

免耕播种机土壤工作部件测试装置设计与试验

刘艳芬, 林 静*, 郝宝玉, 李宝筏, 马 铁

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866)

摘 要: 随着保护性耕作技术的发展, 要求配套机具的性能越来越完善, 但是目前适合于东北垄作的玉米垄作免耕播种机的工作质量还无法满足免耕播种技术要求, 存在机具质量过重、作业时破坏垄型、破茬率低、清茬效果不显著等不足。为了优化免耕播种机的关键部件, 研制了一种免耕播种机土壤工作部件测试装置, 可用来对土壤工作部件进行测试。根据测试可以确定土壤工作部件的工作阻力(大小、方向、着力点)、工作深度和机具配重等参数。通过对阿基米德螺旋线型破茬盘工作性能测试, 得出破切开玉米根茬根上节的工作阻力为 1 868.38 N, 受力方向角度为 67.66°, 破茬深度为 7.52 cm, 其着力点的作用线与被测土壤工作部件的中心距离为 4.59 cm, 装置及配重总质量应大于 175.79 kg。研究成果为优化改进适于东北地区玉米垄作免耕播种机的关键部件, 以及旱地合理耕层构建土壤工作部件的优化设计提供理论参考。

关键词: 土壤; 设计; 机械测试; 免耕播种机; 测试装置; 土壤工作部件; 破茬盘; 工作阻力

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.004

中图分类号: S223.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-17-0024-08

刘艳芬, 林 静, 郝宝玉, 李宝筏, 马 铁. 免耕播种机土壤工作部件测试装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 24-31. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.004 http://www.tcsae.org
Liu Yanfen, Lin Jing, Hao Baoyu, Li Baofa, Ma Tie. Design and experiment of testing device for soil working tool in no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(17): 24-31. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.17.004 http://www.tcsae.org

0 引 言

保护性耕作技术是对农田实行免耕、少耕, 尽可能减少土壤耕作, 并用作物秸秆、残茬覆盖地表, 用化学药物来控制杂草和病虫害, 从而减少土壤风蚀、水蚀, 提高土壤肥力和抗旱能力的现代农业耕作技术^[1-4]。传统的耕作方式, 工序比较复杂, 消耗的能源比较高, 增加了农业的生产成本。与传统种植模式相比, 保护性耕作具有蓄水保墒, 成穗率高, 抗旱、抗寒、抗逆性强等效果; 每年减少拖拉机进地次数 4~6 次, 降低生产成本 10%~30%; 增产 15%~17%, 增收 20%~30%, 具有生态效益、经济效益及社会效益的农业生产技术^[5-18]。但是保护性耕作关键技术是免耕播种技术, 缺少符合东北农业技术要求的玉米垄作免耕播种机。

目前东北玉米垄作免耕播种机存在整机质量过大, 作业时破坏垄型, 对土壤压实严重, 犁底层加厚, 造成耕层土壤的理化特性恶化, 地力下降。为优化设计免耕播种机土壤工作部件, 有必要研制土壤工作部件测试装置。Scholtz 设计了三点悬挂式测力计, 该装置固定在拖拉机机架上, 创建了一套较为系统的现代化测试系统,

并且拥有较高的稳定性, 但整机结构较为复杂, 曾一度被广泛应用^[19]。吴仕宏等设计研制出东北垄作玉米免耕破茬试验装置, 可测量牵引阻力。该试验装置总体结构与原理是破茬部件安装在机架上, 机架上装有配重, 并采用牵引式与拖拉机相连接, 试验装置与拖拉机间装有数显拉力传感器, 用以测量牵引阻力大小^[20]。乔晓东等设计了后悬挂农具田间试验平台, 该试验台为牵引式, 工作时采用拖拉机牵引, 主要由牵引架、行走机构、机架、多级变速器及六分力试验装置等构成, 该试验台可为被测部件提供多种扭矩和转速, 可对旋转功率、牵引功率、燃油消耗以及尾气排放等主要性能参数进行实时测量^[21]。刘春鸽等运用三分力传感器原理, 设计了一种便携式测试装置, 该测试装置包括软件和硬件两部分, 所使用的数据采集卡由于精度限制, 采集次数尽量限制在 200 次/s 以下^[22]。以上测试装置不能满足适合于东北垄作的玉米免耕播种机的土壤部件工作性能测试。为了优化设计玉米垄作免耕播种机的关键部件, 研制出一种免耕播种机土壤工作部件测试装置, 可用来对土壤工作部件进行测试, 根据测试可以得到土壤工作部件的工作阻力、受力方向、着力点、工作深度和机具配重等参数, 为东北地区玉米垄作免耕播种机土壤工作部件的优化设计提供理论参考。

1 土壤工作部件测试装置结构与工作机理

1.1 土壤工作部件测试装置的结构

该测试装置为悬挂式, 整机为钢结构, 主要由悬挂架、测力框架、四连杆仿形机构、拉压力传感器、角位

收稿日期: 2015-10-28 修订日期: 2016-06-22

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503116); 国家自然科学基金资助项目(51275318)

作者简介: 刘艳芬, 女, 山东莱阳人, 博士生, 主要从事旱作农业机械化及智能化装备研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110866。

