

文章编号: 1006-4710(2013)03-0295-06

# A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷数值模拟研究

刘玉玲, 白昱, 杨侃

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 为了优化控制 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷效果, 基于 AS-AD 数学模型, 以 BioWin3.1 软件为模拟平台, 对 A<sup>2</sup>/O 中试模型进行数值模拟研究。根据模拟结果与实验的对比, COD 与氨氮模拟结果与实际相差较小, 总氮和磷方面误差较大。通过分析原因, 提出了消除误差的方法。研究表明, BioWin3.1 软件可以较好地模拟 A<sup>2</sup>/O 污水处理工艺的脱氮除磷效果, 可为系统的控制与优化提供参考依据。

**关键词:** A<sup>2</sup>/O 工艺; 脱氮除磷; 数值模拟

**中图分类号:** X703.1      **文献标志码:** A

## Simulation Study of Nitrogen and Phosphorus Removal in A<sup>2</sup>/O Wastewater Treatment Process

LIU Yuling, BAI Yu, YANG Kan

(Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In order to optimally control the denitrification and phosphorus removal effect of A<sup>2</sup>/O process, based on the AS-AD model and the BioWin3.1 software, the A<sup>2</sup>/O pilot model is numerically simulated. The comparisons between the simulated results and experimental data show that the simulated COD and ammonia nitrogen are in agreement with the experimental ones, and that the simulated total nitrogen and phosphorus have differences from the experimental ones. Based on the cause of the simulation errors, the methods of eliminating errors are improved. The research shows that the BioWin3.1 software can precisely simulate the denitrification and phosphorus removal effect of A<sup>2</sup>/O process, and can provide reference basis for the control and optimization of the A<sup>2</sup>/O process.

**Key words:** A<sup>2</sup>/O wastewater treatment process; nitrogen and phosphorus removal; numerical simulation

A<sup>2</sup>/O 工艺作为一种最简单的可脱氮除磷的生物污水处理工艺, 以其总水力停留时间短、不易出现污泥膨胀、投加化学药品量少和易于设计运行管理等诸多优点在我国污水处理厂得到广泛应用, 如洛阳市涧西污水处理厂<sup>[1]</sup>、黄冈市遗爱湖污水处理厂<sup>[2]</sup>和北京清河污水处理厂一期工程<sup>[3]</sup>等一大批污水处理厂均采用 A<sup>2</sup>/O 工艺作为污水处理的核心工艺。有必要对 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷效果进行更好的控制与优化, 对其进行全工艺脱氮除磷数值模拟与生物反应动力学研究。Biowin 3.1 软件作为污水处理工艺模拟软件的领航者不仅能够模拟生物脱氮

除磷活性污泥等生物反应工艺, 还能模拟化学除磷等化学反应工艺。

本文以 Biowin3.1 软件为模拟平台, 对某 A<sup>2</sup>/O 中试模型进行数值模拟研究, 研究重点是混合液回流比 ( $R$ )、污泥回流比 ( $r$ )、污泥停留时间 (SRT) 和好氧区平均 (DO) 浓度对 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷性能的影响以及模拟与实验偏差出现的原因和修正方法。

### 1 模型简介

BioWin3.1 是由加拿大 EnviroSim 环境咨询公司开发的基于 Windows 的交互式软件, 其内嵌的

收稿日期: 2013-04-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51178391); 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室基金资助项目(106-221223)。

作者简介: 刘玉玲, 女, 教授, 博士, 研究方向为水污染控制理论与技术。E-mail: liuyuling@xaut.edu.cn。

BioWin3.1 全污水处理厂 AS-AD 数学模型整合了国际水协推出的 ASM<sub>s</sub> 系列模型,并集成了厌氧硝化模型(ADM)、pH 平衡、气体转移和化学沉淀等模型<sup>[4]</sup>。其中与脱氮除磷相关的模型方程与 ASM<sub>2d</sub> 基本相似,该模型除了包含碳和氮的动力反应模型以外,还包括厌氧水解、发酵及生物除磷、化学除磷等反应过程,共计 19 种组分、21 种反应、22 个化学计量系数及 45 个动力学参数<sup>[5-7]</sup>。

