

附件 1:

# 重庆市环境科学学会 团体标准制修订项目申报书

标准名称: 石油烃污染土壤淋洗联合生物堆修复技术规范

申报单位: 重庆昆顶环保科技有限公司

申报日期: 2024年11月29日

## 填写说明

1. 本申报书由主要起草单位填写，一式二份，标准主要起草单位、重庆市环境科学学会各留存一份。
2. 强制性地方标准项目应填写第四项。
3. 本表用 A4 纸填报，可按内容自行调整表格大小。如需另附材料的，可单附在申报书后。

一、项目基本情况			
1.标准名称	石油烃污染土壤淋洗联合生物堆修复技术规范		
2.制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订 标准号	
3.标准类别	<input type="checkbox"/> 环保产品类 <input type="checkbox"/> 工艺技术类 <input checked="" type="checkbox"/> 工程规范 <input type="checkbox"/> 环境管理类 <input type="checkbox"/> 监测与检测类 <input type="checkbox"/> 其他		
4.标准性质	<input type="checkbox"/> 强制性 <input checked="" type="checkbox"/> 推荐性		
5.拟采用的国际 标准或国外先进 标准编号及名称	采用何种标准	<input type="checkbox"/> ISO <input type="checkbox"/> IEC <input type="checkbox"/> ITU <input type="checkbox"/> 其他	
	采标程度	<input type="checkbox"/> 等同 <input type="checkbox"/> 修改	
	采用国际标准号		
	采用国际标准名称		
6.是否涉及专利	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	专利号及 名称	1、一种土壤筛碎洗一体修复装置(授权号： CN114210721B)； 2、一种污染土壤微生物修复装置(授权号： CN217121262U) 3、一种土壤污染处理的高效粉碎装置(公 开号：CN118454871A)； 4、一种油田土壤中重质原油降解的微生物 菌剂及其制备方法(公开号： CN118620790A)
7.是否有科研项 目支撑	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	科研项目 编号及名 称	与重庆大学合作的开放课题《污 染土壤淋洗剂开发及机理研究》

## 二、必要性、可行性分析

### 1.必要性

#### 1、立项背景

##### 1.1 土壤石油污染现状

石油烃污染土壤已经成为全球性亟待解决的问题。作为一种重要能源，全球石油消耗量逐年上升，由于其开采、储存、运输、加工以及事故性泄露等人为因素，已成为威胁土壤和地下水环境质量的重要污染物<sup>[1-2]</sup>。石油烃污染不仅会破坏土壤结构，影响植物生长，还会通过地下水迁移进入水体，对生态系统和人类健康造成严重威胁<sup>[3-4]</sup>。有数据显示，欧洲 45%的天然土壤受石油烃及其衍生物的污染<sup>[5]</sup>；美国、俄罗斯、芬兰等多个国家的土地每年也会因为石油泄露事件遭受了不同程度的污染<sup>[6-7]</sup>。中国是次于美国的世界第二大炼油国，各类石油炼化企业及油田众多，土壤石油污染问题十分突出。据统计，我国每年新增的石油污染土壤约 50 万吨，由此造成的环境损失及潜在经济代价高达千亿元以上<sup>[8-9]</sup>。约六分之一的油田周边土壤石油烃浓度超标，但修复率不足 20%，污染治理形势严峻<sup>[9-10]</sup>。随着土壤石油烃污染的生态风险和社会经济成本将持续攀升，治理难度与代价将进一步增大。

总体来看，石油烃污染土壤问题具有规模大、范围广、风险高的特点，且修复技术亟待突破。面对持续增加的环境压力与日益严格的国家生态环境政策要求，必须加快研发推广经济高效、绿色安全的修复技术与配套标准体系建设。

##### 1.2 石油污染土壤修复行业难点

目前，修复石油烃污染土壤的主流技术可分为物理法、化学法、生物法以及组合修复技术四大类（表 1.2-1）。（1）物理法以热脱附、原位阻隔等手段为主，具备快速、高效的优势，但存在能源消耗高、成本较大、土壤结构易遭破坏等问题<sup>[11-13]</sup>；（2）化学法依靠氧化还原、燃烧

等原理，修复速度较快，适合高浓度污染场地，但存在药剂成本高、二次污染风险突出等不足<sup>[14-15]</sup>；（3）生物法采用微生物降解原理，修复成本低、环境友好，但周期较长，受温度、养分和氧含量影响大，适用条件严格，难以快速处理高浓度污染<sup>[16-18]</sup>；（4）组合修复技术（如“淋洗-生物堆”等）综合了多种单一技术的优势，可快速削减污染负荷，降低修复周期及总成本，具有广泛适用性和环境安全性，正逐渐成为石油烃污染土壤修复的主流发展方向<sup>[6, 19-20]</sup>。

表 1.2-1 石油烃污染土壤修复技术对比表

技术类型	适用范围	优点	缺点
物理法	适用于中高浓度、挥发性石油烃污染土壤；对湿土处理效果差	工艺成熟、脱附效率高、处理时间短	能耗高、设备复杂、难以去除残留重烃组分、土壤结构易破坏
化学法	适用于中高浓度污染，特别是迁移性强或难降解组分	反应速度快、污染去除彻底、适用于深层土壤	成本高、易造成副产物、对周围环境有风险、土壤结构破坏
生物法	适用于低中浓度、好氧条件下可降解组分，如C <sub>10</sub> -C <sub>30</sub>	成本低、生态友好、土壤结构保留良好	周期长、受温度/湿度/养分限制大、易受环境干扰
组合修复	适用于异质性强、污染组分复杂、修复目标多样的综合场地	协同增效、适应性强、污染去除率高	工艺复杂、需多学科协同、技术集成要求高

从目前国内的实际情况来看，石油烃污染土壤治理仍存在诸多技术瓶颈和行业痛点，如单一技术适用范围有限、修复效率不足、治理成本高昂、二次污染问题突出；组合技术虽具有一定的优势，但亟需探索并推广技术耦合度高、经济适用性好、修复效率稳定的组合修复路径。同时，相应标准体系缺失，为污染土壤的规模化、标准化治理带来了巨大挑战。

### 1.3 淋洗-生物修复技术发展

随着政策对修复技术的绿色、低碳要求不断升级，基于生物修复的组合技术逐渐受到关注，各类组合修复技术被提出并逐步应用于工程实践（见表 1.2-2）。

表 1.2-2 石油烃污染土壤生物修复组合路径对比分析

技术类型	适用范围	优点	缺点	成本
淋洗+生物堆	中-高浓度污染, 需强化生物可及性	增强生物可及性, 修复成本低, 污染物去除率高	修复周期相对较短, 对环境温度、湿度敏感	中等
化学氧化+生物堆	中-高浓度污染, 需短期降解+长期稳定	兼具化学与生物协同作用, 提升修复效率和后期稳定性	操作流程复杂, 需连续监测, 技术集成要求高	较高
电动+生物修复	中低浓度污染场地, 粘土类土壤	可改善土壤理化性质, 提升污染物迁移与生物降解效率	电极布设复杂, 能耗高, 适用范围有限	中等偏高
阻隔+植物消减	低浓度污染、风险管控区域	原位风险管控能力强, 可维持场地长期稳定	对土壤结构有破坏, 不能彻底去除污染物	较低

