

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.011

绍兴市工业废水与生活污水分类收集、分质提标技术路线

李树苑, 刘海燕

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 按照国家环保部门的要求,绍兴市工业废水必须在企业内处理到 $\text{COD} \leq 200 \text{ mg/L}$ 方可排入污水处理厂,为此大量分散企业要将污水 COD 从 500 mg/L 提标至 200 mg/L ,在投资、土地、管理等方面均存在困难,因此,提出将工业废水由分散预处理改为利用现状污水处理设施集中预处理的方式,并实现全部工业废水和生活污水分类收集与分别处理。为实现该目标,提出了绍兴市污水输送系统改造规划,并确定了工业废水集中预处理和深度处理的工艺流程。该技术路线既合理利用了现状处理设施,又达到了生活污水和工业废水达标排放的目的,节约了工程建设投资,也提高了运行稳定性、降低了分散监管的难度,对相似地区具有一定的参考价值。

关键词: 工业废水与生活污水; 分类收集; 分质处理; 分散企业; 工业废水集中预处理; 技术路线

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0056-07

Technical Route of Classified Collection and Separate Upgrading of Industrial Wastewater and Domestic Sewage in Shaoxing

LI Shu-yuan, LIU Hai-yan

(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: The national environmental protection department requires that the COD in the industrial wastewater must be treated to less than 200 mg/L in the enterprise before being discharged into the sewage treatment plant in Shaoxing. To meet this requirement, a large number of dispersed enterprises need to reduce the COD in the effluent from 500 mg/L to 200 mg/L , and there are difficulties in terms of investment, land and management. Therefore, the decentralized pretreatment of the industrial wastewater was changed to the centralized pretreatment in the city by using the current sewage treatment facilities, and the classified collection and separate treatment of all the industrial wastewater and domestic sewage were realized. To achieve this goal, the reconstruction plan of Shaoxing sewage transport system was proposed, and the process flow of concentrated pretreatment and advanced treatment of the industrial wastewater was determined. The technical route not only makes rational use of the current treatment facilities, but also achieves the purpose of up-to-standard discharge of the domestic sewage and industrial wastewater. In addition, it also saves project construction investment, improves operation stability and reduces the difficulty of decentralized supervision. This technical route has a certain reference value to similar areas.

Key words: industrial wastewater and domestic sewage; classified collection; separate

treatment by different quality; dispersed enterprise; centralized pretreatment of industrial wastewater; technical route

1 概况

绍兴市已经形成较为完善的生活污水与工业废水合流制收集处理系统,污水处理各期工程排放标准也不尽相同。

绍兴市柯桥区的污水85%以上为工业废水,其中印染工业废水占90%,含少量化工、电镀、制革、制药等废水。目前绍兴市柯桥区建有一座处理能力为 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的绍兴污水处理厂,此外在柯桥区规划建设一座规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的滨海工业区污水处理厂,其中 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 预处理设施已经建成。

区域内的工业废水分别在企业内部进行预处理,达到 $\text{COD} \leq 500 \text{ mg/L}$ 后,通过收集输送系统压力流进入绍兴污水厂,处理后的出水通过厂内泵站和钱塘江排海泵站排入钱塘江。污水厂经提标改造后出水 $\text{COD} \leq 100 \text{ mg/L}$ 。

2012年10月环境保护部颁布了《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012),规定自2013年1月起,染整行业废水排放将执行 $\text{COD} \leq 200 \text{ mg/L}$ 的纳管标准。

因此,绍兴市工业废水要在进入污水处理厂之前达到 $\text{COD} \leq 200 \text{ mg/L}$,污水处理厂出水 $\text{COD} \leq 80 \text{ mg/L}$ 。

为此,绍兴市建立了工业废水和生活污水分质收集处理的目标,进行了分类收集输送、分别处理的工艺技术路线研究。

2 工程内容及工程目标

本项目工程内容包括绍兴市和柯桥区污水收集系统、绍兴污水处理厂、滨海印染产业集聚区污水预处理工程及江滨污水处理厂分质处理提标改造工程的相关内容。

工程规模为 $110 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中生活污水 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工业废水 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

