

生物转盘高效脱氮的实验研究

李 芳¹ 阚连宝¹ 崔红梅¹ 吕炳南²

(¹ 东北石油大学土木建筑工程学院给排水工程专业 大庆 163318;

² 哈尔滨工业大学市政环境工程学院市政工程系 哈尔滨 150090)

摘 要 采用单轴三级生物转盘(RBC),在水力停留时间(HRT)为 5、8、12h 时,总氮(TN)去除率分别为 30.94%、51.52%、58.67%。证明了生物转盘具有同步硝化反硝化的功能。增加硝化液回流系统后,在温度为 15℃、回流比为 200% 时,TN 去除率为 74.57%。改变转盘的转速及水温,在试验中水温 30℃、生物转盘转速 10r/min 时,转盘对 TN 的去除率达到最大值为 85.35%。实验结果表明,生物转盘在污水脱氮上有较好的应用前景。

关键词 同步硝化反硝化 生物转盘 总氮去除率 硝化液回流

Study on High Denitrification of Rotating Biological Contactor

Li Fang¹, Kan Lianbao¹, Cui Hongmei¹, Lv Bingnan²,

(¹ Department of Water Draining and Supply, School of Civil Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318;

² School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090)

Abstract To adopt a 3-stage rotating biological contactor(RBC), the removal rate of total nitrogen(TN) is 30.94%, 51.52%, 58.67% respectively when the hydraulic retention time(HRT) is 5、8、12h. It is proved that the BRC has the function of simultaneous nitrification and denitrification. After increasing nitrification liquid circulation system, the removal rate of TN achieved to 74.57% at 15℃ and reflux ratio 200%. Changing rotation rate of RBC and water temperature, removal rate of TN achieved to 85.35% at water temperature 30℃ and rotation rate 10r/min. The results showed that the RBC exhibits a good prospect for removing of nitrogen in wastewater treatment.

Keywords Simultaneous nitrifications and denitrification, Rotating biological contactor, The removal rate of total nitrogen, Nitrification liquid circulation system

生活污水中含有大量的含碳和氮的化合物,如果不经任何处理排入水体,将对地表水体造成严重的污染。近些年我国许多天然水体的富营养化现象频繁出现,污水如何高效脱氮已成为改善水生生态环境的关键问题之一。生物转盘(RBC)具有微生物浓度高、产生污泥量少、运行费用低、便于维护管理等优点而在污水处理上得到了广泛的应用^[1]。它除被用于去除水中的含碳化合物外,也可以用于生物脱氮,早在 1978 年 Ishiguro 等在用单的生物转盘处理垃圾卫生填埋渗滤液时,就发现了氮的减少,且在夏季氮的减少尤为明显,表明生物转盘具有脱氮的功能。

1 实验原理

从微环境理论分析,在生物膜处理系统内,由于氧扩散受到限制,在生物膜内产生溶解氧的变化梯度,即:生物膜的外表面溶解氧浓度高,以好氧硝化菌和氨化菌为主;深入内部,氧传递受阻及外部溶解氧的大量消耗,产生缺氧区,反硝化菌占优势,从而形成有利于同步硝化反硝化的微环境^[2]。

从生物学角度分析,目前国内外的研究发现,大量的异养硝化菌的存在,可以对有机或无机氮化合物进行异养硝化。例如,辛玉峰等^[3]通过对养殖塘底泥内的菌种进行分离筛选,培养出了异养硝化菌,

李芳 女,33 岁,硕士,讲师,从事污水及含油污泥处理研究。E-mail: lif1216@163.com

2012-01-06 收稿 2012-02-23 接受

并通过鉴定得出了其具有较好的异养硝化及反硝化功能的结论。与自养型硝化菌相比较,异养型硝化菌的生长速率快、细胞产量高。许多异养硝化菌能进行好氧反硝化反应,在产生 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的过程中将这些产物还原,即直接将 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化为最终气态产物 N_2 而去除^[4]。这种同步硝化-反硝化的能力,使微生物能够实现硝化-反硝化作用在同一时空上的统一,大大简化了传统生物脱氮的过程,节约了运行成本和基建费用^[5]。

2 实验部分

2.1 装置、材料

本实验采用单轴三级生物转盘装置(图1),每级9片,氧化槽为薄铁板焊制而成。每级容积 23L,转盘主要技术参数见表1。水箱内的水经蠕动泵打入第一级氧化槽的首端,依次流经二、三级生物转盘,最后进入二沉池,泥水分离。污泥由二沉池底部的排泥口排出。

表1 生物转盘的主要技术参数

Tab.1 The main technical parameters of rotating biological contactor

级数	3
盘片直径/cm	30
盘片间距/cm	5.5
每级有效表面积/ m^2	5
每级槽容积/L	23L
转速/(r/min)	5~15
每级盘片个数	9
盘片浸没率/%	45



