缓冲与隔振

基于仿生结构的吸顶灯电商包装设计

郭鑫[a]，邢浩[a,b]，谭文瑞[a]，吕艳娜[a,b]
（大连工业大学 a.轻工与化学工程学院 b.中阜朝辉功能材料工程技术研发中心，大连 116034）

摘要：目的 设计大型吸顶灯电商缓冲包装，改变家用吸顶灯电商包装防护能力不足以及结构形式单一的现状，提升消费者的购买体验和品牌价值。**方法** 使用瓦楞纸板替代 EPE 缓冲材料，构造“蜂窝正六边形”仿生缓冲结构，提出无盖式与罩盖式 2 种设计方案。**结果** 与原包装比较，2 款瓦楞纸板缓冲包装的抗压强度分别提高了 80.8%与 111.2%，快速封拆结构赋予消费者一步操作即可取用产品的便利性，解决了原有包装材料的环境非友好性、用户体验差等问题。**结论** 2 种方案均采用瓦楞纸板仿生缓冲结构设计，不仅提高了包装对灯具的保护性能，而且提升了包装开启的便利性，为大型易碎类商品的电商包装提供了可借鉴的解决方案。

关键词：电商包装；仿生设计；缓冲包装结构；大型吸顶灯；包装解决方案
中图分类号：TB482 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2020)17-0117-07
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.016

E-commerce Packaging Design for Ceiling Lamp Based on Bionic Structure

GUO Xin[a], *XING Hao*[a,b], *TAN Wen-rui*[a], *LYU Yan-na*[a,b]
(a.School of Light Industry and Chemical Engineering b.Zhongfu Zhaohui Engineering Technology R & D Center for Functional Materials, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

ABSTRACT: The work aims to design the novel e-commerce cushioning packages for large ceiling lamp to change the current situation of family-sized ceiling lamp protection package with insufficient protection capacity and simple packaging structure, so as to improve the consumer buying experience and brand value. A bionic honeycomb structure was made from corrugated board instead of EPE cushioning materials. Moreover, two design schemes with and without lid were put forward. Compared with the original packages, the compressive strength of the two corrugated board cushioning packages increased by 80.8% and 111.2%, respectively. Fast sealing and unpacking structure was easy for consumers to take out products in a single operation, which solved problems of environmentally unfriendly packaging materials and poor user experiences. Both schemes adopt the bionic corrugated board cushioning structure, which not only improves the protection performance of the packages, but also simplifies the opening procedure of the packages, providing feasible solutions for developing e-commerce packages of large fragile goods.

KEY WORDS: e-commerce package; bionic design; cushion packaging structure; large ceiling lamp; packaging solutions

灯具不仅能解决照明问题，还有装饰点缀、美化环境、营造氛围、引导情绪等作用，其中大型吸顶灯已经成为人们的首选[1]。除了产品外观和性能能够对企业营销与品牌产生重大影响外，电商物流包装的用

收稿日期：2020-01-29
基金项目：国家重点研发计划（2018YFD0400703）；大连工业大学大学生创新创业训练计划（201910152250）
作者简介：郭鑫（1995—），男，大连工业大学硕士生，主攻包装结构设计与生物质基功能材料。
通信作者：吕艳娜（1978—），女，博士，大连工业大学副教授、硕导，主要研究方向为生物质基功能材料。

户体验也将影响产品在消费者心目中的形象[2]，因此研究大型吸顶灯包装对于提高包装保护性能、树立品牌形象、促进产品销售、改善用户体验具有重要意义。近年来，为响应国家加快推进绿色包装的号召，利用环保包装材料为产品提供缓冲保护性能的研究日趋增长，例如：利用瓦楞纸板与纸浆模塑类材料代替发泡聚苯乙烯（EPS, Expandable Polystyrene）和可发性聚乙烯（EPE, Expandable Polyethylene）材料为洗衣机[3]、速热式热水器[4]、净水器[5]等家电产品提供防护，但针对大型吸顶灯产品进行全瓦楞纸板电商包装设计的研究较少。

