

# 电饭煲运输包装设计及其跌落仿真分析

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.05.006

常江 巩雪

哈尔滨商业大学

轻工学院

黑龙江 哈尔滨 150028

**摘要:**为研究电饭煲在流通过程中运输包装的缓冲性能,选择了环保型的缓冲材料发泡聚乙烯(EPE)为缓冲衬垫、AB型瓦楞纸板为外包装箱进行缓冲包装设计。根据电饭煲的规格和缓冲要求,对缓冲衬垫和外包装箱的结构进行了计算和设计,并利用Solidworks软件进行建模,并将其导入ANSYS中,设置各层缓冲包装材料的参数后,进行了自由落体跌落仿真试验;通过分析电饭煲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,发现在跌落过程中的最大应力出现在外包装箱与地面接触位置,最大应力小于电饭煲材料ABS的极限应力。因此,所设计的运输包装满足产品的缓冲要求,达到了保护电饭煲的目的。

**关键词:**电饭煲;缓冲包装;衬垫;跌落仿真

**中图分类号:** TB485.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2019)05-0038-06

**引文格式:**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.

## 1 研究背景

随着社会发展和国民生活质量的提高,人们对家电产品有了更高的要求,电商平台的迅速崛起,也使网购家电成为消费者购买家电产品的重要选择。同时我国的小家电行业得到了快速发展,海外市场也不断扩大,但包装方面也面临着愈发严肃的考验。市场上的家电产品从生产至送达消费者手中要经过运输、装卸、堆码及储存等一系列的过程,而在运输过程中不仅要考虑气候条件、起吊装卸、安全固定等防护因素,还需考虑生态环保等问题。我国每年出口的产品因包装不善而造成的损失一直在百亿元以上,其中80%出现在运输包装上。我国的包装及物流运输正面临着巨大难题,如何设计出绿色环保并能够有效保护产品的包装成为亟待解决的问题<sup>[1-3]</sup>。

为了减少家电产品在运输、堆码及储存等过程中受到损坏,运输包装的缓冲设计变得尤其重要<sup>[4-7]</sup>。缓冲包装的研究方向主要是通过分析产品自身的特性,找出其缓冲包装在产品运输、装卸、堆码及储存等过程中的破损原因,对其原因进行分析并找到改进设计的最优方案<sup>[8-9]</sup>。

常用的缓冲包装材料有发泡聚苯乙烯(expanded polystyrene, EPS)、发泡聚乙烯(expanded polyethylene, EPE)、瓦楞纸板、蜂窝纸板和充气衬垫等,其中EPE具有易回收降解、无毒无害、拉伸力及回弹效果好、瞬间抗冲撞保护能力强等优点,目前市场上EPE的应用极为广泛<sup>[10-14]</sup>。

刘静<sup>[15]</sup>利用泡沫缓冲材料为高硼硅玻璃沙拉碗设计了缓冲包装,并对其进行了跌落仿真分析,结果表明缓冲包装能有效提高玻璃碗在流通过程中的抗冲击性

收稿日期:2019-08-12

基金项目:哈尔滨商业大学校级科研青年基金资助项目(17XN019)

作者简介:常江(1982-),男,山西平遥人,哈尔滨商业大学副教授,硕士生导师,主要研究方向为产品新型缓冲包装材料的制备及性能,E-mail:kahn82@163.com

能。李昭等<sup>[16]</sup>利用 EPE 和 EPS 对鸡蛋进行了缓冲包装设计, 并进行跌落仿真分析, 结果表明相同厚度的 EPE 和 EPS 比较, EPE 的缓冲效果要优于 EPS。因此, 本研究选择了缓冲效果优良的 EPE 作为缓冲包装材料, 对电饭煲进行运输包装设计。

## 2 运输包装设计

家电产品的包装可分为以纸箱为主的硬包装和以塑料为主的软包装两部分。在硬包装上, 国内出口产品的包装大多是按照国外客户要求实施的, 与国外的包装基本上没有太大出入; 软包装则以缓冲材料为主, 其结构设计直接影响到包装产品的安全性。

本研究选择 GDF-3018C 型电饭煲为研究对象, 其技术参数如表 1 所示。通过对电饭煲的缓冲衬垫和外包装箱进行设计, 设计出结构合理的运输包装, 以减少电饭煲在运输、堆码等过程中受到的损坏。

