

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.19.010

# 基于 BioWin 软件对多级 A/O 工艺的运行优化

陈浩林<sup>1,2</sup>, 彭轶<sup>1,2</sup>, 安东<sup>1,2</sup>, 孙哲<sup>1,2</sup>, 郭媛媛<sup>2</sup>, 曹效鑫<sup>2</sup>

(1. 北京信通碧水再生水有限公司, 北京 101149; 2. 国投信开水环境投资有限公司, 北京 101101)

**摘要:** 在多级 A/O 工艺运行过程中,有效利用原水中的碳源和控制各级污泥浓度对系统节能降耗和出水达标排放至关重要,其中调整进水分配比和外回流比是现场工艺优化最直接的突破点和操作入口。基于污水厂运行的实测数据,应用 BioWin 软件对北京碧水污水处理厂二级反应阶段进行数值模拟。通过模型搭建、校核(参数修正)、验证进行实际进水水质生化反应模拟。结果表明,当进水分配比为 50% : 30% : 20%、外回流比( $R$ )为 100% 时工况最优;经工程验证,在最优工况条件下多级 A/O 工艺运行稳定,出水水质效果最佳,对 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  的平均去除率分别为 95%、73%、99%,相比调节前平均去除率分别提高了 9%、10%、3%。但受多级 A/O 工艺自身缺陷性的限制,好缺氧交替难以提供厌氧环境,从而导致除磷效率较低。

**关键词:** 多级 A/O 工艺; BioWin 软件; 模拟; 运行优化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)19-0060-07

## Operation Optimization of Multi-stage A/O Process Based on BioWin Software

CHEN Hao-lin<sup>1,2</sup>, PENY Yi<sup>1,2</sup>, AN Dong<sup>1,2</sup>, SUN Zhe<sup>1,2</sup>, GUO Yuan-yuan<sup>2</sup>,  
CAO Xiao-xin<sup>2</sup>

(1. Beijing Xintong Bishui Reclaimed Water Co. Ltd., Beijing 101149, China; 2. SDIC Xinkai Water Environment Investment Co. Ltd., Beijing 101101, China)

**Abstract:** During operation of a multi-stage A/O process, effective utilization of carbon sources in raw water and control of sludge concentration of each unit are of great importance to save energy of the system and comply with discharge standard. Among them, adjustment of influent distribution ratio and external reflux ratio are the most direct operational measures of field process optimization. Based on actual operational data of the wastewater treatment plant (WWTP), BioWin software was applied to simulate the secondary reaction stage of Beijing Bishui WWTP. The biochemical reaction with real influent quality was simulated through model construction, checking (parameter correction) and verification. When the influent distribution ratio was 50% : 30% : 20% and the external reflux ratio ( $R$ ) was 100%, the operational condition was the best. Engineering verification showed that the multi-stage A/O process was stable and the effluent quality was the best. Average removal efficiencies of COD, TN and  $\text{NH}_3 - \text{N}$  were 95%, 73% and 99%, respectively, which were 9%, 10% and 3% higher than those before adjustment. However, restricted by defect of the multi-stage A/O process itself, it was difficult to provide an anaerobic environment for phosphorus removal bacteria due to alternate aerobic-anaerobic operation of

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07103-003)

通信作者: 陈浩林 E-mail:1175688856@qq.com

the process, resulting in low phosphorus removal efficiency.

**Key words:** multi-stage A/O process; BioWin software; simulation; operation optimization

污水处理过程异常复杂,不确定因素较多,国内较多污水厂的运行均基于传统经验对主流工艺进行调整与管理,在污水厂运营优化和成本节省等方面无法实施量化。随着计算机科学技术的迅速发展,污水处理领域同步衍生了一系列数值模拟软件,应用最广泛的数学模型主要是国际水协发布的 IWA 系列模型,覆盖了活性污泥反应系统中碳氧化反应、脱氮反应(包含硝化及反硝化)、生物除磷和厌氧消化等一系列反应。BioWin 作为 IWA 模型众多工艺模拟软件中最常用、最基础、全流程的模拟软件之一,经过长达十多年的迭代优化开发和实际工程应用,已经非常成熟。BioWin 软件将整座污水处理厂中所有的物理、化学和生化反应整合为一套模型,可提供模拟污水厂中任何模型组分的变化量或者状态系数在不同单体工艺中的波动,其对污水厂的运行优化具有指导意义。

