

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2012.01.002

# 填充型瓦楞纸板的力学性能研究

张维莉<sup>1</sup>, 蒋海云<sup>1</sup>, 黄道军<sup>2</sup>, 龚健健<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 南京工程学院 材料工程学院, 江苏 南京 211167)

**摘要:** 为开发泡沫塑料回收新途径, 同时提高瓦楞纸板的包装适应性, 分别在 A 型瓦楞纸板中填充一定量聚乙烯 (PE) 和聚苯乙烯 (PS) 泡沫, 获得填充型纸板 A-PE 和 A-PS。并考查了泡沫填充对瓦楞纸板力学强度和缓冲特性的影响。实验结果表明: 与未填充泡沫的 A 型瓦楞纸板相比, A-PE 与 A-PS 的平压强度、边压强度、戳穿强度以及抗压性能都有较明显的提高, 纸板的回弹性能也得到了改善。研究还发现: 泡沫聚乙烯或聚苯乙烯的填充, 有利于提高纸板的缓冲性能; 但是填充聚苯乙烯泡沫对纸板的振动传递率影响不大, 而填充聚乙烯将提高纸板的传递率, 不利于防振包装设计。

**关键词:** 瓦楞纸板; 填充; 力学性能; 振动传递率

**中图分类号:** TB484.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2012)01-0005-04

## Mechanical Properties of the Corrugated Fiberboards Filled with Foam

Zhang Weili<sup>1</sup>, Jiang Haiyun<sup>1</sup>, Huang Daojun<sup>2</sup>, Gong Jianjian<sup>2</sup>

(1. School of Packaging and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. School of Materials Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

**Abstract:** Corrugated fiberboards were suggested to be filled with abandoned foams in order to improve their packaging adaptability, which may be also a new way of reuse for waste materials. Two filled A-type corrugated fiberboards were obtained through filling polyethylene foam or polystyrene foam (abbreviated as A-PE and A-PS). Compared with the unfilled corrugated fiberboards, both of the filled ones' mechanical properties were enhanced efficiently including flat crush strength, edge crush strength and punctured strength. The rebound resilience of the corrugated fiberboards was also increased by filling polyethylene foam or polystyrene foam. At the same time, the results indicated the fillers can improve the cushion performance of the fiberboards. However, the addition of polystyrene foam had no obvious effects on the vibration transmissibility while the addition of polyethylene foams increased the vibration transmissibility but was not beneficiary to the design of anti-vibration package.

**Key words:** corrugated fiberboard; filling; mechanical property; vibration transmissibility

## 0 引言

随着绿色包装理念的不断深入, 瓦楞纸板以其

可降解和可再生的特性倍受青睐<sup>[1]</sup>, 在包装领域中得到了广泛的应用, 其产值占包装工业制品总产值的 30% 以上<sup>[2]</sup>。然而, 瓦楞纸板的力学强度一般偏

收稿日期: 2011-07-28

作者简介: 张维莉 (1982-), 女, 江苏南京人, 湖南工业大学教师, 主要从事包装材料方面的教学与研究,

E-mail: zh-weili@163.com

通信作者: 蒋海云 (1978-), 男, 湖南湘潭人, 湖南工业大学讲师, 博士, 主要从事包装材料方面的教学与研究,

E-mail: jhyun@163.com

低,难以满足某些重型产品的包装需要。目前,提高瓦楞纸板强度的主要方法有如下2种:一是采用高强度的瓦楞原纸,二是优化瓦楞纸板的结构。因为第一种处理方法会导致高强度瓦楞原纸的供需出现较大缺口<sup>[3]</sup>,所以优化瓦楞纸板的结构成为提高瓦楞纸板强度的重要研究方向。为此,科研人员对瓦楞纸板的结构展开了深入研究,并开发出了许多新品种<sup>[4-9]</sup>。其中,较为成功的做法是将不同纸板进行组合,以获得综合性能较优的复合纸板。如李厚明等<sup>[4]</sup>将瓦楞纸板与蜂窝纸板组合,得到了对于小幅荷载和较大的冲击荷载均有较好缓冲性能的组合结构产品。车庆浩等<sup>[5]</sup>研究发现,新型双拱瓦楞纸板的平压强度优于5层瓦楞纸板,边压强度及耐破度则略低于5层瓦楞纸板;与5层瓦楞纸板相比,其纸板使用量可降低18%~23%,厚度可减小20%~50%,节约了储运空间。然而目前瓦楞纸板的品种仍然非常有限,大部分还是3层、5层或7层纸板,并且随着瓦楞纸箱回收使用率的增加,纸箱的强度相对降低,远不能满足市场需求<sup>[10]</sup>。

