

T/LCH

中国长城绿化促进会团体标准

T/LCH XXXX—XXXX

# 生态修复专用建筑机电工程机械设备技术条件 与操作规范

Technical Conditions and Operational Specifications for Building Electromechanical  
Machinery in Ecological Restoration

草案版次选择

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国长城绿化促进会 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 分类与型号编制 ..... 2

5 通用技术要求 ..... 2

6 专用设备技术条件 ..... 3

7 安全与环保要求 ..... 4

8 操作规范 ..... 5

9 维护与保养 ..... 7

10 检验与验收 ..... 8

11 标志、包装与运输 ..... 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。

本文件由中国长城绿化促进会提出。

本文件由中国长城绿化促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 生态修复专用建筑机电工程机械技术条件与操作规范

## 1 范围

本文件规定了生态修复工程中专用建筑机电工程机械（含土壤修复设备、水体净化机组、植被恢复机械等）的技术条件、操作规范、安全环保要求及验收规则。

本文件适用于污染场地修复、边坡绿化、湿地重建等场景的机电设备设计与使用。

## 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 190 危险货物包装标志
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求
- GB/T 4857.7 包装 运输包装件基本试验 第7部分：正弦定频振动试验方法
- GB/T 4857.9 包装 运输包装件基本试验 第9部分：喷淋试验方法
- GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 15706 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小
- GB 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
- GB/T 16895.6 低压电气装置 第5-52部分：电气设备的选择和安装 布线系统
- GB/T 17248.3 声学 机器和设备发射的噪声 采用近似环境修正测定工作位置和其他指定位置的发射声压级
- GB 18613 电动机能效限定值及能效等级
- GB 20891 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）
- GB/T 21152 土方机械 轮式或高速橡胶履带式机器 制动系统的性能要求和试验方法
- HJ 2025 危险废物收集 贮存 运输技术规范
- HJ 491 土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法
- ISO 11158 润滑剂、工业用油及相关产品（L类）.H系列（液压系统）HH、HL、HM、HV和HG类规范
- ISO 12944 色漆和清漆—防护漆体系对钢结构的防腐保护

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**生态修复专用建筑机电工程机械** **electromechanical machinery for ecological restoration in construction**

应用于污染场地、退化生态系统等场景，通过机电一体化技术实现土壤改良、水体净化或植被重建的移动式或固定式工程设备，涵盖土壤修复设备、水体净化机组、植被恢复机械等。

### 3.2

**热脱附效率** **thermal desorption efficiency**

热脱附设备单位能耗所处理的污染土壤质量，以千克每千瓦时（kg/kWh）表示。

### 3.3

**净化精度** **purification accuracy**

水体净化设备对目标污染物的去除能力，以污染物去除率（%）表示。

3.4

应急停机 emergency shutdown

设备因安全联锁装置触发、环境参数超标或人为紧急干预导致的非正常停机程序，需立即执行预设保护动作。

3.5

生态工法 ecological engineering method

通过机电设备协同生物、化学措施，实现受损生态系统结构重建与功能恢复的技术体系。

3.6

抗堵塞设计 anti-clogging design

水体净化设备中通过自动反冲洗、流道优化等措施维持膜组件或滤料通量的技术特性。

4 分类与型号编制

4.1 设备分类

按生态修复工程场景划分为表1：

表 1 设备分类表

| 类别    | 功能目标        | 典型设备                 |
|-------|-------------|----------------------|
| 土壤修复类 | 污染土壤无害化/资源化 | 热脱附机组、化学淋洗设备、生物反应器   |
| 水体净化类 | 污水/地表水生态净化  | 移动式膜过滤系统、生态增氧船、电解絮凝机 |
| 植被恢复类 | 受损地表生态重建    | 液压喷播机、种子裹覆机、根系植入设备   |

4.2 型号编制规则

应采用“类别代码-主参数-改进代号”结构。

示例：TR-150-II

4.3 型号编码对照

型号编码对照见表2。

表 2 型号编码对照表

| 类别代码 | 参数含义    | 单位   | 取值范围            | 示例         |
|------|---------|------|-----------------|------------|
| TR   | 土壤处理能力  | t/h  | 50~500          | TR-200     |
| WP   | 水处理流量   | m³/h | 10~1000         | WP-300- I  |
| VR   | 喷播容积/射程 | L/m  | 500~5000 / ≥20m | VR-2000/30 |

