

缓冲与隔振

侧吸式油烟机包装件的跌落分析及优化设计

徐红艳¹, 李志强², 樊博², 靳朝晖²

(1.兰州铁路技师学院, 兰州 730050; 2.陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 基于侧吸式油烟机包装件的跌落试验与仿真研究, 对侧吸式油烟机缓冲包装的结构进行改进设计。**方法** 首先对侧吸式油烟机包装件进行原方案的跌落试验, 然后运用 Pro/E 软件建立三维模型, 并利用 Workbench 和 LS-DYNA 软件进行跌落仿真分析, 最后结合跌落试验与仿真结果, 改进缓冲包装的结构设计, 进行仿真验证。**结果** 通过跌落试验, 观察到底面和侧面衬垫以及油烟机机体都发生了损坏, 得到了支撑架零件各个跌落工况的冲击加速度值。对比跌落试验和仿真分析结果, 两者误差在 9% 以内。结合试验与仿真分析结果, 对原设计方案进行改进并仿真验证, 得到原方案从初始速度值 2.97 m/s 衰减到 0 所需的时间为 10.3 ms, 最大加速度值为 43.10g, 改进方案的初速度衰减到 0 需要 14.5 ms, 最大加速度值为 33.41g。**结论** 运用试验和仿真的方法对侧吸式油烟机包装件进行评估, 验证仿真结果的有效性, 利用仿真分析法指导缓冲包装改进设计, 此思路能够为后续类似的缓冲包装设计提供参考。

关键词: 侧吸式油烟机; 运输包装件; 有限元法; 跌落试验; 仿真分析

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)09-0136-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.020

Analysis and Optimization Design of Side Suction Range Hood Package Drop

XU Hong-yan¹, LI Zhi-qiang², FAN Bo², JIN Zhao-hui²(1.Lanzhou Railway Technician College, Lanzhou 730050, China;
2.Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the buffer package structure of the side suction range hood based on the drop test and simulation study of the package of the side suction range hood. Firstly, the original scheme of drop test was carried out on the package of the side suction range hood. Then, a 3D model was established with Pro/E software, and the drop simulation analysis was carried out with Workbench and LS-DYNA software. Finally, combined with the drop test and simulation results, the design of buffer package structure was improved, and the simulation verification was carried out. Through the drop test, the damage of the bottom and side cushions as well as the body of the range hood was observed, and the impact acceleration value of the parts of the support frame under each drop condition was obtained. Compared with the drop test and simulation analysis results, the error of the two was within 9%. The improved design and simulation verification of the original scheme were carried out based on the experimental and simulation analysis results, showing that the pulse time of the original scheme decaying to 0 m/s from the initial velocity value of 2.97 m/s was 10.3 ms, and the maximum acceleration value was 43.10g, while the pulse time decaying to 0 m/s of the improved scheme required 14.5 ms, and the maximum acceleration value was 33.41g. The packages of side suction range hood are evaluated by means of experiment and simulation. After verifying the effectiveness of simulation results, the simulation analysis method is used

收稿日期: 2019-10-21

作者简介: 徐红艳 (1966—), 女, 工程硕士, 兰州铁路技师学院高级讲师, 主要研究方向为机电一体化。

通信作者: 李志强 (1976—), 男, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为绿色包装技术。

to guide the improved design of buffer packaging. This idea can provide some references for similar follow-up buffer packaging design.

KEY WORDS: side suction range hood; distribution package; finite element method; drop test; simulation analysis

