



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20160149

杨木 P-RC APMP 工艺中 MgO 部分替代 NaOH 对溶解与胶体物质的影响

陈威^{1,2}, 刘苇^{1,2}, 汪兵¹, 侯庆喜¹, 施哲晨¹

(1. 天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学造纸学院, 天津 300457;
2. 制浆造纸工程国家重点实验室, 华南理工大学, 广州 510640)

摘要: 杨木 P-RC APMP 制浆过程中, 在高浓停留段采用 MgO 部分替代 NaOH 作为碱源, 并研究其对溶解与胶体物质(DCS)的影响. 结果表明, 随着制浆过程中 MgO 取代量的增加, DCS 和溶解物质(DS)水样的 pH、质量浓度、电导率和阳离子需求量均呈下降趋势. DCS 中电导率和阳离子需求量主要由 DS 提供. MgO 取代量的增加在提高浆张松厚度及光散射系数的同时也会引起其强度性能的部分降低.

关键词: MgO; P-RC APMP; 溶解与胶体物质; 强度性能

中图分类号: TS745 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2017)05-0039-06

Effects of Partial Substitution of MgO for NaOH on Dissolved and Colloidal Substances in Poplar P-RC APMP

CHEN Wei^{1,2}, LIU Wei^{1,2}, WANG Bing¹, HOU Qingxi¹, SHI Zhechen¹

(1. Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Papermaking Science and Technology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this study, different percentages of MgO were used to substitute for NaOH at the high-consistency retention stage of poplar P-RC APMP, and the effects of the substitution of MgO for NaOH on dissolved and colloidal substances (DCS) were studied. The results showed that the pH, mass concentration, conductivity and cationic demand (CD) of the DCS and dissolved substances (DS) were reduced with the increase of substitution percentage of MgO for NaOH. The conductivity and CD of DCS are mainly attributed to DS. The bulk and light-scattering coefficient of the P-RC APMP handsheet were increased while its strength properties were decreased with the increase of substitution percentage of MgO for NaOH.

Key words: MgO; P-RC APMP; dissolved and colloidal substances; strength properties

近年来,以化机浆为代表的高得率浆因具有较高的成浆得率、低污染以及较低的设备投资等优点而得到了较快速的发展^[1]. 其中,碱性过氧化氢机械浆(APMP)和盘磨结合化学预处理的碱性过氧化氢机械浆(P-RC APMP)将制浆和漂白工段合二为一,不仅减少了设备投资,降低了生产能耗,同时还能有效提高成纸的质量,可使纸浆获得较高的白度和强度性能. 在 P-RC APMP 工艺中,增加了高浓停留段,延长

了化学药品与浆料的反应时间,从而使浆料性能得到了进一步的改善^[2]. 然而,采用碱性过氧化氢法进行制浆和漂白能够提高浆料性能,但也会带来一些负面影响,即引起浆料中碳水化合物组分的降解. 传统的碱性过氧化氢漂白主要以 NaOH 作为碱源,但 NaOH 的强碱性容易引起碳水化合物、树脂酸类以及脂肪酸类等物质的降解,从而释放大量的溶解与胶体物质(dissolved and colloidal substances, DCS). 其中,溶解

收稿日期: 2016-04-24; 修回日期: 2016-09-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31070528); 制浆造纸工程国家重点实验室开放基金资助项目(201501)

作者简介: 陈威(1991—),男,湖南邵阳人,硕士研究生;通信作者: 刘苇,副研究员, weiliu@tust.edu.cn

数字出版日期: 2017-01-12; 数字出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/12.1355.N.20170112.1201.006.html>

