

预压缩对蜂窝纸板能量吸收的影响

崔艳¹, 陈丽²

(1.西安财经学院, 西安 137000; 2.中原工学院信息商务学院, 郑州 450007)

摘要: **目的** 探究相同温湿度环境条件下, 不同程度的预压缩对不同型号蜂窝纸板缓冲性能的影响。**方法** 利用电子材料试验机对材料进行压缩, 进而通过 Matlab 软件绘制出应力-应变曲线、静态缓冲系数曲线以及能量吸收曲线。**结果** 预压缩限制在线弹性阶段, 对蜂窝纸板各项性能无明显影响; 当预压缩进入弹塑性阶段, 蜂窝纸板的各项性能产生较为明显的下降; 当预压缩进入塑性坍塌阶段, 蜂窝纸板的各项性能显著下降, 甚至丧失缓冲特性。**结论** 随着预压缩程度的增加, 蜂窝纸板静态压缩性能、静态缓冲性能及能量吸收性能都会降低。

关键词: 预压缩; 瓦楞纸板; 静态缓冲系数曲线; 能量吸收

中图分类号: TB484.1; TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)09-0141-05

The Effect of Pre-compression on the Energy Absorption of Honeycomb Cardboard

CUI Yan¹, CHEN Li²

(1.Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 137000, China;

2.College of Information & Business, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of different levels of pre-compression on the cushioning performance of different types of honeycomb cardboards under the same temperature and humidity. The electronic material testing machine was used to compress the materials. Then, the stress-strain curve, static cushioning coefficient curve and energy absorption curve were drawn with Matlab software. The pre-compression limited the online elastic stages and it had no significant impact on all the performances of honeycomb cardboard. When the pre-compression entered the elastic-plastic stage, all the performances of honeycomb cardboard were quite obviously decreased. When the pre-compression entered the plastic collapse stage, all the performances of honeycomb cardboard were significantly decreased and even its cushioning performance was lost. With the increase in the pre-compression level, the static compression performance, static cushioning performance and energy absorption of honeycomb cardboard will be reduced accordingly.

KEY WORDS: pre-compression; corrugated cardboard; static cushioning coefficient curve; energy absorption

蜂窝材料具有质量轻、强度高、可回收利用等优点, 已经被广泛应用于家具、家电包装和交通运输等领域。对于蜂窝纸板等典型纸质包装材料来说, 受到外界压力时容易发生形变, 进而影响其缓冲性能以及能量吸收能力^[1]。范志庚等^[2]通过疲劳压缩实验, 建立蜂窝纸板疲劳累积损伤模型; 朱大鹏等^[3]采用压缩-恢复实验, 用多项式表达试样的弹性力, 用分数阶微分模拟蜂窝纸板的黏弹性力; 张连文等^[4]考察了相对湿度对AB楞纸板边压强的影响; 国内外学者^[5-10]还对其他类型蜂窝材料的力学性能进行了研究。学者们主要对蜂窝结构参数、环境相对湿度、组合方式等因素对材料力学性能的影响^[11-15]

进行了研究, 针对预压缩蜂窝纸板性能的研究不多。由于蜂窝纸板受到恒定静压力时, 会分为很明显的4个力学阶段, 故对其受到4个阶段的不同压力时缓冲性能的变化情况进行研究, 进而对其受到不同程度预压时的能量吸收能力作出评价。

1 试验

蜂窝纸板的静态压缩过程分为4个不同阶段, 即线弹性阶段(OA段)、弹塑性阶段(AB段)、塑性坍塌阶段(BC段)、密实化阶段(CD段), 见图1。

收稿日期: 2016-07-13

作者简介: 崔艳(1979—), 女, 硕士, 西安财经学院讲师, 主要研究方向为优化算法、统计方法。

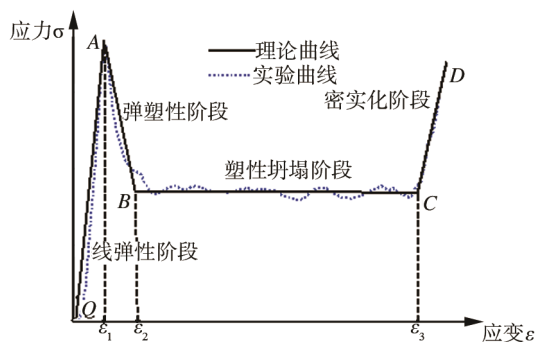


图1 蜂窝纸板静态压缩应力-应变曲线

Fig.1 The static compression stress-strain curves of honeycomb cardboard

1.1 材料

蜂窝纸板样品由青岛某公司提供, 具有4种纸板规格, 见表1, 其中蜂窝纸板的面纸均是定量为200 g/m²的箱板纸, 其胞壁边长均为8.5 mm, 蜂窝纸芯均为正六边形瓦楞原纸。