在众多基于生物修复的组合技术中,“淋洗-生物堆”组合修复技术集成物理-化学洗脱与微生物降解两大机制,在修复效率提升、成本控制、生态风险防控等方面具有显著的优势,逐渐成为一种兼具效率与可持续性的主流技术路径。该技术的优势(表 1.2-2)具体体现在以下几个方面:

(1) 污染去除效率高,修复周期显著缩短。“淋洗-生物堆”组合技术通过前端高效环保洗脱剂,实现对土壤中高浓度石油烃的快速去除,降低后续生物修复污染负荷。后端生物堆阶段则通过投加功能微生物、碳源、营养剂以及强化通风等措施,有效促进残余污染物的持续降解。研究表明,该组合技术较单一生物修复技术具有更好的修复效果、更短的修复时间<sup>[21]</sup>。

(2) 技术适应性强,应用场景广泛。淋洗技术擅长处理中高浓度污染区域,而生物堆则适用于低浓度或难降解组分的后续稳定修复,二者协同可覆盖多类型场地污染情形,具有良好的产业适配性与推广潜力。

(3) 环境安全性高,过程更绿色低碳。“淋洗-生物堆”组合修复过程使用环保型淋洗药剂,大幅降低二次污染风险;同时,该技术通过循环用水与水处理设施的配套联用,显著降低修复过程中废水废物的排放量。此外,修复后的土壤物理-化学-生物性质良好,结构与生态功能得到

有效恢复，整体技术过程更加绿色环保。

(4) 经济效益良好，工艺优化空间大。组合修复技术通过系统优化各单元工艺参数，合理控制药剂投加量与能耗，显著降低了修复成本。根据实践经验，相较传统单一技术，组合修复工艺的综合成本可降低约40%。

综上，“淋洗-生物堆”组合修复技术不仅有效解决了现有修复技术的诸多痛点与瓶颈问题，其技术集成度高、经济、安全的多重优势，展现出较强的应用前景与市场竞争力，将成为未来石油烃污染土壤修复的重要发展方向。然而，“淋洗-生物堆”组合修复相关标准体系仍不健全，当前尚缺乏覆盖不同应用情境的系统性指导规范，尤其在适用范围界定、技术参数细化及分区分类应用指引等方面尚缺乏系统性规范。为支撑技术推广、规模化应用及行业标准化治理需求，亟需推动其工程化规范的构建，补齐标准短板，提升污染土壤有效治理和土壤修复整体技术水平的迫切需求。

## 2、推广应用案例与行业需求

### 2.1 行业快速发展对标准化的迫切需求

近年来，随着国家对土壤污染防治工作的高度重视以及“净土保卫战”行动的持续推进，我国土壤修复产业进入快速发展阶段，产业体系逐步完善，项目数量和修复体量显著提升。与此同时，行业对高效、稳定、低成本的修复技术需求日益迫切，尤其是具备工艺组合优势和工程适应性的修复技术正逐步成为主流应用方向。

然而，现阶段行业整体仍面临“发展快、规范慢”的困局。由于缺乏统一、系统的修复技术标准与操作规程，不同企业在技术路径、工艺参数选择、修复评估及验收判定等方面差异较大，导致修复效果参差不齐、项目风险和运维成本居高不下，严重制约了行业的高质量发展。部分项目因操作不规范出现修复周期延长、成本上升甚至二次污染等问题，充

分暴露出行业在技术标准建设方面的短板与亟需。

## 2.2 “淋洗-生物堆”组合技术的工程应用基础

作为高效低成本、绿色低碳土壤修复技术的典型代表，“淋洗-生物堆”组合技术融合了物理化学洗脱与微生物降解两种核心机制，具备污染物去除率高、工艺组合灵活、适用范围广、工程实施便捷等优势，已在国际与国内多个项目中得到成功应用，展现出良好的工程成熟度和推广前景<sup>[22-23]</sup>。

国际方面，如墨西哥某石化污染场地的修复过程中，针对含高比例细颗粒、TPH 初始浓度达 26000 mg/kg 的重污染土壤，采用非离子表面活性剂（Tween-80）进行洗脱处理，配合曝气式生物堆进行联合修复，PAH 污染物整体去除率可达 70%，中等分子石油烃（MFH）在 45 天内去除率亦达 66% 以上；意大利北部某项目采用全流程“淋洗-生物堆”工厂化修复路径，实现了总石油烃（TPH）81% 的去除率，其中曝气阶段微生物降解速率达 121 mg/(kg·d)，表现出良好的系统稳定性与污染控制能力，为复杂污染土壤的模块化修复提供了有力支撑，尤其在处理高含细颗粒、强吸附性污染物时具备显著优势<sup>[25]</sup>。

在国内，尽管该项技术尚处于起步推广阶段，但已有多个代表性案例积累了实践基础。中国石化集团在胜利油田 21 个退役井场应用“异位淋洗-生物修复”组合工艺，累计修复石油污染土壤 3.9 万吨，构建了以降蜡质烃为主的复合菌剂体系，结合表面活性剂洗脱，污染土壤含油率 85 天内降至 0.41%，该工艺较传统方法修复周期缩短 40%、成本降低 60%<sup>[26]</sup>；中国石油青海油田分公司则针对高盐采油污泥，构建“淋洗-氧化-生物降解”三位一体修复体系，并建成百吨级示范区，该体系可将土壤含油率稳定控制在 0.5% 以下，具备良好的工程适应性与修复稳定性<sup>[27]</sup>。

这些实际案例充分说明，“淋洗-生物堆”组合技术具备良好的污染削减能力、经济适应性与工程稳定性，已具备推广应用基础和标准提炼潜

力。制定统一、科学、可操作性强的团体标准，有助于系统总结工程经验，规范关键环节工艺流程，提升项目实施效果，降低整体修复成本，推动修复技术向系统化、规模化、产业化方向迈进。

### 2.3 标准制定对于引导行业健康发展的必要性

面对当前“技术发展快、标准体系滞后”的现实问题，推进“淋洗-生物堆”组合修复技术的标准制定，不仅是提升单项技术应用水平的现实需要，更是引导行业健康、有序、可持续发展的战略举措。一方面，标准可作为统一市场技术路径、明确质量评价指标的重要工具，为企业提供操作依据与监管参照；另一方面，标准有助于推动优质技术在更多场景中的落地推广，提升修复行业整体服务能力与品牌竞争力。

总而言之，结合国内外工程实践案例与行业发展趋势，制定“淋洗-生物堆”组合修复技术标准，既能为企业提供系统技术指导与质量保障，又可实现资源优化配置和修复效率提升，具有显著的工程价值、经济效益、生态环境效益与产业引导作用，是当前土壤修复领域亟需推进的重要标准建设任务。

