

竹子化机浆漂白工艺及其机理

覃程荣, 姚双全, 王双飞

广西大学轻工与食品工程学院, 南宁 530004

摘要 竹子作为一种重要的非木材制浆造纸资源, 具有生长周期短、储量大及成本低等优点, 但是其成浆存在白度低、白度稳定性差、易返黄、废液硅含量高难处理等问题。本研究利用 H_2O_2 、 $NaBH_4$ 、 $Na_2S_2O_4$ 和 CH_3COOOH 等漂白剂对粉单竹碱性过氧化氢化学机械浆 (APMP) 进行单段或者两段组合补充漂白, 以提高竹子 APMP 浆的可漂性、白度及其稳定性、强度等。研究结果表明, 常规 H_2O_2 漂白是竹子化机浆最佳单段补充漂白方法。两段补充漂白实验表明, 白度提高最大的是 $H_2O_2 \rightarrow Na_2S_2O_4$ 组合, 为 73.85% ISO; 黏度下降最大的是 $H_2O_2 \rightarrow NaBH_4$ 组合, 漂后浆黏度从 960 下降到 601 $mL \cdot g^{-1}$ 。虽然两段补充漂白漂后浆的黏度有所下降, 但其物理强度得到提高。补充漂白的示差红外分析发现: H_2O_2 、 $H_2O_2 \rightarrow Na_2S_2O_4$ 、 $H_2O_2 \rightarrow NaBH_4$ 3 种漂白方法的纸浆中共轭羰基含量降低了, 而 $H_2O_2 \rightarrow CH_3COOOH$ 漂白浆中的共轭羰基含量反而增加。甲氧基、紫丁香型木素和缩合的愈创木基环在 $H_2O_2 \rightarrow Na_2S_2O_4$ 两段补充漂白过程脱除效果最显著。X 射线衍射分析表明, 补充漂白过程单段 H_2O_2 和 $H_2O_2 \rightarrow Na_2S_2O_4$ 两段漂白对碳水化合物化合物的降解作用最小。

关键词 粉单竹; 碱性过氧化氢化学机械浆; 白度; 补充漂白

竹子作为中国重要的非木材制浆造纸原料^[1], 主要产于西南地区, 具有生长周期短, 储量大及成本低等优点^[2]。但是存在成浆白度低、白度稳定性差^[3]、易返黄^[4]、废液硅含量高且难处理^[5]等问题。虽然竹子制浆, 特别是作为高得率制浆还很少, 实现竹子化机浆的产业化需要解决成浆白度低、易返黄、强度低等问题。

目前, H_2O_2 ^[6,7]、 CH_3COOOH ^[6,8]、 $Na_2S_2O_4$ ^[9]、 $NaBH_4$ ^[10] 和 O_3 ^[11] 等无元素氯化学药品作为对环境友好的漂白剂已广泛应用于机械浆的漂白。本研究利用 H_2O_2 、 $NaBH_4$ 、 $Na_2S_2O_4$ 和 CH_3COOOH 漂白剂对粉单竹 APMP 浆进行单段或者两段组合进行补充漂白^[12], 以提高竹子 APMP 浆的可漂性、白度及其稳定性、强度等。实验过程中, 利用示差红外光谱^[13] 分析原料、制浆和漂白过程中木素结构变化, 并通过 X 射线衍射分析^[14] 浆料纤维的结晶度的变化。

1 实验材料

1.1 原料

粉单竹和粉单竹 APMP 浆取自广西柳江造纸厂。 H_2O_2 、 $NaBH_4$ 、 $Na_2S_2O_4$ 、 CH_3COOOH 购自成都科龙化学品有限公司。

1.2 分析和检测仪器

漂后浆料纤维的结晶度检测采用日本理学 Rigaku 3150 型 X 射线衍射分析仪, 不同漂白方法的漂后浆料木素结构变化检测采用美国 Thermo Nicolet 公司的 NEXUS470FI-IR

