

一种可折叠环保型包装箱的结构设计与分析

孙军艳, 陈智瑞, 杨国瑞, 杨伊辰, 徐良
(陕西科技大学 机电工程学院, 西安 710021)

摘要: **目的** 为了降低物流成本, 解决快递包装箱日益增长的需求量与社会资源浪费和物流成本增加的矛盾。**方法** 采用国际标准化模数尺寸作为基础, 使用模数分割法进行箱体尺寸设计, 并通过统计电商物流包装箱尺寸分布情况初步确定设计尺寸。基于模块化设计和绿色设计, 采用可降解材料聚丙烯设计一种可折叠环保型包装箱方案, 不仅可以方便折叠与回收, 同时通过模块化设置改变箱体尺寸, 以满足不同规格商品的包装需求。采用第四强度理论和有限元分析的方法, 进行力学分析验证其可靠性。**结果** 箱体在长度方向可实现模块化长度调整, 当箱体尺寸为 260 mm×180 mm, 高度为 180 mm, 壁厚为 5 mm, 圆角半径为 5 mm 时综合性能最优, 货物在静止堆码和运输加减速的工况下, 箱体最大应力均小于聚丙烯的压缩屈服强度, 尺寸设计可靠。**结论** 可折叠环保型快递包装箱具有较好的收纳性、可回收性、环保性、防潮性和灵活性, 同时具有良好的力学性能, 保证了使用的可靠性, 有效地解决了快递包装箱不能循环利用、商品过度包装、安全性能及抗压性能较差等问题。

关键词: 绿色设计; 模块化设计; 环保型; 包装箱; 有限元分析

中图分类号: TB482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)11-0096-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.015

Structural Design and Analysis of a Foldable Environmentally Friendly Packaging Box

SUN Jun-yan, CHEN Zhi-rui, YANG Guo-rui, YANG Yi-chen, XU Liang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to reduce the logistics cost to solve the contradiction between the increasing demand for express package and the waste of social resources and the increase of logistics cost. Firstly, with the international standardized module size as the basis, the module segmentation method was used to design the box size and the design size was preliminarily determined based on the statistics of the distribution of the packaging box size of the e-commerce logistics. Then, based on the modular design and green design, a foldable environmentally friendly packaging box scheme was designed with the degradable material polypropylene, which could not only facilitate folding and recycling, but also change the box size through the modular setting to meet the packaging requirements of commodities with different specifications. Moreover, the fourth strength theory and finite element analysis were used to conduct the mechanical analysis for the verification of its reliability. The box body could realize modularized length adjustment in the length direction. When the box body was 260 mm×180 mm in length and width, 180 mm in height, 5 mm in wall thickness and 5 mm in radius of rounded corners, the overall performance was the best. Under the working conditions of static stacking and transportation

收稿日期: 2019-09-25

基金项目: 国家自然科学基金 (51275407, 51475363, 11072192); 陕西省工业科技攻关项目 (2018GY-026); 陕西科技大学博士科研启动基金 (2018BJ-12); 国家级大学生创新创业训练计划 (201910708020)

作者简介: 孙军艳 (1978—), 女, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为物流信息技术、供应链管理。

acceleration and deceleration, the maximum stress of the box body was less than the compressive yield strength of polypropylene, and the size design was reliable. Featured by good storage performance, recyclability, environmental protection, moisture resistance and flexibility, the foldable environmentally friendly express package has good mechanical properties to ensure the reliability of the use and effectively solve the problems such as non-recyclable express package, excessive commodity packaging and poor safety performance and compressive property.

KEY WORDS: green design; modular design; environmentally friendly; packaging box; finite element analysis

电商的高速增长带动了包装材料的大量使用，2006 年我国快递业务总量只有 10 亿件，而 2018 年已经达到 507 亿件，预计 2020 年将达到 1020 亿件^[1]。目前我国快递包装箱所选用的材料大多是瓦楞纸和泡沫，使用胶带作为密封工具，极易对包装箱造成损害，无法二次使用导致大量包裹在被拆封后就被废弃，有 80% 的纸箱无法回收；同时过度包装会带来环境的污染和资源的浪费，无法为商品提供充分的保护^[2]。

2016 年 32 家物流企业联合启动“绿动计划”，提出到 2020 年争取行业总体碳排放量减少 362 万 t，50% 的电商包裹替换为 100% 可降解绿色包装^[2]。目前，研究供应链绿色物流包装的文献较有限，截至 2019 年 1 月共检索到 312 篇相关文献。供应链物流背景下“智慧包装”的开发与设计势在必行，这也是符合“绿色运输”的必要举措。

