

基于 Ansys Workbench 的电炖锅包装设计与仿真分析

张帆, 杨懿, 吴四鹏
(福州大学至诚学院, 福州 350002)

摘要: **目的** 优化电炖锅包装, 比较 EPS 与瓦楞纸内衬的包装效果, 以及替代可能性。**方法** 参考电炖锅产品流通过程中的环境参数, 对产品进行有限元建模和约束处理, 基于 Ansys Workbench 中的有限元思想, 通过模态分析、随机振动、跌落等情况, 分析得到不同力学载荷作用下产品的变形、应力、应变, 以及破损情况, 通过改变包装内衬实现电炖锅的包装优化设计。对优化后的包装件进行仿真分析, 并与原包装件进行比较。**结果** 最大应力出现在产品的螺栓连接处。裸机、EPS 泡沫包装件和瓦楞纸 (B 楞) 包装件的最大应力分别为 353.25, 115.69, 171.84 MPa。**结论** 瓦楞衬垫的抗压强度、抗冲击性能、抗振性虽都差于 EPS 泡沫包装, 但还是可以很好地保护电炖锅, 因此具有良好包装结构设计的瓦楞纸包装可以取代传统 EPS 泡沫包装。

关键词: Ansys Workbench; 跌落仿真; 包装设计

中图分类号: TB484.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)01-0095-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.015

Packaging Design and Simulated Analysis of Electric Cookers Based on Ansys Workbench

ZHANG Fan, YANG Yi, WU Si-peng
(Fuzhou University Zhicheng College, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize the packaging of electric cookers, and compare the packaging effects and alternative possibilities of EPS and corrugated liners. With reference to the environmental parameters of the electric cookers during the product flow, the finite element modeling and constraint processing were performed on the product. Based on the finite element concept in Ansys Workbench, the deformation, stress, strain and damage of the product under different mechanical loading effects were obtained through modal analysis, random vibration and drop. The packaging design of the electric cooker was optimized by changing the packaging liner. The optimized package was subject to the simulated analysis and compared with the original package. The maximum stress occurred at the bolted joints of the product. The maximum stresses of bare metal, EPS foam packaging and corrugated (B fluted) packaging were respectively 353.25, 115.69, 171.84 MPa. Although the compressive strength, impact resistance and vibration resistance of corrugated liners are all worse than EPS foam packaging, they can still protect electric cookers well. Therefore, corrugated packaging with good packaging structure design can replace traditional EPS foam packaging.

KEY WORDS: Ansys Workbench; drop simulation; packaging design

收稿日期: 2019-06-17

基金项目: 2019 年福建省本科高校教育教学改革研究项目 (FBJG20190186)

作者简介: 张帆 (1988—), 男, 福州大学至诚学院讲师, 主要研究方向为工业产品设计、包装结构设计及运输包装。

家用厨具电炖锅因操作简单方便、节约时间,逐渐受到消费者青睐。常见电炖锅内胆材料为陶瓷,虽然陶瓷器皿质地致密、气孔细微透气且不渗水,还具有加热释放红外线等特点^[1-2],但陶瓷内胆极易破碎,如果保护不当就会在运输过程中出现损伤。目前,陶瓷内胆常用保护材料为发泡塑料(EPS),这种材料不可降解,会对环境造成很大压力,因此,文中采用瓦楞纸进行缓冲设计并替代EPS内衬。利用Ansys Workbench来对裸产品进行模态分析,获得产品固有特性并针对产品的易碎点进行重点防护设计;采用随机振动仿真,查看产品的防振性能,产生共振时产品是否发生破坏;对包装件进行跌落仿真测试,查看跌落时产品是否发生破损。利用Ansys Workbench软件辅助设计包装结构,并测试结构是否达到保护产品的作用,为结构设计提供参考,发现包装结构中的隐性问题。最后,通过比较瓦楞纸包装和EPS泡沫包装的缓冲性能,验证瓦楞纸包装结构的合理性及可行性。

1 电炖锅裸产品及包装件模型的建立及分析

1.1 建立电炖锅三维模型

利用SolidWorks软件绘制电炖锅及包装件的简化模型,主要包括电炖锅底座、陶瓷内胆、盖子、EPS泡沫和瓦楞纸外盒组成,电炖锅尺寸为184 mm×184 mm×231.6 mm,见图1。

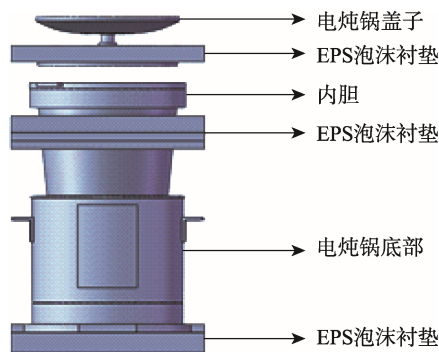


图1 三维模型
Fig.1 3D model

1.2 定义材料参数

Ansys Workbench默认材料库中没有产品构成材料,经查找资料找到材料的各种性能参数(见表

1^[3-5]),并赋予材料。主要材料包括耐热老化聚丙烯(PP2)、玻璃、陶瓷、铝(AL3003)等。

表1 材料特性
Tab.1 Material properties

材料	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/GPa	泊松比
玻璃	2530	90.3	0.243
陶瓷	2400	5.86	0.23
铝(AL3003)	2700	69	0.33
PP2	910	2.214	0.423
瓦楞纸板	300	0.19	0.15

