

文章编号:1000-582X(2011)05-082-05

## 基于 COD 组分表征的 GPS-X 对污水厂的模拟

艾海男<sup>1a</sup>, 何 强<sup>1a</sup>, 张代钧<sup>1b</sup>, 许丹宇<sup>2</sup>, 汪 林<sup>1b</sup>

(1. 重庆大学 a. 三峡库区生态环境教育部重点实验室; b. 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044; 2. 天津市环境保护科学研究院, 天津 3000191)

**摘 要:**介绍了活性污泥系统仿真软件 GPS-X 的模型机理及其建模的过程, 结合 COD 组分表征结果, 通过实例分析了该软件在污水处理厂中模拟应用, 模拟结果为: COD 最大误差为 5.48%, 最小误差为 0.83%, 相对误差绝对平均值约 2.85%; TN 最大误差为 7.23%, 最小误差为 0.15%, 相对误差绝对平均值约 3.62%,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  最大误差为 9.17%, 最小误差为 1.05%, 相对误差绝对平均值约 4.98%, 模拟结果与实测结果趋势吻合一致, 能较好地反映污水处理厂实际状况。

**关键词:**活性污泥模型; 氧化沟; GPS-X 软件; 数值分析; 模拟

**中图分类号:** X703.1

**文献标志码:** A

## The GPS-X simulation of a waste water treatment plant based on the characterization of COD

AI Hai-nan<sup>1a</sup>, HE Qiang<sup>1a</sup>, ZHANG Dai-jun<sup>1b</sup>, XU Dan-yu<sup>2</sup>, WANG Lin<sup>1b</sup>

(1a. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education;

1b. Key Laboratory for the Exploitation of Southwest Resources and Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;

2. Environmental Science Research Institute of Tianjin, Tianjin 3000191, P. R. China)

**Abstract:** The mechanism and the modeling process of the activated sludge system simulation software GPS-X are described, and combined with the results of characterization of COD components, an instance of the software's application in a sewage treatment plants is analyzed. The simulation results present the COD with a maximum error of 5.48%, a minimum error of 0.83%, and an average relative error of 2.85%, TN with a maximum error of 7.23%, a minimum error of 0.15%, and an average relative error of 3.62%, and  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  with a maximum error of 9.17%, a minimum error of 1.05%, and an average relative error of 4.98%. The simulation results match the measured results and reflect the actual situation of sewage treatment plants preferably.

**Key words:** active sludge model; oxidation ditch; GPS-X; numerical analysis; simulation

活性污泥法是当今城市污水处理的重要工艺, 其流程的选择、设计和优化运行备受关注。随着计算机技术与应用, 活性污泥法的机理研究已发展到各

种动态模型, 国际水协相继推出了基于组分划分与过程模拟的活性污泥系列模型 ASMs<sup>[1]</sup>, 详细描述了各种污染物在反应池或单元操作中物理、化学和生物化

收稿日期: 2011-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(50578166)

作者简介: 艾海男(1973-), 男, 重庆大学博士研究生, 主要从事废水处理理论与技术研究。

何强(联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事水污染控制方面的研究, (E-mail)hq0980@126.com。

学转化过程,成为废水生物处理工艺设计、运行控制和管理的重要手段。然而,详细的组分划分与过程模拟在提高了模型的完整性和准确性的同时,不可避免的增加了模型的复杂程度,由此,各类相应的商业化活性污泥工艺软件应运而生,并应用于污水厂的研究<sup>[2-3]</sup>,主要有美国 Clemson 大学的 SSSP 程序、丹麦 DHI 的 EFOR 软件<sup>[4-6]</sup>、比利时 HEMMIS 等公司的 WEST 仿真软件<sup>[7]</sup>以及加拿大 Hydromantis 公司的 GPS-X 软件<sup>[8-10]</sup>。但以上这些软件都具有较强的针对性却缺乏全面性,而基于 ASMS 开发的 GPS-X 软件能对各种水处理工艺过程进行较为全面的描述和模拟,经多年不断的修正和扩充后,不但包括了其他各种软件的大部分功能,而且形成了自己的特点:1)实现污水处理过程的稳态模拟和动态模拟,并能进行在线自动实时监控;2)具有敏感性分析模块和模型校正及参数估值优化模块,能在稳态和动态情况下运行;3)用户可对系统内置的模型进行更改和编辑,并能自定义添加描述工艺过程的模型;4)能帮助进行污水处理过程的设计、改进及优化,并向员工提供污水处理厂运行决策的培训;5)读取并利用实际污水处理厂的数据作为模拟输入,或者将其与模拟输出结果对比;6)对工艺过程实行自动检查、警告和自动校正、传感器探错、过程检错及预测等功能;7)可与 SCADA 系统连接,也可与 PID 控制连接。但是,组分的表征结果是该模型应用的必要输入条件,表征结果的准确性与真实性是决定最终模拟结果准确与否的关键问题之一。

