

同步硝化反硝化工艺在渗滤液 MBR 处理工程中运用

孔为丽

上海同臣环保有限公司 上海 200433

摘要: 在渗滤液处理工程中, 采用的主流工艺为预处理+生化+MBR+双膜法, 在上述处理过程中, 总氮的去除是个难点, 其主要去除工艺单元为生化处理+MBR 单元。出水总氮是否达标, 对渗滤液处理工程的运行结果的成败影响很大, 笔者通过在山东荣成渗滤液的项目调试等工作, 确定 MBR 反应器中的溶解氧在溶解氧控制在 1.0mg/L、碳氮比为 10 时, 发生同步硝化反硝化反应, 总氮去除效率最高; 并且溶解氧对 SND 除氮的影响大于碳氮比对 SND 反应的影响, 此项实验为后期渗滤液处理项目 MBR 膜工艺段的合理优化、保证出水总氮指标达标等工作打下基础。

关键词: 同步硝化反硝化; 碳氮比; 溶解氧; 总氮

Simultaneous nitrification and denitrification process is applied in leachate MBR treatment engineering

Weili Kong

Shanghai Tongchen Environmental Protection Co., LTD. Shanghai 200433

Abstract: In the leachate treatment process, the mainstream process adopted in this study is pretreatment + biochemical treatment + MBR + double-membrane filtration. In the above treatment process, the removal of total nitrogen is a difficulty, and the main treatment unit for total nitrogen removal is the biochemical treatment + MBR unit. Whether the effluent total nitrogen meets the standard has a great impact on the success or failure of the leachate treatment project. Through the project commissioning work in Rongcheng, Shandong, the author determined that the highest total nitrogen removal efficiency occurred when the dissolved oxygen in the MBR reactor was controlled at 1.0 mg/L and the carbon-to-nitrogen ratio was 10, which resulted in simultaneous nitrification and denitrification reactions. In addition, dissolved oxygen has a greater impact on SND denitrification than the carbon-to-nitrogen ratio. This experiment provides a basis for the reasonable optimization of the MBR membrane process stage in later leachate treatment projects and the guarantee of effluent total nitrogen compliance.

Keywords: Synchronous nitrification and denitrification; Carbon nitrogen ratio; Dissolved oxygen; Total nitrogen

一、研究背景

按照常规生物脱氮的学说^[1], 脱氮途径一般包括硝化和反硝化二个阶段, 硝化和反硝化二个过程需要在二个相对隔离的反应器中进行, 或者在时间或空间上造成交替缺氧和好氧环境的同一个反应器中; 但实际上, 在一些没有明显的缺氧或厌氧段的活性污泥工艺中, 系统内总氮的含量是下降, 在这些处理系统中, 硝化和反硝化反应往往发生在同样的处理条件及同一处理空间内, 因此, 这些现象被称为同步硝化/反硝化^[2] (SND)。

在处理渗滤液工艺中, 主流处理工艺为预处理+生化 MBR+双膜法处理, 根据现场实际运行中的参数, 在 MBR 中, 存在 SND 反应的条件, 针对上述山东荣成焚烧厂渗滤液项目, 进行工艺参数优化分析, 以期为后续运营提供更有的运营数据, 降低运营成本,

保证出水达标。

二、同步硝化反硝化机理

2.1 宏观环境

MBR 的溶解氧 DO 主要是通过风机曝气, 虽然渗滤液处理项目的曝气大多数采用射流曝气的形式, 但也没法保证反应器内每一处的溶解氧都是均一的。在 MBR 的反应器能产生事实中的低温和高氧段, 为反硝化细菌与硝化细菌的相互作用创造了有利条件。

2.2 微环境理论

缺氧微环境假说是目前已获得普遍认同的一种机制理论, 被看作是同步硝化/逆硝化过程发生的主要原因之一。很多数据都已经表明, 把溶解氧浓度限制在 0.5mg/L~ 的温度下和 mg/L 时, 也可以在常规的活性污泥工艺的微生物层操作中, 获得较好的同步硝化反硝化作用结果, 但是即使在相同的溶解氧浓度下, 同