EPS泡沫的密度为11.18 kg/m³,弹性模量为1.52 MPa,泊松比为0.3^[6]。由于显示动力学的应力-应变曲线最多只能由10个点来定义,因此EPS泡沫的材料塑性属性由表2中的数据点来定义。

1.3 接触类型和网格划分

根据软件仿真的计算速度与包装件在运输过程中的状态,对接触进行了一定的简化处理。

地面与外包装箱采用无摩擦接触,瓦楞纸与EPS泡沫内衬之间采用摩擦接触,其余接触全部简化为绑定接触。模型网格划分结果将决定仿真计算结果的准确性和计算速度。采用插入网格划分(Method)选择六面体主导法的方式(Hex Dominant)对模型进行网格划分。系统默认单元一般选择的Solid 186和Solid 187单元,总节点为153 116,总网格数为42 995,结果见图2。

1.4 电炖锅裸产品仿真分析

1.4.1 模态分析

模态分析^[7]是为了得到产品固有频率,评价产品包装件动态特性是否符合产品在不同状态下的要求。其方法主要采用计算模态分析法,步长为0.1 s。Ansys Workbench模态分析的边界条件设置是将电炖锅底座的8个小凸足底面采用完全固定的约束。电炖锅前6阶振形图及频率的大小见表3。

一般公路网的频率在0~200 Hz,由表3可知,仅有1阶和2阶的频率在0~200 Hz内,公路运输过程中经常会在2 Hz和10 Hz这2个振动频率点左右出现最大峰值点。虽然1阶和2阶固有频率在公路网频谱内,但避开了公路网频率的峰值。前6阶振形见图3,其中前6阶振形云图依次为图a—f。

表2 EPS泡沫的应力-应变
Tab.2 Stress-strain of EPS foam

塑性应变/mm	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
应力/MPa	0.044	0.054	0.059	0.064	0.066	0.07	0.072	0.075	0.077	0.081

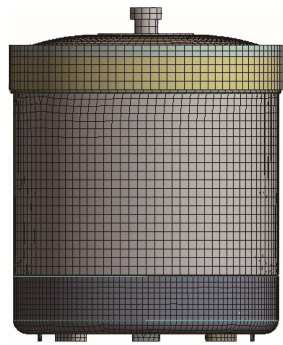


图 2 模型的网格划分
Fig.2 Model meshing

表 3 前 6 阶振形
Tab.3 First six orders of mode shapes

阶数	频率/Hz	振形
1	81.897	电炖锅在 x 轴左右摆动
2	82.42	电炖锅在 z 轴左右摆动
3	236.35	电炖锅在 y 轴上下摆动
4	347.22	电炖锅 PP 底座与内壁中间上下摆动
5	442.43	电炖锅在 y 轴扭转
6	563.96	电炖锅在 z 轴左右摆动

