

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.013

改良 $A^2/O + MBBR$ 为主体的污水厂工艺设计及运行

周传庭^{1,2}, 唐建国¹, 王寅¹

(1. 上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125; 2. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 新江水质净化二厂设计规模为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中的一级 A 标准。进水中工业废水量约占 70%, 进水水质波动大, 超标风险高, 具有难降解 COD 及 TP、TN 浓度高等水质特征。设计采用事故调节池 + 水解酸化池 + 改良 $A^2/O + MBBR$ + 磁混凝高效沉淀池 + 反硝化深床滤池处理工艺。在确定主体工艺方案的基础上, 建立了多水质工况运行模式, 并利用 BioWin 软件分析优化设计参数。实际运行结果表明, 污水厂运行稳定, 出水水质优于设计出水标准。

关键词: 污水处理厂; 改良 $A^2/O + MBBR$ 工艺; 工艺特点

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0076-05

Design and Operation of Sewage Treatment Plant with Improved $A^2/O + MBBR$ Process

ZHOU Chuan-ting^{1,2}, TANG Jian-guo¹, WANG Yin¹

(1. Shanghai Urban Construction Design and Research Institution <Group> Co. Ltd., Shanghai 200125, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Xinjiang second wastewater treatment plant had a design capacity of $75\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. The index of outflow was carried out by first class A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). Industrial wastewater accounts for about 70% of the influent. The influent quality fluctuates greatly and the risk of exceeding the standard is high. It has the characteristics of high concentration of refractory COD, TP and TN. In the engineering design, the treatment processes include accident regulating tank + hydrolysis acidification tank + improved $A^2/O + MBBR$ + magnetic coagulation high-efficiency sedimentation tank + denitrification deep bed filter. On the basis of determining the main process scheme, multiple operation modes were established for different water quality conditions, and the design parameters were optimized through the software BioWin. Actual operation data showed that the operation of the wastewater treatment plant was stable, and the effluent quality was superior to the designed effluent standard.

Key words: wastewater treatment plant; improved $A^2/O + MBBR$ process; process characteristics

1 工程概况

随着城市建设的迅速发展,上海市金山区逐步形成了“五片、七厂”的污水处理格局。新江水质净化一厂位于金山东部片区,现状处理规模为 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,运行期间由于进水污染物负荷较高,满负荷运行,严重超出了系统的处理能力,导致出水水质较差,不达标频率较高。

金山东部片区污水系统总体布局见图 1。

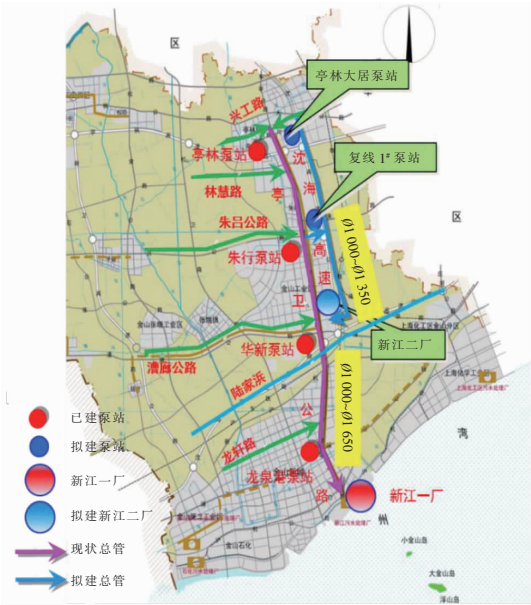


图 1 金山东部片区污水系统总体布局

Fig. 1 Overall layout of sewage system in Jinshan eastern region

新江水质净化二厂 ($7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 的建设将大大降低一厂的运行压力,增强金山东部片区污水处理能力,进一步改善地区的水环境质量。

2 设计进、出水水质

华新泵站位于拟建新江二厂污水收集管网末端,现状水质指标偏高,波动范围较大。虽然金山区政府相关部门逐步加强对工业企业污水纳管的监管力度,但为了确保本工程的安全运行,在近期工程设计时,设置校核水质,以应对可能出现的进水水质超标、水质波动范围大的工况。本工程污水来源包括生活污水和工业废水,其中工业废水所占比例相对较大,约占 70%。工业废水主要来源于片区内 600 多家工业企业,其产业涵盖针织或钩针编织物制造、机织服装制造、铜业冶炼、金属表面处理及热处理加工、肉制品及副产品加工、化学药品原料药制造、电镀、禽类屠宰等领域。因此,分别对生活污水和工业废水波动情况进行分析和预测,并根据两者水量所占比例进行加权平均,综合确定进水水质。

