

缺氧变速生物滤池+ SA SBR 处理城市污水试验研究

龙腾锐, 赵娟, 郭劲松, 方芳

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 四川 重庆 400045)

摘要: 本文对缺氧变速生物滤池+ SA SBR 工艺, 在常温下处理城市污水的效果及主要影响因素进行了试验研究。结果表明: 在进水 COD_{Cr} 均值为 215.4 mg/L 左右, $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 27.3 mg/L 、SS 为 91.6 mg/L 时, 经过本工艺的处理后, 其出水 COD_{Cr} 为 $20.0 \sim 25.0 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 $9.0 \sim 11.0 \text{ mg/L}$, SS 约为 10.0 mg/L , 满足国家综合排放(GB 8978-1996)一级标准的要求。

关键词: 缺氧; 生物滤池; 短时曝气 SBR (SA SBR)

中图分类号: TQ 085+.413; X703

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2002)05-0269-05

目前, 城市污水的处理多采用好氧生物方法, 这虽然能够有效去除废水中的有机物, 但其建设、运行和管理费用高, 且污泥产量大, 污泥的后处理仍需相当多的投资和管理费用。本试验主要探讨采用缺氧变速生物滤池+ SA SBR (Short Aeration Sequencing Batch Reactor) 工艺, 在常温下处理城市污水的可行性及其运行条件, 本工艺突出的特点是处理能耗低、污泥产量低。

1 试验流程、装置与方法

1.1 试验流程与装置

本研究在重庆市某城市污水处理厂进行, 试验流程如图 1 所示。试验水质为城市污水。

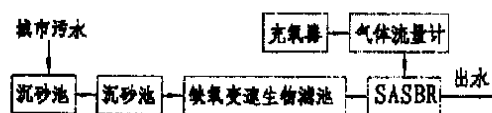


图 1 试验流程示意图

缺氧变速生物滤池尺寸为 $7.8 \text{ m} \times 5.95 \text{ m} \times 5.7 \text{ m}$, 顶部没有加盖。滤池为升流式, 即从底部进水、上部出水。过水断面面积随水流方向逐渐增大, 因而称之为变速滤池。滤池由下至上依次为布水区、承托层、填料层、沉淀区、保护层, 其中填料层高度

2.0 m , 装填粒径为 $10 \sim 20 \text{ mm}$ 的单一酶促填料作为微生物附着生长的载体。

SA SBR 反应器由有机玻璃制作, 尺寸为 $L \times B \times H = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$, 考虑一定的保护高度, 取有效容积为 1 L 。所用设备为 7312 型电动电磁搅拌器、YIS52 型溶解氧仪、NS8200 型增氧泵、LZB-6 玻璃转子流量计。

1.2 试验方法

缺氧段试验为生产性规模, 1999 年 6 月至 1999 年 8 月底为缺氧滤池的启动阶段, 此后滤池经历了夏季负荷运行阶段(1999 8 25~ 1999 10 26)和冬季负荷运行阶段(1999 11 6~ 2000 2 1), 然后进入稳定运行阶段。

好氧段试验为小试规模, 以缺氧变速生物滤池的出水作为试验用水, 试验从 2000 年 8 月 5 日至 2000 年 10 月底止。试验接种污泥来自于该厂曝气池的混合液, 经过近一周启动运行后, 开始运行试验。

影响曝气耗氧量的因素较多, 且实践中变化幅度较大。一般地, 去除单位 BOD 的耗氧率为 $1 \sim 2 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD}$, 低值 $< 0.5 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD}$, 高值 $> 2.5 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD}$ ^[1]。因此, 本试验以此确定以曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot \text{h}$, 曝气时间分别为 90 min、60 min、45 min、30 min, 四组运行工况; 曝气量

收稿日期: 2001-03-14

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59838300); 国家“九五”科技攻关子专题(96-909-01-02-01)

