

双板差分冲量式谷物流量传感器设计^{*}

胡均万¹ 罗锡文¹ 阮欢¹ 陈树人² 李耀明²

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 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)

【摘要】 设计了一种双板冲量式谷物流量传感器及其差分消振电路,以消除车身振动对测产精度的影响。振动试验表明,在没有谷物输入时联合收获机车身振动导致前后2个检测板产生的2个振动信号是一对共模信号,可通过电路差分的方法消除;差分后传感器的输出电压的信噪比由2.5 dB提高到62 dB。在零喂入量情况下,振动产生的零点误差小于0.01 g/s;在联合收获机正常作业的喂入量范围内(0.5~2 kg/s),实验室测量误差小于3%。田间实际测量误差不大于5%。

关键词: 谷物 流量传感器 冲量式 振动信号 双板 差分电路

中图分类号: S1211

文献标识码: A

Design of a Dual-plate Differential Impact-based Yield Sensor

Hu Junwan¹ Luo Xiwen¹ Ruan Huan¹ Chen Shuren² Li Yaoming²

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China 2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and

Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

A dual-plate differential impact-based yield sensor was designed to eliminate the influences of the vibration signal. Two similar parallel plates were mounted in front of the outlet of the combine harvester. The front plate was used to detect the impact of grain out of elevator the harvester as well the vibration. The rear plate was used to detect the vibration only. A differential circuit was used to eliminate the vibration signal of the harvester. The experimental waves showed that the vibration signals of the two plates were similar while the harvester runs with no grain input. The influence of the vibration could be eliminated by the differential circuit. The zero drift of this sensor is less than 0.01 g/s. The error of the yield sensor is less then 3% at flow rates 0.5~2 kg/s in lab. It is not greater than 5% in field condition.

Key words Grain, Yield sensor, Impact-based, Vibration signal, Dual-plate, Differential circuit

引言

目前,联合收获机使用的谷物流量传感器有光电容积式、辐射式、冲量式等。其中冲量式流量传感器由于结构简单、成本低廉而得到广泛的应用^[1~2];但是机器的振动、谷物含水率、谷物的种

类、流量变化和田间的坡度等因素对测量精度影响很大^[3~5],其中联合收获机的振动对误差影响最为显著。为此张凤传等使用积分抑噪电路减少机器振动对冲量式产量传感器的影响,使联合收获机实际测产的相对误差减小到6%^[6]。陈树人等通过安装谷物导流板的方法使谷物冲击信号提高了30%,在

收稿日期: 2008-08-07 修回日期: 2008-09-12

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10A307)和国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD11A03)

作者简介: 胡均万,博士生,主要从事农业电气化与自动化研究,E-mail: hujunwan@tom.com

通讯作者: 罗锡文,教授,博士生导师,主要从事农业机械化与自动化研究,E-mail: xwluo@scau.edu.cn

没有消除振动信号的情况下提高了信噪比^[7]。周俊等在双孔平行梁冲量式谷物质量流量传感器上采用了一种弹性阻尼消振方法,田间测产误差为10%^[8-9]。

为了消除机器振动带来的影响,本文设计一种具有差分消振功能的冲量式谷物流量传感器。

1 谷物流量传感器的结构

传感器的结构如图1所示,2块240 mm × 110 mm × 5 mm的有机玻璃板分别固定在双孔平行悬臂梁上作为检测板,每个悬臂梁的两侧贴有4个应变片组成惠斯登电桥,将应变信号转换成电信号。2个悬臂梁的定位孔通过2个固定螺杆安装在导流支架的同一孔位上,中间用垫片隔开,使前后

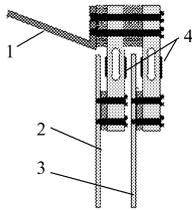


图1 双板产量传感器的结构

Fig.1 Structure of dual board yield sensor

1. 导流支架 2. 冲击板
3. 检振板 4. 应变电桥

2块检测板相互平行且不接触。导流支架安装在联合收获机谷物升运器的出口,除了用于安装固定传感器以外,还可以引导谷物冲击到测试板上。

2块检测板与联合收获机的出粮口大小相当,前置检测板称为冲击板,通过感受谷物的冲击力以测量谷物的流量;在感受谷物冲击的同时,也会受到机器振动的影响。后置检测板称为检振板,谷物冲击前置冲击板后落下,不会冲到后置检测板上(通过高速摄影发现,仍有万分之一的谷物在冲击后飞撒在2个悬臂梁之间,但是不对检振板产生正面冲击,可以忽略),由于2块检测板的特性一致且安装在同一孔位上,检振板检测的振动信号与冲击板的振动信号是一对共模信号,可用电路差分的方法消除振动信号,提高信噪比^[10]。

消振电路如图2所示,由3个INA118仪表放大器组成。其中,A1放大冲击板悬臂梁上应变片输出的信号;A2专门放大检振板的振动信号,其参数与A1完全相同;A3专门用于差分消振,把 U_1 和 U_2 的信号分别输入差分放大器A3的正、反输入端进行差分运算,就可以得到谷物冲击信号。

