

## 环境保护部公告

公告 2014 年 第 78 号

---

### 关于发布《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》的公告

为指导各地落实《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发〔2012〕140号）、《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发〔2014〕66号），推动《污染场地术语》（HJ682）、《场地环境调查技术导则》（HJ25.1）、《场地环境监测技术导则》（HJ25.2）、《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3）和《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4）等标准实施，我部制定了《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，现予发布。

特此公告。

附件：[工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）](#)

环境保护部

2014年11月30日

抄送：各省、自治区、直辖市环境保护厅（局），新疆生产建设兵团环境保护局，解放军环境保护局，辽河保护区管理局，环境保护部各环境保护督查中心，环境保护部固体废物与化学品管理技术中心。

环境保护部办公厅 2014 年 12 月 1 日印发

附件

# 工业企业场地环境调查评估与修复 工作指南（试行）

环境保护部  
二〇一四年十一月

# 目 录

第一部分 工业企业场地环境调查评估与修复工作框架 .....	8
1 编制目的和背景 .....	8
2 适用范围 .....	8
3 指导思想和编制原则 .....	9
4 工作框架 .....	9
4.1 基本工作程序 .....	9
4.2 场地环境调查评估 .....	13
4.3 污染场地修复 .....	13
4.3.1 修复方案编制 .....	13
4.3.2 修复实施与环境监理 .....	14
4.3.3 修复验收与后期管理 .....	14
第二部分 场地环境调查评估与修复 .....	16
1 第一阶段调查——污染识别 .....	16
1.1 目的和工作内容 .....	16
1.2 场地污染识别方法 .....	16
1.2.1 资料收集与分析 .....	16
1.2.2 现场踏勘 .....	16
1.2.3 人员访谈 .....	19
1.3 场地污染应急清理 .....	19
1.4 分析判断 .....	19
1.5 第一阶段调查报告编制 .....	20
2 第二阶段调查——现场采样 .....	22
2.1 目的和工作内容 .....	22
2.2 初步采样 .....	22
2.2.1 制定采样计划 .....	22
2.2.2 初步采样分析项目 .....	22
2.2.3 初步采样布点要求 .....	22
2.2.4 现场采样 .....	25
2.2.5 样品分析 .....	27
2.2.6 检测结果分析 .....	28
2.3 场地风险筛选 .....	28
2.4 详细采样 .....	29
2.4.1 制定采样计划 .....	29
2.4.2 土壤采样点位布设 .....	29
2.4.3 地下水监测点位布设 .....	30
2.4.4 采样的技术要求 .....	30

2.4.5 物理样的采集与土工试验.....	31
2.4.6 其它调查方法.....	31
2.5 第二阶段报告编制.....	32
<b>3 第三阶段调查——风险评估.....</b>	<b>33</b>
3.1 目的和工作内容.....	33
3.2 风险评估程序和方法.....	33
3.2.1 危害识别.....	34
3.2.2 暴露评估.....	34
3.2.3 毒性评估.....	37
3.2.4 风险表征.....	37
3.3 确定场地风险控制值和初步修复范围.....	39
3.3.1 确定风险可接受水平.....	39
3.3.2 计算场地风险控制值.....	39
3.3.3 确定初步修复范围.....	41
3.4 第三阶段报告编制.....	41
<b>4 修复方案编制.....</b>	<b>42</b>
4.1 目的和编制程序.....	42
4.1.1 目的.....	42
4.1.2 编制程序.....	42
4.2 选择修复策略.....	45
4.2.1 细化场地概念模型.....	45
4.2.2 确认场地修复总体目标.....	45
4.2.3 确定修复策略.....	46
4.3 筛选与评估修复技术.....	47
4.3.1 修复技术筛选.....	47
4.3.2 修复技术可行性试验.....	48
4.3.3 修复技术可行评估.....	51
4.4 形成修复技术备选方案与方案比选.....	52
4.4.1 形成修复技术备选方案.....	52
4.4.2 方案比选.....	53
4.5 制定环境管理计划.....	55
4.5.1 提出修复过程中的污染防治和人员安全保护措施.....	55
4.5.2 制定场地环境监测计划.....	55
4.5.3 制定场地修复验收计划.....	56
4.5.4 制定环境应急安全预案.....	56
4.6 编制修复方案.....	56
4.6.1 总体要求.....	56
4.6.2 方案主要内容.....	56
<b>5 修复实施与环境监理.....</b>	<b>57</b>
5.1 修复实施.....	57
5.1.1 修复施工方案.....	57

5.1.2 施工现场准备.....	57
5.1.3 现场施工.....	58
5.2 环境监理和工程监理.....	58
5.2.1 工作目的.....	58
5.2.2 工作对象.....	58
5.2.3 工作内容.....	59
5.2.4 工作模式.....	59
5.3 环境监理工作程序.....	59
5.4 环境监理工作内容.....	61
5.4.1 修复工程设计阶段.....	61
5.4.2 修复工程施工准备阶段.....	61
5.4.3 修复工程施工阶段.....	61
5.5 环境监理要点.....	63
5.5.1 修复工程主体环境监理要点.....	63
5.5.2 修复工程环境影响监测.....	64
5.6 环境监理工作方法.....	65
5.6.1 核查.....	66
5.6.2 巡视.....	66
5.6.3 旁站.....	66
5.6.4 跟踪检查.....	66
5.6.5 环境监测.....	67
5.6.6 环境监理会议.....	67
5.6.7 信息反馈.....	67
5.6.8 记录和报告.....	67
5.7 环境监理工作制度.....	68
5.7.1 工作记录制度.....	68
5.7.2 文件审核制度.....	68
5.7.3 报告制度.....	68
5.7.4 函件来往制度.....	69
5.7.5 会议制度.....	69
5.7.6 应急报告及处理制度.....	69
5.7.7 人员培训和宣传教育制度.....	69
5.7.8 档案管理制度.....	69
5.7.9 质量保证制度.....	70
5.8 环境监理重要文件资料的编制.....	70
<b>6 修复验收与后期管理.....</b>	<b>71</b>
6.1 目的和工作内容.....	71
6.2 场地修复验收.....	71
6.2.1 工作程序.....	71
6.2.2 文件审核与现场勘察.....	72
6.2.3 确定验收对象和标准.....	73

6.2.4 采样布点方案制定.....	74
6.2.5 现场采样与实验室检测.....	76
6.2.6 修复效果评价.....	77
6.2.7 编制验收报告.....	78
6.3 场地后期管理.....	78
6.3.1 后期管理对象.....	78
6.3.2 后期管理内容.....	79
6.3.3 后期管理时间.....	80
<b>附录 1 现场采样要求.....</b>	<b>81</b>
<b>附录 2 土壤样品保存要求.....</b>	<b>92</b>
<b>附录 3 场地污染源浓度计算方法.....</b>	<b>94</b>
<b>附录 4 修复技术筛选矩阵.....</b>	<b>95</b>
<b>附录 5 场地修复常用技术.....</b>	<b>98</b>
<b>附录 6 修复技术评估工具.....</b>	<b>99</b>
<b>附录 7 技术可行性试验具体案例.....</b>	<b>100</b>
<b>附录 8 修复方案形成过程.....</b>	<b>103</b>
<b>附录 9 修复方案比选指标权重分配表及计算过程.....</b>	<b>104</b>
<b>附录 10 <math>\chi^2</math>检验方法.....</b>	<b>106</b>
<b>参考附录 1 钢铁生产不同功能区及重点关注污染物清单.....</b>	<b>109</b>
<b>参考附录 2 杀虫剂类农药场地各工序及重点关注污染物清单.....</b>	<b>111</b>
<b>参考附录 3 第一阶段调查报告编制提纲.....</b>	<b>113</b>
<b>参考附录 4 第二阶段调查报告编制提纲.....</b>	<b>114</b>
<b>参考附录 5 第三阶段调查报告编制提纲.....</b>	<b>115</b>
<b>参考附录 6 修复方案编制大纲.....</b>	<b>116</b>
<b>参考附录 7 修复环境监理方案编制提纲.....</b>	<b>119</b>
<b>参考附录 8 修复环境监理细则编制提纲.....</b>	<b>120</b>
<b>参考附录 9 修复环境监理定期报告编制提纲.....</b>	<b>121</b>
<b>参考附录 10 修复环境监理总结编制提纲.....</b>	<b>122</b>
<b>参考附录 11 环境监理用表.....</b>	<b>123</b>
<b>参考附录 12 污染场地修复验收报告编写提纲.....</b>	<b>133</b>

# 第一部分 工业企业场地环境调查评估与修复

## 工作框架

### 1 编制目的和背景

通过构建工业企业场地（以下简称“场地”）环境调查评估和修复全过程工作框架，详细阐述场地环境调查评估及污染场地修复的工作流程、基本要求和技術方法，为从业单位进行场地环境调查、风险评估、治理修复、修复环境监理、修复验收、后期管理等工作提供技术指导，为管理部门监管工作提供技术支撑，减少污染场地环境风险。

本指南由环境保护部污染防治司组织制定。北京市环境保护科学研究院、环境保护部固体废物与化学品管理技术中心、中国环境科学研究院、国家环境保护工业污染场地及地下水修复工程技术中心、环境保护部环境保护对外合作中心共同编写。

本指南为试行版，将根据实际管理需求，适时修订。

### 2 适用范围

本指南适用于工业企业场地的环境调查、风险评估、治理修复、修复环境监理、修复验收和后期管理工作。本技术指南不适用于涉及放射性污染的场地。

本指南的使用对象包括进行场地环境调查、风险评估、治理修复、修复环境监理、修复验收和后期管理工作的技术人员、场地所有者、进行污染场地监督管理的环境保护行政主管部门的工作人员以及其他相关人员等。

本指南在使用时，以环境保护部发布的《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1）、《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2）、《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3）、《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4）、《污染场地术语》（HJ 682）为基础。为避免赘述，对于与上述导则完全一致的内容进行了适当简化，着重体现对导则扩充和细化的内容。

### 3 指导思想和编制原则

**指导思想：**以保护人体健康和生态环境为出发点，以建立和健全场地管理工作方法、提高环境管理能力为目标，以现有的研究和实践经验为支撑，借鉴国外经验，并基于中国的实际情况，提出技术可行、便捷实用、完整全面的工作指南，防范场地环境风险，保障环境安全。

编制主要遵从以下原则：

**实用性原则：**充分考虑国内技术条件和实践经验，细化各项工作方法，规范环境调查方法、风险评估方法、技术管理程序，增加可操作性，便于实施与推广。

**统筹性原则：**在场地环境调查、风险评估、治理修复、修复环境监理、修复验收、后期管理等方面，吸收国内外先进的经验，统筹考虑土壤和地下水，并根据污染场地全过程管理原则，完善管理框架和技术体系，便于逐步推进我国污染场地管理工作。

**协调性原则：**在环境保护部发布的《场地环境调查技术导则》、《场地环境监测技术导则》、《污染场地风险评估技术导则》、《污染场地土壤修复技术导则》、《污染场地术语》的基础上，借鉴北京市发布的《场地环境评价导则》(DB11/T 656)和《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T 783)，统一并细化相关技术内容，做到整体协调一致。

## 4 工作框架

### 4.1 基本工作程序

场地环境调查评估与修复全过程管理是在场地污染调查的基础上，分析场地内污染物对未来受体的潜在风险，并采取一定的管理或工程措施避免、降低、缓和潜在风险的过程，因此整个过程也可称为场地风险管理。场地环境调查评估与修复管理全过程可划分为两个部分：一是场地环境调查评估，二是污染场地修复管理。工业企业场地环境调查评估与修复管理技术框架见图 1.1。

场地责任主体承担场地环境调查评估与修复治理工作。按照以下情形确认场

地责任主体：（1）按照“谁污染、谁治理”的原则，造成场地污染的单位和个人承担场地环境调查评估和治理修复的责任。（2）造成场地污染的单位因改制或者合并、分立等原因发生变更的，依法由继承其债权、债务的单位承担场地环境调查评估和治理修复责任。（3）若造成场地污染的单位已将土地使用权依法转让的，由土地使用权受让人承担场地环境调查评估和治理修复责任。（4）造成场地污染的单位因破产、解散等原因已经终止，或者无法确定权利义务承受人的，由所在地县级以上地方人民政府依法承担场地环境调查评估和治理修复责任。

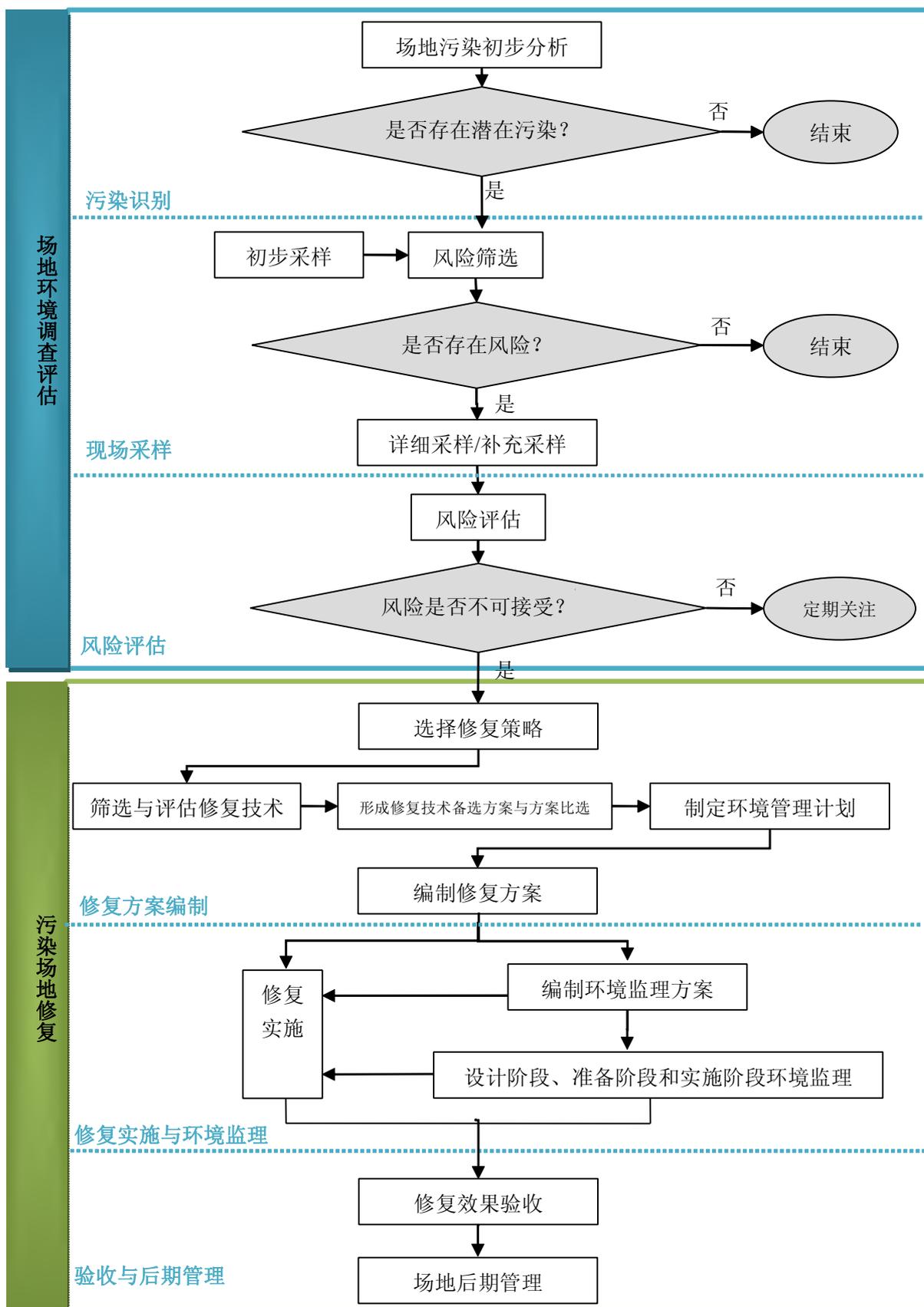


图 1.1 场地环境调查评估和修复工作流程

对于拟关停搬迁和正在关停搬迁的工业企业场地，关停搬迁的工业企业应组织开展原址场地的环境调查评估工作，并及时公布场地的土壤和地下水环境质量状况。经场地环境调查评估认定为污染场地的，场地责任主体应落实治理修复责任并编制治理修复方案，将场地环境调查、风险评估和治理修复等所需费用列入搬迁成本。

对于拟开发利用的关停搬迁的工业企业场地，未按有关规定开展场地环境调查及风险评估的、未明确治理修复责任主体的，禁止进行土地流转；污染场地未经治理修复的，禁止开工建设与治理修复无关的任何项目。

对暂不开发利用的关停搬迁的工业企业场地，责任主体应组织开展场地环境调查评估，基于场地环境调查评估情况及现实情况，暂不治理修复的，应采取必要的隔离等风险防控措施，防止污染扩散，控制环境风险。

场地责任主体应委托专业机构开展场地环境调查评估，并将场地环境调查评估报告报所在地设区的市级以上地方环保部门备案。

场地环境调查评估确定场地需修复时，场地责任主体应委托专业机构实施治理修复，并委托专业机构编制场地修复方案报所在地设区的市级以上地方环保部门备案。

对于开展治理修复的场地，场地责任主体应委托专业机构对治理修复工程实施环境监理。

在治理修复工作完成后，场地责任主体应组织开展场地修复验收工作，必要时开展后期管理工作，委托专业机构进行第三方验收和后期管理，将相关材料和结果报所在地设区的市级以上地方环保部门备案，并在实施过程中接受当地环保部门的监督和检查。

场地环境调查评估、治理修复相关从业单位应按照《场地环境调查技术导则》、《场地环境监测技术导则》、《污染场地风险评估技术导则》、《污染场地土壤修复技术导则》及本指南等环保标准、规范开展场地环境调查、风险评估及治理修复工作。

场地使用权人等相关责任主体应当将场地环境调查评估情况及相应的治理修复工作进展情况等信息，通过门户网站、有关媒体予以公开，或者印制专门的

资料供公众查阅。

## 4.2 场地环境调查评估

场地环境调查评估包括第一阶段场地调查（污染识别）、第二阶段场地调查（现场采样）、风险评估三个阶段。第一阶段场地调查为场地环境污染初步识别与分析，当认为场地可能存在污染或无法判断时，应进入场地开始第二阶段场地调查工作。第二阶段场地调查分初步采样和详细采样。初步采样是通过现场初步采样和实验室检测进行风险筛选。若确定场地已经受到污染或存在健康风险时，则需进行详细采样，必要时进行补充采样分析，确认场地污染的程度与范围，并为风险评估提供数据支撑，进入第三阶段工作。第三阶段为风险评估，明确场地风险的可接受程度。根据场地污染状况，场地环境调查评估工作可以终止于上述任一阶段。

责任主体应委托专业机构编制场地环境调查评估报告，并报所在地设区的市级以上地方环保部门备案。必要时，所在地设区的市级以上地方环保部门应当组织专家对工业企业场地环境调查评估报告的科学性、合理性进行论证评审。

## 4.3 污染场地修复

经过环境调查评估确定场地存在污染的，场地责任主体应组织开展场地修复工作。

### 4.3.1 修复方案编制

污染场地修复方案编制也称可行性研究，包括以下几个步骤：一是根据场地环境调查与风险评估结果，细化场地概念模型并确定场地修复总体目标，通过初步分析修复模式、修复技术类型与应用条件、场地污染特征、水文地质条件、技术经济发展水平，制定相应修复策略；二是通过修复技术筛选，找出适用于目标场地的潜在可行技术，并根据需要进行相应的技术可行性试验与评估，确定目标场地的可行修复技术；三是通过各种可行技术合理组合，形成能够实现修复总体目标的潜在可行的修复技术备选方案；在综合考虑经济、技术、环境、社会等指

标进行方案比选基础上，确定适合于目标场地的最佳修复技术方案；四是制定配套的环境管理计划，防止场地修复过程的二次污染，为目标场地的修复工程实施提供指导，并为场地修复环境监管提供技术支持；五是基于上述选择修复策略、筛选与评估修复技术、形成修复技术备选方案与方案比选、制定环境管理计划的工作，编制修复方案。

责任主体应委托专业机构编制污染场地修复方案，并报所在地设区的市级以上地方环保部门备案。必要时，所在地设区的市级以上地方环保部门应当组织专家对污染场地治理修复方案等文件的科学性、合理性进行论证评审。

#### 4.3.2 修复实施与环境监理

修复实施是指修复实施单位受污染场地责任主体委托，依据有关环境保护法律法规、场地环境调查评估备案文件、场地修复方案备案文件等，制定污染场地修复工程施工方案，进行施工准备，并组织现场施工的过程。

修复环境监理是指环境监理单位受污染场地责任主体委托，依据有关环境保护法律法规、场地环境调查评估备案文件、场地修复方案备案文件等，对场地修复过程实施专业化的环境保护咨询和技术服务，协助、指导和监督施工单位全面落实场地修复过程中的各项环保措施。

责任主体应委托专业机构实施治理修复工程，并委托专业机构对修复工程实施环境监理。

#### 4.3.3 修复验收与后期管理

污染场地修复验收是在污染场地修复完成后，对场地内土壤和地下水、以及修复后的土壤和地下水进行调查和评估的过程，主要是确认场地修复效果是否达到验收标准，若需开展后期管理，还应评估后期管理计划合理性及落实程度。场地修复验收的工作内容包括：文件审核与现场勘察、采样布点方案制定、现场采样与实验室检测、修复效果评价、验收报告编制。

根据场地情况，必要时需评估场地修复后的长期风险，提出场地长期监测和风险管理要求。后期管理是按照后期管理计划开展包括设备及工程的长期运行与维护、长期监测、长期存档与报告等制度、定期和不定期的回顾性检查等活动的

过程。

责任主体应在污染场地修复工程完成后，开展场地修复验收工作，必要时还应开展场地后期管理。责任主体应委托专业机构进行场地修复验收和后期管理工作评估，将相关材料和结果报所在地设区的市级以上地方环保部门备案，并在实施过程中接受当地环保部门的监督和检查。必要时，所在地设区的市级以上地方环保部门应当组织专家对工业企业场地修复验收报告和后期管理评估报告的科学性、合理性进行论证评审。

## 第二部分 场地环境调查评估与修复

### 1 第一阶段调查——污染识别

#### 1.1 目的和工作内容

第一阶段的目的是识别可能存在的污染源和污染物，初步排查场地是否存在污染可能性，必要时需要首先进行应急清理。主要工作内容是通过资料收集与分析、现场踏勘、人员访谈等方式开展调查，初步分析场地环境污染状况，编制第一阶段调查报告。本阶段原则上不进行现场采样分析。

#### 1.2 场地污染识别方法

##### 1.2.1 资料收集与分析

场地环境调查技术人员应通过信息检索、部门走访、电话咨询等途径，广泛收集场地及周边区域的自然环境状况、环境污染历史、地质、水文地质等信息。被调查单位应积极配合，力所能及地为调查人员提供所需的资料信息。通过对工艺、原材料及储存和生产设施等相关资料的审核，调查人员应根据专业知识和经验判断资料的有效性，并分析场地可能涉及的危险物质，以及这些危险物质的使用、存储区域。资料收集的主要内容依据《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1）。

##### 1.2.2 现场踏勘

现场踏勘的目的是通过对场地及其周边环境设施的现场调查，观察场地污染痕迹，核实资料收集的准确性，获取与场地污染有关的线索。场地环境调查人员应采用专业调查表格、GPS定位仪、摄/录像设备等手段，仔细观察、辨别、记录场地及其周边重要环境状况及其疑似污染痕迹，并可采用X射线荧光分析仪（XRF）、光离子检测仪（PID）等野外便携式筛查仪器进行现场快速测量，辅助识别和判断场地污染状况。现场工作人员应遵守安全法规，按照规定的程序和要

求进行调查工作。必要时应在进入场地前进行专门的培训，并在企业有关工作人员带领下进行场地环境调查。现场踏勘的范围、内容、方法执行《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1）。现场踏勘的重点一般包括：

#### 1.2.2.1 场地可疑污染源

观察所有可见污染源的位置、类型、规模和控制设施（例如防渗材料、结构、老化程度）；观察分析可疑污染物的污染区域、潜在污染途径（如输油管道、油渠、灌溉渠道）及发生污染的可能。

#### 1.2.2.2 场地污染痕迹

调查场地污染痕迹，如植被损害、各种容器及排污设施损坏和腐蚀痕迹，场地内的气味、地面、屋顶及墙壁的污渍和腐蚀痕迹等。不同行业的场地污染特征不同，污染物种类和造成污染的环节都不同，需结合各行业的污染特征，有针对性地开展现场踏勘工作。

#### 1.2.2.3 涉及危险物质的场所

危险物质的使用与存储的踏勘包括：

（1）使用的危险物质的种类和数量，涉及的容器和储存条件，包括没有封闭或发生损坏的储存容器的数量和容器类型。

（2）地上、地下储存设施及其配套的输送管线情况，记录储藏池（库）数量、储存物质、容量、建设年代、监测数据、周边管线等内容。

（3）各类集水池，考察其是否含危险物质或与其有关。

（4）盛装未知物质的容器不管是否发生泄漏均应调查，包括储存容器的数量、容器类型和储存条件。

（5）电力及液压设备的场地是否使用含多氯联苯的设备。

（6）场地内道路、停车设施及与场地紧邻的市政道路情况，重点识别并察看可能运输危险物质的进场路线。

（7）上述现场是否有强烈的、刺鼻的气味。

（8）询问熟悉生产线情况的人员关于物料是否已从生产线完全卸载，反应釜、

塔、容器、管道中的物料是否已基本清除。在确保健康与安全的条件下可进行适当的直接观察。

(9) 建筑物内是否有明显的固体废物堆积，观察其存放情况；是否有固体废物存放在容器内，以及容器的密封状况。

(10) 设备保温层的完整性，了解保温材料的类型和使用时间。

#### 1.2.2.4 建（构）筑物

建（构）筑物调查包括：

(1) 建（构）筑物的现状及完善情况，如建筑物的数量、层数、大致年代等。

(2) 生产装置区、储存区、废物处置场所等区域的地面铺装情况，是否存在由于生产装置的腐蚀和跑冒滴漏造成的地面、屋顶、墙壁的污渍和腐蚀痕迹。

(3) 采暖和制冷系统所用冷热媒介质的类型及储存情况。

(4) 建（构）筑物及各种管线保温情况，重点关注石棉的使用、贮存等情况。

(5) 生产装置区、储存区、废物处置场所等以外区域的室外地面铺装情况，地面污渍痕迹，以及室外可能因污染引起的植被生长不正常情况。

(6) 生产排放的污水水质，相关的处理构筑物（如排水管、排水沟、水池等）的使用情况，污水处理系统的建设年代和处理工艺等。

(7) 明显堆积或填充废弃的建筑垃圾或其他固体废物形成的土堆、洼地等。

(8) 场地内所有的水井，是否存在颜色、气味等水质异常情况。

#### 1.2.2.5 周边相邻区域

现场踏勘应包括场地的周围区域，踏勘范围应由现场调查人员根据污染迁移情况来判断。周边相邻区域调查包括：

(1) 场地四周相邻企业，包括企业污染物排放源、污染物排放种类等，并分析其是否与评价场地污染存在关联。

(2) 场地附近已确定的污染场地，重点调查已确认污染场地的污染物，以及对本场地的环境影响和污染途径。

(3) 观察和记录场地及周围是否有可能受污染物影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及其它公共场所等地点，并在报告中明确其与场地的位置关

