

新材料技术

纸浆的高碘酸钠选择性氧化及其性能研究

叶佩尧¹, 余煌¹, 董存军¹, 王鹏^{1,2}, 谢益民^{1,2}

(1.湖北工业大学, 武汉 430068; 2.绿色轻工材料湖北省重点实验室, 武汉 430068)

摘要: **目的** 针对传统湿强剂在使用过程中所造成的环境污染问题, 研究利用高碘酸钠选择性氧化纤维提高纸张湿强度的新方法。**方法** 以未漂硫酸盐针叶木浆为原料, 采用高碘酸钠对纤维进行选择性氧化, 通过纤维形态分析仪对氧化后的纤维进行形态分析, 并用红外光谱对纤维进行表征, 对成纸的物理特性及纸张表面形态进行分析和观察。**结果** 经高碘酸钠氧化后, 纤维的长度和宽度变化不大, 但纤维的粗度明显降低, 纤维表面产生了大量醛基, 在纸张成型过程中, 纤维表面的醛基能够与纤维上的羟基发生缩合反应, 形成半缩醛结构, 提高了纤维间的结合强度, 从而提高了纸张的湿强度。**结论** 高碘酸钠选择性氧化未漂硫酸盐浆可以提高纸张的湿强度。

关键词: 纸浆; 高碘酸钠; 选择性氧化; 湿强度

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0087-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.017

Selective Oxidation of Pulp with Sodium Periodate and Its Properties

YE Pei-yao¹, YU Huang¹, DONG Cun-jun¹, WANG Peng^{1,2}, XIE Yi-min^{1,2}

(1.Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2.Hubei Provincial Key Laboratory of Green Materials for Light Industry, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: The work aims to study a new method to increase the wet strength of paper by selective oxidized fiber with sodium periodate with regard to the environmental pollution caused by the use of traditional wet strength agent. With the unbleached softwood kraft pulp as raw material, the fiber was selectively oxidized with sodium periodate. Fiber morphology analyzer and infrared spectroscopy were applied to analyze the fiber morphology and characterize the fiber, respectively. The physical characteristics of the finished paper and the paper surface morphology were analyzed and observed. After the oxidation with sodium periodate, the fiber length and width had a little change, but the fiber roughness decreased significantly. Besides, there was a large number of aldehyde groups on the fiber surface. The aldehyde groups on the fiber surface could have the condensation reaction with the hydroxy on the fiber in the process of paper formation, thus forming the hemiacetal structure. The hemiacetal structure improved the bonding strength between the fibers, thus improving the wet strength of the paper. The wet strength of paper can be improved by selective oxidized unbleached kraft pulp with sodium periodate.

KEY WORDS: pulp; sodium periodate; selective oxidation; wet strength

近年来,随着纸的用途越来越广泛,人们对纸产品的要求也越来越高。在生产、生活等诸多领域,纸产品需要在润湿状态下具有一定的湿强度^[1]。由于纸浆纤维具有高度的亲水性,当纸张浸渍在水中时,水

分子将广泛地参与氢键结合,使纸张中纤维-纤维结合被纤维-水结合所取代^[2-3],因此使成纸的强度降低。在通常情况下,未经处理的纸张将损失大部分强度,仅保留原干强度的2%~10%,这远远不能满足实

收稿日期: 2017-09-20

基金项目: 国家自然科学基金(31300494); 湖北工业大学博士启动基金(BSQD12037)

作者简介: 叶佩尧(1994—),男,湖北工业大学硕士生,主攻植物纤维资源化学。

通信作者: 王鹏(1979—),男,湖北工业大学副教授,主要研究方向为植物纤维化学及植物纤维基复合材料。

实际应用的需要^[4-5]。由此,在实际生产过程中需要对纸张进行特殊处理,以提高纸张的湿强度。

现在增强纸张湿强度的方法通常是在造纸过程中添加湿强剂,这类纸张如海图纸、特种地图纸、钞票纸、药棉纸、工业滤纸、照像原纸等在经湿强剂处理后,其湿强度能达到原干强度的20%~40%^[6-7]。目前常用的湿强剂包括脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、聚酰胺环氧氯丙烷树脂、聚乙烯亚胺、双醛淀粉等^[8-10]。这些传统的湿强剂对增强纸张湿强度具有较好的效果,但其使用或多或少会对环境造成一定的污染^[11],同时,也不利于废纸的回收利用。

