

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.015

进水以高浓度工业废水为主的污水处理厂扩建工程设计

许晓明

(北控水务集团有限公司, 北京 100102)

摘 要: 浙江某污水厂进水中含有 70% 的工业废水, 具有有机物浓度高、冲击负荷大、乳化油浓度较高的水质特点, 且出水水质要达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 标准。已建一期工程($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 采用 AAO + 高效沉淀池 + 滤布滤池工艺处理污水, 出水有机物超标严重。为此, 二期扩建工程($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 采用调节池 + 混凝气浮组合池 + A/O 生化池 + 高效沉淀池的工艺流程。设计中增设调节池调节进水水质水量; 采用混凝气浮组合池去除进水中的乳化油, 以避免对后续工艺运行造成干扰; 延长生化池停留时间, 强化对有机物的去除, 避免在深度处理阶段设置高级氧化工艺, 节省建设、运行费用; 气浮污泥采用离心脱水, 生物污泥采用带式脱水机处理。工程试运行期间出水水质稳定达到设计标准, 直接运行成本为 $0.56 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

关键词: 工业废水; 乳化油; 混凝气浮

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0071-05

Design of Expansion Project of a WWTP with Industrial Wastewater as the Main Feed Water

XU Xiao-ming

(Beijing Enterprises Water Group Limited, Beijing 100102, China)

Abstract: The influent of a wastewater treatment plant in Zhejiang Province contained 70% industrial wastewater with high concentration of organic matter and emulsified oil, as well as high impact load. However, the effluent should reach the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). AAO tank, high-efficiency sedimentation tank and cloth-media filter were used in the first-stage project ($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$), which caused severe excess of effluent organic matter. Therefore, the regulating tank, coagulation/air floatation unit, A/O tank and high efficiency sedimentation tank were applied in the second-phase expansion project ($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$). The design features were as follows: adjusting the quality and quantity of influent by adding a regulating tank; The coagulation/air floatation tank was used to remove the emulsified oil, so as to avoid the interference with the subsequent process operation; By extending the residence time of the biochemical tank, the removal of organic matter was strengthened, advanced oxidation process could be avoided in advanced treatment stage, which would save the costs of construction and operating. For air floatation sludge, centrifugal dewatering were selected, and belt filter dewatering were selected for the biochemical sludge. During the trial operation of the project, the effluent quality was stable and reached the design standard, and the direct operation cost was $0.56 \text{ yuan}/\text{m}^3$.

Key words: industrial wastewater; emulsified oil; coagulation and floatation

工业废水具有污染物浓度高、水质波动大、可生化性差、不同种类的废水差别大等特点,处理难度比生活污水大很多。近几年环保监管日趋严格,进水含有工业废水的城市污水厂要严格达到城市污水厂排放标准,存在一定的难度。尤其当上游企业排污不可控时稳定达标难度更大,也给污水厂的设计带来了很多问题,例如设计水质的确定、处理工艺的选择等。

1 工程概况

浙江某乡镇污水厂现状一期规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要处理此镇的生活污水及镇工业区的工业废水,工业企业主要类型为印染、化工、医药、机械加工等。一期采用 AAO + 高效沉淀池 + 滤布滤池工艺,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准。近年来,随着镇

工业园区入驻企业的增加以及镇区人口的增长,根据可研的测算,需要扩建 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 二期工程。

2 扩建及提标改造工程方案

2.1 进、出水水质分析

2016 年污水厂一期进、出水水质如表 1 所示。进水中 COD 超标极其严重,进水 COD 95% 覆盖率为 892.5 mg/L,超过设计标准 123%;进水 COD 指标最高的是 12 月份,月均值达到了 900 mg/L,最高值为 1 178 mg/L,是设计值的 3 倍。此情况主要与上游工业企业排污不受控制、偷排工业废水有关。进水 BOD₅ 指标 95% 覆盖率为 341.2 mg/L,相比设计值超标 70.6%,超标率约为 25%。SS 也存在超标的情况,95% 覆盖率为 316 mg/L,超标幅度很小。其余氨氮、总磷、总氮浓度都很低,远小于设计进水值。

