

生物陶粒-微絮凝活性滤池工艺处理微污染原水的试验研究*

孙丽娜 季民 任智勇 刘卫华

提要 采用生物陶粒-微絮凝活性滤池工艺对天津引滦水进行中试处理研究。结果表明,在水温为7~25℃的条件下,该工艺对浊度,氨氮, COD_{Mn}, UV₂₅₄和叶绿素的平均去除率分别为93.5%, 62.5%, 65.8%, 58.5%和77.0%。该工艺在试验期间处理效果稳定,出水水质好,是一种经济有效、简单实用、具有很好发展前景的饮用水处理工艺。

关键词 生物陶粒 活性炭 微絮凝 活性滤池

TU991 A

随着经济的不断发展和人民生活水平的提高,我国绝大多数自来水厂采用的常规净水工艺已不能与现有的水源水质和饮用水标准相适应。选用何种经济实用的技术已成为自来水厂急迫解决的问题。本研究依据经济有效、简单实用的原则,设计出生物预处理-微絮凝活性滤池过滤的新型净水工艺。微絮凝直接过滤工艺已在国外许多水厂设计应用^[1]。活性滤池是用活性炭替换部分石英砂滤料,成为炭砂双层滤料滤池,使吸附和过滤合为一体,能够大幅度提高有机物去除率,并减少反冲洗次数,目前在瑞士、日本、美国等都有采用^[2~5]。由于仅用活性炭替换部分砂层,不需新增处理构筑物,节省投资和运行费用,该工艺特别适合于我国水厂的技术改造,是一种具有良好发展前景的净水新工艺。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

中试研究在天津某自来水厂实地进行。试验装置流程见图1。原水由潜水泵从水厂进水渠道抽取至生物陶粒滤池;经上向过滤后,进入混合反应槽;微絮凝反应后,再进入活性滤池进行吸附过滤,出水流入清水箱。

试验装置的主体设施是生物陶粒池和活性滤池,两个滤池及其它容器均用不锈钢制成。生物陶粒滤池内径500mm,内装粒径2.5~10.0mm的陶粒滤料,滤层高2m。因原水中的溶解氧(DO)充足,陶粒池出水DO在4mg/L以上,因此生物滤池未进行曝气。混合反应槽内投加HCA(聚二甲基二

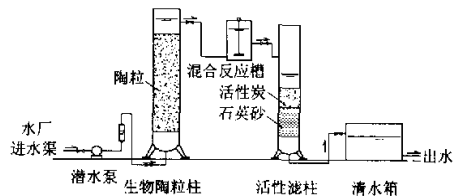


图1 中试工艺流程

烯丙基氯化铵)高分子絮凝剂,经混凝试验确定投加量为0.6mg/L。活性滤池内径400mm,上层为GWB20型净水活性炭,粒度在10~28目,炭层高0.4m;下层是级配为 $d_{10}=0.55$ mm, $K_{80}=1.50$ 的石英砂,砂层高0.6m。

在进行生物陶粒-微絮凝活性滤池工艺试验研究之前,生物陶粒池已经稳定运行三个月,其出水浊度通常为2~4NTU。组合工艺水处理试验从9月初进行至11月中旬,进水流量控制在 $1.0\text{ m}^3/\text{h}$,生物陶粒滤池空床停留时间24min,滤速为5.1m/h;活性滤池空床停留时间6min,滤速为8.0m/h。因组合工艺中生物陶粒池采用上向流运行方式,水头损失较小,同时由于进水污染物浓度较低,微生物主要处于内源呼吸阶段,产泥量很少,陶粒池只在运行中期进行过一次反冲洗。陶粒池和活性滤池均采用水冲方式,活性滤池反冲周期12h,反冲强度为 $15\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。

1.2 分析指标及测定方法

浊度采用HACH2100N浊度仪测定。叶绿素(chl.)选用90%丙酮为萃取剂,用722分光光度计进行测定。测定UV₂₅₄时,水样经0.45μm膜过滤后,用TU-1800紫外分光光度仪测定。高锰酸钾

