

BioWin 仿真软件在污水处理中的应用研究

王醒¹, 房婷婷¹, 丁彬彬², 宁聪³, 薄涛², 高冠明³, 丁婉晴⁴

(1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518000; 2. 深圳市中涛环保工程技术有限公司, 广东 深圳 518055; 3. 中建水务环保有限公司, 北京 100037; 4. 哈尔滨工业大学(深圳), 环境科学与工程研究中心, 广东 深圳 518055)

[摘要] 活性污泥模型是污水生物处理领域公认的模拟平台, 其在阐明活性污泥工艺的生化反应机理和推动污水生物处理理论方面起着很重要的作用。本文介绍了活性污泥系统中应用较为广泛的仿真软件 BioWin 的模型机理及其建模过程, 并通过实例分析了 BioWin 软件在深圳市某污水处理厂中的模拟应用。结果表明: 模拟值较好地反应污水处理厂实际运行工况, 提出了污水厂扩建的合理化建议, 分析讨论了软件应用过程中的注意事项。

[关键词] 活性污泥模型; BioWin 软件; 污水处理; 应用研究

[中图分类号] X703

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-1865(2020)03-0128-05

Application Research of BioWin Software to Sewage Treatment

Wang Xing¹, Fang Tingting¹, Ding Binbin², Ning Cong³, Bo Tao², Gao Guanming³, Ding Wanqing⁴

(1. Shenzhen Branch of China Municipal Engineering Northwest design and Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518000; 2. Shenzhen Zhongtao Environmental Protection Engineering Technology Co., Ltd., Shenzhen 518055; 3. China Construction Water Environmental Protection Co., Ltd., Beijing 100037; 4. Harbin University of Technology (Shenzhen), Environmental Science and Engineering Research Center, Shenzhen, 518055, China)

Abstract: Activated sludge model is a well-known simulation platform in the field of sewage biological treatment, which plays an important role in clarifying the biochemical reaction mechanism of activated sludge process and developing the theory of sewage biological treatment. This paper introduced the mechanism and modeling process of BioWin, a widely used simulation software of activated sludge system, and analyzed its performance through a case study in a sewage treatment plant of Shenzhen. The results showed that the actual operation conditions of the sewage treatment plant can be reflected better via the simulation output. And put forward some reasonable suggestions for the expansion of sewage plant. Afterwards, things that should be noticed during the application were analyzed and discussed.

Keywords: activated sludge model; BioWin software; sewage treatment; application research

活性污泥法是污水生物处理中应用较为广泛的方法之一, 其工艺流程的选择设计、处理系统的运行优化备受国内外学者重视^[1]。20 世纪 50 年代后期国外一些学者首次提出活性污泥稳态模型, 自此开始了活性污泥模型研究^[2]。20 世纪 80 年代起, 国际水协(IWA)成立课题组进行活性污泥模型的开发工作, 分别于 1987 年、1995 年、1999 年推出了 ASM1、ASM2、ASM2D、ASM3 等 4 套 ASMs 系列模型, 被广泛应用于污水生物处理领域, 成为活性污泥新工艺研发、城市污水处理厂设计和管理的重要平台^[3]。与模型研究同步, 相应的商业化活性污泥工艺仿真软件相继被推出, 应用较为广泛的有: 美国 Clemson 大学基于 ASM1 开发的 SSSP 程序、Hydnomantis 公司开发的 GPS-X 软件、比利时 HEMMIS 公司和 DHI 合作开发的基于 ASMs 机理的 WEST 仿真软件、加拿大 EnviroSim 环境咨询公司开发的 BioWin 模拟软件等。本研究在研究活性污泥模型的同时, 在实际应用中对 BioWin 软件中的模型参数进行了合理调整, 使其更加适用于当地城市的污水处理厂。

