

悬挂农具作业动力学参数田间实时测试系统^{*}

许春林^{1,2} 李连豪³ 赵大勇^{1,2} 李向军² 李明金^{1,2} 张伟¹

(1. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319; 2. 哈尔滨市农业机械化研究所, 哈尔滨 150070;

3. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 为了满足农业机械研制过程中对多个动力学参数实时测试的需要, 在分析其他测试装置及原理的基础上, 将三销求和电路及测力销装置与农机通用的三点悬挂机构有机结合, 研制出三点悬挂式测力装置。以 LabVIEW 为开发平台, 针对所选传感器的特点, 开发出大功率(150 kW 以上)农机具动力学参数田间测试系统, 实现农机具的位移、动力输出轴转速和扭矩、输出功率、打滑率、水平牵引力以及油耗等参数的实时测试, 研制出 CTM-5000 型悬挂农机具田间综合测试系统, 分析了系统误差产生的根源, 并找出消除误差的措施。以拖拉机前、后配套农机具为试验对象进行了田间试验, 在室内与现有类似测试系统进行了比较验证, 试验运行和验证结果表明本系统测量数据可靠, 操作方便, 体现出其设计的合理性和优越性。

关键词: 悬挂农具 动力学 参数 传感器 实时测试系统

中图分类号: S221; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)04-0083-06

Field Real-time Testing System for Measuring Work Dynamic Parameters of Suspension Agricultural Implement

Xu Chunlin^{1,2} Li Lianhao³ Zhao Dayong^{1,2} Li Xiangjun² Li Mingjin^{1,2} Zhang Wei¹

(1. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China

2. Harbin Agricultural Mechanization Research Institute, Harbin 150070, China

3. College of Water and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to meet the development of agricultural machinery and the need for real-time testing of multiple dynamic parameters, three-points hanging type measuring force device was developed on the basis of principles of relative test devices, combined with three-pin summing circuit and measuring force pin with universal three-points hanging mechanism on agricultural machinery. According to the characteristics of selected sensors, and on the LabVIEW developing platform, a field test system on dynamic parameters for high-power suspension agricultural implement was developed. Suspension implements of displacement, power output axis speed and torque, output power, level traction, fuel consumption and other parameters were tested. Type CTM-5000 comprehensive field test system was developed. The source of systematic errors was analyzed. The way of avoiding the errors was found. With the front and rear of tractor supporting farm implements for a test object and comparing with the existing similar test system, results showed that the measurement data were reliable and easy to be operated. The system showed feasibility and advantages of this new design.

Key words: Suspension agricultural implement Dynamics Parameters Sensors Real-time testing systems

收稿日期: 2012-10-12 修回日期: 2012-11-19

^{*} “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A05-3)

作者简介: 许春林, 博士生, 哈尔滨市农业机械化研究所研究员, 主要从事耕作技术及机具研究, E-mail: xcl1980@vip.sohu.com

通讯作者: 张伟, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械研究, E-mail: zhang66wei@126.com

引言

截至 2011 年,我国农田耕、种、收的综合机械化程度达 54.5%。农业机械在农业生产中发挥着越来越重要的作用。农机具的性能测试在农机具设计及安全使用等方面具有重要的意义。传统农机测试采用试验仪器测量各个参数然后再进行数据合成。数据的测量和处理方法较落后,存在着功能单一、数据处理过程过于繁杂、可靠性差、精度不够、重复性差、效率低等问题^[1-3]。

目前,不少科研院所虽然研制出了不少适用于农机具动力学参数测试系统^[4],但多数是单个数据测量或局限于室内,没有考虑自然环境(工况)对配套农机具动力学参数的影响^[5-6]。

基于以上问题,本文开发一种适用于 150 kW 大功率拖拉机配套用悬挂农具的作业动力学参数的田间实时测试系统。该系统采用电子传感器、信号调理电路对多路信号进行数据采集并由数据处理软件对数据进行实时处理与存储,实现拖拉机配套农机具的前进速度、动力输出轴转速与扭矩、输出功率、打滑率、牵引力以及油耗等动力学参数的实时测试及相关测试数据的存储和分析。

