

# 芦苇纸浆的电化学漂白研究

廖世军 李建华 詹怀宇<sup>#</sup>

(华南理工大学理学院应用化学系 广州 510641 <sup>#</sup>华南理工大学造纸与制浆工程国家重点实验室 广州 510641)

**摘 要** 研究了电化学方法漂白芦苇纸浆, 考察了支持电解质浓度、温度、槽电压、时间等因素对纸浆漂白过程的影响。实验发现: 适当加大支持电解质浓度和槽电压可以加快电化学漂白的速度, 温度对于电化学漂白具有非常明显的影响。提高温度可以显著地加快漂白速度。支持电解质溶液可以反复使用, 既可节约用水, 又可减少废液的排放。

**关键词** 电化学漂白 芦苇纸浆 电解质

## Electrochemical Bleaching of Bulrush Pulp

Liao Shijun, Li Jianghua, Zhan Huaiyu<sup>#</sup>

(Department of Applied Chemistry, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

(<sup>#</sup>State Key Laboratory for Pulp & Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

**Abstract** The bleaching of a bulrush pulp by electrochemical method was introduced in this paper. The effects of concentration of support electrolyte, temperature, cell potential and processing time are investigated. It is found that by keeping properly higher concentration of support electrolyte and higher cell potential it will enhance the processing velocity, and the temperature shows very strong effect on the bleaching, temperature raising could accelerate the bleaching process significantly. It is also verified that electrolyte solution could be used repeatedly it means that the electrochemical bleaching, comparing to usual chemical bleaching, could save water and lessen the drain of waste water.

**Key words** Bulrush pulp, Electrochemical bleaching, Electrolyte

漂白是造纸工业中的一个重要过程, 目前广泛使用的化学漂白技术由于排放大量含有有害物质的废液, 对环境造成了严重的影响。因此, 寻找一种对环境影响小的高效廉价的漂白技术在人类面临越来越严重的环境污染问题的今天显得十分重要<sup>[1,2]</sup>。

电化学漂白技术与生物漂白技术被认为是环境友好的绿色漂白技术, 与化学漂白技术相比较, 电化学漂白技术具有如下优点: 耗水少、排放废液少、对环境影响小、减少了漂白剂生产运输和储存、成本低等。由于这些优点, 该技术目前在国内外受到了高度重视。国内外均有少量的研究报道<sup>[3~9]</sup>。

本文中, 笔者探索了对芦苇纸浆的电化学漂白, 考察了各种因素对漂白效果的影响, 得到了一些有价值的研究结果。

---

廖世军 男, 45 岁, 博士, 教授, 现从事催化化学, 精细化工研究。

造纸与污染控制国家重点实验室资助项目(0109)

2003-03-04 收稿, 2003-07-02 修回

## 1 实验

电化学漂白装置由电动搅拌可控温加热器、直流电源组成, 搅拌速度、电压、温度可实现按要求调节, 采用 Pt 片做阳极, 1Cr18Ni9Ti 不锈钢片做阴极。所用纸浆由取自湖南造纸厂的芦苇纸浆, 其它化学试剂均为一般化学纯试剂。产品的白度采用 MTCRO-TB-IC 纸张白度仪(美国 TESTING MACHINES INC)测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 支持电解质浓度对漂白的影响

在纸浆浓度为 1.5%, 槽电压为 6V, 氧化时间为 60min 的条件下, 使用 NaCl 为支持电解质, 考察了电解质浓度对漂白过程的影响(表 1)。实验发现: 在本实验所使用的电解质浓度的范围内, 纸浆的漂白结果与支持电解质的浓度成正比。这主要是随着支持电解质浓度的增大, 溶液的导电性提高, 电流的效率得到提高的原因。

表 1 NaCl 浓度与纸浆漂白后白度  
Tab.1 Influence of concentration of NaCl to the brightness of processed pulp

序号	W(NaCl)/%	I/A	白度
1	1.2	0.43	41.84
2	1.4	0.48	47.58
3	1.6	0.51	48.72
4	1.8	0.55	49.23
5	2.0	0.60	53.20
6	2.2	0.68	59.06
7	2.4	0.75	63.01
8	2.6	0.79	65.00

提高支持电解质的浓度可以提高电流密度, 加快漂白的速度, 减少漂白的的时间。但过高的 NaCl 浓度会带来一些问题, 如: 过高的 NaCl 浓度会导致氯气的产生和逸出, 引起环境问题和增大能量消耗; 另外, 过高的 NaCl 浓度会导致后处理困难或造成 NaCl 在纸浆中的残留, 影响成品纸张的质量。因此在本实验中一般采用 NaCl 浓度为 2%。

### 2.2 槽电压的影响

在 pH=9, NaCl 浓度为 2.0%, 纸浆浓度为 1.5%的条件下, 考察了槽电压对纸浆漂白效果的影响(表 2)。实验发现, 纸浆漂白速度随槽电压的增高而加快, 纸浆白度随槽电压的增高而提高。但高槽电压时, 副反应会加快。所以从能耗的角度来看, 低的槽电压反而节约能耗。所以在实际生产中, 应综合考虑漂白速度和能耗, 选取合适的槽电压。

表 2 槽电压与纸浆漂白后白度关系  
Tab.2 Influence of cell potential on the brightness

序号	E/V	I/A	白度
1	6.0	0.60	53.20
2	7.0	0.70	56.46
3	8.0	0.80	61.43

### 2.3 纸浆浓度和电解时间与漂白效果

在 NaCl 浓度为 2%, pH=9, 槽电压为 6V 的条件下, 考察了纸浆浓度与漂白效果的关系(表

3)。得到的结果为：随纸浆浓度的增大，漂白效果降低，其关系为一线性关系。

表 3 纸浆浓度与纸浆漂后白度关系

Tab.3 Relation of concentration of pulp with the brightness of processed pulp

序号	纸浆浓度/%	白度
1	0.9	59.98
2	1.1	59.27
3	1.3	56.43
4	1.5	53.20
5	1.7	52.46
6	1.9	48.52
7	2.1	45.06

