

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.14.008

杭州某多功能集约化半地下污水厂设计实例

庞吉^{1,2}, 王刚³, 王首都⁴

(1. 浙江国兴投资集团有限公司, 浙江 杭州 311300; 2. 杭州市临安区经济适用住房开发有限公司, 浙江 杭州 311300; 3. 浙江杭州青山湖科技城投资集团有限公司, 浙江 杭州 311300; 4. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 随着城市化进程的加快,部分污水处理厂用地周边已成为环境敏感区或人员聚集区,污水厂的地上建设形式在一定程度上制约了周边地区的经济及社会发展。杭州某污水处理厂周边地形复杂,考虑节地、无“邻避”效应、一地多用等因素,采用半地下形式集约化布置,集污水处理、仓储、公交停保、光伏发电等多功能于一体。全厂结合周边竖向高程,设置综合处理车间和仓储用房两栋大型建筑,综合处理车间以半地下形式设置各污水处理构筑物,水力高程优化合理,屋顶设置电动公交停车场及洗车区;仓储用房设置仓储功能区、配套管理功能区及公交保养功能区,屋顶设置光伏发电板。全厂各功能区衔接顺畅,采用集约化布置,低碳环保,可为类似项目提供参考。

关键词: 半地下污水厂; 多功能; 集约化设计; 低碳

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)14-0051-06

Design Case of a Multi-functional and Intensive Semi-underground Wastewater Treatment Plant in Hangzhou

PANG Ji^{1,2}, WANG Gang³, WANG Shou-du⁴

(1. Zhejiang Guoxing Investment Group Co. Ltd., Hangzhou 311300, China; 2. Hangzhou Lin'an District Economic Housing Development Co. Ltd., Hangzhou 311300, China; 3. Zhejiang Hangzhou Qingshan Lake Science and Technology City Investment Group Co. Ltd., Hangzhou 311300, China; 4. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: With the rapid advancement of urbanization, the areas surrounding some wastewater treatment plants have gradually transformed into environmentally sensitive regions or densely populated districts. To a certain extent, the ground construction of these wastewater treatment plants has constrained the economic and social development of their surrounding areas. The terrain surrounding a wastewater treatment plant in Hangzhou is characterized by its complexity. A semi-underground design was adopted to achieve an intensive layout considering factors such as land conservation, the absence of not-in-my-backyard, and the need for multiple uses of a single site. This approach integrates various functions, including wastewater treatment, warehousing, bus parking and maintenance, and photovoltaic power generation. The entire wastewater treatment plant, considering the surrounding vertical layout, comprises two major buildings: a comprehensive treatment workshop and a warehouse. The comprehensive treatment

workshop features various semi-underground wastewater treatment structures, with hydraulic elevation optimized for rationality. Additionally, the roof accommodates an electric bus parking lot and a vehicle washing area. The warehouse is designed with distinct functional zones, including a storage functional area, a supporting management functional area, and a bus maintenance functional area. Photovoltaic panels are installed on the roof to promote renewable energy utilization. All functional areas of the entire wastewater treatment plant are seamlessly integrated through a well-planned layout. The wastewater treatment plant adopts an intensive design approach, ensuring low-carbon and environmentally friendly operations, which can serve as a valuable reference for similar projects.

Key words: semi-underground wastewater treatment plant; multi-function; intensive design; low-carbon

近30年,我国建设了大批污水处理厂,大多采用地上式的布置形式。随着城市发展,部分污水处理厂用地周边已经成为环境敏感区或人员聚集区,地上式污水处理厂与区域附近敏感环境存在不适应、不协调的问题,在一定程度上制约了周边地区的经济及社会发展^[1]。

受此影响,近年来在公众敏感区一批半地下式及地下式污水处理厂相继建设。地下污水处理厂将各构筑物在地下空间内组团式集约化布置,节省用地,并利用顶盖开发其他功能^[2]。如萧山钱江四期污水厂^[3]、上海泰和污水厂、上海南翔污水厂,在顶盖设置绿地公园,为周边居民提供休憩佳地,环境友好;苏州高新区污水厂顶部一层开发为公共停车库,二层开发为公共绿化及文化展示长廊,解决了周边居民停车难等问题;长沙雷锋污水厂在顶部设置光伏发电厂,低碳环保;保定鲁岗二期污水厂^[1]在顶部设置绿地公园、科普教育馆及运动场,满足了周边居民的文娱休闲需求。

