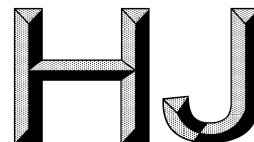


附件



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ □□□-202□

污染土壤修复工程技术规范 固化/稳定化

Technical specifications of solidification/stabilization for remediation

project

（征求意见稿）

20□□-□□-□□ 发布

20□□-□□-□□ 实施

生态环境部 发布

目 次

前 言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 污染物与污染负荷.....	3
5 总体要求.....	4
6 工艺设计.....	5
7 主要工艺设备.....	9
8 检测与过程控制.....	10
9 主要辅助工程.....	11
10 劳动安全与职业卫生.....	11
11 施工与验收.....	12
12 运行和维护.....	13
附录 A（资料性附录）固化/稳定化技术所需信息.....	15
附录 B（资料性附录）常用胶凝材料优缺点.....	15
附录 C（资料性附录）重金属污染土壤稳定化药剂.....	16
附录 D（资料性附录）典型原位固化/稳定化搅拌柱布局及设计图.....	16

前 言

为贯彻《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》《土壤污染防治行动计划》等法律法规，规范污染地块固化/稳定化处理工程建设与运行管理，制定本标准。

本标准规定了固化/稳定化工程的设计、施工、验收、运行和维护的技术要求。

本标准为首次发布。

本标准的附录A～附录D为资料性附录。

本标准由生态环境部科技与财务司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：轻工业环境保护研究所、北京高能时代环境技术股份有限公司、中国环境科学研究院、上海市环境工程设计科学研究院有限公司、矿冶科技集团有限公司。

本标准生态环境部20□□年□□月□□日批准。

本标准自20□□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

污染土壤修复工程技术规范 固化/稳定化

1 适用范围

本标准规定了地块重金属和半挥发性污染物等污染土壤固化/稳定化工程的污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与验收、运行和维护等。

本标准适用于固化/稳定化处理工程的建设与运行管理，可作为工程设计、施工、运行和维护的参考依据。

本标准不适用于挥发性有机物和放射性污染的土壤。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 3095	环境空气质量标准
GB 3096	声环境质量标准
GB 3838	地表水环境质量标准
GB 8978	污水综合排放标准
GB 9078	工业炉窑大气污染物排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB/T 14848	地下水质量标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB 50015	建筑给水排水设计规范
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50019	工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
GB 50058	爆炸危险环境电力装置设计规范
GB/T 50123	土工实验方法标准
GB 50087	工业企业噪声控制设计技术规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
HJ 25.1	建设用地土壤污染状况调查技术导则
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 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
HJ/T 299	固体废物浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
HJ/T 300	固体废物浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲溶液法
JGJ 311	建筑深基坑工程施工安全技术规范
JGJ 46	施工临时用电规范

3 术语和定义

下列术语适用于本标准。

3.1

固化/稳定化 solidification/stabilization

通过加入固化或稳定化剂，使土壤中污染物得以固化或稳定化，从而阻滞和减缓土壤中污染物释放的技术。通常不能毁灭污染物，但可以把污染物的浸出水平降低，达到环境和人体健康可接受的安全水平。固化/稳定化分为固化和稳定化两类。

3.1.1

固化 solidification

通过加入胶凝材料等固化剂把污染土壤转化成难于渗透、稳定的固化块的过程。固化过程一般伴随着稳定化反应，在固化剂中添加稳定化药剂可进一步减少污染物释放。

3.1.2

稳定化 stabilization

通过稳定化药剂与污染物间的化学反应将污染物转化成难于溶解和浸出形式的过程。

3.2

原位固化/稳定化 in-situ solidification/stabilization

不挖掘土壤，直接在发生污染的位置进行固化/稳定化的过程。

3.3

异位固化/稳定化 ex-situ solidification/stabilization

将受污染的土壤从发生污染的位置挖掘出来，搬运或转移到其他场所或位置进行固化/稳定化的过程。

3.4

浸出测试 leaching test

按照规定的浸出程序和方法，采用液态物质对土壤进行浸取，并测定浸出液中污染物浓度的过程。

3.5

无侧限抗压强度 unconfined compressive strength, UCS

固化块在无侧向压力条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

3.6

渗透系数 permeability coefficient

固化/稳定化体在单位水力梯度下的单位流量，表示水通过孔隙的难易程度。

4 污染物与污染负荷

4.1 一般规定

4.1.1 固化/稳定化技术适用于污染土壤中重金属、半挥发性有机物和其他无机物的治理。

4.1.2 重金属主要包括：铅、锌、铜、镉、铬、汞、砷、镍等；半挥发性有机物主要包括：多环芳烃、多氯联苯、杀虫剂、长链润滑油（>C28）、二噁英等；其它无机物主要包括：氰化物、氟化物等。

