

城镇给排水工程设计案例专栏

夏云峰, 周艳, 王涛, 等. 地下式污水处理厂 AAO+MBR 工艺的应用 [J]. 净水技术, 2022, 41(8): 140-145, 162.

XIA Y F, ZHOU Y, WANG T, et al. Application of AAO+MBR processes in underground wastewater treatment plant (UWWTP) [J].

Water Purification Technology, 2022, 41(8): 140-145, 162.



扫我试试?

地下式污水处理厂 AAO+MBR 工艺的应用

夏云峰, 周艳, 王涛, 闵红平, 卢仲兴, 焦鹤, 陈骞

(中建三局绿色产业投资有限公司, 湖北武汉 430058)

摘要 地下式污水处理厂的建设模式以其友好的规避邻避效应、高土地利用率、再生水可就地回用的优势正逐步在全国兴起。为促进地下式污水处理厂的健康发展, 避免盲目建设, 文章对比同等规模的地下式污水处理厂设计参数及运行效果, 从地下式污水处理厂出水、污泥处理、臭气、消防及用地方面梳理工艺设计应注意事项, 以期对后续同类污水处理厂的设计提供参考和借鉴。厌氧-缺氧-好氧+膜生物反应器(AAO+MBR)工艺以其较强抗冲击负荷能力和较高污泥浓度在地下式污水处理厂建设中可作为优先考虑的工艺类型。采用短流程工艺 AAO+MBR 时, 在常规进水质量浓度下($COD_{Cr} \leq 400 \text{ mg/L}$, $TN \leq 45 \text{ mg/L}$), 生物段总停留时间为 10 h, 污泥负荷为 $0.07 \text{ kg BOD}_5 / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$, 污泥龄控制在 20 d, 通过 MBR 深度处理后可满足市政污水处理后的达标排放。

关键词 地下式污水处理厂 邻避效应 厌氧-缺氧-好氧+膜生物反应器(AAO+MBR) 臭气 污泥

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2022)08-0140-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.08.020

Application of AAO + MBR Processes in Underground Wastewater Treatment Plant (UWWTP)

XIA Yunfeng, ZHOU Yan, WANG Tao, MIN Hongping, LU Zhongxing, JIAO He, CHEN Qian

(China Construction Third Bureau Green Industry Investment Co., Ltd., Wuhan 430058, China)

Abstract The construction mode of underground wastewater treatment plant (UWWTP) is gradually emerging throughout the country due to its advantages of friendly avoidance of not in my backyard (NIMBY), high land utilization, and on-site reuse of reclaimed water. In order to promote the healthy development of UWWTPs and avoid blind construction, by comparing the design parameters and operating effects of UWWTPs of the same scale, this paper sorts out the process design considerations from various aspects such as effluent, sludge treatment, odor, fire protection and land use of UWWTPs to provide reference and reference for the subsequent design of similar WWTPs. The anaerobic-anoxic-oxic + membrane bioreactor (AAO+MBR) process can be used as a priority process type in the construction of UWWTPs due to its strong impact load resistance and higher sludge concentration. When using a short process as AAO+MBR, the total residence time of the biological section is 10 h under the conventional influent concentration ($COD_{Cr} \leq 400 \text{ mg/L}$, $TN \leq 45 \text{ mg/L}$), the sludge load is $0.07 \text{ kg BOD}_5 / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$, and the sludge age is controlled for 20 d, which can be satisfied for discharging standard of municipal sewage after the MBR advanced treatment.

Keywords underground wastewater treatment plant (UWWTP) not in my backyard (NIMBY) anaerobic-anoxic-oxic + membrane bioreactor (AAO+MBR) odor sludge

[收稿日期] 2021-08-15

[基金项目] 地下污水处理厂建造优化技术研究(CSCEC-LT2021-03)

[作者简介] 夏云峰(1986—), 男, 硕士, 研究方向为地下式污水处理厂工艺设计及应用研究, E-mail: 330830113@qq.com。

为应对稀缺的城市土地资源和满足高质量的环境需求,污水处理厂的建设需寻求向下发展,以最大程度化解邻避效应。近年来,我国在北上广深等一线城市及昆明滇池、贵阳南明河等城市重点流域的城市人口密集区建设地下式污水处理厂,以解决土地资源紧缺、城市环境要求高的矛盾^[1]。据《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》,鼓励再生水利用,地级及以上缺水城市再生水利用率要求达到25%以上,而其中主要利用水源为污水处理厂的尾水,分散式地下污水处理厂的建设更利于污水的就地处理及回用。以贵阳南明河流域治理为例,该流域采用区域污水收集处理与河流治理统筹的方式、污水处理厂分散布局和地下式污水处理厂相结合的建设模式,实现污水处理厂建设土地的集约化及污水的资源化^[2]。