R_1 和 R_2 分别为A1和A2的增益电阻,为了保证两路振动的信号得到同样的增益,采用高精度金属膜电阻。RW1和RW2分别调整A1和A2的参考电压,用以消除2组应变电桥之间的差异。RW3用以调整A3的增益。

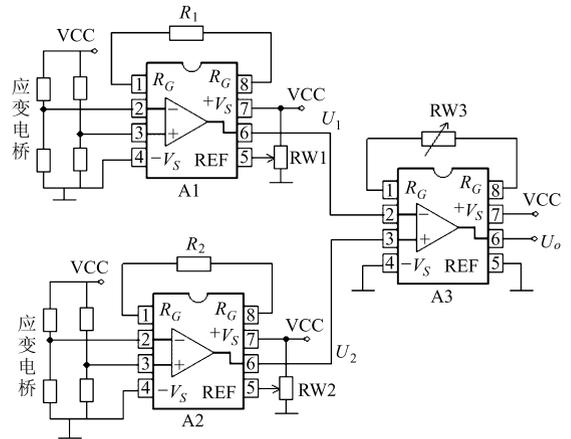


图2 差分消振电路

Fig.2 Vibration eliminating circuit

2 差分消振原理

放大器A1的输出信号 U_1 包括谷物冲击信号 U_i 和振动产生的噪声信号 U_{n1} ,即

$$U_1 = U_i + U_{n1} \quad (1)$$

A2输出的电压 U_2 即机器振动信号 U_{n2} ,理论上 U_{n2} 与 U_{n1} 幅度相等、相位相同,记为

$$U_2 = U_{n2} = U_{n1} \quad (2)$$

实际应用中,由于悬臂梁和应变片很难做到完全一致,可能存在一定的差异,但是通过调节A1和A2的工作点和增益可以使前后的振动信号相等。

放大器A3输出的电压为

$$U_o = G(U_1 - U_2) = G(U_i + U_{n1} - U_{n2}) = GU_i \quad (3)$$

式中 G ——A3的增益

式(3)说明,差分后的输出电压只与谷物冲击信号有关。使用嵌入式系统内部的ADC转换电路,以500 Hz的采样频率采集 U_o ,得到离散的信号电压 U_{oi} ,其中 $i \in [0, 499]$,把 U_{oi} 积分后即可测量出谷物流量,又称瞬时产量,记为

$$Q = \frac{k}{500} \sum_{i=0}^{499} U_{oi} \quad (4)$$

式中 Q ——谷物的质量流量, kg/s

U_{oi} ——传感器的瞬时电压, V

k ——标定系数

k 与 G 值和联合收获机的结构有关,对于不同的联合收获机需要重新标定。

3 试验设备

试验平台为久保田481型半喂入式联合收获机,该机采用螺旋式谷物升运器,正常收获的最大流量为2 kg/s。把双板冲量式产量传感器的导流支架安装在联合收获机谷物升运器的出粮口,流量传感

器垂直安装在导流支架上,冲击板正对出粮口,与出粮口距离 5 cm。

使用 ARM 3s44b0 型嵌入式系统作为数据采集装置,利用芯片内部集成的 10 位 ADC 同时采集差分前后的数据,其中 ADC0 和 ADC1 分别采集差分前的 U_1 和 U_2 ,ADC2 采集 A3 差分后的输出电压 U_o 。采样频率设为 500 Hz,数据和波形直接显示在嵌入式系统的 LCD 显示屏上。

4 试验方法

4.1 振动试验

联合收获机处于怠速、发动机高速空转、脱粒滚筒高速空转、田间行走 4 种工况时割台的喂入量是零,此时传感器输出的信号电压为联合收获机车身振动的干扰信号。打开嵌入式数据采集装置,采集这 4 种工况下传感器差分前、后的振动信号。

4.2 测产试验

在联合收获机正常流量 0~2 kg/s 范围内分 10 段标定 k 系数,然后在实验室内进行 30 次重复性检

验。在零喂入的 4 种工况下,工作 24 h 测量累计的零点误差,计算每秒零点漂移。

田间测产试验在广州市从化区神岗镇大拗村的稻田里进行,通过调节联合收获机前进速度来调节割台喂入量,每收割一个来回,用量程为 300 kg、灵敏度为 50 g 的电子秤作误差对比。

5 试验结果与分析

振动试验发现,在不同的工况下,联合收获机的振动信号强度和频率是变化的。

图 3a 和图 3b 为前、后两块板在发动机高速空转的振动波形(发动机转速为 2 450 r/min),波形表明在谷物零喂入的情况下,两路振动信号是等幅度、同相位,振动信号电压的峰值接近 1 V,信噪比为 2.5 dB。图 3c 为同一时刻 U_o 输出的振动信号波形,信号幅度约 0.04 V,信噪比为 62 dB。

