

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.009

# 船式旋耕埋草机螺旋刀辊作业功耗试验\*

王志山 夏俊芳 许绮川 胡润文

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

**【摘要】** 基于 LabView 软件平台开发了功耗测试系统。采用相位差原理,对船式旋耕埋草机的螺旋刀辊进行了中稻收获后的水田适度耕整与秸秆埋覆还田功耗试验。在功率测试平台上对测试系统进行了标定,结果显示系统测量误差在 5% 以内。在田间对螺旋刀辊作业功耗进行了实时检测,通过分析各因素对功率消耗的影响,得到了船式旋耕埋草机较优作业模式:实行 2 次耕整,刀辊转速 310 r/min,其中第 1 次作业耕深 55 mm,其平均作业功耗为 7.13 kW,第 2 次作业耕深达到 110 mm,其平均作业功耗为 7.59 kW,两次耕整后秸秆埋覆率达到 95% 以上。

**关键词:** 船式旋耕埋草机 螺旋刀辊 功耗 试验

中图分类号: S222.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)12-0044-04

## Power Consumption Experiment of Rotary Tillage and Stubble-mulch Knife Roller

Wang Zhishan Xia Junfang Xu Qichuan Hu Runwen

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

### Abstract

Based on the principle of phase difference, the actual power consumption of the rotary tillage and stubble-mulch knife roller in mid-season rice straw field was tested by using magnetic torque sensor. The processing procedure was based on LabView. The system was calibrated on the experiment bench. The results showed that accuracy was lower than 5%. The results of field testing showed that the tillage depth of the machine and the rotate speed of axis greatly influenced the power consumption. The better operating status were as follows: operating power consumption of the first tillage with 55 mm of depth and 310 r/min of roller speed, its average was 7.13 kW; operating power consumption of the second operations with 110 mm was 7.59 kW, the ratio of straw returning was higher than 95%.

**Key words** Rotary tillage and stubble-mulch, Knife roller, Power consumption, Experiment

### 引言

水稻机械收获后残留田间的秸秆给后续水田耕整地造成了困难。现有绝大多数农用拖拉机及配套耕整机具的技术性能和作业效果已越来越不适应高割茬秸秆直接还田的质量要求,甚至无法顺利作业。因此,对多熟制水稻生产产生的大量秸秆进行及时处理,已成为南方农业生产亟待解决的问题。

船式旋耕埋草机作为一种特别适于我国南方

油-稻、麦-稻、稻-稻、肥-稻等多熟制稻作水田的耕整机具,能一次性完成压秆、旋耕、碎土、埋秆、平田等多道工序<sup>[1]</sup>,实现水稻播栽前土壤适度耕整、秸秆埋覆还田联合作业,其后置左、右螺旋刀辊是其主要功率消耗部件。目前,针对该刀辊的功率配备只是采用了定性试验和类比的方法,因此对其进行定量功耗试验研究,探讨进一步降耗途径具有重要意义。

通过测量扭矩来获取功耗参数是功率检测的常

收稿日期: 2010-01-15 修回日期: 2010-04-06

\* 国家自然科学基金资助项目(50975115)和农业部农业科技跨越计划资助项目(2007-18)

作者简介: 王志山,硕士生,主要从事现代农业装备设计及测控研究,E-mail: wangzhishan@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 夏俊芳,教授,博士生导师,主要从事现代农业装备设计及测控研究,E-mail: xjf@mail.hzau.edu.cn

用方法之一。本文基于 LabView 平台和相位差测量原理<sup>[2~3]</sup>开发适用于该机的扭矩、功耗测试系统,并对该系统进行标定试验和田间试验。

## 1 测试系统

### 1.1 试验机具

船式旋耕埋草机螺旋刀辊悬挂于船式拖拉机尾部,刀辊由船式拖拉机动力驱动,结构如图 1 所示。动力传递路线为:中央链传动→主轴→侧边齿轮箱→刀辊。因刀辊为水田土壤工作部件,无法安装传感器;传动主轴位于轴套内,结构非常紧凑,也无法安装体积较大的应变型扭矩传感器;且应变型扭矩传感器的安装需要截断传动轴,安装难度大。因此,本试验选用非破坏、非接触式的扭转角型扭矩传感器对传递扭矩进行检测。

