

低温条件下生物陶粒反应器运行特性研究

桑军强¹, 王占生² (1. 清华大学深圳研究生院环境工程与管理研究中心, 深圳 518057; 2. 清华大学环境科学与工程系 100084, E-mail: zhlysjq@netease.com)

摘要: 针对官厅水库下游三家店水库水源进行生物陶粒预处理的现场试验, 研究低温条件下生物陶粒反应器的运行效果及其特性. 结果表明: 当水温从 10℃ 下降到 0.5℃ 时, 生物陶粒反应器对 COD_{Mn} 的去除率从 20% 左右下降到 6% 左右, 氨氮的去除率从 90% 下降到 65%. 随温度降低生物陶粒反应器去除污染物的效果下降主要是由于微生物活性随温度的降低而下降造成的, 陶粒表面的微生物量随温度的降低而减少, 但是受影响的程度比活性小得多. 陶粒表面的微生物活性与微生物量沿水流方向呈明显的下降趋势.

关键词: 生物陶粒; 生物预处理; 微污染水源水; 耗氧速率; 微生物量

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2003)02-04-0112

Performance of Bio-ceramic Reactor at Low Temperature

Sang Junqiang¹, Wang Zhansheng² (1. Research Center for Environmental Engineering & Management, Shenzhen Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518057, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: zhlysjq@netease.com)

Abstract: A bio-ceramic reactor for slightly polluted source water from Guanting Reservoir in Beijing was conducted at low temperature. It was shown that the removal rate of COD_{Mn} and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ decreased from 20% to 6%, 90% to 65% respectively when the temperature fell from 10℃ to 0.5℃. The main factor affecting the efficiency of bio-ceramic reactor was the microbial activity which decreased more than the biomass when the temperature dropped. Microbial activity and biomass in the bio-ceramic reactor were in a regular pattern of gradient distribution from the lower to the upper along the direction of raw water flow.

Key words: bio-ceramic reactor; biological pretreatment; source water; oxygen uptake rate; biomass

在给水处理中引入的生物预处理, 已经成为微污染水源水处理的一个技术发展方向和有效手段^[1]. 生物陶粒工艺是微污染水源水生物预处理的主要工艺形式之一^[2]. 虽然国内对生物陶粒预处理技术进行了许多研究^[3~6], 但是多着重于在常温下的应用研究. 对于低温条件下, 特别是对于 2℃ 以下的极低温度条件下, 生物陶粒工艺对于水中污染物的去除效果如何, 成为生物陶粒技术在我国北方推广应用所面临的重要问题. 本试验利用生物陶粒工艺对官厅水库来水进行生物预处理, 考察冬季低温条件下生物陶粒工艺的处理效果, 并进行相关的微生物学分析, 了解冬季低温条件下生物陶粒工艺的特性.

1 试验装置与方法

1.1 生物陶粒反应器试验装置

试验装置图参见图 1. 该试验装置以生物

陶粒滤柱为主体, 滤柱以有机玻璃加工而成, 柱体直径为 200 mm, 总高度 4 m, 柱体内陶粒填充高度为 2 m, 陶粒粒径为 2~5 mm.

试验过程中采用上向流方式, 水源水从底部进入, 从上部排出, 同时底部提供曝气. 滤速为 4~6 m/h, 水温高于 5℃ 时滤速为 6 m/h, 水温低于 5℃ 时滤速为 4 m/h. 气水比为 1:1.

1.2 试验用水源水质

试验用水为三家店水库水, 该水源从官厅水库流出, 经永定河山峡段流经蜂窝水库到达三家店水库. 试验期间三家店水库的水质概况见表 1.

基金项目: 科技部、水利部重大科技项目; 北京市“二四八”重大科技项目(9550610400-05-03).

作者简介: 桑军强(1974~), 男, 博士研究生, 主要从事水污染防治技术研究.

收稿日期: 2002-04-26; 修订日期: 2002-07-19

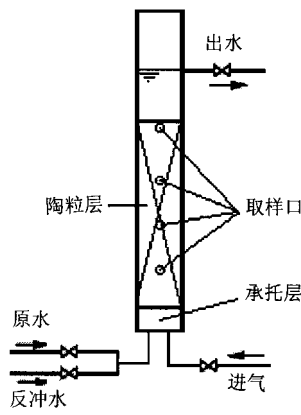


图 1 生物陶粒反应器试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the bio-ceramic reactor for testing

表 1 试验期间水源水质指标情况/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 Water quality of source water/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