步硝化反硝化作用结果受淤泥的絮凝体积尺寸和细菌层厚度影响。

三、调试项目简介

山东荣成焚烧厂的渗滤液，设计处理量为 680t/d。

为保证系统满足渗滤液复杂的性质，并能最大程度接受因水体变化而产生的环境影响，同时保证进水水质即使在最严酷的环境条件下出水水质也能长时间保持达标，该工程渗滤液的进水指标设计原理为：

表 1 焚烧厂渗滤液设计进水水质

水质指标	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
填埋山原液	40000	20000	2000

最终出水满足中水回用标准。

本项目采用的处理工艺为调节池+两级 A/OMBR+纳滤+反渗透处理工艺，浓缩液上 MVR 蒸发处理。

四、MBR 同步硝化反硝化调试实验

具体调试的实验结果如下所示（2022 年 7 月 5 日-8 月 10 日）：

碳氮比和溶解氧以上两个影响因素之间相互关联度较高^[3]。笔者在调试现场设计调试方案，污泥的 SR T 为 20d,每一组状态运行 5 天，测 MBR 进出水中的氨氮、总氮含量，总共 8 个试验组中,从分别得到表 1 下中列出的 MLSS 值以及,NH₄-N,TN 的进出水浓度的相应调试数据 ,通过表 2 列出的调试数据 ,可以得出 MBR 中产生的同步硝化反硝化反应及其影响去除效果的影响因素。

表 2 不同进水碳氮比和溶解氧对进出水氨氮、总氮浓度的影响

调试组	COD /TK N	DO (mg/L)	ML SS (g/L)	进水 NH ₃ -N (mg/L)	出水 NH ₃ -N (mg/L)	进水 TN (mg/L)	出水 TN (mg/L)
1	5	0.5	3.2	22.5	1.9	29.2	15.2
2	5	1	3.5	22.2	0.8	30	21.6

调试组	COD /TK N	DO (mg/L)	ML SS (g/L)	进水 NH ₃ -N (mg/L)	出水 NH ₃ -N (mg/L)	进水 TN (mg/L)	出水 TN (mg/L)
3	8	0.5	4.6	25.4	12.34	29.8	14.26
4	8	1	4.8	26.1	1.25	31.6	7.5
5	8	1.5	5.2	23.5	1	31.	9.4
6	10	0.5	6.5	25.2	14.5	30.8	15
7	10	1	6.2	26.9	0.6	31.6	4.3
8	10	1.5	6.8	23	0.7	30	12.6

由上表可以看出，8 种状态，除了第二组（C/N 为 5，DO 为 0.5mg/L）总氮去除率很低（28%）以外，其余的调试组的总氮去除率相对适宜。

(1) 混合液 DO 对系统除氮效果影响

A 混合液 DO 对系统总氮的去除影响，进水溶解氧为 0.5、1.0、1.5mg/ 时，对 MBR 中总氮，NO₂⁻、NO₃⁻ 去除率的影响见图 2，3 和 4

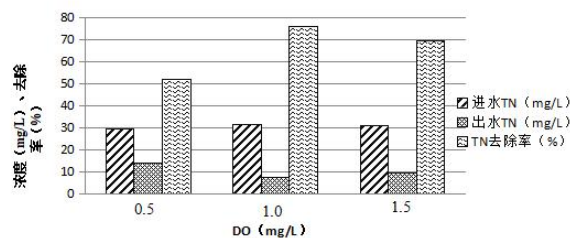


图 2 在 C/N 为 8 时不同 DO 浓度的污染物去除情况

图 2 为在 C/N 为 8，DO 分别为 0.5、1.0、1.5mg/L 条件下总氮的去除效果。溶解氧的浓度由 0.5mg/L 上升至 1.0mg/L 在升到 1.5mg/L 时，总氮的去除率也是先上升后下降，分析可能的原因是混合液中溶解氧浓度较高，污泥内部易被溶解氧击穿，没法形成缺氧的环境，兼性或者缺氧微生物活性被抑制，反硝化效果不佳，总氮去除率在反应器内溶解氧浓度较高的情况下偏低^[4]。