考虑节地、无“邻避”效应、一地多用等因素,杭州某污水处理厂采用半地下形式集约化布置,集污水处理、仓储、公交停保、光伏发电等多功能于一体。介绍该工程在集约化布置、多功能开发、低碳设计上的设计特色,可为类似项目提供参考。

1 项目背景

杭州某污水处理厂位于临安区青山湖科技城,北临中苕溪。工程建设用地约5.67 hm²,其周边地形起伏较大,道路北低南高,相差达10 m,西侧道路衔接南北道路,纵坡较大,东侧为土丘。基于当地实际需求,该用地需满足以下功能:

① 污水处理功能。该区域原有一座小型污

水处理厂,但设施陈旧,工艺落后,2017年已转型为污水泵站,将区域污水泵送至10 km外的现状青山污水处理厂。随着青山湖科技城招商引资,入驻企业日益增多,青山污水处理厂运行压力较大,需就地新建一座污水处理厂。经规划测算,其近期规模为 2×10^4 m³/d,远期为 4×10^4 m³/d。

② 公交停保功能。当地公交公司需在此地块建设公交维修保养中心,新能源公交停车及充电区、洗车区。公交维修保养中心需设置在建筑底层,公交维保及停车需设置单独的进出口,并与周边道路顺利衔接。

③ 仓储功能。当地部门需在此地存储部分应急防疫及救灾物资,储存物品的火灾危险性分类为戊类,仓储功能区需设置单独的进出口。

④ 光伏发电功能。当地工业建筑普遍在屋顶设置太阳能光伏板发电系统,从而降低碳排放。

该工程地块权属当地投资公司,以土地划拨的形式供地,公交公司和存储物资的部门采用使用者付费的形式对场地进行租借。

为保证各功能区衔接顺畅,在全厂设置仓储用房和综合处理车间两栋大型建筑。仓储用房包括仓储功能区、配套管理功能区及公交保养功能区,屋顶设置光伏发电板;综合处理车间内设置污水处理构筑物,屋顶设置电动公交停车场及洗车区。

2 厂区总图设计

仓储用房位于北侧,其前部厂区为公交维保使用,地坪标高23.20 m,可与北侧旧长西线(标高约23.00 m)顺利衔接;综合处理车间位于西南侧,其屋顶停车场标高35.80 m,可与西侧纵坡较大的通路(标高23.00~36.00 m)通过坡道进行衔接;其

余厂区控制地坪标高为25.10 m,可与各出入口顺利衔接。厂区西侧及南侧与现状较高道路毗邻处设置挡土墙。

污水处理厂布局见图1。



图1 污水处理厂布局

Fig.1 Layout of the wastewater treatment plant

厂区共设4个出入口,其中公交停保功能区对应1个出入口,公交车通过通路1号口出入综合处理车间上部,管理人员经连廊可到达仓储用房的的管理用房;污水厂对应2个出入口,其中人流主要从4号口出入,物流主要从2号口出入;仓储用房对应1个出入口(3号口)。公交停保功能区、污水处理厂、仓储用房3个功能区分区明晰,互不干扰。污水处理厂鸟瞰如图2所示。



图2 污水处理厂鸟瞰

Fig.2 Aerial view of the wastewater treatment plant

3 综合处理车间设计

综合处理车间占地约8 700 m²,内部设置污水处理各类构(建)筑物,设计规模2×10⁴ m³/d(部分构

筑物4×10⁴ m³/d),总变化系数为1.51,采用半地下形式布置。屋顶设置公交停车场,可停放50辆大型公交车,并设置配套充电桩及洗车区。

3.1 污水处理设计标准及工艺流程

该工程设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	350	150	250	35	40	5.0
出水	≤30	≤10	≤10	≤1.5(3.0)	≤10(12)	≤0.3

