

李庆桂. 全地下式污水处理厂设计要点分析[J]. 净水技术, 2022, 41(9):156-161.

LI Q G. Analysis on key design points of underground wastewater treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(9):156-161.



扫我试试?

全地下式污水处理厂设计要点分析

李庆桂

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司,上海 200092)

摘要 全地下式污水处理厂由于具有环境友好、占地面积小等优点,已成为城市污水工程建设的新方向。全地下式污水处理厂的设计较传统地上式污水处理厂难度大大增加。文章通过调研并结合工程实践经验,从工艺选择、平面高程布置、通风设置、消防等方面,对全地下式污水处理厂设计要点和难点进行详细论述,同时对其未来发展进行展望,以期为全地下式污水处理厂的设计提供可参考借鉴的解决方案。研究表明:AAO工艺在全地下式污水处理厂中得到了更为广泛的应用;通风设计建议采用新型无风管通风系统;消防设计时建议根据《城镇地下式污水处理厂技术规程》进行防火分区划分。

关键词 全地下式污水处理厂 工艺选择 平面高程布置 通风设计 消防设计

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2022)09-0156-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.09.022

Analysis on Key Design Points of Underground Wastewater Treatment Plant

LI Qinggui

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract The underground wastewater treatment plant (WWTP) has become a new direction of urban sewage engineering construction due to its environmental friendliness and small land use. The design of an underground WWTP is much more difficult than that of a traditional above-ground WWTP. Based on research and engineering practice experience, this paper discusses the key points and difficulties in the design of an underground WWTP in detail from the aspects of process selection, plane elevation layout, ventilation, and fire protection. At the same time, it looks forward to its future development, in order to provide a reference solution for the design of the underground WWTP. Research results show that the AAO process has been more widely used in the underground WWTP. It is recommended to use a new type of ductless ventilation system in the ventilation design. In the fire protection design, it is recommended to divide the fire zones according to the *Technical Specification for Urban Underground Wastewater Treatment Plant*.

Keywords underground wastewater treatment plant (WWTP) process selection plane elevation layout ventilation design fire protection design

城镇污水处理厂是污染减排的主要承担者,对保障城镇生态环境质量和可持续发展起到重要作用。根据《2020年中国城乡建设统计年鉴》^[1],截至2020年,我国现有城市污水处理厂2 618座,县城污水处理厂1 708座。由于城镇化进程的快速推进,早期建设的很多污水处理厂逐渐被居民区包围^[2]。

随着人们环保意识的增强,城镇污水处理厂恶臭气体污染问题日益突出,特别是在中心城区的环境敏感区域,“厂群矛盾”突出,严重影响了污水处理厂的社会形象,引起社会的广泛关注。同时,对常规地面污水处理厂来说,环境保护距离导致大量土地无法使用,造成土地财政的巨大浪费。

因此,地下式污水处理厂应运而生,全球第一座地下式污水处理厂在1932年起源于芬兰,随后在欧洲、韩国、日本等用地紧张的国家 and 地区应用较广

[收稿日期] 2022-03-24

[作者简介] 李庆桂(1990—),男,硕士,工程师,主要从事排水设计研究,E-mail:liqingguihit@163.com。

泛。我国从 21 世纪开始应用,国内最早的地下式污水处理厂是建于 2010 年的深圳布吉污水处理厂。

近些年,地下式污水处理厂由于具有环境友好、占地面积小、能够带动提升周边地块品质、与绿化和水景有机结合、美观性好等优点得到了各

地政府和周边居民的认可,建设需求急剧增加,已成为城市污水工程建设的新方向。地下式污水处理厂主要建设形式分为全地下式、半地下式、地坪式 3 种(图 1)。这 3 种建设形式的特点比较如表 1 所示。