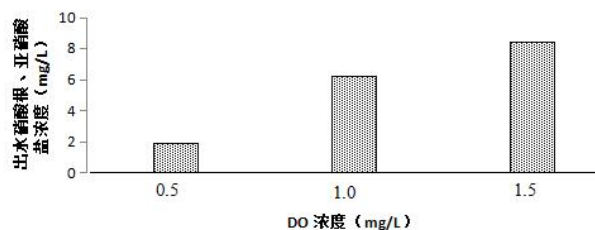


图 3 不同 DO 情况下出水的 NO_2^- 、 NO_3^- 浓度情况

图 3 显示的是在溶解氧为 0.5、1.0、1.5mg/L 时下水硝酸盐浓度和亚硝酸盐浓度的情况。当溶解氧浓度较高时，硝化反应较为彻底、硝化能力强，混合液中的大部分氨氮会被硝化菌反应生成硝酸根或亚硝酸根离子。当溶解氧为 1.5mg/L 时硝化反应更为彻底，出水的硝酸根离子浓度为最高。

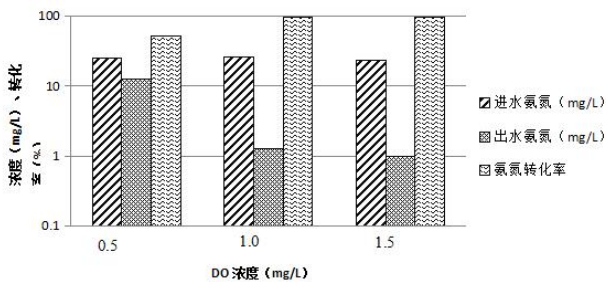


图 4 C/N 比为 8、不同溶解氧的氨氮转化率情况

图 4 跟上述两图一样的调试环境下、不同溶解氧条件下氨氮转换率的研究，当溶解氧的浓度从 0.5mg/L 上升到 1.0mg/L 时，氨氮转换从 51.4% 上升到 97.4%；氨氮转换率上升了 46%，说明溶解氧的浓度是对硝化反应影响较大。但当溶解氧浓度上升至 1.5mg/L 时，氨氮的去除率（转化率）仍维持在相对较高的水平，为百分之九十五点八。结合图 3 和 4 可知当溶解氧的浓度为 1.5mg/L 时会，反硝化反应较为缓慢或者有限，对反应器内出水总氮的去除有不利影响。

B 混合液 DO 对系统 pH 值稳定的影响

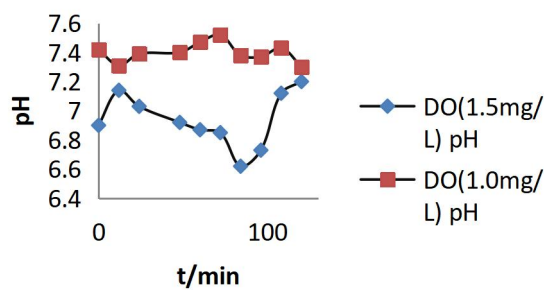


图 5 C/N 比为 8、DO 为 1.0mg/L 和 1.5mg/L 时的 pH 值变化情况

图 5 所示为溶解氧在 1.5mg/L 比溶解氧在 1.0mg/L 下系统 pH 的变化趋势为剧烈，因为溶解氧在 1.5mg/L 条件下溶解氧浓度较大，硝化反应进行的较为彻底，并且溶解氧进入到污泥的内部、导致其中内部是好氧或者间性的条件下从而使反硝化反不彻底；同步硝化