## 1 项目概况

碧水污水处理厂位于北京城市副中心主城区,2003 年初建成并投入使用,服务面积为  $46 \text{ km}^2$ ,服务人口约为  $70 \times 10^4$  人,处理规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用美国深池曝气污水再生与利用技术,出水水质指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准。随着城市社会与经济快速发展,厂区四周高楼林立,污水厂机械噪音与恶臭污染严重影响周边居民生活质量;另外,城市水生态环境恶化,水资源面临严重挑战,原处理规模与工艺技术已不能满足城市副中心高质量发展的需求,亟需对该污水厂进行提标改造。

2015 年底开始在原厂址北侧实施升级工程,采用全新下沉式污水厂建设形式,设计规模为  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地约为  $7.33 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,节省占地 66%,处理能力提升 80%。进水水质设计值: $\text{BOD}_5$  为  $200 \text{ mg/L}$ , $\text{COD}$  为  $400 \text{ mg/L}$ , $\text{SS}$  为  $200 \text{ mg/L}$ , $\text{TN}$  为  $70 \text{ mg/L}$ , $\text{NH}_3-\text{N}$  为  $60 \text{ mg/L}$ , $\text{TP}$  为  $6 \text{ mg/L}$ ;相应的出水水质设计值为 6、30、5、15、1.5、0.3  $\text{mg/L}$ ;设计进、出水 pH 值均为 6~9。

主要工艺流程:粗、细格栅+曝气沉砂池+膜格栅+三级 A/O 工艺+双层平流沉淀池+深度除磷高效沉淀池+超滤膜池+紫外消毒,出水水质满足

北京地标《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012)中一级 B 标准,高于 GB 18918—2002 中的一级 A 标准(除 TN 以外)。其中  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  出水作为河道生态补水, $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  出水作为收水服务范围内的回用再生水,主要用于建筑冲厕、城市道路浇洒、园林绿化和工业冷却用水。集中收集厂区臭气进行处理,采用高效生物除臭技术,排放气体满足《大气污染物综合排放标准》(DB 11/501—2017)。污水厂箱体顶部覆土 1.2 m,建成后打造成集休闲娱乐、体育运动、科普教育于一体的城市生态景观综合体。

目前国内针对多级 A/O 工艺的地下污水处理厂运行仍处于摸索阶段,由于缺乏多级 A/O 工艺的运行经验,自 2018 年初该污水处理厂正式投入试运行,运行半年后个别出水水质指标存在超标现象,尤其是出水 TN 一直处于超标状态,多次采用调整曝气量、投加葡萄糖等措施后仍未见成效。因此,借助 BioWin 软件进行分析,优化工艺运行,实现出水水质达标排放。

## 2 模拟方法

### 2.1 工艺介绍

碧水污水处理厂采用多级(三级)A/O 处理工艺,生化池的主要设计参数:4 条生化池处理渠,每条渠的处理能力为  $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,每级池容比为 1:1.3:1.6,设计进水分配比为 1:1:1,每级缺、好氧段容积比为 1:1,水力停留时间为 14.8 h,曝气采用刚玉球形曝气器,气水比为 8.6:1。二沉池为双层平流沉淀池,数量为 2 座,共 16 格,设计表面水力负荷为  $0.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,沉淀时间为 4 h。

### 2.2 模型搭建

模拟进水采用碧水污水厂实际运行中 9 月、10 月的平均进水水质,模型各级尺寸按照实际构筑物设计尺寸搭建,好氧池采用微孔曝气, $\text{DO}$  控制在  $2.0 \text{ mg/L}$ 。二沉池 HRT 为 4 h,池底沉淀污泥分为两部分,一部分回流至生化池第一缺氧段前端,为生化系统补充污泥;另一部分以剩余污泥形式排出。整个系统的污泥龄控制为同一常数,即后续模拟中 SRT 均控制为同一常数。三级 A/O 工艺模拟流程如图 1 所示。

