

曝气生物滤池工艺处理港区污水中脱氮关键控制因素研究

叶建林^{1,2} (1. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098; 2. 连云港港口集团有限公司, 江苏连云港 222042)

摘要 [目的]探讨曝气生物滤池在处理港区污水中反应器的最佳工况参数。[方法]以某城市港区污水为处理对象,通过改变反应器的工艺参数,包括进水 COD 浓度、水力停留时间(HRT)和溶解氧(DO)等,考察各因素对反应器脱氮效果的影响,并综合考虑经济性原则,寻求最优化的工艺参数。[结果]进水 COD 浓度为 190~220 mg/L 时,有利于反硝化作用和 TN 的去除。HRT 的延长有助于系统内硝化菌群的代谢,当 HRT 为 6 h 时, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、TN 去除率可维持较高水平。DO 浓度宜保持在 2.5~3.5 mg/L,可保证出水稳定的前提下尽量降低 DO 值,以使反应器能耗降低。[结论]该研究为港区污水的处理提供了一种新方法。

关键词 COD 浓度;水力停留时间;溶解氧;脱氮效果;参数优化

中图分类号 S271;X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)23-09745-02

Study of Critical Control Factors in Harbour District Wastewater Treatment by BAF Process
YE Jian-lin (College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098)
Abstract [Objective] The study aimed to discuss the optimal process parameters of biological aerated filters (BAF) reactor during the process of harbour district wastewater treatment. [Method] With harbor district wastewater from a city as the study object, effects of process parameters like COD concentration, hydraulic retention time (HRT) and dissolved oxygen (DO) on denitrification efficiency were analyzed. Moreover, the optimal process parameters were discussed based on the principle of economy. [Result] The optimal COD concentration was 190 – 220 mg/L, which was conducive to denitrification and TN removal. Extending HRT could promote the metabolism of nitrifying bacteria, and the removal rates of $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ and TN were high when HRT was 6 h. The optimal DO concentration was 2.5 – 3.5 mg/L, and based on the premise that the effluent was stable, DO concentration should be minimized to decrease energy consumption of the reactor. [Conclusion] The research could provide a new method for the treatment of harbour district wastewater.
Key words COD concentration; HRT; DO; Denitrification efficiency; Parameter optimization

随着经济的快速发展,港口在国家经济命脉中的作用越来越重要。港口是一个国家资源配置的枢纽,是资源能够在全球范围内流动的支撑,是一个国家的经济门户^[1]。然而,港口作用扩大的同时,却导致周围地区环境质量的下降,港区污水处理的效果直接关系着港口企业的生存和居民生活^[2]。同时,港区污水对附近海洋生态系统的影响密切,过多的港区污水进入水体而超过了水体的自净能力,造成了港口水体的富营养化现象,赤潮现象频发,消耗水体中大量溶解氧,同时还会释放出大量有害气体和毒素,严重污染海洋环境^[3]。

曝气生物滤池(Biological Aerated Filter, BAF)是通过其中填料上的微生物进行初步降解 SS 及 COD、氮、磷等有机物^[4],其集生物氧化和截留悬浮固体于一体,节省了后续二次沉淀池,占地小,可将污染物在同一单元反应器内去除,在保证处理效果的前提下使处理工艺简化,已在小规模污水处理领域取得了广泛应用^[5]。笔者针对曝气生物滤池的工艺特点,探讨曝气生物滤池在港区污水处理应用中反应器的最佳工况参数,以期对港区污水处理提供一种有效的新技术。

1 材料与方 法

1.1 试验装置及运行条件 装置启动器采用间歇进水方式,操作步骤为:进水-曝气反应-出水。利用蠕动泵从反应器下端一次性进水 10 L,待反应结束后,从反应器下端排泥口排水,由于填料上的微生物呈固着态,因此每个周期经处理过的污水几乎可以完全排尽,提高了池容的利用率。启

