

缓冲与隔振

0945 型瓦楞纸板衬垫缓冲防振性能试验

李晓刚, 孟星彤

(北京林业大学, 北京 100083)

摘要: **目的** 研究 0945 型瓦楞纸板衬垫三角形支座底部支撑点位置对其缓冲防振性能的影响。**方法** 以 0945 型衬垫三角形支座的底部支撑点与边缘的水平距离为结构参数, 采用 B 楞瓦楞纸板制作 5 种 0945 型衬垫试样, 利用静、动态压缩试验、随机振动试验分析衬垫的缓冲防振性能。**结果** 应力-应变曲线表明, 当底部支撑点与边缘的距离为 40 mm 时, 衬垫的最大应力达到 78 kN; 当该距离为 0 时, 衬垫的单位体积应变能达到 35.67 kJ/m^3 。最大加速度-静应力曲线表明, 40 mm 时衬垫的最大加速度最小。随机振动功率谱密度曲线表明, 距离为 0 时, 衬垫的功率谱密度峰值最小。**结论** 0945 型瓦楞纸板衬垫三角形支座为直角三角形时, 垂直边能承受较大载荷, 产生较小变形, 不易塌陷, 缓冲防振性能最好。

关键词: 瓦楞纸板; 衬垫; 缓冲防振

中图分类号: TB484.1; TB485.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0028-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.006

Test of Cushioning and Anti-vibration Properties of 0945-type Corrugated Paperboard Liner

LI Xiao-gang, MENG Xing-tong

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: The work aims to research the impact of bottom supporting point of triangular support on the cushioning and anti-vibration properties of 0945-type corrugated paperboard liner. With the horizontal distance between the bottom supporting point of the 0945-type liner's triangular support and the edge as structural parameter, and then five kinds of 0945-type liner samples were made by B-flute corrugated paperboard. Through the static and dynamic compression tests and random vibration test, the cushioning and anti-vibration properties of the liner were analyzed. The stress-strain curves showed that the maximum stress of liner reached up to 78 kN when the distance between the bottom supporting point and the edge was 40 mm. The unit volume strain energy of the liner was 35.67 kJ/m^3 when such distance was 0 mm. The maximum acceleration-static stress curve showed that the maximum acceleration of the liner was the minimum when the distance was 40 mm. Power spectral density curve of random vibration showed that the peak of power spectral density was the minimum when the distance was 0 mm. When the triangular support of 0945-type corrugated paperboard liner is right triangular, the perpendicular edge can endure larger loads and produce smaller deformation and not be easy to collapse, and the cushioning and anti-vibration properties are the best.

KEY WORDS: corrugated paperboard; liner; cushioning and anti-vibration

瓦楞纸板结构件是瓦楞纸板经过切割、开槽、压痕、折叠、粘合等方式制成的, 具有更好的缓冲性能。在缓冲防振包装方面, 瓦楞纸板衬垫已广泛取代泡沫塑料类缓冲衬垫。基础瓦楞纸板结构件有层叠型、口字型、斜撑型、三角型、错楞型等^[1], 常用瓦楞纸板

结构件有弹力型、折叠型、弹折型和角型^[2], 结构型式以及结构参数都会影响其缓冲效果。张涛^[3]分析了三角型瓦楞纸板结构件主要结构参数对其缓冲性能的影响。鄂玉萍等^[4]提出了一套三角形瓦楞纸板制品结构尺寸设计公式和方法。李兆元^[5]研究了斜撑结构

收稿日期: 2017-08-02

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (YX2015-02); 中央高校基本科研业务费专项资金 (2017ZY28)

