文章编号: 1003-6504(2001)06-0011-04

微污染水源水生物处理中硝酸盐氮的变化

梅　翔[1],　陈洪斌[2],　张全兴[1],　高廷耀[2]
(1. 南京大学环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京　210093;
2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海　200092)

摘　要: 通过中试系统和大型工程, 探讨了微污染水源水生物处理工艺中硝酸盐氮的变化规律。研究表明, 微污染水源水生物处理工艺中硝酸盐氮的增加是氨氮生物硝化的结果; 处理系统启动中硝酸盐氮变化率的变化反映了两类硝化细菌在生长速率和转化能力上的协调关系以及生物膜的成熟过程, 启动结束时硝酸盐氮变化率趋于 1.00; 稳定运行阶段各工况下处理系统硝酸盐氮变化率均在 1.00 附近; 水源水中少量的有机氮和亚硝酸盐氮对氨氮硝化过程无明显影响。硝酸盐氮变化率是描述微污染水源水生物处理系统氨氮硝化状况的重要参数。

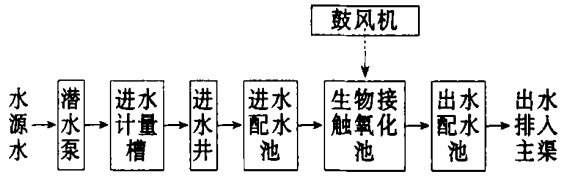
关键词: 水源水;　生物处理;　硝酸盐氮;　氨氮;　硝化细菌
中图分类号: X703;　**文献标识码**: A

研究表明, 微污染水源水的性质决定了其生物处理工艺只能是生物膜法工艺并且生物硝化过程是该工艺中主要的生化过程, 去除微污染水源水中的氨氮是该工艺的主要目的[1~5]。既然氨氮的去除是通过生物硝化作用将氨氮氧化为亚硝酸盐氮并最终氧化为硝酸盐氮来实现的, 那么在处理工艺中通过硝酸盐氮的分析可以了解硝化细菌的生长变化和处理工艺的运行状况, 而目前从硝酸盐氮角度研究分析微污染水源水生物处理工艺的报道很少。

本研究通过中试系统和大型工程, 探讨了微污染水源水生物接触氧化处理工艺启动过程和稳定运行阶段生物接触氧化池中氨氮的去除及硝酸盐氮的变化规律, 为工艺的运行控制提供了依据。

1　试验装置

试验在广东省东江的一条引水渠道边开展[6], 工艺流程如下:



渠道内受污染的水源水通过潜水泵提升至进水计量槽, 由量水堰测针读数计量进水流量, 经进水井、进水配水池流入生物接触氧化池(以下简称生化池), 由尾门测针读数控制生化池有效水深。处理后的出水经出水配水池, 通过排水沟流入主渠。以罗茨鼓风机向生化池供气, 供入池内的空气量通过玻璃转子流量计、气压表和压力式温度计进行计量。生化池为 20.0m × 1.0m × 4.3m (有效水深 3.8m), 池内均匀布置 60m^3 的 YDT 型弹性立体填料(单体尺寸为 Φ200mm × 3000mm), 池底安装 20 根 DN25 穿孔曝气管(ABS 工程塑料管), 两侧 Φ3 孔 45 ° 向下, 同侧孔距 120mm, 异侧孔距 60mm。

2　试验结果分析与讨论

2.1　启动过程

采用水源水自然接种的方法进行工艺启动, 保持生化池水力停留时间(HRT)为 60min, 控制气水比为 1.70(空气量已换算成 20℃、1.013 × 10^{5}Pa 状态, 下同)。启动过程生化池氨氮去除量(-Δ[NH_4^+-N])和硝酸盐氮增量(Δ[NO_3^--N])的历时变化如图 1 所示。

由图 1 可见, 启动初期, 生化池氨氮去除量和硝酸盐氮增量均很小, 5 月 1 日氨氮去除量和硝酸盐氮增量分别为 0.25mg/L 和 0.021mg/L, 此后两者逐渐上升, 至 5 月 12 日, 氨氮去除量和硝酸盐氮增量已分别达到 3.60mg/L 和 3.390mg/L, 随后氨氮去除量和硝酸盐氮增量趋于一致。

