

沸石生物联合吸附再生工艺参数优化研究

吴志超¹ 赵慧¹ 安莹¹ 蔡妹² 杨爽¹ 王志伟¹

(1. 同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092;

2. 上海市城市排水市南运营有限公司, 上海 201203)

摘要 简述了沸石生物联合吸附再生工艺(ZCS工艺)的工艺原理,选取了影响沸石生物联合吸附再生工艺污水处理效果的影响因素,通过正交实验,优化了工艺的运行参数。在优化结果为泥龄(SRT)40 d、沸石投加量 16.8 g/L、外回流比(R)1、内回流比(r)1、A池碳源投加比(m)0、吸附池溶解氧(DO_a)1 mg/L和O池溶解氧(DO_o)2 mg/L的条件下稳定运行后,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级B标准的要求。

关键词 沸石 参数优化 正交实验

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)09-0035-05

Study on parameter optimization of zeolite enhanced contact-adsorption regeneration-stabilization process

Wu Zhichao¹ Zhao Hui¹ An Ying¹ Cai Mei² Yang Shuang¹ Wang Zhiwei¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuses, School of Environmental Science and Engineering,

Tongji University, Shanghai 200092;

2. Operation and Management of Wastewater of South Shanghai Municipality Co., Ltd, Shanghai 201203)

Abstract The principle of zeolite enhanced contact-adsorption regeneration-stabilization process (ZCS process) was briefly stated in the paper, and then the effects of different factors on long-term treatment efficiency of ZCS Process were studied according to the orthogonal experiments. The results of parameter optimization were: SRT of 40 d, zeolite powder dose of 16.8 g/L, R of 1, r of 1, m of 0, DO_a of 1 mg/L and DO_o of 2 mg/L. Under the optimal conditions, the concentrations of ammonia and TN in effluent could meet grade B of the first level in "Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant of China (GB18918-2002)".

Key words zeolite; parameter optimization; orthogonal experiment

沸石生化结合脱氮工艺,如生物-离子交换工艺^[1-3]、新型O/A(好氧/厌氧)脱氮工艺^[4]、沸石曝气生物滤池工艺^[5,6]、沸石强化SBR工艺^[7]和沸石强化A/O(缺氧/好氧)工艺^[8]等,是近年来发展起来的将沸石对铵离子的选择性吸附能力和生物硝化反硝化结合起来,加强系统脱氮性能和效率的新型优良工艺。同济大学开发的沸石生物联合吸附再生工艺也是其中之一,具有水力停留时间短、抗冲击负荷能力强和脱氮效率高等优点,是一种具有良好市场前景的新型城市污水脱氮技术^[9,10],本研究在因素分析的基础上,利用正交表来安排实验,对沸石生物联合吸附再生工艺污水处理的工艺参数进行了优化。

1 实验部分

1.1 工艺原理

以沸石为载体的沸石生物联合吸附再生工艺流程如图1所示,整个工艺流程中保持沉砂池、吸附池、二沉池各单体构筑物不变,在吸附池中投加适量沸石粉,形成新型的高效脱氮工艺^[11]。首先,在生物吸附池中,新添加的沸石粉和生物再生池回流污泥中再生后的沸石粉一起,利用自身具有的选择离子交换作用对进水中的铵离子进行交换,将铵离子交换到沸石粉上;同时,沸石粉和微生物可以利用自身的吸附性能去除污水中一部分的溶解性有机物;其次,利用沸石粉污泥的絮凝性能还能对进水中悬

收稿日期:2007-05-24; 修订日期:2007-07-12

作者简介:吴志超(1966~),男,教授,博导,主要从事水污染控制研究工作。E-mail: wuzhichao@mail.tongji.edu.cn

浮性和胶体有机物进行絮凝去除。随后,沸石粉污泥进入二沉池进行泥水分离,在二沉池中,上清液排放或进行深度处理,吸附了铵离子和有机物的沸石粉污泥进入到生物再生段进行生物再生,再生完成后的沸石粉污泥和进水一起进入吸附池重新处理污水。

