

基于 Ansys Workbench 的整体包装件动态缓冲特性仿真分析

丁玉平, 钱怡

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: **目的** 探索整体包装件的仿真分析方法。**方法** 首先对整体包装进行定频振动试验分析, 得到产品响应加速度曲线, 然后建立整体包装件的有限元模型, 运用有限元软件 Ansys Workbench 中的瞬态动力学模块 (Transient Structural) 对其进行了振动仿真分析, 得到了包装件的响应加速度、总体位移、等效应力、各向应力等结果。**结果** 由仿真所得响应加速度及试验结果的对比验证了仿真的可靠性, 并对缓冲衬垫的动态缓冲特性进行了分析, 发现缓冲衬垫内侧承受了较大应力, 在振动过程中起主要缓冲作用, 而上部护角衬垫外侧边角稳定性稍弱。**结论** 可采取增加厚度的优化措施来提高缓冲保护功能, 为非线性材料整体包装件的有限元仿真分析提供了一种可行的创新方法。

关键词: 整体包装件; 仿真分析; 动态缓冲特性

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)11-0018-05

Dynamic Cushioning Property Simulation Analysis of the Overall Package Based on Ansys Workbench

DING Yu-ping, QIAN Yi

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: Objective To explore the simulation analysis method of overall package. **Methods** Vibration test under particular frequency was conducted and the responsive acceleration curve of the product was obtained. Ansys Workbench (Transient Structural) was applied for the vibration simulation analysis of the whole package, which provided the results of responsive acceleration, total deformation, equivalent stress, normal stress. **Results** The accuracy of the simulation was verified by comparing the responsive acceleration of the simulation and the test. Dynamic cushioning property was analyzed. The results indicated that the inside of the cushioning package supported larger stress and played a main cushioning role, and the stability of upper cushioning package edges was low. **Conclusion** Optimization measures such as increasing the thickness could improve the protection function of the cushioning pad. The study provided a feasible and creative method for nonlinear overall package fem simulative analysis.

KEY WORDS: overall package; simulation analysis; dynamic cushioning property

在物流过程中, 包装产品受到机械冲击、振动载荷作用, 因包装不善造成产品破损的现象比较严重, 缓冲、防振不够是一个重要原因^[1]。目前, 对于包装衬垫防振设计的研究主要是通过对产品进行振动试

验, 测得内装产品在振动外力作用下的动态力、加速度、位移等^[2], 运用试验的方法来检验缓冲效果。这种方法对产品和包装都具有很大的破坏性, 并且需要多次重复试验, 成本较高^[3]。Gorman S P^[4]认为基于

收稿日期: 2014-01-05

作者简介: 丁玉平(1988—), 女, 山东人, 江南大学硕士研究生, 主攻运输包装。

缓冲材料曲线的包装设计忽略了外包装箱摩擦和空气阻力的作用,会导致包装件产生响应误差;Rami Haj-Ali^[5]通过有限元建模方法进行了非线性材料和结构的有限元分析。何自芬^[6]运用有限元法进行了包装箱的抗压性能研究;Hsu H S 和 Hsiao B^[7]应用 LS-DYNA 软件模拟了缓冲衬垫包装件的跌落;Mills N J 和 Masso-Moreu Y^[8]利用 ABAQUS 的隐式分析得到了泡沫衬垫和瓦楞纸箱的受力变形曲线,得出有限元分析方法比衬垫曲线设计方法能够更好地预测复杂形状衬垫的缓冲性能。文中以美的 YJ308G 豪华自动电饭煲的整体包装为研究对象,利用 Ansys Workbench 软件的仿真分析功能,将正弦加速度曲线作为外界激励输入,模拟整体包装件的振动过程,分析缓冲包装的动态响应,为缓冲包装优化设计提供依据。

1 定频振动试验

根据正弦定频振动试验方法^[9]布置振动试验台,振动台采用 LANSMONT 振动试验系统,将整体包装件置于振动台中心位置,四周用固定杆加以防护。采用 3560C 型声学及振动分析仪进行加速度信号采集,将振动传感器用强力胶固定在产品顶端位置,见图 1。



