

多种植物纤维复合制备纸质蛋盒及其静力学特性研究

许志杰^{1,2}, 覃佐东^{1,2}, 吴兰芳^{1,2}, 陈集双^{1,2}

(1. 南京工业大学, 南京 211816; 2. 南京工业大学 大丰海洋产业研究院, 大丰 224100)

摘要: 研究了一种把大米草处理成热磨机械浆后, 再与化学浆料复配, 制备纸质蛋盒包装的方法, 对所研制的蛋盒包装材料进行了静态压缩实验。结果表明: 在相同湿度与温度条件下, 利用瓦楞纸板浆制备的蛋盒材料承载性能最强, 其最终承载能力达到了 380 N, 利用废报纸浆复配 40% (质量分数) 大米草纤维以及纯白竹浆复配 30% (质量分数) 大米草纤维制备成的蛋盒, 最终承载能力分别为 302, 300 N, 说明利用大米草复配化学浆料制备蛋盒包装材料具有良好的应用前景。

关键词: 大米草; 纸浆模塑; 蛋盒; 复配; 机械性能

中图分类号: TB484.6; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0047-04

Egg Boxes Produced with Multi-fiber Compounds and Their Static Mechanical Properties

XU Zhi-jie^{1,2}, QIN Zuo-dong^{1,2}, WU Lan-fang^{1,2}, CHEN Ji-shuang^{1,2}

(1. Nanjing University of Technology, Nanjing 211816, China; 2. Institute of Dafeng Marine Industry, Nanjing University of Technology, Dafeng 224100, China)

Abstract: The preparation method of molded pulp egg boxes using an invasive plant *Spartina anglica* Hubb as a raw material through thermo-mechanical pulp and composition with chemical pulp. Static compression test was taken on both new material composition and traditional chemical pulps. The results showed that, under the same temperature and humidity conditions, egg boxes made of corrugated cardboard showed the best carrying capacity, it can reach 380 N; products made of the other two material compositions, paper pulp plus *spartina anglica* Hubb fiber 40wt% and bamboo pulp plus *spartina anglica* Hubb fiber fiber 30wt% showed excellent carrying capacity, which can reach 302 N and 300 N. It was concluded that using thermo-mechanical pulp of *Spartina anglica* Hubb as a raw material to compound with chemical pulp to produce molded pulp product has a good application prospect.

Key words: *Spartina anglica* Hubb; molded pulp product; egg box; composite; mechanical properties

作为禽蛋类农产品的主要包装材料, 蛋盒已经被广泛应用, 随着纸质材料的应用, 近年来其发展更快。目前国际上纸浆模塑制品蛋盒包装已经成为主流, 且即将超过 EPS 泡沫制品^[1]。我国禽蛋类的年产量在 2 000 万 t 左右, 但由于缺乏有效包装, 运输储存造成的禽蛋破损率在 6%~10% 之间^[2]。在 2 类材料的缓冲性能上, Danny 将纸浆模塑材料的缓冲曲线与聚苯乙烯材料的相似曲线比较, 发现纸浆模塑在低应力和一次性冲击方面均比聚苯乙烯泡沫塑料更好^[3]。鉴

于传统化石原料的短缺, 以及政府和消费者对于环保的日益重视, 纸浆模塑产品正逐步代替被称为“白色污染”的泡沫塑料鸡蛋盒^[4]。

1 纸浆模塑蛋盒包装研究

传统的利用废弃纤维材料制备纸模蛋盒包装时, 需要对废纸浆进行脱油墨、去除致病微生物和重金

收稿日期: 2012-01-11

作者简介: 许志杰(1985—), 男, 江苏人, 南京工业大学在读硕士, 主要从事纸浆模塑包装研究。

通讯作者: 陈集双(1962—), 男, 湖南人, 南京工业大学教授, 主要从事植物病毒与生物资源学研究。

属,为此,研究了一种以沿海滩涂的入侵植物大米草作为纤维原材料制备蛋盒包装的方法。大米草是目前我国首批公布的外来入侵物种之一^[5],如何对其有效治理而又不污染环境已经成了当前我国入侵物种防治工作的热点。

