

生物陶粒柱 - PAC - 膜过滤装置系统处理饮用水实验研究

张捍民¹, 张 威², 王宝贞³

(1. 大连理工大学 环境科学与工程学院, 辽宁 116012; 2. 大连市教委基建办公室, 辽宁 116021;
3. 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 黑龙江 150090;)

摘要:生物陶粒柱和粉末活性炭作为淹没式中空纤维膜过滤装置的预处理工艺不仅解决了膜过滤装置氨氮去除不利的弱点, 避免了亚硝酸盐氮的积累, 而且在浊度、细菌、有机物等方面极大地降低了膜过滤装置的负荷。生物陶粒柱 - PAC - 膜过滤装置系统高锰酸盐指数平均去除率为 76.97%, 氨氮和亚硝酸盐氮的平均去除率分别达到了 95.50% 和 99.15%。

关键词:生物陶粒柱; 粉末活性炭; 淹没式中空纤维膜过滤装置

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-1264(2001)06-0054-03

A Study on Pollutants Removal by Biological Ceramic Column - PAC - submerged hollow Fiber Filtration Set System

ZHANG Han-min¹, ZHANG Wei², WANG Bao-zhen³

(1. School of Environ. Sci. and Technol., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116012, China;

2. Dalian City Education Committee, Dalian 116021, China;

3. School of Municipal & Environmental Engineering Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Biological ceramic column and PAC as the pretreatment of submerged hollow fiber filtration set can completely solve the problem of inefficiency in treating the ammonia nitrogen, and avoid the nitrite nitrogen accumulation, reduce the load of membrane filtration set in the treatment of turbidity, bacteria, iron, manganese and organic matter etc. In biological ceramic column - PAC - submerged hollow fiber filtration set system, the average removal efficiency of Permanganate Index, ammonia and nitrite is 76.97%, 95.50% and 99.15% respectively.

Key words: biological ceramic column; powdered activated carbon(PAC); submerged hollow fiber membrane filtration set

从前部分研究可以看出^[1,2], 淹没式中空纤维膜过滤装置无论是自身还是与颗粒活性炭柱联用处理饮用水对氨氮的去除都是不理想的。而氨氮是我国地表水体中出现频率相当高的超标污染物之一, 为保证饮用水安全, 必须采取相应的处理措施。而生物处理技术是目前解决饮用水氨氮问题最有效、最经济的方法之一^[3-5]。本文主要探讨采用生物陶粒柱和粉末活性炭作为淹没式中空纤维膜过滤装置的预处理工艺处理饮用水的实验研究

1 实验材料及装置

生物陶粒柱水流方向采用上向流, 填充厚度 61 cm, 填料总体积 4.8 L。生物陶粒柱底部装有曝气头, 提供微生物生长代谢所必须的氧气。气水比为 1:1, 淹没式中空纤维膜过滤装置中曝气强度为 0.1 m³/h, 空压机曝气。实验其它主要装

置的规格及工艺参数见前部分研究^[1,2]。实验装置如图 1 所示。

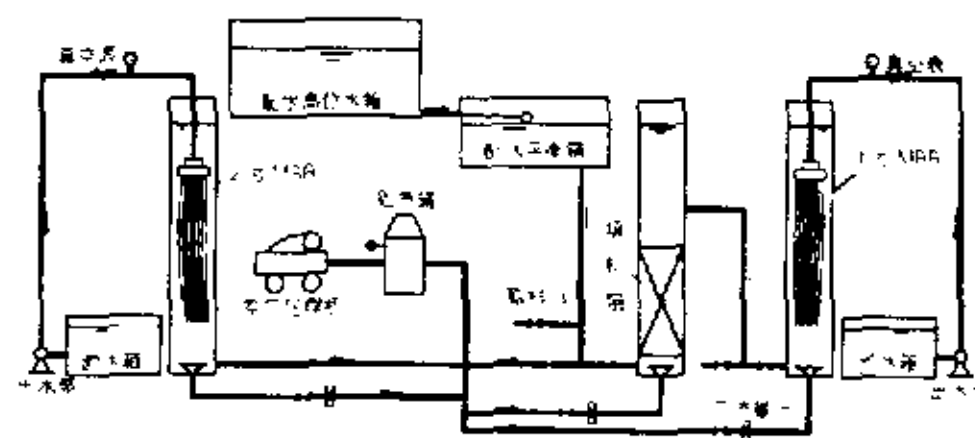


图1 实验装置示意图

2 实验方法

取库水, 粗滤后作为实验用原水进行试验。生物陶粒柱采用充氧自然挂膜方式, 启动时间为10月中旬。挂膜期间生物陶粒柱流量 8 mL/min, 停留时间为 8 h。因此时水温较低, 在 15℃ 左右, 挂膜 10 d, 氨氮去除率仅达到 11%。为加快挂膜速度, 保证生物陶粒柱的优异性能, 采用恒温器对