贾旭光^[3]提出一种新型包装箱，以具有高冲击强度的低压高密度聚乙烯和 PP 聚丙烯为原料，包装箱体为梯形结构，通过转动轴实现箱体固定及转动、锯齿咬合结构实现箱体箱盖的连接与配合，通过设计“L”形凸台保证堆叠稳定性。张雪芹等^[4]提出一种无需胶带密封可快速拆卸的包装箱结构，采用塑料材质，上盖采用磁扣式扣紧装置，同时加装一次性封口设计可实现循环使用。蒋山山等^[5]提出一种可多次使用的免胶带快递包装设计以减少包装耗材。

目前，行业内出现了一些可重复使用的新型快递包装箱，对包装箱的结构设计、材料选择进行了一定研究^[6—8]，将绿色设计考虑到新型包装箱设计中^[9—10]，但未全面考虑包装箱材料、规格尺寸、尺寸标准化及箱体可靠性的问题。基于此，文中采用模块

化设计思想，提出一种新型快递包装箱设计方案，方便收纳和回收使用，且其尺寸可灵活调整。该包装箱基于绿色设计理念，选用环保可降解材料，避免了包装箱废弃时对环境的污染。

1 包装箱设计方案

1.1 包装材料选择

常用的包装箱包括纸质、木质和塑料材质。纸箱价格相对低廉、普及率高，但制作过程不环保，耐潮湿性差，在温度不变的情况下瓦楞纸箱的边压强度随着湿度的增大而减小，复原性小^[11]，远远不能满足可回收、可重复利用的设计要求；木质箱结构坚固、防潮、吸湿，但成本较高，适用于电气设备及零部件等相对价值较高的物品；塑料箱具有多功能性、易回收循环利用、易降解，且边压强度几乎不受温度湿度的影响，具有较好的稳定性^[12]。目前常用的塑料材质有 4 种，具有以下特点，见表 1。

通过表 1 可以看出，聚氯乙烯（PVC）常应用于食品行业包装；聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）具有良好的可回收性，在软性饮料瓶包装中应用广泛；高密度聚乙烯（HDPE）具有耐酸碱性，耐有机溶剂等性质，但力学性能较差，脆性低于聚丙烯（PP）材质，易开裂，强度不满足运输途中的包装要求；聚丙烯（PP）最突出的性能就是其抗弯曲疲劳性，材料具有较高的耐冲击性，优良的力学性能，优良的抗吸湿性、抗酸碱腐蚀性、抗溶解性^[13—15]。综合考虑成本、力学性能、实用性等，此次设计选用 PP 作为包装材料，

表 1 常用的包装塑料主要特点及应用范围
Tab.1 Main properties and application scope of commonly used packaging plastics

材料名称	可降解性	力学性能	应用范围
聚氯乙烯(PVC)	化学性能稳定，难降解	刚度、硬度、强度都较小，在应力长期作用下变形	食物包装、电子产品、软性饮料瓶等产品
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	不易降解	抗压性能良好，耐磨性较好。	软性饮料瓶、薄膜片材、电子产品、汽车配件、机械设备
聚丙烯(PP)	降解周期较长，再资源化性能较好	较高的耐冲击性，力学性质强韧，抗吸湿性、抗弯曲疲劳性较好。	家具、包装、照明设备、食物包装、桌垫、文件夹等
高密度聚乙烯(HDPE)	不易降解	力学性能差，透气差，易变形，易老化，易发脆，脆性低于 PP，易应力开裂，表面硬度低。	包装薄膜，绳索，编织袋，渔网，水管；注塑低档日用品及外壳，非承载荷构件，胶箱，周转箱；挤出吹塑容器等。

不论是保护物品还是运输方面,都具有一定的优势。

1.2 包装箱结构设计思路

为了满足包装箱方便收纳和使用,结构尺寸可变等适用性要求,根据结构设计理论和模块化设计原则,文中的总体设计思路:将包装箱的6个面作为基本模块,分别将上下面、左右面和前后面设计成相同的结构以减少基本模块的类型,即共有3种类型模块;相邻面采用铰链或者卡扣的方式连接以方便折叠收纳;上下面分别是通过滑轨连接2个子板以实现伸缩,通过安装或拆除添加板以实现长度上的尺寸调整;将前后面设计成2个独立的子模块,即主板和拼接板,其中拼接板通过铰链与右面连接,加大尺寸时,拼接板与主板合并,缩小尺寸时,附加板贴合在右面上;左右板上设置有卡槽用以存放上下面的拼接板。