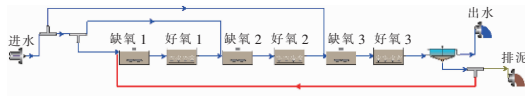


图1 三级A/O工艺模拟流程

Fig.1 Flow chart of three-stage A/O process simulation

### 2.3 模拟数据

模拟进水水质:9月份COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP分别为254.27、58.37、45.18、5.83 mg/L, pH值为7.29;10月份COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP分别为297.34、54.21、44.54、5.70 mg/L, pH值为7.24。污水处理厂设计了一级处理单元(粗格栅+细格栅+曝气沉砂池+膜格栅),以确保数据的真实性和准确性。

### 2.4 模型校核

为提高模型模拟的准确性,通过常规灵敏度分析方法对模型进行校核<sup>[1]</sup>。其参数修正结果如表1所示。

表1 分段进水多级A/O工艺系统模型参数校正结果

Tab.1 Calibration results of model parameters of multi-stage A/O process system

项 目		缺省值	校正值
动力学参数	常规指标	水解速率/ $\text{d}^{-1}$	2.1
	氨氮氧化菌(AOB)	好氧的衰减速率/ $\text{d}^{-1}$	0.17
	异养菌(OHO)	反硝化所占比例	0.5
		最大单位生长速率/ $\text{d}^{-1}$	3.2
	状态转换	OHO溶解氧半饱和系数	0.05
化学计量参数	常规指标	内源呼吸残留物中氮含量	0.07
	OHO	产率系数(好氧)	0.666
		产率系数(缺氧)	0.54

由表1可以看出,动力学参数AOB好氧的衰减速率校正值与缺省值相差比较大,主要原因是在实际运行过程中仅考虑总体脱氮效果,本工程设计气水比为8.6:1,实测好氧池中DO浓度高达5~6 mg/L,高溶解氧态抑制了AOB的活性,导致衰减速率降低。模型参数校正后,实测值和模拟值的对比结果见表2。

表2 校正模拟值和实测值结果对比

Tab.2 Comparison of calibration simulation results and measured results  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项 目	COD	TN	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
9月	实测值	32.36	16.29	0.88
	模拟值	29.18	16.10	0.82
10月	实测值	30.54	15.33	0.73
	模拟值	31.62	16.17	0.80

由表2可知,实测值与模拟值基本一致<sup>[2]</sup>,充分说明模型系统参数校正正确。

### 2.5 模型验证

为进一步验证模型对工艺优化指导的准确性,再次采用11月初(前7 d)二沉池末端平均出水数据与模拟数据进行对比验证<sup>[3]</sup>,结果见表3。

表3 出水指标验证模拟值和实测值结果对比

Tab.3 Comparison of simulation results and measured results of effluent quality

项 目	COD	TN	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
实测值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	35.07	17.36	0.79	4.33
模拟值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	33.95	16.36	0.81	4.61
误差率/%	3.19	5.76	-2.53	-6.47

由表3可知,实测值与模拟值的误差率在10%以内,模拟值与实测值基本吻合。由于实测值是通过人工化验所测数据,不排除取样、化验操作等过程中的误差因素导致的结果偏差。

### 3 运行优化模拟

多级A/O工艺具有脱氮效率高、抗冲击负荷能力强、运行灵活、基建投资省等优点;目前国内外对多级A/O工艺的实际生产运行还处于探索阶段,其中进水分配比和污泥回流控制是影响多级A/O工艺运行的最主要因素,也是现场对工艺调整最容易、最直接控制操作的入口。

为了确保现状生产运行状况稳定、出水水质达标排放,同时借助现场运行优势条件,本次模拟的进水分配比分别设置为70%:20%:10%(工况1)、60%:20%:20%(工况2)、50%:30%:20%(工况3)和40%:30%:30%(工况4);外回流比分别设置为50%、75%和100%。其中模拟进水数据采用11月1日—15日的检测数据(见表4)进行动态模拟分析。

