

农田残膜压缩成型的参数优化

田力^{1,3} 纪超^{2,3} 陈学庚^{1,3*} 吴杰^{1,3}

(1. 石河子大学 机械电气工程学院,新疆 石河子 832000;

2. 新疆农垦科学院 机械装备研究所,新疆 石河子 832000;

3. 农业农村部 西北农业装备重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘要 针对机械回收后农田残膜集条(堆)质地松散、储运本成本高,为残膜二次回收利用带来巨大困难的问题,采用多因素正交试验方法,以残膜成型块松弛比和比能耗为试验指标,压缩力、保压时间、含土率和含水率为影响因素,对影响残膜压缩成型各因素及其影响规律进行研究,建立并分析了各影响因素与残膜成型块松弛比和比能耗的回归模型。试验结果表明:影响残膜成型块松弛比的主次参数依次为:压缩力>含土率>保压时间>含水率;影响残膜压缩过程比能耗的主次参数依次为:压缩力>保压时间,含土率和含水率对残膜压缩比能耗影响不显著。残膜压缩成型作业最优参数取值为:压缩力 13.3 MPa、保压时间 25 s、含土率 53.9%、含水率 16.7%,可得到残膜成型块松弛比为 1.321,比能耗为 26.92 J/g。研究结果可对后续农田残膜压包成型机具的设计及作业参数优化提供理论依据。

关键词 残膜; 压缩成型; 松弛比; 比能耗; 优化

中图分类号 S220

文章编号 1007-4333(2019)09-0139-08

文献标志码 A

Parameter optimization of compression moulding of farmland residue film

TIAN Li^{1,3}, JI Chao^{2,3}, CHEN Xuegeng^{1,3*}, WU Jie^{1,3}

(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;

3. Key Laboratory of Northwest Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi 832000, China)

Abstract In the process of mechanized recycling of residue film, most of the residue film was temporarily left in the field in the form of strips (heap) after recycling. Due to the problems of loose texture and high cost of storage and transportation, it is difficult to reclaim and utilize the residue film. The optimization of the relevant molding process parameters were carried out to solve the problem of residue film's recycling in this study. The relaxation ratio and specific energy consumption were taken as the test indexes, and the compression force, holding time, soil content and water content were adopted as the influencing factors in this study. An orthogonal experiment of multi-factors were carried out to analyze the influence of each factor on the compression moulding of residue film, and the regression model of multi-factor influence on the relaxation ratio and specific energy consumption of residue film compaction were established and analyzed. The results showed that the compressive force was the biggest effect factor of relaxation ratio, followed by soil content, holding time and water content. The compressive force was the biggest effect factor of specific energy consumption, followed by holding time. The influence of soil content and water content on specific energy consumption was not significant. The optimal technological parameters of residue film's compression moulding were as following: the compression force was 13.3 MPa, the holding time was 25 s, the soil content was 53.9% and the moisture content was 16.7%. Under those optimum conditions, the relaxation ratio of residue films compaction was 1.321, and

收稿日期: 2018-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560336); 国家重点研发计划项目(2017YFD0701102)

第一作者: 田力, 硕士研究生, E-mail: 447078680@qq.com

通讯作者: 陈学庚, 中国工程院院士, 研究员, 博士生导师, 主要从事农机研究和推广工作, E-mail: chenxg130@sina.com

specific energy consumption was 26.92 J/g. The results provided references for the design and operation parameters optimization of the following plastic film recycling and molding machines.

Keywords residue film; compression molding; relaxation ratio; specific energy consumption; optimization

近年来,残膜污染问题在我国常年覆膜种植地区日趋凸显,已严重威胁到农田生态环境的可持续发展,残膜回收治理技术及装备逐渐成为研究热点。现有残膜回收机具受弹齿挂膜能力和集膜箱容积限制,通常每作业一段距离便将残膜以集条(堆)的形式卸料于田间、地头。集条(堆)残膜质地松散,且掺有大量秸秆、土块等杂质,大大增加了储运成本,为残膜收后二次处理带来困难^[1-8]。为此,本研究提出对集条(堆)残膜进行压缩成型处理,并开展残膜压缩成型机理及参数优化研究,旨在为残膜回收机械化进程的收后再处理环节提供有效解决手段,提高残膜回收利用率。

