

# Research on sludge resource utilization technology in urban sewage treatment plant

Zhiqiang Gu

Huludao Ecological Environment Monitoring Center Station Dongdaihe New District Branch Station, Huludao, Liaoning, 125000, China

## Abstract

Urban sewage treatment plants generate a significant amount of sludge while purifying water. Efficient and safe resource utilization of sludge has become a core issue in environmental protection and resource management. This article examines the characteristics of sludge generation and systematically reviews the main resource utilization technologies, including land use, energy conversion, and material reuse. It also delves into the principles and application conditions of typical technologies such as anaerobic digestion, thermochemical conversion, and biological treatment. Based on this, the article discusses the environmental pollution risks and safety control requirements in the process of sludge resource utilization, emphasizing the need to establish and improve product quality standards and a comprehensive supervision mechanism. Finally, it proposes strategies to promote technology integration, enhance policy support, and build a full lifecycle management system, aiming to provide systematic theoretical support and practical pathways for the resource utilization of urban sludge in China.

## Keywords

municipal sludge; resource utilization; anaerobic digestion; thermochemical conversion; environmental control

## 城市污水处理厂污泥资源化利用技术研究

谷志强

葫芦岛市生态环境监测中心站东戴河新区分站, 中国·辽宁 葫芦岛 125000

## 摘要

城市污水处理厂在净化水体的同时产生大量污泥, 如何高效、安全地实现污泥的资源化利用已成为当前环保与资源管理领域的核心议题。本文从污泥的产生特性出发, 系统梳理了当前主要的资源化利用技术路径, 包括土地利用、能源转化及材料化再利用等方向, 并深入剖析了厌氧消化、热化学转化与生物处理等典型技术的原理与应用条件。在此基础上, 探讨了污泥资源化过程中存在的环境污染风险与安全控制要求, 强调需建立健全的产品质量标准与全过程监管机制。最后, 提出推进技术集成、完善政策支持、构建全生命周期管理体系的策略建议, 旨在为我国城市污泥资源化利用提供系统的理论支撑与实践路径。

## 关键词

城市污泥; 资源化利用; 厌氧消化; 热化学转化; 环境控制

## 1 引言

随着城市化进程不断加快, 污水处理能力显著提升, 随之产生的大量污泥对环境造成了巨大压力。传统污泥处置方式如填埋和焚烧, 不仅占用土地资源, 还带来二次污染问题, 已逐渐难以满足生态环境保护的要求。在“双碳”目标与循环经济理念的推动下, 污泥资源化利用成为当前研究与实践的重要方向。通过对污泥进行能源、肥料或材料转化处理, 不仅可以实现废弃物的减量化、无害化处理, 还能有效回收资源, 提高经济与环境效益。当前, 资源化技术体系日

益多元, 涵盖生物、热化学、物理化学等多个维度, 但在工程实践中仍面临技术集成不足、环境风险控制滞后及政策标准缺失等问题。本文拟围绕城市污泥资源化利用展开系统研究, 旨在为相关技术优化与产业发展提供理论支持与策略依据。

## 2 城市污水处理厂污泥产生特性分析

污水处理过程中产生的污泥主要包括初沉污泥、剩余污泥及混合污泥, 不同类型污泥在性质与成分上存在明显差异。初沉污泥多含有粗颗粒、有机质与悬浮物, 结构密实, 脱水性能较好; 剩余污泥源自生物处理单元, 含水率高, 富含微生物菌体与代谢产物, 呈胶状结构, 稳定性较差。混合污泥则为二者的组合, 成分更为复杂。污泥中有机物质含量

【作者简介】谷志强(1974-), 男, 中国辽宁葫芦岛人, 本科, 高级工程师, 从事环境监测、污染治理研究。

普遍较高，占干重的40%至70%，包括蛋白质、碳水化合物与脂类等，同时还含有一定量的无机盐、重金属、病原体及微量有毒有害物。污泥的物理化学性质与处理工艺密切相关，是资源化路径选择与后续处理的重要依据。

### 3 污泥资源化利用的基本路径与发展现状

污泥用于土地的资源化路径主要包括农用施肥、园林绿化土壤改良及矿山复垦等形式，其核心在于污泥中有机质和养分的有效利用。经稳定化与无害化处理后的污泥可作为有机肥或土壤改良剂用于农业耕地，提供氮、磷、钾等植物营养元素。园林绿化项目对污泥重金属指标要求相对宽松，是城市污泥的主要去向之一。矿山复垦领域则利用污泥改良贫瘠土地结构、恢复生态植被。实际应用中需严格控制污泥中病原微生物、重金属和有机污染物含量，确保其安全性与环境可持续性。土地利用的有效推广依赖于配套标准体系与监管机制的完善。

