

《上海市重金属污染土壤异位淋洗  
修复技术指南（试行）》  
编制说明

2023 年 8 月

# 目 录

一、任务来源.....	1
二、编制必要性 .....	1
三、国内外相关资料研究 .....	2
(一) 国内相关资料研究 .....	2
(二) 国外相关标准研究 .....	4
(三) 同类工程现状调研 .....	7
四、编制过程.....	10
五、主要技术内容及说明 .....	11
(一) 工作内容和流程 .....	11
(二) 资料收集 .....	11
(三) 技术适用性评估 .....	11
(四) 工程设计 .....	13
(五) 工程施工 .....	17
(六) 工程运行、监测及修复效果评估 .....	20
六、指南实施的环境效益和技术经济分析 .....	22
(一) 环境效益分析 .....	22
(二) 技术经济分析 .....	22
七、指南实施建议 .....	23

## 一、任务来源

为贯彻落实《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》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律法规和国家建设用地环境保护相关要求，指导和规范上海市重金属污染土壤异位淋洗修复工程设计、建设和运行，提升上海市土壤和地下水污染防治水平，编制《上海市重金属污染土壤异位淋洗修复技术指南（试行）》（以下简称指南）。

指南由上海市生态环境局组织编写，上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司起草编制。

## 二、编制必要性

土壤是人类生存、生态文明建设的基础资源，2014年环境保护部和国土资源部发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示，我国土壤污染类型以镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍等重金属污染为主，重金属污染土壤的治理刻不容缓。常用的重金属污染土壤修复技术主要有固化稳定化、土壤淋洗等。固化稳定化技术虽是国内目前重金属污染场地治理中最常用的技术，但其仍具有一定局限性，根本原因在于：1）重金属污染物风险未彻底清除，需对固化稳定化后土壤的长期稳定性及环境安全性进行评估；2）随着需要固化稳定化修复的土方量增加，可以利用的填埋场地越来越少，限制了固化稳定化技术的应用。

土壤淋洗修复技术是采用物理分离或化学浸提等手段，通过添加水或合适的增效剂，分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相的技术。因此，土壤淋洗修复技术可以有效地减少污染土壤的处理量，实现减量化；同时可快速将重金属污染物从土壤中移除，短时间内完成高浓度污染土壤的治理，成本相对低廉，修复后土壤可再利用。为了解决传统的土壤淋洗工艺及设备对上海地区湿黏性土壤的适用性难题，亟待编制适用于上海市地质条件的重金属污染土壤淋洗修复技术指南。

### **三、国内外相关资料研究**

#### **（一）国内相关资料研究**

《中华人民共和国环境保护法》第三十二条规定，国家加强对大气、水、土壤等的保护，建立和完善相应的调查、监测、评估和修复制度。第五十条规定，各级人民政府应当在财政预算中安排资金，支持农村饮用水水源地保护、生活污水和其他废弃物处理、畜禽养殖和屠宰污染防治、土壤污染防治和农村工矿污染治理等环境保护工作。

《中华人民共和国土壤污染防治法》第十二条规定国务院生态环境主管部门根据土壤污染状况、公众健康风险、生态风险和科学技术水平，并按照土地用途，制定国家土壤污染风险管控标准，加强土壤污染防治标准体系建设。

《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号）第八条指出加大科技研发力度，推动环境保护产业发展。加强土壤污

染防治研究，加大适用技术推广力度，推动治理与修复产业发展。

《污染场地修复技术目录（第一批）》（环境保护部公告 2014 年 第 75 号）指出异位土壤洗脱技术可处理重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物污染土壤。不宜用于土壤细粒（黏/粉粒）含量高于 25%的土壤。处理周期约为 3-12 个月，国内处理成本约为 600-3000 元/m<sup>3</sup>。

《土壤污染防治先进技术装备目录》（科技部公告 2017 年 第 2 号）对污染土壤异位淋洗修复技术做了简要介绍，提出污染土壤异位淋洗修复技术是通过采用水等淋洗液冲洗颗粒表面吸附的污染物，促使污染物从土壤固相颗粒转移至液相，实现土壤净化和污染土壤减量的目的。但其工艺流程较为简单，未设置增效洗脱工序，同时也指出该技术不宜用于土壤细粒（黏/粉粒）含量高于 25%的土壤。

《模块化撬装式土壤淋洗修复系统 第一部分 工艺及总成》（中国机械工程学会团体标准）规定了土壤异位淋洗修复装备的工艺过程及设备要求，包括修复对象及验收指标、工艺流程和设备要求。指出模块化撬装式异位淋洗技术适用于污染物集中于大颗粒级土颗粒上的情况，砂砾、粗砂和细砂以及相似土壤组成的污染物更容易处理；污染土壤黏粒含量超过 25%的不建议采用。该标准侧重于淋洗设备的规范要求。

