

附件

生态环境损害鉴定评估技术指南

土壤与地下水

Technical guidelines for identification and assessment of
eco-environmental damage
Soil and groundwater

生态环境部

二〇一八年十二月

目 次

前 言.....	6
1 适用范围.....	7
2 规范性引用文件.....	7
3 术语和定义.....	9
4 工作程序.....	11
5 鉴定评估准备.....	14
6 土壤与地下水损害调查确认.....	16
7 土壤与地下水损害因果关系分析.....	24
8 土壤与地下水损害实物量化.....	27
9 土壤与地下水损害恢复.....	29
10 土壤与地下水恢复效果评估.....	38
11 报告编制.....	40
附录 A.....	41
附录 B.....	51
附录 C.....	57

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，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，为环境管理与环境司法提供依据，制定本指南。

本指南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。

本指南为指导性文件。

本指南为首次发布。

本指南由生态环境部法规与标准司组织制定。

本指南主要起草单位：环境规划院、中国科学院地理科学与资源研究所。

本指南由生态环境部解释。

生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤与地下水

1 适用范围

本指南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，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、工作程序、方法和报告编写要求等内容。

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工作不适用本指南。

2 规范性引用文件

本指南引用了下列标准规范、政策文件中的部分条款或内容。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本指南。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

GB 5084	农业灌溉水质标准
GB 5749	生活饮用水卫生标准
GB 11607	渔业水质标准
GB 12941	景观娱乐用水水质标准
GB/T 14848	地下水质量标准
GB 15618	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准

（试行）

GB36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 18508 城镇土地估价规程

HJ 25.1 场地环境调查技术导则

HJ 25.2 场地环境监测技术导则

HJ 25.4 污染场地土壤修复技术导则

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

NY/T 1121 土壤检测

HJ 493 水质样品的保存和管理技术规定

DZ/T 0290 地下水水质标准

CJ/T 206 城市供水水质标准

DZ/T 0282 水文地质调查规范（1：50000）

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

《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》（环办政法〔2016〕67号）

《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》（环办政法〔2016〕67号）

《环境损害鉴定评估推荐方法（第II版）》（环办〔2014〕90号）

《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》（环发〔2014〕118号）

《地下水环境状况调查评价工作指南（试行）》（环办〔2014〕99号）

《地下水污染模拟预测评估工作指南（试行）》（环办〔2014〕99号）

《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》（环办〔2014〕99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

指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

指地面以下饱和含水层中的重力水。

3.3 环境敏感区 Environmental sensitive area

指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 调查区 Investigation area

指根据涉及土壤与地下水的生态环境损害类型和空间范围确定的需要开展现场调查、地质勘探、采样监测和生物观测的区域，包括对照区。

3.5 评估区 Assessment area

指经过生态环境损害调查确定的发生损害、需要进入后续生态环境损害鉴定评估的区域。

3.6 判断布点法 Sampling based on professional judgment

指由专业调查人员基于对评估区域条件的了解，在判断有可能受到损害的点位进行布点的方法。

3.7 健康风险评估 Health risk assessment

指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。

3.8 概念模型 Conceptual model

指用文字、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。

3.9 迁移路径 Migration pathway

指污染物从污染源经由各种途径到达暴露受体的路线。

3.10 受体 Receptor

指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。

3.11 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。

3.12 基线水平 Baseline level

指污染环境或破坏生态行为未发生时，评估区域内土壤、地下水环境质量及其生态服务功能的水平。

3.13 环境修复 Environmental remediation

指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。

3.14 生态恢复 Ecological restoration

指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。

3.15 理论治理成本 Theoretical treatment cost

指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

涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估工作程序包括：

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 损害调查确认

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范围和程度，计算土壤与地下水环境及其生态服务功能实物量。

4.5 土壤与地下水损害恢复或价值量化

基于替代等值原则评估土壤与地下水环境及其生态服务功能的损失。如果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、补偿性恢复和补充性恢复方案，必要时计算恢复费用。如果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；如果未达到预期目标，应进一步采取相应措施，直到达到预期目标为止。

涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估程序见图 1。

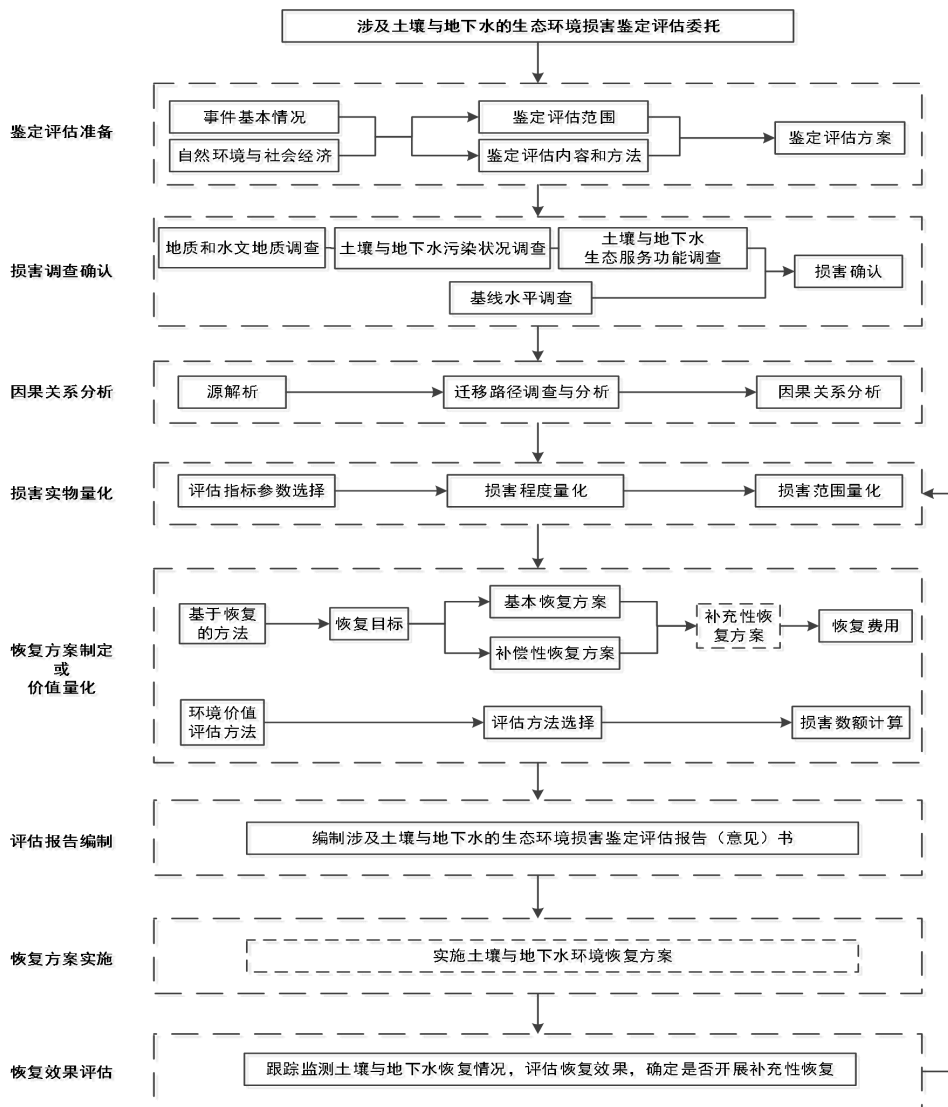


图 1 鉴定评估程序

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

5.1.1 分析或查明污染来源、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；

5.1.2 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，以及伤害动植物的时间、方式和过程等信息；

5.1.3 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；

5.1.4 监测工作开展情况及监测数据。

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) 土壤与地下水历史监测资料；
- f) 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；

g) 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 等相关规范性文件，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调查区土壤性质、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。根据现有资料对调查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。应以评估区为重点调查区，获得评估区所在区域地质及水文地质资料，根据区域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

进一步收集调查区域地质图、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，识别调查区地层岩性及其分布情况、基岩裂隙发育情况，掌握调查区地下水赋存条件、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，如果已建井结构、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

对损害范围疑似较大、需要初步查明近地表地层介质及特殊构造分布、不便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，确定重点调查区，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调查区关注问题，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。

对损害范围疑似较小、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，应充分利用调查区所在区域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，获取重点调查区地下水赋存条件、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完成损害评估调查工作时，需使用多种技术手段合理组合，如无法判断基岩裂隙分布时，可以采用物探和钻探相结合的方法查明基岩裂隙分布情况。同时，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 土壤与地下水污染状况调查