图1 整体包装定频振动试验

Fig.1 Vibration test at constant frequency for the whole package

为检验缓冲包装的减振效果,给包装件施加较大的激励作用。设置振动台以 50g, 150 Hz 的工作频率进行振动,待振动稳定时采集振动传感器输出信号,由 MATLAB 软件进行滤波,过滤掉高频信号对加速度响应的影响,得到产品的加速度响应曲线见图 2。由图 2 可知,产品响应加速度为 101 ~ -98 m/s²。振动台的输入加速度将作为仿真分析时包装件的输入激励^[10],产品

响应加速度将与仿真所得产品加速度对比,以验证有限元模型和仿真方法的准确性。

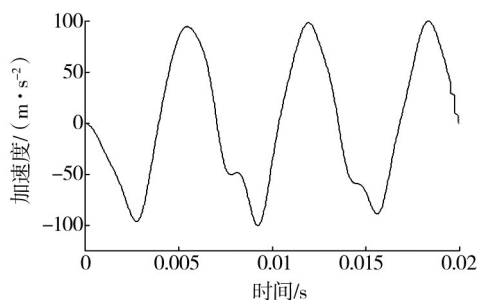


图2 产品响应加速度曲线

Fig.2 Responsive acceleration curve of the product

2 有限元仿真分析

2.1 模型建立

整体包装件包括产品、缓冲衬垫和外包装箱等 3 个主要部分。将产品进行简化处理,按照包装件的实际尺寸,利用三维建模软件 Pro/E 建立实体模型,通过相关接口程序将模型导入到有限元软件 Ansys Workbench 中的瞬态动力学模块^[11],定义材料属性、接触类型、网格划分、边界条件与载荷等,得到见图 3 的结构有限元模型。

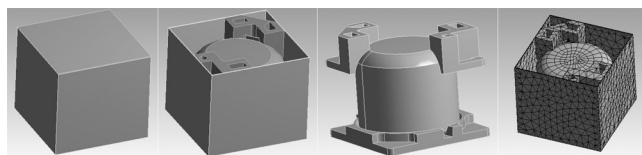


图3 包装件有限元模型

Fig.3 Finite element model of the overall package

产品的材料属性设置:密度为 157.85 kg/m³、弹性模量为 20 GPa、泊松比为 0.3。缓冲衬垫弹性阶段的材料属性设置:密度为 11.18 kg/m³、弹性模量为 1.52 MPa、泊松比为 0.3。缓冲衬垫塑性阶段的材料属性由表 1 中的 12 个数据点来定义,包装外箱的材料参数参照经验公式^[12-14]及文献[15]中的研究设置,见表 2。

考虑到包装件在振动过程中各部分间的实际接触情况,定义产品与底部衬垫平面的接触为光滑去摩擦接触,与衬垫曲面的接触为摩擦接触,摩擦因数为 0.2。衬垫与外箱上、下面的接触为光滑去摩擦接触,

表1 EPS泡沫材料的应力-塑性应变数据

Tab.1 Stress-plastic strain data sheet of EPS material

塑性应变	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22
应力/MPa	0.044	0.054	0.059	0.064	0.066	0.07	0.072	0.075	0.077	0.081	0.084	0.086

表2 包装外箱材料参数

Tab.2 Material parameters of packaging carton

E_x /MPa	E_y /MPa	E_z /MPa	G_{xy} /MPa	G_{yz} /MPa	G_{xz} /MPa	μ_{xy}	μ_{yz}	μ_{xz}	厚度/mm
276.6	440.8	1.38	135.1	12.6	5.2	0.37	0.01	0.01	3.8

与外箱侧面的接触为法向不分离接触。设置全部接触对的接触属性均为非对称接触,接触半径为0.01 m,接触算法为罚函数法,刚度更新均设为每个子步。对产品施加远端位移载荷,竖直方向自由度为无约束,其余5个自由度为0,对外箱底面施加固定约束。

