

恒液位 SBR 工艺处理城市污水的研究

夏 炎,张林生

(东南大学环境工程系,江苏 南京 210096)

摘要 采用恒液位 SBR 工艺对城市污水处理进行实验研究。研究影响恒液位 SBR 工艺脱氮除磷效果的缺氧-好氧循环、沉淀时间、进水流量等因素。结果表明:在最佳工况下处理城市污水时,COD、TN、TP 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率分别为 88.21%~91.04%、68.04%~70.45%、95.26%~96.11% 和 89.76%~91.17%,说明采用恒液位 SBR 工艺处理城市污水是可行的。

关键词 恒液位 SBR 工艺 脱氮除磷 运行工况

中图分类号:X799.3 文献标识码:B 文章编号:1004-693X(2009)06-0069-04

Study on constant liquid-level SBR process in municipal wastewater treatment

XIA Yan, ZHANG Lin-sheng

(Department of Environmental Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract A constant liquid-level SBR process was tested in municipal wastewater treatment. Factors influencing nitrogen and phosphorus removal, such as the anoxic/aerobic cycle, sedimentation time and influent flow, were studied in the experiment. The removal rates of COD, TN, TP and $\text{NH}_3\text{-N}$ were, respectively, 88.21%~91.04%, 68.04%~70.45%, 95.26%~96.11%, and 89.76%~91.17% under the optimal operating conditions. The results show that a constant liquid-level SBR process can be used to treat municipal wastewater.

Key words constant liquid-level SBR; nitrogen and phosphorus removal; operating conditions

SBR 工艺是一种简单、快速且低耗的污水生物处理工艺。在设计和运行中,根据不同的水质条件、使用场合和出水要求,近年来有了许多新的变化和发展。但由于各处理单元分别设置,往往还需进行污泥回流和污水回流,这势必增加基建、管路及设备投资。同时传统的 SBR 工艺在排水排泥和闲置期不能充分利用反应器的空间,造成空间利用率较低。而滯水器的投资、安装和运行管理中都会带来不必要的麻烦和浪费。本实验采用恒液位、进出水同时进行的 SBR 工艺,以固定堰出水方式代替滯水器,研究了影响恒液位 SBR 工艺处理效果的因素。

1 实验装置与方法

1.1 实验装置

恒液位 SBR 工艺的实验装置如图 1 所示。

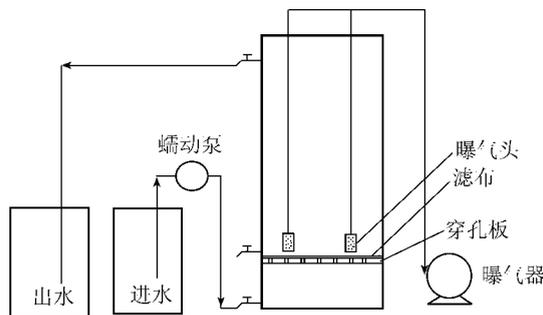


图 1 恒液位 SBR 工艺实验装置

恒液位 SBR 反应器由穿孔板和滤布将装置分为上下两部分,上部是装有活性污泥的反应器,下部由进水区组成。污水处理池采用有机玻璃制成,反应器尺寸: $L=200\text{ mm}$, $B=200\text{ mm}$, $H=650\text{ mm}$,承托层的高度为 150 mm,有效容积 16.73 L。滤布包裹穿孔板,放置反应器内,滤布紧贴池内壁和穿孔板。

微孔曝气头置于生物反应器底部。进水水泵上设置时间控制器进行定时控制,底部进水,曝气采用鼓风曝气,缺氧、厌氧和好氧交替运行。

运行时采用短时分批进水、厌氧+交替缺氧-好氧的运行方式,利用进水的静压将处理水推出反应器,同步进水出水,反应器液位恒定。此时,改进的SBR工艺由传统的5阶段简化为3阶段,即进水(出水)→曝气→沉淀→出水(进水)。

