

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2013.01.007

# 蜂窝纸板折叠回弹特性研究

李娟, 谢勇, 刘传永

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 以回弹力作为蜂窝纸板易折叠性能的评价指标, 设计了一种测试回弹力的方法。试验结果表明: 随着压痕深度的增加, 回弹力呈现先降后升的趋势; 当压痕深度与纸芯厚度相等或比纸芯厚度稍大时, 回弹力最小, 此时蜂窝纸板保持压折状态的能力最好; 对于孔径为 6, 15, 20 mm 的蜂窝纸板, 钢刀刃口半径分别为 1.0, 1.5, 2.0 mm 时, 其回弹力最小, 故应随着蜂窝孔径的变化而调节压痕钢刀刃口半径, 随着蜂窝孔径的增大, 压痕钢刀刃口半径也应相应地增大。

**关键词:** 蜂窝纸板; 回弹力; 压痕深度

中图分类号: TB484.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2013)01-0031-04

## Study of Folding Resilience of Honeycomb Paperboard

Li Juan, Xie Yong, Liu Chuanyong

(School of Packaging and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** A method is designed to test the resilience force by using it as the evaluation indicator of folding performance of honeycomb carton. The test results show with the increasing of the creasing depth, the resilience increases firstly and then decreases. When the creasing depth is equal to or thicker than core paper thickness, the resilience force is minimal; the ability of honeycomb paperboard is the best for staying in the state of creasing and folding position. For honeycomb paperboards with apertures of 6, 15, 20 mm, when the creasing rule radius are 1, 1.5, 2 mm respectively, the resilience is minimal. Therefore the creasing rule radius should be adjusted with the aperture sizes. The creasing rule radius should increase appropriately with the increasing of the honeycomb paperboard aperture size.

**Key words** honeycomb paperboard; resilience; creasing depth

蜂窝纸板具有质量小、平压强度高、抗压能力强等优点, 但目前其在包装行业的应用还远不及瓦楞纸板广泛。蜂窝纸箱通常采用蜂窝纸板与护角组装成型, 相较折叠成型的瓦楞纸箱, 其生产效率、生产成本、使用便利性等均不具优势<sup>[1]</sup>。要改变这一现状, 需提高蜂窝纸板的生产效率, 生产厚度小于 5 mm 的蜂窝薄板, 并采用类似瓦楞纸箱的压痕折叠成型

方式。

不少蜂窝纸板生产企业均已完成蜂窝薄板的开发与生产, 但对其进行压痕折叠成型加工尚缺乏基础数据。为此, 本文针对蜂窝纸板压痕折叠成型工艺的应用, 从影响纸箱保形性的纸板回弹力入手, 通过试验着重研究了压痕工艺的基本参数(压痕深度、压痕刀刃半径)对蜂窝纸板回弹力的影响, 为蜂窝

收稿日期: 2012-11-03

基金项目: 中央财政包装行业高新技术研发基金资助项目(湘财企指[2008]155), 国家自然科学基金资助项目(61170101)

作者简介: 李娟(1989-), 女, 湖南衡阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为产品包装安全与环境,

E-mail: lj0734@qq.com

纸板压痕折叠成型工艺参数的设定及相关设备的制造提供理论依据。

## 1 试验

### 1.1 试验原理

蜂窝纸板的压痕可以看做是一种局部受力的压缩。压痕刀施加到蜂窝纸板上的力不仅要使蜂窝芯屈曲,同时还要使蜂窝纸板凹陷进压痕底模中,形成一条清晰规整的压痕线。

蜂窝纸板的折叠采用单边固支薄板的弯曲实现,以压痕试验中产生的压痕线为弯曲转轴,在自由端施加集中载荷,以克服蜂窝纸板的抗弯矩力,使其产生折叠弯曲<sup>[2]</sup>。

为了评估纸板经压痕折叠成型后保持折叠后状态的能力,引入蜂窝纸板折叠回弹力的概念。压痕折叠后的蜂窝纸板试样沿压痕线压折至 $90^\circ$ ,并保持1 min,松开后,蜂窝纸板具有恢复成平板状的趋势,将造成这种趋势的力定义为蜂窝纸板的折叠回弹力,简称回弹力。回弹力越小,说明纸板恢复成平板状的趋势越弱,成箱后蜂窝纸箱保持预设折叠状态的保形性越好。

### 1.2 仪器与装置

微机控制万能(拉力)试验机(cmt4104),深圳新三思公司生产;DS2-200N数显推拉力计,深圳市博瑞仪器仪表有限公司生产;纸板压痕辅助测试装置,自制,其设计参考了文献[3]。