冲击与振动是造成包装件损坏的主要原因。冲击能够在极短时间内使包装件速度出现突变并将能量进行转化,同时使内装物发生短暂而猛烈的冲撞^[1]。随着有限元技术的发展,实验室不再是验证产品包装性能的唯一手段^[2]。刘静^[3]运用 Ansys 软件,对有无缓冲的包装以及不同跌落高度和跌落姿态分别进行跌落仿真模拟,获取了沙拉碗跌落冲击过程中应力、变形和加速度的分布及变化规律。潘迪等^[4]采用 LS-DYNA 开展了液晶电视的仿真跌落分析,基于仿真结果,运用 OptiStruct 对包装结构进行拓扑优化,对比了优化前后的结果。何雯等^[2]基于 Creo 和 Ansys Workbench 软件进行产品包装件的跌落仿真分析,得到了产品的位移及应力分布。杨程浩等^[5]使用 Hypermesh 联合 ABAQUS 软件建立了液态奶礼盒的有限元模型,并进行仿真跌落试验,根据分析结果设计了 2 种新的方案,均优于原方案。王慧等^[6]以某公司的超高压并联电容器装置包装箱为例,建立了实体计算仿真模型,采用有限元软件对结构在惯性和离心力作用下研究分析,并利用第四强度理论进行校核,最后对包装箱 3 个方向的加速度频谱进行计算。张恩齐等^[7]基于显式有限元法对吸油烟机跌落过程进行仿真分析,制定包装优化方案,对比分析优化前后的跌落仿真结果,最后进行跌落试验验证,从而达到包装优化降低包装成本及试验成本的目的。樊建军等^[8]依据相关标准对冰箱正跌与后角跌落 2 种工况进行仿真分析,并结合动力学相关理论提出包装底垫的优化方案,最后经过试验验证底垫优化方案通过测试。付秋莹^[9]通过计算机模拟玻璃杯包装与地面面跌落接触碰撞,得到其最大形变和最大应力,并与实际跌落试验进行对比,为产品包装设计提供参考依据。Irving S 等^[10]利用 Ansys 软件中的隐式算法对便携式的 IC 封装进行跌落仿真分析,得到了可供参考的仿真结果。Cadge 和 Groothuisa 等^[11-12]利用仿真分析方法,分别模拟了鼠标和印刷电路板的整个跌落过程,得到了各部件的冲击响应参数。汪剑等^[13]运用 Ansys Workbench 对核物质包装体的跌落过程进行分析研究,根据得到的应力应变结果来验证结构强度是否满足要求。崔睿等^[14]对某品牌智能座便器缓冲包装进行跌落仿真分析,根据分析结果得到影响缓冲作用的最主要因素为 EPE 衬垫的厚度,并对其参数进行优化。

文中研究对象为某公司侧吸式油烟机包装件,由于油烟机价格昂贵且主体结构复杂,若每次都需通过跌落试验研究整体包装件,研究成本较高且不易观察到内部的受力情况。基于众多学者的研究,计算机仿

真既能降低试验成本,又能观察到结构内部的受力情况。利用试验和仿真分析结合的方法对包装件跌落过程进行研究,通过对比结果,不断修正仿真参数,减少误差,以完善有限元模型,从而验证有限元方法对解决侧吸式油烟机包装件问题的可行性。进一步借助有限元方法对缓冲运输包装方案进行改进设计,通过对方案细节的调整,反复进行跌落仿真确定最佳的包装方案,为油烟机包装件的设计提供参考。

1 原包装件方案试验分析

试验样品为某公司侧吸式油烟机包装件,毛质量为 38 kg,净质量为 30 kg,尺寸为 1000 mm×685 mm×552 mm。油烟机由 70 多个零部件装配而成,其中大部分零件属于钣金件、玻璃和塑料等材质,缓冲材料采用 EPS,整体结构见图 1。

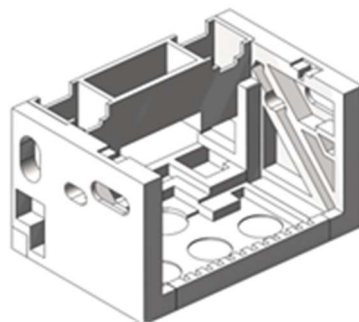


图 1 缓冲结构模型

Fig.1 Cushion structure model

试验前对样品进行编号,见图 2,参考 GB/T 1019^[15]确定跌落高度为 450 mm。包装件跌落试验所使用的设备包括零跌落试验机和信号采集系统 Test Partner 3 等部分。测试过程中,将传感器固定在被测样品表面,且其敏感方向须与冲击方向一致。