表 1 污水厂原设计及实际进、出水水质

Tab. 1 Original design and actual influent and effluent quality of the WWTP

mg · L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ - N	TN	TP
原设计进水	400	200	300	30		6
原设计出水	50	10	10	5(8)	15	0.5
实际 95% 覆盖率进水水质	892.5	341.2	316	5.1	15.5	3.0
实际平均进水水质	535.9	189.3	256.7	3.59	11.7	2.2
实际 95% 覆盖率出水水质	102	24.4	15	0.74	6.7	0.4
实际平均出水水质	48.7	12.2	9	0.52	3.4	0.3

2016 年出水 COD 95% 覆盖率为 102 mg/L,比设计值超标一倍以上,超标率为 24.5%,BOD₅ 95% 覆盖率为 24.4 mg/L,超过设计值 144%,COD 和 BOD₅ 超标都非常严重;SS 95% 覆盖率为 15 mg/L,比设计值超标 50%,超标率也达到了 30%,主要与滤布滤池不能正常运行有关。出水氨氮、总磷、总氮全部达标。

该厂进水中有机物浓度非常高,氮、磷浓度比生活污水明显偏低,呈现出工业废水的特征。该厂进水中工业废水所占比例约为 70%,而且由于上游企业存在夜间偷排废水的情况,进水水质波动性很大。此外上游存在大量的纺织、机械加工企业,进水中含较多的小分子乳化油,油污堵塞了滤布滤池与污泥带式脱水机,严重影响正常运行。

由于本项目实际进水有机物浓度特别高,但是《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)排入下水道污水 COD 限值是 500 mg/L,所以该工程将设计进水 COD 值提高至 500 mg/L;同时需要政府对工业企业排污进行管控,要求排污必须

符合《污水排入城镇下水道水质标准》;其余指标也略作调整。具体设计水质如表 2 所示。

表 2 设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality

mg · L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ - N	TN	TP
进水	500	200	300	10	30	6
出水	50	10	10	5(8)	15	0.5

2.2 改造思路及技术方案

① 预处理工艺段

该污水厂进水中工业废水占比较高,有机物浓度特别高,冲击负荷大,一期工程无应急调节设施,缺乏针对性。针对该特点,一方面必须对上游工业企业的排污进行管控,另一方面在厂内增加事故池和调节池,分别用于事故时临时储存部分污水和均匀水质水量、减少冲击负荷,避免对出水水质产生影响。

由于污水厂进水含乳化油,影响滤布滤池和污泥带式脱水机正常运行,也需要在预处理段去除。

乳化油在水中较为稳定,须先破乳再予以去除^[1]。本次选择在调节池后增加混凝气浮组合池,先混凝破乳再气浮除油。

② 生化工艺段

由于2016年进水 $BOD_5/COD=0.35$,污水的可生化性尚可,本期扩建工程不增加水解酸化工艺,与一期工程保持一致。考虑到此项目预处理段混凝气浮组合池与深度处理段高效沉淀池都投加 PAC,具有除磷作用,二期生化池选用 A/O 工艺,不设厌氧段,不考虑生物除磷。考虑到进水有机物浓度较高,本工程将生化池好氧区 HRT(水力停留时间)延长至 18 h,以强化对有机物的去除。

③ 深度处理段

由于污水的可生化性尚可,出水标准为一级 A,加上政府对排污企业的管控,此次扩建不采用高级

氧化工艺。考虑到浙江已经在推行新一轮的提标改造,要求将污水厂尾水排放执行地表准 IV 类标准。为避免重复建设,本工程深度处理高效沉淀池后不设置过滤工艺,但预留 V 型滤池水头。待准 IV 提标时,在高效沉淀池后新建 V 型滤池即可。

另外,原紫外消毒效果不佳,本次改用次氯酸钠消毒。

3 二期扩建工程工艺流程与工程设计

3.1 工艺流程

二期扩建工程规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数为 1.41,其中事故池、调节池、混凝气浮池、接触消毒池与加氯间、贮泥池与脱水机房是一、二期共用,规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