## 3、国内相关标准研究与分析

### 3.1 政策导向

随着土壤污染问题的日益突出，世界各国纷纷制定相关政策与技术指南以规范污染识别、风险评估与修复路径，推动污染土壤治理的科学化与标准化发展。美国通过《综合环境应对、赔偿和责任法》（CERCLA，通称“超级基金法”）建立了覆盖土壤污染评估、修复及责任追溯的法律体系<sup>[28]</sup>；欧盟自1991年发布《地下水指令》以来，逐步构建了包括《土壤框架指令》《环境责任指令》等在内的土壤污染治理政策体系<sup>[29]</sup>；加拿大则通过《环境质量指导值（CCME）》等文件设定了各类污染物在不同土地利用情景下的修复限值，为污染土壤风险控制和技术路径选择提供依据<sup>[30-32]</sup>。

在我国，自 2016 年《土壤污染防治行动计划》出台后，污染土壤修复被正式列为国家环境治理重点方向之一。此后《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019 年施行）确立了“风险管控优先、分类治理、源头预防、公众参与”的基本原则；2020 年生态环境部发布的《污染土壤修复技术管理办法》进一步对修复活动提出全过程管理要求，涵盖修复单位资质、方案备案、工程施工及效果评估等环节，有效推动了污染土壤治理行业的规范发展。

特别是 2023 年 12 月，生态环境部发布《关于促进土壤污染风险管控和绿色低碳修复的指导意见》，首次将“绿色低碳”作为土壤修复的核心要求，强调推进以节能降碳、资源节约、环境友好为导向的修复模式，鼓励推广如“淋洗-生物堆”等具备原位协同、高效资源回收潜力的组合修复路径。该政策文件明确提出，要推动行业由“工程导向”向“风险导向+低碳导向”转变，构建技术先进、管理严格、过程闭环的污染土壤修复制度体系，提升我国污染场地修复的系统化、标准化和可持续化水平。

综合来看，国家层面逐步建立起较为完备的土壤污染防治法规体系，并持续推动绿色低碳修复理念的深化与实践，为本次团体标准的编制提供了坚实的政策基础与制度保障，有助于实现污染治理与生态保护的协同增效，推动土壤修复行业朝着高质量发展方向迈进。

### 3.2 现有标准体系缺失

尽管当前行业内已发布若干与污染土壤修复相关的国家标准、行业标准和团体标准（见表 1.3-1），但整体上以单一技术路径为导向，对于组合修复技术仍存在体系不完善等不足。例如，重点聚焦于如《污染土壤修复工程技术规范·生物堆》（HJ1283—2023）等生物修复类技术，或针对某些具体环节如淋洗设备模块的工艺规范（如《模块化撬装式装备土壤异位淋洗修复技术要求 第 1 部分：工艺及总成》T/CMES 07003—2022）进行规范化指导。上述标准在各自领域具备一定的适用价

值，但普遍存在针对性强、适用范围窄的问题，难以覆盖“淋洗-生物堆”等跨工艺组合修复路径所涉及的全过程需求。

目前相关标准的技术内容尚未与最新的国家环境政策要求完全匹配，在技术路线设计、运行管理及二次污染防控等方面缺乏明确且细致的规范，存在一定的交叉、重叠或矛盾情形，标准体系的滞后性已成为制约该类绿色修复技术推广应用的重要瓶颈。因此，亟需制定更加完善、适用范围更明确、符合当前环境保护政策导向的标准，推动土壤修复行业规范化发展。

表 1.3-1 石油烃污染土壤生物修复组合路径对比分析

标准号	标准名称	发布日期	标准侧重
HJ 1283—2023	污染土壤修复工程技术规范 生物堆	2023/2/1	生物
HG/T 20719-2021	微生物法修复化工污染土壤技术规范	2021/8/21	生物
T/CMES 07003—2022	模块化撬装式装备土壤异位淋洗修复技术要求 第1部分:工艺及总成	2022/8/5	装备 (淋洗)
T/ACEF 132-2024	多环芳烃污染土壤泥浆生物反应器智能装备集成技术指南	2024/3/25	装备
T/SDEPI 022-2021	石油污染土壤微生物修复技术规范	2021/10/15	生物
T/LYCY 2032-2022	植物-微生物互作土壤修复技术标准	2022/10/15	组合技术 (生物)
T/SEESA 017-2022	污染土壤原位电动-微生物协同修复工程技术规范	2022/11/18	组合技术
T/ACEF 133-2024	多环芳烃污染土壤异位强化生物修复技术指南	2024/3/25	组合技术 (生物)
T/CSES 154-2024	有机污染场地土壤生物修复技术规范 固定化微生物菌剂	2024/8/5	生物
T/CSES 152-2024	有机污染场地土壤生物修复技术规范 微生物菌剂使用	2024/8/5	生物

基于上述不足，《石油烃污染土壤淋洗联合生物堆修复技术规范》团体标准，将通过完善的研究基础和典型的应用案例进行制定，填补现行标准体系的技术空白，进一步明确标准适用土壤类型、污染浓度范围及环境条件，精准指导相关修复项目的设计、施工及运行管理，促进土

壤修复行业标准体系向更加科学、精准、规范的方向发展，满足我国土壤修复行业高质量发展的现实需求。

#### 4、立项目的

本次团体标准的制定，旨在规范淋洗-生物堆组合技术在石油烃污染土壤修复领域的应用，明确统一的技术要求和工艺规范，提升行业整体的技术标准化水平。通过制定该标准，将有效解决目前土壤修复市场中存在的技术应用混乱、操作规程不统一等问题，促进施工和管理的科学性和规范性。同时，标准制定后可引导土壤修复相关企业提高技术水平和服务质量，增强企业市场竞争力，推动土壤修复行业朝着规范化、专业化、健康持续的方向发展。

#### 5、立项意义

##### （一）填补标准空白

分析现行标准的不足之处，本标准聚焦淋洗与生物堆联合技术的工艺衔接和参数控制，精准界定适用土壤类型、污染程度及环境条件。通过制定全面系统的技术指标和管理要求，填补当前组合修复工艺标准体系的空白，为该技术在全国范围内的广泛推广提供充分的技术依据和实施保障，推动土壤修复行业更高质量发展。

##### （二）行业规范与秩序维护

该团体标准的实施将为行业提供明确的技术路线和操作规程，减少标准选择的不确定性，有利于土壤修复行业的技术标准化建设。标准的制定与实施，有助于促进修复工程项目设计、施工和运行管理的规范统一，提高整体技术与服务质量，增强行业内部的技术沟通与协调，有效促进市场公平竞争与良性发展。

##### （三）环境效益提升

团体标准的实施，有利于明确工程施工过程中二次污染防治的要求，切实提高土壤修复的环境效益。通过系统规定淋洗药剂选择、投加比例、

生物菌剂的使用及营养配比等关键环节，可显著降低修复过程中废水、废气和固体废弃物的产生与排放，保护生态环境安全，为实现土壤的长期安全利用提供保障。

#### (四) 社会效益增强

标准的制定与实施具有显著的社会效益。通过规范行业操作规程，提升土壤修复工程的整体质量，增强公众和社会各界对修复效果的信任度，促进社会各方积极参与环境保护工作。同时，该标准的实施将带动土壤修复行业及其相关产业的技术创新和产业链延伸，创造更多就业机会，带动相关产业协同发展，进一步提高公众对土壤修复工作的认知水平和参与意识，促进社会经济的协调健康发展。

