

ICS
CCS

T/SSSC

中国土壤学会团体标准

T/SSSC—2024

石油化工场地土壤—地下水污染协同阻控与修复 技术导则

*Technical guidelines for collaborative control and remediation of soil and
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. 基本原则	4
5. 风险识别与评估	4
6. 协同阻控与修复措施	6
7. 监测与监督	16

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、北京高能时代环境技术股份有限公司、中华人民共和国生态环境部南京环境科学研究所、南开大学、中国地质大学、江苏省环境科学研究院、江苏省环境工程技术有限公司、中船绿洲环保(南京)有限公司、南京尚土生态环境有限公司

本文件主要起草人:王芳、相雷雷、倪鑫鑫、王莹莹、蒋新、骆永明、刘泽军、曲常胜、陈鸿汉、张海秀、张盛田、吕正勇、傅博文、张佳、王雯冉、李梅、孙红文

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风险的协同阻控与修复工作，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工业园区污染场地的风险识别与评估、阻控与修复和监测与监督。

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/T1.1-2020 标准化工作导则第1部分:标准化文件的结构和起草规则

GB8978-1996 污水综合排放标准

GB 50016-2014 建筑设计防火规范

GB16297-1996 大气污染物综合排放标准

GB 36600-2018 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 14848-2017 地下水质量标准

GB 3838-2002 地表水环境质量标准

GB/T 30760-2024 水泥窑协同处置固体废物技术规范

HJ 1021-2019 土壤和沉积物 石油烃（C₁₀-C₄₀）的测定 气相色谱法

HJ 894-2017 水质 可萃取性石油烃（C₁₀-C₄₀）的测定 气相色谱法

HJ 805-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法

HJ 784-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法

HJ 478-2009 水质多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法

HJ 605-2011 土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法

HJ 639-2012 水质 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法

HJ 834-2017 土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法

HJ1161-2021 环境标志产品技术要求

HJ 164-2020 地下水环境监测技术规范

HJ 1209-2021 工业企业土壤和地下水自行监测 技术指南

HJ 25.1-2019 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.2-2019 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

HJ 25.4-2014 污染场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

HG/T20715-2020 工业污染场地竖向阻隔技术规范

SL 392-2007 固相萃取气相色谱/质谱分析法（GC/MS）测定水中半挥发性
有机污染物

HJ/T 166-2004 土壤环境监测技术规范

HJ 1019-2019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则

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 enterprise**

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 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。

3.3 场地风险识别与评估 **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。

3.4 阻隔性能 **containment performance**

竖向阻隔屏障减缓污染物以对流、水动力弥散方式迁移以及吸附污染物的综合性能，可采用渗透系数、水动力弥散系数、阻滞因子定量评价。

3.5 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。

3.6 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。

4. 基本原则

4.1. 预防为主，防治结合。

通过实施清洁生产、绿色化改造、污染修复治理和风险管控等措施，减少污染排放，切断污染物进入土壤和地下水环境的途径，削减土壤和地下水污染存量。

4.2. 源头控制，全程管理。

通过实施污染溯源、断源、源头治理和风险管控等措施，加强污染源头控制、二次污染防治和长期环境及设施管理，全过程管控土壤污染风险。

4.3. 科学评估，精准施策。

加强土壤和地下水污染隐患识别和污染风险评估，遵循可行性、经济性、安全性等原则，合理确定绿色化改造、修复和管控目标，选择实施模式，遴选适宜技术。

4.4. 公众参与，社会监督。

依法依规公开土壤污染状况和防治信息，加强宣传和培训，引导公众参与土壤污染防治工作，鼓励新闻媒体、公益机构等社会组织团体监督。

5. 风险识别与评估

5.1 风险识别

5.1.1 石油化工场地土-水介质典型污染水平调查

基于场地环境特点及非均质性特征，结合地块利用规划，分别采取网格布点（40米×40米）、同心圆布点（半径为40米、60米和100米）等采样方法，系统采集土壤、地下水地表水样品；基于布点方案设置不同深度的地下水监测井

