

塑料瓦楞板组合式周转箱设计及跌落分析

章佳平^{1,2}, 章军^{1,2}, 崔军³, 周浪⁴

(1.江南大学, 无锡 214122; 2.江苏省食品先进制造装备重点实验室, 无锡 214122;
3.常熟开关制造有限公司, 常熟 215500; 4.华中科技大学 无锡研究院, 无锡 214000)

摘要: **目的** 设计一款可替代塑料周转箱和瓦楞纸箱的可拼接式塑料瓦楞周转箱, 并通过仿真寻找所设计塑料瓦楞周转箱在跌落时的易损部位, 以便对所设计结构进行更合理的设计及优化。**方法** 基于 HyperMesh LS-DYNA 及 LS-Pre Post 对模型进行日常运输时跌落的模拟仿真, 箱体总质量为 60 kg, 高度为 1 m, 分别采用斜 15° 和水平 (箱底面相较于跌落地面的角度) 这 2 种工况下进行跌落仿真。**结果** 所设计周转箱在 2 种工况下底部包边边框刚碰撞时, 边框局部等效应力大于 200 MPa, 超过铝合金的屈服强度, 会发生塑性应变, 但边框有效塑性应变均未达到铝合金的断面伸长率 (16%), 因此未发生断裂失效。**结论** 所设计的周转箱抗跌落性能良好, 在改进时需着重对 4 个底角进行加强防护设计。

关键词: 周转箱; 跌落仿真; HyperMesh; LS-DYNA

中图分类号: TB484.1; TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)11-0096-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.017

Design and Drop Analysis of Spliced Plastic Corrugated Turnover Box

ZHANG Jia-ping^{1,2}, ZHANG Jun^{1,2}, CUI Jun³, ZHOU Lang⁴

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China; 3.Changshu Switch Manufacturing Co., Ltd., Changshu 215500, China; 4.Wuxi Research Institute of Huazhong University of Science and Technology, Wuxi 214000, China)

ABSTRACT: The work aims to design a kind of spliced plastic corrugated turnover box which can replace plastic turnover box and corrugated box, and search the fragile parts of the designed plastic corrugated turnover box during drop through simulation, so as to make a more reasonable design and optimization of the designed structure. The model simulation on the drop during the daily transportation was carried out based on HyperMesh LS-DYNA and LS-Pre Post. When the total weight of the box was 60 kg and the height was 1 m, the drop simulation was conducted respectively under the conditions of 15° inclined angle and the horizontal level (angle between the box bottom and the drop ground). When the bound frames at the bottom of the designed turnover box collided under these two conditions, the von mises stress of partial frame was more than 200 MPa which exceeded the yield strength of aluminum alloy and caused plastic deformation, but the effective plastic strain of the frame did not reach the aluminum alloy's section elongation (16%), thus resulting in no fracture failure. The designed turnover box has outstanding anti-dropping capability, and the strengthened protection design of the four base angles should be emphasized during the improvement.

KEY WORDS: turnover box; drop simulation; HyperMesh; LS-DYNA

塑料周转箱及瓦楞纸箱等物流装备在物流过程中极易受到损坏, 损坏的主要原因是运输及流通过程中受到的跌落冲击^[1]使物理装备发生严重塑性变形

甚至材料失效。目前对于周转箱及瓦楞纸箱的研究主要是通过实物实验进行测试, 但这种方法对箱体有极大的破坏性, 且多次重复试验使得成本增加。随着计

收稿日期: 2017-11-13

基金项目: 2015 年国家科技支撑计划 (2015BAF25B01)

作者简介: 章佳平 (1993—), 男, 江南大学硕士生, 主攻物流装备设计。

通信作者: 章军 (1965—), 男, 博士, 江南大学教授, 主要研究方向为物流装备、关节型机器人。

算机仿真技术的发展, 仿真技术能越来越精确地模拟各种复杂的工况^[2-4], 为科学研究提供可靠的数据结果, 同时对包装工业的发展推动力越来越大。

Ansys/LS-DYNA是著名的通用显式非线性动力分析软件, 能够模拟各种复杂的材料非线性、几何非线性和接触非线性问题, 特别适合求解高速碰撞、爆炸和金属成形等非线性动力冲击问题^[5]。Ansys/LS-DYNA的模型数据网格划分等前处理工作能力较弱, 模型存在的缝隙、重叠、错位等会给有限元建模工作带来许多麻烦, 它涉及到小特征的抑制、复杂形状网格划分, 前处理不好会影响网格质量, 严重时会导致有限元模型无法求解或结果失真, 甚至难以克服的障碍。