* 天津市科技发展计划资助项目(0131125-4)。

耗氧量(COD_{Mn})和氨氮(NH₃-N)浓度均采用标准方法测定。

2 结果与讨论

2.1 组合工艺处理效果

2.1.1 浊度的去除

浊度是饮用水水质标准中的重要指标,产生浊度的杂质中容易隐藏病原微生物,浊度值必须严格控制。该工艺对浊度的去除效果见图2。

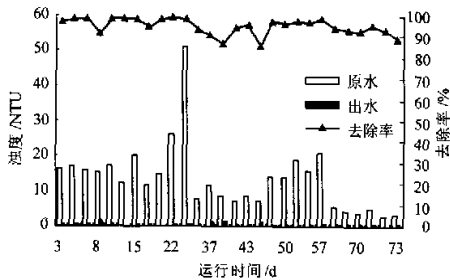


图2 对浊度的去除效果

试验期间原水浊度为2.8~50.9 NTU,处理后降为0.197~1.4 NTU,其中出水浊度在1 NTU以下的情况占87%,浊度平均去除率达95%。并且出水浊度基本上不受原水浊度变化的影响,处理效果稳定。试验中发现,大部分浊度在生物陶粒滤池中被去除。生物陶粒对浊度的去除主要依靠陶粒对颗粒污染物的机械截留和在生物陶粒表面附着的大量生物膜对悬浮物和胶体颗粒的生物絮凝作用^[6]。试验期间,虽进水浊度变化幅度较大,但生物陶粒池出水水质稳定,其出水浊度通常为2~4 NTU,保证了后续活性滤池的正常运行。试验过程中出现出水浊度大于1 NTU的情况,可能是因为对出水浊度起主要控制作用的砂滤层高度略有偏低,应适当增加砂滤层的高度以满足出水浊度小于1 NTU的要求。

2.1.2 氨氮的去除

该工艺对氨氮的去除效果见图3。

天津引滦水中氨氮浓度较低,试验期间原水氨氮浓度为0.008~0.264 mg/L,处理后出水氨氮浓度最高只有0.044 mg/L,有时甚至低于检测限,平均去除率为62.5%。与浊度相似,氨氮的去除也主要在生物陶粒池中完成,由于生物陶粒池中的生物膜呈固定生长,使自养菌的生物硝化作用发挥良好,

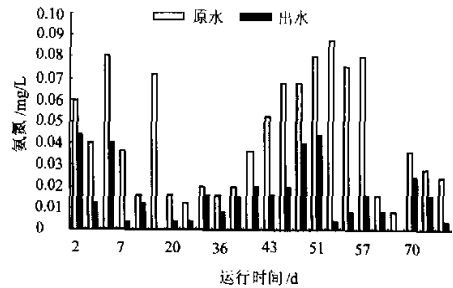


图3 对氨氮的去除效果

氨氮的处理效果稳定,即使在试验后期,水温在7℃左右时系统对氨氮仍有较好去除效果,出水氨氮浓度小于0.022 mg/L。

2.1.3 有机物的去除

该工艺对COD_{Mn},叶绿素和UV₂₅₄的去除效果分别见图4,图5和图6。

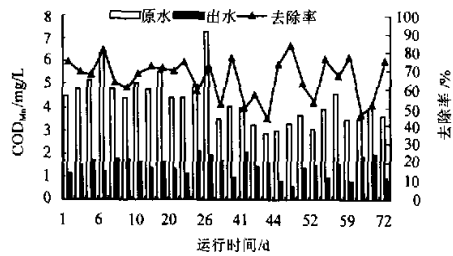


图4 对COD_{Mn}的去除效果

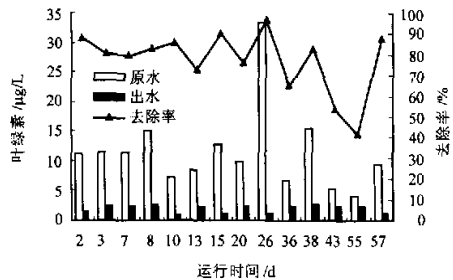


图5 对叶绿素的去除效果

从图4~图6可见,该工艺对COD_{Mn}的平均去除率为65.8%,原水COD_{Mn}从2.9~7.3 mg/L降至0.54~2.08 mg/L。其中93%的情况下出水COD_{Mn}小于2 mg/L,表明工艺对有机物的去除效果良好。