指标	数值	指标	数值
COD_{Mn}	4.4 ~ 5.6	水温/ $^{\circ}\text{C}$	0 ~ 10
BOD_5	1.5 ~ 2.5	pH 值	7.3 ~ 8.5
氨氮	0.5 ~ 1.4	DO	> 6.0
浊度/ NTU	2 ~ 10		

1.3 水质分析项目与测定方法

试验过程测定的主要水质项目为 COD_{Mn} 、氨氮、浊度以及温度、DO、pH 值等辅助项目,均按国家标准分析方法进行测定。

2 试验结果与分析

试验装置自 2001 年 8 月上旬启动运行开始挂膜,由于水温较高($20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$),采用了自然挂膜的方式.一个月后 COD_{Mn} 的去除率达到 12 % 以上,认为挂膜成功,之后试验装置一直稳定运行,常温下 COD_{Mn} 的去除率为 12 % ~ 22 %,氨氮的去除率为 90 % ~ 99 %,为冬季进行低温试验创造了良好的条件.11 月开始水温下降到 10°C 以下,进行低温运行试验研究,以下为低温运行试验结果与分析,实验数据的测定从 2001 年 11 月初开始,到 2002 年 3 月底止,水温范围为 $0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

2.1 生物陶粒反应器对 COD_{Mn} 的去除效果

图 2 为生物陶粒反应器对 COD_{Mn} 的去除效果图.由图 2 可以看到,当水温在 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 时, COD_{Mn} 的去除率在 11 % ~ 23 % 之间,水温低于 5°C 时, COD_{Mn} 的去除率在 12 % ~ 5 % 之间.低温

下温度变化对 COD_{Mn} 的去除效果影响明显,接近 0°C 的极低温度条件下,去除率在 6 % 左右,水温接近 10°C 时, COD_{Mn} 的去除率上升为 18 % 左右,已经同常温下的去除效果相差不大.一方面水温降低使微生物的活性下降,另一方面生物陶粒反应器中的微生物处于贫营养的环境中,相对于水中的有机物而言,生物陶粒仍然可以提供足够的微生物量,从而在一定的低温范围内,可以抵消由于水温降低使微生物活性降低而带来的负面影响.12 月和 1 月份是水温最低的两个月,大部分时间水温低于 2°C ,在此水温下,微生物的活性进一步降低,而且生物陶粒系统中微生物量也有所下降,因此非常明显地影响到了生物陶粒反应器对有机物的去除效果。

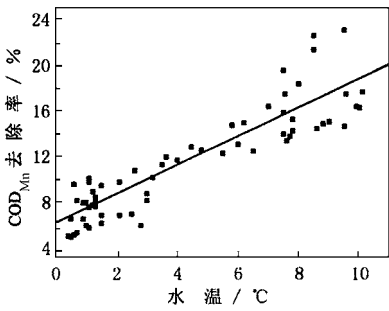


图 2 不同水温下生物陶粒反应器对 COD_{Mn} 的去除效果

Fig.2 Removal of COD_{Mn} at different temperature

同时试验过程中考察了不同水温条件下生物陶粒反应器沿程对 COD_{Mn} 的去除,试验结果见图 3.图 3 中床层深度以进水端为 0 计.可以看出, COD_{Mn} 的去除主要集中在陶粒反应器底部进水端 90cm 的床层中,水温 10°C 时此段对 COD_{Mn} 的去除达到总去除量的 85 %,水温 0.5°C 时比例有所下降,此段 COD_{Mn} 的去除达到总去除量的 65 %.这是由于进水端营养物相对较丰富,微生物活性强,微生物量多;而反应器顶部出水端部分,营养物相对较少,微生物生长受到限制,活性低,微生物总量稀少,因此生物陶粒反应器对污染物的去除主要集中在进水端,出水端部分基本上没有去除效果.在 0.5°C 的极低水温下,微生物活性大大降低,进入出水端部分的污染物相对较多,使陶粒反应器进水端部分去除比例相对降低。

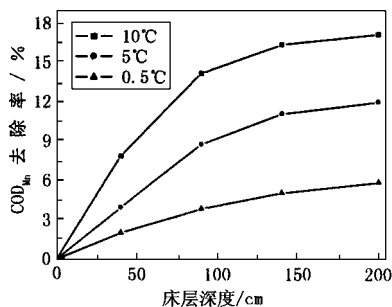


图 3 不同水温下生物陶粒反应器沿程对 COD_{Mn} 的去除

Fig.3 Removal of COD_{Mn} along the direction of water flow at different temperature

