

平板电脑缓冲包装件设计及其力学性能分析

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.04.005

巩雪常 江李丹婷

哈尔滨商业大学

轻工学院

黑龙江 哈尔滨 150028

摘要:针对平板电脑在物流过程中由于包装不当造成的破损问题,设计了平板电脑的缓冲包装件,并对其力学性能进行了分析。先利用 SolidWorks 软件建立缓冲包装件模型;再通过 ANSA 软件对缓冲包装件模型进行网格划分,并建立刚性跌落目标面的有限元模型;最后在 LS-DYNA 中进行跌落高度为 0.9 m 的自由跌落仿真分析,得到缓冲包装件在接触地面瞬间和反弹瞬间的等效应力云图及其跌落过程中的加速度曲线图。仿真结果表明,所设计的缓冲包装件在跌落过程中的最大加速度为 58g,该值满足产品的脆值要求,缓冲包装件可以达到很好的缓冲效果。

关键词:平板电脑;缓冲包装;跌落仿真;应力云图

中图分类号: TB482.2 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2018)04-0028-06

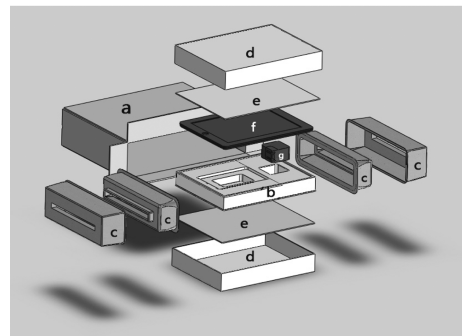
在经济全球化、信息化的带动下,我国电子信息产业持续增长,成为了中国国民经济重要的支柱产业^[1-3]。平板电脑作为消费电子产品,由于其具有体积小、质量轻、携带方便等优点,得到了不少年轻消费者的青睐^[4]。而且越来越多的消费者愿意通过电子商务平台购买平板电脑^[5]。但在流通过程中,由于包装不当,平板电脑易受外界的冲击或震荡、温湿度等因素的影响,导致其破损而无法正常使用^[6-8]。这不仅给商家造成经济损失,而且给消费者带来不便。可见,对平板电脑的包装进行缓冲设计至关重要^[9]。针对上述问题,本课题组对平板电脑的缓冲包装件进行了设计,并利用 SolidWorks 软件构建缓冲包装件模型,利用 ANSA 软件构建跌落仿真的有限元模型,用 LS-DYNA 进行跌落仿真分析,以期对产品包装设计提供参考。

1 有限元模型

1.1 缓冲包装件的实体模型

平板电脑的缓冲包装件主要有外包装箱、平板电

脑内包装(由模压塑料板、纸浆模塑和纸盒组成)、平板电脑简化体和充电器简化体 4 部分。外包装箱的材料为瓦楞纸板;模压塑料板的材料是聚四氟乙烯;纸盒的盒盖与盒底的结构是由纸板折叠、粘贴形成,并在盒盖与盒底的侧面内夹一层瓦楞纸板,起到缓冲和加固作用。本课题组采用 SolidWorks 软件对缓冲包装件进行建模,如图 1 所示。



a: 外包装箱; b: 模压塑料板; c: 纸浆模塑; d: 纸盒;
e: 瓦楞纸板; f: 平板电脑简化体; g: 充电器简化体

图 1 缓冲包装件的爆炸视图

Fig. 1 The explosion view of the cushioning package

收稿日期: 2018-05-22

作者简介: 巩雪(1981-),女,辽宁锦州人,哈尔滨商业大学副教授,哈尔滨商业大学博士生,主要研究方向为农产品保鲜包装技术, E-mail: gongxue@hrbcu.edu.cn