## 2 模拟方法

### 2.1 模拟对象

本文模拟对象是某 A<sup>2</sup>/O 中试模型,且实验数据来自此模型的中试实验<sup>[8]</sup>,中试模型如图 1 所示。

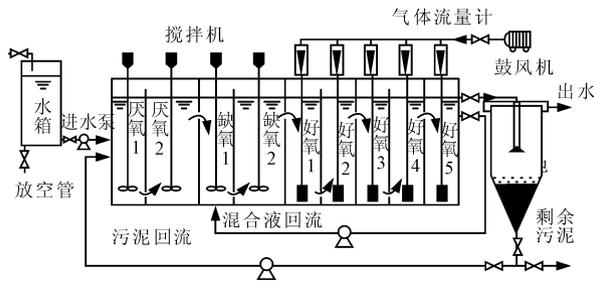


图 1 A<sup>2</sup>/O 中试模型

Fig. 1 A<sup>2</sup>/O pilot model

具体尺寸如下:

总有效容积为 52.5 L,分为 9 个格室,前 2 个格室为厌氧区,随后的 2 个格室为缺氧区,剩余的 5 个格室为好氧区。厌氧区、缺氧区和好氧区的体积比为 1:1:2。温度大约在 20~25℃,二沉池有效容积为 26 L,进水水量为 157.5 L/d。

### 2.2 工艺概化模型

根据 A<sup>2</sup>/O 中试模型所构建的概化模型如图 2 所示。

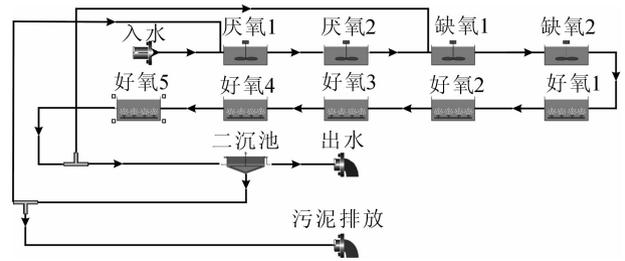


图 2 A<sup>2</sup>/O 工艺概化模型

Fig. 2 Flow diagram of A<sup>2</sup>/O

概化模型中各反应器尺寸与实际尺寸相同,二沉池为理想沉淀池。

### 2.3 进水水质

进水水质与实验中进水水质相同,具体数值如表 1 所列。

表 1 主要进水水质指标

Tab. 1 Main Ingredients and composition of the wastewater

项目	数值
TCOD/(mg/L)	378.6
TN/(mg/L)	43.63
TP(其他)/(mg/L)	7.70
TP(研究 DO 影响时的配水)/(mg/L)	9.84

由于原实验中 COD 和磷相关部分进水水质组分参数未精确测定,根据国际水协相关报告以及原实验说明,采用国际水协相关报告<sup>[5]</sup>中的典型组分参数,氮相关部分用的是和实验吻合的组分参数。具体如表 2。

表 2 进水组分参数

Tab. 2 Fractions in wastewater

符号	组分意义	单位	参数值	说明
$F_{bs}$	快速降解 COD (包括醋酸)	gCOD/gTCOD	0.270 0	默认值
$F_{ac}$	醋酸	gCOD/g 快速降解 COD	0.150 0	默认值
$F_{xsp}$	非胶体的慢速降解 COD	gCOD/g 慢速降解 COD	0.500 0	默认值
$F_{us}$	可溶性不可降解 COD	gCOD/g TCOD	0.080 0	默认值
$F_{up}$	颗粒性不可降解 COD	gCOD/gTCOD	0.080 0	默认值
$F_{Na}$	氨氮	g 氨氮/g 凯氏氮	0.913 8	实验值
$F_{NOx}$	颗粒性有机氮	g 氨氮/g 有机氮	0.060 6	实验值
$F_{Nus}$	溶解性不可降解凯氏氮	g 氮/g 凯氏氮	0.010 0	实验值
$F_{upN}$	颗粒性不可降解 COD 中氮的含量	g 氮/gCOD	0.010 0	实验值
$F_{PO4}$	磷酸盐	g 磷酸盐磷/g 总磷	0.750 0	默认值
$F_{upP}$	颗粒性不可降解 COD 中磷的含量	g 磷/g 克 COD	0.011 0	默认值

