

某型号液晶电视包装件角跌落仿真及屏碎分析

赵朋成, 张锋, 谭龙

(青岛科技大学 机电工程学院, 青岛 266061)

摘要: **目的** 为了提高液晶电视的包装在跌落过程中的保护作用, 增加产品安全性。**方法** 采用三维建模软件 Creo 建立液晶电视零部件及包装三维实体模型, 导入 LS-DYNA 进行有限元仿真分析, 并通过液晶电视跌落试验验证了跌落仿真分析的可行性。基于仿真结果在 LS-DYNA 中重新建模, 有针对性地设计新的包装结构。将改进后的包装件进行相同的跌落模拟, 对比改进前后结果。**结果** 对液晶电视包装件进行角跌落自由落体的工况下的跌落仿真分析, 结果显示, 改进包装前液晶面板 z 方向的加速度峰值最大, 最大可达到 250g, 改进包装后各方向峰值都相应减少, 其中面板 z 方向加速度峰值降低了 64%, 同时液晶面板 Mises 应力最大值减少了 10%。**结论** 有限元仿真分析能较为准确地反应实际跌落工况, 并能获得液晶电视跌落冲击中任一时刻各部件的 Mises 应力和变形, 对包装的设计改进具有指导意义, 改进的包装结构能对液晶电视起到更好的保护作用。

关键词: 液晶电视; 包装件; 跌落仿真; 屏碎分析

中图分类号: TB485.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)17-0139-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.019

Corner Drop Simulation and Screen Fragmentation Analysis of a LCD TV Package

ZHAO Peng-cheng, ZHANG Feng, TAN Long

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the protective effect of LCD TV package in the process of falling and increase product safety. Creo, a three-dimensional modeling software, was used to build a three-dimensional solid model of LCD TV parts and package. LS-DYNA was introduced to carry out the finite element simulation analysis, and the feasibility of the drop simulation analysis was verified by the drop test of LCD TV. Based on the simulation results, a new package structure was designed and simulated in LS-DYNA. The same drop simulation was carried out on the improved package. The results before and after the improvement were compared. The corner drop simulation analysis of LCD TV package was carried out under the condition of free falling. Its results showed that, the peak acceleration in the z direction of LCD screen with previous package was the maximum, i.e. 250g. The peak acceleration in all directions was decreased accordingly for the improved package. The peak acceleration in the z direction of the screen and the maximum Mises stress of LCD screen were decreased by 64% and 10%, respectively. The finite element simulation analysis can accurately reflect the actual dropping condition, and obtain the Mises stress and deformation of each component at any time during the drop impact of the LCD TV. It has guiding significance for the improvement of package design, and the improved package structure can protect the LCD TV better.

KEY WORDS: LCD TV; package; drop simulation; screen fragmentation analysis

收稿日期: 2020-03-15

作者简介: 赵朋成 (1972—), 男, 博士, 青岛科技大学副教授, 主要研究方向为机械结构设计与有限元分析。

通信作者: 谭龙 (1987—), 男, 博士, 青岛科技大学讲师, 主要研究方向为有限元结构设计。

液晶电视包装件在运输和搬运的流通过程中,经常会受到跌落冲击,这也是液晶电视在流通环节破损的主要原因^[1-3]。液晶电视的包装可以在产品跌落时起到缓冲作用,为了减少液晶电视在流通环节的破损率,并降低运输成本,包装的结构设计显得尤为重要^[4-6]。为了验证液晶电视包装的强度设计有没有满足要求,包装对液晶电视的保护作用有没有提高,可以通过传统的物理实验来确定,但是跌落冲击是一个瞬时过程,很难控制和观察跌落过程中液晶电视的状态,物理实验的偶然性很大,重复性差,且这种实验会对产品产生不可逆损伤,试验费用较为昂贵^[7-9]。

随着计算机技术和仿真技术的发展,可以通过计算机仿真技术来模拟跌落过程,实时获得产品在跌落过程中的应力、变形和加速度等动态响应,这对产品的研发有重要的指导作用。Hwan等^[10]采用LS-DYNA对手机进行跌落分析找到了裂纹源,并通过优化手机结构来提高跌落后手机液晶模组的抗冲击性能。Mülkoğlu等^[11]采用LS-DYNA对洗碗机进行跌落冲击模拟,并优化包装结构,使得整体重量减少。Gui等^[12]运用ABAQUS模拟研究如何设计平板电视包装内衬和进行安全检查的问题。Blanco等^[13]使用LS-DYNA对冰箱及其包装进行冲击模拟,介绍了可加快产品研发速度并缩短上市时间的方法。张鹏娥等^[14]运用LS-DYNA建立冰箱的材料模型,将跌落仿真与试验进行对标,发现连续跌落仿真与试验的加速度曲线相关度达到93%以上,且破坏位置一致。常江等^[15]使用ANSYS对电饭煲运输包装件进行了自由落体跌落仿真试验,通过分析运输包装件与地面接触瞬间的应力分布云图和最大应力曲线,确认所设计的运输包装满足产品的缓冲要求。王明珠等^[16]通过对手机跌落过程进行有限元仿真,并对仿真结果进行试验验证,确认了防止防止滤光片的失效的方法,并且仿真结果可为滤光片热固胶的用法与用量提供指导。刘显威等^[17]利用CAE仿真技术对一款包装存在过保护的分体室内挂机进行仿真建模与运算,并有针对性的进行泡沫结构优化与改善,通过仿真对比发现优化方案对产品的保护效果更佳且成本降低。张重等^[18]用LS-DYNA对冰柜进行跌落仿真实验,会发现容易发生塑性变形的结构,对冰柜底部支撑结构进行了改进。潘迪等^[19]采用LS-DYNA开展液晶电视仿真跌落分析,基于仿真结果对包装进行拓扑优化,对比得到改进后的包装结构有效提升了安全性能,但在模拟过程中将电视机整体设置为刚体,电视机复杂的零部件之间的相互作用及液晶屏幕的应力并没有体现出来。

