

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2012.01.003

蜂窝纸板动态缓冲特性的试验研究

张宇^{1,2}, 王志伟^{1,2}

(1. 暨南大学 产品包装与物流广东普通高校重点实验室, 广东 珠海 519070;
2. 暨南大学 包装工程研究所, 广东 珠海 519070)

摘要: 基于跌落冲击试验, 分析了3种不同的蜂窝纸板在0.3, 0.6, 0.9 m高度下的动态冲击曲线, 并建立了其能量吸收图。试验结果表明: 随着厚跨比的增大, 蜂窝纸板的最佳能量吸收点向右上方偏移, 其单位体积吸收能量的能力增强; 当完全压溃后, 蜂窝纸板的最佳能量吸收点不随冲击高度的变化而改变。

关键词: 蜂窝纸板; 动态缓冲特性; 能量吸收图

中图分类号: TB485.1; TB302.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2012)01-0009-04

Experimental Research on Dynamic Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard

Zhang Yu^{1,2}, Wang Zhiwei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Product Packaging and Logistics of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Zhuhai Guangdong 519070, China;
2. Packaging Engineering Institute, Jinan University, Zhuhai Guangdong 519070, China)

Abstract: Based on drop impact experiments, the dynamic impact curves of three different honeycomb paperboards from 0.3, 0.6, 0.9 m height were analyzed, and its energy absorption diagram was established. The experimental results showed that the best energy absorption points shifted to the upper right with the increasing thickness to length ratio of honeycomb cardboard, and the energy absorption capacity per unit volume increased; the best energy absorption points did not change with impact height while fully crushed.

Key words: honeycomb paperboard; dynamic cushioning properties; energy absorption diagram

0 引言

蜂窝纸板是一种粘弹性缓冲包装材料, 具有优良的缓冲防振性能。由于其具有质量轻、强度高、承重大等优点, 而被广泛地应用于包装、建筑、交通运输等领域^[1]。运输过程中, 作为产品包装材料的蜂窝纸板, 主要通过吸收冲击和振动所引起的能量而

达到保护产品的目的。

L. J. Gibson 等^[2]提出的实验与物理模型相结合的能量吸收图法, 是表征蜂窝纸板材料缓冲性能的经验方法。D. Ruan 等^[3]、Z. Zou 等^[4]和 Z. Zheng 等^[5]通过数值计算, 研究了蜂窝纸板的能量吸收性能, 得出了蜂窝单轴受压在低、中、高3种冲击速度下的变形模式。王冬梅^[6-7]基于纸蜂窝夹层结构的压缩试

收稿日期: 2011-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50775100), 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(21611360, 21611460)

作者简介: 张宇(1988-), 男, 安徽阜阳人, 暨南大学硕士生, 主要研究方向为运输包装, E-mail: jnupezy@163.com;

通信作者: 王志伟(1963-), 男, 江苏无锡人, 暨南大学教授, 博士, 主要从事运输包装, 食品与药品包装方面的研究,

E-mail: wangzw@jnu.edu.cn

验,并考虑孔穴结构因素的影响,构建了其能量吸收图,得出随着蜂窝胞壁厚度与长度比值的增加,蜂窝纸板的能量吸收性能将随之增大的结论;王志伟等^[8]采用分段函数的方法,建立了静态压缩条件下,纸蜂窝能量吸收与环境湿度及蜂窝结构参数之间的关系模型,并与具体的试验结果进行比较,验证了模型的可靠性。

为了研究蜂窝纸板的能量吸收特性,本文拟在已有研究的基础上,探讨3种蜂窝纸板在0.3, 0.6, 0.9 m 3个高度下的动态冲击曲线,建立其能量图,并对试验结果进行分析。

1 试验

1.1 试验材料

纸蜂窝芯试样的厚度为40 mm,且为正六边形结构,其六角形胞壁定量为105 g/m²,相应的蜂窝胞壁厚度为0.19 mm;其面纸为定量为160 g/m²的箱板纸,蜂窝芯的类型分别为A型、AB型和B型(对应的蜂窝胞壁边长分别为5.8, 7.2, 8.7 mm)。3种蜂窝纸板的主要结构参数如表1所示,其中PA-105A/160K-40表示由定量为105 g/m²的瓦楞原纸制成的A孔蜂窝芯,裱覆定量为160 g/m²的牛皮纸所得的厚度为40 mm的蜂窝纸板。

