

平作区棉秆粉碎与残膜回收联合作业机设计与试验

王莹莹¹, 康建明², 郭振华², 颜利民²

(1. 巴音郭楞职业技术学院, 冶金与资源学院, 新疆 库尔勒 841000; 2. 山东省农业机械科学研究院, 山东 济南 250100)

摘要: 针对新疆平作区残膜回收作业过程中秸秆粉碎合格率低、残膜回收率低的问题, 设计了一种秸秆粉碎与残膜回收联合作业机。对甩刀秸秆粉碎过程进行受力分析, 确定了刀轴最佳转速为 $2\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。对起膜铲起膜机理和残膜捡拾过程进行分析, 确定了导曲面参数方程和残膜捡拾装置主要工作参数。以机具作业速度 v 、起膜铲入土倾角 α 和残膜输送链转速 n 为影响因素, 以秸秆粉碎合格率 Y_1 和残膜回收率 Y_2 为评价指标进行田间试验。结果表明: 当起膜铲入土角为 30° , 机具前进速度为 $5.5\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 残膜输送链转速为 $120\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时, 秸秆粉碎合格率为 91.5% , 残膜回收率为 85.7% , 整机运行状态良好, 满足秸秆粉碎还田与残膜回收的技术要求。

关键词: 棉花; 秸秆粉碎; 残膜回收; 联合作业机; 工作参数; 田间试验

中图分类号: S222.3 文献标志码: A

Design and test of combined equipment for chopping cotton stalk and recycling plastic film in the field

WANG Ying-ying¹, KANG Jian-ming², GUO Zhen-hua¹, YAN Li-min²

(1. Institute of Metallurgy and Resources, Bayin Guoleng Technology College, Xinjiang, Kuerle 841000, China

2. Shandong Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract: In order to solve the problem of efficiently collecting plastic film residue and chopping cotton stalk after harvesting cotton in Xinjiang, an equipment combining chopping the stalk and collecting plastic film residue was designed and tested. By analyzing the force of the stalk crushing, it showed that the optimal rotation speed of the cutter shaft was $2\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$. After the analysis of the film releasing mechanism of this equipment, its design parameters were determined. Using driving speed, shovel entering angle, and rotating speed of film conveying chains as the influencing factors and the acceptability of chopping stalks and recovering of plastic film residues as the evaluation indicators, a field test was conducted. Meanwhile, parameters that impact the entire performance were analyzed to acquire the optimal relevant parameters and verify them by comparing to the current national industrial standards. The results indicated that when driving speed was $5.5\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, shovel entering angle was 30° , and rotation of plastic film conveying chains was $120\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, the acceptability of crushing stalk was 91.5% and the recovery rate of the plastic film residue was 85.7% . The running state of the entire equipment was good and that met the technical requirements of equipment for crushing and returning cotton stalks to fields and recovering plastic film residues in the field at the same time. This research results can provide important reference information for designing the combined equipment of chopping cotton stalk and recovering plastic film residues in the field.

Keywords: cotton; straw crushing; residual film recycle; combined equipment; working parameters; field experiment

