

# 《重金属污染土壤异位旋流淋洗技术规范》

（标准讨论稿）

编制说明

《重金属污染土壤异位旋流淋洗技术规范》编制组

二〇二五年四月

# 目 次

1	工作简况 .....	3
2	标准制定必要性、编制依据、编制原则 .....	4
3	国内外相关标准研究 .....	6
4	同类工程现状调研 .....	7
5	主要技术内容及说明 .....	7

# 《重金属污染土壤异位旋流淋洗技术规范》编制说明

## 1 工作简况

### 1.1 任务来源

根据全国土壤污染状况调查公报，全国土壤总的超标率为 16.1%，污染类型主要包括无机污染（以重金属污染为主）、有机污染。近年来，土壤淋洗修复技术得到广泛发展和应用，上海市于 2023 年 10 月 1 日首次发布《上海市重金属污染土壤异位淋洗修复技术指南（试行）》，更多具体的技术规范和指南有待补充。

当前淋洗技术的修复效果受粒径分级及淋洗强度制约，为提高淋洗效率，将旋流分级、旋流洗脱与淋洗修复技术相融合，突破现有的分级极限和搅拌强度极限，促进土壤颗粒与淋洗液的混合反应，实现污染物的高效去除。

当前基于旋流增效洗脱的淋洗修复技术在应用中仍存在一些问题，主要为缺乏技术规范，在工艺设计、设备选型、施工组织等方面存在困难，难以满足相关从业企业对该项技术的应用和管理要求，也限制了该技术的推广应用。为此，上海城投上境生态修复科技有限公司、上海大学等单位起草编制了《基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术规范》并申请立项。

### 1.2 协作单位

本标准编写主要由本文件起草单位：上海大学、上海城投上境生态修复科技有限公司。

### 1.3 主要工作过程

#### 1.3.1 成立标准制订编制组

2023 年 9 月任务下达后，项目承担单位上海城投上境生态修复科技有限公司即成立标准制订编制组(以下简称编制组)。编制组初步拟定了标准制订的原则、工作目标、工作内容和路线，讨论了在标准过程中可能遇到的问题、标准定位及侧重点，并根据标准编制任务，制定了详细的标准编制计划与任务分工。

#### 1.3.2 查询国内外相关标准和文献资料、编制大纲及草案

2023 年 6 月~12 月，编制组根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》(国环规科技〔2017〕1 号)、《污染场地修复技术目录（第一批）》等相关规定，检索、查询和收集国内外相关标准和文献资料，对现有关于污染土壤淋洗修复的方法、研究进展以及存在的问题进行了调研，在整理借鉴的基础上进行归纳和总结，对方法中涉及的工艺设计、设备

选型、施工组织等主要内容进行了初步的探讨和总结，确定了淋洗修复技术规程的技术路线和主要研究内容。

### 1.3.3 编制开题论证报告及标准草案

2023年6月~12月，编制组根据拟定的技术路线，开展了污染土壤淋洗修复等相关实验研究，并在此基础上编写了开题论证报告及标准草案。

### 1.3.4 召开专家指导审查会

年月日，邀请行业内相关院士、专家进行了标准方向、内容和规划等方面的审查，并提出了标准草案相关修改意见。年月日，邀请专家对团体标准制定流程及相关要求进行深度解析，标准主编人员汇报标准编制进度、修改情况及待解决的问题，专家对存在的问题提出可行性建议。

### 1.3.5 召开立项评审会

年月日，中华环保联合会组织召开了本项目立项评审会。专家委员会听取了编制汇报，经质询和讨论，通过了本项目的立项审查，并提出以下主要修改意见：

### 1.3.6 召开专家组讨论会

年月日，中华环保联合会组织召开了专家组讨论会。专家委员会听取了标准编制汇报，经讨论，提出了以下主要修改意见：

会后，编制组根据专家修改意见对标准草案进行了进一步修改和完善，并对格式进行了修改。

### 1.3.7 召开征求意见稿技术审查会

年月日，中华环保联合会组织召开了本项目的征求意见稿技术审查会。专家组听取了标准编制组的汇报，经过质询、讨论，专家组通过了该标准征求意见稿的技术审查，并提出以下修改意见和建议：