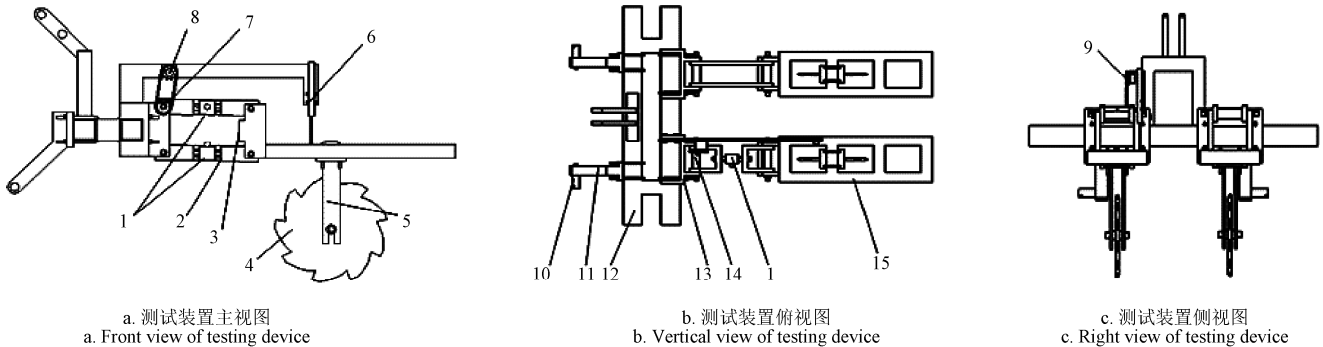
Email: 836546539@qq.com

*通信作者: 林 静, 女, 辽宁昌图人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱作农业机械化及智能化装备研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110866。

Email: synydxlj69@163.com。农业工程学会会员: 林 静(E041200749S)

移传感器、直线位移传感器和土壤工作部件固定装置等组成,如图 1 所示。悬挂架与拖拉机悬挂系统采用 3 点悬挂的方式相连接,用来控制测试装置的升降,并为其提供牵引力,另一端通过 2 组四连杆仿形机构分别与两组测力框架相连接,整机采用双行工作模式,避免单行工作产生跑偏所带来的危险及误差。其中一侧的四连杆机构上装有 2 个拉压力传感器、四连杆仿形机构的转轴

上方装有角位移传感器,在测力框架上方装有直线位移传感器。两侧测力框架可根据不同垄距进行横向调节,必要时可将无传感器一侧测力框架拆掉,以适应工作环境。由于测试装置目的在于测试土壤工作部件本身的受力,在适当增加配重时达到破切开玉米根茬根上节(五叉股)的入土深度,因而未安装限深地轮,拖拉机与农机按位调节方式控制^[23]。



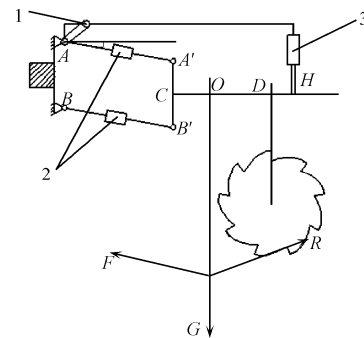
1.拉压传感器 2.四连杆板 3.限位板 4.破茬盘 5.破茬盘安装架 6.直线位移传感器 7.链条 8.链轮 9.角位移传感器 10.下悬挂销 11.下悬挂 12.悬挂架 13.仿形四连杆连接板 14.轴壳 15.测力框架
1.Tension-compression sensor 2.Four-bar linkage plate 3.Limiting plate 4.Stubble-breaking disc 5.Mounting frame of stubble-breaking disc 6.Linear displacement sensor 7.Chain 8.Chain wheel 9.Angular displacement sensor 10.Lower suspension pin 11.Lower suspension 12.Suspension frame 13.Connecting plate of profiling four-bar linkage 14.Axle shell 15.Force-measurement frame

图 1 免耕播种机土壤工作部件测试装置结构简图

Fig.1 Structure diagram of no-till planter soil working tool test device

1.2 工作机理

悬挂架通过下悬挂、下悬挂销以及悬挂架上的悬挂点与牵引拖拉机相连接,运用拖拉机液压系统控制测试装置的升降,并提供牵引力。调整两四连杆仿形机构之间的距离,以适应不同垄距,通过工作部件连接架将土壤工作部件固定到测力框架上,调整直线位移传感器,使其下部接触到测力框架上,将拉压传感器、角位移传感器和直线位移传感器与数据采集卡相连接,数据采集卡与计算机相连接。当该测试装置工作时,土壤工作部件在田间进行作业,土壤工作部件入土后位置降低,测力框架通过四连杆仿形机构连接也随之降低,这时直线位移传感器会检测到测力框架发生位移变化(即入土深度);角位移传感器通过链条、链轮与四连杆仿形机构连接,也会检测到角位移变化,四连杆仿形机构中的两个拉压传感器也会检测到拉力、压力变化,如图 2 所示。图 2 中 AA' 、 BB' 分别为四连杆仿形机构中上、下拉杆,且 AA' 、 BB' 2 个拉杆均为二力杆,均沿着杆的方向受力,所以选择将拉压力传感器安装在两个平行拉杆上,图 2 中 F 为上、下 2 个拉杆受力的合力, G 为装置所受重力, R 为土壤工作部件的工作阻力, F 、 G 和 R 3 个力汇交 1 点,形成平衡力系。已知上、下拉杆合力 F 和重力 G ,即可求得工作阻力 R 。试验时通过数据采集卡将数据记录下来,并保存到计算机中,试验结束后,将数据采集卡中记录的数据进行处理、分析、计算,最终得到土壤工作部件受力情况,以及入土深度等工作性能指标。



