

犁体表面载荷分布的传感器阵列检测*

翟力欣 姬长英 郁隐梅 丁启朔

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 为揭示犁体表面与土体间的相互关系,探讨使用压力传感器阵列测试犁体表面所受土体压力的可行性。用自制的隔离盒分别将 11 个压力传感器封装后布置在犁体表面,形成传感器阵列,并将构建的系统置于流变态粘性土壤中进行测试。测试结果表明,该测试手段满足使用要求,其数据表明最大点荷载产生于犁铧的铧面上,最小点荷载产生在犁铧与犁壁的过渡区域。

关键词: 犁体 土槽 载荷 传感器阵列

中图分类号: S233.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)08-0050-04

Arrayed Sensors Measurement for Load Distribution of Plow

Zhai Lixin Ji Changying Yu Yinmei Ding Qishuo

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

In order to reveal the relationship between surface of plow and soil, the feasibility of using the sensors to test the force on the plow surface was discussed. 11 sensors were packaged in the self-isolation boxes and arranged in the surface of plow to form a sensor array. And then the system was put into the paddy soil for testing. The result showed that proposed method met the practice demand. The data showed that the maximum load was on the plowshare's spade, and the minimum load was in the area of the transition from plowshare to the wall.

Key words Plow, Soil bin, Load, Arrayed sensors

引言

农业机械工作部件与土体之间动态力的关系一直是农机具设计的基础问题。学者围绕犁具的性能提高已探索了许多技术途径,不仅有传统的犁面设计理论^[1],也有现代的设计方法^[2-13]。

然而,犁体表面所受真实土压力的测试尤为重要。测取犁体表面的土压力分布有利于直观展示在不同条件下犁体表面所受土的应力集中及分布状况,从而为进一步合理优化设计犁面提供依据。鉴于犁体工作条件十分恶劣,尤其是南方的湿粘土壤条件,犁体表面应力分布测试需要采用相应的技术手段。本文提出使用传感器阵列测试犁体表面应力分布的方案。

1 表面压力传感器隔离盒的设计与安装

为测量犁体工作过程中表面所受载荷的大小,采用南京隆顺仪器仪表有限公司生产的 JP-1 型压力传感器来测试,其量程是 0~500 N/cm²。对传感器进行标定进而得其标定方程为 $F = 227.27U$ 。

为了测量犁体的表面载荷,需设计一种传感器隔离盒,以便将传感器固定在犁面上。考虑到传感器的接触形式,设计了如图 1 所示的隔离盒结构简图。

安装时,首先将传感器的隔离盒直接与犁体曲面焊接,并在犁面与隔离盒焊接处开一直径为 19 mm 的孔,然后将传感器压力杆放进隔离盒,通过凹槽预防压力杆的滑落,接着将传感器放入隔离盒

收稿日期: 2010-10-11 修回日期: 2010-12-10

* 国家自然科学基金资助项目(50675107)