会后，编制组按照专家意见对标准文本征求意见稿和编制说明进行了修改，编制说明中完善了 适用方法，增加了最新的国内相关标准，标准文本中修改了 ，简化了采样装置说明，增加了 相关内容。

## 2 标准制定必要性、编制依据、编制原则

### 2.1 制定必要性和重要意义

土壤污染是一个全球性的环境问题，其严重性和广泛性不容忽视。在我国，土壤污染问题近年来尤为突出。我国土壤污染的主要来源包括工业排放、农药使用、垃圾弃置等，

这些污染源导致土壤中含有大量的重金属、有机污染物或其他有害物质。这些污染物可能通过食物链进入人体，对人类健康造成潜在威胁。《建设用地土壤修复技术导则》明确了污染土壤修复应遵循的一般性原则、步骤和技术标准，主要适用于污染土壤修复可行性研究中对修复技术的筛选和修复方案的制定。然而，该导则并未详细规定土壤修复各专项技术的具体要求和细节。

制定该技术标准具有良好的环境效益、经济效益以及社会效益。环境效益体现在：基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术可以有效去除土壤中的污染物，降低对土壤、地下水等环境资源的污染威胁；通过制定和实施相关技术规范，推动污染土壤修复工作的规范化、标准化发展，为我国的可持续发展提供有力的环境支撑。经济效益体现在：通过基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术，可以有效去除或降低土壤中的污染物，使污染土地得以恢复并重新利用，从而提高了土地的利用率，为经济发展释放更多土地资源；相比其他土壤修复技术，基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术具有更高的修复效率和更低的成本；制定相关技术规范，有助于该技术的广泛应用，从而提高修复方法的选择多样性，提高污染物的去除效率，降低环境修复的总体成本；该技术规范的制定和实施将推动基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术的产业化发展，为环保产业注入新的动力，促进经济增长。社会效益体现在：减少有害物质进入食物链，从而降低对人类健康的潜在威胁，保障公众的健康权益；修复后的土壤可以作为文化用地、景观用地、居住用地、公共管理与公共服务用地等等，为居民提供更高的生活质量，促进社会和谐稳定。

制定基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术规范是完善标准体系的具体体现，是弥补我国现阶段土壤污染修复领域技术空白的迫切需求。该技术标准的制定对保护生态环境、减少环境污染、促进可持续发展具有良好作用，还可以进一步提高建设用地修复工作的规范性，节省工程投资，方便工程的监督、管理和验收工作，提升修复工作的质量和效率，对土壤污染修复具有重要的作用。

## 2.2 编制依据

### 2.2.1 政策法律依据

《中华人民共和国环境保护法》

《中华人民共和国土壤污染防治法》

《中华人民共和国水污染防治法》

《中华人民共和国环境噪声污染防治法》

## 2.2.2 技术依据

GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 15618	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB/T 20801.4	压力管道规范 工业管道 第4部分:制作与安装
GB 36600	土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB 50202	建筑地基基础工程施工质量验收标准
GB 50275	风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范
GB 50727	工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范
HJ 25.2	建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
HJ 25.4	建设用地土壤修复技术导则
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
HJ 682	建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HG/T 4380	液-固微旋流分离器技术条件
JB/T 9035	水力旋流器

## 2.3 编制原则

### 1) 规范性原则

本标准按照 GB/T 1.1-2020 有关规定，确定标准的结构和内在关系，标准条文层次的划分符合 GB/T 1.1 的规定。

### 2) 统一性原则

本标准的编写和表达方式在三个方面实现统一：一是标准结构的统一，即标准中的章、条、段、表、图和附录的排列顺序与 GB/T1.1 的要求统一；二是文体的统一，即类似的条款由类似的措辞来表达，相同的条款由相同的措辞来表达；三是术语的统一，即同一个概念使用同一个术语，每一个术语尽可能只有唯一的含义。

