

# 印染废水超滤工艺中操作方式 对过滤速率的影响

RI Son-il<sup>1,2</sup>, 张振家<sup>1</sup>, 迟莉娜<sup>1</sup>, 周伟丽<sup>1</sup>, CHOE Won-il<sup>2</sup>, 张正林<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240; 2. 咸兴化工大学, 朝鲜 咸兴)

**摘要:** 对某印染厂废水处理站排水进行了回用处理研究。在恒压条件下, 采用聚乙烯(PE)中空纤维膜, 进行间歇曝气扫流过滤, 分析了不同操作方式对超滤速率变化的影响。结果表明曝气在超滤中能够起到防止污染的作用, 解除作用于颗粒上的抽吸力后再采用曝气扫流, 则能达到更好的扫流效果。周期运行与非周期运行之间的差距较大, 按“曝气过滤-暂停-曝气扫流” < “不曝气过滤-暂停-曝气扫流” < “连续曝气扫流”的顺序阻力增大, 因此采用周期运行方式在一定程度上可以恢复超滤速率。印染废水过滤中, 在抽吸压力小于 0.08 MPa 的范围内, 可以不考虑沉积物的压缩性。

**关键词:** 印染废水; 超滤; 曝气; 周期运行

中图分类号: TQ028.8; X703

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2009)09-0050-04

## Influence of operation conditions on filtration rate in ultrafiltration system of dyeing and printing wastewater

RI Son-il<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhen-jia<sup>1</sup>, CHI Li-na<sup>1</sup>, ZHOU Wei-li<sup>1</sup>, CHOE Won-il<sup>2</sup>, ZHANG Zheng-lin<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Department of Mechanical Engineering, HamHung Chemical University, HamHung, D.P.R. Korea)

**Abstract:** The treatment before reuse of wastewater from a dyeing and printing plant is studied. Under the constant pressure, the wastewater is filtered by polyethylene hollow-membrane which is intermittently cleaned by aeration and tractive current, and the influence of operational conditions on the filtration rate is analyzed. The result shows that aeration plays a positive role in anti-pollution of membrane. Relieving the suction force on the particles first and then adopting aeration tractive current may enhance the tractive current effectiveness. Difference between the results from cyclic operation and noncyclic operation is significant and the effectiveness is followed the sequence as (aeration filtration- pause-aeration tractive current) < (no aeration filtration- pause-aeration tractive current) < (continuous aeration tractive current). Thus the filtration rate can be resumed by the cyclic operation in certain degrees. In the course of filtrating of dyeing and printing wastewater, if the suction pressure is less than 0.08 MPa, the compressibility of cake can be ignorable.

**Key words:** dyeing and printing waste water; ultrafiltration; aeration; cyclic operation

微滤、超滤、纳滤、反渗透等膜分离技术是近来在含油废水、染料废水、造纸废水、含重金属废水和高浓度有机废水等水处理中普遍应用的分离技术<sup>[1-4]</sup>。在超/微滤中, 被截留的悬浮物发生膜细孔堵塞, 逐渐形成架桥并增厚多孔的凝胶层, 导致渗透通量的下降, 而且使膜发生劣化, 导致膜的使用寿命缩短, 因此控制和减小膜过滤过程中的浓差极化及其他膜污染十分必要<sup>[3-4]</sup>。膜性能的改善并未解决浓差极化及膜孔堵塞的问题, 浓差极化及膜污染程度主要取决于膜表面的过滤状态。研究者提出了如错流过滤<sup>[4-5]</sup>、振动型动态过滤<sup>[6-10]</sup>、电磁场动态过滤<sup>[11-12]</sup>、旋转动态过滤<sup>[8,10,13-14]</sup>、周期性反冲洗

技术<sup>[15-16]</sup>等污染防治方法。采用曝气扫流超滤是把滤饼扫下膜面以保持较高的过滤速率的一种防污染方法。笔者采用超滤工艺进一步处理印染废水处理厂排放的二次处理水, 研究了操作方式对超滤速率变化的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 废水的来源及水质特征