表1 3种蜂窝纸板主要结构参数

Table 1 Main structure parameters of 3 kinds of honeycomb paperboard

试样类型	蜂窝芯类型	蜂窝面纸类型	T/mm	t/mm	l/mm	厚跨比 t/l
PA-105A/160K-40	105A	160K	40	0.19	5.8	0.032 8
PA-105AB/160K-40	105AB	160K	40	0.19	7.2	0.026 4
PA-105B/160K-40	105B	160K	40	0.19	8.7	0.021 8

注: T为蜂窝纸板厚度, t为蜂窝胞壁厚度, l为蜂窝胞壁边长。

1.2 试验方法与处理

参考GB/T 8167—2008《包装用缓冲材料动态压缩试验方法》^[9],裁取的试样面积为100 mm×100 mm。试验前将蜂窝纸板试样在标准环境条件^[10](23℃,相对湿度50%)下处理24 h以上。

标准环境下测得的试验用蜂窝纸板芯纸的弹性模量 $E_{s0}=0.244 2$ GPa。采用落锤冲击试验机,型号为DYNATUP 9250 HV,由英斯特朗(上海)试验设备贸易有限公司(Instron)生产,进行测试,得到其力-位移数据,然后将其转化为应力-应变数据,最后,通过计算机编程,利用Origin程序得到蜂窝纸板的能量吸收图。

2 结果与分析

2.1 蜂窝纸板动态压缩缓冲特性分析

经落锤冲击试验,通过其应力应变曲线进行蜂窝纸板动态缓冲特性评价。在标准试验环境下,试验所得3种不同蜂窝纸板类型在不同冲击高度下的应力应变曲线如图1所示。

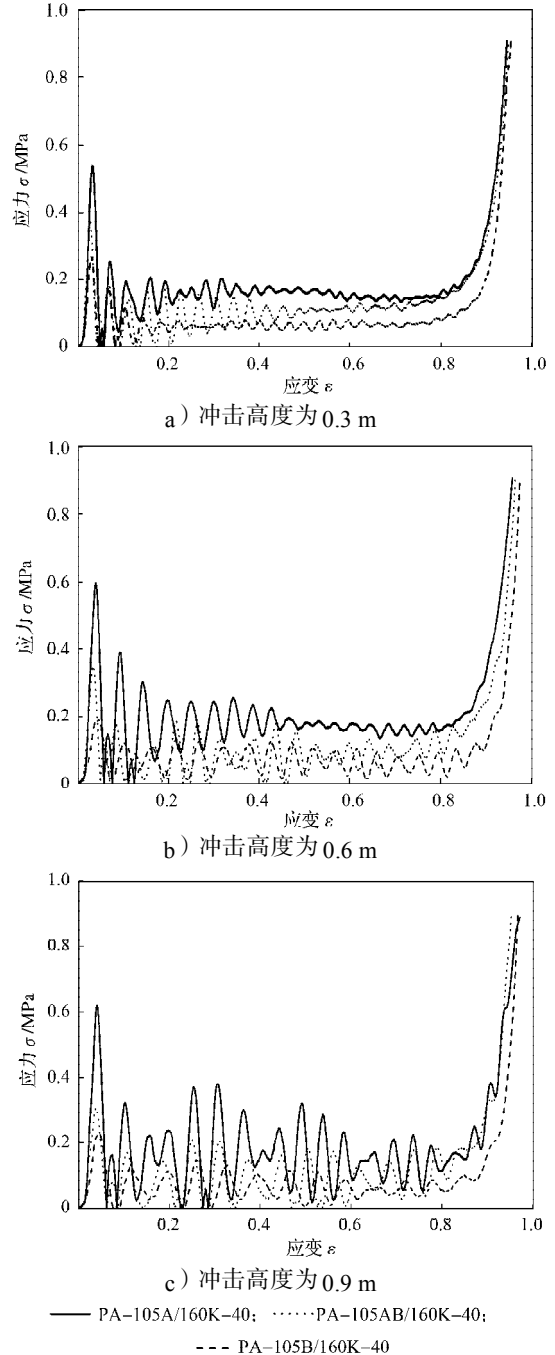


图1 蜂窝纸板在不同冲击高度下的应力-应变曲线
Fig. 1 Stress-strain curves of honeycomb paperboard with specifications under different impact height

从图1中可以看出,蜂窝纸板的动态压缩过程中,其应力-应变曲线分为线弹性阶段、弹塑性阶

段和密实化阶段 3 个明显的区段。在弹塑性阶段, 蜂窝芯的类型对其临界应力和平台应力影响较大, 且 A 孔型的平台应力最大, 其能量吸收性能也较大; 随着冲击高度的增加, 应力 - 应变曲线的抖动性越来越大, 但曲线的总体变化趋势不变。