扩建完成后,本项目的具体工艺流程如图 1 所示。

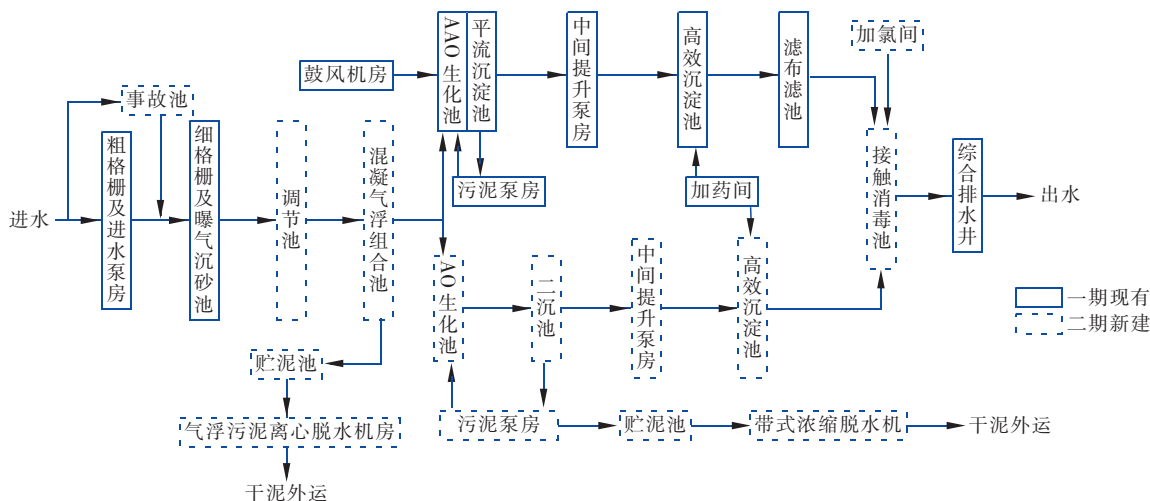


图1 二期扩建工艺流程

Fig. 1 Process flow chart of second-stage project

3.2 构筑物设计参数

① 粗格栅及进水泵房

一期的粗格栅及进水泵房按照 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模建设,本次只需增加设备。

粗格栅 1 台, $B=1\,000 \text{ mm}$, $e=20 \text{ mm}$;潜污泵 1 台, $Q=865 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=160 \text{ kPa}$, $N=55 \text{ kW}$ 。

② 细格栅及旋流沉砂池

细格栅及旋流沉砂池也按照 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的规模设计,本次只增加 1 台旋流沉砂器。

③ 调节池与事故池

事故池仅在上游工厂出现事故时启用,储存部分进厂高浓度有机废水。调节池内设有水泵,可以

将污水泵送至后续的混凝气浮池,主要作用为调节水质水量,减少冲击负荷。根据多年水质检测数据^[2],将调节池的 HRT 设计为 12 h。本工程新建调节池与事故池 1 座,规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,钢混结构,土建尺寸为 $81.9 \text{ m} \times 39.7 \text{ m} \times 9.5 \text{ m}$,有效水深为 8.9 m。池体分三格,两格为调节池,一格为事故池,事故池 HRT 为 4 h。事故池安装潜水泵 2 台,参数为 $N=15 \text{ kW}$, $Q=193 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=130 \text{ kPa}$ 。调节池安装潜污泵, $Q=777 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \text{ kPa}$, $N=37 \text{ kW}$, 4 台 (3 用 1 备)。

④ 混凝气浮组合池

为去除进水中的乳化油,本次新建混凝气浮组

合池1座,分2组,每组规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。单组池体包括混凝反应池和气浮池各1座。单组混凝反应池土建尺寸为 $8.3 \text{ m} \times 8.3 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$,由1个混合区与3个絮凝区组成,单座气浮池直径13 m。在混合区投加破乳剂PAC,使污水中的乳化油脱稳,混合区的HRT为1.6 min;在絮凝区投加PAM,污水中的絮体、油在PAM的作用下完成絮凝过程,絮凝区的HRT为15 min;混合液在浅层气浮池中完成固液分离,污水进入后续A/O生化池,浮渣进入污泥脱水系统,气浮池的表面负荷为 $6.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。混凝气浮组合池安装有2套混合搅拌器,6套絮凝搅拌器,回流加压溶气系统由厂家配套,最大回流比为30%,溶气气水比为5%。

