

## 物品贮运环境监测系统的抗冲击性能仿真分析

李杨<sup>a,b</sup>, 李新娥<sup>a,b</sup>, 张瑜<sup>a,b</sup>, 梁彦斌<sup>a,b</sup>

(中北大学 a.电子测试技术国家重点实验室;

b.仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

**摘要:** **目的** 设计一种能实时监测物品贮运过程中的温度、湿度、加速度等 3 个参数并进行数据采集存储, 同时能记录时间的具有高可靠性的贮运环境监测系统。**方法** 通过有限元分析软件 Ansys 对壳体及电路板分别进行有限元抗冲击仿真。**结果** 由壳体在冲击作用下的最大变形为 0.03 mm 及 25.5 MPa 的 Von Miss 等效应力证明壳体具有抗冲击可靠性, 对电路板进行模态分析的结果证明, 电路在环境冲击作用下能够可靠工作。**结论** 设计的贮运环境监测系统具有良好的可靠性。

**关键词:** ARM; 环境监测; 采集存储; Ansys; 模态分析

**中图分类号:** TN41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0116-04

## Simulation for Anti-impact Performance of Monitoring System in Storage and Transportation

LI Yang<sup>a,b</sup>, LI Xin-e<sup>a,b</sup>, ZHANG Yu<sup>a,b</sup>, LIANG Yan-bin<sup>a,b</sup>

(North University of China a.National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology; b.Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**ABSTRACT:** This work aims to design an environmental monitoring system with high reliability that can monitor real-time temperature, humidity, acceleration in the storage and transportation process, collect data and record time. Finite element impact simulation was conducted on the circuit and shell by finite element analysis software Ansys. The maximum deformation of the shell was 0.03 mm and the Von Miss equivalent stress was 25.5 MPa under the impact effect. That proved the shell had shock resistance reliability. The results of PCB modal analysis proved that the circuit board could reliably work under the environmental impact. In conclusion, the designed environment monitoring system in storage and transportation has good reliability.

**KEY WORDS:** ARM; environmental monitoring; collection and storage; Ansys; modal analysis

物品在贮存或运输过程中极易受到环境变化引起的不必要的损失, 如温湿度变化引起物品的腐蚀、变质, 振动冲击引起物品的变形、损坏等。在工农业生产和科研生活中温湿度变化会影响产品的质量甚至引发事故<sup>[1-3]</sup>。而资料显示, 在振动冲击环境条件作用下, 造成货物损失约 80%以上<sup>[4-6]</sup>, 因此, 实时监测物品贮运环境, 即对温度、湿度、振动、冲击的技术研究具有重要意义。

为实现实时监测被测物品所处环境, 要求监测系统与被测体所处环境一致, 且不影响被测物的体积与质量, 不影响原箱体总体结构和包装方式, 不影响箱体和物品的正常贮存、装卸和运输, 因此, 提出一种类似于标签的, 与被测物品箱体采用刚性连接, 具有微体积、低功耗的环境信息监测系统, 完成物品在贮存和运输过程中的温度、湿度、加速度环境参数的实时采集和存储, 同时记录时间。事

收稿日期: 2016-01-18

作者简介: 李杨 (1989—), 女, 黑龙江黑河人, 中北大学硕士生, 主攻动态测试与智能仪器。

通讯作者: 李新娥 (1971—), 女, 山西大同人, 博士, 中北大学教授, 主要研究方向为测试计量技术与仪器。

后通过读取大容量存储介质中的数据再现和处理整个贮运过程的环境信息，便于智能化管理及性能指标分析<sup>[7-8]</sup>。跌落冲击试验能够较真实地模拟现实生活中的冲击现象<sup>[9]</sup>。为验证系统设计可靠性，通过对系统进行冲击实验仿真分析，为系统设计和包装技术的研究提供新的思路，以缩短设计周期，降低研发成本，使其结果更为科学可靠<sup>[10]</sup>。

1 硬件设计

系统硬件设计方案如下：系统由主控单元与传感模块、实时时钟模块、存储模块、电源管理模块、休眠唤醒模块、通信模块组成。传感模块选用多种 I<sup>2</sup>C 通信的数字传感器作为信号采集部分的主体，直接将输出的数字量传送至主控单元；主控单元选择 ST 公司推出型号为 STM32F103 的低功耗 ARM 芯片，主控单元对测试数据处理后存入存储模块中；实时时钟模块为整个系统提供时间基准并为定时采样输出实施定时中断；电源管理是将电池电压转换为各功能模块工作所需电压，为系统供电；当振动测量单元和冲击测量单元响应环境突然变化时，将产生外部应力来切换系统的工作状态；休眠唤醒单元实现正常状态下和突发状态下的系统响应（休眠、运行和停机），从而使系统能够在正常贮运情况和突发情况下工作，可以降低系统功耗，延长电池使用时间；通信模块用于系统与上位机之间的数据通信。原理框图见图 1，用电池供电，结构图见图 2。

