

ICS 13. 020. 40

CCS Z 50

团 体 标 准

T/ACEF 0**—20**

重金属污染土壤异位旋流淋洗技术规范

Technical specification for ex-situ hydrocyclone washing of heavy metal
contaminated soil

(征求意见稿)

2025-□□-□□发布

2025-□□-□□实施

中 华 环 保 联 合 会 发布

目 录

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本规定 2

5 工艺设计及设备要求 3

6 检测与过程控制 5

7 施工与验收 6

8 运行与维护 7

附录 A（资料性）重金属污染土壤淋洗剂选择方案推荐 10

附录 B（资料性）重金属污染土壤异位旋流淋洗技术应用实例 11

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****提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件主编单位：

本文件参编单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

重金属污染土壤异位旋流淋洗技术规范

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。

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 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 50016 建筑设计防火规范
- GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- 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

T/ACEF 0**—20**

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

HJ 1282 污染土壤修复工程技术规范 固化/稳定化

HG/T 4380 液—固微旋流分离器技术条件

JB/T 9035 水力旋流器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

土壤异位淋洗 soil washing

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。

[来源：HJ 682，2.5.31，有修改]

3.2

旋流分离 hydrocyclone separation

利用旋流分离器将存在密度差异的分散相从连续相中分离的过程。

3.3

淋洗剂 leaching agent

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。

注：常用的淋洗剂包括无机淋洗剂、有机淋洗剂、螯合剂和复合淋洗剂。

3.4

旋流分级 hydrocyclone classification

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。

4 基本规定

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。

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。

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。

5 工艺设计及设备要求

5.1 一般规定

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。

5.1.2 淋洗设备前应设置预处理单元，宜筛分去除土壤中粒径大于 30mm 的杂物。

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。

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。

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。

5.2 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。

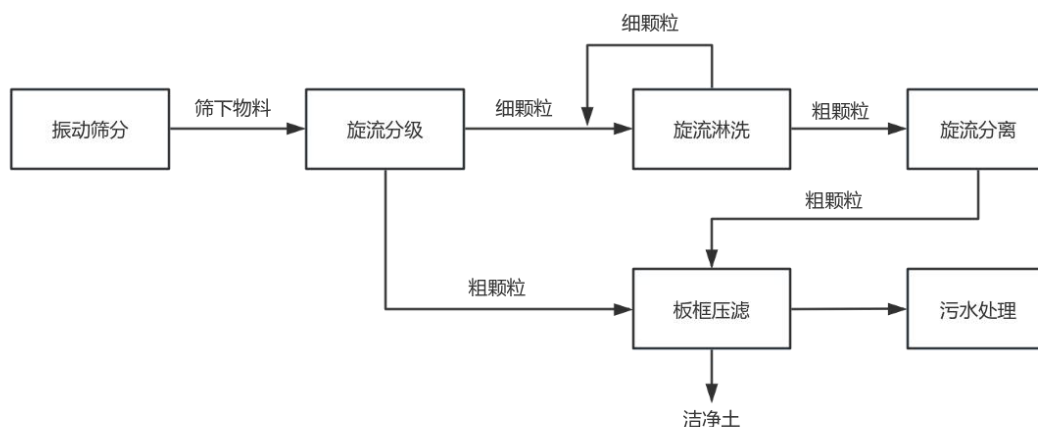


图 1 旋流淋洗工艺流程图

5.3 污染土壤旋流淋洗技术工艺单元设计

5.3.1 一般规定

5.3.1.1 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。

5.3.1.2 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。

5.3.1.3 旋流器的加工制造应符合 JB/T 9035 或 HG/T 4380 的规定。

5.3.1.4 对于多级串联旋流器，应使各级旋流器之间匹配和协调。

5.3.1.5 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。

5.3.2 旋流分级单元

5.3.2.1 设备选型：旋流分级单元宜包括多个旋流分级器、脱水筛；

5.3.2.2 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。处理能力宜为 70-400 m³/h，进料浓度宜为 5%-25%wt，进料压力宜为 0.04-0.35 MPa。

5.3.2.3 作业工序：筛分后的泥浆混合液进入旋流分级器，经多级旋流分级淋洗，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。

5.3.3 旋流淋洗单元

5.3.3.1 设备选型：泥浆淋洗单元宜包括多个泥浆槽、旋流淋洗器。

5.3.3.2 操作参数：淋洗仓应按旋流分级器溢流颗粒重金属含量设置，应确定淋洗剂种类和用量。搅拌槽转速不应低于 50 r/min，停留时间不应低于 15 min。搅拌槽转速不低于 50 r/min，停留时间不低于 15 min。

