

戴尔笔记本电脑缓冲包装设计

薛琼, 费伟民, 滑广军, 吴若梅
(湖南工业大学, 株洲 412008)

摘要:目的 优化戴尔笔记本电脑Vostro 1440的缓冲包装结构。方法 了解产品特性和流通环境,确定缓冲包装材料,提出3个缓冲包装结构改进方案并与原方案进行对比分析,利用Ansys软件对最佳设计缓冲结构和原始缓冲结构进行跌落仿真测试分析。结果 采用密度为 0.029 g/cm^3 的EPE为缓冲材料,3个改进方案都不同程度节约了材料的用量并通过了挠度校核,其中方案3用量较少且具有多功能化,在跌落仿真中缓冲效果优于原始缓冲结构。结论 产品缓冲包装结构将朝着绿色环保、高效能、低成本、多功能化趋势发展。

关键词: 戴尔笔记本电脑; 结构设计; 缓冲包装; EPE

中图分类号: TB485.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)21-0043-04

Cushion Packaging Structure Design for Dell Notebook

XUE Qiong, FEI Wei-min, HUA Guang-jun, WU Ruo-mei
(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China)

ABSTRACT: The paper was aimed to optimize the cushion packaging structure for Dell notebook Vostro 1440. Based on the product characteristics and circulation environment, the cushion packaging material was determined, and three sets of cushion packaging structure improvement schemes were designed and comparatively analyzed with the original scheme. The cushion packages with the optimal design and the original design were tested with drop simulation security analysis via Ansys software. Using EPE with a density of 0.029 g/cm^3 as the cushion material, all three sets of improvement schemes saved material consumption to different degrees and passed the deflection check. Scheme 3 has the least material consumption and was multifunctional, besides, it showed better cushioning effect than the original cushion structure in the dropping simulation. In conclusion, product cushion packaging structure has a development trend towards environmental friendliness, high efficiency, low cost, and multi-function.

KEY WORDS: Dell notebook; structure design; cushion packaging; EPE

近年来,随着社会信息化程度的飞速发展,笔记本电脑在人们生活和工作中扮演着越来越重要的角色,需求和销售量巨大^[1]。销量的增长带动了笔记本电脑运输包装的大量需求,并且也对笔记本电脑的缓冲包装提出了新的要求。笔记本电脑的生产模式多为ODM即原始设计制造商代工出货,包装由ODM设计,而物流则由电脑厂商来掌控,从而导致了包装设计和物流运输的分离,造成了大量不合理的包装^[2-3]。

每年由于包装不合理而造成内装物破损的现象常常发生,其中因为冲击、振动而引起的包装件破损更为常见,因此设计科学合理的缓冲包装结构,采用合理的缓冲包装材料,使包装在保护性、功能性、经济性、环保性等方面都有一定的提高,取得良好的经济效益和社会效应,减少费用和损耗,降低企业成本,节约资源^[4-8]。文中以绿色包装"4R1D"设计原则中"Reduce"即减量化设计为目的,对戴尔笔记本电脑缓冲结构减

收稿日期: 2015-05-07

基金项目: 湖南工业大学自然科学研究项目(2014HZX04); 湖南省教育厅科学研究项目(14C0338)

作者简介: 薛琼(1981—),女,湖南益阳人,硕士,湖南工业大学讲师,主要研究方向为包装材料的测试与功能材料。

量化设计方案进行研究。

1 产品特性及流通环境分析

文中研究对象戴尔笔记本电脑 Dell Vostro 1440, 产品尺寸为 342 mm × 244 mm × 35 mm, 质量为 2.37 kg, 重心位于电脑中心, 加配件总质量为 2.8 kg。易损部件主要为其液晶屏和硬板驱动, 其质量分布均匀, 重心在其中心位置, 因此设计结构需考虑在长、宽、高 3 个方向上都要定位和缓冲。笔记本电脑属于电子设备, 根据日本防卫厅标准和美国军用手册《MTS-HDBK-304》公司标准^[9], 选取戴尔笔记本电脑的脆值为 $G_c=60g$; 根据笔记本电脑 Dell Vostro 1440 质量和运输方式, 查包装件跌落实验规定高度标准^[9]取等效跌落高度 $H=80\text{ cm}$ 。

