|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 65.020.40 |
| CCS | B 64 |

|  |
| --- |
| 44 |

广东省地方标准

DB 44/T XXXX—XXXX

植物-微生物互作生态修复技术规程

Code of practice for the use of plant-microbe interactions for ecological restoration

202X - XX - XX发布

202X - XX - XX实施

广东省市场监督管理局  发布

目次

[前言 II](#_Toc180488752)

[1 范围 1](#_Toc180488753)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc180488754)

[3 术语和定义 2](#_Toc180488755)

[4 基本规定 3](#_Toc180488756)

[4.1 基本原则 3](#_Toc180488757)

[4.2 技术适用场景 3](#_Toc180488758)

[4.3 技术实施条件 4](#_Toc180488759)

[5 技术要求 4](#_Toc180488760)

[5.1 生物材料要求 4](#_Toc180488761)

[5.2 调查与采样要求 4](#_Toc180488762)

[5.3 实验室工作要求 5](#_Toc180488763)

[5.4 工程设计要求 6](#_Toc180488764)

[5.5 场地实施要求 6](#_Toc180488765)

[5.6 实施中监测调整 7](#_Toc180488766)

[5.7 现场管理维护 7](#_Toc180488767)

[6 实施成效评价 7](#_Toc180488768)

[6.1 基本要求 7](#_Toc180488769)

[6.2 群落评价 8](#_Toc180488770)

[6.3 水土保持功能评价 8](#_Toc180488771)

[6.4 土壤健康恢复状况评价 8](#_Toc180488772)

[附录A（资料性） 植物-微生物互作生态修复技术实施流程 9](#_Toc180488773)

[附录B（资料性） 场地调研信息收集及现场采样清单 10](#_Toc180488774)

[附录C（资料性） 场地适宜性评价报告编制大纲 11](#_Toc180488775)

[附录D（资料性） 场地生态修复技术方案编制大纲 12](#_Toc180488776)

[附录E（资料性） 场地生态修复效果评估报告编制大纲 13](#_Toc180488777)

[附录F（规范性） 修复技术应用前置处置措施 14](#_Toc180488778)

[参考文献 15](#_Toc180488779)

1. 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。

本文件由广东省林业局提出和组织实施。

本文件起草单位：康泰民生环境科学研究院（广州）有限公司、中山大学生命科学学院。

本文件主要起草人：谢致平、张鹏、龚锦钊、王琰、杨棣、孙琪、周耀鹏、李浩铭、孙瞻坤、王穗华、周少展、廖宗文、杨瑞杰、沈杏、郑家豪、谭德福、杨丽艳、陈强、廖仲永、陈珲、李伟新、陈涛、江芳鹏、郭逸飞、马桂彪、侯欢容、岳婧秋。

植物-微生物互作生态修复技术规程

* 1. 范围

本文件规定了植物-微生物互作生态修复技术应用于生态损毁区域，开展以恢复植被、改良土壤为主要目标的生态修复工程时，对应的技术适用范围、适用条件、检测手段、实施流程等基本要求。

本文件适用于在广东省矿山开采破坏区域、水土流失区域、贫瘠土地、盐碱化土地、酸化土地等生态恶劣环境中采用植物-微生物互作生态修复技术的生态修复、土壤改良与植被生态恢复，也可用于土壤重金属污染情况的改善，表层生土加速熟化及其他技术路线生态修复工程中作为植物促长措施。

