

快递包装 EPE/瓦楞纸板动态缓冲性能

尹兴¹, 陈志强², 崔久刚¹, 郑秋月¹

(1.天津职业大学 包装与印刷工程学院, 天津 300410; 2.中国包装科研测试中心, 天津 300457)

摘要: **目的** 在设计快递包装时, 应综合考虑瓦楞纸板和发泡聚乙烯(EPE)组合材料的缓冲作用, 以达到减少缓冲材料用量的目的。**方法** 以快递包装中常用的、不同厚度的 EPE、三层瓦楞纸板、五层瓦楞纸板为研究对象, 按照 GB/T 8167—2008 进行试验, 得到 EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE 的最大加速度-静应力曲线, 并进行拟合。**结果** EPE 材料越厚, 其缓冲性能越好; 将 EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE 等 3 组数据的双曲线函数进行拟合, 拟合度均大于 95%, 拟合效果较好; 在同一静应力下, 动态缓冲性能优劣顺序为五层瓦楞纸板/EPE>三层瓦楞纸板/EPE>EPE。**结论** 拟合函数可用于快递包装设计, 同时试验结果为快递包装减量化设计提供了依据。

关键词: 快递包装; 发泡聚乙烯; 瓦楞纸板; 动态缓冲特性

中图分类号: TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)01-0052-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.01.007

Dynamic Buffering Performance of EPE/Corrugated Board Used in Express Packaging

YIN Xing¹, CHEN Zhi-qiang², CUI Jiu-gang¹, ZHENG Qiu-yue¹

(1.School of Packaging and Printing Engineering, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;

2.China Packaging Research & Test Center, Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: In the design of express packaging, the buffering effect of corrugated board and expanded polyethylene (EPE) composite materials should be considered comprehensively to reduce the amount of buffer materials. With EPE, three-layer corrugated board, and five-layer corrugated board commonly used in express packaging as the research object, the experiments were designed according to GB/T 8167—2008. The maximum acceleration-static stress curve of the materials were calculated and fitted. The results showed that the thicker the EPE material, the better its buffering performance. Three groups of materials of EPE, three-layer corrugated board/EPE, five-layer corrugated board/EPE were fitted with hyperbolic function, and the fitting degree was greater than 95%. The fitting effect was good. Under the same static stress, dynamic cushioning performance: five-layer corrugated board/EPE>three-layer corrugated board/EPE>EPE. The fitted function can be used for design of express packaging. The experiment result provides a basis for the reduction design of express packaging.

KEY WORDS: express packaging; expanded polyethylene; corrugated board; dynamic buffering performance

为了保证商品在快递运输过程中的安全, 内部缓冲材料和外包装容器的设计及选材至关重要。在快递

包装中, 内部缓冲材料有发泡聚乙烯(EPE)^[1-3]、发泡聚苯乙烯(EPS)^[4]、发泡聚丙烯(EPP)^[5]、发

收稿日期: 2021-10-22

基金项目: 天津职业大学校企协同创新项目(20200135); 包装行业职业教育教学改革项目(一般项目); 天津市教委科研计划(2020KJ070)

作者简介: 尹兴(1981—), 女, 副教授, 主要研究方向为运输包装、包装材料。

泡聚氨酯 (EPU)^[6]、气柱^[7]等。外包装通常使用的材料有瓦楞纸板^[8-10]、蜂窝纸板^[11-12]、木箱等^[13]。EPE (又称珍珠棉), 是一种新型的环保包装材料, 具有质轻、软、抗冲击等特点。在工业产品和民用商品中发挥着重要的保护作用, 广泛应用于物流运输、包装领域的缓冲设计等, 是目前最常用的缓冲包装材料之一。在快递包装中瓦楞纸板是最常见的快递包装材料, 根据产品特性, 最常选用的快递外包装材料是三层瓦楞纸板、五层瓦楞纸板。瓦楞纸板主要是由瓦楞纸和箱板纸粘合而成, 具有较好的弹性和可加工性。

