

蜂蜜玻璃包装的缓冲结构设计研究

王章苹*, 吴芬芬, 谢芬艳

(长沙师范学院信息科学与工程学院, 长沙 410010)

摘要: **目的** 设计蜂蜜玻璃包装的缓冲结构。**方法** 依据蜂蜜玻璃瓶尺寸, 以 A 型瓦楞纸板建立缓冲结构, 通过试样的抗压实验和跌落实验分析结构在瓶盖高度、瓶底高度、瓶身卡扣折叠宽度变化时的缓冲性能, 并依据包装减量原则对结构进行优化设计。**结果** 随着瓶盖缓冲高度、瓶底缓冲高度、卡扣折叠宽度的增加, 结构的抗压能力逐渐增强, 瓶身的最大加速度值逐渐降低。当瓶盖缓冲高度增加到 8 mm、瓶底缓冲高度增加到 15 mm、瓶身卡扣折叠宽度增加到 15 mm 时, 结构的最大载荷为 267.32 N, 最大加速度为 255.37 m/s²。之后再增加结构参数时, 最大载荷的增幅和最大加速度降幅均不明显。**结论** 在蜂蜜玻璃包装中, 通过合理的结构设计, 既能发挥瓦楞纸板的缓冲性能, 实现结构的保护功能, 又能节约材料, 降低生产成本和流通成本。

关键词: 蜂蜜玻璃包装; A 型瓦楞纸板; 抗压实验; 缓冲结构

Research on buffer structure design of honey glass packaging

WANG Zhang-Ping*, WU Fen-Fen, XIE Fen-Yan

(Information and Engineering Department, Changsha Normal University, Changsha 410010, China)

ABSTRACT: Objective To design the buffer structure of honey glass packaging. **Methods** According to the size of honey glass bottle, the buffer structure was established with A-type corrugated board, the buffer performance of the structure when the height of the bottle cap, the height of the bottle bottom and the folding width of the bottle body were changed was analyzed through the compression test and the drop test of the sample, and the structure was optimized based on the packaging reduction principle. **Results** With the increase of the buffer height of the bottle cap, the buffer height of the bottle bottom and the folding width of the buckle, the compressive strength of the structure was gradually enhanced, and the maximum acceleration value of the bottle body was gradually reduced. When the buffer height of the bottle cap was increased to 8 mm, the buffer height of the bottle bottom was increased to 15 mm, and the buckling folding width of the bottle body was increased to 15 mm, the maximum load of the structure was 267.32 N, and the maximum acceleration was 255.37 m/s². After that, when the structural parameters were increased, the increase of the maximum load and the decrease of the maximum acceleration were not significant. **Conclusion** In honey glass packaging, through reasonable structural design, not only can the cushioning performance of corrugated board be brought into play, the structural protection function be realized, but also materials can be saved, and the production cost and circulation cost can be reduced.

KEY WORDS: honey glass packaging; A-type corrugated board; compression test; buffer structure

*通信作者: 王章苹, 硕士, 副教授, 主要研究方向为包装材料、缓冲包装。E-mail: cathywzp@163.com

*Corresponding author: WANG Zhang-Ping, Master, Associate Professor, Changsha Normal University, No.9, Teli Road, Xingsha Town, Changsha 410010, China. E-mail: cathywzp@163.com

0 引言

蜂蜜因具有补中、润燥、止痛、解毒等功效, 深受消费者喜爱。作为全球最大的蜜蜂养殖国, 我国的蜂蜜生产量稳居世界第一, 约占全球贸易总产量的三分之一, 截至 2018 年, 我国的蜂蜜产量已高达 54.25 万 t^[1], 蜂蜜的生产、销售已经成为影响国计民生的重要内容。蜂蜜属于弱酸性液体, 易与金属发生氧化反应而变质, 且蜂蜜具有很强的吸湿作用, 易吸湿发酵影响口感。因此, 蜂蜜的储运应满足密封、干燥、清洁、卫生和无毒等要求。玻璃具有无毒、无味、美观、阻隔性好的特点, 在蜂蜜包装上承担着重要角色。但玻璃强度不高, 在运输中容易破损或破碎使蜂蜜破漏, 形成污渍而难于清理。据统计, 我国每年因包装不良等因素造成玻璃容器的破损率远超行业标准的 3%^[2-3], 部分产品的破损率甚至达到了 15%, 为企业和消费者带来严重损失^[4]。当前, 蜂蜜玻璃包装的储运大多采用结构简陋的气泡膜, 虽能解决运输安全问题, 但气泡膜的多层包裹既不美观又浪费材料, 进而产生更多的包装垃圾, 污染环境。瓦楞纸板重量轻、结构性能好, 且内在的瓦楞结构类似拱形结构, 具有防冲减震的作用。同时, 其优越的力学性能, 防潮、散热和易于搬运等特性, 为各类产品的缓冲包装保驾护航^[5-6]。

