

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.005

基于 PLC 的播种机开沟器力学性能测试装置^{*}

赵金辉^{1,2} 杨学军² 刘立晶² 刘忠军² 周军平² 靳晨²

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 现代农装科技股份有限公司, 北京 100083)

摘要: 设计了一种基于 PLC 的开沟器力学性能测试装置。该测试装置主要由开沟深度控制机构、六分力测试装置、液压系统和 PLC 控制系统 4 部分组成,通过闭环控制实时调节开沟深度,提高了开沟深度稳定性;对六分力测试装置进行了标定,结果表明,牵引阻力测量精度和最大相对误差为 1.49% FS、3.7%,土壤垂直反力为 2.1% FS、5.1%,侧向力为 0.98% FS、1.9%。测试精度满足要求,且该装置能够完成不同类型开沟器的受力及开沟深度的测试。

关键词: 播种机 开沟器 测试装置 力学性能

中图分类号: S223.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0029-06

引言

开沟器是播种机的关键部件之一,其性能优劣影响播种机的播种质量。由于我国种植区域较为广泛,土壤条件差异性较大;免耕制度的出现,提高了对开沟器性能的要求;不同类型开沟器结构不同、适应性不同;又由于开沟器量化参数较少,对设计人员造成很大不便^[1-4]。如何根据不同土壤类型和种植模式选择适合的开沟器成为一个关键问题,开沟器力学性能测试装置的研究为解决该问题提供了有效手段^[5]。国外对开沟器测试装置研究较早,多通过液压表读数或力传感器测量得到开沟器的性能参数,但存在测量误差较大,测试对象单一,部分试验数据人工处理,工作量较大,有些仅在实验室内应用,大田应用尚存在问题^[6-7]。近年来我国研制了几种不同结构类型的开沟器性能测试装置,但大都存在测量参数不全、精度较低、开沟深度不稳定或只是针对整机没有测量开沟器等问题^[8-9]。本文设计一种基于 PLC 的播种机开沟器力学性能测试装置,以期实现在开沟深度稳定条件下开沟器力学性能的测试。

1 系统结构与工作原理

1.1 测试装置结构

基于 PLC 的播种机开沟器力学性能测试装置结构如图 1 所示,主要由开沟深度控制机构、六分力

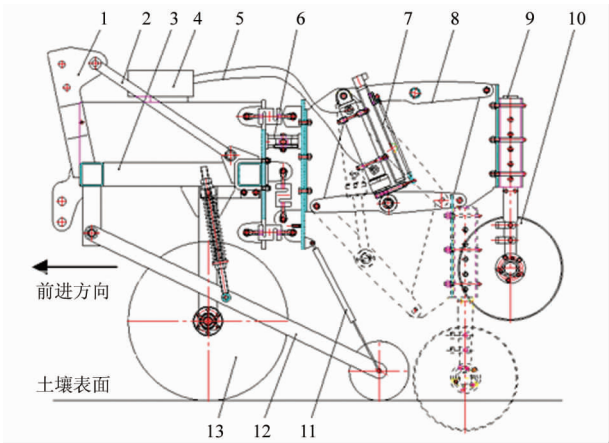


图 1 基于 PLC 的播种机开沟器性能测试装置结构简图
Fig. 1 Schematic diagram mechanical performance testing device for planter openers based on PLC

1. 悬挂架 2. 加强板 3. 机架 4. 液压泵站 5. 油管 6. 六分力测试装置 7. 位移传感器 I 8. 四连杆仿形机构 9. 开沟器连接装置 10. 开沟器 11. 位移传感器 II 12. 地表高度检测机构 13. 行走地轮

测试装置、液压系统和 PLC 控制系统组成。

液压泵站和电控柜安装在测试装置的机架上,电磁换向阀和各传感器的接线接到电控柜内(图 1 中未画出),电源开关、控制开关、24 V 电源、PLC 控制器、模拟量输入模块和触摸屏等集中安装在电控柜内;在测试装置中液压系统通过液压缸调节开沟深度,PLC 控制系统测试开沟器力学性能参数和开沟深度。测试装置工作时,将其与土槽试验台或拖

收稿日期: 2014-07-02 修回日期: 2014-08-22
^{*} 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203052)
作者简介: 赵金辉,助理工程师,主要从事农业机械装备与关键技术研究,E-mail: zhaojh281@163.com
通讯作者: 杨学军,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化装备研究,E-mail: camms@263.net

