

杨 庆,王淑莹,杨岸明,等. 2006. 基于三层网络的 SBR 法深度脱氮智能控制系统的中试研究[J]. 环境科学学报, 26(5): 745 - 750

Yang Q, Wang S Y, Yang A M, et al. 2006. Advanced nitrogen removal using pilot-scale SBR with intelligent control system built on three layer network [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 26(5): 745 - 750

基于三层网络的 SBR 法深度脱氮智能控制系统的中试研究

杨 庆¹, 王淑莹^{1,*}, 杨岸明¹, 郭建华², 薄凤阳³, 彭永臻¹

1. 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

2. 哈尔滨工业大学, 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090

3. 北京万维博大自控科技有限公司, 北京 102600

收稿日期: 2005-03-30 录用日期: 2006-04-04

摘要:以一座处理量为 $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的 SBR 法中试系统为研究对象, 将三层网络智能控制技术引入 SBR 工艺中, 并对该智能控制系统的深度脱氮效果和稳定性进行了中试研究. 在 SBR 法硝化反硝化过程中, pH、DO、ORP 曲线上会出现反映生物脱氮进程的特征点, 以 pH、DO、ORP 为控制参数建立的智能控制策略可以准确判断反应的终点, 避免了过度曝气, 在保证深度脱氮的前提下节省了能耗. 经过 10 个月的稳定运行, 即使在温度较低的情况下, 该 SBR 法智能控制中试系统出水的各项指标完全能够达到国家污水排放一级标准, 并且达到了深度脱氮的效果, 出水 COD 低于 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

关键词:三层网络技术; SBR; 深度脱氮; 智能控制

文章编号: 0253-2468(2006)05-0745-06 中图分类号: X703.1 文献标识码: A

Advanced nitrogen removal using pilot-scale SBR with intelligent control system built on three layer network

YANG Qing¹, WANG Shuying^{1,*}, YANG Anming¹, GUO Jianhua², BO Fengyang³, PENG Yongzhen¹

1. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022

2. The School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090

3. Beijing Wanweiboda Automatic Control Limited Company, Beijing 102600

Received 30 March 2006; accepted 4 April 2006

Abstract: Since eutrophication has become increasingly severe in China, nitrogen and phosphorous has been the concern of waster treatment, especially nitrogen removal. The stabilization of the intelligent control system and nitrogen removal efficiency was investigated in a pilot - scale aerobic - anoxic sequencing batch reactor (SBR) with treatment capacities of $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Characteristic points on the profiles of DO, pH, and ORP can exactly reflect the process of nitrification and denitrification. Using the intelligent control system not only could save energy, but also could achieve advanced nitrogen removal. Applying the control strategy water quality of the effluent can stably meet the national first discharge standard during experiment of 10 months. Even at low temperature ($T = 13^\circ\text{C}$), COD and TN in the effluent were under $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively.

Keyword: three layer network; SBR; advanced nitrogen removal; intelligent control

1 引言 (Introduction)

随着我国污水处理事业的蓬勃发展, 国家对污水排放要求也越来越严格, 但是由氮磷污染引起的水体富营养问题不仅没有解决, 而且有日益严重的

趋势. 我国在 2002 年新颁布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》中增加了总氮、总磷最高允许排放浓度, 同时也对出水氨氮提出了更严格的要求. 可见, 污水处理的主要矛盾已逐渐由有机污染物的去除转变为氮、磷污染物的去除. 然而, 目前我国污水

基金项目: 国家“863”重大科技专项项目 (No. 2004AA601020); 北京工业大学研究生科技基金 (No. ykj-2005-103)

Supported by the Hi-Tech Research and Development Program of China (863) (No. 2004AA601020); Technology Project of Graduate, Beijing University of Technology (No. ykj-2005-103)

作者简介: 杨 庆 (1979—), 男, 博士生, E-mail: bf58021@163.com; * 通讯作者 (责任作者): E-mail: wsy@bjut.edu.cn

Biography: YANG Qing (1979—), male, Ph. D. candidate, E-mail: bf58021@163.com; * Corresponding author: E-mail: wsy@bjut.edu.cn

处理厂脱氮除磷普遍存在着能耗高、效率低以及运行不稳定的缺点. 如何提高污水处理脱氮效率, 降低处理能耗是污水处理研究的重点和难点. 目前, 可控性好、运行操作灵活的 SBR 工艺已在污水处理领域得到广泛的应用. SBR 工艺最大的缺点是运行管理复杂, 自动化水平要求高, 只有实现 SBR 工艺的自动控制, 才能发挥其优势. 近年来随着现代控制技术和计算机技术的飞速发展, 为 SBR 工艺的发展注入了生机, 使其发展成为简单可靠、经济实用的高效污水处理工艺. 本文以一座处理量为 $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的 SBR 法中试系统为研究对象, 将三层网络智能控制技术引入 SBR 工艺中, 并对该智能控制系统的深度脱氮效果和稳定性进行了中试研究.

