

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.18.020

余杭污水处理厂 DE 氧化沟扩容工程实例及分析

楼丹¹, 梅竹松¹, 陈潜², 楼继锋², George Lu³, 钱雯婷¹, 吴益辉³

(1. 杭州市城乡建设设计院股份有限公司, 浙江 杭州 310004; 2. 杭州余杭水务控股集团有限公司, 浙江 杭州 311100; 3. 浙江海牛环境科技股份有限公司, 浙江 杭州 311100)

摘要: 针对余杭污水处理厂现状,利用数学模型模拟 DE 氧化沟,通过改进曝气形式、增加水下推进器、精准控制曝气等一系列改造措施,挖潜并优化运行参数,使处理规模从 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩至 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际控制出水水质达到浙江省地方标准。扩容改造后出水 COD 均值为 17.0 mg/L、氨氮均值为 0.32 mg/L、总氮均值为 8.07 mg/L,其中出水 COD 和总氮显著降低,稳定性亦优于扩容改造前。扩容改造后吨水电耗与改造前基本持平;吨水甲醇消耗量下降约 47.6%,系统综合能耗降低。

关键词: DE 氧化沟; 扩容改造; 数学模型; 电耗; 药耗

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)18-0102-06

Case Analysis of DE Oxidation Ditch Expansion Project of Yuhang WWTP

LOU Dan¹, MEI Zhu-song¹, CHEN Qian², LOU Ji-feng², George Lu³,
QIAN Wen-ting¹, WU Yi-hui³

(1. Hangzhou Urban and Rural Construction Design Institute Co. Ltd., Hangzhou 310004, China; 2. Hangzhou Yuhang Water Co. Ltd., Hangzhou 311100, China; 3. Zhejiang High New Environmental Technology Co. Ltd., Hangzhou 311100, China)

Abstract: According to the present situation of Yuhang Wastewater Treatment Plant (WWTP), the DE oxidation ditch was simulated by a mathematical model. Through a series of transformation measures such as improving aeration form, adding underwater thrusters, controlling aeration precisely, exploring potential and optimizing operation parameters, the total treatment capacity of Yuhang WWTP was expanded from $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ to $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and the actual effluent quality reached local standard of Zhejiang Province. After expansion, the average effluent concentrations of COD, ammonia nitrogen and total nitrogen were 17.0 mg/L, 0.32 mg/L and 8.07 mg/L, respectively. Among them, the effluent concentration of COD and total nitrogen were significantly reduced and the operation stability was also better than before. After expansion reconstruction, the electricity consumption per ton of wastewater was basically the same as before, while the consumption of methanol per ton of wastewater decreased by 47.6%. The comprehensive energy consumption of Yuhang WWTP was decreased after expansion.

Key words: DE oxidation ditch; capacity expansion; mathematical model; electricity consumption; chemical consumption

余杭污水处理厂坐落于杭州市余杭区,占地面积为 6.233 hm^2 ,处理规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。污水处理主体工艺采用 DE 氧化沟→两级曝气生物滤池→

活性砂滤池,设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,尾水排入余杭塘河。

该污水处理厂所服务的“三生融合、四宜兼具”的高品质都市新区,不仅拥有径山、超山等风景旅游胜地,更有阿里巴巴、未来科技城、梦想小镇、良渚文化村等一批高新技术文化产业,经济发展和人口激增导致污水量剧增,扩容工程迫在眉睫。

该厂扩容工程于2018年5月设计,8月开工建设,11月完成主体设施通水,2019年1月竣工验收。该工程利用数学模型模拟,通过挖潜、改造等一系列工程措施,扩容后总出水规模达到 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际控制出水水质达到浙江省地方标准。

1 设计水质和水量

该扩容工程设计进、出水水质见表1,实际控制出水水质执行浙江省地方标准。

表1 设计进、出水控制指标

Tab.1 Design control indexes of influent and effluent

项 目	COD	BOD ₅	氨氮	总氮	TP	SS
设计进水	360	180	25	40	4	280
设计出水	≤50	≤10	≤5(8)	≤20	≤0.5	≤10
实际控制出水	≤40	≤10	≤1.5	≤15	≤0.4	≤5

