

曲柄连杆式棉秆切割试验台设计与试验*

宋占华¹ 肖 静² 张世福¹ 李玉道¹ 杜现军² 李法德³

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东岱阳重工机械有限公司技术中心, 泰安 271000;
3. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018)

【摘要】 为研究棉花秸秆切割性能,为棉秆切割收获装备的开发提供技术支持和理论依据,设计了可模拟棉秆不对行切割收获过程的曲柄连杆式棉秆切割试验台。试验台的棉秆喂入输送速度与切割速度为0~2 m/s、切割倾角为0°~15°,并对样机的工作性能和棉秆切割性能进行了试验研究。试验结果表明,空载时切割器阻力的峰值随着割刀平均切割速度的增加而增大,单个工作周期内的切割器阻力功耗基本不受平均切割速度变化的影响;棉秆峰值切割力随割刀平均切割速度的增加而降低,切割棉秆单位消耗功随割刀平均切割速度的增加而减小。

关键词: 棉秆 切割 试验台 曲柄连杆机构

中图分类号: S225.91+2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0162-06

Design and Experiment on Crank-connecting Rod
Cotton Stalk Cutting Test Bench

Song Zhanhua¹ Xiao Jing² Zhang Shifu¹ Li Yudao¹ Du Xianjun² Li Fade³

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China
2. Technique Center, Shandong Daiyang Heavy Industry Co., Ltd., Taian 271000, China
3. Shandong Province Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Taian 271018, China)

Abstract

In order to research cutting performance of cotton stalk for giving technical support and theoretical basis of the development of cotton stalk harvester, a crank-connecting rod cotton stalk cutting test bench was designed which could simulate the cutting harvest of cotton stalk with regardless of row. The feed conveying speed and the cutting speed of cotton stalk were regulated from 0 to 2 m/s and the cutting angle was adjusted from 0° to 15°. The working performance of prototype and the cutting properties of cotton stalk were investigated. The results indicated that the peak of cutter resistance increased with the increase of the average cutting speed and the change of average cutting speed had no effect on the power consumption of cutter resistance in a working cycle when the cutting test bench was under no load running. In addition, the peak of cotton stalk cutting force and the power consumption that the unit cotton stalk was cut decreased with the increase of average cutting speed in the process of cutting cotton stalk.

Key words Cotton stalk, Cut, Test bench, Crank-connecting rod mechanism

引言

作物茎秆切割是联合收获机田间作业的一项重要工序,其切割性能直接影响到作物的收获效率。田间作物茎秆切割试验参数是衡量作物茎秆切割性能的重要指标,但采用收获机械直接进行

田间切割试验获取作物茎秆切割参数时,存在收获季节性强、田间种植情况千差万别、试验重复性差、难度大和采集的数据精度不高等问题^[1]。因此,为获得高精度的作物茎秆切割试验参数,一些学者研制了多种类型的作物茎秆切割试验装置,并对甘蔗、水稻、玉米等作物茎秆进行了切割试验

收稿日期: 2011-07-19 修回日期: 2011-09-07

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

作者简介: 宋占华,博士生,主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: songzh6688@163.com

通讯作者: 李法德,教授,博士生导师,主要从事新型农业装备、农产品加工机械研究, E-mail: li_fade@yahoo.com.cn

研究^[2-4]。

单圆盘刀片式切割试验装置是研究较多的一类切割装置,属于回转式切割类型,国内外一些学者利用该类试验装置对圆盘倾角、刀片倾角和圆盘转速等因素对甘蔗等茎秆的切割性能影响进行了试验研究^[2,5]。摆锤式切割试验装置是另外一类研究较多的切割装置,它通过改变摆锤的角度来获得不同的切割速度,学者们利用该装置主要从切割速度方面对玉米、超级稻等茎秆作了切割试验^[3-4]。国内学者对往复式切割方式的装置也进行了相关研究,有利用冲击气缸带动一侧有刀的动刀作往复运动对甘蔗进行切割试验^[6]以及利用液压马达通过曲柄传动机构带动一侧有刀的动刀作往复运动,对野生柠条作过切割试验^[7]。另外,一些学者设计了利用贮能弹簧驱动刀片运动的单刀切割试验装置,并对甘蔗茎秆作了切割试验^[8];还有学者研制了回转切割类型的圆盘锯齿式切割试验装置和锯齿回转链式切割试验装置,并对大豆、棉花、芦竹等作物茎秆进行了切割试验^[9-11]。

