

燃气灶无纸箱热收缩保护性包装结构设计及评价

张皓佳, 陈满儒

(陕西科技大学 包装工程系, 西安 710021)

摘要: **目的** 为打破家电泡沫加纸箱的传统包装形式, 大胆创新设计无纸箱小家电燃气灶的热收缩包装, 并使用 CAE 分析方法评价该包装的缓冲性能。**方法** 根据燃气灶产品特性设计缓冲衬垫结构, 以热收缩膜直接紧紧包裹产品和缓冲衬垫的包装形式为评价对象, 用 Pro/E 完成产品建模, 导入 Ansys Workbench 完成跌落仿真分析, 最后进行实验评价。**结果** 仿真结果表明, 最大加速度出现在 5.6 ms 处, 最大值为 14.86g, 小于产品脆值, 仿真结果合格; 跌落实验后, 缓冲衬垫轻微变形, 产品完好无破损, 该包装方案可行。**结论** 验证了燃气灶无纸箱的热收缩包装的可靠性, 为后续小家电的无纸箱包装提供了新思路。

关键词: 有限元分析; 运输包装; 热收缩包装

中图分类号: TB482; TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)03-0131-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.019

Structural Design and Evaluation of Box-free and Heat Shrinkable Protective Package for Gas Stoves

ZHANG Hao-jia, CHEN Man-ru

(Department of Packaging, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to break the traditional packaging form of household appliances foam with carton, make bold and innovative design of heat shrinkable packaging for small household appliance gas cooker without carton, and use CAE analysis method to evaluate the cushioning performance of the packaging. According to the characteristics of the gas stove product, the cushion structure was designed. The packaging form of the heat shrinkable film directly wrapping the product and the cushion pad was evaluated. The product model was completed with Pro/E, and the ANSYS Workbench was introduced to complete the drop simulation analysis. Finally, the experiment was carried out. The simulation results showed that the maximum acceleration occurred at 5.6 ms, the maximum value was 18.86g less than the product brittle value, and the simulation result was qualified. After the drop test, the cushion pad was deformed, and the product was intact without damage, so the packaging scheme was qualified. The feasibility of the heat shrinkable packaging of the gas stove without carton is verified, and the new ideas for the subsequent carton-free packaging of small household appliances are presented.

KEY WORDS: finite element analysis; distribution packaging; heat shrinkable packaging

传统家电包装一直以来采用的是缓冲衬垫加纸箱的包装形式。全球范围内木材价格上涨, 原纸价格不断提高, 如何主动适应大环境, 进行家电包装上的

革新, 是面临的挑战。近年来薄膜包装得到飞速发展^[1], 首当其冲是热收缩膜。热收缩包装一直普遍应用于小商品, 如矿泉水、啤酒、消毒餐具等, 同时已

收稿日期: 2018-09-25

基金项目: 张皓佳(1994—), 女, 陕西科技大学硕士生, 主攻物流运输包装。

通信作者: 陈满儒(1957—), 男, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为运输包装。

有学者探讨透明包装在家电产品上的应用^[2],那么二者结合,直接用热收缩薄膜对产品和缓冲衬垫进行覆膜的包装形式是否可行呢。热收缩膜普遍具有较高的耐穿刺性,抗撕裂性,良好的收缩性和一定的收缩应力。这种热收缩包装成本大幅降低,节约资源,防潮、防水、防尘等防护性能优异,还是环境友好型材料,包装新颖且信息透明化,值得大胆尝试。

张改梅等基于 ABAQUS 研究了缓冲包装系统的缓冲性能^[3]。Mülkoğlu O 等学者研究了洗碗机结构优化并进行包装跌落分析^[4]。黄广军等对组合缓冲垫进行设计和跌落模拟^[5]。丁玉平基于 ANSYS/LS-DYNA 的分析研究了某品牌电饭锅的缓冲包装的缓冲特性^[6]。申利发基于 Workbench 对平板电视缓冲包装进行简谐基础振动和自由跌落 2 种激励环境下的仿真分析^[7]。邓志辉等对卧式吸尘器包装结构从产品实际应用角度分别进行静压分析、模态分析和跌落仿真分析,得出仿真结果^[8]。区别于以上研究分析,文中以燃气灶的无纸箱的缓冲衬垫直接用热收缩膜覆膜的包装形式为研究对象,通过对比 CAE 模拟结果与物理实验验证,并评价该保护性包装的合理性,验证燃气灶热收缩包装的可靠性。