表4 11月1日—15日检测数据

Tab.4 Test data from Nov.1 to 15  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项 目	COD	TN	TP	$\text{NH}_3\text{-N}$
1日	245.8	53.2	4.6	41.0
2日	244.3	58.7	5.7	49.5
3日	261.1	57.6	4.4	44.1
4日	255.4	53.1	5.3	49.2
5日	286.6	55.0	6.1	50.8
6日	279.7	54.2	5.6	48.5
7日	273.0	52.2	5.4	40.0
8日	284.1	55.7	5.5	43.1
9日	330.0	48.5	5.0	34.4

续表 4 (Continued)

项 目	COD	TN	TP	NH <sub>3</sub> - N
10 日	279.6	50.8	5.2	39.0
11 日	268.8	52.4	5.0	42.1
12 日	259.9	56.4	5.3	46.7
13 日	267.2	56.9	6.1	48.2
14 日	273.1	57.5	5.6	48.5
15 日	265.6	56.2	5.7	50.3
平均值	271.6	54.6	5.4	45.0

### 3.1 不同进水分分配比下的处理效果

为避免其他变量因素的影响,当外回流比  $R = 100\%$  时,考察不同工况下对污染物的去除效果,结果如图 2 所示。由图 2(a)可以看出,在 4 种不同工况下,出水 COD 均小于 30 mg/L,能够达标排放,因此出水 COD 受进水分分配比的影响较小。其中,在工况 3 条件下,出水 COD 平均值为 16 mg/L。通过分析出水 COD 和 TN 可知,在工况 3 条件下碳源利用程度最高。

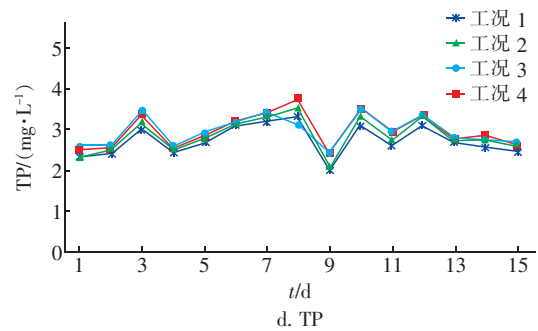
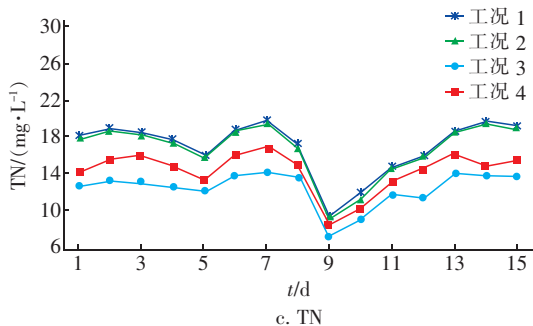
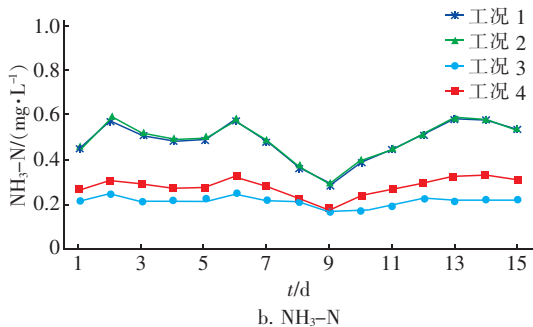
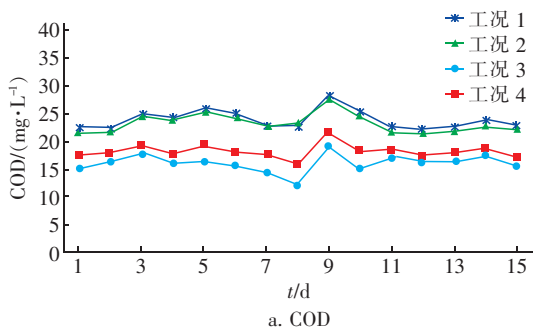


