

# 空气堰排水 UniFed SBR 工艺的微机自动控制研究

赵晨红<sup>1</sup>, 彭永臻<sup>1</sup>, 乔燕曦<sup>2</sup>, 魏 齐<sup>1</sup>

(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. 北京  
摩托罗拉公司, 北京 100022)

**摘要:** 介绍了 UniFed SBR 工艺的生物脱氮除磷原理, 并以 Visual C++ 语言作为开发工具, 以微机、I/O 卡等作为主要硬件设备, 开发了采用空气堰排水的 UniFed SBR 工艺的微机自动控制系统, 实现了对该工艺的时序控制以及过程优化控制。该自控系统不仅适用于 UniFed SBR 工艺小试、中试研究, 而且为生产性 UniFed SBR 工艺自控系统的开发提供了一种新的方法和思路, 具有很强的实践意义和应用价值。介绍了微机自动控制系统的结构(软、硬件组成和功能)和主要控制流程。

**关键词:** UniFed SBR 工艺; 空气堰; 微机; 自动控制

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2007)03-0014-05

## Study on Personal Computer Auto-control of UniFed SBR Process with Air Weir

ZHAO Chen-hong<sup>1</sup>, PENG Yong-zhen<sup>1</sup>, QIAO Yan-xi<sup>2</sup>, WEI Qi<sup>1</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2 Beijing Motorola Company, Beijing 100022, China)

**Abstract:** Based on the traditional SBR process, a new type of biological phosphorus and nitrogen removal process — UniFed SBR process was developed. The personal computer auto-control system of the UniFed SBR process incorporating the nutrient removal and the air weir principle was developed using Visual C++ language on personal computer and input/output card. The sequential and process optimization controls of the process were realized. The auto-control system may be used in both lab-scale and pilot-scale studies of the UniFed SBR process, and can provide a new method for the development of the auto-control system in a full-scale wastewater treatment plant using the UniFed SBR process. The configuration including software and hardware constitution and function and main control flow chart of the personal computer auto-control system were introduced.

**Key words:** UniFed SBR process; air weir; personal computer; auto-control

UniFed SBR 工艺是 20 世纪末由澳大利亚人在传统 SBR 工艺的基础上研发的一种新型脱氮除磷

工艺。UniFed SBR 的运行周期分为进水/排水、曝气、沉淀和闲置(可有可无)四个阶段,其特点是从

**基金项目:** 国家自然科学基金—国际(地区)重大合作项目(50521140075); 北京市属市管高等学校人才强教“创新团队”项目; 北京市科委“863 计划”配套项目(Z0005186040421)

SBR 池底部均匀进水,穿过沉淀污泥层后由进水顶出排出,即进水与排水两个过程在同一时间段完成。该工艺在进水/排水阶段于池底部污泥层完成反硝化和厌氧放磷过程,在曝气阶段进行 COD 降解、硝化和好氧吸磷,从而实现对氮、磷的去除<sup>[1]</sup>。UniFed SBR 工艺在国外的污水厂已有成功应用<sup>[2]</sup>,但目前在国内还没有研究和应用报道。

目前国内对 SBR 及其变型工艺处理污水的实验室小试研究多采用定时器控制,每天白昼运行 1~2 个周期,夜间基本不运行,这与实际工程中对 SBR 工艺连续运行要求并不相符。闲置期过长往往不能使污泥活性达到最佳,难以获得稳定的运行工况,所得数据的可靠性差,以此指导工程实践显然缺乏足够的说服力。笔者对不设自控系统的 UniFed SBR 反应器运行了一段时间后,发现由于夜间闲置时间过长,加之所处理生活污水的 C/N 值过低,导致污泥出现了上浮,相邻两个运行周期之间无法正常衔接。此外,在研究中对 UniFed SBR 工艺采用了一种新的排水方式——空气堰排水,这使得工艺的运行操作变得更为复杂,仅通过手动操作基本无法实现工艺的正常运行。因此,开发与 UniFed SBR 工艺相配套的自控系统意义重大。

## 1 空气堰工作原理

试验中 UniFed SBR 工艺采用了空气堰排水,即沉淀结束后依靠底部进水将上层澄清水顶至溢流堰并经排气管排出反应器(见图 1)。采用此种排水方式避免了使用普通溢流堰排水时,曝气导致的污泥流失问题,保证了出水水质。