一般纸浆模塑材料受载后的缓冲机理,主要是依靠其内部的凸台结构的弹塑性变形实现的,蛋盒材料的凸台结构是其内部的棱形柱结构,这些棱形凸台的变形使得蛋盒材料具有了缓冲性能^[6]。静态压缩试验主要用于评定在静态载荷作用下材料的缓冲性能及其在流通过程中对内盛物品的保护能力^[7]。万能电子实验机是纸模材料静力学性能研究的常规仪器,但由于蛋盒材料结构多变,有的甚至难以截取到一块平整的样本,这给纸模材料取样的科学性造成了一定难度。王宏涛^[8]等研究了一种利用纸箱抗压试验机代替万能试验机,进行纸浆模塑制品的静态压缩状态下的力学特性研究的方法。对大米草秸秆通过预处理制备成机械浆料后,与化学浆料配比制备成 15 枚蛋盒包装系列产品,见图 1,并将其作为研究对象,研

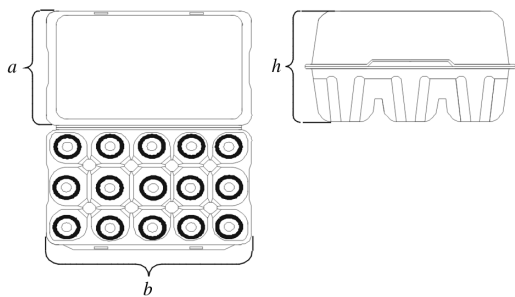


图 1 15 枚蛋盒包装
Fig. 1 15 eggs packaging box

究在静态压缩模式下(见图 2),蛋盒材料承载能力与

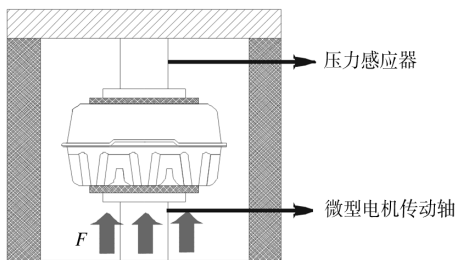


图 2 蛋盒的静力学压缩实验原理
Fig. 2 Principle sketch of testing static compression of egg box

自身变形的关系。

2 实验

2.1 纸浆模塑蛋盒原材料

大米草主要取自江苏大丰沿海滩涂,其经过晾晒后经 TDPH600 高浓度节能磨浆机磨浆处理,得到热磨机械浆料。所用化学浆料主要为普通废报纸浆、废弃瓦楞纸板浆以及市售的纯白竹浆。所采用的纸浆模塑蛋盒模具长度 b :250 mm,宽度 a :150 mm,蛋盒内部棱形凸台高度 h :62 mm,材料平均厚度为 1.5 mm。样品的厚度在 1 mm 范围的蛋盒材料,其质量基本在 66~70 g 之间。

2.2 主要仪器

9C-ZD 型铡草机(洛阳四达农机有限公司),TD-PH600 系列高浓度节能磨浆机(山东诸城天源机械有限公司);DYSY-1 型微电脑程控压缩强度试验仪(杭州轻通博科仪器设备有限公司);400B 型纸浆模塑蛋盒/果托实验生产线(广州华工环源绿色包装有限公司)。

