

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2012.03.003

# NaOH 预处理对废纸纤维发泡材料性能的影响

张惠莹<sup>1</sup>, 张 晶<sup>1</sup>, 江兴亮<sup>2</sup>, 张新昌<sup>1,3</sup>

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 句容市一马先包装厂, 江苏 句容 212402;  
3. 江南大学 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 用 NaOH 溶液对废纸纤维进行预处理, 制备了一种纸纤维发泡缓冲包装材料, 研究了 NaOH 预处理对废纸纤维发泡材料性能的影响。结果表明: 经 NaOH 溶液预处理后, 纸纤维发泡材料的发泡倍率、密度及缓冲性能均较未处理试样有所改善; NaOH 的用量对纸纤维发泡材料性能的影响, 较处理温度和处理时间的影响更为显著。同时, 通过试验确定了最佳的废纸纤维发泡缓冲材料预处理条件, 即 NaOH 添加质量为相对于绝干废纸浆质量的 2%, 且在 60 °C 恒温条件下处理 60 min。

**关键词:** 废纸纤维; 预处理; 发泡; 缓冲性能

中图分类号: TB484.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2012)03-0011-05

## Influence of Pretreatment with NaOH on Property of Waste Paper Fiber Foamed Material

Zhang Huiying<sup>1</sup>, Zhang Jing<sup>1</sup>, Jiang Xingliang<sup>2</sup>, Zhang Xinchang<sup>1,3</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China; 2. Jurong City Yimaxian Paper Packaging Factory, Jurong Jiangsu 212402, China; 3. Key Laboratory of Food Packaging Techniques and Safety of China National Packaging Corporation, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** The influence of the pretreatment with NaOH on the property of waste paper fiber foamed material was researched by making foam cushioning packaging material with pre-treated waste paper fibers using NaOH solution. The experiment showed the foaming rate, density and buffer performance of foam cushioning material of pre-treated waste paper fibers improved compared with untreated samples. The effect of consumption of NaOH on the performance of waste paper fiber foamed material was more notable than that of time and temperature. Through the test, it was determined that the best condition for the pre-treating of foam cushioning packaging material of waste paper fibers was the mass fraction of NaOH relative to 2% dry pulp, at the temperature of 60 °C and with the time of 60 min.

**Key words:** waste paper fibers; pretreatment; foam; buffer performance

### 1 研究背景

在全球提倡低碳环保的大环境下, 包装材料的“以纸代塑, 以纸代木”已成为国际包装行业的发展

趋势。近年来, 作为一种新型的绿色环保包装材料, 植物纤维发泡材料倍受瞩目, 在未来包装材料的发展中有望取代聚苯乙烯 (expanded polystyrene, EPS) 发泡塑料。

收稿日期: 2012-05-07

作者简介: 张惠莹 (1987-), 女, 河南漯河人, 江南大学硕士生, 主要研究方向为包装材料及结构,

E-mail: zhanghuiying921@126.com

目前,国内外研究者们致力于从材料助剂的配方、发泡成型工艺、发泡成型机理等多个方面,研究发泡塑料的制备工艺和性能优化。如索晓红、骆光林、解林坤等人<sup>[1-3]</sup>研究并制备了纤维发泡材料的助剂配方,苏笑海、Tsutomu Noguchi等人<sup>[4-7]</sup>探讨了纤维发泡材料的发泡成型工艺,史程瑛、黄俊彦等人<sup>[8-9]</sup>研究了纤维发泡材料的发泡成型机理,杨文斌等人<sup>[10]</sup>探讨了植物纤维发泡材料的干燥工艺和水分移动机理。

在植物纤维发泡材料的研究中,所用到的纤维原料十分广泛,如稻草、麦草、秸秆果渣等。近年来,利用二次纤维(如废纸)制备纤维发泡缓冲材料,逐渐成为包装材料研究方面的一个新的研究热点。较之已经加工好的商品纸浆,废纸再生缓冲发泡材料的原料具有来源广泛、成本低廉、供应充足等特点,且从理论上而言,所有回收的废纸经过适当地处理后,都可以用于废纸再生缓冲发泡材料的生产<sup>[11-12]</sup>。