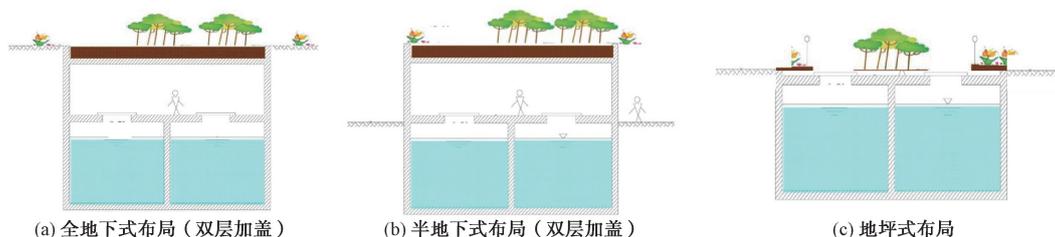


图 1 地下式污水处理厂建设形式

Fig. 1 Construction Forms of Underground WWTP

表 1 地下式污水厂型式比较

Tab. 1 Comparison of Underground WWTP Types

比较内容	全地下式布局(双层加盖)	半地下式布局(双层加盖)	地坪式布局
特征	设施全部建于地下,要求彻底的安全措施	大部分设施建于地下,但是在地面上露出 4~5 m,可利用上部空间,建设施工在地下,运行管理在地面,要求安全对策	大部分设施建于地下,建设施工在地下,运行管理在地面,要求安全对策
上部空间可利用性	在地面上有对应各种目的的开口(如人员出入、通风等),但易于在二次覆盖上布置运动、休闲、园林景观等各种功能用途场所	难以利用一次覆盖,二次覆盖的高度较低,易于做简易的运动场、绿化场所	上部空间有较多的安装孔,利用难度较大
景观效果	好	较好	一般
通风	需机械通风	机械通风和自然通风相结合	常规通风即可
消防	消防要求相对较高	满足一般的消防要求	满足一般的地面消防要求
基坑围护	均为深基坑,投资较大	深基坑较少	深基坑较少
周围环境影响	臭气的密闭性好,对周围环境影响小	臭气的密闭性较好,对周围环境影响较小	对周围环境影响较大
管理便利性	管理人员的管理路线通过地下管廊进行,不受恶劣天气的影响,构筑物集中布置,容易管理,但设备的检修、维护、安装存在一定困难	管理人员的管理路线通过地下管廊进行,不受恶劣天气的影响,构筑物集中布置,容易管理,但设备的检修、维护、安装存在一定困难	管理人员的管理路线处于地面,在下雨、下雪等恶劣天气的情况时,管理很不方便,但便于设备的检修、维护、安装
投资	高	较高	低
运行成本	高	较高	低
安全运维	对安全运维要求高	对安全运维要求较高	对安全运维要求低

地坪式布局的上部空间有较多的安装孔,运行时需要人员巡检,生产区和上部功能开发层无法有效分隔,上部空间利用难度较大。全地下式布局相比半地下式布局在土地利用效率、景观效果、土地开发等方面更具优势,在实际工程中应用更为广泛。

污水处理厂埋入地下后,四周形成维护墙,上部加了顶盖,形成具有建筑属性的三维空间。同时,因为工艺的要求,一些设备及部分配电设施要放到地

下,需要人员定时巡检,给设计带来了较大的难度。全地下式污水处理厂的设计要点和难点主要集中在工艺、平面高程、结构、通风、除臭、消防、电气、自控、安全、卫生、交通等方面。本文将重点从与投资运行成本密切相关的工艺选择及平面高程布置、与人员安全密切相关的通风消防方面展开详细论述,以期全地下式污水处理厂的设计提供可参考借鉴的解决方案。

1 工艺选择

全地下式污水处理厂由于土建投资较大,运行成本较高,工艺选择时建议采用占地面积小、布置紧凑、运行维护方便、低碳节能的处理工艺。本文调研了国内已建大型全地下式污水处理厂的主流处理工艺,如表2所示。由表2可知,目前国内已建大型全地下式污水处理厂的工艺多为 AAO 和 MBR,高效生物膜工艺在全地下式污水处理厂中也得到应用。此外,CAST 和 CASS 工艺在小规模全地下式污水处理厂中也有少量应用。

MBR 工艺具有效率高、处理时间短、占地小等

优点,但其设备造价高于常规深度处理设施,且寿命一般为 5 年,5 年后就需更换,运行成本较高,适用于进水浓度不高、环境敏感、用地困难、对尾水要求高的项目。但在目前“碳中和”“碳达峰”背景下,MBR 工艺因自身高能耗的特点,其应用将受到一定程度的限制。

