
海洋淤泥变废为宝！低碳修复技术实现原位回收再利用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42299.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

海洋淤泥变废为宝！低碳修复技术实现原位回收再利用。

在沿海城市快速发展进程中，疏浚产生的海洋淤泥成为令人头疼的环境难题——这类含重金属的污染物不仅威胁生态系统与人类健康，处置成本高昂，还面临土地资源紧张的处理困境。近日，哈尔滨工业大学（深圳）、清华大学深圳国际研究生院团队联合在ENGINEERING Environment 2026年第20卷第2期发表研究文章 Low-carbon remediation of contaminated marine mud sediment for efficient in-situ recycling and application，提出一套低碳高效的海洋淤泥修复方案，成功将污染物转化为合格回填材料。

海洋淤泥的双重困境

海洋淤泥（Marine Mud）作为建筑废弃物的的重要组成部分，在澳门等地占比超40%，年产出量预计突破130万立方米。传统处置方式面临两大核心难题：

- 1.环境风险高：淤泥中富集砷（As）、镉（Cd）、铅（Pb）等重金属，随意堆放或倾倒会造成土壤与水体污染；
- 2.处置成本高：澳门地区将其归类为特殊废弃物，处置费用高达200澳门元/吨（约25美元），给企业带来沉重负担，同时填埋场地压力日益凸显。

更棘手的是，海洋淤泥成分复杂、含水量高，常规修复技术难以兼顾稳定性与环保性，可持续回收利用成为行业痛点。

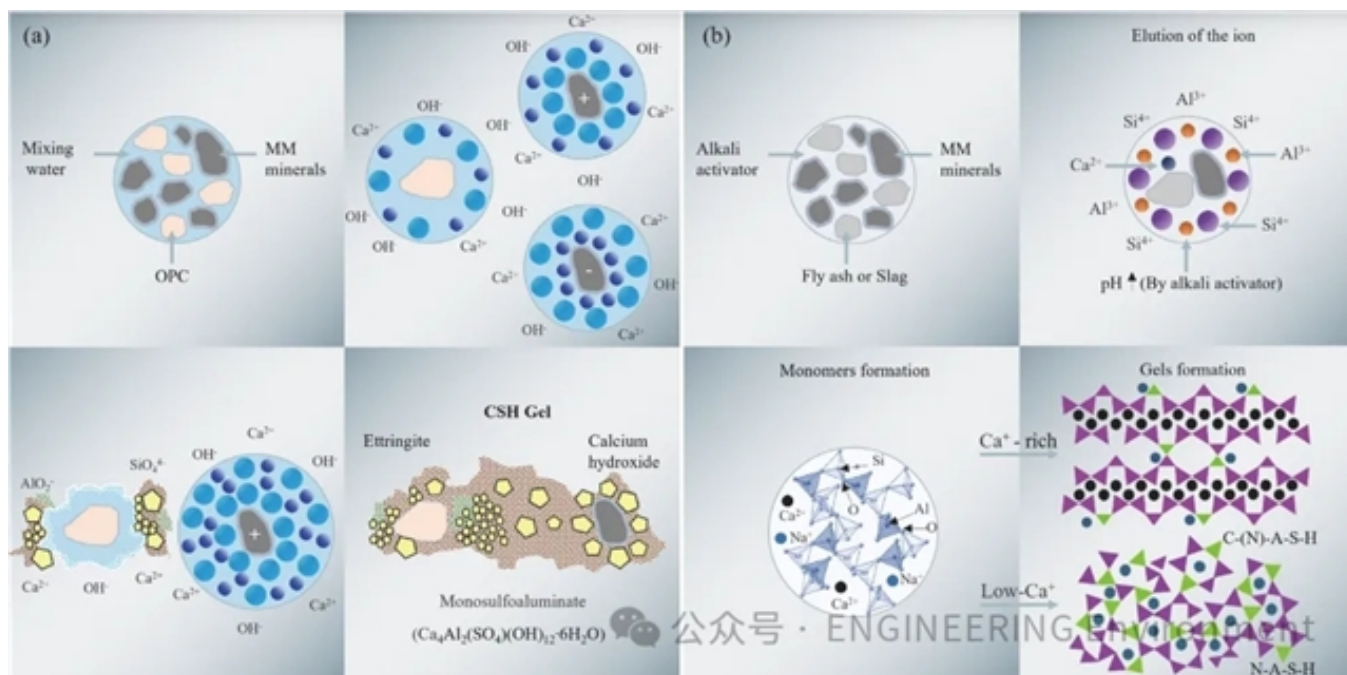


图1. 海洋泥（MM）与不同补充矿物的反应机理

三重创新构建低碳修复体系

研究团队摒弃高能耗的传统水泥固化路线，开发基于铝硅酸盐原料的低碳固化 / 稳定化（S/S）技术，核心创新体现在三方面：

- 1.原料创新：采用工业副产品（粉煤灰 FA、矿渣 SL）替代高能耗的普通硅酸盐水泥（OPC），结合现场易得的河砂作为颗粒填料，既降低碳足迹又实现废弃物协同利用；
- 2.活化技术创新：仅使用低浓度氢氧化钠（6 mol/L）作为碱激活剂，摒弃成本高、腐蚀性强的硅酸钠，解决设备腐蚀与长期稳定性问题；
- 3.配比优化：通过三阶段配比设计（PMD-1 至 PMD-3），最终确定 4 组最优配方，兼顾力学性能与重金属固定效果。

