

淤泥固化工艺的环境影响评估与可持续性分析

王金伟 蓝 鹏

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

摘要：文章聚焦淤泥固化工艺，概述了其原理、固化剂类型与工艺流程，接着从水资源、土壤资源、大气环境、生态系统等方面评估环境影响，分析资源利用效率、能源消耗与碳排放、经济可行性等可持续性要素，识别环境风险并提出评估预测方法与防控措施。旨在为淤泥固化工艺的合理应用与可持续发展提供理论依据与实践指导。

关键词：淤泥固化工艺；环境影响评估；可持续性分析

引言：随着城市化与工业化的推进，淤泥产生量日益增多，其处理成为亟待解决的问题。淤泥固化工艺作为一种有效的处理方式，能将淤泥转化为可用材料。然而，该工艺在实施过程中可能对环境产生多方面影响。深入研究其环境影响评估与可持续性分析，有助于平衡工程建设与环境保护的关系，推动淤泥固化工艺朝着绿色、可持续方向发展。

1 淤泥固化工艺概述

1.1 淤泥固化原理

淤泥固化是借助物理、化学手段改善其工程性质的技术。物理上，淤泥高含水量、低渗透、高压缩，颗粒间自由水和结合水多，结构松散、强度低。添加固化剂后，能改变颗粒间相互作用，如固化剂成分中和颗粒表面电荷，减少静电斥力，让颗粒聚集形成紧密结构。化学方面，固化剂与淤泥成分发生系列反应。以水泥类为例，水泥水化产物与淤泥中黏土矿物、有机质等反应生成稳定化合物，填充孔隙，增强颗粒连接，提高强度和稳定性。化学反应降低含水量，使淤泥从软弱流动状态转变为有强度和硬度的固体，满足不同工程应用对材料性能的需求。

1.2 固化剂类型

常见固化剂类型多样，特性与适用范围各异。水泥类固化剂应用传统且广泛，普通硅酸盐水泥水化反应快、强度增长迅速、成本低，水化胶凝物质可包裹淤泥颗粒形成坚固结构。特种水泥如高铝水泥、硫铝酸盐水泥在高温、快速硬化等特殊工程条件下性能更优^[1]。石灰类固化剂常用生石灰和熟石灰，生石灰与水反应放热促进水分蒸发，熟石灰能与黏土矿物离子交换凝聚，改善颗粒结构，适用于含水量高、有机质适中的淤泥。新型固化剂中，工业废渣类如粉煤灰、矿渣可资源再利用，与水泥协同提高淤泥强度和耐久性；高分子聚合物类如环氧树脂、聚丙烯酰胺能在颗粒表面成膜，连接颗粒形

成有弹性和强度的结构，适用于对强度和变形有特殊要求的工程。

1.3 淤泥固化工艺流程

淤泥固化工艺流程包含多个关键环节。首先是淤泥挖掘与运输，依据工程现场实际，选用挖掘机、抓斗船等合适设备挖掘淤泥，控制挖掘深度和范围避免破坏周边环境。挖掘出的淤泥用泥浆泵、自卸汽车等运至固化场地，运输时密封防止泄漏污染环境。淤泥预处理旨在改善物理性质、提升固化效果，通过自然晾晒、机械脱水降低含水量，减少固化剂用量、提高效率；筛分去除大颗粒杂质、石块、树枝等，保证设备正常运行和固化质量均匀。固化剂添加与混合是关键，按淤泥性质和工程要求准确计算添加量，用专门设备均匀加入，再用强制式搅拌机等充分混合，控制混合时间和搅拌强度确保均匀。成型养护是将混合好的淤泥成型，控制温度、湿度等环境条件养护数天至数周，使其强度增长至设计要求。

2 淤泥固化工艺的环境影响评估

2.1 水资源影响

淤泥固化工艺对水资源的影响主要体现在多个方面。在淤泥挖掘和运输过程中，如果操作不当，可能会导致淤泥中的水分和污染物泄漏进入周边水体。例如，泥浆泵在输送淤泥时，若管道破裂或密封不严，泥浆会流入河流、湖泊等，增加水体的悬浮物含量，影响水体的透明度和光合作用，进而对水生生物的生存和繁殖造成不利影响。固化剂的使用也可能对水资源产生污染。一些固化剂中含有重金属离子、碱性物质等，在固化过程中，这些物质可能会随着水分渗出进入地下水或地表水。另外，固化剂中的重金属离子在水体中积累，会通过食物链传递，对更高层次的生物和人体健康造成潜在威胁。淤泥固化过程中需要消耗大量的水资源，在淤泥预处理的脱水环节，无论是自然晾晒还是机械脱水，都需要一定的水分蒸发和排放控制。机械脱水设备在运行