2.2 振动仿真分析

为与定频振动试验的试验条件对应,以振动台输出加速度作为仿真分析的激励输入,设置加速度激励如下:

$$a=500 \sin(2 \times 180 \times 150 \times t)$$

式中: a 为激励加速度, m/s^2 ; t 为时间, s 。

设置求解时间为0.02 s,关闭自动时间步,时间子步数为200。运行振动仿真分析,得到包装件的各动态缓冲分析结果如下所述。

1) 加速度。分析得到产品垂直方向响应加速度曲线,与定频振动试验的结果进行比较,见图4。从图4中可以看出,产品垂直方向加速度为 $87 \sim -84 m/s^2$,与试验的结果相对比误差在15%以内。由于试验时产品与衬垫之间存在接触间隙、产品形状的简化以及实验误差等因素,可以认为误差合理,所建的有限元模型是可靠的,能够较好地反映包装件的动态缓冲特性。

2) 总体位移。衬垫结构的总体位移变形云图见图5,其显示最大位移变形发生在上部2个护角衬垫的边角处,底部衬垫发生的位移变形非常小,最大总体位移为1.2 mm,位移变形较小,与实际相符。这说明原包装缓冲衬垫可进行增强上部2个护角衬垫边角稳定性的优化设计。

3) 等效应力。衬垫结构的等效应力分布云图见

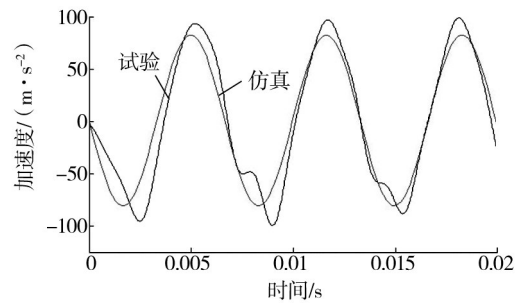


图4 产品响应加速度曲线对比

Fig.4 Comparison of the acceleration curves of the product

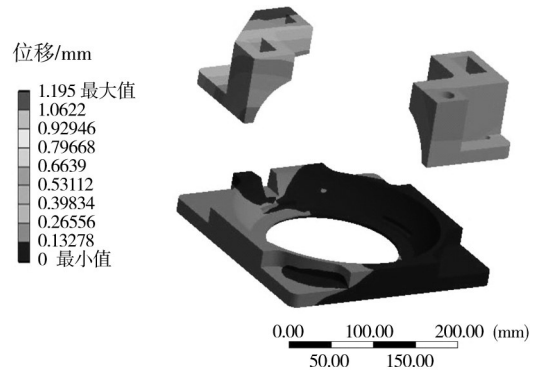


图5 衬垫总体位移仿真结果

Fig.5 Total deformation of the simulation analysis

图6,可以看出等效应力主要分布于底部衬垫与产品接触的内侧区域,最大应力为0.0073 MPa,小于材料的屈服应力。这说明底座内侧承担了较大的缓冲保护作用,所承受的应力较大,在缓冲包装设计时应注重其强度和结构的设计。

4) 各向应力分布。衬垫结构的各向应力分布云图见图7,可以看出泡沫衬垫竖直方向和水平方向均

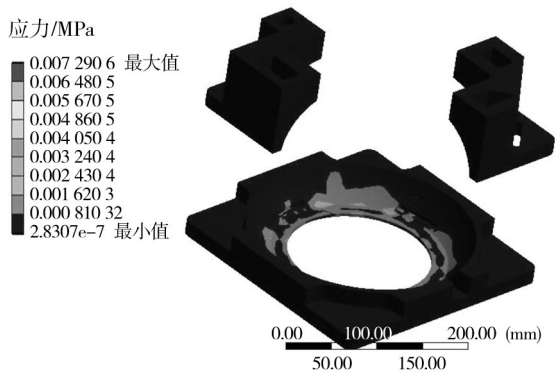


图6 衬垫等效应力仿真结果

Fig.6 Equivalent stress of the simulation analysis

为拉、压应力并存,且压应力占大部分。从竖直方向来看,底座内侧平面区域承受了较大的压应力,更易损坏,是缓冲衬垫最薄弱的区域,应通过改变其结构形式,如增加其厚度等措施来提高整体的缓冲保护功能。

