

ICS 13.080
CCS B 11

T/ACCEM
团 体 标 准

T/ACCEM XXXX—2025

立土土壤修复技术规程

Technical Regulations for Soil Remediation with upright soil

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国商业企业管理协会

发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
5 修复前调查与评估	2
6 修复技术选择与实施	4
7 修复后监测与验收	6
8 档案管理	8

前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中奥生态环境股份有限公司提出。

本文件由中国商业企业管理协会归口。

本文件起草单位：中奥生态环境股份有限公司。

本文件主要起草人：×××

立土土壤修复技术规程

1 范围

本文件描述了立土土壤（生物基纤维土）修复的修复原则、修复前调查与评估、修复技术选择与实施、修复后监测与验收等内容。

本文件适用于因各种原因导致土壤质量下降，需要进行修复以恢复其生态功能和提高土壤肥力的生物基纤维土区域。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 8978—1996 污水综合排放标准

GB 15618—2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)

NY/T 1121（系列） 土壤检测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 土壤修复 Soil remediation

采取物理、化学、生物等技术手段，对污染或退化的土壤进行处理，使其环境质量符合相应规范，生态功能得到恢复的过程。

3.2 修复目标值 Fix the target value

根据土壤的使用功能和相关规范明确的土壤修复后应达到的污染物含量、土壤理化性质等指标的数值。

3.3 生物基纤维土 Bio-based fibrous soil

以天然生物质纤维（如秸秆、木屑等）为主要原料，经过加工处理后形成的具有一定结构和性能的土壤改良材料，可用于土壤修复和生态重建。

4 基本规定

4.1 修复原则

4.1.1 因地制宜原则

应依据土壤污染或退化的类型、程度，结合项目所在区域的地理位置、气候条件、地形地貌以及周边环境等因素，制定个性化土壤修复方案。

4.1.2 安全性原则

4.1.2.1 修复全程需将人员安全置于首位，为现场作业人员配备完善的防护装备并定期进行安全培训与应急演练。

4.1.2.2 在修复过程中，通过实时监测、设置隔离带等措施，避免对周边空气、水体、土壤等环境造成二次污染。

4.1.2.3 修复完成后，土壤需满足相关安全规范，明确后续使用不会对人体健康和生态环境产生危害。

4.1.3 生态友好原则

4.1.3.1 应优先选用生态影响小、可持续性强的修复技术，注重保护土壤生态系统的原有结构和功能。

4.1.3.2 在修复过程中，应尽量减少对土壤生物群落的破坏，采用生物修复技术时，宜选择本土微生物和植物，避免引入外来物种对当地生态平衡造成威胁，促进土壤生态的自然恢复与良性循环。

4.1.4 经济合理原则

4.1.4.1 在制定修复方案时，应综合考量修复成本与预期效益，进行全面的成本效益分析。

4.1.4.2 应通过优化修复工艺、合理选择修复材料和设备等方式，在保证修复效果的前提下，降低修复成本，提高资源利用效率，明确修复项目具有良好的经济性和可行性。

4.2 注意事项

4.2.1 人员安全与培训

4.2.1.1 参与修复作业的人员须经过专业培训，熟悉修复技术流程、设备操作方法以及安全防护知识。

4.2.1.2 进入修复现场前，需检查个人防护装备是否完好，严格遵守现场安全操作规程。

4.2.2 环境影响防控

修复过程中产生的废气、废水、废渣等污染物，需按照相关环保规范进行妥善处理。

4.2.3 设备与材料管理

4.2.3.1 对修复过程中使用的设备，应定期进行维护保养，明确设备性能稳定、运行安全。

4.2.3.2 修复材料需严格按相关规范和要求进行采购、储存和使用，避免材料受潮、变质影响修复效果。

4.2.3.3 对于化学药剂等危险材料，需建立专门的储存仓库，实行双人双锁管理并做好出入库登记记录。

4.2.4 应急管理

应制定完善的应急预案，明确在发生突发环境事件、安全事故等紧急情况时的应急处置流程和责任分工。

5 修复前调查与评估

5.1 土壤采样与分析

5.1.1 采样点布设

5.1.1.1 应根据土壤污染或退化区域的面积、地形地貌、污染分布特征等，采用包括但不限于下列各项方法明确采样点位置：

- a) 网格布点法；
- b) 随机布点法；
- c) 系统布点法。

5.1.1.2 采样点数量应满足统计学要求，每 $100\text{ m}^2 \sim 500\text{ m}^2$ 应至少设置 1 个采样点，对于污染严重或变化较大区域，应适当增加采样点密度。