表 1 电饭煲的技术参数

Table 1 Technical parameters of electric rice cooker

类别	技术参数
额定电压 /V	220
额定功率 /W	600
内胆容量 /L	3.0
整体尺寸	266 mm × 375 mm × 255 mm
净重 /kg	5.69
产品毛重 /kg	6.38
极限应力 /MPa	2 170
脆值 ( $G_m$ )	60g

### 2.1 缓冲衬垫

电饭煲在运输及装卸过程中容易受到振动、冲撞等机械载荷的影响, 为避免电饭煲的破损, 需要对其加以衬垫保护, 即在外包装箱中添加缓冲衬垫来缓释外部冲撞, 从而对电饭煲起到减振作用。

电饭煲的易损部位主要是触屏面板, 触屏面板一旦受损, 会造成电饭煲无法选中相应功能键, 无法发出指令, 影响其整体使用功能。触屏面板的边角也极易出现碎裂等现象, 故对电饭煲进行缓冲包装设计时, 应充分考虑电饭煲的易损部位, 避免在运输过程中损坏电饭煲, 造成不必要的经济损失。

本研究以 EPE 作为电饭煲运输包装的缓冲衬垫材料, 对缓冲衬垫的结构进行设计, 并检验所设计的衬垫及包装结构对电饭煲的缓冲效果。

#### 2.1.1 缓冲衬垫的结构计算

缓冲包装结构设计的主要目的是计算出合理的

衬垫尺寸, 从而能对产品起到良好的缓冲效果。然而材料的特性大多数呈现非线性关系, 对其力学性能进行描述十分困难。国内外普遍利用缓冲系数-最大应力 ( $C-\sigma_m$ ) 曲线、最大加速度-静应力曲线、应力-应变曲线等方法进行计算, 以得到缓冲衬垫的合理尺寸<sup>[17-19]</sup>。

本研究采用  $C-\sigma_m$  方法进行设计计算。根据  $C-\sigma_m$  曲线, 查得  $C=3.8$ ,  $\sigma_m=1.7 \times 10^5$  Pa, 并已知电饭煲质量  $M=5.69$  kg, 跌落高度  $H=0.7$  m, 缓冲衬垫材料 EPE 的密度为  $22$  kg/m<sup>3</sup>, 根据下列公式可计算出缓冲衬垫的面积  $A$  为:

$$A = \frac{M \cdot G_m}{\sigma_m} = \frac{5.69 \times 9.8 \times 60}{1.7 \times 10^5} = 19\,680 \text{ mm}^2。$$

缓冲材料的厚度  $T$  为:

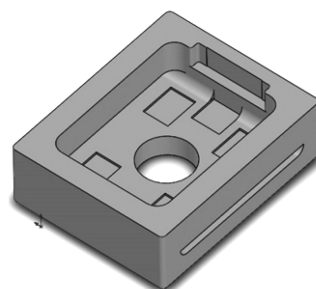
$$T = \frac{C \cdot H}{G_m} = \frac{3.8 \times 700}{60} = 44.33 \text{ mm}。$$

因此, 电饭煲缓冲包装衬垫的规格为:

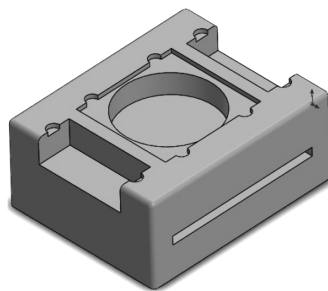
$$A \times T = 19\,680 \text{ mm}^2 \times 44.33 \text{ mm}。$$

#### 2.1.2 电饭煲缓冲衬垫结构图

根据电饭煲缓冲衬垫结构的计算结果, 得到了电饭煲缓冲衬垫的三维立体模型, 如图 1 所示。



a) 下衬垫立体效果图



b) 上衬垫立体效果图

图 1 电饭煲缓冲包装衬垫立体模型效果图

Fig. 1 Design sketch of three-dimensional model of cushioning packing liner for rice cooker

#### 2.2 瓦楞纸箱

根据 2.1 所设计的电饭煲缓冲衬垫结构规格和缓

冲包装要求,通过查阅国际纸箱的箱型标准信息,本研究选择 AB 型瓦楞纸板作为电饭煲的包装材料,并选择生产方便、成本低廉的 0201 型瓦楞纸箱作为其外包装箱<sup>[20-21]</sup>。

