

包装技术与工艺

液晶显示器缓冲垫绿色设计及有限元分析

董静, 卢水根, 刘锋, 曲迪, 葛伟航, 邵家辉, 马铮

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要: **目的** 设计绿色环保的液晶显示器缓冲衬垫, 并对其受跌落冲击时的缓冲效果进行有限元分析。**方法** 采用瓦楞纸板折叠成型的方式对液晶显示器的缓冲衬垫进行绿色设计。在 ABAQUS 有限元软件中建立液晶显示器和缓冲衬垫的实体模型, 通过有限元软件模拟液晶显示器运输过程中角跌落的冲击响应, 分析缓冲衬垫的缓冲效果。**结果** 角跌落冲击过程中, 等效应力云图表明衬垫跌落角处变形较大, 应力集中, 显示器跌落角处最大应力达到 1.293 MPa, 但未超过材料的屈服极限。冲击加速度计算结果表明, 以 1 m 的高度跌落时, 显示器上易损件的最大冲击加速度为 748 m/s^2 , 未超过液晶显示器的许用脆值。**结论** 瓦楞纸板折叠成形的环保缓冲衬垫满足缓冲包装要求, 能有效保护显示器抵抗跌落冲击。

关键词: 缓冲衬垫; 有限元分析; 跌落冲击; 绿色包装

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0118-04

Green Design and Finite Element Analysis of LCD Buffering Cushion

DONG Jing, LU Shui-gen, LIU Feng, QU Di, GE Wei-hang, SHAO Jia-hui, MA Zheng
(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: The work aims to design environmentally friendly LCD buffering cushion and study the buffering effect during the drop impact based on the finite element analysis. Green LCD buffering cushion was designed by folding corrugated board. The physical models for LCD and buffering cushion were established in the finite element software of ABAQUS. The corner drop impact response in the course of transportation of LCD was simulated by the finite element software to analyze the buffering effects of buffering cushion. In the course of corner drop impact, the equivalent stress nephogram showed that deformation was serious at the drop corner of cushion where the stress concentrated and the maximum stress reached up to 1.293 MPa. However, the maximum stress did not exceed the yield limit of corrugated board. From impact acceleration curve, it showed that the maximum impact acceleration of quick-wear parts was 748 m/s^2 at the dropping height of 1 m, which did not exceed the permissible fragility of LCD. The environmentally ing cushion folded by corrugated board can meet the requirements of cushion packaging, which protects LCD from drop impact effectively.

KEY WORDS: buffering cushion; finite element analysis; drop impact; green packaging

随着我国电子信息产品制造和出口量的增长, 电子产品包装的需求日益增加, 同时运输过程中由于包装不当引起的货损日益引起企业和制造商的重视^[1-2]。电子产品一般附加值都较高, 产品破损不仅增加成本消耗, 还会使客户产生产品质量低劣的疑虑, 进而损害企业信誉。电子产品通常易碎, 易产生静电, 潮湿和高温的耐受性较差, 因此我国目前电子产品运输包

装往往采用发泡聚苯乙烯、无纺布或发泡 PE 薄片等作为缓冲衬垫。生产发泡聚苯乙烯使用的发泡剂氟利昂极易破坏大气臭氧层, 废弃后回收降解困难, 造成了极大的环境污染。瓦楞纸板因其具有质量轻、缓冲性能好、不易形变、强度高等特点, 将原材料进行工艺及化学处理即可实现防潮、阻燃等优良性能, 瓦楞纸板原料来源充足、利于回收循环、绿色环保, 正逐

收稿日期: 2017-04-19

基金项目: 大学生创新创业项目 (201610240016); 黑龙江省教育厅项目 (12531157); 黑龙江省自然科学基金 (E2016049)

作者简介: 董静 (1981—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学副教授, 主要研究方向为运输包装。

渐替代发泡聚苯乙烯等材料成为电子产品广泛使用的缓冲衬垫,但瓦楞纸板缓冲衬垫的设计亟需改善^[3-5]。为了更好地在运输过程中保护产品,企业通常采用跌落机对产品实际跌落进行产品测试^[6],以达到在满足产品安全运输的前提下包装材料使用量最小的目的,但测试耗时耗材,极大增加包装成本。将有限元仿真应用到运输包装的设计中,对其产品包装进行运输、储存过程的模拟,分析冲击加速度、应力、应变等参数变化^[7],获得安全、可靠、经济的包装解决方案,省去测试的风险与时间,为企业缩短开发周期并降低成本。