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

2 扩容工程方案及分析

2.1 工程难点

① 扩容不征地。该污水处理厂位于余杭塘河

北侧,长约360 m,宽约169 m,围墙外已无用地,本次扩容工程用地为厂内西侧宽度仅为16 m的狭长绿化带,无生化池扩建用地。

② 扩容不停产。该污水处理厂服务区域为环境敏感区域,同时该厂为省控国控重点工程,排放河道为余杭塘河,属于重点水域——钱塘江流域,扩容期间不允许停水停产。

③ 工期紧,压力大。该污水处理厂已超负荷运行,对环境压力较大。

④ 在扩容的同时,使出水水质实际控制标准达到浙江省地方标准,并预留未来总出水水质进一步提标的可能性。

2.2 关键技术

① 挖潜已有1#~4#DE氧化沟生化处理能力,同时进行合理改造。对已有1#~3#DE氧化沟设计参数进行分析,优化参数并改造设备。利用数学模型模拟并改造4#DE氧化沟,增设MBR装置,最大限度利用已有生化池处理能力,解决扩容不扩地问题。

② 合理设计管路连接和配水方案,做到扩容不停水。

2.3 工艺方案

扩容后工艺流程及水量情况见图1。

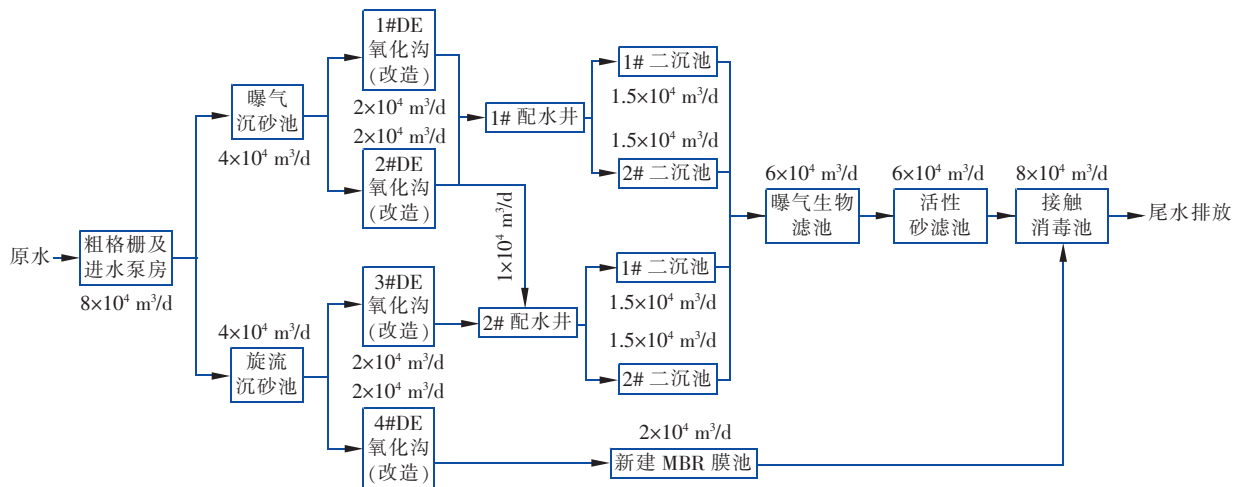


图1 扩容后工艺流程及水量

Fig.1 Flow chart of treatment process and water quantity after expansion

① 预处理系统。包括粗格栅-进水泵房、细格栅-曝气沉砂池、细格栅-旋流沉砂池,土建和设备实际满足 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 处理需要;扩容后相关连接管路的水头损失增加60%,细格栅-曝气沉砂池

和细格栅-旋流沉砂池水位略有抬高,超高亦满足要求。

② DE氧化沟。单座DE氧化沟池容较大,如扩容至 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 则停留时间降为12.12 h,污