HyperMesh是一款高效的有限元前处理软件, 它可以对有限元模型进行方便灵活的清理和优化, 使用网格生成工具来快速地创建有限元网格, 可极大提高有限元前处理效率^[6]。用HyperMesh进行前处理后再使用Ansys/LS-DYNA计算求解, 最后再由LS Prepost打开文件进行后处理, 已成为高效且可靠的跌落分析方法。

文中通过联合运用上述3种软件的方法对新设计的运转箱进行跌落仿真分析, 得到相应的塑性应变、应力等参数, 以得到更全面、合理的针对所设计运转箱方案的评价。

1 运转箱结构设计

目前现有的瓦楞纸箱及塑料周转箱^[7]皆有明显的弊端。瓦楞纸箱制造过程污染严重、回收率低、再生率低、力学性能(抗压、抗跌落、抗冲击振动)有所不足, 尤其在潮湿等特殊环境下的表现不尽如人意^[8-10], 运输大部分货物时要用内部缓冲件增加其缓冲性。塑料周转箱虽然力学性能较瓦楞纸箱好, 但其缓冲性能差, 并且在局部破损的情况下将造成整箱的报废。由此, 这里拟设计一款可拼接式塑料周转箱^[11]以克服上述物流装备的缺点, 减少运输包装垃圾的产生, 降低资源浪费及尽量减少环境污染情况的发生。

运转箱结构见图1, 金属内框架为骨架, 4个侧面及底面上塑料瓦楞板的内侧边分别与内框架接触, 最外侧是直角包边(4个侧面的4个上边框无直角包边, 由金属压条与塑料瓦楞板组合而成), 直角包边和塑料瓦楞板的外侧边之间是缓冲密封橡胶, 靠内六角圆头螺钉和铆螺母将直角包边、缓冲密封橡胶和塑料瓦楞板固定在内框架上, 内六角圆头螺钉和铆螺母联结时采用低强度胶水粘接, 防止缓冲密封橡胶受冲击压缩时螺纹松动; 箱盖的塑料瓦楞板一边通过金属铰链联结内框架, 另外3边由塑料边框和金属的压条封边; 4个侧面与箱盖接触的边缘由内框架上边框封边。

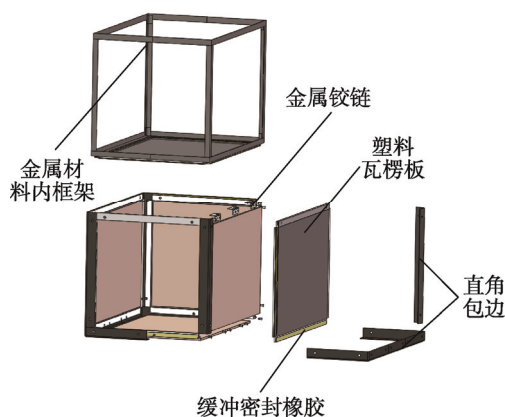


图1 整体结构

Fig.1 Overall structure

塑料瓦楞板的结构见图2, 分别由内侧的高强度膜、中间的瓦楞纸板层、外侧的塑料浅方盘粘接成形。中间缓冲层可以是实心的海绵、橡胶、发泡塑料或非织造方式加工的缓冲材料, 也可以是回收的废旧瓦楞(见图2), 可提高瓦楞的利用率, 减少对环境的污染和资源的浪费。

