

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.22.011

西安市某污水处理厂不停产提标改造工程设计

张日霞, 王社平, 黄宁俊, 尹博涵, 王继斌
(西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068)

摘要: 西安市某污水处理厂处理规模 10×10^4 m³/d, 现状采用氧化沟+纤维转盘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由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准提升至地表水Ⅳ类标准。通过综合分析污水处理厂现状构筑物及实测进、出水水质, 充分复核生物反应池处理能力, 确定对一、二期氧化沟重新配水, 新建厌氧池从而增加一期氧化沟总水力停留时间, 同时在二沉池后设置高效沉淀池及反硝化深床滤池的工艺方案。工程总投资1.38亿元, 于2022年12月通水试车, 目前各项出水水质指标稳定达标, 可供同类污水处理厂提标改造工程参考。

关键词: 污水处理厂; 不停产; 提标改造; 地表水Ⅳ类标准

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)22-0065-07

Design of Upgrading and Renovation Project of a Sewage Treatment Plant in Xi'an without Interrupting Operation

ZHANG Ri-xia, WANG She-ping, HUANG Ning-jun, YIN Bo-han, WANG Ji-bin
(Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710068, China)

Abstract: The treatment capacity of a sewage treatment plant in Xi'an is 10×10^4 m³/d. Currently, the sewage treatment plant employs a treatment process primarily consisting of oxidation ditch combined with fiber disc filter. The ongoing upgrading and renovation project aims to enhance the effluent quality from the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) to meet quasi-class IV surface water quality standard, all while maintaining continuous operation. Based on a comprehensive evaluation of the existing configuration of the sewage treatment plant and the measured influent and effluent quality, the treatment capacity of the biological reaction tank was thoroughly reassessed. The proposed process optimization included reallocating flow distribution to the phase I and II oxidation ditches, constructing a new anaerobic tank to extend the total hydraulic retention time in the phase I oxidation ditch, and installing a high-efficiency sedimentation tank and a denitrifying deep-bed filter downstream of the secondary clarifier. The project had a total investment of 138 million yuan and was commissioned for trial operation in December, 2022. To date, all effluent quality parameters have remained consistently within regulatory standards, demonstrating its effectiveness and providing a reliable reference for the upgrading and renovation of similar wastewater treatment facilities.

Key words: sewage treatment plant; without interrupting operation; upgrading and renovation; quasi-class IV surface water quality standard

1 项目背景

根据《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》(国发[2015]17号)、《陕西省黄河流域污水综合排放标准》(DB61/224—2018)、《水污染防治行动计划》以及《西安市城镇污水处理厂再生水化提标改造和加盖除臭工程三年行动方案(2018—2020年)》,从2018年开始,新建、扩建的城镇污水处理厂出水执行地表水Ⅳ类标准,同时完成对28座现状城镇污水处理厂的提标改造。在此背景下,西安市某污水处理厂于2020年启动提标改造工作。

2 污水处理厂现状

该污水处理厂一、二期工程位于西部大道与皂河交会处西南侧,占地面积7.13 hm²,处理规模10×10⁴ m³/d,污水处理采用“粗格栅及提升泵房+细格栅+旋流沉砂池+改良型卡鲁塞尔氧化沟+二沉池+二次提升泵房及纤维转盘滤池+次氯酸钠消毒”工艺,污泥处理采用“带式浓缩一体机+污泥低温干化”工艺,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。三、四期工程位于西部大道与皂河交会处东南侧,与此次提标污水处理厂独立运行。

3 提标改造原则及重点、难点分析

3.1 提标改造原则

该项目在运行现状的基础上,从工艺、水力及设备等方面考虑,提标改造需遵循以下原则:①充分挖掘现有构筑物的运行潜力;②尽量采用节地的工艺或建设形式,使土地价值最大化;③在改造中尽量维持全厂平面及水力布局的合理统一;④综合考虑经济、用地及提标要求,在确保水质、水量达标的情况下,采用不停产改造方案。

3.2 重点、难点分析

① 该污水处理厂用地指标仅0.71 m²/(m³·d⁻¹),

远低于《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)中1.30 m²/(m³·d⁻¹)的占地标准。现场用地较为紧张,提标改造工艺选择限制较多,如何在有限的用地范围内解决升级改造所需用地问题,是该项目面临的一大难点。

