

MBBR + 磁混凝工艺用于污水处理厂提标改造

熊建英

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 盐城城东污水处理厂原设计采用 AAO 工艺,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 B 标准,提标改造工程要求出水水质执行一级 A 标准。通过生物处理系统的仿真模拟分析,把 3 座 AAO 生物反应池改造为 MBBR 池,以实现充分硝化、反硝化;采用磁混凝澄清池去除 TP 及 SS;对全厂散发臭气的构筑物采用玻璃钢加盖,除臭采用土壤法。工程总投资约 7 000 万元,单位经营成本增加 0.22 元/m³。工程投运后取得了较好的处理效果,MBBR + 磁混凝工艺辅以土壤除臭技术对我国污水厂提标改造工程具有较好的借鉴意义。

关键词: 提标改造; MBBR; 磁混凝

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)20-0050-06

Application of MBBR + Magnetic Coagulation Process for Upgrading of Wastewater Treatment Plant

XIONG Jian-ying

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The AAO process was adopted in Yancheng Chengdong wastewater treatment plant in original design plan, and the effluent water quality was required to meet the first level B standard in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). In order to meet the first level A standard, the upgrading and renovation project was conducted. In this project, three AAO bioreaction tanks were transformed into MBBR tanks to achieve high efficiencies of nitrification and denitrification according to the simulation and analysis of biological treatment system. Meanwhile, TP and SS were removed by magnetic coagulation clarifier. The smelly structures of the whole plant were covered with fiberglass, and the “soil method” was adopted for deodorization. The total investment of the project was about 70 million yuan and the operating cost increased by 0.22 yuan/m³. In conclusion, an excellent treatment performance has been achieved after operation, and the MBBR + magnetic coagulation process combined with soil deodorization, would be a good technology for the upgrading and renovation project of wastewater treatment plant in China.

Key words: upgrading; moving bed biofilm reactor; magnetic coagulation

盐城城东污水处理厂服务面积为 30.5 km²,另外接纳来自盐城经济技术开发区印染企业预处理后的工业废水(约 2 × 10⁴ m³/d),污水厂占地约 8.32 hm²。污水处理厂总设计规模为 10 × 10⁴ m³/d,分三期建设,一、二期设计处理能力各为 2.5 × 10⁴ m³/d,三期为 5 × 10⁴ m³/d。一、二、三期现状工艺均为:污

水→粗格栅进水泵房→细格栅曝气沉砂池→AAO 生物反应池→二沉池→接触消毒池→出水泵房。原设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准,尾水排入新洋港。生物反应池的总水力停留时间为 9.5 h,有效水深为 5.2 m,实际运行结果显示出水水质基本

能够稳定达到一级 B 标准。为实现江苏省环保厅的节能减排目标,城东污水处理厂于 2014 年启动了提标改造工程,2016 年 12 月底提标改造工程投产运行。

1 设计水量、水质

提标改造之前(2013 年—2014 年),城东污水处理厂旱季处理水量约 $(6.0 \sim 6.5) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一、二期实际处理水量约 $(3 \sim 3.5) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,三期实际处理水量约 $(2.5 \sim 3.0) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,雨季时污水处理量可达到 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。根据污水处理厂服务范围内的地块发展及污水管网建设情况,确定提标改造工程设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

提标改造之前不同保证率下的实测进水水质如表 1 所示。

表 1 提标改造前实测进水水质

Tab. 1 Actual influent quality before upgrading

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

项目	原设计 进水水质	80% 保证率	85% 保证率	90% 保证率
COD	400	343	353	370
BOD ₅	200	109	111	117
SS	250	189	190	237
NH ₃ - N	30	23.2	24	25.7
TN	40	32.3	32.7	35.5
总磷(TP)	3	4.36	4.54	4.8

由表 1 可见,进水 COD、SS、NH₃ - N、TN 等接近原设计值,B/C 比偏低(仅 0.32),TP 比原设计值要高。本次提标改造工程设计进水水质除 TP 调整为 5 mg/L 外,其余指标维持原设计值,出水水质执行 GB 18918—2002 一级 A 标准,主要指标如表 2 所示。

表 2 设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality

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

项 目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ - N	TP
进水	400	200	250	40	30	5
出水	50	10	10	15	5(8)	0.5