2 缓冲衬垫材料的选取和尺寸的确定

戴尔笔记本电脑目前多采用 EPS、EPE、瓦楞纸板和纸浆模塑等作为缓冲材料。瓦楞纸板和纸浆模塑为环保包装材料, 但其缓冲性能和环境适应性相对较差。EPS、EPE 具有良好的缓冲吸震性能和环境适应性, EPE 在环保方面优于 EPS, 能做到 100% 回收再利用^[10-11]。

目前, 笔记本电脑采用局部缓冲设计可节约材料, 其衬垫设计可根据缓冲系数-最大应力曲线图 ($C-\sigma_m$) 中最小缓冲系数法找到最小缓冲系数与最大应力值^[12]。文中采用密度为 0.029 g/cm^3 的 EPE 作为缓冲材料^[13-14], 取其最小缓冲系数 $C=3.0$, 对应的最大应力 $\sigma_m=0.24\text{ MPa}$, 由 $T=CH/G_c$ ^[12] 获得最小厚度 $t=4.0\text{ mm}$, 由 $S=WG/J\sigma_m$ ^[12] 获得缓冲衬垫承载面积 $S=68.6\text{ cm}^2$ 。

3 缓冲衬垫的结构设计

3.1 原方案

戴尔笔记本电脑整体包装见图 1, 相应的缓冲衬垫结构图以及整体装配图见图 2。整个缓冲结构由 2 块支撑作用的衬垫 A 和保护屏幕的衬垫 B 构成。整体包装箱尺寸为 $408\text{ mm} \times 329\text{ mm} \times 74\text{ mm}$ 。根据缓冲衬垫尺寸图计算出: 衬垫 A 的体积 $V_A=1115.3\text{ cm}^3$, 衬垫 B 的体积 $V_B=784.4\text{ cm}^3$, 缓冲衬垫总体积 $V_{\text{总}}=2V_A+V_B=3015.0\text{ cm}^3$ 。衬垫稳定性校核: 缓冲衬垫 A 的最小

缓冲面积 $S_A=31.2\text{ cm}^2$, 缓冲衬垫 B 的最小缓冲面积 $S_B=29.1\text{ cm}^2$, 故 $S_{\text{min}}=29.1\text{ cm}^2 > (1.33\text{ t})^2=28.3\text{ cm}^2$, 局部缓冲方案成立。



图1 Dell Vostro 1440 整体包装
Fig.1 Overall packaging of Dell Vostro 1440

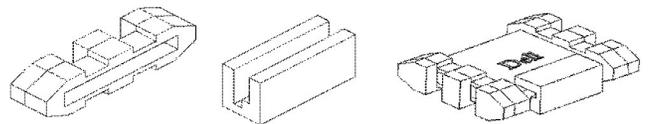


图2 Dell Vostro 1440 缓冲衬垫结构及整体装配
Fig.2 Cushion structure and overall assembly drawing of Dell Vostro 1440

3.2 改进方案

3.2.1 方案 1

该设计出发点是包装减量化设计, 减少缓冲衬垫材料使用量和包装体积。将原方案中的缓冲衬垫 B 去除, 重新设计衬垫 A 的结构, 使其能够达到笔记本所需的缓冲要求, 同时将衬垫的外侧延伸形成两端的夹角结构, 能够将附件放入其中, 起到保护附件的功能。该方案整体包装箱尺寸为 $462\text{ mm} \times 329\text{ mm} \times 74\text{ mm}$, 图 3 中单个衬垫的体积 $V_A=729.0\text{ cm}^3$, 则缓冲衬垫总用量 $V_{\text{总}}=2V_A=1458.0\text{ cm}^3$ 。衬垫稳定性校核: 缓冲衬垫的最小缓冲面积 $S_{\text{min}}=36.0\text{ cm}^2 > (1.33\text{ t})^2=28.3\text{ cm}^2$, 局部缓冲方案成立。

