

污水处理厂计算机仿真模拟研究

赵振 林卫青

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

[摘要] 自从国际水质协会推出活性污泥数学模型(ASMS)系列后, 数学模型和计算机模拟在国外逐渐成为评估城市污水处理厂营养物去除能力的一种有效工具。本文主要针对上海市某城市污水处理厂运行资料进行了计算机模拟, 并将模拟结果中的COD、TSS、TN、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 等组分浓度与实测数据进行比较。通过对模型校正和调整, 仅改变了ASM1(Activated Sludge Model No. 1)数学模型中的4个参数, 取得了较好的预测效果。同时对城市污水处理厂进一步运用数学模型进行了讨论。

[关键词] 活性污泥; 计算机模拟; 污水处理厂; 数学模型; 模型校正; 营养物去除

[中图分类号]

[文献标识码]

[文章编号]

自从1985年国际水质协会(IAW)推出活性污泥1号数学模型(ASM1)^[1]后, 活性污泥数学模型取得了很大的进展, 随后IAW活性污泥数学模型课题组相继推出了ASM2号、ASM2d号、ASM3号以及EAWAG Bio-P模型。上述所有的模型都能够模拟碳氧化、硝化和反硝化过程, 其中ASM2号、ASM2d、EAWAG Bio-P等还能够模拟生物化学除磷过程。ASM系列模型中引进了许多动力学和化学计量学参数, 描述了大量的生化反应过程, 因此模型结构较复杂。但是许多研究表明^{[4][5][6]}, 在活性污泥数学模型的某一具体实例运用中, 一般只须对文献缺省值中的灵敏度高的少数几个参数进行调整和修正, 而大多数模型参数不必修正和调整就可以取得较好的预测效果。

活性污泥数学模型在模型的建立和完善上取得了很大的进展, 不过, 目前运行的许多城市污水处理厂仍然对数学模型中所需的分析组分(VSS、NVSS、 COD_s 、 COD_x 等)缺乏监测数据, 而 BOD_5 、TSS、COD、TN等常规监测数据不能直接运用于活性污泥数学模型(ASMs)中, 必须首先将它们转化为模型组分。因此, 国内外用城市污水处理厂的常规监测数据对污水处理厂运行效果模拟的研究不多见。本文利用上海某城市污水处理厂的实测常规数据作为模型的原始数据, 对其进行了模拟研究。重点主要是模型组分的转化分析和模型内部几个敏感参数的调整 and 修正。

1 研究方法

1.1 污水处理厂的简介

某污水处理厂主要处理来自3个生活小区的生活污水和周围地区的部分工业废水。设计日

处理污水量为 $2.2 \text{万m}^3/\text{d}$ 。进水 BOD_5 为 180mg/L , $\text{NH}_4\text{-N}$ 为 $50\sim 70 \text{mg/L}$, 出水 $\text{BOD}_5 < 20 \text{mg/L}$, $\text{NH}_4\text{-N} < 15 \text{mg/L}$ 。该厂建于1989年, 采用A/O处理工艺, 其中A段体积与O段体积之比为1:2, 处理构筑物分2组同时运行, 每组构筑物的尺寸为, A段: $35 \text{m} \times 7 \text{m} \times 7 \text{m}$, O段: $70 \text{m} \times 7 \text{m} \times 7 \text{m}$, 有效水深为 6m 。工艺流程见图1。曝气池采用鼓风机曝气提供空气, 好氧曝气池中的DO浓度控制为 2g/m^3 。

1.2 模拟工具的选用和介绍

为了研究的目的, 选用了丹麦水力研究所(DHI)^{[2][3]}的EFOR2002程序包。该程序是在ASM活性污泥数学模型基础上开发出来的商品化计算机程序, 它可以对采用活性污泥工艺的城市污水处理厂做仿真模拟, 目前最新的EFOR2002包括ASM1号、ASM3号模型以及在ASM2d基础上进行完善的CNDP模型(CNDP模型能模拟碳氧化、硝化、反硝化、生物脱磷和化学除磷过程)。程序能模拟传统活性污泥、分段进水、接触氧化、硝化、反硝化、交替硝化反硝化、氧化沟工艺、AB法及生物化学同时除磷等活性污泥法城市污水处理工艺。通过模拟, 可获得稳态与动态的出水效果。同时, 程序本身为相关的水质特性和动力学参数的修正留下了充分的余地, 因而通过不同具体条件下的适当修正可以适用于不同地方条件。

