

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.010

# 泸州某 Phoredox + MBR 工艺地下污水处理厂工程设计方案

戴红, 陈艾, 薛文文, 陈莽

(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:** 泸州某在建酒业园区地下污水处理厂总规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 设计出水除 TN 浓度为  $10 \text{ mg/L}$  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 III 类水标准, 处理出水排入厂外小溪沟。污水厂采用全地下式建设型式, 以减小占地, 降噪防臭。地面打造景观公园, 箱体内部组合处理构筑物形成处理单元, 紧凑布局降低成本。采用 Phoredox + MBR 工艺作为核心生物处理工艺组合, 保障可降解有机物、TN 的有效去除; 采用多级流动床活性焦吸附塔 + 砂滤池作为深度处理工艺组合, 保障难生化有机物、色度等污染物的有效去除。结合地下箱体特点采用机械通风与自然通风相结合的通风系统, 以及消火栓系统结合灭火器的消防系统, 并针对断电和异常水质水量等情况设计应急处理方案。

**关键词:** 地下式污水处理厂; 准 III 类水标准; Phoredox + MBR 工艺; 优化设计

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0052-06

## Design Scheme of Underground Wastewater Treatment Plant Using Phoredox + MBR in Luzhou

DAI Hong, CHEN Ai, XUE Wen-wen, CHEN Mang

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

**Abstract:** The total scale of underground wastewater treatment plant in a liquor industry park under construction of Luzhou was  $20\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ . The effluent TN was required as  $10 \text{ mg/L}$ , the other main indexes were required to meet the surface water class III standard in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The effluent was discharged into the creek outside the plant. The wastewater plant adopted the underground construction mode, which reduced the land occupation, noise and odor. With a landscape park on the ground, the wastewater plant combined treatment structures inside the box forms treatment unit, compact layout reduced cost. Phoredox + MBR process was used as the core biological treatment process to ensure the effective removal of degradable organics and TN. Multistage flow bed activated coke adsorption tower + sand filter was used as the advanced treatment process to ensure the effective removal of difficult biochemical organics, chroma and other pollutants. Combined with the characteristics of underground tanks, the ventilation system combining mechanical ventilation and natural ventilation was adopted. Furthermore, the firefighting system combining fire hydrant system and fire extinguisher was adopted. The emergency treatment plan was designed according to the situation of power failure and abnormal water quality and quantity.

**Key words:** underground sewage treatment plant; quasi class III water standard; Phoredox + MBR process; optimal design

## 1 工程概况

泸州市某酒业园区地下污水处理厂主要处理对象为园区酿酒及配套工业企业废水经预处理后的污水,服务范围涵盖整个白酒园区。污水处理厂采用全地埋式设计,地下箱体占地面积约为  $0.93 \text{ hm}^2$  (14 亩),地面打造为开放式景观公园,与三面环湖景观搭配协调。

设计总规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中一期  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,二期增加  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。污水处理采用 Phoredox 工艺,并采用 MBR 池替代最后的好氧池;出水除 TN 外其余主要污染物指标达到Ⅲ类水标准。尾水沿用现有污水厂排污口进入附近小溪沟,最终排入长江。

该污水处理厂目前正处于建设中,本工程设计总投资为 33 956.82 万元(含地面景观打造),其中工程费用为 27 220.06 万元;由于本工程具有规模较小、出水要求高、用地局促等特点,设计单位处理

成本为 3.50 元/ $\text{m}^3$ ,单位运行成本为 2.78 元/ $\text{m}^3$ ,比一般市政污水工程高。

## 2 设计进、出水水质

园区污水处理厂处理污水主要来自于园区各酿酒企业的生产废水,此外夹杂部分包装印务公司生产废水及企业职工生活污水。环保要求园区各酿酒企业生产废水需经过预处理并达到《发酵酒精和白酒工业水污染物排放标准》(GB 27631—2011)中表 2 间接排放标准。此外,根据现有污水处理厂 2017 年进水水质指标数据,综合确定设计进水水质。当地环保局对排入长江的尾水提出“用Ⅲ还Ⅲ”的高要求,即处理出水主要水质指标需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类水标准,其中总氮按《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)中城镇污水处理厂排放浓度限值执行。