目前,国内外对农业物料压缩成型技术的研究主要面向生物质对象,涉及苜蓿^[9-10]、玉米秸秆^[11-13]、稻麦秆^[14]等诸多种作物,探索了压缩力^[15-17]、原料粒度^[18]、保压时间^[19]、含水率^[20]等重要作业参数对压缩成型品质的影响。而地膜作为工业型农业物料,具有显著的非生物质特性,其压缩流变特性及作业参数对成型品质的影响规律必将与生物质农业物料存在较大差异,但目前国内外均无相关文献出现。

为探索残膜压缩成型特性,获得最优作业参数,为后续残膜压包成型装备的设计提供理论基础,本研究将利用自制卧式残膜压缩试验台对农田残膜压缩成型参数进行多因素回归正交试验,以残膜成型块松弛比和比能耗为成型品质指标,探讨压缩力、保压时间、含土率和含水率等因素对农田残膜压缩成型块品质的影响规律,建立各成型作业参数与松弛比、比能耗的回归模型,获得残膜压缩成型作业最佳参数条件。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1)原始样本参数测定。试验用残膜取自新疆玛纳斯县新湖农场、新疆农垦科学院农试场和第六师芳草湖农场的覆膜种植棉田。地膜厚度为0.008 mm,田间覆盖时间170~180 d。测定原始残膜样本质量与经恒温干燥处理后样本质量可得残膜含水率,即残膜表面水分附着量占样本总质量比例,

对经恒温干燥处理后的残膜样本进行清洗与二次烘干处理,再次称重可得残膜样本含土率(残膜表面土壤颗粒附着量占样本总质量百分比)。残膜含水率计算公式为:

$$\eta_1 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: η_1 为残膜含水率,%; m_0 为残膜原料总质量,g; m_1 为恒温干燥后残膜原料质量,g。残膜含土率计算公式为:

$$\eta_2 = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: η_2 为残膜含土率,%; m_2 为洗净干燥后纯残膜质量,g。

本研究中,由式(1)和式(2)得含水率分布范围为9.0%~26.8%,含土率分布范围35.2%~58.6%。

2)试验样本制备。为适配压缩模具容积,单次试验残膜样本喂入量定为600 g。根据后续试验中含水率、含土率的预设水平,通过式(1)、式(2)计算并称取相应量的水分、土壤颗粒以及纯净干燥残膜,将上述三者混合均匀,完成样本制备。将制备好的残膜样本密封于黑色塑料袋中,实验室环境下静置72 h备用。

1.2 试验设备

参考残膜田间压缩作业要求,试制残膜压缩成型试验台,主要由伺服电机、电动缸、压缩模具、控制柜、试验台架等部件组成(图1)。试验台最大压缩力为200 kN,压缩速度范围0~30 mm/s(额定速度25 mm/s),速度控制精度为0.01 mm/s,位移控制精度为0.01 mm。压缩模具截面形状为正方形,模具内腔截面尺寸为100 mm×100 mm,内腔深度为300 mm。

根据试验台硬件配置,开发了基于PLC的试验台控制系统,其工作原理见图2。通过人工触屏操作,电动缸能够执行压缩、回退、保压等动作,可实现压缩速度、压缩力、压缩时间等参数的无级调节。

试验流程:压缩参数设置完成后按下启动键,伺服电机驱动电动缸输出动力至压缩模具,压缩模具内残膜在推力作用下,密度逐渐增大直至形成具有较高密度的方形成型块,待保压结束后电动缸活塞

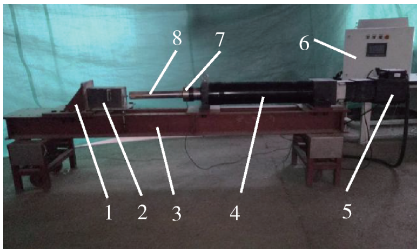


图 1 残膜压缩成型试验台

Fig. 1 Photo of compression moulding test bed for residue film

1. 挡板; 2. 压缩模具; 3. 试验台架; 4. 电动缸; 5. 伺服电机; 6. 控制柜; 7. 轮辐式压力传感器; 8. 推杆

1. Back plate; 2. Compression die; 3. Test bench; 4. Electric cylinder; 5. Servo motor; 6. Control cabinet; 7. Wheel-type pressure sensor; 8. Pressure rod

