

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.22.010

安康江南半地下再生水厂改良AAO+深度处理工艺设计

高靖伟^{1,2}, 侯锋¹, 江乐勇¹, 韩磊^{1,2}, 葛英振^{1,2}, 杨茂东^{1,2},
邵彦青¹

(1. 国投信开水环境投资有限公司, 北京 101101; 2. 四川蓉信开工程设计有限公司,
四川 成都 610000)

摘要: 安康江南再生水厂采用半地下建设形式,设计规模为 8×10^4 m³/d,近期设备按 6×10^4 m³/d安装。为满足汉江50年一遇防洪要求,箱体入口高于防洪水位0.52 m。通过集约化设计,将综合楼、科普馆、臭氧发生间布置于箱体顶部,其余空间打造景观公园。污水处理采用改良AAO加悬浮填料、臭氧接触氧化主体工艺,出水主要指标达到了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准。污泥处理采用离心脱水+低温干化工艺,处理后污泥含水率 $\leq 60\%$ 。通水运行以来,实际出水水质稳定优于设计标准。

关键词: 半地下建设形式; 改良AAO加悬浮填料; 臭氧接触氧化

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)22-0061-06

Design of Modified AAO and Advanced Treatment Process in Ankang Jiangnan Semi-underground Reclaimed Water Plant

GAO Jing-wei^{1,2}, HOU Feng¹, JIANG Le-yong¹, HAN Lei^{1,2}, GE Ying-zhen^{1,2},
YANG Mao-dong^{1,2}, SHAO Yan-qing¹

(1. SDIC Xinkai Water Environmental Investment Co. Ltd., Beijing 101101, China; 2. Sichuan Rongxinkai Engineering Design Co. Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: Ankang Jiangnan reclaimed water plant is a semi-underground plant. Its design scale is 8×10^4 m³/d, and the equipment is installed according to recent scale of 6×10^4 m³/d. The box entrance is 0.5 m higher than the flood control level to meet the flood control requirements of Hanjiang River 50-year return period. Through intensive design, the complex building, science museum and ozone generation room were arranged on the top of the box, and the rest space was built as a landscape park. The main treatment process consists of modified AAO with suspended carrier and ozone contact oxidation tank, and the main indicators of effluent meet the class IV limit specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The sludge treatment process includes centrifugal dewatering and low temperature drying, and water content of the treated sludge is lower than 60%. Since the operation, the actual effluent quality is always better than the design standard.

Key words: semi-underground construction mode; modified AAO with suspended carrier; ozone contact oxidation

随着安康市的快速发展,现状污水处理厂面临着处理水量满负荷、出水标准低、邻避效应严重等

问题。由于周边已无提标扩建用地,因此只能进行迁址提标扩能重建。新建江南再生水厂工程采用

半地下建设形式,设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,土建一次完成,近期设备按 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装。

1 设计进、出水水质

根据当地要求,污水厂尾水排放要优于一级 A 标准。江南再生水厂出水 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 执行地表水 IV 类标准,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

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	氨氮	TN	TP
进水	350	140	200	40	60	6
出水	30	10	10	1.5	15	0.5

2 污水处理工艺流程

由于本项目出水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 要求较高,经过技术经济比选后确定采用改良 AAO 加悬浮填料、臭氧接触氧化核心工艺。改良 AAO 采用多点进水,并在好氧池末段投加悬浮填料,以强化硝化反应。臭氧接触氧化单元则作为出水 COD 达标保障的最后一道防线^[1]。

