

市政管网淤积污泥处理及资源化利用

危闫事攀¹, 李程程², 李时磊³

1. 长江工程职业技术学院 水利水电学院, 湖北 武汉 430212

2. 中南安全环境技术研究院股份有限公司, 湖北 武汉 430064

3. 中铁十一局集团第五工程有限公司, 重庆 400037

DOI:10.61369/UAID.2025030030

摘 要 : 市政管网淤积污泥量的增加, 将引起管网维护与环境问题。因此, 市政管网淤积污泥的资源利用将有助于变废为宝, 基于此, 在阐述市政管网污泥处理方法、主要副产品构成的基础上, 指出针对性的市政管网污泥资源化利用策略, 为构建环境友好型社会, “双碳”战略和构建低碳社会的实施, 提供科学的参考依据。

关 键 词 : 市政管网; 淤泥; 处理; 资源化

Treatment and Resource Utilization of Sludge from Municipal Pipeline Network Sedimentation

Wei Yanshipan¹, Li Chengcheng², Li Shilei³

1. School of Water Resources and Hydropower Engineering, Changjiang Institute of Technology, Wuhan, Hubei 430212

2. Central South Safety and Environmental Technology Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430064

3. The Fifth Engineering Ltd. of the China Railway 11th Bureau Group Corporation Limited, Chongqing 400037

Abstract : Treatment and resource utilization of municipal pipe network sedimented sludge The increase in the amount of sedimented sludge in municipal pipe networks will lead to maintenance issues and environmental problems. Therefore, the utilization of municipal pipe network sedimented sludge will help transform waste into resources. Based on this, after elaborating on the treatment methods for municipal pipe network sludge and the composition of the main by-products, this paper points out targeted strategies for the resource utilization of municipal pipe network sludge, providing scientific reference basis for building an environmentally friendly society, implementing the "dual carbon" strategy, and constructing a low-carbon society.

Keywords : municipal pipeline network; silt; treatment; resource utilization

引言

“双碳”战略和构建低碳社会的实施, 资源循环利用是实现“碳达峰”“碳减排”的重要举措。我国城市化水平将在2030年超过70%, 全国市政管网淤积污泥将接近1046万 t/a。市政管网淤积污泥是在管网养护、清理中所产生的管道沉积物。其主要来源较为复杂, 不仅包含生活污水、工业废水、雨水、路面冲洗物等携带进入管网的残破布料、有机物残渣、塑料制品、砂石、泥沙等, 也包含水泥质管道内壁破坏、道路降尘、砂石、渣土、建筑泥浆等。这些种类繁多的物质长期沉淀形成市政管网淤积污泥。淤积污泥呈现多点来源且分散、随机且局部量小、分布面广等特点^[1]。污泥含水率可达80%~95%^[2]。目前, 我国市政管网淤积污泥中主要组成, 以上海为例^[3], 有机干物质(干基)含量约为17%~20%, 无机质含量约为80%。以长江经济带主要城市为例^[4], 淤积污泥的PH值范围为6.04~8.25, 呈现一定的酸、碱性, 且沉积物质中含有重金属、细菌、寄生虫卵等有害物质。同时, 淤积污泥深埋于市政管网中, 处理难度大, 如不及时将其清理, 会降低管道的输、排水能力, 会造成管道淤积^[5]。甚至在遭遇雨天时, 有害物质将随雨水进入下游河道, 污染水体, 是水体发黑发臭的污染源头之一^[6]。同时以填埋为淤积污泥主要处理方式的污泥可容纳量已接近极限^[7]。因此, 如何处理淤积污泥, 无害化、资源化, 消纳淤积污泥将是我国城市化进程中所面临的一大难题^[8]。本文通过研究淤积污泥的处理技术、主要副产品构成, 指出针对性的资源化利用策略, 为构建环境友好型社会, “双碳”战略和构建低碳社会的实施, 提供科学的思路。

项目信息: 湖北省住房和城乡建设厅2023年度湖北省建设科技计划项目(项目编号“85”)。

作者简介: 危闫事攀(1984.12-), 男, 湖北人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为水土保持、环境保护、生态水利等。

一、淤积污泥处理方法

（一）传统淤积污泥处理方法

传统处理淤积污泥，采用如自然风干、烘干、机械脱水等方式对污泥脱水，以达到降低污泥含水率的目的。将干化的污泥直接运输至填埋区域进行填埋处理。淤积污泥含有大量有害物质（如重金属、有害细菌等）、垃圾、块石等，这种处理方式带来严重的环境问题。

