

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.07.010

流变态土壤切削试验用室内土槽与测试系统设计*

翟力欣 姬长英 丁启朔

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 根据农业机械在水田作业的实际情况,设计了模拟田间实际作业的水田试验土槽。阐述了设计方案及设计过程,提出了解决湿基制备、土壤含水率控制等方法。根据室内试验土槽的功能和特点,开发了与之配套的试验数据实时采集系统。

关键词: 水田 试验土槽 测试系统 设计 数据采集

中图分类号: S233.1; S-3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0045-05

Research on Indoor Soil Bin and Test System for Rheological Soil Tillage

Zhai Lixin Ji Changying Ding Qishuo

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

Abstract

The simulating test is the important means and method to reduce cost and raise efficiency of new type of farm machinery design. According to the actual working circumstances of farm machinery in the paddy field, a trial soil bin which could imitate actual work in field was designed. The project and process of the soil bin design were introduced briefly. The methods to resolve the problems such as how to make the wet soil and how to control the water content of soil were proposed; based on the analysis of the functions and characteristics of the soil bin, experimental data sampling system was developed.

Key words Paddy soil, Soil bin, Test system, Design, Data collecting

引言

我国南方水田分布广,主要的农业生产活动都在高含水率的土壤条件下进行,包括稻麦收获、土壤耕作及车辆的田间行进等。因此,流变态土壤的流变力学性质决定着在进行农业机械的设计与运用时必须重视南方土壤条件的特有约束和限制,流变态土壤环境下的农业机械应与北方旱作条件下的有所不同。

我国在流变态土壤力学研究领域做出了重要贡献。潘君拯、姬长英^[1-12]等建立了我国水田土壤的流变模型,对影响流变参数的各因素进行了大量试验分析,研制了水田流变仪,导出了土壤在准静载条件下随时间变化的位移关系式,探讨了流变态土壤

剪切变形机理,提出了土壤的应力-应变-时间图,并做了将该图用于耕作和牵引方面的设想。此外,沈杰、余群^[13]、李汝莘^[14]、张锐、李建桥^[15-16]、罗定照^[17]、罗大海^[18]等也相继开展了一些相关研究工作,但其工作并未突破上述范围。然而,流变态土壤在实际的农业机械及尺度下所表现出的真实切削及失效规律尚不清楚。

用于探求流变态土壤剪切失效机理的试验方法有两种^[19],这两种方法都试图找到土壤内聚力和内摩擦角的数值。较简单的方法是直剪试验,应用最广泛的是利用三轴测定仪获得必要参数。

与流变态土壤剪切失效试验相比,直接使用实际尺寸的农业机械在流变态土壤中测试的报道相对较少。人们对流变态土壤在犁具、旋耕刀具等农业

收稿日期: 2009-09-07 修回日期: 2009-11-02

* 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

机械的剪切作用下所发生的真实失效形态、机理及阻力表现的认识仍然十分不够。

不同于旱地土壤条件,限制流变态土壤真实切削表现测试的因素很多,而其中最为突出的限制因素就是大田实际的土壤条件难以控制。因此,研制室内可控的切削测试条件可以为流变态土壤揭示其在实际农业机械作用下的变形及失效规律,从而为流变态土壤的农业机械设计提供基本的依据。

1 设计要求和总体设计方案

用于研究流变态土壤切削试验的室内土槽不同于常规土槽。土槽的设计应满足高含水率土壤基的制备、调节与控制要求,包括土壤的含水率、土壤的干密度、土壤的结构状态。旱基土槽及土壤基的制作方法相对简单,包括分层覆土、洒水、碾压或振实。但是湿基试验用土壤基的制作与此不同。湿基制作的关键是对含水率的控制。

该试验土槽主要是对水田作业机械进行模拟,以适应流变态土壤的耕作研究。水田土槽与常规土槽的主要区别体现在排水沟的设计、过滤层的填加以及土壤粒径范围的选择等方面。其设计重点之一为如何控制土壤的含水率;之二为如何实现农业机械作业牵引力的模拟及作业机械实际作业状况的模拟。基于以上要求,设计的直形固定土槽内填装经过筛分的田间水田土壤来模拟实际大田环境,土壤下部填有过滤层,土槽底部设计为具有一定坡度的斜面并挖有排水沟,以利于排水。试验台架由运动机构、张紧部分、动力输入部分、犁体支撑架及夹持装置组成。土槽结构简图如图1所示。在试验过程中,通过Labview软件编制数据采集程序,将犁体在工作过程中的受力变化趋势直观地显示在Labview面板上,同时将实测结果保存在计算机上,以便后期处理。