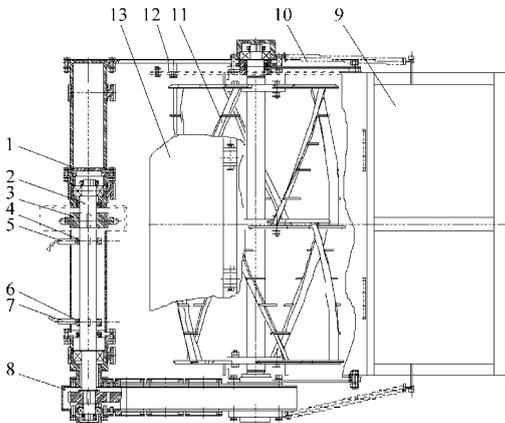


图 1 螺旋刀辊结构简图

Fig. 1 Structure of spiral blade roller

1. 主轴轴套 2. 主轴 3. 中央链传动 4. 信号齿轮 A 5. 传感器 A 6. 信号齿轮 B 7. 传感器 B 8. 齿轮箱 9. 拖板 10. 弹簧 11. 螺旋刀辊 12. 支撑板 13. 罩壳

### 1.2 传感器及采集卡

考虑到试验刀辊结构因素,采用了 M12-40 型磁电传感器,响应频率为 10~10 000 Hz。渐开线齿轮输出电压波形为正弦波,若齿轮略有偏心则为调幅正弦波。信号幅值与转速成正比,与端面齿顶间隙成反比。当转速大于 30 齿/min 时,输出信号幅值大于 500 mV,数据采集卡无需信号调理即可直接进行采集。

自制信号齿轮为 60 齿的渐开线齿形,模数为 2,材料为 45 号钢,两齿轮间距为 200 mm,传感器端面距齿顶 1 mm。

选用美国 NI 公司的 cFP-AI-118 采集卡,该采集卡是一款 8 通道模拟输入模块。能以 16 位分辨率、10 kS/s 采样速率,在多电压量程范围内对 8 路输入通道进行测量。具有高分辨率和同步采样功能,满足测试要求。

### 1.3 软件设计

测试程序基于 NI 公司的图形化编程软件 LabView 平台进行开发,LabView 广泛应用于仪器控制、数据采集、数据分析等领域。根据测量原理可知,测量扭矩即是测量加载前、后两路近似正弦波信号之间的相位差。常用的编程原理有相关函数法、FFT 谱分析法、单频函数法等<sup>[4~6]</sup>。由于相关函数法对一些同频率的非理想正弦信号具有更强的适应性,可有效排除干扰,经验证在本试验中具有更好的实际效果。

相关函数法是利用互相关函数和自相关函数求出相位差的一种方法,其基本原理见文献[7~8]。测试系统如图 2 所示。

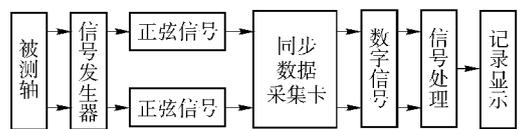


图 2 测试系统原理框图

Fig. 2 Schematic diagram of testing system

采集卡采用双通道同步采集两路转速、转矩信号,每秒采集 2 个数据,取稳定阶段的数值平均,利用公式计算出作业功耗。

### 1.4 系统标定

对传感器、采集卡、软件系统组成的测试系统进行了台架试验,并使用 CW100 型圆柱感应式电涡流测功机对测试系统的精度进行了标定。标定系统由 295D 型柴油机提供动力,额定功率为 13.5 kW,额定转速为 1 500 r/min,在输出端使用测功机来提供外负载。标定装置结构如图 3 所示。

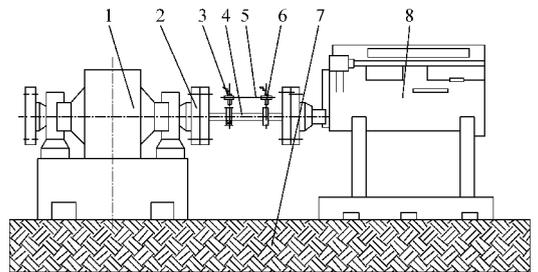


图 3 标定试验装置结构图

Fig. 3 Structure of calibration equipment

1. 测功机 2. 联轴器 3. 传感器及信号齿轮 A 4. 主轴 5. 传感器支撑板 6. 传感器及信号齿轮 B 7. 地基 8. 柴油发动机

标定试验分为 2 组,第 1 组设定发动机转速为 600 r/min,输出功率从 1 kW 以间隔 0.5 kW 增加到 3 kW;第 2 组试验设定发动机输出功率为 2 kW,转速从 600 r/min 以间隔 100 r/min 增加到 1 000 r/min。其中,第 1 组试验在于验证测试系统的线性,第 2 组试验在于检验测试系统的精度和稳定性。试验结果如表 1 和表 2 所示。