自然界的生物体为了更好地适应环境，经过不断的进化和蜕变，形成了具有功能价值的“自我包装”[6]。具体地说“仿生学原理”是指以自然界中生物的结构和特点为基础，研发出新型的科学技术方法和产品，并能够体现出所模仿生物物种一样的功能[7]。面对难解决的产品包装问题时，人类运用自己的智慧，对自然万物的形态与优势加以整合，可以寻找出最佳的产品包装解决方案[8]。例如：李萌等[9]仿生正六边形蜂窝拓扑结构，研究设计了轻量化腿式着陆器，同时研究发现，正六边形蜂窝拓扑结构具有最佳的吸能效果。文中以欧普悠系列吸顶灯为研究对象，基于“蜂窝正六边形”仿生缓冲结构展开设计，为吸顶灯等相关大型易碎品电商提供创新的缓冲包装解决方案，满足当前电商包装的多元化的消费理念和消费方式。

1 大型吸顶灯电商包装现状分析

目前市场上大型吸顶灯电商包装主要是由外包装和缓冲结构组成，即 EPE 护角、聚乙烯（PE）包装袋与瓦楞纸箱的组合。存在的问题为缓冲性能欠缺、用户开箱体验差、环境友好性差。EPE 具有防震、可塑性能佳、韧性强等诸多优点，且物美价廉，质量轻[10]，但其缺点主要体现在 EPE 材料难根据产品外形进行插锁与卡扣等定位、限位结构设计，多采用衬垫的方式实现对产品的缓冲防护，同时，EPE 与包装箱体的组合主要是依靠产品自身的重力作用，结合牢固性差。此外，包装废弃后，难降解的 EPE 与 PE 包装袋将造成环境污染。

欧普悠系列六头吸顶灯电商包装形式见图 1（图片摘自网络），其在使用时存在如下缺点。

1）灯具装箱难定（限）位。由于灯具外形不规则，在装箱过程中需要对灯具进行定位限位，避免产品在包装中晃动，影响下一步的装配工作。图 1 中灯具采用无定位限位结构设计，不便于产品的快速装配。

2）垂直方向缓冲保护性能欠缺。灯具在水平方向有 EPE 提供缓冲保护，但垂直方向无特殊保护结构设计和其他辅助防护材料。

图 1 欧普悠系列六头吸顶灯包装
Fig.1 OPPLE YOU series six-head ceiling lamp package

3）包装开启与产品取用不便。包装箱制造商接头接合方式为金属钉接，这种结合比较牢固，但箱钉受潮生锈后有污染灯具的可能，同时也存在接合角箱板重叠问题[11]。为防止运输过程中灯具晃动导致灯罩被金属钉刮花，使用 PE 包装袋对灯具进行包裹，用户在取用时需要先将灯具连同 PE 包装袋一起取出，拆掉包装袋后才能进行灯具的验货或安装使用等操作。

2 欧普悠系列吸顶灯仿生缓冲包装设计

欧普悠系列吸顶灯共有 3 款产品（三头、五头、六头），其中六头灯具的规格为 1000 mm×1000 mm×150 mm，五头灯具规格为 830 mm×830 mm×150 mm，三头灯具规格为 680 mm×680 mm×150 mm。整灯包括多个灯头和 1 个底盘，灯头与底盘通过螺丝固定。文中以欧普悠系列吸顶灯为内装物，对其 3 款产品包装进行设计。

2.1 设计目标

针对该产品包装目前存在的不足之处，提出以下几点设计目标。

1）提升吸顶灯包装箱的抗压强度。在电商环境下，灯具多以单件的方式运输到目的地，包装件除了要承受运输过程中因冲击、振动等造成的动态压力，在堆码存储环节也需要承受来自顶部载荷的静态压力，因此包装箱具有足够的抗压强度是保护内装物的重要前提[12—14]。