以上作物茎秆切割试验装置,能够完成作物茎秆切割试验,并获取准确的茎秆切割试验参数,但回转式切割试验装置需要的功率较大,而摆锤式、往复式及其他形式的切割试验装置只能完成单茎秆切割试验,不能实现作物茎秆连续切割和模拟作物茎秆田间切割收获过程,并且都未研究空载状态时切割器的切割阻力及其功耗随切割速度变化的情况。另外,对棉秆切割试验研究的报道甚少,仅少数研究者利用万能试验机对棉秆的力学性能进行过研究^[12-14]。棉秆是一种木质化程度高的作物茎秆^[15],其茎秆的硬度和刚度大,易造成棉秆切割器功耗大、磨损快。针对上述问题,本文设计一种曲柄连杆式棉秆切割试验台,可模拟收获机在田间对作物茎秆的实际切割过程,尤其是模拟棉秆的切割收获过程。

1 试验台整体结构与工作原理

1.1 整体结构

曲柄连杆式棉秆切割试验台主要由棉秆喂入输送装置、割台、测控系统、机架、拨禾轮机构、割台倾角调节机构和切割电动机等组成,一次完成棉秆喂入、切割、横向输送铺放和切割数据采集等作业,如图1所示。拨禾轮机构由多齿拨禾星轮和压禾弹簧等组成,倾斜安装在割台的前部,起到拨禾、扶禾和保持禾秆直立横向输送的作用。割台倾角调节机构采用左、右旋螺杆构件,实现试验台在0~15°切割倾角范围内的切割试验研究。

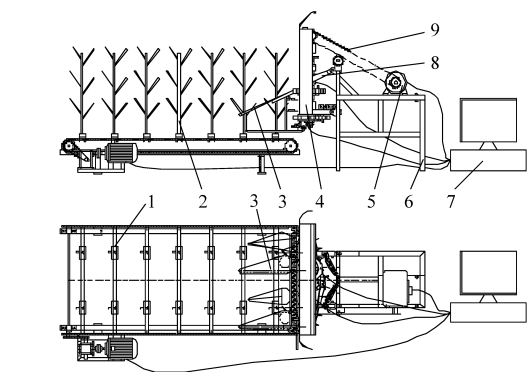


图1 棉秆切割试验台整体结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of cotton stalk cutting test bench

1. 棉秆喂入输送装置 2. 棉花秸秆 3. 拨禾轮机构 4. 割台
5. 切割电动机 6. 机架 7. 测控系统 8. 割台倾角调节机构
9. 链条

1.2 工作原理

试验用的棉秆固定于棉秆喂入输送装置上,打开工控计算机进入测控系统界面,启动切割电动机,设定切割电动机转速,使切割器割刀的平均切割速度达到试验要求。启动棉秆喂入输送装置的喂入电动机(图2),设定该电动机转速,使棉秆喂入输送速度达到试验要求,连续地完成棉秆喂入。单击数据采集按钮,实时采集扭矩传感器与拉压力传感器的信号。棉秆被割后,在割台齿带式输送器的作用下,被横向输送到试验台的一侧后铺放。试验完成后,停止电动机工作,将采集的试验数据保存、导出,以供数据查询、分析所用。

