

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.017

籽粒损失监测传感器敏感板局部约束阻尼设计*

梁振伟 李耀明 赵 湛 徐立章 唐 忠
(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 分析了籽粒损失监测传感器敏感板的响应与系统阻尼比的关系,提出了通过在敏感板敷设约束阻尼层增加振动系统阻尼比来快速衰减敏感板谐波振动的方法。通过对不同阻尼损耗因子敏感板进行籽粒碰撞响应试验,优选了敏感板的材料和结构形式,在此基础上运用 ANSYS 软件对敏感板进行了模态分析,确定了约束阻尼层在敏感板上的最佳敷设位置。籽粒碰撞响应试验结果表明,敏感板局部约束阻尼处理后,籽粒碰撞信号波形衰减至 1.5 V 所用时间由 10 ms 缩短到 3 ms 左右,大大提高了籽粒损失监测传感器的检测频率。

关键词: 联合收获机 籽粒损失传感器 敏感板 阻尼比 模态分析

中图分类号: S225.3; TH703.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0106-06

引言

联合收获机在作业过程中产生的夹带损失难以直接监测,通过籽粒损失监测传感器监测分离凹板下方一定区域内的籽粒量,根据监测区域与实际夹带损失之间的数学模型进行间接监测是实时监测夹带损失行之有效的方法^[1-4]。准确测量监测区域内分离籽粒量是保证籽粒夹带损失监测精度的关键技术环节,相比籽粒清选损失监测而言,籽粒夹带损失监测时由于监测区域单位时间内籽粒量相对较大,对籽粒损失监测传感器的检测频率、稳定性等性能指标提出了更高的要求。因此,有必要根据籽粒夹带损失监测的特殊性,研制适用于籽粒夹带损失监测、性能优良的籽粒损失监测传感器。

提高振动结构的阻尼比是快速衰减振动的有效方法^[5-6],而约束阻尼结构使用较薄的阻尼层就可以获得较高的复合阻尼损耗因子,特别适合轻型结构谐波振动的衰减^[7]。约束阻尼层在减振结构上的敷设位置及阻尼处理面积对振动衰减效果有较大影响。

本文采用约束阻尼结构来增加敏感板振动系统的阻尼比,在利用 ANSYS 软件对敏感板进行模态分析的基础上,对籽粒损失检测传感器敏感板进行局部约束阻尼结构设计,以期提高籽粒损失监测传

器的检测频率及灵敏度,减小检测误差。

1 传感器结构

籽粒损失监测传感器的工作原理主要是基于碰撞压电效应^[8-11]。作为重要的压电材料,压电陶瓷具有对应变化的高灵敏性且成本较低,特别适合动态量的测量^[12-13]。选用几何尺寸为 $\phi 10\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 、压电常数 $d_{33} = 450\text{ pC/N}$ 的 YT-5L 型压电陶瓷作为敏感元件,通过双导铜箔胶带制作电极并用屏蔽线引出接入信号调制电路,制作好的敏感元件单元通过强力胶粘贴在敏感板中心对称位置,敏感板四边固定在厚度为 10 mm 的矩形边框上,边框下底面开定位孔装置密封盖板。籽粒损失监测传感器实物如图 1 所示。敏感元件封装形式结构示意图,如图 2 所示。

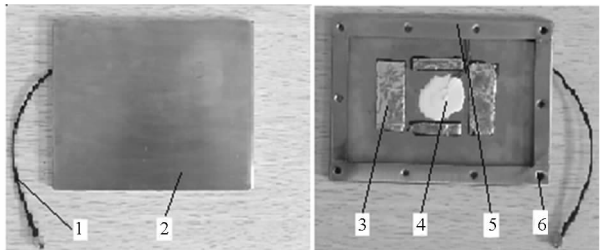


图1 籽粒损失监测传感器实物图

Fig.1 Physical map of grain loss monitoring sensor

1. 信号线 2. 敏感板 3. 约束阻尼层 4. 敏感元件 5. 边框
6. 定位孔

收稿日期: 2013-09-21 修回日期: 2013-10-28

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA10A502)、江苏省科技支撑计划资助项目(BE2012382、BE2012312)、江苏省博士后科研计划资助项目(1102131C)、江苏省自然科学基金资助项目(BK2011469)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8 号)和江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXLX14_1021)