系。

### 1.2.3 人员访谈

对场地知情人员采取咨询、发放调查表等形式进行访谈，包括场地管理机构和地方政府官员、环境保护主管部门官员、场地过去和现在各阶段的使用者、相邻场地的工作人员和居民等。访谈内容、对象、方法、内容整理及分析依据《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1）。

## 1.3 场地污染应急清理

在进行场地踏勘时，若发现场地及周边有危险物质泄漏时，应迅速对泄漏情况及危害程度进行快速评估，并确定是否需要立即采取措施清除泄漏源。一旦确认需要进行紧急清除，则应立即通知有关部门，采取应急处理措施。

快速评估一般分为四个步骤。步骤一是搜集事故与污染物信息、场地水文资料等基本信息；步骤二是采用经验判断和简单的数学模型判断事故的危害和紧迫程度、以及对附近敏感点的影响，快速获取所需信息；步骤三是综合前两阶段获取的信息进行分析与决策，制定场地应急控制措施。步骤四为应急措施的实施及效果评估，并确定是否需要采取进一步的行动。

## 1.4 分析判断

污染识别阶段分析判断的目的是确定是否可能污染。若场地发现污染痕迹、或被认为存在潜在污染以及无法判断污染可能性时，例如未发现污染痕迹，但生产中使用危险化学品及石油产品、或排放有毒有害物质的场地，因历史状况不清等原因无法判断场地是否受到污染时，应作为潜在污染场地。

若判断结果为可能污染，应进一步建立场地初步概念模型。场地概念模型是综合描述场地污染源释放的污染物通过土壤、水、空气等环境介质进入人体，并对场地周边及场地未来居住、工作人群的健康产生影响的关系模型。场地概念模型包括污染源、污染物的迁移途径、人体接触污染的介质和方式等，一般随着调查和评估的深入逐步完善和细化。场地污染概念模型应包括：

(1) 场地应关注的污染物种类：根据生产工艺、原辅材料、产品种类、“三废”等情况，以及残留的原生污染物受物理化学过程影响产生的次生污染物，分析场地可能存在的污染物种类。钢铁和杀虫剂类农药行业场地的关注污染物可参考附录 1 和 2。

(2) 场地潜在污染区域：根据场地生产装置、各种管线、危险化学品及石油产品储存设施、污染物排放方式、现场污染痕迹、污染物的迁移特性等，分析场地潜在污染区域。

(3) 水文地质条件分析：结合污染物特征，分析场地地层分布情况、地下水分布特征等影响污染物在环境介质中迁移转化的水文地质条件。

(4) 污染物特征及其在环境介质中的迁移分析：①原辅材料和产品运输过程中，由于泄漏、挥发和事故进入周边环境；②生产过程中产生的废气和烟（粉）尘通过大气扩散至生产设施周边甚至厂房以外；③废水排放沟渠破裂时进入土壤和地下水；④废物堆存点污染物经雨水淋洗并随地表径流扩散进入附近河流；⑤废物堆存点污染物或污染土壤经降雨淋滤进入地下水，并随地下径流在地下水流动方向迁移。

(5) 受体分析：根据污染场地未来用地规划，分析确定未来受污染场地影响的人群。

(6) 暴露途径分析：根据未来人群的活动规律和污染在环境介质的迁移规律，分析和确定未来人群接触污染物的暴露点，分析和建立暴露途径。

(7) 危害识别：在前述分析的基础上，初步进行场地污染物危害识别。

若第一阶段场地环境调查认为场地未受到污染，则场地环境调查结束，并编制第一阶段调查报告。

## 1.5 第一阶段调查报告编制

第一阶段调查报告应包括场地基本情况、场地环境调查的主要工作内容、场地污染的初步分析结论及依据。其中主要工作内容应突出说明使用和排放的危险物质及使用量、污染痕迹、污染概念模型等。另外，需要针对场地环境调查过程中的不确定因素对评价结论的影响进行分析，并应将判断场地污染与否的关键佐

证材料作为报告附件。

第一阶段调查报告可参照参考附录 3 编制。

## 2 第二阶段调查——现场采样

### 2.1 目的和工作内容

第二阶段调查以采样分析为主，确定场地的污染物种类、污染分布及污染程度。主要工作内容为初步采样、场地风险筛选、详细采样和第二阶段报告编制。初步采样又称为确认采样，主要是通过与场地筛选值比较，分析和确认场地是否存潜在风险及关注污染物；详细采样目的是确定污染物具体分布及污染程度。

### 2.2 初步采样

#### 2.2.1 制定采样计划

开展现场采样前，应先制定现场采样计划。采样计划内容包括：核查已有信息、判断潜在污染情况、制定采样方案（包括采样目的、采样布点、采样方法、样品保存与流转、样品分析等）、确定质量标准与质量控制程序、制定场地调查安全与健康计划等。

#### 2.2.2 初步采样分析项目

采样分析项目应包括第一阶段调查识别的污染物；对于不能确定的项目，可选取少量潜在典型污染样品进行筛选分析。一般工业场地可选择的检测项目有：重金属、挥发性有机物（VOCs）、半挥发性有机物（SVOCs）、氰化物、石棉和其他有毒有害物质。如遇土壤和地下水明显异常而常规检测项目无法识别时，可采用生物毒性测试方法进行筛选判断；如遇有明显异臭或刺激性气味，而项目无法检测时，应考虑通过恶臭指标等进行筛选判断。

场地环境调查涉及地表水和残余废弃物监测，按照《场地环境监测技术导则》（HJ25.2）执行。

#### 2.2.3 初步采样布点要求

##### 2.2.3.1 采样位置

初步采样时，一般不进行大面积和高密度的采样，只是对疑似污染的地块进

行少量布点与采样分析。采用判断布点方法，在场地污染识别的基础上选择潜在污染区域进行布点，重点是场地内的储罐储槽、污水管线、污染处理设施区域、危险物质储存库、物料储存及装卸区域、历史上可能的废渣地下填埋区、“跑冒滴漏”严重的生产装置区、物料输送管廊区域、发生过污染事故所涉及到的区域、受大气无组织排放影响严重的区域、受污染的地下水污染区域、道路两侧区域、相邻企业等区域。

对于污染源较为分散的场地和地貌严重破坏的场地，以及无法确定场地历史生产活动和各类污染装置位置时，可采用系统布点法（也称网格布点法）。布点数量可参考《场地环境评价导则》（DB11/T 656）中的相关推荐数目。

无法在疑似污染地块，特别是罐槽、污染设施等底部采样时，则应尽可能接近疑似污染地块且在污染物迁移的下游方向布置采样点。采样点和可能污染点相差距离较大时，应在设施拆除后，在设施底部补充采样。

监测点位的数量与采样深度应根据场地面积、污染类型及不同使用功能区域等确定。

### 2.2.3.2 采样数量

采样点数目应足以判别可疑点是否被污染，在每个疑似污染地块内或设施底部布置不少于三个土壤或地下水采样点。地下水采样可不只局限在厂界内，对场地内地下水上游、下游及污染区域内至少各设置一个监测井，地下水监测井设点与土壤采样点可并点考虑。

在其他非疑似污染地块内，可采用随机布点方法，少量布设采样点，以防止污染识别过程中的遗漏。

### 2.2.3.3 采样深度

采样深度应综合考虑场地地层结构、污染物迁移途径和迁移规律、地面扰动深度等因素。若对场地信息了解不足，难以合理判断采样深度，可依据《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1）的要求设置采样点；在实际调查过程中可结合现场实际情况进行确定。

(1) 当土层特性垂直变异较大时, 应保证在不同性质土层至少有一个土壤样品, 采样点一般布置在各土层交界面(如弱透水层顶部等); 当同一性质土层厚度较大或同一性质土层中出现明显污染痕迹时, 应根据实际情况在同一土层增加采样点。

(2) 地下水采样一般以最易受污染的第一层含水层为主; 当第二层含水层作为主要保护对象且可能会受到污染时, 应设置地下水监测组井, 同时采集第一层和第二层地下水样品; 当有地下储存设施时, 应在储存设施以下至含水层底板, 最少选取二至三个不同的深度进行取样; 当隔水层相对较差或两层含水层之间存在水力联系、场地内存在透镜体或互层等地质条件时, 可考虑设置组井并进行深层采样。

(3) 当第一层含水层为非承压类型, 土壤钻孔或地下水监测井深度应至含水层底板顶部。采样点的具体设置如下:

①表层: 根据土层性质变化、是否有回填土等情况确定表层采样点的深度, 表层采样点深度一般为 0.5m 以内;

②表层与第一层弱透水层之间: 应至少保证一个采样点。当表层与弱透水层的厚度较大时, 可考虑增加采样点。各采样点的具体位置可根据便携式现场测试仪器、土壤污染目视判断(如异常气味和颜色等)来确定;

③地下水位线: 地下水位线附近至少设置一个土壤采样点;

④含水层: 当地下水可能受污染时, 应增加含水层采样点;

⑤含水层底板(弱透水层): 含水层底板顶部应设置一个土壤采样点。

(4) 当第一层含水层为承压水时, 若不设置地下水监测井, 土壤采样深度应不超过第一层弱透水层顶板; 若设置地下水监测井, 则应达到第一层含水层底板(当第一层含水层厚度大于 5m 时, 建井深度应至少为地下水水面以下 5m)。采样点的具体设置如下:

①表层: 根据土层性质变化, 是否有回填土等情况确定表层采样点的深度, 表层采样点深度一般为 0.5m 以内;

②表层与第一层弱透水层之间: 至少保证一个采样点。当表层与弱透水层的厚度较大时, 可考虑增加采样点; 各采样点具体位置可根据便携式现场测试仪器、

土壤污染目视判断来确定；

③地下水水位线：设置监测井时，地下水水位线附近至少设置一个土壤采样点；

④含水层及含水层底板：在地下水可能受污染情况下，应增加含水层内及含水层底板采样点。对于不需建井的钻孔，钻孔深度不应打穿弱透水层。

## 2.2.4 现场采样

### 2.2.4.1 采样准备

根据采样计划，制定采样计划表，准备各种记录表单、必需的监控器材、足够的取样器材并进行消毒或预先清洗。

### 2.2.4.2 现场定位

根据采样计划，对采样点进行现场定位测量（高程、坐标）。可采用地物法和仪器测量法，可选择的仪器主要有经纬仪、水准仪、全站仪和高精度的全球定位仪。定位测量完成后，可用钉桩、旗帜等器材标志采样点。

### 2.2.4.3 计划调整

场地采样过程可能受地下管网（如煤气管、电缆）、建筑物等影响而无法按采样计划实施，场地评价人员应分析其对采样的影响，可根据现场的实际情况适当调整采样计划，或提出在场地障碍物清除后，是否需要开展场地的补充评价。

当出现下列情况可调整采样计划：

（1）当现场条件受限无法实施采样时，采样点位置可根据现场情况进行适当调整。

（2）现场状况和预期之间差异较大时，如现场水文地质条件与布点时的预期相差较大时，应根据现场水文地质勘测结果，调整布点或开展必要的补充采样。

### 2.2.4.4 样品采集

根据采样计划，现场采集土壤及地下水样品，同时采集现场质量控制样。在采样时，应做好现场记录。土壤和地下水样品的采集要求见附录 1。

#### 2.2.4.5 样品运输与保存

针对不同检测项目，选择不同的样品保存方式。目标污染物为无机物的样品通常用塑料瓶（袋）收集；目标污染物为挥发性和半挥发性有机物的样品宜使用具有聚四氟乙烯密封垫的直口螺口瓶收集。具体的土壤样品收集器和样品的保存要求见附录 2。

运输样品时，应填写实验室准备的采样送检单，并尽快将样品与采样送检单一同送往分析检测实验室。采样送检单应保证填写正确无误并保存完整。

#### 2.2.4.6 注意事项

##### （1）防止采样过程的交叉污染

在两次钻孔之间，钻探设备应该进行清洗；当同一钻孔在不同深度采样时，应对钻探设备、取样装置进行清洗；当与土壤接触的其他采样工具重复使用时，应清洗后使用。

采样过程中要佩戴手套。为避免不同样品之间的交叉污染，每采集一个样品须更换一次手套。每采完一次样，都须将采样工具用自来水洗净后再用蒸馏水淋洗一遍。液体汲取器则为一次性使用。

##### （2）防止采样的二次污染

每个采样点钻探结束后，应将所有剩余的废弃土装入垃圾袋内，统一运往指定地点储存；洗井及设备清洗废水应使用塑料容器进行收集，不得随意排放。

##### （3）现场质量控制

规范采样操作：采样前组织操作培训，采样中一律按规程操作，设置第三方监理。

采集质量控制样：现场采样质量控制样一般包括现场平行样、现场空白样、运输空白样、清洗空白样等，且质量控制样的总数应不少于总样品数的 10%。

规范采样记录：将所有必需的记录项制成表格，并逐一填写。采样送检单必须注明填写人和核对人。

##### （4）个人防护

根据国家有关危险物质使用及健康安全等相关法规制订现场人员安全防护

计划，并对相关人员进行必要的培训。现场人员须按有关规定，使用个人防护装备。严格执行现场设备操作规范，防止因设备使用不当造成的各类工伤事故。对现场危险区域，如深井、水池等应进行标识。

#### (5) 应急处理

当现场评价过程中发现存在危险物质泄漏时，应对泄漏情况及危害程度进行快速评估，并确定是否需要立即采取措施清除泄漏源。一旦确认需要进行紧急清除，则应立即通知场地业主和当地环保部门。

### 2.2.5 样品分析

#### 2.2.5.1 现场样品分析

现场可采用便携式分析仪器设备进行样品的定性和半定量分析。

水样的温度须在现场进行分析测试，溶解氧、pH、电导率、色度、浊度等监测项目亦可在现场进行分析测试，并保持监测时间一致性。

岩心样品采集后，用取样铲从每段岩心中采集少量土样置于自封塑料袋内并密封，一般应在有明显污染痕迹或地层发生明显变化的位置采样。之后适当对土样进行揉捏以确保土样松散，使其稳定 5~10min 后将相应仪器或设备（如 PID 检测器等）探头伸入自封袋内并读取样品的读数。

#### 2.2.5.2 实验室样品分析

##### (1) 土壤样品分析

土壤的常规理化特征，如土壤 pH、粒径分布、容重、孔隙度、有机质含量、渗透系数、阳离子交换量等的分析测试应按照《岩土工程勘察规范》（GB 50021）执行。土壤样品关注污染物的分析测试应按照《土壤环境质量标准》（GB 15618）和《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）中的指定方法执行。污染土壤的危险废物特征鉴别分析，应按照《危险废物鉴别标准》（GB 5085）和《危险废物鉴别技术规范》（HJ/T 298）中的指定方法执行。

##### (2) 其他样品分析

地下水样品、地表水样品、环境空气样品、残余废弃物样品的分析应分别按照《地下水环境监测技术规范》（HJ/T 164）、《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T

91)、《环境空气质量手工监测技术规范》(HJ/T 194)、《恶臭污染物排放标准》(GB 14554)、《危险废物鉴别标准》(GB 5085)和《危险废物鉴别技术规范》(HJ/T 298)中的指定方法执行。

#### 2.2.5.3 其他要求

样品分析方法首选国家标准和规范中规定的分析方法。对国内没有标准分析方法的项目，可以参照国外的方法。

#### 2.2.5.4 实验室质量控制

设置实验室质量控制样。主要包括：空白样品加标样、样品加标样和平行重复样。要求每 20 个样品或者至少每一批样品作一个系列的实验室质量控制样，也可根据情况适当调整。质量控制样品，包括土壤和地下水，应不少于总检测样品的 10%。

#### 2.2.6 检测结果分析

实验室检测结果和数据质量进行分析主要包括：(1) 分析数据是否满足相应的实验室质量保证要求。(2) 通过采样过程中了解的地下水埋深和流向、土壤特性和土壤厚度等情况，分析数据的代表性。(3) 分析数据的有效性和充分性，确定是否需要补充采样。(4) 根据场地内土壤和地下水样品检测结果，分析场地污染物种类、浓度水平和空间分布。

### 2.3 场地风险筛选

通过将污染初步采样结果与国家和地方等相关标准以及清洁对照点浓度比较，排查场地是否存在风险。相关标准可采用国家相关土壤和地下水标准、国家以及地区制定的场地污染筛选值，国内没有的可参照国际上常用的筛选值，或者应用场地参数计算适用于该场地的特征筛选值。若污染物筛选值低于当地背景值，采用背景值作为筛选值。

一般在确定了开发场地土地利用功能的情况下：

若污染物检测值低于相关标准或场地污染筛选值，并且经过不确定性分析表

明场地未受污染或健康风险较低，可结束场地调查工作并编制第二阶段场地调查报告。

若检测值超过相关标准或场地污染筛选值，则认为场地存在潜在人体健康风险，应开展详细采样，并进行第三阶段风险评估。

## 2.4 详细采样

### 2.4.1 制定采样计划

同 2.2.1 中的采样计划要求。

### 2.4.2 土壤采样点位布设

污染场地土壤采样常用的点位布设方法包括判断布点法、随机布点法、分区布点法及系统布点法等，其适用条件见表 2.1。

表 2.1 常见的布点方法及适用条件

布点方法	适用条件
判断布点法	适用于潜在污染明确的场地。
随机布点法	适用于污染分布均匀的场地。
分区布点法	适用于污染分布不均匀，并获得污染分布情况的场地。
系统布点法	适用于各类场地情况，特别是污染分布不明确或污染分布范围大的情况。可以获得污染分布，但其精度受到网格间距大小影响。

判断布点法适用于潜在污染明确的场地。

随机布点法适用于场地内土壤特征相近、土地使用功能相同的区域。具体方法是将监测区域分成面积相等的若干地块，从中随机（随机数的获得可以利用掷骰子、抽签、查随机数表的方法）抽取一定数量的地块，在每个地块内布设一个监测点位。抽取的样本数要根据场地面积、监测目的及场地使用状况确定。

分区布点法适用于场地内土地使用功能不同及污染特征明显差异的场地。具体方法是将场地划分成不同的小区，根据小区的面积或污染特征确定布点的方法。场地内土地使用功能的划分一般分为生产区、办公区、生活区。

系统布点法适用于场地土壤污染特征不明确或场地原始状况严重破坏的情形。具体方法是将监测区域分成面积相等的若干地块（网格），每个地块内布设

一个监测点位。网格点位数应视所评价场地的面积及潜在污染源的数目、污染物迁移情况等确定，原则上网格大小不应超过 1600m<sup>2</sup>，也可参考《场地环境评价导则》（DB11/T 656）中的相关推荐数目。

土壤采样布点中需要注意以下情形：

当场地污染为局部污染，且热点地区（第一阶段及第二阶段初步采样所确认的污染地块）分布明确时，应采用判断布点法在污染热点地区及周边进行密集取样，布点范围应略大于判断的污染范围。当确定的热点区域范围较大时，也可采用更小的网格单元，在热点区域内及周边采用网格加密的方法布点。在非热点地区，应随机布置少量采样点，以尽量减少判断失误。随机布点数目不应低于总布点数的 5%。

如需采集土壤混合样，可根据每个监测地块的污染程度和地块面积，将其分成 1~9 个均等面积的网格，在每个网格中心进行采样，将同层的土样制成混合样（挥发性有机物污染的场地除外）。

深层采样点的布置应根据初步采样所揭示的污染物垂直分布规律来确定，符合污染初步采样阶段的相关要求及《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2）的相关要求。

当详细采样不能满足风险评估要求，或划定场地污染修复范围的要求时，应该采用判断布点法进行一次或多次补充采样，直至有足够数据划定污染修复范围为止。必要时，可开展土壤气、场地人群和动植物调查等，以进行更深层次的风险评估。

### 2.4.3 地下水监测点位布设

地下水监测点点位按《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2）布设。当场地地质条件比较复杂时，应设置组井（丛式监测井）。

### 2.4.4 采样的技术要求

详细采样阶段的现场采样、样品分析、检测结果分析同 2.2 初步采样中 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6 技术要求。

#### 2.4.5 物理样的采集与土工试验

物理样的采集与土工试验是在详细采样阶段为风险评估提供数据支撑，以模拟污染物在环境介质中的迁移过程。主要包括以下参数的测试获取：土壤粒径分布、土壤容重、含水量、天然密度、饱和度、孔隙比、孔隙率、塑限、塑性指数、液性指数、实验室垂直渗透系数和水平渗透系数以及粒径分布曲线等物理参数。具体参数根据风险评估需要确定。

#### 2.4.6 其它调查方法

除了进行土壤和地下水采样之外，目前在场址污染调查实践中常采用便携式仪器、地球物理勘查技术等进行调查。

##### 2.4.6.1 便携式仪器调查

常用的便携式仪器包括检测挥发性气体的光离子化检测仪（PID）、检测重金属的 X 射线荧光分析仪（XRF）等。实际操作时，可根据便携仪器的测量值，确定具体的采样位置。一般可用洛阳铲、手动螺旋钻等在采样点处凿孔，并使用便携仪器测定污染物组分的浓度；在初步采样和详细采样认定的污染较重的区域，可采用便携仪器进行加密检测。常用的便携仪器功能及优缺点见表 2.2。

表 2.2 便携式仪器的功能及优缺点

仪器名称	主要功能	优缺点
X 射线荧光分析仪（XRF）	检测土壤中的重金属	优点：快速进行现场分析。 缺点：需要前期训练操作人员；可能受到基质干扰；检测限较高。
火焰离子检测仪（FID）	半定量检测土壤中 VOCs 组分的含量	优点：迅速获得结果。 缺点：只能检测到 VOCs 组分。
光离子检测仪（PID）	检测土壤中 VOCs、部分 SVOCs 和无机物的浓度	优点：迅速获得结果；容易使用。 缺点：测试结果受环境湿度等影响；不能确定特定的有机组分浓度。

##### 2.4.6.2 地球物理勘查技术

污染场地调查中涉及的地球物理方法包括地质雷达法、高密度电阻率法、综合测井技术等。在实际工作中，往往需要多种物探方法开展场地调查，常用物探方法应用范围及特点见表 2.3。

表 2.3 常用物探方法的应用范围及特点

地球物理方法	应用范围及特点	适用调查阶段
地质雷达法	石油类污染场地、垃圾场、城市污水等，勘测污染源、污染范围和深度，可进行一维、二维、三维地面原位测试。	初步采样和详细采样
高密度电阻率法	石油类污染场地、垃圾场、城市污水等，勘测污染源、污染范围和深度，可进行二维、地面原位测试。	详细采样
声波及千层地震勘探	城市污水渠、核废料处理和垃圾填埋场等领域勘探，确定地下水埋深、垃圾场边界、核废料处理井结构等。	详细采样
跨孔电磁波/超声波 CT 成像法	适用各类污染场地勘测空间污染源、污染边界和污染通道的精细测量。	详细采样
综合物探探井技术	可针对所有场地污染调查钻孔实施多参数综合物探测井，原位测定污染介质的属性和异常特征。	详细采样

## 2.5 第二阶段报告编制

第二阶段场地调查报告应至少包括以下内容：（1）场地污染情况，包括场地基本信息、主要污染物种类和来源及可能污染的重点区域。（2）现场采样与实验室分析，包括采样计划、采样与分析方法、检测数据、质量控制、检测结果分析。（3）场地污染风险筛选及场地环境污染评价的结论和建议。

第二阶段场地环境调查报告可参照参考附录 4 编制。当第二阶段风险筛选结果表明场地确实已经受到污染或存在潜在的人体健康风险时，应启动第三阶段工作。

### 3 第三阶段调查——风险评估

#### 3.1 目的和工作内容

第三阶段的目的是通过风险评估，确定场地污染带来的健康风险是否可接受，依据场地初步修复目标值划定修复范围。

主要工作内容包括：（1）场地健康风险评估；（2）确定修复目标和修复范围；（3）编制第三阶段报告。

#### 3.2 风险评估程序和方法

场地健康风险评估是在分析污染场地土壤和地下水中污染物通过不同暴露途径进入人体的基础上，定量估算致癌污染物对人体健康产生危害的概率，或非致癌污染物的危害水平与程度（危害熵）。主要内容为危害识别、暴露评估、毒性评估和 risk 表征，工作程序见图 3.1。

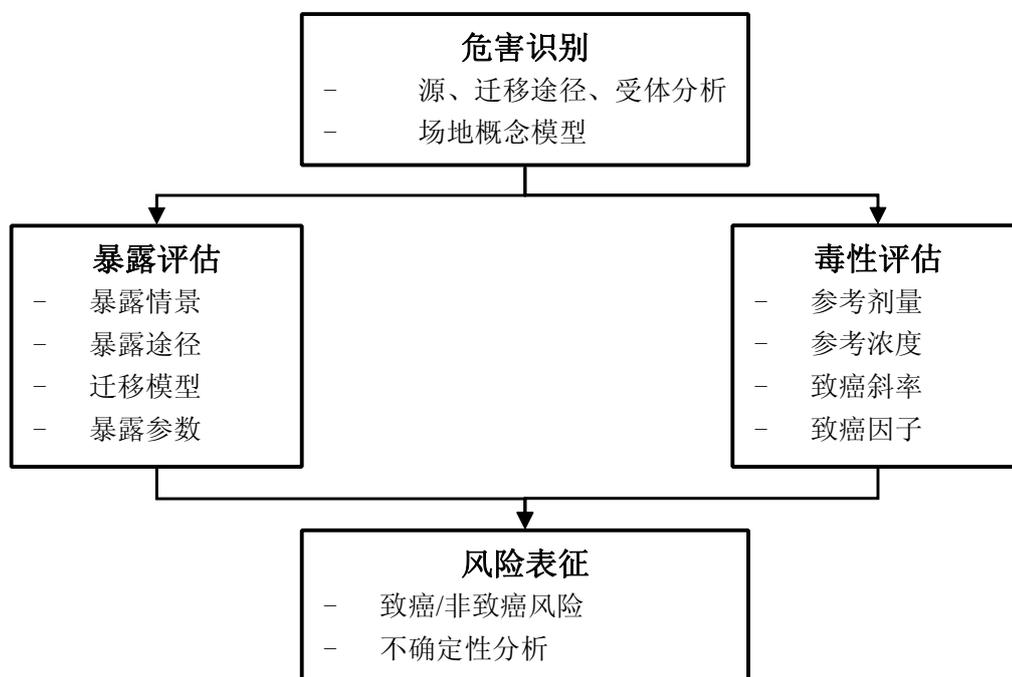


图 3.1 污染场地风险评估工作程序

### 3.2.1 危害识别

场地危害识别的主要任务是根据第一阶段和第二阶段的调查、采样和分析获取的资料，结合场地的规划用地性质，确定关注污染物及其空间分布，识别敏感受体类型，进一步完善场地概念模型，指导场地风险评价。场地危害识别的工作内容包括：

