为 80 mm 时，出现过

表2 智能残膜回收装置田间测试结果

Tab.2 Field test results of intelligent residual film recovery device

试验序号	行走距离/m	破土深度/mm	回收率/%	卸膜率/%	作业效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	系统性能
A	100	20	86.6	90.3	≥ 0.4	正常
		50	97.8	98.5	≥ 0.4	正常
		80			< 0.4	异常停车
B	300	20	85.6	91.2	≥ 0.4	正常
		50	96.5	98.1	≥ 0.4	正常
		80			< 0.4	异常停车
C	500	20	87.5	89.7	≥ 0.4	正常
		50	97.4	97.6	≥ 0.4	正常
		80			< 0.4	异常停车

报警异常,说明起膜铲的抗扭矩能力有待提高,智能起膜铲的结构设计方面还有待进一步研究。

5 结束语

通过智能起膜铲的结构设计、理论分析与试验得到了铲刀的安全倾角为 $65^\circ \sim 75^\circ$,整机田间试验证明了智能残膜回收装置在机械化残膜回收作业方面是可行的,在破土深度为 $20 \sim 50 \text{ mm}$ 时,智能起膜铲在抗扭矩能力、残膜回收率、卸膜率和整机工作效率等方面效果显著,且特别适用于土豆和花生起垄种植的草原土、中壤土和重壤土。基于 GPRS 与 EtherCAT 总线联网技术和图像技术与计算模拟软件在残膜回收作业方面的应用值得推广。

参 考 文 献

- 张佳喜,谢建华,薛党勤,等.国内外地膜应用及回收装备的发展现状[J].农机化研究,2013(12):237-240.
- 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.
HUO 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)
- 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
YAN Changrong, LIU Enke, SHU Fan, et al. Characteristics and prevention and control of plastic film mulching and residual pollution in China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2):95-102. (in Chinese)
- 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,2010:1-171.
- 何文清,严昌荣,赵彩霞,等.我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3):533-538.
HE Wenqing, YAN Changrong, ZHAO Caixia, et al. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in china [J]. Journal of Agro- Environmental Science, 2009, 28(3):533-538. (in Chinese)
- 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, HUO 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)
- 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, HUO 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)
- 陈发,史建新,王学农,等.弧型齿残膜捡拾滚筒捡膜的机理[J].农业机械学报,2006,37(6):36-41.
CHEN Fa, SHI Jianxin, WANG Xuenong, et al. Study on collecting principle of arc-type tooth roller for collecting plastic residue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6):36-41. (in Chinese)
- 李刚,张林海,付宇,等.曲柄摇杆式残地膜捡拾机构研究[J].农业机械学报,2015,46(增刊):63-67.
LI Gang, ZHANG Linhai, FU Yu, et al. Crank-rocker mechanism for collecting plastic film [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(Supp.):63-67. (in Chinese)
- 侯书林,孔建铭,张惠友,等.弹齿式收膜机构运动学模型[J].农业机械学报,2003,34(2):141-142,145.
HOU Shulin, KONG Jianming, ZHANG Huiyou, et al. Brief report on research works of three papers [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(2):141-142, 145. (in Chinese)
- 李志丹.基于无线通讯技术的管网叠压装置集散监控系统的研究[D].天津:天津大学,2007.
LI Zhidan. Research on distributed monitoring system of pipe network based on wireless communication technology [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007. (in Chinese)
- 郑丹丹.基于GPRS的电梯远程监控系统设计与研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
ZHENG Dandan. The elevator remote monitoring system design and research based on GPRS [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008. (in Chinese)
- 张毅.实时数据无线监控系统的研究及应用[D].杭州:浙江大学,2005.
ZHANG Yi. The real-time data of the wireless monitoring system research and application [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005. (in Chinese)
- 李银华,赵凡,黄军垒.基于EtherCAT的自动焊接控制系统研究[J].焊接技术,2015,44(5):59-63.
- 崔丽丽,徐进学.基于OPC技术的客户端数据采集软件包设计[J].沈阳工业大学学报,2005,27(5):553-557.
CUI Lili, XU Jinxue. Design of client data collection software package based on OPC technique [J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2005, 27(5):553-557. (in Chinese)