1 燃气灶热收缩膜包装方案设计

某品牌燃气灶除了灶具主体,还有众多零部件如锅架、火盖等(见图 1)。传统燃气灶包装为防止运输过程中的持续振动造成的燃气灶面板刮花、锅架磨损掉漆等问题,一般将零部件置于上泡沫上与燃气灶面板隔开,再用纸箱整体打包。

燃气灶无纸箱的热收缩包装是指采用高缓冲性能的 EPS 衬垫打包产品后直接用 PE 热收缩膜整体紧紧包裹产品的包装形式(见图 2),文中后续简称该



图 1 燃气灶
Fig.1 Gas stove



图 2 燃气灶的热收缩包装
Fig.2 Heat shrinkable packaging of gas stoves

包装方案为热收缩包装。为提高产品包装的实用性与使用性,可在上泡沫附件上增加的纸板或纸卡,这样既可传递产品信息,还可保护产品零部件,起到了不让内装物戳穿外层薄膜的作用。

2 产品热收缩包装 CAE 评价

经数据分析,产品运输过程中受到跌落冲击时产品的破损率最高,对燃气灶产品的无纸箱热收缩包装主要进行跌落仿真分析。根据 GB/T 4857.5—92《包装运输包装件跌落试验方法》,结合企业标准,该产品的热收缩包装跌落测试选择与纸箱包装相同的试验条件,产品质量 14 kg,选择跌落高度 610 mm 进行“1 角 3 棱 6 面”10 个工况的跌落仿真。

使用计算机仿真来分析验证实验方案可以大大缩短实验周期,提高实验质量,得到更精确的结果,并且减少试验费用,节约材料。该次分析所运用的软件是 Ansys Workbench 16.0。

2.1 建模与前处理参数设置

由于产品的结构复杂零件繁多,对产品模型一些非关键零部件或配重件在保证质量分布不变的前提下进行了简化处理,如炉头组件和燃气管道组件等全部合并简化为左右均匀分布的炉头零件。具体各零部件材料属性见表 1^[9]。

表 1 材料属性
Tab.1 Material properties

序号	名称	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/MPa	泊松比
1	不锈钢	7400	207 000	0.28
2	炉头	7000	126 000	0.3
3	塑料件	900	1200	0.38
4	玻璃	2430	72 000	0.2
5	EPS 泡沫	25	220	0.34
6	热收缩膜	950	900	0.38

仿真模型中,除外层的热缩薄膜和产品底壳采用壳单元,其他零件均采用实体单元。网格划分时,壳单元采用三角网格划分,其他实体采用默认网格划分法。划分完成网格数量 29 135,单元数量 67 201,经检查,网格质量属性大于 0.5,网格划分质量良好^[10—15]。

接触部分根据实际情况,检查修改和添加默认接触设置,文中将可能相互接触的产品与泡沫之间、缓冲泡沫之间、底壳与泡沫之间、热缩膜与衬垫之间相互作用定义为光滑无摩擦。

该次仿真工况实际跌落高度为 610 mm。在仿真分析设置中,为简化模型提高效率,缩短仿真时间,只考虑包装件触底撞击及回弹阶段。建立距地板

3 mm 的覆膜包装件仿真模型, 设置包装件触地瞬间的初始速度值 $v=3860$ mm/s。设置重力加速度值 $g=9.806$ m/s²。设置循环次数为 10×10^7 , 设置求解时间为 0.008 s。

3.2 结果分析

能量守恒是衡量显式动力分析准确度的一个重要指标^[16], 可以通过查看能量守恒曲线判断求解质量高低。当前系统总能量 (Total Energy)、参考能量 (Reference Energy)、系统做功 (Work Done) 和能量错误 (Energy Error) 见图 3。该次仿真中, 能量错误几乎为 0, 总能量与参考能量基本持平, 符合能量守恒定律, 说明文中仿真结果是准确可靠的。

