

文章编号: 1006-7329(1999)06-0056-04

无回流间歇曝气系统总磷去除的实验分析

14
56-59.65

罗固源 刘智刚
(重庆建筑大学 城市建设学院 400045)

x703

摘要 对无回流间歇曝气系统工况、泥龄与总磷去除率关系进行了探索, 通过单因素和双因素正交试验, 找出了工况、泥龄共同影响下的 η_{TP} 。试验表明, 在曝气停曝周期 $T=6.0$ h, 厌氧时间 1.5 h, 沉淀排水时间 0.5 h 的条件下, 当 $SRT=20$ d, 曝气比为 0.42 时, NBIAS 系统的 $\eta_{COD_{Cr}}$, η_{NH} , η_{TP} 分别为 85%, 75%, 69%。

关键词 无回流间歇曝气系统; 泥龄; 总磷去除率; 曝气停曝周期

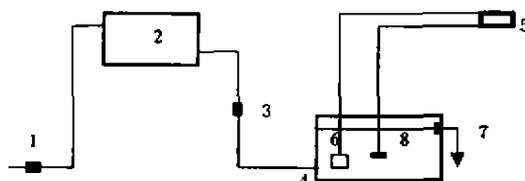
中图法分类号 X703

NBIAS系统, 文献标识码 A

无回流间歇曝气系统(Non-Backflow Intermittent Aeration System), 简称 NBIAS 系统, 是在 PIAS^[1] 系统(组合式间歇曝气系统)基础上开发的一种集初沉、曝气、二沉等过程于一体, 并省去污泥回流的一池系统。该系统采用连续进水, 变水位间歇出水, 曝气停曝交替运行的工况, 在降解有机污染物的同时, 兼有脱氮除磷功能。本文通过寻求工况、泥龄与总磷去除率(η_{TP})关系的单因素试验和双因素试验, 以找出工况、泥龄的共同影响下的 η_{TP} 。

1 试验流程与装置

单因素试验流程如图 1 所示, 流程中 NBIAS 反应器由聚氯乙烯板制成, 有效容积 25 升 ($L \times B \times H = 371 \text{ mm} \times 223 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$)。双因素试验流程图同单因素试验, 反应器则采用 4 个 5 升的烧杯, 并采用人工方式出水, 见图 2。两批试验的曝气, 停曝时间均采用自制定时器控制, 搅拌方式为机械搅拌, 输入功率以污泥不沉降为准。



1 水泵; 2 高位水箱; 3 流量计; 4 NBIAS 反应器; 5 定时器; 6 曝气砂头; 7 变水位出水器; 8 搅拌器

图 1 单因素试验流程

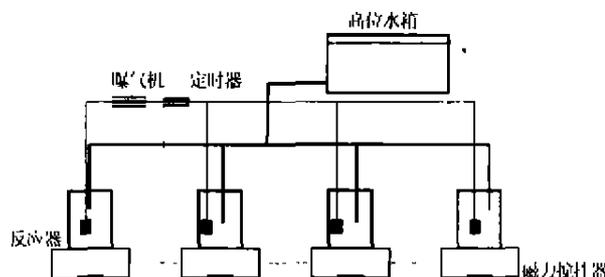


图 2 双因素试验流程

收稿日期: 1999-10-20

作者简介: 罗固源(1944-), 男, 教授, 博士导师, 主要从事环境污染控制研究。

2 试验条件

试验在夏季进行,气温在 20~35℃之间。试验原水为重庆市杨公桥城市下水道排放口的污水,除生活污水外,还含有食品、造纸、纺织等工业排放的污水,是典型的城市污水,其水质见表 1。

表 1 试验原水水质表

水质指标	水温 (℃)	SS (mg/l)	COD _{Cr} (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	pH
范围	20~30	50~180	150~310	90~170	19~47	32~58	2.0~7.8	6.5~7.5

3 试验方法

NBIAS 系统以曝气,停曝的工况运行,在时间顺序上使反应器中形成了厌氧—好氧—缺氧环境,并通过控制泥龄,使其在传统活性污泥法去除有机物的基础上,增加了脱氮除磷功能。因此,在试验中选取了曝气时段占整个运行周期的比值(定义为曝气比 λ)及泥龄(SRT)作为影响因素,考察它们对以 η_{TP} 为主的去除效果的影响。本试验设计了单因素和双因素试验,周期均为 6.0 h,厌氧时间根据工艺需要定为 1.5 h,反应顺序经过好氧,缺氧,至变水位出水结束后,新的周期开始。每日运行四个周期。