表1 纸板规格
Tab.1 Paper board size

样品编号	纸芯定量/(g·m ⁻²)	厚度/mm
A	150	30
B	120	30
C	150	25
D	120	25

1.2 方法

1.2.1 试样预处理

将试样在温度为23 ℃, 相对湿度为75%的条件下, 分别预处理24 h。

1.2.2 静态压缩试验

将4种样品制作成100 mm×100 mm大小的试样, 每种取出1块进行平压试验, 试验方案参照GB/T 1453—2005 包装用缓冲材料静态压缩试验方法, 在LRXPlus电子材料试验机上进行, 得到应力-应变曲线图, 并得出A和B点; 在OA, AB, BC, CD 4个阶段内分别取值作为预压点(定义为a, b, c, d点), 4种试样每种取出1个进行a点处的预压缩(预压1), 待回复一段时间后, 再进行静态压缩。同上, 在预压缩b, c, d 3点处对4种试样进行预压缩后(预压2, 3, 4), 分别进行静态压缩。对蜂窝纸板施加恒定面外加载速度为12 mm/min, 每组选5个试样进行重复试验。

2 结果与讨论

2.1 应力-应变曲线分析

蜂窝纸板静态压缩缓冲特性一般是通过其应力-应变曲线进行评价的, 4种预压缩应力-应变曲线见图

2。在温度为23 ℃, 相对湿度为75%的条件下, 4种试样在4种不同程度预压缩下的应力-应变曲线见图3。可以看出, 预压1时, 蜂窝纸板放置一段时间后, 基本完全恢复, 不但应力峰值点没有多少变化, 就连塑性坍塌阶段的平台应力也没有发生变化, 可以推断对于线弹性阶段的预压1的情况, 蜂窝纸板性能并无很大影响; 预压2时, 蜂窝纸板放置一段时间后, 再进行压缩, 则出现了峰值应力明显下降且平台应力也下降的情况, 从曲线可以看出其已不再呈现蜂窝纸板的压缩曲线特性, 弹塑性阶段不再明显, 甚至完全看不出; 预压3时, 蜂窝纸板放置一段时间后再进行静态压缩, 其线弹性阶段的斜率明显减小, 峰值应力以及平台应力都减小, 密实化阶段出现得更早; 预压4