4.1.3 原位固化/稳定化适用于不宜进行土壤挖掘、缺乏储存和作业空间或污染区域无开发、利用和施工的地块，一般用于深层污染土壤的处理，尤其是含有地下水层的污染土壤。

4.1.4 异位固化/稳定化适用于固化/稳定化质量控制要求高或污染区域需要开发、利用或施工的地块，一般用于浅层污染（<5m）土壤的处理。

4.2 原位固化/稳定化技术应用条件

4.2.1 场地条件和地层结构满足原位药剂注入和搅拌混合施工。

4.2.2 质量控制难度不大的地块。

4.3 异位固化/稳定化技术应用

4.3.1 具备土壤开挖和基坑支护条件及地下水止水和降水条件。

4.3.2 处理后的土壤有安全可靠的处置利用途径。

4.4 固化/稳定化处理过程中产生的二次污染

4.4.1 原位固化/稳定化处理过程中产生的二次污染主要包括：

a) 废气：施工过程中产生的扬尘等。

b) 废水：清洗废水等。

c) 固体废物：场地清理出来的石块和渣土，药剂注入和混合搅拌过程中产生的溢流泥浆等。

d) 噪声：设施运行过程中产生的噪声等。

4.4.2 异位固化/稳定化处理过程中产生的二次污染主要包括：

a) 废气：预处理车间产生的废气和施工过程中产生的扬尘等。

b) 废水：清洗废水和基坑降水等。

c) 固体废物：挖掘或场地清理出来的废渣、渣土和混凝土块，污染土壤预处理过程中产生的固体废物、除尘器的粉尘等。

d) 噪声：设施运行过程中产生的噪声等。

5 总体要求

5.1 一般规定

5.1.1 应将土壤污染状况调查报告、场地水文地质勘察报告、土壤污染风险评估报告及污染土壤修复技术方案等作为固化/稳定化工程设计的基础，固化/稳定化技术所需信息参见附录A，信息不足时，应按照HJ 25.1进行必要的补充调查。

5.1.2 固化/稳定化处理工程的设计、施工、运行除符合本标准外，还应符合国家现行的法律、法规、标准的相关规定，并符合“三同时”的要求。

5.1.3 宜对污染土壤先进行减量化再进行异位固化/稳定化处理。

5.1.4 固化/稳定化处理后土壤中目标污染物的浸出浓度和渗透系数等应满足场地修复目标的要求，并按 HJ 25.5 进行地块修复和风险管控效果评估。

5.1.5 固化/稳定化处理后的土壤在保证人体健康风险和环境风险可以控制的前提下宜优先考虑资源化利用，需要填埋处置的，应符合 GB 18599 的要求。

5.1.6 应按照 HJ 25.2、HJ 25.5 以及其他国家、地方、相关行业标准的相关要求对固化/稳定化处理后的土壤进行长期环境监测。长期环境监测发现影响地下水和地表水、污染物浸出量明显升高、风险控制措施损毁等，经评估后应及时采取补救措施。

5.1.7 应对固化/稳定化处理工程施工过程中产生的废水、废气等进行妥善处理，并达到 GB 3838、GB 8978、GB 14848、GB 3095、GB 16297、GB 9078、GB 14554 等国家、地方和相关行业排放标准要求；施工过程中产生的固体废物，应遵守《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》的相关要求进行妥善处置；噪声控制应符合 GB 12348 和 GB/T 50087 的要求。

5.2 工程构成

5.2.1 固化/稳定化处理工程由主体工程、辅助工程和配套设施组成。

5.2.2 原位固化/稳定化主体工程主要包括药剂配置、注入/搅拌混合和养护等。

5.2.3 异位固化/稳定化主体工程主要包括筛分、药剂配置、搅拌混合和养护等。

5.2.4 辅助工程主要包括给排水和消防系统、视频监控系统、配电室、控制室、检测分析室、处置车间、化学品仓库、围墙、道路、磅秤和周边绿化工程等。

5.2.5 配套设施主要包括办公室、休息室、卫生间、浴室、更衣室及其他生活设施等。

5.3 总图布置

5.3.1 总平面布置应满足GB 50187的要求。应根据工艺和施工流程、场地内运输、安全和二次污染防治等的要求合理布置，保证工艺流程顺畅，物料运送便捷，施工、维护、检修方便，处置设施应与办公和生活服务设施隔离建设，化学品库应单独布置。