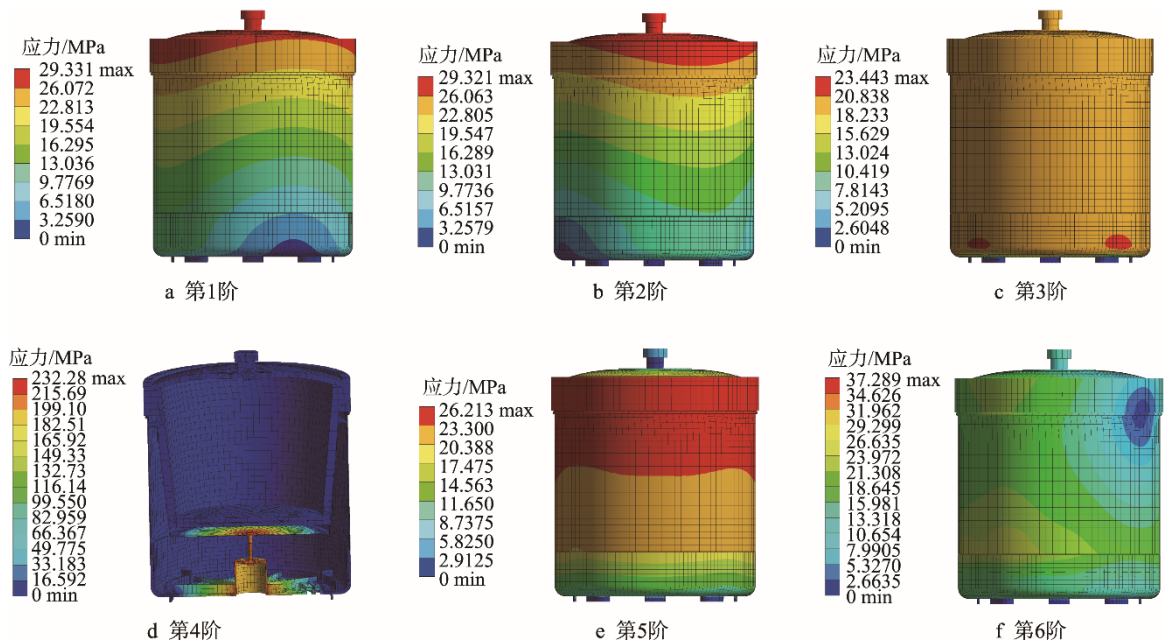


图 3 前 6 阶模态振形
Fig.3 First six orders of mode shapes

第 4 阶是振幅最大的一阶振形，振形的出现是由产品结构本身设计出现问题造成的。第 4 阶振形中产品 PP2 底座在内壁中间上下摆动，这是由于两者之间有个很大空隙，且由螺栓连接，此结构导致模态振幅较大。

1.4.2 随机振动分析

根据 1.4.1 节中求解结果及实际运输过程中的振动情况，选择随机振动的方式进行仿真分析。采用功率谱方法描述随机振动激励的统计特征。小型电器在我国多采用卡车公路网运输^[8—12]，因此采用 GB/T 4857.23—2012“包装 运输包装件基本试验第 23 部分：随机振动试验方法”附录中提供的弹簧减振卡车公路运输随机振动功率谱密度曲线（见图 4），选择推荐残酷水准Ⅱ。Workbench 设置中利用 Calculate Acceleration 模块计算加速度，方向选择 z 轴和 1sigma 置信区间。插入等效应力和定向加速度结果分析，仿真结果见图 5。

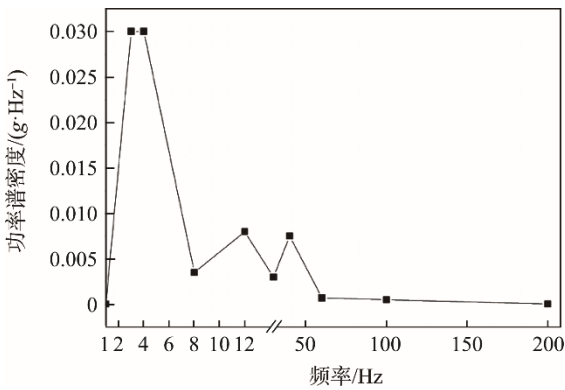


图 4 公路运输残酷水平Ⅱ随机振动 PSD 曲线
Fig.4 PSD curve of random vibration at cruel level II of highway transportation

Workbench 的等效应力见图 5a，可知，最大应力出现在产品铝内壁与螺栓接触的地方，为 4.1968 MPa。其次应力出现在底部加强筋与底部环形外壁连接的地方，出现应力集中。最大应力小于 PP2 的屈服

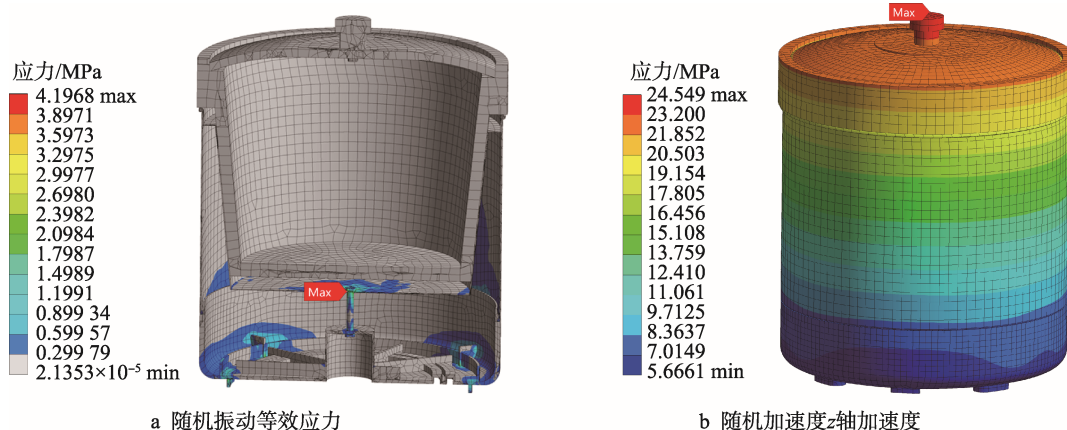


图5 随机振动仿真结果

Fig.5 Random vibration simulation results

强度。 z 轴加速度云图见图5b,可知最大加速度出现PP2材质的盖帽顶部,为 24.549 m/s^2 ,冲击加速度约为 $2.5g$ 。

1.4.3 跌落仿真分析

在运输过程中,由于路面和运输工具的原因,可能会引起产品包装件的倾倒跌落现象,在此过程中造成产品包装件破损,甚至产品产生问题,影响使用。由此可见,通过跌落仿真对其包装件进行分析,为优化设计提供数据参数。将简化的模型导入软件,参数设置同1.2节相同,结果见图6。最大应力出现在 0.00138 s ,最大应力为 353.25 MPa ,出现在螺栓上,与随机振动出现最大应力的地方相同。