1 BioWin 软件基本概况

BioWin 是由加拿大 EnviroSim 环境咨询公司推出的一款污水处理工艺数学模拟软件, 包含了 IWA 推出的 ASM1 模型、ASM2D 模型、ASM3 模型以及污泥消化模型等一系列活性污泥数学模型。它包含两个模块: 一个是稳态分析器, 假定进水流量和组分恒定; 另一个是动态仿真器, 使用的是时变输入^[4]。

经过十多年的开发研究, BioWin 数学模拟软件几乎包括了其他各种软件的大部分功能并形成了自己的特点^[5-7]。主要表现为以下几个方面:

(1) BioWin 最新版本不仅能可靠模拟污水处理厂生物脱氮除磷活性污泥工艺和厌氧硝化系统, 还可以模拟固定生物膜反应器和生物移动床反应器。

(2) BioWin 使用了单一-矩阵模型法, 可以追踪模型内所有状态变量在不同单元工艺之间的变化。

(3) BioWin 独有的综合活性污泥-厌氧消化(ASDM)模型, 描述了污水处理过程的 50 种组分以及作用于这些组分的 80 个生物、物理和化学反应过程, 包含了活性污泥反应、厌氧消化反应、pH 平衡、气体转移、化学沉淀反应和旁流工艺。

(4) BioWin 通过总结最新研究成果和实际污水处理厂测试, 提供了比较符合实际的模型参数缺省值。

(5) BioWin 可运行于多种操作系统, 软件界面十分友好。

(6) 由于软件在 ASDM 模型的基础上建立了各种进水、反应器、沉淀池、污泥处理等共计 30 个工艺单元模块, 故用户可以通过这些模块的简单组合快速建立目标污水处理厂的工艺概化模型。

2 BioWin 软件应用过程

现阶段, BioWin 软件的模拟主要应用于已建污水处理厂的运行优化、新建污水处理厂方案设计、污水厂改扩建可行性分析等^[8], 本研究案例将其应用流程如图 1 所示。

主要分为五个步骤, 一是明确模拟的目的, 对新建或者改扩建污水处理厂主要是设计优化, 对已建正在运营的污水处理厂则主要是运行优化; 二是收集基础数据, 一般需收集污水处理厂的历史水量和水质数据、构筑物尺寸、工艺运行主要控制参数、化学计量参数等历史背景资料。三是概化模型的建立, 各种传统和新型污水处理工艺的模拟均可实现, 根据需要模拟的污水处理厂选择相应的工艺单元模块; 四是模型敏感度分析、校正与验证, BioWin 中有 400 多个模型参数, 很难逐一确定其准确值, 需通过敏感度分析选出关键参数, 可通过实验测定或校正默认参数确定关键参数, 非关键或敏感参数值可使用软件的默认值; 五是工艺优化, 工艺的优化一般对于已建正在运营的污水处理厂通过调整污泥龄、内回流比、外回流比、曝气量、碳源投加量和除磷药剂投加量等工艺参数来提升水质或者节能降耗。对于新建污水处理厂, 可以对工艺设计进行优化, 包括优化污水处理池容以及药剂投加点等。

3 应用实例分析

3.1 污水厂设计运行参数

3.1.1 概述

深圳市某污水处理厂一期工程的设计规模为 4 万 m³/d, 二期工程设计扩建规模为 18 万 m³/d, 总规模为 20 万 m³/d, 全部出水水质标准达到一级 A 标准排入坪山河。其工艺流程如图 2 所示。

生物处理采用具有除磷脱氮工程的水下曝气氧化沟工艺, 深度处理采用微絮凝过滤工艺。处理构筑物和辅助构(建)筑物包括: 进水泵房及出水井、细格栅间及曝气沉砂池、生物池及污泥泵房、二沉池、二次提升泵房、滤池、滤池设备间、接触池、排水池及

[收稿日期] 2019-12-16

[基金项目] 中建水务环保有限公司科技研发计划资助(CSCEC-PSH-2017-0X)

