

新型残膜捡拾机构的研究与试验

高华锋¹,张瑞勤¹,解 燕¹,刘冬梅¹,刘加红¹,袁会斌¹,杨丽平¹,王 猷^{2,3}

(1.云南省烟草公司曲靖市公司,云南 曲靖 655000;2.昆明理工大学,云南 昆明 650093;

3.德宏振云科技开发有限公司,云南 德宏 678499)

摘 要:现有残膜捡拾机构只能用于我国北方地区地形平坦、土质疏松、含异物杂质少的表层或浅层的农田残膜回收。针对南方地形、土质和残膜主要集中在0~30 cm耕作层的情况,研发出新型残膜捡拾机构,能同时捡拾地表和地下的各种残膜。通过田间测试表明:该机重约600 kg,整机尺寸约为2.5 m×2.0 m×1.7 m,牵引动力采用36.75 kW以上拖拉机,作业幅宽1.1 m,工作深度0~40 cm,碎膜捡拾率≥80%,整膜捡拾率≥90%,作业效率约420 m²·h⁻¹,现已推广使用面积约141 hm²。

关键词:残膜捡拾;风选;分风;筛网

中图分类号:S224.9 **文献标志码:**A

Research and test of new mechanism for picking residual plastic film in field

GAO Hua-feng¹,Zhang Rui-qin¹,XIE Yan¹,LIU Dong-mei¹,LIU Jia-hong¹,

YUAN Hui-bin¹,YANG Li-ping¹,WANG You^{2,3}

(1.Yunnan Tobacco Companies Qujing Company,Qujing,Yunnan 655000,China;

2. Kunming University of Science and Technology,Kunming,Yunnan 650093,China;

3. Zhenyun Technology Development Co. Ltd.,Dehong,Yunnan 678499,China)

Abstract: The present collector for residual plastic film can only be used on farmland with flat and loose surface soil or shallow layer without other materials in northern China. In the terrain and soil in southern China, the residual plastic film is mainly in the top 0~30 cm layer. So, we designed a new collector that can pick up all kinds of residual plastic film in the field. The machine weighs 600 kg with a dimension of 2.5 m×2.0 m×1.7 m. It is towed by a 36.75 kW tractor. It has a 1.1 m operation width and 40 cm work depth. It can pick up more than 80% small film pieces and more than 90% large film. The collection efficiency is about 420 m²·h⁻¹. At this moment, it has been used for 141 hm² farmland.

Keywords: residual plastic film collector; wind selection; wind diversion; mesh

残膜捡拾机构是残膜回收机的关键性部件,决定了残膜收集的效果和设备运行的可靠性,目前国内所采用的残膜捡拾机构主要采用以下几种原理:耙齿式、伸缩弹齿式、刮板式、旋耕筛网式、筛土式等。笔者通过对上述机型的机理分析和产品现场测试发现它们普遍存在以下缺陷:捡膜深度较浅,一般不超过5 cm,远远达不到实际生产所要求的捡拾深度30 cm的指标;采用格栅、筛网等机械过滤的原理将残膜与土壤分离,但由于过滤部件网格的物

理尺寸固定,而土壤中还共存有大量根茬、石块、土堡,致使超过网格物理尺寸的物质无法通过,容易造成壅堵;对土壤、地形要求较高,而云南的地形大多为坡地、半坡地,土壤大多为重粘土,导致捡膜部件工作阻力较大,机具作业困难;对碎膜和粘贴、夹杂在土堡表面及内部的残膜难以捡拾干净^[1-5]。由此看出:现有残膜捡拾机理并不适用于云南的实际农业生产,必须对现有捡拾机构做出原理性的突破和创新,才能使残膜回收机的开发具有成效。

1 地膜残留状况调查

残膜捡拾机构的主要功能是将残膜从土壤中分离出来,所以必须对残膜在土壤里的存在情况进行分析,为残膜捡拾机理研究提供依据。

我们选择云南省有代表性的三种不同土壤性质(砂土、粘土和壤土)的土地各 667m²,前三年种植过程中均覆盖地膜。每种类型的土地以 50 cm×50 cm 为范围,采用对角线五点取样法。以深度 0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm 分别进行三次取样,每种类型土取样 15 个,同时按不同深度的 5 个取样混合,形成三个大样。采用筛网筛土,取出其中的残膜,清洗干净、晒干并用电子称进行称重。