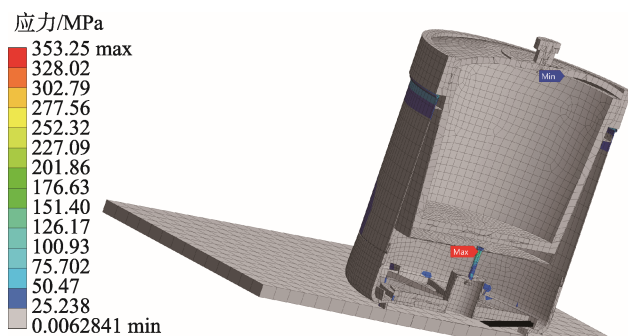


图6 面跌落最大应力云图

Fig.6 Surface drop maximum stress cloud map

通过对电炖锅的仿真分析得出最大应力均出现在螺栓处。主要是因为整个电炖锅底部中空,仅由螺栓将整个底部连接起来,造成螺栓处出现应力集中现象。裸机跌落时,最开始接触地面的是8个脚垫,螺栓处的PP2材料离脚垫位置最远,因此造成此处出现最大变形,对螺栓产生应力集中。在瓦楞纸包装设计时尽可能增加与电炖锅底部的接触面积,避免中间圆心因远离脚垫产生变形或对螺栓造成应力集中,进而产生破坏。

2 电炖锅包装件静力学分析

包装件在仓储堆码和运输堆码过程中,受到外界压力和自身重力的共同作用,会使得包装件在静载荷作用下发生变形或蠕变现象,因此将从电炖锅原包装件静力学分析着手优化包装,再进行优化后包装件的静力学分析,最后对2种包装件静力学分析结果进行比较,说明优化包装的可行性。

在Modal模块基础上添加Static Structural模块,通过模块之间的数据共享,直接建立静力学分析模块。

在静态载荷^[13]的长时间作用下,包装箱、缓冲材料或者结构会发生较大变形或蠕变现象,包装箱必须满足堆码强度条件。

$$P = k \frac{H-h}{h} W$$

式中: P 为最底层包装件所承受的最大压力(N); H 为最大堆码高度(mm); h 为包装件高度(mm); W 为包装件重力(N); k 为安全系数。

2.1 电炖锅原包装件静力学分析

不同部位采用不同的网格划分方法,外箱、EPS泡沫内衬及地面采用六面体主导的方式(Hex Dominant)对模型进行划分,裸产品采用自动划分的方式进行网格划分,系统默认单元一般选择的Solid 186和Solid 187单元,总节点为274 059,总网格数为75 481,结果见图7。

电炖锅包装件的最大堆码高度为 1.5 m ,重力为 30 N ,安全系数 1.6 ,则包装件所承受最大压力约为 235.5 N ,仿真结果见图8。Ansys Workbench云图显示最大应力出现在底部加强筋和与底部之间位置,主要原因是底部受力后加强筋将力分散至两端,造成两端应力集中,最大应力为 3.8232 MPa 。PP2材料的最

大屈服应力约为 41.3 MPa，材料不会产生塑性变形，强度符合要求。

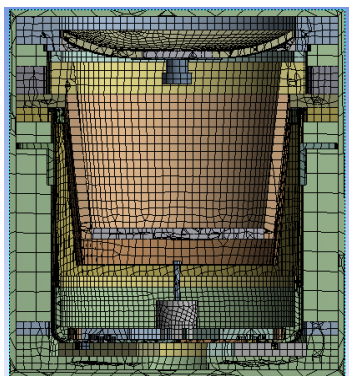


图 7 模型的网格划分
Fig.7 Model meshing

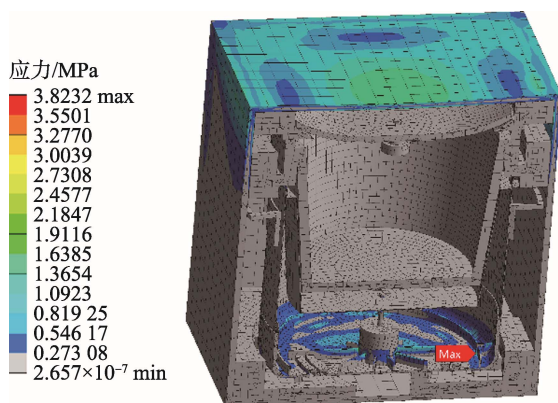


图 8 EPS 泡沫包装件堆码的最大应力云图
Fig.8 Maximum stress cloud map of EPS foam packaging stacking

