

割前摘脱收获机禾秆收割动力学试验

王金武¹, 蒋亦元^{1*}, 刘 磊^{1,2}, 刘道顺¹, 刘立意¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省博士后管理办公室, 哈尔滨 150001)

摘 要: 割前摘脱工艺强调的是先脱后割作业, 在切割茎秆时摘脱装置压倒茎秆前倾一定的角度, 从实际应用出发, 采用自行设计研制的测量装置, 对前倾禾秆顶端的水平力和垂直力进行了测试研究, 得到了禾秆前倾时水平力和垂直力的数学模型。为前倾禾秆横向输送器进行结构设计提供重要的理论依据。

关键词: 割前摘脱; 禾秆; 测试; 动力学

中图分类号: S225.39

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2007)9-0118-04

王金武, 蒋亦元, 刘 磊, 等. 割前摘脱收获机禾秆收割动力学实验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 118-121.

Wang Jinwu, Jiang Yiyuan, Liu Lei, et al. Experimental study on the dynamics of cutting straws based on stripping harvesting machine [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 118-121. (in Chinese with English abstract)

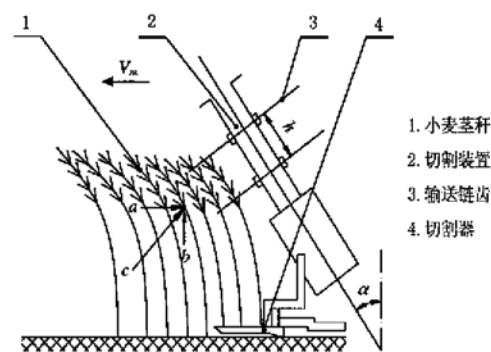
0 引 言

割前摘脱是近几年来发展起来的一种机械化收获工艺新机理。它是通过梳脱板齿的滚筒, 直接将小麦或水稻禾穗上的谷粒梳脱下来, 而脱净的禾秆仍保留在原位置。这种新颖的收获机理以其工艺新、结构简单的突出优点引起各国的瞩目^[1]。国外很多国家的研究机构或生产厂商将这种板齿滚筒制成收获台替代联合收割机的收获台推广应用, 中国已有引进。国内有几家科研院所和高校在进行这方面的研究开发工作。生产中要求脱粒后的禾秆在被行走装置压倒之前切割, 并搂集成条铺。在摘脱式收获机作业中, 摘脱滚筒通常将禾秆压倒成一定的前倾状态, 然而只有禾秆恢复成一定直立度的情况下才能较好地地进行切割工作, 为了恢复禾秆直立这就要求摘脱滚筒大大前伸或放慢机器前进速度。然而摘脱滚筒前伸将引起机器总长度的加大, 机器的重心前移, 造成前重后轻, 减低了灵活性和田间适应性, 并使作业时摘脱滚筒上下颠簸, 影响作业质量。因此在行走装置前方狭小有限的空间条件下, 对茎秆切割轨道装置具有较高的要求, 其工作装置必须适应这种前倾茎秆的力学特性, 能够顺利切割和放铺。前倾禾秆横向输送器的功用是将茎秆顺利切割并按一定的角度放成条铺。本文为前倾禾秆横向输送器结构设计提供理论依据而进行有关倾斜禾秆动力学方面的试验研究。

1 禾秆的动力学分析

作物茎秆在切割和输送过程中, 所受的力比较复杂, 而且也不平衡, 再加上作物生长的情况差异, 前倾程度不同等因素的影响, 形成在轨道输送过程中的不稳定性。

假设输送器静止不动, 禾秆以速度 V_m 靠近割台如图 1 所示。禾秆向输送装置内堆积有两个因素: 一是禾秆的动量 mV_m (m 为禾秆质量), 另一个为未割禾秆的反弹势能 U , 二者共同作用使禾秆堆向输送装置。