注: A 为上仿形拉杆左铰接点; A' 为上仿形拉杆右铰接点; B 为下仿形拉杆左铰接点; B' 为下仿形拉杆右铰接点; F 为上、下两个拉杆受力的合力; G 为测试装置所受重力; R 为土壤工作部件的工作阻力; C 为机架与四连杆仿形机构的安装位置; D 为破茬装置与机架安装位置; H 为直线位移传感器与机架安装位置; 1.角位移传感器; 2.拉压力传感器; 3.直线位移传感器。
Note: A is contoured rod on left hinge point; A' is right on contoured rod cutter contacts; B is by copying lever left hinge point; B' is by copying the lever contacts the right twist; F is upper and lower rod force; G is copying gravity test device; R is working resistance of soil working member; C is install a rack profile with four-link mechanism; D is stubble breaking devices and rack-mounted position; H is linear displacement sensor and rack-mounted position; 1.Angular displacement sensor; 2. Pull pressure sensor; 3.Linear displacement transducer

图 2 免耕播种机土壤工作部件测试装置的工作机理

Fig.2 Working mechanism of no-till planter soil working tool test device

2 试验设备与试验方法

2.1 试验设备

室内土槽试验动力为 11 kW 电动车带动,三相异步电动机型号为 Y160M-4,电流为 22.6 A,电压 380 V,额定转数 1 460 r/min。电磁调速电机型号 YCT225-4A,转矩 69.1 N·m,电压 0~250 V,电流 0~100 A。试验设备

有自行研制的免耕播种机土壤工作部件测试装置。测试装置安装了 4 个传感器, 2 个拉压力传感器、1 个角位移传感器、1 个直线位移传感器。拉压力传感器型号为 QLLY, 量程为 0~700 kg, 供电电压为直流 12 V, 安装在测试装置的四连杆仿形机构中的上拉杆和下拉杆上, 其作用是用来测量在工作中土壤工作部件所受力的的大小。该传感器采用柱式 S 型结构, 具有精度高、强度好、稳定性好等特点。拉压力传感器所输出的信号用加装 BSQ-2 型变送器对信号进行放大。角位移传感器型号为 WDD35D4, 安装在机架上, 其作用是用来测量四连杆仿形机构在工作中角度的变化情况。直线位移传感器 KTRC-100L, 有效行程 100 mm, 安装在测试装置机架尾部, 其作用是用来测量土壤工作部件的工作深度。

整个装置标定结果如下: 试验前, 利用 QLLY 拉压力传感器, BSQ-2 型变送器, WDW-200 万能试验机, JWY-30B 稳压电源, UT52 数字万用表对 QLLY 拉压力传感器进行标定。标定数据如表 1 所示。

表 1 拉压力传感器标定数据

Table 1 Pull pressure sensor calibration data

压力 Pressure/N	0	200	480	570	780	1200	2180	3500	4100	4850
电压 Voltage/V	0	0.15	0.35	0.44	0.57	0.87	1.59	2.55	2.99	3.53

拉压力传感器所受压力与输出电压标定符合关系式

$$a'=1372b' \quad (1)$$

式中 a' 为传感器所承受压力, N; b' 为传感器输出电压, V。

同理, 标定可得角位移传感器转动角度与电压符合关系式

$$d=-64.141c'+172.27 \quad (2)$$

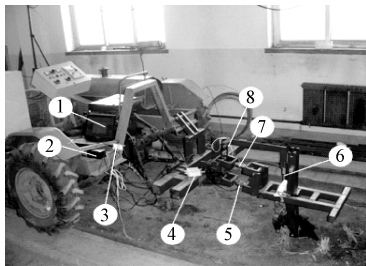
式中 c' 为角位移传感器输出电压, V; d 为角位移传感器转动角度, ($^{\circ}$)。

直线位移传感器的位移与输出电压符合函数关系式

$$f=0.7281e+0.1034 \quad (3)$$

式中 e 为直线传感器输出电压, V; f 为直线传感器输出位移, mm。

该土壤工作部件测试装置可对免耕播种机多个土壤部件进行测试, 本次试验选择自主研发的新型阿基米德螺旋线型圆盘破茬刀为土壤工作部件, 检测试验装置的工作状态, 如图 3 所示。



1.笔记本电脑 2.蓄电池 3.数据采集器 4.变送器 5.拉压力传感器 6.直线位移传感器 7.拉压力传感器 8.角位移传感器
1.Laptop 2.Battery 3.Data Acquisition 4.Transmitter 5.Pull pressure sensor 6.Linear displacement sensor 7.Pull pressure sensor 8.Angular displacement sensor

图 3 免耕播种机土壤工作部件测试装置的土槽试验

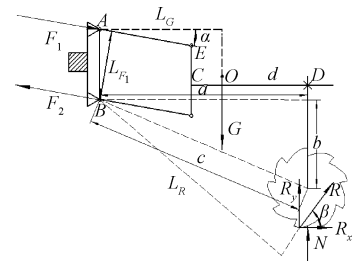
Fig.3 Soil bin test of no-till planter soil-working tool testing device