### 2.4 主要动力学参数

主要动力学参数均用国际水协相关报告<sup>[5]</sup>中

的典型默认值,具体如表 3。

表3 主要动力学参数

Tab.3 Main Kinetic parameters

项目	AOB	NOB	ANAMMOX	异养菌	聚磷菌	酸化菌	酸甲烷菌
最大单位生长速率/(1/d)	0.900	0.700	0.100	3.200	0.950	0.250	0.300
基质饱和系数/(mg 基质/L)	0.700	0.100	2.000	5.000	0.100	10.000	100.000
产率系数/(mg /mg 基质)	0.150	0.090	0.114	0.666	0.639	0.100	0.100

### 3 模拟结果与分析

流比( $r$ ), 10 个污泥停留时间(SRT)和 7 个好氧区(DO)等不同的运行参数对脱氮除磷模拟效果的影响。具体如表 4。

分别研究了 5 个混合液回流比( $R$ ), 5 个污泥回

表4 研究的影响因素取值和取值原因

Tab.4 Values of the influence factors and the reasons

研究的影响因素	取值	取值原因
$R/\%$	200, 225, 250, 275, 300	$R$ 小, 脱氮效果差; $R$ 大, 破坏缺氧区缺氧条件
$r/\%$	50, 60, 70, 80, 90	一般 A <sup>2</sup> /O 工艺操作工况选定的范围
SRT/ d	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	SRT 小, 抑制去氮菌活性, SRT 大, 影响除磷
DO/( mg/L)	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0	DO 小, 抑制微生物活性; DO 大, 浪费能源

默认值为:  $R = 250\%$ ,  $r = 70\%$ , SRT = 15d, 好氧段末端 DO = 4.0 mg/L, 即未研究该影响因素时所

取的值。模拟结果和与实验结果对比如图 3 ~ 6 所示。

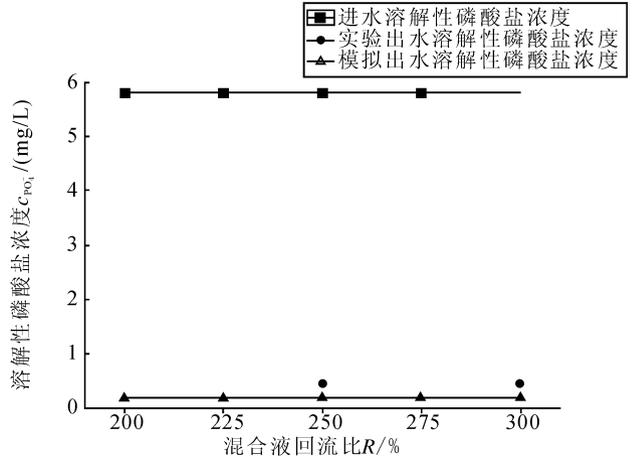
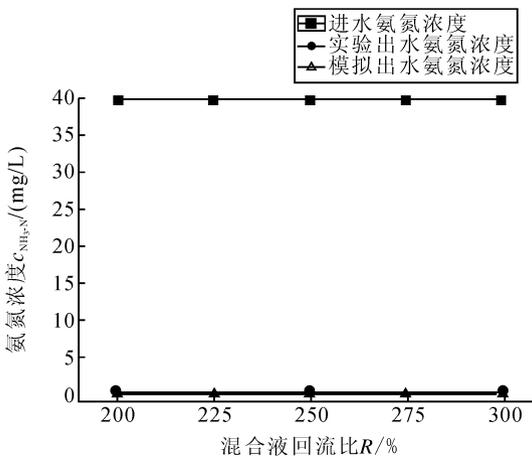
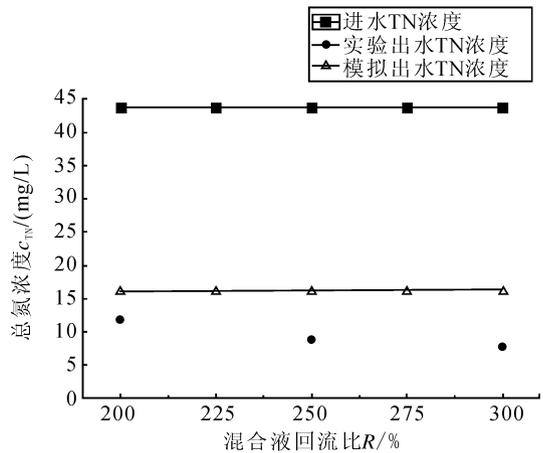
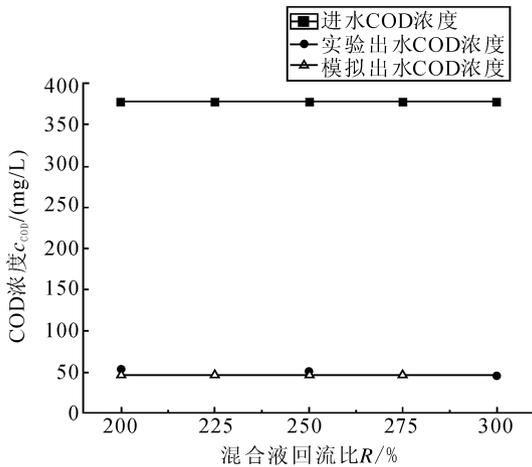