作者简介: 梁振伟, 博士生, 主要从事机械系统监测与控制研究, E-mail: liangzhenwei518@126.com

通讯作者: 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

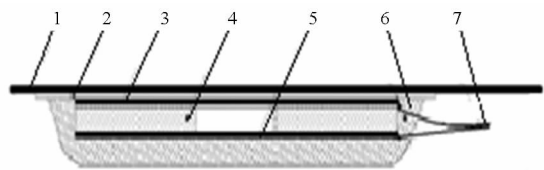


图 2 敏感元件封装形式结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of sensitive element package structure

1. 敏感板 2. 绝缘层 3. 正电极 4. 压电陶瓷 5. 负电极
6. 保护层 7. 信号线

2 动力学基础

通常具有一对突出主导极点的传感器都可以近似等效为二阶系统^[14]。考虑到籽粒损失监测传感器阻尼比偏小,此时敏感板可以近似看成为一个二阶系统,其传递函数数学模型为

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \tag{1}$$

式中 ω_n ——系统固有频率 ξ ——系统阻尼比
 s ——复数域参数

由于籽粒与敏感元件的接触时间很短,在籽粒碰撞作用下此二阶系统的响应可以近似为二阶系统的单位脉冲响应

$$\omega(t) = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \sin(\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t) \tag{2}$$

籽粒碰撞敏感板后产生的瞬态能量信号在其对称面内作快速衰减振动,由于钢板材料的阻尼损耗因子为 0.000 4 ~ 0.002,籽粒损失监测传感器的敏感板组成二阶系统的阻尼比 ξ 非常小。从式(2)可以看出,当 ξ 比较小时, $\omega(t)$ 称为谐波信号,振动系统变成强谐振系统,此时振动系统会把输入转换成近似谐波振荡形式的输出信号,经包络检波后造成籽粒碰撞籽粒损失监测传感器敏感板的信号衰减时间过长。如果响应时间较长,则籽粒损失监测传感器单位时间内的检测频率和测量精度都会大幅降低。另外,当 ξ 比较小时,还会导致籽粒损失监测传感器的线性范围、稳定性不同程度的下降,从而使籽粒损失监测传感器监测精度降低。

为进一步分析籽粒碰撞响应与振动系统阻尼的关系,把籽粒碰撞过程简化为如图 3 所示的动力学模型,其动力学方程可表示为

$$\ddot{y}(t) + 2\xi\omega_n \dot{y}(t) + \omega_n^2 y(t) = bf(t) \tag{3}$$

式中 $f(t)$ ——系统输入信号
 $y(t)$ ——系统输出信号
 b ——系统输入增益

对式(3)进行 Laplace 变换求得振动系统位移 x

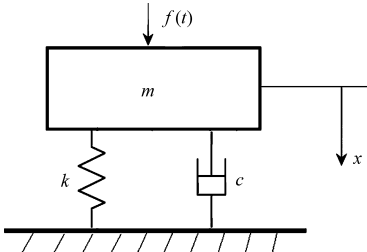


图 3 籽粒碰撞过程动力学简化模型

Fig.3 Simplified dynamic model of sensitive plate

对激励力 $f(t)$ 的传递函数 $G(s)$,再令 $s = j\omega$,得到振动系统位移 x 对激励力 $f(t)$ 的频率特性 $G(j\omega)$ 。为便于分析振动系统的频率特性,将 $G(j\omega)$ 的实部与虚部分开,并在极坐标下导出籽粒碰撞振动系统的振动幅频特性解析式为

$$R(\omega) = \frac{1}{[(k - m\omega^2)^2 + c^2\omega^2]^{1/2}} \tag{4}$$

式中 k ——隔振器刚度
 ω ——激振频率
 c ——隔振器粘性阻尼系数

进一步整理得到振动系统的动力放大系数为

$$A(g) = \frac{1}{[(1 - g^2)^2 + 4\xi^2 g^2]^{1/2}} \tag{5}$$

式中 g ——频率比

从式(5)中可以看出,当敏感板振动系统的阻尼比很小且外部激励力的频率接近敏感板振动系统的固有频率时,振动系统会发生共振,此时动力放大系数 $A(g)$ 将会很大,振动系统容易把干扰信号放大。一方面,由于系统衰减振动的能力有限,会导致籽粒碰撞敏感板信号衰减时间过长;另一方面,当放大后的干扰信号的电压幅值超过籽粒损失监测传感器电压比较器的阈值电压时,会使籽粒损失监测传感器产生误判,进而造成很大的测量误差。因此,合适的阻尼比是籽粒损失监测传感器敏感板系统能检测到良好振动衰减波形的基础。

