

芯子开槽工艺对蜂窝纸板缓冲性能的影响

言利容, 谢 勇, 赵德坚, 毕中臣, 付应海, 张 星

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 为解决蜂窝纸板初始缓冲性能差、干燥速度慢、易发霉等问题, 对蜂窝纸芯采用开槽工艺处理, 在不显著降低蜂窝纸板平压强度的前提下, 尽可能地改善其缓冲性能。采用正交试验方法对 30 mm 厚蜂窝纸板进行静态压缩试验, 以考察芯子槽形的宽度、深度和槽间距 3 个工艺参数对蜂窝纸板性能的影响。实验结果表明: 当采用槽宽 2.5 mm、槽深 3 mm、槽间距 32 mm 的开槽方式时, 蜂窝纸板具有较优的抗压与缓冲综合性能。

关键词: 蜂窝纸板; 芯子开槽; 缓冲性能

中图分类号: TB484.1; TB 487

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)05-0014-04

The Influence of Slotting Craft of Honeycomb Core on Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard

Yan Lirong, Xie Yong, Zhao Dejian, Bi Zhongchen, Fu Yinghai, Zhang Xing

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

Abstract: To solve the problems of the honeycomb paperboard in poor initial cushioning properties, slow drying and being easily mildewed, a new processing technology has been introduced to deal with the honeycomb core with slotting process, with the purpose to improve its cushioning performance as far as possible while not to reduce the compressive strength distinctively. The static compression of honeycomb paperboard (about 30 mm) was tested with the method of orthogonal test in order to investigate the influences of the process parameters (width, depth and distance of the slot) on the performance of the honeycomb paperboard. The results show that the honeycomb paperboard has the better over-all properties of compression resistance and cushioning when the adoptive parameters are respectively with the slot width of 2.5 mm, the slot depth of 3 mm and the slot distance of 32 mm.

Key words: honeycomb paperboard; slotting craft; cushioning properties

0 引言

蜂窝纸板由 2 层面纸和 1 层芯纸胶接而成, 具有质量轻、强度大、刚度大、稳定性好等优点, 是一种新型绿色环保的包装材料, 主要作为缓冲衬垫用于运输包装中^[1-2]。蜂窝纸板虽然有诸多优点, 但是并未

得到广泛应用, 究其原因主要有: 1) 蜂窝纸板芯纸为一系列连续的蜂窝型网状结构, 该结构决定了其平压强度较高, 承载能力较强, 刚度大, 稳定性好, 但使得其缓冲性能较差; 2) 纸蜂窝结构压缩过程中, 能量是通过面纸的压皱、蜂窝胞元壁的弯曲和压溃及蜂窝胞元中空气的流动来吸收的, 纸芯压溃屈服前

收稿日期: 2011-02-13

基金项目: 包装行业高新技术研发基金资助项目(湘财企指[2008]155号)

作者简介: 言利容(1985-), 女, 湖南岳阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为减震缓冲材料,

E-mail: yanlirong1006@163.com

对冲击能量的吸收能力弱,初始缓冲性能较差^[3-4];
3) 蜂窝纸板的芯孔为密闭结构,其中充满空气,且互不流通,很难充分干燥,因此容易出现发霉现象。

为了更好地利用蜂窝纸板的优异性能,本文拟采用对蜂窝纸芯进行开槽处理,以适当降低其平压强度,改善纸芯的初始缓冲性能,使其不仅对重型器械有缓冲减震作用,对部分中型或小型器械也能起到很好的保护作用,同时加快干燥速率,降低长霉的几率。

1 材料及方法

本试验中所用的实验材料为常用 15 mm 孔径的正六边形蜂窝纸板,先将其进行开槽处理,然后对其进行静态压缩试验,以材料的最小缓冲系数和最大抗压力作为其缓冲性能的试验指标,确定较优的开槽工艺。

1.1 试样制备

在自制的开槽试验台上,采用不同厚度的旋转锯齿刀片对蜂窝纸芯条进行开槽处理,得到不同槽宽、槽深和开槽间隔的蜂窝纸芯条,再对这些纸芯条进行拉伸和覆面后,即可得到具有不同槽形结构的蜂窝纸板,试样结构如图 1 所示。

