

ASM_s仿真软件在污水处理厂中的应用

郭亚萍¹, 陈士才², 张宇坤³, 李 军³, 顾国维⁴

(1 浙江工业大学 生物与环境工程学院, 浙江 杭州 310014; 2 杭州市居住区发展中心
有限公司, 浙江 杭州 310000; 3 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014;

4 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: 活性污泥数学模型 ASM_s是活性污泥法处理城市生活污水的动态机理模型, 机理较完善, 并得到了大量研究与应用。这些动态机理模型较全面合理地描述了活性污泥法处理城市污水的动态过程与其中水质组分的变化与转化, 可作为活性污泥法的工艺分析与设计优化的理论基础。其重要的应用是基于 ASM_s可开发出污水处理仿真软件, 从而利于活性污泥工艺的设计、优化与分析比较。从仿真原理、仿真软件特点以及仿真软件的应用实例与优势等方面, 对这些基于 ASM_s的仿真软件进行了详细分析与介绍, 为其应用研究提供参考。

关键词: 活性污泥数学模型; 仿真软件; 污水处理厂

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2010)14-0023-04

Application of ASM_s-based Simulation Software in Wastewater Treatment Plants

GUO Ya-ping¹, CHEN Shi-cai², ZHANG Yu-kun³, LI Jun³, GU Guo-wei⁴

(1 College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2 Hangzhou Residential Development Center Co., Ltd., Hangzhou 310000, China; 3 College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 4 State Key Lab of Pollution and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract Activated sludge models (ASM_s) are good dynamic mechanism models for treatment of municipal wastewater by activated sludge process and have received wide research and application. ASM_s describe reasonably the dynamic process of wastewater treatment and the transformation of wastewater components, which can be used as theoretical basis for the technological analysis and design optimization of activated sludge process. It is an important application of ASM_s to develop simulation softwares for wastewater treatment based on the models, which favor the design, optimization and analytical comparison of activated sludge process. The ASM_s-based simulation softwares are analyzed and introduced from aspects of the mechanism, characteristics, application cases and advantages of simulation softwares, which provides a reference for their application research.

Key words activated sludge model; simulation software; wastewater treatment plant

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Y5080232); 江苏省教育厅资助项目 (20070285)

由于活性污泥工艺应用的普遍性以及活性污泥法的复杂性,对活性污泥法的研究一直是污水处理界的研究热点。而原有的静态模型在描述动态的工艺过程中存在许多弊端^[1],以静态模型为基础的常规设计也因机理模型的局限而无法详细分析污水水质,因而在实际应用中出现了一些问题。为满足污水排放要求而采用常规的保守设计则大大提高了占地与投资成本,且易出现实际水量达不到设计值的情况;若通过试验来进行方案比较或优化,则又存在周期长、成本高的问题。

另外,随着国家污水处理排放标准的提高,许多污水厂需要重新改造升级。为解决这些问题,国内外的设计者们都希望找到一种经济、有效、快速的设计方法可以辅助工艺设计与优化。

国际水协 IWA 针对活性污泥法设计和运行的数学模型^[2],概括总结了一些工艺的测定结果,结合工艺过程建立起动态的活性污泥数学模型通用平台,先后推出了 ASM 1、ASM 2、ASM 2d 以及 ASM 3 这一系列活性污泥数学模型 (ASM s)。广大研究者对这些动态数学模型做了进一步研究分析,并证明它是目前较完善成熟的动态机理模型,而且还得到了一定程度的应用研究。

由于 ASM s 这些动态模型在描述上具有一定的复杂性,其应用需要借助一个平台。因此,开发以 ASM s 为基础的污水处理仿真软件是应用的前提,这也是当今国际污水处理界与软件开发商的一个关注热点。在我国,活性污泥数学模型的研究与应用相对较晚,目前在这方面有深入研究的有同济大学、清华大学、浙江工业大学等一些高校。许多专家与设计者们对仿真软件很感兴趣,但是对软件的应用机理与实用性方面可能存在较大疑问。结合本课题组近年来在 ASM s 模型及软件开发与应用等方面的研究,介绍了 ASM s 仿真软件的主要机理与特点,及其在污水处理中的应用,以供参考。