过程中需要用水进行冲洗和冷却，这也会增加水资源的消耗。而且，固化后的淤泥在养护阶段，为了保持一定的湿度以促进固化反应的进行，也需要定期喷水养护，进一步加大了水资源的使用量。

2.2 土壤资源影响

淤泥固化工艺对土壤资源的影响既有积极的一面，也有消极的一面。从积极方面来看，经过固化处理的淤泥可以作为一种土壤改良材料加以利用。固化后的淤泥具有一定的强度和稳定性，能够改善土壤的结构和物理性质。在一些废弃矿区或受污染的土地修复项目中，固化淤泥可以作为覆盖层或填充材料，减少土壤侵蚀，隔离污染物，促进土壤生态系统的恢复^[2]。然而，如果处理不当，淤泥固化工艺也可能对土壤资源造成负面影响。在淤泥挖掘过程中，如果过度挖掘或挖掘后不及时进行生态修复，会导致原地貌破坏，土壤侵蚀加剧，造成水土流失。而且，固化剂的使用可能会改变土壤的化学性质。固化剂中的某些有害物质可能会在土壤中积累，对土壤生态环境造成长期污染，影响农作物的生长和农产品质量安全。

2.3 大气环境影响

淤泥固化工艺在运行过程中会产生一定的大气污染物，对大气环境造成影响。在淤泥挖掘和运输环节，挖掘设备的燃油燃烧会排放出一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物和颗粒物等污染物。这些污染物不仅会对现场作业人员的健康造成危害，还会扩散到周围大气环境中，影响空气质量。运输过程中，淤泥的散落和扬尘也会增加大气中的颗粒物浓度，特别是在干燥、多风的天气条件下，扬尘现象更为严重。固化剂的生产和使用过程中也会产生大气污染，一些固化剂在生产过程中需要高温煅烧等工艺，会消耗大量能源并排放出二氧化碳、二氧化硫等温室气体和酸性气体。在固化剂添加和混合环节，固化剂粉末的飞扬会形成粉尘污染，对操作人员的呼吸系统造成损害，同时也会污染周边大气环境。淤泥固化过程中可能会产生一些异味气体，如硫化氢、氨气等，这些气体具有刺激性气味，会对周围居民的生活和环境空气质量产生不良影响。

2.4 生态系统影响

淤泥固化工艺对生态系统的影响是全方位的。从水生生态系统来看，如前文所述，淤泥挖掘和固化剂泄漏等可能导致水体污染，影响水生生物的生存环境。水体中悬浮物增加会降低水体的光照强度，影响水生植物的光合作用，进而影响整个水生生态系统的食物链基础。污染物在水生生物体内的积累会导致生物畸形、死亡，

破坏生物多样性。在陆地生态系统方面，淤泥挖掘对原地貌的破坏会改变生态系统的结构和功能。固化剂对土壤的污染会影响土壤生物的生存，如蚯蚓等土壤动物的减少会破坏土壤的生态平衡，影响土壤肥力的维持和植物的生长。而且，生态系统是一个相互关联的整体，一个环节受到影响可能会引发连锁反应，对整个区域的生态安全构成威胁。

3 淤泥固化工艺的可持续性分析

3.1 资源利用效率

淤泥固化工艺在资源利用方面具有一定的优势。首先，淤泥本身是一种废弃物，通过固化处理可以将其转化为有用的工程材料，实现了废弃物的资源化利用。在固化剂的选择上，越来越多的工业废渣被用作固化剂，如粉煤灰、矿渣等。这些工业废渣是工业生产过程中的副产品，如果得不到合理利用，不仅会占用大量土地资源，还可能对环境造成污染。将其作为固化剂用于淤泥处理，既解决了工业废渣的处置问题，又降低了淤泥固化的成本，提高了资源的综合利用效率。然而，淤泥固化工艺在资源利用方面也存在一些不足之处^[3]。

3.2 能源消耗与碳排放

淤泥固化工艺的能源消耗主要集中在淤泥挖掘与运输、固化剂生产、混合搅拌以及养护等环节。淤泥挖掘设备、运输车辆、搅拌设备等的运行都需要消耗燃油或电能。固化剂的生产过程，特别是水泥等传统固化剂的生产，是能源密集型产业，需要消耗大量的煤炭、电力等能源。能源消耗必然伴随着碳排放。燃油燃烧和电力生产过程中会排放大量的二氧化碳等温室气体，对全球气候变化产生影响。为了降低淤泥固化工艺的碳排放，可以采取一系列措施。例如，优化工艺流程，减少设备运行时间；采用节能型设备，提高能源利用效率；选择低碳固化剂，如工业废渣类固化剂，减少传统高能耗固化剂的使用；同时，积极探索利用可再生能源，如太阳能、风能等，为工艺过程提供能源支持。