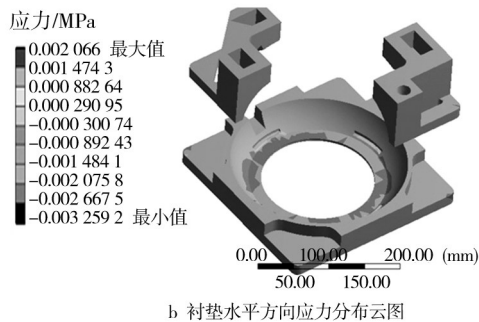
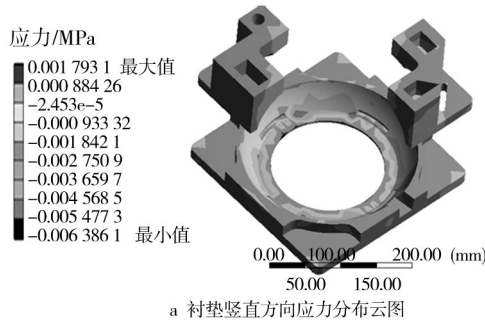


图7 衬垫各向应力仿真结果

Fig.7 Normal stress of the simulation analysis

3 结语

首先通过实验室定频振动试验,得到产品响应加速度曲线,然后对整体包装件进行有限元建模,运用

Ansys Workbench 对其进行了振动仿真分析。通过仿真结果和试验结果的对比较验证了仿真的可靠性,并通过仿真所得结果分析了包装件的动态缓冲特性。根据仿真结果,底部缓冲衬垫内侧承受了较大应力,在振动过程中起主要缓冲作用,宜采取增加其强度的优化措施;上部护角衬垫外侧边角强度相对较弱,但满足强度要求。

研究方案对整体包装件的动态缓冲特性分析提供了一种可行的方法。相比于传统的缓冲包装设计方法,有限元仿真分析能有效缩短试验周期,并节省人力物力、降低试验成本,对缓冲包装优化设计具有指导意义。

参考文献:

- [1] 张家凡,陈杰,吴国图. 瓦楞纸板与EPS板材组合包装垫振动传递特性的实验研究[J]. 环境技术,2006,24(5):22—24. ZHANG Jia-fan, CHEN Jie, WU Guo-tu. Experiment Research on Vibration Transmissibility of Polystyrene Packaging Pillow Combined with Corrugated Paperboard [J]. Environmental Technology, 2006, 24(5):22—24.
- [2] 刘乘,卢杰,陈满儒. 运输包装件振动特性的计算机仿真[J]. 包装工程,2002,23(4):20—22. LIU Cheng, LU Jie, CHEN Man-ru. Computer Simulation of Vibration Characteristics for The Product/Package in transportation[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(4):20—22.
- [3] 高德,董静,李军. 基于非线性有限元的瓦楞纸板动态冲击响应的仿真研究[J]. 包装工程,2006,27(8):10—11. GAO De, DONG Jing, LI Jun. Research on Simulation of Dynamic Response of Corrugated Board with Nonlinear Finite Element[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(8):10—11.
- [4] GORMAN S P. In-package Methods Improve Shock, Vibration Testing[J]. Packag Technol Eng, 1997, 6(3):26—29.
- [5] RAMI H. Refined Nonlinear Finite Element Models for Corrugated Fiberboards Composite[J]. Structure Structures, 2009 (87):321—333.
- [6] 何自芬. 基于有限元法的包装箱抗压性能研究[J]. 包装工程,2009,30(3):39—41. HE Zi-fen. Compression Properties of the Corrugated Box Based on Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3):39—41.
- [7] HSU H S, HSIAO B. Application of LS-DYNA in Electronic Products[C]//7th International LS-DYNA Users Conference, 17.
- [8] MILLS N J, MASSO-MOREU Y. Finite Element Analysis.