2.3 方法

根据 GB/T 8168—2008 包装用缓冲材料静态压缩试验方法^[9],采用杭州轻通博科自动化有限公司研制的 DSYS-1 型压缩试验仪,进行纸浆模塑蛋盒材料的载荷-变形性能研究,由于在实验过程中所实测的载荷值呈动态变化,测试过程中仪器显示的数据无法进行自动保存。因此在实验过程中设置了仪器的压缩速率为 12 mm/min,对材料进行匀速施压,同时每隔 5 s 读取实验数据,其对应的变形量为 1 mm 的压缩形变,由此可以测得 Δh 从 1~12 mm 时的载荷-变形散点图。当匀速加载至 1 min 时,蛋盒包装内部缓冲结构形变 Δh 为 12 mm,原有高度被压缩至 50 mm。根据姜松在对不同加载方式下的鸡蛋的静力学特性以及有限元分析^[10],测得鸡蛋的平均长径基本在 50~60 mm 之间,因此,将材料最大允许形变 Δh 为 12 mm 时,视作为蛋盒能保护禽蛋类产品的最大允许形变高度。其基本满足多项式的曲线形态分布,再利用 origin 软件进行多项式的拟合分析,得出载荷-变形连续曲线。

3 结果与分析

3.1 5 组纸浆模塑蛋盒的载荷-变形性能

实验共对 5 组材质的蛋盒进行的研究,5 组材料

分别为:①竹浆复配大米草机械浆(30%);②竹浆复配大米草机械浆(40%);③废报纸浆;④废报纸浆复配大米草机械浆(40%);⑤黄纸板浆。测得 5 组材料的载荷-变形数据。数据经过拟合处理后得到 5 种蛋盒材料的载荷-变形曲线(见图 3),得出其拟合方程:

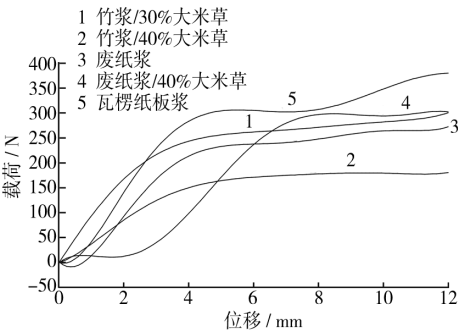


图 3 5 组蛋盒拟合后的载荷-位移曲线

Fig. 3 The load-displacement curves of 5 groups of egg boxes

第①组:

$$Y=-1.298\ 64+99.033\ 37X-0.654\ 98X^2-4.989\ 75X^3+0.946\ 39X^4-0.069\ 95X^5+0.001\ 88X^6$$
$$R^2=0.99$$

第②组:

$$Y=-0.578\ 83+21.622\ 69X+23.290\ 72X^2-8.505\ 69X^3+1.205\ 31X^4-0.078\ 93X^5+0.001\ 98X^6$$
$$R^2=0.99$$

第③组:

$$Y=1.988\ 81-62.936\ 94X+101.136\ 56X^2-30.936\ 65X^3+4.182\ 93X^4-0.266\ 16X^5+0.006\ 5X^6$$
$$R^2=0.990$$

第④组:

$$Y=-1.072\ 76+52.097\ 85X-59.248\ 56X^2+25.346\ 84X^3-4.081\ 94X^4+0.284\ 62X^5-0.007\ 29X^6$$
$$R^2=0.999$$

第⑤组:

$$Y=0.386\ 4-25.688\ 93X+90.811\ 06X^2-27.887\ 13X^3+3.56X^4-0.207\ 39X^5+0.004\ 55X^6$$
$$R^2=0.997$$

由于纸浆模塑材料一般具有弹性、塑性和压溃变形阶段,见表 1,利用其拟合方程近似得出 5 组材料各自的弹性和塑性的形变区域,并将弹性形变至塑性形变转变的关键点放大至一段曲线,称其为临界阶段。

一般纸模材料的应力-应变曲线主要包括 3 个阶

表 1 蛋盒受载的各个形变阶段

Tab. 1 The deformation of egg boxes with loading periods

材料	机械性能	弹性阶段	临界阶段	塑性阶段
第①组	承载范围/N	0~200	200~240	240~300
	承载能力/%	67	67~80	80~100
	形变程度/%	22	22~32	32~100
第②组	承载范围/N	0~125	125~160	160~180
	承载能力/%	69	69~89	89~100
	形变程度/%	25	25~39	39~100
第③组	承载范围/N	0~160	160~230	230~273
	承载能力/%	59	59~84	84~100
	形变程度/%	24	24~40	40~100
第④组	承载范围/N	0~240	240~280	280~302
	承载能力/%	79	79~93	93~100
	形变程度/%	51	51~58	58~100
第⑤组	承载范围/N	0~250	250~300	300~380
	承载能力/%	66	66~79	79~100
	形变程度/%	28	28~39	39~100