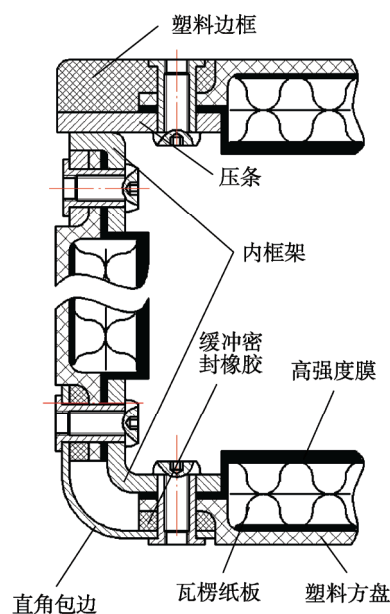


图2 塑料瓦楞板结构剖视

Fig.2 Structure section view of plastic corrugated board

2 箱体跌落分析

2.1 基于 HyperMesh 的箱体网格划分

包装件在运输和搬运过程中, 振动和冲击是导致产品损坏的主要原因。在各种各样的冲击环境中, 跌落冲击是损坏包装件的最直接因素, 对包装件的危害极大。实物实验周期长、成本高, 已无法适应发展步伐, 因此跌落仿真对实物设计尤为必要^[12]。

箱体模型外尺寸为640 mm×440 mm×450 mm

(与日常运输周转箱尺寸相近),整体为装配体,零件较多且有圆角、圆孔等特征,Ansys软件无法满足网格划分的要求,因此选择使用HyperMesh软件对模型进行前处理,见图3。

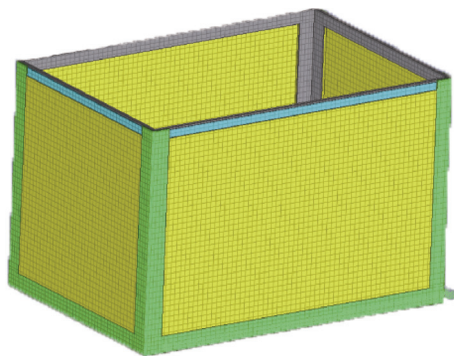


图3 模型网格

Fig.3 Trellis map of model

2.2 参数定义

所选材料具体参数见表1。

表1 材料参数
Tab.1 Material parameter

材料	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	弹性模 量/MPa	泊松比	屈服强 度/MPa	切线模 量/MPa
Q235钢	7.85	207 000	0.3	235	6100
6061铝	2.90	69 000	0.33	156	3000
PP塑料	0.92	896	0.42	100	89
硅胶	1.02	230	0.4	1.38	3.5

文中模拟的包边及内框架均为金属材料,金属材料是各向同性材料,双线性模型适用于各向同性材料的小应变问题,因此选择双线性模型。该模型采用Mises屈服准则,以2条直线段描述材料应力-应变,通过弹性模量、泊松比、屈服应力和切线模量定义应力-应变关系曲线。

模型是装配体且零件都是实体,因此选择Solid单元。然后对模型中不同的部件赋予对应的单元以及材料,见图4,其中Part id 47 48 52为运转箱的底板与侧板,Part id 51 55为橡胶垫,Part id 60与57分别为外包边和内框架。

Components and Properties (7) - displayed					
Table Selection Display Action User					
Vis	Part name	Part id	Material name	Material id	Material type
1	ban3	51	MAT_guqiao	4	MATL24
1	baobian	60	MAT_AL	2	MATL3
1	ceban	52	MAT_suliao	3	MATL3
1	diban	48	MAT_suliao	3	MATL3
1	diban1	47	MAT_suliao	3	MATL3
1	neikuangjia	57	MAT_Q235	1	MATL3
1	xiangjiaotiao	55	MAT_guqiao	4	MATL24

