

# SBR 工艺降解有机物及过程控制

董国日, 彭永臻

(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 100124)

**摘要:** 根据 SBR 工艺反应过程特点和规律, 首次提出了成分参数、过程参数和工艺参数 3 个概念, 以便更深入地分析 SBR 工艺反应过程这些参数之间的关系, 提出更好的过程控制策略, 根据过程参数变化规律特征来判断成分参数的存在状态和数量, 进而控制和调节反应过程的工艺参数。在所提出的这 3 个参数概念和现有研究文献基础上, 系统总结了 SBR 工艺有机物降解过程中 COD、DO、ORP、pH 数值曲线变化, 讨论了成分参数 COD 与过程参数 DO、ORP、pH 之间以及过程参数 DO、ORP、pH 相互间的相关性, 探讨了利用 DO、ORP、pH 进行智能模糊控制的可能性, 为 SBR 工艺的设计及其自动化控制提供理论基础。

**关键词:** SBR; ORP; DO; pH; 周期变化; 有机物降解

**中图分类号:** X 703

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0254-0037(2010)01-0063-08

SBR 工艺是自动化控制要求比较高的工艺。传统的控制方法是时间程序控制, 即确定 SBR 法各阶段所需的时间后实现其计算机控制。而由于废水间歇或变化排放, 且其浓度随时间变化很大, 往往相差几倍或几十倍, 如果按相同的反应时间控制 SBR 运行, 则当进水浓度高时出水不达标, 当进水浓度低时曝气时间过长, 浪费能源还易发生污泥膨胀。因而为实现 SBR 法更高层次的计算机在线控制, 必须寻找既能反映进水 COD 质量浓度变化及反应过程中的降解情况又能作为计算机控制的参数, 这是深化 SBR 自动控制的重要研究课题。研究 SBR 工艺周期运行参数变化特点, 就是为 SBR 自动控制的深化做基础准备。

SBR 工艺周期中发生变化的参数很多, 根据污水处理中所要除去的物质、随工艺过程发生变化的参数以及可以进行人工调节的参数, 大体可以分为成分参数、过程参数以及工艺参数。成分参数主要指要被去除的物质, 包括有机物质和营养物质氮、磷, 在 SBR 工艺反应过程中, 有机物质主要是指  $\rho(\text{COD})$  的变化特征, 营养物质主要指  $\rho(\text{NH}_4^+)$ 、 $\rho(\text{NO}_3^-)$ 、 $\rho(\text{NO}_2^-)$  以及  $\rho(\text{PO}_4^{3-})$  等的变化特征。过程参数则主要指  $\rho(\text{DO})$ 、 $V(\text{ORP})$ 、pH、碱度等的变化特征。过程参数在反应过程中都能发生明显变化, 并与成分参数建立一定程度上的对应关系。工艺参数指在 SBR 单周期变化中基本不随进程发生变化, 但可以通过人为调节来改变数值, 从而影响成分参数和过程参数变化的参数, 包括曝气量、温度等。3 类参数均为活性污泥生存环境的因素, 或是影响环境的因素, 因而也可合称为环境参数。

根据微生物除去污染物质的特点, SBR 工艺分成两大类运行模式, 一类是单纯为去除有机物的运行模式, 一类为脱氮除磷的运行模式。本文仅讨论 SBR 工艺单纯去除有机物运行模式中周期变化特征。

SBR 有机物降解运行模式除进水方式有所不同外, 其他阶段运行方式基本一致, 均为进水、曝气反应、沉淀、排水排泥、闲置。进水方式根据进水水质的不同(污水是否有毒、有机物浓度的高低等)而分为 3 种进水方式: 限时曝气进水、半限时曝气进水、非限时曝气进水。为讨论方便, 以无毒污水的限时曝气方式做为 SBR 工艺的最基本运行模式。

## 1 SBR 工艺周期变化特征

研究表明, 单纯以有机物降解为目的的 SBR 工艺, 单周期过程中, 发生明显变化的包括成分参数

收稿日期: 2008-09-17

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点资助项目(2006BAC19B03)。

作者简介: 董国日(1968—), 男, 山东莱西人, 助理研究员。

COD 过程参数 DO、ORP、pH 等,当然,寻找与成分参数有更好相关性的过程参数仍在研究中。

研究 SBR 运行参数的变化一般有 3 种方法,第 1 种是参数本身数值变化曲线,由参数本身的数值构成;第 2 种是参数数值变化率的变化曲线,也称为参数的一导曲线;第 3 种是参数加速度曲线,也就是参数的二导变化曲线。这 3 种参数曲线均具有一定的曲线特征,并与成分参数有一定的对应关系。

