

# 市政污水污泥处理现状及可持续发展对策

穆占宇 党康飞 赵晨波

中城院(北京)环境科技股份有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 市政污水污泥作为污水处理的副产物,产量随城镇化推进持续增长,其处理处置质量直接关系生态环境安全与资源循环利用。本文阐述了污水污泥的来源、分类及理化生物特性,分析了当前我国污泥处理行业的产生量分布、主流工艺应用及产业市场格局。基于减量化、无害化、资源化原则,结合分阶段发展目标,从源头减量、无害化处理、资源化利用及全流程智能化四个维度,提出针对性可持续发展技术对策,为推动污泥处理行业高质量发展提供理论与实践参考。

**关键词:** 市政; 污水污泥处理; 现状; 可持续发展; 技术对策

**引言:** 随着我国城镇污水处理率不断提升,市政污水污泥产生量同步攀升,其含有的病原微生物、重金属等有害成分,若处理不当易引发二次污染,威胁生态环境与人体健康。当前,污泥处理行业虽逐步发展,但仍面临工艺适配不足、产业布局不均、资源化利用滞后等现实困境,与生态环境保护 and 可持续发展要求存在差距。基于此,本文系统梳理污泥特性与行业发展现状,明确可持续发展原则与目标,探索科学可行的技术对策,对破解污泥处理难题、推动资源循环、助力生态文明建设具有重要现实意义。

## 1 市政污水污泥的特性与处理相关理论

### 1.1 污水污泥的来源与分类

市政污水污泥是污水处理过程中产生的固态、半固态废弃物,来源贯穿污水处理全流程,主要为各工艺单元的沉淀物、悬浮物及残渣。其主要分为三类:初沉污泥来自格栅、沉砂池及初沉池,由污水中悬浮颗粒物直接沉淀形成;剩余活性污泥产生于生化处理阶段,由微生物代谢产物与未降解有机物组成;消化污泥是初沉污泥与剩余活性污泥经厌氧或好氧消化处理后形成,稳定性更高。合理分类是后续选择适配处理工艺、提升处理效率的基础。

### 1.2 污水污泥的理化与生物特性

污水污泥的理化与生物特性决定其处理难度和利用潜力。理化方面,污泥含水量高(80%-99%)、体积大,含有大量有机质、氮磷钾等营养元素,同时夹杂重金属、难降解有机物等污染物,pH值多为中性至弱碱性,容重轻、吸附性强。生物方面,污泥中含有细菌、真菌等大量微生物,部分可降解有机物,但也存在细菌、病毒等病原微生物,处理不当易引发二次污染,这也决定了污泥处理需兼顾减量化、无害化与资源化。

### 1.3 污水污泥处理的核心理论与技术原则

污泥处理的核心理论以物质循环与污染控制为核心,围绕污染物迁移转化、微生物代谢降解及资源回收展开,通过物理、化学、生物等手段改变污泥形态与性质,实现污染防控与资源再生。技术原则核心为三点且协同推进:一是无害化,通过杀菌解毒消除有害成分,规避二次污染;二是减量化,通过脱水、浓缩等工艺降低污泥体积重量,便于储运处置;三是资源化,依托污泥中的营养物质与能量,实现制肥、制建材、能源化利用,达成生态与经济效益双赢<sup>[1]</sup>。

## 2 当前市政污水污泥处理行业发展现状

### 2.1 市政污水污泥的产生量与分布特征

政污水污泥产生量与污水处理规模、工艺直接相关,整体呈持续增长态势,区域分布差异显著。(1)产生量稳步攀升,2023-2025年增速明显,2025年干污泥年产生量达9000万吨,含水率80%的湿污泥年产量超9000万吨,预计2026年将逼近1亿吨,MBR工艺产泥量较传统工艺高10%-20%。(2)区域分布不均衡,呈“东多西少、南多北少”格局,2025年长三角、珠三角、京津冀合计贡献53.7%产量,江苏、广东年产生量均超600万吨,西北、西南地区增速达11.3%。(3)产泥结构有差异,剩余活性污泥占比超60%,部分地区管网清掏污泥占比达17.8%;目前多地统计口径不统一,如长三角与珠三角减量标准不同,影响工艺选择。

### 2.2 市政污水污泥处理的主流工艺应用情况

当前我国市政污水污泥处理工艺呈多元化发展,以无害化处置为基础,资源化利用工艺逐步推广。(1)无害化处理工艺应用广泛,深度脱水、厌氧消化、好氧发酵、热干化及焚烧为主要工艺,深度脱水技术在三四线城市应用普遍,焚烧工艺近五年应用规模快速扩大。

(2) 工艺选择区域差异化明显, 东部侧重干化+焚烧, 如常州电厂采用该工艺年消纳污泥15万吨; 西部倾向厌氧消化+沼气利用, 北京高碑店项目日产沼气30万立方米, 东北、中部各有侧重。(3) 资源化利用仍在完善资源化利用工艺仍处于完善阶段, 污泥制肥、制建材、能源化利用等工艺应用范围逐步扩大, 但整体应用比例不高, 面临技术瓶颈与产品出路问题。