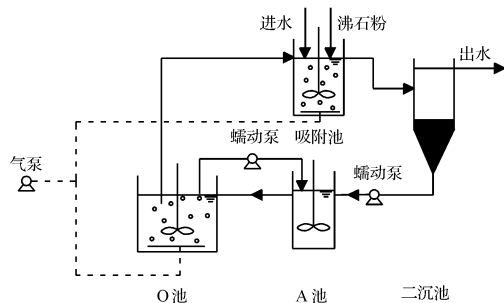


图1 沸石生物联合吸附再生工艺流程

Fig.1 Zeolite enhanced contact-adsorption process

1.2 处理效果影响因素

沸石生物联合吸附再生工艺集沸石吸附和生物脱氮功能于一体,因此处理效果的影响因素远多于单一处理法,很难按各种影响因素安排实验,并推求整理出一个恰当的数学表达式。为了使这个工艺能尽快地推广应用,经课题组研究分析,选择容易控制,且对去除率影响较大的因素如:泥龄(SRT)、沸石投加量、外回流比 R 、内回流比 r 、A池碳源投加比(甲醇投加量与A池总氮的摩尔比 m)、吸附池和O池的溶解氧 $DO_{\text{吸}}$ 和 DO_0 进行实验。

1.3 正交实验安排

本实验安排7个因素,每个因素选取3个水平,选用 $L_{18}(3^7)$ 正交表,利用正交设计助手3.1软件对实验进行自动分配。参考实验室前期的研究成果,确定每个因素的水平如表1所示。本实验一共有3套小试装置,分别以泥龄20、40和60 d运行。

表1 正交实验考察的因素及相应水平

Table 1 Levels and factors of orthogonal experiment

水平	因素						
	泥龄 (d)	沸石投加量 (g/L)	外回流 R	内回流 r	A池碳源 投加比 (mg/L)	$DO_{\text{吸}}$ (mg/L)	DO_0 (mg/L)
1	20	16.8	0.33	1	0	0.5	1
2	40	14.0	0.5	2	0.5	1	2
3	60	10.5	1	3	1	2	3

注:表中的外回流比 R 和内回流比 r 值均为回流量与进水总量之比值

1.4 实验用水

实验用水为上海市曲阳水质净化厂沉砂池出水,该水的水质情况为pH值7.1~8.3;COD 143~474 mg/L;TN 43.1~67.9 mg/L; NH_4^+-N 33.6~50.7 mg/L;SS < 100 mg/L;浊度20~150 NTU。

1.5 分析方法

文中所涉主要污染物指标的测定方法均采用国家环境保护总局的《水和废水监测分析方法》(第4版)中标准方法^[12]。

2 结果与讨论

2.1 不同工况条件下的运行结果

由于该工艺的出水COD值均在40 mg/L以下,故在此不作更进一步的分析,18个工况稳定运行后的进出水氨氮和总氮情况如图2和图3所示。

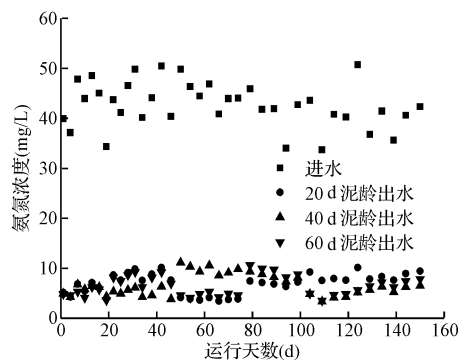


图2 进出水氨氮浓度

Fig.2 Ammonia nitrogen concentrations of influent and effluent

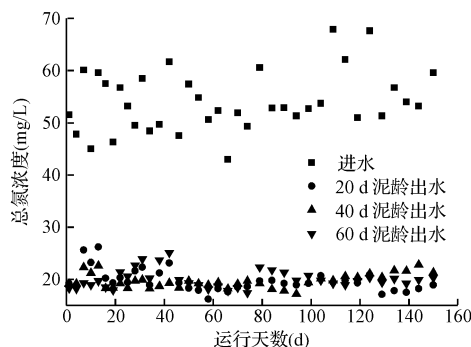


图3 进出水总氮浓度

Fig.3 Total nitrogen concentrations of influent and effluent

从图2和图3可以看出,在不同的操作条件下

出水氨氮和总氮浓度有一定的变化,并且随操作条件的不同,氨氮和总氮的变化趋势并不一致。这说明两者的影响因素不同,在某一操作参数下,可能对氨氮的去除有利,而对总氮的去除不利,这就需要找到 2 项指标兼顾的最优或较优的因素水平组合。

