

棉秆力学性能试验*

杜现军 李玉道 颜世涛 李秀芝 宋占华 李法德

(山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018)

【摘要】 以创新棉 958 棉秆为试验材料,在万能试验机上对收割期的棉秆进行剪切、压缩、弯曲力学性能试验。试验结果表明:试样的含水率在 30% ~ 50% 时,棉秆底部和中部的抗压强度、剪切强度较小,分别为 1.66 ~ 3.13 MPa、0.74 ~ 1.12 MPa;试样的抗弯强度随含水率的升高而降低,试样底部弯曲强度为 4.20 ~ 5.08 MPa。在剪切、压缩、弯曲试验中,试样底部消耗的功分别为 2.98 ~ 4.32 N·m、2.91 ~ 4.34 N·m、1.51 ~ 4.18 N·m。

关键词: 棉秆 剪切强度 抗弯强度 抗压强度

中图分类号: S313; S124+.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0087-05

Mechanics Characteristics of Cotton Stalks

Du Xianjun Li Yudao Yan Shitao Li Xiuzhi Song Zhanhua Li Fade

(Mechanical and Electrical Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract

With innovation cotton 958 cotton stalks as test material, shearing, compression and bending mechanical tests of cotton stalk in harvesting period were carried out in the universal test machine. The results showed that when the sample moisture content was in 30% ~ 50% , the compressive intensity and shear intensity at the bottom and middle of cotton stalk was lesser, the intensity value were 1.66 ~ 3.13 MPa and 0.74 ~ 1.12 MPa , respectively. Cotton stalks bending intensity decreased with its moisture content increased. The bending intensity values of samples at the bottom was 4.20 ~ 5.08 MPa. In the test of shearing, compression and bending, the consumption power of the sample was 2.98 ~ 4.32 N·m , 2.91 ~ 4.34 N·m , 1.51 ~ 4.18 N·m , respectively.

Key words Cotton stalk, Shear strength, Bending strength, Compressive strength

引言

棉秆在切割过程中,刀具刃口附近会产生复杂的应力和应变,直接影响棉秆收割机的切割质量、切割效率及切割能耗。开展棉秆的机械物理特性参数试验研究,获得其剪切强度、弯曲强度等机械物理特性参数,可为分析棉秆切割过程中应力、应变分布状态,确定棉秆切割力和棉秆切割刀具、切割方式等提供理论依据和基础技术参数,对低能耗、高效率的切割器设计具有重要的指导意义^[1~3]。本文测定收割期棉秆剪切、压缩、弯曲的破坏应力和消耗的功,并进行相应分析。

1 试验与方法

1.1 试验材料

棉秆取自济南市商河县怀仁镇,取本年度棉花采收后生长良好的成熟棉秆,手工去叶、壳和侧枝,外部擦拭干净。试样要求通直、无虫害、无明显缺陷、没有表皮的损伤或开裂。为防止水分流失而影响棉秆含水率变化,获取棉秆试样后立即作相关力学性能试验并测定相应含水率。

棉种为创新棉 958,获取棉秆时间是从 2009 年 11 月 16 号第 1 批次开始,每半月左右取棉秆 1 次。具体获取棉秆试样时间如表 1 所示。每种试验分

收稿日期: 2010-06-24 修回日期: 2010-07-19

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2009AA043601-2)

作者简介: 杜现军,硕士生,主要从事农业机械与设备研究,E-mail: cldu088@163.com

通讯作者: 李法德,教授,博士生导师,主要从事新型农业机械与装备研究,E-mail: lifade@sdau.edu.cn

7个批次进行,每一批次中每种试验都是从50株棉秆随机取8株。随后制作试样、编号并测量记录试样直径、高度,试样直径范围为10~23 mm,准确至0.1 mm。测试地点为山东农业大学机电学院实验室,室内温度20℃左右。

表 1 棉秆试样获取时间
Tab.1 Sampling time of cotton stalks

批次	采样时间	备注
1	2009-11-16	
2	2009-12-02	
3	2009-12-15	
4	2010-01-06	地面结冰
5	2010-01-24	22 日下雪,24 日只测底部和上部含水率
6	2010-03-02	
7	2010-03-18	

