



# 中华人民共和国国家标准

□□ □□□□□□—□□□□

---

## 生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第 1 部分：土壤和地下水

Technical guideline for identification and assessment of  
environmental damage—Environmental elements  
—Part 1: Soil and groundwater  
(征求意见稿)

□□□□—□□—□□发布

□□□□—□□—□□实施

---

生态环境部  
国家市场监督管理总局 发布

# 目 次

前 言.....	ii
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 工作程序.....	3
5 鉴定评估准备.....	5
6 土壤与地下水损害调查确认.....	6
7 土壤与地下水损害因果关系分析.....	10
8 土壤与地下水损害实物量化.....	11
9 土壤与地下水损害恢复.....	12
10 土壤与地下水恢复效果评估.....	17
11 报告编制.....	18
附录 A（资料性附录）常用土壤恢复技术适用条件与技术性能.....	19
附录 B（资料性附录）常用地下水恢复技术适用条件与技术性能.....	27
附录 C（规范性附录）评估报告编制要求.....	32

# 前 言

为贯彻《中华人民共和国民法典》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》和《生态环境损害赔偿制度改革方案》，保护土壤与地下水环境及其生态服务功能，保障公众健康，规范涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估工作，制定本标准。

本标准规定了涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估的内容、程序和技术要求。

本标准的附录 A~附录 B 为资料性附录，附录 C 为规范性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：生态环境部环境规划院、中国科学院地理科学与资源研究所。

本标准自 202□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第1部分：土壤和地下水

## 1 适用范围

本标准规定了涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估的内容、程序和技术要求。

本标准适用于在中华人民共和国领域内因环境污染或生态破坏导致的涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估。

本标准不适用于核与辐射事故导致的涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估。

## 2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 5084	农田灌溉水质标准
GB 5749	生活饮用水卫生标准
GB 11607	渔业水质标准
GB 15618	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB 36600	土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
GB/T 14848	地下水质量标准
GB/T 18508	城镇土地估价规程
GB 9834	土壤有机质测定法
NY/T 1121.16	土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定
NY/T 1121.22	土壤检测 第22部分：土壤田间持水量的测定—环刀法
GB□ □□□□□	生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第1部分：总纲
GB□ □□□□□	生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第2部分：损害调查
HJ 25.1	建设用地土壤污染状况调查技术导则
HJ 25.2	建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
HJ 25.3	建设用地土壤污染风险评估技术导则
HJ 25.4	建设用地土壤修复技术导则
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
HJ 25.6	污染地块地下水修复和风险管控技术导则
HJ 493	水质采样 样品的保存和管理技术规定
HJ 710.1	生物多样性观测技术导则 陆生维管植物
HJ 710.2	生物多样性观测技术导则 地衣和苔藓
HJ 710.3	生物多样性观测技术导则 陆生哺乳动物
HJ 710.5	生物多样性观测技术导则 爬行动物
HJ 710.6	生物多样性观测技术导则 两栖动物
HJ 710.10	生物多样性观测技术导则 大中型土壤动物
HJ 710.11	生物多样性观测技术导则 大型真菌
HJ 1019	地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则
HJ/T 164	地下水环境监测技术规范
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
CJ/T 206	城市供水水质标准

- DZ/T 0282 水文地质调查规范（1：50000）  
《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》（环办〔2014〕118号）  
《环境损害鉴定评估推荐方法（第II版）》（环办〔2014〕90号）  
《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）  
《地下水污染模拟预测评估工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

##### 土壤 soil

位于陆地表层能够生长植物的疏松多孔物质层及其相关自然地理要素的综合体。

#### 3.2

##### 地下水 groundwater

埋藏于地表以下的各种形式的重力水。

#### 3.3

##### 环境敏感区 environmental sensitive area

依法设立的各级各类保护区域，以及对某类污染物或者生态影响特别敏感的区域，主要包括生态保护红线划定范围内或者其外的生态保护红线、自然保护区、海洋特别保护区、饮用水水源保护区、基本农田保护区、基本草原、重要湿地、天然林、野生动物重要栖息地、重点保护野生植物生长繁殖地、重要水生生物的栖息地和洄游通道、天然渔场、水土流失重点防治区、沙化土地封禁保护区、自然岸线，以及以居住、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公等为主要功能的区域。

#### 3.4

##### 评估区 assessment area

受环境污染或生态破坏事件影响，可能存在土壤和地下水环境损害，需要进行现场调查、地质勘探、采样监测、生物观测，以获取相关数据开展生态环境损害识别、分析与确认的区域。

#### 3.5

##### 健康风险评估 health risk assessment

在土壤与地下水调查的基础上，分析其中的污染物对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平。

#### 3.6

##### 概念模型 conceptual model

用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。

#### 3.7

##### 迁移路径 migration pathway

污染物从污染源经由各种途径到达暴露受体的路线。

#### 3.8

##### 受体 receptor

评估区域及其周边环境可能受到污染环境或破坏生态行为影响的土壤与地下水等环境要素以及人群、生物类群和生态系统。

### 3.9

#### 土壤与地下水生态服务功能 ecosystem services

土壤与地下水生态服务功能指土壤与地下水所具有的内在用途以及为保障人类生存及生活质量提供的惠益，如工业或商业用地、物种栖息地、农产品供给、水源供给等。

### 3.10

#### 环境修复 environmental remediation

生态环境损害发生后，为防止污染物扩散迁移、降低环境中污染物浓度，将环境污染导致的人体健康风险或生态风险降至可接受风险水平而开展的必要的、合理的行动或措施。

### 3.11

#### 生态恢复 ecological restoration

生态环境损害发生后，为将生态环境的物理、化学或生物特性及其提供的生态系统服务恢复至基线状态，同时补偿期间损害而采取的各项必要的、合理的措施。

### 3.12

#### 理论治理成本 theoretical treatment cost

通过治理成本函数计算得到的治理成本。治理成本函数是以治理费用为因变量，以处理技术、处理规模、污染物去除效率等因素为自变量构建的函数模型。在污染物浓度以及治理目标确定的情况下，将以上变量带入治理成本函数，可得到相应的理论治理成本。

## 4 工作程序

### 4.1 鉴定评估准备

掌握涉及土壤与地下水的生态环境损害的基本情况；了解评估区的自然环境与社会状况；初步判断土壤与地下水的受损范围，明确涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估的内容，确定鉴定评估方法，编制鉴定评估工作方案。

### 4.2 损害调查确定

通过开展地质和水文地质调查，明确污染物的迁移扩散条件；开展土壤与地下水污染状况调查以及土壤与地下水生态服务功能调查；确定土壤与地下水环境质量及其生态服务功能的基线水平；判断土壤与地下水环境及其生态服务功能是否受到损害。

### 4.3 因果关系分析

对于污染环境行为导致的损害，结合鉴定评估准备以及损害调查确认阶段获取的信息，进行污染源解析；提出从污染源到受体的迁移路径假设，并对其进行验证；基于污染源解析和迁移路径验证结果，分析污染环境行为与土壤与地下水损害之间是否存在因果关系。对于破坏生态行为导致的损害，分析破坏生态行为导致土壤与地下水环境及其生态服务功能损害的机理，判定破坏生态行为与土壤与地下水环境及其生态服务功能损害之间是否存在因果关系。

### 4.4 土壤与地下水损害实物量化

筛选确定土壤与地下水损害评估指标参数，对比受损土壤与地下水环境及其生态服务功能相关指标参数的现状与基线水平，确定土壤与地下水环境及其生态服务功能损害的程度和范围，计算土壤与地下水环境及其生态服务功能受损的实物量。

### 4.5 土壤与地下水损害恢复或价值量化

当受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能能够通过实施恢复措施进行恢复，或能够通过补偿性恢复补偿期间损害，采用基于恢复的方法进行损失计算，研究恢复目标，筛选恢复技术，比选恢复方案，包括基本恢复、补偿性恢复，必要时计算恢复费用。当受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能不能通过实施恢复措施进行恢复，或不能通过补偿性恢复补偿期间损害，采用环境价值评估方法进行损失计算。

#### 4.6 土壤与地下水损害鉴定评估报告编制

编制涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估报告（意见）书，同时建立完整的涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估工作档案。

#### 4.7 土壤与地下水恢复效果评估

定期跟踪土壤与地下水环境及其生态服务功能的恢复情况，全面评估恢复效果是否达到预期目标；当未达到预期目标，应设计补充性恢复方案，进一步采取相应措施，直到达到预期目标为止；当未达到预期目标，且经过风险评估等过程判断不需要开展进一步补充恢复，采用环境价值评估方法进行相应损失计算。

涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估程序见图 1。

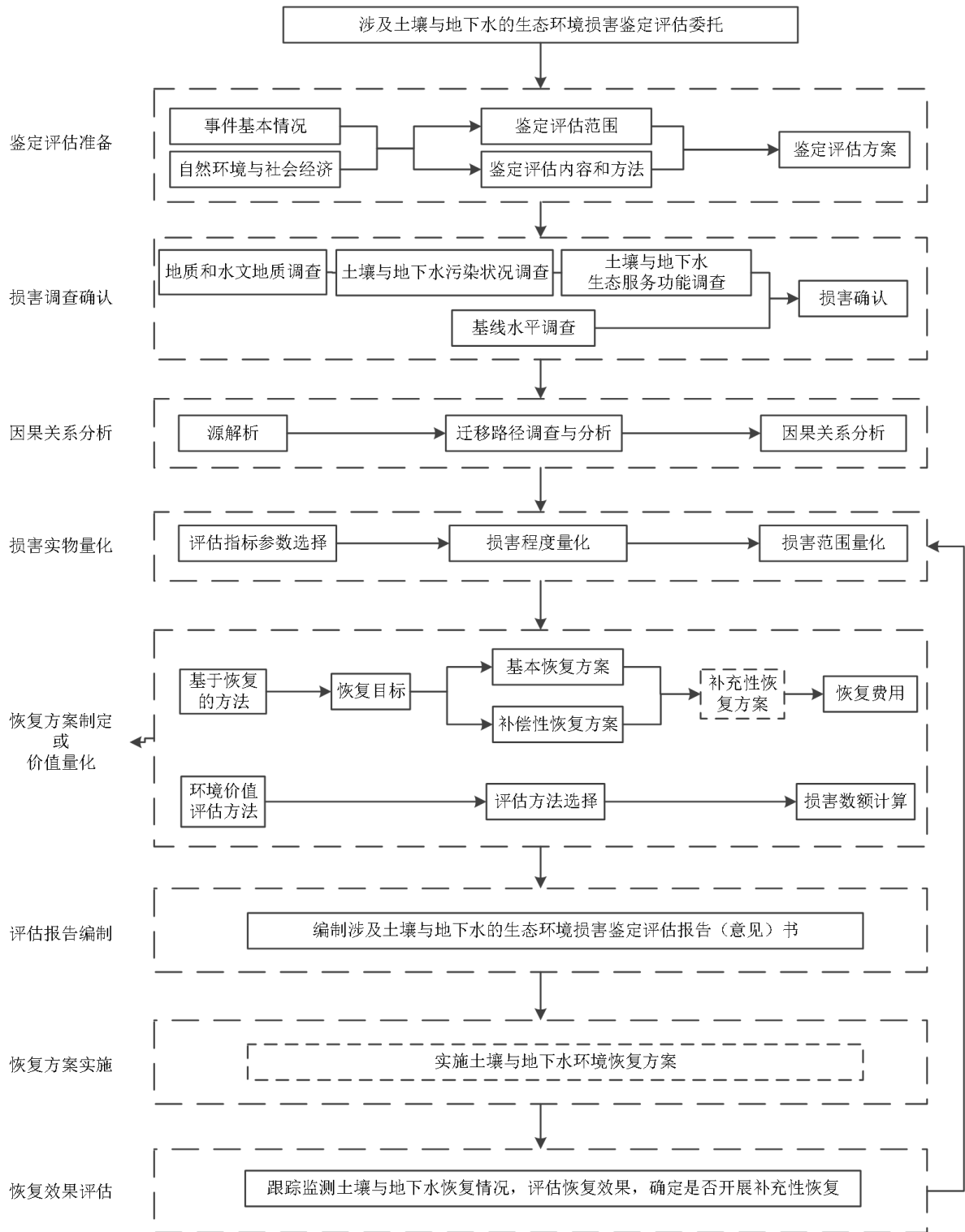


图 1 鉴定评估程序

## 5 鉴定评估准备

通过资料收集分析、文献查阅、座谈走访、问卷调查、现场踏勘、现场快速检测等方式，掌握涉及土壤与地下水的生态环境损害的基本情况，了解评估区的自然环境与社会状况，分析土壤与地



下水可能的受损范围，明确涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估工作的主要内容，研究确定每一步评估工作要采用的具体方法，编制鉴定评估工作方案。

### 5.1 基本情况调查

- a) 污染源相关信息：污染来源、生产历史、生产工艺和污染物产生环节、位置，污染物堆放和处置区域，历史污染事故及其处理情况；对于突发环境事件，应查明事件发生的时间、地点，可能产生的污染物的类型和性质、排放量（体积、质量），污染物浓度等资料和情况；
- b) 污染过程相关信息：污染物排放方式、排放时间、排放频率、排放去向，特征污染物类别、浓度，可能产生的二次污染物类别、浓度等资料和情况；污染源排放的污染物进入外环境生成的次生污染物种类、数量和浓度等信息；受破坏林地、耕地、草地、湿地等生态系统的自然状态，以及动植物受损的时间、方式和过程等信息；
- c) 前期处理处置相关信息：污染物清理、防止污染扩散等控制措施实施的相关资料 and 情况，包括实施过程、实施效果、费用等相关信息；
- d) 历史和现状监测相关信息：监测工作开展情况及监测数据，包括土壤与地下水环境质量监测数据、指示性生物物种数量、密度、结构、群落组成、结构、生物物种丰度等数据。

### 5.2 自然环境与社会经济信息收集

调查收集评估区域的自然环境信息，具体包括：

- a) 地形地貌、水文、气候气象资料；
- b) 地质和水文地质资料；
- c) 土地和地下水利用的历史、现状和规划信息；
- d) 已有地下水井的分布情况；
- e) 居民区、饮用水水源地、生态保护红线、自然保护区、湿地、风景名胜区等环境敏感区分布信息以及主要生物资源的分布状况；
- f) 厂矿、水库、构筑物、沟渠、地下管网、渗坑及其他面源污染等分布情况。

收集评估区域的社会经济信息，具体包括：

- a) 经济和主要产业的现状和发展状况；
- b) 地方法规、政策与标准等相关信息；
- c) 人口、交通、基础设施、能源和水资源供给等信息。

### 5.3 工作方案制定

根据所掌握的损害情况和所收集到的自然环境和社会信息，初步判断土壤与地下水环境及其生态服务功能可能的受损范围，必要时可结合遥感图、影像图进行辅助判断，或利用现有监测数据进行污染物空间分布模拟，缺乏具有时效性的监测数据时，建立区域或场地概念模型进行推演，确定损害范围。

根据损害的基本情况以及鉴定评估委托事项，明确要开展的损害鉴定评估工作内容，设计工作程序，通过调研、专项研究、专家咨询等方式，确定每一项鉴定评估工作的具体方法，编制评估工作方案。

## 6 土壤与地下水损害调查确认

按照评估工作方案的要求，参照 DZ/T 0282 等标准和规范性文件的要求，开展地质和水文地质调查，掌握土壤性质、地层岩性及构造分布、地下水赋存条件、地下水循环等关键信息；在此基础上，针对事件特征开展土壤与地下水布点采样分析，确定土壤与地下水污染状况，并对土壤与地下水的生态服务功能开展调查。同时，通过历史数据查询、对照区调查、标准比选等方式，确定土壤与地下水环境及其生态服务功能的基线水平，通过对比确认土壤与地下水环境及其生态服务功能是否受到损害。

### 6.1 地质和水文地质调查

### 6.1.1 调查目的

地质和水文地质调查的目的在于了解评估区土壤性质、地层岩性分布、构造发育、地下水类型、含水层分布、地下水补径排条件等情况，获取地质信息及关键水文地质参数，判断污染物在土壤和含水层中的迁移扩散条件，为土壤与地下水污染状况调查奠定基础，并为土壤与地下水环境及其生态服务功能受损情况的量化和因果关系判定提供依据。

### 6.1.2 调查原则

- a) 充分利用现有资料。根据现有资料对评估区地质及水文地质信息进行初步了解，重点关注已有水井资料，初步识别评估区或区域含水层分布、地下水流场、地下水补径排信息，现有资料不足时，开展进一步调查。
- b) 兼顾区域和评估区水文地质条件开展调查。获取区域地质及水文地质资料，初步判断评估区地质和水文地质信息，兼顾局部变化带来的影响，区域资料不能满足调查需要时，使用钻探、物探和相关试验等手段有针对性地开展评估区地质和水文地质调查工作。

### 6.1.3 调查方法

#### a) 资料收集

进一步收集评估区地质图、钻孔柱状图、地质剖面图、地质构造图、水文地质图等相关资料，识别评估区地层岩性及其分布情况、基岩裂隙发育情况，掌握评估区地下水赋存条件、含水层分布（埋深、厚度、岩性）、水文地质单元划分、地下水补径排条件及关键水文地质参数。

#### b) 现状调查

收集已建水井的建井资料，了解井深、井结构、建井材料性质、滤水管分布等信息，根据含水层结构特征，对已建水井开展水位统测，掌握不同含水岩组地下水埋深、地下水流向，当已建井结构、数量和位置满足条件，还可利用其开展水文地质试验，获取关键水文地质参数。利用已建水井开展水位统测、水质监测时，应注意排除存在建井记录不完整、封井不严等问题的水井。

#### c) 钻探、物探和试验

对于损害范围较大、需要初步查明近地表地层介质及特殊构造分布、不便于大范围开展钻探工作的情况，优先选择物探手段对区域进行识别，确定重点区域，指导后续的钻探或水文地质试验工作，通过钻探验证或进一步确定重点区域关注问题，如查明裂隙分布以确定污染物迁移的优先通道，通过水文地质试验查明渗透性异常区，以获取局部污染物迁移速率、分布情况突变原因等信息。

对于损害范围较小、需详细查明污染物分布特征、有条件开展详细钻探调查工作的情况，应充分利用评估区已有水文地质调查数据、物探结果等资料，并根据需要在重点关注点位开展钻探或水文地质试验工作，获取评估区地下水赋存条件、含水层分布、地下水补径排条件及重要水文地质参数。

当单一技术手段不足以满足损害评估调查工作需求时，需综合应用多种技术手段，如无法判断基岩裂隙分布时，可采用物探和钻探相结合的方法查明基岩裂隙分布情况，可利用土壤钻探和地下水监测井钻探过程中的钻孔记录确定地层岩性及其分布状况，利用地下水监测井开展水文地质试验。

## 6.2 土壤与地下水环境质量现状调查

### 6.2.1 特征污染物识别与选取

对于污染源明确的情况，优先采集能够代表污染源特征的样品，通过分析检测，将其中检出的污染物作为特征污染物；也可通过现场踏勘、资料收集和人员访谈，根据污染源的生产工艺、行业特征、评估区环境条件、污染物性质和转化规律等，综合分析，识别并选取特征污染物。

对于污染源不明的情况，通过采集可能受损的土壤和地下水样品，进行污染物的定性和定量分析，筛选特征污染物。从检出的污染物中筛选特征污染物应结合评估区特征，优先选择我国相关环境质量标准中的物质。对于检测到的环境质量相关标准中没有的物质，应通过查询国外相关标准、

研究成果，必要时结合相关实验测试，评估其危害，确定是否作为特征污染物。

当污染源为酸性和碱性物质，应将 pH 列为评估指标。当没有识别出特征污染物，但评估区土壤地下水呈现出明显的颜色或气味异常，应将颜色或气味列为评估指标。

### 6.2.2 点位和深度布设

对于损害时间较短、污染物排放量较小、疑似损害范围有限或污染物迁移扩散范围相对较小的情况，可根据污染发生的位置、污染物的排放量、土壤与地下水环境及其生态服务功能受损情况以及区域的地质和水文地质条件等，判断污染物可能的迁移扩散范围（包括水平和垂直范围）或土壤与地下水环境及其生态服务功能受损区域，在该范围或区域合理布设土壤与地下水调查点位，进行采样分析。

对于损害时间较长、污染物排放量较大、疑似损害范围较大或污染物迁移扩散范围相对较大的情况，如根据前期资料收集、分析与初步勘查结果，可识别疑似受损害区域，则将该区域作为重点调查区域。如无法对疑似受损害区域进行初步判断，可采用系统布点法或分区布点法，初步识别出受损害区域后使用专业判断布点法有针对性地进行调查。

对于土壤，通常接近污染源的位置点位密集，远离污染源的位置点位相对稀疏。对于地下水，应综合考虑地下水流向、水力坡降、含水层渗透性、埋深和厚度等水文地质条件及污染源和污染物迁移转化等因素，在地下水流向上游、地下水可能受损较严重区域、地下水流向下游分别布设监测调查点位。如涉及大气和地表水污染造成土壤与地下水污染的，布点时应同时考虑风向和地表水流方向。

土壤系统布点、分区布点和专业判断布点、地下水点位布设和深度布设的具体方法可参照 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ/T 166、NY/T 1121、HJ/T 164、DZ/T 0282、《地下水环境状况调查评价工作指南》等相关标准规范。