1.2 缓冲包装件的有限元模型

由于几何实体模型不能用于有限元分析, 所有施加在有限元边界上的载荷或约束都要传递到有限元模型(节点或单元)进行求解, 因此, 几何实体模型须转化为有限元模型^[10-11]。本课题组通过 ANSA 软件与 SolidWorks 软件专门的接口将几何实体模型导入 ANSA 软件中, 再进行网格划分, 生成有限元模型。

1.2.1 选取单元数据

为了便于计算, 外包装箱采用双线性各向同性模型(bilinear isotropic)。参数设置如下: 密度为 300 kg/m^3 , 弹性模量为 0.19 GPa , 极限应力为 784 kPa , 泊松比为 0.15 ^[12]。

模压塑料板采用可压碎泡沫模型(crushable foam)。参数设置如下: 密度为 20 kg/m^3 , 弹性模量为 0.80 GPa , 极限应力为 565 kPa , 泊松比为 0.10 , 黏性阻尼系数为 0.1 ^[13]。

纸浆模塑采用双线性随动强化模型(bilinear kinematic hardening)。参数设置如下: 密度为 403 kg/m^3 , 弹性模量为 0.28 GPa , 极限应力为 $1\ 550 \text{ kPa}$, 泊松比为 0.01 ^[14]。

纸盒采用双线等向强化模型(bilinear isotropic)。参数设置如下: 密度为 150 kg/m^3 , 弹性模量为 0.17 GPa , 极限应力为 500 kPa , 泊松比为 0.10 。

平板电脑可近似看成一个形状较为规则的物体, 因此其材料模型采用双线性随动模型(bilinear kinematic)。参数设置如下: 极限应力为 $3.0 \times 10^5 \text{ kPa}$, 弹性模量为 20 GPa , 泊松比为 0.27 。

1.2.2 设定网格划分参数

网格划分主要是定义对象边界单元的大小和数目。网格设定所需的参数将决定网格的大小和形状, 也影响着分析结果的正确性和过程的经济性^[15]。因此, 本课题组将总体单元尺寸设置为 5 mm 的自由网格划分, 网格划分示意图如图 2 所示。

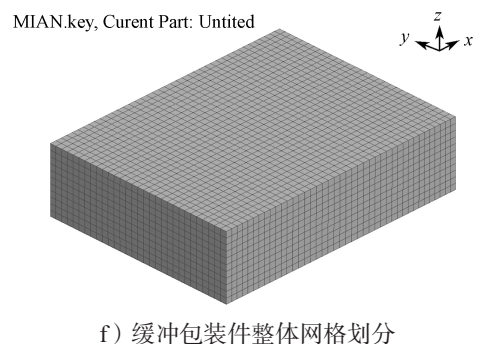
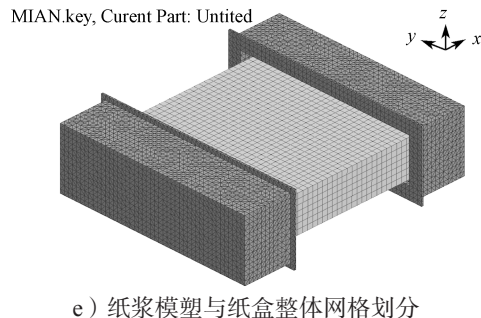
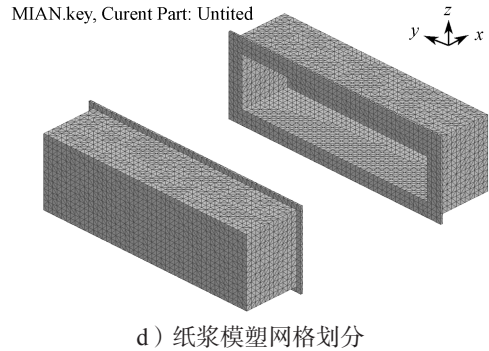
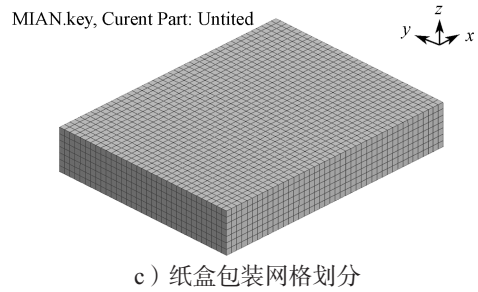
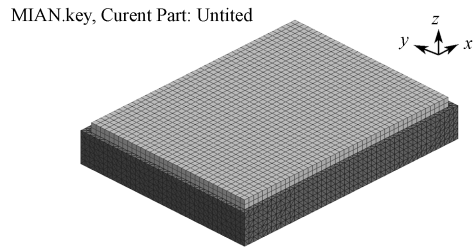
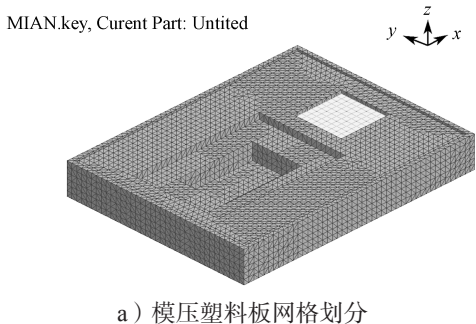