从处理角度来看,采用短时、分批、低流量的进水方式,一方面延长了进水历时,提高反硝化效果,另一方面厌氧段与缺氧段分别进水,补充了脱氮除磷对碳源的需求,缓解了二者对碳源的竞争,增强了系统脱氮除磷效果。

1.2 实验方法

前期实验采用人工配制的污水,主要成分有:葡萄糖、淀粉、氯化铵(NH_4Cl)、碳酸氢钠(NaHCO_3)、磷酸二氢钾(KH_2PO_4)及硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)等微量元素。

后期实验采用生活污水,污水水质分别为 $\rho(\text{COD}) = 165.12 \sim 312.07 \text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{TN}) = 42.10 \sim 46.43 \text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{TP}) = 4.08 \sim 4.70 \text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N}) = 35.65 \sim 40.17 \text{ mg/L}$ 。反应器中的活性污泥取自污水处理厂二沉池,经30d培养驯化后正式运行。

通过变换运行工况,测定进出水污染物指标,分析各工况下的处理效果,分析影响因素,从而确定最佳运行工况。

1.3 各测试指标分析方法

COD:重铬酸钾法;TN:过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;TP:钼酸铵分光光度法; $\text{NH}_3\text{-N}$:纳氏试剂分光光度法;DO:溶解氧自动测定仪;MLSS:105摄氏度干燥减量法。

2 实验结果与分析

2.1 恒液位SBR工艺的处理效果

恒液位SBR工艺的处理效果见表1(在最佳运行工况下)。其出水的COD、TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等指标均达到GB 18918—2002《城市污水处理厂污染物排

放标准》中的一级标准,即 $\rho(\text{COD}) < 60 \text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{TN}) < 15 \text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{TP}) < 1.0 \text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N}) < 15 \text{ mg/L}$ 。实验结果表明,恒液位SBR工艺对城市污水处理效果良好,特别是对磷的处理效果更为突出,进水磷质量浓度4.08~4.70 mg/L时,出水磷质量浓度在0.16~0.22 mg/L之间,去除率达到95.26%~96.11%。

2.2 恒液位SBR工艺对污染物的去除途径

2.2.1 有机物的去除

有机物的去除包括4部分:①进水时的生物吸附作用;②聚磷菌将污水中易分解的有机物摄入体内以PHB形式贮存起来,作为好氧摄磷的能源储备^[1];③作为反硝化的碳源被去除;④曝气阶段微生物消耗大量有机物。

2.2.2 氮的去除

进水时含氮有机物迅速氨化为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。污水进入反应装置后,将原有的硝酸盐浓度稀释,同时借助进水的碳源,使剩余混合液中的硝酸盐发生反硝化反应。曝气阶段,在硝化菌作用下 $\text{NH}_3\text{-N}$ 发生硝化反应转化为硝酸盐。同时由于进水的推力使得污泥颗粒下降速度变缓,增加了污水与活性污泥的接触时间,强化了反硝化作用,提高了氮的去除率。还有一部分氮在曝气过程中去除,原因是同步硝化反硝化^[2]。

2.2.3 磷的去除

进水时,由于进水中碳源充足,反硝化菌和聚磷菌不存在争夺碳源的矛盾,所以聚磷菌可以充分释放磷。曝气阶段的溶解氧质量浓度保持在2.5 mg/L左右,聚磷菌可以超量摄取磷。沉淀阶段,由于最佳工况的沉淀时间短,整个系统处于缺氧状态而且污水中硝酸盐浓度较高,可以抑制磷的释放,所以去磷效果好。

2.3 结果讨论

2.3.1 缺氧-好氧循环对脱氮除磷的影响

实验初期,采用工况一和工况二的运行方式(表2),实验结果显示各项指标的去除率并不好(见表3)。除了受到实验温度的制约外,主要由工艺本身特点所决定:首先,恒液位SBR工艺进出水同时