## 3 国内外相关标准研究

我国发布过 JB/T 9035《水力旋流器》，为水力旋流器的设计提供了指导和规范；美国环保局（EPA）发布过如《Citizen's Guide Soil Washing》等，为土壤淋洗技术的应用提供了明确的指导和规范。然而，由于基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术具有高度复杂性，尚未发现有公开的相关技术规范，亟需制订一套完整的基于旋流增效洗脱的土壤淋洗修复技术规范加以指导。

## 4 同类工程现状调研

### 4.1 重金属污染土壤异位旋流淋洗修复案例汇总

编制组对重金属污染土壤异位旋流淋洗修复工程进行了广泛调研，结果如表 1 所示。

表 1 重金属污染土壤异位旋流淋洗修复工程对比

序号	项目名称	污染类型	修复结果
1	上海桃浦智创城核心区 612 地块场地污染土壤修复工程	重金属与总石油烃复合污染	修复后土壤中汞的浓度低于修复目标值 38 mg/kg，石油烃的浓度低于修复目标值 9000mg/kg。
2	上海桃浦智创城核心区 603 地块场地污染土壤修复工程	重金属-有机复合污染	修复后土壤中重金属 As、苯胺、苯并(a)芘和 TPH 修复目标值分别低于 GB 36600-2018 规定的第一类用地筛选值，即分别小于 20 mg/kg、92 mg/kg、0.55 mg/kg、826mg/kg。

## 5 主要技术内容及说明

### 5.1 范围

本文件规定了重金属污染土壤异位旋流淋洗技术的基本规定、工艺设计及设备要求、检测与过程控制、施工与验收、运行与维护，并提供了相应的证实方法。

本文件适用于重金属污染土壤异位旋流淋洗技术修复工程的设计、施工、验收及运行维护。

重金属污染土壤异位旋流淋洗技术可适用于砷、铬、镉、铅、铜、镉等重金属污染土壤。

### 5.2 规范性引用文件

现行的国家法律法规、建设用地系列土壤生态环境标准、污染物排放治理类的环境标准及相关的行业标准是制定本标准的依据。

环境质量、排放标准、环境影响、污染物毒性浸出方法等引用国家和行业的相关标准。有关施工和成品保护等方面的技术要求引用国家和行业的相关标准。

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 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 15618	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准

GB/T 20801.4	压力管道规范 工业管道 第4部分:制作与安装
GB 36600	土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB 50202	建筑地基基础工程施工质量验收标准
GB 50275	风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范
GB 50727	工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范
HJ 25.2	建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
HJ 25.4	建设用地土壤修复技术导则
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
HJ 682	建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HG/T 4380	液-固微旋流分离器技术条件
JB/T 9035	水力旋流器

### 5.3 术语和定义

本标准规定了4个术语，分别是土壤异位淋洗、旋流分离、淋洗剂、旋流分级，主要术语说明如下。

#### 土壤异位淋洗

使用清水或淋洗剂对挖掘的污染土壤进行洗涤，使污染土壤中的无机污染物和有机污染物从土壤转移到溶液中，达到清除土壤污染物的目的。

**说明：**该术语来源于HJ 682《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》，本标准在原本含义不变的情况下修改了部分措辞以更贴合本技术规范。

#### 旋流分离

当分散相和连续相存在密度和粒度差异时，利用分散相和连续相在旋流分离器中所受离心力不同实现分散相从连续相中去除的过程。

**说明：**旋流分离是一种基于离心力的物理分离技术，适用于两相体系（如固-液、液-液、气-液等），由于分散相（如固体颗粒、油滴）和连续相（如水、空气）的密度差和粒度差，它们在旋转流场中受到不同的离心力，进而实现分离，该术语主要结合国内外相关研究进行了定义。

