

组件式塑料周转箱结构设计

段青山^{1,2}, 杨磊¹, 黄崇杏^{1,2}, 刘杨^{1,2}

(1.广西大学, 南宁 530004; 2.广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室, 南宁 530004)

摘要: **目的** 设计卸货时更省时省力的塑料周转箱。**方法** 运用 Pro/E 软件设计可折叠侧开式塑料周转箱和插板式塑料周转箱, 利用 Ansys Workbench 软件仿真获得组件式塑料周转箱在静态和动态跌落过程的应力、应变和变形等情况。**结果** 塑料周转箱的最大堆码应力发生在侧板底部, 最大应变极其微小; 角跌落时, 应变主要集中在底板、侧板和连接轴上, 底板与地面接触点的等效应力最大, 其他的最大等效应力都很小。**结论** 周转箱的设计满足强度要求, 该设计方案可行。

关键词: 组件式; 塑料周转箱; 结构; 力学性能; 仿真

中图分类号: TB482.2; TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0119-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.021

Structural Design of Modular Plastic Crate

DUAN Qing-shan^{1,2}, YANG Lei¹, HUANG Chong-xing^{1,2}, LIU Yang^{1,2}

(1. Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Clean Pulp & Papermaking and Pollution Control, Nanning 530004, China)

ABSTRACT: The work aims to design a more time-/labor-saving plastic crate. Foldable side-open and plate-inserted plastic crates were designed by Pro/E software. The Ansys Workbench software was adopted for simulation to obtain the stress, strain and deformation of the modular plastic crate in static and dynamic drop process. The maximum stacking stress of the plastic crate was at the bottom of the side plate, and the maximum strain was extremely small. The strain was mainly concentrated on the bottom plate, side plate and connecting shaft, the equivalent stress at the part where the bottom plate and the ground contacted was the maximal, and the maximum equivalent stress of all other parts was small in the angular drop. As the crate design meets the strength requirement, such design scheme is feasible.

KEY WORDS: modular; plastic crate; structural; mechanical properties; simulation

周转箱也称物流箱, 广泛应用于物流运输、调配、贮存等环节。随着经济建设的快速进步和制造业的高速发展, 周转箱大型工程订单的不断出现反映了市场的强烈需求, 以及周转箱在生产、配送等各个方面的全面应用。在物流行业, 周转箱的使用极为广泛, 同时伴随着新问题的出现, 如空闲的普通周转箱占用空间较大, 堆码稳定性较差, 不利于存放以及不能满足不同运输件的缓冲需求等^[1-2]。在实际物流环境中, 周转箱, 尤其是可折叠式周装箱容易因跌落而损坏; 堆码过程中, 周转箱表面的附加压力可能使其发生形变甚至破损, 威胁包装件的安全^[3-4]。一般的中小公

司若采用实验设备测试的方法检测周转箱, 将耗费大量的人力物力。

鉴于以上原因, 为改善产品的运输环境, 防止产品破损, 提高空间利用率, 增强周转箱的功能性, 有必要对传统周转箱进行改进。利用计算机软件设计、仿真实验环境获得对应的实验结果成为现今最广泛应用的方法。文中选择组件式塑料周转箱作为研究对象, 分别对几种传统的组件式塑料周转箱利用 CAD/CAM 软件 Pro/E 改进设计, 并利用 Ansys Workbench 有限元软件对可折叠侧开式塑料周转箱进行力学性能仿真实验, 以获得理想的结果。

收稿日期: 2017-10-10

基金项目: 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室开放基金 (ZR201707)

作者简介: 段青山 (1980—), 男, 广西大学讲师, 主要研究方向为运输包装材料与结构设计。

1 几种组件式塑料周转箱的结构改进

1.1 可折叠侧开式

目前,大多数的塑料周转箱是一体式结构,可进行空箱堆叠,实现节省空间的目的;但卸货时操作不便,需要倾倒箱子,箱子较大时比较费力。以节省空间和便于卸货作为设计目的,改进设计一种可折叠侧开式塑料周转箱,主要适用于颗粒、散装物件的运输,如农作物。

