

残膜回收机单组仿形搂膜机构的设计与试验

王科杰¹, 胡 斌^{1*}, 罗 昕¹, 陈学庚^{1,2},
郑 炫², 颜利民², 缙海啸²

(1. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832000; 2. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000)

摘 要: 搂膜作业是新疆目前残膜回收的主要工作方式, 在残膜回收机回收工作过程中, 因棉地环境复杂, 现有残膜回收机整体仿形搂膜效果差, 使得搂膜弹齿无法对起伏程度不同的棉地同时进行单组仿形搂膜, 造成残膜回收率低等问题, 针对此问题, 该文提出了一种单组仿形搂膜机构。通过对该机构进行理论设计, 利用搭建的土槽台架试验装置, 以弹齿数量、试验车速度、弹齿直径为影响因素, 搂膜率为评价指标, 进行了二次旋转正交组合试验。通过 Design-Expert 8.0.6 数据分析软件, 建立各影响因素与指标的数学回归模型, 分析了显著因素与评价指标之间的关系, 优化试验参数, 确定最优参数组合: 弹齿数量 5 个, 弹齿直径 12 mm, 试验车速度 1.85 m/s。根据该试验参数组合, 进行台架试验验证, 结果表明: 优化参数组合下的搂膜率>88.5%, 优化预测模型可靠。通过在新疆昌吉五家渠共青团农场对站立棉秸秆的田间进行搂膜试验, 表明该搂膜机构能够满足残膜回收的技术要求, 为单组仿形搂膜机具的设计提供了参考依据。

关键词: 农业机械; 塑料薄膜; 优化; 单组仿形; 搂膜机构; 土槽试验; 残膜回收

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.08.002

中图分类号: S223.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-08-0012-09

王科杰, 胡 斌, 罗 昕, 陈学庚, 郑 炫, 颜利民, 缙海啸. 残膜回收机单组仿形搂膜机构的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 12—20. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.08.002 http://www.tcsae.org

Wang Kejie, Hu Bin, Luo Xin, Chen Xuegeng, Zheng Xuan, Yan Limin, Gou Haixiao. Design and experiment of monomer profiling raking-film mechanism of residue plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(8): 12—20. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.08.002 http://www.tcsae.org

0 引 言

地膜覆盖技术促进了农作物增产, 且以其增温保墒功效使得农作物的适作区向北推移, 有效利用土地资源, 提高了水份的利用率, 对中国旱地农业发展具有重大的、积极的作用^[1-3]。然而该技术的推广也带来了白色污染问题, 地膜残留在土壤里未得到有效回收, 严重污染农田生态土壤环境, 因此, 残膜回收迫在眉睫^[4-5]。

残膜回收分为人工回收和机械回收 2 种模式。人工收膜劳动强度大、效率低、组织困难。机械收膜分为联合作业和分段作业, 其中联合作业机具由秸秆粉碎机和地膜回收机组成, 能一次完成秸秆粉碎与地膜回收工作, 然其结构复杂, 可靠性较低, 还未大面积推广应用^[6-11]; 分段作业以搂膜作业为主要方式, 机具结构简单, 可靠性较高, 能耗小^[12-14]。但目前分段作业的收膜效果不佳, 主要是因为拾膜部件未能有效对复杂的棉地进行高效仿形, 导致残膜回收率低。

当前仿形机构广泛运用于免耕播种机, 而对单组仿形搂膜机构研究较少^[15-20]。搂膜机具的搂膜工作部件主要由多个单组搂膜装置和机架等组成, 现有搂膜机的每个单组搂膜装置均固定安装于机架上, 各个搂膜装置相互联动产生搂膜干涉现象, 且每个单组对应的棉地起伏程度不同, 搂膜时部分单组搂膜装置对应地形平稳, 与此同时的其他部分搂膜装置对应地形凹凸不平, 搂膜工作部件与残地膜相对脱离而未能进行搂膜, 因此该机具虽能对平稳棉地搂膜作业, 但对于不同地形进行同时搂膜的能力较差, 导致搂膜效果不佳。针对现有残膜回收机存在的无单行仿形能力而产生搂膜效果差的问题, 本文提出了一种可实现对不同棉地地形同时进行单组仿形搂膜 (即每个单组搂膜装置能与各自所对应的复杂地形进行单行仿形搂膜), 避免了各个单组搂膜装置之间相互联动干涉问题, 从而大大提高了残膜回收效果, 有效解决了局部仿形搂膜能力差及相互搂膜干涉问题, 通过对单组仿形的搂膜机构进行理论设计与分析, 并利用土槽台架试验研究该搂膜机构行走速度、弹齿安装数量、弹齿直径的参数变化与收膜性能关系, 确定了最佳结构和作业参数, 为单组仿形搂膜机具的研制和设计提供理论依据。

1 搂膜装置的结构与工作原理

单组仿形搂膜机构由拉杆固定板、仿形拉杆、手柄、调位螺杆、搂膜架、搂膜弹齿、弹齿卡板、内管、仿形

收稿日期: 2016-07-14 修订日期: 2017-01-24

基金项目: 新疆生产建设兵团重大科技专项 (2014AA002); 农业部行业专项 (201503105)

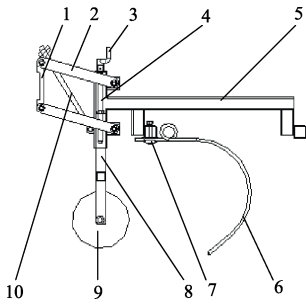
作者简介: 王科杰, 男, 江西上饶人, 研究方向为机械设计及理论。石河子石河子大学机械电气工程学院, 832000。Email: 1421243560@qq.com

*通信作者: 胡 斌, 男, 湖北英山人, 教授, 主要从事农业机械设计与性能试验研究。石河子 石河子大学机械电气工程学院, 832000。Email: lxm8823@163.com

地轮、限位杆组成。

其中，调位螺杆与内管丝杠联接，手柄固定套在调位螺杆上，安装于内管上的仿形地轮可通过手柄旋转使调位螺杆与内管发生相对螺旋运动从而实现仿形地轮随同内管一起上下调位，单组仿形搂膜机构如图 1 所示。