生物陶粒柱加热,恒温 25℃。加热后,生物陶粒柱对氨氮的去除率迅速升高,但出现了亚硝酸盐的积累。一个月左右的时间后,生物陶粒柱对氨氮、亚硝酸盐和高锰酸盐指数的去除率基本稳定在 80%、90% 和 40% 左右,逐渐调整进水流量,转入正常的稳定运行阶段。

实验中,生物陶粒柱与淹没式中空纤维膜过滤装置采用串联运行方式,实验初期不投加粉末活性炭,在实验进行到第 15 天时,粉末活性炭直接加入淹没式中空纤维膜过滤装置的膜反应器中,使其浓度为 250 mg/L。变化淹没式中空纤维膜过滤装置的透过膜压力,使出水量始终维持在 2.4 L/h,生物陶粒柱停留时间 120 min,实验连续运行。另设 2 号淹没式中空纤维膜过滤装置与生物陶粒柱-PAC-膜过滤装置系统并联运行,以做对比实验研究。为保证两膜过滤装置反应器内水温相同,采用恒温器调节。

3 实验结果及分析

3.1 浊度及细菌的去除

进水浊度在 2-10 NTU,生物陶粒柱-PAC-膜过滤装置系统(以下简称系统)出水浊度与 2 号膜过滤装置出水浊度基本一致,实验过程中始终小于 0.25 NTU。生物陶粒柱浊度平均去除率为 67.44%。系统和 2 号膜过滤装置出水细菌总数均为零。当进水细菌总数在 10^3 - 10^4 个/mL 范围内时,生物陶粒柱出水细菌总数减少了 60%-72%。

生物陶粒柱对浊度和细菌的有效去除,使淹没式中空纤维膜过滤装置的进水浊度和细菌保持在较低的范围,大大减轻了膜过滤装置的负荷。

3.2 高锰酸盐指数的去除

进水高锰酸盐指数浓度 4.64-9.76 mg/L,生物陶粒柱高锰酸盐指数平均去除率为 51.64%。1 号膜过滤装置 12 月 3 日前高锰酸盐指数平均去除率为 22.14%,12 月 3 日投加 250 mg/L 的粉末活性炭之后平均去除率为 49.89%。1 号膜过滤装置高锰酸盐指数去除率的提高使系统的高锰酸盐指数去除率由平均 59.23% 增至平均 76.97%。2 号膜过滤装置的高锰酸盐指数去除率从曲线上看有逐渐提高的趋势,是由于异养菌附着于膜丝表面生长繁殖增进了对高锰酸盐指数的去除,另外,浓差极化及污染物质在膜孔内的吸附和膜表面的沉积,会造成超滤膜分离范围的改变。2 号膜过滤装置高