根据缓冲衬垫的结构尺寸,对瓦楞纸箱的尺寸进行了计算,得到了瓦楞纸箱的外尺寸(长×宽×高)为:475 mm×387 mm×415 mm。

### 2.3 运输包装实体模型

电饭煲的运输包装主要包括主机、上下缓冲衬垫、蒸笼、电源线、饭勺和说明书等。本研究利用缓冲衬垫对电饭煲进行保护后,将其置于外包装箱(瓦楞纸箱)中,构成运输单元。利用 Solidworks 软件对缓冲衬垫和运输单元进行了建模,如图 2 所示。

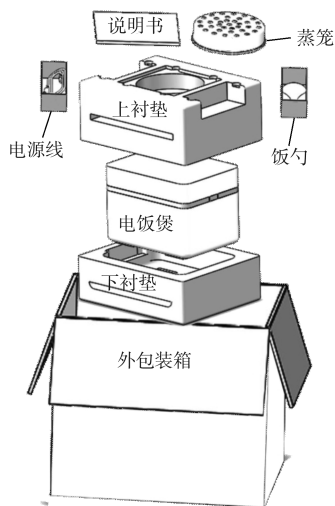


图 2 运输包装件爆炸视图

Fig. 2 Exploded view of transport package

## 3 运输包装跌落仿真分析

### 3.1 材料参数设置

将 2.3 中所建模型导入 ANSYS 中,并根据模型中各部分作用及材料进行参数设置。运输包装所用材料包括 ABS 塑料、珍珠棉、瓦楞纸板,材料参数设置如表 2 所示。

表 2 包装材料的参数设置

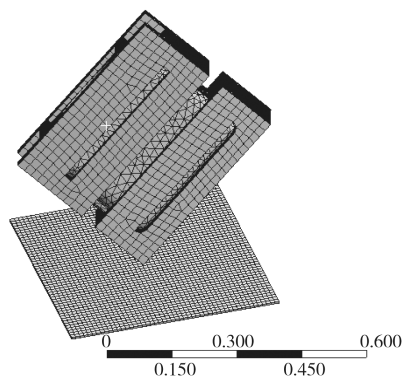
Table 2 Parameter settings for packaging materials

材料	密度 / (kg·m <sup>-3</sup> )	杨氏模量 / MPa	泊松比	体积模量 / Pa	剪切模量 / Pa
ABS	1 050	$2.17 \times 10^9$	0.39	$3.29 \times 10^9$	$0.78 \times 10^9$
EPE	22	$6.54 \times 10^5$	0.10	$2.73 \times 10^5$	$2.97 \times 10^5$
瓦楞纸板	200	$7.38 \times 10^8$	0.34	$7.69 \times 10^8$	$2.75 \times 10^8$

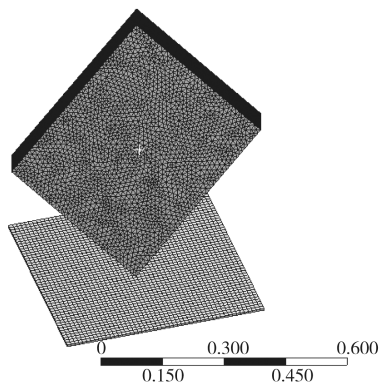
### 3.2 网格划分

网格划分是跌落仿真分析的重要部分。在电饭煲

的跌落仿真试验中,参与计算的是网格划分后的每一小块与节点而不是整体模型<sup>[22]</sup>,因此为提高仿真分析的精度,对缓冲衬垫进行网格划分的网格数应尽可能多。本研究利用 ANSYS 软件对电饭煲缓冲衬垫进行网格划分的结果如图 3 所示。



a) 电饭煲及缓冲衬垫



b) 运输包装整体

图 3 电饭煲运输包装网格划分

Fig. 3 Grid division of transport packaging for rice cooker

### 3.3 跌落仿真分析参数设置

在跌落仿真分析中,电饭煲采用自由落体的方式进行跌落试验。为了模拟真实的跌落状态,本研究选择更易损害内容物的角跌落方式,跌落高度  $H=0.700$  m,初始位置  $H'=0.005$  m。根据自由落体的计算方法<sup>[16]</sup>,运输包装件在开始跌落瞬间会获得一定的初速度,该初速度  $v_0$  为

$$v_0 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9.8 \times (0.700 - 0.005)} = 3.69 \text{ m/s}.$$