由此看出, 尽管启动过程生化池氨氮去除量和硝酸盐氮增量总体上均逐渐上升, 但氨氮的去除与硝酸盐氮的增加不是同幅的。现将生化池硝酸盐氮增量与氨氮去除量之比定义为生化池的硝酸盐氮变化率{(Δ([NO_3^--N])/(-Δ[NH_4^+-

收稿日期: 2001-07-04
作者简介: 梅翔(1967—), 男, 博士, 讲师, 主要研究水污染控制。

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

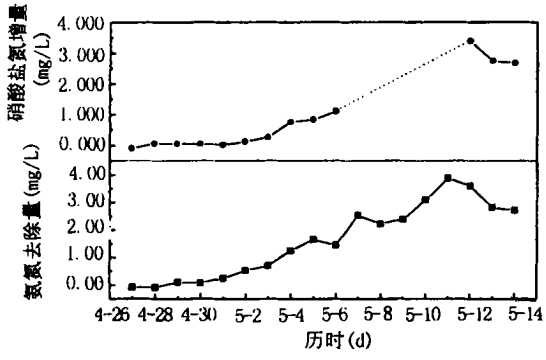


图 1　氨氮去除量和硝酸盐氮增量的历时变化(试验中)

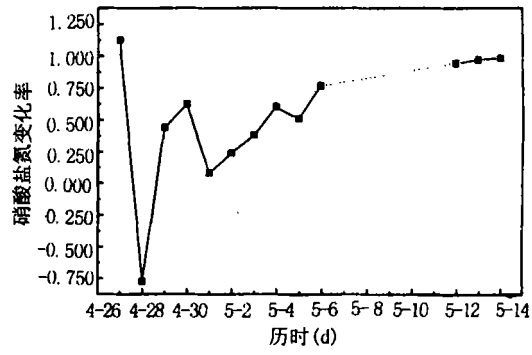


图 2　硝酸盐氮变化率的历时变化(试验中)

N])}。由图 2 可见,启动过程生化池硝酸盐氮变化率存在一个历时变化的过程。启动初期硝酸盐氮变化率偏离 1.00 较大且不稳定,随后硝酸盐氮变化率趋于 1.00。

另外,启动过程生化池进、出水亚硝酸盐氮间断性测试数据如表 1 所示。启动初期,亚硝酸盐细菌转化氨氮为亚硝酸盐氮的量远大于硝酸盐细菌转化亚硝酸盐氮为硝酸盐氮的量,故作为氨氮硝化过程中间产物的亚硝酸盐氮的增量相对于氨氮去除量的积累率很高,而启动后期,尽管生化池亚硝酸盐氮也略有积累,但相对于氨氮去除量的积累率则很小。

表 1　启动过程生化池进、出水亚硝酸盐氮间断性测试数据

日期	4 月 27 日	4 月 28 日	4 月 29 日	4 月 30 日	5 月 1 日	5 月 12 日	5 月 13 日
进水亚硝酸盐氮 (mg/L)	0.066	0.060	0.069	0.050	0.061	0.106	0.086
出水亚硝酸盐氮 (mg/L)	0.069	0.069	0.178	0.127	0.245	0.525	0.239
亚硝酸盐氮增量 (mg/L)	0.003	0.009	0.109	0.077	0.184	0.419	0.153
亚硝酸盐氮积累率	-0.038	-0.113	1.090	0.963	0.736	0.116	0.054

综上所述,可以判定填料上亚硝酸盐细菌和硝酸盐细菌在生长速率和转化能力上的差异影响到启动的进程,并且启动中生化池硝酸盐氮变化率的变化反映了两类硝化细菌在生长速率和转化能力上的协调关系。

2.2　稳定运行阶段

启动过程完成后,保持生化池 HRT 为 50min,调节气水比分别为 0.80、0.90、1.00 和 1.20,进入工况运行阶段。每个工况连续运行 10 天左右,各工况下生化池氨氮硝化状况如表 2 所示。