② 为减少对受纳水体的污染,改造期间尽可能减少停水,保证污水处理厂的正常运行。

③ 该工程采用完全硝化反硝化生物脱氮工艺,氮的去除主要通过硝化及反硝化菌的生物作用实现^[1],因此,对生化系统进行复核并改造,提升脱氮效率,使出水NH₃-N和TN稳定达标是此次提标改造的难点和重点。

3.3 系统分析

① 预处理系统

预处理包括粗格栅及提升泵房、细格栅及旋流沉砂池。现状构筑物土建满足10×10⁴ m³/d处理规模的要求,此次对其设备进行更新,并重新构建电气及自控系统。采用高效、无堵塞的变频水泵,提高输水能力和效率;采用新型粗、细格栅及除砂设备,提高预处理能力,使污水处理厂稳定运行,节能降耗并降低设备检修率。

② 生化处理系统

一、二期卡鲁塞尔氧化沟进水规模均为5.0×10⁴ m³/d。一期氧化沟厌氧区、缺氧区与好氧区有效容积分别为2 090、4 210与21 500 m³,其水力停留时间对应为1.0、2.0与10.4 h,总水力停留时间为13.4 h。二期氧化沟厌氧区、缺氧区与好氧区有效容积分别为3 000、9 000与29 300 m³,其水力停留时间对应为1.44、4.32与14.00 h,总水力停留时间为19.76 h。

该厂服务范围内主要为城市生活污水,提标前近一年实测进、出水水质见表1。

表1 提标前近一年实测进、出水水质

Tab.1 Measured influent and effluent quality in recent one year before upgrading

mg·L⁻¹

项目		COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水	范围	269~742	89~352	32~71	46~87	2.7~12.6	218~459
	平均值	438	128	40	53	4.4	364
出水	范围	13~29	3.2~5.0	0.2~2.5	5.1~15.8	0.07~0.29	6.2~9.8
	平均值	20	4.0	1.0	10.0	0.20	8.0

由表1可知,进水水质范围波动较大,此次采用90%保证率修正设计进水水质。该厂实际运行情

况较好,其中出水TN超标率为22.16%,出水NH₃-N超标率为0.60%,其余指标基本接近或满足地表水

准IV类标准。

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)第7.6.24条,延时曝气氧化沟水力停留时间 ≥ 16 h。一期氧化沟水力停留时间较规范值低2.6 h,而二期较规范值高3.76 h。针对水力停留时间差异,对一、二期氧化沟的水量重新进行调配。

现状化学除磷投加点为氧化沟好氧区末端,除磷效率较低,且除磷剂进入二沉池会导致部分化学污泥随回流污泥进入氧化沟,影响污泥活性。

③ 污泥处理系统

现状污泥处理采用带式浓缩一体机,使用年限较长,故障频繁,脱水效率低,已无法满足污泥含水率 $\leq 60\%$ 的要求。2021年7月新增1套35 t/d(含水率60%,下同)的污泥低温干化设备,实际污水处理厂污泥产量为60~80 t/d。此次将污泥脱水机房全部拆除新建,并保留低温干化设备。

④ 深度处理系统

现状深度处理系统采用纤维转盘滤池,处理能力有限,考虑用地紧张问题,此次将其拆除。

4 提标改造工程设计

4.1 水量预测

对2020年7月—2021年7月的进水量进行监测发现,最高日进水量为 9.43×10^4 m³/d,最低日进水量为 7.06×10^4 m³/d,平均日进水量为 8.56×10^4 m³/d。确定提标改造规模仍维持 10×10^4 m³/d, $K_z=1.3$ 。

4.2 改造后设计进、出水水质

2020年7月—2021年7月进水COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP及SS浓度的累计频率统计分析结果见表2。

表2 进水水质累计频率统计

Tab.2 Cumulative frequency statistics of influent quality mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
平均值	438	128	40	53	4.4	364
90%保证率	700	250	43	68	9.0	400

根据实际进水水质平均值可知, BOD₅/COD约为0.29,可生化性一般; BOD₅/TN约为2.42,碳源相对不足,厂区运行部分时段为确保TN达标,需外加碳源; BOD₅/TP约为29.1,深度处理单元需采用化学除磷强化除磷效果。