(1) 确定场地主要污染源、污染物浓度及其向环境释放的方式。场地污染物浓度计算方法见附录 3。

(2) 根据污染场地未来用地规划，分析和确定未来受污染场地影响的人群。

(3) 根据污染物及环境介质的特性，分析污染物在环境介质中的迁移和转化。

(4) 根据未来人群的活动规律和污染在环境介质中的迁移规律，分析和确定未来人群接触或摄入污染物的方式，确定暴露方式。

(5) 在污染源、污染物在环境中的迁移转化、暴露方式和受体分析的基础上，分析和建立暴露途径。

(6) 综合各种暴露途径，建立场地污染概念模型。场地概念模型需在随后的暴露评估和风险评估中进一步完善和修订。

在场地风险评估中，如果污染源和受体之间未形成完整的“源-迁移途径-受体”暴露风险链条，则认为不存在风险，风险评估将停止进行。

### 3.2.2 暴露评估

暴露评估是在危害识别的基础上，分析场地土壤和地下水中关注污染物进入并危害敏感受体的情景，确定场地土壤和地下水中的污染物对敏感人群的暴露途径，确定污染物在环境介质中的迁移模型和敏感人群的暴露模型，确定与场地污染状况、土壤性质、地下水特征、敏感人群和关注污染物性质等相关的模型参数值，计算敏感人群摄入来自土壤和地下水的污染物所对应的暴露量。暴露评估的主要工作内容包括分析暴露情景、识别暴露途径、选择迁移模型和确定暴露参数。

#### 3.2.2.1 暴露情景

暴露情景是特定土地利用方式下，场地污染物经由不同方式迁移并到达受体

的一种假设性场景描述，即关于场地污染暴露如何发生的一系列事实、推定和假设。根据场地用地规划，确定场地的未来用地情景。根据受体特征，分析受体人群与场地污染物的接触方式。可将用地情景分为敏感用地（包括住宅、文化设施、教育用地等）和非敏感用地（包括工业用地、商业用地、物流仓储用地等），由于绿地情景的暴露途径和暴露参数较为特殊，因此一般将用地情景分为居住、工商业和公园三类用地进行计算和分析。

### （1）居住情景

普通住宅、公寓、别墅等用地方式，可作为居住情景进行暴露情景分析。受体分为儿童、青少年和成人，接触方式一般包括：①直接摄入污染土壤；②经皮肤接触污染土壤而吸收污染物；③通过呼吸系统吸入污染的土壤尘；④吸入土壤及地下水中的挥发性有机污染物；⑤饮用受污染的地下水和地表水。

对于污染物的致癌效应，应考虑人群的终身暴露危害；对于污染物的非致癌效应，应以儿童为敏感受体，一般以儿童期暴露来评估污染物的非致癌危害。

### （2）工商业情景

办公楼、展览馆、交通设施等用地方式，可视为工商业情景进行暴露情景分析。受体为成人，接触方式包括：①直接摄入污染土壤；②经皮肤接触污染土壤而吸收污染物；③通过呼吸系统吸入污染的土壤尘；④吸入土壤及地下水中的挥发性有机污染物；⑤饮用受污染的地下水和地表水。

对于污染物的致癌效应和非致癌效应，一般以成人期的暴露来进行评估。

### （3）公园情景

游乐场、公园、绿地等用地方式，可视为公园情景进行暴露情景分析。公园情景下的接触方式参照居住情景进行分析，但一般不考虑室内呼吸途径的风险。

不能确定土地利用方式的场地，建议按照居住情景进行分析。另外，还需要考虑施工期建筑工人的风险影响，施工人员的接触方式包括：①直接摄入污染土壤；②经皮肤接触污染土壤而吸收污染物；③通过呼吸系统吸入污染的土壤尘；④吸入土壤及地下水中的挥发性有机污染物；⑤饮用受污染的地下水和地表水。

上面列出了不同用地情况下可能的暴露接触方式和途径，实际工作中，应根据具体情况来确定。

暴露情景分析时，可结合未来场地风险控制措施的应用（如暴露途径阻断措施等），分析不同风险控制情景下的风险水平。

#### 3.2.2.2 暴露途径

场地污染土壤的暴露途径包括：经口摄入污染土壤、皮肤直接接触污染土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外土壤挥发气体、吸入室内土壤挥发气体。场地污染地下水的途径包括：吸入室外地下水挥发气体、吸入室内地下水挥发气体、饮用地下水。

在分析污染物进入人体的暴露途径时，未考虑蔬菜摄入途径。因为本技术指南中所指场地主要为工业污染场地，通常情况下在工业场地上，一般不会种植食用植物。当确实存在这种情况时，建议采用国内外的相关标准进行判断，以确定是否存在健康危害。

场地土壤和地下水中污染物的暴露途径汇总见图 3.2。在风险评估时，应根据场地污染和未来受体具体情况进行选择和分析。

#### 3.2.2.3 迁移模型

场地污染源和暴露点不在同一位置时，应采用相关迁移模型确定暴露点污染物浓度。场地污染物迁移模型一般包括：表层土壤中污染物挥发（VF<sub>ss</sub>）、表层土壤扬尘（PEF）、深层土壤中污染物挥发至室外（VF<sub>samb</sub>）、深层土壤中污染物挥发至室内（VF<sub>sesp</sub>）、地下水中污染物挥发至室外（VF<sub>wamb</sub>）、地下水中污染物挥发至室内（VF<sub>wesp</sub>）、土壤中污染物淋溶到地下水（LF）。常用的迁移模型见《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3）。

#### 3.2.2.4 暴露参数

暴露参数包括暴露频率、暴露时间、土壤摄入量、人体相关参数等，推荐的暴露参数默认值见《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3）、《场地环境评价导则》（DB11/T 656）。

各种暴露途径涉及的土壤和水文地质参数可根据现场调查获得。作为计算场地风险筛选值时，也可采用一定区域范围内的土壤和地质水文参数。

### 3.2.3 毒性评估

污染物毒性常用污染物质对人体产生的不良效应以剂量~反应关系表示。对于非致癌物质如具有神经毒性、免疫毒性和发育毒性等物质，通常认为存在阈值现象，即低于该值就不会产生可观察到的不良效应。对于致癌和致突变物质，一般认为无阈值现象，即任意剂量的暴露均可能产生负面健康效应。

污染物毒性参数包括计算非致癌危害熵的慢性参考剂量（非挥发性有机物）和参考浓度（挥发性有机物）；计算致癌风险的致癌斜率（非挥发性有机物）和单位致癌系数（挥发性有机物）。常见的污染物毒性参数见《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3）。污染物毒性参数也可根据国际上认可的毒性数据库适时进行更新。

### 3.2.4 风险表征

#### 3.2.4.1 致癌/非致癌风险计算

风险表征是以场地危害识别、暴露评估和毒性评估的结果为依据，把风险发生概率和/或危害程度以一定的量化指标表示出来，从而确定人群暴露的危害度。主要工作内容包括：计算单一污染物某种暴露途径的致癌和非致癌危害熵、单一污染物所有暴露途径的致癌和非致癌危害熵、所有关注污染物的累积致癌和非致癌危害熵计算。风险表征计算公式见《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3）。

#### 3.2.4.2 不确定性分析

对风险评估过程的不确定性因素进行综合分析评价，称为不确定性分析。场地风险评估结果的不确定性分析，主要是对场地风险评估过程中由输入参数误差和模型本身不确定性所引起的模型模拟结果的不确定性进行定性或定量分析，包括风险贡献率分析和参数敏感性分析等。具体不确定性分析方法见《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3）。

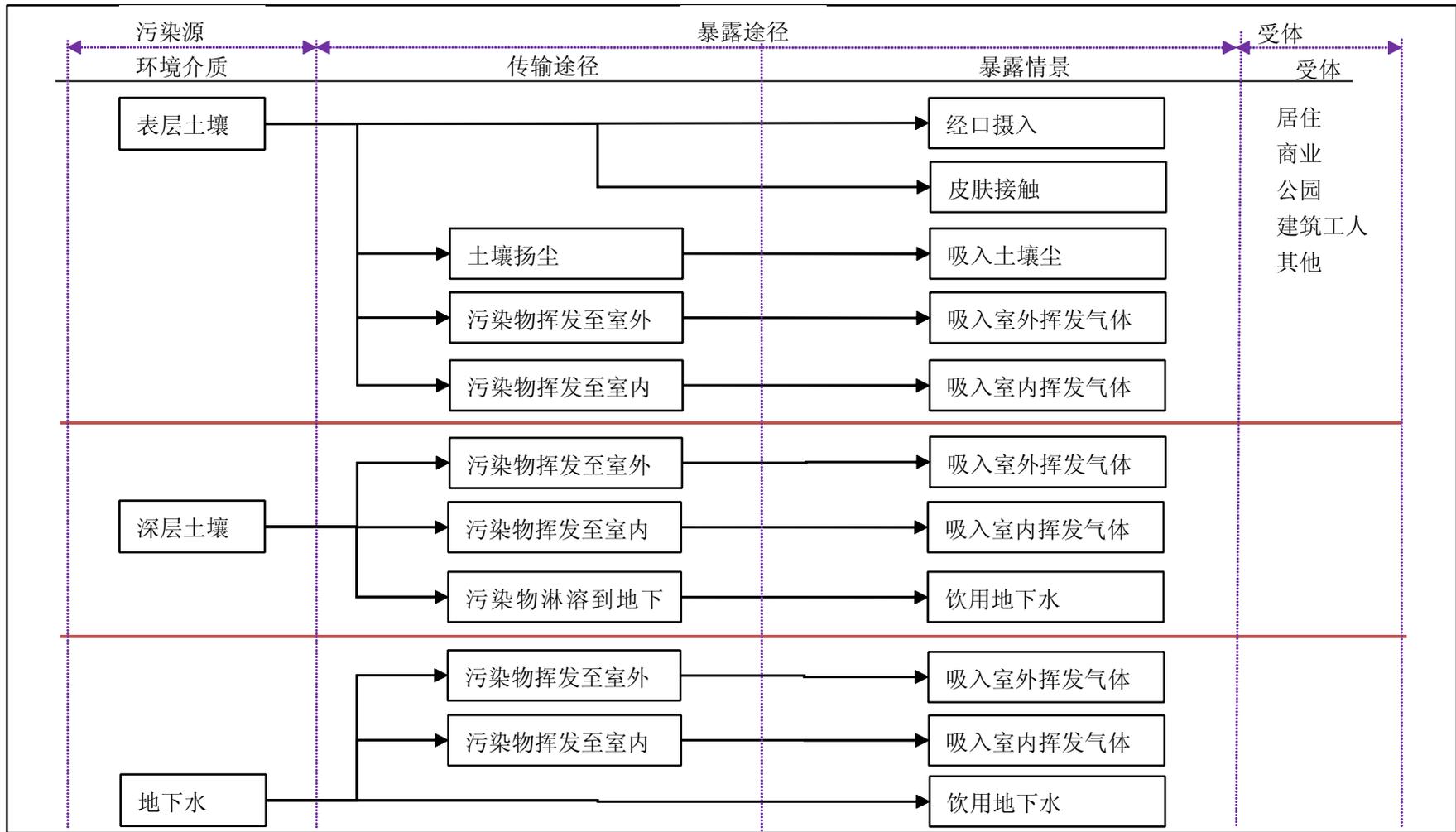


图 3.2 污染场地暴露途径汇总示意图

### 3.3 确定场地风险控制值和初步修复范围

#### 3.3.1 确定风险可接受水平

风险可接受水平是指一定条件下人们可以接受的健康风险水平。致癌风险水平以场地土壤、地下水中污染物可能引起的癌症发生概率来衡量，非致癌危害熵以场地土壤和地下水中污染物浓度超过污染容许接受浓度的倍数来衡量。

通常情况下，将单一污染物的致癌风险可接受水平设定为  $10^{-6}$ 、非致癌危害熵可接受水平设定为 1。风险可接受水平直接影响到污染场地的修复成本，在具体风险评估时，可以根据各地区社会与经济发展水平选择合适的风险水平。

#### 3.3.2 计算场地风险控制值

场地风险控制值也常称作初步修复目标值，是根据场地可接受污染水平、场地背景值或本底值、经济技术条件和修复方式（修复和工程控制）、当地社会经济发展水平等因素综合确定的、场地土壤和地下水中的污染物修复后需要达到的限值。

计算修复目标值分为计算单个暴露途径土壤和地下水中污染物致癌风险和非致癌危害熵的修复目标值，以及计算所有暴露途径土壤和地下水中污染物致癌风险和非致癌危害熵的修复目标值两种情况。当场地污染物存在多种暴露途径时，一般采用第二种方法，即先计算所有暴露途径的累积风险，再计算修复目标值。

计算单个暴露途径以及综合暴露途径风险控制值的方法可参考《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3），也可采用如下方法推导。

##### 3.3.2.1 污染物单个暴露途径风险控制值

分别根据每个污染物单个暴露途径的致癌风险和非致癌危害熵计算修复目标值。例如：

计算经口摄入途径土壤中污染物致癌风险的修复目标值采用下式计算：

$$RBSL_{ingest} = \frac{CS \times TR}{R_{ingest}} \dots\dots\dots (1)$$

计算经口摄入途径土壤中污染物非致癌危害熵的修复目标值采用下式计算：

$$HBSL_{ingest} = \frac{CS \times THQ}{HQ_{ingest}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$RBSL_{ingest}$ ——基于经口摄入途径致癌风险的土壤中污染物修复目标值，单位 mg/kg；

$HBSL_{ingest}$ ——基于经口摄入途径非致癌危害熵的土壤中污染物修复目标值，单位 mg/kg；

$CS$ ——污染物浓度，单位 mg/kg；

$TR$ ——致癌风险可接受水平；

$THQ$ ——非致癌危害熵可接受水平；

$R_{ingest}$ ——经口摄入途径污染物致癌风险；

$HQ_{ingest}$ ——经口摄入途径污染物非致癌危害熵。

其它途径的污染物修复目标值同上。

比较基于致癌风险和非致癌危害熵计算得出的修复目标值，选择较小值作为场地污染物修复目标值。

### 3.3.2.2 污染物所有暴露途径风险控制值

计算单一污染物所有途径致癌风险的污染物修复目标值，采用下式计算：

$$RBSL_n = \frac{CS \times TR}{R_i} \dots\dots\dots (3)$$

计算单一污染物所有途径非致癌危害熵的污染物修复目标值，采用下式计算：

$$HBSL_n = \frac{CS \times THQ}{HQ_i} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$RBSL_n$ ——所有途径致癌风险的污染物修复目标值，mg/kg；

$HBSL_n$ ——所有途径非致癌危害熵的污染物修复目标值，mg/kg；

$R_i$ ——所有途径污染物致癌风险；

$HQ_i$ ——所有途径污染物非致癌危害熵。

比较基于致癌风险和非致癌危害熵计算得到的修复目标值，选择较小值作为场地污染物修复目标值。

场地初步污染物修复目标值是基于风险评估模型的计算值，是确定污染场地修复目标的重要参考值。污染场地最终修复目标的确定，还应综合考虑修复后土壤的最终去向和使用方式、修复技术的选择、修复时间、修复成本以及法律法规、社会经济等因素。

### 3.3.3 确定初步修复范围

采用浓度插值等方法将第二阶段和第三阶段的采样检测分析结果绘制成等值线图，与场地修复目标值相对照，可以初步确定出修复区域。

若等值线图不能完全反映场地实际情况，可结合监测点位置、生产设施分布情况及污染物的迁移转化规律对修复范围进行修正。

修复范围应根据不同深度的污染程度分别划定。

## 3.4 第三阶段报告编制

第三阶段场地环境风险评估报告应至少包括以下内容：场地基本信息、场地污染识别与场地污染概念模型、现场采样与实验室分析、风险评估与修复目标和修复范围、需要环境无害化处理的生产设施和废物、场地环境评估的结论和建议。

第三阶段场地环境调查报告可参照参考附录 5 编制。

## 4 修复方案编制

### 4.1 目的和编制程序

#### 4.1.1 目的

污染场地修复方案编制（也称可行性研究）的目的是根据场地调查与风险评估结果，确定适合于目标场地的最佳修复技术方案，并制定配套的环境管理计划，做为目标场地的修复工程实施依据，支撑该场地相关的环境管理决策。

#### 4.1.2 编制程序

污染场地修复方案编制有选择修复策略、筛选和评估修复技术、形成修复技术备选方案与方案比选、制定环境管理计划、编制修复方案等 5 个阶段，具体程序和内容如图 4.1 所示。

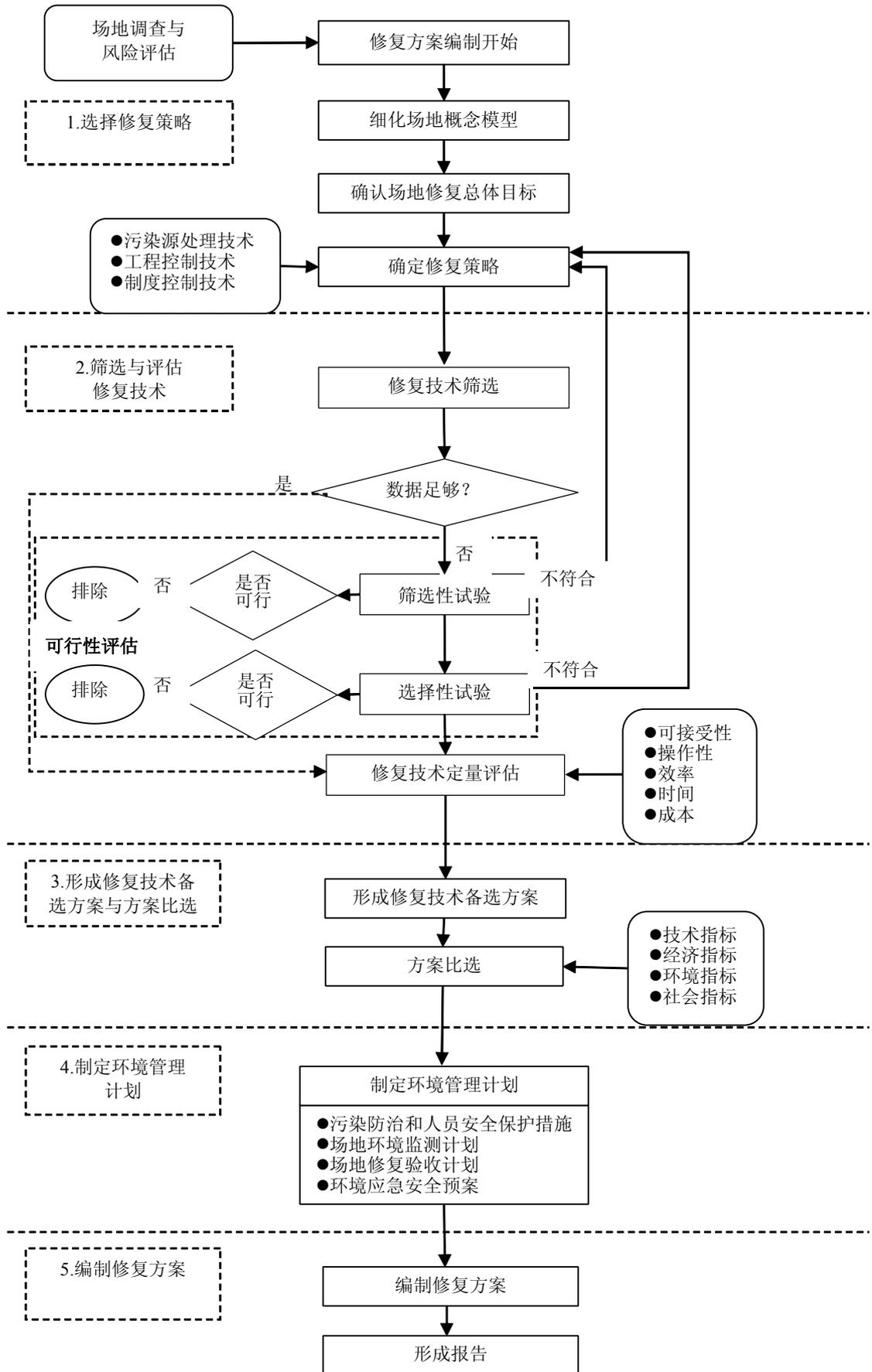


图 4.1 污染场地修复方案编制的工作程序和內容

#### 4.1.2.1 选择修复策略

根据场地调查与风险评估结果，细化场地概念模型并确认场地修复总体目标，通过初步分析修复模式、修复技术类型与应用条件、场地污染特征、水文地质条件、技术经济发展水平，确定相应修复策略。选择修复策略阶段主要包括细化场地概念模型、确认场地修复总体目标、确定修复策略 3 个过程。

#### 4.1.2.2 筛选与评估修复技术

以场地总体修复目标与修复策略为核心，调研常用的修复技术，综合考虑修复效果、可实施性及其成本等因素进行技术筛选，找出适用于目标场地的潜在可行技术，并根据需要开展相应的技术可行性试验与评估，确定目标场地的可行修复技术。筛选与评估修复技术阶段主要包括修复技术筛选、技术可行性评估、修复技术定量评估 3 个过程。其中，技术可行性评估根据试验目的和手段的不同，又分为筛选性试验和选择性试验。

#### 4.1.2.3 形成修复技术备选方案与方案比选

形成修复技术备选方案就是进一步综合考虑场地总体修复目标、修复策略、环境管理要求、污染现状、场地特征条件、水文地质条件、修复技术筛选与评估结果，对各种可行技术进行合理组合，形成若干能够实现修复总体目标、潜在可行的修复技术备选方案。方案比选则是针对形成的各潜在可行修复技术备选方案，从技术、经济、环境、社会指标等方面进行比较，确定适合于目标场地的最佳修复技术方案。形成修复技术备选方案与方案比选阶段主要包括形成修复技术备选方案和方案比选 2 个过程。

#### 4.1.2.4 制定环境管理计划

环境管理计划为目标场地的修复工程实施提供指导，防止场地修复过程的二次污染，并为场地修复过程的环境监管提供技术支持。制定环境管理计划阶段主要包括提出污染防治和人员安全保护措施、制定场地环境监测计划、制定场地修复验收计划、制定环境应急安全预案 4 个过程。

#### 4.1.2.5 编制修复方案

根据上述选择修复策略、筛选与评估修复技术、形成修复技术备选方案与方案比选、制定环境管理计划的流程，进行修复方案的编制，形成报告。

### 4.2 选择修复策略

#### 4.2.1 细化场地概念模型

修复方案编制阶段的细化场地概念模型，应进一步结合场地水文地质条件、污染物的理化参数、空间分布及其潜在运移途径、风险评估结果等因素，以文字、图、表等方式概化场地地层分布、地下水埋深、流向、描述污染物的空间分布特征、污染物的迁移过程、迁移途径、污染介质与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径以及未来建筑物结构特征等，用以指导修复策略制定、筛选合适的修复技术并提出潜在可行的修复技术备选方案。在修复方案制定的过程中，应根据所制定的修复方案，动态的更新场地概念模型，以评估不同修复方案的实施效果。

#### 4.2.2 确认场地修复总体目标

场地修复总体目标是使场地土壤和地下水质量满足某种使用功能目标。由于地下水的修复周期较长，必要时可将地下水修复总体目标划分为近期、中期和长期不同阶段的修复目标。地下水的近、中和长期目标一般可按下列方式划分：

（1）近期目标：切断和控制污染地下水的污染源，防止对地下水的进一步污染。如通过挖掘去除地下水上部存在自由相的污染土壤；通过水力控制防止地下水污染扩散等。

（2）中期目标：消除场地直接的健康风险。如通过空气注射等降低地下水挥发性有机污染物浓度，使其达到场地居住和工业使用的安全水平。

（3）长期目标：恢复地下水使用功能。如为饮用水，将地下水恢复到饮用水功能。

应明确实施各个时期目标的时间要求。考虑近期、中期、长期不同阶段的目标选择及实施的时间要求，这对修复模式的选择具有重要影响。

### 4.2.3 确定修复策略

场地修复策略是指以风险管理为核心,将污染造成的健康和生态风险控制在可接受范围内的场地总体修复思路,包括采用污染源处理技术、切断暴露途径的工程控制技术以及限制受体暴露行为的制度控制技术3种修复模式中的任意一种或其组合。

#### 4.2.3.1 确定修复策略应遵循的原则

(1) 应与场地未来的用地发展规划、开发方式、时间进度相结合。应与场地相关利益方进行充分交流和沟通,确认场地未来的用地发展规划、场地开发方式、时间进度、是否允许原位修复、修复后土壤的再利用或处置方式等。

(2) 应充分考虑场地修复过程中土壤和地下水的整体协调性,并综合考虑近期、中期和长期目标的要求,以及修复技术的可行性、成本、周期、民众可接受程度等因素。

(3) 污染场地风险评估可作为评估采取不同修复策略是否可以达到修复目标的评估工具。

(4) 应选择绿色的、可持续的修复策略,使修复行为的净环境效益最大化。

(5) 针对污染源处理技术、工程控制技术、制度控制技术中的某一修复模式,提出该修复模式下各个修复单元内各类介质的具体修复指标或工程控制指标。

#### 4.2.3.2 修复策略制定的具体过程

(1) 采用污染源处理技术时,针对各种技术类型,应根据污染介质确定目标污染物、明确具体的处理目标值和待处理的介质(土壤或地下水)范围。具体的处理技术类型有原位生物、原位物理、原位化学、异位生物、异位物理、异位化学等。

