

新材料技术

柠条 APMP 浆漂白特性的研究

丁建淋¹, 王端¹, 王鹏^{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** 研究柠条 APMP 浆 H_2O_2 单段、两段以及 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段的漂白特性。**方法** 研究 H_2O_2 单段漂中 H_2O_2 用量、温度和反应时间, 以及两段漂中 H_2O_2 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 的用量对漂后纸浆成纸的白度和各项物理性能影响, 了解柠条 APMP 浆的漂白特性。**结果** 得到了柠条 APMP 浆 H_2O_2 单段漂的最佳工艺条件, H_2O_2 质量分数为 5.0%, 温度为 80 °C, 时间为 90 min。在该条件下, 纸浆的白度从 47.71% 提高到 64.87%, 白度提高了 36%, 且成纸的抗张强度、耐破强度和撕裂强度都得到提高。在 H_2O_2 用量一定的条件下, 柠条 APMP 浆 H_2O_2 两段漂的效果优于 H_2O_2 单段漂; H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂后纸浆的白度较 H_2O_2 单段漂虽有所提高, 但漂后浆成纸的结合强度均低于 H_2O_2 单段漂。**结论** 柠条 APMP 浆可以采用 H_2O_2 单段和两段漂, 其中 H_2O_2 两段漂的效果优于单段漂。

关键词: 柠条; APMP 浆; H_2O_2 ; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$; 漂白

中图分类号: TS745 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)09-0048-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.09.008

Bleaching Characteristics of Caragana Korshinskii APMP Pulp

DING Jian-lin¹, WANG Duan¹, WANG Peng^{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 paper aims to study the bleaching characteristics of caragana korshinskii APMP pulp with single-stage, two-stage H_2O_2 and two-stage H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$. The bleaching characteristics of Caragana Korshinskii APMP pulp and the effects of the dosage of H_2O_2 , reaction temperature and time in single H_2O_2 bleaching and the dosage of H_2O_2 and $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ in two-stage bleaching on the brightness and physical properties of bleached pulp were investigated. The optimum condition of single-stage H_2O_2 bleaching was as follows: the dosage of H_2O_2 was 5.0%, the bleaching temperature was 80 °C, and the bleaching time was 90 min. Under these conditions, the whiteness of pulp increased from 47.71% to 64.87%, whiteness increased by 36% and the tensile strength, burst strength and tear strength of paper were also improved. The effect of two-stage bleaching of Caragana Korshinskii APMP pulp was better than that of single-stage bleaching under the condition of a certain amount of H_2O_2 . The whiteness of pulp after two-stage bleaching of H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ was higher than that of single-stage H_2O_2 bleaching, but the bonding strength of pulp was lower than that of single-stage H_2O_2 bleaching. Caragana Korshinskii APMP pulp could be bleached with single-stage and two-stage H_2O_2 . The effect of two-stage H_2O_2 is better than that of single-stage H_2O_2 .

KEY WORDS: caragana korshinskii; APMP pulp; hydrogen peroxide; sodium hydrosulfite; bleaching

收稿日期: 2019-01-03

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

作者简介: 丁建淋 (1997—), 男, 湖北工业大学本科生, 主攻制浆造纸。

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

柠条(*Caragana Korshinskii*)是生长在干旱地区的一种小型灌木,属蝶形花科,抗严寒和酷热,常常被用来保持水土和防止土地沙漠化^[1],具有很高的生态经济效益^[2-7]。柠条在生长过程中必须要进行平茬^[1-3],一般3年进行一次,只有经过平茬才能继续生长。平茬下来的枝条如果得不到有效利用,会造成资源的极大浪费。我国木材资源短缺,造纸工业需要消耗大量的木材,而柠条种植面积较大、产量较高,可以作为造纸工业的原料,提高柠条的利用价值^[3,8]。许凤等人^[8-11]对柠条的纤维形态、化学组成、制浆性能等进行了研究;陈洪伟^[11]也对柠条的可漂性进行了探索性分析,目前鲜有关于对柠条机械浆进行漂白的研究。

过氧化氢可以用作漂白剂,也可以作为脱木质素剂。过氧化氢漂白具有无污染、白度稳定性好和纸浆得率高等优点,适用于高得率浆或半化学浆的漂白^[12]。过氧化氢是非挥发性水溶液,起漂白作用的主要是氢过氧阴离子(HOO^-),其具有亲核作用,因此在过氧化氢漂白剂中,应保证足够的 HOO^- 浓度,减少过氧化氢的无效分解。