《上海市建设用土地土壤污染风险管控和修复施工过程环

境管理技术要求（试行）》（沪环土〔2021〕166号）规定了上海市建设用地土壤及地下水污染风险管控和修复治理项目施工过程的环境管理内容、管理手段及过程控制技术要求，适用于污染地块风险管控和修复治理工程施工过程中的现场管理。技术要求规定了重金属污染土壤异位淋洗修复技术关键工艺参数及监控要求。

总体而言，目前国内尚未有关于异位淋洗修复技术的标准规范出台，此前国家发布的相关文件资料对上海土壤类型（土壤细粒含量 $>25\%$ ）适用性不强。

## （二）国外相关标准研究

1991年美国EPA基于《超级基金法》发布了《土壤淋洗修复技术可行性指南》，指南帮助评估土壤淋洗修复技术对于场地污染修复的适用性。指南讨论了基于中试试验的修复技术的筛选与淋洗工艺设计（图1）。修复技术筛选研究能够经济快速地判断土壤淋洗是否是一种可行的修复技术。通过中试试验确定淋洗技术能否经济高效地去除污染物满足修复目标，同时确定修复工程费用及工艺参数。对于特定的污染场地，需要专门设计淋洗修复方案及工艺。

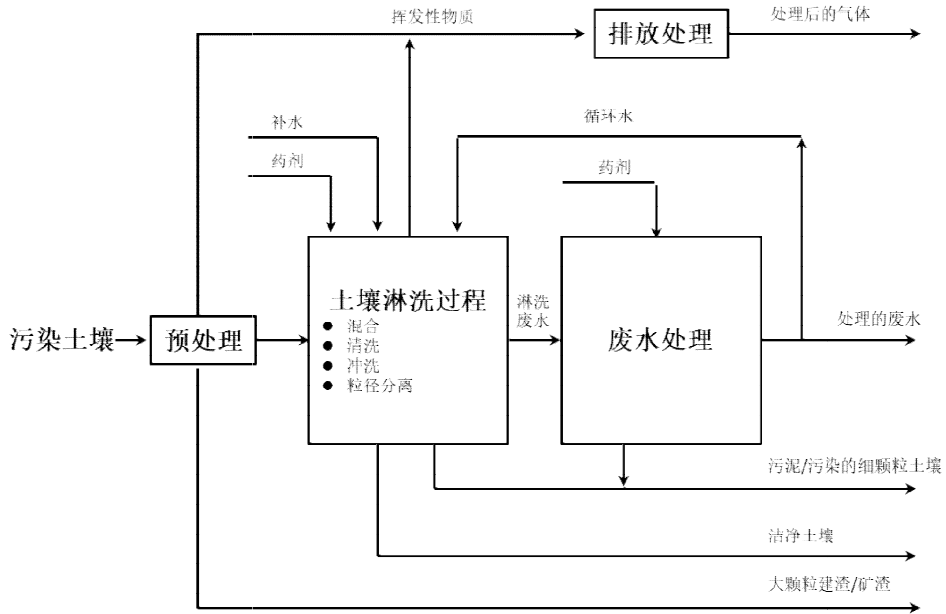


图 1 土壤淋洗主要工艺示意图

1995 年美国能源部对淋洗修复技术进行了评估，指出土壤淋洗是一种采用物理和化学分离过程的创新技术，是一种处理挖掘土的异位修复技术。污染物可以通过化学或机械方法去除，将污染土壤筛分至更小的体积，实现减量化，因此把土壤淋洗技术又称体积减量技术（Volume Reduction Unit）。土壤淋洗技术的应用易受土壤理化性质、污染物的理化性质影响(表 1)。土壤淋洗通常包括筛分、粒径分级、粗颗粒土壤处理、细颗粒土壤处理，污泥处置和二次污染防治等。提出土壤淋洗技术具有的优点包括实现减量化、只需处理细颗粒土壤、设备灵活性强、修复成本低、操作方便。

