



T/CECS XXX- 202X

---

中国工程建设标准化协会标准

# 污染土壤修复工程施工及验收标准

**Standards for construction and acceptance of polluted soil  
remediation projects**

(征求意见稿)

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

# 污染土壤修复工程施工及验收标准

**Standards for construction and acceptance of polluted  
soil remediation projects**

**T/CECS XXX- 202X**

主编单位：中建工程产业技术研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 X 日

中国 XX 出版社

202X 北 京

## 前 言

《污染土壤修复工程施工及验收标准》（以下简称标准）根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求进行编制。编制组经广泛调查研究、认真总结实践经验，参考有关国内标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 6 章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、工程施工、安全与环保、施工质量验收。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会绿色建筑与生态城区分会归口管理，由中建工程产业技术研究院有限公司负责具体内容的解释。实施过程中如有意见或建议，请反馈至中建工程产业技术研究院有限公司（地址：北京市顺义区林河大街 15 号，邮政编码：100130，邮箱：wuwenling@cscec.com）。

**主编单位：**中建工程产业技术研究院有限公司

**参编单位：**斯坦德技术工程（青岛）有限公司

安庆市绿巨人环境技术股份有限公司

安庆师范大学

南开大学

上海建工环境科技有限公司

中国建筑第六工程局有限公司

中建生态环境集团有限公司

中建八局环保科技有限公司

森特士兴环保科技有限公司

中国水电基础局有限公司

中节能铁汉生态环境股份有限公司

中国建筑第八工程局有限公司

主要起草人：

# 目次

1 总 则 .....	1
2 术语 .....	2
3 基本规定 .....	4
4 工程施工 .....	5
4.1 一般规定 .....	5
4.2 化学氧化还原法 .....	6
4.3 气相/多相抽提法 .....	7
4.4 热脱附法 .....	7
4.5 土壤淋洗法 .....	9
4.6 固化/稳定化法 .....	9
4.7 水泥窑协同处置法 .....	10
4.8 阻隔填埋法 .....	11
4.9 微生物修复法 .....	12
4.10 植物修复法 .....	13
4.11 辅助工程 .....	13
5 安全与环保 .....	15
5.1 一般规定 .....	15
5.2 安全管理 .....	15
5.3 环境管理 .....	17
6 施工质量验收与评估 .....	19
6.1 一般规定 .....	19
6.2 施工质量验收 .....	19
6.3 修复效果评估 .....	20
附录 A 施工污染防治措施 .....	22
用词说明 .....	28
引用标准名录 .....	29

条文说明..... 30

## Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms .....	2
3	Basic requirements.....	4
4	Engineering construction .....	5
4.1	General requirements.....	5
4.2	Overall engineering design requirements.....	6
4.3	Chemical oxidation-reduction technology.....	7
4.4	Gas phase/multiphase extraction technology.....	7
4.5	Thermal desorption technology.....	9
4.6	Soil washing technology.....	9
4.7	Solidification/stabilization technology.....	10
4.8	Collaborative disposal technology with cement kilns.....	11
4.9	Barrier landfill technology.....	12
4.10	Microbial remediation technology.....	13
4.11	Plant remediation technology.....	13
5	Safety and environmental protection.....	15
5.1	General requirements.....	15
5.2	Safety.....	15
5.3	Environmental protection.....	17
6	Construction quality acceptance and evaluation.....	19
6.1	General requirements.....	19
6.2	Construction quality acceptance.....	19
6.3	Remediation effect evaluation.....	20
	Appendix A Construction pollution prevention and control measures.....	22
	Explanation of wording.....	28
	List of quoted standards.....	29
	Addition: Explanation of provisions.....	30

# 1 总 则

**1.0.1** 为提高污染土壤修复工程建设水平，规范施工技术要求，强化工程管理，确保工程施工质量和安全，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于污染土壤修复工程的施工及施工质量验收。

**1.0.3** 本标准不适用于放射性污染和致病性生物污染土壤修复工程的施工。

**1.0.4** 污染土壤修复工程的施工除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准及现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.1.1 土壤修复 soil remediation

采用物理、化学或生物的方法固定、转移、吸收、降解或转化土壤中的污染物，使其含量降低到可接受水平，或将有毒有害的污染物转化为无害物质的过程。

### 2.1.2 化学氧化还原 chemical oxidation reduction

根据土壤或地下水中污染物的类型和属性选择适当的氧化或还原剂，将制剂注入到土壤或地下水中，利用氧化或还原剂与污染物之间的氧化还原反应将污染物转化为无毒无害物质或毒性低、稳定性强、移动性弱的惰性化合物，从而达到对土壤净化的目的。

### 2.1.3 气相抽提 soil vapor extraction

通过专门的地下抽提（井）系统，利用真空或注入空气产生的压力迫使非饱和区土壤中气体发生流动，从而将其中的挥发性有机污染物和半挥发性有机污染物脱除，达到清洁土壤的目的。

### 2.1.4 多相抽提 multiple phase extraction

通过真空抽取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和油层到地面进行相分离及处理，以控制土壤和地下水中有机的污染的技术。

### 2.1.5 原位热脱附 in-situ thermal desorption

向地下输入热能，加热土壤、地下水，改变目标污染物的饱和蒸气压及溶解度，促进污染物挥发或溶解，并通过土壤气相抽提或多项抽提实现对目标污染物去除的处理过程，包括热传导加热、电阻加热及蒸汽强化抽提等。

### 2.1.6 异位热脱附 ex-situ thermal desorption

将污染土壤从发生污染的位置挖掘出来，转移或搬运到其他场所或位置，采用加热处理的方式将污染物从污染土壤中挥发去除的过程。

### 2.1.7 土壤淋洗 soil washing

用清水或化学溶剂对污染的土壤进行洗涤，将附着在土壤颗粒表面的有机和无机污染物转移至溶液中，从而达到洗涤和清洁污染土壤的目的。

### **2.1.8 固化/稳定化 solidification / stabilization**

将污染土壤与水泥等胶凝材料或稳定化药剂相混合，通过形成晶格结构或化学键等，将土壤中污染物捕获或者固定在固体结构中，从而降低有害组分的移动性或浸出性的过程。固化通过采用结构完整性的整块固体将污染物密封起来以降低其物理有效性，而稳定性则降低了污染物的化学有效性。

### **2.1.9 生物通风 bioventing**

通过加压（并可适当加温）对污染土壤进行曝气，使土壤中的氧气浓度增加，从而促进好氧微生物的活性，提高土壤中污染物的降解效果。

### **2.1.10 水泥窑协同处置 co-dispose in cement kiln**

将满足或经预处理后满足入窑要求的污染土壤投入水泥窑，在进行水泥熟料生产的同时实现对污染土壤的无害化处置的过程。

### **2.1.11 阻隔填埋 barrier landfill**

将污染土壤运至限定的阻隔区域内（山间、峡谷、矿坑或垃圾填埋场内）进行有计划的填埋，使其发生物理、化学和生物学等变化，最终达到污染物减量化和无害化的目的。

### **2.1.12 植物修复 phytoremediation**

根据植物可耐受或超积累某些特定化合物的特性，利用植物及其共生微生物提取、转移、吸收、分解、转化或固定地块土壤和地下水中的有机或无机污染物，从而达到移除、削减或稳定污染物，或降低污染物毒性等目的。

### **2.1.13 原位土壤修复 in-situ soil remediation**

不移动土壤，直接在发生污染的位置进行土壤修复。

### **2.1.14 异位土壤修复 ex-situ soil remediation**

将受污染的土壤从发生污染的位置挖掘出来，搬运或转移到其他位置或场所进行修复的过程。

### **2.1.15 二次污染 Secondary pollution**

污染场地修复工程实施对环境造成的污染，包括但不限于由于修复工程导致污染地块中原有污染物的转化、扩散，以及修复工程引起的新污染。

### 3 基本规定

**3.0.1** 污染土壤修复工程开工前,各项准备工作应完备,工程开工报告应经监理单位、建设单位批准。

**3.0.2** 污染土壤修复工程施工应符合设计要求,工程变更应取得设计单位确认并出具设计变更文件后进行施工。

**3.0.3** 开工前应编制施工组织设计,关键的分部分项工程应编制专项施工方案,施工组织设计、施工方案的编制应符合下列规定:

1 施工组织设计应明确危险性较大的分部分项工程、关键工序和重要部分及危险性较大的施工作业活动;

2 施工组织设计应明确总体施工顺序,并制定施工平面布置要求;

3 施工组织设计、施工方案应包括施工监测和环境保护等内容。

**3.0.4** 污染土壤修复工程施工使用的材料、机械设备等,应符合国家现行有关标准的规定和设计文件、施工方案的要求,不得使用国家命令禁止、淘汰的产品。

**3.0.5** 污染土壤修复工程施工使用的材料、机械设备等,进入施工现场时应进行进场验收,并按种类、规格分开储存与放置。

## 4 工程施工

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。

**4.1.2** 施工单位应具有国家相应的施工资质。

**4.1.3** 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。

**4.1.4** 工程施工应包括施工组织方案编制、施工准备和工程实施 3 个过程。

**4.1.5** 施工组织方案宜包含下列内容：

- 1 工程管理目标；
- 2 项目组织机构；
- 3 主要工程量；
- 4 施工平面布置；
- 5 总体施工顺序；
- 6 工期安排；
- 7 施工机械和试验检测仪器配置；
- 8 用电用水规划；
- 9 劳动力需求计划；
- 10 施工质量控制要点等。