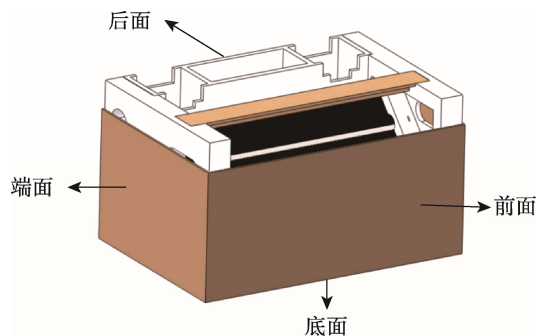


图 2 包装件各部位编号

Fig.2 Package number of each part

包装件跌落试验是将样品上升至规定高度后释放,使其与冲击台面相撞,致传感器达到触发等级,同时通过数据采集系统记录冲击脉冲的加速度-时间历程。根据标准,在完成不同工况跌落后,检查运输包装件受损情况。包装件的跌落工况可以分为面跌落、棱跌落、角跌落等3种不同的形式。此次试验将数据采集传感器安装在吸油烟机机体的支撑架部件上,记录传感器方向,按照预先设置的跌落工况分别进行试验。

试验中按预设高度进行面跌落和2-3棱跌落时,产品未发生损坏,采集的响应加速度值是有效值,其他3种跌落工况均发生不同程度的破损,采集的响应加速度值是无效值。试验后底部衬垫和两侧端面衬垫均有不同程度的损坏,底面衬垫由于受力集中,在锯齿底部断裂。端面衬垫由于支撑架的尖角结构,导致衬垫在角部受力集中出现断裂。在试验中,由于衬垫结构设计不合理,强度设计不足,导致吸油烟机在产品支架处出现变形、铆钉脱落、玻璃面板破损等现象,见图3。跌落试验结果为之后的缓冲包装设计提供了参考,并与仿真数据进行对比,验证跌落仿真分析的准确性。

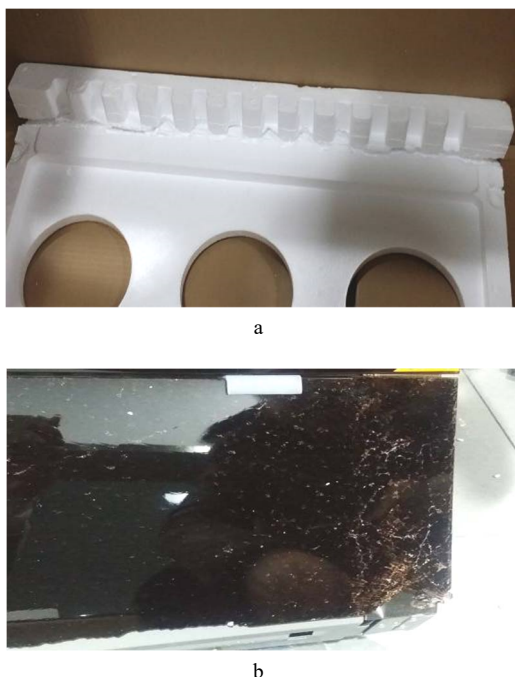


图3 缓冲材料与试验样品损坏情况

Fig.3 Damage of cushion material and test sample

2 原方案包装件仿真分析

2.1 包装件跌落仿真前处理

1) 建立模型。建立油烟机包装件的仿真模型,需要准确还原各零部件的结构、尺寸和装配关系。在

跌落仿真求解中,需要对模型中一些不重要的部件或特征进行适当简化,提高计算效率。如不简化模型,在划分网格时,就会出现网格形状扭曲、网格质量较差等问题。

模型简化是将在仿真分析中对结果影响不大或无影响的小部件或结构中的工艺特征进行简化,如倒角、圆孔、圆角、凸台等,但是简化的部件不能影响产品整体的结构特性,例如重要连接关系的小零部件、螺钉、铆钉等。

2) 材料参数设定。为了模拟真实的跌落过程,需要对产品的各个部件赋予相应的材料属性^[8],主要包括材料的密度、弹性模量、泊松比,具体的参数设置见表1。

表1 材料参数
Tab.1 Material parameters

零件名称	材料	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性 模量/GPa	泊松比
铆钉	铝	2770	71	0.33
推杆	HT300	7200	130	0.27
上机壳	结构钢	7850	200	0.3
推杆连接板	不锈钢	7750	193	0.31
玻璃面板	玻璃	2460	73	0.2
电机垫圈	丁晴橡胶	1000	0.061×10^{-3}	0.49
缓冲衬垫	EPS	21.5	4.1318×10^{-3}	0