1 系统组成与原理

系统的主要功能是实时同步测试并显示农机具的位移、动力输出轴转速与扭矩、输出功率、打滑率、农机具牵引力及油耗等作业的动力学参数。系统主要利用传感器将位移、扭矩和速度、转速、力以及油耗等物理量转换为电信号^[7-8],通过 PXI-6115 型同步数据采集卡和 N6008 型数据采集卡进行数据采集,前者接收来自拉力、转速以及油耗传感器的信号并送入 PXI 主机,后者接收来自机组位移和动力输出轴转速扭矩传感器的信号,也送入 PXI 主机,最后以数据表和曲线的形式实时显示和存储采集到的农机具动力学参数^[9]。系统组成如图 1 所示,传感器组在农机具上配置如图 2 所示。

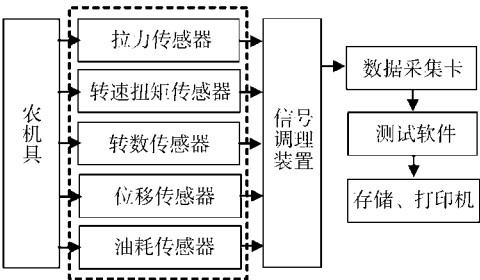


图 1 系统组成示意图

Fig. 1 Structural diagram of system

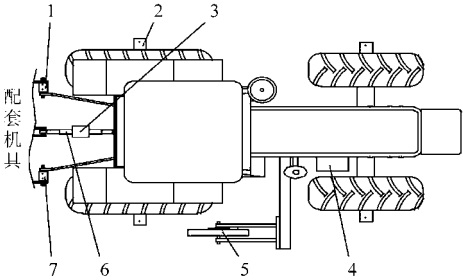


图 2 传感器配置示意图

Fig. 2 Diagram of sensor configuration

- 1. 左测力销(装于左下拉杆) 2. 转速传感器(装于驱动轴)
- 3. 转速扭矩传感器(装于动力输出轴) 4. 油耗传感器(装于发动机入油口)
- 5. 位移传感器(装于第 5 车轮) 6. 上测力销(装于中央拉杆)
- 7. 右测力销(装于右下拉杆)

2 传感器组成与标定

2.1 牵引力传感器

2.1.1 牵引力传感器选择

传统牵引力的测量一般都用五杆测力法^[10],但这种方法的缺点是处理数据比较复杂,并且对各杆件在空间的瞬间位置无完善的测量方法,因此本文采用三销求和电路和配备合适的测力销的方法来直接测量机组的水平牵引力,该方法具有结构简单、通用性好以及数据处理方便等特点^[11]。

2.1.2 测力原理

三销求和测力法是采用贴有应变片的特制测力销作为测力元件,并与恰当的电路相结合的一种测力方法。测力销的基本要求是能够分别测出机组的水平拉力和垂直力,一般都安装在农机具挂接点上,销的断面采用圆形,如图 3 所示。测力销的一端(根部)通过弯臂与机具的悬挂销相连接,另一端与拖拉机的下悬挂杆连接。

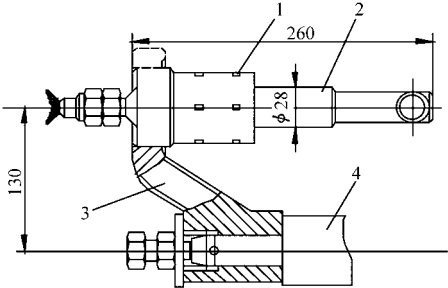


图 3 测力销

Fig. 3 Dynamometry pin

- 1. 应变片 2. 测力销 3. 弯臂 4. 悬挂销

安装时为防止机具俯仰、侧倾对结果的影响,下悬挂杆安装时不能进行拧转,工作时应消除垂直于杆方向上的弯力,以保证受力点与轴线重合并保护传感器不受弯力损坏。

其应变片及接桥方法如图 4 所示。R1、R2、

R1'、R2'为前、后农机具水平牵引力应变贴片,R3、R4、R3'、R4'为前、后农机具垂直分力应变贴片;在销的 A、B 2 个截面上共贴有 8 个应变片(每个截面 4 片)。R1 和 R2(包括 R1'、R2')用来测量农机具水平牵引力 P_x ;R3、R4(包括 R3'、R4')用来测量农机具垂直分力 P_y 。

