

# 污水处理厂污泥处置及利用途径研究

曹蓉

如东恒发水处理有限公司, 中国·江苏南通 226400

**摘要:** 污水处理厂产生的污泥具有转化为资源的潜力, 其中富含有机成分和营养物质。对污泥的来源、分类及其成分特性进行分析, 指出其含水量较高, 并可能含有影响处理效果的重金属。提出了降低污泥产生和处理成本的有效策略, 通过研究生物处理方法如厌氧消化、好氧消化等污泥减量化技术, 以及物理化学处理途径。此外, 为保证环境安全, 去除有机物和病原微生物, 污泥的稳定化处理必不可少。在资源化方面, 农业、能源和建材制造等领域都可以使用经过处理的污泥, 显示出经济和环保方面的良好效益。总体而言, 通过科学的污泥管理和资源化路径, 为环境治理和资源开发提供新思路、新支撑, 为实现可持续发展、循环经济的目标做出贡献。

**关键词:** 污泥特性; 减量化技术; 稳定化处理; 资源化利用

## Research on the Disposal and Utilization of Sludge in Sewage Treatment Plants

Rong Cao

Rudong Hengfa Water Treatment Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226400, China

**Abstract:** The sludge generated by sewage treatment plants has the potential to be converted into resources, which are rich in organic components and nutrients. Analyze the source, classification, and compositional characteristics of sludge, pointing out that it has a high water content and may contain heavy metals that affect treatment efficiency. Effective strategies have been proposed to reduce sludge production and treatment costs, by studying biological treatment methods such as anaerobic digestion, aerobic digestion, and other sludge reduction technologies, as well as physical and chemical treatment pathways. In addition, to ensure environmental safety and remove organic matter and pathogenic microorganisms, the stabilization treatment of sludge is essential. In terms of resource utilization, treated sludge can be used in fields such as agriculture, energy, and building materials manufacturing, demonstrating good economic and environmental benefits. Overall, through scientific sludge management and resource utilization pathways, new ideas and support are provided for environmental governance and resource development, contributing to the achievement of sustainable development and circular economy goals.

**Keywords:** sludge characteristics; reduction technology; stabilization treatment; resource utilization

## 0 前言

随着城市化进程加速与污水排放量增加, 污泥处理与资源化利用成为环境管理的重要议题。污泥不仅是城市污水处理的副产品且富含有机物和营养成分, 具备转化为资源的潜力。有效的污泥管理策略与技术不仅可以减轻环境负担还能实现经济与环境效益的双重目标。论文将深入探讨污泥的产生特性、减量化技术、稳定化处理方法及资源化利用路径, 为推动污水处理行业的可持续发展提供科学依据和实践指导。

## 1 污泥产生与特性分析

在城市污水处理过程中会产生大量污泥, 如果未经深度处理直接排放, 会污染环境<sup>[1]</sup>。污泥主要来源于城市污水处理过程中, 特别是活性污泥、沉淀污泥及回流污泥。经过初级和二级处理, 这些污泥不仅包含沉淀的固体颗粒, 还包括生物降解过程中产生的细胞残体。根据污水来源, 污泥分为城市污泥和工业污泥, 前者富含有机物和微生物, 后者可

能含有重金属和其他危险成分。污泥的成分包括水分、细菌、无机物和有机物, 水分通常占 80% 以上。细菌种类和数量直接影响污泥的沉降性和脱水性能, 因此深入分析污泥特性对于选择合适的处理和资源化利用技术至关重要。

### 1.1 污泥来源与分类

污泥的来源主要集中于污水处理的各个环节, 尤其在城市污水处理厂中, 活性污泥、沉淀污泥及回流污泥是最常见的类型。城市污水在经过初级和二级处理后, 产生的污泥不仅包括从废水中沉淀下来的固体颗粒, 还包括生物降解过程中形成的细胞残体与附着物。根据不同的污水来源可以将污泥分为城市污泥和工业污泥。城市污泥主要来自家庭生活用水及市政污水, 含有丰富的有机物和微生物。工业污泥则源自特定工业流程, 其成分具有多样性, 可能包含重金属、有机污染物以及其他危险成分。了解污泥的来源及分类, 能够为后续的处理和资源化利用提供重要依据。