本研究以蜂蜜玻璃包装为例, 选取 3 层 A 型瓦楞纸板进行缓冲结构设计, 并通过抗压实验和跌落实验分析结构在相关参数变化时的缓冲性能, 并结合包装减量原则优化缓冲结构^[7-8], 在实现结构保护功能的基础上降低包装成本, 减少环境污染, 以期对相关产品的缓冲包装设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蜂蜜玻璃包装: 市场上购买的某品牌玻璃瓶装蜂蜜; 3 层 A 型瓦楞纸板(长沙康乐包装有限公司)。

DN-1410 鼎牛切割机(东莞市鼎牛自动化设备有限公司); CHY-CA 新准测厚仪(济南新准仪器设备有限公司); MSA1000 传感器(镇江嘉倍信息技术有限公司); JP-603A 纸箱抗压试验机、JP-5028 跌落试验机(东莞市佳品试验设备有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 缓冲结构设计

依据直径为 70 mm、高度为 180 mm 的蜂蜜玻璃瓶, 以厚度为 3.5 mm 的 A 型瓦楞纸板分别建立缓冲盖(顶部结构)、缓冲底(底部结构)和瓶身结构。瓶盖和瓶底做类似于齿轮设计, 以齿轮状小圆部分为 70 mm, 大圆直径为 100 mm 建立卡槽结构, 结构如图 1 所示, 卡槽效果图如图

2 所示。瓶身通过瓦楞纸板内外折叠, 且折叠角度为 110.5° 时恰好形成内部圆直径为 70 mm 的折叠卡扣结构, 形成瓶身结构。每次折叠均留出 3 mm 的宽度形成折痕, 且折叠尺寸与瓶盖和瓶底的卡槽尺寸相吻合, 以便于折叠卡扣分别与瓶盖和瓶底的卡槽进行扣合, 且瓶盖和瓶身均有一定的缓冲高度防止内装玻璃瓶触底, 瓶身折叠卡扣结构和效果图分别如图 3、4 所示。这样既有助于瓶身折叠卡扣结构的固定, 使其不易在包装内移动, 又能将瓶盖与瓶底连接起来, 形成完整的蜂蜜玻璃缓冲结构。瓶身折叠结构与瓶底嵌合的包装效果图如图 5 所示, 蜂蜜玻璃瓶缓冲包装效果图如图 6 所示。