地膜覆盖栽培具有增温保墒、抑制杂草生长、提高作物产量的功能^[1-3]。农用地膜的主要成分是

聚烯烃类化合物^[4], 极难降解。由于每年使用的地膜未能得到及时回收, 致使土壤中的残碎地膜沉积量

增大,严重阻碍了作物根系对水肥的吸收和自身的生长发育。地膜覆盖栽培技术在给农业带来显著经济效益的同时,也给土壤带来了严重的污染^[5-7]。

机械化残膜回收是解决残膜污染问题的有效手段,残膜按回收时间不同可分为:苗期收膜、播前收膜和秋后收膜^[8]。新疆膜下滴灌技术的大面积推广使用,已无法实现苗期收膜。新疆气候原因导致播种期短,播前收膜也仅仅起到辅助作用。棉花收获后地膜较为完整,强度相对较高,是机械化收膜的最佳时期^[8]。目前已经研制出秸秆粉碎还田与残膜回收联合作业机、立杆式残膜回收机等多种机型。其中王吉奎等^[9-11]将锤片式棉秸秆粉碎装置与刮板式输送装置相结合,设计了秸秆粉碎与残膜回收联合作业机,并采用气力脱膜装置脱膜,提高了脱膜的可靠性;胡斌等^[12-13]针对秋后立杆模式回收地膜时存在的对行性差、对地仿形差及边膜难以搂起问题,提出利用复合四杆机构的三维动作来实现对行和仿形。李亚丽等^[14]针对现有偏心伸缩杆式残膜回收机存在回收率差、适应性差等问题,设计了一种锥形挑卷膜装置。以上研究取得了一定的效果,但仍然存在残膜回收率低,可靠性差等问题。

针对以上问题,本文研究设计了 4JSM-200 型秸秆粉碎与残膜回收联合作业机,对秸秆粉碎、起膜、输膜过程进行分析,并对整机的工作性能进行田间试验研究,以期获得较合理的作业速度、起膜铲入土角度和残膜输送链转速,进而提高 4JSM-200 型秸秆粉碎与残膜回收联合作业机的各项性能指标。

1 整机结构、工作原理及主要技术参数

1.1 整机结构

4JSM-200 型秸秆粉碎与残膜回收联合作业机主要由机架、秸秆粉碎装置、秸秆输送装置、起膜机构、残膜捡拾装置、集膜箱等组成,整机结构如图 1 所示。

1.2 工作原理

整机通过三点悬挂方式与拖拉机挂接,拖拉机动力输出轴将动力传递至秸秆粉碎和残膜捡拾装置。作业时,秸秆粉碎装置中的刀片高速旋转,将秸秆打碎,在秸秆刮板的作用下落入秸秆输送帆布的凹槽,沿着尾部导向帆布落向地表;起膜铲将残膜托起,并在捡拾弹齿作用下向后输送,在脱膜机构的作用下落入膜箱。

1.3 主要技术参数

新疆棉田多为机采棉模式,种植模式为 66 cm+10 cm,地膜宽度 205 cm。秋季棉花收获后,边膜和 10 cm 窄行间残膜埋在土壤中,风化程度较小,呈大

片、长条状残留于土壤中,66 cm 宽行间大部分残膜裸露在地表,该机可一次性完成秸秆粉碎和残膜回收,主要技术参数如表 1 所示。

2 整机关键部件设计及运动分析

2.1 秸秆粉碎还田装置

秸秆粉碎还田装置主要由刀轴、刀片和挡板等组成。刀片排布如图 2 所示。

秸秆粉碎装置工作时,甩刀绕刀轴高速旋转,在离心力的作用下,甩刀近似处于径向射线位置,与刀辊形成一个旋转整体,其受力分析如图 3 所示。

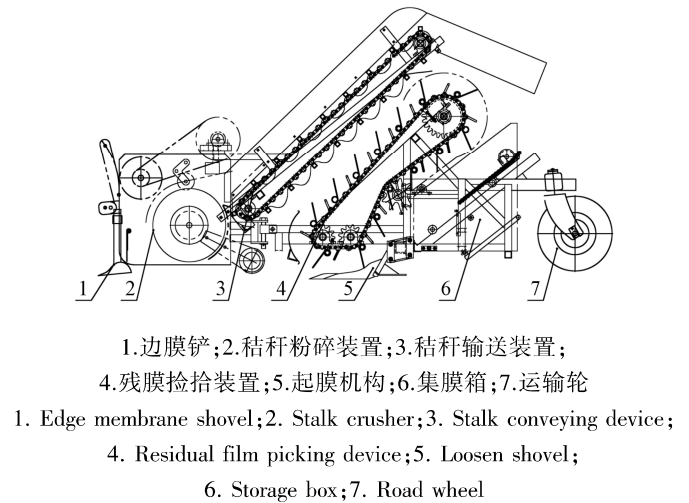


图 1 4JSM-200 型秸秆粉碎与残膜回收联合作业机
Fig.1 4JSM-200 combined equipment for chopping cotton stalk and collecting plastic film