拉机通过悬挂架连接,待测开沟器通过开沟器连接装置固定在测试装置上,将编写好的程序下载到 PLC 控制器的存储器中,通电后,程序自动执行。首先在人机界面上设定所需开沟深度,两位移传感器信号通过模拟量输入模块传输到 PLC,得到实际开沟深度。如果实际开沟深度不满足设定要求,PLC 输出信号控制电磁换向阀,改变输入液压缸流量,通过四连杆调节开沟器开沟深度,直至满足设定要求。PLC 控制系统记录并储存实际开沟深度和六分力测试装置测试的开沟器力学性能参数,通过数据采集系统传输到规定文件中,进行分析处理。从而实现开沟深度的自动控制和开沟器力学性能参数的自动采集和处理。

1.2 开沟深度控制机构

开沟深度控制机构如图 2 所示,主要由地表高度检测机构和四连杆仿形机构组成。

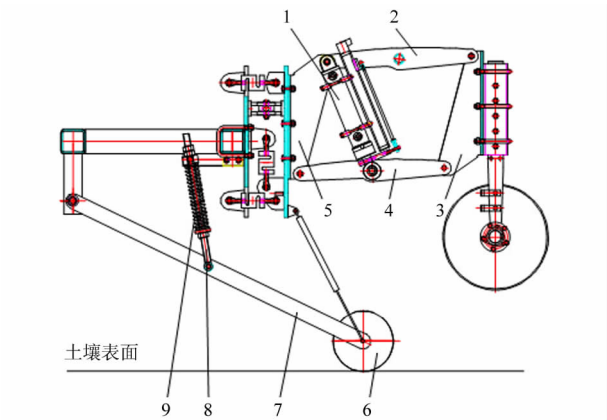


图 2 开沟深度控制机构

Fig. 2 Control mechanism of working depth

1. 液压缸 2. 上杆 3. 后板 4. 下杆 5. 前板 6. 仿形轮
7. 仿形支臂 8. 仿形杆 9. 压簧

地表高度检测机构包括仿形轮、仿形支臂、仿形杆和压簧等,高度检测量为 200 mm,满足地表起伏量要求^[10];四连杆仿形机构包括上杆、下杆、前板和后板等,仿形调节量为 370 mm。工作时,仿形轮沿前进方向随田间地表起伏而上下浮动,通过仿形杆和压簧限制其上下浮动范围,位移传感器 II 将仿形轮的位置信号传输到 PLC;位移传感器 I 将液压缸的位移即开沟器的位置信号传输到 PLC;通过 PLC 运算得到开沟器实际开沟深度,并将其与设定开沟深度进行比较,根据比较结果确定 PLC 输出信号,液压缸执行动作,通过四连杆仿形机构调节开沟深度,直至满足设定开沟深度要求,从而实现开沟深度的实时调节和闭环控制。

1.3 六分力测试装置

六分力测试装置如图 3 所示,用来测量开沟器的牵引阻力、土壤垂直反力和侧向力,图中 X 轴为

前进方向,Y 轴为侧向,Z 轴为竖直方向。该装置主要由前焊合板、后焊合板和 6 个拉压传感器组成,规定拉压传感器的拉力为正、压力为负,其中在 X 轴方向上安装 3 个拉压传感器测量牵引阻力,在 Y 轴方向上安装一个拉压传感器测量侧向力,在 Z 轴方向上安装 2 个拉压传感器测量土壤垂直反力,每个方向上拉压传感器的矢量和分别对应着测量力,从而实现了开沟器三维空间力学性能参数的测试。

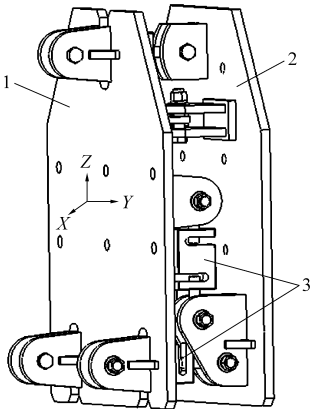


图 3 六分力测试装置

Fig. 3 Six-component testing device

1. 前焊合板 2. 后焊合板 3. 拉压传感器

2 PLC 控制系统设计

2.1 系统组成及工作原理

PLC 控制系统设计如图 4 所示,包括硬件和软件,硬件主要由 PLC 控制器、位移传感器 I、位移传感器 II、电磁换向阀、液压缸和 6 个拉压传感器组成。

控制系统的主机为 PLC,具有 8 个输入信号,3 个输出信号。输入信号由位移传感器 I、位移传感器 II 和 6 个拉压传感器提供。位移传感器完成液压缸行程和仿形轮位置的检测,通过 PLC 运算得到实际开沟深度,拉压传感器完成开沟器力学性能参数测试。输出信号分别对应着电磁换向阀的左位、右位和中位。系统 I/O 端口定义如表 1 所示。