表 1 土壤淋洗关键参数

参数	处理措施及对淋洗影响
粒径分布：	
>2 mm	土壤预处理筛分
0.25-2 mm	可高效淋洗
0.063-0.25 mm	限制淋洗

<0.063 mm	土壤淋洗较困难
<b>其它物理性质:</b> 类型, 物理形式, 操作特性	影响预处理和 重金属迁移
含水量	影响预处理和 重金属迁移
<b>化学性质:</b> 重金属	成分、浓度、种类影响 淋洗剂的筛选、重金属的迁移性及后处理
腐殖酸	有机物含量将影响污染物在土壤上的 吸附特性, 特别是在沿海和湿地地区
<b>其它化学性质:</b> pH、缓冲容量	可能影响预处理要求, 与设备材料的兼容性, 淋洗药剂的兼容性

1997年美国EPA发布土壤修复技术的最佳管理实践(Best Management Practices), 提出了在土壤修复治理过程中避免污染物跨介质转移的操作指南。针对土壤淋洗修复技术, 最佳管理实践指出淋洗废水污染物管理(Residuals Management)是关注的重点, 土壤淋洗过程中通常产生大量的废水, 这些富含重金属和淋洗剂的淋洗废水通常无法在现场处理完全。土壤应筛除杂物和大颗粒的砂石, 目的是减少淋洗药剂和淋洗用水量。不同污染浓度的土壤应分批淋洗, 根据污染程度调整药剂使用量和用水量, 能够有效减少淋洗废水量及废水药剂浓度, 从而降低废水处理成本和难度, 提高循环水的质量。淋洗修复设备防渗漏和防喷溅措施能够有效防止淋洗废水对土壤及地表水造成的二次污染。螯合剂、表面活性剂和其他淋洗药剂通常很难通过传统的处理方法(化学沉淀法或活性炭法)从淋洗废水中回收或循环利用, 处理后的土壤中淋洗药剂的残留可能造成



二次污染的问题。经过土壤清洗、干湿筛分、重力浓缩和泡沫浮选处理的土壤可能具有显著不同的土壤特性，如渗透性和压实性，因此回填时会对场地的地下水流动特性产生不利影响。

### (三) 同类工程现状调研

美国、加拿大等发达国家异位淋洗修复技术的工程应用与实施集中于 20 世纪 90 年代至 21 世纪初期。根据美国《超级基金修复报告（第 16 版）》中对超级基金污染地块的淋洗修复工程（包括采用筛分洗涤的工程）的统计（图 2），1990 年-1992 年淋洗修复工程数量较多（>25 个），2010 年以来每年的淋洗修复工程数量在 10 个左右。1982 年-2009 年淋洗修复项目占总修复项目比例在 25%左右，2010 年以后占比提高到 35%左右，其中多数为物理筛分减量化的工艺。

