竹浆纤维再回收利用及纸张强度改善

金海兰[1],赵骏衡[2],岡山隆之[3],陈礼辉[4]

1.东北林业大学,生物质材料科学与技术教育部重点实验室,哈尔滨 150040
2. 韩国江原大学校山林环境科学大学造纸工学科,春川 200701
3. 日本东京农工大学大学院农学研究院,东京 1838509
4. 福建农林大学材料工程学院,福州 350002

摘要 研究了竹浆纤维的循环再利用及超声波处理对竹浆纤维和纸张特性的影响;评价了竹浆纸张的密度、抗张强度等特性,探讨了单纤维强度和纸张纤维间结合力的关系。结果表明,竹浆纸张的密度和抗张强度随着循环再利用次数的增加而降低,超声波处理纸浆纤维提高了纸张的抗张强度。Page理论表明,纸张抗张强度的提高主要是由于超声波处理增强了纸张内部的纤维间结合力。光学显微镜结果显示,超声波处理通过切断纤维、润胀纤维、细纤维化纤维的作用,有效改善了纸张的强度。研究表明,纸张的循环再利用会降低竹浆的保水值,而利用超声波处理可以有效提高纸浆的保水性能,改善纸张的抗张强度。

关键词 竹浆纤维;再回收利用;超声波处理;纤维间结合力

中国已经成为世界造纸第一生产、消费大国,而面临的造纸原料紧缺也是严峻的事实,造纸原料短缺已成为制约中国造纸工业发展的主要问题。加速发展木材和废纸原料,有效利用丰富的非木材纤维造纸原料,对发展中国造纸工业,缓解造纸原料短缺方面具有十分重要的意义。中国具有丰富的非木材纤维资源,如竹子、芦苇、麦稻草、蔗渣等。今后较长的一段时间里,非木材纤维仍是中国不可或缺的纤维资源。

针叶浆纤维长3~5 mm,阔叶浆纤维约1 mm,竹浆纤维约2 mm,介于针叶浆和阔叶木浆之间,且优于阔叶木和草类原料纤维,化学成分与木浆纤维相近,可用于抄造文化用纸、描图纸、仿羊皮纸、牛皮纸、纸袋纸等[1-4]。纸浆纤维重复进行润湿、干燥的再回收利用会降低纤维的润胀性能,带来纤维内部不可逆的老化[5-6],导致纸张强度的降低。因此,对再回收利用纸浆可进行叩解、添加增强剂、配超长纤维达到改善纸张的强度的目的。

为研究竹浆纤维的再回收利用特性,本课题组采用超声波细胞粉碎机对纸浆纤维进行处理,分析对纤维形态及对纸张强度特性的影响,探讨改善再回收利用纤维纸张强度的方法。

1 实验

1.1 原料与设备

漂白硫酸盐竹浆(BBKP),漂白硫酸盐针叶木浆(NBKP);超声波细胞粉碎仪(宁波新芝生物科技股份有限公司,JY92-IIDN)用于纸浆的超声波处理。

1.2 再回收利用纸张的制备

对纸浆进行打浆,NBKP的打浆度为39°SR,BBKP的打浆度为37°SR,之后进行抄片→干燥1→碎解→润湿解纤→抄片→干燥2的纤维再回收利用的处理过程。回用处理的干燥1温度为80℃,干燥时间24 h,实验用纸张的干燥2温度为105℃,干燥时间30 min。实验用纸张的定量为(60±3)g/m^2,回用处理次数0、1、3(简称R_0、R_1、R_3)。

1.3 纸浆纤维的超声波处理

调节浆料浓度为1%,每次处理量为150 mL。超声波细胞粉碎仪的处理功率为900 W,超声处理间隔1 s,进行了30 min超声波处理。处理后的浆料稀释之后,进行抄纸。实验用纸张样品见表1。