图3 不同混合液回流比下 COD、总氮、氨氮、溶解性磷酸盐去除模拟情况

Fig.3 Removal of COD, TN, NH<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub><sup>-</sup> in different conditions of R

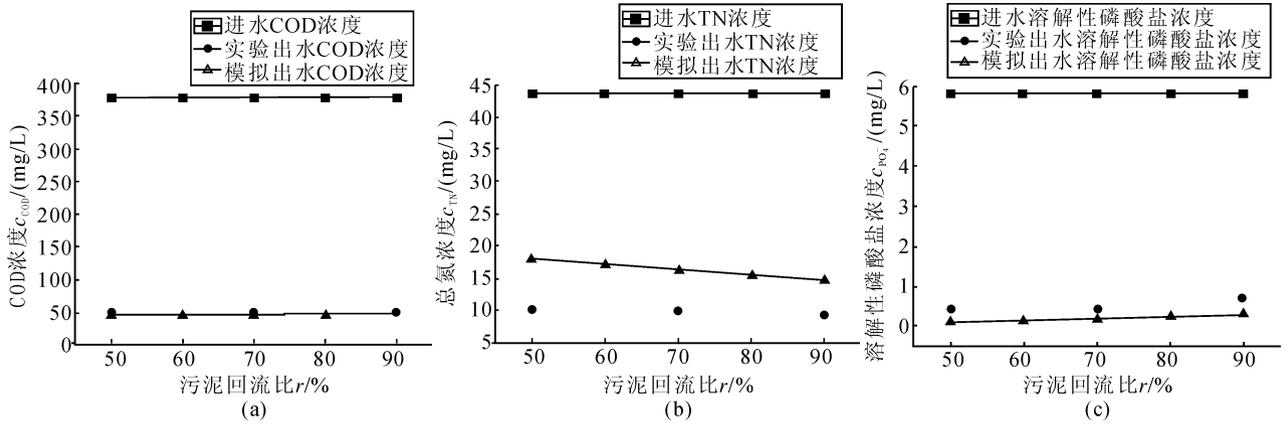


图4 不同污泥回流比下 COD、总氮、溶解性磷酸盐去除模拟情况

