



DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.10.009

污水处理厂深度处理段集约化设计

景兆华, 贾恒松, 王斌, 雷克刚, 石凤
(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 浦江县污水处理厂(一厂)总处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 由于厂区用地受限, 深度处理段采用集约化设计方案。将中间提升泵房、高效沉淀池、碳源混合池、反硝化深床滤池、接触消毒池、废水调节池、反冲洗鼓风机房、反冲洗水泵房、厂区回用水泵房、出水监测站房、变配电室进行了合建, 构筑物之间通过水连渠及孔洞进行连接, 节约用地, 节能减碳, 出水水质稳定达到浙江省《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)中现有城镇污水处理厂主要水污染物排放限值, 可为地上式污水处理厂深度处理段的集约化设计提供借鉴。

关键词: 深度处理; 集约化设计; 污水处理厂

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)10-0058-06

Intensive Design of Advanced Treatment Section of Wastewater Treatment Plant

JING Zhao-hua, JIA Heng-song, WANG Bin, LEI Ke-gang, SHI Feng
(CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: The total treatment capacity of Pujiang wastewater treatment plant (plant 1) is $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. Due to the limited land use of the plant, the intensive design scheme is adopted for the advanced treatment. The intermediate lifting pump room, high efficiency sedimentation tank, carbon source mixing tank, denitrification deep bed filter, contact disinfection tank, wastewater regulation tank, backwashing blower room, backwashing water pump room, water reuse pump room, effluent monitoring station room, and transformer and distribution room are co-constructed, the structures are connected through water channels and holes, which can save land, save energy and reduce carbon, and the effluent quality stably meets the discharge limits of major pollutants from existing urban wastewater treatment plant as specified in the *Discharge Standard of Major Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant*(DB 33/2169-2018) of Zhejiang Province. It can provide practical engineering reference for the intensive design of the advanced treatment section of the above-ground wastewater treatment plant.

Key words: advanced treatment; intensive design; wastewater treatment plant

随着城市化的快速发展和污水排放标准的提高,许多城镇污水处理厂亟需进行扩容及提标,厂区构(建)筑物的种类及数量不断增加,用地需求持续攀升。在满足污水处理工艺要求的前提下,如何科学合理地使用土地,解决好扩容及提标用地与现

有厂区有限预留用地的关系,已成为亟待解决的难题之一。通过总结地上式污水处理厂深度处理段集约化设计案例,提出了一种节约占地的方案,为地上式污水处理厂提高土地利用、节能减碳提供了思路,可供相关工程借鉴。

1 工程概况

浦江县污水处理厂(一厂)收集处理城区生活污水以及部分工业废水,经过多次扩容及提标后,现状污水处理规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。现状污水处理流程为进水→粗格栅→提升泵房→细格栅→旋流沉砂池→初沉池→水解酸化池→AAO生物池→二沉池→机械搅拌澄清池→纤维转盘滤池→紫外线消毒→外排河道,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。污泥处理规模为15 tDS/d,污泥脱水至含水率 $\leq 60\%$ 后外运处置。

随着污水量的增加以及出水水质要求的提高,需对现状污水厂进行扩容提标。经分析,扩容提标工程污水处理规模将增至 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行浙江省《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)中现有城镇污水处理厂主要水污染物排放限值。

2 工程方案

2.1 设计进、出水水质

设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	400	150	240	20	35	5
设计出水 ^①	≤ 40	≤ 10	≤ 10	$\leq 2(4)$	$\leq 12(15)$	≤ 0.3
现状出水 ^②	≤ 50	≤ 10	≤ 10	$\leq 5(8)$	≤ 15	≤ 0.5

注: ①括号内数值为每年11月1日一次年3月31日执行标准。②括号外数值为水温 $> 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的控制指标,括号内数值为水温 $\leq 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的控制指标。

2.2 扩容提标思路

扩容提标工程需结合实际水质、污水处理厂现有设施及预留用地综合考虑,全厂工艺整体协同,分段改造、节约投资、节省用地。

扩容后现状提升泵房水泵及粗格栅不能满足要求,需更换,土建可利用;细格栅、旋流沉砂池经核算后土建及设备利旧;扩容后现状初沉池表面水力负荷为 $2.17 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,满足要求,土建及设备利旧。