AAO 工艺因其工艺成熟、处理效果稳定、运行安全且稳定、维护少、投资适中、运行成本低等优点,在实际工程中应用更为广泛。实际设计中,工艺选择需根据项目进水水质、排放标准、用地条件等进行技术经济比选后确定。

表 2 大型全地下式污水处理厂处理工艺统计

Tab. 2 Statistics of Treatment Process of Large Underground WWTP

项目名称	规模/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	出水标准	主体工艺
北京槐房再生水厂	60 万	地表“准Ⅳ类”(除 TN 外其他指标达到Ⅳ类要求)	MBR
上海白龙港提标工程西北地下污水处理厂	50 万	一级 A	AAO
上海泰和污水处理厂	40 万	一级 A(其中氨氮和 TN 指标按地表水Ⅳ类水标准执行)	AAO
广州石井净水厂	30 万	一级 A	AAO
青岛高新区污水处理厂	18 万	一级 A	MBBR
昆明市第十水质净化厂	15 万	一级 A	MBR
昆明市第九水质净化厂	10 万	一级 A	MBR
上海嘉定南翔污水处理厂	10 万	一级 A	AAO
厦门海沧地下污水处理厂	10 万	一级 A	AAO
苏州新区污水处理厂	10 万	一级 A	AAO
河北正定新区污水处理厂	10 万	一级 A	MBR

2 平面和高程布置

(1) 工程选址

全地下式污水处理厂一般位于土地稀缺的市中心或距离综合体和居民区等敏感设施较近。厂址选择时,首先考虑与周边环境的协调性,优先使用规划绿地或公共设施用地;其次,占地面积需满足工艺要求,便于污水收集和处理后排放;同时,厂区防洪标准应不低于城镇防洪标准,具有良好的排水条件;此外,厂址还需满足交通便利、物流运输方便等条件。

(2) 平面布置

鉴于全地下式污水处理厂建设难度大,建成后难以扩建,建议采用“土建按远期规模一次建成,设备分阶段安装”的建设模式。上海嘉定南翔污水处理厂(土建按 10 万 m^3/d 规模一次建成,设备按近期 5 万 m^3/d 规模安装)和兰州市盐场污水处理厂

二期工程(土建按 10 万 m^3/d 规模一次建成,设备按近期 7.5 万 m^3/d 规模安装)均按上述模式建设。

本文还调研了国内已建大型全地下式污水处理厂的用地面积,结果如表3所示。由表3可知,全地下式污水处理厂用地面积受用地情况、处理工艺和出水标准等因素影响,用地指标为 0.3 ~ 0.5 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,通常情况下较同类型地上污水处理厂可节地 40% ~ 60%。

全地下式污水处理厂的总平面布置不受风向的影响,因此,平面布置时主要根据污水处理厂进、出水方向和用地情况进行集约化布置,做到布局合理、水流顺畅。平面布置还需结合竖向布置,充分利用现状地形,减小土石方量,节省工程投资。构筑物的布置受柱网的影响,应避免柱子布置在构筑物内部,减少对水流条件的影响。构建筑物的组合、叠放对

表3 全地下式污水处理厂用地面积统计
Tab. 3 Statistics of Land Area Use for Underground WWTP

项目名称	规模 /($m^3 \cdot d^{-1}$)	出水标准	箱体用地面积 / m^2	用地面积 / m^2	用地指标 /($m^2 \cdot m^{-3} \cdot d$)	常规地上污水处理厂 用地指标/($m^2 \cdot m^{-3} \cdot d$)
河北正定新区污水处理厂	10万	一级 A	1.61万	4.2万	0.42	0.80~0.95
昆明市第九水质净化厂	10万	一级 A	1.7万	2.99万	0.3	
昆明市第十一水质净化厂	6万(校核规模为8万)	一级 A	2.46万	4.07万	0.51	
昆明市第十二水质净化厂	10万	一级 A	1.7万	2.99万	0.3	
苏州新区污水处理厂	10万	一级 A	1.6万	3.82万	0.38	
张家港金港污水处理厂	5万	一级 A	1.03万	2.4万	0.48	