污水厂出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项 目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₄ ⁺ - N	TP
设计进水水质	500	160	330	60	40	8
校核进水水质	600	160	330	75	40	12
设计出水水质	50	10	10	15	8	0.5

3 工艺流程的确定及模型验证

3.1 工艺流程的确定

新江水质净化二厂具体工艺流程见图 2^[1-2]。

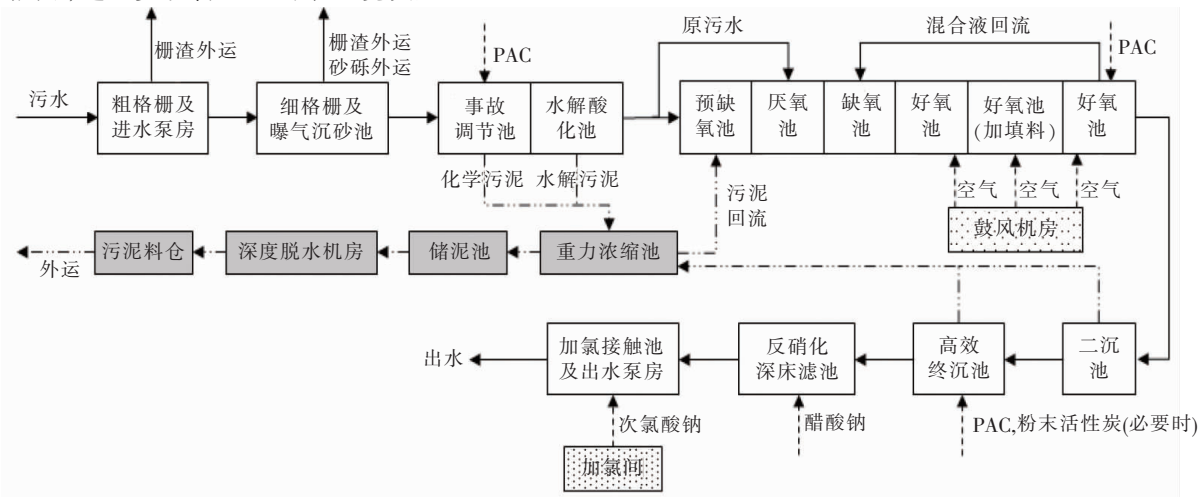


图 2 工艺流程

Fig. 2 Process flow chart

在新江二厂设计过程中,遵循“先功能定位,后单元比选;先内部碳源,后外加碳源;先生物除磷,后化学除磷”的总体设计原则。

针对进水工业废水比例大、进水水质波动大、难降解 COD 及氮磷浓度高等特点,设计采用“预处理+一级强化处理+二级生物处理+深度处理”流程。

预处理工艺+一级强化处理,除去除悬浮固体、削减峰值流量外,重点是实现碳源质量的改善和抵御进水水质波动。二级生物处理单元着重完成有机物和氮、磷的高效去除或转化。深度处理单元着重强化出水水质,确保稳定达标。

污水处理采用曝气沉砂池→事故调节池→水解酸化池→改良 A²O 反应池→MBBR→平流二沉池→高效终沉池→反硝化深床滤池工艺。消毒工艺采用次氯酸钠消毒,剩余污泥经过重力浓缩+隔膜板框脱水后,含水率降至 60% 后外运至位于金山卫镇第二工业区的金山垃圾焚烧厂集中处理。

3.2 数学模型验证

依据确定的设计进水水质,采用脱氮除磷动态过程的 No. 2d 活性污泥模型(BioWin 商业模拟软件 ASM2D)验证设计工艺处理效果^[3]。在模型模拟阶段,仅对改良 A²O 工艺进行验证,出水水质验证模型如图 3 所示。

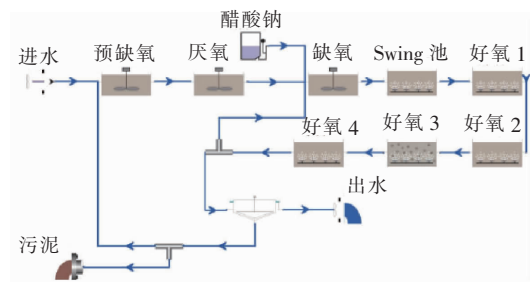


图3 污水厂出水水质验证模型

Fig. 3 Validation model of effluent quality of WWTP

根据新江二厂设计的工艺性质确定模型初始条件,对工艺各池模型参数进行赋值,确定仿真初始条件,输入设置的进水水质参数值进行动态仿真,对比不同运行工况条件下出水水质。缺氧区前设置碳源投加点,好氧区分为交替区、OX1、OX2、OX3(MBBR 填料区)及 OX4 等 5 个控制区。

