

生物活性炭强化过滤工艺影响因素的研究¹

任芝军¹, 马军²

(1. 哈尔滨工程大学建筑工程学院, 哈尔滨, 黑龙江, 150001;

2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨, 黑龙江, 150090)

摘要 以某受污染地表水为研究对象, 通过中试模型试验考察了生物活性炭工艺除污染效能的影响因素。研究表明, 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要稍高于无曝气时生物活性炭的去除率; 空床接触时间实验表明, EBCT 低于 20min 时, 有机物的去除能力明显下降, 但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

Study on influencing factors on biofilter enhanced filtration

REN Zhi-jun¹, MA Jun²

(1. College of Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin Heilongjiang 150001;

2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150090)

Abstract: The pilot scale studies were conducted to illustrate the impacting factors on biofilter for the purification of polluted surface water. Three influencing factors of BAC process, including temperature, aeration way and EBCT, were conducted. The results showed that the low temperature ($< 10^{\circ}\text{C}$) reduced the performance of biofilters. Organic matters removal rate was about 20% and ammonia and nitrite removal rates were from 20% to 40%. Three kinds of aeration ways were compared. The results showed that the biofilter with top aeration or bottom aeration have a little more removal rate than that without aeration. Low EBCT reduced the performance of biofilters. When EBCT was lower than 20min, organic matter removal decreased obviously, however the effect of EBCT on nitrification was not obvious.

Keywords: Biological activated carbon; Temperature; Aeration way; EBCT

¹国家“十五”重点科技攻关课题“城镇水环境关键技术”(2002BA806B04)

通信作者: 任芝军(1978-), 哈尔滨工程大学建筑工程学院, 讲师

通信地址: 哈尔滨南岗区南通大街 145 号建筑工程学院给排水教研室, 邮编: 150001

E-mail: renzhi jun2003@126.com, 电话: 13115557461

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倍受研究人员关注。

生物活性炭滤池是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都会影响生物活性炭滤池的运行效果，例如：温度、溶解氧、辐射、营养物质及一些有毒的化学物质。

本文以淮河流域某水厂原水为研究对象，通过中试试验探讨了温度、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。

1 试验装置及方法

1.1 试验装置

试验采用“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1.5mg/L，预氧化时间为20-30min，聚合氯化铝投量为30mg/L。混凝条件：快速搅拌2min，转速为100转/min，静止沉淀1h。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6m/h，反冲洗采用单独水冲，反冲洗膨胀率为25%-30%，过滤周期为48h。

滤柱采用有机玻璃制成，高为3000mm，直径为100mm，活性炭高度为800mm，粒径为2-3mm，活性炭底部设有400mm的石英砂承托层，粒径为1mm。由滤柱底部向上每200mm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。

