

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.003

温州市南片污水厂提标至浙江省清洁排放标准的探索

翁献明¹, 朱爽², 谢明化³, 汤泽和³, 吴旭磊⁴, 汪和方², 高剑⁴,
郑豪², 郑西西⁴, 单天纯⁴

(1. 温州市新型公共产业发展有限公司, 浙江 温州 325802; 2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 3. 温州设计集团有限公司, 浙江 温州 325000; 4. 温州市排水有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要: 以温州市南片污水厂为例,介绍了污水厂出水达到浙江省清洁排放标准的提标改造设计方案。通过在原有工艺基础上进行分流, $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的分流污水采用“改良 Bardenpho + 二沉池 + 高密度沉淀池”工艺,而后与 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 原工艺出水合并进行 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水的“反硝化深床滤池 + 臭氧接触氧化 + 消毒”的深度处理。该工程采用由设计单位牵头的联合体总承包模式实施,有利于发挥设计龙头作用,整合优势资源,与施工单位互为裨益,保障工程顺利实施。

关键词: 浙江清洁排放标准; 污水处理厂; 提标改造; “设计 + 采购 + 施工”总承包

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0013-06

Exploration for Wenzhou Nanpian Sewage Treatment Plant Upgrading to Clean Discharge Standard of Zhejiang Province

WENG Xian-ming¹, ZHU Shuang², XIE Ming-hua³, TANG Ze-he³, WU Xu-lei⁴,
WANG He-fang², GAO Jian⁴, ZHENG Hao², ZHENG Xi-xi⁴, SHAN Tian-chun⁴

(1. Wenzhou New Public Industry Development Co. Ltd., Wenzhou 325802, China; 2. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China; 3. Wenzhou Design Assembly Company Ltd., Wenzhou 325000, China; 4. Wenzhou Drainage Co. Ltd., Wenzhou 325000, China)

Abstract: Taking Wenzhou Nanpian sewage treatment plant as an example, this work introduces the upgrading and reconstruction program, which aims to meet the clean discharge standard of Zhejiang Province. The $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ of sewage from the original sewage treatment plant is introduced to biochemical treatment tank equipped with improved Bardenpho process, secondary clarification and high-sludge sedimentation. And then, converged the original process effluent($2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$), the advanced treatment processes, including denitrifying deep-bed filtration, ozone oxidation treatment and disinfection are used to upgrade the quality for the total sewage flow ($4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$). The EPC mode led by design institute is applied to this project, which is more conducive for the design institute to play a leading role. The design institute and the construction company can work together to ensure the implementation of the project.

Key words: clean discharge standard of Zhejiang Province; sewage treatment plant; upgrading and reconstruction; EPC

浙江省作为生态文明建设先行区,立足浙江实际,坚持问题导向,以改善环境质量为核心,以重点

环境敏感区域为突破口,加快推进城镇污水处理厂清洁排放技术改造。2018年,浙江省启动实施 100

座城镇污水处理厂清洁排放技术改造,并提出了城镇污水处理厂清洁排放标准,以此作为城镇污水处理厂技术改造的评判标尺。

与《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准相比,浙江省城镇污水处理厂清洁排放标准突出了重点指标,强化了对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP、TN 等指标的管控^[1-2]。同时,清洁排放标准对指标实行分类执行,分阶段推进。2022 年底,基本实现浙江省重点环境敏感区域处理规模 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 及以上城镇污水处理厂达到清洁排放标准要求。

以浙江省温州市第一座实行清洁排放标准技术改造的污水厂——温州市南片污水处理厂为例,分析探索从一级 A 标准到清洁排放标准的提标设计方案,以及提标改造的工程实践措施,为后期污水厂提标改造的实施提供参考。

