

新型生态固化材料在土地整治工程中的应用及性能优化研究

于海玲

林甸县不动产登记中心 黑龙江 大庆 166300

摘要: 土地整治工程中,传统固化材料存在生态兼容性差、能耗高等突出问题,难以满足当前可持续发展需求。本文系统针对软土固化、重金属污染修复、生态边坡防护及扬尘防控四大应用场景,明确新型生态固化材料的具体实施路径与优化方向,通过钙矾石生成、微生物矿化、三维网状结构构建等关键技术解决各领域核心问题,同时为土地整治工程的稳定性提升、生态功能恢复与长期维护提供支撑,助力土地资源实现绿色综合治理,保障土地系统安全可持续利用与发展。

关键词: 新型生态固化材料;土地整治;应用场景;性能优化;可持续发展

引言:土地整治对保障土地资源合理利用意义重大,传统固化材料存在能耗高、生态不友好等问题。新型生态固化材料应运而生,其以工业废渣、生物基等为原料,不仅可消耗废弃物,还具备良好生态兼容性。在土地整治中,能应对软土固化、污染修复等多种复杂问题。深入研究其应用途径与性能优化,对提升土地整治工程质量、推动行业可持续发展具有关键指导作用。

1 新型生态固化材料的分类与特性

1.1 材料分类

工业废渣固化材料以矿渣、粉煤灰、磷石膏等工业副产物为原料,通过碱激发或复合改性技术实现土体固化。这类材料利用废渣中活性硅铝成分与碱性激发剂反应,生成具有胶凝特性的水化产物,有效填充土体孔隙并增强颗粒间粘结力。其固化过程无需高温煅烧,能耗显著低于传统水泥基材料,且能消耗大量工业固体废弃物,符合资源循环利用理念。生物基固化材料依托微生物矿化、酶催化反应或天然高分子物质构建土体增强体系^[1]。微生物通过代谢活动诱导碳酸钙沉淀,在土颗粒间形成矿物结晶桥梁;酶催化剂可加速土壤有机质聚合,生成稳定的三维网络结构;壳聚糖、木质素等天然高分子通过物理吸附与化学交联作用,显著提升土体抗剪强度。这类材料来源广泛且可再生,生物降解特性使其在生态修复领域具有独特优势。复合型固化材料融合无机胶凝材料与有机聚合物的性能特点,形成刚柔并济的多维增强结构。无机组分提供早期强度与耐久性基础,有机组分通过分子链缠绕改善材料柔韧性与抗裂性能。二者通过物理混合或化学键合形成互穿网络,在保持高强度的同时赋予材料优异的变形协调能力,特别适

用于地质条件复杂或荷载变动频繁的工程场景。

1.2 核心特性

力学性能方面,新型固化材料通过优化颗粒级配与界面过渡区结构,实现抗压与抗剪强度协同提升,性能表现优异。其抗冲刷性能通过增强土体结构密实度与颗粒间咬合力得到显著改善,能高效抵御水流剪切作用。在长期使用过程中,材料内部结构稳定性强,不易因外力作用产生不可逆损伤,全方位保障工程结构持久安全。生态兼容性体现在材料低毒或无毒特性,对土壤微生物群落结构与植物根系发育无明显抑制效应,部分材料还能通过调节土壤pH值或提供养分促进植被生长。环境适应性涵盖耐湿循环、抗冻融破坏及抗化学侵蚀能力,通过灵活调整材料组成可适应酸碱、盐渍等复杂地质条件。即便处于极端环境,材料仍能维持基本性能稳定,减少维护频率与成本。经济性优势源于原料来源广泛且成本低廉,施工工艺简化降低了人工与设备投入,全生命周期成本较传统材料更具竞争力,为大规模工程应用提供了经济可行的解决方案。

2 新型生态固化材料在土地整治中的应用场景

2.1 软土固化与地基加固

在土地整治工程中,软土处理是地基加固的核心挑战之一。高有机质软土因孔隙率高、含水量大、压缩性强,传统固化方法易导致强度不足或长期沉降^[2]。新型生态固化材料通过两种机制实现高效固化。一种机制基于钙矾石生成,材料中的活性成分与软土中的水分及钙离子发生水化反应,生成针状钙矾石晶体。这些晶体在孔隙中交织生长,形成致密骨架结构,有效填充软土孔隙并降低含水率,从而提升土体强度。另一种机制依托微

生物矿化作用, 通过向软土中添加特定菌种及营养源, 诱导微生物代谢产生碳酸钙沉淀。碳酸钙颗粒在孔隙中沉积, 逐步填充空隙并增强土体颗粒间的胶结力, 最终形成稳定固化层。在道路基层与地基加固中, 生态固化材料的应用显著提升了结构承载力并控制沉降。经固化处理的软土可达到道路基层所需的抗压强度标准, 其弹性模量较未处理土体提升数倍, 有效分散车辆荷载压力。同时, 固化层与下部土体形成复合地基, 通过刚度过渡减少应力集中, 抑制不均匀沉降。例如, 在沿海滩涂道路建设中, 采用生态固化材料处理后的地基沉降量较传统方法减少, 且施工周期缩短, 环境影响降低。