当然，这一结果是在保持漂白时间一定和槽电压一定的情况下得到的。实际上，对于高浓度纸浆，只要漂白时间足够长，也一样可以获得良好的漂白效果。

图 1 为电解时间与漂白效果之间的关系。由图 1 可以看出：在实验范围内，纸浆白度在开始时随时间的增加而快速增加；但一定时间后，白度随时间的变化开始变缓。这主要是由于木(色)素物质的浓度随漂白的进行而不断降低，使得电化学反应速度降低所致。

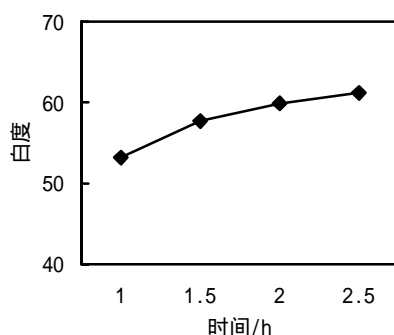


图 1 电解时间与漂白纸浆的白度的关系

Fig.1 Effect of processing time on the brightness of processed pulp

## 2.4 温度的影响

在 pH=9，槽电压为 6V，NaCl 浓度为 2%，纸浆浓度为 1.5%的条件下，考察了温度对纸浆漂白效果的关系(表 4)发现温度对于纸浆的电化学漂白具有很大的影响，提高反应温度可以显著提高漂白反应的速度。这说明纸浆的电化学漂白过程为一动力学控制过程，提高温度有利于木(色)素物质在电极上的氧化过程；另外，从表 4 所列的结果来看，在生产实际中适当提高反应温度，可以达到加快漂白速度和节约电能的作用。

表 4 温度与纸浆电化学漂白速度

Tab.4 Effect of temperature on the brightness of processed pulp

序号	$T/^{\circ}\text{C}$	$I/\text{A}$	白度
1	30	0.60	53.20
2	40	1.10	58.21
3	56	1.30	61.88
4	60	1.40	65.54
5	70	1.50	78.39

## 2.5 电解液的循环使用实验

电化学漂白几乎不消耗化学物质,同时也可以最大限度地减少废液的排放。电解完成后,滤出纸浆后的电解质溶液可以多次重复使用。由于纸浆带走和消耗的原因,需补充少量的(通常为原来添加量的 10%)支持电解质(NaCl)物质,溶液即可反复多次利用。这意味着既可以节约水的用量,又可以减少废液的排放,形成了纸浆电化学漂白的另一大特点。

采用本技术漂白 7.5g 纸浆耗电 0.36~0.50W,折算成每吨纸浆的电耗为 48~70kW·h,按每千瓦时 1 元计算,每吨纸浆的漂白成本为 48~70 元人民币左右,支持电解质的费用为 20 元左右。由于电解质溶液可以重复使用,所消耗的水的费用可以忽略不计。因此,每吨纸浆的直接费用约为 100 元,仅为一般化学漂白技术的 1/2~1/3。可见本技术除了环境友好外,经济上也存在较大优势。

## 2.6 电化学漂白作用探讨

一般认为,在电化学漂白过程中,同时产生了如下几种相互作用:(1)木(色)素物质在阳极的氧化作用,这是电化学漂白过程中最为重要的一种作用,它可以将木素的发色基团氧化成为无色物质;在阳极表面生成的活性中间体包括活性氯原子、活性次氯酸根离子、活性氧原子,由于在电化学漂白中,这些活性物质的浓度很低,可以有效地避免由于过漂白而产生的纤维损伤现象。(2)重金属离子在阴极表面的还原和析出,这一过程也可以避免纸张在放置过程中出现的颜色返黄作用,得到稳定白度的纸品。(3)在搅拌的条件下,阴极产生的活性氢原子可以有效地保护纤维素不会受到活性氯的过漂白作用。

从以上有关机理的讨论可以看出:从作用机理上来说,电化学漂白具有一般化学漂白所不具备的诸多优点。更有利于得到白度高和稳定的优质纸浆。

## 3 结论

从以上讨论可以看出,电化学漂白纸浆技术具有实施简单、成本低廉、用水节省、废液排放少、对环境友好等重要优点,是一项具有良好的应用前景的漂白技术。目前该技术最大的问题是阳极材料的问题,探索稳定、高效和价廉的阳极材料及新型的非卤素支持电解质将是一项非常有意义的工作,有待于进一步研究。

### 参考文献

- [1] 张珂 主编. 造纸工业废液的综合利用与污染防治技术. 北京: 中国轻工业出版社, 1992: 7~11.
- [2] 詹怀宇. 中国造纸, 1999, (4): 38~43.
- [3] 张光华, 田红光, 杨建桥. 西北轻工业学院学报, 1998, 16(2): 78~81.
- [4] 侯钰, 童汝亭, 贾振斌 等. 中国造纸, 1988, 7(2): 62~63.
- [5] H-C Kim, M Mickel, S Bartling et al. Electrochimica Acta, 2001, 47(5): 799~805.
- [6] L Helene, S Mohini, H Carl et al. Annual Meeting-Technical Section, Canadian Pulp and Paper Association, Preprints, 1999: A49~A52.
- [7] Q Hu, M M Sain, D Claude. International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Proceedings, 1997, 2: 123~124.
- [8] S Gerhart, M T Lee, J W Bentley. USP: 4,617, 099, 1986.
- [9] N Hamp. USP: 6,187,170, 2001.