### 1.1 COD 在 SBR 工艺周期运行过程中的特征变化

不同种类的微生物由于其自身代谢的特点不同,能降解不同种类的有机物质,因而,对于含有不同种类有机物的废水,对同一类微生物而言,可分为易降解有机物和难降解有机物。利用 SBR 工艺处理废水时,同样发现进入 SBR 池的废水含有易被微生物降解的有机物和难被微生物降解的有机物,因为在一定条件下,无论怎样延长 SBR 的反应时间都有一部分有机物不能被进一步降解,该有机物称为该条件下的难降解 COD 物质<sup>[1]</sup>。易被微生物降解的有机物被降解完后,由于难降解有机物不被该条件环境中的微生物所利用,因而  $\rho(\text{COD})$  值趋于稳定,如图 1 所示<sup>[1]</sup>。不同废水具有不同的难降解 COD 物质,达到难降解 COD 水平时所具有的  $\rho(\text{COD})$  值也不同。化工废水在 COD 降解到 150~200 mg/L 时,若延长反应时间, COD 降解的很少,而豆制品废水却仍能降解,直到  $\rho(\text{COD})$  降到 50 mg/L 左右<sup>[2]</sup>。

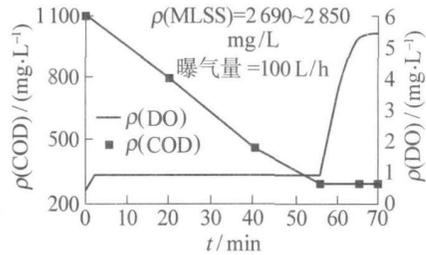


图 1  $\rho(\text{COD})$  与  $\rho(\text{DO})$  随时间的变化

Fig 1 Variation of  $\rho(\text{COD})$  and  $\rho(\text{DO})$  with time

由于活性污泥对有机物的吸附作用,因而废水中有机物在 SBR 工艺中的降解过程基本上可以分为 3 个阶段:有机物快速吸附阶段、易降解有机物降解阶段、难降解有机物不易降解阶段。反应初期  $\rho(\text{COD})$  值大,微生物产生较强吸附作用,表现为 SBR 工艺曝气开始时  $\rho(\text{COD})$  的大幅度降低,此时尽管  $\rho(\text{COD})$  降低,但不是微生物的耗氧降解作用的结果,在反应开始后一段时间内,微生物才开始快速耗氧降解 COD,因而此阶段可称为有机物快速吸附阶段。第 2 阶段  $\rho(\text{COD})$  继续降低,但降低的幅度及速率有所下降,此阶段主要是微生物耗氧降解溶液中的易降解有机物,耗氧速率保持恒定,反应器中  $\rho(\text{DO})$  表现为一恒定值,因而为易降解有机物降解阶段。最后阶段为难降解有机物不易降解阶段,此时  $\rho(\text{COD})$  很低,数值基本不变,溶液中的有机物已经不能被微生物所利用;达到难降解有机物不易降解阶段时,反应器中的  $\rho(\text{DO})$  会有一个大幅度的上升,在此阶段,  $\rho(\text{DO})$  维持在最高水平。

毒性有机物废水的 COD 降解曲线特征会根据有机物毒性大小、进水方式及污泥活化程度的不同而与上述 COD 降解规律有所不同<sup>[3]</sup>。污泥初始活性强,有机物毒性大,则其 COD 降解曲线会出现明显的解吸与降解的交替,表现为反应器中  $\rho(\text{COD})$  值下降过程中的回升,但其总趋势仍然是下降的。

含盐污水 COD 降解曲线亦具有很好的规律性,与无毒污水一致,只是盐度影响了有机物的降解速度和降解程度<sup>[4]</sup>。随着盐度的增加,易降解有机物降解速度逐渐下降,剩余难降解有机物浓度逐渐增加。但受盐度冲击的含盐污水中 COD 降解速率及耗氧速率会急剧下降,有机物降解会始终缓慢进行, COD 降解不再具有明显的规律性。

### 1.2 DO 在 SBR 工艺单周期运行过程中的特征变化

DO 在 SBR 工艺各个反应周期的变化规律基本相同,大致可分为 4 个阶段,如图 2 所示<sup>[2]</sup>:初始反应启动期、平衡溶氧期、第 2 溶氧上升期、第 2 溶氧平台期<sup>[1-2, 5-6]</sup>。初始反应启动期:反应初期,由于供氧速率远远大于耗氧速率,且反应开始时 SBR 反应器内的  $\rho(\text{DO})$  基本为零,因而  $\rho(\text{DO})$  会在短时间内(约 10 min 左右)大幅度升高至某一高度,随后会由于耗氧速率的迅速增大而快速下降,最终当耗氧速率与供氧速率达到平衡时,  $\rho(\text{DO})$  将逐渐趋于平稳而进入平衡溶氧期;因而,在初始反应启动期,溶氧曲线会产生一个凸峰。平衡溶氧期:平衡溶氧期由于供氧速率和耗氧速率基本一致,溶氧值因而基本不变,维持稳定,这一状态将会持续到 COD 达到其难降解程度为止。由于溶氧曲线表现为一平台,因而也称为溶氧平台期,这一