物质(dissolved substances, DS)主要来源于半纤维素、果胶、木素及木素衍生物等,而胶体物质(colloidal substances, CS)则由脂肪酸、树脂酸、甘油酯和木素类物质等组成^[3-4]。以 DCS 为主要成分的阴离子垃圾的影响范围涉及泡沫产生、生产设备的腐蚀和结垢、化学添加剂的使用效果不理想、网子和毛布胶黏物的产生、生产效率下降以及最终成纸质量差等问题^[5],同时也会使废水的污染负荷增加。近年来,国外有研究和工业生产实例报道,利用碱性较弱的镁碱(MgO 或 Mg(OH)₂)可以弥补钠碱的上述缺点。采用镁碱部分取代钠碱的过氧化氢漂白工艺可获得较高的松厚度和光散射系数;同时,由于镁碱的弱碱性和缓冲作用,弥补了钠碱引起的部分半纤维素降解的缺陷,从而提高了漂后浆料的得率^[6];并且,漂后废液中 DCS 的含量降低,减少了纸机湿部所需的化学助剂,可进一步降低生产成本;由于 Mg²⁺对过渡金属离子的钝化作用,可减少过氧化氢的无效分解^[7]。此外,镁碱在价格上也具有一定的竞争力,再加上废液污染负荷较低,可以降低生产成本,提高企业经济效益。因此,将镁碱用于高得率浆的碱性过氧化氢漂白工艺中具有广阔的发展前景。本文采用 MgO 部分替代 NaOH 用于杨木 P-RC APMP 的高浓停留段,主要研究了 MgO 用量对该工艺中 DCS 特性的影响。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

实验所用的杨木片取自山东某厂;所使用的 NaOH、MgO、H₂O₂、二乙烯三胺五乙酸(DTPA)等试剂均为分析纯。

JS30 型螺旋挤压疏解机,汶瑞机械(山东)有限公司;FE20 型实验室用 pH 计、EL30 型电导率仪,梅特勒-托利多公司;PCD-03 型胶体电荷测定仪,德国 BTG 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 P-RC APMP 浆料的制备

将杨木片经过预汽蒸后,利用 JS30 型螺旋挤压疏解机进行一段挤压疏解,之后再进行一次预浸渍和二段挤压疏解。一段化学预浸渍处理条件:NaOH 用量 0.3% (相对于绝干浆料的质量),DTPA 用量 0.1%,压力 0.5 MPa。按照表 1 中的条件,将挤压疏解所得的木丝团进行二段化学预浸渍。预浸渍后的木丝经一段磨浆后,按照表 1 中的条件进行高浓停留处理,在高浓停留段分别采用 25%、50% 和 75% (物

质的量分数)的 MgO 替代 NaOH 作为碱源。高浓停留段后的浆料经过二段磨浆、消潜、筛选后即得到 P-RC APMP 浆料。

表 1 二段预浸渍和高浓停留段的工艺条件

Tab. 1 Process conditions of second-stage pre-impregnation and high-consistency retention stage

工艺条件	二段预浸渍	高浓停留
用碱量(以 NaOH 计)/%	3	3
H ₂ O ₂ 用量/%	3.5	3.5 / 4.5
Na ₂ SiO ₃ 用量/%	3	3
DTPA 用量/%	0.05	0.05
浆浓/%	30	30
温度/℃	80 ~ 90	90
时间/min	90	90

1.2.2 DCS 与 DS 水样的制备

高浓停留段后,称取相当于 10 g 绝干的浆料于玻璃烧杯中,用蒸馏水稀释到浓度为 2.0% 后,置于 60 ℃ 的水浴锅中搅拌 1 h,然后取浆料悬浮液置于离心杯中,在 2 000 r/min 转速下离心 30 min、静置、取上层清液,所得清液即为 DCS 水样。将 DCS 水样经 0.22 μm 的水性微孔滤膜抽滤后得到的清液即为 DS 水样^[4]。

1.2.3 pH 和电导率的测定

将新制得的 DCS 和 DS 水样在 25 ℃ 条件下保温,用 pH 计分别测定其 pH。用 0.1 mol/L 的稀 H₂SO₄ 将 DCS 水样的 pH 调至 7.0 ± 0.1,再用电导率仪测定其电导率。

1.2.4 质量浓度的测定

采用称重法测定 DCS 水样和 DS 水样的质量浓度,即分别取 50 mL DCS 和 DS 水样于已烘干至质量恒定的称量瓶中,在 (105 ± 2) ℃ 的烘箱中烘干至质量恒定,称量后即可计算出质量浓度。

