

沙柳纤维对废纸纤维基轻质材料性能的影响

王海珍, 郝一男, 王虎军, 王喜明

(内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018)

摘要: **目的** 通过研究沙柳纤维不同掺入量对材料性能的影响, 得到性能更优的废纸纤维基轻质材料。 **方法** 采用机械发泡和化学发泡相结合的二次发泡法、水玻璃凝胶-溶胶法、硼系阻燃法和恒温鼓风干燥法制备废纸纤维基轻质材料, 对样品进行密度和力学性能测试, 利用氧指数、热重等测试分析手段, 对材料结构和性能进行表征分析。 **结果** 沙柳纤维掺入量(质量分数)为40%~60%时, 材料的密度约为16.52 kg/m³, 抗压强度可达21 kPa, 回弹率可达60%以上, 氧指数可达31.2%, 热稳定性好, 结构稳定。 **结论** 沙柳纤维的掺入量对材料的密度、抗压强度、压缩应变和阻燃性等性能均有影响。

关键词: 沙柳纤维; 废纸纤维; 轻质材料; 性能

中图分类号: TB484.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0043-05

Influence of Salix Fiber on the Performance of Low-density Waste Paper Fiber-based Material

WANG Hai-zhen, HAO Yi-nan, WANG Hu-jun, WANG Xi-ming

(Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

ABSTRACT: In order to get low-density waste paper fiber-based material with better performance, the influence of Salix fiber dosage on the performance of the material was studied. The low-density waste paper fiber-based material was prepared by the secondary foaming method incorporating mechanical foaming method and chemical foaming method, waterglass sol-gel method, boron flame-retardant method, as well as constant temperature and blasting air drying method. The density and mechanical performance of the samples were tested, and the material structure and properties were characterized using test methods such as LOI and thermal gravimetric. When the Salix fiber incorporation (mass fraction) was 40%~60%, the density of the material was about 16.52 kg/m³, the compressive strength could reach 21 kPa, the rebound rate could reach more than 60%, LOI could reach 31.2%, the material had good thermal stability and stable structure. The material density, compressive strength, compressive strain, flame resistance and other properties were all affected by the incorporation of Salix fiber.

KEY WORDS: Salix fiber; waste paper fiber; low-density material; performance

在轻质材料应用领域(如保温、吸音隔音、缓冲包装和室内装修等建筑、工业和生活领域), 石化能源类发泡材料(如聚苯乙烯发泡塑料EPS、聚乙烯发泡材料EPE)占据了大部分^[1-3], 由于该材料自身存在的原材料不可再生、高耗能、高污染、不可降解等缺

陷, 已经引发一系列环境及社会问题^[4-6], 因此, 众多国内外企业、研究机构致力于新型轻质材料的研发, 以替代原有的塑料制品^[7-12]。其中, 以废纸纤维为原料的植物纤维基轻质材料, 由于原料来源广泛、价格低廉、生产工艺简单、能耗低, 以及产品易降解、可回

收稿日期: 2014-07-08

基金项目: 内蒙古自治区科技厅科技创新引导奖励资金(20131506)

作者简介: 王海珍(1988—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 内蒙古农业大学硕士生, 主攻材料功能性改良。

通讯作者: 王喜明(1964—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 内蒙古农业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为木材科学和生物质复合材料。

收,其开发应用前景广阔^[13-16]。由于废纸纤维已经过多次加工处理,纤维表面角质化严重、纤维硬挺交织能力弱、比表面积低和亲水性差,因此若完全采用废纸纤维打浆发泡制备轻质材料,产品不仅性能差,而且性能不稳定^[17-18]。即使对废纸纤维进行预处理,效果也并不显著,而预处理不仅增加了生产工序,也增加了生产成本。