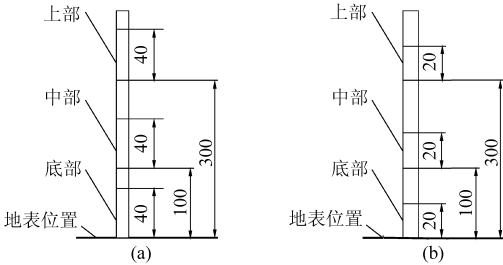
1.2 试验设备

WDW-5E 型微机控制电子式万能试验机(济南试金集团有限公司)、DZF-605 型真空干燥箱(上海博讯实业有限公司)、JA5003A 型电子天平(上海精天电子仪器有限公司)以及游标卡尺、螺旋测微器、普通木工锯刨机械等。

1.3 棉秆含水率的测定

试样含水率测定采用干燥法,参照 GB/T 1931 规定进行^[4]。由于棉秆的直径较小,无法制成国标规定的试样尺寸,因此对试样作了调整,直接取自然状态下一定长度的棉秆^[5]。

测定含水率时棉秆试样的取样如图 1a 所示,对于每批试样取到后立即称量,准确至 0.001 g,填入记录表。将同组试样一并放入干燥箱内,在 103℃±2℃ 的温度下干燥 8 h 后,从中选定 2~3 个试样进行第 1 次称量,以后每隔 2 h 称量一次,至最后两次称量之差不超过 0.002 g 时,即认为试样达到全干。然后将试样从干燥箱内取出放入装有干燥剂的玻璃干燥器中,盖好称量瓶和干燥器盖,待试样冷却至室温后,取出称量。



1.4 试验方法

棉秆压缩、弯曲、剪切力学性能试验分别参照 GB/T 1935、GB/T 1936、GB/T 1937^[6] 规定进行。棉秆直径较小,无法制成国标规定的试样尺寸,需对试样作相应调整。作物茎秆力学性能沿茎秆高度的变化不同^[7-8],试验时截取棉秆不同高度获得试样。

1.4.1 棉秆顺纹压缩

取棉秆长度 20 mm,长度为顺纹方向,棉秆压缩试验取样如图 1b 所示。试样两端必须平齐,且试样应通直,否则在载荷作用下试样将会倾倒^[9]。测量试样的长度和直径,准确至 0.1 mm。试样夹具采用平面压块,将试样置于球面滑动支座中心位置,以 10 mm/min 速度加载,记录破坏载荷。

棉秆顺纹抗压强度计算式为^[10]

$$\sigma = \frac{4p_{\max}}{\pi D^2}$$
 (1)

式中 σ ——抗压强度,MPa

$p_{\max}$ ——破坏载荷,N

D ——试样直径,mm

棉秆压缩功计算式为^[11]

$$A = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$$
 (2)

式中 x_1, x_2 ——压块行程始点、终点位置坐标

$f(x)$ ——棉秆所受压缩力(是压块位置坐标 x 的函数)

1.4.2 棉秆弯曲

取棉秆长度 160 mm,棉秆弯曲试验取样如图 1d 所示。加载采用三点弯曲方法,试验装置的支座及压头端部的曲率半径为 10 mm,两支座间距离为 120 mm,以 10 mm/min 速度加载,记录破坏载荷。

棉秆抗弯强度计算式为^[9]

$$\sigma_w = \frac{960\,000 p_{\max} L}{\pi D^3}$$
 (3)

式中 σ_w ——抗弯强度,MPa

L ——标距,120 mm

1.4.3 棉秆剪切

取棉秆长度 80 mm,棉秆剪切试验取样如图 1c

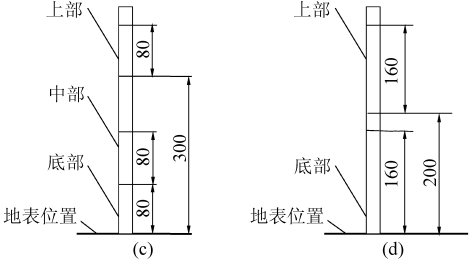


图 1 棉秆试样取样图
Fig.1 Sampling plan of cotton stalk
(a) 含水率测定 (b) 压缩试验 (c) 剪切试验 (d) 弯曲试验