ESP 型红外光谱仪。

2 实验方法

2.1 综纤维素制备和木素的红外光谱分析

综纤维素的制备: 根据国家标准《GB/T2677.10—1995 造纸原料综纤维素含量的测定》采用亚硫酸钠法制备综纤维素。

称取 1.5 mg 木素试样与 300 mg KBr 混合均匀后压片进行红外光谱测定。以粉单竹原料、竹子 APMP 浆及漂后浆的红外光谱扣除粉单竹原料综纤维素的光谱获得各自的示差红外光谱。

2.2 纤维结晶度的测定

将粉单竹竹粉、APMP 浆粉和单段漂白或多段组合漂白 (补充漂白) 后浆粉烘干试样过 200 目筛, 室温下压成薄片, 然后作 2θ 的强度曲线。仪器内 X 光管为铜靶, Ni 滤波, 测量方法采用 $2\theta/\theta$ 联动扫描, 样品扫描范围 $6^\circ \sim 60^\circ (2\theta)$ 角, 每个样品分 3 次采样, 取平均值。

3 结果与讨论

3.1 不同漂白剂单段漂白效果比较分析

本实验采用过氧化氢漂白 (P)、高温压力过氧化氢漂白 (PO)、过氧乙酸漂白 (Pa)、硼氢化钠漂白 (B)、连二亚硫酸钠漂白 (Y) 等 5 种优化后的漂白工艺进行漂白研究, 实验结果

收稿日期: 2015-12-05; 修回日期: 2016-01-29

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2014GXNSFBA118032)

作者简介: 覃程荣, 教授, 研究方向为清洁化纸浆造纸与污染控制, 电子邮箱: qin_chengrong@163.com

引用格式: 覃程荣, 姚双全, 王双飞. 竹子化机浆漂白工艺及其机理[J]. 科技导报, 2016, 34(19): 76-80; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.19.012

列于表1。结合已有的研究结论,不同漂白剂采用的漂白工艺如下:P单段漂白使用浆浓(质量分数)20%, H_2O_2 用量是浆料干重的6.0%,硅酸钠用量是浆料干重的4.0%,DTPA用量是浆料干重的0.2%, $MgSO_4$ 用量是浆料干重的0.05%,漂白时间为60 min;PO单段漂白使用浆浓10%, H_2O_2 用量是浆料干重的6.0%,用碱量是浆料干重的4.5%,漂白温度为115℃,氧压1.2 MPa,时间1 h;Pa单段漂白使用浆浓20%, CH_3COOOH 用量是浆料干重的1.0%,反应液pH值为5,漂白温度为50℃,1.5 h;B单段漂白使用浆浓15%, $NaBH_4$ 用量浆料干重的1.2%,温度60℃,pH值为11.0,时间1 h;Y单段漂白使用浆浓5%, $Na_2S_2O_4$ 用量浆料干重的2.0%,DTPA用量0.2%,温度

50℃,时间1 h。

从表1可知,PO漂后浆白度为70.90%ISO,比常规过氧化氢漂白后的白度69.85%ISO高出1.05%ISO,而Pa、B与Y 3种漂后浆白度分别为60.79%ISO、58.65%ISO、61.20%ISO,提高幅度小;从黏度方面分析,P与PO比较黏度下降最大,分别为732、648 $mL \cdot g^{-1}$,而Pa、B与Y3种漂白后的浆料黏度都保持在800 $mL \cdot g^{-1}$ 以上,下降幅度较少,P与PO漂白后浆料物理强度提高幅度较大,但是两者间相差不大。从白度和强度提高效果分析,PO漂白方法是提高能力最强的,但黏度损失较大,操作也比较困难,需要相应的设备也增多,成本高。

