

蜂窝结构对蜂窝纸板平压性能影响的研究

唐勇, 黄利强

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: 研究了蜂窝纸板结构对其平压性能的影响, 分析了蜂窝纸板平压强度与蜂窝半径与孔径比的理论计算模型, 将试验结果与理论模型进行了综合分析, 得出了平压强度的预测计算公式, 且预测结果与试验结果有较好的一致性。

关键词: 蜂窝结构; 平压强度; 蜂窝边长; 孔径比

中图分类号: TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0056-03

Influence of Honeycomb Structure on Flatwise Compressive Performance

TANG Yong, HUANG Li-qiang

(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Influence of honeycomb structure on flatwise compressive performance of honeycomb cardboard was studied. The theoretical calculation model of influence of side length and aperture ratio of the hexagon on flatwise compressive strength was analyzed. The prediction formulas was obtained by combining the theoretical model and test results. Result showed that the prediction formulas have good agreement with test result.

Key words: honeycomb structure; flatwise compressive strength; side length; stretching ratio

目前, 蜂窝纸板在包装领域主要用作托盘、缓冲衬垫和结构件等, 对于蜂窝纸板包装性能的研究还主要是通过实验或有限元分析, 对蜂窝纸板的压缩性能与缓冲性能进行分析^[1-4]。国外对金属蜂窝结构材料研究较多, 主要是对其共面与异面压缩特性、压缩吸能特性以及压缩机理的研究^[5-6]。

影响蜂窝纸板平压性能的因素很多, 如原纸、蜂窝结构、纸板生产工艺、环境温湿度等, 纸板的压缩、失稳、破坏机理也十分复杂^[7], 为了给产品提供充分的保护, 必须充分了解蜂窝纸板的性能。笔者在试验的基础上, 结合理论分析, 研究蜂窝纸板的结构与其平压性能的关系。

1 试验

1.1 材料

试验所用纸芯由国内企业提供, 经手工拉伸、干燥定型以及覆面纸等工序后, 制成厚度为 20 mm 的蜂窝纸板。蜂窝芯纸采用高强瓦楞原纸, 定量为 140

g/m²; 面纸采用定量为 250 g/m² 的箱板纸。蜂窝纸板取样按照 GB/T 2828 进行, 切取试样尺寸为 100 mm × 100 mm, 分别考虑蜂窝半径(6, 8, 12, 14 mm)和孔径比(0.6, 0.8, 1, 1.1)对平压强度的影响。

1.2 方法

蜂窝纸板试样按 GB/T 10739—2002 进行预处理, 处理时间在 48 h 以上。蜂窝纸板的平压强度测试方法按 GB/T 1453—2005 和 BB/T 0016—2006 进行, 加载速度为 1 mm/min。

试验设备主要有: 荣信立(天津)试验设备有限公司生产的 RTH-408ST 调温调湿箱与 Instron 万能拉伸试验机。

2 结果与讨论

2.1 蜂窝纸板的平面压缩变形

通过试验发现, 蜂窝纸板在平面压缩载荷作用下, 其压溃总是首先发生在靠近面纸的位置, 一般约

为靠近面纸的 $\frac{1}{5} \sim \frac{2}{5}$ 处,与文献[8]与[9]描述吻合,且其压溃点大多在压缩变形约为 1 mm 处出现。

2.2 结构对蜂窝纸板平压强度影响的理论分析

蜂窝纸板所能承受的平压强度,即在垂直于蜂窝纸板面纸方向上,压溃单位面积蜂窝纸板的最大压力。由相关文献与试验可知,蜂窝纸板所能承受的力是由蜂窝纸板面内所有蜂窝壁共同作用的结果,且其与蜂窝原纸抗压性能存在良好的线性关系,因此,可以认为单位面积蜂窝纸板的平压强度与该面积内的蜂窝壁总长成正比。

