

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.002

# 联合收获机清选损失监测方法与装置\*

李耀明 陈义 赵湛 徐立章

(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:** 为了实时监测联合收获机田间作业时的籽粒清选损失,提高整机作业性能,设计了一种联合收获机清选损失监测装置,主要由清选损失监测传感器、信号调理电路以及二次仪表构成。室内试验和田间试验结果表明,研制的联合收获机清选损失监测装置工作性能良好,当联合收获机前进速度为 $0.8\text{ m/s}$ 左右时,籽粒清选损失监测装置的监测误差为 $3.57\%$ ;田间作业过程中,二次仪表可以实时提供当前清选损失率,并通过指示灯和报警器告知联合收获机操作人员当前清选损失情况。

**关键词:** 联合收获机 清选损失 监测装置 压电陶瓷

**中图分类号:** S225.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0007-05

## Monitoring Method and Device for Cleaning Loss of Combine Harvester

Li Yaoming Chen Yi Zhao Zhan Xu Lizhang

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

**Abstract:** In order to improve the field working performance, a kind of monitoring device for cleaning loss of combine harvester was proposed which primarily consisted of a monitoring sensor, signal conditioning circuit and an indicator. The results showed that the monitoring method and device for cleaning loss of combine harvester performed well. When the forward speed was  $0.8\text{ m/s}$ , the error was  $3.57\%$ . Through the application of device during field work, the operator was informed of real-time cleaning loss by using indicator light and alarm.

**Key words:** Combine harvester Cleaning loss Monitoring device Piezoceramic

### 引言

联合收获机在田间作业时,不可避免地会产生籽粒清选损失,损失率是衡量联合收获机作业性能的重要技术指标,也是联合收获机工作参数调整的主要依据。实现联合收获机工作过程中籽粒清选损失检测的核心问题就是研制检测传感器。

国外的籽粒清选损失监测传感器主要应用在小麦联合收获机上<sup>[1-4]</sup>,虽然可以借鉴但不能直接应用在主要收获我国南方水稻的联合收获机上。国内开展了一些关于水稻籽粒损失监测方法与装置的研究<sup>[5-10]</sup>,现有的技术还不够成熟,也没有定型的产

品。因此,本文对联合收获机籽粒清选损失监测方法和装置进行研究。

### 1 工作原理

清选损失监测装置采用压电陶瓷作为传感元件,将压电陶瓷黏贴在横截面为槽型的长方形不锈钢金属板中心位置。当物料冲击金属板面时,压电陶瓷将金属板所产生的自由衰减振荡信号转变为相应的电信号,金属板面对不同物料冲击的响应振动信号不同,对应输出的电信号频率和幅值也不同。

利用减振结构设计<sup>[11]</sup>和信号处理方法抑制机器振动噪声,滤除不饱满籽粒、瘪谷及秸秆杂余的干

收稿日期: 2013-06-26 修回日期: 2013-07-10

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA10A502)、江苏省高校自然科学基金资助项目(11KJA460002)、江苏省农业科技支撑计划资助项目(BE2012312)、无锡市科技成果产业化资助项目(CYE22C1216)和江苏省高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8号)

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

扰信号,最后保留籽粒信号。二次仪表根据传感器监测到的清选损失籽粒量,结合籽粒清选损失监测模型、联合收获机前进速度和割幅、水稻单位面积产量和千粒质量等信息,计算得到实时的清选损失率并显示,同时提供清选损失超标报警功能。清选损失监测装置结构框图如图1所示。

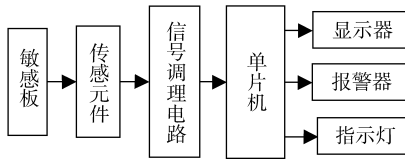


图1 清选损失监测装置结构框图

Fig.1 Structural diagram of cleaning loss and monitoring device

## 2 清选损失监测装置

### 2.1 传感器结构

清选损失籽粒撞击敏感板属于自由质体与弹性壁碰撞,产生自由衰减振荡信号<sup>[12]</sup>,由于单个水稻籽粒质量很轻,产生的撞击信号非常微弱。为获取此撞击信号,需要选用具有较高机电耦合系数和较大压电常数的传感元件,因此本文采用YT-5型压电陶瓷。