作者简介: 翟力欣,博士生,主要从事土壤-机器系统研究,E-mail: xiaozhaixin@sohu.com

通讯作者: 姬长英,教授,博士生导师,主要从事土壤-机器系统研究,E-mail: chyji@njau.edu.cn

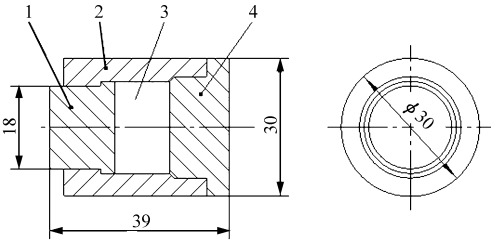


图 1 传感器隔离盒结构示意图

Fig. 1 Isolation box for sensor

1. 压力杆 2. 套筒 3. 传感器 4. 压盖

中,使受压面与压力杆进行预接触,最后将传感器的另一端用压盖定位。焊接与安装后的犁体表面压力传感器的分布如图 2、3 所示。文献[14]研究表明,

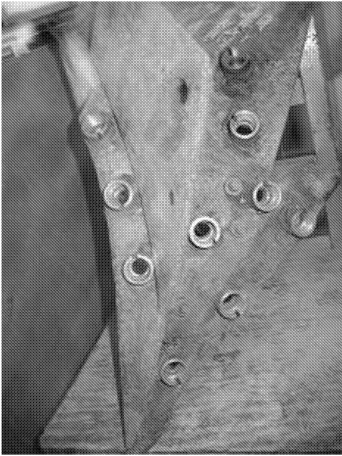


图 2 隔离盒的焊接

Fig. 2 Box welded on the surface of plow

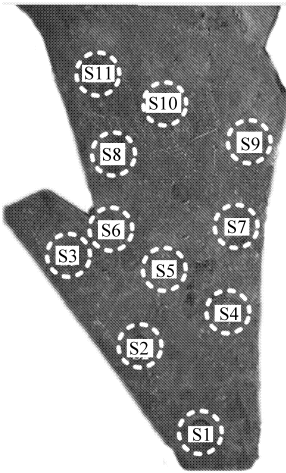


图 3 安装分布图

Fig. 3 Sensors fixed on the plow

推土铲凸包面上和凸包之间均有压力载荷,但是凸包面上载荷远大于凸包之间的载荷。为了避免这种差异,在测量犁体表面的载荷过程中,应尽量保证传感器的表面与局部的犁面处于同一平面,故可根据后盖螺纹拧紧力的大小对传感器在隔离盒的内部空间布置进行调整,进而调整压力杆的位置。小型压力传感器在犁体表面上的正面布置位置见图 4。

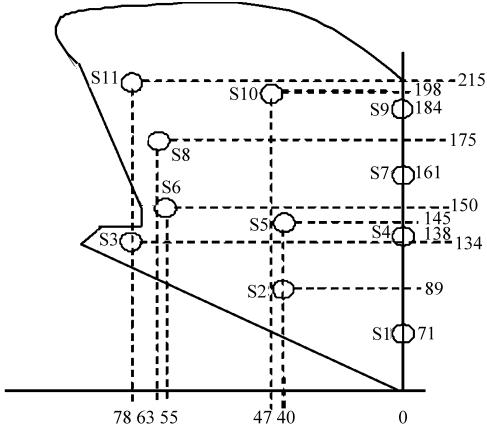


图 4 小型压力传感器在犁体表面的布置示意图

Fig. 4 Position of the sensors on the plow

2 测量系统设计

试验在南京农业大学工学院室内土槽中完成。土槽基本参数为:长度 6 m,宽度 2.5 m,高度 0.8 m。台架由三相异步交流电动机驱动,速度控制器使台架能够在外界载荷发生变化时使系统速度保持在一个较为稳定的值,这为试验提供了极大的方便。

试验测量系统包括压力传感器和数据采集系统两部分,如图 5 所示。在试验过程中,压力传感器主要是感知信号,并将信号传送给数据采集系统;数据采集系统主要是对不同位置的应力进行实时采集,并将采集信号提供给数据处理系统;数据处理系统对数据进行实时处理,以记录应力的变化过程。

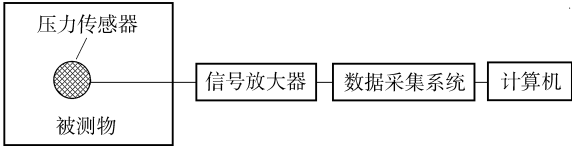


图 5 犁体表面压力测量系统原理图

Fig. 5 Pressure measuring system on the plow

LabView 是虚拟仪器开发过程中最具代表性的图形化编程语言(G 语言),是目前国际上应用最广的数据采集和控制开发环境之一^[15],主要由前面板、框图程序和图标/接线端口 3 部分组成。

数据采集系统由软件与硬件两部分组成,如图 6 所示。硬件由电荷放大器及数据采集板等组成(图 6a、6b 所示)。软件由 LabView 软件编制的数据采集主程序、标定程序及各种计算程序等组成(图 6c、6d 所示)。

传感器放置位置的正确性是保证测试结果正确的必要条件。在试验中,要求传感器感压面朝被测压力方向,并与该方向垂直,其不垂直度应小于 10°。对于多点测量,存在着传感器之间相互影响问题。研究结果表明^[16]:传感器引起应力的扰动范围

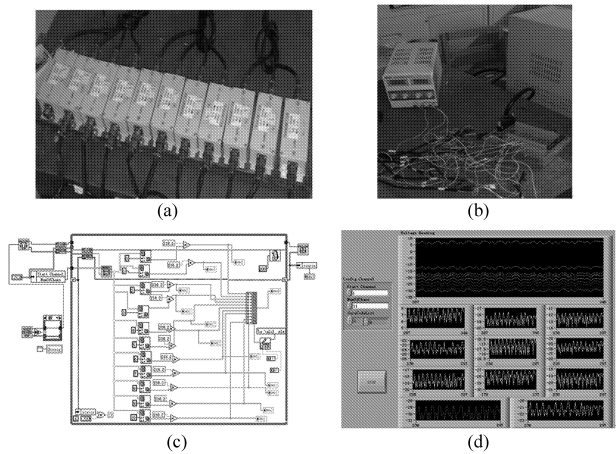


图6 数据采集系统

Fig.6 Data collecting system

(a) 电荷放大器 (b) 数据采集板与电源
(c) 数据采集 LabView 程序框图 (d) 数据采集程序前面板

与传感器等效模量及高径比有关。在应力测量中,传感器水平和垂直净距一般在1~3倍传感器直径*D*范围内,基本上互不干扰。为此,在同一纵向或者水平平面内,相邻位置放置压力传感器时,其间距均大于两者直径之和。传感器的具体放置位置如图4所示。