表 1 主要技术参数			
Table 1 Primary technical parameters			
项目 Item	数值 Parameter	项目 Item	数值 Parameter
外形尺寸 (长、宽、高)/mm Overall dimensions (L×W×H)	4300×2800 ×2200	作业幅宽/mm Working width	2000
配套动力/kW Supporting power	90	膜箱体积/m ³ Membrane tank volume	1.5
作业行数 Operating width (rows)	6	适宜行距/mm Suitable width(row)	660+100
结构质量/kg Structural mass	2600	作业速度 /(km·h ⁻¹) Operation speed	5~7

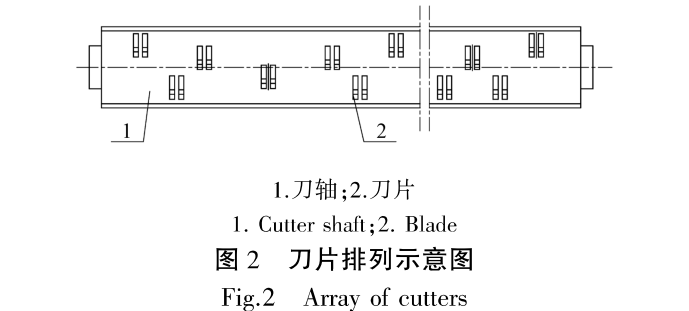


图 2 刀片排列示意图
Fig.2 Array of cutters

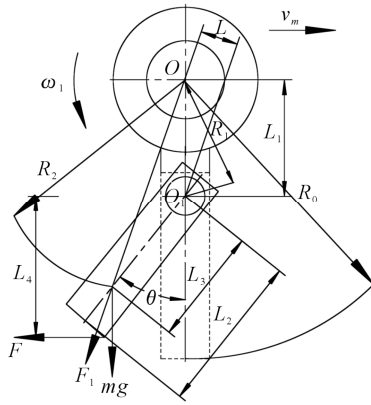


图3 甩刀受力分析图

Fig.3 Cutter blade force analysis

忽略销轴对甩刀的摩擦力矩,由图3可知:

$$L_4 = L_2 \cos \theta \quad (1)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_0 \sin \theta}{L_1} \quad (2)$$

甩刀上相对于销轴中心的力矩平衡方程为

$$FL_2 \cos \theta = mgL_3 \sin \theta + m\omega_1^2 L_1 L_3 \sin \theta \quad (3)$$

整理得

$$\tan \theta = \frac{F}{m \frac{L_3}{L_2} (g + \omega_1^2 L_1)} \quad (4)$$

式中, L_1 为刀轴中心到甩刀中心的距离(mm); θ 为甩刀工作时的偏转角($^\circ$); L_1 为刀轴中心到销轴中心的距离(mm); L_2 为销轴中心到甩刀端部的距离(mm); L_3 为销轴中心到甩刀中心的距离(mm); L_4 为甩刀端点到销轴中心距离(mm); ω_1 为刀轴角速度(rad); F 为甩刀切割阻力(N); m 为甩刀质量(kg)。

有一定刚度的茎秆无支撑切割最小速度为 $48 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,刀轴的转速根据下式确定:

$$n_3 = \frac{30(48 + v_m)}{\pi R} \quad (5)$$

前期预试验得出, $n_3 < 1800 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,棉秸秆不能充分粉碎,达不到秸秆还田农艺要求, $n_3 > 2200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,秸秆粉碎达到国家标准,但功耗增加,根据整机传动配置,本设计确定合适的刀轴转速为 $2000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.2 起膜装置

