

污泥龄对 A^2/O 工艺脱氮除磷效果的影响^{*}

王建龙 彭永臻 王淑莹

(北京工业大学水环境恢复重点试验室,北京 100022)

摘要 污泥龄(SRT)作为活性污泥法设计与运行的参数已显示出比其它参数更加重要。试验以实际生活污水为对象,研究 SRT 分别为 5、10、15、20、25、30 d 时,系统 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 TN 、 $PO_4^{3-}-P$ 的去除率以及污泥特性的变化,试验期间其它运行参数保持不变。试验结果表明:SRT=15 d 时系统总体脱氮除磷效果最好,此时 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 TN 、 $PO_4^{3-}-P$ 去除率分别为:93%、98%、81%、82%,并对 SRT=15 d 时系统中氮磷的浓度变化曲线进行分析。

关键词 污泥龄 A^2/O 工艺 脱氮 除磷

0 引言

污泥龄(sludge age)又称固体(或污泥)停留时间(solids/sludge retention time, SRT)或细菌平均停留时间(mean cell residence time, MCRT),在工程上一般以 SRT 表示。活性污泥的泥龄反映了活性污泥系统中微生物的生长状态、生长条件、世代期等一系列基本特性;且对活性污泥系统的运行状况如出水水质、产泥量、需氧量都有重大影响^[1-4]。活性污泥泥龄设计与常用的有机负荷设计法相比,该法更进一步从生物自身生长特性反映生物降解过程,接近生物处理的本质,反映了有机物的降解及污泥的增长之间的关系,因而设计更加合理。同时运用泥龄法进行活性污泥系统控制,更加方便,管理有效^[5]。在串联的 CSTR 反应器中,每一个反应器单元中限制微生物生长的营养物质不同,其中的微生物比增长速率各不相同(微生物比增长速率是单位时间生成的污泥量除以污泥总量)。在稳定状态下,污泥的排放量与污泥的净生成量相等,所以, SRT 与系统微生物的平均净生长速率成反比,故在串联的 CSRT 反应器中, SRT 可反映系统中微生物的平均净增长速率,即不同的 SRT 对应着不同的优势微生物。对生物除磷脱氮系统, SRT 的选择直接影响处理系统的硝化、反硝化和除磷能力,以及处理系统污泥的特性,因此一些学者认为 SRT 是活性污泥法生物除磷脱氮系统最重要的工艺参数^[6,7]。

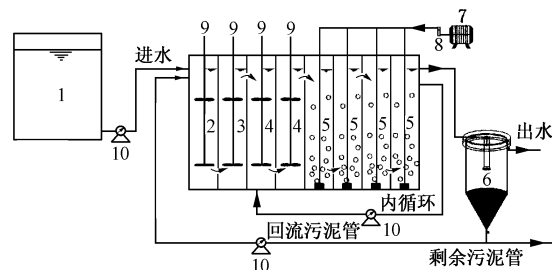
而目前关于污泥龄对去除有机物的影响却很少报道,在工程设计时常常采用理论值,结果导致污水

处理系统运行效率低下。本试验以实际生活污水为处理对象,采用 A^2/O 工艺,研究了不同污泥龄条件下系统 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 TN 、 $PO_4^{3-}-P$ 去除率的变化,并对试验最佳污泥龄条件下系统有机物浓度变化曲线进行了分析。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置与运行条件

A^2/O 系统试验装置见图 1。装置用有机玻璃制作,合建式推流反应器由 8 个隔室组成,其中第 1 隔



1—水箱;2—预缺氧区;3—厌氧区;4—缺氧区;5—好氧区;
6—二沉池;7—曝气器;8—气体流量计;9—搅拌器;10—计量泵。

图1 试验装置

室为预缺氧区,第2隔室为厌氧区,第3、4隔室为缺氧区,后4个隔室为好氧区。反应器有效容积为52 L,其中预缺氧区 厌氧区 缺氧区 好氧区体积比为1 1.5 2.5 5。二沉池采用竖流式。体积为22 L。二沉池回流污泥进入预缺氧区,内循环混合液由好氧区最后隔室回流到缺氧区第1隔室。试验进水、回流污泥和硝化液回流流量采用蠕动泵控制,预缺氧区、厌氧区和缺氧区内安装搅拌器。温度由温控仪控制在 $(23 \pm 1)^\circ C$,试验正常运行条件如下:进水量为156 L/d,相应 HRT 为 8 h,好氧区 DO 浓度设定在 2~3 mg/L,污泥回流比为 0.5,内循环回流比为 2。

