

大型污水处理厂工艺优化及改造案例分析

朱石清¹, George Lee², 尚爱安³, 张欣⁴, 麦穗海⁵,
杨彩凤⁵, 徐鸿德³, 张善发⁶

(1. 上海市水务局, 上海 200003; 2. BioChem Technology Inc, USA; 3. 美国生化科技公司上海代表处, 上海 200336; 4. 上海市市政工程设计研究院, 上海 200092; 5. 上海市南运营公司 白龙港水质净化厂, 上海 201203; 6. 上海市城市建设设计研究院, 上海 200120)

摘要: 对上海某大型污水处理厂(原设计处理量为 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用高效沉淀池处理工艺)进行了工艺优化及模拟改造, 介绍了优化模拟改造系统的分析步骤, 建立了污水厂达标改造和扩建工艺模型。污水厂达标改造工艺模型模拟结果表明, 高效沉淀池的处理出水应根据具体情况, 部分进入二级生物处理, 以达到排放标准; 扩建工艺模拟结果表明, 应根据实际进水量和水温情况合理控制 DO, 出水水质才能达到排放标准。

关键词: 污水处理厂; 高效沉淀池; 达标改造; 工艺优化

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)14-0029-04

Case Study on Process Optimization and Reconstruction of a Large-scale WWTP

ZHU Shi-qing¹, George Lee², SHANG Ai-an³, ZHANG Xin⁴, MAI Sui-hai⁵,
YANG Cai-feng⁵, Charles Xu³, ZHANG Shan-fa⁶

(1. Shanghai Water Authority, Shanghai 200003, China; 2. BioChem Technology Inc., USA; 3. Shanghai Rep. Office, BioChem Technology Inc., Shanghai 200336, China; 4. Shanghai Municipal Engineering Design Institute, Shanghai 200092, China; 5. Shanghai Bailonggang WWTP, Shanghai 201203, China; 6. Shanghai Urban Construction Design & Research Institute, Shanghai 200120, China)

Abstract: The process optimization and simulation reconstruction of a Shanghai large-scale wastewater treatment plant (WWTP) were carried out. In the original design, the capacity was $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and coagulation-flocculation sedimentation tank (CFST) process was used. The analytical procedures of the process optimization and simulation reconstruction system were introduced, and the models for up-to-standard reconstruction and extension processes of the WWTP were established. The simulation result of the up-to-standard reconstruction process shows that according to the concrete situation, the part of the effluent from CFST should return to the secondary biological tank to reach the discharge standard. The simulation result of the extension process shows that DO should be reasonably controlled according to the WWTP influent load and temperature, so that the effluent quality can achieve the discharge standard.

Key words: WWTP; coagulation-flocculation sedimentation tank; up-to-standard reconstruction

tion; process optimization

传统的污水厂改造一般以历史数据或标准值作为设计基础,考虑到实际情况的不确定性,还会采用较大的安全系数,从而导致工艺设计尺寸过大,基建投资费用过高,但处理效率较低。

数学模型和系统分析技术的发展为污水厂的改造设计提供了一个很好的平台。通过污水厂的系统分析技术,确定工艺运行的关键参数,然后将这些参数用于工艺模型的建模中,对各种不同的运行条件和进水水质进行多变量、多目标模拟计算,得出最佳的工艺设计方案。这是传统工艺设计方法所无法比拟的。

1 污水厂的背景

上海某大型污水处理厂设计进水流量为 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于2003年底建成并投入试运行,采用一级强化处理工艺。

该污水处理厂的设计进水 COD 为 300 mg/L 、 BOD_5 为 150 mg/L 、SS 为 200 mg/L 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 30 mg/L 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 5 mg/L ;设计出水 COD 为 180 mg/L 、 BOD_5 为 70 mg/L 、SS 为 40 mg/L 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 30 mg/L 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 为 5 mg/L 。按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的要求,出水水质需达到二级排放标准,即 $\text{COD} \leq 100 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 25 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 3 \text{ mg/L}$ 。

2 优化模拟改造系统的分析步骤

常规污水厂的系统分析是将在线监测、人工化验室分析、进水水质、处理设备等多个方面系统地结合在一起,找出制约污水厂的“瓶颈”,从而提出最优的工艺达标改造方案。具体包括以下几个步骤:

① 污水厂设备/单元运行状况的分析。包括粗细格栅、旋流沉砂池、加药间、高效沉淀池、曝气生物滤池、储泥池、污泥脱水机房及垃圾填埋场等。

② 单元处理效率、进水水质分析。包括污水厂历史运行数据、现状运行数据,并安装在线水质监测仪器 24 h 监测水质的变化情况,同时还进行 24 h 的人工现场取样分析,以详细了解污水厂的水质/水量变化情况,为污水厂的改(扩)建工艺设计和最佳工艺运行方案的选择打下基础。调查中发现,该污水厂的处理水量已超过了 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,达到了