3) 接触关系设定。接触设置的目的是尽可能地还原包装件在跌落过程中各零部件之间的装配关系。在跌落仿真分析中,定义产品内部装配关系为绑定接触,部分焊接关系简化为焊点接触。在Explicit Dynamics(LS-DYNA Export)模块中,通过设置Body Interactions 可以很方便地对可能接触的体进行接触设置。此次跌落仿真将产品与缓冲衬垫、缓冲衬垫与纸箱、纸箱与地面处理为摩擦接触,在Body Interactions 中设置,防止在仿真分析中出现没有设定的接触和碰撞,其中静摩擦因数和动摩擦因数分别为0.2和0.1。

4) 网格划分。此次跌落仿真网格划分见图4,包装件的总单元数为792 414,节点数为692 398,其中包括地面模型划分的单元数和节点数。从网格统计的单元类型看,油烟机机体以四面体和四边形单元为主导,缓冲衬垫以六面体网格为主导,整个模型中包含极少数金字塔单元。通过Mesh Metric下的几个参数对网格划分质量进行评估,单元畸变度Skewness的平均值为0.18,在0~0.25的比例因子范围内,表明从单元畸变度方面评估,网格质量极好。

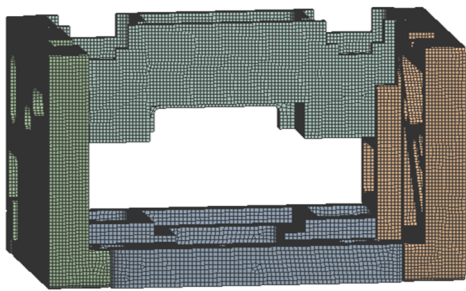


图 4 缓冲衬垫网格划分
Fig.4 Meshing of cushions

2.2 试验与仿真结果对比

冲击响应加速度值和脉冲持续时间是跌落试验评估的主要参数,因此作为此次试验和仿真对比的主要数据。由于产品结构复杂,零部件较多,为了更好地对比试验与仿真的结果,所得的加速度曲线需要经过滤波操作进行处理,并且对试验数据进行简单处理。在试验与仿真分析过程中,提取各种工况下支撑架零件的数据,由于试验限制,在 1-2-3 角跌落,1-3 棱跌落,1-2 棱跌落时包装件发生严重损坏,所以这 3 种跌落工况的试验数据无法提取,也无法进行试验与仿真的对比工作,其他数据见表 2。

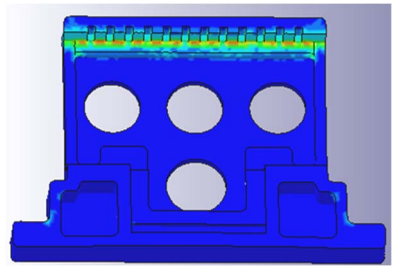
表 2 包装件各种工况下的冲击加速度
Tab.2 Impact acceleration under various drop conditions of the package

跌落工况	支撑架冲击加速度值(g)	
	试验	仿真
1-2-3 角	—	68.24
1-3 棱	—	40.95
1-2 棱	—	30.59
2-3 棱	28.24	30.8
1 底面	92.67	88.7
2 端面	45.09	43.11
3 前面	37.7	36.55
4 后面	40.26	38.92

在表 2 中将试验和仿真结果进行对比,其相对误差均控制在 9%以内。误差来源包括试验中跌落的不可控因素,传感器的误差以及仿真中产品和包装材料的参数设置等。试验后缓冲衬垫受损图与仿真中应力云图对比见图 5,以底面衬垫为例,底面衬垫在锯齿底部开裂,对应的仿真结果中,锯齿底部出现应力集中。从仿真数据及应力云图等方面对比可见,有限元法解决侧吸式油烟机包装件的跌落冲击问题是可靠的。



a



b

图 5 缓冲衬垫试验与仿真对比
Fig.5 Test and simulation comparison of cushions

3 改进设计与仿真验证

3.1 改进设计

根据试验和仿真结果对侧吸式油烟机包装方案进行改进设计,改进后由缓冲衬垫 EPS、木条和瓦楞纸箱等 3 种材料构成,其中缓冲衬垫包含底衬垫、左右两端面衬垫、附件箱和背板等 5 个部分,见图 6。