根据位移计算公式

$$H' = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2,$$

求出到初始位置  $H'=0.005$  m 时所需要的跌落时间为:  
 $t=0.002$  s。

### 3.4 结果与分析

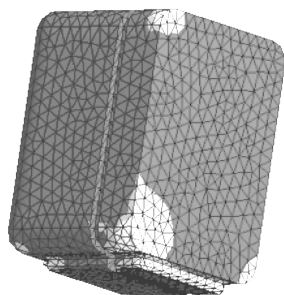
在运输包装件接触地面瞬间,电饭煲、缓冲衬垫



及运输包装整体的应力分布云图和最大应力曲线如图4和图5所示。

B: Explicit Dynamics  
Equivalent Stress 3  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: Pa  
Time: 2.e-003  
Cycle Number: 196668  
2019/5/15 11:17

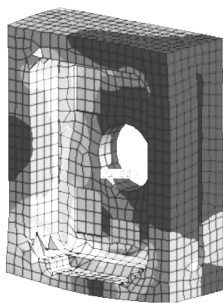
1.9637e6 Max  
1.746e6  
1.5282e6  
1.3105e6  
1.0928e6  
8.7503e5  
6.5729e5  
4.3956e5  
2.2183e5  
4091.7 Min



a) 电饭煲

B: Explicit Dynamics  
Equivalent Stress 5  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: Pa  
Time: 2.e-003  
Cycle Number: 196668  
2019/5/15 11:14

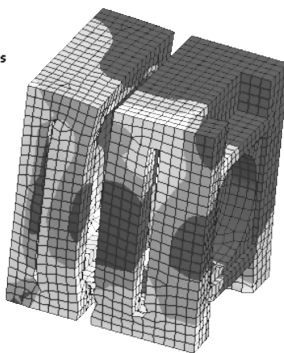
2.7243e5 Max  
2.4217e5  
2.1191e5  
1.8165e5  
1.5139e5  
1.2113e5  
90865  
60604  
30343  
81.647 Min



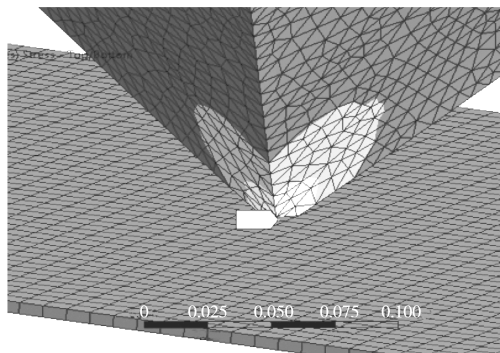
b) 下衬垫

B: Explicit Dynamics  
Equivalent Stress 2  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: Pa  
Time: 1.e-002  
Cycle Number: 196668  
2019/5/15 11:12

2.7243e5 Max  
2.4217e5  
2.1191e5  
1.8165e5  
1.5139e5  
1.2113e5  
90865  
60604  
30343  
81.647 Min



c) 缓冲包装件整体



d) 运输包装件整体

图4 运输包装件在跌落过程中的应力分布云图  
Fig. 4 Stress distribution nephogram of transport package during drop



彩图

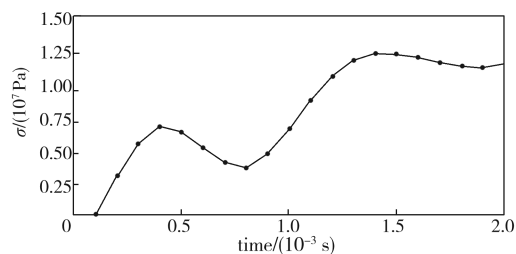


图5 运输包装件在跌落过程中的最大应力曲线  
Fig. 5 Maximum stress curve of transport package during drop

由图4可以看出,不同时刻电饭煲运输包装件的不同部位所受到的应力应变不同,可以通过颜色的变化分析运输包装件受到冲击和碰撞时易发生应力变形的部位。结合图4~5可知,运输包装件的最大应力出现在外包装箱与地面接触的位置,最大应力为 $1.29 \times 10^7$  Pa,该应力小于电饭煲主体材料ABS的极限应力 $5.44 \times 10^7$  Pa<sup>[23]</sup>,这是由于底部缓冲衬垫的结构厚度比较大,缓冲材料EPE吸收能量的性能较好,因此在运输过程中对电饭煲所受的冲击振动具有一定的保护作用。根据电饭煲的跌落仿真分析结果可知,本研究所设计的缓冲包装结构能够满足电饭煲的运输缓冲要求。