笔者在研究活性污泥数学模型软件 GPS-X 的同时,结合了 COD 组分表征方法与实际污水厂运行情况对模型参数进行了校核,使该软件更适用于城市污水处理厂的优化运行与调控。

## 1 软件功能与实现方法

GPS-X 以 IWA 推出的系列活性污泥数学模型为机理模型,用户可以根据模型库提供的各种组件单元,使用分级图形编辑器(HGE)构建模拟对象,并以实际情况建立各组件单元间的关联,最终实现对污水厂模型的构建。软件既可以数据格式输出,也可以通过图表的方式显示各单元中的水质变化过程;同时可通过对操作单元的运行参数建立阀点控制条件,校核该系统的运行参数,分析污水厂各处理单元的处理状况,帮助进行污水处理过程的设计、改进及优化。

采用 GPS-X 软件对污水厂的模拟过程如下:

1)根据污水厂的实际工艺流程,选定相对应的

合适的模型,然后利用软件模型库中各种工艺组件单元建立用户需要的工艺构造;

2)输入污水处理单元构筑物尺寸与系统的流量关系,并把 C、N、P 等常规水质参数转化成模型组分,确定污水厂进水水质并输入;

3)确定与模型相关的计量系数和动力学参数,选定计算方法与步长,进行稳态模型运算,并根据需要输出各种图形或数值结果;

4)以稳态模拟结果作为动态模拟的初始输入值,对动态进水水质进行动态模拟分析,并反复校正与验证参数值;

5)结合实际数据进行结果分析与参数校正,确定模型可靠性,实现合理模拟。

## 2 实例分析

### 2.1 实例概况

实例为重庆市丰都新县城庙嘴污水处理厂,该厂占地面积 0.031 km<sup>2</sup>,采用改良型卡鲁塞尔氧化沟工艺,日处理能力达到 3 万 m<sup>3</sup>,处理对象为生活污水,主要工艺流程见图 1。为了满足除磷脱氮要求,在氧化沟进水端加设了厌氧池,池溶为 240 m<sup>3</sup>,2 台高速水下推进器进行混合搅拌;二沉池采用两组内径 38 m 的周边进出水沉淀池,有效水深 4.5 m。进水为周边环形渠孔管出流,均匀布水,出水采用周边锯齿形电道出水堰。工艺流程如图 1 所示。

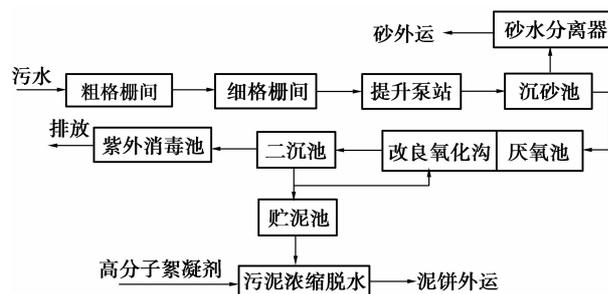


图 1 工艺流程图

### 2.2 软件仿真与验证

课题组搜集了该污水厂 2009 年上半年的常规监测数据,获得该厂进、出水水质、各类运行控制参数以及模型典型参数等。

进水 COD 组分是该模型应用的必要输入条件,其组分的划分是以 ASMS 关于 COD 划分为基础的。在前期的工作中,笔者提出了一套基于活性污泥 2 号模型(ASM<sub>2</sub>)的 COD 组分表征方法<sup>[11-12]</sup>,该方法包含了呼吸速率测量法同时表征快速易生物降

解 COD 组分(RBCOD)和慢速可生物降解 COD 组分(SBCOD)<sup>[13]</sup>、滴定法测量挥发性脂肪酸(VFA)组分<sup>[14]</sup>以及溶解性惰性 COD 组分(S<sub>I</sub>)和颗粒性惰性 COD 组分(X<sub>I</sub>)<sup>[15]</sup>。应用该方法首先对该污水处理厂进水中 COD 组分进行了表征。

