

应用二沉池污泥层高度控制 A/O 工艺污泥回流量

马 勇,彭永臻*,王淑莹 (北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室,北京 100022)

摘要: 鉴于城市污水处理厂每日、每小时的进水量波动性很大,采用传统的恒定污泥回流比或固定污泥回流量控制会引起二沉池出现巨大的水力波动,从而影响系统处理效果.以二沉池污泥层高度作为控制变量,建立了回流污泥控制策略和控制器.采用 A/O 工艺中试试验装置,在处理实际生活污水的情况下,对所建立的控制器进行了验证,结果表明,与传统恒定污泥回流比控制相比,TN 去除率可以提高 10%,污泥回流量可以降低 20%,且可以维持系统稳定运行.

关键词: 污泥层高度;回流污泥回流量;控制器;A/O 工艺

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1000-6923(2008)02-0121-05

Applying the sludge blanket height in the secondary clarifier to control sludge recycle flow rate of A/O process. MA Yong, PENG Yong-zhen*, WANG Shu-ying (Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China) *China Environmental Science*, 2008,28(2): 121~125

Abstract: In view of the great fluctuation of inflow rate of urban wastewater treatment plant, adopting the traditional constant sludge recycle ratio or sludge recycle flow rate control more dangerous, which may cause significantly hydraulic fluctuation in the secondary clarifier, thus influencing the system removal efficiency. Using sludge blanket height as control parameter, the control strategy and controller of sludge recycle were established, and verified in a pilot-scale A/O biological nitrogen removal plant treating actual domestic wastewater. Compared with the traditional constant sludge recycle ratio control, TN removal rate could enhance 10%, sludge recycle flow rate could lower 20%, and could maintain the system stable operation.

Key words: sludge blanket height; sludge recycle flow rate; controller; A/O process

污泥回流量是城市污水处理系统重要的控制变量,它可保证反应器内所需的污泥浓度,维持二沉池和反应器之间污泥量的动态平衡,它对污水处理厂的出水水质、系统稳定运行和运行费用都有重要的影响.目前,对于如何控制污泥回流量并没有明确的说法,大多污水处理厂仍然采用传统的恒定污泥回流比或污泥回流量控制^[1-3].一些研究者对于这种控制方式表示质疑^[4],因为污水厂进水量季节性变化很大,每日、每小时的进水量波动性很大时,采用传统的方式控制,会加大二沉池水力波动,影响泥水分离过程.当二沉池泥位接近出水堰时,可能导致污泥大量流失从而严重影响出水水质.当污泥膨胀时,二沉池微小的水力波动,也会导致污泥的流失^[5].

随着二沉池污泥层高度在线传感器的开发

和应用,使得应用污泥层高度(SBH)作为控制目标而以回流污泥量作为控制变量成为可能.控制 SBH 可以避免污泥流失,提高系统出水水质^[6].然而 SBH 不应固定不变,应随着进水负荷和运行条件的变化而改变,这就涉及到是增加还是降低,以及增加多少降低多少的问题,另外也应考虑 SBH 对系统处理效果和运行稳定性方面的影响.为了优化污水处理厂运行,实现污泥回流量的有效控制,作者应用 A/O 中试试验装置,对 SBH 控制变量进行了研究,包括 SBH 的影响因素、高度设置,并建立相应的控制策略.

收稿日期:2007-05-31

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060005002);“十一五”国家科技支撑计划(2006BAC19B03);北京工业大学青年基金资助项目(97005013200702)

* 责任作者,教授,pyz@bjut.edu.cn

1 材料与方法

试验模型由聚氯乙烯塑料制作.反应器体积为 300L,分为 8 个格室(每个格室体积相等),反应器前 2 个格室缺氧运行,后 6 个格室好氧运行(图 1).二沉池采用竖流式,体积为 100L(图 2).试验进水、回流污泥和硝化液回流采用蠕动泵控制,温度控制在常温(18~22℃),维持系统 SRT 15d 左右,内循环回流比为 2,试验中对污泥回流量进行控制,进水流量为 34L/h,通过调节气体流量计来控制好氧区 DO(2~3mg/L).