所示。将试样置于 V 型夹具上(图 2),以 20 mm/min 速度加载,记录破坏载荷。

棉秆剪切强度计算式为^[9]

$$\tau = \frac{2p_{\max}}{\pi D^2} \tag{4}$$

式中 τ ——剪切强度,MPa

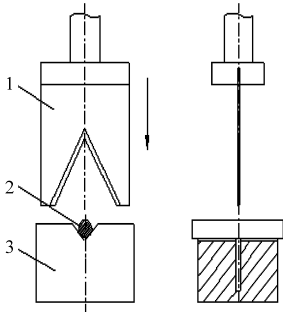


图 2 剪切试验示意图

Fig.2 Schematic diagram of shearing test
1. 刀具 2. 试样 3. 定位块

2 结果与分析

2.1 含水率

含水率是影响棉秆抗压强度、剪切强度、抗弯强度等力学性能的重要因素之一^[12]。棉秆的含水率受环境、降水、生长位置等因素的影响明显。试样含水率的变化如图 3 所示(第 5 批次试验中只测了试样底部和上部的含水率)。

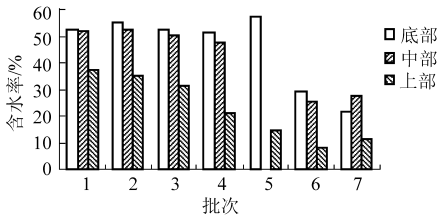


图 3 试样含水率变化

Fig.3 Moisture content trends of samples

由图中可看出,试样含水率逐渐降低,只是第 1~4 批的试样含水率变化比较平缓;由于降雪原因,第 5 批试样含水率迅速升高;第 6、7 批试样含水率降幅较大,变化比较剧烈。主要原因是试验前期的棉秆仍然在生长,其含水率变化很小,而随着时间的延长,棉秆逐渐枯萎及环境变化等原因使其含水率迅速降低。在同一株棉秆试样中,从试样的底部到上部含水率逐渐降低。含水率在各批次同部位之间以及同批次不同部位之间有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 顺纹压缩试验

棉秆压缩试验主要研究在相同的加载速率条件下,棉秆的抗压强度、压缩功的变化以及抗压强度与含水率之间的关系(在第 7 批次试验中只做了试样底部和中部的压缩试验,没有做上部压缩试验)。

表 2 为不同批次棉秆试样抗压强度和压缩功。

表 2 不同批次试样抗压强度和压缩功
Tab.2 Compressive intensity and compression power of cotton stalk samples in different groups

批次	抗压强度/MPa			压缩功/N·m		
	底部	中部	上部	底部	中部	上部
1	2.70	3.13	3.15	4.07	3.61	3.03
2	2.07	2.48	2.59	3.59	2.58	2.10
3	2.03	2.83	2.74	3.72	2.99	1.90
4	1.76	2.18	2.01	3.17	2.81	1.81
5	2.02	2.28	2.00	2.91	2.78	2.23
6	1.66	2.01	2.99	3.20	2.51	2.09
7	2.22	2.22		4.34	3.21	

从表中可看出,棉秆抗压强度先是逐渐降低后又增高,第 4 批次和第 5 批次试样的抗压强度相对较低。根据不同批次相同部位抗压强度差异显著性分析,试样抗压强度有较显著差异($P < 0.1$)。说明不同的采样时间对试样的抗压强度影响较显著。原因是随着时间的延长,试样含水率、周围温度、天气等因素的变化,试样内部细胞、纤维等基本组织产生变化,从而对试样抗压强度产生影响。总的来说,棉秆的底部抗压强度低于中部和上部抗压强度。同批次不同部位试样的抗压强度差异显著性为:第 3、6 批次有显著差异($P < 0.05$);第 1、2、4、5 批次影响不显著但有影响($P < 0.25$);第 7 批次没有影响。整体上来说,不同部位抗压强度差异不显著但有影响。原因是越靠近根部,含水率越高,棉秆的基本组织木质化程度越高^[13],直径越大,试验所需的力较大,由式(1)知,底部试验力较大,受力面积也大,但底部抗压强度却不一定大。

不同批次试验中棉秆试样压缩功先降低后增加,第 4、5、6 批次中试样压缩功较小。在同一株棉秆中,试样底部压缩功最大,中部其次,上部最小。同批次不同部位试样压缩功差异性显著为:第 1、5、6 批次影响不显著但有影响($P < 0.25$);第 2、3、4 批次有显著差异($P < 0.05$);第 7 批次有较显著差异($P < 0.1$)。不同批次相同部位试样,底部压缩功有较显著差异($P < 0.1$),中部没有影响,上部影响不显著但有影响($P < 0.25$)。

图 4 为抗压强度与含水率的关系曲线。由图可知,棉秆底部和中部的含水率始终在 20% 以上。试样含水率低于 50% 左右时,棉秆的底部和中部抗压强度较小,且变化幅度也小;试样含水率在 50%~55% 之间时底部和中部抗压强度迅速增大。

