

ICS  
CCS

# T/SSSC

中国土壤学会团体标准

T/SSSC —2024

## 石油化工污染场地土壤—地下水污染修复 技术遴选指南

*Guideline for remediation technology selection of soil-groundwater pollution in  
petrochemical sites*

(征求意见稿)

2024-0-0 发布

2024-0-0 实施

中国土壤学会 发布

## 目 次

前言 .....	1
1.目的与适用范围 .....	2
2. 规范性引文 .....	2
3. 术语和定义 .....	3
4. 石油化工污染场地土壤—地下水污染修复技术 .....	4
5. 石油化工污染场地土壤—地下水污染修复技术遴选 .....	8
附录 A (资料性附录) .....	14
附录 B (资料性附录) .....	16
附录 C (资料性附录) .....	17
附录 D (资料性附录) .....	18

## 前言

本文件按照 GB/T1.12020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》规定起草。

请注意本文件的某些内容可能会涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国土壤学会团体标准工作管理委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院南京土壤研究所、南京大学、北京高能时代环境技术股份有限公司、江苏省环境科学研究院、南开大学、成都理工大学、南京尚土生态环境有限公司、中船绿洲环保(南京)有限公司

本文件主要起草人：王芳、相雷雷、刘媛媛、倪鑫鑫、蒋新、骆永明、吴吉春、陈梦舫、刘泽军、吕正勇、张满成、钱林波、孙红文、张海秀、徐芬

## 1.目的与适用范围

本文件旨在规范石油化工场地土壤和地下水污染修复技术遴选工作，确保场地土壤和地下水资源的安全和可持续利用。

本文件适用于石油化工相关的场地的污染地块的修复技术遴选。

本文件不适用于放射性污染和致病性生物污染的场地的阻控与修复。

## 2. 规范性引文

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

GB/T 36198-2018土壤质量 土壤气体采样指南

GB/T 36197-2018土壤质量 土壤采样技术指南

GB/T 30760-2024水泥窑协同处置固体废物技术规范

GB 3096-2008 声环境质量标准

GB 3838-2002 地表水环境质量标准

GB 14554-1993 恶臭污染物排放标准

GB/T 14848-2017 地下水质量标准

GB 18598-2019 危险废物填埋污染控制标准

GB 18484—2020危险废物焚烧污染控制标准

GAEPI 1-2015：污染场地修复技术筛选指南

HJ25.4-2019：建设用地土壤修复技术导则

HJ 25.6—2019：污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 1164—2021污染土壤修复工程技术规范 异位热脱附

HJ 1165—2021 污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附

HJ/T 415-2008 环保用微生物菌剂环境安全评价导则

HJ 1266-2022生物质废物堆肥污染控制技术规范

HJ 1205—2021排污单位自行监测技术指南 固体废物焚烧

HJ 1282—2023污染土壤修复工程技术规范 固化/稳定化  
HJ 1283—2023污染土壤修复工程技术规范 生物堆  
HJ 1019—2019地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则  
T/CAEPI39—2021石油化工企业场地地下水污染防治技术指南

### 3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 石油化工企业 **petrochemical enterprisie**

从事石油、天然气及其产品的开采、加工、提炼、运输等业务的企业。

#### 3.2 场地修复 **site remediation**

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

#### 3.3 目标污染物 **target contaminant**

在土壤或地下水中存在，其数量或浓度已达到对生态系统和人体健康具有实际或潜在不利影响的，需要行风险管控和修复的污染物。

#### 3.4 场地风险识别 **site risk assessment**

对特定场地可能存在的风险因素以及这些风险对人员、财产和环境可能造成的影响进行识别、分析和评价的过程。

#### 3.5 污染监测：**contamination monitoring**

对污染物的浓度、排放量等进行的检测和监测活动。通过定期监测，可以及时发现污染问题，评估污染趋势，并为污染治理提供科学依据。

#### 3.6 场地修复目标 **site remediation goal**

由场地环境调查和风险评估确定的目标污染物对人体健康和生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的污染修复终点。