对废纸进行多次回用,不仅可以延长纤维材料的生命周期,同时也符合低碳环保的发展要求。但由于废纸纤维在造纸过程中需经历一次或多次的压榨和干燥处理,会导致废纸纤维的表面发生角质化现象。纤维发生角质化后,其内表面减少,结构更紧实,亲水性下降,挺度增加,渗透试剂可及度降低<sup>[13]</sup>,这些性能的变化会影响纤维发泡缓冲材料产品的使用性能。因此,在利用废纸纤维材料制备一些制品时,需要对其进行预处理。

纤维预处理的方法较多,其中,碱处理法是应用最早的一种预处理方法。纤维经碱处理后,润胀程度增加,表面可及度加大。为了探讨碱处理对制备发泡缓冲材料性能的影响,本研究拟采用NaOH溶液对废纸纤维进行预处理,且在前期探索试验中发现,对废纸纤维进行NaOH溶液预处理,能改善废纸纤维发泡缓冲材料的性能,并初步确定了预处理的条件范围。本文更为深入地探讨了NaOH溶液预处理的条件参数对废纸纤维发泡缓冲材料性能的影响,确定了废纸纤维预处理的最佳试验条件,为废纸纤维发泡缓冲包装材料的应用奠定了一定的理论基础。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 材料与设备

#### 1) 材料与试剂

二次纤维,将废瓦楞纸板剥离,丢弃瓦楞芯纸,留面纸、里纸粉,并将其粉碎后备用;玉米淀粉,由句容市一马先包装厂生产。

偶氮二甲酰胺,由深圳市天唯达化工有限公司生产;碳酸氢钠、丙三醇、碳酸钙、氢氧化钠,均为分析纯,由国药集团化学试剂有限公司生产;硼砂,分析纯,由句容市一马先包装厂生产。

#### 2) 设备

水力碎浆机(WF4030纸浆模塑成型机配套设备),由北京碧生源科技有限公司生产;电子天平,AE200型,由梅特勒-托利多仪器有限公司生产;超级恒温水浴锅,YJ501型,由江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司生产;远红外干燥箱,QZ77-105型,由青岛空调设备仪器厂生产;微波炉,WP800型,由顺德市格兰仕电器实业有限公司生产;恒温恒湿试验机,THS-AOC-100AS型,由庆声科技股份有限公司生产。

### 2.2 废纸纤维的预处理

在密封装置中,按照前期探索试验中所得到的预处理条件范围要求,将一定量的NaOH溶液与废纸浆混合,并且配制成质量分数为10%的均匀浆料;然后将浆料置于一定温度的恒温水浴锅中进行恒温水浴处理,且每隔10 min揉搓一次,以使浆料与处理液充分混合,至设定时间后取出。随后,用自来水将浆料充分清洗干净,挤干至一定含水率后装入密封袋备用。

### 2.3 纤维发泡材料的制备

制备纤维发泡材料时,首先需要配置一定浓度的糊化淀粉和聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)溶液,即分别取一定量的淀粉溶液、PVA溶液,丙三醇、碳酸氢钠、偶氮二甲酰胺、聚乙烯醇等助剂,将它们置于搅拌器中搅拌均匀。随后,倒入一定量的湿纸浆,并且继续搅拌2 min,以使纸浆与助剂充分混合均匀;再将混合物从搅拌器中取出,置于自制发泡模具中,轻压上表面至平整,经微波加热15 min后,转入恒温干燥箱中干燥至恒重,即得试验用纤维发泡材料。

### 2.4 实验方法

#### 1) 参数分析

本课题组在前期的探索实验中发现,对废纸纤维进行预处理时,NaOH的用量、处理温度和处理时间均对废纸纤维发泡缓冲材料的性能有一定的影响,并且初步得到了相应的条件范围。为了进一步优化纤维预处理条件参数,本试验将采取如表1所示的三因素三水平正交试验进行分析。为了便于对试样性能进行对比,预处理时将纸浆浓度和试样的制备配方固定,只探讨NaOH的用量(相对于绝干纸浆的质量百分比)、处理温度和处理时间3个因素对废纸纤

维发泡缓冲材料性能的影响。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素		
	$m(\text{NaOH}):m(\text{绝干纸浆})/\%$	处理时间 / min	处理温度 / $^{\circ}\text{C}$
1	1	30	60
2	2	60	70
3	3	90	80