泡沫塑料作为一类重要的缓冲包装材料,在包装领域仍具不可替代的作用。然而泡沫塑料的回收成本相对较高,处理不当将造成严重的环境污染<sup>[11-12]</sup>。为此,笔者尝试利用废旧的聚乙烯(polyethylene, PE)和聚苯乙烯(polystyrene, PS)泡沫填充瓦楞纸板,并对填充泡沫后的瓦楞纸板的力学性能进行初步的探索,以期开发泡沫塑料新的回收途径,同时提高瓦楞纸板的包装适应性。

## 1 实验

实验中以市售A型瓦楞纸板(简称A)作为主要研究对象,分别将等体积的市售聚乙烯泡沫与聚苯乙烯泡沫填入瓦楞中(每间隔1条楞填充1条,且泡沫用黏结剂固定),得到聚乙烯泡沫填充纸板和聚苯乙烯泡沫填充纸板,分别简记为A-PE与A-PS。

1) 纸板的基本力学性能测试。对A型瓦楞纸板及填充后的瓦楞纸板,分别按照GB/T 6546—1998《瓦楞纸板边压强度的测定法》的要求测定其边压强度,按照GB/T 22874—2008《单面和单瓦楞纸板平压强度的测定/Y》的要求测定其平压强度,按照GB/T 2679.7—2005《纸板戳穿强度的测定》的要求测定其戳穿强度。

2) 纸板的静态压缩实验。将所制得的纸板裁切为150 mm × 150 mm的实验样品,用WSM-100N型电子拉压机对实验样品加压,加压速度为12 mm/min,直

到纸板的变形量为预压缩后实验样品厚度的50%,或压力增量大于100%时,停止实验。卸载3 min后,测得实验样品的厚度( $d_c$ ),并用式(1)计算样品的残余应变 $\varepsilon$ 。

$$\varepsilon = (d - d_c) / d \times 100\%, \quad (1)$$

式中 $d$ 为实验样品的原始厚度。

3) 纸板的动态缓冲跌落实验。用自由跌落的重锤对瓦楞纸板施加冲击载荷,模拟装卸过程中缓冲材料受到的冲击作用,求得最大加速度-静应力曲线( $a_m - \sigma_{st}$ )。本实验中,跌落高度为400 mm,同一重锤对试样分别进行4次平压冲击,且各次冲击的时间间隔大于1 min,将4次冲击所获得的最大加速度取平均值即为实验加速度值。

4) 传递率实验。参照GB 8169—2008《包装用缓冲材料振动传递特性试验方法》中的有关规定,采用DY-200-2型电动振动试验系统进行纸板的振动传递率实验。试样的承载面积均为200 mm × 200 mm,激振加速度为1g,扫描范围为3~80 Hz,同一条件下的实验重复5次,取平均值。

## 2 结果与讨论

瓦楞纸板作为一种重要的缓冲包装材料,其力学强度(包括抗压强度、抗戳穿强度等)以及缓冲特性(包括静态压缩性能、动态压缩性能以及振动传递率等)是衡量其包装适应性的重要指标。本研究中分别以聚乙烯泡沫与聚苯乙烯泡沫填充A型瓦楞纸板,获得A-PE与A-PS两种新的填充纸板。分别测试纸板的抗压强度、戳穿强度、静态压缩性能以及振动传递率,以考察聚乙烯泡沫与聚苯乙烯泡沫对瓦楞纸板包装适应性的影响。

表1为3种纸板的平压强度、边压强度以及戳穿强度的比较。

表1 3种纸板的基本力学性能比较

Table 1 Comparison of basic mechanical properties of three corrugated fiberboards

纸板类型	平压强度 $\sigma_c$ /MPa	边压强度 $R$ /(kN·m <sup>-1</sup> )	戳穿强度 $C$ /J
A	0.05	3.41	6.7
A-PE	0.24	3.67	10.9
A-PS	0.40	4.27	10.0

从表1可以看出,A-PE与A-PS两种填充纸板的平压强度远大于A型瓦楞纸板,其中A-PS的平压强度提高得更多,大约是A-PE的2倍。A型瓦楞纸板的边压强度为3.41 kN/m,填充PE泡沫后,其边压强度略有提高;而A-PS的边压强度则为4.27 kN/m,比

A 高出约 20%。同样, A-PE 与 A-PS 的戳穿强度较 A 的高出 30% 多, 稍有不同的是, A-PS 的戳穿强度要略低于 A-PE。结合以上性能比较可知, 填充部分泡沫后, 纸板的强度都有不同程度的提高, 其中以平压强度的提高最为显著。