图4 部件和材料

Fig.4 Components and materials

2.3 求解关键字

2.3.1 初速度及求解时间定义

该仿真模拟工人搬运箱体时不慎跌落的情况,跌落的高度为0.8~1.2 m,GB/T 4857.18—1992中规定了不同运输方式下与各种不同运输包装件质量相对应的跌落高度,为更贴近实际选择跌落高度为1 m^[13]。由于运算时间与模型复杂程度及跌落高度等因素关系较大,模型越复杂、跌落高度越高,则计算机的计算时间越长。为了确保运算结果准确的同时减少电脑CPU的负荷,尽量缩短运算时间,高度1 m、无初速度的自由跌落(重力加速度取 9.8 m/s^2)可以等效为初速度4.4145 m/s(与底面接触的一瞬间)、高度为0的跌落分析,即只计算跌落过程中接触地面以后的一段时间,求解时长设为0.2 s。添加关键字INITIAL_VELOCITY_GENERATION,参数VZ设置为4414.5(初速度设置为4414.5 mm/s);CONTROL_TERMINATION设置参数为0.1,即求解时长;DATABASE_BINARY_D3PLOT DBplot设为0.004(0.2 s播放50帧)。

2.3.2 接触及受力传感器定义

LS-DYNA有3种接触面处理算法^[14],分别是单面(Singles Surface)接触、点面(Node to Surface)接触、面面(Surface to Surface)接触。LS-DYNA中还有9种集合,即普通、自动、刚体、固连、固连失效、侵蚀、边、拉延筋、成形。由于模型主要为2个物体表面接触,不存在2个物体互相穿透,因此选择点面接触,固定方式为螺钉螺母联结,因此集合方式选择固连,在选项卡中选择CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE。然后定义一个受力传感器,这里选择CONTACT_FORCE_TRANSDUCER_PENALTY。

2.3.3 刚性墙定义及跌落角度设置

LS-DYNA跌落的刚性墙选择RIGIDWALL_PLANAR,并利用node来定义一个刚性墙面。跌落角度的不同可以通过旋转模型来实现,文中跌落仿真选用15°和垂直跌落(跌落角度为箱体底面相较于地面的角度)进行分析^[15]。

2.3.4 质量设置

考虑到在模型中再建内装物不但复杂,而且设置不当极易影响仿真结果,因此采取在运转箱内部地板上新建一层节点,设置每个节点的质量,以达到整体为60 kg,来模拟箱内装载的工况。这样不但方便进行模拟,而且使结果更加准确。

2.3.5 全部关键字定义

具体的关键字定义见图5。

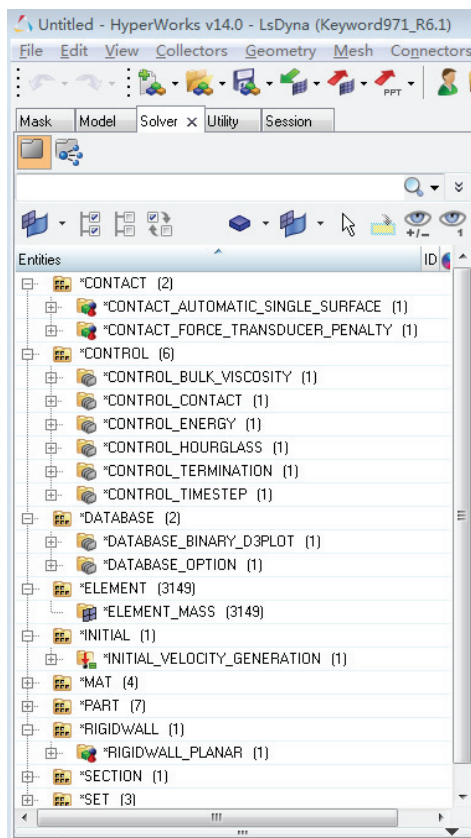


图5 求解关键字定义
Fig.5 Solution to keyword definition

2.4 基于 LS-PREPOST 的求解结果分析

2.4.1 斜 15° 跌落

底部的外包边是形变最为明显的部位, 在发生跌落时对整个箱体起到重要的防护作用, 因此这里对外包边进行仔细的分析探讨。斜15°跌落仿真分析的结果见图6。

阶段1为底部包边与地面碰撞瞬间, 由图6a可知该阶段外包边受力非常不均匀, 大部分边框受力较小, 等效应力不超过54 MPa, 跌落边2个底角附近边框等效应力均超过54 MPa, 局部位置最大达到了269 MPa, 底角附近边框局部等效应力超过了6061铝合金屈服强度, 因此发生了塑性形变, 但由图6b可知, 此时有效塑性应变最大为11.9%, 未超过6061铝合金的断裂伸长率(16%), 因此材料并未断裂失效。阶段1之后底角附近有效塑性应变不断增加, 各部位等效应力慢慢变小, 直到阶段2。