* 1. 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/T 15163 封山（沙）育林技术规程

GB/T 15776 造林技术规程

GB/T 24600 城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质

GB/T 32720 土壤微生物呼吸的实验室测定方法

GB/T 32723 土壤微生物生物量的测定 底物诱导呼吸法

GB/T 30989 高通量基因测序技术规程

GB/T 38360 裸露坡面植被恢复技术规范

GB/T 43933 金属矿土地复垦与生态修复技术规范

GB 3838 地表水环境质量标准

GB 6000 主要造林树种苗木质量分级

GB 6141 豆科草种子质量分级

GB 6142 禾本科类草种子质量分级

GB 7908 林木种子质量分级

GB 8080 绿肥种子

GB 19377 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 20287 农用微生物菌剂

CJ/T 24 园林绿化木本苗

DZ/T 0219 滑坡防治工程设计与施工技术规范

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ/T 415 环保用微生物菌剂环境安全评价导则

HJ 1272 生态保护修复成效评估技术指南（试行）

HJ 192 生态环境状况评价技术规范

HJ 623 区域生物多样性评价标准

HJ 624 外来物种环境风险评估技术导则

HJ 889 土壤阳离子交换量的测定 三氯化六氨合钴浸提-分光光度法

HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范

HJ 962 土壤 pH值的测定 电位法

HJ 2016 环境工程 名词术语

LY/T 1228 森林土壤氮的测定

LY/T 1232 森林土壤磷的测定

LY/T 1234 森林土壤钾的测定

LY/T 1237 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算

LY/T 2770 南方有色金属矿区废弃地植被生态修复技术规程

LY/T 2771 北方地区裸露边坡植被恢复技术规范

NY T 1121.16 土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定标准

NY/T 1194 柱花草 种子

TD/T 1036 土地复垦质量控制标准

TD/T 1068 国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程

TD/T 1069 国土空间生态保护修复工程验收规范

TD/T 1070.1 矿山生态修复技术规范 第1部分：通则

TD/T 1070.2 矿山生态修复技术规范 第2部分：煤炭矿山

TD/T 1070.4 矿山生态修复技术规范 第4部分：建材矿山

TD/T 1070.5 矿山生态修复技术规范 第5部分：化工矿山

TD/T 1070.6 矿山生态修复技术规范 第6部分：稀土矿山

TD/T 1070.7 矿山生态修复技术规范 第7部分：油气矿山

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

植物-微生物互作技术 biotechnological application of plant-microbe interactions

应用自然界中广泛存在的植物与根际微生物互惠互利的稳定共生关系，以待修复场地土壤的实验室研究诊断结果为基础，遵循生态原则，人工设计和构建适用于待修复场地的植物-根际微生物组。通过植物-根际微生物组的生物互作，作用于场地原有受损生态环境，保护并促进植物生长，吸收降解、富集或钝化土壤中的污染物，增加土壤有机质，提高植物与微生物生长必需营养元素的有效含量，加速表层生土熟化，同步实现原位地表植被层恢复，原有土层健康恢复，促进生态系统正向自然演替的生物技术。

植物-微生物互作技术生态修复 ecological restoration by plant-microbe interactions

应用植物-微生物互作技术，以修复受损生态环境为主要目标，同步实现场地土壤改良的实施过程。

原位修复 in situ ecological restoration

在生态系统受损区域就地对生态系统进行治理的方法。

【来源： HJ 2016，8.1.2，有修改】

土壤生态功能修复 restoration of soil ecological functions

综合采用生物、物理、化学或工程技术手段，改善受损的土壤结构，提升土壤肥力，降低不利因素影响，使受损土壤重新具备承载植物正常生长的能力，以保证生态系统重建并正常演替的过程。

外源微生物 exogenous microorganism

由一种或多种从非本土环境，通过人工选育所获得的微生物菌种（株）。可应用于适当环境条件下生态环境破坏的生物修复。

【来源：化工名词（六）生物化工，有修改】

原生菌种 indigenous microorgansims

由一种或多种从土壤本土环境中原位分离纯化，通过人工选育所获得的微生物菌种(株)。可应用于适当环境条件下的生态环境生物修复。

【来源：化工名词（六）生物化工，有修改】

植被生态恢复 ecological restoration of vegetation

依靠植物生态系统的自我调节能力与组织能力，辅以人工措施，使其有序地进行演化，或者利用植物生态系统的自我恢复能力，使遭到破坏的天然植被层逐步恢复或促进植物生态系统进入正向自然演替。

前置技术措施 preliminary technical measures

为保证植物-微生物互作技术成功应用，在工程实施前对重度生态损害的场地进行适用性改良，使之符合本生物技术施用条件的工程技术措施。

* 1. 基本规定
     1. 基本原则
        1. “原土原位”原则

根据现场实际情况，充分发挥技术优势，在现状具备原土条件下，原位修复生态环境，改善土壤物理、化学、生物性状，快速恢复地表植被层，减少对客土技术的依赖。

* + - 1. 同步修复原则

通过植物与微生物构成的互作体系，着重发挥其中微生物的核心作用，实现地表植被层与场地土壤理化、生物性状的修复同步进行。

* + - 1. 乡土生物优先原则

植物-微生物互作生态修复技术中，植物与微生物优先选择乡土植物与优势的促生原生菌种，促进原生生态系统恢复，引入外来物种需按照HJ 624进行环境风险评估，确定没有生态风险的外来物种方可引入。