5.1.2 采样深度

5.1.2.1 应根据土壤污染或退化的深度范围明确采样深度。

5.1.2.2 一般情况下，表层土壤采样深度应为 $0\text{ cm} \sim 20\text{ cm}$ 。

5.1.2.3 对于深层土壤污染或需要了解土壤垂直污染分布情况时，应进行分层采样，每层厚度不宜超过 20 cm ，采样深度可至 1 m 或更深。

5.1.3 样品分析

5.1.3.1 常规分析项目应包括但不限于下列各项：

- a) 土壤 pH 值；
- b) 有机质含量；
- c) 全氮；
- d) 全磷；
- e) 全钾；
- f) 重金属(镉、汞、铅、铬、砷等)；
- g) 农药残留。

5.1.3.2 根据土壤污染或退化的具体情况，可增加其他特征污染物或土壤理化性质指标的分析。

5.1.3.3 分析方法应遵循 GB 15618—2018 和 NY/T 1121（系列）中的规定。

5.2 土壤污染或退化评估

5.2.1 污染程度评估

5.2.1.1 土壤样品分析结果应符合 GB 15618—2018 中对于土壤中污染物的超标倍数和污染等级的规定。

5.2.1.2 对于未列入标准的污染物，宜参考相关研究资料或风险评估模型进行评估。

5.2.2 退化程度评估

5.2.2.1 应通过分析包括但不限于土壤理化性质、土壤生物活性(如土壤微生物量、酶活性等)指标，评估土壤的退化程度。

5.2.2.2 宜采用土壤质量综合指数法等方法进行量化评估。

5.3 修复目标值确定

5.3.1 应根据土壤的现状评估结果、土地利用规划以及相关规范要求，明确合理的修复目标值。

5.3.2 修复目标值应明确规定包括但不限于土壤中污染物的允许含量、土壤理化性质指标(如 pH 值、有机质含量等)的目标范围。

示例：对于农用地土壤，重金属镉的修复目标值一般应低于 GB 15618—2018 中规定的风险筛选值；对于土壤 pH 值，应根据土壤类型和作物适宜生长范围确定目标值，一般酸性土壤修复后 pH 值可提高至 6.0 ~ 7.0，碱性土壤可适当降低。

6 修复技术选择与实施

6.1 物理修复技术

6.1.1 客土法

- 6.1.1.1 当立土土壤污染或退化程度严重，其他修复技术难以满足要求时，应采用客土法。
- 6.1.1.2 客土应优先选取周边无污染、且与原土壤质地相近的土壤，其 pH 值、有机质含量等理化性质差异不宜超过原土壤指标的 20%。
- 6.1.1.3 客土厚度应依据污染深度进行明确，应按下列各项进行分类：
 - a) 轻度污染(污染深度 $\leq 20 \text{ cm}$)，客土厚度为 $20 \text{ cm} \sim 30 \text{ cm}$ ；
 - b) 中度污染($20 \text{ cm} < \text{污染深度} \leq 40 \text{ cm}$)，客土厚度 $30 \text{ cm} \sim 40 \text{ cm}$ ；
 - c) 重度污染(污染深度 $> 40 \text{ cm}$)，客土厚度 $40 \text{ cm} \sim 50 \text{ cm}$ ；
- 6.1.1.4 客土与原土混合应采用机械翻耕方式，翻耕深度需达到客土与原土总厚度的 90%以上，混合均匀度应不低于 85%。
- 6.1.1.5 翻耕作业宜分两次进行，第一次翻耕后间隔 $3 \text{ d} \sim 5 \text{ d}$ ，待土壤自然沉降后进行第二次翻耕，进一步提升混合效果。