通过分析污水处理厂实际进水水质,同时参考

同区域污水水质情况并适当考虑其随城市经济发展变化的趋势,最终确定提标改造工程设计进、出水水质,具体如表3所示。其中,进、出水pH均为6~9。

表3 提标改造工程设计进、出水水质

Tab.3 Design influent and effluent quality of upgrading and renovation project

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水/(mg·L ⁻¹)	700	250	43	68	9.0	400
出水/(mg·L ⁻¹)	≤ 30	≤ 6	$\leq 1.5(2.5)$	≤ 12	≤ 0.3	≤ 10
去除率/%	96	98	97(94)	82	97	98

注: 括号外数值为水温 >12 °C时的控制指标,括号内数值为水温 ≤ 12 °C时的控制指标。

4.3 污水处理工艺

一期氧化沟增加厌氧池,深度处理采用“二次提升泵房+高效沉淀池+反硝化深床滤池+接触消毒池”工艺,出水采用次氯酸钠消毒,污泥处理采用“叠螺污泥浓缩机+隔膜压滤机脱水”工艺。提标改造工艺流程见图1。

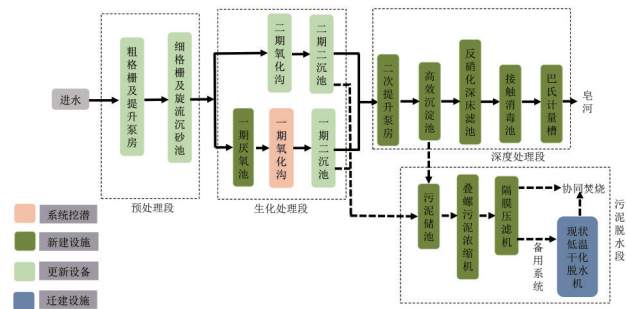


图1 提标改造工艺流程

Fig.1 Process flow chart of upgrading and renovation project

4.4 主要处理构筑物设计

改造旋流沉砂池配水端及一期氧化沟;新建一期厌氧池、二次提升泵房及高效沉淀池、反硝化深床滤池、接触消毒池以及工艺管道,规模均按高日高时设计流量计算;根据高日高时污水流量计算的污泥量确定污泥处理构筑物规模。

4.4.1 旋流沉砂池配水端改造

提标改造前旋流沉砂池出水通过2条尺寸相同的渠道分别向一、二期氧化沟等量配水,此次将出水端改造为直动式钢制调节堰门,采用可移动T型分水板将一、二期氧化沟进水量分别调整为 4.5×10^4 与 5.5×10^4 m³/d。

改造前后一、二期氧化沟配水见图2。

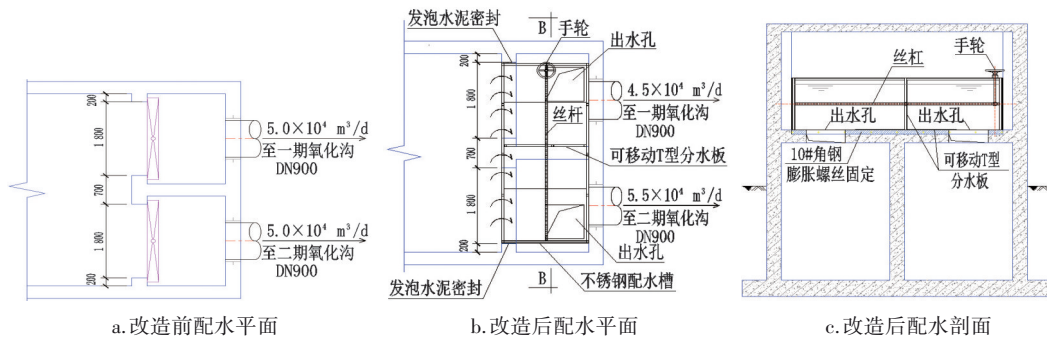


图 2 改造前后一、二期氧化沟配水示意

Fig.2 Schematic diagrams of flow distribution in phase I and II oxidation ditches before and after renovation

4.4.2 氧化沟改造

① 一期氧化沟

一期氧化沟处理规模调整为 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。此次在其东侧新建 1 座厌氧池,半地下钢筋混凝土结构,平面尺寸 $36.0 \text{ m} \times 18.0 \text{ m}$,有效水深 6.08 m 。一