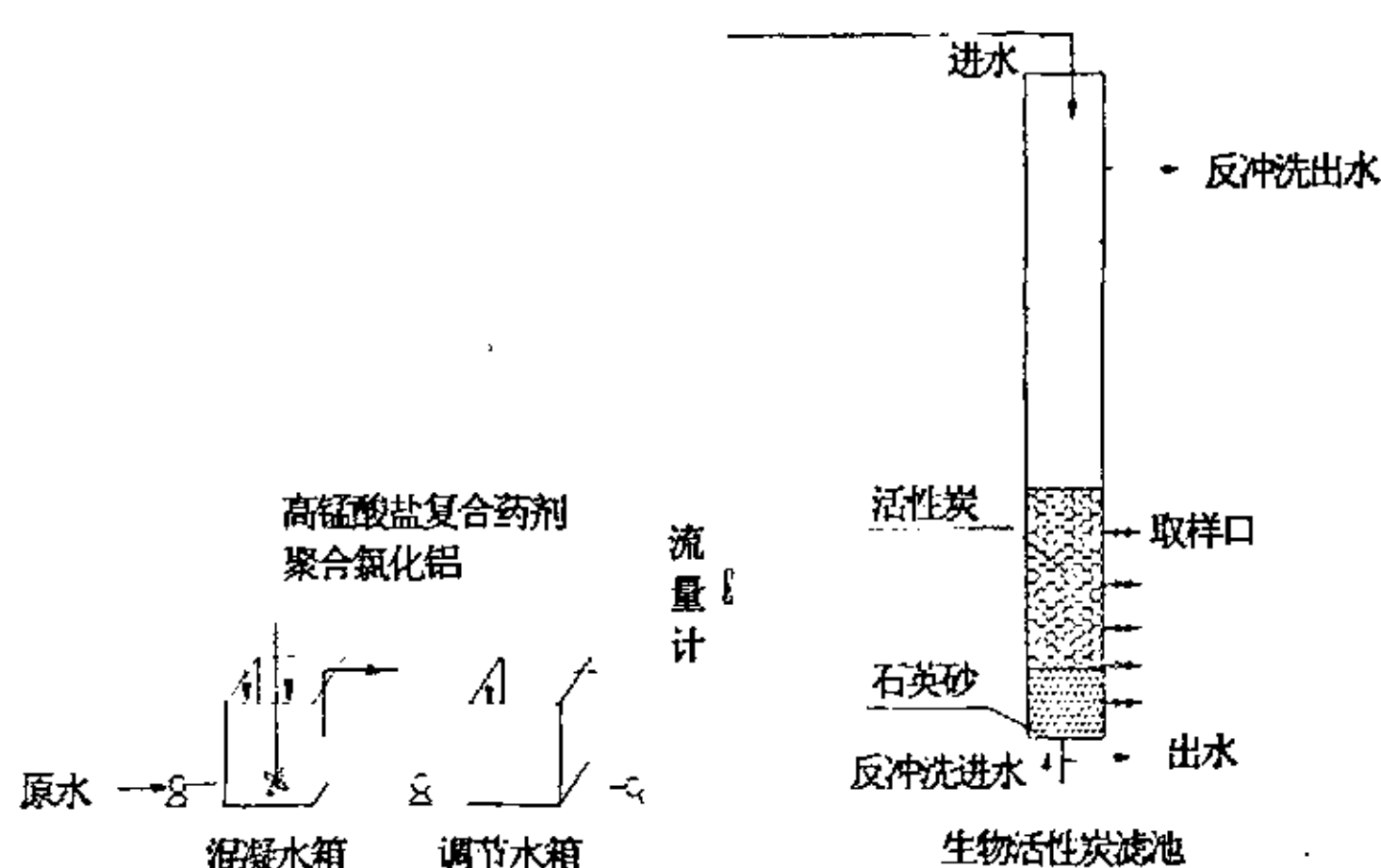


Fig.1 The schematic diagram of pilot scale experiments

图1 中试模型试验系统示意图

1.2 原水水质

试验原水水质指标见表 1。

表 1 原水的主要水质特征
Table 1 The characteristics of raw water quality

项目	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	COD_{Mn} (mg/L)	嗅味 (级)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
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

COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的测定依据国家环保总局编《水和废水监测分析方法》。

2 试验结果与分析讨论

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_{Mn} 的去除率呈下降趋势。平均温度在 25°C 、 15°C 和 9°C 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含量上看,进水有机物不高,在 3.8mg/L 到 4.3mg/L 间变化, 25°C 和 15°C 时生物活性炭出水 COD_{Mn} 值均低于国家饮用水水质标准 3mg/L ,分别为 2.39mg/L 和 2.97mg/L ,而温度低于 10°C 时活性炭出水 COD_{Mn} 均值为 3.02mg/L ,稍高于国家标准值。