a—禾秆前倾后反弹力的水平分力; b—禾秆前倾后反弹力的垂直分力; c—禾秆前倾后反弹力的水平分力和垂直分力的合力; α —切割装置与垂直方向的角度

图 1 禾秆受力分析

Fig. 1 Analysis of forces acted on straws

禾秆顶端的挠度为

$$X_a = \frac{PL^3}{3EI} \quad (1)$$

式中 P ——使禾秆顶端产生 X 变形的力, N; EI ——禾秆的抗弯刚度, $N \cdot mm^2$; L ——禾秆的生长长度, mm。

禾秆顶端的刚度为

$$K = \frac{P}{X_a} = \frac{3EI}{L^3} \quad (2)$$

如图 2 所示, 在禾秆变形的单元内, 势能为 $d_n = KX_a dx$, 整株禾秆储备的势能为

$$U = \int_0^{X_a} d_n = \int_0^{X_a} KX_a dx = \frac{1}{2} KX_a^2 \quad (3)$$

由式(2)、(3)得

$$U = \frac{3}{2} \frac{EI}{L^3} X_a^3 \quad (4)$$

收稿日期: 2005-06-07 修订日期: 2006-08-29

作者简介: 王金武(1970-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事田间机械与机械可靠性的研究。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。Email: jinwu@163.com

*通讯作者: 蒋亦元(1928-), 男, 院士, 教授, 博士生导师, 主要从事收获机械研究。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030

由上述分析可知, 机器前进速度越大, 禾秆的动量也越大。禾秆的刚度越大, 长度越小, 被摘脱滚筒压得越低; 未割禾秆对已割禾秆所产生的反作用力越大, 用于将禾秆推向割台的能量就越大。当割台前进到地头失去未割禾秆的反弹势能 U 时, 尽头的禾秆虽能被切割, 但不能被横向输送。当抬起切割输送机时, 禾秆会散铺于地上, 不会堆积在割台内。本文主要测取使禾秆顶端产生变形的力 P , 获得此值为设计前倾输送机提供重要的理论依据。

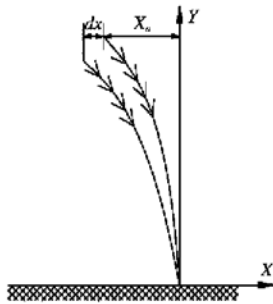


图2 禾秆弯曲示意图

Fig. 2 Diagram of bending straws

2 试验系统

为了获得不同禾秆高度顶端产生变形力的数据, 自行设计研制了电路系统的测试装置, 拉压传感器测取垂直方向的受力、自制禾秆水平力传感器测取水平方向的受力。禾秆被摘脱滚筒压成一定角度时, 禾秆因变形而产生反弹力, 其水平方向的力为禾秆的水平力, 垂直方向的力为禾秆的垂直力。

2.1 测试电路系统

禾秆弹力测试时, 系统由 25 N 拉压传感器、自制禾秆水平力传感器、YD-15 电阻应变仪、24 V 直流电源、2317 电平记录仪和 12V 干电池电源等组成。电路系统如图 3 所示。

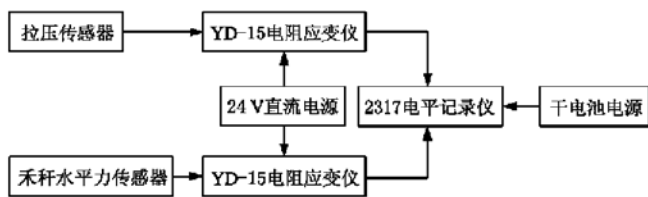


图3 测试电路系统

Fig. 3 Test circuit system

2.2 测试装置

考虑作物的生长特点、植株高度、禾秆强度等因素, 自行设计研制了测取前倾禾秆顶端的水平力和垂直力的试验装置如图 4 所示, 其中推板的宽度为 250 mm、长度为 400 mm、禾秆作用的总面积为 0.1 m^2 。此装置在轨道中以一定的速度 (V) 滑行, 由禾秆水平力传感器和拉压传感器将禾秆的数据信号传递到 2317 电平记录仪上, 将数据信号打印在坐标纸带上, 最后根据传感器的标定结果进行数据转化处理, 获得禾秆的水平力和垂直力, 进而合成为使禾秆顶端产生变形的力。

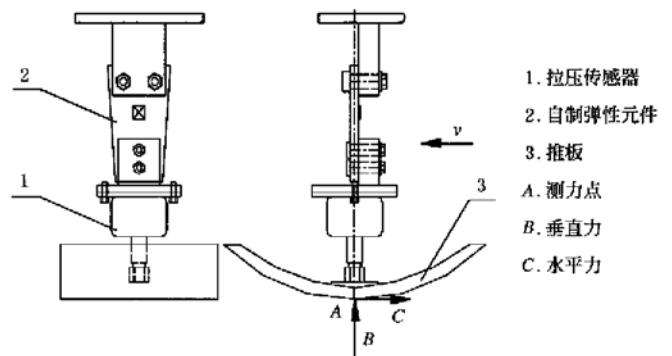


图4 自制测试装置

Fig. 4 Self-invented test set

为了正确地对传感器标定, 应先确定标定范围。考虑到某些突变情况及瞬时过载等因素, 将标定的最大加载值再增加 10~20 N。标定时分级加载和卸载, 加载和卸载每级重复 3 次, 取其平均值。标定试验结果见表 1。结合传感器标定结果, 编制 C 语言程序, 运算得到标定系数。