表1 不同漂白方式对浆料性能和纸张性能的影响

Table 1 Effects of different bleaching on pulp and paper properties

漂白方法	用量/ %	白度/ %ISO	黏度/ ($mL \cdot g^{-1}$)	收率/ %	游离度/mL	抗张指数/ ($mN \cdot m^2 \cdot g^{-1}$)	撕裂指数/ ($N \cdot m^2 \cdot g^{-1}$)	耐破指数/ ($kPa \cdot m^2 \cdot g^{-1}$)
原浆	—	55.34	1050	—	405	47.6	8.882	3.0
P	6.0	69.85	732	86.8	400	50.4	9.308	4.8
PO	6.0	70.90	648	85.3	395	51.8	8.758	5.0
Pa	1.0	60.79	834	91.7	400	48.6	8.930	4.2
B	1.2	58.65	880	92.6	406	47.8	9.405	3.5
Y	2.0	61.20	815	93.9	410	47.5	8.916	3.7

3.2 不同漂白剂的两段组合漂白效果分析

竹子APMP浆经过单段的补充漂白白度虽然有所提高,但是效果不是很理想。为取得更高白度和性能较好的浆料,本实验以 H_2O_2 为主与其他漂白剂进行两段组合补充漂白,探讨 H_2O_2 与其他漂白方法的最佳两段组合漂白工艺,并将漂后白度较高的浆抄成纸片分析其性能,结果列于表2和表3。表2中药品用量都是相对于浆料干重的质量分数。

从表2可看出,竹子化机浆经过 H_2O_2 与不同的漂白剂两段补充漂白后,白度提高最大的是P→Y组合方式,为73.85%

表2 粉单竹APMP浆P与Pa、B、Y组合漂白结果

Table 2 Results of bambusa chungii APMP pulp bleaching by Pa and the combination of Pa, B and Y

实验编号	漂白工艺	药品用量/%		漂后白度 /%ISO
		1段	2段	
1	P	6.0	—	69.54
2	P→Pa	6.0	1.0	71.64
3	Pa→P	1.0	6.0	71.09
4	P→B	6.0	1.2	72.53
5	B→P	1.2	6.0	68.80
6	P→Y	6.0	2.0	73.85
7	Y→P	2.0	6.0	64.46

表3 粉单竹APMP浆P与Pa、B、Y最佳组合

漂白方式漂后浆及纸张性质的比较

Table 3 Properties of bambusa chungii APMP pulp and paper after bleaching

漂白方式	黏度/ ($mL \cdot g^{-1}$)	抗张指数/ ($N \cdot m \cdot g^{-1}$)	撕裂指数/ ($N \cdot m^2 \cdot g^{-1}$)	耐破指数/ ($kPa \cdot m^2 \cdot g^{-1}$)
P→Y	639	40.5	8.950	4.0
P→B	601	43.6	9.410	4.9
P→Pa	658	45.7	8.309	4.3

ISO,提高了17.94%ISO;然后依次是P→B与Pa→P,白度分别为72.53%ISO、71.64%ISO;从实验3与4看出, H_2O_2 与过氧乙酸两段漂白,两种漂白发式的白度分别为71.64%ISO和71.09%ISO,相差不大。原因是这两种漂白剂可发生协同效应,先后顺序对漂白效率影响不大;从实验5和6可以看出,先进行 $NaBH_4$ 漂白对后续的过氧化氢漂白有很大影响,可能 $NaBH_4$ 与木素基团的还原反应是可逆的,导致了后续 H_2O_2 漂白效率下降,所以 $NaBH_4$ 应该放在 H_2O_2 后面作为补充。从实验7和8看出, $Na_2S_2O_4$ 作为还原漂白剂,放在 H_2O_2 漂白段前后相差9.39%ISO,所以 $Na_2S_2O_4$ 与 H_2O_2 作为多段漂白,适合放在 H_2O_2 漂白段之后;同时还可看出作为还原漂白剂,对竹子APMP浆进行多段组合漂白,应该放在氧化漂白剂之后才能取得较好的漂白效果。