文中采用LS-DYNA建立液晶电视零部件及包装件有限元模型,对液晶电视包装件跌落过程进行分析,获得跌落过程中液晶屏幕应力及加速度变化。同时开展与模拟相应的跌落实验,跌落全过程配备高速

摄像机进行实时拍摄,明确跌落实时动态,对比分析模拟和实际跌落结果。在此基础上对液晶电视包装结构进行优化,提升产品的安全性。

1 跌落实验与方法

实验样品采用带包装的某型号液晶电视,包装件的质量为15 kg,其中液晶电视的结构主要有前壳、面板、胶框、扩散板及支架、背板、后壳、壁挂,外包装有EPE、EPS衬垫和瓦楞纸箱。日常使用和搬运中电视跌落通常会角先着地,所以该次实验采用的跌落方式为角跌落,根据GB/T 4857—2005设置跌落高度为1 m。为了更加直观地观察包装件跌落时的动态过程,在不改变包装主体结构,尽量不影响包装缓冲的前提下,将包装纸箱局部进行了切除。实验仪器包括跌落平台、高速摄像机和加速度计,其中跌落平台为实验室专用跌落平台,跌落实验时采用高速摄像机拍摄跌落过程,高速摄像机的型号为MotionPro Y7,并将液晶屏幕点亮以观察液晶屏幕损坏情况,同时采用加速度计测试跌落过程中液晶电视的加速度,为了方便安装,加速度计放置在液晶电视的面板跌落角处。跌落实验见图1,其中图1a为实验所用跌落平台;图1b为高速摄像机拍摄的液晶电视包装件角跌落撞击地面瞬间的一帧画面;角跌落实验完成后对电视包装件进行拆解,发现液晶电视跌落角附近都有比较明显的破损,图1c为液晶电视跌落角附近液晶屏幕发生破碎,图1d为拆机后发现的跌落角附近的电视背板也产生了变形。

2 有限元分析

2.1 有限元模型的建立

实验对象是带包装件某型号液晶电视,其主要零部件为构成液晶电视的前壳、面板、胶框、扩散板及支架、背板、后壳、壁挂,和外包装的瓦楞纸箱、EPE及EPS衬垫,液晶电视包装结构见图2。

几何模型简化和网格划分是建立跌落仿真模型的重要环节,直接影响仿真结果的精度和模型的规模。液晶电视包装模型简化的原则是:在不改变原始模型结构、受力特点和分析结果基础上,在可接受误差范围内的前提条件下,尽可能地对原始模型进行简化。由于液晶电视内部零件特征复杂,建立有限元模型时,忽略圆角、孔洞、螺栓、销孔等细节特征和零件,采用Creo软件建立实体的三维模型,并将模型导入LS-DYNA。液晶电视主要零部件模型见图3。

零部件之间定义碰撞接触方式,其中面板和胶框、前框、EPS、EPE之间定义接触;扩散板和背板、胶框、扩散板支架之间定义接触;EPS和后壳、前框、EPE之间定义接触;瓦楞纸箱和EPS、EPE之间定义

