

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.014

新地方标准背景下污水处理项目的设计变更与实践

贺 阳¹, 袁绍春², 蒋 彬²

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074)

摘 要: 四川省内江市第二污水处理厂总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中一期设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016) 的排放要求, 将原设计中的预处理/改良型 A^2O /纤维滤池/紫外消毒组合工艺, 变更为预处理/多级 AO/高效沉淀池/深床反硝化滤池/次氯酸钠接触消毒组合工艺, 并利用 WEST 软件对多级 AO 除磷脱氮工艺建立仿真模型, 取得了较优的运行参数。工程实践结果表明, 对 TN、SS、TP、COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 BOD_5 的去除率分别达到 81.8%、98.3%、94.8%、91.1%、97.3%、93.3%, 出水水质符合地方排放标准的要求。本工程适时进行设计变更, 有效避免了投资上的浪费。

关键词: 设计变更; 多级 AO; 深床反硝化滤池; 深度处理

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0078-05

Design Change and Practice of Sewage Treatment Project under the Background of New Local Standards

HE Yang¹, YUAN Shao-chun², JIANG Bin²

(1. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Education for Hydraulic and Water Transport Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The total treatment capacity of the Neijiang second sewage treatment plant in Sichuan Province is $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the design treatment capacity of the first phase is $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. According to discharge requirements of *Minjiang River and Tuojiang River Basin Water Pollution Discharge Standards of Sichuan Province* (DB 51/2311-2016), the original combined process consisting of pretreatment, modified A^2O , fiber filter and UV disinfection was changed into pretreatment, multi-stage AO, high efficiency sedimentation tank, deep bed denitrification filter and sodium hypochlorite contact disinfection. A simulation model of multi-stage AO dephosphorization and denitrification process was established by using WEST software, and optimal operational parameters were obtained. The removal efficiencies of TN, SS, TP, COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and BOD_5 reached 81.8%, 98.3%, 94.8%, 91.1%, 97.3% and 93.3%, respectively, and the effluent quality met the discharge requirements of local standards. Design of the project was changed in time, which effectively avoided the waste of investment.

Key words: design change; multi-stage AO; deep bed denitrification filter; advanced treatment

四川省内江市沱江东岸城区未建污水处理厂, 随着沱江东岸城区的快速发展及城市化进程的加

快, 区域内污水量势必大增。为保护沱江乃至三峡库区水质及区域内生态环境, 改善周边居民的生活

环境,完善城市基础设施,建设内江市第二污水处理厂已迫在眉睫。该污水处理厂负责处理沱江东岸的全部污水,主要包括东岸的城区和高桥片区,规划服务人口 46.2 万人,总规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1 处理要求的变更

内江市第二污水处理厂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)一级 A 标准,并于 2016 年 1 月完成设计并通过施工图审查。

2016 年 12 月颁布的《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)规定:四川省境内岷江、沱江干(支)流流域及其封闭流域,新建排污单位直接向环境排放污水需满足该标准主要水污染排放浓度限值的要求。根据建设周期,内江市第二污水处理项目建成并调试完成后已接近 2019 年,面临着投产即改造的窘境,且原设计思路以一级 A 为排放标准,设计理念已与现排放标准不符,改造难度较大。

2017 年四川省环保厅要求本污水处理厂应根据新标准改造后实施。之后,根据内江市发改委文件精神,在完成设计变更可行性研究报告的编制和报批手续的基础上,进行了变更后的初步设计和施工图设计,并根据相关批复及设计文件进行施工,有效避免了投资浪费。

设计变更前、后的处理要求见表 1。

表 1 污水处理厂设计进水水质及排放标准

Tab.1 Influent quality and discharge standards for sewage treatment plant

项 目	进水水质	GB 18918—2002 一级 A 标准	DB 51/2311—2016
总氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	40	15	10
SS/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	800	10	10
总磷/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.5	0.5	0.3
COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	400	50	30
粪大肠菌群/($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	—	1 000	1 000
氨氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	35	5(8)	1.5(3)
BOD ₅ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	200	10	6

2 设计变更

2.1 设计调整的思路与工艺流程

在表 1 所列出的两个标准体系中,《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)比《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

18918—2002)一级 A 标准要求高,TN、TP、COD、氨氮、BOD₅ 等主要排放指标限值分别降低了 5、0.2、20、3.5、4 mg/L ,其中 TP、COD、氨氮、BOD₅ 等指标达到了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中 IV 类标准。由此可知,从一级 A 标准提升至岷沱流域排放标准,其主要技术难点在于 TN、TP、COD、氨氮的去除。原设计处理工艺已不适合新地标的要求,必须采用更有效的处理工艺。虽然上述两个标准对 SS 的要求相同,但在实际工程中存在由于出水 SS 较高而引起 COD、BOD₅ 等指标超标的现象,因此,新工艺必须强化对 SS 的去除。