段,即弹性阶段、塑性阶段及压溃阶段。根据纸浆模塑压缩模量的定义关系式:应力/应变,而试样的压缩应力的计算公式为:

$$\sigma=P/(A\times10^6)$$

式中: σ 为压缩应力(Pa); P 为压缩载荷(N); A 为试样的承载面积(mm^2)。压缩应变可以表示为:

$$\epsilon=(T-T_i)/T\times100\%$$

式中: ϵ 为压缩应变(%); T 为样品的原始厚度(高度)mm; T_i 为样品压缩后的厚度(高度 mm)。将 $T-T_i$ 转换为实验中的 Δh ,试样的弹性模量 $K=\sigma/\epsilon$ 与试样的 $P/\Delta h$ 成正比关系。亦可以表述成 $K^*\approx P/\Delta h$ 。

蛋盒材料受载后的屈服状态见图 4。对材料进

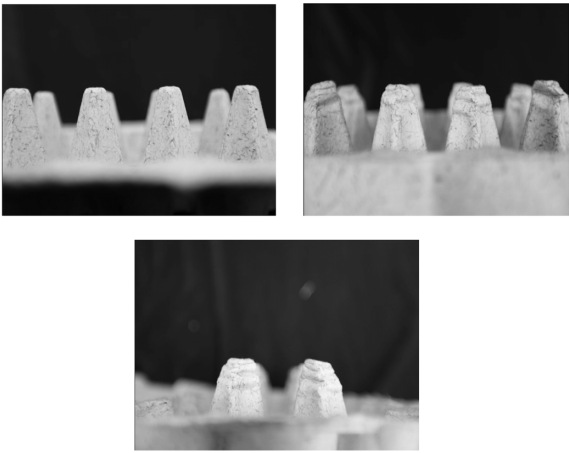


图 4 蛋盒受载的屈服强度测定

Fig. 4 The yield strength of egg box under load condition

行载荷施加,则出现相应的屈服现象,在屈服达到一定程度时,蛋盒就无法对所盛物品进行保护。纸浆模塑材料内部形态呈现出类似于网状的“气泡”结构,这些“气泡”结构对于纸浆模塑材料的缓冲性能起到了重要作用,见图 5。余彬莺^[11]对于缓冲材料的研究

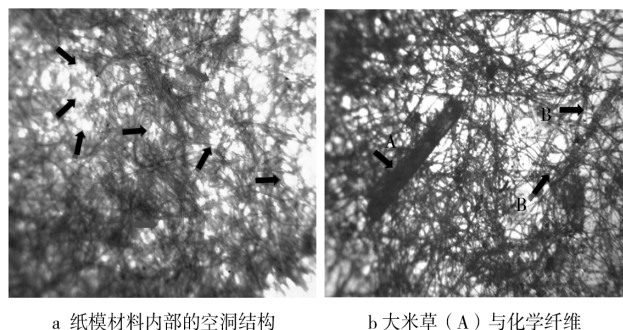


图 5 复合材料内部形态

Fig. 5 Internal form of the composite material

中,也阐明了纸浆模塑的缓冲能力与“气泡”结构之间的关系。

3.2 竹浆类纤维原料的机械性能分析

竹浆纤维作为基底材料与大米草纤维进行复配过程中,质量分数为 30%与 40%在整体的载荷-变形曲线的趋势走向上相类似,说明两者的缓冲能力具有类似性质,但其弹性模量明显不同,竹浆/30%大米草材料的抗载荷能力明显优于竹浆/40%大米草材料,同时,根据关系式 $K^* \approx P/\Delta h$, $K_{\text{竹浆/30\%大米草}}^* > K_{\text{竹浆/40\%大米草}}^*$,亦即竹浆/30%大米草的“刚度”要大于竹浆/40%大米草材料,因此在相同的受载条件下 30%大米草产品不易变形。