6.2.1 特征污染物识别与选取

对于污染源明确的情况，通过现场踏勘、资料收集和人员访谈，根据生产工艺、行业特征、调查区域环境条件、物质性质和转化规律等，综合分析，识别并选取特征污染物。

对于污染源不明的情况，通过对采集样品的定性和定量分析，筛选特征污染物。特征污染物的筛选应结合调查区域特征，优先选择我国环境质量相关标准中规定的物质。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。

6.2.2 调查方法

初步调查阶段，以现场快速检测为主，实验室分析为辅。进行样品快速检测的同时保存不低于 20% 比例的样品，以备复查。

详细调查阶段，开展系统的布点、采样。

6.2.3 点位布设

对于疑似损害范围较小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，判断污染物可能的迁移扩散范围或土壤与地下水环境及其生态服务功能受损区，在该区域合理布设土壤与地下水调查点位，进行采样分析。采样布点可以参考 HJ25.1 和 HJ25.2，通常接近污染发生点的位置点位密集，远离污染发生点的位置点位相对稀疏；表层点位间隔小，深层点位间隔大。

对于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，如无法对受损害区域的污染分布进行初步判断，可采用系统布点法，识别出受损害区域或污染分布区域后使用分区布点法或专业判断布点法有针对性地进行调查；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。对于土壤，应在疑似受损害区域加密布点，确定损害范围和程度；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、地下水可能污染较严重区域、地下水流向下游分别布设监测点位。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。系统布点、分区布点和专业判断布点的方法可参照 HJ 25.1、HJ 25.2 和《地下水环境状况调查评价工作指南》（试行）（环办〔2014〕99 号）等相关标准规范。

6.2.4 样品检测

根据选定的特征污染物，分别取土壤与地下水样品，进行检测分析。在评估土壤与地下水环境及其生态服务功能受损情况时，应检测影响其生态服务功能的相关指标，如土壤生物群落及有机质、地下水矿物质含量及酸碱度等指标。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/T 166、HJ/T 164 和 HJ 493 进行；涉及农用地时，参照 NY/T 1121 进行。土壤生物群落的调查参照 HJ 710.10、HJ 710.11 进行。

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，需查明或计算用地的价值；如用地类型为旅游景点，需查明或计算旅游休闲服务

价值；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。

6.3.2 地下水生态服务功能调查

获取调查区域水资源使用历史、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、生态用水等供给支持服务，并查明或计算开采量、用水量、水资源价值等信息。

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，包括针对调查区域开展的常规监测、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，获取能够表征调查区土壤与地下水环境及其生态服务功能历史状况的数据。

6.4.2 以对照区调查数据作为基线水平

如果无法找到能够表征影响区域内土壤与地下水环境质量和生态服务功能历史状况的数据，则选择合适的对照区，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环境质量和生态服务功能状况。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、社会经济条件、生态服务功能等方面应与影响区域类似，其土壤与地下水的物理、化学、生物学性质应与受损害影响的区域类似。地下水的对照点位

应位于污染源的地下水流向上游。对照样品的采样深度应尽可能与影响区域内土壤与地下水的采样深度相同。

6.4.3 参考环境质量标准确定基线水平

如果无法获取历史数据和对照区数据，则根据影响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。如果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确定选择标准。

6.4.4 开展专项研究确定基线水平

如果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 损害确认

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 20%以上；

b) 调查区指示性生物物种种群数量、密度、结构、群落组成、

结构、生物物种丰度等指标与基线相比存在统计学显著差异；

c) 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。

根据调查结果确定土壤与地下水环境及其生态服务功能损害的类型，并结合污染源分布、可能的迁移路径、受体特征等，确定不同类型生态环境损害的评估区。

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，调查潜在的污染源，必要时开展进一步的地质和水文地质调查，并根据实际情况选择合适的检测和统计分析方法确定污染源。

通过地质和水文地质调查，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，进一步分析可能的污染源。

污染源解析常用的检测和统计分析方法包括：

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，采用指纹法进行特征比对，判断受体端和潜在污染源的同源性，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，判断受体端和潜在污染源的同源性，确定污染源；

c) 示踪技术：在潜在污染源所在位置投加示踪剂，在受体端对示踪剂进行追踪，对污染源进行确认；

d) 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，如果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范围和程度，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 损害程度量化

