

T/SDEPI

团 体 标 准

T/SDEPI 025—2022

石化类污染场地土壤环境损害鉴定评估实 物量化技术指南

Technical guideline for physical quantification of soil environmental damage
identification and assessment of petrochemical contaminated sites

2022 - 07 - 04 发布

2022 - 07 - 04 实施

山东省环境保护产业协会 发布

SDEPI

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	1
4 实物量化原则和流程	2
5 实物量化的要求、内容和指标选择	3
6 土壤环境基线的选择	5
7 实物量化的方法	5
8 可恢复性评价与恢复方案的制定	6
9 结果的不确定性分析	7
附录 A（资料性附录）等值分析法	8

前 言

本指南按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国侵权责任法》等相关法律要求，满足我国土壤污染损害赔偿工作的实际需求，在已出台的《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》、《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》、《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》等标准基础上，制定的本指南。

本指南由山东省环境保护产业协会提出并归口。

本指南起草单位：中国科学院沈阳应用生态研究所、山东诺正司法鉴定中心、山东元通监测有限公司司法鉴定所、山东国评环境损害司法鉴定所、聊城市环科院检测有限公司、山东省环境保护产业协会。

本指南主要起草人：王世成、王颜红、刘亚斌、张如峰、牟春鑫、贺家斌、李忠河、赵杨、王镜然、蔡金娟、宁波、徐涛、张学宽、孙鹏、杨晓会、丁元帅、吴文虎、李敏、张丰粟、宋沛荫。

石化类污染场地土壤环境损害鉴定评估实物量化技术指南

1 适用范围

本指南规定了石化类污染场地土壤环境损害鉴定评估过程中实物量化的术语和定义、原则和流程、要求和方法。

本指南适用于以石油烃为主要污染物的石化类污染场地环境损害实物量化评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本指南必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本指南；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本指南。

- GB/T 39791.1 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/T 39791.2 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
- GB/T 39792.1 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
- HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- NY/T 3499 受污染耕地治理与修复导则
- SF/Z JD0601001 农业环境污染事故司法鉴定经济损失估算实施规范
- DB35/T 1725 环境损害鉴定评估通用规范
- DB35/T 1728 土壤环境损害鉴定评估技术方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

3.1

石化类污染场地 petrochemical contaminated site

以石油烃为主要污染物的潜在石化类污染场地经调查和风险评估后，确认污染危害超过人体健康或生态环境可接受风险水平的场地，包括被污染的土壤及地下水等。

3.2

受体 receptor

一般指场地及其周边环境可能受到污染物影响的人群或生物类群，也可泛指场地周边受影响的功能水体（如地表水、地下水等）和自然及人文景观（区域）等（如居民区、商业区、学校、医院、饮用水源保护区等公共场所）。

3.3

基线 baseline

污染环境或破坏生态未发生时评估区生态环境及其服务功能的状态。

3.4

土壤生态服务功能 soil ecological services

土壤生态服务功能指土壤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、农产品供给等。

3.5

实物量化 physical quantification

针对不同的受体选择量化指标，比较土壤环境损害行为发生前后土壤环境质量或服务功能变化状况，确定土壤环境损害的数量、范围和程度。

3.6

基本恢复 primary restoration

采取必要、合理的自然或人工措施将受损的生态环境及其服务功能恢复至基线的过程。

3.7

补偿性恢复 compensatory restoration

采取必要、合理的措施补偿生态环境期间损害的过程。

3.8

补充性恢复 complementary restoration

基本恢复无法完全恢复受损的生态环境及其服务功能，或补偿性恢复无法补偿期间损害时，采取额外的、弥补性的措施进一步恢复受损的生态环境及其服务功能并补偿期间损害的过程。

3.9

期间损害 interim damage

自生态环境损害发生到恢复至基线期间，生态系统提供服务功能的丧失或减少。

4 实物量化原则和流程

4.1 实物量化的原则

4.1.1 规范合法原则

量化评估工作应当按照有关法律法规和技术规范规定的程序和方法开展，鉴定评估文书应符合法律法规和技术规范规定的程序、结构及内容要求。

4.1.2 科学合理原则

量化评估工作应制定科学、合理、可操作的工作方案。量化评估工作方案中应包含不确定性分析部分。

4.1.3 独立客观原则

实物量化评估是价值量化的基础，鉴定评估机构及鉴定评估人员应当运用专业知识和实践经验独立客观地开展量化评估，不受鉴定评估委托方以及其他方面的不正当影响。鉴定评估机构及其工作人员应当与环境损害利益相关方等无利害关系。