本项目要求污泥含水率 $\leq 60\%$,结合项目集约化半地下建设的特点,最终污泥处理选择占地面积小、集成度高、干化效率高的污泥低温风冷干化工艺。

具体工艺流程如图 1 所示。

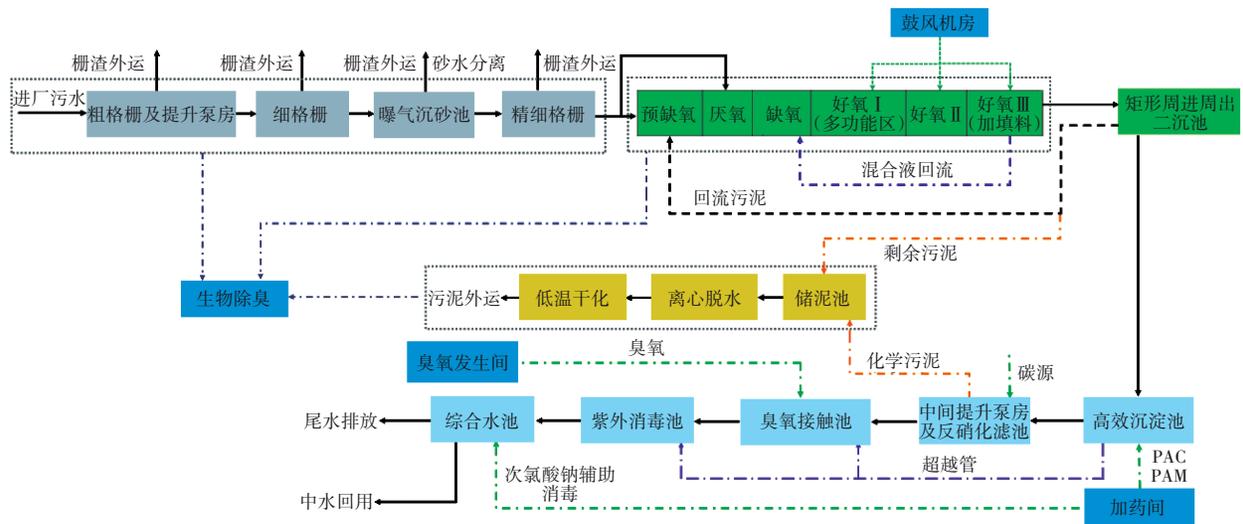


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

3 总平面及竖向设计

3.1 建设形式

本项目厂址西侧、南侧等主要为商业、居住、科研用地。如建设传统地上式污水厂,将严重限制周边发展,并造成土地资源浪费^[2],因此结合汉江防洪安全,最终采用半地下建设形式,其鸟瞰图见图 2。



图 2 江南再生水厂鸟瞰图

Fig.2 Aerial view of Jiangnan reclaimed water plant

箱体顶部打造景观公园及科普馆,既满足周边民众休闲游玩需求,又可通过科普教育提高民众节约水资源、保护水环境的意识。

3.2 总平面设计

本工程总净用地 6.6 hm^2 ,近期工程用地 3.67 hm^2 ,箱体平面尺寸为 $198.5 \text{ m} \times 101 \text{ m}$ 。厂区道路呈环形布置,车行道宽 6 m ,满足消防及运输要求。箱体北侧为厂区主出入口,转弯半径 6 m ,与东坝内环路相接;箱体东侧和南侧为运输通道,分别在厂区西南角和东北角设有车辆出入口;箱体西侧通过台地来衔接市政道路和箱体顶高差,供游人进入箱体顶部公共区域游玩(见图 3)。综合楼、科普馆总建筑面积 5000 m^2 ,呈 U 形布置于生化区上部北侧区域;臭氧发生间布置于预处理区上部,远离公园休闲区。



图3 江南半地下再生水厂总平面布置
Fig.3 General plane layout of Jiangnan semi-underground reclaimed water plant

箱体内部按照功能分区(见图4),其中工作环境较差的预处理和污泥处理单元集中布置在箱体东侧,便于栅渣、污泥的集中运输。箱体内部北侧横向设有宽5 m的主巡检通道,纵向设有宽2.2~7.8 m的次巡检通道,并利用池顶层空间形成环状路网,有效解决箱体内部设备运输难、人员检修绕的问题。利用生化池顶空间,布置除臭设备、变配电间、鼓风机

