

污泥回流比对分段进水 A/O 生物脱氮工艺的影响

王 伟,彭永臻*,孙亚男 (北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复重点实验室,北京 100022)

摘要: 采用连续流分段进水缺氧/好氧(A/O)中试系统处理生活污水,研究污泥回流比(R)对系统性能的影响.结果表明,当 R 值高于 1.0 时,尽管第一段缺氧区的硝酸盐氮去除量明显增加,而系统硝化、反硝化效果均明显降低.当 R 为 0.75 时,系统总氮去除率最高,为 92%;而当 R 值为 1.5 时,总氮去除率最低,为 72%. 当系统污泥沉降性能较好时, R 值对二沉池泥位和泥水分离效果影响不大;而当污泥沉降性能较差时,二沉池泥位随 R 值增大而呈线性增加,此时提高 R 值会加剧污泥膨胀.此外,高 R 值使得系统各段悬浮固体浓度呈梯度分布的规律变得不再明显,降低系统污泥储量.同时,提高 R 值会降低系统固体停留时间,进而影响系统的污泥种群分布.

关键词: 生活污水;生物脱氮;分段进水;污泥回流比

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)02-0116-05

The influence of sludge recycle ratio on the step-feed A/O biological nitrogen removal process. WANG Wei, PENG Yong-zhen*, SUN Ya-nan (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): 116~120

Abstract: The effect of sludge recycle ratio (R) on the performance of the system was investigated in a pilot-scale step-feed anoxic/oxic (A/O) nitrogen removal process for domestic wastewater treatment. Both the nitrification and denitrification performance decreased obviously, although the nitrate removal in the first anoxic zone was increased when the value of R was higher than 1.0. The highest and the lowest total nitrogen removal efficiency were achieved when the R were 0.75 and 1.5 respectively with the removal efficiency were 92% and 72% accordingly. When the settleability of the sludge was well, the R had no significant effect on the sludge level of clarifier and its separation, however, when the settleability of the sludge was not favored, with the increase of R , the level of sludge in clarifier was increased linearly and the problem of bulking sludge was exacerbated. In addition, the regulation of gradient distribution that the mixed liquid suspended sludge concentration at each stage has been not clear when the R was at higher level and the sludge reserves was decreased accordingly. Meanwhile, when the R was increased, the SRT was decreased accordingly, and the sludge population can be changed furthermore.

Key words: domestic wastewater; biological nitrogen removal; step-feed; sludge recycle ratio

连续流分段进水缺氧/好氧(A/O)工艺是一项高效污水生物脱氮工艺,其具有所需池容较小、脱氮效率高、抗冲击负荷能力强等优点^[1-3].为取得良好脱氮效果,必须对进水流量比、曝气量、污泥回流比、外碳源投加量等进行合理控制和优化^[4-5].其中,污泥回流比(R)是一个重要控制参数.分段进水 A/O 系统中,污泥回流到系统首端,第一段缺氧区主要功能对回流污泥中携带的硝酸盐氮进行反硝化, R 的大小直接影响着第一段缺氧区反硝化容量的充分利用及系统出水总氮(TN)浓度^[4].本研究采用分段进水中试试验系统处理实际生活污水,全面考察污泥回流比对脱氮过程的影响,

以期水厂的实际运行提供依据.

1 材料与方法

1.1 中试试验装置

试验装置见图 1.反应器容积 320 L,分 4 段,每段包括 1 个缺氧格室和 3 个好氧格室.各段缺氧与好氧体积比均为 2:3.二沉池为竖流式,体积 90L.5 台蠕动泵分别控制进水及污泥回流,空压机为好氧格室曝气,机械搅拌器为缺氧区提供搅拌.