### 1.3 制样

为尽可能降低非变量因素对蜂窝纸板性能造成的影响,试验中蜂窝纸板均采用手工自制,尽量保证蜂窝纸板试样中非变量因素的一致性,制作方法参考了文献[4]和文献[5]。试样经温度为 $23^\circ\text{C}$ 、相对湿度为50%的恒温恒湿箱中处理24 h后,进行压痕折叠试验,并随后立即对试样进行折叠回弹力的测试,尽量减少外界环境因素对试验造成的干扰。

试验中,试样的标识方法为:H-d-t。其中,H代表六边形蜂窝纸板,d表示蜂窝孔径,t表示蜂窝纸芯的厚度。如纸板试样H-10-5表示蜂窝孔径为10 mm,纸芯厚度为5 mm的正六边形蜂窝纸板。由于面纸厚度为0.4 mm,故纸板的厚度为纸芯的厚度加上两层面纸的厚度,即5.8 mm。

试样尺寸大小为 $220\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ ,其几何模型及试样的纵横向定义如图1所示,其中,MD(machine direction)为纸板纵向、机械制造方向,即芯条拉伸方向,CD(crossed-machine direction)为纸板横向,与机械方向垂直。

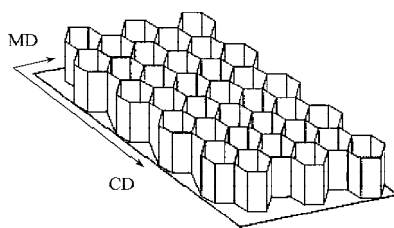


图1 蜂窝纸板 MD 方向和 CD 方向示意图

Fig. 1 The honeycomb cardboard MD direction and CD direction schematic diagram

### 1.4 压痕工艺参数的设定

参考瓦楞纸板的压痕参数来确定蜂窝纸板的各压痕模参数。压痕刀模如图2所示,其中, $a$ 为两压痕底模之间的间隙宽度,也即压痕槽宽; $b$ 为压痕底模的厚度; $r$ 为压痕刀的刀刃半径。

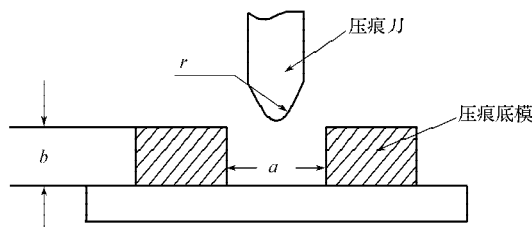


图2 压痕刀模示意图

Fig. 2 Creasing rule schematic diagram

设定蜂窝纸板压痕模的参数为:压痕底模的厚度 $b$ 为3.4 mm,厚度为5.8, 7.8, 9.8 mm的纸板的压痕槽宽 $a$ 分别为4, 5, 6 mm,压痕速度为5 mm/min。试验中选取压痕刀刃半径 $r$ 为试验变量,分别取值1.0, 1.5, 2.0 mm。

### 1.5 回弹力测试

分别以压痕深度和压痕刀刃半径为变量,对蜂窝纸板试样分别沿CD方向(压痕线与CD方向平行)和MD方向(压痕线与MD方向平行)在试验机上进行压痕,如图3a所示,并记录其力-位移曲线。图3b为对压痕后的试样进行折叠,图3c为对压痕、折叠后的试样进行回弹力测试。

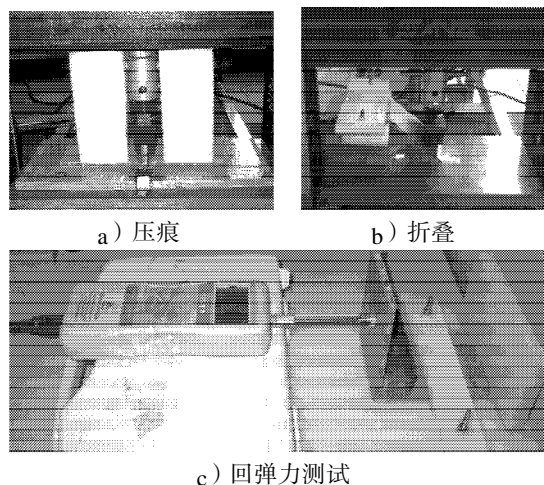


图3 试验过程示意图

Fig. 3 Test process diagram

## 2 结果及讨论

### 2.1 蜂窝纸板压痕力随位移的变化

压痕试验中,对每种纸板试样进行压痕测试,并记录其不同压痕深度 $h$ 下CD方向和MD方向的压痕力-位移曲线。如图4为H-15-5号试样在不同压痕深度下的压痕力-位移曲线。其他型号试样的压痕力-位移曲线与之具有相似的趋势。

