

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.013

某大型综合化工园区污水处理厂分质提标工程设计

潘名宾¹, 潘维龙², 陈燕波¹, 谢益佳¹, 李璐¹, 潘杰²

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 2. 绍兴市上虞区
水处理发展有限责任公司, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 浙江某大型综合化工园区污水处理厂($20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)服务范围既包括化工工业园区,又包含城区居住区,提标前进厂水中工业废水量约占54%,出水统一执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准,尾水排入杭州湾。提标工程设计采用将生活污水与工业废水分开收集、分质处理提标的总体方案。将现状处理线拆分、改造为两条独立的 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模处理线,一条用于生活污水提标处理,改造方案为在现状二级生化/高效沉淀池基础上增加纤维转盘滤池,处理后尾水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。另一条用于工业废水提标处理,改造方案为在现状絮凝沉淀/水解酸化/二级生化基础上增加催化芬顿+活性炭吸附工艺,处理后尾水达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准(COD $\leq 80 \text{ mg/L}$)。提标改造新建设施占地 2.87 hm^2 ,全部利用厂内空地。提标改造完成后,两条线均运行良好,出水稳定达标。生活污水部分改造吨水投资约117元/ m^3 ,运行费用在原基础上增加0.08元/ m^3 。工业废水部分改造吨水投资为1920元/ m^3 ,运行费用在原基础上增加3.48元/ m^3 。

关键词: 分质提标; 化工园区; 工业废水

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0070-06

Design of Separate Upgrading Project of a Wastewater Treatment Plant in a Large Comprehensive Chemical Park

PAN Ming-bin¹, PAN Wei-long², CHEN Yan-bo¹, XIE Yi-jia¹, LI Lu¹, PAN Jie²

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,
Wuhan 430010, China; 2. Shaoxing Shangyu Water Treatment Development Co. Ltd., Shaoxing
312000, China)

Abstract: The service area of a wastewater treatment plant (treatment capacity of $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) in a large comprehensive chemical park in Zhejiang Province covers both the industrial park and urban residential area. Before upgrading, the percentage of industrial wastewater in the influent of the plant is about 54%. The effluent quality need to meet the first degree criteria specified in *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 - 1996), and the tail water is discharged into Hangzhou Bay. In the upgrading project, the overall scheme of separate collection and treatment of the domestic sewage and industrial wastewater was determined. The existing treatment process was split and transformed into two independent treatment processes with the treatment capacity of both $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. One process was used for domestic sewage upgrading. The upgraded plan was to add a fiber rotary filter on the basis of the existing secondary biochemical treatment and high-efficiency sedimentation tank, in which the effluent quality reached the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). Another process was used for industrial wastewater

upgrading treatment. The transformation scheme was to add a process of catalytic Fenton and activated carbon adsorption on the basis of the current process of flocculation and sedimentation, hydrolysis acidification and secondary biochemical treatment, and the effluent quality reached the first degree criteria specified in *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 – 1996) ($\text{COD} \leq 80 \text{ mg/L}$). The newly built facilities for upgrading covered a footprint area of 2.87 hm^2 , all of which were made use of the open space in the plant. After the upgrading, the two processes run well, and the effluent quality is stable and reaches the national discharge standard. The investments of the domestic sewage and industrial wastewater upgrading projects are approximately 117 yuan/m^3 and $1\,920 \text{ yuan/m}^3$, and the operating costs are increased by 0.08 yuan/m^3 and 3.48 yuan/m^3 on the original basis, respectively.

Key words: separate upgrading; chemical park; industrial wastewater

1 项目概况

浙江某大型综合化工园区污水处理厂总规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,项目于 2008 年 10 月建成投产,污水收集范围包括城区生活污水及化工园区 300 余家工业企业。2014 年提标改造前,污水处理厂实际平均

日进水量约 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中工业废水约占 54%。工业废水以染料、精细化工、医药废水为主,处理难度极大。污水厂现状生活污水、工业废水混合处理,两系列并联运行,每系列设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工艺流程见图 1。