工作时，通过调节手柄使得仿形地轮与土壤保持接触；在仿形拉杆牵引下的仿形地轮紧贴着土壤表面进行上下仿形运动，与此同时，在仿形地轮仿形运动状态下的搂膜弹齿也随之入土进行仿形搂膜作业，残膜沿着搂膜弹齿圆弧段向上运动，残膜最终被储存于弹齿圆弧区域下方，完成搂膜工作。本仿形搂膜机构，不仅实现上下仿形，还缩短搂膜机构的长度，结构紧凑。当残膜回收工作结束时，通过调节限位杆以避免搂膜机构下垂量过大，减轻仿形拉杆对搂膜机构承载作用，有效避免仿形拉杆的铰接点应力集中。



1. 拉杆固定板 2. 仿形拉杆 3. 手柄 4. 调位螺杆 5. 搂膜架 6. 搂膜弹齿 7. 弹齿卡板 8. 内管 9. 仿形地轮 10. 限位杆
1. Fixed plate of drawbar 2. Profiling drawbar 3. Handle 4. Adjustable screw 5. Collecting-film frame 6. Collecting-film elastic tooth 7. Mounted plate of spring tooth 8. Inner square tube 9. Land wheel of profiling 10. Limited rod

图 1 单组仿形搂膜机构

Fig.1 Collecting-film mechanism of monomer profiling

2 仿形搂膜机构受力分析与相关尺寸参数设计

仿形搂膜装置受力平衡，才能使搂膜作业稳定，从而提高搂膜效果。通过对仿形搂膜机构中的搂膜弹齿进行力学分析，并基于搂膜弹齿的力学分析，对仿形搂膜机构进行力学分析以便于搂膜机构参数设计。

2.1 搂膜弹齿受力分析

搂膜弹齿力学性能是影响残膜回收工作的关键。搂膜弹齿底端入土使其连续性搂取残膜。将弹齿所受各力分解到 XOY 坐标轴上，受力情况如图 2a 所示。弹齿总合力 F_{O2} 可分解为水平方向的横向作用力 F_{O2x} 和垂直方向的弹齿入土力 F_{O2y} ，则

$$F_{O2x} = (F_{f1} + F_{f2}) \cdot \cos\theta + (F_m - N \pm F_n) \cdot \sin\theta \quad (1)$$

$$F_{O2y} = (F_m - N \pm F_n) \cdot \cos\theta - (F_{f1} + F_{f2}) \cdot \sin\theta \quad (2)$$

其中：

$$F_{f1} = \mu_2 \cdot N \quad (3)$$

$$F_{f2} = \mu_3 \cdot F_m \quad (4)$$

联立式 (3) 和式 (4) 代入式 (1) 和式 (2) 计算得出

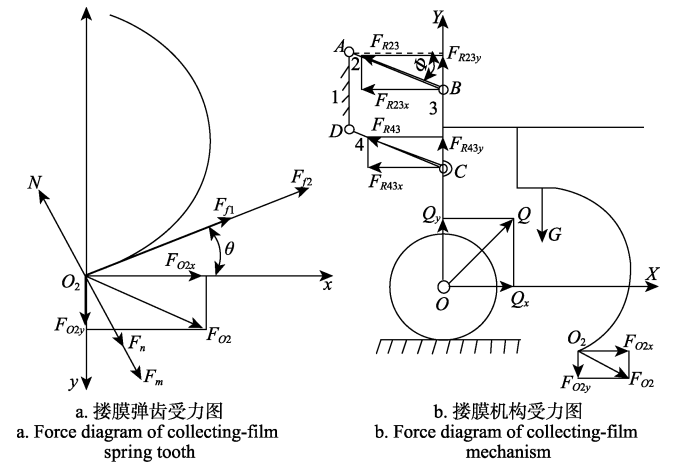
$$F_{O2x} = F_m \cdot (\mu_3 \cdot \cos\theta + \sin\theta) \pm F_n \cdot \sin\theta + N \cdot (\mu_2 \cdot \cos\theta - \sin\theta) \quad (5)$$

$$F_{O2y} = F_m \cdot (\cos\theta - \mu_3 \cdot \sin\theta) \pm F_n \cdot \cos\theta - N \cdot (\mu_2 \cdot \sin\theta + \cos\theta) \quad (6)$$

式中 F_{f1} 为土壤对搂膜弹齿施加的摩擦力，N； F_{f2} 为残膜对搂膜弹齿施加的摩擦力，N； N 为土壤对搂膜弹齿的支

反力，N； F_n 为搂膜弹齿的自身回弹力，N； F_n 的正负方向与弹齿的工作状态相关； F_m 为残膜对搂膜弹齿施加的拉力，N； μ_2 为残膜与土壤之间的摩擦系数； μ_3 为残膜与搂膜弹齿间的摩擦系数； θ 为搂膜弹齿入土倾角，(°)。

当搂膜弹齿处于初始搂膜状态时，弹齿回弹力方向与图 2a 所示方向相反，式 (5) 和式 (6) 中 F_n 前的符号取“-”号，弹齿受到与运动方向相反的阻力较大，弹齿自身回弹力迫使弹齿沿机具运动方向回弹，然而弹齿回弹力过大则会造成入土效果差，搂膜效果不佳；当搂膜弹齿上存储残膜量较大时，弹齿回弹力方向如图 2a 所示，式 (5) 和式 (6) 中 F_n 前的符号取“+”号，弹齿所承受重力增大，土壤对弹齿的支反力增大，迫使弹齿回弹力沿机具运动相反方向回弹，随着残膜对搂膜弹齿施加的拉力 F_m 及搂膜弹齿的自身回弹力增大，弹齿的横向作用力 F_{O2x} 也随之不断增大，但弹齿的横向作用力过大会使搂膜弹齿工作段应力过大；在搂膜过程中，弹齿入土力 F_{O2y} 的增大有利于弹齿顺利入土，进行正常搂膜作业，然而入土力过大则使弹齿受到土壤阻力过大，就会造成机具能耗增大等问题。