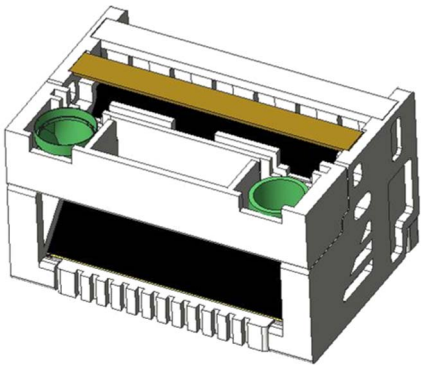


图 6 改进方案装配效果
Fig.6 Assembly renderings of improved scheme

侧吸式油烟机端面玻璃面板以及支撑架结构是机体左右挡板中不可受力部位,考虑试验及仿真过程中玻璃面板破损及支撑架角部变形等现象,加大玻璃面板的让位厚度,对吸油烟机支撑架的端面及角部进行必要的让位处理,以减少运输过程中冲击所造成的影响。考虑到吸油烟机包装件在前面及前面底部棱跌落时支撑架角部受力较大,在端面缓冲衬垫前面底部位置也设计有让位处理,以减缓跌落初期支撑架的局部受力。对于左右挡板承重影响较小的部分进行镂空

加筋处理,在反复仿真的情况下确定承载面积,在保证衬垫强度的条件下使缓冲材料的用量减少。在其他与产品不直接接触的部分对缓冲衬垫进行减材处理。端面衬垫靠后部分3条加强筋的设计,是防止由于强度不足在后面跌落时出现缓冲衬垫断裂的现象。相比于原始方案的端面缓冲衬垫,其整体厚度减薄,去除部分多余缓冲材料并在需要提高强度的部位设计加强筋。改进后的端面衬垫三维图见图7。

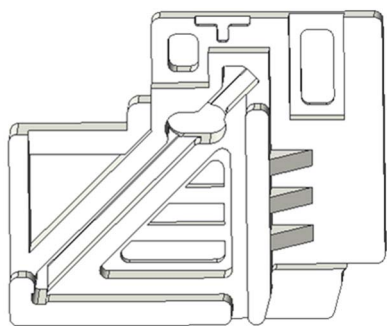


图7 端面衬垫 3D 图
Fig.7 3D picture of end face cushion

在进行底垫设计时,考虑到油烟机产品质量大,缓冲面积要求大于产品底面面积,且缓冲材料的厚度必须足够厚,才能保证在最大冲击情况下,底部衬垫不会发生破损。在进行缓冲包装设计时,若产品底部结构的受压面积十分狭窄,在流通过程中产品容易在缓冲垫上发生移动,严重时还会从受压面上跌落,所以缓冲垫最好做成凸筋结构,见图8。吸油烟机底部前面只有底板上很狭窄的一个面可以受压,根据产品底部形状进行设计,采用锯齿向外结构进行设计,锯齿尺寸通过多次仿真分析来确定。为达到减材增效的效果,底部衬垫设计了4个方形孔。

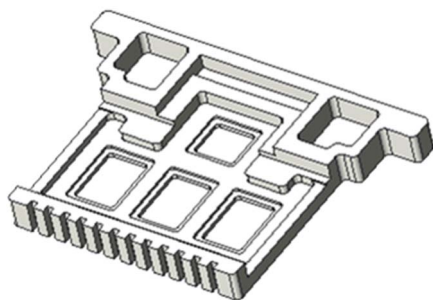


图8 底面衬垫 3D 图
Fig.8 3D picture of bottom cushion

背板的设计是考虑到吸油烟机重心靠后,在跌落过程中有前倾现象发生,因此设计的背板结构需要能够压住机身,防止该现象的发生。背板结构进行开孔处理,通过仿真静力分析选定竖向椭圆形状,既能够节省材料又能够增强其抗压和抗弯性能,背板设计见图9。

