

低溶解氧 SBR 除磷工艺研究

陈 滢¹, 彭永臻¹, 杨向平², 曾 薇¹, 刘秀红³

(1. 北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022; 2. 北京市城市排水公司, 北京 100022; 3. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 试验研究了低溶解氧条件下 SBR 的除磷性能。结果表明,在全程低氧曝气的 SBR 系统内聚磷菌可得到富集,并出现了明显的放磷、过量吸磷现象。污泥负荷对 *COD* 去除率和除磷效率影响较大,除磷最佳的污泥负荷为 $0.26 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$, 其时 *COD* 去除率为 85%, 除磷效率为 96%, 出水 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P} < 1.0 \text{ mg/L}$; 最佳污泥负荷下的污泥沉降性能良好, 污泥负荷过高会导致非丝状菌污泥膨胀。

关键词: SBR; 低溶解氧; 除磷; 污泥负荷; 非丝状菌污泥膨胀

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2004)08-0040-03

Study on Phosphorus Removal Process by Using SBR at Low *DO* Level

CHEN Ying¹, PENG Yong-zhen¹, YANG Xiang-ping², ZENG Wei¹,
LIU Xiu-hong³

(1. School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. Beijing Urban Drainage Company, Beijing 100022, China; 3. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Study was made on phosphorus removal effect at low *DO* level by using SBR system. The result shows that, the concentration of phosphorus accumulation bacteria can be obtained in SBR system at all-time low *DO* aeration, significant phosphorus release and luxury phosphorus uptake also occurs under this condition. Sludge load has greater influence on *COD* and phosphorus removal rate, the optimum sludge load for phosphorus removal is $0.26 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$, 96% of phosphorus removal rate, 85% of *COD* removal rate and effluent $\text{PO}_4^{3-} - \text{P} < 1.0 \text{ mg/L}$ can be achieved at that condition. The sludge also shows good settleability at the optimum sludge load, and the higher load will lead to non-filamentous bacteria sludge bulking.

Key words: SBR; low *DO* level; phosphorus removal; sludge load; non-filamentous bacteria sludge bulking

1 材料和方法

1.1 试验装置

SBR 试验装置如图 1 所示。

SBR 反应器的总有效容积为 14 L, 有机玻璃制成, 壁上设取样口(兼有排水作用)。采用鼓风微孔曝气方式, 用气体流量计调节曝气量。利用温度控

基金项目: “十五”国家科技攻关课题(2002BA806B04); 国家自然科学基金资助项目(20377003); 北京市教委科研项目(01KJ-001)

制系统保持水温在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

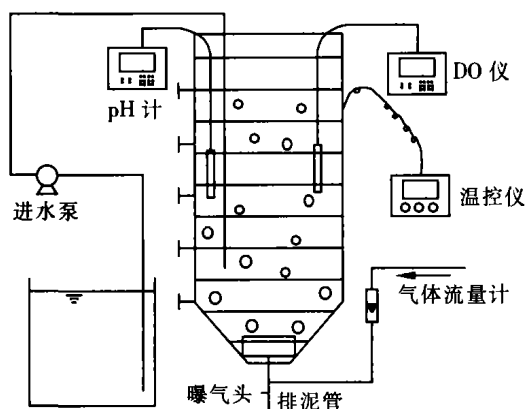


图1 SBR试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of SBR experimental setup

1.2 原水水质及种泥来源

原水取自北京工业大学教工生活小区的污水： $COD = 224 \sim 463 \text{ mg/L}$ (均值为 365 mg/L)， $BOD = 112 \sim 213 \text{ mg/L}$ (均值为 182 mg/L)， $TP = 8.2 \sim 15.2 \text{ mg/L}$ (均值为 11.29 mg/L)， $PO_4^{3-} - P = 7.63 \sim 13.2 \text{ mg/L}$ (均值为 10.05 mg/L)， $pH = 7.4 \sim 7.8$ (均值为 7.65)。经过多次检测发现进水中可溶性磷占总磷的86%以上，出水总磷中99%以上都为溶解性磷。以北京市某城市污水处理厂的回流污泥为种泥进行培养驯化。

1.3 分析项目及方法

COD : COD 快速测定仪; BOD : WTW TS 606/S 红外遥控 BOD 测定仪; TP : 氯化亚锡还原光度法; $PO_4^{3-} - P$: 氯化亚锡还原光度法; $MLSS$: 滤纸重量法; DO : 溶解氧仪。