总平面布置的影响极大,应合理组合,达到充分利用空间、减少占地、减少构筑物之间的连接管道(相应减少水头损失)的目的。平面布置还需充分考虑人流、物流、信息流,保证交通顺畅,便于维护和管理。

(3) 高程布置

全地下式污水处理厂竖向可分为3层,分别为上部功能开发层、操作层(负一层)、池体和管廊层(负二层)。池体和管廊层(负二层)主要为污水处理构筑物,通常情况下没有人员活动。操作层(负一层)主要为辅助生产建筑,承担污水处理厂的巡检功能。为使污水处理厂操作层显得整洁、美观,操作层没有过多的凸起而影响地下的交通运输,需要力求各处理构筑物的顶标高基本一致。

污水处理厂上部空间应按照规定要求进行开发利用,可建成对环境影响小且美观的开放式公园,如上海嘉定南翔污水处理厂;也可与停车场合建,提高土地利用率,如苏州新区污水处理厂;还可以结合地块开发,建成写字楼对社会开放,提高土地综合利用价值,如东京都芝浦污水处理厂。

3 通风设计

全地下式污水处理厂因处于封闭空间,需设置机械通风系统保证空气质量。目前,全地下式污水处理厂负一层大空间一般采用混合通风,在内部布置大量风管,且风管断面尺寸较大。地下箱体操作层一般具有面积大、结构顶板主次梁大而多的特性,大断面风管占用了大部分管线空间,往往与结构主次梁交叉,不易布置。由于通风管的存在,在覆土厚度相同的情况下,整个地下式污水处理厂埋深将增加1~2 m,土建成本大大增加。同时还存在通风换气死角、施工吊装困难、维修保养不便等问题。

为解决上述问题,在地下箱体大空间可采用新

型无风管通风系统,主要利用送、排风风机形成大空间内类活塞流动,并配合诱导风机实现污染物排除,可有效避免风管大量占用空间和与结构梁交叉的问题,有效降低负一层净高和埋深,节省工程投资。同时,还具有送排风均匀无死角、耗能低且布置方式灵活、噪声小等诸多优点。

加氯加药间、除臭设备间等生产运行过程中产生有毒有害气体的房间或区域平时设置机械送排风,同时兼顾事故通风,换气次数按不小于12次/h设计,通风设备均与仪表检测装置联动。操作层大空间区域和进出通道设机械送排风系统,通风换气次数按不小于6次/h设计。通风换气通过土建风井送出地面,地下箱体内设送排风机吊装于顶板下,风机的位置和内部气流组织根据数值模拟结果进行确定。对产生振动、噪声的设备采取减振消声措施,减小噪声对周边声环境的影响。

操作层大空间区域的机械排风系统需同时兼顾各构筑物放空检修时的临时送风,在除臭系统正常运行的情况下,当某一组构筑物需要放空检修时,将移动式风机通过软风管接采光天窗将室外新鲜空气不断压入构筑物内部。同时,由除臭系统对构筑物进行抽风,使构筑物内部形成负压,从而使放空的构筑物内部散发的有毒有害气体不会泄漏至负一层的空间内。对构筑物内部通风换气一段时间后,采用移动式仪表对构筑物内部环境进行检测,内部环境满足要求后,方可允许人员做好各项防护措施后进入。在人员进入期间,临时通风系统需持续运行。

4 消防设计

2021年《城镇地下式污水处理厂技术规程》^[3]实施前,国内尚无针对全地下式污水处理厂消防设计的规范,国内已建的全地下式污水处理厂消防设

计大多采用“一事一议”的审批原则^[4],其消防设计方案无统一的设计标准。

本文调研了目前国内已建的全地下式污水处理厂防火分区划分方式,如表 4 所示。在防火分区的划分上主要采用两种方案。方案一:将整个地下箱体作为一个整体建筑进行防火分区的划分,主要案

例有苏州新区污水处理厂、昆明市第十一水质净化厂等^[5];方案二:按照功能的不同将地下空间分为厂房和构筑物,操作层构筑物区域的防火分区面积按工艺要求确定,敞开的水面面积不计入防火分区^[4],主要案例有上海白龙港提标工程西北地下厂、上海嘉定南翔污水处理厂等。