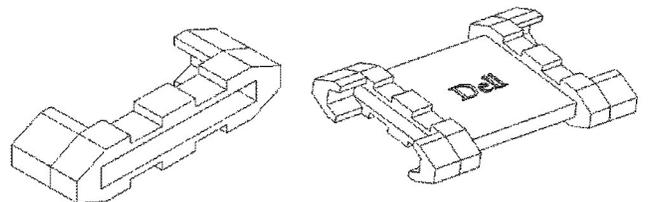


图3 方案1缓冲衬垫结构及整体装配
Fig.3 The first scheme of cushion structure and overall assembly drawing

3.2.2 方案2

该设计同样以包装减量化设计为目的,减少缓冲衬垫运输体积。采用复合有PE薄膜的EPE板材,模切板材局部的薄膜不切断,通过折叠形成缓冲衬垫。缓冲衬垫在制成到包装产品的运输过程中可以平铺,大大减小其运输体积,降低运输成本,到达包装现场再折叠成形。该方案整体包装箱尺寸为382 mm × 309 mm × 80 mm,图4中2个衬垫的体积均为 $V=569.1\text{ cm}^3$,缓冲衬垫总体积 $V_{\text{总}}=2V=1138.2\text{ cm}^3$ 。衬垫稳定性校核:缓冲衬垫的最小缓冲面积 $S_{\text{min}}=33.0\text{ cm}^2 > (1.33\text{ t})^2=28.3\text{ cm}^2$,所以局部缓冲方案成立。

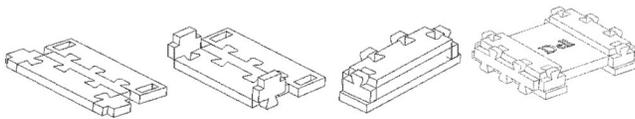


图4 方案2缓冲衬垫结构及整体装配

Fig.4 The second scheme of cushion structure and overall assembly drawing

3.2.3 方案3

该设计方案是以包装再利用为设计目的,使缓冲衬垫成为产品的一个配套型物件。根据包装再利用设计理念,改善缓冲衬垫结构,当包装在完成运输缓冲保护功能后,可以通过组合形成一个实用的电脑放置架。赋予缓冲衬垫二次价值,实现包装的再利用。该方案整体包装箱尺寸为502 mm × 329 mm × 80 mm,图5中衬垫A的体积 $V_A=1234.3\text{ cm}^3$,衬垫B的体积 $V_B=1030.8\text{ cm}^3$,所以缓冲衬垫总体积 $V_{\text{总}}=V_A+V_B=2265.1\text{ cm}^3$ 。衬垫稳定性校核:衬垫A的最小缓冲面积 $S_A=80.7\text{ cm}^2$,衬垫B的最小缓冲面积 $S_B=39.5\text{ cm}^2$,故 $S_{\text{min}}=39.5\text{ cm}^2 > (1.33\text{ t})^2=28.3\text{ cm}^2$,所以局部缓冲方案成立。

综上所述,原方案和3个改进方案都采用EPE缓冲材料和局部缓冲形式,且都通过了挠度校核。改进方案本着减量化包装为目的,不同程度上节约了缓冲材料的用量,其中方案3同时具有多功能化,选为最优方案。

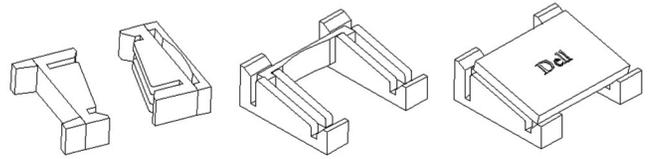


图5 方案3缓冲衬垫结构及整体装配

Fig.5 The third scheme of cushion structure and overall assembly drawing

3.3 缓冲结构安全性分析

利用Ansys/LS-DYNA软件对电脑包装件进行跌落仿真分析,有限元模型采用4节点Shell163壳体单元和8节点Solid164实体。发泡聚乙烯材料取弹性部分,参数见表1^[15-16]。