综上所述，本团体标准的立项实施，不仅能够规范淋洗-生物堆组合修复技术的市场应用和行业管理，还将带来显著的环境、经济及社会效益，全面推动我国土壤污染防治事业的规范化、绿色化发展。

#### 参考文献

- [1] Simões A, Macêdo-Júnior R, Santos B, et al. Produced water: An overview of treatment technologies[J]. International Journal for Innovation Education and Research, 2020, 8(4): 207-224.
- [2] Zhao C, Dong Y, Feng Y, et al. Thermal desorption for remediation of contaminated soil: A review[J].Chemosphere, 2019, 221: 841-855.
- [3] Balba T. Bioremediation of oil-contaminated sites, case studies involving light and heavy petroleum hydrocarbons [J]. Remediation Technology Symposium. 2003.
- [4] 陈志莉,尹文琦,刘洪涛,等.可见-近红外光谱技术监测土壤石油烃污染研究进展[J].光谱学与光谱分析,2017,37(06):1723-1727.
- [5] Azevedo C R F. Failure analysis of a crude oil pipeline [J]. Engineering Failure Analysis, 2007,14(6): 978-994.
- [6] Kwon J-H, Ji M-K, Kumar R, et al. Recent advancement in enhanced soil flushing for remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil: A state-of-the-art review [J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2023, 22(3): 679-714.
- [7] Talvenmäki H, Lallukka N, Survo S, et al. Fenton's reaction-based chemical oxidation in suboptimal conditions can lead to mobilization of oil hydrocarbons but also contribute to the total removal of volatile compounds [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(33):34670-34684.

- [8] 刘五星, 骆永明, 滕应, 等. 我国部分油田土壤及油泥的石油污染初步研究[J]. 土壤, 2007, 39: 247-251
- [9] 姬大伟, 张生东, 张焯, 等. 石油烃污染土壤阴燃反应特性及修复效果研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(08): 1789-1797.
- [10] Gao S, Liang J, Teng T, et al. Petroleum contamination evaluation and bacterial community distribution in a historic oilfield located in loess plateau in china [J]. Applied Soil Ecology, 2019, 136: 30-42.
- [11] Borowik A, Wyszowska J. Remediation of soil contaminated with diesel oil[J]. Journal of Elementology, 2018, 23(2): 767-788.
- [12] Borowik A, Wyszowska J, Kucharski M, Kucharski J. Implications of soil pollution with diesel oil and BP petroleum with ACTIVE technology for soil health[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(14): 2474.
- [13] 崔朋, 刘骁勇, 刘敏, 等. 强化生物堆修复石油污染土壤的工程案例[J]. 山东化工, 2019, 48(04): 215-217.
- [14] Xu Y, Che T, Li Y, et al. Remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons by sulfate radical advanced oxidation: Evaluation of efficiency and ecological impact[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 223: 112594.
- [15] Kakosová E, Hrabák P, Černík M, et al. Effect of various chemical oxidation agents on soil microbial communities[J]. Chemical Engineering Journal, 2017, 314: 257-265.
- [16] Mekonnen B A, Aragaw T A, Genet M B. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements[J]. Frontiers in Environmental Science, 2024, 12: 1354422.
- [17] 杨博, 李娜娜, 陈景辉, 等. 微生物修复石油烃污染土壤研究进展[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2023, 38(01): 108-119.
- [18] Roslund M I, et al. Half-lives of PAHs and temporal microbiota changes in urban landscaping materials[J]. PeerJ, 2018, 6: e4508.
- [19] Li D, Zhao Y, Wang L, et al. Remediation of phenanthrene contaminated soil through persulfate oxidation coupled microbial fortification[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, 9(5): 106159.
- [20] 丁宁, 左世伟, 张瑞波, 等. 石油烃污染土壤生物修复的强化增溶剂研究[J]. 环境工程, 2024, 42(01): 177-183.
- [21] 周龙涛, 王群立, 贾悦, 等. 石油污染土壤微生物联合修复技术研究进展[J]. 油气田环境保护, 2019, 29(06): 5-10+64.
- [22] Iturbe R, Menéndez N, Johansen J D, et al. Remediation of contaminated soil using soil washing and biopile methodologies at a field level[J]. Remediation Journal, 2004, 14(2): 53-64.
- [23] Mazzoni D, Cecchi F, Rodriguez M J, et al. Material flow analysis and heavy hydrocarbon removal in a full-scale plant combining soil washing & biopile[J]. Waste and Resource Management, 2020, 173(2): 112-121
- [24] Rosario Iturbe Arguelles, Herrera D G, Castro R A, et al. Bioremediation

	<p>of contaminated soils with high concentrations of hydrocarbons (Diesel and PAH) using three biostimulants[J]. Archives of Chemistry and Chemical Engineering, 2019, 1(2): 1–8.</p> <p>[25] Mazzone D, Cecchi F, Rodriguez M J, et al. Material flow analysis and heavy hydrocarbon removal in a full scale plant combining soil washing &amp; biopile[J]. Waste and Resource Management, 2020, 173(2): 112–121.</p> <p>[26] 中石化石油化工科学研究院. 中科院石油石化场地管控与修复技术守护一方“水土” [EB/OL]. [2024-04-17].</p> <p>[27] 青海省科学技术厅. 青海省石油生态开发采技术研究取得新进展 [EB/OL]. (2025-01-21) [2025-06-19].</p> <p>[28] United States Environmental Protection Agency. Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies under CERCLA [S]. Washington, D.C.: U.S. EPA, 1993.</p> <p>[29] European Parliament. Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration [S]. Official Journal of the European Union, L372: 19–31, 2006.</p> <p>[30] Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons in Soil: User Guidance [S]. Winnipeg: CCME, 2008.</p> <p>[31] Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons in Soil: Scientific Rationale [S]. Winnipeg: CCME, 2001.</p> <p>[32] Environment and Climate Change Canada. Supplemental Guidance on Implementation of the Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons in Soil at Federal Contaminated Sites [R]. Ottawa: Government of Canada, 2022.</p>
--	---

## 2.可行性

### 1、标准定位

本标准定位为石油烃污染土壤淋洗联合生物堆组合修复技术的团体标准，属于技术指导类标准。本标准的制定立足于我国当前土壤污染防治的现实需求，参考国内外最新技术进展与工程实践成果，着重明确“淋洗-生物堆”组合技术的适用条件（土壤类型、污染浓度）、关键工艺环节、工艺衔接与工艺参数控制要求，规范修复技术的技术实施路径和运行管理，解决“淋洗-生物堆”组合修复技术标准体系缺失的问题。本标准定位于为行业提供统一的组合修复技术参考规范，推动行业技术水平的整体提升和工程实施的标准化进程。标准制定后将作为地方政府、环境主管部门、企业及第三方环境治理机构进行项目立项、实施与验收的重要技术依据，为技术推广提供有效保障与支撑。