收稿日期: 2007-05-16

基金项目: 国家“863”项目(2006AA06Z319)

* 责任作者, 教授, pyz@bjut.edu.cn

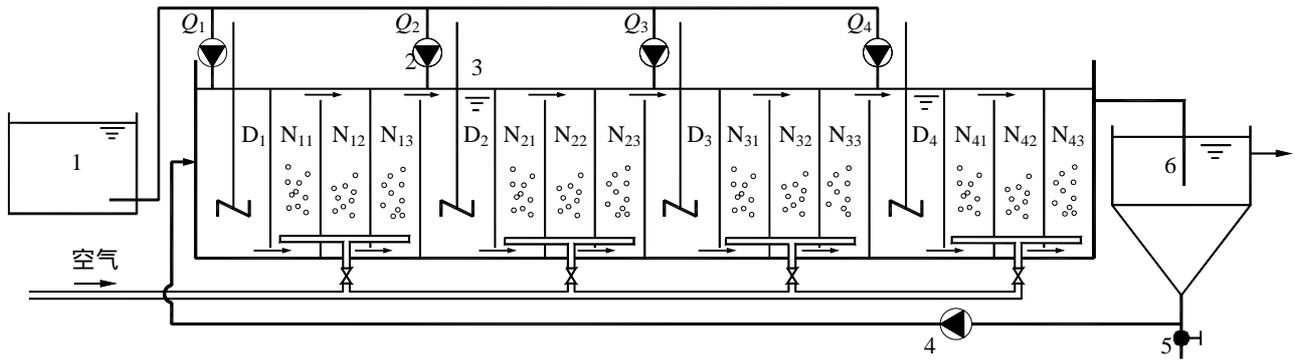


图 1 分段进水生物脱氮工艺中试试验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of pilot-scale step-feed nitrogen removal process

1.进水箱 2.进水泵 3.机械搅拌器 4.污泥回流泵 5.污泥排放管 6.沉淀池

$D_1 \sim D_4$ 为 1~4 段缺氧区; N_{ij} 为第 i 段第 j 个好氧格室

1.2 试验方法

试验温度为 (20 ± 1) ，进水流量 960L/d，水力停留时间(HRT)为 8h，进水流量比 $Q_1:Q_2:Q_3:Q_4=0.25:0.25:0.25:0.25$ 。试验维持好氧区 DO 浓度 2.0~2.5mg/L。批量小试表明,C/N 为 7~8 可保证各段缺氧区进水碳源恰好可以将上一段产生的硝酸盐氮还原为氮气。为便于研究 R 对系统的影响,通过给生活污水投加少量乙醇和氯化铵,控制进水 C/N 为 7~8。试验共采用 5 组 R 值,分别为 0.6,0.75,1.0, 1.25,1.5,考察不同 R 值下系统硝化效果、TN 去除率、二沉池泥位、各段 MLSS 及系统 SRT 的变化。

1.3 试验用水水质

试验用水为住宅区生活污水。原水 COD 为 235~280mg/L, NH_4^+-N 浓度为 44~55mg/L,BOD 为 110~150mg/L, $NO_3^- -N$ 浓度为 0.05~1.42mg/L, $NO_2^- -N$ 浓度为 0.08~0.19 mg/L。原水投加乙醇和氯化铵后,COD 为 350~400 mg/L, NH_4^+-N 浓度为 50~56.5 mg/L。

1.4 分析方法

COD, NH_4^+-N , $NO_2^- -N$, $NO_3^- -N$,MLSS 采用国家标准方法测定^[6],TN 采用德国耶拿 multi N/C3000 分析仪测定,DO、温度采用 WTW340i 在线仪测定。

2 结果与讨论

2.1 R 对氨氮去除效果的影响

由图 2 可见知, R 从 0.6 增大到 1.25 过程中,

氨氮去除效果良好,出水氨氮均小于 1mg/L,去除率为 98% 以上。 $R=0.75$ 和 $R=1.0$ 时,各段的硝化效果较好,且 $R=0.75$ 的硝化效果略好于 $R=1.0$ 的硝化效果。而当 $R=1.5$ 时,氨氮去除效果明显下降,平均出水氨氮浓度大于 3mg/L。