^{*}国家自然科学基金、地区(国际)重大合作项目(50521140075);北京市科委国际重大合作项目;北京市“创新团队”项目

1.2 试验水质

试验采用学校居住小区生活污水为水源,通过加自来水稀释或投加醋酸钠、 KH_2PO_4 、 NH_4Cl ,调节进水C、N、P浓度,试验期间源水水质见表1。

表1 试验水质(平均值)

温度	COD_{Cr}	NH_4^+-N	TN	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	SS	pH
/	/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	
23	350	50	60	11	40	7.35

2 试验结果与讨论

2.1 污泥龄对去除有机物的影响

2.1.1 不同污泥龄条件下有机物去除率

不同污泥龄条件下 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、TN、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率变化如图2所示,在试验条件下 COD_{Cr} 去除率均超过70%,当 $\text{SRT} > 10$ d时, COD_{Cr} 去除率超过90%。当 $\text{SRT} = 15$ d时,系统 NH_4^+-N 、TN去除率最高分别为98%、81%,当 $\text{SRT} > 15$ d时, NH_4^+-N 、TN去除率降低,当 $\text{SRT} = 30$ d时, NH_4^+-N 去除率降至87%,TN去除率降至45.6%,主要是因为当 $\text{SRT} > 15$ d时,系统中污泥浓度升高,负荷降低,碳源不足抑制了硝化/反硝化细菌的生长,故 NH_4^+-N 、TN去除率降低。当 $\text{SRT} = 10$ d时, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率最高为84%,随着 SRT 的增加, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率降低,当 $\text{SRT} = 30$ d时, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率降至40.5%。通过以上不同 SRT 条件下,系统中有机物去除率的变化分析得出,当 $\text{SRT} = 15$ d时, NH_4^+-N 、TN去除率最大,同时 COD_{Cr} 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 也接近最大值,分别为92%、82%,系统总体污染物去除效果最好。

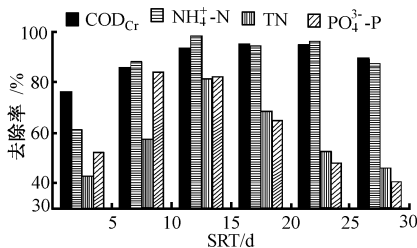


图2 不同污泥龄条件下有机物去除率

2.1.2 不同污泥龄条件下系统出水水质

不同污泥龄条件下系统出水水质如图3所示,试验条件下出水 COD_{Cr} 浓度均低于70 mg/L ,当 $\text{SRT} = 20$ d时,系统出水 COD_{Cr} 浓度最低为33 mg/L ,当 $\text{SRT} = 5$ d时,系统出水 COD_{Cr} 浓度最高为67 mg/L ,从图中可看出,要保证系统出水 COD_{Cr} 浓度 < 60 mg/L ,系统的污泥龄不应低于5 d。出水中 NH_4^+-N 浓度在 $\text{SRT} = 15$ d时最低为1.27 mg/L ,出水中 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度

在 $\text{SRT} = 10$ d是最低为0.7 mg/L ,当 $\text{SRT} = 15$ d时,出水中 COD_{Cr} 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度略高于其最低值,综合考虑, $\text{SRT} = 15$ d时系统出水有机物浓度最低。