机房、机修仓库^[3]。箱体内部操作层设置1个防火分区;池体检修层设置5个防火分区,每个防火分区面积≤1 000 m²。

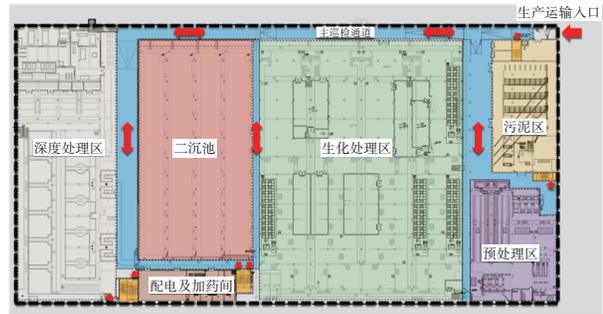


图4 半地下箱体平面布置
Fig.4 Plane layout of the semi-underground box

3.3 竖向设计

本项目北侧紧邻汉江东坝防洪堤,堤顶标高为253.0 m,仅满足20年一遇洪水水位要求。为满足50年一遇洪水水位253.28 m的防淹要求,将箱体与外界相接的东北角的生产运输入口、进水速闭闸门井顶标高均设为253.8 m^[4],高于防洪水位0.52 m,并将综合楼、科普馆置于箱体顶部。箱体共设有三部楼梯、两部电梯,满足建筑的垂直交通联系。

箱体高程布置如图5所示,箱体分为两层,上部操作层高为5.5~6.85 m,下部检修层高为7.20~10.75 m。

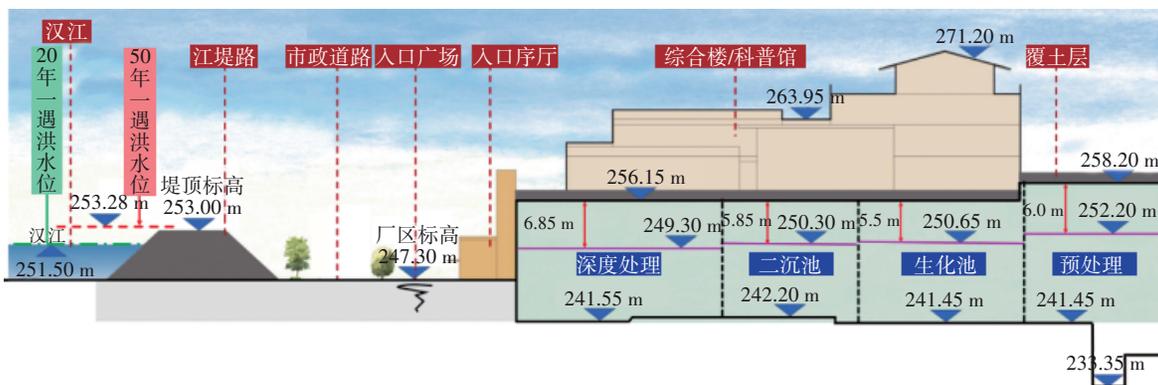


图5 地下箱体竖向布置
Fig.5 Vertical layout of the underground box

4 污水处理厂工艺设计

4.1 预处理单元

粗格栅渠、进水提升泵房、细格栅渠,土建均按远期 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,设备按近期 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装。粗格栅共设3条渠,渠宽1.0 m,栅前水深1.2 m,近期安装2条渠,每条渠分别安装栅隙为30 mm的人工格栅和栅隙为15 mm的动轨式机械格栅,安装倾

角 80° 。提升泵房采用潜污泵大小泵搭配,近期安装3大2小,2台大泵变频,1台小泵变频,远期增加1台大泵。近期平均时运行2大1小,高峰时运行2大2小。其中大泵 $Q=1\ 100 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=150 \text{ kPa}$ 、 $N=73 \text{ kW}$,小泵 $Q=550 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=150 \text{ kPa}$ 、 $N=39 \text{ kW}$ 。细格栅共设4条渠,渠宽1.7 m,栅前水深2.15 m,其中1条为人工检修格栅渠,近期安装2台栅隙为5 mm的

阶梯网板格栅和1台人工格栅,远期增加1台机械格栅。

曝气沉砂池1座2格,设备按 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装,水力停留时间为7 min,采用泵提砂,曝气采用2台(1用1备)变频罗茨鼓风机, $Q=18.0 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=46 \text{ kPa}$, $N=22 \text{ kW}$ 。

精细格栅渠土建按远期 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,设备按近期 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装,共设4条渠,渠宽1.8 m,栅前水深1.75 m,其中1条为检修超越渠。近期安装2台栅隙为2 mm的内进流孔板格栅,远期增加1台。