时期的溶氧浓度也称为平衡溶氧浓度. 第 2 溶氧上升期: COD 达到难降解程度时,  $\rho(\text{DO})$  都会有一个明显、迅速的大幅度升高, 而且  $\rho(\text{DO})$  都升至 5.5~6.8 mg/L 而逐渐平稳达到一个新的平衡, 原因在于, 当 COD 达到难降解程度时, 反应器中的有机物很难进一步被利用, 其有机物降解的耗氧速率 (OUR) 也接近零, 由于曝气量恒定, 供氧速率远远大于耗氧速率, 使  $\rho(\text{DO})$  迅速大幅度上升; 随着  $\rho(\text{DO})$  的增加, 氧转移速率即供氧速率也逐渐随之减小, 当微生物内源呼吸的 OUR 与供氧速率相等时,  $\rho(\text{DO})$  又表现出新的平衡. 第 2 溶氧平台期: 第 2 溶氧上升期末, DO 重新出现新的平衡时, 即进入第 2 溶氧平台期, 此期微生物无法利用反应器中的难降解有机物, 只能利用自身的物质, 又称为内源呼吸期, 耗氧速率也为内源呼吸速率. 此期由于微生物不再降解有机物, 继续曝气已无意义.

有毒制药废水的  $\rho(\text{DO})$  曲线与上述常规  $\rho(\text{DO})$  曲线有所不同<sup>[3]</sup>. 有毒制药废水的  $\rho(\text{DO})$  曲线由于活性污泥微生物对底物的无毒化与解降的周期性交替而出现特有的周期性波动: 无毒化时耗氧速率小于供氧速率,  $\rho(\text{DO})$  曲线上升, 降解过程耗氧速率大于供氧速率,  $\rho(\text{DO})$  曲线下降; 但易降解物质接近结束达到难降解阶段时,  $\rho(\text{DO})$  曲线仍会出现陡升, 这与常规  $\rho(\text{DO})$  曲线是一致的. 反应中  $\rho(\text{DO})$  曲线波动出现的早晚可以反映废水的毒性, 波动出现的越晚, 说明废水毒性越强, 反之废水毒性较弱.

含盐污水的  $\rho(\text{DO})$  曲线具有 2 种情况<sup>[4]</sup>. 经过无机盐驯化稳定运行的活性污泥系统, 其  $\rho(\text{DO})$  曲线与常规  $\rho(\text{DO})$  曲线具有一致性, 而盐度冲击时的  $\rho(\text{DO})$  曲线形状完全改变,  $\rho(\text{DO})$  总体上一直攀升, 不再具有明显的变化规律.

### 1.3 ORP 在 SBR 工艺周期运行过程中的特征变化

相同条件下, ORP 在 SBR 各个反应周期的变化规律基本相同, 如图 3 所示. 资料表明,  $V(\text{ORP})$  与  $\rho(\text{DO})$  有线性关系,  $V(\text{ORP}) = a + b \ln[\text{O}_2]$ <sup>[7]</sup>, 因而,  $V(\text{ORP})$  的曲线变化和 DO 有一定相关性. 研究表明<sup>[6-10]</sup>, 反应之初,  $\rho(\text{DO})$  迅速上升,  $V(\text{ORP})$  升高的速度也很快,  $\rho(\text{DO})$  初始升至最大值后,  $V(\text{ORP})$  升高速度变缓, 初始  $\rho(\text{DO})$  开始下降并进入平台期时,  $V(\text{ORP})$  也出现下降, 与  $\rho(\text{DO})$  曲线不同的是,  $V(\text{ORP})$  曲线不出现平台, 而是出现凹点. 当  $\rho(\text{DO})$  再次升高时,  $V(\text{ORP})$  也再次出现快速升高. COD 进入难降解阶段,  $V(\text{ORP})$  将在最后出现一个平台. 因而 SBR 一个反应周期的  $V(\text{ORP})$  曲线会出现一个凸峰、一个凹谷及最后的一个平台. 凸峰意味着反应之初  $\rho(\text{DO})$  的快速上升带动  $V(\text{ORP})$  也快速上升, 凹谷代表大部份易降解有机物降解结束; 平台代表易降解有机物降解结束, 反应处于 COD 难降解阶段. 有研究表明, 有的 SBR 反应中  $V(\text{ORP})$  曲线不出现凹谷, 整个反应期间  $V(\text{ORP})$  一直不断上升, 原因可能在于有机负荷小或反应器中的初始  $\rho(\text{COD})$  值低.