注： F_{f1} 为土壤对搂膜弹齿施加的摩擦力，N； F_{f2} 为残膜对搂膜弹齿施加的摩擦力，N； N 为土壤对搂膜弹齿的支反力，N； F_n 为搂膜弹齿的自身回弹力，N； F_m 为残膜对搂膜弹齿施加的拉力，N； F_{O2x} 为弹齿横向作用力，N； F_{O2y} 为弹齿入土力，N； F_{O2} 为弹齿总合力，N； O_2 为弹齿末端受力点； θ 为搂膜弹齿入土倾角，(°)； O 为坐标系原点； X 为水平坐标； Y 为铅垂坐标； F_{R23} 、 F_{R43} 为牵引拉力，N； F_{R23x} 、 F_{R23y} 分别为 F_{R23} 在水平方向和铅垂方向上的分力； F_{R43x} 、 F_{R43y} 分别为 F_{R43} 在水平方向和铅垂方向上的分力； Q_x 、 Q_y 分别为土壤对仿形地轮工作阻力、垂直支反力，N； Q 为土壤对仿形地轮的支反力，N； G 为仿形搂膜机构的重力，N； Φ 为仿形拉杆的牵引角，(°)； A 、 D 为拉杆固定板与仿形拉杆的铰接点； B 、 C 为搂膜架与仿形拉杆的铰接点；1 为 AD 杆；2 为 AB 杆；3 为 BC 杆；4 为 CD 杆。
Note: F_{f1} is friction force of soil on collecting-film elastic tooth, N; F_{f2} is friction force of residual film on collecting-film spring tooth, N; N is reaction force of soil to collecting-film spring tooth, N; F_n is resilience force of elastic tooth, N; F_m is tension of residual film on collecting-film spring tooth, N; F_{O2x} is latitudinal force of spring tooth, N; F_{O2y} is underground force of spring tooth, N; F_{O2} is resultant force of spring tooth, N; O_2 is pressure-point of terminal of spring tooth; θ is underground inclination of collecting-film spring tooth, (°). O is the origin of coordinate system; X is horizontal coordinate; Y is vertical coordinate; F_{R23} 、 F_{R43} is traction power, N; F_{R23x} 、 F_{R23y} is F_{R23} of horizontal and vertical component force, N; F_{R43x} 、 F_{R43y} is F_{R43} of horizontal and vertical component force, N; Q_x 、 Q_y is working resistance and vertical reaction on profiling wheel, N; Q is reaction of land on profiling wheel, N; G is gravity of collecting-film mechanism of profiling, N; Φ is angle of traction of profiling drawbar, (°); A 、 D is the link joint between fixed plate of drawbar and profiling drawbar; B 、 C is the link joint between frame and profiling drawbar; 1 is bar AD ; 2 is bar AB ; 3 is bar BC ; 4 is bar CD .

图 2 搂膜弹齿受力及搂膜机构受力图

Fig.2 Force diagrams of collecting-film spring tooth and collecting-film mechanism

2.2 仿形耨膜机构力学分析

取耨膜机构作为一整体构件, 此时仿形拉杆与耨膜机构组成封闭四杆机构。为便于计算, 采用复数矢量法建立耨膜机构力学模型。以 O 为坐标原点, 各杆矢量方位角均由 OX 轴开始, 以逆时针方向为正^[21], 如图 2b 所示。机具耨膜作业时, 仿形耨膜机构平稳工作的受力平衡条件为

$$\vec{F}_{R23} + \vec{F}_{R43} + \vec{Q} + \vec{F}_{O2} + \vec{G} = \vec{0} \quad (7)$$

将式 (1) 中各个向量力分解到两坐标轴上, 得

$$Q_x + F_{O2x} - F_{R23x} - F_{R43x} + i(F_{R23y} + F_{R43y} + Q_y - G - F_{O2y}) = 0 \quad (8)$$

实部与虚部分别等于零。

$$Q_x + F_{O2x} - F_{R23x} - F_{R43x} = 0 \quad (9)$$

$$F_{R23y} + F_{R43y} + Q_y - G - F_{O2y} = 0 \quad (10)$$

$$F_{R23x} = F_{R23} \cdot \cos \Phi \quad (11)$$

$$F_{R23y} = F_{R23} \cdot \sin \Phi \quad (12)$$

$$F_{R43x} = F_{R43} \cdot \cos \Phi \quad (13)$$

$$F_{R43y} = F_{R43} \cdot \sin \Phi \quad (14)$$

联立公式 (5) ~ (10), 经简化计算得

$$Q_y = \frac{G \cdot \cos \Phi - F_{O2x} \cdot \sin \Phi - F_{O2y} \cdot \cos \Phi}{\mu_1 \sin \Phi + \cos \Phi} \quad (15)$$

联立式 (5)、(6) 和 (15), 经简化计算仿形地轮所受支反力 Q , 得

$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = \sqrt{1 + \mu_1^2} \cdot Q_y = \frac{\sqrt{1 + \mu_1^2}}{1 + \mu_1 \cdot \tan \Phi} \cdot (G - F_{O2x} \cdot \tan \Phi - F_{O2y}) = \frac{\sqrt{1 + \mu_1^2}}{1 + \mu_1 \cdot \tan \Phi} \cdot (G + K_1 \cdot N + K_2 \cdot F_m \pm K_3 \cdot F_n) \quad (16)$$

式(16)中,

$$K_1 = \tan \Phi (\sin \theta - \mu_2 \cdot \cos \theta) + \mu_2 \cdot \sin \theta + \cos \theta$$

$$K_2 = \tan \Phi (\sin \theta - \mu_3 \cdot \cos \theta) + \mu_3 \cdot \sin \theta - \cos \theta$$

$$K_3 = \cos \theta + \tan \Phi \sin \theta$$

式中 μ_1 为仿形地轮阻力系数; K_1 为土壤作用于弹齿的法向力系数; K_2 为残膜作用于弹齿的法向力系数; K_3 为弹齿回弹系数。

仿形地轮对棉地仿形性能的好坏直接影响耨膜机构仿形耨膜效果, 为利于耨膜装置平稳牵引工作, 取牵引角 Φ 大小为 0° 。由式 (16) 可看出, 仿形地轮的支反力 Q 与耨膜装置重力 G 、土壤对弹齿施加的支反力 N 呈正相关, 支反力 Q 与耨膜弹齿自身的回弹力 F_n 之间的关系与耨膜工作状态有关, 仿形地轮的支反力 Q 与残膜对弹齿施加的拉力 F_m 也存在相关性。

因此, 随着耨膜装置重力、土壤对弹齿施加的支反力增大, 仿形地轮的支反力也会随之增大, 仿形效果越好, 但仿形地轮的支反力过大会使地膜与土壤被镇压的过于紧密, 不利于耨膜作业; 然而, 仿形地轮的支反力过小会造成对地仿形效果差。在耨膜作业初始过程中, 弹齿回弹力 F_n 受力方向与图 2a 所示方向相反, 其回弹力过大则入土能力减小不利于耨膜; 回弹力过小, 土壤施