锰酸盐指数平均去除率为 39.19%。

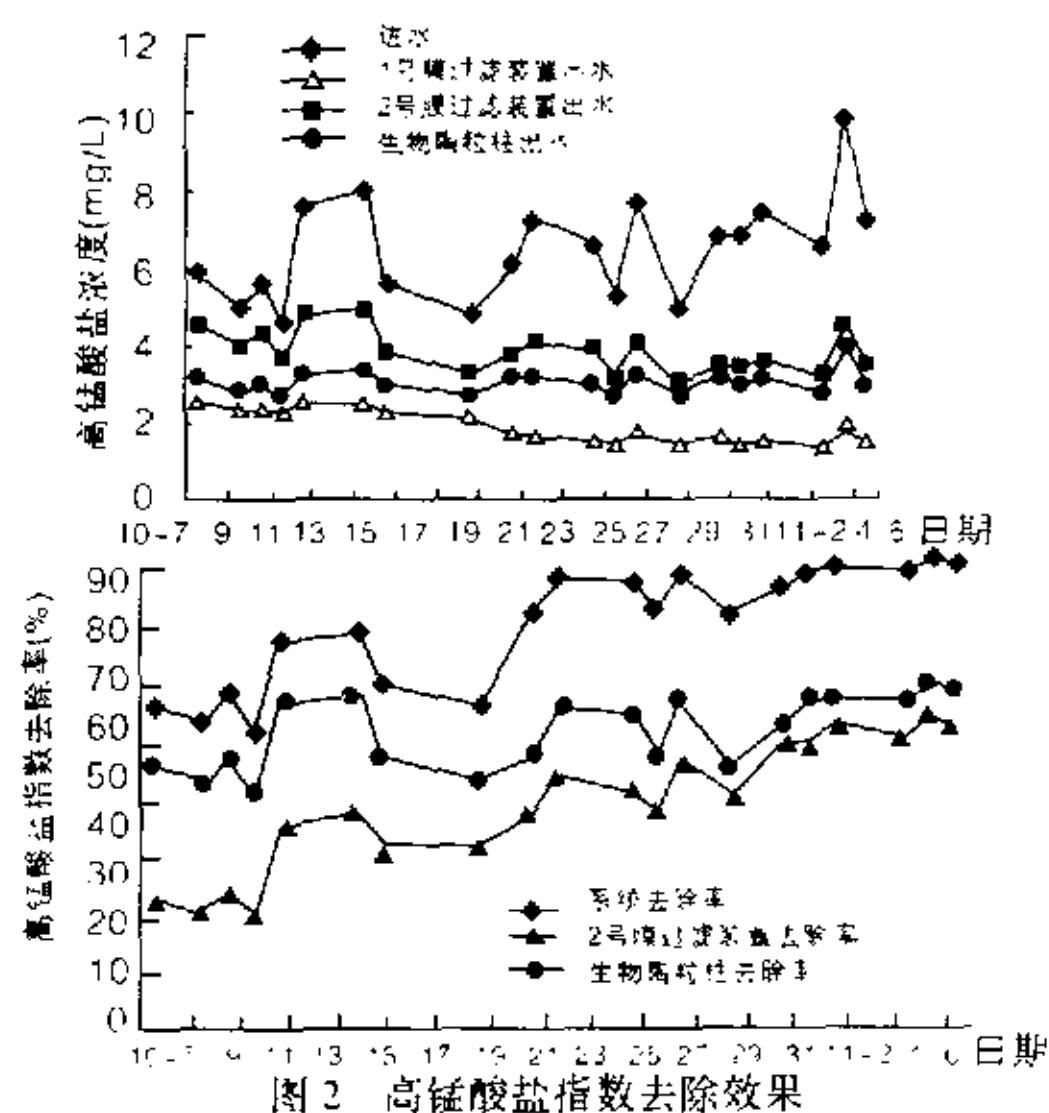


图2 高锰酸盐指数去除效果

活性炭吸附主要去除分子量 500-3 000 的有机物,对更大分子量的有机物由于存在“空间位阻效应”而难以进入活性炭的吸附孔道,对分子量小于 500 的有机物则由于其亲水性较强而难以吸附。生物陶粒柱主要去除水中分子量小于 1 000 的亲水性有机物,对更大分子量的有机物由于细胞膜的屏障作用而难以进入细胞内部。生物陶粒柱也可通过胞外酶水解作用将部分大分子有机物分解为易于被活性炭吸附的憎水性小分子有机物。由于粉末活性炭加入到膜过滤装置的反应器中,使 1 号膜过滤装置高锰酸盐指数去除率有了较大的提高,由平均 22.14% 增至 49.89%,可见生物陶粒柱之后的活性炭对进一步降低水中有机物浓度起着补充作用。生物陶粒柱和粉末活性炭联合作为淹没式中空纤维膜过滤装置的预处理,可较大幅度地增加去除有机物的能力,从 2 号膜过滤装置可以看出,单用淹没式中空纤维膜过滤装置高锰酸盐指数平均去除率为 39.19%,而系统高锰酸盐指数平均去除率为 76.97%。

3.3 色度的去除

实验中进水色度在 20-25 度,生物陶粒柱对色度平均去除率为 24.20%,2 号膜过滤装置的色度平均去除率为 27.75%。粉末活性炭吸附成色有机物比较有效,粉末活性炭加入后,1 号膜过滤装置色度平均去除率由 16.32% 增至 32.37%,而系统色度平均去除率由 36.32% 增至 48.96%。形成色度的物质主要是分子量大于 1 000 的有机物,腐殖酸是主要的成色物质,而腐殖质本身是微生物分解形成的相对稳定的化合物,不易生物降