- (FEA) Applied to Polyethylene Foam Cushions in Package Drop Tests[J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18(1):29—38.
- [9] GB/T 4857.7—2005, 正弦定频振动试验方法[S]. GB/T 4857.7—2005, Sinusoidal Vibration Test Method at Constant Frequency[S].
- [10] 张沙, 钱怡. 电磁炉包装件的振动特性仿真[J]. 包装工程, 2012, 33(23):56—60.
ZHANG Sha, QIAN Yi. Vibration Characteristic Simulation Analysis of the Induction Cooker Package[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23):56—60.
- [11] 吕建国, 康士廷. Ansys Workbench14有限元分析自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
LYU Jian-guo, KANG Shi-ting. Ansys Workbench14 Self-study Handbook of Finite Element Analysis[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2013.
- [12] NYGARDS M. Modelling the Out-of-plane Behaviour of Paperboard[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2009, 24(1):72—76.
- [13] BAUM G A, BRENNAN D C, Habeger C C. Orthotropic Elastic-constants of Paper[J]. Tappi, 1981, 64(8):97—101.
- [14] ALLANSSON A. Stability and Collapse of Corrugated Board [D]. Sweden; Lund University, 2001.
- [15] 段艳健, 钱怡. 基于 Ansys Workbench 的瓦楞纸箱抗压性能仿真研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9):23—26.
DUAN Yan-jian, QIAN Yi. Buckling and Post-buckling Research of Corrugated Paperboard Based on ANSYS Workbench[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9):23—26.

(上接第 12 页)

- 269.
- QIAO Lei, LU Li-xin, TANG Ya-li, et al. Monitoring Storage Shelf Life for Chilled Fresh Pork Using Enzymatic Time-temperature Indicator[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(13):263—269.
- [21] 谷雪莲, 杜巍, 华泽利, 等. 预测牛乳货架期的时间-温度指示器的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10):142—146.
GU Xue-lian, DU Wei, HUA Ze-zhao, et al. Development of Time-temperature Indicator to Predict Shelf Life of Milk[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10):142—146.
- [22] SEOK I H, WAN S P. Use of Color Indicators as an Active Packaging System for Evaluating Kimchi Fermentation[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 46(13):67—72.
- [23] FERNANDEZ J F, CANNAS R, SPICHIGER S, et al. Optical CO₂ Sensing Layers for Clinical Application Based on pH Sensitive Indicators Incorporated into Nanoscopic Metal Oxide Supports[J]. Sensors and Actuators B-Chemical, 2007, 128(1):145—153.
- [24] 丁靖, 熊焰, 虞大红. CO₂在离子液体中溶解度的实验测定与模型化方法[J]. 化工进展, 2012, 31(4):732—741.
DING Jing, XIONG Yan, YU Da-hong. Solubility of CO₂ in Ionic Liquids-measuring and Modeling Methods[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2012, 31(4):732—741.
- [25] HONG S I, PARK W S. Development of Color Indicators for Kimchi Packaging[J]. Journal of Food Science, 1999, 64(2):255—257.
- [26] NOPWINYUWONG A, TREVANICH S, SUPPAKUL P. Development of a Novel Colorimetric Indicator Label for Monitoring Freshness of Intermediate-moisture Dessert Spoilage [J]. Talanta, 2010, 81(3):1126—1132.
- [27] 王成龙, 刘佼佼, 苏东华, 等. Vita 比色板各色片间色差及意义[J]. 口腔医学, 2012, 32(4):220—222.
WANG Cheng-long, LIU Jiao-jiao, SU Dong-hua, et al. Color Difference in Vita Shade and its Significance[J]. Stomatology, 2012, 32(4):220—222.
- [28] 何能斌, 杜云海. 基于 Lab 颜色空间的彩色等差线骨架线的提取[J]. 河南科学, 2008, 26(11):1324—1326.
HE Neng-bin, DU Yun-hai. Extraction Method of Isochromatic's Skeleton Based on Lab Color space[J]. Henan Science, 2008, 26(11):1324—1326.