2 三层网络技术简介(Three-layer network technology)

三层网络控制系统属于集散型的控制系统, 整个系统分为管理级、控制级、现场级, 一般由多台工控机和现场终端机联接组成, 通过网络将现场控制站、监测站和操作管理站、控制管理站及工程师站联接起来, 共同完成分散控制和集中操作管理的综合控制系统.

在工业控制中应用的三层网络一般是指现场总线网络、执行控制网络和控制管理网络.

现场需要大量在线测量仪表. 为了提高仪表系统的可靠性和抗干扰能力, 节约安装成本, 可以采用支持现场总线的仪表, 即所有仪表都挂接到一条双绞线上, 总线上传输的是打包的数据, 在接收端自动对数据进行校验, 节省了大量的电源线和信号线, 也彻底避免了干扰信号. 这就构成了系统中最基础的第一层网络——现场总线网络.

为了提高系统的可靠性, 工业控制系统多数采

用高性能的 PLC(可编程序控制器). PLC 根据输入的开关量和模拟量反馈信号, 通过高速周期扫描监控程序来控制所有的执行器, 实现生产过程的自动控制. 各 PLC 通过光纤联网, 形成控制系统的第二层执行控制网. 控制网和现场总线通过网桥连接.

中控室的监控计算机采用 IPC, 通过通讯模块接入控制网. 工作人员通过人机界面来监控现场工作状态. 同时, 采用工业服务器, 管理系统的各工作站通过以太网联成局域网. 中控室 IPC 也是局域网的工作站, 来自控制网的系统状态信号通过 RSSQL 连接工具与服务器的数据库连接. 这就是第三层智能控制管理网. 基于三层网络和数据库的控制系统, 为实现管控一体化, 提供了有效的平台.

3 SBR 法污水处理智能控制中试系统的组成和功能(Composition and function of wastewater treatment intelligent control system in pilot-scale SBR)

3.1 中试系统工艺流程简介

本中试系统建于北京市北小河污水处理厂初沉池附近, SBR 反应器池体由钢板焊制, 内部做防腐处理, 反应器装置如图 1 所示. 试验采用北小河水厂初沉池出水, 进水泵设置在初沉池的排水检查井中, 进水量既可通过浮球液位计来控制, 也可通过时间控制. 当进水量满足要求后, 停止进水泵, 启动鼓风机进行曝气, 反应过程中在线检测 DO、ORP、pH 来监测生化反应的进程, 反应完成后, 鼓风机停止曝气. 在考虑脱氮除磷的系统中, 反硝化阶段或厌氧放磷阶段需启动潜水搅拌机, 以保证混合均匀及污泥处于悬浮状态. 根据反应的需要有时会启动碳源投加泵为系统补充碳源. 整个反应过程全部根据在线传感器的信息, 按照智能控制策略操作运

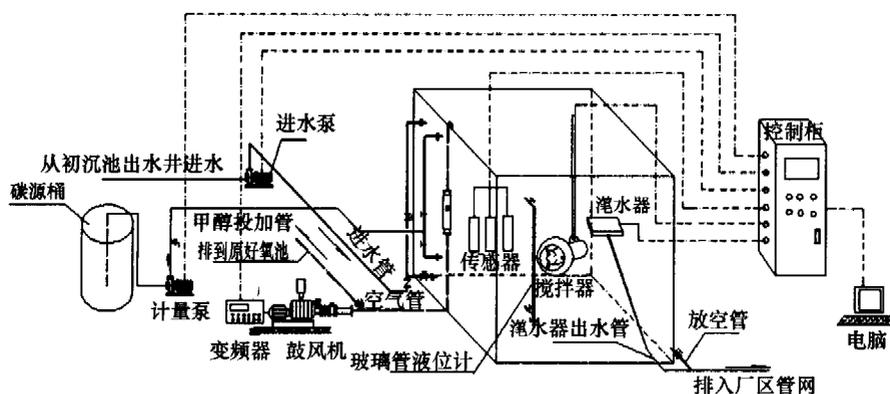


图 1 中试反应器结构及设备图

Fig. 1 Schematic diagram and instructions of the pilot-scale reactor

行.反应全部完成后按照设定的时间进行沉淀,之后进入排水阶段,通过滗水器排水,排水完成后进入闲置阶段等待进入下一个周期.