1.2.5 阳离子需求量的测定

采用 PCD-03 型胶体电荷测定仪测定 DCS 水样和 DS 水样的阳离子需求量(cationic demand, CD)。标准阳离子物质为 0.1 mmol/L 的聚二烯丙基二甲基氯化铵。

1.2.6 粒径分布的测定

用 0.1 mol/L 的稀 H₂SO₄ 调节水样至 pH = 5.0,通过激光粒度仪测定 DCS 水样中胶体颗粒的粒径分布情况。

1.2.7 纸浆强度性能的测定

用蒸馏水洗涤浆料直到滤液的电导率小于 10 μS/cm 为止,即认为不含 DCS 的纸浆^[8]。抄片过程中保持浆料的体积为一定值,逐渐改变 DCS 水样加

入量(20%、40%和60%)(质量比).打浆前调整浆料打浆度为45°SR,依据QB/T 3703—1999《纸浆的实验室纸页的制备·常规纸页成型器法》抄造手抄片.分别按照GB/T 22898—2008《纸和纸板·抗张强度的测定·恒速拉伸法(100 mm/min)》、GB/T 455—2002《纸和纸板撕裂度的测定》、GB/T 1539—2007《纸板·耐破度的测定》对手抄片的抗张指数、撕裂指数、耐破指数进行测定.

2 结果与讨论

2.1 MgO取代量对DCS和DS水样pH的影响

在H₂O₂使用量为4.5%的情况下,MgO取代NaOH的取代量对DCS和DS水样pH的影响如图1所示.由图1可见:随着MgO取代NaOH比例的增加,DCS和DS水样的pH均呈现下降趋势.当MgO取代量从0增加到75%时,DCS水样的pH从9.61降至9.36,DS水样的pH从9.55降至9.28,这主要是由MgO的弱碱性及低溶解度造成的.

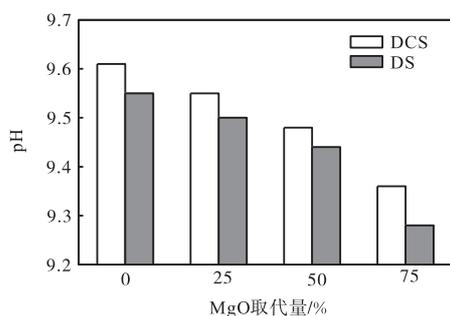


图1 MgO取代量对DCS和DS水样pH的影响

Fig. 1 Effect of MgO substitution percentage on the pH of DCS and DS

2.2 MgO取代量对DCS水样质量浓度的影响

MgO取代NaOH比例对DCS水样质量浓度的影响如图2所示.

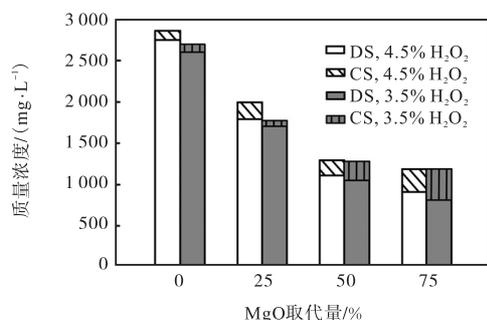


图2 MgO取代量对DCS水样质量浓度的影响

Fig. 2 Effect of MgO substitution percentage on the mass concentration of DCS

由图2可知:随着MgO取代量的增加,DCS水样的质量浓度逐渐减小;在相同的MgO取代比例下,提高H₂O₂用量,DCS水样的质量浓度随之增加,并且这种增量随着MgO取代比例的增加而逐渐减小,当MgO取代量接近75%时,H₂O₂用量对DCS水样的质量浓度几乎没有影响.随着MgO取代比例从0增加到75%,当H₂O₂用量为4.5%时,DCS水样质量浓度由2860 mg/L减小到1180 mg/L;当H₂O₂用量为3.5%时,DCS水样质量浓度由2690 mg/L减小到1185 mg/L. DCS是由氧化木素、糖醛酸、树脂酸以及脂肪酸等类物质组成的混合物^[9].在P-RC APMP的制浆和漂白过程中,碳水化合物会发生碱性降解,树脂酸类物质也会受到碱的作用而发生降解;此外,在H₂O₂的氧化作用下,木素会被氧化降解并以氧化木素和木素衍生物的形式溶出^[1,3].