* + 1. 技术适用场景

主要适用以下场景：

* 1. 矿山生产造成的污染、损毁土地上开展植被生态恢复与土壤生态功能修复
  2. 水土流失区域生态受损土地的植被生态恢复
  3. 荒漠化地域或瘠薄土壤上的植被生态恢复
  4. 盐碱土地或酸化土地生物技术改良
  5. 其他适用本技术的植被恢复与污染损毁土壤生态功能修复
     1. 技术实施条件

适合直接采用植物-微生物互作生态修复技术的生态环境修复、植被生态恢复或土壤污染治理应具备以下条件：

* 1. 现场土层、植物生长基质层应连续分布，或经现场土方平整，场地基质厚度≥20cm。土层、植物生长基质厚度不足的场地，应前置处理措施（详见附录F）。堆积型高陡边坡等施工难度较大场地，可参考GB/T38360标准规范，结合喷播工艺使用，现状为土质边坡的情况可将菌液、种子直接加入喷播基质进行液体喷播；现状为碎石边坡的情况可采用客土喷播工艺，先喷施一层10～20cm厚生长基质层，再将菌液、种子加入喷播基质进行种子层喷播。
  2. 现场土壤pH值按照HJ 962标准测定。实测现场土壤pH<3或pH>10，应前置处理措施。（详见附录F）
  3. 场地宜具备基本灌溉条件，以促进植物种子正常萌发。可采用经检测后满足技术要求的现场自然水体作为灌溉水源。
  4. 应选择气温、地温等条件适宜植物萌发生长的时间进行实施。
  5. 本文件所指生态修复是在消除地质安全隐患的基础上实施，其他配套措施参照相关规范实施。
  6. 技术要求
     1. 生物材料要求
        1. 植物要求

植物选择以本土植物为优先。选用苗木质量裸根苗须满足GB 6000标准要求，容器苗及种条、插干须满足GB/T 15776标准要求，土球苗需满足CJ/T 24标准要求。选用植物种子质量须满足GB 7908标准要求，其中豆科植物种子须满足GB 6141标准要求，禾本科植物种子须满足GB 6142标准要求，绿肥用植物种子须满足GB 8080标准要求，柱花草种子需满足NY/T 1194标准要求。

* + - 1. 微生物要求

生态修复用微生物菌剂以菌液形式为主，工程用菌液应具备足够的生物活性，菌液经稀释后活菌浓度不低于105 CFU/g（土），菌液原液质量执行GB 20287标准，环境生态安全性符合HJ/T 415要求。

* + 1. 调查与采样要求
       1. 现场调查内容
          1. 资料收集

收集项目地相关气象、水文、生态、地质、历史、土壤情况等相关资料、文献以及交通运输条件等。

* + - * 1. 现场踏勘

按以下要求进行：

1. 实地踏勘，建立场地初步认识。
2. 根据HJ/T 166标准制定现场采样方案，采集修复场地内及场地边界线外10 m内土壤、水、沉积物样品。采集周围相同类型生态系统(未损毁)或修复目标类型生态系统的样品，作为检测分析对照。
3. 调查现场动植物资源情况，采集足够开展实验室工作的植物全株样品。
4. 总结上述工作成果，依照HJ 192对场地生态受损程度及情况进行评价，草地生态环境还须根据GB 19377进行分级评价，最终形成针对技术应用的场地适宜性评价报告（详见附录C）。
   * + 1. 现场采样要求

按以下要求进行：

* 1. 土壤样品采集：执行HJ/T 166标准。
  2. 植物样品采集：应根据植物种类分别采样，样品应为植物全株，保留根际土壤；采样区域分布均匀、具有代表性，过程中防止样品污染；特殊品种乡土植物需单独采样、保存并记录所采样品生存的位置与立地条件。
  3. 地表水样采集：执行HJ 91.2标准。
     1. 实验室工作要求
        1. 工作目的