图 2 平板电脑缓冲包装件的网格划分图

Fig. 2 Grid partition of buffer package for tablet computer

1.3 缓冲包装件的仿真跌落有限元模型

本课题组在缓冲包装件有限元模型的基础上建立一个刚性跌落目标面。刚性跌落目标面采用直接法建模,即先建立节点,然后通过节点形成单元。假设刚性跌落目标面为水泥混凝土,因而其材料模型采用刚性材料模型(rigid material model)^[16]。缓冲包装件的有限元模型和刚性跌落目标面的有限元模型的组合即为平板电脑的缓冲包装件的仿真跌落有限元模型。

2 缓冲包装件的跌落仿真分析

2.1 创建部件和组元

在LS-DYNA中,先定义组元,再对其进行相应的操作,如对模型的部分节点施加载荷前,先选择所有需要加载的节点,将其定义为一个节点组元,然后将载荷施加到该组元上,这样可使操作更简便^[17]。为了方便定义组元,在仿真跌落有限元模型中定义了5个part,即外包装箱、模压塑料板、纸浆模塑、纸盒和平板电脑。定义part后,建立组元。

2.2 定义接触和阻尼

各部分之间的接触有3组,即外包装箱与缓冲衬垫、缓冲衬垫与平板电脑、缓冲包装件与跌落目标面。分析上述接触时,均采用自动单面接触ASSC。为了消除计算过程中的数值震荡,定义了系统阻尼。衬垫系统的阻尼值在0.2~0.3时,其缓冲效果最佳,因此本次仿真分析过程中,系统阻尼值取为0.25。

2.3 设置跌落仿真参数

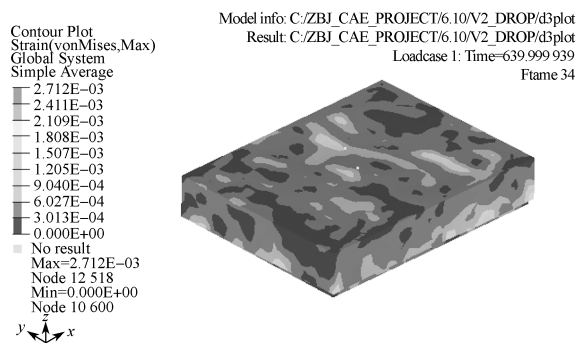
跌落试验中,包装件的跌落方式采用自由落体。根据本课题组自封闭单位制,重力加速度选择 $9\ 810\ \text{mm/s}^2$ 。根据实物包装跌落试验,跌落高度设置为0.9 m,高度参考点的位置为对象的最小竖向坐标点。根据面跌落方向进行物体定位。为缩短分析时间,选择接近与刚性平面碰撞时开始计算,并为保证物体与平面碰撞后继续计算的时间,Run time after impact设置为0.02 s。结果文件输出步数和时间历程文件的输出步数均设置为100。因缓冲包装件在静止状态下跌落,跌落初始时刻初速度与角速度均为0。选择Target标签,程序会自动创建跌落目标面。在材料特性中,刚性目标面的弹性模量设置为