随着MgO取代NaOH比例的增加,浆料体系中的碱性逐渐减弱,使得碳水化合物和脂肪酸类物质碱性降解程度减弱,漂白体系对木素的氧化作用也相应减弱,使得氧化木素的产生和溶出量减少,最终导致DCS和DS水样的质量浓度逐渐降低.同时,从图2也可以看出:DS是DCS的主要组成部分,CS的含量较少;随着MgO取代比例的增加,DS的质量浓度呈下降趋势,而CS的质量浓度略有上升.

2.3 MgO取代量对DCS和DS水样电导率的影响

电导率可以反映水样中溶解的无机物与有机物总量的高低,它随着制浆/漂白体系碱性强弱的变化而变化.MgO取代量对DCS及DS水样电导率的影响如图3所示.

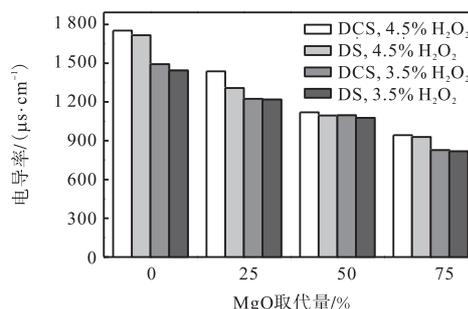


图3 MgO取代量对DCS和DS水样电导率的影响

Fig. 3 Effect of MgO substitution percentage on the conductivity of DCS and DS

由图3可知:随着MgO取代量的增加,电导率逐渐降低.当MgO取代量从0增加到75%时,在H₂O₂用量为4.5%和3.5%的条件下,DCS水样电导率分别下降了46%和45%.当MgO取代NaOH比例增加时,由于体系中碱性的减弱,导致氧化木素的

含量降低;同时,弱碱性体系也会减弱果胶及半纤维素等物质的溶出和脱甲基反应,从而减少聚半乳糖醛酸等电解质的形成量,最终导致电导率的降低.此外,漂白时产生的阴离子物质会吸附体系中带正电的金属离子, Mg^{2+} 带两个正电荷,吸附阴离子的能力也强于 Na^+ ,即 Mg^{2+} 能更有效地改变负电性物质所带电荷量.因此,随着 MgO 取代 $NaOH$ 比例的增加,也会导致电导率有一定的降低.

当 MgO 取代量为25%、 H_2O_2 用量为4.5%时,DCS的电导率为 $1437\mu S/cm$,DS的电导率为 $1308\mu S/cm$; H_2O_2 的用量为3.5%时,DCS的电导率为 $1224\mu S/cm$,DS的电导率为 $1218\mu S/cm$.这说明在P-RC APMP制浆和漂白过程中,DCS中的电导率主要由DS贡献.DCS和DS水样的电导率在 H_2O_2 用量较高时也较高.当 MgO 取代量为25%, H_2O_2 用量从3.5%增加至4.5%时,DCS水样电导率提高了15%.这是由于增加 H_2O_2 用量,木素受到的氧化作用增强,氧化木素的产生和溶出量增大,从而使得电导率增加.

2.4 MgO 取代量对阳离子需求量的影响

MgO 取代量对DCS和DS水样阳离子需求量的影响如图4所示.从图4中可以发现:DS水样的阳离子需求量变化趋势与DCS水样相似,均随着 MgO 取代量的增加而逐渐减小;增加 H_2O_2 用量,DCS水样的阳离子需求量有所增加.当 MgO 取代量从0增加到75%, H_2O_2 用量为4.5%时,DCS水样的阳离子需求量从 1.6 meq/L 降至 0.9 meq/L ;而 H_2O_2 用量由4.5%降至3.5%时,DCS水样的阳离子需求量从 1.1 meq/L 降至 0.7 meq/L .