该塑料周转箱由9块板件和13根轴组成,大小为610 mm×410 mm×325 mm,板件厚度为20 mm。在Pro/E中,可通过平面草绘,经过拉伸、旋转、对称、阵列等操作建立所需的模型零件^[5],最后装配得到可折叠侧开式塑料周转箱的三维模型,见图1。

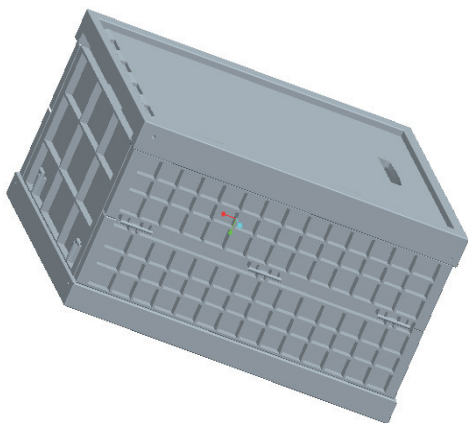


图1 可折叠侧开式塑料周转箱三维模型
Fig.1 3D model of foldable and side-open plastic crate

可折叠侧开式塑料周转箱含上盖,带2个栓扣的侧板可实现180°旋转,顶框3面都设置铰链槽(除靠带栓扣侧板面外),见图2a,使之分别连接各面的侧板(见图2b),同时该塑料周转箱侧板中间和底板均由铰链(以铁轴作为圆柱销)连接。折叠时推动左右侧板向内折叠,紧跟着上下侧板以中间铰链为中心向内折叠,顶框跟随侧板向下盖合,即完成折叠。

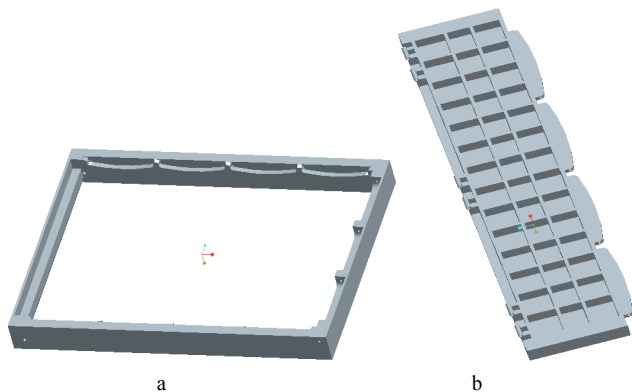


图2 顶框和侧板
Fig.2 Top frame and side plate

可折叠侧开式塑料周转箱具有折叠方便、节省空间、可侧面卸货、省时省力的特点。除显著的折叠功能外,其一侧板可实现180°旋转;折叠状态下,塑料周转箱高度为100 mm,与展开状态相比,空间可至少节省2/3,直接提起顶部外框即可实现塑料周转箱的展开,同时推进一侧固定栓即可固定侧板,开始装填物件。该周转箱最大的特点是,卸货时只需打开固定栓即可从侧面卸货,卸货完成后推动侧板即可迅速完成折叠。

1.2 插板式

目前,家用塑料周转箱(储物箱)大多为一体式结构,搬运十分耗费体力,闲置时会浪费家庭空间。鉴于此,文中对这种塑料周转箱进行改进,设计插板式塑料周转箱。该周转箱尺寸规格为120 mm×120 mm×120 mm,侧板厚度为10 mm,采用插卡的方式完成装配,首先在底板上完成4块侧板插入装配,待装填完毕,加上顶盖。其中3个面的侧板均可替换(省去标记安装顺序,节省安装时间),底板可安装滑轮。