2.2 试验方法

试验时间为 2015 年 1 月, 试验地点在沈阳农业大学农机实验室一楼土槽内。玉米根茬从沈阳农业大学玉米试验田中移栽过来, 移栽后并对土槽中土壤进行平整, 浇水等细节处理, 尽可能模拟田间工况。之后对移栽后的根茬进行测量, 根茬平均高度为 167 mm, 根茬平均直径为 32 mm, 根茬平均间距为 30 cm。试验土槽中土壤各项指标接近田间土壤各项指标。将试验装置与土槽动力车进行组装, 如图 3 所示, 安装待测土壤工作部件, 试验装置悬挂架部分与电动动力小车悬挂连接, 检验各部件运转是否灵活。机械部分安装完成后, 开始安装测试系统, 将 2 个拉压力传感器、1 个角位移传感器和 1 个直线位移传感器安装在试验台上, 所有传感器的电源线与蓄电池相连接, 通过蓄电池对传感器进行供电, 角位移传感器和直线位移传感器的信号线直接与数据采集器相连接, 拉压力传感器与变送器连接后, 再将信号线与数据采集器相连接, 数据采集器与笔记本电脑通过 USB 接口相连接, 并通过 USB 接口对数据采集器供电。全部安装完成后, 笔记本电脑通过 LabVIEW SignalExpress 对数据采集器进行控制以及使用, 通过 LabVIEW SignalExpress 可对数据采集器以及所连接的多个传感器进行检验, 判断连接是否正常; 如正常, 则可开始试验。

2.3 土壤工作部件的受力分析

破茬盘在进行破茬作业时, 受到机具牵引阻力、土壤垂直反力以及破茬盘的工作深度的影响, 同时要对土壤工作部件所受阻力的大小、方向、着力点进行受力分析。受力简图, 如图 4 所示。



注: F_1 为上拉杆所受的力; F_2 为下拉杆所受的力; R_x 为被测土壤工作部件所受阻力水平方向分力; R_y 为被测土壤工作部件所受阻力沿垂直方向分力; R 为被测土壤工作部件所受阻力的合力; L_{F1} 为上拉杆所受的力的力臂; L_R 为被测土壤工作部件所受阻力合力 R 的力臂; G 为测试装置所受重力; L_G 为测试装置所受重力的力臂; N 为测试装置所受地面的支持力; a 为测试装置所受支持力的力臂; b 为下铰接点 B 到破茬盘中心的垂直距离; c 为下铰接点 B 到破茬盘中心的直线距离; α 为四连杆仿形机构的角度变化量; β 为土壤工作部件所受力的角度; O 为土壤工作部件重心。

Note: F_1 is force on lever; F_2 is under force rod; R_x is working soil resistance test suffered horizontal component; R_y is soil working members suffered measured resistance component in vertical direction; R is tested working soil resistance force suffered; L_{F1} is force of lever arm; L_R is TEsted working soil resistance force suffered arm; G is SUffered gravity test device; L_G is test apparatus suffered gravity; N is ground testing device suffered supportive; a is test apparatus suffered supportive arm; b is by hinging point to the vertical distance from the center of the disk breaking stubble; c is at hinge point B to break a straight line from center of disc stubble; α is delta angle profiling four-bar linkage mechanism; β is working soil resistance force suffered direction angle; O is soil working parts center

图 4 测试装置受力简图

Fig.4 Force diagram of testing device

根据受力分析, 计算出土壤工作部件所受阻力的大小、方向、着力点, 建立平衡力系以下 2 个方程组, 如式 (4)、(5) 所示。

$$\begin{cases} F_x = R_x \\ F_y + R_y = G \\ R \times L_R = G \times L_G + F_1 \times L_{F1} \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} F_x = \overline{F_2} - \overline{F_1} \times \cos \alpha \\ F_y = \overline{F_2} - \overline{F_1} \times \sin \alpha \end{cases} \quad (5)$$

式中 F_x 为四连杆仿形机构装置的上、下 2 个拉杆所受力的合力沿装置前进方向上的水平分力, N; F_y 为四连杆仿形机构装置的上、下 2 个拉杆所受力的合力垂直于地面方向的垂直分力, N; R_x 为被测土壤工作部件所受阻力在装置前进方向相反的水平分力, N; R_y 为被测土壤工作部件所受阻力在垂直于地面方向的垂直分力, N; L_{F1} 为四连杆仿形机构中上拉杆所受的力 F_1 的力臂, cm; R 为被测土壤工作部件工作中所受阻力, N; L_R 为被测土壤工作部件工作中所受阻力 R 的力臂, cm; G 为免耕播种机土壤工作部件测试装置以及所安装的新型阿基米德螺线型圆盘破茬刀土壤工作部件所受重力, N; L_G 为免耕播种机土壤工作部件测试装置以及被测新型阿基米德螺线型圆盘破茬刀土壤工作部件工作中所受重力的力臂, cm; N 为免耕播种机土壤工作部件测试装置以及被测土壤工作部件工作中所受支持力, N; a 为免耕播种机土壤工作部件测试装置以及被测土壤工作部件工作中所受支持力的力臂, cm; b 为下铰接点 B 到破茬盘中心的垂直距离, cm; c 为下铰接点 B 到破茬盘中心的直线距离, cm; F_1 为四连杆仿形机构中上拉杆所受的力, N; F_2 为四连杆仿形机构中下拉杆所受的力, N; α 为四连杆仿形机构的角速度变化量, ($^\circ$); β 为土壤工作部件所受力的角度方向, ($^\circ$); O 为土壤工作部件重心。

由式 (4)、(5) 可求得被测土壤工作部件所受阻力在装置前进方向相反的水平分力 R_x 、被测土壤工作部件所受阻力在垂直于地面方向的垂直分力 R_y , 进而求得土壤工作部件工作阻力 R 为

$$R = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2} \quad (6)$$

受力方向角 β 为

$$\beta = \arctan \frac{R_y}{R_x} \quad (7)$$

其着力点的作用线与被测土壤工作部件的中心距离为

$$l = L_R - c \times \cos(\arctan \frac{R_y}{R_x} - \arctan \frac{b}{a}) \quad (8)$$