为了更好地分析  $V(\text{ORP})$  变化所带来的信息, 人们还对  $V(\text{ORP})$  进行了一阶导数和二阶导数分析研究<sup>[10]</sup>.  $V(\text{ORP})$  一阶导数相当于  $V(\text{ORP})$  数值变化率曲线,  $V(\text{ORP})$  的二阶导数曲线相当于  $V(\text{ORP})$  的加速度曲线.  $V(\text{ORP})$  的一阶导数能很好地表征难降解阶段的开始, 当反应器内  $\rho(\text{COD})$  开始出现难降解程度时,  $V(\text{ORP})$  一阶导数出现最大值, 在导数图中表现为峰高的出现, 随后  $V(\text{ORP})$  导数曲线开始下降, 最后出现平台, 预示着反应器内 COD 不再降解, 如图 4 所示.  $V(\text{ORP})$  的二阶导数曲线能更详细和准确地表征反应器内 COD 降解情况.

### 1.4 pH 在 SBR 工艺周期运行过程中的特征变化

pH 值周期变化随进水有机物性质及进水 pH 值的不同而不同. 张敬东等<sup>[11]</sup>利用 SBR 法处理柠檬酸废水, pH 变化规律时发现, 进水 pH 为酸性, 反应器中进水阶段及初始反应阶段 pH 呈下降趋势, 达到最低

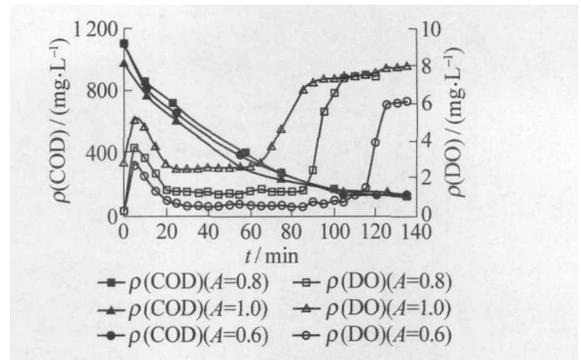


图 2 不同曝气量下  $\rho(\text{COD})$  和  $\rho(\text{DO})$  随时间的变化

Fig. 2 Changes of  $\rho(\text{COD})$  and  $\rho(\text{DO})$  with time at different aeration amount

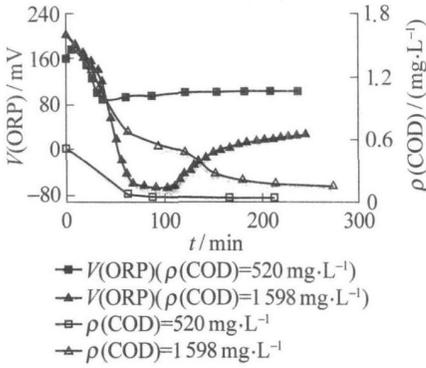


图3 不同进水  $\rho(\text{COD})$  对  $V(\text{ORP})$  变化的影响

Fig 3 Effect of the different in flow  $\rho(\text{COD})$  on change of  $V(\text{ORP})$

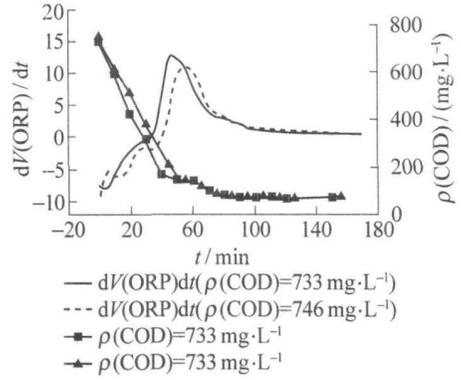


图4 降解 COD 过程中  $V(\text{ORP})$  一阶导数随时间的变化

Fig 4 The first derivative curve of  $V(\text{ORP})$  with time during COD removal

点后 pH 逐渐上升, 最后基本为中性; 进水 pH 为中性或碱性, 反应器中 pH 的变化趋势很缓慢, 在进水过程中会出现一个最高点, 但在整个进水阶段及反应阶段, 混合液的 pH 变化均不大. 高大文等<sup>[9]</sup> 研究豆制品废水时发现, 其 pH 变化大致分为 2 个区域, 即反应初期的波动区和反应结束时的平台区. 对其 pH 变化进行的一阶导数分析表明, 对应 COD 去除 66% 时 pH 导数由负变正, 之后出现一个小平台. 随着反应的进行, pH 导数逐渐减少, 最后接近于 0 如图 5 所示<sup>[9]</sup>.

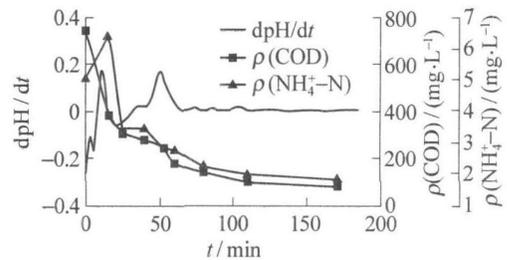


图5 降解 COD 和  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  过程中 pH 一阶导数随时间的变化

Fig 5 First derivative curve of pH with time during removal of COD and  $\text{NH}_4^+-\text{N}$

## 2 环境参数相关性

环境参数的相关性主要指成分参数与过程参数的相关性.