包装箱各形态结构示意图1—4,图1—4中的零部件编号含义见表2。箱体前侧面板与后侧面板结构相同,前侧面板包括主板2与拼接板4这2部分,前侧主板通过可固定角度的铰链1与顶部面板9连接,前侧拼接板4与右侧支撑面板6通过可固定角度的铰链相连。箱体处于原始状态时,见图1,前侧面板仅用到主板2,前侧拼接板4通过铰链与右侧面板连接。箱体处于变化过程中时见图2,前侧拼接板4向前侧面板主板方向旋转 270° 后与前侧主板2相拼接,同时在边缘处设计“L”型卡扣结构实现与顶部面板9的连接与固定。箱体处于折叠状态时见图4,前侧主板2折叠在底部面板3上,拼接板4通过可固定角度的铰链与右侧支撑面板6连接。顶部面板9与底部面板3结构相同,由2个可拆分的相同尺寸面板、滑轨14和顶部拼接板5组成,其中,在2块相同尺寸面板中设计滑轨14结构调整箱体长度,并通过可固定角度铰链与左侧支撑面板10及右侧支撑面板6相连接。左侧支撑面板10与右侧支撑面板6结构相同,在板面上设计与滑轨宽度相等的凹槽13,在原始状态时,将顶部拼接板5和底部拼接板11通过与滑轨宽度相等的凹槽结构将其安装在板面上。

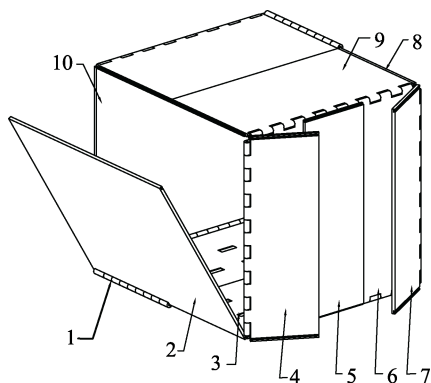


图1 包装箱原始尺寸状态下箱体示意
Fig.1 Schematic diagram of the packaging box body with the original size

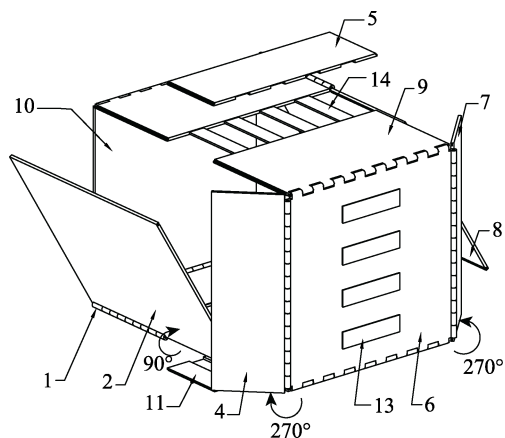


图2 包装箱变化过程中示意
Fig.2 Schematic diagram of the changing process of packaging box

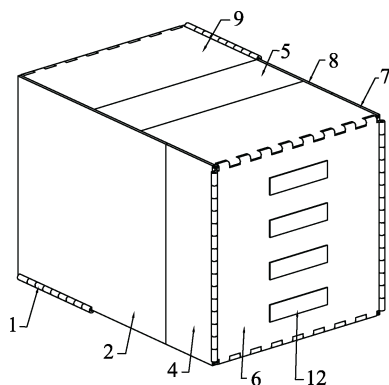


图3 包装箱变尺寸后箱体示意
Fig.3 Schematic diagram of the packaging box body with changed size

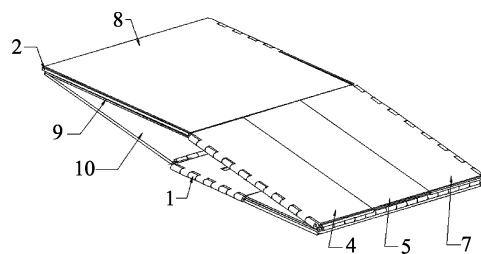


图4 包装箱折叠状态下示意
Fig.4 Schematic diagram of packaging box under folded state

箱体各板面见图5—6。图5—6中的零部件代码含义见表2。

箱体“L”型卡扣结构见图7,凹“L”型为母扣,凸“L”型为公扣,通过在前侧面板边缘处设计母扣,在顶部面板边缘处设计公扣,母扣弹性臂变形压入,公扣凸与母扣凹贴合,分离方向不易取出,实现前(后)侧面板与顶部面板的拼接与密封箱体可固定角度铰链结构见图8,通过在铰链连接端面处分别设计2个凸台与4个凹槽,当相邻面板成 90° (或 0°)时,凸台与凹槽相配合角度固定,箱体可实现支撑(或折叠),保证箱体使用和收纳的稳定性。