### 6.2.3 样品采集

土壤与地下水样品采集、保存、流转、分析检测、质量控制方法和要求参照 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ/T 166、HJ/T 164、HJ 493、DZ/T 0282、《地下水环境状况调查评价工作指南》进行；涉及农用地时，参照 NY/T 1121 进行。

### 6.2.4 样品检测

针对识别出的特征污染物，采集土壤与地下水样品，进行检测分析。检测指标还应考虑污染物转化过程中可能产生的二次污染物、前期应急处置和修复过程中新引入的物质以及前期应急处置和修复过程中可能产生的二次产物。对于涉及危险废物鉴定的情况，还需要根据 GB5085.1-7、HJ/T 298 的要求，进行相关指标的检测。

土壤样品分析检测及其质量控制方法和要求参照 GB36600，涉及农用地时，参照 GB15618，其它指标参照 HJ/T 166、NY/T 395；地下水分析检测及其质量控制方法和要求参照 GB/T 14848，其它指标参照 HJ/T 164。

当评估区土壤地下水呈现出明显的颜色或气味异常，应对颜色或气味异常的样品进行生物毒性测试，方法可参照相关权威文献中认可的方法。

### 6.2.5 质量保证与质量控制

采样质量控制措施包括采样过程记录，采样器具清洗等防止交叉污染措施，平行样、运输空白样和全程序空白样等质量控制样品的采集，具体参照 HJ 630 执行；分析测试质控措施包括分析方法的适用性检验、分析仪器校准、空白控制、精密度和准确度控制等，具体参照检测方法标准和 HJ 630 执行。

## 6.3 土壤与地下水生态服务功能调查

### 6.3.1 土壤生态服务功能调查

通过查找土地利用类型图、国土规划、高分辨率卫星遥感影像资料等方式获取土地使用历史、当前土地利用状况、未来土地利用规划等信息，确定土壤损害发生前、损害期间、恢复期间评估区的土地利用类型，如耕地、园地、林地、草地、商服用地、住宅用地、工矿仓储用地、特殊用地（如旅游景点、自然保护区）等类型。如用地类型为耕地、园地、林地、草地，需查明或计算主要的种植或养殖物类型和产量等信息；如用地类型为商服用地、住宅用地、工矿仓储用地，需查明用地价值计算所需的信息；如用地类型为旅游景点，需查明旅游休闲服务价值计算所需的信息；如用地类型为自然保护区，需查明或计算指示性物种的结构与数量等信息。

如需要采集生物样品，参照 HJ 710.1、HJ 710.2、HJ 710.3、HJ 710.5、HJ 710.6、HJ 710.10、HJ 710.11 进行。如需要检测生物样品中污染物浓度、以及土壤生物群落、土壤有机质、土壤孔隙度、土壤盐分、土壤持水率、地下水矿物质含量及酸碱度等指标，参照相关权威文献中认可的方法进行。

### 6.3.2 地下水生态服务功能调查

获取评估区水资源使用历史、现状和规划信息，查明地下水损害发生前、损害期间、恢复期间评估区地下水的主要生态服务功能类型，如饮用水水源、农业灌溉用水、工业生产用水、居民生活用水、生态用水等供水服务或资源支持、水量调节、物质循环等其他服务，并查明或计算开采量、用水量、水资源价值、含水介质性质等信息。

## 6.4 基线水平调查

### 6.4.1 优先使用历史数据作为基线水平

查阅相关历史档案或文献资料，包括针对评估区开展的常规监测、专项调查、学术研究等过程获得的报告、监测数据、照片、遥感影像、航拍图片等结果，获取能够表征评估区土壤与地下水环境及其生态服务功能历史状况的数据。历史数据应对评估区域具有较好的时间和空间代表性，且历史数据的采样、检测等数据收集方法与现状调查数据具有可比性。应对历史数据的变异性进行统计描述，识别数据中的极值或异常值并分析其原因。

### 6.4.2 以对照区调查数据作为基线水平

当缺乏评估区域的历史数据或历史数据不满足要求时，可以利用未受污染环境或破坏生态行为影响的“对照区域”确定基线。优先利用对照区域的历史数据确定基线；不满足条件时，在对照区进行土壤钻探、地下水监测井建设、采样分析和调查工作，获取对照区土壤与地下水生态服务功能状况。应选择一个或多个与评估区域可比且未受污染环境或破坏生态行为影响的对照区域。对照区域数据应具有较好的时间和空间代表性，对照区所在区域在地理位置、气候条件、地形地貌、生态环境特征、土地利用类型、水文地质条件、社会经济条件、生态服务功能等方面应与受影响区域类似，其土壤与地下水的物理、化学、生物学性质应与受影响区域类似。一般情况下，土壤对照点应位于受影响区域外部，可选取在受影响区域外部的四个垂直轴向上，每个方向上等间距布设若干采样点，对照点数量 $\geq 5$ 个。如评估区面积较大，污染物分布情况较复杂，应适当增加对照点数量。如因地形地貌、土地利用方式、污染物扩散迁移特征等因素致使土壤特征有明显差别或采样条件受到限制时，可根据实际情况进行调整，采样深度应尽可能与受影响区域内采样深度相同。地下水的对照点位应位于污染源的地下水流向上游一定距离内，并综合考虑水力坡降、含水层渗透性、埋深和厚度等水文地质条件及污染源和污染物迁移转化等因素，对照区所取地下水应与损害调查地下水位于同一层位。对照区数据收集方法应与评估区域具有可比性，并遵守评估方案的质量保证规定。

若对照区污染物浓度检测结果低于检出限，以检出限作为其浓度值计算基线水平。

### 6.4.3 参考环境质量标准确定基线水平

当无法获取历史数据和对照区数据，则根据评估区域土地利用方式和地下水使用功能，查找相应的土壤与地下水环境质量标准，包括国家标准、行业标准、地方标准和国外相关标准，如 GB 15618、GB 36600、GB/T 14848、GB 5749、GB 5084、GB 11607、GB 12941、DZ/T 0290、CJ/T 206。当存在多个适用标准时，应该根据评估项目所在地区技术、经济水平和环境管理需求选择标准。

#### 6.4.4 开展专项研究确定基线水平

当无法获取历史数据和对照区数据，且无可用的土壤与地下水环境质量标准时，应开展专项研究，如土壤与地下水中污染物的健康风险评估、土壤与地下水中污染物的迁移转化规律研究和模拟、污染物浓度与种群密度和物种丰度等指标之间剂量-效应关系研究、生态服务功能专项调查等工作，以确定土壤与地下水环境及其生态服务功能的基线水平。

#### 6.5 损害确定

当事件导致以下一种或几种后果时，可以确认造成了土壤与地下水环境及其生态服务功能损害：

- a) 调查点位所能代表区域的土壤与地下水中特征污染物的平均浓度超过基线水平，且与基线相比存在显著性差异；
- b) 污染源排放的物质呈酸性或碱性，导致调查点位所能代表区域的土壤与地下水中 pH 与基线相比存在显著性差异；
- c) 评估区土壤与地下水呈现明显颜色异常，经实验或测试表明具有生物毒性；
- d) 评估区指示性生物种群特征（密度、性别比例、年龄组成等）、群落特征（如多度、密度、盖度、丰度等）或生态系统特征（如生物多样性）发生不利改变，且与基线相比存在显著性差异；
- e) 因土壤和地下水污染造成评估区域生物损害（生物发生死亡、疾病、行为异常、肿瘤、遗传突变、生理功能失常、畸形）、地表水损害或其他资源损害；
- f) 土壤与地下水的其它性质发生改变，导致土壤与地下水不再具备基线状态下的生态服务功能，如土壤的农产品生产功能、地下水的饮用功能等。

### 7 土壤与地下水损害因果关系分析

#### 7.1 污染环境行为与损害之间的因果关系分析

结合鉴定评估准备以及损害调查确认阶段获取的损害事件特征、评估区域环境条件、土壤与地下水污染状况等信息，采用必要的技术手段对污染源进行解析；构建概念模型，开展污染介质、载体调查，提出特征污染物从污染源到受体的迁移路径假设，并通过迁移路径的合理性、连续性分析，对迁移路径进行验证；基于污染源解析和迁移路径验证结果，分析污染环境行为与损害之间是否存在因果关系。

##### 7.1.1 污染源解析

在已有污染源调查结果的基础上，通过人员访谈、现场踏勘、空间影像识别等手段和方法，调查潜在污染源，必要时开展地质和水文地质调查，进一步掌握水文地质条件，开展土壤与地下水采样分析，了解污染物的空间分布特征，或利用同位素技术，进行同位素组成和比例分析，并根据实际情况选择合适的统计分析方法，识别污染源。

污染源解析常用的方法包括：

- a) 指纹法：采集潜在污染源和受体端土壤与地下水样品，分析污染物类型、浓度、比例等情况，通过多元统计分析进行特征比对，判断受体端和潜在污染源的源性，确定污染源；
- b) 同位素技术：对于损害持续时间较长，且特征污染物为铅、镉、锌、汞等重金属或含有氯、碳、氢等元素的有机物时，可采用同位素技术，对潜在污染源和受体端土壤与地下水样品进行同位素分析，根据同位素组成和比例等信息，结合多元统计分析等方法，判断受体端

和潜在污染源的同源性，确定污染源；

- c) 多元统计分析法：采集潜在污染源和受体端土壤与地下水样品，分析污染物类型、浓度以及同位素组成、比例等情况，采用相关分析、主成分分析、聚类分析、因子分析等统计分析方法分析污染物与土壤、地下水理化指标及其时空分布相关性，判断受体端和潜在污染源的同源性，确定污染源。

### 7.1.2 迁移路径调查与分析

基于前期调查获取的信息，初步构建污染物迁移概念模型，通过地形条件分析、地质和水文地质条件调查和分析、包气带和含水层中污染物分布特征调查和分析等手段，识别传输污染物的载体和介质，提出污染源到受体之间可能的迁移路径的假设。

通过对载体运动方向和污染物空间分布特征的模拟和分析，判断迁移路径的合理性；并分析迁移路径的连续性，当存在迁移路径不连续的情况，应对可能的优先通道进行分析。

必要时，利用示踪技术，对迁移路径进行验证。

### 7.1.3 因果关系分析

同时满足以下条件，可以确定污染环境行为与损害之间存在因果关系：

- a) 存在明确的污染环境行为；
- b) 土壤与地下水环境及其生态服务功能受到损害；
- c) 污染环境行为先于损害的发生；
- d) 受体端和污染源的污染物存在同源性；
- e) 污染源到受损土壤与地下水之间存在合理的迁移路径。

## 7.2 破坏生态行为与损害之间因果关系分析

通过文献查阅、专家咨询、遥感影像分析、现场调查等方法，分析破坏生态行为导致土壤与地下水环境及其生态服务功能受到损害的作用机理，建立破坏生态行为导致土壤与地下水环境及其生态服务功能受到损害的因果关系链条。同时满足以下条件，可以确定破坏生态行为与损害之间存在因果关系：