2.2 硬件选型

2.2.1 PLC 控制器

PLC 控制器在系统中完成传感器信号的采集、分析和处理,并输出信号控制液压系统中的电磁换向阀执行动作。根据系统的输入/输出点数多少及输出高速脉冲数多少,选用西门子 SIMATIC S7-200 SMART 系列 CPU SR20,该 CPU 具有 12 个数字量输入点和 8 个数字量输出点,电源电压为 85 ~ 264 V AC,频率为 47 ~ 63 Hz;配置 2 个西门子模拟量输入模块 EM AI04,每个量输入模块具有 4 路输入(电流或电压均可),在 25℃ 常温模式下,满量程

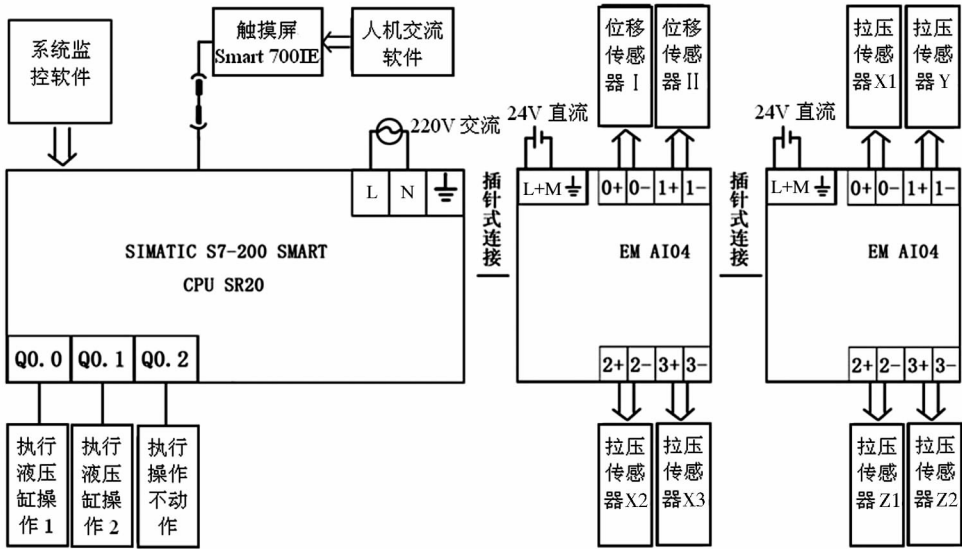


图 4 PLC 控制系统

Fig. 4 PLC control system

表 1 PLC 的 I/O 端口定义

Tab.1 Definition of I/O for PLC

输入		输出	
X0	位移传感器 I 信号	Y0	电磁换向阀左位
X1	位移传感器 II 信号	Y1	电磁换向阀右位
X2	拉压传感器 X1 信号	Y2	电磁换向阀中位
X3	拉压传感器 Y 信号		
X4	拉压传感器 X2 信号		
X5	拉压传感器 X3 信号		
X6	拉压传感器 Z1 信号		
X7	拉压传感器 Z2 信号		

精度为 $\pm 0.2\%$ 。

2.2.2 触摸屏

触摸屏是实现人机交互的载体,本系统选用西门子 SMART LINE 系列 Smart 700 IE 型触摸屏,其采用 7 英寸 64 K 色面板,分辨率 800 × 480,背光灯具备常温 25℃ 下 4 万 h 的寿命,RS422/485 自适应切换集成串口,配备高端 ARM 处理器和 64 MB DDR SDRAM + 8 MB Flash 内存,供电电源 24 V DC。

2.2.3 位移传感器

控制系统中位移传感器完成液压缸位移和地表高度检测机构的位移测量,分别选用 Germanjet184 系列 200 型磁悬浮位移传感器和迈恩 KPM 系列 225 型铰接导电塑胶膜系列位移传感器。

