

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.016

联合收获机籽粒损失监测传感器性能标定试验*

李耀明 梁振伟 赵 湛 徐立章 陈 义 唐 忠

(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】 设计了由升降平台、升降驱动装置、给料装置、传感器安装平台等构成的籽粒损失监测传感器标定试验台;选取饱满小麦籽粒、不饱满小麦籽粒和不同长度茎秆等物料运用标定试验台对籽粒损失监测传感器在不同安装高度及不同安装角度情况下进行实验室内标定。室内试验表明,针对含水率不同的小麦样品籽粒损失监测传感器的测量误差能限制在4.8%以内;根据室内试验标定结果确定了籽粒损失监测传感器在监测夹带损失时的安装位置,田间试验表明,夹带损失最大监测误差为3.40%。

关键词: 联合收获机 籽粒损失 监测传感器 标定 试验

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0079-05

Calibration Experiment of Grain Loss Monitoring Sensor in Combine Harvester

Li Yaoming Liang Zhenwei Zhao Zhan Xu Lizhang Chen Yi Tang Zhong

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

Abstract

In order to test the performance of grain loss monitoring sensor and search for the best installed location, a calibration test-bench which composed of lifting platform, lifting driving mechanism, feeding device and the sensor installation platform was designed. Full wheat grain, blighted wheat grain and stalks with different lengths were selected as calibration materials to test the performance of grain loss monitoring sensors in different installation heights and installation angles. The laboratory tests showed that for different moisture wheat samples, the measurement error of grain loss monitoring sensor could be limited to less than 4.8%. The installed location of the grain loss monitoring sensor was determined when monitoring the separate loss according to laboratory calibration results. The field tests showed that the average separate loss monitoring error was 3.40%.

Key words Combine harvester, Grain loss, Monitoring sensor, Calibration, Experiment

引言

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^[1]。国内外部分学者已开始进行籽粒损失监测传感器的研究^[1~8],国外先进的联合收获机如美国 John Deere 公司生产的 JD9660STS 型联合收获机,

Case 公司生产的 Case2366IH 型联合收获机均已配备了籽粒损失监测传感器,用来监视联合收获机收获中籽粒损失实况^[1];但国内籽粒损失监测技术仍不成熟,国产联合收获机上仍未配备相关的籽粒损失监测装置。相关文献报道的籽粒损失监测传感器标定过于简陋^[8],标定过程中存在籽粒在传感器表面的落点相对集中,籽粒下落速度、密度不易调节等

收稿日期: 2012-07-02 修回日期: 2012-08-03

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA10A502)、江苏省博士后科研基金资助项目(1102131C)、江苏省科技支撑计划资助项目(BE2012382、BE2012312)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8 号)和江苏大学科研立项资助项目(11A185)

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理论研究,E-mail: ymli@ujs.edu.cn

问题,现阶段所开发的籽粒损失监测传感器检测速度可达 500 ~ 800 粒/s^[6],现存方法并不能有效地判定籽粒损失监测传感器的性能。

本文设计一种由双层给料装置、升降平台、升降驱动机构、籽粒损失监测传感器安装平台等构成的籽粒损失监测传感器标定试验台,选取饱满小麦籽粒、不饱满小麦籽粒和不同长度茎秆对所研制的籽粒损失监测传感器进行实验室内标定;根据实验室标定结果,确定籽粒损失监测传感器监测夹带损失时在联合收获机上的安装位置并进行田间试验。

1 籽粒损失监测传感器

1.1 监测系统

联合收获机监测区域排出混合物冲击籽粒损失监测传感器表面。根据压电效应方程籽粒损失监测传感器将产生冲击电荷信号,经由电荷信号转换放大、鉴频、绝对值峰值检波放大、包络线检波、电压比较器、整波等部分串联组成的信号调制电路把籽粒冲击电荷信号从复杂的干扰背景中识别出并调制成标准方波电压脉冲信号,通过外部中断口送入单片机中。单片机根据内置的夹带、清选损失率程序模型算出当前的损失率并在液晶屏幕上显示。本系统还具有报警、通讯输出和按键参数输入功能^[9]。为增加单位时间内的检测速度,采用多个监测单元构成阵列结构;为减少机器振动对籽粒损失监测传感器测量精度的影响,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^[6,9],如图 1 所示,传感器有效监测面积为 120 mm × 100 mm。其中,籽粒损失监测传感器采用尺寸为 120 mm × 25 mm 的 PVDF 压电薄膜作为敏感元件,电荷转换放大电路采用 OP07 芯片,主放大电路采用 AD620an 芯片,单片机处理器选用 Atmega128,选用 FYD12864 - 0402B 型液晶显示屏。籽粒损失监测系统如图 2 所示。