从表3可以看出,黏度变化最大的是P→B组合,降到

601 mL·g⁻¹, P→Y 与 P→Pa 的黏度分别下降为 639、658 mL·g⁻¹。3 种两段补充漂后浆料的抗张、撕裂、耐破指数等强度都得到提高,可能由于半纤维素及木素的溶出。综合考虑白度、黏度、物理强度等指标,本实验确定 H₂O₂→Na₂S₂O₄ 为竹子化机浆最佳的两段组合补充漂白工艺。

3.3 竹子 APMP 漂白过程木素结构变化的示差红外分析

对竹子化机浆不同组合补充漂白后的浆进行红外光谱分析,测得的示差红外光谱图及相对吸收强度列于图 1 和表 4。

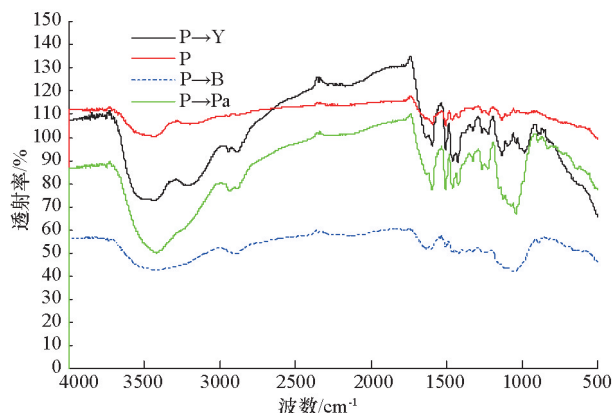


图 1 竹子化机浆漂白后示差红外光谱

Fig. 1 IR spectra of bamboo chemi-mechanical pulp after bleaching

表 4 竹子化机浆 P、Pa、B、Y 不同组合补充漂白后红外光谱的特征吸收峰

Table 4 IR spectra of pulp bleached by different combination of p, Pa, B and Y

波数/cm ⁻¹	相对吸收强度 A _i /A ₁₅₀₈				
	原浆	P 漂白	P-Y 漂白	P-B 漂白	P-Pa 漂白
3422	0.70	0.77	0.53	0.82	0.65
2895	1.02	0.98	0.88	0.96	0.99
1637	1.06	0.98	0.97	0.98	1.08
1603	1.05	0.99	0.98	0.99	1.00
1508	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1464	1.24	0.98	0.88	0.96	1.01
1424	1.24	0.96	0.83	0.95	1.03
1377	1.03	0.96	0.89	0.97	—
1329	1.00	0.96	0.91	0.97	1.161
1267	0.99	0.98	0.95	0.97	1.12
1163	0.98	0.86	0.71	0.86	1.02
1043	0.90	0.78	0.61	0.81	0.88
897	1.13	1.01	0.99	1.03	1.27
833	1.11	1.06	1.09	1.07	1.22

从表 4 及图 1 可看出, 1637、1162 cm⁻¹ 处为苯 C=O 共轭羰基吸收峰, 它们与 APMP 浆的吸收峰相对强度比较, P、P→Y、P→B 3 种补充漂白浆的相对强度减少了, 这说明经过 P、P→Y、P→B 3 种补充漂白方式漂白的浆料中的共轭羰基含量都降低, 共轭羰基是浆中的主要发色基团之一, 减少其含量可以提高纸浆白度, 而 P→Pa 漂白浆中的含量反而增加了, 而 P→Y 减小的幅度最大, 因此白度提高幅度最大。

1603 cm⁻¹ 为苯环骨架振动, C=O 伸展的吸收峰位置, 经过补充漂白后相对吸收强度都有所下降, 但是下降幅度都不是很大, 最大的是 P→Y, 说明经过 H₂O₂ 和 Na₂S₂O₄ 组合漂白的方式漂白, 效果较好。1328 cm⁻¹ 为紫丁香基, 缩合愈创木基芳环骨架共振的吸收位置, 从表 4 可看出, P→Y 补充漂白方式的相对吸收强度下降最大, 而 P、P→B 漂白方式下降的幅度一样, P→Pa 漂白方式的吸收强度反而增加了, 这说明紫丁香型木素和缩合的愈创木基环在 P→Y 补充漂白过程脱除最大, 而在 P、P→B 漂白方式漂白过程中脱除程度一样, 在 P→Pa 漂白方式中反而增加了, 这也说明了两段组合漂白效果最好的是 P→Y 漂白方式。

