

水生植物床预处理富营养化水源水中试研究

宋海亮¹ 吕锡武¹ 稻森悠平²

(1 东南大学环境工程系,南京 210096; 2 日本国立环境研究所,筑波 305-0053)

摘要 水生植物床是一种无基质型人工湿地系统,利用植物根系吸收、过滤及共生生物的降解作用对水质进行净化。中试研究考察了水生植物床预处理富营养化水源水的效果。结果表明在原水水质为 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 0.75 ~ 1.61 mg/L,浊度 15 ~ 113 NTU, UV_{254} 0.042 ~ 0.135 cm^{-1} 的条件下, $\text{NH}_3 - \text{N}$, 浊度及 UV_{254} 的平均去除率分别为 30%, 90% 和 8.8%; 对藻类和 COD_{Mn} 的平均去除率呈季节性变化,夏秋季原水藻密度 $7.5 \times 10^5 \sim 5.14 \times 10^7$ 个/L, COD_{Mn} 6.42 ~ 15.37 mg/L 时,去除率分别达到 90% 和 20% 以上;冬季原水 $\text{Chl} - a$ 7 ~ 29.6 $\mu\text{g/L}$, COD_{Mn} 5.35 ~ 9.23 mg/L 时去除率分别为 85.3% 和 11%。

关键词 水生植物床 富营养化 水源水 预处理

Pilot investigation on aquatic-plant bed system pre-treating eutrophicated source water

Song Hai-liang¹, Lu Xi-wu¹, Yuhei Inamori²

(1. Department of Environmental Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305-0053, Japan)

Abstract: Aquatic-plant bed system is a kind of constructed wetland without any substrate which purify raw water by absorption and filtration of plant root systems and degradation of symbiotic microorganism. Pilot scale aquatic-plant bed system for eutrophicated source water pre-treatment is conducted. Results show that mean removals of 30%, 90% and 8.8% for $\text{NH}_3 - \text{N}$, turbidity and UV_{254} respectively have been obtained under the condition of $\text{NH}_3 - \text{N}$ 0.75 to 1.61 mg/L, turbidity 15 to 113 NTU, UV_{254} 0.042 to 0.135 cm^{-1} . While for algae and COD_{Mn} , it changes with season. The mean removal efficiency of algae and COD_{Mn} are over 90% and 20% respectively in summer and autumn under the condition of algae density 7.5×10^5 to 5.14×10^7 unit per litre, COD_{Mn} 6.42 to 15.37 mg/L, but 85.3% and 11% in winter under the condition of $\text{Chl} - a$ 7 to 29.6 $\mu\text{g/L}$, COD_{Mn} 5.35 to 9.23 mg/L.

Key words: Aquatic-plant bed; Eutrophication; Source water; Pre-treatment

0 前言

当前,我国许多饮用水水源具有富营养化的趋势,严重威胁居民饮用水安全^[1]。富营养化水源水与一般意义上的微污染水源水相比,不仅氮氮和耗

氧量超标,而且由于含藻量高更增加了给水处理的难度。许多大型城市给水厂纷纷通过增设预处理工艺、深度处理工艺,甚至长距离引水来改善原水水质,但这类做法通常投资和运行费用较高,对于城镇小型给水厂难以实施。尽管小型给水厂制水量相对较小,但数量众多,总服务人口也很可观。因此开发适用于提高此类给水厂出水水质的技术,对于保障

国家自然科学基金(50378014),江苏省环保厅科技基金(苏环科 2002-21)联合资助项目。

人民身体健康具有重要的意义。

人工湿地应用于污水处理已近半个世纪,以其能耗低、简单易行、良好的净化效果和独特的生态功能而成为研究热点^[2]。但将其用于受污染水源水的预处理研究和应用鲜有报道。为此,作者开展了水生植物床处理富营养化水源水的中试研究,为改善小型给水厂出水水质探索一条新途径。