Germanjet184 - 200 型磁悬浮位移传感器,量程 200 mm,非线性度 $\pm 0.01\%$ FS,重复精度 $\pm 0.005\%$ FS,输出信号 4 ~ 20 mA,连接形式为 4 脚接头插座。采用非接触式的磁悬浮测量技术、电流输出,抗干扰能力强,该传感器能提供精度高、直接和绝对的位移输出,且能消除因工作磨损而带来的误差。KPM - 225 型铰接导电塑胶膜系列位移传感器量程为

225 mm,有效测量范围为 336 ~ 567 mm,两端均有 1.5 mm 缓冲行程,分辨率高于 0.01 mm,精度为 0.05% FS。外壳表面阳极处理,防腐蚀;导轨为内置塑料式,满足使用条件,传感器垂直安装时,允许极限运动速度 5 m/s,水平安装时,极限速度为 2 m/s,防护等级为 IP67。

2.2.4 拉压传感器

根据测试装置工作和非工作状态受力分析,考虑工作过程中的冲击和振动,并根据拉压传感器的规格,选用蚌埠高灵传感系统工程有限公司的 CFBLS - I 型和 CFBLSM 型拉压传感器。其中 X1 量程为 250 kg, X2、X3 量程为 200 kg, Z1、Z2 量程为 150 kg,均为 CFBLS - I 型拉压传感器;其中 Y 量程为 50 kg,为 CFBLSM 拉压传感器。拉压传感器的灵敏度为 2.0 ± 0.05 mV/V,非线性度 $\pm 0.03\%$ FS,重复性 $\pm 0.03\%$ FS。

2.3 软件设计

本系统采用西门子公司生产的通用 STEP 7-MicroWIN SMART 作为开发软件,完成系统软件程序设计,在 Win 7 操作系统环境下运行,适用于西门子全系列可编程控制器。STEP 7-MicroWIN SMART 具有 PLC 程序的规划以及 WINDOWS 的一般编辑功能外,还具有中/英文批注编辑及其他便利功能,如寄存器编辑、文件读取、设定、保存各接点图标监测与设置等。

STEP 7-MicroWIN SMART 系统提供 3 种模式的程序语言,分别为指令模式程序语言、梯形图模式程序语言以及 FBD (Function block diagram) 功能块图语言。其中,梯形图是最直观也最常用的编程语言,梯形图程序与指令程序可通过编译来互相转换。本

系统中根据测试系统工作运行要求,采用模块化设计思想,提高系统反应速度,并且有利于程序升级与维护。软件设计流程图如图 5 所示。

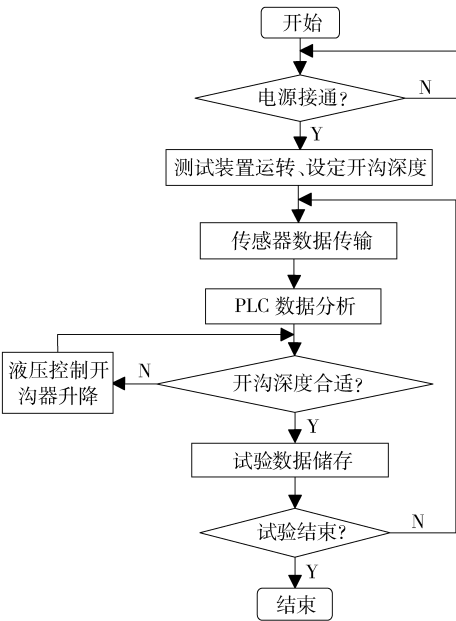


图 5 软件设计流程图

Fig. 5 Flow chart of software design

人机界面设计了开机界面、主界面、参数设置界面和状态监控界面 4 个界面。在每幅界面中设计信息输入框、数字输入框和按钮命令等,通过输入框将相应命令、数据输送给 PLC,也能够从 PLC 中读出相应参数或状态信息,实现人机交互作用。状态监控界面设计如图 6 所示,主要用于监控测试装置工作过程中的状态参数,包括位移传感器、拉压传感器测量值和实际开沟深度等信息,可以直观地观测到各传感器测量数值,画面右下角设置了返回按钮,点击该按钮返回上一级菜单。