阶段2为碰撞完成阶段, 此时应变不再变化, 由图6d可看出最大的有效塑性应变为15%, 出现在底角尖附近, 范围极小, 未超过6061铝合金的断裂伸长率(16%)。再由图6c可知, 外包边等效应力最大为200 MPa, 出现在底角尖附近, 底角附近边框极少部位产生了超过156 MPa的等效应力(6061铝合金的屈服强度), 边框其余部位等效应力大多不超过40 MPa。

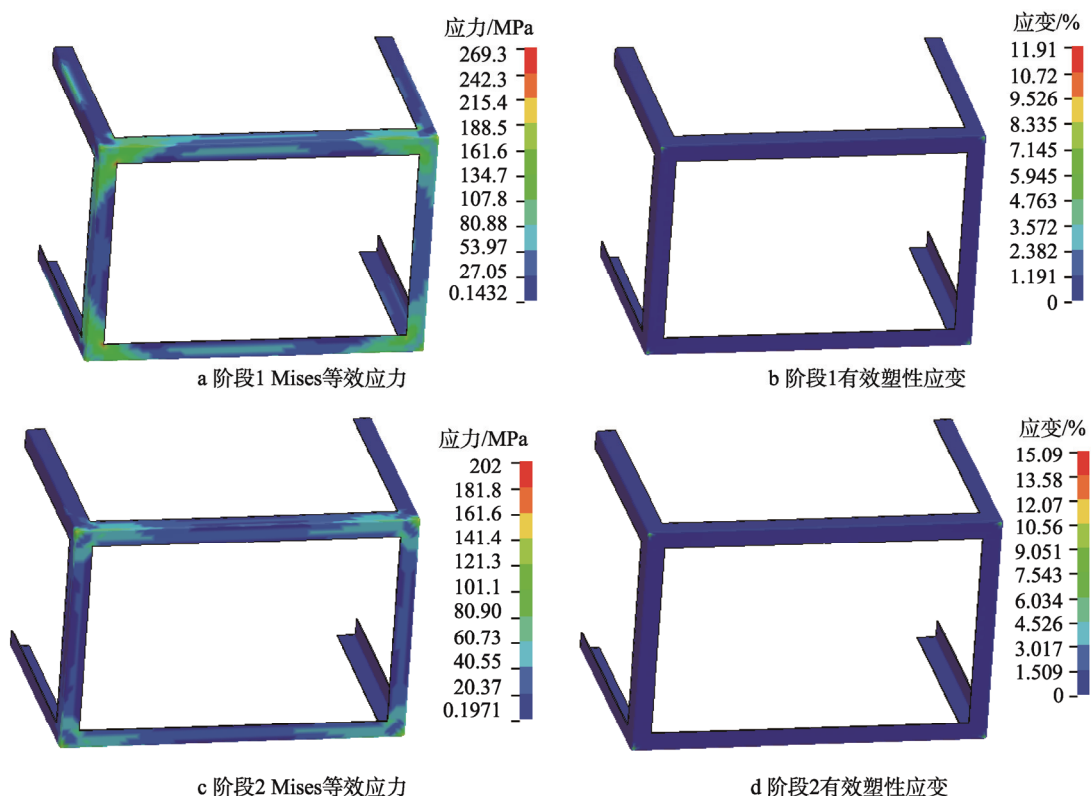


图6 斜 15° 跌落分析结果
Fig.6 Drop analysis result at 15° inclined angle

2.4.2 垂直跌落

垂直跌落分析结果见图7。阶段1为底部包边与底面碰撞瞬间,由图7a可知,此时包边受力主要集中在4个底角附近,仅底角局部极少部分等效应力大于156 MPa(6061铝合金的屈服强度),发生塑