加于弹齿上的作用力过大时, 导致弹齿变形严重, 耨膜效果影响较大。在耨膜作业一段时间后, 弹齿回弹力 F_n 受力方向如图 2a 所示, 随着弹齿的回弹力 (弹齿回弹力与弹齿自身特性有关, 包括弹齿粗细、弹齿结构尺寸、弹齿所用材料等) 的增大, 仿形地轮的支反力会随之减小, 由于弹齿的回弹力过大足以将整个耨膜机构支撑起, 仿形地轮逐渐脱离地面, 仿形地轮未能较好发挥仿形作用, 且弹齿入土过深使其所受土壤阻力增大; 然而弹齿的自身回弹力过小, 弹齿的弹性相对较差, 则在作业时的弹齿变形后产生回弹不及时甚至断裂等问题。

2.3 仿形耨膜机构尺寸参数设计

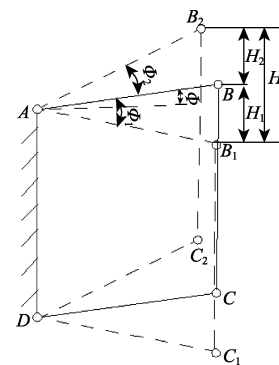
仿形四杆机构各构件的牵引角、长度等尺寸参数直接影响耨膜机构的仿形功能, 因此, 为能够达到较好的仿形性能, 选择合适的结构尺寸参数。

根据棉地的地形, 设置上下仿形量各为 $80 \sim 100$ mm。如图 3 所示。

$$\text{下仿形量 } H_1 = l[\sin(\Phi_1 - \Phi) + \sin \Phi] \quad (17)$$

$$\text{上仿形量 } H_2 = l[\sin(\Phi_2 + \Phi) - \sin \Phi] \quad (18)$$

式中, 下仿形量 H_1 为 100 mm, 工作初始角 Φ 取 0° , Φ_1 为下仿形角, ($^\circ$); Φ_2 为上仿形角, ($^\circ$); 取上下角各为 20° 。经计算, 仿形拉杆的长度 $l = 292.38$ mm, 取整 $l = 292$ mm; 上仿形量 $H_2 = 99.87$ mm, 取整 $H_2 = 100$ mm, 满足仿形量要求。



注: B_1C_1 为仿形四杆 BC 下仿形时运动到的极限位置; B_2C_2 为仿形四杆 BC 上仿形时运动到的极限位置; Φ_1 为下仿形角, ($^\circ$); Φ_2 为上仿形角, ($^\circ$); H_1 为下仿形量, mm; H_2 为上仿形量, mm; H 为仿形机构上下总仿形量, mm。
Note: B_1C_1 is the maximum of lower profiling on profiling linkage BC ; B_2C_2 is the maximum of upper profiling on profiling linkage BC ; Φ_1 is lower profiling angle, ($^\circ$); Φ_2 is upper profiling angle, ($^\circ$); H_1 is lower profiling, mm; H_2 is upper profiling, mm; H is the sum of upper and lower profiling, mm.

图3 仿形四杆参数

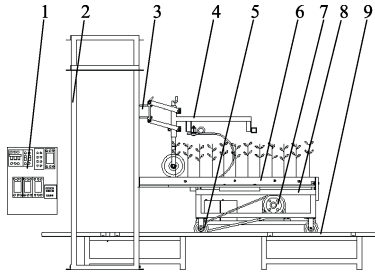
Fig.3 Structural parameter of profiling linkage

3 台架试验与结果分析

为验证理论分析的正确性及确定机具行走速度、弹齿个数、弹齿直径大小三因素对耨膜率影响大小, 对单组仿形耨膜机构进行试验。因田间试验研究周期较长, 利用台架试验模拟田间工作环境^[22-23], 有利于深入观察各因素对耨膜率的影响程度。本文通过台架土槽试验研究机具行走速度、弹齿数量、弹齿直径大小等因素变化对机构耨膜率的影响, 寻找到最优结构与工作参数。

试验在单组仿形耨膜机构土槽试验台上进行, 结构

如图 4 所示。试验台由主梁、仿形搂膜机构、试验车、土槽、导轨、固定角架、控制电箱等组成; 其中试验车由小带轮、电动机与大带轮总成等部分组成; 电动机与大带轮总成由三相异步电动机、大带轮和变速器组成; 单组仿形搂膜装置与主梁固定联接; 土槽固定安装在试验车上, 土槽内铺设土壤; 在土壤表层铺入地膜, 并通过两侧的棉秆将地膜固定, 完成棉地环境的模拟。试验过程中, 三相异步电动机驱动土槽试验车向右运动。根据相对运动原理, 将试验车的运动状态视为相对静止, 则搂膜装置相对于土槽试验车向前运动; 随着试验车的运动, 搂膜弹齿相对试验车运动进入土壤中完成仿形搂膜作业。



1. 控制电箱 2. 固定角架 3. 主梁 4. 仿形搂膜机构 5. 小带轮 6. 土槽 7. 电动机与大带轮总成 8. 试验车 9. 导轨
1. Control panel 2. Fixed corner bracket 3. Frame 4. Collecting-film mechanism of profiling 5. Small pulley 6. Soil-bin 7. Assembly of motor and large belt wheel 8. Test car 9. Guide rail

图 4 仿形搂膜机构试验台结构示意图

Fig.4 Test bed of collecting-film mechanism of profiling

3.1 台架试验车速与变频器频率参数确定

台架试验车速与变频器频率参数转换为台架试验提供了可能, 通过调节变频器的频率来实现电动机转速的变化, 电动机则通过变速器对大带轮进行变速, 大带轮再驱动小带轮实现调速, 最终完成土槽试验车的速度控制。由于试验车最终是通过变频器来进行调速, 因此必需将变频器的频率与试验车速度之间的关系进行转换, 采用逆推原理换算出试验车行走速度所对应变频器的频率。

根据试验车前进速度 V_1 得出小带轮的转速 n_1

$$n_1 = \frac{60\,000 V_1}{\pi \cdot d_{d1}} \quad (19)$$

式 (19) 中, d_{d1} 为小带轮的基准直径, mm。

大带轮通过 V 带驱动小带轮转动, 大带轮与小带轮线速度相同, 通过大、小带轮之间的传动比求得大带轮的转速 n_2

$$n_2 = i_1 \cdot n_1 \approx \frac{d_{d1}}{d_{d2}} \cdot n_1 \quad (20)$$

式 (20) 中, i_1 为大、小带轮之间的传动比^[24]; d_{d2} 为大带轮的基准直径, mm。

电动机通过减速器减速, 使大带轮转速降低到合适的转速, 则电动机的转速 n_3

$$n_3 = \frac{n_2}{i_2} = \frac{1}{i_2} \cdot \frac{d_{d1}}{d_{d2}} \cdot \frac{60 \times 1\,000 V_1}{\pi \cdot d_{d1}} \quad (21)$$