5 通用技术要求

5.1 功能完整性

设备应具备完成设计修复任务的基础功能，包括但不限于：

- a) 土壤修复类：污染介质均匀混合、温度精准控制；
- b) 水体净化类：流量自适应调节、膜污染预警；
- c) 植被恢复类：种子-基质-粘合剂比例自动配比。

5.2 性能指标

5.2.1 环境适应性

在下列条件下设备应正常运行：

- a) 环境温度：-20℃～+50℃；

- b) 相对湿度：≤95%（无冷凝）；
- c) 作业面坡度：≤15°（特殊工况需定制声明）。

5.2.2 能效等级

应符合GB 18613规定的2级能效要求，且：

- a) 空载功率≤额定功率的 15%；
- b) 待机功耗≤1 kW • h/24h。

5.3 安全要求

5.3.1 电气安全

符合GB 5226.1的防护等级IP54，控制电路电压≤36V AC/DC。

5.3.2 机械安全

旋转部件防护罩抗冲击强度≥50 J（参照GB/T 15706）。

5.4 智能控制

应满足：

- a) 配备物联网接口（支持 MQTT/CoAP 协议）；
- b) 故障自诊断覆盖率≥90%；
- c) 数据存储周期≥180 天。

6 专用设备技术条件

6.1 土壤修复类设备

6.1.1 热脱附设备

热脱附设备见表3。

表 3 热脱附设备要求表

| 项目       | 技术指标            | 试验方法     |
|----------|-----------------|----------|
| 热解温度范围   | 300℃~650℃（可调）   | 热电偶多点校准  |
| 尾气颗粒物排放  | ≤20 mg/m³       | GB 16157 |
| 能源切换响应时间 | ≤5 min（电↔天然气模式） | 计时器记录    |

6.1.2 化学淋洗设备

药剂混合均匀度：变异系数CV≤10%；  
耐腐蚀等级：≥C4级（ISO 12944）。

6.1.3 生物修复反应器

生物修复反应器参数指标见表4。

表 4 反应器参数表

| 参数       | 指标                    | 试验方法                |
|----------|-----------------------|---------------------|
| 菌剂活性保持率  | ≥90%（30天周期）           | ATP生物发光法（ISO 11348） |
| 通气量可调范围  | 0.1~1.0 m³/(m³ • min) | 气体流量计校准             |
| 防生物膜堵塞设计 | 超声震荡+机械刮削双模式          | 连续运行240h通量衰减≤10%    |

6.2 水体净化类设备

6.2.1 移动式膜过滤系统

移动式膜过滤系统见表4。

表 5 移动式膜过滤系统组件表

| 组件    | 要求                                                                             |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 超滤膜   | 孔径 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ ，通量 $\geq 50\ \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ |
| 反冲洗装置 | 触发压力 $\geq 0.15\ \text{MPa}$ ，周期 $\leq 2\ \text{h}$                            |

6.2.2 电解絮凝机

极板寿命： $\geq 5\ 000\ \text{h}$ （电流密度 $\leq 50\ \text{A}/\text{m}^2$ ）；  
重金属去除率： $\text{Cd}^{2+}/\text{Pb}^{2+} \geq 95\%$ （初始浓度 $\leq 50\ \text{mg}/\text{L}$ ）。

6.2.3 生态增氧船

增氧效率： $\geq 2.5\ \text{kg}\ \text{O}_2/\text{kWh}$ （清水测试， $20^\circ\text{C}$ ）；  
航行定位精度：RTK定位误差 $\leq 5\ \text{cm}$ ；  
防缠绕设计：螺旋桨防护栅栏间隙 $\leq 50\ \text{mm}$ 。