3 不同阻尼损耗因子敏感板单籽粒碰撞试验

为选择合适的敏感板材料及厚度,选用不同阻尼损耗因子的不锈钢 304 板、T6 铝板及黄铜板作为敏感板,取敏感板长度 $l = 180$ mm,宽度 $b_0 = 120$ mm,在厚度 $h = 0.50、0.75、1.00、1.25、1.50$ 和 2.00 mm 及边界条件为四边固定的情况下,以 YT-5L 型压电陶瓷作为敏感元件制作籽粒损失监测传感器,并进行籽粒碰撞试验以获取碰撞信号特征进行对比分析。各种材料阻尼损耗因子如表 1 所示。

试验过程中将同一颗质量为 25 mg 的水稻籽粒从距离敏感板 350 mm 处自由落下碰撞籽粒损失监

测传感器敏感板,采用示波器记录经电荷放大处理后的信号,采样频率 100 kHz。试验发现,籽粒碰撞到同一块敏感板不同位置时产生信号的特征值分布在一定范围内,统计得到各种结构形式敏感板的输出电压信号幅值 U 与信号衰减至 1.5 V 时所用时间 t ,试验结果如表 2 所示。

表 2 籽粒碰撞不同敏感板信号的电压幅值及衰减时间

Tab.2 Amplitude and attenuation time of impact signal when grain impact different sensitive plates

敏感板 厚度/mm	不锈钢 304 板		T6 铝板		黄铜板	
	电压幅值/V	衰减时间/ms	电压幅值/V	衰减时间/ms	电压幅值/V	衰减时间/ms
0.50	3.72~4.00	11.20~15.40				
0.75	3.44~3.84	8.20~10.80				
1.00	3.32~4.00	6.40~9.80	2.54~4.00	3.20~6.40	1.52~3.60	10.40~13.20
1.25	2.24~3.72	4.40~5.80				
1.50	1.42~2.38	3.00~5.20	1.64~2.42	3.00~4.40		
2.00	1.06~1.74	3.20~4.80	1.02~1.94	3.20~4.80	0.84~2.04	3.20~4.80

从表 2 可以看出,籽粒碰撞不同阻尼损耗因子敏感板时产生的籽粒信号特征有很大差异,具体表现在:①在敏感板厚度相同时,籽粒碰撞 T6 铝板、不锈钢 304 板、黄铜板产生的电压信号衰减至 1.5 V 时所用时间依次增大;籽粒碰撞不锈钢 304 板、T6 铝板产生信号的电压幅值相差不大;当各敏感板材料厚度为 1.00、1.50 mm 时,籽粒碰撞黄铜板的信号电压幅值最小。②当敏感板材料相同时,随着敏感板厚度增加,籽粒碰撞敏感板产生的电压信号的电压幅值不断减小;敏感板材料为不锈钢 304 板,厚度为 0.5~1.0 mm 时,碰撞信号的电压幅值一般都在 3.0 V 以上;随着敏感板厚度增加,籽粒碰撞敏感板