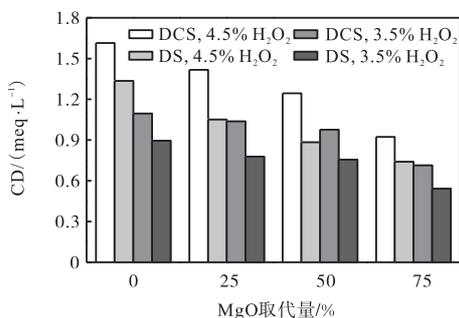


图4 MgO 取代量对DCS和DS水样阳离子需求量的影响

Fig. 4 Effect of MgO substitution percentage on the CD of DCS and DS

阳离子需求量反映的是阴离子垃圾的含量.在漂白过程中生成的阴离子垃圾的主要成分为聚半乳

糖醛酸、氧化木素、树脂酸和脂肪酸等溶出物^[1].随着 MgO 取代量的增加,体系中pH逐渐降低,使得碱性溶出物含量减少,产生的阴离子垃圾含量也会随之减少,最终导致阳离子需求量降低.同时,由于 Mg^{2+} 含量的增加,有更多的阴离子垃圾被中和,也会引起阳离子需求量的降低.

H_2O_2 用量为3.5%时,不同pH和 MgO 取代量对DCS水样的阳离子需求量的影响如图5所示.由图5可知:不同pH下的DCS水样的阳离子需求量存在较大差异.当 MgO 取代量为25%、pH为5.0时,DCS水样的阳离子需求量为 1.037 meq/L ,而pH为7.0时,DCS水样的阳离子需求量为 1.438 meq/L .这可能是由于在pH为5.0时绝大部分糖醛酸型羧基都离解成羧酸根离子,而氧化木素及树脂酸和脂肪酸型的羧基的电离程度很低,故当pH为5.0时所测定的阴离子垃圾的阳离子需求量主要来自聚半乳糖醛酸(或果胶酸),而当pH为7.0时,几乎所有的聚半乳糖醛酸、氧化木素及树脂酸和脂肪酸型的羧基都电离成羧酸根离子^[10].因此,碱性较弱的镁碱对于制浆和漂白废液中阴离子垃圾的控制具有一定的优势.

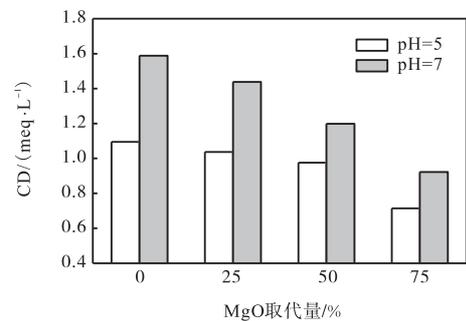


图5 pH与 MgO 取代量对DCS水样阳离子需求量的影响

Fig. 5 Effect of pH and MgO substitution percentage on the CD of DCS

2.5 DCS水样的粒径分布

DCS粒径的大小将会影响到它的稳定性及其聚集状态.大部分木素及树脂类物质的粒径大小在 $250\sim 10\ 000\text{ nm}$,而大部分的无机物、聚糖等物质可溶解于浆水体系中,粒径小于 220 nm ^[11],属于胶体物质的范围.DCS水样粒径分布如图6所示.从图6中可以看出:整个DCS体系中粒径主要分布在 $500\sim 5\ 000\text{ nm}$ 的区域中.同时,DCS水样的有效粒径为 821.8 nm ,这表明在DCS水样中主要的颗粒为木素及树脂类物质.

