



基于 LabVIEW 的推流式活性污泥法动态仿真研究

方 芳 郭劲松 朱建军

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要 介绍了利用 LabVIEW6.1 及其数学子模板中一阶微分方程组的龙格库塔算法函数, 根据活性污泥法 1 号数学模型一阶微分方程组的特征, 开发出适用于推流式活性污泥法仿真系统的方法。应用该仿真系统模拟了重庆某污水处理厂的运行记录, 结果表明仿真效果良好。该方法降低了软件的编程难度。

关键词 LabVIEW 龙格库塔算法 活性污泥法 1 号模型 仿真系统

活性污泥法是目前污水生物处理最主要的方法之一, 长期以来对活性污泥工艺的研究、设计和运行控制主要依靠试验和经验数据。自国际水污染控制协会 (IAWPRC, 现改名为国际水协 IWA) 先后推出活性污泥数学模型 (ASM1~ASM3) 以来, 以数学模型为基础的污水生物处理仿真模拟研究在国外发展很快^[1~5], 同时也为活性污泥工艺的研究和应用提供了一个重要的手段。国内在这个领域的发展虽然起步较晚, 但近些年来也逐步重视起来, 例如黄勇、杨铨大、顾国维等对模型参数的测定进行了研究^[6,7], 而在进水组分测定的研究^[8,9]方面主要有施

汉昌、顾国维、陈莉荣、彭党聪等。其中施汉昌、季民、杨青、卢培利等人还结合实际工艺, 开发了一些仿真模拟软件^[10~13], 并取得了较好的仿真效果, 对运行管理有一定的指导作用。这些仿真软件大多使用 MATLAB 为开发工具, MATLAB 的优点是具有强大的数学开发工具, 但这些数学工具在水处理仿真中很少用到。而它的编写对于从事水处理工作者, 却显得较为复杂, 开发成本较大。并且软件的可界面化较差, 导致软件整体的可视性和易用性差, 不利于今后的推广、使用和再开发。

在计算机技术飞速发展的今天, 面向用户的图形开发软件日新月异, 如 LabVIEW, VB, VC 等。其中, 由美国 National Instruments 公司开发的

LabVIEW 正是其中的典型代表,它可以应用于仿真、在线监测和控制等领域,并已在机械、汽车、石油化工等行业得到了广泛的使用,但目前其应用于水处理方面的例子还很少。它的数学工具能满足水处理仿真要求,且编写简单,可视性好。本文结合推流式活性污泥的具体工艺,利用 LabVIEW 和其自带的基本函数库,开发出推流式活性污泥法仿真系统,探讨了其在水处理仿真中的实际应用。

1 LabVIEW 简介

LabVIEW 是一种用图标代码来代替编程语言而创建应用程序的开发工具。在基于文本的编程语言中,程序的执行依赖于文本所描述的指令,而 LabVIEW 使用数据流编程方法来描述程序的执行^[14]。LabVIEW 用图形语言——G 语言,把复杂、繁琐、费时的语言编程简化成用菜单或图标提示的方法选择功能(图形),并用线条把各种功能(图形)连接起来的简单图形编程方式。采用 LabVIEW 图形编程方式比传统的编程语言,程序开发时间可以节省 80% 左右,而且运行速度却几乎不受影响。LabVIEW 中编写的源程序,很接近程序流程图。所以,只要把程序流程框图画好了,程序也就差不多编好了。因此也被誉为工程师和科学家的语言。

LabVIEW 程序也被称为虚拟仪器(VIs),一个 LabVIEW 程序有三个部分组成:前面板、程序框图、图标和连接框。前面板即为用户界面。程序框图为包含定义该 VI 功能的图形化源代码。图标和连接框用来定义一个 VI,它既可作为主程序,也可作为子程序(subvi)被其他程序调用。LabVIEW 自 1986 年正式推出,现最新版本已发展到 LabVIEW 7 Express,本文采用 LabVIEW 6.1 版本开发推流式活性污泥法的仿真系统。

2 数学模型的建立

在编写仿真软件之前,首先要确定被仿真的对象。被仿真对象的系统特征通常需要一系列的数学描述,这一系列的数学描述即是系统的数学模型。本论文选择传统推流式(PF)活性污泥法进行仿真模拟,工艺流程见图 1。以活性污泥法 1 号模型(ASM1)为基础,构造系统的数学模型。本文介绍考虑异养菌在好氧条件下 COD 的去除,简称 PF-COD 仿真系统。