[作者简介] 王醒(1993-), 女, 贵州毕节人, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染治理。

泵房、紫外消毒渠、加氯加药间、变配电室、鼓风机房、车库、脱水机房改造、生物除臭等。

根据对该污水厂的专题研究表明,厂日变化系数若提高到1.5,在满足出水水质要求的前提下,生化池可不扩建,深度处理滤池需扩建以应对水力负荷的增加,但二沉池、滤池已无扩容条件,需新增规模来适应。因此,建议在该污水厂滤池旁储备用地

新建5万m³/d以上的MBR膜池,用于深度处理其部分尾水,处理标准达到地表水Ⅳ类,并将此部分水作为污泥处置厂冷却水,完成热交换后排入人工生态湖,降温后再排入坪山河交接断面,不再进入人工湿地进行处理。新建MBR膜池后该污水厂的工艺流程图如图3所示。

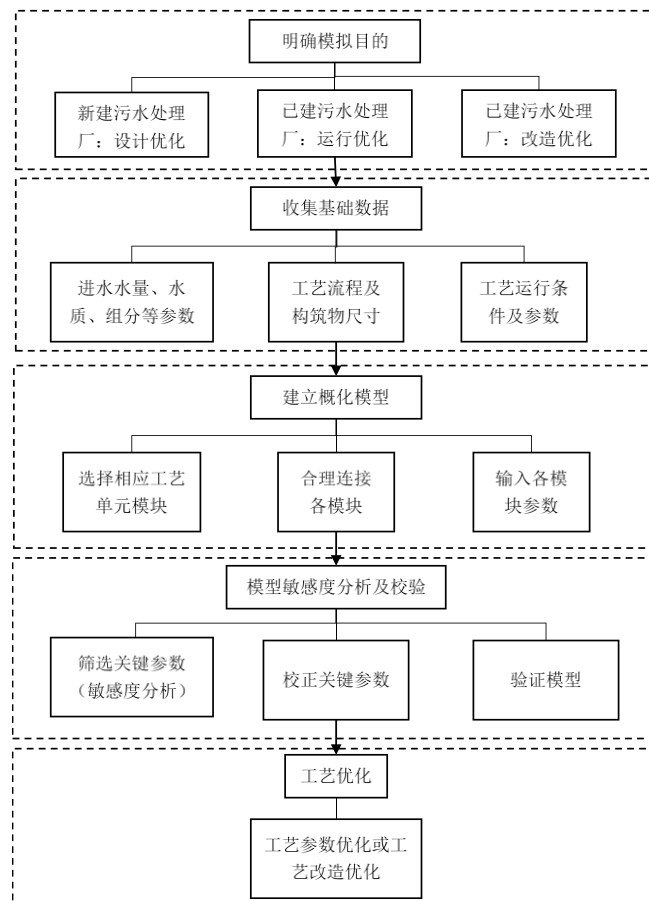


图 1 BioWin 软件模拟流程图
Fig.1 Simulation flow chart of biowin software

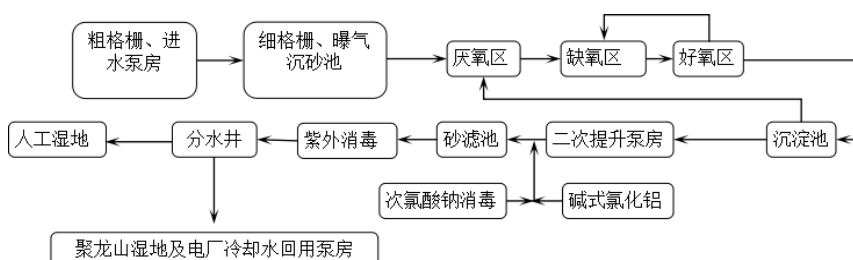


图 2 污水处理厂工艺流程图
Fig.2 The process flow chart of sewage treatment plant

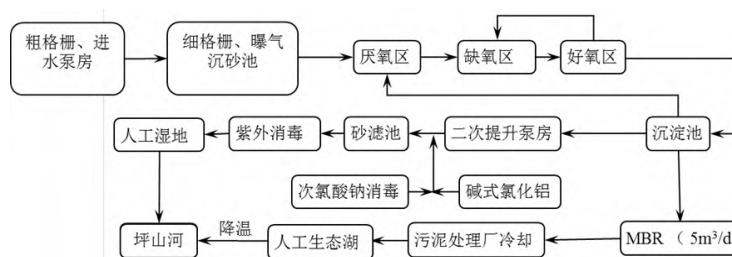


图 3 污水处理厂增加MBR后的工艺流程图
Fig.3 The process flow chart after MBR is added to the sewage treatment plant

3.1.2 主要构筑物属性

该工程各主要构筑物的设计水量均为20万m³/d，总变化系数K_Z取值1.3，具体参数如下：

(1)细格栅及曝气沉砂池：峰值流量23.4万m³/d，雨季最大流量为29.25万m³/d，污水含砂比例按20 m³/106 m³计算，则总除砂量为3.6 m³/d，细格栅、曝气沉砂池、洗砂车间为一座整体构筑物。

