

包装技术与工程

疲劳振动对蜂窝纸板缓冲性能影响

孙中振¹, 王 琚¹, 王 军^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122)

摘要: 为探究蜂窝纸板在不同程度疲劳振动下缓冲特性的变化规律, 通过对多种湿度环境下处理的纸板进行不同程度的疲劳振动, 再进行准静态压缩试验, 并借助 Matlab 软件得到其应力-应变曲线、缓冲系数与湿度、振动次数关系曲线、塑性形变及能量吸收曲线。结果表明, 随着振动次数和相对湿度的不断增加, 材料的承载能力、剩余屈服力、缓冲效果、吸能特性都随之减弱, 且随应变大小而有所不同。振动后的蜂窝纸板与振前相比各项性能都有响应减弱, 此研究可以为产品不同环境条件和物流情况下的缓冲包装设计提供理论依据。

关键词: 蜂窝纸板; 疲劳振动; 应力-应变曲线; 缓冲系数; 能量吸收

中图分类号: TB484.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)23-0001-04

Effect of Vibration Fatigue on Cushion Performance of Honeycomb Paperboard

SUN Zhong-zhen¹, WANG Jun¹, WANG Jun^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. China National Light Industry Package Quality Supervising and Testing Center, Wuxi 214122, China)

Abstract: The cushioning properties of honeycomb paperboard under different degrees of vibration fatigue were studied. Paperboard of different vibration fatigue degrees was tested under several humidity environments. Quasi-static compression was carried out and the stress-strain curve, relationship curve of cushioning coefficient and humidity, vibration frequencies, plastic deformation, and energy absorption curve were obtained with Matlab software. The results showed that material bearing capacity, residual yield force, the cushioning effect, and energy absorbing characteristic were weakened with the increasing number of vibration and relative humidity; the strain were different. It was concluded that various properties of honeycomb paperboard are weakened by vibration fatigue. The purpose was to provide theoretical basis for design of cushioning packaging products under different environment and logistics conditions.

Key words: honeycomb paperboard; vibration fatigue; stress-strain curve; buffer coefficient; energy absorption

瓦楞纸板和蜂窝纸板是最为常见的 2 种纸质缓冲包装材料, 每年的使用量也在不断的增加。作为常用的纸质缓冲包装材料之一的蜂窝纸板, 常被用作研究缓冲性能的材料。很多学者对蜂窝纸板的缓冲防震性能有深入的研究, 包括基于蜂窝纸板的特性, 对其进行二次加载以增强其缓冲性能^[1]。王军、卢立新等人基于不同厚跨比蜂窝纸板, 研究不同环境湿度条件下的应力-应变曲线, 并由此构建了基于应变的速率、蜂窝

结构的能量吸收图^[2]。王军等通过试验分析了蜂窝纸板厚度、芯层和面层对其面内平台应力的影响^[3]。Wang D M 等人基于不同相对湿度条件下蜂窝原纸的纵向屈服强度, 建立了基于不同环境相对湿度下的蜂窝纸板应力模型, 并通过实验数据进行了有效的验证^[4-5]。肖伟等人在忽略环境湿度影响的条件下对蜂窝纸板疲劳振动后的承载性能等缓冲特性进行了研究^[6], 并利用有限元软件, 从原纸的角度分析了其缓冲

收稿日期: 2013-08-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51205167)

作者简介: 孙中振(1989-), 男, 山东枣庄人, 江南大学硕士生, 主攻运输包装方向。

通讯作者: 王军(1982-), 男, 安徽巢湖人, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为包装动力学。

性能^[7-8]。还有一些文献主要研究了蜂窝纸板振动传递的性能,并对其建模以探讨纸板缓冲减振性能^[9-11]。Guo Y F 等人对不同厚度的蜂窝纸板进行了一系列的冲击振动实验,研究纸板的振动吸收以及振动传递率,并且获得了不同厚度的蜂窝纸板的动态缓冲曲线的经验公式和特性系数^[12-13]。E Y P, Wang Z W 通过对不同型号的纸质缓冲包装材料一系列的相关实验,探究其在不同相对湿度条件下的能量吸收特性^[14-15]。

文中是对过去蜂窝纸板振动实验研究的补充,在不同环境湿度下,研究疲劳振动对蜂窝纸板的剩余承载力、缓冲系数、能量吸收曲线等缓冲性能的影响。

1 试验

1.1 材料与仪器设备

试验采用的材料为单层蜂窝纸板,规格为 200/170/200,厚度为 30 mm 和 50 mm 等 2 种。按标准取边长为 150 mm 的方形试样,并将其放入恒温恒湿箱内,保持环境温度为 23 ℃,环境相对湿度分别取 50%, 70%, 90%, 预处理足够长的时间(按标准一般取 24 h 以上)。