1. 占用土地资源

截止2022年，广州市缺少对淤积污泥进行有效处理的设施，对污泥采用填埋处理，占用了广州市大量的土地资源^[9]。同时还增加了管理、处置、处理的成本。

2. 环境污染

污泥填埋物包括尚未经过处理的重金属、有机物、有害细菌等，直接填埋会存在污染填埋地点土壤、地下水的风险，造成严重的环境问题^[10]。

3. 二次环境污染

污泥运输地距离填埋场地较远，运输过程中掉落、恶臭等会对环境造成二次污染严重^[11]。

上述这些问题，表明传统淤积污泥处理方法无法满足如今对淤泥处理的绿色环保、安全可靠、循环利用等要求，需要改进甚至变革污泥处理技术，以满足如今对污泥处理的环保要求。

（二）现代淤积污泥处理技术

综合国内外对市政管网淤积污泥处理的主要技术，包含水洗、筛分、脱水、固化等工序^[12]。脱水的液体经除臭处理后进入污水处理厂进行处理。固化的固相物在国内大部分进行焚烧或填埋处理。日本从淤积污泥中提取磷元素制作农业化肥^[13]，中国宝武钢铁集团利用固相物中尾砂制作水泥校正料^[14]。为市政管网淤积污泥的资源化利用提供思路和借鉴。

1. 淤积污泥处理工序

市政管网淤积污泥经清淤后，由清淤罐车运至污泥处理场地进行处理。运输车卸料至粗筛设施，去除块石、垃圾等杂物。进入分级分选设施开展水洗筛分，经过水力淘洗后，分级筛分出粗大颗粒物料、粗砂、细沙等，由脱水机进行脱水。分级分选所产生的全部污水经收集后送至污水处理厂处理。

（1）污泥粗筛

污泥粗筛设施通常由半地下式的储泥池、储泥池上方的液压振动筛等组成。污泥由抓斗起吊至储泥池上方振动筛上，由振动筛分离出粒径大于100mm的块石、垃圾等杂物，经人工收集后外运处置。

（2）分级分选

经粗筛的污泥留置于储泥池中，采用抓斗抓取淤泥进入分级分选设施中，污泥中包含大量的砖块、树枝、塑料瓶、布条等大块垃圾，通过10mm转鼓格栅将大于10mm的大块垃圾洗涤分选，同时去除垃圾表面附着的泥沙及有机物。筛分出的砖、石块等可进行简单填埋，塑料、布条、木材等可进行焚烧。

小于10mm的泥砂进入下一级洗砂设备中进行洗涤和比重分

选。经过充分的流化洗涤，筛选，粒径<10mm的细砂、砾石、碎石、有机物和水共同组成的混合物完成沉砂分离和洗涤，剥离附着在砂表面的有机物，有机损失含量低于5%。

0.075mm~0.2mm粒径的细砂混合液，从下一级分选设备中的水力旋流分选器，利用固体颗粒间的粒度差异性，从水力旋流分选器的底流口实现细砂筛选。

（3）筛选物脱水

筛选物脱水可采用自然干化、重力脱水等方法进行处理。自然干化法利用重力和太阳能结合的方式进行脱水，工艺简单。重力脱水法采用中立脱水池进行脱水，适用于高含水率（含水率≥90%）的情形。也可综合采用上述方法进行脱水。

（4）尾水排放

尾水排放前，经过生物滤池、活性炭吸附、生物土壤等措施，利用有机填料上的微生物氧化分解臭气，活性炭微孔吸附发臭物质，生物土壤中微生物分解臭气（如H₂S、VOCs）进行尾水除臭处理。再将处理后的尾水输送至污水处理厂进行下一步处理。

二、淤积污泥处理物资源化利用

（一）有机物质资源化利用

1. 有机物质能源化利用

污泥处理后的有机物包含蛋白质、脂肪等，通过高温、高氧环境将其转化为热能进而转化为电能。而生物质燃料密度较小，与干化污泥进行按照科学配比形成混合物，并将混合物制成成型燃料，可有效弥补生物质燃料能量密度不高的问题^[15]。目前，将污泥作为发电材料，以实现污泥有机物能源化的技术相对成熟。如何提高污泥有机物转化电能的转化率是目前亟待解决的科学问题。

