

## 温度对纸浆模塑制品静态抗压性能的影响

肖颖喆<sup>1</sup>, 邵珍珠<sup>1</sup>, 莫灿梁<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 包装新材料与技术重点实验室, 株洲 412008;

2. 东莞市汇林包装有限公司, 东莞 523520)

**摘要:** **目的** 研究典型温度条件下纸浆模塑制品整体的静态抗压性能。 **方法** 在温度为 5, 23, 40 °C 环境下对纸浆模塑材料进行含水率、弹性模量及整体静态抗压测试, 并分析了制品整体的载荷-位移曲线。 **结果** 在温度 40 °C, 湿度 50% 条件下, 制品的第 2 次屈曲载荷相对较高, 以 40 °C 为基准, 当温度为 5 °C, 23 °C 时制品的第 2 次平均屈曲载荷分别降低 16.7%, 30.0%。 **结论** 40 °C 时纸浆模塑制品的静态抗压性能相对较好。

**关键词:** 纸浆模塑; 温度; 含水率; 弹性模量; 抗压性能

**中图分类号:** TB484.1; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)09-0036-04

## Effect of Temperature on the Static Compression of Molded Pulp Products

XIAO Ying-zhe<sup>1</sup>, SHAO Zhen-zhu<sup>1</sup>, MO Can-liang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of New Packaging Materials and Technology, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China; 2. Huilin Packaging Co., Ltd., Dongguan 523520, China)

**ABSTRACT:** In this paper, the overall static compression performance of molded pulp was studied at typical temperatures. The moisture content and elastic modulus of molded pulp materials as well as the overall static compression on molded pulp products were studied in environments with temperature of 5, 23, 40 °C, respectively. And the overall load - displacement curves of the products were analyzed. The second article buckling load was relatively high under the conditions of 40 °C and 50% humidity. When the temperature decreased from 40 °C to 23 °C and 5 °C, the second article buckling load decreased by 16.7% and 30.0%, respectively. The static compressive properties of molded pulp products were relatively good at 40 °C.

**KEY WORDS:** molded pulp; temperature; moisture content; elastic modulus; compression performance

纸浆模塑缓冲衬垫一般以回收纸张或者其他天然植物纤维为原料, 经打浆、成型、干燥和整形等工艺制成, 是具有一定几何空腔的缓冲包装制品, 其缓冲机理主要是通过自身变形来吸收能量, 并延长激励时间<sup>[1]</sup>。纸浆模塑缓冲衬垫具有可回收、质轻、防静电、缓冲性能良好等优点<sup>[3-5]</sup>, 如今已成为热门的缓冲包装材料, 其缓冲性能是国内外学者研究的重点。很多专家学者通过实验和仿真的方式, 研究制品本身结构单元及材料参数对其缓冲性能的影响因素<sup>[6-9]</sup>, 但是环境因素对制品性能的影响方面的研究较少, 且主要集中在

在应变率、湿度和加载速率等方面。王志伟等人<sup>[10-12]</sup>研究了应变率、湿度等因素对纸浆模塑承载能力和能量吸收的影响。Sorensen 等人<sup>[13]</sup>研究了不同湿度下纸浆模塑材料的水分吸收性。在实际的流通过程中, 温度的变化会影响纸浆模塑材料的力学性能, 导致制品缓冲性能发生改变。有关温度对纸浆模塑制品缓冲性能影响的研究却很少, 对纸浆模塑缓冲包装的设计只能依据经验判断。为此, 文中选择 3 组典型温度即低温 5 °C、常温 23 °C 及高温 40 °C, 研究温度对纸浆模塑材料含水率、力学性能和制品静态抗压性能影响, 为纸浆

收稿日期: 2015-09-11

基金项目: 湖南工业大学自科项目(3510005); 湖南工业大学研究生创新基金(cx1501)

作者简介: 肖颖喆(1974—), 女, 湖北汉川人, 硕士, 湖南工业大学副教授, 主要研究方向为包装设计及理论。

模塑运输包装设计提供理论依据。

## 1 实验

### 1.1 材料和仪器

使用的材料为东莞汇林包装有限公司生产的纸浆模塑制品,见图1,原料为进口甘蔗浆,制品尺寸为234 mm × 170 mm × 95 mm,平均厚度为1.671 mm。