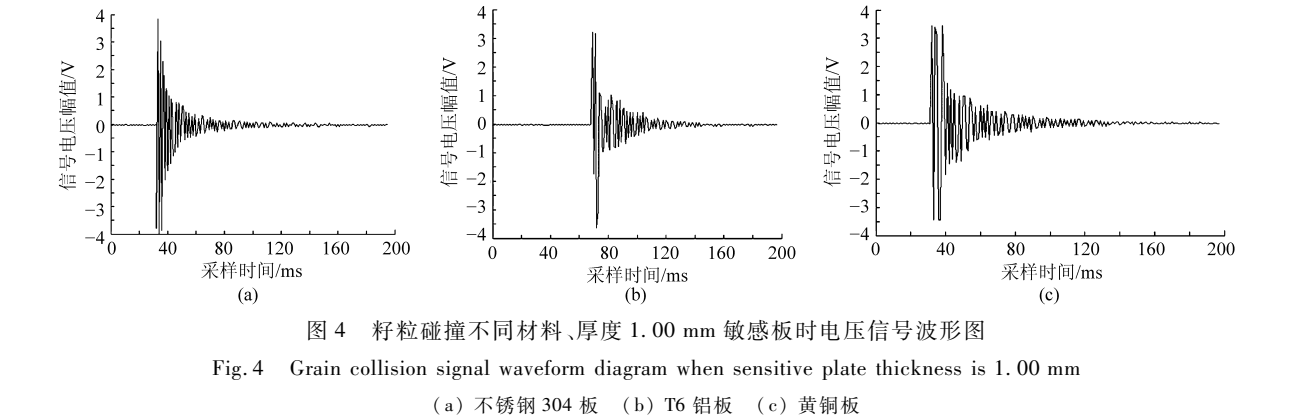
表 1 各材料敏感板阻尼损耗因子

Tab.1 Damping loss factor of different material

材料	最小阻尼损耗因子	最大阻尼损耗因子
不锈钢 304	0.000 4	0.002
T6 铝板	0.000 4	0.004
黄铜板	0.002	0.004

产生的电压信号衰减至 1.5 V 时所用时间不断减小。

籽粒碰撞厚度为 1 mm 不锈钢 304 板、铝板、黄铜板的信号特征如图 4 所示。从图 4 可以看出,籽粒碰撞不锈钢 304 敏感板的产生信号的电压幅值在 4.0 V 以上,信号波形衰减至 1.5 V 所用时间在 10 ms 左右,即此时籽粒损失监测传感器的最大理想检测频率为 100 粒/s。综合考虑信号电压幅值、衰减时间及敏感板的易加工性、经济性等因素,敏感板采用不锈钢 304 板,厚度为 1.00 mm,边界条件四边固定是籽粒损失监测传感器理想的结构形式。



4 传感器结构优化

现阶段,国产轮式联合收获机的喂入量可达 6~8 kg/s^[15],以 4.0~8.0 kg/s 的喂入量在室内切纵流脱粒分离试验台架^[16]上进行水稻脱粒分离试验,经换算得到不同喂入量下籽粒夹带损失监测传感器安装位置处的籽粒平均流量在 20~120 粒/s。为使研制的籽粒损失监测传感器能适应大喂入量工

况下的籽粒夹带损失监测,有必要对研制的籽粒损失监测传感器进行结构优化,以提高籽粒损失监测传感器的检测频率,减小监测误差。

4.1 优化方案

增加振动系统的阻尼是快速衰减振动的有效途径。工程中常用的增加系统阻尼的方法主要有附加阻尼、结构阻尼、材料阻尼、扩散阻尼和相对运动阻尼等。其中,附加阻尼是在振动系统上附加一层具

有高内阻的粘弹性材料,振动时使粘弹性阻尼材料产生较大变形以消耗振动的能量而不损坏,同时增加系统自身的阻尼能力^[17]。采用附加阻尼结构后,振动系统相应的动力学模型如图 5 所示。

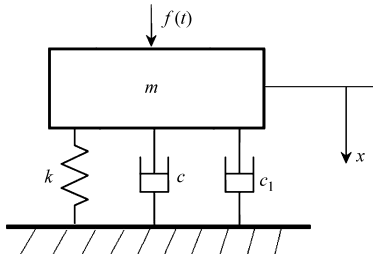


图 5 附加阻尼后的籽粒碰撞过程动力学简化模型
Fig. 5 Simplified dynamic model with affiliated damping

图 5 中, c 是原振动系统的阻尼系数, c_1 是附加阻尼系数, 则振动系统增加后的阻尼比为

$$\xi' = (1 + \nu)\xi \tag{6}$$

其中 $\nu = \frac{c_1}{c}$, 当 $c_1 \gg c$ 时, 则 $\xi' \gg \xi$ 。从式(5)可以看出, 此时动力放大系数 $A(g)$ 将显著减小, 从而使籽粒碰撞产生的谐波振动快速衰减; 但是, 振动系统的动力放大倍数 $A(g)$ 变小, 籽粒碰撞信号幅值也会在一定程度上有所降低, 籽粒损失监测系统会造成漏计。

