

某全地理污水处理厂的 design 思考

许世梁, 沈捷

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 某全地理污水处理厂设计规模为 5 万 m³/d, 近期按 2.5 万 m³/d 实施。根据进出水水质和用地情况, 污水处理采用改良 AAO+MBR 工艺, 出水达到“准IV类”标准后用于周边绿地浇灌、道路冲洗和景观河道补水。污泥经浓缩脱水后达到 80% 含水率, 送到城市污泥处置中心进行进一步处置。通过详细介绍某全地理污水处理厂的总体工艺设计路线, 并对建设型式、处理工艺、雨季抗冲击负荷、防洪、防淹、消防防火分区的划分、除臭系统设计等重点难点问题思考总结, 为其他类似污水处理厂项目的建设提供借鉴。

关键词: 全地理; 污水处理厂; MBR; 工艺设计

中图分类号: X703; TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)03-0133-04

0 引言

随着城市化进程的加快和经济的发展, 土地资源日益稀缺, 污水处理厂占地与城市发展空间逐渐交融, 相互之间的影响越来越大^[1]。

与地面式污水处理厂相比, 地理式污水处理厂具有对周边环境影响较小、与周边环境协调性强、节约土地资源、防止周边土地贬值等优势^[2]。

某文物保护单位周边河道, 由于现状处理周边生活生产废水的污水处理站规模较小、建设较久远、运行处理效果不稳定, 急需建设一座高标准的污水处理厂, 来消除污水直排风险, 同时提供优质的再生水水源, 促进污水的资源化利用。污水处理厂选址邻近文物保护单位且受到了基本农田用地的限制, 选址占地面积仅 2 hm²。

考虑到本工程处理标准高、占地指标低的双重制约条件, 须在污水处理厂建设形式、处理工艺等方面进行一定的创新与突破。污水处理厂建设形式方面, 现代化的地理式污水处理厂能较好地解决污水处理厂的邻避问题, 特别适用于周边环境敏感的城市核心区域^[3]。处理工艺方面, 膜生物反应器(MBR)工艺非常适合占地面积小、土地资源极其紧张、需要高效集约布置污水处理厂的情况^[4]。尤其一些改良的 AAO 和 MBR 的组合工艺, 具有节省占地、强化

脱氮等优势^[5]。

本工程因地制宜地采用全地理布置, 各工艺工段组团集成化布局, 采用节地的改良 AAO+MBR 工艺, 一揽子解决了出水水质要求高、用地条件紧张、文物保护单位周边景观要求高、污水处理厂恶臭和噪声对周边环境的影响等问题。

1 工程规模与选址

1.1 工程规模

本全地下污水处理厂工程总规模为 5 万 m³/d。本次设计规模为 2.5 万 m³/d, 土建按 5 万 m³/d 规模一次建成。旱季设计流量为 0.46 L/s; 雨季设计流量根据当地雨污混错接和外水进入的情况, 确定为 0.58 L/s。

1.2 选址与建设型式

污水处理厂选址位于文物保护单位旁的二级建控地带, 占地面积 2 hm²。根据用地面积和周边景观要求, 污水处理厂建设型式采用双层加盖全地理式。选址详见图 1。

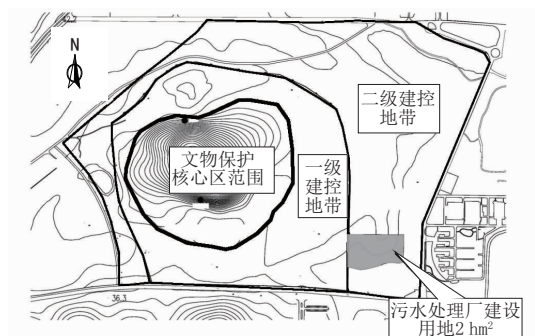


图 1 污水处理厂选址示意图

收稿日期: 2023-08-12

作者简介: 许世梁(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事给排水工程规划、设计、咨询管理及相关科研工作。