### 2.1 DO 与 COD 降解相关性

$\rho(\text{DO})$  变化曲线与 SBR 反应器中 COD 降解过程具有明显的相关性 (见图 1、图 2). 反应初期 COD 降解处于吸附阶段时,  $\rho(\text{DO})$  曲线处于初始反应启动期, 产生凸峰, 当 COD 处于易降解阶段时,  $\rho(\text{DO})$  曲线处于溶氧平衡期, 产生平台; 而当 COD 达到其难降解阶段时,  $\rho(\text{DO})$  迅速大幅度升高, 经过第 2 溶氧上升期, 达到新的平衡, 进入第 2 溶氧平台期, 标志着有机物基本被去除及反应的结束. 因而通过  $\rho(\text{DO})$  曲线可以了解反应器中有机物的降解情况, 及时判断反应的结束.

$\rho(\text{COD})$  变化与  $\rho(\text{DO})$  变化亦具有明显的相关性 (见图 2).  $\rho(\text{COD})$  高时, 初始反应期凸峰的最高值会相应变低, 第 1 溶氧平台期的值也会相应变低, 同时第 1 溶氧平台期时间延长;  $\rho(\text{COD})$  低时, 初始反应期凸峰的值会升高, 第 1 溶氧平台期的值也相应变高, 同时第 1 溶氧平台期的时间变短. 因而通过反应器中初始反应期凸峰的最高值以及第 1 平台期  $\rho(\text{DO})$  值可以预测初始  $\rho(\text{COD})$  值以及反应时间, 更好地控制 SBR 反应器的反应.

### 2.2 ORP 与 COD 降解的相关性

$V(\text{ORP})$  曲线与 COD 降解过程具有相关性<sup>[10]</sup>, 如图 6 所示<sup>[10]</sup>.  $V(\text{ORP})$  数值曲线的凹点和平台分别相对于 COD 的快速降解区和缓慢降解区.  $V(\text{ORP})$  凹点出现之前, 反应器内 COD 有 66% 被去除. 随着凹点出现, COD 的降解速度明显减慢, 从凹点出现到反应结束, 仅有 22% 的 COD 被去除. 当 COD 刚达到其

难降解质量浓度时,  $V(\text{ORP})$  增大的速率与幅度都明显增大, 此后其增大速率明显减缓, 出现平缓段, 最后  $V(\text{ORP})$  的值大约在  $0 \sim 40 \text{ mV}$  内保持平稳。对应 COD 去除 66% 的  $V(\text{ORP})$  导数由负变正, 之后出现一个小平台, 随着反应的进行,  $V(\text{ORP})$  导数逐渐减小, 最后接近于 0 意味着反应的结束 (见图 4)。  $V(\text{ORP})$  的一阶导数能很好地表征难降解阶段的开始, 当反应器内  $\rho(\text{COD})$  开始出现难降解程度时,  $V(\text{ORP})$  一阶导数出现最大值, 在导数图中表现为峰高的出现, 随后  $V(\text{ORP})$  导数曲线开始下降, 最后出现平台, 预示着反应器内 COD 已不再降解。  $V(\text{ORP})$  的二阶导数则能对 COD 降解各阶段做更细致和详细的划分, 分析  $V(\text{ORP})$  二阶导数曲线图可将 COD 难降解阶段进一步划分为 2 个阶段, 第 2 阶段反应器内 COD 的降解速度比第 1 阶段的降解速度进一步减小。

$V(\text{ORP})$  值曲线与初始  $\rho(\text{COD})$  具有明显相关性 (见图 3)。在其他条件不变的情况下, 进水  $\rho(\text{COD})$  越高, 反应过程中  $V(\text{ORP})$  凹点出现的时间越迟; 随着进水  $\rho(\text{COD})$  的增大, 凹点的  $V(\text{ORP})$  值减小, 并且  $V(\text{ORP})$  在凹点处的停留时间延长; 因而  $V(\text{ORP})$  凹点出现的时间可间接反映出进水质量浓度的大小。  $V(\text{ORP})$  经过凹点以后, 开始快速上升, 上升的速率与 COD 降解的速率基本相同, 当 COD 达到难降解程度时,  $V(\text{ORP})$  上升的变化量越来越小, 因此, 可以根据  $V(\text{ORP})$  上升的变化量实时预测反应器内  $\rho(\text{COD})$ 。

### 2.3 pH 与 COD 降解的相关性

pH 曲线与 COD 降解过程具有相关性。 pH 值上升缓慢, 数值曲线进入平台区, 意味着 COD 进入难降解阶段, 反应结束。就 pH 导数曲线来讲, COD 去除 66% 时, pH 导数由负变正, 当 pH 导数逐渐减小, 并最终接近 0 时, COD 进入难降解阶段 (见图 5)。