⑤ A/O生化池

新建A/O生化池1座,分2组,总规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总土建尺寸为 $68.1 \text{ m} \times 43.45 \text{ m} \times 7.1 \text{ m}$,有效水深6 m。生化池缺氧区HRT为2.2 h,安装有6台搅拌器;好氧区HRT为18 h。安装5台内回流泵(4用1备),内回流比为200%,安装 $\text{Ø}300 \text{ mm}$ 曝气盘3188个,每个曝气量为 $1.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 。污泥回流泵房与生化池合建,安装3台外回流泵(2用1备),外回流比为100%;安装剩余污泥泵2台(1用1备)。

⑥ 二沉池

二期工程新建周进周出圆形辐流式沉淀池2座,单座规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,直径28 m,池深4.5 m,有效水深4 m,表面负荷 $0.68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑦ 中间提升泵房

新建中间提升泵房1座,尺寸为 $8.5 \text{ m} \times 7.75 \text{ m} \times 5.75 \text{ m}$,安装轴流泵3台(2用1备), $Q=563 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=40 \text{ kPa}$, $N=15 \text{ kW}$ 。

⑧ 高效沉淀池

新建高效混凝沉淀池1座2组,每组规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总尺寸为 $20.6 \text{ m} \times 18.3 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ 。混合区HRT为1.2 min,絮凝区HRT为15.5 min,斜板沉淀区表面负荷为 $7.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。在混合区投加PAC,絮凝区投加PAM,污水中的胶体、悬浮颗粒等污染物经混凝后再通过斜板沉淀被去除,提高了出水水质。主要设备有混合搅拌器2台、絮凝搅拌器2台、刮泥机2台,用于污泥回流、剩余污泥排放的螺旋离心泵6台。

⑨ 接触消毒池与回用泵井

新建接触消毒池1座,规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尺寸为 $20.35 \text{ m} \times 15.2 \text{ m} \times 4.85 \text{ m}$,有效水深4.35 m, HRT为0.7 h,中间由隔墙分成2格,可单独运行。回用水泵井与接触消毒池合建,污水厂内的生产用水均采用回用水。

⑩ 加氯间

消毒剂采用二氧化氯,有效加氯量为 7.2 mg/L 。加氯间平面尺寸为 $14.85 \text{ m} \times 10.4 \text{ m}$,配备3台 4 kg/h 二氧化氯发生器(2用1备)、1台氯酸钠化料器、1个 5 m^3 盐酸储罐、1个 5 m^3 氯酸钠储罐。

此外,由于本项目进水TN较低,故设补充尿素投加系统1套,设计尿素投加量为 25 mg/L ,尿素固体存放,投加时溶解稀释成30%的溶液。

⑪ 储泥池与气浮污泥脱水机房

本项目混凝气浮产干泥量为 7 t/d 。由于气浮污泥含油较多,采用离心脱水机进行处理。新建污泥脱水机房1座,平面尺寸为 $14 \text{ m} \times 13.5 \text{ m}$,采用局部二层布置。安装有2台离心机及配套进料泵、污泥切割机、螺旋输送机、PAM溶解及投加装置。主要设计参数:进泥含水率99%,出泥含水率80%,阳离子PAM投加量为 $3 \sim 5 \text{ kg/tDS}$ 。离心机 $Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=(37+11) \text{ kW}$,2台全开。

为了配套脱水机房的运行,新建储泥池1座,尺寸为 $6.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,内部安装搅拌器1台。

⑫ 鼓风机房

二期工程新建鼓风机房1座,尺寸为 $11.2 \text{ m} \times 23.2 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$,安装有空气悬浮鼓风机3台(2用1备), $Q=44 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=0.069 \text{ MPa}$, $N=64.3 \text{ kW}$ 。