经处理后,叶绿素浓度从4.16~33.23 µg/L降至1.06~3.55 µg/L,平均去除率为77.0%,表明工

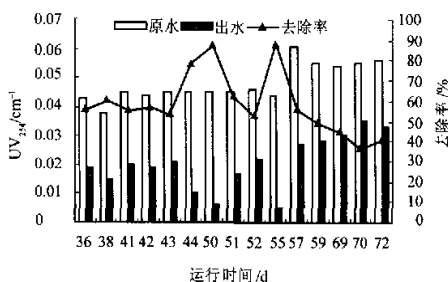


图6 对UV₂₅₄的去除效果

艺对藻类的去除作用显著。藻类的去除主要是生物陶粒滤池通过机械截留和生物吸附絮凝、氧化分解作用来完成。由于藻类产生的生物臭味在常规水处理工艺中难以去除,加氯消毒后又产生腥味,水厂在夏季藻类高发期的出水水质较差。生物预处理能够有效去除藻类,后续的活性滤池的活性炭层能够有效去除臭味,使得出水感观性状明显提高,臭味得以消除。试验后期叶绿素去除率有所降低,可能是由于10月份已过藻类高发期,原水本身的叶绿素浓度不高,从而造成去除率下降,但试验表明此期间的出水叶绿素浓度依然维持在较低水平,出水总体效果稳定。

UV₂₅₄是经0.45 μm膜过滤的水样在254 nm波长下的紫外吸光度,代表了芳香族化合物和具有共轭双键的有机化合物的相对多寡,与消毒副产物前体物有很好的相关性^[7]。处理后,UV₂₅₄从0.038~0.061 cm⁻¹降至0.005~0.035 cm⁻¹,平均去除率58.5%。这一结果间接表明,生物陶粒-微絮凝活性滤池对水中有机物及消毒副产物前体物有很好的去除效果。

2.2 组合工艺中不同处理阶段对污染物去除的贡献分析

组合工艺中处理单元对各项指标去除能力的对比见表1。

表1 处理单元对各项水质指标去除的贡献对比

处理单元	处理单元对各项指标的去除量占工艺总去除量之比/%				
	浊度	氨氮	COD _{Mn}	叶绿素	UV ₂₅₄
生物陶粒池	68	88	30	68	12
活性滤池	32	12	70	32	88

注:表中数据由整个试验期间各项指标的平均值分析所得。

由表1可知,浊度、氨氮和叶绿素主要在陶粒滤池中去除,COD_{Mn}和UV₂₅₄主要在活性滤池中去除。

试验期间对COD_{Mn}和UV₂₅₄进行了一次沿程测定,考察其浓度的沿程变化情况,结果见图7。图7中的采样点分别为:1原水,2陶粒池滤层900 mm高处,3陶粒池滤层1900 mm高处,4陶粒池出水,5活性滤池进水,6活性滤池炭砂界面处,7活性炭滤池出水。

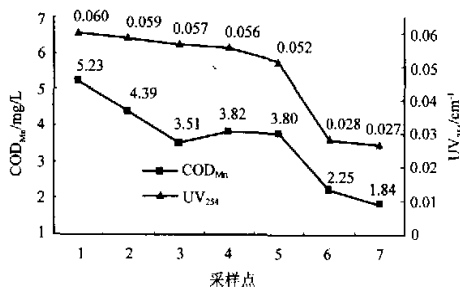


图7 COD_{Mn}及UV₂₅₄沿程变化情况

由图7可知,活性炭层是活性滤池中去除COD_{Mn}和UV₂₅₄的主要作用层。

活性滤池能够有效去除有机物的原因在于,引滦水中溶解性有机碳(DOC)与总有机碳(TOC)的比值在75%左右^[8],溶解性有机物比例高,有机物的分子量较小^[9],有利于生物降解和活性炭吸附作用的发挥。生物过滤过程中通过生物降解作用将原水中大部分可生物降解的小分子亲水性有机物去除,微生物胞外酶及其分泌物对大分子有机物具有分解作用,能改变大分子表面电荷而引起大分子卷曲,从而相应增加了水中憎水性小分子有机物的比例^[7],而这部分有机物易被活性炭吸附。活性炭强大的比表面积和多孔结构使其具有良好的吸附性能,美国环保局(USEPA)最新的饮用水标准中,对于64项有机物指标,有51项将颗粒活性炭指定为最有效技术(BAT)^[10]。活性炭不仅吸附去除疏水性有机物,同时其多孔结构和不规则表面利于微生物生长,又有一定的生物降解能力^[11],由于生物降解可以去除活性炭吸附的部分有机物,对活性炭有生物再生功能,延长了活性炭的使用周期。

活性炭层有效降低UV₂₅₄的原因是,在紫外波

长 254 nm 下存在吸光度的物质主要为大分子芳香族化合物,分子结构复杂,大部分难生物降解,所以生物陶粒在 UV₂₅₄ 的去除过程中作用很小,而活性炭表面一定程度上覆盖有亲水性氧络合物,表面呈弱极性,对极性较弱的芳香族化合物有较好的吸附作用^[12]。