传感器结构如图2所示,由于压电陶瓷所镀银电极不能直接焊接引线,可在其表面用导电胶贴上相同尺寸的铜箔,然后在铜箔面上再焊接引线。用绝缘胶把压电陶瓷黏贴在敏感板几何中心位置,胶层不能太厚,以免影响整个系统的弹性柔顺系数<sup>[13]</sup>,在压电陶瓷与不锈钢板固定之后,再用703硅胶将传感元件密封固化起来,起到保护作用。由于压电陶瓷输出的是电荷信号,因此引线采用具有防止外界信号干扰的屏蔽信号线,以保证传感器信号的可靠输出。连接信号线带有SMA接线头,实现快速与信号调制电路盒连接和断开,方便传感器的拆卸和安装。

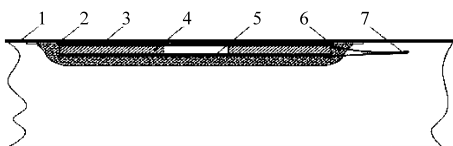


图2 敏感板与传感元件连接示意图

Fig.2 Connection diagram of sensitive plate and sensor

1. 敏感板
2. 绝缘层
3. 电极A
4. 传感元件
5. 电极B
6. 保护层
7. 导线

联合收获机工作振动部件多,整机振动噪声大<sup>[14]</sup>。为了保证传感器在机器振动噪声环境下获取籽粒信号,必须将传感器与机器进行振动隔离。根据隔振原理<sup>[15]</sup>,隔振器的固有振动频率应小于工

作中的最小激振频率的70.7%。橡胶隔振器具有固有频率低、阻尼比大、结构紧凑、工艺性好、成本低、安装更换方便等优点,不仅能隔离振动也能隔离结构噪声<sup>[16-17]</sup>。试验测得联合收获机的激振频率一般在20~60 Hz,振动噪声频率一般在80~300 Hz。本文选用的橡胶隔振器固有频率为7~9 Hz,阻尼比约为0.07。传感器支撑基座的两端分别用2只橡胶隔振器与机架连接起来,以减小支撑基座对机械振动激励的响应;敏感板的4个角用4只橡胶隔振器将传感器与支撑基座连接起来,进一步减小传感器敏感板对传递到支撑基座上的振动激励的响应。如不考虑阻尼在内,根据振动通过减振器时激振力传递百分比公式可以得到橡胶减振器可以将联合收获机90%以上的激振力吸收。籽粒清选损失监测传感器主要结构部件如图3所示。图4为传感器测得振动噪声经前置电压转换放大电路之后输出的振动噪声信号波形图,在放大倍数 $A_1$ 为10时,输出波形在 $\pm 1.84$  V波动。

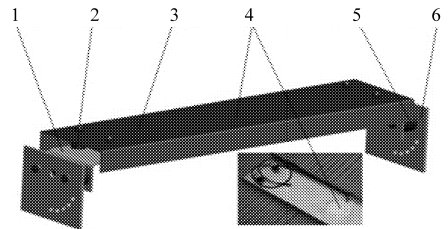


图3 籽粒清选损失监测传感器结构图

Fig.3 Structure of monitoring sensor

1. 支撑板
2. 橡胶隔振器1
3. 敏感板
4. 压电陶瓷
5. 橡胶隔振器2
6. 机架连接件

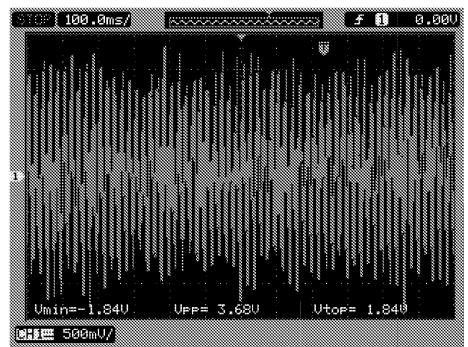


图4 机器振动噪声信号输出波形图

Fig.4 Waveform output of vibration and noise

### 2.2 信号调理电路

清选损失监测传感器在物料冲击下输出的电荷信号不能被直接测量,必须转换成可测量的电信号。为了能够将籽粒冲击信号从机器振动噪声中有效识别出来并滤除不饱满籽粒、瘪谷及秸秆杂余等干扰信号,需要设计相应的信号调理电路,其结构框图如图5所示。试验结果表明,设计的信号调理电路工