改造目标是生活污水、工业废水分质处理,生活污水的出厂水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中基本控制项目最高允许排放浓度(日均值)一级A标准。工业废水的出厂水水质: $\text{COD} \leq 80 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 20 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 50 \text{ mg/L}$ 、色度 ≤ 50 倍。

3 污水收集输送系统和污水处理厂的现状

3.1 污水收集输送系统

绍兴市已建有一套相对完善的污水收集与处理系统。从20世纪80年代开始规划建设,到2012年,已建成的污水收集管网长约1626 km,污水泵站212座,市、县工业废水实现100%纳管,生活污水收集率也分别达到85%和83%。

市县水务系统根据各自区域污水分布和管网现状,实现工业废水和生活污水管网的分流改造,分类收集输送到绍兴污水厂进行集中处理。

3.2 污水处理厂

项目服务区域建设有绍兴污水处理厂和滨海工业区污水处理厂,均建在柯桥区内。

① 绍兴市污水处理厂

分三期建成,总规模 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二期 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,三期 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工业废水和生活污水混合处理。

现状的一期、三期污水处理系统的格栅及稳流池、水量水质调节池为共同的构筑物,后续处理工艺相同,仅工艺参数有差别。后续工艺为:高效沉淀池、厌氧水解酸化生物处理系统、生物处理系统、后物化气浮系统。

现状的二期污水处理系统包括:格栅及稳流池、水量水质调节池、高效沉淀池、生物处理系统、后物化气浮处理系统。

② 滨海工业区污水处理厂

滨海工业区污水处理厂包括 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 预处理工程和 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理厂。

其中一期 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 预处理工程已建成。

一期预处理工艺流程:原水→稳流池及粗格栅→调节池→前物化处理→一体化生物反应池→出水。

$20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理工艺流程:预处理出水→水解酸化池→生物处理池→二沉池→后物化气浮池→臭氧接触池→活性焦滤池→排水泵房→输送管道至钱塘江。

4 工业废水预处理技术路线

按照GB 4287—2012标准的要求,所有生产企业在内部对排放的废水预处理达到 $\text{COD} \leq 200$

mg/L,才能排入已经建成的污水管网。考虑到充分利用已经建成的污水处理设施,避免大量投资造成的浪费,在各企业分散预处理的基础上,提出了优化调整的集中预处理方案。

如果在各企业内部进行分散预处理,则存在以下问题:

① 投资巨大。目前各企业内部已经建成 $\text{COD} \leq 500 \text{ mg/L}$ 的污水处理工艺,要将 400 余个企业的废水排放标准提高到 $\text{COD} \leq 200 \text{ mg/L}$,需要投入大量资金。

② 技术难度大。由于工业区各企业废水处理设施已经按照 $\text{COD} \leq 500 \text{ mg/L}$ 建成,且处理能力已经达到极限,要达到更高的排放标准,必须增加高级氧化(臭氧、芬顿等)、吸附(活性炭、粉末炭)等工艺,芬顿工艺条件苛刻,运转费用高,产生剩余污泥多,而吸附法吸附剂再生性差^[1],运行管理难度及成本都会大幅度增加,而且分散处理排水水质的保障率低。

③ 土地无法保障。由于企业多,原来的规划大多未预留发展用地,超过 66.7 hm^2 (1 000 亩)的土地很难保证,征地困难。

许多企业无法及时解决土地,只能拆厂房、掘绿地来扩建预处理设施,会造成新的违章建设和安全风险。

④ 监管难度增大。从企业角度,复杂的预处理工艺需要专业精细的管理,企业目前普遍缺乏环保专业技术人员,难以保证出水稳定严格达标。从环保管理部门角度,排放标准越严格,处理成本越高,企业的违法频次也越高,加之企业污水处理、污泥处置以及臭气影响,企业周边群众投诉增多,反映强烈。