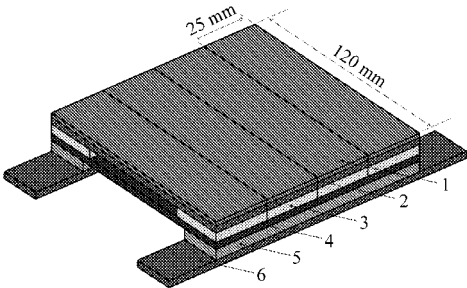


图 1 籽粒损失监测传感器结构示意图
Fig. 1 Diagram of grain loss monitoring sensor
1. PVDF 压电薄膜 2. 上基板 3. 上层隔振器 4. 下基板 5. 层隔振器 6. 基座

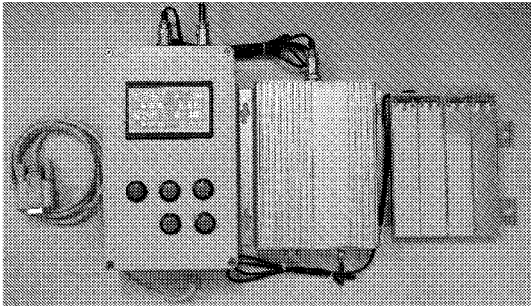


图 2 籽粒损失监测系统
Fig. 2 Grain loss monitoring system

1.2 籽粒损失监测传感器性能检验

为验证籽粒损失监测传感器性能,分别选取饱满小麦籽粒、不饱满小麦籽粒、短茎秆(长度 10 mm)、长茎秆(长度 30 mm),以 1.0 ~ 2.5 m/s 的速度对所研制的籽粒损失监测传感器进行实验室内冲击试验,统计得到不同试验样品在不同冲击速度下的输出电压的变化曲线,如图 3 所示。试验表明,随着物料下落速度的增加,物料冲击籽粒损失监测传感器输出电压增大。冲击速度在 1.7 ~ 2.3 m/s 内时,饱满籽粒输出电压为 2 ~ 4 V,且输出电压随冲击速度的增加而不断增大;长茎秆、短茎秆、不饱满籽粒冲击输出信号电压基本在 1.5 V 以下,设定电压比较器的阈值电压为 1.5 V,此时籽粒损失监测传感器能有效识别出籽粒冲击信号。

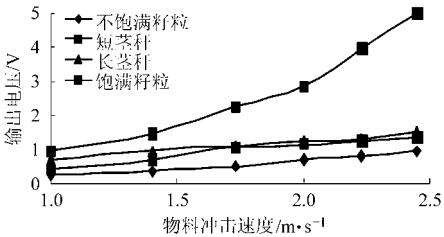


图 3 输出电压随不同物料冲击速度的变化曲线
Fig. 3 Output voltage changing with drop velocity of different materials

2 籽粒损失监测传感器性能标定

使用不同物料在不同冲击速度、冲击高度和冲击角度等条件下对籽粒损失监测传感器的输出测量值进行检测,研究其在不同安装高度及安装角度情况下,物料冲击籽粒损失监测传感器时信号采集的精度,同时确定籽粒损失监测传感器的最佳安装位置,即合理的安装高度和安装角度。

2.1 标定试验台结构简介

本装置由 2 个功能部分组成:一部分是籽粒损失监测传感器安装平台;另一部分由升降平台、升降驱动装置、给料装置等构成,用于控制籽粒下落密度、速度、落点位置,在控制器的控制下 2 部分配合