3.2 控制系统的组成和功能

本套智能控制的中试系统,利用三层网络集散式控制的思想,设立三个控制层:就地手动控制层、

现场中央控制层、远程监视控制层.系统的结构与功能如图 2 所示,控制系统通过传感器对进水量、DO、ORP、pH、温度等参数进行连续实时监测,并以此对进水泵、鼓风机、搅拌器、加药泵、滗水器、排泥泵等设备进行自动调节与控制,以保证出水水质.

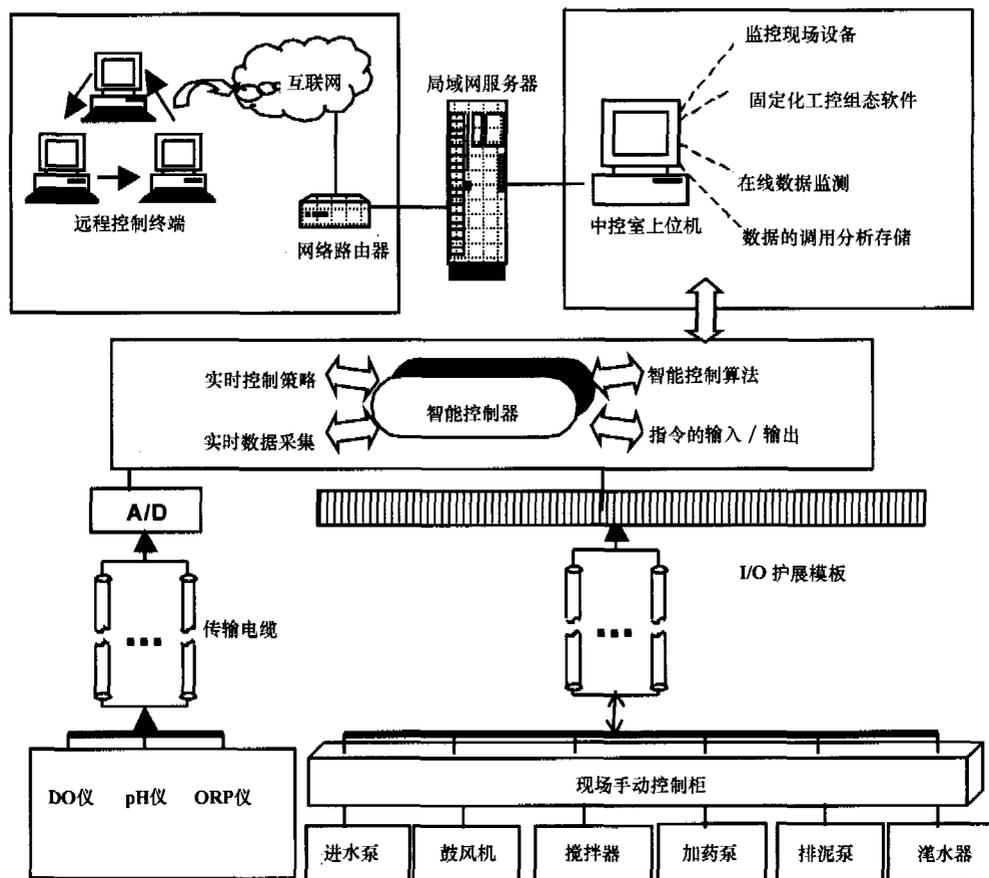


图 2 控制系统的结构与功能示意图

Fig. 2 Schematic diagram and configuration of the control system

就地手动控制层主要由一次仪表(如 DO、ORP、pH 传感器等)、现场控制设备等组成.通过操作工作室的现场手动控制箱和各种设备及控制执行单元上自带的控制开关,实现现场控制单元,如进水泵、鼓风机、搅拌器、滗水器等机械电器设备的控制.就地手动控制操作具有最高的优先权.

