

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.24.009

# 龙归污水处理厂三期扩建工程设计

吴晓宇<sup>1</sup>, 张建良<sup>2</sup>, 文隆佳<sup>1</sup>, 邓里游<sup>3</sup>

(1. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060; 2. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510507; 3. 中铁五局集团有限公司, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 针对龙归污水处理厂一、二期工程建成投产后均处于满(超)负荷运行状态,无法满足区域实际污水量处理需求的问题,开展三期扩建工程。工程设计规模 $15.0\times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,采用地下建设形式,主体工艺采用深度脱氮除磷的改良AAOA+MBR,并利用EnviroSim BioWin软件模拟多点进水和多点回流,从而选用最佳进水比和回流比。污泥处理采用低温热干化工艺,大大降低了能耗,同时有效避免了有机物大量挥发,保存了污泥热值。设计施工过程中通过BIM对管线进行综合优化调整,达到节约材料、优化空间、规范美观的效果。扩建工程投运后运行稳定,处理水量基本达到设计规模,出水水质均优于设计标准。

**关键词:** 地下式污水处理厂; 扩建; 改良AAOA+MBR工艺; 低温热干化工艺

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)24-0063-07

## Design of Longgui Wastewater Treatment Plant Phase III Expansion Project

WU Xiao-yu<sup>1</sup>, ZHANG Jian-liang<sup>2</sup>, WEN Long-jia<sup>1</sup>, DENG Li-you<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China; 2. Guangdong Communication Planning & Design Institute Group Co. Ltd., Guangzhou 510507, China; 3. China Railway No.5 Engineering Group Co. Ltd., Changsha 410000, China)

**Abstract:** Upon the completion and commissioning of phase I and II of Longgui wastewater treatment plant, both have been operating at full (or even overloaded) capacity, failing to meet the actual regional wastewater treatment demand. To address this issue, the phase III expansion project has been launched, with a designed capacity of  $15.0\times 10^4$  m<sup>3</sup>/d. The project adopted an underground construction approach, utilizing a modified AAOA + MBR process for advanced nitrogen and phosphorus removal. EnviroSim BioWin software was employed to simulate multi-point influent distribution and multi-point reflux, enabling the selection of optimal influent and reflux ratios. For sludge treatment, a low-temperature thermal drying process was applied, which significantly reduced energy consumption while effectively minimizing the volatilization of organic matter and preserving the sludge calorific value. During the design and construction phases, BIM models were used to comprehensively optimize and adjust pipeline layouts, achieving material savings, spatial optimization, and aesthetically pleasing results. Since its commissioning, the expansion project has operated stably, with the treated volume reaching the designed capacity and the effluent quality consistently exceeding the specified standards.

通信作者: 张建良 E-mail: 173341339@qq.com

**Key words:** underground wastewater treatment plant; expansion; modified AAO+MBR process; low-temperature thermal drying process

龙归污水处理厂是广州市中心城区12大污水处理系统之一,服务范围包括白云区北村片区、南岭片区等,总服务面积87.02 km<sup>2</sup>。已建一、二期工程总规模14.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用AAO+二沉池+V型滤池工艺,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准与广东省《水污染物排放限值》(DB44/26—2001)中城镇二级污水处理厂第二时段一级标准的较严值。因区域实际污水量已远超一、二期工程处理规模,故开展三期扩建工程。考虑用地问题,扩建工程不再沿用原处理方案,采用改良AAO+MBR工艺,在出水水质提标的同时,降低了施工难度。

表1 2017年—2018年实际进、出水水质

Tab.1 Actual influent and effluent quality from 2017 to 2018

mg·L<sup>-1</sup>

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TN	TP
2017年进水	118.1	203.9	457.8	18.9	24.7	5.30
2018年进水	109.6	202.1	529.6	16.7	22.4	5.44
2017年—2018年出水	2.1~2.6	10.5~13.2	2.3~3.0	0.3~0.9	9.0~13.1	0.2~0.5
原设计进水	140	280	180	30	35	4.0
原设计出水	≤10	≤40	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5

