

种绳直播机覆土深度测试系统的设计研究

吕小荣¹, 程新平¹, 吕小莲²

(1. 四川农业大学 信息工程学院, 四川 雅安 625014; 2. 滁州学院 电子信息工程系, 安徽 滁州 239000)

摘要:利用动态模拟试验方法,设计种绳直播机覆土深度的动态测试系统。模仿大田情况,利用该系统对设计的样机进行测试,由测试结果及分析可知样机铺放种绳的均匀性较好,播种深度符合作业要求。在此基础上建立、修正种绳覆土深度的数学模型,为测试田间播放的种绳覆土深度提供一种新的思路,并为其测试带来极大的方便,同时也为其它农业机械的动态测试提供参考。

关键词:测试系统;覆土深度;数学模型;设计研究

中图分类号: S223; TP391 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 2286(2010)02 - 0383 - 05

Design and Study of Soil Cover Depth Testing System of Rope Direct Seeding Machine

LV Xiao-rong¹, CHENG Xin-ping¹, LV Xiao-lian²

(1. College of Information Engineering, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China; 2. Department of Electronics and Information, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

Abstract: A dynamic testing device was designed. Under the imitation field situation, prototype was tested with the dynamic testing system. The test results and analysis showed that the placement uniformity of rope was better and the sowing depth met the operational requirements. On this basis, the mathematical model of soil cover depth of rope was established and amended. It provides a new idea for testing rope soil cover depth in the field, and brings great convenience for testing rope soil cover depth, also provides a reference for dynamic testing of other agricultural machinery.

Key words: testing system; soil cover depth; mathematical model; design research

水稻种植机械化的发展模式主要取决于水稻种植技术。目前,水稻种植技术主要有两种,即水稻直播种植和水稻移栽种植。水稻直播种植技术具有作业效率高、劳动强度低、作业机具简单、生产作业成本低、产量高等特点,适合大规模经营;但是其价格昂贵,对水稻品种、生长期、灌溉条件、整地质量及杂草控制技术都有较严格的要求,而且直播稻种用量多。因此,开发出一种性能理想的水稻直播机,在确保水稻直播作业质量的同时,提高劳动生产率、节约水资源、减少农药和化肥施用量、降低生产成本、减轻劳动强度、增加稻农的经济效益,既是市场的需要,也是我国水稻种植机械发展急需解决的问题。

种绳直播机作业质量的好坏直接反映在种子覆土深度是否符合农业要求^[1-2]。而覆土深度又受到多种因素的影响,例如地面不平度、土壤及种绳的物理-机械性质等等。传统的测试方法通常采用人工田间采样进行,该方法既费工又会受到人为及采集样本的较大影响。本文采用动态测试^[3-5]的方法,基于该机作业中各因素间的相互关系,通过设计的动态测试系统进行种绳直播机覆土厚度的测试,为田间作业机具的动态测试提供一种方法。

收稿日期: 2010 - 01 - 21 修回日期: 2010 - 03 - 16

基金项目: 沈阳市科学技术计划项目 (1032051 - 1 - 02)

作者简介: 吕小荣 (1972 -), 女, 讲师, 博士, 主要从事农业机械化研究, E-mail: lxrj2008@163.com。

1 测试系统的设计

测试系统由硬件系统和软件系统两部分组成,具有应变信号动态连续采集、预处理和数据采集分析等功能。根据测试的目的和要求,该系统应具有的功能与工作流程设计如图 1。其中传感器(台湾产 WDS36 - V/A)、JKU - 12 数据采集卡和便携式手提电脑等组成数据采集硬件系统,测试结果处理及显示界面由 LABVIEW 虚拟仪器设计软件开发。由于种绳直播机结构空间的限制,在主机上安装传感器测量开沟深度十分不方便,于是自行设计了动态测试装置挂接在直播机上。测试过程中,测试装置随直播机运动的同时播放种绳,通过测试装置、角度传感器和数据采集卡将镇压前后地表不平度值以电压信号的形式输入到相应的数据采集系统软件中进行信号的处理及结果的显示,通过数据处理软件,建立起地表不平度与沟底不平度之间的数学模型,进而建立起种绳覆土深度的数学模型。