2 总体方案

2.1 设计进出水水质

设计进水根据周边用户的现状水质和已建污水处理厂的进水水质确定。设计出水水质除 TN 浓度为 15 mg/L 外,其余主要出水水质指标均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中地表水Ⅳ类水标准。设计进、出水水质和处理程度详见表 1。

2.2 工艺流程

本工程占地面积较小,单位用地指标仅为 $0.4 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,且对脱氮除磷的要求较高,故二级

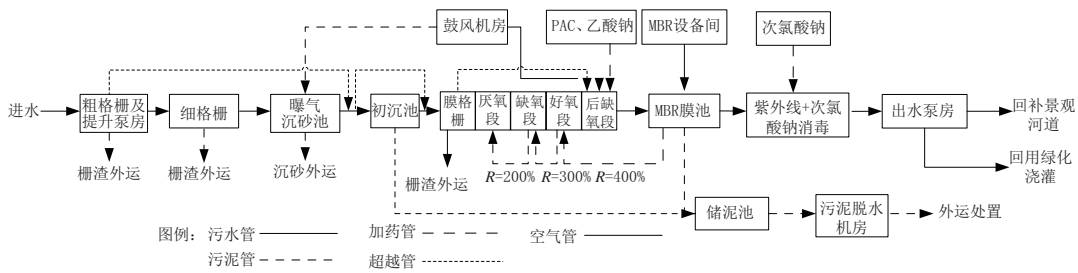


图 2 工艺流程

2.3 总平面布置

全地理式污水处理厂主要根据污水处理厂进水方向、出水方向、工艺流程、用地情况和上部空间布局情况进行综合布置。

在布置地下箱体时,根据进、出水的方向,将预处理区布置在地下箱体西南角。初沉池布置在地下箱体最西侧。生物反应池位于初沉池东侧、预处理区北侧。MBR 膜池位于生物反应池东侧、箱体北侧。污泥处理区位于 MBR 膜池南侧,箱体东南角。消毒池与尾水出水提升泵房布置在箱体东北角。

地下箱体具体布置详见图 3。

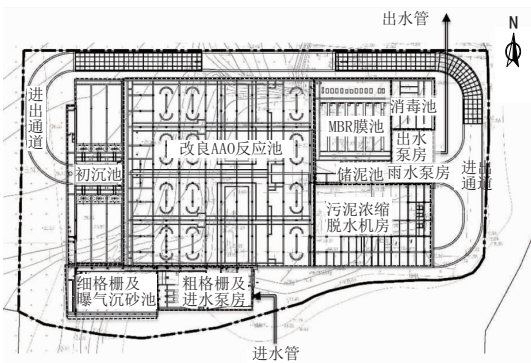


图 3 箱体总平面布置

在地面平面布置时,综合楼和变电所布置在厂区西北侧,厂区东侧、南侧均为公共绿地空间。地上平面总体布置详见图 4。

表 1 设计进、出水水质及处理程度

水质指标	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
设计进水水质/(mg·L ⁻¹)	450	220	250	60	50	6
设计出水水质/(mg·L ⁻¹)	30	6	10	15	1.5(3)	0.3
处理程度/%	93.3	97.3	96	75	97	95