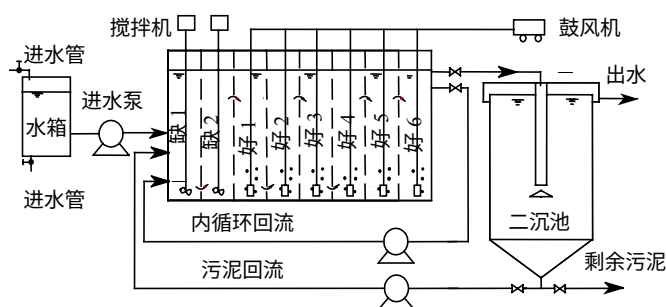


图 1 A/O 中试试验模型示意

Fig.1 Schematic diagram of A/O pilot-scale plant

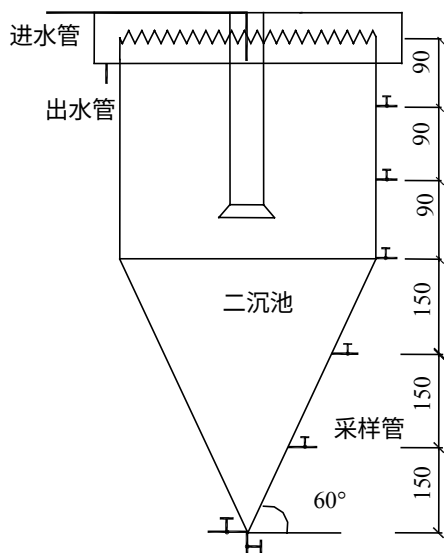


图 2 A/O 中试试验装置二沉池示意

Fig.2 Schematic picture of secondary clarifier for A/O pilot-scale plant

图中单位为 cm

进水为北京工业大学家属区化粪池的生活污水,水质指标为 pH7.2~7.7, COD 163.2~389.7mg/L, TN 68.5~110.2mg/L, NH_4^+-N 65.4~105.7mg/L, NO_2^--N 0~0.25mg/L, NO_3^--N 0.7~1.8mg/L, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 4.2~11.4mg/L, 温度 12.5~27.2℃,

碱度 200~420mg/L. COD、TN、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、 NO_2^--N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、总碱度、MLSS 等指标均采用国家规定的标准方法测定,水样经离心后测定.DO 测定采用 WTW-level2 溶解氧在线仪,pH 值和 ORP 测定采用 WTW- pH/Oxi 340i 在线测定仪.

2 SBH 与各因素之间的关系

2.1 回流污泥浓度与 SBH 的关系

由图 3 可以看出,随着 SBH 增加,回流污泥浓度逐渐增加.SBH 越高,污泥在二沉池的停留时间相对越长,因而会提高回流污泥浓度,回流污泥浓度增加相应会降低剩余污泥排放量,从而减少污泥处理费用.另外回流污泥浓度增加也会降低污泥回流量,降低回流电耗.回流污泥量降低,也会降低二沉池水力负荷,有利于泥水分离.

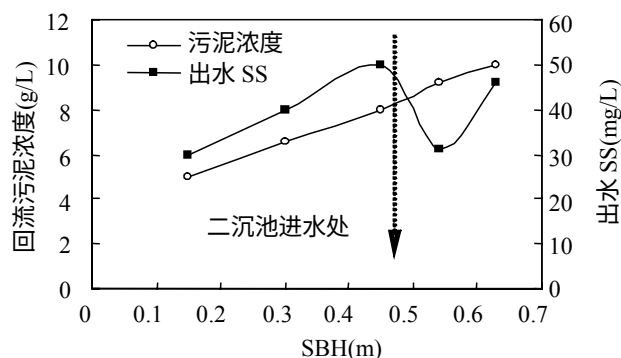


图 3 SBH、回流污泥浓度与出水 SS 的关系

Fig.3 Variation of recycled sludge concentration and effluent SS as a function of the SBH