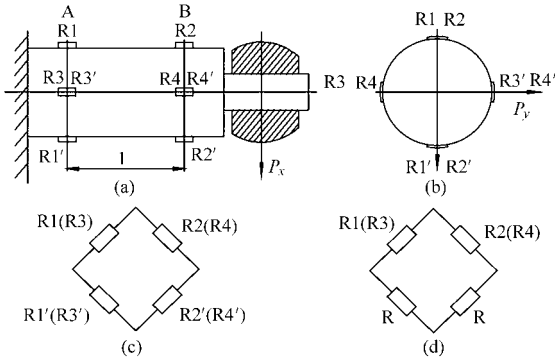


图 4 测力销贴片及接桥简图

Fig. 4 Sketch map of chip on force measuring pin and bridge connector

(a) 应变片贴片位(主视图) (b) 应变片贴片位(侧视图)
(c) 桥接电路 (d) 桥接转换电路

采用悬臂销测力时,由于结构的限制,往往要改变挂接点的位置,这样势必改变机组的力学性质,此外由于长期磨损产生间隙都可导致水平牵引力 P_x 或者垂直牵引力 P_y 的作用点发生变化,因此需要对图 4 的电路进行改进,由于测力销一般是 3 个(左、右测力销和上测力销),各销上相对应的应变片可并接到 1 个桥臂上。左、右测力销上 P_x 的方向是不同的,而所要得到的总牵引力应当是 2 个测力销上的水平力之和减去上测力销的水平力,因此需要设计合理的电路,即三销求和电路,如图 5 所示。三销求和电路工作原理是当传感器输出均在独立电源供桥作用串联时,根据戴维宁原理,传感器串联系统的电压输出为各个传感器输出电压之和,物理量转换为电信号,再通过转换为脉冲信号显示出来。因此,只要通过上述布置贴片就能直接得到机组的水平牵引力。测力销安装时其限位面应与农具机架水平面

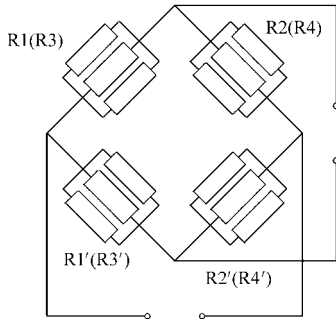


图 5 三销求和电路

Fig. 5 Three-pin summing circuit

垂直,此时,能够有效消除安装位置对结果的影响。测力销的安装如图 2 中位置 1、6、7 所示。

2.2 位移传感器

位移传感器是用于测量机组前进距离,结合时间变量可得到机组前进速度。位移传感器采用淄博首科电子有限公司生产的五轮仪传感器,型号为 CTM-2006B,该传感器适合于地况复杂的田间作业,如田面存在杂草秸秆、凸凹不平等情况均可以测试位移。

2.3 油耗(流量)传感器

2.3.1 传感器特点

油耗(流量)传感器是用来测量机组的燃油消耗装置。采用淄博科创电子有限公司生产的 YH-1 型油耗传感器,该传感器有 2 个接口,串联在油箱和高压油泵的油路中,即可以单独测试供油系统,也可用 2 个传感器分别测试给油系统和回油系统,特别适合于回油较大的系统测试。测量精度高,抗干扰能力强,工作稳定,尤其适用于田间作业油耗的测量。实体如图 6 所示。