### 2.4 DO 与 ORP 的相关性

DO 与 ORP 的相关性受温度的明显影响。温度恒定时, DO 与 ORP 具有明显的相关性。温度发生变化时, DO 与 ORP 的相关性会变弱或不具相关性。

在其他条件不变的情况下,  $V(\text{ORP}) = a + b \ln[\text{O}_2]$ , 因而, 当  $\rho(\text{DO})$  出现平台时,  $V(\text{ORP})$  也会出现平台, 但  $V(\text{ORP})$  不只受  $\rho(\text{DO})$  的影响, 因而  $V(\text{ORP})$  的平台不如  $\rho(\text{DO})$  平台那么明显。当 COD 达到难降解程度,  $\rho(\text{DO})$  大幅度上升时,  $V(\text{ORP})$  也大幅上升。

在温度发生变化、反应器内温度不断下降的情况下,  $V(\text{ORP})$  变化趋势与恒定温度下基本相同, 因而仍然能判断反应的结束; 而  $\rho(\text{DO})$  则受环境温度的影响较明显, 难以用来判断 COD 降解情况, 此时 DO 与 ORP 的相关性变差<sup>[10]</sup>。

## 3 过程参数在 SBR 工艺智能控制中的应用

研究 SBR 工艺周期变化特征, 探讨过程参数与成分参数的相关性, 主要目的是为了实现 SBR 工艺的智能控制, 在这方面, 人们已经做了大量的工作, 尤其是在 SBR 工艺的模糊控制方面。

### 3.1 利用过程相关性控制反应结束

前面提到,  $\rho(\text{DO})$ 、 $V(\text{ORP})$ 、pH 曲线均与 COD 降解过程具有相关性。虽然温度会影响 DO 与 COD 的相关性, 且 pH 与 COD 降解的相关性还受废水水质的影响, 但对同一股废水而言, 在温度超过  $20^\circ\text{C}$ , 变化不太剧烈时, 其相关性是很明显的。

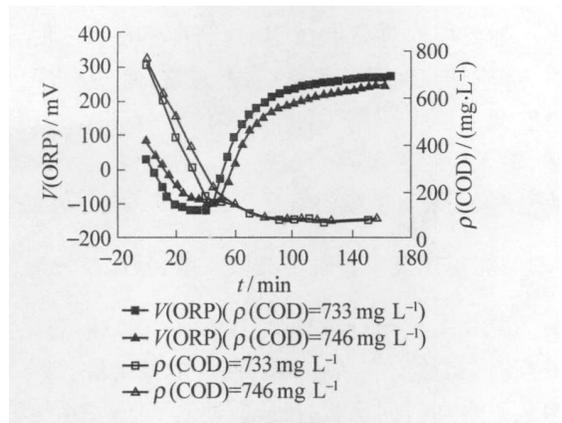


图 6 ORP 控制 COD 降解情况的重现性

Fig. 6 Stability of the ORP control during COD removal

当反应即将结束, COD 达到难降解程度时,  $\rho(\text{DO})$  迅速大幅度升高, 短时间内即可上升  $2.5 \text{ mg/L}$  左右, 反应结束时可达到  $6 \text{ mg/L}$  左右; 而  $V(\text{ORP})$  受  $\rho(\text{DO})$  影响, 亦大幅度上升, 上升速率可达到  $5 \text{ mV/min}$ , 是在此之前  $V(\text{ORP})$  上升速率的  $4\sim 6$  倍.  $\rho(\text{DO})$  和  $V(\text{ORP})$  的这一变化特点均可用模糊控制语言加以描述, 输入模糊控制器来控制反应的结束, 停止曝气<sup>[6]</sup>. 而  $V(\text{ORP})$  和  $\text{pH}$  在反应结束后其一阶导数均近似为 0, 亦可做为模糊语言变量加以描述进一步控制反应的结束.

### 3.2 利用浓度相关性控制曝气量, 预测反应时间

SBR 工艺运行过程中, 初始  $\rho(\text{COD})$  的变化会相应的引起  $\rho(\text{DO})$ 、 $V(\text{ORP})$ 、 $\text{pH}$  等的变化, 当  $\rho(\text{COD})$  升高时, 初始反应期  $\rho(\text{DO})$  凸峰的最高值、第 1 溶氧平台值、 $V(\text{ORP})$  凹点最低值均会相应降低, 同时第 1 溶氧平台期时间延长, 反应时间延长; 反之, 当  $\rho(\text{COD})$  低时, 则正好相反. 而每种  $\rho(\text{COD})$  下都对应最适宜曝气量, 以保证反应器中的  $\rho(\text{DO})$  水平. 因而, 可根据反应开始后较短时间 ( $10 \text{ min}$  左右) 内的  $\rho(\text{DO})$  值大小预测出相应的进水  $\rho(\text{COD})$ , 进而确定可能的反应时间<sup>[12]</sup>. 同时根据所预测的  $\rho(\text{COD})$  值来确定适宜的曝气量, 达到节约能源的目的. 通过其他的过程参数达到更精确控制的目的.