1 工程概况

温州市南片污水处理厂由温州市公用集团下属市排水公司负责建设,其选址于温州市瓯海区南白象街道上蔡单元地块高速匝道围合地块内,规划总规模为 $17 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一次规划、分期建设,其建成后主要接纳梧田系统(部分)、南白象系统、高教园区系统、仙岩丽岙系统、生态园三垟湿地污水(部分),总服务面积约 64 km^2 。其中,一期工程设计建设规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,按照集约式全覆盖理念设计,全部处理构筑物及生产性建筑合理紧密排列,组成一个半地下建筑整体,屋顶及周边进行绿化全覆盖,室内进行通风及除臭处理。一期工程进水指标见表 1,出水执行一级 A 标准,尾水排放至温瑞塘河;主体工艺采用高效沉淀池 + 生物滤池(同时硝化反硝化生物滤池 + 后置反硝化生物滤池) + 加砂高密度沉淀池处理工艺,具体流程见图 1。

表 1 一期工程主要设计进水指标和排放标准

Tab. 1 Main influent quality indicators and effluent quality requirements of first-phase sewage treatment project

| 项 目 | BOD_5 | COD | SS | $\text{NH}_3 - \text{N}$ | TP | TN |
|---|----------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 进水水质/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 180 | 350 | 250 | 32 | 5 | 40 |
| 一级 A 标准/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 10 | 50 | 10 | 5(8) | 0.5 | 15 |
| 去除率/% | 94.44 | 85.71 | 96.00 | 84.38 | 90.00 | 62.50 |
| 注: 括号外数值为水温 $> 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标,括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标。进水及一级 A 标准 pH 值为 6~9。 | | | | | | |

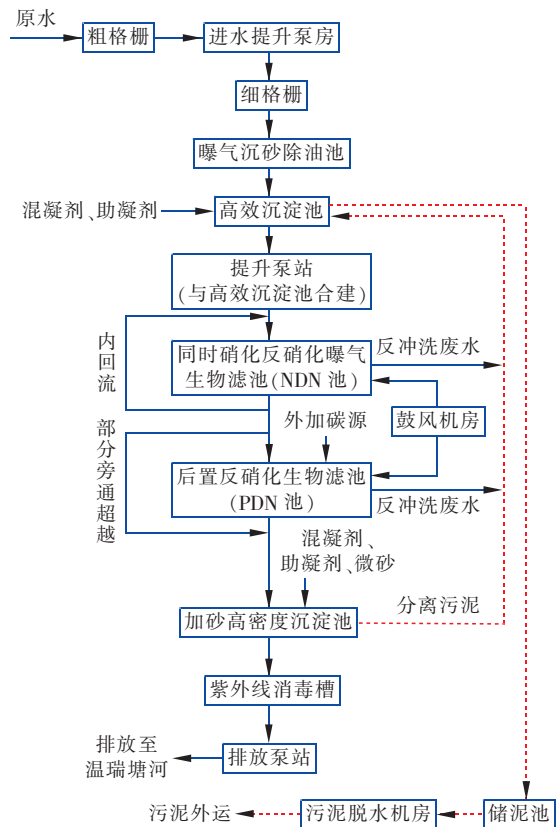


图 1 一期工艺流程

Fig. 1 Process flow of first-phase sewage treatment project

自 2015 年 4 月竣工试运行以来,一期工程在部分时间段已经满负荷运行,甚至超负荷运行,虽然在精心管理下,运行稳定达标,但同时存在以下几个问题:

① 随着温州市近年来对城区排水管网改造和水环境治理程度的加快,污水收集率增加,污水厂部分进厂污水污染物指标均有所增高,特别是总氮、氨氮浓度增长较多。高峰时段污水厂总氮、氨氮指标达标运行压力大。

② 原工艺前端采用“曝气沉砂池 + 一级高效沉淀池”工艺,对进水中的有机质截留较多,一方面减少了后续反硝化的碳源,另一方面截留的有机质和污泥混合后进行脱水处理时,有机质腐败导致脱水污泥恶臭较严重。

③ 进水总氮、氨氮指标偏高,而溶解性 BOD_5 浓度偏低,导致进水碳氮比偏低。在硝化阶段,通过加大曝气量以满足硝化需求,不仅增加了风机电耗运行费用,同时还导致滤池挂膜难度增大,微生物总量较低,抗水质冲击能力相对较差;在反硝化阶段,