5.3.2 固化/稳定化处理工程宜在污染场地内进行，需要转运、异地处理的，场址应尽量远离居民区、水源保护区等敏感点。

5.3.3 原位固化/稳定化处理工程应按照施工区、药剂储存区、道路及办公区等功能区划进行布置。

5.3.4 异位固化/稳定化处理工程应按照污染土壤挖掘区、储存区、搅拌混合区、养护待检区、药剂储存区、运输道路及办公区等功能区划进行布置。

5.3.5 当固化/稳定化处理工程为地块修复方案中的一个组成部分时，其平面布置应作为总体工程的一部分纳入总体工程平面布置。

6 工艺设计

6.1 一般规定

6.1.1 固化/稳定化处理工程的工艺设计应遵循技术可靠、经济适用、环境安全的原则。

6.1.2 当固化/稳定化处理工程为地块修复方案中的一个组成部分时，其设计和实施应同其它修复工程协同考虑。

6.1.3 宜通过调研、小试、中试等方式确定固化/稳定化处理工程的工艺技术参数和设计内容。

6.1.4 工艺设计内容主要包括预处理、药剂配置和给料、固化/稳定化处理、养护和二次污染控制等。

6.1.5 选用的固化/稳定化材料和药剂对污染物的固定应长期有效、绿色环保。

6.1.6 固化/稳定化处理工程实施过程中的检测主要包括实施工艺参数检测、效果检测和二次污染监测，检测不达标的固化/稳定化土壤需重新处理达标或采取额外补救措施。

6.2 工艺选择

6.2.1 固化/稳定化包括原位固化/稳定化和异位固化/稳定化工艺，工艺流程分别见图1和图2。

6.2.2 应根据地块状况、地层结构、污染分布和土地利用等适用条件选择固化/稳定化工艺。

6.3 工艺设计要求

6.3.1 固化/稳定化材料和药剂的选择

6.3.1.1 固化技术以筛选胶凝材料为主，辅以稳定化药剂和外加剂的选择。稳定化技术以选择

适合的稳定化药剂为主。固化/稳定化材料和药剂的选择应遵循以下原则：

- a) 满足污染土壤固化/稳定化处理后浸出测试的要求；
- b) 满足污染土壤固化/稳定化处理后利用和处置的要求；
- c) 稳定化材料在使用过程和使用后产生的生态环境影响、危害和风险可以接受或可以控制；
- d) 稳定化药剂用量少、高效、价格适宜。

6.3.1.2 固化/稳定化材料和药剂的选择应根据土壤污染物种类、污染程度和土壤理化性质等指标确定。

6.3.1.3 固化胶凝材料可以采用水泥、粉煤灰、高炉渣、石灰等，常用胶凝材料的优缺点参见附录B。

6.3.1.4 稳定化药剂可以采用氧化钙、氢氧化钙和氧化镁等碱性材料，零价铁、铁盐、铁氧化物等含铁材料，磷酸盐、骨炭、磷矿石和羟基磷灰石等含磷材料，粘土、沸石、活性炭、生物炭等吸附剂。常见重金属污染土壤适用的稳定化药剂参见附录C。