而排放标准的提升和排放要求的精细化,也使企业运行成本显著增加,影响企业正常运行的积极性^[2]。

⑤ 污水处理厂的现状设施闲置,浪费严重。分散的预处理会采用更加复杂的污水处理工艺,使得纳管水的处理难度增加,原有的生物处理工艺无法发挥作用,这样会造成重复投资和大量的投资浪费。

分散预处理技术风险大、重复投资严重,因此最终确定利用污水处理厂现状处理设施进行集中预处理,各企业现在的预处理维持不变,仍然按照

$\text{COD} \leq 500 \text{ mg/L}$ 控制,新建企业执行新的纳管标准 $\text{COD} \leq 200 \text{ mg/L}$ 。

工业废水预处理技术路线见图 1。

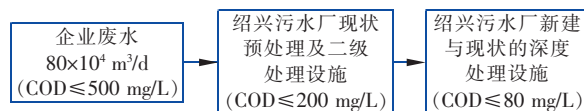


图1 工业废水预处理技术路线

Fig. 1 Technical route of the pretreatment of industrial wastewater

工业废水集中预处理工艺流程见图 2。

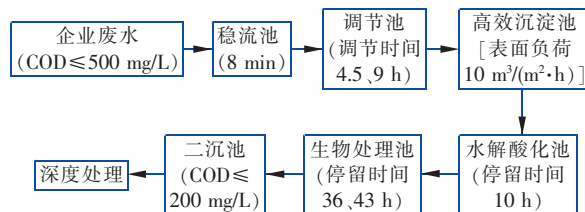


图2 工业废水集中预处理工艺(现状设施)

Fig. 2 Centralized pretreatment process of industrial wastewater (current facilities)

采用集中预处理技术路线能够充分利用污水厂现有设施,避免工程投资的浪费,便于监管,整体上技术经济效益更好。

5 污水收集输送系统改造

绍兴市污水收集系统:将市排二期作为市区生活污水集中排放通道,生活污水排放量约 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。将市排一期、袍江一期、袍江二期、第三通道作为工业废水集中排放通道,收集和输送袍江新区、皋埠镇、平水镇、生态园区、高新区等大部分工业废水,绍兴市区工业废水总排放量在 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右。本次改造共需新建泵站 4 座,新建污水管道约 10 km。

柯桥区污水收集系统:实现柯桥城区生活污水与工业废水分类收集输送,以输送能力达 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的外排一期工业废水主干管和柯西支线为主线的管网,作为生活污水集中收集输送通道,并且利用现有泵站及管线设施,对 4 座工业泵站进行改造,铺设 3 条连接管线,能够收集柯桥城区(包括柯桥核心区、柯南、柯北区块)、安昌集镇及齐贤集镇部分生活污水。近期生活污水收集量约为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

整个污水系统见图 3。

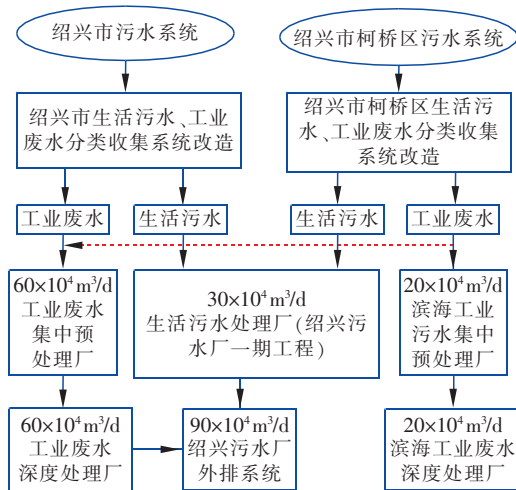


图3 污水系统

Fig.3 Sewage system diagram

6 绍兴污水处理厂分质处理提标改造工艺

6.1 工业废水集中预处理工艺

6.1.1 设计进、出水水质

集中预处理的具体设计进、出水水质如表1所示。

表1 集中预处理设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of centralized pretreatment

