

土壤修复技术在土地工程中的应用

韦朗继

广西大圆工程咨询有限公司

摘要：随着城市化和工业化进程的不断加快，土壤受到了严重的污染和破坏，在此前提下开展土壤修复技术研究具有重要意义。这些技术能够有效地恢复土壤的肥力和生态功能，改善土壤质量，并提供可持续的土地利用方式，通过采用科学的土壤修复技术，可以最大限度地减少土壤污染对环境和人类健康的危害，实现土地资源的可持续利用。

关键词：土壤修复；技术；土地工程；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.13.015

土地工程涉及各种规模的土地开发和建设项目，往往会对土壤造成严重的破坏和污染，导致土地质量下降，进而影响到环境和人类的健康。土壤修复技术的应用能够有效地恢复受损土地的功能和生态系统，去除土壤中的有害物质和重金属污染物，防止其进一步扩散和渗透到地下水或食物链中，通过物理、化学或生物方法的运用，土壤修复技术可以将污染物降解、转化或吸附，并提高土地的农业生产能力和，恢复土壤的肥力和水分保持能力，为农业活动提供更加有利的生长环境，修复后的土壤还能够增加土地的稳定性和承载能力，使其更适合用于基础设施建设和工程项目，减少土地沉降和结构破坏的风险。

一、土地工程概述

（一）含义

土地工程是一门综合性的工程学科，涉及对土地资源的科学管理和循环利用，能通过科学合理的土地利用规划和工程实施，最大程度地发挥土地资源的潜力，满足人类的经济、社会和环境需求。在土地工程中，土地被视为一种重要的自然资源，其功能和特性对于城市发展、农业生产、环境保护等具有重要影响。

（二）主要工作内容

1. 土地开发

土地工程中的土地开发是指对土地资源进行规划、设计、开发和利用的过程，涉及将未经开发或利用的土地转变为能够满足人类需求的可用地段，在确定土地开发方案时，需要综合考虑土地的自然条件、环境保护要求和社会经济发展需求。通过制定合理的用地规划和开发方案，可以最大程度地利用土地资源，提高土地的经济效益和社会效益。在土地开发过程中，需要进行土地平整、道路建设、供水供电等基础设施建设。

2. 土地治理

通过科学的规划、管理和监督，实现土地的合理利用、保护和可持续发展，土地治理解决了土地资源利用中的问题和冲突，在土地治理中，首先要进行土地调查

和评估，了解土地的性质、潜力和限制，为决策提供科学依据^[1]。制定土地利用规划，确立土地的功能区划和合理利用方式，平衡各种需求和利益，通过土地管理和监督，推动规划的实施和土地利用的执行，确保土地使用符合规定和法律法规。

3. 土地改良

土地改良的目的是使原本贫瘠、退化或不适宜农业、林业、畜牧业等经济活动的土地变得更具生产潜力，可以通过土壤改良、水资源管理、植被保护以及耕地管理等方式来落实，以此来实现农田、林地和草地等土地资源的合理利用和保护。

4. 土地保护

土地作为自然资源的重要组成部分，在人类社会和生态系统中具有不可替代的作用，土地保护的目的是通过有效管理和规划土地利用，防止土地的过度开发和破坏，以及减少土地的退化和损失。主要方法包括制定和实施土地使用规划、保护和恢复生态系统、加强土地管理和监测、推动可持续农业和林业实践、加强土地资源的法律和政策框架等，能够实现土地的多功能性，即在满足人类需求的同时，保护土地的生态功能和文化价值^[2]。

二、土壤修复技术具体内容

（一）植物修复技术

土壤是植物所必需的基质，为其提供生存所需的根本条件，植物的正常发育依赖于土壤的养分供应、肥力水平以及水分和温度的调节，而植物的生长也对土壤产生积极的相互作用，进一步促进了土壤的改良和发展。这项技术利用了植物的各种生理、生态和生化机制，通过植物与土壤环境之间的相互作用，恢复土壤的功能和生态系统。根据土壤类型和污染程度，选择适合生长和适应力强的植物种类，如忍受重金属污染的金属超积累植物或具有抗盐碱能力的盐生植物，并且植物根系能够增加土壤的通透性和水分保持能力，促进土壤微生物的活动和有机物质的分解，其根系的生长还可以防止土壤侵蚀，稳定土壤表面，并减少水分和营养素的流失。植物修复技术通过植物的吸收和转运机制来清除土壤中的有害物质，植物根系吸收土壤中的污染物，通过根系层的生物活性和酸性环境，将其转化为较低毒性或可溶性的形式，部分污染物还可以通过植物的蒸腾作用排出体外，从而达到净化土壤环境的目的。

