

联合收获机谷物损失实时监测系统研究*

李耀明 梁振伟 赵 湛 陈 义

(江苏大学现代农业装备与技术省部级共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 为了实现联合收获机工作过程中谷物损失量的实时监测,设计了谷物损失实时监测系统。该系统以PVDF压电薄膜作为敏感元件,通过电压放大器、带通滤波器、精密全波整流、包络检波等构成信号调制电路来检测谷物冲击信号,为了减小联合收获机的振动干扰,设计了一种双层隔振结构。在1.1~2.6 m/s范围内进行谷物冲击性能试验。结果表明,谷物冲击信号的电压峰值为2~4 V,且电压峰值随冲击速度的增大而增加。以AT89C52单片机为核心开发了二次显示仪表,实时采集传感器输出的谷物冲击信号。田间试验表明,该系统能够有效获取谷粒冲击信号,实时显示联合收获机谷物夹带、清选损失率,具有预报警功能,且测量结果可以通讯输出。

关键词: 联合收获机 谷物损失 敏感元件 监测系统

中图分类号: S126 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0099-04

Real-time Monitoring System of Grain Loss in Combine Harvester

Li Yaoming Liang Zhenwei Zhao Zhan Chen Yi

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education and Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

In order to monitor grain loss of combine harvester real-time during the working process, a grain loss monitoring system was designed. PVDF piezoelectric films were used as the sensitive element, and signal process circuit which is composed of voltage amplifier, band-pass filter, precision full-wave rectification, envelope detector was constructed to measure the grain impact signal. A double-layer vibration isolator was proposed to eliminate the vibration influence of combine harvester. Grain impact performance tests were carried out within the impact velocity of 1.1~2.6 m/s, which showed that the peak voltage of the impact signals within 2~4 V, and peak voltage increased with increasing impact velocity. Using AT89C52 microcontroller as the core chip, a secondary instrument was developed to acquire the grain impact signal which is output from detecting sensor. Field experimental results showed that the instrument could identify grain impact signal effectively, and the grain separation loss ratio and cleaning loss ratio could be real-time displayed, the system also had the alarm and communication functions.

Key words Combine harvester, Grain loss, Sensitive element, Monitoring system

引言

近年来,联合收获机的自动化水平得到了显著提高,降低了生产成本,减轻了劳动强度,提高了生产效率,但其作业中较高的谷物损失率仍是制约其作业性能的重要因素。损失率是衡量联合收获机作

业性能的重要指标,也是联合收获机各相关工作参数调整的重要依据。建立基于传感器与检测技术的谷粒损失实时监测系统是减少收获损失的有效措施,成为现代农机测试和收获机械研究开发的热点。国内外已经开展了谷物检测传感器的研究工作^[1~3],并取得了一些成果,但总体技术还不完善,

收稿日期: 2011-08-04 修回日期: 2011-08-08

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2010AA101402)、中国博士后科学基金资助项目(20110490124)、江苏省科技支撑计划资助项目(BE2011333)、江苏大学高级专业人才科研启动基金资助项目(10JDG083)和江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 李耀明,教授,博士生导师,主要从事现代农业机械设计及其理论研究,E-mail: ymli@ujs.edu.cn

主要是由于受敏感材料压电特性和机器振动对信号测量干扰较大的影响,而制约了传感器测量精度的提高。

聚偏氟乙烯(PVDF)作为一种新型的高分子材料,它的压电常数高、质量轻、密度小、灵敏度高、柔韧性好、频响宽、声阻抗低、稳定性好、耐腐蚀、能够测量瞬态冲击过程、易于加工和安装、可靠性和可重复性高,能够在恶劣环境中使用,对系统本身的结构影响小,因此在微弱冲击和加速度测量领域得到广泛的应用^[4-6]。因此,本文采用 PVDF 压电薄膜作为敏感材料,并通过双层隔振板结构设计^[7],借助于单片机技术,开展谷物损失实时监测系统研究。

1 传感器结构

选用的 PVDF 压电薄膜采用冷压端子将电极引出,为了防止表面划伤,在上、下表面均粘贴厚度为 0.1 mm 的 PET 塑封薄膜,将塑封好的 PVDF 压电薄膜粘贴于支撑板上构成一个检测单元,然后将多个检测单元平行排列在传感器底板上,在每个检测单元与底板、底板与基座之间加装独立减振片,构成双层隔振结构形式,如图 1 所示。