①对于污染土壤而言,处理目标值应根据风险评估结果、处理技术的特点以及土壤的最终去向或使用方式来综合确定。当采用降低土壤中目标污染物浓度的源处理技术时,处理目标值一般是将土壤中的目标污染物浓度降低到符合土壤再利用用途的风险可接受水平;当采用化学氧化等降低污染物浓度的技术时,还应

考虑可能产生的中间产物及控制指标。当采用降低土壤中目标污染物的活性和迁移性控制其风险的固化/稳定化技术时，应根据固化体最终处置地的环境保护要求，确定其浸出浓度限值。待处理介质范围描述应包括需处理的污染土壤的深度、面积与边界、土方量。

②对于污染地下水而言，需明确不同阶段的处理目标值，地下水的处理目标值与其将要达到的功能密切相关；待处理介质范围的描述应包括需处理的污染地下水的边界、深度与出水量。

(2) 采用工程控制技术时，应根据污染介质，确定目标污染物、修复范围、暴露途径，选择合适的阻止污染扩散或切断暴露途径方式，如覆盖清洁土、建立阻截工程等，从而降低和消除场地污染物对人体健康和环境的风险。从修复成本、修复周期等因素考虑，工程控制技术可为一种合理有效的选择。由于工程控制并不彻底去除场地中的污染物，因此工程控制往往需要和制度控制相结合，如定期监测和评估制度等。工程控制技术可以与污染源处理技术联合起来使用，降低修复成本，或用于场地修复过程中的二次污染防治。

(3) 采用制度控制技术时，应通过制定和实施各项条例、准则、规章或制度，减少或阻止人群对场地污染物的暴露，从制度上杜绝和防范场地污染可能带来的风险和危害，从而达到利用行政管理手段对污染场地的潜在风险进行管理与控制的目的。制度控制技术常与工程控制技术或与污染源处理技术联合采用。

## 4.3 筛选与评估修复技术

### 4.3.1 修复技术筛选

针对确认的污染物类型和污染物特性，根据上一阶段确定的修复策略，依据修复技术类型（污染源处理技术范畴的原位生物、原位物理、原位化学、异位生物、异位物理、异位化学、工程控制技术等）和具体技术工艺（例如异位生物技术类型按工艺又可细分为异位生物堆技术、异位堆肥法技术、异位泥浆态生物处理技术等），利用文献调研、应用案例分析或相关筛选工具（附录4），从技术的修复效果、可实施性以及管理部门的接受性、成本等角度进行考虑，筛选出潜在

可行的修复技术。

#### 4.3.2 修复技术可行性试验

修复技术可行性试验是确定各潜在可行技术是否适用于特定的目标场地。当效率、时间、成本等数据量充足，例如，大量研究和案例证明该技术对某种污染物处理有效，如热脱附处理多环芳烃污染土壤，或要研究的特定目标场地与已有案例的场地特征条件、水文地质条件、目标污染物完全相符且能够证明或确定技术可行时，可跳过可行性试验过程直接进入修复技术综合评估阶段；当数据量不够证明各潜在可行技术能够用于特定的目标场地或缺少前期基础、文献或应用案例时，则首先需要开展可行性试验。修复技术可行性试验分为筛选性试验和选择性试验，具体流程见图 4.2。

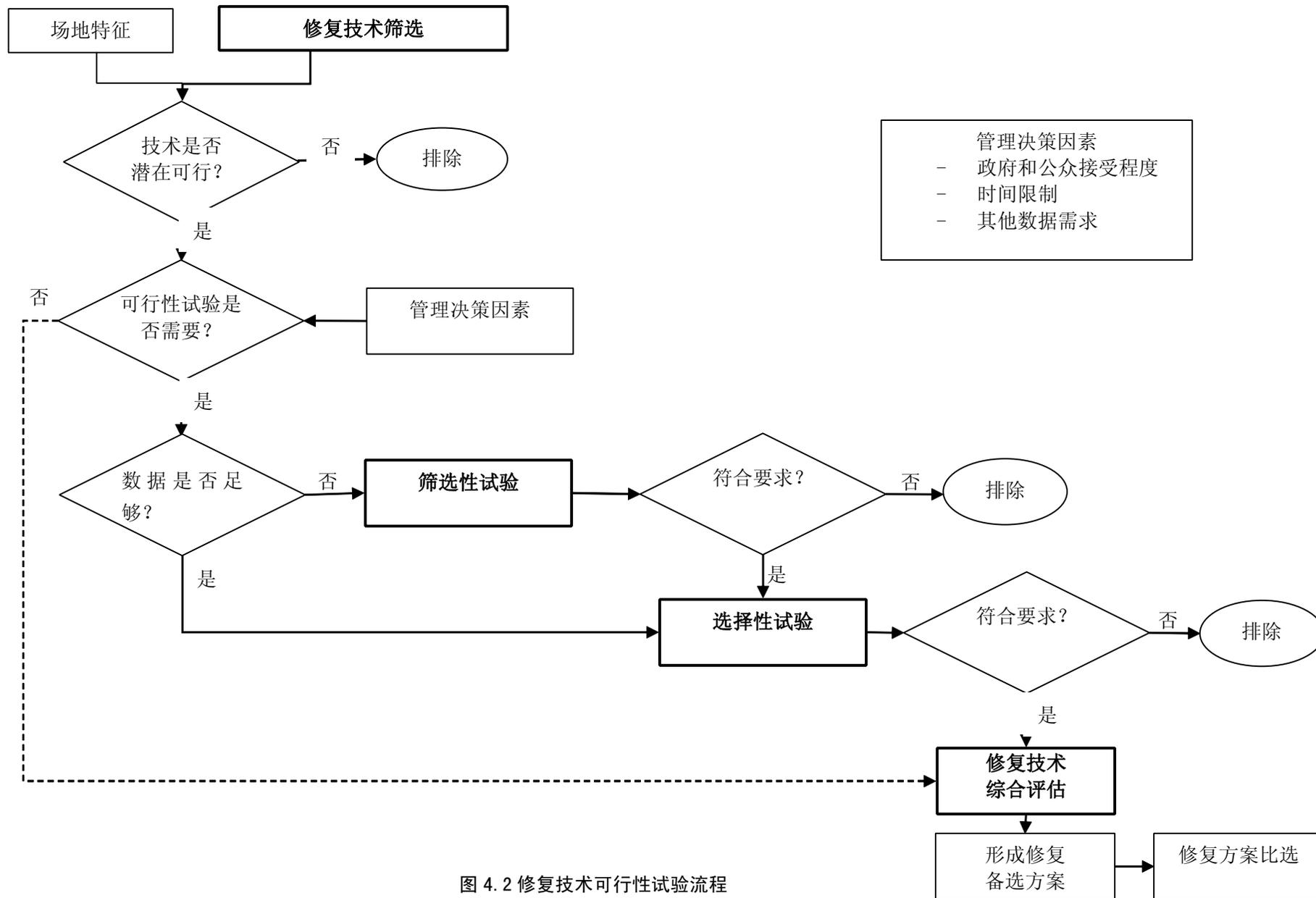


图 4.2 修复技术可行性试验流程

#### 4.3.2.1 筛选性试验

筛选性试验的目的是通过实验室小试规模的试验，判断技术是否适用于特定目标场地，即评估技术是否有效，能否达到修复目标。

筛选性试验中的试验规模与类型、数据需求、试验结果的重现性、试验周期等具体技术要求如下：

(1) 试验规模与类型：筛选性试验通常采集实际场地的污染介质，利用实验室常规的仪器设备开展实验室规模的批次试验。

(2) 数据需求：可用定性数据来评估技术对于污染物处理能力。筛选性测试的数据若能达到修复目标的要求，则认为该技术是潜在可行的，进一步开展选择性试验过程。

(3) 试验结果的重现性：试验至少需要重复 1 次或 2 次。试验过程需有质量保证和质量控制措施。

(4) 试验周期：所需的试验周期主要取决于该技术的类型和需考察的参数数量。

通过筛选性试验能够获得的设计方面参数很少，因此不能作为修复技术选择的唯一依据。如果所有进行筛选性试验的技术均难以达到试验目标（均不符合目标），应考虑回到制定修复策略阶段对其进行适当调整。

对于经过大量应用案例证明可以处理某种污染物的技术，可跳过筛选性试验。本指南附录 5 列出了推荐的“场地修复常用技术”。当目标场地的污染物、污染介质特性与附录 5 所列出的某项技术相符时，该技术可跳过筛选性试验。

#### 4.3.2.2 选择性试验

选择性试验的目的是对筛选性试验结果所得出的潜在可行技术开展进一步试验，确定工艺参数、成本、周期等。通过选择性试验的技术，可进入修复技术综合评估过程。

选择性试验中的试验规模与类型、数据需求、试验结果的重现性、试验周期等具体技术要求如下：

(1) 试验规模与类型：选择性试验在实验室或现场完成，可以是小试或中试。小试应采集实际场地的污染介质，采用不同的工艺组合来试验效果，从而确定最佳工艺参数，并以此估算成本和周期等；中试应根据修复模式、修复技术类型的特点，在现场选择具有代表性的区域进行试验，来验证修复技术的实际效果，以确定合理的工艺参数、成本和周期。选择具有代表性的区域时应尽量兼顾不同区域、不同浓度、不同介质类型。中试所利用的设备通常是基于现场实际应用而按比例加工制造的。

(2) 数据需求：需用定量数据，以确定技术能否满足操作单元的修复目标以及确定操作工艺参数、成本、周期。

(3) 试验结果的重现性：至少需要重复 2 次或 3 次。试验过程需有严格的质量保证和质量控制。

(4) 试验周期：选择性试验所需的试验周期估算主要取决于该技术的类型、污染物的监测种类以及质量保证和质量控制所需达到的水平。

当选择性试验过程难于选择出合适技术时（均不符合要求），应考虑回到制定修复策略阶段对其进行适当调整。

筛选性试验和选择性试验在试验规模和类型、数据需求、试验结果的重现性、试验周期估算方面的比较如表 4.1 所示。

表 4.1 技术筛选性试验与选择性试验比较

过程	试验规模和类型	数据需求	试验结果重现性	试验周期
筛选性试验	小试，实验室批次试验	定性	至少 1 次或 2 次	数天
选择性试验	小试或中试，实验室或现场的批次或连续试验	定量	至少 2 次或 3 次	数天、数周至数月

### 4.3.3 修复技术可行评估

对通过选择性试验的修复技术，可进一步采用列举法定性描述各技术的原理、适用性、限制性、成本等方面来综合评估，或利用修复技术评估工具表（附录 6）以可接受性、操作性、效率、时间、成本为指标来定量评估得到目标场地实际工程切实可行的修复技术。

表 4.2 列举了筛选与评估修复技术阶段各个过程在方法和目的之间的差异比较。

表 4.2 筛选与评估修复技术阶段各个过程的差异比较

过程	方法	目的
修复技术筛选	文献、应用案例分析	从修复技术的修复效果、可实施性、成本等角度，对潜在可行的修复技术进行定性比较。
筛选性试验	小试	判断技术是否适用于特定目标场地，即评估技术是否有效，能否达到修复目标。
选择性试验	小试或中试	对筛选性试验结果所得出的潜在可行技术开展进一步试验，确定工艺参数、成本、周期等。
技术综合评估	多准则评估方法	列举各技术的原理、适用性、限制性、成本等方面来综合评估，或以可接受性、操作性、效率、时间、成本为指标，定量评估得到目标场地实际工程切实可行的修复技术。

附录 7 列举了生物修复技术可行性试验具体案例，其他技术的可行性试验可参照案例进行。

## 4.4 形成修复技术备选方案与方案比选

### 4.4.1 形成修复技术备选方案

修复技术备选方案形成时，需进一步综合考虑场地总体修复目标、修复策略、环境管理要求、污染现状、场地特征条件、水文地质条件、修复技术筛选与评估结果，对各种可行技术进行合理组合，进而形成若干能够实现修复总体目标、潜在可行的修复技术备选方案。流程示意图见附录 8。

修复技术备选方案需包括详细的修复目标/指标、修复技术方案设计、总费用估算、周期估算等内容。其中：

(1) 详细的修复目标/指标需根据不同的污染介质，按未来使用功能的差异，分区域、分层次制定。

(2) 修复技术方案设计包括制定修复技术方案的技术路线、确定各修复技术的应用规模、确定涵盖工艺流程与相关工艺参数和周期成本在内的具体的土壤修复技术方案和地下水修复技术方案。修复技术方案的总体技术路线应反映污染场地修复总体思路和修复模式、修复工艺流程；各修复技术的应用规模应涵盖污染土壤需要修复的面积、深度、土方量，污染地下水需修复的面积、深度、出水量，同时应考虑修复过程中开挖、围堵等工程辅助措施的工程量；工艺参数应包括设

备处理能力、或每批次处理所需时间、处理条件、能耗、设备占地面积或作业区面积等。

(3) 总费用估算包括直接费用和间接费用，其中直接费用包括所选择的各种修复技术的修复工程主体设备、场地准备、污染场地土壤和地下水处理等费用总和；间接费用包括修复工程环境监理、二次污染监测、修复验收、人员安全防护费用，以及不可预见费用等。

(4) 周期估算包括各种技术的修复工期及所需的其他时间估算。

需要说明的是，大型污染场地修复技术方案中的可行技术一般不止一种，可能是多种技术的组合。修复技术方案可以是多个可行技术的“串联”，也可以是多个可行技术的“并行”；可行技术的“串联”中，每个可行技术的应用具有先后顺序，而可行技术的“并行”则没有先后顺序，可行技术可以同时污染场地上开展修复工程。可行技术的组合集成有多种方式，相应的可形成多个修复技术备选方案。

#### 4.4.2 方案比选

方案比选的主要作用是选择经济效益、社会效益、环境效益综合表现最佳的技术方案，作为场地最终推荐的修复技术方案，为环境管理决策提供依据。

##### 4.4.2.1 建立修复方案比选指标体系

方案的比选需要建立比选指标体系，必须充分考虑技术、经济、环境、社会等层面的诸多因素。

##### (1) 技术指标

可操作性：修复技术的可靠性；管理人员经验的丰富程度；必要的设备和资源的可获得性；异位修复过程中污染介质的贮存、运输、安全处置方面的可操作性；以及与场地再利用方式或后续建设工程匹配性相关的可操作性指标，包括修复后场地的建设方案及其时间要求、土方平衡方面的可操作性等。

污染物去除效率：目标污染物的有效去除数量。

修复时间：达到修复目标/指标所需要的时间。

##### (2) 经济指标

基本建设费用：包括直接费用和间接费用。其中直接费用包括原材料、设备、设施费用等；间接费用包括工程设计、许可、启动、意外事故费用等间接投资。

运行费用：人工工资、培训、防护等费用；水电费；采样、检测费用；剩余物处置费用；维修和应急等费用；以及保险、税务、执照等费用。

后期费用：日常管理、周期性监测等后期费用。

### (3) 环境指标

残余风险：剩余污染物或二次产物的类型、数量、特征、风险，以及风险处理处置的难度和不确定性。

长期效果：修复工程达到修复目标后的污染物毒性、迁移性或数量的减少程度；预期环境影响（占地、气味、外观等）是否达到了长期保护环境健康的目标；是否存在潜在的其他污染问题；需要修复后长期管理的类型和程度；长期操作和维护可能面临的困难；技术更新的潜在需要性。

健康影响：修复期间和修复工程达到修复目标后需要应对的健康风险（如异位修复期间的清挖工程中污染物可能对工作人员的健康造成危害）以及减少风险的措施。

### (4) 社会指标

管理可接受程度：区域适宜性；与现行法律法规、相关标准和规范的符合性；需要与政府部门配合的必要性（如异位修复）。

公众可接受程度：施工期对周围居民可能造成的影响（气味、噪声等）。

#### 4.4.2.2 比选确定修复技术方案

利用所建立的比选指标体系，对各潜在可行修复技术方案进行详细分析，对于修复技术方案的最终选择，可以采用 2 种方式：

一是利用详细分析结果，通过不同指标的对比、综合判断后，选择更为合适的修复技术方案作为场地修复技术方案；

二是利用专家评分的方式，选择得分最高的方案作为场地修复技术方案。

专家评分方式必须首先建立各指标权重，由专家对各修复技术方案分别进行评分，根据专家评分值，以及部分定量数据（如已经获取的方案费用等数据），进行标准化处理，加权求和，得出每个潜在可行修复技术方案的分值（本指南已

通过专家打分方式得到的参考权重分配见附录 9)。分值越高，表示该修复技术方案越可行。根据上述程序，最终确定针对该目标污染场地修复的一种修复技术或多种技术的组合方案。

## 4.5 制定环境管理计划

### 4.5.1 提出修复过程中的污染防治和人员安全保护措施

在场地修复过程中，要严格避免有毒有害气体、废水、噪声、废渣对周围环境和人员造成危害和二次污染，提出修复过程中的污染防治和人员安全保护措施，编制场地安全与健康保障计划。污染防治措施要包括土壤污染防治、大气污染防治、废水污染防治和噪声污染防治措施；人员安全保护措施要包括一般的安全防护要求和接触环境污染物的防护措施，还应坚持预防为主、防治结合，控制和消除危险源，积极为从业者创造良好的工作环境和条件，使施工人员获得职业卫生保护。

### 4.5.2 制定场地环境监测计划

场地环境监测计划应根据修复方案，结合场地污染特征和场地所处环境条件，有针对性制定。制定场地环境监测计划前首先必须明确污染场地内部或外围的环境敏感目标，对环境敏感目标，要重点关注修复工程对其可能的影响。场地环境监测计划需明确监测的目的和类型、采样点布设、监测项目和标准、监测进度安排。场地环境监测计划包括修复工程环境监测计划、二次污染监测计划。

#### 4.5.2.1 修复工程环境监测计划

应重点关注修复区域的污染源情况，污染土壤、污染地下水修复处理后的效果，以及修复工程对环境敏感目标可能的影响。

#### 4.5.2.2 二次污染监测计划

应重点关注修复区域土壤挖掘清理、运输过程、临时堆放、土壤处理过程中产生的废水、废气和固体废弃物，处理后土壤去向等方面可能发生的环境污染问题，以及环境敏感目标可能的二次污染问题。

### 4.5.3 制定场地修复验收计划

修复验收计划一方面要关注目标污染物修复效果，同时也要关注政府主管部门和利益相关方公众所关心的其他环境问题。修复验收计划包括验收的程序、时段、范围、验收项目和标准、采样点布设、验收费用估算等，必要时应包括场地修复后长期监测井的设置、长期监测及维护等后期管理计划。

### 4.5.4 制定环境应急安全预案

为确保场地修复过程中施工人员与周边居民的安全，应制定周密的场地修复工程环境应急安全预案，以保证迅速、有序、有效地开展环境应急救援行动、降低环境污染事故损失。在危险分析和应急能力评估结果的基础上，针对危险目标可能发生的环境污染事故类型和影响范围，对应急机构职责、人员、技术、装备、设施（备）、物资、救援行动及其指挥与协调等方面预先做出具体安排。

## 4.6 编制修复方案

### 4.6.1 总体要求

污染场地修复方案报告必须全面准确地反映出场地土壤和地下水修复方案编制（可行性研究）全过程的所有工作内容。报告中的文字须简洁、准确，并尽量采用图、表和照片等形式表示出各种关键技术信息，以利于施工方制定污染场地修复工程的施工方案。

### 4.6.2 方案主要内容

修复方案原则上应包括场地问题识别、场地修复技术筛选与评估、修复备选方案与方案比选、场地修复方案设计、环境管理计划制定、成本效益分析等几部分，编制大纲可见参考附录 6。污染场地修复方案报告须根据污染场地所在地的区域环境特征、当地环境保护要求和该污染场地修复工程的实际特点。污染场地修复方案报告可酌情选择参考附录 6 部分内容编制。

## 5 修复实施与环境监理

### 5.1 修复实施

修复实施包括编制修复施工方案、施工现场准备和现场施工三个环节。

#### 5.1.1 修复施工方案

修复施工方案包括：工程管理目标，项目组织机构，污染土壤分布范围、主要工程量及施工分区，总体施工顺序，施工机械和试验检测仪器配置，劳动力需求计划，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，各修复技术方案中所需的设备型号、设备安装和调试过程等。

修复施工方案应根据施工现场条件和具体施工工艺，更新和细化场地环境管理计划，包括二次污染防治措施及环境事故应急预案、环境监测计划、安全文明施工及个人健康与安全保护等内容。

施工方案应明确施工进度、施工管理保障体系等内容。

#### 5.1.2 施工现场准备

为保证整个工程的顺利进行，治理施工开始前需要进行一系列准备工作，包括：（1）成立施工管理组织机构；（2）清理施工场地内杂物，并进行施工场地平整；（3）根据施工现场平面布置图进行测量放线；（4）材料机械准备，包括大型器械、修复设备、工程防护用具、个人安全防护用具和应急用具等；（5）处理场地防渗，应根据施工方案和环境管理要求，对处理场地等易受二次污染区域进行防渗和导排的设置；（6）水电准备，施工用电用水的接入，水管路及用水设施、用电线路及设置应符合国家的相关规定；（7）防火准备，应健全消防组织机构，配备足够消防器材，并派专人值班检查，加强消防知识的宣传和对现场易燃易爆物品的管理，消除一切可能造成火灾、爆炸事故的根源，严格控制火源、易燃、易爆和助燃物，生活区及工地重要电器设施周围，设置接地或避雷装置，防止雷击起火造成安全事故；（8）入场前，应对相关施工人员开展施工安全和环境保护培训。

### 5.1.3 现场施工

施工方在污染土壤修复过程中，需严格按照业主和当地环保部门对该项目的管理要求，建立健全污染土壤修复工程质量监控体系，明确各级质量管理职责，通过增加技术保障措施、加强设备的运行管理、人员配置和污染土壤进出场管理等措施，确保该工程的污染土壤修复质量达到标准。施工过程中如发现修复效果不能达到修复要求，应及时分析原因，并采取相应补救措施。如需进行修复技术路线和工艺调整，应报环保主管部门重新论证和审核。

在确保污染防治措施实施的基础上，施工过程中应加强与当地环保部门和周边居民的沟通，做好宣传解释，确保周边居民的利益不受影响。修复过程中产生严重环境污染问题时，施工单位应根据环保部门、业主和监理单位的要求进行纠正和整改，保证修复过程不对周边居民和环境产生影响。

## 5.2 环境监理和工程监理

### 5.2.1 工作目的

工程监理是受项目法人的委托，依据国家批准的工程项目建设文件、有关工程建设的法律、法规和工程建设监理合同及其它工程建设合同，对工程建设实施监督管理，控制工程建设的投资、建设工期和工程质量，以实现项目的经济和社会效益。

环境监理是受污染场地责任主体委托，依据有关环境保护法律法规、场地环境调查评估备案文件、场地修复方案备案文件、环境监理合同等，对场地修复过程实施专业化的环境保护咨询和技术服务，协助和指导建设单位全面落实场地修复过程中的各项环保措施，以实现修复过程中对环境最低程度的破坏、最大限度的保护。

### 5.2.2 工作对象

工程监理的对象主要是修复工程本身及与工程质量、进度、投资等相关的事项。环境监理的对象主要是工程中的环境保护措施、风险防范措施以及受工程影响的外部环境保护等相关的事项。

### 5.2.3 工作内容

工程监理工作内容包括“三控制、二管理、一协调”，即质量、进度、投资控制；合同管理和信息收集、分类、处理、反馈的管理；对业主、修复施工单位等各方之间的协调组织。

环境监理工作内容是监督修复工程是否满足环境保护的要求等，协调好工程与环境保护、以及业主与各方的关系。主要内容见 5.4。

### 5.2.4 工作模式

工程监理和环境监理一般包括三种工作模式：

模式 1：包容式监理模式。工程监理完全负责环境监理，其优点是充分利用工程监理体制，环保工作与质量进度费用直接挂钩，执行力强；缺点是业务人员环保知识不足、针对性不强。

模式 2：独立式监理模式。环境监理与工程监理相互独立，呈并列关系。其优点是环保知识专业化、与环保主管部门协调能力强、环保要求把握准确；缺点是环境监理人员对工程实施相关知识情况了解不足、对施工单位的约束和指导、执行力不足。

模式 3：组合式环境监理。监理单位内设置环保监理部门，由环保人员担任监理工作。其优点是利于资源共享，实时跟进、较好发挥专业性；缺点是受制于工程监理，独立性难以得到保证。

