

## 牧草高密度压捆时的变形恢复

王春光<sup>①</sup> 高焕文<sup>②</sup> 杨明韶 李 林  
(中国农业大学机械工程学院) (内蒙古农牧学院)

**摘 要** 通过试验和分析,研究了在不同喂入量和不同压缩维持时间的条件下,高密度压捆时牧草变形恢复的影响因素。结果表明,喂入量、压缩维持时间、牧草在压缩室内的位置和变形恢复时间等参数对压缩后牧草的变形恢复均有影响。回归选优分析结果为高密度捆草机的改进设计和有效使用提供了依据。

**关键词** 牧草;压捆;变形恢复

**中图分类号** S817.115

## Recovery of Compressed Hay Baled in High Density

Wang Chunguang Gao Huanwen Yang Mingshao Li Lin  
(College of Machinery Engineering, CAU) (Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry)

**Abstract** The recovering regularity of the compressed hay during high density baling with different feeding rates and compressive time is studied. It is affected by 4 factors: feeding rates, compressive time, the place of hay in baling chamber and recovering time. The test results are regressed and some recovering regularities of hay compressed are obtained. It is found that these factors are the essentials in the design and application of balers.

**Key words** hay; baling; recovery

国内外现有各种农业纤维物料压缩设备的设计很少涉及压缩过程中被压缩物料自身的生物特性和压缩规律,从而导致压缩设备在结构参数、工作性能、功耗以及压缩后产品的质量等方面存在某些缺陷。为了加以改进,笔者试图通过对牧草在密度压捆时的变形恢复规律进行试验测定和理论分析<sup>[1,2]</sup>,为进一步探索减少压缩后物料的变形恢复量的措施和捆草机的改进设计提供依据。

### 1 试验测试方法

利用 WY-700 型差动变压器式位移传感器和 BPR-2 型液压式压力传感器分别测取压缩力、压缩量和变形恢复时间历程。压力传感器和位移传感器分别安装在压缩活塞驱动油缸进油口附近和捆草机机架上,位移传感器活动端顶在压缩活塞前端(见图 1)。当液压油缸驱动压缩活塞压缩牧草时借助 2 种传感器分别测取压缩力和压缩量变化的时间历程;当压缩活塞回程时,因位移传感器的活动端通过连接片(木制三合板)靠在被压缩后牧草的端部,不随压缩活塞

收稿日期:1997-07-12

①王春光,呼和浩特市 内蒙古农牧学院机电工程系,010018

②高焕文,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)46 信箱,100083

同步回程,从而用此位移传感器又可测取压缩后牧草变形恢复的时间历程。利用 B&K2034 双通道信号分析仪对测试结果进行分析采样,最后将采样结果用 PC 机进行处理。

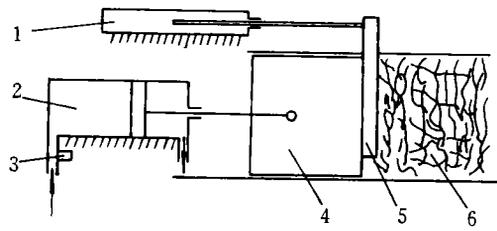
## 2 试验结果与分析

### 2.1 喂入量与牧草变形恢复的关系

试验时牧草的喂入量取为 2.0, 2.5 和 3.0 kg·次<sup>-1</sup>。每种喂入量试验 3 次并取均值。测试结果列于表 1, 试验时牧草的含水率为 14%。

表 1 喂入量不同时牧草的变形恢复

恢复 时间/s	喂入量/(kg·次 <sup>-1</sup> )								
	2.0			2.5			3.0		
	压缩量/ mm	恢复量/ mm	恢复率/ %	压缩量/ mm	恢复量/ mm	恢复率/ %	压缩量/ mm	恢复量/ mm	恢复率/ %
0	595.24	0	0	612.62	0	0	610.59	0	0
1	481.66	113.58	19.08	517.67	94.95	15.50	486.80	123.79	20.27
2	306.18	289.06	48.56	413.11	199.52	32.57	370.78	239.81	39.28
3	185.39	409.85	68.85	391.47	221.15	36.10	359.36	251.23	41.15
4	169.76	425.48	71.48	386.66	225.96	36.88	355.76	254.83	41.74
5	163.17	432.07	72.59	378.25	234.37	38.26	352.75	257.84	42.23
6	156.54	438.70	73.70	373.44	239.18	39.04	349.15	261.44	42.83
7	151.74	443.50	74.51	373.44	239.18	39.04	349.74	260.84	42.72
8	148.73	446.51	75.01	368.63	243.99	39.83	347.94	262.65	43.02
9	144.52	450.72	75.72	368.63	243.99	39.83	345.54	265.05	43.41
10	145.12	450.12	75.62	365.03	247.59	40.42	346.14	264.45	43.31
15	138.51	456.73	76.73	360.22	252.31	41.20	343.74	266.85	43.70
25	137.91	457.33	76.83	354.21	258.41	42.18	341.33	269.26	44.10
45	125.89	469.35	78.85	354.21	258.41	42.18	338.33	272.26	44.59
65	125.89	469.35	78.85	354.21	258.41	42.18	337.13	273.46	44.79