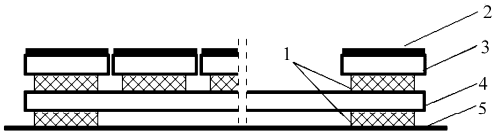


图 1 传感器结构原理图

Fig. 1 Schematic diagram of sensor

1. 减振片 2. PVDF 薄膜 3. 支撑板 4. 底板 5. 基座

压电材料中,电学参量和力学参量不再是相互独立的,而是相互联系的。压电方程是反映压电材料的电学量和力学量之间相互关系的物态方程。由于边界条件和自变量的差异,使其具有不同的形式。外加电场为零时,PVDF 压电薄膜的外应力张量 T 与极化电荷密度 σ 之间的关系可表示为

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 d_{ij} ——压电常数,pC/N

下标 i 表示晶体的极化方向, $i=1,2,3$,即产生电荷的表面垂直于 X 轴、 Y 轴、 Z 轴;下标 j 取 1、2、3、4、5、6,分别表示在沿 X 轴、 Y 轴、 Z 轴方向作用的单向应力和在垂直于 X 轴、 Y 轴、 Z 轴的平面内作用

的剪切力。

实际使用的 PVDF 压电薄膜极化方向为方向 3,即 $i=j=3$,厚度为 100 μm ,几何尺寸为 25 mm $\times$ 120 mm, $d_{33}=21\text{ pC/N}$,由式(1)可知,当薄膜受到谷物垂直冲击或振动产生的应力作用时,输出电荷为

$$\sigma_{33} = d_{33} T_{33} \quad (2)$$

2 传感器电路设计

2.1 电路结构

系统以 AT89C52 单片机为核心,用 PVDF 压电薄膜作为敏感元件,模拟电路把采集到的夹带、清选损失电荷信号调制成脉冲信号,通过外部中断口送入单片机,单片机根据内置的夹带、清选损失率程序模型计算出当前的损失率并送 LCD 显示。系统还具有报警和通讯输出等功能,总体框图如图 2 所示。

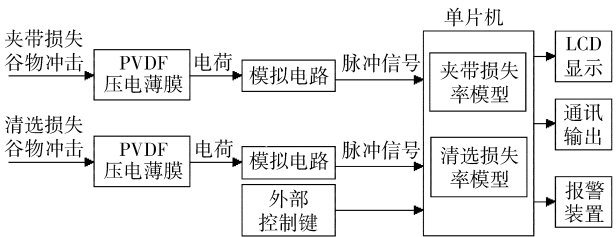


图 2 系统总体框图

Fig. 2 General system diagram

2.2 模拟信号处理电路

模拟信号处理电路主要由电压放大器、带通滤波器、精密全波整流电路、包络检波电路等串联组成,如图 3 所示。根据压电敏感元件的工作原理及其电荷等效电路,采用电压放大器将 PVDF 输出电荷变换为低阻抗电压输出信号。由于电压放大器输出电压中包含有谷物、颖壳、短茎秆、小土块等冲击信号以及联合收获机振动干扰信号,根据它们产生信号的频率不同,可以通过带通滤波进行区分,从而有效识别谷物冲击信号。根据幅频特性的不同,滤波器主要有 Butterworth、Chebyshev、Bessel 等类型,Chebyshev 有源滤波器在通带与阻带之间的过渡区域较窄,有特定的中心频率信号,能抑制和滤除其他频段的信号,在各种电子电路、自动控制电路中应用广泛。因此,设计了四阶 Chebyshev 有源带通滤波器。

由于谷物撞击 PVDF 薄膜时的初速度和两者接触的角度不同,产生的电压峰值可能是正值,也可能为负值。而要鉴别出饱满谷物冲击信号,主要依据的是冲击信号峰值的大小。为了能够准确检测到峰值,设计了由半波精密整流电路和加法器电路组成的精密全波整流电路,以获取籽粒冲击峰值电压。