自动退回,完成单次压缩作业循环。压缩过程中,系统通过传感器对压缩速度、压缩力、位移等信号进行采集,并通过人机界面进行数据显示和存储,数据采集频率为 5 次/s。

1.3 试验指标

1) 松弛比。松弛比是物料压缩成型效果的重要指标。本研究松弛比测量方法为:残膜成型块推出压缩模具后,进行高度测量,水平方向松弛变形忽略不计。由于实际田间作业过程中,残膜经机械回收后通常于 2 h 内被装车运离田间,故本试验在室温下静置 2 h 后再次对残膜压块进行高度测量,松弛比计算公式如下:

$$Y_1 = \frac{V_1}{V_0} \times 100\% \quad (3)$$

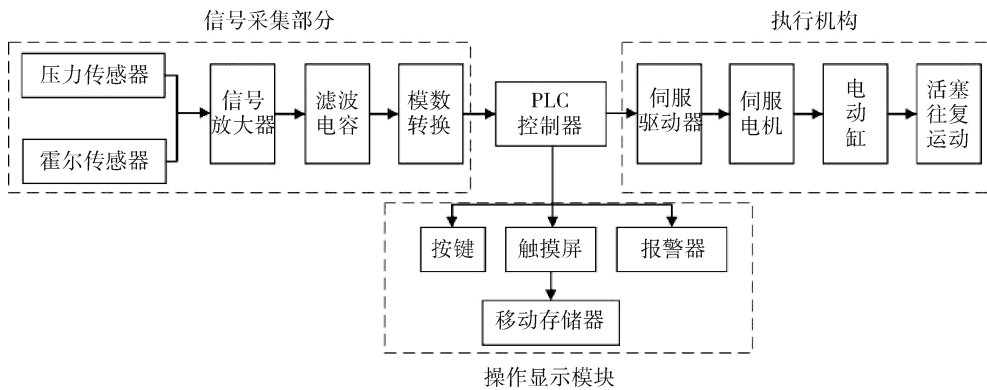


图 2 试验台控制系统原理图

Fig. 2 Principle diagram of control system for test bed

式中: Y_1 为残膜成型块松弛比; V_0 为残膜成型块排出压缩模具时的体积, cm^3 ; V_1 为自然状态下静置 2 h 后残膜成型块体积, cm^3 。

2) 比能耗。根据残膜压缩过程中的压力-位移曲线,计算获得残膜压缩成型过程中的比能耗^[12],公式如下:

$$Y_2 = \frac{W}{m_0} = \frac{\int Fds}{m_0} \times 10^{-3} \quad (4)$$

式中: Y_2 为比能耗, J/g ; W 为残膜压缩过程中的总能耗, J ; F 为压缩力, kN ; S 为压缩位移, mm 。

1.4 试验方法

为探索各因素及其交互作用对残膜成型品质的影响,设计以压缩力(x_1)、保压时间(x_2)、含土率(x_3)和含水率(x_4)为自变量,以松弛比(Y_1)和比能耗(Y_2)为指标的四因素五水平回归正交试验,建立残膜成型品质指标与各参数之间的数学回归模型,

得到影响残膜成型品质的参数主次排序并确定最佳组合。

根据已测得残膜原料含水率与含土率分布范围,设定正交试验中含水率因素最高水平和最低水平分别为 27.0% 和 9.0%;含土率因素最高水平和最低水平分别为 59.0% 和 35.0%。考虑田间压缩作业效率要求,单次作业循环时长应不超过 1 min,压缩速度取额定值 25 mm/s,参考电缸行程距离,压缩与回程耗时约为 10 s,即保压时间应限定于 50 s 内。正交试验因素及水平编码见表 1。