4.1.4 以土壤环境损害恢复为主的原则

土壤环境损害实物量化主要考虑土壤损害以及与土壤相关的地下水、生态服务功能、人体健康、财产等损害的量化评估。

4.2 实物量化的流程

实物量化是环境损害评估的关键环节。实物量化首先要筛选确定实物量化的指标，进而量化损害范围、损害程度和期间损害；为了下一步价值量化环节工作的实施，开展可恢复性评价，确定恢复目标和恢复策略，筛选恢复技术，随后确定基本恢复方案、补偿性恢复方案和补充性恢复方案，计算基本恢复和补偿恢复实物量。具体流程见图1。

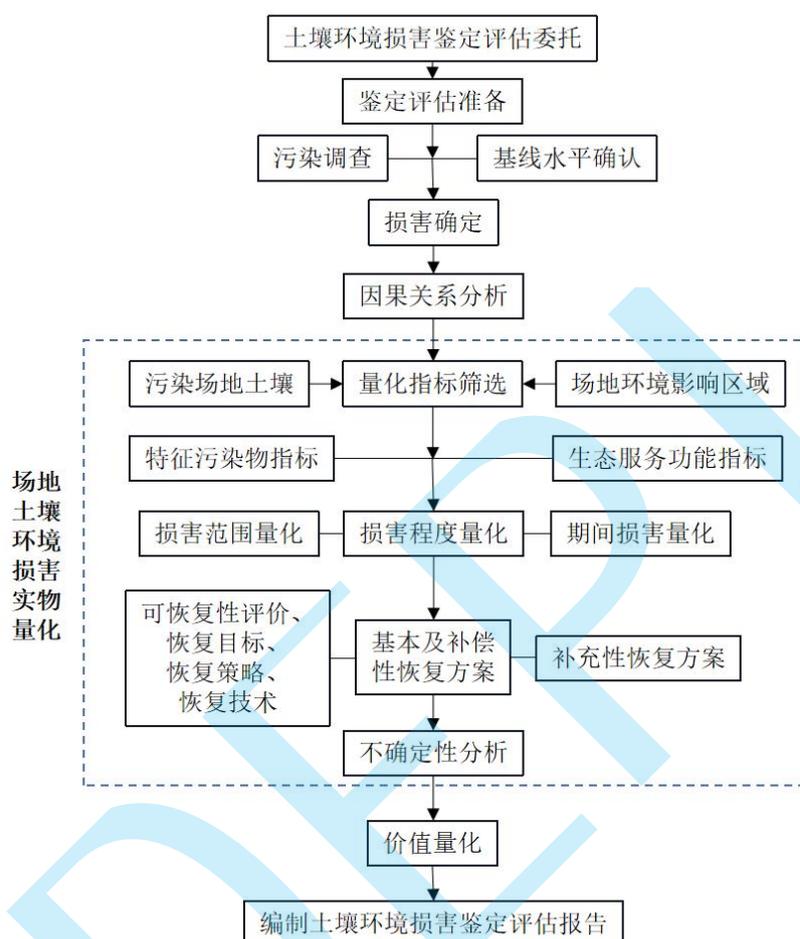


图1 石化类污染场地土壤环境损害鉴定评估实物量化流程图（框内为实物量化部分）

5 实物量化的要求、内容和指标选择

5.1 实物量化的要求

实物量化主要是确定环境损害的类型、范围和程度，如污染环境或破坏生态行为造成了土壤的损害，土壤污染物浓度增加，土壤生态服务功能降低等。

损害评价指标的筛选，主要考虑其代表性和可操作性。对环境要素的损害，一般以特征污染物浓度为量化指标；对生物要素的损害，一般选择生物的种群特征、群落特征或生态系统特征等指标作为量化指标。对于生态服务功能的损害，应明确受损生态服务功能类型，如提供栖息地、食物和其他生物资源、娱乐、地下水补给、防洪等，并根据功能或服务类型选择适合的量化指标，如栖息地面积、受损地表水资源量等。在量化生态服务功能时，应识别相互依赖的生态服务功能，确定生态系统的主导生态服务功能并针对主导生态服务功能选择适用的方法进行评估，以避免重复计算。