（二）动物修复技术

动物修复技术是一种利用动物的生物学特性和行为来改善环境质量、恢复生态系统功能以及修复受到破坏的生态环境的方法，基于动物与环境之间的相互作用和

相互依赖关系，通过引入适当的动物物种或利用现有的动物群落来实现生态系统的恢复和修复^[3]。根据土壤的具体情况和修复目标，选择鼯鼠、土拨鼠、蚯蚓等适合的动物物种，将这些动物引到受损土壤的区域，并为这些动物提供适宜的生活环境，给它们足够的食物和水源，以及提供适合栖息和繁殖的条件，并进行必要的监测和管理，以确保动物的数量和分布符合修复需求。这些动物会不断挖掘隧道和洞穴来改善土壤结构，增加土壤通气性和水分渗透性，在它们活动过程中会排泄大量的粪便，其中富氮、磷、钾等有机物和关键养分，能够改善土壤的肥力和营养循环，动物的尸体也会为土壤提供有机物质，促进土壤中的微生物活动，增加土壤的生物多样性。

（三）微生物修复技术

土壤内存在众多微生物群体，它们的正常繁衍可产生一定程度的土壤松散效应，降解有害物质、改善土壤质量和促进生态恢复。通过采集受损土壤样品，进行实地调查和实验室分析，以确定污染源和主要污染物，并筛选合适的降解菌种，这些菌种能够有效降解目标污染物，培养和扩增这些菌种，在实验室中进行预先试验，评估其降解效果和适应性，在确定菌种后，进行大规模生产和培养。在实施微生物修复技术时，首先需要准备污染土壤，进行土壤调理，包括土壤pH的调整、添加适量的有机质和养分，以提供菌种生长和代谢所需的环境条件。接下来使用直接浇注、喷洒或注射菌液的方式投放微生物，投放时应注意确保菌液均匀分布于受污染土壤中，以最大程度地提高修复效果，并覆盖土壤表面保持一定的湿度。随后，进行微生物修复的监测和评估，检测土壤中目标污染物浓度，以及对微生物生长情况、代谢活性和菌群组成的评估，为了增强微生物修复效果，还可以添加生物界面剂可以增加土壤与微生物之间的接触面积，提高降解效率，施加适量的有机质可以为微生物提供额外的营养来源，促进其生长和降解能力^[4]。

（四）物理修复

1. 物理分离技术

物理分离技术是一种常用的土壤修复方法，它通过物理手段将污染土壤与有害物质分离，以达到修复土壤的目的，要先对受污染的土壤进行取样和分析，确定污染源和主要污染物类型，进行除杂和破碎等土壤的预处理，其中，除杂是通过筛选、挑拣和手工清理等方式，将杂质、大颗粒和可见的污染物物理分离出来，破碎是利用物理手段如打碎、研磨等将土壤颗粒细化，增加接触面积。在进行物理分离时，常用的方法包括筛分、离心和浮选等，筛分是通过筛网将土壤按照颗粒大小进行分离，大颗粒和污染物可被分离出来，离心是利用离心力将重颗粒和轻颗粒分离，可用于分离密度较大的有害物质，浮选是利用气泡在液相中的附着性，将沉积在土壤颗粒表面的有害物质浮起来，实现物理分离。在进行物理分离时，需要根据污染物的性质和土壤的特点选择

合适的分离方法，分离后的有害物质需要进行后续处理和处置，以防止二次污染，还要对分离后的土壤进行修复处理，快速恢复其生物活性和生态功能。

2. 热力学修复技术

该技术基于热力学原理，通过改变土壤内部的温度和水分分布，促进污染物的迁移、转化和降解，从而实现土壤的修复和恢复。要对土壤进行加热或冷却的操作，加热可以采用电加热、蒸汽注入、地下加热管等多种方法，通过加热土壤中的水分蒸发，污染物的挥发速率加快，使其从土壤中释放出来。另一方面，加热还可以提高土壤中有机污染物的降解速率，促进微生物的活动。冷却操作则可以通过地下水或者气体的循环冷却来实现，降低土壤温度，减缓有机污染物的挥发速率和微生物降解速率^[5]。