损害程度量化主要是对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超过基线水平的程度进行分析，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 评估指标为污染物浓度

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

$$Ki=(Ti-B)/B$$

其中， Ki 为某评估区域土壤与地下水的受损害程度；

Ti 为某评估区域土壤与地下水中特征污染物的平均浓度；

B 为土壤与地下水中特征污染物的基线水平。

基于土壤与地下水中特征污染物平均浓度超过基线水平的区域面积占总调查区域面积的比例，确定评估区土壤与地下水的受损害程度：

$$K=N_0/N$$

其中， K 为超基线率，即评估区土壤与地下水中特征污染物平均浓度超过基线水平的区域面积占总调查区域面积的比例；

N_0 为评估区土壤与地下水中特征污染物平均浓度超过基线水平的区域面积；

N 为土壤与地下水调查区域面积。

8.1.2 评估指标为土壤与地下水生态服务功能

如果土壤与地下水的生态服务功能受损，根据生态服务功能的类型特点和区域实际情况，选择适合的评估指标。如采用资源对等法，可用指示性生物物种种群数量、密度、结构，群落组成、结构，生物物种丰度等指标表征；如采用服务对等法，可用面积、体积等指标表征。基于土壤、地下水生态服务功能现状与基线水平，确定评估区域土壤与地下水生态服务功能的受损害程度：

$$K=(S-B)/B$$

其中， K 为土壤与地下水生态服务功能的受损害程度；

S 为土壤与地下水生态服务功能指标的现状水平；

B 为土壤与地下水生态服务功能指标的基线水平。

8.2 损害范围量化

根据各采样点位土壤与地下水损害确认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，构建调查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（试行）》（环办〔2014〕99号）。

根据土壤与地下水不同类型生态服务功能损害确认的结果，分析不同类型生态服务功能的损害范围和程度，如指示物种的活动范围和活动水平、植被覆盖度、旅游人次等指标的变化。

9 土壤与地下水损害恢复

损害情况发生后，如果土壤与地下水中的污染物浓度在两周内恢复至基线水平，生物种类和丰度及其生态服务功能未观测到明显改变，参照《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》（环发〔2014〕118号）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。

如果土壤与地下水中的污染物浓度不能在两周内恢复至基线水平，或者生物种类和丰度及其生态服务功能观测到明显改变，应判断受损的土壤与地下水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，如果可以，基于替代等值分析方法，制定基本恢复方案，并根据期间损害，制定补偿性恢复方案；如果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。

如果受损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

基本恢复是将受损的土壤与地下水环境及其生态服务功能恢复至基线水平。

对于农用地和建设用地，先判断是否需要开展修复。如果需要开展修复，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（图 9-1，情景 I），并根据相关法律规定进一步确认应该承担基线水平与基于风险的环境修复目标值之间损害的责任方，要求责任方采取措施将风险降低到可接受水平；如果需要开展修复，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（图 9-2，情景 II），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。如果不需要开展修复，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。