1.2.2 静载实验

(1) 长宽度尺寸测量

分别沿试样的长度和宽度方向, 用测厚仪测量棱边位置的尺寸, 取平均值并精确到 0.01 mm。

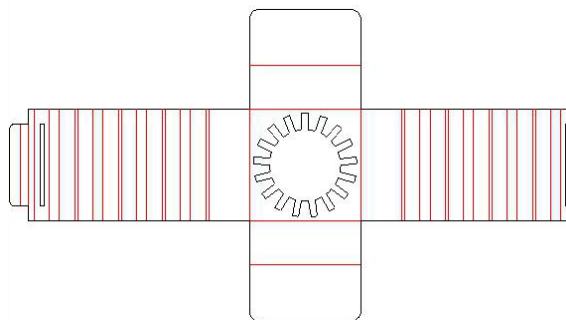


图 1 瓶盖与瓶底结构图

Fig.1 Structure drawing of bottle cap and bottle bottom

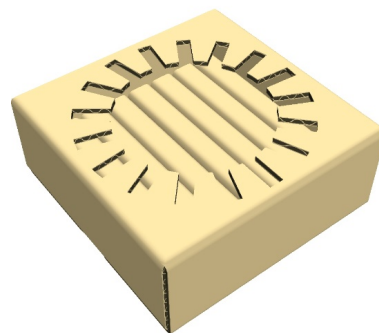


图 2 瓶盖与瓶底效果图

Fig.2 Effect diagram of bottle cap and bottle bottom

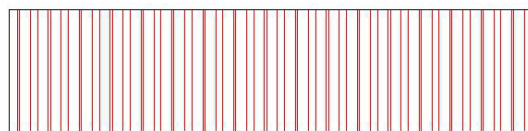


图 3 瓶身卡扣折叠结构

Fig.3 Bottle body buckle fold structure



图 4 卡扣折叠结构效果图

Fig.4 Effect picture of buckle folding structure

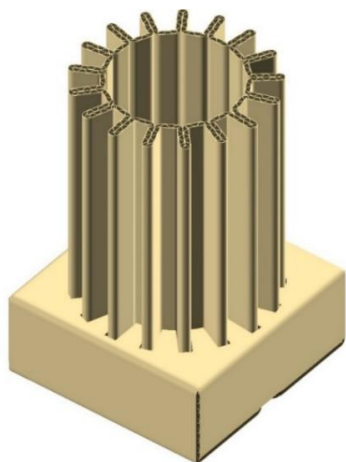


图 5 瓶身与瓶底嵌合效果图

Fig.5 Effect picture of bottle body and bottom



图 6 蜂蜜玻璃缓冲包装效果图

Fig.6 Effect picture of honey glass cushion packaging

(2)厚度测量

将试样放入张开的测量面间,以低于 3 mm/s 的速度将另一测量面轻轻移动到试样上,避免产生任何冲击作用。待指示值稳定后,在 2~5 s 内完成读数,取平均值并精确到 0.01 mm。

(3)最大载荷与位移

参照 GB/T 4857.3—2008《包装 运输包装件基本试验 第 3 部分:静载荷堆码试验方法》在压力试验机上对瓦楞纸板结构试样进行抗压实验,每组试样不小于 5 个,通过两块压板以适当的速度进行相对移动对试样施加载荷,加载过程中记录变化的载荷与位移量,当载荷急剧增加或试样发生损坏时停止实验,取多次实验结果的平均值获得试样的最大载荷与位移^[9]。

1.2.3 动载实验

参照 GB/T 4857.5—1992《运输包装件跌落实验方法》,设定跌落高度为 800 mm,将传感器置于蜂蜜玻璃瓶身,测量蜂蜜玻璃瓶缓冲结构在瓶底缓冲高度、瓶盖缓冲高度、卡扣折叠宽度等参数变化时的加速度,绘制时间-加速度曲线^[10-11]。

2 结果与分析

2.1 静载时结构的最大载荷与位移

依照蜂蜜玻璃瓶尺寸,对厚度为 3.5 mm 的 A 型瓦楞纸板进行模切压痕,分别制作瓶盖缓冲高度为 6、8、10、12 mm、瓶底缓冲高度为 10、15、20、25 mm、瓶身卡扣折叠宽度为 12、15、18 mm 的蜂蜜玻璃瓶缓冲包装结构,通过抗压实验分析结构的抗压能力。本研究中,同种结构试样取 5 件,进行重复实验,实验结果取平均值,并精确到百分位^[12]。表 1 为瓶盖缓冲高度为 8 mm 时,瓶底缓冲高度和卡扣折叠宽度变化时的最大载荷与位移情况。图 7 为卡扣折叠宽度为 15 mm 时,瓶底和瓶盖缓冲高度变化时,蜂蜜玻璃瓶缓冲结构的抗压情况。

表 1 载荷与位移情况
Table 1 Load and displacement

卡扣折叠宽度/mm	瓶底缓冲高度/mm				
	10	15	20	25	
12	极限载荷/N	233.45	249.33	267.83	278.12
	位移量/mm	1.71	1.66	1.53	1.49
15	极限载荷/N	242.32	267.32	279.91	289.35
	位移量/mm	1.59	1.43	1.38	1.21
18	极限载荷/N	255.12	275.43	283.85	299.82
	位移量/mm	1.43	1.35	1.28	1.18