4.2 二级处理单元

改良AAO生化池4座,近期3座安装设备。设计水深为8.15~8.0 m,设计污泥浓度为4.0 g/L,污泥龄19 d,污泥负荷为 $0.06 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,混合液回流比100%~300%,污泥回流比0%~100%。水力停留时间:预缺氧区0.50 h、厌氧区1.0 h、缺氧区5.2 h、好氧Ⅰ区(多功能区)1.0 h、好氧Ⅱ区4.5 h、好氧Ⅲ区(填料)1.6 h。填料投加量为 1150 m^3 ,填充比为30%。生化池设有精确曝气系统,配有3套热式气体流量计、电动空气调节阀、MLSS浓度仪,9台DO仪。总气水比为5:1,采用空气悬浮鼓风机,单台 $Q=70 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=98 \text{ kPa}$, $N=161.8 \text{ kW}$ 。

二沉池采用矩形周进周出形式,共4座,近期设备全部安装。表面负荷为 $1.13 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,有效水深为4.80 m,单池采用 $B=6.97 \text{ m}$ 、 $L=75 \text{ m}$ 、 $N=0.25 \text{ kW}$ 的链条式刮泥机,共设有44套DN200的液压排泥管及污泥控制阀。

4.3 深度处理单元

高效沉淀池4座,其中混合池2格,絮凝池和斜管沉淀区4格。近期预留1格絮凝池、斜管沉淀池的设备远期安装。混合池、絮凝池停留时间分别为3、10 min,沉淀区表面负荷为 $11.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

中间提升泵房与反硝化滤池合建,中间提升泵近期配置潜污泵3大2小,远期增加1台大泵,其中大泵 $Q=1100 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=65 \text{ kPa}$ 、 $N=40 \text{ kW}$,2台变频,小泵 $Q=550 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=65 \text{ kPa}$ 、 $N=24 \text{ kW}$,1台变频。反硝化滤池1座6格,近期5格安装设备,设计高峰流速 9.14 m/h ,设2台反洗风机(1用1备), $Q=67 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=70 \text{ kPa}$, $N=110 \text{ kW}$ 。设2台反洗水泵(1用1备), $Q=1330 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=70 \text{ kPa}$, $N=45 \text{ kW}$ 。

臭氧接触氧化池1座4格,停留时间30 min,臭氧投加量为 10 mg/L ;臭氧发生间位于预处理单元箱

体顶部,平面尺寸为 $23.9 \text{ m} \times 17.8 \text{ m}$,空压机置于预处理单元检修层内,以充分降低噪声对地上公园的影响。根据设计经验和设计手册,去除 1 mg/L COD,需投加臭氧为 $2 \sim 4 \text{ mg/L}$,本工程近期共设置3台臭氧发生器,使用时可通过调整设备工作台数及使用时间来控制臭氧投加量,提高运行经济性,单套臭氧产量 8.5 kg/h ,远期增加1套。

设有可独立运行的2条紫外消毒渠,安装2套紫外消毒设备,近期单套设备安装80个灯管,功率 29.2 kW 。因按近期设备安装,造成池壁与灯管模块间留有空隙,设计采用不锈钢导流板代替二次浇筑,既保证近期设备稳定运行又可实现远期便捷增加灯管数量。

尾水排放泵房配置4台变频潜水泵(3用1备),单台 $Q=1100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=85 \text{ kPa}$, $N=46 \text{ kW}$ 。

4.4 污泥处理单元

本项目近期污泥产量为 9.6 tDS/d ,远期为 12.8 tDS/d 。储泥池1座2格,有效水深2.5 m,总容积 335 m^3 ,采用穿孔管曝气搅拌,所需气量 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot 100 \text{ m}^3 \text{ 有效容积})$,由曝气沉砂池鼓风机供气。污泥脱水采用离心脱水机,近期安装3台(2用1备),单台 $Q=20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=(30+11) \text{ kW}$ 。近期安装3台(2用1备)污泥低温干化机,单套共设8个模块,干化温度 $40 \sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$,总功率 245 kW ,不锈钢材质。