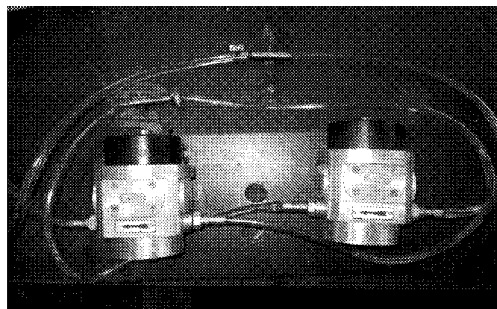


图 6 油耗传感器

Fig. 6 Sensor for measuring fuel consumption

2.3.2 工作原理

油耗(流量)传感器由油料计量机构及信号转换机构组成,油料计量机构是将一定的燃油流量变为曲轴旋转运动的装置,它是由十字形配置的 4 个活塞和旋转曲轴组成,燃油在泵油压力的作用下拖动活塞运动,再由活塞运动推动曲轴旋转,曲轴旋转一周即 4 个活塞往复运动一次,完成一个进排油循环,如此反复,即可完成定容量、连续输油。信号转换机构装在曲轴的另一端,由磁铁、从动磁铁、转轴、光栅板、光敏对管、电缆插座及壳体等组成。主动磁铁装在曲轴上,从动磁铁装在转轴上,转轴通过轴承支承在壳体内,转轴的上端固定有转动光栅板,在光栅板两端是光敏对管,当曲轴转动时,由于一对永久磁铁的吸引作用,转轴及其上端的光栅板随之转动,通过光敏对管的光电作用,转轴的转动转换成光电脉冲^[12]。

2.4 转数传感器

为了得到拖拉机驱动轮的滑移情况,引入打滑

率,即

$$\delta = \frac{n_k - n_g}{n_k} \times 100\%$$

(1)

式中 δ ——机组打滑率(负值为滑移),%
 n_k ——机组空行程驱动轮转速,r/min
 n_g ——机组工作行程驱动轮转速,r/min

根据式(1),需要首先得到农机具在空行程和作业时的驱动轮转速。研制的转数传感器,其工作原理是利用光电效应,计算一定时间内的脉冲数(每转1周有精确的脉冲数),即可得到转数。从而得到机具作业的打滑率。转数传感器如图7所示。

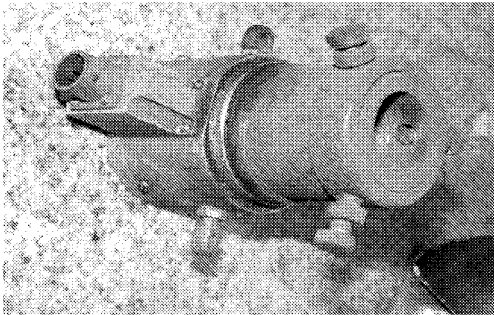


图7 转数传感器
Fig.7 Sensor for revolution

2.5 转速扭矩传感器

转速扭矩传感器选用旋转型转速扭矩传感器,型号为CYT-302。

2.6 传感器组标定

转速扭矩传感器置零:挂接机具后,进行置零锁定。
牵引力传感器置零:挂接机具后,进行置零锁定。

位移传感器标定:在试验测试区外邻近试验空地上取其同长度标定区,机组空载匀速通过标定区,锁定当量值。

转数传感器标定:在试验测试区外邻近试验空地上取其同长度标定区,机组空载匀速通过,锁定各轮转速。

油耗传感器标定:用标准容器,进行流量标定。

3 数据采集与处理系统

3.1 数据采集硬件配置

为增强系统的通用性,使系统既适应配备单动力机具也适应配备主副动力机具,系统传感器组将传送17路信号,其中测力通道6路(主动力3路,副动力3路)、转速扭矩通路2路(主、副动力各1路)、转速通道4路(拖拉机前后4个轮各1路)、位移通道1路、油耗通道2路(供油口和回油口各1路),系统将其转换为标准的电压输出信号。为保

证测量的准确性,必须要求17路信号同步采集,本文选择NI公司的基于PXI总线技术的硬件作为主控、采集模块。

(1)机箱。根据设计的需要,选用NI公司生产的PXIe-1062Q型机箱。该型号共有7个槽口,1个槽口加装控制器,其余可装6块采集卡。

(2)控制方式和控制器。根据控制方式需要,选用PXI的嵌入式控制方式,采用NI公司生产的PXIe-8108型嵌入式控制器。

(3)数据采集卡。农业机械在田间行走时速度较慢,测试信号频率大多在10kHz之内,采样率要求在100kHz以上,本系统采用了2个PXI-6133型同步数据采集卡接收17路传感装置采集的信号。

3.2 基于LabVIEW程序的软件

数据采集与处理系统软件采用LabVIEW虚拟仪器集成用数据采集卡驱动库中的功能函数,完成数据采集卡的初始化、参数配置、校准、数据采集等功能。信号调理部分,这部分是在数据采集程序的框架上,加上了信号调理模块的控制程序模块扩展而成的。仪器控制部分,在Windows XP操作系统下通过LabVIEW提供的I/O驱动库中的功能函数来实现仪器端口的配置、读写和关闭等功能从而实现对仪器的控制。数据分析处理部分,它是上位机监测端对采集到的数据进行分析、存储、回放等操作,实现对测试系统的监测。能对动力学参数分别进行上下限报警,报警值可任意设定。具有历史数据曲线回放功能。可以将试验数据及曲线导出,也可以通过打印机对测试结果进行数据、曲线打印^[13-14]。软件系统模块如图8所示。