5.3.3.3 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。淋洗剂浓度宜为 0.01-0.2 mol/L。

5.3.3.4 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淋洗，经多级旋流淋洗，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。

5.3.4 旋流分离单元

5.3.4.1 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。

5.3.4.2 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确定。处理能力宜为 70-400 m³/h，进料浓度宜为 5%-25%wt，进料压力宜为 0.1-0.35 MPa。

5.3.4.3 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。

6 检测与过程控制

6.1 检测和监测

6.1.1 淋洗修复后的土壤应进行采样和实验室分析，样品采集和实验室检测可按 HJ25.1、HJ 25.2 和 HJ 25.5 执行。

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。

6.2 监测仪表

- 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。
- 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。

7 施工与验收

7.1 一般规定

- 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。
- 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。

7.2 设备安装

- 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/T 20801.4 的规定。

7.3 设备调试

- 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 试运转，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。

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。

7.4 验收

7.4.1 土建工程验收应符合 GB 50202 的规定。

7.4.2 风机、压缩机、泵安装工程验收应符合 GB 50275 的规定。

7.4.3 设备、设施和管件的验收应符合 GB 50727 的规定。

7.4.4 土壤修复效果验收应符合 HJ 25.5、GB 36600、GB 15816 的规定。

8 运行与维护

8.1 一般规定

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。

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。

8.2 运行管理

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。

8.2.2 操作人员上岗前，应完成下列专项培训：

- (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。

8.2.3 运行管理应制定记录体系，记录下列内容：

- (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。

8.2.4 运行人员应按照规定落实交接班制度和巡检制度。

8.3 应急预案

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。

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。

8.4 维护

8.4.1 应制定修复工程设备定期维护计划。

8.4.2 设备应根据技术要求与规范定期检查、维护并更换部件和材料，维护对象应包括管线、旋流器等淋洗设备部件。

8.4.3 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。

附录 A

(资料性)

重金属污染土壤淋洗剂选择方案推荐

A.1 重金属污染土壤淋洗剂选择方案

重金属污染物	推荐淋洗剂 1	推荐淋洗剂 2
砷	草酸	磷酸二氢钾
铬（六价）	草酸	硫酸亚铁
镉	柠檬酸	氯化铁
铅	EDTA	氯化铁
铜	柠檬酸	氯化铁
锑	草酸	磷酸二氢钾

附录 B

(资料性)

重金属污染土壤异位旋流淋洗技术应用实例

该淋洗修复技术体系已在上海市某重金属污染土壤修复场地中得到示范应用，根据前期场地调查结果，该场地土壤中超过风险可接受水平的重金属关注污染物包括钴、铅。其中钴污染浓度为 25~35.5 mg/kg（修复目标值为 20 mg/kg），铅污染浓度为 442 mg/kg（修复目标值为 400 mg/kg）。具体实施流程包括：①筛分制浆，初步破碎筛分后的土壤由输送机运至滚筒筛，在该单元进一步去除较大的颗粒。注药系统将配制好的淋洗液注入滚筒筛中，与土壤初步混合制浆，形成的泥浆进入高频振动筛，去除土壤中 1.5 mm 以上的砂石；②旋流破碎分级及旋流洗脱，来自高频振动筛的土壤颗粒逐次经过多级旋流破碎分选，污染不超标的粗粒经振动脱水筛出料，0.075 mm 以下细粒（工程上难以进一步振动筛分）再经旋流破碎分级减量，进一步去除污染不超标颗粒，污染超标细颗粒经旋流强化洗脱后进入泥浆脱水阶段；③泥浆脱水，经旋流强化洗脱后的泥浆进入旋流提浓进行初步脱水，溢流清液返回至旋流淋洗阶段回用，底流运至板框压滤机脱水；④淋洗废水处理，淋洗废水进入混凝沉淀池进行絮凝沉淀处理，混凝沉淀池上清液作为循环水进入清水池重复利用。

土壤经过异位淋洗修复后，土壤中的污染含量降低并达到修复目标值，修复前后的污染含量如下表所示，经过淋洗修复，土壤中铅平均含量由 442mg/kg 降低至 28.8 mg/kg；钴平均含量由 30.25 mg/kg 降低至 16.5 mg/kg。