作者简介: 龙腾锐(1939-), 男, 博士研究生导师, 主要从事水污染控制理论与技术的研究和教育

为 0.63m^3 空气/ m^3 水 · h, 曝气时间分别为 120min、90min、60min、30min, 也是四组运行工况; 由试验结果知: 曝气量为 0.63m^3 空气/ m^3 水 · h、曝气 90min, 其处理水的各项指标值与曝气量为 0.94m^3 空气/ m^3 水 · h、曝气 60min 时处理水的各项指标值大致相同, 都能达到国家综合排放一级标准。但考虑到经济的 DO 浓度以及 SA SBR 容积, 决定采用 60min 作为曝气时间。于是, 将曝气时间确

定为 60min, 曝气量分别为 1.10m^3 空气/ m^3 水 · h、 0.94m^3 空气/ m^3 水 · h、 0.78m^3 空气/ m^3 水 · h、 0.63m^3 空气/ m^3 水 · h, 又进行了运行四组工况。每个工况的运行周期随曝气时间不同而稍有差异, 一个周期包括进水(低速搅拌)(30min)、曝气(变化时间)、沉淀(60min)、排水(15min)、闲置(60min)。试验工况和运行参数详见表 1、表 2(表中各值为 4 次测量平均值)。每个工况平均运行 5~7d。

表 1 运行工况

工 况	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]	11 [#]	12 [#]
周 期 (h)	4 25	3 75	3 50	3 25	4 75	4 25	3 75	3 25	3 75	3 75	3 75	3 75
曝气时间 (min)	90	60	45	30	120	90	60	30	60	60	60	60
曝气量 (m^3 空气/ m^3 水 · h)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.63	0.63	0.63	0.63	1.10	0.94	0.78	0.63

表 2 运行参数

MLSS (mg/L)	MLVSS (mg/L)	MLVSS/MLSS	沉降比 (%)	SVI (L/mg)	N_s ($\text{kgBOD}_5/\text{kgMLSS} \cdot \text{d}$)
2700~3300	1700~1900	0.570~0.622	37.0~43.0	123~139	0.090~0.339

N_s 为曝气阶段活性污泥负荷。因进水有机物浓度较低, 故实验中 N_s 值不大。

2 试验结果与讨论

2.1 试验结果

表 3 给出了 2000 年 8 月初至 2000 年 10 月底滤池的运行结果。

试验期间, 滤池进水溶解氧(DO)浓度在 $0.8\sim 2.4\text{mg/L}$ 之间, 出水 DO 为 $0.02\sim 0.40\text{mg/L}$; 进出水 pH 值变化不大, 均在 $6.6\sim 7.2$ 之间; 水温 $17\sim 27^\circ\text{C}$, 气温 $15\sim 35^\circ\text{C}$ 。

表 3 缺氧变速生物滤池试验运行结果及参数

COD _{Cr}	进水(mg/L)	106.0~326.2	流量(m^3/d)	滤池	485.4~737.1
	出水(mg/L)	69.6~152.4		滤池	7.7~5.0
	去除率(%)	26.0~73.9	HRT(h)	填料层	3.9~2.6
BOD ₅	进水(mg/L)	43.4~75.0	容积负荷 ($\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$)	滤池	0.410~1.263
	出水(mg/L)	26.0~41.2		填料层	0.821~2.525
	去除率(%)	35.8~56.4	VFA(mg/L)	进 水	6.2~89.6
SS	进水(mg/L)	45~211	碱 度(mg/L)	出 水	10.2~22.7
	出水(mg/L)	8~58		进 水	204~342
	去除率(%)	35.6~90.5		出 水	216~384