表 2 包装箱零部件及关键结构
Tab.2 Parts and key structures of packaging boxes

代号	零部件名称	数量	说明
1	可固定角度铰链	8	面边缘处
2	前侧面板主板	1	结构同 8
3	底部面板	1	结构同 9
4	前侧面板拼接板	1	结构同 7
5	顶部拼接面板	1	结构同 11
6	右侧支撑面板	1	结构同 10
7	后侧面板拼接板	1	结构同 4
8	后侧面板主板	1	结构同 2
9	顶部面板	1	结构同 3
10	左侧支撑面板	1	结构同 6
11	底部拼接面板	1	结构同 5
12	“L”型卡扣结构	12	板边缘处
13	与滑轨宽度相等的凹槽	2	左右侧面板上
14	滑轨	2	上下面板上

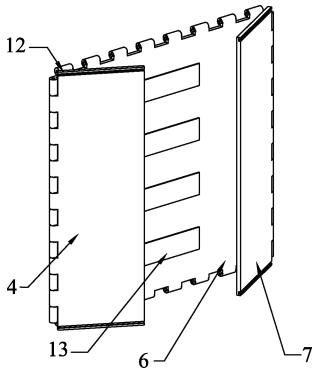


图 5 原始状态时箱体右侧面板示意
Fig.5 Schematic diagram of right panel of the box body in the original state

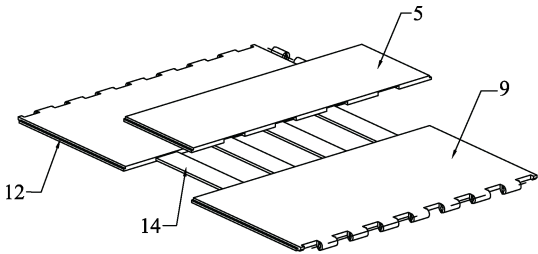


图 6 拉伸过程中顶部面板示意
Fig.6 Schematic diagram of top panel during drawing

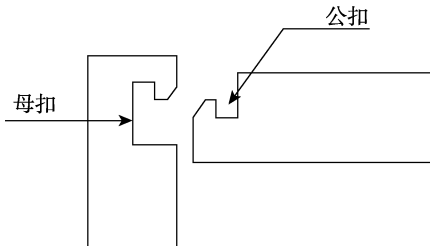


图 7 “L”型卡扣结构
Fig.7 "L" buckle structure

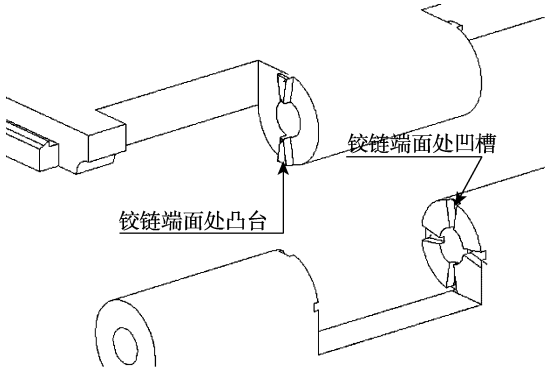


图 8 可固定角度铰链结构
Fig.8 Fixable angle hinge structure

1.3 包装箱使用方法

- 1) 将可固定角度的铰链旋转 90°, 将截面为四边形的折叠状态箱体打开至箱体原始结构。
- 2) 判断原始状态箱体体积是否满足待包装货物体积, 若货物体积小于等于原始状态箱体体积进行步骤 3, 若货物体积大于箱体原始状态箱体体积则进行步骤 4。
- 3) 将货物通过前侧板位置处装入原始状态下的包装箱, 将前侧面板主板 2 与后侧面板主板 8 通过“L”型卡扣分别与顶部面板 9 与底部面板 3 相连接即可完成包装。
- 4) 将顶部面板 9 与底部面板 3 的 2 个可拆面板通过滑轨结构 14 相对滑动至固定位置, 将顶部拼接面板 5 与底部拼接面板 11 分别从左侧支撑面板 10 与右侧支撑面板 6 上取下, 然后安装在暴露在外的滑轨上, 通过前侧板位置处装入货物, 将前侧拼接面板 4 通过可固定角度的铰链 1 向前侧面板主板方向旋转 270°, 再通过“L”型卡扣结构 12 实现与箱体顶部面板 9 的连接。将后侧拼接面板 7 通过可固定角度的铰链向后侧面板主板 8 方向旋转 270°, 再通过“L”型卡扣实现与箱体底部面板 3 的连接。分别旋转箱体前侧面板主板与后侧面板主板至对应位置, 完成包装。
- 5) 箱体使用完成后, 将箱体恢复成步骤 1 时原始状态, 将可固定角度的铰链旋转 90°, 即可完成折叠, 折叠后的尺寸体积更小, 方便收纳及整理。

