

承载板式谷物质量流量传感器设计与试验^{*}

吕佐朝¹ 邱白晶¹ 房义军² 姜国微¹ 李耀明¹

(1. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013;

2. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013)

【摘要】 设计了不同材料、不同尺寸承载板式谷物质量流量传感器承载板和不同量程的承载板式谷物质量流量传感器弹性元件, 在谷物质量流量模拟加载试验装置上进行了试验, 试验结果表明测量精度与承载板和弹性元件的参数密切相关。在此试验基础上, 研究了谷物流量对测量精度的影响。试验结果表明, 谷物流量在 0 ~ 2 kg/s 内谷物质量流量测量相对误差不大于 2%, 精度较高。当谷物流量超过 2.5 kg/s 时, 谷物质量流量测量相对误差超过 5%。

关键词: 谷物质量流量 传感器 承载板 弹性元件 设计 试验

中图分类号: S225 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0090-04

Design and Experiment of Load Plate Grain Mass Flow Sensor

Lü Zuochao¹ Qiu Baijing¹ Fang Yijun² Jiang Guowei¹ Li Yaoming¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

Different materials, different sizes of load plate grain mass flow sensor and different ranges of grain mass flow sensor elastic component were designed. Experiments were finished in the grain mass flow load simulation test device. The experiment results showed that parameters were closely related with precision. On the basis of this test, the grain flow effect on the measurement accuracy was researched. The experiment results showed the error of this load plate grain mass flow sensor was within 2% during the grain flow rate was 0 ~ 2 kg/s. When the grain flow rate was more than 2.5 kg/s, the error exceeded 5%.

Key words Grain mass flow, Sensor, Load plate, Elastic component, Design, Experiment

引言

在谷物流量实时测量技术的研究中, 对光电、应变片、核辐射及电容传感器等不同方法已有一些尝试^[1], 其中基于应变片原理的承载板式谷物质量流量传感器以安装方便, 对谷物品种不敏感, 安全可靠, 测量精度高, 没有任何潜在污染等优势而在国外已经得到广泛应用^[2-3], 这些测量技术虽各具特色, 但在应用上均有技术问题需要解决。

承载板式谷物质量流量传感器的结构参数和安装参数对测量精度的影响很大^[4-5]。承载板的曲率会严重影响到测量结果, 目前还没有成熟的理论计算方法来确定最佳的承载板式谷物质量流量传感器承载板曲率, 所以只能通过试验方法来确定^[6]。

本文通过改变承载板式谷物质量流量传感器承载板和弹性元件的参数, 在谷物质量流量模拟加载试验装置上对其进行试验。

收稿日期: 2011-08-13 修回日期: 2011-08-26

^{*} 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2010AA101402)、江苏省农业装备智能化高技术重点实验室资助项目(BM2009703)和江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8号)

作者简介: 吕佐朝, 硕士生, 主要从事农业机械化工程及系统监测与控制研究, E-mail: 19840526_lzc@163.com

通讯作者: 邱白晶, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械化设计及理论研究, E-mail: qbj@ujs.edu.cn

1 测试系统

1.1 承载板式谷物质量流量传感器

承载板式谷物质量流量传感器如图 1 所示^[7], 主要构件包括: 承载板、底座、导流板、机架、减震器、连接体和悬臂梁式弹性元件。承载板式谷物质量流量传感器采用了阻尼较大的尼龙材料和 4 个对称布置的减震器减小振动对承载板式谷物质量流量测量精度的影响。

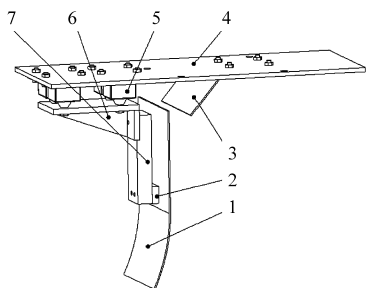


图 1 承载板式谷物质量流量传感器示意图

Fig. 1 Diagram of load plate grain mass flow sensor

1. 承载板
2. 底座
3. 导流板
4. 机架
5. 减震器
6. 连接体
7. 悬臂梁式弹性元件

承载板式谷物质量流量传感器安装在联合收获机谷物升运器的出粮口。工作时, 谷物在升运器刮板的作用下不断地冲击到承载板式谷物质量流量传感器的承载板上, 具有一定速度和质量的谷物产生一冲量而引起承载板式谷物质量流量传感器悬臂梁式弹性元件横向变形。此变形经电阻应变片电桥转换成电压信号, 与谷物质量流量在一定范围内呈近似线性关系^[8-9]。通过标定可将输出电压信号转变为谷物质量流量, 从而测得单位时间内谷物联合收获机出粮口的流量。