2.2.1 起膜铲导曲线的设计 为使起膜铲上尽可能多地积累残膜并且使残膜在机具前进过程中能平稳地向上向后滑移,在起膜铲表面设计一段抛物线状的导曲面,其轮廓曲线如图4中曲线AB所示。导曲面的轮廓曲线直接影响残膜在起膜铲上的累积量和滑移程度,抛物线形导曲线的尺寸和形状可以由以下参数来确定:

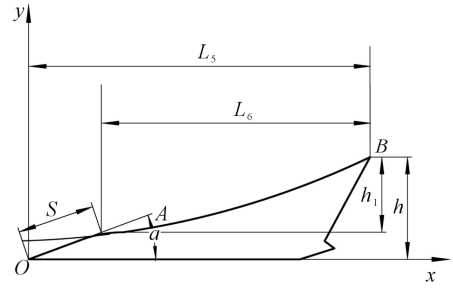


图4 起膜铲轮廓曲线图

Fig.4 Contour curve of lifting shovel

以起膜铲铲尖建立直角坐标系 OXY ,导曲线抛物线部分的高度 h_1 及开度 L_6 为:

$$\begin{cases} h_1 = h - S \sin a \\ L_6 = L_5 - S \cos a \end{cases} \quad (6)$$

则A点坐标为 $(L_5 - S \cos a, h - S \sin a)$,B点坐标为 (L_5, h) ,起膜铲导曲线方程为:

$$\begin{aligned} x^2 + \frac{2(mt \tan a + n)}{(m - n \tan a)^2} xy + \frac{(mt \tan a + n)^2}{(m - n \tan a)^2} y^2 \\ + \frac{4mn^2 \tan a}{(m - n \tan a)^2} x - \frac{4mn^2}{(m - n \tan a)^2} y = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

其中, $m = h_1 - L_6 \tan a$ $n = h_1 \tan a + L_6$

式中, h_1 为曲线轮廓垂直距离(mm); L_6 为曲线轮廓水平距离(mm); h 为起膜铲垂直距离(mm); L_5 为起膜铲水平距离(mm); a 为起膜铲入土角($^\circ$); S 为起膜铲铲尖长度(mm)。

式(7)即为导曲线的抛物线部分方程式,导曲线的形状与 a 、 L_6 、 h_1 有关,根据整机设计空间结构要求, $L_6 = 300 \text{ mm}$, $h_1 = 120 \text{ mm}$,入土角 a 直接影响导曲面曲线形状,将通过试验对其参数值进行确定。

2.3 残膜捡拾装置

残膜捡拾装置由捡拾弹齿、残膜输送链、托膜杆等组成。工作时随着主动链轮的转动,捡拾弹齿将起膜装置上的残膜叉起,输送至卸膜装置处。其结构如图5所示。

残膜被起膜铲挑起后,堆积滞留在直线 l_1 所在的位置。捡拾弹齿在起膜铲缝隙中划过的长度由下式得出^[16]:

$$F_f = ndqg\mu \cos \psi + ndq_0(\mu_v \cos \psi + \sin \psi) \quad (8)$$

式中, F_f 为工作行程的阻力(N); n 为刮板个数(个); q 为物料单位长度平均质量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$); q_0 为刮板组单位长度平均质量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$); d 为刮板间距(m); μ 为物料运动阻力系数; μ_v 为刮板运动阻力系数; ψ 为工作倾角($^\circ$)。

残膜输送链转速的确定必须能够保证粉碎后的棉秸秆及时可靠地输送到尾板处,经多次试验,在输送链轮转速 $n_1 = 120 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,残膜未出现大

量积聚,能顺利输送到尾板,表明该装置工作性可靠。在实际工作过程中,输送链轮转速可适当提高,取 $n_1=80\sim120\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