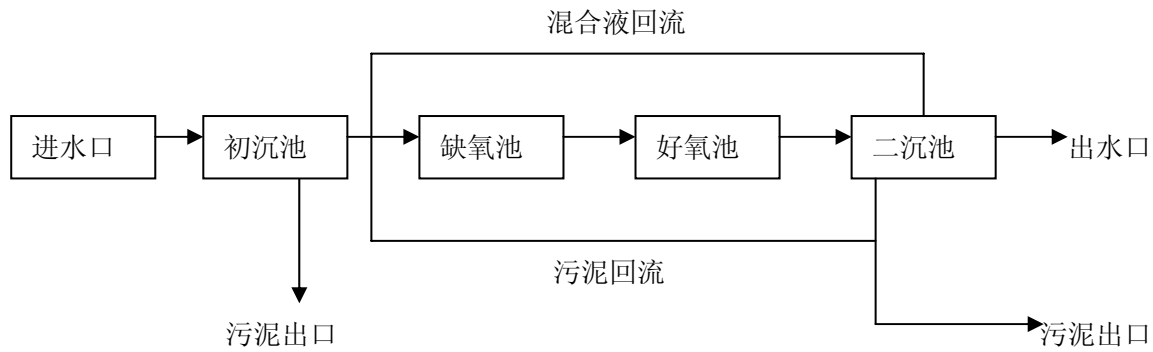


图 1: 污水处理工艺流程 (A/O 工艺)

1.2 原始数据收集

为了进行计算机模拟, 本研究所用数据来自污水处理厂的日常监测数据。进水中常规监测数据如表 1 所示, 表中废水水质浓度值变化范围是所收集到污水处理厂 2000 年 05 月—2000 年 09 月的日常监测值。表 2 是污水处理厂的日常运行参数。

表 1: 污水厂进水水质的常规监测数据

废水水质成分	浓度变化范围	单位
COD _t	200—680	mg/l
BOD ₅	80—250	mg/l
TN	70—120	mg/l
NH ₄ -N	20—40	mg/l
SS	80—200	mg/l

表 2: 污水处理厂运行参数

运行参数	变化范围	单位
进水水量 (Q)	20000—24600	m ³ /d
回流污泥量 (Q _r)	75	进水水量的百分比
混合液的内回流量	200	进水水量的百分比
水温 (T)	19—30	°C
MLSS 浓度	2.05—5.36	kg/m ³
PH 值	6.8—7.10	—
好氧池 DO 浓度	1.05—3.1	mg/l

1.3 数据处理和水质组分估测

对实际污水处理厂进行计算机仿真模拟的

一个主要缺陷就是实际监测数据远远少于模型中所需要的模型组分数据。因此, 如何将实际监测水质组分数据转化为模型中的水质组分数据是决定模拟效果成败的一个关键环节。笔者首先根据污水处理厂的实测常规数据, 对进水水质进行分析。主要包括进水中的 TCOD、TN、NH₄-N 和 SS 等。(EFOR2002 中预定义了 8 种进水水质类型, 其中每种水质不仅包括进水水质中分析组分和模型组分浓度的缺省值, 而且规定了水质成分之间的转化系数和水质成分之间的质量平衡方程^{[6][2][3]})。然后通过质量守恒原理和物质转化规律等将常规数据 (TCOD、TN、NH₄-N、SS 等) 转化成进水水质的缺乏监测数据的分析组分。其转化关系方程为:

$$SS = VSS + NVSS \quad (1)$$

$$VSS \approx 0.74 * SS \quad (2)$$

$$COD_t = COD_s + COD_x \quad (3)$$

$$COD_s \approx 0.41 * COD_t \quad (4)$$

$$TN = KJN_t + NO_x-N \quad (5)$$

$$KJN_t = KJN_s + KJN_x \quad (6)$$

$$KJN_s \approx 0.77 * KJN_t \quad (7)$$

$$NH_4-N \approx 0.53 * KJN_s \quad (8)$$

由于城市污水进水中硝酸盐氮 (NO_x-N) 一般很少, 因此模型中假定为零。方程中 0.74 是挥发性悬浮物 VSS 在总悬浮物 SS 中所占的比例, 0.41 是溶解性 COD 在原水总 COD 中所占的百分比, 0.77 是溶解性凯氏氮在总凯氏氮中的比例, 0.53 是氨氮在溶解性凯氏氮所占的比例。