印染废水通过物理化学前处理及生物处理后, 排水水质分析结果如表 1。该废水的元素及阴离子分析分别采用电感耦合等离子体发射光谱仪(iCAP6300, USA)和离子色谱(MIC IC, Switzerland),

分析结果如表 2。

表 1 印染废水处理站出水水质

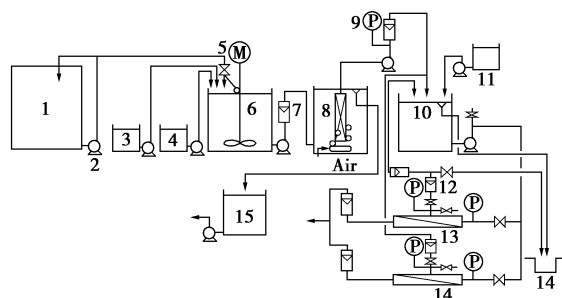
| pH   | COD/<br>mg·L <sup>-1</sup> | SS/<br>mg·L <sup>-1</sup> | 电导率/<br>μS·cm <sup>-1</sup> | 总硬度<br>(CaO + MgO)/<br>mg·L <sup>-1</sup> | 色度/<br>倍 | 细菌数                 |
|------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|----------|---------------------|
| 7.46 | 316                        | 105                       | 1767                        | 56.39                                     | 64       | 7 × 10 <sup>5</sup> |

表 2 印染废水处理站前处理工艺出水元素分析

| 元素                          | Ca   | Mg   | Na  | K    | Fe   | Al  | Si   | Cl  | SO <sub>4</sub> |
|-----------------------------|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|-----------------|
| 质量浓度/<br>mg·L <sup>-1</sup> | 43.7 | 9.67 | 297 | 4.51 | 0.65 | 0.4 | 2.77 | 570 | 654             |

## 1.2 工艺流程及实验方法

废水后处理工艺的中试流程如图 1 所示。废水后处理工艺主要由 UF 与 RO 部分组成。UF 膜组件是一个中空纤维外压式组件,有效过滤面积 75 m<sup>2</sup>。RO 膜组件是膜面积分别为 6.5 m<sup>2</sup> 的 2 支卷式膜,为保持 RO 的稳定运行需要 UF 出水的水质达到 RO 的入水标准。

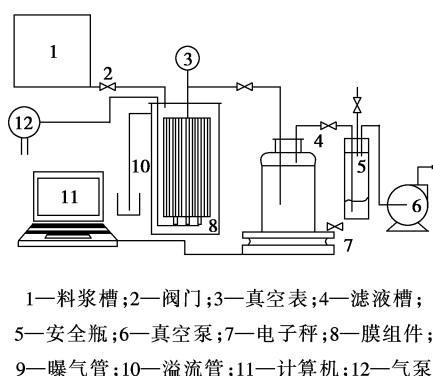


1—原水槽;2—泵;3—絮凝剂;4—pH 调整剂;5—搅拌机;  
6—混凝槽;7—流量计;8—膜组件;9—压力表;10—超滤出水槽;  
11—杀菌剂储槽;12—阀门;13—RO 膜 1;14—RO 膜 2;15—溢流槽

图 1 废水后处理工艺流程

为了确定中试 UF 的操作条件用图 2 所示的超滤实验装置进行 UF 的基础实验。实验采用有效面积为 0.0316 m<sup>2</sup> 的孔径为 0.22 μm 的聚乙烯中空纤维外压式膜组件,膜过滤压力由真空泵(SHZ-D(ⅢA),上海)的抽吸来保持恒定。曝气扫流用隔膜式气泵(ACO-9610,广东)。过滤器水位用进水阀门的开闭和溢流管来控制保持恒定。

在恒压条件下,通过 dead-end 过滤、连续曝气过滤以及运行周期分别为 15、20 min 的间歇过滤等不同操作方式进行膜过滤实验。在实验中,在线测定了滤液量随时间的变化。实验数据经过过滤方程计算后,分析了不同操作方式对超滤速率变化的影响。



