

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.2014.04.006

气泡粘附纤维微观可视化实验研究

张文晖, 张金朝, 江晓雅

(天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学材料科学与化学工程学院, 天津 300457)

摘要: 采用 CCD 摄像法观测气泡粘附纤维的微观行为, 考察纤维性质、表面活性剂和 CaCl_2 对气泡粘附纤维的影响. 实验结果表明: 加入非离子表面活性剂 TX-100 或阴离子表面活性剂油酸钠都不利于气泡粘附纤维; 相对于长纤维 (1.1 mm), 气泡更容易粘附短纤维 (0.6 mm); AKD 施胶过的纤维更容易粘附在气泡上; 碱性 ($\text{pH} = 10.5$) 条件下加入 CaCl_2 将有利于气泡对纤维的粘附.

关键词: 纤维; 气泡粘附; 可视化; AKD

中图分类号: TS71⁺³ **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2014)04-0026-04

Visualization of Air Bubble-fiber Attachment

ZHANG Wenhui, ZHANG Jinzhao, JINAG Xiaoya

(Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Material Science and Chemical Engineering,
Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Effect of fiber properties, surfactant and CaCl_2 on the bubble-fiber attachment were investigated with CCD in this research. The results show that the addition of nonionic surfactant TX-100 or anionic surfactant sodium oleate cannot enhance the attachment. Compared with long fiber (1.1 mm), bubble is prone to attach short fiber (0.6 mm). Bubble is easy to attach AKD sized fiber. Under alkaline conditions ($\text{pH} = 10.5$), the addition of CaCl_2 can enhance bubble-fiber attachment.

Key words: fiber; bubble attachment; visualization; AKD

废纸作为一种重要的可再生资源, 其回收利用具有良好的经济及社会效益, 对环境保护和资源利用都具有十分重要的意义. 就工程技术层面而言, 通过改进废纸制浆工艺以提高二次纤维的利用率是目前解决废纸资源日趋紧张的重要途径之一.

据报道^[1], 目前工业浮选脱墨环节中本色浆的纤维流失率为 5%~12%; 而高品质浆的纤维流失率将达到 50%. 纤维流失途径主要有两种: 一是通过气泡粘附纤维进入泡沫层; 二是通过物理夹带进入泡沫层. Li 等^[2]研究发现浮选脱墨过程中长纤维较短纤维更容易流失, 认为这主要是加入表面活性剂后增强了长纤维表面的疏水性, 从而导致长纤维更容易流失. 因此他们认为, 表面活性剂改变纤维表面疏水性使得纤维更易与气泡粘附是纤维流失的主要原因. 然而, Deng 等^[3]采用间歇式浮选, 从宏观角度研

究纤维流失机理, 发现气泡粘附纤维导致的纤维流失量只占总流失量的 25%~33%.

本文从微观可视化的角度出发, 研究在不同化学环境条件下气泡粘附纤维情况, 考察各因素对气泡粘附纤维的影响.

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

9#美废、漂白硫酸盐阔叶木浆; 烷基烯酮二聚物 (AKD, 固含量 13.8%), 阳离子聚丙烯酰胺 (cPAM, 相对分子质量 1×10^7); TX-100, 化学纯, 天津江天化工技术有限公司; 油酸钠、氯化钙, 分析纯, 天津市江天化工技术有限公司.

Bauer Mcnett 纤维筛分仪, 美国 TMI 公司; 912

收稿日期: 2013-11-15; 修回日期: 2013-12-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31000284); 天津市制浆造纸重点实验室 (天津科技大学) 开放基金资助项目 (201303)

作者简介: 张文晖 (1982—), 男, 湖南人, 讲师, zhangwhui@tust.edu.cn.

型纤维分析仪,瑞典 Lorentzen & Wettre 公司;PGX 型便携式接触角测试仪,美国 Thwing-Albert 公司。

1.2 实验方法

纤维分级:采用 Bauer Mcmett 筛分仪对纸浆纤维进行分级。

纤维表面改性:先向疏解好的纸浆内加入 cPAM(用量 0.1%,相对于绝干浆)后,加入 AKD 乳液(用量 1.0%,相对绝干浆),抄片,(105 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 烘箱内烘焙 2 h,自然熟化 12 h,备用。测量时对抄好的纸片再次进行破碎并疏解成单根纤维状态。