注:括号外数值为水温高于 12℃ 时的控制指标,括号内数值为水温不高于 12℃ 时的控制指标。

处理工艺采用高效、节地的改良 AAO+MBR 工艺。污泥经浓缩脱水至 80% 含水率,送至污泥处置中心统一进行处置。

工艺流程如图 2 所示。

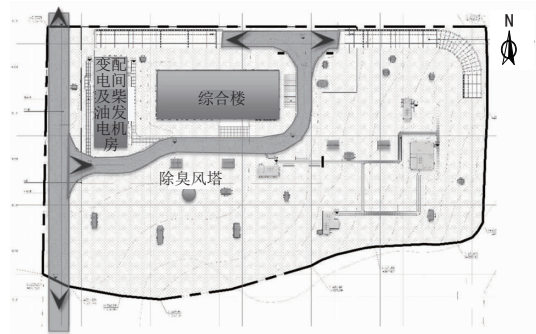


图 4 地面总平面布置

3 主要构(建)筑物设计

本工程主要污水处理构筑物有粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、初沉池、AAO 反应池、MBR 膜池、消毒池、出水泵房。污泥处理构筑物主要有储泥池和污泥浓缩脱水机房。主要建筑物有鼓风机房等。

3.1 粗格栅及进水泵房

新建粗格栅及进水泵房 1 座,格栅井内设有 2 台机械格栅,预留远期 2 台格栅位置。每台格栅宽 1.1 m,栅条净间距 15 mm,倾角为 75°。进水泵房内近期设 3 台潜水轴流泵 ($Q=823 \text{ m}^3/\text{h}, H=1.45 \sim 2.85 \text{ m}, N=15.0 \text{ kW}$),2 用 1 备。预留 2 台潜水轴流泵的位置。

进水管及粗格栅前均设 DN1400 速闭闸,防止意外断电时对污水处理厂安全运行造成影响。

3.2 细格栅及曝气沉砂池

新建细格栅及曝气沉砂池1座。近期设有2台内进流网板式格栅,预留远期2台格栅位置。每台格栅宽1.4 m,栅条净间距3 mm,渠深2.2 m。曝气沉砂池1座2池,尺寸为36.7 m×13.0 m,有效水深3.5 m,峰值流量时停留时间7.00 min。

3.3 初沉池

新建2座平流式初沉池,单格池尺寸为27.78 m×6 m(1座2组共6格)。每格池内安装有1套链板式刮泥机,有效水深2.6 m。设计高峰表面负荷为 $3.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,沉淀时间为0.62 h。

3.4 AAO 反应池

新建2座改良AAO生物反应池,有效水深8 m,单座生物反应池总有效容积为18 938 m^3 ,总停留时间18.2 h。好氧池污泥浓度为7.2 g/L,缺氧池污泥浓度为5.4 g/L,厌氧池污泥浓度为3.6 g/L,总泥龄21.5 d,硝化段泥龄11 d。

在生物反应池前端设置膜格栅,膜格栅栅条间隙1 mm,保障后续MBR系统稳定运行。

3.5 MBR 膜池

本工程MBR膜池设计采用中空纤维超滤膜组件,膜丝的标称尺寸为 $0.04 \mu\text{m}$ 。膜系统净通量 $16.54 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.6 消毒池

新建消毒池1座,平面尺寸19.5 m×16.4 m。消毒池内设置了紫外线消毒和次氯酸钠消毒系统。其中,紫外消毒渠2条,一期使用1条,设置紫外线消毒模块(灯管96根,有效剂量不小于 $25 \text{ Ws}/\text{cm}^2$)1套。次氯酸钠消毒池设计水深4.15 m,一期接触时间30 min,远期接触时间15 min。加氯间位于消毒池上方。平面尺寸为12.95 m×12.25 m,包括次氯酸钠储罐2只(有效容积 10 m^3),次氯酸钠溶液浓度为10%。

3.7 出水泵房

新建出水泵房1座,处理后的尾水出水水质执行地表水“准IV类”标准。一部分尾水用于周边绿化浇灌和道路浇洒,设置恒压变频供水泵3台(2用1备),单泵流量 $Q=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=40 \text{ m}$, $N=55 \text{ kW}$ 。另一部分达标尾水作为河道的生态补水,设置潜水泵3台(2用1备),单泵流量 $Q=823 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=40 \text{ m}$, $N=160 \text{ kW}$ 。