试验数据表明,联合收获机在不同工况下的振动导致传感器的前、后两块板的干扰信号是同步的,可以使用电路差分的方法来消除振动信号。

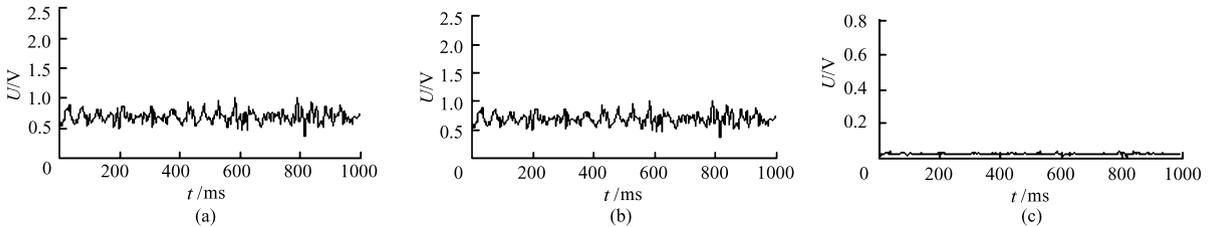


图 3 振动信号和差分信号的波形

Fig. 3 Vibration signal and differential signal

(a) 冲击板振动波形 (b) 检测板振动波形 (c) 差分波形

标定数据表明,式(4)中的 k 不是常数,而是 U_o 的函数,如图 4 所示。

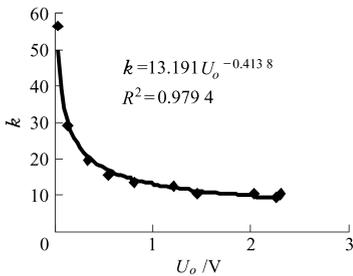


图 4 标定系数与 U_o 的关系

Fig. 4 Calibration function curve

标定系数 k 的回归方程为

$$k = 13.191 U_o^{-0.4138} \quad (5)$$

将式(4)和式(5)写入 ARM7 的固化程序中,在标定流量范围,重复 30 次检验测产系统的相对误差小于 3%。

在割台喂入量为零的情况下,产量监视器克服 4 种不同工况的传感器振动干扰后,测得的流量为零,振动试验 24 h 后零点漂移累计不大于 1 kg,平均零点漂移 0.01 g/s。

6 结束语

通过电路差分的方法,双板差分冲量式产量传感器可以消除联合收获机车身振动的影响,使谷物流量传感器输出信号的信噪比从 2.5 dB 提高到 62 dB。联合收获机在零喂入的情况下,克服振动后,平均零点漂移小于 0.01 g/s。

喂入量在 0.5~2 kg/s 范围内,测产试验的相对误差小于 3%。在实际收割过程中,除了振动以外还有其他因素影响测产系统的测量精度,田间测产误差小于 5%。

参 考 文 献

- 1 李民赞. 农作物产量自动监测技术及关键设备[J]. 农业网络信息, 2004(Sup.1):34~38.
Li Minzan. The technique of crop yield monitor and key equipment[J]. Agriculture Network Information, 2004(Sup.1): 34~38. (in Chinese)
- 2 Reyns P, Missotten B, Ramon H, et al. Review of combine sensors for precision farming[J]. Precision Agriculture, 2002(3):169~182.
- 3 Vansichen R, De Baerdemaeker. Continuous wheat yield measurement on a combine[C]//Auto-mated Agriculture for the 21st Century Proceedings of ASAE Symposium, Chicago,1991:346~355.
- 4 Arslan S, Colvin T S. Laboratory test stand for combine grain yield monitors[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1998, 14(4):369~371.
- 5 孙宇瑞,汪懋华,马道坤,等. 冲量法谷物流量测量系统的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001,32(4):48~50.
Sun Yurui, Wang Maohua, Ma Daokun, et al. Experimental research on grain-flow-measurement system using an impact sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2001,32(4):48~50. (in Chinese)
- 6 张凤传,张启俊,周晓云,等. 联合收割机产量传感器的信号处理[J]. 中国农机化,2004(4):44~47.
Zhang Fengchuan, Zhang Qijun, Zhou Xiaoyun, et al. Signal processing of the yield monitor for combine[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2004(4):44~47. (in Chinese)
- 7 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 Wen'ge, Li Xiangping, et al. Experiment research of grain mass flow sensor based on impact[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(2):82~84. (in Chinese)
- 8 周俊,周国祥,苗玉彬,等. 悬臂梁冲量式谷物质量流量传感器阻尼设计[J]. 农业机械学报, 2005,36(11):121~123.
Zhou Jun, Zhou Guoxiang, Miao Yubin, et al. Damping design of impact-based grain yield sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(11):121~123. (in Chinese)
- 9 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)
- 10 胡均万,罗锡文,陈树人,等. 联合收割机产量传感器振动信号影响分析与消除方法[C]//中国农业机械学会 2008 年学术年会论文集,济南,2008:857~860.
Hu Junwan, Luo Xiwen, Chen Shuren, et al. Analysis the effects of vibration signal on combine yield sensor[C]// Proceedings of Chinese Society for Agricultural Machinery. Ji'nan, 2008: 857~860. (in Chinese)