除了使用湿强剂外,还可通过改变纸浆纤维的结构来增强纤维与纤维之间的结合,以达到提高纸产品湿强度的目的^[12]。戴路等^[13]以棉纤维为原料,经TEMPO氧化体系处理后在纤维表面导入了醛基和羧基,结果表明,成纸的干湿强度均具有一定的提高。孟云兰等^[14]也利用低温等离子体氧化纸浆纤维,在纤维表面引入了羟基、羧基,结果发现该方法提高了纸页的湿强度。这些研究证明了改变纤维结构来提高纸张湿强度是可行的,然而其对湿强度的提升却十分有限。大量的研究表明^[15-18],纸浆纤维在经过高碘酸钠氧化后会形成双醛纤维素,在纤维表面产生大量的醛基,在抄纸加热时会与纤维上同时存在的大量羟基发生缩合反应形成半缩醛结构,使得纤维间形成抗水的共价键链接,从而大幅提高成纸的湿强度,免去传统湿强剂的使用,不仅使得纸张环境友好和绿色环保的优势得以保持,而且有利于废纸的回收利用。这里利用高碘酸钠对未漂硫酸盐针叶木浆进行选择氧化,通过测定氧化处理后纸浆的纤维形态、成纸的物理性能来研究高碘酸钠氧化对纸张湿强度的影响。

1 实验

1.1 原料与仪器

主要原料:未漂硫酸盐针叶木浆板,商品级,瑞典阿巴斯公司;高碘酸钠,分析纯,阿拉丁有限公司;盐酸、氢氧化钠,分析纯,湖北奥特化工有限公司。主要仪器:85-2型磁力搅拌器,巩义市予华仪器公司;HE-WD-300真空干燥箱,精宏有限责任公司;AL204电子分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;ZQS2-23型瓦力打浆机,陕西科技大学机械厂;P95854.3A凯塞快速纸页成型器,奥地利PTI公司;991178卧式抗张试验机,991090电脑测控耐破度仪,912纤维分析仪,瑞典L&W公司;DCP-SLY1000型电脑测控撕裂度仪,DCP-MIT135型电脑测控耐折度仪,DC-HJY03型电脑测控厚度紧度仪,DCP-KY3000型电脑测控压缩试验仪,四川长江造纸仪器公司;NICOLET380红外光谱仪,美国热电公司;JSM-6390LV型扫描电子

显微镜,日本电子株式会社。

1.2 未漂硫酸盐阔叶木浆的氧化

1.2.1 纸浆的预处理

将未漂硫酸盐针叶木商品浆用槽式打浆机打浆,终点打浆度为45°SR。

1.2.2 纸浆的氧化

取18g未漂白硫酸盐针叶木绝干浆(打浆度为45°SR),加水至纸浆质量分数为2.5%,并利用0.1mol/L的NaOH溶液与0.1mol/L的HCl溶液来调节浆液的pH值,使pH值为2,分批快速加入质量分数为0%,2%,4%,6%,8%,10%(相对于绝干浆质量)的高碘酸钠,通入氮气保护,在45℃下用锡箔纸包裹避光反应3h,反应完成后将纸浆移入浆袋洗涤,备用。