2）快速封拆结构设计。产品包装的便利功能是包装设计过程中考虑的重要因素之一[15]。欧普悠系列吸顶灯缓冲包装基于仿生蜂窝正六边形结构设计快速封拆结构，利用相互穿插的瓦楞纸板卡锁结构对灯具进行限位和卡位，为装配者带来组装便利性，为使用者带来取用便利性。

3）便于包装废弃物的回收处理。包装废弃后其回收难度与再利用价值，与所用包装材料类型密切

发相关。封箱胶带、泡沫塑料与塑料薄膜等材料的使用增加了电商包装的回收难度，降低了废弃包装的重复利用价值[16—17]。欧普悠系列吸顶灯创新包装的内部缓冲结构和外包装箱选用相同类型的包装材料，利用瓦楞纸板取代 EPE 材料为产品提供缓冲性能，整体性好，提升了包装废弃物的再利用价值，便于回收处理。

2.2　设计思路

该设计采用瓦楞纸板材料，从绿色包装与提升用户开箱体验的角度进行大型吸顶灯电商包装设计。由于灯具产品的易碎特性，运用仿生设计手法，模仿蜂巢正六边形结构形态，设计具有足够稳固性和减震能力，并能实现快速装配与取用的缓冲结构，外包装箱体采用双壁插锁结构替代原有箱体的金属钉接合方式，在提升箱体抗压性能的同时，有效避免了箱钉易生锈，接合角箱板重叠的问题。

2.3　设计方案

欧普悠系列吸顶灯三款产品见图 2（图片摘自网络）。该次设计的外包装箱及缓冲结构均采用 B 楞瓦楞纸板（290/240-150/1B）替代了原设计中的 EPE 缓冲材料。外包装箱结构见图 3，六头灯具缓冲结构（图 4a）、五头灯具缓冲结构（图 4b）、三头灯具缓冲结构（图 4c）见图 4。

2.3.1　仿生缓冲结构设计

缓冲结构设计灵感来源于蜂窝结构，有研究表明蜂窝正六边形结构稳定性极佳，是空间材料利用率最大的结构[18]。根据蜂巢结构原理制作的蜂窝纸板在包装行业得到了广泛应用，蜂窝纸箱的缓冲、负荷和抗压性能极佳[19—21]。针对 3 款外形不同的灯具，设计了具有通用性的缓冲保护结构，六头灯具缓冲保护结构（图 5a）、五头灯具缓冲保护结构（图 5b）和三头灯具缓冲保护结构（图 5c）。

a 六头　　b 五头　　c 三头

图 2　欧普悠系列吸顶灯
Fig.2 OPPLE YOU series ceiling lamp

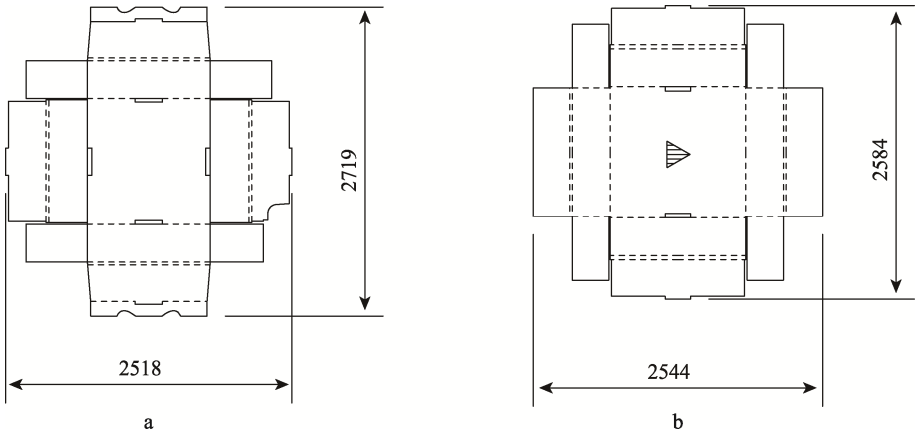


图 3　欧普悠系列吸顶灯外包装箱结构
Fig.3 Packaging structure of outer corrugated carton of OPPLE YOU series ceiling lamp

