

曝气方式对好氧颗粒污泥性能的影响

杨亚红, 李艾莉, 张玉蓉
(兰州理工大学土木工程学院, 兰州 730050)

【摘要】 好氧颗粒具有良好的沉降性能、较高的生物量和高容积负荷条件下降解高浓度有机废水的良好生物活性,是提高生物反应器效能的重要物质。与传统的活性污泥法相比,可简化工艺流程、减少污水处理系统的容积和占地面积、降低投资和成本。随着对好氧颗粒污泥研究的不断深入,将好氧颗粒污泥应用于实际污水处理得到越来越多的关注。文中以校园生活污水为处理对象,在SBR反应器中接种絮状污泥,通过增加曝气头个数,在低表观气速的前提下成功培养出稳定的好氧颗粒污泥,MLSS达 $7000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,SVI最终稳定在 $38\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$,COD、P、 NH_3-N 的去除率分别达到89%、87.81%、98.72%,说明好氧颗粒污泥对实际生活污水具有较好的处理效果,并且达到了节约能源的目的。

【关键词】 SBR; 曝气方式; 颗粒污泥; 节能

【中图分类号】 TU992.3

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001-6864(2015)06-0022-04

EFFECT OF AERATION MODES ON AEROBIC GRANULAR SLUDGE PERFORMANCE

YANG Ya-hong, LI Ai-li, ZHANG Yu-rong

(School of Civil Engi., Lanzhou Univ. of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The aerobic particles have good settling properties, high biomass and better bioactivity of degrading high concentration organic waste-water under high-volume load conditions, and it is an important material to improve the performance of the bioreactor. Compared with conventional activated sludge process, aerobic granular sludge simplifies the process, reduces the volume and footprint of sewage treatment systems and decreases cost. With the development of research on aerobic granular sludge, utilization of aerobic granular sludge for actual sewerage is getting more and more attention. This paper took the campus sewage as treatment object in the SBR (Sequencing Batch Reactor). The experiment used flocculent sludge as the first-hand sludge, through increasing quantity of aeration machines. Aerobic granular sludge was cultured successfully in the condition of lower superficial gas velocity. MLSS achieved about $7000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, SVI eventually stabilized at $38\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$, COD, P, NH_3-N removal rate reached 89%, 87.81%, 98.72%. It means the aerobic granular sludge has a better effect on treating actual sanitary waste, and also energy-efficient.

Key words: SBR; aeration modes; granular sludge; energy conservation

随着好氧颗粒污泥技术的发展,该项研究已经日渐成熟。相比于絮体污泥,颗粒污泥具有生物浓度高、沉降性能好^[1,2]、耐负荷性强^[3],能有效吸附有毒物质^[4],并实现C、N、P同时去除^[5]等优势。自1997年Morgenroth等^[6]在序批式反应器(sequencing batch reactor, SBR)中成功培养出好氧颗粒污泥后,SBR的运行模式一直被广泛用于好氧颗粒污泥的培养。在对污泥好氧颗粒化特性研究的同时,人们也逐渐将好氧颗粒污泥和实际废水处理联系起来。研究表明,好氧颗粒污泥不仅可以处理不同性质的废水,同时可以面向产业化发展,因此,这项技术已逐渐成为目前的研

究重点和热点。本研究以实际生活污水为基质,在低曝气量、改变曝气方式的条件下,以期快速培养出稳定的好氧颗粒污泥,同时达到节约能源的目的。

1 材料与方法

1.1 实验装置及运行方式

实验所用的SBR反应器以有机玻璃制作而成,高1250mm,有效容积20L,有效水深1000mm,内径160mm。距反应器底部每隔200mm设取样口,取样口兼做排水口。采用时间继电器自动控制进水、曝气、沉淀、出水等操作过程;采用空气泵曝气,转子流量计调节气量,砂芯曝气头作为微孔曝气器;反应器由潜