具体而言，本标准明确适用于中高浓度（5000~50000 mg/kg）石油烃污染土壤，适用土壤类型为以砂土为主，兼顾部分适用于砂质壤土的情况，重点针对石油开采、炼化生产及运输等活动产生的石油污染土壤修复需求。本标准将综合考虑我国不同区域的气候条件、土壤特性和污染物赋存特征，明确该组合技术的适用温度范围（年均气温5°C~35°C）及适用区域条件，以确保技术的适应性与广泛推广价值。

在技术路线方面，本标准强调“淋洗-生物堆”组合修复技术的规范化与可操作性，建立系统全面的技术指标体系，涵盖污染土壤预处理、淋洗药剂选择与投加、生物堆营养剂配比、微生物菌剂应用、运行参数控制、修复效果评估及二次污染防控等关键环节，从而保障工程实施的稳定性和高效性。

综上，本标准定位清晰、技术指向明确、内容体系完善，符合我国当前土壤污染防治技术标准化建设的需要，能够切实提升行业技术规范水平，为推动石油烃污染土壤修复行业的技术进步提供有力保障。

## 2、编制原则

本标准的编制将严格遵循以下原则：

### (1) 科学性与先进性原则

标准的制定将充分吸纳国内外最新的理论研究与工程实践成果，基于淋洗与生物堆组合修复技术的工艺特点、参数选择及效果评估等方面的最新进展，确保标准的科学合理、内容先进适用。在标准制定过程中，综合考虑污染物特性、土壤理化性质、微生物活性、工艺参数优化以及碳排放控制等关键因素，以最新的科研成果作为标准技术指标和方法制定的基础，体现标准的前瞻性与引领性。

### (2) 规范性与协调性原则

在编制过程中，将充分参考现行的国家标准、行业标准及地方规范，与《污染土壤修复工程技术规范 生物堆》（HJ 1283—2023）、《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600—2018）等现有国家和行业标准保持衔接与协调，避免出现内容重叠或技术冲突的情况，确保标准的规范性和与现行标准的良好衔接，增强本标准实施的适用性和可操作性。

### (3) 系统性与可操作性原则

本标准制定将以明确的技术指标体系、科学的工艺流程和详细的参数控制为导向，注重解决当前工程实践中技术细节缺乏系统性和规范性的问题，围绕污染土壤前期预处理、淋洗过程参数控制、生物堆运行管理、污染物监测与评估、二次污染防治等方面，逐一建立清晰可控的实施规范。确保标准内容结构合理、层次清晰、表述明确，可有效指导工程实际操作。

### (4) 适用性与经济性原则

标准的编制将充分考虑实际应用过程中经济性和适用性，针对我国不同区域的石油烃污染类型和土壤特征，明确适宜采用淋洗-生物堆修复

技术的土壤类型、污染浓度范围、地理气候条件及实施环境等适用范围。在确保技术稳定性、可靠性和修复效率的同时，注重方案和措施的经济可行性，为企业和地方政府开展污染治理提供现实、经济、可推广的技术方案。

#### (5) 可持续性与环境友好原则

本标准将在制定中突出技术的环境友好性和可持续发展特性，关注修复过程中的碳排放与能耗控制，明确提出相关控制措施和技术指标，减少修复过程中资源与能源的浪费。强调全过程环境风险管理，确保技术实施过程中二次污染有效防控，最大限度地实现经济效益与生态环境保护效益的协调统一。

#### (6) 开放性与参与性原则

标准制定过程将广泛征求业内专家、学者、技术人员及相关企业的意见，通过研讨会、专家咨询会等形式，积极开展标准文本的反复论证与修订，确保标准的制定广泛吸纳社会和行业意见，增强标准的权威性、认可度和实施有效性，为本标准的后续推广应用奠定扎实的基础。

### 3、技术路线

为确保《石油烃污染土壤淋洗联合生物堆修复技术规范》这一团体标准科学合理、切实可行，项目组制定了清晰的技术路线：

#### (1) 前期准备与调研阶段

全面调研国内外石油烃污染土壤修复的最新研究成果和工程实践案例，系统梳理现有技术资料，深入分析现行标准中存在的技术空白与不足。以技术需求为导向，收集并整理有关土壤修复领域的政策法规、技术文献和工程案例资料，为标准制定提供扎实的理论与实践依据。

#### (2) 标准草案编制阶段

结合前期研究成果，制定标准草案。具体包括：

- 技术适用性分析：明确淋洗-生物堆修复技术的适用土壤类型、

污染程度及区域条件等，确保技术适用性与现实需求的精准衔接。

- 关键工艺参数设定：明确污染物负荷、淋洗药剂选择、生物菌剂选择、药剂用量、堆体建设参数、运行控制指标等关键工艺参数，确保技术指标的科学性、准确性和可操作性。

- 二次污染防治要求：制定明确的环境风险管控措施，包括淋洗废水处理、废气排放控制、固废处置等关键环节的要求。

- 环境监测与验收标准：明确污染物监测方法、监测频次与验收标准，确保修复效果达到预期目标，并防范二次污染。

### (3) 专家论证与文本修改阶段

标准草案制定完成后，组织由行业知名专家、学者及资深技术人员组成的专家咨询小组，对标准草案进行深入讨论与技术评审。充分吸纳专家意见，针对标准中技术路线、技术参数、环保措施、碳排放要求等内容进行逐条修改完善，确保标准的技术体系合理严谨，内容全面科学。

### (4) 工程应用与示范验证阶段

依托类似项目工程开展现场示范应用，系统验证标准技术参数和指标的工程适用性和经济性，针对工程实施过程中暴露出的技术问题和不足之处进行优化修订。通过实际工程的全面检验，进一步完善并优化标准的技术路线与内容细节，保障标准落地后的适用性、稳定性和可靠性。

### (5) 意见征求与完善发布阶段

在广泛征求行业意见的基础上，进一步吸收行业相关企业、科研机构、政府部门的反馈，反复优化标准草案内容。组织行业研讨与论证，确保标准充分体现行业共识，并满足实际需求。最终形成正式的标准文本，经主管部门审核批准后予以发布和推广。

通过上述技术路线，本标准将科学、系统地建立以“淋洗-生物堆”组合技术为核心的技术指标体系，为推动该类技术的规范化应用与产业推广提供全面而扎实的技术支撑，确保本标准具备较强的理论先进性、实际适用性和行业指导性。

#### 4、依托项目

重庆昆顶环保科技有限公司（以下简称昆顶环保），是国家级专精特新“小巨人”企业，也是西部地区首家同时拥有环保专业承包一级资质和环境工程（污染修复）专项设计甲级资质的环保企业。公司长期深耕于土壤污染治理领域，积累了丰富的工程实践经验和技术沉淀，已先后完成多个大型污染场地土壤修复项目，技术实力与项目管理能力均居于行业领先水平。