2.2 蜂窝纸板动态压缩能量吸收图的构建

能量吸收图用来表征材料的吸能特性, 其构造过程大致为: 在缓冲材料压缩应力 - 应变曲线下, 到某一应力点 σ_p 处的面积 (即外力所做的功等于缓冲材料吸收的能量), 对应力 σ_p 作图, 并且二者通过缓冲材料的固化模量 E_{s0} 进行标准化, 所得到的曲线即为能量吸收曲线。能量吸收图是能量吸收曲线的组合。缓冲材料的能量吸收曲线上通常会出现一个肩点, 该点即为某一结构的缓冲材料在某一条件下的最佳能量吸收点。

由不同厚跨比 (蜂窝芯层胞壁厚度 t 与蜂窝芯层胞壁边长 l 之比) 蜂窝纸板在不同冲击高度条件下的动态压缩应力应变曲线, 通过计算机编程, 并利用 Origin 程序可得到其能量吸收图。

在标准环境条件下, 本试验中不同厚跨比蜂窝纸板的动态冲击能量吸收图如图 2 所示。

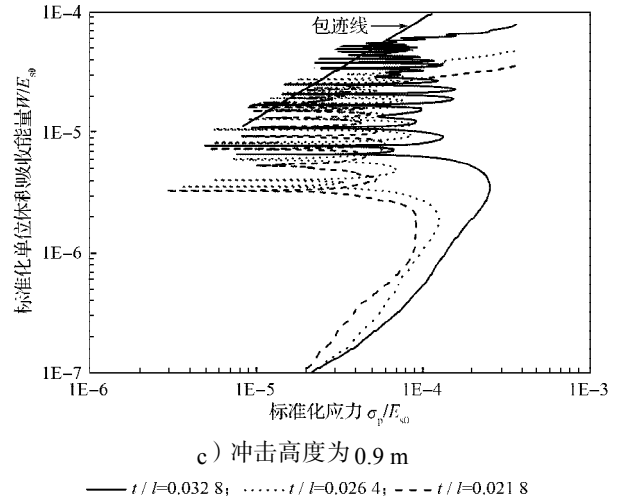
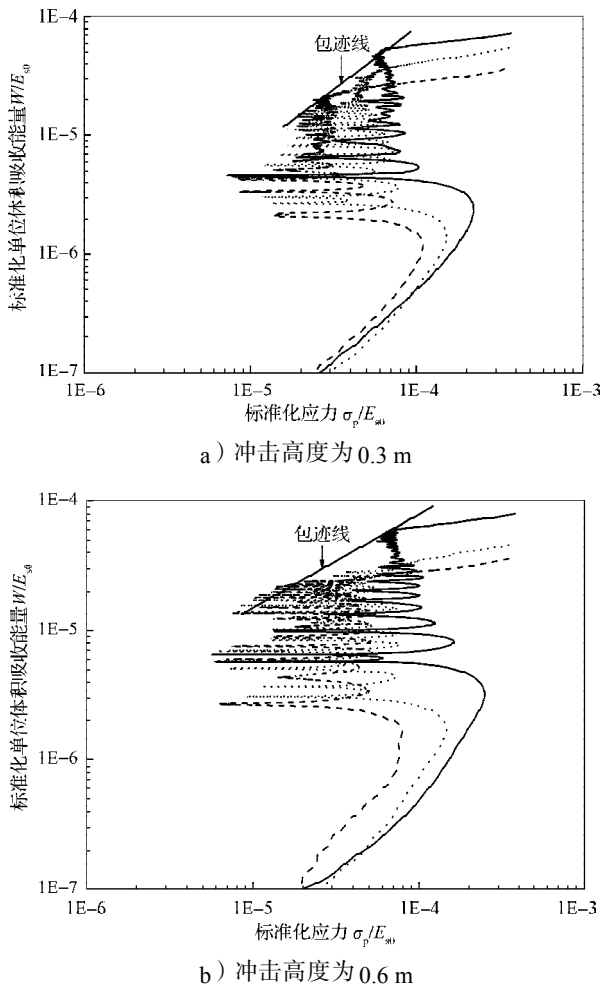


图 2 不同厚跨比蜂窝纸板的动态冲击能量吸收图
Fig. 2 Dynamic impact energy absorption diagrams of honeycomb paperboard with different thickness to length ratios

由图 2 可知: 1) 随着厚跨比逐渐增大, 蜂窝纸板最佳能量吸收点 (包迹线所连接的曲线肩点) 向右上方偏移, 这说明其单位体积吸收能量的能力增强; 2) 随着冲击高度的增加, 蜂窝纸板的能量吸收曲线抖动性增大。