2020 年 11 月 30 日, 国务院办公厅转发国家发展改革委等部门《关于加快推进快递包装绿色转型的意见》要求, 进一步加强快递包装治理, 推进快递包装减量化、绿色化, 鼓励通过包装结构优化减少填充物的使用^[14]。

快递包装为了保证产品的安全, 除了计算 EPE 的用量外, 还应考虑加上瓦楞纸板后组合材料的缓冲性能, 以减少“填充物”的使用, 达到减量化的目的。

文中按照 GB/T 8167—2008《包装用缓冲材料动态压缩试验方法》进行试验探索。研究 EPE 材料在不同厚度下的动态缓冲性能, 并对动态冲击曲线进行拟合。同时, 选用快递常用的三层瓦楞纸板和五层瓦楞纸板分别与 EPE 进行组合, 探索瓦楞纸板/EPE 组合动态的缓冲性能, 得到组合材料最大加速度-静应力之间的关系曲线, 为快递包装减量化设计提供理论基础。

1 实验

1.1 材料

主要材料: 实验选用 EPE 的密度为 24 kg/m^3 , 样品分别被切为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 等 3 种尺寸, 厚度分别为 30, 40, 50, 60 mm。在跌落高度为 300 mm 的条件下, 获取 4 种不同厚度 EPE 的动态缓冲特性曲线。

三层瓦楞纸板为京东快递中常用的 B 型瓦楞纸板, 楞高为 2.6 mm, 边压强度为 3500 N/m , 耐破度为 540 kPa 。五层瓦楞纸板为顺丰快递中常用的 BC 楞瓦楞纸板, 楞高为 6.9 mm, 边压强度为 3850 N/m , 耐破度为 750 kPa 。

4 种不同厚度的 EPE 分别与三层瓦楞纸板和五层瓦楞纸板粘合后, 放入温度为 23°C , 相对湿度为 50% 的恒温恒湿箱中, 处理 24 h, 在高度为 300 mm 的条件下进行跌落冲击。

1.2 设备

主要设备: DY-2, 冲击试验机, 海达国际仪器有限公司; TP3, 加速度采集系统, Lansmont; 盒型打

样机, 艾司科贸易 (上海) 有限公司。

1.3 方法

根据 GB/T 8167—2008《包装用缓冲材料动态压缩试验方法》来测试。每个静应力值下取 3 个样品, 每个样品连续冲击 5 次, 第 1 次冲击加速度值舍去, 后 4 次平均值为该样品的最大冲击加速度值。为了拟合曲线更加准确, 静应力取 7~8 个点^[15]。

2 结果与讨论

2.1 EPE 动态缓冲性能

在跌落高度为 300 mm, EPE 厚度分别为 30, 40, 50, 60 mm 时, 测得的最大加速度-静应力曲线见图 1。

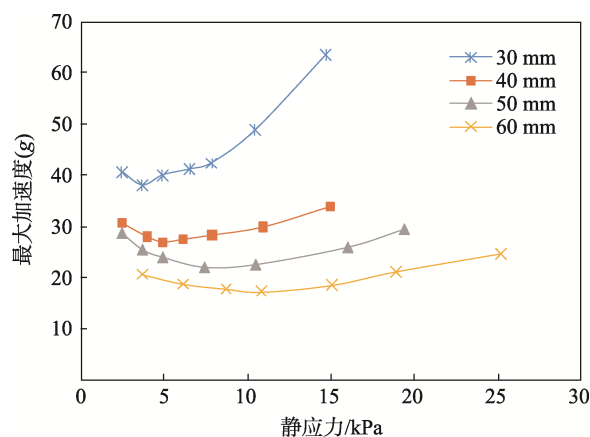


图 1 不同厚度 EPE 的最大加速度-静应力曲线
Fig.1 Maximum acceleration-static stress curve of EPE with different thickness

由图 1 可知, 缓冲材料动态冲击曲线呈“U”字形。原因是随着重锤质量的增加, 静应力随之增大。重锤冲击时, EPE 材料的变形程度增大, 吸收的冲击能量增多, 对应的最大加速度降低; 直到 EPE 材料变形达到最大值时, 此时材料吸收的冲击能量达到最高值, 最大加速度降到最低; 而当重锤质量继续加大, EPE 材料自身的变形空间只能吸收一定的冲击能量, 剩下的能量将会传递给质量块, 致使最大加速度增大, 呈现出向上的趋势。

