

# 水田土槽设计和试验

罗锡文\*\* 邵耀坚

(农机系)

## 提 要

本文通过对国内外一些土槽的分析,设计了一种既适用于水田轮试验又适用于机耕船试验的水田土槽。对适合于水田拖拉机行走机构试验的驱动机构、滑转率控制机构、测试系统、控制系统和土壤处理系统进行了详细的分析。并在土槽中进行了单轮叶动力性能试验、水田轮轮叶相互干扰试验、机耕船牵引阻力试验、滑板阻力试验和插秧机牵引性能试验。

## 一、前 言

在进行拖拉机行走机构和其他土壤——机器系统的研究时,可以通过田间试验和室内土槽试验获得所需要的资料,但由于下述原因,使田间试验受到限制:

1. 田间试验时间有限,且常因作物栽培情况和气象条件而被迫中断。
2. 在一块田里进行试验所获得的资料很难与另一块田里所获得的资料对比。即使是同一种类型的土壤,在任何一个给定时刻它们的强度特性都可能不一样。其强度特性取决于含水量、承载历史、耕作历史、种植历史、耕作情况等因素。
3. 即使在同一块田里,土壤类型和土壤情况变化也非常大,所以很难找到理想的试验田块。
4. 在田间很难控制土壤中的含水量,而含水量的轻微变化将引起土壤特性的巨大变化。
5. 地面的不平度对试验结果影响很大。
6. 如需在一块田里重复进行试验,土壤处理较为麻烦和费时。

室内土槽则能较好地克服上述缺点,因而在国内外得到了广泛应用<sup>〔3〕〔4〕〔5〕〔6〕〔10〕〔11〕</sup>。

根据土槽和测试台车的固定形式,国内外现在应用的室内土槽可以分成二类。一类是土槽固定不动,测试台车(一般包括试验装置、测试系统和控制系统)在土槽上运动;另一类是测试台车固定不动,土槽相对于测试台车运动。在这二类室内土槽

• 本文是罗锡文硕士论文的一部分。邵耀坚教授是指导教师。又承洛阳拖拉机研究所邵卓荣高级工程师、广东省农机研究所何宪章高级工程师、程立升付所长和本院伍丕舜付教授、李侯才付教授评阅,王前健讲师、张森岭、区颖刚等同志对设计和试验工作给予大力支持,谨表示衷心感谢。

• • 1979—1982年硕士研究生。

中，土槽既可以是园形的，也可以是直形的。由于在第一类室内土槽中土槽固定不动，因而所需要的克服加速力的动力和空间均较小，测试台车的速度变化范围大，因而应用较广。在园形土槽中，由于被试验的机具可以连续运转，因而在研究试验机具的寿命和磨损等方面应用较多。然而由于不能精确计算和测定外侧效应，所以在拖拉机行走机构和其它越野车辆的研究中应用较少，特别是在模型试验和基础理论研究中更少采用。

关于土槽中填入的土壤，在国内外现有的土槽中，绝大部分为旱地类土壤（沙土、壤土或粘土）。以研究水田拖拉机行走机构为目的、按照水田土壤的特点而设计的土槽，目前还很少见于报导。水田土壤在长期耕作、施肥和灌溉的条件下，形成了其特有的结构形式，因而要求所设计的水田土槽尽可能重现水田土壤的这些特点。

设计能适合水田拖拉机行走机构试验的水田土槽，是进行水田拖拉机行走机构研究的一个重要方面。本文拟对此进行一些初步探讨。

## 二、水田土槽设计

本文设计的水田土槽采用第一类室内土槽的结构形式，即土槽固定不动，测试台车在土槽上运动。土槽采用直形结构。槽内填土根据水田土壤的特点填入。

水田土槽包括土槽、轨道和台车车架、试验装置、测试系统、控制系统和土壤处理系统，如图1所示。

### （一）土槽

土槽的结构尺寸根据所要进行的原型和模型试验确定。对于一些小型拖拉机（如工农—10型和东风—12型手扶拖拉机）的行走机构，以进行原型试验为主。对于一些中型和大型拖拉机的行走机构，主要进行模型试验。同时还应兼顾机耕船试验的需要。