表1 实验用纸张样品

Table 1 Pulp samples for experiment

纸浆类型	Pulp samples
NBKP	Softwood bleached kraft pulp
BBKP	Bamboo bleached kraft pulp
UNBKP	Untreated Softwood bleached kraft pulp
UBBKP	Untreated Bamboo bleached kraft pulp
TNBKP	Treated Softwood bleached kraft pulp
TBBKP	Treated Bamboo bleached kraft pulp

收稿日期:2015-09-15;修回日期:2015-12-23
基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2572014CB05);中国博士后科学基金项目(2013M541331)
作者简介:金海兰,讲师,研究方向为特种纸、生物质纤维素基材料,电子信箱:nefujinhailan@163.com
引用格式:金海兰, 赵骏衡, 岡山隆之, 等. 竹浆纤维再回收利用及纸张强度改善[J]. 科技导报, 2016, 34(19): 87-90; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.19.014

1.4 纸张特性的检测

恒温恒湿下24 h的调节处理之后,按文献[7]~[10]的方法分别测定了纸张的密度、抗张强度、零距离抗张强度等强度特性和纸浆的保水值。纸张纤维间结合力的分析采用了Page理论[12-14]。所有实验数据都是10次测定值的平均值。

2 结果与分析

2.1 超声波处理对竹浆纸张特性的影响

超声波处理对纸张密度的影响如图1所示。由图1可见,竹浆和针叶浆纸张的密度均随回用次数的增加而呈降低趋势。回收利用过程中,纸张密度的降低主要是纤维在干燥—润湿的过程中发生了不可逆变化,因纤维表面呈现疏水性,一定程度上阻碍了纤维之间的缠绕和结合。纸浆纤维的超声波处理对纸张密度的影响不明显。当纸料形成湿纸幅时,相邻的纤维的羟基,首先通过水的作用,形成纤维-水-纤维连接,并将羟基组成适当的排列,纸料在网上滤水后,经过压榨进一步脱出水分,使纤维间的距离靠拢,在纤维间形成了比较有规则的单层水分子连接的氢键结合,再经加热干燥进一步脱除水分,纸页收缩,纤维进一步靠拢形成纸页。因竹浆纤维要比针叶浆纤维硬度高[15,16],纸浆在脱水干燥过程中纤维间的缠绕和靠拢较NBKP困难,因此BBKP纸张的密度都小于NBKP。

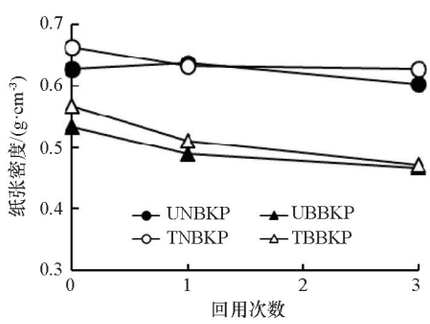

图1 再回收利用及超声波处理对纸张密度的影响

Fig. 1 Effects of recycling and ultrasound treatment on handsheet density

随着回用次数的增加UNBKP,UBBKP纸张的抗张强度呈现下降趋势(图2)。纸张强度降低的主要原因是,再回收利用改变了纤维的微细结构,纤维发生劣化所致。对纸浆的超声波处理在一定程度上提高了TNBKP,TBBKP纸张的抗张强度。不过,对纸张零距离抗张强度的影响不明显(图3)。在辅助打浆中采用超声波处理时,纸浆内部产生一定的细纤维化和润胀作用,而且能提高针叶浆纤维的保水值,对纸张强度有一定的改善作用[17-19],因此可以推断对再回收利用竹浆纤维的超声波处理也可能提高了纤维的润胀性或者是带来了纤维的微细纤维化。

