

平板电视物流包装衬垫设计与分析

王西

(吉林省社会科学院, 长春 130033)

摘要: **目的** 研究如何对平板电视的包装衬垫进行合理设计和安全检验。**方法** 根据缓冲包装五步设计法选取合适的缓冲衬垫。利用有限元软件 ABAQUS 建立仿真模型并进行单元网格划分, 结合显式动力学原理和平板电视撞击地面时弹性势能与时间的关系, 对衬垫进行缓冲应力分析和强度检验。**结果** 通过仿真分析可得, 平板电视落地的冲击应力远远小于衬垫能承受的最大应力。**结论** 在平板电视的配送过程中, 以聚苯乙烯泡沫为材料的缓冲衬垫能对产品起到很好的保护作用。

关键词: 缓冲衬垫; 聚苯乙烯泡沫; 五步设计法; 包装动力学; 应力分析

中图分类号: TB485.1; TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)17-0143-04

Design and Analysis of Flat-panel TV Logistics Package Pad

WANG Xi

(Jilin Provincial Academy of Social Sciences, Changchun 130033, China)

ABSTRACT: The work aims to study how to reasonably design and safely check the package pad of the flat-panel TV. The suitable cushion pad was selected according to the five-step design method for the cushioning package. The simulation model was established with the finite element software ABAQUS and the unit grid was divided. In combination with the explicit dynamics principle and the relationship between the elastic potential energy and the time when the flat-panel TV hit the ground, the cushioning stress analysis and strength test of the pad were carried out. Based on the simulation analysis, the impact stress of the flat-panel TV hitting the ground was far less than the maximum stress to be borne by the pad. In the distribution process of the flat-panel TV, the cushion pad made of polystyrene foam can protect the product effectively.

KEY WORDS: cushion pad; polystyrene foam; five-step design method; packaging dynamics; stress analysis

近年来, 物流包装因其在物流成本中所占的比例越来越受到重视。在家电包装行业, 瓦楞纸箱和蜂窝纸板等材料被大量用于家电产品的包装^[1-3], 这些包装材料必须具有良好的缓冲性能, 才能在产品运输过程中起到最佳保护作用。国内外学者对纸浆模塑等包装材料的缓冲防护性能做出了大量研究。徐洁等^[4]探究了缓冲材料的性能和家电缓冲包装的发展。戴宏民^[5]等基于经验类比法和有限元法提出了纸浆模塑缓冲托的六步设计法。苟进胜等^[6-9]采用力学性能参数测试和试验方法研究瓦楞纸板的缓冲效应。Won-Jin Kim 等^[10]利用 Matlab 和模型仿真技术对泡沫和瓦楞纸板的缓冲性能进行研究。计算机在

各领域中的广泛应用和软件技术的发展进一步推动了包装动力学^[11-14]的发展, 使其研究重点更加侧重于多自由度和非线性缓冲系统。

晶体管技术的发展推动着电视机向液晶平板方向发展, 平板电视的包装安全问题也成为研究重点。文中主要进行平板电视的物流包装缓冲衬垫的设计研究, 采用以包装动力学和仿真结果为首要考虑和主要手段的五步设计法, 根据材料的应力曲线选取合适的缓冲衬垫, 对缓冲衬垫进行 CATIA 三维仿真设计, 并利用有限元软件 ABAQUS 对衬垫进行缓冲受力分析、应力分析和强度检验, 从而使缓冲材料的选择更加合理。

收稿日期: 2016-11-05

作者简介: 王西(1977—), 女, 吉林省社会科学院副研究员, 主要研究方向为供应链仿真与优化。

1 基于五步法的缓冲衬垫选取

1.1 确定流通环境

对于平板电视的物流配送, 跌落冲击和运输中的振动是其主要的流通环境。在平板电视的运输过程中经常会出现水平冲击和垂直冲击, 这种冲击无论是垂直的还是水平的, 都可以按其加速度折算为等效跌落高度。由此也可以看出等效跌落高度在考量包装抗冲击性能方面是非常科学和方便的, 因此在研究过程中通常将流通环境的设计归结为确定包装的跌落高度。

目前缓冲包装设计大多根据 GB/T 4857.5 《包装运输包装件 跌落试验方法》及 GB/T 4857.18 《包装运输包装件 编制性能试验大纲的定量数据》进行跌落试验, 通过这项试验就算合格, 所以这项试验的试验高度也可以作为缓冲包装的设计跌落高度。现实生活中, 平板电视的配送方式主要是人工配送, 故文中综合人的手腕距离地面的高度、背带的影响、电视机安装螺纹孔距电视机底部的距离及减震垫的厚度等各个方面的因素, 最终取理想跌落高度为 250 mm。