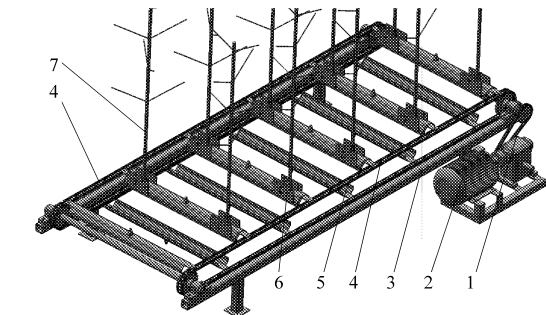


图2 棉秆喂入输送装置

Fig.2 Feeding device of cotton stalk

1. 动力传动系统 2. 喂入电动机 3. 机架 4. 喂入输送链
5. 链条连接板 6. 棉秆夹 7. 棉花秸秆

1.3 技术参数

按照棉秆切割技术的要求,确定了棉秆切割试验台的主要技术参数,如表1所示。

2 关键工作单元设计

2.1 棉秆喂入输送装置

棉秆喂入输送装置是独立的部分,主要由机架、喂入输送链、链条连接板、棉秆夹、喂入电动机和动

力传动系统等组成,如图 2 所示。通过调节喂入电动机转速,模拟收获机械在田间的不同作业速度。棉秆夹采用垂直“V”型槽(图 3),通过螺栓调节垂直“V”型槽的位置实现棉秆的夹持,然后将带有棉秆的棉秆夹安装在链条连接板上,并且通过调节棉秆夹与链条连接板在棉秆喂入输送装置上的位置,可以模拟田间不同行距和株距的作物种植情况^[14]。

表 1 棉秆切割试验台技术参数

Tab.1 Parameters of cotton stalk cutting test bench

参数	数值
棉秆切割速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0~2
棉秆喂入输送速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0~2
收割幅宽/mm	1 100
割茬高度/mm	≤ 100
切割电动机功率/kW	7.5
喂入电动机功率/kW	3
扭矩传感器量程/ $\text{N}\cdot\text{m}$	$0\sim\pm 100(\pm 0.25)$
拉压力传感器量程/kg	$0\sim 500(\pm 1)$
数据采集频率/Hz	5 000
数据采集通道数/个	2

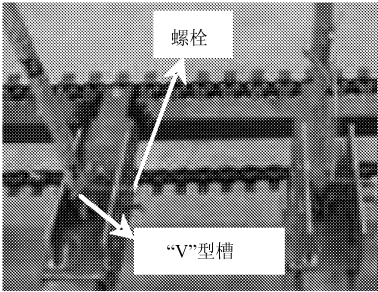


图 3 棉秆夹

Fig.3 Clamp of cotton stalk

2.2 割台

割台是棉秆切割试验台的关键工作单元,主要完成棉秆的切割和割后横向输送工作。主要由切割器、曲柄连杆机构、齿带式输送器、V 型胶带传动系统、圆锥齿轮传动机构、固定架、导向槽、TQ-660 型扭矩传感器和护罩等组成,其结构如图 4 所示。其中,从割台结构紧凑性、扭矩传感器便于安装等角度考虑,曲柄连杆机构采用偏置立轴式结构^[16]。动力在圆锥齿轮传动机构的作用下,从水平方向上传递到竖直方向,再通过曲柄连杆机构传递给切割器,使切割器完成棉秆切割工作。动力在 V 型胶带传动系统的作用下,传递给齿带式输送器,使其完成棉秆横向输送工作。