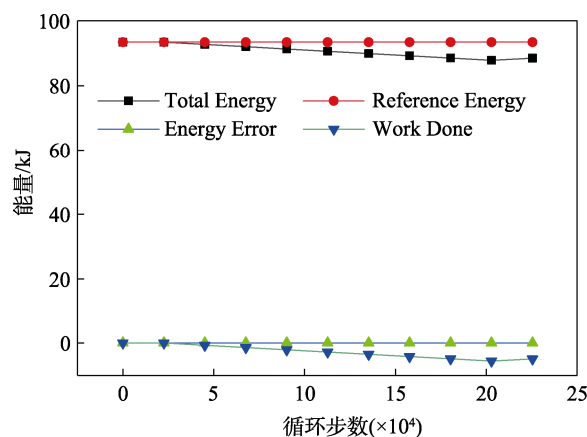


图 3 能量守恒曲线
Fig.3 Energy conservation curve

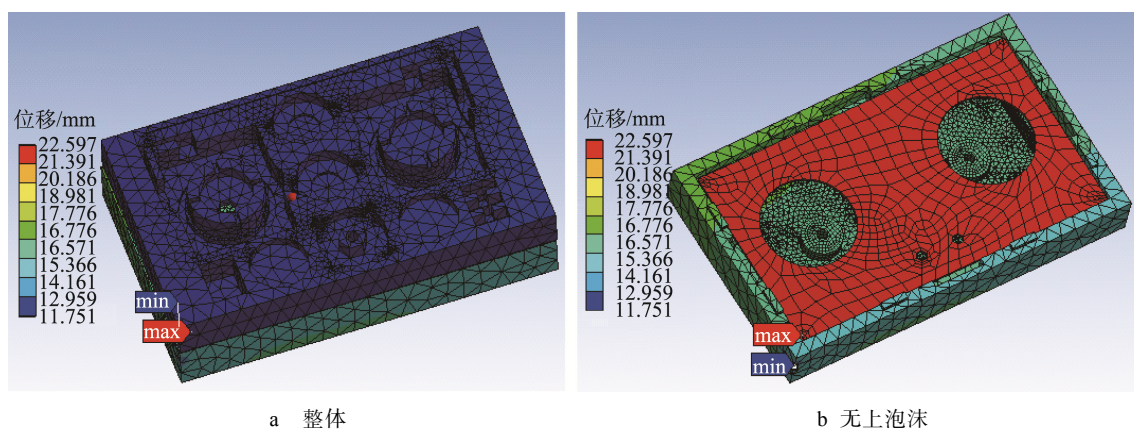


图 4 总位移分布云图
Fig.4 Contour plot for total deformations

由图 4a 可知, 在棱跌落时, 在跌落后 0.008 s 时, 包装件的最小位移出现在包装件的上泡沫上, 最小值为 11.75 mm。分析原因是上泡沫内附件少且轻, 上泡沫密度小且受到的内部冲击也小, 所以位移小。最大位移出现在产品的玻璃面板左下角 (图 4b), 位移最大值为 22.597 mm, 此时玻璃面板在重力加速度作用下继续向下运动, 对下泡沫造成较大冲击和挤压。

由图 5 可知, 产品在 0.7 ms 的时候加速度变为 0, 但是加速度最大值发生在反弹阶段, 时刻为 5 ms 左右, 此时产品受到的冲击和损害大于碰撞初期, 加速度最大值为 148.550 m/s², 即为 14.86g, 小于产品脆值 55g, 说明产品足够抵抗加速度最大时的冲击破坏。

跌落运动过程中, 5.6 ms 时产品的等效应力达到最大值 219.99 MPa (图 6a), 最大值出现在产品的底壳中部气管开口口处, 分析其原因是底壳中部开口处结构薄弱导致。底壳底部左右两侧应力也相对集中且较大, 是产品内部结构炉头对底壳的冲击造成的。底壳上部边缘部分是由于底壳的上部边缘与玻璃面板直接接触, 面板自身对底壳也产生力的作用。玻璃面板在同一时刻的等效应力分布云图见图 6b, 玻璃