6.1.2 深耕翻土法

- 6.1.2.1 适用于表层($0 \text{ cm} \sim 30 \text{ cm}$)土壤污染或退化较轻的区域。
- 6.1.2.2 应采用悬挂式深耕机作业，深耕深度应控制在 $30 \text{ cm} \sim 50 \text{ cm}$ ，作业速度保持在每小时 3 亩 \sim 5 亩，避免因速度过快影响翻耕质量。
- 6.1.2.3 对于质地较硬的土壤，可提前进行灌溉，当土壤含水量达到田间持水量的 60% \sim 70%后再进行深耕。
- 6.1.2.4 深耕作业后，应结合施肥进行表层耙地，耙地深度 $10 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$ ，应选用圆盘耙或钉齿耙，耙地速度每小时 5 亩 \sim 8 亩，应将翻耕后的土壤耙碎、耙平，促进土壤与肥料充分混合。
- 6.1.2.5 宜根据土壤退化情况添加适量的土壤调理剂，如针对板结土壤添加石膏，施用量为 50 kg/亩 \sim 100 kg/亩。

6.2 化学修复技术

6.2.1 土壤改良剂添加法

6.2.1.1 酸性土壤改良

- 6.2.1.1.1 当土壤 pH 值低于 5.5 时，应施用石灰、白云石粉等碱性改良剂。
- 6.2.1.1.2 石灰施用量应根据土壤 pH 值和阳离子交换量(CEC)进行明确。
- 6.2.1.1.3 施用时应将改良剂均匀撒施于土壤表面，随后立即进行翻耕，翻耕深度 $20 \text{ cm} \sim 25 \text{ cm}$ ，应明确改良剂与土壤充分接触。

6.2.1.2 重金属污染修复

- 6.2.1.2.1 针对镉、铅等重金属污染，应采用生物炭、腐殖酸作为钝化剂。

6.2.1.2.2 生物炭施用量为 200 kg/亩 ~ 500 kg/亩，腐殖酸施用量为 100 kg/亩 ~ 300 kg/亩。

6.2.1.2.3 应将钝化剂与适量的水混合制成糊状，通过撒肥机均匀施撒在土壤表面，再进行旋耕，旋耕深度应为 15 cm ~ 20 cm，使钝化剂与 0 cm ~ 20 cm 土层土壤充分混合，混合均匀度应不低于 75%。

6.2.2 淋洗法

6.2.2.1 适用于重金属或有机污染物含量较高的立土土壤。

6.2.2.2 宜选用柠檬酸、草酸等有机酸作为淋洗剂，淋洗剂浓度应控制在 0.1 mol/L ~ 0.3 mol/L。

6.2.2.3 应采用喷灌设备将淋洗剂均匀喷洒在土壤表面，喷洒量为土壤饱和持水量的 1.2 倍 ~ 1.5 倍，应明确淋洗剂充分渗透至污染土层。

6.2.2.4 淋洗过程中，应实时监测淋出液的 pH 值、电导率和污染物浓度，当连续 3 次监测淋出液中污染物浓度不再显著降低时，停止淋洗。

6.2.2.5 淋洗结束后，应采用石灰或碳酸钙对土壤进行中和，将土壤 pH 值调节至 6.5 ~ 7.5，中和剂施用量应为淋洗剂用量的 5% ~ 10%。

6.2.2.6 应对淋出液进行收集，通过化学沉淀、吸附等工艺处理，且应达到 GB 8978—1996 中的一级排放标准。

6.3 生物修复技术

6.3.1 植物修复法

6.3.1.1 应根据土壤污染物类型和立土特性选择修复植物。

6.3.1.2 重金属污染宜种植蜈蚣草(砷)、印度芥菜(镉、铅)、东南景天(锌、镉)等超富集植物，种植密度为蜈蚣草每平方米 8 株 ~ 10 株，印度芥菜每平方米 12 株 ~ 15 株，东南景天每平方米 10 株 ~ 12 株。