水泵从顶部进水,蠕动泵从取样口出水。反应器结构图见图1。反应器运行周期约为350~360min,其中进水3min,出水3min,曝气时间由318min延长至348min,曝气量由 $0.3\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 降至 $0.2\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,运行一段时间后曝气头由一个增至两个,沉淀时间由30min逐渐缩短至5min,体积交换率为50%。

取兰州市安宁污水厂二沉池剩余活性污泥作为接种污泥,活性污泥为黑褐色絮状外观。

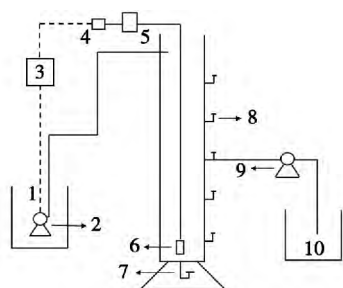


图1 SBR反应器

1. 进水箱; 2. 潜水泵; 3. 时间控制器; 4. 空气泵; 5. 气体流量计;
6. 砂芯曝气头; 7. 排泥口; 8. 取样口; 9. 蠕动泵; 10. 出水箱

1.2 实验污水

实验采用兰州理工大学西校区校园内的生活污水,水质指标见表1。

表1 实验用水水质

水质类型	$\text{NH}_3 - \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	COD / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	浊度 / ppm	P / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
生活污水	90~270	500~2200	210~430	10~450

1.3 分析项目及方法

COD 采用重铬酸钾标准方法测定; $\text{NH}_3 - \text{N}$ 采用钠式试剂分光光度法; $\text{NO}_3 - \text{N}$ 采用酚二磺酸光度法; $\text{NO}_2 - \text{N}$ 采用 $\text{N}-(1-\text{萘基})-\text{乙二胺}$ 光度法^[7];浊度采用便携式浊度分析仪测定; SV_{30} 采用量筒法;混合液悬浮固体浓度采用标准重量法;对污泥形态的观察采用光学显微镜。

2 结果与讨论

2.1 实验装置及运行方式

好氧颗粒污泥形成之前,先形成凝聚体,此过程称为生物凝聚化作用。当活性污泥与废水混合后,在充气条件下,活性污泥中细菌、真菌大量繁殖,聚合在一起,形成各种形状的菌团,菌团通过菌丝缠绕、互相粘合等方式逐渐在混合液中形成凝聚体,其在废水处理中具有很强的吸附和分解有机物的能力。凝聚体经培育颗粒化,形成好氧颗粒污泥^[8]。

实验初始阶段接种污泥呈黑色,丝状菌较少,菌胶团分散。在水桶中“空曝”5d后将其接种至反应器

内进行驯化,表观气速为 $5.4\text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,污泥呈深褐色絮状。经过15d驯化,反应器内主要为褐色絮状污泥,并伴有少量细小颗粒状污泥。运行30d,絮状污泥逐渐向颗粒污泥转化,颗粒粒径增大,反应器内为好氧颗粒污泥与絮状污泥混合体。运行60d时将表观气速降低至 $3.6\text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,颗粒粒径减小,结构较之前更加紧实。在曝气量不继续下调的情况下增至两个曝气头,同时在反应器底部曝气,如图3所示颗粒粒径为2.1mm,沉降性能良好。表观气速的变化对颗粒形成的影响由图2所示。结果表明,初期颗粒由絮状污泥聚集而成,粒径较小;随着实验的进行,粒径不断增大,但结构松散,通过降低表观气速,增加曝气头个数,使反应器在低耗能的前提下增加气泡冲刷强度,从而使水力剪切力增大,进一步使颗粒密度均匀,表面光滑。