2.2 出水 SS 与 SBH 的关系

图 3 显示出进水水力负荷稳定时,不同 SBH 对应的出水 SS 浓度.由图 3 可见,随着 SBH 增加,出水 SS 增加;当 SBH 高于二沉池进水口由于污泥层过滤作用,出水 SS 减少;随后 SBH 继续增加,出水 SS 又开始上升.SBH 会影响出水 SS,主要表现在两方面:一方面如果 SBH 越接近二沉池出水堰,出水 SS 增加的可能性也越高,从而影响出水水质,尤其当 SBH 高度高于二沉池进水口(好氧反应器出水口),水力负荷的微小波动会导致污泥层的波动,造成出水 SS 增加.另外当进水负荷较低且比较稳定时,当 SBH 高于二沉池进水口时,污泥层可起到过滤作用,因此出水水质优于 SBH

低于二沉池进水口的情况。

2.3 脱氮效率与 SBH 的关系

由于二沉池污泥层内部具有较好的缺氧环境,因此在污泥层中会发生反硝化.保持相对较高的 SBH 能获得较高的硝态氮去除.另外,污泥层污泥絮体的水解作用会产生可生物降解性 COD,通过污泥回流进入缺氧区,补充反硝化所需碳源,也会进一步提高系统硝态氮去除率.试验发现,二沉池可以去除 30%~70%的进入二沉池的硝态氮,有时出现回流污泥中硝态氮浓度为 0 的情况.二沉池对总氮的去除可占系统总氮去除率的 5%~15%.然而,当进水氨氮负荷较高时,为了提高系统硝化效果,需提高反应器内的污泥浓度,避免活性污泥在二沉池积累,此时应提高污泥回流量.如果二沉池污泥长时间处于厌氧或缺氧环境下,将造成污泥中磷的二次释放,从而降低磷的去除率,所以应降低活性污泥在二沉池的停留时间。

图 4 是从二沉池液面算起不同深度对应的 pH 值和 DO 浓度,图 5 是从二沉池液面算起不同深度对应的溶解性 COD 浓度和硝酸氮浓度.系统的 SBH 设定为 0.6m.由图 5 可见,不同深度处,pH 值、DO、溶解性 COD 和硝酸氮的浓度有很好的线性相关性.越接近二沉池底部,污泥层内部反硝化作用增加、DO 浓度降低.由于水解作用,溶解性 COD 的释放量增加;由于二沉池的反硝化作用,硝酸氮从二沉池液面的 15.1mg/L 降到回流污泥中的 6.8mg/L。

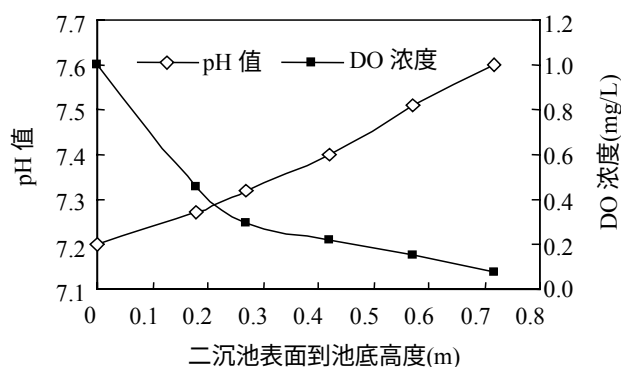


图 4 二沉池各高度处 pH 值和 DO 浓度

Fig.4 pH value and DO concentration in the different depth of secondary clarifier

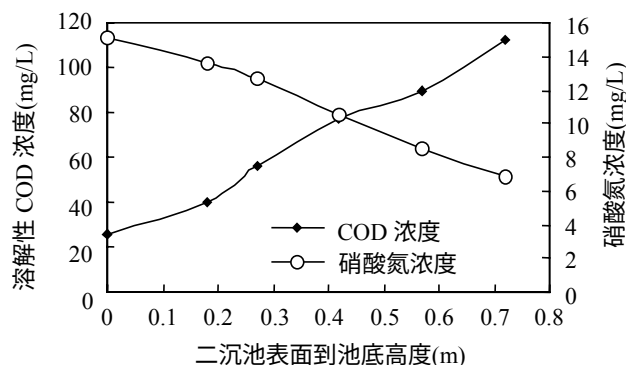


图 5 二沉池不同高度处 COD 浓度和硝酸氮浓度

Fig.5 COD and nitrate concentration in the different depth of secondary clarifier