**4.1.6** 施工现场准备工作宜包括：

- 1 成立项目组织机构；
- 2 场地平整；
- 3 测量放线；
- 4 临时设施建设；
- 5 设备准备；
- 6 水电准备；

7 技术交底及安全培训等。

**4.1.7** 应制定应急预案，有效应对意外事故。

**4.1.8** 应根据工艺特点和工程具体要求制定安全操作规程和质量管理文件。

**4.1.9** 宜建立污染土壤管理台账，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、最终去向等。

**4.1.10** 宜建立药剂管理台账，内容包括药剂名称、品牌和厂家、购买时间及数量、每日投加量、库存量等。

**4.1.11** 宜在工程场区内安装视频监控系统。

**4.1.12** 工程安装、施工完成后应首先对相关仪器仪表进行校验，再根据工艺流程进行分项调试和整体调试。

## 4.2 化学氧化还原法

**4.2.1** 宜采用防腐材质的设备、设施和管件等，防腐材质的设备、设施和管件的施工应符合国家标准《工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范》GB50727 的要求。

**4.2.2** 原位化学氧化还原处理工程应按照设计图纸准确定位药剂注入位置，按设计的药剂注入量、速率、时间及搅拌速率等参数进行施工。

**4.2.3** 原位化学氧化还原处理工程运行期间应对下列参数进行监测和控制：

1 灌浆注射压力和速率、搅拌头速率及压力、搅拌头垂直方向的移动速度、搅拌时长、搅拌深度、土柱的数量和重叠度等运行参数；

2 污染物浓度、pH、氧化还原电位等。

**4.2.4** 异位化学氧化还原处理工程宜采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制。

**4.2.5** 异位化学氧化还原处理工程宜采用撬装式设备。

**4.2.6** 异位化学氧化还原处理工程应按设计要求做好防渗、防尘、防雨措施的施工。

**4.2.7** 异位化学氧化还原处理工程应按设计要求对污染土壤进行预处理，并按设计的药剂注入量、进料速率、搅拌速率、停留时间等参数进行施工。

**4.2.8** 异位化学氧化还原处理工程运行期间应对下列参数进行监测和控制：污染土壤

的给料速率、药剂入料速率、搅拌速度、土壤在搅拌机中的停留时间等。

### 4.3 气相/多相抽提法

**4.3.1** 气相/多相抽提工程应按照设计图纸准确定位抽提点位，并按照设计深度钻井。

**4.3.2** 气相/多相抽提工程应按照设计工艺流程，施工安装气液分离设备、油水分离设备、冷凝系统、真空泵、引风机、污水处理设施、气体净化设施、烟囱、NAPL 处理设施等。

**4.3.3** 气相/多相抽提工程应按照设计要求，对抽提速率、废水排放口污染物浓度、废气排放口污染物浓度等指标进行监测和控制。

**4.3.4** 气相/多相抽提工程抽提系统应按设计要求，采取保温措施，或提高流速、设置刮板、扰流片等，以防止污染物在管路中大量冷凝对抽提系统造成影响。

**4.3.5** 气相/多相抽提工程抽提系统应按照设计要求，采取措施保证污染物不外泄至大气环境造成二次污染，可采取下列措施：

- 1 井口地面采取阻隔防渗措施；
- 2 进行负压设计，保证抽提单元在负压状态运行；
- 3 保证抽提单元的动力设备稳定运行；
- 4 抽提管道全密封。

**4.3.6** 宜按照设计要求，采取阻隔、降水等方式，控制地下水进入修复区。

### 4.4 热脱附法

**4.4.1** 采用原位热脱附法的污染土壤修复工程施工应符合行业标准《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》HJ1165 的规定，采用异位热脱附法的污染土壤修复工程应符合行业标准《污染土壤修复工程技术规范 异位热脱附》HJ1164 的规定。

**4.4.2** 热脱附工程材料和设备的选择宜符合下列规定：

1 热处理设备应符合设计文件要求，并具有耐高温能力，在设计加热温度下能够长期持续运行；

2 热处理设备及高温烟道应采用耐酸性气体、耐高温、耐火材料，喷淋、冷凝、

气液分离设备及管路应使用耐腐蚀材料；

3 吸附材料喷射装置、引风机、水泵宜具有调节流量和计量的功能。

**4.4.3** 热脱附工程在运行期间应对下列参数进行监测：

1 热处理设备出入口以及总排放出口的颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、非甲烷总烃、特征污染物、恶臭等污染物的浓度；

2 热处理设备的进料量、转速、处理温度、压力、烟气流量、烟气含湿量、烟气含氧量，二次燃烧室烟气入口温度和压力出口烟气温度、压力、含氧量及CO含量，急冷装置内温度和压力，布袋除尘器入口和出口的温度和压力，吸附器的入口温度和压力等运行参数；

3 引风机、水泵、废水处理设备、除尘器、吸附器、燃烧器、急冷装置等设备的运行状态。

**4.4.4** 热脱附工程可采用电、燃气、燃油等做完能源供给方式，宜采用清洁能源。

**4.4.5** 在原位热脱附法钻探建井过程中，应选择适宜的的施工方式防止地下污染物扩散和迁移。

**4.4.6** 原位热脱附系统应在系统通过整体调试、各环节运转正常、技术指标达到设计要求后启动，启动顺序应为废气处理单元、抽提单元、废水处理单元、供能单元、加热单元。

**4.4.7** 原位热脱附系统停机顺序应为：加热单元、供能单元、抽提单元、废气处理单元、废水处理单元。

**4.4.8** 异位热脱附工程调试前应先进进行单机冷调试车、整体冷调联机空载运行、联机装载运行、联机热调装载运行，调试期间应对工程进行不小于连续 72 h 的性能试验。

**4.4.9** 异位热脱附设施启动应符合下列规定：

1 热脱附设施启动前，应先启动引风机 10~20 min；

2 热处理设备和二次燃烧室启动时宜采用燃料流量控制法，逐渐升温至设定温度；

3 升温过程热处理设备应保持旋转，转速宜控制在 1~5 r/min；

4 应在热脱附设备达到预定工况后再开始进料，进料宜由少到多，逐渐增加到预设进料速度。

**4.4.10** 异位热脱附设施关停应符合下列规定：

- 1** 热脱附设施关停时应先停止进料，待土壤出料完毕后再关闭燃料；
- 2** 热处理设备温度降至 100 °C 以下之后，才可停止旋转。

## 4.5 土壤淋洗法

**4.5.1** 原位土壤淋洗工程应按照设计图纸准确定位药剂喷洒/注入位置，按设计的药剂喷射/注入量、淋洗时间、废水抽提速率等参数进行施工。

**4.5.2** 原位土壤淋洗工程运行期间应对下列参数进行监测和控制：药剂注入流量、各喷头喷淋范围重合度、抽提废水的污染物浓度、废水处理设施排放口污染物浓度等。

**4.5.3** 异位土壤淋洗工程宜采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制。

**4.5.4** 异位土壤淋洗工程应按设计要求对污染土壤进行预处理，按设计的药剂注入量、水土比，进料速率、淋洗时间、淋洗次数等参数进行土壤淋洗，并按设计的出料含水率对泥浆进行浓缩和机械脱水。

**4.5.5** 异位土壤淋洗工程应按设计要求做好防渗、防尘、防雨措施的施工。

**4.5.6** 异位土壤淋洗工程宜对下列工艺参数进行监测和控制：污染土壤的给料速率、药剂加入速率、加水速率、淋洗时间、泥浆浓缩速率、机械脱水速率、出料含水率、出料污染物浓度等。

## 4.6 固化/稳定化法

**4.6.1** 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。

**4.6.2** 原位固化/稳定化的搅拌混合可采用螺旋搅拌、转筒搅拌机、高压旋喷机等设备，并应具备水、液体、浆状物料的投加和混合能力，且设备宜具有耐腐蚀、耐磨损性能。

**4.6.3** 原位固化/稳定化处理应按照设计图纸准确定位搅拌/注入位置，按设计的药剂注入量、速率和时间及搅拌速率等参数进行施工。

**4.6.4** 原位固化/稳定化工程运行期间应对下列参数进行监测和控制：灌浆注射压力和速率；搅拌头速率及压力；搅拌头垂直方向的移动速度；搅拌时长；搅拌深度；

土柱的数量和重叠度等。

**4.6.5** 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，并应具备水、液体、浆状和粉状物料的投加和混合能力，且设备宜具有耐腐蚀、耐磨损性能。

**4.6.6** 异位固化/稳定化应按设计的进料速率、药剂注入量、搅拌速率、停留时间和养护时间进行施工。

**4.6.7** 异位固化/稳定化宜采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制。

**4.6.8** 异位固化/稳定化工程宜对下列工艺参数进行监测和控制：污染土壤的给料速率、材料和药剂入料速率、加水速率、搅拌速度、土壤在搅拌机中的停留时间等。

**4.2.9** 异位化学氧化还原处理工程应按设计要求做好防渗、防尘、防雨措施的施工。

**4.6.10** 异位固化/稳定化法处理后的土壤经检测达标后，宜进行分层摊铺压实填埋或异地处置和利用。

**4.6.11** 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、药剂配置区等的地面的防渗应满足设计要求。

**4.6.12** 应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，符合允许的安裝偏差。

**4.6.13** 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。

## 4.7 水泥窑协同处置法

**4.7.1** 采用水泥窑协同处置法的污染土壤修复工程施工应符合《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》HJ662 的规定。

**4.7.2** 水泥窑协同处置工程水泥窑的选择宜符合下列规定：

- 1 采用窑磨一体机模式；
- 2 配备在线监测设备，保证运行工况的稳定；
- 3 水泥窑及窑尾余热利用系统采用高效布袋除尘器作为烟气除尘设施；
- 4 水泥窑及窑尾余热利用系统排气筒配备粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>浓度在线监测设备；