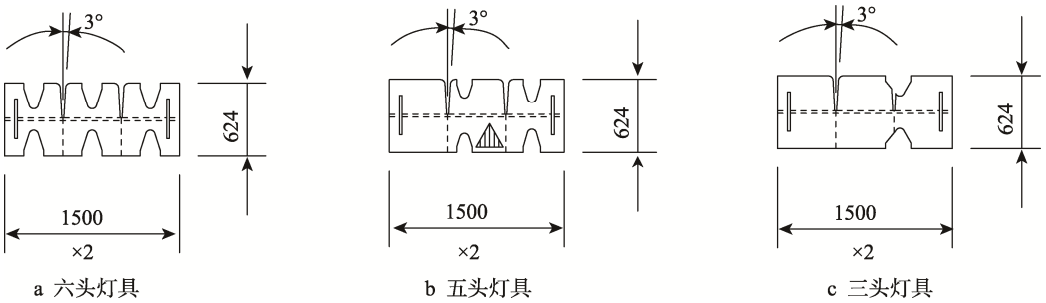
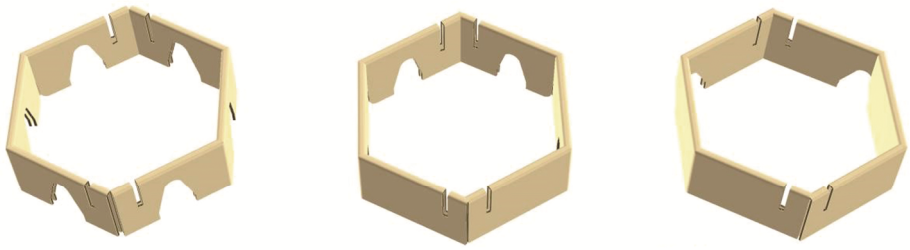


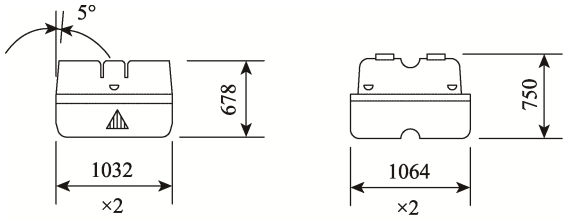
图 4　欧普悠系列吸顶灯缓冲结构
Fig.4 Cushion packaging structure of OPPLE YOU series ceiling lamp



a 六头灯具　　b 五头灯具　　c 三头灯具

图 5　缓冲保护结构
Fig.5 Cushioning structure for impact protection

缓冲设计的实现是利用一对可以拼插的插件形成蜂窝结构骨架固定住灯体，然后再利用通过折叠形成双壁结构的 2 对插板在水平方向和垂直方向进行限位固定，插板结构见图 6。六头、五头与三头灯具所采用的蜂窝结构插件的形状相同，卡槽个数各不相同。插件两端设有互插卡槽，与插板结构相互配合时，能形成稳定的缓冲结构，见图 7。