1.2 谷物质量流量监测器

谷物质量流量监测器, 主要由数据采集转换、数据处理与数据显示组成, 其硬件选用以 STC11F60XE 单片机为核心的微控制器, 该控制器有 MAX197 模数转换器、TLC5615 模数转换器、HM628512 数据存储器、8255 并行接口、MAX232 串口通讯、DS12C887 实时时钟, 可以方便地满足信号的采集、处理和通信需求, 其硬件原理框图如图 2 所示。

工作时, 谷物质量流量监测器对承载板式谷物质量流量传感器的动态输出电压进行连续采样, 采样频率为 500 Hz, 该采样电压送入 CPR 变送器进行调理放大后转换成标准电压, 送入 MAX197 模数转换成数字量, 然后将每秒获得的模数转换值进行平均。通过标定公式可将平均模数转换值转变为谷物瞬时流量值, 再将瞬时流量值进行累加得到累计质量, 即

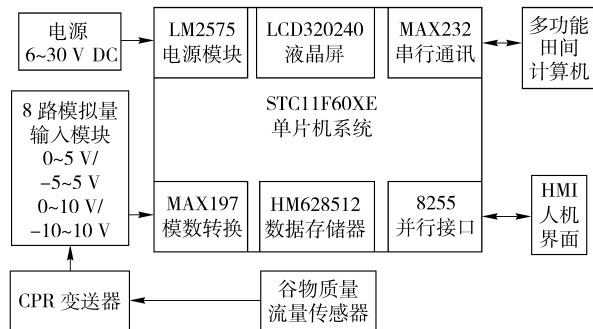


图 2 谷物质量流量监测器硬件电路框图

Fig. 2 Hardware circuit diagram of grain mass flow monitor

$$Q_i(t) = kN_i(t) + N_0 \quad (1)$$

$$W_i(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t) \quad (2)$$

式中 $Q_i(t)$ ——每秒钟的流量
 k ——标定系数
 $N_i(t)$ ——每秒钟的平均模数转换值
 N_0 ——零位 $W_i(t)$ ——累积质量

2 试验

2.1 谷物质量流量模拟加载试验装置

联合收获机螺旋输送器和刮板式升运器谷物质量流量模拟加载试验装置如图 3 所示, 主要构件包括: 支架、入粮装置、出粮装置、螺旋输送器和刮板式升运器、Y112m 型电动机等, 工作参数如表 1 所示。利用该试验装置可以进行承载板式谷物质量流量传感器标定试验, 建立出粮口谷物流量与入粮口大小关系模型。

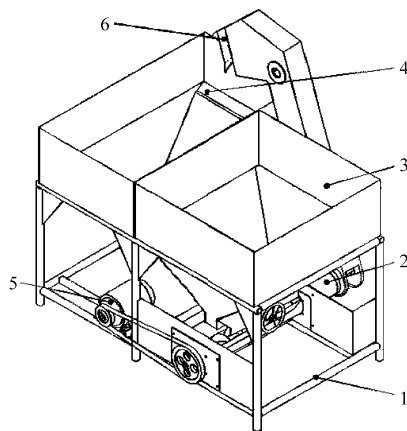


图 3 谷物质量流量模拟加载试验装置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of grain mass flow load simulation test device

1. 支架
2. 螺旋输送机及升运器总成
3. 入粮装置
4. 出粮装置
5. 调速电动机
6. 承载板式谷物质量流量传感器

2.2 试验方法

(1) 由于承载板式谷物质量流量传感器的承载

表1 谷物质量流量模拟加载试验装置工作参数

Tab.1 Operating parameters of grain mass flow load simulation test device

喂入量 /kg·s ⁻¹	功率 /kW	转速/r·min ⁻¹	螺旋输送机 转速/r·min ⁻¹
0~6	2.2	980	511

板的参数和弹性元件的量程发生变化时,标定方程会发生变化,所以试验前首先进行标定试验,确定标定方程的标定系数 k 、零位 N_0 以及空载时谷物质量流量监测器显示的瞬时流量 Q_0 , Q_0 作为判断是否为正常瞬时速度的依据,当 $Q_i(t)$ 大于 Q_0 为正常瞬时流量,否则为非正常瞬时流量,不进行累加,由软件实施。