表1 20 N 传感器机械标定结果

Table 1 Mechanical calibration for torque sensor(20 N)

负载 /N	应变仪输出电压/V						加载 卸载 加卸载 均值 均值 均值 /V /V /V		
	加载			卸载					
5	0.246	0.247	0.248	0.256	0.254	0.256	0.247	0.254	0.251
10	0.502	0.501	0.499	0.512	0.510	0.514	0.501	0.512	0.507
15	0.756	0.751	0.751	0.767	0.763	0.762	0.752	0.764	0.758
20	1.000	0.997	0.995	0.995	1.001	0.999	0.997	1.001	0.999

测取禾秆水平力传感器标定系数 k_N , 即禾秆变形时每一个应变值所对应的水平力的数值, 其值为:

$$k_N = 0.0072 \text{ N}/\mu\epsilon$$

25 N 拉压传感器的标定数据在坐标纸带上获取, 拉压传感器标定系数的含义是禾秆变形时每一个毫伏值所对应的垂直力的数值, 经标定得到 25 N 拉压传感器标定系数为:

$$k_f = \frac{\sum P_i V_i}{\sum V_i^2} = 0.521 \text{ N/mV}$$

式中 P_i ——第 i 次加载载荷, N; V_i ——第 i 次加载时应变的电压值, mV。

3 结果与分析

测试地点选在东北农业大学农学试验站, 测试的作物为东农培育的小麦 7742, 产量 $4050 \sim 4125 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 平均每平方米 550~600 株, 行距为 15 cm, 人工种植, 植株的高度在 75~82 cm 范围内。采用电平记录仪记录变化曲线。测试前, 在同一禾秆高度的条件下, 每一组植株禾秆的密度、测试速度相同 ($V_m = 1.5 \text{ m/s}$ 左右)。在纸带上测取相应段高度的平均值, 确定其相对于基准线的高度, 最后转化成应变值, 计算相应的各力。采用电平记录仪记录变化曲线(图 5), 在纸带上测取 ab 段高度的平均值, 确定其相对于基准线的高度, 最后转化成电压值(mV), 计算

禾秆的垂直分力。本文给出小麦的测试计算处理结果如表 2, 其中测试高度以图 4 中 A 点为基准, 垂直力为沿 B 方向的测取力, 水平力为沿 C 方向的测取力。

表 2 小麦茎秆不同高度各力的测试结果

Table 2 Test results of forces acted on wheat straws at different heights

测试序号	测试高度/cm	水平力/N	垂直力/N	合成力/N
1	41	10.57	6.78	12.56
2	41	10.48	6.69	12.44
3	41	10.26	6.45	12.12
4	41	10.49	6.63	12.41
5	43	9.82	4.16	10.66
6	43	9.78	4.25	10.66
7	43	9.69	4.35	10.62
8	43	9.71	3.99	10.5
9	43	9.65	3.87	10.4
10	49	7.21	2.76	7.72
11	49	7.31	2.91	7.87
12	49	7.42	2.77	7.92
13	49	7.35	2.63	7.81
14	52	5.98	2.46	6.47
15	52	5.78	2.31	6.22
16	52	5.73	2.29	6.17
17	52	5.65	2.36	6.12
18	62	4.85	0.69	4.90
19	62	4.76	0.79	4.82
20	62	4.52	0.99	4.63
21	62	4.39	0.78	4.46