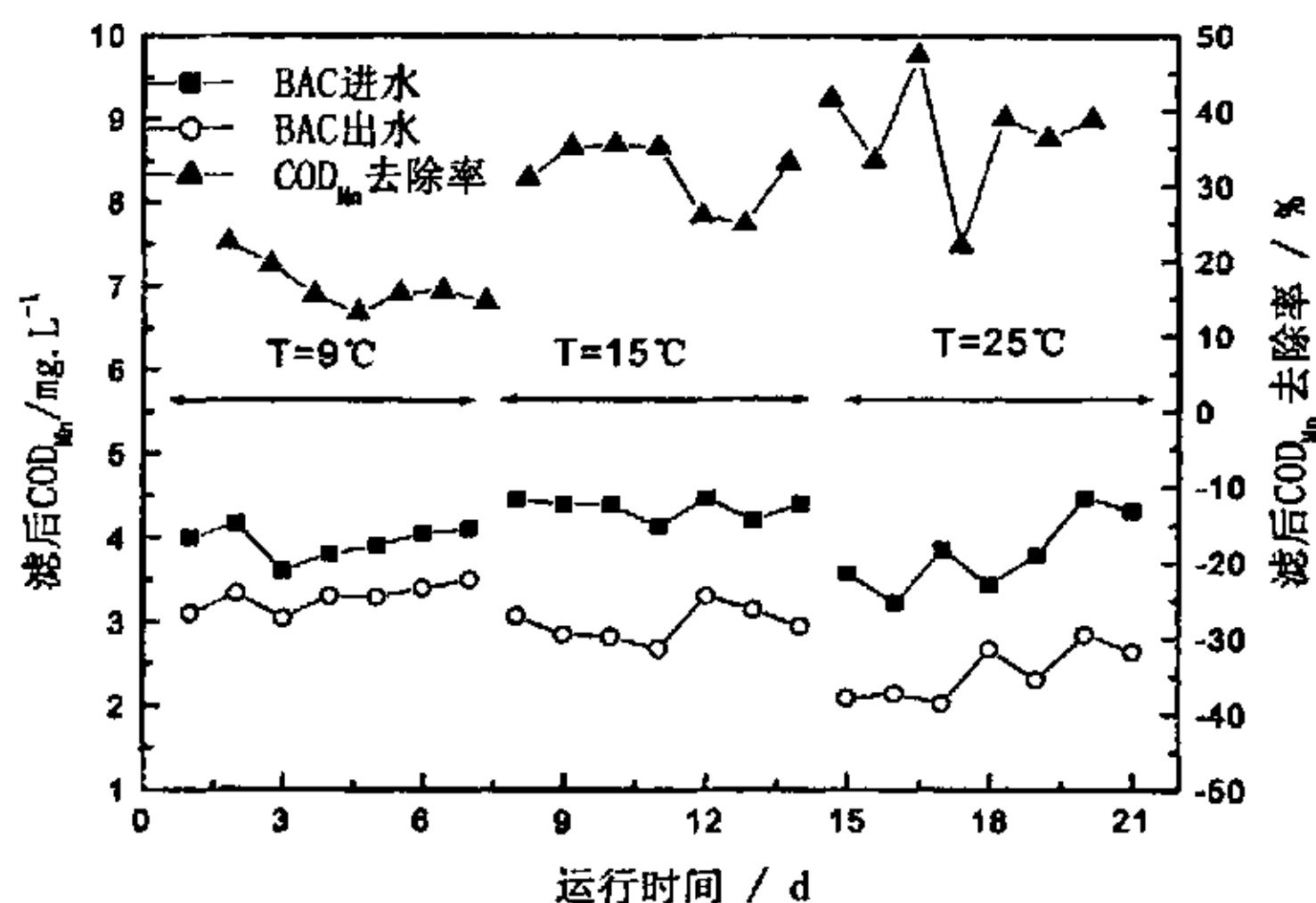


图 2 温度对生物活性炭工艺去除有机物的影响

Fig. 2 Effect of temperature on organic matters removal in BAC process

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°C 与 9°C 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°C ,酶促反应速度将提高 1-2 倍^[1],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,一般高 10%-20%。

2.1.2 温度对 BAC 工艺硝化性能的影响

试验对比了不同温度下生物活性炭对氨氮的去除效果, 实验结果见图 3。

图 3 是温度变化对硝化菌去除氨氮的影响。从图中可知, 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% 左右, 而当温度降低到 10℃ 以下时, 对氨氮的去除率下降到 20%-40% 左右。