地下式污水处理厂以其结构紧凑、占地小、二次污染少、地面用途多元化的优势正逐年增加建设规模,其运行稳定,受外部环境影响小,可保持甚至提升周边土地溢价。然而,也应清醒认识到投资成本高、事故风险率大、运维人员健康影响深是其推广的最大阻力。地下式污水处理厂的竖向布置形式主要分3大类:全地下式、半地下式及隧道式^[3]。除隧道式水厂主体结构设置在隧道、岩洞或山洞中外,其余可分为全地下单层加盖式、全地下双层加盖式和半地下双层加盖式^[4-5]。

近十年以来,国内地下式污水处理厂发展迅速,根据国内地下式污水处理厂的调研^[6],50%以上的地下式污水处理厂采用AAO及其改良工艺作为污水处理主工艺;超过25%的地下式污水处理厂采用MBR作为主工艺。在诸多生物处理主体工艺中,主要聚焦两大类。一类为短流程,其主流处理方式为AAO及其改良+MBR工艺,以全地下式广州京溪污水处理厂^[7]为代表,该厂融合了先进的MBR工艺、优化的土建结构设计、可靠的仪表自控技术及安全有效的通风系统,以组团式结构布置的形式为后续同类地下式污水处理厂MBR膜工艺的应用提供了充分的依据和借鉴。另一类为长流程,其主流处理工艺为AAO及其改良+高效沉淀+滤池(深床滤池、转盘滤池等),在合肥滨湖北涝圩再生水厂^[8]和钱江地下式污水处理厂^[9]等均有所应用。相较于长流

程工艺,采用中空纤维膜的MBR工艺其出水水质更优,占地更小,利于满足准IV类及准III类出水指标(部分指标满足IV类或III类标准)及景观环境用水的用途,但初投资及运营成本相对较高。

现就日益广泛应用的AAO及其改良工艺+MBR的案例进行总结,主要从进出水水质及出水用途、主要设计参数、污泥和臭气处理工艺、消防分区等方面进行分析,以期对后续地下式污水处理厂的建设提供参考和借鉴。

1 案例分析

鉴于不同规模的污水处理厂对占地、投资、除臭通风及消防设计等要求不同,故筛选处理规模为10万~15万m³/d的地下式污水处理厂作为分析对象,针对设计所关注的关键内容进行梳理。

1.1 进、出水水质及再生利用

本研究所选取的7座地下式污水处理厂:烟台市套子湾污水处理厂二期(15万m³/d)^[10-11]、河北正定新区污水处理厂(10万m³/d)^[12]、珠海前山水质净化厂(10万m³/d)^[13]、昆明第九(10万m³/d)和第十污水处理厂(15万m³/d)^[14-16]、深圳坂雪岗水质净化厂二期(12万m³/d)^[17]、广州京溪污水处理厂(10万m³/d)。其设计进、出水水质如图1和图2所示。