- a) 存在明确的破坏生态行为；
- b) 土壤与地下水环境及其生态服务功能受到损害；
- c) 破坏生态行为先于损害的发生；
- d) 根据生态学、水文地质学等理论，破坏生态行为与土壤与地下水环境及其生态服务功能损害具有关联性；
- e) 可以排除其他原因对土壤与地下水环境及其生态服务功能损害的贡献。

## 8 土壤与地下水损害实物量化

将土壤与地下水中特征污染物浓度、生物种群数量和密度等相关指标的现状水平与基线水平进行比较，分析土壤与地下水环境及其生态服务功能受损的程度和范围，计算土壤与地下水环境及其生态服务功能损害的实物量。

### 8.1 涉及污染的土壤、地下水损害实物量化

对于涉及土壤、地下水污染物浓度变化的情形，损害程度可以通过分析土壤与地下水中特征污染物浓度超过基线水平的程度进行量化，为生态环境恢复方案的设计和后续的费用计算、价值量化提供依据。

#### 8.1.1 损害程度量化

基于土壤、地下水中特征污染物浓度与基线水平，确定每个评估区域土壤、地下水的受损害程

度，见公式 1：

$$Ke = (Te - Be)/Be \quad (1)$$

式中： $Ke$ ——某点位所能代表的区域土壤与地下水的受损害程度；

$Te$ ——某点位所能代表的区域土壤与地下水中特征污染物的平均浓度；

$Be$ ——土壤、地下水中特征污染物的基线水平。

### 8.1.2 损害范围量化

根据各采样点位土壤与地下水损害确定和损害程度量化的结果，分析受损土壤与地下水点位的位置和深度。在充分获取土壤和水文地质相关参数的情况下，构建评估区土壤与地下水污染概念模型，采用空间插值方法，模拟未采样点位土壤与地下水的损害情况，获得受损土壤与地下水的二维、三维空间分布，并根据需要模拟土壤与地下水中污染物的迁移扩散情况，明确土壤与地下水当前的损害范围及在评估时间范围内可能的损害范围，计算目前和在评估时间范围内可能受损的土壤、地下水面积与体积。地下水中污染物的迁移扩散模拟可参照《地下水污染模拟预测评估工作指南》。对于不满足插值条件、调查点位分布规律的情形，也可通过分析调查点位所能代表的区域，确定损害范围。对于无法找到损害边界的情况，土壤损害范围应从确认损害的边界点向外或向下延伸至少 0.5 m。

分析受损土壤或地下水中污染物浓度自然恢复至基线的可能性并估计“无行动-自然恢复”时间，当不能自然恢复，结合恢复方案，判断恢复所需的时间，确定损害的时间范围。

## 8.2 涉及生态系统服务功能损害的实物量化

当土壤与地下水生态系统中的生态系统服务功能受到损害，可基于指示性生物的种群特征、群落特征、生态系统特征、地下水资源量、旅游人次等指标与基线水平的比对，确定评估区域生态系统服务功能的受损害程度和范围：

### 8.2.1 损害程度量化

基于指示性生物的种群特征、群落特征、生态系统特征、地下水资源量、旅游人次等指标与基线水平的比对，确定生态系统服务功能的受损害程度，见公式 2：

$$Kr = (Tr - Br)/Br \quad (2)$$

式中： $Kr$ ——生态系统服务功能的受损害程度；

$Tr$ ——指示性指标的现状水平；

$Br$ ——指示性指标的基线水平。

### 8.2.2 损害范围量化

基于不同调查点位生态系统服务功能损害确定和损害程度量化结果，通过插值方法，或对不同点位所能代表的区域的分析研究，量化损害范围；或根据现场调查结果或遥感、无人机航拍等影像分析结果，量化损害范围。

分析受损土壤或地下水生态系统服务功能自然恢复至基线的可能性并估计“无行动-自然恢复”时间，当不能自然恢复，结合恢复方案，判断恢复所需的时间，确定损害的时间范围。

## 9 土壤与地下水损害恢复

损害情况发生后，当土壤与地下水中生态服务功能未明显改变，或者已经通过应急处置措施恢复至基线水平，参照《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》中的方法和要求进行污染清除和控制等实际费用的统计计算。

当土壤与地下水中的生态服务功能明显改变，或者未恢复至基线水平，应判断受损土壤与地下

水的环境及其生态服务功能是否能够通过实施恢复措施进行恢复，制定基本恢复方案。当损害时间>1年，应基于替代等值分析方法，计算生态系统服务功能的期间损害，并制定补偿性恢复方案。当制定的恢复方案未能将土壤与地下水环境及其生态服务功能完全恢复至基线水平并补偿期间损害，制定补充性恢复方案。土壤恢复方案的确定过程可参照 HJ 25.4 等文件执行。

当受损土壤与地下水环境及其生态服务功能不需要或不能通过实施恢复措施进行恢复或完全恢复到基线水平，或不能通过补偿性恢复措施补偿期间损害，利用环境价值评估方法对未予恢复的土壤与地下水环境及其生态服务功能损失进行计算。

## 9.1 土壤与地下水损害恢复方案的制定

### 9.1.1 恢复目标确定

#### a) 基本恢复目标

基本恢复是将受损土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复至基线水平。

先判断是否需要开展修复。当需要开展修复，且基于风险的环境修复目标值低于基线水平，应当修复到基线水平（见图 2），并根据相关法律规定进一步确认应该承担将污染物浓度从基线水平降至基于风险的环境修复目标值的责任方，要求责任方采取措施将风险降低到可接受水平；当需要开展修复，且基于风险的环境修复目标值高于基线水平且均低于现状污染水平，应当修复到基于风险的环境修复目标值（见图 3），并对基于风险的环境修复目标值与基线水平之间的损害进行评估计算，方法见 9.2。当不需要开展修复，且现状污染水平高于基线水平，应对现状污染水平与基线水平之间的损害进行评估计算（情景 III），方法见 9.2。

基于风险的环境修复目标值参照 HJ 25.4 和《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》等相关标准规范确定。

将环境介质修复至基于风险的目标值后，还应采取必要的恢复措施，将受损的生态环境完全恢复至基线水平。

#### b) 补偿性恢复目标

土壤与地下水环境的补偿性恢复目标是采用替代性的恢复方案，补偿受损土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复至基线水平的期间损害。

#### c) 补充性恢复目标

当由于现场条件或技术可达性等限制原因，土壤与地下水环境及其生态服务功能的基本恢复实施后未达到基本恢复目标或补偿性恢复未达到补偿期间损害的目标，则应开展补充性恢复或者采用环境价值评估方法，填补或计算这部分损失。



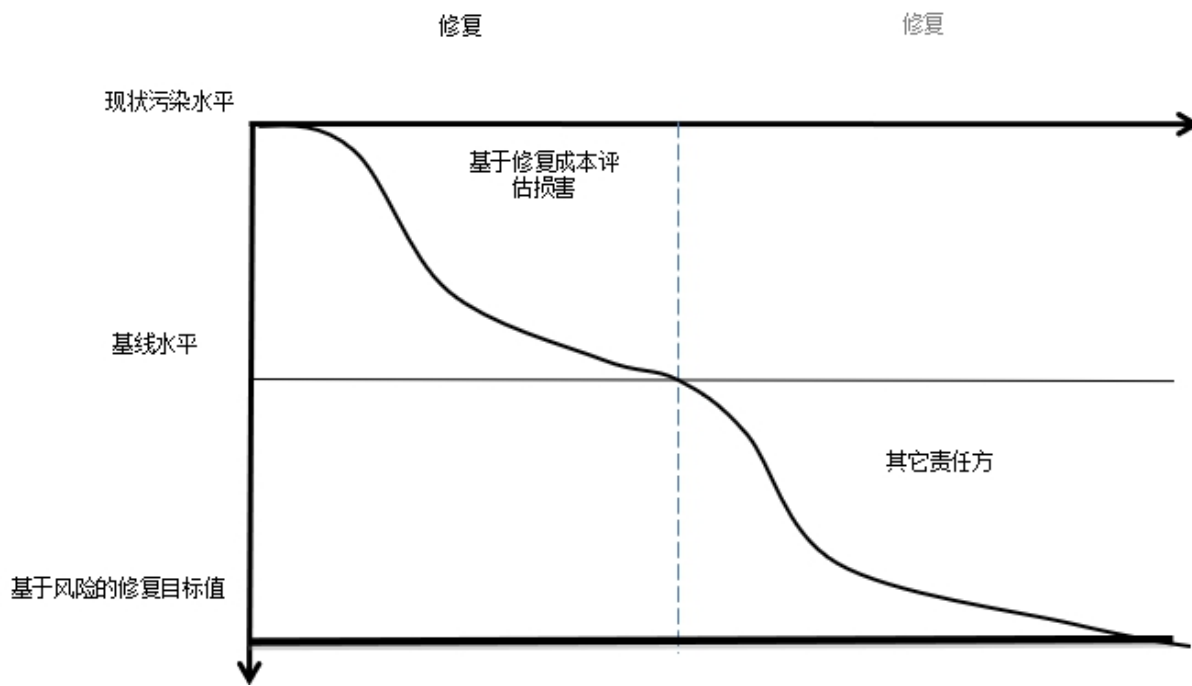


图 2 损害情景I

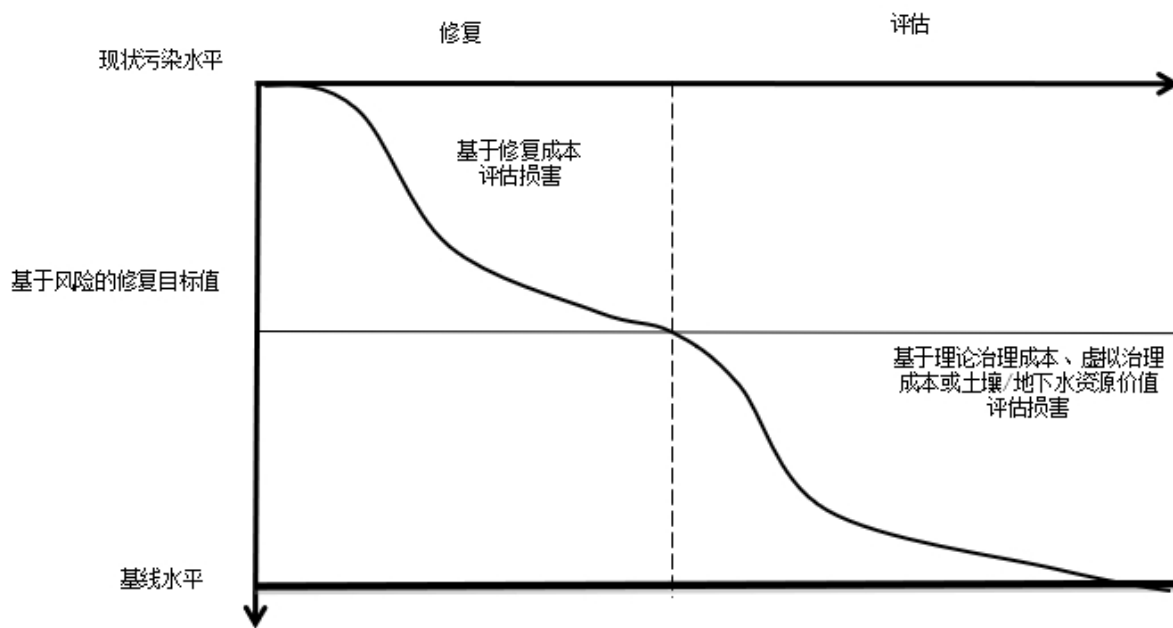


图 3

损害情景II

### 9.1.2 恢复技术筛选

在掌握不同恢复技术的原理、适用条件、费用、成熟度、可靠性、恢复时间、二次污染和破坏、技术功能、恢复的可持续性等因素的基础上，参见附录 A 和附录 B 中的恢复技术清单、相关技术规范与类似案例经验，结合土壤与地下水污染特征、损害程度、范围和生态环境特性，从主要技术指标、经济指标等方面对各项恢复技术进行全面分析比较，确定备选技术；或采用专家评分的方法，通过设置评价指标体系和权重，对不同恢复技术进行评分，确定备选技术。提出一种或多种备选恢

