

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.20.011

大型污水厂不停产提标改造设计

廖竞萌, 刘波, 曾思雨, 席国赞

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 成都市第九再生水厂处理规模 $100\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,原采用以多模式 A^2O +纤维滤池为主体的处理工艺,提标改造工程需在不停产的情况下将出水标准由一级A标准提升至《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)。通过综合分析污水厂现状构筑物及实测进、出水水质,确定了在二沉池后设置高密度沉淀池及反硝化深床滤池的工艺方案,其中反硝化深床滤池采用新建+改造相结合的方式建设,解决了厂内用地紧张的问题。项目建设过程中采取分阶段实施及不停水碰管等方式,成功实现了不停产提标改造。项目投产后,出水水质稳定优于排放标准。

关键词: 污水厂; 提标改造; 反硝化深床滤池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)20-0072-05

Design of a Large Wastewater Treatment Plant Upgrading and Reconstruction Project without Stopping Production

LIAO Jing-meng, LIU Bo, ZENG Si-yu, XI Guo-yun

(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: The original treatment process of Chengdu No.9 reclaimed water plant with treatment scale of $100\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ consists of multi-mode A^2O and fiber filter. The upgrading and reconstruction project needs to upgrade the discharge standard from first level A limit to the limit specified in *Discharge Standard of Water Pollutants in Minjiang River and Tuojiang River Basin in Sichuan Province* (DB 51/2311—2016) without stopping production. The design selected the scheme of setting high-density sedimentation tank and denitrification deep bed filter after the secondary sedimentation tank through the comprehensive analysis of the current structures of the wastewater treatment plant and the measured influent and effluent quality, in which the denitrification deep bed filter was constructed by a combination of new construction and reconstruction, thus solved the land shortage problem. In the construction process, the project adopted the methods of phased implementation and non-stop production pipe-touching construction techniques, and successfully realized the upgrading without stopping production. The effluent quality is stable and better than the discharge standard after the project is put into operation.

Key words: wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; denitrification deep bed filter

1 项目背景

成都市第九再生水厂始建于2010年,分两期建

设,总处理规模 $100\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计出水水质为一级A标准。2016年,为控制和改善岷江、沱江流域的水

环境质量,四川省环保厅、质量技术监督局发布了《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016,以下简称“新地标”),第九再生水厂尾水排放至锦江,属于岷江流域,原设计出水水质中COD、氨氮、总氮、总磷等指标无法满足新地标的要求,因此需进行提标改造。

2 现状分析

2.1 污水处理设施情况

原设计采用以多模式A²O+纤维滤池为主体的处理工艺,包括粗格栅及污水提升泵房(厂外)→细格栅→曝气沉砂池→初沉池→多模式A²O生化池→二沉池→纤维滤池→紫外线消毒渠。共4条生产线,其中一期3条生产线,单条处理能力约23.4×10⁴

m³/d,共70×10⁴ m³/d;二期1条生产线,处理能力30×10⁴ m³/d。

2.2 处理水量情况

投运以来,该厂处理水量相对稳定,长期处于满负荷运行状态。根据提标前近三年的实测进水数据,日处理出水量在(80~106)×10⁴ m³/d之间,三年日均处理水量约101×10⁴ m³/d。

2.3 进、出水水质分析

该厂服务范围内主要为城市生活污水,提标前近三年实测进、出水水质见表1。可见,进水氨氮、总氮、总磷指标与原设计进水值接近,BOD₅、COD、SS略低于原设计进水值,总体较为稳定,因此提标改造工程的设计进水水质维持不变。

表1 提标前近三年实测进、出水水质

Tab.1 Measured influent and effluent quality in recent three years before upgrading

项 目		COD	BOD ₅	氨氮	SS	总磷	总氮
进水	设计进水/(mg·L ⁻¹)	400	200	35	240	4	45
	实测进水范围/(mg·L ⁻¹)	102~699	48~324	6.5~41.9	45~452	1.21~7.23	12.1~58.9
	85%保证率进水指标/(mg·L ⁻¹)	323	136	34.1	170	4.05	40.7
	90%保证率进水指标/(mg·L ⁻¹)	342	148	35.5	184	4.18	42.4
	95%保证率进水指标/(mg·L ⁻¹)	375	172	37.4	204	4.48	45.0
	实测进水均值/(mg·L ⁻¹)	265	109	28.9	130	3.49	35.7
出水	实测出水范围/(mg·L ⁻¹)	4~36	0.5~8.4	0.04~2.63	4~8	0.02~0.34	3.1~13.9
	实测出水均值/(mg·L ⁻¹)	14	2.5	0.33	5	0.13	9.6
	新地标限值/(mg·L ⁻¹)	30	6	1.5(3)	10	0.3	10
	新地标达标率/%	99.6	98.5	99.1	100	99.6	67.2