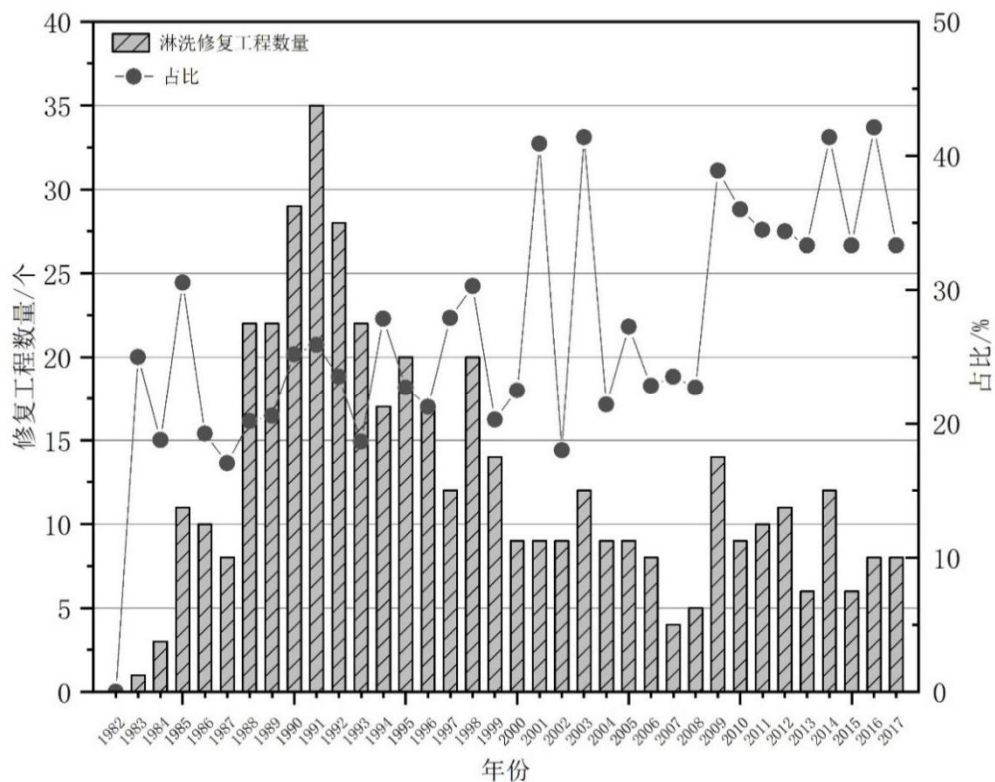


图 2 美国超级基金污染地块土壤修复技术应用统计

我国相关研究起步较晚，传统淋洗技术对土壤细粒（粘/粉粒）含量高于 25% 的土壤适用性不强、无成本优势；绿色高效的淋洗液开发及其循环利用也是亟待解决的问题。在物理筛分工艺及设备的设计与选择、化学提取液固比与提取时间的优化等细节方面，亟待系统性研究。在工程应用上，自主成熟的技术体系尚未成型，工艺设备的研究多为小型化生产或中试规模使用，工程应用较少，面对当前土壤重金属污染迫切的治理需求，仍需要进一步探索与开发经济高效的异位淋洗工程化设备工艺体系。高效性、连贯性、可移动、自动化、可拆卸、易组装的异位淋洗技术设备有待研发推广。

表 2 重金属污染土壤异位淋洗修复工程案例

项目名称	淋洗剂	污染物种类	污染物浓度 (mg/kg)	去除率	处理量 (t/h)
King of Prussia, Superfund Site, USA	水	Cr, Cu, Ni	Cr: 3000-5500 Cu: 10000 Ni: 6000	Cr: 83.9%-90.3% Cu: 65% Ni: 67.8%	20 t/h
Prudhoe Bay, Alaska, USA	乙酸	Pb	3330	93.3%	30 t/h
THC/Bergmann USA former auto/metal salvage site, USA	酸洗	Cu, Ni, Pb, Zn	Cu: 1223 Ni: 469 Pb: 1687 Zn: 3072	Cu: 86% Ni: 82% Pb: 87 Zn: 93%	50 t/h
Bescorp's soil washing process, USA	盐酸	Pb	4117	90%	6 t/h
Longue Pointe site, Canada	水	Pb	11800	93%	600 t/d
Biogenesis	表面活性	As, Cd,	As: 12.3	As: 36%	30 m <sup>3</sup> /h

项目名称	淋洗剂	污染物种类	污染物浓度 (mg/kg)	去除率	处理量 (t/h)
sediment washing technology for remediation of dredged materials, USA	性剂	Pb, Zn, Hg	Cd: 3.1 Pb: 157 Zn: 279 Hg: 3.9	Cd: 61% Pb: 57% Zn: 53% Hg: 92%	
上海市杨浦区某土壤修复项目	磷酸二氢钾	As	79.7	62.36%	10 t/h
上海市青浦区某土壤修复项目	EDTA 2Na	Cu, Hg, Co	Cu: 10000 Hg: 13.6 Co: 69.5	Cu: 80% Hg: 30% Co: 71%	50-60 m <sup>3</sup> /d
上海市嘉定区某土壤修复项目	磷酸二氢钾	As, Pb, Sb, Ti	As: 32.8 Pb: 82.9 Sb: 0.6 Ti: 5.73	As: 30.5% Pb: 45.6% Sb: 16.7% Ti: 25%	80-100 m <sup>3</sup> /d
上海市虹口区某土壤修复项目	柠檬酸	Cu, Ni, Zn, Ag, Ti, Pb, As	Cu: 20700 Ni: 133 Zn: 21600 Ag: 207 Ti: 220 Pb: 2530 As: 97.5	Cu: 61.4% Ni: 39.8% Zn: 74.2% Ag: 63.3% Ti: 76.1% Pb: 67.5% As: 54.3%	10 t/h

表 2 显示了国内外的土壤淋洗修复工程项目，美国土壤重金属淋洗修复项目场地土壤主要以砂性土为主，相对上海地区黏性土质，土壤总体处理效率更高。上海市近年淋洗项目持续增加，处理对象包括铜、锌、铅、砷、钴、汞等多种重金属。总体来看，该技术对一般的铜、镍、铅、锌、汞等重金属污染土壤去除效率较高，但对于含砷及其他阳离子重金属污染物共存的污染土壤处理效率还需强化。

## 四、编制过程

2021年6月，指南立项，组成编制组。

2021年7月-2021年9月，搜集美国、英国、荷兰等国家对于土壤淋洗修复技术的一些相关技术导则、指南和指南类文件，梳理国外土壤淋洗修复案例。

2021年10月-2021年12月，开展上海市重金属污染地块淋洗修复工程调研工作。共调研修复场地8个，对修复设备的运行状况、工艺参数、处理效率、修复效果等情况进行系统总结。