1 ASM s 仿真软件的机理

基于 ASM s 开发的污水处理仿真软件在模拟过程与原理上有共同的准则,即以国际水协 IWA 发表的 ASM s 作机理模型的核心,结合实际污水生物处理工艺过程,将每个反应器看成 n 个完全混合反应器 (CSTR)^[1]进行编程,按照流量的物料平衡 (实际进水量等于出水流量) 与质量平衡 (变化量 = 输入量 - 输出量 + 反应量) 求解模拟各反应器的出水流

量与浓度。

仿真模拟污水厂反应池出水流量与浓度时所采用的基本计算通式如下:

$$Q_k = Q_0 \cdot f_k + Q_r \cdot r_k + \sum_{l=1}^n Q_{lk} \quad (1)$$

$$C_{ki} = [Q_0 \cdot f_k \cdot C_{0i} + Q_r \cdot r_k \cdot C_{n+1,i} + \sum_{l=1}^n Q_{lk} \cdot C_{li}] / Q_k \quad (2)$$

式中 Q_k 、 C_{ki} ——分别表示第 k 个反应池的出水流量与水质参数 i 的浓度

Q_0 、 C_{0i} ——分别表示该工艺中原始污水的流量与水质参数浓度

f_k ——原始污水分流到反应池 k 的分流比

Q_n 、 $C_{n+1,i}$ ——分别表示二沉池的底部污泥回流量与水质参数 i 的浓度

r_k ——二沉池污泥回流中分流到反应器 k 的分流比

Q_{lk} ——从第 l 池流入 k 池的混合液流量

C_{li} ——第 l 反应池的水质参数 i 的浓度

显然,式 (1) 为任一完全混合反应器的出水流量的基本计算通式,式 (2) 为水质参数浓度的基本计算通式。

在一定时间范围内,通过边界条件对所有组分的浓度方程与流量方程进行时间的求导,就可以得到对应时间内每一组分的出水浓度与出水流量。这就是仿真软件模拟的基本机理。通过合理地调整与校正参数,可以得到合理的模拟结果。

由于 ASM s 是动态机理模型,它在描述复杂的活性污泥系统的动态运行时,比原来的静态模型更能全面反映实际系统的运行情况,从理论上可以更接近真实,反映更多信息,而且有大量实际污水厂的研究统计分析基础,以此为核心开发的仿真软件比原来的常规设计更具说服力。

2 ASM s 仿真软件的模型特点

目前已有不少 ASM s 仿真软件,根据软件的开发目的可分为商用型软件与研究型软件。其中产品化的商用型软件主要是国外的软件,如 WEST、BioWin、GPS-X 等。这些软件的共同特点是制作精美、操作相对简单,并有一定的辅助功能与工艺集成。而在具体的软件“灵魂”——模型上,则各有各的特点。但这些软件的缺点是价格较高,且软件提供的模型动力学参数等参考值与我国的污水处理工艺的实测值有较大差异 (这主要是由于国际水协在

统计调查的众多污水厂中亚洲方面的较少且没有我国的污水分析数据)。因此在使用这些仿真软件时需根据我国污水厂的实际情况进行相应调整,这对软件的推广应用造成了一定的阻碍。表 1 是目前几个著名商用软件的特色比较。

表 1 三大著名商用软件的模型特色比较
Tab 1 Comparison of model characteristic from three famous commercial softwares

项 目	BiW in 软件	WEST 软件	GPS- X 软件
污水处理反应器的机理模型	BiW in general model(CNP)、ASM 1 ASM 2d ASM 3(可提供模型编辑)	国际水协报道的活性污泥模型并考虑水温变化的改进模型 ASM 1(ASM 1T)、ASM 2(ASM 2T)、ASM 2d(ASM 2dT)、ASM 3(t ASM 3T)	ASM 1(M antis 2stepm antis)、ASM 2d ASM 3、Dold 模型
沉淀池模型	与 Takacs 模型略有不同的沉淀模型、初沉池模型	点沉降模型、Marsili Libelli 模型、Ottengruber Freund 模型、Takacs 模型、Takacs Solubles Propagator 模型、Takacs All Fraction Propagator 模型	Takacs 模型、点沉降模型
其他反应模型	无	厌氧消化模型(ADM 1; Siegrist)、河流模型(RQM 1)、初沉池模型等	脱水模型、膜反应、厌氧消化模型、基本厌氧模型(Andrews-Bamett)等