插板式塑料周转箱由6个插板构成,见图3。插板式塑料周转箱带可拆卸滑轮,4块侧板从底板插入且侧板之间以卡扣相互固定,再通过顶盖侧框,实现侧板在上、中、下的位置固定。底板轨道见图4,侧板及其卡扣见图5。

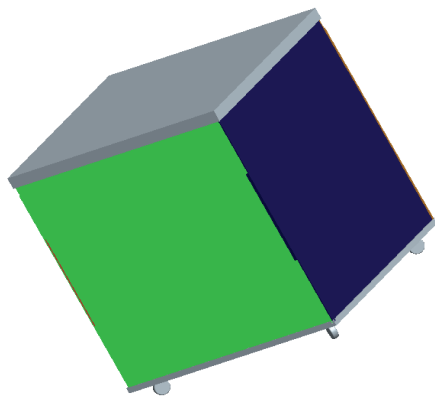


图3 插板式塑料周转箱
Fig.3 Plate-inserted plastic crate



图4 底板轨道
Fig.4 Bottom plate track

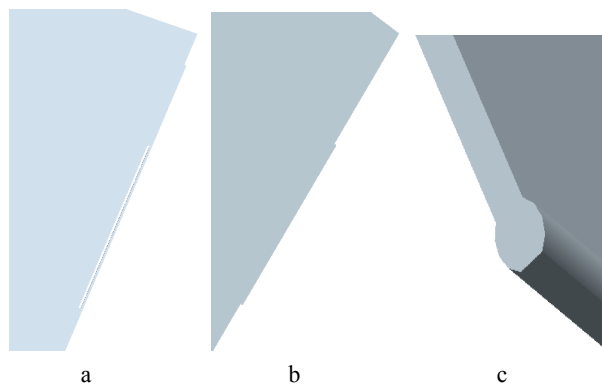


图 5 侧板及其卡扣
Fig.5 Side plate and its buckle

2 组件式塑料周转箱的力学性能分析

塑料周转箱在堆码过程中,常常会发生箱体变形现象,导致内装物损坏,其原因可能是塑料周转箱结构的承重能力较弱。考虑到运输过程诸多环境因素的影响,可能遭受跌落等冲击作用^[6-7],因此文中选用折叠式侧开塑料周转箱进行静态压缩和动态跌落仿真实验来分析其力学性能。

2.1 静态压缩性能

由于组合式塑料周转箱组件较多,组件之间的接触点多,为了保证仿真的正确性,以及在后续的网络划分及接触设置过程中不出现错误,利用 Ansys Workbench 软件进行仿真测试前,先将模型进行简化处理,再进行结构应力分析仿真,在塑料周转箱上表面施加恒定压力载荷来分析结构的效应,即分析在稳态载荷条件下引起的系统或部件的位移、应力。假定载荷不变,即假设载荷随时间的变化非常缓慢^[8],通过试验结果判断载荷是否会对内装物以及塑料周转箱的使用寿命造成较大影响。利用 Ansys Workbench 有限元软件进行的结构应力分析步骤可分为前处理、求解、通用后处理阶段^[9]。

2.1.1 前处理

1) 导入三维模型后,定义材料属性。聚丙烯(PP)材料的物理参数设定为:弹性模量 $E=896\text{ MPa}$,泊松比 $\mu=0.41$,密度 $\rho=8.90\times 10^2\text{ kg/m}^3$ 。侧板、底板、盖等定义为 PP,各类轴和跌落面设置为 structural steel。

2) 定义接触类型。导入装配体时,系统自动生成绑定接触,设置侧板间为无摩擦接触,轴与侧板之间为摩擦接触,摩擦因数为 $0.3^{[10]}$ 。

3) 划分网格。网格划分过程中,选择合适的网格类型、尺寸等是划分高质量网格的关键,也是有限分析过程中至关重要的一步^[11]。由于各组件的结构较为规则,且组件较多,为了减少计算量,这里采用四面体单元自动划分网格,网格尺寸以系统参照性设置