目前，利用污泥有机质生产再生生物质能源，可通过OS处理技术实现^[16]。此技术主要针对含油量较高的污泥，在高温、无氧环境中，添加稻壳作为辅燃材料，利用生物质灰和碱性金属作为催化剂，使污泥中的油类发生多次裂解反应，生成气态轻烃、液态重油等，以实现污泥有机物转化为生物质能源的能源化，同时可有效减少H₂S气体的排放。目前，虽然可实现污泥转化为生物质能源，但如何优化催化剂以提高再生能源的转化率，如何有效控制尾气排放以满足现代环境保护的要求，依然是亟待解决的科学问题。

同时可有效消除有害细菌、寄生虫卵等有害物质，达到污泥无害化的目的^[17]。

2. 有机质肥料化利用

污泥中含有较为丰富的有机物、N、P、K、Ca等营养物质^[18]，长时间堆放易形成无氧环境，进而产生如NH₃、H₂S等有害气体，污染大气环境。而这些营养物质可以作为土壤改良剂、天然肥料等原材料。污泥中有机质含量、含氧量相较农、林地环境偏低，在污泥肥料化利用的过程中，需要找到污泥、农或林地富含大量有机质的腐质物之间的科学配比，将两种固料，按照科

学的配比进行混合。同时，污泥肥料化过程中，会释放大热量，消耗氧气。在肥料化过程，加入特殊的嗜热、好氧菌群^[19]，严格控制混合物的温度、含氧量，保证堆肥混合物的腐熟温度，以形成绿色肥料基质。为改善土壤理化性质、土壤结构、土壤 pH 值、土壤透气性，减少工业化肥施用用量，进而降低环境污染，创造有利条件。

（二）无机物质资源化利用

1. 无机质混凝土化利用

污泥中的无机物可制成轻骨料替代混凝土中的部分骨料，亦可制成固体干粉替代水泥，进而制备混凝土。在进行利用污泥固废制备混凝土的过程中，需考虑污泥掺量合适性，确保所制备混凝土的力学性能满足工程要求。已有部分学者开展一定的相关研究。如采用 2% 固化剂和 30% 污泥无机质的混合物替代细骨料制备混凝土，可以得到较好力学性能的混凝土^[20]。如采用以煅烧后污泥粉取代部分水泥制备混凝土，使得混凝土的 28d 抗压强度下降，混凝土的 90d 抗压强度提升^[21]。如何提高污泥无机质制备混凝土的工程性能，满足工程的实际需要，依然是热门的研究方向。

2. 无机质建筑用砖化利用

污泥煅烧后的灰，成分与黏土的化学成分极为相似^[22]，污泥可以作为制砖的原材料。但污泥中含有重金属等有害物质，故需经煅烧进行无害化处理后所得到的灰，用以替代黏土，并和其他材料按照科学的比例进行混合，再将湿的无机质混合物送入高温

高压反应釜中，采用高温水解方法，并加入一定比例絮凝剂进行干、湿分离，再将干物质送入压滤机进行挤压，制成建筑用砖。污泥砖的物理特性优异^[23]，在抗压强度、吸水率、抗弯强度等方面均优于传统砖^[24]。

（三）新型资源化利用

随着污泥资源化利用面的扩展，加之新兴技术的发展，淤积污泥应用于废弃矿山等生态修复方面，是目前淤泥资源化利用研究的新方向。目前，废弃矿山生态修复，缺乏基质土。同时污泥有机质可制备土壤改良剂，这为淤泥用以生态修复废弃矿山提供了可能。废弃矿山的修复往往需要大量基质土^[25]，若从自然界提取基质土，将形成二次生态破坏。淤泥用于废弃矿山生态修复可有效降低二次破坏环境，同时，可实现淤积污泥的资源化利用，为淤泥资源化利用提供了一条新的路径。

三、结语

随着我国城市化水平的提高，市政管网淤泥淤积量日益扩大，传统污泥处置方法很难满足“双碳”战略和构建低碳社会的要求。我国市政管网淤泥量大，急需进行有效处理，市政管网淤泥的资源化利用，可有效降低淤泥对环境的二次污染，满足“双碳”战略和构建低碳社会的要求，对于生态文明建设具有积极的作用。

