

## 蜂窝纸板动态缓冲性能分析研究

曾克俭, 刘珊

(湖南工业大学, 株洲 412007)

**摘要:** **目的** 研究蜂窝纸板动态缓冲系数与最大静应力之间的关系。**方法** 通过动态跌落冲击实验, 研究厚度为10, 20, 30, 40和50 mm的蜂窝纸板的动态缓冲性能。**结果** 得到了动态跌落冲击实验的动态缓冲系数-最大静应力曲线。**结论** 蜂窝纸板厚度越大其能够承受的冲击越大, 在每个跌落高度都能找到曲线的最低点, 且每种规格的蜂窝纸板都有一定的使用范围, 为缓冲设计的最优化提供一定的数据参考。

**关键词:** 蜂窝纸板; 冲击实验; 动态缓冲系数-最大静应力曲线

**中图分类号:** TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)17-0015-04

## Analysis on Dynamic Cushioning Property of Honeycomb Paperboard

ZENG Ke-jian, LIU Shan

(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To Study the relationship between the dynamic cushioning coefficient of honeycomb cardboard and the maximum static stress. **Methods** The dynamic drop impact test was used to study the dynamic cushioning properties of 10, 20, 30, 40 and 50 mm honeycomb paperboard. **Results** Curve of the dynamic cushioning coefficient obtained in the dynamic drop test-the maximum static stress was achieved. **Conclusion** Test results showed that the larger the thickness of the honeycomb paperboard, the greater impact it could withstand. There was a lowest point in the curve at each drop height, and there was a certain usage scope for honeycomb cardboard of each specification. These results provide reference data for the optimization of buffer design.

**KEY WORDS:** the honeycomb cardboard; impact test; dynamic cushioning coefficient-maximum static stress curve

蜂窝纸板是一种由2层面纸和1层芯纸复合加工而成的一种全纸质的包装材料, 具有强度高、质量轻、缓冲性能好、环保等特点, 是一种新型夹层结构的环保节能材料, 在包装领域得到了广泛应用<sup>[1-3]</sup>。在运输过程中蜂窝纸板主要通过吸收振动和冲击所产生的能量来达到保护产品不受损坏的目的。

随着环保呼声的高涨, 蜂窝纸板作为一种绿色环保材料越来越受到人们的重视, 国内外学者对蜂窝纸板进行了很多相关的研究。GIBSON等<sup>[4]</sup>研究了蜂窝结构的基本力学性能。AMINANDA等<sup>[5]</sup>通过CCD摄像机实验, 研究了蜂窝结构冲击压溃过程。孙玉瑾等<sup>[6]</sup>

使用有限元软件模拟法分析了六边形蜂窝芯材的异面动态压溃过程。刘颖<sup>[7]</sup>在前人研究的基础上, 利用有限元模拟分析, 建立了4种蜂窝结构与动态性能之间的关系。孙德强等<sup>[8]</sup>利用数值模拟方法, 研究了蜂窝芯材静态压缩载荷及其相关力学性能。鄂玉萍等<sup>[9]</sup>从蜂窝孔壁粘结的夹角出发, 推导了纸蜂窝材料的面外平台应力模型。王冬梅<sup>[10]</sup>从蜂窝纸板厚度、面纸密度和加载方向等方面对缓冲性能的影响进行了研究。唐勇等<sup>[11]</sup>分析得出了蜂窝纸板平压强度的预测计算公式。郭彦峰等<sup>[12]</sup>测试了4种厚度蜂窝纸板的动态性能, 得到了其最大加速度-静应力曲线的特征系数

收稿日期: 2014-05-28

作者简介: 曾克俭(1964—), 女, 湖南株洲人, 硕士, 湖南工业大学教授, 主要研究方向为产品包装结构设计、检测。

和经验公式。张宇等<sup>[13]</sup>研究了3种不同蜂窝纸板在不同跌落高度时的动态冲击曲线,并建立了能量吸收图。王志伟等<sup>[14]</sup>应用实验方法和有限元技术,分析了蜂窝纸板动态冲击过程,得到了不同湿度下不同厚跨比蜂窝纸板的冲击承载能力和能量吸收能力。

蜂窝纸板作为一种能够代替泡沫塑料的缓冲材料,为研究其动态缓冲性能,笔者在已有研究的基础上,探讨5种蜂窝纸板在不同跌落高度下的动态缓冲性能,建立不同跌落高度下动态缓冲系数与最大静应力之间的曲线,并对实验结果进行分析。