土槽的长度根据加速段、测试段和制动段所需要的长度确定为20米，宽度根据所试验的行走机构宽度和尽量减少土槽的边缘效应的原则确定为1.6米，深度根据填入的各层土壤的厚度确定为1米。土槽的断面如图2所示。其中砾石层和河沙层组成过滤层，以便于控制土槽中的含水量。

耕作层和硬底层的土壤均取自有三十

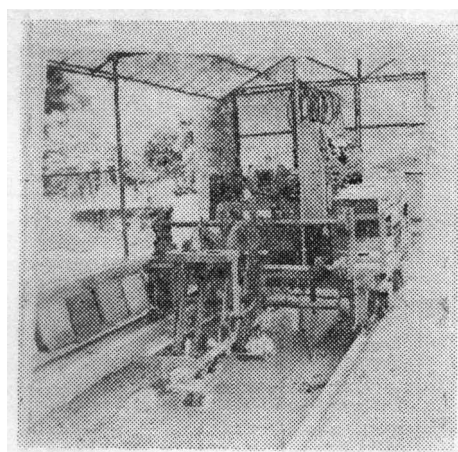


图1 水田土槽全貌

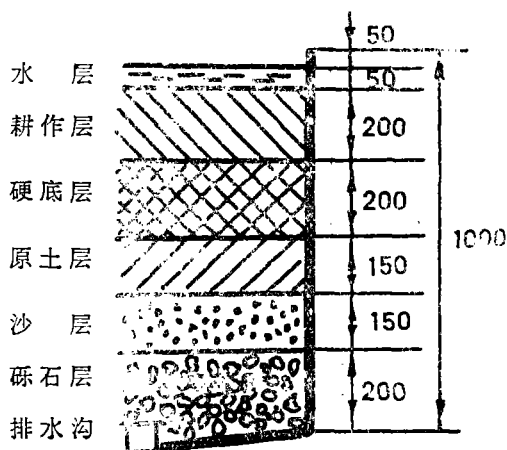


图2 土槽剖面

多年水稻种植历史的水稻田。土壤颗粒组成见表1, 粒径级配曲线见图3。将土壤捣碎后分层铺入, 压实。硬底层为7公斤/厘米<sup>2</sup>。耕作层全部铺入后, 灌水使土壤凝固。

表1 耕作层和硬底层土壤颗粒组成

| 粒 径 (毫米)    | >3   | 1~3  | 0.25~1 | 0.05~0.25 | 0.01~0.05 | 0.005~0.01 | 0.001~0.005 | <0.001 |
|-------------|------|------|--------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|
| 含量百分数(%烘干土) | 4.44 | 5.03 | 20.18  | 19.37     | 12.23     | 10.19      | 14.27       | 14.27  |

## (二) 轨道和台车车架

在第一类室内土槽中, 测试台车的运动轨道一般有三种不同的结构形式。第一种是一根单轨道安装在土槽中间的上方; 第二种是二根轨道安装在土槽的同一侧, 在垂直面内相距适当的距离; 第三种是二条轨道分别安装在土槽的两侧。由于在第三种结构形式中, 测试台车的刚度最好, 因此, 决定选用二条轨道分置土槽两侧的形式。