为进一步考查填充泡沫对纸板力学性能的影响, 分别测试了 3 种纸板的静态抗压性能, 所得结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出, 填充泡沫后的瓦楞纸板的抗压性能明显高于没有填充的瓦楞纸板。在压缩过程中, A-PE 与 A-PS 的力学响应明显分为 2 个阶段。第一阶段(即压缩位移小于 1.0 mm 曲线段), A-PE 与 A-PS 抵抗压缩的作用力迅速增加; 在位移为 0.5 mm 附近, 抗压作用力增速放缓。对比 A 的静态压缩实验结果可知, 第一阶段纸板的抗压能力主要决定于瓦楞纸板本身, 填充泡沫对纸板抗压性能贡献不大。但在第一阶段后期, 泡沫对纸板抗压性能的改善已有一定体现。主要表现在, A 的抗压作用力在第一阶段后期逐渐减小, A-PE 与 A-PS 的抵抗力仍然随位移的增加而提高。第二阶段(即压缩位移超过 1.0 mm 曲线段), A 受压失稳, 逐渐失去抵抗力; 相反, A-PE 与 A-PS 随位移的增大, 其抗压作用力近似直线上升, 由此说明, 泡沫的添加对改善纸板后期抗压性能有显著的促进作用。

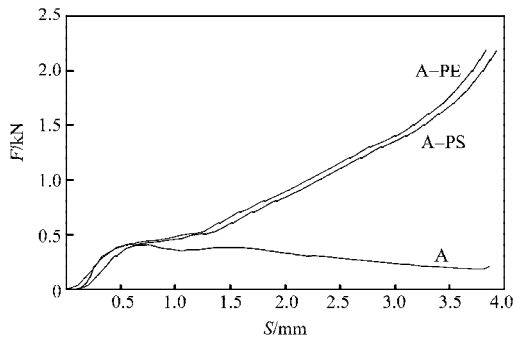


图 1 纸板的静态压缩性能

Fig. 1 Static compressive property of the fiberboards

经计算, A, A-PE 以及 A-PS 的残余应变分别为 80%, 53%, 58%。这进一步表明, 泡沫填充纸板不仅有利于提高纸板的强度, 还可以在在一定程度上促进纸板的回弹性, 有利于提高纸板的包装适应性。

图 2 所示为 A, A-PE 以及 A-PS 3 种纸板的冲击加速度峰值与静应力的关系对比。

由图 2 可看出, 3 条曲线的谷底位置相差不大, 冲击加速度峰值的最低点在 A-PE 上, 次低点在 A-PS 上。这表明填充泡沫后, 纸板对冲击能量的吸收能力都有一定程度的提高。

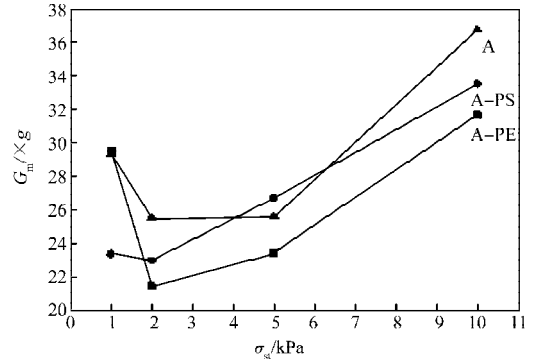


图 2 纸板冲击加速度峰值与静应力的关系

Fig. 2 Relationship of the maximal impact acceleration and static stress of the fiberboards

图 3 所示为 A, A-PE 以及 A-PS 3 种纸板的振动传递率特性曲线。

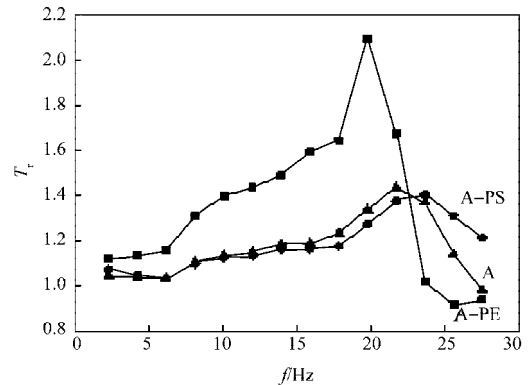


图 3 纸板的振动传递率特性

Fig. 3 The vibration transmissibility of three corrugated fiberboards

从图 3 中可以看出, 纸板填充聚苯乙烯泡沫后, 其振动传递率变化不大; 然而填充聚乙烯泡沫后, 纸板的振动传递率变化较大。当激振频率低于 23 Hz 时, A-PE 的振动传递率高于 A 和 A-PS 的振动传递率。特别是激振频率为 20 Hz 时, A-PE 的振动传递率接近 2.1。当激振频率高于 23 Hz 时, A-PE 的振动传递率明显低于 A 和 A-PS 的振动传递率。可见, 当环境的激振频率低于 23 Hz 时, 聚乙烯泡沫的添加不利于纸板的防振包装设计; 然而当环境的激振频率高于 23 Hz 时, 聚乙烯泡沫的添加则有利于纸板的防振包装设计, 而聚苯乙烯泡沫的添加则没有明显的影响。