纤维长度测量:采用 912 型纤维分析仪进行纤维长度测量。

纤维疏水性性质表征:纤维抄片后采用 PGX 型便携式接触角测试仪测量三相接触角。

气泡粘附纤维微观实验^[4]:把湿浆疏解成单根纤维(浓度约为 0.05%),倒入 100 mL 的方形有机玻璃槽中(如图 1 所示),采用磁力搅拌器搅拌纤维悬浮液,加入表面活性剂至所需浓度,混匀。通过 10 μL 注射器向有机玻璃槽内曝入一个气泡(直径约为 1.6 mm)并使之停留在曝气管口。操作有机玻璃方槽下方的微距升降台,使有机玻璃方槽缓慢上升,气泡接近纤维层并逐渐没入纤维层,直至气泡完全被纤维层所覆盖。操作微距升降台,使有机玻璃方槽缓慢下降,气泡缓慢脱离纤维层,继续使有机玻璃方槽缓慢下降,直至能够清晰地拍摄到气泡的状态为止。用 CCD 摄像头拍下粘附过程,并记录保存图像。

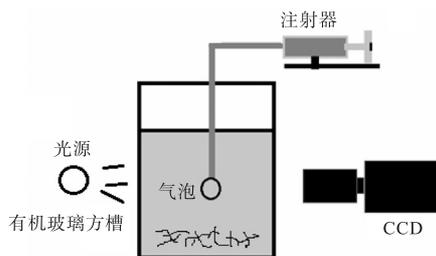


图 1 气泡粘附纤维微观实验装置

Fig. 1 Equipment of bubble-fiber attachment

2 结果与讨论

2.1 气泡粘附未改性纤维

未改性的纤维性质见表 1。由表 1 可知:未表面改性的纤维表面呈亲水性(三相接触角小于 30°)。目前,浮选脱墨主要在中碱性条件下进行,因此本实验主要考察 pH 为 7.0 和 10.5 两种典型条件下的情况。不同 TX-100 浓度和 pH 条件对气泡粘附短纤维

的影响如图 2 所示。

表 1 未改性纤维的性质

Tab. 1 Properties of unmodified fiber

纤维类型	长度/mm	三相接触角/ $^{\circ}$
未改性长纤维	1.1	< 30
未改性短纤维	0.6	< 30

注:长度为加权后的平均长度。

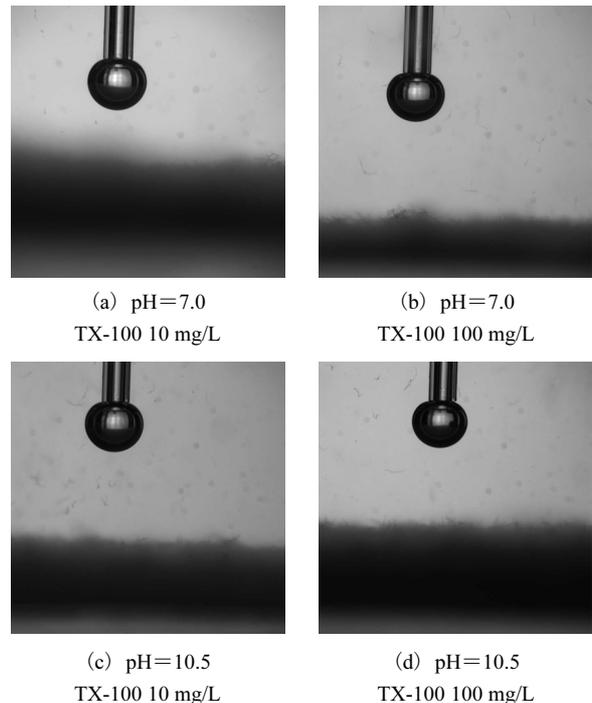


图 2 TX-100 体系中气泡粘附短纤维的可视化图像

Fig. 2 Visualization of bubble-short fiber attachment in TX-100 solution

从图 2 可以看出:在非离子型表面活性剂 TX-100 质量浓度为 10 mg/L 与 100 mg/L, pH 为 7.0 与 10.5 条件下,气泡对短纤维无粘附。此外,气泡对长纤维也无粘附(图略)。在阴离子型表面活性剂油酸钠体系中,气泡对纤维也无粘附(见图 3)。