污水厂扩容提标后,主要污染物需在生物系统内去除,因此应充分利用现状AAO生物池及水解酸化池池容,通过厌氧、缺氧、好氧的合理分区,可确

保生物池出水COD、BOD₅、NH₃-N等3项指标稳定达标,出水TN基本达标。由于现状水解酸化池在实际运行中效果不佳,故将其改造为AAO生物池的一部分。按扩容至 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模测算,生物池总停留时间约18.4 h,可基本满足生物处理要求,同时为了保证TN的稳定达标,在深度处理系统中需考虑采取脱氮措施。现状二沉池有2座,单座直径 $\varnothing 55 \text{ m}$,扩容后表面水力负荷为 $1.14 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,虽然表面水力负荷尚可,但堰口负荷 $[3.58 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})]$ 远远超出《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中的最大负荷 $[1.7 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})]$ 。若新增1座二沉池,虽能有效降低水力负荷,提高二沉池的出水效果,但存在4座生物池与3座二沉池联合运行的诸多不利,如水量、回流污泥分配困难,现状进出水管线改造量大等。此外,现状厂区内预留用地较少,无法满足同时新建二沉池、深度处理构筑物的需求。考虑到二沉池主要起泥水分离作用,其出水SS并不影响生物系统的正常运行,故不再新增二沉池,在深度处理段采取措施保证其出水SS达标即可。

2.3 深度处理工艺选择及流程

现状机械搅拌澄清池1座分3组,上升流速为 1.29 mm/s ,扩容后上升流速为 1.61 mm/s ,仍在可接受范围,但存在一定风险。根据运营方反馈,机械搅拌澄清池运行效果一般,除磷效果不佳,为保证扩容提标后TP及SS的去除效果,将其降产至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。考虑到厂区预留用地有限,新增1座占地小、除磷效率较高的高效沉淀池^[1],设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。现状纤维转盘滤池在实际运行时反冲洗频繁且不彻底,由于扩容后污水量的增加和排放标准的提高,出水SS不能满足要求。为保证出水TN及SS稳定达标,新增1座高效脱氮的反硝化深床滤池^[2]代替现状纤维转盘滤池,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。除磷药剂利用现状PAC投加系统投加,同时为保证机械搅拌澄清池及高效沉淀池的絮凝效果,拆除现状纤维转盘滤池,新增PAM投加系统。

出厂尾水部分进行回用,由于对回用水水质有余氯浓度的要求,需加氯消毒,并保证足够的接触时间^[2]。新增1座接触消毒池代替紫外线消毒,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,将原有紫外线消毒系统拆除。由于尾水排放利用原有出水口,为保证后续深度处理的自由水头,增加了中间提升泵房,采用立式轴流泵以节约占地。

扩容提标污水处理工艺流程为进水→粗格栅(更换设备)→提升泵房(更换设备)→细格栅(利旧)→旋流沉砂池(利旧)→初沉池(利旧)→AAO生物池(改造)→二沉池(利旧)→中间提升泵房(新增 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→机械搅拌澄清池(降产至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)/高效沉淀池(新增 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→反硝化深床滤池(新增 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→接触消毒池(新增 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)→外排河道及回用。扩容及提标后干泥量为 $23 \text{ tDS}/\text{d}$,污泥脱水至含水率 $\leq 60\%$ 后外运处置。

3 深度处理段集约化设计

3.1 现状分析及集约化设计思路

现状厂区预留用地面积为 $6\ 105 \text{ m}^2$,周边需保留运输及消防道路用地(4 m宽),无法满足单体构筑物分散布置的要求,需将各单体组合布置,充分利用平面与竖向空间。为此,将深度处理段进行了集约化设计。其中,反硝化深床滤池在深度处理段占地最大,平面布置中以反硝化深床滤池的宽度为基准,按照水流方向将高效沉淀池、反硝化深床滤池、接触消毒池等构筑物合建。深度处理段上、下层布置形式分别见图1、2。