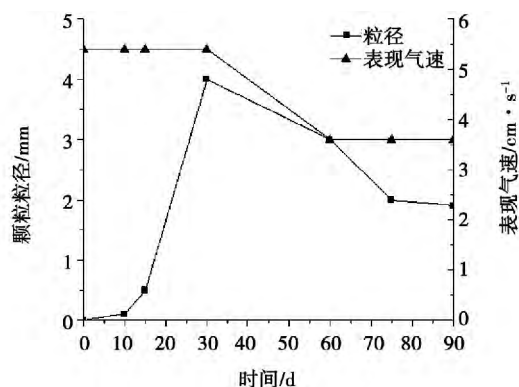


图2 SBR中颗粒粒径及表观气速的变化

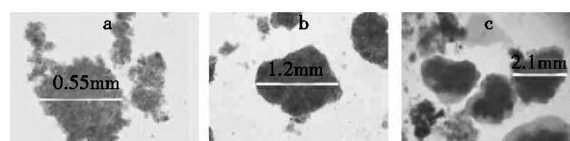


图3 显微镜下污泥形态观察

2.2 污泥浓度和污泥沉降特性

水力剪切力是影响好氧颗粒污泥形成的重要因素之一。SBR反应器中的剪切作用可来源于曝气产生的水流、气流及颗粒间的相互碰撞。

如图4所示,在接种絮状污泥初期,由于初始污泥质量浓度(MLSS)较低,随着絮状污泥对该水力剪切力的适应,污泥逐渐实现增殖, MLSS 有所上升,此时部分絮体污泥破碎,为生成颗粒污泥提供条件。运行至30d时形成少量颗粒污泥, MLSS 达到 $3500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, SVI 为 $71\text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。有研究表明^[9,10],好氧颗粒污泥的 SVI 一般低于 $90\text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$,有时甚至低于 $50\text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$,其远低于普通活性污泥的 $120 \sim 150\text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。运行70d后增至两个曝气头,水力剪切增大从而加速了好氧颗粒污泥的形成,经过90d的运行和调整,

MLSS 增至 $7000\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,SVI 值持续下降并趋于稳定,SVI 最终稳定在 $38\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 。说明此时好氧颗粒污泥的沉降性能达到了较高水平。

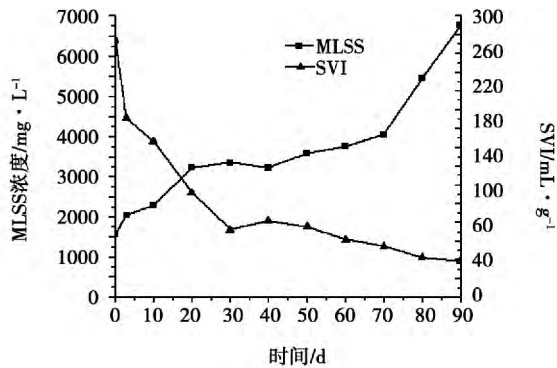


图4 SBR 中 MLSS 及 SVI 的变化

2.3 对污水处理的效果

图5所示,实验初期采用较高表观风速,污泥对污水处理效果不理想且 COD、P 的去除率略微下降,随着污泥对高表观风速的适应以及好氧颗粒污泥的形成,COD、P、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率逐渐提高。实验运行 60d 时,降低表观风速至 $3.6\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$,可以看出污水处理效果仍在不断优化,说明好氧颗粒污泥能很好的适应变化的水力剪切力。75d 后,保持表观风速不变并增至两个曝气头同时在反应器底部曝气,在低耗能的条件下增大水力剪切,有助于好氧颗粒污泥的形成及稳定,进一步提升去除率。最后 COD、P、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率分别达到 89%、87.81%、98.72%,说明好氧颗粒污泥对实际生活污水具有较好的处理效果。由图6,实验进水悬浮物较多且变化较大,通常呈黄色混浊状放置后有较多沉淀物,处理后出水透明,略显浅黄色,无臭味,经检测浊度值稳定且较低,出水达到排放标准。