式 (21) 中, i_2 为减速器的减速比, 值为 1/11。

则变频器的频率

$$f = \frac{n_3 \cdot P}{60} = \frac{1\,000 V_1 \cdot P}{i_2 \cdot \pi \cdot d_{d2}} \quad (22)$$

式 (22) 中, P 为电动机极对数。

根据目前新疆残膜回收过程中所配套的拖拉机行走速度范围 0.83~2.11 m/s, 对该速度范围划分为 5 种速度且分别对应于拖拉机慢 I 档低速、慢 I 档高速、慢 II 档低速、慢 II 档高速和慢 III 档低速工作条件, 并根据式 (22) 将机具速度换算为变频器所需频率, 如表 1 所示, 台架试验车速与变频器之间的参数转换便于台架试验车速的实际操控。

表 1 机具速度与频率换算

Table 1 Conversion between working speed and frequency

拖拉机档位 Gear of tractor	拖拉机速度 Speed of tractor /(m·s ⁻¹)	试验车速度 Speed of test car/(m·s ⁻¹)	变频器频率 Frequency of converter/Hz
慢 I 档低速 Low speed of I slow gear	0.83	0.83	19.37
慢 I 档高速 High speed of I slow gear	1.09	1.09	25.44
慢 II 档低速 Low speed of II slow gear	1.47	1.47	34.31
慢 II 档高速 High speed of II slow gear	1.85	1.85	43.18
慢 III 档低速 Low speed of III slow gear	2.11	2.11	49.25

3.2 台架试验条件

本试验地点选在石河子大学机械电气工程学院校工厂收获实验室。旧地膜样本取自于新疆塔城地区沙湾县金沟河镇南头道河子村 (东经 85°40'49", 北纬 44°20'0", 海拔 436.2 m), 其厚度为 0.01 mm, 田间使用时间约为 180 d; 按照目前新疆棉花主要种植模式进行铺设, 垄宽 66 mm, 土壤厚度 60 mm; 试验土壤为灰漠土, 为更好地模拟田间环境, 首先将铺于土槽内之后的土壤进行润湿, 土壤湿度达到 70%~80%, 其次通过对铺于土槽上的地膜进行压实, 使地膜与土壤紧密粘结, 并对土壤随机压制若干个起伏度不同的凹坑, 然后待土壤干燥, 土壤湿度 10%~20%, 地膜与土壤粘结程度较高; 试验过程中选用精度为 0.01 g 的 DT-1002A 电子秤; NVF2G-22/PS4 变频器进行调频控制 Y100L2-4 型三相异步电动机输出的转速, 并通过 XWD4-11-3 型摆线针轮减速机的减速来驱动试验车。单组仿形搂膜机构试验台如图 5 所示。



a. 试验台主视图 a. Front view of test bed
b. 试验台侧视图 b. Side view of test bed

图 5 单组仿形搂膜机构试验台

Fig.5 Test bed of collecting-film mechanism of monomer profiling

3.3 台架试验方法

3.3.1 影响因素的确定

根据仿形搂膜机构的结构及工作参数, 本试验选取影响搂膜率 3 个关键因素: 弹齿数量 X_1 、弹齿直径 X_2 、试验车速度 X_3 。

1) 弹齿数量: 弹齿安装的数量直接影响搂膜效果的好坏, 弹齿安装数量不足, 弹齿与弹齿之间的间隙大使得残膜漏搂, 为满足棉株种植模式及机具结构工艺要求, 弹齿安装数量范围在 1~5 个, 为使试验效果更为理想, 搂膜弹齿的排列呈相互对称形式。

2) 弹齿直径: 弹齿直径是指弹齿的横截面直径, 横截面直径不同的弹齿具有不同的物理结构特性, 弹齿截面直径不仅影响仿形搂膜效果而且搂膜作业稳定性也会受到很大影响。根据新疆现有的弹齿规格, 弹齿直径在 6~14 mm。

3) 试验车速度: 试验车速度的快慢影响搂膜机构的稳定性和可靠性, 为使拖拉机牵引搂膜机构在棉地里更加可靠稳定进行搂膜作业, 取残膜回收机行走速度范围在 0.83~2.11 m/s, 则试验车速度范围在 0.83~2.11 m/s。

3.3.2 残膜质量测定方法

将试验后的残膜由 2 个塑料袋进行分装, 将第 i 组第 j 次试验后未被搂拾的残膜装入标记为 A_{ij} 的袋中, 同时将弹齿所搂拾的残膜装入标记为 B_{ij} 的袋中; 将每次试验后 A_{ij} 袋中的残膜清洗干净待其晾干后所称残膜质量计为 W_{ij} , 将 B_{ij} 袋中的残膜清洗干净待其晾干后所称的质量计为 M_{ij} , 则每次试验前残膜样本质量为未被搂拾残膜质量 W_{ij} 与被搂拾残膜质量 M_{ij} 之和。

3.3.3 试验指标

仿形搂膜机构作业效果的主要评判指标是搂膜率, 搂膜率的公式为

$$\eta_{ij} = \frac{W_{ij}}{W_{ij} + M_{ij}} \times 100\% \quad (23)$$

式中 η_{ij} 第 i 组第 j 次试验的搂膜率, W_{ij} 为弹齿搂取的残膜质量, g; M_{ij} 为未被弹齿搂取的残膜质量, g; i 为试验组数, 取值范围 1~23; j 为每组试验中试验次数, 取值范围 1~3。

3.3.4 试验设计

试验采用三因素五水平二次旋转正交组合试验方法^[25-27], 因素与水平编码如表 2, 试验方案及结果如表 3 所示, 共进行 23 组试验, 每组试验 3 次, 取 3 次试验结果的平均值。通过 Design-Expert 8.0.6 软件完成试验方案的设计与结果分析。