现场中央控制层是实现系统智能控制的关键,也是远程管理级与现场各个设备之间的枢纽.本中试系统的现场中央控制层由智能控制器及其扩展模板、中控上位机等组成.现场各设备监控点的物理参数,均由对应的一次仪表传感器或变送器检测出来并转换为 4~20mA 电流信号,传输到智能控制器内,控制器通过各种模块接口采样电信号;根据

中控上位机或远程控制台给出的指令和固化在控制器本身的控制策略做出判断,控制信号同样由控制器输出,送到执行机构,控制执行机构的动作.

上位机为一台工业控制计算机,作为工程师工作站;工作站通过 MB+网同现场的控制站相连.上位机操作系统采用 Windows 2000,监控软件采用工业自动化软件.上位机可显示全部工艺的模拟画面,可对系统的所有设备进行操作和控制.其主要任务包括对 SBR 中试系统进行数据采集及控制参数的设置;完成数据采集及控制自动化系统的组态;同时可进行在线、离线编程及设定参数的修改;监控生产作业过程,包括显示控制过程画面和实时数据,显示系统总体框图;绘制重要参数的变化趋

势图;显示设备的工作状态;故障报警;历史数据的统计分析和存储;辅助管理日常生产业务,提供决策参考。

远程控制层支持 TCP/IP 通讯协议的远程终端,可通过 Internet 利用 Web 浏览器,访问现场中央控制层的服务器以实现远程的监控。

4 智能控制器控制策略的建立与验证 (Buildup and examination of control strategies)

控制策略是整个控制系统的灵魂,本套中试系统的主要研究内容也正是建立 SBR 法去除有机物及脱氮过程的控制策略并验证其稳定性。对 SBR 工艺进行控制的主要目标就是在保证出水水质的前提下尽可能的节省运行费用。SBR 工艺传统的控制方法主要是时间程序控制,根据各个运行阶段所需的时间进行预先设定后实施自动控制,这种控制方法的缺点在于不能根据废水水质实际变化情况及时调整运行参数,从而难以实现自适应的过程控制。如果按某一相同的反应时间控制 SBR 法运行,当进水浓度高时出水水质不合格,当进水浓度低时反应时间过长,既浪费了能源又易于发生污泥膨胀。

由于目前尚未开发出经济准确的在线有机物、氮、磷的传感器,更使传统的反馈控制无用武之地,由于传统控制具有不可避免的缺点,只有实现 SBR 法的智能控制才能充分发挥该工艺的优点。

4.1 智能控制策略建立的基本思想

Peng 等 (2002)、曾薇等 (2000)、高大文等 (2003)、王淑莹等 (1998) 通过对 SBR 污水处理工艺及其控制系统的长期研究与探索,选择了能够在

线检测、响应时间短、精度较高的氧化还原电位 (ORP)、溶解氧 (DO) 浓度和 pH 值等作为该工艺处理过程的被控制变量。这些变量与 SBR 工艺去除有机物及脱氮过程存在良好的相关性,图 3 和图 4 分别给出了 DO、ORP 和 pH 在 SBR 法去除有机物和脱氮过程的典型变化规律。

如图 3 所示反应的前 20 min 为 SBR 法去除有机物过程,当有机物降解结束时,DO 会出现一个小的跃升,由 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 上升到 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,DO 并没有上升至很高的水平。之后的反应过程为 SBR 法硝化阶段,当硝化结束时,在 DO 曲线上会出现“氨氮突跃点”(ammonia break point),而在 pH 曲线上会出现“氨氮谷点”(ammonia valley)。此时如果不及时停止曝气既浪费了能源又易于发生污泥膨胀。如图 4 所示的 SBR 法反硝化过程中,反硝化结束时在 ORP 曲线上会出现“硝酸盐膝”(nitrate knee),而在 pH 曲线上会出现“硝酸盐峰”(nitrate apex)。根据反硝化结束的特征点及时停止搅拌,可以节省搅拌的费用。

