

## 松散填充材料的缓冲性能研究

徐熙燕, 康勇刚

(天津科技大学, 天津 300222)

**摘要:** 松散填充材料可以用于对任意规格尺寸及形状的产品进行缓冲包装和固定, 具有包装作业的方便性和适用性。松散填充材料的载荷能力、缓冲包装性能及对产品的固定作用, 决定了这一材料的包装保护功能。通过对 4 种结构形状的松散填充材料在静态压缩、动态冲击和迁移性方面的测试与评价, 分析了各种松散填充材料的包装性能, 并与纸浆模制松散填充材料进行了比较, 说明了松散填充材料单体结构形状对其缓冲性能和固定作用的影响。

**关键词:** 松散填充材料; 缓冲作用; 包装性能

**中图分类号:** TB485.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0044-04

### Study of Cushioning Properties of Loose Filling Materials

XU Xi-yan, KANG Yong-gang

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** Loose filling material has suitability and convenience in packing operation, and can be used for packaging of products with varied shape, size and dimension. Packaging protection function of the material is determined by its loading ability, cushioning packaging property, and the ability of proper securing products inside the container. Tests of static compression, dynamic impact, and degree of migration were carried out to four different types of loose filling material. The packaging properties of the loose filling materials were analyzed and compared with moulded pulp loose filling material. The influence of single unit structure and shape of loose filling material on cushioning property and securing function was explained.

**Key words:** loose filling materials; cushioning function; packaging properties

为使包装材料具有环保性质,符合固体废弃物提倡资源化、减量化、无害化的原则<sup>[1]</sup>,减少泡沫塑料体积大、不易降解、难回收、焚烧处理产生有害气体等不利因素<sup>[2]</sup>,包装业在发展利用纸质材料的过程中,研究了具有加工性良好、载荷性能好、可回收,但耐潮湿性能差、弹性恢复能力弱等特点的瓦楞纸板和蜂窝纸板<sup>[3-4]</sup>。同时,对具有的原料来源广、废弃物可回收再生、应用过程无公害、缓冲性能好等特点的纸浆模制品进行了应用研究<sup>[5]</sup>。目前,纸浆模制品缓冲包装结构形状受到产品形状特征、质量及可耐受冲击力等因素的限制,尚缺乏设计规范和性能评价标准<sup>[6]</sup>,被包装产品的结构及形状特征成为纸浆模制品缓冲结构设计及可靠性的决定性因素。

松散填充物是一种近粒状的,具有流动特征,能够以填充方式对产品进行缓冲和固定的包装材料。松散填充材料能够填充于被包装物与包装箱的空隙间,能适应不同形状、尺寸、质量的物品。目前应用的松散填充材料主要由聚乙烯发泡、聚苯乙烯发泡、淀粉基植物纤维材料或其它粒状的材料。国外已有对由淀粉和其他高分子聚合物混合发泡制成的松散填充材料的性能研究,有学者用羟基淀粉<sup>[7]</sup>、70%(质量分数,后同)淀粉和 30%(质量分数,后同)聚苯乙烯<sup>[8]</sup>分别制得松散填充泡沫材料,研究玉米淀粉松散填充物物理性质的影响因素,商用的淀粉基泡沫粒子和聚苯乙烯泡沫粒子的各方面性能的对比<sup>[9]</sup>;评价乙酰化淀粉、聚乳酸和乙醇对挤出泡沫的功能特性<sup>[10]</sup>

**收稿日期:** 2011-12-05

**作者简介:** 徐熙燕(1985—),女,山东人,天津科技大学硕士生,主攻结构缓冲包装材料设计与评价。

**通讯作者:** 康勇刚(1957—),男,辽宁人,天津科技大学教授,主要研究方向为缓冲材料加工与评价、运输包装。

等。对松散填充材料在包装应用中的缓冲性能,产品在包装容器内迁移程度尚没有系统地研究。

为了对松散填充材料进行包装性能方面的评价,选用纸浆模制纤维材料制成松散填充物,通过结构形状设计使其在包装容器内具有对被包装物的缓冲保护性能并能够对被包装物有效地固定,使容器内的被包装物在运输流通中减少因冲击和振动引起的沉降、移位而影响缓冲包装的保护功能。对纸浆模制松散填充物与常用的4种发泡塑料松散填充物分别进行缓冲性能测试并作对比和分析。