Fig. 4 Removal of COD, TN and PO<sub>4</sub> in different conditions of  $r$

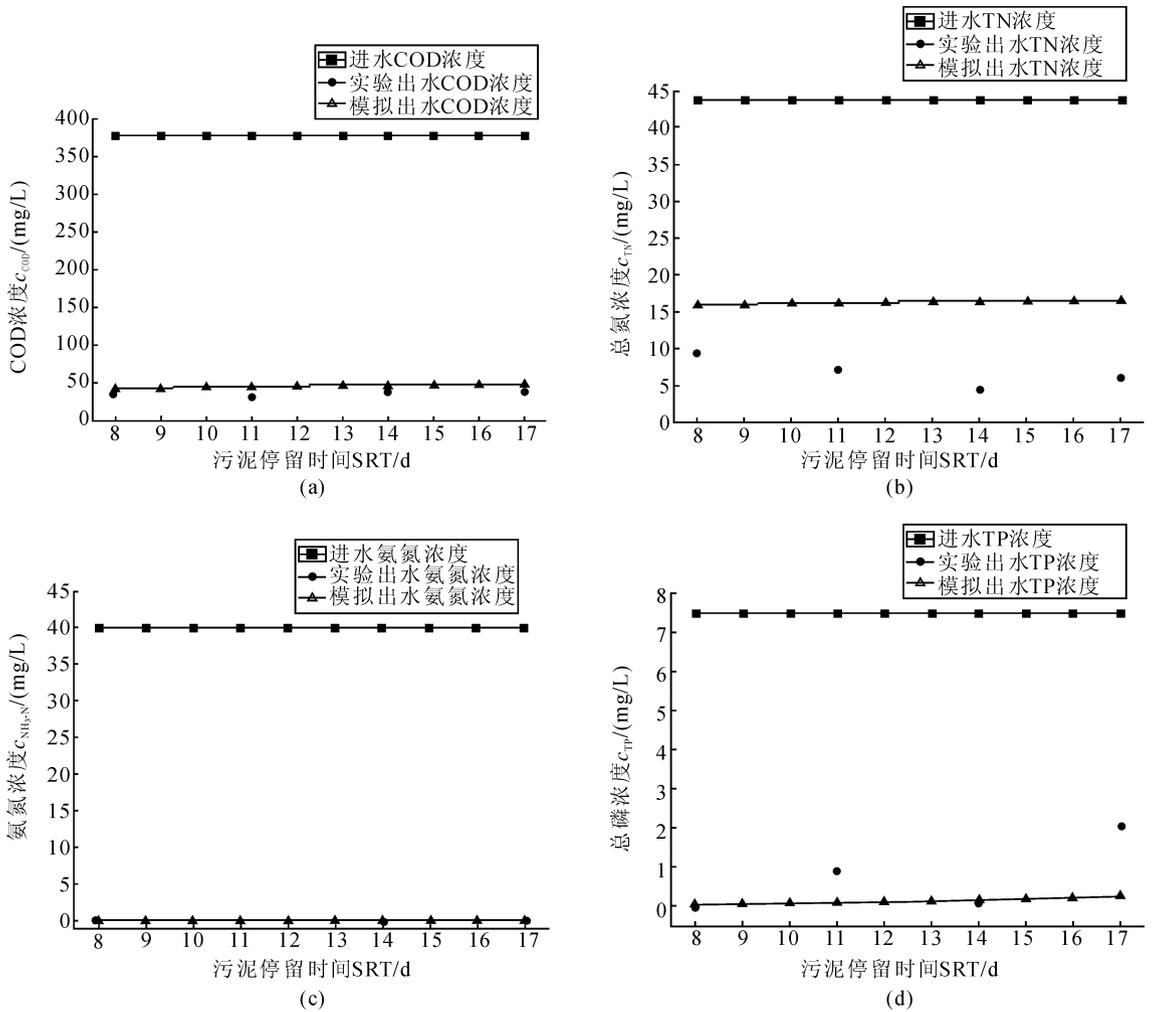


图5 不同污泥停留时间下 COD、总氮、氨氮、总磷去除模拟情况

Fig. 5 Removal of COD, TN, NH<sub>3</sub>-N and TP in different conditions of SRT