a 锁扣插板结构　　b 固定插板结构

图 6　插板结构
Fig.6 Structure of flashboard

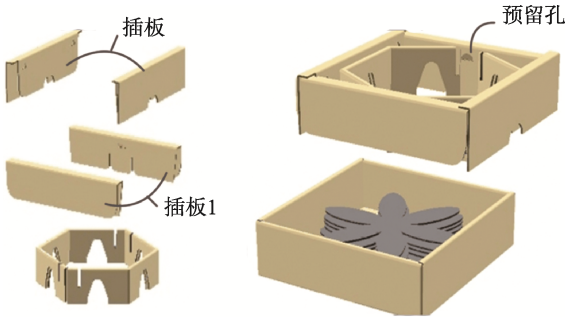


图 7　缓冲包装装配
Fig.7 Assembly diagram of cushioning package

2.3.2　快速封拆结构设计

为便于包装在装配过程能够快速成型，以及消费者能够快速取用灯具，设计了 2 对由锁扣插板（插板 1）与固定插板（插板 2）组成的快速封拆结构。装配时，插板 1 先与蜂窝结构插件通过卡槽配合，然后插板 2 以旋转 90°的方向插入。插板 2 位于插板 1 上方，能将插板 1 扣压。当一对插板都与蜂窝结构插件配合以后，缓冲结构在水平和竖直 2 个方向都具有较好的稳定性能与抗压性能。插板 1 设置了预留孔，消费者在开启包装时，沿预留孔可直接将整个缓冲结构向上提起，通过一步操作即可快速完成产品的取用，实现了包装的便利功能。灯具包装的组装操作步骤见图 8。

插板与蜂窝结构插件的配合赋予包装件良好的稳定性能与抗压性能。缓冲包装结构组装步骤可大致分为 4 步，即仿生缓冲保护结构固定、锁扣插板插入（插板 1）、固定插板插入（插板 2）、盖上箱盖或热收缩包装打包。对于最后一个步骤，文中提出无盖式和罩盖式 2 种设计方案，以满足灯具生产企业到电商企业和电商企业到消费者 2 种模式下物流运输的需求。无盖式包装适用于大批量运输，应用场景多为包装件统一集装后，从生产企业直接运输到电商中转仓库，再通过中转仓库加盖的方式运输到消费者端。无盖式包装节省了包装材料，降低了运输载荷，从而实现了运输成本的降低。罩盖式包装适用于小批量电商运输环境，应用场景多为包装件从生产企业或电商平仓库直接运输到消费者端。罩盖式包装为每类产品提供了个性化包装设计，箱盖的使用使得单个产品在运

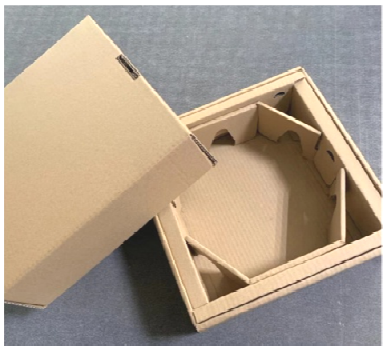
图 8　包装组装操作
Fig.8 Assembly steps of the package

输过程中得到充分的防护。同时包装的箱盖面板可用作包装装潢设计使用，起到了产品的广告宣传作用。

2.3.3　外包装箱结构设计

外包装箱结构设计比较结果见图 9。设计的外包装箱规格通用，可以分别容纳 3 款产品，以减少电商类纸箱用户的库存。箱盖和箱体均采用一纸成型，双壁盘式折叠结构，负载面积大，无需胶粘剂或金属钉等其他包装辅助物，包装回收过程也易于压至平板状。原吸顶灯包装（图 9a）与文中的设计（图 9b）包装的比较结果见图 9 和图 10。原包装、无盖式与罩盖式包装平面结构见图 11。