(2) 试验时,按下谷物质量流量监测器采集按钮,将小麦倒入谷物质量流量模拟加载试验装置的人粮装置,直至小麦完全通过承载板式谷物质量流量传感器的承载板,按下谷物质量流量监测器停止键,记录谷物质量流量监测器显示的小麦累积质量,采用电子称精确测出谷物质量流量模拟加载试验装置出粮装置里面的小麦实际质量。

(3) 以谷物质量流量模拟加载试验出粮装置里面的小麦实际质量,对谷物质量流量监测器显示的小麦累积质量进行校核。每组试验进行2次。

2.3 试验及分析

承载板式谷物质量流量传感器在流量0.91~3 kg/s内测量精度较高,超过3 kg/s时测量误差增大^[10]。双板差分承载板式谷物质量流量传感器,在流量0~2 kg/s内,田间水稻试验测量平均相对误差小于3.8%^[11]。

2011年7月13日,在谷物质量流量模拟加载试验装置上,通过改变承载板式谷物质量流量传感器承载板的材料、长度、厚度、曲率半径和弹性元件的量程进行了参数对比试验。承载板的结构如图4所示,几何参数如表2所示,其中⑤、⑥组为直承载板。

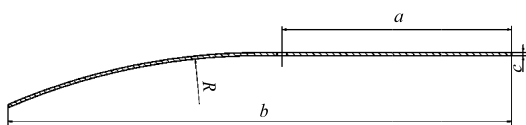


图4 承载板结构图

Fig.4 Structure of impact board

(1) 承载板式谷物质量流量传感器承载板的几何参数变化时的试验数据如表3所示,可以看出承载板的材料、厚度、长度、曲率半径与谷物质量流量测量精度密切相关。当谷物流量在0~2 kg/s内,选用量程为3 kg的弹性元件时,长度 $b=357$ mm、厚度

$c=4$ mm、曲率半径 $R=250$ mm的有机玻璃承载板时,谷物质量流量测量平均相对误差最小,其值为2.27%;当选用长度 $b=357$ mm、厚度 $c=3$ mm、曲率半径 $R=250$ mm的铝合金承载板时,谷物质量流量测量平均相对误差最大,其值为7.95%。最小谷物质量流量测量平均相对误差比最大谷物质量流量测量平均相对误差减小了5.68%。

表2 承载板几何参数

Tab.2 Parameters of impact board

组号	材料	a /mm	长度 b/mm	厚度 c/mm	曲率半径 R/mm	宽度 d/mm
①	铝合金	170	347	2	250	154
②	铝合金	170	347	3	250	154
③	铝合金	170	357	2	250	154
④	铝合金	170	357	3	250	154
⑤	铝合金		290	2		154
⑥	有机玻璃		290	4		154
⑦	有机玻璃	170	347	4	250	154
⑧	有机玻璃	170	347	5	250	154
⑨	有机玻璃	170	357	4	250	154
⑩	有机玻璃	170	357	5	250	154

表3 承载板几何参数变化时的试验数据

Tab.3 Data of load plate parameters change

试验 序号	组号	显示质量 /kg	实际质量 /kg	相对误差 /%
1	①	24.29	23.72	3.25
2	①	22.68	22.09	3.12
3	②	22.23	21.04	5.66
4	②	21.75	20.54	5.89
5	③	23.25	22.64	2.70
6	③	22.39	21.84	2.52
7	④	24.33	21.84	7.22
8	④	23.68	22.69	8.67
9	⑤	25.49	21.79	6.47
10	⑤	25.24	23.94	6.09
11	⑥	23.91	25.59	6.07
12	⑥	23.22	22.54	6.80
13	⑦	18.45	17.92	2.96
14	⑦	28.07	27.13	3.47
15	⑧	17.65	16.79	5.12
16	⑧	18.23	17.29	5.44
17	⑨	17.10	17.52	2.40
18	⑨	18.53	18.14	2.14
19	⑩	26.95	21.74	6.18
20	⑩	25.20	23.92	5.36