具体设计进、出水水质指标如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	NH <sub>3</sub> -N/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	色度/ 倍	pH 值
进水	380	80	25	45	3	140	80	6~9
出水	20	4	1	10	0.2	10	30	6~9

## 3 工艺流程设计

### 3.1 进水可生化性分析

通过对进水进行可生化性分析,可以看出本项目可生化性较低,自发进行生物脱氮较困难,但能够满足生物除磷的要求。根据分析,进水可生化性较低的原因在于进水来源主要为酿酒业预处理出水,其间接排放标准对水中 BOD<sub>5</sub> 浓度有限制。为此,在处理系统中增设碳源投加系统,保障生物脱氮所需有机物;另一方面建议园区酿酒企业弱化工业废水预处理中的生物处理,提高排水中有机物浓度,以减轻对外加碳源的依赖。

针对处理出水的严格要求,本污水厂在常规工艺流程上增加了深度处理工艺,并对传统活性污泥法进行改进,以强化生化处理脱氮效果。

### 3.2 核心处理工艺选择

本工程选择采用处理效果稳定、技术应用成熟的活性污泥法作为生物处理工艺。目前常见的活性污泥处理法工艺包含氧化沟、A<sup>2</sup>/O、SBR 以及其各自的改良工艺等<sup>[1]</sup>,在国内外污水处理厂中都得到

广泛应用。针对本工程的特殊性,经过技术经济比选后确定采用 Phoredox + MBR 的核心生物处理工艺模式,并将 MBR 池与 Phoredox 中最后一级好氧池合并,在 MBR 池中同时实现终末端曝气和泥水分离的功能。

该处理工艺形式具有以下优势:

① 节省占地,降低投资。以 MBR 池取代二沉池可以大幅减少构筑物占地面积,同时利用 MBR 池实现 Phoredox 末端好氧池功能,取消 Phoredox 末端好氧段,也有利于节省占地。

② 强化脱氮,保障出水。Phoredox 工艺两段缺氧的型式,可以强化反硝化反应,保障出水 TN 稳定达标<sup>[2]</sup>。

③ 提高污泥浓度,抗冲击负荷增强。利用平板膜 MBR 进行泥水分离可以适应更高浓度 MLSS 的生化池污水(最高可以达到 20 g/L),而高浓度活性污泥的污染物处理能力和抵抗进水水质变化能力都能得到提高。

此外,针对本工程酒业园区工业废水性质,且进

水中印染废水等包含有难降解有机物、色度较高等水质特点,增加深度处理来实现对难降解有机物和色度的去除。通过比选目前比较成熟的臭氧催化氧

化技术及生物活性焦吸附工艺,最终采用活性焦吸附 + 砂滤法作为本工程深度处理工艺。详细比较如表 2 所示。

表 2 深度处理工艺路线对比

Tab.2 Comparison of advanced treatment process

项 目	活性焦吸附 + 砂滤法	臭氧催化氧化法
去除的目标因子	可有效去除残留的难生物降解有机物、微量溶解性 TP 和微量难降解有机氮	可有效去除难降解的 COD,进一步降低 BOD <sub>5</sub>
工艺稳定性	出水可稳定达标,工艺稳定性好	出水可稳定达标,工艺稳定性好
色度去除率*/%	80	60
异味去除率/%	99.9	50
处理效果	除 TN 外,主要污染因子稳定达到地表Ⅲ类以上	除 TN 外,主要污染因子可达到地表Ⅲ类以上
是否适应地下污水厂	除活性焦生产及再生用房(非必须)外,其余构筑物可设置于地下	若采用臭氧制备间,则不应放置在地面下;若采用臭氧储罐,则可放置于地下