从蜂蜜缓冲包装结构的抗压实验结果可知:当瓶盖缓冲高度一定时,结构的抗载能力随着瓶底缓冲高度和卡扣折叠宽度的增加而增强。如瓶盖缓冲高度为 8 mm 时,瓶底缓冲高度在 25 mm,卡扣折叠宽度在 18 mm 时取得最大载荷值 299.82 N,比瓶盖缓冲高度为 20 mm 时增加了 15.97 N;当卡扣折叠宽度一定时,结构的抗载能力随着瓶底和瓶盖缓冲高度的增加逐渐增强。如当折叠宽度为 15 mm 时,结构在瓶底缓冲高度为 25 mm、瓶盖缓冲高度为 12 mm 时获得

最大载荷值 355.68 N, 比在瓶盖缓冲高度 20 mm 时增加了 29.82 N。整体而言, 蜂蜜缓冲包装结构在瓶底缓冲高度、瓶盖缓冲高度和卡扣折叠宽度增加时, 结构的抗压能力逐渐增强, 但当结构达到一定的缓冲高度和折叠宽度后, 最大载荷增幅不明显。另一方面, 通过瓶身卡扣折叠结构与瓶盖和瓶底卡槽的匹配关系可知, 随着卡扣折叠宽度的增加, 瓶身与瓶盖和瓶底扣合的更充分、牢固, 且结构的整体抗压能力逐渐增加。值得注意的是, 随着瓶身卡扣折叠宽度、瓶盖和瓶底缓冲高度的增加, 结构的整体抗压能力增强, 但缓冲结构的整体重量在增加, 需要消耗更多的瓦楞材料, 增加了材料制作和流通成本。因此, 结构的整体缓冲性能还需与动载实验结果相结合^[13-14]。

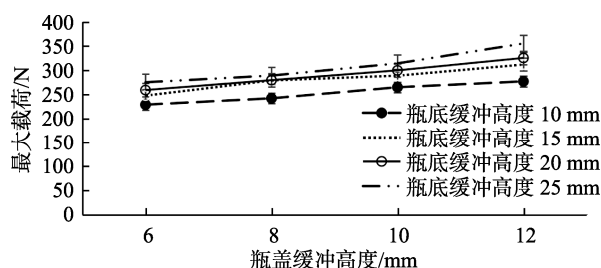


图 7 瓶盖和瓶底缓冲高度变化时结构的载荷($n=5$)

Fig.7 Load of the structure when the buffer height of bottle cap and bottle bottom change ($n=5$)

2.2 动载时的加速度

将蜂蜜玻璃瓶及瓦楞纸板缓冲结构组成的包装件水平放置, 传感器置于玻璃瓶身, 固定传感器, 设定跌落高度为 800 mm, 进行跌落实验^[15-16]。跌落后检查包装件, 在玻璃瓶无破裂或裂痕的情况下测量蜂蜜玻璃瓶的加速度, 绘制时间-加速度曲线。瓶盖缓冲高度为 8 mm, 瓶底缓冲高度为 10 mm, 瓶身卡扣折叠宽度变化时蜂蜜玻璃瓶的加速度曲线见图 8。瓶身卡扣折叠宽度为 15 mm, 瓶盖缓冲高度为 8 mm, 瓶底缓冲高度变化时蜂蜜玻璃瓶的加速度曲线见图 9。

