

# 生物活性炭强化过滤工艺影响因素的研究

任芝军, 马 军, 曹晓春

(哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘要:**通过中试模型实验考察了生物活性炭工艺对污染地表水除污染效能的影响因素。结果表明温度降低对生物活性炭去除有机物与氨氮有较大影响, 温度低于 10℃, 生物活性炭对有机物的去除率为 20% 左右, 对氨氮和亚硝酸盐氮的去除率为 20% ~ 40%; 生物活性炭工艺采用底部曝气与顶部曝气运行方式对有机物和氨氮的去除影响不大, 但采用两种曝气运行方式的生物活性炭工艺对有机污染物去除率均稍高于无曝气时生物活性炭的去除率; 实验表明空床接触时间低于 20 min 时, 有机物的去除能力明显下降, 但其对氨氮和亚硝酸盐氮的去除影响较小。

**关键词:**生物活性炭; 温度; 曝气方式; 空床接触时间

中图分类号: TU991.2

文献标识码: A

文章编号: 0253 - 4320(2006)S1 - 0201 - 03

## Study on influencing factors on biofilter enhanced filtration

REN Zhi-jun, MA Jun, CAO Xiao-chun

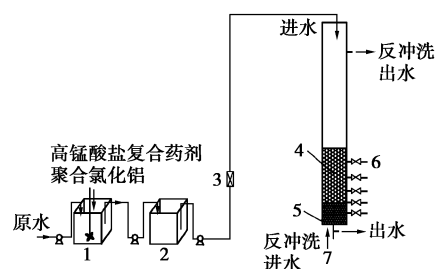
(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** A pilot-scale experiment was conducted to study the influencing factors on biofilter for the purification of polluted surface water. Results showed that low temperature (lower than 10℃) would reduce the performance of biofilters. Organic matters' removal rate was about 20% and ammonia and nitrite's removal rates were 20% - 40%. And the biofilter with top aeration or bottom aeration has a removal rate a little higher than that without aeration. Low EBCT reduced the performance of biofilters. When EBCT was lower than 20 min, organic matter removal decreased obviously, however the effect of EBCT on nitrification was not obvious.

**Key words:** biological activated carbon (BAC); temperature; aeration way; EBCT

过滤工艺是给水处理工艺中去除污染物的一个主要工序, 如何强化过滤工艺的除污染效能是目前水处理领域的研究热点。生物活性炭滤池由于具有空床接触时间短、占地面积小、处理效率高等优点而备受研究人员关注。生物活性炭滤池依靠载体上固定生长的大量微生物对有机物的分解和对氨氮的硝化从而去除水中的污染物, 因此凡是影响微生物生长代谢活性的因素, 例如温度、溶解氧、辐射、营养物质及一些有毒的化学物质等, 都会影响生物活性炭滤池的运行效果。笔者以淮河流域某水厂原水为研究对象, 通过中试实验探讨了温度、曝气方式和空床停留时间对生物活性炭滤池除污染效能的影响。

量为 30 mg/L。混凝条件: 快速搅拌 2 min, 转速为 100 r/min, 静止沉淀 1 h。为防止破坏絮体, 首先从混凝水箱中部取沉后水上清液转移到调节水箱中贮存, 再用水泵从调节水箱中提取上清液经流量计定量送入生物活性炭滤池。生物活性炭工艺采用下向流方式运行, 滤速为 6 m/h, 反冲洗采用单独水冲, 反冲洗膨胀率为 25% ~ 30%, 过滤周期为 48 h。



1—混凝水箱; 2—调节水箱; 3—流量计; 4—活性炭;  
5—石英砂; 6—取样口; 7—生物活性炭滤池

图 1 中试模型实验系统示意图

## 1 实验装置及方法

### 1.1 实验装置

实验采用“高锰酸盐预氧化-生物活性炭”处理工艺, 工艺流程见图 1。高锰酸盐 (PPC) 投量为 1.5 mg/L, 预氧化时间为 20 ~ 30 min, 聚合氯化铝投

收稿日期: 2006 - 03 - 03

基金项目: 国家“十五”重点科技攻关课题“城镇水环境关键技术” (2002BA806B04)