5 配备窑灰返窑装置，将除尘器等烟气处理装置收集的窑灰返回送往生料入窑系统。

4.7.3 水泥窑协同处置工程宜采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制。

4.7.4 污染土壤外运宜采用密闭式运输车，并按照设计路线行驶。

4.7.5 水泥窑协同处置工程在运行期间应对下列参数进行监测：

1 水泥窑协同处置运行工况，包括窑头烟气温度、压力，窑表面温度，窑尾烟气温度、压力、O<sub>2</sub>浓度，分解炉或最低一级旋风筒出口烟气温度、压力、O<sub>2</sub>浓度，顶级旋风筒出口烟气温度、压力、O<sub>2</sub>、CO浓度；

2 排气筒中颗粒物、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>浓度。

4.7.6 在水泥窑达到正常工况并稳定运行至少 4h 后，可开始投加固体废物：在水泥窑计划停机前至少 4h 内不应投加固体废物。

## 4.8 阻隔填埋法

4.8.1 原位阻隔覆盖工程应按照设计图纸准确定位阻隔填埋系统与监测井的建设位置，按阻隔系统设计的深度、阻隔与覆盖材料、覆盖厚度、压实后渗透系数等参数进行施工。

4.8.2 原位阻隔覆盖工程的运行维护应对下列内容进行监测和控制：

1 HDPE 膜有无破损；

2 覆盖粘土层是否有大型植物生长；

3 上下游地下水水质情况等。

4.8.3 异位阻隔填埋工程宜采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制。

4.8.4 异位阻隔填埋工程应按设计要求对污染土壤进行预处理，并按设计的污染物浓度限值、含水率等参数进行施工。

4.8.5 污染土壤外运宜采用密闭式运输车，并按照设计路线行驶。

4.8.6 异位阻隔填埋场的运行维护应对下列内容进行监测和控制：

1 阻隔区域渗滤液；

2 阻隔区域上游、下游和阻隔区域内部地下水监测井目标污染物含量变化等。

## 4.9 微生物修复法

**4.9.1** 采用生物堆法的污染土壤修复工程应符合《污染土壤修复工程技术规范 生物堆》HJ1283 的规定。

**4.9.2** 微生物修复工程材料和设备的选择宜符合下列规定：

1 设备应符合设计文件要求，储罐材质应选择耐腐蚀、抗压效果好的惰性材料，容量及数量设置应充分考虑工程规模；

2 抽气泵等抽气设备应高效节能、运行安全、使用方便、易维护管理；

3 防渗膜宜选用厚度不小于 1.5 mm 的高密度聚乙烯（HDPE）膜，覆盖膜宜选用厚度不小于 0.3 mm 的线性低密度聚乙烯膜（LLDPE），也可采用防渗性能和强度相当的其他材料；

4 管道应采用耐腐蚀的惰性材料，抽气泵、水泵、阀门等配件应满足相应防腐防爆要求。

**4.9.3** 原位生物通风修复工程应按照设计图纸准确定位注入、抽提点位，并按照设计的鼓气和抽气风量、营养水分注入量、速率、压力及时间等参数进行施工。

**4.9.4** 原位生物通风工程在运行期间应按照设计要求，对下列参数进行监测：土壤氧气含量、含水率、营养物质含量、土壤中污染物浓度、土壤中微生物数量、尾气污染物含量等。

**4.9.5** 生物堆修复工程宜采用挖掘机开挖土壤，挖掘过程应做好扬尘和噪声控制。

**4.9.6** 生物堆修复工程应按设计要求做好防渗、渗滤液收集等施工。

**4.9.7** 生物堆修复工程应按设计要求对污染土壤进行预处理，并按设计的土壤粒径、含水率、微生物总数、营养物质含量、pH 及土壤孔隙度等参数进行施工。

**4.9.8** 生物堆修复工程在运行期间应对下列参数进行监测：

1 目标污染物浓度；

2 土壤含水率、pH 值；

3 微生物数量与活性；

- 4 堆体内温湿度、压力，氧气、二氧化碳及挥发性组分含量；
- 5 废气排放量及污染物浓度，渗滤液流量及污染物浓度等。

## 4.10 植物修复法

**4.10.1** 植物修复工程应按照设计方案和当地气候条件，确定修复植物以及育苗、种植与刈割等措施的时间安排。

**4.10.2** 植物修复工程应按设计要求对污染土壤进行预处理，并按设计的 pH、土壤有机质或肥力、水分含量等参数进行施工。

**4.10.3** 植物修复工程在运行期间应对下列参数进行监测：

- 1 土壤中污染物浓度；
- 2 焚烧炉、尾气处理设施和重金属提取效果。

## 4.11 辅助工程

**4.11.1** 土方工程宜包含下列分项工程与内容：

1 场地平整，应按照设计图纸，合理选择施工机械。

2 土壤清挖，应按照设计图纸准确定位污染土壤开挖区域，按照设计的开挖深度、开挖方量等参数进行施工，并对不同污染类别、污染程度的土壤分区分层开挖；根据水文地质情况和开挖深度，配合采取建设止水帷幕、降水和基坑支护等措施。

3 土壤转运，污染土壤在场内转运采用密闭式车辆运输，并按照规定路线行驶。

4 土壤暂存，应按设计要求做好暂存区域的防渗、防尘、防雨措施施工；对于有机污染土壤暂存，还应建设密闭大棚。

5 最终处置，修复后土壤一般采取原场回填或外运处置：需原场回填的，应按照设计图纸准确定位回填范围，并按照设计的回填深度、回填量等进行施工；需外运处置的，还应按照转运方案，按设计运输方式、路线、污染土壤数量及去向施工。

**4.11.2** 三废处置宜包含以下内容：

1 废气处理，对密闭大棚和污染土壤修复过程中产生并收集的废气，应按照设计方案开展处理，根据污染物类型、浓度水平选择化学法、吸附法、燃烧法等具体

工艺和设备，并开展设备安装、调试和运行。

**2** 废水处理，土壤开挖降水和污染土壤修复过程中产生并收集的废水，应按照设计方案开展处理，根据污染物类型、浓度水平和抽水量选择物理/化学法（如油水分离、混凝、吹脱、高级氧化、活性炭吸附）和生物法（如活性污泥）等具体工艺和设备，并开展设备安装、调试和运行。

**3** 固体废物处理，预处理产生的砖瓦、石块、木块、铁块等应清洗后按建筑垃圾进行处理处置，对废气处理系统收集的粉尘可返回到污染土壤中再修复，废气/废水处理系统更换下来的废活性炭、压滤出的泥饼、产生的非水相液体以及使用药剂的包装材料等，须作为危险废物处置。

## 5 安全与环保

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件中对施工安全与环保管理的要求。

**5.1.2** 工程施工中应识别工程施工中可能出现的安全风险与环保风险，制定安全管理计划和环境管理计划。

**5.1.3** 施工现场边界应设置围挡，并保证主要通道畅通，围挡应设置“修复工程施工信息公告牌”和“五牌一图”，即工程概况牌、管理人员名单及监督电话牌、消防安全制度牌、安全生产制度牌、文明和环保制度牌，以及施工现场平面图。

### 5.2 安全管理

**5.2.1** 工程施工中应对可能出现的安全风险进行管理并采取防范措施，安全风险宜包括：物体打击、车辆伤害、机械伤害、触电、淹溺、灼烫、火灾、高处坠落、坍塌、透水、爆炸等。

**5.2.2** 工程施工中可能涉及到的职业健康风险，宜包括下列内容：

- 1 粉尘，可导致尘肺的发生；
- 2 毒物，污染场地中毒物的暴露或逸出可导致职业中毒；
- 3 物理性职业危害因素，噪声、高温作业等可导致物理性职业病。

**5.2.3** 工程施工应做好材料管理：

- 1 施工现场各种工具、材料的堆放应按照设计图纸中指示的位置堆放；
- 2 各种工具、材料应当按照品种、规格堆放，并设明显标牌，各种材料物品需要堆放整齐；
- 3 仓库内严禁烟火、严禁放置可燃杂物，严禁禁忌化学品同库贮存；
- 4 仓库内应按规范配备足够的消防器材。

**5.2.4** 工程施工中应做好修复药剂的存放、使用和管理，宜包含下列内容：

1 药剂种类，应严格遵循修复方案指定的主要药剂种类开展工程实施，不得擅自改动药剂种类及配比，宜使用绿色、低毒、环境友好的修复药剂；

2 药剂存放，施工现场设置专用仓库存放修复药剂，化学品类修复药剂宜随用随进，不在现场储存；

3 药剂使用，药剂配置或使用过程中，应关注其危险性、禁配物料，落实相应劳防措施，在危险化学品作业场所的出入口、反应容器等醒目位置设置安全警示标志，药剂运输时包装完整封闭、放置均匀、严禁超载；