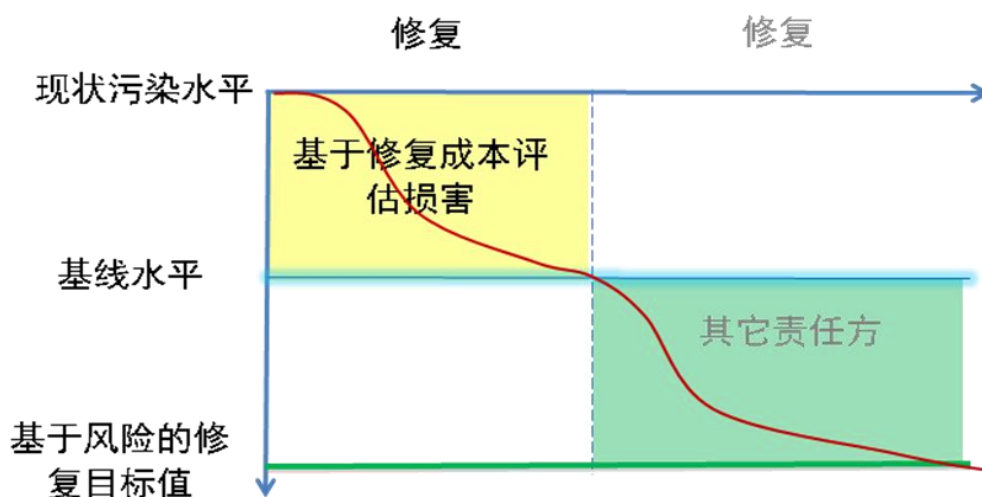


图 9-1 损害情景 I

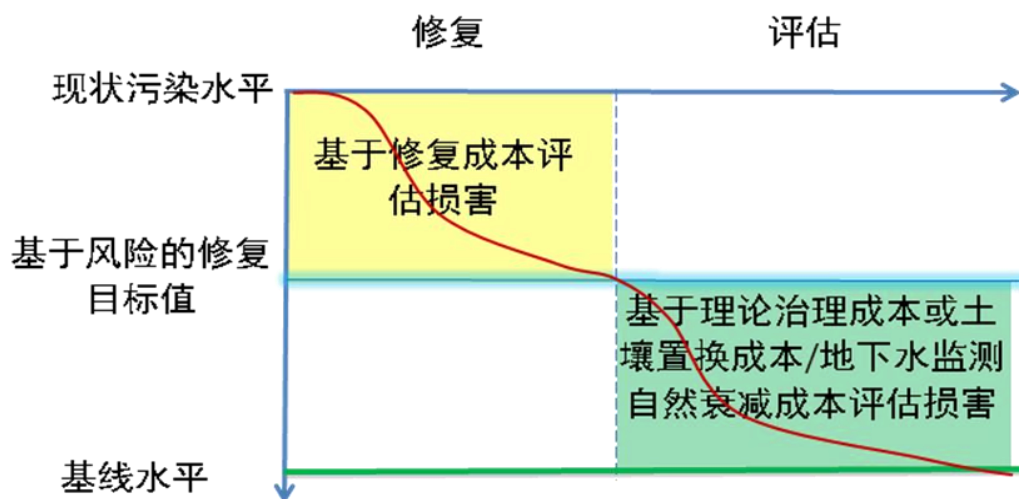


图 9-2 损害情景 II

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）（环办〔2014〕99 号）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

如果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。

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，参照附录 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。参阅《环境损害鉴定评估推荐方法（第 II 版）》附录 B。

综合恢复方案的筛选同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，参阅《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》（环办政法〔2016〕67 号）附录表 C-8。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，参阅《生态环境损害

鉴定评估技术指南 损害调查》(环办政法〔2016〕67号)附录表C-7,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，如果经修复后未达到基线水平（图 9-2，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) 如果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：如果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；如果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，基于土壤置换成本或地下水监测自然衰减成本计算。

b) 如果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，需要制定环境修复、生态恢复方案，并计算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及其他生态服务功能的丧失。

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阅《环境损害鉴定评估推荐方法（第 II 版）》附录 A。如果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。如果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。如果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。

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；如果未达到预期目标，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。

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的生态服务功能调查。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。

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，确定采样和调查时间。

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 常用土壤恢复技术适用条件与技术性能

附录 B 常用地下水恢复技术适用条件与技术性能

附录 C 评估报告编制要求

附录A

常用土壤恢复技术适用条件与技术性能

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 ³ 。	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，国内已有很多污染土壤处理工程应用。	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，土壤生态功能遭到完全破坏。	恢复后土壤生态功能完全丧失，无法恢复。

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
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 ³ ）处理成本约为100-300美元/m ³ ，对于大型场地（大于2万t，约合26800m ³ ）处理成本约为50美元/m ³ 。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恢复项目，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。	恢复后的土壤可再利用。
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 ³ ；国内的应用成本为300-1500元/m ³ 。	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物如多环芳烃，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。	过程可能会发生产热、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。	恢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
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 ³ ；国内的应用成本一般为500-1500元/m ³ 。	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。土壤恢复过程中应密封、监控，气体须处理达标后排放	过程可能会发生生产热、产气等不利影响，导致土壤结构和部分生态功能破坏。	恢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。
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。	国外的应用成本约为150-200美元/m ³ ；国内的应用成本约为500-2000元/m ³ 。	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。	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；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。	过程可能会发生生产热、产气等不利影响，导致土壤结构和部分生态功能破坏。	恢复后的土壤存在部分生态功能丧失，但可恢复。