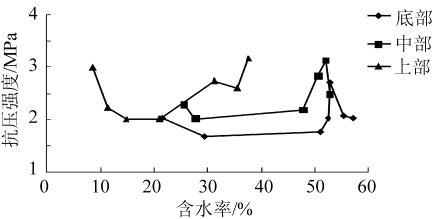


图 4 抗压强度与含水率关系曲线
Fig. 4 Relationship between compressive intensity and moisture content

2.3 剪切试验

棉秆剪切试验主要研究在相同加载速率条件下,试样的剪切强度、切割功的变化及剪切强度与含水率关系。

表 3 为不同批次棉秆剪切强度与切割功。从中可以看到,剪切强度先是略微降低后又增高,第 4 批次的剪切强度较小;同一株棉秆底部、中部和上部剪切强度变化趋势不明显。不同批次相同部位试样底部的剪切强度有显著差异($P < 0.05$)。中部、上部的剪切强度影响不显著但有影响($P < 0.25$)。同批次不同部位试样的剪切强度差异显著性为:第 2、6、7 批次有显著差异($P < 0.05$);第 1、3、4 批次影响不显著但有影响($P < 0.25$);第 5 批次没有影响。不同时间和部位,试样含水率也不同,含水率对试样剪切强度有影响。

表 3 不同批次试样剪切强度和切割功
Tab.3 Shear intensity and cut power of cotton stalk in different groups

批次	剪切强度/MPa			切割功/N·m		
	底部	中部	上部	底部	中部	上部
1	0.98	1.08	0.95	3.33	2.51	2.05
2	1.02	1.00	0.82	2.98	2.81	2.28
3	0.95	0.98	0.92	3.14	2.49	1.56
4	0.74	0.93	0.85	3.16	2.81	1.99
5	0.97	0.99	1.06	3.09	2.44	2.19
6	0.85	0.96	1.16	3.26	2.46	1.59
7	1.12	0.92	1.20	4.32	3.30	2.41

第 1~6 批次中切割功的变化幅度比较小,第 7 批次增加较大。同一株棉秆试样从根部到顶部切割功是逐渐降低的,即底部切割功最大。不同批次相同部位及相同批次不同部位试样切割功有显著差异($P < 0.05$)。

图 5 为剪切强度与含水率关系曲线。由图可知,棉秆底部和中部的含水率始终在 20% 以上,试样含水率约在 30%~50% 时,底部和中部剪切强度较小,变化幅度也很小。试样含水率大于 50% 时,

底部和中部的剪切强度迅速增大。棉秆上部的剪切强度随含水率的升高而降低,含水率大于 20% 时其剪切强度变化幅度小。

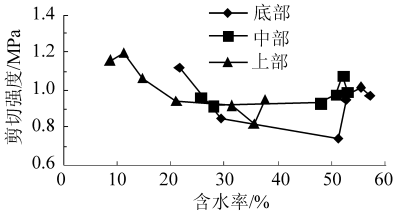


图 5 剪切强度与含水率关系曲线
Fig. 5 Relationship between shear intensity and moisture content

2.4 弯曲试验

棉秆弯曲试验主要研究在相同加载速率条件下,棉秆的抗弯强度、弯曲功的变化以及抗弯强度与的含水率关系。

表 4 为不同批次棉秆抗弯强度和弯曲功。由表可知,第 4 批底部的抗弯强度最小;而棉秆上部的抗弯强度则是逐渐增大的。同一株棉秆试样中,底部的抗弯强度低于棉秆上部的抗弯强度。不同批次相同部位试样弯曲强度差异显著性为:试样底部影响不显著但有影响($P < 0.25$);上部有显著差异($P < 0.05$)。同批次不同部位抗弯强度有显著差异($P < 0.05$)。由于试样两支点跨距较大,试样的抗弯强度受其宏观结构的影响较大。试样弯曲功的变化趋势是:降低、增加、降低、增加。第 4 批次和第 5 批次试验中试样弯曲功是最低的;试验中,同一株棉秆试样其底部弯曲功高于上部。同批次下不同部位及不同批次相同部位试样弯曲功有显著差异($P < 0.05$)。棉秆木质化程度越高,直径越大,试验中所需的力越大,弯曲功也越大,反之越小。

表 4 不同批次试样弯曲强度和弯曲功
Tab.4 Bending intensity and bending power of cotton stalkin different groups