5.2 实物量化的内容

- a) 综合考虑评估对象、目的、适用条件、资料完备程度等情况，选择本指南推荐但不限于本指南推荐的实物量化指标、方法和参数。对生态环境质量的损害，一般以特征污染物浓度为量化指标。对生态系统服务的损害，一般选择指示物种种群密度、种群数量、种群结构、植被覆盖度等指标作为量化指标。

- b) 确定评估区环境土壤及相关环境介质中特征污染物浓度劣于基线的时间、面积、体积或程度等；
- c) 比较污染环境或破坏生态行为发生前后生物种群数量、密度、结构等特征的变化，确定生物资源或生态系统服务功能劣于基线的数量、时间、面积、服务量和程度等变量和因素。

5.3 实物量化的指标选择

5.3.1 特征污染物指标的选择

本指南所指的特征污染物以石油烃为主，共分三大类：高危害性指标，主要为毒性较高的8种多环芳烃；中等危害性指标，包括苯、甲苯、二甲苯、乙苯等苯系物以及石油烃、其它多环芳烃、醛类化合物、邻苯二甲酸酯类等；其它危害性指标，包括油品添加剂，二次污染物及其它特征污染物。污染物指标的检测参照HJ/T 166执行。

针对石化类污染场地的土壤损害量化，要优先选取污染程度大且危害性较高的污染物特征指标开展以面积或体积的实物量化评估。

实物量化特征污染物选择如表1所示：

表1 特征污染物指标

分类	特征污染因子
高危害性指标	苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、奈等8种多环芳烃、苯。
中等危害性指标	甲苯、乙苯、二甲苯、三甲苯等苯系物；石油烃(C ₆ -C ₉)、石油烃(C ₁₀ -C ₄₀)、其它多环芳烃、醛类化合物、邻苯二甲酸酯类。
其它危害性指标	油品添加剂、二次污染物、其它石油烃类特征污染物。

5.3.2 生态服务功能指标的选择

生态环境损害评价指标的筛选主要考虑其代表性和可操作性，对于耕地、园地、林地、草地，主要考虑其供给功能，以种植或养殖物的类型和产量作为损害评价指标；对于商服用地、住宅用地、工矿仓储用地，主要考虑其支持功能，以其用地面积作为损害评价指标；对于旅游景点，主要考虑其娱乐休憩服务功能，以旅游人次作为损害评价指标；对于自然保护区，主要考虑其生物多样性维持功能，以其指示性物种的结构和数量作为损害评价指标；对于地下水，则以开采量、用水量作为损害评价指标。

具体的生态环境损害量化指标：特定生境类型的范围；某些资源的单位或数量；测量植被密度、覆盖率或生物量；优势或基本植被物种的覆盖率等。

实物量化生态服务功能选择如表2所示：

表2 生态服务功能指标

序号	量化指标
1	特定栖息地类型的范围
2	某些资源的单位或数量（如河流的公里数、特定栖息地、耕地的面积、可用水量、种植数量等等）
3	植被密度、覆盖率或生物量的测量
4	理想的、主要的或必要的植被物种的覆盖率
5	优势植被地上生物量
6	苗木密度
7	植被结构多样性指数
8	生境质量指数
9	生物生产力（如初级生产力或第二生产力）、物种丰度、生物量、多样性或群落组成的度量
10	生育率
11	栖息地使用日（例如，如果事件减少了栖息地的可利用性，从而减少了可占用栖息地的生物体）
12	种群完整性指数，如性别比、年龄级分布、生物量
13	生态过程的量度，如碳矿化率、养分输出率或分解率
14	根据毒性阈值超标程度分配的服务损失类别（例如，从文献或现场特定研究中汇编剂量反应信息，并根据土壤、沉积物、地表水或生物组织中污染物浓度的增加来估算服务损失）

6 土壤环境基线的选择

6.1 土壤环境基线的确定方法

土壤环境基线的确定方法有4种，分别为历史数据、对照数据、标准基准和专项研究。具体土壤环境基线确定方法的步骤及过程参照GB/T 39791.1中的相关内容。

6.2 土壤环境基线的确定方法选择

当土壤环境基线确定所需数据充分时，原则上优先选择6.1的历史数据方法或对照数据方法确定土壤环境基线，如果6.1的历史数据方法和6.1的对照数据方法不可行，可考虑选择6.1的标准基准方法确定土壤环境基线。当土壤环境基线确定所需数据不充分时，可综合采用不同土壤环境基线确定方法并相互验证。当以上数据均缺失时，可以采用6.1的专项研究方法开展专项研究。