利用微生物或植物的新陈代谢作用，降解、吸收或稳定土壤中的污染物。

#### 3.7 组合修复技术 **combined remediation techniques**

结合多种修复技术，针对污染场地的实际情况，制定科学、合理、有效的修复方案，以达到修复目标的技术方法。

#### 4. 石油化工污染场地土壤-地下水污染常用修复技术

##### 4.1 原位曝气技术（air sparging）

**技术定义：**原位曝气技术也称为气提技术，是一种用于土壤和地下水修复的技术。它通过在污染地下水中注入空气或氧气，形成气泡上升，从而增加地下水中的氧气含量，促进污染物的生物降解或挥发。

**技术原理：**原位曝气技术基于以下原理：**氧气传输：**通过在污染地下水中注入空气或氧气，提高地下水中的溶解氧水平。**污染物去除：**增加的氧气有助于微生物的生长，这些微生物可以分解有机污染物，将其转化为无害或低毒性的物质。**挥发作用：**某些污染物（如挥发性有机化合物）在氧气的作用下，从液态转变为气态，随后可以通过抽气系统从土壤中移除。

**适用范围：**这种方法尤其适用于处理以下情况：土壤和地下水受到挥发性有机化合物（VOCs）如苯、甲苯、二甲苯等的污染。地下水中的溶解氧水平低，需要通过曝气来提高。污染物可以通过生物降解或挥发作用去除。地质条件允许空气或氧气在地下自由流动，例如砂质土壤或有足够孔隙度的土壤。

##### 4.2 气相抽提（vapor extraction, SVE）

**技术定义：**气相抽提是一种通过在污染场地设置一系列的抽气井，利用真空泵抽出土壤中的挥发性有机化合物（VOCs），从而减少土壤和地下水中的污染。

**技术原理：**通过抽气井和真空泵，土壤中的挥发性有机化合物被抽出，从而降低土壤和地下水中的污染水平。SVE 技术的关键在于通过控制温度和压力条件，优化蒸汽的提取效率，以达到最佳的污染物去除效果。

**适用范围：**尤其适用于处理轻质非水相液体（LNAPLs）污染。该技术的关键在于通过控制温度和压力条件，优化蒸汽的提取效率，以达到最佳的污染物去除效果。

##### 4.3 原位化学氧化（in-situ chemical oxidation, ISCO）

**技术定义：**原位化学氧化是一种通过直接向污染场地注入强氧化剂（如过氧化氢、高锰酸盐或过硫酸盐）来破坏土壤和地下水中有有机污染物的技术。

技术原理：强氧化剂被注入污染场地后，与土壤和地下水中的有机污染物发生化学反应，破坏其结构，从而降解污染物。ISCO 能够有效降解多种有机污染物，包括石油烃、溶剂和多环芳烃（PAHs）。该技术的优势在于反应速度快，能够在较短时间内显著降低污染物浓度。

适用范围：适用于处理多种有机污染物，包括石油烃、溶剂和多环芳烃（PAHs），该技术的优势在于反应速度快，能够在较短时间内显著降低污染物浓度。

#### **4.4 异位化学氧化（ex-situ chemical oxidation, ESCO）**

技术定义：异位化学氧化是一种将受污染的土壤或地下水移出原位，再通过添加强氧化剂（如过氧化氢、高锰酸盐或过硫酸盐）来破坏有机污染物的技术。

技术原理：在异位化学氧化过程中，污染土壤或地下水被转移到处理设施中，然后加入强氧化剂。这些氧化剂与有机污染物发生化学反应，破坏其结构，从而实现污染物的降解。该技术适用于处理多种有机污染物，包括石油烃、溶剂和多环芳烃（PAHs）。

适用范围：异位化学氧化技术适用于处理无法在原位进行有效处理的污染场地，特别是那些需要快速反应和显著降低污染物浓度的情况。

#### **4.5 监测自然衰减技术（monitored natural attenuation, MNA）**

技术定义：监测自然衰减法是利用污染场地天然存在的自然衰减作用使污染物浓度和总量减小，在合理的时间范围内达到污染修复目标的一种污染修复方法。

技术原理：其核心在于利用自然界的自净机制，包括微生物降解、化学反应、物理吸附以及污染物的稳定化/固化过程，以科学的方式降低污染物浓度，恢复受污染环境的自然状态。

适用范围：此技术适用于污染程度处于轻至中度的场地，特别是那些地下水流速较低、污染物浓度适中的环境，因其更易于满足 MNA 所需的自然衰减条件。

#### **4.6 电动修复（electrokinetic remediation）**

技术定义：电动修复是一种通过施加直流电场，促使土壤中的带电污染物（如重金属和某些有机污染物）向电极移动并集中，从而实现污染土壤的修复。

技术原理：在施加直流电场后，带电污染物在电场作用下向电极移动并集中，便于后续处理。该技术适用于处理低渗透性土壤和深层污染，优势在于能够在不扰动土壤的情况下，实现污染物的有效迁移和集中处理。