通过上述实验和统计总结出以下特点:在各种土壤类型中,各种尺寸的残膜都有广泛分布,主要集中在 0~30 cm 的耕作层,其中 5 a 以下的残膜约为 3.9 g·m⁻²,5~10 a 的残膜约为 7.3 g·m⁻²,10 a 以上的残膜约为 17.2 g·m⁻²,而且大多为多年的老化陈膜,即使是人工捡拾也十分困难。壤土中含有的残膜片数最多,粘土的最少,砂土的居中,我们认为这是对不同土壤的农事劳作习惯造成的:粘质土中农事操作不易,在盖膜的过程中两侧用较大的土块压住,取膜时能将地膜整块去除,所以残留的地膜数量相对较少;而壤土需将地膜两侧压入土中,土壤与地膜牢固地粘接在一起,最终形成碎膜;砂土虽然也是两侧压土,但粘性较小,对地膜的破坏也小,容易取出。膜在土壤中以独立存在、表面附着、与土堡板结三种形式存在;新膜与根茬、杂草、陈膜共同存在,甚至互相缠绕,但它们的物理机械性能完全不同。

对于如此复杂的情况,我们认为,仅采用功能单一的传统残膜捡拾机构已无实现的可能性,只有将挖掘、破碎、分选等功能集成起来,并对残膜、根茬、土堡等各种物质实行分类识别和处理,才有实现捡拾的可能性。

2 结构和工作原理

2.1 整体结构

本研究的新型残膜捡拾机构与拖拉机后部的三点悬挂连接,由拖拉机提供整机行进动力和搅拌刀具的动力,另有一套发电设备和控制系统为风机提供动力和自动控制。主要部件有密封室、搅拌刀具、鼓风机、吸风机、吸风罩、后拦截网、前拦截网等,见图 1。密封室采用五面密闭、后面敞开的结构,在密封室的一侧设置三台鼓风机,另一侧设置

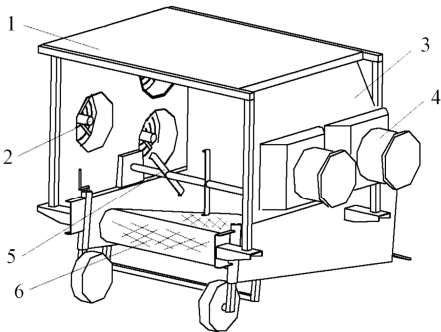
两台吸风机,见图 1a。在搅拌刀具的前后端分别设置前拦截网和后拦截网,拦截网与机架呈一定倾斜角度安装,见图 1b。

2.2 工作原理

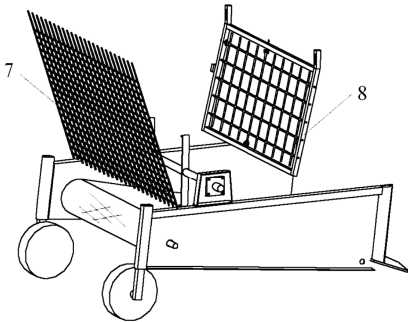
当残膜捡拾机构在田间作业时,前部的起土铲将含有残膜土壤从地面铲起剥离后移送到输送带上,在输送网带上方设有一套搅拌刀具,对输送带上的土壤进行逆旋耕,并将其抛洒在密封室的吹吸气流场中,此时有如下现象发生:

首先,搅拌刀具会对大块土堡做进一步破碎,使夹杂在土堡内部的残膜得以释放,并将含膜土壤抛扬到空中,形成绕刀轴轴线的抛物线,在此过程中,由于搅拌刀具转速较高,能对土壤产生较大的离心力和冲击力,膜土得以充分分离,使土壤颗粒之间的间隙增大,气流能充分深入,见图 2(279 页)。

其次,由于残膜是被土壤夹带着一起运动,所以它们具有共同的初速度,当到达抛洒的最高点后,土壤和残膜的速度都变为零,在重力、风力的共同作用下,土堡和较重土壤快速下落,残膜则按位于土层的位置和形状的不同,出现明显的差异性运动:(1)位于抛掷曲线外围的碎膜很容易从土壤中