2 提标改造工程技术方案分析

2.1 生物处理系统仿真模拟

污水处理厂原设计生物反应池停留时间为 9.8 ~ 10.8 h,由于尚未满负荷运行,实际停留时间约为 13.8 h,在这样的运行工况下各项污染物指标取得了较好的去除效果,具体的实测出水水质见表 3。

表 3 提标改造前实测出水水质

Tab. 3 Actual effluent quality before upgrading

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

项 目	原设计 出水水质	实测出水水质		
		80% 保证率	90% 保证率	平均
COD	60	42.1	44.3	43.2
BOD ₅	20	9.7	10.1	9.9
SS	20	11.5	12.9	12.2
NH ₃ - N	8(15)	5.5	8.9	7.2
TN	20	12.6	15.5	14.1
TP	1.5	1.12	1.26	1.19

当污水厂达到满负荷运行时,现状生物处理系统对 COD、NH₃ - N、TN 的去除效果能否满足排放要求,这是提标改造工程需重点考虑的内容。本项目设计采用污水处理数学仿真模型(ASM2D)模拟有机物去除过程,硝化、反硝化过程,释磷、吸磷过程。生物反应池工艺参数见表 4,模拟水质见表 5。

表 4 生物反应池工艺设计参数

Tab. 4 Design parameters of bioreactor

一期工程 二期工程	总停留时间/h	9.8
	厌氧时间/h	1.66
	缺氧时间/h	1.66
	好氧时间/h	6.5
	溶解氧浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.0
	污泥回流/%	50 ~ 100
	内回流比/%	100 ~ 300
	二沉池平均流量负荷/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	1.02
三期工程	总停留时间/h	10.8
	厌氧时间/h	1.78
	缺氧时间/h	1.78
	好氧时间/h	7.3
	溶解氧浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.0
	污泥回流/%	50 ~ 100
	内回流比/%	100 ~ 300
	二沉池平均流量负荷/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	1.06

表 5 满负荷条件下的处理效果(MLSS = 3 500 mg/L)

Tab. 5 Treatment effect under full load (MLSS = 3 500 mg/L)

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

项 目		COD	SS	NH ₃ - N	TN	TP
设计进水水质		400	250	30	40	5
处理要求		55	40	5(8)	15	3
一期、二期工程	12℃出水水质	37.2	13.5	24.3	25.9	0.349
	25℃出水水质	35.2	13.2	0.259	9.14	2.27
三期工程	12℃出水水质	36.1	12.2	24.2	25.9	0.322
	25℃出水水质	33.9	11.7	0.253	9.09	2.08

模拟结果显示,在设计规模条件下,生物反应池

冬季硝化容量不足,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TN 不能满足达标处理的要求。低温条件下污水处理厂的氨氮去除效果是衡量污水处理系统能力的主要指标,维持污水处理系统的主要设计运行参数不变,模拟不同进水流量下的氨氮处理效果,结果见图1,模拟不同污泥浓度下的氨氮处理能力,结果见图2。

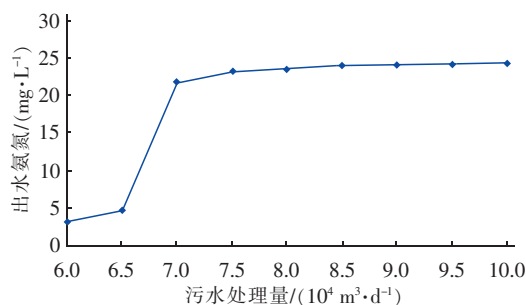


图1 不同流量下的氨氮处理效果

Fig. 1 Removal efficiency of $\text{NH}_3 - \text{N}$ under different flow rates

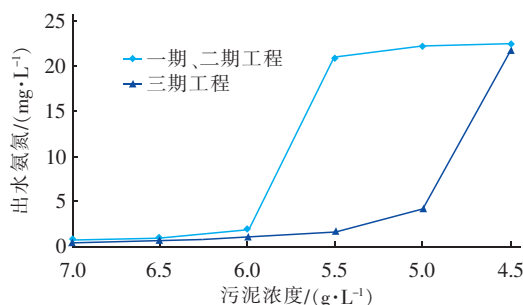


图2 不同污泥浓度下的氨氮处理效果

Fig. 2 Removal efficiency of $\text{NH}_3 - \text{N}$ under different sludge concentration