2 结果与讨论

2.1 低氧曝气SBR工艺的除磷能力

低氧曝气 SBR 工艺是指整个反应过程(包括放磷阶段和吸磷阶段)在曝气条件下完成,系统内溶解氧浓度:在反应初期的30 min内溶解氧维持在 0.1 mg/L 以下;整个曝气阶段的平均溶解氧浓度为 0.35 mg/L ,最大溶解氧浓度为 0.55 mg/L 。反应器每周进水2 min、曝气4 h、沉淀1 h、排水10 min,每天运行2个周期,其他时间为闲置期。污泥浓度控制在 3000 mg/L 左右,污泥龄约12 d。

经过30 d的培养和驯化,聚磷菌(PAOs)在SBR系统中得到富集,具有了稳定的除磷性能。低氧曝气 SBR 系统溶解氧浓度、溶解性磷酸盐含量及曝气量的变化情况如图2所示。

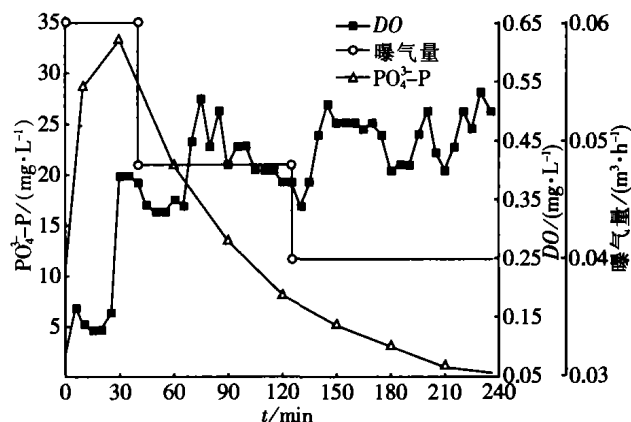


图2 溶解氧、曝气量、 $PO_4^{3-} - P$ 浓度的变化

Fig.2 Variations of DO conc., aeration rate and $PO_4^{3-} - P$ conc.

由图2可知,尽管没有设置厌氧搅拌段,但是在连续低氧曝气的条件下仍然出现了高效放磷现象。进水溶解性磷浓度为 10.56 mg/L ,经过30 min的低氧曝气后,聚磷菌吸收水中有机物的同时将贮存在体内的多聚磷酸盐分解为无机磷释放到体外,反应器中的磷浓度上升到 33.17 mg/L ,放磷速率高达 $14.13 \text{ mgP}/(\text{gSS} \cdot \text{h})$ 。随着反应的进行则微生物的耗氧速率减少,在供氧速率不变的情况下溶解氧浓度开始升高。为了保持低氧水平($<0.55 \text{ mg/L}$),需要不断调小曝气量。在这种条件下,聚磷菌将体内贮存的PHB分解,并进行过量吸磷。再经过3.5 h的低氧曝气处理后出水磷浓度降至 0.38 mg/L ,吸磷速率为 $2.93 \text{ mgP}/(\text{gSS} \cdot \text{h})$,磷去除率达到了96.4%。低氧曝气系统的长期运行表明, COD 平均去除率为85%,磷去除率为96%,出水磷浓度都在 1.0 mg/L 以下。

对于低氧曝气系统而言,夜间闲置较长时间可能导致出现放磷现象,所以又进行了高溶解氧浓度曝气试验。该试验采用与前者同样的反应器、进水水质和运行方式,但反应过程中的溶解氧浓度平均为 4.0 mg/L ,最高为 6.5 mg/L 。经长期运行发现,该系统中并没有出现聚磷菌的富集,系统也几乎没有除磷能力(进、出水磷浓度基本相同)。可见,如果不是在低溶解氧条件下运行,闲置时间不是培养出聚磷菌的必要条件。

朱晓君等也曾发现低氧除磷现象,但没有获得像笔者这么明显的高效放磷阶段。由于氧的扩散限制,活性污泥絮体内存在溶解氧的浓度梯度。在曝气量很低(混合液中的溶解氧浓度约 0.1 mg/L)的情况