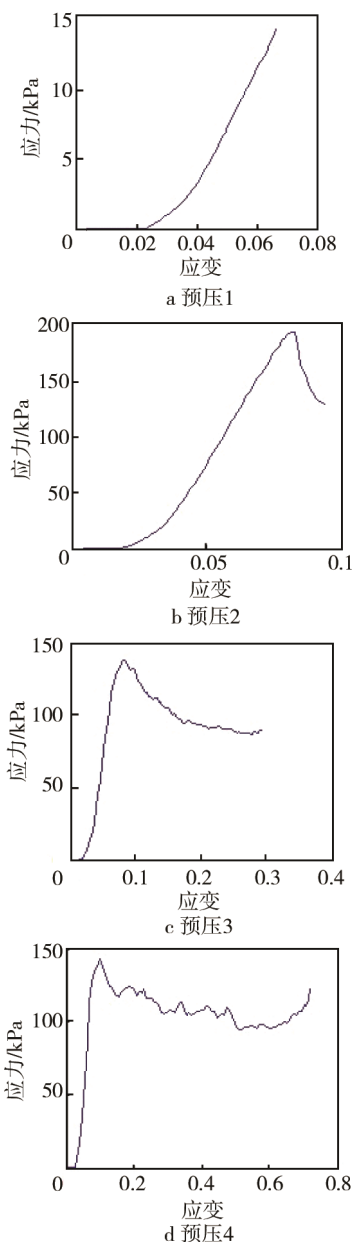


图2 不同程度预压缩的应力-应变曲线

Fig.2 Stress-strain curves under different precompression degree

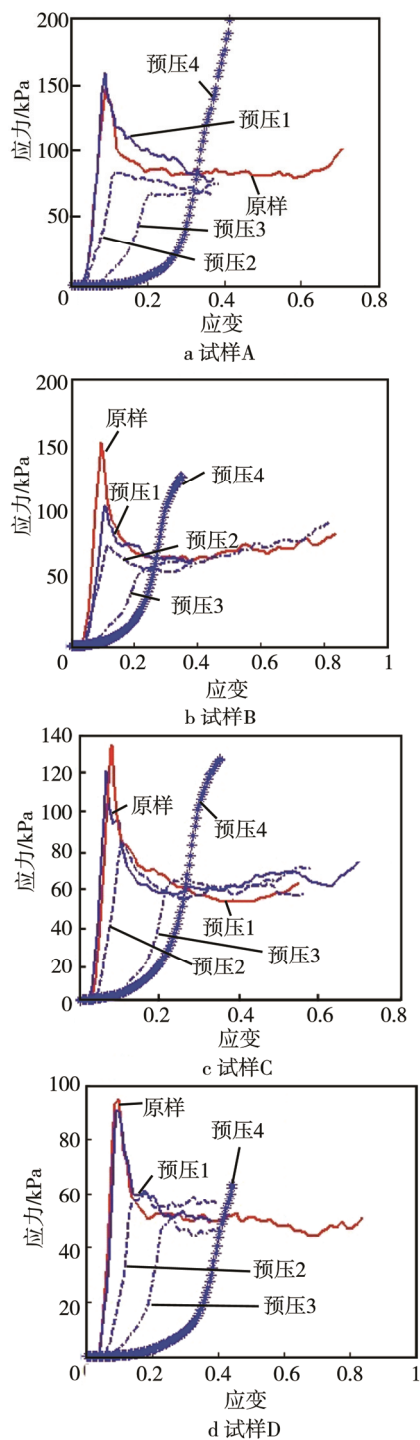


图 3 4 种试样预压缩后的应力-应变曲线

Fig.3 Stress-strain curves of 4 samples after precompression

时，蜂窝纸板放置一段时间后，再进行静态压缩时，不出现蜂窝纸板压缩特性，呈现弹性压缩的特征。

2.2 静态缓冲系数曲线分析

在温度为 23 ℃、相对湿度为 75%条件下，4 种试样在 4 种不同程度预压缩下的静态缓冲系数见图 4（预压的曲线只取到最低点）。由图 4 曲线可以看出，随着预压缩程度的增加，缓冲系数增大，缓冲性能越