表1 转速为600 r/min时测量值与设定值

Tab.1 Measurement value and the set under 600 r/min

序号	设定值/kW	测量值/kW	误差/%
1	1.00	0.97	3.00
2	1.50	1.43	4.67
3	2.00	2.09	4.50
4	2.50	2.46	1.60
5	3.00	2.89	3.67

表2 功率为2 kW时测量值与设定值

Tab.2 Measurement value and the set under 2 kW

序号	设定值/kW	测量值/kW	误差/%
1	2.00	1.95	2.50
2	2.00	2.02	1.00
3	2.00	2.08	4.00
4	2.00	1.99	0.50
5	2.00	2.07	3.50

表3 试验条件

Tab.3 Experimental conditions

秸秆高度 /mm	秸秆密度 /穴·m <sup>-2</sup>	每穴秸秆根数 /根·穴 <sup>-1</sup>	泥脚深度 /mm	试验田面积 /m <sup>2</sup>	土壤坚实度 (100 mm深处)/N·m <sup>-2</sup>	水深深度 /mm
291.3	17.8	13.2	100	1320	32.4	40

有效切碎并埋覆还田。作业过程中影响螺旋刀辊功耗的主要因素有:机具前进速度、刀辊转速、耕深等。由于船式拖拉机行走轮与螺旋刀辊属于同一动力传动系统,因此机具行走速度与刀辊转速成正比,由油门控制,选择一个即可。试验中选定刀辊转速、第1次耕深和第2次耕深3个因素。机组作业质量可用秸秆埋覆率 $\eta$ <sup>[1,9]</sup>来衡量,以90%为合格标准。计算公式为

$$\eta = \frac{m_q - m_h}{m_q} \times 100\%$$

式中  $m_q$ ——取样点耕前单位面积秸秆量

$m_h$ ——取样点耕后单位面积秸秆量

各因素的水平选取如表4所示,试验方案及结果如表5所示<sup>[10]</sup>。

表4 试验因素与水平

Tab.4 Factors and levels of experiment

水平	刀辊转速 A /r·min <sup>-1</sup>	第1次耕整 耕深 B/mm	第2次耕整 耕深 C/mm
1	200	55	110
2	255	110	
3	310		

## 2.3 结果分析

第1次作业功耗试验方差分析结果如表6所示。从结果可以看出,第1次耕整,耕深B为影响功耗的主要因素,刀辊转速A其次,但两者相差不大,均对作业功耗有较大影响。

由结果可以看出,基于相关函数法的测量系统对功率的测量误差在5%以内,满足农业机械田间检测要求。

## 2 试验

### 2.1 试验条件

试验在监利县江右村进行,选择中稻秸秆均匀的田块,测试前灌水浸泡24 h,配套动力为ZS1105G型柴油机,额定功率12.1 kW,工作幅宽为700 mm。试验条件如表3所示。

### 2.2 试验设计

由于机收水稻后残留秸秆普遍较高、且残留量大,当秸秆全量还田时,一般需耕整两次方可将秸秆

表5 试验方案与结果

Tab.5 Programs and results of experiment

试验号	A	B	C	第1次	第2次	秸秆
				作业功耗 /kW	作业功耗 /kW	埋覆率 $\eta$ /%
1	1	1	1	3.57	3.57	86.5
2	1	2	1	6.32	3.36	89.8
3	2	1	1	5.33	5.80	90.7
4	2	2	1	7.95	5.15	92.1
5	3	1	1	7.13	7.59	95.6
6	3	2	1	9.41	6.77	98.0

表6 第1次作业功耗方差分析结果

Tab.6 Results of variance test

因素	自由度	平方和	均方	F
刀辊转速 A	2	11.44	5.75	34.67*
耕深 B	1	9.25	9.25	43.96*
误差 e	2	0.33	0.14	
总误差	5	21.02		$F_{0.1}(1,2) = 8.53$ $F_{0.1}(2,2) = 9.00$

第1次耕整,刀辊转速A的3个水平中, $A_1$ 的指标均值最低;B因素2个水平中, $B_1$ 最低,因此最优组合为 $A_1B_1$ ,但该组合秸秆埋覆率低于90%,未达到耕整要求。另外,考虑到机组作业效率及动力的充分利用,最合适的刀辊转速是 $A_3$ ,即310 r/min,此时较优组合是 $A_3B_1$ ,即耕深55 mm,刀辊转速310 r/min,对应的机组前进速度是1.7 m/s,功耗均值为7.13 kW,