解。但生物陶粒柱中陶粒间生物絮体对水中悬浮物质和胶体物质具有一定的生物絮凝能力,同时造成色度的无机物质可通过截留和生物氧化而去除,如水中的铁和锰可被铁细菌氧化,使 Fe^{2+} 变成 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 变成 Mn^{4+} ,形成不溶物而被截留。

3.4 含氮污染物浓度的变化

由图3可知,系统对含氮污染物质有着较好的去除效果。进水氨氮浓度在 $1.19 \sim 2.24 \text{ mg/L}$,亚硝酸盐氮浓度在 $0.124 \sim 0.667 \text{ mg/L}$,系统的氨氮和亚硝酸盐氮的平均去除率分别达到了 95.50% 和 99.15%。

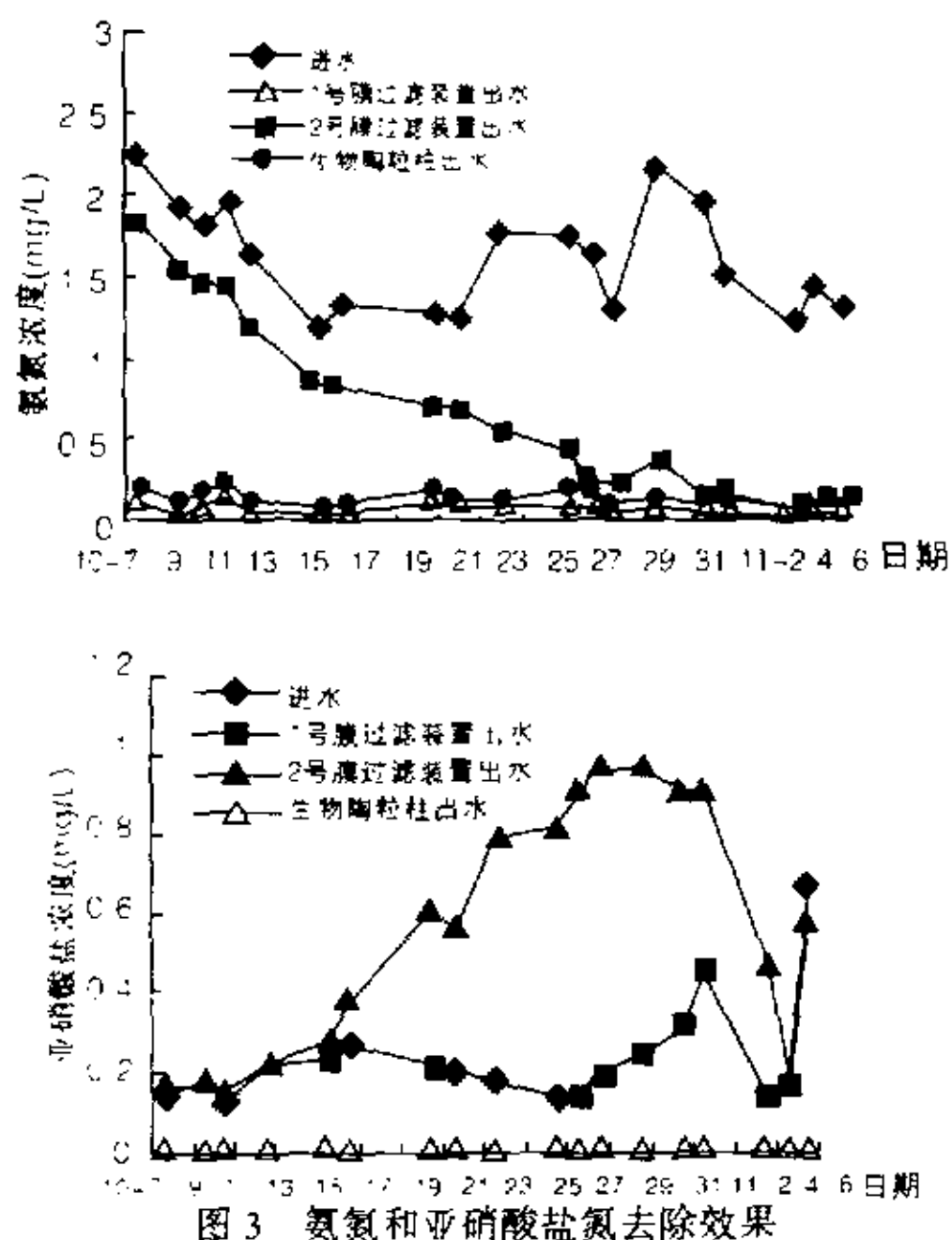


图3 氨氮和亚硝酸盐氮去除效果

生物陶粒柱对去除含氮污染物质起着最为关键的作用,生物陶粒柱氨氮和亚硝酸盐氮平均去除率分别为 91.51% 和 98.12%。生物陶粒柱属于生物膜水处理方法,生物固体平均停留时间与水力停留时间无关,适于世代时间长的硝化菌繁衍、增殖;而作为填料的陶粒具有粗糙的表面和大量大于 $0.5 \mu\text{m}$ 的不规则的孔洞,有利于硝化菌在陶粒上固定生长,不易被水冲刷,从而保持较高浓度。

2号膜过滤装置的氨氮去除率随着实验的进行而逐渐升高,实验结束时,氨氮去除率已增至 90% 左右,与生物陶粒柱氨氮去除率接近,但在2号膜过滤装置中出现了严重的亚硝酸盐氮积累,最高时达到 0.91 mg/L 。而在1号膜过滤装置对生物陶粒柱出水中较低浓度的氨氮和亚硝酸盐氮有着进一步的去除作用,使生物陶粒柱-PAC-膜过滤装置系统出水氨氮和亚硝酸盐氮浓度分别降至 $0.022 \sim 0.153 \text{ mg/L}$ 和 $0.0003 \sim 0.003$

mg/L 。可见,生物陶粒柱改善了淹没式中空纤维膜过滤装置对含氮污染物的去除效能,避免了亚硝化细菌成为优势菌种后出现的亚硝酸盐氮积累,使淹没式中空纤维膜过滤装置中的硝化反应实现了 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 的稳定转化。

3.5 超滤膜的清洗

