

· 治理技术 ·

ASM2 G 在污水处理中的应用

郭亚萍, 顾国维

(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: 针对用静态模型常规设计在设计效果与模拟分析上的不足, 作者在研究动态机理模型 ASM2d 的基础上开发了污水处理仿真程序 ASM2 G, 以分析污水生物处理, 并进行模拟分析与辅助设计。本文首先介绍了此自编程序的机理模型 ASM2d; 其次说明了 ASM2 G 的模拟过程; 最后, 通过对实际污水处理厂的模拟比较, 说明了 ASM2 G 在模拟分析上的优势, 同时也反映了 ASM2d 能够较好地反映污水处理的运行状况, 是一个较成熟的动态机理模型。文章试图为找到一种经济有效的设计方法提供一定的参考。

关键词: ASM2d; 模拟程序 ASM2 G; 生活污水

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1001-3644(2005)05-0054-03

Simulation Application of ASM2 G in Domestic Wastewater Treatment

GUO Ya-ping, GU Guo-wei

(State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The design based on static state models has some difficulties in modeling the results of process designed and analyzing the wastewater treatment. In order to find an effective way for design and analysis of wastewater treatment process, the author develops a simulation application of wastewater treatment plants based on ASM2d, which is a dynamic model of denitrification and dephosphorization published by IWA. This paper introduces the mechanism of ASM2d and the process of modeling. Finally, it shows the results of modeling on a wastewater treatment plant in full-scale. The results also verifies the advantage of ASM2 G on modeling.

Key Words: ASM2d; simulation application ASM2 G; domestic wastewater

用静态模型常规设计污水处理厂在设计效果与模拟分析上存在着一些不足^[1], 如难以经济快速地分析设计工艺的处理效果、常规设计带来实际污水厂运行时达不到设计效果等。因此, 如何经济有效进行工艺处理效果的预测与分析成为污水处理方案设计的一个重点。随着国家对污水排放标准的提高而引起更多的污水厂需要改建或者新建^[2], 污水厂的有效设计更成为污水处理界的一个重点。

本文针对这些问题, 结合对本课题组数年来对国际水协发表的活性污泥动态数学模型的研究及本人对脱氮除磷模型 ASM2d 的研究与污水厂的分析, 开发了基于 ASM2d 的污水处理模拟程序 ASM2 G, 以模拟分析污水厂的生物处理。下面, 文章从模拟核心 ASM2d、模拟过程及模拟实例这三个方面来介绍

ASM2 G, 也为如何经济有效地设计与分析污水处理提供一定的参考与启发。

1 模拟核心: ASM2d

ASM2d^[3,4]是国际水协(IWA)于1999年发表的数学模型, 是对IWA在1995年发表的第一个含脱氮除磷过程的2号模型ASM2的拓展。与ASM2的主要区别是, ASM2d在ASM2基础上增加了反硝化聚磷菌这一概念, 引入了2个生物过程用以描述聚磷菌利用细胞内的存储物质进行反硝化的过程, 从而在机理上能够更准确地模拟硝酸盐和磷酸盐动力学, 可以作为进一步研究和发展活性污泥系统除磷脱氮过程动力学模型的平台和参考。

ASM2d把常规的表征C、N、P的污水指标细分为9个溶解性组分与10个颗粒性组分, 共有19个污水模型组分, 并用21个反应过程来描述这些组分在污水生物处理中的动态反应过程, 这些过程与组分之间的关系涉及了22个化学计量系数与45个动力学参数。对于这样复杂的动态描述, IWA采用了矩阵符号法来

收稿日期: 2005-07-05

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目——城市污水处理的自动化控制(编号:50138010)