图1 生物转盘实际装置图

Fig.1 The actual setup of RBC

实验用水水质见表2。

2.2 实验方法

本实验从启动开始,每天向反应器内投加一定量的取自城市污水处理厂二沉池的污泥。进水的化学需氧量(COD)约为 500mg/L 左右,水力停留时间(HRT) 24h,进行生物膜的培养。7d 后 COD 的去除率可达到 46% 左右,15d 达到 66% 左右。17d 后,HRT 改为 10h,进水浓度不变,26d 后,COD 的去除率为 80% 多,RBC 正常运行。

表2 实验用水水质

Tab.2 The quality of test water

COD/(mg/L)	300~450
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ /(mg/L)	25~35
TP/(mg/L)	1~3
TN/(mg/L)	50~60

3 结果与讨论

3.1 不同 HRT 下总氮(TN)去除效果

在转盘转速 10r/min 时的实验结果见表3。BRC 各级均好氧运行。pH 在 6.5~7.0 之间时,由表3可知,当 15℃ 的 HRT 为 5、8、12h 时,BRC 的脱氮率分别为 30.94%、51.52%、58.67%。氮的去除量超过了自身生长所需要的量,所以总氮(TN)的减少是同步硝化反硝化的作用。

随着 HRT 的增加,TN 去除率均有所增加,原因在于(1)当 HRT 短时,进水有机负荷增加,异养型细菌的生长繁殖旺盛。自养型的主要是硝化菌的生长繁殖受到影响。进水的有机物浓度较高时,硝化菌对营养物质和溶解氧(DO)的竞争能力弱于异养型细菌,导致转盘系统的硝化能力减弱。所以在 HRT 为 5h 的硝化率和脱氮率低于 8h 的;(2)硝化菌的世代时间很长,所以需要较长的 HRT。HRT 短,硝化菌的生长和繁殖均受到了很大的影响。硝化率较低,同时也影响了反硝化的效果。所以在 HRT 为 5h 时,RBC 的脱氮率仅为 30.94%。但当 HRT 从 8h 增加到 12h,硝化率和 TN 去除率增加幅度不大,原因在于 HRT 的增加导致进水有机物浓度降低,水中的溶解氧增加。缺氧区域逐步缩小,反硝化反应受到

抑制,TN 的去除效果增加幅度变小。当 HRT 为 8h 时,本套装置在较低的温度下,仍然获得了较好的脱氮率。

表 3 不同水力停留时间下的总氮去除率

Tab. 3 The removal rate of TN under the different HRT

	HRT/h	COD/(mg/L)	硝酸盐氮/(mg/L)	亚硝酸盐氮/(mg/L)	TN/(mg/L)	氨氮/(mg/L)
原水		350.49	0	0	45.82	29.67
第一级出水	5	235.15	5.34	1.10	35.14	23.81
第二级出水		137.42	3.07	0.14	33.78	21.95
第三级出水		94.17	7.99	0.29	31.64	12.34
总的去除率%		73.13			30.94	58.40
原水		355.31	3.74	0	63.41	32.43
第一级出水	8	120.45	3.02	0.19	42.57	24.12
第二级出水		100.68	4.10	0.21	34.15	10.66
第三级出水		76.13	7.56	0.10	30.74	8.18
总的去除率%		78.57			51.52	74.77
原水		364.21	6.94	0	72.54	30.01
第一级出水	12	85.47	4.97	0	55.21	21.4
第二级出水		96.75	7.81	0.13	42.87	15.4
第三级出水		28.52	15.04	0.31	29.98	7.09
总的去除率%		92.17			58.67	76.01

3.2 加入回流系统阶段的结果

由表 3 可知 BRC 出水硝酸盐氮含量较高,反硝化效果不是很好,试验的第二阶段,HRT 固定在 8h,转盘转速 10r/min,增加了硝化液回流系统,出水由二沉池上部回流至进水口,同时降低转盘转速,以减小氧化槽内的溶解氧浓度,更有利于反硝化的进行。不同的回流比时,BRC 约运行两周。

水温 15℃ 时,由图 2 可知,增加回流比后,氨氮和 TN 的去除率均有所提高。在回流比为 100% 200% 300% 时,TN 的去除率分别为 58.6% 74.57% 64.8%。

由表 4 数据和图 2 共同分析可知,随着回流比的增加,氨氮、TN 和 COD 的去除率均有所增加。在回流比为 200% 时,TN 去除效果最好,此时出水 TN 浓度在 10mg/L 左右。进一步分析可知,降低 BRC 的转速,导致各级溶解氧的降低,特别是第一级转盘内,溶解氧在 1~2mg/L 之间,氧化槽内的环境更有利于反硝化的进行。硝化液回流至第一级,为第一级内的反硝化又提供了足够的底物,有利于第一级内反硝化菌的生长、繁殖。所以增加了硝化液回流系统后,TN 的去除率显著提高。