为 Coarse。划分后的有限元模型见图 6,单元数量为 37 418 个,节点数量为 77 558 个,网格平均质量参数为 0.743 37,属于较为正常的网格范围;网格偏度为 0.400 75,说明细节网格仍有较大偏差,但小于系统求解参数 0.7,对求解结果影响不大。

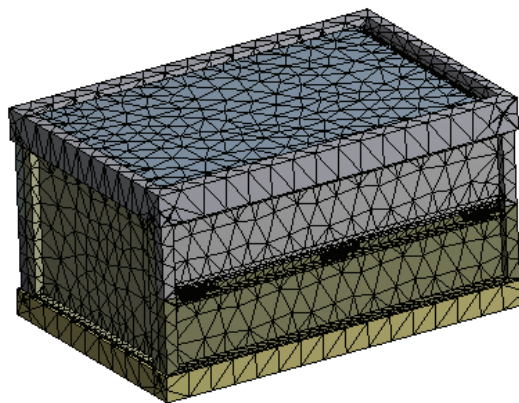


图 6 周转箱的有限元模型
Fig.6 Finite element model of crate

2.1.2 添加载荷和边界条件

对塑料周转箱地面进行固定约束。假定塑料周转箱堆码放置时,最底层塑料周转箱承受 350 N 的重力,则可设定在塑料周转箱的上表面施加垂直的恒定载荷为 350 N,其他参数保持默认设置。

2.1.3 求解

求解器按默认方式,定义等效应力、应变云图和位移云图,然后进行求解。

2.1.4 分析与结果

云图以颜色梯度的形式表示塑料周转箱的应力、应变和位移的变化,在图形窗口下方是动画演示效果,可以观察每一步的状态。在恒定压力状态下,塑料周转箱静态压缩时的等效应力、等效应变和位移云图见图 7。

在空箱状态下,静压力作用过程中周转箱的应力、应变与位移可以真实地反映塑料周转箱的受力、变形和位置变化情况。由图 7a 可看出,周转箱的最大应力在底部侧板的转轴位置,其应力为 4.678 MPa ,远远小于所使用 PP 材料的屈服强度 114.2 MPa ,符合 PP 材料的强度要求。由 7b 可知其对应的最大应变量为 0.0725% ,表明其形变极其微小。在进行静态压缩时,由于力的作用,组件之间将产生位移,从而会影响周转箱的稳定性。由图 7c 可知,最大位移发生在侧板底部,最大位移为 $109.8\text{ }\mu\text{m}$,位移量小,不影响周转箱的使用,这可能和结构设计时底部转轴与侧板的接触不佳有关,可以对其进行改进。由于模型简化了加强筋,实际位移和应变可能会更小,因而塑料周转箱的强度可满足要求。另外,作为连接件,转

轴的受力情况很重要,它决定是否会产生变形,从而决定周转箱能否正常开启、折叠与承重。静态下转轴的等效应力见图8,可以看出,其最大应力为945.3 kPa,远远小于其许用应力值。