实验结束时,1号、2号超滤膜比流量分别降低了 12.28% 和 33.33%。可见,生物陶粒柱和粉末活性炭作为淹没式中空纤维膜过滤装置的预处理工艺不仅可增强其去除污染物质的能力,对减轻超滤膜的膜污染,维持高比流量也具有重要作用。

采用自来水清洗-0.3%的 H_2SO_4 溶液浸泡(12 h)-0.5%的 NaClO 溶液浸泡(12 h)的顺序对超滤膜进行化学清洗,两膜均基本恢复到初始膜比流量。

4 结论

4.1 淹没式中空纤维膜过滤装置本身可有效消毒和除浊,而生物陶粒柱对浊度和细菌的有效去除,减轻了膜过滤装置的负荷。

4.2 生物陶粒柱和粉末活性炭联合作为预处理,可较大幅度地增加淹没式中空纤维膜过滤装置去除有机物的能力,系统高锰酸盐指数平均去除率为 76.97%,色度平均为 48.96%。

4.3 生物陶粒柱对去除含氮污染物质起着最为关键的作用,对氨氮和亚硝酸盐氮的平均去除率分别为 91.51% 和 98.12%。2号膜过滤装置出现严重的亚硝酸盐氮积累,最高时达到 0.91 mg/L 。

4.4 生物陶粒柱和粉末活性炭对减轻超滤膜的膜污染,维持高比流量具有重要作用。

参考文献

- [1] 张捍民,王宝贞.淹没式中空纤维膜过滤装置去除饮用水中污染物的实验研究[J].给水排水,2000,26(6):28-31.
- [2] 张捍民,王宝贞,王琳.颗粒活性炭柱与淹没式中空纤维膜过滤装置联用去除饮用水中污染物的实验研究[J].给水排水,2001,27(5):33-37.
- [3] 叶辉,许建华.饮用水中的氨氮问题[J].中国给水排水,2000,16(11):31-34.
- [4] E J Bouwer, P B Crowe. Biological process in drinking water treatment[J]. AWWA, 1988, 80(9):82-93.
- [5] K H Lim, H S Shim. Operating characteristics in aerated submerged biofilm reactors for drinking water treatment[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(12):101-108.

作者简介:张捍民(1973-),女,山东人,大连理工大学环境科学与工程学院,工学博士,研究方向:水污染控制。