4.2 模态分析

约束阻尼层消耗振动能量的机理是基材弯曲变形时依靠粘弹性约束层和基材间的相对位移使粘弹性材料产生剪切变形, 进而对基材结构的振动进行快速衰减; 约束阻尼层在振动结构上的布置形式对结构振动衰减的效果有较大影响, 具体表现在: 在结构变形量小的地方即使应用了约束阻尼层, 振动衰减效果也很有限; 而如果在结构变形大的区域进行局部阻尼减振, 则有可能在增加较小重量的前提下, 取得较好的振动衰减效果, 因此约束阻尼层应当覆盖振动结构变形较大的振型节点位置^[18]。

根据泊松-克希霍夫 (Passion - Kirchhoff) 平板理论的小挠度薄板理论, 籽粒碰撞敏感板的振动满足薄板横向振动方程, 敏感板的振动特性即各阶固有频率及其对应的振型主要与其结构形式有关。为了寻找籽粒损失监测传感器敏感板变形最大的振型节点位置, 运用 ANSYS 软件对敏感板进行模态分析研究敏感板结构的振动特性。其中, 敏感板材料不锈钢 304 的基本力学特性为: 泊松比 $\mu = 0.3$, 弹性模量 $E = 210 \text{ GPa}$, 密度 $\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$ 。敏感板长度 $l = 180 \text{ mm}$, 宽度 $b_0 = 120 \text{ mm}$, 厚度 $h = 1 \text{ mm}$ 。模态分析的过程中, 选用 Shell 63 板壳单元作为单元类型, 经过定义单元实常数及材料属性、建立几何模

型、划分有限元网格、设置模态分析方法、施加约束条件等步骤得到敏感板模态分析结果。一般而言, 低阶振动对结构的动态影响较大, 低阶振型决定结构的动态特性, 因此只取敏感板前 6 阶模态频率及相应的振型等值线云图进行分析。敏感板各阶振型等值线云图, 如图 6 所示, 其中图中显示的位移只是相对值, 没有实际意义。

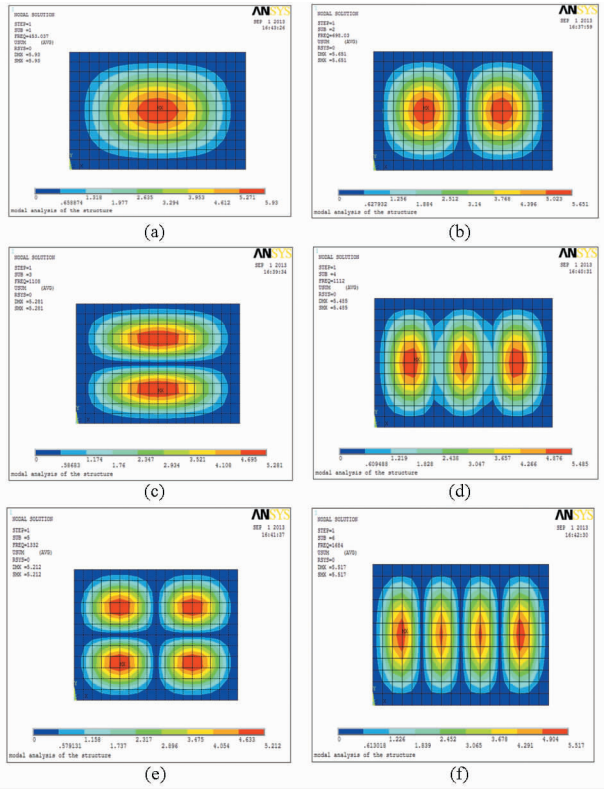


图 6 敏感板的前 6 阶模态振型等值线云图

Fig. 6 First 6 order modal shape contour of sensitive plate
(a) 第 1 阶 (b) 第 2 阶 (c) 第 3 阶
(d) 第 4 阶 (e) 第 5 阶 (f) 第 6 阶

从图 6 中可以看出, 在不同的模态频率下, 结构振动的最大响应部位是不同的。从敏感板第 1 阶模态振型图可以得到, 在靠近固定点处, 敏感板的模态变形很小, 而在敏感板的中部模态变形很大。由压电效应方程可知, 如果将压电敏感元件安装在敏感板的中部, 当监测区域采集到的排出混合物碰撞传感器敏感板时, 能获得较好的振幅响应; 而在敏感元件附近位置及第 2 ~ 6 阶模态振型比较大的地方粘贴约束阻尼层应该会显著缩短籽粒碰撞信号的衰减时间。