适用范围：适用于处理低渗透性土壤和深层污染。该技术的优势在于能够在不扰动土壤的情况下，实现污染物的有效迁移和集中处理。

#### **4.7 植物修复 (phytoremediation)**

植物修复技术原理：植物通过其自然生长过程吸收、积累、分解或稳定土壤中的污染物，如重金属和有机污染物。植物修复包括植物提取、植物稳定化、植物降解和植物挥发等方法。

植物修复技术适用范围：环保、成本低，但修复周期较长。植物修复不仅能够改善土壤质量，还能提升生态环境的美观度和生物多样性。

#### **4.8 生物堆(biopiling)**

技术定义：生物堆是一种将受污染土壤堆叠起来，并通过添加营养物质、水分和氧气，促进微生物降解有机污染物的技术。

技术原理：通过模拟自然界的腐殖过程，添加营养物质、水分和氧气，促进微生物降解有机污染物，加速污染物的生物降解。生物堆肥适用于处理石油烃、农药和其他有机污染物。

适用范围：适用于处理石油烃、农药和其他有机污染物。通过模拟自然界的腐殖过程，生物堆肥技术能够有效地加速污染物的生物降解。

#### **4.9 土壤淋洗 (soil washing)**

技术定义：利用水或其他溶剂的流动性和溶解能力，将土壤中的污染物从土壤颗粒中分离出来，并通过水流将其带离原位。

技术原理：通过物理和化学作用，将污染物从土壤颗粒上分离出来，然后对淋洗液进行处理，以去除土壤中的污染物。土壤淋洗适用于处理重金属和有机污染物，能够有效去除土壤中的石油烃、多氯联苯 (PCBs) 和重金属。

适用范围：适用于处理重金属和有机污染物，能够有效去除土壤中的石油烃、多氯联苯 (PCBs) 和重金属，关键在于选择合适的淋洗剂和优化洗涤条件。

#### **4.11 微生物修复技术 (microbial remediation)**



**技术定义:** 是一种利用自然界中微生物的天然代谢能力来处理和净化受污染环境的技术,其核心在于激发微生物的生物化学反应,通过它们的自然活动,将土壤和水体中的有害污染物转化为无害或低毒性的物质。

**技术原理:** 本质上是模仿自然界中微生物分解有机物质的过程,但在此基础上进行了优化和引导,以加速污染物的降解速度。在这一过程中,微生物可以将有机污染物作为其生命活动的能量来源和碳源,通过一系列复杂的生化反应,将这些污染物分解成水、二氧化碳和其他无害的化合物。对于无机污染物,如重金属,微生物可以通过吸收、沉淀或转化的方式,改变其化学形态,从而降低其在环境中的活性和毒性。