沙柳是一种沙生灌木,在内蒙古地区种植广泛,是防风固沙的主要树种之一。沙柳造林3年可平茬,平茬后其生长加快,萌发力加强,具有复壮作用,因而沙柳资源非常丰富。沙柳材主要用作人造板加工原料,但由于未能充分利用,沙柳的附加值极低,造成严重的资源浪费^[19-21]。王喜明^[22-24]等对沙柳的纤维形态及解剖结构的研究表明:沙柳的纤维含量较高,纤维形态良好,长宽比值较大(长度0.38~0.65 mm、宽度6.2~12.7 μm),细胞壁厚度较薄及壁腔比值较小(壁腔比值为0.47),因此,沙柳纤维在打浆过程中容易扁塌和破裂而具有良好的交织能力,能形成较强的纤维间结合力,从而提高纸张的物理性能。

在此,采用在废纸纤维中掺入沙柳纤维,以提高废纸纤维基轻质材料性能,即在已有的废纸纤维基轻质材料制备工艺配方的基础上,改变废纸纤维与沙柳纤维绝干质量的密度。经过试验与分析,不仅掌握了沙柳纤维掺入量对废纸纤维基轻质材料性能的影响规律,得到了关于废纸纤维与沙柳纤维较优的工艺配比,也对合理有效地利用资源、减少浪费、降低生产成本进行了一次积极的探索。

1 试验

1.1 材料与仪器

材料:沙柳纤维(内蒙古农业大学);废纸浆(某造纸厂);聚乙烯醇(天津市顺呈化工有限公司);氢氧化钠(天津市大茂化学试剂厂);可溶性淀粉、硅酸钠、硫酸铝(天津永晟精细化工有限公司);十二烷基磺酸钠(天津市永大化学试剂开发中心);硼酸、硼砂、碳酸氢钠(天津市风船化学试剂科技有限公司);40目筛子(模具)。

仪器设备:Scout SE型电子天平(奥豪斯仪器有限公司);GBJ-A型纤维标准解离器(长春市永新试验仪器有限公司);JC-HH-S24恒温水浴锅(济南精诚实验仪器有限公司);DHG-9245A型电热恒温鼓风干燥箱

(上海齐欣科学仪器有限公司);万能力学试验机(天津机械制造有限公司);热重分析仪(德国耐驰);JF-3氧指数测定仪(南京市江宁区分析仪器厂)。

1.2 沙柳纤维掺混废纸纤维基轻质材料制备

1.2.1 工艺配方

试验配方:纤维混合浆、水玻璃(自制)、硼系阻燃剂(自制)、聚乙烯醇、淀粉和 NaHCO_3 等溶液的质量分数分别为10%,4.43%,5%,5%,5%和10%。

在单因素实验1到实验11中,加入沙柳纤维的质量分数分别为0,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90%,100%。

1.2.2 工艺流程

试验工艺流程见图1。

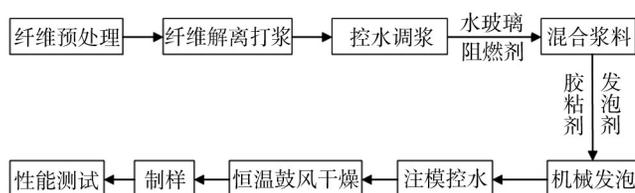


图1 试验工艺流程

Fig.1 Test process

1) 纤维预处理。取一定配比的沙柳纤维与废纸共30 g,置于纤维解离器中,加1000 mL蒸馏水,并设置20 000 r/min进行解离,然后倒入烧杯中充分浸泡12 h。将充分浸泡的混合浆控水调浆至10%,加入300 mL质量分数为2%的NaOH溶液,在60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水域碱化1 h,最后用蒸馏水反复冲洗至中性。

2) 胶粘剂。将质量分数为5%的淀粉溶液,在60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水域中糊化30 min,将质量分数为5%的聚乙烯醇(PVA)溶液,在90 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水域中充分搅拌溶解30 min,然后将2种胶粘剂充分混合。