1423、1328 cm⁻¹ 处分别甲氧基和紫丁香基的存在, 1020~1050 cm⁻¹ 处代表愈创木基吸收。由表 4 可以看出, 浆料经过补充漂白后在两处吸收峰的吸收强度都有下降, 下降最大的都是经过 P→Y 漂白方式漂白的浆, 然后依次是 P、P→B、P→Pa。由此可见, 愈创木基型木素和紫丁香型木素在经过 P→Y 漂白过程中溶出最多, 而经过 P→Pa 漂白过程溶出最少。

3.4 竹子 APMP 漂白前后浆料的 X 射线衍射分析

纤维素是由晶格组成的结晶区和无定形区组成, 因此具有特性的 X 射线图, 而纤维素的结晶度是指纤维素结晶部分占纤维素总量的百分比, 它是纤维素重要的物理参数之一。通过测定入射角 θ 和相应的 X 射线衍射强度, 以 2θ 为横坐标, X 射线衍射强度为纵坐标, 作出 X 射线衍射强度曲线, 其满足

$$X \text{ 射线结晶指数} = (I_{002} - I_{am}) / I_{002} \quad (1)$$

式中, I_{002} 为 002 面峰的强度, 即结晶区的衍射强度; I_{am} 为 $2\theta = 18^\circ$ 时衍射峰的强度, 即无定形区的衍射强度。

本实验是采用 X 射线从 $2\theta = 10^\circ \sim 70^\circ$ 间进行扫描。对两段补充漂白过程的结晶度进行测定, 测定结果如图 2。

从图 2 可看出, 2θ 在 16° 、 22° 和 34° 处附近出现 3 个衍射峰, 在 16° 的衍射位置, 补充漂白过程变化不大。而在 22° 衍射位置, 漂白过程 P 与 P→Y 漂白方式的衍射峰增强, 其他方法衍射峰下降。在 34° 的衍射位置, 不同组合漂白过程, 衍射峰都保持一定的增加趋势, 一般认为, 此处为重结晶形成, 在化学药品 NaOH 作用下, 纤维可以产生重结晶现象, 并向其他晶胞形态转变。

从图 2 可看出, 不同种漂白方式漂白后, P→B 与 P→Pa 的相对结晶度分别下降为 46.94%、49.00%, 主要由于漂白使纤维素受到一定的降解所致, 而 P 单段和 P→Y 两段漂白后浆料的相对结晶度分别提高为 57.40%、60.33%, 这说明漂白使木

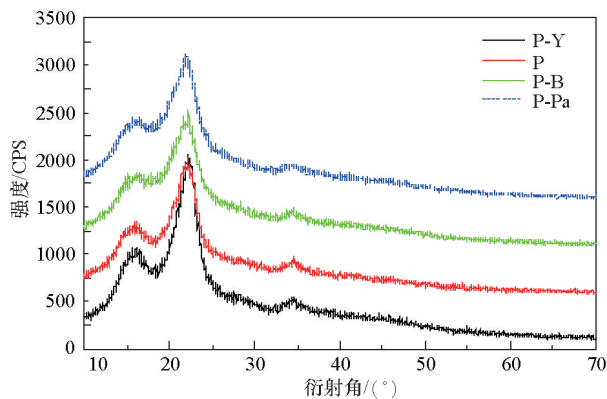


图 2 不同组合补充漂后浆的 X 射线衍射
Fig. 2 X-ray diffraction spectrum of
post-bleached APMP pulp