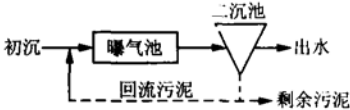


图 1 工艺流程示意

2.1 模型假设条件

在建立数学模型时,需要引入一些基本假定,具体内容如下:

- (1)系统运行温度恒定。
- (2)pH 恒定且接近中性。
- (3)不存在 N、P 及其他无机营养物对有机物质的去除及微生物增长的限制。
- (4)进水中有关组分的质量浓度可变,但性质不变。
- (5)二沉池中微生物不进行生化反应,且没有污泥累积。
- (6)曝气池假定为理想推流式反应器。

2.2 建立仿真系统模型

由于理想推流反应器在液流方向的任一垂直截面上,液流中所有组分流动速度和混合液性质都是相同的,则反应组分的物料平衡方程为:

$$\frac{dC_i}{dt} = r_i \tag{1}$$

式中 C_i ——单位微元中 i 组分的浓度;
 i ——单位微元中各组分;
 r_i ——单位微元中 i 组分的反应速率。

根据 ASM1 可写出 PF-COD 仿真系统的数学模型:

$$f_1 = \frac{dS_s}{dt} = \left(-\frac{1}{Y_H}\right) B_1 + B_3 \tag{2}$$

$$f_2 = \frac{dX_s}{dt} = (1 - f_p) B_2 - B_3 \tag{3}$$

$$f_3 = \frac{dX_{BH}}{dt} = B_1 - B_2 \tag{4}$$

$$f_4 = \frac{dX_p}{dt} = f_p B_2 \tag{5}$$

其中: $B_1 = \hat{\mu}_H \left(\frac{S_s}{K_s + S_s} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{BH}$
 $B_2 = b_H X_{BH}$

$$B_3 = k_h \frac{X_s/X_{BH}}{K_X + (X_s/X_{BH})} \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{BH}$$

式中各组分符号,及化学计量学和动力学参数符号的意义见表 1。

3 应用 LabVIEW 实现污水处理厂动态仿真系统



表 1 PF-COD 模型中组分符号
及化学计量学和动力学参数符号定义

符号	定义
S_s	易生物降解基质, gCOD/m^3
X_s	慢速可生物降解基质, gCOD/m^3
X_{BH}	异养活性生物量, gCOD/m^3
X_p	由生物量衰减而产生的颗粒性产物, gCOD/m^3
S_O	溶解氧, gCOD/m^3
Y_H	异养菌产率系数, $\text{g 细胞 COD}/\text{g 氧化 COD}$
f_p	生物体中惰性组分的比值, 量纲为 1
μ_H	异养菌最大比增长速率, d^{-1}
K_S	异养菌半饱和系数, gCOD/m^3
$K_{O,H}$	异养菌的氧半饱和系数, gO_2/m^3
b_H	异养菌衰减系数, d^{-1}
k_h	最大比水解速率, $\text{g(慢速可生物降解 COD)}/(\text{g 细胞 COD} \cdot \text{d})$
K_X	慢速可生物降解底物水解的半饱和系数, $\text{g(慢速可生物降解 COD)}/\text{g 细胞 COD}$

根据系统的数学模型, 进水组分转换公式, 出水组分转换公式^[15], 构建 PF-COD 仿真系统。其中系统的数学模型是一阶微分方程组, 用四阶龙格库塔(R-K)算法来解。

3.1 LabVIEW 中的四阶 R-K 算法函数

在 LabVIEW 的数学子模板中有解一阶微分方程组 $X = f(X, t)$ 的四阶 R-K 算法函数, 它包括 7 个输入信号和 4 个输出信号, 具体见图 2^[16]。

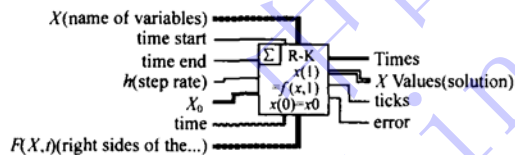


图 2 四阶 R-K 算法子模板

图 2 中输入信号包括: time start 为起始时间; time end 为结束时间; h 为固定步长; X 为由变量符号组成的一维字符串数组; X_0 为 X 的初始值数组; time 为时间变量符号; $F(X, t)$ 为由微分方程组右边多项式组成的一维字符串数组。