连二亚硫酸钠俗称保险粉,分子式为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$,是一种常用的漂白剂,具有一定的还原性^[13-15],主要用于高得率机械浆的漂白。与 H_2O_2 漂白剂不同, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 无法将木素大分子直接溶解出来,是通过改变木素大分子中的发色团结构,主要有木素侧链末端的饱和羰基、醌型结构、共轭双键等,使其变为无色的产物,从而提高纸浆的白度。

文中拟研究柠条碱性过氧化氢机械浆(Alkaline Peroxide Mechanical Pulp,简称APMP)的过氧化氢单段和两段漂白以及组合漂白特性,根据漂后纸浆白度和物理指标的变化,了解柠条APMP浆的漂白特性,从而优化出较好的漂白工艺。

1 实验

1.1 原料和试剂

原料主要有柠条APMP浆,实验室自制。

化学试剂主要有乙二胺四乙酸、硅酸钠、过氧化氢(质量分数为30%)、氢氧化钠、连二亚硫酸钠,国药集团化学试剂有限公司;硫酸镁,西陇化工股份有限公司。

1.2 仪器

仪器主要有温水浴锅、电子分析天平、白度颜色测定仪、卧式抗张试验机、电脑测控耐破度仪、电脑测控撕裂度仪。

1.3 浆料的准备

取风干浆4 kg,置于70℃热水中进行消潜处理,

消潜后对浆料进行洗涤,随后用纤维束分析仪对纸浆进行筛选,除去浆料中的浆渣。将经过筛选的浆进行脱水,备用。

1.4 漂白

将准备好的浆料放于聚乙烯塑料袋中,加入适量蒸馏水,随后置于水浴锅中对其进行加热处理,待浆料温度上升至待漂温度时,依次加入乙二胺四乙酸(相对于绝干浆,质量分数为0.2%)、硅酸钠(相对于绝干浆,质量分数为2%)、硫酸镁(相对于绝干浆,质量分数为0.5%),在待漂温度下进行螯合预处理30 min。螯合处理完后,对纸浆进行洗涤,然后加入过氧化氢,用氢氧化钠溶液调节浆料pH值至9~11,一次性(H_2O_2 单段漂,P段)或分两次(H_2O_2 多段漂和组合漂)加入漂白试剂。在漂白过程中,每隔15 min揉搓一次,漂后用草酸溶液进行洗涤。

1.5 抄纸

根据GB/T 24324—2009《纸浆 物理试验用实验室纸页的制备 常规纸页成型器法》抄造手抄片,并作标记。

1.6 纸张物理性能指标的测定

根据GB/T 24323—2009《纸浆 实验室纸页 物理性能的测定》测定手抄片的各项物理性能指标。

2 结果与讨论

2.1 柠条 APMP 浆单段过氧化氢(P)漂白工艺条件分析

2.1.1 H_2O_2 用量对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响

H_2O_2 用量对柠条APMP浆漂后成纸性能的影响见表1。从表1可以看出,随着 H_2O_2 用量的增加,柠条APMP浆漂后的白度逐渐增加。当过氧化氢质量分数为1~5%时,白度上升较快,质量分数为5%时,白度达到了64.87%。与未漂浆相比,白度提高了36%,表明 H_2O_2 能够有效提高柠条APMP浆的白度。从表1也可以看出,当质量分数超过5%时,白度增加缓慢,说明继续增加 H_2O_2 用量,白度提高不明显。这种现象产生的原因可能是在 H_2O_2 漂白过程中,由于纸浆木素大分子结构的阻碍,漂白过程中产生的少量邻酚和邻醌未被继续氧化而保留在浆中,因此白度上升减慢^[16]。另外,表1数据表明, H_2O_2 用量对抗张指数、撕裂指数、耐破指数的影响不大,当 H_2O_2 质量分数为5%时,漂后成纸的耐破指数、撕裂指数达到最大值,抗张指数也较原浆提高5.4%。综合考虑,柠条APMP浆漂白时 H_2O_2 质量分数在5%左右为宜。

表 1 H_2O_2 用量对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响
Tab.1 Effects of H_2O_2 dosage on properties of sheets prepared from bleached APMP pulp