2.2.1 齿带式输送器

齿带式输送器主要由上、下两条等距拨齿输送带组成,宽度为 50 mm,拨齿间距为 130 mm。其作

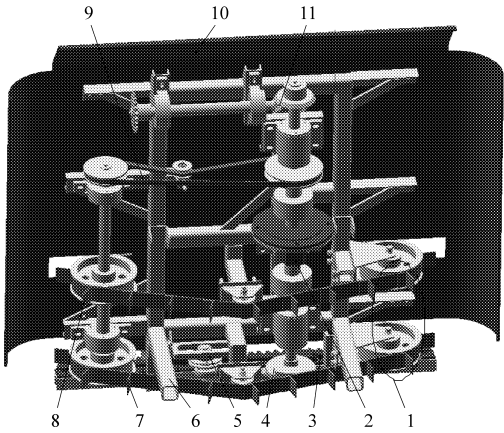


图 4 割台结构

Fig.4 Structure of header

1. 齿带式输送器 2. 扭矩传感器 3. 切割器 4. 曲柄连杆机构
5. 导向槽 6. 固定架 7. 下拨齿输送带 8. 上拨齿输送带
9. V 型胶带传动系统 10. 护罩 11. 圆锥齿轮传动机构

用是将切断后呈直立状态的茎秆及时、均匀、连续地横向输送到试验台一侧。由于棉秆较为粗大,拨齿选用钢板齿,拨齿高度为 50 mm。在立式割台上,基于茎秆先割后输的要求^[16],胶带齿顶与动刀顶部的距离定为 50 mm。

2.2.2 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构将动力直接传递给切割器,驱动切割器完成对棉秆的切割工作。主要由配重块、曲柄盘、杆端关节轴承、拉压力传感器和滑块等组成,如图 5 所示。其中,两个杆端关节轴承与拉压力传感器通过螺纹连接构成连杆,易于调节连杆长度,保证曲柄连杆机构运动平稳。通过圆锥销将曲柄盘连接到竖轴上,便于曲柄盘更换,从而改变曲柄回转半径,以适应不同类型的切割器。拉压力传感器作为连杆的一部分,有利于棉秆切割力的准确采集。

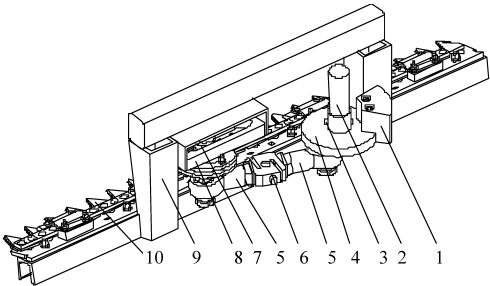


图 5 曲柄连杆机构

Fig.5 Crank-connecting rod

1. 配重块 2. 竖轴 3. 圆锥销 4. 曲柄盘 5. 杆端关节轴承
6. 拉压力传感器 7. 滑块 8. 导向槽 9. 固定架 10. 切割器

2.3 测控系统

2.3.1 系统硬件

系统硬件主要由电动机控制系统、数据采集系

统和上位机等组成,如图 6 所示。电动机控制系统由变频器、切割电动机、喂入电动机和 RS232/485 接口转换器等组成,能实现割刀切割速度与棉秆喂入输送速度的调节。数据采集系统主要包括 TQ-660 型扭矩传感器、CZL-3E 型拉压力传感器、信号调理电路和数据采集卡等,可实现扭矩信号与拉压力信号的实时采集。

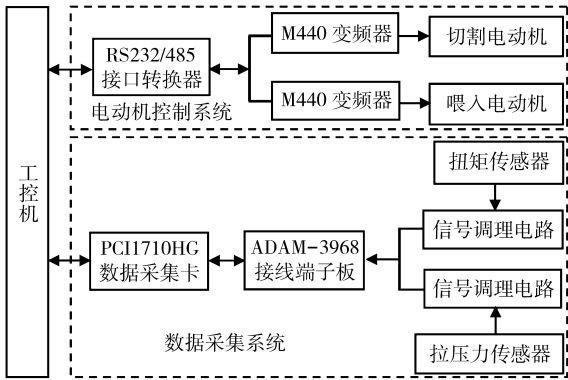


图 6 测控系统硬件结构示意图

Fig.6 Schematic diagram of hardware

2.3.2 软件

系统软件应用 LabVIEW 虚拟仪器技术中的图形化语言开发^[17],具有良好的操作性和人机交互界面,如图 7 所示。软件功能主要有电动机转速控制、电动机正反转、电动机启停、数据采集、数据分析与计算、图形绘制和数据查询与输出等。