表 4 SA SBR 各工况的处理效果

工 况		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]	11 [#]	12 [#]
COD _{Cr}	进水(mg/L)	112.6	120.9	115.9	109.3	111.0	105.6	100.7	108.4	109.8	114.2	113.7	103.4
	出水(mg/L)	13.2	25.9	32.6	62.4	11.6	25.8	40.3	75.6	12.9	20.2	22.1	35.3
	去除率(%)	88.3	78.6	71.9	42.9	89.5	75.6	60.0	30.3	88.3	82.3	80.6	65.9
NH ₃ -N	进水(mg/L)	25.9	26.3	26.7	27.1	25.3	23.8	26.9	26.0	24.8	26.1	26.7	25.6
	出水(mg/L)	1.8	9.0	19.1	24.7	1.8	7.4	19.5	24.5	5.3	10.6	18.0	19.9
	去除率(%)	93.1	65.8	28.5	8.9	92.9	68.9	27.5	5.8	78.6	59.4	32.6	22.3

SA SBR 对缺氧变速生物滤池出水处理的 COD_{Cr} 与 NH₃-N 试验结果列于表 4(表中各值为 4 次测量平均值)。SA SBR 出水 SS 稳定在 $5\sim 15\text{mg/L}$, pH 值比进水略有降低, 为 $6.6\sim 7.0$ 。

2.2 结果分析

2.2.1 缺氧变速生物滤池处理城市污水的生产性试验

缺氧滤池出水 COD_{Cr} 为 $70\sim 152\text{mg/L}$ 、均值



108 mg/L , 去除率 26.0%~73.9%、均值 47.9%, 对有机物有较好的处理效果; 出水 SS 均值为 25.3 mg/L , 平均去除率为 68.8%, SS 去除率高于 COD_{Cr} 的去除率。主要是由于 SS 通过截留就可去除, COD_{Cr} 中溶解性的部分则必须经过生物代谢才可去除, 而生化反应速率远低于物理截留。

缺氧滤池进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度为 28.3 mg/L , 出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度为 31.4 mg/L , 略有增加; 进水 TP 平均浓度为 4.96 mg/L , 出水平均浓度为 3.95 mg/L , 去除率为 20.3%。在缺氧过程中, 氨的产生主要来源于氨基酸和蛋白质的发酵及其它含氮有机物的厌氧降解。游离氨是一种致碱物质, 因此含氮有机物的降解将导致反应器中碱度升高。这与试验中进水碱度介于 204~342 mg/L , 出水碱度介于 216~384 mg/L 的试验结果是相吻合的。

滤池碱度升高的另一原因在于, 产甲烷菌将 VFA 代谢转化为 CH_4 和 CO_2 , 使得出水中的 VFA 较进水中的 VFA 减少许多, 从而相应地碱度有所增加。但在整个过程中, VFA 与碱度的比值近似介于 0.04~0.35, 两者之比小于 0.4, 因此系统有足够的缓冲能力中和产酸相反应中形成的挥发酸, 使滤池 pH 值维持在 6.6~7.2 的范围内, 保证了反应器的正常运行。

2.2.2 缺氧滤池出水的好氧后处理试验

2.2.2.1 曝气时间变化对 SA SBR 去除 COD_{Cr} 效果的影响

SA SBR 法属于好氧生物化学处理方法, 需要人工创造有利于微生物生命活动的环境及提供氧化有机物所需要的氧气, 以提高微生物氧化分解有机物的效率。

本试验用空气泵向污水中不断注入空气, 以保持水中有足够的溶解氧。由图 2 可以看出, 无论曝气量是 0.94 m^3 空气/ m^3 水·h 还是 0.63 m^3 空气/ m^3 水·h, SA SBR 出水 COD_{Cr} 浓度还是随曝气时间的增加而降低, 且在曝气时间约为 40 min 时, 沉淀 60 min 后, 出水 $\text{COD}_{\text{Cr}} < 60 \text{ mg/L}$, 均能达到国家一级排放标准的要求。由表 4 也可看出, 除 4[#]、8[#] 两种工况的出水 COD_{Cr} 大于 60 mg/L 以外, 其余十种工况的出水 COD_{Cr} 均小于 60 mg/L , 相应的去除率均大于 60%。在相同曝气时间的条件下, 曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水·h 的各工况出水 COD_{Cr} 值均低于曝气量为 0.63 m^3 空气/ m^3 水·h 的各工况出水 COD_{Cr} 值。前者的 COD_{Cr} 去除率也略高于后者, 这说