利用 GPS-X 软件建立模型,选用 ASM<sub>2</sub> 对污水处理厂除碳脱氮效果进行模拟。模型中氧化沟前置厌氧池采用推流式厌氧选择器,主沟 5 个串联的完全混合反应器模拟,设置成厌氧-缺氧-好氧交替,体积比为 1:2:3;厌氧、缺氧和好氧段的 DO 分布根据沟内断面实测平均值进行控制;通过设置内回流实现氧化沟的环状推流状态,外回流实现系统的污泥回流;二沉池采用一维通量模型。运用上述对该污水厂进水 COD 组分表征结果对模型中的几个主要动力学

参数( $\mu_h$ 、 $K_s$ 、 $k_h$ 、 $K_x$ )进行校核,获得更符合实际的参数值;采用灵敏度分析法对生物反应动力学中的参数进行校核,确定出模型的敏感性参数(异养菌产率系数  $Y_H$ 、缺氧水解减速系数  $\eta_{NO_3}$  和氧饱和系数  $K_{O_2}$ )。表 2 为模拟值与现场试验期间实测值对比情况。

经模拟计算与实测结果比较,COD 最大模拟误差为 5.48%,最小模拟误差为 0.83%,相对模拟误差绝对平均值约 2.85%;TN 最大模拟误差为 7.23%,最小模拟误差为 0.15%,相对模拟误差绝对平均值 3.62%;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 最大模拟误差为 9.17%,最小模拟误差为 1.05%,相对模拟误差绝对平均值约 4.98%,由此可见,在科学表征废水 COD 组分的基础上,模拟结果与实测结果具有较好的吻合度。

表 2 模拟值与实测值的对比

月-日-时	COD				TN				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N			
	进水	出水	模拟值	相对误差/%	进水	出水	模拟值	相对误差/%	进水	出水	模拟值	相对误差/%
4-26-08	169.4	28.2	27.74	-1.63	35.4	13.3	12.70	-4.51	11.4	0.7	0.66	-5.71
4-27-08	154.2	23.5	24.03	2.26	37.7	15.0	14.62	-2.53	12.5	0.9	0.82	-8.89
4-28-08	293.3	35.4	36.08	1.92	47.8	12.8	12.22	-4.53	18.8	1.4	1.32	-5.71
4-29-08	246.6	39.6	40.66	2.68	38.3	11.2	10.39	-7.23	12.6	1.9	1.95	2.63
4-30-08	161.6	27.6	27.37	-0.83	36.1	6.5	6.49	-0.15	11.9	0.8	0.78	-2.50
5-01-08	193.0	26.2	26.72	1.98	48.4	13.3	12.62	-5.11	15.2	2.5	2.35	-6.00
5-02-08	276.2	27.2	27.68	1.76	33.5	8.2	7.90	-3.66	13.1	0.6	0.63	5.00
5-03-08	207.9	39.2	40.17	2.47	42.6	11.9	11.33	-4.79	14.4	1.7	1.56	-8.24
5-04-08	146.5	28.7	29.32	2.16	26.7	6.3	6.06	-3.81	12.2	0.8	0.87	8.75
5-05-08	162.8	20.2	20.62	2.08	34.1	9.8	9.21	-6.02	14.3	0.6	0.56	-6.67
5-06-08	147.6	29.4	27.79	-5.48	33.8	8.2	8.24	0.49	11.5	0.6	0.55	-8.33
5-07-08	179.5	36.3	37.55	3.44	50.2	7.6	8.03	5.66	15.7	0.5	0.46	-8.00
5-08-08	216.6	29.4	30.26	2.93	36.6	9.7	9.21	-5.05	12.7	0.6	0.57	-5.00
5-09-08	201.8	24.5	25.65	4.69	45.2	11.2	11.66	4.11	17.3	0.7	0.66	-5.71
5-10-08	141.6	31.7	30.35	-4.26	35.8	12.8	12.38	-3.28	12.5	0.8	0.75	-6.25
5-11-08	217.2	23.7	24.41	3.00	45.7	9.8	10.15	3.57	15.8	1.2	1.17	-2.50
5-12-08	209.4	36.6	38.17	4.29	40.4	9.3	9.44	1.51	13.2	1.8	1.69	-6.11
5-13-08	216.6	28.7	29.63	3.24	47.7	9.8	10.24	4.49	12.8	1.1	1.08	-1.82
5-14-08	157.8	24.2	24.65	1.86	34.6	10.6	10.57	-0.28	12.8	2.8	2.66	-5.00
5-15-08	179.5	25.4	24.87	-2.09	38.5	8.9	8.85	-0.56	15.2	1.2	1.31	9.17
5-16-08	276.4	28.7	27.64	-3.69	43.5	9.8	10.21	4.18	12.6	1.7	1.73	1.76
5-17-08	216.8	24.2	24.94	3.06	40.6	10.5	11.10	5.71	12.2	1.6	1.61	0.63
5-18-08	201.7	22.2	23.06	3.87	25.3	10.2	10.45	2.45	13.5	0.7	0.74	5.71
5-19-08	147.7	25.4	25.99	2.32	30.7	13.7	14.01	2.26	11.5	2.9	3.04	4.83
5-20-08	281.5	38.8	37.47	-3.43	43.4	12.5	13.08	4.64	12.7	1.9	1.92	1.05

