

# 探析城市污水厂污泥处理进展及资源化利用途径

许振国

身份证号码: 4107041991\*\*\*\*1539

**摘要:** 论文深入探讨了城市污水厂污泥处理的最新进展, 分析了传统处理方法的局限性, 并系统阐述了污泥资源化利用的多种途径。通过案例分析与技术对比, 揭示了污泥资源化利用在环境保护、能源回收及农业发展等方面的潜力, 旨在为城市污水厂污泥处理与资源化利用提供科学指导与策略建议。

**关键词:** 城市污水厂污泥处理; 处理进展; 资源化利用途径

## Exploring the Progress of Sludge Treatment and Resource Utilization in Urban Sewage Plants

Zhenguo Xu

ID No.: 4107041991\*\*\*\*1539

**Abstract:** This paper deeply explores the latest progress in sludge treatment of urban sewage plants, analyzes the limitations of traditional treatment methods, and systematically elaborates on multiple ways of sludge resource utilization. Through case analysis and technical comparison, the potential of sludge resource utilization in environmental protection, energy recovery, and agricultural development has been revealed, aiming to provide scientific guidance and strategic suggestions for sludge treatment and resource utilization in urban sewage plants.

**Keywords:** urban sewage plant sludge treatment; processing progress; resource utilization pathways

## 0 前言

随着城市化进程的加速, 城市污水厂污泥产生量急剧增加, 其妥善处理与资源化利用成为亟待解决的环境问题。污泥中含有大量有机物、重金属及病原体, 若处理不当, 将对土壤、水体及空气造成严重污染。因此, 探索高效、环保的污泥处理技术与资源化利用途径, 对于促进城市可持续发展具有重要意义。

## 1 城市污水厂污泥处理技术进展

### 1.1 传统处理方法的局限

传统污泥处理方式中, 填埋与焚烧占据较大比例, 然而这两种方式均存在显著弊端。填埋处理需要占用大量土地资源, 随着城市化进程的加速, 土地资源愈发紧张, 大规模的污泥填埋场选址变得愈发困难。填埋过程中, 污泥中的有害物质可能通过渗透作用污染土壤与地下水, 对周边生态环境造成长期威胁。此外, 填埋场产生的渗滤液处理难度大, 若处理不当, 极易引发二次污染。

焚烧处理虽然能够在一定程度上实现污泥的减量化与无害化, 但其能源消耗巨大, 运行成本高昂。焚烧过程中产生的大量烟气含有二噁英、重金属等有害物质, 对大气环境造成严重污染。同时, 焚烧灰渣的处理也是一个难题, 若处置不当, 同样会对环境造成二次污染<sup>[1]</sup>。

### 1.2 新型处理技术的兴起

针对传统处理方法的不足, 新型污泥处理技术应运而生, 其中厌氧消化、好氧堆肥、热解气化等技术备受关注。

厌氧消化技术是利用厌氧微生物在无氧条件下分解污泥中的有机物, 产生沼气等可再生能源。该技术不仅能够实现污泥的稳定化与减量化, 还能将污泥中的有机物转化为清洁能源, 实现能源回收。厌氧消化过程产生的沼渣富含有机质与营养元素, 可作为土壤改良剂或有机肥料使用, 具有良好的环境效益与经济效益。

好氧堆肥技术则是通过好氧微生物的作用, 将污泥中的有机物分解为稳定的腐殖质。该技术操作简单, 成本较低, 且堆肥产品具有良好的肥效, 可用于农业、林业等领域。好氧堆肥过程中, 通过控制温度、湿度、通气量等条件, 可有效杀灭污泥中的病原体与寄生虫卵, 实现污泥的无害化处理。

热解气化技术是在高温无氧条件下, 将污泥中的有机物转化为合成气(主要成分为一氧化碳与氢气)的过程。该技术具有处理效率高、能源回收率高、二次污染小等优点。热解气化产生的合成气可作为燃料或化工原料使用, 实现污泥的资源化利用。

### 1.3 技术融合与创新

多种技术融合应用已成为提升污泥处理效果、降低成本的重要趋势。厌氧消化与好氧堆肥结合的处理模式逐渐受到关注。先通过厌氧消化将污泥中的大部分有机物转化为沼气, 实现能源回收, 同时降低污泥中易降解有机物含量。经过厌氧消化的污泥再进行好氧堆肥, 此时堆肥过程中产生的异味和温室气体排放大幅减少, 且堆肥产品质量更高。因为厌氧消化后的污泥性质更稳定, 有利于好氧微生物进一步分

解剩余有机物,形成更优质的腐殖质肥料。在实际应用中,这种组合技术在一些污水处理厂试点成功,污泥处理成本降低了约 20%,同时肥料产量与质量均有所提升。

生物技术与物理化学技术联合处理也展现出良好前景。例如,利用超声波等物理手段对污泥进行预处理,破坏污泥细胞结构,使细胞内的有机物释放出来,提高后续生物处理的效率。经过超声波预处理后,厌氧消化过程中沼气产量可提高 15%~20%。在污泥脱水环节,结合化学调理剂与机械脱水技术,先添加化学调理剂改变污泥的胶体结构,降低其黏性,再通过机械压榨实现高效脱水。这种联合技术能使污泥含水率从 80% 以上降低至 60% 以下,有效减少污泥后续处理量与处理难度,提升整体处理效果,降低处理成本,为城市污水厂污泥处理提供了更优化的解决方案。