### 3 结论

在 A 型瓦楞纸板中填充一定量的泡沫, 分别获得填充型纸板 A-PE 和 A-PS。通过实验测试与分析, 可得到如下结论:

1) 与 A 型瓦楞纸板相比, A-PE 与 A-PS 的平压强度、边压强度、戳穿强度以及抗压性能都有了明

显的提高。

2) 通过填充泡沫聚乙烯或聚苯乙烯, 纸板的回弹性能可得到改善。

3) 填充泡沫聚乙烯或聚苯乙烯, 还有利于提高纸板的动态缓冲特性。

4) 填充聚苯乙烯泡沫对纸板的振动传递率影响不大。当激振频率低于 23 Hz 时, 填充聚乙烯将提高纸板的传递率, 不利于防振包装设计; 反之, 当激振频率高于 23 Hz 时, 填充聚乙烯将降低纸板的传递率, 有利于防振包装设计。

另外, 值得注意的是, 在瓦楞纸板中添加泡沫的做法尚处于初步探索阶段, 对于如何实现工业化生产以及怎样解决填充瓦楞纸板的回收再利用问题还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 高德, 刘壮, 董静, 等. 瓦楞纸板包装材料的性能及其发展前景[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 1-4.  
Gao De, Liu Zhuang, Dong Jing, et al. The Property and Prospect of the Corrugated Paper Board[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 1-4.
- [2] 高妹芬, 王宁红, 吴国荣. 瓦楞纸箱业历史, 现状和发展[J]. 机电信息, 2004(5): 28-31.  
Gao Meifen, Wang Ninghong, Wu Guorong. The History, Currence and Development of the Industry of Corrugated Box[J]. Electrical and Mechanical Information, 2004(5): 28-31.
- [3] 关言. 瓦楞纸板市场及发展趋势[J]. 中国包装工业, 2006(2): 40-41.  
Guan Yan. Developing Trends in the Corrugated Paperboard Market[J]. China Packaging Industry, 2006(2): 40-41.
- [4] 李厚民, 朱若燕, 杨晓俊, 等. 蜂窝纸板与瓦楞纸板组合结构缓冲特性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(4): 9-11.  
Li Houmin, Zhu Ruoyan, Yang Xiaojun, et al. Research on the Cushioning Properties of Combination of Honeycomb Paperboard and Corrugated Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 9-11.
- [5] 车庆浩, 孙诚, 刘功. 新型四层瓦楞纸板的性能研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 39-41.  
Che Qinghao, Sun Cheng, Liu Gong. Properties of New-Style Four-Layer Corrugated Board Structure[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 39-41.
- [6] 郭娟, 刘功. 新型瓦楞纸板(双拱)组合结构性能的研究[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 52-53.  
Guo Juan, Liu Gong. The Study of the Characteristics of the New Type Combined (Double Wall) Corrugated Paper[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 52-53.
- [7] Bridges Jr R L. Corrugated Paper Pallet: US, 5595125[P]. 1997-01-21.
- [8] Juvik-Woods H C. Compositd Four-Way Paper Cargo Pallet: US, 5537937[P]. 1996-07-23.
- [9] Lin G. Corrugated Board Structure: US, 5842315[P]. 1998-12-01.
- [10] 戴宏民. 新型绿色包装材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-3.  
Dai Hongmin. Novel Green Packaging Materials[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1-3.
- [11] 王永耀. 聚乙烯、聚丙烯废塑料回收利用进展[J]. 石油化工, 2003, 32(8): 718-723.  
Wang Yongyao. Progress on Recovery and Utilization of Polyethylene and Polypropylene Plastics Waste[J]. Petrochemical Technology, 2003, 32(8): 718-723.
- [12] 刘英俊. 聚苯乙烯泡沫塑料回收利用技术研究进展[J]. 塑胶工业, 2006, 9(6): 8-10.  
Liu Yingjun. Progress on Recovery and Utilization of Polystyrene Foam [J]. Plastics Industry, 2006, 9(6): 8-10.

(责任编辑: 廖友媛)