当 $R=0.6$ 时,第 1 段有大量氨氮剩余。这是由于 R 值较低,回流污泥浓度较高,这虽然可以增加第 1、第 2 段硝化菌数量,但其他异养菌数量也同时增加,这必然增加其对溶解氧的需求,造成供氧不足现象发生,导致硝化不完全。当 R 增大到 1.25 和 1.5 时,第 1、第 2 段硝化效果明显下降。分析认为,这是各段 HRT 改变的结果。不同 R 值下,各段 HRT 见表 1。当 R 改变时,各段 HRT 均变小,且第 1、第 2 段 HRT 的变化量(ΔHRT)明显大于第 3、第 4 段。当 $R=1.25$ 时,系统硝化容量尚有一定剩余,第 1 段累积氨氮可在第 3、第 4 段硝化去除;当 $R=1.5$ 时,第 1、第 2 段有大量氨氮累积,加之系统各段 HRT 均变小,不能满足硝化所需停留时间,使得 $R=1.5$ 时氨氮去除率明显下降。

2.2 R 值对 TN 去除效果的影响

分段进水工艺中,第 1 段缺氧区(D_1)主要对回流污泥携带的硝酸盐氮进行反硝化,第 1 段进水 Q_1 为反硝化提供碳源。通常 D_1 的反硝化容量是过剩的。此时,加大 R ,可以增加回流到 D_1 的硝酸盐氮的量,充分利用 D_1 的有机碳源,提高 TN 去除效果。针对不同 R 值,对系统 D_1 格室硝酸盐氮理论去除量和实际去除量进行了考察,结果

如图3所示.由图3可见,试验结果和理论去除量有很好的-致性,加大R的确使得D₁去除的硝

酸盐氮的量有所提高,D₁反硝化容量更能被充分利用.

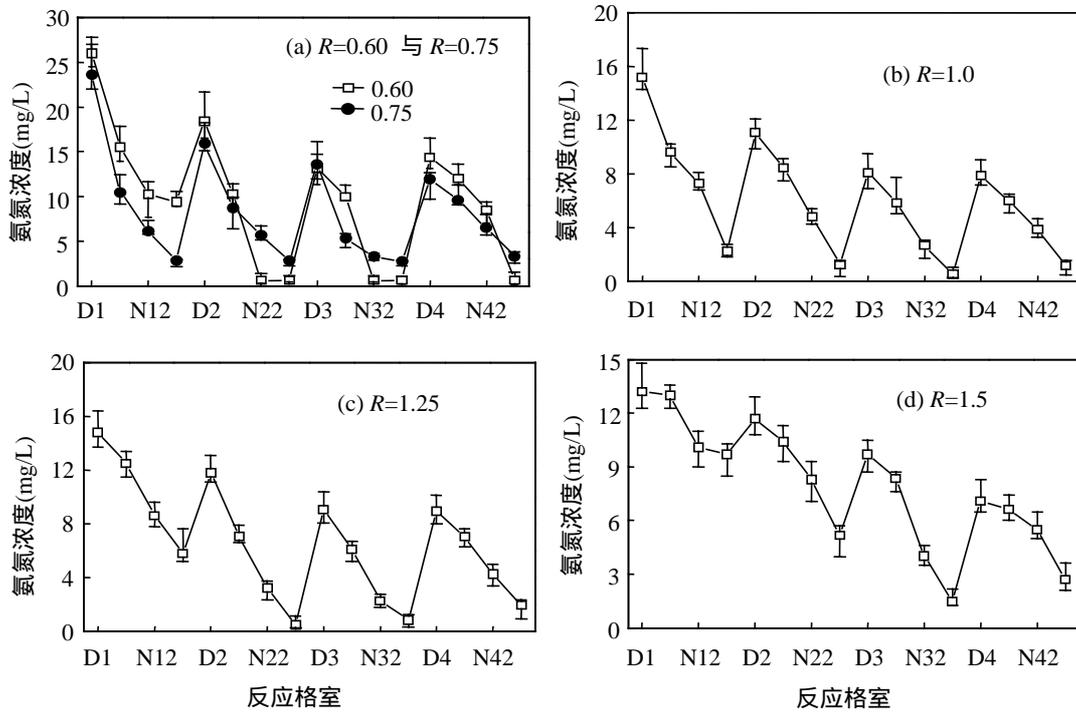


图2 污泥回流比对氨氮去除效果的影响

Fig.2 The influence of returned activated sludge flow on the ammonia removal efficiency