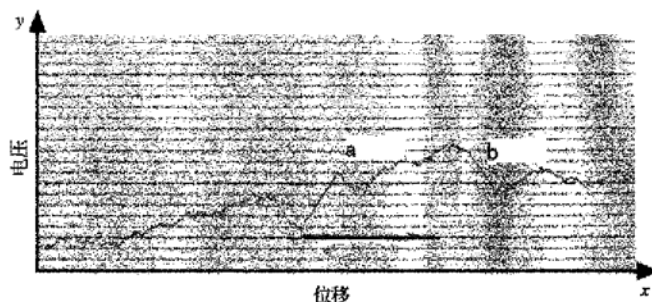


图 5 垂直力测试记录曲线

Fig. 5 Test curve of vertical force

在不同作物高度下, 测量装置在轨道中以一定的速度前进时, 作物禾秆顶端的水平力、垂直力和合成力随作物禾秆高度的变化而变化, 利用 SAS 软件程序, 通过分析, 相关系数较大的回归方程如下:

水平力拟合:

$$Y_{\text{水平}} = 0.0123x^2 - 1.5558x + 53.7247$$

$$R = 0.956$$

垂直力拟合:

$$Y_{\text{垂直}} = 0.0116x^2 - 1.4296x + 45.011$$

$$R = 0.961$$

合力拟合:

$$Y_{\text{合力}} = 0.017x^2 - 2.115x + 70.199 \quad R = 0.988$$

式中 x ——测试高度。

由试验和分析结果可以明显看出, 作物禾秆随着作物高度的增加, 作物禾秆在倾斜时的水平分力和垂直分力逐渐减小。

4 结 论

本研究是针对摘脱后前倾禾秆横向输送器在高速作业下禾秆的收获问题而进行的。

1) 对前倾禾秆进行了力学分析, 确定了依靠禾秆的动量和未割禾秆的反弹力势能能对已割的禾秆推向割台内, 并能被输送链作用。

2) 利用自行研制的测试装置对作物禾秆进行了测试, 得到了作物前倾时水平力和垂直力随作物高度增加而逐渐变小的规律。

3) 试验结果对前倾禾秆横向输送器设计具有重要的应用价值。

[参 考 文 献]

- [1] 蒋亦元. 摘脱后切割茎秆搂成条铺的稻(麦)联收机[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 51-56.
- [2] 刘 磊. 前倾禾秆横向输送器的试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2000.
- [3] 蓝文锋. 关于割前脱粒中收割禾秆的研究与试验[J]. 福建农机, 1998, (6): 39-44.
- [4] 高玉根, 胡郭俊. 小型背负式谷物摘穗联合收获机的研究[J]. 农业机械学报, 1995, 26(3): 137-141.
- [5] 邱先钧. 梳穗联合收获机禾秆处理装置的试验研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 59-64.
- [6] 蓝文锋. 割前脱粒中收割禾秆的研究与试验[J]. 农业机械学报, 1999, 30(2): 59-64.
- [7] 袁志华, 冯宝萍, 赵安庆, 等. 作物茎秆抗倒伏的力学分析及综合评价探讨[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 30-31.
- [8] 尹文庆, 王耀华, 何扬清, 等. 摘脱装置对谷物茎秆作用过程的研究[J]. 农业机械学报, 1999, 30(6): 51-55.
- [9] Nengah SUASTWA. Grain detachment strengths and grain mass of three rice types[J]. 农业机械学会志, 1996, 58(1): 65-72.
- [10] 徐树来. 割前脱粒中收割禾秆的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2000, 12(1): 65-68.
- [11] 张 雅, 张际先, 李耀明, 等. 梳穗收获中作物运动模型的建立[J]. 农业机械学报, 2000, 31(1): 51-54.
- [12] 徐树来. 割前摘脱装置结构及参数的试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2000.
- [13] 陈伊文. 立式收割台禾秆铺放角的分析[J]. 农机化研究, 1988, (3): 10-14.
- [14] Douth waite B. The stripper gatherer system for small-area rice harvesting[J]. Agricultural Engineering Journal, 1993, 2(4): 183-189.

Experimental study on the dynamics of cutting straws based on stripping harvesting machine

Wang Jinwu¹, Jiang Yiyuan^{1*}, Liu Lei^{1,2}, Liu Daoshun¹, Liu Liyi¹

(1. *College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;*

2. *Heilongjiang Postdoctoral Management Office, Harbin 150001, China*)

Abstract: Stripping harvesting emphasizes the operation of stripping before cutting. In the process of cutting, the stripping unit pushes the straws ahead and makes them fore rake. In this paper, a self-development measurement equipment was used to measure the horizontal force and the vertical force of the fore-raked straws, and the mathematic models of the horizontal force and the vertical force were obtained. The results can provide theoretical basis for the design of fore-raked straws cross conveyer.

Key words: stripping harvesting; straws; test; dynamics