作者简介: 任芝军 (1978 -), 男, 博士生; 马军 (1962 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为给水处理和污水深度处理, 通讯联系人, 0451 - 86282292, majun@hit.edu.cn。

滤柱采用有机玻璃制成,高为 3 000 mm,直径为 100 mm,活性炭高度为 800 mm,粒径为 2~3 mm,活性炭底部设有 400 mm 的石英砂承托层,粒径为 1 mm。由滤柱底部向上每 200 mm 设有一个取样口,并在滤池底部设有曝气装置和反冲洗设备。

## 1.2 原水水质

实验原水水质指标见表 1。

表 1 原水的主要水质特征

项目	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	COD <sub>Mn</sub>	嗅味 (级)	温度/ ℃
	质量浓度/ mg·L <sup>-1</sup>	质量浓度/ mg·L <sup>-1</sup>	质量浓度/ mg·L <sup>-1</sup>		
数值	0.42~1.42	0.03~0.084	3.8~4.3	土腥味(V)	7~28

## 1.3 分析方法

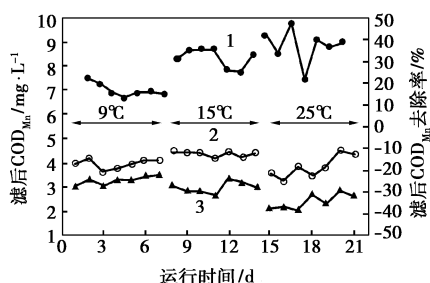
化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)和亚硝氮(NO<sub>2</sub>-N)等的测定依据国家环保总局编《水和废水监测分析方法》。

## 2 实验结果与分析讨论

### 2.1 温度对 BAC 工艺除污染效能的影响

#### 2.1.1 温度对 BAC 去除有机物效能的影响

图 2 是温度变化对生物活性炭工艺去除有机物的影响。由图 2 可知,随着温度的下降,生物活性炭对 COD<sub>Mn</sub> 的去除率呈下降趋势。平均温度在 25、15、9℃ 时,生物活性炭对有机物平均去除率分别为 36.96%、31.71% 和 23.42%。从生物活性炭进出水有机物浓度上看,进水有机物浓度不高,于 3.8~4.3 mg/L 变化,25、15℃ 时生物活性炭出水 COD<sub>Mn</sub> 值均低于国家饮用水水质标准 3.0 mg/L,分别为 2.39、2.97 mg/L,而温度低于 10℃ 时活性炭出水 COD<sub>Mn</sub> 均值为 3.02 mg/L,稍高于国家标准值。



1—COD<sub>Mn</sub>去除率;2—BAC进水;3—BAC出水

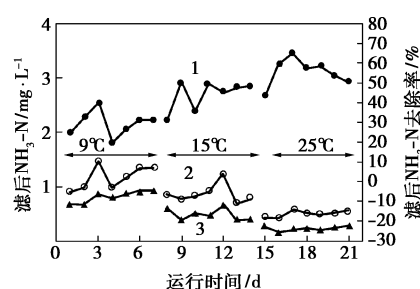
图 2 温度对生物活性炭工艺去除有机物的影响

上述结果表明,降低温度影响了生物活性炭对有机物的去除率,25℃ 和 9℃ 时生物活性炭对有机物的去除率相差可达 15% 左右。有研究表明,细菌

在其适当的温度范围内,温度每升高 10℃,酶促反应速度将提高 1~2 倍<sup>[1]</sup>,代谢速度相应提高,有利于有机物的去除。因此一般来说,夏天去除效率要高于冬天约 10%~20%。

#### 2.1.2 温度对 BAC 工艺硝化性能的影响

实验对比了不同温度下生物活性炭工艺对氨氮的去除效果,实验结果见图 3。温度的下降对生物活性炭滤池的硝化能力有明显的抑制作用。当温度高于 15℃ 时,生物活性炭对氨氮的去除率可达到 50%~75%,而当温度降低于 10℃ 以下时,对氨氮的去除率下降到 20%~40%。