本次试验所测得的有关土壤参数值和试验条件分别见表1和表2。犁体在表1所示的土壤条件下分别以表2所示的3种不同耕深(15 cm、20 cm、25 cm)工作,从而采集压力数据并分析犁体表面不同位置的压力变化趋势,结果如图7所示。

表1 土壤机械性能参数

Tab.1 Mechanical parameters of soil

土壤参数	体积密度 /kg·cm ⁻³	含水率/%	硬度 /kPa	内摩擦角/(°)	内聚力 /kPa
数值	1 032	21	14.32	9.93	24.47

表2 试验条件

Tab.2 Condition of testing

工作参数	犁体安装 角度/(°)	切削速度 /m·s ⁻¹	耕深 /cm
数值	90	0.35	15、20、25

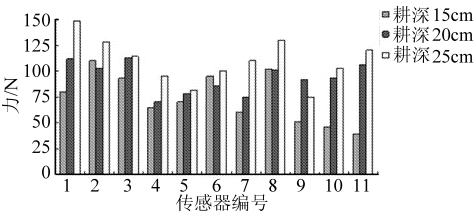


图7 表面载荷分布

Fig.7 Distribution of load on the surface of plow

3 试验结果分析

得到的测试结果如图7所示。分析图7中11个分布位置载荷的大小,发现11个检测位置均有载荷输出,但是不同耕深犁体载荷的最大位置也不尽相同。传感器S1~S3区域为犁铧的铧面区,S4~S6为犁铧与犁壁的过渡区,S7~S11为犁壁区。耕深为15 cm时,最小载荷为传感器S9、S10及S11所在位置,其值均小于52 N,这是由于耕深比较浅,从而使得沿犁面直至翻转的很小一部分土壤能与传感器S9、S10及S11所在位置的犁面相接触,故这部分的力可以忽略比较。最大载荷位置为传感器S2,其值均在100 N以上。耕深为20 cm时,除了传感器S7位置,犁壁区与犁铧区的载荷均较过渡区的载荷大,而且3个区域中传感器间的载荷差值均小于10 N。耕深为25 cm时,最大载荷发生在传感器S1位置,其值为148 N,而最小载荷发生在传感器S5位置,其值为75 N。由以上分析可以看出,3种不同耕深条件下,犁体表面最大载荷均发生在犁铧区域,而最小载荷区域随着耕深的变化而不同。最小载荷区域由犁体与土壤的起始接触深度决定。

当耕深使得土壤起始与11个传感器均接触时,犁体表面最大载荷均发生在犁铧区域,而最小载荷区域发生在犁铧与犁壁的过渡区。参照图4,当耕深为15 cm时,土壤起始与传感器S1、S2、S3、S4、S5、S6接触,比较这6个传感器数值,看出位于犁铧区域的传感器S2数值最大,而位于过渡区的传感器S4数值最小;当耕深为20 cm及25 cm时,土壤起始与11个传感器基本均接触,位于犁铧区域的传感器数值最大,而位于过渡区的传感器数值最小。针对耕深为15 cm时测得的结果,以Matlab拟合曲面直观显示,如图8所示,其中*x*、*y*分别表示犁体监测点

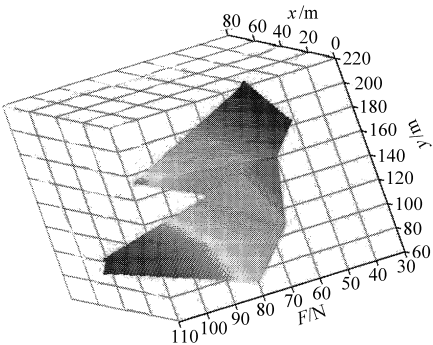


图8 Matlab拟合曲面

Fig.8 Fitting curves with Matlab

的位置坐标,*z*坐标则表示各个监测点的载荷大小。载荷由大到小按照铧尖、犁铧、犁壁、犁铧与犁壁的过渡区来过渡变化,直观地再现了犁铧区域的最大载荷以及过渡区的最小载荷。