1.3 纤维形态分析

准确称取100mg绝干浆样,制成质量分数为0.1%的纸浆,充分疏解后,在纤维分析仪上进行测定。

1.4 纸张物理性能检测

将纸样进行处理后,按GB/T 12914—2008测定纸张干、湿强指数,按GB/T 455—2002测定纸张撕裂度,按GB/T 457—2008测定纸张耐折度,按GB/T 454—2002测定纸张耐破强度,按GB/T 2679.8—2016测定纸张环压指数,按GB/T 451.3—2002测定纸张厚度,按GB/T 451.2—2002测定纸张定量。

1.5 红外光谱分析

将氧化浆料和纸张真空干燥后打散成粉末状,取1mg干燥的纤维素样品和200mg溴化钾颗粒研磨均匀后压制成片,记录傅里叶变换红外光谱,扫描次数为32次,分辨率为4cm⁻¹。

1.6 扫描电镜观察

用扫描电镜(SEM)对2组试样的表面和横截面分别进行观察和研究。第1组为未经高碘酸钠氧化处理的纸张,第2组为经质量分数为10%的高碘酸钠氧化处理的纸张。

2 结果与讨论

2.1 纸浆纤维形态分析

纸浆的纤维形态见表1,可以看出,随着高碘酸钠用量的增加,纸浆纤维的长度和宽度变化不大,但是纸浆纤维的粗度和细小纤维含量出现降低,该结果可能是因为高碘酸钠氧化使得纸浆纤维发生分裂帚化、表面分丝起毛导致的。纤维的分丝帚化有利于纤维间的结合,可提高纸张的强度、紧度和匀度等性能,

但纤维的过度氧化会降低纤维本身的强度，导致纸张的强度降低，特别是撕裂度。

表 1 纸浆的纤维形态
Tab.1 Morphology of pulp fiber

高碘酸钠质量分数/%	长度/mm	宽度/ μm	粗度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1})$	细小纤维质量分数/%
0	1.534	29.7	201.4	26.4
2	1.550	30.6	177.5	23.1
4	1.513	31.1	177.6	22.2
6	1.519	31.2	174.0	21.4
8	1.538	31.0	226.2	21.5
10	1.468	31.6	217.0	22.4

2.2 红外光谱分析

纸浆的红外光谱见图 1，可以看出，氧化后纤维素在 1740 cm^{-1} 处有明显的醛基峰出现，但强度较小，证明经高碘酸钠氧化后，纸浆纤维表面的醛基含量确实有所增加^[19]。峰的强度较小则是因为醛基很少以游离的形式存在，更多的是形成了水合物或分子内及分子间的半缩醛，结合水的吸收峰波段范围在 $1630\sim 1670\text{ cm}^{-1}$ 之间，与醛基振动峰区域非常接近，有时水的吸收峰变宽可将醛基吸收峰掩盖^[20-21]。 880 cm^{-1} 处是半缩醛水合物的峰，在经高碘酸钠氧化后，半缩醛峰强度有所增高^[22]。 3360 cm^{-1} 处羟基 O—H 伸缩振动吸收峰的强度减弱， $1112, 1058\text{ cm}^{-1}$ 处羟基的 C—O 特征吸收峰的强度也有所减弱。由此可见，纸浆纤维在经高碘酸钠氧化后确实形成了双醛纤维素。

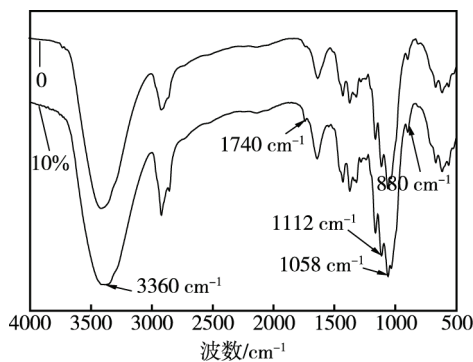


图 1 高碘酸钠质量分数不同时纸浆的红外光谱

Fig.1 Infrared spectroscopy of pulp with different mass fraction of sodium periodate