通过对现场样品检测，明确场地条件与胁迫因子，建立场地直观印象，为生态修复工作的展开确定方向。然后通过实验室预研，确定适应场地要求的植物-微生物组，应用于工程。

* + - 1. 分析检测技术要求

根据现场情况，按照需要检测以下内容：

* 1. 土壤微生物基因及活性测定：

1. 土壤微生物DNA，测定方法采用16S/18S/ITS扩增子测序，按照GB/T 30989执行；
2. 土壤微生物呼吸执行GB/T 32720标准，土壤微生物生物量按照GB/T 32723执行。
   1. 植物材料测定：
3. 根据生态修复工程主要目标及场地最终用途需要，测定材料中镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌等重金属含量。
   1. 土壤样品测定：
4. 根据需要测定土壤样品pH值，有机质、阳离子交换容量、水溶性总盐、全氮、全磷、全钾、水解性氮、速效磷、速效钾等养分指标以及重金属镉、汞、砷、铅、铬、镍、铜、锌等含量。根据现场需要，测定土壤容重及孔隙率等物理性状。
5. 测定方法执行HJ/T 166标准，其中阳离子交换容量测定执行HJ 889标准、土壤样品pH值执行HJ 962标准、土壤全氮及水解性氮检测执行LY/T 1228标准、土壤全磷及速效磷检测执行LY/T 1232标准、土壤全钾及速效钾检测执行LY/T 1234标准、土壤有机质测定执行LY/T 1237标准、土壤水溶性总盐测定按照NY T 1121.16执行。
   1. 水样品测定：根据实际需要确定检测种类，测定方法按照GB 3838执行。
      * 1. 预研基本内容
           1. 以修复场地及附近周边采集的土壤为基材，分离、筛选、驯化得到生态修复用高效原生菌种。利用高效原生菌种进行植物-微生物互作生态修复技术实验，选定合适的植物和菌群组合。若原生菌群实验效果达不到应用要求，如出现植物发芽不良、植物生长受抑制明显等情况，则引入适应场地条件并对所选植物具有促生作用，且参照HJ/T 415评估后对本土生态环境无不良影响的外源微生物，完善菌群构成。

主要实施步骤：

1. 从现场土样中，分离、筛选、驯化原土适应性强、对植物促长效果明显的高效原生菌株；
2. 选取植物品种以优势乡土植物为主，辅以生态修复先锋植物物种，根据种植要求将种子或种苗植入装载待修复场地土壤的容器中；
3. 将若干种筛选到的生态修复用高效原生菌株，分别进行单菌株和菌群接种；
4. 定期观察植物的发芽和生长状况，筛选合适的植物与菌群的组合。
   * + - 1. 利用构建完善的菌群重复进行植物-微生物互作实验，选出生态修复适用的菌群构成与植物种类。

主要实施步骤：

1. 选取经盆栽选育驯化后的菌群和植物物种构建植物-微生物互作系统。
2. 选取具有代表性的实验场地露地进行种植实验，地块面积宜为200 m2～10000 m2，地块数量根据现场面积、理化性状和生态胁迫因子的差异性确定。
3. 将露地实验结果与盆栽实验结果不断进行比较，找出合适生态修复应用的菌群与植物匹配。
   * 1. 工程设计要求