2.4 污泥沉淀性能与 SBH 的关系

SBH 越高,储存在二沉池中的污泥量越大,由于污泥在二沉池的停留时间增加,使得污泥处于饥饿状态,当污泥回流到缺氧区时,进水中含有的大量有机物,被污泥快速吸附,从而快速生长.污泥交替地处于相对较高和较低的有机物状态,会提高污泥沉淀性能.但是并没有直接的事实表明较高的 SBH 会促进污泥沉淀性能.有报道认为污泥处于饥饿与饱和交替状态时会有较好的沉淀性^[7-8],因为丝状菌不能生存在这样的环境下。

2.5 二沉池污泥反硝化与 SBH 的关系

增加 SBH 会提高二沉池污泥的反硝化效果,因而系统总氮去除率增加, SBH 可以作为控制二沉池污泥反硝化的一个控制变量^[9].在二沉池污泥层发生的反硝化可以为好氧区的硝化反应补充碱度,但也应避免较高的 SBH 情况下,使污泥在二沉池的停留时间较长,由于污泥反硝化作用造成污泥上浮,从而影响出水水质,所以应控制一个合适的 SBH 值,避免污泥上浮。

3 SBH 控制思想和控制器设计

通过以上试验结果可知, SBH 应根据运行条件和处理目标的变化而变化.合理调整污泥回流量,控制 SBH 处于一个相对最优位置,从而提高系统硝化反硝化效率,维持系统稳定运行.下面分几种运行状态对此进行分析。

在进水氨氮浓度较高时,为了提高氨氮去除率,应保持较低的 SBH,增大污泥回流量,提高反应器内污泥浓度,从而最大限度地增加系统

硝化效率.在高氨氮负荷过后,为了提高硝酸氮的去除,降低污泥回流量,让污泥在二沉池中积累,可以提高污泥层中硝酸氮去除率.如果采用恒定污泥回流量或污泥回流比控制,就不会获得这样的效果,因为,在高氨氮负荷时,一般伴随着高水力负荷,大量污泥会随进水进入二沉池,从而 SBH 增加,反应器内污泥浓度降低,相应硝化效果降低.而在高氨氮负荷过后,进水量降低,而污泥回流量不变,大量污泥回流到反应器,SBH 降低,不会充分利用污泥层的反硝化环境,以提高系统硝酸氮去除率.

在低水力负荷时,如果维持一个相对较高的污泥层,会起到4个作用:其一,污泥长时间停留在二沉池,从而处于饥饿状态,由于污泥交替处于饥饿和非饥饿状态,会促进污泥沉淀性能.其二,增加二沉池污泥斗内污泥浓度,因而会降低污泥排放量、污泥回流量和系统运行能耗.其三,提高硝酸氮去除率,因为污泥层水解作用产生部分慢速可生物降解 COD,通过污泥回流到缺氧区,一定程度提高硝酸氮去除率.其四,如果污泥层超过二沉池进水口会通过污泥过滤功能,提高出水水质,降低出水 SS 浓度.