并采集地下水样品；土壤样品每年一次，地下水样季度一次；并在环境敏感区域、潜在污染源区域等重点区域进行加密采样。参考国家及行业标准，利用气相色谱质谱联用仪、液相色谱质谱联用仪、吹扫捕集-气相色谱质谱联用仪等方法对土—水介质中，总石油烃、多环芳烃、挥发性有机物等物质进行定量分析，明确关键污染物及空间分布特征。综合多介质污染状况调查的分析结果，识别污染源、可能的迁移途径和敏感受体，刻画污染地块概念模型。

表1 主要参考标准列表

目标污染物	参考标准
总石油烃 (TPH)	HJ 1021-2019 土壤和沉积物 石油烃 (C ₁₀ -C ₄₀) 的测定 气相色谱法； HJ 894-2017 水质 可萃取性石油烃 (C ₁₀ -C ₄₀) 的测定 气相色谱法
多环芳烃 (PAH)	HJ 805-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法； HJ 784-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法； HJ 478-2009 水质 多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法
挥发性有机物 (VOC)	HJ 605-2011 土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法 HJ 639-2012 水质 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法
半挥发性有机物 (SVOC)	HJ 834-2017 土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法 SL 392-2007 固相萃取气相色谱/质谱分析法 (GC/MS) 测定水中半挥发性有机污染物

5.1.2 石油化工场地土-水介质特征污染物筛查

在典型物质靶向分析的基础上，可进一步开展基于高分辨质谱的非靶向筛查分析（NIST数据库，mzCloud质谱数据库等），识别丰度较高的潜在污染物。获取标准品后，开展定量分析，得出场地潜在污染物浓度水平。综合典型污染物和潜在污染物的识别结果，构建风险评估物质清单与污染浓度。

5.2 风险评估

5.2.1 场地污染物的人体健康风险评估

典型污染物的风险评估参照HJ 25.3-2019《建设用地土壤污染风险评估技术导则》开展。结合地块利用规划并依据风险识别部分获取的特征污染物浓度水平，明确污染暴露情景和暴露途径；根据地块水文地质调查、文献资料等，确定暴露参数（水文地质参数、暴露时间、暴露频率、敏感受体相关参数等）和

污染物毒性参数，以计算和评估土壤、水介质中特征污染物的总致癌风险和危害指数。

5.2.2 场地污染物的生态风险评估

使用风险商模型（RQ）计算场地污染物的生态风险。RQ值由场地土壤、水样本中计算测得的实际浓度（MEC）与无效应浓度（PNEC）的比值获得（公式 1）。 $0.01 \leq RQ < 0.1$ 时为低风险， $0.1 \leq RQ < 1$ 为中等风险， $RQ \geq 1$ 为高风险。土壤的无效应风险浓度（ $PNEC_{soil}$ ）由水体无效应浓度（ $PNEC_{water}$ ）和有机碳含量（ K_{oc} ）推导而得（公式 2）。对于 K_{ow} 值大于5的物质， $PNEC_{soil}$ 值再额外乘以扩增因子10。 $PNEC_{water}$ 由水生生物的毒性试验数据和评估因子（AF，设为1000）导出。可基于ECORSA等结构效应模型，获取鱼（Fish）、水蚤（Daphnid）和绿藻（Green Algae）的最小急性毒性值（LC50或者EC50），用作毒性数据，计算水体 $PNEC_{water}$ （公式3）。综合各个物质的RQ值，加和推导得出土壤、水介质中污染物累积生态风险（公式 4）。

$$RQ_i = \frac{MEC_i}{PNEC_i} \quad (1)$$

$$PNEC_{i, soil} = (0.1176 + 0.01747 \times K_{i, oc}) \times PNEC_{i, water} \quad (2)$$

$$PNEC_{i, water} = \frac{\min(LC_{50,i, fish}, LC_{50,i, daphnid}, EC_{50,i, green\ algae})}{AF} \quad (3)$$

$$RQ = \sum RQ_i \quad (4)$$

5.3. 修复目标的确定

将污染物可接受致癌风险水平和非致癌危害商分别设定为 10^{-6} 和1，计算污染物风险控制值。综合污染物健康与生态风险控制值和筛选值，合理确定修复目标值，划定修复范围。