根据TD/T 1068标准编制生态修复工程设计文件，林、草地土层满足TD/T 1036标准相关要求。

* 1. 确定生态修复场地范围，明确边界线拐点坐标与高程，获取场地地形图，明确技术适用场景。
  2. 根据技术适用场景和场地特点划分适宜的修复分区，并确定场地土地整理要求。土地整理执行GB/T 15776标准满足种苗及种子的种植要求。坡面地形根据GB/T 38360选择合适工艺。
  3. 按照修复分区，分别确定是否设置前置处理措施（详见附录F），并完成水土保持、灌溉等相关工程设计。其中地质安全、截排水等相关措施应符合相关规范要求，矿山类生态修复工程设计根据矿山类型参考GB/T 43933、TD/T1070.1、TD/T1070.2、TD/T1070.4、TD/T1070.5、TD/T1070.6、TD/T1070.7的要求实施设计。
  4. 根据现场情况，确定总体生态修复的目标要求，并明确指标。
  5. 根据确定的植物与微生物匹配组合，确定符合待修复地块要求的菌剂施用方式、植物种类、种子用量、播种方式及田间管理要求等施工内容。
  6. 编制完成修复技术方案报告、工程图纸及概预算书等相应设计文件。
     1. 场地实施要求
        1. 根据修复技术方案报告及相应设计文件要求，对生态修复场地进行清理、平整，消除地灾隐患、边坡修整等工程施工，并实施必要的前置工程措施，保证施工场地条件满足植物-微生物互作生态修复技术应用的要求。
        2. 按设计的实施方式要求，施用待修复场地专用的土壤微生物菌剂，并播种选定的植物种类，进行场地植被恢复与土壤改良。可采用表面喷淋-浅层搅拌法进行菌剂施用投加，实施完毕后，采集土样，检测菌群总数，确保菌剂施用满足起效浓度。
     2. 实施中监测调整
        1. 工程实施过程中，应根据植物-微生物生长发育周期，制定监测计划，评估地表植被生长情况与生态演化进程，前期宜每周评估一次，植被稳定覆盖后不少于每月一次；按需采集土壤、水及植物体样品，进行实验室详细检测，掌握土壤理化性状及生态系统变化的情况，宜每3个月进行一次。
        2. 若监测结果未达到工程设计要求，应针对性调整菌群构成与植物种类，保持土壤环境条件的持续改善、保障菌群与植物健康生长。对于突发性变化，及时采样，监测，迅速采取必要措施。
        3. 监测调整过程应贯穿修复工程全过程。监测方法根据监测内容和场地条件参考TD/T 1070.1确定。
     3. 现场管理维护
        1. 场地保护措施

生态修复与土壤改良工程实施后，应禁止外来放牧、割草、挖掘等活动，设置明显的警告牌。具体措施依据GB/T 15163规定实施。

* + - 1. 水肥管理
         1. 对于干旱区域，须保证修复场地具备基本的灌溉条件，尤其是在植物出苗、展根期间，可就近引水，促进植物正常发芽、生长。
         2. 适时适量灌溉、施肥有利于加快生态修复的速度，增强植被层生长势，提高生态修复质量。
      2. 抚育措施
         1. 出苗率过低或植被层退化达不到设计文件要求的修复地块需进行补植，补植前进行土壤、水质检测，明确问题发生的原因。种苗管护参考《广东省森林质量精准提升行动技术指南》执行。
         2. 每年生长季末期，对修复场地植被进行适度清理，做好防火、防病虫工作。
         3. 随土壤质量的持续改良，可适时对修复场地先期播种的先锋植物进行分块翻耕，增加土壤有机质含量和肥力，改善土壤通透性，再进行二次播种与菌液施用，快速提升土壤品质的同时促进场地植被的自然演替过程。
  1. 实施成效评价
     1. 基本要求
        1. 植物-微生物互作生态修复技术工程施工完毕后一定时间，应根据设计文件要求，开展以生态系统功能恢复效果为主要内容的成效评价，以明确实施效果，保证生态修复工程满足TD/T 1069要求，并建立长期、持续的跟踪评价体系。
        2. 成效评价工作应在技术实施过程中播撒、种植的一、二年生植物完成一个生命周期，或者多年生植物完成一个生长季后开展。现场土壤等采样执行HJ/T 166标准。生态修复后场地转做农、林、牧业生产使用前应根据GB 15618进行风险评估。跟踪评价1～2年开展一次，主要从植物群落及土壤微生物、土壤理化性质和土壤恢复能力、水土保持功能等方面进行跟踪评价,评价工作参照HJ 1272进行。
     2. 群落评价

微生物及植物的群落评价主要通过常规微生物测序、实地跟踪监测和调查展开。修复场地生态系统具备自持能力与生态整合能力，开始产生植物自然演替，有非人工种植植物自然生长，植物群落结构趋于稳定是场地植被恢复与生态改善的主要指征。主要包括现场植被覆盖率、生物多样性变化、植物生物量、微生物量、微生物土壤呼吸强度等指标，必要情况下定期测定代表性一、二年生植物根系及地上部重金属含量，以评价生态修复后其对植物生长的潜在影响。有条件可开展场地生物多样性评估，评估工作参考HJ 623进行。