下,活性污泥絮体内部存在厌氧区,导致生长在絮体内部的 PAOs 发生放磷现象。随着曝气时间的延长则溶解氧逐渐扩散进入污泥絮体内部,PAOs 开始过量吸磷。另外,试验用水在进入反应器之前已经在化粪池内贮存一段时间,经测定发现其 VFAs 浓度较高,其中乙酸浓度 $> 90 \text{ mgCOD/L}$,而乙酸的大量存在也可能致使放磷现象的发生。

2.2 污泥负荷对除磷效果的影响

通过改变反应时间来改变有机负荷。试验中选择了三种有机负荷: 0.20 、 0.26 、 $0.57 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,相应的反应时间分别为 6 、 4 、 2 h 。SBR 反应器在每种负荷条件下都运行了 100 个周期,结果显示,当污泥负荷为 $0.26 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时对磷和 COD 的去除效果都很好;当污泥负荷上升到 $0.57 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时, COD 去除率只有 58% ,除磷效果也不稳定,这可能是反应时间过短所致。当污泥负荷降低到 $0.2 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时对 COD 的去除率可达 89% ,但磷的去除率仅为 56% ,出水磷浓度较高。为此对周期内的磷浓度进行了跟踪检测,发现虽然在反应前期聚磷菌能快速释磷,但在后续反应中释放的磷却不能被完全吸收。这可能是因为曝气时间过长使聚磷菌消耗了过多的 PHB,从而影响了磷的吸收。综上所述,将污泥负荷控制在 $0.26 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 便能够获得理想的去除磷和 COD 的效果。

有研究表明,低溶解氧条件会促使丝状菌过量生长而导致污泥膨胀。在试验中,当有机负荷为 0.20 和 $0.26 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时,活性污泥沉降性能良好, SVI 值始终在 150 mL/g 以下。而当负荷上升到 $0.57 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时污泥沉降性变差, SVI 值高达 200 mL/g 。镜检未发现有丝状菌的过量生长,但出现了大量的指状菌胶团,即污泥膨胀为非丝状菌污泥膨胀。根据 Eikelboom 的经验,高负荷污水处理厂 [$N_s > 0.40 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$] 很容易发生这样的污泥膨胀。可见,该膨胀主要由高污泥负荷所致。

一般除磷系统中的污泥沉降性能都比较好,主要是因为反应初始聚磷菌比丝状菌更容易吸收易降解性有机物,从而在竞争底物的过程中处于优势

地位,抑制了丝状菌的生长。另外,含聚磷菌的活性污泥比重较大,因此更加有利于污泥的沉降。

3 结论

① 在连续低氧曝气的 SBR 系统内,聚磷菌可得到富集,出现了快速释磷和过量吸磷现象。

② 污泥负荷对磷和 COD 的去除效果影响较大,污泥负荷较低则 COD 去除效果越好,但污泥负荷过高和过低都不利于磷的吸收。试验中,除磷最佳的污泥负荷为 $0.26 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,其时出水磷浓度 $< 1 \text{ mg/L}$,除磷率为 96% , COD 去除率为 85% 。

③ 低氧除磷系统在低负荷条件下运行时污泥沉降性能良好,当负荷达到 $0.57 \text{ kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 时发生了非丝状菌污泥膨胀现象。

参考文献:

- [1] Mino T, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process[J]. Wat Res, 1998, 32: 3193 - 3207.
- [2] Sudiana I M, Mino T, Satoh H, et al. Metabolism of enhanced biological phosphorous removal and non-enhanced biological phosphorous removal sludge with acetate and glucose as carbon source[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39: 29 - 35.
- [3] Naidong W, Peng J, Hill G. Biochemical model of glucose induced enhanced biological phosphorous removal under anaerobic condition[J]. Wat Res, 2002, 36: 49 - 58.
- [4] 朱晓君,周增炎,高廷耀. 低氧活性污泥法脱氮除磷工艺生产性研究[J]. 中国给水排水, 1997, 增刊: 12 - 15.
- [5] 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.
- [6] Brdjanovic D, Slamet A, Loosdrecht M C M, et al. Impact of excessive aeration on biological removal from wastewater[J]. Wat Res, 1998, 32(1): 200 - 208.
- [7] Imre Takács, Ernő Fleit. Modeling of the micromorphology of the activated sludge floc: low DO, low F/M bulking[J]. Wat Sci Tech, 1995, 31: 235 - 243.

电话: (010) 67392627

E-mail: eleanor75@sina.com

收稿日期: 2004 - 03 - 15