由昆顶环保于 2024 年承接的宁夏回族自治区第二助剂厂土壤修复项目（以下简称“宁夏项目”），是目前国内规模最大的石油烃污染土壤治理示范工程。该项目规划修复总土方量约 18 万 m<sup>3</sup>，其中石油烃污染土壤约占总量的 89%，场地污染类型复杂，污染程度较重，对修复技术提出了更高要求。因此，昆顶环保联合重庆大学、宁夏大学等多家科研机构，经过充分的前期调研与技术论证，最终确定采用“淋洗-生物堆”组合技术作为项目主体修复工艺路线。

宁夏项目实施过程中，通过优化淋洗药剂的选择与配比、强化生物菌剂的筛选与投加控制，构建起一套系统完整的技术实施体系；同时，项目现场还配置了智能化监测管理平台等数字化工具，对修复过程实现实时数据采集和全流程精细化管控，确保了项目施工的高效性、规范性与可控性。

作为本次团体标准编制的重要依托工程，宁夏项目具备良好的示范引领效应，为标准制定提供了实践数据支撑，为“淋洗-生物堆”组合修复技术的关键参数确定、工艺流程优化、二次污染防控、智能化环境监测体系建设以及工程适用性评价等方面提供详实的实践依据与验证。以宁夏项目的实践成果为基础进行标准编制，将有助于推动相关修复技术标准体系的完善与推广，进一步提升土壤修复行业的规范化和标准化水平，加快先进技术的工程转化与产业应用。

## 5、现有工作基础

### 5.1 技术储备与科研成果

针对典型石油烃污染土壤，在小试及中试阶段系统开展了组合修复路径的适应性研究与参数优化试验。实验室小试环节以不同粒径级配、污染程度和有机组分特征的土壤样本为基础，重点考察淋洗剂类型与浓度、生物菌剂种类与投加量、堆体含水率与曝气频率等关键参数对修复效率的影响规律。研究过程中，通过对比不同淋洗剂（包括传统表面活性剂、绿色环保型表面活性剂等）与生物菌剂组合方式，初步筛选出兼具脱附性能与生态安全性的最佳药剂体系。同时，通过单一工艺与“淋洗+生物堆”组合路径的对比试验发现，组合工艺在污染物初始削减与后续深度降解方面表现出明显协同增效优势，污染物总去除率提升 20%以上，且具备更优的稳定性与资源利用率。

中试环节则在模拟现场条件下进一步验证小试成果，构建了以“筛分-输送-洗脱-堆置曝气”为核心的工艺模块，运行过程中监测修复速率、微生物活性变化与污染物残留迁移行为，结果表明该技术路径具有良好的场地适应性与扩展潜力。上述研究为后续修复工艺的规范化、参数标准化及工程放大提供了关键理论依据与技术支持。

### 5.2 工程实践基础

在工程应用层面，“淋洗-生物堆”组合修复技术已在宁夏第二助剂厂石油烃污染土壤治理项目中正式投产，修复过程中展现出良好的适应性与推广潜力。该项目针对土壤中存在的高浓度石油类污染物，首次引入淋洗预处理工艺，通过物理-化学手段实现块体污染物的有效分离、土壤颗粒均质化及污染物初始负荷削减三重目标，为后续生物堆修复提供了稳定、高效的运行条件。

现有数据显示，相较传统生物堆修复路径，该组合工艺在污染物总去除率、修复速率与资源投入方面均表现出显著优势。经现场运行数据测算，在污染物浓度相近、修复深度一致的前提下，单位区域修复周期缩短约 30%，TPH 去除率提升约 40%，综合达标率更高，且修复过程波动性显著降低。同时，经人工、机械与能源投入成本核算，整体修复综合成本较传统路径降低约 40%，为大规模应用提供了经济可行性支撑。



图 5.2-1 淋洗作业区



图 5.2-2 生物堆作业区



图 5.2-3 修复效果

此外，该项目同步搭建了智能化管理系统，实现全过程可视化与精准控制。现场配置的智能化淋洗模块具备实时数据采集与远程联控功能，可对药剂投加量、流速、温控、压力等关键工艺参数进行实时监测与动态调节；生物堆区域则搭载了多参数环境传感器与无线传输装置，确保堆体温湿度、通风频率等指标稳定运行。结合无人机巡检系统，每日定点自动航拍并回传云端，形成污染场地数字化建模与全过程修复档案记录体系，为后续标准化、规模化复制提供了强有力的技术与数据支撑。

### 5.3 专业团队

本次团体标准由重庆昆顶环保科技有限公司牵头，联合重庆大学、宁夏大学、宁夏环境科学研究院、长庆油田采油三厂、德森环境等在土壤修复领域具有深厚理论基础与实践经验的科研与技术支撑单位共同编制。各单位长期从事相关工艺装备研发与标准体系建设，具备完善的科研平台与成熟的组织管理能力，为标准研制提供坚实保障。

在标准制定方面，编制团队具备丰富的实践经验，近年来主导或参与完成多项污染防治类团体标准，形成了成熟的技术框架搭建能力与文本编制能力。代表性成果包括：《铬污染土壤修复后安全利用技术导则》（T/CSER 001—2023），明确了修复后土壤的再利用安全判定技术路径；以及《土壤异位淋洗修复 模块化撬装式装备技术要求 第1部分：工艺及总成》，系统构建了淋洗修复装备模块化设计与功能参数标准。这些标准均已实现工程应用，获得良好反馈。

基于已有试点与中试研究基础，团队对“淋洗-生物堆”组合修复技术的适配路径与工艺参数体系掌握充分，具备将工程成果转化为标准体系的能力。本次标准编制将突出科学性、适用性与可操作性，助力该类修复工艺在全国范围内实现规范化推广。

## 6、后续工作重点

在现有小试、中试及初步工程应用的基础上，后续研究将围绕“淋洗—生物堆”组合修复技术的标准化、参数优化与区域适应性开展研究，解决关键技术指标不统一、药剂适配性差和区域推广难等问题，推动形成一套可复制、可推广、可评估的成套修复技术体系。

(1) 构建参数体系标准化模型。结合不同污染土壤类型（如高含油量、高盐碱性土壤）开展对比实验，系统研究污染物赋存形态、孔隙结构变化与修复动力学关系，明确影响修复效率的关键因子，进一步优化洗脱剂配比、生物堆体组构、通气湿控等参数，实现不同情境下的修复工艺标准化。

(2) 聚焦淋洗药剂性能筛选与适配机制构建。围绕不同类型石油烃污染土壤的典型理化特征，结合污染物的赋存形态与迁移特性，系统开展淋洗药剂的种类筛选、投加比例优化、反应条件控制及脱附残留评估等基础研究。重点探讨不同药剂在复杂土壤体系中的去污机制及其与后续生物修复的兼容性，构建药剂-污染物-土壤三者间的适配评价指标体系，并通过实证研究提出一套具有可操作性的药剂选择与应用参数建议。