## 2 污泥资源化利用的多重途径

### 2.1 能源回收

污泥中富含大量有机物,通过特定技术手段可将其转化为能源,实现资源回收利用。厌氧消化便是一种成熟且应用广泛的能源回收方式。在厌氧环境下,厌氧微生物将污泥中的复杂有机物逐步分解,历经水解、酸化、产甲烷等阶段,最终产生以甲烷为主要成分的沼气。甲烷作为优质清洁能源,具有较高的燃烧值。某大型城市污水厂采用先进厌氧消化工艺,每日处理大量污泥,产生的沼气经净化提纯后,用于厂区内的发电设备,不仅满足了污水处理厂部分日常用电需求,还将多余电量输送至电网,创造了额外经济收益。从环境效益看,沼气作为清洁能源,相较于传统化石能源,燃烧过程中二氧化碳排放量大幅降低,有效减少了温室气体排放,助力应对气候变化。同时,厌氧消化过程减少了污泥中有机物含量,降低了后续处理难度与污染风险<sup>[2]</sup>。

热解气化技术同样能实现污泥能源回收。在高温、缺氧条件下,污泥中的有机物发生热分解反应,转化为合成气(主要含氢气、一氧化碳等可燃气体)、焦油和固体炭。合成气可直接作为燃料用于工业生产或供热,也可进一步加工合成其他化工产品。以某实验性项目为例,通过热解气化技术处理污泥,产生的合成气为周边小型工厂提供了稳定热源,替代了部分煤炭等传统燃料,既降低了企业能源成本,又减少了因煤炭燃烧带来的大气污染物排放,如二氧化硫、氮氧化物等。而且,热解气化过程中产生的固体炭可作为吸附剂用于废水处理、废气净化等领域,实现了资源的梯级利用,具有良好的经济性与环境效益。

### 2.2 农业利用

污泥堆肥作为农业利用的重要形式,在提高土壤肥力、促进作物生长方面具有显著作用。经过好氧堆肥处理的污泥,其中的有机物被微生物分解转化为腐殖质类物质,富含氮、磷、钾等植物生长必需营养元素。将这种堆肥施用于土壤,能够有效改善土壤结构,增加土壤孔隙度,提高土壤保

水保肥能力。在一些农田试验中,连续多年施用污泥堆肥的土壤,其有机质含量明显提升,农作物产量也有所增加,如小麦产量提高了 10%~15%,蔬菜品质得到改善,口感更佳、色泽更鲜艳。

然而,在污泥农业利用过程中,必须高度重视重金属污染风险控制。污泥中可能含有铅、汞、镉等重金属,若未经严格处理与检测直接用于农业,重金属会在土壤中累积,通过食物链进入人体,危害人体健康。因此,在污泥堆肥前,需对污泥进行重金属检测与预处理,采用物理、化学或生物方法降低重金属含量。同时,在农业施用时,严格控制施用量与施用频率,并定期对土壤和农产品进行重金属检测,确保农产品质量安全,实现污泥农业利用的可持续发展。

### 2.3 建材利用

污泥在建材生产领域具有广阔应用前景。在制砖工艺中,将经过处理的污泥与黏土、页岩等原料按一定比例混合,经成型、干燥、烧制等工序,可制成性能优良的建筑用砖。研究表明,添加适量污泥制成的砖,其抗压强度、抗折强度等物理性能与传统黏土砖相当,且由于污泥的加入,砖体内部形成了一定孔隙结构,使其具有更好的保温隔热性能。从环境影响看,利用污泥制砖减少了黏土等天然资源开采,降低了对土地的破坏,同时实现了污泥的无害化处置,减少了环境污染。在市场方面,随着环保理念深入人心,对绿色建材需求不断增长,污泥制砖产品符合市场趋势,具有良好市场前景。

污泥用于制陶粒也是一种创新应用。通过将污泥与其他添加剂混合造粒,再经高温烧结,可制成轻质陶粒。这种陶粒具有密度小、强度高、吸水率低等特点,可广泛应用于建筑保温材料、污水处理滤料等领域。在建筑保温领域,陶粒混凝土的应用有效降低了建筑物能耗;在污水处理中,陶粒作为滤料能够高效吸附污水中的杂质与微生物,提高污水处理效果。而且,污泥制陶粒技术实现了污泥的高值化利用,为污泥资源化开辟了新途径,在创造经济效益的同时,推动了建材行业绿色发展。