2.4 曝气方式对溶解氧的影响

实验初期曝气强度大,反应器内溶解氧 DO 浓度较高,随着颗粒污泥的形成,反应器内微生物数量增多,耗氧速率不断增大,从而导致 DO 下降。在实验进行 60d 时调低曝气量,图7可知 DO 仍呈缓慢下降趋势,75d 时曝气量不变但是将原有的一个曝气头增加为两个,此时 DO 升高并保持在 $1.5 \sim 2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。有研究表明^[11],当 DO 在 $1 \sim 2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,随着 DO 的提高,耗氧速率大幅度提高,标志着有机物降解速率的加快,从而缩短反应时间。当 DO 超过 $2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后,继续增大 DO 值,由于受污泥浓度(MLSS)的限制,有机物降解速率的增加幅度较小。通常认为 DO 浓度随着曝气量的降低而降低,所以为了得到适宜的 DO,常常以调高曝气量来实现。但是,能耗的增加会使运行成本升高,并且不利于节约能源,本实验在低曝气

量的同时增加曝气头个数,同时提高了水力剪切力和 DO 浓度,既能培养出稳定的好氧颗粒污泥,保证出水水质,又能节省运行费用,节约能源。

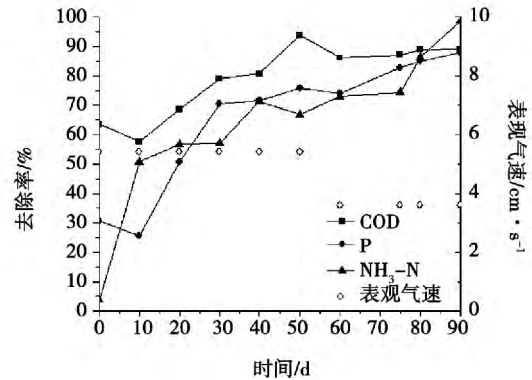


图5 好氧颗粒污泥对 COD、P、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果及表观风速的变化

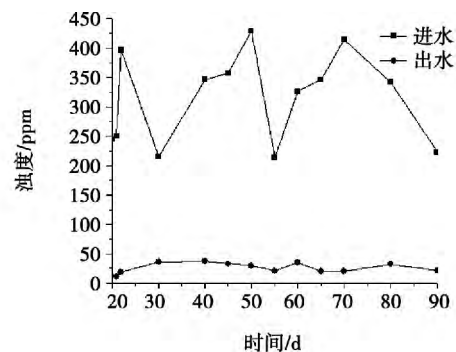


图6 进水与出水浊度的关系

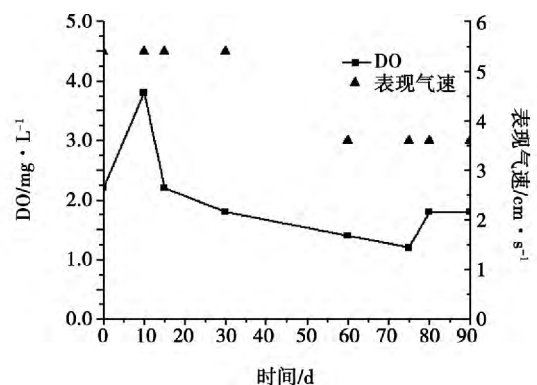


图7 SBR 中颗粒粒径及表观风速的变化

3 结语

好氧颗粒污泥在培养和应用上存在着能耗高,不利于放大的缺点,需要高曝气量来满足其形成与结构维持的剪切需求,这在很大程度上限制了好氧颗粒污泥的工业化放大。

本实验通过改变曝气形式,在低曝气量的条件下提高了水力剪切力,以实际生活污水成功培养出稳定好氧颗粒污泥。因此,今后可在如下方面进行深入研

建设海绵城市理论及难点对策浅析

张洪立

(哈尔滨市城乡规划编制研究中心, 哈尔滨 150028)