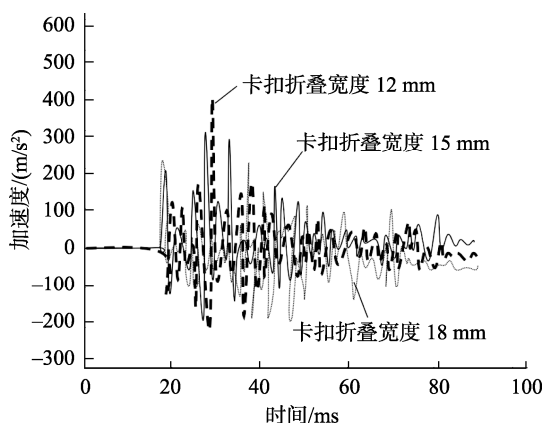


图 8 卡扣折叠宽度变化时的时间-加速度曲线

Fig.8 Time-acceleration curve of snap fold width variation

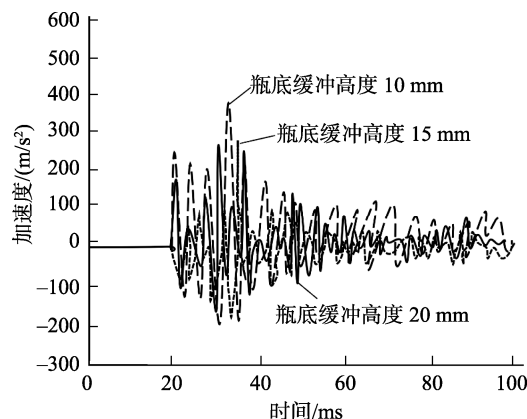


图 9 瓶底缓冲高度变化时的时间-加速度曲线

Fig.9 Time-acceleration curve of buffer height change at bottle bottom

查阅《工业包装技术资料》可知, 玻璃瓶的脆值取值范围为 61~90 g, 即玻璃瓶发生破损的最小加速度值为 597.8 m/s²。本研究中, 蜂蜜缓冲包装件在跌落过程中玻璃瓶受到的最大冲击加速度为 387.52 m/s², 远低于 597.8 m/s²。因此, 蜂蜜玻璃缓冲结构在跌落高度内可实现对玻璃瓶的保护, 实验结果有效。另一方面, 从蜂蜜包装件的跌落实验不难看出, 随着卡扣折叠宽度的增加, 瓶身的卡扣与瓶盖和瓶底的卡槽嵌合的更充分, 结构整体缓冲能力增强, 使玻璃瓶受到的冲击强度逐渐降低, 当卡扣折叠宽度增加到 15 mm 后, 最大加速度值变化不明显。如瓶盖缓冲高度为 8 mm、瓶底缓冲高度为 10 mm、卡扣折叠宽度为 12 mm 时, 最大加速度值为 387.52 m/s²。当折叠宽度增加到 12 mm 时, 最大加速度值降为 279.14 m/s², 降低了 108.38 m/s²。但当折叠宽度增加到 18 mm 时, 最大加速度为 247.36 m/s², 降低值仅为 31.78 m/s²。再者, 当卡扣折叠宽度和瓶盖缓冲高度一定时, 蜂蜜玻璃瓶受到的最大加速度值亦随着瓶底缓冲高度的增加而降低, 当瓶底缓冲高度升高到 15 mm 时, 蜂蜜玻璃瓶跌落过程中的最大加速度值降幅最大, 由瓶底缓冲高度为 10 mm 时的 387.52 m/s²降低到瓶底缓冲高度为 15 mm 时的 255.37 m/s², 降低了 132.15 m/s²。但当缓冲高度增到 20 mm 时, 最大加速度值为 236.25 m/s², 仅降低了 19.12 m/s²。实验中当卡扣折叠宽度和瓶底缓冲高度一定时, 随着瓶盖缓冲高度的增加玻璃瓶最大加速度降低幅度较小, 说明瓶盖缓冲高度变化对结构的缓冲性能影响不显著, 且随着瓶盖缓冲高度的增加, 材料的重量增加, 结构制作和流通成本亦增大。在跌落实验中, 包装件在触地后玻璃瓶在达到最大加速度值后仍有微小波动, 延迟了包装件恢复到稳定状态的时间, 这是结构因变形发挥缓冲效果而产生持续的微小振动^[17-18]。