由于修复工程属于环保工程，对实施监理工作人员的环境保护知识要求较高，所以无论采取哪种工作模式，都应以实现环境监理的内容为主导，以保证修复工程按实施方案展开。

## 5.3 环境监理工作程序

污染场地修复环境监理工作主要分为三个阶段：修复工程设计阶段、修复工程施工准备阶段和修复工程施工阶段。具体工作程序见图 5.1。

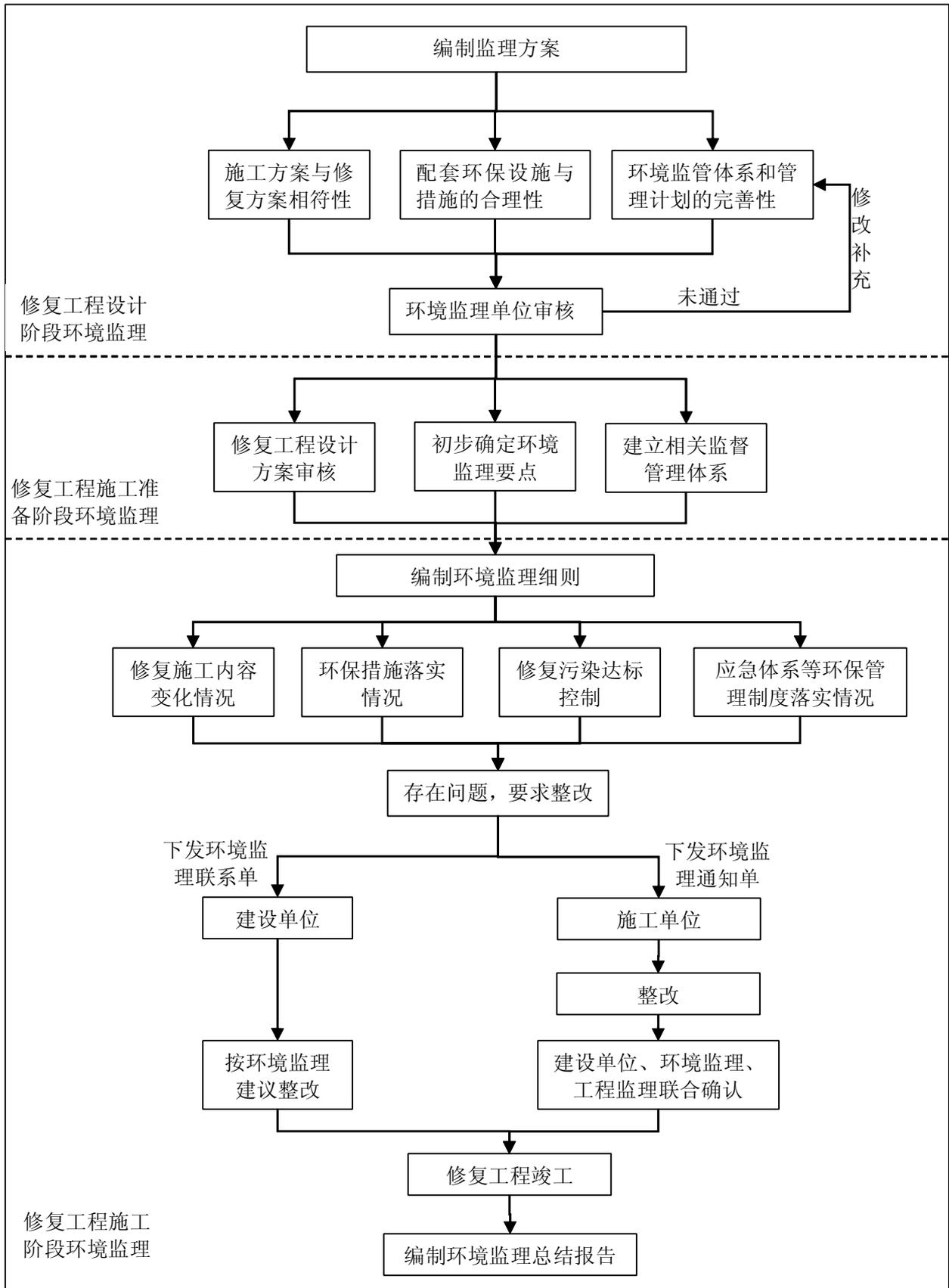


图5.1污染场地修复环境监督工作程序

## 5.4 环境监理工作内容

### 5.4.1 修复工程设计阶段

设计阶段环境监理内容包括：收集场地调查评估、场地污染修复方案、修复工程施工设计、施工组织方案等基础资料，对修复工程中的环保措施和环保设施设计文件进行审核，关注修复工程的施工位置和异位修复外运土壤去向，审核修复过程中水、大气、噪声、固体废物等二次污染处理措施的全面性和处理设施的合理性，必要的后期管理措施的考虑。

### 5.4.2 修复工程施工准备阶段

施工准备阶段环境监理内容包括：了解具体施工程序及各阶段的环境保护目标，参与修复工程设计方案的技术审核，确定环境监理工作重点，协助业主监理完善的环保责任体系，建立有效的沟通方式等，并编制场地修复环境监理细则。

### 5.4.3 修复工程施工阶段

修复工程施工阶段环境监理内容包括：

核实修复工程是否与修复实施方案符合，环保设施是否落实，是否建立事故应急体系和环境管理制度；监督环境保护工程和措施，监督环保工程进度；检查和监测施工过程中产生的水、气、声、渣排放，施工影响区域应达到规定的环境质量标准；对场内运输污染土壤、污水车辆的密闭性、运输过程进行环境监理；对场内修复工程相关措施（如止水帷幕与施工降水措施等）、抽提装置和废水处理进行监督管理；施工过程中基坑开挖和支护等是否按有关建筑施工要求进行；对异位处置过程，包括储存库及处理现场地面防渗措施的落实和监控；检查污染土储存场地、处置设施的尾气排放设施和监测设施是否完备，确认各项条件是否符合环境要求；检查必要的后期管理长期监测井设置；根据施工环境影响情况，组织环境监测，行使环境监理监督权；向施工单位发出环境监理工作指示，并检查环境监理指令的执行情况；协助建设单位处理环境突发事故及环境重大隐患；编写环境监理月报、半年报、年报和专项报告。

修复工程施工阶段具体工作程序如图 5.2。

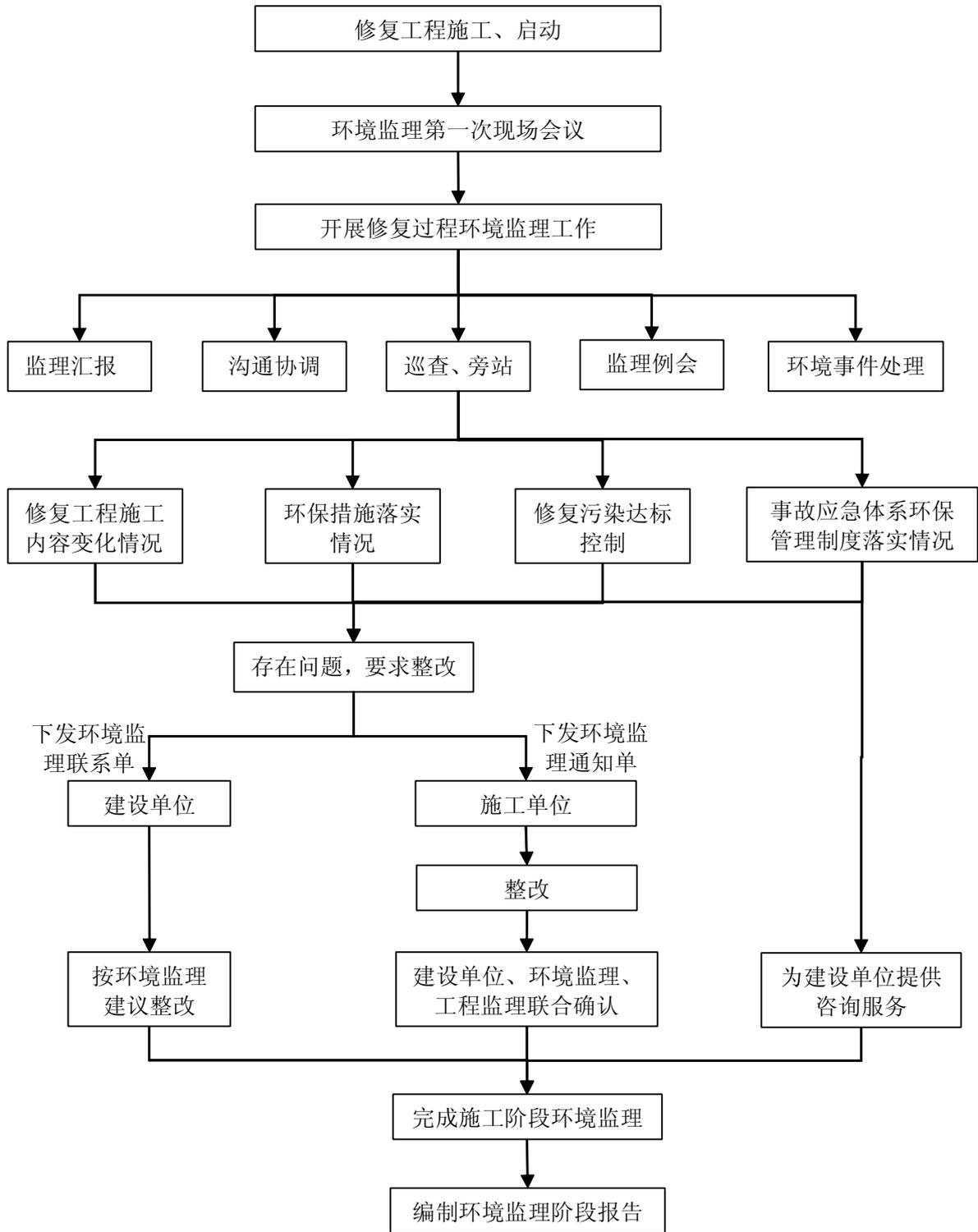


图 5.2 污染场地修复工程施工阶段环境监理工作程序

## 5.5 环境监理要点

### 5.5.1 修复工程主体环境监理要点

#### 5.5.1.1 土壤异位修复工程

对于土壤异位修复工程，可以分为清挖环节、修复环节、回填/外运环节环境监理，具体如下：

##### (1) 清挖环节

可在污染区域边界、侧壁、坑底采样，根据检测数据确定清挖是否达到边界，以避免修复验收阶段发现问题后再次返工，监测点布置可参照异位修复验收技术要求布点；严格控制开挖过程中有机物气味扩散，采取喷洒气味抑制剂等措施避免污染土壤对周边环境产生影响，并在清挖区域周边设置大气监测点进行监测；监督污染土壤外运过程中的封闭措施，避免遗撒等情况产生；监督清挖后土壤堆放地面的防渗情况，对于具有异味的有机物污染物，应检查存储设施密闭情况，并在存储设施周边进行布点监测，监测布点方式具体见《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2)。

##### (2) 修复环节

重金属污染土壤修复：监督场地地面防渗设施和措施；监督修复工程是否按照实施方案技术参数实施；对修复后土壤进行采样，初步确定修复效果，监督修复后土壤的堆存以备验收，可根据修复工程批次处理量进行采样检测；修复过程中对添加的药剂等可能的二次污染进行监督和管理。

有机污染与复合污染土壤修复：包括上述重金属土壤修复监理要点，并需要对处理设施密闭情况、尾气收集处理情况等进行监理，在修复工程周边及场界设置大气环境监测点，周边环境影响监测布点方式具体见《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2)。

##### (3) 回填/外运环节

对修复后土壤的回填过程进行监督管理，监督回填土壤是否根据土地利用规划合理回填；监督固化稳定化技术处理土壤的基坑防渗和地表阻隔措施是否完善。

### 5.5.1.2 土壤原位修复工程

须对修复区域边界进行严格监督管理，并在周边区域设置采样点，避免修复工程对周边土壤和地下水产生影响。

### 5.5.1.3 地下水修复工程

对于地下水修复工程或在长期风险控制过程中，应对污染源修复效果或地下水中污染物衰减效果进行定期监测，并且针对不同的修复措施应采取不同的监督措施。例如若进行地下水抽出处理，需要在外排之前进行采样检测，以确保符合相关排放标准要求；若进行空气注射等原位修复措施，需要对空气注射周边及下游地下水监测井、土壤气监测设施等进行采样监测，避免修复工程对周边土壤和地下水造成二次污染。

## 5.5.2 修复工程环境影响监测

### 5.5.2.1 总体要求

需要针对场地土壤中挥发性及半挥发性有机污染物可能带来的环境影响进行有效监控，监测和评价施工过程中污染物的排放是否达到有关规定。

在治理修复过程中，若向水体和大气中排放污染物，应进行布点监测。监测点位应按照修复工程技术设计的要求布设。例如热脱附、土壤气提、化学氧化、生物通风、自然生物降解法等应在废气排放口布点；热脱附、淋洗法等应在废水排放口布点。

### 5.5.2.2 大气环境监测

大气环境监测内容一般包括污染土壤清挖、修复区修复施工过程中污染物无组织排放空气样品的采集、分析及质量评价，污染土壤修复设施（车间）污染物排放尾气样品的采集、分析及污染物排放评价。一般根据场区污染土壤修复作业功能区域规划及修复作业进度，依照《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T 55）中相关规定，分别在场区边界及环境敏感点设置大气监测点。

无组织排放大气污染物的采集根据《大气污染物综合排放标准》（GB 16297）执行，采用连续监测 1 小时采集 1 个样品的的方法。尾气排放大气污染物的采集参照《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》（GB/T 16157）执行。

采样频次参照《环境监理工作制度（试行）》（环监[1996]888号）中第3条款现场环境监理规定“对重点污染源及其污染防治设施的现场监理每月不少于1次；对建设项目、限期治理项目现场监理每月不少于1次”，污染场地修复现场监测频次按每月1次执行。

#### 5.5.2.3 水污染排放监测

对修复工程施工和运行期产生的工业废水和生活污水的来源、排放量、水质指标及处理设施的建设过程、沉淀池的定期清理和处理效果等进行检查、监督，并根据水质监测结果，检查工业废水和生活污水是否达到了排放标准要求。具体监测方法和标准参考地表水和污水监测技术规范(HJ/T 91)，排放标准参考污水综合排放标准（GB 8978）。

#### 5.5.2.4 噪声污染源监测

噪声污染源环境监理主要监督检查工程施工和修复过程中的主要噪声源的名称、数量、运行状况；检查修复工程影响区域内声环境敏感目标的功能、规模、与工程的相对位置关系及受影响的人数；检查项目采取的降噪措施和实际降噪效果，并附图表或照片加以说明。噪声监测方法与评价标准参考《建筑施工场界噪声测量方法》（GB 12524）和《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523）。

#### 5.5.2.5 固体废物污染源监测

固体废物污染源环境监理应调查固体废物利用或处置相关政策、规定和要求；核查工程产生的固体废物的种类、属性、主要来源及产生量；调查固体废物的处置方式。对固体废物的利用或处置是否符合实施方案的要求进行核查，对不符合环保要求的行为进行现场处理并要求限期整改，使施工区达到环境安全和现场清洁整齐的要求。施工阶段垃圾应由各施工单位负责处理，不得随意抛弃或填埋，保证工程所在现场清洁整齐，对环境无污染。固体废物排放参考《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB 18599）和《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597）。

### 5.6 环境监理工作方法

环境监理的工作方法主要包括核查、监督、报告、咨询、宣传培训等。

### 5.6.1 核查

在修复工程实施之前，修复方案中的修复技术、修复地点、相关环保措施等内容可能会出现调整变化。环境监理应根据相关法规仔细审核修复方案与相关文件的符合性，对调整的内容及其可能产生的环境影响进行初步判断，并及时反馈业主，建议业主完善相关环保手续或要求修复单位对修复方案进行补充完善。

修复方案实施过程中，环境监理应审查各承包商报送的分项施工组织设计、施工工艺等涉及环境保护的内容，做好对施工方案的审核，在环境监理审核通过后方可进行相关施工工序。若因其他原因调整修复方案，环境监理应通过资料核对和现场调查的方式，全程持续调查修复项目实际的工程内容、污染防治措施等是否按照设计文件施工。

重点核查以下内容：核查修复工程与修复技术方案的变化情况，如发生重大变化，应尽快督促业主履行相关手续。重点关注修复工程与相关敏感区位置关系的变化、施工方案的变化可能带来的对环境敏感区影响的变化。重点关注针对环境敏感区采取的环保措施等是否落实到修复方案及实施过程中。

### 5.6.2 巡视

修复环境监理单位在及时与修复工程实施单位沟通的前提下，按照一定频次对项目现场开展巡视检查，掌握修复工程实际情况和进度，对修复工程方案符合性、环保达标等方面现场查找问题、提出建议，并做好现场巡视记录。

### 5.6.3 旁站

在关键工程开始前到场旁站，重点检查要求的污染防治措施和生态保护措施是否落实到位、环保设备是否按照设计要求进行施工及安装等，在关键工序和环保设备安装结束后方可离开，离开前应检查评估施工可能造成的污染是否控制在既定目标内。在旁站过程中，环境监理单位应做好定时记录，并将评估结果整理上报建设单位。

### 5.6.4 跟踪检查

在巡视和旁站过程中发现的问题，以环境监理联系单建议修复工程实施单位进行整改，在相关环保问题的整改完成后，环境监理应对相应问题的整改情况进行跟踪检查。

### 5.6.5 环境监测

为掌握修复工程实施情况及日常施工造成的环境污染情况，环境监理单位通过便携式环境监测仪器进行简单的现场环境监测，辅助环境监理工作；复杂的环境监测内容可以建议修复工程实施单位另行委托有资质的单位开展。

### 5.6.6 环境监理会议

环境监理工作会议主要包括第一次环境监理工作会议、环境监理例会、环境监理专题会议等形式。其中环境监理例会应在开工后的施工期间内定期举行，一般每月召开一次，具体时间间隔根据工程实际情况由环境监理技术负责人确定，在会议上承包商需提交环保工作月报，定期汇报当月环保工作情况。

### 5.6.7 信息反馈

环境监理人员现场巡视检查发现施工引起的环境污染问题时，应立即通知施工单位的现场负责人员纠正和整改。一般性或操作性的问题，采取口头通知形式。口头通知无效或有污染隐患时，监理人员应将情况报告总环境监理技术负责人，总环境监理技术负责人签发《环境监理整改通知单》，要求施工单位限期整改，并同时抄送建设单位。整改完成后，由环境监理会同建设单位、工程监理单位对整改结果是否满足要求进行检查。对于一般性问题，环境监理单位下发环境监理业务联系单。

### 5.6.8 记录和报告

记录包括现场记录和事后总结记录。现场记录包括环境监理人员日常填写的监理日志、现场巡视和旁站记录等；事后总结记录包括环境监理会议记录、主体工程施工大事记录、环保污染事故记录等。

报告包括定期报告、专题报告、阶段报告、总结报告。

定期报告：根据工程进度，编制工作月报、季报、年报等定期报告提交至建设单位，对当前阶段环保工作的重点和取得的成果、现存的主要环境保护问题、建议解决的方案、下阶段工作计划等进行及时总结。应包括以下内容：工程概况、环境保护执行情况、主体工程环保工程进展、施工营地和工程环保措施落实情况、环保事故隐患或环保事故、环境监理现存问题及建议。

专题报告：在项目出现方案不符、环保措施落实不到位或其他重大环保问题时，需形成环境监理专题报告报建设单位。工程施工涉及环境敏感目标时，编制专题报告，反映环保重点关注对象，提出环保要求。

阶段报告：项目完成施工后、运行之前，应就修复工程设计、施工过程中的环境监理工作进行总结。

总结报告：就修复过程中环保设计、实施、运行情况总结，反映存在的问题并提出建议，是竣工验收的必备材料。

## 5.7 环境监理工作制度

环境监理单位应建立一系列工作制度，以保证环境监理工作规范有序地进行。常用的工作制度包括以下九项：

### 5.7.1 工作记录制度

环境监理记录是信息汇总的重要来源，是环境监理人员作出行为判断的重要基础资料。环境监理人员应根据场地修复、环境监理工作情况作出工作记录，重点描述对项目现场环境保护工作的检查监督情况，描述当时发现的主要环境问题，问题发生的责任单位，分析产生问题的主要原因，提出对问题的处理意见。工作记录主要包括监理日志、现场巡视和旁站记录、会议记录、气象及灾害记录、工程建设大事记录、监测记录等。

### 5.7.2 文件审核制度

文件审核制度是指环境监理单位对项目承建单位编制的，与场地修复工程相关的环境保护措施和环境保护设施的施工组织设计，进行审核的规定。

施工单位编制的施工组织设计和施工措施计划中的环境保护措施、环境保护设施的施工计划等，均应经环境监理单位审核。环境监理单位对上述文件的审核意见，是场地修复工程监管单位批准上述文件的重要参考之一。

### 5.7.3 报告制度

环境监理报告是项目建设中环境保护工作的一项重要内容，监理报告制度是环境监理单位对现场环境监理情况定期报告的规定，包括环境监理月报、季报、

半年报、环境监理专题报告、设计阶段和施工阶段环境监理报告、环境监理总报告。

#### **5.7.4 函件来往制度**

环境监理人员在现场检查过程中发现的环境问题，应通过下发环境监理通知单形式，通知修复工程实施单位需要采取的纠正或处理措施；对修复工程实施单位某些方面的规定或要求，必须通过书面形式通知。情况紧急需口头通知时，随后必须以书面函件形式予以确认。同样，修复工程实施单位对环境问题处理结果的答复以及其他方面的问题，也应致函环境监理人员。

#### **5.7.5 会议制度**

会议制度是指环境监理单位确定的必须参加或组织的各种会议的规定。环境监理机构应建立环境保护会议制度，在会议期间，施工单位对近一段时间的环境保护工作进行回顾性总结，环境监理人员对该阶段环境保护工作进行全面评议，肯定工作中的成绩，提出存在的问题及整改要求。每次会议都要形成会议纪要，如有重大事故发生，可随时召开会议。

#### **5.7.6 应急报告及处理制度**

应急报告与处理制度是环境监理单位在现场发生环境紧急事件应采取的报告和处理的规定。环境监理单位针对环境监理范围内可能出现的环境风险，制定环境紧急事件报告和处理措施应急预案。应急预案中应明确需要及时报告项目建设单位以及环境保护、公安、卫生等行政主管部门的事项，并应明确需要采取的应急措施。

#### **5.7.7 人员培训和宣传教育制度**

对相关现场人员进行培训和宣传教育，统一环保认识、提高环保意识。

#### **5.7.8 档案管理制度**

环境监理应结合工程实际建立环保信息管理体系，制定文件管理制度，对文件分类、归档等方面予以规定，对环保信息进行及时梳理和分析，指导和规范现场工作。

### 5.7.9 质量保证制度

为保证和控制环境监理的工作质量,环境监理应严格按照国家与地方有关规定开展工作,环境监理应严格按照监理方案和实施细则进行。

## 5.8 环境监理重要文件资料的编制

环境监理报告主要包括环境监理方案、环境监理细则、环境监理定期报告、环境监理总结报告。各报告可酌情选择参考附录 7-11 的内容编写。

## 6 修复验收与后期管理

### 6.1 目的和工作内容

污染场地修复验收是在污染场地修复完成后，对场地内土壤和地下水进行调查和评价的过程，主要是通过文件审核、现场勘察、现场采样和检测分析等，进行场地修复效果评价，主要判断是否达到验收标准，若需开展后期管理，还应评估后期管理计划合理性及落实程度。在场地修复验收合格后，场地方可进入再利用开发程序，必要时需按后期管理计划进行长期监测和后期风险管理。

修复验收工作内容包括场地土壤和地下水清理情况验收、场地土壤和地下水修复情况验收，必要时还包括后期管理计划合理性及落实程度评估。后期管理是按照后期管理计划开展包括设备及工程的长期运行与维护、长期监测、长期存档与报告等制度、定期和不定期的回顾性检查等活动的过程。

### 6.2 场地修复验收

#### 6.2.1 工作程序

污染场地修复验收工作程序包括文件审核与现场勘察、确定验收对象和标准、采样布点方案制定、现场采样与实验室检测、修复效果评价、验收报告编制六步，工作程序流程见图 6.1。

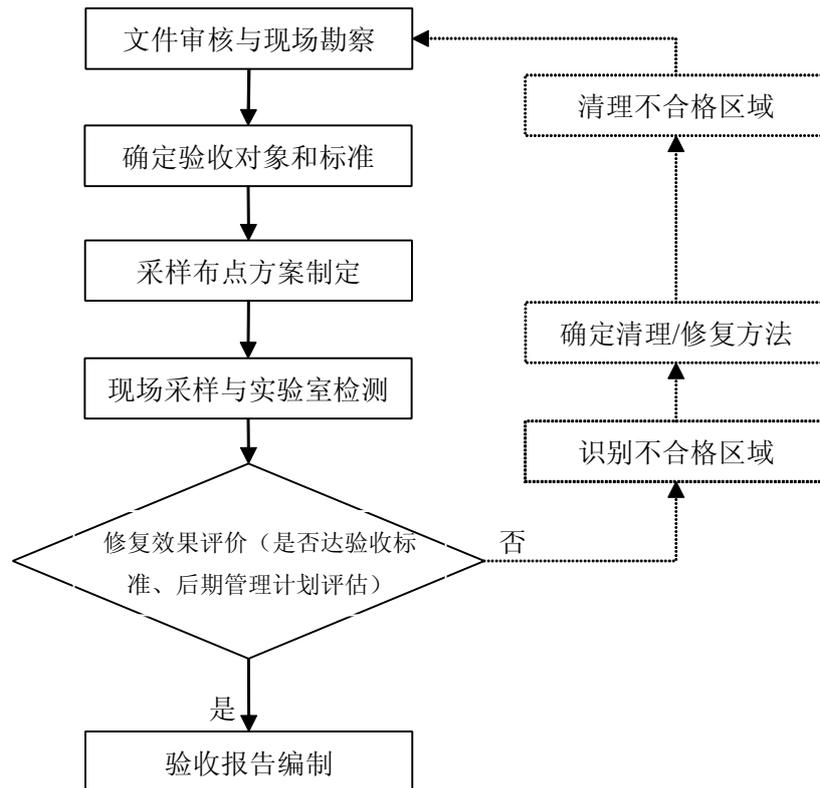


图 6.1 污染场地修复验收工作程序

## 6.2.2 文件审核与现场勘察

### 6.2.2.1 文件审核

#### (1) 审核资料范围

在验收工作开展之前,应收集与场地环境污染和修复相关的资料,主要包括:

①场地环境调查评估及修复方案相关文件:场地环境调查评估报告书及其备案意见、场地修复方案及其备案意见、其他相关资料。

②场地修复工程资料:修复过程的原始记录、修复实施过程的记录文件(如污染土壤清挖和运输记录)、回填土运输记录、修复设施运行记录、二次污染物排放记录、修复工程竣工报告等。

③工程及环境监理文件:工程及环境监理记录和监理报告。

④其它文件:环境管理组织机构、相关合同协议(如委托处理污染土壤的相关文件和合同)等。

⑤相关图件:场地地理位置示意图、总平面布置图、修复范围图、污染修复工艺流程图、修复过程照片和影像记录等。

## (2) 审核内容

对收集的资料进行整理和分析，并通过与现场负责人、修复实施人员、监理人员等相关人员进行访谈，明确以下内容：

①根据场地环境调查评估报告、修复方案及相关行政文件，确定场地的目标污染物、修复范围和修复目标，作为验收依据。

②通过审查场地修复过程监理记录和监测数据，核实修复方案和环保措施的落实情况。

③通过审查相关运输清单和接收函件，结合修复过程监理记录，核实污染土壤的数量和去向。

④通过审查相关文件和检测数据，核实异位修复完成后的回填土的数量和质量，回填土土壤质量应达到修复目标值。

### 6.2.2.2 现场勘察

现场勘察是验收的重要工作程序之一，污染场地修复验收现场勘察主要包括核定修复范围和识别现场遗留污染痕迹。

#### (1) 核定修复范围

根据场地环境调查评估报告中的钉桩资料或地理坐标等，结合修复过程工程监理与环境监理出具的相关报告，确定场地修复范围和深度，核实修复范围是否符合场地修复方案的要求。

#### (2) 识别现场遗留污染

对场地表层土壤及侧面裸露土壤状况、遗留物品等进行观察和判断，可使用便携式测试仪器进行现场测试，辅以目视、嗅觉等方法，识别现场遗留污染痕迹。

### 6.2.3 确定验收对象和标准

污染场地修复验收的对象主要包括以下几项内容，针对不同的验收对象应监理可测的验收标准。

#### (1) 场地内部清挖污染土壤后遗留的基坑

验收时须对基坑遗留土壤进行采样检测，分析修复区域是否还存在污染，验收指标为场地修复的目标污染物，验收标准为场地土壤修复目标值。

#### (2) 原位修复后的土壤和地下水

验收指标为场地修复的目标污染物，验收标准为场地污染物修复目标值。

### (3) 异位修复治理后的土壤和地下水

应针对不同类型的修复技术开展验收。

对于以消除或降低污染物浓度为目的的修复技术(土壤淋洗、土壤气相抽提、热脱附、空气注射等)，验收指标为修复介质中目标污染物的浓度；对于化学氧化、生物降解等还应考虑可能产生的有毒有害中间产物；对于降低迁移性或毒性的修复技术(例如固化稳定化)，验收指标为目标污染物的浸出限值。