项 目	进水	出水
COD/(mg·L ⁻¹)	500	200
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	150	50
SS/(mg·L ⁻¹)	180	100
色度/倍	200	80
氨氮/(mg·L ⁻¹)	20	20
总氮/(mg·L ⁻¹)	30	30
总磷/(mg·L ⁻¹)	4	1.5

6.1.2 规模与工艺

集中预处理规模 60×10⁴ m³/d, 预处理设施完全利用现状设施。

污水厂现状设施中的二期(40×10⁴ m³/d)、三期(20×10⁴ m³/d)的污水二级处理设施改造为集中预处理,并设置集中预处理厂出水的水质在线检测设施,确保集中预处理设施的出水 COD≤200 mg/L。

集中预处理工艺如下:

工业废水→粗格栅及稳流池→水质水量调节池→进水提升泵房→前物化高效沉淀池→水解酸化池(三期)→生物处理系统→二沉池→预处理出水。

6.1.3 预处理主要工艺参数

① 调节池

二期已建调节池2座,水深10 m,调节水深6 m,总调节容积151 606 m³;三期已建调节池3座,水深6.0 m,调节水深3.55 m,总调节容积37 275 m³。二期、三期总调节容积188 881 m³,调节时间7.56 h。

② 前物化高效沉淀池

一期、三期工程前物化高效沉淀池各3座,直径16 m,总设计能力20 834 m³/h,总停留时间1.44 h,其中混合5.9 min、絮凝25.1 min、沉淀55 min。沉淀区水力表面负荷8.3 m³/(m²·h)。

二期已建高效沉淀池4座8格,直径17.5 m,设计流量16 667 m³/h。机械混合停留时间2.16 min,絮凝区有效停留时间31.1 min,单格沉淀区有效沉淀面积为238.64 m²,水力表面负荷为8.68 m³/(m²·h),污泥回流比2%~5%。

改造后,一期、三期的前物化高效沉淀池通过管道系统改造,原三期20×10⁴ m³/d污水全部进入一、三期前物化高效沉淀池,同时承担部分改造后厂内生产废水的处理。

③ 生物处理系统

三期水解酸化池:单座尺寸为155 m×48 m,有效水深10 m,停留时间12.5 h。

二期生物处理,已建鼓风曝气氧化沟共6座,每座分为2组。单座氧化沟尺寸174.50 m×72.40 m,有效水深10 m,总停留时间43.22 h。二沉池及配水井共3组,每组设4座二沉池、1座配水井。沉淀池采用中进周出辐流式沉淀池,单池直径66 m,表面负荷0.41 m³/(m²·h)。

三期已建氧化沟4座,单座尺寸185.2 m×46.6 m,有效水深10 m,氧化沟总停留时间36.24 h。二沉池共4座,单池直径46 m,表面负荷0.5 m³/(m²·h)。同时一期工程深度处理的6座凝聚辐流式沉淀池也作为三期工程的二沉池运行。

在工业废水深度处理提升泵房吸水井(集中预处理的出水处),设置流量、COD、pH值、SS等水质监测设施。

6.2 工业废水深度处理工艺

6.2.1 深度处理进、出水水质

深度处理进水水质为集中预处理的出水,深度处理出水水质要求见表2。

表 2 深度处理出水污染物排放限值

Tab. 2 Discharge limits of pollutants from advanced treatment effluent

项 目	排放限值
pH 值	6 ~ 9
COD/(mg · L ⁻¹)	80
BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	20
悬浮物/(mg · L ⁻¹)	50
色度/倍	50
氨氮/(mg · L ⁻¹)	10
总氮/(mg · L ⁻¹)	15
总磷/(mg · L ⁻¹)	0.5