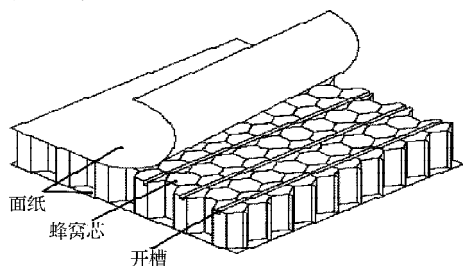


图1 开槽蜂窝纸板试样

Fig. 1 Sample of slotted honeycomb paperboard

1.2 试样预处理

试验过程中,依据国家标准 GB 8168—2008《缓冲材料静态压缩试验方法》^[5],国际标准 ISO 3386/1《泡沫柔性聚合物材料,压缩应力应变特性的测定·低密度材料》^[6],ISO 2233—1986《包装、运输包装件、温湿度调节处理》^[7]及 ISO 187:1990《纸、纸板和纸浆—温湿度处理和试验的标准大气条件》^[8]等进行取样和试样的处理。

所有测试样品的尺寸均为 150 mm × 150 mm;蜂窝纸芯的孔径为 15 mm,厚 30 mm;纸芯的原纸定量为 120 g/m²,面纸定量为 300 g/m²;纸芯槽宽分别为 1 mm 和 2.5 mm,槽深分别为 2, 3, 4, 5 mm,开槽间隔分别为 16, 24, 28, 32 mm;试验时温度为 (23 ± 1) °C,相对湿度为 (50 ± 2) %,且以恒定的压缩速度,即

12 mm/min,在 SANS 万能电子试验机上进行静态压缩试验。每组测试保证有 5 个有效结果,并取其算术平均值为最终测试结果。

1.3 试验方案及结果

试样开槽处理的影响因素较多,若一一分析槽宽、槽深和开槽间隙对其缓冲性能的影响,则试验量过大。为此,本文采用正交试验方法,根据所选的试验因素及其水平,对试验结果进行综合分析处理^[9-10]。试验方案及结果见表 1。

表1 蜂窝纸板静态压缩性能试验方案及结果

Table 1 The plan and result of experiment on the honeycomb's static compression

试验序号	因素及水平			试验指标	
	a	b	c	最小缓冲系数 C	最大承载力 F/N
1	1(1)	1(2)	1(16)	1.527	4 372.537 2
2	1	2(3)	2(24)	1.405	4 647.998 6
3	1	3(4)	3(28)	1.595	4 294.191 9
4	1	4(5)	4(32)	1.606	4 577.608 3
5	2(2.5)	1	2	1.310	4 663.813 0
6	2	2	1	1.457	4 038.684 4
7	2	3	4	1.453	5 638.370 2
8	2	4	3	1.465	5 168.332 0
9	3(1)	1	3	1.572	4 170.158 7
10	3	2	4	1.528	4 820.569 4
11	3	3	1	1.553	4 319.735 3
12	3	4	2	1.685	4 665.254 4
13	4(2.5)	1	4	1.585	4 589.531 2
14	4	2	3	1.423	5 158.492 4
15	4	3	2	1.533	4 863.838 7
16	4	4	1	1.551	4 096.357 2
17	无开槽处理			1.703	5 860.776 0

注: a 为槽宽, b 为槽深, c 为槽间距, 括号内为各因素的真实水平, 单位为 mm。

受条件限制,本次试验槽宽只有 2 种水平,而槽深和开槽间隙均有 4 种水平。由于没有符合试验情况的混合型正交表可用,本文采用拟水平设计法,将槽宽的水平数拟定为 4 个,使之与其它 2 个因素的水平数相等,拟定的 2 个水平数与其 2 个真实水平数相等。作为对照组,试验 17 为未开槽试样的试验结果。

缓冲系数 C 是表征缓冲材料缓冲性能好坏的参数,可由下式计算得到:

$$C = \sigma / E, E = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon,$$

以上各式中: C 为缓冲系数; σ 为压缩应力; E 为单位体积缓冲材料吸收的变形能; ϵ 为压缩应变。

表 1 所列缓冲系数 C 的计算步骤如下:

- 1) 测量并记录应变变量 ϵ_i 及增量 $\Delta \epsilon_i$;
- 2) 测量并记录与 ϵ_i 相对应的应力 σ_i 及其增量 $\Delta \sigma_i$;

3) 求各压力区段的变形能的增量 ΔE_i 及其累计值 E_i , 其中 ΔE_i 等于 σ - ε 曲线上每个应变增量 $\Delta \varepsilon_i$ 上曲线下的积分面积, 计算式为

$$\Delta E_i = \frac{1}{2}(\Delta \varepsilon_i \cdot \Delta \sigma_i) + \Delta \varepsilon_i \cdot \sigma_{i-1};$$