2.3 组合工艺与其他工艺的比较

组合工艺对浊度的平均去除率达 93.5%,而水厂常规工艺由于有机污染物的存在,使得胶体不易脱稳,浊度的去除率下降,通常仅为 50%~60%,因此必须增加混凝剂的投药量,从而提高了操作成本。而本组合工艺在生物预处理后浊度大为降低,投药量仅为同期水厂投药量的 1/7,并且省掉了沉淀池,其经济性大大提高。

组合工艺对氨氮的去除弥补了常规工艺不能去除氨氮的缺陷。同时水中氨氮的降低有助于降低消毒工艺的加氯量,通过加氯消毒试验证实,组合工艺加氯量仅为水厂常规工艺的 60%,从而也就减少了大量消毒副产物生成的可能性。

在对有机物处理上组合工艺更是表现出了其显著的处理效果,如 COD_{Mn} 去除率达 65.8%,而常规工艺对 COD_{Mn} 只有 20% 的去除率。

在本试验前期进行过生物陶粒-微絮凝砂滤-活性炭吸附组合工艺的试验研究,其处理效果虽稍好于本试验工艺,但其砂滤和活性炭吸附分池处理增加了投资,而本试验工艺已基本达到饮用水处理要求,所以在我国是一种具有良好发展前景的新型净水工艺。

3 结论

(1)生物陶粒-微絮凝活性滤池工艺将原水浊度从 2.8~50.9 NTU 降至 0.197~1.40 NTU,出水小于 1 NTU 的情况占 87%,平均去除率为 93.5%;将氨氮浓度从 0.008~0.264 mg/L 降至 0~0.044 mg/L,平均去除率为 62.5%;将 COD_{Mn} 从 2.9~7.3 mg/L 降至 0.54~2.08 mg/L,平均去除率为 65.8%;将叶绿素浓度从 4.16~33.23 μg/L 降至 1.06~3.55 μg/L,平均去除率为 77.0%;将 UV₂₅₄ 从 0.038~0.061 cm⁻¹ 降至 0.005~0.035 cm⁻¹,平均去除率为 58.5%。

(2)试验表明,浊度、氨氮和叶绿素主要在陶粒

滤池中去除,COD_{Mn} 和 UV₂₅₄ 主要在活性滤池中去除,活性炭层是活性滤池中去除 COD_{Mn} 和 UV₂₅₄ 的主要作用层,砂层起把关作用。

(3)生物滤池-微絮凝活性滤池工艺与常规工艺相比,不仅处理效果得到提高,而且操作运行中的投药量大大降低,表现出良好的经济有效性,是一种具有良好发展前景的新型净水工艺。

参考文献

- 1 Tien C, Alkiviades C P. Advances in deep bed filtration. *AIChE*, 1979, 111(6):874~882
- 2 刘益查,钟亮洁.颗粒活性炭在饮用水深度处理中的应用. *给水排水*, 2001, 27(3):12~15
- 3 Graese S L, et al. Granular activated carbon filter-adsorber system. *J AWWA*, 1987, 79(12):64~74
- 4 Guy P Bablon. Developing a sand-GAC filter to achieve high-rate biological filtration. *J AWWA*, 1988, 8(12):47~58
- 5 黄晓东. 美国大、中型水厂的工艺和水质调查. *中国给水排水*, 2001, 17(9):91~92
- 6 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,1999,133~154
- 7 蒋绍阶,刘宗源. UV₂₅₄ 作为水处理中有机物控制指标的意义.成都:中国土木工程学会水工业分会给水委员会第八次年会论文集,2001.10
- 8 任智勇.安全饮用水综合处理技术中试研究.[学位论文].天津:天津大学,2003,22~24
- 9 周菁.引滦水生物预处理工艺及有机物降解机理研究.[学位论文].天津:天津大学,2002,46~50
- 10 Pontous F W. Complying with future water regulations. *J AWWA*, 1999, 91(3):46~58
- 11 Lechevallier M W, et al. Evaluating the performance of biological active rapid filters. *J AWWA*, 1992, 84(7):137~146
- 12 David R, Pyne G. *Groundwater Recharge and Wells: A Guide to Aquifer Storage Recovery*. USA: Lewis Publishers CRC Press, 1995.110~113

○作者通讯处:300072 天津大学环境科学与工程学院 0316 信箱
E-mail: zbsun@public.tpt.tj.cn
修回日期:2003-9-9

通告

经研究决定,从 2004 年第 1 期开始,《给水排水》杂志将对有科研经费的论文收取版面费,标准为每页 300 元,请相互转告。

《给水排水》编辑部
2003.12