6.2.2 深度处理工艺流程

在深度处理工艺中增设高级氧化工艺,通过高

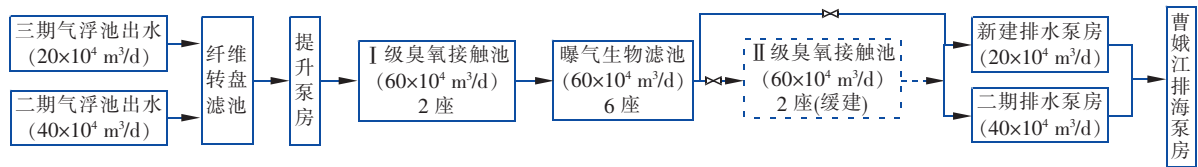


图 4 工业废水深度处理流程

Fig. 4 Flow chart of advanced treatment of industrial wastewater

6.2.3 主要工艺参数

① 主要水质及处理程度

设计的主要处理参数见图 5。

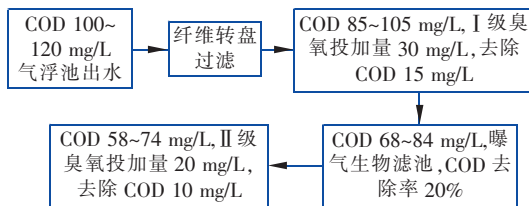


图 5 工业废水处理工艺单元处理程度

Fig. 5 Treatment degree of each industrial wastewater treatment unit

② 气浮系统

二期设计流量 16 667 m³/h。已建高效浅层池 16 座,每 4 座为 1 组。单座直径 16 m,有效水深 1.0 m。表面负荷 5.18 m³/(m² · h),上升流速 1.4 mm/s,停留时间 11.6 min,溶气水回流比 30%。

每 4 座合建一座储泥池,储泥池平面尺寸为 5.0 m × 4.6 m,有效水深 2.25 m。

三期设计流量 8 333 m³/h。已建高效浅层池 10 座。单座直径 16 m,表面负荷 4.15 m³/(m² · h),上升流速 1.15 mm/s,停留时间 14.5 min,溶气水回流比 30%。

级氧化法进一步去除有机污染物,保障出水稳定达标。

高级氧化法可以去除废水中绝大多数有机污染物和某些无机物,常见的氧化剂有 O₃、H₂O₂、ClO₂、KMnO₄ 等^[3]。

绍兴印染废水深度处理厂利用现状的二期、三期工程的后物化处理单元进行印染废水的深度处理,经过试验研究优化的工艺流程为:集中预处理出水→深度处理提升泵房(现状)→后物化气浮池(现状)→纤维转盘滤池→I 级臭氧接触池→曝气生物滤池→II 级臭氧接触池→排水泵房→输送管道至钱塘江。

具体流程见图 4。

③ 纤维转盘过滤

新建纤维转盘滤池一座,分 14 格,处理规模 60 × 10⁴ m³/d。

滤池过滤速度 7.2 m³/(m² · h)。单盘过滤面积 12.70 m²,滤池平面尺寸 52.50 m × 35.00 m。

选用 14 套纤维转盘过滤设备。

④ 臭氧氧化

臭氧氧化分为两级。I 级臭氧:O₃ 投加量 30 mg/L,接触时间 45 min; II 级臭氧:O₃ 投加量 20 mg/L,接触时间 45 min。

I 级、II 级臭氧接触池分别设置 2 座,共 4 座,每座分 6 条廊道,两条廊道共一根进水管,出水 3 条廊道合为一根管,进入两座曝气生物滤池。进水端设臭氧投加用射流泵。

池顶设臭氧尾气破坏装置。

⑤ 曝气生物滤池

共 6 座曝气生物滤池,每座处理规模 10 × 10⁴ m³/d,每座分 14 格。

单座处理能力为 10 × 10⁴ m³/d,单座平面尺寸为 61.21 m × 36.4 m,单格过滤面积为 90 m²,滤速为 3.3 m/h,接触时间为 1.2 h。滤料:火山岩陶粒,厚度为 4.0 m。

冲洗过程:单独气冲→气水联合冲→单独水冲;其中单独气冲强度为 $12 \sim 15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;气水联合冲气冲强度为 $8 \sim 12 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水冲强度为 $7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