1—氨氮去除率;2—BAC进水;3—BAC出水

图 3 温度对生物活性炭去除氨氮的影响

上述实验表明温度下降对硝化细菌的生物活性具有抑制作用,因而影响生物除氮的效果。Hagopian<sup>[2]</sup>研究发现硝化菌的活性在 5~7℃ 以下时会迅速下降。Groeneweg<sup>[3]</sup>等通过纯培养实验考察了温度的变化对硝化细菌活性的影响,结果表明温度为 25℃ 时亚硝酸盐氮的活性约为 15℃ 的 3 倍。Oleszkiewicz<sup>[4]</sup>发现,在低温范围内随着水温的降低,温度对硝化率的影响越大。另外其他研究结果表明,水中的氨氮是 NH<sub>3</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的总和,而亚硝化菌只能利用 NH<sub>3</sub>,NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 只有转化成 NH<sub>3</sub> 才能被亚硝化菌利用<sup>[5]</sup>。当温度较低时,NH<sub>3</sub> 在氨氮中所占的比例较低,影响了降低了亚硝化菌所能直接利用的基质浓度,进而硝化菌生长也受到限制。

### 2.2 空床接触时间对 BAC 工艺除污染效能的影响

空床接触时间(EBCT)是确定生物反应器处理能力的重要参数,是与水力负荷直接相关的设计指标。笔者在水温为 20~25℃ 时,考察了不同空床接触时间下生物活性炭滤池除污染效能。

#### 2.2.1 EBCT 对 BAC 除有机物效能的影响

表 2 是空床接触时间的变化对生物活性炭工艺去除有机物的影响。可知随着 EBCT 的减少,生物活性炭滤池对 COD<sub>Mn</sub> 的去除率呈下降趋势。EBCT 由 54 min 缩短到 27 min 时,生物活性炭对 COD<sub>Mn</sub> 的

平均去除由 55.57% 降到 50.71%, 有机物去除能力变化幅度较小; 但 EBCT 降到 18 min 和 12 min 时, 生物活性炭对 COD<sub>Mn</sub> 的去除率分别降到了 43.0% 和 33.43%, 有机物的去除能力明显下降。

Huck<sup>[6]</sup> 等的研究表明, 生物活性炭对有机物的去除率与进水浓度有很好的线性关系, 即符合 1 级反应模式, 在一定范围内, EBCT 的延长 (12 min 延长到 27 min) 对有机物去除效率的提高较为明显, 但两者不总是线性关系, 过长的 EBCT (27 min 增加到 54 min) 对提高去除率的贡献则很小。

表 2 空床接触时间对生物活性炭除有机物的影响

EBCT/ min	BAC 进水 COD <sub>Mn</sub>			BAC 出水 COD <sub>Mn</sub>		
	质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>			质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>		
	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值
54	6.50	5.30	5.76	2.94	2.27	2.55
27	7.52	5.86	6.57	3.69	2.58	3.26
18	4.51	2.21	3.74	2.56	1.45	2.11
12	4.81	4.08	4.33	3.29	2.64	2.88

2.2.2 EBCT 对 BAC 工艺硝化去除能力的影响

实验通过改变空床接触时间, 考察了生物活性炭滤池对氨氮的去除效能, 实验结果见表 3。在 54、27、18、12 min 不同空床接触时间内, 生物活性炭对氨氮的去除率分别为 78.84%、77.57%、69.86%、64.71%, 说明 EBCT 对生物活性炭的硝化性能的影响较小。这主要是由于饮用水中的氨氮浓度很低, 滤料上繁殖的自养菌属于贫营养型微生物, 这类微生物一般具有较大的比表面积, 对可利用的基质具有较大的亲和力, 也有较小的最大繁殖速度和 Monod 饱和常数 K<sub>s</sub> (为 1 ~ 10 μg/L)<sup>[7]</sup>, 并且硝化细菌具有较强的硝化能力, 世代时间长, 一旦形成稳定的硝化状态后, 氨氮能在短时间内被硝化细菌吸附、分解和氧化。