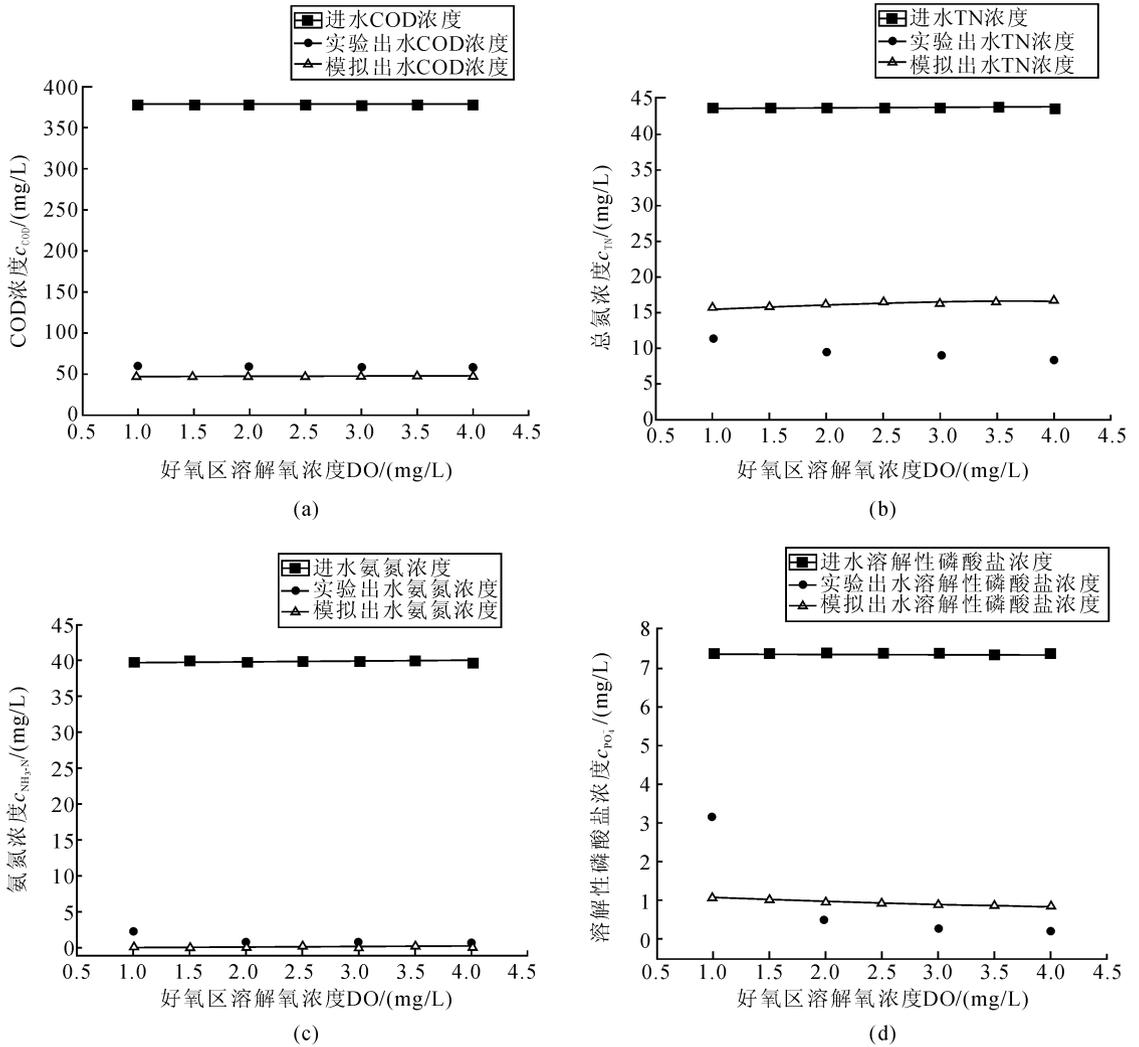


图6 不同好氧区溶解氧下 COD、总氮、氨氮、溶解性磷酸盐去除模拟情况

Fig. 6 Removal of COD, TN, NH<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> in different conditions of DO

由图3~6可知,出水 COD 浓度模拟结果在研究的任何条件下均与实验结果误差不大;氨氮浓度仅仅在 DO 很低的时候(好氧段 DO = 1 mg/L)才出现较大的误差,而在正常的污水厂运营中,很少把好氧段 DO 调节的如此低,因此也可以说模拟与实验结果相近;而总氮模拟结果比试验结果普遍偏高,并随着  $R$  的增大,  $r$  的减小以及 DO 的增大,误差被显著放大;磷的模拟与实验偏差无明显规律,只能知道一般模拟值要略低于实验值,并且不同的  $R$  和  $r$  下偏差变化不大。

#### 4 模拟误差分析与误差消除方法

由模拟结果与实验对比后可以看出,在本研究中模拟出水水质与实验出水水质存在着一定的误差,误差出现的主要原因如下:

首先,实验中试模型本身设计不合理,根据《室外排水设计规范(2011年版)》(GB50014-2006)规

定,好氧区的 HRT 应达到 7~14 h,但在本中试模型中仅为 4 h,这不仅会导致中试系统 COD 和总氮的去除能力不强,而且会导致模拟的不准确。因为 BioWin3.1 软件所能较为准确模拟的对象为符合标准设计的污水生物处理系统在正常运行工况下的出水水质<sup>[4]</sup>。

其次,总氮浓度模拟值比实验值高,主要是由于①氮不总是通过脱除来减少,还有一部分会被固定到微生物细胞内,造成 TN 的减少<sup>[9]</sup>;②系统中存在同步硝化反硝化现象,这在 AS-AD 模型中并未被关注<sup>[10-11]</sup>,由于在反应器中不可能做到完全均匀的好氧,因而在实验室或实际污水厂中同步硝化反硝化现象非常普遍。