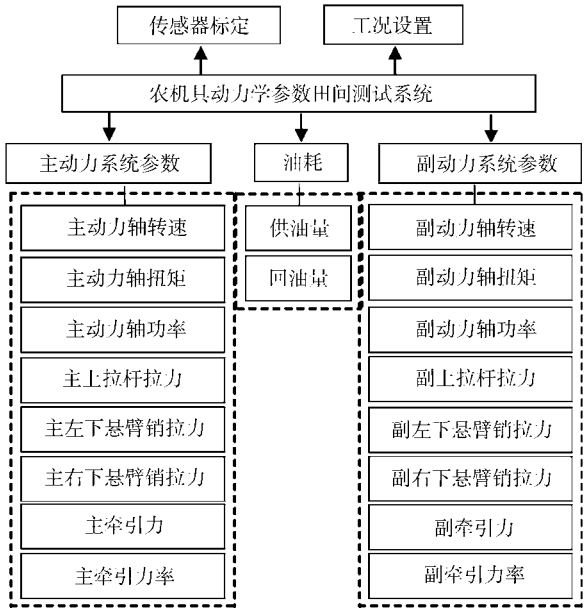


图8 软件系统功能与模块组成示意图
Fig.8 Software function and module of measuring system

3.3 系统误差分析及消除措施

3.3.1 灵敏度不一致产生的误差

由于在测试系统中,传感器串、并联系统的总输出应只与作用于该系统上的载荷有关,而与该载荷在各传感器上的分布状况无关,因此为了消除系统误差,首先在本系统中各个传感器的灵敏度必须保持一致^[15-16]。

3.3.2 输出电阻不一致带来的误差

试验表明,系统中输出电阻不一致会对并联方式造成偏载误差,因此,为了消除系统误差,本系统中并联电路应保证输出电阻一致^[17]。

3.3.3 机械标定方式对误差的影响

试验表明,传感器系统的标定有2种方式:对传感器系统可直接进行三销求和标定,即整体标定;对各传感器分别标定后再求得系统的机械标定常数,即单体标定。由于系统的整体标定常数与单体标定常数间不是倍率关系。因此,为了消除系统误差,尽量采用整体标定^[18]。

4 田间试验

为了验证本测试系统的实用性和可靠性,选择本研究所研制的1ZQHF-350/5型前置灭茬、深松后置浅松复式耕整地机(图9)进行田间试验,并在室内土槽内对本系统进行了验证。

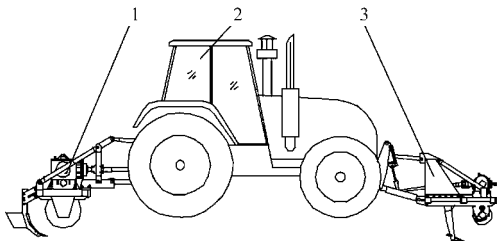


图9 1ZQHF-350/5型前置灭茬、深松后置浅松复式耕整地机

Fig.9 Type 1ZQHF-350/5 combined cultivating machine for stubble-breaking and rotary tilling

1. 后置旋耕浅松装置 2. 拖拉机 3. 前置灭茬、深松装置

4.1 系统校核

本系统设计目的是在大田环境下对农机具动力学参数进行实时同步测试。由于大田工况环境复杂,风速、温度、湿度和地面情况等因素均对系统有一定的影响,因此,在试验前需要对系统进行校核,校核步骤为:①农具挂接后,启动拖拉机,将拖拉机后驱动轴转速挡位设置在500 r/min,观察系统转速扭矩测试界面,当测试值在(500±5) N/m,则属于合理范围;如不在此范围则进行人工校核。②农具挂接后,启动拖拉机,开启拖拉机液压系统将农具挂起离地面10 cm,拖拉机开动后即停,观察系统牵引