由图1可见,在设计水质条件下,现状生物处理系统的处理能力在 $(6.5 \sim 7.0) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,即污水处理厂总水力停留时间应不低于 14.0 h;由图2可见,在设计水量水质条件下,一、二期工程生物反应池污泥浓度控制在 6.0 g/L、三期工程生物反应池污泥浓度控制在 5.0 g/L 方能保证硝化效果。

根据仿真模拟分析,可行的技术方案是采取工程措施提升污水处理系统的污泥浓度,包括:①对回流污泥进行预浓缩,提升系统的污泥浓度至 5~6 g/L;②在现有生物处理系统内投加悬浮填料,通过生物膜弥补活性污泥量的不足;③采用膜分离替代二沉池,使系统的污泥浓度维持在 5~6 g/L 以上。本着充分利用现有设施进行挖潜改造的原则,提标改造工程推荐采用投加悬浮填料方案,即污水二级处理采用活性污泥-生物膜复合工艺(MBBR)^[1~3]。

2.2 深度处理方案分析

本项目深度处理主要去除对象为 TP 和 SS,化学除磷和过滤是污水厂一级 A 提标工程常用的深度处理技术。化学除磷工艺大多采用高效沉淀池,过滤工艺有砂滤池、纤维滤池、滤布滤池等。基于占地面积少、运行管理方便等优点,“高效沉淀池+滤布滤池”组合工艺在污水处理厂的应用较为普遍。高效沉淀池出水 SS 一般小于 20 mg/L,稳定在 10 mg/L 以下有一定困难,通过滤布滤池进一步去除 SS。在实际运行中发现往高效沉淀池投加助凝剂 PAM 后,滤布滤池很容易发生粘堵现象,不加 PAM,高效沉淀池的化学药剂投加大、絮体沉降性能不佳。而磁混凝工艺从污染物去除效果、节省用地等方面要优于常规的高效沉淀池,通过调研磁混凝澄清池在其他类似污水厂的运行情况,在正常情况下磁混凝澄清池出水 SS 可达到 $\leq 5 \text{ mg/L}$,即便在单组检修、另一组处理量加倍时,也能保障出水 $\text{SS} \leq 10 \text{ mg/L}$ 。鉴于本项目用地紧张,不具备建砂滤池、纤维滤池的条件,故设计采用磁混凝技术除磷、除 SS。

磁混凝澄清池构造如图3所示。

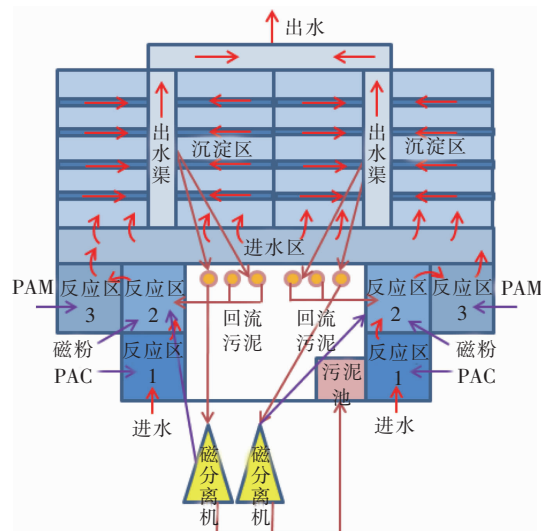


图3 磁混凝澄清池构造

Fig. 3 Structure of magnetic coagulation clarifier

3 提标改造核心工艺方案设计

3.1 生物反应池工艺参数及布置

基于设计进水水质和排放指标限值,生物反应池出水 COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TN 应分别控制在 50、10、5、15 mg/L 以下方能确保经深度处理后的出水稳定达标,因此生物反应池关键污染物去除指标