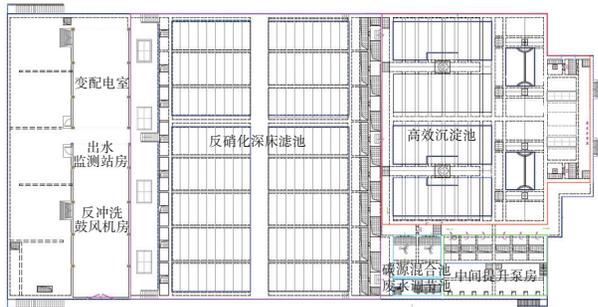


图1 深度处理段上层布置

Fig.1 Upper layer layout of the advanced treatment section

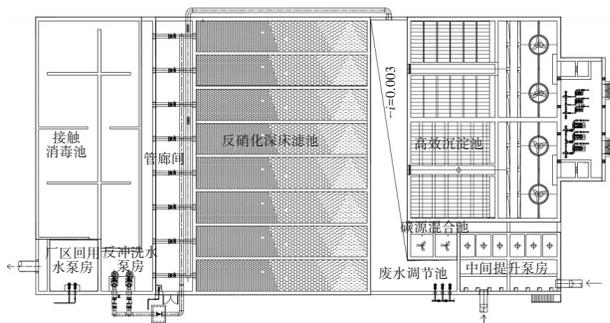


图2 深度处理段下层布置

Fig.2 Lower layer layout of the advanced treatment section

由于高效沉淀池的规模较其他构筑物小,宽度方向尚有部分可用地,因此因地制宜地将中间提升泵房、碳源混合池、废水调节池与高效沉淀池进行合建,合建后总宽度与反硝化深床滤池一致。具体形式分别见图1~3。

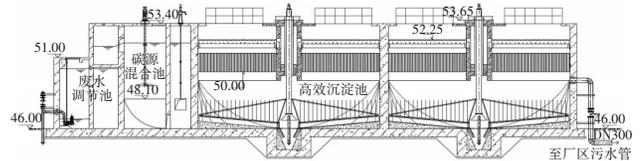


图3 高效沉淀池剖面

Fig.3 Section of the high efficiency sedimentation tank

反冲洗鼓风机房、出水监测站房、变配电室均为建筑物,将其进行联建,中间预留2 m宽检修及通道。接触消毒池内无设备,上部空间可充分利用,故将上述三者联建后与接触消毒池叠建。具体形式分别见图1、4、5。

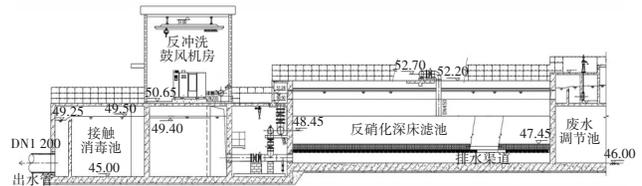


图4 反冲洗系统及反硝化深床滤池剖面

Fig.4 Section of the backwashing system and the denitrification deep bed filter

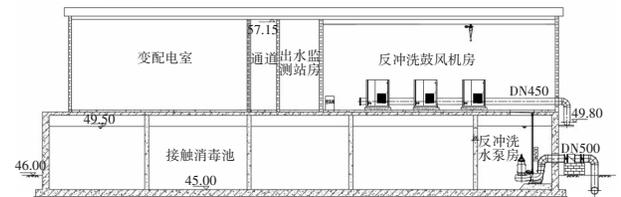


图5 接触消毒池剖面

Fig.5 Section of the contact disinfection tank

高效沉淀池出水渠道与反硝化深床滤池进水渠道合建,共用底板,下部空间布置废水调节池进行叠建。具体形式分别见图2、6。

由于回用水泵房仅服务厂区内用水,设备数量不多,将其与接触消毒池合建(见图2)。考虑到就近利用反冲洗水源,将反冲洗水泵房与接触消毒池合建。为保证反冲洗水泵的水量,在反冲洗水泵房后段设置溢流堰。反冲洗水泵吊装孔布置在反冲洗鼓风机房内,可以共用电动单梁悬挂桥式起重机进行吊装(见图2、5)。集约化设计可以大大缩短构

建筑物之间的距离,提高土地利用效率,节约占地及投资。

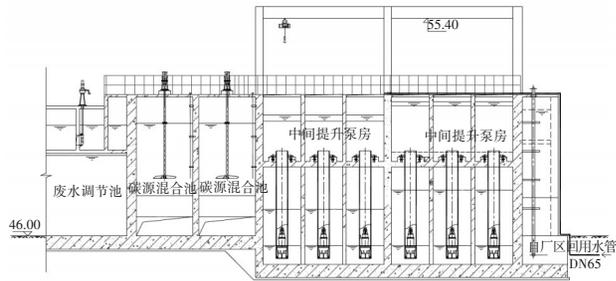


图6 废水调节池及中间提升泵房剖面

Fig.6 Section of the wastewater regulation tank and the intermediate lifting pump room