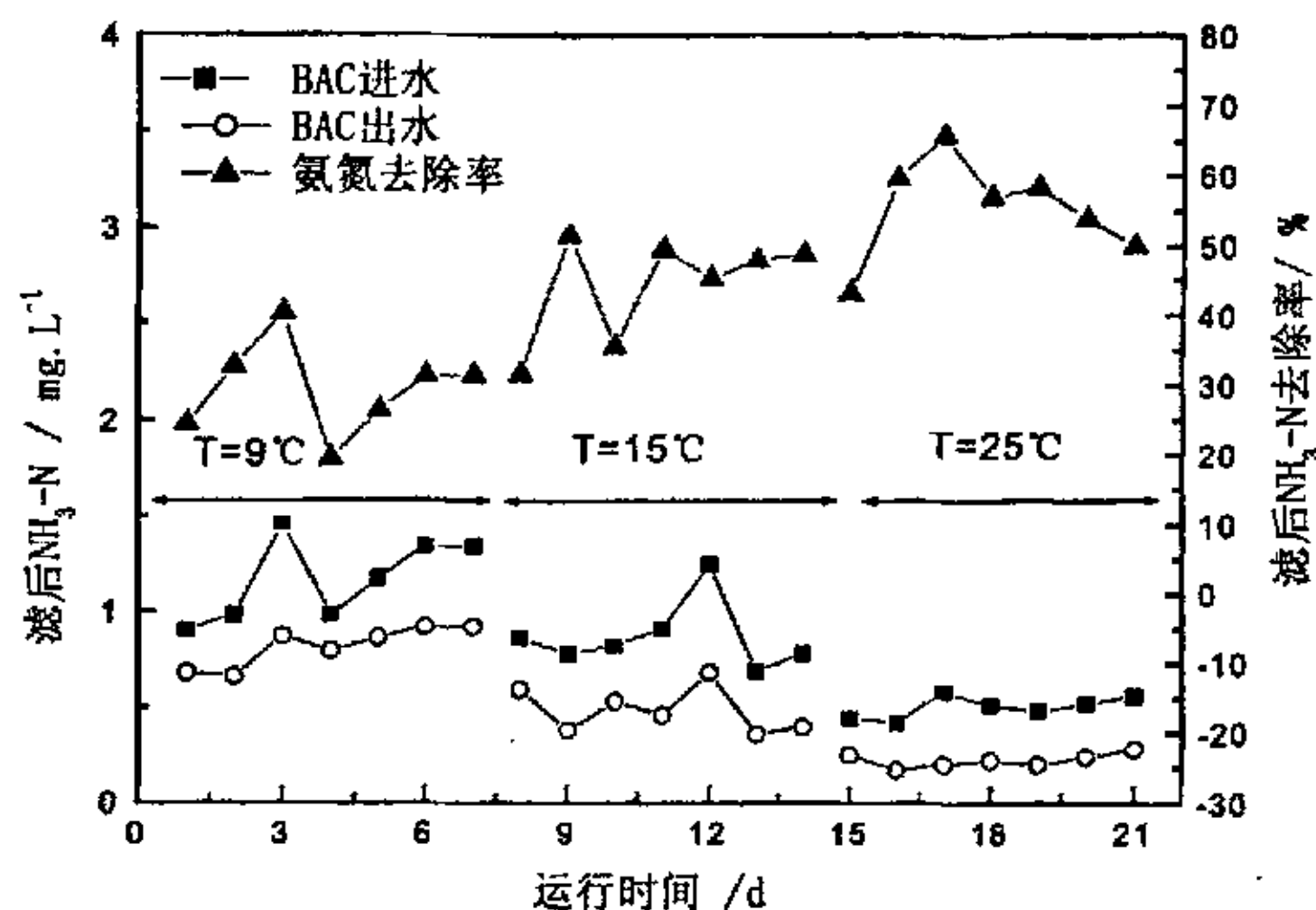


图 3 温度对生物活性炭去除氨氮的影响

Fig. 3 Effect of temperature on ammonia removal in BAC process

上述试验结果表明, 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^[2]研究发现, 硝化菌的活性在 5-7℃ 以下时会迅速下降。Groeneweg *et al*^[3] 等人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℃ 的三倍。Oleszkiewicz^[4] *et al* 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。另外其它研究结果表明, 水中的氨氮是 (NH_3 和 NH_4^+) 的总和, 而亚硝化菌所能利用的基质是 NH_3 , 而不是 NH_4^+ , 只有当 NH_4^+ 转化成 NH_3 时才能被亚硝化菌利用^[6]。当温度较低时, NH_3 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。本节试验在水温为 20-25℃ 条件下, 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

图 4 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。由图可知, 随着 EBCT 的减少, 生物活性炭滤池对 COD_{Mn} 的去除率呈下降趋势。EBCT 由 54min 缩短到 27min 时, 生物活性炭对 COD_{Mn} 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 18min 和 12min 时, 生物