**适用范围:** 微生物修复技术的适用范围相当广泛,它能够处理多种类型的污染物,包括但不限于石油烃类化合物、多环芳烃(PAHs)、重金属、农药残留、溶剂以及其他有机污染物。

#### **4.12 抽出处理 (pump & treat, P&T)**

**技术定义:** 即捕捉地下的污染羽水体并将其抽出地面,是通过物理或化学方法,将污染物从土壤或地下水中分离出来,然后进行集中处理或处置的技术。

**技术原理:** 一是通过抽出设备将受污染的土壤或地下水中的污染物抽出,二是通过处理设备对抽出的污染物进行处理,以达到减少或消除污染的目的。

**适用范围:** 适用于污染深度较大、污染面积较广的土壤污染修复、污染程度较重、污染范围较广的地下水污染修复及工业废水中的有机污染物修复。

#### **4.13 固定/稳定化 (solidification and stabilization, S/S)**

**技术定义:** 固定/稳定化修复技术是一种土壤和地下水修复方法,旨在通过化学或物理手段降低污染物的迁移性和生物可利用性,从而减少其对环境和人类健康的危害。

**技术原理:** 该技术通过添加稳定化剂(如石灰、水泥或粘土矿物)与污染物发生化学反应,或通过物理方法(如热处理、固化剂混合)改变土壤的物理结构,从而固定污染物,防止其进一步扩散。

**适用范围:** 适用于重金属、有机污染物等多种类型的土壤和地下水污染修复。特别适用于污染深度较大、污染范围较广的场地,以及需要快速稳定化处理以防止污染扩散的应急修复项目。

#### 4.14 水泥窑协同处置 (cement kiln)

技术定义：水泥窑协同处置是一种利用水泥窑高温、稳定、无渣等特点，在生产水泥的同时处理污染土壤的技术。

技术原理：在水泥窑的高温、稳定、无渣的环境中，污染土壤被处理，同时生产水泥。这种技术的优势在于可以彻底清除污染源，可以处理绝大部分类型的污染土壤。

适用范围：水泥窑协同处置技术也是常见修复手段之一，其优势在于可以彻底清除污染源，可以处理绝大部分类型的污染土壤。利用水泥窑高温、稳定、无渣等特点，生产水泥时同步处理污染土壤。

### 5. 石油化工污染场地土壤—地下水污染修复技术遴选

#### 5.1 技术遴选原则

(1) 综合考虑石油化工污染场地土壤、地下水、地表水，兼顾区域和场地周边，遴选修复技术。

(2) 采用科学的方法，综合考虑场地修复目标、修复技术的处理效果、修复时间、修复成本、修复工程的影响等因素，遴选修复技术。

(3) 根据石油化工污染场地的污染特征及污染物性质、水文地质条件、周边环境敏感目标、对人体健康或生态环境造成的危害、地块拟规划用地类型、修复周期等，因地制宜的遴选场地修复技术，使修复目标可达、修复工程切实可行。

(4) 遴选出的石油化工污染场地修复技术要确保技术应用实施过程安全，防止对施工人员、周边人群健康及生态环境产生危害和二次污染。

(5) 遴选出的石油化工污染场地修复技术应遵循技术成熟、实施安全、修复目标可达、修复成本可控、修复周期合理等原则。

(6) 石油化工污染场地修复技术的遴选除符合本标准规定外，还应遵守国家现行的有关法律、法规、标准和行业规范的规定，符合国家和地方对场地污染修复工程质量、安全、消防等方面的强制性标准规定。

#### 5.2 技术遴选方法

(1) 结合国际国内通用方法，本指南采用指标评价-决策矩阵法对石油化工污染场地土壤-水污染修复技术进行遴选，技术遴选流程如图1所示。

(2) 本指南针对石油化工场地存在的不同类型污染物制定了修复技术遴选数据库（表1），供专业人员结合石油化工污染场地具体情况遴选可行的修复技术。

(3) 本指南系统考虑修复技术的可操作性、污染物去除率、修复时间、设备投资、运行费用、后期费用、残余风险、长期效果、健康影响、管理可接受程度、公众可接受程度等决策指标，制定决策指标体系（表2）。

(4) 本指南针对适用于石油化工污染场地的不同修复技术决策指标，制定了石油化工污染场地修复技术筛选矩阵（表3）和指标评分标准表（表4），供专业人员结合石油化工污染场地具体情况遴选最优的修复技术或修复组合技术。