原设计采用了预处理/改良型 A²O/纤维滤池/紫外消毒的组合工艺。改良型 A²O 工艺在碳源不足或要求总氮去除率较高时,总氮的实际去除效果可能达不到新地标的要求。纤维滤池可以满足一级 A 标准对 SS 的排放要求,但要实现更高标准 SS 及 COD、BOD₅ 的控制时,存在一定难度。紫外消毒工艺虽然投资小,运行成本低,但其消毒效果不稳定,易受水质水量、管理操作等因素影响,有一定风险,且无持续消毒的能力。

基于上述分析,参考国内类似污水处理的工程经验^[1-4],将原工艺调整为预处理/多级 AO/高效沉淀池/深床反硝化滤池/次氯酸钠接触消毒组合工艺,工艺流程如图 1 所示。

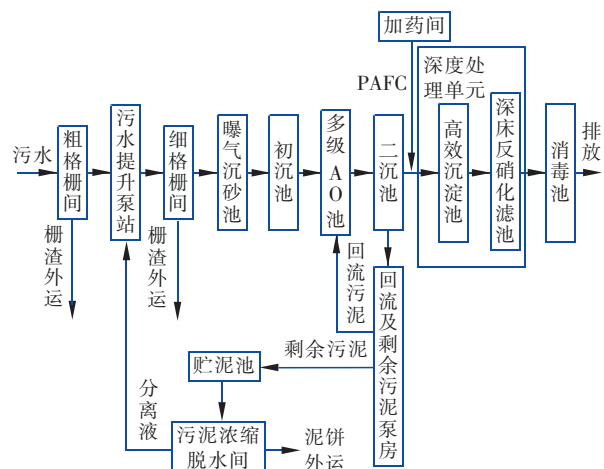


图 1 设计调整后的工艺流程

Fig.1 Process flow chart after design modification

工艺设计思路和工程内容具体调整如下:

① 根据反应器原理,多级串联工艺可以保障在低基质浓度下对污染物的去除;多级 AO 工艺具有很好的脱氮效果和一定的总磷去除效果,由于新

地标对总氮去除提出了很高的要求,同时考虑到总磷可以通过辅助化学方法去除,因此,本工程生化处理工艺由改良型 A²O 改为多级 AO,生化池做局部调整。

② 为强化对 TP、SS 的去除,在二沉池后增设高效沉淀池。深床反硝化滤池在保证碳源的前提下,出水 TN 浓度可小于 5 mg/L。较深的滤层深度可以避免窜流或水力穿透,且其固体负荷高,延长了滤池过滤周期,减少了反冲洗次数。本工程采用深床反硝化滤池作为控制总氮、SS 的保障设施,结合高效沉淀工艺,其效果优于原设计中的纤维过滤工艺。故取消原设计的纤维滤池及反冲洗泵房,增加高效沉淀池、深床反硝化滤池。

③ 经实际调研,服务区域内的污水量变化较大,为保证消毒效果,并根据业主新提出的消毒设备应具有持续消毒能力的要求,将原设计的紫外消毒调整为次氯酸钠接触消毒工艺,同时也为二期工程的中水回用奠定良好的基础。故取消原设计的紫外消毒渠,增加接触消毒池、加氯间。

④ 由于本项目污泥处置方式调整为进入生活垃圾填埋场填埋,原设计污泥脱水方式(离心浓缩脱水一体机)处理后的污泥含水率高于 60%,不符合《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的有关规定,故改为带式浓缩+自动隔膜板框脱水机,脱水间土建相应调整。

2.2 调整说明

2.2.1 预处理单元

① 粗格栅及提升泵房:粗格栅间 1 座,与进水泵房合建,采用圆形沉井结构,净空直径 $\varnothing 15.0$ m,深 22.7 m。粗格栅按设计规模 10×10^4 m³/d 建设;污水提升泵房土建按设计规模 10×10^4 m³/d 建设,设备按一期设计规模 5×10^4 m³/d 安装。

采用 1 台移动抓斗式格栅除污机(配套 2 台粗格栅),栅宽为 1.40 m,栅隙宽为 20 mm,配用电机 $N=7.5$ kW。进水泵房选择离心式潜水泵(3 用 1 备),根据泵坑内液位信号综合控制水泵启停,轮换运行。