H_2O_2 质量 分数/%	抗张指数/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	耐破指数/ ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	撕裂指数/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	白度/ %
0	26.22	1.32	23.86	47.71
1	27.63	1.34	23.74	60.05
3	26.06	1.33	23.50	62.67
5	27.63	1.36	24.33	64.87
7	29.10	1.34	22.52	65.34
9	24.68	1.17	22.73	65.83

2.1.2 温度对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响

温度会影响 H_2O_2 的分解速率和反应速率, 在 H_2O_2 质量分数为 5.0%、反应时间为 90 min 的条件下, 研究温度对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响, 见表 2。从表 2 可以看出, 当漂白温度从 50 $^{\circ}\text{C}$ 提高到 80 $^{\circ}\text{C}$ 时, 漂后成纸白度由 59.33% 增加到 64.87%, 提高了 5.54%; 温度超过 90 $^{\circ}\text{C}$ 后对白度的提高效果不明显, 可能是过高的漂白温度会造成 H_2O_2 的无效分解。从表 2 还可以看出, 随着温度的升高, 漂后成纸抗张指数和耐破指数都是先升高后降低; 当漂白温度在 70~80 $^{\circ}\text{C}$ 范围内时, 纸张有较佳的抗张强度、耐破强度和撕裂强度。综合来看, H_2O_2 漂白柠条 APMP 浆时的温度以 80 $^{\circ}\text{C}$ 为宜。

表 2 温度对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响
Tab.2 Effects of temperature on properties of sheets prepared from bleached APMP pulp

温度/ $^{\circ}\text{C}$	抗张指数/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	耐破指数/ ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	撕裂指数/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	白度/ %
50	26.03	1.16	23.12	59.33
60	26.85	1.18	22.91	60.03
70	28.23	1.32	23.16	62.01
80	27.63	1.36	24.33	64.87
90	25.82	1.16	24.12	65.61

2.1.3 反应时间对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响

反应时间是影响纸浆漂白的重要工艺参数, 延长或缩短反应时间会影响纸浆中 H_2O_2 的分解程度, 进而影响漂白效果。在 H_2O_2 质量分数为 5.0%, 漂白温

度为 80 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 研究漂白时间对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响, 见表 3。从表 3 可以看出, 当漂白时间从 30 min 增加到 90 min 时, 漂后浆成纸的白度有一定提高, 由 62.79% 提高到 64.87%, 增加了 2.08%。漂白时间由 90 min 增加到 120 min, 白度仅提高了 0.17%, 这表明延长漂白时间虽然有利于充分发挥 H_2O_2 的漂白效率, 但漂白时间不宜过度延长, 因为 H_2O_2 完全消耗后, 即使漂白时间延长, 也不会提高漂白效果。从表 3 还可以看出, 随着反应时间的延长, 抗张指数先下降后上升, 在 90 min 时达到最大值; 撕裂指数呈上升趋势, 说明延长漂白时间, 有利于提高撕裂指数; 耐破指数呈现先上升后下降的趋势, 在 90 min 时也达到最大值。因此, H_2O_2 漂白柠条 APMP 浆的时间为 90 min。

表 3 反应时间对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响
Tab.3 Effects of reaction time on properties of sheets prepared from bleached APMP pulp

时间/ min	抗张指数/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	耐破指数/ ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	撕裂指数/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	白度/ %
30	26.25	1.10	22.28	62.79
60	25.14	1.15	22.85	64.08
90	28.23	1.32	23.16	64.87
120	27.42	1.26	23.76	65.04

由上述分析可知, H_2O_2 单段漂白柠条 APMP 浆较优的工艺条件是 H_2O_2 质量分数为 5.0%、温度为 80 $^{\circ}\text{C}$ 、时间为 90 min。

2.2 柠条 APMP 浆两段漂白工艺条件分析

2.2.1 柠条 APMP 浆 H_2O_2 两段漂白效果分析

柠条 APMP 浆经过单段漂白后, 纸浆的白度虽得到较大提高, 但白度还没有超过 70%。为了得到较高白度及其他性能较好的柠条 APMP 浆, 以 H_2O_2 为漂白剂, 采用两段漂白的方式来研究 H_2O_2 的漂白效果, 结果见表 4。

从表 4 可以看出, 在 H_2O_2 用量一定的条件下, 与单段漂相比, 柠条 APMP 浆经两段漂后, 成纸的白度比单段漂有所提高。这主要是 H_2O_2 在漂白过程中会产生无效分解, 采用两段漂白时, H_2O_2 分 2 次加

