

# 层合瓦楞纸板三向静态平压性能研究

温时宝, 薛蕾

(青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

**摘要:** 通过静态压缩试验, 对B楞和C楞层合瓦楞纸板 $X, Y, Z$ 3个方向的平压性能进行了研究, 并绘制了其载荷-变形曲线和应力-应变曲线。纸板的载荷-变形曲线表明: 压缩时各纸板3个方向的曲线走势类似, 都有一段线性变形部分, 当载荷达到最大值后,  $X$ 向和 $Z$ 向的曲线呈波浪状下降, 而 $Y$ 向的曲线近似于水平波动。纸板的应力-应变曲线表明: 3个方向的压缩中,  $Z$ 向的压缩强度值最大,  $X$ 向次之,  $Y$ 向最低,  $Z$ 向值为 $X$ 向的3~6倍, 为 $Y$ 向的12~14倍。此外还对瓦楞纸板平压强度与 $Y$ 向压缩强度的关系和瓦楞纸板边压强度与 $Z$ 向压缩强度的关系进行了分析。

**关键词:** 瓦楞纸板; 瓦楞蜂窝; 层合结构; 静态压缩

中图分类号: TB485.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2011)02-0040-05

## Research of 3 Direction Static Flat Compression Properties for Laminated Corrugated Paperboard

Wen Shibao, Xue Lei

(School of Polymer Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao Shandong 266042, China)

**Abstract:** 3 direction flat compression properties are researched through static compression test in which laminated corrugated paperboard of B flute and C flute, load-deformation curves and stress-strain curves are drawn. The results of load-deformation curves for paperboard indicate that 3 direction compression curve shapes of laminated corrugated board are similar, there are linear deformation at the beginning, then after the maximum value, the curves of  $X$  and  $Z$  direction fall to the wave-shaped, but the curves of  $Y$  direction vibrate similar to horizontal. The results of stress-strain curves for paperboard indicate that  $Z$  direction has the maximum value of compression strength among 3 directions,  $X$  direction the second,  $Y$  direction the last, the value of  $Z$  direction is approximately 3-6 times as  $X$  direction, and 12-14 times as  $Y$  direction. In addition, the relationships are analysed between flat crush strength of corrugated paperboard and compression strength of  $Y$  direction, and between edge crush strength of corrugated paperboard and compression strength of  $Z$  direction.

**Key words:** corrugated paperboard; corrugated paper honeycomb; laminated structure; static compression;

### 1 瓦楞纸板概述

瓦楞纸板是一种价廉、环保的包装材料<sup>[1]</sup>, 主要应用于运输包装瓦楞纸箱的制造和衬垫结构缓冲保护包装。对于瓦楞纸板包装的研究可分为如下3个方面:

1) 瓦楞纸板性质。该方面的研究主要集中在瓦楞纸板的压缩模型<sup>[2]</sup>、弯曲强度<sup>[3]</sup>以及相对湿度和连续压缩载荷对瓦楞纸板蠕变的影响<sup>[4]</sup>等方面。

2) 瓦楞纸箱。该方面的研究主要集中于纸箱强度的影响因素方面<sup>[5-7]</sup>。

收稿日期: 2011-02-02

作者简介: 温时宝(1976-), 男, 山西平遥人, 青岛科技大学讲师, 博士生, 主要从事包装材料, 导电聚苯胺的合成与应用方面的研究与教学, E-mail: wenshibao@126.com