期氧化沟内新增内回流泵 3 台(2 用 1 备,库备),单台流量 $3\,200 \text{ m}^3/\text{h}$,功率 18.5 kW 。内回流液由好氧区末端经新增内回流泵提升至改造后缺氧区(原缺氧区)。

一期氧化沟改造平、剖面见图 3。

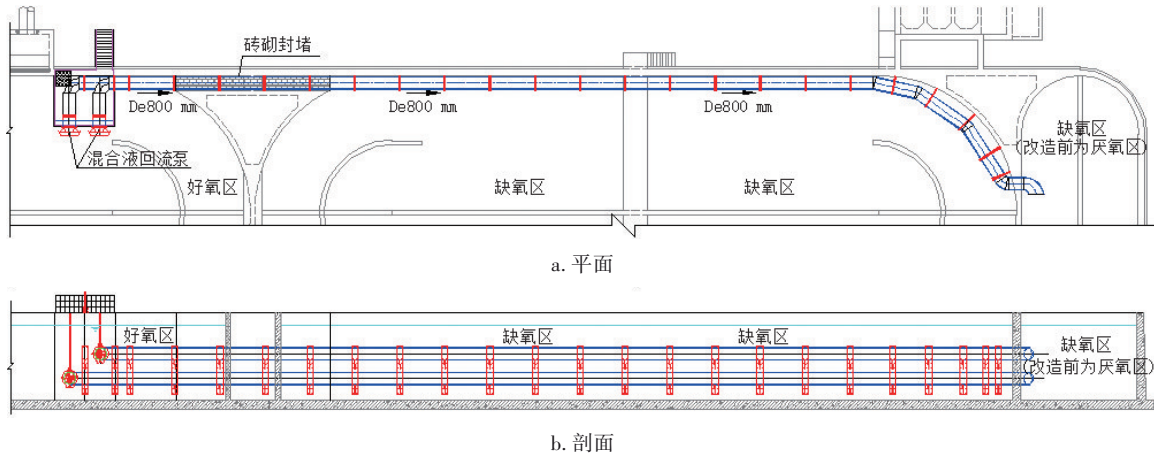


图 3 一期氧化沟改造平、剖面示意

Fig.3 Schematic diagrams of plan and cross-section of phase I oxidation ditch after renovation

其中,新建厌氧池有效容积约 $3\,927 \text{ m}^3$,停留时间 2.00 h ;改造后缺氧区有效容积约 $6\,300 \text{ m}^3$,停留时间 3.36 h ;好氧区有效容积约 $21\,500 \text{ m}^3$,停留时间 11.47 h ,总水力停留时间 16.83 h 。

② 二期氧化沟

二期氧化沟处理规模调整为 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,厌氧区、缺氧区、好氧区的水力停留时间分别调整为 $1.30, 3.93, 12.80 \text{ h}$,总水力停留时间 18.03 h 。

③ 核算最冷月两期氧化沟出水 TN

脱氮速率 $K_{de(T)}$ 的计算见下式:

$$K_{de(T)} = K_{de(20)} \cdot 1.08^{(T-20)} \quad (1)$$

式中: T 为设计温度,最冷月取 $10 \text{ }^\circ\text{C}$; $K_{de(T)}$ 为设计温度 T 时的脱氮速率,宜根据试验资料确定,当

无资料时,按此公式进行温度修正,其中, $K_{de(20)}$ 取 $0.05 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。

经计算, $K_{de(10)} = 0.023 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。排出生物反应池系统的微生物量 ΔX_v 的计算见下式:

$$\Delta X_v = Y \frac{Q(S_0 - S_e)}{1\,000} \quad (2)$$

式中: Y 为污泥产率系数,宜根据试验资料确定,当无资料时,可取 $0.3 \sim 0.6 \text{ kgVSS}/\text{kgBOD}_5$,此次取 $0.5 \text{ kgVSS}/\text{kgBOD}_5$; Q 为生物反应池的设计流量,一、二期氧化沟分别为 $4.5 \times 10^4, 5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; S_0 为生物反应池进水 BOD_5 浓度,一、二期氧化沟均为 250 mg/L ; S_e 为生物反应池出水 BOD_5 浓度,一、二期氧化沟均为 6 mg/L 。