6.3 植被恢复类设备

6.3.1 液压喷播机

液压喷播机见表5。

表 6 液压喷播机参数表

| 参数    | 指标                         |
|-------|----------------------------|
| 喷播射程  | $\geq 30\ \text{m}$ （水平距离） |
| 混合罐容积 | $\geq 2\ \text{m}^3$       |
| 草种破损率 | $\leq 3\%$                 |

6.3.2 根系植入设备

钻杆定位精度： $\pm 50\ \text{mm}$ （GPS RTK定位）；  
最大植入深度： $\geq 1.5\ \text{m}$ 。

6.3.3 种子裹覆机

种子裹覆机见表7。

表 7 种子裹覆机性能表

| 性能项     | 要求                   |
|---------|----------------------|
| 裹衣厚度均匀度 | $\text{CV} \leq 8\%$ |
| 发芽率损失   | $\leq 5\%$ （对比未裹覆种子） |
| 粘合剂固化时间 | 10~30 min可调          |

7 安全与环保要求

7.1 安全要求

7.1.1 通用安全

通用安全要求包括但不限于：

- a) 机械防护：旋转/运动部件必须安装防护罩，拆除防护罩时需触发断电联锁（符合 GB/T 15706）；
- b) 紧急制动：设备应设置急停按钮（红色蘑菇头型），响应时间 $\leq 0.5\ \text{s}$ ；
- c) 防爆设计：在易燃易爆环境作业的设备，电气元件符合 GB 3836.1 的 Ex d IIBT4 等级。

7.1.2 环境安全

- 环境安全要求包括但不限于：
- a) 有毒气体监测：土壤修复设备配备 H<sub>2</sub>S、VOCs 实时传感器，超标时自动停机；
  - b) 边坡作业：植被恢复机械在坡度>10° 场地作业时，应启用防倾覆液压支腿。

7.2 环保要求

7.2.1 排放控制

排放控制要求见表8。

表 8 排放控制表

| 设备类型   | 污染物                    | 限值                    | 检测标准     |
|--------|------------------------|-----------------------|----------|
| 热脱附设备  | 颗粒物                    | ≤20 mg/m <sup>3</sup> | GB 16157 |
| 柴油动力设备 | 氮氧化物(NO <sub>x</sub> ) | ≤3.5 g/kWh            | GB 20891 |

7.2.2 废弃物管理

- 废弃物管理包括：
- a) 油液泄漏收集率≥98%（配备容积≥10 L 的接油盘）；
  - b) 化学淋洗废液须封闭存储，移交有资质单位处理（HJ 2025）。