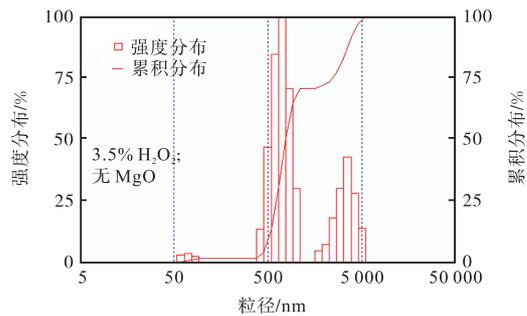


图6 DCS水样粒径分布

Fig. 6 Particle size distribution of DCS

2.6 MgO 取代量对浆张性能的影响

在 P-RC APMP 工艺中的高浓停留段,不同比例的 MgO 取代 NaOH 对浆张性能的影响见表 2。

从表 2 可以看出:MgO 取代 NaOH 作为碱源

后,浆张的光散射系数以及松厚度均明显增加,而浆张的强度性能却有所降低,如抗张指数、撕裂指数和内结合强度。研究表明,浆料中半纤维素的水解以及木素的氧化都会产生羧基基团,而羧基的产生会提高纤维的润胀性能以及纤维之间的结合强度^[12-14]。在 MgO 部分取代 NaOH 作为 P-RC APMP 工艺中的高浓停留段的碱源时,由于 MgO 的碱性较弱,在漂白过程中产生的酸性基团较少,从而导致纤维的润胀性能和结合强度的下降。同时,从本文 2.2 节的分析可知,随着 MgO 取代量的增加,浆料中氧化木素和果胶类等胶体物质的溶出量有较大幅度的减少,浆料中这些疏水性物质的存在也会导致纤维的润胀性能和结合强度的下降^[15]。这些疏水性物质在导致浆张强度性能下降的同时会提高浆张的松厚度。

表 2 MgO 取代量对浆张性能的影响

Tab. 2 Effect of MgO substitution percentage on the pulp properties

MgO 取代量/%	光散射系数/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	松厚度/($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	抗张指数/($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{g}^{-1}$)	撕裂指数/($\text{mN} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	内结合强度/N
0	45.22	2.45	41.68	2.19	417.50
25	47.10	2.77	28.76	2.13	348.00
50	47.18	2.67	33.94	2.08	351.00
75	49.67	2.76	27.29	2.01	332.67

本文还考察了浆料中 DCS 的含量对浆张强度性能的影响,结果见表 3。从表 3 可以看出:DCS 的存在对浆料强度性能有不利的影响,随着浆料中 DCS 含量的增加,浆张的抗张指数、撕裂指数和耐破指数均有一定程度的降低。

表 3 DCS 含量对浆张强度性能的影响

Tab. 3 Effect of DCS content on the strength properties of pulp

DCS 含量/%	抗张指数/($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{g}^{-1}$)	撕裂指数/($\text{mN} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	耐破指数/($\text{kPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
0	45.86	2.18	1.89
20	45.14	2.09	1.80
40	44.48	2.03	1.79
60	43.82	1.80	1.78

有文献表明,DCS 中存在的木素、脂肪酸和树脂酸等疏水性物质可降低水的表面张力^[9],这会影纤维间氢键的结合,使得浆张内部纤维间的结合减弱,最终导致抗张指数与耐破指数的降低。撕裂指数主要受纤维长度及浆张孔隙率的影响^[4],当 DCS 含量增加时会有更多的胶体颗粒填充到纸页空隙中,使得纸页的孔隙率降低,进而导致纸浆撕裂指数有较大幅度的降低。采用 MgO 部分替代 NaOH 为碱源会降低

木素的溶出,因此纸浆中保留了相对较多的木素,导致纤维挺硬,在成纸过程中不容易塌陷,从而增加浆张松厚度^[16]。对于纸板而言,浆张的松厚度越高越好,因为在保证纸板挺度的前提下可以降低纸板的定量,而纸板的生产对其他物理特性的要求相对较低,如白度、抗张指数和撕裂指数。在 P-RC APMP 制浆工艺中,MgO 取代 NaOH 作为碱源对提高浆料的松厚度和光学性能具有明显的优势。