输出信号包括: Times 为时间点数组, 即 R-K 算法按 h 在 time start 和 time end 之间生成的等间隔时间点; X Values 为解的二维数组, 每行对应不同的时间点, 每列对应不同的变量; ticks 为程序运算时间(ms); error 为错误信息。

对于 PF-COD 系统, 输入信号相应为:

$$\text{time start} = 0.00$$

$$\text{time end} = V/[Q(1+R)]$$

$$X = [S_s \ X_s \ X_{BH} \ X_p]^T$$

$$X_0 = [S_s(0) \ X_s(0) \ X_{BH}(0) \ X_p(0)]^T$$

$$F(X, t) = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4]^T$$

经过计算后各组分的值为:

$$X \text{ Values} = [S_s(n) \ X_s(n) \ X_{BH}(n) \ X_p(n)]^T$$

3.2 PF-COD 仿真系统流程(见图 3)

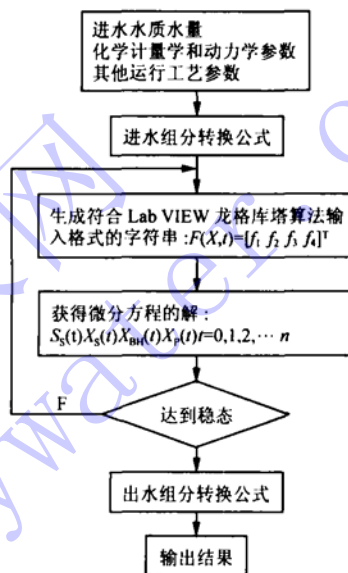


图 3 PF-COD 仿真系统流程

3.3 PF-COD 仿真系统前面板

根据 PF-COD 仿真系统, 在前面板创建相应的输入、输出数据显示方式和控件, 如图 4 所示。其中输入项包括: 进水流量 Q, 进水 COD, 曝气池容积 V, 回流比 R, 曝气池混合液 MLVSS, 曝气池溶解氧浓度 DO; 化学计量学和动力学参数; 假定初始回流污泥中各组分值。输出项包括: 出水 COD, S_s , X_s 浓度, 曝气池水力停留时间, 曝气池中 COD 随时间的变化曲线, 曝气池中 S_s , X_s 随时间的变化曲线。

3.4 PF-COD 仿真系统框图程序

在 LabVIEW 框图程序中, 按照流程图, 在对应的变量之间通过相应的功能图标用线连接起来, 这样就构建完成了 PF-COD 仿真系统。

4 污水处理厂的动态仿真

采用重庆某污水处理厂 2002 年 5 月 10 日到 6 月 13 日的运行数据。实际水温在 20℃ 附近, 仿真系统的化学计量学和动力学参数取 ASM1 中 20 时的推荐值^[17]。模拟结果, 实测出水 COD 与模拟出水 COD 吻合很好, 见图 5。