集约化设计中按照水流方向将中间提升泵房、高效沉淀池、碳源混合池、反硝化深床滤池通过过水连渠及孔洞进行连接;反硝化深床滤池出水通过管廊间出水管直通接触消毒池;反冲洗水管、反冲洗气管、废水回用管沿组合池体就近接入。单体间利用过水连渠及孔洞或尽可能短的管道连通,提高了土地利用效率,减少了构筑物间管路损失,节能降耗,减少了碳排放。深度处理段集约化设计后,各单体池体顶部连接为一个整体,便于运营人员巡检和维护。

3.2 中间提升泵房设计

现状机械搅拌澄清池与新建高效沉淀池出水不能自流进入反硝化深床滤池的配水端,需将其提升。由于两种处理构筑物池深不一致,综合考虑整个组合池体的埋深、施工难易程度、水头损失、造价等因素,设置中间提升泵房1座分2格,1格提升机械搅拌澄清池出水,1格提升高效沉淀池进水,规模均为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。每格安装立式轴流泵3台(2用1备),单台 $Q=1\,354 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=85 \text{ kPa}$ 、 $N=37 \text{ kW}$,变频运行。中间提升泵房的出水通过过水连渠与高效沉淀池、碳源混合池连接(见图1、6)。

3.3 高效沉淀池设计

高效沉淀池1座分2组,左右对称,单组由混合池、反应池、斜管沉淀池串联而成。混合池采用两级机械混合,共2格,串联运行,单格混合时间为 0.56 min ,每格安装快速混合器1台,直径为 800 mm ,功率为 5.5 kW ;反应池采用机械搅拌,水力停留时间为 18.14 min ,每组安装搅拌器1台,直径为 $2\,035 \text{ mm}$,功率为 4.0 kW ;沉淀池采用斜管沉淀,表

面水力负荷为 $10.21 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,每组安装中心传动浓缩机1台,直径为 13 m ,功率为 1.1 kW 。为保证SS及TP的去除效果,投加10%的PAC溶液,投加量为 $15 \sim 40 \text{ mg/L}$,每组设置1个投加点,投加于第1级混合池;投加0.3%的PAM,投加量为 1 mg/L ,每组设置1个投加点,投加于第2级混合池。在进水配水渠下方布置污泥回流及外排泵房,为减小泵房面积,污泥泵均采用转子泵;污泥回流比取5%,回流污泥泵3台(2用1备),单台 $Q=65 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=300 \text{ kPa}$ 、 $N=15 \text{ kW}$;剩余污泥泵3台(2用1备),单台 $Q=12 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=300 \text{ kPa}$ 、 $N=3.0 \text{ kW}$ 。2组高效沉淀池共用出水渠道,出水通过过水连渠与碳源混合池连接(见图1)。

3.4 反硝化深床滤池及碳源混合池设计

反硝化深床滤池采用下向流,共1座分8格,单格面积为 97.65 m^2 ,每格通过配水堰均匀进水,容积负荷为 $0.38 \sim 0.50 \text{ kgNO}_3^-/\text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,滤床厚度为 2.10 m ,滤料采用高等级天然石英砂,直径范围为 $2.0 \sim 3.0 \text{ mm}$,均匀系数 <1.35 ,球形度 >0.80 。承托层采用天然鹅卵石,粒径为 $3 \sim 38 \text{ mm}$,不均匀系数 ≤ 1.4 。正常运行时平均滤速为 5.33 m/h ,最大滤速为 6.93 m/h ,1格反冲洗时最大滤速为 7.92 m/h 。反硝化深床滤池出水通过管廊间的出水管以最短距离流入接触消毒池(见图2、4)。反硝化深床滤池根据出水水质可调整运行方式,单纯过滤时采用变水位运行;脱氮过滤时采用恒水位运行,可降低进水溶解氧浓度,节省碳源,系统自动驱氮周期根据水质情况确定,频率约 $3 \sim 4 \text{ h}$ 一次。

