

曝气、沉淀一体化活性污泥工艺设计方法和问题讨论

王 凯 军

提要 讨论了曝气、沉淀一体化活性污泥工艺的概念,并且根据这一概念提出了通用的设计方法和特殊的修正公式。在此基础上对一体化活性污泥工艺的应用问题进行了讨论,提出 SBR 工艺和交替式氧化沟等工艺的经济性问题。

关键词 一体化活性污泥工艺 SBR 法 氧化沟 设计方法

1 一体化活性污泥工艺特点

近十几年来,传统的活性污泥法工艺又得到了很大的发展,如: SBR 和 ICEAS 序批法^[1,2]、AB 法、氧化沟、A/O 法和 A²/O 技术以及水解-好氧技术等等。其中一类技术属于曝气和沉淀一体化活性污泥工艺。所谓曝气、沉淀一体化活性污泥工艺是指曝气和沉淀过程在同一反应器内完成的活性污泥工艺(简称一体化工艺),比如 SBR 法、交替式氧化沟和 UNITANK 工艺等等。其中 SBR 法是通过时间上的安排,在一个池子内完成了进水、反应、沉淀和排水等一系列工艺过程,构成了一个周期。而交替式氧化沟是以多组反应器通过空间上的调配,完成反应和沉淀这一循环过程。这些工艺近年来在我国的应用日益广泛,并且是当前污水处理的热点之一。一般认为一体化工艺具有以下的特点:

(1) 工艺简单,占地面积小、节省投资。由于只有一个反应器,不需二沉池、回流污泥及其设备,一般情况不设调节池,多数情况可省去初沉池;

(2) 一体化工艺往往是变体积的活性污泥工艺,其基质和微生物浓度随时间变化,所以属于理想的推流状态,并可以保持反应基质的最大推动力;

(3) 运行方式灵活,由于反应在一个反应器内进行,可以从时间上安排曝气、缺氧和厌氧等不同状态,实现脱磷脱氮的目的;

(4) 防止污泥膨胀,由于其存在较大的浓度梯度,有利于防止污泥膨胀;

(5) 耐冲击负荷,处理能力强,一体化曝气池从时间上属于推流形式,但反应器本身属于完全混合。

2 一体化工艺的设计方法

本文就一体化工艺设计中的一些问题进行讨论,以全面评价一体化工艺,引起设计和使用者的重视。

由于一体化工艺是传统活性污泥工艺的变形,所以可以采用相同的设计方法。活性污泥工艺设计中一般需要考虑对于不同污染物的去除,如碳源物质的去除、污水的硝化或脱磷、脱氮和污泥稳定等等,不同物质去除规律和设计方法是不同的。从设计方法上一般有经验(负荷)和理论(动力学)两种方法。这两种方法从本质上都属于经验参数的设计方法,原则上两种方法没有优劣之分。所以在下面讨论中将根据情况采用不同的公式和方法。

2.1 考虑碳源的去除

对于碳源基质完全混合系统在稳定状态下有式(1)和式(2),这两个公式是考虑碳源物质去除时反应器体积和出水浓度的计算公式^[3]。

$$(XV) = \frac{Y_c Q (S_0 - S)}{1 + k_d \tau_c} \quad (1)$$

$$S = \frac{K_s (1/\tau_c + k_d)}{\mu_{\max} - (1/\tau_c + k_d)} \quad (2)$$

式中 (XV) ——总污泥量;

Q ——流量;

V ——参与反应的好氧区体积;

X ——污泥浓度;

S_0 、 S ——进、出水有机物浓度;

Y ——污泥产率系数;

τ_c ——污泥龄;

K_s ——半饱和常数;

k_d ——内源代谢常数;

μ_{\max} ——比基质利用率。

2.2 考虑硝化反应

硝化负荷阶段一般选在 $0.05 \sim 0.10 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,硝化速率大约为 $1.6 \text{ mgNH}_3 - \text{N}/(\text{gVSS} \cdot \text{d})$ (10)。根据不同温度对于城市污水可以