2.2 电炖锅瓦楞纸包装件静力学分析

瓦楞纸板选用 B 楞,瓦楞纸包装件的网格划分采用 Ansys Workbench 自动划分。同样对该包装件施加 235.5 N 的静载荷后进行静力学分析,结果见图 9。由图 9 可知,最大应力为 11.677 MPa,AL3003 屈服应力为 167 MPa,因此并不会出现破损,瓦楞纸包装

符合强度要求。陶瓷内胆与铝制内壁有一个正方形的瓦楞纸将上方的压力分散到铝制内壁的底部,这样可以减少底部 PP2 材质的压力。

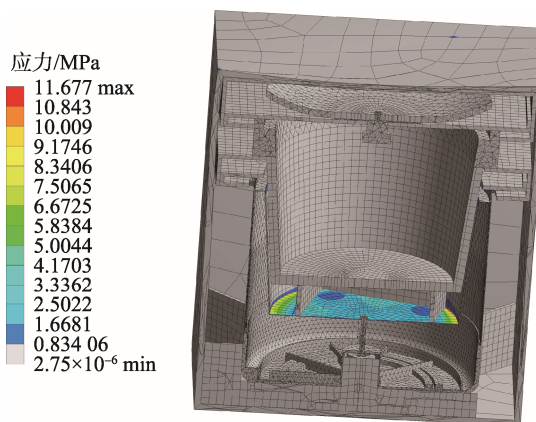


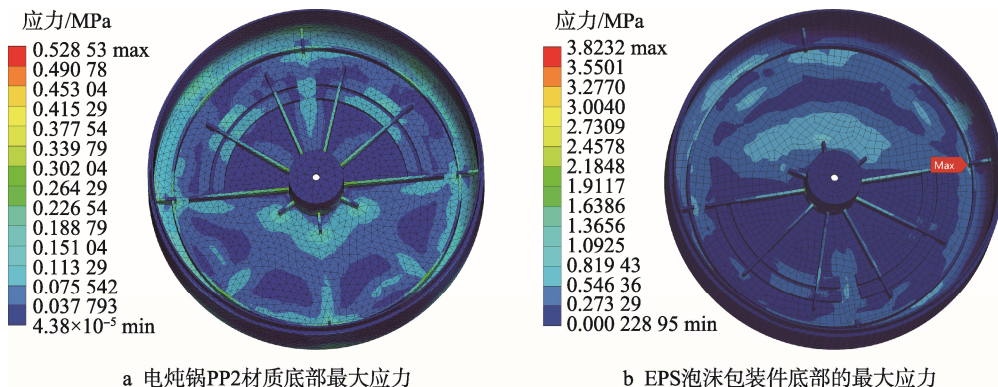
图 9 瓦楞纸包装件堆码的最大应力云图
Fig.9 Maximum stress cloud map of corrugated packaging stacking

2.3 2 种包装件静力学分析结果比较

在瓦楞纸包装件中,电炖锅 PP2 材质底部云图的最大应力为 0.528 53 MPa,比没有设计此内衬的 EPS 泡沫包装件还要小,见图 10a。EPS 泡沫的最大应力为 3.8232 MPa,见图 10b。说明以瓦楞纸板为材料所设计的内衬缓冲效果比 EPS 泡沫内衬的缓冲效果优良,对底部较为易变形的 PP2 材质起到了较好保护作用。

3 电炖锅包装件动力学分析

对货物进行装卸搬运时^[7],一般是因为人工操作不小心造成包装件跌落或碰撞,进而产生产品破损。为了验证包装的保护性能及可靠性,采用 Ansys Workbench 的显示动力学 (Explicit Dynamics) 对包装件进行跌落仿真。主要从原包装件动力学分析出发,优化包装件,再进行优化后包装件的动力学仿真



a 电炖锅PP2材质底部最大应力

b EPS泡沫包装件底部的最大应力

图 10 2 种包装件静力学分析结果比较

Fig.10 Comparison of static analysis results of two kinds of packaging

分析,并将 2 种分析结果进行比较,从而验证包装的保护性能及可靠性。其中,跌落过程中姿态发生变化,实际是以面跌落的方式完成。

3.1 电炖锅原包装件动力学分析

3.1.1 前处理及参数设置

在进行电炖锅仿真分析前,将包装件基于三维模型建立有限元模型,即进行划分网格,添加边界约束及力学约束等。在 Solid Works 中将模型旋转一定角度并添加地面,导入产品简化模型。在 Modal 模块的基础上添加 Random Vibration 模块,通过模块之间的数据共享,建立分析模块,地面设置为钢板材质。

假设纸箱在跌落过程中仅受重力,从 762 mm 处做自由落体运动。为降低计算量,将跌落高度等效为初速度,即以 3.86 m/s 的初速度跌落。根据多次尝试,时间最适设置为 0.0025 s,且计算量较少。钢板的底面采用 Fixed Support 方式固定,并添加全局重力加速度。