需外加碳源促进反硝化反应,增加了药剂成本。

④ 进水碱度偏低,影响曝气生物滤池硝化效果,工程运行时需投加碱度。

⑤ 运行过程中,在高效沉淀池需投加较多混凝剂、助凝剂,药剂运行成本较高,运行管理难度大,也造成剩余污泥量大,增加了污泥处置负担。

为了提高污染物去除效率,提标增效,温州市南片污水处理厂启动了清洁排放标准提标改造工程,本次提标改造工程总投资 1.1 亿元,建设用地面积为 10 456 m²,预计 2020 年 12 月前实施完成。

2 提标改造方案

根据现状污水处理厂的运行情况,进水水质波动比较大,一期工艺系统抗水质冲击负荷能力较差,运行管理难度较大,运营成本较高。另一方面,随着温州市近几年的污水管网改造,污水收集率增加,主要的设计进水成分和含量也发生了变化,如表 2 所示。

表 2 提标改造工程主要设计进水指标和排放标准

Tab. 2 Main influent quality indicators and effluent quality requirements of the upgrading project

| 项 目 | BOD ₅ | COD | SS | NH ₃ - N | TP | TN |
|---|------------------|-------|-------|---------------------|-------|--------|
| 提标设计 进水/ (mg · L ⁻¹) | 150 | 300 | 200 | 40 | 5 | 50 |
| 现状出水/ (mg · L ⁻¹) | 6.91 | 27.10 | 7.74 | 4.54 | 0.29 | 13.24 |
| 清洁排放 标准/ (mg · L ⁻¹) | 10 | 30 | 10 | 1.5(3) | 0.3 | 10(12) |
| 清洁排放去 除率/% | 93.33 | 90.00 | 95.00 | 96.25 | 94.00 | 80.00 |
| 注: ①现状出水水质保证概率为 90%;②括号内数值为每年 11 月 1 日—次年 3 月 31 日执行标准;③进、出水 pH 值为 6~9。 | | | | | | |

① 进水 BOD₅、SS 浓度降低,但出水指标与一级 A 标准相同,因此 BOD₅、SS 不是提标工艺的重点控制指标。

② 进水 COD 有所降低,但清洁排放标准的出水 COD 更严格,为 30 mg/L,相应去除率为 90%。一期工程工艺后端的高效沉淀池对溶解性 COD 的处理能力有限,因此 COD 是提标工艺中需重点考虑的指标。

③ 进水氨氮、总氮指标偏高,而清洁排放标准的出水水质较一级 A 标准更严格。依靠一期处理

工艺,无法达到完全的硝化,出水达标有风险;同时加大了对硝化、反硝化控制的难度,曝气风量增加,碳源消耗更大,运行成本更高。因而在提标工艺选择时,不仅要考虑工艺系统的硝化、反硝化效果以及碳源投加成本,同时还应兼顾一期处理工艺对氨氮、总氮的去除能力。

④ 设计进水 TP 为 5 mg/L,而一期的高效沉淀池 + 生物滤池工艺对 TP 的去除能力有限,出水指标值接近排放标准。为了满足出水 TP ≤ 0.3 mg/L 的要求,提标改造工艺应强化生物除磷效果,辅助进行化学除磷。

2.1 水量分流

根据《温州市城市排水工程系统专项规划》(2015 年版)和南片污水处理厂的水量预测,本次提标改造工程建设规模按 4 × 10⁴ m³/d 设计。由于一期工程采用全覆盖设计,所有处理构筑物均在同一厂房内紧凑布置,通过改造现有工艺或延长现有工艺进行提标的难度较大,因此需采用分流降负荷进行提标改造。采用分流降负荷,不仅有利于减轻一期运行负荷,而且更有利于采用多种工艺组合方式,增强工艺系统抗冲击负荷能力。