表 2　各工况下生化池氨氮硝化状况

气水比	水温平均 (℃)	氨氮平均(mg/L)			硝酸盐氮平均(mg/L)			硝酸盐氮变化率
		进水	出水	去除量	进水	出水	增量	
0.80	27.8	3.92	2.16	1.76	0.904	2.710	1.806	1.026
0.90	27.7	3.02	1.12	1.90	1.255	3.187	1.932	1.017
1.00	27.7	2.96	0.98	1.98	0.699	2.659	1.960	0.990
1.20	26.7	2.67	0.65	2.02	2.102	4.175	2.073	1.026

由表 2 可见,对每一气水比工况,生化池硝酸盐氮变化率均在 1.00 附近,说明稳定运行阶段生化池内氨氮转化为硝酸盐氮的过程能够顺利进行。

2.3　有机氮和亚硝酸盐氮的影响

水体中的氨氮有些来自有机含氮化合物的分解,氨氮与有机氮往往并存。根据有机氮的间断性测试数据(有机氮= 凯氏氮- 氨氮,即通过测定凯氏氮间接获得有机氮),水源水中的有机氮为 0.08～0.58mg/L,平均为 0.36mg/L,同期氨氮平均为 2.67mg/L,前者与后者之比约为 1/7。说明了渠道内水源水中存在少量的有机氮。同时,微污染水源水中也会存在少量的亚硝酸盐氮。那么水源水中有机氮和亚硝酸盐氮的存在对生化池氨氮去除效果以及氨氮的转化过程会有怎样的影响呢?

如果有机氮和亚硝酸盐氮对生化池中氨氮的去除有较大影响,则通过生物处理过程,会在氨氮

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

转化中得以体现,即进水氨氮经生化池后的表观削减率与生化池中氨氮的实际转化率之间将有较大的差距。为区别起见,称前者为生化池氨氮去除率、后者为生化池氨氮转化率。

设:进水氨氮浓度为A,进水有机氮浓度为B,出水氨氮浓度为C,出水有机氮浓度为D,进水中的有机氮在生化池内转化为氨氮的转化率为E,出水与进水亚硝酸盐氮浓度之差为G,出水与进水硝酸盐氮浓度之差为H。则有:

生化池氨氮去除率 $E_1=(A-C)/A$　　(1)

生化池氨氮转化率 $E_2=(A+BE-C)/(A+BE)$　　(2)

现忽略生化池内微生物有机体的合成分解作用对池内氮平衡的影响,有:

$A+BE-C=G+H$　　(3)

将式(3)代入式(2),有:

$E_2=(G+H)/(G+H+C)$　　(4)

结合表2,将生化池稳定运行阶段各工况下生化池氨氮去除率和氨氮转化率的计算结果列入表3中。

表3　生化池氨氮去除率与氨氮转化率的比较

气水比	亚硝酸盐氮平均(mg/L)			氨氮去除率(%)	氨氮转化率(%)
	进水	出水	增量		
0.80	0.111	0.179	0.068	44.9	46.5
0.90	0.093	0.203	0.110	62.9	64.6
1.00	0.072	0.264	0.192	66.9	68.7
1.20	0.115	0.161	0.046	75.7	76.5

由表3可见,各工况下生化池氨氮转化率E_2均高于氨氮去除率E_1,并且生化池中氨氮的实际转化量(G+H)均大于氨氮的表观削减量(A-C),但E_2-E_1及G+H+C-A都很小。由此可以说明,进水中的有机氮在生化池内会不同程度地转化为氨氮,但转化量(G+H+C-A)很小,对生化池中氨氮的硝化过程影响不大。同时,作为氨氮硝化过程中间产物的亚硝酸盐氮,在处理系统稳定运行时,其在生化池内的积累是很少的。因此,生化池内硝酸盐氮变化量主要来自氨氮经生物硝化而转化的量,同时,以氨氮去除率作为微污染水源水生物处理工艺运行效果的考察和研究指标是切合实际的。