作者简介: 郭亚萍(1976-), 女, 浙江嵊州人, 同济大学环境工程专业2002级在读博士研究生, 研究方向为水污染控制工程。

清晰表达这些组分、参数与反应过程的关系，具体见下表。

表 SAM2d 短阵

No.	反应过程	1 SO ₂	2 S _F	3 S _A	4 S _{NH₄}	5 S _{NO₃}	6 S _{PO₄}	7 S _I	8 S _{ALK}	9 S _{N₂}	10 X _I	11 X _S	12 X _H	13 X _{PAO}	14 X _{PP}	15 X _{PHA}	16 X _{AUT}	17 X _{TSS}	18 X _{MeOH}	19 X _{MEP}	速率
1	好氧水解		1 - f _{SI}		V1S _{NH}		V1S _{PO}	f _{SI}	v1Salk			- 1						V1Xtss			p1
2	缺氧水解		1 - f _{SI}		V1S _{NH}		V2S _{PO}	f _{SI}	v2Salk			- 1						V2Xtss			p2
3	厌氧水解		1 - f _{SI}		V1S _{NH}		V3S _{PO}	f _{SI}	v3Salk			- 1						V3Xtss			p3
4	基于 S _F 的生长	1 - $\frac{1}{Y_H}$	- $\frac{1}{Y_H}$		V1S _{NH}		V4S _{PO}		v4Salk				1					V4Xtss			p4
5	基于 S _A 的生长	1 - $\frac{1}{Y_H}$	- $\frac{1}{Y_H}$	- $\frac{1}{Y_H}$	V1S _{NH}		V5S _{PO}		v5Salk	$\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$				1				V5Xtss			p5
6	基于 S _F 的反硝化				V1S _{NH}	- $\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$	V6S _{PO}		v6Salk				1					V6Xtss			p6
7	基于 S _A 的反硝化			- $\frac{1}{Y_H}$	V1S _{NH}	- $\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$	V7S _{PO}		v7Salk	$\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$				1				v7Salk			p7
8	发酵		- 1	1	V1S _{NH}		V8S _{PO}		v8Salk									V8Xtss			p8
9	溶菌				V1S _{NH}		V9S _{PO}		v9Salk		f _{XI}	1 - f _{XI}	- 1					V9Xtss			p9
10	X _{PHA} 的厌氧储存			- 1	V1S _{NH}		V10S _{PO}		v10Salk						- Y _{PO}	1		V10Xtss			p10
11	X _{pp} 的好氧储存	- Y _{PHA}			V1S _{NH}		V11S _{PO}		v11Salk						1	- Y _{PHA}		V11Xtss			p11
12	X _{pp} 的缺氧储存				V1S _{NH}	- Y _{PHA} / 2.86	V20S _{PO}		v20Salk	Y _{PHA} / 2.86					1	- Y _{PHA}		V20Xtss			p20
13	X _{PHA} 好氧生长	1 - $\frac{1}{Y_H}$			V1S _{NH}		V12S _{PO}		v12Salk					1		- 1 / Y _H		V12Xtss			p12
14	X _{PHA} 的缺氧生长	$\frac{1 - Y_{PAO}}{2.86 * Y_{PAO}}$	- $\frac{1 - Y_{PAO}}{2.86 * Y_{PAO}}$		V1S _{NH}		V21S _{PO}		v21Salk						1	- 1 / Y _{PAO}		V21Xtss			p21
15	X _{PAO} 的分解				V1S _{NH}		V13S _{PO}		v13Salk		f _{XI}	1 - f _{XI}	- 1					V13Xtss			p13
16	X _{pp} 的分解				V1S _{NH}		V14S _{PO}		v14Salk						- 1			V14Xtss			p14
17	X _{PHA} 的分解			1	V1S _{NH}		V15S _{PO}		v15Salk							- 1		V15Xtss			p15
18	X _{AUT} 的好氧生长		1 - $\frac{4.57}{A_{AUT}}$		V1S _{NH}	1 / Y _{AUT}	V16S _{PO}		v16Salk								1	V16Xtss			p16
19	X _{AUT} 的分解				V1S _{NH}		V17S _{PO}		v17Salk		f _{XI}	1 - f _{XI}					- 1	V17Xtss			p17
20	沉淀				V1S _{NH}		V18S _{PO}		v18Salk									V18Xtss	- 3.45	- 4.87	p18
21	再溶解				V1S _{NH}		V19S _{PO}		v19Salk									V19Xtss	3.45	- 4.87	p19