同时, 在同一跌落高度下, 随着 EPE 厚度的增加, 曲线整体向下、向右偏移。当 EPE 厚度为 30 mm, 静应力为 3.68 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 39.11g ; 当厚度为 40 mm, 静应力为 6.13 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 28.07g ; 当厚度为 50 mm, 静应力为 8.28 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 22.63g ; 当厚度为 60 mm, 静应力为 10.81 kPa 时, 冲击加速度最小值为 17.81g 。通过这些数据得出, EPE 材料厚度越大, 其缓冲性能越好。

为了得到 300 mm 跌落高度下 EPE 材料完整的静

应力-冲击加速度曲线, 现将曲线上的数值用 Matlab 软件进行数据拟合, 因为双曲函数的拟合度较高, 也更便于在实际应用中开展, 所以文中试验数据拟合均采用双曲函数^[16]。

$$y=(p_1 \cdot x^2+p_2 \cdot x+p_3)/(x+q_1) \quad (1)$$

式中: y 为最大加速度 (g); x 为静应力 (kPa);

p_1, p_2, p_3, q_1 均为常数。

不同厚度的 EPE 缓冲材料拟合公式和拟合度见表 1。

表 1 不同厚度的 EPE 缓冲材料拟合公式和拟合度
Tab.1 Fitting formula and degree of EPE with different thickness

厚度/ mm	拟合公式	拟合度
30	$y=(2.893x^2+18.85x+87.18)/(x+1.225)$	$R^2=0.9795$
40	$y=(134.5x^2+1575x+4.108)/(x+1262)$	$R^2=0.9570$
50	$y=(1.843x^2+7.976x+310.9)/(x+7.858)$	$R^2=0.9887$
60	$y=(1.015x^2+0.9046x+203)/(x+6.3)$	$R^2=0.9927$

拟合得到的双曲函数简洁、精准, 拟合度在 95% 以上。在试验范围内任取 1 个静应力值, 通过双曲函数表达式的计算就能得到其对应的最大冲击加速度值。

2.2 三层瓦楞纸板/EPE 组合材料动态缓冲性能

为了更好地模拟快递包装中产品的冲击情况, 需要测试瓦楞纸板与 EPE 的动态缓冲性能。首先将快递中常用的三层瓦楞纸板与 EPE 粘合, 再放进恒温恒湿箱中处理 24 h, 最后再进行冲击测试。

在 300 mm 冲击高度下, 三层瓦楞纸板/EPE 组合材料的最大加速度-静应力曲线见图 2。

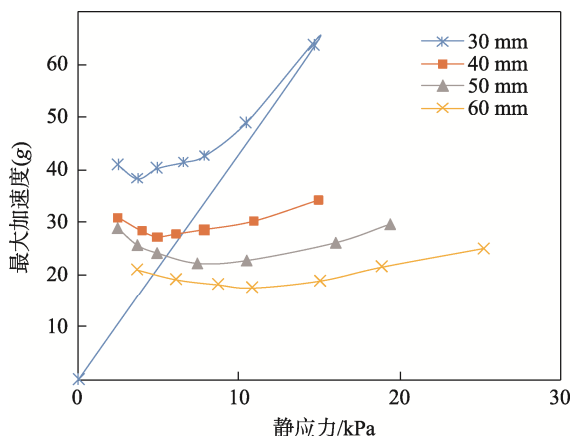


图 2 三层瓦楞纸板/EPE 组合材料的最大加速度-静应力曲线

Fig.2 Maximum acceleration-static stress curve of three-layer corrugated board/EPE composite material

由图 2 可知, 当 EPE 厚度为 30 mm, 静应力为 3.68 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 38.13g; 当厚度为 40 mm, 静应力为 4.90 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 27.13g; 当厚度为 50 mm, 静应力为 7.40 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 22.07g; 当厚度为 60 mm, 静应力为 10.85 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 17.36g。