3 土槽试验与田间试验验证

3.1 土槽试验结果与分析

3.1.1 数据处理

NATIONAL INSTRUMENTS USB-6008 型数据采集器与笔记本电脑相连, 通过笔记本电脑装有的 LabVIEW SignalExpress 2011 软件进行数据采集, 工作界面如图 5a 所示。将采集到的数据导入到 EXCEL 表格中作为原始数据, 如图 5b 所示, 该 EXCEL 中分为 4 个工作表, 从左到右依次为 a_3 、 a_2 、 a_1 、 a_0 , 分别代表直线位移传感器、角位移传感器、四连杆仿形机构下拉杆拉压力传感器、

四连杆仿形机构上拉杆拉压力传感器。每个工作表分为 A 、 B 、 C 3 个栏, A 栏表示传感器工作时间, B 栏表示传感器工作时输出的信号电压, C 栏则表示通过对 3 种不同传感器标定结果以及换算公式推导计算出来工作深度、角度变化、拉压力的具体数值。

根据测试所得的数据, 分别绘制破茬深度、四连杆仿形机构角度变化、四连杆仿形机构上下 2 个拉杆的受力曲线图, 如图 6 所示。

试验中加装配重为 75 kg, 装置总质量为 115 kg, 根据玉米根茬破茬试验所得数据如表 2 所示。将上述参数代入式 (4)、(5)、(6)、(7) 和 (8) 中, 可以得出前进方向相反的水平分力 R_x 为 451.34 N, 垂直于地面方向的垂直分力为 1 727.77 N, 破茬盘工作阻力的合力为 1 868.38 N, 受力方向角度为 67.66° , 破茬深度为 7.524 cm, 其着力点的作用线与被测土壤工作部件的中心距离为 4.59 cm。为保证破茬盘在进行切茬作业时, 能够达到切茬深度, 测试装置所加配重必须大于破茬盘所受阻力垂直于地面方向的分力 R_y , 即大于 1 722.77 N, 故所需配重及自身质量应大 175.79 kg, 该组试验中, 装置及所加装配重总质量为 190 kg, 大于切开玉米根茬“五叉股”时所需质量, 符合试验所需配重的最低要求。

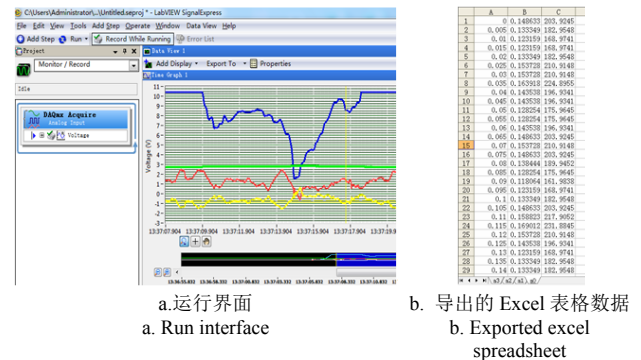


图 5 LabVIEW Signal Express 2011 运行界面与导出的 Excel 表格
Fig.5 LabVIEW Signal Express 2011 running interface and derived Excel table

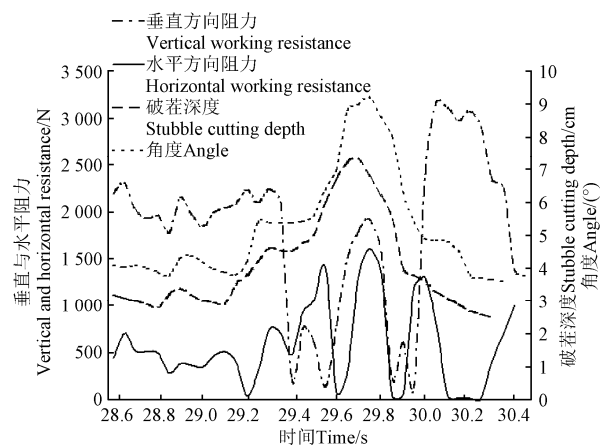


图 6 破茬深度、四连杆仿形机构角度、破茬盘水平阻力、破茬盘垂直阻力变化曲线图

Fig.6 Variation curves of stubble cutting depth, four connecting rod angle, horizontal direction resistance and vertical direction resistance

