

# 活性污泥数学模型基本参数的确定方法研究

段焕丰, 俞国平

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 介绍了活性污泥数学模型(ASM)中较难估值的动力学基本参数  $\mu_{m,A}$ 、 $b_H$ 、 $\mu_{m,H}$  和  $k_{m,h}$  等的确定方法。在探讨这些参数的确定方法的同时, 引入了遗传算法进行参数优化。模拟试验结果表明, 经优化确定参数的 ASM 模型具有较高的准确性和可靠性。

关键词: 活性污泥数学模型(ASM); 动力学参数; 参数优化; 遗传算法

中图分类号: TU 991.2 TP 3 文献标识码: A 文章编号: 1672-0679(2005)03-0041-03

活性污泥数学模型(ASM)是对活性污泥工艺中的生化反应与动力学反应的数学抽象和描述。它是国际水质协会(IWAQ)在基于以前关于活性污泥经验模型与基本模型后相继推出的 ASM1、ASM2 与 ASM3 的综合体。经过几年的发展, ASM 模型结构日趋完善, 对于污水处理厂的优化设计和水处理过程的动态模拟有重要的作用。但是, 到目前为止, 其基本参数的确定仍然是学者们研究的重要方向, 特别是对于动态变化过程中的动力学参数的确定尤为如此。本文通过对活性污泥工艺中组分的试验测定, 结合遗传算法优化方法来确定基本参数值, 进一步完善 ASM 模型。

## 1 ASM 基本参数及常用确定方法

ASM 模型包括 ASM1、ASM2 和 ASM3 三种基本模型, 其中以 ASM1 模型最具影响。许多的研究者对这三种模型进行了修正与完善, 使得它们更加符合实际应用<sup>[1,2]</sup>。但是, 不管它们经过怎样的修正与完善, 其中有些参数是必不可少的, 也是最基本的。这些参数包括: 自养菌最大比生长速率参数  $\mu_{m,A}$ ; 异养菌衰减速率参数  $b_H$ ; 异养菌最大增长速率参数  $\mu_{m,H}$ ; 水解速率参数  $k_{m,h}$  等。这些参数的常用确定方法有试验测定、模型拟合试验数据和系统辨识等<sup>[3,4]</sup>。在对活性污泥系统实践应用过程中, 这些方法确定的参数使得结果偏差较大。因此, 提出新的方法对其参数优化有重要的意义。

## 2 ASM 参数的优化

上述通过试验测定出来的参数值, 一般都存在误差, 包括试验误差和数据处理误差。为了减少试验误差, 这些参数的确立通常是经过多次试验, 再通过数据处理来估算其值。由于这些基本参数对模型的可靠性和准确性影响较大, 而且它们本身具有很大的灵敏性, 所以在进行数据处理时极小的误差就可能对整个模型产生较大影响。实践表明, 由于 ASM 模型结构复杂, 通常使用的数据处理方法(如曲率法、最小二乘法或其他统计方法等)很难保证结果的精度或者不能直接控制模型的精度。本文引入遗传算法对这些参数进行优化, 无论 ASM 的结构如何复杂, 该方法都能直接对模型的精度进行控制, 使其达到预期的精度, 具有较高的适应性, 这是其他方法难以比拟的。

[收稿日期] 2005-06-01

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(50138010)

[作者简介] 段焕丰(1982-), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生。

### 2.1 遗传算法的一般原理

遗传算法是一种全局优化方法,它是在“优胜劣汰”这一生物进化原则指导下的一种自适应优化方法。遗传算法适应性很强,它是直接对目标函数进行处理,只要求优化问题是可计算的,对搜索空间没有任何要求,可以是离散的、非线性的、高维的或多峰值的等。特别是对于较为复杂的优化问题,该方法尤其显出其特点。遗传算法的一般原理有(1)根据待优化的所有参数进行编码形成数值系列的遗传个体群(2)根据给定的参数取值范围随机生成父代遗传群体(3)根据群体个体所代表的参数值进行目标函数值计算(4)按照一定的规则进行群体的适应度评价(5)进行选择、交叉和变异等遗传操作,得到新的群体进行上述循环操作,直至满足精度要求即找到最优参数解<sup>[5]</sup>。