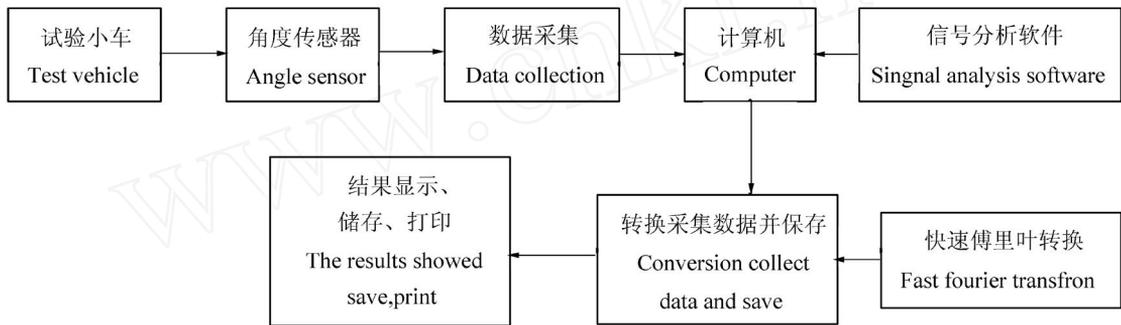


图 1 测试系统功能及流程

Fig 1 Functions and flow chart of test system

1.1 试验地点及条件

在实验室土槽实验台上进行,该实验台规格为 25 m × 1.8 m,作业土层深度 0.5 m。为了使土槽土壤状况与大田实际情况尽量一致,人工平整,地表不平度标准差与要求值 30 mm,人工洒水、压实,保证含水率、土壤坚实度、土壤容重满足稻田土壤耕作的各项性能要求。

1.2 试验设备与仪器

测试中需要的设备仪器为:种绳直播机、角度传感器(台湾产 WDS36 - V/A)、JKU - 12 数据采集卡、数据接收器(便携式手提电脑)、动态测试装置、米尺、小铲、稳压电源等。

1.3 测试系统结构与传感器布置

为了方便测试,并考虑到测试中的实际情况,设计了测试装置,用来安装传感器及完成测试量的转换。测试系统中采用的角度位移传感器 WDS36 - V/A,能直接输出模拟电量 0 ~ 5 V,激励源 12 V 直流,其模拟量转换模块内置,提供角位移传感器的防护等级。

2 地表不平度的测试及结果分析

2.1 测试系统的标定

数据采集系统由传感器及相关测量仪器组成,为保证采集精度,在采集之前必须准确掌握整个系统的性能,为此需要进行必要的标定工作。标定通常包括静态标定和动态标定。静态标定是指在静态标准条件下,对系统的静态特性、静态灵敏度、非线性、滞后、重复性等指标进行标定,本试验采用静态标定。测试数据经 SPSS 软件分析得到,由回归曲线分析结果可得角度传感器的标定结果为:

$$\text{前传感器回归方程: } V = 0.057 - 0.109 \tag{1}$$

(1)式中:V—输出电压; —角度传感器转动角度。

$$\text{后传感器回归方程: } V = 0.057 - 1.606 \tag{2}$$

(2)式中:V—输出电压; —角度传感器转动角度。

2.2 测试数据的采集

土槽测试车前进速度为 0.25 ~ 0.30 m/s,采样频率为每秒 500 点,开沟器开沟深度为 30 mm,地表

不平度数据采集测试长度 10 m。测定时,角度传感器输出 0~5 V 的电压后,传输进 JKU-12 数据采集卡,经动态应变数据采集分析系统进行 A/D 转换,采集的结果是在规定的时间间隔内的时域文件上显示,同时示波器显示出波形。在试验测定中,采用 JKU-12 数据采集卡进行数据采集,前角度传感器与通道 B 连接,后角度传感器与通道 A 相通。

2.3 结果计算与分析

2.3.1 地表不平度的计算 地表不平度主要通过测试轮的上下起伏,带动连杆及连杆轴转动,在两个连杆轴上分别固定两个角度传感器,它们把应变变量转换为电压量经高倍放大并转为模拟量,送给数据分析软件进行数据处理。