采用表 1 所示的污泥龄 $c^{[4]}$ 。

表 1 硝化工艺在不同温度下采用的污泥龄

污水温度/	完全硝化的 θ_d
5	12
10	9.5
15	6.5
20	3.5

2.3 考虑污泥稳定性

实验表明如果反应时间足够长,细胞降解过程中有 23 %的残余物为不可生物降解。如果要求考虑污泥的稳定性问题,理论上讲污泥龄的选取应该使所有的挥发性固体通过内源呼吸全部被降解。如果每天 VSS 产量为 $YQ(S_0 - S)$,其应等于系统中可生物降解部分的固体物质 $f_b(XV)$ (f_b 为 VSS 可生物降解系数),则在稳定状态:

$$c = \frac{(XV)}{YQ(S_0 - S)} = \frac{0.77}{k_d f_b} \quad (3)$$

$$N_s = \frac{Q(S_0 - S)}{XV} = \frac{k_d f_b}{0.77 Y} \quad (4)$$

方程(3)和(4)是考虑污泥稳定性问题时污泥龄和有机负荷计算公式^[4],污泥稳定化要求的有机负荷和污泥龄一般远远超过完全硝化所要求的数值。

3 问题讨论和结论

3.1 污泥龄问题

通过上面对于 3 种不同污染物的去除设计方法,可知除需要知道动力学参数和一些经济的负荷范围外,设计中依赖的一个重要参数是污泥龄。一般经典教科书对于污泥龄的定义是根据传统活性污泥系统定义的,其定义如下^[3]:

$$c = \frac{\text{反应器中的活细菌总量}}{\text{每天从系统中流失的活细菌总量}} = \frac{VX}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_c} = \frac{VX}{Q_w X_r} \quad (5)$$

式中 X_c 、 X_r ——出水、排泥污泥浓度;
 Q_w ——排泥流量。

最重要的是定义中反应器的容积是指曝气池的容积,而不包括二沉池内的污泥。对于一体化工艺曝气池和沉淀池是同一个池容。因此对于一体化系统,计算污泥龄需要考虑扣除沉淀期间这一部分的污泥,而采用参与反应的活性污泥。否则计算的污泥龄明

显高于实际泥龄,致使实际泥龄偏小,影响出水水质、污水的硝化程度和污泥稳定化程度。周律等人对于我国邯郸三沟式氧化沟的研究表明,由于实际污泥龄不足,该系统虽然对于 BOD 的去除是充分的,但是硝化效果不佳。另外,对污泥进行测定的结果表明,经过处理的污泥尚未得到稳定^[5]。

因此对于交替式氧化沟或 UNITANK 这种通过多个池子交替起到曝气和沉淀功能的一体化系统,需要引入有效性系数 f_a 。有效性系数计算可采用下面公式,从而对于一体化系统的污泥龄和总容积(V_T)需要做修正。

$$f_a = \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{V_{si} X_{si} f + V_{mi} X_{mi}}{2} + \sum_{i=1}^{n-2} \frac{V_{mi} X_{mi}}{n-2}}{\sum_{i=1}^2 \frac{V_{si} X_{si}}{2} + \sum_{i=1}^{n-2} \frac{V_{mi} X_{mi}}{n-2}} \quad (6)$$

式中 X_{mi} 、 X_{s1} 、 X_{s2} ——中间池、边池 1、2 参与反应的 MLSS 浓度;
 f ——边池反应时间与一个周期时间的比值;
 V_{si} ——边池的体积;
 V_{mi} ——中间池的体积。

$$c = \frac{(VX)_T f_a}{Q_w X_r} \quad (7)$$

$$V_T = (XV)_T / (f_a \cdot X) \quad (8)$$

以三沟式氧化沟为例,如果假设三沟是等体积的,污泥在氧化沟内分布均匀, t 为三个沟一周总停留时间(包括沉淀)之和,各阶段的停留时间按图 1 计算,则:

$$f_a = \frac{t_{s1} + t_m + t_{s2}}{t} = 0.58 \quad (9)$$

从而可知三沟式氧化沟本身的容积利用率较低,为 58 %,如果考虑氧化沟内污泥分布不均匀还会进一步降低其值,实际运行的氧化沟实测的 $f_a = 0.40^{[5]}$ 。容积利用率较低,这是交替式氧化沟运行及设计的一个主要问题,对于类似系统也有同样问题。这意味着在一个较长停留时间的曝气系统,有 50 %左右的池容用于沉淀。传统的二沉池的停留时间仅仅为 2.0h ~ 3.0h,这样一体化系统的经济性是可想而知的。