表1 恒液位SBR工艺处理效果

序号	COD			TN			TP			$\text{NH}_3\text{-N}$		
	进水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/%	进水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/%	进水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/%	进水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除 率/%
1	312.07	36.79	88.21	46.43	14.84	68.04	4.10	0.18	95.71	40.17	3.92	90.25
2	290.96	30.70	89.45	46.25	13.79	70.18	4.61	0.22	95.26	39.25	3.47	91.17
3	265.34	26.51	90.01	43.58	13.26	69.58	4.08	0.18	95.49	37.14	3.68	90.09
4	230.34	22.73	90.13	44.45	14.06	68.36	4.70	0.19	96.02	38.09	3.90	89.76
5	209.13	16.73	90.20	42.10	12.44	70.45	4.15	0.16	96.11	35.65	3.59	89.94
6	176.07	15.78	91.04	43.32	12.86	70.32	4.16	0.17	96.02	37.12	3.30	91.11
7	165.12	16.33	90.11	44.85	13.46	69.98	4.49	0.19	95.79	38.84	3.48	91.03

表 2 各工况运行条件

工况一	进水 0.5h(流量 4L/h)→曝气 2h→沉淀 0.5h→出水(进水)0.5h
工况二	进水 0.5h(流量 4L/h)→曝气 4h→沉淀 1.5h→出水(进水)0.5h
工况三	进水(流量 4L/h)10 min→曝气 10 min→沉淀 1 min→出水(进水)10 min(循环 5 次)→曝气 1 h→沉淀 1 min→出水(进水,流量 2L/h)1 h
工况四	进水(流量 4L/h)20 min→曝气 20 min→沉淀 2 min→出水(进水)20 min(循环 3 次)→曝气 1 h→沉淀 2 min→出水(进水,流量 2L/h)1 h
工况五	进水(流量 4L/h)30 min→曝气 30 min→沉淀 5 min→出水(进水)30 min(循环 2 次)→曝气 1 h→沉淀 5 min→出水(进水,流量 2L/h)1 h
工况六	进水(流量 5L/h)30 min→曝气 30 min→沉淀 5 min→出水(进水)30 min(循环 2 次)→曝气 1 h→沉淀 5 min→出水(进水,流量 3L/h)1 h
工况七	进水 10 min(流量 4L/h)→曝气 10 min→沉淀 2 min→出水(进水)10 min(循环 8 次)→进水 1 h(流量 2L/h)→曝气 10 min→沉淀 2 min→出水(进水)10 min

表 3 各工况处理结果对比分析

工况	去除率/%			
	COD	TN	TP	NH ₃ -N
工况一	61.01	—	71.56	57.75
工况二	65.83	—	68.48	64.45
工况三	86.72	38.71	82.28	91.28
工况四	86.16	28.47	82.47	78.44
工况五	82.15	48.97	86.01	96.35
工况六	80.98	34.58	80.11	91.03
工况七	89.88	69.56	95.77	90.48

注:以上数据均为平均值。

进行,污水由装置底部进入,穿过污泥层,将上层清液推出。在工况一和工况二的运行条件下,由于缺氧阶段反硝化生成气态氮,沉淀时气体无法及时逸出,导致污泥沉降性能变差,影响出水效果;其次,由于进水出水同时进行,污水并没有将上层清液推出,而是直接短流出水,影响出水效果。

为了提高脱氮除磷的效果,工况三至工况七均采用了缺氧-好氧反复循环的模式(表 2),结果发现处理效果明显好转,最佳工况时 TP 去除率达 90% 以上, TN 去除率接近 70%(表 3)。缺氧-好氧环境多次循环,在完成硝化和反硝化反应的同时,在曝气期间由缺氧反硝化生成的气态氮被吹脱出去,提高污泥沉降性能,沉淀效果好,氮、磷去除率提高。