* + 1. 水土保持功能评价

水土保持功能主要体现在植被对降雨的拦蓄能力、林地的涵养水源能力及林地的保土能力等。通常采用渗透性能、持水性能、抗蚀性能、径流泥沙含量、土壤侵蚀模数等指标进行评价，相应数据主要通过实地勘查、采样，实验室检测取得。

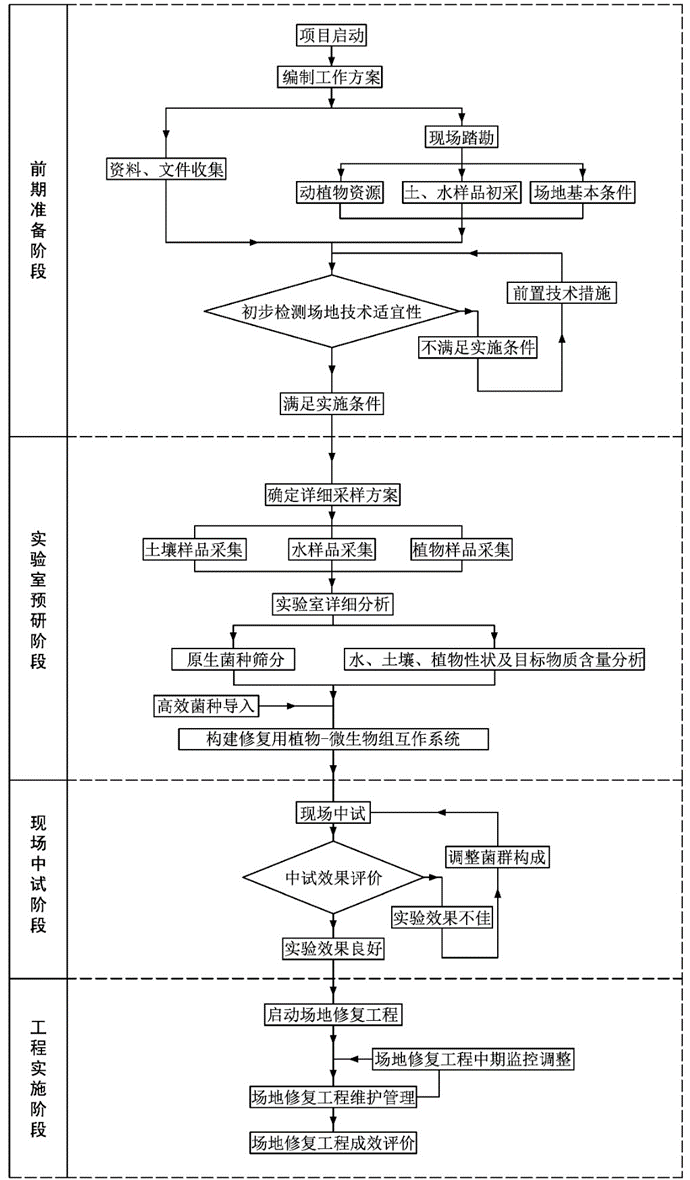
* + 1. 土壤健康恢复状况评价

生态修复后土壤适应于本土植物的自然生长，土壤肥力与生态系统功能得到提升改善。

土壤理化性质是生态系统恢复评价的重要方面，包含生态系统所需氮、磷、钾营养元素含量、有机质含量及其它必要营养成分含量，阳离子交换量，pH值，土壤容重，土壤孔隙度等。