素降解溶出程度比较大,而纤维素降解少,所以纤维素的相对结晶度提高。而从 22° 处衍射峰看, P 单段和 P→Y 两段漂白的衍射峰仍比较尖锐,由此可看出碳水化合物被降解,但降解是轻微的,这也说明 P→Y 两段漂白及 P 单段漂白对纤维损伤较小。

4 结论

1) 对 P、PO、Pa、B 及 Y 单段补充漂后浆的性能比较发现, PO 与 P 漂后浆白度分别为 70.90%ISO、69.85%ISO, 相差 1.05%ISO, 提高幅度最大, 而黏度分别下降为 732、648 mL·g⁻¹, Pa、B 与 Y 漂后浆黏度都保持在 800 mL·g⁻¹ 以上, 但它们的漂后白度都不高于 62%ISO, 且浆料强度变化不大, 所以常规 H₂O₂ 漂白是竹子化机浆最佳的单段补充漂白方法。

2) 经两段补充漂白后, 白度提高最大的是 P→Y 组合, 为 73.85%ISO; 依次是 P→B 与 Pa→P, 白度分别为 72.53%ISO、71.64%ISO, H₂O₂ 与 CH₃COOOH 组合漂白可发生协同效应, 还原漂白剂 NaBH₄ 与 Na₂S₂O₄ 放在 H₂O₂ 漂白段前后白度相差 5%ISO 到 9%ISO, 适宜放在 H₂O₂ 之后; P→B 漂后浆黏度从 960 下降到 601 mL·g⁻¹, 降低最大, P→Y 与 P→Pa 的黏度分别下降为 639、658 mL·g⁻¹, 但漂后浆的物理强度得到提高。

3) 对补充漂白的差示红外分析发现: P、P→Y、P→B 3 种漂白方法的纸浆中共轭羰基含量降低了, 而 P→Pa 漂白浆中的含量反而增加。甲氧基、紫丁香型木素和缩合的愈创木基环在 P→Y 两段补充漂白过程脱除都是最大的。

4) X 射线衍射分析表明: 补充漂白过程单段 H₂O₂ 和 H₂O₂ 加连二亚硫酸钠两段漂白对碳水化合物的降解是轻微的。

参考文献 (References)

[1] 胡会超. 竹子半纤维素的热水预抽提及其对 KP 法制浆和 ECF 漂白性

能的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.

Hu Huichao. Hot water pre-extraction of hemicelluloses from bamboo and its influence on Kraft pulping and ECF bleaching performance[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.

[2] 史正军. 甜龙竹及巨龙竹半纤维素、木质素结构诠释及相互间化学键合机制解析[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.

Shi Zhengjun. Structural characterization of hemicelluloses and lignin, and their inter-linkages in dendrocalamus brandisii and dendrocalamus sinicus[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.

[3] 王钱钱, 詹怀宇, 周生飞, 等. 蒸煮条件对硫酸盐法竹浆性能的影响[J]. 中国造纸, 2010, 29(8): 75-76.

Wang Qianqian, Zhan Huaiyu, Zhou Shengfei, et al. The effects of the cooking conditions on bleach ability of kraft bamboo pulp properties[J]. China Pulp and Paper, 2010, 29(8): 75-76.

[4] 骆莲新, 程丽萍, 齐缘凤, 等. 竹沥液对粉单竹 APMP 浆返黄的影响[J]. 中国造纸学报, 2010, 25(2): 22-26.

Luo Lianxin, Cheng Liping, Qi Yuanfen, et al. Effect of succus bambusae on yellowing of bambusa chungii APMP pulp[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2010, 25(2): 22-26.

[5] 张鼎军, 张永奇, 徐永建, 等. 竹浆蒸煮同步留硅工艺的研究[J]. 纸和造纸, 2012, 31(11): 1-4.

Zhang Dingjun, Zhang Yongqi, Xu Yongjian, et al. Pulping technology of bamboo by precipitating silica in pulp[J]. Paper and Paper Making, 2012, 31(11): 1-4.