图 2 不同进水分分配比条件下对污染物的去除效果

Fig. 2 Removal effect of pollutants in different influent distribution ratio

此外,第 9 天的出水 COD 浓度最高,这是由于当天进水 COD 较往常出现波动,浓度高达至 330.0 mg/L,在碳源充足的条件下,脱氮和除磷的效果明显增加。

在工况 1 条件下,经生化处理后出水 TN 约为  $(17 \pm 0.5)$  mg/L,出水水质超标。第 I 级进水与外回流液混合进入 A 池,外回流液中携带的  $\text{NO}_x^- - \text{N}$  浓度较低,被反硝化利用的碳源很少,但为聚磷菌释磷提供了充足碳源进行释磷储碳。在第 I 级 O 池中,异养菌作为优势菌种消耗大量 COD,造成碳源损失,由于水力负荷大、停留时间短等原因致使硝化反应不彻底。第 I 级出水进入第 II 级 A 池,同时引入 20% 的原水,原水中碳源为  $\text{NO}_x^- - \text{N}$  反硝化提供电子供体,但此段进水碳源作为上一级的  $\text{NO}_x^- - \text{N}$  反硝化所需碳源已不足;第 II 级 O 池中主要为第二段进水和上一级未反应彻底的  $\text{NH}_3 - \text{N}$  进行硝化反应,因此在第 II 级 O 池末端  $\text{NO}_x^- - \text{N}$  浓度飙升。进入第 III 级的原水仅占 10%,碳源微乎其微,已无法满足反硝化需求。出水中 TN 主要为前两级积累的  $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 。

相比于工况 1,在工况 2 条件下 TN 略有下降,但出水 TN 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的变化趋势基本一致。通过模拟分析,第 I 级 O 池出水  $\text{NO}_x^- - \text{N}$  有所升高,在第 II 级中的变化情况与工况 1 中的第 II 级反应基本一致。区别在于第 III 级 A 池出水中  $\text{NO}_x^- - \text{N}$  浓度较低,这是因为第 III 级 A 池进水占比提升了 10%,反硝化获取的碳源量有所增加,故而提高了反硝化程度;但受碳源不足的影响和最后进水氨氮无反硝化条件,出水 TN 仍处于排放标准要求限值(15 mg/L)左右。

在工况 3 条件下出水 TN 比工况 1 条件下的平



均下降5 mg/L,比工况4的出水TN平均下降2 mg/L,  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度平均下降约为0.1 mg/L。实验结果显示,在第Ⅰ级O池中  $\text{NH}_3\text{-N}$  基本被去除,其出水  $\text{NO}_x^- \text{-N}$  含量最高,说明  $\text{NH}_3\text{-N}$  基本转化为了  $\text{NO}_x^- \text{-N}$ 。第Ⅱ级A池出水  $\text{NO}_x^- \text{-N}$  和COD急速下降,故而证实了上一级的  $\text{NO}_x^- \text{-N}$  充分利用了进入第Ⅱ级的原水中的碳源进行反硝化;第Ⅱ级O池主要为30%进水中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  提供硝化反应环境,随之进入第Ⅲ级A池,再次利用20%进水中的碳源进行反硝化;由于20%进水中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  进行硝化后再无反硝化条件,随出水进入二沉池。在此工况下,平均出水TN浓度能达到12 mg/L,最低为7.4 mg/L。

相比于工况3,在工况4条件下出水TN明显有反弹趋势。主要是因为最后一级进水所占比例变大,30%的  $\text{NH}_3\text{-N}$  硝化后再无缺氧条件,导致最后一级的TN浓度增高。

对于除磷而言,在工况1条件下除磷效果最佳。分析原因,第Ⅰ级A池中污泥浓度最高,进水比最大,碳源最充足,外回流污泥中所携带的  $\text{NO}_x^- \text{-N}$  极少,此阶段为聚磷菌创造了极佳的释磷环境,聚磷菌吸收并储存大量碳源,同时释放磷酸盐。由于后两级缺、好氧交替,无法为聚磷菌创造厌氧条件,且碳源在第Ⅰ级A池中被大量消耗,导致吸磷能力被抑制。

