

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.11.032

城镇污水处理厂节地技术研究与工程应用

张 宁

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 针对新建污水处理厂建设用地紧张和现有污水处理厂提标改造用地受限的问题, 开展城镇污水处理厂平面优化节地技术、工艺优化节地技术与竖向强化节地技术等研究, 提出城镇污水处理厂节地技术集成路线, 并以实际污水处理厂为例, 具体阐述节地技术的应用场景, 以期为建设用地集约型污水处理厂提供技术支撑与指导。

关键词: 节地型污水处理厂; 平面优化; 工艺优化; 竖向强化; 节地集成技术路线

中图分类号: TU99

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)11-0126-04

0 引 言

城镇污水处理厂作为城市水污染防治最后一道防线, 是城市发展不可或缺的一部分。然而, 随着城市化进程的不断深入, 城市人口日益增多, 城市生活污水的产生量也随之增加, 同时人民生活水平的提高也促使污水纳管率和处理要求的提高。根据“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划要求, 十四五期间, 新增污水处理能力 2 000 万 m^3/d , 新建、改建和扩建再生水生产能力不少于 1 500 万 m^3/d , 长三角、粤港澳大湾区城市、京津冀、长江干流和南水北调工程沿线地级及以上城市、黄河流域省会城市等可对城镇污水处理厂提出更严格的污染物排放管控要求, 水环境敏感地区污水处理基本达到一级 A 排放标准。显然, 污水处理量的增加、污水资源化利用的推进、水质标准的提高和处理功能的拓展, 将会导致现有的城镇污水处理体系面临扩建的压力, 势必加重城市土地资源紧缺的现状, 从而使得城镇污水处理厂节地需求变得十分迫切。

土地具有多宜性, 从一种用途变为另一种用途可能使其收益性或效益得以提高。在城市发展土地资源急缺、城市地价上涨趋势明显的情形下, 合理规划污水处理厂布局, 节省其占地, 不仅可为城市其他部分的建设提供更多可利用的规划用地, 促进城市高质量发展, 而且也缓解城市发展给农业用地带来的压力, 尽可能地保护更多的耕地, 具有较好的社会

效益、经济效益和生态效益, 对于我国城市可持续发展具有重大意义。

沈昌明等^[1]通过对全国 421 座污水处理厂(其中重点流域 12 个城市 60 座)用地现状面积调研的详细信息, 梳理出了污水处理厂规模、工艺、水质标准、地域对占地的影响, 识别出生化处理设施、道路及广场、绿化为影响污水处理厂用地的关键因子。本研究针对城市污水处理工程建设节约用地的需求, 将在总结调研国内外已有研究和成果基础上, 从污水处理厂平面优化、污水处理工艺优化与污水处理厂竖向强化等三方面开展污水处理厂节地技术研究, 建立适合我国不同区域与技术经济条件的节地型污水处理厂新建和改造技术集成体系, 为我国节地型污水处理厂设计运行提供技术支撑与指导。

1 城镇污水处理厂节地技术研究

2.1 平面优化节地技术

平面优化节地技术主要通过工艺流程布置、单元组团、单元优化与污水处理功能区占地优化的方式来实现节地。平行或功能相连单元共壁技术是实现组团布置的关键, 通过采用矩形池型将位置相邻、功能相连的污水处理构(建)筑物合并共用池壁进行平面布置可以达到组团目的, 如将占地面积最大的生化反应池和二沉池设施共壁组团。针对组团布置中水池结构和水力流态优化等难题, 已有研究对矩形二沉池单位侧进出水进行优化, 提出了进出水变截面的新型周进周出二沉池, 有效克服不同出水距离造成的水头损失不均匀性, 该平面优化节地技术已在广州狮岭污水处理厂(二期)工程与广州市前锋净水厂扩建三期工程

