

粉末活性炭用于反渗透进水预处理的新工艺

罗安涛, 陈晓春, 孙 巍, 彭雪飞, 刘时伟

(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘 要: 为了提高反渗透 (RO) 进水预处理效率, 减少膜污染, 本文提出一种把粉末活性炭 (PAC) 应用于反渗透进水预处理的新方法。该法应用粉末活性炭代替颗粒活性炭 (GAC), 将 PAC 悬浮流化在料液中; 部分 PAC 在系统中回流; 失活 PAC 进行适时再生。该法解决了颗粒活性炭过滤器可能会带来的生物污染问题。特别是采用 PAC 回流的方法充分利用了 PAC 的吸附能力, 节省了 PAC 的用量。

关键词: 粉末活性炭; 水处理; 反渗透

中图分类号: TQ028.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2006)03-0046-03

1 概 述

国内外大型的反渗透 (RO) 系统运行经验表明, 预处理的合理设计是反渗透能否成功运行的关键, 若无合适的预处理技术 (即膜污染控制技术), 反渗透系统就无法达到高产率、高效率, 无法延长膜寿命, 降低操作费用^[1]。

反渗透系统工艺流程是由预处理过程、膜分离过程和后处理过程组成, 典型的反渗透系统进水预处理流程如图 1 所示^[2]。

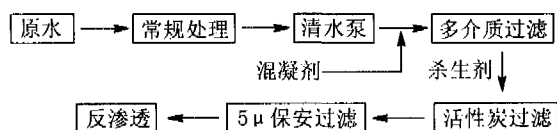


图 1 典型的反渗透系统进水预处理流程

Fig.1 Flow chart of the conventional water pre-treatment process for reverse osmosis

但传统典型的反渗透系统预处理流程存在下两大问题: 由于胶体颗粒的去除率不高, 易造成 RO 膜胶体污染; 活性炭吸附过滤器采用固定床设计, 填充颗粒活性炭, 由于无法有效地再生活性炭, 造成资源的浪费。活性炭吸附过滤器不但会逐渐失去对有机物的吸附能力, 而且还会成为细菌繁殖的温床, 加重膜的生物污染。近年来, 随着超滤膜技术的发展, 有的流程在反渗透设备的入口侧串接超滤膜过滤器^[3], 采用

此技术流程对 RO 膜的确起了很好的保护作用, 但增加了设备投资, 并且超滤膜也受着污染的困扰。

为解决上述难题本实验应用粉末活性炭 (PAC) 代替颗粒活性炭 (GAC), 抛弃固定床设计, 将 PAC 悬浮流化在料液中, 并用混凝剂混凝, 对 PAC 适时进行再生, 以解决颗粒活性炭吸附过滤器可能会带来的生物污染问题, 同时也减少了资源浪费。

2 试验方法

2.1 试验水质条件和材料

齐鲁石化公司 500# 废水含小分子有机物, 含盐量高, 色度重, 同时水质波动大, 本实验采用该废水经过常规处理后的清水作为原水, 单位进水水质: 浊度 0.94 NTU、COD 40.8mg/L、UV₂₅₄ 0.192cm⁻¹、Abs₆₆₅ 为 0.369cm⁻¹、Ca²⁺ 205 mg/L、Mg²⁺ 25mg/L 和 pH7.75。混凝剂选用硫酸铝, 质量指标为: 含量 ≥99.0%, 铁 ≤0.05%, pH 值 (1%水溶液) ≥3.0, 水不溶物 ≤0.01%, 比重 1.69。

据相应水质状况, 选用果壳物理法粉末活性炭 (PAC), 其相应技术指数: 粒度为通过 154μm (100 目) ≥80%, 亚甲基蓝 (mL/0.1g) 为 ≥8, 碘值 (mg/g) 为 1000~1250, 灰份为 1%以下。