2.2 工艺参数的优化

本研究采用综合平衡法对实验结果进行分析,即先分别考察每个因素对各指标的影响,然后进行分析比较,确定出最好的水平,从而得出优化的实验方案,正交实验分析结果如表 2 所示。

表 2 正交实验结果
Table 2 Results of orthogonal experiment

项 目	SRT	沸石 投加量	R	r	A 池碳源 投加比	$DO_{\text{吸}}$	DO_0	总氮 去除率(%)	氨氮去除 率(%)
1	1	1	1	1	1	1	1	67.39	78.65
2	1	2	2	2	2	2	2	64.08	83.05
3	1	3	3	3	3	3	3	58.38	87.16
4	2	1	1	2	2	3	3	60.07	84.86
5	2	2	2	3	3	1	1	66.01	79.73
6	2	3	3	1	1	2	2	61.29	87.09
7	3	1	2	1	3	2	3	67.15	88.77
8	3	2	3	2	1	3	1	64.06	88.46
9	3	3	1	3	2	1	2	60.75	77.07
10	1	1	3	3	2	2	1	64.91	91.62
11	1	2	1	1	3	3	2	66.45	79.68
12	1	3	2	2	1	1	3	60.77	80.63
13	2	1	2	3	1	3	2	65.80	89.72
14	2	2	3	1	2	1	3	64.08	88.60
15	2	3	1	2	3	1	1	62.44	78.33
16	3	1	3	2	3	1	2	64.03	89.70
17	3	2	1	3	1	2	3	63.94	82.22
18	3	3	2	1	2	3	1	58.10	82.60
总氮 去除 率	K_1	381.98	389.35	381.04	384.46	383.25	383.03	382.91	
	K_2	379.69	388.62	381.91	375.45	371.99	383.81	382.40	
	K_3	378.03	361.73	376.75	379.79	384.46	372.86	374.39	
	极差	3.95	27.62	5.16	9.01	12.47	10.95	8.52	
氨氮 去除 率	K_1	500.79	523.32	480.81	505.39	506.77	494.38	499.39	
	K_2	508.33	501.74	504.5	505.03	507.80	511.08	506.31	
	K_3	508.82	492.88	532.63	507.52	503.37	512.48	512.34	
	极差	8.03	30.44	51.82	2.49	4.43	18.10	12.85	

注: K_n 是某因素的第 n 水平所在实验对应的某一指标所有值之和;极差 $= K_{\text{max}} - K_{\text{min}}$

从表 2 可以看出,在沸石生物联合吸附再生工艺污水处理过程中,影响总氮去除率因素的重要性顺序为:沸石投加量 > A 池碳源投加比 > $DO_{\text{吸}}$ > 内回流比 > DO_0 > 外回流比 > 泥龄,即沸石投加量影响最大,A 池碳源投加比次之,泥龄对总氮去除率影响最小。根据计算出的 K_n 值要使总氮去除率最高,最佳方案是泥龄 20 d,沸石投加量 16.8 g/L,外回流

比 0.5,内回流比 1,A 池碳源比 1, $DO_{\text{吸}}$ 1 mg/L, DO_0 1 mg/L。

而对于氨氮去除率来说,极差值有以下关系:外回流比 > 沸石投加量 > $DO_{\text{吸}}$ > DO_0 > 泥龄 > A 池碳源投加比 > 内回流比,从中可以看出,各因素对氨氮的去除率影响程度与总氮不同,外回流比和沸石投加量对氨氮去除率影响程度最大,影响最小的是内

回流比;其最佳方案为泥龄 60 d,设计沸石投加量 16.8 g/L,外回流比 1,内回流比 3,A 池碳源投加比 0.5, $DO_{吸}$ 2 mg/L, DO_0 3 mg/L。