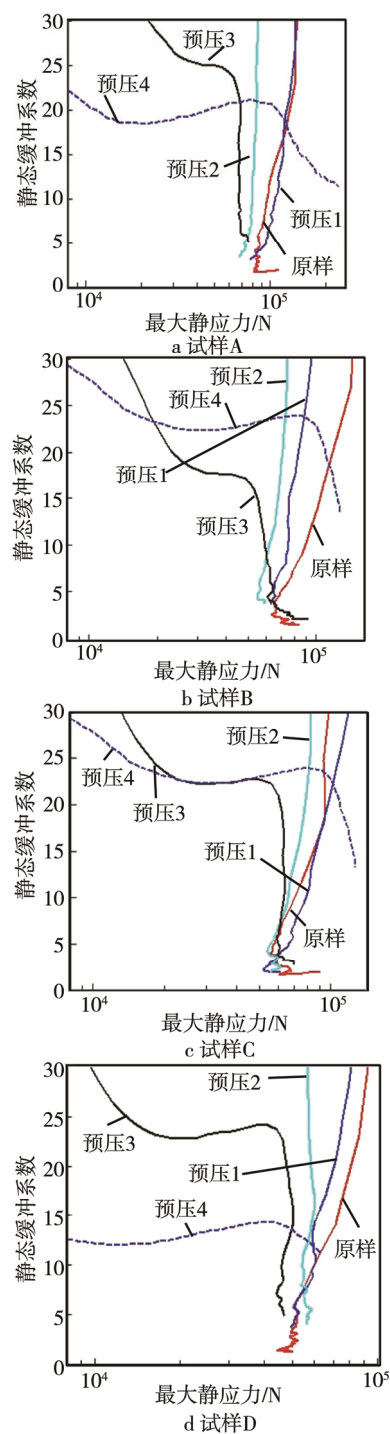


图 4 不同试样预压缩后的静态缓冲系数

Fig.4 Static buffer cushioning of different samples after pre-compression

来越差。

2.3 能量吸收特性分析

在温度为 23 ℃、相对湿度为 75%条件下，4 种试样在 4 种不同程度预压缩下的能量吸收曲线见图 5。由图 5 可以看出，线弹性阶段的预压，在能量吸收曲线上与原样最佳能量吸收点并无太大差距；对于

预压2, 其最佳能量吸收点虽然相对原样略微有些向左下偏移, 但是相差不大, 说明其能量吸收能力也相对较强, 具有相对较好的缓冲性能; 对于预压3来说, 其能量吸收最佳点明显有所下降, 吸收能量的能力下降, 缓冲性能也相应明显降低; 对于预压4, 则呈现出弹性材料的能量吸收特性。

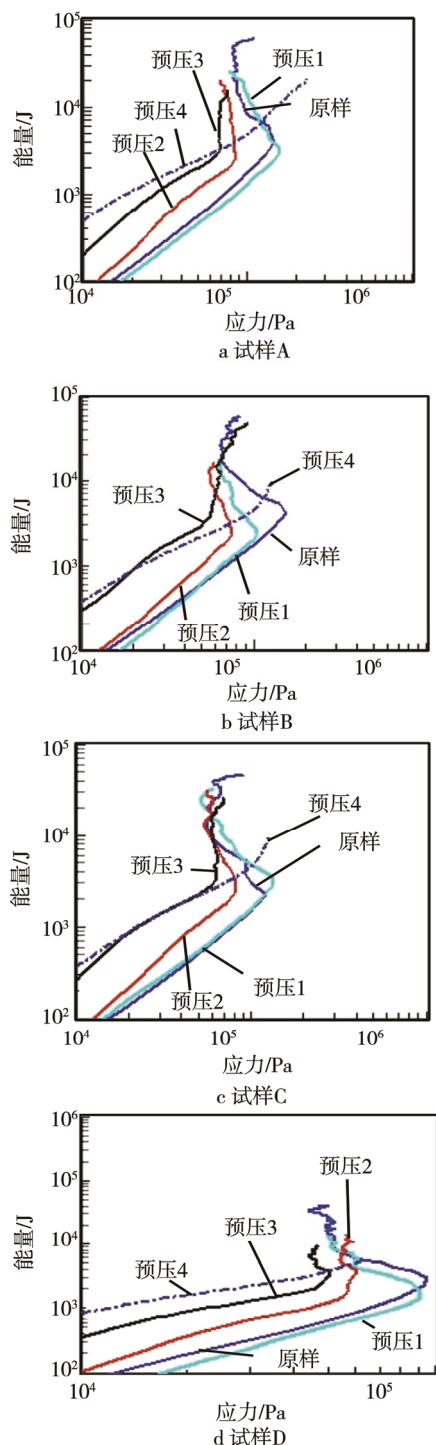


图5 不同试样预压后的能量吸收曲线

Fig.5 Energy absorption curve of different samples after pre-compression

3 结语

实验研究了相同温湿度环境条件下, 不同程度预压缩对蜂窝纸板静态压缩性能、静态缓冲性能以及能量吸收性能的影响。实验结果表明, 预压缩限制在线弹性阶段, 对蜂窝纸板各项性能无明显影响; 当预压缩进入弹塑性阶段, 蜂窝纸板的各项性能产生较为明显的变化, 各项性能均下降; 当预压缩进入塑性坍塌阶段, 蜂窝纸板的各项性能显著下降, 甚至丧失其缓冲特性。

参考文献:

- [1] 刘映平, 桑波, 郭彦峰. 蜂窝纸板缓冲系数及性能的研究[J]. 西安工业学院学报, 2003, 23(3): 194—197.
LIU Ying-ping, SANG Bo, GUO Yan-feng. The Research of the Honeycomb Fibreboard Cushioning Coefficient and Performance[J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 2003, 23(3): 194—197.
- [2] 范志庚, 卢立新, 王军, 等. 蜂窝纸板疲劳累积损伤模型实验研究[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 59—63.
FAN Zhi-geng, LU Li-xin, WANG Jun, et al. Experimental Research on Honeycomb Paperboard Fatigue Cumulative Damage Model[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 59—63.
- [3] 朱大鹏. 蜂窝纸板静态弹性与黏弹性特性建模与参数识别[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 1—6.
ZHU Da-peng. Modelling for Static Elasticity and Viscoelasticity of Honeycomb Paperboard and Parameters Identification[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 1—6.
- [4] 张连文, 冯冰冰, 程金茹, 等. 双面美卡高强度 AB 楞纸板边压和耐破强度试验研究[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 64—67.
ZHANG Lian-wen, FENG Bing-bing, CHENG Jin-ru, et al. Edgewise Crush Resistance and Bursting Strength Tests of Double-sided US High Strength AB Corrugated Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 64—67.
- [5] 凤仪, 朱震刚, 潘艺, 等. 泡沫铝的动态力学性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2005, 34(4): 544—548.
FENG Yi, ZHU Zhen-gang, PAN Yi, et al. Dynamic Mechanical Properties of Aluminum Alloy Foams[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2005, 34(4): 544—548.
- [6] FENG Yi, ZHU Zhen-gang. Strain Rate Effects on the Compressive Property and the Energy-Absorbing Capacity of Aluminum Alloy Foams[J]. Materials Characterization, 2001, 47(5): 417—422.

- [7] 康颖安, 张俊彦. 开孔与闭孔泡沫铝的压缩力学行为[J]. 材料导报, 2005, 19(8): 122—124.
KANG Ying-an, ZHANG Jun-yan. Uniaxial Compressive Behavior of Open-cell and Closed-cell Aluminum Foams[J]. Materials Review, 2005, 19(8): 122—124.
- [8] 程和法, 黄笑梅, 王强, 等. 通孔泡沫铝的动态压缩行为[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(2): 169—173.
CHENG He-fa, HUANG Xiao-mei, WANG Qiang, et al. The Dynamic Compressive Behaviors of an Open-cell Aluminum Foam[J]. Explosion and Shock Waves, 2006, 26(2): 169—173.
- [9] OUELLETA S, CRONIN D, WORSWICK M. Compressive Response of Polymeric Foams under Quasi-static, Medium and High Strain Rate Conditions[J]. Polymer Testing, 2006, 25(6): 731—743.
- [10] DESHPANDE V S, FLECK N A. High Strain Rate Compressive Behavior of Aluminium Alloy Foams[J]. International Journal of Impact Engineering, 2000, 24(3): 277—298.
- [11] GAO Zhi-guo, ZHANG Xin-ming, CHEN Ming-an. Influence of Strain Rate on the Precipitate Microstructure in Impacted Aluminum Alloy[J]. Scripta Material, 2008, 59(9): 983—986.
- [12] TUCKER M T, HORSTEMEYER M F, WHITTINGTON W R, et al. The Effect of Varying Strain Rates and Stress States on the Plasticity, Damage, and Fracture of Aluminum Alloys[J]. Mechanics of Materials, 2010, 42(10): 895—907.
- [13] 郑明军, 何德坪. 新型高强度胞状铝合金的压缩及能量吸收性能[J]. 材料研究学报, 2002, 16(5): 473—477.
ZHENG Ming-jun, HE De-ping. Deformation and Energy Absorption Characteristic of High Strength Cellular Alloy[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2002, 16(5): 473—477.
- [14] 王斌, 何德坪, 舒光冀. 泡沫 Al 合金的压缩性能及能量吸收[J]. 金属学报, 2000, 36(5): 1037—1040.
WANG Bin, HE De-ping, SHU Guang-ji. Compressive Property and Energy Absorption of Foamed Al Alloy[J]. Acta Metallurgica Sinica A, 2000, 36(5): 1037—1040.
- [15] WANG Zhi-wei, E Yu-ping. Mathematical Modeling of Energy Absorption Property for Paper Honeycomb in Various Ambient Humidities[J]. Materials and Design, 2010, 31(9): 4321—4328.