σ - ε 曲线上每一个应力点 σ_i 对应的累计 E_i 为

$$E_i = E_{i-1} + \Delta E_i, \text{ 其中 } i=1, 2, \dots, n。$$

4) 计算材料的缓冲系数, 计算式为

$$C_i = \sigma_i / E_i;$$

5) 选取材料的最小缓冲系数, 即

$$C_{\min} = \min(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n)。$$

2 试验结果分析

采用正交试验方法不仅简化了试验过程, 而且使试验结果易于处理。本研究中使用主效应模型, 采用正交设计助手 II V3.1 对试验结果进行分析, 其中数据分析用方差分析。主要分析结果见表 2~3。

表2 方差分析

Table 2 The analysis of variance

变异来源	自由度	偏差平方和	方差均方和	F 值	临界值 F_{α}	
模型	9	0.096	0.011	2.065	$F_{0.01}(3,9)=6.99$	
误差	6	0.03	0.005	—	$F_{0.05}(3,9)=3.86$	
C	因素 a	3	0.056	0.019	3.613	
	因素 b	3	0.033	0.011	2.129	
	因素 c	3	0.007	0.002	0.452	
模型	9	1 717 532.526	190 836.947	2.065	$F_{0.01}(3,9)=6.99$	
误差	6	1 087 672.77	181 278.795	—	$F_{0.05}(3,9)=3.86$	
F_{\max}	因素 a	3	426 035.038	142 011.679	3.613	
	因素 b	3	225 221.300	75 073.767	2.129	
	因素 c	3	1 066 276.188	355 358.729	0.452	

表3 均值分析

Table 3 The analysis of mean

因素水平	因素 a 指标均值	因素 b 指标均值	因素 c 指标均值	
C	水平 1	1.533	1.498	1.522
	水平 2	1.421	1.453	1.483
	水平 3	1.585	1.534	1.514
	水平 4	1.523	1.577	1.543
F_{\max}	水平 1	4 473.084	4 449.010	4 206.829
	水平 2	4 877.300	4 666.436	4 710.226
	水平 3	4 493.929	4 779.034	4 697.794
	水平 4	4 677.055	4 626.888	4 906.520

1) 分析表 2 中的结果可得: 对指标最小缓冲系数而言, $F_1=2.065$; 对指标最大承载力而言, $F_2=1.053$ 。由于 $F_{0.01}(3,9)=6.99$, $F_{0.05}(3,9)=3.86$ (下标 0.01 和 0.05 为显著水平 α), $F_a > F_1$, $F_a > F_2$, 说明因素间的变化对试验结果的影响不是很大。

2) 从最大承载力下降方面考虑。最大承载力下

降最小时, 其工艺条件较优。由表 2 中各因素偏差平方和项可以看出, 因素 c (槽间距) 对最大承载力的影响最大, 因素 a (槽宽) 次之, 因素 b (槽深) 的影响最小; 而从表 3 各因素的均值分析结果可知, 各因素较优的组合水平为 $c_4 a_2 b_3$ 。

3) 从最小缓冲系数方面考虑。缓冲性能较优的工艺条件为最小缓冲系数较小。从表 2 中的分析结果可知, 因素 a 对最小缓冲系数的影响较大, 因素 b 次之, 因素 c 的影响最小; 进而由表 3 中的分析结果可以得出各因素较优的组合水平为 $a_2 b_2 c_2$ 。

4) 综合性能较优的工艺条件确定。从以上 2 个分析结果可以看出, 对 2 个指标单独分析得出的优化条件并不一致, 此时, 应综合考虑各结果指标及实验情况, 确定综合性能较优的工艺条件。对于因素 a, a_2 对最小缓冲系数及最大承载力指标而言都是相对较优的水平, 因此确定 a 因素取水平 a_2 ; 对因素 b, b_2 相对于 b_3 , 最小缓冲系数减小了 5.23%, 而最大承载力只下降 2.36%, 因此确定因素 b 取水平 b_2 ; 同理分析得因素 c 取水平 c_4 。因此较优的开槽工艺组合为槽宽 2.5 mm, 槽深 3 mm, 开槽间隔 32 mm, 即 $a_2 b_2 c_4$ 。按此工艺参数制作样品进行试验, 测得其最小缓冲系数 C 为 1.557, 最大承载力 F_{\max} 为 5 147.914 8 N, 验证了上述分析的正确性。

3 讨论

1) 相对其它 2 个工艺参数, 不管从最小缓冲系数指标还是最大承载力指标考虑, 槽宽对实验结果的影响都较为明显。槽宽实际只有 2 个水平 (水平 4 和水平 2 相等, 水平 3 和水平 1 相等), 试验结果表明: 水平 2 优于水平 1, 即开槽宽度为 1 mm 时, 其对改善蜂窝纸板的缓冲性能没有明显的帮助。