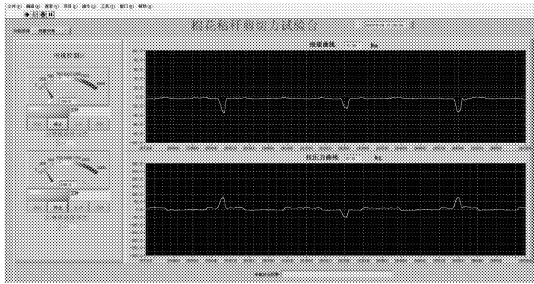


图 7 测控系统界面

Fig.7 Interface of measurement and control system

系统软件主程序流程如图 8 所示。首先在系统功能选项中选择切割电动机的控制按钮,并依据试验要求设定切割电动机的工作参数;然后,对喂入电动机进行控制,按试验要求设定该电动机的工作参数;最后,选择数据采集按钮,此时系统开始采集棉秆切割性能试验数据。待切割试验完成后,先停止切割电动机,然后再停止喂入电动机,最后停止采集数据,并保存试验数据。数据保存完成后,通过系统软件调入保存的试验数据,对其进行分析计算,并绘制相应的图形,整个试验结束。系统软件还可对棉秆切割次数和相应的时间进行记录,便于查询。

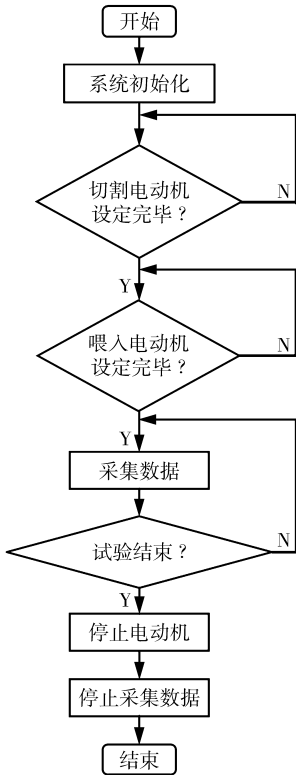


图 8 主程序流程图

Fig.8 Flow chart of main program

2.3.3 系统抗干扰措施

为保证系统连续、可靠地工作,正确采集扭矩与拉压力传感器的信息,必须解决相关的干扰问题。为提高系统的抗干扰能力,主要从硬件和软件两方面进行设计。硬件方面,整个试验台采用接地措施,进行抗干扰。数据采集卡选用带有光耦隔离作用的 PCI1710HG 型数据采集卡;信号线均使用屏蔽线。运行测控系统的工控机通过隔离变压器单独供电。软件方面,采用低通滤波技术,滤除干扰信号。设置软件“陷阱”,拦截跑飞程序,将其引向指定位置。采用软件“看门狗技术”,确保程序从死循环中自动恢复到正常运行^[18]。

3 试验

应用标准 V 型割刀的曲柄连杆式棉秆切割试验台(图 9)调试完成后,首先对试验台在不同平均切割速度下进行了空载试验,试验结果如图 10 所示。在不同平均切割速度下,用直径为 15~16 mm、含水率为 20.3%、株距为 300 mm、行距为 600 mm 的创新棉“958”进行棉秆切割性能试验,试验结果如图 11 所示。从图 10 中可知,割刀空载时单位长度内切割器阻力(割刀惯性力和摩擦阻力的合力)随着平均切割速度的增大而增大,这主要是由于割刀惯性力随速度增大而增大造成的。割刀空载时单个工作周期内单位长度切割器阻力功耗基本不受平均切割速

