

秸秆物料力学特性试验台及其测控系统的研制

孟海波¹, 韩鲁佳¹, 王继承²

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083; 2 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 为研究秸秆物料力学特性, 解决秸秆加工机具参数优化设计等问题, 设计研制了一种用于进行秸秆物料力学特性试验的装置, 该装置主要有加速系统、数据采集系统和控制系统三部分组成, 采用了先进的数据采集分析系统和高速摄影技术, 结构简单, 操作简便。经过试验表明, 利用该测试系统可以对秸秆物料进行破碎加工组合设计试验, 研究物料的机械力学特性, 探讨秸秆破碎机理, 为开展这方面研究提供了一种可靠、有效的方法和工具。

关键词: 秸秆; 力学特性; 试验台; 测控系统

中图分类号: S12; S226 79

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)05-0077-04

孟海波, 韩鲁佳, 王继承 秸秆物料力学特性试验台及其测控系统的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 77- 80

Meng Haibo, Han Lujia, Wang Jicheng Development of the test-bed for testing the mechanical properties of straw materials[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 77- 80 (in Chinese with English abstract)

0 引言

农作物秸秆是重要的生物质资源, 全世界年产近 20 亿 t 的秸秆, 中国秸秆资源也十分丰富, 每年生产 6.4 亿 t 的秸秆^[1]。合理利用秸秆已经引起了社会的广泛关注, 其中将其作为青贮饲料的技术已得到普遍认可和推广, 对秸秆进行其它加工利用的途径和方法也越来越多, 促进了相应加工设备、机具的研究与应用。秸秆物料的力学特性是设计、改进加工机具与加工工艺的重要依据, 其在加工过程中所需要的破碎力、破碎能等力学性能为机具确定和选择合理的工作参数、工作方式以及功率配备等提供理论基础, 据此, 还可以对机具关键工作部件(如粉碎机的锤片、铡草机和揉切机刀片等)的失效状况进行分析等。国内外一些学者在这方面进行了一些科学研究。德国学者 O'Dogherty 等对小麦秸秆的物理机械特性进行了试验研究^[2], 孙骊等对往年收获的干麦秸和乳熟期的绿麦秆的压缩、剪切性能做了测试和研究^[3]。吴凤生等研究设计的秸秆粉碎还田装置, 采用立式刀盘旋切机构, 克服了稻、麦等秸秆韧性大难以切断和打碎的困难^[4]。李媛对玉米秸秆进行了三点弯曲、轴向剪切和径向剪切试验研究^[5]。马素玲在改装的试验台上对玉米秸秆的揉切特性进行了试验研究^[6]等, 以上研究大多在较为缓慢的加载条件下进行的。另外, 张晋国等利用自制的秸秆切碎试验台研究了不同含水量的麦秸在不同切刀速度以及有定刀和无定刀情况下的切断

率^[7]。吴子岳等在自制的秸秆切碎试验台上对两端自由支撑条件下玉米秸秆的切断速度和切断功耗进行了正交试验^[8]。毛罕平等研究认为在无支撑状况下, 要完全切碎玉米秸秆(长度小于 10 cm)切刀的刀端线速度需达到 34 m/s^[9]。高梦祥等对玉米秸秆的茎叶连接处、叶鞘的抗拉特性和茎秆、叶鞘的抗冲击特性进行了测试^[10]。尚士友等在研究柔性沉水植物收获机械的过程中, 对沉水植物的主要力学特性进行了试验研究^[11]。袁志华等根据力学理论和方法, 通过对农作物茎秆的内在机械性质进行力学分析和综合评价, 为作物抗倒伏品种的选育、收获机械的设计、秸秆的综合利用提供参考^[12]。

但是, 由于秸秆物料的力学性质与工程材料相比存在较大差异^[13], 受力变形较大且尺寸形状不规则, 不容易加工成合适的试样, 所以秸秆物料力学特性的测定很难实现。目前在这方面普遍使用的仪器设备和测试手段还不成熟, 一方面测量精度和研究效率较低, 另一方面, 试验研究局限于静态或准静态状况下进行, 不符合加工机具的实际工况(多数秸秆加工机具的工作转速较高)。更重要的问题是在实际生产中, 由于工况复杂, 环境恶劣等原因, 往往难以获得有关的测试参数。为了研究秸秆在工况下的力学特性, 探讨秸秆物料的破碎机理, 本文专门设计研制一种剪切特性试验装置及其测控系统, 研究秸秆物料在加工过程中表现出的力学特性, 特别是在较高速度下进行剪切试验, 获得相关的试验数据并进行正确处理。