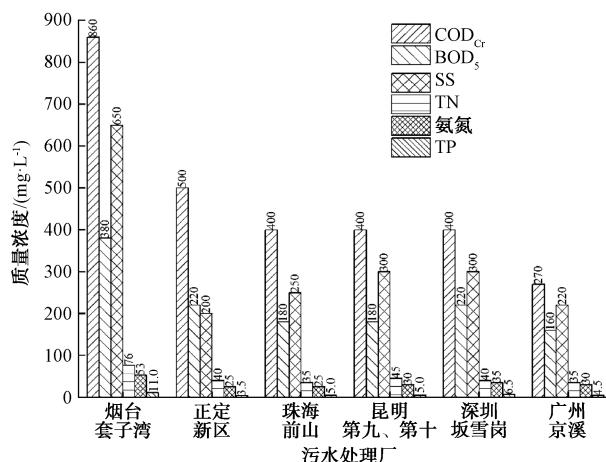


图1 7座地下式污水处理厂设计进水水质

Fig. 1 Design Influent Quality for Seven UWWTs

除深圳坂雪岗水质净化厂出水执行准IV类标准(除TN外,其他指标执行IV类标准,TN≤10 mg/L)外,其余地下式污水处理厂出水均按《城镇污水处

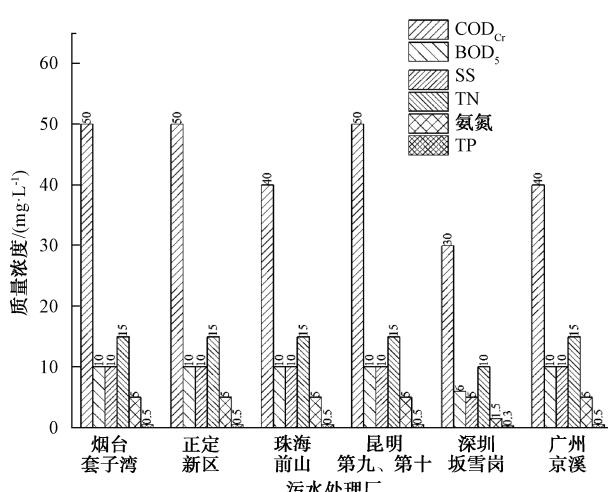


图 2 7 座地下式污水处理厂设计出水水质
Fig. 2 Design Effluent Quality for Seven UWWTPs

理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准设计,且广东省2座污水处理厂还需符合地标《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段的一级标准要求,主要是COD_{Cr}限值降至40 mg/L。

尽管目前污水处理厂出水指标多按一级A排放标准设计,但随着环保要求的提高,各地污水排放标准也日趋严格。目前除北京、天津等发达区域及太湖、滇池等重要流域外,广东、山东等省及市也出台了相对严格的地方标准,管控严格地表Ⅲ类和Ⅳ类水质标准。再生水利用率作为“十四五”城镇排水规划的重大指标,能否完成目标首要保障为再生水水质。MBR膜技术是一种活性污泥法与膜分离相结合的水处理技术,对于SS及浑浊度的去除具有先天优势,相较常规深度处理,该工艺能显著缩短流程,对地下式污水处理厂而言尤能减少占地,同时增强抗冲击负荷能力,减少剩余污泥排放。因此,MBR膜技术在地下式污水处理厂中拥有较大市场占有率。

1.2 污水处理主要工艺参数

本次研究所选取的7座污水处理厂中2座来自北方城市,5座来自南方城市,污水处理厂运行效果均达到设计预期,满足设计出水水质要求。鉴于北方城市进水浓度相对较高,针对南方深圳、珠海及昆明的5座地下式污水处理厂相关设计参数进行对比,如表1所示。

结合进、出水水质,通过相似规模的地下式污水设计参数可知,广州京溪污水处理厂因进水中有机物浓度偏低,生化段总停留时间较小,不足8 h;昆明第九、第十污水处理厂由于进水TN质量浓度相对较高,达45 mg/L,设计在AAO的好氧段后接缺氧段以强化TN脱除,因此,总停留时间有所增加;坂雪岗水质净化厂二期因出水执行准Ⅳ类标准(TN≤10 mg/L),有机物和TN去除要求更高,除预处理段采用10 min预沉砂及50 min速沉外,总停留时间也相对较长,主要增加在AAO中缺氧段和好氧段。

在MBR池中,5座污水处理厂的膜滤径基本相当,大部分为0.2 μm,出水达到再生水水质要求,通常再生利用场景可直接回用,平均膜通量在18 L/(m²·h)左右。为保证生物池内高浓度污泥,在MBR池污泥回流量上均比较高,达到300%~500%,充分利用膜池的高浓缩污泥进行回流补充生物池泥量。在泥龄方面,总泥龄平均在20 d,适合世代周期长的硝化菌生长,利于生物脱氮。

根据这5座地下式污水处理厂的设计运行情况,针对南方城市以市政污水为主的城镇污水水质,当进水COD_{Cr}≤400 mg/L、TN≤45 mg/L时,相较于传统AAO+深度处理工艺,采用AAO+MBR工艺时污泥负荷为0.07 kg BOD₅/(kg MLSS·d),低于传统AAO工艺30%以上污泥负荷,一定程度增加抗冲击负荷能力;且生物池平均污泥质量浓度为8 g/L,高于传统的污泥质量浓度(2.5~4.0 g/L)两倍以上,可提高生物量降低生物池体积,同时MBR工艺的低排泥量在地下式污水处理厂降低了药耗和人工运输成本。虽然MBR在工艺上具有较大优势,但也应客观认识到在地下式污水处理厂生物池一般作为基坑最深处,MBR的膜组件起吊高度是影响地下式污水处理厂埋深的关键控制因素。