一期工程曝气生物滤池的处理量取决于其硝化能力,按照施工图设计及厂区运行情况,同时硝化反硝化滤池氨氮负荷取 0.56 kg/(m³ · d),理论滤料体积为 2 373 m³,则氨氮处理量为 1 328.88 kg/d。按照清洁排放标准设计进出水要求,单位氨氮去除量为 38.5 mg/L,则现有曝气生物滤池最多可处理污水量为 3.45 × 10⁴ m³/d。在现有构筑物和相关配套设施不做改动的前提下,根据一期工程现场运行经验以及设计变化系数(k = 1.4),一期工艺流程平均可处理 2.5 × 10⁴ m³/d 污水,使其氨氮、总氮指标达到清洁排放标准。

因此,本工程确定 2.5 × 10⁴ m³/d 的污水仍经现有一期工艺处理,在现有曝气沉砂除油池后分流 1.5 × 10⁴ m³/d 污水进入新建生物池进行处理。

2.2 处理工艺选择

本次提标主要是强化对 COD、NH₃ - N、TP、TN 四个指标的处理。本工程进水 BOD₅/COD = 0.5,表明该污水可生化性较好,适宜采用生化处理工艺,出水 COD 要求较高,应进行深度处理;BOD₅/TN = 3,碳源不足。为了保证出水 TN 可以稳定达标,处理工艺首先充分利用污水中的优质碳源,不足时适当

采用外加碳源; $BOD_5/TP = 25$ 可以判断进水碳源基本满足生物除磷的需要,但根据生产运行经验,仅靠生物除磷方法难以满足清洁排放标准中出水 $TP \leq 0.3 \text{ mg/L}$ 的要求,应采用生物除磷与物化除磷相结合的方法以强化除磷效果。

综合分析,本工程可以通过二级处理(即生物脱氮除磷处理工艺)去除水中大部分污染物。为保证出水 TN 、 TP 达到标准,需配合外加碳源和物化除磷设计。后期增设深度处理系统,为 COD 稳定达标排放把关。

2.2.1 分流处理工艺

考虑污水处理工艺技术的可行性、运营处理成本、抗冲击负荷能力以及运行的稳定性等多种因素, $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水采用的处理工艺为“改良 Bardenpho 生物池 + 二沉池 + 高密度沉淀池”,具体如图 2 所示。

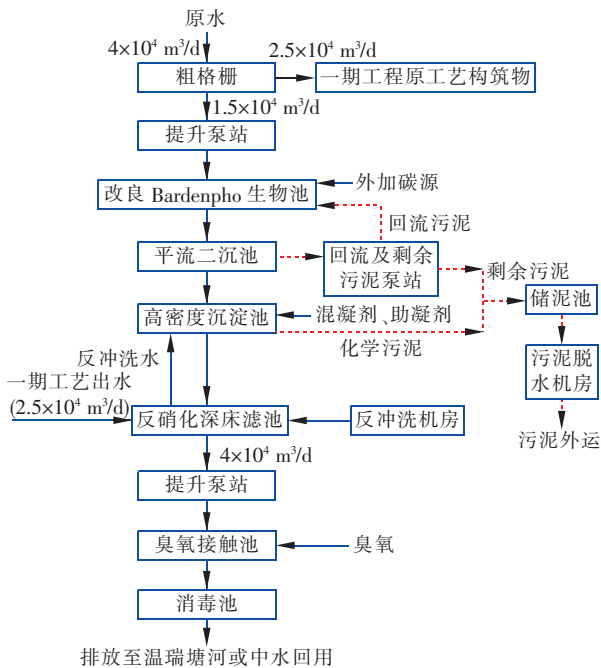


图 2 提标改造工艺流程

Fig. 2 Upgrading and reconstruction process flow of sewage treatment

生物池选用改良 Bardenpho 工艺,包含厌氧段、缺氧段、好氧段、缺氧段、好氧段。改良 Bardenpho 工艺在传统 A^2/O 工艺基础上,在后面增设了一个缺氧段和一个好氧段。改良 Bardenpho 工艺的设计参数见表 3。相比于一期处理工艺,改良 Bardenpho 工艺具备抗水质冲击负荷强、碳源利用性好、脱氮除磷效果好、运行成本低等特点。