性能与环保双达标

经过 28 天养护测试，最优配方展现出优异性能，完全满足工程与环保要求：

力学强度跨越式提升：4 组配方的无侧限抗压强度（UCS）介于 3.15-8.69 MPa 之间，远超美国 EPA 要求的 1 MPa 标准，其中 25% 矿渣 + 75% 淤泥 + 6mol/L NaOH 组合强度最高（8.69 MPa），25% OPC+75% 淤泥组合达到 7.75 MPa；

重金属高效固定：通过火山灰反应生成的 C-S-H、C-A-S-H 等凝胶，将 As、Ba、Cd、Cr、Pb 等重金属牢牢吸附固定，浸出浓度均满足中国 GB36600-2018 与美国 EPA 540/2-86/001 双重标准，其中铅（Pb）几乎完全被固定；

微观结构显著优化：XRD 分析显示，固化后淤泥形成以 SiO_2 为主相， CaCO_3 、 $\text{Mn}_{1.7}\text{Fe}_{1.3}\text{O}_4$ 及复合硅酸盐为次相的稳定结构；SEM 与 TEM 观察证实，矿渣激活体系形成致密交织的片状结构，孔隙率显著降低。

从实验室到工程现场

该技术不仅实现三大核心价值，更具备极强的工程可行性：

环境效益：减少海洋淤泥填埋造成的污染，降低工业副产品（粉煤灰、矿渣）的处置压力，助力双碳目标；

经济效益：大幅降低淤泥处置成本，转化后的回填材料可直接用于工程建设，实现资源循环；

工程适配性：不同配方的初凝时间（1-5 天）可灵活匹配施工需求，已设计 pilot-scale 实验验证原位混合、天气适应性等工程问题，目标指标包括 28 天 $\text{UCS} \geq 800$ kPa、地基承载力 ≥ 150 kPa、年差异沉降 ≤ 30 mm。

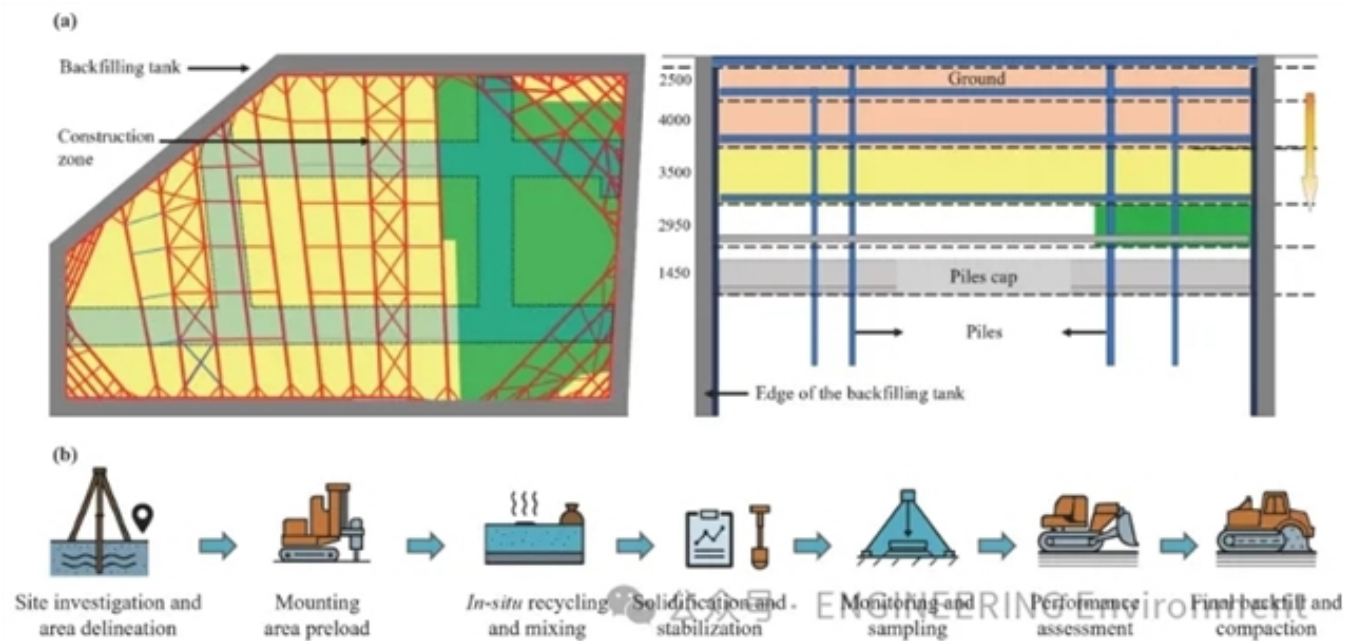


图2. 回填应用的试点级实验设计

未来展望

这项低碳修复技术为沿海地区疏浚淤泥的资源化利用提供了新范式，其核心在于实现 污染治理 - 资源回收 - 低碳减排 的三位一体。后续研究将进一步优化配比以适应不同污染程度的淤泥，并推动技术纳入工程建设标准，助力海洋生态保护与可持续发展。

相关论文信息：

<https://journal.hep.com.cn/fese/EN/10.1007/s11783-026-2122-z>

来源：《工程·环境》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发