反硝化反应缓慢，并且在强烈的硝化反应中使水中的碱度消耗速度很快，使得反应水体得 pH 值持续下降，使其 pH 值波动较大。

但当溶解氧为 1.0mg/L 时，反应器内得 pH 变化不大，且偏弱碱性，反应器内是有同步硝化反硝化反应的，对水中的氨氮总氮有机物等污染物去除有较好的作用。

(2) 混合液中 C/N 对系统除氮的影响

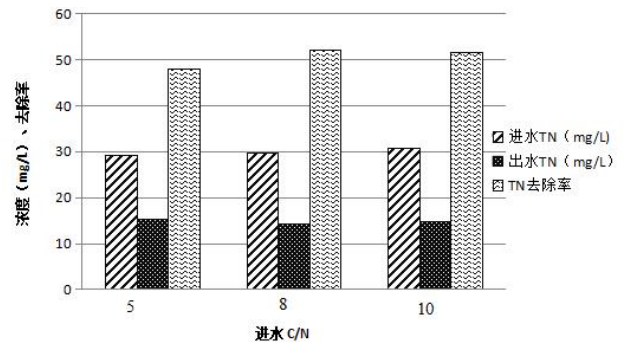


图 6 在溶解氧在 0.5mg/L 条件下，不同的碳氮比总氮去除情况

由图 6 可知，当溶解氧浓度为 0.5mg/L 以及 COD/TKN 为 5,8 以及 10 三个调试条件下，进出水总氮浓度、总氮去除率等情况，其总氮的去除率分别为 47.9%、52.1%、52.5%，去除率在 50% 左右，总氮去除效率不高，这可能与溶解氧浓度不够有关，导致硝化反应不够彻底，为后续反硝化反应提供的原料不足，最终导致反硝化的效率也不高，总氮去除率不高。

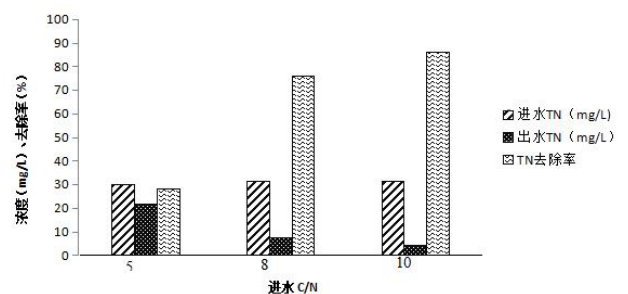


图 7 在溶解氧在 1.0mg/L 条件下，不同的碳氮比总氮去除情况

随着 COD/TN 由 5 上升到 8, TN 去除率出现大幅上升趋势，从 28% 上升到 76%，上升幅度为 48%，当 C/N 比上升到 10 时，总氮去除率上升到 86.3%，最终确定最合适的碳氮比定为 10。从上图可以看出在适当的溶解氧浓度下，混合液中的碳氮比越高，总氮去除率越高，碳源的作用可以消耗污泥絮体表面溶解

氧,使得污泥絮体内部形成微氧的环境,并且较多浓度的碳源能够渗透入污泥絮体内部,为反硝化反应提供足够的电子供体,提高整体反应器的反硝化处理水平。

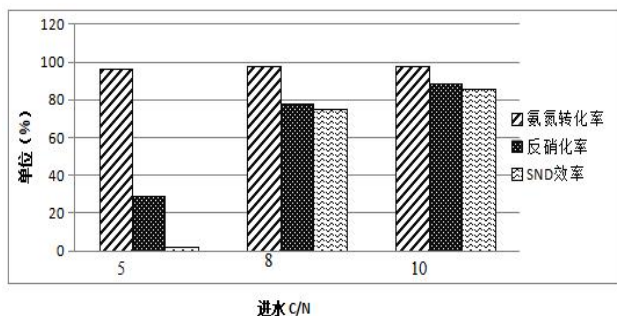


图 8 溶解氧在 1.0mg/L 条件下,不同的 C/N, SND 效率、反硝化率/氨氮转换率的比较

图 8 在溶解氧在 1.0mg/L 浓度下,碳氮比控制在为 5、8、10 情况下 SND 效率、反硝化率、氨氮转换率的比较。由图 8 可知 COD/TN 由 5 上升到 8, TN 去除率出现大幅上升趋势,从 28% 上升到 76%,反硝化率由 29% 上升至 78%;氨氮转换率略微上升;当 COD/TN 上升至 10 时,反硝化率增加至 88.3% 上升幅度为 10.3%。其中 SND 效率随着碳氮比的提升而得到大幅度提升,其值分别为:1.6%、75.1%、85.7%。