$170 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

③ 活性污泥降解状况分析。该污水厂并没有活性污泥处理单元,考虑到将来工艺达标改造需要增加活性污泥处理工艺,为此专门培养了活性污泥,并分析了硝化速率、耗氧速率等。

④ 根据分析数据,建立达标改造工艺模型。根据达标改造的要求,比较目前实际出水水质和必须达到的排放标准,认为采用高效沉淀池/A/O 组合工艺是基本可行的;而对增加的水量部分,建议在扩建工程中采用 A^2/O 工艺进行处理。

⑤ 通过模型预测,提出最优的工艺方案。该模型的核心是国际水协 IWA 的活性污泥模型 (ASM2D)。

3 模拟方案

3.1 近期的达标改造方案

达标改造方案设计流量为 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ($K = 1.3$),分别进入两套处理设施,如图1所示。高效沉淀池的固定流量为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其余进入 A/O 生物池。A/O 生物池进水随该厂 24 h 的流量变化而变化,且高效沉淀池一部分出水也进入 A/O 生物池进行二级处理,最终出水混合。

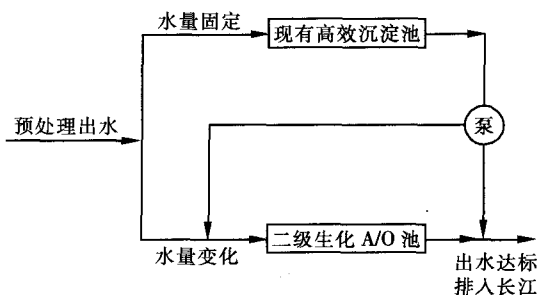


图1 近期达标改造工艺方案

Fig. 1 Scheme for up-to-standard reconstruction

近期升级改造方案设计中最关键的是对 BOD_5 的去除效果。这主要是因为高效沉淀池原设计出水 BOD_5 为 70 mg/L ,而实际进水水质分析过程中发现溶解性 BOD_5 为 75 mg/L 。

在模拟过程中,设定 A/O 生物池的外回流比为 50%,厌氧区 DO 为零,好氧区 DO 为 2.0 mg/L ,MLSS 为 3000 mg/L 。对于生物工艺来讲,制约其容积大小的最关键因素为进水峰值流量和低温条件,对于本方案,则指水温为 12°C 、进水流量为 $156 \times$

$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在该条件下确定 A/O 生物池的总容积为 $27.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中厌氧区为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3$,好氧区为 $20.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

模型预测方案共针对 3 种水温、2 种进水量和数种高效沉淀池出水回流量进行了模拟,结果如表 1 所示。

表 1 污水厂近期达标改造方案模拟预测结果

Tab.1 Simulation results of scheme for up-to-standard reconstruction of WWTP

编号	温度/℃	进水流量/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)			最终混合出水水质/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)					
		进水	A/O 生物池	高效沉淀池回流量	TSS	BOD ₅	COD	TP	NH ₃ -N	NO ₃ ⁻ -N
1	12	156	76	20	20.0	33.5	66.7	3.3	19.4	6.8
2	12	156	76	30	18.2	28.5	58.8	2.6	20.7	6.0
3	12	156	76	40	16.0	23.4	50.8	2.4	20.5	6.2
4	12	156	76	50	16.0	19.3	44.4	2.9	20.2	6.5
5	12	120	40	30	20.2	35.4	69.6	0.9	22.7	5.2
6	12	120	40	40	18.1	29.1	59.7	0.8	19.9	7.4
7	12	120	40	50	14.9	22.5	49.1	0.7	19.0	8.1
8	12	120	40	60	12.6	16.2	39.2	0.6	18.7	8.4
9	20	156	76	20	20.0	33.2	66.4	2.8	12.6	12.0
10	20	156	76	30	18.2	28.2	58.6	2.7	10.8	13.6
11	20	156	76	40	16.5	23.3	50.9	2.8	9.1	15.1
12	20	156	76	50	14.5	18.5	43.2	3.3	8.1	16.0
13	20	120	40	30	20.2	35.1	69.2	1.0	13.0	13.0
14	20	120	40	40	18.1	28.8	59.4	0.8	10.8	15.0
15	20	120	40	50	15.0	22.2	48.9	0.7	8.6	16.9
16	20	120	40	60	12.6	15.9	38.9	0.6	6.6	18.8
17	28	156	76	20	19.9	33.0	66.2	2.4	12.5	9.2
18	28	156	76	30	18.1	27.9	58.3	2.5	10.7	10.3
19	28	156	76	40	16.3	22.9	50.5	2.6	8.9	11.4
20	28	156	76	50	14.6	18.0	42.7	2.8	7.2	12.5
21	28	120	40	30	20.1	34.9	69.1	1.4	12.9	9.2
22	28	120	40	40	17.5	28.3	58.7	1.3	10.5	10.6
23	28	120	40	50	14.8	21.8	48.5	1.9	8.0	10.9
24	28	120	40	60	12.3	15.2	38.3	1.8	5.6	12.4

结果表明,高效沉淀池的出水进入 A/O 生物池的流量至少应为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,若低于该流量,则出水的 BOD₅ 将达不到排放标准。高效沉淀池出水回流泵应能应付较大的流量变化,根据污水厂的进水量进行调整。