其常规数据向模型中分析组分数据的转换, 还不能满足运用于模拟过程, 须进一步将分析组分数据转化为活性污泥 1 号模型所需的 X_{BH}、S_s 等模型组分数据, 才能进行模拟仿真, 转化关系如图 2、图 3 所示。

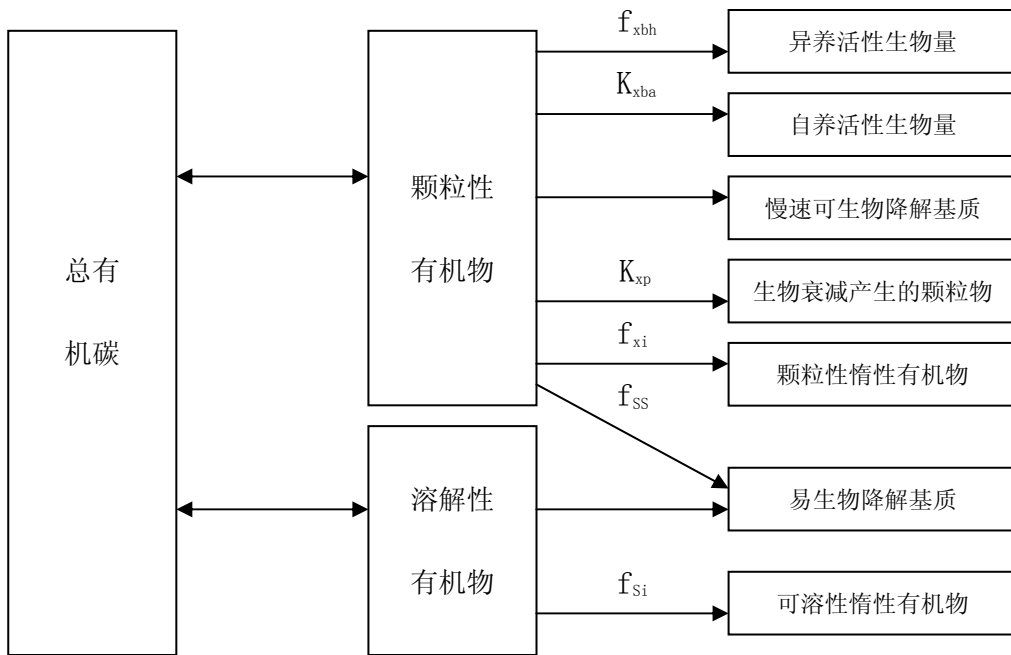


图2：废水中分析组分（COD）与模型组分转换关系

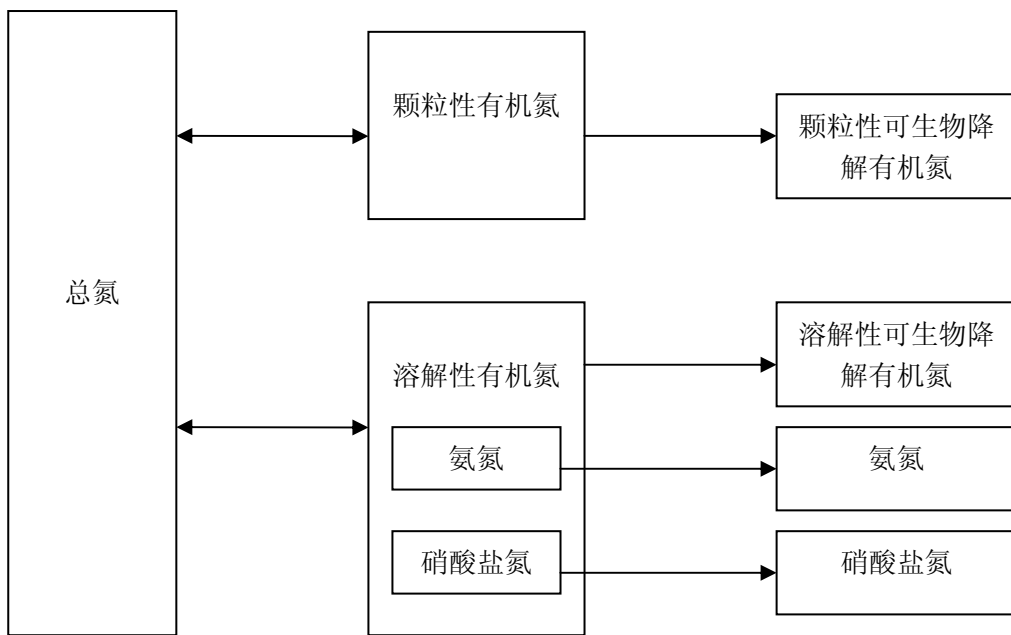


图3：废水中分析组分（氮）与模型组分转换关系

根据图2，进水 TCOD 和各个组分之间的关系可用下式表示：

$$TCOD = COD_S + COD_X = S_S + S_I + X_I + X_P + X_S + X_{BA} + X_{BH} \quad (8)$$

式中：TCOD — 进水有机物总量；
 COD_S — 进水中溶解性COD；
 COD_X — 进水中颗粒性COD；
 S_S — 易降解可溶解性COD；
 S_I — 不可降解溶解性COD；
 X_I — 不可降解颗粒性COD；
 X_S — 难降解颗粒性COD；

X_{BA} — 自养微生物；
 X_{BH} — 异养微生物；
 X_P — 生物衰减产生的颗粒物；

进水中包含有溶解性和颗粒性有机物质。在溶解性COD中，易降解溶解性COD是可以为异养微生物直接利用而使微生物得到增殖；不可降解溶解性COD在整个处理过程中保持不变而将随出水流出系统。

在此，进水 S_I 浓度可用其所占进水溶解性COD的比例求得：

$$S_I = f_{Si} \times COD_S \quad (9)$$

根据所求得的COD_s浓度值和进水S_i即可求得进水S_s浓度:

$$S_s = \text{COD}_s + f_{ss} \times (\text{TCOD} - \text{COD}_s) - S_i \quad (10)$$

对进水中的颗粒性物质则可分为有机和无机颗粒物,颗粒性有机物可再分为可降解、不可降解和微生物三部分。

其中, X_i可根据其占进水颗粒性COD的比例求得:

$$X_i = f_{xi} \times (\text{TCOD} - \text{COD}_s) \quad (11)$$