### 3.3 过程参数的联合控制

多种参数的联合使用能达到消除误差、精确控制的目的. 结合模糊控制理论, 将  $\text{DO}$ 、 $\text{ORP}$ 、 $\text{pH}$  等的特征变化用模糊语言变量来描述, 输入模糊控制器中, 达到控制 SBR 反应时间以及曝气量的目的.

## 4 展望

做为自动化控制要求较高的工艺, SBR 工艺的自动化程度直接涉及到 SBR 工艺的推广应用. 智能控制是 SBR 工艺实时控制的发展趋势, 一方面有利于 SBR 工艺的优化运行, 另一方面也促进 SBR 工艺的广泛应用.

文章首次提出成分参数、过程参数及工艺参数, 无论是对 SBR 工艺运行过程的分析以及 SBR 工艺的智能控制研究都有现实的意义.

智能控制主要包括专家控制、模糊控制、神经网络控制、遗传算法等, SBR 工艺任一种形式的智能控制本质上都是通过过程参数反映成分参数变化, 并通过调整工艺参数来达到 SBR 工艺的优化运行, 因而研究过程参数与成分参数的对应关系, 并通过过程参数来控制工艺参数, 是 SBR 工艺智能控制研究的主要内容.

根据本文的综述内容以及上面的论述, 今后的 SBR 工艺过程控制研究, 应主要从以下几个方面展开:

1) 过程参数的研究: 做为过程参数, 前提条件是相应的传感器灵敏度高、能及时反映参数数值变化.  $\text{DO}$ 、 $\text{ORP}$ 、 $\text{pH}$  所使用的传感器均有上述特点, 除此之外, 寻找新的能完整表达 SBR 工艺过程的过程参数是 SBR 工艺以及活性污泥污水处理工艺的一项重要研究内容. 例如, 通过监视  $\text{NADH}$  荧光来评价污泥的活性, 并且  $\text{NADH}$  荧光信号对细胞内氧化还原状态的测量在决定微生物代谢状态方面有价值<sup>[13-15]</sup>; 可以利用  $\text{NADH}$  荧光计探测交替活性污泥过程反硝化的终点<sup>[16]</sup>.

2) 控制策略的研究: 控制策略的研究主要涉及过程参数与成分参数的关系研究, 在清楚过程参数与成分参数关系的前提下, 提出过程参数与工艺参数的控制关系. 过程参数与成分参数的对应关系研究包括过程参数本身、一阶导数过程参数、二阶导数过程参数与成分参数的对应关系.

3) 控制方式的研究: 这是对于 3 种智能控制方式的选择研究. 3 种控制方式: 专家控制, 神经网络控制, 模糊控制, 究竟哪一种控制方式更有利于 SBR 工艺的过程控制, 还是 3 种控制方式联合起来进行控制, 是 SBR 工艺过程控制的一个研究方向.

4) 多参数联合控制: 多个过程参数联合起来对工艺参数进行控制. 有时单个过程参数无法对应成分参数的完全变化, 需要多个过程参数才能完整的对应成分参数的变化, 这时就需要多个过程参数联合控制工艺参数, 以完成对整个 SBR 工艺过程的控制.