(2) 承载板式谷物质量流量传感器弹性元件量程变化时的试验数据如表4所示。可以看出,弹性

元件的量程与谷物质量流量测量精度密切相关,当选用长度 $b = 357$ mm、厚度 $c = 3$ mm、曲率半径 $R = 250$ mm 的有机玻璃承载板时,量程为 2 kg 弹性元件比量程为 5 kg 的弹性元件谷物质量流量测量平均相对误差减小了 5.09%;比量程为 4 kg 的弹性元件谷物质量流量测量平均相对误差减小了 2.52%;比量程为 3 kg 的弹性元件谷物质量流量测量平均相对误差减小了 0.35%。

表 4 弹性元件量程变化时的试验数据

Tab. 4 Data of elastic component range change

试验序号	弹性元件量程/kg	显示质量/kg	实际质量/kg	相对误差/%
1	5	25.09	23.48	6.85
2	5	24.43	22.82	7.06
3	4	24.42	23.34	4.62
4	4	24.26	23.26	4.16
5	3	17.41	17.02	2.29
6	3	18.53	18.14	2.14
7	2	24.52	24.09	1.78
8	2	25.54	25.05	1.96

(3) 谷物流量变化时的试验数据如表 5 所示。

表 5 谷物流量变化时的试验数据

Tab. 5 Data of grain flow change

试验序号	挡位	显示质量/kg	实际质量/kg	时间/s	平均流量/ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	相对误差/%
1	1	22.97	23.29	24.17	0.963	1.37
2	1	47.35	48.08	48.75	0.986	1.52
3	2	28.64	28.26	18.38	1.538	1.34
4	2	52.06	51.43	34.73	1.489	1.23
5	3	28.96	29.49	14.54	2.028	1.80
6	3	49.96	50.76	24.81	2.054	1.96
7	4	27.50	26.89	11.30	2.380	2.27
8	4	52.07	50.88	21.83	2.330	2.34
9	5	25.03	23.75	8.41	2.824	5.39
10	5	47.73	44.99	15.50	2.902	6.09

可以看出谷物流量大小与谷物质量流量测量精度密切相关,当选用长度 $b = 357$ mm、厚度 $c = 3$ mm、曲率半径 $R = 250$ mm 的有机玻璃承载板和量程为 2 kg 弹性元件时,谷物流量在 0 ~ 2 kg/s 内测量精度最高,随着谷物流量的变大,谷物质量流量测量平均相对误差有逐渐增大的趋势,当谷物流量超过 2.5 kg/s 时,谷物质量流量测量平均相对误差超过 5%。通过调节插板开度控制入粮装置喂入口的大小,由小到大设定为 1、2、3、4、5 挡。

3 结论

(1) 试验比较了承载板式谷物质量流量传感器的承载板的材料、长度、厚度、曲率半径共 5 种几何参数对谷物质量流量测量精度的影响。比较发现,长度 $b = 357$ mm、厚度 $c = 4$ mm、曲率半径 $R = 250$ mm 的有机玻璃承载板的谷物质量流量测量平均相对误差最小,其值为 2.27%;长度 $b = 357$ mm、厚度 $c = 3$ mm、曲率半径 $R = 250$ mm 的铝合金承载板的谷物质量流量测量平均相对误差最大,其值为 7.95%。最小谷物质量流量测量平均相对误差比最大谷物质量流量测量平均相对误差减小了 5.68%。

(2) 试验比较了承载板式谷物质量流量传感器弹性元件量程为 5、4、3、2 kg 4 种量程对谷物质量流量测量精度的影响。比较发现,量程为 2 kg 弹性元件比量程为 5 kg 的弹性元件谷物质量流量测量平均相对误差减小了 5.09%;比量程为 4 kg 的弹性元件谷物质量流量测量平均相对误差减小了 2.52%;比量程为 3 kg 的弹性元件谷物质量流量测量平均相对误差减小了 0.35%。

(3) 试验对比了承载板式谷物质量流量传感器在谷物质量流量模拟加载试验装置 1、2、3、4、5 挡共 5 种谷物流量对谷物质量流量测量精度的影响。比较发现,谷物流量在 0 ~ 2 kg/s 内测量精度最高,随着谷物流量的变大,谷物质量流量测量平均相对误差有逐渐增大的趋势,当谷物流量超过 2.5 kg/s 时,谷物质量流量测量平均相对误差超过 5%。

