悬浮填料床生物预处理黄浦江原水中试研究

夏四清，徐　斌，高廷耀，刘新超

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室，上海　200092)

摘要：采用一种新型悬浮填料对黄浦江原水进行生物接触氧化预处理中试研究. 对原水在自然条件下的工艺启动过程进行了分析，研究了几种不同工况条件下污染物去除效果. 在水力停留时间 1 h、气水体积比 0.56 情况下，氨氮处理效率可达到 70 %～80 %，COD_{Mn}去除效率可达 10 %. 实践证明：采用该悬浮填料的生物接触氧化工艺具有挂膜时间短、氨氮去除效率高、气水体积比小、传质效果好、占地面积小、运行方便以及不积泥等优点.

关键词：生物预处理；原水；悬浮填料
中图分类号：X 506　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253 - 374X(2003)08 - 0977 - 05

Study on Pilotscale of Bio-pretreatment with Suspended Packing for Raw Water from Huangpu River

XIA Si-qing, XU Bin, GAO Ting-yao, LIU Xin-chao

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse Research, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The raw water from Huangpu River was treated by bio-contact oxidation processes with a new kind suspended packing. In this paper, firstly, the startup under the natural condition was analyzed. Secondly, the removal results of main pollutants were studied under different conditions. The removal efficiency of NH_4^+—N and COD_{Mn} is from 70 % to 80 %and 10 % respectively under the condition that the hydraulic retention time (HRT) is 60 minutes, the flow ratio between air and water is 0.56. From the pilotscale experiment, it can be seen that the bio-contact oxidation process with the new suspend packing has lots of advantages, such as short time of startup, the high efficiency of NH_4^+—N removal and mass transfer, small ratio between water and air, no accumulation of sludge, small occupation of land, and convenience for running.

Key words: bio-pretreatment; raw water; suspended packing

目前，广泛应用于原水生物预处理的填料大多为弹性立体填料，该类型填料比表面积较小，填料中心容易结块、积泥，导致处理效率较低，另外需要安装固定支架，工程施工较复杂[1～5]. 采用生物滤池预处理，污染物处理效率较高，但水头损失较大，反冲洗技术要求高；同时滤池结构复杂，运行维护困难[3]. 综合考虑这些因素，采用一种新型悬浮填料对微污染原水进行了研究. 该悬浮填料比表面积 100～300 $m^2 \cdot m^{-3}$，为弹性立体填料的 3～6 倍；密度与水接近；不结团、不堵塞；可直接投加，不需固定支架. 为了探讨使用该悬浮填料的生物接触氧化工艺对黄浦江原水处理的有效性，为生物预处理技术应用于实际工程积累经验，作者在上海市某原水厂首次采用悬浮填料进行了规模为 2 000～3 000 $m^3 \cdot d^{-1}$进水量的中试实验研究. 本文将对其启动以来运行效果进行探讨，以期能为该工艺的实际应用提供一些参考.

收稿日期：2002 - 03 - 17
作者简介：夏四清(1965 -)，男，河南汝南人，教授，工学博士，博士生导师. E-mail: siqingxia@mail.tongji.edu.cn

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 工艺流程及主要设备

中试工艺流程简图如图 1 所示. 黄浦江原水经吸水泵到厂内的调压池,调压池原水经提升泵至进水三角堰,然后进入生物接触氧化池. 水流量由旁边溢流堰板高度调节. 处理后的出水经出水堰,通过流量计计量后,排入黄浦江. 以一台罗茨鼓风机向生物接触氧化池供气,供气量由进气总管上涡街流量计计量,多余空气通过旁通阀排除. 由于试验期间黄浦江处于丰水期,氨氮质量浓度较低且变化幅度较大,所以在中试中使用加入工业氨水的方式,增加原水中氨氮的质量浓度,以利实验进行. 氨水由加药泵注入提升泵前,使氨水与原水充分混合后,再进入生物接触氧化池. 中试所采用的悬浮填料为同济大学专利产品(ZL97 2 34855.7),该填料的主要技术参数如表 1 所示.