② 细格栅及曝气沉砂池:细格栅渠、曝气沉砂池合建,土建平面尺寸为 36.6 m \times 10.4 m。

细格栅设计流量为 10×10^4 m³/d,采用内径流圆孔细格栅 3 台,栅条间隙 3 mm,鼓栅直径 2.0 m,安装角度 35°,配用电机功率为 2.2 kW。

曝气沉砂池设计流量为 10×10^4 m³/d,停留时间 6 min(峰值时间),沉砂有机物分离效率 $\geq 95\%$,供气量 0.20 m³空气/m³污水。安装 2 台链板式刮砂机,2 台潜水排砂泵,采用三叶罗茨鼓风机曝气,鼓风机 $Q=11.0$ m³/min, $N=15$ kW,风压为 40 kPa。

③ 初沉池:一期工程设 2 座中心进水周边出水圆形初沉池,每座直径 20 m,周边水深 3.5 m;二期工程增加 2 座。

设计规模 5×10^4 m³/d,平均流量设计表面负荷为 3.31 m³/(m²·h);峰值流量设计表面负荷为 4.34 m³/(m²·h);出口堰最大负荷约为 2.8 L/(s·m)。安装 2 台直径 20 m 的周边传动刮泥机,2 台 0.5 t、 $H=4.5$ m 的 HS 手动葫芦。

2.2.2 生化处理单元

① 多级 AO 生化池:一期工程设计规模为 5×10^4 m³/d,二期工程增加 5×10^4 m³/d。生化池与污泥回流泵井合建。生化池一期设置 1 座,分两格,池内分厌氧区、好氧区 1、缺氧区 1、好氧区 2、缺氧区 2、好氧区 3、缺氧区 3、好氧区 4,实现多级 AO 系统的串联。根据反应器理论,在 3 级以上的串联反应器中,可有效实现对 COD、BOD₅、氮的去除,同时也可以部分去除磷。单座 AO 生化池尺寸为 77.1 m \times 74.6 m \times 6.87 m,钢混结构。设污泥回流泵井 1 座,尺寸为 5.8 m \times 3.6 m \times 7.67 m,钢混结构。

单座 AO 生化池设计规模为 5×10^4 m³/d;混合液 MLSS 为 4.3~6.7 g/L,平均为 5.2 g/L;污泥负荷为 0.06 kgBOD₅/(kgMLSS·d),泥龄为 18 d;剩余泥量为 10 072 kg/d。水力停留时间:厌氧区为 1.2 h、好氧区 1 为 2.0 h、缺氧区 1 为 1.2 h、好氧区 2 为 2.4 h、缺氧区 2 为 1.8 h、好氧区 3 为 2.4 h、缺氧区 3 为 1.8 h、好氧区 4 为 2.8 h。采用微孔鼓风机曝气充氧,一期工程所需供风量为 241.38 m³/min(气水比 6.95:1),空气管道采用不锈钢管。污泥回流比 $R=100\%$,回流污泥通过巴氏计量槽计量后进入厌氧区。

厌氧区、缺氧区 1、缺氧区 2、缺氧区 3 分别设置 5 台潜水式搅拌器(备用 1 台于库房),其中厌氧区、缺氧区 1 单台 $N=4.1$ kW;缺氧区 2、缺氧区 3 单台 $N=6.2$ kW。好氧区设置陶瓷微孔曝气头,过流量为 2.0 m³/h,氧利用率 $\geq 30\%$ 。回流污泥采用 5 台变频调速潜水轴流泵,单台 $Q=531$ m³/h, $H=71.6$ kPa, $N=20$ kW,4 用 1 备;剩余污泥采用 2 台潜水泵

(1用1备),单台 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=110\text{ kPa}$, $N=5.0\text{ kW}$ 。池内设置 DO 仪、MLSS 仪、ORP 仪、超声波液位计等在线监测仪器。

② 二沉池:采用周进周出辐流式沉淀池,一期工程设2座,每座直径40 m,周边水深4.70 m。每池设1台刮泥机排泥,污泥回流比 $R=100\%$,排泥浓度为0.6%~0.8%。