2 关键部件的设计

2.1 试验土槽的设计

试验土槽的总体设计要以土槽上安装的仪器能稳定地测试出数据为依据,以适应水田作业的模拟为前提。根据实验室空间的大小,考虑到犁体在工作过程中的加速、稳定和制动阶段,设计土槽的长为6 m,为了保证在同一土壤条件下进行多次试验及尽量减少土槽的边缘效应,宽度确定为2.5 m,根据土壤的填装厚度,高度设计为0.8 m。土槽断面如图2所示。其中土壤必须经过处理,方可填入土槽内部。

首先将从大田运回的水田土壤晒干、捣碎并筛

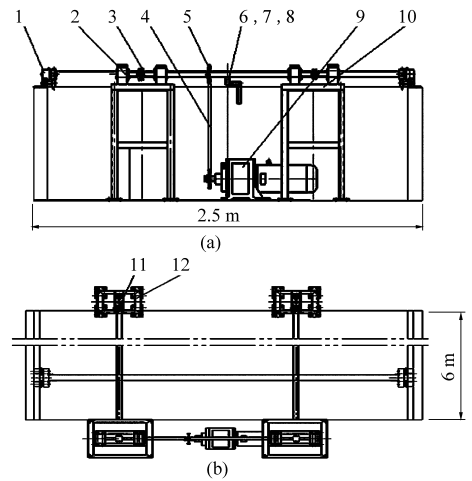


图1 室内水田试验土槽结构简图

Fig. 1 Structural figure of indoor paddy bin for experiment

(a) 主视图 (b) 俯视图

1. 犁体支撑架 2. 轴支承座 3. 导向链轮 4. 主传动链条
5. 从动链轮 6,7,8. 犁体连接架、CS-56型传感器、犁体 9. 变频调速电动机 10. 支架 11. 张紧轮装置 12. 张紧支架

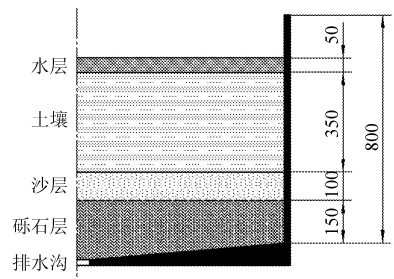


图2 土槽断面图

Fig. 2 Soil bin section

分,把粒径在0.002~5 mm范围内的颗粒填入土槽,其下部为砾石和河沙组成的过滤层,土槽底部设有坡面,以便于控制土壤的含水率。接着平整填入的土壤,尽量使土壤表面在同一水平面,然后,封闭土槽的排水沟,同时向土槽内均匀洒水直至水面超过土壤表面5 cm左右。最后,将排水沟打开,使土壤静置两天,测其含水率,当土壤含水率在32%~35%范围内时,便可进行耕作试验。

2.2 轨道与犁体支撑架结构

犁体支撑架的导轨采用6 m整段槽钢,其槽口相对。犁体支撑架的4个小轮嵌于槽钢槽内,4个大轮在槽钢表面。这样安装既可以对犁体支撑架进行定位,又可以防止犁体支撑架颠覆,并可减少摩擦。

犁体支撑架与两侧链条固接并由两侧链条牵引而运动,利用变频电动机的正反转,即可实现犁体的前进与后退。其链条的张紧度由张紧装置来调节。这样不但避免了犁体支撑架在运动过程中的偏转,而且也弥补了试验的单一性。同时可在犁体支撑架

上设多个安装点,以在同一土壤条件下,进行多次试验。

2.3 测试装置

犁体和支撑架之间装有测力元件——CS-56 型三维力传感器。为了便于安装和调换可采用带液压升降的支撑连接架,但其制造费用比较高,所以采用了人工拆卸的犁体连接架。把力传感器用螺栓固定在连接板上,连接板与支撑架采用螺栓连接,犁体和连接架之间通过力传感器连接,但犁体与安装架并未接触。犁体所需的高度可通过增减垫板的方法来控制。