1.4 包装箱尺寸设计

包装箱尺寸设计的基本要求是在满足力学强度的要求, 减少承重变形的前提下, 尽可能少的使用材料。长、宽、高、壁厚和圆角半径是在尺寸设计中最基本的要素, 其主要需要关注 3 方面的问题: 确定长、宽、高、壁厚和圆角半径尺寸, 要遵循壁厚均一的原则; 考虑包装箱内装物本身尺寸; 以国际标准化模数尺寸为基础, 与物流系统其他各环节相协调, 与其他物流尺寸相适应。

国际标准化组织确定的基础模数尺寸为 600 mm×400 mm。经统计,目前电商中心常用的箱体长度主要集中在 100~300 mm 之间,宽度主要集中在 100~200 mm 之间,高度主要集中在 100~200 mm 之间。为了满足电商中心的应用需要,文中采用模数分割法确定系列化尺寸,根据上述尺寸范围,该次的模数设计取 $L/2, L/3, L/4, L/5, L/6, W/2, W/3, W/4, W/5$, 即基本长度尺寸分别为 300, 200, 150, 120, 100 mm; 宽度尺寸分别为 200, 132, 100, 80 mm。根据上述包装箱结构设计,拉伸后的长度=基本长度+ $1/3 \times$ 宽度,因此,对宽度尺寸进行圆整,最终确定的宽度尺寸分别为 18, 120, 9, 60 mm。例如,在宽度为 180 mm 的情况下,其对应的拉伸后的长度尺寸分别为 360, 260, 210, 180, 160 mm。高度与宽度尺寸一致。壁厚一般范围为 2~5 mm,圆角半径尺寸一般取值和壁厚相近。

2 包装箱强度及有限元分析

目前主要有四大强度准则理论来评定仿真实验,即最大拉应力准则、最大线应变准则、最大切应力准则、结构改变比能准则。第 4 强度理论认为结构改变比能是引起材料屈服破坏的主导因素,与应力状态无关,适用于大多数塑性材料,且计算结果比第 3 强度理论准确。针对包装箱保护商品的功能要求,文中采用第 4 强度理论进行结果评定,对结构的范式等效应力进行考核,用应力等值线来描述模型内部的应力分布状态,从而快速确定模型中的最危险区域。

第 4 强度理论的计算见式(1)。

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq [\sigma] \quad (1)$$

式中: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 分别为 3 个方向的载荷; σ 为材料的强度。

为验证包装箱的强度和形变是否符合要求,采用 Ansys 软件进行有限元分析,分析过程主要包括构建模型(创建几何模型、定义材料参数、选择单元类型和尺寸、划分单元格)、施加载荷及边界条件、计算求解、查看结果等 4 个步骤。

2.1 模型建立

为验证包装箱的强度和形变是否符合要求,在 Windows10.0 环境下,利用 NX11.0 建立包装箱的三维模型,其基本外形尺寸范围为:长在 100~300 mm 之间,宽和高在 80~200 mm 之间;壁厚和圆角半径为 2~8 mm。包装箱的实体模型见图 9,坐标系的确定:包装箱长度方向定义为 x 轴,水平方向定义为 y 轴,竖直方向定义为 z 轴。

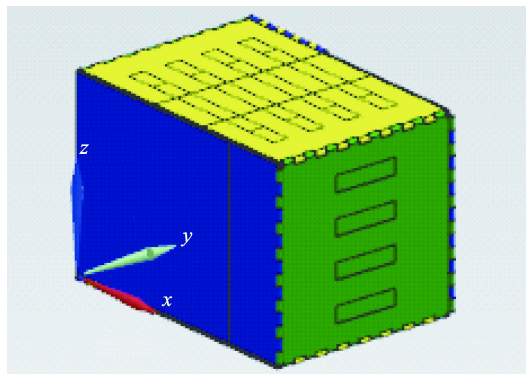


图 9 包装箱三维模型

Fig.9 3D model of the packaging box

2.2 定义材料参数与网格划分

将三维模型导入 Ansys Workbench19.0 软件中进行有限元仿真分析,聚丙烯具体参数见表 3。

用 SWEEP 划分网格,单元格大小为 5 mm 网格数为 171 275,节点数为 85 000,底板加固定约束,其他板没有约束,网格划分情况见图 10。

表 3 聚丙烯材料参数

Tab.3 Polypropylene material parameters

弹性模量/GPa	泊松比	密度/(g·cm ⁻³)	拉伸强度/MPa	压缩强度/MPa	弯曲强度/MPa
1.3	0.4103	0.92	29	45	50~58.8