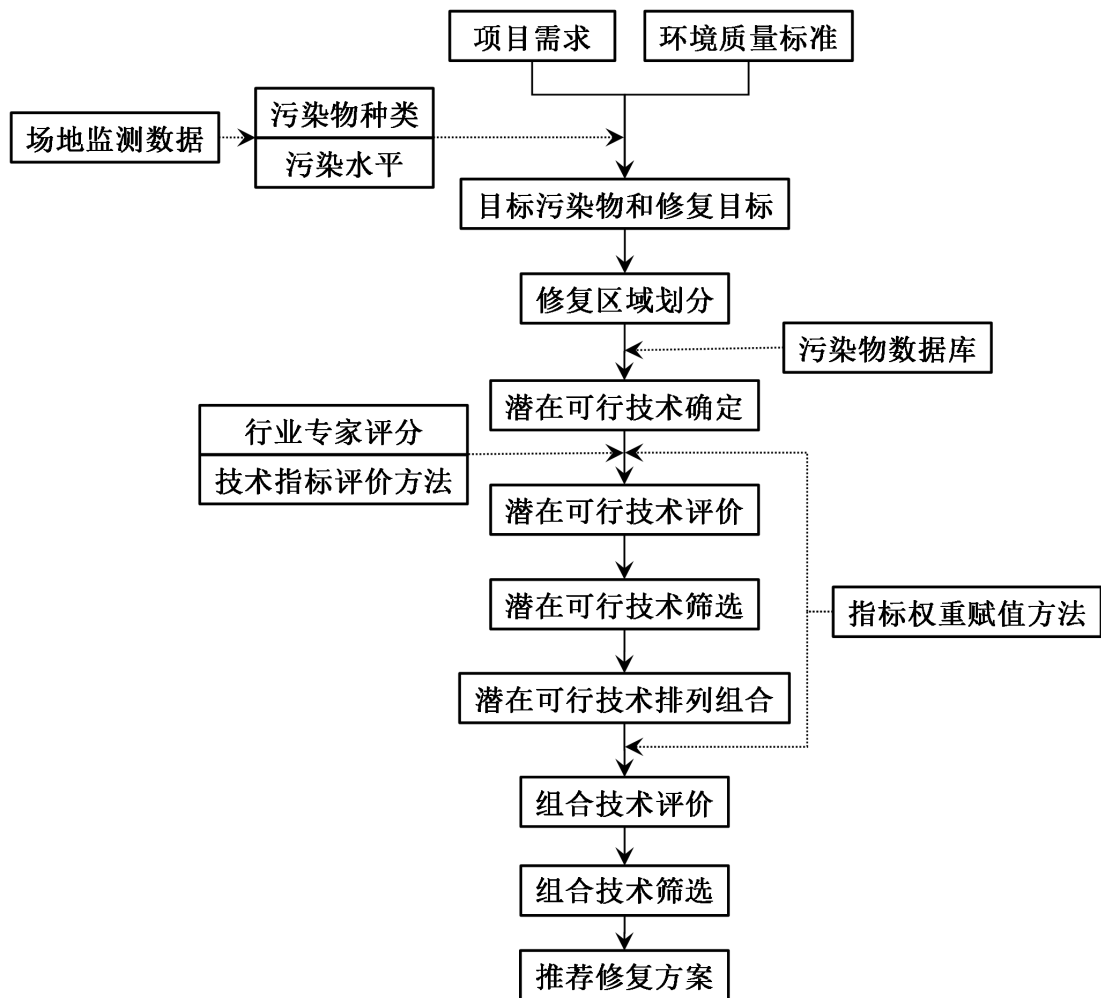


图 1 石油化工污染场地修复技术筛选流程

## 5.3 石油化工污染场地土壤—地下水污染修复组合技术推荐

### (1) 化学氧化-微生物组合修复

化学氧化具有高效、快速等优点，但存在修复不彻底、易破坏土壤的性质及结构、药剂成本较高且易产生二次污染等问题。微生物修复对环境的扰动小，但效率较低且修复周期过长，难以满足实际工程需求。化学氧化与生物修复组合，化学氧化处理能够为微生物修复提供电子受体、生物可利用的有机小分子等条件。现有研究表明，化学氧化耦合微生物修复技术在有机污染土壤修复中比单一修复技术具有更显著的优势，是一种有应用前景的绿色、低碳、经济、高效的有机污染场地土壤修复技术。

### (2) 气相抽提+原位曝气技术：

**编制说明：**适用于半挥发卤代化合物的处理，可采用气相抽提的方法将污染物进行富集，富集后的污染物可集中处理。由于半挥发性卤代化合物的特性，使其可能在土壤中残留，从而影响气相抽提的处理效率。因此，在剩余的污染土壤中通入空气和营养物质，利用微生物对污染物的降解作用处理其中残留的污染物，从而达到修复的目的。