6. 协同阻控与修复措施

6.1. 源头阻控措施

6.1.1 一般规定

（1）源头阻控措施应遵循安全稳定、科学设计、污染防控、保护生态的原则。

(2) 石油化工污染场地调查、设计、施工、验收及维护管理各个阶段应充分考虑场地源头阻隔工程进展及对周边土壤、地表水、地下水环境的影响。

(3) 源头阻隔工程设计、施工前应进行场地岩土工程勘察与污染状况调查，获取工程地质与污染状况资料，掌握场地现状及规划用途等基本信息。

(4) 源头阻隔措施包含竖向阻隔、水平阻隔和可渗透反应墙等。

(5) 源头阻隔的材料选用及施工工艺应符合健康、安全、环保、绿色、低碳的要求，实施过程中应充分考虑二次污染控制。

(6) 源头阻隔的设计、施工、验收及维护管控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，符合国家和地方对工程质量、安全、消防等方面的强制性标准规定。

6.1.2 源头阻隔方案制定

6.1.2.1 确认石油化工地块污染特征

(1) 场地岩土工程勘察应通过测绘、勘探、采样、测试等相结合的方法进行，查明区域水文地质条件、场地土壤理化性质指标、受污染土壤及地下水对材料的腐蚀性等级等。

(2) 场地污染状况调查应通过资料收集、现场踏勘、人员访谈、采样、现场快速检测、实验室测试分析等相结合的方法进行，查明污染历史成因，识别污染源及其性质；查明土壤、地下水、地表水环境质量现状和污染物种类及浓度的空间分布；查明地下水污染羽的迁移途径、周边敏感受体、临近地表水、相邻污染场地、上游地下水重点污染源等环境情况。

6.1.2.2 确认源头阻隔目标

(1) 确认前期场地调查和风险评估提出的源头阻隔目标是否明确，包括目标污染物及指标、阻隔目标、阻隔范围等；阻隔目标应实现阻断污染暴露途径，并有效控制或减缓污染物的迁移扩散；控制范围包括四周边界和污染含水层的空间范围。

(2) 从经济成本、技术成熟度、时间要求等方面进行经济技术评估，分析阻隔目标的可达性，若目标设置不合理或目标不可达，应分析原因，必要时开展补充调查和风险评估，并按风险评估流程对目标进行调整。

6.1.2.3 选择源头阻隔模式

(1) 与污染场地业主方和相关部门进行沟通, 确认源头阻隔的要求, 如施工周期、运行管理要求、预期资金投入等。

(2) 根据污染场地特征条件、阻隔目标、阻隔范围等, 确定源头阻隔的总体模式。

6.1.2.4 筛选源头阻隔技术

根据污染场地水文地质条件、污染特征和确定的阻隔模式等, 从适用的目标污染物、技术成熟度、效率、成本、时间和环境风险等方面, 采用案例分析、实验室小试、现场中试、模式分析等方法相结合进行源头阻隔技术的可行性分析; 采用对比分析、矩阵评分等方法分析评估现有源头阻隔技术的优缺点和工程应用的适用性, 确定一种或多种可行的源头阻隔技术。

6.1.2.5 制定源头阻隔技术方案

(1) 按照制定备选方案、比选方案环境管理计划等流程制定源头阻隔技术方案。

(2) 需开展后期运行管理维护的场地, 源头阻隔技术方案中应包含后期运行管理维护建议。

6.1.3 源头阻隔工程设计

6.1.3.1 竖向阻隔工程设计

(1) 竖向阻隔屏障厚度设计应考虑阻隔污染的有效性、水力梯度和施工机械尺寸等因素, 竖向阻隔屏障应嵌入渗透系数不大于 10^{-7}cm/s 的隔水层中, 原则上嵌入厚度不小于2m。