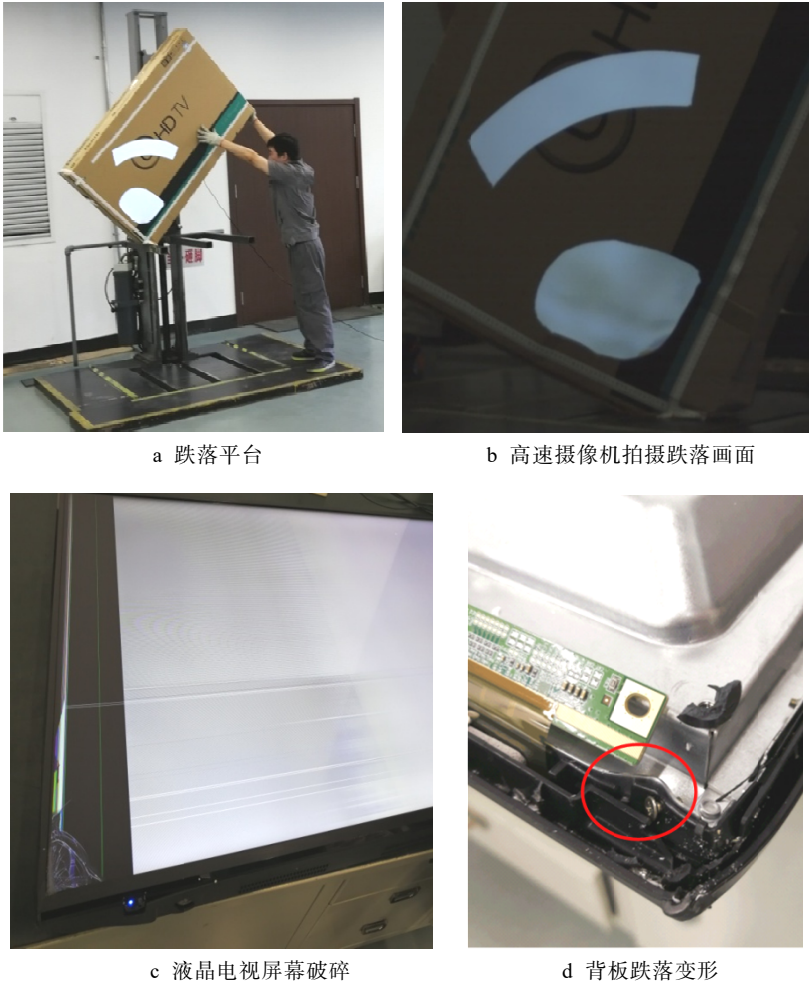


图 1 跌落实验
Fig.1 Drop test

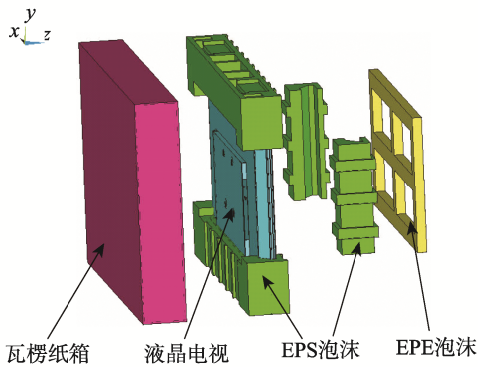


图 2 液晶电视包装结构
Fig.2 The packaging structure of LCD TV

接触，接触类型选择自动面-面接触(ASTS)。为了使模拟计算能尽可能反映真实的跌落过程，需要对产品的各个零部件赋予相应的材料属性，主要包括材料的密度、弹性模量、泊松比和屈服强度。瓦楞纸箱采用可压碎泡沫材料本构模型（*MAT_MODIFIED_CRUSHABLE_FOAM），EPS 采用*MAT_MODIFIED_CRUSHABLE_FOAM 本构模型，EPE 采用*MAT_

FUCHANG_FOAM 本构模型，其他材料采用双线性随动模型（Bilinear kinematic）^[3, 19]。液晶电视及包装件零部件材料参数见表 1。

在划分网格时，尽可能划分为六面体单元，对于结构复杂部件划分为四面体单元，整机模型划分为 165 908 单元，135 516 节点。模型中除了背板的其它零部件均采用实体单元 SOLID164，背板属于薄板结构，采用壳单元 SHELL163，并通过 EDCNSTR 命令中的 STS 选项来模拟背板的壳单元到后壳实体单元之间固连的耦合关系。有限元模型零部件网格划分举例见图 4。

2.2 跌落模拟及结果

角跌落工况模拟示意图 5，模型的最低端距离地面 1 m，模型倾斜角度（15°）与跌落实验保持一致。图 5 中坐标轴 x 方向表示沿着包装件长方体的长边方向，y 方向表示沿着短边方向，z 方向表示沿包装件长方体厚度方向。在日常运输过程中，液晶电视跌落损坏最直接的表现就是液晶屏幕碎裂或被破坏，因此文中以液晶面板的 Mises 应力状态为参考，查看电视的损坏情况。

表 1 有限元模型材料参数
Tab.1 Material parameters of the finite element model

部件	材料名称	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/MPa	泊松比	屈服强度/MPa
后壳	HIPS	1160	2600	0.36	23
背板	镀锌钢板 SECC	7860	200 000	0.3	160
液晶屏幕	LCD 模组	2430	45 000	0.3	60
前壳	PC+ABS+MF	1180	2690	0.35	55
扩散板	PC	1180	2600	0.35	60
胶框	PC+GF10	1280	2300	0.39	62
瓦楞纸箱	瓦楞纸 CB	170	0.35	0.4	0.19
衬垫(软)	发泡聚乙烯 EPE	23	2.5	0.1	
衬垫(硬)	发泡聚苯乙烯 EPS	18	1.8	0.32	3