异位修复的验收标准根据土壤的最终去向和未来用途确定：①若回填到本场地，验收标准为场地土壤修复目标值；②若外运到其他地方，以土壤中污染物浓度不对未来受体和周围环境产生风险影响为验收标准。必要时需根据目的地实际情况进行风险评估确定外运土壤的验收标准。

抽出处理的地下水，若修复后排放到市政管道，应符合相关的排放标准；若修复后回灌到本场地，应达到本场地地下水修复目标值。

### (4) 修复过程可能产生的二次污染区域

二次污染区域包括污染土临时储存和处理区域，设施拆除过程的遗撒区域，修复技术应用过程造成可能的污染扩散区域。验收指标为场地调查及二次污染的特征污染物，验收标准为场地污染物修复目标值。

### (5) 工程控制设施

对于切断污染途径的工程控制技术，验收指标一般为各种工程指标，如阻隔层厚度和渗透系数等。

## 6.2.4 采样布点方案制定

采样布点方案应包括采样介质、采样区域、采样点位、采样深度、采样数量、检测项目等内容。应根据目标污染物、修复目标值的不同情况在场地修复范围内进行分区采样；采样点的位置和深度应覆盖场地修复范围及其边缘；场地环境调查评估确定的污染最重区域，必须进行采样。

### 6.2.4.1 土壤采样布点要求

#### (1) 场地内基坑

对于异位修复场地，应对修复范围内部和边缘的原址土进行采样，采样点位于坑底和侧壁，以表层样为主，不排除深层采样，挥发性有机物土壤样品的采集深度一般为表层以下 0.2m。

坑底表层采用系统布点的方法，一般随机布置第一个采样点，构建通过此点的网格，在每个网格交叉点采样。网格大小根据采样面积和采样数量确定，采样数量可参考表 6.1 中所规定数量，原则上网格大小不超过 20m×20m。

表 6.1 土壤采样布点——底部采样数量

采样区域面积 (m <sup>2</sup> )	土壤采样点数目 (个)
小于 100	3
100~500	4
500~1000	5
1000~1500	6
1500~2500	7
2500~3500	8
3500~5000	9
大于 5000	≥10

修复范围侧壁采用等距离布点方法，根据边长确定采样点数量。当修复深度小于等于 1 米时，侧壁不进行垂向分层采样，横向采样点数量可参考表 6.2 中规定的数量确定。当修复深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，第一层为表层土 (0~0.2m)，0.2m 以下每 1~3m 分一层，不足 1m 时与上一层合并。各层采样点之间垂向距离不小于 1m，采样点位置可依据土壤异常气味和颜色，并结合场地污染状况确定。

表 6.2 土壤采样布点——侧壁采样数量

采样区域周长 (m)	土壤采样点数目 (个)
50	4
50~100	5
100~200	6
200~300	7
300 以上	≥8

## (2) 原位修复后的土壤

对于原位修复场地，水平方向布点方案与异位修复后的基坑布点方法相同。修复范围内部应钻孔分层采样，采样点深度要求与异位修复采样要求相同。应根

据场地的土壤与水文地质条件的非均质性，结合污染物的迁移特性、修复技术特点等，根据修复效果空间差异，在修复效果的薄弱点增加采样点。

### （3）异位修复治理后的土壤

对于异位修复后的土壤，采用随机布点法布设采样点，原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500m<sup>3</sup>，布点数量应根据修复技术修复效果、土壤的均匀性等实际情况进行调整。

### （4）修复过程可能产生的二次污染区域

对于场地内修复范围外可能产生二次污染的区域，可采用判断布点的方法，结合实际情况进行布点。

### （5）工程控制措施

对于工程措施（如隔离、防迁移扩散等）效果的监测，应依据工程设计相关要求监测点位的布设。

## 6.2.4.2 地下水采样布点要求

应依据地下水流向及污染区域地理位置设置地下水监测井，修复范围上游地下水采样点不少于 1 个，修复范围内采样点不少于 3 个，修复范围下游采样点不少于 2 个。原则上监测井布设在地下水环境调查确定的污染最严重的区域，或者根据不同类型的修复（防控）工程进行合理的布设。

由于地下水监测井建井较为繁琐，并有可能对地下水造成扰动，因此规定原则上可以利用场地环境调查评估和修复时的监测井，但原监测井的使用数量不应超过验收时总监测井数的 60%。未通过验收前，被验收方应尽量保持场地环境调查评估和修复过程中使用的地下水监测井完好。监测井的设置技术要求与第二阶段现场采样相同。

## 6.2.5 现场采样与实验室检测

土壤样品和地下水样品的采样方法、现场质量控制、现场质量保证、样品的保存与运输方法、样品分析方法、实验室质量控制，现场人员防护和现场污染应急处理等参见第二阶段现场采样。对于非挥发性有机物，可采集少量土壤混合样，混合样采样方法和要求按照《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）的规定执行。

验收项目检测方法的检测限应低于修复目标值。实验室检测报告内容应包括检测条件、检测仪器、检测方法、检测结果、检测限、质量控制结果等。

## 6.2.6 修复效果评价

修复验收时，除了进行严密的采样和实验室检测之外，还需要对检测数据进行科学合理的分析，确定场地污染物是否达到验收标准，以判定场地是否达到修复效果要求。若达不到修复效果要求，需要给出继续清理或修复建议。场地若需开展后期管理，还应评估后期管理计划合理性及落实程度。

### 6.2.6.1 评价方法

当某场地或堆土采样数量少于 8 个时，采用逐个对比法判断整个场地是否达到修复效果；当某场地或堆土采样数量大于或等于 8 个时，可运用整体均值的 95%置信上限法判断整个场地的修复效果；若采样数量大于或等于 8 个，同时样品中同一污染物平行样数量累积大于或等于 4 组时，还可用  $t$  检验评估法来判断整个场地的修复效果。各评价方法具体使用如下：

#### (1) 逐个对比法

- ①当样本点检测值低于或等于修复目标值时，达到验收标准；
- ②当样本点检测值高于修复目标值时，未达到验收标准；

采用逐个对比法时，只有所有样品的污染物检测值均达到验收标准，方可判定场地达到修复效果。

#### (2) 95%置信上限评估方法

当某场地或堆土采样数量大于等于 8 个时，可运用整体均值的 95%置信上限与修复目标比较，分析整个场地的修复效果：

①当样本点检测值整体均值的 95%置信上限大于修复目标，则认为场地未达到修复效果。

②当场地样本点同时符合下述情况，则认为场地达到修复效果。a)样本点检测值整体均值的 95%置信上限小于或等于修复目标；b)样本点检测值最大值不超过修复目标的两倍；c)样本超标点不相对集中在某一区域。

#### (3) $t$ 检验评估方法

$t$ 检验评估方法首先要确定采样点的检测结果与修复目标的差异，然后评估场地是否达到修复效果：

①当样本点的检测结果显著低于修复目标值或与修复目标差异不显著，则认为达到验收标准；

②若某样本点的检测结果显著高于修复目标值，则认为未达到验收标准。

采用  $t$  检验评估方法时，只有所有样品的污染物检测值均达到验收标准，方可判定场地达到修复效果。平行样的  $t$  检验方法见附录 10。

#### 6.2.6.2 继续清理/修复建议

对于基坑，若某处验收采样检测不合格，则根据网格对局部污染土壤进行再次清理和验收，必要时可在局部进行详细采样，详细采样布点采用网格布点方法。

对于修复后的土壤堆体，若某堆体验收采样检测不合格，则将污染土运至处置设施处，重新运行修复设施进行修复后，再次进行采样验收。

#### 6.2.7 编制验收报告

验收报告内容应真实、全面，至少包括以下内容：场地环境调查评估结论概述、修复方案实施情况、验收工作程序与方法、文件审核与现场勘察、采样布点计划、现场采样与实验室检测、修复效果评价、验收结论和建议、修复环境监理报告和检测报告。验收报告内容可酌情选择参考附录 12 编制。

### 6.3 场地后期管理

#### 6.3.1 后期管理对象

为确保场地采取修复活动的长期有效性、确保场地不再对周边环境和人体健康产生危害，一般来讲，如果选择的修复技术方案没有彻底消除污染，依赖于对土壤、地下水等的使用限制、或者使用了物理和工程控制措施的场地，需要进行后期管理，主要包括以下三种类型：

(1) 场地污染没有完全清除，或者场地修复行动可能在场地遗留有害物质，导致场地的用途受到限制；

(2) 修复工程时间较长如原位监测型自然衰减，或采取工程控制措施的场地；

(3) 采取限制用地方式等制度控制措施的场地。

### 6.3.2 后期管理内容

后期管理是按照科学合理的后期管理计划，根据场地的实际情况采取包括设备及工程的长期运行与维护、进行长期监测、长期存档、报告等制度、定期和不定期的回顾性检查等工作内容的过程，目标是评估场地修复活动的长期有效性、确保场地不再对周边环境和人体健康产生危害。

后期管理必须与制度建设相结合才能发挥实效，即需要建立一套长期监测、跟踪、回顾性检查与评估及后期风险管理制度，做好制度的设计、构建，明确技术要求及各相关方责任。

回顾性检查与评估是场地后期管理中非常核心的一个内容，包括场地资料回顾与现场踏勘、场地潜在风险识别与诊断、后期管理优化措施及建议、回顾性报告编制四个步骤，工作程序流程见图 6.2。

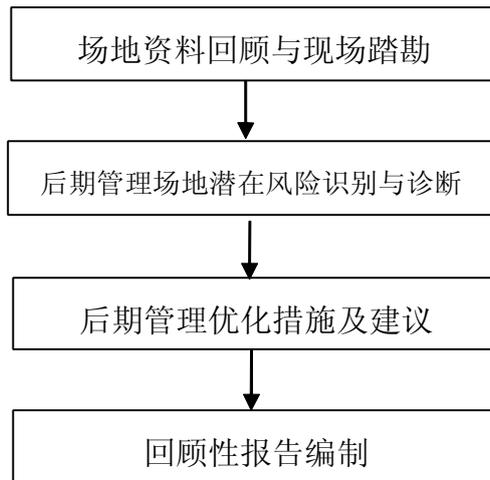


图 6.2 场地后期管理回顾性检查与评估工作程序

回顾性检查与评估每一步具体主要工作内容如下：

(1) 场地资料回顾与现场踏勘：开展回顾性检查的人员首先要进行场地资料回顾与现场踏勘，包括场地基本资料收集查阅、场地数据回顾与分析、场地踏勘、人员访谈等工作。

(2) 场地潜在风险识别与诊断：通过场地资料回顾与现场调查，识别判断可能现有修复方式或措施可能存在的问题，例如不完善的制度控制措施、修复目标难以达到、修复目标不准确、场地修复行动未按照设计运行、暴露途径是否变化、

场地使用方式是否变化等问题，从而判断场地修复行动是否可达到保护人体和环境的目的。

(3) 后期管理优化措施及建议：根据场地潜在风险识别与诊断，若判断场地修复行动不能或难以达到保护目的，则需提出并采取进一步的措施和建议对修复实施方案进行优化，包括长期响应行动、操作与维护、实施制度控制、修复方案优化、补充调查等方式。

(4) 回顾性报告编制：根据上述调查与诊断，给出回顾性结论，决定是否需要采取进一步措施、是否要持续进行回顾性检查及时间跨度等，编制回顾性报告。

对于一些较为复杂的场地，由于回顾性检查时间跨度较大使得场地监管较为困难时，可同时采取制度控制等方式进行后期管理。

场地回顾性检查与评估由场地修复责任方依据场地情况委托具有相应能力的机构组织开展。场地回顾性报告应报当地环保部门备案并在回顾性检查与评估实施过程中接受环保部门的监督指导。

### 6.3.3 后期管理时间

后期管理一般在修复完成后场地开发建设阶段介入，采取多种修复技术长期修复的场地也可在修复启动时介入，具体可根据政策要求、场地修复方案等因素确定。

场地回顾性检查与评估在场地修复验收后五年开展第一次，贯穿于场地全过程、直至场地不再对周边环境和人体健康产生影响，后续的场地回顾性检查与评估时间根据前一次回顾检查的结论确定，根据实际情况可提前回顾或增加回顾的频率。

## 附录

### 附录 1 现场采样要求

#### 1.1 土壤样品的采集

##### 1.1.1 采样器的选择

对需要检测挥发性有机物的土壤样品，应选择非扰动采样器采样。土工试验样品采集，取土器的选择执行《岩土工程勘察规范》（GB 50021）中的规定。

##### 1.1.2 表层土采样

表层土采样可采用手工采样或螺旋钻采样。手工采样是先用铁锹、铲子和泥铲等工具将地表物质去除，并挖掘到指定深度，然后用不锈钢或塑料铲子等进行样本采集，不应使用铬合金或其他相似质地的工具；螺旋钻采样是先钻孔达到所需深度后，获得一定高度的土柱，然后用不锈钢或塑料铲子去除土柱外围的土壤，获取土芯作为土壤样品。收集土壤样时，应把表层硬化地和大的砾石、树枝剔除。

##### 1.1.3 深层土钻孔与采样技术

进行深层土壤采样和地下水采样时，应根据现场所在地区的地质条件、现场作业条件和采样要求选择钻探技术。用于场地环境风险评估的钻探技术需结合场地所在地区的地质条件、场地钻探的作业条件和场地勘察的方案要求来选择经济有效的钻探方法。钻探方法示例照片见附图 1.1。场地环境风险评估中常用的钻探方法及其优缺点见附表 1.1。



附图 1.1 常用的钻探方法示例照片（探坑法钢索冲击钻探法）

在采样时，做好现场记录，现场采样记录单样式参见附表 1.2。

附表 1.1 常用的场地钻探方法

钻探方法	优点	缺点
探坑法： 采用人工挖掘（深度一般不宜超过 1.2m，除非有足够安全的支护措施）或采用轮式/履带式的挖掘机（最大深度约为 4.5m）	①可从平面（ $x, y$ ）和深度（ $d$ ）三维的角度来描述地层条件。 ②易于取得大试样。 ③成效快且造价低。 ④可采集未经扰动的试样。 ⑤适用于多种地面条件。 通过挖掘可以观察到土壤的新鲜面，记录颜色和岩性等基本信息，还可以给开挖出来的土样拍照，并记录照片信息。	①挖掘深度会受挖掘机械规格的限制。 ②污染物存在和运移的媒介暴露于空气中，会造成污染物变质及挥发性物质的挥发。 ③不适合在地下水位以下取样。 ④对场地的破坏程度较大，需要特别注意，防止挖掘出来的污染土壤再次污染周围区域的土壤，因此挖出的污染土壤需要进行处理，减少污染物质暴露带来的二次污染。 ⑤与钻孔勘探方法相比，这种方法产生的弃土较多。 ⑥污染物更易于传播到大气或水体当中。还需要回填清洁材料（以达到地面恢复目的）。
手工钻探法： 采用人工操作，最大钻进深度一般不超过 10m	①可用于地层校验和采集设计深度的土样。 ②适用于松散的人工堆积层和第四纪沉积的粉土、黏性土地层，即不含大块碎石等障碍物的地层。 ③对于难以进入的场地，本法比较方便有效。	①受地层的坚硬程度和人为因素影响较大，当有碎石等障碍物存在时，则很难继续钻进。 ②由于会有杂物掉进钻探孔中，可能导致土样交叉污染。 ③只能获得体积较小的土样。
钢索冲击钻探法	①与探坑或手工钻探法相比，此种方法能够达到的钻进深度更深。 ②可建成永久的取水样/水位监测井。 ③可穿透多种地层。 ④对健康安全和地面环境的负面影响较小。 ⑤可以采集未经扰动的试样。 ⑥可采集到完整的试样，包括污染物分析试样、岩土工程勘察试样、气体/地下水试样，还可用于地下水和地下气体监测井建井。	①与探坑或手用螺旋钻探法相比，此种方法成本高，耗时长。 ②不如探坑法获得地层的感性认识直观。 ③需要处置从钻孔中钻探出来的废弃物。 ④没有探坑法采集的试样体积大。 ⑤这种技术会扰动土样，并使污染物质流失。
液压力锤干式旋转冲击钻探法	①干式旋转冲击钻进技术适用于多种岩性的地层，包括岩层。 ②冲击与旋转钻进相结合可以减小土芯热效应的影响。	①旋转钻进会产生土芯热效应。 ②干式钻进对钻头的磨损比较大，由此产生的成本相对较高。

钻探方法	优点	缺点
	③可以获得长度大于 1m 的原状岩芯样。 ④如果土层中不含卵石，也可以使用空心螺旋钻杆和劈式勺钻取样器。	

附表 1.2 钻探采样记录单

项目名称:

层底 标高/ m	钻进 深度/ m	变层 深度/ m	外观描述						钻进 强度	套管长 度及钻 头种类	土壤采样			PID/ ×10 <sup>-6</sup>
			岩性名称	颜色 气味	密度	湿度	稠度	断面状态 及含有物			样品编号 及类型	样品 深度/m	测试 项目	

钻探孔编号采样位置移位 (m); 高差 (m)

地下水位初见 (m) 静止 (m) 时间:

开孔日期: 年 月 日 午 天气 温度 °C

结孔日期: 年 月 日 午 天气 温度 °C

取水样深度 (m)

量尺: 司钻: 记录: 采样: 检查:

### 1.1.4 剩余土的留存

钻探过程中，除按深度采集土样外，建议选择部分可以代表某一深度土层岩性和颜色的土装入岩芯箱留存，在条件有限情况下可考虑装入塑料袋中留存。当钻探结束后，若发现地层情况有任何异常，可以方便复查。留存的土应根据工程要求保存一定期限或长期保存。

一般情况下，建议岩芯箱的规格为 1m（长）×0.5m（宽）×0.1m（高），箱体上部开放、下部密封，中间用木板等间距分隔成五排，见附图 1.2。野外钻探时，将钻探出剩余的土按对应的深度放入岩芯箱内，在取土的位置，用标签纸插入箱内相应的位置处进行标识，箱外用防水笔标识岩芯箱的有关信息（采样点号及深度范围）。每个岩芯箱装满后，需在现场对其进行拍照，拍照时注意在箱边放置带有明显文字信息（采样点号及深度范围）的标识牌，并记录照片编号。最后采用适当方式封存岩芯箱，以防止水分漏失或侵入。

如果现场不具备岩芯箱，也可以选择塑料袋留存剩余的土，同样选择部分有代表性的土放入塑料袋内，并在每个塑料袋中放入防水标签，标签上记录相应的采样点编号及土的深度。



附图 1.2 岩芯箱示例照片

### 1.1.5 封孔

如果钻孔深度穿过弱透水层，建议用膨润土进行钻孔回填，以恢复地层的隔水性。膨润土至少应在弱透水层上、下各余出 30cm 的厚度。每向孔中投入 10cm 的膨润土颗粒就要添加水润湿。

### 1.1.6 废弃土、水处理及钻孔回填

每个采样点钻探结束后，应将所有剩余的废弃土装入垃圾袋内，统一运往指定地点储存，废水同样需要用塑料桶进行收集，不得任意排放，防止造成二次污

染。最后，每个钻孔均应采用无污染土料进行回填，必要时，还需进行地面恢复。

### 1.1.7 挥发性有机污染物采样方法

用非扰动采样器将土样直接推入顶空瓶中，见附图 1.3。现场采样时，可采用手持式实时分析仪器进行顶空法测试，见附图 1.4。



附图 1.3 非扰动土壤采样器和顶空瓶 附图 1.4 光离子化 VOC 检测仪（PID）

## 1.2 地下水样品的采集

### 1.2.1 建井

监测井的设置包括钻孔、下管、填砾及止水、井台构筑等步骤。监测井所采用的构筑材料不应改变地下水的化学成分。不应采用裸井作为地下水水质监测井。建井的具体技术要求及针对不同检测物质应选用的构筑材料如下所述，建井记录单参见附表 1.3。

#### (1) 井管

##### ①井管结构

井管应由井壁管、过滤管和沉淀管三部分组成。井壁管位于过滤管上，过滤管下为沉淀管。过滤管位于监测的含水层中，长度范围为从含水层底板或沉淀管顶到地下水位以上的部分，水位以上的部分要在地下水位动态变化范围内；沉淀管的长度一般为 50~60cm，视弱透水层的厚度而定，沉淀管底部须放置在弱透水层内。地下水监测井示意图见附图 1.5。

##### ②口径及材质

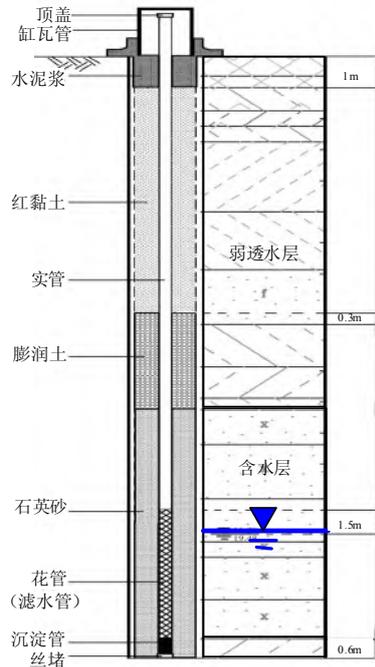
井管的内径要求不小于 50mm，以能够满足洗井和取水要求的口径为准。

井管全部采用螺纹式连接，各接头连接时不能用任何黏合剂或涂料，推荐采

附表 1.3 建井记录单

监测井编号：      钻探深度：      (m)

项目名称					
周边情况					
钻机类型		井管直径/mm		井管材料	
井管总长/m		孔口距地面高度/m		滤水管类型	
滤水管长度/m		建孔日期	自年月日开始		
沉淀管长度/m			至年月日结束		
实管数量/根	3m	2m	1m	0.5m	0.3m
砾料起始深度/m					
砾料终止深度/m					
砾料(填充物)规格					
止水起始深度/m			止水厚度/m		
止水材料说明					
孔位略图			封孔厚度/m		
			封孔材料		
			护台高度/m		
			现场工程师		
			总工程师		
			日期	年 月 日	



附图 1.5 地下水监测井结构示意图

用螺纹式连接井管。

井管材质因检测项目的不同而有所差异，各类检测项目的材质选择见附表 1.4。

附表 1.4 井管材质选择要求

检测项目类别	第一选择	第二选择	禁用材质
金属	聚四氟乙烯 (PTFE)	聚氯乙烯 (PVC)	304 和 316 不锈钢
有机物	304 和 316 不锈钢	PVC	镀锌钢和 PTFE
金属和有机物	无	PVC 和 PTFE	304 和 316 不锈钢

如果井深超过 20m 时，需改用受压强度更高的井管。如果地下水监测井仅用来测定地下水位的情况，可以使用热镀锌管作为井管。

### ③过滤管参数选择

过滤管上的空隙大小应足以防止 90% 的滤料进入井内，即其孔隙直径要小于 90% 以上的滤料直径。过滤管可采用 0.3~0.5 毫米宽的激光割缝管，见附图 1.6。



附图 1.6 激光割缝管

### (2) 地下水监测井钻孔

钻孔的直径应至少大于井管外壁 75mm，以适合砾料和封孔黏土或膨润土的就位。钻孔的深度依监测井所在场区地下水埋深、水文地质特征及含水层类型和分布而定，一般宜达到含水层底板以下 50cm 或至少地下水含水层水位线下 5m，但不应穿透弱透层。监测井钻孔达到要求深度后，宜进行钻孔掏洗，清除钻孔中的泥浆、泥沙等，然后才能开始下管。

### (3) 地下水监测井下管

下管前应校正孔深，确定下管深度、滤水管长度和安装位置，按下管先后次序将井管逐根丈量、排列、编号、试扣，确保下管深度和滤水管安装位置准确无误。下管作业应统一指挥，互相配合，操作要稳要准，井管下放速度不宜太快，中途遇阻时不准猛墩硬提，可适当地上下提动和缓慢地转动井管，仍下不去时，应将井管提出，扫除孔内障碍后再下。井管下完后，要用升降机将管柱吊直，并

在孔口将其扶正、固定，与钻孔同心。

#### (4) 填砾及止水

填砾：砾料选择质地坚硬、密度大、浑圆度好的白色石英砂砾为宜，易溶于盐酸和含铁、锰的砾石以及片状或多棱角碎石，不宜用做砾料。砾料的砾径，根据含水层颗粒筛分数据确定，可参照附表 1.5 选用。

填砾的厚度宜大于 25mm，当观测孔用于抽水试验时，填砾厚度宜大于 50mm。填砾的高度，自井底向上直至与实管的交接处，即含水层顶板。

附表 1.5 填砾的粒径选择

含水层类型	砂土类含水层	碎石土类含水层	
	$\eta_1 < 10$	$d_{20} < 2$	$d_{20} \geq 2$
砾径(D)的尺寸/mm	$D_{50} = (6 \sim 8) d_{50}$	$D_{50} = (6 \sim 8) d_{20}$	$D = 10 \sim 20$
砾料的 $\eta_2$ 要求	$\eta_2 < 10$		

注 1：表中 $\eta_1$ 为含水层的不均匀系数； $\eta_2$ 为砾料的不均匀系数。即 $\eta_1 = d_{60}/d_{10}$ ； $\eta_2 = D_{60}/D_{10}$ 。

注 2：d10, d20, d50, d60 和 D10, D20, D50, D60 分别为含水层试样和砾料试样在筛分中能通过筛眼的颗粒，其累计重量占筛样全重依次为 10%，20%，50%，60%时的筛眼直径。

避免滤料填充时形成架桥或卡锁现象，可以使用导砂管将滤料缓慢输入管壁与井壁中的环形空隙内。滤料在回填前冲洗干净（由清水或蒸馏水清洗），清洗后使其沥干。

止水：止水材料必须具备隔水性好、无毒、无嗅、无污染水质等条件。建议选用球状膨润土回填。止水部位根据场地内含水层分布的情况确定，选择在良好的隔水层或弱透水层处。止水厚度至少从滤料往上 50cm 和滤料下部 50cm；如果场地内存在多个含水层，每个弱透水层及以上 30cm 至弱透水层以下 30cm 范围内必须用膨润土回填。