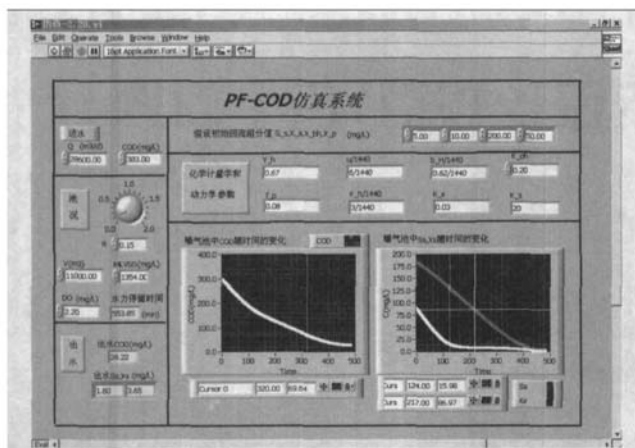


图4 PF-COD仿真系统前面板

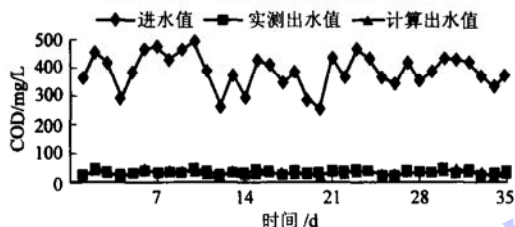


图5 出水COD模拟对比

5 结语

目前大多数污水处理仿真模型是在 ASM1, ASM2, ASM3 基础之上建立的, 它们的数学模型, 也都是一阶微分方程组, 其方程组的解需要利用龙格库塔(R-K)算法。由于 LabVIEW 流程图式的程序设计科技工程人员较为熟悉的数据流和方块图一致, 以及其函数模板中自带的 R-K 算法子模板。在利用其编写仿真软件时, 可以极大地降低编程难度, 缩短编程时间, 适合不熟悉编程的广大水处理工程师和科研人员。如果将仿真系统作为模块与 LabVIEW 数据采集系统结合起来, 就可以方便地构建污水处理厂动态实时监测、预测系统, 方便污水处理厂的日常运行管理。

参考文献

- Willi Gujer, Tove A Lrsen. The implementation of biokinetics and conservation principles in ASIM. Wat Sci Tech, 1995, 31(2): 257~266
- Van Veldhuizen H M, Van loodrecht M CM, Heijnen J, et al. Modeling biological phosphorus and nitrogen removal in a full-scale activated sludge process. Wat Res, 1999, 33(16):3459~3468
- Daigger G T, Nolasco D. Evaluation and design of full-scale wastewater treatment plants using biological process models. Wat

Sci Tech, 1995, 31(2):245~255

- Koch G. Calibration Validation of activated sludge model NO.3 for swiss municipal wastewater. Wat Res, 2000, 34(14):3580~3590
- Lesouef A, Payraudeau M, Ropgalla F, et al. Optimizing nitrogen removal reactor configurations by on-site calibration of the IAWPRC activated sludge model. Wat Sci Tech, 1992, 25(6):105~123
- 黄勇, 杨铨大, 王宝贞, 等. 活性污泥生物反应动力学模型研究. 环境科学研究, 1995, 8(4):23~27
- 甘立军, 刘建勇, 顾国维, 等. ASM1 中化学计量系数的测定与计算. 中国给水排水, 2003, 19(1):79~81
- 陈莉荣, 彭党聪. 活性污泥数学模型入流组分测定及应用. 冶金能源, 2003, 22(4):50~53
- 周雪飞, 顾国维. ASMs 易生物降解有机物(Ss)的物化测定方法. 给水排水, 2003, 29(11):23~26
- 施汉昌, 刁惠芳, 刘恒, 等. 污水处理厂运行模拟、预测软件的应用. 中国给水排水, 2001, 17(10):61~63
- 张代钧, 卢培利, 陈丹琴, 等. 传统活性污泥法 COD 去除及脱氮改造的模拟. 环境科学学报, 2002, 22(4):448~453
- 季民, 霍金胜, 胡振苓, 等. 活性污泥法数学模型的研究与应用. 中国给水排水, 2001, 17(8):18~22
- 杨青, 刘遂庆, 甘树应. ASM3 在城市污水处理厂改造中的应用. 中国给水排水, 2002, 18(12):68~70
- 石博强, 赵德永, 李畅, 等. LabVIEW6.1 编程技术实用教程. 北京: 中国铁道出版社, 2002
- 卢培利. 传统活性污泥过程及其生物脱氮除磷改造的动力学模拟研究:[学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2002
- LabVIEW User Manual. USA: National Instrument Corporation, 1998
- Henze M. A General Model for Single-Sludge Wastewater Treatment Systems. Wat Res, 1987, 21(5):505~515

◎电话:(023)65120768

E-mail: xiduo@163.net

收稿日期:2004-04-06

济南加速污水处理工程建设

小清河是济南北部污水排放的唯一受纳水体, 河水污染极为严重, 生物净化功能已完全丧失。建立污水处理厂是治理小清河污水污染的一种快速有效的手段。今后五年, 济南市将投资 6.3 亿元在小清河济南段新建 5 座污水处理厂, 应对东、西部城区发展对小清河的影响。首批已投资 3.3 亿元新建东部董家、孙村和章丘 3 个污水处理厂, 增加 20 万 m³/d 污水处理能力。2010 年前, 将投资 3 亿元新建处理能力 25 万 m³/d 的济南水质净化三厂和处理能力 2 万 m³/d 的大金庄污水处理厂。届时, 济南西部城区生活污水将全部得到处理; 东部城区沿河直排口不能稳定达标污水将进入水质净化三厂。

(泓 明)