表 4 H_2O_2 两段漂对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响
Tab.4 Effects of two stages H_2O_2 on properties of sheets prepared from bleached APMP pulp

漂白 方法	第1段 H_2O_2 质量分数/%	第2段 H_2O_2 质量分数/%	抗张指数/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	耐破指数/ ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	撕裂指数/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	白度/%
未漂			26.22	1.32	23.86	47.71
单段漂	5		27.63	1.36	24.33	64.87
两段漂	2	3	29.67	1.44	24.12	66.53
	1	4	28.26	1.36	23.89	67.35

入，可以降低 H_2O_2 在漂白过程中的无效分解，从而提高漂白效果。从表 4 中也可以看出，在 H_2O_2 两段漂过程中，2 个漂段 H_2O_2 用量不同对纸浆性能也有影响。当采用第 1 段 H_2O_2 质量分数为 2% 的两段漂时，漂后成纸的白度为 66.53%；采用第 1 段 H_2O_2 质量分数为 1% 的两段漂时，漂后成纸的白度为 67.35%，比第 1 种两段漂工艺效果好。另外， H_2O_2 两段漂对漂后纸浆成纸的结合强度有所改善。

2.2.2 柠条 APMP 浆 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂白效果分析

在 H_2O_2 用量一定的条件下， H_2O_2 两段漂比单段漂的效果要好。在 H_2O_2 两段漂基础上，研究 H_2O_2 -

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂，主要是希望既能提高纸浆白度，又能降低漂白成本，结果见 5。从表 5 可以看出，采用 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂，成纸的白度比单段漂虽有所提高，但白度提高幅度不大，主要是因为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 只能改变纸浆表面木素大分子中的发色团结构，而不能将木素溶解出来，所以漂白效果能力有限。此外，即使增加 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 用量，纸张白度也没有明显提高。从表 5 也可以看出，经 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂后，浆料成纸的抗张指数、耐破指数、撕裂指数均低于 H_2O_2 单段漂，表明在两段漂过程中， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 对纸浆纤维有所降解，导致纸张的强度降低。

表 5 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂对柠条 APMP 浆漂后成纸性能的影响
Tab.5 Effects of two stages H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ bleaching on properties of sheets prepared from bleached APMP pulp

漂白方法	H_2O_2 质量 分数/%	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 质量 分数/%	抗张指数/ ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$)	耐破指数/ ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	撕裂指数/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	白度/%
未漂			26.22	1.32	23.86	47.71
H_2O_2 单段漂	5		27.63	1.36	24.33	64.87
	5	1	24.34	1.22	22.79	65.26
H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	5	2	25.40	1.21	22.30	65.79
两段漂	5	3	26.44	1.35	23.64	66.45
	5	4	27.59	1.20	23.65	66.67
	5	5	27.41	1.30	22.18	66.88

3 结语

1) H_2O_2 单段漂白柠条 APMP 浆最佳工艺条件为 H_2O_2 质量分数 5.0%，温度 80 ℃，时间 90 min。在该条件下，纸浆的白度从 47.71% 提高到 64.87%，白度提高了 36%，而成纸的抗张强度、耐破强度和撕裂强度也有所提高。

2) 在 H_2O_2 用量一定的条件下， H_2O_2 两段漂比单段漂的效果要好，在纸浆白度提高的同时，还能改善漂后浆成纸的结合强度。

3) 经 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂后，纸浆的白度虽比单段漂有所提高，但白度提高幅度不大。此外，经 H_2O_2 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 两段漂后，浆料成纸的抗张指数、耐破指数、撕裂指数均低于 H_2O_2 单段漂。

参考文献：

[1] 李晓飞. 柠条平茬收获机切割装置试验研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(4): 1—4.
LI Xiao-fei. Experimental Research on Cutting Device of Caragana Korshinskii Stumping Harvester[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(4): 1—4.
[2] 田兰凤, 吕振华. 全杆柠条强韧纸浆的生产工艺[J]. 纸和造纸, 2002(3): 25.