## 4 结语

本研究根据电饭煲的防护特点,设计了电饭煲的缓冲衬垫及外包装箱,利用Solidworks和ANSYS软件对所设计的电饭煲运输包装进行了建模和跌落仿真试验,设置了理论跌落高度为0.7 m,以自由落体的跌落方式进行跌落仿真模拟,通过对应力分布云图及应力曲线分析,得到了在跌落过程中电饭煲的最大应力为 $1.29 \times 10^7$  Pa,远小于电饭煲材料的极限应力。因此,本研究所设计运输包装的缓冲性能能够满足设计要求,达到了保护电饭煲的目的。

## 参考文献:

- [1] 高艳飞, 吴晓生. 小家电包装开发程序[J]. 包装世界, 2009(5): 36-37.  
GAO Yanfei, WU Xiaosheng. Packaging Development Program for Small Household Appliances[J]. Packaging World, 2009(5): 36-37.
- [2] 前泽英, 孙彦昕. 日本的家电产品环保包装设计[J]. 家电科技, 2004(10): 51-53.



- QIAN Zeying, SUN Yanxin. Environmental Protection Packaging Design of Household Appliances in Japan[J]. Science and Technology of Household Electric Appliance, 2004(10): 51-53.
- [3] LI B R, LI Z R, TIAN P F. Packaging Structure Optimization Design Based on Low-Carbon Packaging Idea[J]. Advanced Materials Research, 2012, 591/592/593: 214-218.
- [4] 黄友文, 吴志坚, 高慧珠. 小家电运输包装的优化设计[J]. 宁波职业技术学院学报, 2018, 22(2): 105-108.
- HUANG Youwen, WU Zhijian, GAO Huizhu. Research on the Optimal Design of Small Household Electrical Appliances Transportation Packaging[J]. Journal of Ningbo Polytechnic, 2018, 22(2): 105-108.
- [5] 张书彬, 杨祖彬, 朱会祥. 小型家用电器的缓冲包装设计[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2005, 22(5): 513-515, 524.
- ZHANG Shubin, YANG Zubin, ZHU Huixiang. Cushioning Package Design of Small Household Electric Appliances[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Sciences Edition), 2005, 22(5): 513-515, 524.
- [6] 罗思源, 兀光波, 王延琦, 等. 某运输包装件的跌落冲击仿真分析[J]. 机械与电子, 2016, 34(8): 16-20.
- LUO Siyuan, WU Guangbo, WANG Yanqi, et al. Drop Impact Simulation Analysis for a Transport Package[J]. Machinery & Electronics, 2016, 34(8): 16-20.
- [7] 刘清龙, 孔祥利, 金长国, 等. 家电网购产品包装跌落标准探讨[J]. 日用电器, 2014(7): 10-13, 20.
- LIU Qinglong, KONG Xiangli, JIN Changguo, et al. Discussion on Package Dropping Standard of Online Shopping of Electric Appliances[J]. Electrical Appliances, 2014(7): 10-13, 20.
- [8] 陈振强. 浅谈电子产品运输包装发展现状[J]. 中国包装工业, 2012(8): 26-27.
- CHEN Zhenqiang. A Brief Talk on the Present Situation of the Development of Electronic Products Transportation and Packaging [J]. China Packaging Industry, 2012(8): 26-27.
- [9] 陈希荣. 我国家电包装新需求分析与供应链趋势(一)[J]. 中国包装, 2011, 31(2): 11-14.
- CHEN Xirong. New Demand Analysis and Supply Chain Trend of Household Appliance Packaging in China [J]. China Packaging, 2011, 31(2): 11-14.
- [10] 杨 帅. EPE 缓冲性能的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
- YANG Shuai. Research on Cushioning Properties of EPE[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015.
- [11] LU F D, LIU X J, GAO D. Compression Response of Composite Cushioning Materials in Series by Virtual Parameter Methods[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(10): 901-914.
- [12] 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 Danting. Design and Mechanical Property Analysis of Cushioning Package for Tablet PC[J]. Packaging Journal, 2018, 10(4): 28-33.
- [13] QI M S, ZHANG W D, YANG W, et al. Shock-Cushioning and Energy Absorption Performance Research of Aluminum Foam-Polyurethane Composite[J]. Advanced Materials Research, 2011, 287/288/289/290: 401-404.
- [14] 言利容, 谢 勇. 蜂窝纸板/EPE 组合材料的动态缓冲性能[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 13-16.
- YAN Lirong, XIE Yong. Dynamic Cushioning Properties of Combination of Honeycomb Paperboard and EPE[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 13-16.
- [15] 刘 静. 高硼硅玻璃沙拉碗缓冲包装跌落仿真分析[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 166-171.
- LIU Jing. Drop Simulation of Borosilicate Glass Salad Bowl Cushioning Packaging[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(13): 166-171.
- [16] 李 昭, 曹萌萌, 孙建明, 等. 鸡蛋缓冲包装跌落冲击力学仿真及验证[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 115-119.
- LI Zhao, CAO Mengmeng, SUN Jianming, et al. Mechanical Simulation and Validation of Drop Impact of Cushioning Packaging for Eggs[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 115-119.
- [17] 滑广军, 陈 琬, 卢富德, 等. 蜂窝纸板缓冲曲线特征分析[J]. 包装学报, 2018, 10(1): 1-7.
- HUA Guangjun, CHEN Wan, LU Fude, et al. Analysis of Buffer Curve of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Journal, 2018, 10(1): 1-7.
- [18] 邓瑶瑶. 棋盘式纸浆模塑制品结构研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2010.
- DENG Yaoyao. Research on the Molded Pulp of Chessboard Structure[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2010.
- [19] 刘 毅. 基于缓冲曲线的液晶电视包装设计方法[J]. 电子世界, 2016(20): 139-141.
- LIU Yi. Design Method of LCD TV Packaging Based on Buffer Curve[J]. Electronics World, 2016(20): 139-