注: \* 色度去除率为现场中试结果数据。

### 3.3 污水处理工艺流程

污水厂工艺流程如图 1 所示。

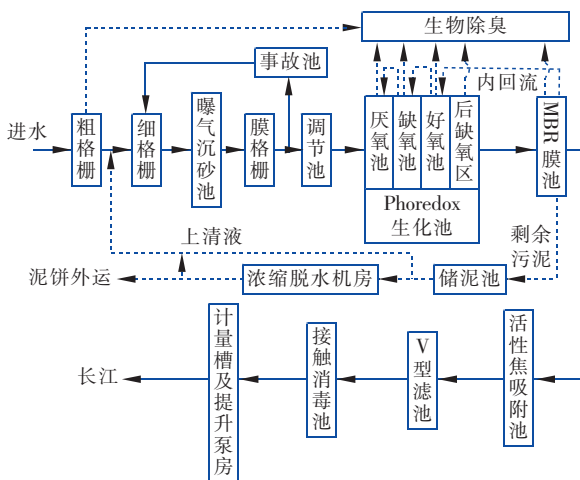


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

## 4 污水厂建设型式及设计优化

### 4.1 污水厂建设型式

园区污水处理厂位于园区景观项目酒苑湖范围内,为配合园区整体景观风貌,弱化污水厂建设后对周边环境的影响,本工程采用地下式污水处理厂建设型式。

污水厂上部地面打造公园景观,构建一个会呼吸、能交流的水净化展示场所,在满足参观者游览休闲需求的同时,还可以作为污水处理教育示范基地,提高民众对污水处理厂的认知和了解,开展生态环保教育。

地面景观效果图见图 2。



图 2 地面景观效果图

Fig. 2 Design sketch of ground landscape

### 4.2 污水处理厂布置

污水处理厂在高程上可分为 3 个层面:地面层(公园)、负一层(操作层)以及负二层(管廊层)。

地面层设置有通风塔、综合楼以及各防火分区必需的逃生出口和连接至地下箱体的消防车道。综合楼是污水厂管理维护中心,且通过楼梯与地下箱体直接相连。工作人员和参观人员均可通过综合楼直接下到地下箱体中,隔离生产区与公园区域,便于厂区管理。污泥运输车、药品运输车等通过消防车道从地面进入箱体内工作。

地下一层为生产操作层,建筑面积约为 9 568 m<sup>2</sup>(包括车道),共分为 5 个防火分区,布置如图 3 所示。为节省投资,选择 MBR 等占地较小的工艺,并通过结构共壁等形式将各构筑物有机组合为整体单元,形成预处理单元(粗细格栅 + 曝气沉砂池 + 膜格栅)、生物处理单元(Phoredox + MBR)、尾水处理单元(砂滤池 + 接触消毒池 + 巴氏计量槽 + 尾水



泵井),紧凑布置;合理利用生化池池顶空间,在保证液面观察孔、搅拌器检修孔以及设备吊装路径空间后,在生化池顶布置除臭设施、消防泵房、机修间等附属设备建筑;污泥脱水机房和活性焦附属用房连通负一层、负二层形成净空 14 m 大空间,单独分层放置设备。通过优化构(建)筑物布局,充分、有效地利用地下箱体空间,以减少污水处理厂的土建投资。