进水中所含异养微生物在进入活性污泥法系统后将直接参与生物过程,认为其占COD_x浓度的比例为f_{xbh},故可求得进水中异养微生物的浓度:

$$X_{bh} = f_{xbh} \times (\text{TCOD} - \text{COD}_s) \quad (12)$$

同时,自养菌在进水中含量较少,且一般的污水中变化都不大,因此认为是常数。即:

$$X_{ba} = K_{xba} \quad (13)$$

最后,根据式(11)、(12)、(13)即可求得X_s的浓度:

$$X_s = (1 - f_{ss}) (\text{TCOD} - \text{COD}_s) - X_i - X_{bh} - X_{ba} - X_p \quad (14)$$

式中: X_p在进水中我们认为没有,即为零。

根据同样的方法,可得到含氮物质的各组分的浓度,这就略去,不再重复。

上述转换关系中,为了得到合理的模型组分,就必须首先确定其中的化学计量系数,在本文中化学计量系数的确定都是实际测量数据和文献来确定的,具体情况见表3。

表 3: 模型中所用化学计量系数^{[2][3]}

系数	符号	单位	取值	估计方法
颗粒性COD中异养生物组分比值	f _{xbh}	g/g	0.15	文献缺省值
颗粒性COD中自养生物组分比值	K _{xba}	g/m ³	0.1	文献缺省值
颗粒COD中易降解COD组分比值	f _{ss}	g/g	0.1	文献缺省值
颗粒COD中惰性颗粒COD的比值	f _{xi}	g/g	0.05	文献缺省值
溶解COD中惰性溶解COD的比值	f _{si}	g/g	0.25	测量值

2 结果与讨论

为了使模拟值和工厂实际运行实测值有较为满意的一致性,通过模拟研究,只要对少数几个参数进行了修正,取得了较好的结果。

2.1 自养生物的最大比增长速率 $\mu_{a, \max}$ 下调到 0.45d^{-1} ,而将氨半饱和和速率常数 K_{NH} 下调到 1.3g/m^3 。这种情况主要是可能由部分工业废水进入污水处理厂的缘故。不过,所取的两个模型参数的值仍然在文献所推荐的范围之内^[7]。例如, Copp 和 Murphy认为 $\mu_{a, \max}$ 和 K_{NH} 变化范围分别为 $0.25-1.23\text{d}^{-1}$ 和 $0.06-5.6\text{g/m}^3$ 。