(2) 当隔水层埋深过大而采用悬挂式竖向阻隔时, 应通过污染物渗流——扩散分析确定竖向阻隔屏障临界嵌入深度。

(3) 竖向阻隔屏障的设计使用年限应满足场地的用途要求。

(4) 工程设计中应充分考虑竖向阻隔屏障对地层分布、地下水流向、水力梯度等区域水文地质条件的潜在影响。

(5) 竖向阻隔工程设计内容应包括平面布置、屏障厚度、屏障深度。

(6) 竖向阻隔材料应根据设计使用年限要求、场地特征、场地安全再利用要求、设计厚度、施工工艺等因素综合确定。

6.1.3.2 水平阻隔工程设计

(1) 水平阻隔屏障和地面覆盖设计应考虑土地的最终利用类型，如污染场地再开发利用为公园绿地、停车场等情形，设计可与开发建设合理衔接。

(2) 水平阻隔屏障和地面覆盖的范围应完全覆盖关注污染物浓度超过可接受风险值水平的区域，设计应充分考虑结构的完整性，确保阻隔层的边缘、嵌入位置、结合处的密封性。

(3) 水平阻隔屏障和地面覆盖的设计使用年限应满足场地的用途要求。

(4) 水平阻隔屏障和地面覆盖的设计需要考虑下覆土带来的控制层沉降、地震条件、冰冻深度、径流和腐蚀控制、地面坡度等因素。

(5) 水平阻隔屏障和地面覆盖应配套建设气体收集处理系统。

(6) 水平阻隔屏障和地面覆盖材料应根据设计使用年限要求、场地特征、场地安全再利用要求、施工工艺等因素综合确定。

6.1.4 源头阻隔工程施工及质量控制

6.1.4.1 竖向阻隔工程施工及质量控制

6.1.4.1.1 施工流程

根据优选的竖向阻隔类型和施工工艺确定施工流程，主要包括施工准备、修筑导墙、泥浆制备、沟槽开挖、泥浆护壁、回填料制备/土工膜安装、底部密封、回填、顶部覆盖、钻孔、冲洗孔、压水试验、下喷射管、提升、封孔、场地清理等流程的其中多环。