4.3 约束阻尼层敷设位置优化

为验证以上结论, 选用阻尼损耗因子为 0.20、厚度为 1.00 mm 的丁基橡胶作为粘弹性层的约束阻尼结构单独敷设在敏感板各阶振型较大的位置附近并进行籽粒碰撞试验。试验结果表明, 约束阻尼结构使谐波振动衰减速度明显加快; 约束阻尼层的

敷设位置及处理面积对籽粒碰撞信号衰减时间与电压幅值有较大影响,附加约束层敷设位置不当时,会使籽粒碰撞敏感板产生的信号电压幅值降低。因此需要在 ANSYS 软件数值计算结果的指导下,根据籽粒碰撞信号的特征,进一步对约束阻尼层的敷设位置及处理面积进行调整。

为优选约束阻尼层的敷设位置,获取最理想的籽粒碰撞信号波形,根据敏感板的前 6 阶模态振型等值线图(图 6),以约束阻尼层敷设面积最小为原则,在各阶模态振型变形最大的地方同时敷设约束阻尼层进行籽粒碰撞试验。约束阻尼层敷设位置的组合方式及籽粒碰撞信号波形图如图 7 所示,其中黑色方框代表约束阻尼层敷设位置。

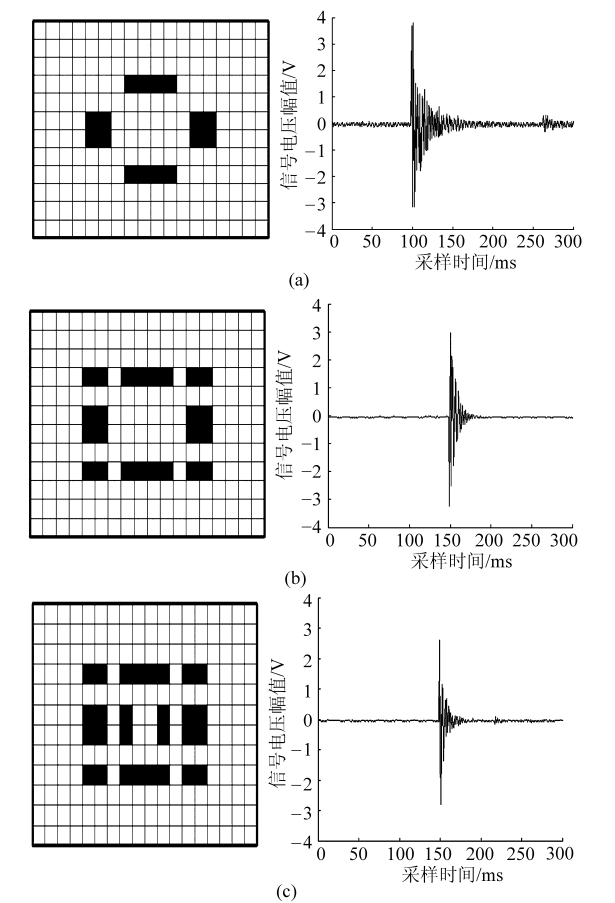


图 7 阻尼层不同敷设位置下籽粒碰撞信号波形图
Fig.7 Grain collision signal waveform when damping layer laying on different location

- (a) 阻尼层敷设在 2、3 阶模态振型较大位置处
- (b) 阻尼层敷设在 2、3、5 阶模态振型较大位置处
- (c) 阻尼层同时敷设在前 6 阶模态振型较大位置处

从图 7a 可以看出,当约束阻尼板敷设在 2、3 阶模态振型较大位置处时,籽粒碰撞信号电压幅值在 4.0 V 左右,但是信号衰减时间依然较长;在图 7a 基础上,在第 5 阶模态振型变形最大的位置敷设约束

阻尼层后,籽粒碰撞信号波形图如图 7b 所示,此时信号衰减时间有所缩短,但信号电压幅值也有下降;当阻尼层同时敷设在前 6 阶模态振型较大位置处时,籽粒碰撞信号波形如图 7c 所示,由于压电陶瓷周围的阻尼层削弱了压电陶瓷的振动,电压陶瓷的变形减小,从而使碰撞信号电压幅值下降显著。在以上分析基础上,结合籽粒碰撞试验进一步对阻尼层的敷设位置进行优化,最终得到最优的阻尼层的敷设方案,此时阻尼层敷设位置及籽粒碰撞信号波形如图 8 所示。