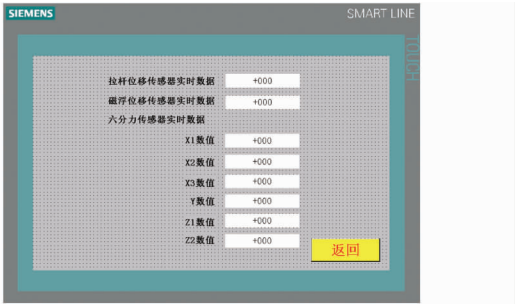


图 6 状态监控界面

Fig. 6 Interface of condition monitoring

3 系统标定

3.1 标定方法

目前尚没有仪器能够直接标定六分力测试装置,根据实际需求分别对牵引阻力、土壤垂直反力和侧向力进行单独标定。测试仪器为国家农机具质量

监督检测中心的汽车制动踏板手刹力计,标定对象为设计加工出的试验台,如图 7 所示。



图 7 测试装置

Fig. 7 Testing device

将汽车制动踏板手刹力计的测量值作为标定值,相应时间段内六分力测试装置的测量值作为测量值,对牵引阻力、土壤垂直反力和侧向力分别进行测试。在标定过程中保证施加的拉力分别与六分力坐标系的 X、Y、Z 轴平行,且作用点作用在开沟器连接安装底端,采用测量范围内的等间隔加载方式^[11],即对牵引阻力、土壤垂直反力和侧向力的大小等间隔力加载,直至满足要求,实现了对被标定传感器测量范围内的等间隔标定,标定过程如图 8 所示。

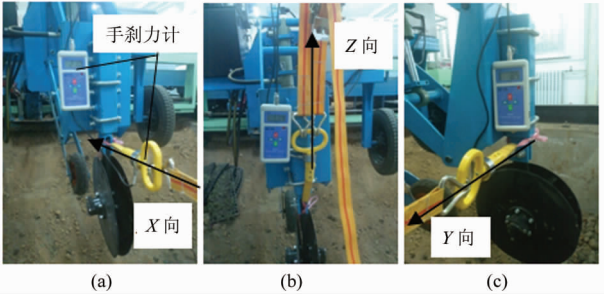


图 8 加载标定

Fig. 8 Testing device calibration in load

(a) 牵引阻力标定 (b) 土壤垂直反力标定 (c) 侧向力标定

3.2 标定结果及分析

经过标定,得到牵引阻力、土壤垂直反力和侧向力的标定值和相应的测量值,如图 9 所示。

通过图 9a 可以得出牵引阻力的测量值与标定值基本重合,误差波动在 0 ~ 26.8 N 的范围内,测试精度为 $26.8/1800 = 1.49\%$ FS,最大相对误差为 3.7%;图 9b 可以得出土壤垂直反力的测量值与标定值基本重合,误差波动在 0 ~ 19.1 N 的范围内,测试精度为 $19.1/900 = 2.1\%$ FS,最大相对误差为 5.1%;图 9c 可以得出侧向力的测量值与标定值差别较大,但较规律,分析其为系统误差,产生的原因

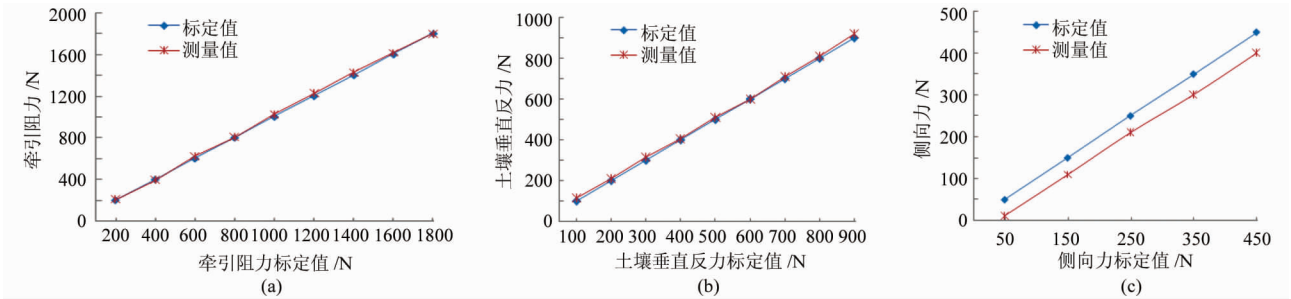


图 9 同一方向上测量值和标定值比较

Fig. 9 Comparison of force solver value and calibration value in the same direction

可能是在六分力测试装置生产过程中加工精度和装配误差,对其进行修正,得到修正函数为 $y = 1.028x + 37.82$,其中 y 为修正值, x 为测量值,修正后误差波动在 $0 \sim 4.419\text{ N}$,测试精度为 $4.419/450 = 0.98\%$ FS,最大相对误差为 1.9% 。

