初沉池改造为回流污泥反硝化池最佳进水比例研究

杨 敏,孙永利,郑兴灿,游 佳

(国家城市给水排水工程技术研究中心,天津 300074)

摘 要:为强化脱氮除磷,需要对由初沉池改造的回流污泥反硝化池的进水比例进行优化。该文结合污水厂改造模拟试验,通过对比烧杯试验研究了不同进水比例下混合液的反硝化速率。结果表明:在污水厂出水总氮量达到国标一级 A 标准时,通过回流污泥 3.2 h 的内源反硝化,回流污泥反硝化池出水中 NO_3^- 的质量浓度不超过 1.5 mg/L,由初沉池改造的回流污泥反硝化池的最佳进水比例为 0%。

关键词:初沉池;升级改造;回流污泥;反硝化池;反硝化速率;最佳进水比例

中图分类号:X703 **文章编号:**1005 - 9830(2011)02 - 0279 - 05

Optimum Feed Ratio of Primary Settling Tank Transformed as Denitrification Tank of Recycle Sludge

YANG Min, SUN Yong-li, ZHENG Xing-can, YOU Jia

(National Engineering Research Center for Urban Water and Wastewater, Tianjin 300074, China)

Abstract: In order to remove nitrogen and phosphorus enhancedly, the feed ratio of denitrification tank of recycle sludge transformed from primary settling tank should be optimized. Combining a simulation experiment about the transforming of wastewater treatment plant, the denitrification rate of mixed solution made up of recycle sludge and different ratio feed is studied based on comparative jar tests in this study. The result shows that: when the total nitrogen in effluent of wastewater treatment plant arrives Grade A of national discharge standard, by endogenous denitrification of recycle sludge with 3.2h, the mass concentration of NO_3^- in denitrification tank of recycle sludge is no more than 1.5 mg/L, and 0% is an optimum feed ratio of denitrification tank of recycle sludge transformed from primary settling tank.

Key words: primary settling tanks; upgrading and transforming; recycle sludge; denitrification tanks; denitrification rate; optimum feed ratio

由于回流污泥中含有高浓度硝酸盐,反硝化菌与聚磷菌竞争有机物,从而抑制生物系统厌氧释磷。为了消除硝酸盐对厌氧释磷的不利影响,文献[1-7]提出在常规脱氮除磷系统的厌氧池前增设回流污泥反硝化池(预缺氧池或缺氧/厌氧选择池),使回流污泥与部分进水进入其中发

收稿日期:2009 - 11 - 11 **修回日期:**2010 - 04 - 22

基金项目:国家"863"计划资助项目(2009AA063802)

作者简介:杨敏(1981 -),男,硕士,助理工程师,主要研究方向:水处理技术,E-mail: yangmin0556@sohu.com。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

生反硝化作用，将硝酸盐含量降低或完全去除硝酸盐。一般回流污泥反硝化池的水力停留时间为20～30 min，进水比例（质量百分数，全文同）为10%～30%[3-7]。近年来，回流污泥反硝化池已开始用于国内污水厂的设计和改造中。在污水厂的改造中，通常在厌氧池中分隔出一定的池容用作回流污泥反硝化池，但在污水厂的升级改造中会遇到将初沉池改造为回流污泥反硝化池的问题。普通初沉池的设计水力停留时间（HRT）为1.5～3 h，而由初沉池改造的回流污泥反硝化池的水力停留时间较长。再者，将初沉池改造为回流污泥反硝化池的工程案例和相关研究在国内鲜见报道。因此，对低碳、高氮磷的城市污水来说，为合理利用碳源，强化脱氮除磷，需要对由初沉池改造的回流污泥反硝化池的运行控制参数进行研究。

本研究结合污水厂改造模拟试验，试图通过对比烧杯试验研究不同进水比例（0%、20%和30%）下的反硝化速率，确定由初沉池改造的回流污泥反硝化池的最佳进水比例，从而为城市污水厂等的初沉池升级改造提供参考。