4 药剂台账，应建立药剂使用台账，记录药剂的进场和使用情况，如涉及危险化学品，还应建立危险化学品安全管理制度。

**5.2.5** 工程施工中应做好临边防护，应在基坑、水池、地上设备等所有临边区域设置安全围挡，并设置警示牌，操作通道、平台、楼梯等宜使用防滑材料安装制作。

**5.2.6** 工程施工中应制定并执行施工机械安全防护规定，宜包含下列内容：

1 机械设备启动前、关闭后，应对设备进行机械防护安全检查，保证设备安全可靠；

2 运行期间，应做好设备运行情况的巡检工作；

3 每台设备中所有存在安全隐患的旋转或移动部件均需要有完整可靠的安全防护装置；

4 非专职设备操作人员不得擅自操作机械设备。

**5.2.7** 工程施工中应做好用电防护，宜包含下列内容：

1 设置电气安全警示牌；

2 非专职人员不得擅自操作电气设备；

3 电气系统和电器设备维修时需要挂牌上锁；

4 专职人员维修设备需穿戴绝缘手套和绝缘鞋；

5 专职人员每日巡检配电箱、开关箱等电气设备，确保所有电气设备正常运行。

**5.2.8** 工程施工中应做好人员管理，宜包含下列内容：

1 修复施工相关作业人员进入现场前需进行安全教育，施工作业前需进行安全技术交底，特殊工种工人须持证上岗；

2 外来人员需在现场管理人员陪同下进入现场；

3 进入现场应佩戴安全帽、手套、穿硬底劳保鞋等，并根据不同工种按要求穿戴不同劳保用品。

## 5.3 环境管理

**5.3.1** 工程施工过程中可能对环境造成二次污染，一般包含下列环境影响要素：粉尘、废气、异味、废水、固废和噪声。工程施工中应识别潜在的二次污染环节，并针对性制定详细的污染防治措施，针对原位修复和异位修复中的一般施工环节和可采取的防治措施参见附录 A.1。

**5.3.2** 工程施工应建设必要设施，以保证场地修复二次污染防治，一般包含下列内容：

1 道路、生活区等应进行地面硬化处理，涉及土壤暂存区域还应进行防渗或硬化处理，防渗材料可采用 HDPE 土工膜或其他同等效果的人工合成材料；

2 场地内部及周边依地形建设雨污收集系统和排水系统，依据现场情况可设置土壤、雨水、废水等暂存设施；

3 场地周边应搭建围挡，合理设计绿化；

4 建设区域涉及污染区时应采取措施减少土壤扰动；

5 工程施工过程中，如有必要可投入降尘设备，一般包括雾化喷射装置、移动式喷淋除尘设备、洒水车等。

**5.3.3** 工程施工中应采取措施防止土壤产生二次污染，一般可采取下列防范措施：

1 限制施工机械的活动范围，场地大门应建设洗车池，设备、车辆等出场前需进行清洗，防止将污染土壤带离污染区域；

2 土壤运输应采用全封闭运输车，平稳行驶，防止土壤遗撒；

3 土壤运输应制定土壤转运计划（如运输联单制），对运输时间、方式、线路和污染土壤数量、去向、运输过程防护措施、最终处置措施等进行规定，实现土壤运输全过程管理；

4 土壤运输过程中，应合理规划行驶路线和准运时间，尽量避开场内办公区、生活区和场外居民稠密区 and 环境敏感区域。

**5.3.4** 工程施工中使用特定修复技术时，应结合技术特点识别潜在二次污染环节，并制定针对性二次污染防范与控制措施。针对各修复技术特点可采取的二次污染防范与控制措施参见附录 A.2。

**5.3.5** 工程施工中应开展环境空气、水环境和声环境的定期监测，监测点位、监测项目、监测限值以及监测方法应参照国家及地方相关标准执行，具体监测要求参见附录 A.3。

**5.3.6** 工程施工中应根据监测情况开展应急响应，一般包含如下内容：

1 当监测环境指标超过监测限值时应紧急启动应急预案，如停止施工、启动相应污染防扩散措施等；

2 当监测工作环境有害因素超过监测限值时，应迅速将处于危险作业环境中的施工人员撤离至安全区域；

3 当接到突发环境事件预警或气象环境预警通知后，应依据应急预案迅速启动相应二次污染防控措施，应急响应期间严格落实应急措施；

4 响应结束后应开展二次污染监测工作，根据实际情况加密监测布点和监测频次，并开展事故处理后的后续监测。

## 6 施工质量验收与评估

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 土壤修复工程的施工应符合国家和行业相应专项工程施工规范、施工程序及管理文件的要求，土壤修复工程的效果评估应符合国家和行业效果评估文件中对修复工程质量的相关要求。

**6.1.2** 土壤修复工程施工质量验收的主要内容应包括施工进度检查、施工质量检查、环境保护措施检查、施工材料和设备检查、人员资质和培训检查、施工记录和文件检查、现场管理情况检查、整改措施落实情况检查。

**6.1.3** 工程施工修复效果评估工作应包括：更新地块概念模型、布点采样与实验室检测、风险管控与修复效果评估、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告。通过评估修复效果做出验收结论，若验收不合格，应对原不合格区域重新进行验收监测和效果评估。根据修复工程实施情况与效果评估结论，提出后期环境监管建议。

### 6.2 施工质量验收

**6.2.1** 在施工准备阶段，为保证施工质量，应审查以下内容：

- 1 单位资质、人员资格、材料、药剂、设备等。
- 2 修复技术方案、专项施工方案、施工组织设计。
- 3 施工总进度计划及开工令。
- 4 临时设施建设工程质量。

**6.2.2** 在施工阶段，为保证施工质量，应审查以下内容：

1 应对修复工程的施工参数与设计方案的相符性进行核查并记录，对施工内容明显变更情况进行报告，必要时可暂停施工。对关键施工环节，施工过程中监理单位人员要旁站。

- 2 对修复工程自检过程的采样、分样、制样规范性进行旁站，核查现场采样工

作与自检方案的符合性。对不规范采样行为进行记录、报告。

**3** 对产生固废的修复工程，应核查危险特性鉴定结果，并核查固废的储存、转移、处置的合规性和合法性。

**4** 核查环保措施落实情况，特别应对含有组织气体排放的修复工程，核查现场尾气排放方式、排放高度、排放速率、污染物排放浓度与设计要求的符合性。

**6.2.3** 对施工质量核查结果不合格的，应按照相关单位要求进行整改。整改完成后，应重新组织验收，确保工程质量达到合格要求。

## 6.3 修复效果评估

**6.3.1** 修复工程修复效果评估的监测介质应包括：异位修复的基坑底部与侧壁、原位和异位修复后土壤，以及潜在二次污染区域的土壤，其它验收监测介质还应根据具体修复技术工艺确定。

**6.3.2** 污染土壤修复效果评估的对象，应包括异位修复的基坑底部与侧壁、原位和异位修复后土壤，同时，潜在二次污染区域的土壤在修复后也需要进行修复效果评估。

**6.3.3** 修复工程验收监测因子应包括地块修复的目标污染物，同时包含如下情况：

**1** 化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物，必要时可增加土壤与地下水常规指标；

**2** 对于采取阻隔填埋等风险管控措施的，还应当检测工程性能指标，如阻隔性能、渗透性能等。

**6.3.4** 工程施工质量验收节点和范围，应根据工程进度计划和修复方案中的修复模式及修复技术确定，一般要求如下：

**1** 验收监测节点，对于原位修复场地，应在修复工程完成后进行验收监测；对于异位修复场地，应在基坑回填之前对基坑土壤进行验收监测，在修复实施过程中对修复范围内地下水进行动态验收监测；对于异位修复后的土壤和地下水，可根据施工进度计划，在其最终处置（如土壤外运或回填，地下水回灌或排放等）之前分批次进行阶段性验收监测和竣工验收监测。

**2** 验收监测范围，原则上，验收监测范围应与污染场地修复方案中确定的修复

范围一致；当修复工程发生变更时，应根据实际情况对验收范围进行调整。验收监测范围还应包括修复过程中的潜在二次污染区域。潜在二次污染区域包括：污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、土壤或地下水待检区、废水暂存处理区、修复过程中污染物迁移涉及的区域、其他可能的二次污染区域。

**6.3.5** 土壤修复效果评估布点应符合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》HJ 25.5 的规定。

**6.3.6** 现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

**6.3.7** 土壤修复效果评估标准，应按照 HJ 25.5 的规定执行，一般要求如下：

1 基坑、原位修复后土壤以及异位修复后回填到原基坑的土壤，修复效果评估标准值原则上为地块调查评估与修复方案中确定的污染物的修复目标值，若土壤暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值；

2 异位修复后土壤外运到其他地块的，应根据接收地土壤暴露情景进行风险评估确定评估标准值，或采用接收地土壤背景浓度与 GB 36600 中接收地用地性质对应筛选值的较高者作为评估标准值，并确保接收地的地下水 and 环境安全。

3 化学氧化还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB 36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景确定其评估标准值。

4 对于采取阻隔填埋等风险管控措施的，工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果；下游地下水中污染物浓度应保持稳定，固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水用途对应标准值或不会对地下水造成危害。