三层瓦楞纸板/EPE 的最大加速度-静应力曲线整体趋势与单层 EPE 的曲线趋势相同, EPE 材料厚度越大, 其所对应的冲击加速度-静应力曲线的弯曲度越小, 曲线越平缓。随着厚度从 30 mm 增大至 60 mm, 静应力逐渐增加, 对应的冲击加速度值逐渐减小。

将三层瓦楞纸板/EPE 组合材料的静应力-冲击加速度曲线进行数据拟合, 得到的拟合公式和拟合度见表 2, 拟合度均在 98% 以上。

表 2 三层瓦楞纸板/EPE 组合材料拟合公式和拟合度
Tab.2 Fitting formula and degree of three-layer corrugated board/EPE composite material

厚度/ mm	拟合公式	拟合度
30	$y=(8.015x^2-28.28x+994.9)/(x+21.73)$	$R^2=0.9947$
40	$y=(1.124x^2+15.09x+51.74)/(x+0.6508)$	$R^2=0.9896$
50	$y=(1.545x^2-3.967x+239.2)/(x+5.871)$	$R^2=0.9973$
60	$y=(1.057x^2-3.095x+263.5)/(x+9.093)$	$R^2=0.9855$

2.3 五层瓦楞纸板/EPE 组合材料动态缓冲性能

五层瓦楞纸板/EPE 组合材料的最大加速度-静应力曲线见图 3。当 EPE 厚度为 30 mm, 静应力为 3.68 kPa 时, 测得的冲击加速度最小值为 37.82g; 当厚度为 40 mm, 静应力为 6.10 kPa 时, 测得的冲击加速度

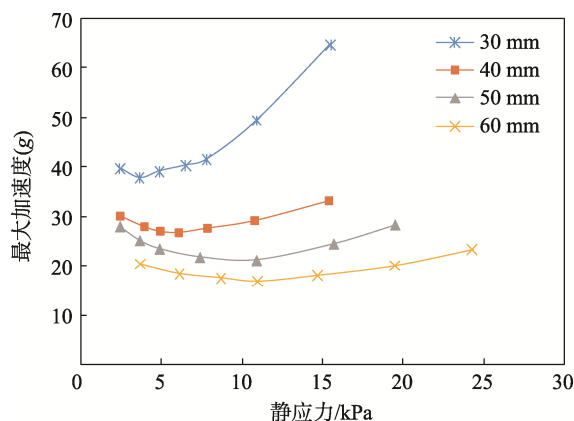


图 3 五层瓦楞纸板/EPE 组合材料的最大加速度-静应力曲线

Fig.3 Maximum acceleration-static stress curve of five-layer corrugated board/EPE composite material

最小值为 26.65g；厚度为 50 mm，在静应力为 10.92 kPa 时，测得的冲击加速度最小值为 21.1g；厚度为 60 mm，静应力为 11.01 kPa 时，得出冲击加速度值为 16.84g。

由图 3 可知，五层瓦楞纸板/EPE 组合材料与三层瓦楞纸板/EPE 组合材料、EPE 的动态冲击性能趋势一致，都是随着厚度的增加，曲线向右下方移动且平缓。

五层瓦楞纸板/EPE 组合材料冲击加速度-静应力曲线拟合后的拟合公式和拟合度见表 3。由表 3 可知，拟合度优于前 2 组，均在 99% 以上，为快递用缓冲包装材料减量化设计提供了较好的理论基础。

表 3 五层瓦楞纸板/ EPE 组合材料拟合公式和拟合度

Tab.3 Fitting formula and degree of five-layer corrugated board/EPE composite material

厚度/mm	拟合公式	拟合度
30	$y=6.635x^2-17.12x+769.3)/(x+16.97)$	$R^2=0.9978$
40	$y=(1.2x^2+12.66x+97.98)/(x+2.09)$	$R^2=0.9953$
50	$y=(2.201x^2-19.61x+449.5)/(x+12.42)$	$R^2=0.9963$
60	$y=(1.406x^2-12.93x+468.1)/(x+17.86)$	$R^2=0.9936$