作者简介: 李晓刚 (1977—), 男, 北京林业大学讲师, 主要研究方向为包装机械和运输包装。

单因素以及综合因素对结构最大载荷和承载性能的影响关系。Sek 等^[6-7]研究了多层叠置型瓦楞纸板衬垫的缓冲性能及其提高缓冲性能的方法。荆明浩等^[8]用能量吸收法分析了 0940 折叠型缓冲衬垫承载面积、侧板高度及楞向与缓冲性能的关系。王冬梅^[9]比较了 0966 弹力型、0/90/0 交叉叠置型和 0/0/0 平行叠置型瓦楞纸板衬垫的吸能性能。马宴苹等^[10]研究了跌落高度、厚度、密度及衬垫类型对弹力型、折叠型 AB 双瓦楞纸板衬垫动态缓冲特性的影响。刘功等^[11]设计并分析了 4 种瓦楞纸板缓冲结构,通过静动态实验分析缓冲防振性能的优劣。张克宏等^[12]结合 0940 型和 0941 型瓦楞纸板衬垫的优点改进了洗衣机的缓冲包装结构。李杨等^[13]为打印机设计了 0940 型和 0941 型瓦楞纸板衬垫,并进行有限元分析。李晓刚等^[14-16]研究了基于口字型、三角形结构件的一页折叠成型的粗陶茶具缓冲包装。

目前主要对口字型、三角形、折叠型、弹力型结构件的性能研究较多,弹折型和角型结构件的研究很少,0945 折叠型结构件的缓冲性能尚未有人研究过,因此,文中以 0945 型瓦楞纸板结构件为研究对象,通过试验探究结构参数对其缓冲防振性能的影响。

1 实验

1.1 材料

瓦楞纸板为特耐王包装(北京)有限公司的 B

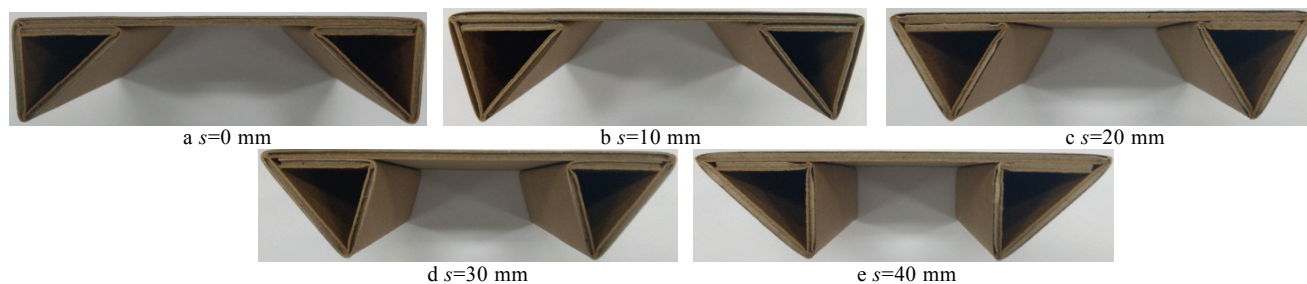


图 2 瓦楞纸板衬垫结构

Fig.2 Structures of corrugated paperboard liner

型号为 DCP-KY50kS,四川长江造纸仪器责任有限公司。动态压缩试验的设备采用综合包装冲击试验机,型号为 DY-2,陕西科技大学。随机振动试验的设备采用电磁振动试验系统,型号为 DC-300-3,苏州苏试试验仪器股份有限公司。试验方法:用毛刷在纸板粘接处均匀、快速涂抹白乳胶,保持 2~3 min 以保证粘接牢固。试样在温度(23±2)℃和相对湿度(50±2)%条件下预处理 24 h。

1) 静态压缩试验参考 GB/T 8168—2008^[17]。将试样放置在抗压试验机底座正中心,压板加载速度设置为 10 mm/min,测试试样承受载荷和相应变形量,直至试

型 3 层瓦楞纸板,每层定量分别为 200, 140, 200 g/m²,厚度为 3.0 mm。

1.2 规格

探究 0945 型瓦楞纸板衬垫三角形支座支撑点在 5 种位置时的缓冲防振性能,因此试样共有 5 种类型。5 种试样的承载面积和高度均相同,承载面积为 150 mm×150 mm,高度为 40 mm,5 种位置用三角形支座支撑点与边缘的距离 s 定义,位置 1 到位置 5 对应的 s 分别为 0, 10, 20, 30, 40 mm,见图 1—2。为避免瓦楞纸板楞向对试验产生影响,所有试样楞向与承载方向相同。