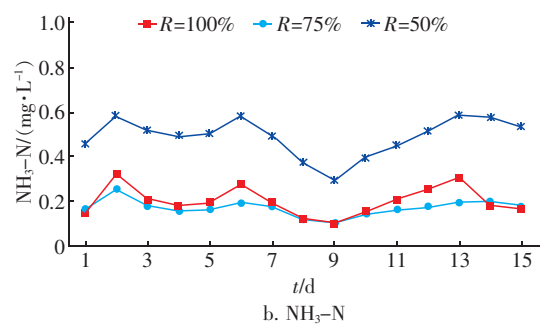
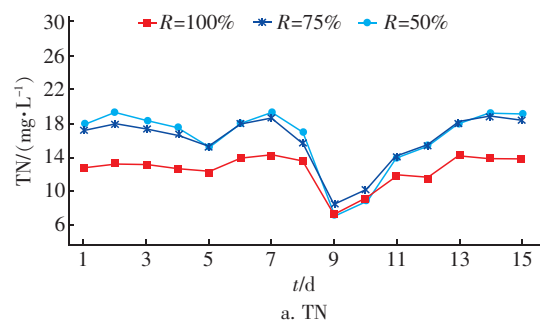
综上所述,在进水分配比为50%:30%:20%的条件下,模拟效果最佳,对COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$  的平均去除率分别为94%、78%、99%;对TP的去除效果差异不明显,平均去除率约为46.5%。对于脱氮而言,进水分配比直接影响对碳源和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除;第Ⅰ级进水比例过大,O池消耗大量的碳源,后续反硝化能力难以提升;第Ⅱ级进水的碳源与上一级的  $\text{NO}_x^- \text{-N}$  无法充分反应,将会影响到后两级  $\text{NO}_x^- \text{-N}$  积累;最后一级进水比例过大,  $\text{NH}_3\text{-N}$  好氧硝化后无缺氧环境,导致TN升高。在除磷方面,多级A/O工艺的除磷主要在第Ⅰ级A池为聚磷菌提供厌氧环境<sup>[4]</sup>,释磷储碳;后续A/O交替,难以形成厌氧环境,聚磷菌释磷和吸磷能力被抑制。

### 3.2 不同外回流比下的处理效果

在进水分配比为50%:30%:20%的条件下,考察外回流比R对污泥浓度的影响。结果表明,当外回流比R为100%时,缺氧1、好氧1、缺氧2、好氧

2、缺氧3和好氧3的MLSS分别为4 417、4 399、3 548、3 529、2 971、2 960 mg/L,相应的MLVSS分别为3 005、2 999、2 436、2 403、2 040、2 017 mg/L;当外回流比R为75%时,缺氧1、好氧1、缺氧2、好氧2、缺氧3、好氧3的MLSS分别为3 491、3 472、2 802、2 786、2 349、2 336 mg/L,相应的MLVSS分别为2 189、2 152、1 747、1 724、1 462、1 446 mg/L;当外回流比R为50%时,缺氧1、好氧1、缺氧2、好氧2、缺氧3、好氧3的MLSS分别为3 118、3 098、2 502、2 486、2 097、2 084 mg/L,相应的MLVSS分别为1 884、1 853、1 504、1 485、1 259、1 246 mg/L。可以看出,在不同外回流比条件下,各反应池污泥浓度均不相同,且各级污泥浓度呈梯度分布,其中第Ⅰ级浓度最大,其次为第Ⅱ级,第Ⅲ级最低。当外回流比R=100%时,第Ⅰ级A、O池的平均污泥浓度高达4 400 mg/L左右,比外回流比R为75%、50%分别高约1 000、1 300 mg/L。

在不同外回流比条件下,对污染物的去除效果如图3所示。可以看出,当外回流比R=100%时,平均出水TN小于12 mg/L,低于外回流比R为75%和50%的。当外回流比R为100%和75%时,对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果差异不大。对于除磷而言,在外回流比R=50%的条件下去除率最高,这是因为外回流比越小,污泥中携带的硝态氮浓度越低,同时第Ⅰ级水力停留时间越长,聚磷菌的生长环境越优越。