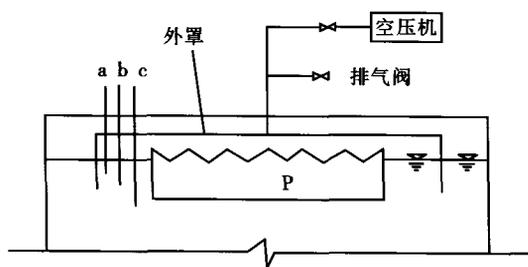


图 1 空气堰工作原理图

Fig. 1 Schematic diagram of air weir principle

空气堰的工作原理:空气堰为一密闭堰,堰内插入一个液位传感器,包含 a、b、c 三个电极,其中 a 为高水位电极, b 为低水位电极, c 为公共电极,起闭合回路作用。在进水/排水阶段排气阀打开,空气堰内

的空气与外界大气相通,堰内空气压力等于外界大气压;进水/排水阶段结束后关闭排气阀,利用空压机向堰内充空气,由于堰内空气压力高于外界大气压,故堰内水位逐渐下降,而堰外水位逐渐上升,于是堰内和堰外便形成了一定的水位差;随着充气的进行,当堰内水位降至 b 底端时,空压机停止向堰内充气,达到暂时的内、外液位平衡;由于多种原因空气堰会发生缓慢漏气现象,漏气后堰内的水位将上升,当水位上升至 a 底端时空压机又开始工作。如此周而复始,控制堰内水位在电极 a 底端和 b 底端之间变化,空压机的启停则受堰内水位的控制,当水位到达 b 底端时空压机停止工作,当水位到达 a 底端时空压机再次启动,如此往复循环直至曝气结束,待进入沉淀阶段后将排气阀打开,使堰内空气与外界大气相通,空压机停止工作。在安装液位传感电极 a 和 b 时,其底端的高度需满足:当水位到达 a 底端时即便曝气也不会使部分混合液溢流至排水堰,而 b 底端的标高则不应低于外罩的底端,以防止在向堰内充空气时发生跑气、断流现象。上述空压机的运行状态可通过堰内的液位传感控制器和微机系统串联进行联合自动控制。

## 2 试验装置

试验所用 UniFed SBR 反应器及其自控装置如图 2 所示。

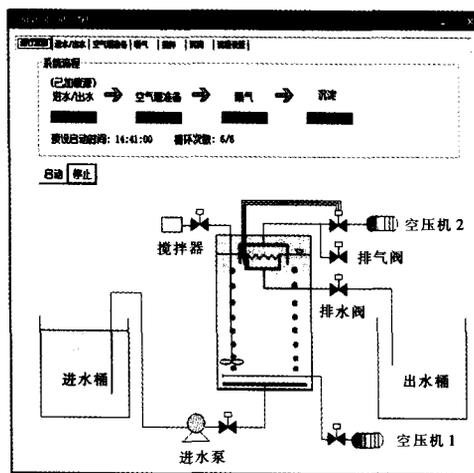


图 2 自控系统控制面板

Fig. 2 Control panel of automatic control system

反应器由有机玻璃制成,有效高度为 90 cm,截面为正方形,边长为 21 cm,总有效容积为 40 L;空气堰的内堰尺寸为长×宽×高=8 cm×8 cm×4

cm, 外罩尺寸为长×宽×高=12 cm×12 cm×5 cm。在反应器底部设进水布水器,以保证缓慢、均匀地进水(由蠕动泵控制);采用空气堰排水,由空压机 2 向空气堰充气,在空压机 2 的空气管路上安装一排气阀,排水管上设电动阀控制排水,曝气阶段由空压机 1 向反应器中供氧。所开发的 UniFed SBR 工艺微机自动控制系统,可对进水蠕动泵、排水电动阀、排气电磁阀、空压机 1、空压机 2、搅拌器的启闭实施自动控制。此外,为防止因排水管路堵塞而导致反应器发生溢流,在反应器最高处及出水桶高液位处分别设置了进水报警传感器 1 和出水报警传感器 2。

### 3 自动控制系统

#### 3.1 自控设备的选择

目前常见的自控方法有 PLC 控制和微机控制两种。PLC 是专为工业环境应用而设计的,一般用于简单控制,其优点是可靠性强且编程简单,但价格昂贵、灵活性差,且对系统的操作、维护管理需要较高的自控专业知识;微机常用于复杂控制,具备强大的显示功能、人机交互及管理功能。由于所用 UniFed SBR 工艺需要经常改变工艺条件和运行参数,并对数据进行分析处理,加之微机外设接口卡的成本比 PLC 低,所以采用微机自动控制系统。