纸张的红外光谱见图 2，可以看出，氧化后的纸张纤维在 1740 cm^{-1} 处的醛基吸收峰相较于氧化后纸浆纤维明显减弱甚至消失，在 880 cm^{-1} 处的半缩醛水合物吸收峰却逐渐增强。由此可见，纸浆纤维在经高碘酸钠氧化后形成的双醛纤维素在热压过程中发生缩合反应，因而导致在抄造成形后的纸张纤维中醛基含量减少，醛基和羟基反应生成纤维间的半缩醛键。

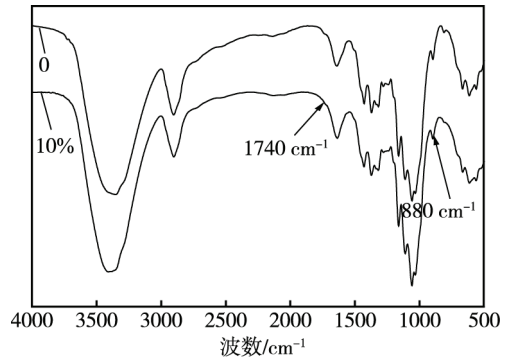
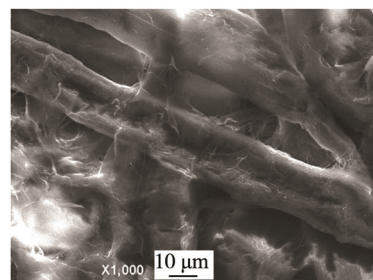


图 2 高碘酸钠质量分数不同时纸张的红外光谱

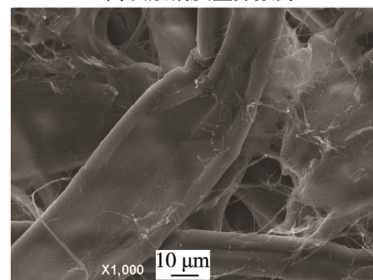
Fig.2 Infrared spectroscopy of paper with different mass fraction of sodium periodate

2.3 扫描电镜分析

将经过高碘酸钠氧化处理后的纸张（高碘酸钠质量分数分别为 0 和 10%）进行扫描电镜观测，拍摄到纤维表面的情况，见图 3—4。根据图 3 可知，当高碘酸钠质量分数为 0 时，未经氧化处理的纸张纤维表面较为平滑，并没有出现较多的细小纤维，纤维的分丝帚化状况也不明显。在高碘酸钠质量分数为 10% 时，氧化后的纸张纤维表面变得粗糙，表面剥离出大量细小纤维，纤维分丝帚化明显，纤维之间互相交织得更加紧密。这可能是因为纤维素受到高碘酸钠氧化作用后，纤维素葡萄糖基环上的 C2-C3 键链接断裂，邻位上的仲羟基选择性地氧化为醛基，随着羟基被氧化，纤维素的聚合度也同时下降，导致细小纤维被剥离，纤维表面变得粗糙，分丝帚化的程度增加^[23]。由此，纸张中纤维间的氢键结合被具有抗水渗透的半缩醛键结构所取代，直接导致了纸张湿强度的大幅提高。另外，由图 4 可以更明显地看出，纸浆经高碘酸



a 高碘酸钠质量分数为 0



b 高碘酸钠质量分数为 10%

图 3 纸张表面 SEM 分析

Fig.3 SEM analysis of paper surface

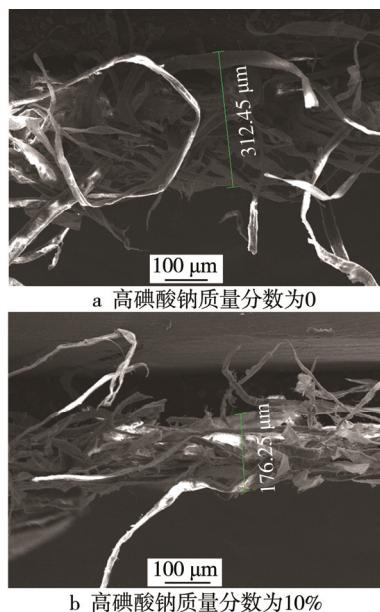


图4 纸张断面 SEM 分析
Fig.4 SEM analysis of paper section

钠氧化处理后,抄造出的纸张厚度从 $312.45\ \mu\text{m}$ 下降到 $176.25\ \mu\text{m}$,这说明相较于未经氧化处理的纸张,氧化处理后的纸张纤维之间结合得更加紧密,纤维间结合力增强,纸张紧度大幅度提高,从而提高纸张的湿强度。