## 2) 性能测试

废纸纤维发泡缓冲材料的发泡倍率测定, 选用最小分度值为 0.02 mm 的游标卡尺, 分别测定发泡前后试样的直径  $D$  及厚度  $T$ , 从而计算出发泡前后试样的体积, 发泡后试样的体积与发泡前试样的体积比即为发泡倍率。

密度测定, 依照 GB/T 8168—2008《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》推荐的缓冲材料密度测试方法进行。首先, 将试样按标准裁成 10 cm × 10 cm 的标准试样, 然后在一块刚性平板上, 对试样施加  $0.20 \pm 0.02$  kPa 的压缩载荷, 并保持载荷 30 s, 然后在载荷状态下, 用最小分度值为 0.02 mm 的游标卡尺测量试样四角的厚度, 并且求取平均值  $T$ , 最后用精度为 0.001 g 的电子天平称量试样的质量  $m$ , 从而计算出试样的密度。

依照 GB/T 8168—2008 推荐的试验方法, 采用在

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal test

编号	因素水平			试验结果				
	NaOH 添加量	处理时间	处理温度	发泡倍率	密度 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	弹性比能 / ( $\text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	残余应变 / %	总分
1	1	1	3	1.470	0.102	0.124 8	10.70	83.0
2	2	1	1	1.546	0.089	0.110 4	11.04	89.6
3	3	1	2	1.471	0.106	0.174 7	10.42	75.5
4	1	2	2	1.563	0.093	0.128 6	10.62	85.5
5	2	2	3	1.533	0.102	0.111 7	10.40	86.6
6	3	2	1	1.529	0.108	0.182 3	11.29	72.3
7	1	3	1	1.584	0.098	0.140 4	10.27	82.8
8	2	3	2	1.560	0.102	0.145 8	11.92	76.7
9	3	3	3	1.517	0.109	0.196 6	11.82	69.7

对正交试验结果的综合评分进行极差分析, 所得结果见表 3。

表 3 正交试验极差分析表

Table 3 Range analysis of orthogonal test

项目	因素		
	NaOH 添加量	处理时间	处理温度
水平 1 总分和	251.4	248.1	244.8
水平 2 总分和	252.9	244.4	235.6
水平 3 总分和	217.5	229.2	239.3
极差 $R$	35.4	18.9	9.2

试样上低速施加压缩载荷的方法, 求取缓冲材料的压缩应力 - 压缩应变曲线, 并利用该曲线求取材料的弹性比能。

经压缩试验, 试验试样的原始厚度与卸去载荷 3 min 后的厚度之差占试样原始厚度的百分比, 即为试样的残余应变。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 正交试验结果分析

评价缓冲包装材料的指标较多, 比如冲击能量的吸收性、振动能量的吸收性、回弹性、蠕变性、温度稳定性、湿度稳定性、耐破损性等<sup>[14]</sup>。对于纤维发泡缓冲包装材料来说, 除以上性能评价指标外, 发泡倍率和密度也至关重要。因此, 本试验拟通过测试样品的发泡倍率、密度、弹性比能和残余应变来反映该材料的综合性能。

由于试验结果由多个指标评价反映, 故本文采用综合评价方法<sup>[15]</sup>对正交试验结果进行描述和分析。综合考虑各评价指标对废纸纤维发泡缓冲材料制备成型和缓冲性能反映的全面性, 将综合评分标准定为发泡倍率占总分的 10%, 密度、弹性比能、残余应变各占 30%, 得出各试样的综合得分, 最终的正交试验结果见表 2。

由表 3 中的极差分析结果可以看出, 纤维预处理的 3 个条件因素对其发泡缓冲包装材料性能影响的主次顺序为:

NaOH 用量 → 处理时间 → 处理温度。

在综合考虑产品的生产成本和使用性能的前提下, 由正交试验分析结果, 可以确定本实验中, 对废纸纤维进行碱处理的最佳条件为: NaOH 的用量为相对于绝干废纸浆质量的 2%, 且在 60  $^{\circ}\text{C}$  恒温条件下处理 60 min。

### 3.2 与未预处理试样的对比分析

采用正交试验中得出的最佳预处理条件,对制备发泡缓冲材料的废纸纤维进行预处理,测试其发泡倍率、密度、弹性比能和残余应变等性能参数,并将所得结果与未经纤维预处理试样的进行对比,所得结果见表4。