### (3) 土壤淋洗-高级氧化组合修复

土壤淋洗-高级氧化组合修复是一种用于处理化工污染土壤和水体的先进技术。表面活性剂可以通过降低表面张力、界面张力和胶束溶解作用，促进油污染物从非水相液体或固相迁移到水中并溶解到水中，然后通过淋洗液将污染物从土壤中带走。同时向洗脱液中加入氧化剂可以进一步去除污染物。这种组合修复技术可以提高污染物的去除效率，减少二次污染。

### (4) 土壤淋洗-微生物组合修复

针对炼油厂附近石油污染的土壤，首先根据土壤理化性质和微生物降解所需的营养条件，对污染土壤进行改良，优化环境因子。注入表面活性剂，表面活性剂可以将有机污染物从土壤颗粒表面脱附，从而改善有机污染物的生物可利用性，提高生物修复效率。随后按照相应的水平和添加方式，加入降解菌，来对污染物进行处理，从而达到清除目的。

### (5) 多相抽提-生物组合修复

多相抽提和生物修复技术是两种常用于处理受有机污染物污染的土壤和地下水的技术。将这两种技术结合使用，可以提高污染物的去除效率。通过在污染地层中安装抽提井，利用真空泵同时抽取土壤气体、地下水 and 非水相液体（NAPL）。随后按照相应的水平和添加方式，加入降解菌，进一步降解残留的有机污染物，减少二次污染。

#### **(6) 电化学-微生物组合修复**

电化学技术可以有效地辅助微生物及营养物质在土壤中的输送和扩散，并具有高度定向性，显著减少营养物质的投加量，降低修复成本，提高微生物的代谢活性。电动强化生物修复技术一般有两种应用模式：一种是在土壤中设立生物降解区以去除污染物，另一种是利用电场在土壤中扩散营养物质和降解微生物。

#### **(7) 植物-微生物组合修复**

利用由土壤、植物、微生物组成的复合体系来共同降解污染物。在污染场地中种植特定植物（如黑麦草、苜蓿），这些植物在生长过程中，会吸收污染物并将其代谢从而完成对污染物的转化和矿化。该系统在植物修复的同时，还通过光合作用及植物脱落物（其中含有糖、醇、蛋白质和有机酸等）为微生物提供氧气和养料，促进微生物的生长代谢，加速了其降解污染物的速率。

#### **(8) 气相抽提+氧化还原**

可用来处理挥发性卤代和非卤化化合物污染的土壤，先采用气相抽提的方法将土壤中易挥发的组分抽取至地面，对富集的污染物可利用氧化还原的方法进行处理，或采用活性炭或液相炭进行吸附，对于吸收过污染物的活性炭和液相炭采用催化氧化等方法进行回收利用。

#### **(9) 土壤淋洗+生物降解**

适用于燃料类污染土壤的处理，一般先采用原位土壤淋洗技术进行处理，待污染物降解到一定程度后，将淋洗液抽出处理后排放。由于燃料类污染物遇水易形成 NAPL，易在土壤孔隙中残留，无法通过抽取的方法从土壤中去除。因此在形成 NAPL 的位置通入空气和营养物，采用生物降解的方法对其中残留的污染物进行处理，进而达到清除的目的。

#### **(10) 氧化还原+固化稳定化**

适用于无机物污染土壤的处理。无机污染物，特别是重金属类污染物的毒性与价态相关,在自然界的各种工作作用下其价态可发生变化。此联合方式是先采用氧化还原的方法将高毒的无机物氧化还原成低毒或者无毒的无机物,为避免逆反应的发生,需在处理后加入固化剂等物质降低污染物的迁移性,从而保证污染土壤的处理效果。

#### **(11) 原位曝气技术+土壤气相抽提**

适用于土壤和地下水中挥发性有机物的处理。在土壤和地下水污染处设置曝气装置,一方面通过增加氧气含量促进微生物降解,一方面利用空气将其中的挥发性污染物汽化进入包气带。利用土气相抽提系统将汽化的污染物抽出到地面集中处理。这是一种较好的修复技术组合方法。

### **5.4 决策指标评分方法**

石油化工污染场地土壤-水污染修复技术评分方法采用指标客观值评价与数值评分评价两种方法结合的形式。其中修复时间、设备投资、运行费用和后期费用四项采用客观值评价;修复效果采用0-1评分法评价;可操作性、污染物去除率、残余风险、长期效果、健康影响、管理可接受程度、公众可接受程度七项指标采用数值评分评价。具体评价方法如下:

(1) 可操作性:系统考虑修复技术可靠性(技术成熟度),管理人员经验的丰富程度,必要的设备和资源的可获得性,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等方面的影响因素,由专业人员根据修复技术的特性与所考虑因素的匹配度进行打分。

(2) 修复时间:即达到修复目标/指标所需要的时间。该指标由专业人员结合场地情况和经验确定具体客观数值。

(3) 投资:包括直接费用(包括原材料、设备、设施费用等)和间接费用(包括工程设计、许可、启动、意外事故费用等间接投资)。该指标由专业人员根据场地情况和经验确定具体客观数值。

(4) 运行费用:包括人员工资、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;保险、税务、执照等费用。该指标由专业人员根据场地情况和经验确定具体客观数值。

(5) 后期费用：日常管理、周期性监测等后期费用。该指标由专业人员根据场地情况和经验确定具体客观数值。

(6) 修复效果：修复效率由修复目标确定，修复技术筛选对修复效率的要求具有强制性。因此，该指标采用 0-1 评分法评价，即能达到修复效果和不能达到修复效果。

(7) 残余风险、长期效果、健康影响：根据修复技术处理后的是否产生二次污染或产生二次污染的风险性（残余风险、长期效果）、以及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（健康影响）进行评分。该指标由专业人员根据修复技术的特性与系统所考虑因素的匹配度进行打分。

(8) 管理可接受程度、公众可接受程度：在实施过程中对周围居民可能造成的影响（气味、噪声等），以及与现行法律法规、相关标准和规范的符合性。该指标由专业人员根据场地情况和经验确定具体客观数值。

表 4 指标评分标准表

评分指标	很好	好	较好	较差	差
	4-5 分	3-4 分	2-3 分	1-2 分	0-1 分
可操作性					
修复时间					
投资					
运行费用					
后期费用					
修复效果					
长期效果					
可接受程度					
残余风险/健康影响					
总评分					

## 附录 A

### (资料性附录)

表 1 石油化工场地污染物数据库

编号	污染物指标	污染物种类	修复技术
1	苯系物	苯、甲苯、乙苯、间&对-二甲苯、邻-二甲苯、1,2,4-三甲基苯、1,3,5-三甲基苯、苯乙烯、氯苯、溴苯、1,2-二氯苯、1,3-二氯苯、1,4-二氯苯、三氯苯、四氯苯、2-氯甲苯、4-氯甲苯、2,4-二硝基甲苯、2,6-二硝基甲苯、异丙苯、硝基苯、二硝基苯、2,4-二硝基甲苯、2,4,6-三硝基甲苯、硝基氯苯、2,4-二硝基氯苯、2,4,6-三硝基甲苯、硝基氯苯、2,4-二硝基氯苯、2,4-二硝基氯苯、六氯苯、苯胺、联苯胺、多氯联苯	自然衰减、多相抽提/抽出处理、地下水曝气、化学氧化/还原、生物修复、热脱附
2	氯化烃	氯甲烷、氯乙烷、二氯甲烷、三氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、1,2-二氯丙烷、1,2,3-三氯丙烷、环氧氯丙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯、氯丁二烯、六氯丁二烯、四氯化碳、二溴氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、七氯、环氧七氯	自然衰减、多相抽提/抽出处理、地下水曝气、生物修复、化学氧化/还原、热脱附、电动修复
3	多环芳烃	萘、蒽、荧蒽、芘、芴、苊、二氢苊、菲、苯并[b]荧蒽、苯并[a]芘、苯并[g,h,i]芘、苯并[a]蒽、苯并[k]荧蒽、蒎、二苯并[a,h]蒽、茚并芘、茚并[1,2,3-cd]芘	自然衰减、抽出处理、地下水曝气、化学氧化/还原、生物修复、热脱附、土壤淋洗、固化/稳定化
4	农药	扑草通、除草定、丁噻隆、脱乙基阿特拉津、灭草松、莠去津、毒莠定、敌草隆、异丙甲草胺、西玛津、吡虫啉、总六六六、 $\alpha$ -六六六、 $\beta$ -六六六、 $\gamma$ -六六六（林丹）、 $\delta$ -六六六、敌敌畏、总滴滴涕、狄氏剂、艾氏剂、异狄氏剂、果乐	自然衰减、抽出处理、化学氧化/还原、热脱附、土壤淋洗、固化/稳定化
5	石油烃	C10~C40、总石油烃	自然衰减、多相抽提/抽出处理、地下水曝气、化学氧化/还原、原位曝气技术、热脱附、电动修复、生物修复、生物堆
6	酚类	2-氯酚、苯酚、2-硝基酚、4-硝基酚、2-硝基苯酚、2,4-	自然衰减、化学