3.2 有效反应时间问题

对于 SBR 反应器这种在时间上区分曝气和沉淀



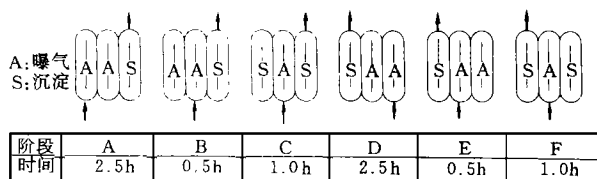


图1 三沟式氧化沟工作原理

的一体化系统,需要定义反应时间比(可统一称为有效性系数) $f_a = t_{\text{反}} / t_{\text{总}} = t_1 / t$ 。其中 $t_{\text{总}}$ (即 t) 和 $t_{\text{反}}$ (即 t_1) 分别为总停留时间(周期长)和总的反应时间(一个周期内的曝气时间), n 为周期数 ($n = \text{HRT} / t$)。因此对于 SBR 反应器的设计中实际采用的去除负荷,需要考虑非反应阶段时间的修正。假设 SBR 工艺中沉淀和排水时间一定为 t_2 ,则定义 $f_{\text{amax}} = 1 - t_2 / \text{HRT}$ 。从而:

$$f_a = 1 - n(1 - f_{\text{amax}}) \quad (10)$$

$$(VX) = \frac{Q(S_0 - S_e)}{N_s} \quad (11)$$

$$t_{\text{反}} = \frac{(VX)}{XQ} \quad (12)$$

$$V_{\text{总}} = Qt_{\text{反}} / f_a \quad (13)$$

由于一个周期内沉淀和排水时间是一定的,很显然增加周期数会造成实际反应时间缩短。通过计算的比较可见(图2),周期数越多,池容越大,投资越高。由于沉淀和排水时间最短为 2.0h,则一般 SBR 工艺中最短周期为 4h,如 ICEAS 工艺一般采用此数值。可见这种工艺的实际容积利用率低,其经济性也是值得讨论的问题。

3.3 对于污泥膨胀的控制问题

从活性污泥膨胀问题的研究成果可知^[6],活性污

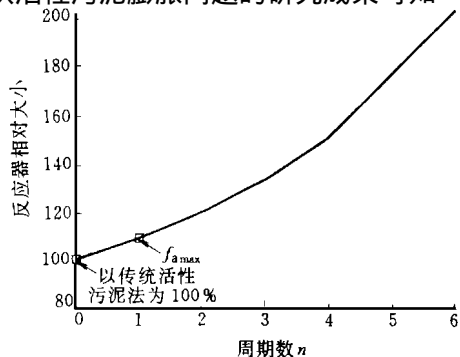


图2 周期数对于 SBR 反应器池容的影响
(假设 $\text{HRT} = 24\text{h}$, 沉淀和排水时间为 2.0h)

泥菌胶团的基质利用速率在基质浓度高时将高于丝状菌的基质利用速率。从而可以利用基质推动力,选择性地培养和发展菌胶团细菌,而限制丝状菌的生长。一般认为控制污泥膨胀是一体化曝气池的特点之一。根据分析事实上并非对所有情况上述特点都成立。显然对于经典的间歇进水、间断排水的 SBR 反应器上述特点是成立的,因为在时间上 SBR 反应器内确实存在一个基质浓度梯度,从而可以起到控制丝状菌膨胀的作用。但对目前采用的连续进水 SBR 系统,如 ICEAS 和 CASS 工艺上述特点是不存在的,这也是上述系统需要在进水加一个选择段的原因。在连续进水系统,由于 SBR 反应器的池数一般较少,池子长宽比较小,在流态上是完全混合的。在曝气阶段进水立即被大量处理后的污水稀释,不存在所谓的基质浓度梯度。因此对于这类系统并不能采用一些文献上的较低负荷,否则会有污泥膨胀的危险。在设计上也应该考虑控制污泥膨胀的措施,如加选择器等。对于前面提过的另外一类一体化反应器,如 UNITANK 和交替式氧化沟,也有类似的问题。但是由于这一类反应器的池型特点是长宽比较大,所以问题相对较小。

