

上海市重金属污染土壤异位淋洗 修复技术指南（试行）

2023年8月

目次

前言.....	iii
第一章 总则	1
1.1 编制目的.....	1
1.2 适用范围.....	1
1.3 编制依据.....	1
1.4 术语与定义.....	3
1.5 指导原则.....	5
1.6 组织编制单位.....	5
第二章 工作内容和流程	6
2.1 工作内容.....	6
2.2 工作流程.....	7
第三章 资料收集	9
第四章 技术适用性评估	10
4.1 污染物和污染负荷.....	10
4.2 技术可行性分析.....	10
第五章 工程设计	12
5.1 主体工艺设计.....	12
5.2 辅助工程设计.....	19
第六章 工程施工	20
6.1 施工组织方案编制.....	20
6.2 设备选型与安装调试.....	23
6.3 施工过程控制.....	24
6.4 劳动安全与职业卫生.....	25
第七章 工程运行、监测及修复效果评估	26
7.1 工程运行与维护.....	26

7.2 工程运行监测.....	27
7.3 工程运行状况分析	28
7.4 修复效果评估	29
附录 A（资料性）常规重金属淋洗药剂及其适用性	30
附录 B（资料性）异位淋洗修复工程工艺过程参数.....	31
附录 C（资料性）异位淋洗修复工程设备运行参数	32
附录 D（资料性）淋洗设备常见问题及解决方案	33

前言

本指南由上海市生态环境局组织编写。

本指南起草单位：上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司。

本指南主要起草人：殷瑶、向甲甲、王磊、谭学军、何贇、朱煜、魏晓飞、张祥、江文琛。

本指南自 2023 年 10 月 1 日起实施。

本指南由上海市生态环境局解释。

上海市重金属污染土壤异位淋洗修复技术指南（试行）

第一章 总 则

1.1 编制目的

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》（以下简称指南）。

1.2 适用范围

本指南规定了上海市重金属污染土壤异位淋洗修复工程的工作流程、工程设计、施工、运行、监测及修复效果评估等。

本指南适用于上海市重金属污染土壤异位淋洗修复工程，可作为污染土壤异位淋洗修复项目工程设计、施工和运行管理的技术依据，并可供长三角其他区域参考。其他类型污染土壤如采用异位淋洗修复技术，可参照本指南执行。

本指南不适用于放射性物质污染土壤的处理。

1.3 编制依据

本指南引用了下列文件或其中的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本指南；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

GB 3096 声环境质量标准

GB 8978 污水综合排放标准

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准

GB/T 14285 继电保护和安全自动装置技术规程

GB 15603 常用化学危险品贮存通则

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB/T 31962 污水排入城镇下水道水质标准

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 50013 室外给水设计标准

GB 50014 室外排水设计标准

GB 50015 建筑给水排水设计标准

GB 50034 建筑照明设计标准

GB 50060 3~110kV 高压配电装置设计规范

GB/T 50064 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范

GB 55036 消防设施通用规范

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/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法

HJ 2025 危险废物收集 贮存 运输技术规范

JB/T 9022 振动筛设计规范

JB/T 9035 水力旋流器

DB 31/199 污水综合排放标准

DB 31/933 大气污染物综合排放标准

DB 31/964 建筑施工颗粒物控制标准

DG/TJ 08-61 基坑工程技术标准

《上海市建筑施工颗粒物与噪声在线监测技术规范（试行）》
（沪环保防〔2015〕520号）

《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）

《上海市建设用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）

《上海市生态环境局关于加强本市一般工业固体废物产生单位
环境管理工作的通知》（沪环土〔2021〕263号）

1.4 术语与定义

下列术语与定义适用于本指南。

（1）重金属污染土壤 **heavy metal contaminated soil**

是指按照相关国家技术规范等确认重金属超过有关环境标准的土壤。

（2）异位土壤淋洗 **ex-situ soil washing**

是指用清水或由化学药剂配置的淋洗液对挖掘出来的污染土壤进行洗涤，将土壤中的污染物转移至淋洗液中，达到清洁污染土壤目的的过程。

（3）粒径分布 **particle size distribution**

是指土壤固相中不同粒组的土粒所占的比数。

（4）重金属形态 **heavy metal speciation**

是指重金属元素在土壤中特定化学形式的分布，分为可交

换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机物结合态和残余态。

(5) 土壤预处理 soil pretreatment

是指为满足淋洗设备进料要求，对待处理土壤预先进行的操作或处理，包括破碎、筛分、调节土壤含水率、混合、搅拌等。

(6) 干法进料 dry feeding

是指污染土壤通过破碎、筛分成土壤颗粒，将土壤颗粒输送至淋洗系统的工艺。

(7) 湿法进料 wet feeding

是指污染土壤通过泥浆池注水搅拌成泥浆，将泥浆输送至淋洗系统的工艺。

(8) 混合制浆 mixing and slurring

是指将淋洗液和污染土壤混合并充分搅拌，形成一定比例泥浆的工艺。

(9) 筛分洗涤 sieving and flushing

是指通过物理筛分和淋洗液冲洗实现不同粒径土壤颗粒的分级清洗的工艺。

(10) 增效洗脱 enhanced soil washing

是指通过添加化学药剂提高污染物淋洗去除率的工艺。

(11) 液固比 liquid-solid ratio

是指淋洗液与单位污染土壤的质量比。

(12) 淋洗时间 washing time

是指化学药剂和污染土的接触反应时间。

1.5 指导原则

(1) 规范性原则：采用程序化、系统化方式规范污染土壤异位淋洗修复工程的工作内容和流程，确保淋洗修复工作的规范开展。

(2) 适用性原则：根据污染地块工程地质特征、污染物性质及土壤粒径分布特征、场地施工条件等，确定适宜可行的淋洗修复策略。

(3) 科学性原则：综合考虑时间成本、经济成本以及工作目标等约束条件，科学确定设计方案，实现效益最大化。

(4) 安全性原则：基于人体健康保护和环境风险降低的原则，确保现场修复过程中人员的安全以及降低修复过程的环境风险。

(5) 创新性原则：针对淋洗技术难点及发展需求，鼓励创新研发高效环保的淋洗药剂或物理增效洗脱技术，实现绿色、低碳、可持续修复。

1.6 组织编制单位

本指南由上海市生态环境局组织起草编制。

第二章 工作内容和流程

2.1 工作内容

2.1.1 资料收集

在污染土壤异位淋洗工程实施前，收集前期调查和风险评估资料、修复目标、地块地下设施、临水临电等相关资料，为修复方案编制和修复工程实施提供基础信息。

2.1.2 技术适用性评估

基于地块前期调查、风险评估等确定的修复目标值，根据工作目标，结合地块工程地质条件和污染物特性，进行异位淋洗技术应用分析，开展技术适用性评估，确定地块采用异位淋洗技术的可行性。