3.1.2 求解及分析

求解过程主要是完成与有限元方法有关的数值计算,然后进行分析(后处理),对计算输出的结果进行必要处理,并按一定方式显示或打印出来,以便对结构性能的好坏或设计的合理性进行评估。

模拟跌落过程中整体包装件从 762 mm 高处跌落,其运算结果见图 11。棱跌落时整个包装件质量

分布不均匀,不会出现包装件垂直弹起,而是包装件绕棱转动最后变成面跌落,最大应力云图见图 11a。最大应力出现螺栓与内壁底面相接触的地方,最大应力为 69.272 MPa,小于 AL3003 屈服应力为 167 MPa,因此在跌落时该包装件是安全的。

由于采用 EPS 泡沫是一种通过形变来吸收能量的材料,因此当材料受到很大的力时,EPS 泡沫会出现较大形变,造成电炖锅铝制内壁和陶瓷内胆在这一瞬间出现接触产生冲击造成陶瓷内胆破碎。

将铝制内壁和陶瓷内胆单独提取出来,冲击瞬间陶瓷的应力为 5.0569 MPa,铝制内壁的应力为 38.53 MPa,远远小于 AL3003 屈服应力。陶瓷内胆的应力较大,虽没有到达陶瓷的屈服应力,但由于陶瓷在生产过程内部有可能出现微裂纹,因此受到这种冲击可能会造成陶瓷微裂纹扩大。

3.2 电炖锅瓦楞纸包装件动力学分析

在棱跌落时发现原 EPS 泡沫内衬的问题,针对上述问题采用瓦楞纸材质对包装进行优化设计并重新导入软件进行仿真测试。

3.2.1 模型导入及参数设置

衬垫设计主要由 4 部分组成,见图 12。将自定义材料参数设置及网格划分采用同 1.4 节类似的设置,划分结果见图 13。

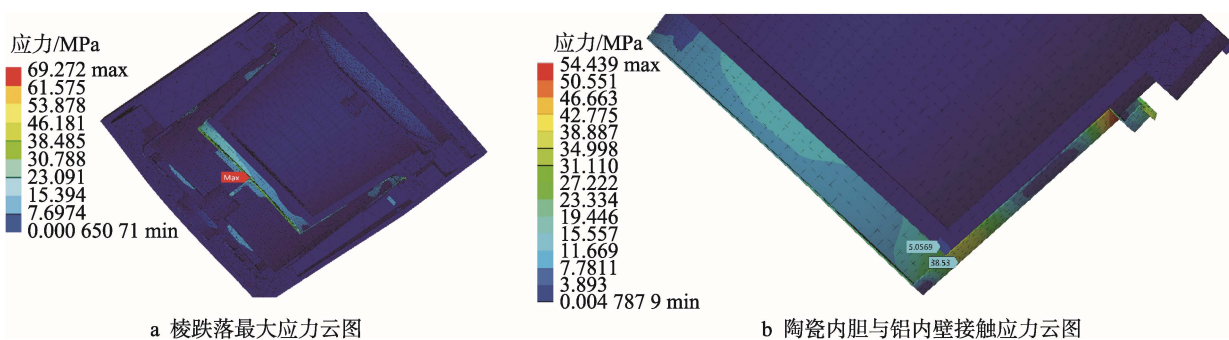


图 11 棱跌落仿真
Fig.11 Edge drop simulation

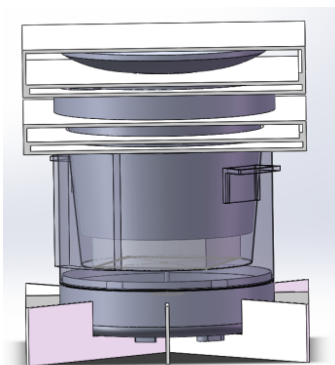


图 12 三维模型
Fig.12 3D model

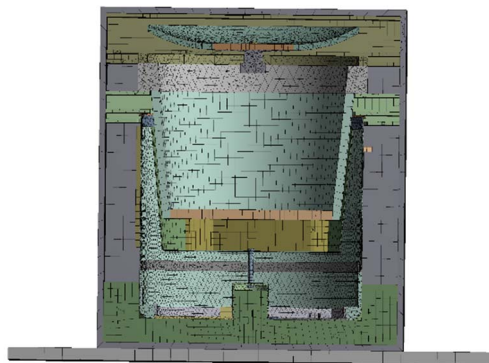


图 13 网格划分
Fig.13 Meshing

3.2.2 随机振动分析及跌落测试

采用与 1.4.2 节相同的仿真设置条件与方法, 得到瓦楞纸包装的振动应力云图, 见图 14, 最大应力出现在盖子的螺栓处, 其值为 6.8728 MPa。和 EPS 包装比较, 两者最大应力十分接近, 只是最大应力出现的地方不相同, 两者都能对产品保护很好。