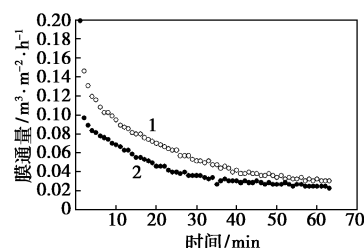
1—料浆槽;2—阀门;3—真空表;4—滤液槽;  
5—安全瓶;6—真空泵;7—电子秤;8—膜组件;  
9—曝气管;10—溢流管;11—计算机;12—气泵

图 2 超滤实验流程

## 2 结果与讨论

### 2.1 曝气对超滤速率的影响

当过滤压力  $\Delta p$  在 0.02 MPa 时,经过膜工作时段  $\Delta t$  后,测定滤液量,计算膜通量如图 3 所示。在过滤初期膜通量衰减速度较快。是因为在过滤初期膜通量比后期大,因此膜内部孔隙中及膜面上被截留的微粒量也相应增多。



1—曝气;2—不曝气

0.22 μm PE, COD = 316 mg/L,  $\Delta p = 0.02$  MPa

图 3 时间-膜通量关系

另外,过滤初期的堵塞机理主要是内孔堵塞,所以膜通量下降较快。随着过滤时间的增加,微粒主要在膜表面截留,然后被沉积层的空隙和其表面截留,从而导致总体阻力的增加,同时过滤速率逐渐减小。也可以看出,不曝气过滤速率衰减梯度比曝气过滤大。

### 2.2 周期运行对超滤速率的影响

图 4、图 5 分别为运行周期为 15 min 和 20 min 的过滤速率曲线,间歇运行每个周期包括过滤、停止、曝气扫流 3 个过程。间歇运行可以恢复膜的稳定阶段的速率,而且在前几个周期里先不曝气过滤然后曝气扫流,其过滤速率恢复比连续曝气过滤更明显,然而随着周期数的增加,2 种操作的速率恢复效果逐渐接近。这说明在膜过滤中并不只有曝气有

防止污染的效果,而根据上述的力平衡方程,停止过滤,解除作用于颗粒上的抽吸力后再采用曝气扫流,才能达到更好的扫流效果。同时可以看出,周期次数增多,2 种操作方式的差距减小,导致 2 条衰减曲线重叠,说明膜污染到一定程度后曝气 + 过滤的防污染效果不明显。

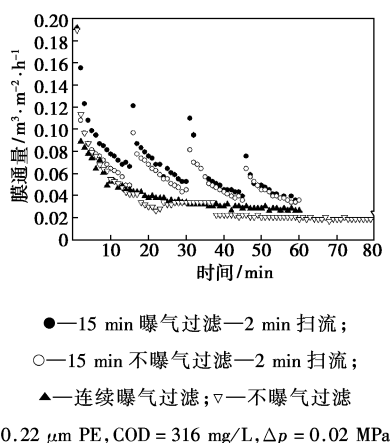


图 4 时间-膜通量关系(15 min 周期)

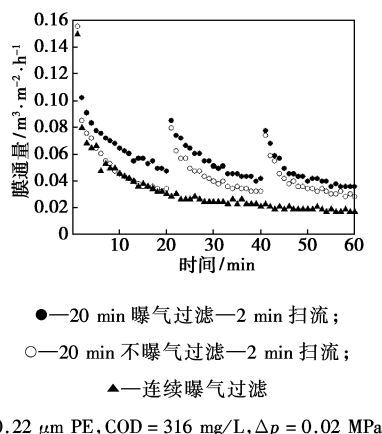
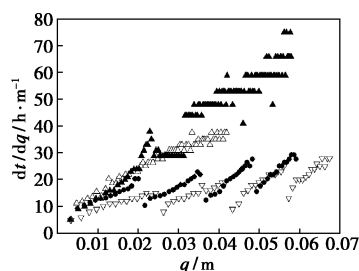


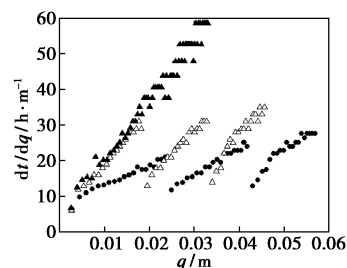
图 5 时间-膜通量关系(20 min 周期)