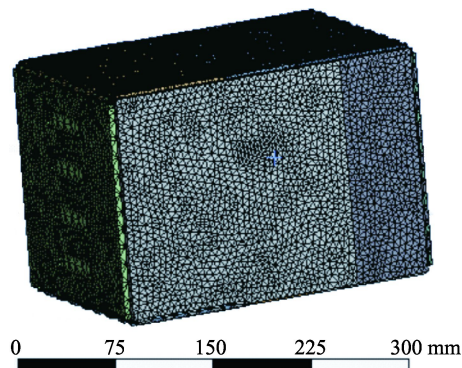


图 10 网格划分示意

Fig.10 Schematic diagram of grid division

2.3 施加载荷与强度仿真

在实际应用中,包装箱通常堆码存放,在静止或运输平稳的情况下,包装箱顶面为主要受力面;当车辆加减速时,除了顶面受力还包括车辆加减速引起的侧面受力,所以该次仿真实验工况主要考虑以下 2 种情况。

1) 货车平稳运行或货物静止堆码时:底面设固定约束,仅顶面加载载荷。

2) 货车加减速时:底面设固定约束,顶面和左右两侧面同时施加载荷,或者顶面和前后两侧施加载荷。

货车刹车（或加速）时，包装箱一方面具有惯性力，另一方面还有包装箱与货车底面的摩擦力，故包装箱的最大承载力为：

$$F_{\text{载}}=F_{\text{惯}}-F_{\text{摩}}=ma-\mu mg=m(a-\mu g)$$
 (2)

式中： m 为产品质量； μ 为摩擦因数（聚丙烯塑料与金属的摩擦因数为 0.3~0.8，此处取最小值 0.3）； g 为重力加速度（取 10 m/s²）； a 为货车加速度的加速度，根据快递货车的常用型号尺寸，极限加速度设置为 11 m/s²，故可求出顶面的最大承受载荷为 0.0069 MPa；侧面最大承受载荷为 0.0151 MPa，见表 4。仿真中取载荷最大值，故载荷设置如下：顶面平均载荷 $\sigma_1=0.0069$ MPa，侧面平均载荷 σ_2 （或 σ_3 ）=0.0151 MPa，另一方向载荷设置为 0。

表 4 货车型号与载重情况
Tab.4 Truck type and carrying capacity

货车长/m	货车宽/m	货车高/m	载质量/t	顶面载荷/kPa	侧面载荷/kPa
4.2	1.9	1.9	2	2.5	2.8
4.2	2.2	2.1	4	4.3	7.1
5.2	2.2	2.2	5	4.4	8.4
6	2.4	2.7	10	6.9	12.6
7.6	2.4	2.7	12	6.6	15.1

通过调整长、宽、高以及壁厚和圆角半径，仿真发现：在上述长（100~300 mm）、宽和高（80~200 mm）的系列化参数范围内，壁厚和圆角半径大于 5 mm 的包装箱均满足力学性能要求；随着长、宽、高、壁厚和圆角半径尺寸的逐渐增大，包装箱最大应力和位移逐渐减小；当长、宽、高分别增加到 260，180，180 mm 时，壁厚和圆角半径增长到 5 mm 以后，应力和位移的减少不再明显，因此认为该尺寸（260 mm×180 mm×180 mm）的包装箱具有最优的综合性能，其对应的原始状态下的尺寸为 200 mm×180 mm。

仿真结果显示，当货车平稳运行或货物静止堆码时，结构变形极大值出现在包装箱顶部中间位置，运输平稳状态下变形最大值为 1.7977 mm，等效应力最大值为 18.542 MPa，小于材料压缩屈服强度（45 MPa）。考虑包装箱整体结构和尺寸，此变形在可接受范围内。包装箱说明了结构和尺寸设计结果可靠。其仿真结果见图 11—12。

当货车加减速时，若箱体前后侧受力，结构变形极大值出现在包装箱前后侧腰部拼接板位置，变形最大值为 0.027 371 mm，包装箱等效应力最大值为 32.288 MPa，小于材料压缩屈服强度（45 MPa），结构和尺寸设计结果可靠，见图 13—14。

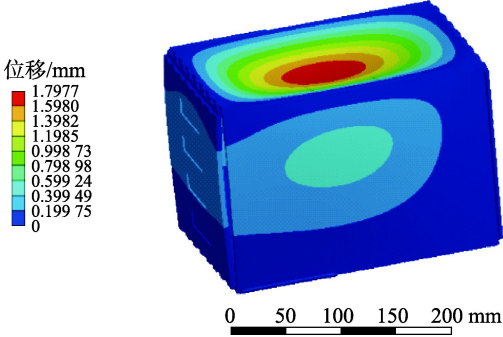


图 11 货车平稳行驶时包装箱变形云图
Fig.11 Deformation cloud diagram of the packaging box when the truck is running smoothly