2.2 由于在污水处理厂的反硝化速率较低,这里将厌氧水解减速因子(η_n)从0.40修正为0.80,修正值仍然在EFOR2002所设定的范围内。

2.3 易降解有机物饱和和常数 K_s 值从 20g/m^3 增加到 30g/m^3 ,这主要是废水中可能含有较多的难降解有机物的缘故。

通过计算机模拟结果出水中的TCOD、TN、SS、NH₄-N与实测浓度进行比较,如图4、图5、图6、

图7所示。总的来说,模拟结果比较满意,

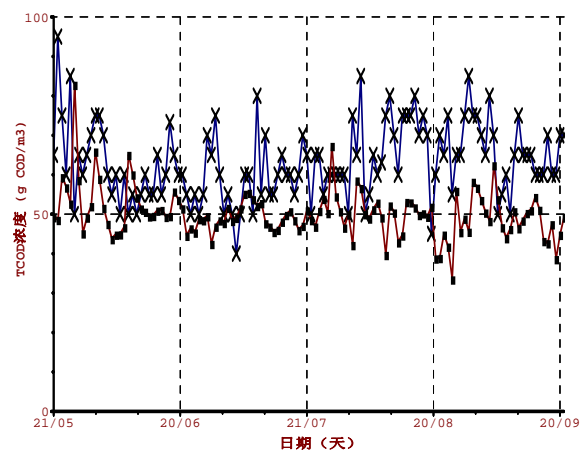


图 4: 出水 TCOD 随水质水量变化

—x— Total COD in Outlet [出水实测值]
—■— Total COD in Outlet [出水模拟值]

且模拟结果在总体上能反映进水水质对出水水

质的影响,不过,在预测过程中仍然有一些偏差:首先是SS的预测效果比实测值低,这主要是在模型中采用了理想的二沉池,使得在实际污水处理厂从出水口排出的SS被认为在二沉池中通过沉淀被除去;其次对氨氮的预测与实测数据相差较大,其原因可能是多方面的,有可能是运行过程中系统运转不正常,因为在模拟时段出水氨氮实测数据大部分超过15mg/L,排放不能达标;可能由于实际污水处理厂运行中工业废水的排入对硝化细菌产生毒害作用,抑制了硝化反应;也有可能是曝气池曝气不足导致溶解氧的溶度较低所导致的结果。

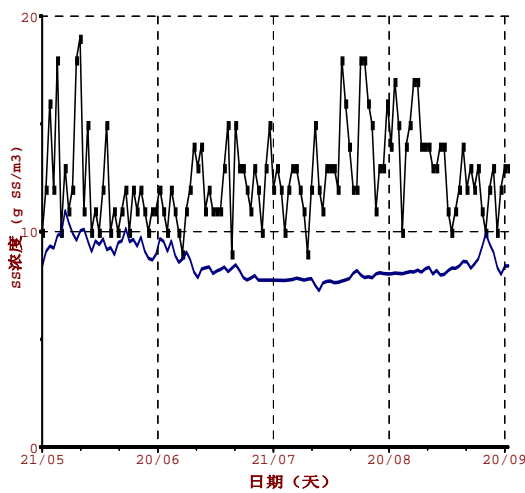


图 5: 出水 SS 随水质水量变化

—■— Suspended solids [出水模拟值]
—■— Suspended solids [出水实测值]

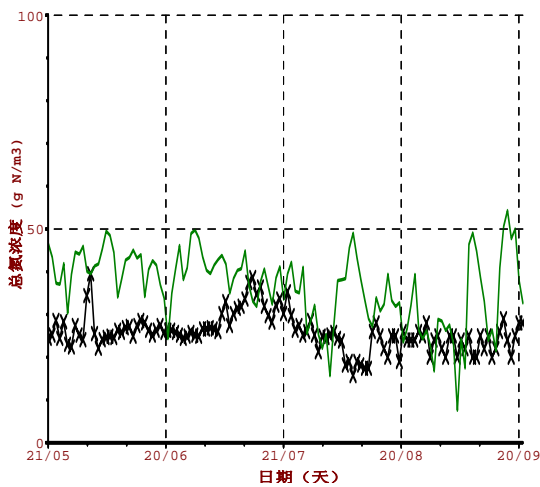


图 6: 出水 TN 随水质水量变化

—x— Total nitrogen [出水模拟值]
— Total nitrogen [出水实测值]