4.5 除臭系统

粗格栅渠、细格栅渠、精细格栅渠、提升泵房、曝气沉砂池、生化池、储泥池采用混凝土加盖密封,其上吊装、检修孔采用钢盖板密封;曝气沉砂池吸砂渠、浮渣渠采用手风琴式密封条密封;污泥离心脱水机、输送机、料仓采用密封型设备,预留臭气接口;污泥干化机、格栅机采用除臭罩密封。本项目采用生物除臭系统,共设3套除臭系统,分别为预处理除臭系统(除臭风量为 $15000 \text{ m}^3/\text{h}$)、生化除臭系统(设计风量为 $30000 \text{ m}^3/\text{h}$)、污泥除臭系统(设计风量为 $15000 \text{ m}^3/\text{h}$)。

5 设计特点

5.1 箱体防淹措施

本项目存在外来洪水及箱体内部憋水外溢的被淹风险。为防止上述事故发生,措施如下:①抬高与箱体操作层相连的生产运输入口、进水井池顶、箱体上部侧面所开窗、电梯门洞、通风口下边缘

的标高至253.8 m。箱体内进水井设置正向承压速闭闸门,通过液位联动报警系统及时自动关闭并切断进水。②箱体外进水井设有限流器,雨季水量激增时,限流器受高液位水力作用而减小进水洞过流面积,以保证处理水量不超峰值流量。同时井内设有溢流管,当液位上涨至报警液位时,可打开闸门溢流。③在超高最低的细格栅渠、反硝化滤池配水渠内增设溢流措施,以降低因憋水导致操作层检修口污水外溢的风险。在细格栅渠和进水提升泵房共壁处开设多个溢流洞,洞底标高高于细格栅渠液位150 mm;滤池配水渠内设置DN700溢流管,末端接至中间提升泵房。

5.2 物料及人员通道

预处理和污泥处理单元位于箱体东侧,通过1.0 m×1.0 m的栅渣倾倒口及DN400污泥导流管与其下方污泥栅渣转运间相通。转运间与周边道路相平,顶部连通处局部凸起至253.8 m,以满足防洪要求。生产运输口与室外道路连通,通过电动葫芦将设备吊至位于正上方的主通道253.8 m的平台处,最后由叉车将设备按路线运送至安装位置。

为降低大型罐车运输卸药及人力成本,保证箱体内运营环境整洁,将加药间布置于箱体南侧,紧邻南侧厂区运输道路,并在该道路旁修建直径为1.0 m的卸药井^[5]。加药间储药罐与卸药井通过管道相连,并在井内设有DN65快速转接头,通过车载卸药泵将药液压力输送至各储药罐。

在箱体顶部的东侧及南侧,较为集中地布置有6座楼梯间,最大程度地保证了顶部公园的完整性

与独立性。其中,仅有箱体东北角的楼梯间可与室外相通并配套电梯间,其余仅能实现箱体内部竖向通行。箱体北侧外挂3部电梯,中间2部用于办公人员的通行;西侧为参观电梯,分别在箱体操作层253.8 m处、顶部设置出口平台。箱体西侧以台地形式解决现状道路与箱体顶之间的高差。

5.3 多工况应对措施

改良AAO生化池设置多功能区,根据不同进水水质调节该区域好氧/缺氧交替运行模式,可有效应对水质波动^[6]。当进水TN较高时,关闭曝气器,启动潜水搅拌机,切换到缺氧模式运行;当进水TN正常时,打开曝气器,关闭潜水搅拌机,切换到好氧模式运行。

针对高效沉淀池出水情况,可分别超越中间提升泵房、反硝化滤池、臭氧接触池,以节约电耗、药耗,降低管理维护成本,提高经济效益。因本项目高效沉淀池出水已满足排放要求,实际运行时并未启动反硝化滤池和臭氧接触池。