在进水峰值流量情况下,出水 TP 都很接近排放标准(3 mg/L),故应考虑采用化学除磷方案进一步降低 TP 浓度。在温度较低时,由于硝化速率较低,可能会造成出水氨氮不能达标。

3.2 中长期的扩建方案

由于水量增加,应考虑污水厂的扩建,确定扩建规模为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 A²/O 工艺。设定污泥

回流比为 50%,MLSS 为 $3\,000 \text{ mg/L}$,采用和近期达标改造方案一致的进水水质、小时流量变化曲线、温度和变化系数。在 A²/O 工艺模型中,厌氧区、缺氧区、好氧区的 DO 分别设定在 0、0.1 和 2.0 mg/L 。

首先按照低温 ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和峰值流量 ($104 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 计算出生物池的容积为 $31 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中厌氧区为 $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,缺氧区为 $5.425 \times 10^4 \text{ m}^3$,好氧区为 $19.375 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。考虑到排放标准中并没有对 TN 或硝酸盐氮提出要求,因此没有设置内回流。从这个层面讲,该工艺可称为 A/O 工艺。

模拟预测方案共针对 2 种进水量、3 种温度和 4 种 DO 运行情况进行模拟,结果见表 2。

表2 污水厂中长期扩建工艺模拟预测结果

Tab.2 Simulation results of middle and long period extension project of WWTP

工艺参数						出水水质/(mg·L ⁻¹)					
进水量/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	温度/℃	好氧区 DO/ (mg·L ⁻¹)	SRT/d	MLSS/ (mg·L ⁻¹)	MLVSS/ (mg·L ⁻¹)	TSS	BOD ₅	COD	TP	NH ₃ -N	NO ₃ ⁻ -N
80	12	2	6.4	2 997	1 132	9.9	3.3	55.9	0.4	23.0	3.9
104	12	2	5.0	3 006	1 171	12.6	4.1	57.4	0.4	23.5	3.4
80	20	0.6	6.8	3 028	1 076	10.0	2.6	55.1	1.2	9.8	10.3
104	20	0.6	5.2	3 020	1 101	12.6	3.5	56.8	0.5	19.8	4.1
80	20	1.0	7.3	3 015	1 143	10.0	2.6	55.4	5.5	0.9	17.4
104	20	1.0	5.5	2 999	1 185	12.6	3.6	57.2	5.4	4.6	15.0
80	28	0.25	6.9	2 991	959	10.0	2.1	54.7	0.9	14.3	3.5
104	28	0.25	5.4	3 009	1 005	12.6	3.0	56.3	0.6	18.8	1.9
80	28	0.5	7.6	2 998	1 031	10.0	2.1	55.0	5.9	0.1	15.9
104	28	0.5	5.9	3 006	1 088	12.6	2.9	56.6	5.8	0.5	15.8
80	28	1.0	7.6	3 001	1 030	10.0	2.1	55.1	5.9	0.1	17.6
104	28	1.0	5.9	3 009	1 088	12.6	3.0	56.8	5.8	0.1	17.6

在该模拟工艺方案中,最大的问题在于去除 TP 和 NH₃-N。相比之下,COD、BOD₅、TSS 等都不是关键的污染物,不足以影响工艺设计。

在水温为 12℃时需要维持较高的 DO,以满足硝化需要;在水温为 20℃和 28℃时,则需要降低 DO 以防止硝化过量,预防回流污泥中的硝酸盐氮浓度过高,影响磷的去除效果。

术用于污水厂的改造[J]. 中国给水排水,2006,22(2):26-30.

[2] Liu W, Lee G, 尚爱安,等. 应用工艺智能优化控制系统降低污水厂能耗[J]. 中国给水排水,2006,22(8):29-32.

[3] 朱石清,唐建国,周骅,等. 美国 South Bermuda 污水厂的升级改造[J]. 中国给水排水,2006,22(4):31-33.

电话:(021)62362384

E-mail:charlesxu@biochemtech.com.cn

收稿日期:2007-03-14

参考文献:

[1] Lee George, Goodley Jim, 尚爱安,等. 工艺优化诊断技

· 工程信息 ·

河北省秦皇岛市第一污水处理厂改造工程

工程内容:新增变配电室、初次沉淀池、平流沉砂池、初沉污泥池、曝气池、二次沉淀池、紫外线消毒渠;处理规模:4×10⁴ m³/d;处理工艺:污水处理采用 A/A/O 工艺,污泥处理采用机械浓缩脱水工艺;投资金额:1 979.68 万元;业主单位:秦皇岛市海港区建设局;设计单位:中国市政工程华北设计研究院设计二所。

辽宁省阜新市清源污水处理厂污水再生回用工程

工程内容:敷设输水管网约 15 km,管径为 DN300~DN1 200,水处理设施(混凝、沉淀、过滤、消毒)及相关设备;处理规模:7×10⁴ m³/d;投资金额:9 720 万元;设计单位:中国市政工程华北设计研究院设计九所。

江苏省淮安市经济开发区工业污水处理厂工程

处理规模:8×10⁴ m³/d;投资金额:4 800 万元;设计单位:中国市政工程华北设计研究院设计二所。

(本刊编辑部)