作稳定可靠、重复性好、抗干扰能力强,籽粒冲击信号处理实时、准确,能够得到可被单片机采集的籽粒冲击方波信号。



图 5 信号调理电路结构框图

Fig. 5 Structure diagram of signal conditioning circuit

### 2.3 二次仪表

二次仪表选用 STC89C52RC 单片机作为控制核心,同时应用 C 语言编写系统运行程序。籽粒冲击方波信号可以看作是高低跳变的电平信号,在程序设计中采用单片机外部中断口即可实现计数功能,得到清选损失籽粒量。利用单片机的定时器功能,设计每 5 s 为一个单位采集时间,根据建立的清选损失率监测数学模型,可以得到实时清选损失率。将得到的清选损失率  $L$  与警告值和允许值进行比较之后,信号灯和报警器作相应动作。图 6 为单片机程序流程图,根据流程图编写软件程序。

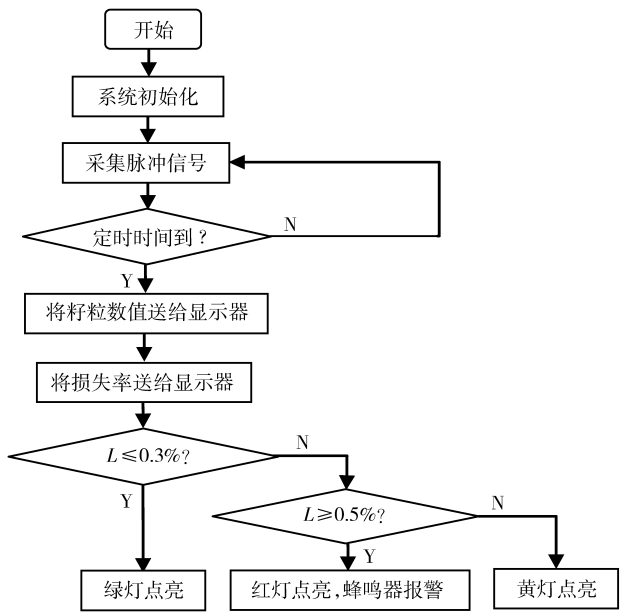
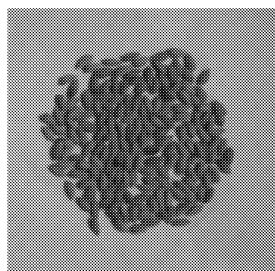
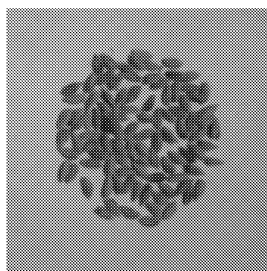


图 6 单片机程序流程图

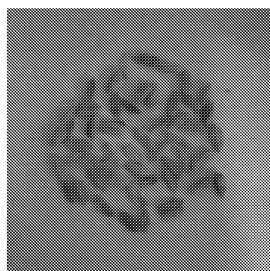
Fig. 6 Flow diagram of MCU program



(a)



(b)



(c)



(d)

图 7 标定物料样本

Fig. 7 Samples of calibration materials

(a) 饱满籽粒 (b) 不饱满籽粒 (c) 瘪谷 (d) 杂余

### 2.4 不同物料冲击响应信号

试验测试了监测装置对水稻饱满籽粒、不饱满籽粒、瘪谷以及杂余的冲击响应信号,样本如图 7 所示。将传感器的几何中心位置调整到距离给料输送带口 300 mm 处,调整好输送带的转速和传感器距离输送带边缘的水平距离,以使物料可以落在敏感板几何中心附近区域。不同物料的冲击响应信号如图 8 所示。饱满籽粒冲击响应信号的峰值一般都在 2.2 V 以上;杂余冲击响应信号峰值很小,敏感板对大部分的杂余几乎没有响应,峰值一般在 0.5 V 以下;不饱满籽粒冲击响应信号峰值大部分处于饱满籽粒和瘪谷冲击响应信号峰值之间,一般在 0.8 ~ 1.8 V 之间;瘪谷冲击响应信号峰值一般集中在 0.5 ~ 1.0 V 之间。上述情况只是针对于大部分物料而言的,不排除有些不饱满籽粒、瘪谷或短茎秆冲击响应信号峰值进入饱满籽粒冲击响应信号峰值范围,带来测量误差。