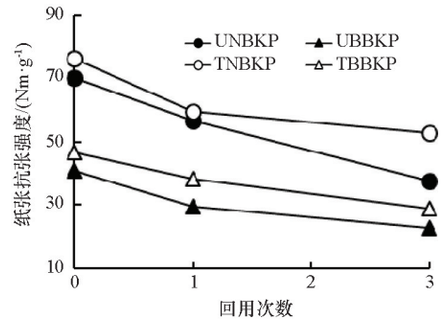

图2 再回收利用及超声波处理对纸张抗张强度

Fig. 2 Effects of recycling and ultrasound treatment on handsheet tensile index

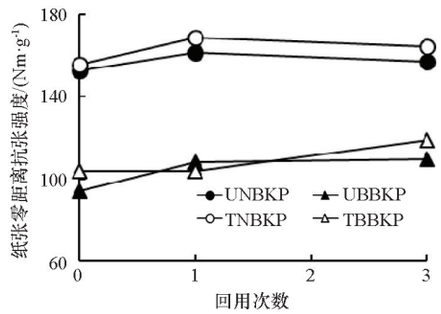

图3 再回收利用及超声波处理对纸张零距离抗张强的影响

Fig. 3 Effects of recycling and ultrasound treatment on handsheet zero-span tensile index

2.2 超声波处理对纸浆保水值的影响

纸浆的保水值可以说明纤维的润胀程度,反映出细纤维化程度,一定程度上说明纸张纤维之间结合力的大小。

超声波处理对纸浆保水值的影响如图4所示。UBBKP纸浆保水值低于UNBKP,说明竹浆的水分保持力弱于针叶浆。对纸浆进行超声波处理,有效提高了TBBKP纸浆的保水值,而对TNBKP的影响不明显。纸浆保水值的提高,说明纤维表面水分保持力的提高、纤维表面氢键结合的增加,能够保证结合强度的提高[20]。

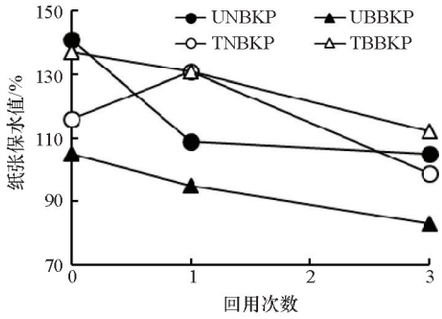

图4 再回收利用及超声波处理对纸浆保水值的影响

Fig. 4 Effects of recycling and ultrasound treatment on pulp WRV

2.3 超声波处理对纸张纤维间结合力的影响

纸张的强度依赖于纸浆纤维形态、纸浆保水值、纤维间结合等多种复杂的因素,其中纸张的抗张强度是评价纸张强度最主要指标之一。本研究采用Page理论[13]论述影响纸张强度的因素。

$$\frac{1}{T}=\frac{1}{F}+\frac{1}{B}$$

其中,单纤维强度指数F=8Z/9,只要测定纸张的抗张强度T、零距离抗张强度Z,就可得出纤维间结合力强度指数B。

由图5、图6可知,NBKP,BBKP纸张的单根纤维强度变化不明显(即1/F变化不大),而1/B随着回用次数的增加呈现上升趋势,即纤维间结合力大幅降低。其中UBBKP的1/B要比UNBKP的大,表明纤维间结合力弱,与强度的结果相一致。这说明,纸张强度的降低主要是由纤维间结合力的减弱导致。纸浆纤维的超声波处理有效降低了1/B,即提高了纤维间结合力,因此可以判断超声波处理主要通过提高纤维间结合力改善了纸张的抗张强度。