1 实验

蜂窝纸板的厚度主要由芯纸的厚度决定,蜂窝纸板面纸可以根据不同的要求使用不同定量的纸或者

与其他材料复合,制成有特殊使用功能的结构材料,如轻质建材板。芯纸孔径有不同的规格,常用的有A,B,C等3种,A型的六边形边长为6~8 mm,B型的边长为9~10 mm,C型的边长为10~12 mm,可以根据不同的受力程度选择合适的芯纸孔径。广泛使用的是B型蜂窝纸板,因为其既有较高的强度,又有很好的缓冲特性。文中选择的实验样品是湖南某公司生产的B型蜂窝纸板。

1.1 材料

蜂窝纸芯试样的厚度为10,20,30,40,50 mm等5种,且为正六边形结构,其胞壁定量为140 g/m<sup>2</sup>,相应的蜂窝胞壁厚度为0.21 mm。蜂窝纸板的面纸为定量180 g/m<sup>2</sup>的箱板纸,蜂窝芯的类型为B型,对应的边长为8.6 mm。试样的主要结构参数见表1。

表1 跌落冲击实验试样规格  
Tab.1 The honeycomb paperboard specifications for static compression test

| 试样名称 | 芯纸定量/m <sup>2</sup> | 面纸定量/m <sup>2</sup> | 蜂窝纸板厚度 T/mm | 蜂窝胞壁厚度 t/mm | 蜂窝胞壁边长 L/mm |
|------|---------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1号   | 140                 | 180                 | 10          | 0.21        | 8.6         |
| 2号   | 140                 | 180                 | 20          | 0.21        | 8.6         |
| 3号   | 140                 | 180                 | 30          | 0.21        | 8.6         |
| 4号   | 140                 | 180                 | 40          | 0.21        | 8.6         |
| 5号   | 140                 | 180                 | 50          | 0.21        | 8.6         |

1.2 方法

实验采用型号为HD-412缓冲材料实验机(东莞市海达仪器有限公司)进行实验,结构与一般缓冲实验机一样<sup>[15]</sup>,其优点是和专业开发的电脑软件兼容,通过该软件可以将应力应变数据之间的关系曲线直接转化为动态缓冲系数-静应力曲线。首先调节跌落高度,在同一高度通过逐步改变冲击重锤的质量来测试不同冲击力对蜂窝纸板的作用效果,经过数据采集和处理系统拟合成曲线,从而在电脑显示屏上能够直观准确地了解动态缓冲系数与静应力之间的关系。然后改变跌落高度进行上述测试,可以得到规格不同的蜂窝纸板在不同跌落高度的动态缓冲系数-静应力曲线。

参照GB/T 8167—2008《包装用缓冲材料动态压缩实验方法》<sup>[16]</sup>,制备面积为100 mm×100 mm的试样。实验前先对试样进行预处理,将蜂窝纸板试样放置在标准环境条件下处理48 h以上<sup>[17]</sup>。在标准条件下