力测试界面,当测试值在±0.22 kN,则属于合理范围;如不在此范围则进行人工校核。③开动拖拉机向前前进100 m,并记录行进时间,计算出后轮转速,观察系统位移界面和转数界面,当位移测试值在(100±1) m、转速测试值在(31.2±0.5) r/min,则属于合理范围;如不在此范围则进行人工校核。④将拖拉机停在原地不动,空转10 min,用标准容器测量油耗,观察系统油耗界面,当油耗差值在0.1 L/h,则属于合理范围;如不在此范围则进行人工校核。

当实现测试值均在合理值范围内时,即完成校核,便可进行田间测试。

4.2 试验结果

试验地点为哈尔滨农业科学院试验田。测试时间为2011年10月20日,测试结果如表1所示。

表1 测试结果
Tab.1 Test results

测试指标	主动力(后置)	副动力(前置)
动力轴转速/r·min ⁻¹	995.30	998.50
动力轴扭矩/N·m	556.40	198.30
动力轴功率/kW	57.98	20.73
上拉杆拉力/kN	-5.08	-30.20
左下悬臂拉力/kN	13.10	29.20
右下悬臂拉力/kN	12.80	31.50
主牵引力/kN	20.82	30.50
主牵引功率/kW	19.78	27.45

注:测试用拖拉机为凯斯210型;机组作业前进速度3.65 km/h;机组作业油耗28.8 L/h。

经对上述测试数值的分析,结果表明:①由于主作业部件旋耕机作业时有较大寄生功率产生,因而在测试数据中表现主牵引力小于副牵引力。②由于前置深松铲与后置起垄深松铲作业时的阻力相对于下悬挂点产生的转矩,造成前、后上拉杆的拉力为负值^[19-21](与作功方向相反)。③前置机具的总动力消耗为48.18 kW,后置机具的总动力消耗为77.76 kW。

4.3 试验验证

为验证本系统设计的合理性,于2011年11月17日在黑龙江八一农垦大学土槽实验室对1ZSB-140型复式中耕深松机动力学参数进行了验证对比试验,并对测试结果(与理论值比较)进行了横纵向比较。该实验室农具动力学测试系统是采用五杆测力原理来测试牵引力,为土槽试验动力学参数测试系统。验证结果如表2、表3所示(假定田间实时测试系统为T1,土槽试验动力学参数测试系统为T2)。

表 2 横向验证结果

Tab. 2 Transverse verification results

验证指标	T1	T2
测试精度	0. 01	0. 1
准确度/%	96	83
测试时间(相同测试项目下)/min	25	42
最大测试项目数/个	7	4

表 3 纵向验证结果

Tab. 3 Longitudinal verification results

验证参数	T1	T2	理论值
动力轴转速/ $r\cdot min^{-1}$	995. 46	962. 3	1 000. 00
动力轴扭矩/ $N\cdot m$	182. 22	157. 5	189. 81
牵引力/kN	10. 24	8. 9	10. 67
位移/m	17. 50	15. 0	18. 00

由表 2、表 3 可知,本系统在测试精度、准确度以及测试时间等方面均优于土槽试验动力学参数测试系统。

5 结论

(1)该系统适用于悬挂式农机具田间实时数据采集,能够实现多参数信息同步采集和实时处理。

(2)该系统将水平牵引力的三销测力代替五杆测力方法,在系统的使用便利性、通用性等方面均有提高。

(3)经过对 1ZQHF-350/5 型前置灭茬、深松后置浅松复式耕整地机初步试验和经黑龙江八一农垦大学工程学院技术人员室内验证,该系统运行可靠,测力装置方便、实用、精度高和测试准确。

参 考 文 献

1 北京农业机械化学院. 农机测试技术[M]. 北京:北京出版社,1981:157~160.

2 Liu C H, Wong J Y. Numerical simulation of tire-soil interaction based on critical state soil mechanics[J]. Journal of Terramechanics, 1996, 33(5): 209~221.

3 王国华. 基于虚拟仪器的农机土槽测控系统[D]. 北京:中国农业大学,2002:15~17.

Wang Guohua. Farm machinery test and control system based on virtual instrument on a soil bin[D]. Beijing: China Agricultural University, 2002: 15~17. (in Chinese)

4 王殿军. 土槽台车计算机自动控制系统研究[D]. 长春:吉林大学,2004:13~14.