2.1.3 工程设计

主要包括主体工艺设计和辅助工程设计。其中，主体工艺设计包括预处理工段、进料工段、混合制浆工段、筛分洗涤工段、增效洗脱工段、泥浆浓缩工段、泥水分离工段、废水处理工段和固废处置工段关键技术及参数设计。辅助工程设计包括能源供应工程、给排水工程和消防工程设计等。

2.1.4 工程施工

工程施工应满足污染土壤异位淋洗修复工程设计方案及相关施工技术规范要求，包括施工组织方案编制、设备选型与安装调试、施工过程控制和劳动安全与职业卫生。

2.1.5 工程运行、监测及修复效果评估

污染土壤异位淋洗修复工程工程运行及监测应包括工程运行与维护、工程运行监测、工程运行状况分析。通过评估污染土壤异位淋洗修复工程的运行状况，优化工程措施和运行参数，保障修复目标可达。若判断修复目标不可达时，应根据实际情况选择调整工艺参数。根据 HJ 25.5 要求对修复后的土壤进行修复效果评估，确定异位淋洗修复工程效果。

2.2 工作流程

工作流程包括资料收集、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内容。污染土壤异位淋洗修复技术工作流程如图 1 所示。

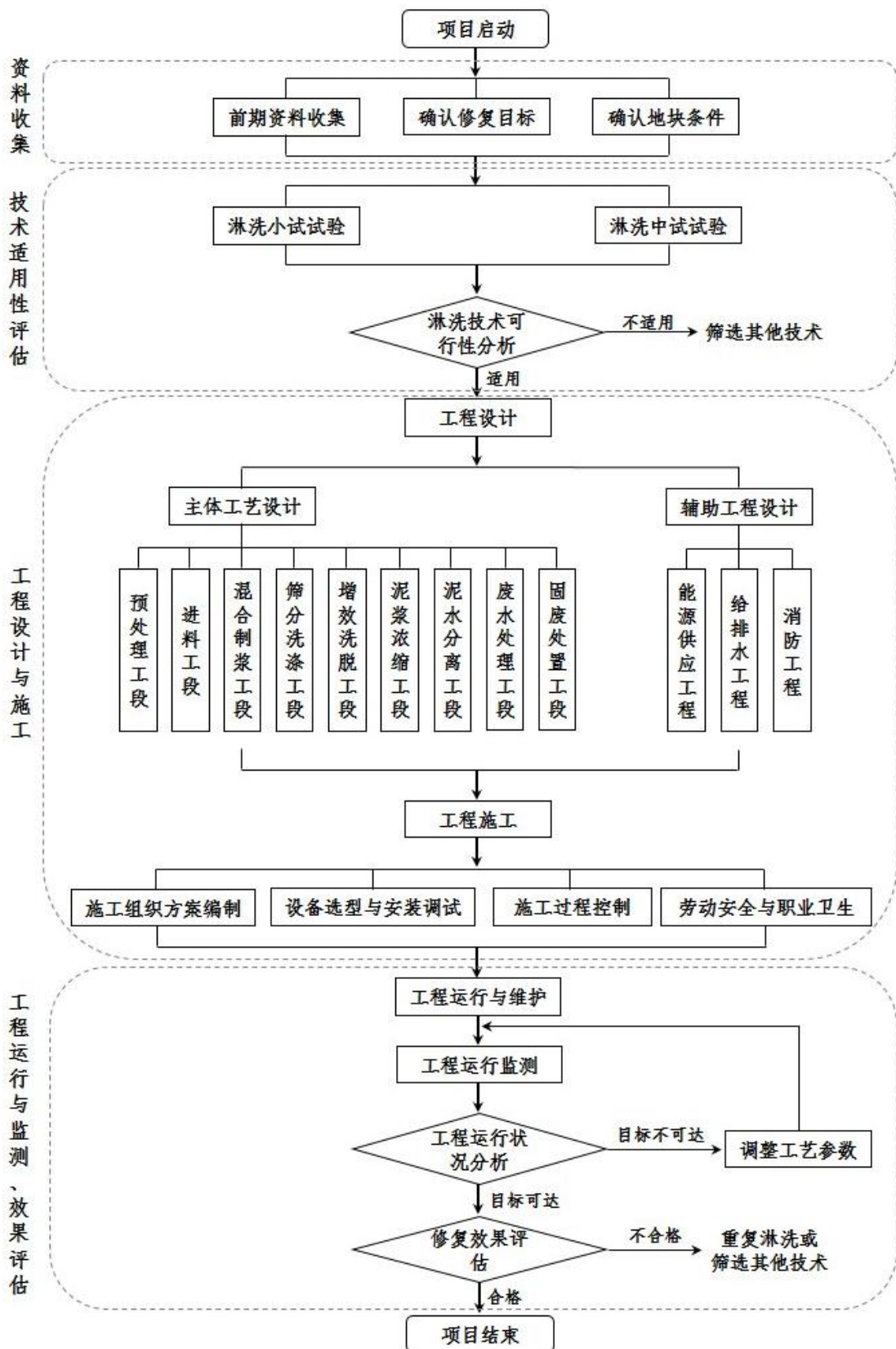


图 1 异位淋洗修复技术工作流程图

第三章 资料收集

污染土壤异位淋洗修复工程应收集地块的污染物类型、浓度分布、修复方量和修复目标；土壤粒径分布、含水率、土壤质地等；区域气候条件，包括气温、降雨量、风向、风速等；地块的地质和水文地质条件，包括地层结构、地下水位等；地块用途，包括现状用途和规划用途；施工临时用水、临时用电和施工临时废水排放条件；修复后土壤的去向等资料，为污染土壤异位淋洗修复工程适用性评估及工作开展做好前期准备。