6.3.1.3 有机污染物污染宜选用黑麦草、紫花苜蓿等植物，种植密度黑麦草每平方米 15 株 ~ 20 株，紫花苜蓿每平方米 10 株 ~ 12 株。

6.3.1.4 种植前应对土壤进行翻耕松土，深度 20 cm ~ 25 cm，并施入腐熟有机肥 200 kg/亩 ~ 300 kg/亩。

6.3.1.5 生长期，应定期施肥浇水，每月施氮肥 5 kg/亩 ~ 10 kg/亩，保持土壤含水量在田间持水量的 60% ~ 70%。

6.3.1.6 植物生长成熟后应及时收割，收割的植物需进行无害化处理，如重金属污染植物宜采用焚烧后灰渣固化填埋。

6.3.2 微生物修复法

6.3.2.1 针对石油烃、农药残留等有机污染物，宜选择芽孢杆菌、假单胞菌等降解菌剂。

6.3.2.2 对于重金属污染，宜选用具有吸附、转化作用的耐重金属微生物。

6.3.2.3 微生物菌剂添加量应为 10 kg/亩 ~ 30 kg/亩，应将菌剂与适量的麦麸、木屑等载体混合均匀后，通过撒肥机施入土壤，随后进行浅耕，耕深 10 cm ~ 15 cm。

6.3.2.4 添加微生物菌剂后，应调节土壤含水量至田间持水量的 50% ~ 60%，土壤 pH 值应维持在 6.0 ~ 7.5，应每隔 7 d ~ 10 d 进行一次翻耕，改善土壤通气性。

6.3.2.5 应定期检测土壤微生物数量和污染物含量，当微生物数量达到 10^8 CFU/g ~ 10^9 CFU/g 干土，且污染物去除率连续 3 次监测稳定在 80% 以上时，可停止修复。

6.4 联合修复技术

6.4.1 根据立土土壤污染或退化的复杂情况，可将多种修复技术联合使用。

示例：对于重金属和有机复合污染土壤，先采用淋洗法降低污染物浓度，淋洗后施用生物炭进行钝化，同时种植超富集植物和降解有机污染物的植物，形成“淋洗-化学钝化-植物修复”联合修复模式。

6.4.2 联合修复技术实施时，需明确各技术的先后顺序和时间间隔。

6.4.3 化学修复后需间隔 15 d ~ 20 d，待土壤化学性质稳定后再进行生物修复。

6.4.4 物理修复与化学修复联合时，物理翻耕作业后立即进行化学药剂施用，明确药剂与土壤充分接触。

6.4.5 宜建立联合修复效果实时监测机制，每周对土壤污染物含量、理化性质等指标进行检测，根据监测结果及时调整修复技术参数和实施进度。

7 修复后监测与验收

7.1 修复后监测

7.1.1 监测点位设置

7.1.1.1 监测点位应遵循代表性、均匀性和重点突出原则进行布设。

7.1.1.2 应在原污染或退化严重区域、修复技术实施差异区域、敏感目标周边(如饮用水源地、农田保护区)加密设置监测点，应明确覆盖所有关键区域。

7.1.1.3 宜采用网格法与专业判断法相结合，将修复区域划分成 50 m × 50 m 的网格，每个网格中心设 1 个基础监测点；对于存在污染扩散风险的区域，应沿潜在扩散路径每隔 20 m 增设 1 个监测点，且监测点位总数应不少于修复前采样点数量的 30%。

7.1.1.4 应准确记录每个监测点坐标位置，并绘制详细的点位分布图，便于长期监测管理。

7.1.2 监测项目与频次

7.1.2.1 监测项目应全面覆盖修复目标指标，应包括下列各项：

- a) 土壤污染物含量(重金属、农药残留、有机污染物等)；
- b) 土壤理化性质(pH 值、有机质含量、阳离子交换量、土壤容重等)；
- c) 生物基纤维特性指标(纤维残留率、降解速率等)；
- d) 土壤生物指标(微生物量碳、脲酶活性等)。