模拟碳源投加、内回流比(IRQ)、交替区运行(DO_{Swing})、不同水温条件下的出水水质,结果见表 2。结果显示,在低温条件下,若不投加碳源,出水 TN 超标,高达 24.7 mg/L;低温条件下(10℃)“Swing”池好氧(DO = 2.0 mg/L)处理效果更佳,与缺氧状态相比(DO = 0 mg/L)具有更好的脱氮效果。当在高温状态时(25℃)，“Swing”池以缺氧状态运行脱氮除磷效果更佳,该条件下反硝化时间增加,更有利于微生物作用降低出水 TN 浓度。

表2 不同模拟运行工况下的出水水质

Tab. 2 Effluent quality under different simulated operating conditions

mg · L⁻¹

运行工况	COD	SS	BOD	NH ₃ - N	TN	TP
碳源, IRQ = 300%, DO _{Swing} = 2.0 mg/L, 10℃	46.7	7.3	2.7	0.87	14.2	1.96
无碳源, IRQ = 300%, DO _{Swing} = 2.0 mg/L, 10℃	45.6	7.1	2.6	1.33	24.7	4.56
碳源, IRQ = 300%, DO _{Swing} = 0.0 mg/L, 10℃	47.9	7.3	2.6	2.60	15.6	0.59
碳源, IRQ = 200%, DO _{Swing} = 2.0 mg/L, 10℃	46.3	7.3	2.6	0.77	16.7	2.48
碳源, IRQ = 400%, DO _{Swing} = 2.0 mg/L, 10℃	46.9	7.3	2.8	0.93	12.6	1.71
碳源, IRQ = 300%, DO _{Swing} = 2.0 mg/L, 25℃	46.5	7.2	2.4	0.03	13.7	2.12
碳源, IRQ = 300%, DO _{Swing} = 0.0 mg/L, 25℃	47.1	7.3	2.5	0.03	13.5	1.24

4 工程设计

4.1 工程规模

污水处理厂主体生化处理构筑物分期建设,部分建(构)筑物土建按 15 × 10⁴ m³/d 规模一次建成,设备按近期 7.5 × 10⁴ m³/d 规模配置,高峰流量系数 K_z = 1.31。

4.2 水力高程

整个污水处理厂内设置三级提升,污水经进水泵房提升后依靠重力依次进入预处理、一级强化处

理、生物处理构筑物,考虑运行巡视方便及减少土建投资,二沉池内水位标高定为 6.50 m,据此确定细格栅及曝气沉砂池进水液位标高为 11.20 m,该区间的总水头损失为 4.70 m。二沉池出水经提升后进入深度处理区域,加氯接触池内的水位标高定为 4.40 m,顶板上部做绿化,据此确定高效终沉池的进水标高为 8.58 m,该区间的总水头损失为 4.18 m。

4.3 主要处理构筑物设计参数

① 粗格栅及进水泵房。提升泵房 1 座,设计

流量 $2.26\text{ m}^3/\text{s}$ 。采用潜水离心泵3台(2用1备),单泵 $Q=565\text{ L/s}$,功率 140 kW 。链板回转式格栅除污机2台,功率 1.5 kW 。

② 细格栅及曝气沉砂池。内进流格栅除污机2台,功率 1.5 kW ,单机流量 564 L/s ,栅条间隙 5 mm 。

③ 事故调节池及水解酸化池。由于新江二厂工业废水比例较大,针对工业废水可能含有的难降解物质,在事故调节池后设置水解酸化池。水解酸化池多点进水,采用升流方式。常规工况时,污水超越事故调节池进入水解酸化池,紧急工况时,运行事故调节池,总调节时间 6 h 。

④ A^2O 生物反应池。分2池,由预缺氧池、厌氧池、缺氧池、好氧池及MBBR池组成。二沉池部分污泥回流至预缺氧池(回流比 100%),经反硝化作用去除其中的溶解氧和硝酸盐氮,减少其对厌氧池释磷效果的影响。在好氧池内设置MBBR池,通过投加悬浮填料增加生物量和微生物种类,提高污泥龄,增强耐冲击负荷能力和同步脱氮除磷能力,有助于进一步处理难降解有机物,改善脱氮除磷效果。单池总容积 $31\,320\text{ m}^3$,预缺氧池容积 $1\,010\text{ m}^3$,缺氧池 $11\,190\text{ m}^3$,好氧池 $16\,550\text{ m}^3$;泥龄 20 d ,产泥率为 $0.98\text{ kgMLSS/kgBOD}_5$;名义水力停留时间:预缺氧池 $=0.65\text{ h}$ 、厌氧池 $=1.64\text{ h}$ 、缺氧池 $=7.16\text{ h}$ 、好氧池 $=10.60\text{ h}$;混合液内回流比 300% ,污泥回流比 100% ;MBBR段填料投加比 28% 。单池理论需氧量为 $430\text{ kgO}_2/\text{h}$,标准状态下总需氧量为 $574\text{ kgO}_2/\text{h}$;标准状态下供气量为 $190\text{ m}^3/\text{min}$,碳源投加量 130 mg/L 。