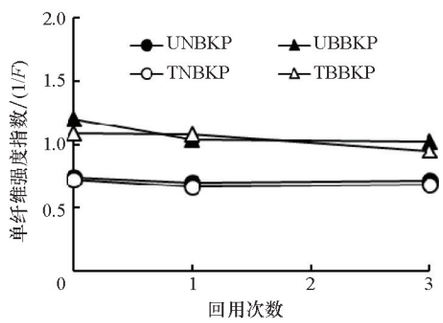

图5 再回收利用及超声波处理对单纤维强度的影响

Fig. 5 Effects of recycling and ultrasound treatment on fiber weakness

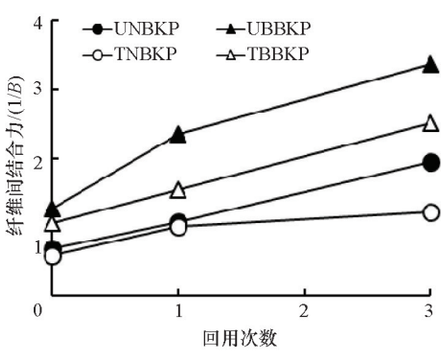

图6 再回收利用及超声波处理对纤维间结合力的影响

Fig. 6 Effects of recycling and ultrasound treatment on bonding weakness

通过Page理论分析可知,再回收利用带来的纸张强度的降低,主要是纤维间结合力的减弱,对纸浆纤维的超声波处理通过提高纤维间结合力,能有效改善纸张的强度。

2.4 光学显微镜观察纤维形态变化

BBKP-R_0、BBKP-R_3纤维的光学显微镜照片见图7。纸浆的超声波处理,有一定的纤维切断、纤维的润胀、微细纤维化作用,尤其是在纤维末端的细纤维化,纤维的这些变化都能带来纸张强度的改善。其中,TBBKP-R_3的上述现象更为明显。光学显微镜照片分析进一步证明,超声波处理能够带来纤维形态的变化,从而有效改善纸张的强度。

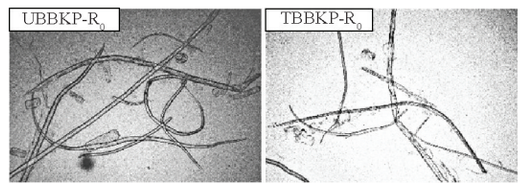

图7 BBKP纤维的光学显微镜照片

Fig. 7 Optical microscope observations of BBKP fibers

3 结论

研究了竹浆纤维的再回收利用特性、超声波处理对纸浆纤维形态及对纸张强度特性的影响,探讨了改善再回收利用纤维纸张强度的方法。

1)再回收利用降低了竹浆纤维纸张的密度及抗张强度。对纸浆纤维的超声波处理有效提高了纸张的抗张强度。通过Page理论分析,纸张强度的降低主要是纤维间结合力的减弱所致,纸浆纤维的超声波处理通过提高纤维间结合力,能改善纸张的强度。

2)竹浆的保水值要低于针叶浆,随着回用次数的增加纸浆的保水值呈下降趋势。对纸浆纤维的超声波处理能明显提高竹浆的保水值。

3)光学显微镜照片的分析表明,对竹浆纤维的超声波处理通过纤维的切断、纤维的润胀、微细纤维化等纤维形态的变化,实现了改善纸张强度的目的。

竹浆纤维的超声波处理通过改变纤维形态,提高其纤维间结合力。因此,在回收利用纤维时可作为改善纸张强度的一种方法。

参考文献(References)

[1] Yang R T, C K F. Performance and potential of bamboo as papermaking material[J]. China Forest Products Industry, 2002, 29(3): 8-11.

[2] Grosser D, Liese W. On the anatomy of asian bamboos, with special reference to their vascular bundles[J]. Wood Science and Technology, 1971, 5: 290-312.

[3] Jin G F, Takahashi S, Nakagawa-izumi A, et al. Chemical characteristics and kraft pulping response of Phyllostachyspubescens stems[J]. Mokuzai Gakkaishi, 2008, 54(1): 33-38.

[4] Cui M, Yin Y F, Jiang X M, et al. Research and application status of bamboo pulp and paper technology[J]. Journal of Bamboo Research, 2010, 29(1): 1-5.