面板的左下角应力较集中, 最大值为 32.635 MPa, 左上角应力也较大, 分析原因是反弹阶段与缓冲衬垫之间挤压撞击所致。

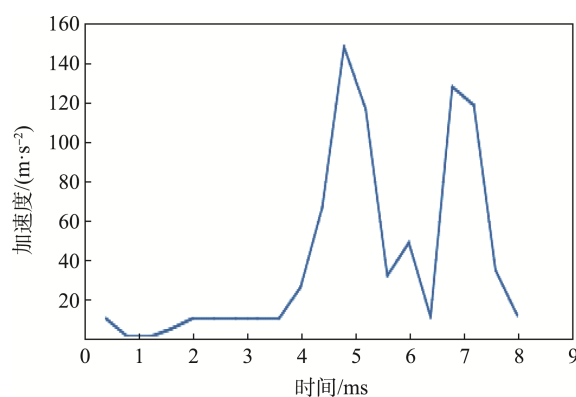


图 5 时间-加速度曲线
Fig.5 Time vs. acceleration curve

3 热收缩包装件跌落实验

对比该产品热收缩包装的跌落仿真, 对该包装件进行跌落试验。

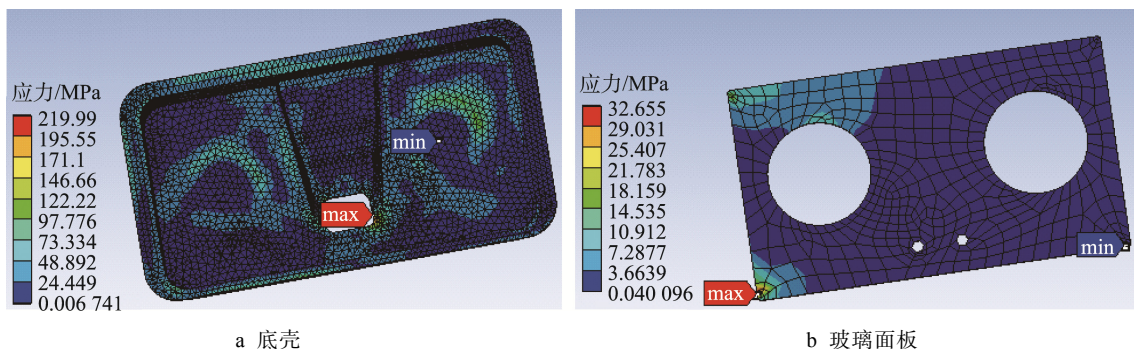


图6 等效应力分布云图
Fig.6 Contour plot for equivalent stress distribution

3.1 试验准备及过程

准备燃气灶,用热收缩覆膜机完成对产品和衬垫的覆膜,完成3台试验样机的准备。

查阅国家标准和企业要求,按照跌落仿真工况,依次完成“一角三棱六面”的跌落^[17],选择产品底部左前角为跌落角,跌落高度为610 mm。包装件正面跌落测试见图7。

试验设备选择苏试跌落试验机(型号:DLJ-200)。



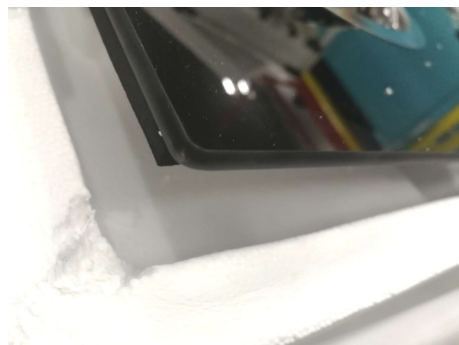
图7 正面跌落试验
Fig.7 Front drop test

3.2 试验结果

产品的缓冲衬垫在角跌落后跌落角变形严重,有轻微开裂(图8a);与角紧挨的短楞经过楞跌落后衬垫变形明显,面跌落后衬垫无明显变形。整体的外层热缩膜完整无撕裂,上泡沫的附件没有跑位,锅架没有刮花掉漆等问题(图8b);产品的玻璃面板无破碎,产品底壳无变形,跌落完成后产品的气密性测试合格。

在同款产品的纸箱包装同等测试条件下,热收缩包装跌落后,热收缩膜只起到了固定约束泡沫的位置,基本没有起到缓冲保护性能,而跌落角部位的下泡沫变形且开裂,分析原因是由于角跌落和楞跌落时产品面板对EPS缓冲衬垫的冲击造成,但产品完好,附件等无破损,燃气灶热收缩包装跌落试验合格,即

说明只要缓冲衬垫的缓冲效果良好,在跌落过程中吸收大量冲击能,满足跌落试验中对产品的保护功能,燃气灶的无纸箱热收缩膜包装方案就是可行的。



a 下泡沫



b 上泡沫

图8 跌落后的泡沫
Fig.8 Foam after drop test

4 结语

文中以燃气灶无纸箱的热收缩包装为研究对象,分别通过CAE模拟和实验评价方法该包装的产品抵抗跌落冲击的能力,验证了该方案的可行性,为后续家电覆膜包装方法提供了新思路 and 依据。

包装行业不断推陈出新,新型包装不断吸引用户的眼球,无纸箱的小家电产品的热收缩包装不仅解决了原纸资源的紧缺,还解决了纸箱易受潮鼓包等问题,使产品可视化,是一条可以大胆探索的新道路。