2.4 EPE 分别与三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE 动态缓冲性能的对比

为了更好地分析快递用瓦楞纸板对 EPE 动态缓冲性能的影响，将 EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE 的数据进行整合，得到 EPE 在 30，40，50，60 mm 下的对比结果，见图 4。

由图 4 可知，EPE 与瓦楞纸板组合材料的最大加速度-静应力曲线始终位于单层 EPE 曲线的下面。综上所述，EPE 与瓦楞纸板组合材料的动态缓冲性能总是优于单层 EPE 材料。

通过比较 EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE 发现，相同厚度的 EPE，在同一静应力下，动态缓冲性：五层瓦楞纸板/EPE > 三层瓦楞纸板/EPE > EPE。当 EPE 厚度为 40 mm，静应力为 3.92 kPa 时，单层 EPE 受到的冲击加速度为 29.05g，三层瓦楞纸板/EPE 受到的冲击加速度为 28.21g，五层瓦楞纸板/EPE 受到的冲击加速度为 27.83g。说明瓦楞纸板层数越大，冲击时吸收的能量越多，产品受到的冲击加速度越小，动态缓冲性能越好。并且在静应力较小时，3 种材料的区别不大，原因是这部分冲击能量主要由 EPE 所吸收。随着静应力的增大，瓦楞纸板

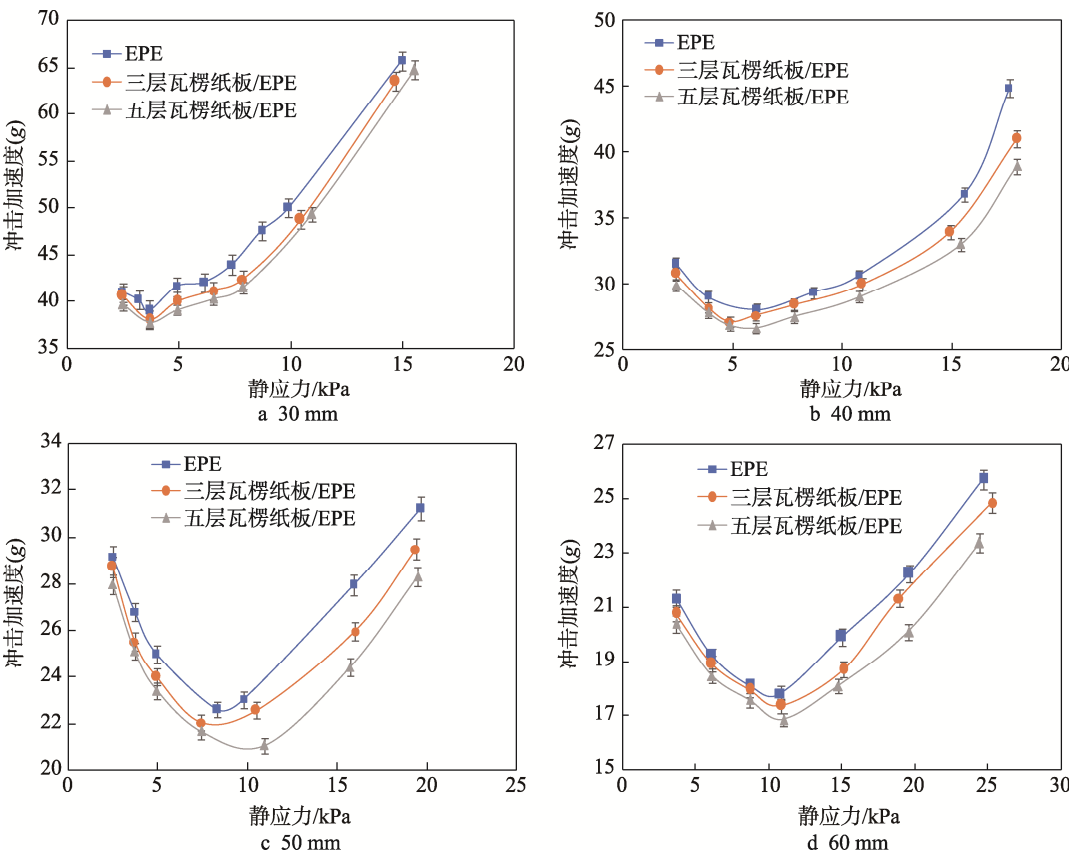


图 4 EPE 分别与三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE 动态缓冲性能对比
Fig.4 Comparison of dynamic buffering performance between EPE, three-layer corrugated board/EPE and five-layer corrugated board/EPE respectively