6.3.1.5 六价铬污染土壤的稳定化一般采用还原稳定化技术，还原剂可采用二价铁盐、零价铁、多硫化钙、还原糖和生物制剂等。

6.3.1.6 多环芳烃等半挥发性有机物污染土壤的固化/稳定化一般宜添加活性炭、膨润土等吸附材料来增强固化/稳定化效果。

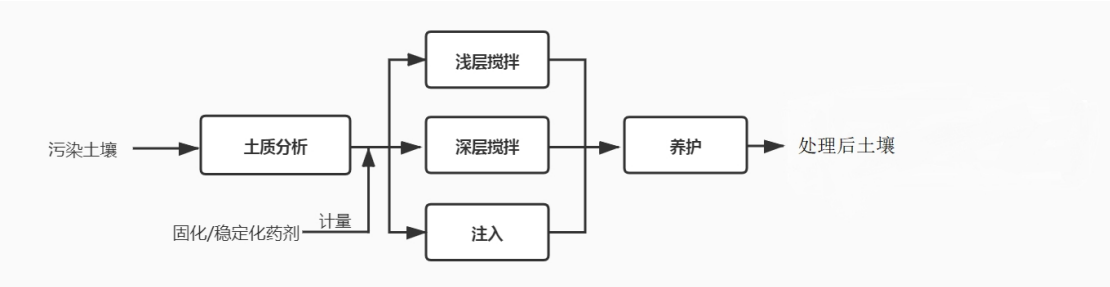


图1 原位固化/稳定化工艺流程图

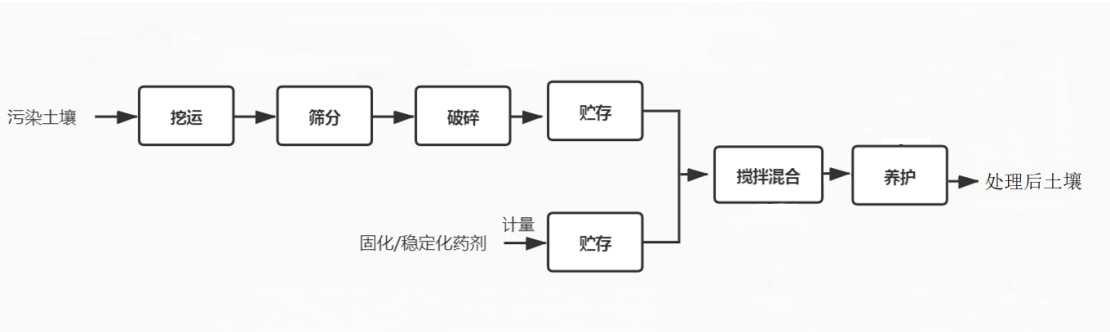


图2 异位固化/稳定化工艺流程

6.3.2 小试

6.3.2.1 可根据文献和已有工程经验，选择多种固化/稳定化备选材料和药剂，考虑药剂配比、

水土比、搅拌速率、搅拌时间等因素，进行固化/稳定化小试研究。

6.3.2.2 基于不同养护条件和时间，评估采用固化/稳定化技术的污染物浸出水平、无侧限抗压强度和渗透系数等参数，同时考虑处置后土壤的增容比率。

6.3.3 中试

6.3.3.1 应根据小试的结果进行中试设计，确定和优化药剂配比、混合搅拌方式和工艺、预处理技术和工艺、养护方式和时间及费用，评估固化/稳定化效果和二次污染防控措施的有效性。

6.3.3.2 中试应反映实际工程状况，一般中试处理量不少于100m³污染土壤。原位固化/稳定化要达到既定的最大深度，需要3个以上柱体。

6.3.3.3 中试阶段使用的设备要与工程实施阶段保持一致，不能降低要求。

6.3.3.4 中试完成后要进行实施效果的评估，通过测定无侧限抗压强度、渗透系数和浸出毒性等相关参数，评估中试效果。

6.3.4 原位固化/稳定化

6.3.4.1 场地清理宜满足以下要求：

a) 原位固化/稳定化施工前应探测和清除地上和地下影响施工的混凝土块、大石块和地下构筑物等障碍物；

b) 清理出的建筑垃圾应清洗后再进行处置。

6.3.4.2 药剂配置宜满足以下要求：

a) 应设置药剂储存库、料仓、配药站和泵送系统，并配备液位监控和溢流液收集系统；

b) 制备好的水泥浆储存不宜超过 2 小时。

6.3.4.3 搅拌/注入宜满足以下要求：

a) 应根据中试结果确定注入和搅拌设备可达深度、搅拌单元、注药速率、搅拌杆移动速度和搅拌时间等参数；

b) 宜根据修复深度选择合适的原位固化/稳定化施工设备。小于5m的浅层污染可采用挖掘机、旋耕机和专用浅层搅拌机等设备混合，可采用液体、浆状或粉末状材料和药剂，混合搅拌与药剂添加宜同步进行；