(3) 开展区域适应性验证与模式推广路径研究。依托典型污染场地的实地工程验证，对不同气候带、土壤类型、污染负荷下的组合技术适应性与稳定性开展多点对比研究，形成适用于我国北方旱区及高寒冻融区的修复应用技术参数和标准化路径，支撑后续技术成套化与行业推广。

通过以上研究部署，将持续深化“淋洗—生物堆”工艺在实际修复工程中的适配能力和操作可控性，推动本标准由“经验总结型”向“数据驱动型”和“技术成熟型”转变，为构建我国石油烃污染土壤绿色高效修复的标准体系提供有力支撑。

### 三、指南的范围及主要技术内容

<p>1.适用范围</p>	<p>本标准将系统规定石油烃污染土壤“淋洗-生物堆”组合修复过程中，污染物类型与污染负荷、总体技术要求、工艺流程设计、主要设备与药剂配置、监测与过程控制、辅助工程配置、劳动安全与职业卫生保障、施工与调试要求以及运行维护管理等方面的技术规范。</p> <p>本标准适用于我国典型中高浓度石油烃污染土壤（TPH 浓度范围5000 - 50000 mg/kg），重点针对以砂土和壤土为主的松散结构地层，不适用于高粘性土壤和饱和黏土区域的修复应用。适用区域主要为地势开阔、温带半干旱至湿润气候条件下的石油污染场地，包括但不限于温度5°-35°范围内的典型修复场景。</p> <p>同时，标准将对淋洗剂与生物堆工艺参数的选择提出与土壤类型、污染负荷、气候条件（年均气温、冻融期）相适配的推荐值或可调范围，为不同区域、不同污染情境下的修复工程提供科学指导，具备较强的地域适应性和工程实用性。</p>
<p>2.主要技术内容</p>	<p><b>1. 适用范围</b></p> <p>本标准适用于典型中高浓度石油烃污染土壤（TPH 5000-50000 mg/kg）异位修复工程，重点面向以砂土、壤土为主的非饱和土壤类型，适用区域主要为地势开阔、温带半干旱至湿润气候条件下的石油污染场地，包括但不限于温度5°-35°范围内的典型修复场景。标准明确淋洗-生物堆联合工艺的适用前提条件，包括污染物类型、土壤理化性质、年均温度、场地水文特征及施工可达性等，为修复工艺路径选择提供定量指导依据。</p> <p><b>2. 专业术语</b></p> <p>统一标准所涉及核心术语与定义，包括但不限于“石油烃污染土壤”、“生物堆”、“淋洗药剂”、“营养液”、“含水量”等，确保条文理解一致、表达清晰。</p>

### 3. 技术路线与施工工艺流程

标准提出淋洗-生物堆组合修复的典型工艺路径，涵盖场地前期调查、污染物筛查、土壤预处理、淋洗脱附、生物堆修复及后处理环节，图文并茂展现各单元工艺逻辑及接口机制，便于工程单位据此编制实施方案。流程中包括污染土壤解决-筛分-均质化、药剂配比-喷淋-回收、堆体构筑-营养剂投加-温湿调控等关键节点。

### 4. 关键参数选择

参数确定方法：提供各核心工艺参数的计算、选型与推荐范围，包括但不限于：

- 淋洗药剂浓度推荐值与 pH 控制范围；
- 淋洗后进入生物堆前土壤含水量、渗透率/孔隙率等参数的要求
- 淋洗工艺所需水土比、处理循环次数；
- 生物堆体高度、堆体通风孔间距、C/N/P 营养比例；
- 温度保持与湿度调节方式。

参数优化路径：结合前期工程成果，提出多因素响应面分析、典型污染模型场景验证等优化技术路径，支撑参数调控的科学性与可复制性。

### 5. 修复过程中的污染控制与风险防控

二次污染防控技术措施：

- 针对淋洗废液、营养液等设立的处理回用模块；
- 对堆体废气采用的多级净化技术；
- 对筛下建渣、收集污泥实施封闭收集与资源化利用建议。

环境监测要求：设置关键指标（石油类、VOCs、COD、pH、氨氮等）监测频次及布点方案，要求施工期-运行期-验收期全过程监控，确保安全达标。

### 6. 全过程管理模式与智能控制机制

标准将建立覆盖“项目立项-技术设计-施工组织-过程调控-运行维

护-最终验收”的全过程管理框架。明确项目各阶段责任主体、任务分工与交付内容，结合智能控制平台接入要求，推进现场工况实时采集、预警及远程调控，强化施工过程精度与安全管控能力。

### 7. 标准协调性与技术继承性建设

现行标准对标：全面对接《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5-2018）等国家与行业规范，确保上下位标准衔接；

国内外经验借鉴：收集国内外典型案例，提炼经验教训作为标准制定的实证基础。

四、强制性标准涉及内容	
1.主要强制的内容	/
2.制定强制性标准的依据	/
3.标准所涉及的行业、领域及产品清单	/
4.强制性标准实施风险评估	/

五、法律法规及标准有关情况	
<p>1.直接依据的 强制性标准及 涉及的强制性 标准情况</p>	<p>1. 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）；</p> <p>2. 《建设用地土壤污染状况调查 技术导则》（HJ 25.1-2019）；</p> <p>3. 《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2019）；</p> <p>4. 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5-2018）；</p> <p>5. 《污染土壤修复工程技术规范 生物堆》（HJ 1283—2023）。</p>
<p>2.相关标准的 查询情况</p>	<p><input type="checkbox"/>无有关国际标准</p> <p><input type="checkbox"/>有有关国际标准（勾选此项需要详细说明与有关标准的异同）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>无有关国内标准（含国家标准、行业标准、地方标准、团体标准、企业标准）</p> <p><input type="checkbox"/>有有关国内标准（勾选此项需要详细说明与有关标准的异同）</p>

## 六、基本思路、计划和保障措施

1.基本思路	<p>本标准旨在系统规范“淋洗-生物堆”组合修复技术在石油烃污染土壤治理中的应用，聚焦关键工艺流程、参数控制、适用条件与运行管理要求，构建覆盖设计、施工、运行、验收的完整技术体系。标准将结合国内外研究成果与典型工程实践，明确设备配置建议与参数推荐范围，提升技术可操作性与标准化水平。同步融入二次污染防控、碳排放核算及智能化监管等前沿内容，引导修复工程向绿色低碳和智慧运维方向发展。通过标准的制定与推广，预期可降低技术实施不确定性，提升修复工程质量，为石油烃污染土壤治理提供统一、科学、可持续的技术依据。</p>
2.计划及起止时间	<p>2025年7月—2026年7月</p> <p>第一阶段（1-3个月）：调研与资料收集，初步确定标准框架。</p> <p>第二阶段（4-6个月）：专家咨询与讨论，编写标准草案。</p> <p>第三阶段（7-9个月）：意见征求与修改完善，提交标准草案进行审查。</p> <p>第四阶段（10-12个月）：根据审查意见进行最终修改，正式发布并实施标准。</p>
3.保障措施	<p><b>一、政策保障</b></p> <p>本项目紧密对接《中华人民共和国土壤污染防治法》《“十四五”土壤污染防治规划》等国家战略部署，响应推动土壤修复技术体系化、标准化、可操作化的政策导向，聚焦石油烃类污染土壤“淋洗-生物堆”组合修复关键环节，通过标准建设提升污染防治工程的科学性与规范性。</p> <p>在政策落实层面，项目团队将持续关注各级生态环境主管部门关于污染场地修复、土壤治理项目技术要求、工程监管等政策动态，确保标准内容与国家及地方治理需求相协调。同时，通过标准的发布与推广，助力形成“有规可依、有据可查”的行业技术管理框架，推动技术成果落地转化，促进修复产业健康有序发展。</p>