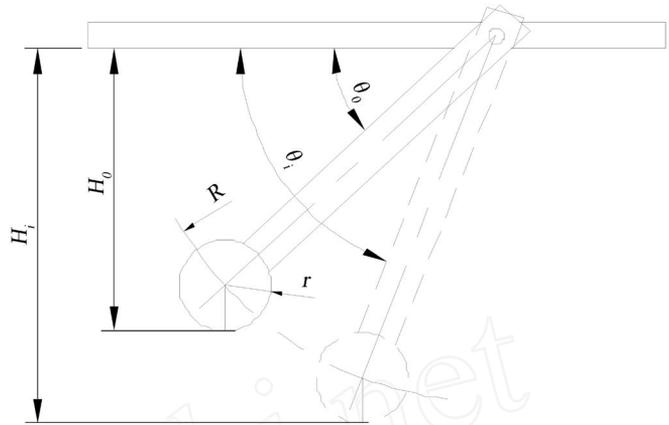


图 2 地表高度变化

Fig 2 Schematic diagram of the surface height changes

(1) 计算地表不平度与转动角度的关系 (图 2):

$$H_0 = R \sin \theta_0 + r \tag{3}$$

$$H_i = R \sin \theta_i + r \tag{4}$$

则地表变化量为:

$$h_i = H_i - H_0 = R (\sin \theta_i - \sin \theta_0) \tag{5}$$

(3)、(4)和(5)式中: H_0 —起始地面到机架平面的高度; H_i —转动后地面到机架平面的高度; R —转动板半径; r —转动轮半径; θ_0 —起始角度; θ_i —转后角度; h_i —地表变化量。

(2) 计算地表不平度与输出电压的关系:

$$\text{镇压前: } h_{qi} = R \left(\sin \frac{V_i + 0.109}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 0.109}{0.057} \right) \tag{6}$$

(6)式中: h_{qi} —镇压前地表高度; R —转动板半径; V_0 —起始输出电压; V_i —转后输出电压。

$$\text{镇压后: } h_{hi} = R \left(\sin \frac{V_i + 1.606}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 1.606}{0.057} \right) \tag{7}$$

(7)式中: h_{hi} —镇压后地表高度; R —转动板半径; V_0 —起始输出电压; V_i —转后输出电压。

2.3.2 地表不平度测定结果 试验测定未开沟前和镇压后地表不平度的数据 4 组,下面取第 1 组数据进行分析,所得时域曲线如图 3,采样频率 500 Hz。为了验证采样数据的可取性,对其进行统计分析 (表 1)。

表 1 地表不平度数据统计分析结果

Tab 1 The statistical analysis of data of surface roughness

通道 A Channel A		通道 B Channel B	
均数 Mean	2.309305	均数 Mean	7.66646
标准误差 Std error	0.023042	标准误差 Std error	0.096207
标准差 Std deviation	1.45729	标准差 Std deviation	6.084638
变异系数 Coefficient of variation	0.631051	变异系数 Coefficient of variation	0.79367
方差 Variance	3.088068	方差 Variance	37.02283
最小值 Minimum	-1.9734	最小值 Minimum	-6.4721
最大值 Maximum	6.3661	最大值 Maximum	18.7711
观测数 Observation number	4000	观测数 Observation number	4000

从图 3 可知:未开沟前的地表波动幅值为 -10~20 mm,而镇压后的地表波动幅值为 -5~5 mm,显然镇压后的地表不平度明显减小。由表 1 可知,通道 A 和通道 B 分别测试的 4 000 个数据的平均值分别为 2.31 和 7.67;标准差分别为 1.46 和 6.08;峰度分别为 0.04 和 -0.20;偏度分别为 0.15 和 -0.61;变异系数分别为 0.63 和 0.79。分析可知,镇压后的地表不平度的变异小于未开沟前的,采样数据可取。

3 种绳覆土深度数学模型的确定

3.1 种绳覆土深度数学模型的建立

开沟器开沟受到阻力作用,一般情况下,沟底的不平度波形与地表面不平度波形的走向趋势是相同的。由于开沟器开出沟底的波形变化主要受到土壤阻力的抑制,因此其沟底不平度波形比地表未开沟前的波形平缓。又因为本研究播种种绳深度较浅,为 20~40 mm,开沟器所受土壤阻力较小。因此,本文假设在理想状态下,沟底不平度为开沟前地表不平度,把初始位置地表设为基面,开沟器初始入土深度调整为 30 mm,因此沟底不平度各值距离地表为:

$$h_{gi} = h_{qi} + 30 = R \left(\sin \frac{V_i + 0.109}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 0.109}{0.057} \right) + 30 \quad (8)$$

由公式 (7)和 (8)得到种绳覆土深度为:

$$H = h_{gi} - h_{hi} = R \left(\sin \frac{V_i + 0.109}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 0.109}{0.057} \right) - R \left(\sin \frac{V_i + 1.606}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 1.606}{0.057} \right) + 30 \quad (9)$$