c) 大于5m的深层原位固化/稳定化一般采用高压注入和螺旋搅拌的方式把药剂与污染土壤混合，深层搅拌一般宜采用液体或浆状药剂进行注入或混合；

d) 液体材料和药剂的注入宜采用固定式注入井和压力喷射注入装置，水泥浆等浆状材料宜选择压力喷射注入；

e) 搅拌/注入单元数量及其平面布置应根据注入影响半径和搅拌混合的面积确定，单元之

间应相互重叠，确保药剂覆盖污染区域；

f) 药剂注入或搅拌混合应精准合理，不宜过度投加，影响地下水水质；

g) 施工过程中遇到地层和污染物状况与调查报告差异较大的情况时，应根据现场测试结果调整药剂注入影响半径、注入压力和注入量等工艺参数。

6.3.4.4 养护及管理宜满足以下要求：

a) 原位固化/稳定化处理后的土壤或固化体应进行养护，对表层等裸露部分进行覆盖，保持水分；

b) 原位固化/稳定化处理后，宜考虑土壤增容膨胀的影响，应根据地形、土地利用等进行整形；

c) 原位稳定化处理后宜适当采取高密度聚乙烯、膨润土垫和黏土等封盖措施，减少降水等对稳定化土壤的淋溶，影响地下水水质。

6.3.5 异位固化/稳定化

6.3.5.1 挖掘宜满足以下要求：

a) 污染土壤挖掘应编制专项方案，深基坑开挖应满足JGJ 311的要求；

b) 对地下水位以下的污染土壤进行开挖时应进行降水设计。

6.3.5.2 暂存宜满足以下要求：

a) 挖掘出来的污染土壤应按土壤类别、污染物种类和污染程度分类储存于封闭大棚、车间或苫盖的堆场里；

b) 污染土壤暂存区应设计防扬尘、防渗等二次污染防控设施。

6.3.5.3 预处理宜满足以下要求：

a) 应把土壤中直径大于50mm的石块和建筑垃圾等进行筛分，清洗后进行资源化利用，清洗废水处理后宜优先回用；

b) 土壤中砂砾含量较多时，宜采用减量化措施。可以采用多级筛等分离除去1-2mm以上的砂砾；

c) 处理的土壤量不大时，可简化筛分流程，采用筛分斗分批筛分或直接采用搅拌设备自带的筛分装置；

d) 含有挥发性物质的土壤宜先除去挥发性物质后再进行异位固化/稳定化处理。

6.3.5.4 搅拌混合宜满足以下要求：

a) 根据小试和中试优化的参数，对污染土壤进行固化/稳定化处理，确保药剂投加的针对

性和有效性；

b) 采用双轴搅拌机和土壤改良机等专用设备混合污染土壤和固化/稳定化药剂，并配备土壤输送机、干粉药剂料仓、浆状药剂及液体药剂的储存槽及药剂制备、计量和投加装置，搅拌混合系统应具备安全联锁和自动计量投加装置；

c) 污染土壤处理规模较小时，可以采用挖掘机、翻抛机、旋耕机、浅层搅拌设备等分批次进行药剂混合，并设计搅拌作业区或搅拌池（箱），做好防渗和抑尘设计；

d) 正式运行前应进行搅拌设备试运行及搅拌效果测试，确定不同类型土壤与药剂适宜的混合时间和处理量，并根据药剂配比和使用量，调整土壤输送量和药剂的投加量，确保药剂与土壤充分混合。

6.3.5.5 养护宜满足以下要求：

a) 固化后的土壤应在初凝前完成成型，一般宜在8小时内。可采用制砖机、造粒机等制成块状、粒状固化块，或直接浇注成型，振动压实；

b) 固化初凝成型完成后应进行养护，将固化体用油毡、薄膜、草席等覆盖，保持表面潮湿，养护时间一般不少于14天，具体养护时间根据胶凝材料、外加剂和环境湿度等确定。当昼夜平均气温小于5°C或最低气温小于-3°C，可采用蒸汽等养护方式；