1.3 污泥处理及除臭通风

作为有效节省地下空间占地的方式,浓缩和脱水在一体机是地下式污水处理厂污泥处理的必然趋势,MBR工艺产泥量少,10万m³/d规模的污水处理厂日产泥量尚不足以就地经济性消纳,且受限于邻近环境,多采用脱水至含水率为80%后外运填埋处置方式。除深圳坂雪岗水质净化厂二期采用浓缩调理+板框压滤的脱水方式外,其余6座污水处理

表 1 南方城市 5 座地下式污水处理厂主要设计参数
Tab. 1 Main Design Parameters of Five UWWTs in Southern Cities

| 设计参数 | 珠海前山 水质净化厂 | 深圳坂雪岗水质 净化厂二期 | 昆明第九、第十 污水处理厂 | 广州京溪 污水处理厂 |
|---|--|------------------|------------------|--------------------|
| 设计规模/(m ³ ·d ⁻¹) | 10 万 | 12 万 | 10 万/15 万 | 10 万 |
| AAO 生物池 | 有效水深/m | 6 | 7.1 | 7 |
| | 污泥负荷/[kg BOD ₅ ·(kg MLSS·d) ⁻¹] | 0.065 | 0.06 | 0.07~0.10 |
| | 污泥浓度/(g·L ⁻¹) | 6.5~8.3 | 8.0 | 5.0~10.0 |
| | 总泥龄/d | 21.2 | 19.3 | 20~30 |
| | HRT-A _p /h | 1.32 | 1.33 | 1.1 |
| | HRT-A _N /h | 3.41 | 3.70 | 7.80 |
| | HRT-O/h | 3.18 | 5.80 | 4.00 |
| | 缺-厌回流比 R ₁ | 300% | 100%~200% | 200% |
| | 好-缺回流比 R ₂ | 200% | 200%~300% | 300% |
| | 气水比 | 5.18 | 5.8 | 5 |
| | 基坑深度/m | ≈15 | 15.7~16.5 | 16.5、15.5 |
| | 基坑平面尺寸/m | 160×110 | 218×90 | 210×86.5、220×116.5 |
| MBR 膜池 | HRT/h | 1.34 | 1.4 | 1.2 |
| | 膜丝孔径/μm | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| | 膜通量/(L·m ⁻² ·h ⁻¹) | 18.3 | 15.78 | 19.61 |
| | 膜组件数量/套 | 140 | 180 | 200、280 |
| | 污泥回流比 R | 500% | 300%~400% | 400%~500% |
| | 总 HRT/h | 9.25 | 12.23 | 14.10 |
| | | | | 7.43 |

注:表中 A_p 为厌氧区, A_N 为缺氧区, O 为好氧区

厂均采用机械浓缩脱水一体机,因此,污泥的处理工艺更多考虑节地需求,若对污泥含水率有更高要求则需采取成熟稳定的调理方式结合板框压滤进行脱水,以降低含水率。污泥的最终处置主要包括外运焚烧和卫生填埋,需结合当地污泥处置的场地及周边可用的资源。

地下式污水处理厂因整个箱体设于地下,臭气处理及通排风要求相较地上式更严格。调研的 7 座污水处理厂在臭气处理上均采用生物(滤池)除臭方式,如表 2 所示。总体而言,地下式污水处理厂的臭气处理以低成本生物除臭为主,但鉴于对周边的环境影响,多辅以离子除臭或活性炭吸附等物化法以保障除臭效果。因此,单一的生物除臭作为地下式污水处理厂常用臭气处理方式,需配套物理化学除臭方式保障去除效果。

在排风形式上,全地下式污水处理厂位于地面

下,缺乏自然排风条件,而半地下式污水处理厂则可部分利用自然通风以降低能耗。深圳坂雪岗水质净化厂二期为半地下式,除充分利用四周开敞空间实现自然通风外,同时对各功能建筑布置侧墙风机机械通风。其余几座地下式污水处理厂均采用机械通风为主的通排风形式,地下式污水处理厂的通风效果直接影响运营人员的身心健康。相较于地上式,地下式污水处理厂的机械送排风也成为了继采光照明后地下式污水处理厂运营能耗增加的第二大因素,因此,设计时结合当地日照及夏季主导风向酌情考虑设置自然采光井及风环境模拟,形成一定程度自然通排风。