完成对籽粒损失监测传感器性能的标定,结构实物如图 4 所示。

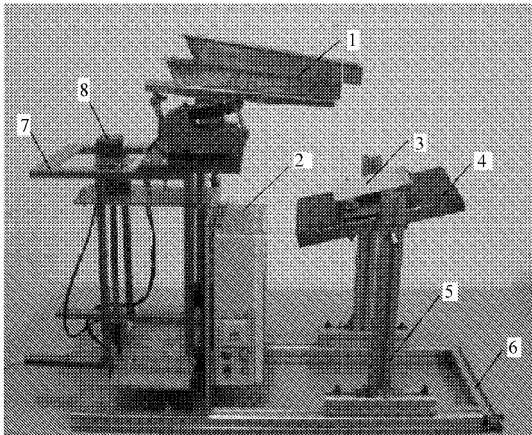


图 4 标定试验台
Fig. 4 Calibration test-bench

1. 给料装置 2. 控制箱 3. 籽粒损失监测传感器 4. 传感器安装平台 5. 支座 6. 底座 7. 升降平台 8. 升降驱动装置

为保证籽粒在籽粒损失监测传感器表面的落点均匀,设计了双层给料槽结构;给料装置是在电磁力的作用下作受迫振动,电磁线圈由单相交流电经可控硅半波整流后供电,通过调节电磁铁内部的电流使给料槽产生周期振荡进而实现给料量调节,籽粒在板弹簧回复力的推动下在溜槽的滑道内向前滑行。升降驱动装置由丝杠副与步进电动机组成,步进电动机在控制器的控制下通过联轴器把步进电动机的旋转运动转换为丝杠螺母的直线运动,丝杠螺母与升降平台相连进而实现升降平台在高度方向上的调节;籽粒损失监测传感器安装平台固定在旋转轴上,通过旋转轴的转动并在螺母的配合下实现籽粒损失监测传感器安装角度的调节;为保证籽粒能够全部落在籽粒损失监测传感器表面,支座可以在底座上左右调整位置。

2.2 试验与结果分析

籽粒从脱粒滚筒传感器安装位置下落速度通常在 1.0 ~ 2.5 m/s 内^[10],试验台设计中升降平台高度调节范围为 50 ~ 300 mm,籽粒接触传感器表面的冲击速度在 1.0 ~ 2.5 m/s。选用标定物料为饱满小麦籽粒、不饱满小麦籽粒、短茎秆(长度 10 mm)、长茎秆(长度 30 mm),通过调节标定试验台电磁铁内部的电流进行多次校准试验,使物料下落速度在 200 粒/s 左右。通过标定试验台模拟监测区域混合物的速度来冲击籽粒损失监测传感器,由籽粒损失监测传感器信号调制电路把籽粒冲击信号识别出并送二次仪表进行计数且实时显示数据。

试验在物料下落高度 h 为 175 ~ 250 mm、籽粒损失监测传感器安装角度 α 为 30° ~ 60° 情况下进

行,标定结果如表 1 ~ 3 所示。

表 1 在 $h = 175\text{ mm}$, $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 下的标定结果

Tab.1 Experiment results when h was 175 mm, α was $30^\circ \sim 60^\circ$

安装角度/(°)	样品数量/粒	监测数量/粒	相对误差/%
30	1 000	1 125	12. 5
45	1 000	953	4. 7
50	1 000	930	7. 0
60	1 000	862	13. 8

表 2 在 $h = 200\text{ mm}$, $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 下的标定结果

Tab.2 Experiment results when h was 200 mm, α was $30^\circ \sim 60^\circ$

安装角度/(°)	样品数量/粒	监测数量/粒	相对误差/%
30	1 000	1 085	8. 5
45	1 000	964	3. 6
50	1 000	938	6. 2
60	1 000	833	16. 7

表 3 在 $h = 250\text{ mm}$, $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 下的标定结果

Tab.3 Experiment results when h was 250 mm, α was $30^\circ \sim 60^\circ$

安装角度/(°)	样品数量/粒	监测数量/粒	相对误差/%
30	1 000	1 061	6. 1
45	1 000	945	5. 5
50	1 000	940	6. 0
60	1 000	804	19. 6

从表 1 ~ 3 可已看出,在固定安装高度,籽粒损失监测传感器的安装角度在 30° ~ 60° 范围内调节对其进行精度性能检验时,监测误差呈先递减后迅速递增的趋势,主要原因是:当籽粒损失监测传感器安装角度较小时,籽粒会在籽粒损失监测传感器表面发生二次弹跳;安装角度较大时,籽粒与籽粒损失监测传感器表面的接触面积较小、冲击力小进而冲击电压幅值较小。籽粒损失监测传感器的安装高度在 200 mm 附近,安装角度在 45° 左右时监测误差较小。