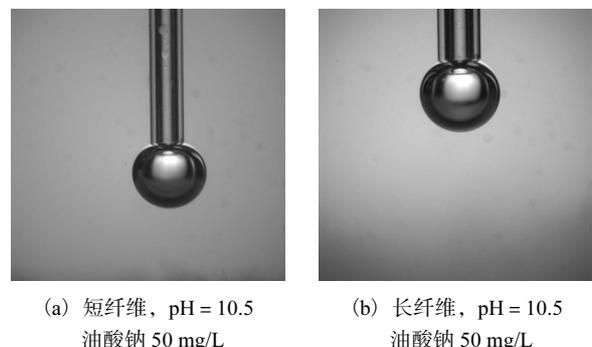


图 3 油酸钠体系中气泡粘附纤维的可视化图像

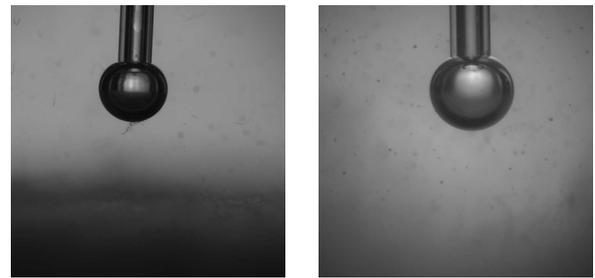
Fig. 3 Visualization of bubble-fiber attachment in oleate sodium solution

表面活性剂对气泡粘附纤维的影响原因有两方面:一方面,随着表面活性剂的加入,气泡表面会吸附表面活性剂(其疏水端向内吸附在气泡表面,其亲水端向外),从而使得气泡表面更亲水;另一方面,表面活性剂也会吸附在亲水的纤维表面,使得纤维表面更疏水. 在本实验条件下,前者的作用明显大于后者,从而导致气泡对纤维无粘附. pH 对表面活性剂体系中气泡粘附纤维影响主要是影响纤维表面不同官能团,从而影响表面的疏水性,但其影响不大^[2].

在 pH = 10.5、油酸钠质量浓度 50 mg/L、氯化钙质量浓度 100 mg/L 的条件下,在油酸钠-氯化钙体系中,气泡粘附纤维情况如图 4 所示.

由图 4 可知:气泡可以粘附短纤维,而对长纤维无粘附. 其主要原因是长纤维质量大于短纤维质量,长纤维与气泡之间粘附作用力小于长纤维在液体中有效重力. 加入氯化钙增大了气泡对纤维的粘附作用的原因可能是:其一, Ca^{2+} 或 $\text{Ca}(\text{OH})^+$ 吸附在带负电荷的纤维表面,增大了纤维疏水性^[5];其二, Ca^{2+} 或 $\text{Ca}(\text{OH})^+$ 与表面活性剂竞争吸附在气泡表面,由于正电性强和空间位阻小,导致 Ca^{2+} 优先吸附在气泡表

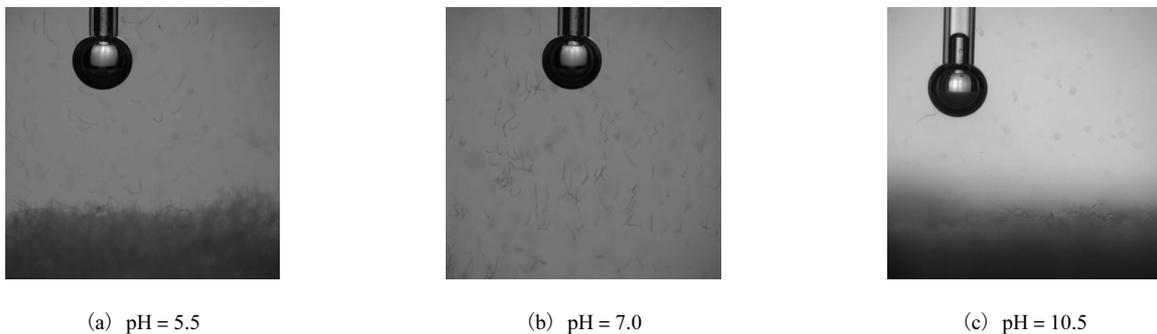
面,阻止气液界面处的表面张力过快降低.



(a) 短纤维 (b) 长纤维

图 4 油酸钠-氯化钙体系中气泡粘附纤维的可视化图像
Fig. 4 Visualization of bubble-fiber attachment in oleate sodium- CaCl_2 solution

为了进一步研究氯化钙对气泡粘附纤维的影响,实验考察 pH 分别为 5.5、7.0、10.5 的条件下,氯化钙对气泡粘附纤维的影响,结果如图 5 所示. 从图 5 可以看出:在酸性和中性条件下,气泡对短纤维无粘附作用;而在碱性条件下,气泡可以粘附纤维. 这说明氯化钙很可能是以 $\text{Ca}(\text{OH})^+$ 的形态影响气泡粘附纤维.