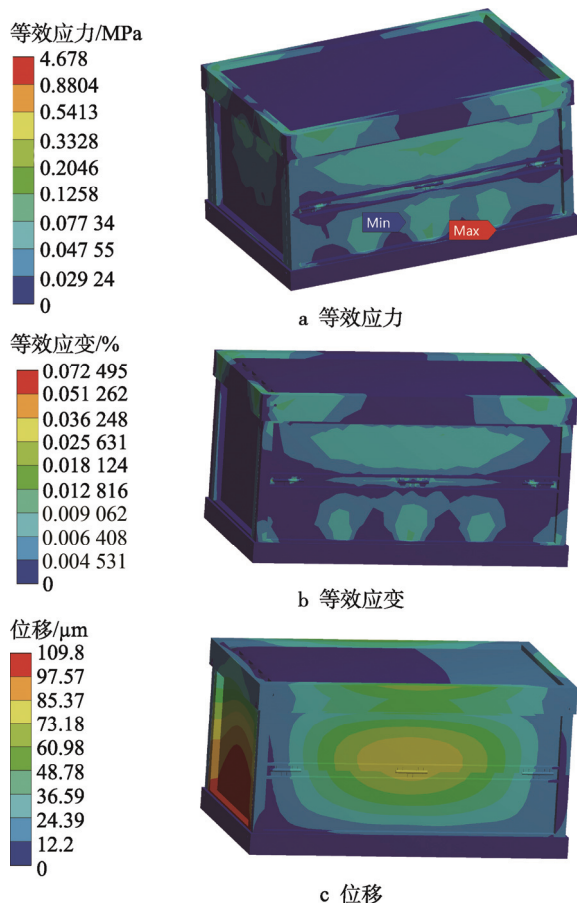


图7 塑料周转箱静态压缩时的等效应力、等效应变和位移云图

Fig.7 Equivalent stress, equivalent strain and displacement contour of plastic crate for static compression

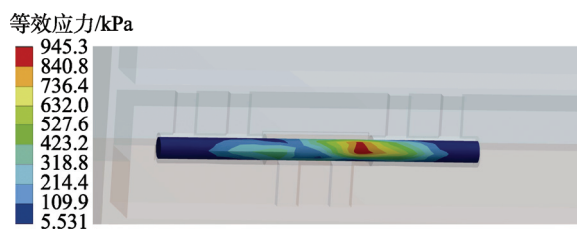


图8 静态压缩时转轴的等效应力云图

Fig.8 Equivalent stress contour of shaft for static compression

以上的仿真计算和分析很好地验证了在堆码状态下可折叠侧开式塑料周转箱的堆码能力,符合日常运输包装的需求。

2.2 动态跌落仿真实验

为了尽可能仿真实际跌落环境,这里设置3种跌落状态,分别为角跌落、棱跌落、面跌落,跌落地面设置为刚性,选择跌落状态为理想化的空箱跌落。跌

落仿真前处理与结构静力分析的步骤相同,即导入模型、定义材料、设置接触、网格划分等,跌落仿真增加了1个模型地面,将它设置成刚体,同时调整箱体与地面的相对位置,分别仿真点、棱、面跌落。

为刚性地面添加固定约束,给定整体垂直于地面向下的重力加速度为 9.81 m/s^2 ,设定箱体的初速度为 3.5 m/s ,和重力方向一致,并设置 end time 为 0.002 s ,其他设置均保持默认^[12]。

文中分析内容为折叠式侧开塑料周转箱的角跌落,其结果见图9—10。由图9可以看出,整个装配体应变主要集中在底板、侧板及其连接轴上^[13],最大应变为3.31%,应变非常细微,该位置处于在底板底端与地面接触点,对应图10a中最大应力为38.151 MPa

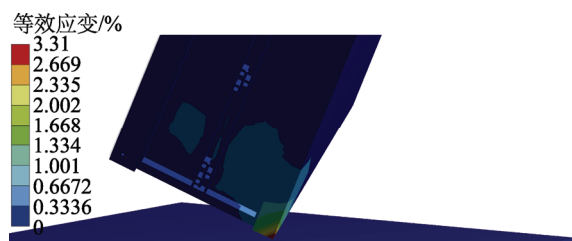
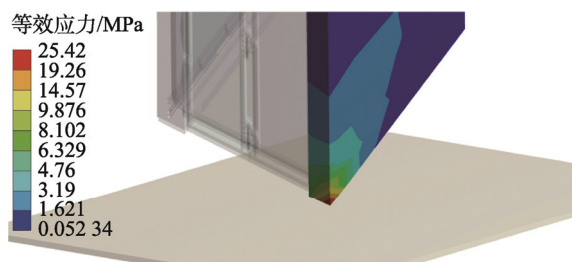
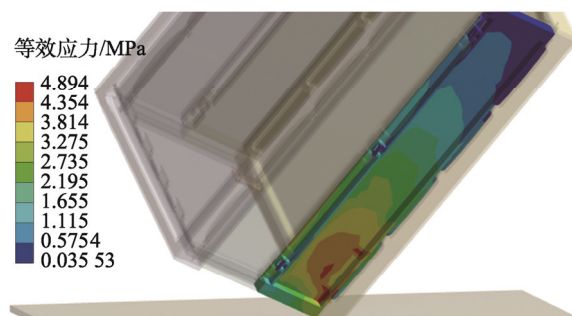