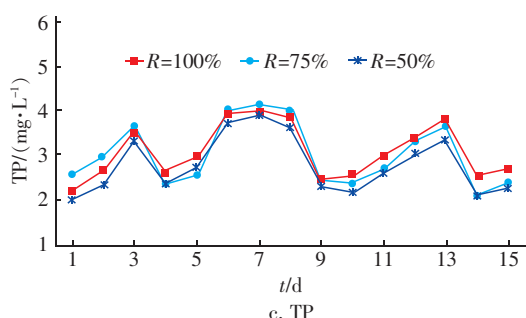


图 3 不同外回流比条件下对污染物的去除效果

Fig. 3 Removal effect of pollutants in different external reflux ratios

综上所述,在进水分配比为 50% : 30% : 20% 条件下,外回流比不同时各级污泥浓度呈梯度分布,其中第 I 级污泥浓度储量最大,抗冲击负荷能力最强,最后一级污泥浓度受进水和前两级已反应混合液的稀释作用,浓度最小。

当外回流比  $R = 100\%$  时,对 TN 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的去除效果较好,出水 TN 小于  $12 \text{ mg/L}$ ,出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度低于  $0.4 \text{ mg/L}$ ,满足相关排放标准;在外回流比  $R = 75\%$  的条件下,出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  优于外回流比  $R = 100\%$  的;在外回流比  $R = 50\%$  的条件下,出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度最高,由于受到污泥浓度的影响,最后一级进水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  在好氧区未完全硝化。

#### 4 运行验证

根据模拟结果,实时指导现场运行,将进水分配比调整为 50% : 30% : 20%,外回流比调整为 100%,经过长达 1 个月的连续监测,二沉池出水水质情况见图 4。可以看出,经过二级处理后,平均出水 COD 为  $15.48 \text{ mg/L}$ ,平均去除率为 95%;平均出水 TN 为  $13 \text{ mg/L}$ ,平均去除率为 73%;平均出水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  为  $0.35 \text{ mg/L}$ ,平均去除率为 99%。出水水质满足排放标准,相比调节前,对 COD、TN 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的平均去除率分别提高了 9%、10%、3%。同时节省了碳源,降低了运行成本。

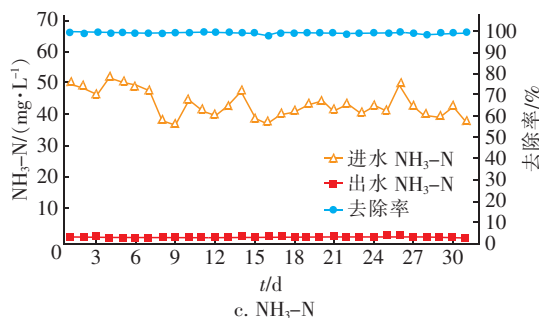
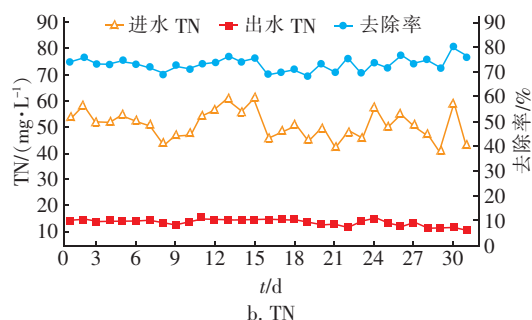
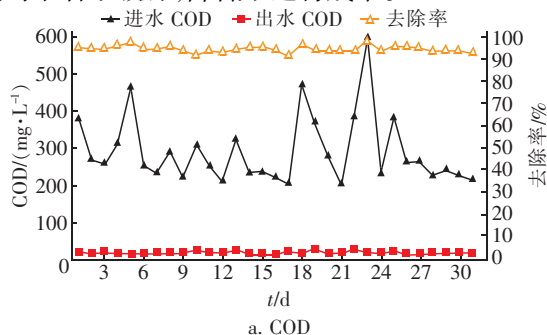