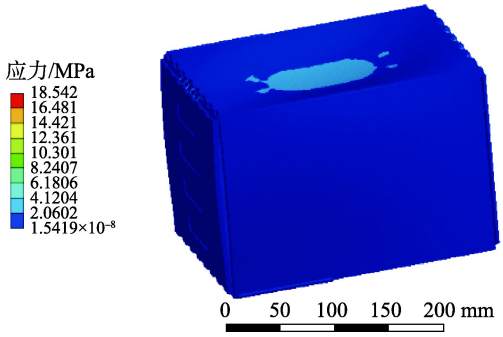


图 12 货车平稳运行时包装箱应力云图
Fig.12 Stress cloud diagram of the packaging box during smooth running of the truck

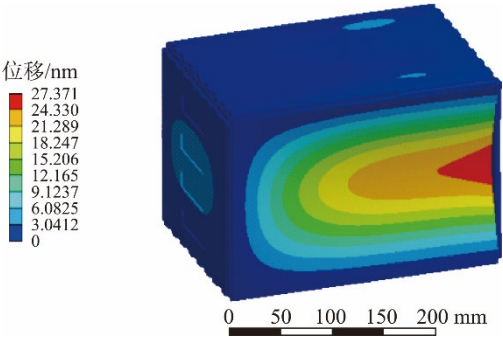


图 13 货车加减速时包装箱前后侧受力变形云图
Fig.13 Stress and deformation cloud diagram of the front and rear sides of the packaging box when the truck is accelerating and decelerating

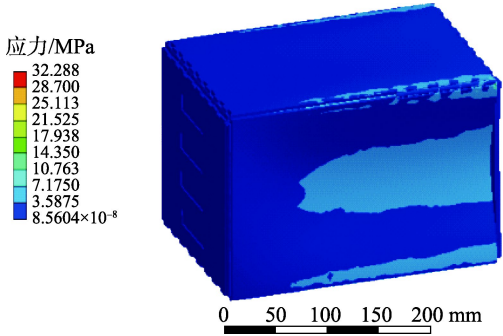


图 14 货车加减速时包装箱前后侧受力应力云图
Fig.14 Stress cloud diagram of the front and rear sides of the packaging box when the truck is accelerating and decelerating

当货车加减速时,若箱体左右侧受力,结构变形极大值出现在包装箱左右侧腰部中间位置,变形最大值为 3.9241 mm。包装箱等效应力最大值为 4.824 MPa,考虑包装箱整体结构和尺寸,此变形在可接受范围内,均小于材料压缩屈服强度(45 MPa),说明结构和尺寸设计结果可靠,见图 15—16。

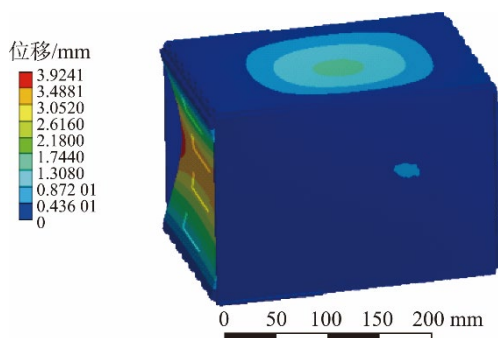


图 15 货车加减速时包装箱左右侧受力变形云图

Fig.15 Stress and deformation cloud diagram of the left and right sides of the packaging box when the truck is accelerating and decelerating

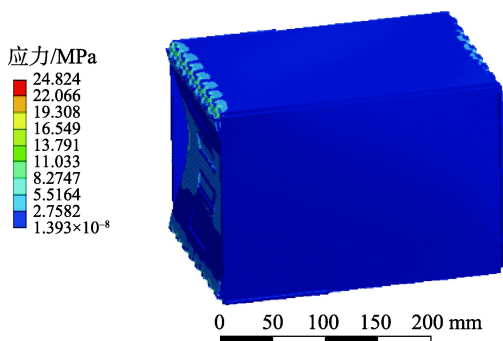


图 16 货车加减速时包装箱左右侧受力应力云图

Fig.16 Stress cloud diagram of the left and right sides of the packaging box when the truck is accelerating and decelerating

3 结语

文中选择可降解塑料聚丙烯作为包装材料,设计了一种可折叠回收环保型包装箱方案,该方案方便收纳循环利用,同时在尺寸方面具有一定的灵活性。通过统计分析以及模数分割法,确定了基本系列化尺寸以及对应的可变尺寸,使得在一定尺寸范围内可以为不同规格的商品提供保护。采用第 4 强度理论进行有限元分析,验证了其在静止堆码和运输过程中的可靠性,并找出了力学性能最优的尺寸以及厚度和圆角半径的最小可靠尺寸。文中的研究降低了回收成本,提高了包装箱空间利用率,有效解决了目前较为严重的包装过度的问题,减少胶带等包装耗材降低了物流成本。文中的研究对于快递绿色包装与回收具有一定的