表 4 全地下式污水处理厂防火分区划分方式统计
Tab. 4 Statistics of Division Method of Fire Compartment for Underground WWTP

污水厂名称	设计规模 /($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	构筑物面积是否 计入防火分区	防火 分区数	防火分区 面积/ m^2	箱体占地 面积/ m^2	防火分区面积与 箱体面积比值	备注
上海白龙港提标工程西北 地下厂	50 万	否	8	5 125	71 852	7%	-
上海嘉定南翔污水处理厂	10 万	否	4	6 613	29 461	22%	-
苏州新区污水处理厂	10 万	是	7	16 233	16 095	101%	防火分区包含部分 负二层
昆明市第十一水质净化厂	6 万(核校规模为 8 万)	是	9	27 030	24 600	110%	防火分区包含部分 负二层

本文认为方案二的划分方式更为合理,主要原因如下。

(1) 地下箱体分为两层,负二层为水池,负一层为操作层。负二层水池大部分加盖密封,根据工艺布置特点,将生产性设备集中布置在负一层的部分区域;大部分加盖水池上方的负一层空间中,除与构筑物本身直接相关的设备外不布置生产设备,盖板上无可燃物,除故障检修外人员几乎不到达该区域,无火灾安全隐患,可作为构筑物区域。

(2) 全地下式污水处理厂设计了全厂综合自动化系统,实现污水处理厂生产和管理的自动化和信息化,地下箱体平时无需人员值班留守,仅定时巡视。

(3) 生产原料、生产产品、生产环境和生产过程都没有任何可燃材料以及产生可燃材料的因素,池中水是灭火剂。

今后,全地下式污水处理厂消防设计时,建议根据《城镇地下式污水处理厂技术规程》^[3]进行防火分区划分,即“操作层设备用房的消防设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》的有关规定;生物反应池、二沉池等池顶操作层处理区的防火分区面积可按工艺要求确定,敞开的水面面积可不计入相应防火分区的允许建筑面积”^[4,6]。

5 展望

全地下式污水处理厂在具有环境友好等优点的同时,存在投资高、建设周期长、运行成本高、运行维护不便等缺点。在“碳中和”“碳达峰”背景下,处理工艺需要进行重新梳理、评估和变革,高效低碳工艺的研发将成为重点。针对建设周期长的问题,可在全地下式污水处理厂的建设中大规模引入预制装配技术,在实现快速化、标准化施工的同时还可提高施工质量。针对运行维护不便的问题,可引入“智慧”概念,大量布置高度自动化检测控制设备,实时动态监视全厂运行数据。同时加强信息化平台建设,实现污水处理厂正常运行时现场无人值守,操作人员定时巡检。针对全地下式污水处理厂管线众多、易碰撞的问题,可通过 BIM 正向设计避免碰撞,节约设计周期,也为后续施工和运行带来极大的便利。

6 结论

(1) 目前,国内已建全地下式污水处理厂的处理工艺大多为 AAO 或 MBR,这两种工艺各有利弊,实际工程中,AAO 工艺应用更为广泛。

(2) 全地下式污水处理厂通常情况下较同类型地上污水处理厂可节约用地 30%~40%,其总平面布置不受风向的影响,主要根据污水处理厂进、出水方向和用地情况进行布置,上部空间应按照规划要求进行开发。

(3)通风建议采用新型无风管通风系统,可有效避免风管大量占用空间和与结构梁交叉的问题,有效降低负一层净高和埋深,节省工程投资,降低通风换气的运行维护成本。

(4)消防设计时,建议根据《城镇地下式污水处理厂技术规程》进行防火分区划分。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城乡建设统计年鉴(2020年)[M]. 北京:中国计划出版社, 2021.

- [2] 李庆桂. 苏州市某污水处理厂加盖除臭设计[J]. 净水技术, 2021, 40(s1): 137-140.
- [3] 中国工程建设标准化协会. 城镇地下式污水处理厂技术规程: T/CECS 729—2020[S]. 北京:中国计划出版社, 2020.
- [4] 肖艳. 上海首座全地下式污水处理厂消防设计研究[J]. 给水排水, 2020, 46(12): 30-35.
- [5] 倪明. 地下式污水处理厂消防设计分析[J]. 净水技术, 2018, 37(9): 4-9.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑设计防火规范: GB 50016—2014(2018年版)[S]. 北京:中国计划出版社, 2018.