4 结论

研究了一种基于 PLC 的播种机开沟器力学性能测试装置,可以实现开沟深度稳定性条件下开沟器力学性能参数的测试。

(1) 对测试装置关键部件进行研究,设计了开沟深度控制机构,实现了开沟深度的实时调节和闭环控制,地表高度检测最大为 200 mm ,四连杆仿生机构调节量为 370 mm ;设计了六分力测试装置,实现了开沟器的空间力学性能参数测试。

(2) 通过标定,得到测试装置的牵引阻力、土壤垂直反力和侧向力测试精度和最大相对误差,牵引阻力为 1.49% FS、 3.7% ,土壤垂直反力为 2.1% FS、 5.1% ,修正后侧向力为 0.98% FS、 1.9% ,测试精度满足要求。

参 考 文 献

1 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.

2 姚宗路, 高焕文, 王晓燕, 等. 小麦免耕播种机开沟器对作物生长的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 117 – 121.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Effect of three furrow openers for no-till wheat seeder on crop growth performance[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 117 – 121. (in Chinese)

3 刘立晶, 杨学军, 李长荣, 等. 2BMG-24 型小麦免耕播种机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 39 – 43.
Liu Lijing, Yang Xuejun, Li Changrong, et al. Design of 2BMG-24 no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 39 – 43. (in Chinese)

4 姚宗路, 高焕文, 李洪文, 等. 不同结构免耕开沟器对土壤阻力的影响[J]. 农机化研究, 2009, 31(7): 30 – 34.
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Li Hongwen, et al. Effect of different structural no-till openers on soil resistant force[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 30 – 34. (in Chinese)

5 赵金辉, 杨学军, 周军平, 等. 播种机开沟器及其性能测试装置的现状分析[J]. 农机化研究, 2014, 36(1): 238 – 241.
Zhao Jinhui, Yang Xuejun, Zhou Junping, et al. Analysis the current situation about furrow opener and its performance test device [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(1): 238 – 241. (in Chinese)

6 McKyes E D, Desir F L. Prediction and field measurements of tillage tool draft forces and efficiency in corhensive soils[J]. Soil & Tillage Research, 1984, 4(5): 459 – 470.

7 Watts C W, Longstaff D J. Mobile instrumentation and date processing system for testing field machinery [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1989, 43: 67 – 76.

8 蔡国华, 李慧, 李洪文, 等. 基于 ATmega128 单片机的开沟深度自控系统试验台的设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 11 – 16.
Cai Guohua, Li Hui, Li Hongwen, et al. Design of test-bed for automatic depth of furrow opening control system based on ATmega128 single chip microcomputer[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 11 – 16. (in Chinese)

9 孙星, 吴俭敏, 颜华, 等. 田间作业机具综合性能遥控系统[J]. 农机化研究, 2013, 35(7): 97 – 100.
Sun Xing, Wu Jianmin, Yan Hua, et al. Telemetry system of field work machine comprehensive performance[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(7): 97 – 100. (in Chinese)

10 Berg M. A non-linear rubber spring model for rail vehicle dynamic analysis[J]. Vehicle System Dynamics, 1998, 30 (3 – 4): 197 – 212.

11 郭孔辉, 杨一洋, 许男, 等. 轮胎试验台六分力解算、标定与优化分析[J]. 农业机械学报, 2014, 45(5): 8 – 15.
Guo Konghui, Yang Yiyang, Xu Nan, et al. Forces and moments computation of new tire test rig[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(5): 8 – 15. (in Chinese)

Mechanical Performance Testing Device for Planter Openers Based on PLC

Zhao Jinhui^{1,2} Yang Xuejun² Liu Lijing² Liu Zhongjun² Zhou Junping² Jin Chen²

(1. *Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China*

2. *Modern Agricultural Equipment Co. , Ltd. , Beijing 100083, China*)

Abstract: A mechanical performance testing device for planter openers based on PLC was designed. The testing device mainly included control mechanism of working depth, six-component testing device, hydraulic system and PLC control system. In order to improve the stability of working depth, closed loop feedback was adopted for real-time control. Six-component method was used to measuring mechanical performance of opener. The results showed that the measurement precision and the maximum relative error about the traction resistance was 1.49% FS and 3.7% , the vertical counterforce was 2.1% FS and 5.1% , and the lateral force of modified was 0.98% FS and 1.9% with the calibration. The precision of testing device can meet requirements, and the performance testing device can test the force and working depth of different types of openers in high accuracy.

Key words: Planter Opener Testing device Mechanical performance