

# 环保清淤淤泥固化过程中的环境友好型添加剂研究

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:** 环保清淤产生的淤泥含水率高、成分复杂,处理不当易造成二次污染。淤泥固化通过物理化学作用改善其性能,环境友好型添加剂在其中作用关键。本文介绍了添加剂筛选原则,分析生物、工业废渣、天然矿物及新型化学等添加剂特性,阐述其对淤泥强度、渗透性、重金属稳定化等方面的影响,并从生物降解性、生态毒性、环境风险等角度进行环境评估。

**关键词:** 环保清淤; 淤泥固化; 环境友好型添加剂

## 1 环保清淤淤泥特性及固化原理

**淤泥特性:** 环保清淤产生的淤泥具有独特性质。从物理特性看,其含水率极高,通常可达80%-95%,呈流塑或软塑状态,流动性强,难以直接堆放和运输。淤泥颗粒细小,多为黏土和粉砂,比表面积大,能吸附大量水分和杂质。化学特性方面,淤泥中富含有机质,含量一般在5%-20%,易腐败发臭,产生有害气体。同时,还含有氮、磷等营养物质以及重金属、有毒有害有机物等污染物,若处理不当,会对周边环境造成二次污染。

**固化原理:** 环保清淤淤泥固化主要基于物理化学作用。通过向淤泥中添加固化材料,如水泥、石灰、矿渣等,这些材料与淤泥中的水分发生水化反应,生成水化硅酸钙、氢氧化钙等胶凝物质。这些胶凝物质相互交织,形成空间网状结构,将淤泥颗粒包裹并连接在一起,增强淤泥的结构强度<sup>[1]</sup>。另外,固化材料中的碱性物质能与淤泥中的酸性物质发生中和反应,调节淤泥的酸碱度,促进有机质的分解和稳定。固化过程中还能固定淤泥中的重金属离子,降低其迁移性和生物有效性,减少对环境的危害。经过固化处理后的淤泥,强度显著提高,含水率降低,可实现资源化利用。

## 2 环境友好型添加剂的筛选与特性分析

### 2.1 环境友好型添加剂的筛选原则

环境友好型添加剂的筛选需综合考虑多方面因素,以确保其在改善淤泥性能的同时,对环境不产生负面影响。首先,添加剂应具有良好的环保性能,即在使用过程中及使用后不会释放有害物质,对土壤、水体和空气等环境要素无污染。其次,添加剂要具备高效的固化性能,能够显著改善淤泥的工程性质,如提高淤泥的强度、降低渗透性、稳定重金属等,以满足不同工程建设的需求。同时,添加剂的用量应合理,在达到良好固化效果的前提下,尽量减少使用量,降低成本。再者,添

加剂的来源应广泛且可再生,优先选择天然材料或工业废渣等,这些材料不仅来源丰富,而且可以实现资源的循环利用,减少对自然资源的依赖。另外,添加剂还应具有良好的适应性和稳定性。能够适应不同地区、不同性质的淤泥,在不同的环境条件下(如温度、湿度等)保持稳定的性能,确保固化效果的可靠性和持久性。

### 2.2 常见环境友好型添加剂种类

#### 2.2.1 生物添加剂

生物添加剂是利用生物技术制备的一类添加剂,具有环保、可再生等优点。常见的生物添加剂包括微生物制剂和生物酶等。微生物制剂是通过特定微生物进行培养和筛选,利用其代谢产物或微生物本身对淤泥进行改良。例如,某些细菌能够分泌具有粘结性的多糖类物质,将淤泥颗粒粘结在一起,提高淤泥的强度;一些真菌可以分解淤泥中的有机物,降低有机物含量,改善淤泥的性质。生物酶则是一种具有催化作用的蛋白质,能够加速淤泥中化学反应的进行。

#### 2.2.2 工业废渣类添加剂

工业生产过程中产生的大量废渣,如粉煤灰、矿渣、钢渣等,经过适当处理后可作为淤泥固化的添加剂。粉煤灰是燃煤电厂排放的固体废弃物,其主要成分是二氧化硅、氧化铝和氧化铁等。粉煤灰具有火山灰活性,能与水泥等固化材料发生反应,生成胶凝物质,提高淤泥的强度。同时,粉煤灰的颗粒较细,能够填充淤泥颗粒间的孔隙,降低含水量,改善淤泥的密实度。矿渣是炼铁过程中产生的废渣,具有较高的潜在活性。经过激发剂激发后,矿渣可以与水发生水化反应,生成具有较高强度的水化产物,有效提高淤泥的固化效果。

#### 2.2.3 天然矿物类添加剂

天然矿物类添加剂如膨润土、高岭土等,在淤泥固化中也有广泛应用。膨润土是一种以蒙脱石为主要成分

的黏土矿物, 具有较大的比表面积和较强的吸水性。添加膨润土后, 其能够吸附淤泥中的水分, 使淤泥的含水量降低, 同时膨润土颗粒在淤泥中形成网络结构, 增强淤泥的稳定性。高岭土也是一种常见的黏土矿物, 其颗粒细小, 具有良好的分散性和粘结性。高岭土可以填充淤泥颗粒间的孔隙, 改善淤泥的孔隙结构, 提高淤泥的密实度和强度<sup>[2]</sup>。此外, 一些天然矿物如沸石、硅藻土等, 因其独特的孔隙结构和吸附性能, 也可用于吸附淤泥中的重金属和有机物, 改善淤泥的环境性能。