复技术，通过实验室小试、现场中试、应用案例分析等方式对备选恢复技术进行可行性评估。基于恢复技术比选和可行性评估结果，选择和确定恢复技术。

### 9.1.3 恢复方案确定

根据确定的恢复技术，可以选择一种或多种恢复技术进行组合，制定备选的综合恢复方案。综合恢复方案可能同时涉及基本恢复方案、补偿性恢复方案和补充性恢复方案，可能的情况包括：

- a) 仅制定基本恢复方案，不需要制定补偿性和补充性恢复方案：损害持续时间短于或等于一年，现有恢复技术可以使受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能在一年内恢复到基线水平，经济成本可接受，不存在期间损害；
- b) 需要分别制定基本恢复方案和补偿性恢复方案：损害持续时间长于一年，有可行的恢复方案使受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能在一年以上较长时间内恢复到基线水平，实施成本与恢复后取得的收益相比合理，存在期间损害。  
补偿性恢复方案包括恢复具有与评估区域类似生态服务功能水平区域的异位恢复、使受损的区域具有更高生态服务功能水平的原位恢复、达到类似生态服务功能水平的替代性恢复，如通过修建污水处理设施替代受污染的地下水自然恢复损失，通过荒漠植被恢复替代受污染的土壤自然恢复损失等方案。制定补偿性恢复方案时应采用损害程度和范围等实物量指标，如污染物浓度、受损资源或服务的面积或体积。
- c) 需要分别制定基本恢复方案、补偿性恢复方案和补充性恢复方案：有可行的恢复方案使受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能在一年以上较长时间内恢复到基线水平，实施成本与恢复后取得的收益相比合理，存在期间损害，需要制定补偿性恢复方案；基本恢复和补偿性恢复方案实施后未达到既定恢复目标的，需要进一步制定补充性恢复方案，使受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能完全实现既定的基本恢复和补偿性恢复目标；
- d) 现有恢复技术无法使受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复到基线水平，或只能恢复部分受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能，通过环境价值评估方法对受损土壤与地下水环境及其生态服务功能，以及相应的期间损害进行价值量化，见 9.2 节。

由于基本恢复方案和补偿性恢复方案的实施时间与成本相互影响，应考虑损害的程度与范围、不同恢复技术和方案的难易程度、恢复时间和成本等因素，对综合恢复方案进行比选，参照《环境损害鉴定评估推荐方法（第 II 版）》相关内容。

综合恢复方案的筛选时还需要考虑不同方案的成熟度、可靠性、二次污染、社会效益、经济效益和环境效益等方面。综合分析和比选不同备选恢复方案的优势和劣势，确定最佳恢复方案。

### 9.1.4 恢复费用计算

需要对恢复费用进行计算时，根据土壤与地下水的基本恢复、补偿性恢复和补充性恢复方案及其相关情况，按照下列优先级顺序选用费用计算方法，计算恢复工程实施所需要的费用：实际费用统计法、费用明细法、承包商报价法、指南或手册参考法、案例比对法。

#### a) 实际费用统计法

实际费用统计法适用于污染清理和恢复措施已经完成或正在进行的情况，可通过收集实际发生的费用信息，参照《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 2 部分：损害调查》相关内容，并对实际发生费用的合理性进行审核后，将统计得到的实际发生费用作为恢复费用。

#### b) 费用明细法

费用明细法适用于恢复方案比较明确，各项具体工程措施及其规模比较具体，所需要的设施、材料、设备等比较明确，且鉴定评估机构对方案各要素的成本比较清楚的情况。费用明细法应列出恢复方案的各项具体工程措施、各项措施的规模，明确需要建设的设施以及需要用到的材料和设备的数量和规格、能耗等内容，根据各种设施、材料、设备、能耗的单价，列出恢复工程费用明细。具体包括投资费、运行维护费、技术服务费、固定费用。投资费包括场地准备、设施安装、材料购置、设备租用等费用；运行维护费包括检查维护、监测、系统运行水电消耗和其它能耗、废弃物和废水处理处置等费用；技术服务费包括项目管理、调查取样和测试、质量控制、试验模拟、专项研

究、恢复方案设计、报告编制等费用；固定费用包括设备更新、设备撤场、健康安全防护等费用。

c) 承包商报价法

承包商报价法适用于恢复方案比较明确，各项具体工程措施及其规模比较具体、所需要的设施、材料、设备等比较确切，且鉴定评估机构对方案各要素的成本不清楚或不确定的情况。承包商报价法应选择3家或3家以上符合要求的承包商，由承包商根据恢复目标和恢复方案提出报价，对报价进行综合比较，确定合理的恢复费用。

d) 指南或手册参考法

指南或手册参考法适用于已经筛选确定恢复技术，但具体恢复方案不明确的情况，基于所确定的恢复技术，参照相关指南或手册，确定技术的单价，根据待恢复土壤与地下水的量，计算恢复费用。

e) 案例比对法

案例比对法适用于恢复技术和恢复方案均不明确的情况，调研与本项目规模、污染特征、环境条件相类似且时间较为接近的案例，基于类似案例的恢复费用，计算本项目可能的恢复费用。

## 9.2 其它价值量化方法

### 9.2.1 未修复到基线水平损害的量化方法

对于农用地或建设用地，当经修复后未达到基线水平（图3，情景II）或现状污染水平超过基线水平但不需要修复（情景III），按照如下方法计算基于风险的环境修复目标值或现状污染水平与基线水平之间的损害：

- a) 当基于风险的环境修复目标值或现状污染水平与基线水平对应的土地或地下水利用类型相同，建议按照以下方法计算与基线之间的损害：当能够获取土壤或地下水中污染物从基于风险的环境修复目标值或现状污染水平修复至基线水平的理论治理成本，基于该理论治理成本进行计算；当无法获取理论治理成本、全部不需要修复且污染物排放量可获取，可以利用基于污染物排放量的虚拟治理成本计算；否则，基于土壤/地下水资源非使用基准价值和根据最大超基线倍数确定的土壤或地下水资源非使用基准价值调整系数计算土壤或地下水资源受损价值，调整系数见表1和表2。土壤资源非使用基准价值为损害发生地土壤购置单价；当损害涉及多个地方时，根据多个地方的土壤购置单价和受损土壤方量确定。地下水资源非使用基准价值为损害发生地工业和生活水价经工业和生活用水量加权后价格；当损害涉及多个地方时，根据多个地方的水资源价格和受损水量确定。对于没有标准的污染物，调整系数取1。

表1 土壤资源非使用基准价值调整系数

土壤中污染物浓度最大超基线倍数	调整系数
≤200 倍	0.2
>200-≤2000 倍	0.4
>2000-≤5000 倍	0.6
>5000-≤30000 倍	0.8
>30000 倍	1

表2 地下水资源非使用基准价值调整系数

地下水中污染物浓度最大超基线倍数	调整系数
≤20 倍	0.2
>20-≤100 倍	0.4
>100-≤500 倍	0.6
>500-≤2000 倍	0.8
>2000 倍	1

- b) 当基于风险的环境修复目标值或现状污染水平与基线水平对应的土地或地下水利用类型不

同，应基于土地或地下水利用类型改变对应的土地或水资源价值变化评估损害。

c) 对于没有适合的补偿性恢复方案的期间损害，可以参照以上方法计算期间损害的价值量。

### 9.2.2 无法恢复的损害量化方法

对于土壤与地下水环境及其生态服务功能无法通过工程恢复至基线水平，没有可行的补偿性恢复方案填补期间损害，或没有可用的补充性恢复方案将未完全恢复的土壤与地下水恢复至基线水平或填补期间损害时，需要根据土壤与地下水提供的服务功能，利用直接市场价值法、揭示偏好法、效益转移法、陈述偏好法等方法，对不能恢复或不能完全恢复的土壤与地下水及其期间损害进行价值量化。

各种生态环境价值量化方法及其适用条件参照《环境损害鉴定评估推荐方法（第Ⅱ版）》相关内容。当损害前用地类型为耕地、园地、林地或草地，建议采用土地影子价格法计算土地资源功能损失，利用市场价值法计算种植或养植物生产服务损失；如损害前用地类型为商服用地、住宅用地，建议利用市场价值法计算土地资源功能损失，利用市场价值法计算工商业生产服务损失；如损害前用地类型为旅游景点等特殊用地，建议利用旅行费用法计算旅游休闲服务损失；如损害前用地类型为自然保护区等特殊用地，建议利用支付意愿调查法计算生物多样性维持功能损失；如损害前用地类型为工矿仓储用地，建议根据实际情况选择市场价值法或参考周边土地利用类型进行土地资源功能损失计算，利用市场价值法计算工业生产服务损失；如损害前用地类型为未利用地，建议参考周边土地利用类型进行土地资源功能损失计算。城镇土地价值建议参照 GB/T 18508 计算。当损害造成地下水资源用途改变或水资源量减少，建议采用水资源影子价格法计算水资源服务功能损失。当采用非指南推荐的方法进行生态环境价值量化评估，需要详细阐述方法的合理性。

对于没有适合的补偿性恢复方案的期间损害，可以参照以上方法计算期间损害的价值量。

## 10 土壤与地下水恢复效果评估

制定恢复效果评估计划，通过采样分析、问卷调查等方式，定期跟踪土壤与地下水环境及其生态服务功能的恢复情况，全面评估恢复效果是否达到预期目标；当未达到预期目标，应进一步采取相应措施，直到达到预期目标为止。