表1 不同污泥回流比下各段的HRT

Table 1 The HRT of each stage under different returned activated sludge flows

R	第1段		第2段		第3段		第4段	
	HRT(h)							
0.6	2.35		1.82		1.48		1.25	
0.75	2	0.35	1.6	0.22	1.33	0.15	1.14	0.11
1.0	1.6	0.4	1.33	0.27	1.14	0.19	1.0	0.14
1.25	1.33	0.27	1.14	0.19	1.0	0.14	0.89	0.11
1.5	1.14	0.19	1.0	0.14	0.89	0.11	0.80	0.09

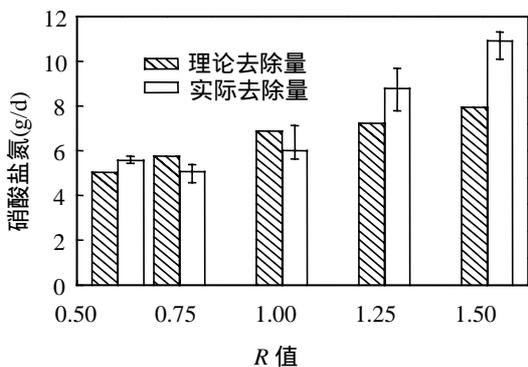


图3 R对D₁理论和实际反硝化量的影响

Fig.3 The theoretical and actual denitrification of D1 under the different R values

随R值加大,D₁去除硝酸盐氮量虽提高,但TN去除率不断下降.且R越大,下降越明显.当R由0.6增加到0.75时,TN去除率从88%提高到92%,当R从0.75提高到1.0时,TN去除率迅速下降,当R为1.5时,TN去除率下降到72%.分析TN去除率降低原因认为,加大R导致第1、第2段HRT明显降低,氨氮不能完全硝化,负荷较低时,累积氨氮尚可在第3、第4段去除,但D₂、D₃反硝化容量不能充分利用.各段缺氧区硝酸盐氮去除量见图4.此外,加大R值,各段HRT降低,系统硝化能力下降,出水含有一定氨氮,亦导

致 TN 去除率降低.

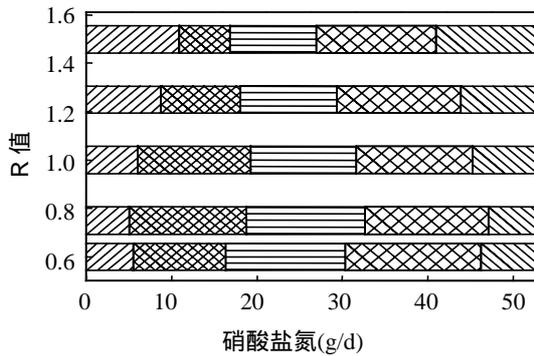


图 4 不同 R 值下系统各缺氧区去除的硝酸盐氮量
 Fig.4 Nitrate removal quantities in each anoxic zone under the different R values

2.3 R 值对二沉池泥位的影响

R 值改变将导致二沉池水力负荷和固体负荷改变.本试验分别在高 SVI(200~250mL/g)和低 SVI(100~150mL/g)下考察 R 值对二沉池泥位的影响.结果见图 5. 由图 5 可见,低 SVI 时, R 从 0.6 增大到 1.5,二沉池泥位基本没有变化,因此,又将 R 从 1.5 增大到 2.5,二沉池泥位虽有所上升,但最高泥位为 45L,且泥水分离效果非常好.而高 SVI 情况下,随 R 值增大,二沉池泥位迅速升高,并呈线性变化.当 R 值增大到 1.5 时,二沉池泥位为 87L,泥水分离困难,甚至有污泥流失的危险.实际运行中,调整回流比必须考虑污泥沉降性能,当污泥沉降性能不好时,宜采用较低的污泥回流比.