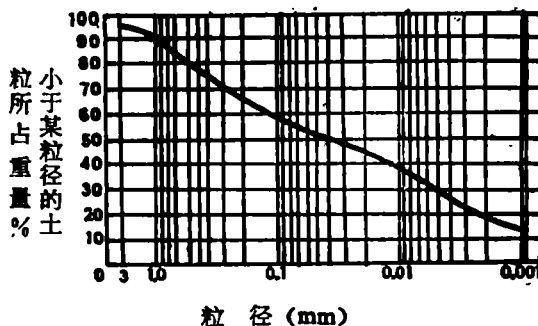


图3 粒径级配曲线

为了克服在试验过程中可能产生的侧向力的影响, 在测试台车与轨道侧面之间安装四个侧压导向轮。

台车的长度根据试验装置需要的安装位置确定为1.4米。台车的宽度根据土槽的宽度确定为2米。

## (三) 试验装置

试验装置包括驱动机构和滑转率控制机构, 均装于测试台车上。

驱动机构的动力由电动机通过变速箱和双平行四连杆机构传到驱动轮上。

从电动机到驱动轮的总传动比根据试验装置的工况而定。由于手扶拖拉机在田间作业时常常采用第三档行驶速度, 因此, 以装配着水田轮的工农-10型手扶拖拉机的第三档理论行驶速度1.30米/秒为额定工况, 以第五档理论行驶速度2.52米/秒为最快速度, 据此即可确定从电动机到驱动轮的总传动比。根据上述要求将总传动比确定后, 利用工农-10型手扶拖拉机传动箱和三级链轮减速, 可得到六个前进挡和二个倒退挡, 各档理论行驶速度如表2所示。

表2 驱动轮理论行驶速度\*

| 变 速 箱 挡 位 |       | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | 倒 I  | 倒 II |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 理论行驶速度    | 米/秒   | 0.23 | 0.34 | 0.67 | 0.88 | 1.30 | 2.54 | 0.18 | 0.68 |
|           | 公里/小时 | 0.83 | 1.24 | 2.42 | 3.16 | 4.68 | 9.17 | 0.64 | 2.44 |

\* 电动机转速为1440转/分

由于需在各种不同的沉陷下进行试验,因此,驱动轮相对于台车的位置也将随之而改变。为了保证传动付的几何关系不变,即各传动轴的中心距不变,采用了双平行四连杆机构。四连杆机构还可使驱动架保持水平,随驱动轮下陷而自由运动。采用四连杆机构亦可保证驱动轮在受驱动力矩作用时不会产生附着重量的转移。

进行单轮试验时,为了充分利用土槽的宽度,减少土槽处理时间,双平行四连杆机构及驱动架可沿测试台车的横向移动,从而可使驱动轮在土槽横向不同位置上进行试验。

在拖拉机驱动轮的试验中,需要对驱动轮加载。有两种常用的加载方法,一种是改变牵引力以对驱动轮加载,另一种是控制滑转率对驱动轮加载<sup>[2]</sup>。由于控制滑转率法可连续改变驱动轮的滑转率,从而可得到驱动轮的牵引力、扭矩与滑转率的关系的连续曲线,节省试验时间,减少了在不同土壤状况下试验所引起的误差,故在本试验中采用控制滑转率法。

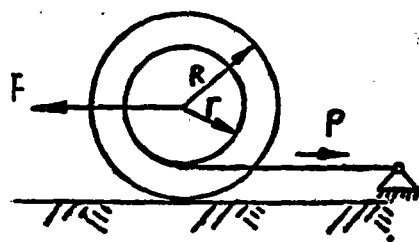


图4 滑转率控制机构原理

滑转率控制机构的工作原理可以用图4简要说明如下。轮R与钢丝绳卷筒r刚性连接在一起。钢丝绳一端固定在卷筒上,另一端与一个固定桩连结。当力F拉动这个装置前进时,装置的实际前进速度为钢丝绳的放松速度,其滑转率可用下式计算:

$$i = \frac{2\pi R - 2\pi r}{2\pi R} = 1 - \frac{r}{R}$$

改变钢丝绳卷筒r的放松速度,即可改变装置的滑转率。

本文设计的滑转率控制机构包括电磁调速异步电动机、电磁制动器、减速箱、钢丝绳卷筒和钢丝绳。钢丝绳一端固定于卷筒上,另一端固定于土槽一端的桩柱上。通过改变电磁调速异步电动机的转速,可改变钢丝绳的放松速度,从而使测试台车的实际前进速度也随之改变,驱动轮的滑转率也就随之而变化。由于电磁调速异步电动机的转速可在120转/分至1200转/分之间连续平稳可调,故驱动轮的滑转率也就实现了连续可变。滑转率可用下式计算:

$$i = \frac{2\pi R_0 n_1 - 2\pi r n_2}{2\pi R_0 n_1} = 1 - \frac{r n_2}{R_0 n_1}$$