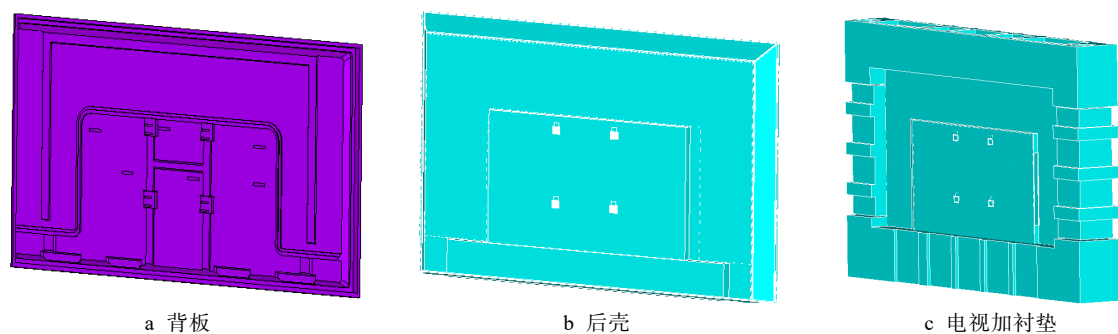


图 3 液晶电视主要部件模型
Fig.3 Models of main components of LCD TV

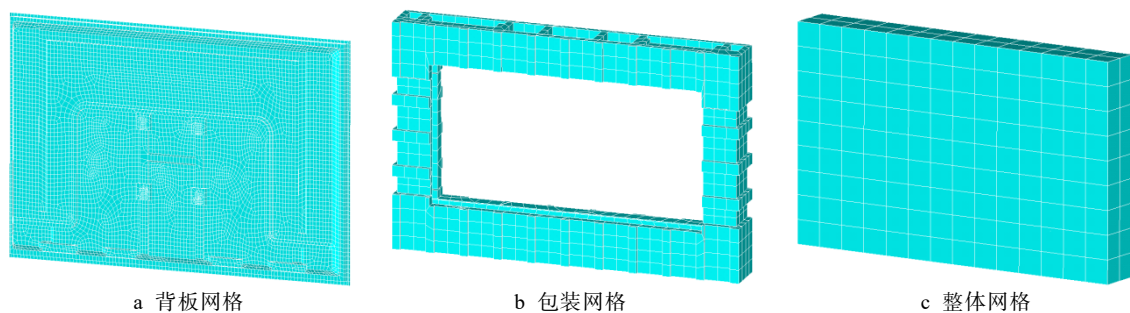


图 4 有限元模型网格
Fig.4 The mesh of the finite element model

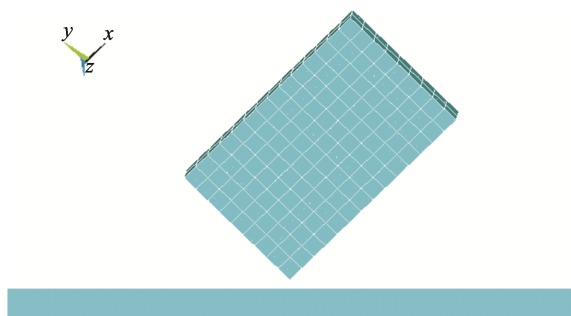


图 5 角落跌落工况
Fig.5 Corner drop conditions

图 6a 为面板在跌落过程中出现最大 Mises 应力时 (0.029 s) 面板应力分布云图, 面板 Mises 应力峰值为 82 MPa, 已经超过了面板的屈服强度 60 MPa, 即此时面板已经被破坏。根据液晶面板 Mises 应力模拟结果, 应力最大值出现在跌落角与地面接触的位置, 且应力值沿着跌落角相邻的 2 条侧边分布, 两侧边受力较大。面板出现最大 Mises 应力时, 背板应力云图见图 6b, 背板最大应力值为 193 MPa, 超过背板屈服强度 160 MPa, 背板将发生塑性变形, 并向里挤压面板。从背板的 Mises 应力分布可以看出, 背板应力较大值主要出现在跌落角附近区域, 因为背板并不