- 141.
- [20] 王婷婷, 刘筱霞. 基于整体包装解决方案的振动送料设备的包装设计[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(1): 68-71.
- WANG Tingting, LIU Xiaoxia. The Packaging Design of Vibration Feeding Equipment Based on the Finite Element Analysis[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(1): 68-71.
- [21] 赵振, 陈黎敏. 瓦楞纸板和蜂窝纸板的力学性能研究[J]. 包装工程, 2005, 26(3): 5-7.
- ZHAO Zhen, CHEN Limin. Review on Mechanical Performance of Corrugated Paperboard and Honeycomb Board[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(3): 5-7.
- [22] 刘永辉, 张银. 基于有限元分析的洗衣机跌落冲击仿真及改进设计[J]. 振动与冲击, 2011, 30(2): 164-166.
- LIU Yonghui, ZHANG Yin. Dropping Simulation and Design Improvement of a Washing Machine Based on FE Analysis[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(2): 164-166.
- [23] 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 Zhihui, LI Liang, LIU Hongda, et al. Finite Element Verification of Packaging Structure of Horizontal Vacuum Cleaner[J]. Light Industry Machinery, 2018, 36(4): 7-13.
- (责任编辑: 李玉华)

## Design of Transportation Packaging for Electric Cooker and Simulation Analysis of Drop

CHANG Jiang, GONG Xue

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

**Abstract:** In order to study the cushioning performance of electric rice cooker in the process of circulation, the transportation packaging was designed by choosing the environmental friendly cushioning material foamed polyethylene (EPE) as the buffering cushion, and AB type corrugated board as the outer packaging. According to the specification and cushioning requirement of the rice cooker, the structures of cushioning lining and outer packing box were calculated and designed, and were modeled by Solidworks software. The established model was input into ANSYS, with the parameters of each layer of cushioning packaging material set up, and the free falling body drop simulation test was carried out. By analyzing the stress distribution cloud diagram and the maximum stress curve at the moment of the contact with the ground, it was found that the maximum stress occurred in the position of the outer packing box contacting the ground during the fall process, and the maximum stress was smaller than the ultimate stress of the rice cooker material ABS. Therefore, the designed transportation packaging could meet the buffering requirements and achieve the purpose of protecting the rice cooker.

**Keywords:** rice cooker; buffer packaging; buffering cushion; drop simulation