2.3 蜂蜜玻璃瓶缓冲结构设计

依据蜂蜜玻璃瓶的抗压实验和跌落实验结果, 结合包装轻量化原则^[19-20], 在蜂蜜玻璃瓶缓冲包装中, 以厚度

为 3.5 mm 的 A 型瓦楞纸板分别建立瓶底、瓶盖结构和瓶身卡扣结构。瓶底和瓶身结构相同, 仅有缓冲高度变化, 且瓶底缓冲高度为 15 mm、瓶盖缓冲高度为 8 mm。瓶身通过内外折叠建立折叠宽度为 15 mm 的卡扣结构, 瓶身通过卡扣分别与瓶盖和瓶底的卡槽进行嵌合, 建立蜂蜜玻璃缓冲包装结构。瓶底结构尺寸如图 10 所示, 瓶身折叠结构尺寸如图 11 所示。该缓冲结构的突出优点是无论从何方发生跌落, 冲击接触面分别为瓶盖、瓶身和瓶底, 通过发挥瓦楞纸板的缓冲性能实现对蜂蜜玻璃包装的全方位保护。因此, 该缓冲结构既能发挥瓦楞纸板的抗压和抗冲击性能, 实现其缓冲功能, 又能避免因厚度过大产生的刚性问题, 达到保护蜂蜜玻璃包装的目的。

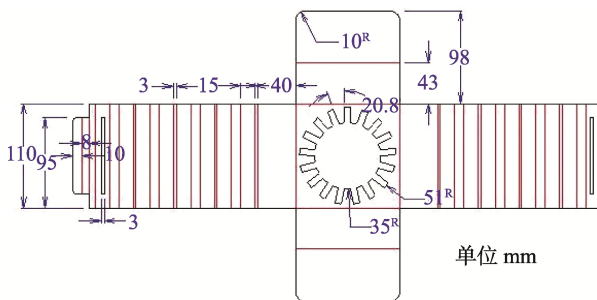


图 10 瓶底结构尺寸图

Fig.10 Structural dimension drawing of bottle bottom

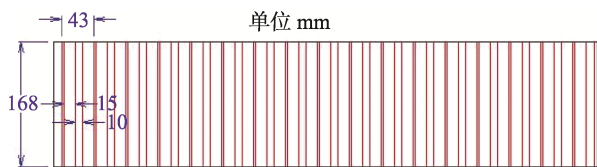


图 11 瓶身结构尺寸图

Fig.11 Structural dimension drawing of bottle body

3 结 论

本研究以 A 型瓦楞纸板建立蜂蜜玻璃缓冲包装结构, 通过抗压实验和跌落实验, 分析结构在瓶盖缓冲高度、瓶底缓冲高度和瓶身卡扣折叠宽度变化时的缓冲性能, 并结合包装减量化原则优化缓冲结构。因此, 在蜂蜜玻璃包装中, 通过建立瓶盖缓冲高度为 8 mm、瓶底缓冲高度为 15 mm、齿轮状小圆直径为 70 mm、大圆直径为 100 mm 的卡槽式瓶盖和瓶底结构。同时建立内外折叠角度为 110.5°、卡扣折叠宽度为 15 mm 的瓶身结构, 瓶身通过瓶盖和瓶底的卡槽扣合建立蜂蜜玻璃瓶缓冲结构。该结构既能发挥瓦楞纸板的缓冲性能, 实现结构的保护功能, 又能节约材料, 从而降低生产成本和流通成本。