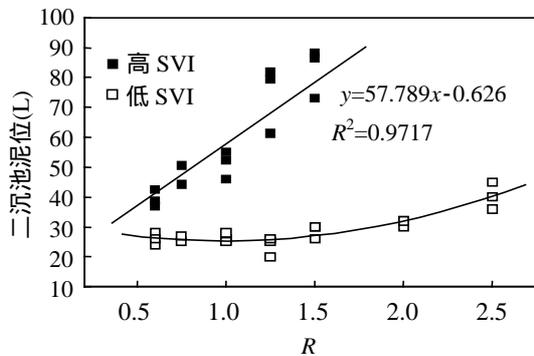


图 5 污泥回流比和二沉池泥位的关系
 Fig.5 Relationship between the returned activated sludge flows and the sludge blanket height of the clarifier

2.4 R 对系统各段 MLSS 的影响

对系统进行物料平衡,并假设反应器出水悬浮固体浓度(MLSS)为 2500mg/L,可以得到系统各段理论 MLSS 值.由图 6(a)可见,R 改变对系统第 1、第 2 段污泥浓度影响较大.R 越大,系统 MLSS 呈梯度分布的趋势越不明显.试验中,不同 R 值对系统各段 MLSS 的影响见图 6(b).

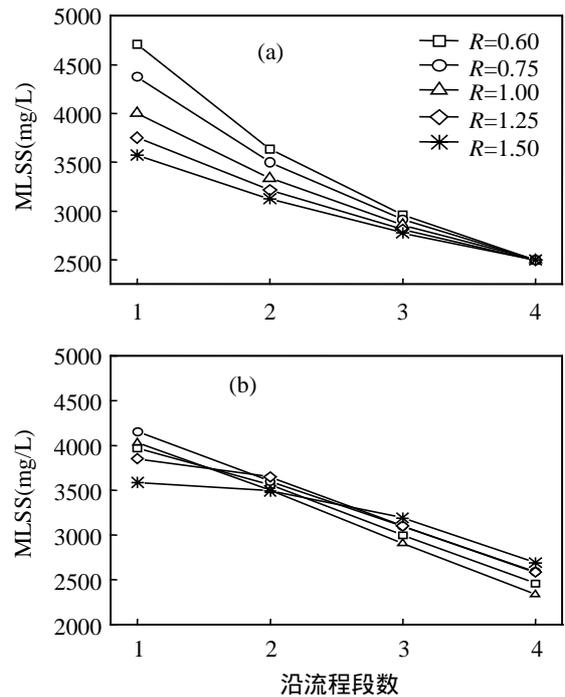


图 6 R 值对各段 MLSS 的影响
 Fig.6 Effect of R on the MLSS of each stage

由图 6(b)可见,R 从 0.6 增大到 1.0,系统各段 MLSS 变化不明显,曲线斜率几乎没有变化.当 R 为 1.25 时,第 1 段 MLSS 浓度稍有降低,R 增大到 1.5 时,系统前两段 MLSS 迅速降低,第 1、第 2 段浓度梯度减小.此时系统各段处理容量必然改变.

2.5 R 值对 SRT 的影响

不同 R 值下,对系统 SRT 进行计算.首先对系统作固体平衡,可得式(1)和式(2):

$$X_i V_i = (P_{X,TSS})(SRT) \quad (1)$$

$$X_i V_i = X_1 V_1 + X_2 V_2 + X_3 V_3 + X_4 V_4 \quad (2)$$

式中: X_i 为第 i 段污泥浓度; V_i 为第 i 段体积; $P_{X,TSS}$ 为每日污泥净产量.

通常,生物菌群由生物体,细胞残骸,硝化菌,不可生降挥发性悬浮固体(nbVSS)及无机惰性固体组成,因此有式(3)^[7]:

$$(SRT)(P_{x,TSS}) = \frac{QY(S_0 - S)}{[1 + (k_d)SRT](0.85)(10^3)} + \frac{f_d(k_d)QY(S_0 - S)(SRT)^2}{[1 + (k_d)SRT](0.85)(10^3)} + \frac{QY_n(NO_x)SRT}{[1 + (k_{dn})SRT](0.85)(10^3)} + \frac{Q(nbVSS)SRT}{10^3} + \frac{Q(TSS_0 - VSS_0)SRT}{10^3} \quad (3)$$

这里,水温 T 为 20 ± 1 , 则异养菌衰减系数 $k_d=0.12\text{g/g}\cdot\text{d}$; 细胞物质以残骸形式存在比例 $f_d=0.15\text{g/g}$; 异养菌合成产率系数 $Y=0.40\text{gVSS/g(bCOD)}$. 自养菌衰减系数 $k_{dn}=0.08\text{g/g}\cdot\text{d}$; 自养菌合成产率系数 $Y_n=0.12\text{gVSS/gNO}_x$.