收集资料来源包括但不限于：（1）土壤污染状况初步调查报告；（2）土壤污染状况详细调查报告；（3）土壤污染风险评估报告；（4）地块工程地质勘察报告。

第四章 技术适用性评估

结合地块污染特征、土壤特性和选择的修复模式，从技术成熟度、适合的目标污染物和土壤类型、修复的效果、时间和成本等方面分析，进行异位淋洗修复技术应用分析，开展污染土壤异位淋洗修复技术适用性评估。

4.1 污染物和污染负荷

污染土壤异位淋洗技术能用于修复受到砷、铅、镉、铬、汞、镍、铜等一种或多种重金属污染的土壤；当污染土壤含有挥发性汞时，应进行气体收集处理，处理达标后排放。

对存在重金属和有机物复合污染的土壤，当仅重金属采用异位淋洗技术修复时，应根据污染物性质和工程技术要求，确定重金属和有机物修复次序；当重金属和有机物均采用异位淋洗技术修复时，宜采用复合药剂，并充分论证药剂的适用性和有效性。

污染地块中污染物类型、浓度分布、污染范围和深度应依据土壤污染状况调查报告和土壤污染风险评估报告确定。

4.2 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。当小试试验结果表明污染土壤残余重金属浓度高于修复目标值时，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。

污染土壤异位淋洗修复工艺设计小试试验应符合下列规定：

(1) 小试试验用土应采集具有代表性的原址污染土壤；

(2) 小试试验应分析土壤粒径分布、重金属形态、不同粒组中污染物浓度，重金属形态分析应符合 HJ/T 166 要求；

(3) 小试试验应筛选并确定淋洗化学药剂类型和浓度、淋洗时间及液固比等工艺参数；

(4) 小试试验应确定淋洗废水处理工艺以及药剂类型和投加量等参数。

污染土壤异位淋洗修复工程施工前应在小试试验的基础上进行现场中试试验，优化工艺流程和工艺参数，并符合下列规定：

(1) 中试试验设备宜采用修复工程中使用的设备或同类型设备；

(2) 中试试验污染土应选用代表性土壤，处理量宜满足设备累计运行 8 h；

(3) 中试试验修复后土壤应满足修复目标，处理后废水应满足回用或排放要求。

第五章 工程设计

5.1 主体工艺设计

5.1.1 工艺流程

污染土壤异位淋洗工艺流程应根据小试试验的重金属污染土壤粒径分布特征确定。

(1) 当污染土壤粒径大于 0.075 mm 的颗粒低于或等于总质量 75%时，宜采用筛分洗涤结合增效洗脱的典型工艺流程，具体为：将挖出的污染土壤破碎筛分，与淋洗液混合搅拌制成泥浆，通过筛分洗涤分离粗颗粒土壤，富集重金属的细颗粒泥浆添加化学药剂增效洗脱，之后对泥浆进行混凝沉淀，浓缩后的泥浆利用脱水设备进行泥水分离得到洁净的细颗粒土壤，淋洗废水经处理后回用或达标排放（见图 2）。

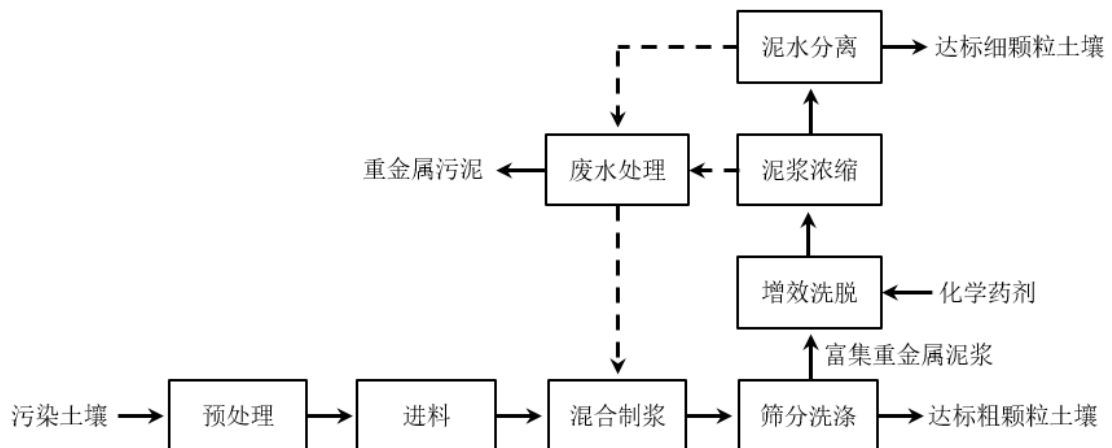


图 2 异位淋洗修复典型工艺流程

(2) 当污染土壤粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量超过总质量 75%时，宜采用以筛分洗涤为主的减量化工工艺流程（见图 3）。

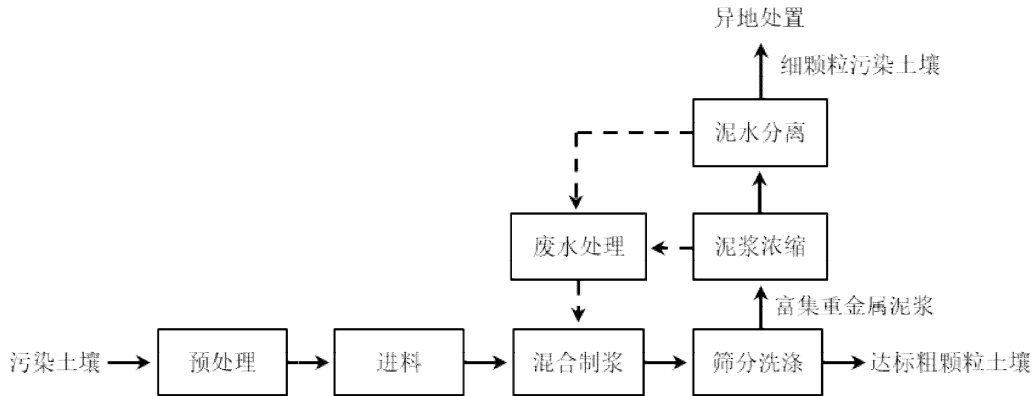


图3 异位淋洗修复减量化工艺流程

5.1.2 预处理

当污染土壤不满足淋洗设备进料要求时，需进行预处理。预处理后土壤粒径不宜超过 80 mm。预处理措施包括，采用分选或分拣方式去除污染土壤中砖瓦、石块、木块、铁块等杂物，纳入固废处置；采用破碎、筛分降低大颗粒土壤的粒径。对于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。