#### 旋流分级

利用旋流分离器对土壤浆料中的粗颗粒和细颗粒分级的过程，污染物浓度低的粗颗粒从旋流分离器底流口排出，污染物浓度高的细颗粒从溢流口排出。

**说明：**在污染土壤修复中，旋流分级利用污染物（如重金属、有机污染物）通常富集

在细颗粒的特性（因比表面积大、吸附能力强），实现污染物的选择性分离，国内外对旋流分级技术开展了大量研究，该术语主要结合国内外相关研究进行了定义。

### **淋洗剂**

土壤淋洗过程中，通过溶解、络合或吸附等机制与污染物结合，使土壤中的污染物分离出来的药剂。

**说明：**针对不同污染土壤，选择合适的淋洗剂尤为重要。该术语主要结合国内外相关研究进行了定义。

## **5.4 基本规定**

**5.4.1** 旋流淋洗修复工程应配备废水、废气、固体废物和噪声等二次污染控制设施。并应符合下列规定：

- （1）废水排放应符合 GB 8978 和地方污染物排放标准的规定；
- （2）废气排放应符合 GB 16297 和地方污染物排放标准的规定；
- （3）危险废物处理应符合 GB18597 的规定；
- （4）噪声控制应符合 GB 12348 的规定。

**说明：**旋流淋洗技术在修复重金属污染土壤过程中，可能产生：含重金属、化学药剂淋洗废液；挥发性有机物（VOCs）、粉尘；淋洗后残渣、废滤料等可能属危险废物；旋流分离器、泵等设备运行噪声。因此废水、废气、危险废物及噪声应满足相关标准，废水排放应满足 GB 8978 和地方污染物排放标准；废气排放应满足 GB 16297；危险废物处理应满足 GB18597；噪声控制应满足 GB 12348。

**5.4.2** 淋洗修复后的土壤目标污染物含量应根据土壤类型和用途而定，并应符合 GB 36600 或 GB 15618 的规定。

**说明：**GB 36600《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》适用于城市建设用地（如居住、商业、工业用地），GB 15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》适用于耕地、林地、草地等农用地，这两个标准基本包含修复后土壤的用途。

**5.4.3** 修复工程方案设计时，应按土壤污染特征、土壤理化性质、能源供给条件、周边环境敏感点、修复目标、修复周期等因素确定。

**说明：**HJ 25.4 明确规定修复方案需基于场地调查数据，综合考虑污染物分布、水文地质等特征。

## 5.5 工艺设计及设备要求

### 5.5.1 一般规定

5.5.1.1 修复工程应开展小试和中试实验，确定淋洗液的配置和用量，优化系统运行参数。

**说明：**污染土壤修复工程开展小试和中试实验是确保技术可行性的关键环节，其必要性主要体现在：通过小试实验验证淋洗剂对目标污染物（如 Pb、Cd）的去除效率，并优化操作参数，为后续工程实施提供数据支撑。

5.5.1.2 淋洗设备前设置预处理单元，用于筛分去除土壤中粒径大于 30mm 的杂物。

**说明：**《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4）建议通过预处理去除“影响设备运行的杂物”，在本技术规范中，设置预处理单元（筛分去除>30mm 杂物）是确保后续设备稳定运行的关键环节，主要作用包括：保护设备，防止大块杂物（如石块、建筑垃圾）损坏破碎机、旋流分离器等精密设备；提高效率，减少无效处理量，降低能耗与运行成本。欧美淋洗工程案例中普遍采用 25-50mm 筛分阈值，考虑到筛分效率，选择 30mm 作为预处理筛分阈值。