式中:  $R_0$ —驱动轮顶圆半径;

$r$ —钢丝绳卷筒半径;

$n_1$ —驱动轮转速;

$n_2$ —钢丝绳卷筒转速。

根据驱动机构所确定的驱动轮前进速度和试验要求的滑转率范围,利用一个减速箱和一对齿轮减速,使测试台车的实际前进速度为0.111~1.115米/秒。

为了保证在钢丝绳放松时不致造成偏牵引,钢丝绳卷筒在转动时同时沿垂直于钢丝绳的方向移动,从而可保证钢丝绳牵引点始终在测试台车的中心线上。

#### (四) 测试系统

测试系统包括土壤参数测试和单轮叶的推进力、支承力、弯矩、驱动轮的牵引力、扭矩、沉陷、转速以及钢丝绳卷筒转速等项测试。

在测定土壤参数时

土壤颗粒分析用筛分法和比重计法，土壤容重用环刀法测定，土壤含水量用烘箱法测定。

土壤承压能力用国产SY—1型水田静载式承压仪测定。测定硬底层时用测头面积为 $3\text{ cm}^2$ 的圆锥测头，测定耕作层时用测头面积为 $6\text{ cm}^2$ 的圆盘测头。

土壤内聚力和内摩擦角用国产SJ—3.5型水田土壤剪切仪测定。

土壤与钢板表面的粘附力和外摩擦角用资料<sup>[1]</sup>介绍的测定方法，在土壤中进行抽板试验测定。

测定上述土壤参数时，除土壤颗粒分析外，都应于每次试验前在土槽不同位置的不同层次处选取适当数量的测点进行测定。

单个轮叶的推进力、支承力和弯矩可用八角环形传感器测定，如图5所示。八角环形传感器可同时测定作用在其上的两个互相垂直的力 $F_x$ 、 $F_z$ 以及这两个力所在平面内的弯矩 $M_y$ ，如图6所示。关于八角环形传感器的测试原理可参阅资料<sup>[7]</sup><sup>[8]</sup><sup>[9]</sup>。用八角环形传感器测定单轮叶的推进力和支承力可采用图6a所示的安装方式。根据测定的 $F_x$ 、 $F_z$ ，即可利用下式计算出推进力 $F_T$ 和支承力 $F_L$ ：

$$F_T = F_x \sin(\theta + \zeta) - F_z \cos(\theta + \zeta)$$

$$F_L = F_x \cos(\theta + \zeta) + F_z \sin(\theta + \zeta)$$

式中 $\theta$ 为轮叶转角、 $\zeta$ 可根据图6b所示几何关系求出。当 $R_0 = 425\text{ mm}$ ， $CD = 30\text{ mm}$ 时，对于轮叶AB长120mm和80mm两种情况，可分别求得倾角 $\beta$ 所对应的 $\zeta$ 值，如表3所示。