(2)生物池：分两个系列，每系列分两组，共四组，每组设计处理水量4.5万m³/d。采用A²O处理工艺，池型采用水下曝气氧化沟。每组生物池由厌氧池、缺氧池、好氧池组成，均采用氧化沟的大循环流道。每系列生物池长度121.8 m，宽度为33.2 m，设计水深6.5 m。每组生物池总容积24657.1 m³，厌氧池、缺氧池、好氧池的容积比为1:1:3.3，总名义水力停留时间13.15 h，生物池内MLSS为3.5 g/L，总污泥负荷0.072 kg BOD₅/kg MLSS，污泥回流比33%~100%，设计内回流比100%~200%，设计总泥龄14.87天，生物池产生的剩余污泥量为23.22 tDS/d，含水率99.3%。

(3)污泥泵房：共设两座，每系列生物池对应一个污泥泵房，污泥泵房内设置有4台剩余污泥泵，2用2备，流量为80 m³/h，扬程为12 m，电机功率7.5 kw；8台回流污泥泵，6用2备，流量为1250 m³/h，扬程为4.5 m，电机功率30 kw。

(4)沉淀池：分为两个系列，每系列4座沉淀池，共8座。为了保证出水的TP达标排放，采用化学除磷作为生物除磷的补充方式，二沉池的回流污泥进入与生物池合建的污泥泵房，共设计两座，每座污泥泵房设两根回流污泥管道进入污泥泵房。

3.1.3 水质监测结果与排放要求

根据要求，排放标准执行《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》^[9]中一级A排放标准、进水水质、出水水质监测结果与排放要求如表1所示。

表1 污水处理水质监测结果

水质指标	进水 (mg/L)	二级处理 出水/(mg/L)	处理程度/%	深度处理 出水/(mg/L)
COD _{Cr}	230	≤50	78.2	≤50
SS	160	≤20	87.5	≤10
BOD ₅	130	≤20	84.6	≤10
TN	30	≤15	50.0	≤15
NH ₄ -N	20	≤5	75.0	≤5
TP	4	≤0.5	87.5	≤0.5

3.2 BioWin 软件仿真模拟

经过现场实验和考察，获得污水处理厂常规进、出水水质数据、运行控制参数、水质组分比例以及模型典型参数等。在此利用BioWin软件建立模型，选用ASM2D对污水厂除碳脱氮除磷效果进行模拟，得到污水处理厂的模拟概化模型如图4所示。