6.1.4.1.2 施工准备

(1) 施工准备阶段主要进行场地平面布置，确定施工机械类型、数量，确定施工材料数量等。

(2) 场地平面布置应根据施工组织设计进行，并根据工程建设位置校验平面布置，如有遗漏及时补充。

(3) 准备施工用水、用电、施工便道、排污系统等。

6.1.4.1.3 施工作业与质量控制

(1) 竖向阻隔施工前可根据场地地质条件确定是否修筑导墙。

(2) 泥浆制备材料采用优质膨润土和水质合格的拌合用水，定期检测膨润土的物理化学纯度、pH、静切力、细度等指标；拌合用水选用低硬度、近中性、低盐度的水源。

(3) 用于沟槽开挖的机械应配备垂直度仪和自动纠偏装置。

(4) 护壁泥浆应保持一定的循环率，保障槽内泥浆的质量。

(5) 回填料的渗透系数应小于 10^{-7}cm/s 。

(6) 回填施工时应保障和沟槽开挖作业面之间有足够的距离，避免回填料被重新开挖。

(7) 顶部覆盖层应采取必要措施，防止顶部回填料干缩开裂。

(8) 竖向阻隔工程施工完成后，多余泥浆和材料应妥善处理，防止产生二次污染。

6.1.4.1. 质量检验与验收

(1) 施工单位在开工前应建立质量保障体系，制定质量检查制度等。

(2) 施工过程中，质检人员应对分部分项工程施工质量进行检查和控制。

(3) 采用现场注水试验、钻孔取芯进行室内试验、电法检测、监测井检测等手段综合判断竖向阻隔的防渗性能、墙体强度等指标是否达到质量要求。

6.1.4.2 水平阻隔和地面覆盖工程施工及质量控制

6.1.4.2.1 施工流程

根据施工工艺确定施工流程，主要包括土壤层施工和各种防渗系统工程材料的施工。

6.1.4.2.2 施工准备

施工准备阶段主要进行场地平面布置，确定施工机械类型、数量，确定施工材料数量等。

6.1.4.2.3 施工作业与质量控制

(1) 土壤层应采用黏土或渗透系数不大于 10^{-7}cm/s 的其他类型土。

(2) HDPE膜材料在进场前应进行相关的性能检查，安装前应正确贮存，并应标明其在总平面图中的安装位置，铺设过程中必须进行搭接宽度和焊缝质量控制。

(3) 土工布应铺设平整，不得有石块、土块、水和过多灰尘进入土工布；土工布在边坡的铺设方向应于坡面一致。

(4) 钠基膨润土防水垫的贮存应防水、防潮、防曝晒，施工完成后应采取有效的保护措施。

6.1.4.2.4 质量检验与验收

(1) 水平阻隔和地面覆盖工程铺设的土工材料应焊接牢固，达到规定的强度和防渗漏要求，符合相应的质量验收规范。

(2) 水平阻隔和地面覆盖工程验收应进行观感检验和抽样检验，观感检验包括：土工材料标识清楚，表面无损伤，性能检测报告、质量合格证等资料齐全；抽样检验包括：水平阻隔和覆盖工程平整、密实、无裂缝、无松土、无积水，边坡及锚固平台质检过渡平缓，土工材料无破损、无漏接现象，联接情况良好，整体无渗漏。

6.2.污染修复措施

6.2.1一般规定

(1) 污染修复措施应遵循技术成熟宜操作、修复目标可达、修复成本可控的原则。

(2) 统筹考虑石油化工污染地块土壤和地下水多介质污染情况，选择适宜污染修复措施进行修复。

(3) 应根据不同的石油化工污染地块污染特征及污染物性质、周边环境敏感目标、地块土壤理化性质、地块水文地质、地块拟规划用地类型、修复周期等条件，分析污染地块修复关键问题，结合可实现的修复目标，选择适应修复技术及修复施工工艺。

(4) 在现有技术资料无法满足制定污染修复措施或地块存在不确定性条件时，可进行补充相应的技术资料。

(5) 污染修复技术、施工工艺及污染修复过程所应用到的材料、设备等，应符合健康、安全、环保、绿色、低碳的要求，实施过程中应充分考虑二次污染控制。

(6) 污染修复措施应制定全过程的环境管理计划及措施，实施污染修复全过程环境管理，实现污染地块修复风险可控。

(7) 污染修复的设计、施工、验收及维护管控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，符合国家和地方对工程质量、安全、消防等方面的强制性标准规定。

6.2.2 污染修复技术及设计

针对石油化工场地污染物特点及性质，适宜的污染修复技术有化学氧化技术、气相抽提技术、热脱附技术、资源化协同处置技术、安全填埋技术、抽出技术、生物修复技术等；统筹考虑污染地块场地施工条件、施工周期、成本和环境风险等因素，筛选出不同污染地块针对性的适宜修复技术；并通过类似案例分析、修复技术小试、中试等试验验证，采用对比分析、矩阵评分等分析方法，评估不同修复技术的工程适应性和可行性，确定一种或者多种技术联合的修复措施。

(1) 化学氧化修复技术

化学氧化修复技术是通过添加药剂与污染介质混合，实现污染介质中的污染物与药剂接触，从而发生化学反应，达到降解污染物为无毒或者毒性小的物质。该技术可进行污染土壤和地下水的修复。

技术要求：

- 1) 应在小试和中试过程中，确定污染地块化学氧化技术参数，包括但不限于如下：药剂以及辅助药剂的类型、添加比例、反应时间、反应条件等。
- 2) 在采用化学氧化技术修复污染地下水时，修复设计应考虑地块内的地下水流场、水文地质条件等。
- 3) 化学氧化修复污染介质时，应关注化学氧化过程中可能产生的次代产物以及其毒性。