明混合液中曝气量越大, 溶解氧浓度 (DO) 越高, 对有机物的去除越有利。

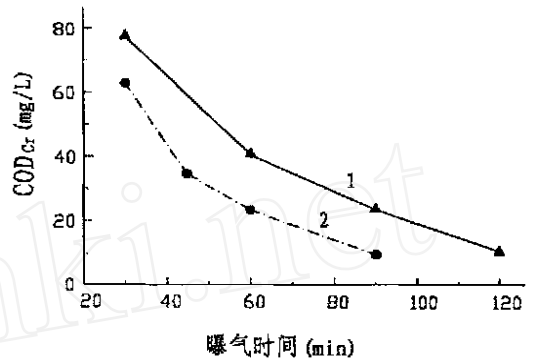


图2 COD_{Cr} 随曝气时间变化图

1 曝气量为 0.63 m^3 空气/ m^3 水·h,

2 曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水·h。

2.2.2.2 曝气时间变化对 SA SBR 去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 效果的影响

在曝气阶段, 有机物被微生物氧化降解, 同时有机氮被氨化继而硝化, 原污水中大量 $\text{NH}_3\text{-N}$ 也持续被硝化, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度下降。溶解氧浓度 (DO) 对生物污水处理系统中的硝化菌增殖和硝化作用影响很明显。硝化作用在 DO 为 0.5 mg/L 时能够完成, 但其速度比在较高 DO 下慢得多^[2]。

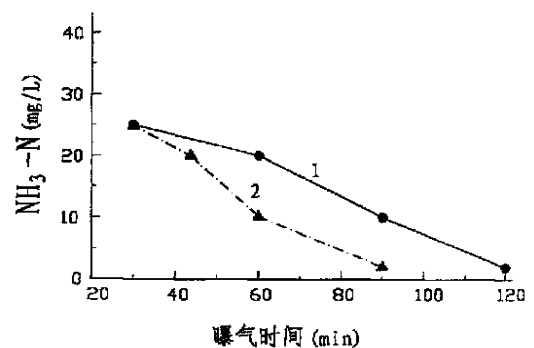


图3 $\text{NH}_3\text{-N}$ 随曝气时间变化图

1 曝气量为 0.63 m^3 空气/ m^3 水·h,

2 曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水·h。

由表 4 可知, 对于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度而言, 只有 1[#]、2[#]、5[#]、6[#]、9[#]、10[#] 这六种工况出水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值小于 15 mg/L , 去除率在 59% 以上, 能够达标。将各工况 DO 浓度与出水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度联系起来考察, 发现 DO 浓度在 1.5 mg/L 以上至少保持 50 min, 才有可能使出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值达标。DO 在 1.5 mg/L 以上的持续时间越长, 其出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值就越低。由图 3

可知,在曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 时,曝气 60 min 可出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 达标;对反应器中 DO 浓度上升速度的测试表明,在曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 的工况下,曝气 10 min 左右时,混合液中 DO 值就上升至 1.5 mg/L 的较稳定的浓度段,而在曝气量为 0.63 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 的工况下,则需要 20 min 左右,混合液中 DO 值才上升至 1.5 mg/L 。前者提高混合液中 DO 值的速度明显快于后者,故曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 时 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率明显高于曝气量为 0.63 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 时的去除率,这由表 4 可清楚地看出。

2.2.2.3 曝气量变化对 SA SBR 去除效果的影响

由图 4 可知,当曝气时间为 60 min 时,各曝气量下出水 COD_{Cr} 值均能达标,随着曝气量的增加, COD_{Cr} 值虽有所降低,但变化较缓慢。随着曝气量的增加,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度有明显降低,说明曝气量的增加对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除意义很大。由图 4 可大致得出,曝气量约为 0.88 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 时,其出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值刚好达到国家综合排放一级标准,即 15 mg/L 。