30 GPa,密度为 $2\ 750\ \text{kg/m}^3$,泊松比为0.20。被测物体与刚性目标面之间的静摩擦因数和动摩擦因数均为0.2。

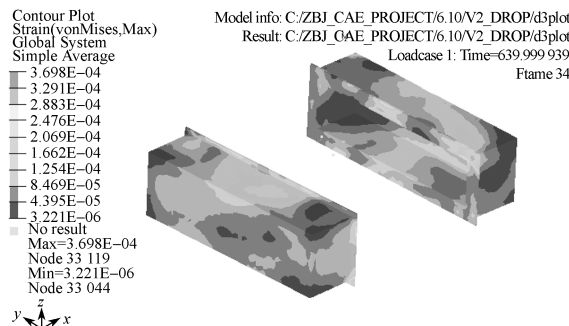
2.4 跌落仿真结果分析

2.4.1 跌落仿真的等效应力云图

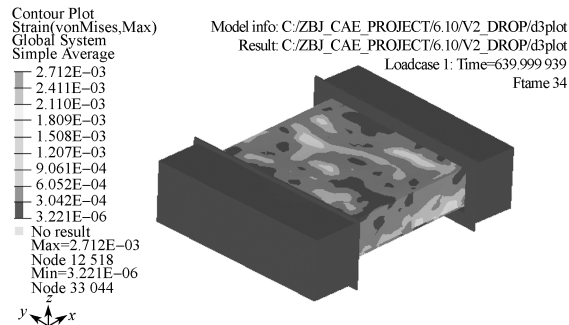
对平板电脑的缓冲包装件的仿真跌落有限元模型进行有限元分析后,本课题组利用HyperView软件对有限元计算结果进行可视化处理,如计算结果的图形、文本或动画显示和输出(动态显示变形、应力云图、应变云图等),结果数据的图示与分析,历史变量的提取以及数据分析等。缓冲包装件在跌落接触瞬间的等效应力云图如图3所示,缓冲包装件在反弹瞬间的等效应力云图如图4所示。