图 6、图 7 是周期运行的过滤阻力上升曲线,图中  $dt/dq$  为过滤速率的倒数(其表明过滤阻力), $q$  为单位面积所得的滤液量( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ )。可以看出利用周期运行方式能控制过滤阻力的继续上升,从图上的曲线可以比较在不同操作下的过滤阻力的变化,按“曝气过滤-暂停-曝气扫流” < “不曝气过滤-暂停-曝气扫流” < “连续曝气扫流”的顺序阻力增大。2 种周期运行方式下的阻力差距不大,而周期运行与非周期运行之间的差距较大,为节省曝气所需要的能量,按照具体的工况,必须采用“不曝气过滤-暂停 + 曝气扫流”的周期运行方式。为了在现场实现频繁的运行-停止的操作,需要采用自动控制系统,如可编程 PLC 控制器。



▽—15 min 曝气过滤—2 min 扫流;  
●—5 min 不曝气过滤—2 min 扫流;  
△—连续曝气过滤;▲—不曝气过滤  
0.22  $\mu\text{m}$  PE, COD = 316 mg/L,  $\Delta p = 0.02$  MPa

图 6  $q - dt/dq$  关系(15 min 周期)

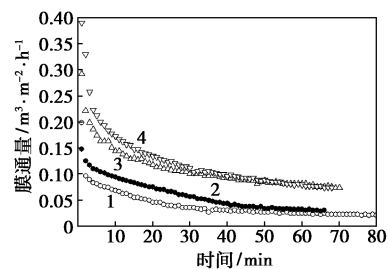


●—20 min 曝气过滤—2 min 扫流;  
△—20 min 不曝气过滤—2 min 扫流;  
▲—连续曝气过滤  
0.22  $\mu\text{m}$  PE, COD = 316 mg/L,  $\Delta p = 0.02$  MPa

图 7  $q - dt/dq$  关系(20 min 周期)

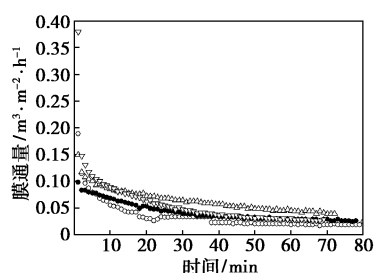
### 2.3 操作压力对超滤速率的影响

经过前处理的废水采用三氯化铁为混凝剂混凝处理后在不同操作压力下的通量衰减曲线如图 8, 未经混凝处理的对比试验结果见图 9。一般在过滤工艺中,加混凝剂后产生的絮体有压缩性的,在较低的压力下被压缩压密,导致孔隙率降低,通量很快降低。可以看出对两种料液,压力越高通量越大,抽吸压力小于 0.08 MPa,均未发生压缩压密现象。这说明在上述特征的印染废水过滤中,在抽吸过滤操作条件下,可以不考虑沉积物的压缩性。



$\Delta p$ /MPa: 1—0.02; 2—0.04; 3—0.06; 4—0.08  
0.22  $\mu\text{m}$  PE, COD = 316 mg/L

图 8 时间-膜通量关系(混凝)



$\Delta p/\text{MPa}$ : 1—0.02; 2—0.04; 3—0.06; 4—0.08  
0.22  $\mu\text{m}$  PE, COD = 316 mg/L

图9 时间-膜通量关系(非混凝)

### 3 结语

在超滤的初始阶段,由于通量大使得膜的堵塞速度也相应快,导致超滤速率衰减较快,随着过滤时间的延长,超滤速率逐渐稳定下降。曝气在超滤中能够起到防止污染的作用,而周期运行与非周期运行之间的差距较大,采用周期运行方式在一定程度上可以恢复超滤速率。在上述特征的印染废水过滤中,压力小于 0.08 MPa,可以不考虑沉积物的压缩性。

### 参考文献

- [1] 姚红娟,丁宁,王晓琳.膜分离技术在染料行业中的应用研究进展[J].现代化工,2003,23(12):15-20.
- [2] 高品,薛罡,刘振鸿,等.胶团强化超滤技术在染料废水处理中的应用研究进展[J].现代化工,2008,28(9):18-23.
- [3] 张振家.环境工程学基础[M].北京:化学工业出版社,2006:52-55.