3) 二次发泡。试验采用二次发泡法,首先加入起泡剂十二烷基磺酸钠溶液进行机械发泡,然后在干燥过程中由于 NaHCO_3 的热分解进行化学发泡。

4) 干燥。试验采用恒温鼓风干燥,干燥温度为102 $^{\circ}\text{C}$,干燥时间为8 h。

1.3 材料性能测试

密度测试参照GB/T 8168—2008《缓冲材料密度测试方法》进行。力学性能测试参照GB/T 17657—1999,在万能压力试验机上进行压缩试验。氧指数测试依照GB/T 8924—2005的方法测试。热重分析利用

热重分析仪测定分析材料的热稳定性。

2 试验结果与分析

2.1 密度

材料密度随着沙柳纤维掺入量的变化见图2。由图2可以看出,沙柳纤维的掺入量对废纸纤维基轻质材料的密度影响显著,密度变化范围为 $15.54 \sim 29.39 \text{ kg/m}^3$,变化趋势为材料密度随沙柳纤维掺入量的增加先迅速下降,后缓慢均匀上升,这是因为沙柳纤维在制浆发泡的过程中帚化破裂,具有良好的交织能力,与废纸纤维形成较强的穿插结合。而且沙柳纤维较之废纸纤维粗短硬挺,不论在机械起泡还是在二次发泡过程中,都会起到很好的支架作用,形成稳定的网络结构,在干燥过程不易塌陷结块。由于沙柳纤维比废纸纤维重,随着沙柳纤维密度的增加,材料的密度也随之增加。因此,从降低材料密度方面考虑,沙柳纤维掺入量(质量分数)应在40%~70%范围内。

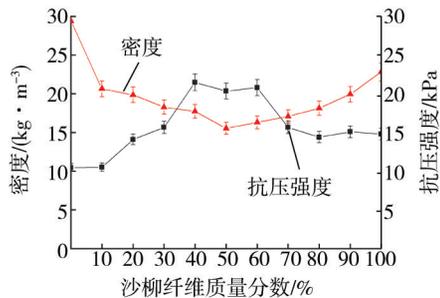


图2 材料的密度与抗压强度随沙柳纤维掺入量的变化曲线(误差线表示S. D.)

Fig.2 The changes of compressive strength and density of material with incorporation of Salix fiber (Error bars represent S. D)

2.2 力学性能

抗压强度 $\sigma=F/S$, F 为所加载荷(N), S 为试样面积(m^2), σ 的单位为Pa。材料的抗压强度随沙柳纤维掺入量的变化见图2。由图2可以看出,沙柳纤维的掺入可以增强材料的抗压能力,材料的抗压强度随着沙柳纤维掺入量的增加呈现先升高后降低的趋势,沙柳纤维的掺入量(质量分数)在40%~60%时抗压强度较高,大约为21 kPa。这是由于纤维形态良好的沙柳纤维,能与细长柔软的废纸纤维进行较好的交织结合,形成稳定紧凑的网络结构,使泡孔更加细密均匀,这样的结构使材料受力均匀,不易造成应力集中而破坏

材料,因此材料能够承受更高的压强。随着沙柳纤维的过量掺入,纤维间的结合力减弱,材料结构变得松散,导致抗压强度随之降低。

压缩应变 $\varepsilon=(d_0-d)/d_0 \times 100\%$, d_0 为试样初始厚度(cm); d 为极限载荷下试样厚度(cm)。材料的压缩应变随沙柳纤维掺入量的变化见图3。由图3可以看出,沙柳纤维的掺入对废纸纤维基轻质材料的压缩应变有一定影响,随着沙柳纤维掺入量的增加,材料的压缩应变先增加后降低,试样在极限载荷下的形变范围为50%~63%,变化不大。

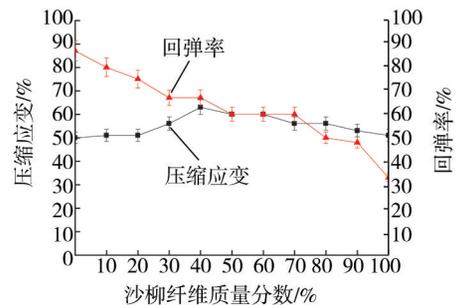


图3 材料的压缩应变与回弹率随沙柳纤维掺入量的变化曲线(误差线表示S. D.)