2.2 实验装置和方法

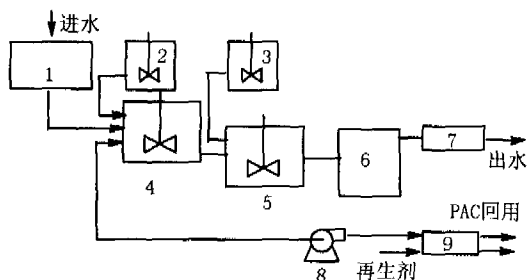
粉末活性炭用于反渗透进水预处理实验流程见图 2。实验中, 经过常规处理的原水由高位水池进入

收稿日期: 2005-07-12

作者简介: 罗安涛 (1973-), 男, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为膜分离水处理; E-mail: luantao@sina.com.

联系作者: 陈晓春, 教授, 博士生导师; 联系电话: 010-64450589。

连续搅拌接触池;PAC 与水按一定的比例在活性炭池中搅拌分散形成活性炭浆;活性炭浆经过计量定量地加入连续搅拌接触池进行不断搅拌并达到充分混合;絮凝剂经计量后定量地加入絮凝池中,并在絮凝池中对 PAC 进行絮凝;水经过絮凝后在沉淀池中沉淀分离成活性炭泥和清液;活性炭泥从沉淀池底部用泵打出,一部分循环到连续搅拌接触池中,一部分进入活性炭回收再生器并用酸或碱液和蒸汽再生后重新利用,清液经过多介质过滤器进行过滤除去悬浮微粒,然后进入下一段工序。



1.高位原水池;2.活性炭浆池;3.絮凝剂池;4.连续搅拌接触池;5.絮凝池;6.沉淀池;7.多介质过滤器;8.隔膜泵;9.活性炭回收再生器

图2 粉末活性炭用于反渗透进水预处理实验装置示意图

Fig.2 Schematic diagram of the water pre-treatment experimental set-up with powdered activated carbon for reverse osmosis

3 结果与讨论

3.1 分批实验结果

为了保证进水预处理达到最好效果,在实验装置运行前,进行了分批试验研究,对各种投加物的用量进行了优化,使每一个影响因素都能在运行时达到最佳状态。这些影响因素包括活性炭投加量的选择、活性炭停留时间的选择、活性炭和混凝剂投加顺序等。

3.1.1 PAC 停留时间的选择

活性炭(PAC)的吸附速率在不同时间是不同的,在吸附初期,吸附速率很高,随着吸附的进行,被吸附物质浓度的降低和 PAC 趋于吸附饱和,吸附速率也相应降低。吸附速率和时间的关系也不是呈线性关系。当 PAC 的浓度为 40mg/L 时,在前 10min 时,UV₂₅₄ 的去除率已达 70%,30min 时累计达 80%,再增加 PAC 的停留时间吸附效果明显下降。因此 30min 为经济停留时间。粉末活性炭在系统中可以通过回流的方式延长其停留时间,从而能充分发挥其吸附容量。

3.1.2 PAC 和混凝剂的最佳投加量选择

在分批实验过程中,分别投入不同量的粉末活性炭(PAC),接触时间为 30min,测定其紫外吸光度 UV₂₅₄、COD、Abs₆₆₅ 为波长为 665nm 的可见光吸光

度,因为该原水的最大吸收波长为 665nm,所以其值可以反映色度的去除效果)。结果如图 3 所示。

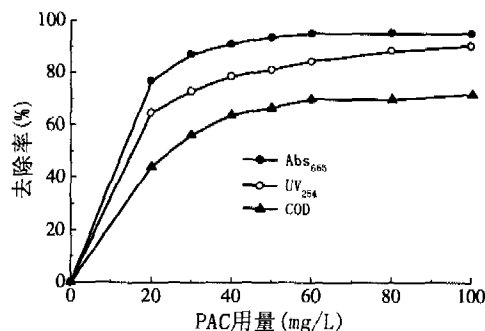


图3 PAC投加量对去除率的影响

Fig.3 Removal effect with various quantities of PAC

图 3 反映了粉末活性炭在不同投加量出水的 UV₂₅₄、COD、Abs₆₆₅ 去除率之间的相关关系,可以看出粉末活性炭对 UV₂₅₄、COD、Abs₆₆₅ 有良好的去除效果,尽管这三项指标侧重反映的水体中的有机物不一定相同,但在各种不同水源水质条件下,它们对有机物总量及其去除率有良好的相关性,均可作为总有机物去除的指标参数。