原始方案和改进方案3的垂直跌落仿真分析—等效应力图和加速度响应曲线见图6—7,可知改进方案3在垂直跌落和反向垂直跌落过程中所受最大应力值分别为0.402 MPa和0.717 MPa,均小于原始方案最大应力值2.224 MPa;改进方案3的垂直跌落加速度和反向垂直跌落加速度分别为62g和40g均小于原方案垂直跌落加速度78g。由此可见,方案3中的缓冲部件A不仅能分拆成放置架的挡板,而且在跌落过程中能够减缓冲击。

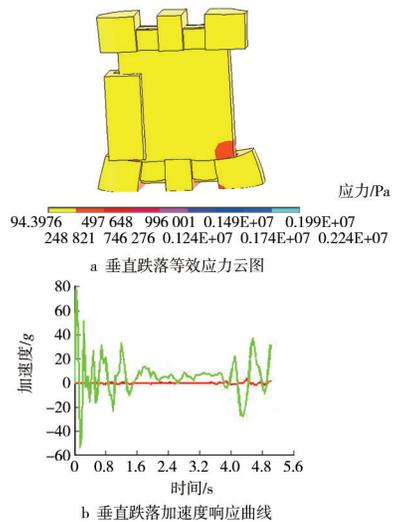


图6 原方案缓冲衬垫的安全性能测试和分析

Fig.6 Safety test and analysis of the original cushioned package

表1 材料参数

Tab.1 Parameters of materials

材料	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/Pa	泊松比	屈服强度/MPa
笔记本电脑	820	4.5×10^7	0.30	30
EPE	29	3.0×10^6	0.01	—
0201瓦楞纸箱	200	4.8×10^4	0.15	0.784
地面	1700	1.72×10^{11}	0.20	—