如果系统受到水力负荷冲击(尤其大雨和暴雨期),以上控制思想需要改变.在这种情况下,主要控制目标是避免污泥流失以及系统的崩溃,此时 SBH 控制在最大值,以降低二沉池水力和固体负荷冲击.在高污泥层时可以降低二沉池水力负荷,因为 SBH 增加,相应会降低污泥回流量.当达到最高 SBH 时,反应器内的污泥浓度也会降低到最小,因而降低了进入二沉池的固体通量.同时浓缩时间增长,会使二沉池底部的 MLSS 浓度增加,进一步降低污泥回流量,从而降低二沉池的水力负荷扰动.虽然系统处理率降低,但由于降雨进水量增加,可起到稀释作用,它可一定程度避免污泥流失.当进水水力负荷降低时,可以增加污泥回流量.另外当进水负荷较大时,为了降低对二沉池泥水分离的影响,可以关闭好氧区最后格室的曝气,让污泥沉淀,这样进入二沉池的固体通量将大大降低,当进水负荷恢复正常时,重新打

开好氧区最后格室的曝气.试验发现,这样进入二沉池的固体负荷大约可以降低 50%,提高了反应器抗冲击负荷能力.应该注意,二沉池 SBH 不能太低,否则将增大污泥回流量,进而加大二沉池水力负荷,并可能导致出水 SS 增大,引起恶性循环.

基于上述控制思想,开发了 SBH 控制器(图 6).该控制器是一个串级结构,由主环路和副环路构成.主环路确定系统不同运行状态下的 SBH(包括进水量、进水氨氮负荷、污泥沉淀性能、二沉池实际负荷和设计负荷、有机负荷、SRT 等),同时规定 SBH 的上限值(相当于暴雨水力负荷冲击时的高度),以防止污泥流失.然而 SBH 值的确定和很多因素有关,实际中很难建立其数学模型,只能通过大量试验摸索出不同运行条件下相对最优的 SBH 值,并进行专家控制.副环路控制 SBH 维持在主环路确定的设定值(应用反馈控制思想),同时设定污泥在二沉池的最大水力停留时间,以防止污泥上浮.

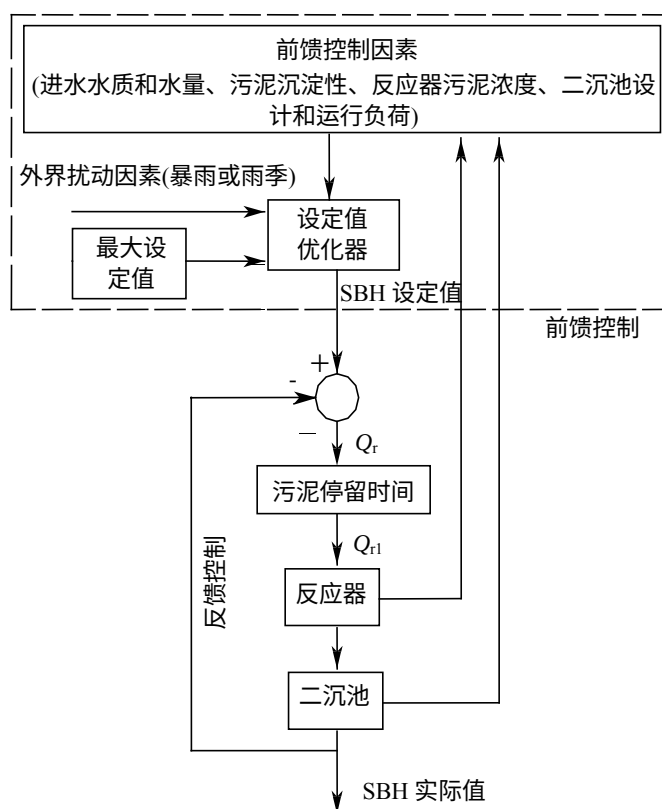


图 6 污泥层控制系统结构示意图

Fig.6 Schematic of sludge blanket height control system structure

Q_r 污泥回流量 Q_{r1} 考虑了污泥停留时间后的污泥回流量

4 SBH 控制的验证

为了验证 SBH 控制思想的可行性,除污泥回流不同外,其他运行条件相同,以恒定污泥回流比为 0.75 的运行作为参比,研究了采用污泥层控制器后系统的运行效果.设定中试试验装置进水氨氮最大负荷时污泥层下限高度为 0.25m,而低进水氨氮负荷时设定污泥层上限高度为 0.55m,污泥层最大高度为 0.65m(相当于暴雨水力负荷冲击时的高度),最大污泥水力停留时间为 3.5h.通过近 2 个多月的研究,获得表 1 中的统计结果.