由于经过臭氧接触后,水中的溶解氧浓度较高,因此,曝气生物滤池的气水比为 $2:1$,风量 $50\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。单座滤池设罗茨风机 14 台,单台 $Q = 600 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 80 \text{ kPa}$, $P = 22 \text{ kW}$,采用单格滤池与反冲洗风机一一对应的方式。

6.3 生活污水处理改造工艺

6.3.1 设计进、出水水质

生活污水处理规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水为普通城市生活污水,出水水质需达到国家一级 A 排放标准。

具体设计水质见表 3。

表 3 生活污水设计进、出水水质

Tab.3 Design influent and effluent quality of domestic sewage $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	TN	NH ₃ -N	TP	SS
进水	400	200	40	25	8	250
出水	50	10	15	5	0.5	10

6.3.2 处理工艺流程

生活污水纳入现状一期工程,现有系统需进行相关改造。

现状一期工程的工艺流程为:

原水→粗格栅及稳流池→调节池→进水提升泵房→前物化高效沉淀池→水解酸化池→中沉池→生物处理池→二沉池→后物化气浮池→出水泵房→输送管道至钱塘江。其中粗格栅及稳流池、调节池、进水提升泵房为一、三期共用。

根据生活污水水质特点及出水水质要求,经过比较优化,在充分利用原有设施的基础上,采用的工艺流程为:

原水(厂外压力进水)→细格栅、曝气沉砂池→两级生物处理系统($\text{A}^2\text{O} + \text{AO}$)→气浮池→纤维转盘滤池→接触消毒池→排水泵房→输送管道至钱塘江。

改造后的生活污水处理流程见图 6。

其中新建构筑物包括曝气沉砂池、滤布滤池、接触消毒池及配套设施。其余利用现状设施,一、三期共用的粗格栅及稳流池、调节池、进水提升泵房留作三期使用。

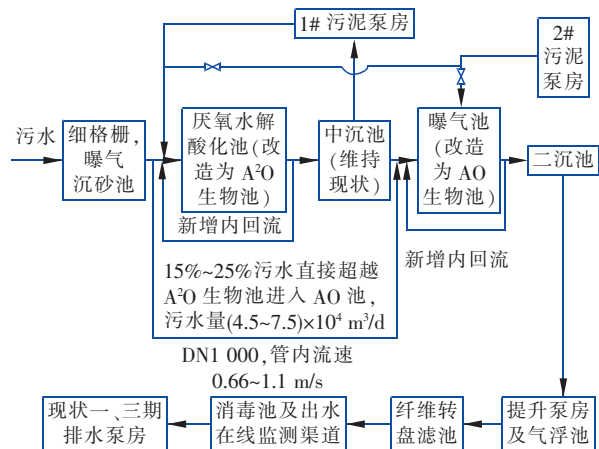


图 6 优化后的生活污水处理流程

Fig.6 Optimized domestic sewage treatment process

6.3.3 生物处理系统改造

现状水解酸化池为多渠道推流流态,通过在池内增加竖轴式搅拌器和曝气器,将池分为厌氧区、缺氧区、好氧区,并新建混合液内回流设施,沉淀利用现状的中进周出辐流式沉淀池,形成 A^2O 处理系统,出水进入现状曝气池。现状曝气池分段设置缺氧区和好氧区,在缺氧区内新建竖轴式搅拌器,同时增加混合液内回流设施,形成 AO 生物处理。

改造后, A^2O 停留时间 9.9 h ,AO 停留时间 17.1 h ,总停留时间 27 h 。

由于污水经过 A^2O 处理后的出水浓度较低,为保证后续工艺单元的 AO 池的缺氧区有一定的碳源,新建管道将 $15\% \sim 25\% [(4.5 \sim 7.5) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}]$ 污水直接超越 A^2O 至 AO 池的缺氧区,补充碳源,以确保生物脱氮效果。