2.4 纸张物理性能分析

纸张的物理性能见表2,可知,当高碘酸钠质量

分数为2%时,进行氧化处理后,纸张的干强度、湿强度、环压强度、耐破度、耐折度和紧度均有提高,但是纸张的撕裂度有所下降。随着高碘酸钠用量的逐渐增加,氧化处理后的纸张在强度方面比未经氧化处理的纸张有进一步的改善。纸张的干强度、湿强度、环压强度、耐破度、耐折度和紧度最大可提高至未经氧化处理纸张的1.19倍、5.53倍、1.36倍、1.21倍、2倍和1.05倍,纸张湿强度的提高十分明显,远远超过一般湿强纸的要求。对比高碘酸钠质量分数为0%与10%时的纸张紧度,纸张紧度有所提高,与电镜观察结果一致,这是因为高碘酸钠与纸张中的纤维素羟基发生选择性氧化,增加了纤维表面的醛基含量,使纤维间原本较弱的氢键结合变为更加牢固的缩醛键^[24-25],纤维间的结合得到了增强。纸张湿强度的提高很大程度上也是得益于在纸张成型过程中纤维表面的醛基形成具有抗水渗透的半缩醛键结构。在逐次增加高碘酸钠用量的过程中,可以发现经过氧化处理的纸张的干强度、环压强度、耐破度和耐折度在质量分数为2%时达到最大,之后随着用量的增加又有所下降。这是因为高碘酸钠用量过高,导致纤维氧化过度,使纤维本身强度降低,细小纤维含量降低,最终出现不升反降的情况。以高碘酸钠进行氧化处理后,纸张的撕裂度呈逐渐下降的趋势,最多降为原纸的64.8%,这可能是由于高碘酸钠对纤维的氧化作用导致纤维本身强度降低,用量越大,氧化越剧烈,纤维强度降低越明显,最终造成纸张撕裂度逐渐降低。

表2 纸张的物理性能
Tab.2 Physical properties of paper

高碘酸钠 质量分数/%	干强度/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	湿强度/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	撕裂度/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	环压强度/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	耐破度/ ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	耐折次数	紧度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
0	51.98	2.22	5.4	4.5	3.51	54	0.535
2	61.63	7.22	4.9	6.1	4.26	108	0.562
4	52.30	7.35	4.7	5.1	3.38	42	0.524
6	52.07	9.67	4.2	5.6	3.22	40	0.511
8	51.13	12.28	3.6	3.8	3.28	32	0.507
10	44.88	11.80	3.5	3.5	2.73	16	0.543

3 结语

高碘酸钠氧化预处理可以显著提高纸张的湿强度,湿强度的提高可能是因为在纸张成型过程中纤维表面的醛基形成具有抗水渗透的半缩醛键,但从高碘酸钠氧化预处理的结果来看,其对纸张干强度的影响不大。当高碘酸钠的质量分数超过2%时,氧化预处理对纸张耐破度、耐折度、环压强度以及撕裂度会产生不利影响,因此,高碘酸钠质量分数为2%比较合适。

由红外光谱分析的结果可知,纸浆经高碘酸钠氧

化后,纸浆纤维素的葡萄糖基环断裂,羟基被选择性地氧化为醛基,形成双醛纤维素,纸浆纤维表面将暴露出大量的醛基。在抄纸加热成型过程中,双醛纤维素上的这些醛基会和纤维本身的羟基发生羟醛缩合反应,形成半缩醛键。