由以上分析可知,对于出水 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值达标来说,曝气量 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h,曝气时间 60 min 是本试验的较佳工况,即 2[#] 和 10[#] 两工况。

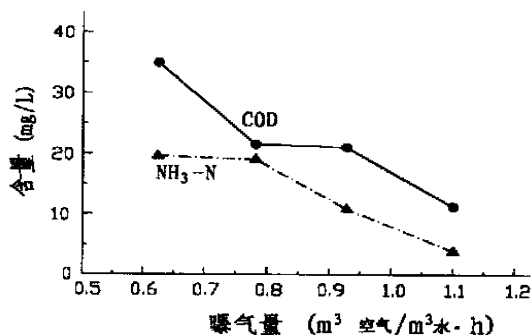


图 4 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 COD_{Cr} 随曝气量变化图

2.2.2.4 曝气量为 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h, 曝气时间 60 min 的去除效果及 DO 曲线

在 2[#] 工况下,出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 SS 、 pH 值都能达到排放标准。其出水 COD_{Cr} 为 26 mg/L ,去除率在 80% 左右;出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 9 mg/L ,去除率在 60% 左右;出水 BOD_5 值小于 7 mg/L ,去除率达 85% 以上;出水 SS 为 9 mg/L ,去除率达 56%;出水 pH 值为 6.8。

图 5 为在 2[#] 工况下, DO 随着曝气时间延续的

变化曲线,反映了供氧与耗氧之间平衡的变化。由图 5 可以看出,混合液中 DO 的变化大致分为三个阶段。曝气前,反应器内混合液 DO 为 0.2 mg/L ,随着曝气时段的延续, DO 逐渐上升;在约 10 min 时, DO 升至 1.5 mg/L ,此后 DO 变化较缓。就 SA SBR 中需氧量而言,在底物浓度较高阶段,需要较高的供氧量,在底物消耗后,则只需要少量氧来满足内源呼吸。本图中 $10\text{ min} \sim 50\text{ min}$ 期间, DO 一直保持在 2.0 mg/L 左右,说明此时底物浓度较高,需要较高的供氧量,且底物耗氧与供氧是动态平衡的;而 $50\text{ min} \sim 60\text{ min}$ 期间, DO 有上升的趋势,说明此时底物已大部分降解,浓度降低,需氧量下降。有资料报道^[3],比较 DO 与有机物降解情况发现,控制反应过程 DO 为 2.0 mg/L 左右时最经济合理,其相应的曝气量为合适的曝气量。由此可知,本试验 0.94 m^3 空气/ m^3 水 $\cdot$ h 是较为合适的曝气量, 60 min 是较合适的曝气时间。

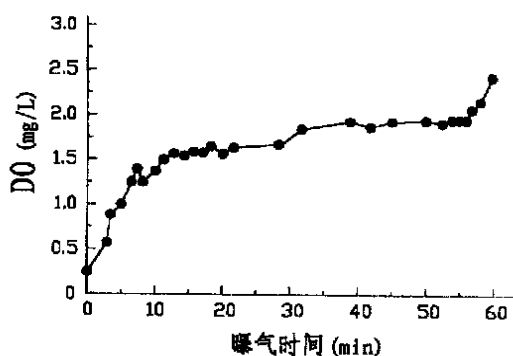


图 5 2[#] 工况 DO 变化图

2.2.2.5 缺氧变速生物滤池+ SA SBR 工艺探讨

缺氧变速生物滤池是本课题组在普通厌氧滤池的基础上设计出来的专利产品,除具有普通厌氧生物滤池的优点外,还通过改变流体力学性能克服滤池的堵塞问题;由于滤池顶部不密封,既可降低投资又可使管理简便;缺氧变速滤池产泥量少,平均 2~4 个月左右排一次泥,运行过程中也不需过多的管理。