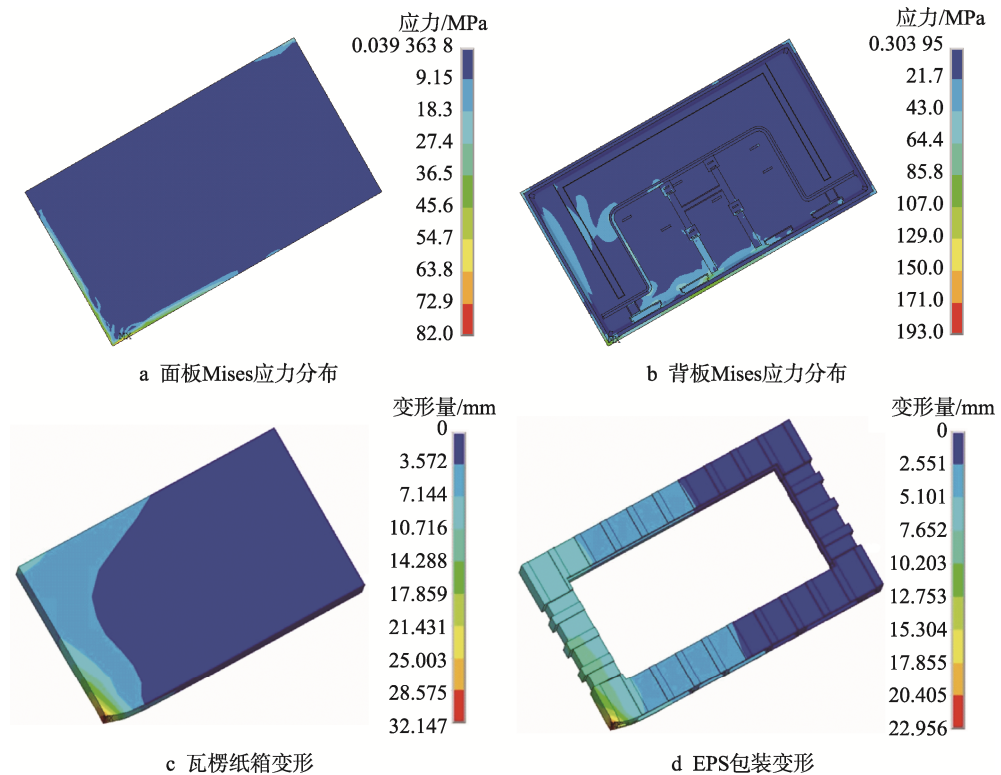


图 6 液晶电视主要部件 Mises 应力分布及变形
Fig.6 Mises stress distribution and deformation of main components of LCD TV

是平面,加强筋及突起平台等结构,会影响应力分布。应力会沿着背板的加强筋进行延伸分布,加强筋可以有有效的减少背板的应力集中。图 6c, d 分别表示出现最大 Mises 应力时 (0.029 s) 的瓦楞纸箱和 EPS 包装的变形图,瓦楞纸箱最大变形量为 3.2 cm, EPS 包装最大变形量为 2.3 cm。

计算时间 $t=0$ 时为液晶电视包装件接触地面的时刻。面板最容易从出现最大 Mises 应力的位置破碎,整个面板的最大应力需要重点观察。数值计算可以得到每一个时刻整个面板出现的最大 Mises 应力的数值和位置,面板最大 Mises 应力随时间的变化曲线见图 7。从图 7 中可以看出,在 0.016 s 时 Mises 应力值

开始出现,说明此时面板受到冲击作用,在 0.029 s 时,面板出现了最大应力。

跌落过程中面板最大 Mises 应力点的 x , y 和 z 方向的加速度的时间历程曲线见图 8,该点的位置在跌落角处,其中 x , y , z 为仿真软件里的固定坐标系。从图 8 中可以看出,在面板出现最大 Mises 应力时,这时电视包装与地面碰撞,其中最大加速度可以达到 250g。跌落实验的加速度计也记录下来了加速度随时间的变化,与模拟结果对比见图 9。根据跌落实验获得的加速度和模拟所得的加速度对比,曲线的趋势和峰值相近,有限元模型能较好地反应液晶电视的实际跌落情况,验证了有限元模型的有效性和可靠性,可以进行下一步包装改进研究。