(上接第 155 页)

造成污堵,控制源头动植物油脂进入并降低 FeCl_3 过量投加,以降低膜污堵风险。

(2)水解酸化原位开发内碳源工艺作为脱氮除磷生化系统预处理, SCOD_{Cr} 平均有效提高 63.5%, 节省脱氮除磷所需要的外碳源投加量为 42.5% ~ 55.4%, 有效实现降碳的目的。

(3)复合铁酶促活性污泥技术耦合 AAO+MBR 工艺运行,有效地强化了系统脱氮除磷效果,并节省 FeCl_3 投加量 60% 以上,也在一定程度上节省外碳源的投加量,有效地实现降碳的目的。

(4)本工程没有新增设工艺单体和设备,原有设备正常运行,在不增加电耗的情况下成功实现提标改造。

(5)本工程的水解酸化受现状调节池改造限制,水解酸化原位开发内碳源工艺作为脱氮除磷生化系统预处理,其 HRT、污泥回流量、污泥浓度等设计运行参数,以及水解酸化运行效果好而不产生 CH_4 等温室气体的控制措施,还需要进一步研究探索。

(6)本文在降低药耗、能耗等方面做了一些研究探索,在污水再生处理工艺的系统降碳及定量计算方面还有待进一步探讨研究。

参考文献

- [1] 余颖男, 孙丹焱, 郑涛, 等. 污水厂再生水回用于城市内河的生态修复效果及安全性评价[J]. 环境工程, 2021, 39(6): 1-5.
- [2] 中国水网. 张辰: 再谈城镇污水系统碳排放研究[EB/OL]. (2021-10-13) [2022-02-20]. <http://office.h2o-china.com/column/1527.html>.

- [3] 黄开. 东营市某污水处理厂一期工程设计与运行[J]. 净水技术, 2019, 38(7): 27-32, 46.
- [4] 郝晓地, 陈峤, 李季, 等. MBR 工艺全球应用现状及趋势分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(20): 7-12.
- [5] 张彤, 陈进富, 郭春梅. 聚矾超滤膜制备、改性抗油污性能评价[J]. 环境工程学报, 2018, 12(3): 705-711.
- [6] 任金柱, 李军, 王朝朝, 等. 氯化铁对 A/O-MBR 工艺运行效能及膜污染的影响[J]. 中国给水排水, 2014, 30(13): 27-32.
- [7] SHI L L, LI X Y, ZHANG Q, et al. Effectively stimulating partial denitrification to utilize dissolved slowly-biodegradable organic matter by introducing in-situ biosorption and hydrolytic acidification[J]. *Bioresource Technology*, 2021, 333: 125175. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125175.
- [8] 操家顺, 商凯航, 罗景阳, 等. 基于原位碳源补充强化污水处理深度脱氮技术的中试[J]. 净水技术, 2018, 37(3): 64-70.
- [9] 裴浩, 赵文钊, 刘洋, 等. 化学除磷剂对生物除磷系统 PAOs 的影响及投药量分析[J]. 给水排水, 2020, 46(11): 38-44.
- [10] 王朝朝, 李思敏, 徐宇锋, 等. 脱氮除磷膜生物反应器工艺耦合混凝过程优化[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2016, 47(5): 1812-1822.
- [11] 任雪峰, 毕学军, 程丽华, 等. 复合铁酶促活性污泥强化生物脱氮除磷研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(3): 24-28.
- [12] 尹志轩, 李思玉, 毕学军, 等. 低温条件下复合铁酶促对活性污泥系统脱氮除磷效果的影响[J]. 环境工程, 2018, 36(11): 45-48.
- [13] 宋水莲, 李地超, 伍昌年, 等. 侧流水解酸化工艺强化生物脱氮研究[J]. 水处理技术, 2021, 47(12): 99-102.
- [14] 黄焕娣. 水解酸化-微生物电辅助系统处理抗生素废水的效能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [15] 周峰. 生物脱氮除磷工艺中的化学辅助除磷试验研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2010.