动期维持反应器内溶解氧(DO)含量为 2~4 mg/L,温度 20~22℃。曝气生物滤池小试装置示意图见图 1。

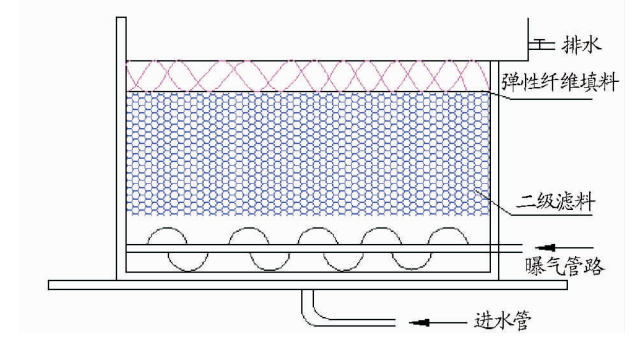


图 1 曝气生物滤池小试装置示意图

1.2 试验方法 该研究以某城市港区生活污水(水质指标:水温 18~28℃,pH 6.7~7.9, COD_{Cr} 、氨氮、SS、总磷、总氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮浓度分别为 109~267、25~76、95~280、6.8~14.6、28~74、0.64~1.02、0.02~0.06 mg/L)为处理对象,采用曝气生物滤池工艺对其进行处理,改变 BAF 主要工况参数,并对其出水水质进行取样检测,记录 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、TN 等指标随反应时间的变化规律,整个流程试验 3 次,取平均值,最终确定反应器运行的最佳工况参数。

1.3 分析项目及方法 COD 、氨氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- \text{-N}$)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^- \text{-N}$)、总氮(TN)的测定采用标准方法^[6];溶解氧(DO)的测定采用美国 HACH 公司 LDOTM 型便携式溶氧仪。

2 结果与分析

2.1 进水 COD 对脱氮效果的影响 由图 2 可知,进水 COD 浓度的增加,有利于同步硝化反硝化的进行, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 及

作者简介 叶建林(1982-),男,天津人,工程师,硕士,从事港口及防波堤的设计及研究, E-mail: pure.ye@163.com。
收稿日期 2013-07-08

NO_2^- -N 浓度均随着进水 COD 浓度的增加呈缓慢下降趋势。进水 COD 浓度由 100 升至 190 mg/L 的过程中,出水 TN 浓度明显降低;而随着 COD 浓度的进一步升高,出水 TN 浓度变化不明显。分析认为,在碳源充足时,易于异养菌的大量繁殖,异养菌在污水 COD 浓度越高时与硝化菌竞争的优势越明显,因此硝化菌增殖受到抑制^[7]。另外,一些研究都提到增加进水 COD 值能提高反硝化效率,出水中 NO_3^- -N 及 NO_2^- -N 浓度的显著下降也证明了这一点。当 C/N 较小时,出水硝态氮浓度较高,而且当硝化反应进行到后期时,反应器内溶解氧会有一定升高,从而抑制了反硝化的进行^[8]。因此,过多的硝态氮要快速又完全地进行反硝化是不可能的。对于污水处理实际的情况中,为保证出水 TN 符合排放标准,当进水 C/N 值较低时,应采用一定控制措施,如冬季污水 COD 值过低时(<100 mg/L),应适当投加部分碳源。