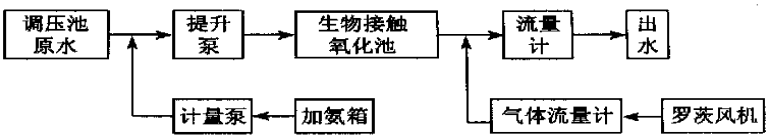

图 1 中试实验工艺流程图

Fig. 1 Technological flow chart

表 1 悬浮填料技术参数表

Tab. 1 Technological parameters of suspended packing

性质	直径/ mm	表面积/ (m^2 ·个$^{-1}$)	比表面积/ (m^2 ·m^{-3})	空隙率/ %	排列个数/ (个·m^{-3})	排列质量/ (kg·m^{-3})	密度/ (kg·m^{-3})	价格/ (元·m^{-3})
参数	100	0.1	100	≥90	1000	≤50	0.95	800～1 000

该悬浮填料的主要材质为聚丙烯塑料. 通过添加不同量的无机添加剂可调整该填料的密度,密度可调范围为 0.9～0.99 kg·m^{-3}. 在不曝气条件下,填料浮于池体表面,曝气条件下,能够达到全池流化. 流化过程中填料可具有公转和自转运动,且不结团和堵塞,易于生物膜的脱落. 填料的流化碰撞能较好地提高充氧速率、底物和溶解氧等的传质效率. 由于悬浮填料不断运动,在水流的冲刷作用和相互碰撞作用条件下,在填料表面外部生物膜比较难于生长,填料表面积不能充分利用.

生物接触氧化池(钢板制)尺寸为:长 ×宽 ×高 = 6.0 m ×1.5 m ×9.5 m(有效水深为 9.0 m);池体为串联方式的两格. 按填充率 40 %～50 %投加新型悬浮填料(填料为球型,单体直径为 100 mm);填池底设置穿孔曝气管,均匀分为 4 组. 实验时每格使用一组曝气管曝气,以保证填料的悬流状态.

2 工艺启动过程

生物接触氧化池启动采用连续进水的动态自然培养挂膜方式[6,7]. 工艺启动从 2001 年 8 月 4 日开始,水温为 29 ℃ 开始时由于气体流量计问题,未对生化池进水进行曝气. 8 月 11 日起,开始控制工况为:水量 80 m^3 ·h^{-1},气量 60 m^3 ·h^{-1},气水体积比为 0.75;水力停留时间为 60 min. 每天上午 9:00 和下午 14:00 取样分析生化池进出口氨氮质量浓度. 试验结果如图 2 和图 3 所示.