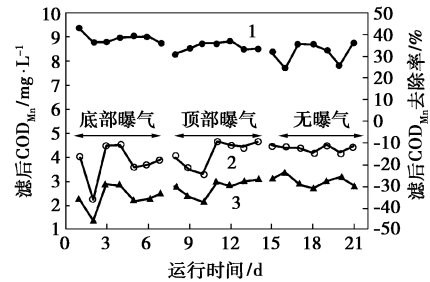
表 3 空床接触时间对生物活性炭去除氨氮的影响

EBCT/ min	BAC 进水氨氮			BAC 出水氨氮		
	质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>			质量浓度/mg·L <sup>-1</sup>		
	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值
54	0.56	0.40	0.48	0.13	0.08	0.11
27	0.56	0.50	0.53	0.14	0.10	0.12
18	0.76	0.42	0.53	0.24	0.12	0.16
12	0.58	0.40	0.48	0.18	0.15	0.16

2.3 曝气运行方式对 BAC 工艺的影响

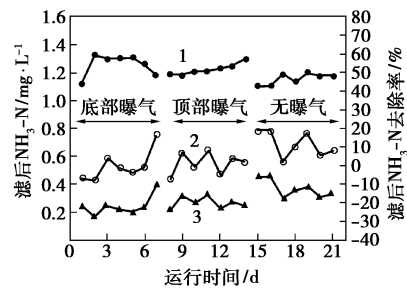
实验考察了底部曝气、顶部曝气和无曝气 3 种

曝气运行方式对生物活性炭滤池去除有机物和氨氮等的影响, 结果见图 4 和图 5。底部曝气、顶部曝气和无曝气 3 种曝气方式对有机物的平均去除率分别为 37.86%、33.97%、32.99%; 3 种曝气方式对氨氮的平均去除率分别为: 53.71%、51.71%、46.43%。



1—COD<sub>Mn</sub>去除率; 2—BAC 进水; 3—BAC 出水

图 4 曝气运行方式对生物活性炭去除有机物的影响



1—氨氮去除率; 2—BAC 进水; 3—BAC 出水

图 5 曝气运行方式对生物活性炭去除氨氮的影响

上述分析可看出, 不同曝气方式对有机物去除的影响较小; 采用底部曝气和顶部曝气, 生物活性炭对氨氮的去除率基本无影响, 而无曝气时, 生物活性炭对氨氮的去除率稍有下降。

采用不同曝气方式对生物活性炭除有机物和氨氮影响较小的主要原因是原水中有机物和氨氮含量较低, 氨氮含量一般低于 1.0 mg/L。由于生物活性炭进水中溶解氧含量较高, 因此在有机污染物浓度较低的情况下, 溶解氧不会成为生物活性炭去除有机物和氨氮的限定因素。

3 结语

针对淮河流域某水厂原水, 探讨了温度、曝气方式和空床停留时间对生物活性炭滤池除污染效能的影响。在 15 ~ 25℃ 时生物活性炭滤池对有机物和氨氮的去除受温度影响较小, 而当温度低于 10℃ 时

(下转第 205 页)

漆,放在去离子水中浸泡 24 h 以上。膜的截留性能测试条件为:操作压力为 0.4 MPa,流量为 30 L/h,料液为 1 000 mg/L  $MgCl_2$  溶液。

### 1.3 截留率和通量的计算

利用膜评价仪测试膜的透水率和截留率,膜的有效透过面积为  $19.6 \text{ cm}^2$ ,料液流速为 30 L/h。在测试之前,对膜预压 30 min,使膜的渗透性能稳定。然后测定膜的通量( $F$ )和对无机盐或有机物的截留率( $R$ )。其中无机盐浓度,通过电导率与盐浓度标准曲线来表征。根据  $F = V/(A \cdot t)$  计算膜的通量,根据  $R = C_p/C_m$  计算无机盐的截留率,其中  $F$  为通量, $V$  为透过液的体积, $A$  为膜的有效面积, $t$  为料液透过膜所经历的时间, $R$  为截盐率, $C_p$  为透过液的浓度, $C_m$  为料液的浓度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 制备条件对膜的影响