### 2.2 遗传算法应用于 ASM 参数优化

将遗传算法应用于 ASM 模型参数的优化中,建立优化模型。

(1)优化模型的目标函数

$$\min F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m(i)} \left| \frac{(T_i^p - T_i^0)}{T_i^0} \right| \quad (1)$$

式中:  $F$  为待优化的目标函数,为待求参数  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  的函数;  $n$  为待优化参数个数;  $m(i)$  为 ASM 模型中与参数  $x_i$  有关的组分个数;  $T_i^p$  为 ASM 模型模拟的组分浓度值;  $T_i^0$  为试验实测的组分浓度值。

(2)优化模型的约束条件。由于该算法直接对模型进行操作,所以某个待求的特定活性污泥数学模型 ASM 即为该优化模型的重要约束条件,也是主要约束条件。例如对 ASM1 模型,即为由 13 个组分和各个参数所组成的 13 阶非线性方程组<sup>[2,4,6]</sup>。另外,对于每个参数有其初始取值范围,这也是约束条件之一。具体表达如下

$$st \begin{cases} \text{ASM 模型组分方程组} \\ \text{参数初始取值范围} \end{cases} \quad (2)$$

(3)软件方法。因 ASM 模型自身内部结构复杂,其计算量较大。本文采用 C++ 程序语言编写核心程序<sup>[7]</sup>,而且,在计算过程中,采用了模块化程序编写,特别是对活性污泥计算机模拟计算代码进行了优化,大大提高了计算效率。将上述自定义的遗传算法应用于软件中,与其他功能模块一起封装成整体,采用简洁实用的参数编辑界面,形成 GA-WEST 参数优化软件,使得该方法方便实用。

## 3 应用与检验

以 ASM1 为例,根据文献[8]并设活性污泥系统工艺流程如图 1 所示。该系统包括三个反应器,第一个为缺氧池,其余两个为好氧池,进水平均流入前两个反应器;污泥回流量为进水的 2 倍,假设无内回流;并假定二沉池为理想的泥水分离器,排泥量由 SRT 确定。以本文讨论的 4 个基本参数为变量优化,其余的参数值参照文献[3]中的推荐值。设定优化模型的精度为 0.1,试验 pH 值控制在中性环境附近,试验温度为 17 °C 左右。

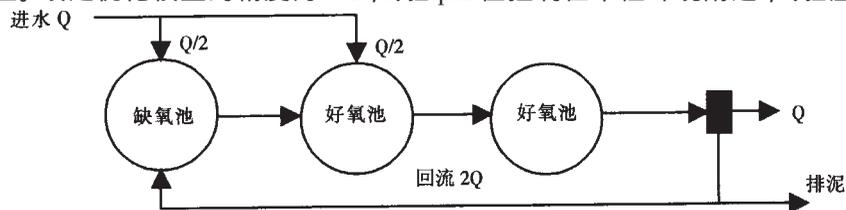


图 1 活性污泥系统工艺流程简图

在优化过程中,遗传算法采用实数编码,以提高效率,群体规模  $n$  取 200,选择算子采用比例选择方法,交叉杂交算子  $p_c$  取 1.0,变异算子  $p_m$  取 0.05。

各参数初始取值范围设定为:  $\mu_{m,A} \in [0.20, 0.90](d^{-1})$ ,  $\lambda_{b,H} \in [0.10, 0.70](d^{-1})$ ,  $\mu_{m,H} \in [2.00, 7.00](d^{-1})$ ,  $k_{m,h} \in [1.00, 3.00](d^{-1})$ 。经过 GA-WEST 软件优化计算,得到最优参数值为:  $\mu_{m,A}=0.602$ ,  $\lambda_{b,H}=0.537$ ,  $\mu_{m,H}=4.490$ ,  $k_{m,h}=2.311$ 。