为 COD、BOD₅、NH₃ - N 和 TN。

一、二期生物反应池原设计为 8 条好氧廊道,三期生物反应池原设计为 6 条好氧廊道,均改造为 MBBR 池:将一、二、三期生物反应池的第 1 条廊道设计为交替区,内设潜水搅拌器和微孔曝气器,正常情况下采用好氧模式运行,脱氮能力不足时改为缺氧模式运行。一、二期生物反应池的第 6、7 条廊道设计为 MBBR 区,三期生物反应池的第 4、5 条廊道设计为 MBBR 区,合计投加比表面积为 620 m²/m³ 的悬浮填料约 3 090 m³,填料体积占 MBBR 区池容比例为 30% ~ 40%。MBBR 区的充氧采用微孔曝气器,填料流化采用穿孔曝气管;在两个廊道之间的隔墙两端开连通孔,通过潜水推流器使悬浮填料在两个廊道之间循环运动。改造后的生物反应池工艺设计参数如表 6 所示,工艺布置如图 4 所示。

表 6 改造后的生物反应池工艺设计参数

Tab. 6 Design parameters of bioreactor after upgrading

项 目	一、二期工程	三期工程
设计规模/(10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	5	5
MLSS/(g · L ⁻¹)	5	5
系统污泥负荷/ (kgBOD ₅ · kg ⁻¹ MLSS · d ⁻¹)	0.092	0.084
好氧污泥负荷/ (kgBOD ₅ · kg ⁻¹ MLSS · d ⁻¹)	0.14	0.125
缺氧区 HRT/h	4.2	4.8
好氧区 HRT/h	5.7	6.1
内回流比/%	200 ~ 300	200 ~ 300
外回流比/%	50 ~ 100	50 ~ 100
有效膜面积/10 ⁴ m ²	≥95.8	≥95.8

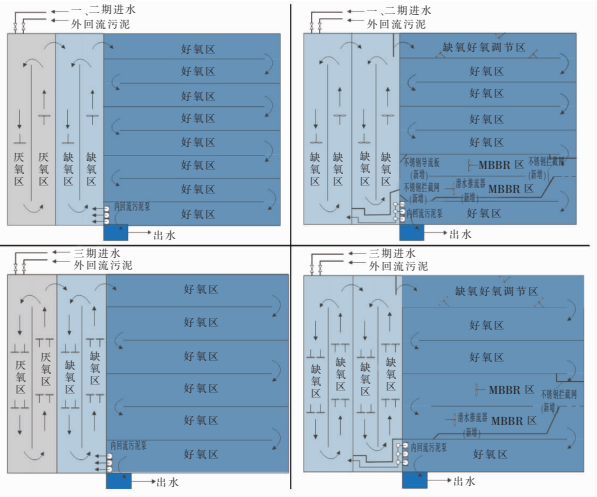


图 4 生物反应池工艺布置
Fig. 4 Bioreactor process layout

3.2 磁混凝澄清池工艺参数及布置

二沉池出水经泵提升后进入磁混凝澄清池,提升泵房与磁混凝澄清池合建。提升泵房设 4 台潜水轴流泵,提升后的污水经配水井依次流入第一格反应池、第二格反应池、第三格反应池、澄清池,出水汇流至接触消毒池。混凝剂投加在第一格反应池,磁粉投加在第二格反应池,助凝剂投加在第三格反应池,澄清池的沉淀污泥回流至第二格反应池,排出系统的化学污泥经磁分离机回收磁粉后排至储泥池,工艺布置如图 5 所示。磁混凝澄清池设计参数如表 7 所示。