犁铧区即靠近切削刃处的压力传感器所承载荷最大,这一方面是由于犁体在切削土壤时,被切削的土壤不呈带状而是呈散土堆状前进,另一方面是在切削刃处有较多的土壤粘附,因此是主要的工作部位,承受了最大的载荷。犁体耕作时,犁铧的主要作用是入土、切土、撕裂土壤和快速升垡。所以,犁铧形状对切土阻力有很大影响。这和试验结果一致。

4 结论

(1) 对表面压力传感器进行了标定,并设计制

造了表面压力传感器的隔离盒,用于犁体表面载荷的测量。结果表明使用传感器阵列测试犁体表面是可行的。

(2) 对湿粘状态土壤耕作时,3 种不同耕深条件下,犁体表面最大载荷均发生在犁铧的犁面区域,而最小载荷区域为犁铧与犁壁的过渡区。

参 考 文 献

- 1 北京农业机械化学院. 农业机械学:上册[M]. 北京:农业出版社,1996.
- 2 Ros V, Smith R J, Marley S J, et al. Mathematical modeling and computer-aided design of passive tillage tools[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3):675~683.
- 3 张毅,周志立. 仿生圆盘犁犁体设计与制造[J]. 洛阳工学院学报,2002,23(4):1~3.
Zhang Yi, Zhou Zhili. Design and make of bionic disk plow[J]. Journal of Luoyang Institute of Technology, 2002,23(4): 1~3. (in Chinese)
- 4 余贵珍,吴成武,丁能根,等. 犁体参数化设计系统的研究[J]. 农业机械学报,2008,39(3):49~51.
Yu Guizhen, Wu Chengwu, Ding Nenggen, et al. Research on parametric design system of plow[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(3):49~51. (in Chinese)
- 5 Godwin R J, O'Dogherty M J, Saunders C, et al. A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed[J]. Biosystems Engineering, 2007, 97(1):117~129.
- 6 杨文彩,杨青,邢希东,等. 高速犁体曲面优化设计方法之新见解[J]. 西北农业大学学报,2000, 28(5):105~108.
Yang Wencai, Yang Qing, Xing Xidong, et al. A new method of optimal design for high speed plough surface[J]. The Journal of Northwest Agricultural University,2000,28(5):105~108. (in Chinese)
- 7 吴成武,冯敢,单宝彤,等. 垄作节能犁的研究与设计[J]. 农业机械学报,1996,27(10):10~14.
Wu Chengwu, Feng Gan, Shan Baotong, et al. Research and designing on low power consumption ridge culture plow [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(10): 10~14. (in Chinese)
- 8 凌文兴. 实测土迹线的拟合分析[J]. 江苏大学学报,1984,63(4):63~73.
Ling Wenxing. Fitting analysis of measured soil traces[J]. Journal of Jiangsu University, 1984, 63(4):63~73. (in Chinese)
- 9 Formato A, Faugno S, Paolillo G. Numerical simulation of soil-plough mouldboard interaction[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(3):309~316.
- 10 Plouffe C, Richard M J, Tessier S, et al. Validation of mouldboard plow simulations with FEM on a clay soil[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(6):1 523~1 530.
- 11 Owende P M O, Ward S M. Characteristic loading of light mouldboard ploughs at slow speeds [J]. Journal of Terramechanics, 1996, 33(1): 29~53.
- 12 Oskoui K E, Rackham D H, Witney B D. The determination of plough draught—part II the measurement and prediction of plough draught for two mouldboard shapes in three soil series[J]. Journal of Terramechanics, 1982,19(3): 153~164.
- 13 姜颖. 基于动力学仿真的犁曲面工作性能影响因素的研究[D]. 南宁:广西大学,2008.
Jiang Ying. Study on influencing factors of plow surface working performance based the dynamic simulation[D]. Nanning: Guangxi University,2008. (in Chinese)
- 14 阎久林,韩志武,任露泉,等. 推土铲测力传感器设计与试验[J]. 农业机械学报,2001,32(3): 99~101.
Yan Jiulin, Han Zhiwu, Ren Luquan, et al. Design and experimental application for load transducer of bulldozing blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(3): 99~101. (in Chinese)
- 15 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- 16 曾辉,李欢秋. 压电式结构表面压力传感器匹配问题理论与试验研究[J]. 防护工程,1996(3):22~41.
Zeng Hui, Li Huanqiu. Theoretical and experimental research on match of piezoelectric pressure transducer[J]. Protection Engineering, 1996(3):22~41. (in Chinese)