5.5.1.3 淋洗设备应包括进料单元、筛分制浆单元、旋流分级与淋洗单元、液固分离单元。

**说明：**本标准规定的淋洗修复系统主要由四大功能单元组成：进料单元负责土壤的定量输送与均匀给料，筛分制浆单元负责配制浆料；旋流分级与淋洗单元利用水力旋流器实现粗、细颗粒分离，强化淋洗效果；液固分离单元采用板框压滤机进行泥水分离。该系统各单元协同运作，形成完整的淋洗修复工艺流程，满足 HJ 25.4 等技术规范对污染土壤修复工程的要求。

5.5.1.4 重金属土壤污染修复可配备多类增效模块（如加热、化学氧化、气浮等增效模块）。增效模块宜设置在进料单元与旋流分级及淋洗单元之间，可适用于下列土壤污染修复：

- （1）加热可适用于汞土壤污染修复；
- （2）化学氧化可适用于有机质含量高的土壤污染修复；
- （3）气浮可适用于含石油烃污染的复合土壤污染修复。

**说明：**重金属土壤污染修复可配备多类增效模块（如加热、化学氧化、气浮等增效模块）以适配复合重金属污染土壤的修复要求。

5.5.1.5 旋流淋洗技术修复工程设计应满足绿色节能设计要求。

**说明：**工程设计应符合 HJ 25.4 中关于节能减排的相关要求，确保单位处理能耗不超

过行业平均水平，实现环境效益与经济效益的统一。

### 5.5.2 重金属污染土壤异位旋流淋洗工艺路线

污染土壤经预处理、制浆、振动筛分后进入旋流淋洗工艺段，如图 1。

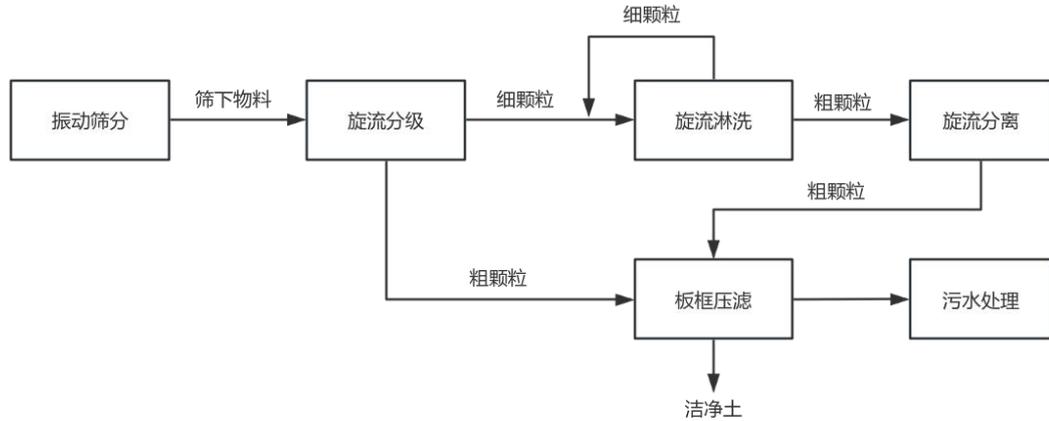


图 1 污染土壤旋流淋洗技术工艺流程图

**说明：**振动筛分后的土壤经旋流分级，分成重金属含量达标土壤和重金属含量超标土壤，达标土壤主要为粗颗粒，经板框压滤得到洁净水；超标土壤主要为细颗粒，细颗粒进入泥浆池并添加淋洗药剂，进行后续旋流淋洗，经旋流淋洗后的浆料含水量大，经旋流分离的作用进行提浓，提浓后经板框压滤得到洁净水。板框压滤的滤液通过污水处理系统净化后可回用土壤制浆。

### 5.5.3 污染土壤旋流淋洗技术工艺单元设计

#### 5.5.3.1 一般规定

- (1) 工艺设备应根据工程项目修复需求确定，宜采用撬装式异位淋洗设备，并根据场地面积选择单层或双层搭设。
- (2) 设备应易于操作和维护，方便操作和调整，同时应降低故障率和维护成本。
- (3) 旋流器的加工制造应符合 JB/T 9035 或 HG/T 4380 的规定。
- (4) 对于多级串联旋流器，应使各级旋流器之间匹配和协调。
- (5) 设备材质应能承受工作过程中的压力和温度，并且具有良好的耐腐蚀性，处理能力应满足生产需求。