2022年1月-2022年6月，开展重金属淋洗修复技术关键工艺及设备研究，并根据前期研究、调研成果编制完成《指南》初稿。

2022年7月-2022年12月，上海市生态环境局对《指南》初稿进行审议，编制单位就审议提出的问题和建议继续开展调研和指南修改工作。

2023年1月-2023年3月，修改《指南》体例，对《指南》初稿文本和编制说明进行了修改完善，细化主要技术条文形成《指南》征求意见稿。

2023年4月-2023年7月，上海市生态环境局组织公开征求意见，编制单位根据征集意见修改完善《指南》，形成《指南》送审稿。

2023年8月，上海市生态环境局组织召开专家评审会，专

家同意通过《指南》评审，编制单位修改《指南》形成报批稿上报主管部门。

## **五、主要技术内容及说明**

### **(一) 工作内容和流程**

明确了开展重金属污染土壤异位淋洗修复技术的工作内容，包括资料收集、技术适用性评估、工程设计、工程施工、工程运行、监测及修复效果评估等，并绘制了异位淋洗修复技术工作流程图。

### **(二) 资料收集**

资料收集是污染土壤异位淋洗修复工程适用性评估及后续工作开展的基础，明确了资料收集内容及来源。

### **(三) 技术适用性评估**

#### **1. 污染物和污染负荷**

《重金属污染综合防治“十二五”规划》重点防控的重金属污染物是铅、汞、镉、铬和类金属砷等，兼顾镍、铜、锌、银、钒、锰、钴、铊、锑等其他重金属污染物。2022年生态环境部发布的《关于进一步加强重金属污染防控的意见》提出了重金属污染防控重点，包括重点重金属污染物、重点行业和重点区域。重点防控的重金属污染物包括铅、汞、镉、铬、砷、铊和锑，并对铅、汞、镉、铬和砷五种重点重金属污染物排放量实施总量控制。本指南根据上海市土壤典型重金属污染及其治理难度，提出异位淋洗技术可用于修复受到砷、铅、镉、铬、汞、

镍、铜等一种或多种重金属污染的土壤。

重金属、有机物复合污染土壤通常采用热脱附、化学氧化等技术先修复有机污染物后淋洗修复重金属，热脱附可降低土壤含水率，利于后续淋洗筛分制浆。均采用淋洗修复的，可采用表面活性剂复配有机酸的复合药剂，但需论证药剂的适用性和有效性。

## 2. 技术可行性分析

污染土壤异位淋洗修复工程应通过实验室小试、现场中试分析技术可行性，确定工艺参数。对于土壤重金属污染的主要形态为残渣态，无法选用有效的淋洗药剂实现重金属淋洗去除达标，同时也无法经济有效地通过筛分处置实现减量化，鼓励研发采用新型绿色环保淋洗药剂促进重金属溶出，增强淋洗技术可行性。

小试试验用土应选用原址污染土，应分析土壤粒径分布、重金属形态及污染分布，确定化学淋洗剂类型、淋洗液浓度、淋洗时间及液固比等工艺参数；施工前应进行现场中试，确定淋洗设备的最佳处理量和工艺流程，优化设计参数。

重金属粒径和形态分布特征对于筛分等级和淋洗药剂的确定较为关键。原址污染土中重金属呈现不同形态，小试选用原址污染土可获取实际修复工程关键参数，而配制的污染土可能因陈化时间不足导致重金属形态与原址土不同，因而对工程指导性不强。由于工程现场和实验室环境的差异性，上料速率、

药剂浓度、液固比、淋洗时间等关键参数需通过中试试验进行优化。

## （四）工程设计

### 1. 主体工艺设计

#### （1）工艺流程

本节规定了重金属污染土壤淋洗典型工艺流程和重金属污染土壤筛分洗涤减量化修复工艺流程的适用范围和具体内容。

一般情况，上海地区重金属污染土粗粒土和细粒土均有分布，细粒土占比高，宜采用筛分洗涤结合增效洗脱的典型工艺。对于上海地区如表层污染土砂土含量较高的情况，可采用筛分洗涤减量化工艺以提高淋洗修复效率。