c) 采用稳定化技术时不需要成型，搅拌完成后堆成条垛状，保持水分养护，养护时间一般不少于7天，确保药剂有足够时间与污染物接触和反应。

6.3.6 二次污染防治措施

6.3.6.1 异位固化/稳定化施工应在处理车间内进行，施工产生的扬尘应采取洒水等抑尘措施，干粉材料不应露天堆放，料仓应设置除尘装置。

6.3.6.2 应对施工过程中产生的废水进行收集、处理和回用，排放废水应符合GB 8978、GB/T 31962及相关行业和地方标准要求。

6.3.6.3 施工和运行过程中所产生的固体废物的处理应符合国家、地方和相关行业规定，经鉴别属于危险废物的，应按危险废物处理和处置。

6.3.6.4 污染土壤暂存、养护区应采取防渗、防冲刷措施并进行覆盖。

7 主要工艺设备和材料

7.1 固化/稳定化设备的选择应遵循生产适用、技术先进可靠的原则，优先选用自动化程度高的专用设备。

7.2 固化/稳定化工程设备包括挖掘、转运、预处理、药剂制备和投加装置及混合搅拌设备等机械设备的材质应具有耐腐蚀性、耐磨损性和较高机械强度。

7.3 固化/稳定化工程各单元主体设备的规格应根据污染土壤处理规模合理配置，并具有可移

动和易组装的性能。工艺设备应根据工艺设计和参数选择，满足工艺设计预期效果。

7.4 原位固化/稳定化的搅拌混合可采用大尺寸螺旋搅拌、转筒搅拌机、高压旋喷机等设备，并具备水、液体、浆状物料等的投加和混合能力。

7.5 异位固化/稳定化预处理可采用圆筒筛、振动筛、筛分斗和固定格栅等进行筛分减量化，使用颚式破碎机、锤式破碎机等破碎石块和混凝土块等。

7.6 异位固化/稳定化的搅拌混合可采用双轴搅拌、土壤改良机等设备，并具备水、液体、浆状和粉状等物料的投加和混合能力。

8 检测与过程控制

8.1 检测

8.1.1 应对固化/稳定化处理前后的污染土壤进行采样检测，采样应符合HJ 25.2、HJ 25.5的要求。

8.1.2 工艺参数和效果检测宜每日每批采样，一般500-1000m³左右处理的土壤采集一个样品，处理量在1000m³-5000m³时应适当增加采样数量，不足1000m³时采集3个样品。

8.1.3 浸出测试宜符合以下要求：

a) 采用浸出测试方法评估固化/稳定化效果，根据固化/稳定化后土壤的处置和利用情景选择相应的浸出方法；

b) 一般采用HJ/T 299进行浸出测试，污染物浸出浓度应满足GB/T 14848或达到HJ 25.5规定的对地下水水质影响的要求；进入生活垃圾填埋场时，则应按照HJ/T 300进行浸出测试，并满足相应限值要求。