3.1.2 数据分析

根据破茬圆盘刀切茬试验所得数据（表 2），分别绘制出工作时间与破茬盘所受阻力在测试装置前进方向相反的水平分力 R_x 和所受阻力在垂直于地面方向的垂直分

力 R_y ，如图 7、图 8 所示。

通过分析图 7 可以看出这两条曲线变化时都是间隔一段距离之后出现一个峰值，得出了破茬圆盘刀在切割玉米根茬时，切割时间与切割阻力的图像符合脉冲信号的机理。

表 2 破茬盘工作时测得的数据
Table 2 Data by test of disc residue cutting coulter

编号 Number	工作深度 Working depth h/cm	角度 Angle $\alpha/(\text{°})$	上拉杆受力 Force of upper link F_1/N	下拉杆受力 Force of lower link F_2/N	水平分力 Horizontal component R_x/N	垂直分力 Vertical component R_y/N	阻力 Resistant force R/N
1	3.94	5.61	-928.47	1185.84	258.38	1104.35	1134.17
2	4.07	5.76	-907.50	1213.80	305.05	1099.31	1140.85
3	4.14	5.87	-746.73	1171.86	423.33	1087.89	1167.35
4	3.84	5.42	-1068.27	1731.09	122.37	1116.56	1123.25
5	4.42	6.25	-1159.14	1800.99	638.76	1064.1	1241.10
6	4.69	6.38	-1005.36	1682.16	673.40	1059.32	1255.24
7	4.67	6.62	-1054.29	1458.46	401.99	1130.05	1199.42
8	4.56	6.46	-900.51	1388.56	485.54	1077.56	1181.90
9	4.38	6.20	-823.62	1283.70	457.90	1064.1	1158.44
10	3.62	5.12	-1194.09	1940.80	746.71	1066.97	1302.31
均值 Average value	4.23	5.97	-978.80	1485.73	451.34	1087.02	1190.40
方差 Variance	0.14	0.24	20552.22	79851.48	38107.69	609.53	3458.91
标准差 Standard deviation	0.37	0.49	143.36	282.58	195.21	24.69	58.81
变异系数 Coefficient variation $V/\%$	8.69	8.22	-14.65	19.02	43.25	2.27	4.94

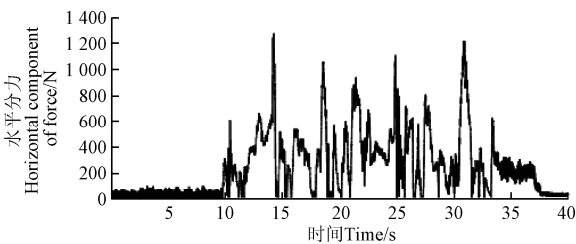


图 7 切割时间与水平分力 R_x 的曲线图

Fig.7 Curve of cutting time and horizontal component R_x

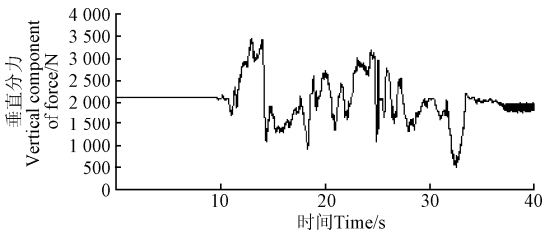
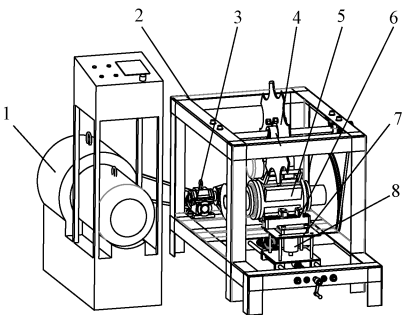


图 8 切割时间与垂直分力 R_y 的曲线图

Fig.8 Curve of cutting time and vertical component of force R_y

3.2 方案可行性论证

根据课题组研制的玉米根茬切割阻力测试试验台^[24-26]（图 9），对同一个破茬盘的测试，当机器前进速度为 5 km/h，水平分力为 367.2 N，而垂直分力为 1 195 N；本次土壤耕作部件测试装置的室内土槽试验，机器前进速度为 0.3 km/h，故比机器前进速度为 5 km/h 阻力更大，水平分力 451.34 N，垂直分力为 1 727.77 N，说明这种测试装置方案合理可行。



1.调速电动机 2.机架 3.减速器 4.刀盘 5.转矩转速传感器 6.夹具
7.底座 8.拉压传感器
1.Speed control motor 2.Frame 3.Speed reducer 4.Knife disc 5.Torque speed sensor 6.Clamping pliers 7.Base assembly 8.Pull pressure sensor

图 9 玉米根茬切割阻力测试装置

Fig.9 Assembly drawing of cutting resistance test device with corn residue

3.3 田间试验验证

田间试验于 2015 年 4 月 26 日进行，地点选在沈阳农业大学试验田，在留有玉米根茬的垄作未耕地块进行试验。试验地块为秋季机械收获玉米后留茬地，土壤含水率的平均值为 19.15%，土壤容重 1.26 g/cm³；玉米垄距平均为 60 cm，株距 22.79 cm；垄作留茬高度平均为 30.76 cm，秸秆直径平均为 3.28 cm。免耕播种机土壤工作部件测试装置由东方红 354 型拖拉机按位调节悬挂连接，试验装置的安装与调试如图 10 所示。土壤工作部件选为新型切拨防堵装置^[27]。通过田间试验验证，说明本测试装置功能可行，方案合理。



图 10 免耕播种机土壤工作部件测试装置的安装与调试
Fig.10 Installation and adjustment of soil working tool testing device of no-till planter

4 结 论

1) 通过室内土槽试验研究与田间试验验证, 本测试装置功能可行, 方案合理, 能够实时的将采集的数据发送到计算机中, 利用计算机软件及时准确的记录数据并显示出动态数据波形图。用于确定土壤工作部件的工作阻力大小、受力方向以及着力点等, 还可用于多种不同土壤工作部件的田间测试装置。为改善土壤工作部件的结构参数提供理论依据。

2) 通过免耕播种机土壤工作部件测试装置的室内土槽试验, 以新型阿基米德螺线型圆盘破茬刀土壤工作部件, 得出切开玉米根茬五叉股深度为 7.52 cm 时, 工作阻力为 1 868.38 N, 受力方向角 (与水平方向) 为 67.66°, 受力方向线与圆盘刀的中心距离为 4.59 cm, 所得下压力为 175.79 kg。