性变形,且该部位由图7b可看出,有效塑性应变值仅为7.76%,远未达到6061铝合金的断面伸长率。此后等效应力缓慢减小,有效塑性应变缓慢增加,直到碰撞完成的阶段2,有效塑性应变最终稳定在8.7%。

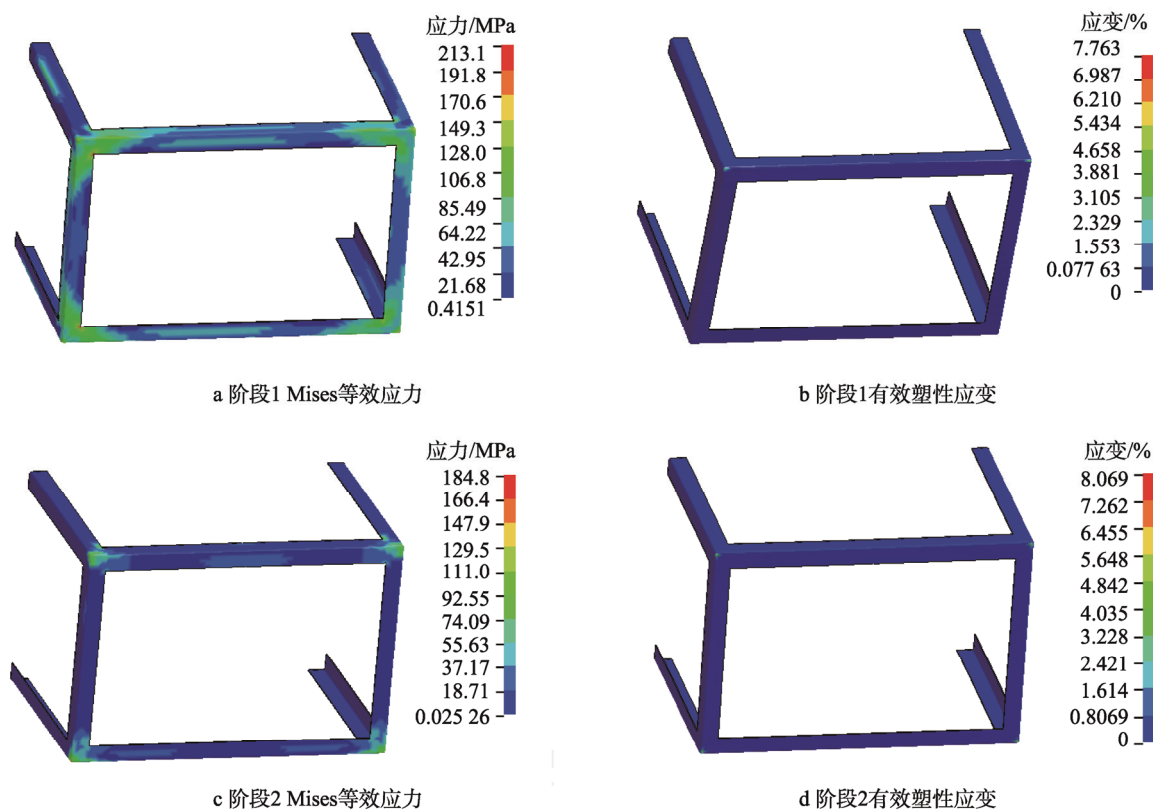


图7 垂直跌落分析结果
Fig.7 Results of vertical drop analysis

3 结语

将多用于汽车零部件、整车等复杂装配体仿真的HyperMesh软件引入包装件跌落领域,对新型物流装备的设计及仿真提出了新的方法。通过HyperMesh的前处理和LS-DYNA的计算,跌落仿真发现了所设计周转箱在2种工况下跌落时的易损部位为4个底角,侧边损坏情况非常小,这对进一步的改进结构起到了重要的指导作用,也大大缩短了设计时间。同时,验证了以轻量化、小型化的集装箱为设计理念的可拼接式周转箱有较好的抗跌落性能,且包边损坏后可拆卸替换,这大大提升了周转箱的寿命,在一定程度上可以替代目前的瓦楞纸箱和塑料周转箱,有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 郝智伟, 钱静. 洗衣机关键部位的跌落仿真分析[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 27—29.