为测试籽粒损失监测传感器识别饱满籽粒的能力,在物料下落高度 h 为 200 mm、传感器安装角度 α 为 45° 时,采用 6 组不同混合配比的物料作标定试验,分别是物料 1:饱满籽粒加入不饱满籽粒;物料 2:饱满籽粒加入短茎秆;物料 3:饱满籽粒加入长茎秆;物料 4:饱满籽粒加入不饱满籽粒和短茎秆;物料 5:饱满籽粒加入不饱满籽粒和长茎秆;物料 6:饱满籽粒加入不饱满籽粒、短茎秆和长茎秆。其中饱满籽粒 1 000 粒、不饱满籽粒 100 粒、短茎秆(长度 10 mm)、长茎秆(长度 30 mm),每次标定试验重复

3 次,取平均值。表 4 为不同配比下各物料的测量结果。

表 4 不同配比下各物料标定结果

Tab.4 Experiment results of different mixtures

参数	冲击物料					
	1	2	3	4	5	6
监测数量/粒	1 028	1 037	967	1 045	1 041	1 048
相对误差/%	2.8	3.7	3.3	4.5	4.1	4.8

物料 1 中,个别不饱满籽粒由于冲击力较大而使籽粒损失监测传感器误判;而物料 2 中,少许短茎秆节部较硬,以一定速度冲击籽粒损失监测传感器时产生的电压信号频率、幅值与籽粒冲击相差不大;物料 3 中,长茎秆冲击籽粒损失监测传感器的信号基本可以被滤掉;物料 4、5、6 的混合物成分相对较复杂,但饱满籽粒仍能从复杂信号中被识别出。

综合以上试验,籽粒损失监测传感器在不同安装高度和安装角度下的监测精度误差波动较大,同时对于不同的标定物料的监测也存在较大差异。综合以上试验结果进行分析得到,在安装角度 α 为 45° 、安装高度 h 为 200 mm 时,对于饱满小麦籽粒监测相对误差不超过 4.8%。

在安装角度 α 为 45° 、安装高度 h 为 200 mm 的情况下,另选 2 种不同含水率的饱满小麦籽粒进行标定试验,试验结果如表 5 所示。对上述含水率分别为 19.64%、15.72% 的 2 种小麦籽粒各取 500 粒组成混合物料进行标定试验,试验结果如表 6 所示。测试结果表明:针对两类含水率不同的小麦样品,籽

表 5 不同含水率样品传感器检测标定结果

Tab.5 Sensor accuracy test with samples of different moistures

序号	含水率/%	实际值/粒	测量值/粒	误差/%
1	19.64	1 000	978	2.2
2		1 000	1 038	3.8
3		1 000	1 048	4.8
4	15.72	1 000	971	2.9
5		1 000	957	4.3
6		1 000	965	3.5

表 6 不同含水率混合样品传感器检测标定结果

Tab.6 Sensor accuracy test with samples of mixture in different moistures

序号	实际值/粒	测量值/粒	误差/%
1	1 000	972	2.8
2	1 000	1 036	3.6
3	1 000	965	3.5

粒损失监测传感器的测量误差能限制在 4.8% 以内,由此可见研制的籽粒损失监测传感器对于不同含水率的样品具有较好的适应性。

3 夹带损失监测原理

联合收获机在作业过程中产生的夹带损失难以直接监测。通过室内切纵流试验台架试验,分析不同喂入量下脱粒滚筒下方不同区域脱出物的分布情况,选择籽粒量分布较为稳定且杂余量较少的位置作为籽粒损失监测传感器监测夹带损失时平面安装位置^[10],建立此监测区域与实际夹带损失之间的数学模型进行分段实时间接监测^[4]。夹带损失监测原理如图 5 所示。

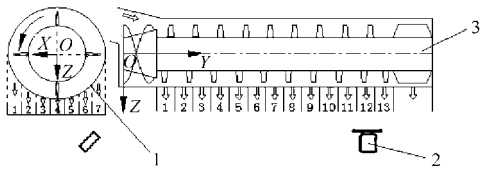


图 5 夹带损失监测原理示意图

Fig.5 Diagram of grain separate loss monitoring

1. 分离凹板 2. 籽粒损失监测传感器 3. 滚筒

综合文献[10]与本文分析,籽粒损失监测传感器的最佳安装位置为纵轴滚筒 Y 轴向第 12 接料盒位置,X 轴第 6 接料盒位置,离分离凹板垂直距离 0.2 m 处,安装角度为 45° 。其中,试验所用接料盒共 91 个(13 行 $\times$ 7 列),单个接料盒尺寸为 120 mm $\times$ 100 mm。