蜂窝结构见图 1, c 为正六边形蜂窝边长,孔径比

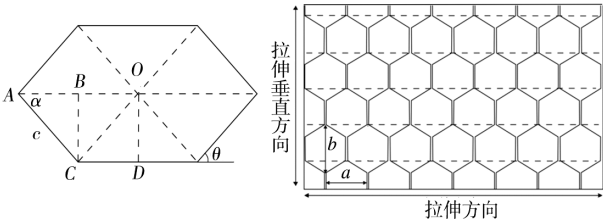


图 1 蜂窝结构
Fig. 1 Honeycomb structure

i 反映蜂窝纸芯拉伸程度,用蜂窝孔距与蜂窝内径之比表示,即 $i = \frac{\alpha}{\sqrt{3}c}$ 。在不同蜂窝边长与孔径比情况下,有:

$$\alpha = \arcsin \frac{\sqrt{3}i}{2} \quad (1)$$

若正方形蜂窝纸板面积为 A ,则该纸板中可容纳蜂窝个数 N 为:

$$N = \frac{A}{c^2 \sqrt{3}i + \frac{3c^2 i^2}{2 \tan\left(\arcsin \frac{\sqrt{3}i}{2}\right)}} \quad (2)$$

蜂窝壁总长度 L :

$$L = 4cN = \frac{4cA}{c^2 \sqrt{3}i + \frac{3c^2 i^2}{2 \tan\left(\arcsin \frac{\sqrt{3}i}{2}\right)}} \quad (3)$$

如前所述可知,平压强度与支撑壁的长度呈线性关系,因此引入系数 k ,可以得到平压强度与蜂窝纸板蜂窝边长与孔径比的理论计算模型如下:

$$\sigma = \frac{k}{c \sqrt{3}i + \frac{3ci^2}{2 \tan\left(\arcsin \frac{\sqrt{3}i}{2}\right)}} \quad (4)$$

2.3 蜂窝边长对蜂窝纸板平压强度的影响

蜂窝半径分别为 6, 8, 12, 14 mm,孔径比取 1 时的蜂窝纸板平压强度见表 1。

表 1 蜂窝半径对蜂窝纸板平压强度的影响

Tab. 1 Influence of honeycomb radius on flatwise compressive strength of honeycomb cardboard				
蜂窝半径/mm	6	8	12	14
平压强度/MPa	0.409	0.330	0.174	0.139

取 $i=1$ 代入式(4),可得:

$$\sigma = \frac{k}{\frac{3\sqrt{3}}{2}c} \quad (5)$$

通过系数合并,引入新的系数 K_c ,平压强度的理论计算公式可简化为:

$$\sigma = \frac{K_c}{c} \quad (6)$$

将测试结果代入式(6)可以得出系数 K_c ,并取其平均值,见表 2。

表 2 蜂窝纸板 K_c 值

Tab. 2 K_c of honeycomb cardboard				
蜂窝半径/mm	6	8	12	14
K_c	6.38	6.86	5.44	5.04
K_c 均值	5.93			

可以由试验数据得出平压强度的综合分析模型:

$$\sigma = \frac{5.93}{c} \quad (7)$$

由式(7)可以看出,平压强度与蜂窝边长呈反比,根据分析可以得出理论平压强度与测试平压强度,见图 2。2 条曲线近似,均呈下降趋势,且随着蜂窝半径

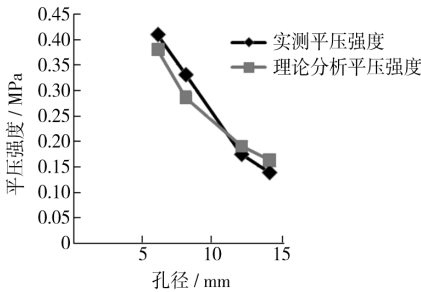


图 2 蜂窝半径对蜂窝纸板平压强度的影响
Fig. 2 Influence of honeycomb radius on flatwise compressive strength of honeycomb cardboard

的增大,下降趋势逐渐趋于平缓。

2.4 蜂窝纸板孔径比对平压强度的影响

孔径比为 0.6,0.8,1.0,1.1,蜂窝边长为 8 mm 的蜂窝纸板的平压强度见表 3。

表 3 孔径比对蜂窝纸板平压强度的影响

Tab.3 Influence of aperture ratio on flatwise compressive strength of honeycomb cardboard