**6.3.8** 对于修复后土壤或地下水中污染物浓度未达到 GB 36600 第一类用地筛选值的地块，以及实施风险管控的地块，均需关注地块的长期风险，开展长期环境监测与制度控制的后期环境监管。

## 附录 A 施工污染防治措施

**A.0.1** 污染土壤修复工程需关注的施工环节和可采取的防治措施见表 A.1。

表 A.1 污染土壤修复工程需关注的施工环节和可采取的防治措施

修复类型	关键环节	潜在二次污染环节	可采取的防治措施
原位修复	处理系统施工环节	含污染物的粉尘及扬尘的产生,钻井过程固废,废气的产生等。	粉尘: 包括但不限于铺设安装防尘网; 洒水抑尘; 提高运输车辆的密闭性等。
	修复环节	该环节污染防治要点主要与采取的修复技术有关, 如修复药剂的遗撒, 原位化学氧化/还原过程中有机污染气体和味味的产生, 化学淋洗过程中淋洗废水的排放, 热脱附过程中循环液的排放和除尘灰的收集, 尾气处理装置更换下来的活性炭的处置等。	废气: 包括但不限于对修复区地面进行覆盖或硬化, 减少废气无组织排放; 在产生废气的工艺环节设置负压收集装置, 集中输送至废气处理设施进行处理; 废气收集
	处理系统拆除环节	拆除过程中粉尘及扬尘的产生, 处理设施清洗过程中废水的产生, 带有污染土壤的拆除设施的暂存等。	集输送管道进行气密性处理等。 异味: 对存在异味的区域, 优先进行原位修复; 对存在异味区域地面进行阻隔硬化; 分批开挖, 减少作业面, 对作业区及时进行覆盖; 喷洒气味抑制剂; 建设
异位修复	土壤挖掘环节	挖掘过程中有机污染气体和味味的产生, 含污染物的粉尘及扬尘的污染, 以及固废尤其是危险废物的处置, 酸碱等废液的处理, 含污染物的废弃土壤的处置等。	负压收集装置, 对具有异味的气体进行收集后集中处
	土壤运输环节	运输过程中污染土壤的遗撒以及含污染物的粉尘及扬尘的产生, 设备在使用或清洗过程中的交叉污染, 污染土壤渗滤液的排放等。	置; 将产生异味的重点设施置于负压大棚内; 废气输送
	土壤暂存环节	因大风等天气原因含污染物的粉尘及扬尘的产生, 因下雨等原因含污染	管道负压运行等。 废水: 包括但不限于对

修复类型	关键环节	潜在二次污染环节	可采取的防治措施
		物的渗滤液的产生，因接触暂存地块的土壤造成的交叉污染等。	产生废水的工艺环节设置具有防渗功能的临时收集
	修复环节	药剂和污染土壤混合过程中含污染物的粉尘及扬尘的产生、修复工艺设备运行期间废气、固废、噪声的产生，洗土过程含污染物的废水的产生、使用或清洗设备过程中交叉污染的产生等。	设施；对各环节的废水集中收集、密闭暂存与处置；对收集、暂存与处置区域地面进行防渗等。 固废：及时苫盖污染岩
	土壤回填/外运环节	运输过程中粉尘及扬尘的产生等。	芯，堆放地面进行防渗处理；收集除尘灰、活性炭等
	地下水抽出环节	钻井过程废水、固废、废气的产生等，因操作不当影响其他含水层等。	固体废物送有资质单位处理等。
	地下水处理环节	水处理过程中废水、含污污泥、有机污染气体及气味的产生和排放等。	噪声：合理规划路线，减少交通量；土方作业过程中噪声防控措施；修复设施降噪或隔声等。

**A.0.2** 针对各修复技术特点可采取的二次污染防范与控制措施见表 A.2。

表 A.2 针对各修复技术特点可采取的二次污染防范与控制措施

修复技术	二次污染防范与控制措施
化学氧化还原法	<p>修复工程实施前应通过小试、中试试验等确定合理的化学氧化/还原剂和活化剂的使用量，避免药剂过量使用影响土壤功能；</p> <p>需分析化学氧化/还原可能产生的副产物及其环境影响，修复过程中应采取的措施，如添加缓冲溶液、监测控制反应过程pH值变化等，以减少有毒有害副产物的生成；</p> <p>修复工程实施前应调查、分析化学氧化/还原药剂是否可能使土壤中的重金属活化与迁移，评估重金属二次污染的可能性。</p>
气相/多相抽提法	<p>抽提系统施工完成后，应对场地表面采用土工膜覆盖或硬化处理，防止抽提管道的“跑、冒、滴、漏”现象造成污染物从地表挥发至大气；同时应建立抽提管道定期检维修制度，每天对抽提管道进行检查。</p>
热脱附法	<p>原位热脱附功能井和监测井应设置有密闭井盖，加热区应铺设表面阻隔层，表面阻隔范围应大于抽提处理区域，在覆盖层内部需加设表面抽提井，防止地表气体积聚；</p> <p>针对高浓度VOCs污染地块及恶臭污染物地块，可使用无毒、可降解的泡沫抑制剂减少挥发性气体和恶臭污染物的散逸；</p> <p>异位热脱附土壤出料加水降温过程中，应设置引风机抽出混合有扬尘的气体，经过淋洗后排放。</p>
土壤淋洗法	<p>经过预处理筛选出的大块物料，应去除水分并通过机械振动再次去除污染土壤，随后采用物理/化学的方法去除污染物；</p> <p>淋洗设备须配套淋洗液的处理设施，场地中须设置污水收集措施和污水处理设施，确保淋洗液和污水经过处理达标后方可排放或回用；</p> <p>污染土壤浆液须用带有搅拌装置的容器盛放，防止浆液分层沉淀后，因维修设备导致污水外排；污染土壤浆液盛放容器须设置反冲洗或定期清堵措施。</p>
固化/稳定化法	<p>原位固化/稳定化修复，应在区域边界应设置围堰，防止原位混合/注药/搅拌过程中泥浆外溢到污染区域外；</p> <p>应设置泥浆收集池，及时对外溢的泥浆进行收集，防止污染物随泥浆</p>

修复技术	二次污染防范与控制措施
	<p>汇集下渗；</p> <p>异位修复后土壤养护期间，养护区域地面应做防渗处理，外围应设置挡土墙，养护土壤应密闭覆盖，防止污染物迁移。</p>
水泥窑协同处置法	<p>污染土壤运送至厂区后应按照污染类别及污染土来源地将其分区堆放，防止与不同来源污染土壤、固体废物，以及原料产生交叉污染；</p> <p>从水泥窑循环系统排出的窑灰和旁路放风收集的粉尘如直接掺加入水泥熟料，应严格控制其掺加比例。当烟尘、窑灰、粉尘等送至厂外进行处理处置时，应按照危险废物进行管理。</p>
阻隔填埋法	<p>异位阻隔填埋场需建设渗滤液导排系统并集中收集处置；</p> <p>阻隔区域上游、下游和阻隔区域内部，应布设地下水监测井，监测目标污染物含量变化等，如超标应立即采取水力控制等措施进行风险控制。</p>
微生物修复法	<p>实施过程中及修复后应监测污染物及有毒副产物的浓度，对于挥发性污染物预处理及修复过程中产生的废气，应采取适宜技术进行达标处置；</p> <p>运行过程中产生的废水，集中收集后宜优先通过营养水分调配系统进行回灌利用。</p>
植物修复法	<p>有毒有害化合物可能会通过植物进入食物链，需要控制修复后植物的利用。</p>

**A.0.3 环境空气、水环境和声环境的监测要求参见附录 A.3。**

**表 A.3 环境空气、水环境和声环境的监测要求**

环境要素	环境要点	监测要求
环境空气	固定源	固定源废气监测的频次不应低于每周一次，点位布设、采样方式、采样时间和监测方法等参照行业标准《固定源废气监测技术规范》HJ/T 397执行。固定源监测项目应包括VOCs等地块特征污染物、恶臭污染物以及其他当地环保部门关注的常规污染物。
	其它环境空气质量	环境空气的监测点位应覆盖所有修复工程可能造成影响的区域，主要包括场地内修复作业区、敏感目标方向场界处。点位布设参照行业标准《环境空气质量监测点位布设技术规范》HJ 664执行。环境空气质量监测项目应包括VOCs等地块特征污染物和恶臭污染物。监测方式可参照行业标准《环境空气气态污染物(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 、CO)连续自动监测系统安装验收技术规范》HJ/T 193或《环境空气质量手工监测技术规范》HJ 194执行。
水环境	污水	污水监测应包括修复工程中所有可能受到污染的水体，对污水处理设施各单元的污水监测，应包含常规污水监测指标及地块特征污染物。监测限值参照国家标准《污水综合排放标准》GB 8978执行；监测频率宜每周监测1次。采样点位布设、采样方式、监测方法等参照行业标准《污水监测技术规范》HJ 91.1执行。
	地表水	<p>地表水监测应包括流经污染地块内的地表水，还应在污染区外围地表水上游方向设置对照点，在污染区外围地表水下游方向设置监控点。</p> <p>地表水监测项目应包含地块特征污染物。监测限值可依据实际情况参照国家标准《地表水环境质量标准》GB 3838中IV类水质标准或地方政府规定当地水体适用的水质标准。地表水对照点位宜每2个月采样1次；监控点位及监测点位宜每个月采样1次。采样点位布设、采样方式、监测方法等参照行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ 164执行。</p>
	地下水	监测范围包括地块内的地下水，还应在污染区外围地下水上游方向设置对照点，在污染区外围地下水下游方向500 m内设置监控点。地下水监测应包含地块特征污染物和地下水水位。监测限值可依据实际情况参照国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848中IV类水质标准或地方政府规定当地水体适用的水质标准。地下水对照点位宜每2个月采样1次；监控点位及监测点位宜每个月采样1次。采样点位布设、采样方式、监测方法等参照行业