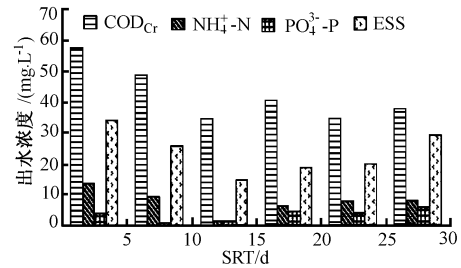


图3 不同污泥龄条件下系统出水水质

2.2 污泥龄对系统污泥特性的影响

不同 SRT 条件下系统污泥浓度 (MLSS) 和污泥体积指数 (SVI) 变化如图4所示,随着 SRT 的增加, MLSS 逐渐增加,从 $\text{SRT} = 5$ d时的800 mg/L 逐渐增加到 $\text{SRT} = 30$ d时的3700 mg/L ,当 $\text{SRT} > 20$ d时, MLSS 增速减慢,系统中污泥浓度趋于恒定。 SVI 是影响系统出水水质和表征污泥特性的重要参数,当 $\text{SVI} < 100$ mL/g 时,表示系统中污泥沉降性能较好,污泥浓度较高;当 $\text{SVI} \gg 100$ mL/g 时,表示系统中污泥趋于膨胀,污泥浓度较低^[8]。如图4所示,当 $\text{SRT} = 10$ d时, SVI 值最低为51 mL/g ,当 $\text{SRT} = 30$ d时, SVI 值最高为124 mL/g ,通过镜检观察发现,随着 SRT 的增加,系统中污泥絮体的结构逐渐得变得松散,污泥沉降性能变差。当 $\text{SRT} = 15$ d时系统 SVI 值(55 mL/g)略高于最小值(51 mL/g),但系统能维持较高污泥浓度,整体来说污泥性能最好。

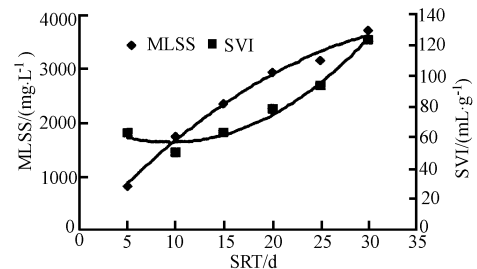


图4 污泥龄对系统污泥特性的影响

2.3 最佳污泥龄条件下系统有机物浓度变化曲线

当 $\text{SRT} = 15$ d时,系统有机物浓度变化见图5。

通过以上分析得出当 $\text{SRT} = 15$ d时系统总有机物去除效果最好。 COD_{Cr} 的去除主要发生在缺氧段,70%左右,主要用做反硝化过程的碳源,剩余 COD_{Cr} 在好氧的前两隔室主要通过碳氢化合物氧化过程被去除,出水 COD_{Cr} 浓度降至40 mg/L 以下。 NH_4^+-N 浓度在缺氧段显著降低,主要是由于内循环回流稀释引

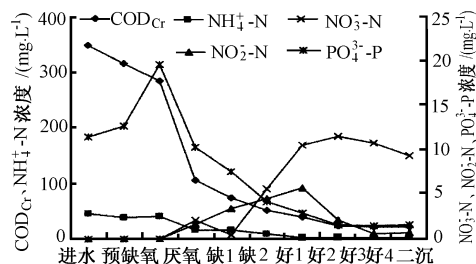


图5 最佳污泥龄条件下系统有机物浓度变化曲线

起,大部分的 NH_4^+-N 在好氧段前3隔室通过同化和硝化作用被去除,剩余反应单元 NH_4^+-N 浓度变化较小,可能是由于碳源不足使得硝化过程受到抑制,出水 NH_4^+-N 浓度稳定在1 mg/L左右。预缺氧段、缺氧段第1隔室和第2隔室 NO_3^--N 浓度略有升高分别为1.7、3.5、0.85 mg/L,主要是由于污泥和硝化液回流、反硝化进行不充分引起的,在好氧段 NO_3^--N 浓度逐渐升高,最后1隔室 NO_3^--N 浓度达4.26 mg/L。厌氧段 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度明显升高,由进水中的10 mg/L升至18.5 mg/L,主要由厌氧释磷过程引起,缺氧段 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度显著降低,约去除50%,说明发生了缺氧吸磷过程,在好氧第1隔室 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度降至1.5 mg/L,剩余隔室 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度变化较小。

3 结论

(1) 当 $\text{SRT} = 10$ d时,系统 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率最高(84%),当 $\text{SRT} = 20$ d时, COD_{Cr} 去除率最高(95%),当 $\text{SRT} = 15$ d时,系统 TN 、 NH_4^+-N 去除率最高(分别为81%、98%),此时 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、 COD_{Cr} 去除率分别为:82%、94%,均略低于其最大值。综合考虑试验条件下系统的最佳污泥龄为15 d。