1 试验台总体设计

如图 1 所示, 该试验台主要由机架、电动机、平面滑板、载物架、数据采集及处理系统、定位滑轮、控制系统、加速轮、工作刀片、光线灯、高速摄像机、行程开关、惯性制动板等部件构成, 分为加速系统、测试系统和控制系统三部分。一般生产加工工况下, 秸秆物料是静态的, 加工刀片在运动, 该装置设计刀片静止, 而秸秆物料运动,

收稿日期: 2004-04-05 修订日期: 2004-09-20

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划(2002BA 514A- 11); 国家农业科技成果转化资金(02EFN 216900724)

作者简介: 孟海波, 男, 博士生, 研究方向为生物质资源开发与利用。北京海淀区清华东路 17 号 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 100083。Email: newmh7209@163.com

通讯作者: 韩鲁佳, 博士, 教授, 博士生导师, 北京海淀区清华东路 17 号 中国农业大学(东区)191 信箱 现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 100083。Email: hanlj@cau.edu.cn

这样可以在刀片上安装传感器或粘贴应变片以采集有关参数。加速系统主要用来完成对切割样品的加速,速度可以由低到高连续调节。测试系统则主要采集、存储试验数据并进行正确的处理。控制系统主要通过安装在机架上的控制面板来操作,控制试验台的开启,实现电路畅通,并保证试验安全。工作时,将秸秆试样置于载物架上,控制系统接通电源并启动电动机,调节电动机转速后开启离合器开关,加速轮带动加速线旋转,与加速线连接的载物架以一定速度运动与工作刀片切割碰撞,同时数据采集及处理系统获取相关数据,切割完成后载物架触发行程开关制动,一次试验流程完毕。

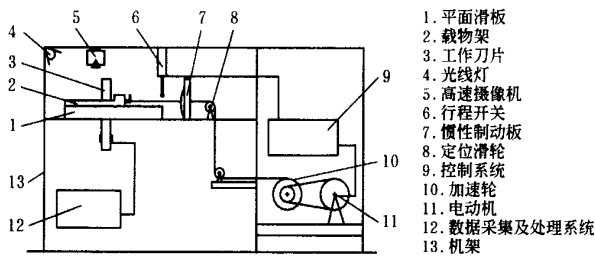


图 1 秸秆物料剪切试验台总体设计简图

Fig 1 Diagram of test-bed for cutting straw materials

加速轮半径选取,经过增速后加速轮半径可以适当变小,为方便铸造,取 $R = R_1$, 加速轮和电动机轴皮带轮的尺寸规格相同,这样在制造过程中可以采用相同工艺一次加工完成。

2 3 其它部件的选定与设计

如图 2 所示,为保证速度和功率顺利传递,设计传动轴与加速轮通过一个电磁离合器 9 联结,试验进行时电机带动传动轴旋转平稳后,可控制加速轮工作,便于准确可靠地获得有关参数。设计制作平面滑板 5 以减小摩擦阻力,两个定滑轮 6 和滑板上两边安装导向轨以限制载物架的运动方向。

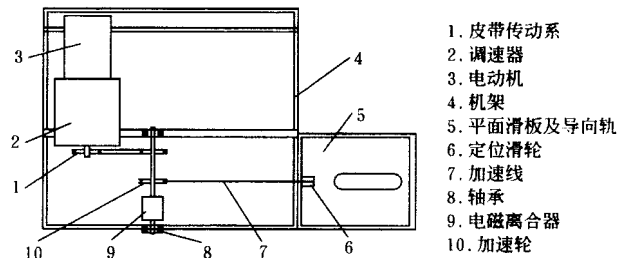


图 2 加速系统简图

Fig 2 Diagram of the test-bed for accelerating system of straw materials

2 试验台加速系统

该试验台的三部分工作系统中,加速系统是关键部分,其基本要求是既要保证短时间内迅速达到所要求的剪切速度,还要实现能够连续调节剪切速度,同时应保证运行平稳。如图 2 所示,加速系统主要包括皮带传动系、调速器、电动机、机架、平面滑板、定位滑轮、加速线、轴承、电磁离合器和加速轮等。