7.2.3 噪声控制

- 距设备外壳1 m处噪声限值，按照GB/T 17248.3测量：
- a) 固定式设备：≤85 dB(A)；
  - b) 移动式设备：≤90 dB(A)。

8 操作规范

8.1 人员资质

- 人员资质要求包括：
- a) 操作员需持有工程机械操作证，并完成生态修复设备专项培训；
  - b) 特种作业（如化学药剂注入）人员须持危险化学品操作证。

8.2 操作流程

8.2.1 通用流程

操作的通用流程见图1。

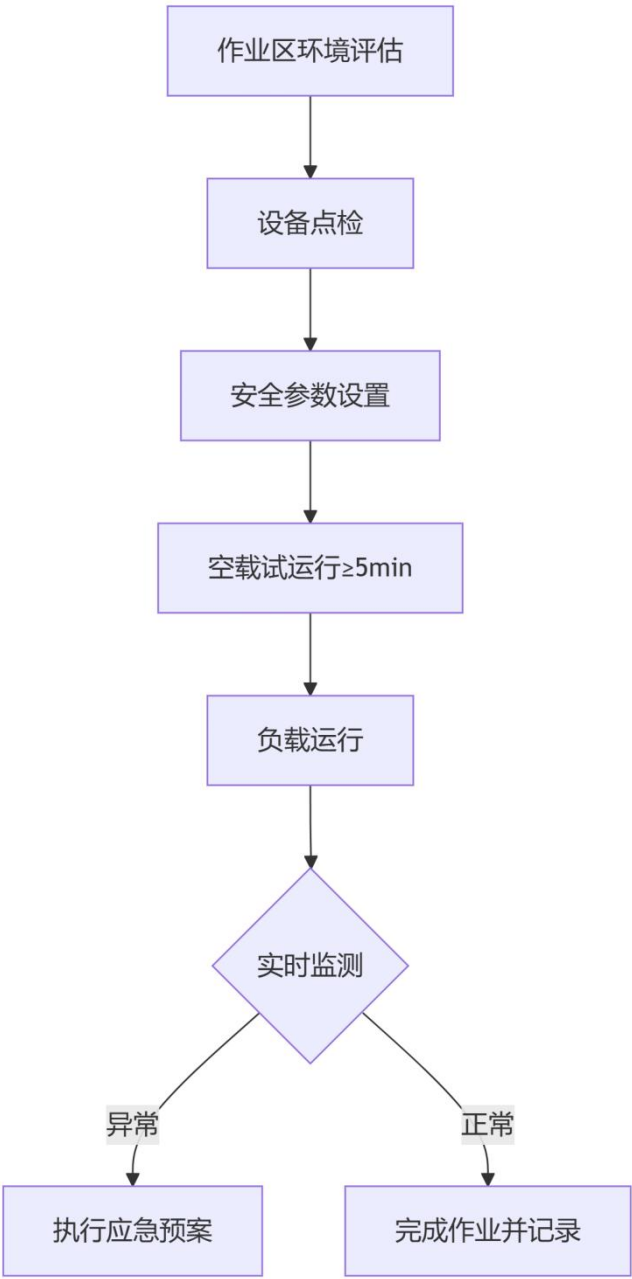


图 1 通用流程图

8.2.2 特种操作

热脱附设备点火操作包括以下步骤：

- a) 预吹扫≥3 min（置换可燃气体）；
- b) 火焰检测器确认点火成功；
- c) 温度梯度升温（≤50℃/min）。

电解絮凝机极板更换包括以下操作：

- a) 断电并验电；
- b) 穿戴耐酸手套/面罩；
- c) 旧极板按危险废物处置。

8.3 安全禁令

- 不应进行以下操作：
- a) 屏蔽安全传感器或联锁装置；
  - b) 在设备运行时进行维护作业；
  - c) 未佩戴防护装备接触化学药剂。

8.4 应急处理

应急处理见表9。

表 9 应急处理表

| 风险类型   | 响应措施                      |
|--------|---------------------------|
| 有毒气体泄漏 | 1. 立即停机；2. 启动排风；3. 疏散人员   |
| 设备倾覆   | 1. 切断动力；2. 救援通道清障；3. 吊装扶正 |

9 维护与保养

9.1 维护周期与项目

维护作业分为三级，按表10执行：

表 10 维护等级与周期

| 等级   | 周期        | 核心项目                    | 实施主体    |
|------|-----------|-------------------------|---------|
| 日常维护 | 每班作业前后    | 油位/液压油检查、滤网清洁、<br>紧固件排查 | 操作员     |
| 定期保养 | ≤250工作小时  | 传感器校准、润滑系统注油、密<br>封件更换  | 专业维修员   |
| 大修保养 | ≥2000工作小时 | 结构件探伤、控制系统升级、能<br>效测试   | 制造商授权机构 |

9.2 关键部件保养规范

9.2.1 液压系统

- 液压油更换：
- a) 首次：500 工作小时；
  - b) 后续：每 1000 工作小时或年度（参照 ISO 11158 选择 L-HM46 级别）。
- 滤芯更换：压差报警器触发后立即更换（压差≥0.3 MPa）。

9.2.2 电气系统

- 接线端子紧固扭矩：≤10 mm² 线径为1.2 N·m（GB/T 16895.6）；
- 绝缘电阻检测：≥10 MΩ（500V兆欧表测量）。

9.3 特殊环境保养

- 在下列环境作业后需增加维护：
- a) 腐蚀性环境（pH<5 或>9）：用清水冲洗外露金属件，涂抹防锈脂；
  - b) 高粉尘环境：空气滤清器清洁周期缩短 50%。