图1 纸浆模塑缓冲包装制品

Fig.1 Molded pulp cushioning packaging products

试验仪器:可调距切纸刀、游标卡尺、电动测厚度仪(PN-PT6)、天平、微机控制电子万能材料试验机(CMT6104)、恒温恒湿箱(HPX-250B5H-Ⅲ)、多功能红外线水分仪(DHS20-1)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 试样的制备

测定含水率的试件为纸浆模塑制品上裁取的平整部位。拉伸试验的纸浆模塑材料由制品上裁切获得。参照文献[14],参考ISO 1924—2设计,将制品裁成图2所示形状,试样的具体数据见表1。静态抗压纸浆模塑制品的试样为公司生产的纸浆模塑制品,见图1。

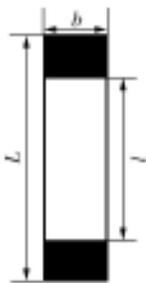


图2 拉伸试件

Fig.2 Tensile specimen

#### 1.2.2 环境

根据GB 4857.2—87《运输包装件基本试验温湿度

表1 试件尺寸

Tab.1 Specimen size

编号	厚度/mm	长度/mm	宽度/mm	横截面积/mm <sup>2</sup>	夹钳距离/mm
1	1.627	70.2	15.40	25.06	49.78
2	1.690	70.5	14.98	25.32	50.00
3	1.719	69.8	15.20	26.13	47.82
4	1.677	70.0	15.10	25.32	49.76
5	1.682	69.9	15.38	25.87	50.12
6	1.419	70.4	14.96	21.23	49.88
7	1.690	70.8	14.70	24.84	50.24
8	1.685	69.7	15.72	26.49	50.04
9	1.639	70.1	15.08	24.72	51.12
10	1.883	70.4	14.92	28.09	52.06
11	1.879	70.1	14.86	27.87	49.74
12	1.602	69.9	14.80	23.71	50.86
13	1.493	70.3	14.80	22.09	50.12
14	1.649	70.4	14.70	24.24	51.19
15	1.725	67.7	15.10	24.32	48.76

调节处理》将纸浆模塑材料试样和纸浆模塑缓冲制品置于恒温恒湿箱内进行预处理,预处理时间为48 h,预处理的3组温度分别为5, 23, 40 ℃,预处理相对湿度均为50%。

#### 1.2.3 测试

1) 含水率测定实验。根据GB/T 462—2003《纸和纸板水分的测定》的规定,经3组温湿度处理后的试样放入多功能红外线水分仪中进行水分测试,烘干时间为30 min,烘干温度为105 ℃,保证每次放入的样品质量在3~5 g之间。烘干结束时记录不同温度处理条件下试样的含水率。

2) 拉伸试验。1~15号试样每5个分为一组,按照试验环境分为3组,预处理后进行试验。拉伸试验在万能材料试验机上进行,拉伸速率为12 mm/min。记录材料的应力-应变曲线,并确定它的极限强度和弹性模量。

3) 静态抗压试验。根据GB 8168—87《包装用缓冲材料静态压缩试验方法》的规定,采用万能试验机进行纸浆模塑制品的静态压缩试验,压缩速率为12 mm/min,压缩高度为50 mm(纸浆模塑变形严重)。每组5个纸浆模塑制品,根据预处理温度不同分3组进行试验,记录制品的载荷-位移曲线。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同温度处理后纸浆模塑材料的含水率

5, 23, 40 ℃的温度处理的纸浆模塑材料含水率分

别为16.72%,14.63%,11.87%。可知,纸浆模塑含水率随着温度的上升而下降。以温度为5℃为基准,温度为23℃,40℃时含水率分别下降12.5%,29.0%。原因是湿度相同情况下,随着温度的升高,纸浆模塑纤维间隙的水分子更容易蒸发,使含水率下降。同时随着温度升高,材料中的水分子活动能量增大,纤维大分子的热振动能量也随之增大,会减弱水分子与纤维中的亲水基团的结合力,使水分子更容易从纸浆模塑材料中溢出,从而使含水率下降。

## 2.2 不同温度处理后纸浆模塑的力学性能

不同温度处理后纸浆模塑材料的应力-应变曲线见图3。由图3可知,3组温度处理后的纸浆模塑材料的曲线变化趋势相同,对试样进行拉伸时,纸浆模塑材料应力-应变呈线性增长,当达到弹性极限时,应力-应变曲线急速下降,直至试样被拉断。这是由于在开始阶段,纸浆模塑材料发生弹性变形,应力随应变增大而增强,当载荷到达纸浆模塑材料的临界值时试样出现裂纹,材料所承受载荷迅速减小,应力减小。