8.1.4 物理测试宜符合以下要求：

a) 采用固化技术时需要测定无侧限抗压强度、渗透系数和耐久性等指标，测定方法参考GB/T 50123；

b) 固化块的渗透系数一般不应超过 1×10^{-7} cm/s，最大不应超过 1×10^{-6} cm/s。

8.1.5 运行工艺参数监测宜符合以下要求：

a) 原位固化/稳定化处理工程工艺参数监测应包括以下内容：

- 1) 灌浆注射压力和速率；
- 2) 搅拌头速率及压力；
- 3) 搅拌头垂直方向的移动速度；
- 4) 土柱的数量；
- 5) 搅拌时长；

- 6) 搅拌深度;
- 7) 土柱的重叠度。

b)异位固化/稳定化处理工程工艺参数监测应包括: 污染土壤的给料速率、药剂入料速率、土壤在搅拌机中的停留时间、加水速率、搅拌速度等。

8.2 过程控制

8.2.1 根据需要配备可反映运行状态的参数监测和控制设施。

8.2.2 各单元应设置运行控制、运行管理所需的检测仪表, 能实时在线显示运行工况。

8.2.3 原位固化/稳定化应根据设计参数采用计量泵等投加设备精确控制药剂投加量, 异位连续固化/稳定化应采用自动控制系统确保土壤投加速率和药剂投加量精确配合。

9 主要辅助工程

9.1 供配电系统设计应符合 GB 50052、GB 50054 和 GB 50065 等的规定。施工临时用电满足 JGJ 46 的规定。

9.2 给排水设计应符合 GB 50015 的规定。生产废水和生活污水经处理后宜优先考虑用于生产过程。

9.3 消防设计应符合 GB 50016 的规定。

9.4 采暖通风与空气调节设计应符合 GB 50019 的规定。

9.5 土壤储存封闭大棚、预处理车间、混合搅拌车间和养护厂房等室内作业场所应设置通风设施。

9.6 寒冷地区的操作间、化验室和配药间等应设置采暖设施, 相关管线应采取防冻措施。

10 劳动安全与职业卫生

10.1 劳动安全

10.1.1 固化/稳定化工程劳动安全和职业卫生应符合GB/T 12801的规定。

10.1.2 岗位作业场所应制定详细的规章制度预防危险事故的发生。

10.1.3 应按《危险化学品安全管理条例》的要求储存和使用化学药剂。

10.1.4 装置现场应有必要的安全防护措施和警示标识。

10.1.5 岗位作业场所应保持通风并防火、防爆、防触电、防塌库。应采取支护等措施防止基坑坍塌和重型机械塌陷倾覆。地下坑、槽应设置护栏、盖板等安全设施和警示线。

10.1.6 固化/稳定化处置场区应有安全警示线、设备启动警报、设备异常警报, 在各种机械设备裸露的传动部分设置防护罩或防护栏。

10.1.7 电器设备应设有漏电和短路等保护装置。

10.2 职业卫生

10.2.1 工程的职业安全卫生设计应符合 GBZ 1的规定。

10.2.2 对产生粉尘的设备应采取除尘措施，扬尘点应设置抑尘或吸收尘设施。

10.2.3 应定期对作业场所的有毒有害气体进行检测。

10.2.4 现场人员应根据岗位的风险程度分级配备必要的劳动保护及个人防护装备。在酸性和碱性等生产作业场所设置眼睛、皮肤等的清洗装置。

10.2.5 选用噪声小的设备。对于噪声较大的设备，应采用减震、隔声等消音措施，使噪声符合国家标准规定。

11 施工与验收

11.1 一般要求

11.1.1 工程设计、施工单位应具有国家相应的工程设计、施工资质。

11.1.2 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。

11.1.3 工程施工应按设计文件规定的内容进行。建筑、安装工程应符合施工设计文件、设备技术文件的有关规定。

11.1.4 施工应满足铁路、地铁、河道、地下电缆、市政管线、建构筑物等的安全防护间距，并采取适当的防护措施。

11.2 施工内容

11.2.1 工程施工主要包括施工组织方案编制、施工准备和工程实施。施工组织方案包括：工程管理目标、项目组织机构、主要工程量及施工分区、总体施工顺序、工期安排、施工机械和试验检测仪器配置、用电用水规划、劳动力需求计划及施工准备等。此外还需明确施工质量的控制要点、施工工序与步骤、所需的设备型号、设备安装和调试过程等内容。

11.2.2 施工现场准备工作包括：成立项目组织机构、场地平整、测量放线、临时设施建设、设备准备、水电准备和技术交底及安全培训等工作。

11.3 工程施工

11.3.1 原位固化/稳定化处理应对搅拌混合区的障碍物进行探测并清除。应按设计图纸准确定位，按设计的药剂注入量、速率、时间和搅拌速率等参数进行施工。

11.3.2 异位固化/稳定化一般采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制，转运到搅拌设备，按照设计的药剂注入量、搅拌速率、停留时间和养护时间进行施工；检测达标后

的土壤进行分层摊铺压实回填或异地处置和利用。

11.3.3 应按设计文件要求进行车间、大棚和设备等的基础施工，满足建设安装要求，车间、大棚、土壤储存区和化学品库、药剂配制区等的地面防渗应满足设计要求。

11.3.4 按设备安装说明和要求准确定位安装位置，安装的设备应稳定可靠，符合允许的安装偏差。设备使用前应对设备的电控、自动控制和机械等部分进行调试，并做到电机无振动和异响，设备无堵塞、晃动和抖动，控制联锁正常等。

11.3.5 工程安装、施工完成后应首先对相关计量等设备进行校验，然后根据工艺流程进行分项调试和整体调试。

11.4 工程验收

工程验收应符合《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等相关规定。

12 运行和维护

12.1 一般规定

12.1.1 固化/稳定化处理工程的运行、维护和安全管理工作应符合国家现行标准和规范的有关规定。

12.1.2 各工种、岗位应根据工艺特征和具体要求制定相应的安全操作规程和质量管理文件并严格执行。

12.1.3 建立污染土壤清挖、转运、暂存和处理的台账，内容包括土壤来源、数量、种类、处理方式、时间、药剂用量、检测结果和最终去向等内容。

12.1.4 建立药剂购买、贮存、使用情况台账，内容包括药剂名称、品牌和厂家、购买时间及数量、每日投加数量和剩余库存数量等。

12.1.5 制定应急预案，有效应对意外事故。

12.2 人员与运行管理

12.2.1 在处理工程启用前，企业应对管理和运行人员进行法律法规、工艺流程、专业技术、安全防护、紧急处理等方面的培训，培训考核合格后上岗，并定期对运行人员进行继续培训及考核。