上述结论表明,对总氮去除率较好的方案对氨氮去除率不一定好,为了便于综合分析,我们将各指标随因素水平的变化情况示于图 4。

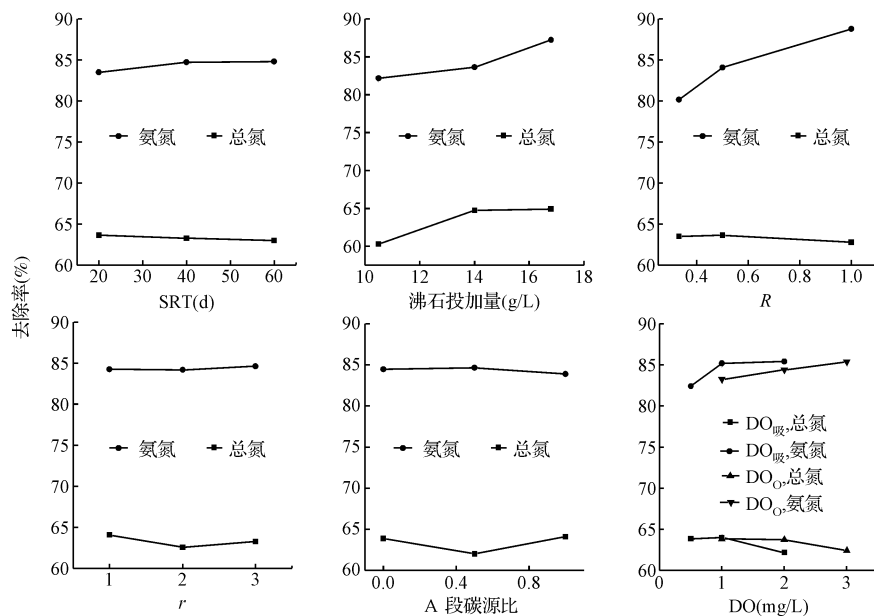


图4 各因素水平对氨氮和总氮去除率的影响

Fig.4 Effects of different levels on ammonia nitrogen and total nitrogen removal efficiencies

把表 2 和图 4 结合起来,可以看出每个因素对氨氮和总氮去除率的影响。

① 泥龄:泥龄对 2 种指标的极差值都不大,即改变泥龄对两者去除率的影响程度不高。结合图 4 不同泥龄条件下总氮和氨氮去除效率的变化趋势,选择 40 d 泥龄。

② 沸石投加量:沸石投加量对总氮去除效率的极差最大,对氨氮去除率仅次于外回流比,所以选择一个合适的沸石投加量对该工艺运行效果起关键作用。从图 4 可以看出,沸石投加量是 16.8 g/L 时,氨氮和总氮去除率都是最高的。当设计投加量减少到 14 g/L 时,总氮去除率受影响不大,而氨氮去除率却急剧下降,所以选择沸石设计投加量为 16.8 g/L 是比较合理的。

③ 外回流比 R :外回流比对氨氮去除率影响最大,而对总氮去除率影响很小。当外回流比为 1 时,氨氮去除率为 88.8%,为所选水平中的最大值;而总氮去除率较其他水平没有太大变化,所以外回流比选择为 1。

④ 内回流比 r :内回流比对总氮去除率的影响

高于对氨氮去除率的影响,改变水平值氨氮去除率几乎不变,所以内回流的选择主要考虑对总氮去除率的影响,内回流比为 1 时总氮去除率最高,所以确定内回流比为 1。

⑤ A 池碳源投加比:A 池碳源投加比对总氮去除率的极差值从大到小排在第二,说明 A 池碳源对总氮去除率影响很大。不投碳源和投加碳源比为 1 时都有利于总氮的去除,而投加碳源比为 0.5 时总氮去除率却急剧降低,导致这种结果的原因还不是很明确,需要进一步研究。氨氮去除率几乎不受 A 池碳源影响。鉴于经济方面和处理效果 2 方面综合考虑,该工艺不需要另投碳源。