出水指标中COD、TN、NH₃-N及TP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)表2标准,其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准;污泥脱水至含水率小于60%后外运焚烧处置;臭气执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)表1(二级新扩改建)及表2标准。

污水处理工艺流程见图3。

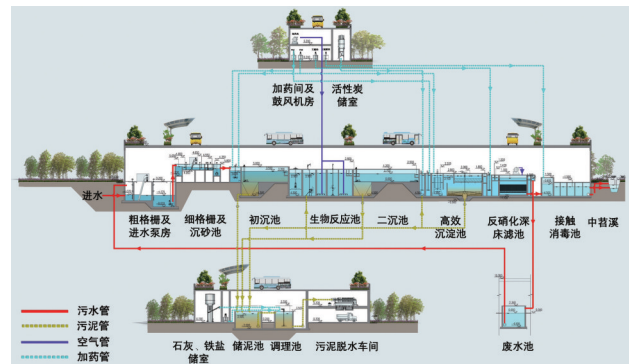


图3 污水处理工艺流程

Fig.3 Process flow of wastewater treatment

污水处理工艺流程:粗格栅及提升泵房→细格栅及旋流沉砂池→初沉池(前端混凝)→AAO+AO生物反应池→二沉池→高效沉淀池(投加粉末活性炭应急)→反硝化深床滤池→次氯酸钠消毒;污泥处理工艺流程:污泥浓缩+污泥调理+板框脱水;除臭工艺流程:生物预洗+生物过滤。

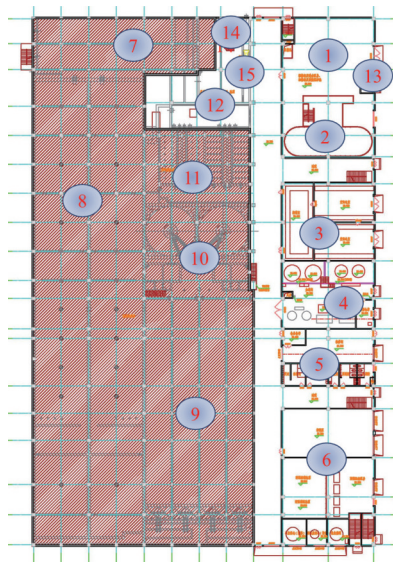
3.2 车间内部平面及竖向布置

综合处理车间内部布置紧凑,设有南北向检修通道,宽6 m,标高25.30 m。通道西侧为水池区(规模2×10⁴ m³/d),东侧为辅助用房区(规模4×10⁴ m³/d)。

西侧水池区包括初沉池(池顶标高29.30 m)、生物反应池(池顶标高29.30 m)、二沉池(池顶标高

29.30 m)、高效沉淀池(池顶标高28.00 m)、反硝化深床滤池(池顶标高28.00 m)、接触消毒池(池顶标高25.30 m),西侧池顶盖板上设置除臭单元、出水仪表间等。东侧辅助用房区主要设置两层建筑,一层地面标高25.30 m,二层地面标高30.50 m,布置粗格栅及进水泵房、细格栅及旋流沉砂池、进水仪表间、变配电间、加药间、机修间、鼓风机房(位于加药间上部)、脱水机房、料仓用房等。综合处理车间西侧水池区池顶与东侧辅助用房二层设置2座钢梯跨检修通道连接。

综合处理车间25.30 m标高层整体布置见图4。



- 1.粗格栅及进水泵房 2.细格栅及旋流沉砂池 3.变配电间 4.加药间
5.机修间 6.污泥脱水机房及配套料仓用房 7.初沉池
8.生物反应池 9.二沉池 10.高效沉淀池 11.反硝化深床滤池
12.接触消毒池 13.进水仪表间 14.出水仪表间 15.巴氏计量槽

图4 25.30 m标高层布局

Fig.4 Layout of 25.30 m elevation level

综合处理车间整体布置水力通畅,维护检修方便,且在高程设计中充分考虑厂区整体地形、进水管标高及尾水排放水体的水位,整个工艺流程仅设置一次提升,尾水可自流进入北侧的中苕溪,既减少了基坑开挖深度,又可以保证顶层停车场下综合处理车间内部的净空要求,同时降低了能耗和管理的复杂程度。