Fig.3 The changes of compressive strain and rebound rate of material with incorporation of Salix fiber (Error bars represent S. D.)

回弹性用回弹率 ε_H 描述, $\varepsilon_H=(d_1-d)/(d_0-d) \times 100\%$, d_1 为卸载24 h后试样厚度(cm)。材料回弹率随沙柳纤维掺入量的变化见图3。从图3可以看出,材料的回弹率随着沙柳纤维掺入量的增加而逐渐下降,一方面原因是较之细长柔软的废纸纤维,沙柳纤维短而硬脆,在极限载荷方向上的沙柳纤维受力折断而降低了材料的回弹率;另一方面,由于沙柳纤维的加入,废纸纤维基材料的密度降低、单位体积内的泡孔数量极大增加,经过极限载荷的压缩泡孔变小,材料的回弹率降低。

综合考虑材料的力学性能,沙柳纤维的掺入量(质量分数)应控制在40%~60%,抗压强度平均为21 kPa,压缩应变为60%,回弹率为60%以上,这样材料的机械加工性能较好。

2.3 阻燃性能

实验条件下,材料的阻燃性能用氧指数法进行表征分析,结果见图4。由图4可见,材料的氧指数随沙柳纤维掺入量的增加先增大而后降低,变化范围为20.4%~22.8%,最大增加2.4%,沙柳纤维的掺入对材

料阻燃性能的影响并不显著。经分析,造成沙柳纤维不能显著提高材料阻燃性的原因有:首先,沙柳纤维的帚化不充分,帚化末端未能更好地与硼系阻燃剂结合以提高材料的阻燃性;其次,在控水过程中阻燃剂随着流动水大量流失,阻燃剂的利用率较低,导致材料的阻燃性能不高;另外,阻燃剂类型的选择也是重要的影响因素。在后面的验证试验中,将沙柳纤维经过多次机械打浆帚化,以提高其帚化率,并将用水量减少到之前的50%,试验所得样品的氧指数测定值可达到31.2%,接近难燃范畴。

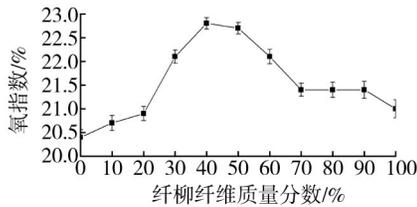


图4 材料的氧指数随沙柳纤维掺入量的变化曲线(误差线表示S. D.)

Fig.4 Changes of oxygen index method of material with Salix fiber dosage (Error bars represent S. D.)

2.4 热重分析

不同沙柳纤维掺入量下材料的热重变化见图5。由图5可以看出,沙柳纤维掺混废纸纤维基超轻质工程材料的热解过程大致分为4个阶段:温度在25~120℃为干燥阶段,该过程主要是材料内部自由水与结合水的蒸发失去,失重率为4.36%;温度在120~230℃为预分解阶段,曲线走势平缓,呈近似水平状态,失重率仅为2.02%,此过程是为后续化学组分的热分解积蓄能量;温度在230~350℃为有机物分解阶段,曲线走势陡峭、急剧下降,此过程是材料内部的有机成分受热后迅速分解挥发,如有机胶粘剂、半纤维素、纤维素和木质素等,失重率达到46.79%;温度在

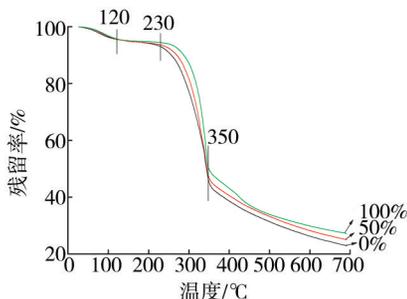


图5 不同沙柳纤维掺入量下材料的热重曲线

Fig.5 The thermal gravimetric curves of materials with different dosages of Salix fiber