## 2 工程设计

### 2.1 设计规模

根据龙归污水处理厂服务范围的城市发展规划,采用分类水量预测法、年递增率法和不同建设用地指标法预测污水量,推算至2030年污水总量约28.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。龙归污水处理厂服务范围内实际污水量已达22.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,通过厂外管网完善工程,进入厂区的总污水量可达26.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。综合考虑水量增长及不可预见因素,确定龙归污水处理厂三期扩建工程的处理规模为15.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

### 2.2 设计水质

以实际进水水质95%保证率计算得出的数值作为该扩建工程的设计进水水质,出水(TN除外)需满足GB 3838—2002中V类标准、GB 18918—2002中一级A标准及DB44/26—2001中城镇二级污水处理厂第二时段一级标准的更严值。三期扩建工程设计进、出水水质见表2。

## 1 现状水量和水质

### 1.1 现状水量

龙归污水处理厂一、二期处理规模分别为5.0×10<sup>4</sup>、9.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,建成投产后均处于满(超)负荷运行状态,2017年—2018年的处理水量约15.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d;此外,在龙归污水处理系统内新建临时一体化处理设施,规模约9.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,其实际处理水量约7.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。现状总处理水量约22.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,龙归污水处理厂一、二期规模已无法满足实际污水量处理需求。

### 1.2 现状水质

龙归污水处理厂2017年—2018年实际进、出水水质见表1。可知,该厂处理效果良好,运行稳定。

表2 三期扩建工程设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of phase III expansion project

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TN	TP
进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	140	280	300	30	35	5.5
出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤10	≤40	≤10	≤2	≤15	≤0.4
去除率/%	92.9	85.7	96.7	93.3	57.1	92.7

### 2.3 工艺比选

#### 2.3.1 污水处理工艺比选

该项目所选工艺需具有较强的脱氮除磷功能,结合目前污水处理厂采用的主流工艺进行比选,具体见表3。

两种方案均能满足出水水质要求,根据厂区详勘资料,其地质条件较差,而改良AAO+MBR工艺较改良AAAO+二沉池+V型滤池工艺基坑面积及深度小,可降低施工难度,缩短施工周期,且改良AAO+MBR工艺运行灵活,便于出水水质的进一步提标。因此,该工程选择改良AAO+MBR工艺。

表3 污水处理工艺对比

Tab.3 Comparison of wastewater treatment processes

项目	方案一:改良AAAO+二沉池+V型滤池工艺	方案二:改良AAOA+MBR工艺
工艺方案	细格栅及沉砂池+AAAO生化池+二沉池+V型滤池+消毒池	细格栅及沉砂池+MBR生化池+MBR膜池+消毒池
地下主体	平面尺寸165.5 m×263.0 m,面积约3.88 hm <sup>2</sup>	平面尺寸165.5 m×172.5 m,面积约2.70 hm <sup>2</sup>
地下占地/(m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> ·d)	约0.26	约0.18
基坑面积/m <sup>2</sup>	41 343	30 228
施工难度	基坑为矩形,较深,基坑面积大,支护采用连续墙+内支撑,内支撑数量较多,根据施工过程需不断更换内支撑	基坑为矩形,采用连续墙+3~4道预应力锚索支护方案,将基坑支护体系和结构完全分离,施工难度小
施工工期	基坑施工需设置并拆除大量临时支撑,工期较长	基坑支护体系和结构完全分离,敞开式开挖,方便施工,大大缩短工期
工程费用/亿元	工程总投资:11.84,工程费:8.74	工程总投资:11.20,工程费:8.18
土建费用/亿元	6.01	4.95
设备费用/亿元	2.14	3.24
运营费用	1.06元/m <sup>3</sup> ,约0.58亿元/a	1.25元/m <sup>3</sup> ,约0.68亿元/a
运营管理	工艺流程较长,常规工艺管理简单方便	工艺流程较短,膜池管理较复杂,其余管理简单
维护	对专业技术要求不高,维护量一般	膜维护管理不便,需专业技术,其余设备维护简单
出水提标	水质提标改造复杂,需对生化系统及深度处理系统进行改造,增加生物填料及处理构筑物,不利于进一步提标	水质提标改造简单,有利于进一步提标