(a)拆除拦截网的整机示意图
Scheme of the machine after removed the mesh



(b)拆除密封室等部件的整机示意图
Scheme of the machine after removed the seal cover

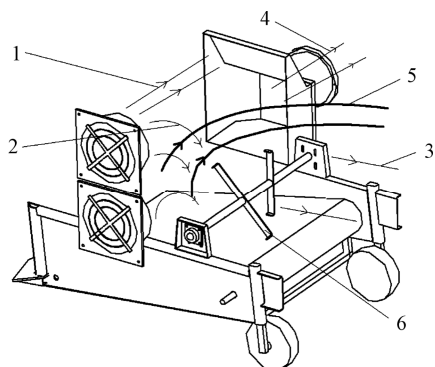
- 1.密封室;2.鼓风机;3.吸风罩;4.吸风机;5.搅拌刀具;
- 6.输送带;7.后拦截网;8.前拦截网
- 1. Sealed chamber;2. Blast blower;3. Suction hood;
- 4. Suction fan;5. Rotary blade;6. Conveyor;
- 7. Back interception mesh;8. Front interception mesh

图 1 机构整体简图和内部示意图

Fig.1 Scheme of the mechanism and interior structure

“逃逸”出来,漂浮在抛掷轨迹的上方,而位于抛掷曲线内部的碎膜则被土壤裹挟着继续向后运动;(2)位于抛掷曲线外围的长条残膜能脱离土壤,向搅拌刀具前方飞出,而位于抛掷曲线内部的长条残膜则缠绕在搅拌刀轴上;(3)大片残膜难以脱离土壤束缚,随土壤一起向后运动,见图3(279页)。

另外,由于三台鼓风机产生的鼓入风量始终大于两台吸风机的排出风量,根据流体力学原理,在密封室内,输入风量必须与排出风量相等才能保持平衡,这使得鼓风机产生的风量分为两条途径从密封室内排出:一部分通过吸风机排出,其余多余部分则由密封室后部排出,但由于密封室内部存在大量被搅拌刀具抛掷起来的土膜混合物,使吹吸气流被阻隔、截断,于是气流被迫向四周外围扩散,最终分为四个不同方向流动,实现了自动分风,为不同物理尺寸残膜的分类处理奠定了基础,见图4和图5。(1)第一部分是位于上部鼓风机的正压气流和吸风机的负压气流共同作用而形成的吹吸气流,由于抛起的土壤很少到达这个部位,气流受到的干扰、

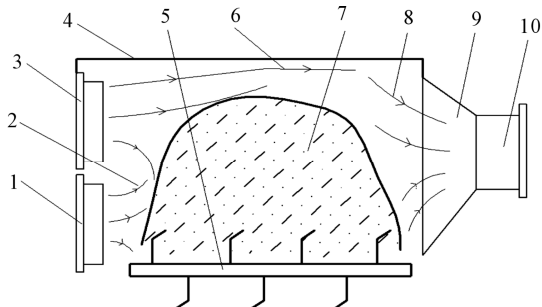


1. 吹吸气流; 2. 受阻气流; 3. 向后气流;
4. 吸风气流; 5. 抛洒轨迹; 6. 搅拌刀具

1. Blow-sucking airflow; 2. Blocked airflow; 3. Backward airflow;
4. Suction airflow; 5. Soil throwing track; 6. Rotary blade

图4 密封室内主要气流方向示意图

Fig.4 Scheme of the airflow direction in the sealed chamber



1. 下部鼓风机; 2. 下部正压气流; 3. 上部鼓风机; 4. 顶罩; 5. 搅拌刀具;
6. 吹吸气流; 7. 抛土区域; 8. 吸风气流; 9. 吸风罩; 10. 吸风机

1. Lower blower; 2. Bottom positive pressure airflow; 3. Top blower;
4. The top hood; 5. Rotary blade; 6. Blow-sucking airflow;
7. Throwing soil area; 8. Suction airflow; 9. Suction hood; 10. Suction fan