2 试验结果

2.1 回归试验结果与分析

根据四因素五水平正交试验表,进行残膜压缩成型试验,分别对松弛比和比能耗进行测定,试验结果见表 2。松弛比与比能耗回归方程方差分析结果

表1 正交试验因素及水平编码

Table 1 Experimental factors' and levels codes of orthogonal

水平 Level	x_1 , 压缩力/MPa Compression force	x_2 , 保压时间/s Holding time	x_3 , 含土率/% Soil content	x_4 , 含水率/% Water content
$-\lambda$	10.0	10	35.0	9.0
-1	11.5	20	41.0	13.5
0	13.0	30	47.0	18.0
1	14.5	40	53.0	22.5
λ	16.0	50	59.0	27.0

表2 残膜压缩成型试验设计与结果

Table 2 Experimental design and results of residue film compression moulding

序号 Test number	因素水平 Factor level				成型指标 Technical indicator	
	x_1	x_2	x_3	x_4	Y_1 , 松弛比 Relaxation ratio	Y_2 , 比能耗/(J/g) Specific energy consumption
1	-1	-1	-1	-1	1.424	24.24
2	-1	-1	-1	1	1.448	24.62
3	-1	-1	1	-1	1.419	23.55
4	-1	-1	1	1	1.428	23.91
5	-1	1	-1	-1	1.414	26.88
6	-1	1	-1	1	1.427	27.55
7	-1	1	1	-1	1.388	25.26
8	-1	1	1	1	1.410	27.20
9	1	-1	-1	-1	1.342	30.95
10	1	-1	-1	1	1.342	33.38
11	1	-1	1	-1	1.284	30.95
12	1	-1	1	1	1.304	31.85
13	1	1	-1	-1	1.295	40.54
14	1	1	-1	1	1.321	39.05
15	1	1	1	-1	1.265	37.90
16	1	1	1	1	1.274	38.46
17	2	0	0	0	1.222	43.34
18	-2	0	0	0	1.468	16.67
19	0	2	0	0	1.352	29.98
20	0	-2	0	0	1.371	25.92
21	0	0	2	0	1.322	26.25
22	0	0	-2	0	1.390	27.92
23	0	0	0	2	1.372	27.54
24	0	0	0	-2	1.367	28.08
25	0	0	0	0	1.361	26.44
26	0	0	0	0	1.327	27.54
27	0	0	0	0	1.322	27.88
28	0	0	0	0	1.347	26.05
29	0	0	0	0	1.334	26.06
30	0	0	0	0	1.351	28.26

注: x_1, x_2, x_3, x_4 各水平对应的实际值见表1。

Notes: The corresponding actual values of x_1, x_2, x_3 and x_4 are shown in Table 1.

见表 3。在显著性水平 $\alpha=0.10$ 下,剔除不显著项后,得农田残膜成型块松弛比和比能耗回归模型为:

$$Y_1 = 1.34 - 0.06x_1 - 0.009x_2 - 0.015x_3 + 0.006x_4 - 0.006x_1x_3 + 0.006x_2^2 + 0.004x_3^2 + 0.008x_4^2 \quad (5)$$

$$Y_2 = 26.71 + 5.62x_1 + 1.91x_2 + 1.04x_1x_2 + 1.21x_1^2 + 0.69x_2^2 + 0.66x_4^2 \quad (6)$$

式中: Y_1 为残膜成型块松弛比; Y_2 为比能耗, J/g; x_1 为压缩力, MPa; x_2 为保压时间, s; x_3 为含土率, %; x_4 为含水率, %。