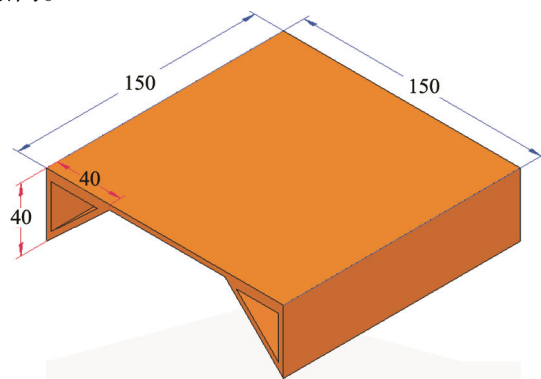


图 1 0945 型瓦楞纸板衬垫

Fig.1 0945-type corrugate paperboard liner

1.3 设备及方法

静态压缩试验的设备采用电脑测控抗压试验机,

样压溃,得到 5 种位置的试样的应力-应变曲线。

2) 动态压缩试验参考 GB/T 8167—2008^[18]。将试样放置在冲击试验机底座中心,重锤从 30 cm 高度自由跌落冲击底座上的试样,重锤质量分别取 4.16, 6.16, 8.16, 10.16, 12.16 kg,测试冲击过程中试样产生的最大加速度,得到 30 cm 跌落高度下的最大加速度-静应力曲线。重复以上过程,测试 45, 60 cm 跌落高度下的最大加速度-静应力曲线。

3) 随机振动试验参考 GB/T 4857.23—2012^[19]。将试验放置于振动台台面中心,其上方放置一质量块,用夹具将试样和质量块固定在台面上,质量块重

量分别为 2, 4, 6, 8, 10 kg。台面按照 ASTM D4728—2006^[20]中的公路运输方式进行随机振动, 振动时间为 20 min, 测试质量块上的振动响应。

2 结果与分析

2.1 静态压缩试验

每一种位置的试样数量为 5 个, 5 种位置的试样一共为 25 个, 通过静态压缩试验, 得到 25 个试样的压力和变形数据, 根据式 (1—2) 换算为应力、应变数据。

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{x}{d} \quad (2)$$

式中: σ 为静应力 (Pa); F 为压力 (N); A 为面积 (m^2); ε 为应变; x 为变形量 (mm); d 为试样厚度 (mm)。每一种位置的 5 个试样在相同应变下的静应力取平均值, 得到每一种位置的平均应力-应变曲线, 见图 3。

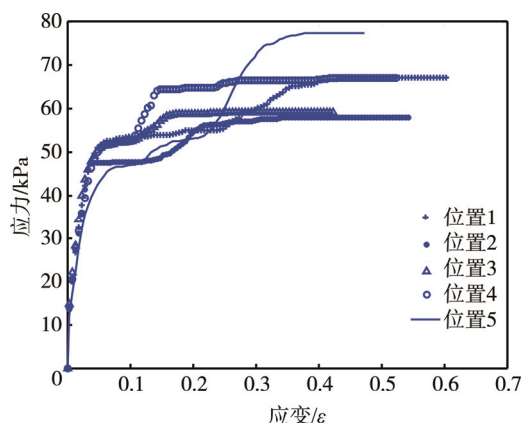


图3 5种位置的平均应力-应变曲线
Fig.3 Average stress-strain curves of 5 positions

从图3可以看出, 在应力较小时, 5种位置的应力-应变近似成线性关系且基本相近。当应力继续增大时, 位置5的应力和应变继续增加, 应力达到较高值时, 应变并没有出现突然增加, 且能持续较长时间, 这说明衬垫没有产生明显的压溃现象。其他4种位置下的应力达到某值时, 应变突然增大, 这说明衬垫产生压溃现象, 但位置1亦能承受较大载荷且持续时间最长。5种位置的衬垫能承受的最大应力从高到低依次为位置5、位置1、位置4、位置3、位置2。