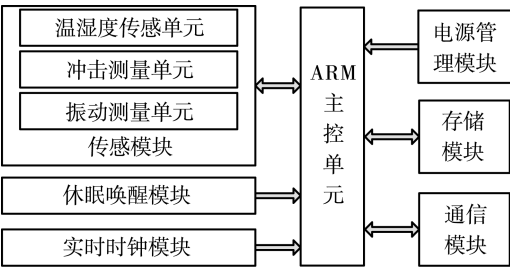


图 1 贮运环境监测系统原理  
Fig.1 Schematic diagram of environmental monitoring system

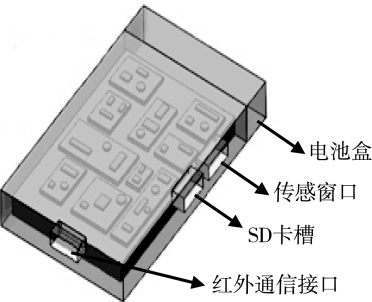


图 2 系统结构  
Fig.2 Structure diagram of system

2 可靠性分析

2.1 壳体抗冲击仿真分析

由于贮运环境监测系统体积非常小，外部保护壳体较薄，故应对其抗冲击性能进行研究，以提高系统的可靠性。由于物品贮运过程中极易发生搬运磕碰或突发事件引起的强冲击，监测系统需保证能监测任何的冲击状态，壳体的抗冲击能力要远远强于物品及其包装的抗冲击能力。应用有限元分析法对贮运环境监测系统外壳进行有限元抗冲击仿真，因此，在  $x$ 、 $y$  和  $z$  方向施加 2000g 的加速度载荷，壳体 3 个方向的变形量见图 3。

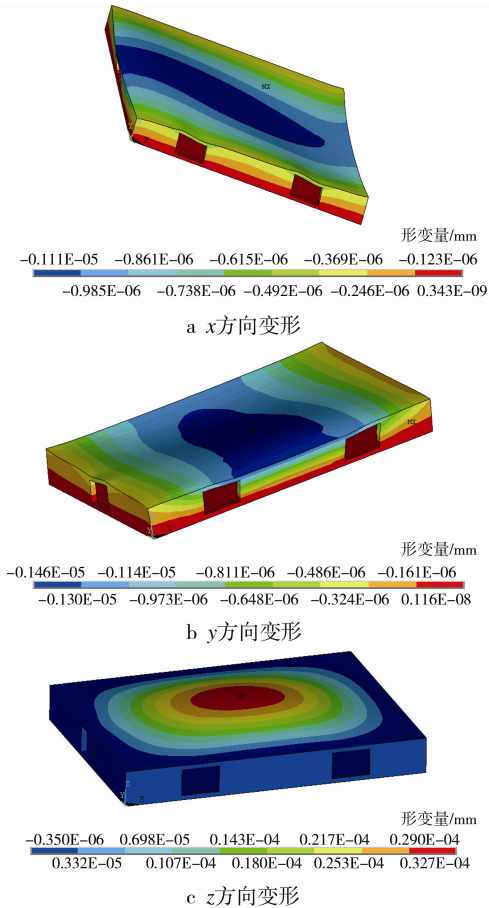


图 3 壳体  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向抗冲击仿真  
Fig.3 Simulation diagram of shell impact resistance in  $x$ 、 $y$ 、 $z$  directions

2.2 电路板抗冲击仿真分析

温、湿度传感芯片工作时，通过接触周围环境对环境信息实时有效监测，不能进行灌封处理，冲击振动极易造成电路板的损坏，影响系统正常工作，因此，利用 Ansys 对印刷电路板建模并进行模态分析，由此来分析系统的可靠性。电路板四周全约束，

四角同时加载载荷,同一时刻认为四角所加载的载荷是相等的<sup>[11]</sup>。依据振动理论,结构的频率方程<sup>[12]</sup>为:

$$|\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}| = 0 \quad (1)$$

式中:  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{M}$  分别为系统的  $n$  阶质量和刚度矩阵,因此,有  $n$  个不同的振动角频率  $\omega$ , 对应模态频率为  $f = \omega/2\pi$  (Hz)。

