

变幅多次冲击对蜂窝纸板缓冲特性影响

惠姣^a, 王军^{a,b}, 卢立新^{a,b}, 潘嘹^{a,b}

(江南大学 a.机械工程学院 b.江苏省先进食品装备制造技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: 目的 研究了蜂窝纸板在面外变幅多次冲击下的缓冲特性, 为蜂窝纸板的运输包装设计提供参考。方法 对蜂窝纸板进行不同强度类型的多次冲击, 以模拟运输过程中其经历的冲击与跌落, 再通过进行准静态压缩试验来评估其缓冲性能的变化情况。结果 多次冲击后蜂窝的剩余结构产生了2个明显的变形情况: 具有垂直胞壁的未压溃部分和由于冲击累积而导致褶皱的压溃部分; 发现冲击强度由低到高的影响更为明显, 且影响程度随着高度种类的增多而增加。结论 多次冲击会对蜂窝纸板的缓冲性能产生不利影响, 且影响的程度会受到冲击顺序的影响, 因此, 考虑冲击的类型对于缓冲包装来说具有十分重要的意义。

关键词: 蜂窝纸板; 多次冲击; 应力-应变曲线; 能量吸收

中图分类号: TB484.1; O241.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)15-0059-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.009

Influence of Multiple Impacts with Varying Amplitudes on the Cushioning Characteristics of Honeycomb Paperboard

HUI Jiao^a, WANG Jun^{a,b}, LU Li-xin^{a,b}, PAN Liao^{a,b}

(a.School of Mechanical Engineering b.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to study the cushioning characteristics of honeycomb paperboard under multiple impacts with varying amplitudes, so as to provide a reference for the transport packaging design of honeycomb paperboard. The honeycomb paperboard was subjected to multiple impacts of different strengths to simulate the impact and drop experienced during actual transportation and then the quasi-static compression test was performed to evaluate the change of its cushioning performance. After multiple impacts, the remaining structure of the honeycomb exhibited two distinct deformations. The uncrushed portion with vertical cell walls and the wrinkled crushed portion caused by the accumulation of impacts showed that, the impact strength from low to high had a more obvious effect than that from high to low on the stress-strain, cushioning coefficient and energy absorption curves of the honeycomb structure, and the degree of influence increased with the increase of the height type. Multiple impacts will adversely affect the cushioning performance of the honeycomb paperboard, and the degree of influence will be affected by the impact order. Therefore, considering the type of impact is of great significance for cushioning packaging.

收稿日期: 2020-01-08

基金项目: 国家一流学科建设轻工技术与工程 (LITE 2018-29); 国家自然科学基金 (51205167); 江苏省自然科学基金 (BK20151128)

作者简介: 惠姣 (1994—), 女, 江南大学硕士生, 主攻运输包装。

通信作者: 王军 (1982—), 男, 博士, 江南大学教授、博导, 主要研究方向为运输包装。

KEY WORDS: honeycomb paperboard; multiple impacts; stress-strain curve; energy absorption

蜂窝结构具有优异的力学和能量吸收特性,最早关于其的研究主要集中在金属蜂窝领域^[1-6],随着环保理念的深入,纸蜂窝结构开始出现并被广泛应用,其缓冲性能也越来越受到关注。关于蜂窝纸板的研究主要集中于蜂窝纸板的结构参数、相对湿度和压缩应变率的影响^[7-11]。除此之外,有学者研究了含有损伤蜂窝纸板的损伤机理和平台应力的变化规律^[12-13]。随后,关于泡沫材料^[14]和蜂窝纸板^[15]的多次冲击研究也逐渐被受到重视。

实际中的产品往往会经历多种类型的冲击损伤,关于蜂窝纸板在不同强度、不同顺序下多次冲击的变形机制和缓冲性能变化情况的研究还很缺乏,因此,文中通过对蜂窝纸板进行不同强度的多次冲击,分析蜂窝纸板的多次冲击过程中的力学性能和能量吸收特性的变化情况,为实际的防护包装设计提供一定的参考依据。

1 试验

1.1 材料与仪器

文中所采用的试验材料为正六边形的蜂窝纸板,其厚度为 40 mm,面层和芯层原纸的定量分别为 160 和 110 g/cm³,胞元的边长为 8.77 mm,被裁切为 200 mm×200 mm,用于动态冲击试验,随后被裁切为 100 mm×100 mm,用于准静态压缩试验。