TIAN Lan-feng, LYU Zhen-hua. Production Process of Caragana Pulp[J]. Paper and Paper making, 2002(3): 25.
[3] 薛富. 柠条制浆造纸的探讨[J]. 内蒙古林业, 2002(6): 15.
XUE Fu. Discussion on Caragana Pulping and Papermaking[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry, 2002(6): 15.
[4] 吴旭东, 宋乃平, 潘军. 不同沙地生境下柠条灌丛化对草地土壤有机碳含量及分布的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 115—121.
WU Xu-dong, SONG Nai-ping, PAN Jun. Effect of Shrub (Caragana Intermedia) Encroachment under Different Sandy Habitats on Content and Distribution of Soil Organic Carbon in Desert Grassland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(10): 115—121.
[5] 刘正光, 张静. 柠条燃烧特性及燃烧动力学研究[J]. 太阳能学报, 2017, 38(9): 2611—2618.
LIU Zheng-guang, ZHANG Jing. Study on the Combustion Characteristics and Kinetics of Caragana Korshinskii Kom[J]. ACTA Energiæ Solariss Sinica, 2017, 38(9): 2611—2618.
[6] 高玉寒, 姚云峰, 郭月峰, 等. 柠条锦鸡儿细根表面积密度对土壤水分空间分布的响应[J]. 农业工程学院, 2017, 33(5): 136—142.
GAO Yu-han, YAO Yun-feng, GUO Yue-feng, et al. Response of Caragana Microphylla Fine Root Surface Area Density to Spatial Distribution of Soil Moisture[J].

- Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(5): 136—142.
- [7] 赵文昊, 姚云峰, 郭月峰. 柠条锦鸡儿细根生长与游离脯氨酸含量关系研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2018, 55(5): 1121—1126.
- ZHAO Wen-hao, YAO Yun-feng, GUO Yue-feng. Relationship between Shape of Caragana's Root and Free Proline[J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2018, 55(5): 1121—1126.
- [8] 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.
- [9] 许凤, 孙润仓, 詹怀宇, 等. 几种灌木的碱性过氧化氢法制浆性能[J]. 中国造纸, 2005, 24(5): 1—3.
- XU Feng, SUN Run-cang, ZHAN Huai-yu, et al. Three Shrub Pulps Prepared by Hydrogen Peroxide-alkaline Pulping[J]. China Pulp & Paper, 2005, 24(5): 1—3.
- [10] 罗黎敏, 陈洪伟, 姚春丽. 柠条制浆性能的初步探讨[J]. 中华纸业, 2004, 25(8): 39—40.
- LUO Li-min, CHEN Hong-wei, YAO Chun-li. Preliminary Study on Pulping Performance of Caragana [J]. China Pulp & Paper Industry, 2004, 25(8): 39—40.
- [11] 陈洪伟. 沙棘、柠条、红柳制浆性能的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- CHEN Hong-wei. A Study on the Pulping Properties of Hippophaerhamnoidesl, Caragana Korshinskii and Red Willow[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2004.
- [12] 董存军, 乐喜, 王鹏. CTMP 过氧化氢漂白研究进展[J]. 轻工科技, 2016(10): 21—23.
- DONG Cun-jun, LE Xi, WANG Peng. Recent Developments of Hydrogen Peroxide Bleaching of CTMP[J]. Light Industry Science and Technology, 2016(10): 21—23.
- [13] 翟睿, 胡志军, 张学金, 等. 碱脲体系对蔗渣盘磨机机械浆漂白性能的影响研究[J]. 中华纸业, 2017, 38(18): 29—34.
- ZHAI Rui, HU Zhi-jun, ZHANG Xue-jin, et al. The Effect on Bleaching Property of Bagasse RMP with the Treatment of Alkali-urea System[J]. China Pulp & Paper Industry, 2017, 38(18): 29—34.
- [14] 范文. TMP 连二亚硫酸钠漂白实践[J]. 中华纸业, 2005, 26(12): 45—47.
- FAN Wen. The Practice of TMP Sodium Hyposulphite Bleaching[J]. China Pulp & Paper Industry, 2005, 26(12): 45—47.
- [15] 赵强. 杨木化机浆强化过氧化氢漂白工艺及机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- ZHAO Qiang. Research on Reinforced Hydrogen Peroxide Bleaching of Poplar CMP and Bleaching Mechanism[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [16] 郑永文, 马晓娟, 陈礼辉, 等. 绿竹改良 APMP 制浆的研究[J]. 华东纸业, 2010, 41(1): 16—20.
- ZHENG Yong-wen, MA Xiao-juan, CHEN Li-hui, et al. Study on Dendrocalamopsis Oldhami Improved Alkaline Peroxide Mechanical Pulping[J]. East China Pulp and Paper Industry, 2010, 41(1): 16—20.