图5 密封室截面气流方向示意图

Fig.5 Cross section of airflow in the sealed chamber

阻隔较小,能保持良好的吹吸运动状态,而且密封室顶罩比较光滑,所以气流流速很快,根据流体力学的伯努利效应,高速的吹吸气流能在密封室顶部形成一个风压较小的区域,将逃离土壤束缚的外部碎膜“吸”上来,再由前向后或向吸风罩方向的气流分别带入后拦截网和吸风罩;(2)第二部分是由位于下部的鼓风机产生的正压气流,这部分气流由于被搅拌刀具抛掷土壤所形成的“土墙”所阻碍而向四面散开,风速衰减严重,但风压上升,并与吸风机产生的负压共同作用,将整个半空中的“土墙”向负压风机方向推移,有部分气流能穿透到“土墙”内部,同高速旋转的搅拌刀具产生的气流汇聚一起,形成乱流,进一步加剧“土墙”内部土壤颗粒和残膜之间的无序运动,使膜土分离更加充分;(3)第三部分是鼓风机产生的多余气流与被“土墙”阻隔的乱流汇合后,在密封室内没有“出路”,导致密封室内部的风压逐渐升高,根据气体的流动特性,风只能向压力较低的区域流动,于是就形成一股向后气流,造成后拦截网处出现了一个强大的正压气流区域;(4)第四部分是吸风机产生的负压气流,它的主要作用是与正压气流共同整理气流、控制流向,并将吸风罩附近和部分顶部的碎膜吸入吸风罩内。

最后,由于在抛土区域内部的大部分长条残膜和大片残膜是被土壤裹挟着一起做抛掷运动,仅仅靠风力是无法将其分离的,所以在搅拌刀具前后合适位置分别设置前拦截网和后拦截网,当拦截网在受到土膜混合物的冲击以后能产生一定的变形,增加了冲击过程的时间,有效地化解了膜土混合物的冲击力,而拦截网与机架呈 70° 左右夹角安装,大于土壤的安息角,使那些无法穿过网孔的土块、根茬等较大密度物质能下落、翻滚回到输送带或田中;同时,由于地膜质量较轻,并有一定的表面积,它所受的风力远大于所受的重力,所以被正压气流“压死”在拦截网表面,而不会随着下落的土壤又落回田中,最终实现了残膜捡拾,见图6和图7(279页)。

3 重要部件设计

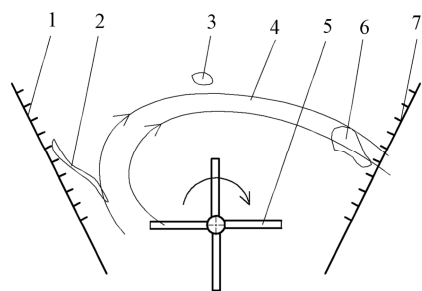
3.1 搅拌刀具计算

根据旋耕运动成立条件公式^[6-8],设刀具在时间 t 内转过的角度为 $\theta = \omega t$,则刀片上任意一点 A 的速度为:

$$v_a = v \sqrt{\lambda^2 - 2\lambda \sin\theta + 1} \quad (1)$$

式中, v 为输送带的前进速度; R 为 A 点的回转半径;

ω 为搅拌刀具的回转角速度; $\lambda = \frac{R\omega}{v}$ 为刀具回转速



1. 前拦截网; 2. 长条残膜; 3. 碎膜; 4. 抛土轨迹;
5. 搅拌刀具; 6. 大片残膜; 7. 后拦截网

1. Front interception net; 2. Long plastic film;

3. Small plastic film; 4. Soil throwing track;

5. Rotary blade; 6. Large plastic film; 7. Back interception mesh

图 6 拦截网位置示意图

Fig.6 Location of interception screen

度与输送带速度之比。

将设备运动参数: $v = 1.392 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $R = 0.25 \text{ m}$, $n = 361 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 代入(1), 得:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \times 3.14 \times 361}{60} \approx 37.8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

所以, $\lambda \approx 6.8 > 1$, 满足旋耕运动成立条件。

搅拌刀具的功率消耗主要是土壤切削、抛掷, 占总功率消耗的 80% 以上, 其他可忽略不计, 其功率按下式估算^[9]:

$$N = \frac{100k_x \cdot a \cdot v_m \cdot B}{75} = 1.33 \cdot k_x \cdot a \cdot v_m \cdot B \quad (2)$$