最后,溶解性磷酸盐或总磷浓度模拟值比实验值低主要是由于实验用二沉池中或多存在短流、死角等情况,沉淀效果达不到模拟中的理想沉淀池的要求,而实验所测溶解性磷酸盐浓度中定然包括未

被沉淀而随出水流出的生物体内所含的磷元素。

## 5 结 论

通过研究表明,采用国际水协推荐水质组分参数和动力学参数,BioWin3.1软件可以较好地模拟A<sup>2</sup>/O工艺脱氮除磷系统。COD和氨氮的模拟结果精度较高,总氮和磷的模拟结果存在一定的误差。误差分析认为主要是由于实验参数、环境条件和反应器结构等因素引起的,具体影响程度有待于进一步深入研究。

总之,结合城市污水处理系统的具体情况,合理确定相关参数,基于AS-AD数学模型建立的BioWin3.1软件可以为污水处理工艺设计、管理和优化运行提供参考。

## 参考文献:

- [1] 王建美,张继鹏. 城市污水A<sup>2</sup>/O处理工艺运行实例[J]. 黑龙江环境通报,2004,28(7):92-93.  
Wang Jianmei, Zhang Jipeng. The running instance of urban sewage A<sup>2</sup>/O process [J]. Heilongjiang Environmental Journal,2004,28(7):92-93.
- [2] 李建平,邵林广. A<sup>2</sup>/O法处理城市污水工程实例[J]. 环境科学与管理,2006,31(3):79-81.  
Li Jianping, Shao Linguang. The engineering project of urban sewage A<sup>2</sup>/O process [J]. Environmental science and management, 2006,31(3):79-81.
- [3] 张静. 倒置A<sup>2</sup>/O工艺硝化除磷调控的实例分析[J]. 中国给水排水,2007,23(20):93-97.  
Zhang Jing. Case analysis on control of inverse A<sup>2</sup>/O process for Nitrification and Phosphorus removal [J]. China Water & Wastewater,2007,23(20):93-97.
- [4] 沈童刚,邱勇,应启锋,等. 污水处理厂模拟软件BioWin的应用[J]. 给水排水,2009,35(S):459-462.  
Shen Tonggang, Qiu Yong, Ying Qifeng, et al. Application

of sewage treatment plant simulation software BioWin [J]. Water & Wastewater Engineering,2009,35(S):459-462.

- [5] Hence M, Gujer W, Mino T, et al. Activated sludge model No. 2d [J]. Wat. Sci. Tech,1999,39(1):165-182.
- [6] 刘伟岩,李佟,葛勇涛,等. 数学模拟技术在高碑店污水处理厂的应用[J]. 给水排水,2011,37(10):111-115.  
Liu Weiyan, Li Tong, Ge Yongtao, et al. Application of numeral technology in Gaobeidian Wastewater Treatment Plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(10):111-115.
- [7] 于静洁,苏凡凯,王少坡,等. 活性污泥系统机理模型的应用研究综述[J]. 天津城市建设学院学报,2012,18(3):199-205.  
Yu Jingjie, Su Fankai, Wang Shaobo, et al. Overview of application and research of model of activated sludge system [J]. Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 2012,18(3):199-205.
- [8] 吴昌永. A<sup>2</sup>/O工艺脱氮除磷及其优化控制的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.  
Wu Changyong. Optimazation of biological nitrogen and phosphorus removal in A<sup>2</sup>/O wastewater treatment process [D]. Harbin:Harbin Institute of Technology,2010.
- [9] 王晓莲. A<sup>2</sup>/O工艺运行优化及其过程控制的基础研究[D]. 北京:北京工业大学,2007.  
Wang Xiaolian. Fundimantal research of optimazation of A<sup>2</sup>/O wastewater treatment process [D]. Beijing: Beijing University of Technology,2007.
- [10] Jeffrey F, David d H, Ken H, et al. Comprehensive life cycle inventories of alternativewastewater treatment systems [J]. Water Rresearch,2010,44:1654-1666.
- [11] Halis S, Murthy K, Tanush W, et al. Fate of dissolved organic nitrogen in two stage trickling filterprocess [J]. Water Research, 2012,46:5115-5126.

(责任编辑 杨小丽)