2. （资料性）  
   植物-微生物互作生态修复技术实施流程

植物-微生物互作生态修复技术实施流程如 图A.1 所示：



* 1. 植物-微生物互作生态修复技术实施流程

1. （资料性）  
   场地调研信息收集及现场采样清单
   1. 场地调研信息收集及现场采样清单

|  |  |
| --- | --- |
| **场地调研信息** | |
| 项目 | 目的 |
| 地理区位 | 了解区域特点、气候区划、流域等基本自然背景 |
| 场地历史沿革 | 了解场地历史变化、社会经济发展、主要生态受损原因和现状情况 |
| 修复场地范围 | 明确修复范围，确定项目红线 |
| 现状地形图 | 明确场地地形变化趋势、坡度、坡向等信息，精度1:500-1:2000 |
| 地表植被情况 | 调研现场植被分布及种类，了解植物长势 |
| 现场生态系统病虫害 | 调研现场植物群落面临的病害或虫害情况，了解动物对植物的影响 |
| 现场土质 | 了解现场地表土土质条件，确定采样点位 |
| 现场地质分布情况 | 了解现场土、荒漠、石漠、岩石的分布情况 |
| 现场土层分布情况\* | 确定采样深度 |
| 区域水文条件资料 | 了解水文年际变化趋势、流域汇水面积、分水线等 |
| 场地地质灾害点分布 | 了解地灾点位置，支撑减灾方案制定 |
| 现场地表水水质 | 评估现场条件，确定采样需求 |
| 现场地下水水质\* | 评估现场条件，确定采样需求 |
| **现场采样** | |
| 项目 | 目的 |
| 现场土壤样本 | 确定现场土质、肥力、pH值、污染物情况及土壤微生物现状 |
| 现场地表水样本 | 确定现场地表水水质等级，支撑水质提升或保持方案制定 |
| 现场地下水样本\* | 确定现场地下水水质等级，支撑水质提升或保持方案制定 |
| 现场植物样本 | 确定现场植物生长胁迫因子，收集根际微生物，支撑生态恢复方案制定 |
| 注：带“\*”号项为选做内容，根据实际情况确定是否实施。 | |