泥负荷提高33%,能保证处理效果。利用数学模型模拟4#DE氧化沟,改造曝气形式及推流形式,根据硝态氮/氨氮数据精准控制曝气量,防止过度曝气,并提高总氮去除效果。

③ 二沉池。为了保证出水SS达标,不宜提高表面负荷,因此维持二沉池处理水量不变,新增处理规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的MBR膜池1座。

④ 曝气生物滤池。根据运行经验,硝化滤池和反硝化滤池设计平均滤速不宜过高,处理水量维持在 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 既有水平。

⑤ 活性砂滤池。根据运行经验,为了保证出水SS达标,设计平均滤速不宜过高,处理水量维持在 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 既有水平。

⑥ 接触消毒池。若扩容至 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,接触时间为30 min,基本满足要求。

3 工艺设计

3.1 1#~3#氧化沟改造

① 增加在线检测设备(氨氮探头3个,硝态氮探头3个,ORP探头3个),精准控制曝气量。好氧区控制DO为1~2 mg/L,氨氮<3 mg/L。好氧区改造前采用DO仪控制DO,改造后以氨氮仪控制为主,辅以DO仪控制DO,防止过度曝气。缺氧区控制硝态氮<10 mg/L,ORP为-400~-200 mV。缺氧区改造前没有仪表,改造后增加ORP仪和硝态氮仪。ORP仪用于显示缺氧区的氧化还原电位,硝态氮仪用于显示缺氧区的硝态氮浓度,ORP和硝态氮浓度越低,说明反硝化能力强,脱氮效果好。

② 每组DE氧化沟增加2台混合液回流泵,增加DE氧化沟运行灵活性,强化总氮去除效果。

3.2 配水设计

为了不停水停产,2#DE氧化沟增设轴流泵配水 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 至2#配水井。轴流泵采用钢平台,架设于已有氧化沟出水端,设计新颖,节能可靠。

3.3 4#氧化沟改造

现状4#DE氧化沟的生物脱氮功能通过其交替运行的方式完成,无混合液回流,流程简单;前端厌氧池可提高进水的可生化性;采用机械曝气设备,维修简单;操作灵活,可调节运行程序以适应不同水质、水量要求。其主要缺点是设备利用率低,能耗较大,表面曝气调节精度低,生物脱氮效率不理想^[1-3]。

通过数学模型模拟,对主要设计参数调整优化,

改造主要设备,提高4#氧化沟出水效果。

① 模拟优化

污泥模型采用国际水质污染与控制协会(IAWQ)推出的活性污泥2d号模型(ASM2d),该模型用于预测污染物降解和指导污水厂的运行。郭彦雪等^[4]利用ASM2d模型模拟DE氧化沟,DO模拟值与实际测量值之间的平均偏差仅为0.3%,4种污染物指标(COD、氨氮、硝态氮和总磷)的模拟值与实际测量值的平均偏差分别为2.3%、1.9%、5.1%和8.7%。目前在北美、欧洲、澳大利亚等地应用较广泛的模拟软件有GPS-X和Biowin^[5],本次模拟采用Biowin,输入参数及模拟结果见表2。

表2 模拟结果

Tab. 2 Simulation results

状态/阶段	项 目	现状	模拟
输入	水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	17 000	23 000
	水温/ $^{\circ}\text{C}$	20	20
	进水COD/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 360	≤ 360
	进水氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 35	≤ 35
	进水总氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 40	≤ 40
	单个氧化沟容积/ m^3	10 100	10 100
控制	MLSS/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3 500	3 800
	DO/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.4~1.8	0.2~1.5
	污泥回流/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	10 800	14 400
输出	标准氧转移速率(SOTR)/ $(\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$	290	360
	出水COD/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 40	≤ 25
	出水氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 1.7	≤ 1.5
	出水总氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 15	≤ 6