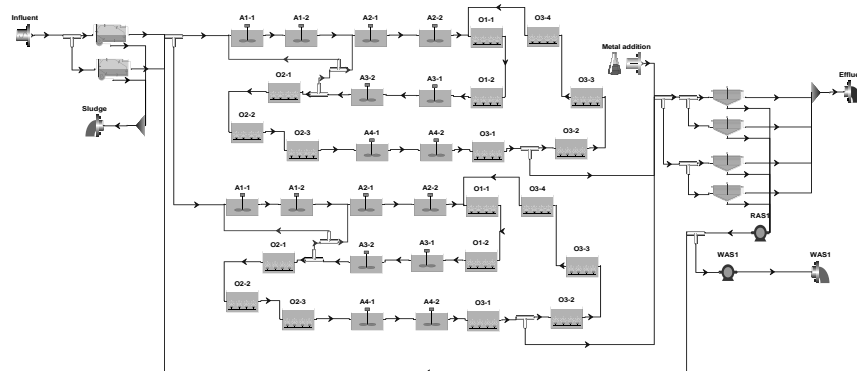


图4 污水处理厂模拟概化模型

Fig.4 Simulation generalization model of sewage treatment plant

模型中模拟了如图2所示的污水处理厂一个系列的工艺流程，该工艺分别包括沉砂池、生物曝气池、沉淀池三个主要部分。生物池模拟根据构筑物结构、池内推流方向和曝气器分布位置简化为图2所示的工艺流程进行模拟计算。其中，曝气氧化沟生物池一个系列共两组，每组以17个串联的反应器模拟曝气氧化沟处理效果，并设置成厌氧-缺氧-好氧交替，体积比为1:1:3.3，其中厌氧池和缺氧池共8个部分，好氧池根据实际运行中各池不同的溶解氧浓度分为9个部分，每个系列4座沉淀池。

经反复校正后得到地下曝气氧化沟动态模型，选取2016年4月~2016年9月共六个月的每日进水水质参数在BioWin模型上进行模拟，验证模型的准确度。为解决该污水厂部分尾水供污泥处

置厂冷却水问题提出污水厂扩建的要求，在此将污水厂进水量提至30.4万t/d后，由BioWin模拟出运行一个月的生化池和沉淀池的出水水质，为之提出科学合理的建议。

3.3 模拟结果与讨论

3.3.1 工艺现状模拟结果

本文利用构造的 BioWin 模型对污水处理厂的出水水质进行模拟预测，选取 2016 年 4 月~2016 年 9 月共六个月的每日进水水质参数在 BioWin 模型上进行模拟。并将模拟结果中的五个水质特征参数 COD、TN、TP、SS、NH₃-N 的模拟值与实测值进行比较。具体结果如下图 5~9 所示。