### 2.3 市政污水污泥处理的产业布局与市场格局

市政污水污泥处理产业布局与污水处理产业高度协同, 市场主体逐步多元化, 但仍存在诸多短板。(1) 产业布局与污水处理设施联动, 主要集中在大中型城市及污水厂密集区域, 采用“就近处理、就地处置”模式, 部分偏远地区及中小城镇仍缺失处理设施。(2) 市场主体涵盖国企、民企及外资企业, 国企主导大型项目, 民企在中小型项目中占据一定份额, 行业集中度低, 投融资及兼并重组活动日趋增多。(3) 产业链已初步完善, 涵盖设备制造、工程建设、运营服务等环节, 上游脱水、干化设备市场成熟, 但上下游协同不足, 部分工艺成本与收益倒挂, 资源化产品市场出路不畅<sup>[2]</sup>。

### 3 市政污水污泥处理可持续发展的核心原则与目标

市政污水污泥处理可持续发展需立足行业实际与生态环保要求, 遵循减量化、无害化、资源化三大核心原则: 减量化聚焦源头工艺优化与减量技术升级, 减少污泥产生量和体积, 降低处理储运成本; 无害化通过高效稳定化等技术, 消除污泥中有害成分, 严控二次污染; 资源化挖掘污泥资源价值, 推动相关利用技术落地, 构建循环体系。结合行业现状, 其分阶段发展目标为: 短期补齐设施短板, 提升全国处置能力实现污泥应处尽处, 规范运营并升级传统技术、提高无害化达标率; 中长期构建高质量发展体系, 推广减量、资源化及智能化技术, 形成工艺先进、布局合理的产业格局, 实现与生态保护、经济发展协同共进。

### 4 市政污水污泥处理的可持续发展技术对策

#### 4.1 源头减量技术

源头减量核心是通过污水处理工艺优化与专用减量化技术升级, 从根源上减少污泥产生量, 降低后续处理压力, 技术对策聚焦工艺适配与技术落地, 具体如下:

(1) 优化市政污水处理核心工艺, 减少污泥生成。调整现有工艺参数, 推广低污泥产量工艺组合, 替代传统高产泥工艺。生化处理阶段, 优化活性污泥法运行参数, 合理控制污泥龄在15-25d、溶解氧浓度在2-4mg/L, 提升微生物代谢效率, 减少剩余活性污泥; 推广MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor, 移动床生物膜反应器)、

MBR (Membrane Bioreactor, 膜生物反应器) 等高效低产泥工艺, 其中MBBR工艺单位污水产泥系数较传统工艺降低15%-20%, MBR工艺结合膜分离特性优化曝气方式与水力停留时间(8-12h), 降低产泥系数。同时完善污水预处理, 强化格栅(栅距5-10mm)、沉砂池处理效果, 去除30%-40%悬浮颗粒物, 减少初沉污泥。(2) 升级污泥减量化专用技术, 提升减量效果。推广污泥原位减量化技术, 增设污泥消解单元, 采用超声波(功率200-300W)、臭氧(投加量50-100mg/L)等方法, 实现减量率20%-30%。针对现有污水厂改造, 采用污泥回流优化技术, 将10%-15%剩余污泥回流至厌氧消化单元; 推广高压板框压滤机(压力1.2-1.6MPa), 将污泥含水率从80%降至60%-65%, 大幅缩减污泥体积, 降低运输过程中的能耗与污染风险。(3) 完善工艺协同管控, 保障技术落地。建立协同运行机制, 根据进水水质、水量动态调整参数, 确保各工艺环节高效联动; 大型厂(日处理 $\geq 10$ 万 $m^3$ )推广组合式减量化技术, 实现深度减量, 中小型厂采用低成本工艺, 降低应用门槛, 推动减量化技术在不同规模污水厂全面落地。

#### 4.2 无害化处理技术

无害化核心是通过高效稳定化、固化/稳定化技术创新与应用, 去除污泥中的有害成分, 消除二次污染隐患, 技术对策聚焦技术升级与应用优化, 具体如下: (1) 创新高效稳定化技术, 提升无害化水平。升级厌氧消化稳定化技术, 优化消化罐结构(容积5000-10000 $m^3$ ), 采用中温(35-38 $^{\circ}C$ )或高温(50-55 $^{\circ}C$ )模式, 高温消化效率较中温提升20%-30%, 可杀灭90%以上病原微生物。推广好氧发酵稳定化技术, 优化基质配比(污泥与秸秆3:1-4:1), 控制温度55-65 $^{\circ}C$ 、湿度50%-60%, 持续7-10d; 研发新型稳定化药剂, 使重金属溶出率降低80%以上。(2) 优化固化/稳定化技术, 强化污染防控。采用水泥、石灰与新型环保固化剂复合使用(质量比3:1:1), 提升固化体强度( $\geq 1.5$ MPa)。针对重金属含量较高的污泥(总量 $> 500$ mg/kg), 采用化学螯合+固化结合技术; 控制固化剂添加量(污泥干重10%-20%)、搅拌时间15-20min, 养护温度20-25 $^{\circ}C$ 。(3) 加强技术应用管控, 规范处理流程。明确不同污泥处理要求与达标标准, 加强过程管控; 推广PLC控制一体化自动化设备, 减少人为误差<sup>[3]</sup>。如某北方污水厂采用高温厌氧消化技术, 日处理污泥300吨, 配套建设高效气体收集与处理系统, 彻底分解污泥中的有机污染物和病原微生物, 处理后的污泥无异味、无二次污染风险, 可直接进入后续资源化处置环节, 有效解决了北方低温地区污泥