环境要素	环境要点	监测要求
		标准《地下水环境监测技术规范》HJ 164执行。
声环境	噪声	<p>确定各噪声敏感目标建筑或区域的方位后，应在污染地块修复工程的对应场界处均设置噪声监测点位。</p> <p>场界噪声的监测频率宜为每月2次；监测项目为每小时声环境等效声级，昼夜、夜间声环境等效声级，以及夜间突发噪声的最大声级。</p> <p>其它噪声监测要求参照GB 3096、GB 12523、GB 12348执行。</p> <p>监测限值可根据实际实际情况参照GB 3096中2类功能区或GB 12523相关要求设置。</p>

## 用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1** 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

## 引用标准名录

- 《地表水环境质量标准》 GB 3838
- 《污水综合排放标准》 GB 8978
- 《地下水质量标准》 GB/T 14848
- 《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准（试行）》 GB 36600
- 《工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范》 GB50727
- 《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》 HJ662
- 《污染土壤修复工程技术规范生物堆》 HJ1283
- 《建设用土壤污染状况调查技术导则》 HJ25.1
- 《建设用土壤污染风险管控和修复监测技术导则》 HJ25.2
- 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》 HJ25.5
- 《污染土壤修复工程技术规范 异位热脱附》 HJ1164
- 《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》 HJ1165
- 《固定源废气监测技术规范》 HJ/T 397
- 《环境空气质量监测点位布设技术规范》 HJ 664
- 《环境空气气态污染物(SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、CO)连续自动监测系统安装验收技术规范》  
HJ/T 193 或《环境空气质量手工监测技术规范》 HJ 194
- 《污水监测技术规范》 HJ 91.1

中国工程建设标准化协会标准

# 污染土壤修复工程施工及验收标准

T/CECS XXX—202X

条 文 说 明

## 制定说明

本标准制定过程中，编制组针对污染土壤修复工程，进行了广泛深入的调查研究，总结了我国污染土壤修复工程的实践经验，参考了我国生态环境部近年来的发布的行业标准（如《建设用地土壤污染风险管控和修复术语（HJ682-2019）》、《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附（HJ1165-2021）》、《污染土壤修复工程技术规范 固化/稳定化（HJ1282-2023）》等）。此外，本标准还广泛征求了设计、科研、管理等单位的意见，在充分吸收和采纳各方意见的基础上，通过反复讨论、修改和完善，最终完成编制。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解条文规定，标准编制组按章、节、条的顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明，供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握条文规定的参考。

## 目 次

1 总 则.....	33
3 基本规定.....	34
4 工程施工.....	36
4.1 一般规定.....	36
4.2 化学氧化还原法.....	36
4.3 气相/多相抽提法.....	37
4.4 热脱附法.....	37
4.5 土壤淋洗法.....	37
4.6 固化/稳定化法.....	37
4.7 水泥窑协同处置法.....	38
4.8 阻隔填埋法.....	39
4.9 微生物修复法.....	39
4.10 植物修复法.....	40
4.11 辅助工程.....	40
5 安全与环保.....	41
5.1 一般规定.....	41
5.2 安全管理.....	41
5.3 环境管理.....	42
6 施工质量验收与评估.....	44
6.1 一般规定.....	44
6.2 施工质量验收.....	45
6.3 修复效果评估.....	46

# 1 总 则

**1.0.1** 本条规定了本标准的编制目的。我国土壤污染形势严峻，2014年发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示，全国土壤污染点位超标率达16.1%，总体呈现污染面积大、程度深、类型多样的普遍现象。其中，重污染企业用地、工业废弃物场地的点位超标率更是高达36.3%和34.9%，污染尤为严重。土壤的污染导致其引起的人体健康事件频发，成为影响公众健康以及社会稳定的一大隐患。因此，国家颁布了一系列法律法规，防治土壤污染。2013年，国务院办公厅印发了《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》，对治理土壤污染工作提出了明确要求。2016年，国家颁布出台《土壤污染防治行动计划》（简称“土十条”）对土壤环境保护做出了纲领性指导意见；2019年，《土壤污染防治法》正式实施，这也是我国首次制定专门的法律以规范防治土壤污染，这一年也被称为“土壤修复元年”。在此背景下，土壤修复产业蓬勃发展。“十三五”期间，涉足土壤修复企业激增，从2016年的1541家，增长到2020年的23530家。2022年，全国中标项目3931项。然而，目前土壤修复项目工程质量良莠不齐，急需统一的标准规范工程设计与施工，为良好的工程质量提供有效保障。

**1.0.2** 本条规定了本标准的适用范围，本标准适用于污染土壤修复工程的施工及施工质量验收。

### 3 基本规定

**3.0.1** 本条对污染土壤修复工程的施工手续的合法性作出规定。施工准备工作是指工程施工前所做的一切工作，主要包括：审查施工图纸、编制施工组织设计或施工方案、编制施工图预算、场地清理、测量放线、材料及施工机具组织、劳动力组织等。施工准备工作不仅在开工前要做，开工后也要做，认真细致地做好施工准备工作，对合理利用资源、加快施工速度、提高工程质量、确保施工安全、降低工程成本等均起着重要作用。

**3.0.2** 污染土壤修复工程施工应遵照设计文件，如确因施工过程中出现其他情况，为保证工程质量及施工进度，需要进行变更设计的，应履行相关手续后再行施工。

**3.0.3** 本条规定了用于指导工程施工的施工组织设计以及关键的分部分项工程专项施工方案编制要求和审核审批的规定。对于污染土壤修复工程应首先以工程项目为对象编制施工组织总设计。施工组织设计应由施工单位项目负责人主持编制，项目技术负责人参与编制。施工组织设计、施工方案的主要内容和格式应符合现行国家标准的有关规定，并应通过施工单位的技术负责人和建设单位(监理单位)审批后执行。关键的分部分项工程包括危险性较大的分部分项工程，施工难度大、施工质量不稳定、施工时出现不合格频率较高的分部分项工程，施工周期长、原材料昂贵、出现不合格品后经济损失较大的分部分项工程，基于人员素质、施工环境等方面的考虑认为比较重要的其他工程等。具体可包括深基坑开挖，高空作业、临时用电、大型构件和设备的运输吊装、危险化学品运输与药剂配制等危险性较大的作业。

**3.0.4** 污染土壤修复工程项目建设涉及面广、专业较多，在施工过程中使用的材料、产品和设备的品种类型、产品规格较多，其质量的优劣会直接影响工程结构安全、使用功能以及环境保护。因此，材料、产品和设备应符合国家相关的产品标准，如现行国家标准《钢筋混凝土用钢》GB 1499、《高分子防水材料》GB 18173 等。材料的规格、型号和数量等应符合设计文件和施工方案的要求。本标准规定不得使用国家明令淘汰、禁用的产品。

**3.0.5** 污染土壤修复工程所用主要原材料、半成品、构(配)件、设备等，进入施工现场时应进行进场验收。进场验收时，应检查其质量合格证书、性能检验报告、

使用说明书等，并按国家现行有关标准规定进行复检，合格后方可使用。

## 4 工程施工

### 4.1 一般规定

**4.1.7** 为给施工的进行提供更好更安全的环境，指导应急反应行动按计划有序地进行，防止因应急反应行动组织不力或现场救援工作的无序和混乱而延误事故的应急救援，有效地避免或降低人员伤亡和财产损失，帮助实现应急反应行动的快速、有序、高效，应编制应急预案。应急预案主要对污染土遗撒、基坑坍塌和人员中毒等突发性安全和环境事故的应急控制进行重点说明。

### 4.2 化学氧化还原法

**4.2.1** 化学氧化修复技术是在土壤中加入强氧化剂，将污染物降解为无毒害的物质或直接矿化为  $\text{CO}_2$  和水。化学氧化修复技术主要针对有机污染物治理，能够修复绝大多数有机污染物，包括石油烃、BTEX、PAHs、农药、酚类、含氯有机溶剂等。化学还原修复技术是在土壤中加入还原剂，将污染物还原为无毒或低毒物质的过程。化学还原一般不能彻底去除污染物，在实际中应用较少，但典型的如六价铬，则可以通过化学还原技术处理。

按照工程实施的位置不同，分为原位化学氧化还原修复技术和异位化学氧化还原修复技术。

**4.2.2** 常用化学氧化剂主要有双氧水、Fenton 试剂、高锰酸钾、臭氧、过硫酸盐等，常用化学还原剂主要有硫化氢、连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、二价铁、零价铁等，具体使用哪种试剂，以及试剂用量，根据设计文件要求进行。

**4.2.6** 异位化学氧化还原修复工程，需要对预处理区、反应区、以及污染土壤和修复后土壤堆放区进行防渗处理，以防止污染外渗。通常有两种做法，一种是采用抗渗混凝土结构，一种是采用防渗膜加保护层。

## 4.3 气相/多相抽提法

**4.3.1** 气相抽提或多相抽提技术，其原理都是通过提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体或液体到地面进行相分离及处理。气相抽提适用于处理土壤不饱和区中的挥发性有机污染物（VOCs）。多相抽提可同时抽取含水层中的污染地下水、非水相液体（NAPL）和土壤气相中的 VOCs。