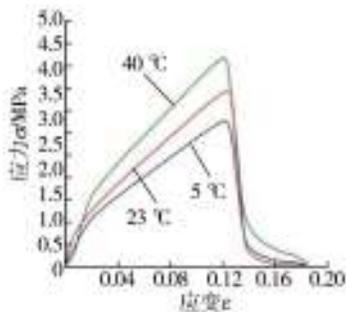


图3 不同温度下纸浆模塑材料的应力-应变曲线

Fig.3 Stress-strain curves of molded pulp material at different temperatures

由图3还可以看出,40℃时纸浆模塑材料的弹性模量和极限强度相对较大。以40℃为基准,当温度为23℃和5℃时,材料的极限强度由4.68 MPa分别下降到3.93 MPa和3.27 MPa,下降了16.0%和30.1%,弹性模量也分别下降了11.3%和29.3%。综合含水率和弹性模量的数据,说明在一定范围内,含水率下降会提高材料的强度,使其极限强度和弹性模量增大。

## 2.3 不同温度处理后纸浆模塑制品的静态抗压性能

纸浆模塑缓冲制品静态抗压试验的载荷-位移曲线见图4。3组曲线均表现为2次屈服过程,制品的第一次屈服阶段时间较短,是由侧壁变形引起的,说明侧壁发生变形后不可恢复。第2次屈服阶段时间较长,是由底部缓冲结构单元通过变形引起的。载荷-

位移曲线呈现阶梯式上升,说明此时结构单元发生弹性变形,延长激励时间以达到缓冲的效果。商品流通过程中,纸浆模塑制品作为缓冲包装主要靠底部缓冲单元变形来达到缓冲的目的,因此,应以第2次屈服载荷为设计标准。

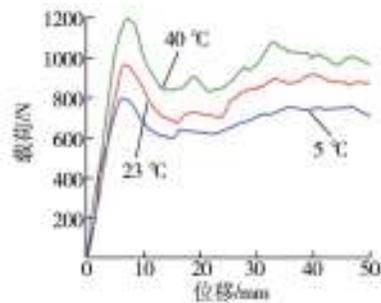


图4 不同温度处理后纸浆制品载荷-位移曲线

Fig.4 Load-displacement curves of molded pulp products at different temperatures

温度为40℃时,纸浆模塑制品的静态抗压性能相对较好。以40℃为基准,温度为23℃,5℃时第1次屈服载荷由1195.21 N分别下降到960.11 N和796.6 N,下降了11.7%和33.3%,第2次屈服载荷由1077.17 N分别下降到897.73 N和753.52 N,分别下降了16.7%和30.0%。

以上结果表明,温度对纸浆模塑制品的静态抗压性能有显著影响。在一定范围内,随着温度的升高,纸浆模塑制品材料的含水率降低,含水率的降低使纸浆模塑材料纤维间结合力增强,提高材料的弹性模量。随着材料弹性模量的提高,制品整体抵抗变形的能力增强,因此制品整体的静态抗压性能变好。

## 3 结语

通过研究温度变化对纸浆模塑材料含水率、弹性模量及整体结构静态抗压性能的影响,得出以下结论。

1) 温度对纸浆模塑材料的含水率有显著影响。湿度一定,一定范围内纸浆模塑材料的含水率随温度的升高而下降,40℃时含水率相对较低,为11.87%。

2) 湿度不变情况下,40℃时纸浆模塑材料的弹性模量和极限屈服强度相对较高。以40℃为基准,当温度为23℃,5℃时,材料的极限强度分别下降16.0%和30.1%,材料的弹性模量分别下降11.3%和29.3%。