#### 3.2 硬件组成和功能

UniFed SBR 工艺微机自动控制系统的硬件包括:一台 PC 机、一个 I/O 接口卡、一个含有 16 路开关的继电器组和输入、输出设备,具体如图 3 所示。

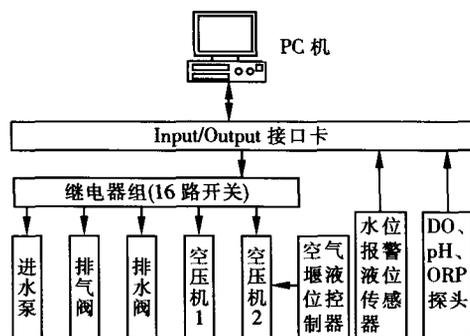


图 3 系统硬件组成框图

Fig. 3 Structure of hardware

各硬件的功能:PC 机通过软件实现对整个系统的控制;I/O 卡作为桥梁把计算机的指令传达给继电器组,进而控制目标设备(如水泵、空压机等)的运行;继电器组用于实现强电和弱电的隔离并起到

电子开关的作用。PC 机可根据程序中设定的各设备启闭时间,通过 I/O 卡向继电器组发出控制指令,实现对目标设备的时序控制。此外,I/O 卡还接收来自外界传感器的输入信号,供 PC 机做出相应的判断并进行反馈控制,例如检测到混合液溢出后,计算机可发出报警信号并停止整个系统的运行。进水报警液位传感器和出水报警液位传感器采用磁性浮子开关,空气堰液位传感器采用三电极式液位开关,并通过和 PC 机串联来控制空压机 2 的工作状态。I/O 卡的模拟量接口还可以与 DO、pH、ORP 等探头连接,对各设备实施反馈控制,例如在缺氧搅拌反硝化阶段,pH 探头可以把已转化的连续电信号传给接口卡供微机采样读取,当反硝化结束出现 pH 拐点时,微机能够及时捕获该点并停止搅拌器的工作,进而实现对搅拌过程的最优控制。

##### ① 输出控制原理

如 UniFed SBR 一个运行周期按进水/排水、空气堰充气、曝气、沉淀的顺序进行,自控系统可根据各阶段所设定的时间对水泵、排气电磁阀、排水电动阀、空压机 1、空压机 2 的开关进行自动控制。以泵的开关为例说明其控制原理,当 PC 机向 I/O 卡写入控制字“0”时则继电器断开,泵关闭;如果写入“1”,则继电器闭合,泵开启。

##### ② 输入控制原理

开关量传感器,如液位传感器可以把液位的状态通过接口卡转换成“0”或“1”并传达给 PC 机,使 PC 机获悉液位的状态,“0”代表没有达到最高液位,“1”代表达到最高液位。

模拟量传感器,如 pH 探头在曝气阶段可以把已转化的连续电信号传给接口卡,供微机采样读取,当硝化结束出现 pH 拐点时,微机能够及时捕获该点并停止空压机 1 的工作,进而实现对目标设备的反馈模糊控制。

#### 3.3 软件组成和功能

软件用 Visual C++ 语言编程实现,操作简便,界面友好(如图 2 所示)。软件模块主要包括三部分:参数设置模块、时序(定时)设置模块和控制面板模块。

参数设置模块可根据试验的要求灵活地设置不同的工艺流程,以达到不同的试验目的。由于该试验所处理生活污水的 C/N 值很低(通常为 2.20~3.18),所以设计了多种运行方案。如果在不投加

外碳源的情况下,最大限度地利用原水中的易生物降解 COD 进行反硝化,并同时实现过程的最优控制,则可采用的工艺流程为:进水/出水→空气堰充气→曝气→沉淀;如要能同时达到较高脱氮、除磷效率的最低外碳源投加量,则可采用的工艺流程为:进水/出水(已加碳源)→空气堰充气→搅拌→曝气→沉淀;如果研究碳源投加时间和方式对脱氮除磷效率的影响,则可采用的工艺流程为:进水/出水→空气堰充气→加碳源→搅拌→曝气→沉淀。在上述 3 种工艺流程中曝气始终在搅拌之后,所以不可能达到对 TN 的完全去除,如想实现对 TN 的完全去除则可采用工艺流程:进水/出水→空气堰充气→曝气→加碳源→搅拌→沉淀,总之可根据试验需要,通过参数设置模块对工艺流程进行任意设置,还可设置定时启动的时间和系统运行的周期数。