## 4 主要污泥资源化技术的原理与工艺分析

### 4.1 厌氧消化技术及其资源转化机制

厌氧消化是一种生物化学过程，在无氧环境中依靠多类微生物协同作用，将污泥中的有机物降解为甲烷、二氧化碳等气体，同时实现污泥稳定化与体积减量。该过程主要包括水解、酸化、产乙酸和产甲烷四个阶段，不同微生物群在不同阶段发挥作用，对环境条件如温度、pH值、负荷量具有高度敏感性。中温（35℃）和高温（55℃）两种运行模式是主流工艺路径，前者能耗较低，运行稳定性强，后者则在处理效率与杀菌能力方面具有优势。厌氧消化系统常与沼气回收装置、固液分离设备和除臭系统配套使用，形成完整的能源与资源循环体系，在城市污水处理厂中具备广泛推广前景。

### 4.2 热化学转化技术：焚烧、热解与气化

热化学转化是通过高温条件下对污泥进行分解与转化的资源化方式，主要包括焚烧、热解与气化三种路径。焚烧是在有氧条件下将污泥中有机物完全氧化，释放大量热能，可用于热电联产，但需配置高效烟气净化系统。热解是在缺氧环境中进行，反应温度控制在300℃~600℃，可产出可燃气体、焦油与炭渣等中间产物，具有较高的能量密度与后续处理灵活性。气化则在部分氧化条件下运行，产出合成气成分以CO与H<sub>2</sub>为主，适合用于燃料或化工原料。热化学转化工艺对污泥脱水要求高，能耗较大，对设备耐腐蚀性及气体净化系统提出较高要求，适用于大型处理设施的资源化集中处置。

### 4.3 生物转化利用技术：堆肥与微生物处理

生物转化是以自然或人工控制下的微生物代谢作用为基础，将污泥中有机物稳定转化为有用产物的过程，常见方式包括好氧堆肥与微生物强化处理。堆肥是通过调节碳氮

比、水分、通气量等条件，促进微生物将有机质矿化为腐殖质，同时达到病原体灭活与臭气控制的目标。成品堆肥可作为有机肥或土壤改良剂，用于农业和园林绿化。微生物处理则多采用特定菌种，如好氧细菌、真菌或放线菌群，强化污泥降解效率与资源转化率，可实现有机酸、酶制剂或微生物肥料等高附加值产物的生产。生物转化过程绿色环保、成本较低，但处理周期长、受环境因素影响大，对规模化应用的控制与管理水平提出更高要求。

## 5 污泥资源化利用过程中的环境与安全管理

### 5.1 重金属与有机污染物的迁移与控制技术

城市污泥中常富集多种重金属元素和持久性有机污染物，在资源化利用过程中存在迁移扩散的环境风险。重金属主要来源于工业排放及管网沉积，典型元素包括镉、铅、汞、铬等，具有生物毒性和持久性，易在农田和地下水系统中积累。有机污染物则包括多环芳烃、邻苯二甲酸酯、多氯联苯等，具有致癌致畸作用。控制技术主要包括源头削减、化学稳定化、热处理与生物降解等手段。稳定化处理通过加入石灰、黏土、硫铁矿等材料实现重金属固定化，热解和焚烧可高效破坏有机污染物结构。工艺过程需强化监测环节，动态掌握污染物形态转变与迁移路径，以防止其在资源化产品中累积，影响生态系统与人群健康安全。

### 5.2 污泥处理过程中的臭气与二次污染问题

污泥在脱水、堆放、发酵和干化等处理环节中极易释放大量恶臭气体，主要成分为氨气、硫化氢、甲硫醇和挥发性有机物，不仅影响周边空气质量，还易引发公众投诉和环境纠纷。臭气控制需要依托全过程管控技术体系，从源头削减有机物分解反应，通过密闭结构设计与负压抽风系统减少逸散。在处理车间及堆肥场等重点区域设置生物滤池、活性炭吸附装置或等离子体降解装置可有效降低臭气排放浓度。污泥焚烧过程中产生的烟气、飞灰和二噁英类污染物同样具有较强毒性和扩散性，必须配置高效烟气净化系统与稳定运行监测机制。二次污染防治需与主处理工艺协同设计，确保资源化过程的整体环境友好性与运行安全性。