2.2 生物陶粒反应器对氨氮的去除效果

图 4 为生物陶粒反应器去除氨氮的效果。

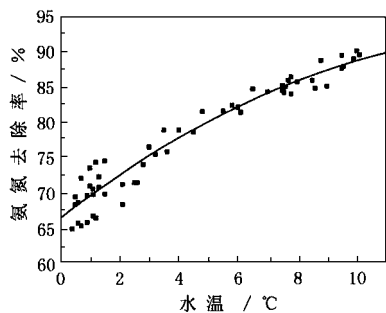


图 4 不同水温下生物陶粒反应器对氨氮的去除效果

Fig.4 Removal of NH_4^+-N at different temperature

试验表明,在 5℃~10℃时氨氮的去除率为 80%~90%,水温低于 5℃后氨氮的去除率下降到 80%以下,在 65%~80%之间.在水温最低的 12 月和 1 月,氨氮的去除率在 65%~75%之间,平均为 71%.即使在接近 0℃的极低温度下,氨氮去除率仍然维持在 65%以上,这说明低温条件下生物陶粒工艺对于水源水中氨氮的去除是很有效的。

图 5 为不同水温下生物陶粒反应器沿程对氨氮的去除,图中床层深度以进水端为 0 计.由图 5 可以看出,氨氮的沿程去除表现出同 COD_{Mn} 相似的规律,只是去除速度更加迅速,主要集中在反应器底部进水端 40cm 的床层中,水温 10℃时此段对氨氮的去除达到总去除量的 85%,水温 0.5℃时比例有所下降,此段氨氮的去除达到总去除量的 65%.极低水温下,生物陶粒反应器进水端部分对氨氮的去除比例相对降低。

3 低温条件下生物陶粒反应器微生物活性与微生物量分析

生物陶粒反应器主要是利用生长在陶粒表面的微生物对水中的污染物进行吸附和氧化分解,因此通过考察陶粒表面微生物的活性与数量可以从根本上了解生物陶粒工艺在低温下去除污染物的特性.研究生物膜中微生物活性与微生物量有多种方法^[7],本试验采用耗氧速率(OUR :Oxygen Uptake Rate)^[8,9]来测定微生物的活性,利用磷脂含量^[10,11]来表示微生物量。

表 2 是陶粒反应器内微生物活性与微生物量的测定结果.陶粒取自进水端上部 40cm 处.其中 OUR_T 表示陶粒表面微生物总的活性, OUR_H 表示陶粒表面异养微生物的活性, OUR_N 表示硝化菌与亚硝化菌的活性.磷脂含量结果 (Lipid P/陶粒) 以 nmol/g 表示。

表 2 不同温度下陶粒反应器内微生物活性与微生物量[$\text{O}_2/(\text{陶粒}\cdot\text{时间})]/\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$

Table 2 Biofilm activity and biomass at different temperature/ $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$				
水温/℃	OUR_T	OUR_H	OUR_N	磷脂含量/ $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$
0.5	7.1	1.4	5.7	61.6
5	18.6	5.3	13.3	76.8
10	28.3	9.6	18.7	91.5

由表 2 可以看到,陶粒表面的微生物量和活性随着温度的降低而降低,但是微生物活性受温度的影响更大.水温从 0.5℃上升到 5℃, OUR_T 增加 162.0%,而磷脂含量只增加了 24.7%,水温从 5℃上升到 10℃, OUR_T 增加 55.4%,磷脂含量只增加了 19.1%.由此可以推断,生物陶粒反应器随温度的降低去除 COD_{Mn} 和氨氮的效果下降主要是由于低温条件下微生物活性降低造成的.同时可以看到,温度越低,微生物活性受影响越大.0.5℃时异养菌的活性是 5℃时的 26.4%,硝化菌的活性是 5℃时的 42.9%;5℃时异养菌的活性是 10℃时的 55.2%,硝化菌的活性是 10℃时的 71.1%.异养微生物的活性受水温的影响更大,水温 0.5℃时的活性仅为 10℃时的 14.6%,而硝化菌在 0.5℃时的活性为 10℃的 30.5%.由此可以解释在接近 0℃的极低的温度条件下,生物

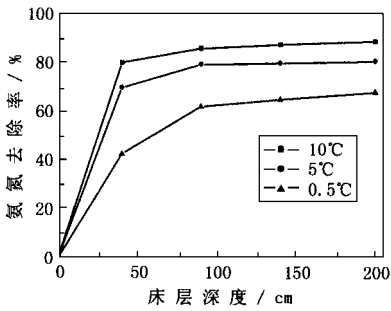


图 5 不同水温下生物陶粒反应器沿程对氨氮的去除
Fig.5 Removal of NH_4^+-N along the direction of water flow at different temperature

陶粒反应器对氨氮的去除仍然可以保持 65 % 的去除,而 COD_{Mn} 的去除仅为 5 % 左右.