## 4.4 热脱附法

**4.4.1** 热脱附是用直接或间接的热交换，加热土壤中有机污染组分到足够高的温度，使其蒸发并与土壤介质相分离的过程。适用于处理挥发性有机污染物、半挥发性有机污染物，以及汞等挥发性强的无机污染物。

**4.4.5** 原位热脱附系统在启动运行前需先进行调试。首先对安装完成的各个仪器仪表进行校验，然后根据工艺流程分项进行调试，最后进行整体调试。调试期间要对工程进行性能试验，主要测试的内容包括污染区域加热效果、抽提系统最大抽提量、废水系统处理效率、废气系统处理效率、能源和药剂消耗量、系统运行稳定性等。当整体调试完成，各项系统运转均正常，各个技术指标均能达到设计要求后，再启动整个系统开始运行。

**4.4.7** 异位热脱附性能试验主要包括土壤最大处理量、最大处理率、达标情况、污染物排放情况、能源和药剂消耗情况、运行稳定性等。

## 4.5 土壤淋洗法

**4.5.1** 土壤淋洗技术的技术原理是通过添加水或合适的淋洗剂，将污染物从土壤相转移到液相，达到净化土壤的目的。土壤淋洗法既可以用于处理重金属污染，也可以用于处理有机污染，能够处理石油烃、PCBs、PAHs 等多种有机污染物。

按照工程实施的位置不同，分为原位土壤淋洗法和异位土壤淋洗法。

## 4.6 固化/稳定化法

**4.6.1** 固化/稳定化法的原理是通过一定的机械力在原位向污染介质中添加固化剂

/稳定化剂，在充分混合的基础上，使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用，将污染介质固封在结构完整的具有低渗透系数固态材料中，或将污染物转化成化学性质不活泼形态，降低污染物在环境中迁移和扩散。固化和稳定化不同，固化是通过加入胶凝材料等固化剂把污染土壤转化为难于渗透、稳定的固化块，而稳定化是通过稳定化药剂与污染物之间的化学反应将污染物转化为难于溶解和浸出的形式。但是固化和稳定化反应往往是同时发生的，在固化剂中添加稳定化药剂，使得固化过程中伴随着稳定化反应，进一步减少污染物的释放。

固化/稳定化法适用于土壤中重金属、半挥发性有机污染物和其他无机物的治理，不适用于挥发性污染物的处理。其中，重金属包括铅、锌、铜、镉、铬、汞、砷、镉等，半挥发性有机污染物主要包括多环芳烃、多氯联苯、杀虫剂、长链润滑油、二噁英等，其他无机物主要包括氰化物、氟化物等。

固化/稳定化法按照工程实施的位置不同，分为原位固化/稳定化法和异位固化/稳定化法。

## 4.7 水泥窑协同处置法

**4.7.1** 水泥窑协同处置的原理，是利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点，在生产水泥熟料的同时，焚烧固化处理污染土壤。有机物污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑，窑内气相温度最高可达 1800℃，物料温度约为 1450℃，在水泥窑的高温条件下，污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物，高温气流与高细度、高浓度、高吸附性、高均匀性分布的碱性物料（CaO、CaCO<sub>3</sub> 等）充分接触，有效地抑制酸性物质的排放，使得硫和氯等转化成无机盐类固定下来；重金属污染土壤从生料配料系统进入水泥窑，使重金属固定在水泥熟料中。

水泥窑协同处置适用于有机污染物及重金属污染土壤。水泥窑协同处置包括污染土壤贮存、预处理、投加、焚烧和尾气处理等过程。在原有的水泥生产线基础上，需要对投料口进行改造，还需要必要的投料装置、预处理设施、符合要求的贮存设施和实验室分析能力。

水泥窑协同处置属于异地处理，污染土壤需要由污染场地外运至水泥厂。

## 4.8 阻隔填埋法

**4.8.1** 阻隔填埋的原理是将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内，或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害。阻隔填埋适用于重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤，按其实施方式，可以分为原位阻隔覆盖和异位阻隔填埋。

原位阻隔覆盖是将污染区域通过在四周建设阻隔层，并在污染区域顶部覆盖隔离层，将污染区域四周及顶部完全与周围隔离，避免污染物与人体接触和随地下水向四周迁移。也可以根据场地实际情况结合风险评估结果，选择只在场地四周建设阻隔层或只在顶部建设覆盖层。

异位阻隔填埋是将污染土壤或经过治理后的土壤阻隔填埋在由高密度聚乙烯膜（HDPE）等防渗阻隔材料组成的防渗阻隔填埋场里，使污染土壤与四周环境隔离，防止污染土壤中的污染物随降水或地下水迁移，污染周边环境，影响人体健康。该技术虽不能降低土壤中污染物本身的毒性和体积，但可以降低污染物在地表的暴露及其迁移性。

## 4.9 微生物修复法

**4.9.1** 微生物修复是利用原有或接种微生物（即真菌、细菌其它微生物）降解（代谢）土壤中污染物，并将污染物质转化为无害的末端产品的过程。可通过添加营养物质、氧气和其它添加物增强生物降解的效果。微生物修复的修复效率受污染物性质、土壤微生物生态结构、土壤性质等多种因素的影响，且对土壤中的营养等条件要求较高。需要控制场地的温度、pH 值、营养元素量等使之符合微生物的生存环境条件。微生物修复法按照工程实施的位置不同，分为原位生物通风法和生物堆法。

原位生物通风法在受污染土壤中强制通入空气，强化微生物对土壤中有机污染物进行生物降解，同时将易挥发的有机物一起抽出，然后对排出气体进行后续处理或直接排入大气中。生物堆法将污染土壤挖掘后，在具有防渗层的处置区域堆积，经过曝气，利用微生物对污染物的降解作用处理污染土壤。

## 4.10 植物修复法

**4.10.1** 植物修复的原理是利用特定植物的吸收、转化、清除或降解土壤中的污染物，从而实现土壤净化、生态效应恢复的治理技术。植物修复技术一般仅适用于浅层污染的土壤，对于特定重金属具有较好的效果和应用。目前植物修复大多只能针对一种或两种重金属进行累积，对于几种重金属复合污染的处理效果一般。

有毒有害化合物可能会通过植物进入食物链，需要控制修复后植物的利用。

## 4.11 辅助工程

**4.11.1** 污染土壤修复按照工程实施的位置不同，分为原位修复和异位修复，根据场地建设和修复过程需要，须开展配合性的土方工程。其中异位修复的污染土壤涉及土方施工环节较多，需要进行土壤的挖掘、转移、运输和处置等施工过程。地下水埋深浅、土壤修复深度深的，土壤挖掘过程还需要配合采取建设止水帷幕、降水和基坑支护等工程措施。土方工程施工过程中，均需要按照设计方案和设计图纸开展施工，确保污染土壤在修复工程全流程中妥善进行修复和最终处置，过程中根据污染类别，还需根据相关法规配合防尘、防异味等措施。

**4.11.2** 人们在场地上的修复活动会大规模的改变土壤污染物的分布，造成污染物向更大范围扩散，并且可能对实施修复活动的人产生健康、安全方面的不利影响，因此，应做好施工现场废水、废气和废渣的集中收集管理，通过开展妥善的处理处置，再按照国家和地方规定达标排放。

## 5 安全与环保

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 施工期间，施工单位应综合考虑地块条件、污染特征、技术工艺等因素，做好施工总体部署，落实安全文明施工措施和二次污染防治措施，保障风险管控和修复项目施工过程的规范有序。

**5.1.2** 工程施工应制定安全管理计划，宜包含下列内容：

1 安全管理体系，包括安全管理组织架构、安全生产责任制度、安全生产教育培训、安全检查、安全施工措施、治安保卫管理计划、特殊季节安全施工措施等；

2 应急体系，包括风险分析、应急机构和人员、应急物资和装备、应急监测、应急措施、应急处置能力培训等。

**5.1.3** 工程施工应制定环境管理计划，宜包含下列内容：

1 污染防治措施，识别工程潜在的二次污染环节，制定详细的污染防治措施；

2 环境监测计划，结合场地特征、敏感目标和污染防治措施制定环境监测计划。

### 5.2 安全管理

**5.2.1** 本条规定了用于指导工程施工中的安全管理，包括职业健康、以及生产安全问题。

**5.2.2** 污染土壤修复工程项目的种类多、内容复杂、差别大、涉及范围广，并且修复技术及工艺过程都比较复杂，因此，在土壤修复与污染控制工程开展之前，应系统全面的识别土壤修复与污染控制过程中潜在的安全风险。在工程职业健康与安全风险识别时，应全面、有序的进行，谨防漏项，针对潜在的危险、危害采取相应的措施，如改进设计、增加安全设施等，从而大为提高工程的安全性。。