表 3 松弛比和比能耗方差分析

Table 3 Variance analysis of relaxed ratios and specific energy consumption

参数 Parameter	Y_1 , 松弛比 Relaxation ratio		Y_2 , 比能耗 Specific energy consumption	
	F	P	F	P
模型 Model	52.68	<0.000 1	17.44	<0.000 1
x_1	649.43	<0.000 1	199.90	<0.000 1
x_2	15.85	0.001 2	23.13	0.000 2
x_3	42.31	<0.000 1	1.89	0.189 5
x_4	6.55	0.021 8	0.10	0.755 1
x_1x_2	0.32	0.579 8	4.55	0.049 9
x_1x_3	4.19	0.058 7	0.15	0.702 7
x_1x_4	1.9×10^{-3}	0.965 9	0.11	0.744 0
x_2x_3	0.05	0.830 6	6.5×10^{-3}	0.936 6
x_2x_4	0.02	0.897 8	9.3×10^{-3}	0.924 6
x_3x_4	0.09	0.764 8	0.19	0.667 7
x_1^2	0.56	0.464 6	10.52	0.005 5
x_2^2	6.92	0.018 9	3.46	0.082 5
x_3^2	4.02	0.063 4	1.64	0.220 3
x_4^2	12.55	0.003 0	3.12	0.097 6
失拟 Lack of fit	0.37	0.915 9	8.41	0.014 9

用 Design-Expert 10 软件计算可得,回归方程(5)残膜成型块松弛比的决定系数 $R^2=0.980 1$,回归方程(6)比能耗的决定系数 $R^2=0.942 1$,方程拟合度较高。由回归方程(5)的可知:该方程一次项系数绝对值的大小依次为: $x_1 > x_3 > x_2 > x_4$,即影响残膜成型块松弛比的主次参数依次为:压缩力 > 含土率 > 保压时间 > 含水率;偏回归系数检验中 $x_1x_2, x_1x_4, x_2x_3, x_2x_4, x_3x_4, x_1^2$ 的 t 检验不显著,故在模型中省略,表明压缩力与保压时间、压缩力与含水率、保压时间与含土率、保压时间与含水率、含土率与含水率的二因素交互作用对残膜成型块松弛比影响不显著。由回归方程(6)可知:该方程一次项系数绝对值的大小依次为: $x_1 > x_2$,表明影响残膜压缩

过程比能耗的主次参数为:压缩力 > 保压时间,偏回归系数检验中 $x_3, x_4, x_1x_3, x_1x_4, x_2x_3, x_2x_4, x_3x_4, x_3^2$ 的 t 检验不显著,表明含土率、含水率以及压缩力与含土率、压缩力与含水率、保压时间与含土率、保压时间与含水率、含土率与含水率的二因素交互作用对残膜压缩过程比能耗影响不显著。

压缩成型块的松弛比越小,说明成型块越稳定,反之表明松弛变形严重,极易松散甚至不能成型。因此,需首先对松弛比适宜范围进行界定。对残膜成型块进行抗跌落性测试,参考实际田间运输车辆车厢底高,设定跌落高度为 1.5 m。测试方法为:将完全松弛的残膜成型块从设定高度自由下落,反复跌落 5 次后,残膜成型块若无明显变形且无片状残膜掉落即为有效。

试验结果表明:当松弛比大于 1.420 时,残膜成型块易松散变形;当松弛比小于 1.250 时,残膜成型块能承受多次落地冲击,形状保持良好,但考虑到残膜压缩成型主要目的在于降低残膜空间占比和储运成本,若松弛比过小必定产生较大动力消耗,故选取松弛比范围在 1.250~1.420 为宜。

2.2 试验因素对松弛比和比能耗的影响

由方程(5)和(6)可知, x_1x_3 (压缩力与含土率二因素交互作用)对残膜成型块松弛比影响显著, x_1x_2 (压缩力与保压时间二因素交互作用)对残膜压缩过程比能耗影响显著。二因素交互作用对残膜成型块松弛比和比能耗的影响分别见图 3 和图 4。

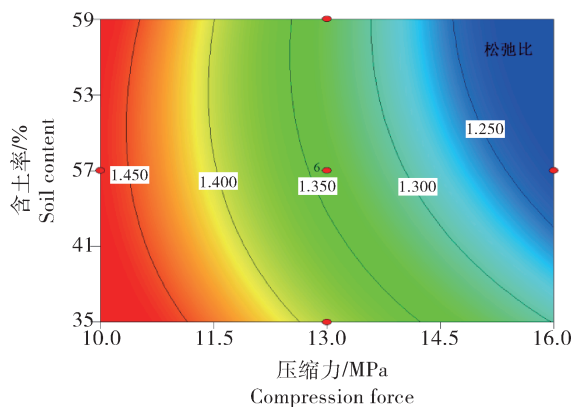


图 3 压缩力和含土率交互作用对松弛比的影响

Fig. 3 Effect of two factors on relaxation ratio

由图 3 可知,压缩力小于 13.0 MPa 时,随着含土率增大,残膜成型块松弛比同样呈先减小后增大趋势,即较小压力下,适量增加土壤颗粒能够起到粘结作用,若添加过量则会阻止物料间的紧密结合;压缩力大于 13.0 MPa 时,残膜成型块松弛比随含土