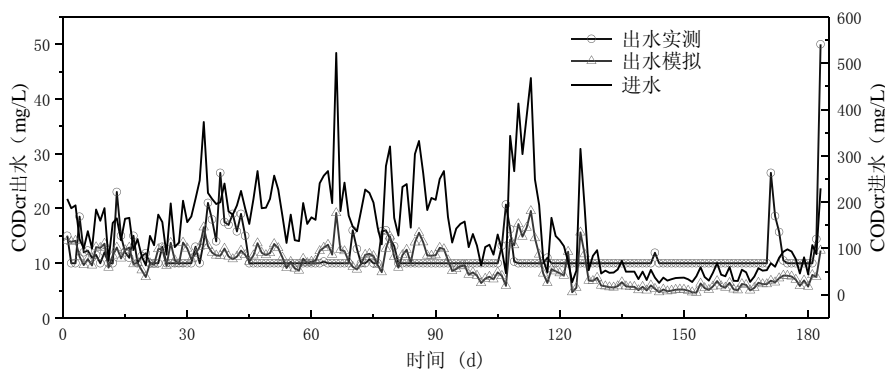


图5 模型出水 CODCr 浓度动态变化

Fig.5 Dynamic change of CODCr concentration in model effluent

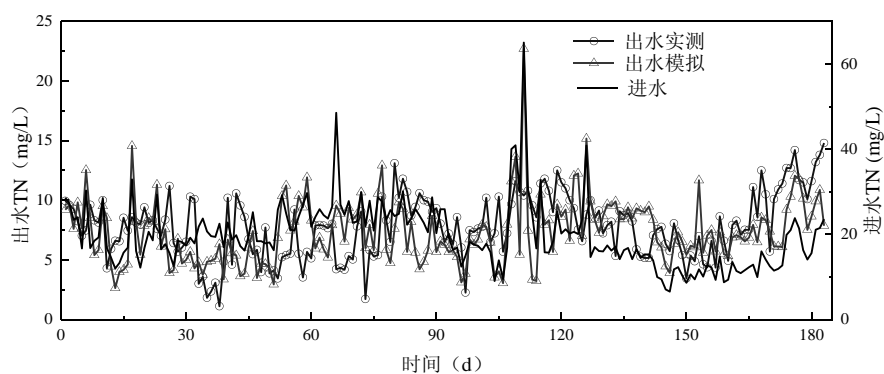


图 6 模型出水 TN 浓度动态变化
Fig.6 Dynamic change of TN concentration in model effluent

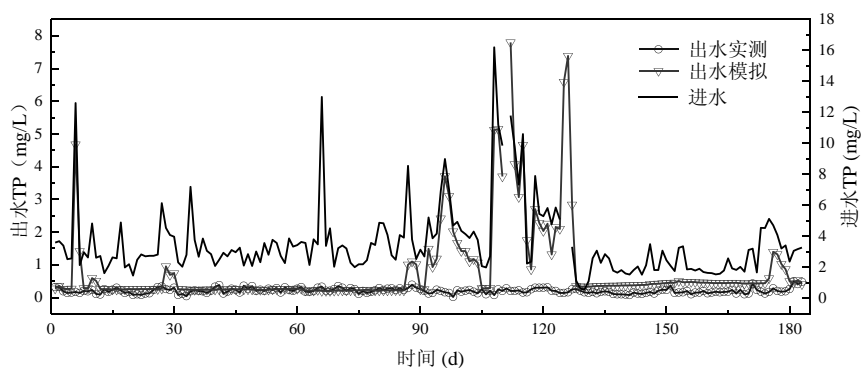


图 7 模型出水 TP 浓度动态变化
Fig.7 Dynamic change of TP concentration in model effluent

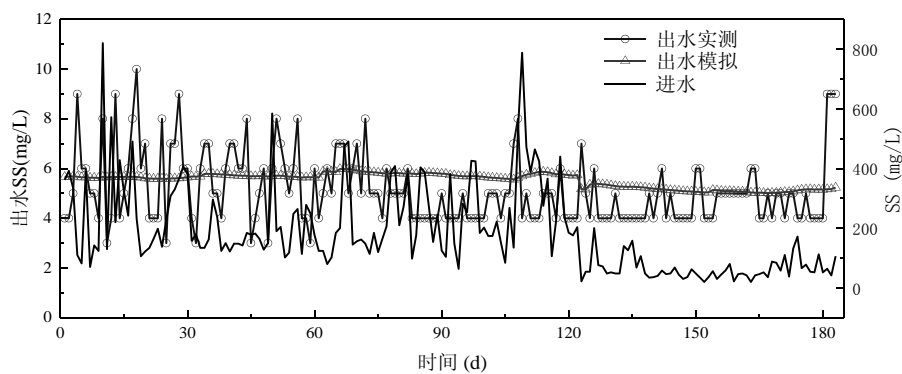


图 8 模型出水 SS 浓度动态变化
Fig.8 Dynamic change of SS concentration in model effluent

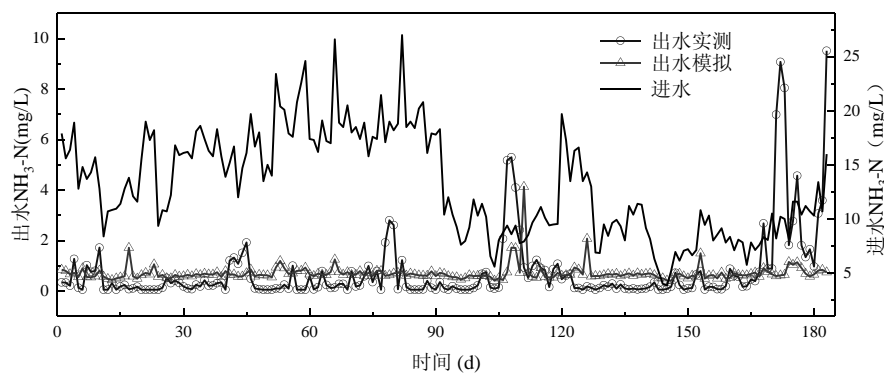


图 9 模型出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度动态变化
Fig.9 Dynamic change of $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration in model effluent

由图5~9污水处理厂出水COD、TN、TP、SS、NH₄-N的浓度动态变化比较可见,在相同的进水水质条件下,各个水质指标的模拟值与实测值基本一致,即模拟的各水质指标的活性污泥生物去除效果与实际的去除效果拟合度较好,说明BioWin在进行对曝

气氧化沟工艺模拟过程中,所建立的模型和选择的模型参数是准确有效,模型模拟结果很好地反映了污水处理厂实际运行情况。

为进一步验证模型的准确度,进行敏感度分析,采用均方根误差法对实测值与模拟值进行比较分析,结果如表2所示。