### 3 模拟与讨论

根据该污水厂 2009 年上半年实际进水水质,采用三角函数拟合出各类水质指标随时间的波动函数,由 GPS-X 软件计算后,对该污水厂运行效果分析如下。

图 2 为 COD 去除效率图。结果显示:COD 进水平均浓度为 213 mg/L,二沉池出水为 26 mg/L,平均去除率达 87.8%,即使在进水 COD 波动较大的情况下,仍然能保持很稳定的出水浓度,由此可见,该氧化沟对 COD 有较好的去除效果,且具有较强的抗冲击负荷能力。

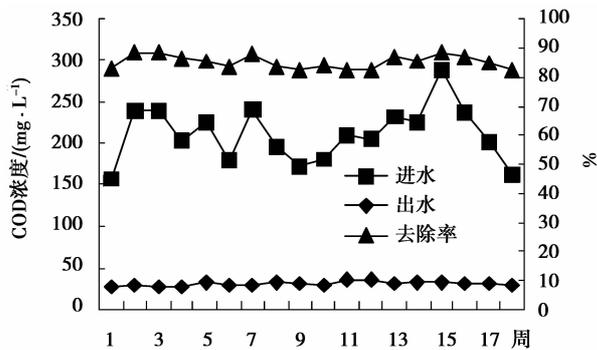


图 2 卡鲁塞尔氧化沟对 COD 的去除效果

TN 的去除效率如图 3 所示,由图可知,TN 进水平均浓度为 37 mg/L,出水平均浓度为 8 mg/L,平均去除率达 78.4%,结果表明:该氧化沟沟内形成了较好的好氧、缺氧条件,同时实现消化反硝化,达到两个过程的平衡,并且其良好的水力条件使得硝化菌与反硝化菌分布合理,能使微生物硝化与反硝化得以顺利进行。

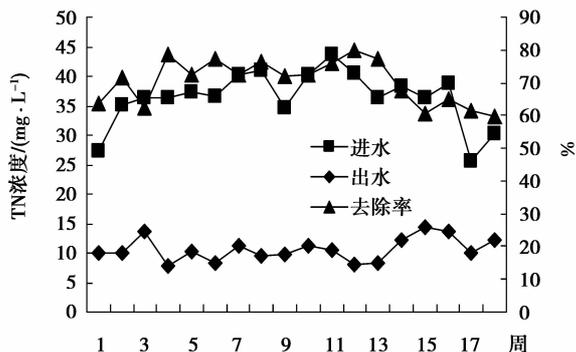


图 3 卡鲁塞尔氧化沟对 TN 的去除效果

图 4 为  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效率,由图可知,进水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的浓度波动较大,平均浓度为 13.06 mg/L,出水平均浓度为 1.82 mg/L,平均去除率达到 86.16%,在进水水质波动较大的时间段,如 3~4 周时,出水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度偏高,说明水质波动对其脱氮处理有较大的影响,结合 COD 在同一时期内的进水浓度,发现造成这一现象的原因可能为进水中碳源不足也常常限制了脱氮的效率。

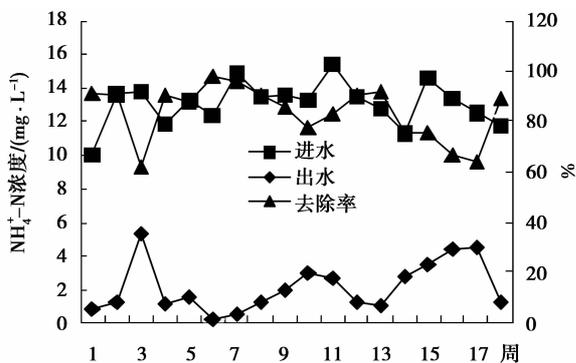


图 4 卡鲁塞尔氧化沟对氨氮的去除效果

### 4 结 语

1) 污水处理系统是多变量慢速响应系统,运行参数、突变情况较多,运行控制极为复杂,仅凭手工调整控制处理单元的参数并不能保证整个系统的稳定运行。GPS-X 模拟与优化是认识废水生物处理过程复杂机理、科学设计和优化管理处理工艺的有效途径。