1 试验概况

1.1 水生植物床的构造

中试工艺流程见图1。水生植物床主体为砖石混凝土结构,池底及四周均为防水水泥层。池前端是配水渠(38 m × 0.6 m),末端是出水集水渠,中间是植物种植区(38 m × 45 m),池底坡度5‰。为使流态更接近理想推流,池内每隔1.5 m 砖砌隔墙,形成21条长45 m,宽1.5 m的植物种植水槽(见图2)。河水经泵提升至配水渠后,通过PVC管以重力流方式进入各个单元水槽。PVC管上装有球阀,可根据试验需要调节进入各单元的水量。出水通过活动溢流堰进入出水集水渠,最后从总排放口返回河流。本试验中将植物种植槽内水深控制为10 cm。为充分利用水生植物形成的致密立体网状根系的过滤功能,并避免长期运行后因堵塞而导致处理能力下降的问题,池内不填充任何基质。

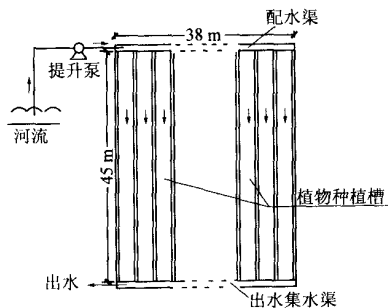


图1 中试流程



图2 植物种植槽示意

1.2 技术原理

在水生植物床上种植多种食用或观赏型水生植物,通过植物过滤、微生物降解、水生植物吸收及清除底泥来去除水体中的污染物。其特点在于首先通

过水生植物发达的根系有效地将水中的悬浮污染物和藻类通过过滤作用去除,然后由微生物对被截留的污染物通过生物降解作用去除,原水中及代谢产物中的有机物和氮磷营养物又成为植物生长的营养来源。这样形成了一个由水生植物、水生动物及微生物构成的生态净化系统,实现了物理过滤和生物处理相结合的处理方式。

在植物换茬时,通过出售可食用或观赏型植物并对水生植物残枝和底泥进行堆肥还田,以避免植物造成二次污染。

1.3 试验条件和方法

水生植物的选择,以土著品种、生物量增长速度快、根系发达和有一定经济价值为原则。试验原水取自西太湖某条入湖河流,该河是附近某集镇给水厂的水源地,夏秋季节蓝藻频发。试验为连续动态模拟试验,试验期为一个水文年(2002年10月~2003年9月),完全在野外自然条件下进行。试验分为两个阶段:第一阶段(2002年10月~2003年2月)植物床所种植物为越冬植物——水芹菜(*Oenanthe javanica*),初始种植量为 3.4 kg/m^2 ,为冬季试验;第二阶段(2003年5月~2003年9月)种植空心菜(*Ipomoea aquatica*),初始种植量为 1.1 kg/m^2 ,为夏秋季试验。试验期间蔬菜均生长良好。水力负荷设定为 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。由于植物根系不断生长发达和沉积物积累会逐渐占据床体有效空间,使实际水力停留时间与空床理论水力停留时间差别很大。为此,本试验中采用如下方法测定实际水力停留时间:将池中水放空24 h后,重新进水,测得从重新进水开始到出水堰出现溢流经历的时间平均为100 min,此即为水生植物床的实际停留时间。

为进行植物换茬和对池底沉积物采样分析,2003年3月和4月系统停止进水,将植物连根取出,并将种植槽内水放空,自然风干。因此这两个月(春季)没有运行监测数据。

1.4 水质分析项目及方法

水样采集后立即在现场建设的化验室进行水质检测,检测指标及方法见表1。

由于水样中污染物浓度水平很低,所以试验所用玻璃器皿均经过如下处理:自来水洗涤;稀盐酸浸泡过夜;自来水、蒸馏水洗涤;110℃烘干过夜。

表 1 分析指标及检测方法

分析指标	仪器和方法
NH ₃ - N	纳氏试剂比色法
COD _{Mn}	酸性高锰酸钾法
浊度	WGZ-200 光电浊度仪
藻密度	计数框显微计数法
Chl - a	丙酮双色分光光度法
UV ₂₅₄	752 型分光光度计