350~700℃为成炭煅烧阶段,曲线下趋势变得缓慢平稳,此过程是材料热解剩余物进一步炭化并煅烧,失重率为21.80%。

对比不同沙柳纤维掺入量下材料的热重曲线可以看出,材料在230℃之前无明显差别,而在230℃之后,随着沙柳纤维掺入量的增加,材料在同等温度下的失重率减小,这说明沙柳纤维的掺入一定程度上提高了材料的热稳定性。

3 结语

沙柳纤维与废纸纤维结合可形成更稳定的网络结构,废纸纤维不容易团聚结块,材料泡孔细密均匀,提高了材料的机械加工能力;沙柳纤维的掺入对材料的密度、抗压强度和阻燃性等性能均有影响,密度降低50%左右,抗压强度提高1倍多,氧指数增加10.8%;沙柳纤维掺入量(质量分数)在40%~60%时,材料的结构和性能较优。

参考文献:

- [1] 中国石油和化学工业协会. 2006年08月泡沫塑料制品产量[J]. 中国石油和化工经济数据快报, 2006(18):73. Petroleum & Chemical. August 2006 Production of Foam Products[J]. China Petroleum and Chemical Industry Data Express, 2006(18):73.
- [2] SIRACUSA V, ROCCOLI P, ROMANI S, et al. Biodegradable Polymers for Food Packaging: a Review[J]. Trends in Food Science & Amp, Technology, 2008, 19(12):634—643.
- [3] 中商情报网. 2011—2015年中国泡沫塑料行业发展现状及前景调研报告[EB/OL]. 2011-07-25. China Market Research Report.com. The Research Report on 2011—2015 China Foam Industry Development Status and Prospects[EB/OL]. 2011-07-25.
- [4] 秦国民, 田代年. “白色污染”的危害及治理对策[J]. 黑龙江环境通报, 2005, 29(1):16—18. QIN Guo-ming, TIAN Dai-nian. The Harm and Countermeasures of White Pollution[J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2005, 29(1):16—18.
- [5] 侯树亭. 中国EPS泡沫塑料回收利用状况及技术进展[J]. 塑胶工业, 2006(5):25—27.