文中对典型电子产品液晶显示器进行瓦楞纸板一页折叠成形的绿色运输包装创新设计,以实现包装环节的绿色化和包装材料的回收利用与减容、减量和增效,并对缓冲包装进行有限元跌落仿真分析。

1 液晶显示器缓冲衬垫设计

1.1 液晶显示器结构及衬垫尺寸设计

包装衬垫设计选用的对象是目前市场常见的21寸(1寸=3.33 cm)液晶显示器,其结构见图1。衬垫尺寸设计中,承受跌落的承载面积的计算为:

$$A = mG / \sigma_m$$

式中: A 为产品的承载面积(mm^2); m 为质量(kg); G 为脆值(g); σ_m 为冲击时最大应力(Pa)。

衬垫厚度的计算方法为:

$$d_0 = CH / G$$

式中: d_0 为原设计厚度(mm); C 为缓冲系数; H 为跌落高度(m)。

蠕变补偿的计算方法为:

$$s = d_0(1 + \gamma)$$

式中: s 为蠕变补偿; γ 为蠕变系数。

经计算得到上、下衬垫的尺寸,上、下衬垫的承载面积分别为12 100, 6300 mm^2 ,上、下衬垫的厚度分别为82, 40 mm。

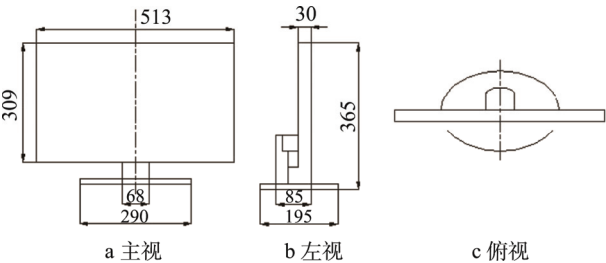


图1 显示器结构
Fig.1 Structure of LCD

1.2 衬垫结构设计

显示器的运输包装应保证在运输过程中可达到缓冲防震的效果,因此选择刚性及缓冲性能适中的C

型瓦楞纸板。衬垫要保证足够的缓冲性能时通常体积较大,废弃后回收存储运输成本较高,文中设计采用瓦楞纸板一页折叠成形的方式进行缓冲垫的结构设计,通过瓦楞纸板折叠结构实现缓冲防冲击的包装要求,充分利用卡扣结构实现包装材料和衬垫成形过程的绿色化^[4],且便于包装衬垫的组装和拆卸。衬垫SolidWorks结构见图2。

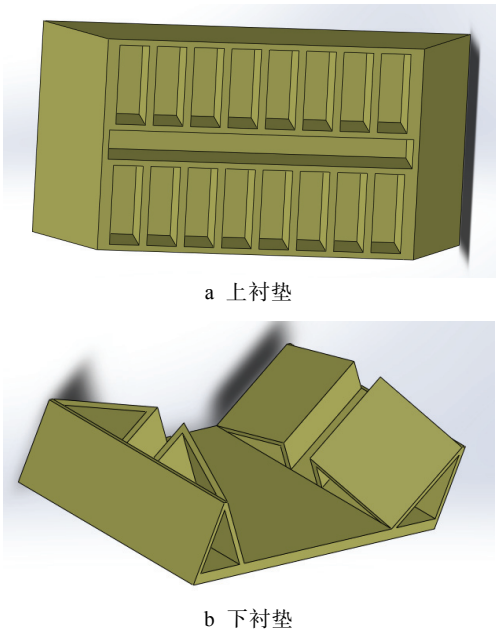


图2 衬垫模型
Fig.2 Cushion model

2 液晶显示器缓冲包装跌落有限元分析

2.1 液晶显示器及衬垫实体模型的建立

为了使模拟过程更符合实际测试,通过有限元分析软件ABAQUS6.14建立了上衬垫、下衬垫以及显示器机座外框架、支撑架、电路板、外屏等组成部分,有限元实体模型见图3。