3.8 储泥池

新建储泥池1座,主要接收初沉池、MBR膜池排

出的剩余污泥、化学除磷污泥。

储泥池为正方形结构,尺寸为 $19.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$,分为三格,有效水深4 m,总容积 532 m^3 。近期停留时间19.4 h,远期停留时间9.7 h。

3.9 污泥浓缩脱水机房

新建污泥浓缩脱水机房1座,平面尺寸为 $34.34 \text{ m} \times 47.90 \text{ m}$ 。设置3台污泥离心浓缩脱水一体机机位。近期安装2台(1用1备),单台进泥量 $Q=70 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=135 \text{ kW}$ 。总进泥量为 $660 \text{ m}^3/\text{d}$,含水率为99.2%,干固体量 $5 270 \text{ kg}/\text{d}$,脱水机每天工作时间为12 h。出泥含水率为80%。

离心脱水机的出泥由无轴螺旋输送机收集、输送至污泥斗内。在污泥斗下部设置有污泥输送泵,将污泥提升后输送至污泥料仓暂存,本工程近期设置1套污泥料仓设备,有效容积 50 m^3 。

4 设计思考

4.1 污水处理厂建设型式的选择

为了处理好污水处理厂的建设需求与土地资源越来越紧张的关系,半地理式或全地理式的建设型式由于基本不存在邻避效应、结构紧凑、节省土地资源、臭气及噪声污染基本消除、水温受外界气温影响小有利于污水处理厂稳定运行等优点,正越来越多地被选择。

半地理式和全地理式的建设型式各有优劣。相对而言,半地理的建设型式投资相对节约、消防及通风系统相对简单,但与全地理型式相比,在土地利用效率、景观效果、环境融合度等方面,仍具有不小的差距。具体采用何种建设型式,应贯彻因地制宜的原则。

由于本项目地理位置特殊,位于文物保护区周边所在区域,规划对建筑物高度有严格的控制。厂址东侧和南侧均邻河道,需考虑污水处理厂与周边整体环境的景观协调性。经综合分析比选后,确定采用全地理的建设型式。

4.2 处理工艺的选择

本工程处理标准高,设计出水为“准IV类”水标准。同时占地指标低,厂区占地面积仅 2 hm^2 ,单位用地指标仅为 $0.4 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 。虽然在建设型式上已经选用了结构紧凑的全地理建设型式,但若采用较为常规的混凝-沉淀-过滤的长流程深度处理工艺,用地难以满足工艺布置要求。本工程采用了高效、节地的改良AAO+MBR的工艺组合,省去二沉池及深

度处理环节,使污水处理工艺流程大大缩短,在占地上具有显著的优势,能够满足本工程用地布置的要求。

4.3 雨季抗冲击负荷设计

本项目根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)要求,设计中充分考虑雨季工况,粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池按雨季流量设计,初沉池、AAO反应池、MBR膜池均按旱季流量设计,并按雨季设计流量校核。各级提升水泵供电均考虑雨季可全用的工况考虑供电。

本项目设置了初沉池,当进水碳源不足时,污水可超越初沉池直接进入后续处理流程进行处理。雨季时,初沉池可以减轻后续生化处理工段的负荷,同时提供一定的调蓄容积。

4.4 全地理污水处理厂的防洪、防淹设计

有别于传统的地上式污水处理厂,地理式污水处理厂厂区防洪、箱体防淹是其运行中的重要风险点,在设计过程中应格外慎重,确保污水处理厂的运行安全。

本项目厂区地坪标高设计按周边河道100a一遇洪水水位控制,地形充分考虑防范山洪侵袭的可能性,外侧设置排洪沟来引泄山洪,保障厂区安全。

为防止污水处理厂突然停电等事故工况发生时,进水水位上升至地下箱体内操作平台,而造成地下箱体被淹,进水设置多道速闭闸,事故时可快速闭闸断水,避免事故发生。主要工艺区段均按多条处理线设置,保证在某条处理线故障时,其他处理线能保证污水处理厂的运行。