12.2.2 运行人员应严格按照操作规程作业，如实填写筛分、破碎、混合装置运行状况、设施维护和生产活动等各项记录，并妥善保存。

12.2.3 固化/稳定化处理工程场区内应安装24小时视频监控系统。

12.3 维护

12.3.1 制定设备和装置的维护保养计划，定期检查和维护设备、电气和仪表。

12.3.2 维护人员应做好相关记录。

附录 A

(资料性附录)

固化/稳定化技术所需信息

表 A 给出了固化/稳定化技术所需信息。

表 A 固化/稳定化技术所需信息

信息	目的
场地和土壤特性	
土壤粒径和塑性	确定预处理工艺、混合搅拌方式等
含水量	确定预处理工艺、水分控制和药剂配方
pH 值	判断药剂反应环境及其对浸出特性的影响
地下水埋深和流向	判断降水 and 环境影响
地层结构	用于基坑支护和原位固化/稳定化分区设计
地层渗透性	用于原位注入方式选择和工艺设计
敏感点	用于环境影响和安全分析
地下障碍物	用于判断对施工的影响
污染物和污染分布	
污染物种类	用于药剂配方选择
污染物浸出	判断污染并提供基础数据
污染分布	判断药剂用量
抑制成分	确定药剂配方的兼容性

附录 B

(资料性附录)

常用胶凝材料优缺点

表 B 给出了常用胶凝材料优缺点。

表 B 常用胶凝材料优缺点

材料	优点	缺点或需要关注的问题
水泥	- 不需要干燥和脱水。 - 随添加量变化可获得不同强度和渗透性的固化块，成品可以再利用。 - 能承受低 pH 值和氧化剂。 - 加入其它材料可以降低污染物浸出。	- 水化反应放热，增加污染物的挥发。 - 增加固化块体积。 - 某些污染物不适合水泥固化。 - 会受到土壤成分和污染物干扰，影响强度和凝结时间。
生石灰	- 酸中和能力强，能承受低 pH 值和氧化剂。 - 可以引发粉煤灰、高炉矿渣和粘土产生水化反应，形成胶凝物质，产品可再利用。 - 对湿土具有干化作用。	- 水化反应放热，增加污染物的挥发。 - 增加固化块体积。 - 某些污染物不适合生石灰固化。 - 水化反应需水量大。
熟石灰	- 酸中和能力强。 - 可以引发粉煤灰、高炉矿渣和粘土发生水化反应，形成胶凝物质，产品可再利用。 - 需水量小，不发生放热反应。	
高炉矿渣	- 废物综合利用。 - 减少水泥用量。 - 水化放热低，水化反应时间长。 - 能承受硫酸盐和氯化物的侵蚀，抗冻融。	- 需要水泥、石灰和碱性硅酸盐引发形成胶凝物质。 - 水化反应时间长，固化块形成强度慢。 - 增容。
粉煤灰	- 废物综合利用。 - 减少水泥用量。 - 水化放热低，水化反应时间长。 - 残炭可以作为污染物吸附剂。	- 需要水泥、石灰和碱性硅酸盐引发形成胶凝，反应取决于粉煤灰玻璃相的性质和比例。 - 水化反应时间长，固化块形成强度慢，增容。 - 影响氧化还原环境。 - 石灰和粉煤灰混合体浸出和耐久性效果不理想。

附录 C

(资料性附录)

重金属污染土壤常用稳定化药剂

表 C 给出了重金属污染土壤常用稳定化药剂

表 C 重金属污染土壤稳定化药剂

污染物	稳定化药剂
铅、铜、锌、镉等阳离子重金属	• 氧化钙、氧化镁、氢氧化钙、石灰石、粉煤灰等碱性材料 • 磷矿石、磷酸盐和磷肥等含磷材料 • 粘土、沸石等吸附材料 • 硫化物
六价铬	• 零价铁、硫酸亚铁等还原铁 • 亚硫酸盐 • 硫化物、多硫化钙 • 还原糖、生物制剂
砷	• 零价铁 • 铁盐 • 铁氧化物、铝氧化物、锰氧化物 • 硫化亚铁 • 高炉矿渣

附录 D

(资料性附录)

典型原位固化/稳定化搅拌桩布局及设计图

图 A 给出了典型原位固化/稳定化搅拌桩布局及设计参考

图 A 典型原位固化/稳定化搅拌桩布局及设计