（五）化学修复技术

土地工程中的土壤修复技术是为了解决土壤受到污染或退化的问题，恢复土壤的肥力和生态功能，化学修复方法是其中一种常用的技术，它通过使用化学物质来改变土壤中的污染物的性质，以降低其毒性或将其转化为无害物质，包括以下步骤：（1）污染物识别和定位。对受污染的土壤进行详细的调查和分析，确定主要的污染物类型和分布情况；（2）污染物迁移和转化机理研究。了解污染物在土壤中的迁移规律和转化机理对于选择合适的化学修复方法至关重要，通过实验室模拟和分析，确定污染物的迁移速率、吸附特性以及可能的转化途径；（3）选择合适的修复剂。根据污染物的性质和土壤条件，选择适合的修复剂。修复剂可以是化学物质，如氧化剂、还原剂、络合剂等，也可以是生物剂；（4）修复剂应用。将选定的修复剂应用到受污染的土壤中，修复剂的用量和应用方式应根据土壤类型和污染程度进行调整；（5）修复过程监测。在修复过程中，需要定期监测土壤中污染物的浓度变化以及修复效果，并使用化学分析方法进行实验室测试，或者使用现场监测设备进行实时监测；（6）修复效果评估。修复完成后，对修复效果进行评估。需要注意的是，在进行化学修复过程中，应遵守环境保护和安全规范，以避免二次污染或对人类和生态环境造成不良影响。

1. 氧化还原技术

它通过改变土壤中的氧化还原环境，促进污染物的转化、迁移和降解，从而达到修复土壤的目的。在修复前，要对受污染土壤进行调查和采样，确定污染物种类、分布情况和污染程度。采样点的选取应满足统计学原理，按照每10000平方米选取一个采样点，以保证样本的代表性，根据污染物的性质和环境条件，选择适当的还原剂和氧化剂，常用的还原剂包括铁（ Fe^{2+} ）和硫化物（ S^{2-} ），而氧化剂则包括过氧化氢（ H_2O_2 ）和高锰酸钾（ KMnO_4 ），采用喷洒、注入或混合等方式将还原剂或氧化剂添加到受污染的土壤中。添加的剂量通常根据公式 $C = (V \times M) / A$ 来计算，其中 C 表示所需

剂量的质量浓度, V 表示所需剂量的体积, M 表示剂量浓度, A 表示土壤面积。通过机械搅拌、人工混合或自然扩散等方式, 使还原剂或氧化剂与污染土壤充分接触和反应。混合的时间可以根据公式 $t = (L \times D) / V$ 计算, 其中 t 表示混合时间, L 表示土壤层的深度, D 表示扩散系数, V 表示混合速率。采集修复后土壤样品, 并进行污染物浓度、土壤pH值、有机质含量等指标的分析。

2. 淋洗技术

淋洗技术是利用高压水或溶液对受污染的土壤进行淋洗处理, 淋洗过程中, 水或溶液会通过喷洒、注入或灌溉的方式与土壤接触, 以达到污染物与土壤颗粒的分离效果。要考虑使用适当的洗涤剂或添加剂, 这些洗涤剂可以使污染物溶解、分散或离子交换, 从而使其更易于被冲洗出土壤。并反复操作, 以确保彻底去除污染物, 在每次淋洗后, 需要对冲洗出的水或溶液进行再处理, 以防止进一步的环境污染。

3. 电动力学修复技术

电动力学修复技术是一种新兴的土壤修复方法, 该方法基于电化学和电动力学原理, 通过应用电场和电流来激活和集中处理污染物, 处理时, 先清除土壤表层的垃圾和杂草, 将阳极和阴极插入土壤中, 通过连接阳极和阴极与电源, 施加适当的电压和电流密度, 电流将在土壤中形成电场, 促使污染物向阳极或阴极方向迁移。电场的作用下, 污染物在土壤中发生迁移和分解, 阴极通常用于还原污染物, 而阳极用于氧化污染物, 通过调节电流密度和施加时间, 可以较好地控制修复过程。