3) 通过试验求取的破茬圆盘刀所受阻力方程曲线 (包括 R_x 和 R_y), 提供了破茬圆盘刀在切割玉米根茬时, 切割阻力随切割时间变化的曲线图, 为研究免耕播种机的载荷特性提供了理论基础。

[参 考 文 献]

- [1] 林静, 宋玉秋, 李宝筏. 东北垄作区机械免耕播种工艺的研究[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 50—57.
Lin Jing, Song Yuqiu, Li Baofa. Mechanical no-tillage sowing technology for northeast ridge area in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(9): 50—57. (in English with Chinese abstract)
- [2] 林静, 钱巍, 李宝筏, 等. 2BG-2 型玉米垄作免耕播种机播种深度数学模型的仿真与验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 19—24.
Lin Jing, Qian Wei, Li Baofa, et al. Research on seeding depth stability of 2BG-2 type corn ridge planting no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(9): 19—24. (in English with Chinese abstract)
- [3] 王庆杰, 何进, 梁忠辉, 等. 东北地区玉米垄作免耕播种

机研究现状[C]//中国农业工程学会 2011 年学术年会, 重庆: 2011.

Wang Qingjie, He Jin, Liang Zhonghui, et al. Current status of maize ridge-till and no-till seeder in northeast China[C]// Annual Conference of Chinese Society of Agricultural Engineering, Chongqing: 2011. (in Chinese with English abstract)

- [4] 李宏哲, 林静, 李宝筏. 免耕播种机在辽宁铁岭县的适应性研究[J]. 农机化研究, 2014, 36(8): 49—51.
Li Hongzhe, Lin Jing, Li Baofa. Study on adaptation of no-till planter for Tieling County Liaoning Province in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(8): 49—51. (in Chinese with English abstract)
- [5] Gratton J, Chen Y, Tessier S. Design of a spring-loaded downforce system for a no-till seed opener[J]. Canadian Biosystems Engineering, 2003, 45(2): 29—35.
- [6] Grisso R B, Holshouser D, Robert P. Equipment considerations for no-till soybean seeding[R]. Virginia Cooperative Extension, 2002: 442—456.
- [7] 王庆杰, 何进, 李洪文, 等. 免耕播种机开沟防堵单元体设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 27—31.
Wang Qingjie, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and experiment on furrowing and anti-blocking unit for no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(1): 27—31. (in Chinese with English abstract)
- [8] 韩天判. 2BMFX-4 型玉米免耕精量播种机的设计与研究[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(1): 41—43.
Han Tianpan. Design and research of 2BMFX-4 no-till corn precise seeder[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(1): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [9] 杨薇, 李建东, 王飞, 等. 2BMJ-4 型玉米免耕精密播种机播种单体设计[J]. 农业工程, 2015, 5(1): 56—58.
Yang Wei, Li Jiandong, Wang Fei, et al. Design on seeding monomer of 2BMJ-4 type no-till precise planter for corn[J]. Agricultural Engineering, 2015, 5(1): 56—58. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘月琴, 刘汉涛, 赵满全, 等. 气吸式免耕播种机排种装置的振动试验分析[J]. 农机化研究, 2014, 36(4): 145—149.
Liu Yueqin, Liu Hantao, Zhao Manquan, et al. Analysis of vibration test for air-suction seed metering device of no-tillage planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(4): 145—149. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张守德, 杜健民, 郝飞, 等. 2BQM-6 型免耕播种机结构设计及开沟器的力学分析[J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 146—149.
Zhang Shoude, Du Jianmin, Hao Fei, et al. 2BQM-6 gas suction no-till planter structure design and mechanics research of opener[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(1): 146—149. (in Chinese with English abstract)