经第2次耕整后,秸秆埋覆率达到95%以上。

表5中看出,第2次作业功耗影响最大的因素是刀辊转速A,第1次作业B也有较大的影响。

### 3 结论

(1) 基于相位差原理建立了功耗测试系统。标定试验表明,该系统对功耗的测试精度在5%以内,满足农业机械田间测试要求。

(2) 田间试验结果表明,第1次作业功耗,耕深B、刀辊转速A单因素方差分析均显著,因此在作业时应选择合理的耕深和刀辊转速。

(3) 该船式旋耕埋草机较优工作模式为:实行2次耕整,刀辊转速310 r/min。其中,第1次作业耕深55 mm,其平均作业功耗为7.13 kW;第2次作业耕深达到110 mm,其平均作业功耗为7.59 kW,两次耕整后秸秆埋覆率达到95%以上。

### 参 考 文 献

- 夏俊芳,张国忠,许绮川. 多熟制稻作区水田旋耕埋草机的结构与性能[J]. 华中农业大学学报,2008,27(2):331~334.  
Xia Junfang, Zhang Guozhong, Xu Qichuan, et al. Research on the mechanized technology of rotary tillage and stubble-mulch for paddy field under multiple rice cropping system[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2008,27(2):331~334. (in Chinese)
- 欧大生,张剑平,秦建文. 磁电相位差式转矩测量技术研究[J]. 电子测量技术,2007,30(4):100~103.  
Ou Dasheng, Zhang Jianping, Qin Jianwen. Research on the magnet-electric phase-difference torque measurement[J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(4):100~103. (in Chinese)
- 陈德海,仲卫东. JCZ型转矩转速传感器输出信号的相位差检测技术[J]. 仪表技术与传感器,2008(9):89~90.  
Chen Dehai, Zhong Weidong. Phase-different detection method of signal of JCZ torque speed sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2008(9):89~90. (in Chinese)
- 刘灿涛,赵伟,袁俊. 基于数字相关原理的相位差测量新方法[J]. 计量学报,2002,23(3):219~223.  
Liu Cantao, Zhao Wei, Yuan Jun. A new method for phase difference measurement based on digital correlation theory[J]. Acta Metrologica Sinica, 2002, 23(3):219~223. (in Chinese)
- 路艳洁,席志红,王姜铂. FFT法与数字相关法在相位测量上的比较[J]. 信息技术,2007(12):105~108.  
Lu Yanjie, Xi Zhihong, Wang Jiangbo. Analysis and comparison between FFT and digital correlation theory in phase difference measurement[J]. Information Technology, 2007(12):105~108. (in Chinese)
- 韩洋,侯文. 高精度低频正弦信号相位差测量[J]. 研究与开发,2008,27(2):41~43.  
Han Yang, Hou Wen. Phase difference measurement of low frequency sine signals based on ARM7 microprocessor[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2008, 27(2):41~43. (in Chinese)
- 雷雨,陶永红. 数字化相位差测量算法的研究[J]. 四川工业学院学报,2004,23(S1):110~112.  
Lei Yu, Tao Yonghong. Digital algorithm analysis of measuring phase difference[J]. Journal of Sichuan University of Science and Technology, 2004, 23(S1):110~112. (in Chinese)
- 熊诗波,黄长艺. 机械工程测试技术基础[M]. 北京:机械工业出版社,2006:161~167.
- 张国忠,许绮川,夏俊芳,等. 1GMC-70型船式旋耕埋草机的设计[J]. 农业机械学报,2008,39(10):214~217.  
Zhang Guozhong, Xu Qichuan, Xia Junfang, et al. 1GMC-70 boat-type rotary buried grass machine translation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(10):214~217. (in Chinese)
- 袁志发,周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2000:209~247.

(上接第57页)

- 田丽梅,任露泉,韩志武,等. 仿生非光滑表面脱附与减阻技术在工程上的应用[J]. 农业机械学报,2005,36(3):138~142.  
Tian Limei, Ren Luquan, Han Zhiwu, et al. Applications of anti-adhesion and anti-resistance of biomimetic non-smooth surface in engineering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3):138~142. (in Chinese)
- 杨晓东,任露泉. 形体减阻类型、减阻机理与仿生[J]. 农业机械学报,2003,34(1):130~133.  
Yang Xiaodong, Ren Luquan. Types and mechanisms of shape drag reduction[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(1):130~133. (in Chinese)
- 任露泉,佟金,李建桥,等. 生物脱附与机械仿生——多学科交叉新技术领域[J]. 中国机械工程,1999,10(9):984~986.  
Ren Luquan, Tong Jin, Li Jianqiao, et al. Anti-adhesion of creatures and biomimetics of machinery—a new technological field[J]. China Mechanical Engineering, 1999,10(9):984~986. (in Chinese)