1 清潭污水处理厂概况

清潭污水处理厂位于太湖流域，总规模为2.5万m^3/d，共分4期，1期已停止运行，2、3期均为0.5万m^3/d，4期为1.5万m^3/d。因排放标准的提高，需对污水厂进行升级改造。升级改造主要针对4期进行，其生物段为多点进水A^2/O工艺，现状出水执行一级B排放标准，改造后执行一级A排放标准，4期工艺主要流程见图1。

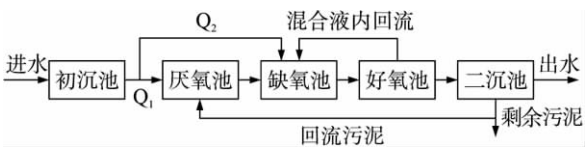

图1 4期工艺主要流程图

进水为曝气沉砂池出水，由清潭污水处理厂的多年历史监测数据可知，曝气沉砂池出水可挥发性固体悬浮物（VSS）与固体悬浮物（SS）的质量比为0.8，而且在夏季超越初沉池运行时生物系统混合液中可挥发性悬浮固体（MLVSS）与混合液悬浮固体（MLSS）质量比一般都在0.7以上，所以，在污水厂4期工艺改造中，在充分利用原有构筑物的原则下，拟将现有辐流初沉池改造为回流污泥反硝化池。辐流初沉池的相关参数见表1。

表1 辐流初沉池相关参数

池型结构	规格尺寸	有效容积/m^3	水力停留时间/h
辐流式	ϕ25 m×4.1 m	2012	3.2

为了向4期工艺的改造和后期运行提供参数支持和技术指导，对曝气沉砂池出水进行了规模为500 L/d的模拟试验研究。4期工艺改造模拟试验工艺流程见图2。

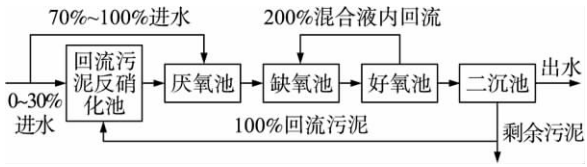

图2 4期模拟试验工艺流程图

按原4期工艺各构筑物的水力停留时间对模拟试验装置的各部分进行设计。回流污泥反硝化池为圆柱体结构，以模拟原辐流初沉池，其内径为400 mm，高为650 mm，有效水深为530 mm。厌/缺/好氧池为长900 mm、宽600 mm、高700 mm的长方体，有效水深为550 mm，池宽被均分为3格，第一格采用隔板被分为体积比1:2的2部分，分别作为厌氧池和缺氧池，第二格和第三格作为好氧池。二沉池采用圆柱体结构，圆锥形池底设计，柱体内径为400 mm，高为800 mm，锥体高为150 mm，柱体部分有效水深为550 mm。回流污泥反硝化池、厌氧池和缺氧池中均设置搅拌装置，好氧池设置小型曝气头微孔曝气。进水及内外回流流量均选用流量可调节蠕动泵调节。进水为曝气沉砂池出水，一定比例（0%－30%）的进水与100%的回流污泥进入回流污泥反硝化池，其最佳进水比例拟通过不同进水比例下混合液的反硝化速率对比烧杯试验确定。

2 试验材料与方法

根据文献[8]研究结果，本文利用六联搅拌机进行对比烧杯静态试验，通过测定NO_3^-浓度随时间的变化，研究100%的回流污泥与不同比例（0%，20%和30%）进水混合液的反硝化速率。

试验温度为18℃，回流污泥和进水均取自模拟试验，回流污泥中NO_3^-、MLSS和MLVSS的质量浓度分别为11.4 mg/L，7.75 g/L和5.58 g/L。先分别向3个圆柱形容器中各加入1 L回流污泥，再各加入0，0.2和0.3 L的进水，启动六联搅拌机开始搅拌，使回流污泥和原水迅速充分混合，然后开

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

始计时(0 min)并分别取第一个水样,随后在 4,8,12,16,20,25,30,40,60,90,120,150,180 min 时分别取样,各时间点所取水样都快速离心后测定 NO_3^- 浓度。根据不同时刻测定的 NO_3^- 质量浓度 $\rho(NO_3^-)$,拟合出 NO_3^- 浓度随时间的变化规律,通过拟合直线的斜率,就可以计算出反硝化速率。