注: 括号内数值为水温≤12℃时的指标。

该厂实际运行情况较好,出水指标稳定优于一级A标准,其中BOD₅、COD、氨氮、总磷、SS的出水指标在大部分时间内能达到新地标的要求,仅总氮指标与新地标差距较大。

3 提标改造设计

3.1 设计原则及思路

① 厂区周边为建成区,没有扩建用地,需在红线内完成提标改造。

② 该厂担负着中心城区的污水处理任务,提标改造过程中不具备减产条件,需考虑采取分阶段建设的模式^[1]。

③ 根据实测出水情况,BOD₅、COD、氨氮等指标较为稳定,现有生化处理系统基本可以满足新地标的处理需求,故不考虑改造现状生化系统,可通过加强运行管理来保证出水水质稳定^[2]。

④ 厂内现有纤维滤池以去除总磷和SS为主,

要使出水总氮稳定达标,需设置反硝化深床滤池并额外补充碳源^[3-4]。

⑤ 由于厂内用地有限,采用改造现有纤维滤池+新建反硝化滤池结合的方式建设。厂内现状4座纤维滤池总过滤面积3 120 m²,设计滤速16.9~17.5 m/h,改造为滤速5.5~8.0 m/h的反硝化深床滤池后,处理能力约42×10⁴ m³/d,还需再新建58×10⁴ m³/d规模的滤池。

⑥ 虽然实测出水总磷指标较好,但改造纤维滤池为反硝化滤池后,系统除磷能力将受到影响,考虑到污水厂出水指标稳定性的需求,设置高密度沉淀池系统^[5]。

3.2 工艺流程

本次提标改造将原本接入1#~4#纤维滤池的二沉池出水改接至新建高密度沉淀池,然后分别送入改造后的1#~4#反硝化滤池(由1#~4#纤维滤池改

造)和新建的5#反硝化滤池处理,尾水经消毒后排放,消毒系统利用现有设施。具体工艺流程见图1。

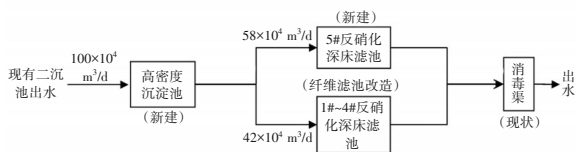


图1 提标改造工艺流程

Fig.1 Process flow chart after upgrading

3.3 主要构筑物设计

① 高密度沉淀池

新建高密度沉淀池1座,设计规模 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.3$,钢混结构,土建尺寸 $217.9 \text{ m} \times 37.0 \text{ m} \times 9.5 \text{ m}$,沉淀池内分12格,每格内设混合区、絮凝区和沉淀区。混合区峰值停留时间 2.0 min ,内设直径 2.1 m 的混合搅拌器1套;絮凝区峰值停留时间 9.2 min ,内设直径 3.5 m 的絮凝搅拌机及反应筒1套;沉淀区峰值表面负荷 $16.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,内设直径 16 m 的浓缩刮泥机1套;斜管采用乙丙共聚材质,直径 50 mm ,长度 1.4 m ,安装角度 60° 。沉淀池污泥回流比 $5\% \sim 10\%$,每格设剩余污泥及回流污泥泵共3套(2用1备),单泵流量 $180 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 200 kPa 。

② 1#~4#反硝化深床滤池(纤维滤池改造)

原纤维滤池内设有絮凝区及滤池区,设计将絮凝区改造为中间提升泵井,滤池区改造为反硝化滤池。改造后1#~4#滤池总规模 $42 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.3$ 。滤池改造维持原有分格,仅局部加高池体、配水堰,并更换滤料。其中1#~3#滤池土建尺寸 $52.04 \text{ m} \times 47.0 \text{ m} \times 8.15 \text{ m}$,每座内分12格,单格过滤面积 60 m^2 ,改造后单座规模 $9.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.3$;4#滤池土建尺寸 $52.14 \text{ m} \times 62.5 \text{ m} \times 8.15 \text{ m}$,内分16格,单格过滤面积 60 m^2 ,改造后规模 $12.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.3$ 。