## 1 实验

### 1.1 材料

4种发泡塑料松散填充物样品,按照形状特征分别为发泡聚乙烯(EPE)波浪形、齿轮形、发泡聚苯乙烯(EPS)的S形和E形,由大固包装材料有限公司提供;具有3个展翼型纸浆模制松散填充物样品由定创中心(香港)有限公司提供。纸浆模制松散填充物的形状特征为半圆弧状壳体及由半圆弧状壳体底部向外延展的3个展翼组成,展翼以对称方式分布,每个展翼向外、向上延伸均呈卷曲结构形式;半圆弧状壳体顶部设有三岔形的凹槽,卷曲的展翼上有肋状凸起。实验样品的参数说明见表1。

表1 实验样品特征

Tab.1 Characters of the samples

样品编号	1	2	3	4	5
形状	波浪形	齿轮形	S形	E形	翼瓣形
材质	发泡 聚乙烯	发泡 聚乙烯	发泡 聚苯乙烯	发泡 聚苯乙烯	纸浆 模制品
密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	0.024 6	0.022 9	0.007 05	0.007 69	0.683 4
示例图					

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品材料密度及填充物表观密度测量

分别从5种样品中随机抽取单体样品,测量体积,称量后进行材料单体的密度计算。将各种松散填充材料填入内部尺寸为150 mm×150 mm×150 mm的箱内,填充标定高度为120 mm±3 mm,用电子分

析天平(PB203-N, Mettler-Toledo Instr. (Shanghai) Ltd, 上海)称量所填材料的质量,参考GB/T 6343—2009《泡沫塑料及橡胶表观密度的测定》对每组试样的表观密度进行测试,样品的材料密度及填充物表观密度取各组均值。

#### 1.2.2 静态压缩和动态冲击缓冲性能测试

参照GB 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》和GB 8167—1987《包装用缓冲材料动态压缩试验方法》,对5种分组后的松散填充材料分别进行静态压缩和动态冲击试验。静态压缩采用电子万能材料试验机(INSTRON3369, 美国)进行,被压缩的填充料面积为225 cm<sup>2</sup>,料层厚度为120 mm±3 mm;由于松散填充材料的松散特性,动态冲击试验中将外尺寸为150 mm×150 mm×150 mm的刚性立方体固定于动态冲击试验机(DY-2, 陕西科技大学)质量台的下表面使其形成150 mm×150 mm冲击面积。松散填充材料填入开口尺寸为170 mm×170 mm×150 mm的容器内,填充的料层厚度为90 mm±3 mm,设定的动态冲击高度为76 cm。

#### 1.2.3 被包装物振动试验

参照GB/T 4587.10—2005《正弦变频振动试验方法》,用质量为4.84 kg、底部接触面积为288 cm<sup>2</sup>的模拟物作为被包装产品,放置于内部尺寸为350 mm×240 mm×270 mm的包装箱的中心位置,对5种松散填充样品分别进行扫频和定频振动试验,对比实验前后包装模拟物在包装箱内沿不同方向上相对位置的迁移变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 表观密度测量结果分析

松散填充物与成型后的实体发泡缓冲材料不同,填充物颗粒之间存在间隙,并且间隙大小因填充物的结构形状、尺寸因素而具有随机性。对每类样品分组后表观密度测量的平均值及误差见图1。

EPE波浪形和齿轮形填充材料的自身密度分别为0.024 6 g/cm<sup>3</sup>和0.022 9 g/cm<sup>3</sup>,波浪形样品1结构形状之间产生的空隙较齿轮状样品2相对要少,表现出的表观密度分别为0.012 3 g/cm<sup>3</sup>和0.008 17 g/cm<sup>3</sup>;EPS的S型和E型样品的填充材料的自身密度分别为0.007 05 g/cm<sup>3</sup>和0.007 69 g/cm<sup>3</sup>,表观密度分别为0.005 g/cm<sup>3</sup>和0.004 9 g/cm<sup>3</sup>;由于EPE