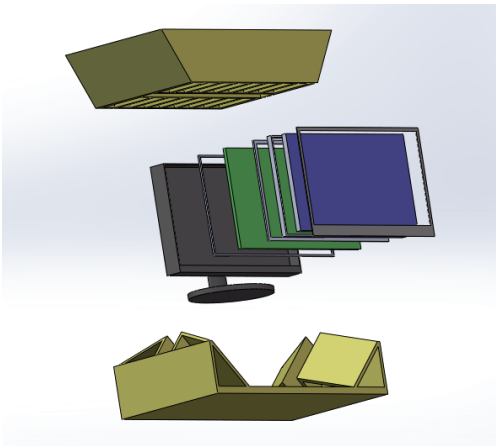


图3 有限元实体模型
Fig.3 FEA solid model

2.2 材料属性设定

为使有限元仿真分析结果更为可靠,材料属性的设定尤为重要^[8]。瓦楞纸板材料为正交各向异性材料,文中根据实际试样的材料特性对显示器不同组成部分和瓦楞纸板上、下衬垫进行了等效设定^[9-12],见表1,瓦楞纸板屈服应力分别设定为0.98, 1.078, 1.135, 1.162, 1.166, 1.172, 1.192, 1.196 MPa, 塑性应变对应设定为0, 0.0041, 0.01, 0.0176, 0.0446, 0.0531, 0.0607, 0.0692。

表1 显示器不同组成部分材料属性

Tab.1 Material property in different part of LCD

名称	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/GPa	泊松比
支撑框	7800	200	0.30
支撑板	2770	71	0.33
机座框架	1070	2.35	0.38
电路板	1100	2.21	0.30
显示屏	2500	60	0.25

2.3 缓冲件角跌落仿真测试

根据产品运输实际工况,模拟运输包装件以1 m的等效跌落高度、初速度 $v=0$ m/s的状态进行自由落体运动。为提高计算机仿真运算速度,节省计算时间,根据加速度、速度、位移三者间的关系,仿真分析中包装件以初速度4.43 m/s、距离地面1 mm开始刚性撞击进行角跌落仿真。ABAQUS/Explicit对瞬态高速问题提供了效率极高的解决方案,跌落仿真一般采用ABAQUS/Explicit作为求解器进行有限元分析计算^[13-14]。采用通用接触算法,设定所有接触为自接触,选定罚函数(摩擦因数为0.3)作为摩擦公式定义整体接触属性,经过ABAQUS创建部件、创建材料、定义和赋予截面特性、定义装配件、设置分析步、定义边界条件和载荷、划分网格等步骤,对所建立的模型进行角接触跌落仿真分析,有限元网格、跌落分析、应力计算结果见图4—6。

角跌落冲击过程中,由图6可知衬垫跌落角处变形较大,材料容易被破坏,这是由于下衬垫与显示器

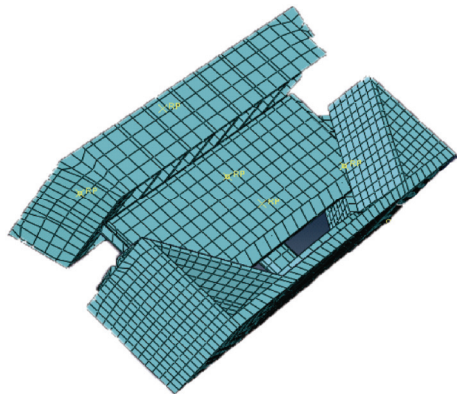


图4 有限元网格
Fig.4 FEA mesh plot

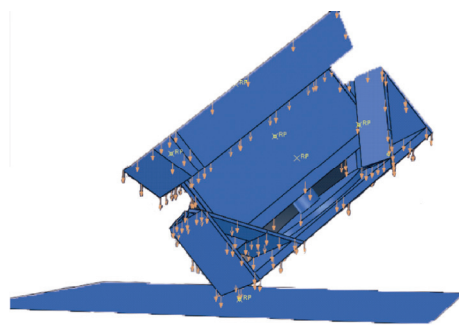


图5 跌落分析
Fig.5 Drop analysis at height of 1m

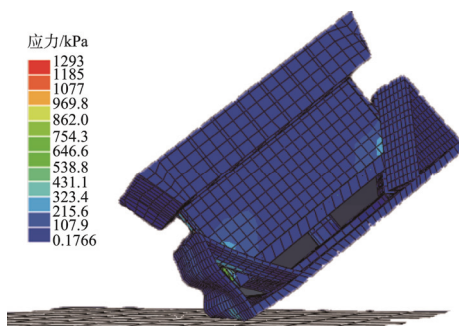


图6 等效应力云图
Fig.6 Equivalent stress nephogram

两角接触处留有较大空隙,冲击过程中造成材料变形严重,优化设计时应尽量避免。显示器两下角处应力集中,最大达到1293 kPa,未超过机座框架材料的屈服极限(16 MPa),满足防护要求。易损件上的加速度是评估缓冲衬垫是否合理的一个重要参数。在冲击过程中,过大的加速度可能会损毁显示器,因此仿真计算3个易损件上冲击加速度随冲击时间的变化值,表明以1 m高度跌落时,显示器上靠近底边的易损件在大约6 ms时达到冲击加速度峰值(748 m/s²),此时衬垫的侧边与地面接触。后经跌落实验测得该缓冲件在以1 m高度跌落时的最大加速度为723 m/s²,冲击作用时间为4.9 ms,仿真分析结果与实测数据基本吻合,均略低于液晶显示器的许用脆值80 g^[15],既满足缓冲包装要求又不会造成过度包装带来的材料浪费。