3　结果与分析

3.1　回流污泥反硝化池的静态烧杯试验

不同进水比例混合液的反硝化速率见图 3－5。由图 3－5 可见,20% 进水和 30% 进水的反硝化速率均呈现了明显的三阶段,分别为快速反硝化阶段、慢速反硝化阶段和内源反硝化阶段,这与国内外的研究[8,9]是一致的。0% 进水的反硝化速率由于没有进水只表现为内源反硝化阶段。不同进水比例时各阶段的反硝化速率和时间见表 2。

由表 2 可见,第一阶段的反硝化速率 NO_3^- 质量与 VSS 质量和 HRT 的比值($m(NO_3^-)/(m(VSS)\cdot t_{HRT})$)最高,是因为此阶段反硝化菌优先利用进水中易生物降解的可溶性有机物作碳源进行反硝化;第二阶段的反硝化速率较高,是因为此阶段反硝化菌在易降解有机物耗尽后所利用的碳源为颗粒态及复杂的可缓慢降解有机物;第三阶段的反硝化速率较低,是因为可生物降解的碳源已基本耗尽,反硝化菌只能通过细胞物质的自身氧化,即内源呼吸代谢产物作碳源进行反硝化反应[8]。30% 进水的第一阶段和第二阶段的反硝化速率均高于 20% 进水,是因为进水比例越高,混合液中快速和慢速降解有机物含量越高,由于进水的稀释作用混合液中 MLSS 越低,这些都会导致反硝化速率变高,而且可能由于 30% 进水的混合液中慢速降解有机物含量较高,其第二阶段反硝化作用时间与 20% 进水的混合液相比增加 4 min。

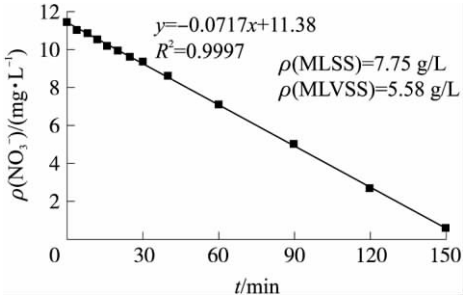

图 3　0% 进水比例下混合液反硝化速率

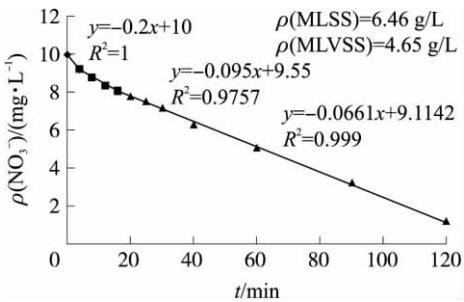

图 4　20% 进水比例下混合液反硝化速率

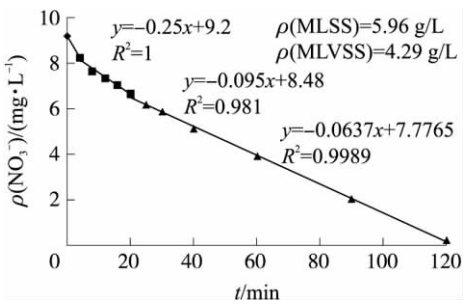

图 5　30% 进水比例下混合液反硝化速率

表 2　不同进水比例混合液反硝化特性

进水比例/%	第一阶段 反硝化速率 ($m(NO_3^-)\cdot m(VSS)^{-1}\cdot t_{HRT}^{-1}$)/(mg·g⁻¹·h⁻¹)	第一阶段 时间/min	第二阶段 反硝化速率 ($m(NO_3^-)\cdot m(VSS)^{-1}\cdot t_{HRT}^{-1}$)/(mg·g⁻¹·h⁻¹)	第二阶段 时间/min	第三阶段 反硝化速率 ($m(NO_3^-)\cdot m(VSS)^{-1}\cdot t_{HRT}^{-1}$)/(mg·g⁻¹·h⁻¹)
0	—	—	—	—	0.77
20	2.58	4	1.23	12	0.85
30	3.50	4	1.33	16	0.89