(2) 污泥浓度(MLSS)和污泥体积指数(SVI)是表征污泥特性的重要参数,当 $\text{SRT} > 5$ d时,随着 SRT 的增加,系统 MLSS 和 SVI 逐渐增加,当 $\text{SRT} = 30$ d时,系统 MLSS 、 SVI 分别达到3 700 mg/L、124 mL/g,当

$\text{SRT} = 15$ d时, SVI 为55 mL/g略高于其最小值(51 mL/g),但此时系统污泥浓度较高为2 500 mg/L,出水中有机物浓度较低。因此, $\text{SRT} = 15$ d时系统污泥特性最好。

(3) 在试验最佳污泥龄条件下($\text{SRT} = 15$ d),系统 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 TN 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率分别为:93%、98%、81%、82%,出水 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 TN 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度分别为:40、0.5、5.3、0.9 mg/L。出水水质优于《城市污水二级排放标准》。

参考文献

- [1] Henze, M. 污水生物与化学处理技术. 北京:中国工业出版社, 2000.
- [2] 张自杰, 彭永臻. 对现行污泥龄定义的质疑及对其的修正建议. 环境科学, 1998, 5(5): 70-73.
- [3] Ilgi Karapinar Kapadan, Rukiye Ozturk. Effect of operating parameters on color and COD removal performance of SBR: Sludge age and initial dyestuff concentration. Journal of Hazardous Materials, 2005, (123): 217-222.
- [4] A. Cakici, M. Bayramoglu. An Approach Controlling Sludge age in the Activated Process. Wat. Res., 1995, 29(4): 1093-1097.
- [5] M. A. Rodrigo, A. Seco, J. M. Penya-roja. Influence of Sludge Age on Enhanced Phosphorus Removal in Biological Systems. Wat. Sci. Teh., 1996, 34(2): 41-48.
- [6] 周海东, 刘勤亚, 张业健. 泥龄应用中有关问题的探讨. 污染防治技术, 2003, 13(6): 13-15.
- [7] 许劲, 孙俊贻. 生物除磷脱氮系统工程设计中的污泥龄. 重庆建筑大学学报, 2005, 27(5): 83-86.
- [8] Fikret Kargi, Ahmet Uygur. Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age. Enzyme and Microbial Technology, 2002, (31): 842-847.

作者通讯处 彭永臻 100022 北京市朝阳区平乐园100号 北京工业大学环境与能源工程学院
电话 (010) 67392627
E-mail pyz@bjut.edu.cn

2006-06-30 收稿

简讯

北京发电能源结构调整

2006年12月26日《北京市“十一五”时期电力发展规划》(以下简称《规划》)出台,2010年,北京将初步建立以煤、气发电为主,新能源和可再生能源发电等为补充的多元化电源结构,新能源和可再生能源发电比例力争达到6%以上。

《规划》具体透露,“十一五”期间,北京将加大燃气电厂以及新能源和可再生能源发电厂的建设,调整和优化电源结构,与2005年底相比,“十一五”末期燃煤电厂发电装机比例降低到41.68%,新能源和可再生能源电厂发电装机比例提高6.25%。

另外,北京市新增电源以在市区外围建设的天然气调峰电厂和抽水蓄能电厂为主,所以按照《规划》要求,到2010年,在北京市发电的各类装机比重中,天然气比重由2005年的零占比增至28.22%。

之所以有这样的变化,《规划》解释说,未来一段时间内,北京地区发电用煤虽然能够得到保证,但燃煤对环境影响大,不适用于在北京建设普通燃煤厂。而天然气虽然资源稀缺,且价格昂贵,发电成本高,可采取“总量控制、适度发展”的原则建设一定数量的燃气电厂。预计2010年,北京天然气供给总量在70亿 m^3 ,北京发电用气将控制在20亿 m^3 左右。

摘自 北京商报

STUDY ON PERFORMANCE OF TREATING POLLUTED RIVER WATER IN SEEPAGE BIOLOGICAL BED *Lin Yanqing He Miao Hu Hongying et al (7)*

Abstract The seepage biological bed (SBB) is the advisable technique for the treatment of heavily polluted water in small river, and has good prospect in the application of the polluted river management in the north of China. The poor operation performance in winter due to low water temperature, is one of main difficulties that affecting polluted river water treatment in the north of China. Based on the field pilot scale experiment for the whole year, the effect of water temperature on polluted river water treatment by SBB is studied. The study shows that SBB has a good effect of removing COD_Cr , $\text{NH}_3\text{-N}$ and turbidity in river water; the removal rate and loading are affected greatly by water temperature.