为保证反硝化菌对碳源的需求,在碳源混合池内设置投加点。碳源混合池共1座分2组,并联运行,分别对机械搅拌澄清池、高效沉淀池出水进行碳源混合,单组混合时间为 45 s ,每组安装快速混合器1台,直径为 $1\,500 \text{ mm}$,功率为 5.5 kW 。出水通过过水连渠流至反硝化深床滤池配水渠(见图2、3)。

3.5 接触消毒池设计

接触消毒池与反硝化深床滤池合建(见图2、4)。消毒剂采用成品次氯酸钠,为保证消毒效果,次氯酸钠有效接触时间取 31 min ,确保出水粪大肠菌群数 $\leq 1\,000 \text{ 个/L}$ 。为减少反冲洗水源对微生物的影响,次氯酸钠投加点设在反冲洗水泵房溢流堰后。

3.6 反冲洗鼓风机房及反冲洗水泵房设计

反硝化深床滤池在运行过程中,生物体的繁殖

以及悬浮固体的截留会逐渐堵塞滤床^[3],需要定期对滤池进行反冲洗,反冲洗方式为气冲洗-气水同时冲洗-水冲洗。反冲洗时单独气冲洗强度为25 L/(m²·s),冲洗时间为3 min;气水联合冲洗时气冲洗强度为25 L/(m²·s),水冲洗强度为4.17 L/(m²·s),冲洗时间为3~5 min;单独水冲洗强度为4.17 L/(m²·s),冲洗时间为5 min;反冲洗频率为1次/48 h。

反冲洗鼓风机房布置在接触消毒池上方(见图1、5),平面尺寸为17.1 m×7.6 m,层高6.5 m,采用螺杆式鼓风机3台(2用1备),单台参数为 $Q=74\text{ m}^3/\text{min}$, $H=69\text{ kPa}$, $N=110\text{ kW}$ 。设置空压机2台(1用1备),单台 $Q=0.83\text{ m}^3/\text{min}$, $H=800\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$,为反硝化深床滤池气动阀提供气源,配套吸附式干燥器、过滤器、储气罐、压缩空气管道等附件。考虑鼓风机吊装方便,设置电动单梁悬挂桥式起重机1套。反冲洗水泵房布置在反冲洗鼓风机房下方(见图2、5),在接触消毒池前段隔出5.4 m×7.0 m空间安装反冲洗水泵,采用自耦式潜污泵2台(1用1备),单台 $Q=1\,500\text{ m}^3/\text{h}$, $H=60\text{ kPa}$, $N=45\text{ kW}$ 。

3.7 废水调节池设计

废水调节池利用反硝化深床滤池配水渠下方及碳源混合池旁的空间,有效容积为584 m³,可容纳1.3格的反冲洗废水量。为减少水资源浪费,节约能耗,反冲洗废水分别回流至机械搅拌澄清池及高效沉淀池进行回用。反冲洗废水泵采用自耦式潜污泵3台(2用1备),单台 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=3\text{ kW}$ 。由于废水调节池长36.4 m,为减少池体内污泥沉淀,将反冲洗废水进水口与反冲洗水泵分别布置在池体两侧,利用反冲洗废水对池体进行冲洗(见图2、3)。

3.8 回用水泵房设计

回用水泵房布置在接触消毒池末端,主要回用于厂区浇洒绿化及加药系统。采用自耦式潜污泵2台(1用1备),单台 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=250\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$ 。

3.9 出水监测站房设计

为了就近监测出水水质,出水监测站房布置在接触消毒池上方^[4],与反冲洗鼓风机房合建(见图5)。平面尺寸为3.1 m×7.6 m,层高6.5 m,内设水质自动分析仪,对出水水质进行在线监测,并上传至中控及环保要求的出水在线系统。

3.10 变配电室设计

变配电室布置在接触消毒池上方(见图5)。平面尺寸为12.95 m×7.6 m,层高6.5 m,与反冲洗鼓风机房、出水监测站房合建,中间预留2 m宽检修及通行通道。变配电室服务深度处理段,内设4面10 kV环网柜、2台630 kVA变压器、11面MNS低压配电柜、1面PLC柜,并预留4台柜位。

4 运行效果及经济分析

扩容及提标工程实施后,该污水处理厂目前平均进水量达到 $9.1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,深度处理段运行稳定,出水水质稳定达到DB 33/2169—2018中现有城镇污水处理厂主要水污染物排放限值,连续12个月的出水水质监测数据见表2。