孔径比	0.6	0.8	1.0	1.1
平压强度/MPa	0.480	0.366	0.339	0.321

将 $c=8$ 代入理论计算模型式(4),可以得出平压强度与孔径比的关系:

$$\sigma=\frac{\frac{K}{4}}{2\sqrt{3}i+\frac{3i^2}{\tan\left(\arcsin\frac{\sqrt{3}i}{2}\right)}}\tag{8}$$

$K/4$ 为常数,将其合并为系数 K_i ,则:

$$\sigma=\frac{K_i}{2\sqrt{3}i+\frac{3i^2}{\tan\left(\arcsin\frac{\sqrt{3}i}{2}\right)}}\tag{9}$$

将试验测试结果代入式(9)得出系数 K_i ,并取其平均值,见表 4。

表 4 蜂窝纸板 dK_i 值

Tab.4 dK_i of honeycomb cardboard

孔径比	0.6	0.8	1.0	1.1
K_i	1.850	1.745	1.716	1.594
K_i 均值	1.726			

因此式(9)可改写成:

$$\sigma=\frac{1.726}{2\sqrt{3}i+\frac{3i^2}{\tan\left(\arcsin\frac{\sqrt{3}i}{2}\right)}}\tag{10}$$

根据分析,可以得出理论分析平压强度与测试平压强度曲线,见图 3。

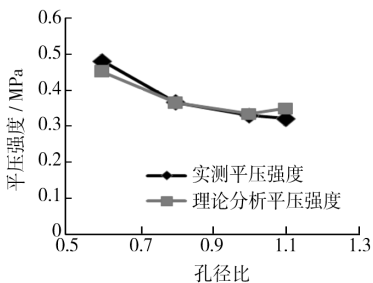


图 3 孔径比对蜂窝纸板平压强度的影响

Fig. 3 Influence of aperture ratio on flatwise compressive strength of honeycomb cardboard

在图 3 中,二曲线总体呈下降的趋势,且拟合程度较高。

3 结论

理论与试验分析了蜂窝纸板结构因素对其平压强度性能的影响,得出了不同蜂窝边长和不同孔径比时蜂窝纸板平压强度的预测模型,且预测结果与试验数据具有较好的拟合性。

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 Yan-feng, ZHANG Jing-hui, XU Wen-cai, et al. Research on the Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard and Its Cushion[J]. Packaging Engineering, 2002,23(5):110—112.

[2] 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—40.
GUO Yan-feng, XIN Cheng-long, XU Wen-cai, et al. Finite Element Analysis on Flat Crush Property of Honeycomb Paperboard Structure[J]. Packaging Engineering, 2009,30(1):34—40.

[3] 王梅. 蜂窝纸板缓冲性能的研究及应用[J]. 包装工程,2000,21(4):5—12.
WANG Mei. The Research of the Honeycomb Fibre-board Cushioning Performance and the Application[J]. Packaging Engineering,2000,21(4):5—12.

[4] 孙亚平,卢立新,蔡和平. 纸蜂窝结构平压性能的实验研究[J]. 包装工程,2003,24(1):14—15.
SUN Ya-ping, LU Li-xin, CAI He-ping, et al. A Study to the Strength to the Paper Honeycomb Core under Axial Compression[J]. Packaging Engineering,2003,24(1):14—15.

[5] YOSHIKAKI Yasui. Dynamic Axial Crushing of Multi-layer Honeycomb Panels and Impact Tensile Behavior of the Component Members[J]. International Journal of Impact Engineering,2000(24):659—671.

[6] GIBSON L J, ASHBY M F. Cellular Solids: Structure and Properties(Second Edition)[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1997.

[7] 李厚民,熊健民,朱若燕,等. 蜂窝纸板力学性能的试验研究[J]. 中国机械工程,2006,17(8):147—148.