HAO Zhi-wei, QIAN Jing. Simulation and Analysis of Key Components of Washing Machine[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 27—29.

[2] 陆维生, 冯志华, 邹甲军. 基于 Ansys/LS-DYNA 的 PCB 板跌落仿真[J]. 苏州大学学报: 工科版, 2006, 26(1): 42—46.

LU Wei-sheng, FENG Zhi-hua, ZOU Jia-jun. Drop-Impact Simulation of PCB Based on Ansys/LS-DYNA[J]. Journal of Soochow University Engineering-Science Edition, 2006, 26(1): 42—46.

[3] 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 Yong-hui, ZHANG Yin. Simulation and Improved Design of Drop Impact of Washing Machine Based on FE Analysis[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(2): 164—166.

[4] 梁龙. 产品包装件跌落过程分析与仿真[D]. 广州: 暨南大学, 2009.

LIANG Long. Dropping Analysis and Simulation of Product Package[D]. Guangzhou: Jinan University, 2009.

- [5] 谭天水. Ansys 仿真跌落试验[J]. 机械, 2004, 31(8): 33—34.
TAN Tian-shui. Simulate of Drop test by Ansys[J]. Mechanics, 2004, 31(8): 33—34.
- [6] 熊珍兵, 罗会信. 基于 HyperMesh 的有限元前处理技[J]. 排灌机械工程学报, 2006, 24(3): 35—38.
XIONG Zhen-bing, LUO Hui-xin. Preprocessing Technology of FEA Based on HyperMesh Software[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2006, 24(3): 35—38.
- [7] 李祥刚, 刘跃军. 塑料瓦楞板发展现状及研究方向[J]. 湖南工业大学学报, 2006, 20(6): 4—7.
LI Xiang-gang, LIU Yue-jun. Development Status and Research Direction of Plastic Corrugated Board[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2006, 20(6): 4—7.
- [8] 薛叶玲. “卡夫”饼干运输包装纸箱抗压性能与配纸优化的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
XUE Ye-ling. The Research of Compression Performance and Paper Optimum Design of Kraft Biscuit Shipping Box[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [9] 张书彬, 冯学正. 瓦楞纸箱抗压强度的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 10—11.
ZHANG Shu-bin, FENG Xue-zheng. Experimental Study on Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 10—11.
- [10] 罗玲. 瓦楞纸箱抗压强度研究[D]. 广州: 暨南大学, 2010.
LUO Ling. The Study of the Compression Strength of Corrugated Box[D]. Guangzhou: Jinan University, 2010.
- [11] 章军. 组合橡塑瓦楞板及用该瓦楞板制造 RFID 周转箱: 中国, 201610644802.5[P]. 2016-11-09.
ZHANG Jun. Composite Rubber Plastic Corrugated Plate and the RFID Turnover Box Made by the Corrugated Plate: China, 201610644802.5[P]. 2016-11-09.
- [12] 李鹏忠, 陈为民, 陈炳森. 手机环境试验自由跌落的 CAE 仿真[J]. 制造业自动化, 2003, 25(8): 36—38.
LI Peng-zhong, CHEN Wei-min, CHEN Bing-sen. THE CAE Based Simulation for Free Drop of Mobile Phone Environmental Examination[J]. Manufacturing Automation, 2003, 25(8): 36—38.
- [13] 张璐. 基于 Ansys/LS-DYNA 的瓦楞纸箱跌落仿真研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
ZHANG Lu. Dropping Simulation Analysis of Corrugated Boxes Based on Ansys/LS DYNA[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2014.
- [14] 蒲雪. 基于 Ansys/LS-DYNA 的电子产品跌落仿真研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
PU Xue. Dropping Simulation Research of Electronic Products Based on Ansys/LS-DYNA[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2016.
- [15] 陈志强. 如何提高瓦楞纸箱运输包装件跌落试验的有效性[J]. 印刷技术, 2013(4): 37—40.
CHEN Zhi-qiang. How to Improve the Effectiveness of Drop Test for Transport Package of Corrugated Box[J]. Printing Technology, 2013(4): 37—40.