在上表中，第一行数字 1 到 9 为污水溶解性组分，依次为溶解氧 SO₂、快速生物降解有机物 S_F、发酵产物 S_A、铵态氮与氨态氮 S_{NH₄}、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮 S_{NO₃}、溶解性无机磷 S_{PO₄}、惰性溶解性有机物 S_I、污水的碱度 S_{ALK}、氮气 S_{N₂}；数字 10 到 19 为污水颗粒性组分，依次为惰性颗粒性有机物 X_I、可慢速生物降解基质 X_S、异养菌 X_H、聚磷菌 X_{PAO}、聚磷 X_{PP}、聚磷菌的细胞内部储存物 X_{PHA}、硝化菌 X_{AUT}、总悬浮固体 X_{TSS}以及金属氢氧化物 X_{MeOH}。

表 1 的第一列数字 1 到 21 为反应过程，依次是：好氧水解、缺氧水解、厌氧水解、基于 S_F 的好氧生长、基于 S_A 的好氧生长、基于 S_F 的缺氧生长、基于 S_A 的缺氧生长、发酵、水解、X_{PHA} 的厌氧储存、X_{pp} 的好氧储存、X_{PAO} 的分解、X_{pp} 的分解、X_{PHA} 的分解、X_{AUT} 的好氧分解、硝化菌的溶菌，磷的沉淀、磷的再溶解。

表 1 的最后一列为每一个反应过程所对应的反应速率 P_j，具体的速率方程简略。

表 1 中间部分为污水组分在所涉及到的反应过程中其表征的参数，限于篇幅，对参数不作一一说明。

对于每一个污水组分在生物处理中的每一个反应

过程，可以通过表 1 列出一个关于反应速率与组分及参数的非线性方程。这就是污水动态模拟的核心基础。

2 ASM2G 的模拟过程

从 ASM2d 矩阵可以得到任一个组分（标记为 i）的总反应速率方程： $n = \sum_{j=1}^{21} v_{ij} P_j$ （式 1）；根据建模原则“一进一出—反应”与质量平衡关系，则得到污水处理的反应系统中，任一组分的质量平衡表达式为： $\frac{\Delta M_i}{\Delta t} = Q (C_{in} - C_{ef}) + r_i \cdot V$ （式 2）；把工艺的反应池分成若干个完全混合反应器（CSTR），认为每个 CSTR 内浓度相同，出水浓度等于反应器浓度，则可得到通用质量平衡式为： $V \frac{\Delta C_i}{\Delta t} = Q (C_{in} - C_i) + r_i \cdot V$ ，（式 3）。根据式 3，针对每一个组分都会有一个相应的非线性方程，而对这些非线性方程组结合工艺进行条件限定，并求解，就可得到每一个过程中每一个组分随时间的出水浓度。这就是程序模拟的理论基础。

这里：（式 1）中：r_i 表示为任一组分 i 的反应速率方程；v_{ij} 表示第 i 个组分所对应的计量学矩阵，p_j 即为

此组分对应的反应过程速率; (式 2) 中, C_{in} 为反应系统的进水浓度, C_{ef} 为反应系统的出水浓度, Q 为反应系统的进水流量, V 为反应系统的体积; (式 3) 中, V , Q , C_{in} 定义与式 2 同, 而 C_f 为反应池的出水浓度, 也等于反应器内浓度, ΔC_f 为反应池进出浓度差。

对一污水厂用 ASM2G 模拟, 首先按照污水厂的工艺流程与反应机理模型 ASM2d 建立反应过程, 并输入此污水厂的工艺构造参数值与污水厂进水的常规参数值, 通过 ASM2G 中的转换关系, 转换成污水水质模型参数值。然后先用稳态数据初步模拟, 基本确定模型的参数值, 再通过多次动态数据进行验证与校正, 最后确定出系统的参数值, 然后就可以对此污水厂进行模拟分析。仿真过程主要可见图 1。