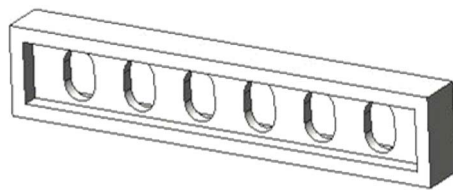


图9 背板 3D 图
Fig.9 3D picture of the backplane

为了解决油烟机附件杂乱的现象,此次设计考虑将附件规制在一起,在产品装箱之前可以将附件统一放置在附件箱内,在装箱时只需装入附件箱即可,见图10。

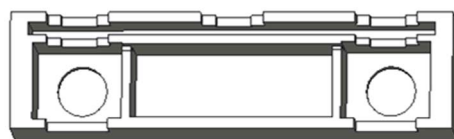


图10 附件箱 3D 图
Fig.10 3D picture of the accessories box

3.2 仿真验证

通过对比脉冲持续时间来评估泡沫衬垫的缓冲性能。以侧吸式油烟机端面跌落为例,见图11。改进前后的时间-速度曲线变化趋势类似,在跌落初期由于模型之间存在间隙曲线出现一段平台区域,随着时间的变化速度逐渐减小,当速度减至0时,开始出现反弹,这一阶段速度在反方向上逐渐增大。原方案速度从初始值 2.97 m/s 衰减到 0 的时间为 10.3 ms,改进方案所需时间为 14.5 ms。相比原方案,改进方案的速度变化相对平缓,冲击加速度脉冲的持续时间更长,反映出改进方案的缓冲性能相对较好。

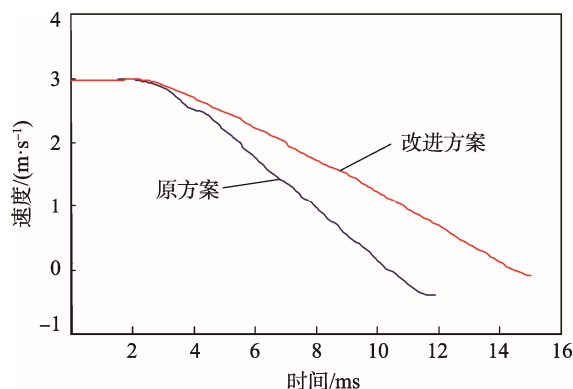


图11 端面跌落时间-速度曲线
Fig.11 Time-speed curve of the end face drop

侧吸式油烟机包装件跌落过程中的响应加速度变化曲线,也可以用来评估泡沫衬垫的缓冲性能。缓冲性能越好,冲击加速度脉冲所持续的时间将会越

长,在相同的冲击条件下,应确保产品的响应加速度值尽可能小。以侧吸式油烟机的端面跌落为例,原方案和改进方案的加速度响应曲线见图 12,改进前后加速度响应曲线的趋势大致相同,在包装件由初速度 2.97 m/s 降为 0 的过程中,原方案的最大加速度值为 43.10g,改进后的新方案为 33.41g,改进后的加速度响应值低于原方案,表明改进方案的缓冲性能相对较好。

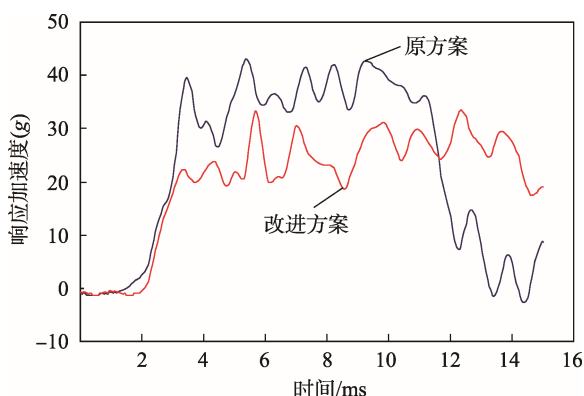


图 12 端面跌落时间-加速度曲线

Fig.12 Time-acceleration curve of the end face drop

4 结语

以某款侧吸式油烟机包装件为研究对象,首先对原始方案进行跌落试验研究,然后利用 Workbench 和 LS-DYNA 软件对原始方案进行跌落仿真模拟,并借助有限元方法对缓冲运输包装方案进行了改进研究,得到如下结论。

1) 通过分析试验与仿真结果,发现原方案在强度方面还需进一步改进,且仿真分析方法能够更加直观准确地评估包装结构的缓冲性能,有效指导缓冲包装的设计工作。

2) 采用跌落仿真分析方法指导缓冲包装结构进行改进。通过调整方案细节反复进行仿真计算,确定最优缓冲包装方案,最后通过仿真验证,结果表明改进后的缓冲包装方案能够在强度方面满足要求。

3) 通过跌落仿真分析方法进行缓冲包装结构改进设计,相较于传统的跌落试验,避免了打样及实验室步骤,有效地缩短了设计周期,节省了财力物力,进一步说明了仿真分析方法能够有效指导缓冲包装设计。