国内目前的研究型软件的最大特点是模型参数的研究很成熟,且以当地某种工艺或某种城市污水的研究分析为基础,其参数值已经过当地化校正,比较接近于我国一般城市污水厂参数实测值,因此软件对污水厂的模拟分析结果通常较好。但在软件的辅助功能等方面,研究型软件没有商用型软件完善。因此两者需要互补长短,才能推广应用。

3 污水处理仿真软件的应用研究
3.1 为水质分析提供更详细的信息

我国污水处理的常规水质参数主要是 COD、BOD₅、MLSS、TKN、TP 等,污水排放标准也主要针对这些参数进行限定要求。但就水质来说,这些参数只是表征了复杂污水的一些特征,还无法全面掌握污水的性质,因而也容易导致污水处理设计的分析与预测结果出现偏差。

污水处理仿真软件采用的机理模型是动态数学模型,它结合一定的水质组分特点对污水进一步细分,可以更全面地表征污水水质。如有脱氮除磷过

程描述的 ASM 2 将常规的水质参数细分成了 19 个组分。模型水质组分参数与常规水质参数之间有一定的关联,如常规水质参数 COD 在 ASM 2 模型中被细分成发酵产物 S_A 、易生物降解有机物 S_F 、惰性溶解性有机物 S_K 、慢速可降解基质 X_S 、惰性颗粒性有机物质 X_I 及异养菌 X_H 、自养菌 X_{AUT} 等,这样可将一定的物质、微生物等联系起来,便于进一步掌握污水的水质情况,有利于针对性分析水质。

同时,在工艺模拟过程中,机理模型通过相应的化学计量系数与动力学参数来详细地表征污水的各个动态反应过程,这样的动态过程更接近实际的污水反应过程,这也是原来的静态设计所达不到的。

3.2 有利于工艺的模拟与分析

在全面分析污水水质与过程的基础上,ASM s 仿真软件能够较好地模拟实际污水厂的运行。首先用模型组分分析污水处理厂的进水水质,在全面了解污水水质后建立工艺模拟模型,再结合实际结果进行一定的分析校正,就可以得到工艺的模拟结果。模拟结果可以按常规参数与模型组分参数之间的一定关系转换成常规参数来表示。

采用 ASM s 仿真软件对某污水厂的模拟结果表明,这些常规参数的模拟结果与实测值之间的误差率均小于 10%,这是常规模拟所难以达到的精度。由此可见,在此基础上建立的 ASM 仿真软件具有很好的模拟功能。此外,仿真软件的另一优点是可以获得每一个处理过程的大量信息,随时反映处理情况,有利于及时掌握与分析水质。

3.3 在工艺优化上简便直观

污水处理仿真软件在工艺比较与操作优化方面更能发挥计算机模拟的优势。如采用 WEST 软件在某污水处理工艺的优化比较案例中,考虑厌氧池容积、缺氧池容积、好氧池容积、内回流比、外回流比、排泥量等多种工艺参数的变化对出水水质的影响,在 WEST 软件中建立了优化矩阵。在运行优化的比较操作后,可得到各操作方式下最终出水水质的变化情况。由此可知,仿真软件可以利用图表直观清晰地体现多种操作方案对最终出水水质的影响结果,方便用户全面分析各种方案的出水结果,从而较易确定并满足最终出水水质达标下的最佳运行方案,快速实现工艺的优化设计。通过仿真软件的优化分析功能可知,仿真软件的优化与分析计算为用

(下转第 29 页)

互补。进一步完善现有脱氮技术, 开发高效低耗、能实现氨氮回收利用的处理技术是今后处理高氨氮废水的发展方向。

参考文献:

- [1] 何岩, 赵由才, 周恭明. 高浓度氨氮废水脱氮技术研究进展 [J]. 工业水处理, 2008, 28(1): 1- 4
- [2] 钟金松, 闵育顺, 肖贤明. 浅谈高浓度氨氮废水处理的可持续发展方向 [J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 92- 94 147.
- [3] 陈凤冈, 计中坚. 内循环 A /O 生物脱氮处理煤气废水影响因素的探讨 [J]. 中国给水排水, 1995 11(1): 10- 12
- [4] 魏海娟, 张永祥, 施同平. 移动床生物膜系统同步硝化反硝化脱氮研究 [J]. 水处理技术, 2009 35(1): 50- 53
- [5] 张可方, 凌忠勇, 张立秋, 等. 温度对 SBBR 亚硝酸型同步硝化反硝化的影响 [J]. 中国给水排水, 2009 25(13): 27- 30 34.
- [6] 张朝升, 章文菁, 方茜, 等. DO 对好氧颗粒污泥短程同步硝化反硝化脱氮的影响 [J]. 环境工程学报, 2009, 3(3): 413- 416
- [7] 陈英文, 陈祥, 沈树宝. 膜生物反应器同步硝化反硝化系统的研究 [J]. 环境工程学报, 2008, 2(7): 902- 905
- [8] 郝火凡, 胡晓明. 高氮垃圾渗滤液 SBBR 生物脱氮工艺特性研究 [J]. 水处理技术, 2009, 35(9): 48- 51 55.
- [9] 侯巧玲, 文一波, 吴迪, 等. 高氨氮废水短程硝化的影

响因素研究 [J]. 工业安全与环保, 2008, 34(12): 17- 19

- [10] 徐峥勇, 杨朝晖, 曾光明, 等. 序批式生物膜反应器 (SBBR) 处理高氨氮渗滤液的脱氮机理研究 [J]. 环境科学学报, 2006 26(1): 55- 60
- [11] 马富国, 张树军, 曹相生, 等. 部分亚硝化 - 厌氧氨氧化耦合工艺处理污泥脱水液 [J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 219- 224.
- [12] 钱福国, 陈天虎, 瞿丽. 安徽宣城天然斜发沸石深度处理氨氮废水研究 [J]. 非金属矿, 2008, 31(2): 62- 65, 68
- [13] 潘嘉芬, 卢杰. 天然斜发沸石吸附高浓度氨氮废水试验研究 [J]. 中国矿业, 2008, 17(2): 87- 89.
- [14] 宋卫锋, 骆定法, 王孝武, 等. 折点氯化法处理高 NH_3 - N 含钴废水试验与工程实践 [J]. 环境工程, 2006, 24(5): 12- 13
- [15] 陈祥, 陈英文, 彭慧, 等. 磷酸铵镁沉淀法处理氨氮废水及沉淀剂的回用 [J]. 化工环保, 2008, 28(1): 16- 19
- [16] 黄晓鸣, 陈天虎, 潘敏, 等. 锰矿石氧化 - 磷酸铵镁沉淀预处理焦化废水 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(6): 713- 717.
- [17] 王献平, 李韧. 吹脱 + A /O 工艺处理氮肥企业高氨氮废水的工程实践 [J]. 环境工程, 2007, 25(5): 102- 104

电话: 13903838122

E - mail sjcu520@ sina. com

收稿日期: 2010- 04- 27

(上接第 25 页)

户提供了大量信息, 方便用户充分分析与比较各种方案的运行结果, 且简便快速并大大节省了各种应用成本。与通常的经验法设计或方案的小试比较等常规方法相比, 避免了后者存在的试验运行时间长、投资大及优化结果不明确等问题。

4 结语

活性污泥数学模型 ASM s 是相对较完善的动态机理模型, 能够较好地表征污水处理过程; 基于此机理模型开发的 ASM s 仿真软件可以较全面地分析污水水质分析、模拟污水厂处理各过程, 并且快速有效地进行方案优化与比较, 可以作为污水厂的设计辅助工具以及相应的科研工具。

参考文献:

- [1] 郭亚萍. 活性污泥法处理城市生活污水的 ASM2d 模型研究 [D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [2] 张亚雷, 李咏梅. 活性污泥数学模型 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2002
- [3] 郭亚萍, 顾国维. ASM 2d 在污水生物处理中的应用与研究 [J]. 中国给水排水, 2006, 22(6): 8- 10
- [4] 郭亚萍, 顾国维. WEST 软件的仿真设计功能应用研究 [J]. 工业水处理, 2006, 26(3): 7- 9.

电话: 13858043191

E - mail luckyaping@ 163. com

收稿日期: 2010- 03- 03