图 4 工艺调整后二沉池出水水质情况

Fig. 4 Effluent quality of secondary sedimentation tank after process adjustment

#### 5 结论

通过 BioWin 模拟软件指导污水厂的运行,一方面既可挖掘工艺自身潜力,充分利用原水中的有机碳源进行脱氮,节省外部碳源投加费用;另一方面可指导现场运行人员对不同进水水质工况进行调整,对出水水质达标排放具有双重保障优势。针对碧水污水处理厂目前的进水水质,在三段进水分配比为 50% : 30% : 20%、污泥外回流比  $R = 100\%$  的运行工况下,对污染物的去除效果最佳;其中二级处理出水  $\text{COD} < 20 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} < 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} < 0.4 \text{ mg/L}$ ,满足排放标准的要求。受多级 A/O 工艺自身缺陷性的限制,由于好缺氧交替,难以为除磷菌提供厌氧环境,导致除磷效率较低。在未来多级 A/O 工艺设计与运用中,建议在工艺前端增设厌氧池,为聚磷菌提供适宜的反应环境,可降低后端化学除磷负荷和减少药剂投加量,节省运行成本。

#### 参考文献:

- [1] 杭晨,牛涛,孙立柱,等. 基于 BioWin® 的城市污水处理厂全流程处理工艺模拟与优化[J]. 给水排水, 2018, 44(7): 134 - 140.  
Hang Chen, Niu Tao, Sun Lizhu, et al. BioWin-based whole process simulation and optimization of the municipal wastewater treatment plant [J]. Water &

Wastewater Engineering, 2018, 44 (7): 134 – 140 (in Chinese).

- [2] 房婷婷,马之光,黄鹤,等. 基于 BioWin 的污水处理厂在不同工况下的工艺模拟及运行优化[J]. 市政技术, 2019,37(3):201–206.

Fang Tingting, Ma Zhiguang, Huang Hu, *et al.* Process simulation and operation optimization of wastewater treatment plant in different conditions based on BinWin [J]. Municipal Engineering Technology, 2019, 37 (3): 201 – 206 (in Chinese).

- [3] 卢欢亮,胡志荣,李朝晖,等. 污水处理厂工艺模型的开发及工程应用[J]. 给水排水,2014,40(10):111–117.

Lu Huanliang, Hu Zhirong, Li Zhaohui, *et al.* Process modle development and its engineering application for a wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40 (10): 111 – 117 (in Chinese).

- [4] 郝晓地,李天宇,吴远远,等.  $A^2/O$  工艺用于污水处理厂升级改造的适宜性探讨[J]. 中国给水排水,2017, 33(21):18–24.

Hao Xiaodi, Li Tianyu, Wu Yuanyuan, *et al.* Discussion

on suitability of  $A^2/O$  process for upgrading of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33 (21):18–24 (in Chinese).



作者简介:陈浩林(1992–),男,四川巴中人,大学本科,工程师,主要从事给水排水设计与运行管理工作。

E-mail:1175688856@qq.com

收稿日期:2019–08–16

(上接第59页)

Song Xiaona, Yu Tao, Zhang Yuan, *et al.* Distribution characterization and source analysis of dissolved organic matters in Taihu Lake using three dimensional fluorescence excitation-emission matrix [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30 (11): 2321 – 2331 (in Chinese).

- [10] 周昀,陈飞,姚建国,等. 生活饮用水中有机物的三维荧光特征[J]. 分析试验室,2017,36(4):412–414.

Zhou Yun, Chen Fei, Yao Jianguo, *et al.* Orescent features of the organic matters in standards for drinking water quality [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2017, 36 (4): 412 – 414 (in Chinese).

- [11] 沙中魁,李永河,王同春. 微滤膜及微滤技术用于反渗透预处理的研究[J]. 电力建设,2001,22(10): 26–29.

Sha Zhongkui, Li Yonghe, Wang Tongchun. Study on micro-filtration membrane and micro-filtration technique used for pretreatment in reverse osmosis water treatment

[J]. Electric Power Construction, 2001, 22 (10): 26 – 29 (in Chinese).



作者简介:周昀(1990–),女,浙江杭州人,硕士,工程师,主要研究方向为饮用水安全保障技术。

E-mail:zhouyun\_1990@foxmail.com

收稿日期:2019–04–07