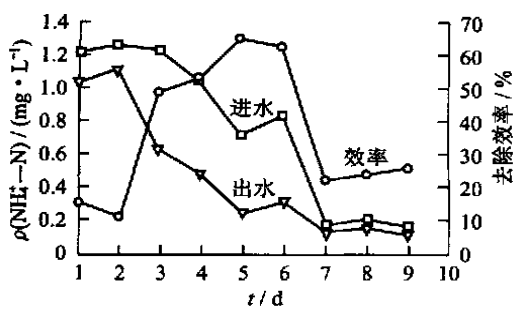

图 2 启动过程上午 NH_4^+ —N 去除效果

Fig. 2 Removal effect of NH_4^+ —N in the morning of startup process

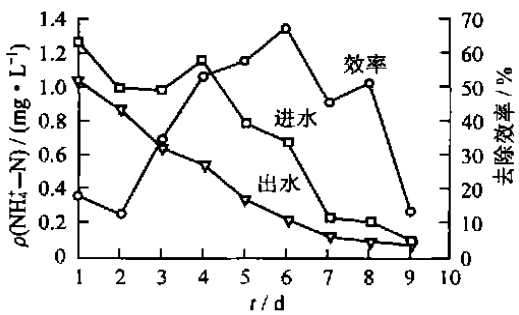

图 3 启动过程下午 NH_4^+ —N 去除效果

Fig. 3 Removal effect of NH_4^+ —N in the afternoon of startup process

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从图 2 和图 3 可以看出,最初几天进水氨氮质量浓度较高,前 3 d 均在 1 mg·L^{-1}以上,而出水前 2 d 均在 0.8 mg·L^{-1}以上,去除率不高. 到第 4 d,进水氨氮质量浓度仍保持 1.2 mg·L^{-1}左右,出水已降到 0.6 mg·L^{-1}左右,去除率很快上升到 50 %,表明填料上亚硝化和硝化细菌开始加速繁殖. 随后的 2 d 的进水氨氮质量浓度变低,而出水氨氮质量浓度均在 0.4 mg·L^{-1}以下,去除率均在 60 %左右;随着接下来 3 d 由于进水氨氮质量浓度降到 0.25 mg·L^{-1}以下,处理效率下降,而出水氨氮质量浓度均保持在 0.2 mg·L^{-1}以下.

由于水温适宜,供氧充分,硝化细菌经短暂适应后迅速繁殖,填料挂膜速度非常快. 填料表面出现薄薄的黄褐色生物膜,生化池很快就有较好的氨氮去除效果. 经过大概两周的时间氨氮去除效率最高达到 70 %,工艺启动较为顺利.

3　运行工况及其效果分析

3.1　生物膜的继续自然培养

鉴于启动过程中生物膜生长情况较好,中试进入稳定运行阶段,填料流化效果较好,从 2001 年 8 月 21 日开始,将进气量调到 50 m^3·h^{-1},即气水体积比为 0.625,对污染物去除效果进行了详细分析和监测. 主要测定项目有:温度,pH 值,浊度,NH_4^+—N,NO_2^-—N,COD_{Mn}及溶解氧(DO)等. 其中 COD_{Mn}与 NH_4^+—N 为混合样,每天取样 6 次,两次时间间隔为 4 h. 各项指标均按国家标准分析方法分析. 生物膜的继续培养时间为 14 d,各种指标变化如图 4～7 所示.