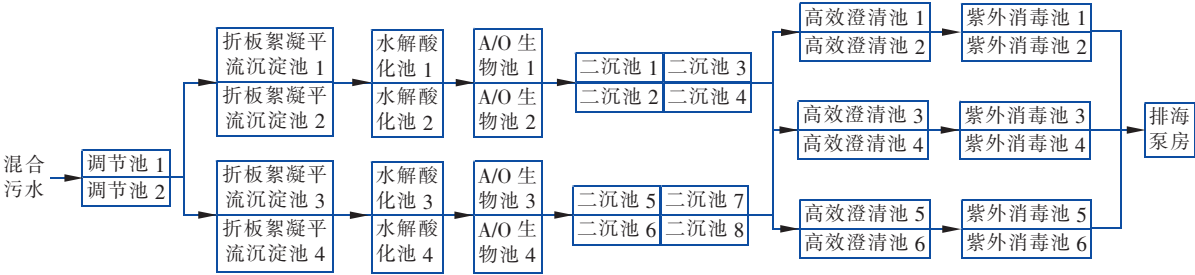


图 1 现状污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of current sewage treatment process

提标前出水水质统一执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中一级标准(其中 $\text{COD} \leq 100 \text{ mg/L}$),尾水通过排海管排至杭州湾海域。

2014 年提标项目开始前污水厂进、出水水质如表 1 所示。

按照环保部门提标减排要求,生活污水应执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准,工业废水需执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中一级标准,其中提标后 $\text{COD} \leq 80 \text{ mg/L}$ 。

经分析,生活污水提标至一级 A 标准难度不大,工业废水提标难度较大,提标的重点与难点是 COD 指标。从厂外收集管网情况分析,本项目污水处理厂服务范围内生活污水排水区域与工业废水排水区域总体界线较为明显,管网收集端有条件实现分质收集,这为生活污水与工业废水分质收集、分质处理提标提供了条件。

表 1 提标前污水厂实际进、出水水质

Tab. 1 Actual influent and effluent quality of WWTP before upgrading $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	BOD ₅		COD		SS		NH ₃ - N		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1 月	119	13	424	87	221	21	29.7	1.3	5.66	0.23
2 月	107	13	352	77	203	20	27.5	1.4	5.85	0.32
3 月	125	14	431	86	221	20	30.8	1.0	5.50	0.31
4 月	128	15	434	87	221	20	33.4	1.7	5.39	0.28
5 月	127	15	433	88	222	20	35.1	0.9	5.49	0.33
6 月	124	15	422	86	223	20	30.7	0.3	5.39	0.30
7 月	123	14	416	86	223	20	29.3	0.4	5.59	0.40
8 月	124	13	419	82	223	20	31.6	0.5	5.58	0.44
9 月	117	13	402	83	236	20	36.8	0.4	5.41	0.42
10 月	113	13	380	82	235	20	31.4	0.3	5.02	0.27
11 月			392	84	240	17	36.1	0.8	5.13	0.42
12 月	109	13	382	84	233	16	33.4	0.9	4.98	0.41
85% 保证率	126	15	455	94	320	19	42	1.1	7.67	0.48
95% 保证率	131	16	486	98	397	20	49	3.3	9.31	0.51

2 设计进、出水水量及水质

基于污水处理厂服务范围内的水量预测,分质收集后,工业废水量将与生活污水量基本相当,设计工业废水与生活污水提标工程规模各为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水厂总规模维持 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 不变。

生活污水与工业废水的设计进、出水水质分别如表 2、3 所示。

表 2 生活污水设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality of domestic sewage

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	350	150	300	45	35	6
出水	50	10	10	15	5(8)	0.5

表 3 工业废水设计进、出水水质

Tab. 3 Design influent and effluent quality of industrial

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	磷酸盐
进水	500	85	400	44	10
出水	80	20	70	15	0.5

注: 其他指标按《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准执行。

3 分质提标工艺路线

3.1 总体工艺方案^[1-2]