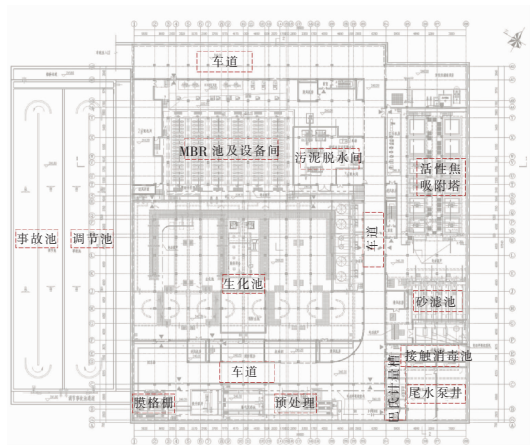


图3 污水处理厂负一层平面布置

Fig.3 Plan layout of B1 floor of WWTTP

地下二层建筑面积为 3 925 m<sup>2</sup>,共设 1 个防火分区,主要敷设各类管道。

#### 4.3 污水厂配套设施设计

全地下式的污水厂在解放地面空间的同时,也形成了环境相对封闭、与周围空间交互少的特点,因此整个箱体的通风系统设计显得尤为重要。设计通过自然通风和机械通风相结合的方式,加大建筑物的通风换气能力。新风口与排风口保持一定的距离,使其不吸入建筑排风。通风系统的设置、室内气流组织均需避免空气在建筑物内反复循环,避免各房间空气相互掺混,减少污染物积累和交叉污染的几率。地下箱体内余湿余热较高,重要设备易受潮锈蚀,因此,在变配电间、污泥脱水机房、鼓风机房、活性焦附属用房等设备集中的独立房间中,安装空调系统加强空气除湿,进而保障设备的长期运行。地下一层变配电房设置机械排风,其换气次数按事故通风换气次数 12 次/h 设计,有条件时自然补风,无条件时设计机械补风。其他区域按地上 3 m 高度 3 次/h 换气次数计算通风量。其中需要除臭的区域,送风量中增加除臭部分所需的风量。正常通风时,送风量采用排风量的 80% ~ 90%;排烟时系统

补风量大于系统排烟量的 50%。设计总通风量为 308 445 m<sup>3</sup>/h。

地下污水厂的消防设计也有别于地面厂,参考广州、深圳、昆明等地类似地下厂房进行消防设计<sup>[3]</sup>。地下箱体内构筑物耐火等级为一级,火灾危险性分类定为戊类。与外界连通的消防车道,宽度 6 m,高度大于 6 m,满足消防车通行条件;通道两侧的地下污水处理单元设防火墙与通道分隔,并划分为若干防火分区,防火分区设有直通室外的防烟楼梯以及直接开向安全通道的甲级防火门,并且防火分区内任意一点到安全出口的距离均小于 60 m。与构筑物合建的变电所采用耐火极限不低于 2.00 h 的隔墙与 1.50 h 的楼板与其他部分隔开,隔墙上开门均为甲级防火门。单个设备用房面积小于 1 000 m<sup>2</sup>,单个防火分区的面积按照不超过 2 000 m<sup>2</sup> 的要求进行布置,这也是与 2019 年 11 月最新发布的《建筑设计防火规范》(局部修订征求意见稿)中“地下污水处理厂设备用房每个防火分区的最大允许建筑面积不应大于 1 000 m<sup>2</sup>,操作层生物池、二沉池等水工构筑物的检修平台的防火分区面积可按工艺要求确定”一致。箱体内除变配电间外均采用消火栓系统(室内消防用水量 40 L/s)与磷酸铵盐灭火器相结合的形式,变配电间则设置气体灭火系统(柜式无管网七氟丙烷);地面布置有室外消火栓环网(室外消防用水量 30 L/s)。此外,箱体内还考虑有电气消防与防排烟设计。

#### 5 主要构筑物设计

由于园区污水处理厂箱体位于地下,远期土建扩建需重新开挖建设,经济性差。因此污水厂土建工程按照总规模  $2 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d 设计,设备按照一期规模  $1 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d 安装。预处理阶段设计有事故调节池,可以对来水调质调量,因此调节池之后工艺流程上的构筑物均不考虑 1.48 的总变化系数。

##### 5.1 Phoredox 生化池

生化池采用钢筋混凝土结构,内尺寸为 59.8 m × 37.5 m × 7.9 m;生化池分 4 格,每格规模为  $0.5 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,一期运行 2 格。沿水流方向依次为厌氧区、缺氧区、好氧区以及后缺氧区,各区主要工艺参数如下:

① 厌氧池(A1):水力停留时间为 1.5 h,污泥浓度为 3 200 mg/L,溶解氧浓度为 0 ~ 0.2 mg/L,缺氧池向厌氧池的回流比为 200%。

② 缺氧池(A2):水力停留时间为3.8 h,污泥浓度为4 800 mg/L,溶解氧浓度为0.2~0.5 mg/L,缺氧池向厌氧池的回流比为400%。

③ 好氧池(O):水力停留时间为7.9 h,污泥浓度为6 000 mg/L,溶解氧浓度为1~2 mg/L,缺氧池向厌氧池的回流比为400%。

④ 后缺氧池(A3):水力停留时间为2.0 h,污泥浓度为6 000 mg/L,溶解氧浓度为0.2~0.5 mg/L。

对比普通生化池3 000~4 000 mg/L的污泥浓度值,本次设计各池内混合液污泥浓度均有一定程度提高,增强了生化池的处理能力。由于混合液从膜池末端回流至生化池,而膜池不断曝气吹扫造成了混合液中DO较高,直接回流至缺氧区将破坏缺氧环境,不利于反硝化的进行。因此设计采用逐级回流的方式,即从MBR池回流至好氧池起端(回流比400%),从好氧池末端回流至缺氧池起段(回流比400%),从缺氧池回流至厌氧池(回流比200%),利用好氧池中微生物分解有机物的需氧特性削弱混合液中溶解氧对缺氧池氧浓度的影响。

## 5.2 MBR膜池

MBR膜池采用钢筋混凝土结构,内尺寸为32.25 m×8.0 m×6.10 m。膜池分6格,单格规模为 $0.34 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期运行3格。膜组件采用双层膜框架平板膜,平均膜通量为 $15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,膜擦洗风量为 $2.8 \text{ m}^3/\text{min}$ ,过滤平均孔径为 $0.2 \mu\text{m}$ (最大孔径 $0.4 \mu\text{m}$ ),单格膜池中膜过滤面积为 $9 280 \text{ m}^2$ 。膜池设计MLSS为7 500 mg/L,相对平板膜运行MLSS上限较低,在建成运营后可根据实际情况适当调高MLSS以提高生物处理能力。设计中需要特别注意膜组件的吊装,充分考虑膜组件的高度以及池顶各类障碍物高度,可根据吊装高度要求适当降低膜池顶板高度,从而减小膜池深度,降低工程造价。

## 5.3 多级流动床活性焦吸附塔

多级流动床活性焦吸附塔由进出水渠、一级吸附塔(内尺寸为 $5.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 10.5 \text{ m}$ )、二级吸附塔(内尺寸为 $5.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 9 \text{ m}$ )构成,共分6组,每组设计流量为 $0.34 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期运行4组,富余1组用以保证清洗检修时的整个活性焦系统的处理能力。系统第一级活性焦吸附池-空塔停留时间为1.4 h,第二级活性焦吸附池-空塔停留时间为

1.1 h。采用的活性焦颗粒碘值在600~850 mg/g之间,粒径为2~8 mm,不均匀系数小于1.3。活性焦输配及排放系统设置在附属用房中,新鲜活性焦首先投入配焦池中,加水后通过渣浆泵送至吸附塔中;在配焦池进料口处设置下焦器,使配焦池内形成负压抽吸,避免新焦扬尘。吸附塔内活性焦通过曝气形成活性焦流动床,实现与污水的充分接触,并利用气提泵将二级吸附塔中吸附饱和程度低的活性焦输送至一级吸附塔中,而在二级吸附塔中补充新焦,最大限度地利用活性焦的吸附容量。吸附饱和的活性焦则利用池底排焦管通过渣浆泵输送至脱水振动筛脱水后排入废焦池暂存,并定期将废焦送至活性焦公司进行活化再生。

## 5.4 砂滤池

滤池采用钢筋混凝土结构,内尺寸为 $21.6 \text{ m} \times 17.75 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 。砂滤池分4格,每格规模为 $0.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期运行3格,富余1格用以保障反冲洗时整个滤池的处理能力。设计滤料层厚度为1.5 m,滤料粒径 $d_{10} = 1.2 \text{ mm}$ 且 $K_{80} < 1.4$ ,设计滤速为一期 $5.27 \text{ m/h}$ ,二期实施后 $7.93 \text{ m/h}$ (反冲洗顺序进行),设计反冲周期为24~48 h,过滤水头为22 kPa。