3 田间试验

3.1 试验条件

试验地点为石河子市 145 团 3 连机采棉种植模式棉田,地表平整,土壤类型为沙壤土。棉花行距采用宽窄行模式配置,行距 66+10 cm,株距 10 cm,棉秆高度 50~70 cm,棉秆平均直径 11.51 mm,地膜幅宽 205 cm,地膜厚度 0.008 mm,地膜两边压入土中,膜中间有部分覆土,有少量破损,机具作业速度为 5~7 km·h⁻¹,配套动力为福田 904 轮式拖拉机。田间试验照片如图 6 所示。

3.2 试验方案

前期预试验及室内试验表明,前进速度、起膜铲入土角、残膜输送链转速 3 个试验因素对秸秆粉碎质量及残膜回收率有较大影响,但其交互作用影响却不大,可以忽略,因此以这 3 个因素进行 3 因素 3 水平正交试验,研究这 3 个因素对秸秆粉碎合格率和残膜回收率的影响。试验中每 50 m 为一组,每组重复 3 次,分别测试秸秆粉碎合格率和残膜回收

率的平均值,试验因素及水平如表 2 所示,试验方案及结果如表 3 所示。

3.3 数据处理

试验数据采用采用 SPSS 软件进行数据处理和统计分析。

3.3.1 各因素对样机性能指标的影响 试验结果和极差分析见表 3。极差分析表明:秸秆粉碎合格率各试验因素水平的较优组合为 $v_1a_3n_1$,因素主次作用顺序为前进速度>入土角度>输送链转速;残膜回收率各试验因素水平的较优组合为 $v_1a_1n_2$,因素主次作用顺序为入土角度>输送链转速>前进速度。

样机性能指标方差分析见表 4,结果表明:对于秸秆粉碎合格率在 95%的置信度下,前进速度影响非常显著,输送链转速影响显著,入土角影响不显著。对于残膜回收率、入土角和输送链转速影响非常显著,前进速度影响较显著。

3.3.2 各因素的综合优化 本试验以秸秆粉碎合格率 Y_1 、残膜回收率 Y_2 为评价样机作业质量的两个指标,通过上述试验分析可知,前进速度、入土角度和输送链转速对 2 个性能指标的影响程度各不相同,为分析各因素对整机作业质量的综合影响效果,本文提出应用模糊综合评分法对正交试验结果进行综合优化,找出最佳参数组合。首先分别建立 2 个指标隶属度模型,如式(9)所示,得出各指标每次试验的隶属度值(见表 5),由隶属度值构成模糊关系矩阵 R_r 如式(10)。

$$r_{in} = \frac{Y_{in} - Y_{imin}}{Y_{imax} - Y_{imin}} \quad (i = 1, 2; n = 1, 2, \dots, 9) \quad (9)$$

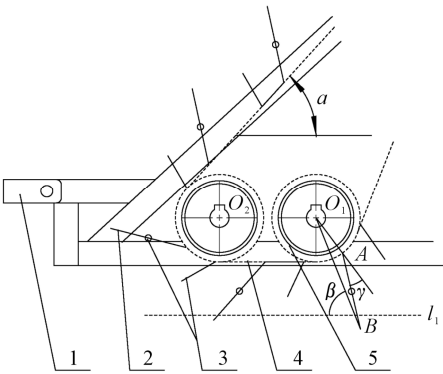
$$R_r = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{19} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{29} \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中, r_{in} 为指标 Y_i 的第 n 次试验获得的隶属度值; Y_{imax} 为指标 Y_i 的最大值; Y_{imin} 为指标 Y_i 的最小值; Y_{in} 为指标 Y_i 的第 n 次试验的隶属度值; R_r 为由 r_{1n} 、 r_{2n} 构成的模糊关系矩阵^[17]。

根据秸秆粉碎与残膜回收 2 个性能指标的重要性,确定本试验权重分配集 $P=[0.5,0.5]$,即秸秆粉碎合格率和残膜回收率的权重分别为 0.5,0.5。由模糊矩阵 R_r 与权重分配集 P 确定模糊综合评价