表4 处理前后的试样性能对比

Table 4 Performance comparison of samples before and after the retreatment

试样	性能			
	发泡倍率	密度 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	弹性比能 / ( $\text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	残余应变 / %
未处理	1.456	0.111	0.174 3	12.82
预处理	1.553	0.089	0.111 2	10.89

由表4可以看出,纤维经NaOH预处理后,制备的发泡缓冲材料的各项性能都有所改善:发泡倍率有所提高,材料密度显著降低,弹性比能明显降低,残余应变降低,因而材料的缓冲性能更优。这一实验结果说明,纤维经NaOH预处理,能较好地改善二次纤维在制备发泡缓冲材料时的不足。

废纸纤维在再利用时,都已经历过至少1次的造纸过程,而纸页干燥时,由于纤维收缩和结构变得紧实,纤维表面上最细小的孔隙被封闭,留在孔隙中的空气泡在打浆时难以破除,从而导致纤维的弹性、润胀能力减小<sup>[12]</sup>。而用NaOH溶液处理废纸纤维能提高其润胀能力,使得纤维表面变得粗糙,从而使纤维的交织更加疏松,纤维表面孔隙打开,提高了其对助剂的可及度。同时,纤维经充分润胀后,纤维间原有的氢键被破坏,裸露出更多的游离羟基,使得纤维间进行“水桥”连接,形成自然交织状态,在发泡和干燥过程中,水分蒸发溢出,纤维间构成稳定的网状结构。因此,纤维经碱处理后制备的发泡缓冲材料的密度更低,弹性更好。

### 3.3 力学性能分析

用正交试验中得出的最佳预处理条件对废纸纤维进行预处理,并用处理后的废纸纤维制备发泡缓冲材料,通过静态压缩试验机得到其力-变形曲线,经转换得如图1所示的应力-应变曲线。

从图1中可以看出,试样材料的力学性能曲线较平滑,无明显的压溃点出现,这些特点与可发性聚乙烯(expandable polyethylene, EPE)、EPS发泡塑料相似。这是因为这些材料的内部都存在许多个微孔结构,具有良好的缓冲吸能特性。但是本试验材料又具有其自身的一些特点,表现为其应力-应变曲线呈反正切曲线形式,即在较小应变范围内,应力

较小且变化平缓;当应变大于30%后,其应力值随着应变增大较快。且试样有较好的回弹性,能有效避免产品与包装发生二次冲击。

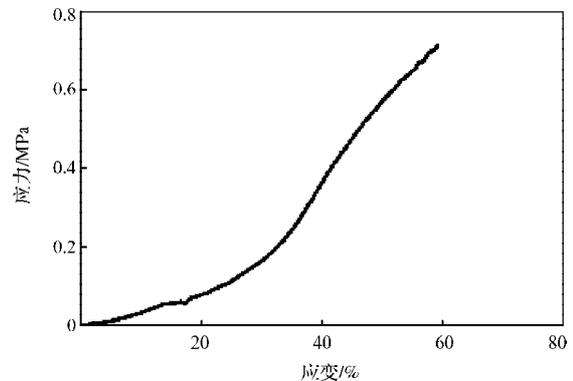


图1 试样材料的应力-应变曲线

Fig. 1 The optimal stress-strain curve of the sample

## 4 结论

本文通过对废纸纤维进行NaOH溶液预处理制备的纤维发泡缓冲材料与未经纤维预处理的试样进行对比,研究了NaOH溶液预处理对废纸纤维发泡材料缓冲性能的影响,可得出以下结论:

1) 对废纸纤维进行NaOH溶液预处理后,所制备的发泡缓冲材料试验样品的发泡倍率、密度、弹性比能和残余应变等各项性能,与未处理的试样相比,都有所改善;

2) 三因素三水平正交试验的极差分析结果表明,废纸纤维预处理的3个条件因素对发泡缓冲包装材料性能影响的主次顺序为:

NaOH用量→处理时间→处理温度。

3) 在本实验条件下制备废纸纤维发泡缓冲包装材料时,纤维预处理的适宜条件为:NaOH用量为相对于绝干废纸浆质量的2%,并应在60℃恒温下进行处理,且处理时间为60 min。

### 参考文献:

- [1] 索晓红,李新平.纤维素纤维发泡缓冲包装材料制备工艺初探[J].包装工程,2006,27(6):116-118,125.  
Suo Xiaohong, Li Xinping. Research on Preparation of Fiber for Foaming and Buffering Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 116-118, 125.
- [2] 骆光林,裴璐.纸浆发泡缓冲材料研究[J].包装工程,2007,28(5):46-47,50.  
Luo Guanglin, Pei Lu. Study on Pulp Foaming Buffer Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(5): 46-47, 50.