(2) 气相/多相抽提技术

通过真空泵/抽水泵方式，抽出土壤和地下水中的污染物至地面，进行污染物分离和处置。该技术可进行污染土壤和地下水的修复。

技术要求：

- 1) 气相/多相抽提技术适应于渗透系数范围 $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ 的污染地块的修复。
- 2) 气相/多相抽提技术根据场地条件及污染深度，选择单泵系统和多泵系统。

3) 气相/多相抽提除主体工程外, 应包含尾气处置和废水处置工程, 尾气和废水处置满足GB16297、GB8978或当地标准的要求; 若施工过程中涉及到危险废物, 则应按照危险废物处置相应规范进行处置。

4) 在气相/多相抽提设计中, 其技术参数应根据现场中试试验确定, 对应的技术参数包括但不限于如下: 抽提井的影响半径、抽提井的管径、抽提井的抽提速率和周期等。

5) 气相/多相抽提施工过程中, 应进行地块内及相邻范围的地下水监测, 观察地下水污染物变化的同时, 也应观测地下水流场变化和地面沉降情况。

(3) 热脱附技术

通过加热污染的介质, 使介质中的污染物挥发而脱离处理, 实现污染物分离的处置过程。该技术可进行污染土壤和地下水的修复。

技术要求:

1) 热脱附包含热源系统、加热系统、废气收集及处理系统、废水收集及处理系统及其他辅助系统。

2) 热脱附修复实施过程中, 废水和废物处置应满足GB16297、GB8978或当地标准的要求; 若施工过程中涉及到危险废物, 应按照危险废物处置相应规范进行处置。

3) 污染土壤原位热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护的技术要求参考HJ1161-2021的相关规定。

4) 污染土壤异位热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护的技术要求参考HJ1164-2021的相关规定。

5) 采用热脱附技术修复地下水过程中, 应考虑建立止水帷幕, 避免因地下水流动, 产生能量损失。

(4) 资源化协同处置技术

资源化协同处置技术是指污染土壤作为建筑材料的原料, 在满足入窑的条件后, 按照一定的添加比例, 入窑煅烧, 生成建筑材料, 实现污染土壤的资源化。此处的资源主要指水泥、陶粒和红砖等建筑材料。该技术可进行污染土壤的修复。

技术要求:

1) 资源化协同处置不能因污染土壤的添加对产品的品质及使用产生不利影响。

- 2) 资源化协同处置的污染土壤添加比例，应根据污染土壤的重金属含量、氟、氯、硫及土壤的含水率，综合确定。
- 3) 资源化协同处置应配备完善的烟气处置系统和烟气在线监测设备，同时场地应具备一定的容积储存条件，且储存条件应满足 GB 50016 的要求。
- 4) 水泥窑协同处置应采用新型干法回转窑，具体参照GB/T 30760-2024的要求。
- 5) 陶粒窑协同处置的生产线年产量应不低于5万立方米/年。
- 6) 烧结制砖协同处置应采用预热干燥、高温烧结一体的隧道窑，生产线年产量不低于6000万块/年。

(5) 阻隔填埋技术

阻隔填埋技术是指污染土壤离场处置，即将污染地块内的土壤挖出后，运输至由防渗阻隔材料组成的防渗填埋场进行填埋处置。该技术对污染土壤进行控制与修复。

技术要求：

- 1) 进行填埋处置的污染土壤应满足相对应类别的填埋场的入场要求。
- 2) 污染土壤所运输车辆均为密封，运输方案需在主管部门进行备案。

(6) 抽出处理技术

抽出处理技术是指通过井和泵，把污染地下水抽出至地面，利用地面处理设施处置。该技术可进行污染地下水的修复。

技术要求：

- 1) 抽出处理技术适用于渗透系数大于 10^{-5} cm/s的污染地块。
- 2) 抽出地面的污染地下水需要处置达到接受的标准，再进行利用；利用途径可回灌至地下，或者场地内利用，或排入市政管网。
- 3) 抽出处理技术实施的工艺参数由场地内中试试验确定，工艺参数包括但不限于如下：抽出井的影响半径及井间距、抽出井的管径、抽出速率等。
- 4) 抽出井可按照三角形、中轴线等排布方式进行设置，最优排布方式可通过地下水模拟软件模拟确定。
- 5) 抽出处理应设置地下水监测井，监测地下水流动场变化、地下水水质变化等，尤其是关注地下水流动场的平衡，避免造成地面塌陷等地质问题。