电子显微镜观察结果表明,经过高碘酸钠氧化后的纸张其纤维表面变得粗糙,表面剥离出大量细小纤维,纤维分丝帚化明显,纤维之间互相交织得更加紧密。纤维之间的结合更加牢固,纤维间的结合力增强,纸张紧度得到大幅度提高,从而有效提高了纸张的湿强度。

参考文献:

- [1] 田进军. 环境友好型高固含量聚酰胺聚胺环氧氯丙烷树脂的研究与应用[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2005.
TIAN Jin-jun. Research and Application of Environment Friendly PAE Resin with High Solid Content[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2005.
- [2] 隆言泉. 造纸原理与工程[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994.
LONG Yan-quan. Papermaking Principle and Engineering[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1994.
- [3] 杨开吉, 苏文强, 沈静. 造纸湿强剂的作用机理及进展[J]. 造纸科学与技术, 2006, 25(2): 58—62.
YANG Kai-ji, SU Wen-qiang, SHEN Jing. The Mechanism and Progress of Paper Wet Strength Agent[J]. Paper Science and Technology, 2006, 25(2): 58—62.
- [4] 梁单琼. 几种常见的纸张增强剂[J]. 黑龙江造纸, 1998(2): 40.
LIANG Dan-qiong. Several Common Paper Enhancers [J]. Heilongjiang Pulp and Paper, 1998(2): 40.
- [5] 张光华. 造纸湿部化学原理及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
ZHANG Guang-hua. Papermaking Wet End Chemistry and Its Application[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1998.
- [6] 马永生, 邱化玉. 环境友好的湿强剂[J]. 纸和造纸, 2004(3): 56—58.
MA Yong-sheng, QIU Hua-yu. Environmental Friendly Wet Strength Agent[J]. Paper and Paper Making, 2004 (3): 56—58.
- [7] 周景辉, 吴星娥. 造纸湿强剂的进展[J]. 中国造纸, 2003, 22(9): 49—52.
ZHOU Jing-hui, WU Xing-e. Progress of Wet-making Agent for Paper Making[J]. China Pulp and Paper, 2003, 22(9): 49—52.
- [8] 王治艳. 常用造纸湿强剂的作用机理及研究现状[J]. 黑龙江造纸, 2009, 37(1): 25—28.
WANG Zhi-yan. The Mechanism and Research Status of Common Paper Humidifier[J]. Heilongjiang Pulp and Paper, 2009, 37(1): 25—28.
- [9] 唐灵, 赵敏, 李志祥, 等. 纸张湿强剂研究进展[J]. 热固性树脂, 2007, 22(5): 53—56.
TANG Ling, ZHAO Min, LI Zhi-xiang, et al. Progress of Wet Strengthening Agents for Papermaking[J]. Thermosetting Resin, 2007, 22(5): 53—56.
- [10] 梁晓菲, 龙柱, 吕文志, 等. 阳离子聚丙烯酰胺基复合增强剂对瓦楞原纸增强作用研究[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 22—27.
LIANG Xiao-fei, LONG Zhu, LYU Wen-zhi, et al. Cationic Polyacrylamide Crosslinking Complex as a Strengthening Agent of Corrugating Medium[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 22—27.
- [11] 邓敏, 付时雨, 詹怀宇. 环境友好型纸张湿强剂的研究进展[J]. 中国造纸, 2009, 28(3): 62—66.
DENG Min, FU Shi-yu, ZHAN Huai-yu. Research Progress of Environmental Friendly Paper Wetting Agent[J]. China Pulp and Paper, 2009, 28(3): 62—66.
- [12] 王飞, 石淑兰, 赵温波, 等. 通过漆酶催化氧化使未漂硫酸盐浆的湿强度提高[J]. 西南造纸, 2005(2): 11—14.
WANG Fei, SHI Shu-lan, ZHAO Wen-bo, et al. Enhancement of Wet Strength of the Unbleached Kraft Pulp with Laccase Oxidation[J]. Southwest Pulp and Paper, 2005(2): 11—14.
- [13] 戴路. 预处理对TEMPO氧化体系的促进及动力学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