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
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 ³ ；在国内，一般介于500-1500 元/m ³ 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。土壤恢复过程中应密封、监控，气体须处理达标后排放。	过程可能会发生热、产气等不利影响，导致土壤结构和部分生态功能破坏。	恢复后的土壤存在部分生态功能丧失，但可恢复。
洗脱技术(异位)	重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物	对于大粒径级别污染土壤的恢复更为有效，砂砾、沙、细沙以及类似土壤中的污染物更容易被清洗出来，而粘土中的污染物则较难清洗，因此不宜用于土壤细粒(粘/粉粒)含量高于25%的土壤。常与其它恢复技术联用，扩散过程要求准确控制(避免污染物向非污染区扩散)。	美国处理成本约为53-420 美元/m ³ ；欧洲处理成本约15-456 欧元/m ³ ，平均为116 欧元/m ³ 。国内处理成本约为600-3000 元/m ³ 。国内的应用成本为75-210 元/m ³ 。	国外已经形成完善的技术体系，且工程应用广泛(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。	恢复效果较好，但需要配备废水处理系统。	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，土壤生态功能基本丧失。	恢复后土壤生态功能基本丧失，较难恢复。

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
气相抽提技术	<p>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)</p>	<p>适用于包气带污染土壤的恢复, 且要求污染土层渗透性强 (透气率大于 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$), 污染土壤应具有质地均匀、渗透能力强、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恢复处理, 地下水位亦会影响恢复。</p>	<p>基于国外相关恢复工程案例, 该技术应用成本约为 150- 800 元/t。</p>	<p>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% 的份额。该技术在国内外已有很多成功的工程案例。国内已有中试应用。</p>	<p>能有效地去除土壤中的挥发性有机污染物。</p>	<p>一般为 6-24 个月。</p>	<p>经过该处理产生的气体和渗滤水也均收集处理后排放, 从而达到全过程对污染物的控制。</p>	<p>污染土壤处理后损伤较小, 生态功能基本无损伤。</p>	<p>可持续性恢复。</p>

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
生物堆技术	石油烃等易生物降解的有机物	不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤的恢复，粘土类污染土壤恢复效果较差。	美国应用的成本约为130-260美元/m ³ ；国内的工程应用成本约为300-400元/m ³ 。	相关配套设施已能够成套化生产制造，在国外已广泛应用于石油烃等易生物降解污染土壤的恢复，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。	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损伤，对土壤生态功能不产生影响。	可持续性恢复。
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）	适用于处理渗透率、高含水量和高粘性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恢复，不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤恢复。	国外相关场地处理成本约为13-27美元/m ³ 。	该技术在国内外实际恢复或工程示范极少，尚处于中试阶段，缺乏工程应用经验和范例。	对于恢复成品油污染土壤非常有效，包括汽油、喷气式燃料油、煤油和柴油等的恢复。	一般为6-24个月。	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
植物恢复技术	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）	不适用于未找到恢复植物的重金属，也不适用于某些有机污染（如六六六、滴滴涕等）污染土壤恢复；植物生长受气候、土壤等条件影响，本技术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恢复植物生长的土壤。	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。	相关配套设施已能够成套化生产制造，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；。本技术在国内发展也比较成熟，已广泛用于重金属污染土壤的恢复。	恢复较慢，效果可行。	一般为3-8年。	为避免二次污染，应对焚烧炉、尾气处理设施和重金属提取效果进行定期监测，以便及时采取相应的应对措施。	污染土壤处理后即可再利用。	不破坏土壤结构和肥力，恢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
2、污染物风险控制技术									
监控自然衰减技术	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、重金属类、非金属类（砷、硒）、含氧阴离子（如硝酸盐、过氯酸）等	对于地下水比较适合而很少用于土壤恢复。	主要为监测费用。	基本不用于土壤污染处理。	能够降低土壤环境风险,达到风险控制目标。	数年至数十年,甚至更长。	不产生二次污染,对生态环境干扰小。	污染土壤处理后可再利用。	不破坏土壤结构和肥力,恢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
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	不宜用于污染物水溶性强或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、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 ² ；异位土壤阻隔填埋技术应用成本 300-800 元/m ³ ；国外泥浆墙安装费用 540-750 美元/m ³ （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，技术已经相对比较成熟；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。