	<p><b>二、团队人员保障</b></p> <p><b>高校合作：</b>项目将与重庆大学、宁夏大学建立紧密合作关系，依托其在微生物修复技术领域的研究优势，提供理论支持和技术指导。双方将共同开展技术研究和实验验证，确保标准的科学性和先进性。</p> <p><b>科研院所：</b>与宁夏省环境科学研究院合作，利用其在土壤修复领域的丰富经验和先进技术，为标准编制提供技术支持。双方将定期召开技术研讨会，共同解决标准编制过程中的技术难题。</p> <p><b>专家团队：</b>将聘请中国石油天然气集团下属长庆油田公司第三采油厂等相关企业在行业深耕多年的技术专家作为顾问，组建由环境科学、微生物学、土壤学等领域专家学者组成的顾问团队，定期进行技术咨询和评审，确保标准的技术含量和实际应用价值。</p> <p><b>三、工程实践支持</b></p> <p><b>示范工程：</b>选择宁夏第二助剂厂土壤修复项目作为示范工程，实地应用淋洗-生物堆组合修复技术，收集实际数据和经验，为标准编制提供实践依据。示范工程将涵盖不同类型和程度的污染土壤，确保标准的普适性和有效性。</p> <p><b>企业实践：</b>昆顶环保科技有限公司将在自身承担的土壤修复项目中推广应用淋洗-生物组合修复技术，积累实际操作经验，及时反馈标准编制中的问题和建议，不断优化标准内容。</p> <p><b>行业交流：</b>积极参与国内外土壤修复技术交流活动，与行业内其他企业和科研机构分享实践经验，借鉴成功案例，提升标准的实用性和可操作性。</p>
<p><b>4.经费预算及落实情况</b></p>	<p>编制《石油烃污染土壤淋洗联合生物堆修复技术规范》计划投入自有资金<b>40</b>万元，主要用于标准编制的调研、专家咨询、草案编写、意见征求、标准审查等各个环节，目前该笔费用已落实到位。</p>

## 七、起草单位及起草人员

参与起草单位：

姓名	专业	职称	工作单位	项目分工	标准化工作经历
熊俊乐	材料科学与工程	副高	重庆昆顶环保科技有限公司	项目负责人	参与《铬污染土壤修复后安全利用技术导则》(T/CSER 001-2023)的编制
赵聪霄	土木工程	副高	重庆昆顶环保科技有限公司	参与标准起草	参与《山地城市道路交通规划与路线设计标准》(T/CECA 20053-2024)、《山地城市道路立体交叉设计标准》(DBJ50T-473-2024)的编制
寇双伍	环境科学与工程	/	重庆昆顶环保科技有限公司	参与标准起草	暂无标准化工作经历
张哲	环境科学与工程	工程师	重庆昆顶环保科技有限公司	参与标准起草	暂无标准化工作经历
牟辉	环境工程	副高	重庆昆顶环保科技有限公司	参与标准起草	暂无标准化工作经历
徐梅	安全环保	安全环保工程师	长庆油田公司第三采油厂	参与标准起草	暂无标准化工作经历
冯弋秦	安全环保	油气开发工程师	长庆油田公司第三采油厂	参与标准起草	暂无标准化工作经历
向斌	应用化学	教授	重庆大学	参与标准起草	暂无标准化工作经历

周洋	化学工程与技术	工程师	重庆大学	参与标准起草	暂无标准化工作经历
朱爽爽	化学工程与技术	工程师	重庆大学	参与标准起草	暂无标准化工作经历
高晓波	环境工程	副高	宁夏环境科学研究院	参与标准起草	参与《淀粉工业水污染物排放标准》(GB25461)修订,主持《宁夏恶臭污染物排放标准》制定等
宁秀美	环境工程	正高	宁夏环境科学研究院	参与标准起草	暂无标准化工作经历
王珍	环境科学与工程	副高	宁夏大学	参与标准起草	暂无标准化工作经历
李铁强	机械设计	工程师	郑州德森环境科技有限公司	参与标准起草	《齿条精度》(GB/Z 10096-2022); 《土壤异位淋洗修复模块化撬装式装备技术要求 第1部分 工艺及总成》(T/CMES07003-2022)。
魏井龙	油机设备及自动化专业	工程师	四川一兵环保工程有限公司	参与标准起草	暂无标准化工作经历

注：“标准化工作经历”应填写其在专业标准化技术委员会任职情况，参与国际标准、国家标准、行业标准、地方标准制修订及审查工作的主要情况。

## 八、主要起草单位意见

单位名称	重庆昆顶环保科技有限公司		
地 址	重庆市渝北区金渝大道 89 号线外城市花园 8 幢 14 楼		
项目负责人	熊俊乐	电 话	18183033193
项目联系人	张哲	电 话	18634992149
E-mail	1824977632@qq.com		
单位意见	<p>经过深入研究与充分讨论，我认为《石油烃污染土壤修复淋洗联合生物堆修复技术规范》的制定具有重要的现实意义和迫切的必要性。随着国家对土壤污染防治工作的持续推进，行业对高效、绿色、经济的修复技术提出了更高要求。淋洗-生物堆组合技术凭借污染削减与生物稳定协同效应，在多地实际应用中展现出良好的工程适应性与治理效果。但当前该类技术尚缺乏统一的标准规范，尤其在适用范围界定、参数细化、区域分类应用等方面仍存在空白，标准体系建设亟待完善。</p> <p>我单位长期专注于石油烃污染土壤修复领域，围绕该组合工艺持续开展研发和工程探索，先后完成多个小试、中试与大型工程项目，逐步建立起一套成熟可行的技术体系，具备良好的示范性与推广价值，为标准编制提供了坚实的实践支撑。在标准制定方面，我单位拥有经验丰富的专业团队，曾参与多项国家、行业标准及团体标准的起草工作，熟悉标准体系框架与制订流程，具备突出的技术整合与规范化能力。</p> <p>同时，我单位在人员配置、资金保障、技术储备等方面已做好充分准备，将为本标准的立项与实施提供全方位支持，确保标准编制过程高效推进、成果科学可行。</p> <p>综上，我单位将全力支持并积极参与本标准的立项与制定工作，有能力、有经验、有基础高质量完成标准编制任务，推动“淋洗+生物堆”修复技术规范、标准化发展，为提升我国土壤污染治理水平和生态环境保护能力贡献力量。</p> <p>特此声明。</p> <p style="text-align: right;">2025年7月4日</p>		