2.2 重金属污染土修复

重金属污染土修复是土地整治中的环境治理重点, 其修复效果关乎土地资源的安全再利用。新型生态固化材料凭借独特优势, 通过化学固化与生物修复双路径实现重金属稳定化。化学固化过程中, 材料中的铝酸盐成分与土体中的钙离子反应生成钙矾石, 其表面带负电荷的羟基基团对铅、镉等重金属离子产生强吸附作用。吸附后的重金属被包裹在钙矾石晶体结构中, 形成物理化学双重稳定化体系, 显著降低重金属迁移性与生物有效性。生物修复技术则利用微生物诱导碳酸盐沉淀(MICP)固定重金属。特定菌种在代谢过程中分解尿素产生碳酸根离子, 与土体中的钙、重金属离子结合生成碳酸盐沉淀。这些菌种还能在适宜环境下快速繁殖, 例如, 碳酸铅、碳酸镉等沉淀物在土体中形成稳定矿物相, 将重金属从可溶态转化为难溶态。该技术不仅实现重金属固定, 还通过微生物活动改善土体孔隙结构, 增强透气性与透水性, 为后续生态恢复创造良好条件。

2.3 生态边坡与护坡工程

生态边坡建设需兼顾结构稳定性与生态功能, 这对保障边坡长期安全及生态环境可持续发展意义重大。新型生态固化材料通过植被共生设计与抗冲刷结构实现双重目标。材料表层采用疏松多孔配方, 为植物根系提供生长通道, 利于根系向下延伸拓展生存空间。根系穿透固化层后, 与土体形成机械互锁结构, 增强边坡抗剪强度, 有效抵御边坡可能遭遇的滑移、坍塌等破坏。同时, 材料中的养分缓释成分可持续供给植物生长, 促进植被快速覆盖, 形成生物防护层, 不仅美化环境, 还能进一步稳固边坡^[3]。在抗冲刷方面, 材料通过三维网状结构增强土体稳定性。固化过程中, 材料分子链与土颗粒形成化学键合, 构建贯穿土体的网状骨架。这种结构可有效分散水流能量, 减少表层土体剥蚀。在暴雨冲刷试验中, 经生态固化材料处理的边坡表面冲刷量较未处理

边坡降低, 且植被覆盖率在三个月内达到较高水平, 形成“结构-植被”复合防护体系, 全方位守护边坡安全。

2.4 扬尘防控与临时场地固化

扬尘污染是施工场地的主要环境问题, 其产生的大量粉尘不仅会污染空气, 影响周边居民的生活质量, 还可能对人体健康造成危害。新型生态固化材料通过快速成膜与颗粒粘结机制实现高效抑尘。材料喷洒后, 其高分子成分在土体表面迅速形成致密薄膜, 阻断粉尘逸散通道, 如同给土体披上一层“防护衣”。同时, 材料中的粘结剂成分将松散颗粒胶结为整体, 增强土体抗风蚀能力, 让土体在面对强风时也能保持稳定。在干燥多风地区, 经固化处理的施工场地扬尘浓度显著降低, 满足环保要求, 有效改善了施工场地的空气质量。针对临时道路与施工场地, 生态固化材料提供环保型解决方案。材料可快速施工且无需养护, 固化后形成具有一定强度的硬质表面, 满足重型设备通行需求, 保障施工的顺利进行。施工结束后, 固化层可通过自然降解或机械破碎方式恢复土地原状, 避免传统硬化材料拆除产生的建筑垃圾, 实现土地资源的可持续利用。该技术已在多个大型工程中应用, 有效平衡了施工效率与环境保护需求。

3 新型生态固化材料的性能优化策略

3.1 材料配方优化

工业废渣的活性激发是提升固化材料性能的重要方向。粉煤灰、矿渣等工业副产物富含活性硅铝成分, 但需通过碱激发剂活化才能有效参与固化反应。不同碱激发剂对反应进程的影响存在差异, 氢氧化钠可快速溶解废渣表面玻璃体, 释放活性离子, 促进早期强度发展, 但过量使用易导致材料脆性增加。水玻璃则通过提供硅酸根离子调控水化产物组成, 增强材料密实度与耐久性。激发剂掺量需根据废渣种类与目标性能精准调整, 避免因用量不足导致反应不充分, 或因过量引发体积稳定性问题。复合材料的协同效应通过无机-有机组分比例优化实现。无机成分如水泥、矿渣提供基础强度支撑, 有机成分如聚合物乳液、生物基胶凝剂改善材料柔韧性与抗裂性。界面改性技术可进一步增强组分相容性, 硅烷偶联剂在无机颗粒表面形成有机-无机过渡层, 减少界面缺陷, 提升应力传递效率。纤维素纤维通过物理交织作用形成三维网络结构, 分散应力集中, 抑制微裂纹扩展。复合比例需结合应用场景动态调整, 道路基层材料侧重抗压强度与耐磨性, 边坡防护材料更关注抗冲刷性与生态兼容性。