考虑到谷物冲击到 PVDF 压电薄膜时会有谐振

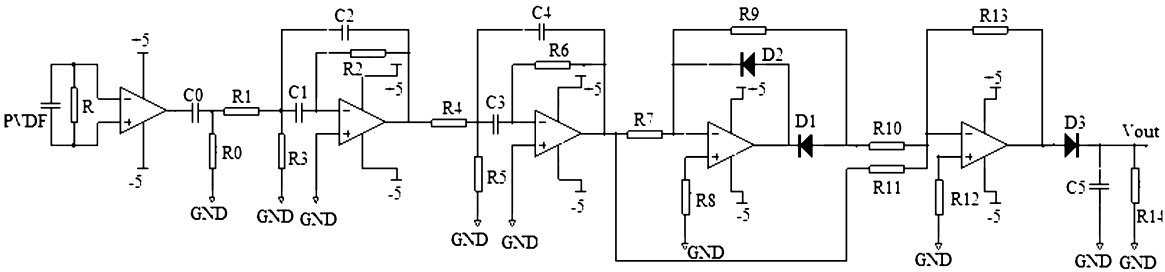


图 3 模拟信号处理电路图

Fig. 3 Analog signal processing circuit

的影响,产生衰减振荡信号,因此对精密全波整流电路输出的信号进行包络检波,获取谷物冲击信号的包络曲线,减小计数的误差。

2.3 数字电路设计

为了实现联合收获机夹带损失和清选损失的实时测量,将夹带和清选模拟电路调制脉冲信号经过两个外部中断口 P3. 2、P3. 3 送入 AT89C52 单片机,利用单片机的外部中断下降沿触发方式进行计数,完成计数量的累加,并根据传感器检测到的损失籽粒量与联合收获机实际损失之间的关系模型^[8],计算出当前的夹带和清选损失率。

利用单片机的定时/计数器功能,定时时间为 1 s,间隔把累加的脉冲数和损失率送入 LCD 进行显示。设计了独立控制键,可以根据作物特性不同,对模型系数进行相应调整。当损失率超过设定值时,单片机启动蜂鸣器报警,提示驾驶员进行相应的动作,并可将测量结果通过 RS-232 串口通讯输出。所开发的仪表具有灵活的接口方式、简单方便的操作和良好的人机交互图形界面,系统电路如图 4 所示,程序流程如图 5 所示。