⑥ $DO_{吸}$:吸附池溶解氧对总氮和氨氮去除效率都有一定影响。氨氮去除率随 $DO_{吸}$ 的升高而升高,但是当 $DO_{吸}$ 超过 1 mg/L 后,去除率上升曲线趋于平缓,而总氮去除率却急剧下降,所以选择吸附池溶解氧为 1 mg/L。

⑦ DO_0 :O 池溶解氧对氨氮去除率的影响大于对总氮去除率的影响。氨氮去除率随 DO_0 升高而增大,且无减缓的趋势,但总氮去除率在 DO_0 升至

2 mg/L后急剧下降,而 2 mg/L 以前没有太大的变化,所以选择 O 池溶解氧为 2 mg/L。

通过各因素对各指标影响的综合分析,得出优化的工艺参数设计方案: SRT 40 d,沸石投加量 16.8 g/L,外回流比 1,内回流比 1, A 池碳源投加比 0, $DO_{\text{吸}}$ 1 mg/L, DO_0 2mg/L。沸石生物联合吸附再生工艺在优化参数条件下,稳定运行后出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 B 标准的要求。

3 结 论

在沸石生物联合吸附再生工艺的实验研究中应用正交实验,得出对氨氮和总氮去除率优化的工艺条件 SRT 40 d,沸石投加量 16.8 g/L,外回流比 1,内回流比 1, A 池碳源投加比 0, $DO_{\text{吸}}$ 1 mg/L, DO_0 2 mg/L。在此参数条件下稳定运行的沸石生物联合吸附再生工艺出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 B 标准的要求。

参 考 文 献

- [1] Lahav O. , Green M. Ammonium removal using ion exchange and biological regeneration. *Water Res.* , **1997**, 32 (7): 2019 ~ 2028
- [2] Lahav O. , Green M. Ammonium removal from primary and secondary effluents using a bioregenerated ion-exchange process. *Water Sci. and Technol.* , **2000**, 42(1 ~ 2): 179 ~ 185
- [3] Lahav O. , Green M. Bioregenerated ion-exchange process; The effect of the biofilm on the ion-exchange capacity and kinetics. *Water SA*, **2000**, 26(1): 51 ~ 57
- [4] Chung Y. C. , Son D. H. , Ahn D. H. Nitrogen and organics removal from industrial wastewater using natural zeolite media. *Water Sci. and Technol.* , **2002**, 42(5 ~ 6): 127 ~ 134
- [5] Gisvold B. , Ödegaard H. , Föllesdal M. Enhancing the removal of ammonia in nitrifying biofilters by the use of a zeolite containing expanded clay aggregate filtermedia. *Water Sci. and Technol.* , **2000**, 41(9): 107 ~ 114
- [6] Gisvold B. , Ödegaard H. , Föllesdal M. Enhanced removal of ammonium by combined nitrification/adsorption in expanded clay aggregate filters. *Water Sci. and Technol.* , **2000**, 41(4 ~ 5): 409 ~ 416
- [7] Jung J. Y. , Chung Y. C. , Shin H. S. , et al. Enhanced ammonia nitrogen removal using consistent biological regeneration and ammonium exchange of zeolite in modified SBR process. *Water Res.* , **2004**, 38(2): 347 ~ 354
- [8] 麦穗海,吴志超,陈绍伟. 沸石强化生物脱氮的研究. *上海环境科学*, **2002**, 21(10): 640 ~ 642
- [9] 陈和谦,吴志超,黄友谊. 沸石联合生物吸附再生工艺可行性研究. *环境污染治理技术与设备*, **2005**, 6(8): 26 ~ 29
- [10] 杨爽,吴志超,赵慧,等. 低温下 ZCS 工艺和改进式 ZCS 工艺脱氮效率研究及微生物特性分析. *环境工程学报*, **2007**, 1(4): 12 ~ 16
- [11] 黄友谊,吴志超,陈和谦,等. 沸石生物联合吸附再生工艺及铵沸石再生. *环境化学*, **2006**, 25(5): 615 ~ 618
- [12] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版). 北京:中国环境科学出版社, **2002**