3.2 微观结构调控

孔隙结构优化是提升材料耐久性的核心手段。通过

扫描电子显微镜观察固化体微观形貌,可识别凝胶孔、毛细孔等孔隙类型及其分布特征^[4]。X射线衍射分析可确定水化硅酸钙、钙矾石等产物的结晶程度与相对含量。基于微观结构数据,调整材料配方与工艺参数以减少有害孔隙,增加无害孔隙比例。增加废渣掺量可细化孔隙结构,提升材料密实度;引入纳米二氧化硅通过填充作用阻断连通孔隙,降低渗透性;优化养护制度可促进水化产物充分生长,填充孔隙空间。界面增强技术从分子尺度提升材料性能。纳米粒子填充通过物理填充与化学键合双重作用强化界面过渡区,纳米碳酸钙颗粒均匀分散于水化产物中,抑制微裂纹扩展;纳米黏土层状结构可改善材料抗渗性与抗化学侵蚀能力。纤维增韧技术利用聚丙烯纤维或玄武岩纤维的桥接作用,分散应力集中,提升材料抗冲击性能。生物矿化技术模拟自然过程,通过微生物分泌的胞外聚合物在颗粒表面形成保护层,增强材料抗风化能力。

3.3 施工工艺改进

固化剂分散均匀性控制直接影响工程质量。喷洒工艺适用于大面积表层处理,需调节喷头压力与移动速度以确保材料覆盖厚度一致,避免局部过量或不足。搅拌工艺适用于深层土体固化,强制式搅拌机通过高速旋转实现固化剂与土体的充分混合,减少分层现象。注入工艺针对局部加固需求,高压注射设备将固化剂渗透至指定深度,形成均匀加固区。工艺选择需综合考虑土体类型、施工环境与设备条件,疏松土体需降低搅拌转速以避免结构破坏,高黏度材料宜采用螺旋输送机防止堵塞。养护条件优化是保障固化强度发展的关键环节。温度升高可加速水化反应,但过高温度易导致水分蒸发过快,引发开裂,需通过覆盖保湿膜或喷洒养护剂维持表面湿度。湿度不足会抑制水化产物生成,降低后期强度,干旱地区需增加养护频次或采用封闭养护方式。养护时间需根据材料类型与环境条件动态调整,早期养护以保湿为主,后期养护侧重温度控制,避免因温差过大导致应力集中。

3.4 多功能化设计

自修复功能通过材料内部机制实现结构损伤主动修

复。微胶囊技术将修复剂封装于高分子膜内,当材料出现微裂纹时,胶囊破裂释放修复剂,在裂纹处聚合形成填充体,迅速恢复结构完整性。形状记忆聚合物凭借温度或光照刺激恢复原始形状,闭合裂纹并恢复力学性能,极大增强了材料在复杂环境下的适应能力。该技术可显著延长材料使用寿命,减少维护成本,适用于长期承受动态荷载的工程场景。智能响应材料研发聚焦于环境适应性提升^[5]。温敏型固化剂通过分子结构设计,在温度变化时调整反应活性,实现固化速度的动态调控,可灵活应对不同施工季节的温差变化。湿敏型材料根据土体含水率自动调节吸水或释水能力,维持结构稳定性,避免因湿度波动导致性能退化,确保工程长期稳定运行。pH响应型材料通过离子交换机制,在酸碱环境中释放或吸附特定离子,修复被污染土体,实现环境自适应修复功能,为生态保护提供有力支持。

结束语

新型生态固化材料在土地整治工程中展现出巨大应用潜力,凭借独特分类与优异特性,在多个应用场景持续发挥重要作用。通过材料配方优化、微观结构调控、施工工艺改进及多功能化设计等系统策略,可进一步提升综合性能表现。未来,随着技术不断创新进步,该材料有望在更广泛领域得到深入应用,为土地整治及生态环境保护提供更有力的技术支撑,推动行业向绿色、高效、智能化方向发展迈进。

参考文献

- [1]李雪花,刘宇航.新型生态材料在水污染治理中的应用研究[J].环境科学与技术,2023,15(2):45-52.
- [2]赵天宇,韩梅花.大气污染治理中新型生态材料的应用与展望[J].环境保护科学,2023,28(4):67-74.
- [3]樊建琼.简析土地工程技术在农村土地生态整治中的应用[J].大众标准化,2024,(21):119-121.
- [4]王茜.土地工程技术在城镇土地生态整治工作中的应用分析[J].房地产世界,2024,(16):170-172.
- [5]刘清华.土地工程技术在农村土地生态整治中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(22):98-100.