表 2 试验因素水平

Table 2 Factor level of experiment

编码 Coding	因素水平		
	弹齿数量 Spring tooth number X_1 /个	弹齿直径 Spring tooth diameter X_2 /mm	试验车速度 Test car speed X_3 (m·s ⁻¹)
1.682	5	14	2.11
1	4	12.4	1.85
0	3	10	1.47
-1	2	7.6	1.09
-1.682	1	6	0.83

表 3 二次正交旋转回归组合试验方案及结果

Table 3 Program and results of test of quadratic rotation-orthogonal combination

试验序号 No	试验因素及水平 Factors and levels			响应指标 Response index Y/%
	X_1	X_2	X_3	
1	1	1	1	93.3
2	1	1	-1	80.7
3	1	-1	1	82.1
4	1	-1	-1	80.3
5	-1	1	1	66.3
6	-1	1	-1	64.3
7	-1	-1	1	64.5
8	-1	-1	-1	62.9
9	1.682	0	0	88.3
10	-1.682	0	0	46.5
11	0	1.682	0	84.9
12	0	-1.682	0	77.3
13	0	0	1.682	82.3
14	0	0	-1.682	75.2
15	0	0	0	89.7
16	0	0	0	86.1
17	0	0	0	84.5
18	0	0	0	85.8
19	0	0	0	89.1
20	0	0	0	87.7
21	0	0	0	86.9
22	0	0	0	87.6
23	0	0	0	87.1

注: Y 为搂膜率。

Note: Y is the film-collection rate.

3.4 台架试验结果与分析

3.4.1 试验回归分析

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 3 中试验数据进行方差分析, 得到以搂膜率 Y 为响应函数, 以各因素为自变量的编码回归方程如式 (24)。

$$Y = 87.18 + 10.89X_1 + 2.02X_2 + 2.19X_3 - 7.15X_1^2 - 2.3X_2^2 - 3.13X_3^2 + 1.05X_1X_2 + 1.35X_1X_3 + 1.40X_2X_3 \quad (24)$$

式 (24) 中: X_1 、 X_2 、 X_3 为弹齿数量、弹齿直径和试验车速度的编码值。

对试验结果进行方差分析, 如表 4 所示, 结果表明: 搂膜率回归方程模型 $P < 0.0001$, 表明该回归方程模型极其显著。根据搂膜率的 F 检验: $F_{\text{回归}} = 68.29 > (F_{0.05(9,13)} = 2.71)$, $F_{\text{失拟}} = 2.99 < (F_{0.05(5,8)} = 3.69)$, 因此, 搂膜率回归模型与实际情况拟合地非常好, 具有实际研究意义。

表 4 回归模型的方差分析

Table 4 Variance analysis on regression model

方差来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
模型 Model	2821.00	9	313.44	68.29	<0.0001
残差 Residual	59.67	13	4.59		
失拟 Lack of fit	38.85	5	7.77	2.99	
误差 Error	20.82	8	2.60		

3.4.2 试验因素对接膜率的影响分析

如图 6a 可知,当弹齿直径固定在 10 mm (零水平) 时,交互作用对接膜率的影响规律:当弹齿数量和试验车速度分别增加时,搂膜率随着弹齿数量和试验车速度增加而增加,但逐渐趋于平缓;响应曲面沿弹齿数量方向变化比沿试验车速度方向变化更快,在零水平下弹齿数量对接膜率的影响比试验车速度的影响更为显著。

如图 6b 所示,当弹齿数量固定在 3 个(零水平)时,交互作用对接膜率的影响规律:当弹齿直径和试验车速度分别增加时,搂膜率随着弹齿直径和试验车速度增加而缓慢增加,增加趋势逐渐平缓;在零水平下试验车速度对接膜率的影响比弹齿直径的影响更为显著。

原因分析:弹齿数量增加时,弹齿搂膜密度就会越大,搂膜率增加;但当弹齿数量增加到一定程度时,弹齿搂膜密度对接膜率影响趋于稳定。弹齿直径增加,弹齿自身回弹性能增加,对土壤仿形效果好,弹齿更加容易将地膜抬起,搂膜率增加。试验车速度增加时,弹齿对地膜的勾拉速度随着增大,地膜的拉伸强度增加,断裂伸长率减少,地膜被拉断的速度加快,使搂膜率增加;地膜伸长率为定值,试验车速度增加对接膜效果影响逐渐平稳。

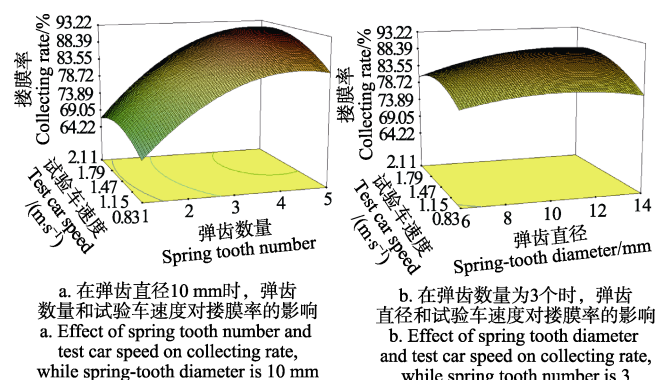


图 6 试验因素对接膜率的影响

Fig.6 Effect of experiment factors on collecting rate

3.4.3 参数优化与验证

1) 参数优化

为获得较好的搂膜效果,以高残膜回收率的搂膜要求为优化目标,对单组仿形搂膜机构的工作参数和结构参数进行优化分析^[28-29]。应用 Design-Expert 8.0.6 数据分析软件对接膜率的回归模型优化分析,约束条件为:1) 目标函数: $Y[\max]$; 2) 影响因素约束: X_1 弹齿数量 3~5 个; X_2 弹齿直径 8~12 mm; X_3 试验车速度 1.09~1.85 m/s。参数优化组合为搂膜弹齿数量 5 个,弹齿直径 12 mm,试验车速度 1.85 m/s,在该参数组合条件下的搂膜率达到 89.3%。

2) 台架试验验证

本实验在单组仿形搂膜试验台进行。试验参数组合:弹齿数量为 5 个,弹齿直径为 12 mm,试验车速度为 1.85 m/s,共进行 5 组试验,每组试验 2 次,试验结果取平均值。

表 5 台架试验测定结果

Table 5 Measurement results of test-bed testing

试验组 Test group	搂膜率 Collection rate/%
试验 1 Test 1	87.1
试验 2 Test 2	90.8
试验 3 Test 3	87.6
试验 4 Test 4	88.3
试验 5 Test 5	88.9
平均值 Average value	88.5
标准差 Stand deviation	1.4