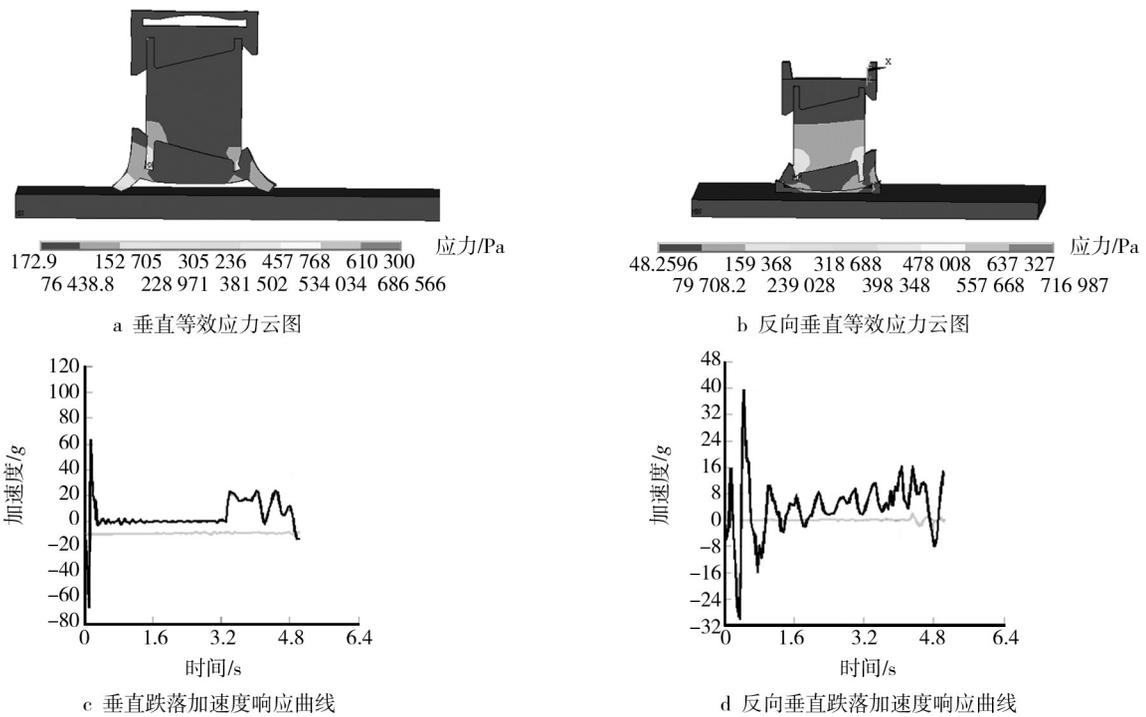


图7 方案3缓冲衬垫的安全性测试和分析

Fig.7 Safety test and analysis of the third scheme of cushion structure

4 结语

随着现代科技的进步和人们对包装重要的认识,缓冲包装越来越受到重视。科学的选材、合理的结构设计、通过模型分析与实验验证结合起来严谨校核是缓冲包装设计完整的环节。目前,可回收再利用的EPE缓冲材料仍然是缓冲包装材料的首选,而如何优化结构设计即降低成本,以及多功能化是当今研究的主要方向。

参考文献:

- [1] 李洪贵,严佳驹,张晶,等. 多功能笔记本电脑纸质缓冲衬垫设计[J]. 包装学报,2011,3(3):54—56.
LI Hong-gui, YAN Jia-ju, ZHANG Jing, et al. The Design of a Paper Multi-function Buffer Cushion for PC[J]. Packaging Journal, 2011, 3(3): 54—56.
- [2] 孙聚杰,任艳玲,郝笑梦. Lenovo 3000 G430A 笔记本电脑缓冲包装设计[J]. 包装学报,2010,4(2):23—26.
SU Ju-jie, REN Yan-ling, HAO Xiao-meng. Cushioning Package Design for Lenovo 3000 G430A Notebook Computer [J]. Packaging Journal, 2010, 4(2): 23—26.
- [3] 金海军,韩占华,舒祖菊. 笔记本电脑的运输包装设计[J]. 包装与食品机械,2007,6(25):48—52.
JIN Hai-jun, HAN Zhan-hua, SHU Zu-ju. Packing Design for

Laptops Shipping Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2007, 6(25): 48—52.

- [4] 黄丽飞,和克智,王大威. 笔记本电脑用纸浆模塑缓冲包装设计形式的研究[J]. 中国包装,2009(2):71—73.
HUANG Li-fei, HE Ke-zhi, WANG Da-wei. Research on Molded Pulp Cushioning Packaging Design Form for Notebook Computer[J]. China Packaing, 2009(2): 71—73.
- [5] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京:中国轻工业出版社,2010.
SUN Cheng. The Packaging Structure Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2010.
- [6] 宋宝丰. 产品脆值理论与应用[M]. 北京:国防科技大学出版社,2002.
SONG Bao-feng. Product Fragility Theory and Application[M]. Beijing: National University of Defense Technology Press, 2002.
- [7] 邢月卿,陈满儒,孙德强. 笔记本电脑的纸质缓冲包装设计[J]. 包装工程,2014,35(9):61—65.
XING Yue-qing, CHEN Man-ru, SU De-qiang. Paper Cushion Packaging Design of Laptop Computer[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 61—65.
- [8] 秦洁,师永宁. 金属丝网隔振器的研制与试验研究[J]. 装备环境工程,2013,10(2):109—112.
QIN Jie, SHI Yong-ning. Development and Test of Metal Wire Net Isolator[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(2): 109—112.

(下转第74页)