3　大型工程运行实践

在中试规模试验研究的基础上,建设了目前世界上规模最大的微污染水源水生物处理工程,设计处理水量为400万m^3/d。生物处理池由六座并列的廊道组成,每一廊道长270m、宽25m,有效水深为3.80m,廊道内设置YDT型弹性立体填料,采用穿孔曝气管曝气。工程于1998年底进入填料挂膜的系统启动过程,采用的HRT为69.3min,气水比为1.25。启动过程生物处理池氨氮去除量和硝酸盐氮增量的历时变化如图3所示,硝酸盐氮变化率的历时变化如图4所示。

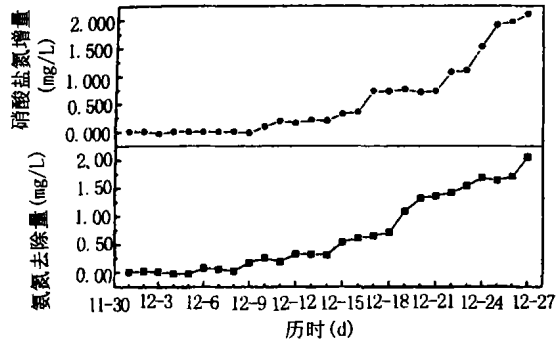


图3　氨氮去除量和硝酸盐氮增量的历时变化(工程中)

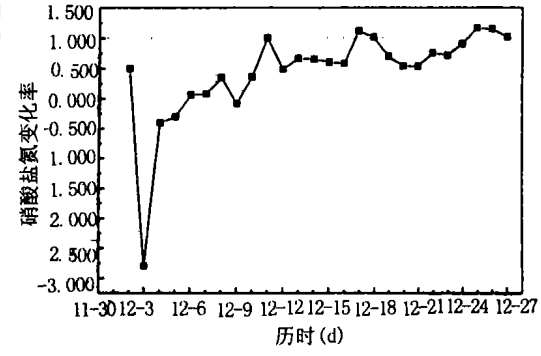


图4　硝酸盐氮变化率的历时变化(工程中)

由图3和图4可见,水源水自然接种的条件下,启动初期生物处理池氨氮去除量和硝酸盐氮增量均很小,硝酸盐氮变化率波动也较大。随着填料上硝化细菌的生长繁殖,生物处理池硝化能力的逐步发挥,氨氮去除量和硝酸盐氮增量均不断上升,硝酸盐氮变化率也逐步趋于1.00,启动过程结束时,氨氮去除量和硝酸盐氮增量分别达到2.06mg/L和2.105mg/L。反映出工艺系统启动过程既是填料上亚硝酸盐细菌和硝酸盐细菌不断生长的过程,也是两类硝化细菌在生长速率和转化能力上趋于稳定的过程。

启动过程完成后,于1998年12月28日关闭泄洪闸,将生物处理池处理水量提高至设计水量400万m^3/d,而供气量不变,即生物处理池按HRT为55.4min、气水比为1.00运行。生物处理池氨氮硝化状况如表4所示。

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

由表 4 可见, 启动过程完成后, 在处理水量达到设计水量的情况下, 生物处理池运行状况经过短暂的调整, 尽管水温处于渐趋下降的状态, 氨氮去除效果也保持了较为稳定的水平。同时硝酸盐氮变化率始终在 1.00 附近, 反映了生物处理池发挥了良好的氨氮硝化性能。