3.1 单因素试验

在试验中,保持一个因素不变,改变另一个因素。先取定 SRT = 20 d,分别控制曝气比在 0.17, 0.25, 0.33, 0.42, 0.50, 0.58 六个水平,考察 $\eta_{COD_{Cr}}$ 、 η_{TN} 、 η_{TP} 与曝气比的关系。然后,取定曝气比为 0.42,控制 SRT 在 6 d, 10 d, 15 d, 20 d, 25 d, 30 d 六个水平,考察 $\eta_{COD_{Cr}}$ 、 η_{TN} 、 η_{TP} 与 SRT 的关系。

3.2 双因素试验

该试验按正交设计进行^[2],采用二因素、二水平正交表 $L_4(2^2)$,将泥龄 SRT,曝气比作为影响因素, η_{TP} 及 $\eta_{COD_{Cr}}$ 作为考察指标。因素水平在单因素试验基础上确定,见表 2,因素水平编码表见表 3。

表 2 因素水平表

试验因素	Z_1 (曝气比)	Z_2 (泥龄)
下水平(Z_{1j})	0.17	10
上水平(Z_{2j})	0.50	30
零水平(Z_{0j})	0.335	20
区间(Δ_j)	0.165	10

表 3 因素水平编码表

X_j	Z_{1i}	Z_{2i}
1	0.50	30
0	0.335	20
-1	0.17	10

4 试验结果与分析

4.1 单因素试验结果

4.1.1 曝气比试验结果

工况单因素试验结果见表 4。

表 4 工况单因素试验结果

工况			曝气比	泥龄 (d)	MLSS* (g/l)	$\eta_{COD_{Cr}}$ (%)	η_{TN} (%)	η_{TP} (%)
厌氧(h)	好氧(h)	缺氧(h)						
1.5	3.5	0.5	0.58	20	3.379	92.9	64.5	84.8
1.5	3.0	1.0	0.50	20	3.479	90.9	69.6	79.6
1.5	2.5	1.5	0.42	20	3.475	89.5	74.1	64.6
1.5	2.0	2.0	0.33	20	3.493	82.3	73.8	49.3
1.5	1.5	2.5	0.25	20	3.467	76.8	70.8	33.3
1.5	1.0	3.0	0.17	20	3.598	72.7	60.1	23.8

注: *MLSS 均在 $V=4.0$ 升时测得。

4.1.2 SRT 试验结果

SRT 单因素试验在 $T = 6$ h, 厌氧 1.5 h, 好氧 2.5 h, 缺氧 1.5h 的工况下进行, 结果见表 5 所示。

表 5 SRT 单因素试验结果

SRT (d)	COD _{Cr} (mg/l)			TN (mg/l)			TP (mg/l)		
	进水	出水	η_{CODcr} (%)	进水	出水	η_{TN} (%)	进水	出水	η_{TP} (%)
6	387.7	100.0	74.2	56.0	16.7	70.1	7.97	0.25	96.9
10	387.3	39.5	89.8	55.0	11.3	79.4	6.43	0.5	92.1
15	354.1	24.3	90.3	52.1	10.0	80.8	6.71	0.75	88.8
20	317.7	21.6	93.2	56.0	9.9	82.4	6.98	0.83	88.0
25	393.3	23.2	94.1	53.6	8.9	83.4	6.85	1.4	79.9
30	414.1	29.4	92.9	54.0	9.1	83.1	6.69	1.6	76.0

4.1.3 双因素试验结果

一次回归正交设计计算表见表 6。

4.2 试验结果分析

从表 4 的试验结果可得出曝气比(λ)与去除率的关系曲线, 如图 3 所示。

利用对数函数对 $\eta_{\text{CODcr}} - \lambda$ 关系进行拟合得:

$$\eta_{\text{CODcr}} = 17.4 \ln(\lambda) + 102.68 \quad (r = 0.9842) \quad (1)$$