1.4 消防分区设计

根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)第 5.3.1 条,地下或半地下建筑设备用房防火分区的最大允许建筑面积不应大于 1 000 m²;若防火分

表 2 地下式污水处理厂污泥和臭气处理及排风形式
Tab. 2 Sludge and Odor Treatment and Venting Form of UWWTPs

| 项目名称 | 除臭工艺 | 排风形式 | 污泥处理方式/含水率 |
|---------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 珠海前山水质净化厂 | 生物滤池除臭后高空排放;箱体排风管辅以离子除臭 | 机械送风、机械排风、自然补风 | 机械浓缩脱水,外运至北区污泥处置中心,含水率为 80% |
| 深圳坂雪岗水质净化厂二期 | 生物喷淋除臭,处理后臭气在 15 m 以上高空排放 | 功能建筑地上自然通风,侧墙机械通风 | 叠螺浓缩机+调理+板框压滤,污泥外运处置,含水率为 50% |
| 烟台市套子湾污水处理厂二期 | 生物滤池和离子除臭相结合 | 机械通风 | 离心浓缩脱水机脱水,污泥外运处置,含水率为 80% |
| 河北正定新区污水处理厂 | 生物除臭为主,加压送风管配套离子除臭 | 局部排风和全面通、排风相结合的送排风系统 | 卧螺离心脱水机,污泥外运处置,含水率为 80% |
| 昆明第九、第十污水处理厂 | 生物滤池除臭 | 高能负离子送风系统,部分通风经活性炭吸附处理后排放 | 离心浓缩脱水一体机,污泥外运集中处置,含水率为 80% |
| 广州京溪污水处理厂 | 填料式生物除臭 | 机械通风,箱体排风采用活性炭吸附消毒后高空排放 | 离心浓缩脱水一体机,污泥外运处置,含水率为 75%~78% |

区面积超过 1 000 m²,则须考虑增设自动灭火系统,此时防火分区面积上限为 2 000 m²;若超过 2 000

m²,则需经过消防主管部门的性能化设计审查。各水厂消防设计思路如表 3 所示。

表 3 地下式污水处理厂消防设计要点
Tab. 3 Main Points of Fire Protection Design for UWWTPs

| 项目名称 | 规模/(m ³ ·d ⁻¹) | 消防设计 |
|--------------|---------------------------------------|---|
| 珠海前山水质净化厂 | 10 万 | 独立防火分区,市政和中水两套消防用水 |
| 深圳坂雪岗水质净化厂二期 | 12 万 | 半地下式结构,建筑按地上式设计 |
| 烟台套子湾污水处理厂二期 | 15 万 | 室内消火栓及灭火器系统 |
| 河北正定新区污水处理厂 | 10 万 | 防火分区面积为 1 500~3 650 m ² ,箱体采用消火栓和灭火器相结合方式,电控间采用 S 型气溶胶灭火系统 |
| 昆明第九、十污水处理厂 | 10 万、15 万 | 1 000 m ² 以上防火分区设湿式自喷系统,发电机房和配电机房设全淹没气体灭火系统 |
| 广州京溪污水处理厂 | 10 万 | 室内、外消火栓系统,室内自喷灭火系统,发电机房设全淹没式气体灭火系统 |

地下式污水处理厂与常规地下室设备房不同,其操作区内生物池、膜池等水工构筑物检修平台均为大面积检修盖板,设备和管道用不燃材料制造,其他可燃物很少,火灾危险性小。但现行消防分区暂无规律可循,一般采用室内消火栓系统+室内自喷系统的形式,以最大程度减少防火分区数量和疏散出口设置,变配电间采用气体灭火系统。该方式可在减少地上出入口的同时降低对地面景观设计的影响。

由于各地方消防政策的差异,地下式污水处理厂的消防设计过程中应多与当地消防主管部门沟通协商,明确地下箱体空间的消防设施的设置。相关部门于 2019 年末在《建筑设计防火规范》局部修订