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化合物	不适用于挥发性有机化合物和以污染物总量为验收目标的项目。	美国 EPA 数据显示, 应用于浅层污染介质恢复成本约为 50-80 美元/m ³ , 对于深层恢复成本约为 195-330 美元/m ³ 。国内原位固化/稳定化技术单位土方恢复费用为 500-1000 元/m ³ 。	美英等国家率先开展了污染土壤的固化/稳定化研究, 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%, 技术发展已较为成熟; 该技术在国内尚处于中试阶段。	能够降低土壤环境风险, 达到风险控制目标。	一般为 3-6 个月。	污染土壤添加药剂处理后, 土壤酸碱性和含盐量等发生变化, 造成土壤生态功能破坏。	污染土壤处理后, 土壤大都固封为结构完整的具有低渗透系数的固化体, 土壤生态功能基本破坏。	恢复后的土壤生态功能基本破坏, 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物	主要应用于处理无机物污染的土壤, 不适用于挥发性有机化合物和以污染物总量为恢复目标的项目。当需要添加较多的固化/稳定剂时, 对土壤的增容效应较大, 会显著增加后续土壤处置费用。	据美国 EPA 数据, 对于小型场地 (约 765m ³) 处理成本约为 160-245 美元/m ³ , 对于大型场地 (38228m ³), 处理成本约为 90-190 美元/m ³ ; 国内处理成本一般为 500-1500 元/m ³ 。	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、恢复工艺、养护时间、施工设备、恢复现场平面布局等影响。通常, 日处理能力为 100-1200m ³ , 单批次处理周期 1-2 个月。	污染土壤添加药剂处理后, 土壤酸碱性和含盐量等发生变化, 造成土壤生态功能破坏。	污染土壤处理后, 土壤生态功能基本破坏。	恢复后的土壤生态功能基本破坏, 需要很长时间逐渐恢复。

附录B

常用地下水恢复技术适用条件与技术性能

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
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	一般仅适用于渗透性好的含水层,对于污染范围大、污染羽埋藏深的地下水污染治理具有优势;不宜用于溶解度低、吸附能力较强的污染物,以及渗透性较差或存在 NAPL (非水相液体) 的含水层。	美国处理成本约为 15-215 美元/m ³ 。	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。	初期效果较好,后期较差。该技术可以用于短时期的应急控制,不宜作为场地污染治理的长期手段。	数年到数十年。	抽出水量较大,会导致地下水资源的浪费,可能造成区域地下水位降低。	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。	需要封闭污染源,否则当工程停止运行时,将出现严重的拖尾和污染物浓度升高的现象,恢复后的地下水需要很长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
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、喷气燃料等；石油及油脂；BTEX 及氯化物溶剂等）	适用于渗透性、均质性较好的岩层以及挥发性较大、溶解性较大的污染物。不适用于非挥发性的污染物，且受地质条件限制，不适合在低渗透率或高黏土含量的地区使用，同时不能应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）。	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 个为曝气法。国内刚刚起步，实地应用较少，大部分是室内试验。	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。	恢复后地下水生态功能基本可恢复。	恢复后的地下水生态功能基本可恢复。
可渗透反应墙技术	碳氢化合物（如 BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、石油烃）、氯代脂肪烃、氯代芳香烃、金属、非金属、硝酸盐、硫酸盐以及放射性物质等	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 ³ 地下水；大型场地 0.10-0.17 美元/m ³ 地下水；据 2012 年 3 月美国海军工程司令部发布的技术报告，处理地下水的成本介于 1.5-37.0 美元/m ³ 。	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 ³ 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 ³ 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	适用于挥发性有机土壤与地下水污染，例如石油烃（BTEX、汽油和柴油等）以及有机溶剂（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 ³ ；大型场地成本为30-68美元/m ³ ，地下水处理成本为35美元/m ³ 。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，可使对污染区域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。

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
2、污染物风险控制技术									
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。

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 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。美国处理地下水的成本介于1.5-37.0美元/m ³ 。国内尚无可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

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，如果是突发环境事件，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；如果是大气污染物、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；如果是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

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产品。

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。如果是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。如果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 损害确认

写明土壤与地下水损害确认的结果，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。如果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。如果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。如果开展了模拟分析，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。

如果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。如果需要，基于所确定的恢复方案计算各阶段恢复费用。

如果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。如果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、损害的范围和程度、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不确定性。

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。