## 6 污水厂应急方案

### 6.1 断电应急

由于园区所处地区较为偏远,时常发生片区断电情况,为防止断电后污水不断涌入地下污水厂造成淹没事故,设计在粗格栅配水井进水口设置有电动速闭不锈钢闸门,在突然断电的情况下紧急切断进水,保障污水厂安全;同时,除了考虑双回路电源供电设计,还可从厂外大容量发电机房牵引电源接入污水厂供电系统,尽快恢复污水厂的正常运行。

### 6.2 异常水质水量应急

本工程进水来源为上游企业预处理后排水,水量波动性较大,水质受预处理影响变化,容易出现水量或水质异常的情况。出现水量异常情况时,预处理构筑物液位报警,闸断曝气沉砂池出水廊道上超越管,开启调节池进水阀门,关闭事故池进水阀门,超量污水进入调节池中暂存调峰,利用水泵控制后续工艺处理水量;出现水质异常情况时,出水在设定工况下无法达标,尾水管阀门关闭,不达标尾水通过尾水支管进入调节池中,同时将进水引入事故池中,可通过实际工况的调整,利用不达标尾水稀释异常

进水,再次进行生物处理。

## 7 结语

本工程设计出水标准高,除 TN 外其余主要检测指标均要求到达地表水Ⅲ类要求。该项目目前处于施工阶段,预计 2021 年投产运行。

采用 Phoredox + MBR、多级流动床活性焦吸附、砂滤池等组合工艺,保证出水水质要求。

受用地以及周边景观要求限制,污水处理厂采用全地下布置型式。污水厂箱体内合理设计通风、除臭系统,对泵房、鼓风机房等噪声源房间墙面填充隔音材料,减小噪声、尾气等对污水厂周边环境的影响。同时在污水厂地面打造景观公园,融入周边湖区景观。

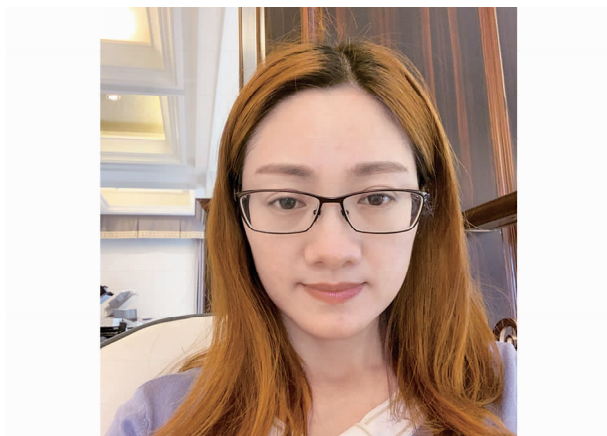
## 参考文献:

- [1] 王成刚,张德华,温超. 改良 AAO 工艺在污水处理厂扩建工程中的应用[J]. 净水技术,2017,36(S2):74-77.  
Wang Chenggang, Zhang Dehua, Wen Chao. Application of modified AAO process in a wastewater treatment plant extension project [J]. Water Purification Technology, 2017,36(S2):74-77 (in Chinese).
- [2] 周伟清,林暖丹,吴馥萍. 城市生活污水 Phoredox 除磷脱氮工艺优化研究[J]. 化学工程师,2006(2):46-48.  
Zhou Weiqing, Lin Nuandan, Wu Fuping. Optimization research of Phoredox removal of phosphorus and nitrogen technology of city sewage[J]. Chemical Engineer, 2006

(2):46-48(in Chinese).

- [3] 张华伟,瞿露. 山地城市半地下污水厂建设与竖向空间综合利用案例[J]. 中国给水排水,2019,35(20):42-46.

Zhang Huawei, Qu Lu. Case study on construction of semi-underground wastewater treatment plant and comprehensive utilization of vertical space in mountain cities[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 42-46 (in Chinese).



作者简介:戴红(1977-),女,重庆人,大学本科,给排水高级工程师,环境工程高级工程师,中国市政工程西南设计研究总院有限公司综合交通院总工程师,主要从事市政基础设施及交通工程、水环境工程等工作。

E-mail:474491334@qq.com

收稿日期:2019-11-25

实施国家节水行动,  
统筹山水林田湖草系统治理