活性炭对 COD_{Mn} 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。

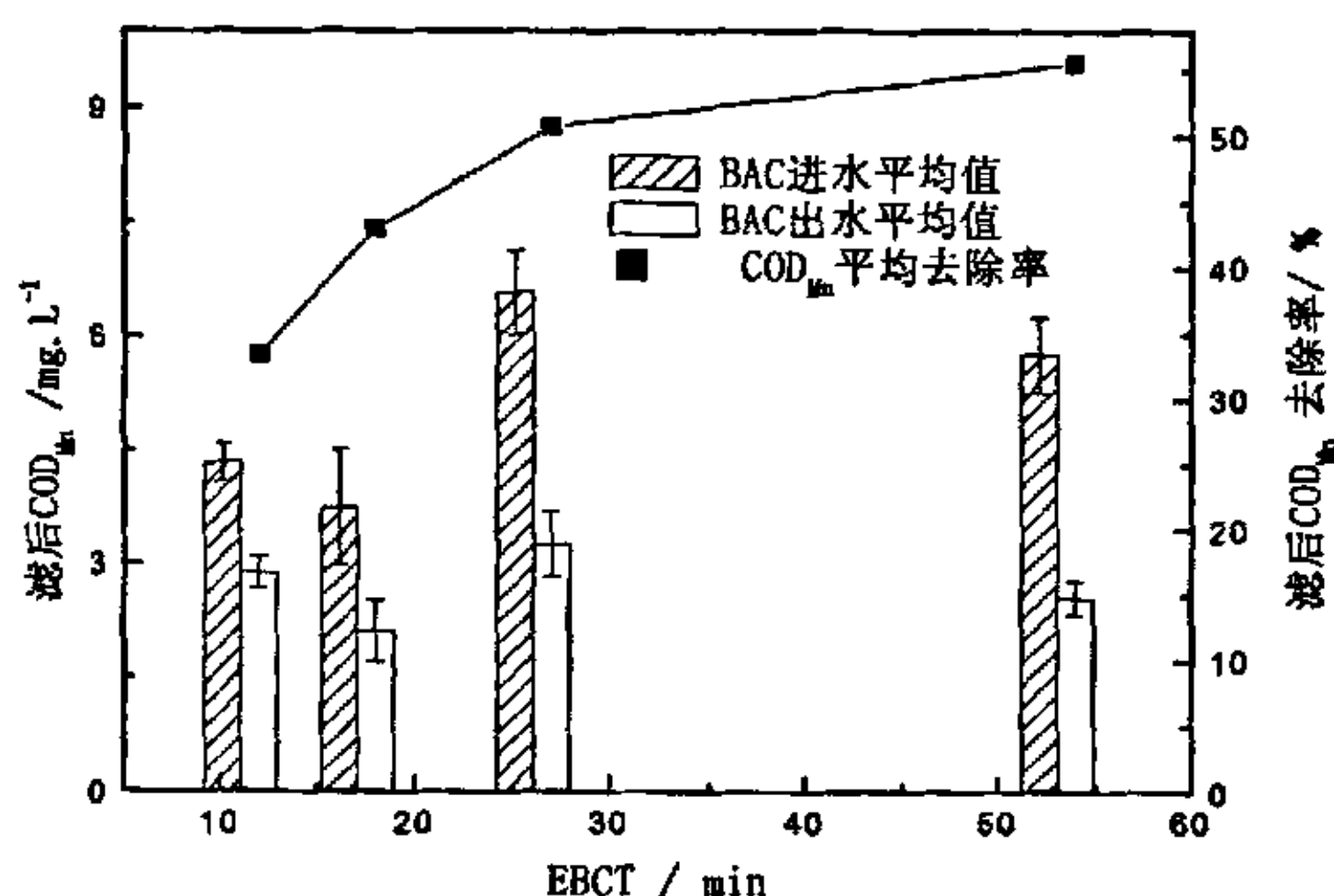


图 4 空床接触时间对生物活性炭除有机物的影响
Fig.4 Effect of EBCT on organic matters removal in BAC process

Huck^[6]等人的研究表明，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，即符合一级反应模式，在一定范围内，EBCT的延长（12min延长到 27min）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（27min增加到 54min）对提高去除率的贡献则很小。

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。

图 5 是在不同空床接触时间下生物活性炭滤池对氨氮的去除效能。在 54min、27min、18min 和 12min 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%和 64.71%，以上结果说明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_s （为 $1-10 \mu\text{g/L}$ ）^[7]，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。