#### （2）预处理

本节规定了重金属污染土挖出后预处理的技术要求。预处理场所需采取防尘、防雨、防渗漏液等一系列措施避免二次污染。

土壤预处理对后续的进料、制浆、筛分、增效洗脱等工艺至关重要，可采取下列措施进行预处理：**a)** 宜采用分选或分拣方式去除污染土壤中砖瓦、石块、木块、铁块等杂质；**b)** 高含水率污染土壤可在暂存和预处理区域内采用摊铺晾干、添加脱水剂等预处理方式使土壤含水率降至设备进料要求，脱水剂不应影响后续重金属淋洗效果和引入新污染；**c)** 采用破碎、筛

分降低大颗粒土壤的粒径，黏性土应干化至不结团，满足破碎筛分的要求。

### （3）进料

本节提出了进料系统的组成、设计要求及防止二次污染措施等。按进料土壤形态，可分为干法进料和湿法进料，其中干法进料较为常见。对于上海地区表层污染土含水量低、黏性土含量低、不易结块，宜采用干法进料；对于中下层污染土，由于上海地下水水位低，挖出的黏性土含水量高、易结块，难以分散制浆，采用干法进料时，应摊铺晾干破碎筛分成小颗粒；对于黏性土淋洗修复方量大、修复工期短的工程，宜采用加水预制泥浆，泵送湿法进料的方式，同时对泥浆池的防渗措施提出了要求，防止二次污染。不同污染浓度的土壤分批进料淋洗，根据污染程度调整药剂使用量和用水量，能够有效减少淋洗废水量及废水药剂浓度，从而降低废水处理成本和难度，提高循环水的质量。

### （4）混合制浆

本节规定了混合制浆工段的技术要求。滚筒解泥机是常用的异位淋洗制浆设备，制浆设备加水装置应可调节加水量，同时应配备流量监控装置，转速宜根据进料土壤特性实现可调。对于表层杂填土可在低转速区间运行，对于中下层黏性土应在高速区间运行。制浆设备变频控制可显著降低能耗。

### （5）筛分洗涤



本节规定了筛分洗涤的技术要求，包括筛分等级的划分、筛分设备选型等。一般情况，土壤粒径越小对重金属的吸附作用越强，重金属含量越高。土壤筛分洗涤的主要目的是将富含重金属的小粒径土壤颗粒单独筛分出，土壤粗颗粒则通过清水等淋洗液在这一过程中得到清洗，减量化后让更多土壤进入后续增效洗脱单元。对于上海地区中下层黏性土，土壤粒径区间较小，可根据实际减少筛分分级，以提高处理效率。

#### （6）增效洗脱

增效洗脱是黏性土重金属去除的关键工段，增效洗脱工艺参数应根据小试试验确定，经中试试验优化，通常包括化学药剂、淋洗时间、液固比等。增效洗脱设备容量应满足淋洗时间要求同时应具备一定的抗腐蚀能力，可配备超声、加热等装置增强洗脱效果。对于一次增效洗脱未能达标的情况，可采用多级连续洗脱或循环洗脱，同时应分析一次洗脱未达标的原因，调整淋洗关键参数。

#### （7）泥浆浓缩

本节对混凝剂的选择、混凝沉淀设备的设计做了规定。混凝沉淀单元针对上海地区黏性土含量高、淋洗泥浆脱水效率低等问题，通过添加混凝剂，提高泥浆浓度，促进泥水分离效率，从而提升淋洗系统处理效率。混凝剂宜选用铝系混凝剂，使用铁系混凝剂时应注意防止砷等重金属沉淀。提出配备泥水界面监测设备实时观察沉淀情况，有效避免泥浆溢出。

### （8）泥水分离

本节规定了泥饼含水率和泥浆脱水设备选择。泥饼含水率参考《上海市污染土壤风险管控和治理修复技术过程控制与管理规程》确定，控制较低的含水率利于修复后土壤运输回填和药剂回收。同时根据工程经验，泥水分离是制约黏性土淋洗处理效率的关键环节。提出对于修复方量大且修复工期短的项目，采用 2 台及 2 台以上脱水设备配合使用，可显著提高整个淋洗系统的处理效率。

### （9）废水处理

根据淋洗废水重金属浓度高低，采取活性炭吸附和重金属沉淀法去除两种方式，其中活性炭吸附处理，工艺简单，成本低，沉淀法处理，快速高效，可满足回用要求。对于使用 EDTA 等有机淋洗剂易造成废水 COD 超标的情况，可采用化学氧化法处理。

对于特定重金属应采取降低毒性措施，例如，对于铬污染土壤，废水处理宜加入还原剂，对于砷污染土壤，废水处理宜加入氧化剂。处理后的出水满足回用要求时应进行回用，以节约水资源。