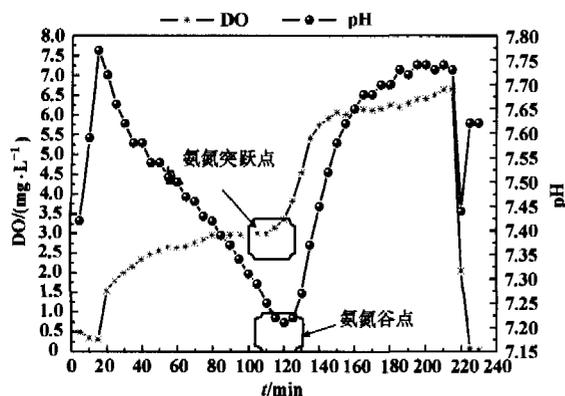


图 3 SBR 法去除有机物及硝化过程中典型的 DO、pH 变化规律

Fig. 3 Typical variations of DO and pH for organic substrate removal and nitrification process in SBR

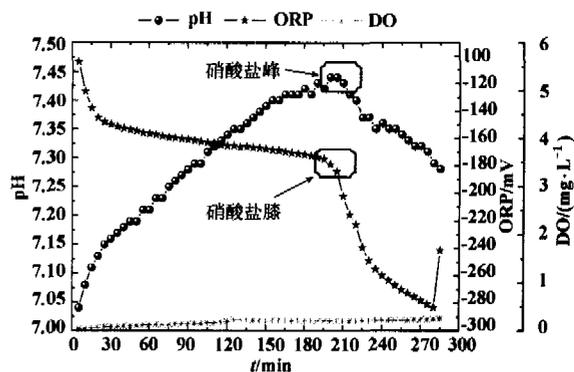


图 4 SBR 法反硝化过程中典型的 ORP、pH 变化规律

Fig. 4 The typical variations of ORP and pH in SBR denitrification process

通过对 SBR 法反应过程中 DO、ORP 和 pH 变化规律的分析可知,采用探测 DO、ORP 和 pH 的特征点的方法可以实现去除有机物、硝化和反硝化的过程控制。根据不同目标,建立在线模糊控制系统,以 DO、ORP、pH 作为 SBR 法去除有机物、硝化和反硝化的模糊控制参数,建立模糊控制器,本课题组已基本完成 SBR 法以出水水质为目标的模糊控制基础研究(高景峰等,2003;2002)。

4.2 智能控制系统的运行方案与控制系统流程

以深度脱氮为目标的 SBR 法中试智能控制系统的运行方案拟采用的典型运行方式如下:进水、

曝气、反硝化、沉淀、排水、闲置. 具体的控制流程图见图 5. 根据以上运行方案, 去除控制过程中的干扰信号, 对整个控制系统进行模拟实验和生产性实验验证. 本套 SBR 法智能控制系统中试出水各项指标完全能够达到国家污水排放一级标准(图 6、图 7), 出水 COD 低于 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 稳定运行 10 个月. 在试验过程中, 即使在温度较低的情况下, 仍可根据在线参数的变化点对系统进行控

制. 温度为 13.1°C 时, SBR 法一个反应周期内在线参数及氮的变化规律见图 8. 如图可知, 在低温条件下, 由于氧转移效率提高, 所以混合液中的溶解氧较高, 此时 DO、ORP 在好氧阶段硝化结束时都不会出现变化点, 而 pH 受温度影响较小, 仍能在硝化结束时出现变化点 a, 在反硝化结束时, 出现变化点 b, 保证了控制系统在冬季仍能稳定运行.