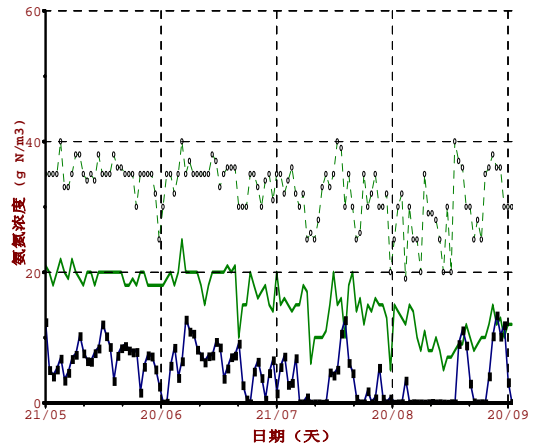


图 7: 出水氨氮随水质水量变化

— Ammonium [出水实测值]
—■— Ammonium [出水模拟值]
- -○- Ammonium [进水实测值]

3 结论

a) 模拟结果表明出水中TCOD、TN、NH₄-N、SS等的变化趋势基本上与实测值的变化趋势相符,且TCOD、TN的预测值与实测值非常接近,因此利用EFOR程序对城市污水处理厂进行计算机模拟是可行的。

b) 通过计算机对已有污水处理厂进行动态或静态模拟,可以寻求最佳运行状态,从而以极小的代价和最低的风险系数对来优化污水处理厂的运行和管理,达到节省人力、物力、和财力的目的。

c) 通过模拟说明,利用数学模型能够为技术人员和污水处理厂的管理者及时提供运行信息,采取有效措施处理运行过程中出现的问题,以便及时采取应对措施,从而保证出水水质处理效果。

d) 通过模拟表明,对已运行城市污水处理厂的日常监测数据进行一定的处理和分折转化,运用于数学模型中是可行的。

e) 不断在我国推广应用活性污泥数学模型,对国内污水处理技术的发展和提高在模型研究领域内计算机应用水平及科研设计的精度与效率,实现与国际接轨具有重大现实意义。

参考文献

- 1 Henze M, Gujer W, Mino T, et al. Activated Sludge Models ASM1,ASM2,ASM2d and ASM3[R]. IAW Scientific and Technical Report. 2000,IAW

- Publishing.
- 2 EFOR2002 user Guide: 2001.
 - 3 EFOR2002 user Guide: 2002.
 - 4 Carrette R, Bixio D, Thoeye C, et al. Full-scale application of the IAWQ ASM NO.2d model[J]. Wat.Sci.Tech, 2001,44(2-3):17~23.
 - 5 Cinar O, Daigger G T, Graef S P. Evaluation of IAWQ Activated Sludge Model No.2d using steady-state data from four full-scale wastewater treatment plants[J]. Wat Env Res, 1998,70:1216~1224.
 - 6 Henze M, Harremoes P, Jansen J L C, et al. Wastewater Treatment -----Biological and Chemical Processes[M]. Second Edition,1996.
 - 7 Copp J B , Murphy K L. Estimation of the active nitrifying biomass in activated sludge[J]. Wat Res, 1995,29,1885~1862.

Study on Computer Simulation at Wastewater Treatment Plant

Zhao Zhen Lin Weiqing

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai, 200233)

Abstract: Since the International Association on Water Quality created the Activated Sludge Model, mathematical modeling and computer simulation have become a useful tool in evaluating the operation of wastewater treatment plants in terms of nutrient removal capability. In this study, simulation results for a municipal wastewater treatment plant in Shanghai were presented, the measured effluent concentrations of COD、TSS、TN as well as $\text{NH}_4\text{-N}$ were compared with model predictions. Good simulation results were achieved. During model calibration, default values of only four model parameters in ASM1 were changed. The opportunities for further applications of such models in municipal wastewater treatment plants are discussed.

Keywords: Activated Sludge Computer Simulation Wastewater Treatment Plant
Mathematical Modeling Model Calibration Nutrient Removal