2) 在研究活性污泥系统仿真软件 GPS-X 的模型机理及其建模的过程基础上,通过实例分析了该软件在污水处理厂中模拟应用,结合了实际污水厂进水 COD 组分表征方法及其运行情况对模型参数进行了校核,使该软件更适用于城市污水处理厂的优化运行与研究,结果表明,模拟值较好地反映污水处理厂实际运行状况。

#### 参考文献:

[1] 郭亚萍, 顾国维. ASM2d 在污水处理中的应用与研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(6): 8-10.  
 GUO YA-PING, GU GUO-WEI. Study and application of ASM2d in wastewater treatment [J]. China Water and Wastewater, 2006, 22(6): 8-10.  
 [2] 郝晓地, 曹秀芹, 曹亚莉, 等. 厌氧氨氧化细菌在生物膜系统中起主要脱氮作用的模拟预测[J]. 环境科学学报, 2004, 24(6): 1007-1013.

- HAO XIAO-DI, CAO XIU-QIN, CAO YA-LI, et al. Model-based prediction of ANAMMOX as major contribution to (N-removal) from biofilm systems[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(6): 1007-1013.
- [3] 揭大林, 操家顺, 花月, 等. WEST 仿真软件在污水处理中的应用研究[J]. *环境工程学报*, 2007, 1(3): 138-141.
- JIE DA-LIN, CAO JIA-SHUN, HUA YUE, et al. Application research of WEST software to sewage treatment [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2007, 1(3): 138-141.
- [4] GOHLE F, FINNISON A. Dynamic simulation of sludge blanket movements in a full - scale rectangular sedimentation basin [J]. *Water Science and Technology*, 1996, 33(1): 89-99.
- [5] 陈立. EFOR 程序的仿真模拟功能应用研究[J]. *中国给水排水*, 1998, 14(5): 15-19.
- CHEN LI. Research on the simulation and applied function of the EFOR program[J]. *China Water and Wastewater*, 1998, 14(5): 15-19.
- [6] 蓝梅, 周雪飞, 顾国维. ASM1 模型参数的多因素灵敏度分析[J]. *中国给水排水*, 2006, 22(23): 56-58.
- LAN MEI, ZHOU XUE-FEI, GU GUO-WEI. Multiple factors sensitivity analysis of ASM1 parameters[J]. *China Water and Wastewater*, 2006, 22(23): 56-58.
- [7] PRINTEMPS C, BAUDIN A, DORMOY T, et al. Optimization of a large WWTP thanks to mathematical modeling[C]// 9th IWA Specialized Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, September 1-4, 2003, Prague, Czech Republic. Prague: Vodnihospo-darsvi s. r. o., 2003: 113-122.
- [8] HIDROMANTIS. GPS-X Technical Reference [M]. Ontario: Hidromantis Inc., 1995.
- [9] SCHUTZE M, BUTLER D, BECK M B. Modeling, Simulation and Control of Urban Wastewater Systems[M]. London: Springer, 2002.
- [10] 徐丽婕, 王志强, 施汉昌. 污水处理厂全程模型化的软件选择[J]. *中国给水排水*, 2004, 20(5): 21-23.
- XU LI-JIE, WANG ZHI-QIANG, SHI HAN-CHANG. The software choice for the modelization of waste water treatment plants[J]. *China Water and Wastewater*, 2004, 20(5): 21-23.
- [11] 艾海男. 废水 COD 组分  $S_s$ 、 $X_s$  和  $S_A$  的表征方法及其应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [12] 卢培利. 混合呼吸测量仪研制与活性污泥模型进水 COD 组分表征研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [13] 张代钧, 艾海男, 卢培利, 等. 混合呼吸仪同时表征废水 RBCOD 和 SBCOD 组分[J]. *环境科学*, 2009, 30(8): 2293-2296.
- ZHANG DAI-JUN, AI HAI-NAN, LU PEI-LI, et al. Simultaneous characterization of RBCOD and SBCOD in wastewater by hybrid respirometer[J]. *Environment Science*, 2009, 30(8): 2293-2296.
- [14] FEITKENHAUER H, SACHS U V, MEYER U. On line titration of volatile fatty acids for the process control of anaerobic digestion plants [J]. *Water Research*, 2002, 36(1): 212-218.
- [15] LASPIDOU C S, RITTMANN B E. A unified theory for extra cellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass[J]. *Water Research*, 2002, 36(11): 2711-2720.

(编辑 郑洁)