参 考 文 献

- Kormann G, Demmel M, Auernhammer H. Testing stand for yield measurement systems in combine harvests [C] // 1998 ASAE Annual International Meeting, Paper 983102, 1998.
- 介战, 刘红俊, 侯风云. 中国精准农业联合收割机研究现状与前景展望 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 179 ~ 182. Jie Zhan, Liu Hongjun, Hou Fengyun. Research advances and prospects of combine on precision agriculture in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(2): 179 ~ 182. (in Chinese)
- Reyns P, Missotten B, Ramon H, et al. A review of combine sensors for precision farming [J]. Precision Agriculture, 2002 (3): 169 ~ 182.

Science and Technology Press, 2007. (in Chinese)

- 3 Hendrick J G, W R Gill. Rotary-tiller design parameters part V : kinematics[J]. Transactions of the ASAE, 1978, 21(4) : 658 ~ 660.
- 4 Ding Weimin, Wang Yaohua, Peng Songzhi. Comparison experiment and property analysis of up-cut and down-cut rotary blades[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(1) : 113 ~ 117. (in Chinese)
- 5 Hendrick J G, Gill W R. Rotary-tiller design parameters part I : direction of rotation[J]. Transactions of the ASAE, 1971, 14(4) : 669 ~ 674, 683.

玉米根茬收获机设计与试验

马旭 陈学深 齐龙 陈国锐 赖奕璋

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

【摘要】 为了实现根茬的挖掘、捡拾、根土分离与放铺等联合收获作业,研制了一种偏置式挖掘铲刀和三辊机构。通过分析偏置式挖掘铲刀的挖掘特性,以及三辊机构的运动学特性,确定了工作部件的结构参数及运动参数。田间试验表明,偏置式挖掘铲刀挖掘根茬效果好,三辊机构具有较好的捡拾、根土分离和放铺能力,根茬收获机的根茬起挖率、捡拾率和放铺率均大于 90%,满足设计和使用要求。

关键词: 根茬挖掘 挖掘铲刀 三辊机构 根土分离 根茬收获机

中图分类号: S225.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0021-05

(上接第 93 页)

- 4 Ehler Detlef. Measuring mass flow by bounce plate for yield mapping of potatoes[J]. Precision Agriculture, 2000, 2(2) : 119 ~ 130.
- 5 Qarallah Bassam, Shoji Koichi, Kawamura Tsuneo. Development of a yield sensor for measuring individual weights of onion bulbs[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(4) : 511 ~ 515.
- 6 孙宇瑞,汪懋华,马道坤,等. 冲量谷物流量测量系统的实验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(4) : 48 ~ 50.
Sun Yurui, Wang Maohua, Ma Daokun, et al. Testing reaserch of impact-based measurement of grain mass flow [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(4) : 48 ~ 50. (in Chinese)
- 7 姜国微. 冲量式谷物质量流量测量装置的设计研究[D]. 镇江:江苏大学,2011.
Jiang Guowei. Design and study on impact-based grain mass flow measurement device [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2011. (in Chinese)
- 8 周俊,苗玉彬,张凤传,等. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器田间实验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6) : 102 ~ 105.
Zhou Jun, Miao Yubin, Zhang Fengchuan, et al. Field testing of parallel beam impact-based yield monitor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6) : 102 ~ 105. (in Chinese)
- 9 陈树人,张文革,李相平,等. 冲量式谷物流量传感器性能实验研究 [J]. 农业机械学报, 2005, 36(2) : 82 ~ 84.
Chen Shuren, Zhang Wenge, Li Xiangping, et al. Condition testing of impact-based sensor of grain mass flow[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(2) : 82 ~ 84. (in Chinese)
- 10 Chaplin J, Hemming N, Hetchler B. Comparison of impact plate and torque-based grain mass flow sensors[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(4) : 1 337 ~ 1 345.
- 11 陈树人,杨洪博,李耀明,等. 双板差分冲量式谷物流量传感器性能试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8) : 172 ~ 174.
Chen Shuren, Yang Hongbo, Li Yaoming, et al. Experiment of dual-plates differential impact-based grain flow sensor [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8) : 172 ~ 174. (in Chinese)