表 3 改良 Bardenpho 工艺的设计参数

Tab. 3 Design parameters of improved Bardenpho process

| 设计指标 | 数值 |
|---|-----------|
| 污泥浓度/ $(\text{kgTSS} \cdot \text{m}^{-3})$ | 4.0 |
| 有效水深/m | 6.0 |
| 设计总池容/ m^3 | 12 915 |
| 设计污泥负荷/ $(\text{kgBOD}_5 \cdot \text{kg}^{-1} \text{MLSS} \cdot \text{d}^{-1})$ | 0.044 |
| 设计总水力停留时间/h | 20.7 |
| 系统设计泥龄/d | 22.4 |
| 厌氧段停留时间/h | 1.5 |
| 第一缺氧段水力停留时间/h | 6.5 |
| 第一好氧段水力停留时间/h | 8.1 |
| 第一好氧段泥龄/d | 22.4 |
| 第一好氧段污泥负荷/ $(\text{kgBOD}_5 \cdot \text{kg}^{-1} \text{MLSS} \cdot \text{d}^{-1})$ | 0.112 |
| 第二缺氧段水力停留时间/h | 3.6 |
| 第二好氧段水力停留时间/h | 1.0 |
| 混合液内回流比/% | 100 ~ 400 |
| 污泥外回流比/% | 50 ~ 120 |

① 改良 Bardenpho 工艺各段反应均独立运行,均为完全混合式,能保证污染物的充分降解,具备较强的抗冲击负荷能力,更适应现状进水水质波动情况。

② 在运行过程中,由于第一缺氧段进水中含有一定的内碳源可利用,因而具有较高的反硝化速率。在第二缺氧段中,由于第二好氧段出水中有有机物浓度较低,反硝化菌主要通过细胞内碳源进行反硝化,故反硝化效率较低,但这种反硝化作用可有效提高整个处理系统的反硝化程度,从而有利于充分利用碳源,提高脱氮效率。为了使出水 TN 达标,常在第二缺氧段中投加优质碳源,使得大量的硝态氮和亚硝态氮利用外加碳源进行充分的反硝化反应。外加碳源相对较少,运行成本较低。

③ 硝化液自第一好氧段回流至第一缺氧段,回流比可在 100% ~ 400% 内调节,而第二好氧段无硝化液回流,所增设的缺氧段及好氧段具有强化脱氮和提高出水水质的作用。

④ 改良 Bardenpho 工艺使用灵活性较好,可以通过调整回流比、改变曝气区域、合理投加碳源,实现良好的脱氮除磷效果。

⑤ 改良 Bardenpho 工艺生物池的有效设计水深为 6 m,并采用大小风量搭配设计(2 大 1 小),单台功率分别为 90 kW 和 75 kW,小于一期工程鼓风机单台功率(132 kW),更有利于风机选型,节约工

程投资,便于灵活调配风量,节约运行成本。

生物池之后的二沉池为平流沉淀池,选用非金属链式刮吸泥机(规格 $B=8.0\text{ m}$, $L=44.6\text{ m}$, $N=0.55\text{ kW}$)。单独的生物处理无法满足磷的处理标准,因此需进行化学除磷,同时降低出水SS。二沉池的出水接入高密度沉淀池,使用混凝剂PAC脱稳,高分子絮凝剂PAM聚集悬浮物,向其中加入介质以助形成高密度絮体,而后斜管沉淀去除悬浮物絮体,降低出水的SS和TP指标。

2.2.2 提标处理工艺

为了确保出水COD、SS、TP、TN指标稳定达到清洁排放标准,汇合 $1.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 分流的高效沉淀池出水和一期 $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 工程出水后,进行深度处理。深度处理采用反硝化深床滤池+臭氧接触氧化+消毒工艺(见图2)。

通过投加碳源、PAC等药剂,反硝化深床滤池兼具混凝、沉淀、过滤等功能,能够降低出水SS、TP、TN浓度,同时强化COD的去除作用。反硝化深床滤池采用5格滤池,单格滤池尺寸为 $13.4\text{ m}\times 4.88\text{ m}$,设计平均水力负荷为 $5.09\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,反硝化容积负荷为 $0.34\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,悬浮物最大截留负荷为 $0.61\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

