

水环境综合整治工程中淤泥无害化处理施工技术研究

李日宏

440182*****1559

摘要: 水环境综合整治是改善流域生态质量的关键举措,而淤泥作为治理过程中产生的核心副产物,其无害化处理直接关系到生态修复成效与环境安全。本文分类阐述主流技术的施工原理与工艺要点,重点研究关键技术。提出全流程施工框架,构建质量控制体系,探讨处理过程中废气废水治理与二次污染防治策略。

关键词: 水环境综合整治; 淤泥无害化处理; 施工工艺; 物理脱水; 化学固化; 生物降解; 质量控制

DOI: 10.69979/3029-2727.25.08.068

引言

水环境综合整治是践行生态文明建设的重要抓手,涵盖河道清淤、湖泊治理、湿地修复等多类工程。施工过程中产生的淤泥具有产量大、成分复杂、污染风险高等特点,若处置不当,易引发水体二次污染、土壤重金属累积、大气恶臭扩散等环境问题。传统淤泥处置方式如露天堆放、简单填埋,不仅占用土地资源,还会导致污染物随雨水淋溶进入地下水系统,威胁生态安全与人体健康。随着环保标准趋严,“无害化、减量化、资源化”成为淤泥处理的核心目标,其施工技术需兼顾污染去除效率、成本控制与环境适应性。当前淤泥处理技术研究多聚焦于单一工艺优化,对复杂污染场景下多技术协同施工的系统性研究不足,且施工参数与现场条件的适配性分析有待深化。

1 淤泥无害化处理技术体系与施工原理

1.1 物理脱水技术: 减量化核心工艺

物理脱水通过机械力或自然力分离淤泥中的水分,是实现减量化的最直接手段,主要包括机械脱水与自然干化两类。机械脱水施工流程通常为“预处理-浓缩-脱水-干化”,其中预处理通过投加絮凝剂(如聚丙烯酰胺)破坏淤泥胶体稳定性,使细小颗粒凝聚成团,便于后续脱水;浓缩环节利用重力沉降或气浮法将含水率从百分之九十降至百分之八十五至百分之九十;核心脱水设备包括板框压滤机、离心脱水机、带式压滤机等,通过压力差或离心力实现固液分离;干化则通过加热或气流吹扫进一步降低含水率。板框压滤机施工要点在于滤布选型与压力控制,丙纶滤布因耐酸碱性强、孔隙均匀,适用于含化学药剂的淤泥;压榨压力需根据淤泥性质动

态调整,一般从零点六兆帕逐步升至一点五兆帕,避免压力过大导致滤板损坏。离心脱水机施工中,转速(通常两千至三千转每分钟)与差速(五至五十转每分钟)的匹配决定脱水效率,差速过小易导致泥饼过硬堵塞螺旋输送器,过大则含水率偏高。自然干化受气候条件影响显著,适用于干旱少雨地区,施工时需铺设防渗膜防止渗滤液污染,通过翻晒(每周两至三次)加速水分蒸发,周期一般为十五至三十天^[1]。

1.2 化学固化技术: 稳定化关键路径

化学固化通过投加固化剂与淤泥发生物理化学反应,形成具有一定强度的固化体,同时固定污染物。固化剂分为无机与有机两类:无机固化剂以水泥、石灰、粉煤灰为主,通过水化反应生成胶凝物质包裹淤泥颗粒;有机固化剂包括高分子聚合物(如环氧树脂)、表面活性剂,通过分子链吸附污染物。施工流程包括“淤泥破碎-药剂计量-混合搅拌-养护成型”,其中混合搅拌需确保药剂均匀分布,搅拌时间根据淤泥流动性调整(一般十分钟至三十分钟),转速控制在每分钟三十至六十转。水泥固化施工中,水泥掺量(占淤泥干重)通常为百分之十至百分之二十,掺量过低导致强度不足,过高则成本剧增。石灰固化需关注消解反应放热,生石灰(氧化钙)与水反应生成氢氧化钙,温度可达摄氏七十度以上,可杀灭病原微生物,但过量投加会导致固化体开裂。复合固化剂(如水泥-粉煤灰-石灰三元体系)通过协同效应提升效果,粉煤灰的火山灰反应可填充水泥石孔隙,石灰调节pH值促进重金属沉淀,研究表明该体系可使固化体抗压强度提高百分之三十以上^[2]。