- 2012-04-11.
- [7] 青岛大学. 一种静电纺丝教学演示装置: 中国, 102982720A [P]. 2013-03-20.
Qingdao University. Electrospinning Teaching Demonstration Device: China, 102982720A [P]. 2013-03-20.
- [8] 北京化工大学. 一种间断式离心熔体静电纺丝装置: 中国, 203360643U [P]. 2013-12-25.
Beijing University of Chemical Technology. Intermittent Centrifugal Melt Electrospinning Device: China, 203360643U [P]. 2013-12-25.
- [9] 黑龙江东方学院. 实验室静电纺丝成套装置: 中国, 202830247U [P]. 2013-03-27.
East University of Heilongjiang. Laboratory of Electrospinning Device: China, 202830247U [P]. 2013-03-27.
- [10] 清华大学, 张家港智电可再生能源与储能技术研究所有限公司. 电纺液成丝装置及静电纺丝机: 中国, 202830247U [P]. 2013-10-02.
Tsinghua University, Zhangjiagang Smartgrid Renewable Energy and Energy Storage Technology Research Institute Co. Ltd. Electrospinning Filament Device and Electrospinning Machine: China, 202830247U [P]. 2013-03-27.
- [11] 南通大学纤维材料实验教学中心. 静电纺丝实验室 [EB/OL]. <http://xwcl.ntu.edu.cn/showc.asp?FatherID=1&Cid=32&ID=277> (2009-05-12).
The Experimental Teaching Center of Nantong University of Fiber Materials. Electrospinning Laboratory [EB/OL]. <http://xwcl.ntu.edu.cn/showc.asp?FatherID=1&Cid=32&ID=277> (2009-05-12).
- [12] 杨大祥, 李恩重, 郭伟玲, 等. 静电纺丝制备纳米纤维及其工业化研究进展 [J]. 材料导报, 2011, 25(8): 64—68.
YANG Da-xing, LI En-zhong, GUO Wei-ling, et al. Research and Industrial Development of Nanofibers Prepared by Electrospinning [J]. Materials Review, 2011, 25(8): 64—68.
- [13] LI D, CANN J T, XIA Y N. Electrospinning: A Simple and Versatile Technique for Producing Ceramic Nanofibers and Nanotubes [J]. J Am Ceram Soc, 2006, 89(6): 1861.
- [14] 王晗, 李文望, 陈安, 等. 针对纳米纤维制备的静电纺丝技术研究进展 [J]. 广东工业大学学报, 2012, 29(1): 78—81.
WANG Han, LI Wen-wang, CHEN An. Advances in Electrospinning Technology for Preparing Nanofibers [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2012, 29(1): 78—81.

~~~~~

(上接第 46 页)

- [9] 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 Transportation Packaging Design [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
- [10] 王建清. 包装材料学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.  
WANG Jian-qing. Packaging Material [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011.
- [11] 张波涛, 叶梁玉, 刘朝阳, 等. EPE 缓冲包装优化设计 [J]. 包装工程, 2006, 27(6): 211—212.  
ZHANG Bo-tao, YE Liang-yu, LIU Zhao-yang. Analysis of Optimal Design and Manufacturing of EPE Cushion Packaging [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 211—212.
- [12] 彭国勋. 运输包装 [M]. 北京: 印刷工业出版社, 1999.  
PENG Guo-xun. Transportation Packaging [M]. Beijing: Printing Industry Press, 1999.
- [13] 张波涛, 叶梁玉, 刘朝阳, 等. EPE 缓冲包装优化设计 [J]. 包装工程, 2006, 27(6): 211—212.  
ZHANG Bo-tao, YE Liang-yu, LIU Zhao-yang. Analysis of Optimal Design and Manufacturing of EPE Cushion Packaging [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 211—212.
- [14] 高德, 卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计 [J]. 振动与冲击, 2012, 31(3): 69—72.  
GAO De, LU Fu-de. Optimization Design of MDOF Package Cushioning System Made of Polyethylene [J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(3): 69—72.
- [15] 宋日恒, 张治国. 基于 ANSYS 的笔记本电脑包装件跌落仿真研究 [J]. 浙江科技学院学报, 2009, 21(4): 332—335.  
SONG Ri-heng, ZHANG Zhi-guo. Simulation on Laptop Package Dropping by Using ANSYS Software [J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2009, 21(4): 332—335.
- [16] 刘学. 发泡聚乙烯包装系统动力学有限元分析 [J]. 包装工程, 2011, 32(13): 11—13.  
LIU Xue. Finite Element Analysis of Dynamic Properties of Expanded Polyethylene Cushion Packaging System [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 11—13.