除了最大应力, 单位体积应变能 e 也可以反映瓦楞纸板结构件的缓冲性能, 用应力-应变曲线下的面积来表征。由图3和试验数据对5种位置结构件的单位体积应变能 e 进行估算, 位置1到位置5时的单位体积应变能分别为 35.67, 28.98, 23.42, 32.16, 28.43

kJ/m^3 , 5种位置的衬垫的单位体积应变能从高到低依次为位置1、位置4、位置2、位置5、位置3。最大应力一致的情况下, 吸收能量越多, 缓冲性能越好, 因此位置1的缓冲性能优于位置4, 位置2的缓冲性能优于位置3。综合衬垫的最大应力和单位体积应变能, 位置1和5时衬垫具有较好的静态缓冲性能。

2.2 动态压缩试验

跌落高度 H 为 30 cm 时, 将同一种位置的试样在同一重锤质量下得到的 5 组冲击加速度峰值的平均值作为其在此静应力下的最大加速度, 见图4。可以看出, 0945 型瓦楞纸板结构件支撑点在 5 个不同位置时的最大加速度-静应力曲线都呈凹谷状, 且开口向上, 只有一个极值点。结构件支撑点位置的不同对其最大加速度-静应力曲线有影响。位置1时的曲线波谷极值最小, 各曲线波谷极值点所对应的最大加速度值从低到高依次为位置5、位置3、位置1、位置2、位置4。

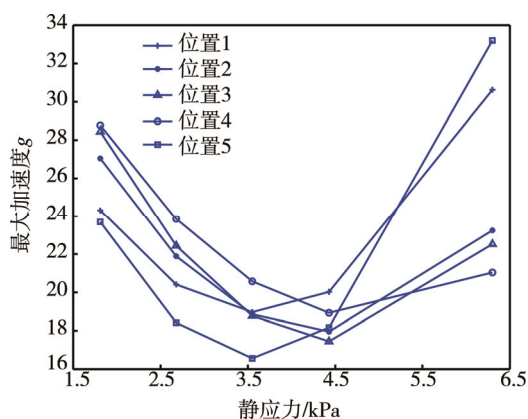


图4 5种位置的最大加速度-静应力曲线
Fig.4 The maximum acceleration-static stress curves of 5 positions

选取支撑点在位置5时的结构件进行不同跌落高度的动态冲击测试, 对其在同一跌落高度同一重锤质量下得到的 5 组冲击加速度峰值的平均值作为其在此跌落高度和静应力下的最大加速度, 见图5。从图5可以看出, 不同跌落高度对结构件的动态缓冲特性有影响。随着跌落高度的增加, 最大加速度值整体有上升的趋势, 且最大加速度-静应力曲线的最低点向左上方偏移。这说明随着跌落高度的增加, 结构件动态缓冲性能逐渐下降。结合试验过程中的现象分析, 当跌落高度为 60 cm, 静应力大于 4.43 kPa 时, 结构件变形已十分严重, 基本失去缓冲性能。

2.3 随机振动试验

通过随机振动试验, 得到 5 种位置的试样在 5 种质量块下, 振动台和质量块的功率谱密度曲线, 记录每种质量块下的功率谱密度曲线峰值和其所对应的

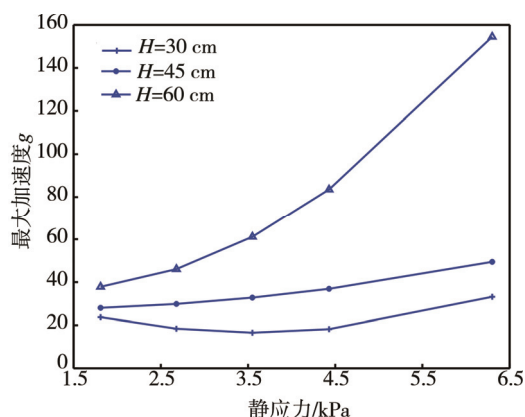


图 5 3 种跌落高度的最大加速度-静应力曲线

Fig.5 The maximum acceleration-static stress curves for 3 dropping heights

频率,并对同种试样在同种质量块下的 3 组峰值频率、功率谱密度最大峰值求平均值,见图 6。可以看出,支撑点位置相同时,质量块质量不同对瓦楞纸板结构件振动特性存在影响。质量块质量越大,频率越小,频率在 80~100 Hz 之间时,即质量块质量为 8 kg 时,功率谱密度峰值出现最大值。质量块质量越小,频率越大,功率谱密度峰值逐渐减小。质量块质量为 8 kg 时,位置 1 的功率谱密度峰值是 5 种位置中最低的,其次是位置 2 和位置 5。