2 1 电动机的选定

采用电磁调速电动机,转速范围 120~ 1500 r/m in, 可以在允许范围内连续调节以达到试验所需要的剪切速度。

2 2 传动系的选定与设计

传动系选定带传动,采用普通 V 带 A 型,其主要特点是带与轮槽附着力大,当量摩擦系数较大,允许包角小,传动比较大,中心距较小,预紧力小,传动功率较大。带轮设计成双槽腹板式,铸造加工。保证结构简单,传动平稳,提高效率。

传动比的设计,假设电动机上皮带轮转速为 n_1 , 半径为 R_1 , 传动轴转速为 n_2 , 传动轴上皮带轮半径为 R_2 , 加速轮的半径为 R , 试验要求达到的线速度为 v , 依据运动学规律,传动比 i 可表示为式(1)

$$i = n_2/n_1 = R_1/R_2 \quad (1)$$

所需线速度可表示为式(2)

$$v = 2\pi n_1 i R \quad (2)$$

为使得试验台的结构尽量紧凑,体积减小,同时因电动机转速最高为 1500 r/m in, 为满足试验要求,需要采取增速,故在此取 $i = 2$, 即传动轴的转速范围为 240 ~ 3000 r/m in。查机械设计手册确定中心距为 240 mm。

3 试验台测试系统

3 1 测试原理

试验研究最终是为了准确地获得有关的参数,从而为研究参数之间的内在联系进而探讨科学规律提供数据,测试系统是获得参数的主要工具和手段。本试验台测试系统采用应变仪电测法,依据力学公式(3)

$$\epsilon = M/W \cdot E \quad (3)$$

式中 ϵ ——材料被测试截面处的应变; M ——材料被测试截面处的弯矩; W ——材料被测试截面处的抗弯截面模量; E ——材料的弹性模量。

测试系统如图 3 所示,主要由工作刀片、工作应变片、电桥盒、超动态应变仪、计算机和固定基座组成。

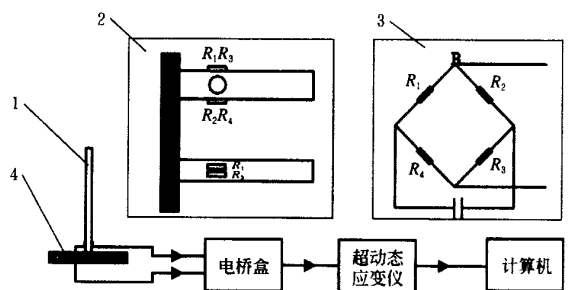


图 3 测试系统示意图

Fig 3 Schematic diagram of test-bed for testing system of straw materials

工作刀片工作时一端固定,另一端即刃口部分承受来自秸秆的载荷,可以将其简化为悬臂梁,如图 4 所示,

秸秆切割阻力 P 对刀片产生弯矩, 粘贴应变片处截面的弯矩 $M = Pa_0$ 。应变片的应变通过超动态应变仪测得 ϵ , 据公式(3) 可求得剪切力的大小。

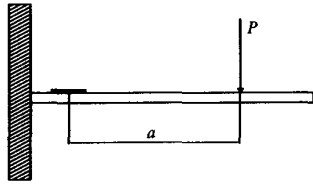


图 4 测试刀片原理图

Fig. 4 Diagram of principle for testing cutter

3.2 粘贴应变片

本系统选用的是胶基应变片 BE120-3AA, 电阻值为 $(119.8 \pm 0.1) \Omega$, 灵敏度系数为 $2.23 \pm 1\%$, 能够耐高温、防潮和绝缘, 适合于潮湿的天气、水中、长时期的测定。粘贴应变片工艺包括平整表面、划线、涂胶贴片、干燥固化、连接导线以及防潮保护。使用的主要仪器材料有金刚砂纸(2#、1#、0#), H-610 胶(两组分), 红外灯、电吹风、烘箱等。

工作刀片贴好应变片后, 在应变片、连接线以及端子上面涂一层硅胶, 主要为了防止因受潮、磨损等原因引起内部短路, 影响测试结果。

3.3 测量电桥

采用全桥接法, 如图 3 所示, 其测量原理如(4) 式所示

$$\epsilon = V_o / (E_g K K_F) \quad (4)$$

式中 ϵ ——输入应变量, $\mu\epsilon$; V_o ——低漂移仪表放大器的输出电压; E_g ——桥压; K ——应变片灵敏度系数; K_F ——放大器的增益。