### 10.1 评估时间

恢复方案实施完成后，土壤与地下水的物理、化学和生物学状态及其生态服务功能水平基本达到稳定时，对恢复效果进行评估。

土壤恢复效果通常采用一次评估，地下水恢复效果通常需根据污染物和地质结构情况进行多次评估，直到地下水中污染物浓度不发生反弹，至少持续跟踪监测 12 个月。

### 10.2 评估内容和标准

恢复过程合规性，即恢复方案实施过程是否满足相关标准规范要求，是否产生了二次污染。

恢复效果达标性，即根据基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复方案中设定的恢复目标，分别对基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复的效果进行评估。

恢复效果评估标准参照 9.1.1。

### 10.3 评估方法

#### 10.3.1 监测和采样分析

根据恢复效果评估计划，对恢复后的土壤与地下水进行监测、采样，分析污染物浓度、色度等指标，或开展生物调查及其它土壤与地下水生态服务功能调查。调查应覆盖全部恢复区域，并基于恢复方案的特点制定差异化的布点方案。基于调查结果，采用逐个对比法或统计分析法判断是否达到恢复目标。涉及土壤修复的情况，效果评估点位采样分析和评估方法可参照 HJ 25.5 执行。涉及地下水修复的情况，效果评估点位采样分析和评估方法可参照 HJ 25.6 执行。

必要时，对周边土壤与地下水开展采样分析，确保恢复过程未造成污染物的迁移扩散，未对周边环境造成影响。

### 10.3.2 现场踏勘

通过现场踏勘，了解土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复进展，判断土壤与地下水是否仍有异常颜色或气味，观察主要生态服务功能指示性指标的恢复情况。

### 10.3.3 分析比对

采用分析比对法，对照土壤与地下水恢复方案及相关的标准规范，分析土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复过程中各项措施是否与方案一致，是否符合相关标准规范的要求；分析恢复过程中的各项监测数据，判断是否产生了二次污染；综合评价恢复过程的合规性。

### 10.3.4 问卷调查

通过设计调查表或调查问卷，调查基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复措施所提供的生态服务功能类型和服务量，判断是否达到恢复目标；此外，调查公众与其他相关方对于恢复过程和结果的满意度。

## 11 报告编制

根据委托内容，基于评估过程所获得的数据和信息，编制涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估报告，报告的格式和内容参见附录 C。

附录 A

(资料性附录)

常用土壤恢复技术适用条件与技术性能

表 A.1 常用土壤恢复技术适用条件与技术性能表

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
1、污染物去除技术									
水泥窑协同处置技术	有机物、重金属	不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤；由于水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土壤的添加量。	国内的应用成本为 800-1000 元/m <sup>3</sup> 。	该技术广泛应用于危险废物处理，国外较少用于污染土壤处理，国内已广泛用于污染土壤处理。	能够完全消除污染。	处理周期与水泥生产线的生产能力及污染土壤添加量相关。	污染土壤转运过程中需要密封、苫盖和跟踪监控，防止遗撒、泄露等。	污染土壤处理后成为水泥熟料，土壤生态功能完全破坏。	恢复后土壤生态功能完全丧失，无法恢复。
热脱附技术	挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、多氯联苯）和重金属汞	不适用于无机物污染土壤（汞除外），也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。	国外对于中小型场地（2 万 t 以下，约 26800m <sup>3</sup> ）处理成本约为 100-300 美元/m <sup>3</sup> ，对于大型场地（大于 2 万 t，约合 26800m <sup>3</sup> ）处理成本约为 50 美元/m <sup>3</sup> 。国内处理成本约为 600-2000 元/t。	国外已广泛用于挥发性和半挥发性有机污染物相关的场地修复项目，其比例占到了美国超级基金场地恢复项目的 8%。国内属于起步阶段，有少量应用案例。	可基本去除污染物，有机物去除率可达 95% 以上。	处理周期为几周至几年。	污染土壤转运过程中需要密封、苫盖和跟踪监控，防止遗撒、泄露等。在处理过程需要密封、监控，产生的气体应经过处理达标后排放。	对于含氯有机物，非氢化燃烧的处理方式可以避免二噁英的生成。	修复后的土壤可再利用。

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
原位化学氧化技术	石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物。	适用于多种高浓度有机污染物的处理；在渗透性较差区域（如粘土层中），氧化剂传输速率可能较慢；土壤中存在的一些腐殖酸、还原性金属等，会消耗大量氧化剂；受 pH 值影响较大。	美国的应用成本为 220,000-230,000 美元/场地，约 123-164 美元/m <sup>3</sup> ；国内的应用成本为 300-1500 元/m <sup>3</sup> 。	该技术在美国已经得到了广泛的工程化应用，被用于多个有毒废弃场地，国内有部分工程应用。	基本能满足恢复目标，对于某些难降解有机污染物，可能需要进行进一步处理。	一般少于 6 个月。	污染物彻底氧化后，只产生水、二氧化碳等无害产物，二次污染风险较小。	过程可能会造成产热、产气等不利影响，导致土壤与地下水中的污染物挥发到地表。	修复后的土壤有机质受损，导致部分生态功能丧失，可利用性降低。
异位化学氧化技术	石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物	不适用于重金属污染土壤的恢复，对于吸附性强、水溶性差的有机污染物应考虑必要的增溶、脱附方式。	国外的应用成本约为 200-660 美元/m <sup>3</sup> ；国内的应用成本一般为 500-1500 元/m <sup>3</sup> 。	国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛，国内发展较快，已有工程应用。	恢复效果比较可靠。	处理周期与污染物初始浓度、恢复药剂与目标污染物反应机理有关。处理周期较短，一般为数周至数月。	污染土壤转运过程中需要密封、苫盖和跟踪监控，防止遗撒、泄露等。土壤修复过程中应密封、监控，气体须经过处理达标后排放。	过程可能会造成产热、产气等不利影响，导致土壤结构和部分生态功能破坏。	修复后的土壤有机质受损，导致部分生态功能丧失，可利用性降低。

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
原位化学还原技术	重金属类（如六价铬）和氯代有机物等	受 pH 值影响较大。	国外的应用成本约 150-200 美元/m <sup>3</sup> ；国内的应用成本约为 500-2000 元/m <sup>3</sup> 。	在国外已经得到了广泛的工程应用，国内有部分工程应用。	基本能满足恢复目标。	清理污染源区的速度相对较快，通常需要 3-24 个月。	一些含氯有机污染物的降解产物仍有一定的毒性；还原后的污染物在某些特定的条件下可能会重新被氧化；一些危险化学物质的使用可能会引起安全问题。	过程可能会造成产热、产气等不利影响，导致土壤结构和部分生态功能破坏。	修复后的土壤部分生态功能丧失，但可恢复。
异位化学还原技术	重金属类（如六价铬）和氯代有机物等	适用于石油烃污染物的处理。	在国外约为 200-660 美元/m <sup>3</sup> ；在国内，一般介于 500-1500 元/m <sup>3</sup> 之间。	国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛；国内发展较快，已有工程应用。	受环境中氧化物影响较大，稳定性较差。	处理周期与污染物初始浓度、恢复药剂与目标污染物反应机理有关。通常处理周期较短，一般可以在数周到数月内完成。	污染土壤转运过程中需要密封、苫盖和跟踪监控，防止遗撒、泄露等。土壤修复过程中应密封、监控，气体须经过处理达标后排放。	过程可能会造成产热、产气等不利影响，导致土壤结构和部分生态功能受损。	修复后的土壤部分生态功能丧失，但可恢复。
洗脱技术（异位）	重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性	对于大粒径污染土壤的修复更为有效，砂砾、沙、细	美国处理成本约为 53-420 美元/m <sup>3</sup> ；欧洲处理成本约	国外已经形成完善的技术体系，且工程应用广泛	修复效果较好，但需要配备	一般少于 12 个月。	洗脱产生的污染废水容易造成二次污染。	污染土壤处理后营养元素缺失，土	修复后土壤生态功能基本丧失，较



恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
	有机污染物	沙以及类似土壤中的污染物更容易被洗脱出来，而粘土中的污染物则较难洗脱，因此不宜用于土壤细粒（粘/粉粒）含量高于 25% 的土壤。常与其它修复技术联用，扩散过程要求准确控制（避免污染物向非污染区扩散）。	15-456 欧元/m <sup>3</sup> ，平均为 116 欧元/m <sup>3</sup> 。 国内处理成本约为 600-3000 元/m <sup>3</sup> 。	（美国、加拿大、欧洲及日本等已有较多的应用案例）；国内发展很快，已有工程应用案例。	废水处理系统。			壤生态功能基本丧失。	难恢复。
气相抽提技术	可用来处理挥发性和半挥发性的有机污染物（SVOCs, VOCs）和某些燃料，亨利常数大于 0.01 或蒸汽压力大于 66.6Pa（0.5mmHg 柱）	适用于包气带污染土壤的恢复，且要求污染土壤具有质地均一、渗透能力强（透气率大于 1×10 <sup>-4</sup> cm/s）、孔隙度大、湿度小和地下水位较深的特点。低渗透性的土壤难以采用该技术进行修复处理，地下水位亦会影响修复效果。	基于国外相关修复工程案例，该技术应用成本约为 150-800 元/t。	在美国“国家优先名录”污染场地中，SVE 技术作为最常用的污染源处理技术占污染源控制项目的 25%，对于 VOCs 类的污染物，SVE 技术则约占 60%。该技术在外国已有很多成功的工程案例。国内已有中试应用。	能有效地去除土壤中的挥发性有机污染物。	一般为 6-24 个月。	处理过程中产生的气体和渗滤水需收集处理后排放，控制二次污染。	处理过程对土壤的损害较小，生态功能基本无损伤。	可持续性恢复。
生物堆技术	石油烃等易生物降解的有机	不适用于重金属、难降解有机污染物	美国应用的成本约为 130-260 美元	相关配套设施已能够成套化生产	恢复效率有限。	一般为 1-6 个月。	无二次污染，环境扰动小。	污染土壤处理后基本无	可持续性恢复。

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
	物	污染土壤的修复，粘性土壤修复效果较差。	/m <sup>3</sup> ；国内的工程应用成本约为 300-400 元/m <sup>3</sup> 。	制造，在国外已广泛应用于石油烃等易生物降解的污染物的修复，技术成熟。国内发展也已比较成熟，相关核心设备已能够完全国产化，已有用于处理石油烃污染土壤及油泥的工程应用案例。				损伤，对土壤生态功能不产生影响。	
生物通风技术（原位）	挥发性、半挥发性有机物（如石油烃、非氯化溶剂、某些杀虫剂防腐剂等）	适宜于处理渗透性强的非饱和带污染土壤，不适合于重金属、难降解有机物污染土壤的修复，不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤修复。	国外相关场地处理成本约为 13-27 美元/m <sup>3</sup> 。	该技术在国内工程应用较少，尚处于中试阶段。	对于修复成品油污染土壤非常有效，包括汽油、喷气式燃料油、煤油和柴油等。	一般为 6-24 月。	为避免二次污染，应对尾气处理设施的效果进行定期监测，以便及时采取相应的应对措施。	污染土壤处理后损伤较小，生态功能基本无损伤。	可持续性恢复。