式中, k_x 为旋耕土壤比阻 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$), 取 1.2 ~ 1.6, 在此取 1.2; a 为耕深 (cm); B 为耕幅 (m), 取 1 m; v_m 为机组前进速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

由于输送带速度为 $v_m = 1.392 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 大于拖拉机前进速度 $0.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 而单位时间内铲上的土壤体积不变, 所以输送带上的土壤比耕深 (40 cm) 要薄, 在此, 为简化分析, 直接按比例估算输送带上的土壤厚度: $a = \frac{0.58}{1.392} \times 40 = 16.7 \text{ cm}$ 。

代入(2)式计算可得搅拌刀具消耗功率约为: $N = 27.6 \text{ kW}$ 。

3.2 密封室设计

密封室采用冷轧薄钢板制造, 有如下作用: 在相同功率下, 使风力作用成倍增加; 为吹吸气流提供一个相对封闭的空间, 达到控制气流流向、自动分流的目的; 对抛起的土壤进行屏蔽安全防护。

被抛土堡质点 S 从起抛点 (x_0, y_0) 起抛后, 不计空气阻力和相互碰撞, 作为自由落体运动时, 被抛土堡质点 S 的运动方程为:

$$s = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{ox}t \\ v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

令抛土瞬时为 t , 则可确定土壤质点抛出后的运动轨迹:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_x t \\ y &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, x_0, y_0 为土堡被抛出的初始位置坐标; v_x, v_y 为土堡被抛出的初始速度。

由式(3)可知土壤运动轨迹为一条抛物线, 这与田间试验结果吻合, 所以侧面吹吸风机的位置也应尽量按此轨迹布置。

此外, 据试验观察, 土壤抛起高度为 80 cm 左右, 由此确定气流室为长方形结构, 采用较易实现的水平吹吸方式组织气流, 所以设计气流室长宽高尺寸为: $1250 \times 1100 \times 900 \text{ mm}$ 。鼓风机单台出风量为 $4750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 吸风机单台排风量为 $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 则剩余风量为 $8250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 尾部出口的风速可按下式估算:

$$L = v \cdot F \quad (4)$$

式中, L 为风量, 在此约为 $2.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; v 为风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); F 为出口截面积, 在此约为 0.72 m^2 , 代入(4)式求得后拦截网处风速为: $v = 3.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

除风速外, 还应考虑风压的影响, 按相关的空气动力学理论, 风速与风压的关系公式为:

$$w = \frac{1}{2}\rho v^2 = \frac{1}{2}\frac{\gamma}{g}v^2 \quad (5)$$

式中, w 为风压 ($\text{KN} \cdot \text{m}^{-2}$); γ 为空气单位体积的重力, 在此按气压为 101.325 kPa、常温 15℃ 和绝对干燥的情况, 取 $\gamma = 0.012018 (\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$; g 为重力加速度, 取为 $g = 9.8 (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$ 。

代入式(5), 求得残膜在拦截网上受到的风压为: $w = 0.063 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3.3 拦截网设计

根据气流场中物料所受作用力公式:

$$P = K\rho A(V_a - V)^2 \quad (6)$$

式中, K 为阻力系数, 与物料颗粒的形状、表面性质有关; ρ 为空气密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); A 为物料的受风面积, 即物料在气流方向的投影面积 (m^2); V_a 为气流速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); V 为物料速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

由式(6)可以看出, 该式仅能对单纯物料受到的风力做分析, 而土壤颗粒、残膜的特性、尺寸差异较大, 并同时受到气流压力、冲击力、重力的作用, 所以用常规的风选理论无法对其进行进一步的分析计算^[10-13], 但可以利用该式来进行拦截网的