1.2 确定产品的易损性

产品在流通过程中, 由于包装不良而出现破裂、变形、失效等现象, 造成产品价值的损失, 称为破损。如果将破损程度用量值来描述, 即为脆值^[15-16]。产品脆值反映的是产品本身的力学属性, 是它在受到冲击或振动时抵抗动力冲击的能力。当作用在产品上的冲击力超过其脆值时, 产品的结构就会发生破损或失效。为确保产品的安全, 应对其进行合理的缓冲包装, 在其脆值以下流通。文中通过查询美国军用标准、英国综合防护手册、日本防卫厅标准, 经过综合分析, 最终取平板电视的计算脆值 $G=70$ 。

1.3 选用适当的缓冲衬垫

经调查, 42 寸电视机平均质量约为 15 kg, 考虑到配送器具质量和整体的安全性, 取平板电视的平均质量为 20 kg。由上文确定的流通环境和产品的易损性, 取平板电视的脆值 $G=70$, 等效跌落高度为 250 mm, 产品落地时一般为下表面, 底面积约为 0.06 m²。衬垫最大应力为:

$$\sigma_m = \frac{GW}{A} = 225 \text{ kPa} \quad (1)$$

式中: σ_m 为衬垫的计算最大应力; G 为脆值; W 为平板电视重力; A 为其下表面面积。查阅相关资料, 与产品相匹配的材料是聚苯乙烯泡沫, 密度为 0.014 g/cm³, 缓冲系数 $C=3.5$ 。由此计算衬垫厚度为:

$$h = \frac{CH}{G} = 9.3 \text{ mm} \quad (2)$$

式中: h 为衬垫厚度; C 为缓冲系数; H 为跌落高度; G 为产品脆值。

EPS 在变形初始阶段表现为很好的弹性性状, 在 1%~2% 的应变范围内表现为线弹性行为, 在压缩条件下, 即使超出了线弹性范围, EPS 仍保持弹性性质^[17]。文中所测试的试验结果表明, 在 230 kPa 的压应力下, 缓冲衬垫仍保持弹性形变, 可忽略塑性变形。

2 衬垫的仿真实验分析

ABAQUS 是一个功能强大且应用非常广泛的有限元软件, 可以解决非常复杂的非线性问题, 丰富的单元库使其可以模拟任意几何形状并拥有各种类型的材料模型库。在非线形分析中, ABAQUS 能自动选择合适的荷载增量和收敛限度, 通过分析进行调整以获取准确的解决方案。ABAQUS 软件中有 2 个主要的求解器 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit, 还包含一个全面支持求解器的前处理图形用户界面 ABAQUS/CAE, 并对一些特殊问题提供了相应的模块。ABAQUS 软件优秀的仿真分析能力和可靠性使其在各领域被越来越多的国家和企业采用。

2.1 模型的建立

电视机下座不具备缓冲特性, 是大部分终端用户使用时的必备配置, 考虑到主要是平板电视的下座与地面接触, 因此文中主要分析下座落地时缓冲衬垫的受力情况, 将平板电视机下座材料和电视机等同处理。把地面视为刚体, 平板电视为弹性模量很大的弹性体, 其弹性模量大约为 20 000 MPa^[18]。经查阅相关资料, 聚苯乙烯泡沫的弹性模量 $E=3000$ MPa、泊松比为 0.3。选取电视机和缓冲衬垫的截面, 为了方便计算, 将衬垫的宽度加大以减少计算误差, 利用 ABAQUS 建立平面模型, 见图 1。

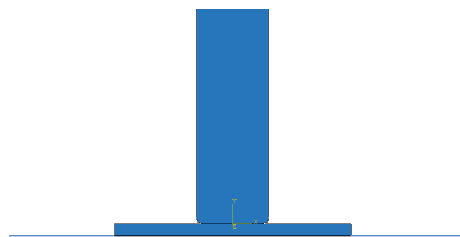


图 1 电视撞击地面的有限元模型

Fig.1 Finite element model of TV hitting the ground

2.2 网格的选取和划分

根据包装安全要求, 选择对缓冲衬垫进行显式动力学分析^[19-20], 相对隐式动力学方法^[21], 显式动力学有着更快的求解速度, 并且有更好的收敛性。网格单元选用平面应变单元 CPE4R, 这是一种具有沙漏功能的缩减积分单元, 满足需要显式动力学分析的前提下, 可以有效平衡计算速度和精度的要求。单元划分见图 2。