收稿日期: 2023-06-10

作者简介: 张宁(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市政工程管理。

中应用。其中,广州狮岭污水处理厂二期工程在占地面积类似的情况下,常规平面布置的系统处理能力为5万t/d,而采用生反池和矩形周进周出二沉池组团平面布置的系统处理能力高达7万t/d,污水处理功能区可节约占地30%,有效提高土地利用效率;广州市前锋净水厂扩建三期工程单位处理水量占地仅 $0.48 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,相对于国家建设用地指标基准值节约了40%。



图1 广州市前锋净水厂(扩建三期)周进周出二沉池变截面配水渠

2.2 工艺优化节地技术

工艺优化节地技术是通过增加生物量或优化工艺参数来提高生化处理效率与减少生化处理区污水停留时间,进而减少用地面积的节地设计方法。詹咏等^[2]通过全面系统的理论分析和小试试验,研究揭示了进水水质、污泥泥龄、污泥呼吸速率和沉降性能之间的相互关系,结果表明常规进水水质和传统工艺条件下,通过延长污泥龄至35 d,系统可实现的极限最佳污泥浓度为 $6\ 300 \text{ mg/L}$,有效生物量达到 $1.63 \pm 0.14 \times 10^{11} \text{ cell/g MLSS}$;当系统继续延长泥龄以获得更高的污泥浓度并不能提高系统的有效生物量和污染物去除能力,且污泥EMPS(菌胶团间的胞外聚合物)中产生了一类新的腐殖酸类物质,引起污泥表面Zeta电位的增加,导致絮凝性能恶化。泥膜复合生物量提升是指通过在好氧池、缺氧池内投加生物载体,来达到增加生物处理池的微生物浓度的目的。在同等运行条件下,采用泥膜复合生物量提升的MBBR工艺能够提高日处理能力33%以上,且易于控制^[3]。顾升波等^[4]研究了A/O-MBBR系统挂膜启动、填充比、DO、温度、HRT和回流比等因素的影响,提出了完整的工艺设计参数和运行参数,并在北京清河污水处理厂初步设计阶段应用。已有研究开发出基于仿真和响应面分析的多参数集成优化技术,利用Box-Behnken响应面分析法以及GPS-X污水处理过程建模和仿真软件,对传统AAO工艺的溶解

氧浓度、泥龄、多点进水和污泥回流等主要运行控制参数响应面进行拟合,以污染物去除效果为约束目标,获取实现最佳系统状态所需的工艺运行参数和优化HRT,进而节约污水处理功能区占地面积,该技术已在广州前锋净水厂扩建三期工程应用。

2.3 工艺优化节地技术

当平面优化节地和工艺优化节地技术不能满足节地需要时,可采用竖向强化节地技术,具体指通过构(建)筑物整体或局部叠加,强化空间利用,减少污水处理厂或污水处理功能区占地的节地方式。多层平板组合沉淀技术是采用多层平板单元强化二沉池的沉淀作用,多层平板单元组合沉淀池的沉淀能力接近斜管(板)沉淀池,通过在单元内设置刮泥机,有效解决了斜管(板)生长生物膜和藻类引起的堵塞问题。李雨阳等^[5]中试试验研究表明放置4层平板时,沉淀池最大表面水力负荷可提高50%,处理相同水量时所需的沉淀池面积仅为原面积的66%。整体叠加常用的方式是全地下污水处理厂,适用于周边环境要求高、用地极度紧缺时,地下污水处理厂并不是简单地把地上污水处理厂“按到地下”,而是重新统筹污水处理厂的功能分区,充分考虑运行后可能出现的雨季被淹、事故超量进水、消防安全、工艺运行异常、设备设施故障等风险,当采用全地下污水处理厂时,主要处理构(建)筑物设于地坪线以下,在充分利用地下空间的同时,厂区地坪以上空间可作为绿化景观、休闲娱乐、停车等用途,减少额外绿化面积的同时解决了环境相容性问题。