膨润土回填时要求每回填 10cm 用水管向钻孔中均匀注入少量的水，注意防止在膨润土回填和注水稳定化的过程中膨润土、井管和套管粘连。

#### (5) 井台构筑

井口处使用混凝土固定井管，混凝土浇筑一直从地面到膨润土回填上部。

井台构筑有两种形式：一种是明显式井台，井管地上部分 30~50cm，超出地面的部分采用红白相间的管套保护，管套建议选择强度较大且不宜损坏的材质，如果在管套与井管之间有孔隙，则注以水泥固定，监测井井口用与井管同材

质的丝堵或管帽封存。另一种是隐蔽式井台，原则上不超过自然地面 10 cm，为方便监测时能够打开井盖，建议在地面以下的部分设置直径比井管略大的井套套在井管外，井套外再用水泥固定并筑成土坡状，井套内与井管之间的环形空隙不填充任何物质，以便于井口开启和不妨碍道路通行。

#### (6) 井位高程及坐标测量

建井完成后，必须进行井位坐标测量及井管项的高程测量。测量精度能满足一般工程测量的精度即可。

#### (7) 设置标识牌

监测井需设置标识牌。标识牌上需注明监测井编号、井的管理单位和联系电话等信息。

### 1.2.2 洗井

洗井一般分两次，即建井后的洗井和采样前的洗井。在洗井前后及洗井过程中需要监测 pH 值、电导率、浊度、水温并记录水的颜色、气味等，条件许可时，建议监测氧化还原电位、溶解氧和总溶解盐含量。建井后的洗井首先要求直观判断水质基本上达到水清砂净，同时 pH 值、电导率、浊度、水温等监测参数值达到稳定，即浊度等参数测试结果连续三次浮动在 $\pm 10\%$ 以内，或浊度小于 50 个浊度单位。取样前的洗井在第一次洗井 24 小时后开始，其洗出的水量要达到井中储水体积的三倍之上，同时要求 pH 值、电导率、氧化还原电位、溶解氧、浊度、水温等水质参数值稳定，但原则上洗出的水量不高于井中储水体积的五倍。洗井一般可采用贝勒管、地面泵和潜水泵。

### 1.2.3 样品采集方法

地下水采样在采样前的洗井完成后两小时内完成。取水使用一次性贝勒管，要求一井一管，并做到一井一根提水用的尼龙绳。取水位置建议为井中储水的中部，如果在监测井中遇见重油（DNAPL）或轻油（LNAPL）时，对 DNAPL 采样设置在含水层底部和不透水层的顶部，对 LNAPL 采样设置在油层的顶板处，以保证水样能代表地下水水质。如条件许可，也可采用电动潜水泵进行采样。

用于测定 VOC 的水样可用带塑料螺纹盖的 40mL 小玻璃瓶（VOA vial）取样，加 HCl 至  $\text{pH} < 2$  使其稳定。在测试 VOC 水样的取样小瓶中不允许存在顶空或者是大于 6mm 的气泡。溶解氧、五日生化需氧量和半挥发性有机污染物项目

采样时，水样也必须注满容器，上部不留空隙。

用于测定可溶解金属物质的水样在野外取样后需先过滤再将其装入聚乙烯容器内，加 HNO<sub>3</sub> 至 pH<2 使其稳定。用于测定总金属含量的水样不需要过滤，也不用加稳定剂。

### 1.2.4 地下水样品的保存

用于测定总烃、杀虫剂及多环芳烃的水样用带塑料螺纹盖的棕色玻璃瓶保存。用于测定氰化物的水样存放于聚乙烯容器中，加 NaOH 至 pH>12 使其稳定。地下水样品的采集、保存、样品运输和质量保证等参照《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164) 的要求。

### 1.2.5 取水位置

一般在井中储水的中部，但当水中含有重质非水相液体时，取水位置在含水层底部和不透水层顶部；水中含有轻质非水相液体时，取水位置在油层顶部。

附表 1.6 洗井记录单

项目名称:		时间:						
地点:		PID 钻孔孔口读数:						
井号:		洗井体积:		(L)				
井深:		(m)		(三倍井中储水体积):		(L)		
时间	水位埋深/ m	流量计读数/ (L/min)	洗井体积/ L	温度/ ℃	pH	电导率/ (μS/cm)	浊度/ NTU	备注
注释: 井的状况描述								
开始时和最后一次读数之间都需校准 pH 值。								
取样人:		观测者:						

## 附录 2 土壤样品保存要求

针对不同检测项目选择不同样品保存方式，无机物通常用塑料瓶（袋）收集样品，挥发性和半挥发性有机物宜使用具有聚四氟乙烯密封垫的直口螺口瓶收集样品，具体的土壤样品收集器和样品的保存要求参见附表 2.1，样品保存容器见附图 2.1。

附表 2.1 容器、保存技术、样品体积以及保存时间的要求

监测项目	容器 <sup>①</sup>	保存条件 <sup>②</sup>	样品最小体积或重量	样本最大保留时间
<b>金属</b>				
六价铬	P, G, T	4℃低温保存	500mL (水); 227g (土壤)	24 小时 (水); 萃取前 30 天, 萃取后 4 天 (土壤)
汞	P, G, T	加 HNO <sub>3</sub> 使 pH<2, 4℃低温保存	500mL (水); 227g (土壤)	28 天 (水和土壤)
其他金属(除六价铬和汞)	P, G, T	加 HNO <sub>3</sub> 使 pH<2, 4℃低温保存	500mL (水); 227g (土壤)	180 天 (水和土壤)
<b>有机化合物</b>				
总石油烃 (TPH): 可挥发	G, 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖	4℃低温保存, 加 HCl 使 pH<2	2×40mL (水); 113g (土壤)	14 天 (水或土壤); 无酸保护则为 7 天
总石油烃 (TPH): 可萃取	G, 用琥珀密封瓶盖	4℃低温保存	1L (水); 227g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
可挥发性芳香卤代烃	G, 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖	4℃低温保存, 加 HCl 使 pH<2, 0.008% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>③</sup>	2×40mL (水); 113g (土壤)	14 天 (水和土壤); 无酸保护则为 7 天
亚硝酸胺	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4℃低温保存	1L (水); 227g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
除草剂	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4℃低温保存	1L (水); 227g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
有机氯杀虫剂	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4℃低温保存	1L (水); 227g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
PCBs	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4℃低温保存	1L (水); 227g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
有机磷	G, 用聚四氟乙	4℃低温保存	1L (水);	萃取前 7 天, 萃取

监测项目	容器 <sup>①</sup>	保存条件 <sup>②</sup>	样品最小体积或重量	样本最大保留时间
杀虫剂/化合物	烯密封瓶盖		227g (土壤)	后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
半挥发性有机物	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C 低温保存, 0.008% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1L (水); 227g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水); 萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
挥发性有机物	G, 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖	4 °C 低温保存, 0.008%Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (对挥发性芳香烃加 HCl 使 pH<2)	2×40 mL (水); 113g (土壤)	14 天(水和土壤); 无酸保护则为 7 天

注: ①聚乙烯 (P); 玻璃 (G); 聚乙烯复合气泡垫 (T)。

②土壤样品一般“直接避光保存密封于 4°C 条件下即可; 而对于需要测定重金属的水样, 则需在保存前加 HCl 调 pH 小于 2。

③只有当出现余氯时才需要保存 0.008%的 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。



附图 2.1 样品保存容器

选择牢固、保温效果好的保温箱 (见附图 2.2); 用发泡塑料包裹样品瓶防止直接碰撞; 放置足量的冰块确保保温箱冷藏温度低于 4°C, 实验室接样后要求测量保温箱内的温度; 选择安全快捷的运输方式, 保证不超过样品保留时间的最长限值。由于靠少量的冰块难以长时间地保证冷藏温度低于 4°C, 一般运输时间夏季最长不超过 3 天。



附图 2.2 保温箱

### 附录 3 场地污染源浓度计算方法

当场地污染的空间分布相对均匀或分析数据呈正态分布时,可将整个场地作为污染源(土壤或地下水),其浓度可采用污染介质所有采样点浓度的 95%置信水平上限值(UCL)作为污染源浓度进行风险计算;当场地为局部污染时,可采用局部区域的采样点浓度 95%置信水平上限值,或最大值作为污染源浓度。

95%置信水平上限值的数学含义是场地污染浓度的真实平均值等于或低于该值的概率为 95%。因此,采用 95%置信水平上限值作为污染源浓度进行风险计算,实质上是采用一种比较保守的方式来估计场地污染总体风险水平。

采用最大值作为整个场地的场地污染浓度来计算场地的总体风险,要比 95%置信水平上限值作为场地平均浓度的计算结果更为保守,最大值比较适用于风险筛选或局部污染区域的风险计算,对于大型污染场地,采用最大值计算分析风险可能过于保守。

如果场地土壤和地下水的采样样本浓度分布均匀且呈正态分布,总体的正态均值即场地污染真实平均值 CS 在置信水平为  $1-\alpha$  下的置信上限可由下式计算:

$$CS = \bar{X} + t_{\alpha}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}}$$

式中:

$\bar{X}$ ——样本平均值;

$t_{\alpha}(n-1)$ —— $t$  分布函数;

$n$ ——样本容量;

$\alpha$ ——总体均值大于置信上限的概率,当置信水平为 95%时, $\alpha$ 取 0.05;

$s$ ——样本标准差,可由下式计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中:

$x$ ——样品检测值;

其它参数意义同上。

## 附录 4 修复技术筛选矩阵

附表 4.1 土壤和地下水修复技术筛选矩阵

符号定义(具体含义见最后): ● - 平均值以上; ◎ - 平均值; ○ - 平均值以下; ◇ - 技术的有效性取决于污染物种类和技术的应用/设计。	技术成熟度	运行维护投入	资金投入	系统的可靠性和维护需求	其他相关成本	修复时间	目标污染物				
							VOCs	SVOCs	石油烃	POPs	重金属
<b>土壤、底泥和淤泥</b>											
原位生物处理											
1 生物通风	●	●	●	●	●	◎	●	●	●	●	○
2 增强生物修复	●	○	◎	◎	●	◎	●	●	●	●	◎
3 植物修复	●	●	●	○	●	○	○	◎	◎	◎	●
原位物理/化学处理											
4 化学氧化/还原	●	○	◎	◎	◎	●	○	●	●	●	●
5 土壤淋洗	●	○	◎	◎	◎	◎	○	●	●	●	●
6 土壤气相抽提	●	○	◎	●	●	◎	●	●	○	○	○
7 固化/稳定化	●	◎	○	●	●	●	○	●	●	●	●
8 热处理（热蒸汽或热脱附）	●	○	○	●	◎	●	○	●	●	●	◎
异位生物处理（假设基坑开挖）											
9 生物堆	●	●	●	●	●	◎	●	●	●	◎	○
10 堆肥法	●	●	●	●	●	◎	●	●	●	◎	○
11 泥浆态生物处理	●	○	○	◎	◎	◎	●	●	●	◎	○
异位物理/化学处理（假设基坑开挖）											
12 土壤洗脱	●	○	○	◎	◎	◎	○	●	●	●	●
13 化学氧化/还原	●	◎	○	●	◎	●	○	●	●	●	●
14 固化/稳定化	●	◎	○	●	●	●	○	●	●	●	●
异位热处理法（假设基坑开挖）											
15 工业炉窑共处置	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○
16 焚烧	●	○	○	◎	○	●	●	●	●	●	○
17 热脱附	●	○	○	◎	◎	●	●	●	●	●	●
其他技术											
18 填埋场冒封技术	●	◎	○	●	●	○	●	●	◎	◎	○
19 填埋场增强型冒封	●	◎	○	●	●	○	●	●	◎	◎	○

20 开挖、运出、安全 填埋	●	●	●	●	◇	●	●	●	●	●	●
地下水（包括填埋场渗滤液）											
原位生物处理											
21 增强型生物修复	●	○	◎	◎	●	◇	●	●	●	●	◎
22 监测型自然衰减	●	○	◎	◎	●	◇	●	●	○	○	◎
23 植物修复	●	●	●	○	●	○	○	◎	○	○	◎
原位物理/化学处理											
24 空气注入法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
25 生物通风+自由相 抽提	●	●	●	◎	●	◎	○	●	●	●	○
26 化学氧化/还原	●	○	◎	◎	◎	●	○	●	●	●	●
27 多相抽提法	●	○	○	◎	◎	◎	●	●	●	●	○
28 热处理法	●	○	○	◎	◎	●	●	●	●	●	○
29 井内曝气吹脱	●	◎	○	◎	◎	○	●	◎	○	◎	○
30 主动/被动反应墙 (例如 PRB)	●	◎	○	●	◎	○	●	●	●	●	●
其他方法											
31 阻隔法（例如止水 帷幕、水力控制法等）	●	◎	○	●	●	○	○	○	●	●	●
异位处理（抽出处理）抽出后处理技术同工业废水处理											

附表 4.2 矩阵中所用符号具体说明

考虑因素		●平均值以上	◎平均值	○平均值以下	其他
技术成熟度-所选取的技术的应用规模和成熟程度		该技术已被多个污染场地所采用，并作为最终修复技术的一部分；有良好的文献记录、已被技术人员理解	已满足投入工程应用或全尺寸中试的需求，但仍需要改进和更多测试	没有实际应用过，但已经做了小试和中试等试验，有应用前景	◇技术的有效性取决于场地情况、污染物种类及技术的应用设计/应用
运行维护投入-全套技术运行维护期间的投入		运行维护投入较低	运行维护投入一般	运行维护投入较高	
资金投入-全套技术的设备、人力等投入		资金投入一般	资金投入平均等级	资金投入较高	
系统可靠性和维护需求-相对其他有效技术而言，该技术的可靠性和维护需求		可靠性高和维护需求少	可靠性一般，维修需求一般	可靠性低、维护需求多	
其他相关成本-处置前、处置后、处置过程中核心过程的设计、建造、操作和维护成本		相对于其他选择总体费用较低	相对于其他选择总体费用一般	相对于其他选择总体费用较高	N/A 表示不适用
修复时间-采用该技术处理单位面积场地所花费的时间	原位土壤	少于 1 年	1~3 年	多于 3 年	I/D 表示无法收集到足够的数 据
	异位土壤	少于 0.5 年	0.5~1 年	多于 1 年	
	原位地下水	少于 3 年	3~10 年	多于 10 年	

注：①本筛选矩阵参考美国 FRTR 矩阵，并根据中国实际工作修订得出。

②地域性特征项由各地根据实际情况确定。

## 附录 5 场地修复常用技术

在针对污染源处理的修复技术筛选时，当目标场地的污染物、污染介质特性与下表（附表 5.1）中相符时，可跳过修复技术筛选性试验。附表 5.1 中的“常用技术”已经过大量案例验证。

附表 5.1 常用技术列表

目标污染物	污染介质	常用技术
VOCs (包括石油烃)	土壤	土壤气相抽提（需符合质地松散、水分含量低于 50%的土壤特性）
		热脱附（需符合水分含量低于 30%的土壤特性）
		焚烧
		生物修复（仅针对石油烃）
		开挖/异位处理
		常温脱附
	地下水	抽提-处理（或者后续联合颗粒活性炭净化系统）
		曝气吹脱
		化学/紫外氧化
		空气注射（针对地下水位以下 15.2m 以内的地下水）
SVOCs	土壤	焚烧
		热脱附
		开挖/异位处理
	地下水	抽提-处理（或者后续联合液相吸附方法）
		化学/紫外氧化
PCBs 和农药	土壤	热脱附（浓度小于 500ppm）
		焚烧（浓度大于 500ppm）
		开挖/异位处理（浓度在 50-100ppm 之间无需处理可直接填埋）
	地下水	抽提-处理（或者后续联合颗粒活性炭净化系统）
重金属	土壤	固化/稳定化
		开挖/异位处理
	地下水	抽提-处理（或者后续联合化学沉淀，或者联合离子交换/吸附方法）

## 附录 6 修复技术评估工具

污染场地修复技术综合评估阶段的评分工具如附表 6.1 所示。每个修复技术都分 5 个指标分别进行评分，每个指标可评分赋值 1-4 分；分数越高，表明该技术越有利于在场地修复中被应用。总分区间为 5-20 分。

附表 6.1 修复技术评估工具表

技术名称	可接受性		操作性		效率		修复时间		修复成本		总分	结果
	评述	评分	评述	评分	评述	评分	评述	评分	评述	评分		
技术1												
技术2												
技术3												
...												
技术 n												

评分标准：

可接受性：修复技术与污染场地目前（或未来规划）的使用功能、社会接受程度以及其他需要接受的标准之间的相互兼容性。

4-完全可接受；3-可接受；2-勉强可接受；1-局部可接受。

操作性：修复技术的可操作性、场地设施影响以及技术是否在同类场地应用过。

4-操作性强；3-可操作；2-勉强可操作；1-局部可操作。

效率：修复技术在类似场地的修复效率高低。

4-非常高效；3-高效；2-一般有效；1-效率很低。

修复时间：所预期的修复时间。

4-短；3-中等；2-长；1-非常长。

修复成本：所预期的总成本。

4-低；3-中等；2-高；1-非常高。

## 附录 7 技术可行性试验具体案例

不同技术的可行性试验工作在成本、规模、时间上存在明显差别，以使用频次高、较为成熟的土壤生物修复技术为例，介绍该技术在可行性试验过程中的流程和主要特点。其他技术的可行性试验可参照本案例进行。

### 7.1 生物修复技术筛选性试验

技术筛选性试验是可行性试验的第一步，主要用来判断生物修复技术能否应用于该目标场地污染物的修复，即判断技术是否有效。生物修复技术筛选性试验所需成本较低，通常需要数天的时间就能够完成。试验结果能够表明该技术的潜在可行性，但是由于数据量较少，因此一般不单独作为技术选择的主要依据。筛选性试验在实验室条件下开展，其规模较小，根据试验类型的不同，大致需要数天时间完成。筛选性试验需要从现场采集将要处理的污染介质（土壤、沉积物、地下水等）；由于试验规模较小，运行参数较易控制，但难以模拟实际运行条件，尤其是针对原位生物修复技术的试验。

通常情况下，好氧生物降解技术筛选试验常采用将土壤、泥浆或者水溶液放入反应器进行，反应器可使用振荡瓶，土罐以及泥浆反应器等。pH、污染物输入速率、氧气以及营养元素的有效性等参数需要设置到最佳状态以提高试验成功的可能性。生物修复技术筛选试验一般需要判断生物降解过程是否存在，如果经过 3-6 周的反应周期后，目标污染物的净降解率能够大于 20%，那么该技术被认为是有效的，即潜在可行的。

附表 7.1 中列举了技术筛选性试验过程中，判断该技术是否有效的基本标准，可作为生物修复技术可行性试验的主要参考。

该案例中技术筛选性试验不针对厌氧生物修复技术。

### 7.2 生物修复技术选择性试验

技术选择性试验是可行性试验的第二步，对筛选性试验结果所得出的潜在可行技术开展进一步试验，确定工艺参数、成本、周期等。这一阶段的生物修复技术试验必须模拟目标场地实际条件，以确定在特定操作单元条件下，该技术的运行情况，其研究成本中等，一般需要数天、数周至数月的时间。试验结果不仅能够判断该技术是否能够达到修复目标，同时也能够为修复方案的详细评估提供足够数据。此外，残留物以及中间产物的毒性试验

同样必不可少。一般情况下，采用泥浆反应器、土罐、封闭反应器等进行的试验主要针对异位生物修复，而现场试验点试验以及土柱实验往往针对原位生物修复。

选择性试验通常使用现场试验点试验和封闭土壤系统，一般在现场开展，所需时间大致从数周至数月之间。选择性试验一般在现场某一小块需要修复的代表性污染区域进行，而大型土柱试验则一般在实验室开展，在现场利用大型土柱来进行试验目前正在发展中。这些埋于地下的土柱，需要能够测定不同土层的生物活性，一般情况下，往往需要测定不同介质的基本性质，为此需防止污染物在不同介质之间的转移。尽管需要根据不同技术的特点设计可行性试验的试验研究，但总体上所采用的技术、设备与实际修复过程中的技术、设备相似，以确保这些研究能够与实际情况更为接近，试验结果能够提供为下一阶段的方案设计与方案实施提供详细的信息，也可以被用来支持实际修复过程中的系统设计。

附表 7.1 中同时列举了生物修复技术选择性试验过程中，判断该技术是否有效的基本标准，可作为生物修复技术可行性试验的主要参考。

附表 7.1 不同试验阶段生物修复技术可行性试验的标准

标准	筛选性试验	选择性试验
关注污染物的生物降解率（以最 难降解的污染物作为标准）	净降解率必须大于>20%	在试验条件下，能够达到修复目标
污染物初始浓度	适用于技术应用条件	修复过程中的最高浓度
环境条件	适用于技术应用条件（包括可 能的场地条件）	模拟场地修复环境条件
生物降解程度	定性估计*	定量估计
生物降解效率	粗略估算*	保守估算
修复时间估计	不涉及	需要估算
质量守恒	粗略说明*	需计算说明
有毒副产物	对可能出现的有毒副产物，检 测即可*	需要有具体的检测过程（如果有条 件的情况下）*
过程控制和可靠性	不涉及	需潜在评估
微生物活性	粗略测定*	检验/定量检验*
过程优化	不涉及	评估*
实地全规模应用的成本估计	不涉及	需大致估算，-30%至+50%
试验规模	通常是实验室批试验研究	实验室批试验或中试试验研究

\*表示并非必需，尽管在某些情况下非常重要。

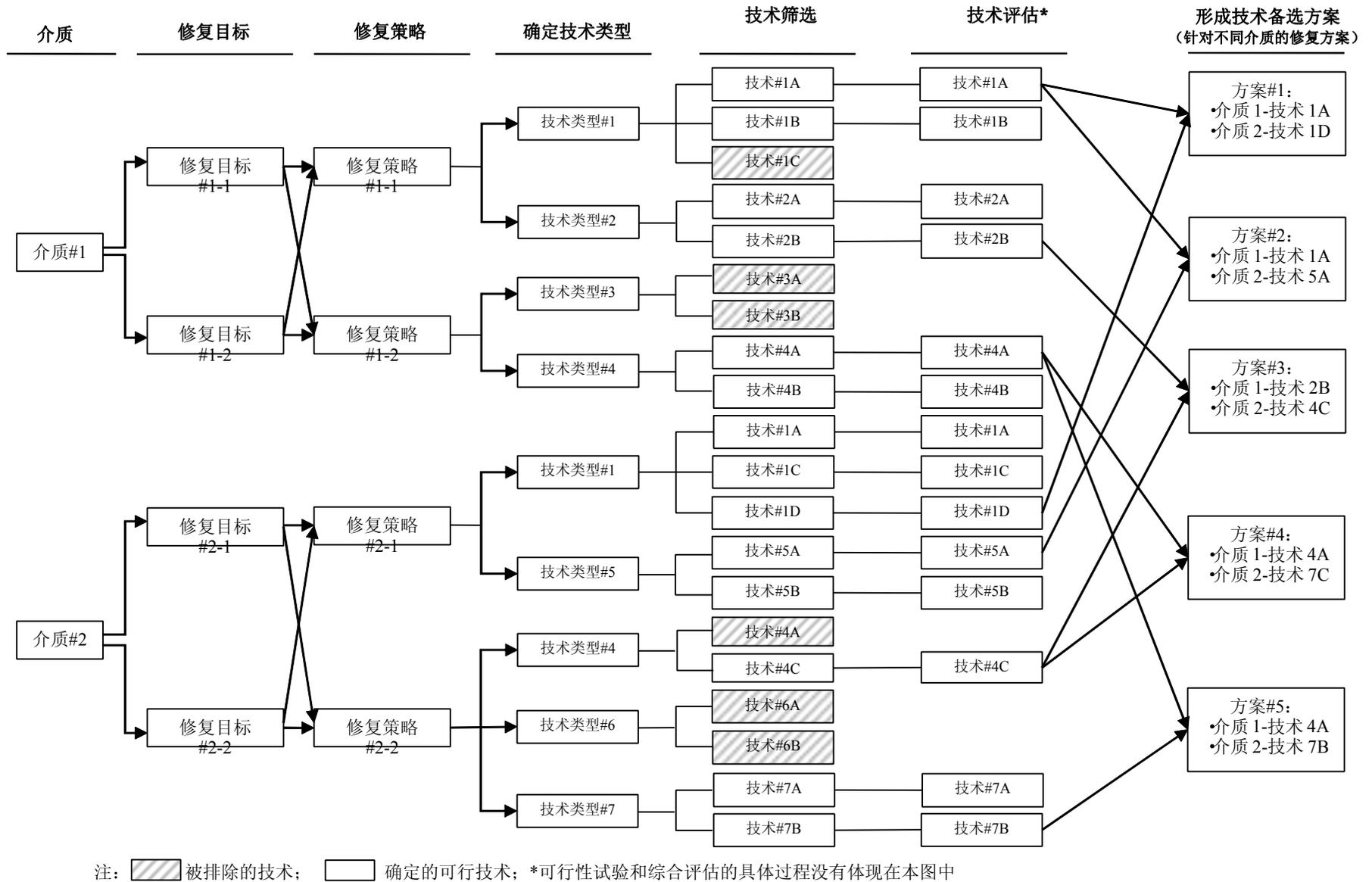
可行性评估中，不同试验研究的基本特征如附表 7.2 所示。

附表 7.2 生物修复技术可行性试验研究的基本特征

试验方法	适用性	规模	尺寸	时间
现场选择一小块需要修复的区域进行试验	原位生物修复	现场	0.8-929.0m <sup>2</sup> *	2 个月~2 年
土柱实验	原位生物修复	实验室和现场	0.0003-90.6m <sup>3</sup> 的土壤、砂、沉积物、石块等	1 周~6 个月
土罐实验	固相处理	实验室	0.9-45.4kg 的土壤	1~6 个月
泥浆反应器	液相和固相处理	现场	超过 75.7L 的泥浆	2~3 个月
		实验室	0.03-75.7L	1~8 周
封闭系统	堆肥、生物堆、固相处理	实验室和现场	0.2-2981.8m <sup>3</sup> 的土壤	10 天~10 个月