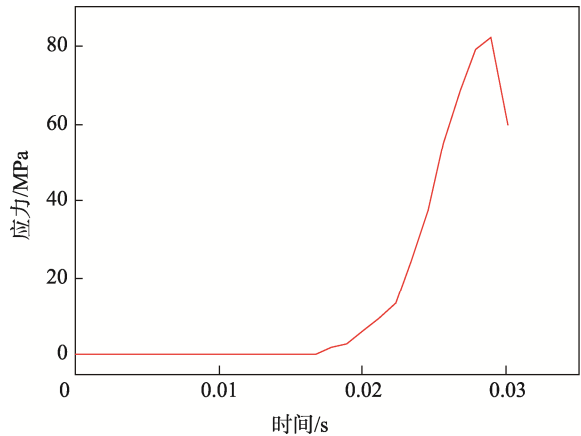


图 7 面板最大 Mises 应力
Fig.7 The maximum screen Mises stress

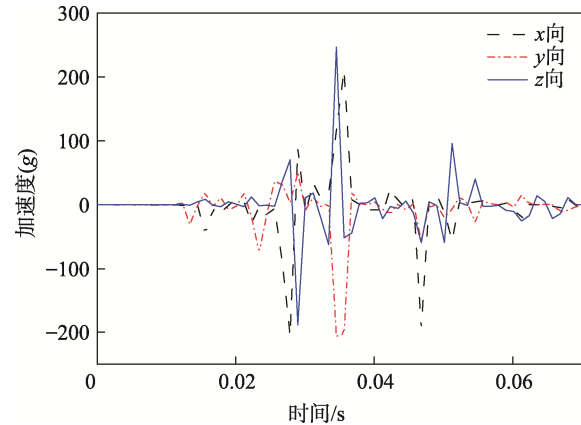


图 8 面板加速度曲线
Fig.8 Acceleration curves of the screen

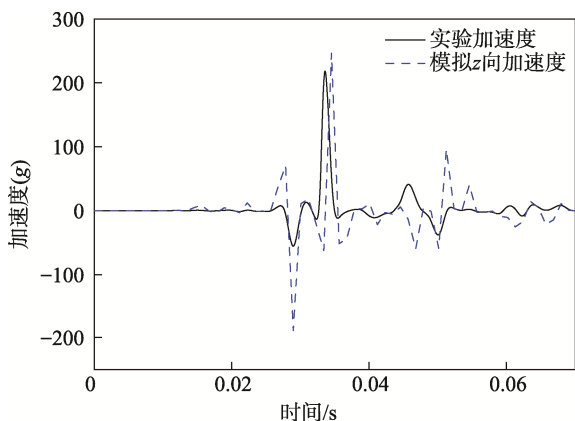


图9 实验与模拟加速度曲线对比

Fig.9 Comparison of experimental and simulated acceleration curves

3 包装改进

实验所用液晶电视的包装有 EPE、EPS 和瓦楞纸板 3 种材料, EPE 主要起到限制液晶电视在纸箱内的运动来保护电视。液晶电视包装件在跌落撞击地面的过程中, 首先接触地面的是瓦楞纸板, 撞击力通过瓦楞纸板传递给 EPS, EPS 包裹着液晶电视。这里考虑改变 EPS 的结构, 从而使得包装能够起到更好

的缓冲作用, 防止液晶电视被破坏。EPS 包装有很多位置挖空, 角跌落时液晶电视跌落角处 Mises 应力集中明显, 利用 LS-DYNA 重新建模, 改变 EPS 包装在跌落角附近的结构, 改进前后 EPS 包装见图 10, 对改进前 EPS 包装的图示圈出位置进行填充。

对改进包装后的液晶电视包装件模型进行有限元跌落分析, 计算设置与改进包装前设置一致。计算结果取面板和背板见图 11。从结果对比可以看出, 改变包装前后的面板和背板的 Mises 应力分布相似, 未改包装时角跌落最大 Mises 应力值为 82 MPa, 修改包装后角跌落的最大 Mises 应力值变成 73.8 MPa, 最大 Mises 应力值明显减小。

改进包装后的面板最大 Mises 应力随时间的变化曲线见图 12。从图 12 中可以看出, 在 0.031 s 时出现应力最大值, 对比于改进包装前的 0.029 s 出现最大应力, 二者非常接近, 改进包装后最大应力相对较晚。改进包装后的角跌落过程中见图 13, 原面板最大 Mises 应力点的 x 、 y 和 z 方向的加速度的时间历程曲线, 从改进包装后加速度曲线可以看出, 最大加速度值为 90g, 相对于改进包装前的最大值 250g, 加速度波动幅度明显小于原始波动, 因此新设计的包装对液晶电视有更好的保护作用。