4. 固化技术

它通过固化剂与受污染土壤中的污染物发生反应, 形成稳定的复合体结构, 以降低其毒性和溶解性, 固化剂可以是水泥、石灰、氯化物等化学物质, 也可以是改性聚合物或生物基材料等有机物质, 通过机械手段, 将固化剂与受污染土壤进行充分混合, 确保固化剂与污染物接触并反应, 形成固化体。混合处理可采用拖拉机、挖掘机或搅拌设备等工具进行, 经过一定时间的反应和固化过程, 固化剂与污染物形成稳定的固化体有助于阻止污染物的迁移和释放。

(六) 联合修复技术

这种方法结合了物理、化学和生物学的技术, 通过协同作用来降低土壤中有害污染物的含量, 并修复土壤的结构和功能。联合修复方法的第一步是通过物理技术处理土壤, 去除土壤中的大颗粒物和可见的污染源, 将吸附、离子交换和氧化还原等化学技术用于土壤修复, 生物学技术是联合修复方法的另一个重要组成部分, 这些技术利用微生物、植物和其他生物体的作用来降解、转化或固定有害物质。联合修复方法的关键在于不同技术的协同作用, 物理、化学和生物学技术的组合可以相互增强, 以达到更好的修复效果。例如, 物理技术可以通过去除土壤中的大颗粒物, 提供更好的条件供化学和

生物技术发挥作用; 化学技术可以预处理土壤, 使得微生物在修复过程中更加有效; 生物技术则可以增加土壤的有机质含量, 改善土壤结构, 促进其他修复技术的实施。

三、土壤修复技术在土地工程中的应用

(一) 重金属污染场地修复

重金属污染是由于人类活动导致土壤中重金属元素含量超过环境标准而引起的, 这些重金属元素具有毒性和累积性, 对土壤生态系统和人类健康造成潜在风险。为了修复重金属污染场地, 土壤修复技术采用多种方法, 物理方法通过物理隔离和分离的方式减少重金属对土壤的接触, 使用地下隔离层或覆盖层可以阻止重金属的进一步迁移, 保护地下水资源, 化学方法通过改变土壤pH值或添加吸附剂来减少重金属的可溶性和生物可利用性, 酸碱中和、配位剂添加和离子交换等技术可以有效地固定重金属并降低其毒性。并利用植物和微生物的生理代谢作用来降解、转化或吸收重金属。植物修复利用植物的根系吸收重金属, 并将其富集在根系或地上部分, 并投放合适的微生物, 利用土壤中的微生物降解重金属或将其转化为无毒物质。

(二) 有机污染场地修复

有机污染通常来自工业活动、农业种植和废物处理, 其中包括石油和石化行业的废弃物、农药和化肥残留物等, 这些有机污染物对土壤和水源的质量产生严重影响, 并可能危害人类和生态系统的健康。可以利用微生物和植物的作用来分解和降解有机污染物, 结合生物刺激剂激活土壤中的微生物群落, 增强其降解有机污染物的能力有机污染物的降解率可以用以下公式计算: 降解率 (%) = $(C_0 - C_t) / C_0 \times 100\%$ 。除了生物修复, 物理和化学修复方法也可以应用于有机污染场地的修复, 修复的成功与否取决于多个因污染物的类型和浓度、土壤的理化特性以及修复方法的选择和实施等多重要素, 因此, 在实际工程中, 需要进行详尽的现场调查和实验室测试, 以确定最合适的修复方案。

结束语

综上所述, 这些技术不仅在降低污染物含量方面取得了显著成果, 而且对土壤结构和功能的修复也起到了积极的促进作用, 相关人员需要进一步研究和改进这些技术, 探索更加高效、可持续的土壤修复方案。

参考文献

- [1] 马仲文. 污染土壤修复技术与修复效应的研究[J]. 农村经济与科技, 2022, 33(24): 39-42.
- [2] 董楠楠, 妥翔. 污染场地土壤修复技术与修复效果研究[J]. 山西化工, 2022, 42(04): 180-182.
- [3] 周思凡, 张程真. 我国土壤修复技术工程应用[J]. 广东化工, 2022, 49(12): 151-153.
- [4] 杜宜春. 浅析土壤修复技术在土地工程中的应用[J]. 农业与技术, 2020, 40(21): 48-50.
- [5] 张海欧. 浅谈土地工程中的土壤修复材料[J]. 农技服务, 2019, 36(10): 38-40.