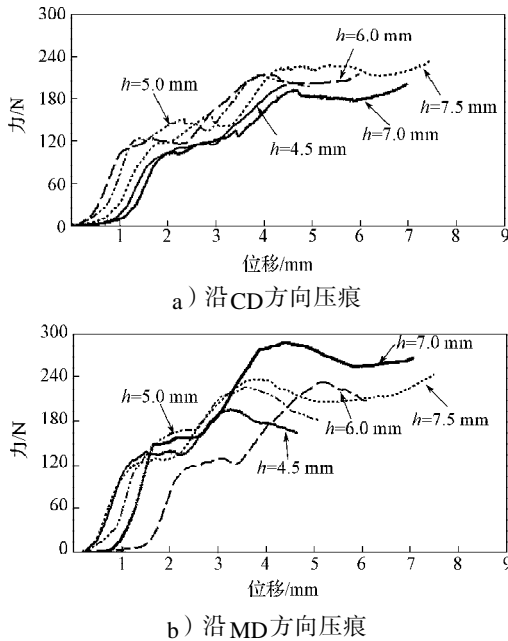


图4 H-15-5在不同压痕深度下的压痕力-位移曲线  
Fig. 4 H-15-5 the creasing force-displacement curve at different indentation depths

从图4可以看出,蜂窝纸板经历了非线性弹性阶段—弹塑性阶段—非线性弹性阶段。观察发现,在达到最大压痕力时,蜂窝纸芯出现压溃现象,如图5所示,因此,最大压痕力值为蜂窝纸板压痕屈服值。对比图4a和图4b可看出,蜂窝纸板MD方向的压痕屈服力比CD方向要大,这主要是由于蜂窝纸板胶边压溃所需的力大于单壁边,而MD方向为机械制造方向,其胶边数多于CD方向。

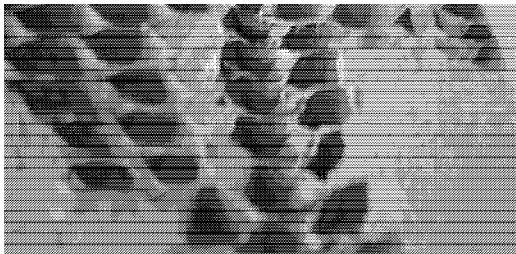


图5 压溃的蜂窝纸芯

Fig. 5 The crushing of honeycomb paperboard core

### 2.2 纸芯厚度对蜂窝纸板回弹力的影响

纸芯厚度为5 mm的不同孔径蜂窝纸板回弹力的

测试数据如表1所示。

表1 纸芯厚度为5 mm的蜂窝纸板的回弹力

Table 1 Resilience of honeycomb paperboard with core thickness of 5 mm

纸板类型	压痕深度/mm									
	MD方向					CD方向				
	4.5	5.0	6.0	7.0	7.5	4.5	5.0	6.0	7.0	7.5
H-6-5	3.51	3.02	2.65	3.12	3.43	3.57	3.12	2.71	3.15	3.47
H-10-5	2.96	2.64	1.85	2.67	2.79	2.98	2.72	1.88	2.53	2.43
H-15-5	2.50	2.18	1.80	2.10	2.40	2.78	2.58	1.82	2.40	2.51
H-20-5	2.30	2.04	1.78	2.12	2.33	2.41	2.27	1.80	2.23	2.36

从表1中可以看出,对于不同孔径的蜂窝纸板试样,回弹力大多随着孔径的增大而逐渐减小。对于相同孔径的试样,回弹力随着压痕深度的变化呈现先降后升的趋势,且当压痕深度为6 mm时,2个方向上的回弹力均达到最小值。总体上看,蜂窝纸板CD方向上的回弹力大于MD方向。由于面纸的纤维方向是沿着机械制造方向(即MD方向),与CD方向垂直,沿CD方向压痕时纤维同时也受力发生弯折,纤维的弹性作用使其具有恢复平直状态的趋势,而沿MD方向,纤维几乎不发生弯折,这就使得CD方向的回弹力大于MD方向。

纸芯厚度为7,9 mm的蜂窝纸板的回弹力值呈现出与纸芯厚度为5 mm纸板相同的规律,如表2和表3所示。当纸芯厚度为7 mm,压痕深度为7 mm或8 mm时,蜂窝纸板的回弹力最小。当纸芯厚度为9 mm,压痕深度为9 mm或9.5 mm时,蜂窝纸板的回弹力最小。

表2 纸芯厚度为7 mm的蜂窝纸板的回弹力

Table 1 Resilience of honeycomb paperboard with core thickness of 7 mm

纸板类型	压痕深度/mm									
	MD方向					CD方向				
	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0
H-6-7	5.42	5.02	4.82	4.62	5.72	5.51	4.65	4.19	4.57	5.12
H-10-7	5.38	4.58	4.77	4.56	5.67	5.54	4.62	4.22	4.62	5.00
H-15-7	4.14	3.86	3.56	3.78	4.00	5.46	4.32	4.11	4.32	4.04
H-20-7	4.16	3.54	3.24	3.54	4.16	5.18	4.00	3.55	4.12	5.05