3.3 二次纤维原料制备蛋盒材料后的机械性能

由图 3 可以看出,载荷在 238 N 之前,废纸浆的抗载能力优于复配大米草后的废纸浆;废纸浆制备的蛋盒材料最大的承载能力为 273 N;复配了大米草的蛋盒则超过 238 N 之后进入相应的临界阶段,尚未进入塑性形变阶段。最大的载荷能力 40%/废纸浆为 302 N,大于废纸浆制备的蛋盒。纸模材料成型的关键之一在于在制浆过程中产生的“纤维絮凝”,这是由于悬浮在水中的纤维之间发生的静电吸引和相互缠绕所致。由于大米草机械浆没有经过化学处理,难以与化学浆料形成“纤维絮凝”,最后大米草机械浆纤维在吸虑压塑工艺阶段被“镶裹”在化学纤维之间,难以与化学浆料纤维进行有序结合,只能作为“杂质”掺杂其中,所以在整体上使得材料变的更“软”。因此,废

纸浆制备的蛋盒材料在弹性形变阶段的硬度要大于复配大米草后的材料。这种现象随着材料进入塑性形变阶段时候被改变,随着载荷的进一步的作用,材料添加了一定量的大米草物理纤维后,当化学纤维发生较大位移与断裂时候,由于物理纤维的脱木素程度很低,其纤维的硬度较大,在一定程度上可以起到“钢筋”的作用,减弱化学纤维在塑性形变中得位移。因此 40%大米草浆复配废纸浆的最终承载能力要高于纯废纸浆制备的材料,瓦楞纸板浆制备的纸浆模塑蛋盒材料的缓冲能力在 5 种材料中最优,这可能是由于废弃瓦楞纸板浆的纤维特点决定的。

4 结论

利用沿海滩涂入侵植物大米草秸秆做为纸浆模塑的原料之一,将其制成机械浆后与化学浆复配制备了蛋盒包装材料。制备的纸浆模塑包装材料,其载荷-变形曲线与传统纸浆模塑材料受载后应力-应变曲线的“弹性形变”、“塑性形变”、“破坏形变”3 个阶段有一定对应性,这为后续利用大米草等类似外来入侵植物与化学浆料复配制备纸浆模塑包装材料提供了理论支持。研究表明,直接以瓦楞纸板浆为蛋盒的生产原料,在承载性能上具有优越性,以此可以将其反馈至实际的生产过程中,同时也为以瓦楞纸板浆为基底材料复配其他类型的热磨机械浆料制备纸浆模塑产品提供参考。

参考文献:

- [1] 安泓. 鸡蛋包装在国外的现状[J]. 中国禽业导刊, 1999, 16(5): 16.
- AN Hong. Development Situation of Eggs in Foreign Countries[J]. Guide to Chinese Poultry, 1999, 16(5): 16.
- [2] 宋惠芝, 王俊, 叶俊安. 鸡蛋蛋壳受载特性的有限元研究[J]. 浙江大学学报, 2006, 32(3): 350—354.
- SONG Hui-zhi, WANG Jun, YE Jun-an. Analysis of Loading Properties of Fowl Eggshell with Finite Element Method[J]. Journal of Zhejiang University, 2006, 32(3): 350—354.
- [3] DANNY G E, JORGE M. Cushioning Properties of Moulded Pulp[J]. Packaging Technology and Science, 1994, 7(2): 65—72.