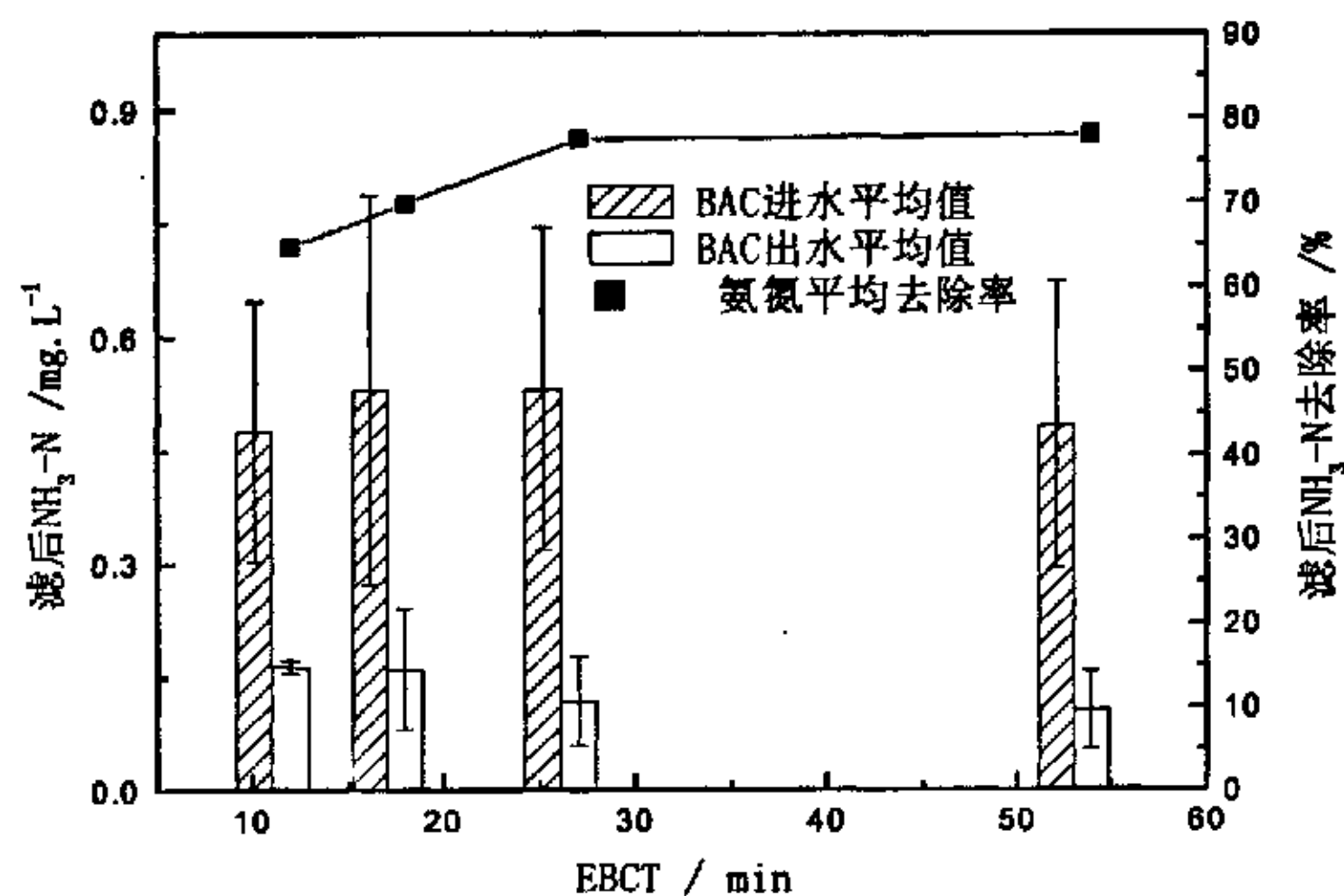


图 5 空床接触时间对生物活性炭去除氨氮的影响
Fig. 5 Effect of EBCT on ammonia removal in BAC process

2.3 曝气运行方式对 BAC 工艺的影响

本节实验考察了底部曝气、顶部曝气和无曝气三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，实验结果见图 6 和图 7。

图 6 和图 7 为三种曝气方式对有机物和氨氮的去除效果的影响。底部曝气、顶部曝气和无曝气三种曝气方式对有机物的平均去除率分别为 37.86%、33.97%和 32.99%；三种曝气方式对氨氮的平均去除率分别为：53.71%、51.71%和 46.43%。