表 2 实测值与模拟值敏感度分析表

Tab.2 Sensitivity analysis of measured value and simulated value

项目	实测浓度变化范围/(mg/L)	实测平均出水浓度/(mg/L)	模拟浓度变化范围/(mg/L)	模拟平均出水浓度/(mg/L)	均方根误差
COD _{Cr}	10~50	11.5	4.71~19.53	10.0	4.41
NH ₃ -N	0.05~4.99	0.76	0.41~4.13	0.71	1.03
TN	2.26~13	7.8	2.65~22.69	7.38	3.18
TP	0.02~0.48	0.21	0.2~5.8	0.36	0.26
SS	5.01~5.98	5.0	0.2~5.8	5.53	1.47

由表2,可看出BioWin软件模拟的数据与实测的数据波动范围是基本一致,但图5~9中个别数据模拟值和实测值偏差较大,究其原因,发现当污水厂进水浓度较高时,虽然加大了氧化沟内曝气转刷的浸没深度和转速,仍难以控制各池中的溶解氧在设计值范围内运行,而在仿真模拟时是严格按设计参数运行,故模拟的出水水质优于实际的出水水质。尽管如此,总体的波动范围验证了此次BioWin模拟污水处理厂概化模型的准确性和有效性。

3.3.2 污水厂扩建可行性分析

经专题研究表明,该污水厂无需扩建,建议在二沉池工艺之后新建MBR膜生物反应器,考虑到处理过程中水量流失,为保证输送至污泥处置厂的水量为5万m³/d,本研究建议MBR规模暂定为5.5万m³/d。为验证在二沉池后增加MBR的必要性,将该污水厂进水量提升至30.4万t/d后,由BioWin模拟出运行一个月的沉淀池出水水质,如图10所示。

由图10可见,当该污水厂进水量提升至30.4万t/d后,BioWin模拟沉淀池出水水质一个月平均值分别为(单位mg/L)COD: 10.31<30, SS: 10.47, TN: 6.07>1.5, TP: 0.97>0.3, 氨氮: 1.43<1.5。COD和氨氮已经达到IV类水标准, TN、TP需要通过新建MBR去除至IV类水标准。