鉴于滤池池体内部情况存在不确定性,为确保出水稳定,设计时滤速取值适当降低,设计峰值滤速 7.37 m/h ,平均滤速 5.67 m/h 。滤池滤料层高度 1.83 m ,采用石英砂滤料,有效粒径 $1.7 \sim 3.35 \text{ mm}$, $K_{60} < 1.4$;承托层高度 380 mm ,采用 $3 \sim 38 \text{ mm}$ 天然鹅卵石分层铺设。为避免跌水充氧,滤池按恒水位控制运行,反冲洗周期 48 h ,采用自控编程轮流冲洗。气水反冲洗过程:单独气洗 2 min ;气水同时反冲洗 10 min ;单独水洗 5 min 。其中气洗强度 $92 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水洗强度 $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。此外,滤池每隔 4 h 进行水洗驱氮,水冲时间 2 min ,冲洗强度 $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。每座滤池设1套反冲洗系统,包括反洗水泵及反洗风机各3台(2用1备),其中反洗水泵单台流量 $450 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 120 kPa ,反洗风机单台风量 $46 \text{ m}^3/\text{min}$,风压 73.5 kPa 。

③ 5#反硝化深床滤池

新建5#反硝化深床滤池1座,设计规模 $58 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $K=1.3$,钢混结构,土建尺寸 $108.74 \text{ m} \times 76.48 \text{ m} \times (11.8 \sim 18.2) \text{ m}$ 。滤池内部包含滤池、管廊、反洗综合用房、中间提升泵井、变配电间等。滤池采用双排布置,中间为管廊,共36格,单格滤池过滤面积 109.80 m^2 ,设计峰值滤速 7.95 m/h ,平均滤速 6.11 m/h 。5#滤池的滤料规格、滤层高度及反冲洗参数与1#~4#反硝化滤池一致,共设置2套反冲洗系统,各系统包括反洗水泵及反洗风机各3台(2用1备),其中反洗水泵单台流量 $823.5 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 100 kPa ,反洗风机单台风量 $110 \text{ m}^3/\text{min}$,风压 75 kPa 。

④ 碳源投加间

新建碳源投加间1座,框架结构,土建尺寸 $24.0 \text{ m} \times 18.75 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$,用于反硝化滤池的碳源投加。硝态氮去除量按 8 mg/L 设计,碳源采用乙酸钠液体(原液浓度 20%),投加量按 5.7 mg/mg 硝态氮设计。加药点共6处,其中1#~4#滤池各1处,设隔膜计量泵12台(8用4备),单泵流量 1200 L/h ,压力 0.4 MPa ;5#滤池设2处投加点,设隔膜计量泵3台(2用1备),单泵流量 6000 L/h ,压力 0.4 MPa 。

⑤ 加药间

新建加药间1座,框架结构,土建尺寸 $20.0 \text{ m} \times 22.4 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$,用于高密度沉淀池的PAC和PAM投加,PAM和PAC投加系统各设12处加药点,与12格高密度沉淀池对应。采用液体PAC($10\% \text{ Al}_2\text{O}_3$)作为絮凝剂,设计投加量为 $5 \sim 10 \text{ mg/L}$,设隔膜计量泵15台(12用3备),单泵流量 600 L/h ,压力 0.4 MPa ;PAM药剂制备浓度 $0.2\% \sim 0.5\%$,采用螺杆泵投加,单泵流量 3500 L/h ,压力 0.4 MPa ,泵后设在线稀释装置,将PAM药液浓度稀释至 0.1% 。