随着回流比的增加,回流量增加,会导致 BRC 内各级溶解氧的变化。从微环境理论来看,DO 浓度过低,生物絮凝体内微环境倾向于向缺氧或厌氧状态发展,这种微环境会提高系统的好氧反硝化能力,但也会对大部分生存于生物絮体内部硝化菌产生抑制作用,影响 NH_4^+-N 的去除率,从而影响了 TN 的去除效果;DO 浓度过高,氧的传递能力增强,使得污泥絮体内部难以形成缺氧区,或者形成缺氧区的总体积减少,生物絮凝体内微环境倾向于向好氧状态发展。有利于提高 NH_4^+-N 的去除率。但却降低了好氧反硝化能力;DO 太高还会加强好氧异养菌降解 COD 的能力,使得污泥絮体内部的缺氧区因碳源不足而导致生物膜系统的好氧反硝化能力降低,进而降低了对 TN 的去除率^[6,7]。实验中回流比为 200%,BRC 的第一级、第二级、第三级溶解氧分别为 1~2、2~3 和 3~4mg/L 时脱氮效果最好。

3.3 不同水温时 TN 去除效果

由于实验水温较低,影响了微生物的活性,进而影响了微生物对 TN 的代谢作用,第三阶段改变水温,测定不同水温条件下 TN 的去除效果,结果见图 3。

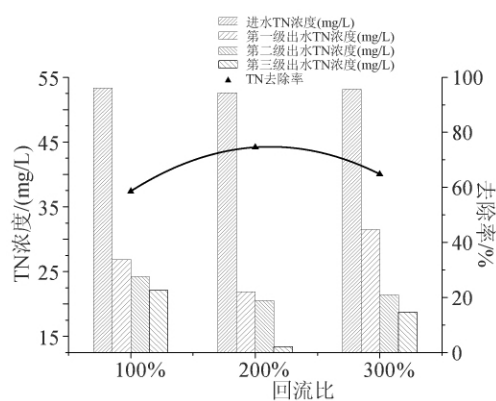


图 2 不同回流比时总氮的去除效果

Fig. 2 Total nitrogen removal plans under the different reflux ratio

表 4 不同回流比下的平均监测值

Tab.4 Average monitoring values under the different reflux ratio							
回流比	COD/(mg/L)	硝酸盐氮/(mg/L)	亚硝酸盐氮/(mg/L)	氨氮/(mg/L)	pH	溶解氧/(mg/L)	
原水	436.80	4.50	0	30.74	6.98		
第一级出水	158.99	3.94	0.64	12.17	6.72	1~2	
第二级出水	1:1	127.54	3.07	10.49	6.74	2~3	
第三级出水		111.82	0.13	6.89	6.38	3~4	
总的去除率	74.40			77.58			
原水	301.56	6.36	0	33.59	7.01		
第一级出水	217.12	0	1.08	15.96	6.70	1~2	
第二级出水	2:1	103.33	7.46	14.10	16.00	2~4	
第三级出水		87.88	12.72	7.76	6.66	4~5	
总的去除率	70.85			76.90			
原水	408.96	9.43	0	27.26	7.10		
第一级出水	103.55	6.80	0.51	11.86	6.61	2~3	
第二级出水	3:1	63.18	9.87	5.90	6.50	3~4	
第三级出水		57.92	10.53	3.41	6.02	4~6	
总的去除率	85.83			87.49			

由图 3 可知,在水温 15℃、25℃、30℃、35℃ 时 TN 去除率分别为 74.56%、80.57%、85.35%、77.60%。水温是影响硝化菌和反硝化菌生长繁殖的主要因素之一,其中硝化菌的最适宜温度为 20℃~30℃,15℃ 以下时硝化速度下降,5℃ 时完全停止;反硝化反应的最适宜温度 20℃~40℃,低于 15℃ 反硝化菌的增殖、代谢速率降低。所以,随着温度从 15℃ 升高到 30℃,TN 去除率随之升高,30℃ 时达到最大值 85.35%。温度继续增加到 35℃,TN 的去除效果反而下降,这是因为温度超过微生物的最适温度,会对生物的酶活性等产生抑制作用,降低了 TN 的去除率。

3.4 不同转速时 TN 去除效果

在 RBC 转动时,一部分附着生物膜的盘片离开污水与空气相接触,生物膜上的固着水层从空气中吸收氧,并将吸收的氧传递到生物膜和污水中。另外 RBC 的盘片转动,搅动氧化槽内的污水,也可以起到一定的增加污水中溶解氧的作用。所以,RBC 的转速对生物转盘内各级溶解氧含量的影响较大,进而影响转盘内的硝化和反硝化的效果。