参考文献

- [1] 杨笛音. 通沟污泥处理处置技术方案选择——以上海市浦东新区为例[J]. 四川环境, 2020, 39(03): 125–131.
- [2] 王君如, 周传庭. 环境友好型通沟污水处理工程实践[J]. 中国给水排水, 2023, 39(10): 85–89.
- [3] 张辰, 段妮娜, 赵水仟, 王峰, 谭学军. 双碳目标下城市多源污泥处理处置技术选择与发展趋势[J]. 环境工程, 2025, 43(07): 1–9.
- [4] 金宁奔, 谭学军, 吕永鹏, 刘战广, 赵水仟, 王卫刚. 长江经济带典型城市多源污泥协同建材利用集成技术路线研究[J]. 城市道桥与防洪, 2023(12): 193–197.
- [5] 王继行, 卢伟, 朱敏, 徐晓军, 魏艳平, 康瑞鹏. 通沟污泥处理工艺及其资源化利用研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(20): 20–26.
- [6] 石稳民, 黄文海, 罗金学, 彭冠平, 邱震寰, 薛强, 秦雄, 梁亚楠. 通沟污泥处理处置技术研究进展[J]. 工业用水与废水, 2020, 51(03): 6–11.
- [7] 罗智恒, 赵柳霖. 城市管网清掏淤泥处置技术及装备应用[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(01): 31–35.
- [8] 阎轶婧. 通沟污泥多级分离处理工艺改进及工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(16): 45 – 49.
- [9] 李银波, 周建华, 王珏. 广州市中心城区通沟污泥处理现状及处理工艺探讨[J]. 中国市政工程, 2022, (02): 72–74、111.
- [10] 汪芳晋. 南京某项目通沟污泥处理工艺及环保措施[J]. 污染防治技术, 2023, (05): 114–116.
- [11] 王建军, 刘晓红, 王东扬. 济南市中心城区通沟污泥处理处置方案研究[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(12): 187–190.
- [12] 黄莹, 侯帅帅, 李梅, 富文军, 何坚. 通沟污泥清洗砂代替鼓泡式流化床床料的研究[J]. 中国资源综合利用, 2024(12): 10–13, 22.
- [13] 王志成. 日本变下水道污泥为宝[J]. 资源与人居环境, 2017(3): 20–23.
- [14] 王栋婧, 徐兵, 宋林亭. 市政排水管网通沟污泥环保处置实践[J]. 宝钢技术, 2021(6): 74–78.
- [15] 任少辉, 余桥, 张立民, 林立, 姚学同, 张世红. 生物质循环流化床掺烧污泥成型燃料实证研究[J]. 能源与环境, 2025(02): 8–10, 49.
- [16] 叶锐, 郑婉, 石碧. 含油污泥处理技术研究进展与展望[J]. 石油与天然气化工, 2025: 1–12.
- [17] 赵莹莹, 赵青玲. 污泥资源化利用技术的研究进展[J]. 能源与研究, 2023(05): 40–44.
- [18] 秦伟, 刘子秋. 市政污泥资源化利用经济效益分析——以珠海市市政污泥堆肥为例[J]. 环境保护与循环经济, 2023, 43(01): 12–15.
- [19] Oshima T, Moriya T. A preliminary analysis of microbial biochemical properties of high-temperature compost[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2008, 1125: 338–344.
- [20] Yu-Chi Lee, Shang-Lien Lo, Jeff Kuo, Chung-Chou Tsai. Beneficial uses of sludge from water purification plants in concrete mix[J]. Environmental Engineering Science, 2012, 29(4): 284–289.
- [21] 汤薇, 石锦炎, 何智海, 詹培敏. 刘宝举. 大掺量自来水厂污泥粉对混凝土强度和微观结构的影响[J]. 复合材料学报, 2022, 39(5): 2369–2377.
- [22] Bernd Wiebusch, Carl Franz Seyfried. Utilization of sewage sludge ashes in the brick and tile industry[J]. Water Science and Technology, 1997, 39(11): 251–258.
- [23] Liu Yue, Zhuge Yan, Chow Christopher W.K., Keegan Alexandra, Li Danda, Pham Phuong Ngoc, Huang Jianyin, Siddique Rafat. Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 262: 110352.
- [24] 郎丽媚, 卢文佳, 黄小卫. 污泥建材化利用研究[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(7): 51–53.
- [25] 乔学园, 王先恺, 陈祥, 董滨, 李翀. 市政污泥用于矿山废弃地生态修复的研究进展[J]. 矿业安全与环保, 2024, 51(06): 154–160.