考虑到进水中可能存在难降解的COD,导致出水COD超标,因此在反硝化深床滤池之后设计了使用灵活、占地较小的臭氧氧化工艺,进一步强化了对COD以及色度的管控,从而保证出水稳定达标。臭氧发生器采用空气源,额定产量为 20 kg/h ,额定浓度为 30 mg/L 。臭氧氧化工艺出水通过次氯酸钠消毒达标后,就近排入温瑞塘河或进行中水回用。

鉴于本工程进水水质波动较大,当进水水质较好时,可以根据水质情况和实际运行经验,运行时可超越反硝化深床滤池或臭氧氧化工艺,更有利于针对性运营,增加处理效率,降低运行成本。

3 EPC工程实施

近年来,为提升工程建设质量,我国大力推行“设计、采购、施工”全过程的工程总承包(EPC)模式,有效实现了设计、采购、施工各环节的融合。业主可以充分利用EPC总承包商的专业化能力,简化工程中的合同关系,降低业主方的管理难度,有效规避业主方因缺少专业工程人才、经验造成的管理风险,有利于提高工程的整体效益^[3]。污水处理项目的建设,具有水质标准高、涉及专业多、工艺复杂、工

期紧张、施工难度大、成套设备多、需工艺调试等特点,非常适合采用EPC模式^[4]。

本工程采用了由设计单位牵头,与施工单位组成联合体的EPC总承包模式,由设计单位负责设计、设备采购、调试,由施工单位负责建安施工。这种模式在实践中体现了如下优点:

① 设计单位对工程整体性概念更强,能更好地把握和实现业主需求。本工程为提标改造工程,工艺复杂,业主要求施工过程中不能影响一期工程正常生产。由设计单位牵头EPC总承包,能够综合考虑业主对各专业的需求,并在设计时充分考虑保证一期工程正常生产的措施。设计单位参与制定施工方案,与业主及运营部门充分沟通并完善后,再由施工单位实施,很好地满足了业主的需求。

例如,设计通过增设检修阀门,只须局部设备停机,即可在最短时间内完成新旧鼓风机的安装切换,保证一期工程正常生产;设计增设臭氧接触池的高、低水位运行模式,并设置深床滤池超越管,在水质条件较好时,直接超越滤池和提升泵站,使臭氧接触池低水位运行,节约了运营成本。

② 设计单位可以有效优化设计和施工顺序,把控项目进度。本工程工期紧张,在满足当地相关部门要求的基础上,设计单位先行完成基坑支护和桩基设计图纸,并组织通过了专家评审,由施工单位先行施工,提前近20 d开始基坑和桩基施工。设计单位充分利用基坑和桩基施工时间,进一步细化各专业施工图的设计,并与业主多次沟通完善。设计时间有了保障,能够有效保证设计质量;施工单位先行施工基坑和桩基,提前了项目进度,一举两得。

③ 设计单位能更好地把控设备的设计、采购、安装、调试质量。设计单位对设备的原理、性能参数更了解,在设计时可以通过大小搭配、变频功能、自动控制、超越设置等措施,有效优化运营成本。设计单位负责设备采购,可以统筹考虑设计要求和设备参数,能够在业主要求的品牌范围内,从技术角度选择性价比最优的产品。在设备安装阶段,设计单位能够重点把控主要控制指标,有效保证施工单位的安装精度。在调试阶段,设计单位能够组织调试人员对设备运行参数的精确调控,提高调试效率。

④ 设计单位可以有效指导调试试运行。选择具有丰富调试经验的设计单位,可以在设计阶段充分考虑调试试运行的便利,根据项目特点编制并调

整调试方案,可操作性强。例如,本项目原调试方案是整体建成后调试,但是受新冠疫情影响,深度处理部分施工进度稍有滞后。设计单位提出可先行进水调试改良型 Bardenpho 生物池段,经过调整调试方案,进水时间提前约 1 个月。在生物池污泥培养驯化期间,完成深度处理部分的施工,有效保证了调试运行的进度。