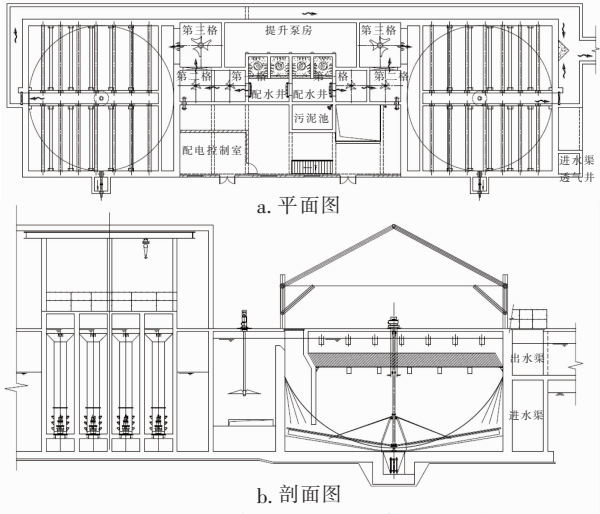


图 5 提升泵房及磁混凝澄清池工艺布置

Fig. 5 Process layout of lifting pump room and magnetic coagulation clarifier

表 7 磁混凝澄清池工艺设计参数

Tab. 7 Design parameters of magnetic coagulation clarifier

设计规模/(m ³ · h ⁻¹)	5 417 (高峰流量)
磁混凝澄清池数量	1 座,分 2 组(单组出水管管径按 10 × 10 ⁴ m ³ /d 设计)
第一格反应池 HRT/min	1.45
第二格反应池 HRT/min	1.45
第三格反应池 HRT/min	2.7
澄清池净尺寸/(m × m)	14.0 × 14.0
表面负荷/ (m ³ · m ⁻² · h ⁻¹)	13.5 (平均流量) 17.6 (高峰流量)
斜管长度/m	1.5
倾斜角度/(°)	60
斜管间距/mm	80
沉淀区水深/m	7
混凝剂投加点	第一格反应池
助凝剂投加点	第三格反应池
磁粉投加点	第二格反应池

3.3 总平面布置

全厂总图布置分为厂前区、预处理区、二级处理区、消毒及污泥处理区和深度处理区。本提标改造新建单体构筑物主要集中在深度处理区及消毒区,包括提升泵房及磁混凝澄清池1座、加氯加药间1座、变电所1座、加氯接触池1座;拟改造为MBBR

池的3座生物反应池位于二级处理区。

4 污水处理厂运行情况

提标改造工程于2016年12月底投产运行,2017年1月—12月实际处理水量月平均最小为 $6.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,最大为 $8.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平均为 $7.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实测进、出水水质见表8。

表8 污水厂实际运行水质

Tab. 8 Actual influent and effluent quality of WWTP

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

项 目	COD		BOD ₅		SS		NH ₃ - N		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1月	186	38	75	8.9	99	8	13.5	0.5	18.9	10.1	2.04	0.32
2月	247	35	97	4.6	97	6	13.0	0.4	19.2	9.7	2.88	0.31
3月	209	30	84	3.7	94	5	15.5	0.4	22.3	9.3	3.00	0.18
4月	240	33	103	4.3	98	6	12.5	1.3	21.0	9.6	3.92	0.19
5月	258	26	105	3.4	97	5	18.0	0.4	27.5	12.5	3.95	0.20
6月	229	28	96	3.8	95	5	18.6	0.8	28.3	13.4	3.82	0.21
7月	181	29	82	4.6	97	4	16.2	0.5	25.8	12.8	2.27	0.25
8月	190	30	89	6.6	154	7	15.2	0.5	22.0	10.5	1.98	0.25
9月	172	25	79	4.7	136	5	13.5	0.4	19.0	10.1	2.63	0.21
10月	176	30	69	6.8	105	7	13.6	0.7	22.0	10.8	3.23	0.17
11月	180	34	51	5.8	129	6	18.2	1.0	23.0	12.2	3.84	0.11
12月	204	34	54	5.5	89	4	18.0	1.6	24.0	12.4	2.92	0.24
月平均值	206	31	82	5.2	108	6	15.5	0.7	22.8	11.1	3.04	0.22

由表8可见,出水各项指标均达到GB 18918—2002一级A排放标准。实际运行中,磁混凝澄清池投加的混凝剂为聚合硫酸铁,絮凝剂为阴离子PAM,磁粉一年总计补充了32 t,折算到单位污水消耗量为1.14 mg/L。由于实际进水COD、BOD₅、NH₃ - N、TN等污染指标只有设计值的50%~60%,因此,MBBR降解COD、硝化、反硝化潜能还需要通过长时间的运行来验证。

5 工程设计总结

① 二级生物处理采用流动床生物膜(MBBR)技术,把现状生化池的2条好氧廊道改造为流动床生物膜(MBBR)反应区,内置的悬浮填料随水自由运动,通过大面积生物膜与污染物的接触,在不增加池容条件下,有效提高了生物反应池对COD、NH₃ - N、TN的处理效果。