## 2.3.2 污泥处理工艺比选

根据《广州市城镇生活污水厂污泥处理处置技术路线及厂内技术改造工程方案》对污泥处理处置

的要求,采用污泥干化工艺在厂区内将污泥处理至含水率为30%~40%后出厂进行资源化利用。污泥干化工艺对比见表4。

表4 污泥干化工艺对比

Tab.4 Comparison of sludge drying processes

工艺	浓缩调质+机械深度脱水+低温热干化工艺	低温真空脱水干化一体机	深度机械脱水+污泥低温除湿干化机	深度机械脱水+中温间接干化设备
原理	泥饼经进料输送设备按精确量送至污泥干化机;同时,热源供给设备向污泥干化机中通入低温热风,使污泥颗粒中的水分高效蒸发,实现干化	隔膜压滤结束后,向加热板和隔膜板中通入热水,同时开启真空泵对腔室抽真空,使其内部形成负压,降低水的沸点,滤饼中水分随之沸腾汽化	利用制冷系统使来自干燥室的湿空气降温除湿,同时通过热泵原理回收水分凝结潜热,加热空气以达到干燥物料的目的	以热油、蒸汽、热空气(烟气)、热水等作为传热介质,其不与污泥直接接触,不会受到污泥污染。传热介质通过加热干化设备内表面,热量由金属表面传递至物料颗粒,达到加热湿污泥的目的
含水率变化/%	97→95→55→30	97→65→30	97→65(60)→30	97→65(60)→30
占地面积	较小	较小	一般	一般
设备布置	4套,主体设备布局紧凑	4套,虽然调理系统及药剂罐相对较小,但需独立建设锅炉房,占地面积较大	板框机3用1备,干化机2台,干化机体积较大,设备较为简单	板框机4用1备,干化机1台,需独立建设锅炉房
药剂投加量	适中;投加药剂包括PAM、生石灰等,约占干污泥质量的8%	较小;仅需投加PAM、PAC,约占干污泥质量的5%~6%	适中;常规深度脱水工艺污泥添加剂约占干污泥质量的5%~10%	适中;常规深度脱水工艺污泥添加剂约占干污泥质量的5%~10%
环境影响	环境友好,臭气较少	臭气较少	臭气较少,污泥经造粒后静态烘干,粉尘较少	干化温度较高,臭气浓度相对较高,如有搅拌设备需注意粉尘问题
热干化温度/°C	80	80	40~80	80~130
装机容量/(kW·t <sup>-1</sup> DS)	40	120(电能);32(天然气)	42	110(电能);30(天然气)
能耗/(kW·h·t <sup>-1</sup> DS)	430~480	1 300~1 380	450~500	1 200~1 350
直接投资/(万元·t <sup>-1</sup> DS)	约223	约250	约240	约220
直接生产成本/(元·t <sup>-1</sup> DS)	约1 339	1 550(电能);1 100(天然气)	950~1 100	1 400(电能);1 100(天然气)
污泥热值/(kJ·kg <sup>-1</sup> )	4 184~5 858		3 347~4 184	



MBR工艺,以实现深度生物脱氮。根据龙归污水处理厂一、二期运行情况,现状实际进水部分时段碳氮比偏低,而扩建工程要求出水 $TN \leq 5 \text{ mg/L}$ ,因此脱氮是此次改造的难点。该项目通过数值分析并辅以模型模拟,提出设置后缺氧区、好氧Ⅱ区(MBR膜池)及辅助碳源投加系统以增强脱氮效果。生化反应系统设计为厌氧区、缺氧Ⅰ区、好氧Ⅰ区、缺氧Ⅱ区、好氧Ⅱ区(MBR膜池)等5个分区,从而实现更高效的生物处理。同时,配合分区,MBR生化池采用厌氧区、缺氧Ⅰ区、缺氧Ⅱ区的多点进水和多点回流设计,对其配比进行优化,以适应实际进水水质及环境(如水温)的变化,同时补充碳源,从而保证反硝化效果。