在处理水量提高33%的情况下,模拟输出水质均优于现状出水水质。

模拟优化关键技术:

a. 加强氧化沟溶解氧控制,调整曝气分布。将4#氧化沟16等分(即沟1~沟16),进口为沟1。出口在沟8和沟9之间;在沟8、9、10和11安装微孔曝气器。沟8和沟9曝气量控制在 $1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$,沟10和沟11曝气量控制在 $1\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,形成一定曝气梯度。

b. 加大污泥回流,提高混合液污泥浓度。MBR的污泥回流至4#氧化沟前的厌氧池,回流比为72%。

c. 优化水力流态,提高污泥容积负荷。4#氧化沟内安装水下推进器,沟内流速控制在 $0.2 \sim 0.28 \text{ m/s}$ 。

② 主要设备

悬浮风机:3台,2用1备,单台 $Q=75\text{ m}^3/\text{min}$ 、 $H=50\text{ kPa}$ 。

水下推进器:8台,单台叶轮直径为1800 mm、功率为7.5 kW、转速为35 r/min。

微孔曝气器:1800套,单套 $\varnothing 300\text{ mm}$ 、通气量为5~8 m^3/h 。

3.4 新建MBR膜池

4#氧化沟出水进入新建MBR膜池。MBR膜池采用钢制一体化设备,现场安装焊接,施工周期快。膜元件平均设计通量为 $14.47\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,膜元件面积 30 m^2 ,共1920片,总膜面积 $57\,600\text{ m}^2$,每列膜池尺寸为 $15.85\text{ m}\times 4.6\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ 。

4 运行效果及分析

考虑到施工调试期间不停水停产,整个扩容工程分为3个阶段:

① 准备阶段(2018年5月—7月),对主要运行工况和设备进行分析评估。

② 施工阶段(2018年8月—10月),1#~3#氧化沟提升水量调试,4#氧化沟停水施工,保持总水量 $6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 不变。

③ 调试阶段(2018年11月—12月),4#氧化沟进水调试,总水量稳步达到 $8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

4.1 COD处理效果

扩容前后对COD的去除效果对比见图2。2018年进水COD年均值为 237 mg/L ,月平均值为 $176\sim 279\text{ mg/L}$;2019年进水COD年均值为 250 mg/L ,月均值为 $193\sim 350\text{ mg/L}$,两者相差不多。2018年出水COD年均值为 18.7 mg/L ,月均值波动范围为 $13.0\sim 24.5\text{ mg/L}$;2019年出水COD年均值为 17.0 mg/L ,月均值为 $9.2\sim 20.2\text{ mg/L}$ 。2018年COD去除率为92.03%,2019年COD去除率为93.08%,扩容改造后去除率提高1.05个百分点。通过对出水COD数值拟合,2019年出水水质方差 R^2 降低,表明扩容改造后出水COD更加稳定。分析原因:①改造前4#氧化沟底部存在死角,容积利用率不高,改造后增加水下推进器,消除死角,提高了容积利用率。②改造后4#氧化沟内的污泥活性强于改造前,污泥对COD的吸附能力较好,同时污泥浓度也略有提高,部分可溶性难降解COD虽仍无法被微生物完全降解,但可在微生物吸附作用后通过剩余污泥排除,从而提高出水COD效果。