采用的仪器设备包括振动试验台、恒温恒湿箱、万能材料试验机、加速度传感器(型号为 CA-YD-127)、INV306D 智能信号采集处理分析仪(由东方所生产),最后通过激励自触发方式对数据进行采集、存储以及分析。

1.2 试验方法

1) 纸板疲劳振动。根据已有道路运输车辆实测结果表明,汽车的运输振动频带在 0 ~ 50 Hz,为避免共振,选取 5 Hz 的振动频率。根据蜂窝纸板常用的最小缓冲系数对应的静应力为 4 ~ 12 kg,因此选取施加的质量块为 8 kg。根据道路实际运输状况设定加速度为 0.5 g,振动次数分别为 0, 10 000, 30 000, 50 000 次。

2) 分别测量不同振动次数后的蜂窝纸板的厚度。

3) 最后进行准静态压缩试验。采用固定压头连续加载,设置加载速度为 12 mm/min。

2 结果与分析

2.1 塑性形变

对 3 组试样进行不同程度的疲劳振动后,其外形

都有细微的变化,产生了塑性形变。试验中通过载荷加载的方式模拟产品包装件。结果发现,纸板的塑性形变和纸板环境湿度、疲劳振动次数之间的关系见图 1。

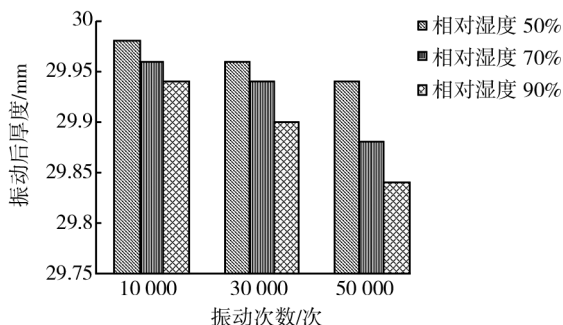


图1 疲劳振动次数与环境湿度对蜂窝纸板形变的影响

Fig. 1 Effect of vibration number and humidity on plasticity deformation of honeycomb paperboard

结果表明,蜂窝纸板的塑性变形随着湿度和振动次数的增加而增大。当湿度很小时,纸板塑性形变几乎不受疲劳振动次数的影响。反之,增加疲劳振动次数对蜂窝纸板的塑性变化影响很大。保持振动频率和振动次数不变时,蜂窝纸板的塑性变形与湿度的改变有很大的关系。

2.2 疲劳振动次数及环境湿度对蜂窝纸板缓冲系数的影响

静态缓冲系数是材料缓冲性能的重要参数之一。蜂窝纸板在受到多次疲劳振动后,其缓冲系数也有所改变,结果见图 2。不同湿度环境处理后,蜂窝纸板缓冲系数见图 3。

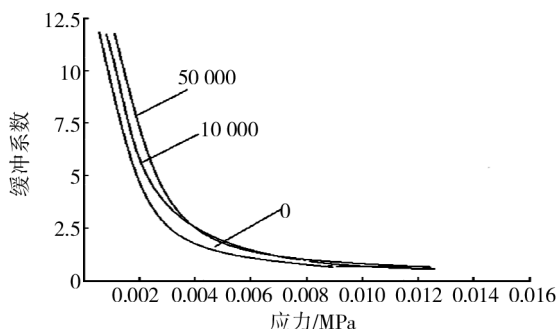


图2 振动次数对缓冲系数的影响

Fig. 2 Effect of numbers of vibration on cushioning coefficient

结果表明,在小应变情况下,纸板的疲劳振动次数对缓冲系数的影响较大,并且随着振动次数的增加而逐渐增大,而湿度对缓冲系数几乎没有影响;在大应变情况下,纸板缓冲系数几乎不受疲劳振动次数影

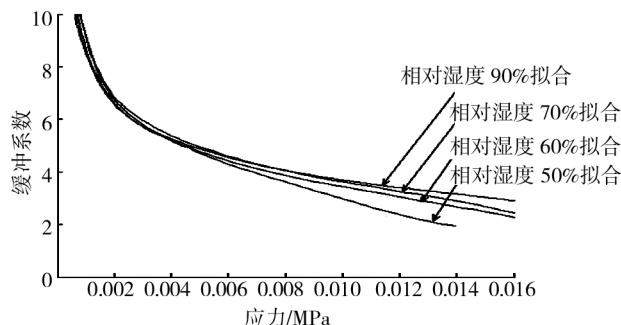


图3 湿度对蜂窝纸板缓冲系数的影响

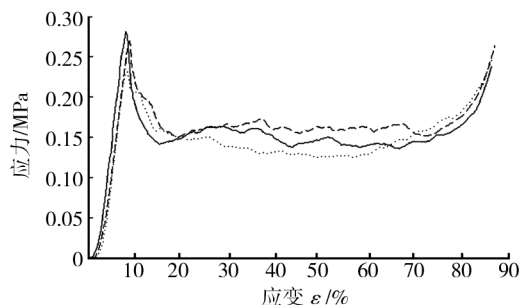
Fig. 3 Effect of humidity on cushioning coefficient