2) 开槽越深对蜂窝纸板的人为破损越大, 对其整体性能的影响也越大; 而若槽深过小, 则对改善其缓冲性能的作用过小。因此, 槽深对其试验结果的影响呈抛物线状, 不宜过大也不能太小, 此处以水平 2 即槽深 3 mm 最佳。

3) 试样孔径取 15 mm。当槽间距为 16 mm 时, 每个蜂窝孔上都至少有 1 处开槽, 有的甚至有 2 处开槽; 当槽间距为 24, 28 mm 时, 每个蜂窝孔仅有 1 处开槽; 当槽间距为 32 mm 时, 存在完好的蜂窝孔。即随槽间距的增大, 试样中开槽个数减少, 压缩过程中蜂窝胞元中气体的流动发生了变化, 因此对蜂窝纸板缓冲性能的影响并非单调的增大或减小。试验条件下槽间距为 32 mm 时蜂窝纸板的缓冲性能最佳。

4) 比较对照组, 经开槽处理后, 蜂窝纸板的最

小缓冲系数 C 减小了 1.1%~23.1%，即缓冲性能提高了 1.1%~23.1%；最大承载力 F 降低了 3.8%~31.1%。

4 结论

对比分析开槽蜂窝纸板及未开槽蜂窝纸板的静态压缩试验结果，可得到以下结论：

1) 综合考虑，可认为影响蜂窝纸板缓冲性能的开槽因素的主次顺序为：槽宽—槽间距—槽深。

2) 蜂窝纸板经开槽处理后，其平压强度降低了 3.8%~31.1%，而缓冲性能提高了 1.1%~23.1%，可见，适当的开槽处理对蜂窝纸板的性能有所改善。

3) 较优的工艺处理条件为：槽宽取 2.5 mm，槽深取 3 mm，槽间距取 32 mm。此时，蜂窝纸板的平压强度降低了 12.16%，缓冲性能提高了 8.57%。

4) 选择适当的芯子开槽方式，可有效地调节蜂窝纸板的性能，以便更好地满足实际应用场合的具体要求。

纸芯开槽后，对蜂窝纸板干燥速度和防霉变性能的影响尚有待进一步研究。

参考文献：

- [1] 刘晓红,高新和.蜂窝复合板的发展现状和前景[J].人造板通讯, 2005(10): 20-22.
Liu Xiaohong, Gao Xinhe. Present Situation and Prospects of Composite Honeycomb Panels[J]. China Wood-Based Panels, 2005(10): 20-22.
- [2] Bitzer T N. Recent Honeycomb Core Developments, Sandwich Construction Conference 3[J]. Southampton, 1995(4): 555-562.
- [3] Wang Dongmei, Wang Zhiwei, Liao Qianghua. Energy Absorption Diagrams of Paper Honeycomb Sandwich Structures[J]. Packaging Technology and Science, 2009 (22): 63-67.
- [4] 王冬梅.蜂窝纸板压缩破坏机理研究[J].包装工程, 2006, 27(1): 37-39.
Wang Dongmei. Compression Breakage Properties Research on the Honeycomb Fibreboard[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 37-39.
- [5] 国家标准化管理委员会.GB/T 8168-2008 包装用缓冲材料静态压缩试验方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
National Standardization Management Committee. GB/T 8168-2008 Testing Method of Static Compression for Package Cushioning Materials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [6] International Organization for Standardization. ISO 3386/1: 1986 Polymeric Materials, Cellular Flexible-Determination of Stress-Strain Characteristics in Compression-Part1: Low-Density Materials[S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 1986.
- [7] International Organization for Standardization. ISO 2233: 1986 Packaging-Transport, Packages-Temperature and Humidity Conditioning[S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 1986.
- [8] International Organization for Standardization. ISO 187:1990 Paper, Board and Pulps-Standard Atmosphere for Conditioning and Testing[S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 1990.
- [9] 《正交试验设计法》编写组.正交试验设计法[M].上海:上海科学技术出版社,1979:24-54.
Orthogonal Test Design Law Writing Group. Orthogonal Test Design Law[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979: 24-54.
- [10] 马成良,张海军,李素平.现代试验设计优化方法及应用[M].郑州:郑州大学出版社,2007:30-69,121-168.
Ma Chengliang, Zhang Haijun, Li Suping. Modern Experimental Design Optimization Method and Application [M]. Zhengzhou: Zhengzhou University Press, 2007: 30-69, 121-168.

(责任编辑:廖友媛)