3) 温度的变化对纸浆模塑制品的静态抗压性能有显著影响。高温40℃时纸浆模塑制品的静态抗压强度相对较好。以40℃为基准,温度为23℃,5℃时

第1次屈服载荷分别下降11.7%和33.3%,第2次屈服载荷分别下降16.7%和30.0%。

### 参考文献:

- [1] 曹世普,郭奕崇,马玉林. 纸浆模塑工业包装制品缓冲机理及有限元模拟[J]. 中国包装工业, 2002, 97(7): 32—36.  
CAO Shi-pu, GUO Yi-chong, MA Yu-lin. Investigation on the Cushioning Mechanism of Molded Pulp and Simulation Through Finite Element Method[J]. China Packaging Industry, 2002, 97(7): 32—36.
- [2] MARCONDES J A, SCHUENMAN H. Molded Pulp Protecting High-tech Production[C]// IAPRI, Proceedings of the 11th IAPRI Word Conference on Packaging, Singapore: IAPRI, 1999: 564—570.
- [3] 李新芳. 纸浆模塑材料性能的研究现状和开发应用[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 124—126.  
LI Xin-fang. Research Progress and Application of Pulp Molded Material[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 124—126.
- [4] 戴宏民,戴佩华. 纸浆模塑缓冲包装设计六步法[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 50—54.  
DAI Hong-min, DAI Pei-hua. Six-step Design Method of Paper Pulp Molding Cushion Packaging[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 50—54.
- [5] 王章苹,蔡佑星,金玉洁. 纸浆模塑材料在包装结构设计中的应用探析[J]. 中国包装, 2011, 31(7): 57—60.  
WANG Zhang-ping, CAI You-xing, JIN Yu-jie. The Application of Molded Pulp Material in the Packaging Structural Design Analysis[J]. China Packaging, 2011, 31(7): 57—60.
- [6] 王殿君,耿东伟,曹国荣. 纸浆模塑材料参数对其缓冲性能影响的仿真研究[J]. 包装工程, 2007, 28(11): 51—52.  
WANG Dian-jun, GENG Dong-wei, CAO Guo-rong. Simulation Research on the Influence Material Parameter of Paper-pulp Molding on Cushion Performance[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 51—52.
- [7] 王殿君,耿东伟,曹国荣. 纸浆模塑结构参数对其缓冲性能影响的仿真研究[J]. 包装工程, 2008, 29(6): 4—5.  
WANG Dian-jun, GENG Dong-wei, CAO Guo-rong. Simulation Research on the Influence Structural Parameter of Paper-pulp Molding on Cushion Performance[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 4—5.
- [8] 李文彪,吴晓明. 大尺寸液晶显示器纸浆模塑衬垫结构设计及优化[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 40—43.  
LI Wen-biao, WU Xiao-ming. Structural Design and Optimization of Molded Pulps for Large Sized LCD[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 40—43.
- [9] 华琪,黄颖为. 基于平板电脑纸浆模塑缓冲衬垫的跌落仿真[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(4): 485—490.  
HUA Qi, HUANG Ying-wei. Drop Simulation Based on Molded Pulp Cushion of Tablet PC[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(4): 485—490.
- [10] 王志伟,彭春虎. 纸浆模塑制品冲击承载能力和能量的吸收[J]. 应用力学学报, 2013, 30(4): 593—597.  
WANG Zhi-wei, PENG Chun-hu. Paper Pulp Molding Products Impact Bearing Capacity and Energy Absorption[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2013, 30(4): 593—597.
- [11] WANG Zhi-wei, LI Xiao-fei. Effect of Strain Rate on Cushioning Properties of Molded Pulp Products[J]. Materials and Design, 2014, 57(5): 598—607.
- [12] 张岩,王志伟. 湿度对手机用纸浆模塑缓冲包装能量吸收特性的影响[J]. 振动与冲击, 2015, 34(1): 39—43.  
ZHANG Yan, WANG Zhi-wei. The Influence of Humidity on Mobile Phone Cushion Packaging Energy Absorption Characteristics[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(1): 39—43.
- [13] SORENSEN G, HOFFIZLAN J. Moisture-induced Effects on Stacking Strength of Molded Fiber Packaging in Varying Environmental Conditions[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17(5): 257—265.
- [14] 计宏伟,邵文泉,王和敏,等. 纸浆模塑材料在不同加载条件下的力学特性[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 10—13.  
JI Hong-wei, SHAO Wen-quan, WANG He-min, et al. Mechanical Properties of Molded Pulp Materials Under Different Loading Conditions[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 10—13.
- [15] 熊维,王家骏,王冬梅. 温湿度对瓦楞原纸弹性模量影响的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 45—48.  
XIONG Wei, WANG Jia-jun, WANG Dong-mei. Influence of Temperature and Relative Humidity on Elastic Modulus of Corrugated Paper[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 45—48.