箱体主出入通道与地面道路连接处设置驼峰,设置截水沟,防止厂区地面雨水通过出入通道倒灌淹没污水处理厂。厂区内设有雨水收集系统,箱体内部设置了2座雨水泵房。

4.5 消防防火分区的划分

污水处理厂主要用以处理污水,无任何可燃物,且水本身就是灭火剂。本工程为全地理污水处理厂,已建案例为数不多,现行的《建筑设计防火规范(2018年版)》对地理式污水处理厂缺乏针对性的要求。若参照地下厂房开展地下污水处理厂防火分区划分设计,需设置较多的防火分区,造成地上楼梯出入口、通风口等设施过多,投资浪费,且对本项目顶部景观绿地效果造成较大影响。

本项目参考了《城镇地下式污水处理厂技术规

程》(T/CECS 729—2020)等相关行业规范,对国家规范的要求进行了局部突破。对地下污水处理厂水池以上的生物反应池、二沉池等池顶操作层平台检修巡视区不做防火分区划分,对污泥脱水机房、加药间、变电所、综合泵房、预处理车间等设备较为集中,人员检修操作频次较高的区域,按《建筑设计防火规范(2018年版)》要求设置防火分区。

为给后续施工图审查、建设实施、消防验收等环节提供依据,本项目向当地消防主管部门申请召开特殊消防设计专项评审会,并通过了评审。

4.6 除臭系统设计

除臭系统设计针对主要臭气来源确定设计范围为粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、初沉池、生物反应池、MBR膜池、储泥池、污泥浓缩脱水机房等。各构筑物除臭量计算方法,参考《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016)及国内一些先进城市的类似工程经验。本工程除臭总风量为 $13.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。除臭工艺采用一段生物洗涤+二段生物滴滤+活性炭吸附的三级处理工艺进行处理。处理达标的废气,通过高排气筒集中排放。通过离子送风系统向污泥浓缩脱水机房等区域送离子新风。

5 结论与建议

本项目污水处理厂采用了全地理的建设型式,结构布置紧凑。同时采用了集约节地的改良AAO+MBR膜工艺,用地指标仅为 $0.4 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,很好地解决了本项目用地紧张、处理要求高、景观要求高的难点。但建设和经营成本相对较高,设计和施工难度较大。污水处理厂的建设型式和处理工艺没有固定的最优方案,应该因地制宜地对具体项目进行充分的技术经济综合比选,选择最具针对性、最适合的方案。

本文对全地理污水处理厂的设计进行总结,提供工程实例。同时,对污水处理厂建设型式、处理工艺、雨季冲击负荷,以及全地理污水处理厂的防洪、防淹、消防、除臭等关键点进行思考,其设计经验可为国内类似项目提供借鉴。

在国家全力推动生态文明建设、污染防治攻坚、水环境治理与保护的背景下,对城市污水处理设施建设的要求也在不断提高,污水处理厂的设计应该注重精细化与人性化设计,并在智慧、低碳、海绵、韧性等方面持续创新突破。

(下转第145页)

案。确定的维修方案中剪力钉数量大幅减少,最大剪力为 13.7 kN。UHPC 层最大拉应力为 3.06 MPa,抗裂性能满足受力需求。维修后,钢箱梁各典型疲劳细节应力幅可降低 17.1%~56.2%,能有效提升钢桥面板的疲劳寿命。