由此得结构模态方程<sup>[13]</sup>为:

$$(\mathbf{K} - \omega_j^2 \mathbf{M}) \mathbf{u}_j = 0 \quad (2)$$

式中:  $\mathbf{u}_j$  为第  $j$  阶模态频率对应的特征向量,即第  $j$  阶振型;  $\omega_j$  为第  $j$  阶模态角频率<sup>[14]</sup>。可求得对应的各阶固有频率及其所对应的固有振型。前 4 阶模态固有频率分别为 116.87, 260.90, 332.31, 435.20 Hz。采用 Ansys 软件对贮运环境参数监测系统的电路板进行环境冲击作用仿真,对电路板分别施加各个方向的作用。PCB 板的前 4 阶振型对应的位移云图见图 4。

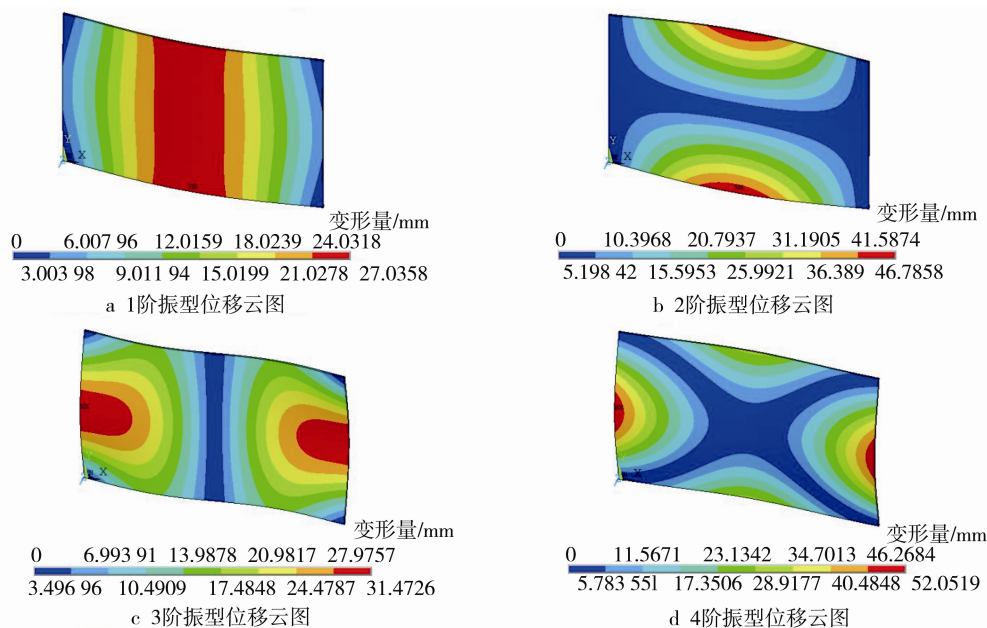


图 4 PCB 板前 4 阶振型对应的位移云图

Fig.4 Displacement nephograms of first four vibration modes of PCB

### 2.3 仿真结果分析及试验验证

对监测系统进行了 2 m 跌落实验,系统测试数据见图 5, 傅里叶变换对应频域数据见图 6。

由频域信号可得,在各阶振型固有频率以上的信号归一化幅值均在 0.1 以下,信号能量不足以激起 PCB 板的各阶振型,可认为 PCB 板在冲击载荷下能够可靠的工作,具有抗冲击可靠性。由壳体抗冲击仿真图中可以看出,3 个方向在 2000g 的冲击加速度作用下,最大变形为 0.03 mm, Von Miss 等效应力<sup>[15]</sup>为 25.5 MPa,对于壳体的影响可以忽略。壳体的变形量不会对内部空间及元器件构成挤压,壳体具有抗冲击可靠性。系统通过马歇特锤来进行装置冲击加速度的测试,结果显示装置的最大冲击加速度约为 1800g 和标准传感器测量的最大冲击加速度基本相同,且实验后系统功能正常,装置具有抗冲击可靠性。

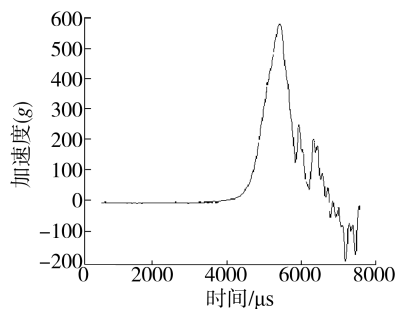


图 5 跌落冲击时域信号

Fig.5 Time domain signal of drop impact

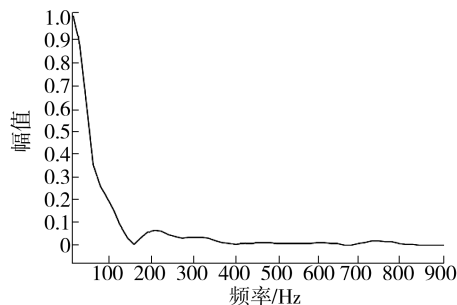


图 6 跌落冲击频域信号

Fig.6 Frequency domain signal of drop impact

### 3 结语

文中针对特殊物品贮运过程容易受到环境影响而引起不必要损失的问题, 设计了物品贮运环境监测系统, 以便事后通过读取采集到的数据对事故原因进行分析并进行相关改进。最后通过 Ansys 仿真软件对电路板及壳体进行模态分析, 仿真结果及实验结果证明 PCB 板及壳体设计在外部冲击作用下能可靠的工作。