不改变回流比,在水温 30℃ 条件下,改变 RBC 的转速,测定不同转速条件下,TN 去除效果,结果见表 5。

表 5 RBC 不同转速时的 TN 去除效果

Tab.5 Total nitrogen removal rate under the different rotation rate of RBC			
转速/(r/min)	TN/(mg/L)	溶解氧/(mg/L)	
原水	56.18		
第一级出水	21.93	1~2	
第二级出水	5	19.27	1~3
第三级出水		12.52	3~4
总的去除率	77.71%		
原水	67.92		
第一级出水	28.14	1~2	
第二级出水	10	20.61	2~4
第三级出水		9.95	4~5
总的去除率	85.35%		
原水	63.76		
第一级出水	31.75	2~3	
第二级出水	15	23.24	3~5
第三级出水		17.94	5~6
总的去除率	71.61%		

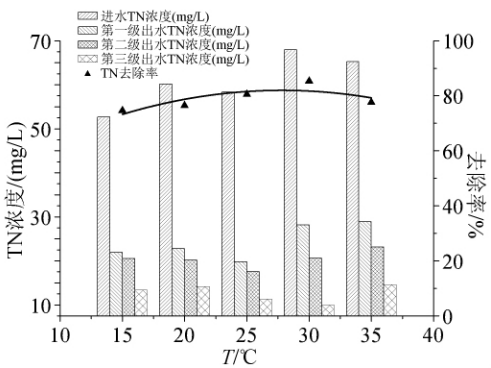


图 3 不同水温时总氮的去除效果

Fig.3 Total nitrogen removal plans under the different temperature

由表 5 可知 ,RBC 转速分别为 5、10、15r/min 时 ,TN 去除率为 77.71%、85.35% 和 71.61%。RBC 转速低 ,RBC 的充氧效果不好 ,转速 5r/min 时 RBC 内各级的溶解氧含量相对较低 ,需要厌氧环境的反硝化效果较好 ,但由于生物膜内的微生物得不到足够的氧 ,硝化效果较差 ,减少了反硝化底物的生成量 ,从而影响了 TN 的去除效果。所以 ,随着转速的提高 ,TN 去除率增加 ,试验中在 RBC 转速 10r/min 时 ,TN 去除率最高 ,为 85.35%。转速过高 ,RBC 各级溶解氧含量增加 ,硝化效果提高了 ,但氧浓度高 ,穿透生物膜的能力增强 ,减少了生物膜内的缺氧和厌氧微环境的范围 ,影响了反硝化菌的生长繁殖和代谢 ,所以反硝化作用较差 ,从而影响了 TN 的去除效果。转盘转速 15r/min 时 ,进水总氮 63.76mg/L ,起主要反硝化作用的 RBC 第一级出水 TN 高达 31.75mg/L ,说明 RBC 内的反硝化效果不好 ,TN 去除率仅为 71.61%。

4 结语

水力停留时间为 5h、8h、12h 时 ,生物转盘的脱氮率分别为 30.94%、51.52%、58.67%。由于生物转盘各级溶解氧均大于 2mg/L ,所以总氮的减少是好氧反硝化的作用。在生物转盘系统固定水力停留时间 8h 时 ,调节转速使第一级生物转盘内溶解氧控制在 1~2mg/L 之间后增加回流 ,总氮的去除率有所提高。特别是回流比为 200% 时 ,生物转盘总氮负荷为 2.86g/(m²·d) ,去除率最高可达 74.57% ,出水总氮浓度在 10mg/L 左右。总氮的去除率高于同等条件下传统脱氮工艺。结果表明 ,水温及转盘转速是影响生物转盘处理工艺效果的重要因素之一 ,本实验中水温 30℃、转盘转速 10r/min 时 ,TN 去除率达到最大值为 85.35%。

上述结果证明 ,生物转盘具有较好的同步硝化反硝化的高效脱氮功能。硝化液内回流虽然增加了能耗 ,但是由于生物转盘不需要曝气、污泥回流及生物量大等特点 ,运行能耗相对传统脱氮工艺较低。所以生物转盘在污水高效脱氮及水环境保护方面有较好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 张自杰. 排水工程. 第四版. 中国建筑工业出版社, 2000, 224~226.
- [2] 杨麒, 李小明, 曾光明等. 微生物学通报, 2003, 30(4): 88~91.
- [3] 辛玉峰, 曲晓华, 袁梦夕等. 微生物学报, 2011, 51(12): 1646~1654.
- [4] 郭劲松, 黄天寅, 龙腾锐. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(1): 8~13.
- [5] K Moriyama, K Sato, Y Harada et al. Water Sci. Technol., 1990, 22(7-8): 61~68.
- [6] 齐唯, 李春杰, 何义亮. 中国给水排水, 2003, 19(7): 8~11.
- [7] A B Gupta, S K Gupta. Water Res., 2001, 35(7): 1714~1722.