3 试验数据实时采集系统

3.1 系统的组成

系统硬件部分包括三维力传感器、电荷放大器、A/D 转换板接口和计算机等。信号流程如图 3 所示。

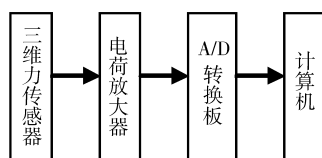


图 3 信号流程

Fig. 3 Process of signal

系统软件是由 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。在编制程序过程中,标定程序是关键。

由于结构和制造工艺上的原因,几乎每个作用在传感器上的力分量都会对传感器输出通道的读数产生影响,这就是力对读数的耦合作用。由于力的各个分量对传感器输出读数有耦合作用,标定矩阵很难用计算方法直接获得,一般是先通过试验得到必要的的数据,然后进行解耦得到完整的标定矩阵,从而可以建立从读数向量到力向量之间的一一对应关系。

由于采用非线性标定非常复杂,故常采用线性标定方法。

$$\begin{pmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{yx} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{zx} & C_{zy} & C_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$$

式中 U ——输出电压向量

F ——施加载荷向量

C ——标定系数矩阵或耦合矩阵

其中 C_{xy} 的物理意义是在 x 方向上施加载荷力时, y 方向上的电压输出值。

由给定力矩阵 F 和采集应变输出电压矩阵 U ,

通过解耦算法,求得系数解耦矩阵。因此,逐次沿 x, y, z 方向施加力,保证 F 的逆矩阵存在的同时,由 $U = CF$ 可以得出标定矩阵。

3.2 系统功能

该系统能对 3 路模拟信号同时进行采集,采样分辨率为 8 位二进制数,采样时间间隔根据需要可任意设定,输入输出信号范围为 0~10 V。

该系统采用 Labview 软件编制数据采集主程序,在程序执行过程中,可灵活方便地进行采集控制。

采集结果以图形的方式显示,并根据标定系数转换成相应物理量输出,进而以数据文件的形式储存在计算机中,以便于进一步分析与处理。

3.3 应用实例

在犁体耕作过程中,水田土壤内部结构发生了较大的变化。

在犁体与土壤相互作用的起始阶段,土壤由于内部产生挤压而隆起,使得土壤团块之间的内聚力减弱;当犁体前移一定距离以后,土壤内部的挤压程度变大,使得部分土壤小团块之间的内聚力消失,以至于在土壤自由表面出现微小裂纹;随着犁体的继续前移,土壤内部的挤压力继续加大,最终使得土壤上层自由表面的微裂纹变成大裂纹,部分土壤团块破碎并分离。

在犁体耕作过程中,其阻力变化过程可以通过数据采集系统采集的数据进行分析。以犁体在不同耕作速度下的耕作阻力试验为例来说明试验数据的采集过程。首先根据试验安排设定犁体的耕作速度。然后在试验开始瞬间,通过 Labview 程序开始进行数据采集。犁体在工作的过程中受到 x, y, z 三个方向的耕作阻力可在 Labview 面板上定性显示。最后当试验完成时,单击 Labview 面板上的“结束”按钮。此时,犁体在耕作过程中受到的阻力和与之对应的时间数据将同时存储在计算机上,以便进行后期处理。通过改变调速电动机的转速即犁体的前进速度,便可得到犁体在不同耕作速度下的耕作阻力。将存储在计算机上的数据进行曲线拟合,得到不同速度下三个方向的耕作阻力结果如图 4~6 所示。

由图 4 和图 6 可知, x 和 z 方向的耕作阻力数值随着速度的增加而增大,而图 5 所表达的 y 方向的耕作阻力随着速度的增加而先增大进而减小,这是受传感器安装位置及耕作条件的影响。图 4~6 表明速度越大,相同位移所需的时间越短,这与实际情况十分吻合,同时也说明数据采集系统的可靠性。