3) 瓦楞纸板组合结构。由于通过各种瓦楞纸板组合可以实现缓冲保护和提高承载能力的效果,因而对于瓦楞纸板组合结构的研究越来越多。如曾仁侠等人对不同楞型纸板组合后的蜂窝状瓦楞纸板采用边压强度的试验方法进行了测试比较<sup>[8]</sup>;郭彦峰等人分析了X-PLY超强瓦楞纸板的结构特征,并进行了戳穿强度、耐破强度、平压强度和边压强度等对比试验<sup>[9]</sup>;刘晔等人以三重组合瓦楞纸板为研究对象,通过静态平压、边压和侧向压缩实验研究了其承载规律<sup>[10]</sup>;V. Rouillard等人提出一种瓦楞纸板多层缓冲系统,并研究了该系统在运输过程中对小碰撞力和大的偶然水平冲击力的承受能力<sup>[11]</sup>;温时宝等人对瓦楞结构纸蜂窝进行了动态力学性能测试,分析了不同材料瓦楞纸板制作的样品所受冲击力与加速度的关系,以及多次冲击与变形的关系<sup>[12]</sup>;王冬梅研究了应变率效应对多层瓦楞纸板静态和动态缓冲能量吸收的影响<sup>[13]</sup>;Guo Yanfeng等人对瓦楞纸板衬垫进行了动态缓冲性能和振动传递率的研究,建立了动态缓冲曲线经验公式,并对其振动响应频率和传递率进行了分析<sup>[1]</sup>。

瓦楞纸板多重组合(层合)结构,多用于瓦楞纸板托盘的柱脚(角墩),目前尚未发现按照缓冲材料静态压缩试验的方法对其从3个方向进行连续的测试分析的报告。因此,本文分别用3层B型和C型瓦楞纸板制作了多重层合结构样品,按照静态压缩试验的方法对其从3个方向分别进行了测试,并分析了纸板参数对瓦楞纸板层合结构性能的影响,同时对3个方向的性能进行了对比。

## 2 试验部分

### 2.1 测试仪器

电子压缩强度仪,ZSD-3型,长春市纸张试验机厂生产;电子天平(精确度为0.001),北京赛多利斯仪器系统有限公司生产;游标卡尺(分度值为0.002 cm);万能材料试验机(电脑系统拉力试验机),gt-tcs-2000型,高铁检测仪器有限公司生产。

### 2.2 原材料

实验中使用的纸板材料为B楞和C楞瓦楞纸板,由青岛联合包装有限公司提供。2种纸板的面纸完全相同,为170 g的A级箱板纸,芯纸(瓦楞原纸)的定量有稍许差别,B楞纸板为110 g,C楞纸板为120 g。纸板的基本参数如表1所示。

黏合剂,熊猫白胶(聚醋酸乙烯酯乳液),汉高粘合剂有限公司上海分公司生产。

表1 纸板的参数

Table 1 Parameters of corrugated paperboard

楞型	原纸级别、定量	厚度 /mm	平压强度 /kPa	边压强度 /(N·m <sup>-1</sup> )
B楞	A-170·A-110·A-170	3.04	194.3	5 350.1
C楞	A-170·A-120·A-170	4.03	160.4	5 427.3

### 2.3 试样制备

试样由手工制作。根据所制层合结构的尺寸利用纸板取样器将瓦楞纸板裁成一定规格的样片,再将样片用黏合剂粘合为如图1所示形状,为便于表述,标示3个方向为X、Y、Z向,其中X×Y×Z尺寸为:60 mm×60 mm×50 mm。

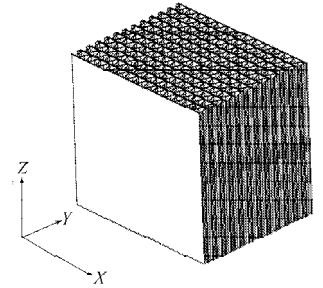


图1 瓦楞纸板层合结构示意图

Fig. 1 Schematic of laminated structure from corrugated paperboard

### 2.4 过程与方法

按照包装用缓冲材料静态压缩试验<sup>[14]</sup>的方法,以 $12 \pm 3$  mm/min的速度对瓦楞纸板层合结构分别从X、Y、Z向3个方向进行压缩测试。