表2 出水水质监测数据

Tab.2 Monitoring data of effluent quality mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
1月	19.39	1.97	0.16	7.31	0.14	3.42
2月	17.16	1.01	0.13	8.48	0.09	2.82
3月	22.48	1.86	0.14	7.72	0.17	3.45
4月	24.34	1.44	0.14	7.62	0.19	3.47
5月	22.29	1.65	0.18	8.68	0.16	3.52
6月	11.14	1.24	0.09	7.52	0.19	2.73
7月	17.46	1.10	0.07	8.45	0.21	3.23
8月	18.23	1.33	0.07	8.54	0.19	3.13
9月	21.93	1.70	0.07	8.85	0.19	3.70
10月	24.42	2.58	0.06	7.87	0.19	3.97
11月	25.05	2.45	0.05	7.06	0.19	3.97
12月	23.77	2.57	0.06	5.61	0.13	3.81

本项目深度处理段构(建)筑物占地2 814 m²,投资3 296.70万元,其中土建费用为1 388.84万元,设备及工器具费用为1 817.52万元,安装费用为90.34万元,吨水投资约为329.67元/m³,直接电费和药剂费用总计0.257元/m³,其中除磷为0.037元/m³(10%的PAC)、脱氮为0.13元/m³(20%的乙酸钠)、消毒为0.041元/m³(10%的次氯酸钠)、电费为0.049元/m³。

《城市污水处理工程项目建设标准》(建标198—2022)中Ⅲ类污水处理厂深度处理段用地控制指标为0.30~0.35 m²/(m³·d⁻¹),本工程深度处理段用地指标为0.061 m²/(m³·d⁻¹),集约化设计后节地效果明显。

5 结论

① 在地上式污水处理厂扩容及提标项目中,

应合理确定深度处理工艺,充分利用现有进、出水条件,节约投资。

② 在场地有限的地上式污水处理厂扩容及提标项目中,深度处理段应进行合建,本厂将中间提升泵房、高效沉淀池、碳源混合池、反硝化深床滤池、接触消毒池、废水调节池、反冲洗鼓风机房、反冲洗水泵房、厂区回用水泵房、出水监测站房、变配电室进行了合建,通过集约化设计节约了占地。

③ 地上式污水处理厂深度处理段采用集约化设计,构筑物之间通过过水连渠及孔洞进行连接,减少了管路损失,实现了节能降耗,降低了碳排放量。

参考文献:

- [1] 李采芳,杨丹,王志刚. A/O+高效沉淀+深床滤池用于污水处理厂提标扩建[J]. 中国给水排水, 2018, 34(16): 88-92.
LI Caifang, YANG Dan, WANG Zhigang. Application of A/O, high efficiency sedimentation tank, denitrification deep-bed filter process in upgrading and expansion of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 88-92 (in Chinese).
- [2] 张玲玲,陈轶,尚巍,等. 高排放标准下污水处理厂深度处理工艺分析[J]. 给水排水, 2021, 47(4): 72-75.
ZHANG Lingling, CHEN Yi, SHANG Wei, et al. Analysis of the effect of advanced treatment process in

wastewater treatment plant under high discharge standard [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(4): 72-75 (in Chinese).

- [3] 杨洪棕,宋凤鸣,古伟,等. 反硝化生物滤池+高效气浮工艺用于准IV类提标改造[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 125-129.
YANG Qiliang, SONG Fengming, GU Wei, et al. Application of denitrifying biofilter and high-efficiency air floatation in upgrading of a WWTP for quasi-IV standard [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 125-129 (in Chinese).
- [4] 景兆华,王向举,刘海茹,等. 西北某高浓度城市污水处理厂SBR工艺提标改造设计[J]. 净水技术, 2023, 42(4): 169-175.
JING Zhaohua, WANG Xiangju, LIU Hairu, et al. Design of SBR process upgrading and reconstruction of an urban WWTP with high concentration wastewater in Northwest China [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 169-175 (in Chinese).

作者简介:景兆华(1983-),男,甘肃兰州人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),注册咨询工程师(投资),主要从事市政给水排水设计及相关咨询工作。

E-mail: 271474704@qq.com

收稿日期: 2023-07-11

修回日期: 2023-08-17

(编辑:沈靖怡)

以水定城、以水定地、以水定人、
以水定产、发展节水产业