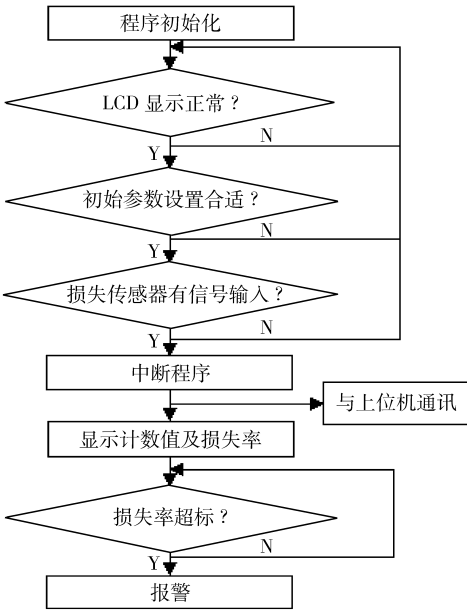


图 5 程序流程图

Fig. 5 Flow chart of process

传感器、信号调制电路和二次仪表等组成,将其应用于联合收获机夹带损失监测,文献[8]给出了传感器的安装方法。

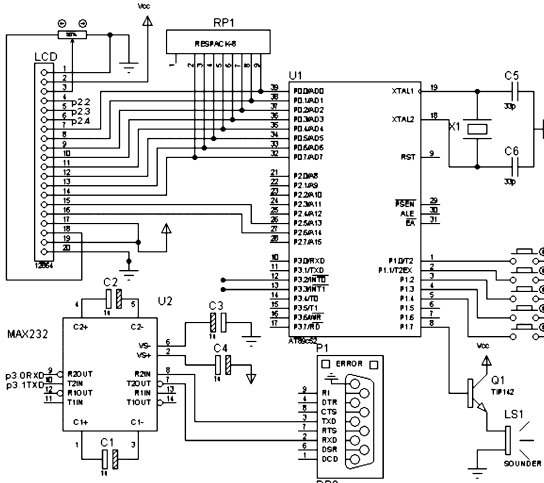


图 4 系统电路图

Fig. 4 System circuit diagram

3 试验结果与分析

研发的谷物损失监测系统如图 6 所示,主要由

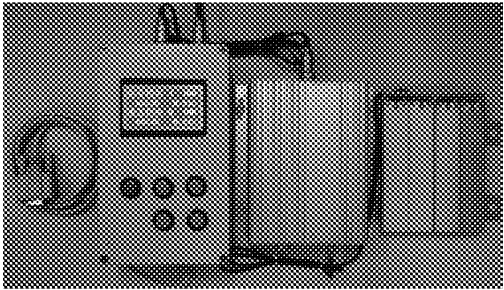


图 6 夹带损失监测系统

Fig. 6 Separation loss monitoring system

为检测整个装置的灵敏度、分析谷物冲击速度对输出电压的影响,试验采用千粒质量为 35 g 的小麦籽粒,在 1.1 ~ 2.6 m/s 速度范围内进行谷物冲击试验,并用示波器观测经过包络检波处理后的波形的电压峰值。相同参数下重复 10 次,统计得到不同下落速度时输出电压峰值的变化曲线,如图 7 所示。试验表明,随着下落速度的增加,谷物冲击压电薄膜产生的应力变大进而输出电压增大,当冲击速度在

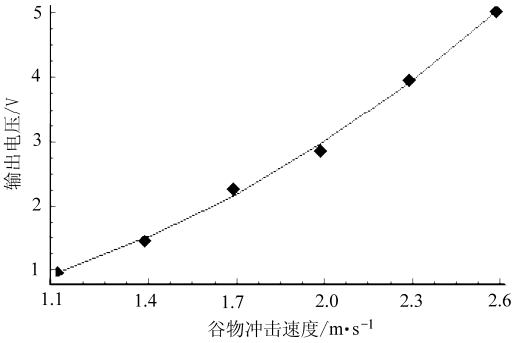


图 7 输出电压随籽粒冲击速度的变化曲线
Fig.7 Output voltage changes with the drop velocity of grain

1.7 ~ 2.3 m/s 范围内时,输出峰值为 2 ~ 4 V。试验

发现,秸秆杂余冲击和振动信号电压控制在 1.5 V 以下时,能有效识别出谷物冲击信号。

4 结束语

采用 PVDF 压电薄膜作为敏感元件,进行谷物冲击性能试验,将得到的电荷信号通过调制电路处理,结果表明,当冲击速度在 1.7 ~ 2.3 m/s 范围时,输出电压峰值为 2 ~ 4 V,且电压峰值随冲击速度的增大而增加。开发了以 AT89C52 单片机为核心的二次显示仪表,田间试验表明,该监测系统能够完全实现对谷物冲击信号的采集、夹带和清选损失率的计算、损失率超标报警和通讯功能。

参 考 文 献

1 Maertens K, Ramon H, Baerdemaeker J D. An on-the-go monitoring algorithm for separation processes in combine harvesters [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004,43(3):197 ~ 207.

2 Geert C, Wouter S, Bart M, et al. Identification of the cleaning process on combine harvesters, part II: a fuzzy model for prediction of the sieve losses[J]. Biosystems Engineering, 2010, 106(2): 97 ~ 102.

3 周利明, 张小超, 刘阳春, 等. 联合收获机谷物损失测量 PVDF 阵列传感器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 167 ~ 171.

Zhou Liming, Zhang Xiaochao, Liu Yangchun, et al. Design of PVDF sensor array for grain loss measuring[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 167 ~ 171. (in Chinese)

4 王国力, 赵子婴, 白金星. PVDF 压电薄膜脉搏传感器的研制[J]. 传感技术学报, 2004, 12(4): 688 ~ 692.

Wang Guoli, Zhao Ziyang, Bai Jinxing. Design and implementation of the three point PVDF piezo-film sphygmo-transducer [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2004, 12(4): 688 ~ 692. (in Chinese)

5 Shirinov A V, Schomburg W K. Pressure sensor from a PVDF film[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2008,142(1): 48 ~ 55.

6 严刚, 沈中华, 陆健. 利用 PVDF 检测激光声表面波的实验方法[J]. 检测技术学报, 2007, 21(3): 262 ~ 265.

Yan Gang, Shen Zhonghua, Lu Jian. An experimental method for the detection of laser-generated surface acoustic waves with PVDF transducers[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2007, 21(3): 262 ~ 265. (in Chinese)

7 段小帅, 梁青, 陈绍青, 等. 双层隔振系统隔振效果评价与试验[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(6): 694 ~ 699.

Duan Xiaoshuai, Liang Qing, Chen Shaoqing, et al. Evaluation and experiment on vibration-isolation effect of double-stage vibration-isolation system[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(6): 694 ~ 699. (in Chinese)

8 Li Yaoming, Chen Yi. Monitoring method and device of attachment loss in combine harvester[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2011, 20(2): 14 ~ 19.