4 不停产实施方案

4.1 实施步骤

改造过程中,为避免影响污水厂运行,采用分阶段实施的方案(见图2)。

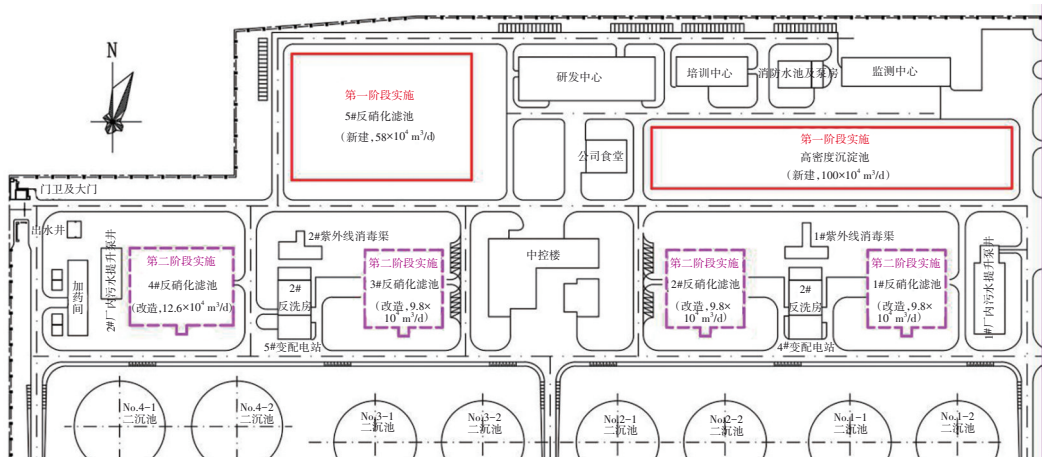


图2 分阶段实施示意

Fig.2 Schematic diagram of phased implementation

① 第一阶段,首先新建高密度沉淀池、5#滤池、碳源投加间、加药间、连通管线等设施,建设期间不影响厂内污水的正常处理。

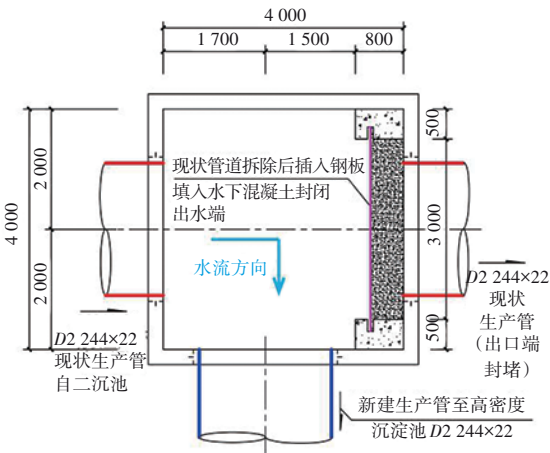
② 第二阶段,新建高密度沉淀池具备通水条件后,启动1#~4#滤池的改造,改造时的污水处理缺口可利用新建的高密度沉淀池处理。

为确保改造期间出水水质稳定,1#~4#滤池的改造逐座进行。

4.2 不停产碰管方案

改造过程中涉及新老生产管道的碰管衔接,需要在不停产的情况下完成,设计中采用修建碰管井的方式实现。

① 碰管井建设:在现状生产管拟碰管位置处建设碰管井(见图3),需接驳的新管道与碰管井同步建设,提前连通,实施过程中现状生产管仍保持工作状态。



b. 水流切换后(老管出水端封堵后)

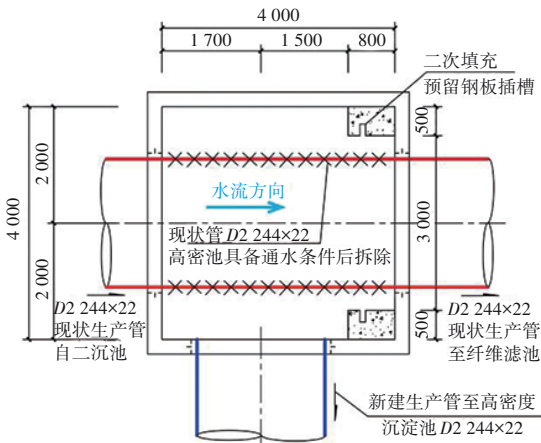
图3 碰管井示意

Fig.3 Schematic diagram of pipe-touching well

② 水流切换:待新建高密度沉淀池具备通水条件后,采用绳锯对老管道进行切割。切割后污水进入碰管井内,此时可关闭原滤池进水端闸门,将水流切换至新建管道内。

③ 管道封堵:在碰管井内老管道出水管端预留闸槽,管道切割后可插入钢板,形成闭合区域,再通过浇筑水下混凝土进行老管道出水端的封堵,完成碰管工作。

碰管井实施过程中需重点注意:①碰管井建设实施过程中现状生产管仍保持工作状态,需采取必要的保护措施,如支架、支墩、套管等;若管道埋深较深或场地周边开挖条件有限,可采用先建设逆作法支护井的方式实施。②绳锯切割前事先在生产管道上安装吊钩,以便切割后起吊;切割时需注意控制切口上宽下窄,避免卡管。③碰管井上部宜采



a. 碰管井建设阶段(老管切割前)