测得试样的含水率为9%~10%,基本保持不变。

2 结果与分析

在标准实验环境下,通过重锤冲击实验得到了5种不同蜂窝纸板在不同跌落冲击高度下的动态缓冲系数曲线,结果见图1—5。

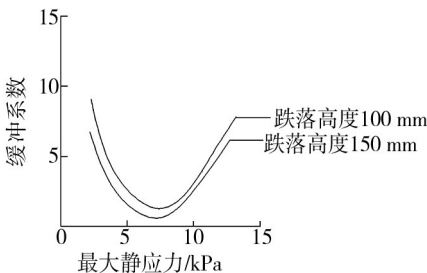


图1 厚度为10 mm的缓冲系数曲线  
Fig.1 Buffer coefficient curve at a thickness of 10 mm

由图1—5可知,随着跌落冲击高度的增加,曲线范围越来越小,说明各厚度的蜂窝纸板所能承受的冲

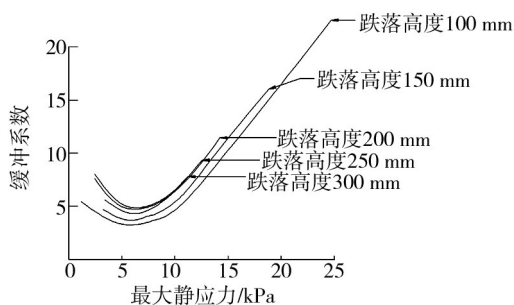


图2 厚度为20 mm的缓冲系数曲线

Fig.2 Buffer coefficient curve at a thickness of 20 mm

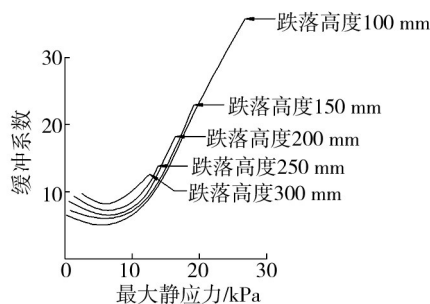


图3 厚度为30 mm的缓冲系数曲线

Fig.3 Buffer coefficient curve at a thickness of 30 mm

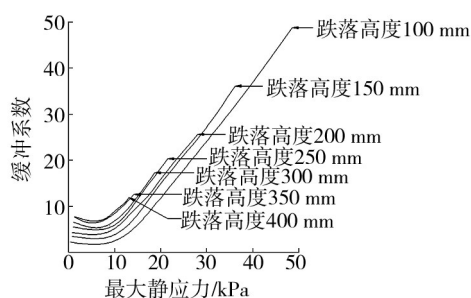


图4 厚度为40 mm的缓冲系数曲线

Fig.4 Buffer coefficient curve at a thickness of 40 mm

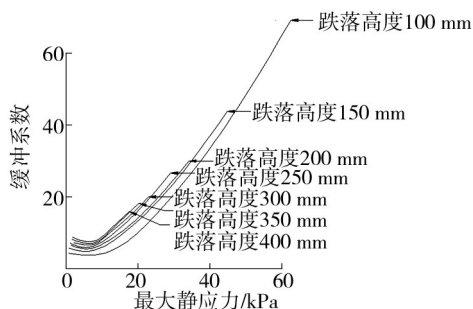


图5 厚度为50 mm的缓冲系数曲线

Fig.5 Buffer coefficient curve at a thickness of 50 mm

击重量越小,也越容易被压溃。超过一定的冲击重量,对其跌落高度有一定的限制。由图5可知,当最大静应力为45~60 kPa时,厚度为50 mm的蜂窝纸板的最大跌落高度不超过100 mm。

从图1—5中可以看出,曲线最低点处的静应力变化不大,但是动态缓冲系数则上下变化。缓冲系数是缓冲效率的倒数,所以缓冲系数越小缓冲效率越高。由此在选择哪种规格的蜂窝纸板做缓冲材料时,应尽可能选择缓冲系数较小的,以达到材料最省且缓冲效率最高的目的。由于该实验仪器有4次不同的冲击重量时才能拟合出曲线,所以曲线只是说明动态缓冲系数-最大静应力的关系,并不表示蜂窝纸板只能承受400 mm以下的跌落冲击。

各规格蜂窝纸板在最大跌落高度下被压溃后的缓冲系数和最大静应力见表2。当等效跌落高度超过250 mm时,厚度为10 mm的蜂窝纸板无法起到缓冲作用,其他4种都可以使用。考虑到最优设计,当等效跌落高度小于等于400 mm且大于250 mm时,使用厚度为20 mm的蜂窝纸板最佳。以此类推,当等效跌落高度大于400 mm小于等于550 mm时,使用厚度为30 mm的蜂窝纸板最佳;当等效跌落高度大于550 mm小于等于750 mm时,使用厚度为40 mm的蜂窝纸板最佳;当等效跌落高度大于750 mm小于等于800 mm时,使用厚度为50 mm的蜂窝纸板最佳。在能满足跌落高度的条件下,选择缓冲系数较小的,以保证蜂窝纸板被充分利用。

表2 各规格蜂窝纸板最大跌落高度与所能承受的最大静应力  
Tab.2 Maximum drop height and maximum bearable static stress for honeycomb paperboard with various specifications

| 规格/mm | 最大跌落高度/mm | 缓冲系数  | 最大静应力/kPa |
|-------|-----------|-------|-----------|
| 10    | 250       | 3.300 | 9         |
| 20    | 400       | 4.861 | 9         |
| 30    | 550       | 5.713 | 9         |
| 40    | 750       | 6.490 | 9         |
| 50    | 800       | 7.982 | 9         |

### 3 结语

通过对蜂窝纸板动态跌落冲击实验进行分析,得到了每种蜂窝纸板的动态缓冲系数-最大静应力曲线

都是一条凹的抛物线,且每种规格的纸板在不同跌落高度的缓冲系数的变化趋势不变。从最大冲击重量和跌落高度两方面考虑,获得了5种规格蜂窝纸板的使用范围。在满足跌落高度的情况下,选择动态缓冲系数较小的,以使蜂窝纸板的缓冲效率达到最大。从产品承受的最大静应力和等效跌落高度两方面考虑,并结合图表找到最接近曲线最低点的位置进行缓冲优化设计,既能保证缓冲效果,又能最大限度地降低成本。