7 结论

目前国家在规划布局上要求分散的工业企业向工业园区集中,并对园区的工业废水采取集中处理的方式,一些原来工业废水和城镇生活污水集中处理的地区应采用分类收集,分别处理、分质达标的技术路线。因此,各个城镇的工业园区都在进行相应的收集管网和污水厂处理工艺的技术优化及改造。

工业废水和生活污水分类收集、分质处理、分质达标的可行性探讨如下:

① 城镇的工业园区工业废水和城镇生活污水,是否采用分质处理分质达标,应根据各个城镇的具体情况具体分析后确定,不宜采用统一的方式。从水环境综合改善和经济方面,分类收集、分质处理去除的污染物总量和集中式处理去除污染物总量相同

时,后者的投资和运行成本会更低,而且化学需氧量对水体的生态影响比生物化学需氧量要小;因此,当污水和污泥资源化不是很必要时,实施分类收集、分质处理、分质达标的必要性不大。

② 管网改造是整个技术路线是否可行的关键,当收集工业废水和生活污水的管网在改造难度或投资较大时,应进行技术经济比较后再确定。

③ 分质处理、分质达标的污水处理工艺,应结合现状污水厂的工艺特征选择确定。与生活污水分开后,工业废水可生化性降低,当印染废水的 B/C 值为 0.26 时,仅有 18.6% 的有机物可被生物降解,在这些可被生物降解的有机物中,生物快速降解、生物易降解、生物可降解有机物的平均含量分别为 15.48%、64.29%、20.83%,其处理难度更大,应充分分析难降解污染物的特性,有针对性地选择可靠的工艺。

绍兴工业废水和生活污水分类收集、分质处理、分质达标工程技术路线的主要结论:

① 工业废水预理由分散处理调整优化为集中预处理,充分利用了现状污水处理设施,降低了工程投资,避免了现状设施的闲置浪费。

② 管网改造利用了现状的收集系统,合理配置生活污水和工业废水的管道系统,泵站以利用、改造和新建为原则,尽量减少新建泵站的数量,使整个收集输送系统更加合理。

③ 生活污水处理工程充分利用和改造现状的污水处理设施,形成 $A^2O + AO$ 工艺,同时新建过滤工艺,在工程投资较低的情况下,保证了出水水质达标。

④ 工业废水集中预处理利用现状污水二级处理设施为集中预处理设施,预处理出水水质达到 GB

4287—2012 标准;深度处理提标,采用物化(气浮)+生化(曝气生物滤池)+二级臭氧氧化(Ⅱ级臭氧氧化预留为进一步提标的工艺单元)的工艺方案,能够确保工业废水出水水质达标。

参考文献:

- [1] 任南琪,周显娇,郭婉茜,等. 染料废水处理技术研究进展[J]. 化工学报,2013,64(1):84-94.
REN Nanqi, ZHOU Xianjiao, GUO Wanqian, et al. A review on treatment methods of dye wastewater [J]. CIESC Journal, 2013, 64(1): 84-94 (in Chinese).
- [2] 张统,李志颖,董春宏,等. 我国工业废水处理现状及污染防治对策[J]. 给水排水,2020,46(10):1-3,18.
ZHANG Tong, LI Zhiying, DONG Chunhong, et al. Current situation of industrial wastewater treatment and countermeasures of pollution control in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10): 1-3, 18 (in Chinese).
- [3] 栗文明,白永刚,周军,等. 臭氧催化氧化应用于工业园区污水处理厂深度处理工艺的选择及设计[J]. 给水排水,2019,45(5):90-93.
LI Wenming, BAI Yonggang, ZHOU Jun, et al. Selection and design of catalytic ozonation in wastewater advanced treatment of industrial park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(5): 90-93 (in Chinese).

作者简介:李树苑(1958—),男,山西长治人,硕士,教授级高工,全国勘察设计大师,主要从事污水处理和饮用水给水处理技术研究工作。

E-mail: lisy58@sina.cn

收稿日期:2020-09-28

修回日期:2021-01-26

(编辑:孔红春)

坚持节水优先,强化水资源管理