试验结果如表 5 所示,搂膜率 $\geq 87.1\%$,通过理论优化搂膜率与试验结果进行对比可知,两者非常接近,表明优化预测模型可靠,所得最优参数组合符合搂膜要求。

4 样机田间试验

田间试验参照国家标准残地膜回收机 GB/T 25412-2010,测区长度 100 m,宽度为搂膜机 3 个往返行程的工作宽度,测点采用五点法,从测区 4 个地角沿对角线,在四分之一至八分之一对角线长度范围内随机确定 4 个测点的位置,以及该对角线的交点,作为作业前的 5 个测点;在作业前的 5 个测点附近但不重叠的区域再选 5 个点,作为作业后的 5 个测点^[30],测点长度为 2 m,宽度为 2 m。对作业前后测点的残膜取样,并进行清洗晾干,称其质量并计算搂膜率。

试验样机为 1MSF-3 型残膜回收机^[31],整机尺寸为 6 990 mm $\times$ 1 790 mm $\times$ 1 015 mm,作业速度为 6.7 km/h,10 个单组仿形搂膜装置和 9 个护禾装置相互交错均布在机具上,一次作业宽度为 7 000 mm;为实现作业行程的延长,在搂膜架上设置前、后排搂膜弹齿,当前排搂膜弹齿存储一定的残膜时,后排搂膜弹齿开始搂膜,该搂膜弹齿前后排设置提高了搂膜作业持续时间和残膜存储量,且该机具通过液压驱动自动卸膜实现了快速卸膜,大大缩短了卸膜作业与搂膜作业之间的时间间隔,提高了机具的作业效率,有效实现了搂膜作业的连续性;通过起膜边机构起边膜及断膜机构切断地膜,有利于搂膜弹齿将边膜从棉秆件勾拉出;在残膜回收过程中,棉秆罩于护禾装置内,从而有效避免了残膜与棉秆、残茬之间的缠绕;残膜回收机通过约翰迪尔 N850 拖拉机牵引驱动完成残膜回收作业,为实现残膜再次利用,最终通过液压打包机将卸于打包带上的残膜进行自动捡拾并通过液压打包机的液压装置对残膜进行自动打包,当液压打包机装满残膜之后运出棉地。

试验时间:2015 年 10 月 17 日。试验在新疆昌吉五家渠共青团农场棉地进行,棉地经过采棉机的镇压后造成地形不平整,残膜与土壤粘结。

试验结果如表 6 所示。残膜回收率高达 86.5%,与台架试验结果基本吻合,满足残膜回收作业要求。田间残膜回收试验如图 7 所示。

表 6 田间试验测定结果

Table 6 Measurement results of film collection testing

试验号 Test number	搂膜率 Collection rate/%
试验 1 Test 1	82.6
试验 2 Test 2	85.3
试验 3 Test 3	81.8
试验 4 Test 4	84.9
试验 5 Test 5	86.5
平均值 Average value	84.2
标准差 Stand deviation	1.9



图 7 样机田间试验

Fig.7 Field test of prototype

5 结 论

本文通过单组仿形搂膜机构进行设计及理论力学分析可知, 搂膜机构的搂膜效果好坏与搂膜弹齿的自身回弹能力相关, 且搂膜弹齿的受力状态与搂膜机构的作业状态具有很重要的关联性。

1) 由台架试验可知, 搂膜率随着弹齿数量、试验车速度和弹齿直径的增加而增加, 但逐渐趋于平缓。

2) 通过 Design-Expert 8.0.6 软件对台架试验结果进行优化, 得到单组仿形搂膜机构的最佳参数组合为弹齿数量 5 个, 弹齿直径 12 mm, 试验车速度 1.85 m/s, 并进行台架试验验证, 优化预测模型可靠, 所得最优参数组合符合搂膜要求。

3) 通过田间残膜回收试验表明, 单组仿形搂膜机具搂膜率高达 86.5%, 能够满足残膜回收作业要求, 残膜回收效果与台架试验结果基本吻合。

[参 考 文 献]

- [1] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 172—175.
Bi Jiye, Wang Xiufen, Zhu Daolin. Effect of plastic-film mulch on crop yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(11): 172—175. (in Chinese with English abstract)
- [2] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(3): 186—190. (in Chinese with English abstract)
- [3] 马辉, 梅旭荣, 严昌荣, 等. 华北典型农区棉田土壤中地膜残留特点研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 570

—573.

Ma Hui, Mei Xurong, Yan Changrong, et al. The residue of mulching plastic film of cotton field in north China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2): 570—573. (in Chinese with English abstract)

- [4] 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. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2): 95—102. (in Chinese with English abstract)

- [5] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(8): 91—99. (in Chinese with English abstract)

- [6] 史建新, 陈发, 郭俊先, 等. 抛送式棉秆粉碎还田机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 68—72.

Shi Jianxin, Chen Fa, Guo Junxian, et al. Design and experimental research of the field straw chopper with throwing cotton-stalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(3): 68—72. (in Chinese with English abstract)

- [7] 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 (Transactions of the CSAE), 2011, 27(7): 168—172. (in Chinese with English abstract)

- [8] 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—31.

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 (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 24—31. (in Chinese with English abstract)

- [9] 王学农, 冯斌, 陈发, 等. 棉秸秆切碎及残膜回收联合作业关键技术研究[J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28(3): 49—59.

Wang Xuenong, Feng Bin, Chen Fa, et al. Research on key technic of cotton stalk shredding and used polythene film collecting combined machine[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2005, 28(3): 49—59. (in Chinese with English abstract)

- [10] 蒋永新, 陈发, 王学农, 等. 棉秸秆还田及残膜回收机改进设计研究[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(S2): 159—161.

- [11] 王学农, 冯斌, 陈发, 等. 4JSM-1800 棉秸秆还田及残膜回收联合作业机研制[J]. 新疆农机化, 2003(4): 53—54.