从图 3 还可以看出,随着 PAC 投加量的增加,对水中有机物的去除率在逐渐递增,处理后水的 UV₂₅₄、COD、Abs₆₆₅ 均有降低的趋势,而且对 Abs₆₆₅ 的去除情况比较理想,当 PAC 的投加量为 20mg/L 时,去除率分别约为 64%、43%、76%;但当 PAC 投加量增加到 40mg/L 时,UV₂₅₄、COD、Abs₆₆₅ 去除率分别达到 79%、63%、91%;PAC 投加量大于 40mg/L 时,UV₂₅₄、COD、Abs₆₆₅ 去除率增幅趋缓。从经济角度考虑,不宜采用过高的投加量,以降低成本。

3.1.3 混凝剂和 PAC 的相互影响

在实验中一定量的 PAC 和絮凝剂分别加入到原水中,测得其净水效果;然后两者同时加入到原水中测得其净水效果。结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出,在原水中加入 40mg/L PAC,测得其净水效果比在原水中投加 20 mg/L 混凝剂测得的净水效果要好得多,PAC 起主要的净水作用。图 4 (a) 可以看出,在原水中同时加入 40mg/L PAC 和 20 mg/L 混凝剂测得 COD 的去除率比单独投加 PAC 所得的 COD 去除率还要大,但略小于两者之和;图 4 (b) 可以看出,在原水中同时加入 40mg/L PAC 和 20mg/L 混凝剂测得 UV₂₅₄ 的去除率有时甚至比单独投加 PAC 时还小,但远大于单独投加混凝剂时的 UV₂₅₄ 去除率。这可能是因为混凝剂的加入使 PAC 的孔道受堵。混凝剂的加入可以

提高净水效率,但混凝剂会堵塞 PAC 的孔道,影响 PAC 的吸附效果,所以 PAC 和混凝剂分别在不同的投加点投入,先进行活性炭的吸附后再进行混凝,以减少它们之间的相互影响。另外,混凝剂的搅拌反应时间大于 5min 时,混凝效果略有下降,所以混凝剂的搅拌反应时间以 3~5min 为宜。

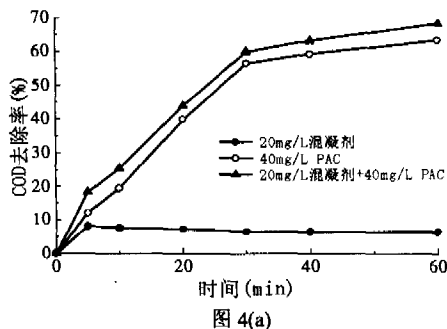


图 4(a)

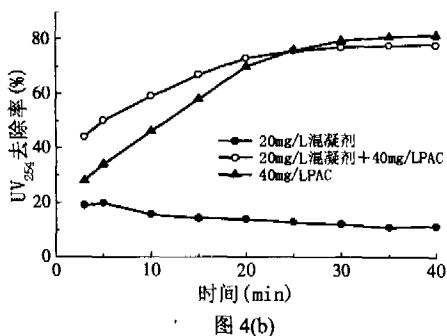


图 4(b)