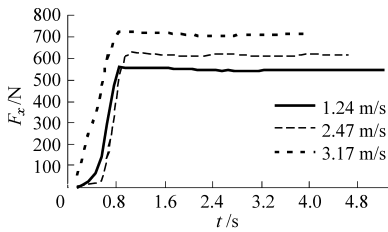


图4 不同速度下x方向的阻力

Fig. 4 Force of x direction at the different speeds

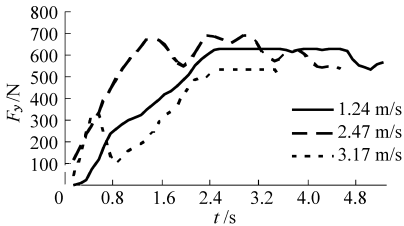


图5 不同速度下y方向的阻力

Fig. 5 Force of y direction at the different speeds

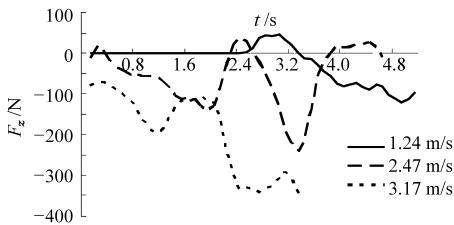


图6 不同速度下z方向的阻力

Fig. 6 Force of z direction at the different speeds

每次试验可测得若干组数据,由此可得出三个方向的阻力随时间变化曲线,在试验完成后能立即将试验数据存储存储在计算机上。

4 结论

(1) 室内流变态土壤切削测试系统是获取流变态土壤在刀具切削作用下发生失效的基本手段。它能够良好控制的流变态土壤状态,从而有利于提供相应的切削模型。该室内测试系统使用真实的犁具,从而直接得到犁具的真实行为表征。

(2) 在设计用于流变态土壤切削研究的土槽时考虑了流变态试验用土壤基的制作与控制问题,在土槽的设计过程中,土槽底部设计为坡面并设有排水沟,土槽内部有砾石和河沙组成的过滤层,以便于控制水田土壤的含水率。

(3) 对测试整机和零部件机构作了合理性的设计。采用电子变频无级调节技术解决了耕作部件变向行走问题等。

(4) 数据实时采集,可以提高试验一次成功率。将实时采集结果存储于计算机中,为后期的数据处理提供了很大的方便。

参 考 文 献

- Pan Junzheng. The general rheological model of paddy soils in South China[J]. Journal of Terramechanics, 1986, 23(2): 59 ~ 68.
- Ji Changying, Pan Junzheng. Chain-paddle driving mechanism, its pull prediction[J]. Journal of Terramechanics, 1995, 32(2): 224 ~ 229.
- 姬长英,陈铭年,潘君拯. 按水田土壤流变特性预测水田车辆下陷量的方法和仪器的研究[J]. 农业机械学报, 1986, 17(1): 21 ~ 31.
Ji Changying, Chen Mingnian, Pan Junzheng. Approach and instrumentation for predicting sinkage of wet land vehicle based on rheological characteristics of paddy soils[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986, 17(1): 21 ~ 31. (in Chinese)
- 潘君拯. 受冲击扰动饱和粘质水田土壤流变特性研究[J]. 农业机械学报, 1990, 21(4): 41 ~ 45.
Pan Junzheng. Rheological characteristics of disturbed saturated cohesive paddy soils in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1990, 21(4): 41 ~ 45. (in Chinese)
- 鲁植雄,姬长英,潘君拯. 据机械组成和含水量预测水田土壤粘附力[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(2): 114 ~ 116.
Lu Zhixiong, Ji Changying, Pan Junzheng. Prediction of paddy soil adhesion to steel based on mechanical composition and water content[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1999, 22(2): 114 ~ 116. (in Chinese)
- 姬长英,鲁植雄,潘君拯. 中国南方水田土壤的承载能力和粘附性能预测[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(4): 105 ~ 108.
Ji Changying, Lu Zhixiong, Pan Junzheng. Analysis of bearing capacity and adhesion to solid surfaces of paddy soils[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1999, 22(4): 105 ~ 108. (in Chinese)
- 姬长英,潘君拯. 湿软土壤剪切变形机理探析[J]. 农业工程学报, 1994, 10(4): 20 ~ 25.
Ji Changying, Pan Junzheng. Investigation on shear deformation mechanism of soil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1994, 10(4): 20 ~ 25. (in Chinese)
- 姬长英,潘君拯. 湿软土壤的剪切应力-剪切速度-时间关系[J]. 农业工程学报, 1994, 10(4): 26 ~ 31.
Ji Changying, Pan Junzheng. Shear stress-shear rate-time relationship of wet and soft soil[J]. Transactions of the Chinese