表 4 稳定运行时生物处理池氨氮硝化状况

日期	水温 (℃)	氨氮(mg/L)			硝酸盐氮(mg/L)			硝酸盐氮变化率
		进水	出水	去除量	进水	出水	增量	
12 月 28 日	19.8	2.85	1.29	1.56	0.684	2.269	1.585	1.016
12 月 29 日	19.6	2.88	1.18	1.70	0.686	2.330	1.644	0.967
12 月 30 日	19.5	2.88	1.01	1.87	0.689	2.568	1.879	1.005
12 月 31 日	19.5	2.44	0.66	1.78	0.650	2.561	1.911	1.074
1 月 1 日	19.6	2.17	0.45	1.72	0.682	2.641	1.959	1.139
1 月 2 日	19.2	2.18	0.53	1.65	0.815	2.710	1.895	1.148
1 月 3 日	18.8	2.50	0.56	1.94	0.953	2.980	2.027	1.045
1 月 4 日	18.6	2.73	0.67	2.06	0.990	3.005	2.015	0.978
1 月 5 日	18.2	2.67	0.74	1.93	1.218	3.262	2.044	1.059
1 月 6 日	18.0	2.53	0.70	1.83	1.271	3.064	1.793	0.980

4 结论

4.1 微污染水源水生物处理系统中氨氮的去除与硝酸盐氮的增加是氨氮生物硝化过程的具体表现。就相对稳定的水源水质和一定的工艺运行条件而言, 处理系统形成稳定的氨氮去除量和硝酸盐氮增量是处理系统稳定地发挥生物硝化功能的重要标志。

4.2 微污染水源水生物处理系统启动过程中硝酸盐氮变化率的变化反映了两类硝化细菌在生长速率和转化能力上的协调关系, 当硝酸盐氮变化率趋于 1.00 时, 表明两类硝化细菌在数量和活性上趋于稳定, 生物膜渐趋成熟, 启动过程顺利完成。稳定运行阶段各工况条件下生化池硝酸盐氮变化率始终在 1.00 附近, 表明氨氮转化为硝酸盐氮的过程进行得较为彻底。

4.3 微污染水源水中少量的有机氮和亚硝酸盐氮对生化池内氨氮硝化过程无明显影响, 生化池内硝酸盐氮变化量主要来自氨氮经生物硝化而转化的量, 氨氮去除率与氨氮转化率很接近。采用氨氮去除率作为微污染水源水生物处理工艺运行效果的评价指标是恰当的。

4.4 大型工程运行实践表明, 微污染水源水生物处理系统中硝酸盐氮的变化反映了氨氮的生物硝化过程, 硝酸盐氮变化率是描述系统运行状况的重要参数。

[参考文献]

[1] 刘文君, 贺北平, 张锡辉, 等. 淮河(蚌埠段)饮用水源水生物接触氧化预处理生产性试验[J]. 环境科学, 1997, 18(1): 20~22.

[2] 周大佐. 污染水源水的生物预处理[J]. 上海环境科学, 1997, 16(4): 23~25.

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

[4] 黄晓东, 于正丰, 王占生, 等. 受污染珠江水源水的生物预处理试验研究[J]. 给水排水, 1998, 24(7): 35~37.

[5] 查人光, 贺尧基, 徐兵. 生物接触氧化预处理在石臼漾水厂中的应用[J]. 给水排水, 1999, 25(3): 9~11.

[6] 梅翔, 高廷耀. 水源水生物处理工艺中亚硝酸盐氮的去除[J]. 环境科学与技术, 2000, (3): 3~7.

Nitrate-nitrogen Variation in Biological Treatment of Slightly Polluted Source Water

MEI Xiang[1], CHEN Hong-bin[2], ZHANG Quan-xing[1], GAO Ting-yao[2]

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse; School of Environment, Nanjing University, Nanjing 211009, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Nitrate-nitrogen variation in the biological process for treatment of slightly polluted source water has been investigated by use of a pilot-scale unit and a full-scale plant. The results showed that the increase of nitrate-nitrogen resulted from biological nitrification of ammonia-nitrogen. The changes in nitrate-nitrogen variation rate during the start-up of the treatment systems indicated the correlation of two groups of nitrifying bacteria in their respective growth rate reached 1.00 when the start-up ended. Under each working condition of the steady operation stage, the nitrite-nitrogen in source water had no obvious influence on ammonia-nitrogen nitrification. The nitrate-nitrogen variation rate was one of the important parameters to describe ammonia-nitrogen nitrification status in biological treatment of slightly polluted source water.

Key words: source water; biological treatment; nitrate-nitrogen; ammonia-nitrogen; nitrifying bacteria

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