[5] Kitayama T, Okayama T, Oye R. Changes of chemical pulp fibres during

recycling[J]. Sen´i Gakkaishi, 1987, 43(9): 486-494.
[6] Okayama T. The Effects of recycling on pulp and paper properties[J]. Sen´i Gakkaishi, 2002, 56(7): 986-992.
[7] JIS P8223—2005 Laboratory sheets Determination of physical properties [S]. Japan, 2005.
[8] JIS P8227—2008 Determination of zero-span tensile strength, wet or dry [S]. Japan, 2008.
[9] JIS P8148—2001 Paper, board and pulps—Measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO brightness)[S]. Japan, 2001.
[10] JIS TAPPI No26—2000 Pulp - water retention value test method [S]. Japan, 2000.
[11] Jin H L, Okayama T. Effects of internal addition of bulking promoter on low- density and porous structure of handsheet[J]. Sen´i Gakkaishi, 2009, 65(5): 139-145.
[12] Jin H L, Watanabe K, Ohtani H, et al. Effects of Internal addition of bulking agents on properties of recycled handsheet[J]. Sen´i Gakkaishi, 2015, 71(6): 201-206.
[13] Page D H. A theory for the tensile strength of paper[J]. TAPPI, 1969, 52 (4): 674-681.
[14] Cildir H, Howarth P. The effect of re-use on paper strength[J]. Paper Technology, 1972, 13(5): 333-335.
[15] Xu C S. Bamboo and its pulping and papermaking[J]. Paper Science & Technology, 2006, 25(4): 1-6.
[16] Pu Y. The pros and cons of bamboo pulp papermaking[J]. Wizard magazine rich technology, 2014, 26: 212.
[17] Iwasaki T, Nakano J, Usuda M, et al. Studies on beating of pulp (II). Effect of ultrasonic treatment on chemical pulps[J]. Japan Tappi Journal, 1967, 21(10): 557-563.
[18] Tachibana S, Matsushima K. A Study on the beating of hardwood[J]. Japan Tappi Journal, 1963, 17(5): 283-289.
[19] Iwasaki T. Ultrasonic beating[J]. Japan Tappi Journal, 1964, 18(12): 546-550.
[20] Thode E, Bergmli J, Unson R. The application of a centrifugal water-retention test to pulp evaluation[J]. TAPPI, 1960, 43(5): 505-512.

Recycling characteristics of bamboo pulp fiber and improvement of the strength of its handsheet

JIN Hailan[1], CHO Junhyung[2], OKAYAMA Takayuki[3], CHEN Lihui[4]

1. Key Lab of Bio-based Materials Science and Technology of Ministry of Education; Northeast Forestry University, Harbin 150040, China
2. Department of Paper Science, College of Forestry Environmental Sciences, Kangwon National University, Chunchon-si 200-701, Korea
3. Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo 183-8509, Japan
4. College of Materials Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract The recycling and the ultrasonic treatment of bamboo fibers are investigated. And the bamboo paper density, the tensile strength and other properties of the handsheets are determined. Repeated recycling leads to a decrease of the paper density and the tensile strength. The Page equation ($1/T=1/F+1/B$) is used to evaluate the strength contributions of a single fiber and the inter-fiber bond to the tensile strength of the bamboo handsheet. It is found that the bamboo paper strength improves as a result of the ultrasonic treatment, which is essentially due to the enhanced inter-fiber bonding strength and the slight changes of the zero-span tensile strength. Optical microscopic observations indicate that, the ultrasonic treatment has induced the fiber cutting, the fiber swelling, and the fibrillation, which contributes to the bamboo paper strength improvement. The WRV (Water retention value) depends upon the times that the fibers are recycled, and the repeated recycling leads to a reduction of the bamboo pulp WRV. Interestingly, the ultrasonic treatment significantly enhances the water retention, as well consistent with the results related to the bamboo paper strength.

Keywords bamboo fiber; recycling; ultrasonic treatment; inter-fiber bonding strength

（编辑　祝叶华）