预处理场所的设置应满足以下要求：

- (1) 预处理场所应根据预测污染土流转量、配套设施要求和现有地块条件进行设计；
- (2) 预处理场所应进行功能区划分，可分为污染土壤卸料区、暂存区、预处理区、废水收集处理区等；
- (3) 预处理场所应采取防尘、防雨措施，地面应作硬化和防渗处理，周边应设置围堰或排水沟渠，污染土渗滤液应统一收集、集中处理；
- (4) 预处理区应配置筛分斗等设备对污染土壤进行分选、

破碎、筛分。

5.1.3 进料

不同污染区域土壤重金属浓度差异较大时，宜根据污染物浓度按区域分批进料。应根据污染土壤特性、处理规模选用合适的进料方式，当污染土壤类别为杂填土、砂土、粉性土时，宜采用干法进料；当污染土壤类别为黏性土时，宜采用湿法进料；可根据土壤类别选择组合进料方式。

干法进料时土壤含水率不宜大于 60%，污染土壤输送宜采用皮带输送机、螺旋输送机和链斗输送机等形式，并应配备计量装置。皮带输送机、螺旋输送机、链斗输送机应符合下列规定：

(1) 皮带输送机输送污染土壤的倾角应小于 20°；

(2) 螺旋输送机输送污染土壤宜采用无轴螺旋输送，倾角宜小于 30°。土壤含水率较高时宜采用双螺旋输送机；

(3) 链斗输送机输送污染土壤的倾角应小于 30°。

湿法进料宜包括泥浆池、搅拌装置、注水装置、计量装置、泥浆泵等设备，当采用泥浆泵进料时土壤含水率应大于 90%，其他情形可采用挖斗进料；泥浆池底部和侧壁应采取防渗措施，并采取清渣措施，定期对池底进行清理。

5.1.4 混合制浆

混合制浆宜采用滚筒解泥机制浆，滚筒解泥机的滚筒直径不宜小于 1.5 m，滚筒长度不宜小于 4 m。

滚筒解泥机应可调节加水量，并应配备流量监控装置，加水量应根据中试试验结果确定，混合制浆液固比不宜低于 3:1；

进料口处应设置高压水喷淋装置，内部应设置导向板。

滚筒解泥机驱动装置宜采用变频控制。转速宜根据进料土壤特性确定，杂填土、砂土、粉性土转速宜为 10 r/min~15 r/min；黏性土转速宜为 15 r/min~20 r/min。

当污染土壤异位淋洗修复工程采用泥浆泵进料时，可不设置混合制浆单元，直接进入后续工段。

5.1.5 筛分洗涤

土壤粒径筛分分级应根据小试试验和土工试验确定，宜根据重金属污染粒径分布特征筛分分离富含重金属的土壤颗粒。筛分洗涤工艺应设计多级筛分，可采用滚筒筛、振动筛、水力旋流器等一种或多种设备组合。筛分出料粒径宜符合下列规定：

- (1) 滚筒筛筛下物粒径不宜大于 20 mm；
- (2) 振动筛可根据土壤粒径筛分要求分级设置，筛下物粒径不宜大于 2 mm；
- (3) 水力旋流器分离粒径尺寸不宜大于 0.15 mm；
- (4) 筛分终端出料土壤粒径不宜超过 2 mm。

筛分设备的设计和制造应满足淋洗系统处理能力。滚筒筛的滚筒直径不宜小于 1.2 m，滚筒长度不宜小于 2 m。振动筛的设计和制造应符合 JB/T 9022 的要求，应采取筛孔防堵措施，筛面宽度应满足淋洗系统处理能力，长度不宜小于 4 m。水力旋流器的设计和制造应符合 JB/T 9035 的要求，旋流器内直径宜为 200 mm~400 mm，进料口进料压力宜为 0.06 MPa~0.2 MPa，分离的泥浆浓度不宜大于 10%。

此外，筛分洗涤工段应设置缓存池，缓存池应配备搅拌装

置，转速不宜低于 20 r/min。

5.1.6 增效洗脱

增效洗脱工段中淋洗药剂选用应遵循绿色可持续修复的理念，宜选择有机酸、络合剂、中性盐、表面活性剂等，当存在多种重金属复合或重金属和有机复合污染时，宜选择复配型药剂。淋洗药剂选择可参照附录 A，并符合以下规定：

（1）对于铁锰氧化物结合态重金属污染土壤，可在淋洗剂中加入能降低土壤氧化还原电位的还原药剂，如零价铁、硫酸亚铁等；

（2）对于有机物结合态重金属污染土壤，可在淋洗剂中加入能升高土壤氧化还原电位的氧化药剂，如过硫酸钠、过氧化钙等；

（3）对于残余态重金属为主的污染土壤应确定化学药剂的适用性。

增效洗脱工段来料土壤粒径不宜超过 2 mm，淋洗时间不宜低于 30 min，液固比不宜低于 4:1。可采用超声、加热等措施增强洗脱效果。当一次增效洗脱不能达到土壤修复目标时，应采用多级连续洗脱或循环洗脱。