表 1 基于 SBH 度和恒定污泥回流比控制的比较
Table 1 Results and comparison of the controlled and non-controlled cases of SBH

项目	参比控制 (A)	污泥层控制 (B)	$\frac{(B-A)}{A} \times 100(\%)$
出水 SS(mg/L)	18.4*(10~50.6)**	11.9(8.2~25.9)	-35.3
出水氨氮(mg/L)	4.2(3.2~7.8)	3.8(3.0~6.9)	-7.7
出水硝酸氮(mg/L)	13.7(9.2~17.6)	12.6(8.5~16.8)	-7.3
回流污泥浓度(g/L)	6.6(5.5~7.2)	8.3(6.8~10)	+25.6
平均回流比	0.75	0.60(0.35~0.76)	-20

注:*平均值,**最小值~最大值

采用 SBH 控制后,平均出水氨氮和总氮浓度分别大约降低了 8%和 15%.回流污泥浓度提高,相应降低了污泥排放量和污泥回流量,回流污泥浓度平均增加了 25.6%,污泥回流量平均降低了 20%.平均出水 SS 浓度降低了 35.3%,可避免污泥流失,维持系统稳定运行.在试验中发现,当进水负荷变化不大,控制 SBH 为 0.5m,系统性能相对最优,不但可避免污泥上浮,而且可提高出水水质和系统硝态氮去除率.

5 结语

由于污水处理系统进水负荷的波动,无论采用传统的恒定污泥回流量,还是恒定污泥回流比控制,都较危险,会出现污泥流失或回流污泥不足的问题.而应用 SBH 控制污泥回流量是一个很有前景的控制策略.通过试验研究和理论分析获得 SBH 不应固定不变,应根据进水水质和处理目标动态调整尽可能处于最优位置,并建立了 SBH 控

制思想,开发了一个串级结构的 SBH 控制器,研究获得该控制器和传统的恒定污泥回流比控制相比,无论从系统稳定性、运行费用以及出水水质等方面都具有较大的优势.

参考文献：

[1] Lech R F, Leslie Grady Jr C P, Lim H C, et al. Automatic control of the activated sludge process- II. Efficiency of control strategies [J]. Wat. Res., 1978,12:91-99.

[2] Bogaert H, Yuan Z, Grijspeerdt K, et al. New control strategy for the sludge recycle flow of activated sludge treatment plants [C]. Paris, France: 1st IWA World Congress, 2000.

[3] Spanjers H, Vanrolleghem P A, Olsson G, et al. Respirometry in control of the activated sludge process: principles [M]. IAWQ scientific and technical report No.7,1998.

[4] Olsson G, Jeppsson U. Establishing cause-effect relationships in activated sludge plants - What can be controlled [C]. Brugge, Belgium: Invited paper, Forum for Applied Biotechnology (FAB), 1994.

[5] Ingildsen P. Realizing full-scale control in wastewater treatment systems using in situ nutrient sensors [D]. Sweden: University of Lund, 2002, ISBN 91-88934-22-5.

[6] Zhiguo Y, Herwig B, Christian R, et al. Sludge blanket height control in secondary clarifiers [C]. Sweden: The 1st IWA conference on ICA, Malmo, 2000.

[7] Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Modelling of activated sludge processes with structured biomass [J]. Wat. Sci. Tech., 2002,45(6):13-23.

[8] Beun J J, Paletta F, van Loosdrecht M C M, et al. Stoichiometry and kinetics of poly-β-hydroxybutyrate metabolism in aerobic, slow growing activated sludge cultures [J]. Biotechnol. Bioeng., 2000,67(4):379-389.

[9] Henze M, Dupont R, Grau P, et al. Rising sludge in secondary settlers due to denitrification [J]. Wat. Res., 1993,27(2):231-236.

作者简介：马 勇(1976-),男,河北省南宫人,讲师,博士,主要研究方向为污水生物处理理论及其应用.发表论文 30 余篇.