### 2.5 饱满籽粒冲击试验

传感器的敏感板是对称结构的,所以只需在一半面上选取测试点即可。分别选取传感器敏感板长度的 1/5、1/3 和 1/2 位置处 3 点作为标定测试点,用水稻籽粒以 3 种不同冲击频率进行试验,得到表 1 试验结果。通过表 1 中理论和测得冲击频率比较可以看出,该监测装置工作性能基本稳定,绝对误差均不超过 6%。随着敏感板上的测试点远离敏感板的几何中心,传感器的监测精度有下降趋势,但是并不明显,传感器可以有效地采集到水稻籽粒冲击响应信号,设置的电压比较器参考电压合理。

## 3 田间试验

### 3.1 试验方案

由试验得到监测区域测得的清选损失籽粒量占总清选损失比例如表 2 所示。

从表 2 可以看出,监测区域的清选损失籽粒占总清选损失比例约为 10%,利用上述的比例关系就可以得到振动鱼鳞筛尾部整个清选损失量。

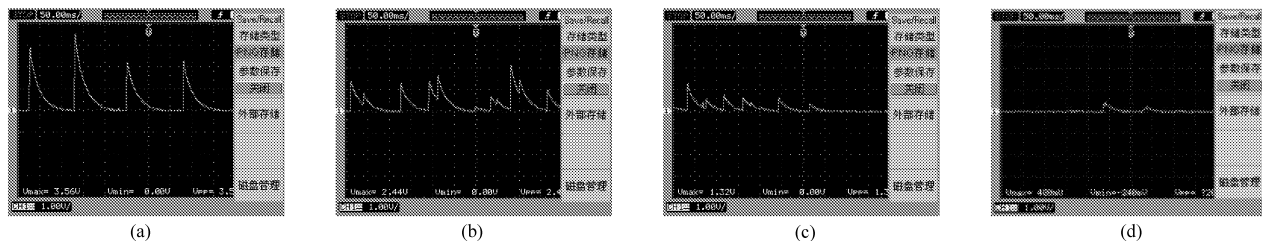


图8 不同物料的冲击响应信号

Fig. 8 Impacting signals of different materials

(a) 饱满籽粒 (b) 不饱满籽粒 (c) 瘪谷 (d) 杂余

表1 传感器敏感板不同部位对饱满籽粒响应测试

Tab.1 Calibration results of sensor

试验号	位置	理论冲击频率/Hz	测得冲击频率/Hz	绝对误差/%	指示灯	蜂鸣器
1	1/2	10	9.75	2.50	绿	关
2	1/2	20	19.08	4.58	黄	关
3	1/2	30	29.25	2.50	红	开
4	1/3	10	9.58	4.17	绿	关
5	1/3	20	19.00	5.00	黄	关
6	1/3	30	28.75	4.17	红	开
7	1/5	10	9.50	5.00	绿	关
8	1/5	20	18.92	5.42	黄	关
9	1/5	30	28.33	5.56	红	开

表2 传感器安装区域清选损失籽粒占比

Tab.2 Ratio of cleaning loss grains in installation area

试验号	监测区清选损失/粒	总清选损失/粒	占比/%
1	422	3 958	10.66
2	505	4 301	11.74
3	615	4 755	12.93

图9为传感器在试验样机上的安装位置侧视图,其安装位置位于振动鱼鳞筛尾部右下方,通过支撑架与机架连接。根据试验得到的数据可以将传感器安装在距离振动鱼鳞筛尾部  $a = 20 \sim 35$  cm 范围内,传感器的安装高度在  $b = 15 \sim 25$  cm 范围内,传感器安装角度在  $0^\circ \sim 60^\circ$  范围内。图10为传感器的安装俯视图,图中右上角空白处为排草口。