⑤ 平流式二沉池。高峰设计流量为 $1.14\text{ m}^3/\text{s}$,1座10池,单池 $0.9\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,高峰流量停留时间 3.5 h ,固体负荷 $150\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,堰负荷 $1.6\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。单池采用链板刮泥机(0.55 kW)、管式撇渣机(0.75 kW)。

⑥ 高效终沉池。 $Q=1.14\text{ m}^3/\text{s}$,1座2池。在混凝反应池和絮凝反应池中分别投加混凝剂及助凝剂,为进一步确保TP及SS的去除,在磁粉反应池中投加磁粉强化TP和SS的去除效果。高效终沉池混凝反应池2格,磁粉反应池2格,絮凝反应池2格,每格有效深度 4.78 m ,反应时间均约 2.3 min ;斜板沉淀池2格,有效水深 6.0 m ,平均表面水力负荷 $14.1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,高峰表面水力负荷 18.4

$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

⑦ 反硝化深床滤池。1座,反硝化负荷 $0.65\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,设计滤速(平均) 5 m/h 。

⑧ 污泥重力浓缩池。事故调节池及水解酸化池污泥量约 5.4 tDS/d ,体积约 $500\text{ m}^3/\text{d}$ (含水率以 98.8% 计)。生物反应池的剩余污泥量约为 11 tDS/d ,体积约 $1\,375\text{ m}^3/\text{d}$ (含水率以 99.2% 计),高效终沉池的生化污泥量约为 1.2 tDS/d ,体积约 $120\text{ m}^3/\text{d}$ (含水率以 99% 计)。水解酸化污泥和生化污泥单独浓缩,水解酸化污泥固体通量 $40\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,浓缩 22 h ,单池尺寸 $\varnothing 20.0\text{ m}\times 4.0\text{ m}$ (池边有效深度);生化污泥固体通量 $40\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,浓缩 10 h ,单池尺寸 $\varnothing 14.0\text{ m}\times 4.0\text{ m}$ (池边有效深度)。

4.4 尾水排海工程总体方案

新江二厂处理后的尾水输送至杭州湾岸边已建新江一厂附近,与新江一厂尾水汇合后,经排海泵站提升并通过放流管输送至由多喷口上升管组成的扩散器潜没排入杭州湾,利用海洋的输移扩散和自净能力达到处置目的。

5 设计特点

① 新江二厂东侧紧邻沈海高速,沈海高速可从高处总览整个厂区范围,因此在景观设计中需充分考虑厂区的高空视点,注重厂区整体布局形态,力求创造景观美观的厂区鸟瞰效果。

② 充分考虑进水水质特点,采用设置“Swing”池的改良 A^2O 工艺,在不同条件下切换“Swing”池的运行条件和功能,保证出水水质稳定达标。当进水碳源不足、TN浓度高于设计进水水质时,“Swing”池在缺氧条件下运行,保证脱氮效果。同时后续深度处理措施会进一步保证脱氮效果。当进水TN浓度在设计范围内时,“Swing”池在好氧条件下运行。此工艺可有效应对水质波动。

③ 当进水中TP浓度高出设计进水水质时,可在调节池、生物池好氧段和高效终沉池投加除磷药剂进行化学除磷,保证出水效果。

④ 新江二厂进水中工业废水量占比高,难降解有机物浓度波动大,当水解酸化和生物处理等工艺单元对难降解有机物处理效果不理想时,在深度处理工艺中设置了活性炭备用处理装置,可在特殊情况下保证出水水质稳定达标。