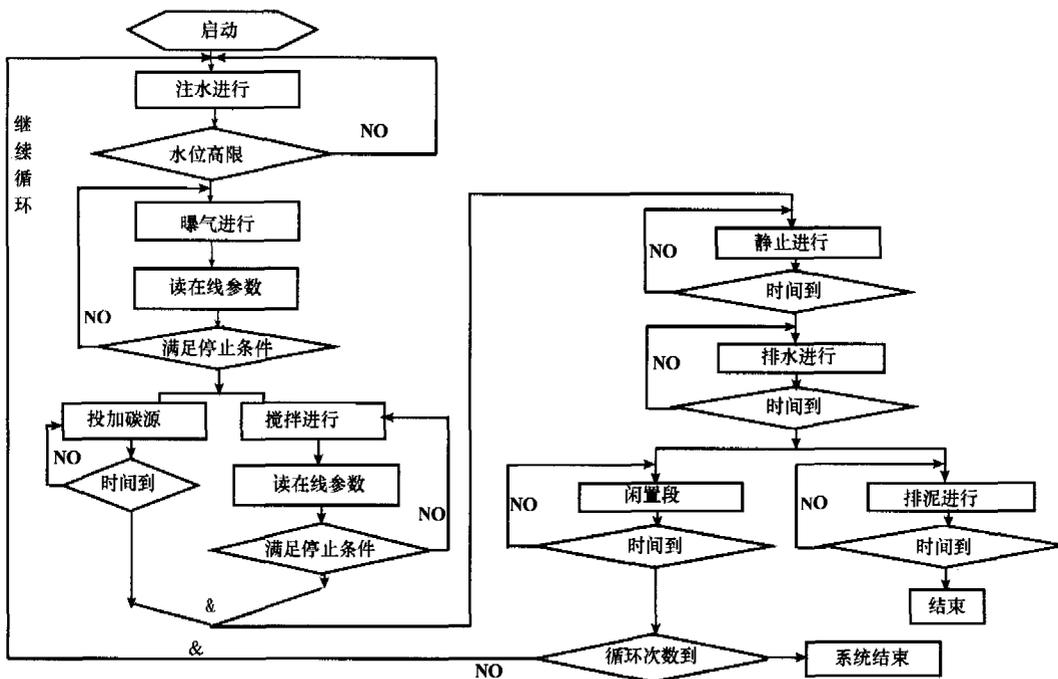


图 5 SBR 法智能控制系统流程图

Fig. 5 Configuration of intelligent control system in SBR

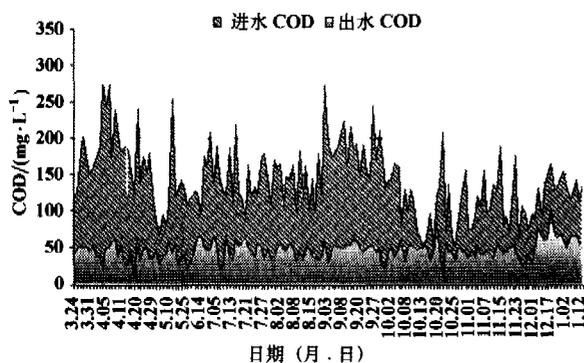


图 6 中试系统 COD 去除情况

Fig. 6 The COD variation of the influent and the effluent in pilot-scale system

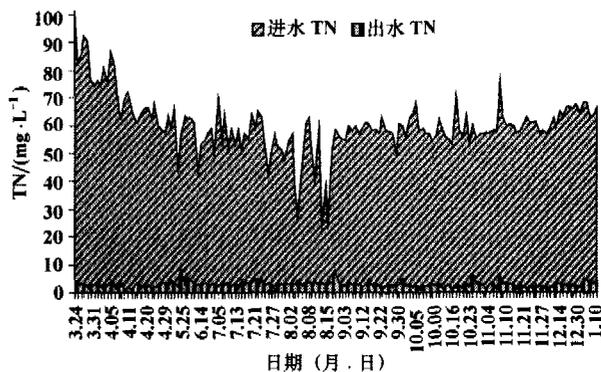


图 7 中试系统 TN 去除情况

Fig. 7 The TN variation of the influent and the effluent in pilot-scale system

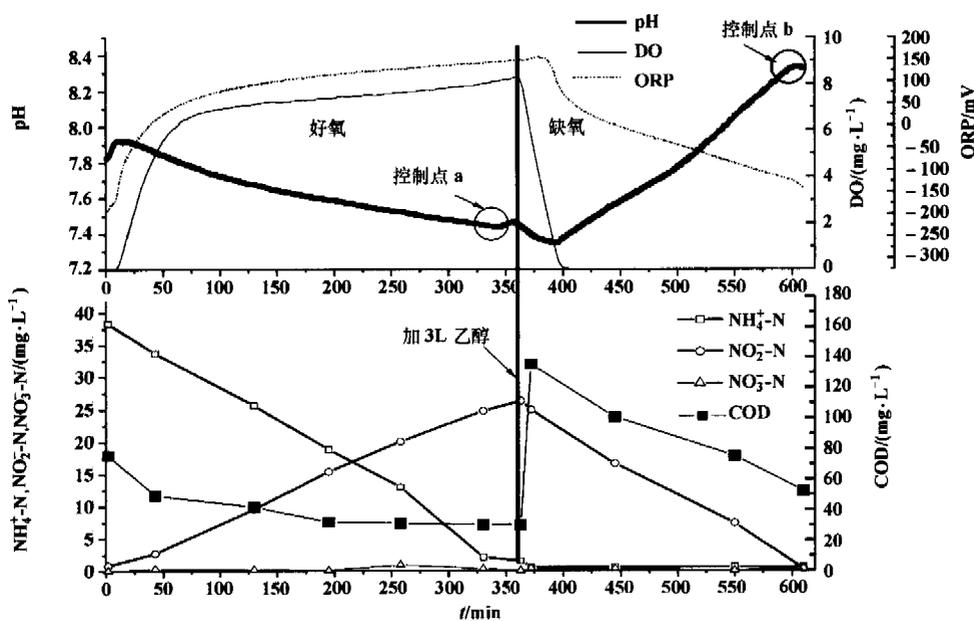


图8 SBR法一个反应周期内在线参数及氮的变化规律 ($T = 13.1^{\circ}\text{C}$)

Fig. 8 Variations of on-line monitoring parameters and nitrogen concentration in the pilot-scale SBR ($T = 13.1^{\circ}\text{C}$)

5 结论 (Conclusions)

1) 以一座处理量为 $60\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的 SBR 法中试系统为研究对象, 将三层网络智能控制技术引入 SBR 工艺中。基于三层网络和数据库的控制系统, 为实现管控一体化, 提供了有效的平台。

2) 在 SBR 法硝化反硝化过程中, pH、DO、ORP 曲线上会出现反映生物脱氮进程的特征点, 以 pH、DO、ORP 为控制参数建立的智能控制策略可以准确判断反应的终点, 根据以上控制策略建立的在线智能控制系统, 在保证出水水质稳定达标的基础上, 避免了过度曝气, 节约了能耗, 大幅度的降低了运行费用。

3) 对该智能控制系统的深度脱氮效果和稳定性进行中试研究, 本套 SBR 法智能控制系统中试出水各项指标完全能够达到国家污水排放一级标准, COD 低于 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总氮低于 $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 稳定运行 10 个月。在试验过程中, 即使在温度较低的情况下, 仍可根据在线参数的变化点对系统进行控制。

通讯作者: 王淑莹 (1953—), 女, 教授, 研究方向为污水生物处理技术及其智能控制。

References:

Gao D, Peng Y Z, Wang S Y, et al. 2003. Using ORP and pH value to