- Society of Agricultural Engineering, 1994, 10(4):26~31. (in Chinese)
- 9 姬长英,潘君拯. 湿软土壤上履带板的推力计算[J]. 农业工程学报,1994,10(4):33~36.
Ji Changying, Pan Junzheng. Pull predication for a single track shoe[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1994,10(4):33~36. (in Chinese)
- 10 姬长英,潘君拯. 土壤条件和载荷条件对水田土壤流变参数的影响及应力-应变-时间图[J]. 农业机械学报, 1983, 14(3):35~44.
Ji Changying, Pan Junzheng. Effects of soil conditions and load conditions on rheological coefficients of paddy-field soils and stress-strain-time graph [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1983, 14(3):35~44. (in Chinese)
- 11 潘君拯. 载荷条件及流变参量对水田履带式行走装置下陷量的影响[J]. 农业机械学报,1984,15(4):7~12.
Pan Junzheng. Effect of load conditions and rheological parameters on sinkage of tracked vehicles in paddy fields [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1984,15(4):7~12. (in Chinese)
- 12 姬长英,赵池航. 动载式水田土壤流变仪的研制[J]. 农业机械学报,2004,35(2):88~91.
Ji Changying, Zhao Chihang. Development of rheometer for paddy soils under dynamic loading [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(2):88~91. (in Chinese)
- 13 沈杰,余群. 湿软土壤压力-下陷-时间关系的建立[J]. 农业机械学报,1983,14(4):15~19.
Shen Jie, Yu Qun. Pressure-sinkage-time equation for wet soil [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1983,14(4):15~19. (in Chinese)
- 14 李汝莘,高焕文,苏元升. 土壤容重和含水量对耕作阻力的影响[J]. 农业工程学报,1998,14(1):81~85.
Li Ruxin, Gao Huanyuan, Su Yuansheng. Effect of soil bulk density and moisture content on the draft resistance [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998,14(1):81~85. (in Chinese)
- 15 张锐,李建桥,周长海,等. 推土板表面形态对土壤动态行为影响的离散元模拟[J]. 农业工程学报,2007,23(9):13~19.
Zhang Rui, Li Jianqiao, Zhou Changhai, et al. Simulation of dynamic behavior of soil ahead of the bulldozing plates with different surface configurations by discrete element method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(9):13~19. (in Chinese)
- 16 张锐,李建桥,许述财,等. 推土板切土角对土壤动态行为影响的离散元模拟[J]. 吉林大学学报:工学版, 2007, 37(4):822~827.
Zhang Rui, Li Jianqiao, Xu Shucai, et al. Simulation on dynamic behavior of dry soil ahead of the bulldozing plate with different cutting angles by DEM [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007,37(4):822~827. (in Chinese)
- 17 罗定照. 插入水田土壤中垂直平板向前运动的流变力学研究[J]. 农业机械学报,1986,17(4):18~25.
Luo Dingzhao. The rheological research on the performance of the vertical plate moving horizontally in paddy field soil and their application [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986, 17(4):18~25. (in Chinese)
- 18 罗大海,诸葛茜,蒋崇贤. 水田土壤流变理论研究及其应用[J]. 武汉工学院学报:信息与管理工程版,1990,12(2):1~9.
Luo Dahai, Zhu Geqian, Jiang Chongxian. Rheological properties of paddy field soil and their application [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 1990,12(2):1~9. (in Chinese)
- 19 吉尔 W R, 范德伯奇 G E. 耕作和牵引土壤动力学[M]. 耕作和牵引土壤动力学翻译组,译. 北京:中国农业机械出版社,1983.

(上接第79页)

- 9 吴合洲,马均,王贺正,等. 超级杂交稻的生长发育和产量形成特性研究[J]. 杂交水稻, 2007,22(5):57~62.
Wu Hezhou, Ma Jun, Wang Hezheng, et al. Growth and developmental characteristics and yield formation of super hybrid rice [J]. Hybrid Rice, 2007, 22(5):57~62. (in Chinese)
- 10 Cruz-Aguado J A, Rode's R, Ortega E, et al. Partitioning and conversion of ¹⁴C-photoassimilates in developing grains of wheat plants grown under field conditions in Cuba [J]. Field Crops Research, 2001,69(3):191~199.
- 11 郝树荣,郭相平,张展羽. 水分胁迫及复水对水稻冠层结构的补偿效应[J]. 农业机械学报,2010,41(3):52~55,61.
Hao Shurong, Guo Xiangping, Zhang Zhanyu. Compensation effects of water stress and rewatering on the structure of rice canopy [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3):52~55,61. (in Chinese)