Key words seepage biological bed, polluted river water treatment, water temperature and operation performance

THE EXPERIMENT ON INFLUENCE OF DENSITY FLOW ON COAGULATING PRECIPITATION IN THE SEDIMENTARY BASIN *Zhan Yong Dong Jieshuang Zhu Xuedan (10)*

Abstract Density flow is extremely unfavourable to the precipitation process in horizontal flow sedimentation basin, in order to raise precipitation effect, forestall the influence of density flow on flocculation basin, reasons for forming the density flow and the characteristics of density flow movement are discussed. Test results show that controlling the stability of the pattern of flow is the main measure to control the density flow in the sedimentary basin.

Key words density flow, pattern of flow, sedimentation basin and coagulating precipitation

PLOT-SCALE TEST OF SIMULTANEOUS NITRIFICATION AND DENITRIFICATION (SND) OF AN INTEGRATED MEMBRANE BIOREACTOR *Liu Jiangfeng Wang Zhiwei Wu Zhichao et al (13)*

Abstract The integrated flat plate MBR was operated at membrane flux $25.2 \sim 25.7 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ for 112 days with MLSS concentration $19 \sim 20 \text{ g/L}$. During the operation, MBR was not cleaned physically or chemically except normal aeration which was used to scour membrane surface. The effect of DO concentration on simultaneous nitrification and denitrification (SND) in the MBR was investigated. Test results indicated that there was a good SND effect in MBR; and SND effect was not affected by temperature variations in range of $18 \sim 12$.

Key words integrated membrane bioreactor, flat plate membrane, simultaneous nitrification & denitrification and wastewater treatment

NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL PERFORMANCE OF A^2/O PROCESS AS A FUNCTION OF THE SLUDGE AGE *Wang Jianlong Peng Yongzhen Wang Shuying (16)*

Abstract Sludge Retention Time (SRT), which was an important parameter in activated sludge process design and operation, has shown more effect than other parameters. COD_Cr , nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN) and phosphate ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) removal from sewage by anaerobic-anoxic-oxic (A^2/O) process were studied at different SRT, which were 5, 10, 15, 20, 25 and 30 d, respectively. During experiment other parameters kept constant. The result shown that a sludge age of 15 days was found to be optimal resulting in maximum organic substances removal efficiencies, during which the removal rate of COD_Cr , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ was 93 %, 98 %, 81 % and 82 %, respectively, at the same time the profiles of organic substances concentration in A^2/O process were also analyzed.

Key words sludge retention time, A^2/O process, nitrogen removal and phosphate removal

A RELATION BETWEEN BLASTING AERATION PERFORMANCE AND SUBMERSION DEPTH OF AERATOR *Feng Junsheng Wan Yushan (19)*

Abstract Using resemblance principle, a mathematical model was established of aerator clear water aeration performance and aerator with the immersion depth in operating, which provides the dependable parameters for scientifically estimating aeration performance and design of aeration technique.

Key words resemblance principle, aeration performance and math model

DESIGN AND COMMISSIONING OF COSMETIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM *Wang Wei Wang Xiaojun Zhou Xiangwu (21)*

Abstract The high concentration cosmetic wastewater can be treated by means of hydrolytic acidification biological contacting oxidation system, and biological aerated filter (BAF) for advanced treatment, so that the removal rate can be improved. Through the operation of this project, the COD_Cr of effluent can fall below 80 mg/L from about 4000 mg/L of influent, and BOD_5 of effluent can fall below 20 mg/L from about 1100 mg/L of influent, and also the removal rate can both reach 98 %. Quality of effluent is up to the integrated wastewater discharge standard of Guangzhou (GB4437-90). It is indicated by the plant operation of this project for a long time that this process has a high efficiency of treatment with a stable water quality of the effluent.

Key words cosmetic, wastewater treatment, hydrolytic acidification, biological contacting oxidation and biological aerated filter