运用试验和仿真的方法对包装件进行了评估,验证仿真结果的有效性后,利用仿真分析方法指导缓冲包装改进设计,此思路为后续缓冲包装设计的研究提供一定参考。

参考文献:

- [1] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012: 61.
PENG Guo-xun. Logistics Transportation Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012: 61.
- [2] 何雯, 陈满儒. 薄型烟机包装实验室测试与跌落仿真分析[J]. 包装工程, 2019, 40(3): 125—130.
HE Wen, CHEN Man-ru. Laboratory Test and Drop Simulation Analysis of Thin Tobacco Machine Packaging[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(3): 125—130.
- [3] 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. Simulation Analysis of Buffer Package Drop of High Borosilicate Glass Salad Bowl[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(13): 166—171.
- [4] 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. Simulation and Structural Optimization of Liquid Crystal TV Package Drop[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 94—99.
- [5] 杨程浩, 张向宁. 基于 ABAQUS 的液态奶缓冲包装优化设计[J]. 包装学报, 2018, 10(5): 32—38.
YANG Cheng-hao, ZHANG Xiang-ning. Optimal Design of Buffer Packaging for Liquid Milk Based on ABAQUS[J]. Chinese Journal of Packaging, 2018, 10(5): 32—38.
- [6] 王慧, 刘兵. 基于 Ansys Workbench 的电容器包装箱强度校核及优化设计[J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(6): 13—17.
WANG Hui, LIU Bing. Strength Check and Optimization Design of Capacitor Packaging Box Based on Ansys Workbench[J]. Power Capacitors and Reactive Power Compensation, 2015, 36(6): 13—17.
- [7] 张恩齐. 基于显式有限元法的吸油烟机跌落仿真及包装优化[C]// 2018 年中国家用电器技术大会论文集, 2018.
ZHANG En-qi. Drop Simulation and Packaging Optimization of Range Hood Based on Explicit Finite Element Method[C]// Proceedings of 2018 China Household Appliances Technology Conference, 2018.
- [8] 樊建军, 常见虎, 任伟, 等. 冰箱跌落冲击仿真分析及包装结构优化[J]. 家电科技, 2019(5): 86—89.
FAN Jian-jun, CHANG Jian-hu, REN Wei, et al. Dropping Simulation Analysis of Refrigerator and Optimization of Packaging Structure[J]. Journal of Appliance Science & Technology, 2019(5): 86—89.
- [9] 付秋莹. 基于 Ansys Workbench 对玻璃杯包装的跌落分析[J]. 上海包装, 2018(6): 14—16.
FU Qiu-ying. Analysis of Glass Package Drop Based

- on Ansys Workbench[J]. Shanghai Packaging, 2018(6): 14—16.
- [10] IRVING S, LIU Y. Free Drop Test Simulation for Portable IC Package by Implicit Transient Dynamics FEM[J]. Electronic Components and Technology Conference, 2008, 54(1): 1062—1066.
- [11] CADGE D, WANG HJ, et al. Drop Test Simulation of Electronic Devices Using Finite Element Method[J]. Electronic Components and Technology Conference, 2005: 369—372.
- [12] GROOTHUISA S, CHEN C, et al. Parametric Investigation of Dynamic Behavior of FBGA Solder Joints in Board-level Drop Simulation[J]. Electronic Components and Technology Conference, 2005: 499—503.
- [13] 汪剑, 沈景凤, 仲梁维. 核物质包装体的跌落仿真分析[J]. 电子科技, 2017, 30(10): 112—115.
- WANG Jian, SHEN Jing-feng, ZHONG Liang-wei. Analysis of Falling Simulation of Nuclear Material Packaging[J]. Electronic Technology, 2017, 30(10): 112—115.
- [14] 崔睿, 张广文. 智能座便器包装件跌落仿真研究和优化[J]. 机械工程与自动化, 2017(3): 80—81.
- CUI Rui, ZHANG Guang-wen. Optimization and Dropping Simulation Analysis of Intelligent Implement Packaging[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2017(3): 80—81.
- [15] GB/T 1019—2008, 家用和类似用途电器包装通则[S].
- GB/T 1019—2008, Packaging General Principles for Household and Similar Electrical Appliances[S].