条文(征求意见稿)中针对地下式污水处理厂操作区生物池、二沉池等水工构筑物检修平台的防火分区面积做出弹性规定,根据工艺要求确定,但因修订稿尚未发布,目前的规划和设计仍以增设自喷系统居多。因此,结合自然采光和消防应急出口设计一定程度能提高消防安全保障性。

1.5 用地投资及地上空间

7 座污水处理厂单位水量的用地及建设成本如表 4 所示。根据《城市污水处理工程项目建设标准》,包含深度处理的污水处理厂占地面积为 0.80~0.95 m²/(m³·d⁻¹),而表 4 中地下式污水处理厂的用地指标为 0.17~0.45 m²/(m³·d⁻¹),均小于建设标准。采用半地下式污水处理厂其吨水建设

成本显著低于全地下式,由于地下污水处理厂大多采用一体化箱体结构设计,其优势为在功能上高度集约,将水平地面上的功能往竖向集聚;在用地面积上占地小,节省了大量土地资源。另一方面,国内南

方城市地上式污水处理厂的吨水平均投资一般在3 000 元/m³,从初期投资来看主流 MBR 工艺的地下污水处理厂投资约为常规地上污水处理厂的 2 倍。

由于 MBR 工艺初期投资成本高,在地下式污水

表 4 单位用地及建设成本
Tab. 4 Unit Land Use and Construction Costs

| 项目名称 | 吨水用地/(m ² ·m ⁻³ ·d) | 吨水建设成本/元 | 埋地形式 | 地上空间利用 |
|--------------|---|-------------|----------|---------|
| 珠海前山水质净化厂 | 0.45 | 5 400 | 全地下,双层加盖 | 公园和水博物馆 |
| 深圳坂雪岗水质净化厂二期 | 0.31 | 3 690 | 半地下,双层加盖 | 市政公园 |
| 烟台套子湾污水处理厂二期 | 0.23 | 5 036 | 半地下,双层加盖 | 景观花园 |
| 河北正定新区污水处理厂 | 0.42 | 4 320 | 全地下,双层加盖 | 绿化景观 |
| 昆明第九、十污水处理厂 | 0.30、0.26 | 6 460、5 000 | 全地下,双层加盖 | 城市公园绿地 |
| 广州京溪污水处理厂 | 0.17 | 5 960 | 全地下,双层加盖 | 绿化景观水系 |

处理厂的地上空间利用希望可多元化、商业化,诸如景观水系、公园绿地、科普馆、公共停车场等。然而,目前规划或建设的地面空间设计的理念相对落后,模式较为单一^[18],多为绿地公园或水系,一定程度发挥了土地的社会价值但未寻找到商业开发的合适路径,无法补贴地下空间的采光和通风能耗。在贵阳南明河流域系统治理工程中配套的贵医污水处理厂、六广门污水处理厂等几座全地下式污水处理厂,其地上及地下空间的复合利用已逐步走向多功能化、商业化和协同化,但运营后效果仍待观察。此外,污水处理厂地上空间以景观公园或公共停车场的形式开发,依然要考虑污水处理厂的运维与空间管理界面的划分,主要是污水处理厂运维人员巡检路线与地上开发区域行经路线的分隔,以保证安全独立。

2 结论

(1) 随着国家对环境保护及再生水资源化的日益重视,城镇污水处理厂排放限值也日益严格,地下式污水处理厂以其分散式布设及就地回用的优势正逐步应用在城镇污水处理及水环境综合治理工程中。AAO+MBR 工艺以其较强抗冲击负荷能力和较高污泥浓度在地下式污水处理厂建设中可作为优先考虑工艺类型。

(2) 相较于全地下式污水处理厂,采用半地下式可有效降低照明和通风在污水处理厂运行维护上的能耗和成本,因此,如有条件建议采用半地下或人

造坡地的形式建设地下污水处理厂,充分发挥自然采光井及风环境模拟形成的自然通排风。

(3) 作为地下式污水处理厂,占地平面及空间多为有限,因此,污泥脱水后含水率不宜过低,以增加用地负担及调理流程,建议脱水至行业及地方要求含水率后外运,以减少在地下箱体的停留和处理时间。