由于在变速滤池中采用了一种新型废水处理生物填料-酶促生物填料,使附着在其上的微生物活性大为提高^[4]。本试验在城市污水流量为 $485 \sim 737 \text{ L/d}$,滤池 HRT 为 $7 \sim 50\text{ h}$ 的条件下,缺氧滤池出水 COD_{Cr} 平均值在 108.6 mg/L 左右,平均去除率为 47.9%,由此可以看出,缺氧滤池对有机物有较好的去除效果;出水 SS 平均值在 25.3 mg/L

左右, 平均去除率为 68.8%, 效果很好。然而受兼性微生物自身代谢特征的限制, 其出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 SS 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 P 尚达不到国家综合排放一级标准的要求。经过 SA SBR 的较佳工况(曝气量 0.95m^3 空气/ m^3 水·h、曝气时间 60min)对滤池出水的处理, 最终出水的 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 SS 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均能满足上述标准的要求。由于 SA SBR 进水中 BOD 浓度很低, 用活性污泥法处理时, 污泥产率极小, 这对处理剩余污泥虽然十分有利, 但为了保证 SA SBR 反应器中足够的污泥浓度, 不得不减少污泥的排出量, 以增长 SRT, 故 P 的去除率不高, 还不能达标, 为实现有效除 P , 其工艺组合还有待进一步深入研究。

从总体上看, 缺氧变速生物滤池+ SA SBR 工艺在常温下处理城市污水是可行的。既可使管理简便、运行费降低, 又可获得较好的处理效果。

3 结 论

缺氧变速生物滤池常温下处理城市污水, 当 HRT 为 7.7~5.0h, 进水 COD_{Cr} 为 106.0~326.2 mg/L , 进水容积负荷为 $0.410\sim 1.263\text{kgCOD}_{\text{Cr}}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 的条件下, 其 COD_{Cr} 去除率可达 47.9% 左右。本试验结果表明, SA SBR 是适合城市污水缺氧后处理的一种方法, 对缺氧滤池出水的处理能取得较满意

的效果。在曝气量 0.94m^3 空气/ m^3 水·h、曝气时间 60min 的工况下, 其出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 SS 、 pH 值均能达标。从总体上看, 缺氧变速生物滤池+ SA SBR 工艺在常温下处理城市污水是可行的。既可使管理简便、运行费低, 又可获得好的处理效果。为使本工艺达到除磷效果, 其工艺组合尚需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 张永吉 降低污水曝气耗氧量的途径和方法[J] 给水排水, 2000, 26(5): 17~19
- [2] Peng Dangcong, Nicolas Bernet, Jean-Philippe Delgenes, Rene Moletta Effects of Oxygen Supply Methods on the Performance of a Sequencing Batch Reactor for High Ammonium Nitrification[J] Water Environ Res, 2000, 72: 195
- [3] 曾薇, 彭永臻, 王淑莹, 高景峰, 李探微 以溶解氧浓度作为 SBR 法模糊控制参数[J] 中国给水排水, 2000, 16(6): 5~10
- [4] 龙腾锐, 张勤, 郭劲松, 成一知 酶促填料与某些多孔填料挂膜特性对比试验研究[J] 给水排水, 2000, 26(3): 22~25

EXPERIMENTAL STUDIES ON MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT BY VARIABLE-VELOCITY ANOXIC BIOFILTER AND SASBR

LONG Teng-rui, ZHAO Juan, GUO Jing-song, FANG Fang

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

Abstract The municipal wastewater treatment by anaerobic biofilter (AF) and short aeration sequencing batch reactor (SA SBR) was studied through experiment under ambient temperature. COD_{Cr} of the municipal wastewater averages 215.4mg/L , $\text{NH}_3\text{-N}$ is 27.3mg/L , SS is 91.6mg/L . After the treatment by AF and SA SBR, COD_{Cr} declines to $20.0\sim 25.0\text{mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ to $9.0\sim 11.0\text{mg/L}$, SS to about 10.0mg/L , and they all can meet the first discharging index of Wastewater Discharging of Chinese National Standard (96).

Key words: anoxic biofilter (AF), short aeration sequencing batch reactor (SA SBR)