DAI Lu. The Effect of Pretreatment on TEMPO Oxidation System and Kinetic Study[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011.
- [14] 孟云兰, 何北海, 李军荣, 等. 低温等离子体处理对纸页物理性能的影响[J]. 造纸科学与技术, 2010, 29(4): 12—16.
MENG Yun-lan, HE Bei-hai, LI Jun-rong, et al. The Influence of Low Temperature Plasma Treatment on Physical Properties of Paper Pages[J]. Paper Science and Technology, 2010, 29(4): 12—16.
- [15] SAITO T, ISOGAI A. Wet Strength Improvement of TEMPO-Oxidized Cellulose Sheets Prepared with Cationic Polymers[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2007, 46(3): 773—780.
- [16] 李维功, 徐清华. 醛基纤维素的制备与应用进展[J]. 纸和造纸, 2014, 33(6): 63—67.
LI Wei-gong, XU Qing-hua. Preparation and Application of Aldehyde-based Cellulose[J]. Paper and Paper Making, 2014, 33(6): 63—67.
- [17] 吴晓杰, 迟红训, 黄凤远. 纤维素选择性氧化制备二醛纤维素[J]. 辽东学院学报(自然科学版), 2014, 21(4): 233—235.
WU Xiao-jie, CHI Hong-xun, HUANG Feng-yuan. Selective Oxidation Preparation Dialdehyde Cellulose [J]. Journal of Liaodong College (Natural Science Edition), 2014, 21(4): 233—235.
- [18] 周刚, 吕勇, 宋词, 等. 双醛壳聚糖/阳离子淀粉施胶剂的抗油脂性能[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 13—17.
ZHOU Gang, LYU Yong, SONG Ci, et al. Grease Resistance of Sizing Agent of Dialdehyde Chitosan/Cationic Starch[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 13—17.
- [19] DASH R, ELDER T, RAGAUSKAS A J. Grafting of Model Primary Amine Compounds to Cellulose Nanowhiskers through Periodate Oxidation[J]. Cellulose, 2012, 19(6): 2069—2079.
- [20] VARMA A J, CHAVAN V B. A Study of Crystallinity Changes in Oxidised Celluloses[J]. Polymer Degradation and Stability, 1995, 49(2): 245—250.
- [21] 李勇. 纤维素选择性氧化的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
LI Yong. Study on Selective Oxidation of Cellulose [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [22] UNGJIN K, SHIGENORI K, MASAHISA W, et al. Periodate Oxidation of Crystalline Cellulose[J]. Biomacromolecules, 2000, 1(3): 488—92.
- [23] 赵兵, 林红, 陈宇岳. 高碘酸钠选择性氧化纤维素研究进展[J]. 现代纺织技术, 2013, 21(5): 58—61.
ZHAO Bing, LIN Hong, CHEN Yu-yue. Research Progress of Cellulose Selectively Oxidized by Sodium Periodate[J]. Advanced Textile Technology, 2013, 21(5): 58—61.
- [24] 王浩, 陈宇岳, 黄晨, 等. 高碘酸钠对棉纤维的选择性氧化工艺及性能研究[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(5): 812—816.
WANG Hao, CHEN Yu-yue, HUANG Chen, et al. Study on the Process and Properties of Selective Oxidized Cotton Fiber by Sodium Periodate[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(5): 812—816.
- [25] 赵希荣, 夏文水. 高碘酸钠氧化棉布纤维反应条件的研究[J]. 纤维素科学与技术, 2003, 11(3): 17—21.
ZHAO Xi-rong, XIA Wen-shui. Study on the Reaction Conditions of Cotton Fiber with Sodium Iodate[J]. Fiber Science and Technology, 2003, 11(3): 17—21.