6 运行效果

新江二厂于2018年9月正式通水运行,2019

年实际进、出水水质见表3。可见,出水水质稳定达到一级A标准。

表3 2019年实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality in 2019

mg · L⁻¹

月份	COD		BOD ₅		SS		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1月	205~452	15.8~27.2	100.5~223.4	2.16~3.26	104~362	1~5	20.5~35.8	4.80~8.41	4.02~9.79	0.02~0.25
2月	142~609	12.4~23.6	73.8~234.1	0.62~5.62	89~376	1~5	13.5~33.6	3.64~10.43	2.53~9.20	0.01~0.21
3月	249~453	14.2~28.0	140.3~267.0	0.72~2.84	136~476	1~5	20.6~56.5	4.33~12.40	3.44~12.80	0.05~0.12
4月	215~726	18.0~25.4	115.3~381.3	1.18~2.02	113~826	1~4	27.1~48.9	5.07~12.15	3.76~14.57	0.02~0.07
5月	233~751	16.5~25.7	121.5~377.2	1.12~2.40	116~1214	1~3	29.0~51.1	4.94~8.81	3.84~22.32	0.02~0.08
6月	137~929	14.6~23.7	96.1~474.4	0.90~2.64	109~1868	1~4	15.4~60.7	3.51~7.05	2.69~31.33	0.02~0.06
7月	79~514	15.3~23.9	46.2~283.6	0.80~2.34	43~896	1~3	12.4~35.4	2.79~7.81	1.67~11.46	0.03~0.09
8月	139~711	12.3~22.9	62.2~350.2	1.00~2.34	145~1172	1~4	12.9~38.4	3.06~8.41	3.66~14.19	0.02~0.07
9月	65~408	12.9~25.9	43.2~264.7	1.00~2.92	84~497	1~2	8.4~29.2	2.57~7.49	2.11~7.94	0.01~0.11
10月	122~566	15.3~24.6	76.2~306.0	1.02~1.96	61~1450	1~4	9.4~38.9	3.79~6.94	2.70~23.50	0.02~0.07
11月	172~769	17.5~26.9	99.2~351.0	1.08~2.00	84~620	1~4	20.9~43.8	5.63~8.02	2.57~18.96	0.03~0.13
12月	132~607	12.4~22.6	80.3~329.8	1.04~2.09	73~513	2~3	16.0~51.2	5.07~8.15	2.58~10.82	0.03~0.08

可见,进水COD、TN除少数异常超标外,其余时间基本在设计水质范围内;而BOD₅、SS及TP指标经常超出设计水质,且波动剧烈,统计时间内接近或超出50%天数进水水质超过设计水质。在二期工程设计时,应充分考虑水量及水质指标波动情况,修正后作为后续设计重要参考资料。基于进水SS和TP等指标的波动,应加强对区域范围内工业废水排放的监管,排查区域内的偷排现象。

基于新江二厂进水超标风险较大,在后续工程设计时,应在预处理阶段增加化学絮凝、沉淀等一级强化处理工艺,确保进水TN、TP不超出生物系统的处理负荷,二级生物处理单元应着重解决有机物的高效去除或转化,选择能够适应不同进水水质的处理工艺,以便灵活切换。

7 经济技术指标

新江水质净化二厂处理规模 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,项目总投资10.07亿元,处理量折算后单位总成本3.49元/ m^3 ,单位经营成本2.29元/ m^3 。厂区用地面积为 $14.50 \times 10^4 \text{ m}^2$,单位水量占地指标为 $0.966 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 。

8 结语

新江水质净化二厂设计采用事故调节池+水解酸化池+改良A²O+MBBR+磁混凝高效沉淀池+反硝化深床滤池处理工艺,并利用BioWin软件分析优化设计参数。实际运行结果表明,污水厂运行稳

定,出水水质优于一级A排放标准。

参考文献:

- [1] 郑兴灿. 城镇污水处理技术升级的挑战与机遇[J]. 给水排水,2015,41(7):1-7.
ZHENG Xingcan. Opportunity and challenge in the municipal sewerage treatment technology upgrading[J]. Water & Wastewater Engineering,2015,41(7):1-7(in Chinese).
- [2] 刘振江,崔玉川,陈宏平,等. 城市污水厂处理设施设计计算[M]. 北京:化学工业出版社,2017.
LIU Zhenjiang, CUI Yuchuan, CHEN Hongping, et al. Design and Calculation of Municipal Sewage Treatment Facilities[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2017(in Chinese).
- [3] 高原. 某工业区污水处理厂污水处理工艺设计[J]. 净水技术,2018,37(7):91-96.
GAO Yuan. Design of process for wastewater treatment plant in an industrial park [J]. Water Purification Technology,2018,37(7):91-96(in Chinese).

作者简介:周传庭(1980—),男,辽宁辽阳人,硕士,工程博士在读,高级工程师,国家注册公用设备工程师(给水排水),研究方向为市政污水处理、初期雨水处理及水环境综合治理等。

E-mail:13482299753@139.com

收稿日期:2020-03-04

修回日期:2020-04-11

(编辑:孔红春)