### （10）固废处置

本节规定了固体废物应分类别处置，处置方式应符合相关规定要求。淋洗出料富含重金属的细粒污染土异地处置应根据相关规定办理手续或委托具有相关资质的第三方处置。废水处

理产生的污泥和废活性炭宜作为危险废物处理处置。

## **2. 辅助工程设计**

辅助工程是异位淋洗技术修复污染土壤工程的重要组成部分，是实现工艺目标的辅助手段。根据工艺要求、标准规范规定了配套的能源供应、供配电、给排水和消防等方面的技术要求。对使用发电机工作的修复项目，发电机尾气排放应符合 GB 16297 和 DB 31/933 的要求。当废水处理系统出水排放至公共污水管网时，设计出水水质应依据 GB 8978、GB/T 31962 及有关行业标准综合确定。

### **(五) 工程施工**

#### **1. 施工组织方案编制**

##### **(1) 施工条件分析**

修复场地施工条件直接影响场地平面布置、污染土开挖时序、淋洗废水排放方式等。因此，施工前应核实施工条件，并根据工程设计要求，编制施工组织方案。

##### **(2) 场址选择**

本节对土壤处理场址选择做出了规定，尽量远离居民区等敏感点。污染土壤修复场地周围应设置围墙或其它防护栅栏，防止家畜和无关人员进入。以减少修复工程对敏感区域的影响。

##### **(3) 工程构成**

本节介绍了淋洗修复工程主要由主体工程、辅助工程和配套设施构成。

主体工程包括预处理、进料、混合制浆、筛分洗涤、增效洗脱、泥浆浓缩、泥水分离、废水处理和固体废物处理处置工段，以及检测和过程控制系统等，涉及汞和挥发性有机物污染修复时，还应包括废气处理工段。辅助工程宜包括能源供应、给排水和消防、供配电、库房、基础和构筑物等。配套设施宜包括办公室、值班室、场区围挡、道路等。

#### （4）总平面布置

本节介绍了总平面布置原则，总平面布置因地制宜，便于污染土开挖、运输、淋洗修复设备的运行等，同时符合相关法规、标准的要求，处理场宜设置 2~3%的坡度，便于收集淋洗过程中外流的泥浆，维护处理场的整洁。为加强污染修复工程管控，处理场设置防护围栏及警示标志，防止无关人员进入。

#### （5）土壤开挖与回填

本节规定了土壤开挖应符合上海市现行工程建设规范 DG/TJ 08-61 的相关要求，并根据污染物分布特征采用分区域、分层、分块开挖方式，同时应采取安全防护和二次污染防治的措施。对修复达标的污染土回填做了规定，设计要求回填的，应分层填铺压实，回填完成后地面应平整、无明显起伏。

#### （6）二次污染控制

本节规定了异位淋洗技术修复污染土壤工程在运行过程中所产生的各种二次污染问题所应满足的环境管理要求。包括废水满足回用水要求时宜循环使用，不能循环使用的废水应在

处理后根据去向满足相应的现行国家标准 GB 8978、GB/T 31962 和上海市地方标准 DB 31/199 等标准相关要求排放；废气排放应满足 GB 16297 和上海市地方标准 DB 31/933 要求；场界噪声应满足现行国家标准 GB 12523 和 GB 12348 要求，必要时应进行敏感点环境噪声质量监测，相关监测因子应满足 GB 3096 要求；固体废物应分类收集、运输、暂存与处理处置，办公生活垃圾、一般工业固体废物和危险废物收集、运输、暂存与处理处置应满足国家与地方相关固体废物方面的法规、政策、标准规范和管理等方面的要求。

#### (7) 施工方案变更

本节规定异位淋洗修复工程施工方案变更流程，污染土壤异位淋洗修复工程施工应按备案的修复方案实施，实施过程中涉及变更时应履行变更手续，具体要求参见《上海市生态环境局关于加强建设用地土壤污染调查报告评审及修复方案备案管理工作的通知》（沪环土〔2020〕232号）执行。

## 2. 设备选型与安装调试

### (1) 设备选型

本节规定了异位淋洗修复设备选型原则。由于淋洗药剂通常具有一定的腐蚀性，规定了淋洗设备、管路和其他辅助配件应具备抗腐蚀能力。同时，对输送泥浆的管道及泵做了规定，管道输送泥浆弯头的转弯半径不应小于 5 倍管径，以防管道堵塞。

## **(2) 安装调试**

本节提出了淋洗设备安装调试要求，调试期应进行不少于连续 8 h 的性能试验，确保设备对上海市黏性土土质的适用性。

## **3. 施工过程监控**

施工过程监控用以动态评估设备运行状况，及时调整运行参数，保证修复目标可达。施工过程控制参数主要包括工艺过程参数和设备运行参数，通过设备运行参数控制可直接或间接实现工艺过程参数调整。