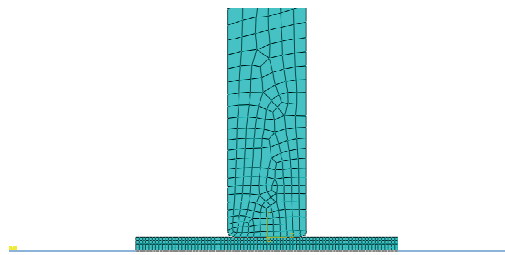


图 2 有限元模型的网格划分
Fig.2 Finite element model of meshing

2.3 分析与结论

考虑到平板电视的几何中心和质量中心存在一定的偏移量, 包装箱内角位置应力更为集中, 针对平板电视的特点及其包装工艺要求, 采用薄膜袋套入式装箱法、角材料立体结构等组合方法来提高缓冲保护性能。根据包角装置设计原则, 应在有限的包装空间内保证定位精确、结构简单、成本低、下落顺利。通过计算, 当电视到达地面时, 它的速度 $v=0.024\text{ m/s}$, 到达地面后, 由于聚苯乙烯泡沫的缓冲作用, 电视会做减速运动, 直至动能全部转化为衬垫内部的弹性势能。为了得到这个大概的距离, 假设电视以 $v=0.024\text{ m/s}$ 的速度与地面相撞并保持此速度运动, 用以求得衬垫内部弹性势能和电视垂直位移(时间和速度的乘积)的关系。在 $t=0.0035\text{ s}$ 时, 弹性势能等于重力势能, 其中, 重力势能 W 可由式(3)算得。

$$W = mgH = 49\text{ J} \quad (3)$$

式中: W 为重力势能; m 为货物的质量; g 为重力加速度; H 为跌落高度。为了确保安全性, 将这个值适当取大, 并在最终计算中将电视的撞击作为减速运动, 令电视初始速度 $v=0.024\text{ m/s}$, 匀减速运动 0.007 s 之后减速为 0 。

模型最终的弹性势能为 58 J , 可以较好地估计跌落的情况, 通过 ABAQUS 仿真分析, 得到电视机冲击地面的 Mises 应力, 见图 3。可以计算出最大应力为 $27\text{ MPa} < 225\text{ MPa}$, 具有很好的安全性, 同时考虑到电视跌落很可能出现一角先落地等应力更加集中的情况, 依然可以较好地满足设计要求。

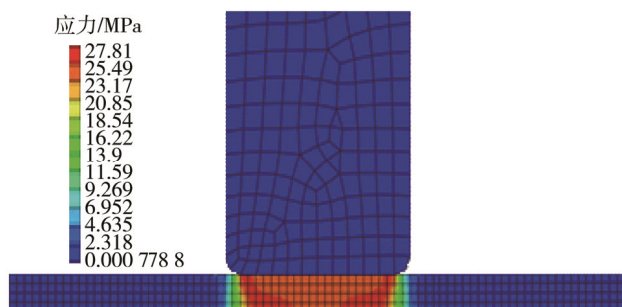


图 3 撞击过程的 Mises 应力
Fig.3 The Mises stress in the impact process

3 结语

通过包装设计的五步法, 首先确定并选择了缓冲衬垫的具体材料聚苯乙烯泡沫, 然后通过查阅和计算得到了设计衬垫的厚度, 从而对包装衬垫进行设计, 最后通过有限元软件 ABAQUS 的仿真分析得到 Mises 应力图, 对其抵抗冲击的性能进行了验证, 证明包装衬垫设计是满足设计要求的。在以后的研究中, 将在包装系统仿真分析中更多地考虑角下落等非正下落情况, 动态研究接触面积变化、应力集中分析、衬垫非标形状等因素对包装保护性能提升的作用。

参考文献:

- [1] 陈鹏. 重庆市瓦楞纸箱包装行业市场营销研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
CHEN Peng. Marketing Study of Chongqing Corrugated Papper Box Market[D]. Chongqing: Xinan University, 2007.
- [2] FRANK B. Corrugated Box Compression—A Literature Survey[J]. Packaging Technology and Science, 2014, 27(2): 105—128.
- [3] ZHANG G Q, DU Y F, LI X Z, et al. Parametric Design and Multi-Objective Optimization of LCD Packaging Cushion Foams[J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 200: 32—36.
- [4] 徐洁, 王玉龙, 陆晓娟, 等. 基于蜂窝纸板的缓冲包装设计方法研究[C]// 武汉: 全国包装工程学术会议, 2010.
XU Jie, WANG Yu-long, LU Xiao-juan, et al. The Research of Cushioning Packing Design Method for Honeycomb Paperboard[C]// Wuhan: The National Packaging Engineering Academic Conference, 2010.
- [5] 戴宏民, 戴佩华. 纸浆模塑缓冲包装六步设计法[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 50—54.
DAI Hong-min, DAI Pei-hua. Six-step Design Method of Paper Pulp Modeling Cushion Packaging[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 50—54.
- [6] 苟进胜, 惠飞飞, 谢瑞, 等. 大型家电全瓦楞纸板缓冲包装结构设计[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 1—4.
GOU Jin-sheng, HUI Fei-fei, XIE Rui, et al. Cushioning Structure Design for Large Appliance with Full Corrugated Paper Board[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(6): 1—4.
- [7] 卢富德, 陶伟明, 周建伟, 等. 头部-聚苯乙烯泡沫-铝蜂窝缓冲系统冲击响应与优化设计[J]. 振动工程学报, 2016, 29(5): 900—904.
LU Fu-de, TAO Wei-ming, ZHOU Jian-wei, et al. Impact Responses and Optimization Design for a Head-EPS-Aluminum Honeycomb Cushioning System[J]. Journal of Vibration Engineering, 2016, 29(5): 900—904.
- [8] 温时宝, 曹开化, 王斌, 等. 高强瓦楞蜂窝复合纸板

