

环境工程中土壤修复技术的创新与实践

吴艳红

通辽市生态环境技术服务中心，内蒙古自治区通辽市，028000；

摘要：环境工程中土壤修复至关重要。土壤修复技术不断创新，多种新方法涌现。实践中，这些技术从原理到应用各有特点。其创新聚焦于提高修复效率、降低成本及减少二次污染。实践注重因地制宜与多技术协同，推动土壤修复向高效、环保发展，助力生态环境改善。

关键词：环境工程；土壤修复技术；技术创新；实践应用

DOI：10.69979/3041-0673.24.10.006

引言

土壤作为生态系统关键组成，受污染问题日益严重。环境工程领域致力于土壤修复技术创新与实践。现有技术存在局限，难以满足复杂污染状况。因此，探索新型、高效修复技术，加强实践应用，对保护土壤生态、保障人类健康意义重大，是当前环境工程的重要研究方向。

1 土壤修复技术概述

1.1 常见土壤修复技术分类

常见的土壤修复技术主要分为物理修复、化学修复和生物修复三大类。物理修复技术包括客土法、热脱附、土壤气相抽提等。客土法是将污染土壤移除并用清洁土壤替换，操作相对直接，但成本较高且可能导致二次污染。热脱附是通过加热使污染物挥发或分离出来，适用于挥发性和半挥发性有机污染物，但能耗较大。土壤气相抽提主要针对挥发性有机物，通过抽提装置将污染物抽出处理。化学修复技术有化学淋洗、氧化还原等。化学淋洗利用化学溶剂将污染物从土壤中洗脱出来，但淋洗剂的选择和处理是关键问题。氧化还原技术通过添加氧化剂或还原剂改变污染物的化学性质，使其无害化，例如使用过氧化氢等氧化剂处理有机污染物。生物修复技术可分为植物修复和微生物修复。

1.2 传统土壤修复技术特点

传统土壤修复技术各有特点。物理修复技术的优点在于原理简单、操作相对容易理解。例如客土法能迅速降低土壤污染物浓度，在短期内改善土壤环境质量。然而，物理修复往往工程量大、成本高，像热脱附技术需要特殊的设备和大量能源投入。化学修复技术针对性强，对于某些特定污染物能快速达到修复效果。但化学药剂的使用可能对土壤结构和肥力产生负面影响，如化学淋洗可能会洗去土壤中的养分元素，并且化学药剂的残留

也是潜在的环境风险。生物修复技术是一种环境友好型的修复方式，它对土壤生态系统的破坏较小。但生物修复的速度较慢，受环境因素影响大，如植物修复受植物生长周期和土壤条件限制，微生物修复则依赖于微生物的活性和适宜的环境条件。

1.3 土壤修复技术发展现状

目前，土壤修复技术在国内外都取得了一定的发展。在国内，随着土壤污染问题的日益严重，对土壤修复技术的需求不断增加。政府加大了对土壤修复领域的关注和投入，推动了一系列土壤修复项目的开展。一些城市已经开始对工业污染场地进行修复治理，并且在技术应用上逐渐多样化。例如，在某些重金属污染土壤修复项目中，综合运用了化学稳定化和植物修复技术。然而，与发达国家相比，我国土壤修复技术仍存在一定差距。国外在土壤修复技术研发方面投入更多资源，一些先进技术如原位生物修复技术的应用更加成熟。同时，国外在土壤修复标准制定、修复效果评估等方面也更加完善，而我国在这些方面还需要进一步加强。

2 土壤修复技术创新方向

2.1 基于新材料的修复技术创新

基于新材料的修复技术创新为土壤修复带来了新的机遇。纳米材料在土壤修复领域的应用是一个重要方向。纳米零价铁具有较大的比表面积和高反应活性，能够有效地还原土壤中的重金属离子和降解有机污染物。例如，它可以将六价铬还原为低毒的三价铬，降低重金属的毒性。此外，新型的吸附材料也不断涌现，如功能化的生物炭。生物炭本身具有丰富的孔隙结构和较大的比表面积，经过功能化处理后，对特定污染物的吸附能力大大增强。这种吸附材料不仅可以吸附土壤中的有机污染物，还能对重金属离子进行固定，减少其在土壤中的