但MBR反应池的BOD₅: TN=2: 6=0.3<4、BOD₅: TP=2: 0.97=2.06<17, C/N和C/P不满足设计《室外排水设计规范》(GB50014-2006)^[10]的要求,需投加碳源方可采用A²O法生物同步除磷脱氮工艺。

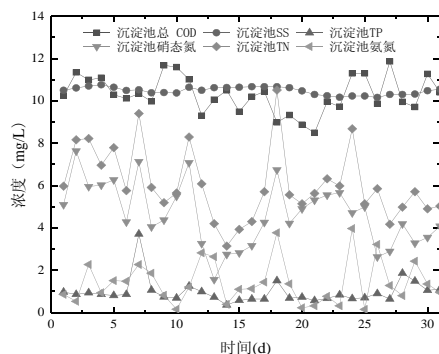


图10 BioWin模拟所得运行一个月的沉淀池出水水质

Fig.10 Biowin simulated the effluent quality of sedimentation tank in one month operation

进一步校核砂滤池的水力负荷,该污水厂设计kz值1.3,设计进水量20m³/d,故当最大处理水量为26m³/d时,深度处理水仍可达到一级A标准。本研究建议新增MBR池可处理水量5.5m³/d,水量提升至30.4m³/d后,进入砂滤池的水量为Q=30.4-5.5=24.9m³/d<26m³/d,故初步估测原砂滤池仍可以满足

水量提升后的水质要求,无需扩建。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)国际水协推出的ASMs系列动态机理模型,在一定的试验分析和污水厂现场调研的基础上,经过合理的参数校正可以较准确地表征活性污泥系统,进而分析污水厂处理情况,优化污水厂的运行。BioWin仿真软件能提供较好模拟污水厂的平台,在污水厂分析与管理上具有很大的优势,可以作为一种经济有效的污水厂设计和优化的辅助工具。

(2)BioWin模拟结果表明,该污水处理厂无需扩建,建议在二沉池之后新建规模为5.5万m³/d的MBR膜池,用于深度处理该污水厂部分尾水,处理标准可达地表水准IV类,即可满足水量提升后的水质要求。

4.2 建议

通过本次研究的模拟经验,建议在进行模型拟合时,应避免瞬时异常值,可采用前一天的数据作为模拟计算起点。在计算机模拟的基础上,对于敏感性参数和入流组分的确定,应辅以试验研究确定出适合该污水处理厂水质的值。

参考文献

- [1]王国胜,等. 活性污泥处理工艺的优化研究[J]. 广东化工, 2018, 45(05): 206-207+189.
- [2]刘光莲,等. 活性污泥数学模型在污水处理中的研究和应用进展[J]. 水科学与工程, 2009(1): 31-33.
- [3]顾晓丹,等. 活性污泥数学模型在污水处理中的应用研究[J]. 广东化工, 2012, 39(09): 129-132.
- [4]金舒怡,等. 基于BioWin的改良A/A/O工艺模拟[J]. 广州化工, 2013, 41(11): 187-189.
- [5]胡志荣,等. 全污水处理厂数学模拟的BioWin模型[J]. 给水排水, 2008, 44(S1): 159-166.
- [6]沈童刚,等. 污水处理厂模拟软件BioWin的应用[J]. 给水排水, 2009, 35(z1): 459-462.
- [7]牛涛,等. 污水处理厂全流程模拟软件BioWin在中国应用综述[J]. 广东化工, 2018, 45(01): 148-151.
- [8]韩振波. 孙从军与范宇, 基于BioWin的污水处理工艺模拟及优化分析——上海市松江西部污水处理厂一期改造工程[J]. 环境工程, 2013(31(S1)): 233-239.
- [9]国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局. 《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》[S]. 2002.
- [10]中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 《室外排水设计规范》(GB50014-2006), 2016.

(本文文献格式: 王醒, 房婷婷, 丁彬彬, 等. BioWin 仿真软件在污水处理中的应用研究[J]. 广东化工, 2020, 47(3): 128-132)