增效洗脱工段的主要设备包括：（1）带搅拌功能的药剂配制罐，搅拌装置转速不宜低于 60 r/min；（2）带搅拌功能的增效洗脱池，搅拌装置转速不宜低于 20 r/min，增效洗脱池总容积和泥浆流量应满足淋洗时间要求；（3）满足泥浆输送要求的泥浆泵，泵额定扬程宜高于设计扬程 40%。

5.1.7 泥浆浓缩

泥浆浓缩工段宜投加混凝药剂，混凝剂宜选用聚合氯化铝，不宜选用铁盐混凝剂；混凝剂的用量、泥浆的 pH 值、混凝时间应根据试验确定；混凝反应后宜投加聚丙烯酰胺絮凝剂，用量宜小于 0.5 mg/L，反应时间宜为 15~30 min；浓缩后泥浆含水率不应高于 95%。

泥浆浓缩工段的主要设备包括：（1）满足设计要求的浓缩池，宜采用连续式泥浆重力浓缩池，有效水深宜为 4 m，设置泥水界面监测设备；（2）管式混合器、水泵混合器和机械混合器等混凝药剂混合设备，管式混合器分节数宜为 2~3 段，管中流速宜为 1.0 m/s~1.5 m/s，水泵混合应在每一水泵的吸水管上安装药剂投加管，并设置装有浮球阀的水封箱，机械混合的搅拌装置宜选用桨板式，外缘线速度宜为 2 m/s~3 m/s；（3）流量计量装置；（4）可自动启停的泥浆输送泵。

5.1.8 泥水分离

泥水分离工段脱水后的泥饼含水率不宜高于 60%，宜采用板框压滤脱水、带式压滤脱水、离心脱水等一种或多种组合工艺。

（1）板框压滤机的过滤压力不应小于 0.4 MPa，过滤周期不应大于 4 h，每台压滤机宜设 1 台泥浆压入泵。

（2）带式压滤机的泥浆脱水负荷应根据试验资料或类似运行经验确定，宜为 150 kg/[m·h]~200 kg/[m·h]；应按带式压滤机的要求配制空气压缩机，并至少应有 1 台备用；应配置冲洗泵，其压力宜采用 0.4 MPa~0.6 MPa，其流量可按 5.5 m³/[m

(带宽)·h]~11.0 m³/[m(带宽)·h]。

(3) 离心脱水机应采取降噪措施, 噪声应符合 GB/T 50087 的规定; 当采用卧螺离心脱水机脱水时, 其分离因数宜小于 3000 g (g 为重力加速度)。

5.1.9 废水处理

淋洗废水处理方法的选择应根据污水中重金属离子的种类、含量等, 选用单一或组合工艺。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。

当废水中悬浮物的比重大于 1, 粒径大于 0.2 mm, 应采用沉淀池。当废水中悬浮物粒径小, 难以自然沉降或以胶体形式存在时, 应采用混凝沉淀法进行预处理。

当筛分洗涤工艺废水中污染物浓度较低时, 可与设备清洗废水等混合采用石英砂过滤和活性炭吸附处理。增效洗脱工艺废水中污染物浓度较高, 宜根据污染物采用沉淀法、化学氧化法等方法处理, 沉淀剂可选用石灰、硫化钠、铁盐-石灰、二硫代氨基甲酸盐等。

废水处理产生的重金属污泥应进行脱水, 含水率不宜高于 60%。污染土壤异位淋洗修复工程淋洗废水宜回用, 淋洗化学药剂宜再生回收。

5.1.10 固废处置

土壤预处理、混合制浆、筛分洗涤产生的砖瓦、石块、木块、铁块等固体废物应进行清洗, 清洗后可按建筑垃圾处理处置, 清洗过程产生的废水应进行收集处理。减量化工工艺淋洗出料富含超高浓度重金属的细粒污染土按设计要求需异地处置的,

应根据有关规定办理手续并委托具有资质的第三方处置。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。药剂包装材料宜由药剂厂商回收或作为危险废物处理处置。

5.2 辅助工程设计

5.2.1 能源供应

污染土壤异位淋洗修复工程根据处理场地条件选取市政用电或发电机，发电机尾气排放应符合 GB 16297 和 DB 31/933 的要求。电气系统的用电功率应为 AC 380/220V，淋洗主体设备的负荷等级应为三级。高压配电装置应符合 GB 50060 的要求，继电保护和安全自动装置应符合 GB/T 14285 的要求，过电压保护和接地应符合 GB/T 50064 的要求，照明设计应符合 GB 50034 的要求。

5.2.2 给排水和消防

污染土壤异位淋洗修复工程的用水应采用集中给水方式，生活用水、消防用水、应急用水宜采用联合给水方式。给水设计应符合 GB 50013 和 GB 50015 的要求。

场区排水设计应符合 GB 50014 和 GB 50015 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。

场区消防设施应符合 GB 55036 的要求。

第六章 工程施工

6.1 施工组织方案编制

工程施工组织应根据工程设计方案执行，且应满足相关施工技术规范，并应在施工过程中根据现场实际情况适当调整。工程施工组织方案编制应重点关注施工条件分析、场址选择、工程构成、总平面布置、土壤开挖与回填、施工方案变更、二次污染控制等环节。

6.1.1 施工条件分析

施工前应核实以下情况，并根据工程设计要求，编制施工组织方案。

- (1) 地块的污染物类型、浓度分布、修复方量和修复目标；
- (2) 土壤粒径分布、含水率、土壤质地等；
- (3) 区域气候条件，包括气温、降雨量、风向、风速等；
- (4) 地块的地质和水文地质条件，包括地层结构、地下水位等；
- (5) 地下管线、构筑物等地勘资料；
- (6) 地块用途，包括现状用途和规划用途；
- (7) 施工临时用水、临时用电和施工临时废水排放条件；
- (8) 修复后土壤的去向。