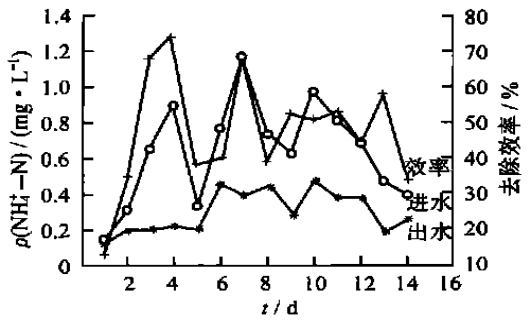

图 4　自然培养 NH_4^+—N 去除效果

Fig. 4　Removal effect of NH_4^+—N in the period of natural cultivation

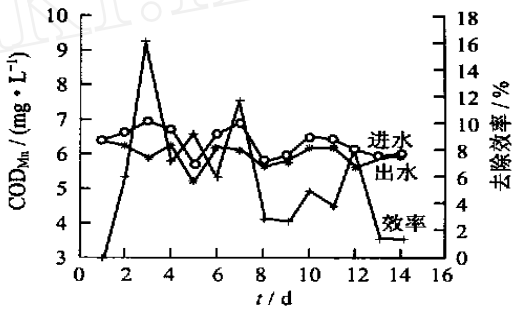

图 5　自然培养 COD_{Mn}去除效果

Fig. 5　Removal effect of COD_{Mn} in the period of natural cultivation

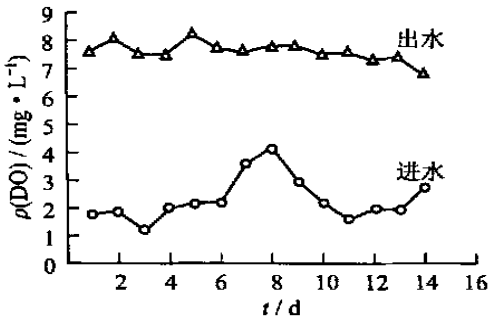

图 6　自然培养 ρ(DO)变化曲线

Fig. 6　Variation of ρ(DO) in the period of natural cultivation

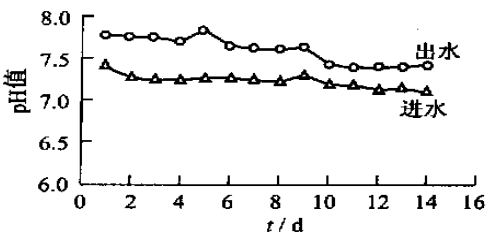

图 7　自然培养 pH 值变化曲线

Fig. 7　Variation of pH in the period of natural cultivation

该段期间水温一直维持在 26～29 ℃之间. 由于悬浮填料的搅动作用,使氧气的传质效率增长较大. 在生物膜自然培养状态下出水溶解氧质量浓度仍保持在 7 mg·L^{-1}以上. 在该气水体积比条件下,出水溶解氧饱和度较高. 进水氨氮质量浓度变化幅度较大,变化范围从 0.15 mg·L^{-1}到 1.17 mg·L^{-1},平均为 0.632 5 mg·L^{-1}. 而中试出水质量浓度均低于 0.5 mg·L^{-1},平均 0.30 mg·L^{-1},去除率从 35 %到 74 %,平均达到 52 %. 低处理效率一般发生在进水氨氮质量浓度很低的情况下. 说明经过短短 20 d 的曝气自然挂膜培养,悬浮填料生物膜法生物硝化作用已基本实现,在试验条件下均能保证出水氨氮质量浓度低于 0.5

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

mg·L^{-1}的国家饮用水标准.从进水氨氮质量浓度变化较大,出水相对比较稳定的情况来看,该工艺对进水氨氮质量浓度具有一定的抗冲击负荷能力.

生物膜培养过程中COD_{Mn}处理效率不高的主要原因是由于进水COD_{Mn}质量浓度值较低,原水中可生物降解的有机物较少所致.

按照硝化反应方程式计算每去除1 g NH_4^+—N,约消耗4.33 g O_2,生成0.15 g新细胞,消耗7.14 g碱度(按$CaCO_3$计),消耗0.08 g无机碳;而在实验中却发现虽然氨氮降解较多,按公式计算消耗大量碱度,pH值应该明显降低,但实际出水pH值却上升大概0.4个单位,分析其上升的原因是:①由于异养微生物对有机底物的分解代谢和合成代谢的结果都要形成CO_2,CO_2溶解在水中导致pH值下降,但是曝气不断地将产生的CO_2及原水中原有的CO_2吹脱,这就引起了pH值不断地上升;②好氧降解废水中的有机酸引起pH值的不断上升;③原水碱度含量大于硝化所需,硝化作用引起pH值下降量不及前面两个因素引起pH值上升量.

3.2 加氨强化工况

由于黄浦江原水在培养后期氨氮质量浓度较低,且氨氮质量浓度变化较大,考虑到工程实施后氨氮的可能进水质量浓度,采用人工强化加氨的方式以考察生物预处理的效果.质量分数为0.25的工业氨水稀释后,用泵前加药的方式加入生化池进水口,并将气水体积比调到0.56(气量45 $m^3 \cdot h^{-1}$).取样时间和取样方法与生物膜的继续自然培养工况一致.

进行工况时间为2001年9月5日至2001年10月9日,水温均在20 ℃以上.通过人工调节氨氮进水质量浓度经历了从中高质量浓度至高质量浓度的过程.从图8可以看出:氨氮处理效率随着进水质量浓度提高逐渐提高.在中氨氮质量浓度(1～2 mg·L^{-1})条件下,出水氨氮质量浓度维持在0.3～0.5 mg·L^{-1}之间,处理效率一般为75 %～80 %之间.在高质量浓度(>2 mg·L^{-1})条件下,出水质量浓度维持在0.40～0.75 mg·L^{-1}之间,处理效率在75 %～90 %之间.从低质量浓度向高质量浓度转变过程中,生物预处理一般需经历1～2 d的适应期,出水质量浓度有所提高,但很快就能进入稳定运行期.该工况下,平均氨氮进水质量浓度为2.42 mg·L^{-1},平均出水氨氮质量浓度为0.58 mg·L^{-1},平均处理效率为74 %.在冲击负荷条件下,氨氮质量浓度达到4.18 mg·L^{-1},处理效率仍达到59 %.这说明填料上微生物适应能力很强,根据计算,其最大容积负荷在0.06 kg·d^{-1}·m^{-3}氨氮左右.