⑬ 剩余污泥脱水机房

污泥脱水机房主要用于处理生化池剩余污泥及深度处理污泥,设计处理量为 4.34 t/d ,进泥含水率为99.2%,出泥含水率为80%,阳离子PAM投加量为 $3 \sim 5 \text{ kg/tDS}$ 。主要的设备有2台1.5 m宽的带式浓缩压滤脱水一体机及配套进泥泵、螺旋输送机、PAM溶解及加药装置。

⑭ 生物滤池除臭

设计2套生物除臭系统,一套用于污泥储池、脱水机房除臭,另一套用于粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、混凝气浮池与调节池除臭。2套除臭能力均为 $25000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4 设计经验

① 合理确定设计进出水水质是污水厂设计的

基础。污水厂的进水水质及运行受到上游排污企业的影响,但污水厂不能因为上游工业企业排污不可控就无原则地提高设计进水指标,设计进水指标最高为《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)。政府必须对工业企业排污进行管控,这对污水厂的稳定达标至关重要。

② 污水厂设计时应注意进水中的油对污水厂运行的影响。若油含量 > 30 mg/L,应在预处理段进行处理^[3]。

③ 高级氧化工艺(例如芬顿、臭氧)的运行成本较高,应尽量采用活性污泥法去除有机物,减少高级氧化工艺的工程应用。

5 运行效果及成本

该污水厂二期扩建工程已于 2019 年 9 月—12 月试运行并通过了环保验收,实际进、出水水质如表 3 所示。

表 3 试运行期间的实际进、出水水质

Tab. 3 Actual influent and effluent quality during trial operation mg · L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ - N	TN	TP
最高进水水质	702.0	226.0	281.0	8.3	16.6	2.3
95% 概率 进水水质	475.7	165.2	266.0	4.6	13.8	2.1
平均进水水质	369.2	134.1	223.1	3.9	11.7	1.8
最高出水水质	48.2	5.6	7.3	0.25	5.8	0.11
95% 概率 出水水质	44.8	4.9	7.1	0.2	5.2	0.1
平均出水水质	35.4	2.3	4.3	0.1	1.6	0.06

从表 3 中的数据可以看出,在政府的监管下,进水污染物浓度有了明显的下降;出水水质稳定达到一级 A 排放标准。二期扩建工程的直接运行成本为 0.56 元/m³。

6 结论

浙江某污水厂扩建工程针对工业废水占比达

70%、有机负荷高的进水水质特点,采用调节池 + 混凝气浮组合池 + A/O 生化池 + 高效沉淀池 + 二氧化氯消毒的处理工艺;气浮污泥采用离心脱水,生物污泥采用带式脱水机处理。出水水质可以稳定达到一级 A 标准,该厂已通过环保验收。本工程的实施,削减了污染物的排放总量,改善了太湖流域水环境质量,也为类似工程的建设提供了参考。

参考文献:

[1] 李金聚. 长铝公司含油废水处理工艺[J]. 工业水处理,2002,22(2):54-56.
LI Jinju. Technology of oil-bearing wastewater treatment in the China Great Wall Aluminium Company [J]. Industrial Water Treatment, 2002, 22(2): 54-56 (in Chinese).
[2] 韩温堂,李新红,余承烈,等. 小型工业废水处理站调节池的设计探讨[J]. 工业用水与废水,2015,46(2):33-35.
HAN Wentang, LI Xinhong, YU Chenglie, et al. Discussion on design of adjusting tank for small industrial wastewater treatment station [J]. Industrial Water & Wastewater, 2015, 46(2): 33-35 (in Chinese).
[3] 环境保护部. 含油污水处理工程技术规范:HJ 580—2010[S]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
Ministry of Environmental Protection. Technical Specifications for Oil-contained Wastewater Treating Process: HJ 580 - 2010 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011 (in Chinese).

作者简介:许晓明(1986 -),男,江苏无锡人,硕士,工程师,主要从事污水处理设计工作。

E-mail:xuxiaominggg@126.com

收稿日期:2020-03-10

修回日期:2020-04-10

(编辑:孔红春)