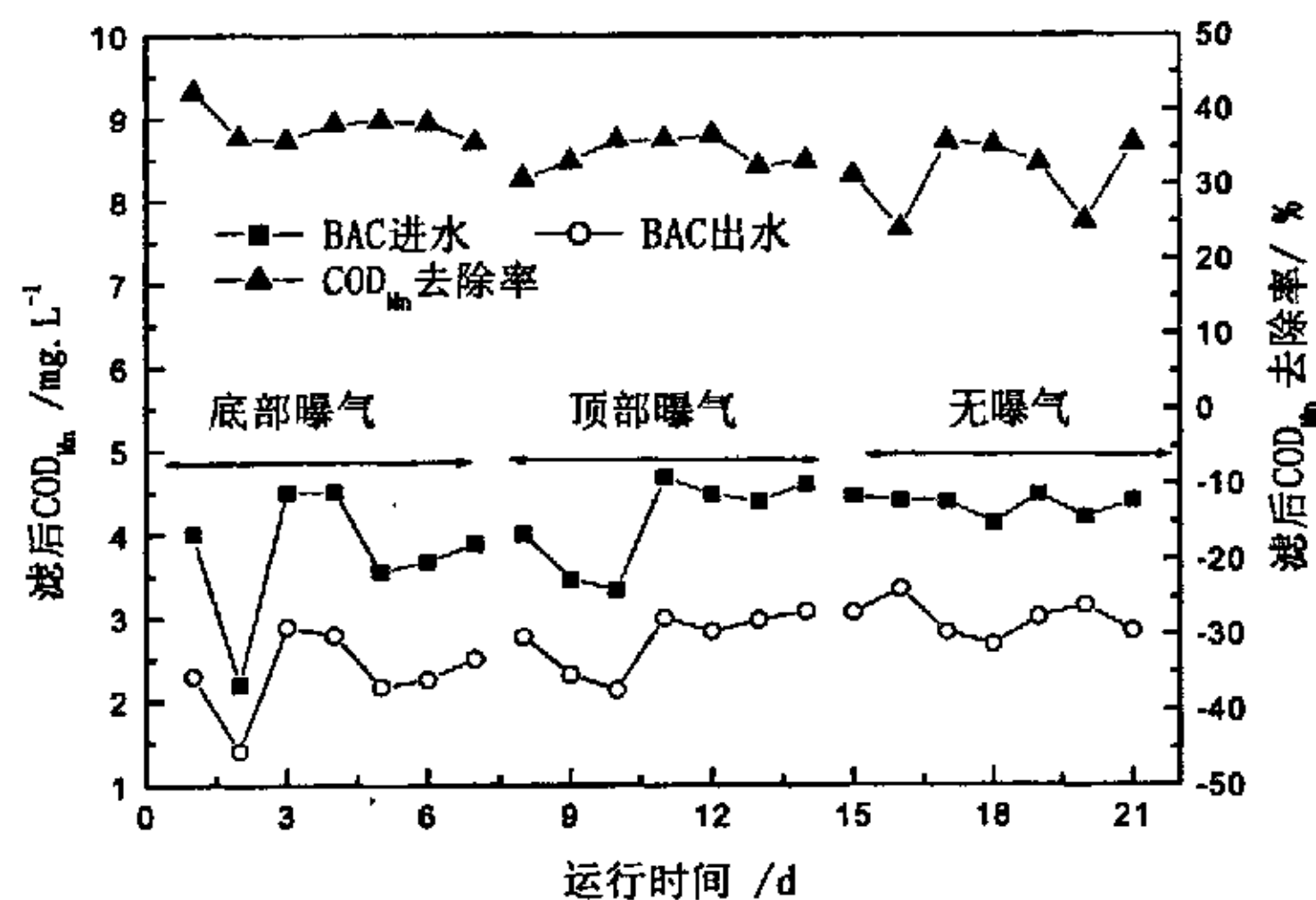


图 6 曝气运行方式对生物活性炭去除有机物的影响
Fig.6 Effect of aeration way on organic matters removal in BAC process