1.3 生物降解技术: 资源化重要途径

生物降解利用微生物代谢活动分解有机物、转化污染物，实现淤泥资源化，主要包括好氧堆肥与厌氧消化。好氧堆肥施工需构建“预处理-接种-翻抛-后熟”流程：预处理去除石块、塑料等杂质，调节含水率至百分之五十五至百分之六十五（过高加水稀释，过低喷淋补水）；接种菌剂（如枯草芽孢杆菌、木霉）提升降解效率；翻抛环节通过定期翻堆（每天一至两次）补充氧气、散发热量，控制堆体温度在摄氏五十至六十度（高温期维持五天以上杀灭病原体）；后熟阶段（十五至三十天）使腐殖质进一步合成。厌氧消化分为水解、酸化、产甲烷三阶段，施工需控制温度（中温消化摄氏三十五度左右，高温消化摄氏五十五度）、pH值（六点五至七点五）、碳氮比（二十五至三十比一）。反应器类型影响处理效率，升流式厌氧污泥床（UASB）适用于高浓度有机淤泥，施工时需保证污泥床高度与上升流速匹配；完全混合式反应器（CSTR）则通过机械搅拌实现均匀反应，能耗相对较高。生物处理后的淤泥可转化为有机肥料或土壤改良剂，实现资源化利用，但需严格检测重金属与病原菌残留，确保农用安全^[3]。

2 淤泥无害化处理关键施工技术与工艺优化

2.1 物理脱水工艺参数精准控制

脱水效率取决于预处理絮凝效果与设备运行参数。絮凝剂投加需通过烧杯试验确定最佳品种（阳离子聚丙烯酰胺适用于有机质含量高淤泥，阴离子型适用于无机胶体为主淤泥）与剂量（一般每吨干泥零点五至二千克），投加方式为多点连续投加，避免局部浓度过高导致絮体破碎。板框压滤机施工中，进料压力应从低压（零点三兆帕）逐步升压，待滤室充满泥饼后升至最高压力，保压时间根据泥饼厚度调整（一般十五至三十分钟）。离心脱水机需定期清理螺旋输送器积泥，防止堵塞，可通过添加少量硅藻土改善淤泥流动性。针对高有机质淤泥脱水难题，可采用“化学调理+电渗析”联合工艺：先投加聚合氯化铝（PAC）与石灰调节pH值至七至八，再加入电渗析装置施加直流电场，利用电场力加速水分迁移。施工表明，该工艺可使含水率从百分之九十二降至百分之五十五以下，能耗较单纯机械脱水降低百分之二十。

2.2 化学固化配方设计与施工协同

固化剂配比需综合考虑淤泥性质、污染物种类与固

化体用途。对于重金属污染淤泥，水泥-粉煤灰-硫化钠复合体系效果显著：水泥提供强度骨架，粉煤灰填充孔隙，硫化钠通过沉淀反应固定铅、镉离子（生成硫化铅、硫化镉沉淀）。配比试验中，以抗压强度（目标值大于零点五兆帕）与重金属浸出浓度（铅低于每升零点五毫克，镉低于每升零点一毫克）为指标，通过正交试验确定最优比例（水泥百分之十二、粉煤灰百分之八、硫化钠百分之一）。施工搅拌环节需采用双轴桨叶式搅拌机，确保固化剂与淤泥均匀混合，搅拌时间不少于二十分钟。养护阶段控制温度在摄氏十五至二十五度、相对湿度大于百分之九十，养护七天可达到设计强度的百分之七十，二十八天完全硬化。对于大体积固化体（如固化土堤坝），需分层浇筑（每层厚三十至五十厘米），层间洒水养护防止干裂。

2.3 生物处理过程微生物调控与工艺强化

好氧堆肥中微生物活性受温度、氧气、营养比调控。施工时可添加秸秆、锯末等调理剂调节碳氮比，秸秆的纤维素可为微生物提供碳源，锯末的多孔结构改善透气性。翻抛频率根据堆体温度变化调整：升温期（每天一次）促进氧气扩散，高温期（每天两次）控制温度不超过摄氏七十度（避免有益菌死亡），降温期（每两天一次）减少热量散失。接种复合菌剂（含枯草芽孢杆菌、酵母菌、放线菌）可缩短堆肥周期至二十至二十五天，较自然堆肥节省三分之一时间。厌氧消化需防止酸败与氨抑制。当挥发性脂肪酸（VFA）浓度超过五千毫克每升时，表明酸化过度，需投加碳酸氢钠调节pH值；氨氮浓度高于三千毫克每升时，抑制产甲烷菌活性，可通过稀释或投加硝酸盐（作为电子受体）缓解。反应器运行中，定期排泥（每月一次）去除老化污泥，保持污泥活性，研究表明排泥量控制在反应器容积百分之五至百分之十时，消化效率最佳^[4]。