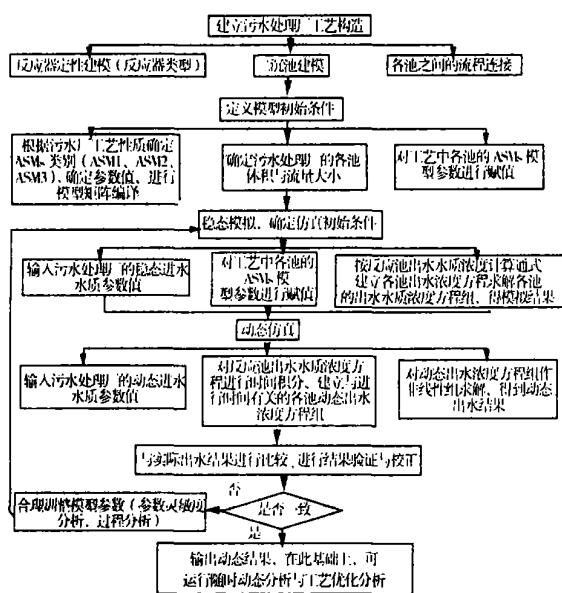


图 1 ASM2G 的仿真过程

经过参数验证与校正后, 程序就可对此污水厂进行过程分析与出水预测, 同时, 也可以此为基础比较不同的工艺对此污水的处理效果。

3 模拟实例

利用 ASM2G 程序, 对上海一待改建污水厂进行了模拟分析, 来验证机理模型 ASM2d 的有效性与自编程序的可用性。

首先, 分析污水厂的进水水质数据, 进行水质模型组分分析, 输入模型组分参数值; 同时, 按照实际污水厂的工艺运行数据, 在 ASM2G 中输入反应池体积、二沉池的表面积与有效高度等。然后进行初步稳态模拟。其中, 模型的参数除部分通过实验确定外, 其余借助模拟程序反复校正来确定, 最后得到合理的参数值, 能够较好地反映此活性污泥系统的特性。在参数调整后, 再进行稳态模拟, 把出水的模型组分数据按其与 COD_{Cr} 等常规参数之间的转换关系换算成常规参数数据后, 就可以得到出水的常规参数模拟结果, 与实际出水的常规参

数结果之间符合较好, 其中 NH_3 、 COD_{Cr} 、TN、TP 的模拟结果与实测结果如图 2 所示。

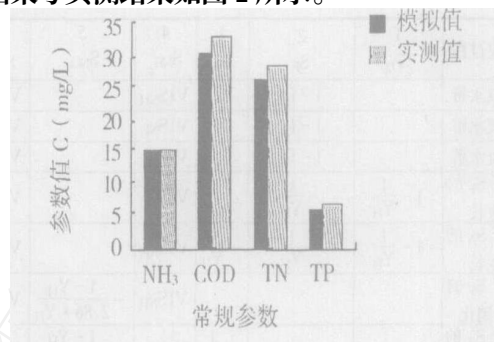
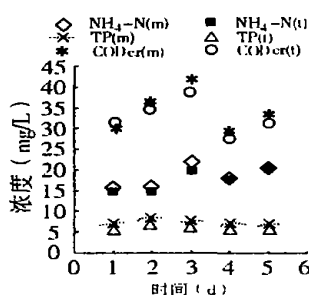


图 2 稳态模拟结果与实测结果的比较



注: m 表示模拟值 t 表示实测值

图 3 动态模拟分析的模拟值与实测值比较

为验证校正后的系统参数值的可靠性, 根据此污水厂的动态进水数据, 按图 1 模拟过程中动态仿真下的几个步骤对污水厂进行动态模拟, 最后得到出水常规参数的模拟值与实测值之间基本一致, 结果如图 3 所示, 两者的误差小于 10%。由此可见, 校正后的参数值比较稳定, 符合此污水厂的实际反应系统情况, 此模型与模拟可靠。

4 结束语

通过以上分析, 我们可以得出如此结论:

ASM2d 数学模型是较完善的动态机理模型, 通过参数调整, 可以较全面地反映出污水水质与污水处理情况;

基于 ASM2d 开发的 ASM2G 模拟程序能够较好地模拟污水厂的生物处理。

由此, 利用基于数学模型开发的污水处理模拟程序用于实现污水厂的工艺比较与出水效果分析也成为一种可能。

参考文献:

- [1] 王 闯. 活性污泥数学模型研究[D]. 上海: 同济大学博士学位论文, 2003. 1-2.
- [2] 侯红娟, 周 琪. 城市污水除磷技术发展[J]. 四川环境, 2004, 23(6): 41-44, 49.
- [3] Henze Mogens, Gujer Willi Mino Takahashi, Matsuo Tomonori, Wentzel Mark C, Marais Gerrit v R, et al. Activated Sludge Model No. 2d, ASM2D[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(1): 165-182.
- [4] 张亚雷, 李咏梅译. 活性污泥数学模型[M]. 上海: 同济大学出版社, 2002. 85-105.