的迁移性。同时，一些智能响应材料也开始应用于土壤修复。这些材料能够根据土壤环境的变化，如 pH 值、温度等，自动调整自身的修复功能，提高修复效率。

2.2 生物修复技术的深化与拓展

生物修复技术的深化与拓展是土壤修复技术创新的关键领域。在植物修复方面，通过基因工程技术培育新型的超富集植物是一个重要发展方向。这些超富集植物能够在更短的时间内吸收更多种类和更高浓度的污染物，从而提高植物修复的效率。例如，科学家正在尝试通过基因编辑技术增强植物对重金属的耐受性和富集能力。微生物修复技术也在不断拓展。一方面，对微生物群落结构和功能的深入研究有助于发现更多具有高效降解或转化污染物能力的微生物菌株。另一方面，构建复合微生物菌群可以发挥不同微生物之间的协同作用，更有效地处理复杂的土壤污染问题。例如，将能够降解有机污染物的细菌和能够固定重金属的真菌组合在一起，实现对土壤中有机物和重金属的同时修复。

2.3 联合修复技术的研发与应用

联合修复技术的研发与应用是提高土壤修复效果的有效途径。物理 - 化学联合修复技术可以充分发挥两者的优势。例如，先利用物理方法对污染土壤进行预处理，如通过筛分去除较大颗粒的污染物，然后再采用化学修复技术对剩余的污染物进行深度处理。这种联合方式可以减少化学药剂的使用量，降低修复成本。化学 - 生物联合修复技术 also 具有很大的潜力。化学药剂可以改变污染物的化学性质，使其更易于被生物降解。比如，对于一些难降解的有机污染物，先使用氧化剂进行氧化预处理，将其转化为相对容易被微生物降解的中间产物，然后再利用微生物进行生物降解。物理 - 生物联合修复同样有其优势，如在土壤气相抽提过程中，改善土壤的通气性有利于提高微生物的活性，从而促进生物修复的进行。

3 创新土壤修复技术实践要点

3.1 污染土壤的前期调查与评估

污染土壤的前期调查与评估是创新土壤修复技术实践的重要基础。首先，要全面了解土壤污染的类型、范围和程度。通过详细的土壤采样和分析，确定土壤中存在哪些污染物，是重金属污染、有机污染还是复合污染。例如，在一个工业污染场地，可能需要采集不同深度、不同位置的土壤样本，进行实验室分析，以准确判断污染状况。其次，要评估土壤的物理化学性质，如土壤质地、pH 值、有机质含量等。这些性质会影响修复技

术的选择和修复效果。例如，酸性土壤可能更有利于某些重金属的迁移，在选择修复技术时需要考虑到这一点。此外，还要调查土壤污染的来源，是工业废水排放、废渣堆放还是大气沉降等。只有准确掌握这些信息，才能为后续的修复技术选择提供依据。

3.2 修复技术的合理选择与优化

修复技术的合理选择与优化是土壤修复成功的关键。在选择修复技术时，要综合考虑多种因素。首先是污染类型和程度，对于轻度污染的土壤，可以优先考虑生物修复技术，因为其成本低且环境友好；而对于重度污染土壤，可能需要化学或物理 - 化学联合修复技术才能达到较好的修复效果。其次是土壤的性质，如前所述，土壤质地、pH 值等会影响修复技术的效果。例如，在碱性土壤中，某些基于酸性淋洗剂的化学修复技术可能就不适用。此外，还要考虑修复的时间要求、成本预算和周边环境的影响。在满足修复要求的前提下，尽量选择成本低、对周边环境影响小的修复技术。同时，对于选定的修复技术，还需要进行优化。例如，在生物修复中，可以通过调整微生物的生长条件，如温度、营养物质供应等，提高修复效率。

3.3 修复过程的监测与调控

修复过程的监测与调控对于确保土壤修复质量至关重要。在修复过程中，要对土壤中的污染物浓度进行实时监测。例如，对于采用化学修复技术的土壤，可以定期采集土壤样本，检测目标污染物的含量变化，以判断修复是否达到预期效果。同时，要监测土壤的物理化学性质的变化，如 pH 值、氧化还原电位等。这些性质的变化可能会影响修复进程，如在氧化还原修复过程中，氧化还原电位的变化反映了反应的进行程度。根据监测结果，及时对修复过程进行调控。如果发现污染物浓度下降缓慢，可以调整修复技术的参数，如增加化学药剂的用量或者延长微生物修复的时间。此外，还要监测修复过程对周边环境的影响，如是否会造成地下水污染或者空气污染，一旦发现问题，要立即采取措施加以解决。

4 土壤修复技术创新的影响因素

4.1 政策法规对技术创新的引导

政策法规对土壤修复技术创新起着重要的引导作用。政府通过制定相关的政策法规，为土壤修复技术创新提供了方向和框架。例如，严格的土壤污染防治法规促使企业和科研机构加大对土壤修复技术的研发力度，以满足日益严格的土壤环境质量要求。同时，政策法规中的环境标准也影响着技术创新的方向。如土壤中污染