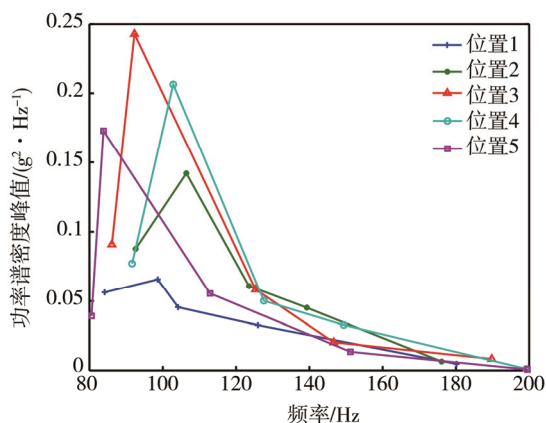


图 6 5 种位置的随机振动功率谱密度

Fig.6 Power spectral density of random vibration of 5 positions

3 结语

通过静态压缩试验和动态冲击振动试验,研究了 0945 型瓦楞纸板衬垫的三角形支座支撑点位置不同时的缓冲防振性能,得到如下结论。

- 1) 分析了支撑点位置对动静态缓冲性能的影响。位置 1 和位置 5 时的缓冲性能较好。
- 2) 分析了跌落高度对缓冲性能的影响。在位置 5 时,随着跌落高度的增加,缓冲性能逐渐降低。
- 3) 分析了支撑点位置以及质量块对振动特性的

影响。当质量块质量为 8 kg 时,5 种位置的缓冲衬垫振动功率谱密度峰值达到最大,位置 1 时的峰值最小,缓冲性能最好。质量块质量越小,振动频率越大,功率谱密度峰值逐渐减小。

4) 0945 型瓦楞纸板衬垫三角形支座为直角三角形时,垂直边能承受较大垂直方向的静动态载荷,水平方向承受载荷较小,纸板直角弯折处不易产生较大变形和塌陷,而其他位置时的三角形支座内角均为锐角,纸板弯折处承受水平方向载荷较大,极易产生较大变形和塌陷。

参考文献:

- [1] 孙聚杰. 瓦楞纸板结构件及强化技术研究现状[J]. 湖南包装, 2011(3): 26—28.
SUN Ju-jie. Research Status of Corrugated Paperboard Structural Component and Strengthening Technology[J]. Hunan Packaging, 2011(3): 26—28.
- [2] GB/T 6543—2008, 运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱[S].
GB/T 6543—2008, Single and Double Corrugated Boxes for Transport Packages[S].
- [3] 张涛. 瓦楞纸板缓冲件的结构模型及其参数研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
ZHANG Tao. The Research on Structure Analysis Model and the Structural Parameters of the Corrugated Cardboard Cushion[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [4] 鄂玉萍, 吕绍荣, 王志伟. 三角形瓦楞纸制品的结构尺寸设计[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2009, 8(1): 72—75.
E Yu-ping, LYU Shao-rong, WANG Zhi-wei. Dimension Design of Triangular Structural Component of Corrugated Paperboard[J]. Journal of Jiangnan University(Natural Science Edition), 2009, 8(1): 72—75.
- [5] 李兆元. 典型瓦楞纸板结构件的缓冲性能及其计算机仿真[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
LI Zhao-yuan. Research on Cushioning Property and Simulation of Typical Corrugated Board Structure[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [6] SEK M, ROUILLARD V, TARASH H, et al. Enhancement of Cushioning Performance with Paperboard Crumple Inserts[J]. Packaging Technology and Science, 2005, 18(5): 273—278.
- [7] ROUILLARD V, SEK M. Behaviour of Multi-layered Corrugated Paperboard Cushioning Systems under Impact Loads[J]. Applied Mechanics and Materials, 2007, 43(4): 345—347.
- [8] 荆明浩, 金佳丽, 刘静, 等. 瓦楞纸板缓冲衬垫的性能研究[J]. 中国包装工业, 2015(22): 35—37.