这样, 确定 K_F , 测量结果由计算机软件加以修正即可准确测量输入应变量。

3.4 电阻应变测试

电阻应变片粘贴在构件上, 随同构件一起变形, 应变片的电阻也随之发生变化, 这种变化非常小, 需要用专门仪器来测量, 本系统选用 DH-5935 动态应变测试系统, 测量频率范围为 0~ 20 kHz, 8 通道。该系统可以完成由应变片组成的电桥以及桥式传感器输出信号的调理、预处理和采样, 并实时传送至计算机对信号进行存储和处理, 能够自动、准确、可靠地测试应力应变、力、位移和速度等物理量。

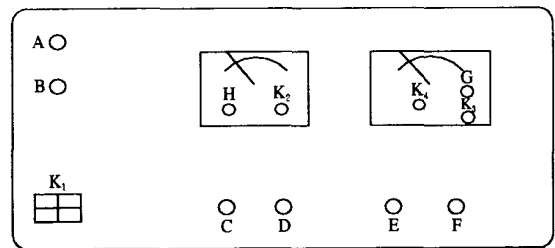
3.5 高速摄影系统

秸秆物料加工过程是一个快速运动过程, 为准确地描述作用过程, 本系统安装了高速摄影系统(如图 1 所示), 以极高的时间分辨率对快速剪切过程进行照相记录, 将获取的信息记录在按时间发展顺序的一幅幅图片上, 通过慢速放映, 再现被记录过程的运动或变形过程, 即通过对时间尺度的放大来研究快速过程的特性。由此可以较为直观地分析秸秆物料在切割过程中地运动状况, 同时可以通过对被切割物料进行标记, 定量地分析切割运动过程中切割速度、加速度等的变化情

况, 据此建立相应的数学模型。高速摄影系统主要由高速 CCD 摄像机、图像采集卡、光缆、远程控制器、主控制器和计算机操作系统等组成。采用瑞士 AOS 公司生产的 VITcam 彩色摄像机, 其最高频率可达 32000 幅/s。

4 试验台控制系统

由于秸秆物料的切割过程速度很快, 作用时间短, 所以准确控制试验台的工作过程显得非常重要。为此, 专门设计了一套控制系统, 如图 5 所示, 主要包括控制面板、指示灯开关、行程开关及联结电路等, 用以完成试验过程的启动、运行和关闭等功能。试验时, 总开关 K_1 打开, 指示绿灯 B 亮, 整个装置开始供电, 同时指示红灯 C 和 E 均亮, 表明电动机和电磁离合器均未工作, 待切割物料安装完毕, 启动电动机开关 D, 电机工作, 调节 K_4 , 将电动机转速调至试验所需大小, 启动电磁离合器开关 F, 切割运动开始, 直至载物架触发行程开关, 后者与电动机开关 C、离合器开关 E 连接, 关闭电机和离合器, 一次切割完成。



K_1 —试验装置及系统总开关 K_2 —电压测试仪开关 K_3 —调速离合器开关 K_4 —调速开关 A、B、C、D、E、F—控制系统指示灯开关

图 5 控制面板图

Fig. 5 Diagram of controlling system

控制系统中, 将行程开关设计成沿导轨方向自由移动的形式, 可以根据秸秆性状的不同而调节切割行程。另外, 在行程开关之后加装一块惯性制动板, 以阻止载物架的惯性运动, 保护试验装置, 节约操作时间。

工作刀片由定位螺钉固定在试验台上, 刀片与铅垂方向的夹角可以进行调节, 从而实现滑切和砍切的转换, 考察在两种切割方式下秸秆的力学特性等。试验台的载物架上设计安装了可拆卸的定刀以完成对秸秆有无定刀扶持切割的试验等。

5 实际应用效果

利用本试验装置进行剪切加工试验, 试验材料为室内晾干的农大 95 玉米秸秆, 经过喷水处理, 含水率大约为 8%~ 10%, 锯切成 20~ 30 cm 长, 采用砍切的切割方式, 进行了玉米秸秆无支撑切割试验, 考查在无支撑的条件下, 切割速度对切割玉米秸秆的切割阻力的影响。切割速度由调速电动机来实现, 切割阻力通过计算机软件—东华数据采集系统获取, 如图 6 所示, 即为动态载荷信号采集的界面显示。