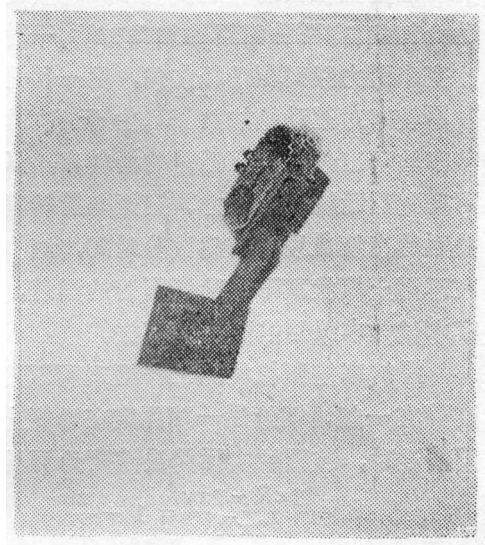


图5 八角环形传感器

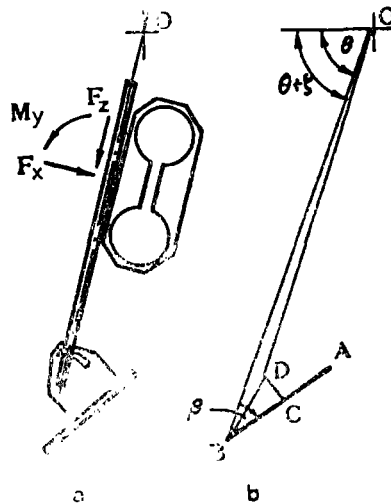


图6 用八角环形传感器测量单轮叶力

八角环形传感器的布片和接线图如图7所示。 $F_x$ 、 $F_z$ 和 $M_y$ 均接成全桥回路。

驱动轮的挂钩牵引力用BLR-1/500型拉压传感器测定。

驱动轮的扭矩采用在驱动轴上贴应变花的方法测定。

驱动轮的沉陷采用图8所示方法测定。当驱动轮下陷时,驱动架随之下降,通

表3 不同倾角的 $\zeta$ 值

| $\beta$ | $\zeta$    |           |
|---------|------------|-----------|
|         | AB = 120mm | AB = 80mm |
| 15°     | -2.14°     | -2.82°    |
| 26.5°   | -0.01°     | -1.37°    |
| 35°     | 1.57°      | -0.25°    |

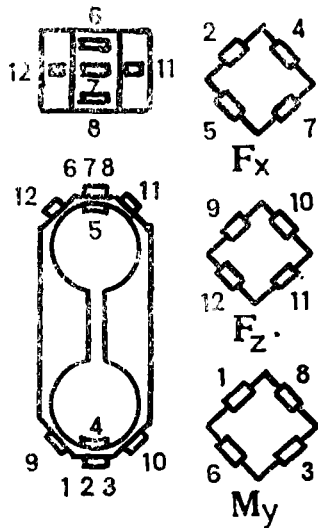


图7 八角环形传感器的布片和接线图

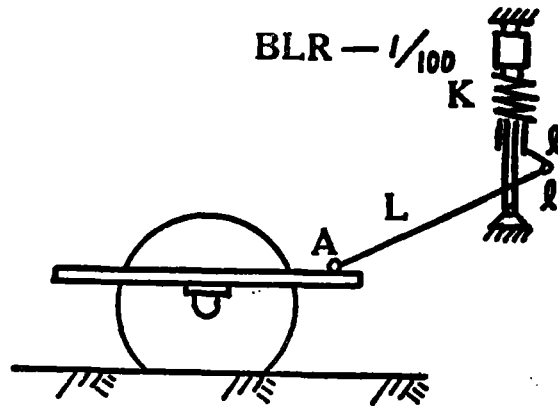


图8 驱动轮沉陷测试装置

过杠杆L和l, 压缩弹簧K, 拉压传感器BLR-1/100的输出即可发生变化。

上述各测试讯号经Y6D-3A动态应变仪放大后, 由记录仪自动记录。

驱动轮和钢丝绳卷筒转速用无触点开关输出脉冲数测定。一路输出脉冲用计数器(或记录仪)记录。一路输出脉冲用NZS-1型农机综合测试仪测定平均值。

图9为测试仪表和控制台全貌。

#### (五) 控制系统

控制系统包括试验装置的控制和测试仪器的同步控制。

试验装置的控制包括对驱动机构和滑转率控制机构的控制。电原理如图10所示。

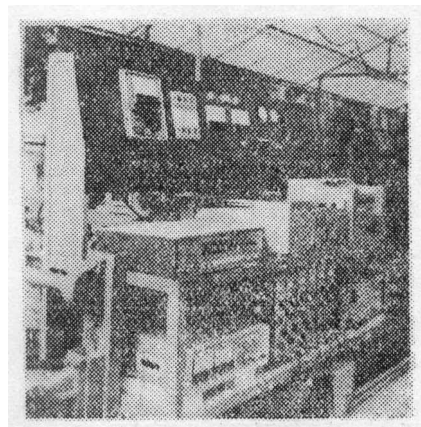


图9 测试仪表和控制台全貌



### (六)土壤处理系统

土壤处理系统为每次试验准备好土壤条件,包括旋耕机、刮板和滚轮,都装在一个台车架上。台车架由测试台车牵引前进。由一台4KW交流电动机经变速箱将动力分别传给旋耕机和滚轮。旋耕机、刮板和滚轮的高度均可以调整。