采用迭代法进行计算, 结果表明, R 值从 0.6 提高到 1.5, SRT 从 11.93d 降到 9.73d, 这表明 R 对系统 SRT 影响较大. SRT 在运行中属慢时速控制指标, 在 R 改变的最初阶段, 可能不会对处理效果有很大影响, 但仍需对 R 值仔细调控, 否则 SRT 变化, 将导致系统菌群的根变化. 对于脱氮系统, 可能对需要长泥龄生长的硝化菌产生不利影响, 使系统丧失硝化功能^[8-9].

3 结语

分段进水 A/O 工艺中, 污泥回流比从小增大时, 第一段缺氧区去除的硝酸盐氮量会明显增加. 但采用较高污泥回流比时, 系统硝化、反硝化效果会明显降低, 氨氮、TN 去除率降低. 当污泥沉降性能较差时, 加大污泥回流比会加剧污泥膨胀的发生. 此外, 较高的污泥回流比使分段进水 A/O 系统悬浮固体呈梯度分布的规律变得不明显, 降低系统处理容量. 同时, 提高污泥回流比会降低系统固体停留时间, 影响污泥种群结构. 因此, 在分段进水 A/O 工艺中, 在一定范围内可提高污泥回流比, 以充分利用第一段缺氧区反硝化能力, 但最大污泥回流比不宜超过 1.0.

参考文献:

- [1] Gögün E, Artan N, Orhon D, et al. Evaluation of nitrogen removal by step feeding in large treatment plants [J]. *Wat.Sci.Tech.*, 1996,34(1-2):253-260.
- [2] Larrea L, Larrea A, Ayeasa E, et al. Development and verification

of design and operation criteria for step feed process with nitrogen removal [J]. *Wat.Sci.Tech.*, 2001,43(1):261-268.

- [3] 邱慎初, 丁堂堂. 分段进水生物除磷脱氮工艺 [J]. *中国给水排水*, 2003,19(4):32-36.
- [4] DeBarbadillo C, Carrio L, Mahoney K, et al. Practical considerations for design of a step-feed biological nutrient removal system [J]. *Florida Water Resource Journal*, 2002,(1):18-20.
- [5] 王伟, 王淑莹, 王海东, 等. 连续流分段进水生物脱氮工艺控制要点及优化 [J]. *环境污染治理技术与设备*, 2006,7(10): 83-87.
- [6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [7] Metcalf and Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [8] Hellinga C, Schellen A, Mulder J, et al. The SHARON process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water [J]. *Wat.Sci.Tech.*, 1998,37(9):135-142.
- [9] van Loosdrecht M, Jetten M. Microbiological conversion in nitrogen removal [J]. *Wat.Sci.Tech.*, 1998,38(1):1-7.

作者简介: 王伟(1979-), 女, 山东平度人, 北京工业大学博士研究生, 主要研究方向为污水生物处理及其自动控制. 发表论文 7 篇.

环保信息

周生贤在第一次全国土壤污染防治工作会议上指出, 把土壤污染防治摆到更加重要位置为全面建设小康社会做出新的贡献. 国家环境保护总局在北京召开第一次全国土壤污染防治工作会议, 环境保护总局局长周生贤出席会议并讲话. 他指出, 要充分认识加强土壤污染防治的重要意义, 加大投入力度, 夯实工作基础, 提升管理水平, 切实解决当前突出的土壤环境问题, 努力开创土壤污染防治工作新局面. 土壤污染防治工作要以党的十七大精神和科学发展观为指导, 紧紧围绕改善土壤环境质量、保障农产品质量和建设良好人居环境的总体目标, 坚持预防为主、防治结合, 梯次推进、重点突破的基本原则, 切实解决当前突出的土壤环境问题.

摘自《中国环境报》

2008-01-09