分析工况三至工况七实验处理结果发现,缺氧-好氧交替的进水(出水)时间和曝气时间对出水效果影响很大。O'Neill 等^[3]研究的 Orbal 氧化沟采用缺氧-好氧循环获得同时硝化反硝化,运行时发现,曝气停止后,亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的浓度 2 h 后开始降低,即缺氧、好氧环境变换时反应存在滞后时间。本实验便是利用缺氧-好氧环境转换时硝酸菌反应的滞后时间,并且在缺氧时投加碳源(进水),改善反硝化菌的生长环境,使反硝化菌利用亚硝酸盐

氮作为电子受体,迅速完成反硝化,所以在缺氧-好氧反复循环期间存在同步硝化反硝化和短程硝化反硝化。由最佳工况七,其缺氧、好氧交替时间均为 10 min,这样减少了曝气时间对反硝化菌反硝化能力的抑制,同其他工况相比,脱氮能力较强。在反硝化完全时,循环之后的进水(出水)1 h 提供了厌氧环境,聚磷菌大量释磷,为之后的好氧阶段吸磷做了充分的准备。脱氮效果的提高可提供严格厌氧环境,除磷效果也提高。

2.3.2 沉淀时间对脱氮除磷的影响

在 SBR 工艺中,沉淀是造成缺氧或厌氧的重要环节。在本实验中,对沉淀时间的控制尤为重要。由于工艺本身特点,即进出水同时进行,对水的流态稳定性要求较高。工况一和工况二沉淀时间分别为 0.5 h 和 1.5 h,处理效果差。对此两种工况做了流态观察实验,将混有品红的污水在工况一或工况二的运行条件下送入实验装置底部,结果观察到污水并没有将上层清液推出,而是短流出水,即未经处理后出水。为了避免短流出水,在沉淀时间上做了调整:将沉淀时间控制在 5 min 之内,实验测得出水效果提高。经分析,污泥在短时间(≤5 min)并未达到稳定,在沉淀数分钟后进水,污泥仍在继续沉淀。从流体力学角度分析,取污水微元体作为研究对象,微元体在穿过污泥层时,受到污泥向下沉淀的作用力,从而克服了短流出水。就此角度来说,沉淀时间应短些为宜。

但沉淀时间过短,上层清液混有污泥颗粒,影响出水效果,而且缺氧时间也会缩短,反硝化作用受到影响。

2.3.3 进水流量对脱氮除磷的影响

由表 2 可知,工况五和工况六的总曝气时间、缺氧时间、厌氧时间、进水时间和缺氧-好氧循环次数相同,但两者进水流量不同。工况五的处理效果好于工况六,较为明显的是 TN 的去除率:工况五和工况六的 TN 去除率分别为 48.97% 和 34.58%,氨氮去除率分别为 96.35% 和 91.03%。在本实验中,由于保持恒液位,进水流量的不同体现在好氧反应初始时基质浓度不同。

根据 SBR 过程动力学式^[4](此公式适用于硝化,可以描述反应期间 SBR 工艺对底物的降解规律,决定曝气时间是否满足所要求的处理程度):

$$K_N \ln \frac{N_0}{N_t} + (N_0 - N_t) = X_N \left(\frac{\mu_{N_{max}}}{Y_N} \right) \left(\frac{\alpha(DO)}{K_0 + \alpha(DO)} \right) t$$

式中: N_0 为在 $t = 0$ 时的 NH_3 -N 浓度; N_t 为在 t 时的 NH_3 -N 浓度; $\mu_{N_{max}}$ 为亚硝化菌的最大比增长速率; K_N 为亚硝化菌氧化氨氮的饱和常数; X_N 为硝化

菌浓度 ; Y_N 为硝化菌真实产率 ; K_0 为相对于溶解氧的饱和常数 ,其值在 0.15 ~ 2.0 mg/L 范围内。

反应所需曝气时间由 $t = 0$ 时基质浓度 (NH_3-N) 所决定。经计算得出 1 个周期内 ,工况五和工况六分别向反应器投放了约 172.7 mg 和 225.04 mg 的氨氮 ,由过程动力学可知 ,要想达到相同的处理效果 ,工况六所需的曝气时间应比工况五的曝气时间长 ,而运行时 ,两者总曝气时间相同 ,造成结果工况六的氨氮去除率低于工况五氨氮去除率。