利用一次函数 $y = ax + b$ 对 $\eta_{\text{TP}} - \lambda$ 关系进行拟合得:

$$\eta_{\text{TP}} = 157.44 \lambda - 3.14 \quad (r = 0.9926) \quad (2)$$

表 6 $\eta_{\text{TP}}, \eta_{\text{CODcr}}$ 一次回归正交设计计算表

方程类别	试验号	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	η_{TP} ($y_1 + y_2$)	η_{TP} ($y_1 - y_2$)	η_{CODcr} ($y_1 + y_2$)	η_{CODcr} ($y_1 - y_2$)
	1	1	1	1	1	126.4	1.6	182.6	0.4
	2	1	1	-1	-1	169.8	2.1	180.0	0.0
	3	1	-1	1	-1	62.3	2.7	153.6	3.0
	4	1	-1	1	1	69.4	1.0	151.3	1.7
η_{TP} 回归系数	$B_1 = \sum_{i=1}^4 X_{0i} y_{0i}$	427.9	164.5	-50.5	-36.3	$Q_0 = B_0^2/2N = 22887.3$			
	$b_1 = B_1/2N$	53.49	20.56	-6.31	-4.54	$S_A = 1/2 \sum_{i=1}^4 y_0^2 - Q_0 = 3866.0 \quad f_m = 4$			
	$Q_1 = b_1 B_1$		3382.5	318.8	164.7	$\sum_{i=1}^3 Q_i = 3866.0 \quad S_m = 1/2 \sum_{i=1}^4 (y_{01} - y_{02})^2 = 7.63$			
η_{CODcr} 回归系数	$B_1 = \sum_{i=1}^4 X_{0i} y_{0i}$	667.5	57.7	4.9	0.3	$Q_0 = B_0^2/2N = 5569.45$			
	$b_1 = B_1/2N$	83.44	7.21	0.061	0.038	$S_A = 1/2 \sum_{i=1}^4 y_0^2 - Q_0 = 419.21 \quad f_m = 4$			
	$Q_1 = b_1 B_1$		416.02	3.00	0.011	$\sum_{i=1}^3 Q_i = 419.2 \quad S_m = 1/2 \sum_{i=1}^4 (y_{01} - y_{02})^2 = 6.025$			

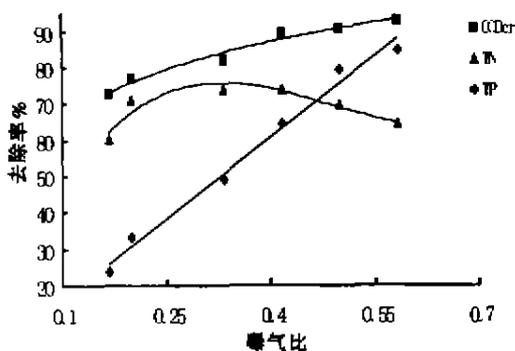


图 3 曝气比与去除效果关系图

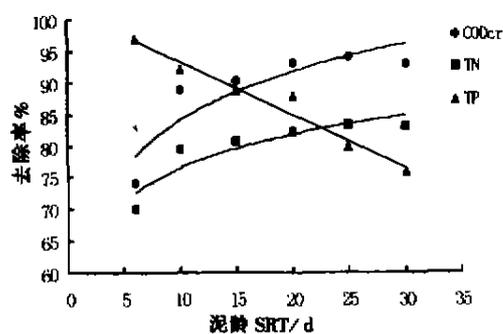


图 4 泥龄与去除效果关系图

利用多项式 $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 对 $\eta_{\text{TN}} - \lambda$ 关系进行拟合得:

$$\eta_{\text{TN}} = 467.21 \lambda^3 - 805.90 \lambda^2 + 397.34\lambda + 14.181 \quad (r^2 = 0.9952) \quad (3)$$

试验结果显示: 在厌氧时间为 1.5 h, 随着曝气比的增大, η_{CODcr} 、 η_{TP} 呈上升趋势; 而 η_{TN} 在 0.35, 0.45] 出现了一个峰值点, 这是由于随着 λ 增大, 硝化反应使越来越多的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 转化为 $\text{NO}_2^- - \text{N}$, 通过后面的反硝化反应从系统中去除, 但随着 λ 的进一步增大, 虽有 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 向 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的转化, 但系统来不及达到缺氧环境, 或缺氧环境时间过短, 反硝化反应微弱, 导致了系统 η_{TN} 达到 75% 的峰值后呈下降趋势。