表3 纸芯厚度为9 mm的蜂窝纸板的回弹力

Table 3 Resilience of honeycomb paperboard with core thickness of 9 mm

纸板类型	压痕深度/mm									
	MD方向					CD方向				
	7.5	8.0	9.0	9.5	10.0	7.5	8.0	9.0	9.5	10.0
H-6-9	7.60	6.30	4.15	4.15	5.26	10.06	7.62	4.80	5.12	6.90
H-10-9	7.55	6.26	4.08	4.00	5.25	9.96	7.52	4.75	5.05	6.87
H-15-9	4.54	4.34	3.84	4.25	5.05	5.66	4.48	3.98	4.45	5.95
H-20-9	4.54	3.62	3.56	3.78	4.25	5.34	4.24	3.68	4.24	4.85

由表1~3分析可知,不同纸芯厚度蜂窝纸板的回弹力呈现出一定的规律,即随着孔径的增大,回弹力逐渐减小,且随着压痕深度的增加,回弹力先降后升;当压痕深度与纸芯厚度相等或比纸芯厚度稍大时,蜂窝纸板的回弹力最小。

### 2.3 不同钢刀刃口半径下蜂窝纸板的回弹力

为研究压痕刀刃口半径对蜂窝纸板回弹力的影响,并根据上述试验得出的结论,以压痕钢刀刃口半径为变量,进行试验,试验数据如表4所示。

表4 不同钢刀刃口半径下蜂窝纸板的回弹力

Table 4 The resilience of different apertures of honeycomb cardboard with different creasing rule edge radius

蜂窝孔径 / mm	钢刀刃口 半径 /mm	蜂窝纸板回弹力 /N	
		MD 方向	CD 方向
6	1.0	2.96	2.57
6	1.5	4.81	3.42
6	2.0	3.84	3.26
15	1.0	3.25	2.54
15	1.5	2.03	2.31
15	2.0	2.32	3.42
20	1.0	2.23	1.86
20	1.5	2.72	2.25
20	2.0	2.14	2.27

由表4可看出,蜂窝纸板回弹力最小的3种情况分别为:蜂窝孔径为6 mm,钢刀刃口半径为1.0 mm;蜂窝孔径为15 mm,钢刀刃口半径为1.5 mm;蜂窝孔径为20 mm,钢刀刃口半径为2.0 mm。根据这一结论,在实际应用中,应根据蜂窝孔径的变化而调整压痕钢刀的刃口半径,随着蜂窝孔径的增大,压痕钢刀刃口半径也应相应地增大。因为钢刀刃口半径的变化会引起蜂窝纸芯受压面积的变化,而适宜的受压面积有利于释放折叠成型过程中产生的内应力。

## 3 结论

蜂窝纸板压痕后的回弹力具有如下特性:

1) 随着压痕深度的增加,回弹力呈现先降后升的趋势;

2) 当压痕深度与纸芯厚度相等或比纸芯厚度稍大时,回弹力最小,此时,蜂窝纸板保持压折状态的能力最好。

3) 对于孔径为6, 15, 20 mm的蜂窝纸板,钢刀刃口半径分别为1.0, 1.5, 2.0 mm时,其回弹力最小。因此,应随着蜂窝孔径的变化而调节压痕钢刀刃口半径,随着蜂窝孔径的增大,压痕钢刀刃口半径也应相应地增大。

### 参考文献:

- [1] 言利容,谢 勇.蜂窝纸板压痕折叠方法探讨[J].包装学报, 2010, 2(4): 14-18.  
Yan Lirong, Xie Yong. Discussion on the Creasing and Folding Method for the Honeycomb Cardboard[J]. Packaging Journal, 2010, 2(4): 14-18.
- [2] Beex L A A, Peerlings R H J. An Experimental and Computational Study of Laminated Paperboard Creasing and Folding[J]. International Journal of Solids and Structures, 2009(2): 4192-4207.
- [3] 言利容.蜂窝纸板压痕折叠性能的研究[D].株洲:湖南工业大学, 2011.  
Yan Lirong. The Creasing and Folding Properties of the Honeycomb Paperboard[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2011.
- [4] 言利容,谢 勇.菱形蜂窝纸板的成型工艺[J].包装学报, 2011, 3(2): 45-48.  
Yan Lirong, Xie Yong. Forming Process of Rhombic-Core Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Journal, 2011, 3(2): 45-48.
- [5] 王兴业,杨孚标,曾竟成,等.夹层结构符合材料设计原理及其应用[M].北京:化学工业出版社, 2006: 102-117.  
Wang Xingye, Yang Fubiao, Zeng Jingcheng, et al. Sandwich Structure Composite Material Design Principle and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 102-117.

(责任编辑:徐海燕)