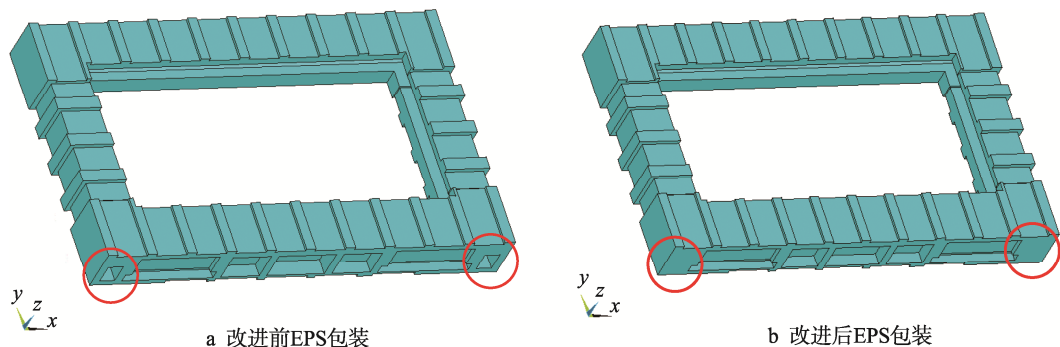


图10 改进前后 EPS 包装

Fig.10 EPS packaging before and after improvement

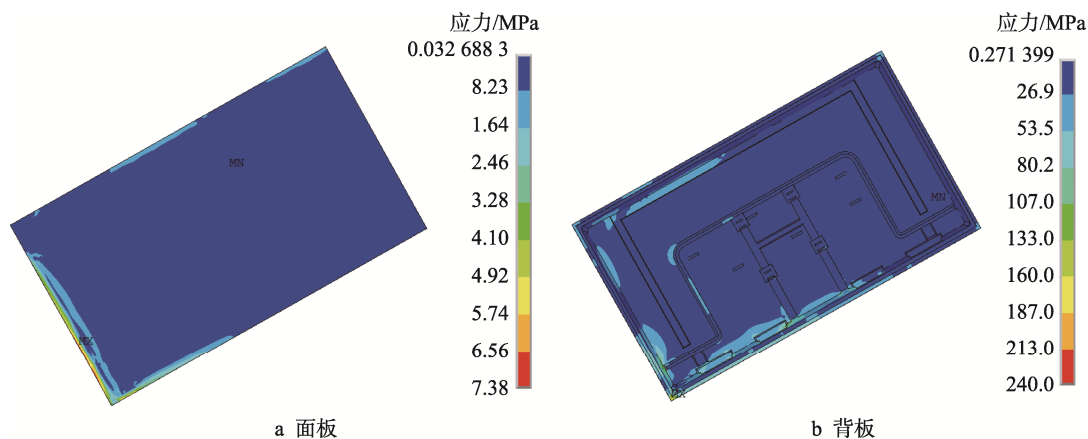


图11 改进包装后面板背板 Mises 应力分布

Fig.11 Mises stress distribution of screen and back plate with improved package

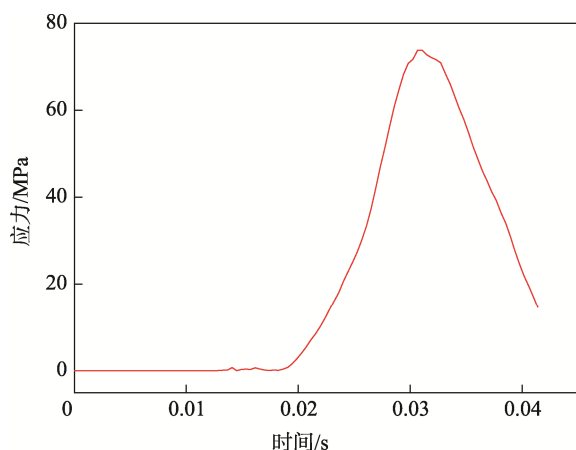


图 12 改进包装后面板最大 Mises 应力

Fig.12 Maximum Mises stress of screen with improved package

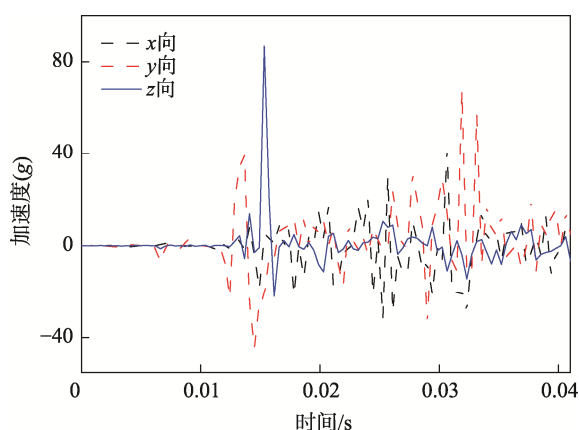


图 13 改进包装后面板加速度曲线

Fig.13 Acceleration curve of screen with improved package

4 结语

通过 LS-DYNA 软件进行液晶电视包装件跌落过程进行仿真, 并与试验结果相比较, 可以得出如下结论。

1) 跌落模拟显示液晶电视面板 Mises 应力集中分布区域, 与实验跌落面板破碎结果位置相一致, 验证了计算机仿真分析的可行性。有限元分析的方法能够较好地反映液晶电视包装件跌落的动态特性, 原始包装跌落模拟结果中, 最大 Mises 应力值为 82 MPa, 最大加速度值为 250g, 在产品的包装研发环节, 这些模拟结果有重要的参考价值。

2) 通过对包装进行了改进设计, 改进包装后角跌落的最大 Mises 应力值为 73.8 MPa, 较原始包装减小 10%, 改进包装后各方向加速度最大值 90g, 较原始包装减小 64%, 且加速度波动幅度明显小于原始波动, 模拟证明了改进后的包装能够起到更好的缓冲作用。

3) 目前只对液晶电视的其中一种型号的角跌落

做了研究, 实际中的液晶电视型号和跌落工况较多, 更全面的跌落分析和包装结构改进还有进一步的研究空间。

参考文献:

- [1] 刘冰. 基于 ANSYS Workbench 的空调室内机包装件跌落仿真分析[J]. 科技视界, 2020(15): 94—95.
LIU Bing. Simulation Analysis of Package Drop of Air Conditioner Indoor Unit Based on ANSYS Workbench[J]. Science & Technology Vision, 2020(15): 94—95.
- [2] MA H J, GAO Q. Drop Simulation Analysis of a Large Screen Mobile Phone[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 678: 275—278.
- [3] 巩雪, 常江, 李丹婷. 平板电脑缓冲包装件设计及其力学性能分析[J]. 包装学报, 2018, 10(4): 28—33.
GONG Xue, CHANG Jiang, LI Dan-ting. Design and Mechanical Property Analysis of Cushioning Package for Tablet PC[J]. Packaging Journal, 2018, 10(4): 28—33.
- [4] PAN M C, CHEN P C. Drop Simulation/Experimental Verification and Shock Resistance Improvement of TFT-LCD Monitors[J]. Microelectronics Reliability, 2007, 47(12): 2249—2259.
- [5] WANG Y Y, LU C, LI J, et al. Simulation of Drop/Impact Reliability for Electronic Devices[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2004, 41: 667—680.
- [6] 刘冰, 陈志周, 刘玮佳, 等. 空调室外机易损性表征及包装件跌落仿真分析[J]. 绿色包装, 2020(5): 45—47.
LIU Bing, CHEN Zhi-zhou, LIU Wei-jia, et al. Vulnerability Characterization of Air Conditioner Outdoor Unit and Simulation Analysis of Package Dropping[J]. Green Packaging, 2020(5): 45—47.
- [7] 付秋莹. 基于 ANSYS Workbench 对玻璃杯包装的跌落分析[J]. 上海包装, 2018(06): 14—16.
FU Qiu-ying. Drop Analysis of Glass Packaging Based on ANSYS Workbench[J]. Shanghai Packaging, 2018(6): 14—16.
- [8] 张帆, 汤婧雅, 朱友林. 基于 ANSYS Workbench 的多士炉包装设计仿真分析[J]. 数字印刷, 2020(1): 29—37.
ZHANG Fan, TANG Jing-ya, ZHU You-lin. Packaging Design and Simulation Analysis of Toaster Based on ANSYS Workbench[J]. Digital Printing, 2020(1): 29—37.
- [9] KAMALE A, BAHULIKAR S R. A Review of Finite Element Analysis of Drop Test for Home Appliances[J]. International Journal of Engineering Science, 2018, 8(6): 18321—18323.
- [10] HWAN C L, LIN M J, LO C C, et al. Drop Tests and Impact Simulation for Cell Phones[J]. Journal of the

- Chinese Institute of Engineers, 2011, 34(3): 337—346.
- [11] MULKOGLU O, GULER M A, ACAR E, et al. Drop Test Simulation and Surrogate-based Optimization of a Dishwasher Mechanical Structure and Its Packaging Module[J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2017, 55(4): 1517—1534.
- [12] GUI K, WANG X. Design and Analysis of Cushioning Packaging for Home Appliances[J]. Procedia engineering, 2017, 174: 904—909.
- [13] BLANCO D, ORTALDA A, CLEMENTI F, et al. Impact Simulations on Home Appliances to Optimize Packaging Protection: a Case Study on a Refrigerator[C]//Proceedings of the 10th International LS-DYNA User Conference, 2015.
- [14] 张鹏娥, 赵林, 纪春荣, 等. 基于 LS-DYNA 的空调连续跌落仿真研究[J]. 力学与实践, 2020, 42(1): 60—65.
ZHANG Peng-e, ZHAO Lin, JI Chun-rong, et al. Sequential Drop Simulation of Air Conditioning Based on LS-DYNA[J]. Mechanics in Engineering, 2020, 42(1): 60—65.
- [15] 常江, 巩雪. 电饭煲运输包装设计及其跌落仿真分析[J]. 包装学报, 2019, 11(5): 38—43.
CHANG Jiang, GONG Xue. Design of Transportation Packaging for Electric Cooker and Simulation Analysis of Drop[J]. Packaging Journal, 2019, 11(5): 38—43.
- [16] 王明珠, 王忠伟, 李凤云, 等. 手机摄像模组跌落仿真与优化[J]. 计算机辅助工程, 2019, 28(2): 68—73.
WANG Ming-zhu, WANG Zhong-wei, LI Feng-yun, et al. Drop Simulation and Optimization on Mobile Phone Camera Module[J]. Computer Aided Engineering, 2019, 28(2): 68—73.
- [17] 刘显威, 肖肖, 朱森旺, 等. 跌落仿真在分体式空调器室内机包装优化的应用[J]. 家电科技, 2018(11): 58—63.
LIU Xian-wei, XIAO Xiao, ZHU Sen-wang, et al. Dropping Simulation Analysis in Optimization of the Split-type Inner Air-condition Packaging[J]. Journal of Appliance Science & Technology, 2018(11): 58—63.
- [18] 张重, 韩宝坤, 常羽宁, 等. 基于 Hypermesh 联合 LS-DYNA 对冰柜跌落的仿真研究[J]. 包装工程, 2019, 40(19): 97—102.
ZHANG Zhong, HAN Bao-kun, CHANG Yu-ning, et al. Simulation of Freezer Drop Based on Hypermesh and LS-DYNA[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(19): 97—102.
- [19] 潘迪, 韩勇, 张坤伦, 等. 液晶电视包装件跌落仿真及结构优化[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 94—99.
PAN Di, HAN Yong, ZHANG Kun-lun, et al. Drop Simulation and Structure Optimization of LCD TV Package[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 94—99.