日益严格的排放标准使得许多污水处理厂不得不采用更先进的技术, 如混凝剂、助凝剂和除磷剂, 以达到更好的

净化效果。然而, 这些技术也会导致大量的化学污泥, 从而影响到环境质量<sup>[2]</sup>。

## 1.2 污泥成分与特性

污泥的成分包括水分、细菌、无机物、有机物及其他污染物, 水分含量通常占据污泥整体重量的 80% 以上。污泥中的有机物一般由活性污泥中的微生物及其代谢产物组成, 具有较高的可降解性, 是污泥处理的重要目标。细菌种类和数量的变化直接影响污泥的沉降性及脱水性能。无机物成分中, 常包括沙粒、灰渣以及各种重金属, 尤其在工业污泥中, 重金属的含量常常超出安全标准, 必须重视其对环境的潜在危害。

污泥的特性还包括物理、化学和生物性质, 尤其是其沉降性、黏度及稳定性等指标, 对污泥的处理方式有着显著影响。高水分含量和细菌活性使得污泥在处理过程中需要采取合理的降低水分和提升稳定性的措施。对污泥成分与特性的深入分析, 为选择适当的处置和利用技术奠定了基础, 帮助实现污泥的有效管理和资源化利用, 促进可持续发展。

## 2 污泥减量化技术研究

在现代污水处理过程中, 污泥减量化技术通过源头控制、工艺优化、物理化学及生物处理等手段, 旨在减少污泥产生提高整体处理效率降低处理成本。厌氧消化与好氧消化是常用的生物处理技术, 前者通过无氧条件实现有机物降解, 后者则利用氧气促进微生物生长, 提升污泥处理效果。同时化学方法和膜分离技术近年来也受到关注, 促进污泥减量化技术的发展为污水处理厂提供多样化的解决方案。

### 2.1 减量化方法概述

作为污水处理厂经营与环境保护的重要一环的污泥减量化技术, 其目的是通过各种途径减少污泥的产生量, 而主要途径有源头控制优化工艺物理化学处理及生物处理等几个方面。通过这些减量化策略的实施, 既能有效降低污泥治理费用, 又能使污水处理的整体效益得到提高。其中, 源头控制主要采取改进生产工艺和选用高效投加剂的办法, 使原材料对污泥产生的贡献得到最大程度的降低。另外, 物理化学处理和生物处理也分别有相应的办法来在处理过程中对悬浮物质进行有效的去除和改善有机物的分解效率。生物处理技术是利用微生物的代谢作用, 对污泥中的有机物进行分解, 从而为另一种减量化途径提供思路。

### 2.2 关键技术分析

作为污泥减量化的关键技术, 目前主要有厌氧消化和好氧消化两种生物处理技术。厌氧消化过程是在无氧环境下, 依靠特定的微生物将污泥中的有机物降解为可再生的沼气, 使污泥的质量和体积有较大幅度的下降。好氧消化则利用氧气促进微生物的生长, 对污泥进行深层次的降解, 从而对污泥的处理效果有明显的改善作用。除生物处理之外, 化学处理方式如石灰稳定化技术也日益受到重视, 它可通过添

加石灰等化学药剂来改变污泥的化学性质从而达到减量化和稳定化的目的。另外, 作为新兴的物理处理方法, 膜分离技术在污水处理过程中也有很好的去污能力, 在固液分离的同时, 还能对污泥进行进一步的减量和稳定化处理。各种技术的结合与优化, 为污泥减量化提供了丰富的解决途径, 将促使污水处理厂向更高效更环保的方向前进。使污泥得到充分的治理。

## 3 污泥稳定化处理技术

污泥稳定化处理目的在于减小污泥体积并增强其安全性和可处理性。通过有效去除污泥中的有机物和病原微生物, 降低环境风险, 保障公共卫生。随着污水处理行业面临的环境法规日益严格, 稳定化成为满足法律要求、推动资源回收与循环利用的重要手段。其技术发展与应用不仅提升污泥的经济处置能力也为可持续发展提供新的机遇。