⑤ 设计单位与施工单位组成联合体,优势互补。设计单位与施工单位组成联合体,能够发挥各自专业力量,优势互补,降低项目风险,形成利益共享、风险共担的利益共同体^[5-6],促使设计单位及时优化设计,提出满足项目工期和目标成本的最优方案;施工单位可以同步调整资源调配,规避施工风险,节约施工成本,高效推进项目建设。

4 结语

温州市南片污水厂提标改造工程于 2019 年 6 月底开工,预计于 2020 年底前全部完工并按浙江省清洁排放标准稳定达标排放,项目推进有序高效。

① 为满足浙江省清洁排放标准,分流降低一期工艺的运行负荷。分流部分采用稳定可靠的改良 Bardenpho 工艺,合理利用碳源,强化脱氮除磷效果,通过多工艺组合方式,提升抗冲击负荷性能。此工艺选择对水质相似的污水厂提标具有借鉴意义。

② 反硝化深床滤池、臭氧氧化等深度处理工艺,通过混凝、沉淀、过滤、氧化等强化技术对 COD、SS、TP、TN 指标的管控,同时设置超越,后期根据水质合理运行。通过对深度处理工艺的精心管理,在水质稳定达标和节约运行成本中取得平衡。

③ 以设计单位牵头的联合体总承包模式能够从源头上控制工程质量,促进多专业融合,优化设计方案,整合优势资源,通过与施工单位的强强联合,实现设计、施工效率最大化。

浙江省现有城镇污水处理厂均面临提标改造问题,在原有工艺基础上因地制宜地设计提标处理工艺,选择合理的工程实施模式,是各污水处理厂提标改造应结合实际情况亟待解决的问题,该工程可为各污水处理厂提供参考借鉴。

参考文献:

[1] 徐一兰,沈晓佳,陈雪祥,等. 浙江省城镇污水处理厂清洁排放标准提标方案探讨[J]. 水处理技术,2019,

45(10):134-136.

XU Yilan, SHEN Xiaojia, CHEN Xuexiang, et al. Discussion on upgrading scheme of WWTP for clean discharge standard in Zhejiang Province[J]. Technology of Water Treatment, 2019, 45(10): 134-136 (in Chinese).

[2] 叶孝虎,邵元卿. 关于浙江省城镇污水处理厂清洁排放技术改造的工艺选择——基于温岭市某污水处理厂[J]. 环境与发展,2019,31(7):110-111.

YE Xiaohu, SHAO Yuanqing. Process selection for technical improvement of clean discharge of urban sewage treatment plant in Zhejiang Province—based on a sewage treatment plant in Wenling City[J]. Environment & Development, 2019, 31(7): 110-111 (in Chinese).

[3] 王乐. EPC 项目中设计单位牵头联合体的管理研究[D]. 北京:北京交通大学,2018.

WANG Le. Research on the Management of Consortium Led by Designer in EPC Projects[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018 (in Chinese).

[4] 李岩. EPC 工程总承包模式在我国污水处理工程中的应用研究[D]. 北京:清华大学,2010.

LI Yan. Study on EPC Mode in Chinese Urban Sewage Treatment Engineering [D]. Beijing: Tsinghua University, 2010 (in Chinese).

[5] 甘旭东,赵勇. 联合体 EPC 管理模式设计与施工的融合[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报,2018,18(4):36-38.

GAN Xudong, ZHAO Yong. Analysis on the integration of design and construction under the EPC management mode of consortium[J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, 2018, 18(4): 36-38 (in Chinese).

[6] 侯淑梅,骆晓亮,吴祥飞. 多专业联合体 EPC 模式下总承包管理总结[J]. 建筑安全,2019,34(5):55-57.

HOU Shumei, LUO Xiaoliang, WU Xiangfei. Summary of general contracting management under multi-professional consortium EPC mode[J]. Construction Safety, 2019, 34(5): 55-57 (in Chinese).

作者简介:翁献明(1976—),男,浙江温州人,大学本科,高级工程师,注册一级建造师,主要从事给排水专业设计和管理。

E-mail:460479005@qq.com

收稿日期:2020-05-06

修回日期:2020-11-19

(编辑:丁彩娟)