图 4 混凝剂和 PAC 的相互影响

Fig.4 Mutual affection of coagulant and PAC

3.2 连续试验结果

3.2.1 PAC 回流比的影响

在装置中进行连续试验时,原水以 100L/h 的流速进入系统,PAC 在炭浆池中分散并以一定的流量进入接触池;混凝剂也以一定的流量进入混凝池。开始时活性炭泥的回流量为零,等到装置运行平稳,沉淀池中的活性炭泥达到一定的厚度后,启动活性炭泥回流系统。活性炭回流比 R 的定义为: $R = \text{回流 PAC 的质量} / \text{在接触池中新加入 PAC 的质量}$ 。在 1~5 之间变化,所得到的结果如表 1 所示。

表 1 结果表明,回流比越高,PAC 的消耗量就越小。提高回流比最高可以节省 50% 的 PAC。但回流比过高,沉淀池和过滤池的负荷增大,影响悬浮固体的去除,后续过滤器反冲洗的次数比没有回流时多一倍;同时,回流量的增加悬浮固体也增加,所用的混凝剂用量也会相应地增加,这样混凝剂的量不会因为 PAC 的耗量的减小而减小,而且活性炭泥中的净 PAC 含量会减小;回流的 PAC 的吸附能力也会变弱。

表 1 PAC 回流试验参数和结果

Table 1 Parameters and results of the experiment with re-circulation of PAC

项目	试验参数和结果			
	0	2.0	4.3	5.9
回流比 (R)	0	2.0	4.3	5.9
PAC 投加量 (mg/L)	40	30.6	24.2	20.3
PAC 节省率 (%)	0	23.5	39.5	49.1
UV ₂₅₄ 去除率 (%)				
接触池去除率	64.2	62.8	59.3	56.0
混凝池去除率	6.2	6.8	6.9	7.7
沉淀池去除率	7.7	8.0	11.9	14.2
总体去除率	78.1	77.6	77.8	77.9
浊度 (NTU)				
接触池浊度	3.71	5.68	9.66	11.11
混凝池浊度	5.46	6.73	12.21	14.21
沉淀池浊度	3.08	3.33	3.51	3.56
出水浊度	0.30	0.32	0.35	0.39
Abs ₂₅₄ 去除率 (%)				
接触池去除率	78.0	79.1	79.8	80.4
混凝池去除率	9.9	11.3	8.1	8.6
沉淀池去除率	1.8	3.5	4.2	2.2
总体 S 去除率	89.7	92.3	92.1	91.5
电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				
进水电导率	1500	1500	1500	1500
出水电导率	1588	1693	1781	1861
COD 去除率 (%)	60.4	59.3	60.2	60.1

3.2.2 水处理效果分析

PAC 悬浮流化法实验装置进行反渗透进水预处理的效果综合如下 (PAC 投加量 20~30mg/L, 回流比 R 为 3~5): COD 去除率全流程约 60%; 色度去除率全程为 90% 以上; UV₂₅₄ 下降 80% 左右; SDI < 1.5; 没有细菌的滋生。

出水水质可以满足反渗透进水的水质要求^[4], 根据以往经验, 预处理的水质 SDI 值小于 1.5, 且没有细菌滋生的情况下, 反渗透可以连续运行 2 年以上没有明显的胶体和生物污染。

4 结论

抛弃传统的固定床活性炭吸附过滤器, 将活性炭悬浮在待处理的料液中, 并用混凝剂混凝。在活性炭和混凝剂共同作用下, 可以显著地提高净水的效率, 即使对低温低浊度的水或水质很差的水, 都可以迅速形成矾花, 提高对胶体颗粒、有机物去除率。通过活性炭泥的回流, 可以充分利用活性炭, 减少活性炭的用量。由于活性炭的用量少, 且活性炭处于流动状态, 截留的活性炭可以得到适时的再生, 充分利用了资源, 又不会有细菌的滋生, 减少了细菌对 RO 膜的污染。

(下转第 65 页)

过程中, COD 和 TSS 的去除主要发生在第一段曝气生物滤池内, 而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除主要发生在第二段曝气生物滤池内, 这说明两段曝气生物滤池有利于微生物分开的驯化和培养, 这对有除磷和脱氨氮要求的废水处理工艺是非常有利的。再者可以通过研究 SBF 系统内各段滤池不同的微生物相的变化来判断生物膜是否成熟以及研究其中的生化反应机理也是十分有价值的, 而且在实际工程中通过对溶解氧的控制来调节各段体系的环境以适宜不同的微生物菌种的生长, 提高 SBF 的处理效率。

参考文献:

[1] 刘长荣. 曝气生物滤池技术应用和设计计算[J]. 给水排水, 2002,

28(7): 15-18.