综上所述可知在 MBR 中进水碳氮比是控制同步硝化反硝化反应中的反硝化反应中的一个重要因素。碳氮比越高,反硝化率和 SND 效率越高,总氮的去除效果也越好。

(3) 调试实验分析

调试结果如表 3 所示

表 2 调试实验分析表

调试组	C/N 比	DO 浓度	MLS S	NH ₃ -N 去除率 (%)	TN 去除率 (%)
1	5(1)	0.5(1)		91.4	47.9
2	5(1)	1.0(2)		96.3	28
3	8(2)	0.5(1)		51.4	52.1
4	8(2)	1.0(2)		97.4	76
5	8(2)	1.5(3)		95.8	69.7
6	10(3)	0.5(1)		42.4	51.5
7	10(3)	1.0(2)		97.7	86.3

	8	10(3)	1.5(3)	96.8	57.4
X1	NH	TN	NH	TN	
	3-N		3-N		
X2	1.8	0.7	1.8	1.5	
	77	59	52	15	
X3	2.4	1.9	2.9	1.9	
	46	78	14	03	
氨氮	2.3	1.9	1.9	1.2	
	69	52	26	68	
总氮	0.9	0.3	0.6	0.5	
	385	795	173	05	
极差	0.8	0.6	0.9	0.6	
	153	593	713	34	
差	0.7	0.6	0.9	0.6	
	897	507	63	34	
极差	0.0	0.0	0.3	0.1	
	256	086	54	29	

表中 X₁: 特定列中在(1)号水平下相应氨氮、总氮去除率指标之和。 $\overline{X_1}$: X₁ 的值除以(1)号水平出现的次数。

某一列中的极差 R 等于这一列中 X 中最大数减去最小数,。一列中极差大的因素对调试实验影响大。由上表可以看出在溶解氧因素的极差大于碳氮比因素下的极差,在同等情况下,溶解氧对 SND 除氮的影响大于碳氮比对 SND 反应的影响^{[5] [6]}。

结合图 2 至图 8 可知,总氮效果去除较好的一组控制条件是为:溶解氧为 1.0mg/L、碳氮比为 10。

五、小结

在渗滤液处理项目的 MBR 工艺段中,维持特定的控制条件,在膜生物反应器中会发生同步硝化反硝化的反应,并且通过类似正交调试实验的数据可以得出,在膜生物反应器中,溶解氧的控制因素较碳氮比等因素对反应效率控制影响更大^{[5] [6]},这个可以用于后期的渗滤液处理 MBR 膜系统调试运营的指导。

参考文献:

[1] Ebata Kenichi . Disposal methoal for ammonia contained in drainage. JP.52004649[p]. 2007~01~13 .

[2] Azechi Hiroshi. method of removing ammonia from waste water . JP.53088700[p]. 2011~08~04.

[3]马皆文, 张雁秋, 华素兰, MBR 的工艺优势及应用发展[J]. 能源环境保护. 2005,

4 (2) : 20~23.

[4] Tom Stephenson , Simon Judd,Bruce Jefferson , Keith Brindle 著, 张树国, 李咏梅译, 膜生物反应器污水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003, 33~36.

[5] Robertson LA, Kuenen J G. Aerobic denitrification-old wine in new bottles[J]. Antonie van Leeuwenhoek, 2004, 50: 525—544 .

[6] Lloyd D, BODdy L, Davies KJP. Persistence of bacterial denitrification capacity under aerobic conditions: the rule rather than the exception. FEMS Microbiol Ecol,2007, 45: 185—190.

中图分类号: X703