将所得试验数据转换为 Excel 文件, 并进行处理得结果如图 7 所示。

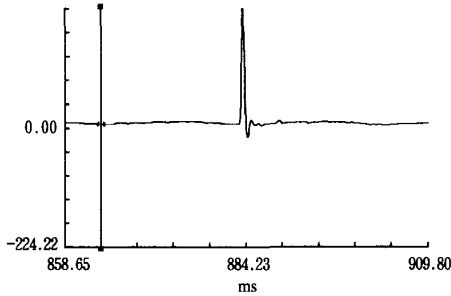


图 6 数据采集分析系统采集动态剪切载荷信号

Fig 6 System for data acquisition of dynamic loading signal

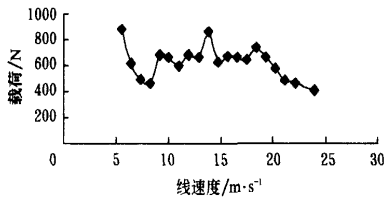


图 7 玉米秸秆切割阻力随剪切速度变化曲线

Fig 7 Variation of cutting resistance with cutting speed under supportless cutting of corn straw

试验结果表明, 秸秆在剪切过程中所需剪切力与剪切速度有一定的相关关系, 剪切速度是影响秸秆力学特性的一个重要因素。在试验过程中, 不仅实现了剪切速度的连续调节, 而且还可以实时的采集数据并利用计算机进行及时处理, 尽快得出试验结果, 提高了数据处理效率和可靠性。

由于秸秆的剪切过程受到多种因素的影响, 如秸秆性状(含水率、生长位置、成熟度、品种等)、切割方式(如砍切、滑切)、支撑状态等, 考查秸秆的剪切特性需要进行多因素组合试验, 在该试验装置上可以实现。另外, 该试验装置还可以通过高速摄影观察分析秸秆的切割运动过程, 进一步研究秸秆的破碎机理等。

6 结论

1) 该试验装置及测控系统实现了可控连续改变切

割速度, 并实时进行数据采集分析, 能够在动态剪切过程中测试剪切力。

2) 在试验台上能够进行组合设计试验, 可以综合考查影响秸秆剪切特性的各种因素。

3) 通过高速摄影进行观察分析, 可以研究秸秆的破碎机理, 进一步探讨这种机理在加工机具设计研究中的应用, 为新机具的改进和设计提供理论基础。

4) 测控系统中采用了先进的数据采集分析系统, 可以实时采集数据并能够转换为其它格式的文件进行数据处理, 显著提高了数据处理的效率和可靠性。

[参 考 文 献]

- [1] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J] 农业工程学报, 2002, 18(3): 87- 91
- [2] O'dogherty M J. A study of the physical and mechanical properties of wheat straw [J] Agric Engng Res, 1995, 62: 133
- [3] 孙 骊, 赵豪杰, 李锁年 麦秸压缩剪切特性的研究[J] 西北农业大学学报, 1998, 26(4): 106- 109
- [4] 吴凤生, 金 梅 4Q-31 型稻麦秸秆粉碎还田装置的结构设计[J] 农业工程学报, 1998, 14(3): 248- 250
- [5] 李 媛 新型秸秆揉切机的研究[D] 北京: 中国农业大学, 1999
- [6] 马素玲 玉米秸秆揉切特性及其虚拟仪器测试系统的研究[D] 北京: 中国农业大学, 2000
- [7] 张晋国 带状粉碎免耕播种机的试验研究[D] 北京: 中国农业大学, 2001
- [8] 吴子岳, 高焕文, 张晋国 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J] 农业机械学报, 2001, 32(2): 38- 41
- [9] 毛罕平, 陈翠英 秸秆还田机工作机理与参数分析[J] 农业工程学报, 1995, 11(4): 62- 66
- [10] 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): 47- 52
- [11] 尚士友, 李旭英, 杜健民, 等 柔性沉水植物切割拾装置的试验研究[J] 农业工程学报, 1998, 14(4): 119- 123
- [12] 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
- [13] 孙竹莹, 梁鸿馨 玉米秸皮糞分离及综合利用研究[J] 农牧产品开发, 1999, (5): 17- 18

Development of the test-bed for testing the mechanical properties of straw materials

Meng Haibo¹, Han Lujia¹, Wang Jicheng²

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration, Ministry of Education,

Beijing 100083, China; 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: A kind of test-bed was designed to study the properties of straw materials and to solve some problems, such as optimization of parameters of processing machine. There were three sections including acceleration system, testing system and controlling system in the tester. An advanced system of data acquisition and analysis and high speed camera were applied. It has simple structure and it is easy to be operated. It is showed that some experiments to test the properties of straw materials can be done, and the theory of straw crush can also be researched on the test-bed. It is also an effective method and credible instrument.

Key words: straw; mechanical properties; test-bed; testing and controlling system