在计算结果中,模型(1)的累计相对误差为0.075(<0.1),最大单个相对误差<0.02。

稳态时,最优参数值对应的ASM1模拟结果与国际水质协会报告<sup>[8]</sup>中IAWQ给出的结果比较见表1。

## 4 结语

本文提出了一种试验测定与优化手段相结合的ASM参数确定方法,引入遗传算法对参数进行优化。该方法直接针对ASM模型进行优化计算,具有较高的实用性和可靠性。对于特定的ASM模型(ASM1,ASM2或ASM3等),在优化确定基本参数的同时,其他的参数假设为已知,即采取推荐的典型值,其实,除基本参数外的其他参数也可以通过该方法确定。只是鉴于其他参数的影响程度,一般采取推荐值即可。当然,该方法中的试验测定数据的准确性对结果影响较大。因此,对试验测定条件如pH值、温度等对参数确定的影响,需要进一步的研究,从而进行模型修正。

表1 ASM模型模拟值与IAWQ值

组分	反应器1		反应器2		反应器3	
	模拟值	IAWQ	模拟值	IAWQ	模拟值	IAWQ
X <sub>i</sub>	999.20	999.70	831.20	835.60	833.20	831.40
X <sub>BH</sub>	1 601.20	1 615.10	1 366.50	1 363.30	1 362.50	1 354.70
X <sub>BA</sub>	99.80	100.70	83.90	85.00	85.80	85.00
X <sub>P</sub>	820.1	826.20	684.80	688.60	681.40	688.60
X <sub>S</sub>	83.50	82.70	61.00	60.90	37.10	36.40
X <sub>ND</sub>	7.41	7.20	5.44	5.40	3.11	3.00
S <sub>S</sub>	2.09	2.10	3.83	3.80	2.71	2.70
S <sub>NH</sub>	5.79	5.70	1.88	2.00	0.37	0.40
S <sub>NO</sub>	7.78	7.80	14.39	14.30	18.42	18.00
S <sub>ALK</sub>	5.09	5.00	4.30	4.30	3.97	3.90
S <sub>I</sub>	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
S <sub>ND</sub>	0.68	0.70	1.19	1.20	0.99	0.90
S <sub>O</sub>	0.00	0.00	2.00	2.00	3.00	3.00
TSS	3 615.07	3 624.30	3 029.96	3 033.30	3 006.70	2 996.10

注:表中所有组分符号意义均参照文献[8]。

## 参考文献:

- [1] 徐伟锋,顾国维,张芳,等.活性污泥3号模型(ASM3)的修正过程[J].中国给水排水,2004,20(6):29-31.
- [2] 王闯.活性污泥数学模型研究[D].上海:同济大学环境科学与工程学院,2003.
- [3] 刘芳,顾国维.ASM1模型中主要动力学参数的测定方法[J].中国给水排水,2004,20(2):37-40.
- [4] 国际水协废水生物处理设计与运行数学模型课题组.活性污泥数学模型[M].张亚雷,李咏梅译.上海:同济大学出版社,2002.
- [5] 金菊良,丁晶.遗传算法及其在水科学中的应用[M].成都:四川大学出版社,2000.
- [6] 宋兴志.活性污泥数学模型的研究[D].上海:同济大学环境科学与工程学院,2001.
- [7] 王育坚.Visual C++面向对象编程教程[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [8] Mogens Henze, Willi Gujer, Takashi Mino, et al. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3[R]. IWA Scientific & Technical Report, No.9, 1999.

## A Study on A Method of Determining Basic Parameters in Activated Sludge Models

DUAN Huan-feng, YU Guo-ping

(National Key Lab of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** A method of determining some basic parameters in activated sludge models(ASM) was put forward in this paper. And these parameters, such as  $\mu_{m,A}$ ,  $b_H$ ,  $\mu_{m,H}$  and  $k_{m,h}$  and so on, were difficult to be valued exactly. Tentatively, the genetic algorithm was introduced to optimize these parameters in our discussion. From the results of simulated experiments, the ASM were more exact and reliable by optimizing their parameters.

**Key words:** activated sludge model(ASM); kinetic parameters; optimization of parameters; genetic algorithm