设计。

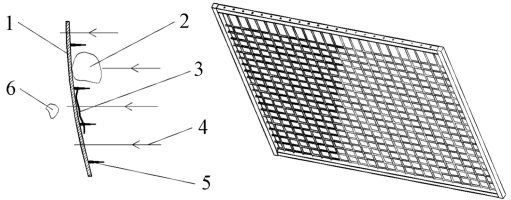
拦截网采用金属链条制成,网格尺寸为 50 mm×50 mm,且带有短小的尖刺,见图 8。当土壤被抛掷在上面后,尺寸较小的土壤可以穿过网格直接落回田中,而尺寸较大的土堡、根茬和残膜等物质则被拦截下来,此时它们的速度瞬时为零,惯性力基本消除,仅受重力和风力的作用。由式(6)可以看出:在相同受风面积情况下,土堡等物质的重量远远大于残膜,所以土堡在此主要受重力作用,从而顺着网面向下滑落;而残膜则主要受向后气流的作用,被风压固定在拦截网面上,实现了土壤中残膜的“沉淀”。由于土堡、根茬等较大尺寸的物质不再需要穿过网孔,所以解决了传统筛网由于物理尺寸固定而发生堵塞的难题。

4 研究结果和讨论

本项目研究出的新型残膜捡拾机构,为机电气一体化智能设备,由底盘、抛土装置、风选装置、密封室、碎膜收集系统、长膜收集系统、动力综合控制系统等功能单元组成,整合了各个地膜捡拾环节,实现了铲土、抛扬、气流分选、地膜筛选、残膜收集等工序的一体化操作,试验结果显示该机能实现在种植前、采收后耕整地时土壤表面地膜和耕作层内残膜的收集。

项目组于 2015~2017 年间在云南省保山市潞江坝芒旦村和曲靖市沾益县大坡乡针对不同的地形、土壤和前期作物,使用该机进行了多次田间对比测试和不断改进(见图 9),并经云南省农业机械产品质量监督检验站测试结果表明:该机重约 600 kg,尺寸约为 2.5×2.0×1.7 m,牵引动力采用 50 马力以上拖拉机,作业幅宽 1.1 m,工作深度 0~40 cm,碎膜捡拾率≥80%,整膜捡拾率≥90%,作业效率约 420 m²·h⁻¹,现已推广使用面积约 141 hm²。

由于该机研究领域涉及面广,缺乏理论依据和参考样机,所以进一步研究风选理论、优化气流参数、提高捡拾效率是改进的方向。通过观察发现密封室内部工况异常复杂:既有气流对土壤颗粒运动的影响,也有土壤颗粒对气流的影响,同时还有土壤颗粒之间以及土壤颗粒与残膜、刀具之间的碰撞,物



1.网绳;2.土堡;3.残膜;4.向后气流;5.尖刺;6.土壤
1. Net;2. Soil block;3. Residual plastic film;
4. Backward airflow;5. Spine;6. Soil
图 8 拦截网示意图

Fig.8 Interception net structure



图 2 抛土照片
Fig.2 Soil throwing



图 3 土膜分离
Fig.3 Separation of soil and plastic film



图 7 拦截网上挂附的地膜
Fig.7 Plastic film collected by interception mesh



图 9 田间测试
Fig.9 Field test

料群之间相互的碰撞和摩擦,物料群的动能损失,转化为声能、热能以及变形能等。所以,在气流、刀具、土壤间存在着复杂的动量交换,它是一种复杂的气固两相混沌运动。目前尚未见到能对类似工况做量化分析的报道,但类似的现象在风选领域大量存在^[12-18],如果能加强此方面的理论研究和相关算法,将对设备的优化和推广应用有很好的指导意义。

参 考 文 献:

- [1] 严伟,胡志超,周新星,等.残膜回收机拾膜机构研究现状及展望[J].农机化研究,2016,(10):258-262.
- [2] 杜友,郭智新,徐振兴,等.残膜回收机生产应用试验与跟踪考核[J].中国农机化学报,2017,38(11):49-50.
- [3] 张兵兵,丁文捷.残膜回收机在宁夏作业的试验研究[J].宁夏工程技术,2017,16(1):24-27.
- [4] 华英杰,李贵荣,熊骏华,等.农田残膜捡拾(回收)机发展现状及其在云南农业生产中的应用[J].安徽农业科学,2014,42(6):1895-1897.
- [5] 严伟,胡志超,游兆延,等.3种残膜回收机的作业性能对比试验研究[J].农机化研究,2017(3):197-201.
- [6] 李绍珍,张公升,范波涛.旱田逆旋耕的可行性分析[J].山东工业大学学报,1995,35(12):312-318.
- [7] 陈钧,近江谷和彦,侍尾日出男.高速摄影法研究旋耕刀抛土特性

[J].农业机械学报,1994,25(3):56-60.