#### 2.2.4 新型环保化学添加剂

随着环保技术的不断发展, 一些新型环保化学添加剂逐渐应用于淤泥固化领域。在淤泥中添加PAM后, 其分子链能够吸附淤泥颗粒, 使颗粒聚集形成较大的絮团, 从而加速淤泥的沉降和脱水, 降低含水量。同时, PAM还可以在淤泥颗粒间形成网状结构, 提高淤泥的强度和稳定性。另外, 一些新型的环保型无机化学添加剂, 如磷酸盐类、硅酸盐类等, 也能够与淤泥中的成分发生化学反应, 改善淤泥的性能。这些添加剂具有高效、环保等特点, 在淤泥固化中具有广阔的应用前景。

#### 2.3 环境友好型添加剂的特性分析

不同种类的环境友好型添加剂具有各自独特的特性。生物添加剂具有生物活性和选择性, 能够针对淤泥中的特定成分进行分解和转化, 对环境友好且无二次污染。但其作用效果受环境条件(如温度、pH值等)影响较大, 且作用时间相对较长。工业废渣类添加剂来源广泛、成本低廉, 具有较好的火山灰活性或水硬性, 能够与水泥等固化材料协同作用, 显著提高淤泥的强度。然而, 不同来源的工业废渣成分差异较大, 其性能稳定性有待进一步提高, 且部分废渣中可能含有少量有害物质, 需要进行预处理以确保环保性能。天然矿物类添加剂具有良好的物理化学性质, 如吸水性、粘结性和吸附性等, 能够有效改善淤泥的工程性能和环境性能。天然矿物资源丰富, 易于获取, 但部分天然矿物的活性较低, 需要经过改性处理才能发挥更好的效果。新型环保化学添加剂具有高效、快速的特点, 能够在短时间内改善淤泥的性能。但化学添加剂的使用量需要严格控制, 过量使用可能会对环境造成一定影响, 且部分化学添加剂的成本较高, 限制了其大规模应用。

### 3 环境友好型添加剂对淤泥固化效果的影响

#### 3.1 对淤泥强度的影响

环境友好型添加剂对淤泥强度提升作用显著。生物添加剂借助微生物代谢或生物酶催化, 促使淤泥生成胶凝物质, 增强颗粒间粘结力。如添加特定微生物制剂,

淤泥无侧限抗压强度在养护期内大幅提升, 满足不同工程地基强度需求。工业废渣类添加剂, 像粉煤灰、矿渣, 其火山灰活性或水硬性与水反应生成胶凝物质, 填充颗粒间形成坚硬骨架, 添加粉煤灰和水泥复合固化剂后, 淤泥强度可提高数倍甚至数十倍。天然矿物类添加剂如膨润土、高岭土, 填充孔隙改善密实度, 增强颗粒连接, 但膨润土含量过高会因分散性强致强度下降。新型环保化学添加剂如PAM, 使淤泥颗粒形成絮团, 增强整体强度, 部分新型无机添加剂与淤泥反应生成高强度产物, 进一步提高固化强度。

#### 3.2 对淤泥渗透性的影响

环境友好型添加剂可有效降低淤泥渗透性。生物添加剂分解有机物时产生的胶凝物质和微生物菌体, 能填充淤泥孔隙, 堵塞水分渗透通道, 降低渗透系数, 添加生物酶后淤泥渗透性明显降低, 减少地下水侵蚀和污染物迁移<sup>[3]</sup>。工业废渣类添加剂与水反应生成的水化产物填充孔隙, 使结构更致密, 降低水分渗透速度, 粉煤灰细颗粒和水化产物形成多层次孔隙封闭结构, 提高防渗性能。天然矿物类添加剂中, 膨润土吸水膨胀形成凝胶填充孔隙, 高岭土细小颗粒也能填充孔隙, 改善渗透性。新型环保化学添加剂如PAM通过絮凝作用减少水分渗透通道, 部分新型无机添加剂与淤泥反应生成的沉淀物也能填充孔隙, 增强防渗能力。

#### 3.3 对淤泥中重金属稳定化的影响

环境友好型添加剂对淤泥中重金属稳定化意义重大。生物添加剂中的微生物可通过生物吸附、沉淀等作用固定重金属离子, 降低其迁移性和生物有效性, 如一些细菌分泌的络合物能与重金属离子形成稳定络合物, 减少重金属释放。工业废渣类添加剂如粉煤灰、矿渣含有的氧化铝、氧化硅等成分, 能与重金属离子发生化学反应生成稳定沉淀物, 将重金属固定在固化体中, 降低浸出毒性。天然矿物类添加剂中, 沸石凭借独特孔隙结构和离子交换性能吸附重金属离子并固定, 硅藻土的多孔结构也能吸附重金属, 减少扩散。新型环保化学添加剂如有机螯合剂能与重金属离子形成稳定螯合物, 降低活性, 防止迁移转化, 提高重金属稳定化程度。