现状污水处理流程中的折板絮凝平流沉淀池、水解酸化池、A/O 生物池、二沉池 4 个核心处理单元均为 2 条独立的系列,且单系列分为可独立运行

的 2 格。末端高效澄清池及紫外消毒池单元均为 3 条独立的系列,单条系列内分可独立运行的 2 格。前端的曝气沉砂池及调节池均为 1 个系列,但可分为独立运行的 2 格。因此通过对各处理单元间管道阀门的切换,可以顺利地将现状处理设施分成 2 条处理线。

生活污水处理至一级 A 标准的工艺路线十分成熟,采用曝气沉砂 + 二级生物处理 + 深度处理 + 消毒工艺即可。

本项目现状二级生物处理为 A/O 池,脱氮效果可保证,但生物除磷效果有限,设计考虑通过后续高效澄清池强化化学除磷保障总磷达标。另外,现状处理线深度处理单元仅有高效澄清池,需增加一级过滤单元方可确保 SS 达标。综合考虑,将现状处理设施中的曝气沉砂池 + 1 条系列 A/O 生物池 + 1 条系列二沉池 + 2 条系列高效澄清池 + 2 座紫外线消毒池用于生活污水处理,并在高效澄清池与紫外线消毒池之间新建纤维转盘滤池过滤单元,达到生活污水提标目标。

现状其余水处理设施均用于工业废水处理。将生活污水剥离后,工业废水的可生化性会降低,同步会降低二级生化处理的去除率,因此工业废水处理线必须新建深度处理单元方可实现提标目标。

按上述总体思路调整分开后工业废水与生活污水分质提标总体流程如图 2 所示。

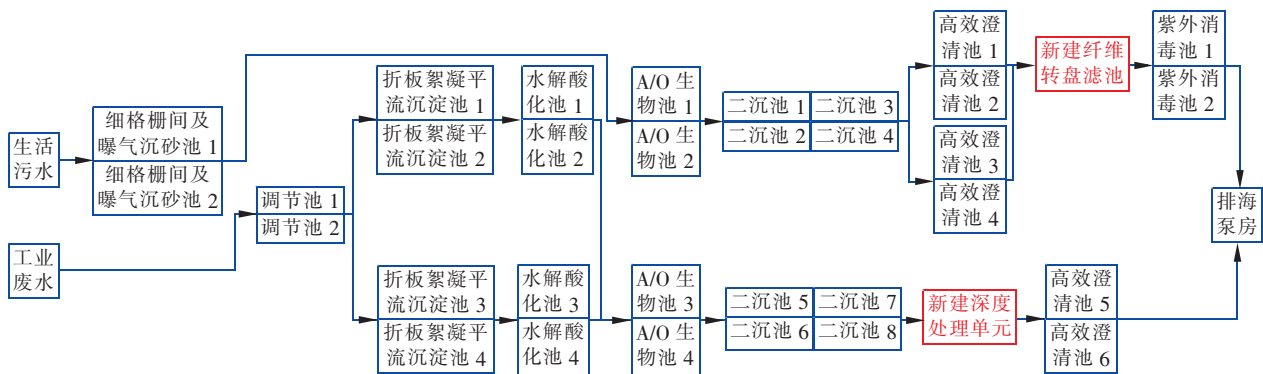


图 2 分质处理总体流程

Fig. 2 Flow chart of separate treatment of domestic sewage and industrial wastewater

3.2 工业废水深度处理方案

生活污水剥离后,工业废水的可生化性降低,增加了工业废水生物处理的难度,因此将两个系列的水解酸化池均用于工业废水处理,使工业废水厌氧水解停留时间由原设计的 9.0 h 延长为 18.0 h,对

提高工业废水的可生化性有利。前端两个系列的折板絮凝平流沉淀池均用于工业废水处理,其设计水力负荷下降为原设计负荷的 50%,通过絮凝药剂加药量的调整,可保证总磷指标达标。现状 A/O 生物池设计总停留时间为 20 h,其中好氧区停留时间

15.5 h, 缺氧区停留时间 4.5 h, 生物池总停留时间较长, 结合现状出水情况判断氨氮及 BOD_5 指标可达到提标后目标。因此工业废水提标升级的重点与难点是 COD, 工业废水新建深度处理单元的主要功能应立足于 COD 的进一步去除。