3.3 车间内建(构)筑物设计

① 粗格栅及进水泵房:1座2格,土建按 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模一次建成,设备按 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配置,平面尺寸约 $17 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ 。

② 细格栅及旋流沉砂池:1座2池,土建及设

备均按 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模建设,平面尺寸 $19.5 \text{ m} \times 13.5 \text{ m}$ 。

③ 平流式初沉池:1座2池,设计规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸约 $40.6 \text{ m} \times 11.8 \text{ m}$,水深 4.0 m 。

④ 生物反应池:1座2池,设计规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,单池可独立运行,总平面尺寸 $103.3 \text{ m} \times 25.1 \text{ m}$,有效水深 8 m ,池内设置纳米生物填料。设计总停留时间 19.2 h (厌氧区 1.2 h 、缺氧Ⅰ区 5 h 、好氧Ⅰ区 8 h 、缺氧Ⅱ区 4 h 、好氧Ⅱ区 1 h),污泥浓度 3.5 g/L ,污泥负荷 $0.040 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥产率 $0.74 \text{ kgDS/kgBOD}_5$,需氧量 $182.6 \text{ kgO}_2/\text{h}$,外回流比为 100% ,内回流比为 300% 。

⑤ 平流式二沉池:1座4池,设计规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总平面尺寸约 $54.9 \text{ m} \times 24.7 \text{ m}$,表面负荷 $1.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水深 3.3 m 。

⑥ 高效沉淀池:1座2池,设计规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸约 $24.0 \text{ m} \times 21.1 \text{ m}$ 。其中快混池表面负荷 $140 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,絮凝池表面负荷 $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,沉淀池表面负荷 $5.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑦ 反硝化深床滤池:1座4格,土建、设备规模均为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸约 $24.0 \text{ m} \times 23.0 \text{ m}$,平均滤速 4.75 m/h ,峰值滤速 7.23 m/h ,峰值+强制滤速 9.63 m/h ,平均水力停留时间 23 min 。

⑧ 加氯接触池:1座,附设出水及回用水泵,土建、设备规模均为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水力停留时间为 30 min 。

⑨ 鼓风机房:1座,平面尺寸约 $17.0 \text{ m} \times 14.5 \text{ m}$,土建按 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模一次建成,设备按 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配置。

⑩ 加药间:1座,主要用于PAC、PAM、碳源、次氯酸钠的贮存及投加,平面尺寸为 $20.4 \text{ m} \times 15.0 \text{ m}$ 。土建按 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模一次建成,设备按 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配置。

⑪ 污泥脱水机房:1座,包含浓缩池、调理池、卸泥区、配套加药区等,土建规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设备规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸为 $29.0 \text{ m} \times 20.0 \text{ m}$ 。

综合处理车间考虑水路、泥路,统筹近远期需求,整体布置紧凑集约,建(构)筑物(以 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模计)用地指标为 $0.4350 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,用地节约。

3.4 车间屋顶充电公交停车场

综合处理车间屋顶设置充电公交车位50个,并设置洗车区、收银间等配套附属设施。统筹考虑公

交车交通组织、出车停车、屋顶吊装孔、电缆沟、配套用房等设置要求,在屋顶合理布置各类单元的平面尺寸及间距。

综合处理车间屋顶布置见图5。

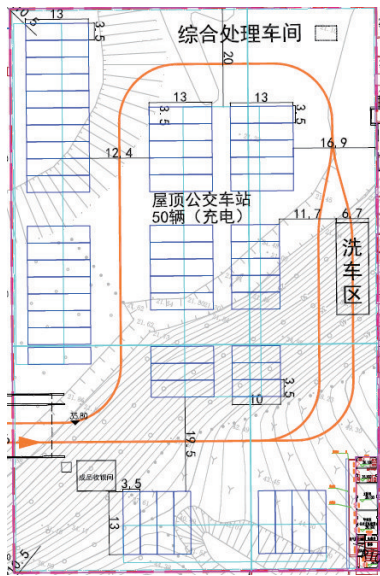


图5 综合处理车间屋顶布置

Fig.5 Roof layout of comprehensive treatment workshop

综合处理车间屋顶设置13.0 m×3.5 m及10.0 m×3.5 m充电停车位,满足新能源公交停车、充电、洗车等多重要求。屋顶西侧设置坡道与通运路衔接,并保证坡度不大于6%。