从表 5 的试验结果可得泥龄 SRT 与去除率的关系曲线, 如图 4 所示。

利用双曲线函数对 $\eta_{\text{CODcr}} - \text{SRT}$, $\eta_{\text{TN}} - \text{SRT}$ 关系进行拟合得:

$$\eta_{\text{CODcr}} = -143.34 \text{SRT}^{-1} + 99.81, (r = -0.9571) \quad (4)$$

$$\eta_{\text{TN}} = -97.47 \text{SRT}^{-1} + 87.28, (r = -0.9755) \quad (5)$$

利用指数函数, $y = ae^{bx}$ 对 $\eta_{\text{TP}} - \text{SRT}$ 关系进行拟合得:

$$\eta_{\text{TP}} = 103.84 e^{-0.0105 \text{SRT}} (r = -0.9653) \quad (6)$$

以上结果显示: 当 SRT 在 6~30 d 范围内, η_{TN} 随着 SRT 增大呈现出上升趋势。泥龄越长, 硝化菌在微生物中比例越大, 硝化效果越好, 通过反硝化反应后, 脱氮效果就更好; 而 η_{TP} 在该范围内随着 SRT 的增大而减小。SRT 长, 排泥量少, 降低了聚磷菌活性, 而且破坏了聚磷菌的生长优势。从脱氮角度考虑, SRT 取在 15~30 d 较适宜, 此时可获得 75%~85% 的总氮去除率。

通过正交试验结果进行统计处理, 得到如下结果(回归正交设计计算见表 6)。

总磷去除率

$$\eta_{\text{TP}}(\%) = 6 + 180 Z_1 - 2.75 Z_1 Z_2 + 0.3 Z_2 \quad (7)$$

式中: Z_1 ——曝气比;

Z_2 ——泥龄(d);

回归方程的结果表明: 曝气比(Z_1)和泥龄(Z_2)高度显著且为正影响, 而泥龄与曝气比的交互项对 η_{TP} 是负影响。保持较长的泥龄, 有利于维持聚磷菌的绝对数量, 但随着曝气比的进一步增大, 会加剧进水中低分子挥发性有机物相对不足, 削弱聚磷菌的生长优势, 泥龄的正影响完全可忽略不计。另一方面, 高曝气比会增加污泥含磷量, 抵消其对聚磷菌生长优势的负影响, 通过排泥, 有利于提高总磷去除率。

COD_{cr} 去除率

$$\eta_{\text{CODcr}}(\%) = 67.6 + 43.7 Z_1 + 0.06 Z_2 \quad (8)$$

方差分析结果表明: 曝气比(Z_1)高度显著, 为正影响; 泥龄(Z_2)一般显著, 为正影响。提高曝气比增大了好氧反应时间, 延长泥龄保持了污泥数量, 对提高 η_{CODcr} 有利。

5 结 论

1) NBIAS 的 η_{TP} 随曝气比的增大而增加, 随 SRT 的增加而减少;

2) 工况单因素试验结果表明: 曝气比为 0.42, SRT 在 15~30 d 时, 可获得 75%~85% 的总氮去除率。结合双因素试验结果, 当曝气比(Z_1)为 0.42、泥龄为 20 d 时, 按式(7)可算得总磷的去除率为 70% 左右。

3) 在 $T = 6.0$ h, 厌氧 1.5 h, 沉淀排水 0.5 h 的条件下, 取 $\text{SRT} = 20$ d, 曝气比为 0.42 左右时, NBIAS 系统的 η_{CODcr} , η_{TN} , η_{TP} 可分别达到 85%, 75%, 69%。

(下转第 65 页)

city. Based on the data of measured bacteria concentration of the indoor air, the reasons for indoor air pollution were analyzed. It was found that the bacteria seriously polluted the indoor air. The main factors influencing the indoor air bacteria pollution are moisture, natural ventilation and lighting conditions. The construction forms and decoration of the dwelling house are the secondary reasons for indoor air bacteria pollution. Measures and suggestions of preventing the indoor air bacteria pollution and improving the indoor air quality and environmental quality were presented.

Key Words indoor air pollution; bacteria; indoor air quality; ventilation; natural lighting; moisture

(上接第 59 页)

参 考 文 献

- [1] 罗固源,等. 组合式间歇曝气系统处理城市污水试验研究[J]. 环境保护,1997.12.,总 242 期
[2] 上海师范大学数学系. 回归分析及其试验设计[M]. 上海:上海教育出版社,1978.2

Analysis of Phosphorus Removal in the Non - backflow Intermittent Aeration System

LOU Gu-yuan LIU Zhi-gang

(Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China)

Abstract In this paper the phosphorus removal performance has been studied in Non - backflow Intermittent Aeration System (NBIAS), when the aeration duration and SRT were adjusted. At the same time, nitrogen removal was also studied. Test results show that when the cycle duration is 6 h., anaerobic duration 1.5h. sedimentation and displacement time 0.5 h. and SRT = 20 d, aerobic ratio 0.42, the removal efficiency for COD_{Cr}, nitrogen and phosphorus will be 85%, 75% and 69%, respectively.

Key Words NBIAS; sludge age; phosphorus removal; nitrogen removal; cycle duration