近年来芬顿氧化及催化芬顿氧化越来越多地应用于工业废水的提标升级改造中^[3]。本项目开始前, 设计人员与建设单位联合对工业废水提标处理工艺路线进行了长达 2 年的中试研究与比选。

中试装置现场如图 3 所示, 试验流程如图 4 所示。



图3 芬顿中试装置

Fig. 3 Fenton pilot test device

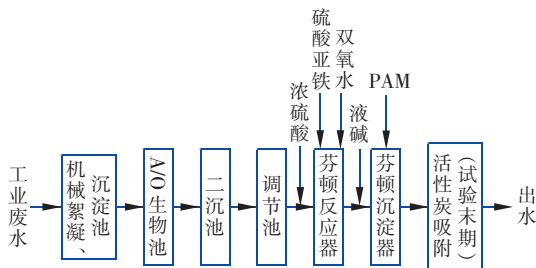


图4 芬顿中试装置流程

Fig. 4 Flow chart of Fenton pilot test device

中试结果表明, 现状处理线用于处理工业废水时, 二沉池出水 COD 约 140 ~ 160 mg/L, 经芬顿氧化后, 出水 COD 约 92 ~ 97 mg/L, 芬顿工艺段去除率约 37%, 仅采用芬顿工艺不能达到提标目标。试验后期在芬顿工艺后增加了活性炭吸附单元, 吸附接触时间控制为 1 h 时, 出水 COD 约 58 ~ 84 mg/L, 均值为 63 mg/L, 可实现 COD 提标目标。根据试验结果, 工业废水深度处理方案采用催化芬顿氧化 + 活性炭吸附联用工艺。

3.3 工业废水提标池型选择

芬顿反应设施及池型的选择: 芬顿工艺具有药剂种类多、药剂投加量大的特点。为节省芬顿药剂投加量, 降低成本及污泥产生量, 设计采用催化芬顿流化塔工艺。药剂投加与混合利用流化塔完成, 流化塔后设芬顿反应池。芬顿反应池采用推流式矩形池。芬顿反应池后需设置沉淀池, 常规芬顿反应后的沉淀池多采用辐流式沉淀池, 本项目污水厂内用地极其紧张, 因此芬顿沉淀池设计选用高效沉淀池池型。

活性炭吸附池型的选择: 活性炭吸附在污水处理中具有易饱和的缺点, 一旦吸附饱和, 即需要对活性炭进行更换及再生。本项目设计采用多斗式混凝土吸附池, 可实现活性炭的机械布料、反冲洗及机械换料, 先进高效, 大幅降低了操作强度。

3.4 厂区布置

在曝气沉砂池与 A/O 生物池间增设 1 座提升泵房。为增加工业废水处理线生化系统的污泥浓度, 设计将生活污水处理线 A/O 池剩余污泥全部排入工业废水处理线 A/O 池内。提标改造完成后厂区平面布置如图 5 所示。提标改造新建设施占地 2.87 hm², 全部利用厂内空地。



- ①细格栅间及曝气沉砂池 ②调节池 ③折板絮凝平流沉淀池
④水解酸化池 ⑤A/O 生物池 ⑥二沉池 ⑦高效澄清池
⑧紫外消毒池 ⑨排海泵房 ⑩高位井 ⑪纤维转盘滤池 (新建)
⑫调节池、提升泵房及硫酸亚铁加药间 (新建) ⑬芬顿流化塔 (新建)
⑭芬顿反应池 (新建) ⑮芬顿沉淀池 (新建) ⑯活性炭吸附池 (新建)
⑰芬顿加药区 (新建)

图5 提标升级后厂区平面布置

Fig. 5 General layout of the WWTP after upgrading

5 主要构筑物及工艺参数

5.1 生活污水处理线提标构筑物及工艺参数

生活污水处理线提标新增的核心构筑物是纤维转盘滤池。纤维转盘滤池设 1 座分 2 格, 每格内设盘片 20 片, 单盘直径为 3.0 m, 设计滤速 7.5 m/h。为衔接前后构筑物高程, 纤维转盘滤池前拼建 1 座提升泵房, 泵房内 4 台潜水轴流泵 (3 用 1 备), 单台 $Q = 1\,450 \sim 1\,850 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 23 \sim 43 \text{ kPa}$ 。