研究[3]表明,当进入厌氧池的 NO_3^- 浓度超过 1.5 mg/L 时,会对厌氧释磷产生不利影响,从而影响好氧吸磷。因此,一般控制回流污泥反硝化池出水 $\rho(NO_3^-)$ 不超过 1.5 mg/L。由图 3－5 可见,20% 进水和 30% 进水的混合液中 $\rho(NO_3^-)$ 在反应 30 min 后分别为 7.2 mg/L 和 5.9 mg/L,都超过了 1.5 mg/L,原因是进水中有机物浓度低,碳源严重不足,导致反硝化速率低,反硝化效

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

果不显著，而且在起始的30 min内，0%进水、20%进水和30%进水的混合液中$\rho(NO_3^-)$的变化量分别为2.1、2.8和3.3 mg/L，$\rho(NO_3^-)$的变化量随着进水比例的增加而增加，是因为随着进水比例的增加，混合液所含有机物浓度就越高，从而反硝化速率就越高，所以$\rho(NO_3^-)$的变化量增加。根据图3-5中的拟合方程，计算得到的不同进水比例混合液中$\rho(NO_3^-)$下降到1.5和0 mg/L时所对应的时间见表3。

表3 不同进水比例下的水力停留时间和特定NO_3^-浓度时的时间

进水比例/%	HRT/h	$\rho(NO_3^-)=1.5$ mg/L的时间/min	$\rho(NO_3^-)=0$ mg/L的时间/min
0	3.2	138	159
20	2.67	115	138
30	2.46	99	122

由表3可见，在3种不同进水比例的混合液中，$\rho(NO_3^-)$下降到1.5 mg/L时所需要的时间都小于其相应的水力停留时间，混合液中$\rho(NO_3^-)$在经历各自相应的长水力停留时间后都已下降到0%。由表3还可看出，由于进水中有机物的存在和进水的稀释作用，与不含进水的混合液相比，含进水的混合液中$\rho(NO_3^-)$达到1.5 mg/L所需时间较短，但通过回流污泥138 min的内源反硝化，0%进水的混合液中$\rho(NO_3^-)$也能达到1.5 mg/L。因此，根据烧杯试验结果，从合理优化利用碳源的角度考虑，回流污泥反硝化池的最佳进水比例为0%。

上述烧杯试验结果是基于回流污泥中$\rho(NO_3^-)$为11.4 mg/L的条件得出的，因此，需要研究当回流污泥中$\rho(NO_3^-)$增大时，0%进水回流污泥反硝化池是否仍能满足其出水$\rho(NO_3^-)$不超过1.5 mg/L的指标。参考文献[10]中一级A标准的总氮量(TN)浓度限值($\leqslant 15$ mg/L)，以15 mg/L作为回流污泥中$\rho(NO_3^-)$的临界值，ρ(MLVSS)为5.58 g/L，回流污泥内源反硝化速率按0%进水时的0.77 mg/(g·h)计，计算$\rho(NO_3^-)$减小到1.5 mg/L时所需的反应时间t，计算公式为

$$t=\frac{(15-1.5)}{0.77\times 5.58}=3.14\ \text{h} \tag{1}$$

由于$t=3.14$ h小于0%进水时回流污泥反硝化池的实际水力停留时间3.2 h，所以当回流污泥中$\rho(NO_3^-)$为15 mg/L时，0%进水的回流污泥反硝化池出水$\rho(NO_3^-)$仍不超过1.5 mg/L。

因此，对低碳高氮磷的城市污水来说，为有效利用碳源，强化脱氮除磷，在污水厂出水TN稳定达到一级A标准的条件下($\leqslant 15$ mg/L)，对停留时间较长的回流污泥反硝化池来说，其最佳进水比例为0%。