1. 位移传感器; 2. 液压油缸; 3. 压力传感器;  
4. 压缩活塞; 5. 连接片; 6. 牧草

图 1 传感器安装示意图

试验中在 3 种喂入量条件下压缩时,很难保证最大压缩量完全一致。为方便研究,现引入变形恢复率的概念,即 1 次压缩后,被压缩物料沿压缩活塞运动方向的变形恢复量占同一次总压缩量的百分比。为了研究恢复时间对压缩后被压缩物料变形恢复的影响,在此,最长恢复时间均取为 65 s。根据回归分析方法,对 3 种喂入量条件下压缩时的压缩量和变形恢复率分别与恢复时间的关系进行回归选优分析,相关系数大于 0.9 的有下列 2 种形式。

变形恢复率与恢复时间之间的拟合关系为

$$\left. \begin{aligned} \eta &= A + B / (e^{-t} + e^t) && \text{相关系数 } R_1 \\ \text{或} \quad \eta &= C + De^{-t} && \text{相关系数 } r_1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

压缩量与恢复时间之间的拟合关系为

$$\left. \begin{aligned} S &= E + F / (e^{-t} + e^t) && \text{相关系数 } R_2 \\ \text{或} \quad S &= G + He^{-t} && \text{相关系数 } r_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中： $\eta$  为变形恢复率，%； $S$  为压缩量，mm； $A, B, C, D, E, F, G, H$  均为系数； $t$  为恢复时间，s。

上述回归方程中的各系数值见表 2。

表 2 方程(1)和(2)中的回归系数及相关系数值

喂入量/ (kg·次 <sup>-1</sup> )	A	B	C	D	E	F	G	H	R <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	r <sub>2</sub>
2.0	74.23	-157.68	72.05	-82.47	170.40	1042.43	184.87	545.20	0.9917	0.9758	0.9917	0.9358
2.5	39.34	-76.94	38.43	-41.68	417.38	529.42	423.68	286.79	0.9917	0.9690	0.9917	0.9693
3.0	38.48	-69.78	37.78	-38.04	405.94	559.06	414.11	288.51	0.9836	0.9931	0.9712	0.9043

由试验结果可得图 2 所示的规律。可以看出，喂入量的大小并不影响压缩后牧草的变形恢复规律，但会影响变形恢复量的大小。

## 2.2 压缩维持时间对变形恢复的影响

考虑到实际生产中，压缩维持时间不可能太长，否则会降低机器的生产率，所以，试验中最长压缩维持时间取为 26 s。试验时，在 0~26 s 之间选取 6 种压缩维持时间，每种重复试验 3 次并取均值。现以变形恢复量较大的喂入量(2 kg·次<sup>-1</sup>)的试验为例进行分析，试验结果列于表 3。据此对压缩时间不同时的变形恢复率与恢复时间之间进行回归选优分析，结果如下：

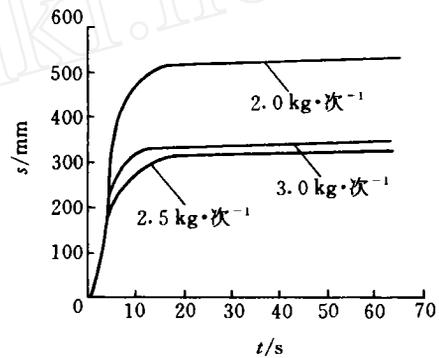


图 2 恢复时间  $t$  与恢复量  $s$  的关系

表 3 压缩维持时间不同时的变形恢复率  $\eta$

%

恢复时间/s	维持时间/s					
	0	7	10	15	20	26
0	0	0	0	0	0	0
1	19.08	13.9	13.3	12.6	8.0	11.6
2	48.56	32.2	33.8	29.6	29.5	19.9
3	68.85	51.8	49.3	51.0	50.6	22.4
4	71.48	58.2	54.9	53.0	53.6	23.5
5	72.59	61.8	55.8	54.0	54.4	24.3
6	73.70	63.2	56.7	55.2	55.2	25.2
7	74.51	64.1	56.9	56.1	55.4	26.9
8	75.01	65.0	57.7	56.6	56.4	31.3
9	75.72	66.0	58.6	57.4	56.9	32.6
10	75.62	66.6	59.8	58.2	57.5	34.0
15	76.73	69.4	60.2	60.0	59.3	34.4
25	76.83	70.9	62.1	61.5	61.3	36.8
45	78.85	77.9	63.3	62.3	62.6	39.9
65	78.85	78.7	64.3	62.7	63.4	41.5

$$\left. \begin{aligned} \eta &= A' + B' / (e^{-t} + e^t) && \text{回归系数 } R_3 \\ \text{或} & \eta = C' + D' e^{-t} && \text{相关系数 } r_3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中  $A', B', C', D'$  均为系数。各系数值列于表 4。