4 结论

(1) 曝气、沉淀一体化活性污泥系统属于活性污泥工艺的一种变形工艺,从设计上其遵循活性污泥工艺的一般规律,同时又有其独自的特点,特别是对于污泥龄计算方法的不同,导致了有效性系数概念的引入;

(2) 一体化系统是否具有推流反应器的特点是十分值得推敲的问题,可以认为对于大多数系统并不具备推流反应器的特点。从而由于推流特点导出的一些优点,例如高的基质推动力、控制污泥膨胀等也不是完全成立的;

(3) 一体化系统由于其系统本身的特点,具有结构简单,机械设备少和占地少等优点。但是系统的经济性问题,需要考虑众多因素,并不能如有些文献一样给出简单的结论。起码对于 ICEAS 和三沟式氧化沟等系统的计算可知,其容积利用率仅仅为

基于模糊神经网络的城市供水系统负荷预测^{*}

李杰星 章云 符曦

提要 针对城市供水系统的复杂性、非线性、时变化性与多因素影响的特点,引入了模糊逻辑系统 (FLS) 和人工神经网络 (ANN), 将一种改进的最近邻聚类算法, 用于城市水负荷预测, 对短期、中长期水负荷的预测实验表明, 该方法结构简单, 精度高。

关键词 模糊神经网络 最近邻聚类算法 供水系统 负荷预测

0 引言

随着城市用水量的高速增长和水资源的日益缺乏, 对供水系统管理的要求越来越高。水负荷的预测是供水管理的前提和基础, 因此, 研究高效的水负荷预测方法显得特别重要和迫切。

水负荷的影响因素多种多样 (如历史数据、天气、节假日等), 它们的关系是非线性的, 有些因素甚至是不可预测的 (如管网故障、失火等)。目前, 国内对水负荷的预测工作进行得较少, 并且这些工作大多应用传统的预测原理和方法, 即指数平滑法、时间序列分析、回归分析法等^[1~4]。传统的预测方法都要给出水负荷与各种影响因素的显式预测模型。但是, 在现阶段要得到精确的显式预测模型并不容易, 这是因为: (1) 城市供水系统是一个复杂大系统, 不确定性、非线性和时变性并存; (2) 除水负荷的历史数据外, 建模需要大量的相关数据, 包括温度、湿度、人口等, 供水部门不便也不愿去寻找和记录这些繁琐相关数据; (3) 以随机过程、数理统计原理为基础的传统预测方

法本身的精度并不理想^[5]。

对于不易建立精确数学模型、具有多种不确定性和非线性的系统, 应用人工神经网络 (ANN) 和模糊逻辑系统 (FLS) 等智能预测方法往往可以处理传统方法难以解决的问题。在电力系统负荷预测中, 实验对比显示, 利用 ANN 和 FLS 的负荷预测精度明显优于传统的回归分析等方法^[6]。而且, 基于 ANN 的预测软件包已在美国和加拿大得到实际应用, 反映良好^[7]。作为与电力系统有很多相似之处的供水系统 (水压 - 电压、流量 - 电流、管阻 - 电阻, 以及相似的增长规律等), 对其运用 ANN 和 FLS 智能预测技术的设想是十分自然的。本文首先利用文献^[8]给出的 FNN 结构, 提出一种改进的最近邻聚类算法, 然后把它运用到供水系统, 将短期和中长期预测分别对待, 形成一套完整的水负荷预测方法。预测实验表明, 该方法结构简单, 精度高。

1 一种 FNN 的结构及其改进的最近邻聚类算法

FNN 的结构示意图如图 1 所示^[8], 其输入输出

^{*} 广东省自然科学基金资助项目

50%, 系统的经济性是值得商榷的;

(4) 对上述系统的讨论仅是从容积利用率考虑, 以上系统还有稳定污泥的作用, 本文没作讨论。故选用不同系统需要全面考虑所要达到的处理目标。

参考文献

- 1 Irvine R L and Bush A W. Sequencing Batch Biological Reactors—An Overview. J Water Pollut Control Fed, 1979, 51: 235
- 2 李道棠, 赵敏钧. 间歇式活性污泥法技术特点及应用. 上海交通大学学报, 1996, 30(9)
- 3 许保玖编著. 当代给水与废水处理原理. 北京: 高等教育出版