3.3 经济可行性

从经济角度来看，淤泥固化工艺具有一定的可行性。一方面，通过将淤泥固化处理后进行资源化利用，可以创造一定的经济效益。另一方面，随着环保要求的提高和资源短缺问题的日益突出，传统的淤泥处理方式面临着越来越大的压力。淤泥固化工艺作为一种环保、资源化的处理方式，虽然初期投资可能相对较高，包括设备购置、场地建设等费用，但从长期来看，其综合成本可能低于传统处理方式。而且，随着技术的不断进步和规模化生产的应用，淤泥固化工艺的成本有望进一步

降低，提高其经济竞争力，然而经济可行性也受到多种因素的影响。此外，政策支持力度也是关键因素之一。如果政府出台相关补贴政策或税收优惠政策，将有助于促进淤泥固化工艺的推广和应用，提高其经济可行性。

4 淤泥固化工艺的环境风险与防控措施

4.1 环境风险识别

在淤泥挖掘阶段，可能引发地质灾害风险，如边坡失稳、地面塌陷等，特别是在地质条件复杂的地区。挖掘过程中还可能破坏地下水位，影响周边生态环境和居民用水安全。固化剂泄漏是另一个重要风险。固化剂在运输、储存和使用过程中，如果发生泄漏，可能会污染土壤和水体。不同类型的固化剂具有不同的污染特性，如水泥类固化剂泄漏会导致土壤碱性化，重金属类固化剂泄漏则会造成重金属污染。工艺过程中产生的废气、废水和废渣如果处理不当，也会对环境造成污染。废气中的粉尘和有害气体排放会影响大气环境质量；废水如果未经处理直接排放，会污染水体；废渣的随意堆放会占用土地资源并可能产生二次污染。

4.2 风险评估与预测

对淤泥固化工艺的环境风险进行评估与预测是有效防控风险的前提。可以采用定性和定量相结合的方法进行风险评估。定性评估主要是通过分析工艺过程中各个环节可能存在的风险因素，确定风险的类型和程度。定量评估则是运用数学模型和统计方法，对风险发生的概率和可能造成的损失进行量化分析。例如，建立水质模型预测固化剂泄漏对周边水体的污染程度和扩散范围；通过风险矩阵法评估不同风险事件的发生概率和后果严重程度，为风险防控提供科学依据。同时，要对环境风险进行动态预测。随着工艺的持续运行和外部环境的变化，风险因素也可能发生变化。因此，需要定期对风险进行重新评估和预测，及时调整防控措施，确保环境安全。

4.3 防控措施与建议

针对淤泥固化工艺的环境风险，可以采取一系列防控措施。在淤泥挖掘阶段，加强地质勘察，制定合理的

挖掘方案，采取必要的支护措施，防止地质灾害的发生。设置地下水监测井，实时监测地下水位变化，及时采取措施应对可能出现的地下水问题。对于固化剂泄漏风险，要加强固化剂的运输、储存和使用管理。采用密封性能良好的运输设备和储存容器，设置防泄漏设施，如围堰、收集池等。在固化剂添加过程中，采用自动化控制系统，减少人为操作失误导致的泄漏风险。在废气、废水和废渣处理方面，要建设完善的处理设施^[4]。安装除尘设备，对废气进行净化处理后达标排放；建设污水处理站，对废水进行处理后回用或达标排放；对废渣进行分类收集和处置，可回收利用的废渣进行资源化处理，不能利用的废渣进行安全填埋。建立健全环境监测体系，定期对工艺过程中的环境指标进行监测，及时发现和处理环境问题。制定完善的环境应急预案，配备必要的应急物资和设备，定期组织应急演练，提高应对环境突发事件的能力。通过以上综合防控措施，有效降低淤泥固化工艺的环境风险，实现工艺的可持续发展。

结束语

淤泥固化工艺在废弃物处理与资源化利用方面具有潜力，但环境影响与可持续性问题不容忽视。通过全面评估环境影响、深入分析可持续性要素、准确识别并有效防控环境风险，可实现工艺的优化升级。未来，需进一步加强技术创新与政策引导，促进淤泥固化工艺在经济、社会和环境效益上的统一，为可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]具战波.小海河生态清淤及淤泥固化技术的运用[J].水利科技与经济,2023,29(11): 96-99.
- [2]盛和平.航道疏浚工程淤泥固化处理施工技术应用[J].珠江水运,2025(6): 85-87.
- [3]陈先云.淤泥原位固化施工工艺应用浅析[J].中国水运(下半月), 2020,20(6): 254-255.
- [4]汪志伟,邵吉成,张旺兴,等.淤泥固化技术在路基工程应用中的要点浅析[J].科技与创新,2024(18):74-77.
DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2024.18.021.