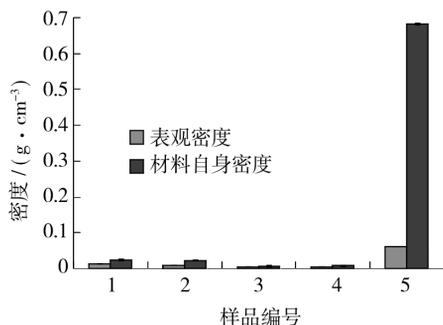


图1 样品表观密度

Fig. 1 Apparent density of the samples

材料密度比 EPS 大,表现出较 EPS 高的表观密度。由于纸浆模制品材料本身密度大,翼瓣形样品 5 在填充到等量空间后的表观密度最高。

## 2.2 静态压缩试验结果与分析

试样受静态压缩后得到的应力-应变-缓冲系数曲线见图 2。在同一应变时,纸浆模制品试样 5 在相

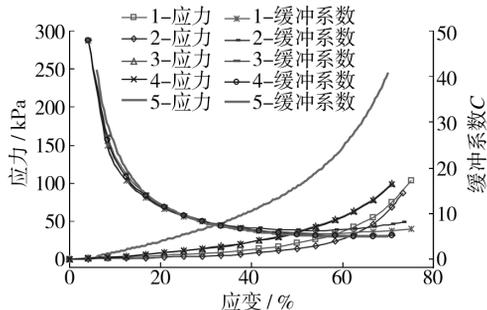


图2 应力-应变-缓冲系数曲线

Fig. 2 Stress-strain-cushioning coefficient curves

同应变条件下的应力值大于其余 4 组,载荷能力是 EPE 样品的 5 倍,是 EPS 样品的 3 倍,试样 5 与各种泡沫塑料样品的缓冲系数相近。

## 2.3 动态冲击试验结果与分析

由动态冲击试验数据处理得到静应力-峰值加速度曲线,见图 3。

实验结果表明,试样 5 所承受的静应力范围最大,产生的峰值加速度也最大。发泡塑料样品 1,2,4 的静应力范围均在 0.6~2.5 kPa 之间,其中由于齿轮形样品 2 的结构占有空间体积大,表观密度比波浪形样品 1 小,在受到 4 kg 以上的重锤冲击时,材料出现被压实的趋向,导致峰值加速度急剧上升。S 形样品 3 的静应力范围在 1.8~2.8 kPa 之间,因材料表面光滑,长径比较大,在受到重锤冲击后材料出现

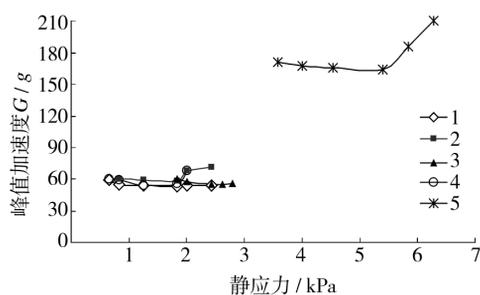


图3 静应力-峰值加速度曲线

Fig. 3 Static stress-peak acceleration curves

“溅”起现象,并有部分材料脆断,材料因冲击后的回弹使得填充空间上表面的材料产生重新排列,随着重锤质量增加其峰值加速度变化不大。

## 2.4 振动试验结果与分析

### 2.4.1 共振频率测试

经过扫频实验得到 5 种样品的共振频率,见图 4。

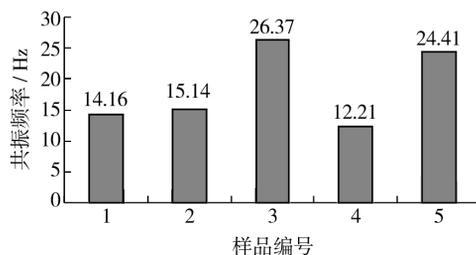


图4 5种样品的共振频率

Fig. 4 Resonance frequency of five types of sample

样品 1,2,4 的共振频率范围在 12~16 Hz 之间,而样品 3 和 5 的共振频率范围在 24~27 Hz 之间,可见 5 种材料的共振频率均在公路运输的频率范围内。

### 2.4.2 包装物迁移测试

迁移量是指被包装模拟物振动测试前后在包装容器内相对于原有位置的变化量。5 种材料在不同方向的迁移量见表 2,波浪形样品 1 和 S 形样品 3 的迁移量相近,两者均形状简单,单体排列紧密,填充空间中空隙较少,被包装模拟物的迁移量主要是由于材料被压缩变形引起;齿轮形样品 2 的单体尺寸较大,单体间形成的空隙较多,材料变形和材料之间空隙减小都引起产品迁移;E 形样品 4 的迁移最显著,E 形结构使单体之间在随机填充时能够产生一定的勾连作用,但因 EPS 脆性大,在振动过程中外伸的结构容易折断,失去对产品的有效固定;翼瓣形试样 5 的迁移量最小,薄壳及 3 个弯曲翼瓣的结构特征产生结构