② 深度处理采用磁混凝工艺,该工艺以微小磁粉作为晶核,强化混凝、絮凝效果,出水SS及TP均能稳定达到GB 18918—2002一级A标准。与传统的高效沉淀池+滤布滤池工艺相比,磁混凝工艺具有节省化学药剂(混凝剂铁盐或铝盐、助凝剂

PAM)、除磷效率高、占地面积小、节省投资、节约运行成本等优点。

③ 磁混凝澄清池的表面水力负荷可以达到25~40 m/h,对于不设后续过滤设施的磁混凝澄清池,应充分考虑一格检修时,另外一格能通过全部的处理水量。

因此,磁混凝澄清池设计取值不宜追求高表面水力负荷,宜以磁粉的投加、磁粉污泥回流、剩余污泥排放时回收磁粉为设计重点,充分发挥磁混凝澄清池混合充分(通过快速搅拌)、化学药剂重复利用率高(通过污泥回流)、泥水分离效果好的优势。一格磁混凝澄清池检修时,另外一格的水力负荷翻倍也能够实现较好的污染物去除效果。

④ MBBR+磁混凝工艺适用于进水水质复杂、脱氮除磷要求高、用地紧张的污水处理项目。盐城城东污水处理厂是国内首座较大规模采用“MBBR+磁混凝”工艺辅以土壤除臭的污水处理厂,实现了环境友好、节约用地、节省运行成本的目标。提标改造工程总投资约7 000万元,污水处理单位经营成本增加0.22元/m³,具有良好的经济效益、环

境效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 李新利,吴迪,张晶晶,等. MBBR 处理皮革废水中试研究[J]. 中国给水排水,2017,33(13):30-34.
Li Xinli, Wu Di, Zhang Jingjing, *et al.* Comparison between MBBR and activated sludge process for treatment of leather wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(13):30-34 (in Chinese).
- [2] Shin D H, Shin W S, Kim Y H, *et al.* Application of a combined process of moving-bed biofilm reactor (MBBR) and chemical coagulation for dyeing wastewater treatment [J]. Water Sci Technol, 2006, 54(9):181-189.
- [3] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等. 新型 MBBR 用于类地表Ⅳ类水排放标准升级改造工程施工[J]. 中国给水排水, 2017,33(14):93-98.
Yang Yuxing, Wu Di, Song Meiqin, *et al.* Application of new MBBR in WWTP upgrading to meet class IV surface water standard[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14):93-98 (in Chinese).



作者简介:熊建英(1970-), 女, 江西南昌人, 硕士, 高级工程师, 第五设计研究院副总工程师, 主要从事城镇污水处理、再生水回用、工业废水处理、垃圾渗滤液处理、餐厨垃圾处理工程设计及研究工作。

E-mail: xiongjianying@smedi.com

收稿日期:2018-04-11

(上接第49页)

从表2可看出,硅藻精土工艺工程占地面积小,投资及运行成本较低,且对氨氮、动植物油、磷和SS的去除有较大的优势,适用于小型污水厂。

5 结论

在利川市凉雾乡污水处理厂的设计中,通过对A/O+硅藻精土污水处理工艺优化,降低水力流程中的水头损失,完善了生物处理的脱氮作用,加强了硅藻精土的混凝效果,保证了消毒的稳定安全,节省了运行电费,降低了运行成本,保障了污水厂的运行稳定可靠。优化后工艺出水水质满足一级A排放标准,且具有承受冲击负荷能力强、建设用地少、运行成本低、出水水质稳定的特点。

参考文献:

- [1] 濮晨熹,张金松,安瑞,等. 某污水处理厂紫外线消毒运行效果研究[J]. 给水排水,2012,38(1):126-129.
Pu Chenxi, Zhang Jinsong, An Rui, *et al.* Study on ultra-violet radiation disinfection process effects in some wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater En-

gineering, 2012, 38(1):126-129 (in Chinese).



作者简介:雷培树(1974-), 男, 湖北仙桃人, 大学本科, 高级工程师, 从事给排水科研和设计工作, 完成约300项科研、规划与设计项目, 曾两度荣获全国优秀工程勘察设计行业市政公用工程给排水一等奖。

E-mail: leips10@sina.com

收稿日期:2018-04-16