表 4 方程(3)中的回归系数及相关系数值

维持时间/s	$A'$	$B'$	$C'$	$D'$	$R_3$	$r_3$
0	74.23	-157.68	72.05	-82.47	0.9917	0.9758
7	66.17	-147.63	63.95	-75.56	0.9502	0.8770
10	58.56	-127.30	56.74	-65.92	0.9807	0.9161
15	57.38	-126.01	55.53	-64.95	0.9339	0.9057
20	57.22	-129.59	55.24	-66.03	0.9701	0.8918
26	31.43	-64.79	30.56	-34.22	0.8698	0.8289

此外,对压缩后压缩维持时间与变形恢复率的关系也进行了回归分析。由表 1 可见,恢复时间从 1~65 s 共 14 种恢复时间。恢复时间相同时,压缩维持时间与变形恢复率之间的相关系数大于 0.9 的回归拟合形式为

$$\eta = (I + Jt')^{1/2} \quad \text{相关系数 } R_4$$

或

$$\eta = K + Lt' \quad \text{相关系数 } r_4$$

式中: $t'$ 为压缩维持时间,s; $I, J, K, L$ 为系数。其中 $J$ 的取值范围是-4.903~-5.935, $L$ 的取值范围是-1.522~-1.305。由表 3 和压缩维持时间与变形恢复率之间的回归分析结果可以看出,在维持压缩时间不超过 26 s 时,变形恢复率随压缩维持时间的增长而近似呈线性减小。试验中,最长压缩维持时间达 10 h,在此期间,去掉压缩力后约 65 s,变形恢复率约为 23%。可见,在一定的压缩维持时间范围内,增大压缩维持时间对减小变形恢复量有重要作用,但是增长压缩维持时间必然会降低捆草机的生产率。

### 2.3 牧草在压缩室内的位置对变形恢复的影响

对压缩后牧草在压缩室内不同位置的变形恢复情况进行了试验。喂入量为 2.5 kg·次<sup>-1</sup>,恢复时间约 15 s。试验结果见表 5。

表 5 牧草在压缩室内不同位置的变形恢复

压缩次数	$t^{\text{①}}$ /mm	变形恢复量/mm			
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	均值
1	0	252.40	253.46	251.06	252.31
2	525.78	10.93	16.69	10.33	12.65
3	623.13	9.41	14.22	10.63	11.42
4	674.80	9.21	10.10	9.79	9.70
5	724.26	7.49	6.51	2.12	5.37
6	759.35	7.49	4.04	0	3.84
7	790.55	5.03	0	0	1.68
8	843.60	0	0	0	0

①牧草相对压缩活塞起点的距离。

经回归选优分析,变形恢复量与牧草在压缩室内相对压缩活塞起点的距离之间的拟合方程为

$$s = 183.18 + 257.07 \exp(-l) \quad R = 0.9987$$

式中  $l$  为牧草相对压缩活塞起点的距离, mm。可以看出,变形恢复量  $s$  随被压缩牧草进入压缩室内的距离  $l$  的增大呈指数规律减小,约经 8 次左右的压缩和推移,  $s \rightarrow 0$ 。

#### 2.4 牧草压缩后的变形恢复对压缩力的影响

对有无压缩后变形恢复 2 种情况下的压缩力进行了对比试验。试验时为了避免出现变形恢复,在压缩活塞压缩极限位置装设防松卡爪。试验结果见表 6。可以看出,有无防松卡爪,即有无压缩后变形恢复 2 种情况下压缩力明显不同。可知变形恢复量增大会导致功耗增大,所以在压捆机的设计和使用中应设法减小变形恢复量。如适当增大喂入量,在压缩活塞的压缩极限位置设防松卡爪,适当增长压缩维持时间等。为了避免由于增长压缩维持时间而降低生产率,可将压缩活塞的运动设计成变速运动,即压缩开始和压缩活塞回程时,使压缩活塞快速运动,而在压缩接近终了时,使它慢速压缩。

表 6 有无防松卡爪情况下压缩力的变化

kN

压缩力	位移/mm									
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
$F$	9.9	18.1	31.3	46.9	62.2	77.5	92.0	102.9	114.4	123.9
$F'$	15.6	35.9	56.2	71.7	90.1	104.2	128.1	151.8	168.4	181.9
$F'/F$	1.58	1.98	1.80	1.53	1.45	1.34	1.39	1.18	1.47	1.47

说明:1)  $F, F'$  分别为有、无防松卡爪时的压缩力;2) 喂入量为  $2.5 \text{ kg} \cdot \text{次}^{-1}$ 。

### 3 结束语

通过试验和理论分析,找出了牧草压缩后变形恢复的影响因素,这对进一步探索减少变形恢复量的措施具有指导意义。试验结果表明:在压缩室内设置防松卡爪可以降低压缩功耗;适当增大喂入量和延长压缩维持时间是减少变形恢复量的另外 2 种途径。

### 参 考 文 献

- 1 Faborode M O, O'Callaghan J R. Theoretical analysis of the compression of fibrous agricultural materials. *J Agri Engi Res*, 1986, 35: 175~191
- 2 O'Dogherty M J. A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities. *J Agri Engi Res*, 1989, 44: 241~265