如图9所示,进水COD_{Mn}质量浓度变化范围为5.36～6.72 mg·L^{-1},出水COD_{Mn}质量浓度变化范围为5.12～6.56 mg·L^{-1},平均处理效率为5.6 %.处理效率变化范围较大,这说明填料上异氧微生物繁殖速度很快,但易流失.镜检发现累枝虫较多,存在线虫、钟虫等原生动物和轮虫后生动物,良好的生物膜生态系统已经形成,镜检结果如图10所示.

如图11所示,出水溶解氧质量浓度一直维持在7.0 mg·L^{-1}以上,说明在该氨氮负荷下,该气水体积比足可提供足够生化所需的耗氧量.如图12所示,该工况中pH值变化有时出水高于进水,有时反之,出水低于进水的情况全部发生在氨氮进水质量浓度较高的日期.这说明在一定高的负荷下,硝化反应引起pH值降低量将大于碳酸盐平衡和有机酸降解导致的pH值增长量.出水和进水浊度变化不甚明显,基本能够平衡.

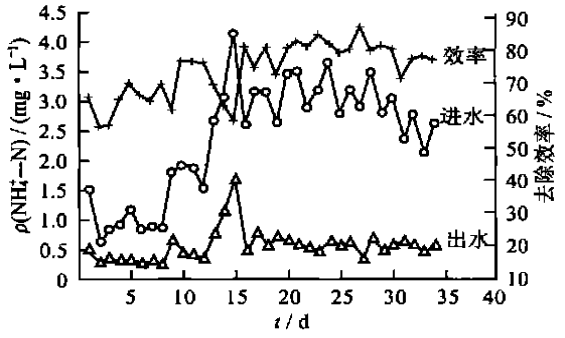

图8 加氨工况NH_4^+—N去除效果

Fig. 8 Removal effect of NH_4^+—N in the period of adding ammonia

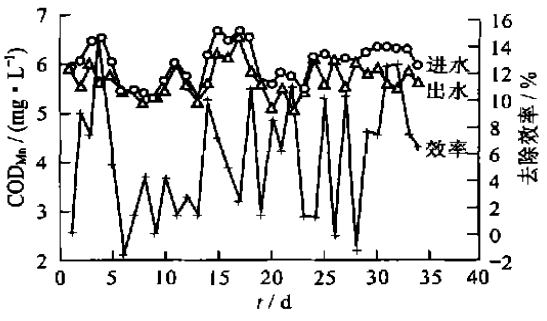

图9 加氨工况COD_{Mn}去除效果

Fig. 9 Removal effect of COD_{Mn} in the period of adding ammonia

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

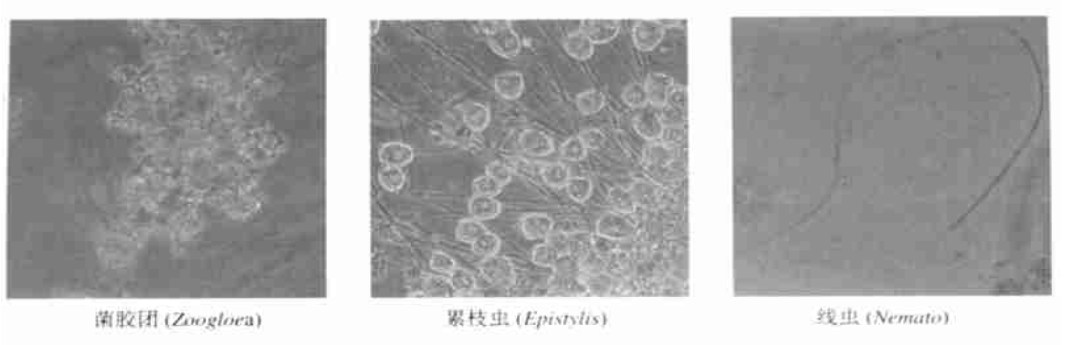

图 10　生物膜镜检结果图

Fig. 10　Microscopic examination of biofilm

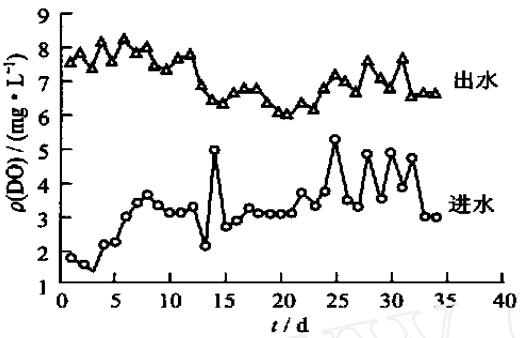

图 11　加氨工况 ρ(DO) 变化曲线

Fig. 11　Variation of ρ(DO) in the period of adding ammonia

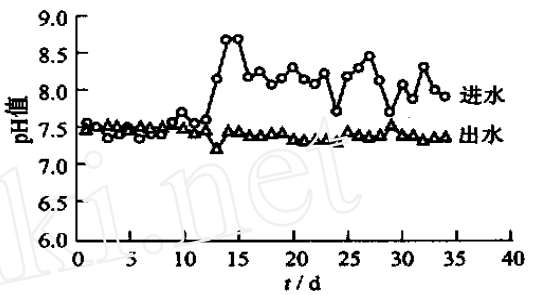

图 12　加氨工况 pH值变化曲线

Fig. 12　Variation of pH in the period of adding ammonia