[6] Spicka N, Tavcer P F. Low-temperature bleaching of knit fabric from regenerated bamboo fibers with different peracetic acid bleaching processes[J]. Textile Research Journal, 2015, 85(14): 1497-1505.

[7] Wu C J, Zhou S F, Zhao C S, et al. Improved reactivity of bamboo dissolving pulp for the viscose process: Post-treatment with beating[J]. Bioresources, 2014, 9(2): 3449-3455.

[8] Cao S. TCF bleaching of bamboo EMCC pulp boosted by peracetic acid [C]// 5th International Non-Wood Fiber Pulping and Papermaking Conference. Guangzhou, China, October 8-11, 2006: 128-131.

[9] Perng Y S, Wang E I C, Chung W H, et al. Effects of hot dispersion with reductive bleaching on the brightness of deinked pulp in both laboratory and mill machines[J]. Cellulose Chemistry and Technology, 2014, 48(5/6): 559-563.

[10] Smith A W. Bleaching in paper conservation[J]. Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material, 2012, 33(3/4): 223-248.

[11] Afsahi G N K, Chenna T. Intensified and short catalytic bleaching of eucalyptus kraft pulp[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2015, 54(34): 8417-8421.

[12] Yang R N. Photocatalysis supplementary bleaching of oxygen-alkali bleached corn stalk pulp[C]// 2nd International Papermaking and Environment Conference. Tianjin, China, May 14-16, 2008: 438-441.

[13] Muniyandy S, Sathasivam T, Veeramachineni A K, et al. Dual cross-linked carboxymethyl sago pulp-gelatine complex coacervates for sustained drug delivery[J]. Polymers, 2015, 7(6): 1088-1105.

[14] Itamiya H, Sugita R. Effects of printing and ninhydrin treatment on forensic analysis of paper[J]. Forensic Science International, 2015, 255 (1): 38-42.

Bleaching process and its mechanism for bamboo chemi-mechanical pulp

QIN Chengrong, YAO Shuangquan, WANG Shuangfei

College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract The bamboo can be a kind of important non-wood pulp used as paper resources, which has a short growth period, and is in a large reserve and with a low cost. But the bamboo pulp faces some problems, such as the low whiteness and the poor stability of the whiteness, the high yellow index, and it is difficult to deal with due to its high silicon content. In order to improve the bleachability, the whiteness and its stability and strength of the bambusa chungii APMP pulp, the hydrogen peroxide, the sodium borohydride, the sodium hydrosulfite, the peracetic acid and the oxygen are used as the bleaching agents in single stage or two stage combination supplementary bleaching. The results show that the best single stage supplementary bleaching of the bamboo chemi-mechanical pulp is the conventional hydrogen peroxide bleaching. Two supplementary bleaching experiments show that the greatest improvement of the whiteness is made by the combination of the hydrogen peroxide and the sodium hydrosulfite, with the whiteness being 73.85% ISO; the largest reduction of the viscosity is made by the combination of the hydrogen peroxide and the sodium borohydride, with the viscosity reduced from $960 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ to $601 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$. Although the pulp viscosity is reduced after two supplementary bleachings, the physical strength is improved. The conjugated carbonyl content in the pulp is decreased with the use of the hydrogen peroxide, the combination of the hydrogen peroxide and the sodium hydrosulfite and the combination of the hydrogen peroxide and the sodium borohydride, but the content is increased with the use of the combination of the hydrogen peroxide and the peracetic acid. The most significant removal effect of methoxy, lilac lignin and condensation guaiacyl ring is produced by the combination of the hydrogen peroxide and the sodium hydrosulfite in the supplementary bleaching. The minimum degradation of the carbohydrates is produced by the hydrogen peroxide and the combination of the hydrogen peroxide and the sodium hydrosulfite in the supplementary bleaching.

Keywords bambusa chungii; APMP pulp; whiteness; supplementary bleaching

(编辑 田恬)