经计算,一、二期氧化沟的 ΔX_v 分别为5 490、6 710 kgMLVSS/d。生物反应池出水总氮浓度 N_{te} 的计算见下式:

$$N_{te} = N_k - \frac{V_n K_{de} X + 0.12 \Delta X_v}{0.001 Q} \quad (3)$$

式中: V_n 为缺氧区容积,一、二期氧化沟分别为6 300、9 000 m^3 ; N_k 为生物反应池进水总凯氏氮浓度,一、二期氧化沟均为68 mg/L; X 为生物反应池内混合液悬浮固体平均浓度,一、二期氧化沟均为6.5 gMLSS/L。

经计算,在水温10℃的最冷月,一期氧化沟出水TN为32 mg/L,二期氧化沟出水TN为29 mg/L。

4.4.3 二次提升泵房及高效沉淀池

二次提升泵房与高效沉淀池合建。二次提升泵房为全地下钢筋混凝土结构,集水池平面尺寸12.00 m×7.25 m,有效水深3.35 m,设置4台轴流泵(3用1备,其中1台变频),单台流量1 800 m^3/h ,功率60 kW。

4.4.4 反硝化深床滤池

设置1座反硝化深床滤池,分8格,单格平面尺寸为24.40 m×3.56 m,有效水深为4.67 m,单格有效过滤面积为86.75 m^2 ,表面水力负荷为7.78 $m^3/(m^2 \cdot h)$,反硝化负荷为2.5 $kgNO_3^- - N/(m^3 \cdot d)$ 。滤料总体积为937.5 m^3 ,反冲洗周期为24 h,水冲强度为20 $m^3/(m^2 \cdot h)$ (每格1次按30 min计),气冲强度为100 $m^3/(m^2 \cdot h)$ (每格1次按25 min计)。采用生物陶粒作为反硝化生物的挂膜介质,保障 $NO_3^- - N$ 及悬浮物的去除。滤料厚1.5 m,粒径2.5 mm,采用乙酸钠作为补充碳源。

按照下式复核设计出水TN浓度:

$$V = \frac{Q_{MAX}(N_a - N_t)}{1\,000q} \quad (4)$$

式中: V 为滤池容积, m^3 ; Q_{MAX} 为最大设计流量,取 $13 \times 10^4 m^3/d$; N_a 为设计进入滤池的 $NO_3^- - N$ 浓度,按照32 mg/L计; N_t 为设计流出滤池的 $NO_3^- - N$ 浓度,mg/L; q 为滤料的反硝化负荷,一般为0.8~4.0 $kgNO_3^- - N/(m^3 \cdot d)$,取3.05 $kgNO_3^- - N/(m^3 \cdot d)$ 。

经计算, $N_t=10$ mg/L。因此,经深度处理后可满足最冷月出水TN ≤ 12 mg/L的要求。考虑环保发展大趋势,为将来提标改造预留空间,力争后期仅通过改变运行参数达到水质二次提标目的,在反硝化深床滤池进水端设置PAC后混凝在线混合装置,实

现微絮凝。

4.4.5 接触消毒池

接触消毒池与巴氏计量槽合建,半地下钢筋混凝土结构,平面尺寸34.55 m×22.40 m,有效水深4.85 m,接触时间42 min。

4.4.6 污泥脱水机房

污泥脱水机房为2层框架结构,建筑轴线尺寸45.6 m×24.3 m,建筑高度18.30 m。湿污泥处理量为7 500 m^3/d ,含水率99.6%,脱水后泥饼含水率 $\leq 60\%$,干污泥体积75 m^3/d 。设置2台叠螺污泥浓缩机(1用1备),单台处理量800~1 350 kg/h,工作时长为20 h/d;设置2台高压厢式隔膜压滤机(1用1备),过滤面积800 m^2 ,工作时长为20 h/d。现状低温干化设备作为备用继续保留。

5 不停产实施方案

为尽量减少对受纳水体的污染,尽可能保证污水处理厂在改造期间正常运行,该工程采用不停产施工方案。此次改造分别从水线、泥线以及新老管道碰口3个方面考虑。污水处理厂原平面布置如图4所示。