#### 5.5.3.2 旋流分级单元

- (1) 设备选型：旋流分级单元宜包括多个旋流分级器、脱水筛；

(2) 操作参数：旋流分级器用于对粗细颗粒土壤进行分级，同时对预处理筛分后的泥浆进行增效洗脱，结构设计及分级节点可根据待处理污染土壤的粒径分布特点而定。处理能力一般为 70-400 m<sup>3</sup>/h，进料浓度一般为 5%-25%wt，进料压力一般为 0.04-0.35 MPa。

(3) 作业工序：筛分后的泥浆混合液进入旋流分级器，经过多级旋流分级淋洗，底流大粒径土壤颗粒进入脱水筛，脱水出料，溢流小粒径土壤颗粒进入旋流淋洗单元经多级旋流淋洗强化洗脱效果。

**说明：**依据 HG/T 4380《液—固微旋流分离器技术条件》和 JB/T 9035《水力旋流器》，旋流分级器的处理能力一般为 70-400 m<sup>3</sup>/h，进料浓度一般为 5%-25%wt，进料压力一般为 0.04-0.35 MPa。

#### 5.5.3.3 旋流淋洗单元

(1) 设备选型：泥浆淋洗单元宜包括多个泥浆槽、旋流淋洗器。

(2) 操作参数：针对旋流分级器溢流颗粒重金属含量特点设置淋洗仓，确定淋洗剂种类和用量。搅拌槽转速不低于 50 r/min，停留时间不低于 15 min。

(3) 淋洗剂：可选用单一淋洗剂或复配淋洗剂。复配淋洗剂可由有机酸、螯合剂或表面活性剂组成。淋洗剂浓度一般为 0.01-0.2 mol/L。

(4) 作业工序：旋流分级后的细颗粒土壤浆液进入淋洗仓内的旋流淋洗器进行淋洗，经过多级旋流淋洗，底流大粒径土壤颗粒进入旋流分离单元进行旋流提浓，溢流小粒径土壤颗粒返回泥浆池重新进行旋流淋洗。

**说明：**实际淋洗修复工程中，一般配备搅拌槽，考虑到修复成本，搅拌槽转速不宜过低，淋洗剂浓度一般不超过 0.2mol/L。

#### 5.5.3.4 旋流分离单元

(1) 设备选型：旋流分离单元宜选用多个微旋流分离芯管组成的旋流分离器。

(2) 操作参数：旋流分离器用于初步提浓淋洗后的泥浆，结构设计可根据待处理污染土壤的粒径分布特点而定。处理能力一般为 70-400 m<sup>3</sup>/h，进料浓度一般为 5%-25%wt，进料压力一般为 0.1-0.35 MPa。

(3) 作业工序：淋洗后的泥浆进入旋流分离器进行初步提浓，溢流清水回流至淋洗仓，提浓后的土壤进入板框压滤机脱水，脱水后的污泥运至指定场地堆置。

**说明：**依据 HG/T 4380《液—固微旋流分离器技术条件》和 JB/T 9035《水力旋流

器》，旋流分离器的处理能力一般为 70-400 m<sup>3</sup>/h，进料浓度一般为 5%-25%wt，进料压力一般为 0.1-0.35 MPa。

## 5.6 检测与过程控制

### 5.6.1 检测和监测

5.6.1.1 对淋洗修复后的污染土壤进行采样和实验室分析，样品采集和实验室检测可按照 HJ25.2、HJ 25.4、和 HJ 25.5 执行。

**说明：**HJ 25.2《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》对采样点位布设（如网格法、分区法）、采样深度、样品保存等提出严格要求，避免因采样误差导致修复效果误判；HJ 25.4《建设用地土壤修复技术导则》规定了污染场地土壤修复的基本程序和技术要求，包括采样、检测和修复效果评估；HJ 25.5《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》规定了修复后土壤的采样、检测及验收要求。