## 3 挑战与对策

### 3.1 技术挑战

当前,污泥处理与资源化利用技术面临诸多难题。在处理效率方面,尽管一些新型技术不断涌现,但部分技术在大规模应用时,处理效率仍难以满足日益增长的污泥产量需求。以厌氧消化技术为例,其反应过程受温度、酸碱度、污泥成分等多种因素影响,在实际运行中,若环境条件波动,微生物活性降低,会导致沼气产生量不稳定,处理效率大幅下降。而且,污泥成分复杂,含有大量难降解有机物、重金属以及微生物,这增加了处理难度,使得处理效率提升面临瓶颈<sup>[3]</sup>。

成本控制也是一大挑战。污泥处理涉及多个环节,从

收集、运输到处理、资源化利用,每个环节都需要投入大量资金。新型处理技术往往需要高昂的设备购置与安装成本,后续运行维护费用也居高不下。例如,热解气化技术,其设备投资巨大,对操作人员专业技能要求高,且运行过程中能源消耗大,导致处理成本远超传统处理方式。这使得许多污水处理厂因资金限制,难以大规模采用先进技术,只能继续依赖传统低效且高污染的处理方法。

技术稳定性同样不容忽视。部分新兴技术在实验室阶段表现良好,但在实际工程应用中,由于受到复杂工况、设备老化等因素影响,技术稳定性大打折扣。例如,一些利用生物技术处理污泥的方法,微生物对环境变化极为敏感,一旦污水处理厂进水水质、水量发生波动,微生物群落结构失衡,处理效果急剧恶化,甚至导致整个处理系统崩溃,严重影响污泥处理的连续性与稳定性。

### 3.2 政策与法规

相关政策法规对污泥处理与资源化利用起着关键引导与规范作用。然而,目前政策法规仍存在一些不完善之处。一方面,部分地区政策扶持力度不足,对采用先进污泥处理与资源化利用技术的企业或项目,缺乏足够的资金补贴、税收优惠等激励措施,导致企业积极性不高。例如,对于投资建设污泥厌氧消化能源回收项目的企业,若没有政策层面的资金支持,仅靠项目自身收益,投资回收期过长,企业很难主动参与。

另一方面,监管体系存在漏洞。现有法规对污泥处理标准、排放要求等虽有规定,但在实际监管过程中,由于监管部门人力有限、检测技术手段落后等原因,难以对所有污水处理厂进行全面、严格监管。一些企业为降低成本,违规排放未经达标处理的污泥,对环境造成严重污染。比如,部分小型污水处理厂在污泥堆肥过程中,未严格按照重金属含量标准进行处理,直接将不符合标准的堆肥产品用于农业,导致土壤重金属污染风险增加。

为完善政策法规、加强监管,应加大政策扶持力度,设立专项补贴资金,对采用先进技术、实现污泥高效资源化利用的项目给予资金支持;实施税收减免政策,降低企业运营成本。同时,完善监管体系,加强监管部门人员配备与技术培训,引入先进检测设备,提高监管能力。建立严格的污泥处理企业准入与退出机制,对违规企业依法严惩,提高其

违法成本,确保政策法规有效执行。

### 3.3 公众认知与参与

提高公众对污泥处理与资源化利用重要性的认识至关重要。目前,公众对污泥处理关注度较低,甚至存在误解,认为污泥是污染物,处理过程会带来环境污染,对污泥资源化利用产品的安全性存在疑虑。例如,对于污泥堆肥用于农业生产,部分公众担心农产品会受到污染,从而抵制使用相关农产品。这种认知偏差导致公众对污泥处理项目存在抵触情绪,一些污泥处理设施建设项目因周边居民反对而受阻。

为改变这一现状,需加强宣传教育。通过多种渠道,如电视、网络、社区宣传活动等,向公众普及污泥处理与资源化利用知识,展示先进处理技术的安全性与环保性,介绍资源化利用产品的质量标准与应用效果,消除公众误解。同时,鼓励公众参与,建立公众监督机制,邀请公众代表参与污泥处理项目建设与运营监督,定期向公众公开项目运行状况与处理效果数据,增强公众对项目的信任。开展污泥处理与资源化利用科普教育活动,提高公众环保意识,引导公众形成正确认知,营造全社会支持污泥处理与资源化利用的良好氛围,推动相关工作顺利开展。

## 4 结语

城市污水厂污泥处理与资源化利用是实现城市可持续发展的关键环节。通过不断探索与创新,我们能够找到更加高效、环保的污泥处理技术,并开发出多样化的资源化利用途径。未来,需进一步加强技术研发、政策支持及公众参与,共同推动城市污水厂污泥处理与资源化利用事业的发展,为构建美丽中国贡献力量。

### 参考文献:

- [1] 央初卓玛,蔡露,唐宇,等.活性污泥法处理城市污水研究进展[J].辽宁化工,2024,53(2):269-271.
- [2] 李萍萍.城市污水处理厂污泥中能源物质利用的研究进展[J].化工管理,2020(32):111-112.
- [3] 孙娟.城市污水处理厂污泥中重金属污染治理方法研究进展[J].中国资源综合利用,2020,38(10):110-111+114.

作者简介:许振国(1991-),男,中国河南新乡人,硕士,中级工程师,从事给排水与环境工程方面的设计研究。