- 及其力学性能研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(3): 32—35.
- WEN Shi-bao, CHAO Kai-hua, WANG Bin, et al. Corrugated Composite Paperboard and Its Mechanical Properties[J]. Packaging and Food Machine, 2012, 30(3): 32—35.
- [9] WANG J, WANG Z W, GAO D, et al. Dropping Shock Response of Corrugated Paperboard Cushioning Packaging System[J]. Journal of Vibration & Control, 2013, 19(3): 336—340.
- [10] KIM W J, KUM D H, PARK S H. Effective Design of Cushioning Package to Improve Shockproof Characteristics of Large-Sized Home Appliances[J]. Mechanics Based Design of Structures & Machines, 2009, 37(1): 1—14.
- [11] 梁秀, 王玉龙, 王柳. 泡沫塑料/瓦楞纸板组合结构的缓冲性能[J]. 包装工程, 2016, 37(15): 129—133.
- LIANG Xiu, WANG Yu-long, WANG Liu. Cushion Properties of Composite Structures with Foamed Plastic and Corrugated Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(15): 129—133.
- [12] 段宁宁. 考虑易损件的斜支承包装系统动力学特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- DUAN Ning-ning. The Dynamical Characteristics of Tilted Support Spring Packaging System with Critical Components[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [13] 黄志刚, 朱慧, 安会民. 包装动力学的发展历程及趋势[J]. 北京轻工业学院学报, 2000, 18(3): 11—15.
- HUANG Zhi-gang, ZHU Hui, AN Hui-min. The Development and Trend of Packaging Dynamic[J]. Journal of Beijing Institute of Light Industry, 2000, 18(3): 11—15.
- [14] 张绍云, 储火, 卢富德, 等. 考虑蜂窝纸板的泡沫包装系统动力学分析[J]. 振动与冲击, 2014, 33(2): 52—54.
- ZHANG Shao-yun, CHU Huo, LU Fu-de, et al. Finite Element Analysis for Dynamic Response of Cushioning System Made Out of Honeycomb Paperboard and Foam[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014, 33(2): 52—54.
- [15] 程珮珮, 程梦子, 雷磊, 等. 基于 SolidWorks 的产品跌落仿真应用[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 51—55.
- CHENG Pei-pei, CHENG Meng-zi, LEI Lei, et al. Application of Drop Simulation Based on Solid Works[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 51—55.
- [16] 赵郁聪, 张丽娜, 刘乘. 液晶电视跌落测试动态脆值分析[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 40—42.
- ZHAO Yu-cong, ZHANG Li-na, LIU Cheng. Analysis of Dynamic Fragility of LCD TV in Drop Test[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 40—42.
- [17] 杜骋, 杨军. 聚苯乙烯泡沫(EPS)的特性及应用分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2001, 31(3): 138—142.
- DU Cheng, YANG Jun. The Characteristics and Application of Polystyrene Foam(EPS) Analysis[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2001, 31(3): 138—142.
- [18] 杨旭彪. 基于 ANSYS Workbench 的液晶电视包装件跌落冲击数值模拟[D]. 济南: 山东大学, 2015.
- YANG Xu-biao. Numerical Simulation on Drop Impact of LCD TV Package Based on ANSYS Workbench[D]. Jinan: Shandong University, 2015.
- [19] NAMADCHI A H, ALAMATIAN J. Explicit Dynamic Analysis Using Dynamic Relaxation Method[J]. Computers & Structures, 2016(175): 91—99.
- [20] 朱跃峰. 基于 ABAQUS 的显式动力学分析方法研究[J]. 机械设计与制造, 2015(3): 107—109.
- ZHU Yue-feng. Research on Analysis Methods of Explicit Dynamics Based on ABAQUS[J]. Machinery Design & Manufacture, 2015(3): 107—109.
- [21] 马怀发, 王立涛, 梁国平. 弹塑性动力学方程的隐式阻尼迭代法[J]. 水利发电学报, 2011, 30(6): 71—74.
- MA Huai-fa, WANG Li-tao, LIANG Guo-ping. Implicit Damping Iterative Algorithm for Elastoplastic Dynamical Equations[J]. Journal of Hydroelectric Power, 2011, 30(6): 71—74.