### 参考文献:

- [1] 王梅,李克天,赵荣丽. 蜂窝纸板力学模型的建立和缓冲性能的研究[J]. 包装工程,2008,29(8):29—31.  
WANG Mei, LI Ke-tian, ZHAO Rong-li. Mechanical Model Establishment and Cushioning Performance Study of Honeycomb Cardboard[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 29—31.
- [2] 毕中臣,曹小龙,谢勇. 蜂窝纸板缓冲机理探讨[J]. 湖南工业大学学报,2011,25(6):38—41.  
BI Zhong-chen, CAO Xiao-long, XIE Yong. Research on the Cushioning Mechanism of Honeycomb Paperboard[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(6): 38—41.
- [3] 郭彦峰,许文才,王梅. 蜂窝纸板缓冲性能的实验研究[J]. 包装工程,1999,20(2):12—15.  
GUO Yan-feng, XU Wen-cai, WANG Mei. Experimental Study on the Performance of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 1999, 20(2): 12—15.
- [4] GIBSON L J, ASHBY M F. Cellular Solids: Structure and Properties[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [5] AMINANDA Y, CASTANIE B, BARRAU J J, et al. Experimental Analysis and Modeling of the Crushing of Honeycomb Cores[J]. Applied Composite Materials, 2005, 12(3/4): 213—227.
- [6] 孙玉瑾,骆光林. 六边形蜂窝芯材异面冲击性能的有限元研究[J]. 包装工程,2012,33(17):60—62.  
SUN Yu-jin, LUO Guang-lin. Finite Element Analysis of Hexagonal Honeycomb's Out-of-plane Impact Performance [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 60—62.
- [7] LIU Ying, ZHANG Xin-chun. The Influence of Cell Micro-topology on the In-plane Dynamic Crushing of Honeycombs[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(1): 98—109.
- [8] 孙德强,孙玉瑾,郑波波,等. 六边形蜂窝芯异面类静态压缩力学行为的仿真分析[J]. 包装工程,2014,35(1):18—22.  
SUN De-qiang, SUN Yu-jin, ZHENG Bo-bo, et al. Simulation Analysis of the Out-of-plane Quasi-static Compression of Hexagonal Honeycomb Cores[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(1): 18—22.
- [9] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Plateau Stress of Paper Honeycomb as Response to Various Relative Humidities[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(4): 203—216.
- [10] WANG Dong-mei. Impact Behavior and Energy Absorption of Paper Honeycomb Sandwich Panels[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(1): 110—114.
- [11] 唐勇,黄利强. 蜂窝结构对蜂窝纸板平压性能影响的研究[J]. 包装工程,2012,33(5):56—58.  
TANG Yong, HUANG Li-qiang. Influence of Honeycomb Structure on Flatwise Compressive Performance[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 56—58.
- [12] 郭彦峰,张景绘,付云岗,等. 蜂窝纸板动态缓冲特性曲线测试分析[J]. 包装工程,2002,23(6):6—9.  
GUO Yan-feng, ZHANG Jing-hui, FU Yun-gang, et al. Test and Analysis of Dynamic Cushioning Property of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(6): 6—9.
- [13] 张宇,王志伟. 蜂窝纸板动态缓冲特性的实验研究[J]. 包装学报,2012,4(1):9—12.  
ZHANG Yu, WANG Zhi-wei. Experimental Research on Dynamic Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Journal, 2012, 4(1): 9—12.
- [14] 王志伟,姚著. 蜂窝纸板冲击压缩的实验研究和有限元分析[J]. 机械工程学报,2012,48(12):49—55.  
WANG Zhi-wei, YAO Zhu. Experimental Investigation and Finite Element Analysis for Impact Compression of Honeycomb Paperboards[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(12): 49—55.
- [15] 彭国勋,宋宝丰. 物流运输包装设计[M]. 第2版. 北京:印刷工业出版社,2012.  
PENG Guo-xun, SONG Bao-feng. Design of Packages for Distribution and Transport[M]. 2nd Edition. Beijing: Printing Press, 2012.
- [16] GB/T 8167—2008,包装用缓冲材料动态压缩实验方法[S].  
GB/T 8167—2008, Testing Method of Dynamic Compression for Packaging Cushioning Materials[S].
- [17] GB/T 10739—2002,纸、纸板和纸浆试样处理和实验的标准大气条件[S].  
GB/T 10739—2002, Paper, Board and Pulps—Standard Atmosphere for Conditioning and Testing[S].