4 田间试验

2011 年 6 月 3 日在镇江丹阳练湖农场以福田雷沃国际重工股份有限公司的 4LQZ-6 型切纵流智能轮式联合收获机为试验样机进行了小麦收获试验,样机结构参数与室内切纵流试验台架是一致的。小麦品种为镇麦 168,高度 90.0 cm,穗长 6.8 cm,穗幅差 8.2 cm,千粒质量 41 g,平均产量 6 605 kg/hm²,谷草比 1.57,茎秆含水率 44.5%,籽粒含水率 14.7%。

籽粒损失监测传感器监测夹带损失时在联合收获机上的安装位置,如图 6 所示。

通过 3 段标定长度 10 m 的收获距离,前进速度 1 m/s,人工检测到的夹带损失量是在标定收获距离内,从排草口尾部中的排出混合物中筛选出来的,分别称量并记录数据;籽粒损失监测传感器监测到的籽粒数量根据试验田块小麦千粒质量转换成质量。江苏省农业机械试验鉴定站对上述小麦田间试验进行了现场鉴定,鉴定结果如表 7 所示,最大监测误差

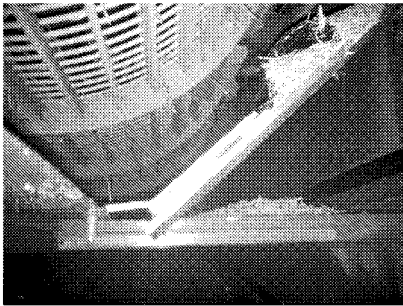


图6 传感器在联合收获机上的安装位置

Fig.6 Installation position of sensor on combine harvester

为 3.40%。

表 7 小麦籽粒损失田间试验测量结果			
Tab.7 Field test results			
序号	测量值/g	人工检测值/g	误差/%
1	204.5	211.7	3.40
2	206.8	200.4	3.19
3	199.2	206.1	3.34

5 结论

(1) 试验表明,籽粒损失监测传感器标定试验台能使籽粒在籽粒损失监测传感器表面的落点均匀且籽粒下落速度、密度均可调,操作方便、性能稳定。

(2) 运用标定试验台对所研制的籽粒损失监测传感器在实验室内进行性能标定,标定结果表明,当标定混合物下落高度在 200 mm 左右,籽粒损失监测传感器安装角度在 45°左右时,籽粒损失监测传感器能够识别出饱满小麦籽粒且对不同含水率的饱满小麦籽粒具有较好的适应性,监测相对误差不超过 4.8%。

(3) 根据实验室标定结果确定出了籽粒损失监测传感器在监测夹带损失时在联合收获机上的最佳安装位置即纵轴流滚筒 Y 轴向第 12 接料盒位置,X 轴第 6 接料盒位置,离分离凹板垂直距离 0.2 m 处,安装角度 45°。田间试验表明,夹带损失最大监测误差为 3.40%。

参 考 文 献

1 介战,刘红俊,侯风云.中国精准农业联合收获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)

2 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.

3 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.

4 Zhao Zhan, Li Yaoming, Chen Jin,et al. Grain separation loss monitoring system in combine harvester [J]. Computers and Electronics in Agriculture,2011,76(2):183~188.

5 Zhao Zhan, Li Yaoming, Liang Zhenwei, et al. Structure optimization of grain detecting sensor based on vibration modal analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(Supp.):103~106.

6 Zhao Zhan, Li Yaoming, Liang Zhenwei, et al. Optimum design of grain impact sensor utilising polyvinylidene fluoride films and a floating raft damping structure[J]. Biosystems Engineering, 2012, 112(3):227~235.

7 李耀明,梁振伟,赵湛,等.联合收获机谷物损失实时监测系统研究[J].农业机械学报,2011,42(增刊):99~102.
Li Yaoming, Liang Zhenwei, Zhao Zhan, et al. Real-time monitoring system of grain loss in combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(Supp.):99~102. (in Chinese)

8 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)

9 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)

10 唐忠,李耀明,赵湛,等.切纵流联合收获机小麦夹带损失检测试验与分析[J].农业工程学报,2012,28(1):11~16.
Tang Zhong, Li Yaoming, Zhao Zhan, et al. Test and analysis of wheat entrainment loss for tangential-longitudinal-axial combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(1):11~16. (in Chinese)