5.2 工业废水处理线提标构筑物及工艺参数

工业废水处理线提标新增的主要构筑物包括调节池、提升泵房、硫酸亚铁加药间、芬顿流化塔、芬顿反应池、芬顿沉淀池、活性炭吸附池、芬顿加药区。

① 调节池:分2格,有效容积为 $1\,180\text{ m}^3$,设计调节时间 17 min 。

② 提升泵房:设5台泵位(3用2备),采用潜水泵,单台 $Q=1\,400\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$ 。

③ 硫酸亚铁加药间:设计成品液体及固体制备2种形式。溶解池分2格,单格容积 46 m^3 ,每格内设两台立式搅拌机,直径为 $1\,500\text{ mm}$, $N=2.2\text{ kW}$,储液池分2格,单格容积 275 m^3 ,药剂最大储存时间 3 d 。

④ 芬顿流化塔:共设3级。流化塔Ⅰ设6个,每2塔为1组,塔高 12 m ,直径为 3.5 m ,单塔处理能力 $1.75\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;流化塔Ⅱ设6个,与流化塔Ⅰ对应,每2塔为1组,塔高 10 m ,直径为 3.5 m ;流化塔Ⅲ设3个,塔高 9 m ,直径为 3.5 m ,每塔对应1组Ⅱ型流化塔,单塔处理能力 $3.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

⑤ 芬顿反应池:反应池采用矩形池, $L\times B=69\text{ m}\times 26\text{ m}$,池总高 7.5 m ,有效水深 6.0 m ,分3格。芬顿反应池总停留时间为 130 min ,反应池末端设调碱区。

⑥ 芬顿沉淀池:采用高效沉淀池池型,共设6座。单座沉淀池分慢速搅拌反应区、推流区及沉淀区,其中慢速搅拌反应区停留时间 17 min ,推流区停

留时间 26 min ;沉淀区内设刮泥机1台,直径为 15 m 。每座浓缩池下部设置污泥螺杆泵2台(1用1备),单台 $Q=90\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$ 。

⑦ 活性炭吸附池:由4座活性炭吸附床组成,单床尺寸为 $62.0\text{ m}\times 13.6\text{ m}\times 4.60\text{ m}$ 。每座活性炭吸附床由168个小的活性炭吸附单元组成,单个活性炭吸附单元尺寸 $2.0\text{ m}\times 2.0\text{ m}$,内填充活性炭 5.3 m^3 ,4座活性炭吸附床内共装填活性炭 $1\,800\text{ t}$,设计活性炭空床停留时间为 50 min 。

⑧ 芬顿加药区:由浓硫酸加药系统、氢氧化钠加药系统及双氧水加药系统组成。

设浓硫酸储罐1个,储存98%的浓硫酸,容积为 180 m^3 ,采用碳钢材质。设氢氧化钠储罐1个,容积为 180 m^3 ,储存30%的液碱,采用玻璃钢材质。设双氧水储罐1个,容积为 180 m^3 ,储存27%的双氧水,采用玻璃钢材质。

储罐外设围堰防火堤,堤高 1.5 m ,内用玻璃布及高分子涂料防腐。

6 运行效果及经济分析

项目建成后工业废水及生活污水处理出水均稳定达标,生活污水运行控制污泥浓度约为 4 g/L ,工业废水运行控制污泥浓度约 3.5 g/L ,两条线生物池内回流比均控制为200%,污泥外回流比控制100%。

2020年6月—12月生活污水线及工业废水线运行水量及进、出水水质月均值分别如表4、5所示。

表4 提标改造后生活污水运行水量及进、出水水质

Tab.4 Water capacity and influent and effluent quality of domestic sewage after upgrading