3 淤泥无害化处理全流程施工质量控制

3.1 预处理阶段质量把控

预处理是确保后续处理效果的基础，需重点控制杂质去除与含水率调节。筛分设备选用滚筒筛（孔径二十毫米），去除石块、树枝等硬杂质；磁选机清除金属碎片，避免损坏后续设备。含水率调节通过自然晾晒或机械脱水实现，当淤泥呈“手捏成团、落地即散”状态时（含水率约百分之六十），即可进入核心处理环节。对

于含油淤泥，需增加隔油池预处理，投加破乳剂（如聚合硫酸铁）分离油脂，避免影响脱水与固化效果。

3.2 核心处理阶段指标监测

脱水阶段监测滤饼含水率（目标值低于百分之六十）、固体回收率（大于百分之九十五）；固化阶段检测抗压强度（七日龄大于零点三兆帕，二十八日龄大于零点五兆帕）、重金属浸出浓度（参照《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》）；生物处理阶段监控堆体温度（维持高温期五天以上）、有机质降解率（大于百分之四十）、种子发芽指数（大于百分之八十，表明无植物毒性）。监测频率为每日一至两次，采用快速检测设备（如便携式 X 射线荧光光谱仪测重金属）与实验室分析结合，确保数据准确。

3.3 后处理阶段产物安全性评估

脱水泥饼需检测渗出液水质（COD 小于一百毫克每升，氨氮小于十五毫克每升），达标后方可运输；固化体按《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》标准检测，确保无二次污染风险。生物处理后的有机肥需测定重金属（铅小于每千克五十毫克，镉小于每千克三点五毫克）、病原菌（大肠杆菌不得检出），合格后可用于园林绿化。施工结束后，对处理场地进行土壤与地下水监测，连续三个月检测污染物浓度，确认无渗漏污染。

4 淤泥无害化处理的环境影响与风险防控

4.1 施工过程二次污染防治

脱水与固化过程可能产生废气（硫化氢、氨气）、废水（浓缩液、冲洗水）。废气收集后经碱洗塔（氢氧化钠溶液吸收硫化氢）与生物滤池（降解氨气）处理，排放浓度需符合《恶臭污染物排放标准》；废水汇入污水处理系统，经混凝沉淀+生化处理后回用或达标排放。噪声控制选用低噪声设备（如变频离心机），设置隔音屏障（高度三米以上），确保厂界噪声低于昼间六十五分贝、夜间五十五分贝。

4.2 处理产物的环境安全性

固化体长期稳定性需通过浸出试验与酸雨模拟试

验验证，在 pH 值三点零至六点五的酸雨环境中浸泡二十八天，重金属浸出浓度仍应符合限值。生物有机肥施用时控制用量（每亩每年不超过两吨），避免土壤盐分累积。对于放射性污染淤泥（如核设施周边），需采用水泥-沸石复合固化，沸石对铯、锶等放射性元素吸附能力强，可显著降低浸出风险。

5 结论与展望

本文系统研究了水环境综合整治工程中淤泥无害化处理的关键技术，明确了淤泥物理化学特性对施工工艺的影响规律，提出物理脱水、化学固化、生物降解三类技术的优化方案。研究表明，通过絮凝剂精准投加、复合固化剂配比设计、微生物群落调控等施工技术创新，可实现淤泥含水率降至百分之六十以下、重金属稳定化率超百分之九十、有机质降解率达百分之四十以上的目标，满足无害化处理要求。未来研究需在三方面深化：一是开发低成本、高效率的复合处理工艺，如“脱水-热解气化”联合技术，实现淤泥能源化利用；二是研发智能化施工监控系统，通过物联网传感器实时采集含水率、温度、压力等参数，自动调节工艺设备；三是加强淤泥资源化产物标准体系建设，推动处理后产物在建材、农业领域的规模化应用。随着技术进步与政策支持，淤泥无害化处理将从“末端治理”向“全过程资源化”转型，为水环境治理与循环经济发展提供重要支撑。

参考文献

- [1] 孙先锋. 淤泥固化及资源化技术在东引运河内源治理工程中的应用 [J]. 资源节约与环保, 2024(4): 53-8.
- [2] 肖灿明, 蒋倩. 城市河湖水系淤泥疏浚及生态治理施工技术研究 [J]. 四川水利, 2020(1): 93-98.
- [3] 刘磊, 朱伟, 马殿光. 絮凝-固化-真空预压联合处理废弃淤泥浆试验研究 [J]. 土木与环境工程学报 (中英文), 2025(1): 27-35.
- [4] 张春雷, 管非凡, 李磊, 黄英豪. 中国疏浚淤泥的处理处置及资源化利用进展 [J]. 环境工程, 2014(12): 95-99.