(4) 采用 AAO+MBR 工艺作为地下式污水处理厂主体工艺,较《城市污水处理工程项目建设标准》所提供的用地限值可节省一半以上的用地面积;该工艺平均污泥负荷为 0.07 kg BOD₅/(kg MLSS·d),污泥龄为 20 d,可满足市政污水一级 A 排放标准。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 王永金, 崔立波, 武绍云, 等. 南明河流域治理中污水处理厂布局与建设模式探讨[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6): 7-13.
- [3] 李易峰, 李航. 国内外地下式污水处理厂发展现状及探讨[C]. 上海: 中国土木工程学会 2019 年学术年会论文集, 2019.
- [4] 李国金, 李霞, 郭淑琴, 等. 地下式污水处理厂发展历程及工程设计注意要点[J]. 城市道桥与防洪, 2018(8): 161-165.
- [5] 李成江. 地下式污水处理厂的发展与关键技术问题[J]. 给水排水, 2016, 52(8): 36-39.

(下转第 162 页)

指数最高质量浓度为 1.60 mg/L、最低质量浓度为 0.59 mg/L、平均质量浓度为 1.04 mg/L；出厂水高锰酸盐指数最高质量浓度为 1.40 mg/L、最低质量浓度为 0.64 mg/L、平均质量浓度为 1.03 mg/L。可见，深度处理改造后有机物去除效果明显提高，达到预期的工程目标。

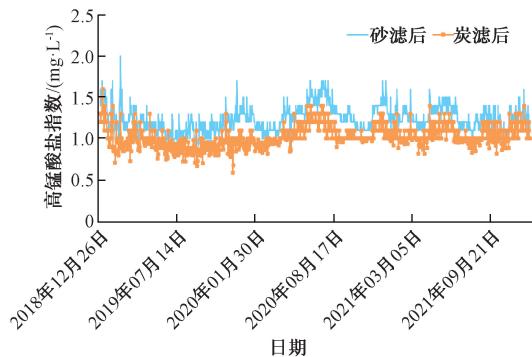


图 5 高锰酸盐指数监测数据

Fig. 5 Monitoring Data of Permanganate Index

魏村水厂深度处理改造工程费用约为 2.7 亿元，吨水投资为 386 元，低于同地区同类型水厂改造吨水投资的平均水平(约为 500 元)，具有较好的经济性。

6 结论

在水厂提质改造实施过程中，由于很多水厂无新征用地条件，只能利用现有场地进行深度处理改造工程建设，且为了减少对周边供水的影响，保产能的同时增加了改造难度。本次深度处理改造工程实例中，选择管道式投加预臭氧以节省预处理工艺用地、通过迁建管理用房释放建设场地并纳入新建深度处理设施重新规划布局厂区、针对微污染长江原水合理选择臭氧-生物活性炭工艺方案、对单座大规模滤池均匀进水给出设计建议等，实现了水厂深度处理改造的同时不征地、不降产，可为类似的水厂升级改造工程提供设计参考。

参考文献

(上接第 145 页)

- [6] 侯锋, 王凯军, 曹效鑫, 等. 《地下式城镇污水处理厂工程技术指南》解读[J]. 中国环保产业, 2020(1): 20-25.
- [7] 陈贻龙. 地下式 MBR 工艺在广州京溪污水处理厂的应用[J]. 给水排水, 2010, 46(7): 51-54.
- [8] 邱明, 杨书平. 地下式污水处理厂工程设计探讨与实例[J]. 中国给水排水, 2015, 31(12): 48-51.
- [9] 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.
- [10] 王文喜, 赵维春, 姚明炫. UCT-MBR/RO 工艺用于烟台套子湾污水厂扩建工程[J]. 中国给水排水, 2014, 30(6): 65-69.
- [11] 秦桂海. 改良 AAO/MBR/RO 工艺用于半地下式污水厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(12): 46-49.
- [12] 刘绪为, 徐洁, 林蔓, 等. 正定新区全地下污水处理厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2017, 33(4): 48-50.
- [13] 王阳, 张月, 郭庆英, 等. 珠海前山水质净化厂全地下 MBR 工艺设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(22): 59-62.
- [14] 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.
- [15] 李捷, 隋军, 马振强, 等. 昆明市第九、十污水处理厂的设计要点[J]. 中国给水排水, 2013, 29(6): 58-60.
- [16] 阮辰旼. 昆明市第十水质净化厂运行评估与经验分析[J]. 净水技术, 2018, 37(11): 4-6.
- [17] 王雪, 戴仲怡, 张晓临, 等. A²/O+MBR 工艺用于集约化高排放标准半地下式污水厂[J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 53-56.
- [18] 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, 52(6): 37-41.