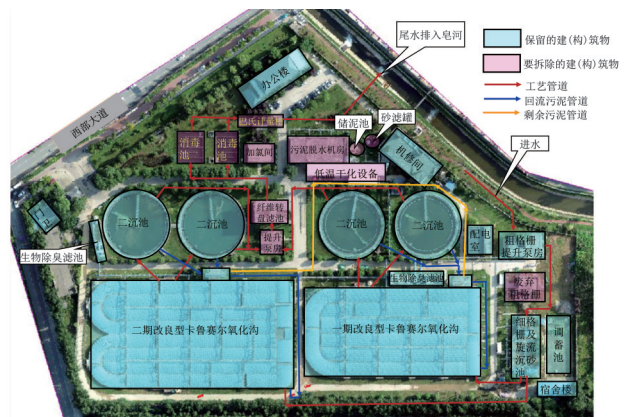


图4 污水处理厂原平面布置示意

Fig.4 Schematic of original plan layout of the WWTP

5.1 水线

① 新建临时工艺管道与临时巴氏计量槽,现状纤维转盘滤池出水通过临时工艺管道排至临时巴氏计量槽并投加次氯酸钠消毒,保证提标改造期间尾水执行GB 18918—2002中一级A标准,而后排入皂河。同时新建第1批工艺管道分别至4座现状二沉池、新建的二次提升泵房前,但此时管道并未与构筑物连通。新建临时工艺管道及巴氏计量槽布置如图5所示。

河东、西两岸的污水处理厂,输泥管道过皂河时在天桥梁底悬吊敷设,采用钢管,并做内外防腐,管道外敷保温层。污泥脱水机房修建完成后,关闭输泥管道阀门,该输泥管道继续保留,供后期污水处理厂之间调泥使用。

6 运行效果及经济分析

该工程于2022年12月通水试车,经1个多月的调试,2023年实现稳定运行。2023年1月—2024年4月的进、出水水质见表4。出水水质达到地表水Ⅳ类标准,实现了提标改造目标。

表4 提标改造后实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality after upgrading and renovation

项目		COD	NH ₃ -N	TN	TP	SS
进水/(mg·L ⁻¹)	范围	200~764	11.96~76.79	24.00~80.00	1.56~8.92	220~500
	平均值	438	42.15	53.21	4.41	384
出水/(mg·L ⁻¹)	范围	5.37~28.64	0.48~1.50	3.04~13.53	0.10~0.28	2.5~7.5
	平均值	15.78	0.71	8.13	0.13	3.7
去除率/%		96	98	85	97	99

工程总投资1.38亿元,其中工程费1.18亿元,提标改造后单位经营成本增加约0.75元/m³,电耗增量约0.06 kW·h/m³。2023年1月—2024年12月向反硝化深床滤池中投加乙酸钠104.96 t,投加时间集中在10月—3月,此期间乙酸钠投加量为60 mg/L;高效沉淀池的PAC投加量约7~10 mg/L,PAM投加量约0.3~0.6 mg/L。

7 结语

① 分析现有设备的运行情况,对无法满足使用要求的电气设备与自控仪表进行更新,重新构建自动化控制系统,实现污水处理厂数字化管理。

② 复核一、二期氧化沟的生物处理能力,优化两期生物处理系统的配水比例;新建一期氧化沟厌氧池,将现状厌氧区调整为缺氧区,改造后两期生物处理系统的水力停留时间均满足规范要求。深度处理采用“高效沉淀池+反硝化深床滤池”工艺。

③ 采用不停产施工方案,顺利实现了改造期间不减产、不降低排放标准的目的。其中,施工工序及阀门井与“炮楼”检查井相结合的碰管形式,可在同类改造项目中推广应用。

④ 实践证明,此次针对该污水处理厂的提标改造工艺具有污染物去除率高、处理效果稳定、抗冲击性强、运行成本低等优点,在城镇污水处理厂提标改造工程中具有应用前景。

参考文献:

[1] 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).

作者简介:张日霞(1983-),女,内蒙古集宁人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),西安市优秀青年勘察设计师,陕西省工程建设标准专家库专家,主要从事污水处理、海绵城市及市政管网设计工作。

E-mail:115709695@qq.com

收稿日期:2023-08-30

修回日期:2025-03-13

(编辑:沈靖怡)