1. （资料性）  
   场地适宜性评价报告编制大纲

一、项目概述

1.1 项目背景与任务来源

1.2 地理位置与评价范围

1.3 自然、社会环境概况

1.4 工作任务与目标

二、修复场地资料收集与现场调查

2.1 资料收集清单

2.1.1 资料收集过程

2.1.2 资料清单

2.2 现场调查

2.2.1 现场调查方法

2.2.2 现场调查工作计划

2.2.3 现场调查与采样结果

三、场地水文、地质环境适宜性评价

3.1 评价因子与标准

3.2 水文条件现状

3.3 地质条件现状

3.4 水文、地质条件评价与结论

四、场地土壤环境适宜性评价

4.1 评价因子与标准

4.2 土壤条件现状

4.3 土壤条件评价与结论

五、场地植物生态与种类

5.1 评价因子与标准

5.2 植物生态系统现状

5.3 植物生态系统评价与结论

六、场地适宜性评价结论

七、生态修复工程建议

八、附件

根据实际情况，包含但不限于：

8.1 场地航拍正射图

8.2 场地现状地形图

8.3 采样点位分布图

8.4 场地生态受损现状图（分区、受损类型等）

8.5 场地地质灾害点分布图

8.6 场地汇水分区平面图等。

1. （资料性）  
   场地生态修复技术方案编制大纲

一、项目背景

阐述修复工程地理区位、气候区划、流域等基本自然背景。

阐述修复工程所在地历史发展、社会经济发展、主要生态受损原因和现状情况。

阐述修复工程项目来源、前期准备情况等。

二、目的和意义

阐述修复项目实施目的，与重大生态战略、重大生态规划的关系。

阐述修复项目对解决严重生态问题的重要或关键性作用。从生态安全，社会、经济发展等角度分析项目实施的具体意义。

三、目标和范围

阐述项目实施的时间安排、修复达成的预期性指标和完成后的监管养护计划。

明确项目实施场地的具体边界条件（附图）。

四、设计依据

列举技术方案编制依据的相关法律法规、标准规范与基础资料等。

五、场地生态现状评价

根据《场地适宜性评价报告》形成项目场地区域生态本底情况评价与生态受损情况评价，明确场地存在具体生态问题的类型、成因、严重性、对区域生态系统的影响等。

六、场地修复技术方案确定

根据实验室预研成果与现场中试成果确定植物-微生物互作生态修复技术的菌液种类和参数、植物种类和种植模式，形成针对项目场地条件的技术实施方案。

七、场地修复工程设计

根据场地条件与技术方案要求，进行修复工程实施设计，包括工程进度计划与各工程专业总图与详图设计内容与质量标准等。

技术方案图纸应包含以下基础资料：

* 1. 场地高清遥感影像图或航拍正射影像图
  2. 现状地形图

八、工程组织实施保障

阐述为保障工程顺利实施，从技术支持、工程设计、工程实施组织、工程质量保证、工程进度保证、应急措施预案等方面准备的各项措施。

九、资金概算与筹措渠道

阐述修复工程投资估（概）算编制依据，包括：参照的国家、行业相关投资定额标准；实施方案拟定的绩效目标和工程量。

阐述生态保护修复工程投资总额、施工费、监测与管护费、其他费用（前期工作费、工程监理费、竣工验收费、业主管理费等各项费用以及不可预见费等费用构成。

十、修复工程效益分析

包含：生态效益分析、社会效益分析与经济效益分析。

十一、附件

包括各类政府文件、场地基础数据、图纸等资料、工程设计图纸与文本、生态修复工作部署图与工程量统计表等资料。

1. （资料性）  
   场地生态修复效果评估报告编制大纲

一、评估内容与方法

依据HJ 1272 生态保护修复成效评估技术指南（试行）开展评估工作。

二、评估工作方案

2.1 确定评估指标体系

2.2 资料收集内容

2.3 采样布点方案

三、样品采集与分析

3.1 土壤样品

3.2 植物样品

3.3 地表水样品

四、效果评估

五、结论与建议

六、图件目录

1、场地区位图

2、场地红线图

3、现状影像图

4、现状地形图

5、修复分区图

6、采样点位分布图

7、修复前后对比照片等

七、附件

1. （规范性）  
   修复技术应用前置处置措施

一、修复土层或种植基质非连续区域处置措施

1.岩石裸露、石漠化、戈壁化严重场地等现场土层或种植基质不连续的，经土方整理后，含有乔灌苗木种植要求的地块应保证原无土层或种植基质区域基质层厚度≥20 cm；以地被植物恢复为主的地块基质层厚度不宜小于10cm。

2.局部需要覆土的区域，覆土土源应尽量采用待治理区域内现状土壤或粉粒状基质，减少采挖区域外好土，造成二次生态破坏。

3.覆土层或种植基质应保持稳定。坡度过大区域采用修整台地、建挡土墙、设置三维土工格栅等措施加以稳固，防止覆土层流失。具体措施可根据实际情况参考DZ/T 0219和LY/T 2770、LY/T 2771。

二、修复土层有效碳源不足处置措施

现场种植基质有效碳源严重不足的情况下，起始阶段一次性施用有机质，增加土壤中有机质含量，提供充足的有效碳源。有机质的施用范围、施用量、施用方法和施用时间等参数在工程实施方案中确定。

有机质来源包括：

1.农业废弃物（如作物秸秆等）

2.林业废弃物（如植物枝叶等）

3.工业废弃物（如生活污水处理产生的污泥、酒糟等）

4.河塘底泥等

可根据易获取情况选择一种或多种，经粉碎后施用。有机物材料宜充分腐熟，并需经过检测，防止引入病虫害、入侵植物等风险因素。

使用生活污水污泥或河塘底泥，经厌氧消化或好氧发酵处理后作为补充碳源，应选用C/N比适中的材料，并防止引入新的污染物质，材料按照GB/T 24600执行。工程实施中不可采用工业类污泥。

三、修复土层土壤pH值调整措施

经检测，修复土层土壤pH<3或pH>10时，应进行土壤pH值调整，具体做法参考HJ 962。

四、修复场地临时浇灌设施

根据实际情况，为保证修复工程初期植物与微生物的基本生长需求，可设置临时浇灌设施。

参考文献

1. GB 36600-2018 土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
2. GB/T 20465 水土保持术语
3. HJ 25.4-2019 建设用地土壤修复技术导则
4. HJ 651-2013 矿山生态环境保护与恢复治理技术规范（试行）
5. NY/T 3499-2019 受污染耕地治理与修复
6. NY/T 3957-2021 农用地土壤重金属污染风险管控与修复 名词术语
7. SL 419-2007 水土保持试验规程
8. T/LYCY 2032-2022 植物-微生物互作土壤修复技术标准
9. 化工名词（六）生物化工
10. 广东省森林质量精准提升行动技术指南