社, 1990

- 4 S J Arceivala ed. Wastewater Treatment and Disposal. Marcel Dekker Inc. New York and Basel, USA
- 5 周律, 等. 三沟式氧化沟处理城市污水的效应. 中国给水排水, 1997, 13(5): 4~7
- 6 王凯军. 活性污泥膨胀的机理与控制. 北京: 中国环境科学出版社, 1992

作者通讯处: 100037 北京市阜外北二巷
北京市环境保护科学研究院

收稿日期: 1998-9-1

CONTENTS

Management of Conventional Activated Sludge Process in Binhe WTP *Lin Yuan* (1)

Abstract : The conventional activated sludge facility of Binhe WTP in Shenzhen city with capacity of 25 thousand cubic meters per day has been put into operation over ten years. The process scheme , special characteristics , operation and management of this WTP are presented.

Design of Spring Water Intake Basin *Shi Yongsheng* (3)

Abstract : Water spring is best water source with advantages of economical and reliable for water supply system of medium and small capacity. The design categories of spring water intake basin including the selection of basin types , the structure , the calculation of water level and capacity are discussed.

Rapid Pretreatment of Restaurant Wastewater *Jiang Xiaolin et al* (6)

Abstract : The space of most restaurant kitchens is so limited to accept a wastewater pretreatment apparatus with big size. In fact the users are reluctant to accept any container with holding time longer than 20 minutes. The authors developed a new facility on the basis of centrifuge and air floatation process to pretreat the restaurant wastewater rapidly before it is drained off. The theoretical research and the operation of pilot plant are O.K. Best results have been obtained to remove the suspended organic matters which accounts for the larger portion of total organic pollutants and the output could be better to meet the requirement of discharge standard.

Application of Bio-Contact Oxidation Pretreatment in Shijiuyang Waterworks *Zha Renguang et al* (9)

Abstract : The bio-contact oxidation pretreatment has been adopted by the second phase expansion of Shijiuyang Waterworks in Jiaying city to protect water source pollution. The low-level polluted raw water is pretreated by micro-pore aeration. A facility with capacity of 100 thousand cubic meters per day has been put into operation since June 1995. The summary of this facility including the design parameters , structure allocation , operation and the performance shows that it is contributive to improve the quality of the raw water. Also some recommendations to refine the performance of this facility are proposed.

Design and Discussion on Integral Aeration-Sedimentation Activated Sludge Process *Wang Kaijun* (12)

Abstract : The principal concept of Integral Aeration-Sedimentation ASP is discussed thoroughly and the general design method and correctional calculation formula have been submitted on this basis. Furthermore the application of this process is discussed and the economical problems of SBR and alternative oxidation ditch are indicated.

Loading Forecasting of Urban Water Supply based on Fuzzy Neuro Network *Li Jiexing et al* (15)

Abstract : Aiming at the multi-factor Influences on urban water supply system such as the complexity , non-linearity , time-variation etc an improved nearest neighbor calculation which the fuzzy logic system (FLS) and artificial neuro-network (ANN) are conducted in has been adopted to estimate the loading of urban water supply. The estimation experiments on short time and medium-long term hydrography show that this method is simple to use with high accuracy.

Construction and Equipment of Water Quality Laboratory for Urban Water Supply *Nong Jinqi et al* (19)

Abstract : The new water quality laboratory , which is enough to meet the requirement of recent water examination and further development of contemporary urban waterworks of class I has been opened in Shenzhen Waterworks Company (Group) . The experiences to establish and equip a laboratory of this type including the instrumentation , examination condition , safety protection and architectural design are summarized in this paper.

Study on Membrane Bio-reactors *Gui Ping et al* (24)

Abstract : Combined processes of membrane separator with three types of bioreactors namely activated sludge reactor (ASR) , Bio-film reactor (BR) and hybrid bioreactor (HR) were investigated respectively. No obvious difference in pollutant removal whereas larger difference in time-based flux of membrane were observed among these. The process with HB had the highest water yield depending on its highest membrane flux , because the sludge deposition on the surface and organic adsorption of the membrane were moderate. Fouling substances on the membrane surface mainly