3.2 回流污泥反硝化池在模拟试验中的运行效果研究

通过烧杯静态试验得出，0%为由初沉池改造的回流污泥反硝化池的最佳进水比例，而在实际污水处理工程中，由初沉池改造的回流污泥反硝化池是在连续进出水的动态条件下运行的，所以将烧杯试验所得结论作为实际工艺的运行控制参数可能会产生一定偏差。因此，为了验证上述烧杯试验结论，对模拟试验中回流污泥反硝化池的实际运行效果进行了研究。

在试验条件(水温18℃，回流污泥MLSS浓度6~7 g/L，回流污泥反硝化池的进水比例为0%)下，随机测试6天试验中回流污泥反硝化池的进出水NO_3^-浓度，并对NO_3^-的处理效果进行了分析，结果见表4。

由表4可见，在模拟试验回流污泥反硝化池的进水比例为0%时，经过3.2 h的回流污泥内源反硝化，回流污泥反硝化池出水NO_3^-浓度都满足不超过1.5 mg/L的运行控制指标，从而不会对后续的厌氧释磷产生不利影响，并且进水碳源完全进入后续生物系统，碳源得到了优化合理分配，强化了系统脱氮除磷。因此，模拟试验中回流污泥反硝化池的实际运行效果表明：在连续进出水的动态运行条件下，烧杯静态试验所得结论是正确的，0%确实为由初沉池改造的回流污泥反硝化池的最佳进水比例，可将其作为实际工程中由初沉池改造的回流污泥反硝化池的运行控制参数。

表4 模拟试验回流污泥反硝化池对NO_3^-的处理效果

取样次数	1	2	3	4	5	6
回流污泥中$\rho(NO_3^-)$/(mg·L^{-1})	11	8.2	8	4.2	12.2	14.4
回流污泥反硝化池中$\rho(NO_3^-)$/(mg·L^{-1})	0.5	0	0	0	0	0.8
NO_3^-去除量/(mg·L^{-1})	10.5	8.2	8	4.2	12.2	13.6

4 结论

(1)当回流污泥NO_3^-浓度为11.4 mg/L时，

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

不同进水比例(0%,20%和30%)的混合液在经过各自相应的水力停留时间后其$\rho(NO_3^-)$都不超过1.5mg/L,不会对厌氧释磷产生不利影响;

(2)在污水厂出水TN达到文献[10]一级A标准的条件下,通过回流污泥自身3.2 h水力停留时间的内源反硝化,就可实现回流污泥反硝化池出水NO_3^-浓度不超过1.5 mg/L,0%为由初沉池改造的回流污泥反硝化池的最佳进水比例;

(3)与一般的回流污泥反硝化池不同的是,由于较长的水力停留时间,由初沉池改造的回流污泥反硝化池在不需要进水的情况下就可以消除回流污泥中NO_3^-对厌氧释磷的不利影响;对低碳源的城市污水来说,可以使碳源得到有效利用,强化脱氮除磷。

参考文献:

[1] 张辰,谭学军.城镇污水处理厂升级改造的有关问题[J].中国给水排水,2008,24(24):23-27.

[2] Bortone G,Libelli S M. Anoxic phosphate uptake in the dephanox process[J]. Wat Sci Tech,1999,40(4-5):177-185.

[3] 郑兴灿,李亚新.污水除磷脱氮技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.

[4] Sedlak R I. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater—Principles and practice[M]. 2nd ed. New York: Lewis Publishers,1991.

[5] 周爱姣,陶涛,张太平,等. A-A^2/O工艺处理低碳源城市污水的除磷脱氮效果[J].环境科学与技术,2008,31(12):150-152.

[6] 邱慎初,丁堂堂.探讨城市污水生物处理出水的总磷达标问题[J].中国给水排水,2002,18(9):23-25.

[7] 樊杰,张碧波,陶涛,等.安庆市城东污水处理厂改良型A^2/O工艺的设计与运行[J].给水排水,2008,34(12):27-30.

[8] 王社平,王卿卿,惠灵灵,等.分段进水A/O脱氮工艺反硝化速率的测定[J].环境工程,2008,26(3):56-58.

[9] Barnard J L. Cut P and N without chemicals[J]. Water and Wastes Eng,1974,11(7):33-48.

[10] GB18918-2002.城镇污水处理厂污染物排放标准[S].

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n