6)避免因地下水水量平衡造成的地面塌陷等地质问题，可采取地下水回灌方式进行地下水流场平衡。

2.3 污染修复施工及质量控制

2.3.1 污染修复施工

(1) 工程实施流程

污染修复工程施工流程如下：施工准备→施工作业→效果验收。

(2) 施工准备

- 1) 进行施工场地平面布置，确定人、材、机、料等施工条件。
- 2) 进行场地平整，建设临时设施、临时便道、排污系统及临水、临电、临气的接入等工作。
- 3) 进行设备安装调试，满足施工作业条件。
- 4) 确定作业人员，进行人员培训，完成技术交底工作。

(3) 施工作业

- 1) 污染修复施工作业，应严格按照国家及当地生态环境部门和业主的管理要求，建立健全施工作业质量管理体系、健康管理体系和安全文明施工管理体系；明确管理机构职责；确保污染修复工程按质按时按量完成。
- 2) 污染修复施工作业过程中，出现修复效果不能达到修复要求或者作业现场出现与前期技术资料不符合项时，需要及时与业主、监理方、当地生态环境部门报备及沟通，采取措施达到施工作业要求，如涉及到修复技术和工艺调整时，应进行重新论证和审核施工方案。
- 3) 污染修复作业时，应做好二次污染防治措施和应急方案，通过公告、宣传单页等形式，确保周边居民知情权；如修复过程出现污染突发事件时，施工单位应及时启动应急预案，并报备业主、监理、当地生态环境部门等相关单位，采取措施消除影响，保证修复过程不对周边居民和环境造成影响。
- 4) 其他施工作业要求，按照HJ25.6等相关标准执行。

(4) 效果评估

- 1) 污染修复施工应进行施工单位效果自评估和第三方单位效果评估。
- 2) 效果评估技术要求按照HJ25.5执行，特别关注修复目标的达标情况、施工作业区是否存在潜在影响、施工作业是否对周边环境带来的影响。

6.2.3.2污染修复质量控制

- (1) 污染修复应建立完善的质量控制组织架构，层层分解，责任到人。
- (2) 污染修复应制定质量控制措施，按照施工环节，编制相对应得施工环节质量控制措施。
- (3) 污染修复施工过中，按照一定频率和规范要求对施工内容进行质量检验，检验类型分为常规检验、抽查检验及最终检验，检验方式包括实验室性能测试、现场对照、现场试验等。

7. 监测与监督

7.1 监测布点方案

石油化工场地土壤和地下水监测范围以实际建成生产区域及周边为主，包括对照监测点、污染源监测点、污染扩散监测点。监测点布设遵循安全性原则，不得影响企业安全和正常生产。

7.1.1 对照监测点

土壤和地下水对照监测点布设在场地边界范围外2km范围内的同一水文地质单元中，宜符合以下要求：

- a)对照监测点不少于2个；
- b) 对照监测点最大限度地靠近企业而不受企业及周边污染源影响，布设企业外一定时间内未受外界扰动的全年主导上风向、地下水上游方向，可根据实际情况进行调整。

7.1.2 污染源监测点

石油化工场地土壤和地下水污染源监测点布设在企业内部，宜符合以下要求：

- a)石油化工场地参照HJ 164布设污染源监测点。其中属于土壤污染重点监管单位、地下水污染防治重点排污单位的，参照HJ 1209布设污染源监测点；其中开展修复治理、工程性管控措施或后期环境监管的，参照HJ 25.6布设污染源监测点；
- b)石油化工场地存在污染的，在污染源处及周边加密布设监测点位；
- c)根据石油化工企业特征污染物种类，宜在上述监测点中按一定比例增设土壤气监测点。