## 3 结果与讨论

### 3.1 X向压缩

图2所示为X向压缩试验样品的载荷-变形曲线。

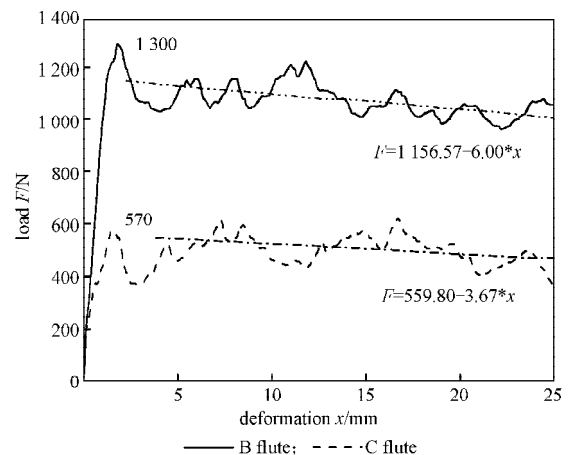


图2 B楞和C楞样品X向压缩载荷-变形曲线

Fig. 2 Compression load - deformation curve in X direction of B and C flute sample

由图2可看出,压缩曲线线性上升后,在变形量为1.7 mm左右时出现屈服最大值。其中B楞样品最大载荷为1 300 N,C楞样品最大载荷为570 N,即C楞样品的最大载荷值不到B楞样品的一半。在样品载荷值达到

最大值后,各曲线均开始呈现波浪式下降,将各下降曲线经线性拟合,可得C楞为 $F=559.80-3.67x$ ,B楞为 $F=1156.57-6.00x$ ,C楞下降斜率约 $-10^\circ$ ,B楞为 $-15^\circ$ 。

图3所示为X向压缩的样品变形图,由图3中可以看出,样品受压时从上下两面逐渐被压缩。

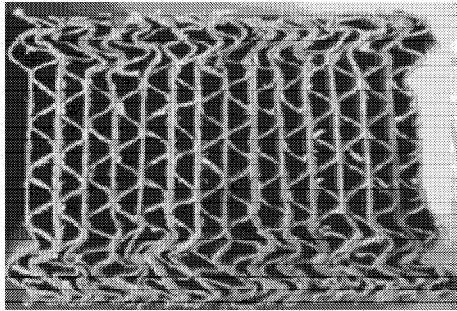


图3 X向压缩试验样品变形图

Fig. 3 Compression deformation picture of testing sample in X direction

### 3.2 Y向压缩

图4所示为Y向压缩试验样品的载荷-变形曲线。

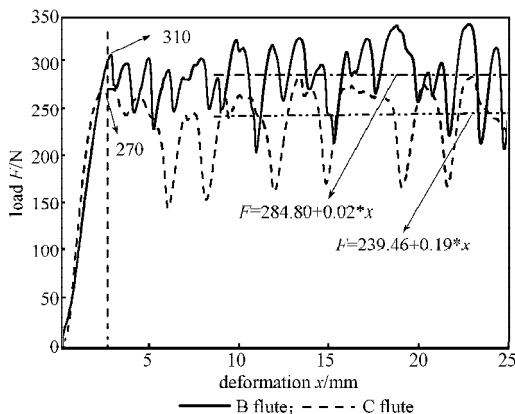


图4 B楞和C楞样品Y向压缩载荷-变形曲线  
Fig. 4 Compression load - deformation curve in Y direction of B and C flute sample

由图4可看出,压缩曲线开始部分基本呈线性,在达到最大值后变为不规则的近似水平的波浪状曲线,即压缩过程中首先从楞强度最低的薄弱瓦楞纸板层压溃,然后再压溃下一个楞强度相对薄弱的瓦楞纸板层,直至所有瓦楞纸板层中楞都压溃为止。B楞样品屈服最大负荷值为310 N,C楞样品的屈服最大值为270 N,即C楞样品最大负荷值为B楞的0.87,与C,B楞纸板的平压强度值比例0.83基本一致。理论上层合瓦楞纸板应与瓦楞纸板的平压强度的压缩强度一致,但实际上层合瓦楞纸板平压强度值要小于瓦楞纸板的压缩强度,B楞 $103/194.3=0.53$ ,C楞 $90/160.4=0.56$ ,即层合瓦楞纸板的压缩强度约为瓦楞纸板平压强度值的一半。B,C楞层合瓦楞纸板屈服最大值所对应的压缩变形量基本相同,分别为2.5 mm和2.6 mm。由此可见,