2 试验结果与讨论

2.1 对 COD_{Mn} 的去除

水生植物床可以看成是一种以植物根系为填料的生物反应器,在根系表面生长有生物膜,丰富的微生物可对有机物进行降解。有机物的去除情况见图 3。

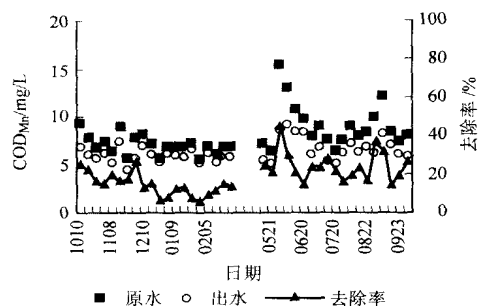


图 3 对 COD_{Mn} 的去除效果

由图 3 可见, COD_{Mn} 去除率在 2002 年 12 月至 2003 年 1 月偏低, 平均为 11.2%, 该期间水温为 2~7; 其余时间水温为 11~28, 平均去除率均在 20% 以上。这表明植物品种对 COD_{Mn} 去除效果的影响不大, 但温度过低会导致 COD_{Mn} 去除效果显著下降。因为低温条件下微生物活性受到抑制, 只能通过机械截滤作用去除部分吸附在颗粒物上的有机物。

2.2 对氨氮的去除

图 4 反映了水生植物床对 NH₃ - N 的去除效果。由图可见, 尽管试验期间水温变化范围在 2~28 之间, 但氨氮的去除率全年变化并不明显, 平均值在 30% 左右。通常认为氨氮的去除季节性很强, 即受温度变化的影响较大, 但图 4 所示的氨氮去除效果全年变化并不显著。分析认为有两点原因: 首先系统中溶解氧充足, 其次原水 NH₃ - N 浓度冬季比夏秋季高出约一倍。试验中现场测得夏秋季系统出水 DO 在 1.5~2.2 mg/L 之间, 冬季更高, 为

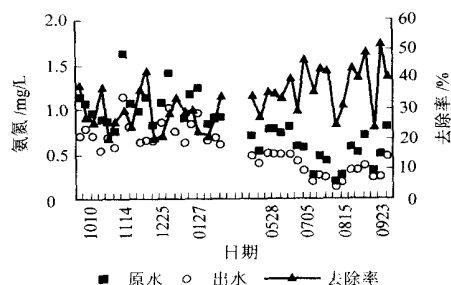


图 4 对氨氮的去除效果

5.6~7.1 mg/L。溶解氧较高的原因是: 水生植物床的水力负荷比传统填充基质类的人工湿地高, 流速相应也大, 有利于表面复氧; 床体水深浅且没有填充基质, 有利于氧向水体内部及下层扩散; 水生植物具有独特的中空通气组织, 光合作用产生的氧气能通过该组织扩散至根部, 然后再通过表皮扩散至沉积物中。冬季较高的 DO 和进水底物浓度在一定程度上缓解了温度降低带来的不利影响^[3], 因而去除率没有明显下降, 相反夏秋季则由于底物浓度限制了硝化反应速率, NH₃ - N 去除率未见显著提高。

还有一点需强调指出, 试验中测得植物床出水 NH₃ - N 浓度一直比附近给水厂的出水(水龙头出水)低 10%~20%, 可见水生植物床比给水厂工艺更能有效去除 NH₃ - N。

2.3 对藻类和叶绿素 a 的去除

高藻含量是富营养化水源水的一个重要特征。藻类由于其自身分泌的有机物包裹在细胞膜外, 一般表面带负电荷, 而且具有一层水化膜, 使藻细胞很难混凝沉降。而且藻类还是典型的氯化消毒副产物前体物。更需重视的是, 藻细胞一旦被破坏, 就会释放出藻毒素^[4]。因此对于高藻原水, 最好是在滤池及消毒之前, 将藻细胞以不被破坏的形式大量去除, 以保证后续常规处理工艺的高效性和出水水质安全性。水生植物床的除藻途径包括: 根系的机械截留; 生物膜表面吸附固定; 微生物的氧化分解; 脱落生物膜对藻类的絮凝、沉淀; 植物根系上附着生长与水中浮游生长的原生动物、后生动物对藻类的捕食作用。本试验结果表明, 水生植物床既能取得良好的除藻效果, 又不破坏藻细胞。