尾水排放设有两种工况,当汉江水位为常水位时,为重力排放;当水位上涨至5年一遇洪水位时,尾水泵池内液位逐渐上涨至报警液位,此时重力排放管阀门关闭,尾水排放泵启动。

6 运行效果及经济分析

6.1 运行效果

本项目目前已建成通水运行,各项出水指标均稳定达到设计要求。

现状进水量约 $5.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2021年1月—8月的实际进、出水水质见表2。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD		SS		TP		氨氮		TN	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
数值	45.6~720.0 (388.3)	7.8~30.3 (15.8)	114.8~498.8 (339.2)	1.8~9.9 (5.3)	1.2~7.5 (3.2)	0.02~0.49 (0.21)	5.18~60.0 (33.3)	0.01~1.14 (0.12)	18.3~108.0 (78.5)	3.1~10.8 (6.1)
注: 括号内数值为平均值。										

6.2 经济分析

本项目在设计参数、设备质量、材料材质防腐蚀等方面投资较高,工程费用为4.26亿元。因进水提升高度较大且含有污泥低温干化工艺段,现阶段实际运行电耗约为 $0.74 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;阴离子PAM投加量平均为 $0.8 \text{ mg}/\text{L}$,高效除磷药剂投加量平均为 $23 \text{ mg}/\text{L}$,阳离子PAM投加量为 $5 \text{ kg}/\text{tDS}$ 绝干污泥。总

运行成本约为 $1.6 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

7 结论

① 本项目是安康市第一座半地下再生水厂,采用设置多功能区和填料区的改良AAO生化池,降低了生化池的池容,提高了脱氮效率,保证了出水水质稳定达标。

② 地下箱体所有与外界相接的洞口均需在

防洪水位以上,并建议考虑不小于0.5 m的安全余量;箱体内存污水外溢的最不利点加强防范及监控措施。

③ 对于集约化箱体组合式污水处理厂,建议将污泥及预处理单元集中布置,便于统一规划脱水后污泥、栅渣外运路线,并实现箱体内“脏、净”区域分隔;箱体内存提前规划好设备运输路线,满足净高、荷载避开障碍物等要求。

参考文献:

- [1] 高靖伟,侯锋,韩磊,等. 贵阳龙洞堡下沉式再生水厂设计特点[J]. 给水排水,2021,47(4):33-38.
GAO Jingwei, HOU Feng, HAN Lei, *et al.* Design characteristic of Longdongbao underground wastewater treatment plant in Guiyang City [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(4): 33-38 (in Chinese).
- [2] 宫徽,边潇,庞洪涛,等. 污水处理厂对周边房价增速影响的大数据分析——以北京市为例[J]. 给水排水,2018,44(6):123-128.
GONG Hui, BIAN Xiao, PANG Hongtao, *et al.* The effects of wastewater treatment plant on surrounding housing pricing increasing based on big data: a case study in Beijing City [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018,44(6):123-128 (in Chinese).
- [3] 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.
DAI Hong, CHEN Ai, XUE Wenwen, *et al.* Design

scheme of underground wastewater treatment plant using Phoredox + MBR in Luzhou [J]. *China Water & Wastewater*, 2020,36(10):52-57 (in Chinese).

- [4] 邱维. 地下污水处理厂风险分析及对策探讨[J]. 中国给水排水,2017,33(8):32-34.
QIU Wei. Risk assessment and solution proposal of underground wastewater treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2017,33(8):32-34(in Chinese).
- [5] 吴念鹏,贾芳芳,王国华,等. 高出水标准地下式再生水厂运行难点探讨[J]. 给水排水,2019,45(10):42-46.
WU Nianpeng, JIA Fangfang, WANG Guohua, *et al.* Discussion on difficulties in operation of underground reclaimed water treatment plant with high discharge standard[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019,45(10):42-46 (in Chinese).
- [6] 周传庭,唐建国,王寅. 改良A²O+MBBR为主体的污水厂工艺设计及运行[J]. 中国给水排水,2021,37(6):76-80.
ZHOU Chuanting, TANG Jianguo, WANG Yin. Design and operation of sewage treatment plant with improved A²O + MBBR process [J]. *China Water & Wastewater*, 2021,37(6):76-80 (in Chinese).

作者简介:高靖伟(1990-),男,湖北十堰人,硕士,工程师,主要从事市政给排水及流域治理的研究和设计审核工作。

E-mail:496459662@qq.com

收稿日期:2021-09-01

修回日期:2021-11-05

(编辑:孔红春)

坚持节约资源和保护环境的基本国策