## 三、试 验

在土槽中进行了单轮叶动力性能试验、水田轮轮叶相互干扰试验、机耕船牵引阻力试验、滑板阻力试验和插秧机牵引性能试验。

图11是在进行单轮叶动力性能试验时用八角环形传感器测得的 $F_x$ 、 $F_y$ 和 $M_x$ 。八角环形传感器的 $F_x$ 和 $F_y$ 之间的交叉影响约为5%左右。

图12是机耕船牵引阻力曲线。

## 四、结 论

(一) 本文设计的水田土槽,考虑了水田土壤特有的结构层次,能满足小型和中型拖拉机的水田行走机构进行原型和模型试验的需要,亦能对小型机耕船进行原型试验。还可对其他农机具(如插秧机)进行有关性能的试验。由于采用了电磁调速异步电动机作为滑转率控制机构的动力,故能使滑转率实现连续可调。双平行四连杆机构能使驱动轮在不同陷深时仍保持固定的传动关系。各测量分量全部采用自动记录。

(二) 采用八角环形传感器能满意地同时准确测定作用在一个轮叶上的几个土壤反力分量。八角环形传感器的 $F_x$ 和 $F_y$ 之间的交叉影响仅为5%左右。

(三) 在土槽中先后对单轮叶、机耕船、滑板和插秧机进行试验,试验结果是满意的。

## 参 考 文 献

- [1] 王瑞麟、张贞良、喻谷源:土槽中剪切元件的试验和剪应力计算,《农业机械学报》,10(4) 1979, 24—41。
- [2] 范雅操:轮子或履带试验中滑转率控制机构的新方案,《农业机械学报》,10(2) 1979, 96—109。
- [3] M.G.Bekker《地面—车辆系统导论》,机械工业出版社,1969年。
- [4] D. M. Durant, T. V. Perumpral, C. S. Desai 1980, Soil Bin Test Facility for soil-Tillage Tool Interaction Studies, Soil & Tillage Research 1 (1980/1981) pp. 289-298.
- [5] Edmund L. Wegscheid, Herbert A Myers, Soil Bin Instrumentation, Agricultural Engineering (1967) VOL. 48, No. 8, pp. 442-445, 463.
- [6] J. C. Siemens, J. A. Weber 1964, Soil Bin for Model Studies on Tillage Tools & Traction Devices, J. Terramechanics (1964) VOL. 1, No. 2, pp. 56-67.
- [7] M. J. O'Dogherty 1974, A Dynamometer to Measure the Forces on a Sugar Beet

- Topping Knife, J. Agric. Engng Res (1975) VOL. 20, No. 4, pp. 339-345.
- [8] Nathan H. Cook, Ernest Rabinowicz, Physical Measurement and Analysis, Addison-Wesley, 1963.
- [9] R. J. Godwin 1975, An Extended Octagonal Ring Transducer for Use in Tillage Studies, J. Agric. Engng Res. (1975) VOL. 20, No. 4, pp. 347-352.
- [10] R. J. Godwin, G. spoor, J. Kilgour 1979, The Design and Operation of a Simple Low Cost Soil Bin, J. Agric. Engng Res. (1980) VOL. 25, No. 2, pp. 99-104.
- [11] Ronald A. Liston 1965, The Land Locomotion Laboratory, J Terramechanics (1965) VOL. 2, No. 4, pp. 69-82.

## THE DESIGN AND TESTS OF A PADDY SOIL BIN

Lo Shiwen Shao Yaojian

(Department of Agricultural Machinery)

### ABSTRACT

This paper describes in detail the design of an indoor paddy soil bin suitable both for paddy-wheel test and for floating boat test. The construction of the soil bin, the carriage with driving devices, forced slipping systems, measuring equipments and soil processing devices are described. This Paddy soil bin was successfully used for tests in the dynamic performance of a single blade-lug, the motion resistance of floating boats, and the performance of skids and rice transplanters.