响,而受到湿度影响较大,且随湿度的增加而逐渐增大。

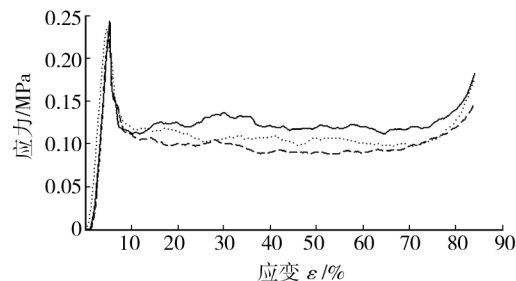
2.3 疲劳振动次数对纸板剩余承载力的影响

对3组纸板试样进行不同程度的疲劳振动试验后,取振动次数为10 000次、50 000次以及没有经过疲劳振动的蜂窝纸板在万能材料试验机上进行静态压缩试验,以探究纸板承载能力随疲劳振动次数的变化规律,结果见图4-5。

— 振动次数 $N=0$ --- 振动次数 $N=10\,000$ 振动次数 $N=50\,000$



a 蜂窝纸板厚度为30 mm



b 蜂窝纸板厚度为50 mm

图4 不同振动次数下纸板的应力应变曲线

Fig. 4 Effect of vibration number on stress-strain of honeycomb fiberboard

由图4可以看出,蜂窝纸板的屈服应力随着疲劳振动次数的增加而减小(未进行疲劳振动的纸板屈服应力为0.28 MPa,而疲劳振动次数为50 000次后的

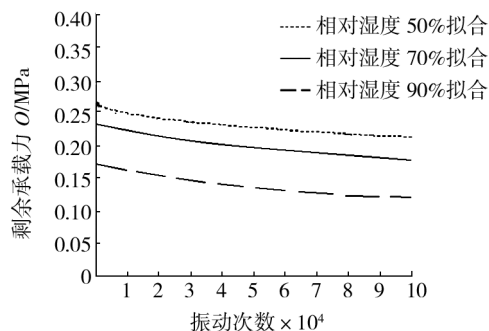


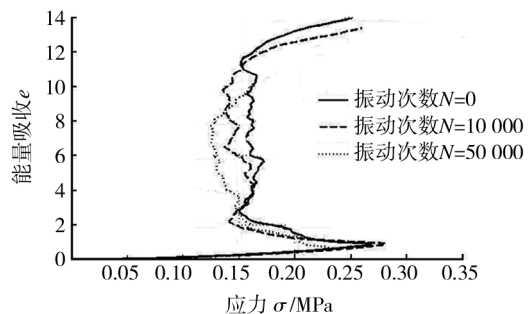
图5 不同湿度处理后振动次数对蜂窝纸板屈服应力的影响

Fig. 5 Effect of numbers of vibration on stress-strain of honeycomb fiberboard during different humidity test

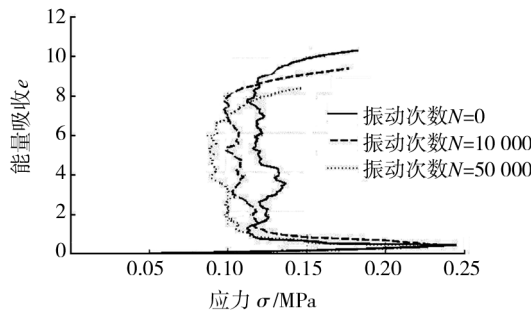
屈服应力降为0.23 MPa,下降了17.86%),而疲劳振动次数对蜂窝纸板平台应力的影响不显著。图5结果显示,试样的承载能力随着疲劳振动次数的增加而减弱,并且剩余屈服力随着湿度的增大而降低,且下降速度逐渐增大。