4 仓储用房设计

仓储用房为4层建筑,占地约5 900 m²,包括仓储功能区、公交保养功能区、配套管理功能区等,屋顶设置光伏发电板。

4.1 仓储及公交保养功能区

仓储用房一层为仓库(戊类),局部为仓库(丙类),并设置公交车保养区及配套管理用房;二层为仓库(戊类)、变配电间及配套管理用房;三层为仓库(戊类)及配套管理用房;四层为仓库(戊类)及配套管理用房。仓储用房一层设置消防泵房,用于厂区内消防。

仓储用房统筹各类功能单元需求,将人员活动密集区的配套管理用房设置于各层的东南侧;将与北侧厂区衔接的公交保养区设置于一层东北侧,其检修地坑区地坪标高23.40 m,可与北侧厂区顺利衔接;一层其余地坪标高25.30 m,可与东侧、南侧厂区顺利衔接。

仓储用房各层布置见图6。

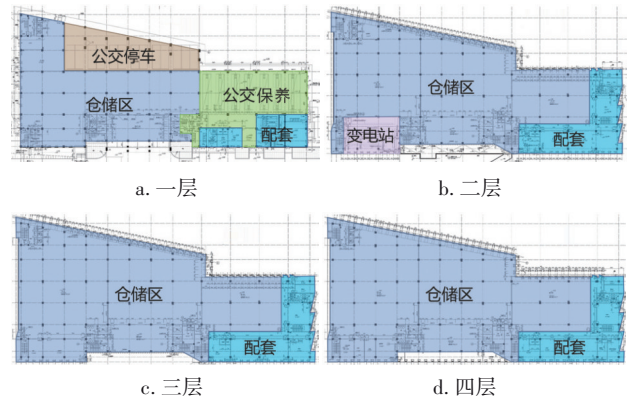


图6 仓储用房各层布置

Fig.6 Layout of warehouse on each floor

4.2 屋顶光伏发电区

仓储用房屋面为不上人屋面,主要布置太阳能光伏发电板,其配套用房位于仓储二层东南侧,设置光伏电缆井与屋顶进行衔接。

作为一种低碳排放和低碳足迹的方法,太阳能光伏技术成为当前的研究热点,而污水处理厂因其独特的空间分布和处理流程,较适合嵌入光伏技术^[4]。不同于地上污水厂在露天水池顶部设置光伏板,亦不同于其他地下污水厂在污水处理箱体顶盖上部设置光伏板^[5],该工程结合各方需求,在污水处理所在的综合处理车间顶部优先设置与周边交通衔接要求较高的充电公交停车场,而将对场所条件要求不高的光伏发电功能区设置于仓储用房屋顶。该工程因地制宜、物尽其用,可为类似项目的低碳设计提供参考。

5 运行效果及成本分析

5.1 运行效果

该污水处理厂自2021年12月动工,于2023年9月开始试运行。分析2024年污水厂进水数据,COD为160~318 mg/L, BOD₅为90~132 mg/L, SS为165~232 mg/L, NH₃-N为16~34 mg/L, TN为22~39 mg/L, TP为2.9~4.2 mg/L,与设计水质接近;分析2024年污水厂出水数据,COD为14~28 mg/L, BOD₅为6.3~8.9 mg/L, SS为6~9 mg/L, NH₃-N为0.5~1.1 mg/L, TN为7.4~9.8 mg/L, TP为0.11~0.18 mg/L,满足设计要求。

5.2 成本分析

该项目工程总投资41 785.42万元,其中工程费用32 010.83万元、其他基本建设费用7 506.71

万元(土地使用费3 810.00万元)、工程预备费1 975.88万元、铺底流动资金292.00万元。

污水处理厂运行成本分析以规模 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 为基数,吨水运行成本1.791元/ m^3 ,日运行成本35 815.92元/d,年运行成本1 307.28万元/a。运行成本分析见表2。