研究人员在试验过程中还发现, 对于同种蜂窝纸板, 不同冲击高度的能量吸收曲线中, 其最佳吸能点基本重合, 这表明冲击高度对同种蜂窝纸板的能量吸收没有多大影响。这可从本实验中所得到如图 3 所示的标准环境下 A 型蜂窝芯的蜂窝纸板在不同冲击高度下的能量吸收图中看出来。

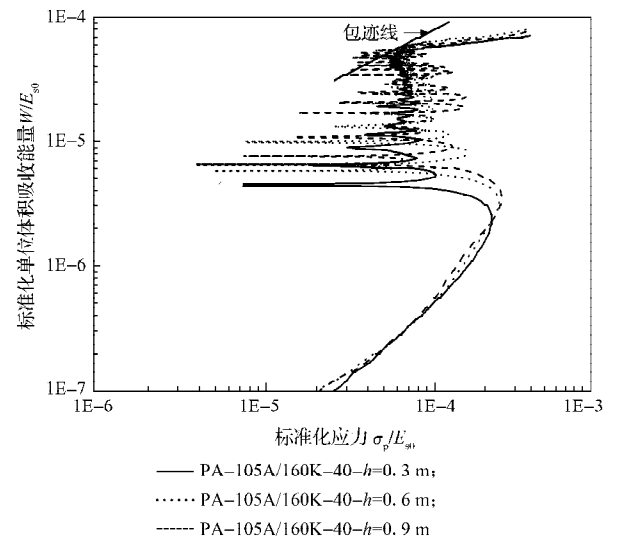


图 3 A 型蜂窝芯蜂窝纸板在不同冲击高度下的能量吸收图
Fig. 3 Energy absorption diagram of type A honeycomb paperboard with the different impact height under standard conditions

由图3还可看出,当蜂窝纸板被完全压溃后,其最佳能量吸收点不随冲击高度的变化而改变。

3 结论

通过对蜂窝纸板动态冲击试验结果进行分析,可得出如下结论:

1) 蜂窝纸板的最佳能量吸收受蜂窝芯的影响,厚跨比越大,蜂窝纸板的能量吸收性能越强,其单位体积吸收能量的能力越强;

2) 当蜂窝纸板被完全压溃后,蜂窝纸板的最佳能量吸收点不随冲击高度的变化而改变。

参考文献:

- [1] 郭彦峰,张景绘,许文才,等.蜂窝纸板及其衬垫缓冲特性研究[J].包装工程,2002,23(5):110-112.
Guo Yanfeng, Zhang Jinghui, Xu Wencai, et al. Research on the Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard and Its Cushion[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 110-112.
- [2] Gibson L J, Ashby M F. Cellular Solids: Structure and Properties[M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [3] Ruan D, Lu G, Wang B, et al. In Plane Dynamic Crushing of Honeycombs Finite Element Study[J]. International Journal of Impact Engineering, 2003, 28: 82-161.
- [4] Zou Z, Reid S R, Tan P J, et al. Dynamic Crushing of Honeycombs and Features of Shock Fronts[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(1): 165-176.
- [5] Zheng Z, Yu J, Li J. Dynamic Crushing of 2D Cellular Structures: A Finite Element Study[J]. International Journal of Impact Engineering, 2005, 32: 650-664.
- [6] Wang Dongmei. Impact Behavior and Energy Absorption of Paper Honeycomb Sandwich Panels[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(1): 110-114.
- [7] Wang Dongmei. Energy Absorption Diagrams of Paper Honeycomb Sandwich Structures[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 22(2): 63-67.
- [8] Wang Zhiwei, E Yuping. Mathematical Modeling of Energy Absorption Property for Paper Honeycomb in Various Ambient Humidities[J]. Materials and Design, 2010, 31(9): 4321-4328.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 8167—2008 包装用缓冲材料动态压缩试验方法[S].北京:中国标准出版社,2008:1-5.
The State Administration of Quality Supervision Inspection and Quarantine, China National Standardization Management Committee. GB/T 8167—2008 Dynamic Compression for Package Cushioning Materials Test Methods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-5.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 4857.2—2005 包装运输包装件基本试验 第二部分:温湿度调节处理[S].北京:中国标准出版社,2005:1-2.
The State Administration of Quality Supervision Inspection and Quarantine. GB / T 4857.2—2005 Packaging-Basic Tests for Transport Packags Part 2: Temperature and Humidity Conditioning[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005: 1-2.

(责任编辑:廖友媛)