现实意义。

参考文献:

- [1] 程红伟, 索艳格. 电商瓦楞纸箱包装的挑战与机遇[J]. 今日印刷, 2018(12): 18—20.
CHENG Hong-wei, SUO Yan-ge, Challenges and Opportunities of Corrugated Carton Packaging for E-commerce[J]. Print Today, 2018(12): 18—20.
- [2] 毛盾. 电商瓦楞包装产业发展现状及未来格局[J]. 印刷技术, 2016(2): 11—13.
MAO Dun. Development Status and Future Pattern of Corrugated Packaging Industry of E-commerce[J]. Printing Technology, 2016(2): 11—13.
- [3] 贾旭光. 一种新型可循环利用快递包装箱设计[J]. 物流技术, 2017(4): 101—103.
JIA Xu-guang. A New Recyclable Express Package Design[J]. Logistics Technology, 2017(4): 101—103.
- [4] 张雪芹, 温贵乾. 绿色包装理念下新型快递箱的创新设计[J]. 中国包装, 2018, 38(11): 54—56.
ZHANG Xue-qin, WEN Gui-qian. Innovative Design of New Express Boxes Under the Concept of Green Packaging[J]. China Packaging, 2018, 38(11): 54—56.
- [5] 蒋山山, 宁如霞, 曲新宇, 等. 可多次使用的免胶带快递包装设计[J]. 包装工程, 2018, 39(13): 111—116.
JIANG Shan-shan, NING Ru-xia, QU Xin-yu, et al. Packaging Design of Reusable Tape-free Express Delivery[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(13): 111—116.
- [6] 张璠, 胡勇. 一种新型运输包装箱的开发与设计[J]. 包装工程, 2019, 40(19): 115—120.
ZHANG Fan, HU Yong. Development and Design of a New Transport Packaging Box[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(19): 115—120.
- [7] 张丽丽, 赵元, 刘业峰. 基于 ANSYS 的包装箱虚拟仿真试验研究[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(11): 255—259.
ZHANG Li-li, ZHAO Yuan, LIU Ye-feng. Research on Virtual Simulation Experiment of Picking Box on Basis of ANSYS[J]. Computer Measurement and Control, 2019, 27(11): 255—259.
- [8] MASSO-MOREU Y. Finite Element Analysis Applied to Polyethylene Foam Cushion in Package Drop Tests[J]. Packaging Technology and Science Materials, 2012, 43(1): 39—41.
- [9] 吕中意, 王振玉, 王庆莲, 等. 绿色物流背景下的模块化可扩容快递箱设计[J]. 机械设计, 2019(8): 48—54.
LYU Zhong-yi, WANG Zhen-yu, WANG Qing-lian, et al. Design of Modular Express Box with Capacity Expansion Under the Background of Green Logistics[J]. Mechanical Design, 2019(8): 48—54.

- [10] 姜晓红, 殷苹. 红木家具类异形件的通用物流包装设计研究[J]. 物流工程与管理, 2019, 41(9): 94—97.
JIANG Xiao-hong, YIN Ping. Design of General Logistics Packaging for Abnormity Parts of Mahogany Furniture[J]. Logistics Engineering and Management, 2019, 41(9): 94—97.
- [11] 孙玉成. 瓦楞纸疲劳性研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018: 8—9.
SUN Yu-cheng. Fatigue Performance of Corrugated Papreboard[D]. Guangzhou: Jinan University, 2018: 8—9.
- [12] 陈晓锦, 邢联大, 尹帅. 瓦楞纸箱边压强度实验[J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7(17): 23—25.
CHEN Xiao-jin, XING Lian-da, YIN Shuai. Experiment on Edge Compression Strength of Corrugated Box[J]. Modern Industrial Economy and Informatization, 2017, 7(17): 23—25.
- [13] 韩霖. 循环复用快递包装箱设计及其关键技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 3—5.
HAN Lin. Key Technologies on Folding and Recycling Packing Box[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 3—5.
- [14] 陈金明. 低碳趋势下的包装设计研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011: 20—24.
CHEN Jin-ming. Packaging Design Research Under the Trend of Low Carbon[D]. Shanghai: East China Normal University, 2011: 20—24.
- [15] 魏龙庆, 罗战平. 塑料包装片材的研究进展及发展趋势[J]. 塑料包装, 2012, 22(6): 33—36.
WEI Long-qing, LUO Zhan-ping. Research Progress and Development Trend of Plastic Packaging Sheet[J]. Plastic Packaging, 2012, 22(6): 33—36.