项 目		COD/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	日均水量/ ($10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)
6月	进水	138	66	73.9	20.6	17.9	2.65	10.0
	出水	15.4	3.0	6	8.15	0.195	0.136	
7月	进水	124	77	67.2	22.7	18.9	2.69	10.3
	出水	16.0	3.0	6	8.30	0.297	0.126	
8月	进水	140	74	76.0	30.9	26.1	3.55	9.4
	出水	15.6	3.0	6	9.66	0.254	0.156	
9月	进水	129	68	68.0	29.19	23.5	3.11	9.8
	出水	13.7	2.0	5	8.84	0.245	0.147	
10月	进水	135	71	62.0	38.9	31.6	3.69	8.8
	出水	17.5	3.0	6	11.0	0.235	0.137	
11月	进水	151	76	60.2	36.8	30.2	3.94	8.7
	出水	17.6	3.0	6	9.90	0.251	0.143	
12月	进水	154	78	57.0	33.51	27.1	3.2	8.8
	出水	19.0	3.0	6	9.41	0.228	0.101	

表 5 提标改造后工业废水运行水量及出水水质

Tab.5 Water capacity and effluent quality of industrial wastewater after upgrading

项 目		COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	磷酸盐/ (mg · L ⁻¹)	日均水量/ (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)
6 月	进水	143		47	3.44	2.07	9.5
	出水	65.0	10.0	17	1.91	0.155	
7 月	进水	130		68	3.71	2.90	9.6
	出水	59.4	10.0	20	1.51	0.151	
8 月	进水	138		68	2.51	2.12	8.7
	出水	61.8	9.0	21	1.60	0.170	
9 月	进水	124		57	1.74	1.87	9.3
	出水	55.9	10.0	19	1.14	0.135	
10 月	进水	141		49	1.48	1.70	9.1
	出水	64.5	11.0	19	1.00	0.128	
11 月	进水	138		46	1.45	1.49	9.6
	出水	65.1	11.0	18	0.94	0.113	
12 月	进水	158		44	1.83	1.29	10.4
	出水	66.4	10.0	17	1.17	0.108	

本项目工程直接费 20 366 万元,其中生活污水部分提标改造费用 1 169 万元,折合吨水投资 117 元/m³,运营成本在原基础上增加 0.08 元/m³;工业废水部分提标改造费用 19 197 万元,折合吨水投资为 1 920 元/m³,运行成本在原基础上增加 3.48 元/m³。

7 结 论

① 本项目在大型污水处理厂进行工业废水与生活污水分质处理、分质提标,两条线出水各项指标均稳定达标。可见,在厂外收集管网可分开的前提下,大型污水处理厂进行分质提标是可行的。

② 芬顿工艺药剂种类多,用量大,在选用时应因地制宜,充分考虑周边浓硫酸、双氧水、硫酸亚铁及液碱的供应与运输便利性。

③ 受用地限制,本项目芬顿沉淀池采用高效沉淀池池型,实际运行出水效果好,排泥顺畅,表明高效沉淀池作为芬顿工艺的沉淀池是可行的。

参考文献:

[1] 张莺,周瑜,何一俊,等. 城市生活污水厂处理高比例工业废水时的运行探索[J]. 中国给水排水,2013,29(10):95-100.
ZHANG Ying, ZHOU Yu, HE Yijun, *et al.* Study on operation mode of urban sewage treatment plant with high

proportion of industrial wastewater[J]. China Water & Wastewater,2013,29(10):95-100(in Chinese).

[2] 尹真真,赵丽,范围,等. 城市生活污水厂处理工业废水的运营管理对策[J]. 中国给水排水,2020,36(24):54-59.

YIN Zhenzhen,ZHAO Li,FAN Wei,*et al.* Suggestions on operation and management of urban domestic sewage treatment plant handled industrial wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (24): 54 - 59 (in Chinese).

[3] 郭庆英,刘晓茜,李晶. 芬顿高级氧化用于工业污水厂深度处理提标改造[J]. 中国给水排水,2019,35(10):64-67.

GUO Qingying, LIU Xiaoqian, LI Jing. Application of Fenton advanced oxidation process for upgrading and reconstruction project of an industrial wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater,2019,35(10):64-67(in Chinese).

作者简介:潘名宾(1984-),男,湖南永州人,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程、水环境治理等相关领域工程设计与研究工作。

E-mail:316076340@qq.com

收稿日期:2021-03-05

修回日期:2021-06-01

(编辑:孔红春)