a 原包装外箱



b 优化设计外箱

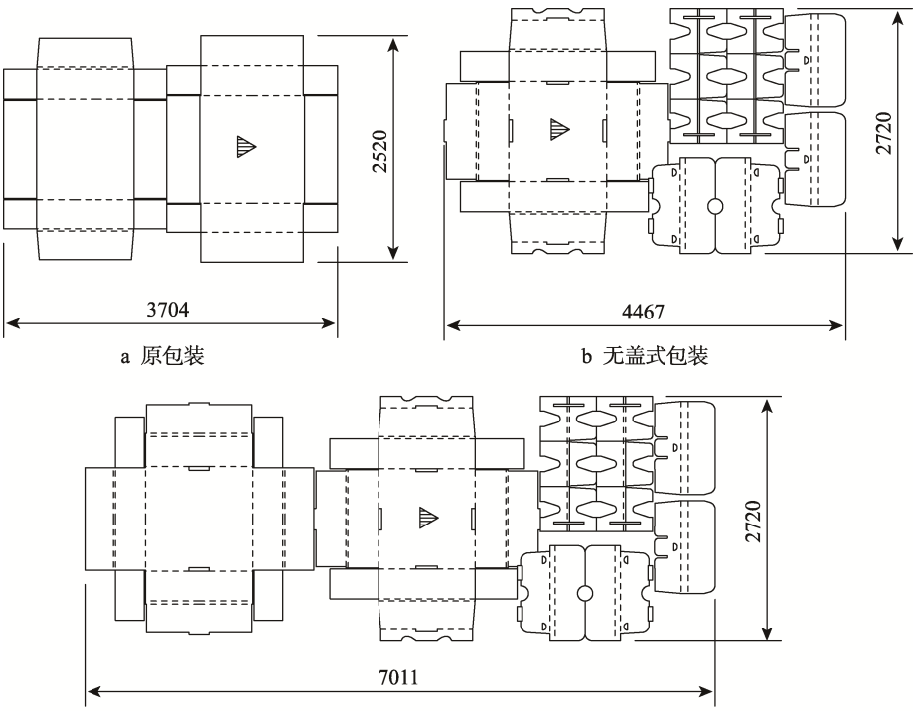
图 9　外包装箱结构设计比较

Fig.9 Comparison of structural design of outer corrugated carton

按照纸坯尺寸可以计算出包装箱的纸板用量，原包装、无盖式包装及罩盖式包装的纸板用量对比结果见表 1。原包装纸板用量最少，但需要配置 EPE 和 PE 薄膜作为缓冲材料。无盖式包装相对于原包装纸板用量增加 30%左右，罩盖式包装纸板用量约为原包装的 2 倍，但整个包装件无需金属钉和其他非纸类包装辅助材料，符合环保的设计原则。

图 10　欧普悠系列吸顶灯包装

Fig.10 OPPLE YOU series ceiling lamp package



a 原包装

b 无盖式包装

c 罩盖式包装

图 11　包装平面结构

Fig.11 Planar structure of package

表 1 纸板用量比较
Tab.1 Comparison of amount of paperboard

种类	宽度/m	长度/m	纸板面积/m^2	增量/%
原包装	2.520	3.704	9.334	0
无盖式包装	2.720	4.467	12.150	30.2
罩盖式包装	2.720	7.011	19.070	104.3

按照 GB/T 4857.4—2008《运输包装件基本试验 第 4 部分 采用压力试验机进行的抗压和堆码试验方法》的规定对原包装和设计后的包装进行抗压试验。由于实验室打样仪器最大幅面有限，测试过程中数码打样件按照 1∶20 的缩放比例制作。测试时通过抗压测试仪预加 220 N 的初始载荷，以 10 mm/min 的相对速度匀速施加压力，直至纸箱出现明显的压溃变形[22—23]。试验结果见表 2。

表 2 抗压试验结果
Tab.2 Compression test results

种类	宽度/mm	长度/mm	压力最大值/N	压溃变形量/mm
原包装	285	299	4170	14.5
无盖式包装	285	299	7540	14.1
罩盖式包装	285	299	8810	15.5

由试验结果可知，无盖式包装与罩盖式包装由于瓦楞纸板仿生缓冲结构的支撑与双壁箱体的缓冲保护作用，其抗压强度均大幅度提升。适用于 B2B 电商运输环境的无盖式包装方案，其抗压值达到了 7540 N，提升了 80.82%。适用于 B2C 电商运输环境的罩盖式包装方案，抗压值达到了 8810 N，提升了 111.27%。