- JING Ming-hao, JIN Jia-li, LIU Jing, et al. Research on Performance of Corrugated Paperboard Cushion[J]. China Packaging Industry, 2015(22): 35—37.
- [9] 王冬梅. 瓦楞复合材料静态压缩吸能性能研究[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 71—73.
- WANG Dong-mei. Static Compression and Energy Absorption Properties of Corrugated Composites[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 71—73.
- [10] 马宴苹. AB 型双瓦楞纸板衬垫缓冲性能的试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- MA Yan-ping. Experimental Studies on Dynamic Cushioning Properties of Double-wall Corrugated Paperboard Cushion with A and B Flutes[J]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [11] 刘功, 刘占胜, 宋海燕. 瓦楞纸板缓冲包装结构的缓冲性能研究[J]. 中国包装, 2003(6): 95—96.
- LIU Gong, LIU Zhan-sheng, SONG Hai-yan. The Research on the Cushion Performance of Corrugated Cardboard as Package Structure[J]. China Packaging, 2003(6): 95—96.
- [12] 张克宏, 杜俊娟, 夏业鲍, 等. 液晶显示器的全瓦楞纸板缓冲包装设计[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(6): 14—17.
- ZHANG Ke-hong, DU Jun-juan, XIA Ye-bao, et al. LCD's Cushioning Package Design with Corrugated Board[J]. Packaging and Food Machinery, 2009, 27(6): 14—17.
- [13] 李杨, 陈曲. 基于 Ansys 的打印机全瓦楞缓冲包装设计[J]. 包装学报, 2012, 4(2): 37—41.
- LI Yang, CHEN Qu. Corrugated Cushioning Packaging Design of Printer Based on Ansys[J]. Packaging Journal, 2012, 4(2): 37—41.
- [14] 李晓刚, 蔡源春, 蔡静蕊, 等. 粗陶球形两件套手抓壶包装: 中国, 205186951U[P]. 2016-04-27.
- LI Xiao-gang, CAI Yuan-chun, CAI Jing-rui, et al. Coarse Ceramic Spherical Two-piece Tea Set Packaging: China, 205186951U[P]. 2016-04-27.
- [15] 李晓刚, 蔡源春, 蔡静蕊, 等. 粗陶球形三件套手抓壶包装: 中国, 205221326U[P]. 2016-05-11.
- LI Xiao-gang, CAI Yuan-chun, CAI Jing-rui, et al. Coarse Ceramic Spherical Three-piece Tea Set Packaging: China, 205221326U[P]. 2016-05-11.
- [16] 李晓刚, 蔡源春, 蔡静蕊, 等. 碗包装结构: 中国, 205221513U[P]. 2016-05-11.
- LI Xiao-gang, CAI Yuan-chun, CAI Jing-rui, et al. A Bowl Packaging Structure: China, 205221513U[P]. 2016-05-11.
- [17] GB/T 8168—2008, 包装用缓冲材料静态压缩试验方法[S].
- GB/T 8168—2008, Testing Method of Static Compression for Packaging Cushioning Materials[S].
- [18] GB/T 8167—2008, 包装用缓冲材料动态压缩试验方法[S].
- GB/T 8167—2008, Testing Method of Dynamic Compression for Packaging Materials[S].
- [19] GB/T 4857.23—2012, 包装 运输包装件基本试验第 23 部分: 随机振动试验方法[S].
- GB/T 4857.23—2012, Packaging-Basic Tests for Transport Packages-Part 23: Random Vibration Test Method[S].
- [20] ASTM D4728—2006, Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers[S].