的弹性变形可吸收部分能量^[17],产品受到的冲击加速度差别较大。

试验所得缓冲材料最大加速度-静应力曲线,可用于产品缓冲包装设计计算,见图5。产品脆值为26g时,以纵坐标26为起点绘制一条水平线,分别与EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE有A, B, C, D, E, F等6个交点,交点D, E, F与A, B, C相比,静应力较大,故而缓冲材料的面积较小;在进行产品缓冲包装设计时,一般以D, E, F对应的静应力数值进行缓冲材料的面积计算。F点对应的静应力大于D, E 2点,故而在300 mm跌落高度下,50 mm厚度的EPE, F点用的缓冲材料最少。在进行缓冲包装材料EPE用量计算时,使用F点对应的静应力进行计算可以减少EPE在快递中的用量。

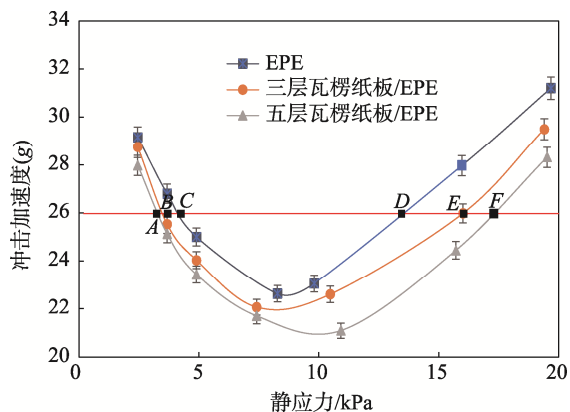


图5 材料动态缓冲曲线设计应用

Fig.5 Design and application of dynamic buffer curve of material

3 结语

EPE厚度从30 mm增加到60 mm,随着静应力的增大,最大加速度-静应力曲线逐渐向右下方移动,冲击加速度值逐渐减小。表明EPE材料越厚,其缓冲性能越好。

分别对EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE等3组数据进行双曲线函数拟合,拟合度均大于95%,尤其是五层瓦楞纸板/EPE的拟合曲线拟合度大于99%,拟合效果好,可用于快递包装设计。

通过对比EPE、三层瓦楞纸板/EPE、五层瓦楞纸板/EPE的最大加速度-静应力曲线发现,在同一静应力下,动态缓冲性能:五层瓦楞纸板/EPE > 三层瓦楞纸板/EPE > EPE,这为快递包装减量化设计提供了数据依据。

参考文献:

[1] 米男男. 发泡聚乙烯动态本构模型的建立及应用[D]. 天津: 天津科技大学, 2019: 5-12.

MI Nan-nan. Establishment and Application of Dynamic Constitutive Model for Expanded Polyethylene[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2019: 5-12.

[2] 杨帅. EPE缓冲性能的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 28-30.

YANG Shuai. Study on EPE Buffer Performance[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015: 28-30.

[3] YANG Feng-yuan, LI Zhi-jie, LIU Zhang-li, et al. Shock Loading Mitigation Performance and Mechanism of the PE/Wood/PU/Foam Structures[J]. International Journal of Impact Engineering, 2021(155): 103904.

[4] 陆世宇, 张新昌. 基于通用化EPS缓冲衬垫微波炉包装线优化设计[J]. 轻工机械, 2020, 38(3): 92-95.

LU Shi-yu, ZHANG Xin-chang. Optimized Design of Microwave Oven Packaging Line Based on EPS Cushion[J]. Light Industry Machinery, 2020, 38(3): 92-95.