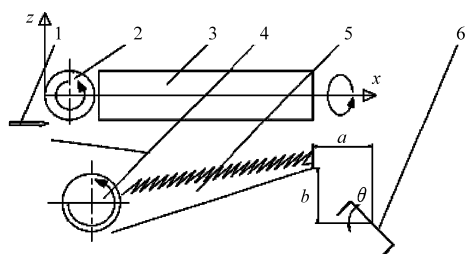


图9 传感器安装位置侧视图

Fig. 9 Side view of sensor installation position

1. 物料喂入口 2. 切流滚筒 3. 纵轴流滚筒 4. 风机 5. 振动鱼鳞筛 6. 传感器

将清选损失监测装置安装在无锡联合收获机有限公司生产的太湖之星 TH988 型全喂入联合收获

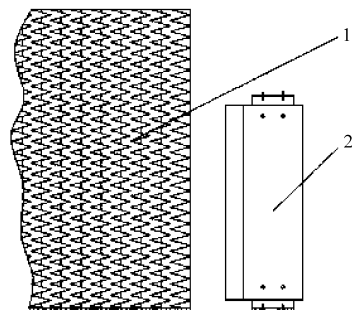


图10 传感器安装位置俯视图

Fig. 10 Top view of sensor installation position

1. 清选振动鱼鳞筛 2. 传感器

机上,如图11所示。2012年11月15日在无锡市锡山区鹅湖镇的试验田进行了试验,水稻品种为南粳46。试验假设田中的水稻籽粒含水率、茎秆含水率、草谷比、单位面积产量没有明显区别。籽粒含水率为19.8%,茎秆含水率为67.6%,草谷比为1.89,籽粒千粒质量为32g(干燥前)。

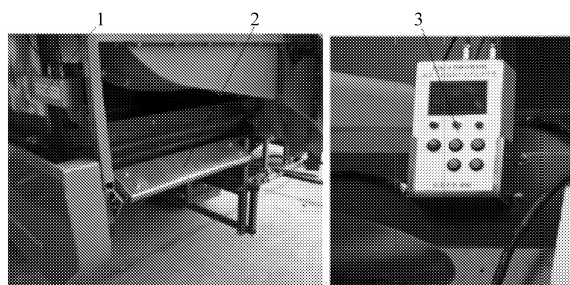


图11 清选损失监测装置在联合收获机上的安装位置

Fig. 11 Installation position of device in combine harvester

1. 信号调理电路 2. 传感器 3. 二次仪表

联合收获机分别在前进速度0.6、0.8、1.0 m/s 下进行收获作业,每次收获距离均为25 m。每次试验之前,将相关参数输入到二次仪表中,试验过程中记录二次仪表显示器上测得籽粒数。然后在同一地块再以这3种不同的前进速度进行收获作业,通过人工捡拾的方法测得清选损失量,与监测装置测得损失量进行对比。

### 3.2 试验结果与分析

田间试验结果如表3所示,表中的监测籽粒数为25 m 试验收获长度内仪表每次刷新显示测得籽

粒数的累加和,测得损失率为仪表每次刷新显示的清选损失率的平均值。通过表 3 可以看出,该传感器工作性能稳定、准确,基本符合测量要求。最大相对误差为 19.35%,主要是由于清选损失籽粒太少,测得的数据容易出现波动造成的。当该型联合收获机工作前进速度在 0.8 m/s 左右时,籽粒清选损失监测装置工作性能良好。

表 3 田间试验结果

Tab. 3 Results of field experiments

试验	监测籽粒 数/粒	实际 损失/粒	测得损 失率/%	实际损 失率/%	相对 误差/%
1	502	115	0.31	0.25	19.35
2	823	273	0.56	0.58	3.57
3	1 539	500	0.91	1.01	10.99

## 4 结束语

采用 YT-5 型压电陶瓷作为敏感元件,设计了联合收获机清选损失监测传感器,设计了相应的信号调理电路,进行谷物冲击性能试验。结果表明,饱满籽粒冲击响应信号的峰值一般都在 2.2 V 以上,传感器能够有效分离不饱满籽粒、瘪谷或短茎秆的冲击信号,测量误差不超过 6%。开发了以 AT89C52 单片机为核心的二次显示仪表,田间试验表明二次仪表根据传感器监测到的清选损失籽粒量,结合籽粒清选损失监测模型、联合收获机前进速度和割幅、水稻单位面积产量和千粒质量等信息,可以计算得到实时的清选损失率,具有清选损失超标报警功能。