- [2] 江平, 胡九成. 国产轻质球型陶粒用于曝气生物滤池的研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 459-464.
- [3] 郑俊, 程寒飞, 王晓焱. 上流式曝气生物滤池工艺处理生活污水[J]. 中国给水排水, 2001, 17(1): 51-53.
- [4] 谢曙光, 张晓健, 王占生. 曝气生物滤池最新发展和运用[J]. 水处理技术, 2004, 30(1): 4-7.
- [5] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 建筑工业出版社, 1998.
- [6] Adachi S. Reclamation and reuse of wastewater by biological aerated filter process[J]. Wat Sci Tech., 1993, 25(9): 195-204.
- [7] 郑俊, 吴浩汀, 程寒飞. 曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [8] 周群英, 高廷耀. 环境工程微生物学(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

WASTEWATER TREATMENT BY TWO-STAGE BIOLOGICAL FILTER WITH AERATION

Cao Wen-ping¹, Zhang Yong-ming², Qian Lu-hong³

(1. Teaching Department, Ganjiang University, Nanchang 310029, China;

2. Department of Environmental and Chemical Engineering, Nanchang Institute of Aeronautic Technology, Nanchang 330034, China;

3. Kunshan Huaheng Water Treatment and Equipment and Technology Co. Ltd, Kunshan, 215300, China)

Abstract: Submerged biological aerated filter tank is a new sewage treatment device and possesses the advantages of small occupying land, high efficiency and low energy consumption. This paper deals with the law of organics, TSS and ammonia nitrogen removals by treatment with two-stage biological aerated filter tank. It is showed that COD and TSS is removed mainly in the first stage, while ammonia nitrogen is removed mainly in the second stage; the microscopic analysis of microorganisms showed that the biological communities of two-stage were obviously different from each other, the effluent quality after treatment by two-stage is good and stable.

Key words: submerged biological aerated filter; biological treatment; ammoniac nitrogen; microbiological community

(上接第 48 页)

参考文献:

- [1] 曹培刚, 王文彬, 尚书仲, 刘绍义. 关于反渗透水处理系统在电厂应用的研究与探讨[J]. 工业水处理, 1999, 19(2): 35-39.
- [2] P 希利斯(英)著, 刘广立, 赵广英译. 膜技术在水和废水处理中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003, 103-104.
- [3] J-S, Kim, et al. Competitive adsorption of trace organics on mem-

brane and powdered activated carbon in powdered activated carbon-ultrafiltration system [J]. Water Science and Technology, 1996, 34(9): 223-229.

- [4] 刘茉娥. 膜分离技术应用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001, 23-26.

A NEW TECHNIQUE OF WATER PRETREATMENT BY USING POWDERED ACTIVATED CARBON FOR REVERSE OSMOSIS

Luo An-tao, Chen Xiao-chun, Xun Wei, Peng Xue-fei, Lui Shi-wei

(Institute of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of absorption and reduce the fouling of membrane, a new technique of water pretreatment by powdered activated carbon (PAC) for reverse osmosis (RO) is presented. In this new technique, PAC is substituted for GAC to make PAC suspending in feed; partial PAC is in the state of reflux in the system and the depleted PAC is regenerated timely. The method solves the problem of biological pollution caused from GAC filter, specially the adoption of PAC reflux method fully utilizes the adsorption ability of PAC and saves the PAC quantity used.

Key words: powdered activated carbon; water treatment; reverse osmosis