编号	污染物指标	污染物种类	修复技术
		二氯苯酚、2,4,6-三氯苯酚、2,4-二甲酚、2,4-二氯酚、2,4-二硝基酚、4-甲酚、4,6-二硝基-2-甲酚、2,4,5-三氯酚、2,4,6-三氯酚、五氯酚	氧化/还原、热脱附、土壤淋洗、固化/稳定化
7	酯类	邻苯二甲酸二酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、邻苯二甲酸正辛酯	自然衰减、抽出处理、地下水曝气、化学氧化/还原、热脱附、电动修复
8	醚类	甲基叔丁基醚、乙基叔丁基醚	自然衰减、抽出处理、地下水曝气、化学氧化/还原
9	醛类	甲醛、乙醛、丙烯醛、三氯乙醛	自然衰减、抽出处理、化学氧化/还原、热脱附
10	溴代烃	1,2-二溴乙烷、三溴甲烷、溴仿、二溴乙烯	自然衰减、抽出处理、化学氧化/还原、热脱附
11	重金属	银、镉、汞、铅、砷、铬、镍、铜、镉、钴、铁、钼、锰、硒、锌、铅、铍、钒、钡、铊、钛、硼、锡	自然衰减、抽出处理、化学氧化/还原、土壤淋洗、固化/稳定化、电动修复
12	其他	黄磷、阴离子表面活性剂、氯化物、硫酸盐、硫化物、氰化物、氟化物、氨氮(以 N 计)、硝酸盐(以 N 计)、亚硝酸盐(以 N 计)、碘化物、水合肼、四乙基铅、吡啶、松节油、苦味酸、丁基黄原酸、活性氯、对硫磷、甲基对硫磷、马拉硫磷、甲基汞、丙烯酰胺、丙烯腈	自然衰减、抽出处理、地下水曝气、化学氧化/还原、热脱附、电动修复

## 附录 B

### (资料性附录)

表 2 决策指标体系

指标类型	极大型指标	极小型指标
技术指标	可操作性、污染物去除率	修复时间
经济指标	-	设备投资、运行费用、后期费用
环境指标	长期效果	残余风险、健康影响
社会指标	管理可接受程度、公众可接受程度	-

## 附录 C

### (资料性附录)

表 3 石油化工场地修复技术筛选矩阵

编号	技术	可操作性	修复效果	修复时间	设备投资	运行费用	后期费用	残余风险	长期效果	健康影响	管理可接受程度	公众可接受程度
1	自然衰减	极高	较低	极长	极低	极低	极低	较高	较低	极低	中等	较低
2	抽出处理	中等	中等	中等	中等	较高	中等	中等	中等	较低	中等	中等
3	地下水曝气	中等	中等	中等	中等	较高	中等	较低	中等	较低	较高	较高
4	化学氧化/还原	中等	较高	较短	中等	中等	中等	中等	较高	中等	中等	中等
5	热脱附	较低	极高	极短	极高	极高	较低	极低	极高	中等	较高	较高
6	土壤淋洗	中等	中等	中等	较高	较高	中等	中等	中等	中等	中等	中等
7	固化/稳定化	较高	较低	较短	中等	中等	较低	较高	较低	较低	较高	较低
8	电动修复	较低	较高	中等	较高	较高	中等	中等	较高	较低	中等	中等
9	阻隔技术	极高	较低	较短	中等	较低	中等	较高	中等	较低	较高	中等

## 附录 D

### (资料性附录)

表 4 指标评分标准表

评分指标	很好	好	较好	较差	差
	4-5 分	3-4 分	2-3 分	1-2 分	0-1 分
可操作性					
修复时间					
投资					
运行费用					
后期费用					
修复效果					
长期效果					
可接受程度					
残余风险/健康影响					
总评分					