为验证生化反应系统的分区效果,在设计阶段,采用EnviroSim BioWin软件对主体污水处理AAOA+MBR工艺单元进行模拟辅助设计,构建污水处理厂生化处理工艺的物理模型(见图2),并设置各类参数。将污水处理厂设计进水水质和水温数据作为输入值,根据设计工艺参数进行稳态模拟,所得结果为项目提供了重要的参考依据。污水处理厂工艺模型的模拟结果见表5。

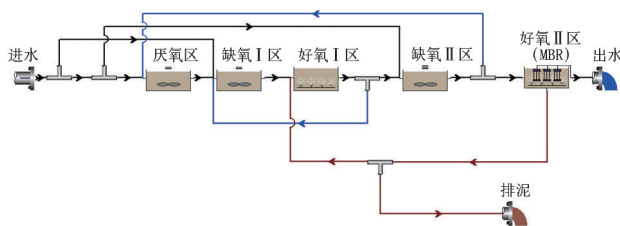


图2 生化处理工艺物理模型

Fig.2 Physical model of the biochemical treatment process

表5 污水处理厂工艺模型模拟结果

Tab.5 Simulation results of wastewater treatment plant process model  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TN	TP
进水	140	280	300	30	35	5.5
出水模拟值	0.95	15.39	0	0.17	5.60	3.66

由表5可知,除TP外的其他指标均满足设计出水水质要求,这是由于此模拟软件仅对生物除氮过程进行分析,而污水处理厂实际设有化学除磷设施。模拟结果表明,该工艺参数设置合理,出水水质满足并优于设计标准。因此,这种设计不仅确保出水水质达标,而且节省运行成本,体现了工艺设计的经济性和实用性<sup>[6]</sup>。

### 3.2 采用污泥深度处理技术

目前污泥最终出路已成为很多大中型城市所面临的共同问题。该项目设计在厂区内将污泥处理至含水率为30%~40%后送至具有资质的单位进行进一步减量化、无害化和资源化处理处置<sup>[7]</sup>。

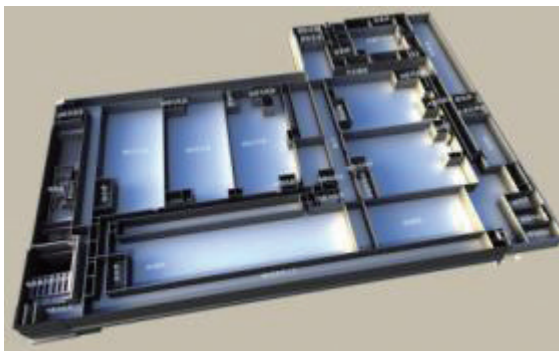
采用板框压滤脱水+低温热干化工艺,大大降低了能耗,同时有效避免了有机物的大量挥发,减少了恶臭气体(如H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>)的释放,保存了污泥热值。该工艺通过注泥泵将浓缩调质后的污泥注入隔膜板框压滤机进行压榨处理,滤液滤出后形成软硬适中的泥饼。此类泥饼既有利于降低后续干化处理的能耗,又能防止设备磨损。而后泥饼通过输送机精确输送至污泥干化机,由热源供给设备送来的低温热风与污泥直接接触,带走污泥的水分,从而实现干化。

由于干化机出风携带大量水蒸气,含有较高潜热,因此在干化系统中设置热回收系统,从而对出风中潜热和部分显热进行回收及再利用,大大降低能耗。热回收采用对流和热传导两种传热方式,干化机出风首先与导热装置接触,将热量传送给导热装置,再由导热装置把热量传送给热源供给设备,循环风经过热源供给设备时,在电能和回收热能的综合作用下,温度提高到80℃左右,再次送入干化机使用。热回收系统回收的热量约67 250 000 kJ/d,相当于18 680 kW·h/d的电能。