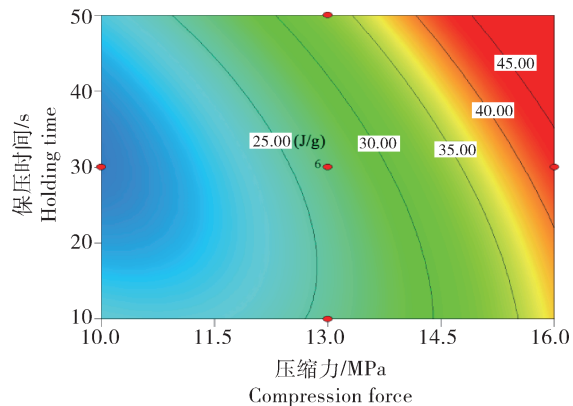


图 4 压缩力和保压时间交互作用对比能耗的影响

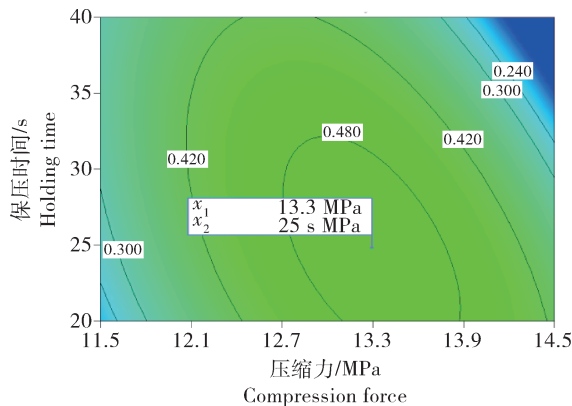
Fig. 4 Effect of two factors on specific energy consumption

率增加逐渐减小,其原因在于较高压力作用下,残膜原料含土率越高,土壤颗粒与残膜紧密贴合程度越高,相互粘结力增强,更加利于残膜压缩成型。

由图 4 可知,残膜压缩过程中,比能耗随压缩力和保压时间增大而增大,相比于保压时间,压缩力的增大对比能耗增加的影响更为显著。

2.3 试验因素参数组合优化与试验验证

利用 Design-Expert 10 软件对试验因素参数组合进行优化。在压缩力 10.0~14.5 MPa,保压时间 10~40 s,含土率 35.0%~59.0%,含水率 9.0%~27.0%约束下,设定松弛比为 1.25~1.42,比能耗为 16.0~35.0 J/g,使其呈封闭区域,压缩作业参数组合优化结果见图 5。最终优化结果为:压缩力 13.3 MPa,保压时间 25 s,残膜原料含土率 53.9%,含水率 16.7%时,得残膜成型块松弛比为 1.321,比能耗为 26.92 J/g。



优化结果:压缩力 (x_1)13.3 MPa,保压时间 (x_2)25 s,含土率 53.9%,含水率 16.7%,所得松弛比 1.321,比能耗 26.92 J/g。

Optimization results: Under the compression force (x_1) of 13.3 MPa, holding time (x_2) of 25 s, soil content of 53.9%, moisture content of 16.7%, the relaxation ratio and specific energy consumption are 1.321 and 26.92 J/g, respectively.