## 参考文献:

- [1] 王淑莹, 彭永臻, 周利. 用溶解氧浓度作为 SBR 法过程和反应时间控制参数 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 415-418  
WANG Shu-ying PENG Yong-zhen, ZHOU Li The control parameter of SBR process and its reaction time using DO [J]. China Environmental Science, 1998, 18(5): 415-418 (in Chinese)
- [2] 李秀玮, 彭永臻, 王淑莹, 等. 以 DO 作为 SBR 法处理工业废水反应时间的控制参数 [J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2002, 18(5): 537-540  
LIX i-wei PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying et al Industrial wastewater treated by SBR process using DO as control parameter [J]. Journal of Heilongjiang Commercial College Natural Sciences Edition, 2002, 18(5): 537-540 (in Chinese)
- [3] 范彩安, 彭永臻, 潘力军, 等. 利用 DO 在线监测与判断制药废水毒性 [J]. 给水排水, 2003, 29(8): 51-53  
FAN Cai-an PENG Yong-zhen PAN Li-jun et al Toxicity estimation of pharmaceutical wastewater by on-line DO level monitoring [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(8): 51-53 (in Chinese)
- [4] 崔有为, 王淑莹, 于德爽, 等. 以溶解氧作为 SBR 法处理含盐污水的计算机控制参数可行性研究 [J]. 给水排水, 2003, 29(6): 54-57  
CUI You-wei WANG shu-ying YU De-shuang, et al Feasibility on DO as the control parameter for SBR process treating saline wastewater research on computerized control [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(6): 54-57 (in Chinese)
- [5] 李探微, 王亚宜, 彭永臻, 等. SBR 中 DO 的变化及其作为污水处理控制参数的研究 [J]. 浙江工业大学学报, 2001, 29(2): 95-98  
LI Tan-wei WANG Ya-yi PENG Yong-zhen et al Research of DO variation in SBR and as a control parameter in wastewater treatment [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2001, 29(2): 95-98 (in Chinese)
- [6] 曾薇, 王淑莹, 彭永臻. SBR 法好氧曝气时间的模糊控制 [J]. 水处理技术, 2005, 1(1): 65-68  
ZENG Wei WANG Shu-ying, PENG Yong-zhen Fuzzy control of aeration duration in SBR process [J]. Technology of Water Treatment, 2005, 31(1): 65-68 (in Chinese)
- [7] HEDU II A, THEVENOT D R. Relation between redox potential and oxygen levels in activated sludge reactors [J]. Water Science & Technology, 1989, 21: 947-956
- [8] 彭永臻, 邵剑英, 周利, 等. 利用 ORP 作为 SBR 法反应时间的计算机控制参数 [J]. 中国给水排水, 1997, 13(6): 6-9  
PENG Yong-zhen, SHAO Jian-ying, ZHOU Li et al Using ORP as a parameter for computer controlling of reaction time of SBR process [J]. China Water & Wastewater, 1997, 13(6): 6-9 (in Chinese)
- [9] 高大文, 彭永臻, 王淑莹, 等. 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, 2003, 35(6): 647-650  
GAO Da-wen, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying et al Using ORP and pH value to control treatment of soybean wastewater [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(6): 647-650 (in Chinese)
- [10] 高大文, 王淑莹, 彭永臻, 等. 温度变化对 DO 和 ORP 作为过程控制参数的影响 [J]. 环境科学, 2003, 24(1): 63-69  
GAO Da-wen WANG Shu-ying PENG Yong-zhen et al Temperature effects on DO and ORP in the wastewater treatment [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2003, 24(1): 63-69 (in Chinese)
- [11] 张敬东, 高顺明, 徐金兰, 等. SBR 法处理柠檬酸废水 pH 变化规律研究 [J]. 工业水处理, 2003, 23(5): 26-28  
ZHANG Jing-dong GAO Shun-ming XU Jin-lan, et al Experimental study on the pH change for SBR used to treat citric acid wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2003, 23(5): 26-28 (in Chinese)
- [12] 曾薇, 彭永臻, 王淑莹, 等. 以溶解氧浓度作为 SBR 法模糊控制参数 [J]. 中国给水排水, 2000, 16(4): 5-10  
ZENG Wei PENG Yong-zhen WANG Shu-ying et al Fuzzy control of SBR process using DO as parameter [J]. China Water & Wastewater, 2000, 16(4): 5-10 (in Chinese)
- [13] 李卫华, 盛国平, 王志刚, 等. 废水生物处理反应器出水的三维荧光光谱解析 [J]. 中国科学技术大学学报, 2008, 38(6): 601-608  
LI Wei-hua SHENG Guo-ping WANG Zhi-gang et al Analysis of EEM fluorescence spectra of effluents from bioreactors [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2008, 38(6): 601-608 (in Chinese)
- [14] FARABEGOLIG, HELLINGA C, HEIJNEN JJ et al Study on the use of NADH fluorescence measurements for monitoring wastewater treatment systems [J]. Water Research, 2004, 37: 2732-2738

- [15] MAROSE S, LNDEMANN C, SCHEPER T. Two-dimensional fluorescence spectroscopy: a new tool for on-line bioprocess monitoring[J]. *Biotechnology Progress*, 1998, 14: 63-74
- [16] 樊立萍, 于海斌, 袁德成. 污水处理过程仪表技术的研究现状[J]. *自动化仪表*, 2005, 26(1): 1-4  
FAN Liping, YU Hai-bin, YUAN De-cheng. The current status of research on instrument technology in sewage treatment process[J]. *Process Automation Instrumentation*, 2005, 26(1): 1-4 (in Chinese)

## The Research of the Organic Matter Degradation and the Process Control in the SBR Process

DONG Guo-rj PENG Yong-zhen

(Key laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering

Beijing University of Technology, Beijing 100124)

**Abstract** The three concepts of composition parameter, process parameter and technological parameter were put forward for the first time according to the characteristics and rules of the reaction period in the SBR process in this article in order to analyse deeply the correlativity and relation among these parameters, put forward better process control strategies, estimate the existing state and quantity of the composition parameter according to the variety rule characteristics of the process parameter, control and regulate the technological parameter of the SBR process. Based on the three concepts of composition parameter, process parameter and technological parameter, and on the existing researches, the movable change of COD, DO, ORP and pH curve in the process of the organic pollutant degradation in the SBR process were summarized systematically. The relation between the composition parameter COD and the process parameter DO, ORP, pH and the relation among the process parameter DO, ORP, pH were discussed. The feasibility of making use of DO, ORP, pH to build a fuzzy control system was studied. The above-mentioned research provides theories of the design of the SBR process and its automation control.

**Key words** SBR; ORP; DO; pH; change in a circle; the degradation of organic matter

(责任编辑 张 蕾)