**5.2.3** 对于职业健康风险的识别、评估、防范与监控应同时考虑粉尘所致职业健康风险、毒物所致职业健康风险、物理性职业危害因素所致职业健康风险、以及其他职业危害因素所致职业健康风险等各类风险因素。

**5.2.4** 对于安全风险的识别、评估、防范与监控则应同时考虑物体打击、车辆伤害、机械伤害、触电、淹溺、灼烫、火灾、高处坠落、坍塌、透水、以及爆炸等各类危险因素。

## 5.3 环境管理

**5.3.1** 污染土壤修复工程种类非常多，内容也比较复杂，而且随不同场地的具体情况有非常多的差别。首先，场地基本性因素不同，例如在场地中污染物的类型、浓度和分布区域，场地的土壤类型、地质构造与水文地质条件，场地上的构筑物或设施的种类、构造、污染类型和污染程度。其次，修复工程所采用的技术路线、技术类型以及工程实施方案不同，受基本性因素影响，使得即使采用相同或类似的修复技术路线、技术类型，其具体内容也会有很多的差别。

因此，本条针对目前条件下比较典型的修复技术类型，以及具有普遍性的修复工程施工环节，开展了二次污染风险点识别，继而制定具有针对性和可操作性的防治与防范措施，并且制定相应的监测或监控方案。

**5.3.2** 对于二次环境污染的识别、评估、防治和监测应充分考虑大气环境污染、地表水环境污染、地下水环境影响、土壤环境污染、噪声影响、固体废物影响等各个方面。

在场地修复项目的环境影响识别过程中，一般应做到：充分了解修复项目工程活动的特性、明确项目涉及的当地环境特性及环境保护要求、识别主要的环境敏感区和环境敏感目标、并从自然环境和社会环境两方面进行识别。通过对二次环境污染的分析，识别出主要的环境影响和环境影响因子，并判断其影响程度，范围和时间跨度。

**5.3.3** 根据《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ25.2-2019），应对治理修复过程中可能排放的物质进行布点监测，如治理修复过程中设置废水、废气排放口，则应在排放口布设监测点位，并且，要求在地块中心和地块当时下风向主要环境敏感点对大气环境布点。

**5.3.4** 对于工程项目中发生可能性相对较大且后果较为严重的事故风险，应编制对应的应急预案，一般需要准备的工作包括：全面分析所采用的场地修复与污染控制工艺的危险因素、可能发生的事故类型及事故的危害程度；排查事故隐患的

种类、数量和分布情况，并在隐患治理的基础上，预测可能发生的事故类型及其危害程度；确定事故危险源，进行风险评估；针对事故危险源和存在的问题，确定相应的防范措施；客观评价本单位应急能力；充分借鉴国内外同行业事故教训及应急工作经验。

## 6 施工质量验收与评估

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 对修复工程质量的验收，应遵循动态控制原理，坚持预防为主的原则，制定和实施相应的监理措施，采用旁站、巡视和平行检验等方式对土壤修复工程质量实施控制。

**6.1.2** 应在土壤修复工程施工准备阶段和施工阶段对修复工程质量进行验收，在竣工阶段对修复效果进行评估。

**6.1.3** 在污染土壤修复工程完成后，如何对修复效果进行科学合理的验证和评估，保证地块达到风险评估所确定的修复目标及工程设计所提出的相关要求，成为污染土壤修复工作的重要环节。修复工程施工质量验收一般包括如下原则：

1 科学性原则，采用科学的方法，综合考虑场地调查评估结果、污染场地修复方案和修复工程实施情况等，科学合理的开展修复工程的验收工作；

2 独立性原则，污染场地修复工程验收监测方案应由第三方验收监测单位编制，并负责实施，确保验收监测工作的独立性和客观性；

3 公正性原则，应秉持良好的职业操守，坚持保护环境的原则，按相关标准、规范和技术要求，公平、公正、客观地开展修复工程验收工作。

**6.1.4** 修复工程修复效果评估工作内容包括：更新地块概念模型、布点采样与实验室检测、风险管控与修复效果评估、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告。其中，重点工作为更新地块概念模型、布点采样与实验室检测、风险管控与修复效果评估，具体如下：

1 更新地块概念模型，应根据风险管控与修复进度，以及掌握的地块信息对地块概念模型进行实时更新，这是制定修复效果评估布点和采样方案的基础。地块修复概念模型应当根据掌握的最新的地块信息不断完善。

2 布点方案包括效果评估的对象和范围、采样节点、采样周期和频次、布点数量和位置、检测指标等内容，并说明上述内容确定的依据。原则上应在风险管控与修复实施方案编制阶段编制效果评估初步布点方案，并在地块风险管控与修复效果评估工作开展之前，根据更新后的概念模型进行完善和更新。根据布点方

案，制定采样计划，确定检测指标和实验室分析方法，开展现场采样与实验室检测，明确现场和实验室质量保证与质量控制要求。

3 根据检测结果，评估土壤修复是否达到修复目标或可接受水平，评估风险管控是否达到规定要求。对于土壤修复效果，可采用逐一对比和统计分析的方法进行评估，若达到修复效果，则根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告，若未达到修复效果，则应开展补充修复。对于风险管控效果，若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可继续开展运行与维护；若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到预期效果，须对风险管控措施进行优化或调整。

## 6.2 质量验收

**6.2.1** 用于修复工程的材料、药剂、设备需要有质量证明文件，包括合格证和检测报告等，施工单位要进行采样验证，并应按有关规定，由监理单位进行见证取样、平行检验。

**6.2.2** 对临时设施质量的验收，应重点关注管道工程、电气工程、给排水工程和智能化工程等。对于部分土壤修复工程，还应关注井建设工程质量。

**6.2.3** 施工组织设计审查应包括下列基本内容：

- 1 编审程序应符合相关规定。
- 2 施工进度、施工方案及工程质量保证措施应符合施工合同要求。
- 3 资金、劳动力、材料、设备等资源供应计划应满足工程施工需要。
- 4 安全技术措施应符合工程建设强制性标准。
- 5 施工总平面布置应科学合理。

**6.2.4** 为保证施工质量，施工阶段监理人员要进行现场巡视。巡视应包括下列主要内容：

- 1 施工单位是否按工程设计文件、工程建设标准和批准的施工组织设计、(专项)施工方案施工。
- 2 使用的工程材料、药剂和设备是否合格。
- 3 施工现场管理人员，特别是施工质量管理人員是否到位。
- 4 特种作业人员是否持证上岗。

5 环保措施落实情况。

**6.2.5** 在施工阶段，为保证修复工程质量，还应重点关注以下内容：

1 对热脱附修复工程，应对废气冷凝、吸收产生的废液密封保存情况进行核实，并对废液委托处置单位资质进行核实。对热脱附工程固体废物处置去向进行核查。

2 对风险管控工程的完整性、功能性、关键技术指标等进行核实与记录。

3 对基坑开挖工程，对基坑支护和沉降监测是否符合规范进行核查，并复核基坑放坡方式是否符合设计方案相应要求。

对污染区域存在清洁土夹层情况，要对开挖过程进行全程旁站和记录，现场应对开挖深度进行核查以避免过深或过浅开挖情况。

4 对化学氧化（还原）修复工程，应核实氧化（还原）过程可能产生的中间产物及其环境特性，涉及产生对环境或人体有害中间产物时，应核实相关物质的处理方式。

**6.2.6** 若施工存在质量问题的，或施工单位采用不适当的施工工艺，或施工不当，造成工程质量不合格的，监理单位应及时签发监理通知单，要求施工单位整改。整改完毕后，项目监理机构应根据施工单位报送的监理通知回复单对整改情况进行复查，提出复查意见。

## 6.3 效果评估

**6.3.1~6.3.2** 污染土壤修复效果评估的对象，包括异位修复的基坑底部与侧壁、原位和异位修复后土壤，同时，潜在二次污染区域的土壤在修复后也需要进行修复效果评估。另外，根据具体修复技术工艺还可能存在其它验收监测介质，如土壤淋洗法等修复过程中产生的筛上物，在冲洗后可能仍存在污染，特别是小颗粒的筛上物，同样需要检测。

**6.3.3** 污染土壤修复工程中对于修复效果评估的检测指标，一般为地块修复的目标污染物。化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物，必要时可增加土壤与地下水常规指标。对于采取阻隔填埋、地下水阻隔墙等风险管控措施的，还应当检测工程性能指标，如阻隔性能、渗透性能等。

**6.3.4** 修复效果评估标准值原则上为地块调查评估与修复方案中确定的污染物的

修复目标值，若土壤暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值。化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB 36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景确定其评估标准值。对于采取阻隔填埋、地下水阻隔墙等风险管控措施的，评估标准为：工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果、下游地下水中污染物浓度应保持稳定、固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水使用功能对应标准值。

**6.3.5** 土壤污染分布具有不均匀性。不同修复方式对污染物的去除率、修复的均匀性也存在差异。对于污染地块修复效果评估，无论如何加密布点和采样，布点数量终究是有限的，无限制地加密布点既无必要，也不现实。因此，效果评估中，采样布点的本质是合理抽取样本，通过样本来科学推断总体的情况，即要应用统计学的理论设计布点数量并进行统计验证。因此，修复工程的布点和修复效果统计分析均应符合《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》HJ 25.5 的规定。

**6.3.6** 根据 HJ 25.5 的规定，对于修复后土壤或地下水中污染物浓度未达到 GB 36600 第一类用地筛选值和 GB/T 14848 中的 III 类标准值的情况，均需关注地块的长期风险，开展后期环境管理。后期环境管理的方式一般包括长期环境监测与制度控制，两种方式可结合使用。一般通过设置地下水监测井或土壤气监测井进行长期环境监测。制度控制包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、通知和公告地块潜在风险、制定限制进入或使用条例等方式。