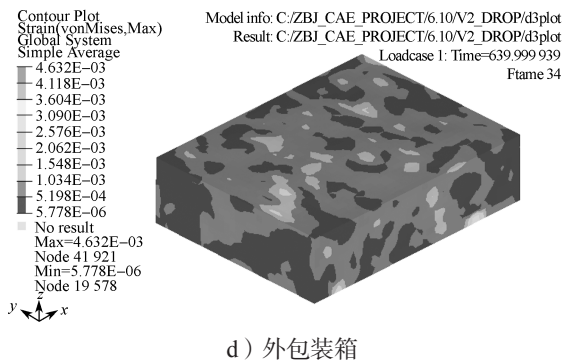
a) 平板电脑内包装



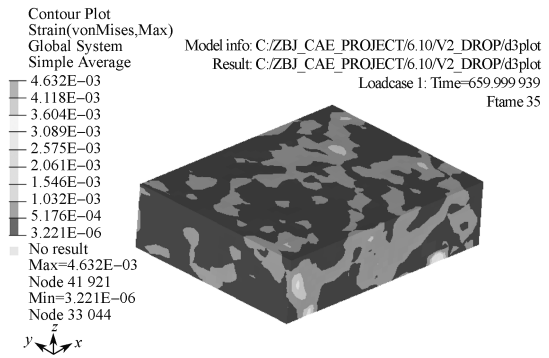
b) 纸浆模塑



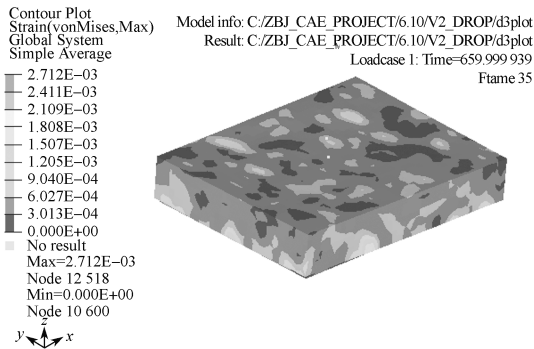
c) 平板电脑内包装与纸浆模塑整体



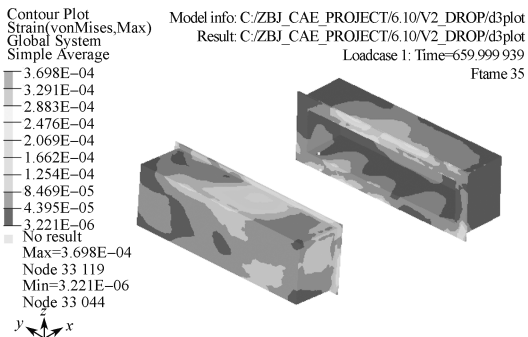
d) 外包装箱
图 3 缓冲包装件在接触瞬间的等效应力云图
Fig. 3 Equivalent stress cloud map of cushioning package at contact time



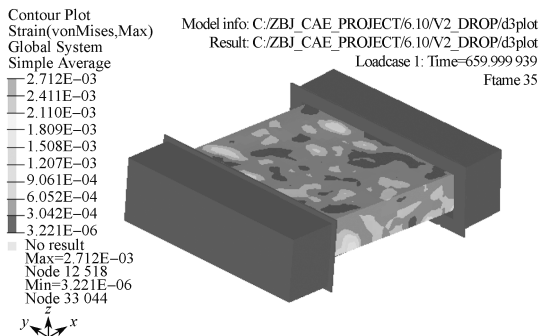
d) 外包装箱
图 4 缓冲包装件在反弹瞬间的等效应力云图
Fig. 4 Equivalent stress cloud map of the whole package at the moment of rebound



a) 平板电脑内包装



b) 纸浆模塑



c) 平板电脑内包装与纸浆模塑整体

由图 3 和图 4 可以得知：在跌落过程中，纸浆模塑与平板电脑内包装的接触处受到的应力最大，外包装箱的最大应力在其侧边，与纸浆模塑的接触处所受应力较大；当缓冲包装件与地面接触后，外包装箱发生了轻微回弹，回弹瞬间的最大应力在外包装箱的侧边与纸浆模塑的接触处。外包装箱与刚性目标面发生轻微接触后，达到静止状态，整个跌落过程结束。缓冲包装件与接触面发生接触瞬间的最大等效应力为 4.632×10^{-3} MPa，远小于瓦楞纸板的极限应力 0.884 MPa^[18]，这说明本课题组所设计的缓冲包装件能够起到缓冲作用。

2.4.2 缓冲包装件在跌落过程中的加速度曲线

缓冲包装件在跌落过程中，内包装与纸浆模塑的接触点为包装件的危险点。通过对危险点加速度的分析可以判断内装物在跌落过程中的安全性。缓冲包装件在跌落过程中的加速度曲线如图 5 所示。