3 结语

采用瓦楞纸板一页折叠成型的方式进行缓冲垫的结构设计,充分利用卡扣结构实现包装材料和衬垫成形过程的绿色化,设计了一款材料环保,包装工艺环保且便于组装、拆卸和回收再利用的液晶显示器包装衬垫。应用有限元软件ABAQUS模拟缓冲衬垫及显示器各组成结构,建立了上、下衬垫以及显示器机座外框架、支撑架、电路板、外屏等组件的实体模型,并模拟运输实际工况进行了角跌落动态冲击计算分析,由应力、应变、冲击加速度分析结果表明,该缓

冲衬垫符合显示器缓冲包装要求。有限元模拟测试结果趋近于实验测试,为ABAQUS有限元仿真测试逐步替代运输包装实验测试提供了理论参考。

参考文献:

- [1] 邢圆, 姜静, 张倍豪. 基于环保意识下的适度包装设计研究[J]. 上海包装, 2016(4): 22—24.
XING Yuan, JIANG Jing, ZHANG Bei-hao. Study Based on Appropriate Packaging Design Environmentally Conscious Package[J]. Shanghai Packaging, 2016(4): 22—24.
- [2] 张立中. 论环保材料在绿色包装设计中的应用[J]. 包装世界, 2016(3): 26—27.
ZHANG Li-zhong. On the Application of Environmentally Friendly Materials Green Packaging Design[J]. Packaging World, 2016(3): 26—27.
- [3] SARKIS J, MEADE L M, TALLURI S. E-logistics and the Natural Environment[J]. Supply Chain Management, 2004(9): 303—312.
- [4] 彭国勋, 吴舟平. 瓦楞包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2007.
PENG Guo-xun, WU Zhou-ping. The Equality of Corrugated Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.
- [5] 李杨, 陈曲. 基于Ansys的打印机全瓦楞缓冲包装设计[J]. 包装学报, 2012, 4(2): 37—41.
LI Yang, CHEN Qu. Corrugated Cushioning Packaging Design of Printer Based on Ansys[J]. Packaging Journal, 2012, 4(2): 37—41.
- [6] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. Logistics and Transport Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [7] 卢富德, 高德. 考虑蜂窝纸板箱缓冲作用的产品包装系统跌落冲击研究[J]. 振动工程学报, 2012, 25(3): 335—341.
LU Fu-de, GAO De. Study on Drop Impact of Packaging System Considering the Cushioning Action of Honeycomb Paperboard Box[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012, 25(3): 335—341.
- [8] 李连进. 产品隔振缓冲包装结构的设计方法[C]// 中国农业机械学会 2006 年学术年会, 2006: 1459—1461.
LI Lian-jin. Method of Design of Product Packing Structure of Vibration Isolation and Buffering[C]// China Agricultural Machinery Association 2006 Annual Conference, 2006: 1459—1461.
- [9] 车宪香. 包装件跌落模拟计算与缓冲结构优化[D]. 济南: 山东大学, 2013.
CHE Xian-xiang. Computer Simulation on Drop Tests of Packages and Optimization of Cushion Foams Structure[D]. Jinan: Shandong University, 2013.
- [10] GAO D, LU F D, CHEN S J. Drop Impact Analysis of Cushioning System with an Elastic Critical Component of Cantilever Beam Type[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013(4): 1—5.
- [11] QIAN Jing. Mathematical Models for Insulating Packages and Insulating Packaging Solutions[D]. Tennessee: University of Memphis, 2010.
- [12] LIU J X, CHEN Z T, LI K C. A 2-D Lattice Model for Simulating the Failure of Paper[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2010, 54(1): 1—10.
- [13] 石亦平, 周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
SHI Yi-ping, ZHOU Yu-rong. The Finite Element Analysis Example Explanation[J]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006.
- [14] ABAQUS. ABAQUS User's Manual[M]. Hibbitt: Karlsson & Sorensen Inc, 2012.
- [15] WANG Y Y, LU C J, LI X M. Simulation of Drop Impact Reliability for Electronic Devices[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2005(1): 667—680.