- HOU Shu-ting. China EPS Foam Recycling Conditions and Technical Progress[J]. China Plastics Industry, 2006(5):25—27.
- [6] 刘雯. 城市热岛效应的成因和改善策略探究[J]. 科技创新导报, 2010, 56(4):36—38.
- LIU Wen. Research on the Causes and Improvement Strategies of the Urban Heat Island Effect[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010, 56(4):36—38.
- [7] TOKIWA Y, KEMNTTNER J, CROSS R. Recent Progress in Synthesis of Biodegradable Polymer Research[J]. Polymeric Material Science and Engineering, 1990(63):742—744.
- [8] 谢拥群, 陈彦, 张璧光. 植物纤维膨化材料的研究[J]. 木材工业, 2004(2):30—32.
- XIE Yong-qun, CHEN Yan, ZHANG Bi-guang. Study on a Foamed Material from Plant Fibers[J]. China Wood Industry, 2004(2):30—32.
- [9] 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.
- SUO Xiao-hong, LI Xin-ping. Research on Preparation of Fiber for Foaming and Buffering Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6):116—118.
- [10] 祁书艳, 刘晔, 史锶瑛. 竹纤维发泡缓冲材料的研究[J]. 浙江理工大学学报, 2007(1):32—35.
- QI Shu-yan, LIU Ye, SHI Zeng-ying. Study on Foamed Packaging Material from Bamboo Fibres[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2007(1):32—35.
- [11] 周盛华. 植物纤维发泡材料的研究背景、现状及工艺探讨[J]. 包装工程, 2007, 28(11):239—242.
- ZHOU Sheng-hua. Discussion on the Background, Present Condition, and Craft of Foaming Vegetable Fiber Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11):239—242.
- [12] AVEROUS L, HALLEY P J. Biocomposites Based on Plasticized Starch[J]. Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofr, 2009, 3(3):329—343.
- [13] 张新昌, 梁炬, 周防国, 等. 我国纸浆模塑工业包装的现状与发展[J]. 包装工程, 2003, 24(1):4—7.
- ZHANG Xin-chang, LIANG Ju, ZHOU Fang-guo, et al. The Present Situation and Development on the Pulp Modeled for Industrial Packaging in Our Country[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(1):4—7.
- [14] 骆光林, 裴璐. 纸浆发泡缓冲材料研究[J]. 包装工程, 2007, 28(5):46—48.
- LUO Guang-lin, PEI Lu. Study on Pulp Foaming Buffer Material[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(5):46—48.
- [15] 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(3):43—47.
- CHEN Hui-wen. Study on the Preparation of Waste-paper Foamed Packing Material[J]. Paper Science & Technology, 2008(3):43—47.
- [16] 武卫莉, 张晶. 废纸浆复合材料研究进展[J]. 高分子通报, 2013(12):104—107.
- WU Wei-li, ZHANG Jing. Study and Development on Pulp Sediments Composites[J]. Polymer Bulletin, 2013(12):104—107.
- [17] 张惠莹, 张晶, 江兴亮, 等. NaOH预处理对废纸纤维发泡材料性能的影响[J]. 包装学报, 2012(3):11—15.
- ZHANG Hui-ying, ZHANG Jing, JIANG Xing-liang L, et al. Influence of Pretreatment with NaOH on Property of Waste Paper Fiber Foamed Material[J]. Packaging Journal, 2012(3):11—15.
- [18] 季爱坤, 刘文波. 废纸浆存在的问题及提高其质量的方法[J]. 纸和造纸, 2013(11):1—7.
- JI Ai-kun, LIU Wen-bo. The Shortcoming of Recycled Pulp and Measures of Improving Its Quality[J]. Paper and Paper Making, 2013(11):1—7.
- [19] 王喜明. 沙生灌木人造板生产技术产业化现状与发展[J]. 林产工业, 2012, 39(1):53—55.
- WANG Xi-min. The Present Situation and Development on the Production Technology Industrialization of Panelboard Made From Shrub in Sandy Area[J]. China Forest Products Industry, 2012, 39(1):53—55.
- [20] 许凤, 孙润仓, 詹怀宇. 防沙治沙灌木生物资源的综合利用[J]. 造纸科学与技术, 2004, 23(1):17—20.
- XU Feng, SUN Run-cang, ZHAN Huai-yu. Comprehensive Utilization of Shrubs for Preventing and Controlling Desertification[J]. Paper Science & Technology, 2004, 23(1):17—20.
- [21] 许凤, JONES-Gwynn L L, 孙润仓. 速生灌木沙柳的纤维形态及解剖结构研究[J]. 林产化学与工业, 2006(1):91—94.
- XU Feng, JONES-Gwynn L L, SUN Run-cang. Fibre Morphology and Anatomical Structure of Sandlive Willow (*Salix psammophila*)[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2006(1):91—94.
- [22] 冯利群, 高晓霞, 王喜明. 沙柳木材显微构造及其化学成分分析[J]. 内蒙古林学院学报, 1996(1):38—42.
- FENG Li-qun, GAO Xiao-xia, WANG Xi-ming. Analysis of Microstructure and Chemical Composition of *Salix* Wood[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry College, 1996(1):38—42.
- [24] 贺勤, 王喜明. 沙柳树皮纤维形态及化学成分变异性的研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2013(4):131—135.
- HE Qin, WANG Xi-ming. The Study on Fiber Form and Chemical Composition of *Salix* Bark and Its Variation[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science, 2013(4):131—135.