物的排放标准和修复后土壤的质量标准,促使研发人员开发出更高效、更彻底的修复技术。此外,政府还可以通过税收优惠、财政补贴等政策鼓励企业采用新型的土壤修复技术,从而推动技术创新的产业化发展。

4.2 资金投入对技术研发的支持

资金投入是土壤修复技术研发的重要保障。土壤修复技术的创新需要大量的资金支持,包括实验室研究、设备购置、临床试验等方面的费用。一方面,政府的资金投入对土壤修复技术创新至关重要。政府可以通过设立科研项目、专项基金等方式,支持高校、科研机构和企业开展土壤修复技术的研究。例如,国家自然科学基金资助了许多与土壤修复相关的基础研究项目,为技术创新奠定了理论基础。另一方面,企业的资金投入也不可忽视。随着环保意识的提高和市场需求的增加,一些有远见的企业开始加大对土壤修复技术研发的投入,开发具有自主知识产权的修复技术,以提高企业的竞争力。

4.3 公众意识对技术实践的影响

公众意识对土壤修复技术的实践有着重要的影响。随着公众环保意识的提高,对土壤污染问题的关注度不断增加,这促使政府和企业更加重视土壤修复工作。公众对土壤修复技术的认可程度也影响着技术的推广和应用。例如,如果公众对某种新型的土壤修复技术存在疑虑,可能会阻碍该技术的大规模应用。此外,公众的监督作用也不可小觑。公众可以通过参与环境影响评价、监督修复项目的实施等方式,促使土壤修复工作更加规范、透明,推动修复技术不断改进,以满足公众对土壤环境质量的期望。

5 土壤修复技术的发展趋势

5.1 智能化与自动化发展趋势

土壤修复技术的智能化与自动化是未来的重要发展趋势。智能化的土壤修复系统能够实时监测土壤的污染状况、修复进程和环境影响等多方面的信息。例如,通过在修复现场安装传感器网络,可以随时获取土壤中污染物浓度、温度、湿度等数据,并将这些数据传输到中央控制系统。中央控制系统利用大数据分析和人工智能算法,对修复过程进行智能决策。例如,根据污染物浓度的变化自动调整修复设备的运行参数,如化学药剂的投放量或者微生物的培养条件等。自动化技术在土壤修复中的应用可以提高修复效率,减少人工操作带来的

误差。例如,自动化的土壤采样设备能够按照预定的时间和地点进行采样,确保采样的准确性和规范性。

5.2 绿色可持续发展方向

绿色可持续发展是土壤修复技术的必然发展方向。在修复过程中,要尽量减少对土壤本身以及周边环境的负面影响。例如,采用生物修复技术时,要选择本地的植物和微生物,这样可以更好地适应本地环境,减少外来物种入侵的风险。同时,要注重修复后土壤的肥力恢复和生态功能重建。例如,在修复重金属污染土壤后,可以通过添加有机肥料、种植绿肥植物等方式提高土壤肥力。此外,在土壤修复材料的选择上,也要遵循绿色原则,尽量选择可生物降解、无毒无害的材料,避免产生新的环境问题。

5.3 跨学科融合推动技术进步

跨学科融合将推动土壤修复技术不断进步。土壤修复涉及到多个学科领域,如环境科学、土壤学、化学、生物学、工程学等。跨学科的研究和合作能够整合不同学科的优势资源和知识体系。例如,环境科学提供土壤污染的整体认识和环境管理策略,土壤学深入研究土壤的性质和结构,化学为修复技术提供化学原理和药剂开发,生物学则关注生物修复的机制和生物资源利用,工程学负责设计和构建修复工程系统。通过跨学科融合,可以开发出更加科学、高效、创新的土壤修复技术,以应对复杂多变的土壤污染问题。

6 结束语

环境工程中土壤修复技术的创新与实践是解决土壤污染问题的关键。通过不断创新,可提高修复效果与效率。实践中需综合考虑多种因素,确保技术合理应用。未来,应持续关注技术发展趋势,加强研究与合作,推动土壤修复事业发展,守护生态环境。

参考文献

- [1] 李晓蕊,徐华清,赵伟强,等. 浅谈环境治理中的污染危害防治与土壤修复技术[J]. 清洗世界,2021,37(10):91-92.
- [2] 卢莎莎,王其. 贵州喀斯特环境土壤修复技术的现状以及发展[J]. 资源节约与环保,2021,(05):14-15.
- [3] 黄硕,任艳艳. 关于环境治理中的污染危害防治与土壤修复技术[J]. 区域治理,2021,(25):88-90.