由表 3 可知 ,尽管工况五和工况六的氨氮去除率有一定差异 ,但相差不大 ,而 TN 去除率却相差很大。笔者认为 ,造成 TN 去除率差异的原因除了硝化过程中出现的氨氮去除率差异 ,还有反硝化所需的缺氧时间不同。除此之外 ,污水未经处理便短流出水的情况是不容忽视的 ,由于工况六的进水流量大于工况五的进水流量 ,在工况六运行过程中 ,污水可能由于流量过大而短流出水 ,严重影响了出水效果。

工况五和工况六的 TP 去除率分别为 86.01% 和 80.11% ,由于厌氧时间和总好氧时间相同 ,TP 去除率存在差异可能为厌氧期存在硝态氮 ,影响磷的释放 ,从而影响下一步好氧阶段磷的吸收。

就工况五和工况六的比较而言 ,在相同的曝气时间下 ,进水流量越小 ,出水流量越好。但根据其他工况的实验结果可知 ,进水流量不是脱氮除磷的制约因素。

3 结 论

a. 恒液位 SBR 工艺可以达到进水、出水同时进

行的目的 ,并且有很好的脱氮除磷效果。最佳工况时 COD 去除率为 88.21% ~ 91.04% ,TN 去除率为 68.04% ~ 70.45% ,TP 去除率为 95.26% ~ 96.11% , NH_3-N 去除率为 89.76% ~ 91.17%。

b. 影响恒液位 SBR 工艺脱氮除磷效果的主要因素为缺氧 - 好氧环境的交替循环和沉淀时间。进水流量不是影响脱氮除磷效果的决定因素。本实验的最佳运行工况为 :进水 10 min(流量 4 L/h)→曝气 10 min→沉淀 2 min→出水(进水)10 min(循环 8 次)→进水 1 h(流量 2 L/h)→曝气 10 min→沉淀 2 min→出水(进水)10 min。

c. 与传统 SBR 工艺相比 ,恒液位 SBR 工艺省却了造价高、易损坏的滗水器 ,减少了设备投资和运行管理上的麻烦 ,又提高了容积利用率 ,避免了传统 SBR 工艺池体闲置阶段的浪费。但要求自动化控制程度高 ,运用到工程上还需进一步完善。

参考文献 :

- [1] 朱淑琴 ,韩梅 ,张萍. 间歇式活性污泥除磷的试验研究 [J]. 环境工程 ,1997 ,15(6) :13-14.
- [2] 李丛娜 ,吕锡武 ,稻森悠平. 同步硝化反硝化脱氮研究 [J]. 给水排水 ,2001 ,27(1) :26-28.
- [3] O'NEILL M ,HORAN N J. Achieving simultaneous nitrification and denitrification of wastewater at reduced cost [J]. Wat Sci Tech ,1995 ,32(9-10) :303-312.
- [4] 李亚新. 活性污泥法理论与技术 [M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,2007.

(收稿日期 2008-04-23 编辑 :高渭文)

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号 28-244 , CN32-1439/TV , ISSN1006-7647 , 双月刊 , A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办 ,是全国中文核心期刊 ,中国科技核心期刊 ,全国水利系统优秀期刊 ,华东地区优秀期刊 ,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文 ,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等 ,适合与水利、水电、水科学、水工程、水资源、水环境有关的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

本刊由邮局发行 ,邮发代号 28-244 ,2010 年每期定价 10 元 ,全年 6 期共计 60 元。可在全国各地邮局订阅 ,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址 :南京市西康路 1 号 《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码 210098

电话/传真 025-83786335

E-mail :jz@hhu.edu.cn

网址 :http://kbb.hhu.edu.cn/jz/index_jz.htm