1.2 方法

试验前先对材料进行 48 h 以上的预处理(环境温度为 23 ℃,相对湿度为 50%)。多次冲击试验选取的重锤质量均为 10 kg,分别对材料进行 40-20, 20-40, 60-20, 20-60, 40-20-5, 5-20-40, 60-20-5 和 5-20-60 这几种类型的多次冲击(例如 40-20 表示蜂窝纸板进行先 40 cm 后 20 cm 高度下的冲击),每种类型取 5 个试样做平行试验,最后对蜂窝纸板进行准静态压缩试验测得其力-变形曲线。

2 结果与分析

2.1 多次冲击后蜂窝纸板的变形情况

随着冲击的累积,试件产生局部屈曲变形,折叠不断向下扩展,见图 1,多次冲击后的蜂窝结构中观察到 2 种主要的变形形态:具有垂直蜂窝胞壁的未压溃部分和由于冲击累积而导致褶皱的压溃部分。这意味着经历一定程度多次冲击后的蜂窝纸板仍有剩余结构,依然能够较好地起到保护产品的作用。

2.2 应力-应变曲线

多次冲击后再次受压时蜂窝纸板的应力-应变曲线上的初始峰值应力消失,初始阶段斜率降低使得弹性压缩应变量的增加和塑性压缩应变量的减少。如图 2 所示,由于初始峰值应力的存在导致第 1 次冲击时对材料产生损伤较小,而后续的冲击对材料产生的影响基本保持不变,因此,可以观察到由低强度到高强度的冲击对蜂窝纸板带来的影响比由高到低强度的冲击更加显著。与此同时,当对蜂窝纸板进行 2 种和 3 种不同强度的冲击时,发现 3 种强度下蜂窝纸板的性能下降得更明显。

2.3 缓冲系数曲线

将应力-应变曲线借助 Matlab 软件编程转换得到蜂窝纸板多次冲击后的缓冲系数曲线,可以看出多次冲击对蜂窝纸板的静态缓冲系数具有一定的影响,其中总体趋势保持“L”型不变,曲线整体向右上方产生一定的偏移,并且冲击顺序由低到高,冲击的类型越多,图像偏移得越多,材料的缓冲性能则变差。

2.4 能量吸收曲线

蜂窝纸板变幅多次冲击后的标准化能量吸收曲线见图 4。通过观察发现曲线的整体趋势同样没有发生改变,而曲线上的肩点随着冲击的进行轻微地向左下方移动,即单位体积吸收的能量在逐渐地降低。