表 2 试验因素及水平

Table 2 Experimental factors and levels			
水平 Level	前进速度 v Forward speed /(km·h ⁻¹)	入土角 a Penetrating angle /(°)	残膜输送链转速 n Rotation of conveying chains/(r·min ⁻¹)
1	5.0	10	80
2	5.5	30	100
3	6.0	35	120



1.机架;2.捡拾弹齿;3.脱膜杆;4.输送链;5.传动轮
1. Racks;2. Elastic claw;3. Stripping pole;
4. Conveying chain;5. Driving wheel

图 5 残膜捡拾装置示意图

Fig.5 Schematic diagram of residual film collector device



图 6 田间试验

Fig.6 Field test

表 3 试验方案与结果

Table 3 Experiment scheme and results

试验号 Test number	前进速度 $v/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$ Forward speed	入土角 $a/(^{\circ})$ Penetrating angle	残膜输送链转速 $n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ Rotation of conveying chains	秸秆粉碎合格率 $Y_1/\%$ Acceptability of chopping stalks	残膜回收率 $Y_2/\%$ Recovery of plastic film residue
1	1	1	1	77.7	88.5
2	1	2	2	82.9	80.6
3	1	3	3	84.5	75.5
4	2	1	2	80.6	85.2
5	2	2	3	81.6	76.5
6	2	3	1	80.9	72.5
7	3	1	3	88.5	78.7
8	3	2	1	80.8	75.7
9	3	3	1	85.3	85.6
秸秆粉碎合格率 $Y_1/\%$ Acceptability of chopping stalks	K_{11}	254.9	246.6	249.2	
	K_{12}	243.1	245.3	248.8	
	K_{13}	244.6	250.7	244.6	
	R_1	11.8	5.4	4.6	
	因素主次 Primary and secondary factors	$v>a>n$			
	较优组合 Optimal combination	$v_1a_3n_1$			
残膜回收率 $Y_2/\%$ Recovery of plastic film residue	K_{21}	244.6	252.4	236.7	
	K_{22}	234.2	232.8	251.4	
	K_{23}	240	233.6	230.7	
	R_2	10.4	19.6	20.7	
	因素主次 Primary and secondary factors	$a>n>v$			
	较优组合 Optimal combination	$v_1a_1n_2$			

表 4 样机性能指标方差分析

Table 4 Variance analysis of prototype performance index

指标 Index	方差来源 Sources of variation	离差平方和 SSD	自由度 Degree of freedom	平均离差平方和 Average deviation squared	F 值 F Value	P 值 P Value
秸秆粉碎合格率 $Y_1/\%$ Acceptability of chopping stalks	前进速度 v Forward speed	1.142	2	0.571	314.500	0.0021 **
	入土角度 a Penetrating angle	0.714	2	0.357	17.500	0.0752
	输送链转速 n Rotation of conveying chains	12.556	2	6.278	195.400	0.042 *
	误差 Error	0.292	2	0.146		
残膜回收率 $Y_2/\%$ Recovery of plastic film residue	前进速度 v Forward speed	0.494	2	0.247	87.520	0.04832 *
	入土角度 a Penetrating angle	14.29	2	7.145	413.500	0.0017 **
	输送链转速 n Rotation of conveying chains	7.042	2	3.521	246.700	0.0046 **
	误差 Error	0.034	2	0.017		

注: $P<0.01$,表明因素极显著,记为 ** ; $0.01\leq P\leq 0.05$,表明因素显著,记为 * 。

Note; $P<0.01$ indicates highly significant factors and is denoted as ** ; $0.01\leq P\leq 0.05$ indicates that the factor is significant and is denoted as * .