(3)结合工艺试验和试验段实施提出了基于预制 UHPC 板的 BRT 公交车站铺装层维修施工工艺。UHPC 板预制时,需从模板预制和预埋件定位等工序中严格控制预制板精度,以便提升装配施工效率。改造工程中需合理安排各工序的施工时间,确保不同工序间的紧密衔接,尤其要控制好现场装配过程中的预安装和坐浆流程,同时规划好 UHPC 坐浆料的养护时间。试验段已顺利运营数十个月,其基于 UHPC 预制结构的铺装层体系设计和施工经验对后续钢桥面铺装层的维修改造具有指导和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王春生,冯亚成.正交异性钢桥面板的疲劳研究综述[J].钢结构,2009,24(9):10-13,32.
- [2] 李智,钱振东.典型钢桥面铺装结构的病害分类分析[J].交通运输工程与信息学报,2006(2):110-115.
- [3] 邵旭东,樊伟,黄政宇.超高性能混凝土在结构中的应用[J].土木工程学报,2021,54(1):1-13.
- [4] 田启贤,高立强,杜新喜.面板结构设计对正交异性板疲劳性能的影响研究[J].桥梁建设,2016,46(1):18-23.
- [5] YUAN Y, WU C, JIANG X. Experimental study on the fatigue behavior of the orthotropic steel deck rehabilitated by UHPC overlay[J].

Journal of Constructional Steel Research, 2019(157): 1-9.

- [6] 田启贤,高立强,周尚猛,等.超高性能混凝土-钢正交异性板组合桥面试验研究[J].桥梁建设,2019,49(S1):13-19.
- [7] 刘益铭,张清华,卜一之,等.大纵肋正交异性钢-免蒸养 UHPC 组合桥面板力学性能研究[J].桥梁建设,2023,53(2):36-43.
- [8] 裴必达,李立峰,邵旭东,等.钢-UHPC 轻型组合桥面板实桥试验研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2019,46(1):76-84.
- [9] 伍贤智,姜志刚,王敏.基于静动载试验的钢-UHPC 组合桥面应用研究[J].桥梁建设,2021,51(5):67-73.
- [10] 周立兵,张刚,王敏.军山长江大桥钢-UHPC 组合桥面改造效果研究[J].桥梁建设,2020,50(2):49-54.
- [11] CAO J H, SHAO X D. Finite element analysis of headed studs embedded in thin UHPC [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2019(161): 355-368.
- [12] 张瀚文,邵旭东,曹君辉,等.具有短钢筋连接件的超薄轻型组合桥面结构抗剪性能初探[J].公路工程,2019,44(2):8-13,35.
- [13] 张晨曦.横向多梁体系桥梁 UHPC 湿接缝抗弯性能研究[D].郑州:郑州大学,2022.
- [14] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [15] 蒲黔辉,高立强,刘振标,等.基于热点应力法的正交异性钢桥面板疲劳验算[J].西南交通大学学报,2013,48(3):395-401.
- [16] 王春生,翟慕赛, Houankpo TON. 正交异性钢桥面板典型细节疲劳强度研究[J].工程力学,2020,37(8):102-111.
- [17] 张清华,李俊,郭亚文,等.正交异性钢桥面板结构体系的疲劳破坏模式和抗力评估[J].土木工程学报,2019,52(1):71-81.
- [18] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [19] GB 50917—2013,钢-混凝土组合桥梁设计规范[S].
- [20] 侍刚,邵旭东,高立强,等.HRB400 钢筋与超高性能混凝土粘结性能试验研究[J].桥梁建设,2021,51(6):61-67.

(上接第 136 页)

参考文献:

- [1] 杨凡.半地下式和全地下式污水处理厂布置形式分类浅析[J].中国市政工程,2017(6):42-45,110.
- [2] 胡维杰.地理式城市污水处理厂的技术研究及其建设运行经验[J].供水技术,2014,8(4):61-64.

- [3] 刘世德,王泽明,刘茜,等.地下式污水处理厂关键节点及设计对策[J].地下空间与工程学报,2021,17(增刊1):215-220.
- [4] 邱维.广州京溪地下污水处理厂设计经验总结[J].中国给水排水,2011,27(24):47-49.
- [5] 戴红,陈艾,薛文文,等.泸州某 Phoredox_MBR 工艺地下污水处理厂工程设计方案[J].中国给水排水,2020,36(10):52-57.