7.1.2.2 在修复完成后的第 1 年，应每季度开展 1 次全面监测；第 2 年和第 3 年，每半年监测 1 次。

7.1.2.3 若监测过程中发现某项指标接近或超出修复目标值，应立即启动加密监测，将监测频次提高至每月 1 次，直至指标稳定。

7.1.2.4 对于生物基纤维土中纤维降解相关指标，应每季度增加 1 次快速检测，及时掌握纤维在土壤中的动态变化。

7.1.3 监测数据分析

7.1.3.1 应建立专门的监测数据库，运用 Excel 等数据分析软件对监测数据进行处理并对比修复目标值。

7.1.3.2 若监测数据出现异常波动，需从采样误差、检测方法、环境变化等方面进行溯源分析，形成详细的数据分析报告，为后续决策提供依据。

7.1.3.3 宜定期将监测数据与周边未修复区域土壤数据进行对比，评估修复工程对区域环境的影响。

7.2 验收

7.2.1 验收条件

7.2.1.1 修复效果达标

经过至少 1 年的连续监测，土壤中各项污染物含量持续稳定低于修复目标值，土壤理化性质和生物指标达到或优于目标范围，生物基纤维特性指标符合预期要求。

7.2.1.2 环境保护合规

修复过程中产生的废气、废水、废渣等污染物已按照相关环保规范进行妥善处理，无二次污染风险，环保设施正常运行且验收合格。

7.2.1.3 资料完整齐全

修复实施单位需提交完整的工程资料，包括修复前调查评估报告、修复技术方案、施工记录、监测报告、环境影响评价文件及批复、环保设施运行记录等，资料内容真实、准确、完整。

7.2.2 验收程序

7.2.2.1 申请提交

修复工程完成并满足验收条件后，修复实施单位应向项目主管部门或验收组织单位提交书面验收申请，并附上全部验收资料。

7.2.2.2 资料初审

7.2.2.2.1 验收组织单位收到申请后，应在 10 个工作日内对提交的资料进行初步审核，检查资料完整性和合规性。

7.2.2.2.2 若资料不符合要求，应通知修复实施单位限期补充或修改。

7.2.2.3 现场检查

7.2.2.3.1 资料初审通过后，验收组织单位应在 10 个工作日内组织验收组，对修复工程现场进行实地检查。

7.2.2.3.2 检查内容应包括但不限于下列各项：

- a) 修复区域范围；
- b) 修复技术实施效果；
- c) 环保设施运行情况；
- d) 监测点位设置。

7.2.2.4 专家评审

7.2.2.4.1 验收组应召开评审会，听取修复实施单位的工作总结汇报，审阅监测数据和技术资料，结合现场检查情况进行质询和讨论。

7.2.2.4.2 专家评审会需形成明确的评审意见，指出存在问题并提出整改建议。

7.2.2.5 整改与复核

7.2.2.5.1 修复实施单位应根据评审意见，在规定时间内完成整改，并提交整改报告。

7.2.2.5.2 验收组织单位应对整改情况进行复核，明确整改到位后，方可通过验收。

7.2.2.6 验收结论

7.2.2.6.1 验收组综合资料审核、现场检查、评审和整改复核结果，形成验收结论。

7.2.2.6.2 验收合格的项目，应由验收组织单位出具验收合格文件；验收不合格的项目，责令修复实施单位重新进行修复，直至验收合格。

8 档案管理

8.1 应建立完整的立土土壤修复档案，应包括但不限于下列各项内容：

- a) 修复前调查评估资料；
- b) 修复技术方案；
- c) 修复工程实施记录；
- d) 修复后监测数据；
- e) 验收报告。

8.2 档案应妥善保存，保存期限应不少于 2 年，以备后续查阅和追溯。