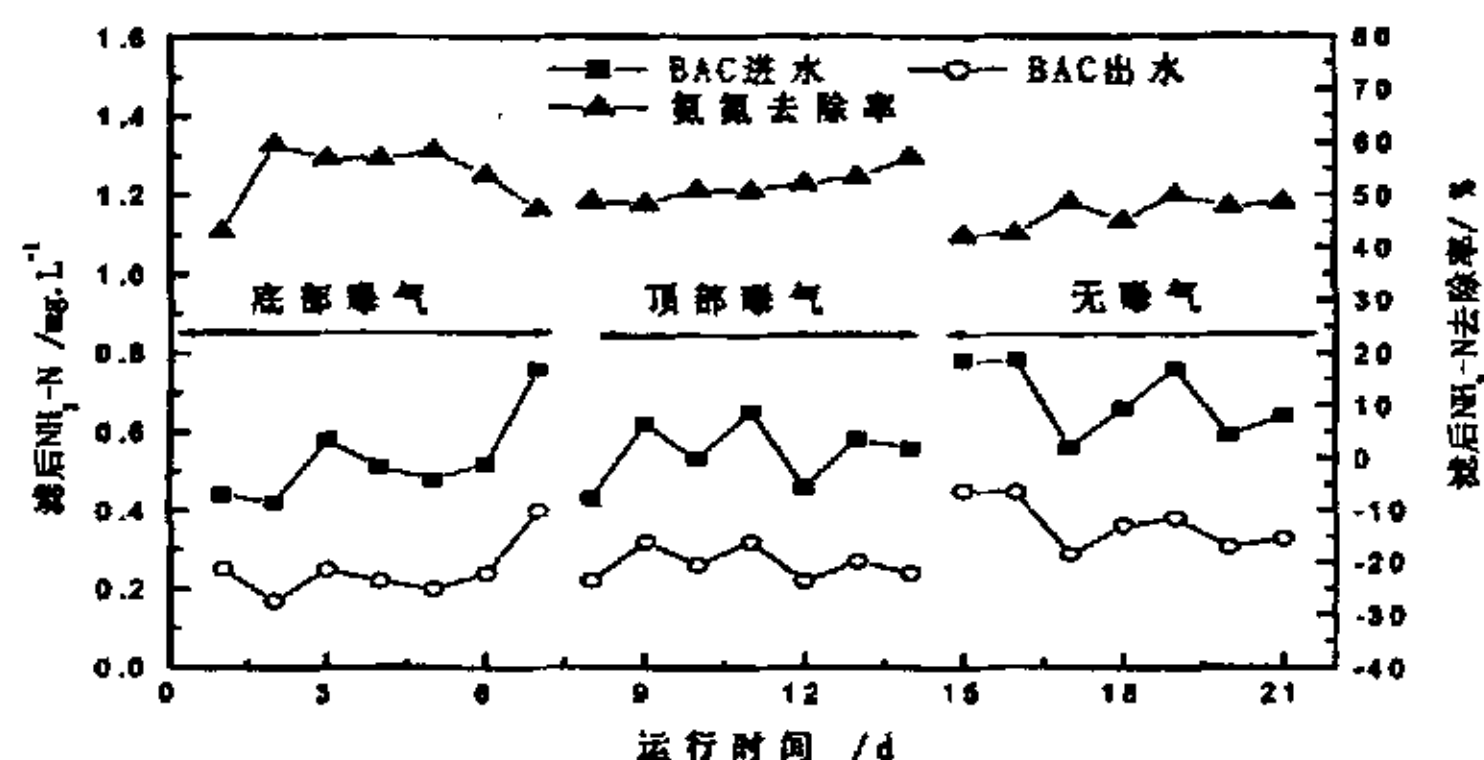


图 7 曝气运行方式对生物活性炭去除氨氮的影响

Fig.7 Effect of aeration way on ammonia removal in BAC process

由上述分析可以看出,不同曝气方式对有机物去除的影响很小;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有机物和氨氮含量较低,氨氮含量一般低于 1mg/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 结论

(1) 温度在 15 至 25℃之间变化时,生物活性炭滤池对有机物和氨氮的去除受温度影响较小,当温度低于 10℃时,生物活性炭去除有机物与氨氮能力明显降低,有机物的去除率为 20%左右,氨氮的去除率为 20%~40%。

(2) EBCT 在 20min 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 20min 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。

(3) 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要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].清华大学出版社,1993
- 2 Daniel S. Hagopian, John G. Riley. A close look at the bacteriology of nitrification [J]. Aquacult Engin, 1998,18(4):223~244
- 3 Groeneweg J. Sellner B and Tappe W. Ammonia oxidation in Nitrosomonas at 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. In Nitrification (Edited by Prosser J.I.) IRL Press, Oxford,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