#### 2.1.1 交联剂浓度的影响

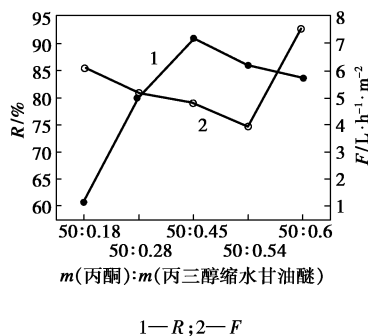


图 1 交联剂浓度对  $MgCl_2$  截留率和通量的影响

图 1 为不同浓度的丙三醇缩水甘油醚对膜性能的影响。随着交联剂浓度的增大,对  $MgCl_2$  溶液(1 000 mg/L)的截留率先上升后逐渐下降;当丙酮

(上接第 203 页)

其去除有机物与氨氮能力明显降低。EBCT 在 20 min 以上时,生物活性炭对有机物去除受 EBCT 的影响较小,当 EBCT 低于 20 min 时,生物活性炭对有机物的去除能力明显下降;但 EBCT 对生物活性炭去除氨氮的影响较小。生物活性炭采用底部曝气与顶部曝气方式对有机物和氨氮的去除影响不大,但两种曝气方式下生物活性炭的去除率均稍高于无曝气时生物活性炭的去除率。

### 参考文献

[1] 顾夏声. 废水生物处理数学模型[M]. 北京:清华大学出版社,

与丙三醇缩水甘油醚的质量比为 50:0.45 时,盐截留率达到了最大;而通量先逐渐下降后上升。当丙酮与丙三醇缩水甘油醚的质量比为 50:0.54 时,通量降到最低。这是因为随着交联剂浓度的增大,与聚合物接触机会就越多,交联反应进行越充分,导致膜表面趋于致密化,导致通量有所下降,而对盐截留率上升。综合通量和截留率考虑,交联介质丙酮与丙三醇缩水甘油醚的质量比为 50:0.45 为最佳。

#### 2.1.2 交联时间的影响

图 2 是交联时间对  $MgCl_2$  溶液通量和截留率的影响。可见随着交联时间的延长,对  $MgCl_2$  的截留率上升;当交联时间达 21 h 40 min 时,盐截留率达到了最大,随后下降。通量先逐渐下降后上升,当交联时间超过 24 h 40 min,通量出现了再次降低。这是因为随着交联时间的延长,交联度增大,膜的通量减少,而截留率上升,但是随交联时间的延长,交联反应向相反方向进行,导致交联程度很快减弱,从而使通量上升,截留率下降。但是关于通量出现了再次降低的原因,尚需进一步研究确认。

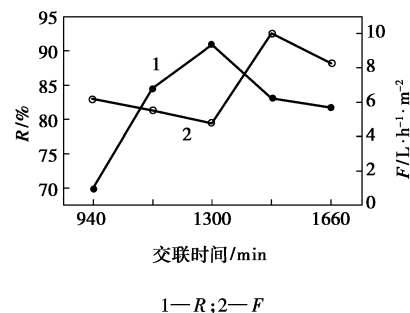


图 2 交联时间对  $MgCl_2$  截留率和通量的影响

#### 2.1.3 干燥时间的影响

流延后膜在  $50^\circ\text{C}$  下进行不同时间的干燥,其他

1993.

- [2] Hagopian D S, Riley J G. A close look at the bacteriology of nitrification [J]. Aquacult Engin, 1998, 18(4): 223 - 244.
- [3] Groeneweg J, Sellner B, Tappe W. Ammonia oxidation in nitrosomonas at  $\text{NH}_3$  concentrations near  $K_m$ : effects of pH and temperature [J]. Wat Res, 1994, 28(12): 2561 - 2566.
- [4] Oleszkiewicz J A, Berquist S A. Low temperature nitrogen removal in sequencing batch reactors [J]. Wat Res, 1988, 22(9): 1163 - 1171.
- [5] Painter H A. Nitrification in the treatment of sewage and wastewaters [M]//Prosser J I. Nitrification. Oxford: IRL Press, 1986.
- [6] Huck P M, Zhang S L, Price M L. BOM removal during biological treatment: a first-order model [J]. AWWA, 1994, 86(6): 61 - 71.
- [7] Frederick W. D-DBP rule to set tight standard [J]. AWWA, 1993, 85(11): 22 - 30. ■