- [8] 吉尔 W R,范德伯奇 G E.耕作和牵引土壤动力学[M].北京:中国农业出版社,1983:102-160.
- [9] 沈鸿.机械工程手册:第 11 卷[M].北京:机械工业出版社,1982:66-25.
- [10] 刘平.大型高含杂原粮风选机的研究及设计[D].郑州:河南工业大学,2013.
- [11] 于航,魏润柏.吹吸气流速度场的理论分析[J].同济大学学报(自然科学版),1991,19(1):79-83.
- [12] 孙刚,李世争,孙薇.用混沌理论研究筛分过程中物料的运动规律[J].北京科技大学学报,1999,21(3):223-226.
- [13] 蒋恩臣,王立军,刘坤,等.联合收获机惯性分离室内气固两相流数值模拟[J].江苏大学学报,2006,27(3):193-196.
- [14] 邓春香,陶栋材,高静萍.气流清选风车中谷物的动力学特性和影响因素的研究[J].农业工程学报,2006,22(4):121-124.
- [15] 李革,赵匀,俞高红.倾斜气流清选装置中物料的动力学特性、轨迹和分离研究[J].农业工程学报,2001,17(6):22-24.
- [16] 李洪昌.风筛式清选装置理论及试验研[D].镇江:江苏大学,2011.
- [17] Maio F D D, Renzo A D, Trelisan D. Comparison of heat transfer models in DEM-CFD simulations of fluidized beds with an immersed probe[J]. Powder Technology, 2009, 193(3):257-265.
- [18] Farran L G, Macmillan R H. Grain-Chaff separation in a vertical air stream[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1979, 24(2):115-129.

(上接第 274 页)

3)应用模糊综合评分法确定影响整机作业质量的主次因素顺序为:入土角>前进速度>残膜输送链转速,其优选参数组合为起膜铲入土角 30° ,机具前进速度 $5.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,残膜回收链转速 $120 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。试验结果表明,优选后的秸秆粉碎合格率为91.5%,残膜回收率为85.7%,能满足国家行业标准要求。

参 考 文 献:

- [1] 蒋永新,刘晨,郭兆峰,等.新疆棉田残膜机械化回收技术现状分析及建议[J].农机化研究,2014,(6):246-248.
- [2] 张佳,张宇涛,董黎明.国内残膜回收机械现状及发展趋势[J].农业装备技术,2014,(4):29-31.
- [3] Yan C R, He W Q, Neli C. et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: importance and problems [J]. World Agriculture, 2014, 4(2):32-36.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 李仙岳,史海滨,吕烨,等.土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析[J].农业工程学报,2013,29(8):84-90.

- [7] 李元桥,何文清,严昌荣,等.点源供水条件下残膜对土壤水分运移的影响[J].农业工程学报,2015,31(6):145-149.
- [8] 张学军.残膜分离与输送装置的研究[D].长春:吉林大学,2007:10-18.
- [9] 李斌,王吉奎,胡凯,等.残膜回收机顺向脱膜机理分析与试验[J].农业工程学报,2012,28(21):23-28.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 孙兴栋,陈玉龙,胡斌,等.针对秋后立杆模式的残膜回收机的设计[J].农机化研究,2015(9):73-76.
- [13] 任萍,罗昕,胡斌,等.1MSF-2型立杆式地膜回收机的设计及试验研究[J].农机化研究,2016(3):106-109.
- [14] 李亚丽,石林榕,孙伟,等.一种新型残膜捡拾机的设计与试验[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):253-257.
- [15] 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册:(上册)[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [16] 顾玲,管荣根,张瑞宏,等.链板式连续运输机械的现代设计方法研究[J].工程设计学报,2003,10(3):149-153.
- [17] 胡良玉,王冰,王公仆,等.2ZGF-2甘薯复式移栽机的设计与试验[J].农业工程学报,2016,32(10):8-16.