2 城镇污水处理厂节地技术集成研究

基于实际工程建设方案,在确保出水达标的前提下,以项目全寿命周期成本为约束条件,以节地为目标,提出不同处理规模、不同节地方式的全寿命周期成本分析模型,获得相同规模下,平面布置优化方案成本最低,工艺优化方案成本次之,竖向强化方案成本较高,如图2所示,并在不同节地策略下面形成多种节地技术,实际应用过程中,可选择一种或几种技术或模式的组合。当设计的污水处理厂单位用地面积接近《城镇污水处理工程项目建设标准》(建标198—2022)吨水占地基准值时,优先采用平面优化节地技术,在满足消防要求和绿化率的情况下,通过减少绿化和道路面积,可有效缩减占地且综合成本最低,通常节地效果可达20%~30%;当采用平面优

化节地技术不能满足单位用地指标时,可通过工艺优化节地技术减小生化处理设施用地,节约用地继续提高10%左右,但会增加建设运行成本;当平面优化节地和工艺优化节地均不能满足节地需要,可考虑竖向强化节地技术,如果周边环境要求较高、用地紧缺时可建设地下式污水处理厂,节地效果可继续提高40%以上,但由此带来投资和施工、运维难度的增加。在以上节地策略的基础上,通过污水厂地上空间释放进行土地综合利用,利用厂内用地作为绿化景观、休闲娱乐、环保教育基地等用途,向社会公众开放使用,减少污水厂用地。

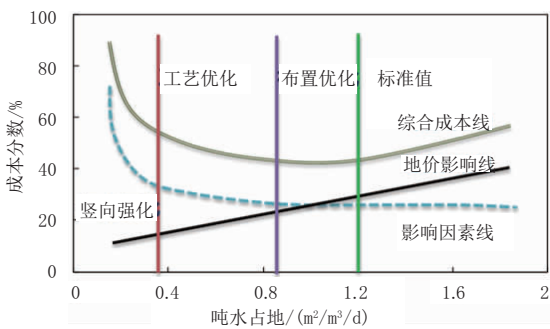


图2 节地技术集成效果示意图

3 工程应用案例

3.1 项目概况

昆明第十一污水处理厂位于规划的景观绿化公园内,周边为居民楼与商务办公区,需尽量减少污水厂对周边环境的影响且满足城市规划对片区环境的整体要求。本工程处理规模 $6\text{万 m}^3/\text{d}$,为确保能满足该地区快速发展的人口需要,从建设百年工程角度考虑,将生物反应池处理能力考虑了1.3的安全系数,这也意味着在原设计 $6\text{万 m}^3/\text{d}$ 规模用地的基础上满足 $8\text{万 m}^3/\text{d}$ 的处理能力,且出水水质达到一级A标准。为减少对周边环境的影响且满足城市规划对片区环境的整体要求,该水厂设计为全地下污水处理厂,主要构筑物均位于地下箱体内,而地下箱体一旦建成将无法再通过新增构筑物实现处理能力的提高。因此,为实现 $8\text{万 m}^3/\text{d}$ 处理能力,昆明第十一污水处理厂采用了平面优化、工艺优化、竖向强化等节地技术。

3.2 平面优化技术

实施平行生化反应池共壁布置,减少平行生化反应池之间的空地;通过矩形生化反应池和矩形沉淀池共壁布置,减少生化反应池和沉淀池之间的空地。预处理区、生化处理区、深度处理区和泥处理区

的所有构筑物采用同一基坑以实现全厂组团。同时,进水泵房、粗细格栅与曝气沉砂池组团合建,中间提升泵房与高效沉淀池合建。构筑物之间尽可能采用了渠道连接,减少水头损失和用地;在满足消防要求的前提下,将紫外线消毒池与出水泵房、脱水机房与料仓、配电间与回水泵房、鼓风机房与加药间等建筑物合并布置,避免了点状分散增加占地面积的缺点。

初沉池、二沉池等构筑物采用矩形布置方式,并与其它构筑物进行组合布置。选用占地小且适合构筑物组合布置的设备,有助于降低处理单元的占地面积,如采用潜水泵、噪音低的风机或隔声装置、用地较省的深度处理设施和工艺;采用机械浓缩设备替代重力浓缩池;采用占地小、噪音低、环境友好的污泥脱水设备。