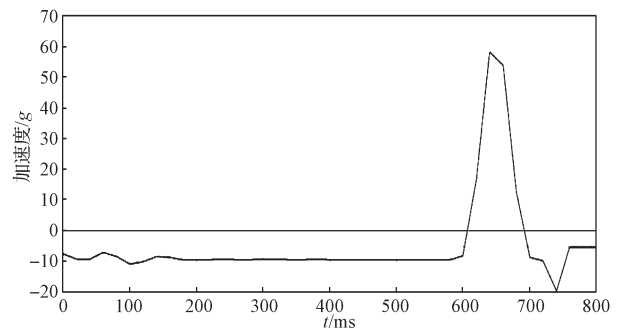


图 5 包装件在跌落过程中的加速度曲线
Fig. 5 The acceleration curve of the packing in the falling process

由图 5 可知，在 640 ms 时缓冲包装件与地面接

触瞬间达到最大加速度即 58g。该值满足要求（平板电脑的脆值为 61g~80g）。这说明所设计的缓冲包装件能起到缓冲作用。

3 结语

本课题组根据平板电脑的技术特性和力学特性，设计了平板电脑的缓冲包装件，利用 SolidWorks 和 ANSA 软件建立了平板电脑缓冲包装件的跌落仿真模型，设置跌落高度为 0.9 m 及相应的边界条件，采用自由落体跌落方式仿真分析平板电脑的跌落过程，得到了缓冲包装件在跌落过程中的等效应力云图和加速度曲线。仿真结果表明，本课题组设计的平板电脑缓冲包装件危险点的最大加速度为 58g，该值在电子产品的脆值 61g~80g 所允许的范围内，这说明缓冲包装件起到了缓冲作用，达到了保护平板电脑的目的。

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 Honggui, YAN Jiaju, ZHANG Jing, et al. The Design of a Paper Multi-Function Buffer Cushion for PC[J]. Packaging Journal, 2011, 3(3): 54-56.
- [2] 薛琼, 费伟民, 滑广军, 等. 戴尔笔记本电脑缓冲包装结构设计[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 43-46.
XUE Qiong, FEI Weimin, HUA Guangjun, et al. Cushion Packaging Structure Design for Dell Notebook[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 43-46.
- [3] 朱大鹏. 蜂窝纸板动态特性建模与响应分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2012.
ZHU Dapeng. Modeling for Honeycomb Paperboard Dynamic Properties and Response Analysis[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2012.
- [4] 蒲雪. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的电子产品跌落仿真研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
PU Xue. Dropping Simulation Research of Electronic Products Based on ANSYS/LS-DYNA[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2016.
- [5] 李科成, 刘孝刚, 陈明祥. 用于三维封装的铜-铜低温键合技术进展[J]. 电子元件与材料, 2015, 34(1): 9-14.
LI Kecheng, LIU Xiaogang, CHEN Mingxiang. Developments of Copper-to-Copper Low Temperature Bonding Technology for 3D Packaging[J]. Electronic Components and Materials, 2015, 34(1): 9-14.
- [6] 肖勇. 浅析消费类电子产品包装设计[J]. 中国包装, 2015(6): 30-33.
XIAO Yong. Analysis of Packaging Design for Consumer Electronic Products[J]. China Packaging, 2015(6): 30-33.
- [7] 马永耀, 余昭杰, 史典阳, 等. 电子产品生态设计实施要素分析[J]. 科技世界, 2015(1): 59-60.
MA Yongyao, YU Zhaojie, SHI Dianyong, et al. Analysis of the Implementation Elements of Electronic Products Ecological Design[J]. Technology World, 2015(1): 59-60.
- [8] 徐朗. 浅析包装设计在电子产品中的创新[J]. 中国包装工业, 2015(20): 12-14.
XU Lang. Analysis of the Innovation of Packaging Design in Electronic Products[J]. China Packaging Industry, 2015(20): 12-14.
- [9] 徐惠艳, 鄂玉萍. 电子产品整体包装设计[J]. 包装工程, 2012, 33(22): 56-59.
XU Huiyan, E Yuping. Complete Packaging Design of Electronic Products[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(22): 56-59.
- [10] 李梦雅, 黄秀玲, 王军. 包装件缓冲特性的有限元仿真可靠性分析[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 59-63.
LI Mengya, HUANG Xiuling, WANG Jun. Finite Element Simulation Reliability of Package Cushioning Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 59-63.
- [11] 张云华, 李珊, 刘冠玉, 等. 红外镜头跌落冲击仿真及缓冲包装方法选择研究[J]. 振动与冲击, 2014, 33(24): 133-137.
ZHANG Yunhua, LI Shan, LIU Guanyu, et al. Dropping Simulation and Selecting of Cushion Packaging Methods for a Infrared Lens[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014, 33(24): 133-137.
- [12] 卢立新, 孙聚杰, 王军. 疲劳振动效应对瓦楞纸板承载能力与缓冲性能的影响[J]. 振动与冲击, 2012, 31(2): 43-46.
LU Lixin, SUN Jujie, WANG Jun. Effects of Fatigue Vibration on Load Capacity and Cushioning Properties of a Corrugated Fiberboard[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(2): 43-46.
- [13] 王占山, 吕利叶, 张佳丽, 等. 聚四氟乙烯/芳纶破斜纹织物衬垫拉伸性能数值仿真[J]. 纺织学报, 2016, 37(7): 71-76.
WANG Zhanshan, LÜ Liye, ZHANG Jiali, et al. Numerical Simulation of Tensile Properties of