无害化处理效率低的难题。

#### 4.3 资源化利用技术

资源化利用核心是通过污泥制肥、制建材、能源化利用技术研发与推广,挖掘污泥资源价值,实现污泥变废为宝,技术对策聚焦研发、推广与瓶颈突破,具体如下:(1)推进污泥制肥技术研发与推广,优化堆肥技术,研发高效腐熟剂(投加量0.5%-1%),缩短堆肥周期至15-20d。如潍坊某污泥项目,采用该技术生产的复合肥,有机质 $\geq 30\%$ 、氮磷钾 $\geq 5\%$ ,用于园林绿化效果显著,项目配套建设完善的污泥预处理与腐熟检测系统,去除污泥中的有害杂质,生产的复合肥适配城市绿化苗木、草坪及矿山修复植被,投用后可减少化肥使用量,改善土壤透气性,累计处理污泥超10万吨,实现了污泥生态化处置与资源循环利用。(2)完善污泥制建材技术,推广污泥制砖技术,污泥掺量20%-30%,经100-120℃干燥、900-1100℃焙烧,成品抗压强度达标;研发污泥制水泥辅料技术,污泥经180-200℃热干化、800-1000℃焚烧后作为掺合料(掺量5%-10%),既降低水泥生产成本,又实现污泥资源化利用。(3)深化能源化利用技术,推广厌氧消化产沼气技术,沼气产量300-500m<sup>3</sup>/吨干污泥、甲烷含量60%-70%,配套发电供热。如某市政污泥厂,日处理污泥500吨,配套建设沼气净化、储存及发电系统,年发电量1200万度,可满足厂区自身生产生活用电需求,剩余电力并入当地电网,供周边企业和居民使用,年节约标准煤4000余吨,有效实现能源回收与环保效益双赢,破解了污泥资源化利用成本高、效率低的瓶颈。

#### 4.4 全流程智能化技术

全流程智能化精准化管控,技术对策聚焦系统建设与技术适配,具体如下:(1)升级全流程监测技术,实现精准监测。各环节安装专用设备,产生环节监测含水率( $\leq 80\%$ )、pH值(6.5-7.5),监测精度误差 $\leq$

5%;运输环节安装GPS与泄漏监测设备,及时报警;处理环节监测关键工序参数;处置环节监测最终去向,实现全追溯。(2)构建智能管控系统,提升管控效率。搭建智能管控平台,整合监测数据,实现数据汇总、分析、预警一体化;动态监控设备运行,降低故障率20%-30%;利用大数据优化工艺参数,降低运行成本15%-20%;建立电子台账,保存期限 $\geq 5$ 年,便于监管。(3)推动智能化技术适配改造,扩大应用范围。大型污泥厂(日处理 $\geq 500$ 吨)推广全流程智能化系统,配套智能巡检机器人,替代人工完成高危、繁琐的巡检工作,提升巡检精度与效率;中小型厂采用简易监测模块,简化系统复杂度,降低建设与运行成本。加强技术培训,建立专业运维机制,定期对智能化设备进行升级、校准,推动智能化技术在不同规模污泥处理设施中广泛应用<sup>[4]</sup>。

结束语:市政污水污泥处理是生态环境保护与资源循环利用的重要环节,也是推进可持续发展的关键举措。本文通过分析污泥特性、行业现状,围绕核心原则与分阶段目标,提出了涵盖源头减量、无害化、资源化及智能化的全方位技术对策。污泥处理行业的高质量发展是一项长期系统工程,需持续优化技术应用、完善产业布局、强化协同管控。

#### 参考文献

- [1]刘波,廖竞萌,郭韵,童景琰,李亮.成都市污水污泥处理处置现状及对策探讨[J].中国给水排水,2025,41(4):9-15.
- [2]阮益超.我国城市污水处理现状及改进措施分析[J].清洗世界,2024,40(5):108-110.
- [3]闫娅慧,涂嘉玲.市政工程中工业污水处理技术的创新与应用[J].安家,2025(6):0004-0006.
- [4]鲍王轩.市政污泥处理处置及资源化途径与新技术的应用分析[J].皮革制作与环保科技,2022,3(17):136-138+142.