3.3 工艺优化技术

基于投资和运行成本均为最小且运行工艺成熟、管理方便、占地面积在可接受范畴,本工程采用“AAO+二沉池+高效沉淀池+V型滤池+紫外线消毒”处理工艺。其中,高效沉淀池把混合/絮凝/沉淀进行重新组合,为组团化集约紧凑型布置,占用土地少,混合、絮凝采用机械方式搅拌方式,沉淀采用斜管装置;与普通平流式沉淀池相比,可大幅度提高水力负荷,污染物去除率,分子间相互接触的机率,使絮凝剂在循环中得到充分利用,减少了药剂投加量,降低了运行成本,并与中间提升泵房合并布置于合建式池体内。

3.4 竖向强化技术

该工程地面层是综合楼,位于地下箱体粗格栅之上。地下箱体作为地下式污水处理厂的主体构筑物,共分两层,箱体负一层平面位于地面下 7.3m ,按从南向北依次布置有进水泵房、粗细格栅及曝气沉砂池、初沉池、反应池、二沉池、加药间、鼓风机房、中间提升泵房及高效沉淀池、V型滤池、紫外线消毒池及出水泵房、均质池、脱水机房及料仓、配电间、回水泵房;负二层平面位于地面下 $11.5\sim 12.0\text{m}$,安装有初沉污泥泵、高效沉淀池的剩余污泥泵等设备,为保证暴雨时进入箱体的雨水可及时排除和便于部分构筑物的放空检修,在负二层区域各设置了一座放空泵井,可将最低处的污水提升后排入进水泵房前池。

该工程地下箱体上部种植绿化植物,绿化系数达到91%,在保证绿化面积的同时减少绿化用地,而

且污水处理厂生产区以外的区域面向社会公众开放,实现了上部空间的有效释放。

3.5 节地效果

根据《城镇污水处理工程项目建设标准》(建标198—2022),昆明第十一污水处理厂单位用地面积应为 $1.15 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,而实际单位用地面积仅为 $0.68 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,节地比例高达40.9%。

4 结语

基于城镇污水处理厂建设或扩建节约用地的需求,本研究从平面、工艺、竖向等三个维度提供了节地技术,主要包括单元组团、单元优化;增加生物量、优化工艺参数;整体或局部叠加等。其中,在相同规

模下,平面布置优化技术成本最低,工艺优化技术成本本次之,竖向强化技术成本较高,实际应用时可选择一种或几种技术因地制宜地有机组合,以实现节地与运行稳定、节能降耗、建设成本之间的平衡。

参考文献:

- [1] 沈昌明,王盼,邹伟国,等.污水处理厂用地现状与基准值分析[J].给水排水,2016,52(12):36-39.
- [2] 詹咏,张焕焕,冯青青,等.不同泥龄对活性污泥絮凝特性的影响[J].环境工程学报,2017,11(11):5836-5842.
- [3] 顾升波,李振川,李艺.IFAS工艺处理市政污水的除污性能及节地潜力分析[J].中国给水排水,2016,32(7):24-29.
- [4] 顾升波,李振川,李艺.A/O-MBBR组合工艺和A/O工艺处理市政污水的影响因素研究[J].给水排水,2017,53(2):49-55.
- [5] 李雨阳,周克钊,邓钦祖,等.多层平板单元组合沉淀池的三维两相流数值模拟[J].中国给水排水,2018,34(7):60-64.

(上接第125页)

水泵、2台小流量水泵,对水泵实行合理控制,使水泵在高效率段运转,以降低能耗。同时,结合南侧港池潮汐类型为不规则半日潮型,每天有两个低潮位的现状,本排海泵站单独设置了自流通道,当河道水位高于港池海水水位时,可利用河道水位与海水水位的高程差将河道水直接通过自流通道排入南侧港

池。本项目已经建成,实现了节约用地、节能运行、科学运行的良好效果,同时为类似工程提供了设计思路。

参考文献:

- [1] 天津市政工程设计研究总院有限公司.利用潮汐实现节能运行的排海泵站:CN202121916396.6[P].2022-03-08.