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
植物修复技术	重金属（如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等），以及特定的有机污染物（如石油烃、五氯酚、多环芳烃等）	不适用于未找到修复植物的重金属，也不适用于某些有机污染（如六六六、滴滴涕等）污染土壤的修复；植物生长受气候、土壤等条件影响；不适用于污染物浓度过高或土壤理化性质严重破坏不适合修复植物生长的土壤。	美国的应用成本约为25-100美元/t；国内的工程应用成本约为100-400元/t。	在国外已广泛应用于重金属、放射性核素、卤代烃、汽油、石油烃等污染土壤的恢复，技术相对比较成熟；在国内发展也比较成熟，已广泛用于重金属污染土壤的修复。	修复较慢，到一定浓度水平后效果减弱。	一般为3-8年。	为避免二次污染，应对修复植物的后续处理进行监测，以便及时采取相应的应对措施。	污染土壤处理后即可再利用。	不破坏土壤结构和肥力，修复后的土壤可再利用。
2、污染物风险控制技术									

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
阻隔填埋技术	适用于重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤	不宜用于水溶性强的污染物和渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。该方法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，即只能将污染物阻隔在特定的区域中；效果受地下水中酸碱组分、污染物类型、活性、分布、阻隔墙体的深度、长度和宽度、场地水文地质条件、泥浆及回填材料的类型等因素的影响。	该技术的处理成本与工程规模等因素相关，通常原位土壤阻隔覆盖技术应用成本为 500-800 元/m <sup>2</sup> ；异位土壤阻隔填埋技术应用成本 300-800 元/m <sup>3</sup> ；国外泥浆墙安装费用 540-750 美元/m <sup>3</sup> （不含化学分析、可行性或兼容性测试）。	该技术在国外已经应用 30 多年，已成功用于近千个工程，技术已经相对成熟；国内已有较多的工程应用。	能够降低土壤环境风险，达到风险控制目标。	处理周期较短，一般为 3-6 个月。	需要设置相应的气体收集系统、渗滤液收集系统，并定期监测，及时作出响应，以防止二次污染。	污染土壤的生态功能没有得到恢复。	在技术实施完毕后应进行封场生态恢复，封场生态恢复后可以重新恢复该填埋区域的利用价值，如建设公园绿地等。
原位固化/稳定化技术	金属类、石棉、放射性物质、腐蚀性无	不适用于挥发性有机污染物和以污染物总量为验收目标	美国 EPA 数据显示，应用于浅层污染介质修复的成本	美英等国家率先开展了污染土壤的固化/稳定化研	能够降低土壤环境风险，达	一般为 3-6 个月。	向污染土壤添加药剂进行处理后，土壤酸碱	经过处理后，土壤大都固封为结	修复后的土壤生态功能基本被破

恢复技术	目标污染物	适用条件	成本	成熟度	可靠性	单位污染土壤恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
	机物、氰化物以及砷化合物等无机污染物；农药/除草剂、石油或多环芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机污染物	的项目。	约为 50-80 美元/m <sup>3</sup> ，对于深层修复的成本约为 195-330 美元/m <sup>3</sup> 。国内原位固化/稳定化技术的修复费用为 500-1000 元/m <sup>3</sup> 。	究，已形成了较完善的技术体系。据美国环保署统计，2005-2008 年应用该技术的案例占恢复工程案例的 7%，技术已较为成熟；该技术在国内尚处于中试阶段。	到风险控制目标。		性、含盐量等发生变化，造成土壤生态功能破坏。	构完整的具有低渗透系数的固化体，土壤生态功能基本被破坏。	坏，且难以恢复。
异位固化/稳定化技术	金属类、石棉、放射性物质、腐蚀性无机物、氰化物以及砷化合物等无机污染物；农药/除草剂、石油或多环芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机污染物	主要应用于处理受无机物污染的土壤，不适用于挥发性有机污染物和以污染物总量为恢复目标的项目。	据美国 EPA 数据，对于小型场地（约 765m <sup>3</sup> ）处理成本约为 160-245 美元/m <sup>3</sup> ，对于大型场地（38228m <sup>3</sup> ），处理成本约为 90-190 美元/m <sup>3</sup> ；国内处理成本一般为 500-1500 元/m <sup>3</sup> 。	国外应用广泛，据美国 EPA 统计，1982-2008 年已有 200 余项超级基金项目应用该技术。国内已有较多工程应用。	能够降低土壤环境风险，达到风险控制目标。	处理周期受土壤方量、修复工艺、养护时间、施工设备、修复现场平面布局等影响。通常，日处理能力为 100-1200m <sup>3</sup> ，单批次处理周期 1~2 个月。	向污染土壤添加药剂进行处理后，土壤酸碱性、含盐量等发生变化，造成土壤生态功能破坏。	经过处理后，土壤生态功能基本被破坏。	修复后的土壤生态功能基本被破坏，需要很长时间逐渐恢复。

附录 B

(资料性附录)

常用地下水恢复技术适用条件与技术性能

表 B.1 常用地下水恢复技术适用条件与技术性能表

恢复技术	目标污染物	适用条件	费用	成熟度	可靠性	恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
1、污染物去除技术									
抽出处理技术	可溶的有机和无机污染物以及浮于潜水面上的油类污染物	用于去除地下水中溶解的有机污染物和浮于潜水面上的油类污染物，一般仅适用于渗透性好的含水层，对于低渗透性的黏性土层和低溶解度、高吸附性的污染物效果不理想，存在 NAPL（非水相液体）的含水层处理效果差。	美国处理成本约为 15-215 美元/m <sup>3</sup> 。	国外 80 年代开始应用，应用广泛、成熟度高，据美国 EPA 统计，1982-2008 年期间，有 798 个超级基金项目使用该技 术。国内已有工程应用。	可使地下水的污染水平迅速降低，初期效果较好，但短时间内很难使地下水 中有机物含量达到环境 风险可接受水平，后期 效果较差。	数年到数十年。	抽出水量较大，影响治 理区及周边地区的地下 水动态；若不封闭污染 源，当工程停止运行时， 将出现严重的拖尾和污 染物浓度升高的现象。	污染地下水处理后回灌 或者外排，地下水基本 生态功能得到部分恢 复。	需要持续的能量供给， 确保地下水的抽出和水 处理系统的运行，还要求 对系统进行定期的维护与 监测，地下水需要很长 时间完全恢复生态功能。
空气注入技术	可用来处理地下水中大量的挥发性和半挥发性有机污染物（各种燃料，如汽油、柴油、喷气燃料	适用于渗透性较高、均 质性较好的地层以及挥 发性较大、溶解性较大 的污染物，适用于具有 较大饱和厚度和埋深的 含水层。不适用于非挥 发性的污染物，不适合 在低渗透率或高黏土含 量的地区使用，不能应	20-50 美元/t。	美国很多地方都采用了 该技术来进行地下水的 恢复，并取得了很好的 效果。据美国 EPA 统计，1982- 2005 年期间国家优先 治理场地中 254 个地下 水污染恢复工程技 术中有 72 个为曝	通常与其他抽气技术（如气相抽提技术）联 用，恢复效果一般。	1-4 年。	对生态环境的影响较 小。	地下水生态功能基本可 恢复。	地下水生态功能基本可 恢复。

恢复技术	目标污染物	适用条件	费用	成熟度	可靠性	恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
	等；石油及油脂；BTEX 及氯化物溶剂等)	用于承压含水层及土壤分层情况下的污染物治理。更适于消除地下水中难移动处理的污染物（如 DNAPL）。		气法。 国内刚刚起步，实地应用较少，大部分是室内试验。					
渗透反应墙技术	)氯代烃、重金属（六价铬、砷等）、硝酸盐、氟化物、垃圾渗滤液等	不适用于承压含水层，不宜用于含水层深度超过 10m 的非承压含水层，对反应墙中沉淀和反应介质的更换、维护、监测要求较高。	小型场地为 0.21-0.28 美元/m <sup>3</sup> 地下水；大型场地 0.10-0.17 美元/m <sup>3</sup> 地下水；据 2012 年 3 月美国海军工程司令部发布的技术报告，成本介于 1.5-37.0 美元/m <sup>3</sup> 。	该技术较为成熟，在北美和欧洲等发达国家有较多应用。美国环保署、美国海军工程服务中心等机构已制定并发布了本技术的工程设计手册。国内尚处于小试和中试阶段。	恢复效率较慢，后期容易出现污染反弹，恢复效果一般。	通常需监测 2 年以上，墙体可使用 5-10 年，处理周期一般需要几年甚至几十年。	可能存在二次污染。	地下水基本生态功能将部分恢复。	挖掘处理需避免二次污染，恢复后的地下水生态功能基本恢复完全。

恢复技术	目标污染物	适用条件	费用	成熟度	可靠性	恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
原位化学氧化技术	石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氯有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物	适用于多种高浓度有机污染物的处理，当存在还原性金属等，会消耗大量氧化剂；受 pH 值影响较大。	美国的应用成本为约 123 美元/m <sup>3</sup> 左右。	该技术在美国已经得到了广泛的工程化应用，被用于数千个有毒废弃场地，国内有部分工程应用。	基本能满足恢复目标，对于某些难降解有机污染物如多环芳烃，可能需要进行进一步处理。	一般小于 6 个月。	污染物彻底氧化后，只产生水、二氧化碳等无害产物，二次污染风险较小。	过程可能会发生热、产气等不利影响，导致地下水中的污染物挥发到地表。	可能存在拖尾和污染物浓度升高的现象，恢复后的地下水需要一段时间完全恢复生态功能。
原位化学还原技术	重金属类（如六价铬）和氯代有机物（三氯乙烯）等	受 pH 值影响较大。	国外的应用成本约 130 美元/m <sup>3</sup> 左右。	在国外已经得到了广泛的工程应用，国内有部分工程应用，但仍以小试和中试应用为主。	基本能满足恢复目标，但对于重金属铬而言，恢复后期总量不变，具有潜在风险。	一般为 3-24 个月。	一些含氯有机污染物的降解产物仍有一定的毒性；固定的污染物在某些特定的条件下可能会重新释放出来；一些危险化学物质的使用可能会引起安全问题。	过程可能会发生热、产气等不利影响。	可能存在拖尾和污染物浓度升高的现象，恢复后的地下水需要一段时间完全恢复生态功能。