国外已有少许的小家电如微波炉产品的采用缓冲衬垫加透明膜的包装形式,可是国内对于家电产品无纸箱的透明薄膜包装的应用较少。热收缩包装的可靠性是需要重点关注的一个方面,而如何提高用户对热收缩包装的外观接收度就是需要注意的另一个问题。至于燃气灶产品原纸箱包装上的全部信息如何完整的在热收缩膜包装上传递,可采用各种不同的技术方法来解决,如薄膜收缩打包完再采用喷墨印刷技术,或者在热收缩膜外粘贴不干胶信息标贴,或者定制印刷产品专属信息内容的热收缩膜再热缩打包等。如果这些问题都逐一解决,相信热收缩包装将会为未来的中国家电包装工业带来巨大影响,并创造出无限的价值。

参考文献:

- [1] 宁晓琴. 塑料包装行业发展现状及趋势分析[J]. 塑料包装, 2014, 24(3): 1—4.
NING Xiao-qin. Development Status and Trend Analysis of Plastic Packaging Industry[J]. Plastic Packaging, 2014, 24(3): 1—4.
- [2] 唐苏亚. 家电包装新概念: 透明包装[J]. 上海包装, 2009(11): 71.
TANG Su-ya. New Concept of Household Appliance Packaging: Transparent Packaging[J]. Shanghai Packaging, 2009(11): 71.
- [3] ZHANG Gai-mei, SONG Xiao-li, SHI Yue, et al. Evaluation on Cushioning Packaging System of Laptop during Drop Based on ABAQUS[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2018(477): 437—442.
- [4] MÜLKOĞLU O, GÜLER 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.
- [5] HUA Guang-jun, YONG Xie. Combination Cushioning Pad Design and Drop Simulation[C]// 19th IAPRI World Conference on Packaging 2014, Responsible Packaging for a Global Market, 2014: 167—171.
- [6] 丁玉平. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的某缓冲包装缓冲特性分析与优化[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
DING Yu-ping. Analysis and Optimization of Cushioning Characteristics of a Cushioned Package Based on ANSYS/LS-DYNA[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [7] 申利发. 平板电视缓冲包装性能模拟分析计算[D]. 济南: 山东大学, 2014.
SHEN Li-fa. Simulation and Analysis of Cushion Packaging Performance for FP TV[D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [8] 邓志辉, 李亮, 刘红达, 等. 卧式吸尘器包装结构有限元研究[J]. 轻工机械, 2018, 36(4): 7—13.
DENG Zhi-hui, LI Liang, LIU Hong-da, et al. Study of the Finite Element of Packaging Structure of Horizontal Vacuum Cleaner[J]. Light Industry Machinery, 2018, 36(4): 7—13.
- [9] 陈小润. 结构仿真在电商产品包装优化中的应用[C]// 2015 年中国家用电器技术大会论文集, 2015: 5.
CHEN Xiao-run. Application of Structural Simulation in E-commerce Product Packaging Optimization[C]// 2015 China Household Electrical Appliances Technical Conference Proceedings, 2015: 5.
- [10] MA Heng-jie, GAO Qiang. Drop Simulation Analysis of a Large Screen Mobile Phone[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 687—691: 275—278.
- [11] YANG Jie, ZHAO Xiao-dong, JI Zhong. Drop Simulation and Cushioning Package Analysis of 19-inch LCD[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012(200): 582—585.
- [12] ZHAO Deng-feng, MA Guo-lu, ZENG Guo-ying. Optimal Design of Television Packaging Based on Drop Analysis[J]. Advanced Materials Research Abbreviated, 2011(156/157): 713—716.
- [13] 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 Meng-ya, HUANG Xiu-ling, WANG Jun. Reliability Analysis of Finite Element Simulation of Packaging Buffer Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 59—63.
- [14] 田静敏, 黄秀玲. 包装件跌落冲击研究现状[J]. 包装工程, 2016, 37(11): 199—203.
TIAN Jing-min, HUANG Xiu-ling. Status of Research on Drop and Impact of Package[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(11): 199—203.
- [15] 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. Drop Simulation of Package and Structural Optimization of Cushion[D]. Jinan: Shandong University, 2013.
- [16] 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 of Drop and Impact of LCD TV Package Based on ANSYS Workbench[D]. Jinan: Shandong University, 2015.
- [17] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2013.
PENG Guo-xun. Design of Logistics and Transport Packaging[M]. Beijing: Graphic Communication Press, 2013.