时序(定时)设置模块能够设定各工段的运行时间(0~100 h),及其起始和结束时各设备的开、关状态。

控制面板模块能显示反应器的运行状况、各受控设备的状态(工作还是停止)、各个阶段的时间进展,同时还可实时监控水位(溢出还是正常),如发生危险则及时停止一切工作并报警。

### 3.4 控制系统的流程

图 4 是系统软件对各工艺设备进行时序控制的基本流程。

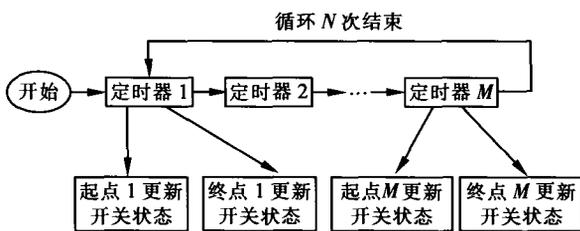


图 4 时序控制流程

Fig. 4 Flow chart of sequential control by software

假设 UniFed SBR 工艺的一个周期包括  $M$  个阶段,每个阶段的开始和结束由一个定时器来控制,每个阶段分为起点和终点,根据工艺的要求,在起点时设置控制开关的状态,到终点时再更新控制开关的状态,以启动或关闭相应的设备。控制流程如下:由阶段 1 开始,当阶段 1 结束后阶段 2 开始,阶段 2 结束则阶段 3 开始,……,依此顺序直到阶段  $M$ ,阶段

$M$  结束则意味着一个周期的结束,之后再循环回阶段 1 开始下一个周期,运行  $N$  个周期即大循环  $N$  次后,整个系统的运行全部结束。

该系统可根据工艺的要求灵活地配置定时器组合,以 UniFed SBR 工艺按“进水/排水→空气堰充气→曝气→沉淀”的运行方式为例,设置各受控设备在各阶段起始和终点时的开、关状态,具体见表 1。

表 1 各设备在各阶段起点和终点时的开、关状态

Tab. 1 On-off state of facilities at begin- and end-point of each phase

阶段		进水泵	排水阀	空压机 1	空压机 2	排气阀
进水/排水	起点	开	开	关	关	开
	终点	关	关	关	关	关
空气堰充气	起点	关	关	关	开	关
	终点	关	关	关	-	关
曝气	起点	关	关	开	-	关
	终点	关	关	关	关	关
沉淀	起点	关	关	关	关	开
	终点	关	关	关	关	开

空压机 2 在空气堰充气起点时的开启和曝气终点时的关闭受 PC 机设定时间程序的控制,而在这两点之间其启闭则受空气堰液位传感器的控制。PC 机通过时钟中断程序实时读取水位传感器数据,如判断发生了危险则及时关闭所有设备并报警。对于可能需要进行模糊控制的阶段(如曝气阶段),PC 机可通过时钟中断程序实时读取 pH 传感器提供的数据,依据  $dpH/dt = 0$  来控制曝气的结束,其控制流程在图 4 的基础上稍作变动即可,这里不再给出。

### 4 控制效果分析

将开发出的微机自控系统用于实验室两个并行的 UniFed SBR 反应器的控制,使用半年来效果良好,并实现了互不冲突和协调一致。该自控系统的 I/O 卡含 16 路开关,而一个 UniFed SBR 反应器只利用了其中的 6 路,因此其造价较低。另外,该系统操作简单、界面直观友好、维护管理方便,可随时改变流程设置和各阶段的运行时间,而不影响反应器的运行。

采用自控系统后 UniFed SBR 反应器的运行稳定且高效,与未设自控系统的相比,大大缩短了污泥达到稳态所需的时间,同时污泥活性高,处理效果好。在进水/出水为 2 h、空气堰充气为 1 min、曝气为 2 h、沉淀为 20 min、排水比为 41.67%、污泥浓度

(下转第 21 页)