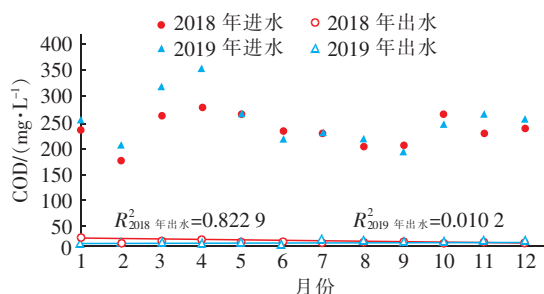


图2 扩容前后COD去除效果对比

Fig. 2 Comparison of COD removal effect before and after expansion

4.2 氨氮处理效果

扩容前后对氨氮的处理效果对比见图3。

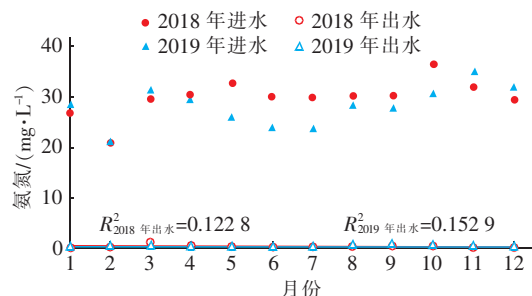


图3 扩容前后氨氮去除效果对比

Fig. 3 Comparison of ammonia nitrogen removal effect before and after expansion

2018年进水氨氮年均值为 29.9 mg/L ,月均值为 $21.1\sim 36.6\text{ mg/L}$;2019年进水氨氮年均值为 27.8 mg/L ,月均值为 $21.0\sim 35.1\text{ mg/L}$ 。2018年出水氨氮年均值为 0.37 mg/L ,月均值为 $0.18\sim 0.98\text{ mg/L}$;2019年出水氨氮年均值为 0.32 mg/L ,月均值为 $0.18\sim 0.50\text{ mg/L}$ 。2018年氨氮去除率为98.77%,2019年氨氮去除率为98.81%,扩容改造后去除率提高0.04个百分点。通过对出水氨氮数值拟合,2019年出水水质方差 R^2 与2018年的差别不大,表明扩容改造前后出水氨氮及稳定性基本一致。分析原因:改造前采用高溶解氧控制曝气量,硝化反应比较彻底;改造后采用通过氨氮精确控制曝气,在保证出水氨氮达标的前提下节省能耗,避免过度曝气。

4.3 总氮处理效果

扩容前后总氮处理效果对比见图4。2018年进水总氮年均值为 34.0 mg/L ,月均值为 $25.1\sim 39.5\text{ mg/L}$;2019年进水总氮年均值为 31.7 mg/L ,月均值为 $25.9\sim 38.1\text{ mg/L}$ 。2018年出水总氮年均值为

11.34 mg/L,月均值为 9.78 ~ 12.37 mg/L;2019 年出水总氮年均值为 8.07 mg/L,月均值为 4.88 ~ 11.48 mg/L。2018 年总氮去除率为 66.18%,2019 年总氮去除率为 74.41%,扩容改造后去除率提高 8.23 个百分点。通过对出水总氮数值拟合,2019 年出水总氮方差 R^2 降低,表明扩容改造后出水总氮更加稳定。分析原因:①改变了 4#氧化沟的运行方式,改造前交替式运行(A 沟进水,B 沟出水),改造后固定运行(两点进水,A 沟占 75%,B 沟占 25%);②通过氨氮耦合 DO 精准曝气模式,按需曝气,减少过量曝气对反硝化的不利影响;③优化曝气区域,在氧化沟进水口段尽量不曝气,充分利用进水碳源参与反硝化反应;④增设氧化沟至厌氧区的回流,当总氮高时开启,出水总氮可降低 1 ~ 2 mg/L。

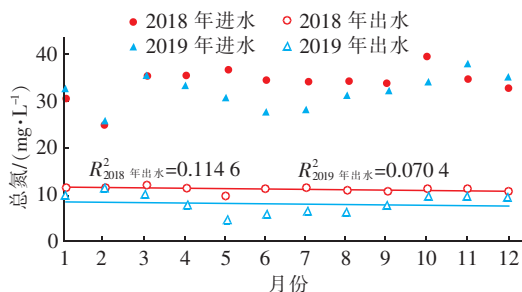


图4 总氮去除效果对比

Fig. 4 Comparison of total nitrogen removal effect before and after expansion

5 电耗与药耗分析

电耗分析见图 5。

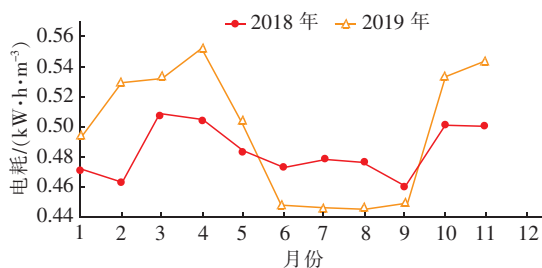


图5 扩容改造前、后电耗对比

Fig. 5 Comparison of power consumption before and after expansion

可见,2018 年电耗为 $0.484 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,月均值为 $0.460 \sim 0.508 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;2019 年电耗为 $0.498 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,月均值波动范围为 $0.446 \sim 0.552 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。扩容改造前后吨水电耗基本持平。本次改造内容涉及氧化沟改造和新建 MBR 处理单元,而仅