6.1.2 场址选择

污染土壤异位淋洗修复工程的场址宜建在污染地块的场区内，或根据自然条件、地理位置、周边敏感区域要求等另行选择，并

应远离居民区等敏感点。

6.1.3 工程构成

污染土壤异位淋洗修复工程由主体工程、辅助工程和配套设施组成。

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。

6.1.4 总平面布置

污染土壤异位淋洗修复工程处理场地总平面布置应根据污染分布、修复工程量、自然条件、生产、运输、环境保护、劳动安全和职业卫生、职工生活、能源、电力、给排水等因素综合确定。总平面应重点布置淋洗修复主体工程，辅助工程和配套设施应合理布置。办公和生活服务设施与化学品库房和淋洗修复设施的距离应满足防护要求。处理场地人流和物流的出入口设置应符合本市和场内交通的有关要求，实现人流和物流分离。处理场地应做铺设 HDPE 防渗膜、混凝土地坪等防渗和硬化处理，硬化地坪应满足工程运行中修复设备所需承载力要求，宜根据排水沟、集水井位置设置 2%~3% 的坡度。处理场地应设置防护围栏和警示标志，防止无关人员进入。

6.1.5 土壤开挖与回填

异位淋洗修复工程污染土壤开挖应根据污染地块的地质和水文地质条件、污染物分布特征，对污染土壤实施分区、分层、分块开挖，开挖范围和深度应符合修复方案要求；开挖过程满足边坡稳定性与周边建（构）筑物安全保护要求，基坑支护、监测和降排水应符合 DG/TJ 08-61 的相关要求；污染土壤开挖应考虑土壤、地下水的二次污染防控。

修复后土壤如需回填，应分层填铺压实，回填完成后地面应平整、无明显起伏。

6.1.6 二次污染控制

污染土壤异位淋洗修复工程实施过程中应配备二次污染监测设备，施工现场监控措施应符合《上海市建设用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）。

污染土壤异位淋洗修复工程应建设或配备废水、固体废物、废气、噪声和扬尘等二次污染控制设施或措施，污染防治设施应与主体工程同时设计、同时施工、同时运行，并应符合下列规定：

（1）废水满足回用要求时宜循环使用，不能循环使用的废水排放至公共污水处理系统时应满足 GB 8978、GB/T 31962 和 DB 31/199 的污染物排放要求；

（2）固体废物应分类收集、暂存、运输与处理处置，一般工业废物应按《上海市生态环境局关于加强本市一般工业固体废物产生单位环境管理工作的通知》（沪环土〔2021〕263号）的规定执行，危险废物应按 HJ 2025 的规定执行；

(3) 废气排放应满足 GB 16297 和 DB 31/933 的污染物排放要求；

(4) 场界噪声应满足 GB 12523 和 GB 12348 要求，必要时应进行敏感点环境噪声质量监测，相关监测应满足 GB 3096 要求；

(5) 扬尘应采取控制措施，同时应满足 DB 31/964 控制要求。

6.1.7 施工方案变更

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。

6.2 设备选型与安装调试

6.2.1 设备选型

污染土壤异位淋洗修复设备宜采用自动化、信息化、模块化和节能化设计，关键工艺参数宜能自动获取。设备、材料、器件等应符合国家相关文件，有产品的合格证书、产品性能检测报告。主要材料应有进场复验报告。

淋洗设备、管路和其他辅助配件应具备抗腐蚀能力，并在系统设计的酸碱条件下长期连续运行。管道输送泥浆，弯头的转弯半径不应小于 5 倍管径。泵的选型应根据其所输送介质的特性及泵的用途来确定，并应符合下列规定：

(1) 清水泵流量的调节范围应能满足指定用途中水量变化的要求；

(2) 泥浆泵的工作条件应能满足淋洗过程中泥浆浓度和含

砂量变化的要求；

(3) 泥浆浓缩工段输送至泥水分离工段的泥浆宜选用螺杆泵，其它工段宜选用离心泵或螺杆泵；

(4) 药剂配制单元等有计量要求的，宜选用计量泵；

(5) 输送含淋洗药剂泥浆的泵，其过流部应选用高硅铸铁、镍铬合金、特种合金钢等耐腐蚀、耐磨的金属材料；

(6) 所选泵应能长期保持在高效区内运行。

6.2.2 安装调试

污染土壤异位淋洗修复设备应严格按照设计要求进行安装与调试。调试前应依次进行手动空载单机、自动空载单机、整体联机空载运行，确保各环节运转正常、技术指标达到设计要求。调试期应进行不少于连续 8 h 的性能试验，测试性能应包括：

- (1) 土壤最大处理量；
- (2) 最大处理效率；
- (3) 达标情况；
- (4) 污染物排放；
- (5) 能源和药剂消耗；
- (6) 运行稳定性。

6.3 施工过程控制

淋洗控制系统应设自动控制和现场手动控制两种操作方式。控制系统宜能对各系统实现远程监控和分散控制，并应设置独立于远程控制及分散控制系统的紧急停车系统。其中，自动控制设备应连接自动报警装置，可根据故障或异常情况，实现单个设备报警、单设备或部分工艺段停机、整套淋洗系统停机或紧急停机等功能。

污染土壤异位淋洗修复工程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。工艺过程参数和设备运行参数监控可分

别参照附录 B 和附录 C。

6.4 劳动安全与职业卫生

污染土壤异位淋洗修复工程的施工和运行应符合国家和本市的劳动生产安全和职业卫生法规和文件。应制定火灾、触电、机械伤害、自然灾害等意外事件的应急预案，包括应急组织机构与职责、危险性分析、预防措施、应急处置程序和应急保障等。

污染土壤异位淋洗修复工程应对操作人员、技术人员和管理人员进行相关专业技术、安全防护、应急处理等理论知识和操作技能的培训。劳动防护用品应根据不同岗位合理配备。污染土壤异位淋洗修复工程应减少不必要的输送环节，降低物料转运的落差。

污染土壤异位淋洗修复工程应在施工现场设置专用仓库存放修复药剂，仓库应干燥、通风、防雨、防晒、防火、防泄漏。修复药剂宜随用随进，危险化学品存储应按照 GB 15603 的要求进行储存和管理。修复药剂配制和使用应符合以下规定：

- (1) 应关注其危险性、禁配物料，落实相应劳防措施；
- (2) 在危险化学品作业场所的出入口、反应容器等醒目位置应设置安全警示标志；
- (3) 现场运输药剂时严禁超载，应放置均匀防止侧翻，药剂包装应完整封闭防止遗撒。