3 结语

目前市场上使用的欧普吸顶灯外包装箱制造商接头采用金属钉结合，箱钉容易生锈，同时也存在接合角箱板重叠问题，且包装箱难压至平板状，增加了包装的运输成本。缓冲结构采用 EPE 缓冲材料，同时使用 PE 塑料袋对灯具进行包裹，存在灯具装箱难定（限）位，垂直方向缓冲性能欠缺，包装开启与产品取用不便等问题。针对上述问题，文中围绕“蜂窝正六边形”仿生结构展开欧普吸顶灯电商缓冲包装设计，利用瓦楞纸板替代 EPE 缓冲材料设计具有快速封拆的缓冲结构，提出无盖式包装与罩盖式包装 2 种方案。2 种方案满足了电商模式下 2 种物流模式的需求，且 2 种包装的抗压强度分别提升了 80.82%与 111.27%。“蜂窝正六边形”仿生缓冲结构设计实现了包装的易用性，缩短了消费者开启包装与取用产品的时间。利用瓦楞纸板材料取代 EPE 和 PE 塑料袋的使用，符合电商物流包装绿色化的发展趋势。

文中提出的包装设计方案，通过改变蜂窝结构插件上卡槽的数量和位置，能够满足欧普悠系列 3 种不同款式灯具包装的需要，为大型吸顶灯等相关易碎产品的电商包装提供了新的设计思路。

参考文献：

[1] 吴云荣. 基于人文要素的灯具设计研究[D]. 济南: 山东大学, 2007: 1.
WU Yun-rong. Research of the Lamp Design Based on Humanism Elements[D]. Jinan: Shandong University, 2007: 1.

[2] 唐玉. 基于产品全生命周期与心理需求的用户体验包装设计分析[J]. 绿色包装, 2019(6): 70—74.
TANG Yu. The Product Packaging Design Strategy Based on User Experience[J]. Green Packaging, 2019(6): 70—74.

[3] 文奇. 基于纸质件缓冲的洗衣机运输包装技术及其性能评价[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 41—47.
WEN Qi. Research on Washing Machine Transportation Packaging Technology and Performance Evaluation Based on Buffer of Paper[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012: 41—47.

[4] 王森, 刘玉磊, 庄长宇, 等. 速热式热水器缓冲包装设计研究[J]. 家电科技, 2018(6): 87—90.
WANG Sen, LIU Yu-lei, ZHUANG Chang-yu, et al. Research on the Cushion Package Design of Rapid Thermal Water Heater[J]. Journal of Appliance Science & Technology, 2018(6): 87—90.

[5] 吴艳叶, 姜玉, 王可可. 前置净水器瓦楞纸板快递缓冲包装设计[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 134—138.
WU Yan-ye, JIANG Yu, WANG Ke-ke. Corrugated Cardboard Express Cushion Packing Design of Preposition Water Purifier[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 134—138.

[6] 周韵致. 仿生学在包装上的应用[J]. 中国包装工业, 2015(14): 99—101.
ZHOU Yun-zhi. Application of Bionics in Packaging[J]. China Packaging Industry, 2015(14): 99—101.

[7] 闫莉. 论“仿生学原理”在工业设计中的应用研究[J]. 中国包装工业, 2015(19): 75.
YAN Li. Study on the Application of "Bionics Principles" in Industrial Design[J]. China Packaging Industry, 2015(19): 75.

[8] 高睿. 现代产品造型中仿生设计的原则及要点探究[J]. 艺术科技, 2015, 28(8): 161.
GAO Rui. Explore the Principles and Key Points of Bionic Design in Modern Product Modeling[J]. Art Science and Technology, 2015, 28(8): 161.

[9] 李萌, 刘荣强, 郭宏伟, 等. 腿式着陆器用不同拓扑结构金属蜂窝吸能特性优化设计[J]. 振动与冲击, 2013, 32(21): 7—14.
LI Meng, LIU Rong-qiang, GUO Hong-wei, et al.