用开敞形式,以便管道吊运;若需采用密闭的形式,需设置排气阀,以避免影响管道过水能力。

5 运行效果及经济分析

提标改造后实测进、出水水质见表2。

表2 提标改造后实测进、出水水质
Tab.2 Measured influent and effluent quality after upgrading $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	氨氮	SS	总磷	总氮
实测进水	212~388	81~154	26~35	97~195	2.9~4.7	29~42
实测进水均值	303	117	31	157	3.8	37
实测出水	7.6~12.3	0.5~1.0	0.2~0.6	4.0~5.2	0.06~0.17	5.6~8.8
实测出水均值	10.2	0.74	0.3	4.2	0.10	7.3

提标改造后,项目出水水质稳定优于新地标,其中高密度沉淀池将出水总磷指标降低了23%(出水均值由0.13 mg/L降低至0.10 mg/L),将出水SS指标降低了16%(出水均值由5 mg/L降低至4.2 mg/L);反硝化深床滤池将出水总氮指标降低了24%(出水均值由9.6 mg/L降低至7.3 mg/L)。可以看出,通过设置高密度沉淀池和反硝化深床滤池,有效满足了高排放标准下总磷和总氮的处理需求。

提标改造项目总投资约11.2亿元,其中工程费用约8.7亿元,单位经营成本约0.42元/m³。提标改造后电耗增量约0.06 kW·h/m³,高密度沉淀池内PAC投加量约6~8 mg/L,PAM投加量约0.8~1 mg/L,反硝化深床滤池内乙酸钠投加量约23~38 mg/L。

6 结语

① 为达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016),采用了高密度沉淀池+反硝化深床滤池深度处理工艺方案,确保了出水水质稳定达标。

② 反硝化深床滤池采用改造+新建结合的方式建设,最大限度地利用了现有滤池的土建池体,既节省了投资,又解决了项目用地紧张的问题。

③ 项目采用分阶段实施方案建设,顺利实现了改造期间不减产、不降低排放标准的目标,其中碰管井的使用为管道的不停水接驳创造了条件,在同类改造项目中可以推广应用。

参考文献:

- [1] 李亮,汪德金,杨雪,等.大型污水处理厂采用MBR工艺不停产扩能提标改造[J].中国给水排水,2019,35(14):52-58.
LI Liang, WANG Dejin, YANG Xue, *et al.* Practice of reconstruction without shutdown with MBR for capacity expansion and standard upgrading in large-scale sewage treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 52-58(in Chinese).
- [2] 刘向荣,简德武,简爽.高排放标准下城镇污水处理厂的提标改造探讨[J].中国给水排水,2019,35(20):19-25.
LIU Xiangrong, JIAN Dewu, JIAN Shuang. Discussion on the upgrading of municipal wastewater treatment plant under high emission standard [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 19-25(in Chinese).
- [3] 陈爱朝,王海峰,周继,等.七格污水处理厂提标改造工程设计[J].中国给水排水,2016,32(24):118-121.
CHEN Aichao, WANG Haifeng, ZHOU Ji, *et al.* Design of upgrading and reconstruction project of Qige wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 118-121(in Chinese).
- [4] 栗文明,高敏,周军,等.反硝化滤池污水处理工艺应用调研及设计要点[J].中国给水排水,2020,36(22):100-105.
LI Wenming, GAO Min, ZHOU Jun, *et al.* Application survey and design points of the denitrification filter in wastewater treatment process [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 100-105(in Chinese).
- [5] 石春寅,彭晨,邹浩东.重庆市某污水厂不停产提标改造工程设计[J].净水技术,2021,40(8):149-154,161.
SHI Chunyin, PENG Chen, ZOU Haodong. Design of non-stop production upgrading and reconstruction project of a WWTP in Chongqing City [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 149-154, 161(in Chinese).

作者简介:廖竞萌(1986—),男,四川成都人,本科,高级工程师,从事市政给排水设计工作,曾获中国勘察设计协会优秀水系统工程一等奖。

E-mail:easyilm@qq.com

收稿日期:2022-11-24

修回日期:2023-01-10

(编辑:孔红春)