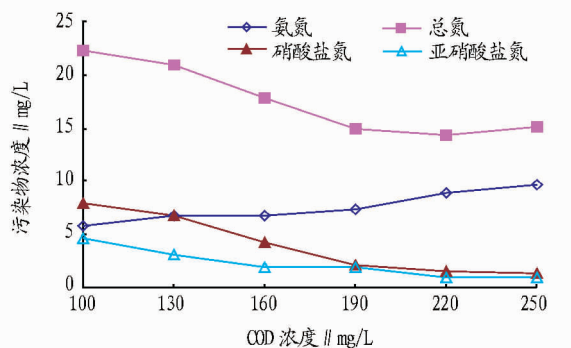


图2 不同进水 COD 浓度对各种形态氮化合物去除效果的影响

2.2 水力停留时间(HRT)对脱氮效果的影响 水力停留时间(HRT)是污水生物处理工艺中最重要的设计参数之一,它直接影响到反应器池容的大小及工艺效果^[9]。在整个脱氮过程中,硝化效果的好坏直接影响到脱氮的效果,因此在进行 HRT 试验中,不能一味地追求 TN 的去除率,而是要综合考虑 HRT 对 NH_4^+ -N 及 TN 去除的影响。由图 3 可知,反应器表现出良好的同步硝化反硝化特性,TN 浓度随曝气反应的进行逐渐减少,最后随着碳源的耗尽逐渐趋于平衡。 NO_2^- -N 及 NO_3^- -N 在 NH_4^+ -N 浓度降到最低之前随时间逐渐升高,之后则逐渐降低。如果后续的曝气时间足够长, NO_2^- -N 浓度会降至 0。前 6 h 内, NH_4^+ -N 及 TN 浓度迅速下降,之后下降趋势变缓, NH_4^+ -N 浓度维持在 5 mg/L 左右, TN 浓度维持在 15 mg/L 左右。可见,即使再延长反应时间,也只能将余下的氨氮转化为 NO_x^- -N,而 TN 的去除率没有太大的提高,因此该试验将 HRT 定为 6 h。另一方面,在实际工程的设计及应用中,反应器的体积随 HRT 的增加而加大,使基建费用升高,也意味着运转过程中将消耗更多的能量,最终导致单位处理成本的提高^[10]。

2.3 溶解氧(DO)浓度对脱氮效果的影响 溶解氧是决定污水处理反应器脱氮效果的最关键因素之一^[7]。由图 4 可知,反应器出水 NH_4^+ -N 浓度随 DO 浓度增加呈显著下降趋势, TN 呈先下降后上升趋势。当 DO 浓度为 1.5 ~ 3.0 mg/L 时,出水 TN 浓度达到最低。当 DO 浓度超过 4.0 mg/L 后,

出水 TN 浓度陡然升高。 NO_3^- -N 浓度变化幅度较小, DO 浓度超过 3.5 mg/L 后 NO_3^- -N 浓度有小幅升高,说明反应器内反硝化作用受到抑制,硝化菌出现积累现象。而由于反应器内曝气强度越来越大, NO_2^- -N 被氧化的越来越完全,当 DO >5.0 mg/L 时,反应器内已基本检测不到 NO_2^- -N。可见, DO 浓度对同步硝化反硝化影响较大。曝气滤池内填料表面形成的生物膜系统受反应器内水流剪切力的影响较大,适宜的水流剪切作用才能维持生物膜的更新和持续生长^[8]。曝气是剪切力的主导动力来源,因此反应器内的 DO 控制不仅要满足微生物的需氧要求,也要满足生物膜的更新要求。试验表明,当 DO >4.0 mg/L 时,出水 TN 浓度升高趋势明显,这是由于 DO 浓度过高使得生物膜周围及内部缺氧微环境遭到破坏,影响了反硝化效果;当 DO <1.5 mg/L 时,出水 TN 浓度也较高,这是因为 DO 浓度低,硝化效果受到抑制。同时, DO 浓度较低也会影响生物膜的更新,老化的生物膜无法脱落,将导致生物膜活性下降,影响其生物降解功能^[11]。在实际的运行当中,应综合考虑 NH_4^+ -N 及 TN 的去除效果,建议将 DO 控制在偏低水平, DO 浓度宜保持在 2.5 ~ 3.5 mg/L。另一方面,在保证出水稳定的前提下,应尽量降低 DO 浓度,以使反应器能耗大幅度降低。