层合瓦楞纸板Y向压缩强度值与纸板的平压强度密切相关,但只约为纸板平压强度值的一半,压缩屈服后两种样品的压缩拟合曲线近似于水平,其中B楞为 $F=284.80+0.02x$ ,C楞为 $F=239.46+0.19x$ 。

图5所示为Y向压缩试验样品变形图,从图5中可以看出,样品中几个瓦楞纸板层由于楞强度较弱而已被压溃。

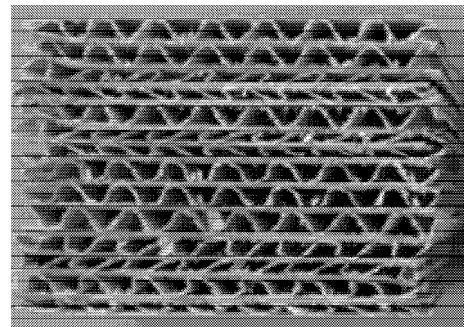


图5 Y向压缩试验样品变形图

Fig. 5 Compression deformation picture of testing sample in Y direction

### 3.3 Z向压缩

图6所示为Z向压缩试验样品的载荷-变形曲线。

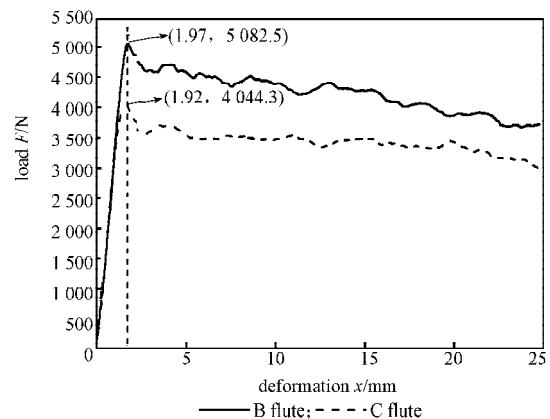


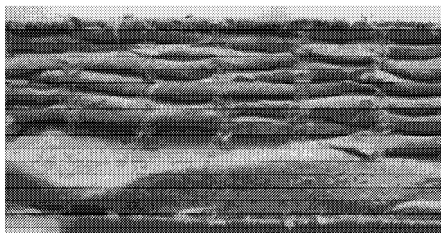
图6 B楞和C楞样品Z向压缩载荷-变形曲线

Fig. 6 Compression load - deformation curve in Z direction of B and C flute sample

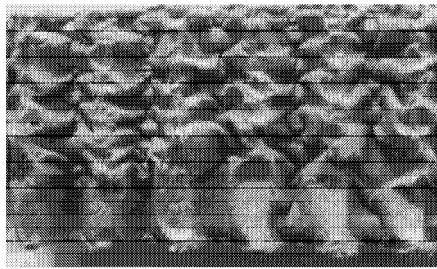
由图6中可以看出:2种楞型样品载荷-变形曲线的走势一致,都是先有一段线弹性变形,达到屈服极限后其载荷逐渐减小,表现为如图7所示的褶皱化变形,即样品中瓦楞纸板的面纸和芯纸都发生褶皱化。

由图6可见,B楞样品载荷最大值为5082.5 N,C楞样品为4044.3 N。将2种楞型的相同厚度样品对比,B楞样品的最大载荷比C楞样品的大,这主要与2种样品的楞型差别有关。根据计算,B楞样品由18层B型三层瓦楞纸板层合而成,C楞样品由14层C型三层瓦楞纸板层合而成。若按照直接无粘结层合方式,样