图9 角跌落时周转箱的等效应变

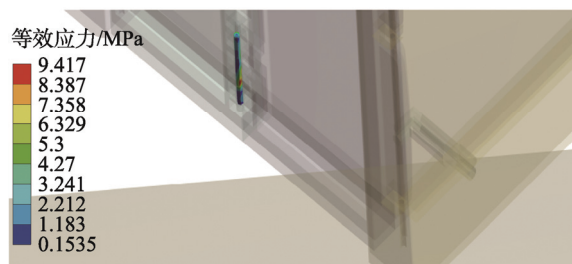
Fig.9 Equivalent strain of crate in angular drop



a 底板



b 侧板



c 转轴

图10 角跌落时周转箱的等效应力

Fig.10 Equivalent stress of crate in angular drop

的位置, 该值远远小于所使用 PP 材料的屈服强度。分析其原因可能是跌落时周转箱与地面刚性接触, 其底部最先受到冲击作用而产生应变, 由下而上, 应变逐渐减弱; 同时也传递给与之相连的侧板和连接轴上, 箱体应变分布较为均匀。由此, 可通过分析底板、侧板及其连接轴的应力来观察角跌落对周转箱的影响。

由图 10b—c 可知, 侧板最大应力发生在与转轴连接处, 为 14.849 MPa; 转轴最大应力发生在与板接触的部位, 为 12.29 MPa。侧板与转轴的最大应力值都很小, 远远小于其材料的许用应力值。

由以上分析可知, 塑料周转箱在 1.2 m 的高度下跌落时, 其结构能满足强度要求, 能够适应实际生产的跌落环境。由于在角跌落时结构稳定性最容易被破坏^[14—15], 故在理想跌落状态下, 塑料周转箱的角、棱、面的跌落均符合实际运用需求。

3 结语

针对传统塑料周转箱卸货费力的缺点, 设计了可折叠侧开式塑料周转箱, 卸货时可省时省力。针对家用塑料周转箱空闲时占用空间较大、搬运费力的缺点, 设计了插板式塑料周转箱, 使得空载时可以拆卸平放、节省空间, 搬运时也更方便。利用 Pro/E 对折叠式侧开塑料周转箱建模, 再利用 Ansys Workbench 软件进行静态压缩和动态跌落仿真实验, 分析得到周转箱的应力、应变和位移云图, 对其力学性能进行了验证, 证明周转箱的设计强度可满足要求, 但可能存在安全裕量大导致过度包装的问题。在后续研究中, 可以进行以下研究。

1) 设计强度可满足要求, 因此如何确定最优的结构尺寸和零件材料, 能同时保证周转箱的“功能性”和“安全性”, 更好地优化设计结构, 是今后应关注的问题之一。

2) 塑料周转箱在运输过程中处于随机振动状态, 由于塑料周转箱重复使用率高, 有可能在使用过程中出现疲劳失效, 有必要对其组件进行振动模态和强度分析, 找到易于发生疲劳损坏的薄弱环节。

3) 该设计所有的仿真均是以空箱为对象的理想状态, 考虑到操作和计算的难度, 未在箱体内放置填充物。若通过对含有内装物的包装件仿真, 能更真实地反映其外包装在实际工作环境中的性能, 从而能进一步研究和完善优化周转箱设计方案。

参考文献:

- [1] 张铭君, 李琛, 张帅帅. 拼装式食品周转箱结构设计[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 58—60.
- ZHANG Ming-jun, LI Chen, ZHANG Shuai-shuai.