RO 产水的 pH 值很稳定(在 6.6 ~ 6.8),而电导率变化幅度较大(一般在 350 ~ 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),特别是 7 月 14 日—19 日,其电导率高达 1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。这是由于 7 月 8 日—13 日 RO 因高压泵出现故障而停机所致,尽管停机时对 RO 进行了反复冲洗和加药保护,但由于天气炎热,在 RO 膜内仍滋生了细菌及其他杂质,导致再次开机时前几天的脱盐率出现了下降。随后 RO 系统恢复正常,但产水的电导率(400 ~ 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )仍高于停机前的,这可能是由于进水温度升高,使得溶质的扩散系数加大,同时 RO 膜孔也稍有胀大,脱盐率便下降了。

#### 4 结论

① UF 在未投加任何化学药剂的条件下运行稳定,且进水水质对其产水水质无影响,完全达到了 SWRO 的进水水质要求。UF 的优化运行参数是:通量为 60  $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,回收率为 80%。

② SWRO 运行稳定,在没有进行化学清洗的情况下,其 TMP 保持在 5.5 MPa 左右,校正流量稳定在 11  $\text{m}^3/\text{h}$  左右,出水电导率为 350 ~ 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。可见,采用 UF—SWRO 集成膜法海水淡化系统处理胶州湾海水是完全可行的。

#### 参考文献:

- [1] Magara Y. Advanced membrane technology for application water treatment [J]. Water Sci Technol, 1998, 37

(10):91-99.

- [2] Murrer John, Rosberg Rick. Desalting of seawater using UF and RO—results of a pilot study [J]. Desalination, 1998, 118 (1-3):1-4.
- [3] Takeshi Matsuura. Progress in membrane science and technology for seawater desalination: a review [J]. Desalination, 2001, 134 (1-3):47-54.
- [4] Redondo J A. Brackish sea and wastewater desalination [J]. Desalination, 2001, 138 (1-3):29-40.
- [5] Rosberg R. Ultrafiltration (new technology), a viable cost-saving pretreatment for reverse osmosis and nanofiltration—A new approach to reduce costs [J]. Desalination, 1997, 110 (1-2):107-114.
- [6] Van Hoof S C J M, Minnery J G, Mack B. Dead-end ultrafiltration as alternative pre-treatment to reverse osmosis in seawater desalination: a case study [J]. Desalination, 2001, 139 (1-3):161-168.
- [7] Redondo J A. Brackish-, sea- and wastewater desalination [J]. Desalination, 2001, 138 (1-3):29-36.

作者简介:阮国岭(1964—),男,河南尉氏人,博士,研究员,主要从事海水淡化研究工作。

电话:(022)87898199

E-mail: glruan@263.net

收稿日期:2006-10-12

(上接第 17 页)

为 3.0 ~ 4.0  $\text{g}/\text{L}$ 、温度为 26 ~ 27  $^{\circ}\text{C}$ 、曝气期间的 DO 控制在 0.5 ~ 1  $\text{mg}/\text{L}$  的条件下,处理  $\text{C}/\text{N} < 3.18$  的实际生活污水时,对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率可达 100%,对 TN 的平均去除率为 43.89%;投加乙酸钠使进水  $\text{C}/\text{N}$  值提高至 8 左右,可实现对 N 和 P 的同时去除,其中对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和总磷的去除率可达 100%,对 TN 的平均去除率升至 92.36%。

#### 5 结论

对 UniFed SBR 工艺采用空气堰代替滗水器排水,并成功研制出一套微机自动控制系统,实现了对该工艺的时序自动控制,在此基础上通过与 pH、DO 传感器相结合又实现了对该工艺的优化控制,将自控水平提高到一个新的层次。所开发的微机自控系统运行稳定、可靠,为进一步深入研究 UniFed SBR 工艺的脱氮除磷机理奠定了良好的基础。

#### 参考文献:

- [1] 赵晨红,彭永臻. 新型 UniFed SBR 生物除磷脱氮工艺 [J]. 中国给水排水, 2006, 22 (12):14-17.
- [2] Keller J, Watts S, Battye-Smith W, et al. Full-scale demonstration of biological nutrient removal in a single tank SBR process [J]. Water Sci Technol, 2001, 43 (3):355-362.

作者简介:赵晨红(1974—),女,山西太原人,博士研究生,讲师,研究方向为污水的生物处理及其智能控制。

电话:(010)67392627

E-mail: pyz@bjut.edu.cn

责任作者:彭永臻

收稿日期:2006-08-08