3.2 种绳覆土深度数学模型的修正

由种绳覆土深度函数式 (9)得到种绳覆土深度变化时域 (图 4)。从图 4 可看出,种绳覆土深度绝大多数为 20~40 mm,基本满足播种要求。在实际工作中,由于土壤阻力和镇压轮镇压微调作用,沟底不平度波形会平缓得多,种绳覆土深度波形也会平缓。

由种绳覆土深度函数式 (9)还可得到,种绳覆土深度的幅值频次直方图 (图 5),从图 5 可以看出,种绳覆土深度主要集中在 33~36 mm,虽在覆土范围之内,但数据整体偏高。修正种绳覆土深度函数,开沟器初始入土深度设定为 26 mm,种绳覆土深度主要集中在 30 mm 左右。对修正后的种绳覆土深度数据进行单样本 T 检验 (表 2)。

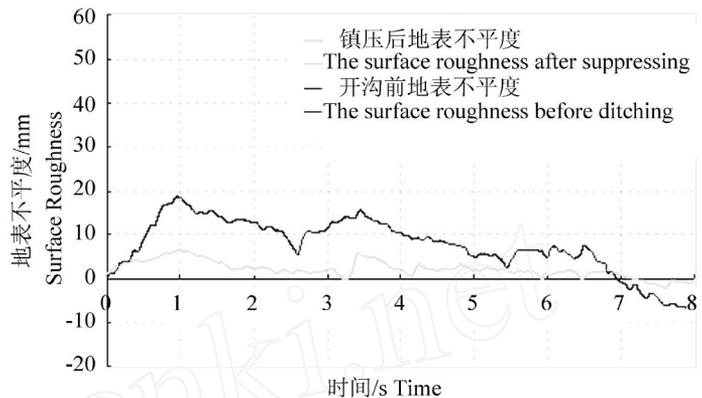


图 3 地表不平度变化时域曲线

Fig 3 Change scale of surface roughness

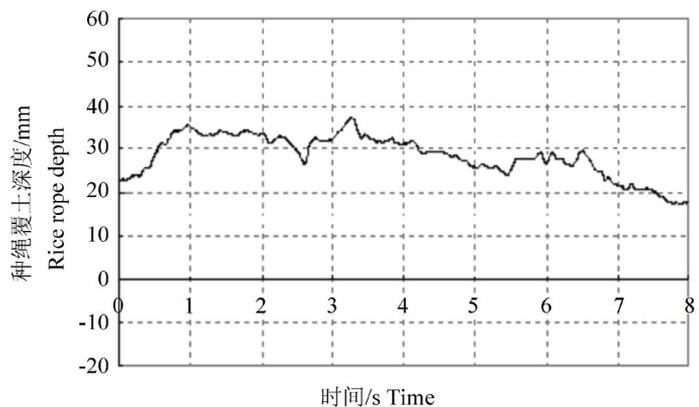


图 4 种绳覆土深度变化时域

Fig 4 Change scale of rice rope depth

表 2 单样本 T 检验

Tab 2 One - samples T test

观测数 N	均数 Mean	标准差 Std deviation	标准误 Std error mean	总体均数 = 28.36							
				t 值	自由度 df	P 值	两均数的差值				
							Mean difference	差值的 95% 可信区间 95% Confidence interval of the difference			
		下限 Lower			上限 Upper						
40 000	28.357 155 4	838 760 0	0.076 507 5	-0.037	3 999	0.970	-0.002 844 7	-0.152 842			0.147 153
种绳覆土深度 /mm Rice rope depth											

从表 2 可知,参与分析的样本数为 4 000,平均覆土深度为 28.36,标准方差为 4.84,均值误差为 0.08,从单样本测试得到 t 等于 -0.04,对应的临界置信水平为 0.97,95% 的置信区间为 (-0.15, 0.15)。计

算的 t 值对应的临界置信水平远远大于设置的 0.05, 因此接受原假设 $H_0 = 26$ mm, 表明种绳覆土深度不存在显著差异。

通过上述分析可得, 修正后的种绳覆土深度为:

$$H = R \left(\sin \frac{V_i + 0.109}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 0.109}{0.057} \right) - R \left(\sin \frac{V_i + 1.606}{0.057} - \sin \frac{V_0 + 1.606}{0.057} \right) + 26 \quad (10)$$