#### 3.4 对淤泥其他性质的影响

环境友好型添加剂对淤泥其他性质也有影响。在流变性能上, 生物和化学添加剂可改变淤泥流动性和塑性, 便于施工操作。如添加适量生物酶或PAM能调节淤泥稠度, 提高可泵性和成型性。热学性能方面, 某些添加剂会影响淤泥导热系数。添加具隔热性能的天然矿物或工业废渣, 可降低淤泥导热性, 在特定工程中有更好

保温效果。添加剂使用还能改善淤泥外观和气味。生物添加剂分解有机物减少恶臭气体产生,部分添加剂可使淤泥颜色更均匀,提升视觉效果,让淤泥在处理和利用过程中更具优势,减少对环境和施工的不利影响。

#### 4 环境友好型添加剂的环境评估

##### 4.1 生物降解性评估

生物降解性是评估环境友好型添加剂环境性能的重要指标之一。对于生物添加剂,由于其本身来源于生物或生物技术产物,通常具有较好的生物降解性。在自然环境中,微生物能够分解生物添加剂中的有机成分,将其转化为二氧化碳、水和无机盐等无害物质。对于一些新型环保化学添加剂,如某些聚合物类添加剂,其生物降解性需要进行专门评估。通过模拟自然环境条件,研究添加剂在微生物作用下的降解速率和降解产物。一些可生物降解的聚丙烯酰胺类添加剂,在适宜的微生物环境中能够在一定时间内完全降解,且降解产物对环境无害。然而,部分化学添加剂可能具有较差的生物降解性,在环境中长期存在,可能会对土壤生态系统和水体环境产生潜在影响,因此需要严格控制其使用量或选择更环保的替代产品。

##### 4.2 生态毒性评估

生态毒性评估旨在确定环境友好型添加剂对生态环境中生物的潜在毒性影响。通过开展一系列的生物试验,如急性毒性试验、慢性毒性试验、遗传毒性试验等,评估添加剂对水生生物(如鱼类、藻类、浮游动物等)、土壤生物(如蚯蚓、微生物等)的毒性效应。对于生物添加剂,一般认为其对生态环境的毒性较低。但由于不同微生物制剂的成分和活性存在差异,仍需进行具体的生态毒性评估。工业废渣类添加剂和新型环保化学添加剂的生态毒性需要重点关注。工业废渣中可能含有少量重金属、放射性物质等有害成分,即使经过处理后作为添加剂使用,也可能对生态环境造成潜在威胁。新型化学添加剂的生态毒性研究相对较少,需要通过系统的试验来评估其对生物的生长、繁殖、遗传等方面的影响。

##### 4.3 环境风险评估

环境风险评估是对环境友好型添加剂在整个生命周期内(包括生产、运输、使用和处置等阶段)可能对环境造成的风险进行综合评估。评估内容包括添加剂的泄漏、扩散、迁移等过程对土壤、水体、空气等环境要素的影响,以及可能引发的生态破坏、人体健康危害等风险<sup>[4]</sup>。在生产过程中,需要考虑添加剂原材料的开采、加工对环境的影响,以及生产过程中产生的废水、废气、废渣等污染物的排放和处理。运输过程中,要防止添加剂的泄漏和散落,避免对运输沿途的环境造成污染。在使用阶段,重点评估添加剂对淤泥处理现场及周边环境的影响。同时,要考虑添加剂与淤泥中其他成分相互作用可能产生的二次污染风险。在处置阶段,对于剩余的添加剂和固化后的淤泥,需要评估其合理的处置方式对环境的影响。通过全面的环境风险评估,制定相应的风险防控措施,确保环境友好型添加剂的安全使用,最大限度地降低其对环境的负面影响。

#### 结束语

环保清淤淤泥固化中环境友好型添加剂的研究意义重大。通过合理筛选与运用各类添加剂,可有效改善淤泥性能,实现资源化利用,同时降低对环境的负面影响。然而,不同添加剂在性能、环境影响等方面存在差异,未来需进一步深入研究,优化添加剂配方与使用工艺,以推动环保清淤淤泥固化技术向更高效、更环保的方向发展。

#### 参考文献

- [1]岑天碧.淤泥固化技术在河道清淤疏浚中的应用研究[J].水上安全,2025(12):97-99.
- [2]黄明康,谢志豪.淤泥脱水固化技术在环保疏浚中的应用[J].生物化工,2021,7(3):117-119.
- [3]马志强.河道清淤及淤泥固化施工技术[J].国际援助,2024(1):130-132.
- [4]李磊,桂力,黄越,等.固化和固结耦合作用下淤泥强度及浸出特性[J].河南科学,2024,42(1):32-38.