4 结论

印刷图像的质量评价,由于算法模型、图像采集速度、采集条件、计算速度等方面的限制,还没有实现在线实时的图像质量检测。借鉴电子图像工业中的结构相似度方法,研究了印刷硬拷贝图像的质量评价方法,初步得出了在硬拷贝图像评价时各图像属性的权重,对比分析了 MSE,PSNR,SSIM 模型在印刷图像评价时的性能,结果表明,结构相似度模型(SSIM)具有较好的性能,希望能够对印刷品在线检测提供借鉴。

参考文献:

- [1] 朱大龙, 明军. 基于结构失真的图像质量评价方法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2006(3): 56—57.
ZHU Da-long, MING Jun. Research of Image Quality Assessment Based on Structural Distortion[J]. Computer Technology and Development, 2006(3): 56—57.
- [2] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity[J]. Image Processing IEEE Transactions on, 2004, 13(4): 600—612.
- [3] PEDERSEN Marius, ZHENG Yuan-lin, HARDEBERG Jon Yngve. Evaluation of Image Quality Metrics for Color Prints[C]. //17th Scandinavian Conference on Image Analysis, SCIA, Ystad, Sweden: Springer Verlag, 2011: 317—326.
- [4] 赵海玉, 谷吉海, 迟广志, 等. 基于图像处理的卷烟圆周检测方法研究[J]. 包装工程, 2011, 32(17): 52—55.
ZHAO Hai-yu, GU Ji-hai, CHI Guang-zhi, et al. Development of Cigarette Circumference Detection Method Based on Image Processing [J]. Packaging Engineering,

2011, 32(17): 52—55.

- [5] 梁菊华. 网点形状对图像复制质量影响的实验研究[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 108—110.
LIANG Ju-hua. Experimentation on Influences of Dot Shape on Image Quality [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 108—110.
- [6] 王毅, 李延雷, 胡大勇. 图像 Inpainting 技术原理及在包装印刷图像处理中的应用[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 102—104.
WANG Yi, LI Yan-lei, HU Da-yong. Theory of Image Inpainting and Its Application in Packaging and Printing [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 102—104.
- [7] 姚军财. 基于人眼视觉特性的印刷图像压缩技术研究[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 69—72.
YAO Jun-cai. Compression Technology of Printed Image Based on Human Vision Characteristics [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 69—72.
- [8] 刘晓燕, 于惠韵, 张菲. 基于包装外观特征图像内容检索方法研究[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 125—127.
LIU Xiao-yan, YU Hui-jun, ZHANG Fei. The Research of Content-based Character Image Retrieval Based on the Packaging External Appearance [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 125—127.
- [9] 陈万军, 陈亚军, 何怡. 基于兴趣点特征匹配的印刷图像缺陷检测[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 22—23.
CHEN Wan-jun, CHEN Ya-jun, HE Yi. Defect Detecting of Printing Matter Based on Interest Points Feature Matching [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 22—23.
- [10] 黄惠芬. DWT 域中基于幻方置乱的稳健图像水印算法[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 102—105.
HUANG Hui-fen. Robust Image Watermark Algorithm Based on Magic Square Scrambling in DWT Field [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 102—105.

(上接第 58 页)

- LI Hou-min, XIONG Jian-min, ZHU Ruo-yan, et al. Experimental Research on Mechanical Properties of Honeycomb Paperboard[J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(8): 147—148.
- [8] 彭键林, 尹志宏, 宋俊杰. 基于 ANSYS 的蜂窝纸板静压特性研究[J]. 机械, 2007, 34(10): 31—33.
PENG Jian-lin, YIN Zhi-hong, SONG Jun-jie. Research on Static Compression Performance of Honeycomb Pa-

perboard Based on ANSYS [J]. Machinery, 2007, 34(10): 31—33.

- [9] 李鹏芳, 张珏, 卢朝晖, 等. 蜂窝纸板静态压缩试验研究及其模拟分析[J]. 包装工程, 2010, 31(1): 34—41.
LI Peng-fang, ZHANG Jue, LU Zhao-hui, et al. Static Compression Test and Simulation Analysis of Honeycomb Paperboard [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 34—41.