度变化的影响,其值变化较小。由图 11 可知,棉秆峰值切割力和单位切割功都随着割刀平均切割速度的增大而降低,但并非呈明显的线性关系。这主要是因为棉秆相当于弹性体,在茎秆层内应变传递的速率很小,当刀刃以快速作用于茎秆层时,茎秆层的变形集中在刀刃附近^[19]。此外,当割刀的平均切割速度增大时,由于割刀的加速度增大,棉秆茎秆层的惯性也增大,被刀刃挤压的茎秆层厚度减小^[19],在切割点处茎秆传递变形的时间减少,故所需的功耗和切割力减小。

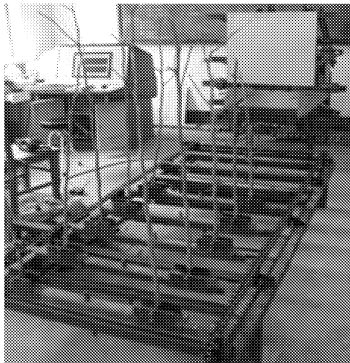


图 9 棉秆切割试验台

Fig. 9 Cotton stalk cutting test bench

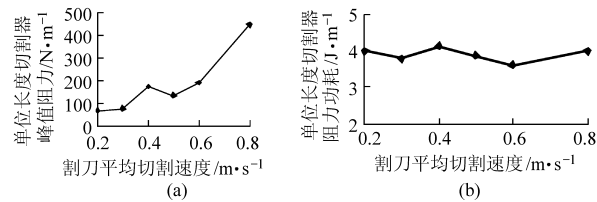


图 10 空载时切割器阻力和功耗的变化

Fig. 10 Cutter resistance and power consumption changes without load

(a) 单位长度切割器峰值阻力 (b) 单位长度切割器阻力功耗

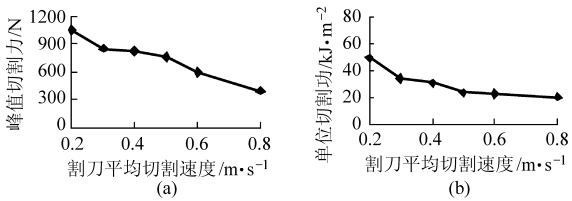


图 11 切割速度对棉秆切割性能的影响

Fig. 11 Influence of cutting speed

(a) 峰值切割力 (b) 单位切割功

4 结论

(1)曲柄连杆式棉秆切割试验台采用偏置立轴式曲柄连杆机构驱动割刀运动,便于扭矩传感器与拉压力传感器的安装。采用左、右旋螺杆构件调节割台切割倾角,使割刀在 0° ~ 15° 范围内对棉秆进行切割试验。棉秆喂入输送速度和切割速度在 0 ~ 2 m/s 范围内可调,并可模拟田间不同行距和株距种植的棉秆不对行切割收获过程。

(2)应用 LabVIEW 虚拟仪器技术中的图形化语言开发的测控系统软件,能够控制电动机启停与正反转并调节电动机转速。可实时采集数据,对数据进行分析与计算,并绘制相关图形。具有良好的操作性和人机交互界面。

(3)对曲柄连杆式棉秆切割试验台进行了空载切割试验和割刀平均切割速度对棉秆切割性能影响的试验。结果表明:空载时单位长度切割器峰值阻力随割刀平均切割速度的增大而增大,单个工作周期内单位长度切割器阻力功耗基本不受平均切割速度变化的影响;棉秆峰值切割力随着割刀平均切割速度的增大而降低,切割棉秆单位切割功随着割刀平均切割速度的增大而逐渐减小。

参 考 文 献

1 唐忠,李耀明,徐立章,等. 单茎秆切割试验台的设计与试验[J]. 农机化研究, 2009, 31(12): 141 ~ 143.
Tang Zhong, Li Yaoming, Xu Lizhang, et al. The design and test of single stem cutting test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(12): 141 ~ 143. (in Chinese)