图 6 与图 7 分别为不同水温下生物陶粒反应器沿程陶粒 OUR_T 和磷脂含量的变化趋势图.从图中可以看到,从陶粒反应器底部到上部,微生物活性与微生物量均呈下降趋势,反应器底部的微生物量与微生物活性远远高于顶部.温度的降低使生物陶粒反应器中微生物活性减弱,微生物量降低,受温度影响最大的部分是生物活性最高,微生物最集中的底部进水端.

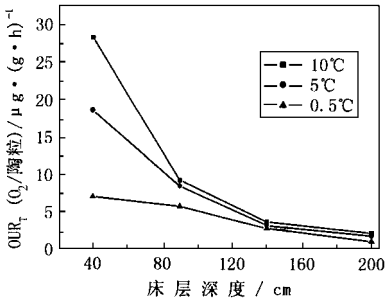


图 6 不同水温下生物陶粒反应器沿程 OUR_T
Fig.6 OUR_T along the direction of water flow at different temperature

4 结 论

(1) 在气水比为 1:1,水温在 5 °C ~ 10 °C,滤速 6 m/h 的运行条件下,生物陶粒反应器对进水中 COD_{Mn} 的去除率在 11 % ~ 23 % 之间,氨氮的去除率为 80 % ~ 90 %;水温低于 5 °C 时,滤速降为 4 m/h, COD_{Mn} 的去除率为 12 % ~ 5 %,氨氮的去除率为 65 % ~ 80 %.

(2) 生物陶粒反应器随温度的降低去除 COD_{Mn} 和氨氮的效果下降主要是由于低温条件

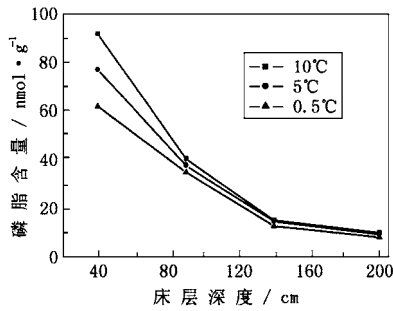


图 7 不同水温下生物陶粒反应器沿程磷脂含量
Fig.7 Phospholipid content along the direction of water flow at different temperature

下微生物活性降低造成的,温度越低,微生物活性受影响越大,0.5 °C 时反应器底部 40cm 处微生物的 OUR_T 为 10 °C 时的 25.1 %,微生物量受温度影响的程度则小得多,0.5 °C 时的微生物量为 10 °C 时的 67.3 %.

(3) 生物陶粒反应器对污染物的去除主要集中在生物陶粒反应器下半部分,陶粒反应器内从底部进水端到顶部出水端,微生物量与微生物活性呈下降趋势,反应器底部的微生物量与微生物活性远远高于顶部.

参考文献:

- 1 邓志光. 生物处理在给排水处理中的应用. 中国给水排水, 1991, 7(5): 41 ~ 44.
- 2 王占生, 刘文君. 微污染源饮用水处理. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 133 ~ 142.
- 3 薛记中. 生物陶粒滤池预处理滏阳河微污染源水. 中国给水排水, 1999, 15(11): 66 ~ 68.
- 4 黄晓东, 曹天宏, 谭为民等. 生物陶粒处理深圳水库水的试验研究. 环境科学, 1998, 19(11): 60 ~ 62.
- 5 吴为中, 王占生. 水库水源水生物陶粒滤池预处理中试研究. 环境科学研究, 1999, 12(1): 10 ~ 14.
- 6 李永秋, 王占生. 生物陶粒反应器水源水处理工艺研究. 青岛建筑工程学院学报, 1994, 15(4): 24 ~ 29.
- 7 Lazarova V, Manen J. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. Wat. Res., 1995, 29(10): 2227 ~ 2245.
- 8 Cristina Fonseca A, Scott Summers R, Hernandez. Mark T. Comparative measurement of microbial activity in drinking water biofilters. Wat. Res., 2001, 35(16): 3817 ~ 3824.
- 9 Joanna Surmacz-Gorska et al. Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen uptake rate (OUR) measurements. Wat. Res., 1996, 30(5): 1228 ~ 1236.
- 10 Robert H Findlay, Gary M King, Les Watling. Efficacy of phospholipid analysis in determining microbial biomass in sediments. App. Envir. Micro., 1989, 55(11): 2888 ~ 2893.
- 11 于鑫, 张晓键, 王占生. 饮用水生物处理中生物量的脂磷法测定. 给水排水, 2002, 28(5): 1 ~ 4.