[5] 金强维. EPP动态缓冲性能的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019: 7-10.

JIN Qiang-wei. Investigation on Dynamic Cushioning Property of EPP[D]. Xi'an: Shanxi University of Science & Technology, 2019: 7-10.

[6] 张振宇. 发动机主轴轴承包装设计及其缓冲性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020: 26-30.

ZHANG Zhen-yu. The Package Cushion Design and Performance Research of Enginebearing[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2020: 26-30.

[7] 韩爱林, 蔡训儒, 胡海梅, 等. 垫缓冲包装在冰箱上的应用[J]. 家用电器, 2017(8): 58-61.

HAN Ai-lin, CAI Xun-ru, HU Hai-mei, et al. Application of Air Cushion Packaging in Refrigerator[J]. Electrical Appliances, 2017(8): 58-61.

[8] 仲晨, 杨雅碧, 周丽娜. 电商物流包装的研究现状及其展望[J]. 包装学报, 2020, 12(5): 27-34.

ZHONG Chen, YANG Ya-bi, ZHOU Li-na. The Progress and Prospect of E-Commerce Logistics Packaging[J]. Packaging Journal, 2020, 12(5): 27-34.

[9] QUESENBERRY C, HORVATH L, BOULDIN J, et al. The Effect of Pallet Top Deck Stiffness on the Compression Strength of Asymmetrically Supported Corrugated Boxes[J]. Packaging Technology and Science, 2020, 33(12): 547-558.

[10] 李兵, 姜洋, 檀礼义, 等. 果蔬运输保温包装箱的研究[J]. 包装与食品机械, 2020, 38(4): 38-43.

LI Bing, JIANG Yang, TAN Li-yi, et al. Research on Packaging Box for Express Transportation and Insulation of Fruit and Vegetable[J]. Packaging and Food

- Machinery, 2020, 38(4): 38-43.
- [11] 文周, 薛美贵, 李伟. 温湿度对蜂窝纸板静力学性能影响及有限元分析[J]. 包装工程, 2020, 41(23): 129-134.
WEN Zhou, XUE Mei-gui, LI Wei. Impact of Temperature and Humidity on Static Mechanical Properties of Honeycomb Paperboard and Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(23): 129-134.
- [12] KOLAKOWSKI Z, SZEWCZYK W, KMITA-FUDALEJ G. Calculation of Honeycomb Paperboard Flat Crush Resistance[J]. Wood Research, 2017, 62(5): 815-824.
- [13] 黄进, 李晓杰. 一种电梯产品包装木箱结构和工艺[J]. 中国电梯, 2020, 31(22): 52-54.
HUANG Jin, LI Xiao-jie. Discussion on the Wooden Box Packing Structure and Technology of Elevator Products[J]. China Elevator, 2020, 31(22): 52-54.
- [14] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发国家发展改革委等部门关于加快推进快递包装绿色转型意见的通知[EB/OL].(2020.12.14)[2021-06-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-12/14/content_5569345.htm.
Office of the State Council. Notice of the General Office of the State Council on forwarding the opinions of the National Development and Reform Commission and other departments on accelerating the green transformation of express packaging[EB/OL]. (2020.12.14) [2021-06-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-12/14/content_5569345.htm.
- [15] 言利容, 谢勇. 蜂窝纸板/EPE 组合材料的动态缓冲性能[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 13-16.
YAN Li-rong, XIE Rong. Dynamic Cushioning Properties of Combination of Honeycomb Paperboard and EPE[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 13-16.
- [16] 杨杰, 付志强, 张蕾, 等. EPE 动态冲击曲线拟合函数对比[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 32-36.
YANG Jie, FU Zhi-qiang, ZHANG Lei, et al. Comparison of EPE Dynamic Impact Curve Fitting Function[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 32-36.
- [17] 李靖靖. 层间交错对瓦楞纸板缓冲性能的影响[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019: 26-28.
LI Jing-jing. Influence of Interlacement between Layers on the Cushioning Property of Corrugated Paperboards[D]. Xi'an: Shanxi University of Science & Technology, 2019: 26-28.