7 实物量化的方法

7.1 损害程度量化

7.1.1 以特征污染物浓度为指标的损害程度量化

基于土壤、地下水中特征污染物浓度或相关理化指标与基线水平，计算超基线点位土壤、地下水中污染物浓度或相关理化指标的超基线倍数：

$$K_i = \left| \frac{T_i - B_i}{B_i} \right| \dots \dots \dots (1)$$

式中： K_i —某点位土壤和地下水中特征污染物或相关理化指标的超基线倍数；
 T_i —某点位土壤和地下水中特征污染物的浓度或相关理化指标；
 B_i —土壤、地下水中特征污染物浓度或相关理化指标的基线水平。

7.1.2 以生态服务功能为指标的损害程度量化

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，确定生态服务功能的受损害程度：

$$K_j = \left| \frac{S_j - B_j}{B_j} \right| \dots \dots \dots (2)$$

式中： K_j —代表生态服务功能的指示性指标的受损害程度；
 S_j —指示性指标的现状水平；
 B_j —指示性指标的基线水平。

7.2 损害范围量化

7.2.1 以特征污染物浓度为指标的范围量化

根据各采样点位土壤损害确定和损害程度量化的结果，分析受损土壤的位置和深度。在充分获取土壤和水文地质相关参数的情况下，构建评估区域土壤污染概念模型，采用空间插值方法，模拟未采样点位土壤损害情况，获得受损土壤的二维、三维空间分布。也可以参照DB35/T 1728附录C，通过断面法、等高线法、方格网法、数字地面模型（DTM）等方法估算土壤的损害范围及在评估时间范围内可能的损害范围，计算目前在评估时间范围内可能受损的土壤体积。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，根据对污染物迁移模拟扩散能力和条件的分析，判定可能的损害范围，合理确定损害边界。

7.2.2 以生态服务功能为指标的范围量化

基于不同调查点位生态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。

7.3 损害时间范围量化

损害计算的起始时间可以以事故发生的日期作为开始，损害计算的结束时间要计算到损害终止，即特征污染物浓度或生态服务功能恢复到基线水平。

环境损害鉴定评估的时间范围因损害类型不同而不同。环境损害评估的时间范围以污染环境或破坏生态行为发生日期为起点，持续到受损生态环境及其生态系统服务恢复至生态环境基线为止。人身损害鉴定评估的时间范围以污染环境行为发生日期为起点，持续至污染环境行为导致人身损害的可能最大潜伏期为止。财产损失鉴定评估的时间范围根据损害对象、损害性质和赔偿方式等具体情况确定。应急处置费用评估的时间以突发环境事件发生日期为起点，持续到应急处置结束日期为止。

7.4 财产损失的量化

农产品产量减少和农产品质量受损的实物量化参照SF/Z JD0601001执行；固定资产和流动资产损失的实物量化参照DB 35/T 1725执行。

7.5 期间损害量化

当土壤或地下水损害导致其所在的生态系统服务损害，且持续时间大于一年，应计算土壤或地下水所能提供的生态系统服务的期间损害。计算方法采用等值分析法中的资源等值分析法（REA）或服务等值分析法（HEA），资源等值分析法适用于环境损益以资源量来表征的受损环境，服务等值分析法适用于环境损益以生态系统服务为单位来表征的受损环境，两种方法的计算公式相同，计算公式见附录A。

8 可恢复性评价与恢复方案的制定

8.1 可恢复性评价

通过文献调研、专家咨询、案例研究、室内实验、现场试验等方法，评价受损土壤和地下水及其服务功能恢复至基线的经济性、技术和操作的可行性。经评价，受损土壤和地下水及其服务功能可以完全或部分恢复时，制定基本恢复方案；需要实施补偿性恢复的，同时需要评价补偿性恢复方案的可实施性。

8.2 基本恢复方案

8.2.1 恢复目标的确定

原则上，恢复目标是应将受损土壤和地下水环境及其生态服务功能恢复至基线水平。

首先根据可恢复性评价判断是否能够开展修复。如果污染场地能够开展修复，则分为三种情况：第一种，基于风险的环境修复目标值为基线水平；第二种，基于风险的环境修复目标值高于基线水平；第三种，基于风险的环境修复目标值低于基线水平。恢复目标确定参照GB/T 39792.1中的相关内容。