- [12] 张学军, 吴成武, 马少辉, 等. 残膜回收机耨膜连杆机构模糊优化设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 55—58.
Zhang Xuejun, Wu Chengwu, Ma Shaohui, et al. Fuzzy optimization design of the links mechanism with film rake of remnant plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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(增刊): 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(Supp.): 73—77. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田耨膜机耨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 (Transactions of the CSAE), 2008, 24(1): 135—140. (in Chinese with English abstract)
- [15] 姚宗路, 王晓燕, 高焕文, 等. 小麦免耕播种机种肥分施机构的改进与应用效果[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 120—124.
Yao Zonglu, Wang Xiaoyan, Gao Huanwen, et al. Improvement and experiment on the device for separate application of fertilizer and seed for no-till wheat drill[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(1): 120—124. (in Chinese with English abstract)
- [16] 蒋金琳, 龚丽农, 王明福. 免耕播种机单体工作性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 64—66.
Jiang Jinlin, Gong Linong, Wang Mingfu. Study on the working performance of the no-tillage planter unit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2000, 16(5): 64—66. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张喜瑞, 何进, 李洪文, 等. 免耕播种机驱动圆盘防堵单元体的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 117—121.
Zhang Xirui, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on the driving disc of anti-blocking unit for no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(9): 117—121. (in Chinese with English abstract)
- [18] 范旭辉, 贾洪雷, 张伟汉, 等. 免耕播种机仿形爪式防堵清茬机构参数分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 56—60.
Fan Xuhui, Jia Honglei, Zhang Weihang, et al. Parametric analysis of finger-type anti-blocking residue-cleaner for no-till planting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 56—60. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张晋国, 高焕文. 免耕播种机新型防堵装置的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 33—35.
Zhang Jinguo, Gao Huanwen. Study on the strip chopping anti-blocking mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(4): 33—35. (in Chinese with English abstract)
- [20] 胡鸿烈, 孙福辉. 单体仿形压轮式播种单组的设计与试验研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(增刊): 53—57.
Hu Honglie, Sun Fuhui. Study on designing and testing of the drill unit with individual profiling press wheel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(Supp): 53—57. (in Chinese with English abstract)
- [21] 孙恒, 陈作模, 葛文杰. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [22] 刘阳春, 张小超, 伟利国, 等. 一种变量施肥技术的实现及其台架试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 159—162.
Liu Yangchun, Zhang Xiaochao, Wei Liguang, et al. Design and experiment of a variable rate fertilization control system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 159—162. (in Chinese with English abstract)
- [23] 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 with English abstract)
- [24] 濮良贵, 纪名刚, 陈国定, 等. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [25] 龚丽农, 高焕文, 蒋金琳. 免耕播种机玉米根茬处理装置作业功耗试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 124—127.
Gong Linong, Gao Huanwen, Jiang Jinlin. Experimental study on power dissipation of corn rootstalk treatment device of no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(7): 124—127. (in Chinese with English abstract)
- [26] 陈振歆, 王金武, 牛春亮, 等. 弹齿式苗间除草装置关键部件设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 81—86.
Chen Zhenxin, Wang Jinwu, Niu Chunliang, et al. Design and experiment of key components of trash cultivator's working in paddy rice seeding lines[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 81—86. (in Chinese with English abstract)
- [27] 徐中儒. 回归分析与试验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [28] 王业成, 陈海涛, 林青. 黑加仑采收装置参数的优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 79—83.
Wang Yecheng, Chen Haitao, Lin Qing. Optimization of parameters of blackcurrant harvesting mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(3): 79—83. (in Chinese with English abstract)
- [29] 刘曙光, 尚书旗, 杨然兵, 等. 小区播种机存种装置参数试验及优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 101—108.
Liu Shuguang, Shang Shuqi, Yang Ranbing, et al. Test and optimization of parameters for the storing device of plot

seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 101–108. (in Chinese with English abstract)

[30] GB/T 25412-2010, 残地膜回收机[S].

[31] 王科杰, 任萍, 胡斌, 等. 一种可折叠式残膜回收机: 2015205745881[P].2016-04-06.

Design and experiment of monomer profiling raking-film mechanism of residue plastic film collector

Wang Kejie¹, Hu Bin^{1*}, Luo Xin¹, Chen Xuegeng^{1,2}, Zheng Xuan², Yan Limin², Gou Haixiao²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2. Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China)

Abstract: The collecting machinery of mulching plastic film offers an important technological means to curb the farmland residue pollution. The main method of residual film recycling in Xinjiang is the raking-film working. Due to the complex cotton field environment and the poor raking film effect of whole profiling of the used plastic film collector, the raking film tooth can not simultaneously carry out the monomer film collecting with copying with different cotton field terrain, which causes a low collecting rate during the process of residual film recycling. For the problem, this paper proposed a collecting-film mechanism of the profiling of the monomer. The theoretical design and mechanical analysis of the mechanism of collecting film were carried out. With the method of complex vector, the profiling-mechanism dynamics model was established, which involved the relationship between the reacting force of soil to land wheel of profiling and the spring-tooth resilience force. Based on the establishment and analysis of dynamics model, the collecting-film influencing factor could be initially determined. And the relevance of the spring-tooth stress states and the raking-film mechanism's operating condition was further explored. In order to confirm the operation parameters of the device of collecting film, the experiment of the response surface with 5 levels and 3 factors was accomplished on the soil bin trolley test-bed with the spring tooth of the raking film. Three test parameters, i.e. spring tooth number, test-car speed and spring tooth diameter, were chosen as the influence factors of the test-bed experiment. And collecting rate of residual film recycling was selected as the evaluation index of the test-bed experiment. Quadratic orthogonal rotation combination trial design was applied to build the quadratic polynomial regressive model, which interpreted the relationship between the experimental influence factors and evaluation index. Using the data analysis software of Design-Expert 8.0.6, the matching mathematical regression pattern was developed, the relation of salient factors with the evaluation index was analyzed, and the parameters of test were improved. The optimum combination of parameters could be reached when the number of spring teeth was 5, the diameter of spring tooth was 12 mm, and the speed of test car was 1.85 m/s. By using the soil bin trolley testing, the optimized results were verified on the basis of optimization parameters combination. The experimental consequences manifested that the collecting-film rate of the mechanism of monomer profiling raking-film was more than 88.5%, the optimization prediction model based on the quadratic multinomial fitting model was reliable, and the film recycling requirement could be met by the structure and working parameters combination. According to the standing cotton stalks standard field experiment in Changji, Xinjiang, the experimental cotton field was selected, which was pressed by the wheel of picking cotton locomotive and produced different fluctuation of pits and soil slope, and the results from the cotton field and the laboratory were basically consistent. The research provides an original theoretical reference for the design of raking film mechanism of single profiling, as well as the parameter optimization of remnant plastic film collector.

Keywords: agricultural machinery; plastic films; optimization; monomer profiling; collecting-film mechanism; test-bed experiment; residue plastic film