\*表示现场试验区域的深度需根据实际情况确定。

## 附录 8 修复方案形成过程



附图 8.1 修复方案形成过程图

## 附录 9 修复方案比选指标权重分配表及计算过程

专家评分方式必须首先建立各指标权重,通过专家打分的方式计算得到初步的权重分配表,详见附表 9.1,这些指标权重可根据场地修复技术的成熟进行优化和更新。

附表 9.1 修复方案比选指标初步权重分配

技术指标	0.297	可操作性	0.109
		污染物去除效率	0.112
		修复时间	0.076
经济指标	0.246	设备投资	0.098
		运行费用	0.092
		后期费用	0.056
环境指标	0.259	残余风险	0.077
		长期效果	0.090
		健康影响	0.092
社会指标	0.198	管理可接受程度	0.085
		公众可接受程度	0.113

计算过程如下。

由专家对各个修复方案分别进行评分,根据专家评分值,及部分定量数据(如已经获取的成本等数据),进行标准化处理,加权求和,得出每个方案的分值。具体过程如下。

### (1) 评价方法

- 专家打分;其中经济指标为实际值,其他指标为专家打分值;
- 将每个指标实际值或打分值进行归一化处理,得到[0,1]区间内的一个数;
- 乘以各自的权重,并加和,得到各个方案的总得分;
- 根据每个方案总得分,进行方案排序和优选。

### (2) 归一化方法

- 对于经济指标,值越小越优:归一化值=各方案本指标的最小值/原值  

$$B_{li}=y^{min}/y_{li} \dots \dots \dots (9.1)$$

式中,

$B_{li}$ 表示本指标方案 i 归一化后的值;

$y^{min}$ 表示本指标各个方案的最小值;

$y_{li}$ 表示本指标方案 i 的值;

- 对于其他指标, 值越大越优: 归一化值=原值/各方案本指标的最大值  
 $B_{li} = y_{li} / y_{li}^{\max} \dots \dots \dots (9.2)$

(3) 修复方案总排序

- 对各个修复方案比选指标的标准化分值进行加权求和, 公式如下:

$$C_i = \sum_{i=1}^n A_i * B_i \dots \dots \dots (9.3)$$

式中,

$C_i$ 表示方案分数最终计算结果;

$A_i$ 表示指标 i 的权重;

$B_i$ 表示方案指标 i 的归一化值。

## 附录 10 $t$ 检验方法

### 10.1 $t$ 检验

$t$  检验是判定给定的常数是否与变量均值之间存在显著差异的最常用的方法。

假设一组样本，样本数为  $n$ ，样本均值为  $\bar{x}$ ，样本标准差为  $S$ ，利用  $t$  检验判定某一给定值  $\mu_0$  是否与样本均值  $\bar{x}$  存在显著差异，步骤为：

确定显著水平  $\alpha$ ，常用  $\alpha=0.05$ ， $\alpha=0.01$ ；

计算检验统计量  $t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$ ；

根据自由度  $df = n - 1$  和  $\alpha$  查  $t$  分布临界值表，确定临界值  $C = t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$ ，例如  $n=8$ ， $\alpha=0.05$ ，则  $t=2.365$ ；

统计推断：若  $|t| > C$ ，即  $\mu_0 > \bar{x} + C \cdot S/\sqrt{n}$  或  $\mu_0 < \bar{x} - C \cdot S/\sqrt{n}$ ，则与均值存在显著差异，且前者为显著大于均值，后者为显著小于均值；若  $|t| \leq C$ ，即  $\bar{x} - C \cdot S/\sqrt{n} \leq \mu_0 \leq \bar{x} + C \cdot S/\sqrt{n}$ ，则与均值不存在显著差异。下文中将  $C \cdot S/\sqrt{n}$  简记为  $u$ 。

### 10.2 案例

假设一组样本数据，且平行样数量满足要求，将样本中的平行样检测数据列表如附表 10.1 所示。

附表 10.1 样本检测值

样本	浓度 (mg/kg)		
	砷	铜	铅
A <sub>1</sub>	71	215	183
A <sub>2</sub>	72	206	182
平均值	71.5	210.5	182.5
B <sub>1</sub>	52	180	181
B <sub>2</sub>	59	174	204
平均值	55.5	177	192.5
C <sub>1</sub>	17	43	70.1
C <sub>2</sub>	20	49	73.6
平均值	18.5	46	71.85
D <sub>1</sub>	42	127	84.2
D <sub>2</sub>	48	137	96.1
平均值	45	132	90.15

计算各平行样样本值占均值的百分比以反映测量分析的精度，如附表 10.2 所示。

附表 10.2 样本精度数据

样本	占均值的比例 (%)		
	砷	铜	铅
A <sub>1</sub>	99.30	102.14	100.27
A <sub>2</sub>	100.70	97.86	99.73
B <sub>1</sub>	93.69	101.69	94.03
B <sub>2</sub>	106.31	98.31	105.97
C <sub>1</sub>	91.89	93.48	97.56
C <sub>2</sub>	108.11	106.52	102.44
D <sub>1</sub>	93.33	96.21	93.40
D <sub>2</sub>	106.67	103.79	106.60
均值 (%)	100	100	100
S (%)	6.6	4.3	4.9
C ( $\alpha=0.05$ )	2.365	2.365	2.365
$u$ (%)	5.5	3.6	4.1
修复目标值 (mg/kg)	30	370	300
显著小于修复目标值 (mg/kg)	<28.4	<356.7	<287
与修复目标值不存在显著差异 (mg/kg)	[28.4,31.6]	[356.7, 383.8]	[287, 312]
显著大于修复目标值 (mg/kg)	>31.6	>383.8	>312

注：28.4=30×(100%-5.5%); 31.6=30×(100%+5.5%)。

以砷为例说明：

若某点检测值小于 28.4，则认为该点检测值明显低于修复目标值，达到验收

标准；

若某点检测值位于 28.4 和 31.6 之间，则认为该点检测值与修复目标无显著差异，达到验收标准；

若某点检测值大于 31.6，则认为该点检测值明显大于修复目标值，未达到验收标准。

## 参考附录

### 参考附录 1 钢铁生产不同功能区及重点关注污染物清单

附表 1.1 钢铁生产不同功能区土壤重点关注污染物清单

功能区	重点污染区域	重点关注污染物
焦化厂	整个生产区, 包括: 备煤、装煤、破碎、筛分、转运、煤气净化及化学品回收、粗苯管式炉、半焦烘干、氨分解炉、各类焦油贮槽、焦油渣和酸焦油等固废堆场。	苯并[a]芘等 PAHs、重金属、氰化物、硫化物、酚类、石油烃、VOC(含 BTEX)、杂环
	焦化废水处理、洗煤和熄焦及高炉冲渣废水等废水处理及排放处、生化污泥堆场等各类固体堆场。	+硫氰化物
烧结厂	整个生产区, 包括: 配料、混料、烧结、电除尘、烧结矿筛分转运、烧结机球团焙烧。	重金属、氟化物、NO <sub>x</sub> 、PAHs、VOC(含 BTEX)
	烧结机球团焙烧、烧结机头、机尾及烟囱周边、烧结机头电除尘灰堆场。	+二噁英/呋喃
	湿式除尘排水、煤气水封阀排水区域。	+氰化物、酚类、硫化物
炼铁厂	整个生产区, 包括: 原料系统、煤粉系统、高炉、高炉出铁场、沉渣池、热风炉。	重金属、NO <sub>x</sub> 、PAHs、氟化物、石油烃
	铸铁机冷却和高炉冲渣废水处理、(荒)高炉煤气洗涤与净化等炼铁废水沉淀池与处理池、瓦斯泥(灰)及装运、高炉渣堆场等区域。	+酚类、氰化物、硫化物
炼钢厂	生产区, 包括: 原料准备系统、混铁炉及铁水预处理(包括倒罐、扒渣等)、转炉、电炉、精炼炉、出钢、连铸切割、石灰窑、白云石窑焙烧、钢渣处理。	重金属、PAHs、氟化物、PCB
	烟气净化、连铸钢坯冷却、炼钢(连铸、转炉)废水处理、污泥堆场。	+酚类、氰化物、硫化物、石油烃
	含塑料的废钢预热、电炉炼钢、钢渣堆场、电渣冶金。	+二噁英/呋喃
轧钢厂	生产区, 包括: 热轧精轧机、热处理炉、拉矫、精整、抛丸、修磨、焊接等, 轧制、轧辊冷却、废水处理及其污泥堆场。	重金属、石油烃、VOC(含 BTEX)、PCB
	生产区, 包括: 热处理、酸洗、冷轧、调质、剪切、废酸再生。	重金属、石油烃、氟化物、VOC(含 BTEX)
	冷轧废液和废水处理及其污泥堆场。	+氰化物

备注: 重金属含: 镉 Cd、铬 Cr、铅 Pb、锌 Zn、汞 Hg、砷 As、铜 Cu、银 Ag、镍 Ni、锰

Mn、锑 Sb、锡 Sn、铊 Tl；16 种 PAHs：萘、蒽、芘、苊、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]芘、二苯并[a,h]蒽、苯并[g,h,i]芘；54 种 VOC 含：5 种苯系物（苯、甲苯、乙苯、间&对-二甲苯、苯乙烯）、1,2,4-三甲苯、异戊烷、1-丁烯、三氯乙烯、四氯化碳、氯苯、溴化甲烷等。

## 参考附录 2 杀虫剂类农药场地各工序及重点关注污染物 清单

本表包括滴滴涕、六氯苯、氯丹、灭蚁灵、毒杀芬、七氯、艾氏剂、狄氏剂、三氯杀螨醇、五氯酚钠、五氯酚的生产工艺流程和重点关注污染物清单。

附表 2.1 杀虫剂类农药场地各工序及重点关注污染物清单

产品	工序	重点关注污染物
滴滴涕	缩合工序	一氯苯、三氯乙醛、硫酸
	分层工序	废红酸、滴滴涕、氯苯
	蒸馏工序	滴滴涕、氯苯
	结晶工序	滴滴涕
	废水处理	滴滴涕、氯苯
六氯苯	热解工序	六六六、氯化氢、三氯苯
	氯化工序	三氯苯、氯气、六氯苯
	洗涤压滤	六氯苯
	废水处理	六六六、六氯苯
氯丹	氯啶工序	六氯环戊二烯、四氯化碳、氯啶
	合成工序	氯丹
	四氯化碳回收	四氯化碳
灭蚁灵	合成工序	六氯环戊二烯、四氯化碳
	过滤洗涤	灭蚁灵
	干燥工序	灭蚁灵
毒杀芬	蒸馏工序	
	氯化工序	四氯化碳、氯气
	脱酸工序	
	水洗工序	
七氯	乳化工序	四氯化碳、毒杀芬
	氯啶工序	六氯环戊二烯、环戊二烯、四氯化碳
	合成工序	七氯、氯气、四氯化碳
艾氏剂	蒸馏工序	四氯化碳、七氯
	合成工序	环戊二烯
	缩合工序	六氯环戊二烯、环戊二烯、艾氏剂
狄氏剂	脱除工序	艾氏剂
	混合工序	艾氏剂、甲苯
	过滤工序	
	氧化工序	废酸

产品	工序	重点关注污染物
	提取工序	
	脱除工序	狄氏剂、甲苯
三氯杀螨醇	氯化工序	滴滴涕
	水解工序	废酸、滴滴涕
	萃取工序	滴滴涕、三氯杀螨醇、废酸
五氯酚钠	水解工序	六氯苯
	结晶工序	六氯苯
	过滤工序	六氯苯、五氯酚钠
五氯酚	酸化工序	五氯酚钠、废酸
	洗涤工序	
	脱水工序	五氯酚钠、五氯酚
	干燥工序	五氯酚

## 参考附录 3 第一阶段调查报告编制提纲

- 1 概述（引言）
- 2 地理位置及场地自然环境状况
- 3 场地及周边土地业主及土地利用状况
  - 3.1 现状及历史场地业主状况
  - 3.2 场地使用历史回顾
  - 3.3 场地土地利用现状
  - 3.4 用地未来规划
  - 3.5 周边地区历史、现状的业主及土地利用状况概述
- 4 场地环境调查
  - 4.1 场地主要活动调查
    - 4.1.1 场地一般环境描述
    - 4.1.2 场地现状建筑
    - 4.1.3 生产工艺及规模
    - 4.1.4 生产设施及污染物排放
    - 4.1.5 罐、槽等储存设施、污水管线分布及污染情况
    - 4.1.6 实验室操作、使用和仪器
    - 4.1.7 主要设施记录表
    - 4.1.8 其他信息
  - 4.2 场地环境污染调查
    - 4.2.1 废水
    - 4.2.2 固体废物
    - 4.2.3 有毒有害化学物质
    - 4.2.4 污染事故调查
- 5 场地环境状况的分析与判断
- 6 结论和建议

附件：场地图件（包括平面布置图、工艺流程图、现场照片等，也可为报告插图）、场地业主变更记录、照片、化学物品的使用及设施清单、以往的土壤和地下水监测数据、以往的污染物排放监测数据、场地过去治理的有关记录。

## 参考附录 4 第二阶段调查报告编制提纲

- 1 总论
  - 2 第一阶段调查——污染识别（参考第一阶段调查）
  - 3 第二阶段调查——现场采样
    - 3.1 采样计划
      - 3.1.1 采样目的
      - 3.1.2 采样类型及布点情况
      - 3.1.3 分析项目
      - 3.1.4 现场质量保证与质量控制程序
    - 3.2 污染初步采样及结果分析
      - 3.2.1 现场采样及质量保证
      - 3.2.2 实验室分析及质量保证
      - 3.2.3 检测结果分析
    - 3.3 详细采样及结果分析
      - 3.2.1 现场采样及质量保证
      - 3.2.2 实验室分析及质量保证
      - 3.2.3 检测结果分析
    - 3.4 场地水文地质勘察及土工实验
  - 4 场地风险筛选
  - 5 结论和建议
- 附件

采样点位置和深度分布图（必备）  
现场采样钻井记录  
实验室检测数据报告（必备）  
水文地质勘察报告及附图（必备）  
实验室检测资质（必备）  
采样及水文地质勘察资质

## 参考附录 5 第三阶段调查报告编制提纲

- 1 总论
  - 2 第一阶段调查——污染识别（参考第一阶段）
  - 3 第二阶段调查——现场采样（参考第二阶段）
  - 4 第三阶段调查——风险评估
    - 4.1 场地概念模型的建立
      - 4.1.1 规划情景下暴露途径和关注污染物的确定
      - 4.1.2 暴露点浓度的确定
      - 4.1.3 场地概念模型的建立
    - 4.2 健康风险计算
      - 4.2.1 风险计算模型的选择
      - 4.2.2 风险计算参数的选择
      - 4.2.3 规划情景下的风险计算
    - 4.3 修复目标和修复范围的确定
      - 4.3.1 修复目标
      - 4.3.2 修复范围估计
    - 4.4 需要环境无害化处理的生产设施和废物
    - 4.5 补充采样（可选）
      - 4.5.1 补充采样计划
      - 4.5.2 现场采样及实验室分析
      - 4.5.3 检测结果分析
    - 4.6 风险评估的基本结论
  - 5 修复建议（可选）
  - 6 结论与建议
- 附件
- 场地地形及位置
  - 采样位置及设计
  - 场地安全与健康保障计划
  - 现场调查与钻井记录
  - 采样与数据分析质量保障/控制程序
  - 实验分析结果
  - 污染分布图

## 参考附录 6 修复方案编制大纲

- 1 总论
  - 1.1 场地基本信息
  - 1.2 任务由来
  - 1.3 编制目的
  - 1.4 编制依据
    - 1.4.1 法律法规
    - 1.4.2 技术导则、标准及规范
    - 1.4.3 其他文件
  - 1.5 编制原则
  - 1.6 编制内容
  - 1.7 技术路线
- 2 场地污染现状与风险评估
  - 2.1 场地污染现状
    - 2.1.1 土壤污染现状
    - 2.1.2 地下水污染现状
  - 2.2 风险评估
- 3 选择修复策略
  - 3.1 细化场地概念模型
  - 3.2 确认场地总体修复目标
  - 3.3 确定修复策略
    - 3.3.1 土壤修复目标值和修复范围
    - 3.3.2 地下水修复目标值和修复范围
    - 3.3.3 工程量估算
    - 3.3.4 确定修复策略
- 4 筛选与评估场地修复技术
  - 4.1 技术筛选过程
  - 4.2 技术评估过程
    - 4.2.1 可行性评估的必要性
    - 4.2.2 筛选性试验过程
    - 4.2.3 选择性试验过程
    - 4.2.4 修复技术定量评估
  - 4.3 确定修复可行技术
- 5 形成修复备选方案与方案比选

- 5.1 形成潜在可行的修复备选方案
  - 5.1.1 土壤修复方案
    - 5.1.1.1 技术路线
    - 5.1.1.2 应用规模
    - 5.1.1.3 工艺参数
    - 5.1.1.4 成本与周期估算
  - 5.1.2 地下水修复方案
    - 5.1.2.1 技术路线
    - 5.1.2.2 应用规模
    - 5.1.2.3 工艺参数
    - 5.1.2.4 成本与周期估算
- 5.2 方案比选
  - 5.2.1 比选方法与指标
  - 5.2.2 比选指标比较（技术、经济、环境、社会）
  - 5.2.3 比选结果与方案选择
- 6 场地修复方案设计
  - 6.1 修复方案的总体技术路线
  - 6.2 各修复技术应用规模
  - 6.3 土壤修复方案
    - 6.3.1 工艺流程
    - 6.3.2 修复方案
    - 6.3.3 周期与成本
  - 6.4 地下水修复方案
    - 6.4.1 工艺流程
    - 6.4.2 修复方案
    - 6.4.3 周期与成本
- 7 制定环境管理计划
  - 7.1 修复过程中的污染防治和人员安全保护措施
    - 7.1.1 土壤污染防治
    - 7.1.2 地下水（污水）污染防治
    - 7.1.3 大气污染防治
    - 7.1.4 噪声污染防治
    - 7.1.5 人员安全保护措施
  - 7.2 场地环境监测计划
    - 7.2.1 监测目的和类型

- 7.2.2 采样点布设
- 7.2.3 监测项目和标准
- 7.2.4 监测进度安排
- 7.3 场地修复验收计划
  - 7.3.1 验收程序
  - 7.3.2 验收时段和范围
  - 7.3.3 验收项目和标准
  - 7.3.4 采样点布设
  - 7.3.5 费用估算
- 7.4 环境应急安全预案
- 8 成本效益分析
  - 8.1 修复费用
  - 8.2 环境效益、经济效益、社会效益
- 9 施工进度安排
- 10 结论与建议
  - 10.1 修复方案编制的结论
  - 10.2 问题与建议

## 参考附录 7 修复环境监理方案编制提纲

环境监理单位根据场地环境调查评估备案文件、修复方案备案文件等，通过现场查看编制环境监理方案。一般包括以下内容：

### 1 总则

包括工作由来、依据、场地调查评估、修复方案及其备案要求等。

### 2 修复工程概况

介绍修复工程主要内容及概况，检查实施方案是否满足要求，与修复方案是否有变化。

### 3 环境保护目标

必要时对修复实施前周边环境状况进行监测，明确修复实施对周边环境是否存在影响。

### 4 环境监理工作目标和范围

### 5 工作内容和程序

### 6 主要环境影响及污染防治措施

根据项目特点、场地调查评估及修复方案，说明本监理过程的关注点及监理要求。

### 7 工作方法

### 8 工作制度

### 9 组织机构及职责

明确项目环境监理工作参与人员，并说明各自履行的工作职责。

### 10 主要成果

明确修复各个阶段环境监理单位要提交的工作成果。

附图

附件

## 参考附录 8 修复环境监理细则编制提纲

在监理方案的基础上,环境监理对方案中宏观的工作内容和程序进行细节上的规定,同时根据修复过程中具体事项对监理内容进行明确,以指导具体工作的开展。包括以下内容:

### 1 总则

包括工作由来、依据、场地环境调查评估、修复方案及其它要求等。

### 2 环境监理工作目标和范围

### 3 工作程序

### 4 工作内容

### 5 工作方式

### 6 环境监理对问题的处理

### 7 环境监理工作制度及细则

### 8 组织机构及职责

明确项目环境监理工作参与人员,并说明各自的工作职责。

### 9 各阶段环境监理实施细则

根据实施方案,说明修复实施具体各阶段、各工序环境监理的关注点及监理要求。

## 参考附录 9 修复环境监理定期报告编制提纲

环境监理单位根据工作进度，定期编制监理工作月报、季报、年报等定期报告提交至建设单位。主要包括：

- 1 工程概况
- 2 环境保护执行情况
- 3 修复进展
- 4 环保措施落实情况
- 5 环境事故隐患或环境事故
- 6 存在的主要问题及建议

## 参考附录 10 修复环境监理总结编制提纲

### 1 项目概况

#### 1.1 项目背景

介绍修复背景，场地环境调查评估和修复方案编制时间、备案部门、备案时间及报告书备案文号等。

#### 1.2 场地修复基本情况

介绍修复规模、修复方案、修复地点、时间安排、施工单位、工程监理单位，修复过程、验收过程情况说明和结论等。

#### 1.3 施工区环境概况

介绍项目周边环境敏感点情况。

### 2 工程主要环境影响

#### 2.1 水环境影响

#### 2.2 环境空气影响

#### 2.3 声环境影响

#### 2.4 固废影响

#### 2.5 生态影响

#### 2.6 其他影响

### 3 环境监理工作开展情况

#### 3.1 工作依据

#### 3.2 组织机构

#### 3.3 范围和工作内容

#### 3.4 工作程序

#### 3.5 管理体系

#### 3.6 工作方法

#### 3.7 大事记

### 4 环境监理工作成果

#### 4.1 环保措施落实情况

#### 4.2 环境污染事故的处理

#### 4.3 其他成果

### 5 结论及建议

### 6 影像资料附件

## 参考附录 11 环境监理用表

附表 11.1 环境监理日志

项目名称：

编号：

施工单位：			
分部工程：			
监理方式	日期	到达时间	离开时间
<input type="checkbox"/> 巡视 <input type="checkbox"/> 旁站			
天气现象	气温	风向	风速
	℃		
监 理 内 容			
环 保 问 题 及 处 理 结 果			
环境监理员：  日期：			

接班人员在交接班时核实交接情况，对核实后的情况负责。

附表 11.2 环境监理业务联系单

项目名称:

合同编号:

致 \*\*\*\*\*部门:

事由:

环境监理单位 (章):

签署人:

日期:

主受文单位签署意见:

承包单位 (章):

项目经理:

日期:

主送: 抄送:

附表 11.3 环保问题通知单

项目名称:

合同编号:

<p>致建设单位（或代表）：          年月日，施工单位          由于本通知单所述原因造成环保问题，属违反环保条款作业，环境监理人员已口头警告并签发《环境监理整改通知单》。为保证环保措施落到实处，请贵处协助环境监理单位立即责成施工单位认真整改，并避免类似情况再次发生。</p> <p>环境监理部（章）：          签发人：          日期：</p>	
《环境监理整改通知单》编号	
<p>违规情况描述：</p>	
<p>违规原因：</p>	
<p>建设单位（或代表）签署意见：</p> <p>建设单位（章）：          法人代表（签字）：          日期：</p>	

主送：

抄送：

附表 11.4 环境监理整改通知单

项目名称：                      合同编号：

致项目经理：

    年 月 日，贵单位

    由于本通知单所述原因造成环保问题，属违反环保条款作业，环境监理工程师已当场提出口头警告。为保证环保措施落到实处，请立即责成施工单位在年月日前完成整改，并避免类似情况再次发生。

环境监理部（章）：

签发人：

日期：

违规情况描述：

违规原因：

施工单位签署意见：

施工单位（章）：

项目经理（签字）：

日期：

主送：              抄送：

附表 11.5 环境问题处理意见单

项目名称：

合同编号：

工程名称			
环境问题及情况说明：			
拟采取的补救措施			
有关措施附件			
施工单位申报记录	项目总工：	环境 监 理 审 批 意 见	<input type="checkbox"/> 按报送措施计划执行 <input type="checkbox"/> 其他意见 监理工程师：      日期：
	日期：		监理总工：      日期：

本表单由施工单位接到《环境监理整改通知单》后向监理单位回复时填报。

附表 11.6 重大环境问题报告单

项目名称：

合同编号：

致环境监理单位： 年 月 日，在发生 重大环境问题，现将现场发生情况结果报告如下，待调查结果出来后，再另作详 情报告。			
施工单位：      项目经理：      日期：			
简要过程：			
环境影响情况：			
应急措施：			
初 步 处 理 意 见		环 境 监 理 单 位 记 录	环境监理单位： 日期：
			环境监理单位技术负责人： 日期：

本表单由施工单位在接到盖有“重大”字样的《环境监理整改通知单》后填  
报。

附表 11.7 环境问题返工指令单

项目名称：

合同编号：

致工程项目经理：  
由于本指令单所述原因，通知贵部对  
按照返工要求予以返工，并确保本返工工程项目达到环保条款合格标准要求。

环境监理单位（章）：

签发人：

日期：

返工原因：

返工要求：

施工单位签署意见：

施工单位（章）：

项目经理：

日期：

主送： 抄送：

附表 11.8 环境问题停工指令单

项目名称：

合同编号：

致工程项目经理：

由于本指令单所述原因，通知贵部于年月日时对工程项目暂停施工。

环境监理单位（章）：

签发人：

日期：

工程暂停原因：

施工单位签署意见：

施工单位（章）：

项目经理：

日期：

主送： 抄送：

附表 11.9 环境问题复工指令单

项目名称：

合同编号：

致工程项目经理：

鉴于环境监理单位停工指令中所述环保问题已经解决，请贵单位于年月日时对工程项目恢复施工。

环境监理单位（章）：

签发人：

日期：

施工单位签署意见：

施工单位（章）：

项目经理：

日期：

主送：

抄送：



## 参考附录 12 污染场地修复验收报告编写提纲

- 1 前言
  - 2 验收依据
  - 3 场地概况
    - 3.1 场地环境调查评估结论
    - 3.2 场地修复方案
    - 3.3 修复实施情况
  - 4 验收内容与方法
    - 4.1 工作范围和验收重点
    - 4.2 验收程序与方法
  - 5 文件审核与现场勘察
    - 5.1 文件审核
    - 5.2 现场勘察
  - 6 采样布点方案制定
    - 6.1 分析项目
    - 6.2 布点原则
    - 6.3 布点方案
  - 7 现场采样与实验室检测
    - 7.1 现场采样
    - 7.2 分析方法
    - 7.3 检测结果
    - 7.4 质量控制
  - 8 修复效果评价
  - 9 结论和建议
- 附件
- 1 监理报告
  - 2 检测报告