集 W , 其中 $W = P \times R_r$, 综合评分结果见表 5, 将综合评分结果进行极差分析(见表 6), 分析结果表明, 综合影响整机作业性能指标的主次因素为: $a > v > n$, 最优参数组合为 $a_2v_2n_3$, 即入土角 30° , 前进速度 $5.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 残膜回收链转速 $120 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。综合评分方差分析见表 7, 结果表明: 在 95% 置信度下, 入土角、前进速度对整机作业性能指标有极显著影响, 残膜回收链转速影响较小。

3.3.3 试验验证 为了验证最优组合方案, 确保优选前后整机性能在试验指标(秸秆粉碎合格率、残膜回收率)上具有可比性, 故进行验证试验, 选取起膜铲入土角 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

表 5 综合评分结果

Table 5 Results of comprehensive evaluation

试验号 Test number	秸秆粉碎合格率 Acceptability of chopping stalks	残膜回收率 Recovery plastic film residue	综合评分 Comprehensive evaluation
1	0.172	0.428	0.083
2	0.624	0	0.057
3	0.756	1	0.068
4	0.715	0.527	0.145
5	1.012	0.624	0.249
6	0	0.935	0.951
7	0.621	0.756	0.576
8	0.005	0.658	0.836
9	1	0.569	0.847

表 6 综合评分极差分析

Table 6 Range analysis of comprehensive score

项目 Item	前进速度 Forward speed	入土角 Penetrating angle	残膜输送链转速 Rotation of conveying chains
K_1	7.534	8.214	14.247
K_2	9.246	2.368	15.264
K_3	5.014	6.578	16.214
R	4.232	5.846	1.967
因素主次 Main and secondary factor		$a > v > n$	
最优组合 Optimal combination		$a_2v_2n_3$	

表 7 综合评分极差分析

Table 7 Range analysis of comprehensive score

方差来源 Sources of variation	离差平方和 SSD	自由度 Degree of freedom	平均离差平方和 Average deviation squared	F 值 F Value	P 值 P Value
前进速度 v Forward speed	0.028	2	0.014	154.242	0.0072
入土角度 a Penetrating angle	0.070	2	0.035	191.571	0.0056
输送链转速 n Rotation of conveying chains	0.094	2	0.047	93.017	0.0324
误差 Error	0.001	2	0.001		

秆粉碎合格率为 91.5%, 残膜回收率为 85.7%。优选后的作业性能指标优于其它参数组合下的祖业指标, 能满足国家行业标准要求。

4 讨 论

新疆棉花 90% 以上采用覆膜播种, 地膜在提高棉花产量的同时也给土地带来了严重的白色污染, 本研究设计的秸秆粉碎与残膜回收联合作业机, 可一次性完成秸秆粉碎和残膜回收, 大大提高了工作效率, 节约农时。

从极差分析可知, 前进速度对秸秆粉碎合格率的影响较大, 前进速度越小, 秸秆粉碎合格率越高; 而前进速度对残膜回收率的影响最小, 前进速度越小, 残膜回收率越高。但前进速度越小, 生产率越低。因此在保证秸秆粉碎合格率和残膜回收率的条件下, 尽可能提高前进速度, 进而提高生产率。入土角和残膜输送链转速对残膜回收率有较大影响, 对秸秆粉碎合格率影响较小, 作业时可选取优化后的参数值, 保证较高的残膜回收率。

本试验选用的地块为机采棉模式, 行距 $66+10 \text{ cm}$, 株距 10 cm , 膜宽 205 cm , 优化后的参数在此条件下获得。对于非机采棉模式地块, 行/株距、膜宽各异, 优化后的参数是否能获得较优的性能指标, 还有待进一步研究。

5 结 论

1) 本文设计的秸秆粉碎和残膜回收联合作业机, 主要适用于新疆膜下滴管机采棉模式种植的棉田, 可一次性完成秸秆粉碎和残膜回收, 整机运行状态良好, 满足秸秆粉碎还田与残膜回收的技术要求。

2) 理论分析了秸秆粉碎和残膜回收机理, 确定了秸秆粉碎刀轴转速和起膜铲导曲线方程。正交试验获得了影响秸秆粉碎合格率的因素主次顺序为: 前进速度 > 入土角度 > 输送链转速, 影响残膜回收率的因素主次顺序为入土角度 > 输送链转速 > 前进速度。