2.2.3 深度处理单元

采用高效沉淀池-深床反硝化滤池相结合的深度处理工艺作为出水水质稳定达标的保障手段。

① 高效沉淀池:位于二沉池之后,对二沉池的出水进行絮凝沉淀,进一步去除废水中的 TP、SS 及 COD。一期工程新建高效沉淀池1组(2座),钢混结构,单座尺寸为 $22.8\text{ m} \times 12.4\text{ m} \times 7.05\text{ m}$,每组分混合区、絮凝反应区及沉淀区。每座处理水量 $2.5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,混合区水力停留时间1.0 min,絮凝反应区水力停留时间9.4 min。设斜管沉淀,斜管有效面积 116 m^2 ;表面水力负荷为 $12\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。安装2台混合反应池搅拌机($\phi 250\text{ mm}$, $N=15.0\text{ kW}$)、2台絮凝反应池搅拌机($\phi 160\text{ mm}$, $N=7.5\text{ kW}$)、2台中心传动污泥浓缩机($\phi 12.4\text{ m}$, $N=5.5\text{ kW}$)及污泥回流泵、排泥泵、潜污泵等设备。

② 深床反硝化滤池:位于高效沉淀池之后,对水中的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 进行反硝化,使出水中的 TN 达到排放标准,同时进一步去除 SS。一期工程新建深床反硝化滤池一座,钢混结构,尺寸为 $39.14\text{ m} \times 19.6\text{ m} \times 6.89\text{ m}$,分5格。处理水量为 $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;滤料介质采用石英砂,粒径2~3 mm,滤床深度2.44 m;4格滤池运行时强制滤速为7.91 m/h,5格运行时平均滤速6.32 m/h,高峰滤速8.79 m/h。

深床反硝化滤池配备3台反冲洗水泵(2用1备), $Q=477\text{ m}^3/\text{h}$, $H=107\text{ kPa}$, $N=22\text{ kW}$;2台反冲洗废水排放泵(1用1备), $Q=198\text{ m}^3/\text{h}$, $H=91\text{ kPa}$, $N=7\text{ kW}$;3台鼓风机(2用1备),单台 $Q=3\,569\text{ m}^3/\text{h}$, $H=82.3\text{ kPa}$, $N=97\text{ kW}$;2台空压机(1用1备),单台 $Q=25.5\text{ m}^3/\text{h}$, $H=0.7\text{ MPa}$, $N=7.5\text{ kW}$ 。

2.2.4 消毒单元

接触消毒池和巴氏计量槽合建,按远期规模 $10 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 设计。接触消毒池尺寸为 $30.4\text{ m} \times 23.7\text{ m} \times 6.5\text{ m}$,巴氏计量槽尺寸为 $21.0\text{ m} \times 1.8\text{ m} \times (4.15 \sim 6.5)\text{ m}$,中间设导流墙增加接触消毒时间。

接触消毒池停留时间30 min。采用次氯酸钠消毒,接触消毒池加氯量为8~10 mg/L。

2.2.5 配套系统

① 除臭系统

根据污水厂的平面和高程布置,设置三套生物除臭装置,分别收集并处理预处理区构筑物、生化处理区构筑物及污泥区构筑物产生的臭气,设计风量分别为8 000、35 000、8 000 m^3/h ,总设计风量为51 000 m^3/h ,换气次数3~8次/h。

② 加氯、加药系统

按远期规模分别新建1座加氯间($33.0\text{ m} \times 10.8\text{ m} \times 6.0\text{ m}$)、1座加药间($24.0\text{ m} \times 7.5\text{ m} \times 5.8\text{ m}$)。加氯间安装3套次氯酸钠发生器(单台10 kg/h),2用1备,分别向高效沉淀池前(加氯量2 mg/L)、接触消毒池投加次氯酸钠。加药间主要涉及辅助化学除磷和反硝化过程中碳源补充。化学除磷采用聚合氯化铝同步和后置化学除磷,同步投加点位于生化池出水堰,单点投药量10 mg/L(商品计);后置投加点位于滤池前,单点投药量6.5 mg/L(商品计)。碳源采用乙酸钠,最大投加量为77 mg/L,由乙酸钠制备装置制备后采用计量泵投加。

③ 尾水系统

污水处理厂尾水自流排至厂区西南面的沱江。在国家倡导“坚持节水优先、建设幸福河湖”的背景下,开展污水再生利用是很有意义的。本设计采用具有持续消毒能力的次氯酸钠消毒,为尾水后续利用奠定了良好的基础。

3 处理效果及技术经济分析

为获得较好的运行参数,利用 WEST 软件对多级 AO 除磷脱氮工艺建立仿真模型(见图2)。

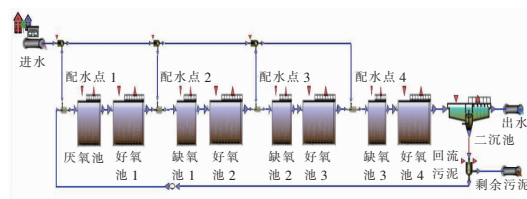


图2 多级AO除磷脱氮工艺仿真模型

Fig.2 Simulation model of multi-stage AO process for phosphorus and nitrogen removal