Wang Dianjun. Study on a computer automatic control system for soil bin trolley[D]. Changchun: Jilin University, 2004: 13~14. (in Chinese)

5 Chandler J, Corhesier L, Spielmann P, et al. Modulating flowering time and prevention of pod shatter in oilseed rape[J]. Molecular Breeding, 2005, 15(1): 87~94.

6 刘振宇. 农业机械土槽测控系统的设计研究[D]. 太原:太原理工大学,2006:9~10.

Liu Zhenyu. A study on the measurement and control system for soil bin of farming machine[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2006: 9~10. (in Chinese)

7 尹福炎. 高阻值应变片与测力称重传感器[J]. 衡器,2002,12(4):10~11.

Yin Fuyan. High-resistance strain gages and force measuring load sensor[J]. Weighing Apparatus, 2002, 12(4): 10~11. (in Chinese)

8 赵祚喜,罗锡文. 土槽遥控系统的设计与制作[J]. 农业机械学报,1999,30(3):21~22.

Zhao Zuoxi, Luo Xiwen. Design of a remote control system for soil bin[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1999, 30(3): 21~22. (in Chinese)

9 冯翠英,刘荣琴,李世雄,等. 虚拟仪器技术在农机测试中的应用[J]. 农业装备与车辆工程,2006(8):40~41.

Feng Cuiying, Liu Rongqin, Li Shixiong, et al. Application of virtual instrument in agricultural machine test[J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2006(8): 40~41. (in Chinese)

10 李江全,吴进河. 农机动力参数微机辅助标定测试系统的开发与应用[J]. 石河子大学学报:自然科学版,1999,3(1):77~78.

Li Jiangquan, Wu Jinhe. Computer aided calibration test system of farm machinery power parameter[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 1999, 3(1): 77~78. (in Chinese)

11 Liljegren S J, Roeder A H K, Kempin S A, et al. Control offruit patterning in arabidopsis by indehiscent[J]. Cell, 2004, 116(6): 843~853.

12 蒋新文,张宁,杨三序. 基于虚拟仪器技术的测控系统[J]. 微计算机信息,2007,23(34):38~39.

Jiang Xinwen, Zhang Ning, Yang Sanxu. The measuring and control system based on virtual instrument technology[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(34): 38~39. (in Chinese)

13 崔胜民,李建如. 基于虚拟仪器的汽车制动性能测试系统[J]. 汽车科技,2004,5(5):36~37.

Cui Shengmin, Li Jianru. A vehicle braking performance test system based on virtual instrument[J]. Automobile Science and Technology, 2004, 5(5): 36~37. (in Chinese)

14 王冬磊,王玉峰,常致全. 基于IVI接口的通用虚拟仪器驱动器设计[J]. 国外电子测量技术,2006,25(5):25~29.

Wang Donglei, Wang Yufeng, Chang Zhiquan. Design of general virtual instrument drivers based on IVI interface[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2006, 25(5): 25~29. (in Chinese)