- control treatment of soybean wastewater [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 35(6):647--650 (in Chinese)
- Gao J F, Peng Y Z, Wang S Y, et al. 2003. Use of pH as Fuzzy Control Parameter for Nitrification in SBR Process [J]. Chin J Appl Environ Biol, 9(5):549--553 (in Chinese)
- Gao J F, Peng Y Z, Wang S Y. 2002. Characters of Fuzzy Control Parameters pH and ORP of Denitrification in SBR Process [J]. Environmental Scienc, 23(1):39--44 (in Chinese)
- Peng Y Z, Gao J F, Wang S Y, et al. 2002. Use pH and ORP as fuzzy Control parameters of denitrification in SBR process [J]. Wat Sci Tech, 46(4-5):131--137
- Wang S Y, Peng Y Z, Zhou L. 1998. The control parameter of SBR process and its reaction time using DO [J]. China Environmental Science, 18(5):415--418 (in Chinese)
- Zeng W, Peng Y Z, Wang S Y, et al. 2000. Fuzzy Control of SBR Process Using DO as Paramete [J]. China Water & Wastewater, 16(4):5--10 (in Chinese)

中文参考文献:

- 高大文, 彭永臻. 2003. 利用 ORP 和 pH 控制豆制品废水的处理过程 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 35(6):647--650
- 高景峰, 彭永臻, 王淑莹. 2003. 以 pH 作为 SBR 法硝化过程模糊控制参数的基础研究 [J]. 应用环境生物学报, 9(5):549--553
- 高景峰, 彭永臻, 王淑莹. 2002. SBR 法反硝化模糊控制参数 pH 和 ORP 的变化规律 [J]. 环境科学, 23(1):39--44
- 王淑莹, 彭永臻, 周利, 等. 1998. 用溶解氧作为 SBR 法反应过程和反应时间控制参数 [J]. 中国环境科学, 18(5):415--418
- 曾薇, 彭永臻, 王淑莹, 等. 2000. 以溶解氧浓度作为 SBR 法模糊控制参数 [J]. 中国给水排水, 16(4):5--10