采用与 1.4.3 节相同的跌落环境仿真设置^[14—15], 仿真结果见图 15, 最大应力出现在螺栓上, 应

力为 171.84 MPa。由瓦楞纸包装跌落云图可知, 瓦楞纸包装把应力分散到铝制外壳, AL3003 的屈服强度为 167 MPa, 较于 PP2 材质的 41.3 MPa 大很多。根据云图说明瓦楞纸包装结构设计比较合理。

由于整体的应力过大, 会让部分过小的应力都显示灰色, 单独查看 PP2 材质底部与内胆 2 个零件的应力云图, 见图 16。

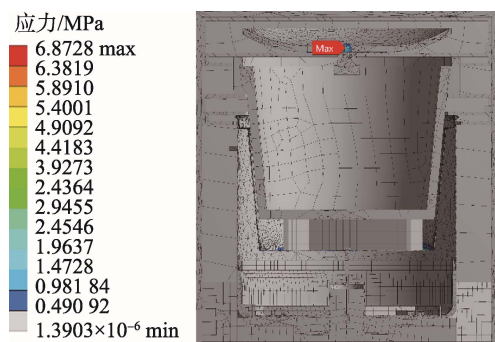


图 14 瓦楞纸包装随机振动应力云图

Fig.14 Random vibration stress cloud map of corrugated packaging

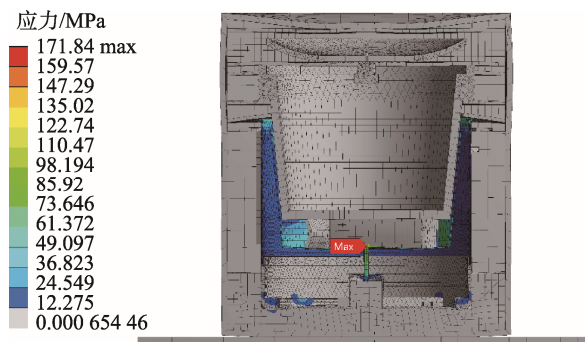
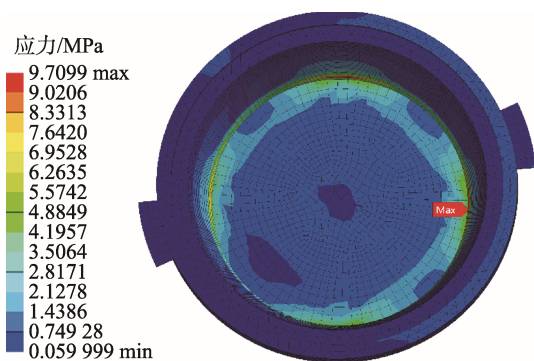
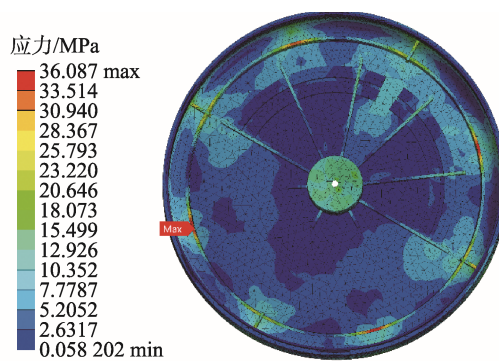


图 15 面跌落最大应力云图

Fig.15 Maximum stress cloud map for face drop



a 内胆应力云图



b PP2材质的底部应力云图

图 16 PP2 材质底部与内胆的最大应力云图

Fig.16 Maximum stress cloud maps of the bottom and liner of the PP2 material

根据云图数据陶瓷的最大应力为 9.7099 MPa, PP2 材质底部的应力为 36.087 MPa, 分别小于 PP2 和陶瓷材质的屈服强度。说明这 2 个零件都不会出现损坏, 瓦楞纸包装同样能较好地保护产品。

3.3 2 种包装件动力学分析结果比较

EPS 泡沫优点十分明显, 在缓冲减振方面虽有良好的性能, 可以完美保护产品, 但自然降解十分缓慢。原包装的 EPS 衬垫在棱跌落仿真时由于 EPS 泡沫形变, 内壁与陶瓷内胆发生接触产生冲击, 这对陶瓷内胆可能造成破坏。在瓦楞纸包装时, 将陶瓷内胆与内壁中空的地方采用瓦楞纸进行缓冲, 防止由于内胆与铝制内壁产生接触造成损坏。在裸机跌落、EPS 泡沫缓冲包装及瓦楞纸包装跌落时, 应力出现的位置相同, 裸机的最大应力为 353.25 MPa, EPS 泡沫包装跌

落时最大应力为 115.69 MPa, 瓦楞纸包装跌落时最大应力为 171.84 MPa。相比较说明瓦楞纸包装与 EPS 泡沫包装都能够较好地保护产品, 说明优化包装在电炖锅包装中具有一定可靠性, 同时环保性能也有所提升。