7.1.3 污染扩散监测点

石油化工场地土壤和地下水污染扩散监测点布设在企业外，宜符合以下要求：

- a) 石油化工场地参照HJ 164布设污染扩散监测点。其中属于土壤污染重点监管单位、地下水污染防治重点排污单位的，参照《工业企业周边土壤和地下水监测技术指南(试行)》布设污染扩散监测点；其中开展修复治理、工程性管控措施或后期环境监管的，参照HJ 25.6布设污染扩散监测点。
- b) 石油化工场地特征污染已扩散至场地边界外且场地外超标的，结合地下水流向，在污染扩散方向处按照采样单元面积不大于6400m²/个布设地下水监测点，划定污染边界范围区域的采样单元面积不大于1600m²/个。
- c) 根据石油化工企业特征污染物种类，宜在上述监测点中按一定比例增设土壤气监测点。

7.2 采样方案

符合以下操作要求是十分必要的：

- a) 石油化工场地土壤和地下水监测以浅层地下水及其赋存地层为主，钻孔深度以揭露潜水含水层且不穿透潜水含水层隔水底板为准；若潜水含水层以下地层存在污染的可能，在做好分层止水的情况下，钻穿隔水板采集更深层的土壤和地下水样品。
- b) 土壤和地下水采样方案制定宜参照HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 164、HJ 166、HJ 1019的相关规定。
- c) 土壤气采样方案制定宜按照附录C中标准。
- d) 地表水采样方案制定宜参照HJ 91.2的相关规定执行。

7.3 分析方案

7.3.1 土壤样品检测分析项目

包括但不限于：

- a) GB 36600-2018中表1的污染物项目、pH、石油烃（C₁₀-C₄₀）；
- b) 企业特征污染物。

7.3.2 地下水样品分析检测项目

包括但不限于：

- a) GB/T 14848-2017表1中“感官性状及一般化学指标（除放射性和微生物指标外）”、附录F中对应行业类别污染物；

- b) GB 36600-2018中表1的污染物项目、石油烃（C₁₀-C₄₀）；
- c) 企业特征污染物。

7.3.3 土壤气样品检测分析项目

土壤气样品一般采用便携式设备进行测试。对于结果异常的，可进行定量检测，检测分析项目包括但不限于：

- a) GB 36600-2018中表1的污染物项目；
- b) 企业特征污染物。

7.3.4 地表水样品检测分析项目

地表水检测分析项目同地下水样品检测分析项目一致，并包括GB 3838-2002中表1项目。

7.3.5 底泥样品检测分析项目

底泥样品检测分析项目同土壤样品检测分析项目一致。

7.4 监测频率

石油化工场地土壤和地下水最低监测频次参照下表执行，可根据实际情况提高监测频次，具体包括但不限于：

- a) 土壤中存在挥发性有机物的，土壤气监测频次可根据实际情况需要在第二、三季度提升至1次/月，在第一、四季度提升至1次/季度；
- b) 地下水中存在易迁移或挥发性有机物的，地下水监测频次可根据实际情况需要提升至1次/季度；
- c) 对经自动监测发现地下水水温、水位、浊度等突然异常的，立即在异常处开展地下水环境监测；
- d) 存在特征污染物监测值发现存在超标的、监测值高于前次监测值30%以上的、以及监测值连续3次及以上呈上升趋势等异常情况的，地下水监测频率提升为1次/月，直至异常情况消失。

表 2 石油化工场地污染监测的最低监测频次

监测对象	监测频次
土壤	1次/1年
地下水	2次/1年（可采用地下水在线监测装置加大地下水监测频次）
土壤气	1次/1年（可采用便携式设备加大土壤气监测频次）

7.5 运行维护

地下水和土壤气监测点宜为长期监测点，宜参照HJ 164、定期开展维护。