- [3] 解林坤, 强明礼, 何蕊, 等. 蔗渣纤维发泡缓冲包装材料研究[J]. 包装学报, 2009, 1(1): 19-22.  
Xie Linkun, Qiang Mingli, He Rui, et al. Study of Foam Cushioning Packaging Material of Bagasse Fibres[J]. Packaging Journal, 2009, 1(1): 19-22.
- [4] 苏笑海. 双发泡植物纤维包装材料的生产方法: 中国, CN 00114543.6[P]. 2000-10-25.  
Su Xiaohai. Production Method of Double-Foaming Cushioning Packaging Material of Bagasse Fibres: China, CN 00114543.6[P]. 2000-10-25.
- [5] Noguchi T, Miyashita M, Inagaki Y, et al. A New Recycling System for Expanded Polystyrene Using a Natural Solvent: Part 1: A New Recycling Technique[J]. Packaging Technology and Science, 1998, 11(1): 19-27.
- [6] Noguchi T, Miyashita M, Inagaki Y, et al. A New Recycling System for Expanded Polystyrene Using a Natural Solvent: Part 2: Development of a Prototype Production System [J]. Packaging Technology and Science, 1998, 11(1): 29-37.
- [7] Noguchi T, Tomita H, Satake K, et al. A New Recycling System for Expanded Polystyrene Using a Natural Solvent: Part 3: Life Cycle Assessment [J]. Packaging Technology and Science, 1998, 11(1): 39-44.
- [8] 史锒瑛, 刘晔. 缓冲包装材料发泡机理及泡体破坏因素的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 31-33.  
Shi Zengying, Liu Ye. Research of the Foaming Mechanism and Bubble Destruction Factors of Cushioning Foaming Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 31-33.
- [9] 黄俊彦. 植物纤维类发泡材料的成型机理及生物发泡方法探讨[J]. 中国包装工业, 2010(11): 30-32.  
Huang Junyan. Research of the Forming Mechanism and Biological Foaming Method of Foaming Material of Plant Fibres[J]. China Packaging Industry, 2010(11): 30-32.
- [10] 杨文斌, 谢拥群. 植物纤维发泡包装材料的干燥[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(6): 279-283.  
Yang Wenbin, Xie Yongqun. Study on Drying Process for Foamed Packing Material Made from Plant Fiber[J]. Drying Technology and Equipment, 2007, 5(6): 279-283.
- [11] 许洁, 巨杨妮, 王文明, 等. 废纸再生缓冲发泡材料的碳足迹及碳减排[J]. 包装学报, 2011, 3(3): 11-14.  
Xu Jie, Ju Yangni, Wang Wenming, et al. Carbon Footprint and Low Carbon Production Process of Waste Paper Fiber Foaming Buffer Material[J]. Packaging Journal, 2011, 3(3): 11-14.
- [12] 陈慧文. 废纸原料制备缓冲包装材料的工艺探索[J]. 造纸科学与技术, 2008, 27(3): 43-47.  
Chen Huiwen. Study on the Preparation of Waste-Paper Foamed Packing Material[J]. Paper Science & Technology, 2008, 27(3): 43-47.
- [13] 邵素英, 胡开堂. 二次纤维角质化问题[J]. 中国造纸, 2002(2): 57-60.  
Shao Suying, Hu Kaitang. Hornification of Recycled Fiber [J]. China Pulp & Paper, 2002(2): 57-60.
- [14] 邹君, 李庆春. 蔗渣纤维缓冲包装材料的研制[J]. 广西轻工业, 2008(6): 37-38.  
Zou Jun, Li Qingchun. Study of Cushioning Packaging Material of Bagasse Fibres[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2008(6): 37-38.
- [15] 吴有炜. 试验设计与数据处理[M]. 苏州: 苏州大学, 2002: 235-260.  
Wu Youwei. Experiment Design and Date Processing[M]. Suzhou: Suzhou University, 2002: 235-260.

(责任编辑: 廖友媛)