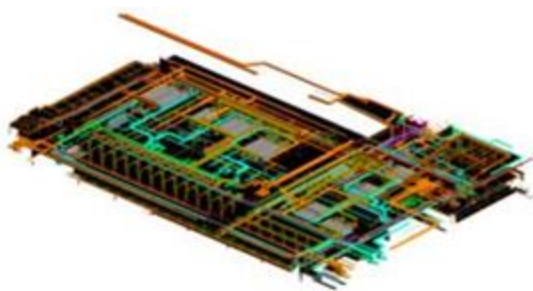
### 3.3 采用BIM辅助设计技术

在龙归污水处理厂三期扩建工程中,由于工艺水管、辅助连通管、供气管、加药管、通风除臭管、消防水管、电气自控线缆等多种管线的密集交叉布置,以及管线材质、输送介质和规格的多样性,传统设计方法面临极大的挑战。而BIM技术以其数字化、信息化和智能化的特点,能够进行虚拟建模、碰撞检测以及材料和设备的选择,因此,为提高设计准确性、优化管线布置,在设计阶段采用BIM技术<sup>[8]</sup>。整合各专业模型,通过三维模型对管线进行综合优化调整,达到节约材料、优化空间、减少错误、规范美观的效果。在施工准备阶段快速、全面、准确地检查出设计中的“错、漏、碰、缺”问题共计73处,其中土建38处,安装35处,减少由此产生的设计变更,大大提高了施工现场的生产效率以及工程设计质量。

BIM辅助设计成果见图3。



a. 三维 BIM 平面



b. 三维 BIM 管线

图3 BIM辅助设计成果

Fig.3 BIM auxiliary design results

### 3.4 高运行安全保障

为预防极端天气、区域停电和生产线大规模维修等紧急情况可能导致的污水直排和水体污染问题,龙归污水处理厂三期扩建工程进行了全面的安全风险评估,并实施了一系列设计安全保障措施,具体如下:

① 一、二期进水管与三期进水管之间采用闸门连通控制,可根据管理及安全需要单独或联动运行。

② 污水提升泵房前设置2道速闭闸,便于快速关闭进水通道。

③ 粗格栅间及提升泵房与地下处理空间采用隔墙完全隔离,避免外水进入地下空间造成的潜在风险。

④ 地下空间排水泵井设置流量为 $1.2\text{ m}^3/\text{s}$ 的强排泵,必要时可对进入地下空间的污水进行强排。

⑤ 地下空间设有完善的机械通风与离子新风系统,并配置自动喷淋消防系统。在防火设计方面,共划分为16个防火分区,每个分区面积不大于 $2\,000\text{ m}^2$ 。通过在中部设置东西走向的避难走道,并结合其他地下疏散楼梯,共同构成完整的地下防

火疏散体系。对于长度超过 $40\text{ m}$ 的走道,设置排烟系统;对不满足自然通风条件的防烟楼梯间、前室(含合用前室)、避难走道等,均采用机械加压送风方式保障通风安全。

## 4 运行分析

### 4.1 运行效果分析

该扩建工程自投产以来,运行稳定,水量基本达到设计规模。设置在线监测仪表,每日对污水处理厂进、出水水质进行监测,进水监测项目为COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、pH,出水监测指标为COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TP、TN。

2021年—2022年实际运行数据如表6所示。可以看出,污水处理厂出水水质优于设计标准。

表6 2021年—2022年实际运行数据

Tab.6 Actual operational data from 2021 to 2022

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

项目	$\text{BOD}_5$	COD	SS	$\text{NH}_4^+-\text{N}$	TN	TP
设计进水	140	280	300	30	35	5.5
设计出水	10	40	10	2	15	0.4
实际进水	121	227	157	27.3	31	3.3
实际出水	1.1	9.7	1.3	0.2	7.6	0.2