第七章 工程运行、监测及修复效果评估

7.1 工程运行与维护

污染土壤异位淋洗修复工程运行应满足设计工况条件，设备宜不间断运行进行维护，并根据工艺要求，定期对设备、电气、自控仪表和建（构）筑物进行检查维护，确保系统稳定可靠运行。对管理和运行人员应建立岗前培训、定期培训、交接班和巡检制度。

污染土壤异位淋洗修复工程应建立淋洗设备运行、维护和操作规程，建立工程运行状况、设施维护和生产活动等记录制度，主要内容应包括：（1）系统启动、停止时间；（2）系统运行工艺控制参数记录；（3）主要设备的运行参数记录；（4）维修保养情况记录；（5）生产事故及处置情况记录；（6）检测结果记录；（7）其他相关情况记录。

7.1.1 系统启动

污染土壤异位淋洗修复系统启动宜依次开启泥浆浓缩工段、增效洗脱工段、筛分洗涤工段、混合制浆工段、进料工段，待系统运行达到设计负荷的 80%以上时，开启泥水分离和废水处理工段。现场运行时可根据实际情况对系统启动顺序进行优化调整。

7.1.2 系统关停

污染土壤异位淋洗修复系统停机宜按工艺流程依次关闭进料、混合制浆、筛分洗涤、增效洗脱、泥浆浓缩、泥水分离、

废水处理各工段。系统关停后应及时排空各设备积液，防止腐蚀设备。

中途停机应将设备中处理的土壤运行至泥水分离和废水处理结束，并用清水运行 30 min~60 min，避免残存泥浆淤积堵塞管路。

7.1.3 维护保养

操作人员每日应按规定的巡检路线和易发故障点，定时巡检，做好设备运行和检查记录；应根据维护保养规定定期检查、更换或维修设备及其部件。

7.1.4 事故应急

应制定异位淋洗修复工程事故应急措施，当出现紧急事故时，立即采取相应措施进行处理。事故应急措施内容应包括人员伤亡应急救援措施、排放超标、事故停机、重要设备/系统故障、触电事故、突发停水/停电等应急处理措施等。

事故处理时应做好记录、分析原因，防止同类事故重复发生。

7.2 工程运行监测

污染土壤异位淋洗工程实施过程中应配备相应的监测设备，监测设备的配置应能反映处理设施的运行状况，施工现场监控措施应符合《上海市建设用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）。

7.2.1 运行效果监测

设备运行过程中应使用便携式重金属检测设备对各级出料的重金属含量进行检测，动态评估淋洗效果。

污染土壤异位淋洗修复工程应按照修复目标的要求对处理后的各级出料及基坑分别进行采样自检监测，并应符合 HJ 25.5 的要求。对于碎石、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。

7.2.2 二次污染监测

污染土壤异位淋洗修复工程二次污染监测工作应包括以下内容：

（1）淋洗废水处理后排放至公共污水处理系统的，应分排放批次检测，检测指标应按 GB 8978、GB/T 31962 和 DB 31/199 的规定执行；

（2）空气中 VOCs 含量监测、大气颗粒物监测应按 HJ/T 55 的规定执行；

（3）噪声及扬尘监测应按 GB 12523 及《上海市建筑施工颗粒物与噪声在线监测技术规范（试行）》（沪环保防〔2015〕520 号）的规定执行。

7.3 工程运行状况分析

污染土壤异位淋洗修复工程运行状况应根据运行效果监测、二次污染监测及淋洗设备运行状况监测进行分析。

当便携式重金属检测设备检测或自检监测发现各级出料的重金属含量超过修复目标值时，应及时调整土壤进料量、淋洗时间、药剂浓度等关键工艺参数，对不合格的土壤进行重复淋洗或筛选其他技术修复。

当基坑侧壁、坑底土壤重金属含量超过修复目标值时，应按要求进行扩挖，扩挖时宜配合便携式重金属检测设备确定扩

挖量。

当二次污染检测数据超过相关标准限值时，应及时检修废水处理设施、废气处理设施、扬尘防控设施等。

当淋洗设备运行出现异常时，应及时停机维修，淋洗设备运行常见问题及解决方案可参照附录 4。

7.4 修复效果评估

污染土壤异位淋洗修复工程修复效果评估应按 HJ 25.5 的规定执行，对于碎石、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。淋洗废水处理后排放至公共污水处理系统的应符合 GB 8978、GB/T 31962 和 DB 31/199 的规定。

附录 A

(资料性)

常规重金属淋洗药剂及其适用性

表 A-1 常规重金属淋洗药剂及其适用性

淋洗药剂	目标重金属*适用性						
	As	Hg	Cr(VI)	Pb	Cd	Cu	Ni
柠檬酸	+	-	+	+	+	++	++
草酸	-	-	-	+	+	++	++
EDTA	+	-	+	++	++	+	+
磷酸二氢钾	++	-	++	-	-	-	-
氯化铁	-	-	-	-	+	-	-
亚硫酸钠	-	+	-	-	-	-	-
鼠李糖脂	++	+	++	+	+	+	+

++: 好 +: 一般 -: 不利
*: 非残余态重金属

附录 B

(资料性)

异位淋洗修复工程工艺过程参数

表 B-1 异位淋洗修复工程工艺过程参数

序号	工段	关键参数	动态控制参数	间接控制参数
1	进料工段	1) 土壤进料量 2) 进料土壤含水率	湿法进料注水流量	1) 土壤进料量 2) 进料土壤含水率
2	混合制浆工段	淋洗液和污染土壤混合的液固比 (质量比)	1) 循环水流量* 2) 补充水流量	淋洗液和污染土壤混合的液固比
3	筛分洗涤工段	土壤粒径分级	水力旋流器进料压力 (如有)	各级粒径范围对应出料量
4	增效洗脱工段	1) 淋洗药剂投加量 2) 液固比 3) 淋洗时间	1) 淋洗药剂流量 2) 补充水流量 3) 流出增效洗脱工段的泥浆流量	1) 药剂使用量* 2) 液固比 3) 淋洗时间
5	泥浆浓缩工段	混凝剂凝剂、絮凝剂等药剂投加量	混凝剂、絮凝剂等药剂流量	药剂使用量*
6	泥水分离工段	1) 修复后泥饼量 2) 泥饼含水率	/	1) 泥饼出料量 2) 出料含水率
7	废水处理工段	废水处理药剂投加量	淋洗废水流量	药剂使用量*