考察各功能分区水力停留时间、各段进水分配比例、污泥回流比、剩余污泥排放量等设计参数,目标变量为出水 COD、氨氮、TN 和 TP 浓度。优化后的推荐工艺参数为:多级 AO 生物池各功能区的停

留时间依次为1.2、2.0、1.2、2.4、1.8、2.4、1.8、2.8 h;厌氧区和各级缺氧区的配水比分别为30%、20%、40%、10%;污泥回流比的最优值为0.9,剩余污泥排放量的最优值为1 500 m³/d,污泥龄18.0 d,污泥浓度介于4 327~6 753 mg/L。运行过程中可根据实际情况进行调整。

根据变更后的设计及仿真实验所取得的运行参数,污水处理厂进行了调试运行,并逐步加大了进水量。在稳定运行后,2020年1月—6月期间对运行

数据进行了跟踪监测,实际进、出水水质见表2。由表2可知,工程实施后污水处理厂出水的各项关键指标均满足《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)的要求,对TN、SS、TP、COD、NH₃-N、BOD₅的去除率分别达到81.8%、98.3%、94.8%、91.1%、97.3%、93.3%。TN去除率略微偏低,这需要在后续工作中进行深入分析。高效沉淀池—深床反硝化滤池深度处理工艺强化了对TN、SS的去除,保障了出水水质。

表2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

mg · L⁻¹

项 目		TN	SS	TP	COD	NH ₃ - N	BOD ₅
进 水	范围	27.00 ~ 50.30	80.00 ~ 435.00	2.58 ~ 4.89	93.60 ~ 254.00	23.40 ~ 40.50	60.05 ~ 89.00
	平均值	39.27	208.00	3.48	222.32	30.73	78.52
出 水	范围	5.00 ~ 9.70	0.50 ~ 9.50	0.10 ~ 0.26	12.40 ~ 26.20	0.33 ~ 1.67	4.60 ~ 5.92
	平均值	7.16	3.48	0.18	19.88	0.84	5.29
排放标准		10	10	0.3	30	1.5(3)	6

本项目设计变更前占地面积9 hm²,工程总投资(包括污水厂和配套管网)约2.94亿元,经营成本1.43元/m³。设计变更后经优化调整建(构)筑物的布局,占地面积保持不变,工程总投资约4.0亿元,经营成本1.65元/m³。

4 结语

四川省内江市第二污水处理厂建设中,在新的地方标准《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)实施背景下,适时对原设计方案进行调整,避免了投资浪费,实现了污水处理工程在过渡期的顺利衔接。

采用多级AO/高效沉淀/深床反硝化过滤处理工艺,能够保障出水水质稳定达到设计排放要求。

参考文献:

- [1] 刘昌俊,郝文胜. 蚌埠杨台子污水处理厂二期工程设计[J]. 工业用水与废水,2016,47(6):71-74.
LIU Changjun, HAO Wensheng. Design example of second-phase project of Bengbu Yangtaizi sewage treatment plant [J]. Industrial Water & Wastewater, 2016,47(6):71-74 (in Chinese).
- [2] 李新凯,郑春华. 双层填料反硝化深床滤池脱氮的研究[J]. 中国给水排水,2017,33(7):94-96.
LI Xinkai, ZHENG Chunhua. Denitrification of dual

packing denitrification deep bed filter [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(7):94-96 (in Chinese).

- [3] 阙春哲,李军,卞伟,等. 多级A/O耦合生物膜反硝化处理低C/N值生活污水[J]. 中国给水排水,2017,33(1):27-32.
KAN Ruizhe, LI Jun, BIAN Wei, et al. Treatment of domestic sewage with low C/N ratio by coupling process multistage A/O and denitrifying biofilm [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(1):27-32 (in Chinese).
- [4] 董洋,汪德金,余波. 多级AO工艺用于全地下式北京碧水污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水,2018,34(2):59-62.
DONG Yang, WANG Dejin, YU Bo. Application of multi-stage AO process in the upgrading and reforming project in underground Beijing Bishui wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018,34(2):59-62 (in Chinese).

作者简介:贺阳(1984—),男,陕西商洛人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给排水工程、黑臭水体治理等方面的设计工作。

E-mail:45113846@qq.com

收稿日期:2020-07-13

修回日期:2020-08-05

(编辑:孔红春)