Crashworthiness Optimization of Different Topological Structures of Metal Honeycomb Used in a Legged-typed Lander[J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(21): 7—14.

[10] 吴若梅, 李敏, 肖颖喆. 环保型缓冲材料在吸顶灯包装设计中的应用[J]. 湖南工业大学学报, 2006, 20(2): 8—10.
WU Ruo-mei, LI Min, XIAO Ying-zhe. Green Cushioning Material Applied in Ceiling Light Packaging[J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2006, 20(2): 8—10.

[11] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 112.
SUN Cheng. Packaging Structure Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003: 112.

[12] 苏婷. 基于 CPS 理念的电梯产品以纸代木包装设计[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 18—20.
SU Ting. Package Design on Elevator Products with Paper Replacing Wood Based on the Concept of CPS[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016: 18—20.

[13] 潘家杰. 瓦楞纸箱抗压强度影响因素及改善之研究[J]. 中国包装, 2016, 36(6): 56—60.
PAN Jia-jie. Corrugated Box Compressive Strength Influencing Factors and Improvement[J]. China Packaging, 2016, 36(6): 56—60.

[14] 李晓敏, 张惠忠. 瓦楞纸箱摇盖的不同压痕线对抗压强度影响的研究[J]. 中国包装, 2017, 37(10): 70—76.
LI Xiao-min, ZHANG Hui-zhong. Research on the Influence of Different Indentation Lines on the Compressive Strength of Corrugated Boxes[J]. China Packaging, 2017(10): 70—76.

[15] 王亚丽. B2C 电子商务平台的快递包装设计研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017: 20—21.
WANG Ya-li. Research on Express Packaging Design of B2C E-commerce Platform[D]. Chongqing: Chongqing University, 2017: 20—21.

[16] 季雷雷, 邓春姊. 论快递包装废弃物的回收再利用[J]. 现代营销(信息版), 2019(8): 76.
JI Lei-lei, DENG Chun-zi. Research on the Recycling of Express Packaging Waste[J]. Modern Marketing (Information Edition) , 2019(8): 76.

[17] 王春华. 电商包装的现状与绿色化趋势分析[J]. 印刷质量与标准化, 2017(9): 5—7.
WANG Chun-hua. Analysis of the Status and Green Trend of E-commerce Packaging[J]. Printing Quality & Standardization, 2017(9): 5—7.

[18] BAO N, MA J, ZHANG X, et al. Structural Bionic Lightweight Design for the Stiffened Plate of Base Structure[C]// 2016 7th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE) IEEE, 2016.

[19] 吴巍巍. 蜂窝拓扑结构的频响特性分析与优化[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015: 11—14.
WU Wei-wei. Frequency Response Analysis and Optimization of Cellular Topology[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015: 11—14.

[20] DONG Y J, ZHU G W. Mechanical Analysis and Bionic Structure Design of Astronautic Payloads Based on Natural Honeycomb[J]. Journal of Astronautics, 2016, 37(3): 262—267.

[21] CHEN J X, GU C L, WAN C F, et al. Development of Integrated Bionic Honeycomb Plates[J]. Advanced Materials Research, 2012, 1616(901): 817—821.

[22] 付春英, 尹兴, 魏娜. 儿童乳品礼盒包装优化设计[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 113—117.
FU Chun-ying, YIN Xing, WEI Na. Optimal Design for Packaging of Children's Dairy Gift Box[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 113—117.

[23] 周明砚, 王玉成, 潘扬进. 瓦楞纸箱抗压强度试验研究及可靠性分析[J]. 包装与食品机械, 2004, 22(6): 16—18.
ZHOU Ming-yan, WANG Yu-cheng, FAN Yang-jin. Experiment Research and Reliability Analysis of Corrugated Box's Compressive Strength[J]. Packaging and Food Machinery, 2004, 22(6): 16—18.