2.4 振动次数对蜂窝纸板能量吸收的影响

蜂窝纸板在多次振动后,能量吸收能力也会受到影响,分别对30 mm厚与50 mm厚的纸板进行振动10 000、50 000次后,测试蜂窝纸板负载曲线,然后用Matlab模拟静态能量吸收曲线,见图6。



a 蜂窝纸板厚30 mm



b 蜂窝纸板厚50 mm

图6 振动次数对蜂窝纸板能量吸收的影响

Fig. 6 Effect of numbers of vibration on energy absorption

结果表明,蜂窝纸板能量吸收能力随着疲劳振动

次数的增加逐渐减弱。在小应力情况下,疲劳振动次数对其能量吸收能力影响不大,当纸板所受到的应力趋于稳定后,能量吸收能力迅速增强,之后趋于缓慢增强。

3 结语

通过对蜂窝纸板进行疲劳振动实验,结果表明蜂窝纸板的塑性变形量随着振动次数的增加而不断增大,再对其进行了准静态压缩实验,探究了蜂窝纸板的承载力、剩余屈服力、缓冲系数和能量吸收能力与振动次数和湿度间的关系,为蜂窝纸板在缓冲包装上的应用提供依据,同时蜂窝纸板塑性变形后的一系列性能研究对纸板的回收再利用也提供了一定的理论基础。

参考文献:

- [1] 王保升,张丽. 二次加载时蜂窝纸板的缓冲性能研究[J]. 包装工程,2011,32(15):62-65.
WANG Bao-sheng, ZHANG Li. Research on Cushioning Performance of Honeycomb Paperboard under the Second Load[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15): 62-65.
- [2] 王军,卢立新,王军. 基于湿度影响的蜂窝纸板静态压缩能量吸收图[J]. 包装工程,2011,32(1):5-7,17.
WANG Jun, LU Li-xin, WANG Jun. Energy Absorption Diagrams of Honeycomb Paperboards under Static Compression in Different Relative Humidity[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(1): 5-7, 17.
- [3] 王军,卢立新. 蜂窝纸板面内平台应力表征[J]. 工程力学,2012,29(8):354-359,365.
WANG Jun, LU Li-xin. Characterization of In-plane Plateau Stress For Honeycomb Paperboard[J]. Engineering Mechanics, 2012, 29(8): 354-359, 365.
- [4] 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.
- [5] WANG Dong-mei. Impact Behavior and Energy Absorption of Paper Honeycomb Sandwich Panels[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 36(1):110-114.
- [6] 肖伟,李大纲,徐朝阳. 疲劳振动对蜂窝纸板承载力和缓冲性能的影响[J]. 包装工程,2009,30(1):15-17,21.
XIAO Wei, LI Da-gang, XU Zhao-yang. Influence of Fatigue Vibration on the Load Capacity and Cushion Performance of Honeycomb Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 15-17, 21.
- [7] 张文峰,张安宁. 基于 ANSYS 8.0 的蜂窝纸板力学性能研究[J]. 包装工程,2006,27(2):57-58.
ZHANG Wen-feng, ZHANG An-ning. Research on Static Properties of Honeycomb Paperboard based ANSYS 8.0[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 57-58.
- [8] 郭彦峰,辛成龙,许文才,等. 蜂窝纸板结构平压性能有限元分析[J]. 包装工程,2009,30(1):34-35,40.
GUO Yan-feng, XIN Chen-long, XU Wen-cai, et al. Finite Element Analysis on Flat Crush Property of Honeycomb Paperboard Structure[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 34-35, 40.
- [9] 郭彦峰,朱大鹏,陈西发,等. 蜂窝纸板振动传递特性测试分析[J]. 包装工程,2003,24(1):12-13,31.
GUO Yan-feng, ZHU Da-peng, CHEN Xi-fa, et al. Test and Analysis of Vibration Transmissibility of Honeycomb Paperboards[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(1): 12-13, 31.
- [10] 姜久红,王志伟. 蜂窝型缓冲包装系统的振动特性分析[J]. 湖北工业大学学报,2006(3):18-20.
JIANG Jiu-hong, WANG Zhi-wei. The Research on the Vibration Characteristics for Honeycomb Paperboard Cushioning Packag Sestem[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2006(3): 18-20.
- [11] 朱大鹏,赵跃利. 蜂窝纸板振动传递特性的试验研究与建模[J]. 兰州交通大学学报,2012,4:78-81.
ZHU Da-peng, ZHAO Yue-li. Experimental Study and Modeling of Vibration Transmissibility Properties of Honeycomb Fibreboard[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2012, 4: 78-81.
- [12] GUO Yan-feng, ZHANG J H. Shock Absorbing Characteristics and Vibration Transmissibility of Honeycomb Paperboard[J]. Shock and Vibration, 2004, 11(5/6):521-531.
- [13] GUO Yan-feng, XU Wen-cai, FU Yun-gang. Dynamic Shock Cushioning Characteristics and Vibration Transmissibility of X-PLY Corrugated Paperboard[J]. Shock And Vibration, 2011, 18(4): 525-535.
- [14] 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.
- [15] WANG Zhi-wei, E Yu-ping. Energy Absorption Properties of Multi-layered Corrugated Paperboard in Various Ambient Humidities[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 32(6):3476-3485.