图 5 压缩作业参数组合优化结果

Fig. 5 Optimal result of compression parameter combination

为验证残膜成型块松弛比和比能耗回归方程与优化结果的可靠性,对压缩成型参数进行验证。考虑到试验可操作性,设定压缩力为 13.0 MPa,保压时间 25 s,残膜原料含土率 54.0%,含土率 17.0%,共进行 5 组试验,回归方程验证试验结果见表 4。试验结果表明,残膜成型块松弛比预测值与实测值平均相对误差为 1.89%,比能耗平均相对误差为 3.12%,验证了回归模型的可靠性。

表 4 回归方程验证试验结果

Table 4 Results of regression equation validation

序号 Test number	Y ₁ , 松弛比 Relaxation ratio		相对误差/% Relative error	Y ₂ , 比能耗/(J/g) Specific energy consumption		相对误差/% Relative error
	预测值 Predicted value	实际值 Actual value		预测值 Predicted value	实际值 Actual value	
	1	1.334		1.349	1.12	
2	1.334	1.385	3.82	25.90	25.44	1.78
3	1.334	1.318	1.20	25.90	27.14	4.79
4	1.334	1.368	2.55	25.90	23.53	1.43
5	1.334	1.344	0.75	25.90	24.85	4.05
平均值 Average value	1.334	1.353	1.89	25.90	25.19	3.12

3 结 论

本研究采用回归正交试验设计方法,利用自制的残膜压缩成型试验台进行了残膜压缩试验,研究了压缩力、保压时间、含土率和含水率对残膜成型块松弛比和比能耗的影响。

1) 农田残膜压缩成型多因素正交试验结果表明,残膜成型块最佳压缩作业参数为:压缩力 13.3 MPa,保压时间 25 s,含土率 53.9%,含水率 16.7%,该条件下残膜成型块松弛比为 1.321,比能耗为 26.92 J/g;影响残膜成型块松弛比的主次因素排序为:压缩力>含土率>保压时间>含水率;影响残膜压缩过程比能耗的主次因素排序为:压缩力>保压时间,含土率和含水率对比能耗影响不显著。

2) 建立了残膜成型块松弛比和比能耗 2 项指标分别与压缩力、保压时间、含土率、含水率之间的回归模型。验证试验结果表明,松弛比预测值与实测值平均相对误差为 1.89%,比能耗预测值与实测值平均相对误差为 3.12%。

参考文献 References

[1] 赵岩,陈学庚,温浩军,郑炫,牛琪,康建明. 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 Y, Chen X G, Wen H J, Zheng X, Niu Q, Kang J M. 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 (in Chinese)

[2] 王志超,李仙岳,史海滨,孙敏,丁涛,王成刚. 农膜残留对土壤

水动力参数及土壤结构的影响[J]. 农业机械学报,2015,46(5):101-106,140
Wang Z C, Li X Y, Shi H B, Sun M, Ding T, Wang C G. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(5): 101-106, 140 (in Chinese)

[3] 赫鹏亮,纪超,郑炫,赵岩. 集条残膜打包机压包成型系统设计[J]. 中国农业大学学报,2017,22(12):138-145
He P L, Ji C, Zheng X, Zhao Y. Design of a compression molding system for residual plastic film strip baler [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(12): 138-145 (in Chinese)

[4] 谢建华,侯书林,付宇,那明君,张慧友. 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(S1):94-99
Xie J H, Hou S L, Fu Y, Na M J, Zhang H Y. Motion analysis and experiment on spring-tooth mulching plastic film collector [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(S1): 94-99 (in Chinese)

[5] 赵岩,郑炫,陈学庚,牛琪,纪超,周敦兴. 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 Y, Zheng X, Chen X G, Niu Q, Ji C, Zhou D X. Design and tests 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 (in Chinese)

[6] 严昌荣,梅旭荣,何文清,郑盛华. 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 C R, Mei X R, He W Q, Zheng S H. Present situation of residue pollution of mulching plastic file and controlling measures [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(11): 269-272 (in Chinese)