### 4.2 运行成本分析

根据总成本估算,该扩建工程平均总成本为 $13\,698.04\text{ 万元/a}$ ,平均单位总成本 $2.633\,6\text{ 元}/\text{m}^3$ ,2021年—2022年实际经营成本 $6\,893.22\text{ 万元/a}$ ,其中电费 $2\,388.46\text{ 万元/a}$ ,药费 $1\,232.05\text{ 万元/a}$ ,实际单位经营成本 $1.284\,2\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

## 5 结语

龙归污水厂三期扩建工程规模 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,出水(除TN外)满足GB 3838—2002中V类标准、GB 18918—2002中一级A标准、DB44/26—2001中城镇二级污水处理厂第二时段一级标准的更严值。采用地理式设计方案,选用改良AAOA+MBR作为主体工艺,实现深度生物脱氮;采用板框压滤脱水+低温热干化工艺,在厂区内将污泥处理至含水率为 $30\%\sim 40\%$ 后,出厂进一步资源化利用。

该工程自投产以来,运行稳定,出水水质优于设计标准,每年可截留大量污染物,控制并削减了排入流溪水的水污染负荷,改善了珠江广州段的水体环境质量,保护了广州市的饮用水源,环境效益及社会效益显著。

## 参考文献:

- [ 1 ] 孙世昌,汪翠萍,王凯军. 地下式污水处理厂的研究现状及关键问题探讨[J]. 给水排水, 2016, 42(6): 37-41.  
SUN Shichang, WANG Cuiping, WANG Kaijun. Research status of underground wastewater treatment plant and discussion on key issues [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42 (6) : 37-41 (in Chinese).
- [ 2 ] 陈威,高明朗,黄育初,等. 国内地下式污水处理厂的现状与发展[J]. 中国给水排水, 2025, 41(14): 35-43.  
CHEN Wei, GAO Minglang, HUANG Yuchu, *et al.* Underground wastewater treatment plants in China: current status and further development[J]. China Water & Wastewater, 2025, 41(14): 35-43(in Chinese).
- [ 3 ] 李志刚,田伟峰,聂楠,等. 高标准全地下式生物医药园区污水处理厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2025, 41(8):65-70.  
LI Zhigang, TIAN Weifeng, NIE Nan, *et al.* Design of a high-standard entirely underground wastewater treatment plant in a biomedical park[J]. China Water & Wastewater, 2025, 41(8):65-70(in Chinese).
- [ 4 ] 魏海娟. 大型地下式污水处理厂工艺设计与运行效果分析[J]. 中国给水排水, 2024, 40(8): 60-65.  
WEI Haijuan. Design of a large underground wastewater treatment plant and its operation performance analysis [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(8): 60-65 (in Chinese).
- [ 5 ] 吴明素. 全地下式市政污水处理厂的设计和应用研究[J]. 工程建设与设计, 2022,23(3):140-142.  
WU Mingsu. Research on design and application of underground municipal sewage treatment plant [J]. Construction & Design for Project, 2022, 23 (3) : 140-142(in Chinese).
- [ 6 ] 郝晓地,于文波,王向阳,等. 地下式污水处理厂全生命周期综合效益评价[J]. 中国给水排水, 2021, 37(7):1-10.  
HAO Xiaodi, YU Wenbo, WANG Xiangyang, *et al.* Life cycle comprehensive efficiency assessment on underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2021,37(7):1-10(in Chinese).
- [ 7 ] 邱维. 昆明市第九、第十地下污水处理厂设计实例分析[J]. 中国给水排水,2017,33(10):22-27.  
QIU Wei. Design principle of the ninth and the tenth underground wastewater treatment plants in Kunming city [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(10):22-27 (in Chinese).
- [ 8 ] 刘春. 地下污水处理厂的BIM应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(11):162-164.  
LIU Chun. BIM application in underground sewage treatment plant [J]. Intelligent Building & Smart City, 2022(11):162-164(in Chinese).

作者简介:吴晓宇(1988- ),男,广东湛江人,工学/管理学学士,高级工程师,主要从事给水排水设计等领域研究工作。

E-mail:422144570@qq.com

收稿日期:2024-12-18

修回日期:2025-08-18

(编辑:沈靖怡)

珍惜水,爱护水,以水促和平