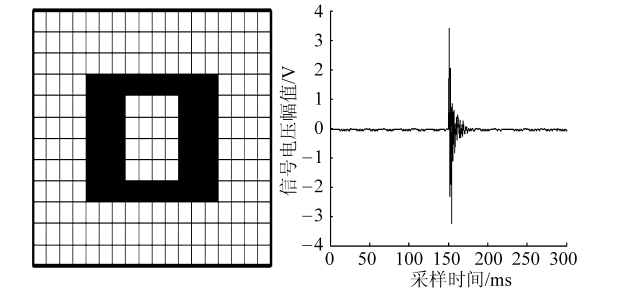


图 8 阻尼层最优敷设位置及籽粒碰撞信号波形图
Fig.8 Grain collision signal waveform under optimal laying position of damping layer

从图 8 可以看出,籽粒碰撞信号衰减迅速,经示波器放大时间轴观察,此时碰撞信号衰减至 1.5 V 所用时间在 3 ms 左右。与图 4a 所示的籽粒碰撞信号相比,在不降低籽粒碰撞信号电压幅值的前提下,对敏感板进行局部约束阻尼处理后,籽粒碰撞信号衰减时间缩短了 1/2 以上,此时籽粒损失监测传感器的理想检测频率在 300 粒/s 左右,提高了籽粒损失监测传感器的检测频率。

5 结论

(1) 敏感板自身阻尼损耗因子对籽粒损失监测传感器的检测频率和灵敏度有显著影响。对不同阻尼损耗因子的敏感板进行籽粒碰撞试验结果表明,敏感板采用厚度为 1.00 mm 的不锈钢 304 板,边界条件四边固定是籽粒损失监测传感器较为理想的结构形式。

(2) 振动结构合适的阻尼比是籽粒损失监测传感器系统能检测到良好振动衰减波形的基础。在利用 ANSYS 软件对敏感板进行模态分析的基础上,对敏感板变形最大的振型节点位置进行局部约束阻尼处理后,籽粒碰撞信号衰减时间缩短了 1/2 以上,即敷设约束阻尼层后,在保证籽粒损失监测传感器灵敏度的基础上,提高了籽粒损失监测传感器的检测频率。

参 考 文 献

1 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.

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 李耀明,徐立章,徐娇娇. 联合收获机夹带损失实时监测方法:中国,200910181537.1[P]. 2009 – 12 – 30.

4 徐娇娇. 联合收割机夹带损失监测试验方法研究[D]. 镇江:江苏大学,2010.

Xu Jiaojiao. Study on the monitoring method of attachment loss in combine harvester[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010. (in Chinese)

5 Kessissoglou Niole J. Active attenuation of the wave transmission through an L-plate junction[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2000, 110(1): 267 – 277.

6 Kessissoglou Niole J. An analytical investigation of the active attenuation of the plate flexural wave transmission through a reinforcing beam[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1997, 102(6): 3530 – 3541.

7 张忠明,刘宏昭,王锦程,等. 材料阻尼及阻尼材料的研究进展[J]. 功能材料,2001,32(3): 227 – 230.

Zhang Zhongming, Liu Hongzhao, Wang Jincheng, et al. Damping of materials and progress in the damping materials[J]. Journal of Functional Materials, 2001, 32(3): 227 – 230. (in Chinese)

8 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 CSAE, 2005, 21(2):179 – 182. (in Chinese)

9 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)

10 van Quekelberg H, Eric P J. Grain sensor arrangement for an agricultural harvester: US, 6524183[P]. 2003 – 02 – 25.

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

12 王涛,王晓东,王立鼎. 压电陶瓷快速响应特性与应用研究[J]. 传感技术学报,2009,22(6):785 – 789.

Wang Tao, Wang Xiaodong, Wang Liding. Study on fast response characteristic and application of piezoceramics[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22(6): 785 – 789. (in Chinese)

13 张霖,赵祚喜,可欣荣,等. 压电式种子计数系统[J]. 农业机械学报,2011,42(8):41 – 45.