5.6.1.2 设备运行过程中工艺参数监测内容包括：

- （1）污染土壤进料速率；
- （2）淋洗药剂浓度及使用量；
- （3）土壤浆料停留时间；
- （4）旋流器压降、进口流量；
- （5）筛分出料粒径及出料量。

**说明：**在污染土壤淋洗修复过程中，实时监测关键工艺参数是确保系统稳定运行、优化修复效果、降低运行成本的重要措施。以下参数：污染土壤进料速率，淋洗药剂浓度及使用量，土壤浆料停留时间，旋流器压降、进口流量，筛分出料粒径及出料量对系统稳定运行和修复效果具有重要影响，因此需进行监测。

## 5.6.2 监测仪表

5.6.2.1 各单元应配置运行控制所需的监测仪表，实时在线监测运行工况。

5.6.2.2 根据设计及过程参数采用药剂计量泵、电磁流量计等设备调控设备运行状态。

## 5.7 施工与验收

### 5.7.1 一般规定

5.7.1.1 施工前应由设计单位制定修复方案，修复方案应包括工程概况、地块特征、污染特征及风险控制、地块修复模式、修复技术比选、修复方案设计、环境管理计划、成本效益分析、进度安排及场地平面布置。变更方案应经设计单位同意。

5.7.1.2 施工应制定施工组织方案。施工组织方案应包括工程概况、技术方法、施工部署、施工计划、环境保护措施及施工总平面布置图。

**说明：**HJ 25.5 要求施工前编制实施方案，明确工艺流程和环境保护措施。

### 5.7.2 设备安装

5.7.2.1 设备安装应符合以下规定：

(1) 风机、压缩机、泵的安装应符合 GB 50275 的规定；

(2) 设备、设施和管件的施工应符合 GB 50727、GB 20801.4 的规定。

**说明：**GB 50275《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》规定了动力设备的安装技术要求、调试方法和验收标准。旋流淋洗系统接触腐蚀性介质（如酸/碱药剂、重金属废水），防腐措施直接影响设备寿命，因此须符合 GB 50727《工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范》和 GB 20801《压力管道规范 工业管道》

### 5.7.3 设备调试

5.7.3.1 设备运行前，应对下列设备和管道检查和调试：

(1) 管路设备连接；

(2) 电气仪表及控制系统；

(3) 配电设备；

(4) 设备外观完好无损，铭牌、设备牌、标识牌齐全。

(5) 设备试运行，在确认启动正常后，进行 5-10 min 试运行，确认以下内容：

设备本体无跑、冒、滴、漏、喷等情况；

进料系统无阻塞卡顿情况；

粒径分离运转正常，无异响及剧烈振动；

旋流器无溢流跑粗、底流夹细现象，流量和压力正常；

药剂泵运转正常，入口压力在正常范围内，出药流量稳定，无堵塞现象，流动性好；

固液分离运行正常连续；

水处理设备运行正常连续，无漏水现象，无异常噪声。

**说明：**设备运行前，需检测和调试管路设备连接、电气仪表及控制系统、配电设备以保证设备正常运行。

5.7.3.2 调试期间应进行设备性能试验，内容包括：

- (1) 旋流器最大工作流量；
- (2) 土壤粒径分级效率；
- (3) 土壤淋洗效率；
- (4) 淋洗剂最佳用量及液固比；
- (5) 废水系统处理效率；
- (6) 药剂利用率及废水损失率。