### 3.1 稳定化意义与目标

污泥的稳定化处理在降低污泥体积、提高安全性和可处理性的污水处理厂运营中起着至关重要的作用。污泥中的有机物质及病原微生物经稳定化处理, 得到了有效的去除, 使污泥潜在的环境危害得以降低。研究表明, 在未经处理的污泥中, 细菌浓度可达  $10^6$  至  $10^9$  cfu/g, 因此在保证公共卫生方面, 消灭致病微生物显得尤为重要。稳定化还能提高污泥的脱水性, 使污泥干化后含水率由原来的 80% 降低到 50% 左右。这样既降低了物流成本, 又有利于资源化, 为利用污泥做肥料或燃料埋下伏笔。合规化处理已经成为污水处理厂在环境法规越来越严的情况下的必然选择。

### 3.2 稳定化处理技术

在生物法中, 厌氧消化和好氧消化广泛应用。厌氧消化过程通过微生物在无氧环境下对污泥中的有机物进行降解, 生成的沼气可用于发电或供热, 减少污泥体积 28% 至 50%。在好氧消化过程中添加氧气使得好氧微生物的代谢更加活跃, 产生的稳定化污泥质量更高, 适宜后续的利用与处置。

化学稳定化方法常见的包括石灰稳定化和氧化剂处理等。透过使用石灰, 污泥 pH 值可提升至 12, 致使大多数病原体被有效杀灭。对于某些污水处理厂, 通过石灰稳定化处理污泥的有机物去除率可达到 50% 至 70%。氧化剂处理技术则通过添加氯或臭氧等氧化剂迅速降低污泥的有机负荷, 反应时间通常在 30 分钟至 2 小时之间, 适合于需要快速处理的场景。

物理稳定化技术如热处理与干化作用显著, 利用高温消毒和干燥过程可有效减少污泥中的水分和有机物。热处理使污泥体积缩减至原始体积的 30% 至 40%, 同时确保病原体的灭活, 为后续的填埋或焚烧提供安全保障。形成多样化的污泥处理流程满足不同规模与类型污水处理厂的需求提升污泥处置的经济性与环保性。

## 4 资源化利用途径探索

2022年9月28日,国家发展改革委、住房城乡建设部、生态环境部联合印发《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》,提出,到2025年,全国新增污泥(含水率80%的湿污泥)无害化处置设施规模不少于20000t/d,城市污泥无害化处置率达到90%以上,地级及以上城市达到95%以上<sup>[3]</sup>。污水处理厂产生的污泥具有转化为资源的潜力,其中富含有机成分和营养物质。污泥的处理通过资源化利用,既可以减轻环境负担,又可以为经济和环境双重受益做出贡献。据有关资料显示,目前世界上每年产生的污泥在1.5亿吨左右,但处理和有效利用的污泥所占比例却不高。对污泥进行合理的管理和利用,可将其变废为宝,为促进可持续发展提供重要支撑,在农业、能源等领域都将得到促进。

### 4.1 资源化利用意义

由于有机成分和营养物质丰富,污水处理厂产生的污泥成为潜在资源。污泥的处置通过资源化利用,不仅可以减轻环境负担,而且对于促进可持续发展意义重大,可以实现资源的再利用。据有关研究表明,全世界每年产生的污泥约为1.5亿吨,而目前有效处理利用的污泥仅占这一数量的25%。污泥资源化将有助于降低污水处理费用、延长垃圾填埋场使用年限、提高土地利用效率、降低对环境的影响,对治理污染具有十分重要的作用。

合理利用污泥,就能变成有用之物。如处理后的污泥可作为肥料,提供富含氮、磷、钾等促进植物生长的土壤改良养分。据实验资料显示,作为有机肥的污泥经过处理后,可使农作物增产10%至30%。这对实现农村资源循环利用的农业生产会有好处。另外,在能源方面,污泥可以成为生物质燃料,取代传统的化石燃料,并在热解或厌氧消化后减少温室气体排放。