- [12] 赵佳乐, 贾洪雷, 郭明卓, 等. 免耕播种机有支撑滚切式防堵装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 18—28.
Zhao Jiale, Jia Honglei, Guo Mingzhuo, et al. Design and experiment of supported roll-cutting anti-blocking mechanism with for no-till planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(10): 18—28. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘其潼, 张晋国, 杨娜, 等. 玉米免耕深松全层施肥精量播种机播前碎土镇压轮的研制[J]. 农机化研究, 2015, 37(7): 127—130.
Liu Qitong, Zhang Jinguo, Yang Na, et al. Study on the pulverizer repression wheel before sowing of the precise planter with no-tillage subsoil and whole layer fertilization[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(7): 127—130. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王跃勇, 王利斌, 张维安, 等. 长春地区免耕播种机的现状和建议[J]. 农机化研究, 2016, 36(2): 263—268.
Wang Yueyong, Wang Libin, Zhang Weian, et al. Current status and advice of no-till planters in Changchun area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 36(2): 263—268. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王庆杰, 何进, 姚崇路, 等. 驱动圆盘玉米垄作免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 68—72.
Wang Qingjie, He Jin, Yao Zonglu, et al. Design and experiment on powered disc no-tillage planter for ridge-tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 68—72. (in Chinese with English abstract)
- [16] 赵旭, 张祖立, 白红春, 等. 一种新型玉米免耕破茬防堵装置[J]. 农机化研究, 2009, 31(6): 58—61.
Zhao Xu, Zhang Zuli, Bai Hongchun, et al. The new type residues cutting and anti-blocking device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(6): 58—61. (in Chinese with English abstract)
- [17] 廖庆喜, 高焕文, 舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 108—112.
Liao Qingxi, Gao Huanwen, Shu Caixia. Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(1): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [18] 高焕文, 李洪文, 姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 78—82.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Yao Zonglu. Study on the Chinese light no-till seeders[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 78—82. (in Chinese with English abstract)
- [19] Scholtz D C. A three-point linkage dynamometer for restrained linkage[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 11(1): 33—37.
- [20] 吴仕宏, 包文育, 李宝筏. 东北垄作玉米免耕破茬试验装置的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(4): 657—659.
Wu Shihong, Bao Wenyu, Li Baofa. Experiment of no-tillage maize residues cutting of the ridge cropping system in north-east area of China[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(4): 657—659. (in Chinese with English abstract)
- [21] 乔晓东, 王晓燕, 彦华, 等. 后悬挂农具田间试验平台[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 64—68.
Qiao Xiaodong, Wang Xiaoyan, Yan Hua, et al. Field experiment platform for rear suspension[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 64—68. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘春鸽, 王晓燕. 土壤耕作部件测试装置的设计[J]. 农机化研究, 2014(8): 70—73.
Liu Chungu, Wang Xiaoyan. Design on the portable measuring equipment of soil tillage device[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(8): 70—73. (in Chinese with English abstract)
- [23] 郝宝玉. 免耕播种机土壤工作部件测试装置的设计与研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2015.
Hao Baoyu. The Research and Design of No Tillage Planter Parts Testing Device[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李博. 免耕播种机新型破茬开沟装置的设计与试验研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
Li Bo. Design and Experimental Research of New maize Residues Cutting and Opening Device for No-Tillage Planter[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [25] 林静, 李宝筏, 赵德芳, 等. 玉米根茬破茬阻力测试装置: 中国专利, ZL 2012 10238635.6[P]. 2014-10-22.
Lin Jing, Li Baofa, Zhao Defang, et al. Stubble breaking resistance measuring device for Maize: Chinese patent, ZL 2012 10238635.6[P]. 2014-10-22.
- [26] 林静, 李博, 李宝筏, 等. 阿基米得螺旋型缺口圆盘破茬刀参数优化与试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 100—104.
Lin Jing, Li Bo, Li Baofa, et al. Parameter optimization and experiment on archimedes spiral type gap cutting disc[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 100—104. (in Chinese with English abstract)
- [27] 林静, 钱巍, 牛金亮. 玉米垄作免耕播种机新型切拨防堵装置的研究与试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2015, 46(6): 691—698.
Lin Jing, Qian Wei, Niu Jinliang. Design and experiment of stubble-cutting and anti-blocking mechanism for ridge-till and no-till planter[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2015, 46(6): 691—698.

Design and experiment of testing device for soil working tool in no-tillage planter

Liu Yanfen, Lin Jing^{*}, Hao Baoyu, Li Baofa, Ma Tie

(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Ridge culture can slow down the runoff of rain and prolong the infiltration time of rain, it plays a role on intercepting rain and protecting soil; furthermore, it could increase the cultivated area, thicken the soil layer which close to crop root system, make it easy to receive the illumination, improve the temperature of ground surface, benefit growth and promote the maturity of crops. The corn ridge culture no-till planter from Northeast China exists many problems so far, such as too large equipment quantity, destroying ridge shape while operating, serious compaction of soil, thicken the plow pan, caused deterioration of physiochemical properties of arable soil and fertility decline. In order to optimize the design soil work tool of no-till planter, the domestic and overseas development states of soil work tool testing device was analyzed, and combined with the situation of corn conservation tillage in Northeast China, the testing device of soil work tool was researched, designed and manufactured. The testing device could be applied to different farming methods, different ridge distances and variety of soil working tools. The testing device is a mounted device, which mainly composes of force measurement framework, four-bar profiling mechanism, pull pressure sensor, angular displacement sensor, linear displacement sensor and soil work tool fixture. There are two pull pressure sensors installed on and below the four-bar profiling mechanism, angular displacement sensor installed on the axis of rotation; soil work tool fixed to the force measurement framework with linear displacement sensor on it. It will detect the up and down displacement change of force measurement framework while testing (scilicet the change of the entering soil depth of work tool). Given the resultant force of upper and lower link and the gravity of testing device, the working resistance of soil work tool can be calculated. The resultant force of upper and lower link, gravity, and working resistance meet at one point, formed a balanced system of force. The data collecting card will collect testing data, which will be sent to computer in time. Computer software could record data accurately and display dynamic data waveforms. It can determine working resistance (size, orientation, focus) of the soil working tool, working depth and additional weight of machines by processing the data which obtained from test results, and provide reference for optimal design of soil working tool. Through test the working performance of Archimedes spiral disc cutting knife which is soil working tool, concluded that working resistance for breaking the corn stubble on the root is 1868.38 N, force direction angle is 67.66 degrees, stubble cutting depth is 7.52 cm, the distance between line of action and center of soil work tool is 4.59 cm, the total weight of devices and additional weight should be greater than 175.79 kg. On this basis, through analyze the time-dependent graphs of disc cutting knife working resistance, which include horizontal component of force that against the advancing direction of test device and vertical component of force that perpendicular to ground, obtained a mechanism that image of cutting time and cutting resistance when disc cutting knife cutting corn stubble, which laid a foundation and experimental verification for load specific property of no-tillage planter.

Keywords: soils; design; mechanical testing; no-till planter; testing device; soil working tool; stubble-breaking disc; working resistance