- [4] 许振良.实用水处理技术丛书:膜法水处理技术[M].北京:化学工业出版社,2001:19-38,167-260.
- [5] 蒋军,张景来,胡军,等.动态错流过滤研究的最新发展动态[J].过滤与分离,2003,13(3):17-19.
- [6] 谷田克义,高田一贵.膜の分離特性に及ぼす振動の影響[J].化学工学論文集,2001,27(3):375-385.
- [7] 中倉英雄,則行信達,大佐々邦久.振動型フィルターによるクロスフロー精密濾過特性[J].化学工学論文集,2004,30(5):615-620.
- [8] Moulai-Mostefa N, Akoum O, Nedjihoui M, et al. Comparison between rotating disk and vibratory membranes in the ultrafiltration of oil-in-water emulsions[J]. Desalination, 2007, 206:494-498.
- [9] Beier S P, Guerra M, Garde A, et al. Dynamic microfiltration with a vibrating hollow fiber membrane module: Filtration of yeast suspensions[J]. J Membr Sci, 2006, 281:281-287.
- [10] Jaffrin M Y, Ding L H, Akoum O, et al. A hydrodynamic comparison between rotating disk and vibratory dynamic filtration systems[J]. J Membr Sci, 2004, 242:155-167.
- [11] Yang G C C, Yang T Y. Electrofiltration of silica nanoparticle-containing wastewater using tubular ceramic membranes[J]. Sep Purif Technol, 2007, 58:159-165.
- [12] Yang G C C, Yang T Y, Tsai S H. Crossflow electro-microfiltration of oxide-CMP wastewater[J]. Water Res, 2003, 37:785-792.
- [13] Brou A, Ding L H, Jaffrin M Y. Dynamic microfiltration of yeast suspensions using rotating disks equipped with vanes[J]. J Membr Sci, 2002, 197:269-282.
- [14] 王成端,陈文梅.旋转切向流强化管式膜微滤机理研究[J].膜科学与技术,2002,22(3):21-34.
- [15] 邱运仁,张启修.超滤过程膜污染控制技术研究进展[J].现代化工,2002,22(2):18-21.
- [16] Mohammed S J, Ohn T, Iritani E. 定速および定圧操作による下水二次処理水の周期逆洗型精密濾過特性[J].化学工学論文集, 2004, 30(5):561-567. ■

### 《现代化工》被评为“RCCSE 中国权威学术期刊”

在武汉大学中国科学评价研究中心(RCCSE)与武汉大学图书馆和信息管理学院联合研发完成的《中国学术期刊评价研究报告》(2009—2010)中,《现代化工》被评为“RCCSE 中国权威学术期刊”。

该课题组经过对我国万种期刊的大致浏览、反复比较和研究,从中挑选出了 6 170 种纯学术性期刊和半学术性期刊参与评价。专家们首先为“权威期刊”和“核心期刊”界定概念,所谓“权威期刊”是指刊载基金论文数量多,被读者利用次数高、广受网络用户点击、二次文献转载篇数多或被国外重要数据库收录多的期刊,它们基本上代表了该学科领域内的学术前沿;而“核心期刊”则指那些发表基金论文数量相对较多、被读者利用次数较高、网络用户点击较多、二次文献转载篇数较多或被国外重要数据库收录较多的那

些期刊,它们刊载的学术论文学术影响力较高,是该学科领域内主要成果的传播载体。研究人员将把在各学科期刊排行榜中排在最前面的 5% 的期刊定为“权威期刊”,排在前 6%~20% 的为“核心期刊”,权威期刊是核心期刊中的“核心”,是最重要的核心期刊,在学术界与科研人员心目中享有权威地位和最高学术水平。

该评价中心系统,采用定量评价与定性分析相结合的方法,构建了科学、合理的多指标评价体系,得出了 65 个学术期刊排行榜,包括分学科的 61 个排行榜和分类型的 4 个高校学报排行榜。这次共有 6 170 种中国学术期刊参与评价,计 1 324 种学术期刊进入核心区,其中权威期刊 311 种,核心期刊 1 013 种,约占总数的 21.46%。

——《现代化工》编辑部