参考文献

- [1] 田洪芸, 王冠群, 任雪梅, 等. 我国蜂蜜产品行业概况及主要质量安全风险分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2314-2318.
TIAN HY, WANG GQ, REN XM, *et al.* General situation of honey products industry in China and major quality and safety risks analysis [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(7): 2314-2318.
- [2] 董文萍. 玻璃易碎品的纸包装结构设计系统开发研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
DONG WP. Research and development of paper packing structure design system for fragile glass [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021.
- [3] 陈勇军. 基于酒类快递的瓦楞纸绿色包装研究与创新实践[J]. 绿色包装, 2021, (5): 35-39.
CHEN YJ. Research and innovation practice of corrugated green packaging based on liquor express delivery [J]. *Green Packag*, 2021, (5): 35-39.
- [4] 张婷婷, 张义, 李新立, 等. 现代物流技术的酒类商品运输中缓冲包装设计[J]. 酿酒科技, 2020, (5): 118-122.
ZHANG TT, ZHANG Y, LI XL, *et al.* Buffer packaging design in wine commodity transportation based on modern logistics technology [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2020, (5): 118-122.
- [5] 廖凯明. 基于双稳态结构的红酒缓冲包装设计[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
LIAO KM. Design of wine buffer packaging structure based on bistable structure [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021.
- [6] 樊泽鹏, 王克俭. 浅谈弹性体材料在包装上的应用[J]. 塑料包装, 2021, 31(1): 15-18.
FAN ZP, WANG KJ. Application of elastomer materials in packaging [J]. *Plastic Packag*, 2021, 31(1): 15-18.
- [7] 刘武, 钟云飞. 三角瓦楞缓冲衬垫设计及缓冲性能研究[J]. 包装工程, 2021, 41(11): 90-95.
LIU W, ZHONG YF. Design and cushioning performance of triangular corrugated cushioning insert [J]. *Packag Eng*, 2021, 41(11): 90-95.
- [8] 汤国峰. 瓦楞缓冲包装设计步骤实例解析[J]. 印刷技术, 2020, (4): 31-33.
TANG GF. Analysis of design steps of corrugated cushioning packaging [J]. *Print Technol*, 2020, (4): 31-33.
- [9] GUI K, WANG X. Design and analysis of cushioning packaging for home appliances [J]. *Procedia Eng*, 2017, 174(2017): 904-909.
- [10] WANG ZW, LI XF. Effect of strain rate on cushioning properties of molded pulp products [J]. *Mater Design*, 2014, 57(5): 598-607.
- [11] LU FD, TAO WM. Virtual mass method for solution of dynamic response of 1 composite cushion packaging system [J]. *Packag Technol Sci*, 2013, 26(1): 32-42.
- [12] 刘梦真. 组合材料+缓冲结构的包装设计方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
LIU MZ. Research on packaging design method of composite material buffer structure [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2021.
- [13] 王行宁, 郭彦峰, 付云岗. 纸瓦楞-蜂窝复合夹层结构的静态缓冲性能研究[J]. 实验力学, 2019, 34(5): 853-863.
WANG XN, GUO YF, FU YG. Cushioning performance of composite sandwich structures with paper corrugation and honeycomb cores under

- static compression [J]. *J Exp Mech*, 2019, 34(5): 853–863.
- [14] 李志强, 靳朝晖, 张素风, 等. 正棱台缓冲垫结构参数对静态缓冲性能的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(7): 141–146.
- LI ZQ, JIN ZH, ZHANG SF, *et al.* Influence of structural parameters of prism cushion on its static cushioning property [J]. *Packag Eng*, 2020, 41(7): 141–146.
- [15] WANG YH, BAO L, JIN HM. A method research to obtain quickly the vibration transmissibility of cushioning packaging materials [J]. *Adv Mat Res*, 2012, (542): 87–90.
- [16] 刘平, 白永钢. 包装装备跌落撞击缓冲特性分析[J]. *装备环境工程*, 2021, 18(5): 94–99.
- LIU P, BAI YG. The cushion performance analysis of packaging equipment under impact [J]. *Equip Environ Eng*, 2021, 18(5): 94–99.
- [17] 吉美娟, 郭彦峰, 付云岗, 等. 纸瓦楞-蜂窝复合夹层结构的跌落冲击缓冲性能研究[J]. *工程力学*, 2020, 37(10): 247–256.
- JI MJ, GUO YF, FU YG, *et al.* Study on drop impact cushioning performance of paper corrugated-honey comb composite sandwich structure [J]. *Eng Mech*, 2020, 37(10): 247–256.
- [18] 郑梦晨, 王彪, 任梦成, 等. 瓦楞纸板本构模型参数识别方法[J]. *包装工程*, 2021, 42(13): 186–189.
- ZHENG MC, WANG B, REN MC, *et al.* Method to determine parameter results of constitutive modelling of corrugated paperboard [J]. *Packag Eng*, 2021, 42(13): 186–189.
- [19] CHOI DS, SON JY, KIM JS, *et al.* Static and dynamic fem simulation of packaging tray cup pad for korean pears [J]. *Korean J Packag Sci Technol*, 2019, 25(3): 89–94.
- [20] JOHN H. Compression and cushioning characteristics of mould pulp packaging [J]. *Packag Technol Sci*, 2008, (13): 211–220.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



王章苹, 硕士, 副教授, 主要研究方向为包装材料、缓冲包装。

E-mail: cathywzp@163.com