图 1 多次冲击后的蜂窝纸板

Fig.1 Honeycomb paperboard after multiple impacts

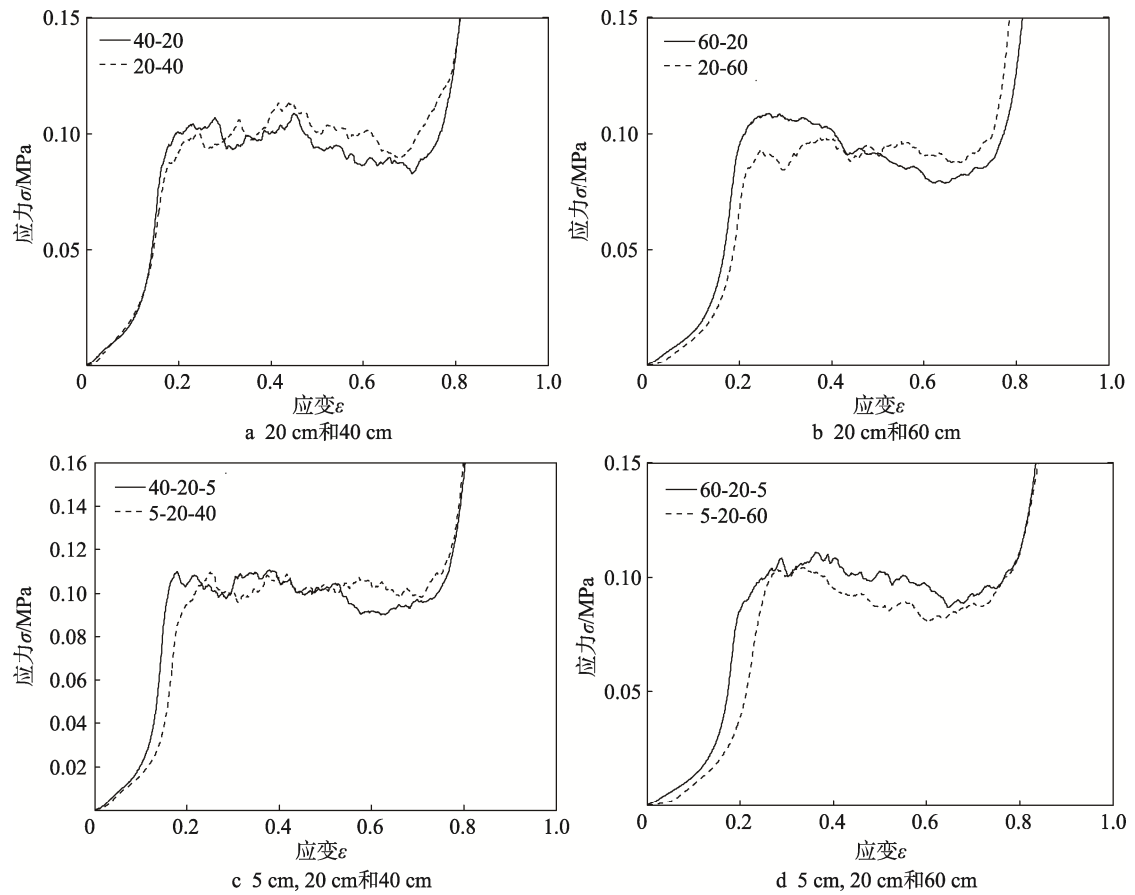


图 2 应力-应变曲线
Fig.2 Stress-strain curves

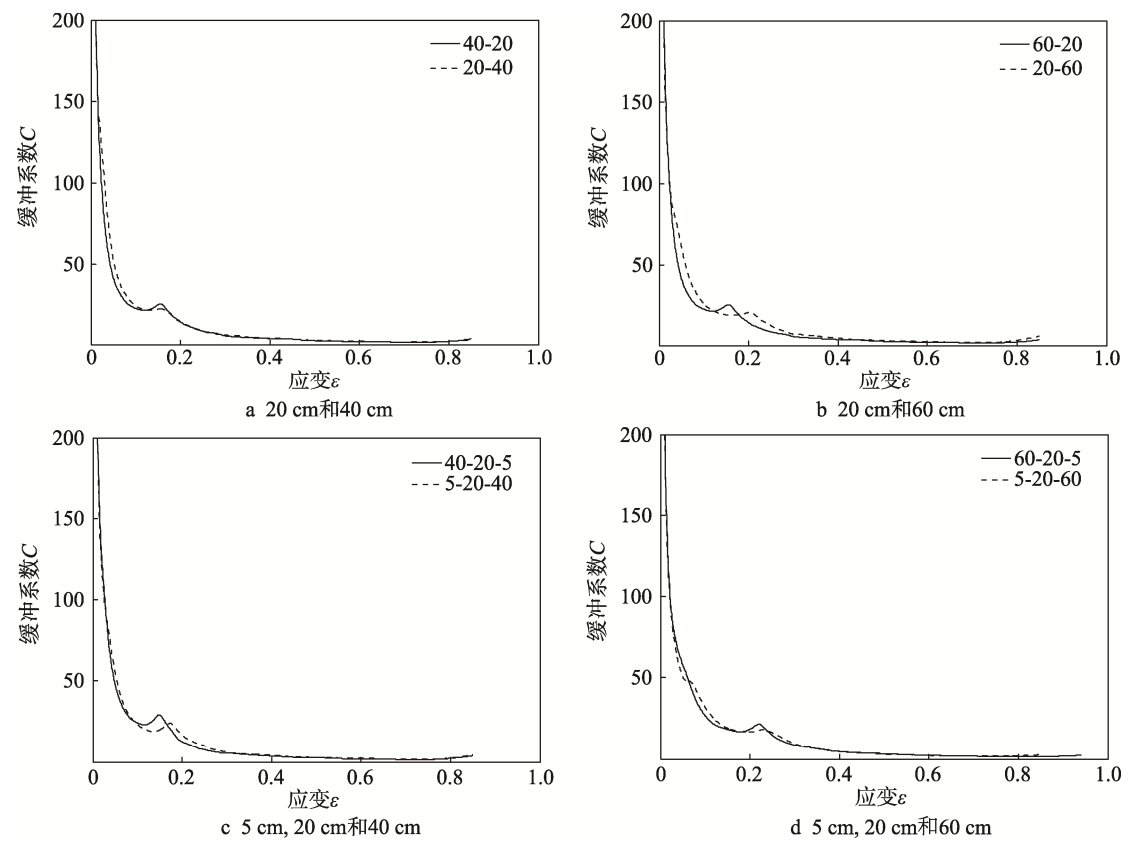


图 3 缓冲系数曲线