- Polytetrafluoroethylene/Kevlar Broken Twill Fabric Liner[J]. *Journal of Textile Research*, 2016, 37(7): 71-76.
- [14] 唐杰, 肖生苓, 王全亮, 等. 吊灯灯罩纸浆模塑缓冲衬垫跌落仿真[J]. *包装工程*, 2017, 38(11): 69-73.
TANG Jie, XIAO Shengling, WANG Quanliang, et al. Drop Simulation of Molded Pulp Cushion Pad of Chandelier Lampshade[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(11): 69-73.
- [15] 崔睿. 智能座便器缓冲包装的跌落仿真与结构优化[D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.
CUI Rui. Optimization and Study of the Factors of Intelligent Implement Packaging in Process of Dropping[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2017.
- [16] 巩雪, 常江, 孙智慧. 高脚杯缓冲包装力学性能有限元分析[J]. *包装工程*, 2016, 37(13): 50-53.
GONG Xue, CHANG Jiang, SUN Zhihui. Finite Element Analysis of Mechanical Properties of Goblet Cushion Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(13): 50-53.
- [17] 门超, 李光. 红酒包装跌落仿真分析及优化设计[J]. *包装工程*, 2018, 39(3): 38-42.
MEN Chao, LI Guang. Drop Simulation Analysis and Optimization Design of Red Wine Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(3): 38-42.
- [18] 常江, 巩雪, 李丹婷, 等. 鸡蛋缓冲包装设计及其力学性能分析[J]. *包装工程*, 2018, 39(3): 55-58.
CHANG Jiang, GONG Xue, LI Danting, et al. Design and Mechanical Properties of the Cushioning Packaging of Egg[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(3): 55-58.

Design and Mechanical Property Analysis of Cushioning Package for Tablet PC

GONG Xue, CHANG Jiang, LI Danting

(School of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Aimed at the damage caused by improper packing in the logistics process, the cushioning package of tablet computer was designed and its mechanical properties were analyzed. Firstly, the cushioning package model was established by SolidWorks software, then the cushioning package model was meshed by ANSA software, with the rigid drop target surface finite element model established. Finally, 0.9 m height free fall was simulated and analyzed in LS-DYNA to get the cushioning package's equivalent stress cloud diagram and the acceleration curve of the falling process at the moment of instantaneous contact with ground and instantaneous rebound. The simulation results showed that the maximum acceleration of the cushioning package was 58g, which could meet the brittleness requirement. The cushioning package could realize good buffer effect.

Keywords: tablet PC; cushioning packaging; drop simulation; stress cloud picture