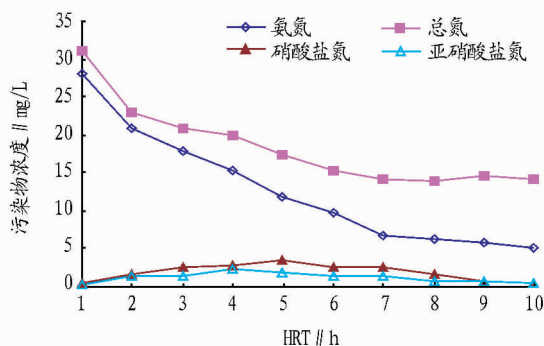


图3 不同 HRT 对各种形态氮化合物去除效果的影响

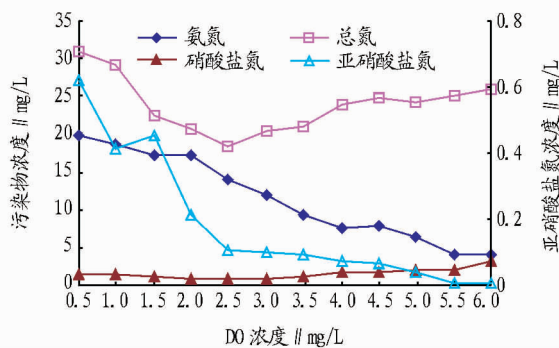


图4 不同 DO 浓度对各种形态氮化合物去除效果的影响

3 结论

试验研究了进水 COD、HRT、溶解氧对曝气生物滤池反应器脱氮效果的影响,并综合考虑经济性原则,确定了上述控制参数在曝气生物滤池处理实际港区污水中的适宜范围。建议控制最佳进水 COD 浓度为 190 ~ 220 mg/L,最佳 HRT 为 6 h,最适宜 DO 浓度为 2.5 ~ 3.5 mg/L。

式中, K 为研究时期内年均空间扩展速度; Ub 为研究末期建成区的面积; Ua 为研究初期初建成区的面积; T 为研究时段。

由表 1 可知,1994~2002 年,建成区的面积只增加了 0.86 km²,年均面积增加 0.11 km²,年均扩展速度为 0.56%,其增长面积和扩展速度都很小。2002~2007 年,建成区面积增加了 9.24 km²,年均面积增加 1.85 km²,年均扩展速度为 9.24%,明显高于上个时段。2007~2010 年,短短的 3 年内建成区面积增加了 10.93 km²,年均面积增加 3.64 km²,年均扩展速度达到 12.46%,其增加面积和扩展速度都达到近年来的极大值。2010~2013 年,建成区面积增加 9.07 km²,年均面积增加 3.02 km²,年均扩展速度为 7.52%,虽然均比上一时期有所回落,但也达到一个较高的值。这说明近年来渭南建成区的年均扩展面积是显著增加,其年均扩展速度先慢后快,当跨过一个极大值后,达到一个高速扩展的稳定值。

表 1 各时段渭南建成区扩展情况

年份	增加总面积 km ²	年均增加面积 km ²	年均扩展速 度//%
1994~2002	0.86	0.11	0.56
2002~2007	9.24	1.85	9.24
2007~2010	10.93	3.64	12.46
2010~2013	9.07	3.02	7.52

2.3 城市重心分析 城市重心的迁移能够反映城市扩展的方向^[6]。使用 ArcGIS 软件对图 1 数据进行计算,得到 1994~2013 年各时期的城市重心数据(表 2)。表 2 表明,1994~2002 年,建成区重心的横坐标向西移动了 498 m,同时纵坐标向北移动了 164 m。2002~2007 年,横坐标继续向西移动了 280 m,但纵坐标向南移动了 119 m。2007~2010 年,横坐标向西移动了 332 m,纵坐标向北移动了 155 m。2010~2013 年,横坐标又向西移动了 132 m,纵坐标又向北移动了 23 m。可见,1994~2013 年建成区重心的横坐标一直是向西移动,

其总移动距离达到 1 242 m(向西);而纵坐标却在南北徘徊,总移动距离仅为 223 m(向北)。可见,渭南建成区由东向西的扩展,特别是城市西部高新区的发展对城市重心的向西移动贡献很大。但是,近年来随着市政府向北郊搬迁规划的有序实施,以及渭南北站、渭南客运中心站、中心医院等项目的兴建,使城市重心在向西移动的基础上有向北移动的步伐。