Fig.3 Cushioning coefficient curves

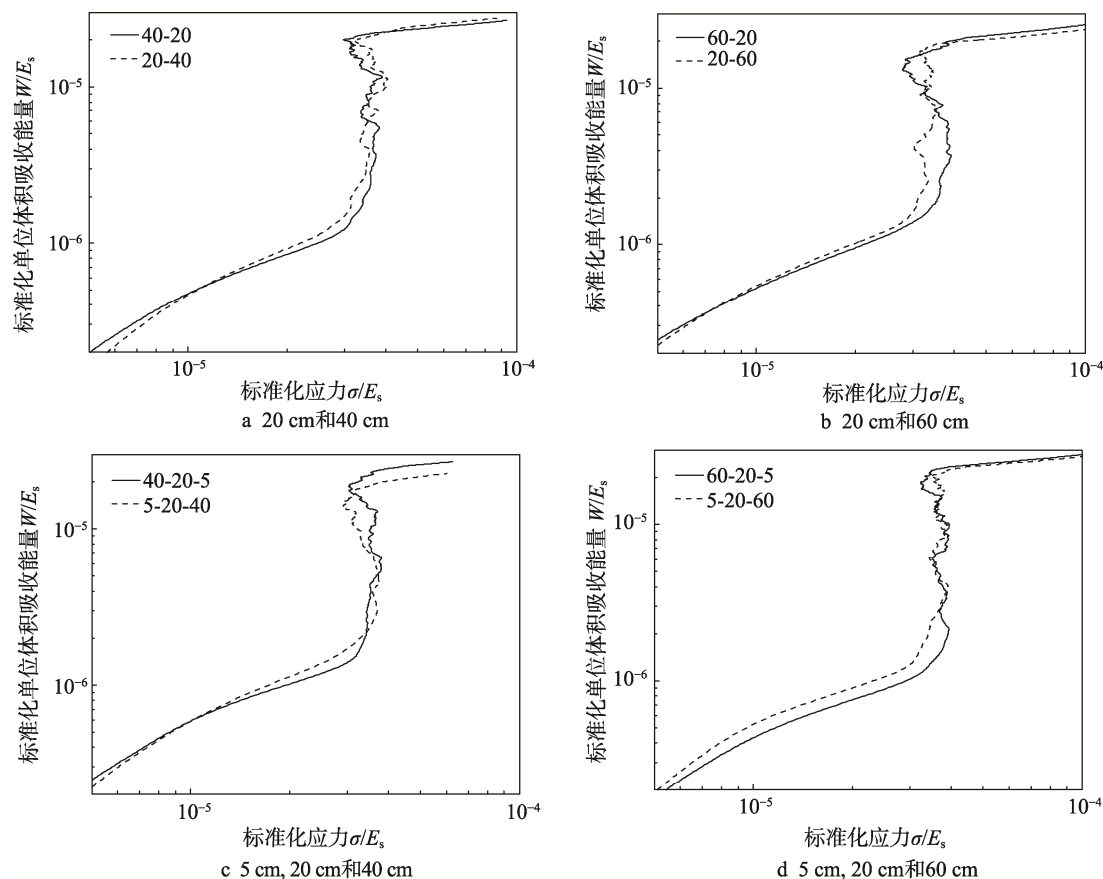


图4 能量吸收曲线
Fig.4 Energy absorption curves

这一现象随着冲击高度、次数、以及由低到高和强度种类的增多影响更加显著,这一变化趋势与之前观察到多次冲击的应力-应变曲线、缓冲系数曲线的变化趋势相一致,充分证明了多次冲击会使得蜂窝纸板吸收的能量逐渐减少。