Zhang Lin, Zhao Zuoxi, Ke Xinrong, et al. Seed-counting system design using piezoelectric sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 41 – 45. (in Chinese)

14 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, 127.

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, 127. (in Chinese)

15 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 CSAE, 2012, 28(1): 11 – 16. (in Chinese)

16 徐立章,李耀明,李洪昌,等. 纵轴流脱粒分离-清选试验台设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 76 – 79.

Xu Lizhang, Li Yaoming, Li Hongchang, et al. Development on test-bed of longitudinal axial threshing-separating-cleaning unit [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 76 – 79. (in Chinese)

17 梁鲁,刘明辉,张静,等. 附加约束阻尼层对星箭系统动特性的影响分析[J]. 应用力学学报, 2007, 24(4): 669 – 673.

Liang Lu, Liu Minghui, Zhang Jing, et al. Transverse dynamic characteristic of spacecraft vibration isolation platform[J]. Chinese Journal of Applied Mechanic, 2007, 24(4): 669 – 673. (in Chinese)

18 冯宇晨,詹浩,唐斯密. 基于模态分析的局部约束阻尼减振设计[J]. 舰船科学技术,2011,33(11):22 – 26.

Feng Yuchen, Zhan Hao, Tang Simi. Design for vibration control with constrained partial damping based on modal analysis[J]. Ship Science and Technology, 2011, 33(11): 22 – 26. (in Chinese)

19 李耀明,梁振伟,赵湛. 籽粒损失监测传感器敏感板振动特性与试验[J]. 农业机械学报,2013,44(10):104 – 111.

Li Yaoming, Liang Zhenwei, Zhao Zhan. Experiment and vibration characteristics of sensitive plate on grain loss monitoring sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10):104 – 111. (in Chinese)

Dynamic Simulation of Disc Saw Cutter System of Caragana Korshinskii Harvester

Qiu Shujin Guo Yuming Zheng Decong

(College of Engineering and Technology, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: The disc saw cutter system is one of the key components in caragana korshinskii harvester, and determines the cutting quality of caragana korshinskii. We established a simplified model of the cutter based on the parameters of each part of the disc saw cutter system, and built the cutting object caragana korshinskii model combining with the caragana korshinskii parameters. These parameters were introduced into dynamic analysis software ADAMS, and the cutting object was replaced as flexible body. The rigid-flexible coupling dynamic analysis of caragana korshinskii was conducted while the cutting institution was working. Considering the diameter, thickness and rotational speed of the disc saws as factors, the impact-force of x (direction of operation), y (vertical upward), and z (horizontal to left direction) axes between caragana plant and cutter were selected as the response function to represent the caragana cutting efficiency. A virtual orthogonal test of three factors and three levels was performed on parameters, which were related to the cutting efficiency and power. The response surface regression equation of each indicator was obtained, and the validation and comparative analysis was performed by field experiment. The result showed when the disc saw diameter was 400 mm, thickness was 5 mm and the rotational speed was 1 500 r/min, the cutting power of one cutting component was 12.32 kW, and the cutting efficiency was the best. This study provided the design basis for selecting the parameters of caragana korshinskii combine harvester.

Key words: Caragana korshinskii harvester Disc saw cutter Dynamic simulation Virtual prototype

(上接第 111 页)

Partial Constrained Damping Design of Sensitive Plate for Grain Loss Monitoring Sensor

Liang Zhenwei Li Yaoming Zhao Zhan Xu Lizhang Tang Zhong

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

Abstract: The relationship between response of grain impact sensitive plate in grain loss monitoring sensor and damping ratio was theoretically analyzed, and the importance of damping design in sensitive plate was pointed out. A method to increase the damping ratio of the system was proposed, which could quickly attenuate harmonic vibration of sensitive plate by laying a constrained damping layer on sensitive plate. Through grain collision response test on sensitive plate with different damping loss factor, optimal material and structure of the sensitive plate were determined, and the modal analysis of the sensitive plate was carried out though ANSYS software to find out the best location of constrained damping layer on sensitive plate. Grain collision response test results showed that, the time of grain collision signal waveform decayed to 1.5 V was shorten from 10 ms to about 3 ms before and after partial constrained damping treatment, which proved that the detecting frequency of grain loss monitoring sensor was greatly improved.

Key words: Combine harvester Grain loss sensor Sensitive plate Damping ratio Modal analysis