2 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 光刃刀片切割甘蔗茎秆破坏过程高速摄像分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(10): 31 ~ 35.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. High-speed photography analysis on the damage process in cutting sugarcane stalk with smooth-edge blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(10): 31 ~ 35. (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 李耀明,秦同娣,陈进,等. 玉米茎秆往复切割力学特性试验与分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 160 ~ 164.
Li Yaoming, Qin Tongdi, Chen Jin, et al. Experimental study and analysis on mechanical property of corn stalk reciprocating cutting[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 160 ~ 164. (in Chinese)

5 Gupta C P, Oduori M F. Design of the revolving knife-type sugarcane basecutter[J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(6): 1 747 ~ 1 752.

- 6 黄汉东, 王玉兴, 唐艳芹, 等. 甘蔗切割过程的有限元仿真[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 161 ~ 166.
Huang Handong, Wang Yuxing, Tang Yanqin, et al. Finite element simulation of sugarcane cutting[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 161 ~ 166. (in Chinese)
- 7 陈诚, 俞国胜. 往复式灌木切割器滑切角对灌木切割的影响[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(2): 115 ~ 119.
Chen Cheng, Yu Guosheng. Effect of sliding cutting angle of bush reciprocating cutter on bush cutting[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2011, 33(2): 115 ~ 119. (in Chinese)
- 8 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 甘蔗茎秆切割力试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 90 ~ 94.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. Cutting force test of sugarcane stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 90 ~ 94. (in Chinese)
- 9 孙永海, 常振臣, 李宝霖, 等. 大豆收割机圆盘式切割器切割参数的研究[J]. 农业机械学报, 1999, 30(4): 26 ~ 30.
Sun Yonghai, Chang Zhenchen, Li Baolin, et al. Study on cutting parameters of disc cutters on soybean reaper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(4): 26 ~ 30. (in Chinese)
- 10 李景彬, 葛云, 朱江丽, 等. 棉秆切割性能的试验研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 136 ~ 139.
Li Jingbin, Ge Yun, Zhu Jiangli, et al. Experimental study on cotton stalk cutting harvester[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(1): 136 ~ 139. (in Chinese)
- 11 廖庆喜, 舒彩霞, 田波平, 等. 基于高速摄像技术的芦竹切割过程的研究[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(3): 415 ~ 418.
Liao Qingxi, Shu Caixia, Tian Boping, et al. Research on the cutting process based on high speed photography technology for the *Arundo donax* L. [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(3): 415 ~ 418. (in Chinese)
- 12 李玉道, 杜现军, 宋占华, 等. 棉花秸秆剪切力学性能试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 124 ~ 128.
Li Yudao, Du Xianjun, Song Zhanhua, et al. Test of shear mechanical properties of cotton stalks[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 124 ~ 128. (in Chinese)
- 13 杜现军, 李玉道, 颜世涛, 等. 棉秆力学性能试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 87 ~ 91.
Du Xianjun, Li Yudao, Yan Shitao, et al. Mechanics characteristics of cotton stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 87 ~ 91. (in Chinese)
- 14 杜现军. 棉秆力学特性研究与切割实验台的研制[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
Du Xianjun. Cotton stalk mechanical characteristics research and development of cutting test bench[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- 15 王锋德, 陈志, 董世平, 等. 自走式棉秆联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 66 ~ 70.
Wang Fengde, Chen Zhi, Dong Shiping, et al. Exploiture and experiment of self-walking cotton stalk combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 66 ~ 70. (in Chinese)
- 16 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- 17 杨乐平, 李海涛, 杨磊. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- 18 胡汉才. 单片机原理及接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- 19 卡那沃依斯基. 收获机械[M]. 曹崇文, 吴春江, 何保康, 等译. 北京: 中国农业机械出版社, 1983.