如图 5 所示, 2003 年 5 月至 9 月期间(水温 14

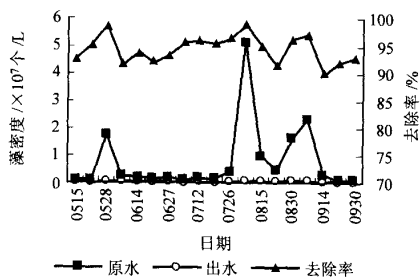


图5 夏秋季藻类的去除效果

~28), 河水中多次爆发蓝藻水华, 但植物床系统出水藻细胞密度均未超过 10^5 个/L, 藻密度去除率始终在 90% 以上。考虑到藻类计数法在藻含量较低时测量误差较大, 本试验在冬季非藻类高发期通过测定 Chl - a 含量来间接表征水中藻类含量。冬季 Chl - a 去除率为 74.3% ~ 91.7% (见图 6), 平均值为 85.3%。去除效果略差, 与水温较低(水温为 2 ~ 11)、进水中藻细胞数量较少以及植物生长缓慢等因素有关。

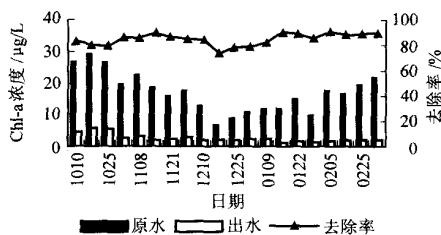


图6 冬季叶绿素 a 的去除效果

2.4 对浊度的去除

如图 7 所示, 水生植物床对浊度的去除率稳定在 90% 以上。这是因为系统对藻类及悬浮颗粒具有良好的截留效果。首先, 植物床内根系发达, 试验中观察到, 从水面到床底部, 充满密密麻麻彼此交织在一起的根系, 形成了致密的滤层; 第二, 在根系表面生长有生物膜, 原水中的悬浮固体、胶体以及游离的生物体被根系截留后, 在根系间隙形成了具有一定活性的生物絮体, 进一步加强了根系的过滤作用; 再者, 不但根系生物膜本身有生物絮凝作用, 以细菌为食料的原生动物也促进了生物絮凝。因为在贫营养条件下, 细菌增殖速率小, 生物膜更新慢, 而原生动物的捕食作用能加速生物膜脱落, 使处于对数生长期的细菌比例提高, 此类细菌活性强, 分泌的胞外多聚物(ECP)较多^[5], 从而促进了生物絮凝。

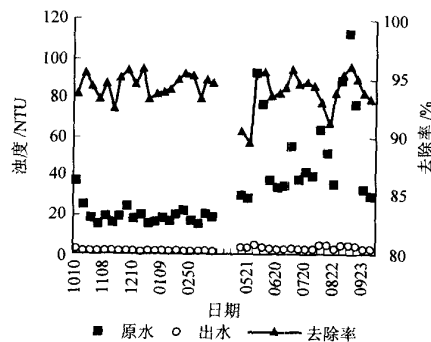


图7 对浊度的去除效果

从图 7 中还可看出, 在原水浊度达到 90 NTU 甚至 100 NTU 以上时, 水生植物床出水浊度也一直稳定在 3 ~ 5 NTU 之间, 显示出系统对原水浊度变化冲击的承受能力很强。

2.5 对 UV_{254} 的去除

UV_{254} 是经 $0.45 \mu\text{m}$ 膜过滤的水样在 254 nm 波长下的紫外吸光度, 它代表了水中具有苯环和共轭双键结构的有机物的相对多寡, 可作为 TOC 及 THMs 前体物的代用参数。图 8 反映了 UV_{254} 的去除情况。试验期间, 进水 UV_{254} 值在 $0.042 \sim 0.135 \text{ cm}^{-1}$ 之间, 去除率在 3% ~ 20% 之间, 平均为 8.8%。由于 UV_{254} 所代表的有机物大多是难生物降解的有机物, 因此以生物作用为主的水生植物床在较短的 HRT 条件下较难取得好的去除效果。

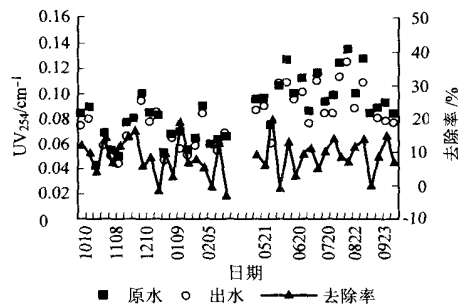


图8 对 UV_{254} 的去除效果

3 小结

通过现场中试研究, 可得出以下初步结论:

- (1) 水生植物床在水力负荷为 $1 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, 对富营养化水源水进行预处理取得了良好的效果。
- (2) COD_{Mn} 的去除效果受季节影响较大。冬季平均去除率在 11% 左右, 夏秋季在 20% 左右。

低含沙量海水泵房设计要点

宋建军

(核工业第二研究设计院,北京 100840)

摘要 从分析泥沙淤积的客观规律出发,根据设计经验和实际工程的教训,针对低含沙量海水泵房设计,提出在资料收集,科研试验,系统设计,设备设计,泵房布置,泥沙监测,泥沙清淤等方面需注意的要点。以利于更好地把握此类泵房的设计,避免泥沙淤积对运行的不利影响和由此导致的经济损失。

关键词 海水泵房 泥沙 设计 要点

0 前言

与黄河水平均含沙量 35 kg/m^3 和辽宁柳河水多年平均含沙量 $30 \sim 100 \text{ kg/m}^3$ 相比,平均含沙量在 2.5 kg/m^3 左右的海水可以采取不加沉淀处理的直流式取排水。本文把类似的泥沙含量称为“低含沙量”。

在设计取用低含沙量海水作为冷却水的泵房时,由于有泥沙这一特殊介质,则必然存在与一般清水泵房设计不同之处。工程上有过由于对泥沙问题考虑不周而导致的教训。例如某电厂取水部分,在准备正式投入使用时发现,泥沙已将取水部分全部掩埋,无法取水。最终只有修改取水方案,向外海延伸取水头部数十米才解决了取水问题。再如另一电厂的取水泵房,也是由于考虑泥沙问题不周,造成

如果按照原设计的运行模式,泥沙淤积会对系统正常运行产生威胁。最终采用增加运行设备,改变原运行工况才解决了此问题。以上问题的解决都是以牺牲经济利益为前提的,而产生问题的根本原因正是对泥沙淤积缺乏正确的认识和考虑不周所致。

笔者作为主要设计人设计了某电站的海水泵房(建筑面积 $12\,124 \text{ m}^2$,平均含沙量 2.5 kg/m^3 ,最大含沙量 4.22 kg/m^3)。从设计到运行阶段,重点考虑解决的是泥沙淤积问题。就此提出一些在设计类似工程时所需注意的设计要点,供大家参考。

1 海水泵房

在海水泵房中,为了整个系统的安全运行,一般需设置检修,海水处理、过滤、分配及提升等部分。当然,还需设置设备运输和组装等场地。

(3) $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除效果全年变化不大,平均去除率在 30% 左右。

(4) 水生植物床对藻类及浊度有非常好的去除效果。藻类高发期藻密度能降低 1~2 个数量级,去除率在 90% 以上;非藻类高发期 $\text{Chl} - a$ 平均去除率为 85.3%。浊度去除率全年都在 90% 以上。

(5) 系统对 UV_{254} 的去除效果稍差,平均去除率为 8.8%。

采用水生植物床构成的生态净化系统处理富营养化水源水,处理过程中不会产生新的“三致”物和“优先污染物”,且投资和运行费用低廉,在有可资利用地形的情况下,可以作为城镇小型给水厂的预处理工艺。

12 给水排水 Vol. 30 No8 2004

参考文献

- 1 吕锡武, 稻森悠平, 等. 有毒蓝藻及藻毒素生物降解的初步研究. 中国环境科学, 1999, 19(2): 138~140
- 2 Brix H. Use of constructed wetland in water pollution control: Historical development, present status, and future perspectives. Water Sci & Tech, 1994, 30(8): 209~223
- 3 张文妍, 朱亮, 等. 微污染水源水生物预处理氨氮去除影响因素探讨. 给水排水, 2002, 28(11): 1~3
- 4 余国忠, 王占生. 饮用水处理中藻毒素污染及其工艺控制特性研究. 给水排水, 2002, 28(3): 25~28
- 5 陈坚. 环境生物技术应用与发展. 北京: 中国轻工业出版社, 2001. 242~273

电话: (025) 83792614

E-mail: songhailiang@sina.com

修回日期: 2004-4-23