计,不仅需要对可动部件起支撑和缓冲作用,还要具有足够的侧向支撑刚度。

4 结语

通过试验及理论分析,确定了波轮洗衣机产品包装的关键防护部位为洗衣盛水桶底部的离合器组件,在此基础上总结出了波轮洗衣机关键部位防护包装设计时需采取的防护技术措施,为波轮洗衣机底部缓冲包装设计提供了依据,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 杨昌茂.波轮洗衣机包装缓冲衬垫:中国,201020196232.6[P].2011-03-09.
YANG Chang-mao. A Cushion Packaging of Pulsator Washing Machine: China, 2010 20196232. 6[P]. 2011-03-09.
- [2] 杨延梅,朱大鹏.运输包装学[M].成都:西南交通大学出版社,2010.
YANG Yan-mei, ZHU Da-peng. Transport Packaging [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.

(上接第 50 页)

- [4] GURAV S P, BEREZNITSKI A, HEIDWEILLER A, et al. Mechanical Properties of Paper-pulppackaging [J]. Composites Science and Technology, 2003, 63(9): 1325—1334.
- [5] QING Hua, YAO Yi-han, XIAO Yan. Invasive and Native Tall Forms of *Spartina Alterniflora* Respond Differently to Nitrogen Availability [J]. Acta oecologica, 2011, 37(1): 23—30.
- [6] 杨斌,陈海燕.纸浆模塑制品结构及其力学性能研究[J].包装工程,2006,27(5):90—92.
YANG Bin, CHEN Hai-yan. The Research on Structural Design and Mechanics of the Pulp Molded Products [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 90—92.
- [7] 王和敏.纸浆模塑的缓冲机理以及优化分析研究[D].天津:天津大学,2005.
WANG He-min. Studying on Cushioning Mechanism of Moulded Pulp and Optimizing Analysis [D]. Tianjin: Tianjin University, 2005.
- [8] 王宏涛,骆光林,郭彦峰,等.纸浆模塑制品缓冲性能的实验研究[J].包装工程,2007,28(2):48—66.

- [3] 华丽,钱静.洗衣机运输包装件的跌落仿真分析[J].包装工程,2008,29(4):61—62.
HUA Li, QIAN Jing. Dropping Simulation analysis of the Transport Package of Washing Machine [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 61—62.
 - [4] 汤伯森,向红.包装动力学[M].长沙:湖南大学出版社,2001.
TANG Bo-sen, XIANG Hong. Packaging Dynamics [M]. Changsha: Hunan University Press, 2001.
 - [5] 王志伟,胡长鹰.后峰锯齿形脉冲激励下洗衣机包装系统的冲击特性[J].包装工程,1998,19(5):4—7.
WANG Zhi-wei, HU Chang-ying. The Impact Characteristics of the Washing Machine Packaging System under the Action of the Peak Jagged Pulse [J]. Packaging Engineering, 1998, 19(5): 4—7.
 - [6] 王志伟.半正弦脉冲激励下洗衣机的冲击谱分析[J].包装工程,1997,18(4):8—11.
WANG Zhi-wei. The Shock Spectra of Washing Machine under the Action of Half-sinusoid Pulse [J]. Packaging Engineering, 1997, 18(4): 8—11.
 - [7] 彭国勋.运输包装[M].北京:印刷工业出版社,1999.
PENG Guo-xun. Transportation and Packing [M]. Beijing: Printing Industry Press, 1999.
-
- [4] WANG Hong-tao, LUO Guang-lin, GUO Yan-feng, et al. Experimental Research on Cushioning Performance of Pulp Molded Product [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 48—46.
 - [9] 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].
 - [10] 姜松,崔志平,李健康,等.不同加载方式下的鸡蛋静力学性能和有限元分析[J].食品科学,2009,30(21):90—93.
JIANG Song, CUI Zhi-ping, LI Jian-kang, et al. Static Properties and Finite Element Analysis of Chicken Eggs under Different Loading Modes [J]. Food science, 2009, 30(21): 90—93.
 - [11] 余彬莺.网状结构植物纤维缓冲材料特性的研究[D].福州:福建农林大学,2007.
SHE Bin-ying. Study on Properties of Cushioning Material Made Plant Fibers with Network Structure [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2007.