(a) pH = 5.5 (b) pH = 7.0 (c) pH = 10.5

图 5 氯化钙溶液 (100 mg/L) 中气泡粘附短纤维的可视化图像
Fig. 5 Visualization of bubble-short fiber attachment in CaCl_2 solution (100 mg/L)

2.2 气泡粘附改性纤维

本文通过施胶改性模拟废纸浆中施过胶的纤维. 为了便于控制施胶程度(纤维表面疏水性),采用 AKD 对阔叶木漂白硫酸盐浆纤维表面进行改性,改性后的纤维呈疏水性(三相接触角为 130° 左右,见表 2).

表 2 改性纤维的性质

Tab. 2 Properties of modified fiber

纤维类型	长度/mm	三相接触角/ $^\circ$
改性长纤维	1.1	130
改性短纤维	0.6	133

注:长度为加权后的平均长度.

从图 6 中可以看出纤维经过施胶,虽然表面呈现疏水性,但由于 TX-100 吸附在气泡表面,导致了气泡表面呈亲水化或气液表面张力的迅速降低,因此在本实验条件下,气泡对改性后纤维无粘附.

在 pH = 10.5、油酸钠质量浓度 50 mg/L、氯化钙质量浓度 100 mg/L 的条件下,在油酸钠-氯化钙体系中,气泡粘附改性纤维情况如图 7 所示. 对比图 4 和图 7 可以发现:通过纤维表面改性,增大了气泡对纤维的粘附,并且气泡对短纤维粘附量更大. 其原因主要是强化了气泡与纤维间作用或静电作用. 对比图 6 和图 7 可以发现,在氯化钙存在情况下, Ca^{2+} 或 $\text{Ca}(\text{OH})^+$ 对气泡表面的“保护”作用减少了油酸钠

在气泡表面上吸附,防止或减缓了气泡表面亲水化,因此在水质硬度大的环境中,吸附容易粘附疏水性

纤维.



(a) 改性短纤维, pH = 10.5
TX-100 10 mg/L



(b) 改性长纤维, pH = 10.5
TX-100 10 mg/L



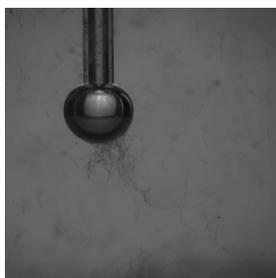
(c) 改性短纤维, pH = 10.5
油酸钠 50 mg/L



(d) 改性长纤维, pH = 10.5
油酸钠 50 mg/L

图6 表面活性剂体系中气泡粘附改性纤维的可视化图像

Fig. 6 Visualization of bubble-modified fiber attachment in surfactant solution



(a) 改性短纤维



(b) 改性长纤维

图7 油酸钠-氯化钙体系中气泡粘附改性纤维的可视化图像

Fig. 7 Visualization of bubble-modified fiber attachment in oleate sodium-CaCl₂ solution

3 结 语

采用 CCD 摄像技术可得到气泡粘附纤维的直观图像,有助于对纤维流失机理的理解. 加入表面活性剂不利于气泡粘附纤维;相对于长纤维,气泡更容易粘附短纤维;碱性条件下加入氯化钙,将有利于气泡

对纤维的粘附,从而导致纤维更易流失;施胶改性后的纤维更易粘附在气泡上.

参考文献:

- [1] Deng Y. Effect of fiber surface chemistry on the fiber loss in flotation deinking[J]. Tappi Journal, 2000, 83(6): 61.
- [2] Li M, Muvundamina M. Fractionation of fiber slurries via froth flotation and sedimentation[J]. Progress in Paper Recycling, 1995, 4(3): 32.
- [3] Deng Y, Abazeri M. True flotation and physical entrapment: The mechanisms of fiber loss in flotation deinking[J]. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 1997, 13(1): 4-9.
- [4] Omota F, Dimian A C, Blik A. Adhesion of solid particles to gas bubbles. Part 2: Experimental[J]. Chemical Engineering Science, 2006, 61(2): 835-844.
- [5] Turvey R W. Why do fibres float?[J]. Journal of Pulp and Paper Science, 1993, 19(2): J52-J57.

责任编辑:周建军