8.2.2 恢复策略及恢复技术的选择

恢复策略的选择参照GB/T 39791.1中的相关内容。

建设用地和耕地土壤修复可以分别参照HJ 25.4和NY/T 3499选择恢复模式和技术，具体土壤恢复技术的适用条件与技术性能可参照GB/T 39792.1附录B中的相关内容。

8.2.3 制定备选基本恢复方案

根据确定的恢复目标、恢复策略和恢复技术，制定2-3种备选基本恢复方案。制定的备选基本恢复方案主要内容与步骤为：首先确定恢复目标、恢复策略和恢复技术；其次根据确定的恢复目标，参照7.2.1计算出需要恢复的土壤或地下水的体积；然后根据已确定恢复技术，依照实际情况估算出恢复一定体积的土壤或地下水所需要的金额，其中包括施工、材料、设备、维护、人工等各项费用；最后还应包括恢复过程中受污染水体、气体和固体废物等的无害化处理处置及其他二次污染防治措施等。制定备选基本恢复方案时，应对每种方案的年恢复速率和恢复到基线所需时间进行预估，用于7.3期间损害的计算。

8.3 补偿性恢复方案

当土壤损害导致其所在的生态系统服务损害，且持续时间大于一年，应参照7.3计算生态系统服务的期间损害并制定补偿性恢复方案。补偿性恢复策略选择、技术筛选和备选方案制定参照8.2.2和8.2.3执行，根据每种备选基本恢复方案对应的期间损害，量化补偿性恢复措施的单位效益，基于等值分析法确定每种补偿性方案对应的恢复规模。

8.4 恢复方案综合比选

综合考虑不同基本恢复方案和补偿性恢复方案的成熟度、可靠性、时间、成本、二次污染、社会效益、经济效益和环境效益等因素，参照附录B.2生态环境恢复方案比选考虑因素，对恢复方案进行综合比选，确定最佳的基本恢复和补偿性恢复方案组合。

8.5 补充性恢复方案

当由于现场条件或技术可达性等限制原因，实施的恢复方案未能将土壤和地下水环境及其生态服务功能完全恢复至基线水平，或补偿性恢复未达到补偿期间损害的目标，应开展补充性恢复。补充性恢复

分为两种情况，第一种是针对基本恢复未将土壤和地下水环境完全恢复至基线水平的情况，包括经修复后未达到基线水平，或现状污染水平超过基线水平但不需要修复两种情景；第二种是针对补偿性恢复未将土壤和地下水环境的生态服务功能完全恢复，或不能达到补偿性恢复的目标情况。补充性恢复方案的制定参照8.2.2和8.2.3。

9 结果的不确定性分析

应分析实物量化结果不确定性的主要来源，包括量化指标选择合理性、基线水平、评估模型的适用性、数据的采纳、参数取值等多个方面。

一般应是对风险计算结果影响较大的参数，如场地及其影响区域的量化指标选择的合理性以及基线水平、人群相关参数、生态环境相关的参数的取值开展不确定性分析。进行模型参数敏感性分析，应综合考虑参数的实际取值范围确定参数值的变化范围。

附录 A
(资料性附录)
等值分析法

A.1 资源等值分析法 (REA) 或服务等值分析 (HEA)

$$H = \sum_{t=t_0}^{t_n} R_t \times d_t \times (1+r)^{(T-t)} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中： H —期间损害量；

t —生态环境损害发生至恢复到基线期间的任意年份（ t_0 - t_n 之间）。 t_0 表示起始年，是生态环境损害发生的年份； t_n 是终止年，是生态环境损害恢复至基线的年份；如果在某些情况下，即使采取了恢复措施，受损生态环境服务功能也始终无法恢复到基线，此时 n 取值为 100；

T —基准年，一般选择开展生态环境损害鉴定评估的年份作为基准年；

R_t —第 t 年受损区域生态环境服务功能的数量。对于资源，选择但不限于如下参数：个体数量、生物量、寿命值、资源数量、能量、生产率或对生物或生态系统具有重要影响的其他量度；对于服务，选择但不限于如下参数：受影响的栖息地面积（公顷）、河流长度或其他栖息地的面积等等；

d_t —第 t 年受损区域生态环境服务功能相对于基线损失的比例。该比例随时间变化，取值 0-1；

r —贴现系数，根据从损害发生到恢复至基线水平的时长确定：1-5 年为 4%，6-40 年为 3%，41 年以上的为 2%。