**说明：**旋流器最大工作流量、土壤粒径分级效率……等是修复工程现场实施的重要性能参数，因此在调试期间应对以上内容进行性能试验。

#### 5.7.4 验收

5.7.4.1 土建工程验收应符合 GB 50202 的规定。

**说明：**GB 50202《建筑地基基础工程施工质量验收规范》是建筑工程领域的强制性国家标准，适用于各类地基、基础及土建工程的施工质量验收。污染土壤修复工程中的土建部分（如设备基础、废水池、暂存场等）应符合该标准要求。

5.7.4.2 风机、压缩机、泵安装工程验收应符合 GB 50275 的规定。

**说明：**污染土壤修复工程中涉及的各类泵（如泥浆泵、加药泵）、风机（如曝气风机）和压缩机（如气动系统）的安装验收应符合 GB 50275、

5.7.4.3 设备、设施和管件的验收应符合 GB 50727 的规定。

**说明：**污染土壤修复工程中涉及的所有设备（如旋流器、振动筛）、设施（如废水池）和管件（如输送管道）的防腐蚀质量验收应符合 GB 50727。

5.7.4.4 土壤修复效果验收应符合 HJ 25.5、GB 36600、GB 15816 的规定；淋洗废水验收应符合 GB 8978 的规定。

**说明：**满足以上验收标准以确保修复效果的可验证性，环境风险的可控性，排放行为的合规性。

## 5.8 运行与维护

### 5.8.1 一般规定

5.8.1.1 设备运行过程中，应确保处于设计工况条件下。应根据工艺要求，定期对设备、电气系统、自控仪表等进行全面检查和维护。

5.8.1.2 应建立运行、维护和操作规程等规章制度，设备运行状况台账制度。

**说明：**应建立健全运行、维护和操作规程等规章制度，保障污染土壤修复工程顺利进行。同时，建立设备运行状况台账制度，有效监控主要设备运行状态，确保设备正常运行和及时维护。

### 5.8.2 运行管理

5.8.2.1 运行管理应定期对运行人员培训，应掌握正常运行操作和应急处理措施。

5.8.2.2 在操作人员正式上岗前，必须完成以下专项培训内容：

- (1) 启动前的检验与启动条件确认；
- (2) 设备平稳运行的条件；
- (3) 监控、警报及指示系统的使用、检测与必要调整；
- (4) 优化运行状况、监测污染物处理效能及维持设备稳定运行的方法；
- (5) 发现、诊断及解决设备运行中的故障；
- (6) 紧急情况应对措施及事故处置流程；
- (7) 设备的日常保养与定期检修；
- (8) 记录设备操作和保养日志，以及其他必要事件的报告和记录。

5.8.2.3 应制定一套完整的记录体系，用于记录污染土壤修复工程的运行状态、设施维护和生产作业等信息，主要记录项目包含：

- (1) 系统的开启与关闭时间；
- (2) 系统操作中的控制参数；
- (3) 关键设备的操作及维护状况；
- (4) 化学药品的投加记录；
- (5) 生产过程中事故的记录及处理结果；
- (6) 定期检测、评估和审查的详细记录。

**说明：**通过制定一套完整的记录体系，实现工程可追溯性、保障运行合规性、支撑效果评估，满足工程质量控制、环保监管和后期审计等需求。

5.8.2.4 运行人员应按照规定落实交接班制度和巡检制度。

### 5.8.3 事故应急

5.8.3.1 应制定重金属污染土壤旋流淋洗技术修复工程的应急响应预案，并进行演练。事故发生时应及时作出响应，最大程度减少损失；事故处理报告应详细记录事故处理过程。

5.8.3.2 应科学分析事故原因、影响范围和程度，完善应急预案。

### 5.8.4 维护

5.8.4.1 应制定修复工程设备定期维护计划。

5.8.4.2 维护时，应根据技术要求与规范，对设备定期检查、维护及更换部件和材料。维护对象应包括管线、旋流器等淋洗设备部件。

5.8.4.3 在设备维护过程中，应使用台账记录设备的运行时间、故障发生时间、原因及解决措施，同时记录测试阶段的故障次数和频率，并对故障严重性进行评估和记录。