## **4. 劳动安全与职业卫生**

异位淋洗技术修复污染土壤工程在建设、运行过程中会产生各种二次污染及安全隐患，要求严格执行国家现行环境保护、劳动安全、职业卫生方面相关标准。药剂储存条件参考《上海市污染土壤风险管控和治理修复技术过程控制与管理规程》，保证药剂在仓储过程中的安全。淋洗修复设备作为非标设备，尚缺成熟的操作作业指南，应对现场相关人员进行岗前培训和技术交底，考试合格后方可上岗。

## **(六) 工程运行、监测及修复效果评估**

### **1. 工程运行与维护**

运行达标是修复工程的目的，维护和管理是保证系统长期正常运转的关键，本指南在技术力量配置、上岗人员的技能培训、运行目标、运行维护应达到的技术管理指标等方面进行了明确的规定，要求运行部门或单位应制定一系列操作规程和巡

检制度，建立系统运行记录制度。明确应记录的主要内容，规定了记录格式、填写和管理要求。运行人员应按照制度履行好自己的职责，确保系统经济稳定运行。指南同时规定了应建立淋洗技术修复污染土壤工程运行状况、设施维护和生产活动等记录制度。制定淋洗技术修复污染土壤工程事故应急措施，当淋洗技术修复污染土壤工程出现紧急事故时，应立即采取相应措施进行处理，尽可能地降低事故影响，包括对主体工程运行安全、人员伤亡、财产损失和环境破坏等，事故处理时应做好记录、分析原因，防止同类事故重复发生。

## **2. 工程运行监测**

规定了异位淋洗技术修复污染土壤工程运行效果及二次污染监测的内容。

运行效果监测涵盖了对淋洗工程各级出料的重金属含量检测和基坑自检；二次污染监测对照工程施工章节中 6.1.6 二次污染控制的技术内容提出开展相应的监测。

## **3. 工程运行状况分析**

基于工程运行监测数据，对工程运行状况进行分析处置。对于淋洗出料不合格的情况，进行重复淋洗或筛选其他技术修复；对于基坑清挖不合格的情况，配合便携式重金属检测设备进行扩挖；对于二次污染监测不合格的情况，及时检修废水处理设施、废气处理设施、扬尘防控设施等。

#### 4. 修复效果评估

污染土壤异位淋洗修复工程修复效果评估依据 HJ 25.5 的规定开展，对于相关标准未规定的内容进行了明确：碎石、砾粒等大颗粒出料应监测浸出重金属浓度，浸出方法应符合 HJ/T 299 的要求。同时，对纳管的淋洗废水排放要求做了规定。

## 六、指南实施的环境效益和技术经济分析

### （一）环境效益分析

本指南是在广泛的调研和工程实践经验总结基础上编制而成，能够指导上海市重金属污染土壤异位淋洗修复工程的设计、施工和运行等，修复后土壤中污染物可实现总量去除，满足国家或上海市修复目标值的要求。同时，本指南能够指导异位淋洗修复工程实施过程中的废气、废水、噪声及固体废物等二次污染的合理安全处置。本指南的发布，有利于推进污染土壤的修复工作，保护自然资源和提高资源利用率；有利于规范我国和上海市污染土壤的治理工作，实现对土壤环境污染的有效治理和监督管理。

### （二）技术经济分析

通过工程运行实践，结合《污染场地修复技术目录（第一批）》（环境保护部公告 2014 年 第 75 号）分析，在异位修复技术中，淋洗技术修复成本受污染土壤物理化学性质影响较大，通常其处理费用约为 600-3000 元/m<sup>3</sup>。对于上海地区或其他地区表层土壤以杂填土为主，中下层土壤粉、黏粒占比大的



情况，按照指南分类别采用筛分洗涤和增效洗脱工艺，可显著提高处理效率、减少增效洗脱处理量、降低淋洗修复成本。

## 七、指南实施建议

本指南通过实地调研和课题研究，总结近几年来异位淋洗修复污染土壤的工程设计、施工和运行管理方面的经验，在此基础上编制完成。指南涵盖异位淋洗修复重金属污染土壤的工程设计、施工、运行及效果评估等各环节，涉及面广、技术性强，尤其对于上海市黏性土质修复具有较强针对性。建议在本标准实施过程中，广泛听取和收集各方面的意见与建议，根据实际应用情况，对本标准进行不断的修订和完善，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足土壤和地下水环境治理及修复工程建设的需要。