品压缩最大值应为边压强度值之和: B楞纸板层合样品的最大压缩力(叠加)为 $0.06\text{ m} \times 18 \times 5\ 350.1\text{ N/m} = 5\ 778.1\text{ N}$ , 大于B楞粘合样品的 $5\ 082.5\text{ N}$ , 粘合后强度约减小12%; C楞瓦楞纸板层合样品的最大压缩力(叠加)为 $0.06\text{ m} \times 14 \times 5\ 427.3\text{ N/m} = 4\ 558.9\text{ N}$ , 大于C楞粘合样品的 $4\ 044.3\text{ N}$ , 粘合后强度约减小11%。因边压强度测试时瓦楞纸板样片的高度为25 mm, 而压缩测试样品的厚度为50 mm, 即50 mm厚度样品的抗压强度值比瓦楞纸板边压强度测试值直接叠加低11%~12%。2种样品达到最大值对应的变形量基本相同, 约为2 mm。



a) 面纸



b) 芯纸

图7 样品中瓦楞纸板压缩变形图

Fig. 7 Compression deformation picture of corrugated paperboard in sample

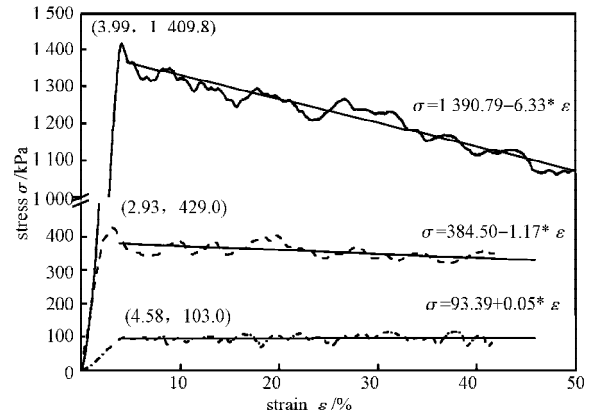
### 3.4 三向压缩应力-应变比较

图8所示为层合瓦楞纸板3个方向的应力-应变图及其屈服后的应力应变直线拟合图。

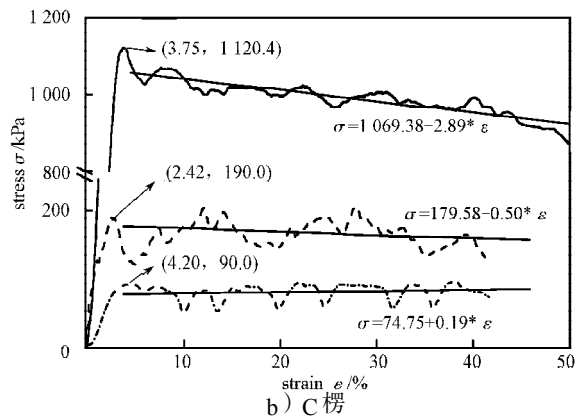
由图8中a)图可看出, B楞层合瓦楞纸板在X, Y, Z 3个方向的压缩强度值分别为429.0, 103.0和1409.8 kPa, 即Z向抗压强度值最大, X向次之, Y向最低, 且Z向值分别为X向和Y向值的3.29和13.69倍; 而由图8中的b)图可看出, C楞层合瓦楞纸板在X, Y, Z 3个方向的压缩强度值分别为190.0, 90.0和1120.4 kPa, 依然为Z向压缩强度值最大, X向次之, Y向最低, 且Z向值分别为X向和Y向值的5.90和12.45倍。即对于层合瓦楞纸板, 其Z向抗压强度值最大, X向次之, Y向最低, Z向值约为X向的3~6倍, Y向的12~14倍。而3个方向达到压缩强度最大值时所对应的应变值情况为Y向大于Z向, 且均大于X向。

对于屈服之后的曲线, 由图8中的拟合直线可以

看到, 在Z向和X向上, 直线的斜率为负值, 样品的应力随着应变的增加逐渐降低, 而在Y向上, 拟合直线的斜率为正值, 但近似于水平, 即样品的应力随着应变的增加有微弱的增加。



a) B楞



b) C楞

— Z direction; - - - X direction; - · - · Y direction

图8 样品的3向应力-应变曲线

Fig. 8 3 directions stress-strain curve of sample

## 4 结语

通过静态压缩试验对B楞和C楞层合瓦楞纸板3个方向的压缩性能进行研究, 绘制并分析了2种纸板的载荷-变形曲线及应力-应变曲线。试验结果表明: 1) 3个方向载荷-变形(应力-应变)曲线形状类似, 但压缩强度值为Z向最大, X向次之, Y向最低; 2) Y向压缩强度约为瓦楞纸板平压强度值的一半, Z向压缩强度约为叠合瓦楞纸板边压强度值的90%。研究结果对更好地利用和提高瓦楞纸板缓冲衬垫和瓦楞纸板式托盘柱脚静态载荷性能具有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