对污泥进行资源化的利用,对污水处理厂的经济效益有很好的改善作用。实施污泥资源化处理方法不仅能降低污泥处置方面的开支,还能为污水处理厂带来一定的额外收益,从而促使其向资源回收型的运行模式转变,达到环保和经济双丰收的目的。

### 4.2 主要利用途径

目前,污水处理厂污泥的资源化利用途径有多,主要有以下几个方面的利用途径,包括农业利用、能源利用以及建材制造等。同时,对于资源化利用过程中的治理与处置问题也需要重视。

农业利用方面,处理后的污泥可用作有机肥和土壤改良剂,经过堆肥化和腐熟处理后的污泥,能有效降低其病原微生物与重金属含量,使安全性得到保障,采用适宜的比例混合后,污泥中的氮磷钾含量可达到1.5%~3%的浓度,适合多种作物的种植。在一些实际案例中,利用污泥对土壤进行改良后,作物产量较未施用时提高了20%~40%,既实现了废物的再利用,又为农业可持续发展提供了支撑。因此,在农业利用方面,污泥具有十分重要的意义。

能源利用的途径主要包括厌氧消化和热处理两个方面。污泥在厌氧消化过程中被微生物降解于无氧环境中,产生的富含甲烷的沼气,可供部分污水处理厂发电或供热及能源需求。据研究,每吨污泥经厌氧消化处理可产生约100~500立方米沼气,与20%~35%的能源自给率相当<sup>[4]</sup>。热处理技术包括:焚烧、气化、热解等,利用高温高压对污泥进行处理,可以有效降低污泥体积,同时还可以转化成热能或电力。例如,美国洛杉矶市污水处理厂(LAWWTP)焚烧炉使用3台炉子,焚烧能力为300吨干污泥/天,焚烧后污泥体积减小约90%,年发电量约为30MW。

10%~15%污泥灰添加到水泥中,可以使水泥的强度得到提高,同时对混凝土中的碳足迹进行降低,对建筑行业的绿色发展有促进作用,这是部分研发成果所表明的。此外,经过焚烧或高温处理后的污泥灰还能用于制造水泥和砖块,在建材制造中具有十分重要的意义,既减少了传统材料的用量,又降低了生产成本。

污泥发电技术作为污泥处理的协同处置方式,真正实现了污泥处理“无害化、减量化、资源化”。以某市污泥发电项目为例,从经济效益与社会效益两个方面进行了分析结果表明,污泥发电技术将污泥作为可再生能源,是高效环保的处理方式,实现其最大化利用<sup>[5]</sup>。

总体而言,污水处理厂污泥的资源化利用具有十分显著的经济环保和社会效益。通过有效管理和合理利用污泥,能够促进污水处理厂的永续发展,并为实现可持续发展目标提供有力支持。建立科学合理的资源化利用路径,将为未来环境治理与资源开发提供新的思路,进而促进中国生态文明建设不断向前发展。

## 5 结论

研究对污水处理厂产生的污泥产生机理及其特点进行全面分析揭示污泥管理工作的复杂性和重要性。作为污水处理过程中的副产物,未得到有效管理的污泥可能对环境造成严重影响。但采用现代技术手段,如厌氧消化法结合好氧消化法和化学处理法,可对污泥进行有效的减量化处理并使其稳定性得到提高。对污泥进行资源化利用,不仅使处理费用有所降低,能够为农业产业提供可持续发展的原料从而有利于资源的循环利用。因此,合理的污泥处置与资源化利用对于促进经济与生态的可持续发展具有十分重要的意义,是当前环保工作中的一项重要课题。今后需要进一步研究创新技术和管理模式以实现污水处理厂污泥的有效处置与利用。

### 参考文献:

- [1] 吴鹏涛.城市污水厂污泥处置工艺研究[J].工程科技I辑,2024,42(9).
- [2] 王伟.城市污水处理厂污泥处理工艺研究[J].工程科技I辑,2024,5(13).
- [3] 张其全.我国污泥处理处置技术发展历程[J].2024,44(6).
- [4] 何小瑜.城市污泥处理与资源化技术分析[J].2024,55(6).
- [5] 吴琦.污泥发电现状及效益分析[J].工程科技II辑,2024,29(3).