批次	弯曲强度/MPa		弯曲功/N·m	
	底部	上部	底部	上部
1	4.83	5.36	2.52	1.70
2	5.01	5.96	2.57	0.89
3	5.32	5.54	4.18	2.34
4	4.20	7.20	1.70	0.90
5	4.68	7.63	1.51	0.70
6	5.48	7.93	2.53	1.44
7	5.08	8.71	3.09	1.52

图 6 为弯曲强度与含水率关系曲线。由图中可看出,抗弯强度随着试样含水率的升高逐渐降低;在一株棉秆中,上部的抗弯强度大于棉秆底部的抗弯强度,由于试样底部含水率高于上部含水率,这说明

在一株棉秆试样中抗弯强度同样是随着含水率升高而降低。

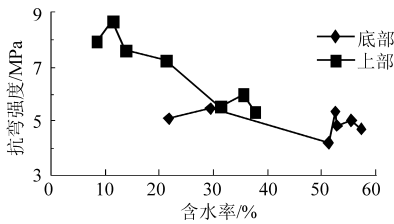


图 6 抗弯强度与含水率关系曲线

Fig. 6 Relationship between bending intensity and moisture content

3 结论

(1) 含水率是影响棉秆抗压强度、剪切强度、抗

弯强度等力学性能的重要因素之一。

(2) 试样含水率在 30% ~ 50% 时,棉秆底部和中部抗压强度、剪切强度较小,且变化幅度也小;棉秆抗弯强度随着其含水率的升高而降低。因此,棉秆含水率在 30% ~ 50% 时,进行棉秆收割比较适宜。

(3) 不同批次试样底部的抗压强度间有较显著差异 ($P < 0.1$)、剪切强度有显著差异 ($P < 0.05$)、弯曲强度影响不显著但有影响 ($P < 0.25$)。第 4 批次试验中棉秆试样底部的剪切强度、抗压强度、抗弯强度相对较小。第 4 批次和第 5 批次试验中试样消耗的功较小。从时间上看,棉秆试样在第 4 批次试验前、后一段时间内适宜进行收割。

参 考 文 献

1 高梦祥,郭康权,杨中平,等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报,2003,34(4):48~51.
Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(4):48~51. (in Chinese)

2 廖宜涛,廖庆喜,田波平,等. 收割期芦竹底部茎秆机械物理特性参数的试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(4):124~129.
Liao Yitao, Liao Qingxi, Tian Boping, et al. Experimental research on the mechanical physical parameters of bottom stalk of the *Arundo donax* L. in harvesting period[J]. Transactions of the CSAE, 2007,23(4):124~129. (in Chinese)

3 赵湛,李耀明,徐立章,等. 超级稻单茎秆切割力学性能试验[J]. 农业机械学报,2010,41(10):72~75.
Zhao Zhan, Li Yaoming, Xu Lizhang, et al. Experiment on cutting mechanical property of single super rice stalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(10):72~75. (in Chinese)

4 GB/T 1931—2009 木材含水率测定方法[S].

5 安珍. 沙柳材切削加工性能研究[D]. 北京:北京林业大学,2006.
An Zhen. Study on the cutting performance of salix[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006. (in Chinese)

6 GB/T 1935~1937—2009 木材物理力学性质试验方法[S].

7 梁莉,郭玉明. 作物茎秆生物力学性质与形态特性相关性研究[J]. 农业工程学报,2008,24(7):1~6.
Liang Li, Guo Yuming. Correlation study of biomechanical properties and morphological characteristics of crop stalks[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(7):1~6. (in Chinese)

8 周祖谔. 农业物料学[M]. 北京:农业出版社,1990.

9 吴杰,黄勇,王艳云,等. 棉秆轴向压缩特性的试验研究[J]. 农机化研究,2004(4):148~152.
Wu Jie, Huang Yong, Wang Yanyun, et al. Study on axial compression properties of cotton stalks[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004(4):148~152. (in Chinese)

10 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

11 金仲辉. 大学物理[M]. 北京:中国农业大学出版社,2006.

12 王艳云,苏萍. 棉秆压缩力学特性的研究[J]. 农机化研究,2006(6):171~172.
Wang Yanyun, Su Ping. Research of mechanics characteristics for cotton stalks compression[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(6):171~172. (in Chinese)

13 徐学耘. 棉秆原料的初步分析[J]. 建筑人造板,1994(3):24~30.