#### 参考文献:

- [1] 黄海珍. 实验室温湿度监控系统设计[D]. 天津: 天津大学, 2011.  
HUANG Hai-zhen. Laboratory Temperature and Humidity Monitoring System Design[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.
- [2] 周好婕. 马铃薯贮藏室温湿度环境的试验研究与分析[D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2014.  
ZHOU Yu-jie. Experimental Research and Analysis of Potato Storage Temperature and Humidity Environment[D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2014.
- [3] 何学文, 孙汗, 曹清梅. 金属矿井无线温湿度监测系统[J]. 金属矿山, 2014(3): 116—119.  
HE Xue-wen, SUN Han, CAO Qing-mei. Design on Wireless Temperature and Humidity Monitoring System of Metal Mine[J]. Metal Mine, 2014(3): 116—119.
- [4] 赵世宜, 梅林, 任杰. 集装箱装卸运输振动冲击环境条件分析[J]. 起重运输机械, 2012(6): 15—19.  
ZHAO Shi-yi, MEI Lin, REN Jie. Vibration and Impact Environmental Conditions Analysis of Containers During Transportation and Handling Process[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2012(6): 15—19.
- [5] 赵世宜, 吴娟, 霍东芳, 等. 军用物资航空运输振动冲击环境条件研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(2): 21—24.  
ZHAO Shi-yi, WU Juan, HUO Dong-fang, et al. Study of Vibration-impact Environmental Conditions for Air Transportation of Military Material[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(2): 21—24.
- [6] 王芳, 魏星, 魏巍, 等. 果蔬运输受振动·冲击作用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2015(26): 326—329.  
WANG Fang, WEI Xing, WEI Wei, et al. Research Progress on Transport Vibration and Impact Damage of Fruit and Vegetable[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015(26): 326—329.
- [7] 闫改红. 危险品运输车辆监控系统关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.  
YAN Gai-hong. Key Technology Research of Dangerous Goods Transport Vehicle Monitoring System[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [8] 杨军艺, 李新娥, 沈大伟. 基于 ARM 的物品运输记录系统的设计[J]. 电子世界, 2014(21): 20—21.  
YANG Jun-yi, LI Xin-e, SHEN Da-wei. Design of the Goods Transportation Record System Based on ARM [J]. Electronics World, 2014(21): 20—21.
- [9] 任昌, 潘宏侠. 基于冲击信号的冲击响应谱研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2010(3): 21—24.  
REN Chang, PAN Hong-xia. Study of Shock Response Spectrum Based on Shocking Signal[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2010(3): 21—24.
- [10] 王长智, 陈文革. 基于 Ansys 软件的产品跌落分析与耐跌结构设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 44—46.  
WANG Chang-zhi, CHEN Wen-ge. Drop Simulation Analysis and Structure Design of Product Based on Ansys[J]. Packaging Engineer, 2013, 34(1): 44—46.
- [11] 鲍华, 刘万远. 某型发射装置电路板随机振动响应分析[J]. 航空兵器, 2015(3): 66—68.  
BAO Hua, LIU Wan-yuan. Random Vibration Response Analysis of PCB Used in the Certain Launcher [J]. Aero Weaponry, 2015(3): 66—68.
- [12] 程诗叙. 印制电路板与集成电路组件的模态分析及振动可靠性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.  
CHENG Shi-xu. Modal Analysis and Vibration Reliability Research of Printed Circuit Board and Integrated Circuit Component[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2005.
- [13] 闻邦春, 刘树英, 陈照波, 等. 机械振动理论及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.  
WEN Bang-chun, LIU Shu-ying, CHEN Zhao-bo. Theory of Mechanical Vibration and Its Application[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.
- [14] 马静. 基于 ANSYS 的板级电路热分析及布局优化设计[J]. 电子器件, 2013, 36(6): 802—805.  
MA Jing. Thermal Analysis of Board-Level Circuit Based on ANSYS and Its Layout Optimization Design [J]. Journal of Electron Devices, 2013, 36(6): 802—805.
- [15] 陈明祥. 弹塑性力学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.  
CHEN Ming-xiang. Plastoelasticity[M]. Beijing: Science Press, 2010.