### 5.3 资源化产品的安全性评价与标准体系

污泥资源化产品的最终去向多涉及农业土壤、绿化用地或工业建材，其质量安全直接关系到资源化利用的可持续性。安全性评价需涵盖产品的物理性质、化学成分、生物学指标及环境风险等多个维度，重点检测重金属含量、有害有机物浓度、病原微生物残留及稳定性。产品标准体系应基于用途差异设定分级分类标准，对农用、园林、市政等应用场景分别制定限值指标。我国已发布《城市污水处理厂污泥处置及资源化利用技术政策》《农用污泥污染控制标准》等相关文件，但在覆盖范围、技术适配性与执行力度方面仍有不足。建立统一权威、可追溯的标准与认证体系，有助于规范资源化产品流通与使用，推动污泥利用产业健康发展。

## 6 推动城市污泥资源化利用的策略建议

### 6.1 完善污泥资源化相关政策与标准体系

污泥资源化利用的发展离不开政策制度的支持与引导,需要从立法保障、财政补贴、技术规范等多个层面系统推进。现行政策多集中于污泥无害化处理层面,缺乏针对资源化全过程的激励机制和监管体系。应加快制定与资源化利用路径相匹配的技术标准与行业规范,推动出台污泥产品分类使用指南与安全限值标准,为不同利用方式设定明确的准入条件。在财政与税收政策上给予资源化项目投资、运营、设备采购等环节补助或减免,吸引企业和社会资本参与。建立污泥资源化项目备案、审批、运行、评估全过程合规机制,提升行政管理的科学性和透明度,为行业发展营造公平有序的政策环境。

### 6.2 构建多元化技术集成与应用示范体系

污泥资源化技术多样且复杂,单一工艺难以适应不同区域、不同类型污泥的处理需求,需要通过集成化、多元化方式提升资源化效率与应用广度。构建“厌氧+热解+材料化”复合工艺链条,实现资源最大化回收和环境风险最小化。加强工艺设备的标准化、模块化研发,提升工程实施的灵活性与成本控制能力。建设一批具有代表性的污泥资源化利用示范工程,结合当地水质、气候、土地利用条件,探索可复制、可推广的治理模式。推动产学研协同创新,提升核心技术自主研发水平和成果转化效率,为不同规模和类型污水厂提供适宜的资源化技术路径与运维模式。

### 6.3 建立污泥全生命周期管理与追踪机制

污泥资源化利用过程需贯穿污泥产出、运输、处理、转化、应用等各个环节,建立全生命周期管理体系可有效提高过程可控性与环境安全水平。通过构建信息化管理平台,

实现污泥来源、处理工艺、去向用途等关键数据的实时记录与共享,形成闭环监管网络。建立污泥运输专属通道与转运标识制度,严控非法倾倒与偷排行为。资源化产品应实施出厂检测与用途登记制度,配套质量追踪、批次管理与召回机制,提升公众信任度与使用规范性。将生命周期管理理念纳入污水处理厂运行考核指标体系,引导管理者转变治理思维,从处置导向向资源利用导向转变,助力构建绿色低碳的城市污水治理体系。

## 7 结语

城市污水处理厂污泥的资源化利用已成为实现环境保护与资源回收并重的重要方向。在技术不断迭代与政策逐步完善的背景下,污泥土地利用、能源转化与材料化应用路径不断拓展,推动了从末端处置向高值利用的转变。与此同时,环境风险控制、安全评价体系与全过程监管机制也需同步强化,以确保资源化产品的生态友好性与可持续性。未来需聚焦技术集成优化、产业协同推进与管理制度创新,构建科学、高效、规范的污泥资源化利用体系,助力城市生态治理能力的全面提升。

## 参考文献

- [1] 高婉琳,黄亮.城市污水处理提质增效碳中和路径解析[J].环境保护科学,
- [2] 刘雅慧.基于微波高压消解-原子荧光光度法对污水处理厂污泥中汞含量的测定[J].山西化工,2025,45(03):94-97.
- [3] 陆贤文,龙欢欢.城市污水处理厂污泥处置过程中重金属迁移转化机制研究[J].环境与生活,2025(Z1):89-91.
- [4] 高海勇.某市污水处理厂污泥重金属污染源解析[J].山西化工,2024,44(12):201-203.