## 参 考 文 献

- Steinhagen B W, Hubner R, Damm W. Sensor for harvesting machines;US, 6146268[P]. 2000-11-14.
- Quekelberghe E. Grain sensor arrangement for an agricultural harvester;US, 6524183B1[P]. 2003-02-25.
- Gutersloh N D, Steinhagen W B. Lost grain detector for harvesting machine;US, 4902264[P]. 1990-02-20.
- Strelloff W P, Elliot W S, Johnson D. Grain loss sensor;US, 4036065[P]. 1977-07-19.
- 祁广云,王熙,王智敏. 谷粒损失监视仪的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1996,8(4):67~72.  
Qi Guangyun, Wang Xi, Wang Zhimin. Study on the monitor for grain loss[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University,1996,8(4):67~72. (in Chinese)
- 李俊峰,赵国晴. PVDF 型籽粒损失传感器虚拟测试系统[J]. 农机化研究,2008(10):109~111.
- 李俊峰. 联合收割机谷物损失传感器结构改进设计及其实验室标定[J]. 农业装备与车辆工程,2006(11):10~13.
- 毛罕平,倪军. 阵列式压电晶体谷物损失传感器有限元分析与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(12):123~126.  
Mao Hanping, Ni Jun. Finite element analysis and measurement for array piezocrystals grain losses sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(12):123~126. (in Chinese)
- 周利明,张小超,刘阳春. 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. 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)
- 周贤龙,朱瑞祥,周贤娟,等. 基于传感器技术的谷物联合收获机清选损失监测系统[J]. 农机化研究,2010(2):85~87.  
Zhou Xianlong, Zhu Ruixiang, Zhou Xianjuan, et al. The monitoring system for cleaning loss of the grain combine harvester based on sensor technology [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(2):85~87. (in Chinese)
- 邹向阳,欧进萍. 粘弹性耗能器的性能与结构减振试验研究[J]. 振动工程学报,1999,12(2):237~243.  
Zou Xiangyang, Ou Jinping. Experimental study on properties of viscoelastic dampers and seismic vibration-suppression effects of viscoelastical damped structures[J]. Journal of Vibration Engineering, 1999, 12(2):237~243. (in Chinese)
- 丁康,何志达,孔正国. 基于离散频谱分析的自由衰减振动信号的幅值恢复[J]. 振动工程学报,2005,18(2):172~178.  
Ding Kang, He Zhida, Kong Zhengguo. Discrete spectrum analysis for amplitude correction of damped free vibration response [J]. Journal of Vibration Engineering, 2005,18(2):172~178. (in Chinese)
- 杨魁勇. 无铅压电陶瓷器件的研制[D]. 北京:北京工业大学,2012.  
Yang Kuiyong. Study of lead-free piezoelectric ceramic devices [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012. (in Chinese)
- 王芬娥,曹新惠,郭维俊,等. 联合收获机主驾驶座振动强度及其频率结构试验[J]. 农业机械学报,2007,38(4):61~65.  
Wang Fene, Cao Xinhui, Guo Weijun, et al. Research on vibration strength and frequency structure of main driver seat of the wheat combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(4): 61~65. (in Chinese)
- 赵玫,周海亭,陈光治,等. 机械振动与噪声学[M]. 北京:科学出版社,2008.
- 吴恒亮,代会军. 橡胶隔振器设计开发研究[J]. 噪声与振动控制,2009(1):114~116,121.  
Wu Hengliang, Dai Huijun. Application of finite element analysis in design and development of rubber isolators[J]. Noise and Vibration Control, 2009(1):114~116,121. (in Chinese)
- 潘孝勇,上官文斌,柴国钟,等. 橡胶隔振器动态特性计算方法的研究[J]. 振动工程学报,2009,22(4):345~351.  
Pan Xiaoyong, Shanguan Wenbin, Chai Guozhong, et al. An investigation of calculation methods for the dynamic characteristics of rubber isolator[J]. Journal of Vibration Engineering, 2009, 22(4): 345~351. (in Chinese)