[1] Guo Yanfeng, Xu Wencai, Fu Yungang, et al. Comparison

- Studies on Dynamic Packaging Properties of Corrugated Paperboard Pads[J]. *Engineering*, 2010, 2: 378-386.
- [2] Michael A Sek, Jim Kirkpatrick. Prediction of the Cushioning Properties of Corrugated Fiberboard from Static and Quasi-dynamic Compression Data[J]. *Packaging Technology and Science*, 1997, 10: 87-94.
- [3] Myung Hoon Lee, Jong Min Park. Flexural Stiffness of Selected Corrugated Structures[J]. *Packaging Technology and Science*, 2004, 17: 275-286.
- [4] Guo Y, Fu Y, Zhang W. Creep Properties and Recoverability of Double-Wall Corrugated Paperboard[J]. *Experimental Mechanics*, 2008, 48: 327-333.
- [5] Orains Panyariun, Gary Burgess. Prediction of Bending Strength of Long Corrugated Boxes[J]. *Packaging Technology and Science*, 2001, 15: 49-53.
- [6] Liliana Beldle, Goran Sandberg, Lars Sanberg. Paperboard Packages Exposed to Static Loads-Finite Element Modelling and Experiments[J]. *Packaging Technology and Science*, 2001, 14: 171-178.
- [7] Jongkoo Han, Jong Min Park. Finite Element Analysis of Vent/Hand Hole Designs for Corrugated Fiberboard Boxes[J]. *Packaging Technology and Science*, 2007, 20: 39-47.
- [8] 曾仁侠, 何惠君, 冯荣魏, 等. 蜂窝状瓦楞纸板的研究[J]. *包装工程*, 1995, 16(5): 13-18.  
Zeng Renxia, He Huijun, Feng Rongwei, et al. Researches on Honeycomb Corrugated Fiberboard[J]. *Packaging Engineering*, 1995, 16(5): 13-18.
- [9] 郭彦峰, 张伟. X-PLY超强瓦楞纸板的强度试验研究[J]. *包装工程*, 2002, 23(3): 6-8.  
Guo Yanfeng, Zhang Wei. An Experimental Study on Strength of X-PLY Corrugated Paperboard[J]. *Packaging Engineering*, 2002, 23(3): 6-8.
- [10] 刘 晔, 王振林, 高德, 等. 三重组合瓦楞纸板静态平压性能的理论建模[J]. *包装工程*, 2004, 25(5): 162-164.  
Liu Ye, Wang Zhenlin, Gao De, et al. Modeling of the Static Plain Compression Performance of Triple Wall Corrugated Fiber Board [J]. *Packaging Engineering*, 2004, 25(5): 162-164.
- [11] Rouillard V, Sek M A. Behavior of Multi-Layered Corrugated Paperboard Cushioning Systems under Impact Loads[J]. *Strain*, 2007, 43: 345-347.
- [12] 温时宝, 冷 馨, 孙聚杰. 瓦楞结构纸蜂窝夹层的动态性能研究[J]. *包装工程*, 2009, 30(12): 53-55.  
Wen Shibao, Leng Xin, Sun Jujie. Study of Dynamic Performance of Paper Honeycomb Sandwich from Corrugated Board[J]. *Packaging Engineering*, 2009, 30(12): 53-55.
- [13] 王冬梅. 多层瓦楞纸板缓冲性能应变率效应[J]. *功能材料*, 2008, 39 (增刊): 375-377.  
Wang Dongmei. Cushioning Properties of Multi-Layer Corrugated Paperboards under Different Strain Ratio[J]. *Journal of Functional Materials*, 2008, 39(S1): 375-377.
- [14] 中国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实验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-4.  
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 8168 — 2008, Testing Method of Static Compression for Packaging Cushioning Materials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-4.

(责任编辑: 廖友媛)