4　结论

(1) 在水温 27～30 ℃条件下,悬浮填料生物膜经过大概两周时间的自然培养就可成熟,NH_4^+—N 去除效率能够达到 70 %.

(2) 在水温 20 ℃以上,水力停留时间为 60 min,气水体积比为 0.56,氨氮平均进水质量浓度为 2.42 mg·L^{-1}条件下,氨氮平均去除率为 74 %,故本工艺具有良好的氨氮去除效果.同时试验验证了该工艺也具有良好的抗冲击负荷的能力.

(3) 与一般弹性立体填料生物接触氧化源水生物预处理工艺相比,考虑到该厂实际情况,悬浮填料接触氧化生物预处理工艺的工程占地面积能节约 50 %,同时气水体积比只有 0.6 左右,无需固定支架,对布水、布气均匀性要求不是很高,比表面积是后者的 5 倍以上,因此工程上应用前景较广.

(4) 悬浮填料生物接触氧化预处理工艺无需任何反冲洗设备及维护,易操作管理.填料在曝气池中依靠水力和曝气的搅拌作用处于流化状态,这不仅使污染物与填料上的生物膜频繁接触,传质效率高,而且填料在流化过程中切割分散气泡,自动使布气趋于均匀,提高了氧的利用率.同时可保证填料和池体不发生和少发生积泥现象.

参考文献:

[1] 肖羽堂,许建华.姚江饮用水源生化工艺去除污染总结[J].中国给水排水,1998,14(2):8 - 10.

[2] 梅　翔,陈洪斌,高廷耀,等.微污染水源水生物接触氧化处理工艺的启动与运行工况的调节[J].给水排水,1999,25(4):8 - 11.

[3] 陈洪斌.受污染源水的生物接触氧化处理研究[D].上海:同济大学环境科学与工程学院,1999.

[4] 汤利华,许建华,张晴浩.宁波市梅林水厂生物预处理工艺设计[J].同济大学学报(自然科学版),2000,28(2):224 - 227.

[5] 许建华,万　英,汤利华,等.微污染原水的生物接触氧化预处理技术研究[J].同济大学学报(自然科学版),1995,23(4):376 - 381.

[6] 张　东,许建华,刘　辉.用生物接触氧化预处理与常规工艺净化受污染原水[J].给水排水,2000,26(10):25 - 27.

[7] 梅　翔.微污染水源水生物接触氧化处理工艺的优化[D].上海:同济大学环境科学与工程学院,1999.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net