4 结语

通过采用 Ansys Workbench 仿真分析, 无论是模态分析、随机振动还是跌落冲击分析, 得出的最大应力都出现螺栓上。主要因为整个电炖锅底部中间是空的, 仅由螺栓将整个底部连接起来, 这样造成螺栓处出现应力集中。针对上述情况, 对产品的包装结构进行设计并进行仿真分析。仿真分析结果表明, 裸机、EPS 泡沫包装件和瓦楞纸 (B 楞) 包装件的最大应力分别为 353.25, 115.69, 171.84 MPa。对比 EPS 包装

和瓦楞纸包装的仿真分析结果, EPS 泡沫在材料性能上较瓦楞纸好, 大部分瓦楞纸包装的产品受到的应力大于 EPS 泡沫包装产品。在堆叠测试中, 瓦楞纸结构在保护 PP2 材质底部时比 EPS 包装优秀。虽然整体的应力大于 EPS 泡沫包装, 但重点保护对象应力比 EPS 包装小, 符合电炖锅产品的各项包装要求, 说明该包装方案合理并可行。

参考文献:

- [1] 贺习耀. 浅析“瓦罐鸡汤”的风味成因[J]. 中国食品, 1991(11): 30—32.
HE Xi-yao. A Brief Analysis of the Flavor Causes of "Tin-pot Chicken Soup"[J]. Chinese Food, 1991(11): 30—32.
- [2] 何小峰, 岳馨钰, 王益, 等. 瓦罐鸡汤主要滋味物质研究[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 273—278.
HE Xiao-feng, YUE Xin-yu, WANG Yi, et al. Study on Main Taste Substances of Tin-jar Chicken Soup[J]. Food Science, 2010, 31(22): 273—278.
- [3] 谷骁勇, 张黎明. 基于 ANSYS 的玻璃杯强度的跌落仿真分析[J]. 机电产品开发与创新, 2009, 22(5): 107—108.
GU Xiao-yong, ZHANG Li-ming. Falling Simulation Analysis of Glass Strength Based on ANSYS[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2009, 22(5): 107—108.
- [4] 李文茜, 刘子建. 家用陶瓷汤锅结构热力学有限元分析[J]. 中国陶瓷, 2015(6): 40—44.
LI Wen-qian, LIU Zi-jian. Thermodynamic Finite Element Analysis of Household Ceramic Soup Pot Structure[J]. Chinese Ceramic, 2015(6): 40—44.
- [5] 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 Dan-ting, et al. Cushioning Packaging Design and Mechanical Properties Analysis of Eggs[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 55—58.
- [6] 丁玉平, 钱怡. 基于 Ansys Workbench 的整体包装件动态缓冲特性仿真分析[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 18—22.
DING Yu-ping, QIAN Yi. Dynamic Cushioning Property Simulation Analysis of the Overall Package Based on Ansys Workbench[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 18—22.
- [7] 韩乐争. 智能座便器缓冲包装的动态分析[D]. 唐山: 华北理工大学, 2015: 4—6.
HAN Le-zheng. Dynamic Analysis of Cushion Packaging of Intelligent Toilet[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2015: 4—6.
- [8] 华丽. 洗衣机运输包装的跌落仿真及可靠性探讨[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 6—7.
HUA Li. Drop Simulation and Reliability of Washing Machine Transportation Packaging[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008: 6—7.
- [9] 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: 4.
YANG Xu-biao. Numerical Simulation on Drop Impact of LCD TV Package Based on ANSYS Workbench[D]. Jinan: Shandong University, 2015: 4.
- [10] 唐丽丽. 基于 ANSYS Workbench 的电压力锅有限元分析及优化设计[J]. 上海包装, 2017(4): 14—17.
TANG Li-li. Finite Element Analysis and Optimum Design of Electric Pressure Cooker Based on ANSYS Workbench[J]. Shanghai Packaging, 2017(4): 14—17.
- [11] 程敏, 陈满儒. 冰箱的缓冲包装 CAE 分析[J]. 包装工程, 2017, 38(21): 102—105.
CHENG Min, CHEN Man-ru. CAE Analysis of Cushioning Packaging of Refrigerator[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(21): 102—105.
- [12] 张彬. 笔记本电脑跌落测试仿真分析与研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2014: 7—8.
ZHANG Bin. Simulation Analysis and Research of Laptop Drop Test[D]. Suzhou: Suzhou University, 2014: 7—8.
- [13] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 文化发展出版社, 2016: 91—94.
PENG Guo-xun. Logistics Transportation Packaging Design[M]. Beijing: Cultural Development Press, 2016: 91—94.
- [14] MILLS N J, MASSO-MOREU Y. Finite Element Analysis (FEA) Applied to Polyethylene Foam Cushions in Package Drop Tests[J]. Packaging Technology & Science, 2005, 18(1): 29—38.
- [15] CADGE D, HJ J W, BAI R, et al. Drop Test Simulation of Electronic Devices Using Finite Element Method [C]// International Conference on Electronic Materials & Packaging, IEEE, 2006: 118—119.