3 结语

文中研究了蜂窝纸板在变幅多次冲击下的变形机制和缓冲吸能特性。研究发现,冲击会使得蜂窝纸板产生局部屈曲折叠,且随着冲击的累积,蜂窝的剩余结构呈现具有垂直蜂窝胞壁的未压溃部分和由于冲击累积而导致褶皱的压溃部分。由于冲击使纸板产生了损伤,蜂窝纸板的静态压缩应力-应变、缓冲系数和能量吸收曲线发生了明显的改变,蜂窝的缓冲吸能特性均产生了下降。另外,这种趋势随着冲击顺序的不同和强度种类的增多而愈发显著。综上,多次冲击对蜂窝纸板产生了一定程度的损伤,因此在实际的包装设计过程中一方面要考虑其使得缓冲材料产生形变,无法很好地起到固定产品的作用,另一方面也要考虑到其使得材料力学和能量吸收性能变差,无法起到保护产品的作用,从而开拓了多次冲击影响后的缓冲防护包装设计新思路。

参考文献:

- [1] FELI S, POUR M H N. An Analytical Model for Composite Sandwich Panels with Honeycomb Core Subjected to High-velocity Impact[J]. Composites Part B (Engineering), 2012, 43(5): 2439—2447.
- [2] HU L L, YU T X. Dynamic Crushing Strength of Hexagonal Honeycombs[J]. International Journal of Impact Engineering, 2010, 37(5): 467—474.
- [3] HU L L, ZHOU M Z, DENG H. Dynamic Crushing Response of Auxetic Honeycombs under Large Deformation: Theoretical Analysis and Numerical Simulation[J]. Thin Walled Structures, 2018, 131: 373—384.
- [4] JANG W Y, KYRIAKIDES S. On the Buckling and Crushing of Expanded Honeycomb[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2015, 91: 81—90.
- [5] MOHR D, DOYOYO M. Nucleation and Propagation of Plastic Collapse Bands in Aluminum Honeycomb[J]. Journal of Applied Physics, 2003, 94(4): 2262—2270.
- [6] MOHR D, DOYOYO M. Deformation-induced Folding Systems in Thin-walled Monolithic Hexagonal Metallic Honeycomb[J]. International Journal of Solids and

- Structures, 2004, 41(11/12): 3353—3377.
- [7] WANG Dong-mei, WANG Zhi-wei. Experimental Investigation into the Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Technology and Science, 2008, 21(6): 309—316.
- [8] 王冬梅, 王志伟. 纸蜂窝压缩密实化应变评估[J]. 机械工程学报, 2009, 45(5): 285—289.
WANG Dong-mei, WANG Zhi-wei. Evaluation of Compressive Densification Strain of Paper Honeycombs[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(5): 285—289.
- [9] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Effect of Relative Humidity on Energy Absorption Properties of Honeycomb Paperboards[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(8): 471—483.
- [10] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Plateau Stress of Paper Honeycomb as Response to Various Relative Humidities[J]. Packaging Technology & Science, 2010, 23(4): 203—216.
- [11] WANG Zhong-gang, TIAN Hong-qi, LU Zhai-jun, et al. High-speed Axial Impact of Aluminum Honeycomb Experiments and Simulations[J]. Composites Part B: Engineering, 2014, 56: 1—8.
- [12] 崔艳, 陈丽. 预压缩对蜂窝纸板能量吸收的影响[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 141—145.
CUI Yan, CHEN Li. The Effect of Pre-compression on the Energy Absorption of Honeycomb Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 141—145.
- [13] WILBERT A, JANG W Y, KYRIAKIDES S, et al. Buckling and Progressive Crushing of Laterally Loaded Honeycomb[J]. International Journal of Solids and Structures, 2011, 48(5): 803—816.
- [14] 苗红涛. EPE 泡沫塑料在多次冲击下的缓冲性能[J]. 包装工程, 2017, 38(5): 111—114.
MIAO Hong-tao. EPE Foam Cushioning Performance under Repeated Dropping Shocks[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(5): 111—114.
- [15] WANG Zhi-wei, WANG Li-jun, XU Chen-yi, et al. Influence of Low-intensity Repeated Impacts on Energy Absorption and Vibration Transmissibility of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(11): 585—600.