- 6 何剑南,王金武,王金峰. 全等椭圆齿轮行星系扎穴机构的机理分析与设计[C]//中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集, 2011.
He Jiannan, Wang Jinwu, Wang Jinfeng. Mechanism analysis and design of planetary pricking hole mechanism with congruent elliptic gears[C]//Proceedings of China Agricultural Engineering Association 2011 Annual Conference, 2011. (in Chinese)
- 7 Womac A R, Tompkins F D. Probe-type injector for fluid fertilizers[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1990,6(2): 149 ~ 154.
- 8 Chen Y. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions[J]. Transactions of the ASAE, 2002,45(6): 1 729 ~ 1 736.
- 9 Ying Yibin, Zhao Yun. Research in dynamic simulation of separating - planting mechanism of rice transplanter[J]. AMA - Agricultural Mechanization in Asia, 1997, 28(3): 15 ~ 19.
- 10 陈建能,赵匀. 高速插秧机椭圆齿轮行星系分插机构的参数优化[J]. 农业机械学报, 2003,34(5):46 ~ 49.
Chen Jianneng, Zhao Yun. Parameters optimization of transplanting mechanism with planetary elliptic gears for high-speed transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(5):46 ~ 49. (in Chinese)
- 11 李革,赵匀,俞高红. 椭圆齿轮行星系分插机构的机理分析和计算机优化[J]. 农业工程学报, 2000,16(4):78 ~ 81.
Li Ge, Zhao Yun, Yu Gaohong. Theoretical analysis and parameters optimizing of separating - planting mechanism with planetary elliptic gears[J]. Transactions of the CSAE, 2000,16(4):78 ~ 81. (in Chinese)
- 12 武传宇,赵匀,陈建能. 水稻插秧机分插机构人机交互可视化优化设计[J]. 农业机械学报, 2008,39(1):73 ~ 74.
Wu Chuanyu, Zhao Yun, Chen Jianneng. Optimization design of rice transplanter separating - planting mechanism with visualization human - computer interaction method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(1):73 ~ 74. (in Chinese)
- 13 贾颖莲,何世松. Pro/E Wildfire 3.0 在凸轮机构优化设计与运动仿真中的应用[J]. 煤矿机械, 2009,30(12):212 ~ 215.
Jia Yinglian, He Shisong. Optimum design and motion simulation of cam mechanism using Pro/E Wildfire 3.0[J]. Coal Mine Machinery, 2009,30(12): 212 ~ 215. (in Chinese)
- 14 肖乾,周新建. 凸轮机构的计算机辅助设计与运动仿真分析[J]. 华东交通大学学报, 2006,23(4):103 ~ 104.
Xiao Qian, Zhou Xinjian. The CAD and kinematics simulation of cam mechanism[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2006, 23(4): 103 ~ 104. (in Chinese)
- 15 高玉新,高元学. 基于 Pro/E 的凸轮机构设计和运动仿真[J]. 机械, 2005,32(10):44 ~ 45.
Gao Yuxin, Gao Yuanxue. Design of cam mechanism and the motion simulation based on Pro/E[J]. Machinery, 2005,32(10): 44 ~ 45. (in Chinese)
- 16 王金武,刘亚华,王金峰,等. 全椭圆齿轮行星系液态肥深施机构优化设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012,43(10):60 ~ 65,59.
Wang Jinwu, Liu Yahua, Wang Jinfeng, et al. Optimization design and experiment of liquid-fertilizer applying deep-fertilization mechanism for planetary elliptic gears[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(10):60 ~ 65,59. (in Chinese)

(上接第 88 页)

- 15 李南,滕飞. 基于 LabVIEW 的电机转速控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2006,14(6):796 ~ 797.
Li Nan, Teng Fei. System design electro-motor rotational speed control based on LabVIEW[J]. Computer Measurement and Control, 2006, 14(6): 796 ~ 797. (in Chinese)
- 16 熊诗波,黄长艺,严普强. 机械工程测试技术基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2006:240 ~ 242.
- 17 蒙秉嵩. 远程测力器传感器的选择和设计[J]. 中国科技信息, 2010,13(5):26 ~ 29.
Meng Bingsong. Selection and design of the remote force measurement sensor[J]. China Science and Technology Information, 2010, 13(5): 26 ~ 29. (in Chinese)
- 18 杨青,王喆,陆钢庆. 基于 LabVIEW 的综合测试柜在创新实验中的应用[J]. 机械设计, 2006,23(8):23 ~ 24.
Yang Qing, Wang Zhe, Lu Gangqing. Application in the innovatory experiment of synthetic test cabinet based on LabVIEW [J]. Journal of Machine Design, 2006, 23(8): 23 ~ 24. (in Chinese)
- 19 张毅刚. 虚拟仪器技术介绍[J]. 国外电子测量技术, 2006,25(6):1 ~ 4.
Zhang Yigang. Virtual instrument technology [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2006, 25(6): 1 ~ 4. (in Chinese)
- 20 刘焯,庄庆德. 虚拟仪器在农业方面的应用现状[J]. 国外电子测量技术, 2006,25(8):6 ~ 9.
Liu Ye, Zhuang Qingde. Application actuality of virtual instrument in agricultural [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2006, 25(8): 6 ~ 9. (in Chinese)
- 21 于艳,龚丽农,尚书旗. 农机土槽试验动力学参数测试系统的研制[J]. 农业工程学报, 2011,27(5):323 ~ 328.
Yu Yan, Gong Linong, Shang Shuqi. Development of soil bin test dynamic parameters measurement system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(5): 323 ~ 328. (in Chinese)