表2 运行成本分析

Tab.2 Analysis of running costs

项目		单价	数量	费用/ (元·d ⁻¹)	吨水成本/(元· m ⁻³)
水、电	生产、生活用水	2.4元/ m^3	112.92 m^3/d	271.01	0.014
	电	0.68元/ (kW·h)	16 356.16 kW·h/d	11 122.19	0.556
污泥系统	阳离子PAM	20 000元/t	0.004 5 t/d	90	0.005
	铁盐(40%)	800元/t	1.687 5 t/d	1 350	0.068
	石灰	600元/t	0.675 t/d	405	0.020
	污泥处置(含运输费)	200元/t	12.66 t/d	2 532	0.127
污水处理系统药剂	PAC(12%)	600元/t	10 t/d	6 000	0.300
	阴离子PAM	12 000元/t	0.08 t/d	960	0.048
	乙酸钠(20%)	1 000元/t	2.4 t/d	2 400	0.120
	次氯酸钠(10%)	800元/t	2 t/d	1 600	0.080
	活性炭	7 000元/t	0.12 t/d	840	0.042
人员工资及福利		100 333.3元/(人·a)	30人	8 246.58	0.412
合计				35 815.92	1.791

该污水厂运行成本处于中等水平,且由于其具备污水处理、仓储、公交停保、光伏发电等功能,可通过仓储用房出租、光伏发电收入等降低成本,产生其他方面的综合收益。以光伏发电为例,仓储用房屋顶共设置光伏发电板339块,单块占地约4.0 m \times 1.8 m,以每年有效照射时间1 600 h计,可发电约468 600 kW·h/a,减少标准煤消耗约150 t/a,减少二氧化碳排放455 t/a,光伏发电可降低0.043元/ m^3 的吨水运行成本。

6 结语

杭州某污水处理厂是在复杂地形下布置的包含污水处理、仓储、公交停保、光伏发电等多功能的半地下污水处理厂,设计方案充分考虑周边地势,合理划分各类功能单元,优化高程设置,在用地较

少的情况下保证各方需求,可实现集约化、多功能化、低碳环保的目的。

参考文献:

- [1] 张彪,赵健,周昕怡.某多效能全地下式污水厂集约化设计方案[J].净水技术,2023,42(1):160-167.
ZHANG Biao, ZHAO Jian, ZHOU Xinyi. Integrated design scheme of a multifunctional full-underground WWTP[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(1): 160-167 (in Chinese).
- [2] 邱维.我国地下污水处理厂建设现状及展望[J].中国给水排水,2017,33(6):18-26.
QIU Wei. The current status and prospect of underground wastewater treatment plant in China [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6): 18-26 (in Chinese).
- [3] 王雅楠.钱江地下式集约化污水处理厂设计方案[J].净水技术,2020,39(6):38-42.
WANG Yanan. Design scheme of Qianjiang underground intensive sewage treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(6): 38-42 (in Chinese).
- [4] 钱媛媛,王永杰,杨雪晶.光伏与“光伏+水务”在污水处理厂的应用现状[J].工业水处理,2022,42(6):40-50.
QIAN Yuanyuan, WANG Yongjie, YANG Xuejing. Application status of photovoltaic technology and “photovoltaic +water” in wastewater treatment plant [J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(6): 40-50 (in Chinese).
- [5] 房镇,傅洪波,丁良才.分布式光伏发电系统在污水处理厂的应用[J].节能与环保,2019(9):86-87.
FANG Zhen, FU Hongbo, DING Liangcai. Application analysis of distributed photovoltaic power generation system in sewage treatment plant [J]. Energy Conservation & Environmental Protection, 2019(9):86-87 (in Chinese).

作者简介:庞吉(1985-),女,浙江杭州人,本科,工程师,副经理,主要从事工程项目管理工作。

E-mail:19093472@qq.com

收稿日期:2023-06-01

修回日期:2024-10-20

(编辑:沈靖怡)