3 结论

镁碱替代钠碱的 P-RC APMP 制浆工艺中:(1)随着高浓停留段 MgO 取代量的增加,DCS 水样和 DS 水样的 pH、质量浓度、电导率和阳离子需求量均呈下降趋势;(2)DCS 中的质量浓度、电导率以及阳离子需求量都主要由 DS 贡献;(3)DCS 体系中的粒径分布主要在 500~5 000 nm;(4)随着 MgO 取代量的增加,浆张的光散射系数和松厚度增加,而浆张的抗张指数、撕裂指数和内结合强度有所下降;(5)浆料中 DCS 含量的增加会降低浆张的抗张指数、耐破指数和撕裂指数。由此可见,利用 MgO 取代 NaOH

作为 P-RC APMP 制浆工艺中的碱源, 不仅能提高浆张的松厚度和光学性能, 减少制浆/漂白的污染负荷, 而且对于控制阴离子垃圾等湿部特性也具有积极的作用。

参考文献:

- [1] Sundberg K E, Holmbom B R, Pranovich A V. Chemical changes in thermomechanical pulp at alkaline conditions [J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2003, 23(1): 89–112.
- [2] 陈云玲. 酶处理对速生杨 P-RC APMP 浆超微结构和纤维性能的影响[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014.
- [3] 欧建志, 陈玉蕉, 文飏, 等. 新闻纸浆白水系统的 DCS 物质及其积累规律初探[J]. *造纸科学与技术*, 2001, 20(5): 18–21.
- [4] 王旭, 詹怀宇, 赵光磊, 等. 新闻纸厂过程用水 DCS 的来源与清除[J]. *中国造纸*, 2003, 22(7): 1–4.
- [5] 何北海, 肖萍, 钱丽颖, 等. “瓶颈技术”理论与造纸用水管理的科学理念: 造纸过程水系统封闭的技术对策探讨之一[J]. *中国造纸学报*, 2003, 18(1): 161–163.
- [6] He Z B, Wekesa M, Ni Y H. Pulp properties and effluent characteristics from the $Mg(OH)_2$ -based peroxide bleaching process[J]. *Tappi Journal*, 2004, 3(12): 27–31.
- [7] He Z B, Ni Y H, Zhang E. Further understanding on the cationic demand of dissolved substances during peroxide bleaching of a spruce TMP[J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2005, 24(2): 153–168.
- [8] 刘超. 杨木化学机械浆中溶解与胶体物质的研究[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2008.
- [9] 卢立正, 杨淑蕙, 倪永浩. 三倍体毛白杨 CTMP 碱性 H_2O_2 漂白中阴离子垃圾的产生[J]. *中国造纸*, 2005, 24(9): 1–4.
- [10] Liu W, Hou Q X, Yang B, et al. Effluent characteristics and pulp properties changes with the partially substituting MgO for $NaOH$ in the high-consistency retention stage of triploid poplar P-RC APMP[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, 50(4): 1860–1865.
- [11] Zhang X, Beatson R P, Cai Y J, et al. Accumulation of specific dissolved and colloidal substances during white water recycling affects paper properties[J]. *Journal of Pulp and Paper Science*, 1999, 25(6): 206–210.
- [12] Tchepel M V, McDonald J D, Dixon T. The effect of peroxide bleaching on the mechanical properties of black spruce fibres[J]. *Journal of Pulp and Paper Science*, 2006, 32(2): 100–104.
- [13] Kong F, Ni Y, He Z. A partial magnesium hydroxide substitution for sodium hydroxide in peroxide bleaching of an aspen CTMP[J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2009, 29(2): 136–149.
- [14] Ni Y, He Z. Review: Using magnesium hydroxide as the alkali source for peroxide bleaching of mechanical pulps: Process chemistry and industrial implementation[J]. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2010, 25(2): 170–177.
- [15] Maximova N, Österberg M, Koljonen K, et al. Lignin adsorption on cellulose fibre surfaces: Effect on surface chemistry, surface morphology and paper strength[J]. *Cellulose*, 2001, 8(2): 113–125.
- [16] 袁玮, 李丽姿, 李康生, 等. 镁碱对 PRC-APMP 纸浆性能的影响[J]. *纸和造纸*, 2009, 28(9): 25–29.

责任编辑: 周建军