表 2 各种样品迁移量对比

Tab.2 Comparison of product migration under different loose filling packaging

样品 编号	左右迁移量 /mm	前后迁移量 /mm	上下迁移量 /mm
1	1.50	1.50	6.25
2	10.75	2.75	9.25
3	0.75	1.25	6.75
4	20.25	35.00	25.25
5	1.50	1.25	3.25

体之间的相互交织使得纸浆模制松散填充材料单体间的勾连作用非常显著,形成相对稳定的空间形态,在振动过程中,产品产生轻微下沉的主要因素来自填充体的载荷变形。

### 3 结论

松散填充缓冲材料的材质、自身密度、结构形状和尺寸对表观密度、载荷能力和缓冲性能有着不同程度的影响。与发泡塑料相比较纸浆模制松散填充材料的表观密度和静态载荷能力大,载荷能力较发泡塑料高出 3 到 5 倍;在相近的缓冲系数范围内,纸浆模制松散填充材料压缩变形量在 40%~65%范围内有较高的缓冲效率。动态冲击实验结果表明,纸浆模制松散填充材料在高静应力状态下的冲击加速度值较高,适于接触应力大,脆值较高产品的缓冲保护。

纸浆模制松散填充材料的防迁移性能比 4 种结构形式的泡沫塑料松散填充材料好,弯曲翼瓣的结构特征能够有效使填充材料的个体间产生勾连作用,更为有效的将产品固定于包装容器内,从而避免因产品在包装容器内的迁移及二次跌落冲击时对产品产生损坏的可能,增加对产品保护作用的可靠性。研究与对比试验分析说明松散填充物的材质、结构形状及尺寸变化是缓冲功能,防迁移作用的主要因素。

#### 参考文献:

[1] 蒋兴业. 纸浆模塑包装大有可为[J]. 市场观察,1998(5): 16.

JIANG Xing-ye. Moulded Pulp Packaging Have Future [J]. Market Observer,1998(5):16.

- [2] 王延让,王倩. 塑料包装物环境影响分析[J]. 环境与健康杂志,1997,14(6):285-287.  
WANG Yan-rang, WANG Qian. Environment Influence Analysis of Plastic Packaging[J]. Journal of Environment and Health,1997,14(6):285-287.
- [3] 杨嫣红,王志伟. 缓冲包装材料及其性能研究进展[J]. 包装工程,2002,23(4):96-99.  
YANG Yan-hong, WANG Zhi-wei. Research Progress in Cushion Packaging Materials and Their Properties[J]. Packaging Engineering,2002,23(4):96-99.
- [4] 王文明. 蜂窝纸板的应用及市场前景分析[J]. 今日印刷,2002(3):52-54.  
WANG Wen-ming. Analysis of Application and Market prospect of Honeycomb Cardboard [J]. Print Today, 2002(3):52-54.
- [5] 王宏涛,骆光林. 纸浆模塑包装缓冲特性研究进展[J]. 中国包装,2007(3):79-81.  
WANG Hong-tao, LUO Guang-lin. Research Progress in Cushioning Properties of Moulded Pulp Packaging [J]. China Packaging, 2007(3):79-81.
- [6] 耿东伟. 纸浆模塑制品性能研究进展和发展方向[J]. 包装工程,2007,28(4):19-20.  
GENG Dong-wei. Progress and Development Trend of Molded Pulp Products Properties Research [J]. Packaging Engineering,2007,28(4):19-20.
- [7] ALTIERI P A, LACOURSE N L. Starch-based Protective Loosefill Material[C]//Proceedings of the Corn Utilization Conference, St Louis, MO, National Corn Growers Association,1990:20-21.
- [8] CHINNASWAMY R, HANNA M A. Biodegradable Polymers: USA, 5496895[P]. 1996.
- [9] TATARKA P D, CUNNINGHAM R L. Properties of Protective Loose-fill Foams[J]. J Polym Sci, 1998, 67: 1157-1176.
- [10] GUAN Jun-jie, ESKRIDGE K M, HANNA M A. Acetylated Starch Poly(lactic Acid) Loose-Fill Packaging Materials[J]. Industrial Crops And Products, 2005, 22: 109-123.