从氧化沟改造而言,通过工艺优化(按需曝气,另外硝酸盐氮内的氧部分被利用),吨水能耗下降明显,但由于 MBR 处理单元能耗较高(主要是风机、提升泵及产水泵),故导致整体吨水处理电耗基本与改造前持平。

脱氮药剂甲醇分析见图 6。

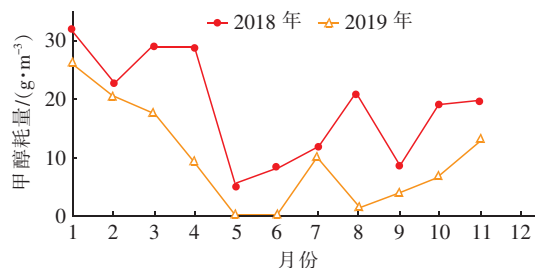


图6 扩容改造前、后甲醇耗量对比

Fig. 6 Comparison of methanol consumption before and after expansion

可见,2018 年药耗为 $18.61 \text{ g}/\text{m}^3$,月均值波动范围为 $5.10 \sim 31.85 \text{ g}/\text{m}^3$,2019 年药耗为 $9.76 \text{ g}/\text{m}^3$,月均值波动范围为 $0 \sim 26.13 \text{ g}/\text{m}^3$ 。扩容改造后吨水甲醇药耗量明显下降,降低约 47.6%,说明通过改造曝气形式、精准控制曝气等一系列措施,同时对曝气区域进行优化调整(进水端不曝气),充分利用进水中碳源参与反硝化,可减少外加碳源的使用量。

6 结论

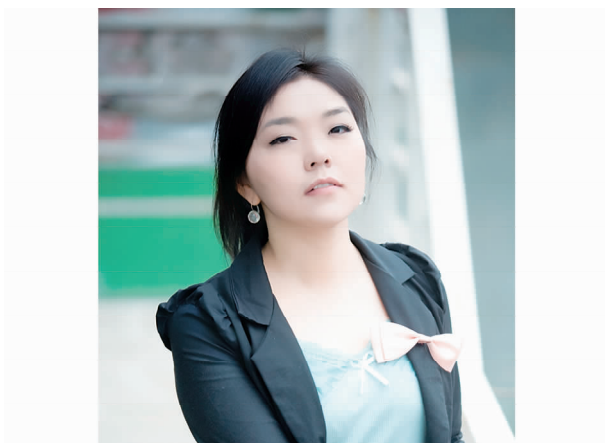
① 通过对余杭污水处理厂现有设施处理能力进行分析评估,一方面挖潜已有设施处理能力;另一方面通过数学模型,利用 Biowin 软件模拟优化运行参数,改造 DE 氧化沟,总处理规模从 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩至 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质优于一级 A 排放标准,实际出水水质达到浙江省地方标准。

② 扩容改造后出水 COD 均值为 $17.0 \text{ mg}/\text{L}$,略优于扩容改造前,稳定性明显优于扩容改造前。扩容改造后出水氨氮均值为 $0.32 \text{ mg}/\text{L}$,基本与扩容改造前持平,稳定性亦与扩容改造前持平。扩容改造后出水总氮均值为 $8.07 \text{ mg}/\text{L}$,明显优于扩容改造前,稳定性亦优于扩容改造前。

③ 通过增加水下推流器,改进曝气形式、精准控制曝气等一系列改造措施,扩容改造后电耗为 $0.498 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;扩容改造后甲醇耗量为 $9.76 \text{ g}/\text{m}^3$,比扩容改造前明显降低。

参考文献:

- [1] 吴军,饶世雄. 前置厌氧段 DE 氧化沟工艺运行效果分析[J]. 山西建筑,2010,36(6):180-181.
Wu Jun, Rao Shixiong. The running effect analysis of DE oxidation ditch craft with preceding anaerobic section[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(6): 180-181 (in Chinese).
- [2] 陈涛,李军,陈潜,等. 余杭污水处理厂提标改造——强化二级处理、深度过滤[J]. 净水技术,2016,35(2):11-15.
Chen Tao, Li Jun, Chen Qian, et al. Upgrading reconstruction of Yuhang Wastewater Treatment Plant - enhanced secondary treatment, advanced filtration[J]. Water Purification Technology, 2016, 35(2): 11-15 (in Chinese).
- [3] 马美玲. DE 氧化沟工艺微生物群落结构及其动态变化研究[J]. 安徽建筑,2011,18(5):174-175,213.
Ma Meiling. Study on the microbial community structure and dynamics of granular sludge in DE oxidation ditch process[J]. Anhui Architecture, 2011, 18(5): 174-175, 213 (in Chinese).
- [4] 郭彦雪,李伟,赵凯. ASM2d 模型改良及在 DE 型氧化沟中的应用[J]. 土木建筑与环境工程,2017,39(1):125-131.
Guo Yanxue, Li Wei, Zhao Kai. Modified ASM2d model and application in the DE-oxidation ditch[J]. Journal of Civil, Architectural & Environment Engineering, 2017, 39(1): 125-131 (in Chinese).
- [5] 魏忠庆,胡志荣,上官海东,等. 基于数学模拟的污水处理厂的设计:方法与案例[J]. 中国给水排水,2019,35(10):21-26.
Wei Zhongqing, Hu Zhirong, Shangguang Haidong, et al. Model-based design of sewage treatment plants: Methodology and case studies [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(10): 21-26 (in Chinese).



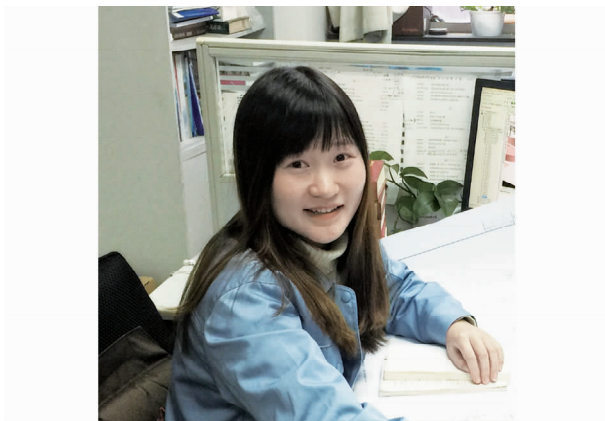
作者简介:楼丹(1982-),女,浙江金华人,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程设计和咨询工作。

E-mail:757968467@qq.com

收稿日期:2019-07-07

(上接第 101 页)

- Guan Hong'an, Luo Jianzhong, Lu Jun, et al. Progress of research in advanced treatment and reuse of petrochemical wastewater [J]. Guangdong Chemical Industry, 2010(5):15-16, 24 (in Chinese).
- [2] 马军,邱立平. 曝气生物滤池及其研究进展[J]. 环境工程,2002,20(3):7-11.
Ma Jun, Qiu Liping. Biological aerated filter and its research progress[J]. Environmental Engineering, 2002, 20(3): 7-11 (in Chinese).
- [3] 卢俊刚. 内循环曝气生物滤池深度处理含油废水[J]. 化工环保,2012,32(6):539-541.
Lu Jungang. Advanced treatment of oily wastewater in internal circulation biological aerated filter [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2012, 32(6): 539-541 (in Chinese).



作者简介:赵倩怡(1990-),女,湖南湘潭人,硕士,环境保护工程中级工程师,主要从事给排水、环保工程设计工作。

E-mail:zhaoqianyi@icpec.cn

收稿日期:2020-03-13