- Structural Design of Assembled Food Turnover Box[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 58—60.
- [2] 林腾飞, 辛辰, 张虹. 可变容积周转箱的设计[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(9): 213—215.
- LIN Teng-fei, XIN Chen, ZHANG Hong. The Design of Voluminal Alterable Circulation Box[J]. Logistics Engineering and Management, 2014, 36(9): 213—215.
- [3] 张文杰, 李正军. 多尺寸塑料周转箱优化汽车零部件物流研究[J]. 物流科技, 2016(3): 49—52.
- ZHANG Wen-jie, LI Zheng-jun. Research on Multi-size Plastic Returnable Container Optimizes Auto Parts Logistics[J]. Logistics Sci-Tech, 2016(3): 49—52.
- [4] 谢露, 卢继平, 何培东, 等. 一种新型纸质周转箱的研制与应用[J]. 电测与仪表, 2015, 52(S): 209—213.
- XIE Lu, LU Ji-ping, HE Pei-dong, et al. Development and Application of a New Type of Paper Turnover[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(S): 209—213.
- [5] 武丽丽, 黄颖为. 塑料周转箱结构与力学性能研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(1): 102—106.
- WU Li-li, HUANG Ying-wei. Research on Structural Design and Mechanics of Plastic Container[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(1): 102—106.
- [6] 丁玉平, 钱怡. 包装件跌落仿真分析与结构优化[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(4): 44—48.
- DING Yu-ping, QIAN Yi. Drop Simulation Analysis and Structure Optimization of the Overall Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2014, 32(4): 44—48.
- [7] CELIK H K, AEW R, AKINCI I. Deformation Behaviour Simulation of an Apple under Drop Case by Finite Element Method[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(2): 293—298.
- [8] 蒋晶, 陈雄, 许进升, 等. EPDM 材料热解后准静态压缩力学性能[J]. 航空动力学报, 2017, 32(1): 114—119.
- JIANG Jing, CHEN Xiong, XU Jin-sheng, et al. Quasi-static Compression Mechanical Properties of EPDM Material after Pyrolysis[J]. Journal of Aerospace Power, 2017, 32(1): 114—119.
- [9] 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 Analysis on the Performance of Cushioning Packaging for Flat Panel TV[D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [10] AHMED A S, ADEREMI B O, TAIB R M, et al. Drop

- Weight Impact Studies of Woven Fibers Reinforced Modified Polyester Composites[J]. Leonardo Electronic Journal of Practices & Technologies, 2014, 13(24): 97—112.
- [11] YEH M K, HUANG T H. Drop Test and Finite Element Analysis of Test Board[J]. Procedia Engineering, 2014, 79: 238—243.
- [12] VEDRTNAM A, PAWAR S J. Experimental and Simulation Studies on Fracture of Laminated Glass Having Polyvinyl Butyral and Ethyl Vinyl Acetate Interlayers of Different Critical Thicknesses due to Impact Load[J]. Glass Technology-European Journal of Glass Science and Technology Part A, 2017, 58(6): 169—178.
- [13] 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 & Multidisciplinary Optimization, 2016(1): 1—18.
- [14] 陈志华, 聂羽飞. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的运输容器跌落分析[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(6): 35—38.
- CHEN Zhi-hua, NIE Yu-fei. Dropping Analysis of Shipping Container Based on ANSYS/LS-DYNA[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(6): 35—38.
- [15] KIM H J, YIM J S, LEE B H, et al. Drop Impact Analysis of Plate-type Fuel Assembly in Research Reactor[J]. Nuclear Engineering & Technology, 2014, 46(4): 529—540.