恢复技术	目标污染物	适用条件	费用	成熟度	可靠性	恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
多相抽提技术	适用于挥发性有机物污染土壤与地下水，例如石油烃类（BTEX、汽油和柴油等）以及有机溶剂类（如三氯乙烯和四氯乙烯）	适用于加油站、石油企业和化工企业等多种类型的污染场地，尤其适用于存在非水相液态污染物情形的污染地下水的恢复；不宜用于渗透性差或者地下水水位变动较大的场地。	小型场地成本为29-72 美元/m <sup>3</sup> ；大型场地成本为30-68 美元/m <sup>3</sup> ，地下水处理成本为35 美元/m <sup>3</sup> 。国内恢复成本为400 元/kg NAPL 左右。	国外技术成熟，已广泛应用。国内已有少量工程应用。	场地水文地质条件和污染物分布可能会影响恢复效率；可能需要同P&T 技术等联用；对污染物的去除效果较好。	一般为1-24 个月。	对地面环境的扰动较小；运行过程中地下水水位与系统运行前相比仅略有下降。	通过真空手段抽取地下水、浮油层到地面进行相分离及处理，可部分恢复基本生态功能。	需要封闭污染源，恢复处理后地下水需要较长时间恢复生态功能。
原位微生物恢复技术	有机污染物为主	适用于渗透性较好的大面积污染区域的治理；适宜于污染物易降解的情况；在非均质性介质中难以覆盖整个污染区；不能降解所有污染物；对温度等环境条件要求较严。	处理成本较高，特别是前期调查和筛选阶段。	国内尚未有实际工程应用案例，还处于探索试验阶段。	效果不稳定且无法完全去除污染物。	一般大于6 个月。	以原位方式进行，可使对污染位点的干扰或破坏达到最小；使有机物分解为二氧化碳和水，可以永久地消除污染物和长期的隐患，无二次污染，不会使污染转移	污染物很难清除完全，地下水生态功能恢复难。	恢复处理后地下水需要采取其他的恢复技术才可恢复生态功能。
2、污染物风险控制技术									

恢复技术	目标污染物	适用条件	费用	成熟度	可靠性	恢复时间	二次污染和破坏	技术功能	恢复的可持续性
监测自然衰减技术	碳氢化合物（如BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、石油烃、多环芳烃、MTBE（甲基叔丁基醚））、氯代烃、硝基芳香烃、农药类、重金属类、非金属类（砷、硒）、含氧阴离子（如硝酸盐、过氯酸）等	适用范围较窄，一般仅适用污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的区域，且不适用于对场地恢复时间要求较短的情况。	主要为监测、钻井等产生的费用，美国单个项目费用为140000-440000美元。	作为一种有效的方法已开始在世界范围内得到应用，但我国还处于萌芽阶段。	能够降低环境风险，但恢复效果较差。	时间较长，数年或更长时间。	对环境破坏最小。	不会带入外部干扰，地下水生态功能可自动恢复。	地下水生态功能可恢复，地下水可再利用。
原位阻隔技术	有机物、金属、核素等污染物	适用于埋深浅的潜水含水层，且地下水流动作用较小，对场地恢复时间要求较短的情况。	其处理成本与阻隔材料、工程规模等因素相关。美国的成本介于1.5-37.0美元/m <sup>3</sup> 。国内尚无参考的工程案例成本。	国内现场应用较少，目前仍处于技术开发及其推广阶段。	能够降低地下水环境风险。	处理周期较长，一般需要几年甚至几十年。	可能存在二次污染。	会带入外部干扰，但恢复后地下水的生态功能可基本恢复。	挖掘处理需避免二次污染，恢复后的地下水生态功能基本恢复完全。

**附录 C**  
**（规范性附录）**  
**评估报告编制要求**

**C.1 概述**

**C.1.1 事件基本情况**

介绍涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估的背景情况，当突发环境事件，应写明事件发生的时间、地点、起因和经过，可能产生的污染物类型、性质、产生和排放量，污染物浓度，事件发生后采取的应急处置措施等基本情况；当发生大气污染物、废水和废弃物倾倒、排放、泄漏等情况导致的涉及土壤与地下水的生态环境损害事件，应写明损害区域的位置，生产经营历史、生产工艺、产排污环节、历史污染事故、潜在污染源，倾倒、排放、泄漏的大气污染物、废水或废弃物类型、排放量，特征污染物及其排放量，前期采取的污染控制或污染物清理措施等基本情况；当发生生态破坏导致的涉及土壤与地下水的生态环境损害事件，应写明生态破坏发生的时间、地点、起因和经过，生态服务功能破坏的类型或性质，对土壤与地下水的影响方式，已经采取的生态恢复措施等基本情况。

**C.1.2 区域基本情况**

简要介绍生态环境损害区域的自然环境状况和社会经济状况。自然环境状况包括地形地貌、水文、气候气象，地质和水文地质，土地和地下水利用历史、现状和规划，环境敏感区分布，现有地下水井分布，地面和地下构筑物分布，生态服务功能类型等内容。社会经济状况包括经济和主要产业的现状和发展状况，地方法规政策和标准规范，人口、交通、基础设施、能源和水源供给等内容。

**C.1.3 鉴定评估工作基本情况**

**C.1.3.1 鉴定评估目标**

依据委托方委托的鉴定评估事项，阐明开展涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估的目标。

**C.1.3.2 鉴定评估依据**

写明开展本次涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估所依据的法律法规、标准、技术规范等内容。

**C.1.3.3 鉴定评估范围**

写明本次涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估的损害类型、时间范围和空间范围及确定依据。

#### C.1.3.4 鉴定评估内容

写明本次涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估工作的主要内容，可选内容包括土壤与地下水损害调查确认、土壤与地下水损害因果关系分析、土壤与地下水损害实物量化、土壤与地下水损害恢复、土壤与地下水恢复效果评估等方面。

#### C.1.3.5 鉴定评估工作程序

详细阐明开展本次涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估工作的技术路线和工作程序，并给出相应的流程图。

### C.2 土壤与地下水损害调查确认

#### C.2.1 地质和水文地质调查

涉及地下水污染的，阐述土壤与地下水损害调查确认过程中所开展的地质和水文地质调查的方法，包括水文地质调查点位的布设方案和依据，钻探、建井方法，土工测试指标，抽水试验/微水试验方案。写明地质和水文地质调查结果，包括地层分布、地下水水位、地下水流向、渗透系数、地下水流速等信息，并在附件中附钻孔柱状图、地质剖面图、地下水等水位线图等图件。

#### C.2.2 土壤与地下水污染状况调查

阐述所开展的土壤与地下水污染状况调查过程，包括采样点位布设方案和依据，样品采集、保存和流转方法，分析测试方法，质量控制措施。分析土壤与地下水污染状况调查结果，包括土壤与地下水中污染物类型、浓度。

#### C.2.3 土壤与地下水生态服务功能调查

阐述土壤与地下水生态服务功能调查过程及所获得的结果。

#### C.2.4 基线水平调查

描述土壤与地下水基线水平确定的过程，详细阐明理由。当采用对照区域数据作为基线水平，应阐述对照区域调查过程，包括点位布设方案和依据，样品采集、保存和流转方法，分析测试方法，质量控制措施，以及调查结果。当针对基线水平进行了专项研究，应阐述研究所用到的方法、模型、参数以及研究结果等内容。

#### C.2.5 损害确定

写明土壤与地下水损害确定的结果，包括是否存在生态环境损害、生态环境损害类型、损害评估区域等内容。

### C.3 土壤与地下水损害因果关系分析

对于污染环境行为导致的损害，其损害鉴定评估报告的因果关系分析部分应包含以下内容：

#### C.3.1 污染源解析

详细介绍污染源解析的思路、过程和结果，对各类潜在污染源进行描述。对于潜在污染源不明确的情况，应说明污染源调查所采用的方法、过程和结果。当存在多个潜在污染源时，阐述污染源解析所采用的方法、过程和结果。当开展了专项调查或专项研究，应详细阐明调查研究方案、实施过程及结果。

### C.3.2 迁移路径调查与分析

阐述迁移路径调查和分析的过程。当开展了专项调查或专项研究，应详细阐明调查研究方案、实施过程及结果。当开展了模拟分析，应阐述模拟分析所用到的模型、参数及结果。

### C.3.3 因果关系分析

总结污染源解析及迁移路径调查分析过程所获得的信息，依据因果关系判定原则，得出因果关系判定结论。

对于破坏生态行为导致的损害，其损害鉴定评估报告的因果关系分析部分应包含以下内容：详细介绍因果关系分析所采用的方法，阐述破坏生态行为导致土壤与地下水环境及其生态服务功能受到损害的作用机理分析过程，得出因果关系判定结论。

### C.4 土壤与地下水损害实物量化

基于 2.4 所确定的基线水平，对土壤与地下水环境及其生态服务功能的损害程度和范围进行量化，计算土壤与地下水环境及其生态服务功能受损程度以及受损土壤与地下水的面积、体积，并给出土壤与地下水环境及其生态服务功能受损范围图。

### C.5 土壤与地下水损害恢复或价值量化

阐明土壤与地下水环境及其生态服务功能综合恢复方案确定与价值量化的基本思路与依据。

当基于恢复方案进行损害赔偿，应详细阐述基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复的总体目标和分阶段目标及其确定依据，各个阶段所采用的恢复技术和方案及其比选过程。必要时基于所确定的恢复方案计算各阶段恢复费用。

当基于经济评估方法确定损失，应阐述所用到的经济评估方法、选择依据、评估过程和评估结果。

### C.6 土壤与地下水恢复效果评估

阐述土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复效果评估内容、标准、效果评估过程所采用的方法及评估结果。阐述土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复过程规范性评价所依据的标准和评价结果。阐述效果评估点位布设方案和依据，调查方法（包含样品采集、保存和流转方法，分析测试方法，质量控制措施），以及调查结果。当采用调查问卷或调查表对土壤与地下水生态服务功能和公众满意度进行了调查，应详细介绍主要调查内容和结果。

当实施土壤与地下水恢复效果评估后，编写本章。

### C.7 鉴定评估结论

针对涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估委托事项，写明每一项鉴定评估结论，包括土壤与地下水环境及其生态服务功能是否受到损害、损害是否与污染源具有因果关系、损害的程度和范围、受损土壤与地下水的价值、受损土壤与地下水的恢复过程是否合规以及是否达到目标等内容。对涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估过程中的特别事项进行说明，分析鉴定评估结论可能存在的 uncertainty。

对土壤与地下水损害的补充性恢复、跟踪监测、效果评估等工作提出必要的建议。

### C.8 签字盖章

阐明涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估报告的真实性、合法性、科学性；明确报告的所有权、使用目的和使用范围；所有参与报告编制的人员进行署名，并盖报告编制单位公章。

### C.9 附件

附件包括土壤与地下水损害鉴定评估工作过程中所制定的各类方案和所获取的各种证据资料，包括鉴定评估方案、各类调查监测方案、效果评估方案，各类调查监测数据和报告、效果评估报告，以及各类图件、照片、访谈记录等材料。