3.3 种绳覆土深度数学模型的检验

选在测试时已播好种绳的播种带, 沿每条播种带随机选取 10 点进行测量, 将种绳周围的土轻轻扒开, 用直尺测量播种深度, 共得到 40 点测量的数据。从图 6 可看到, 实测种绳覆土深度基本集中在 30 mm 左右, 平均覆土深度为 29.01, 标准方差为 4.94, 与表 2 分析所得数据基本相同。说明上述假设正确, 修正后种绳覆土深度的数学模型可靠, 同时也证实了该机铺放种绳的均匀性较好。

4 小 结

设计开发了种绳直播机覆土深度的动态测试系统, 通过模仿大田情况对种绳播放机镇压前后地表不平度进行了测试, 依据地表不平度、种绳铺放沟底不平度与种绳覆土深度的相互关系, 推导出种绳覆土厚度的数学函数。依据测试结果对建立的种绳覆土深度的数学函数进行修正, 并通过试验验证了该模型的可靠性, 同时得知该机铺放种绳的均匀性较好。

参考文献:

- [1] 李宝筏. 农业机械学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 428 - 429.
- [2] 南京农业大学. 田间试验和统计方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [3] 任文涛, 李显生. 水稻种绳直播技术产量问题的试验研究 [J]. 农机化研究, 2006(1): 162 - 166.
- [4] 卢里耶 A B, 格罗姆勃切夫斯基 A A. 农业机械的设计和计算 [M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983: 9.
- [5] 章文波, 陈红艳. 实用数据统计分析及应用 (SPSS 12.0) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 2.
- [6] 张志君, 于海晨. 现代检测与控制技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 8.
- [7] 吕小荣. 水稻种绳直播机的设计与研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008.
- [8] Ren Wentao Development and Experiment of a Rice Seed Rope Twisting Machine [M]. Collection of Extent Abstracts 2004 CIGR International Conference, China Agricultural Science and Technology Press, 2004.
- [9] Kenji Hiyoshi Basic Study on Rice Transplanter in the Mulching Cultivation System for Early Season Culture Rice (Part 3) [J]. 农业机械学会志 (日), 1998, 60(4): 13 - 22.

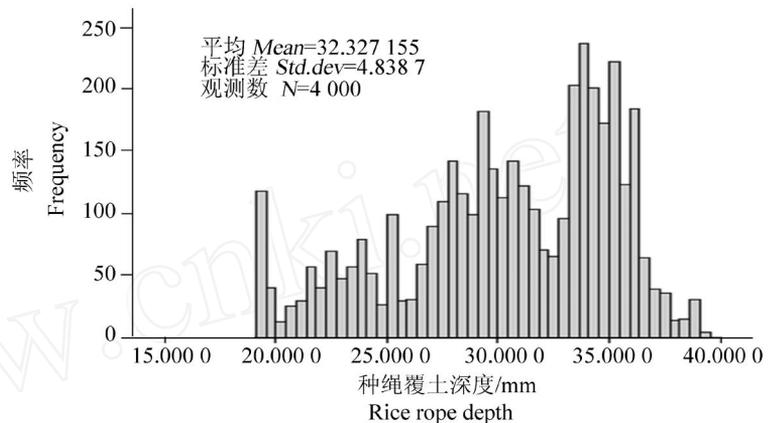


图 5 种绳覆土深度幅值频次分布

Fig 5 Frequency spectrum distribution of rice rope depth

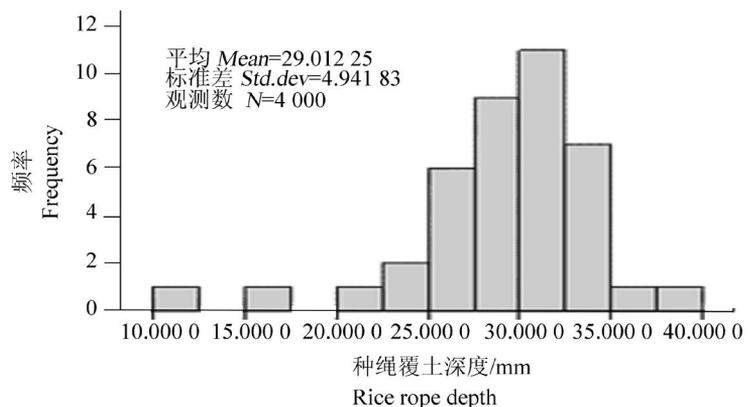


图 6 实测种绳覆土深度幅值频次分布

Fig 6 Frequency spectrum distribution of rice rope depth by measure on local