注：表格中“*”项为该技术最为关键的工艺参数。

附录 C

(资料性)

异位淋洗修复工程设备运行参数

表 C-1 异位淋洗修复工程设备运行参数

序号	关键工段	主要设备	控制参数	监控方式
1	进料工段	皮带输送机	输送带速度	速度传感器
		螺旋输送机	转速	转速传感器
		链斗输送机	链斗速度	速度传感器
		泥浆泵	流量	流量计
2	混合制浆工段	滚筒解泥机	转速	转速传感器
		高压水喷淋装置	水压	压力表
3	筛分洗涤工段	滚筒筛	转速	转速传感器
		振动筛	频率	目测记录
		水力旋流器	进料口压力	压力表
		缓存池搅拌装置	转速	转速传感器
4	增效洗脱工段	搅拌器	转速	转速传感器
		泥浆泵	流量	流量计
		超声装置 (如有)	频率	频率计
		加热装置 (如有)	温度	温度传感器
5	泥浆浓缩工段	管式混合器	流速	流量计
		水泵混合器	流量	流量计
		机械混合器	转速	转速传感器
		泥浆泵	流量	流量计
6	泥水分离工段	板框压滤机	过滤压力	压力表
		带式压滤机	滤带速度	速度传感器
		离心脱水机	转速	转速传感器
7	废水处理工段	板框压滤机	过滤压力	压力表
		水泵	流量	流量计

附录 D

(资料性)

淋洗设备常见问题及解决方案

表 D-1 淋洗设备常见问题及解决方案

设备类型	常见问题	可能原因/注意事项	可能的解决方案
电机	1) 运行中电流过小或过大 2) 温升过大 3) 噪音明显 4) 转向错误 5) 运行中电压升高	1) 负载端故障 2) 轴承或负载过大 3) 基础不牢固；轴承问题；负载端故障 4) 电源三相调乱 5) 电源故障，负载端故障	1) 检查负载情况 2) 检查轴承或负载端 3) 加固固定装置；检查轴承；检查负载端 4) 调整相序 5) 检查电源或负载端
泵类	启动后水泵不输水	1) 吸水管路不严密，有空气漏入 2) 泵内未灌满水，有空气存在 3) 水封水管堵塞，有空气漏入 4) 安装高度太高 5) 叶轮及出水口堵塞	1) 检查吸水管路 2) 重新灌水，开启放气门 3) 检查和清洗水封水管 4) 提高吸水池水位或降低水泵和水井水面间的距离 5) 检查和清洗叶轮及出水口
	运行中压头降低	1) 转速降低 2) 水中含有空气 3) 压力管损坏 4) 叶轮损坏和密封磨损	1) 检查原动机及电源 2) 检查吸水管和机械密封 3) 关小压力管阀门，并检查压力水管 4) 拆开修理，必要时更换
	水泵机组发生振动和噪声	1) 装置不当 2) 叶轮局部堵塞 3) 个别零件机械损伤 4) 吸水管和压水管的固定装置松动 5) 安装高度太高，发生气蚀现象 6) 地脚螺栓松动或基础不牢固	1) 检查机组连轴器和中心以及叶轮 2) 检查和清洗叶轮 3) 更换零件 4) 拧紧固定装置 5) 停用水泵，采取措施以减少安装高度 6) 拧紧地脚螺栓，如果基础不牢固，可加固或修理
阀门类	1) 渗漏量过大 2) 不能顺畅地起闭 3) 限位失灵	1) 密封不良 2) 重合度不适当 3) 行程开关故障	1) 调整阀门和阀板的密封 2) 调整启闭机与闸门的重合度 3) 检查、调整行程开关

设备类型	常见问题	可能原因/注意事项	可能的解决方案
管道	1) 连接处渗漏 2) 管体泄漏 3) 管件堵塞	1) 连接时未能良好密封 2) 管件有本质性问题 3) 管线内有杂物未清理出来	1) 重新套接 2) 更换管件 3) 清理管线内杂物
传输设备	传输设备启动时不能正常运转	1) 电源未接通 2) 启动控制故障 3) 物料太多或堵料、卡料	1) 检查供电电源是否正常。 2) 检查启动控制柜是否正常。 3) 检查物料是否太多，是否有堵料卡料现象，必要时进行清理。
板框压滤机	滤板松开、漏油	1) 液压系统故障 2) 部件磨损	1) 检查维修液压系统 2) 维修更换密封圈
	滤板之间跑料	1) 闭合压力未达到额定值 2) 滤板密封面夹有杂物 3) 滤布不平整、滤板变形 4) 进料泵压力或流量过大	1) 及时调节闭合压力值，必须达到设定值再进行下一步操作 2) 清理板框滤布卫生，以便保持过滤机构密封性、透水性 3) 发现滤布褶皱及时清理平整若有损坏及时更换，对损坏不严重的滤布使用硬度和韧性好的线进行缝补修复 4) 检查头板的密封圈及滤布上附带的连接法兰，损坏及时修复
	滑道问题	1) 滑道螺栓断裂、滑道损坏突起造成小车出现卡阻现象 2) 滑道不水平或下沉造成下车拉爪卡不住滤板	1) 定期检查滑道，发现螺栓有松动及时禁锢或更换 2) 滑道不水平，要及时整体调整为滑道螺栓加上固定套，定期更换固定套即可避免螺栓的磨损
废水处理设备	连接法兰漏水	1) 连接螺栓松动 2) 密封件损坏	1) 拧紧连接螺栓 2) 更换密封件
	沉淀池上清液浑浊	1) 进料量过大 2) 药剂投加问题	1) 减少进料量 2) 进行试验或计算，调整药剂投加量
	出水流量小	1) 进水流量小 2) 滤料层堵塞	1) 调整进水流量 2) 更换滤料