[7] 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 H J, Hao J P. Studies of ecological and yield effect of water-osmosis plastic member in rainfed cotton field [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(5): 442-447 (in Chinese)
- [8] 李治国,周静博,张丛,姜建玲. 农田地膜污染与防治对策[J]. 河北工业科技, 2015, 32(2): 177-182
Li Z G, Zhou J B, Zhang C, Jiang J L. Pollution and control countermeasures of farmland mulching film [J]. *Hebei Journal of Industrial Science and Technology*, 2015, 32(2): 177-182 (in Chinese)
- [9] 李旭英,杨明韶,鲁国成,康文彪,丁海泉. 苜蓿压捆过程中压缩与恢复应力传递规律[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 61-67
Li X Y, Yang M S, Lu G C, Kang W B, Ding H Q. Transfer rule of compression and springback stress in compression process of alfalfa [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(16): 61-67 (in Chinese)
- [10] 王春光,杨明韶,淑敏,李林. 高密度压捆时牧草在压缩室内的受力和变形研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 55-59
Wang C G, Yang M S, Tong S M, Li L. Study on compressing process of hay in the compressing chamber of high density bales [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1999, 15(4): 55-59 (in Chinese)
- [11] 李汝莘,耿爱军,赵何,包伟,范修文. 碎玉米秸秆卷压过程的流变行为试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 30-35
Li R X, Geng A J, Zhao H, Bao W, Fan X W. Rheologic behavior of chopped corn stalks during rotary compression [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(18): 30-35 (in Chinese)
- [12] 李伟振,姜洋,饶曙,阴秀丽,蒋恩臣. 玉米秸秆和木屑及木钠混配成型工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 198-203
Li W Z, Jiang Y, Rao S, Yin X L, Jiang E C. Parameter optimization of corn stover blended with sawdust and sodium lignosulphonate compression experiments [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(1): 198-203 (in Chinese)
- [13] 马彦华,宣传忠,武佩,杨建宁,苏赫,张永. 玉米秸秆振动压缩过程的应力松弛试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(19): 88-94
Ma Y H, Xuan C Z, Wu P, Yang J N, Su H, Zhang Y. Experiment on stress relaxation of corn stover during compression with assisted vibration [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(19): 88-94 (in Chinese)
- [14] 孙启新,陈书法,董玉平. 秸秆类生物质成型热黏塑性本构模型构建[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 221-226
Sun Q X, Chen S F, Dong Y P. Establishment of thermo viscoplastic constitutive model for straw biomass briquetting [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(8): 221-226 (in Chinese)
- [15] 庞利沙,孟海波,赵立欣,姚宗路,田宜水,侯书林. 立式环模秸秆压块成型机作业参数优化[J]. 农业机械学报, 2013, 29(23): 166-172
Pang L S, Meng H B, Zhao L X, Yao Z L, Tian Y S, Hou S L. Optimization of operating parameters for vertical ring mold straw briquetting machine [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(23): 166-172 (in Chinese)
- [16] 张杰,李浩,孔令卓,苏剑,马娟,冯斌. 肉羔羊育肥秸秆配合颗粒饲料加工工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 274-281
Zhang J, Li H, Kong L Z, Su J, Ma J, Feng B. Optimization of processing parameters of straw and particles feed for fattening lamb [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(5): 274-281 (in Chinese)
- [17] Stelte W, Holm J K, Sanadi A R, Barsberg S, Ahrenfeldt J, Henriksen U B. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions [J]. *Fuel*, 2011, 90(11): 3285-3290
- [18] 张霞,蔡宗寿,张得政,张哲. 水葫芦颗粒燃料成型工艺优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 239-244
Zhang X, Cai Z S, Zhang D Z, Zhang Z. Process optimization for densification of water hyacinth pellets fuel [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(5): 239-244 (in Chinese)
- [19] 王功亮,姜洋,李伟振,阴秀丽. 基于响应面法的玉米秸秆成型工艺优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 223-227
Wang G L, Jiang Y, Li W Z, Yin X L. Process optimization of corn stover compression molding experiments based on response surface method [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(13): 223-227 (in Chinese)
- [20] 廖娜,韩鲁佳,黄光群,陈龙健,贺城. 含水率和压缩频率对秸秆开式压缩能耗的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(S1): 318-322
Liao N, Han L J, Huang G Q, Chen L J, He C. Effects of moisture content and compression frequency on straw open compression energy consumption [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(S1): 318-322 (in Chinese)

责任编辑:刘迎春