表 2 各时期城市重心数据

年份	横坐标(X)//m	纵坐标(Y)//m
1994	361 104	3 818 396
2002	360 606	3 818 559
2007	360 326	3 818 440
2010	359 994	3 818 595
2013	359 862	3 818 618

3 结论

基于遥感影像和 GIS 技术,对渭南建成区进行了 5 个时期、4 个时段的扩展变化监测。研究结果表明,1994~2013 年渭南建成区的扩展呈现出从小到大的扩展特征,建成区面积显著增加;其年均扩展速度先慢后快,最终达到一个高速扩展的稳定值;建成区的主体扩展方向为由东向西,但城市重心在向西移动的基础上有向北移动的步伐。

参考文献

[1] 李加林,许继琴,李伟芳,等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析[J]. 地理学报,2007(4):437-447.
[2] 吴铮争,宋金平,王晓霞,等. 北京城市边缘区城市化过程与空间扩展——以大兴区为例[J]. 地理研究,2008(2):285-293,483.
[3] 蒋金龙,薛重生,李建. 基于 RS 和 GIS 的武汉市城区扩展变化研究[J]. 安徽农业科学,2007(16):4806-4807.
[4] 谭文彬,刘斌,张增祥,等. 近三十年来昆明市建成区扩展遥感监测与分析[J]. 地球信息科学学报,2009(1):117-124.
[5] 迟文峰,郝润梅,苏根成,等. 资源型城镇空间扩展遥感监测分析——以鄂尔多斯市为例[J]. 西部资源,2012(1):72-74.
[6] 王茜,张增祥,易玲,等. 南京城市扩展的遥感研究[J]. 长江流域资源与环境,2007(5):554-559.

(上接第 9746 页)

参考文献

[1] 植周凌,胡振东. 做大做强港口经济是湖北省长江经济带加速发展的重要途径[J]. 特区经济,2012(10):161-163.
[2] 樊幸福,邳志. 天津港北疆港区污水处理设施改建工程方案及项目评价[J]. 港口经济,2012(4):21-23.
[3] 王靓. 天津港区污水处理项目评价研究[J]. 山西建筑,2011,37(27):128-130.
[4] 尤子敏. 曝气生物滤池处理生活污水的试验研究[J]. 环境保护与循环经济,2009,29(11):54-56.
[5] 刘冬林. 利用曝气生物滤池工艺处理油田生活污水[J]. 油气田地面工程,2013,32(3):50-51.
[6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[S]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
[7] HE S B, XUE G, WANG B Z. Factors affecting simultaneous nitrification and de-nitrification (SND) and its kinetics model in membrane bioreactor[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009,168(2/3):704-710.
[8] 王莹,周巧红,梁威,等. 人工湿地高效好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(6):1193-1198.
[9] WAGNER M, RATH G, KOOPS H P, et al. In situ analysis of nitrifying

baetria in sewage treatment plants[J]. Water Science Technology, 1996,34(1/2):237-244.
[9] 赵义. A²/O₃~生物膜法处理焦化废水中试研究[D]. 太原:太原理工大学,2006.
[10] ZHAO Y X, ZHANG B G, FENG C P, et al. Behavior of autotrophic denitrification and heterotrophic denitrification in an intensified biofilm-electrode reactor for nitrate-contaminated drinking water treatment[J]. Biore-source Technology, 2012,107:159-165.
[11] 罗国荣,孙小斐. 气水比对曝气生物滤池处理微污染水的影响[J]. 地下水,2012(3):110-111.
[12] 秦树林,荣伟国. 曝气生物滤池处理煤矿区生活污水研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(24):14768-14769,14793.
[13] 陈彩云,张倩. 湿式催化氧化法处理高浓度有机废水的现状与展望[J]. 内蒙古农业科技,2011(5):15-16.
[14] LIN P Z, YU G W, CHONG Y X, et al. Nitrogen release kinetics and nitrification-denitrification on surface sediments under aerating disturbance condition[J]. Agricultural Science & Technology, 2012,13(8):1733-1737.