9.4 保养记录

- 采用《设备维护记录表》，包含：
- a) 维护日期/工时数；
  - b) 更换备件清单（型号/批次号）；

- c) 维护人员签字;
- d) 保存期限: ≥设备报废后 2 年。

10 检验与验收

10.1 出厂检验

10.1.1 必检项目

必检项目见表11。

表 11 必检项目表

| 类别     | 检验项目   | 合格标准                   | 方法         |
|--------|--------|------------------------|------------|
| 通用项    | 空载运行   | 温升≤40K, 无异常振动          | GB/T 21152 |
| 土壤修复设备 | 加热单元测试 | 300℃~650℃区间控温<br>精度±5% | 热电偶扫描      |
| 水体净化设备 | 密封性试验  | 0.8 MPa保压30min无渗<br>漏  | GB/T 13927 |

10.1.2 抽样规则

常规项目: 100%全检;  
寿命试验: 按GB/T 2828.1抽样 (AQL=1.0)。

10.2 现场验收

10.2.1 性能验证

土壤修复设备:  
取3处污染土壤样本, 重金属去除率按公式 (1) 计算:

$$\eta = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \geq 85\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

C<sub>0</sub>: 初始浓度;  
C<sub>1</sub>: 处理后浓度, 按HJ 491检测。  
植被恢复设备: 喷播均匀度≥90% (1m<sup>2</sup>接收盘称重法)。

10.2.2 安全环保符合性

噪声测试: 执行7.2.3条款;  
尾气检测: 执行7.2.1条款。

10.3 验收文件

- 制造商需提供:
- a) 出厂检验报告 (含关键部件溯源编码);
  - b) 操作维护手册 (纸质+电子版);
  - c) 环保合规声明 (附排放测试数据)。

11 标志、包装与运输

11.1 产品标志

11.1.1 设备本体标志

在明显位置永久性标示:

- a) 制造商名称/商标；
  - b) 设备型号及唯一性编码；
  - c) 额定技术参数（如功率、处理量）；
  - d) 安全警示标志（按 GB 2894）；
- 注：以上可根据设备特性选标。

11.1.2 铭牌信息

铭牌信息要求见表12。

表 12 铭牌信息表

| 信息项  | 要求                     |
|------|------------------------|
| 生产日期 | 年月日格式（如2025-07-30）     |
| 整机重量 | 单位kg（精确至10kg）          |
| 环保等级 | 符合中国III阶段/欧盟Stage V等标准 |
| 二维码  | 链接电子说明书、维修记录库          |

11.2 包装要求

11.2.1 防护等级

按运输环境分为三级，见表13：

表 13 包装防护等级

| 等级   | 适用场景      | 技术要求                              |
|------|-----------|-----------------------------------|
| I级   | 国际海运/多式联运 | 符合ISTA 3A标准，防盐雾、堆码≥4层             |
| II级  | 国内长途运输    | 防雨淋（GB/T 4857.9）、抗震动（GB/T 4857.7） |
| III级 | 工地短途转运    | 简易防尘框架包装                          |

11.2.2 关键部件特殊包装

关键部件特殊包装见表14。

表 14 特殊包装表

| 部件类型  | 包装规范                 |
|-------|----------------------|
| 精密传感器 | 防静电袋+发泡胶填充，加速度≤5g    |
| 膜过滤组件 | 湿法包装（1%亚硫酸钠溶液浸没）     |
| 液压油管  | 端口密封，内充氮气（压力0.05MPa） |

11.3 运输规范

11.3.1 装载固定

装载固定操作包括：

- a) 设备重心标识（红色箭头↑）；
- b) 绑扎点抗拉强度≥1.5 倍设备重量；
- c) 集装箱内间隙填充（使用气囊或木质支撑）。

11.3.2 环境控制

环境控制见表15。

表 15 环境控制表

| 敏感部件 | 运输条件 |
|------|------|
|------|------|

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 电子控制柜 | 温度-10℃~+50℃，湿度≤80%RH |
| 生物菌剂罐 | 避光，温度+4℃~+25℃        |

### 11.3.3 危险品运输

涉及化学药剂、蓄电池的设备：

- a) 张贴 UN 编号及危险类别标签（按 GB 190）；
  - b) 随附 MSDS（化学品安全技术说明书）。
-