【摘要】文中介绍了海绵城市的概念和产生背景,建设原则和途径,针对建设海绵城市环节中的不同难点,经过分析研究提出相应的实施对策。

【关键词】海绵城市理论;低影响开发 LID

【中图分类号】 TU992.03

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001-6864(2015)06-0025-02

随着社会经济的发展,和城市气象灾害的频发,城市对排水工程的要求越来越高。海绵城市有关理论得到兴起和蓬勃发展,随着国家一系列鼓励推广政策的落地,海绵城市建设迎来加速发展期。

国家和地方推广建设海绵城市的政策密集发布,2013年12月,习近平总书记把“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”列入城镇化建设目标;2014年11月住建部发布《海绵城市建设技术指南》;2015年1月财政部、住建部、水利部办公厅联合印发了《关于组织申报2015年海绵城市建设试点城市的通知》;近日,厦门、常德、萍乡等16座城市成为全国首批海绵城市建设试点城市。

研究:以定量的方式研究不同的曝气头在相同曝气量下产生的水力剪切强度,选择出最优的曝气装置;在反应器的不同高度设置曝气头,以低曝气量为前提培养好氧颗粒污泥,实现低耗能好氧颗粒污泥培养,以期早日将其投入工业化生产。

参考文献

- [1] Yang S F, Tay J H, Liu Y. A novel granular sludge sequencing batch reactor for removal of organic and nitrogen from wastewater [J]. *Journal of Biotechnology* 2003, 106(1): 77-86.
- [2] Tay J H, Liu Q S, Liu Y. Microscopic observation of aerobic granulation in sequential aerobic sludge blanket reactor [J]. *Journal of Applied Microbiology* 2001, 91(1): 168-175.
- [3] Chen Y, Jiang W J, Liang D T, et al. Biodegradation and kinetics of aerobic granules under high organic loading rates in sequencing batch reactor [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 79(2): 301-308.
- [4] Adav S S, Lee D J, Lai J Y. Effects of aeration formation of phenol-fed polymeric substances aerobic granules and extracellular polymeric substances [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2007, 77(1): 175-182.
- [5] De Kreuk M, Heijnen J J, Van Loosdrecht M C M. Simultaneous

1 海绵城市的概念和作用

海绵城市是指城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水“释放”并加以利用,主要通过构建综合性“低影响开发雨水系统”来实现。

海绵城市建设有三大突出作用,一是,保护水资源,突破传统的“以排为主”的城市雨水管理理念,吸纳尽可能多的水资源,为城市所利用。二是,防治水污染,通过渗、滞、蓄、净、用、排等多种生态化技术,减少雨洪初期雨水对水体的污染。三是,减轻洪涝灾害影响,通过减少径流系数的方式,使较大降雨量得到

COD, nitrogen and phosphate removal by aerobic granular sludge [J]. *Biotechnology and Bioengineering* 2005, 90(6): 761-69.

- [6] Morgenroth E, Sherden T, Van Loosdrecht M C M, et al. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor [J]. *Water Research*, 1997, 31(12): 3191-3194.
- [7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [8] 王海磊, 魏丽莉, 李宗义. 好氧颗粒污泥的形成过程、形成机理及相关研究[J]. *环境污染与防治*, 2005, 27(7): 485-488.
- [9] Jiang H L, Tay J H, Tay S T L. Aggregation of immobilized activated sludge cells into aerobically grown microbial granules for the aerobic biodegradation of phenol [J]. *Letters in Applied Microbiology* 2002, 35(5): 439-445.
- [10] Toh S K, Tay J H, Moy B Y P, et al. Size-effect on the physical characteristics of the aerobic granule in a SBR [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2003, 60(6): 687-695.
- [11] 曾薇, 彭永臻, 王淑莹, 等. 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: 5-10.

【收稿日期】 2015-03-09

【作者简介】 杨亚红(1976-),女,陕西宝鸡人,博士,副教授,研究方向:水污染控制理论及其新技术。