

ICS 号
Z10

团 体 标 准

T/CPCIF 00-2000

焦化污染地块风险管控与修复效果评估 技术规范

Technical Guideline for Verification of Risk Control and Soil
Remediation of Coking Contaminated Site

(征求意见稿)

2000-00-00发布

2000-00-00实施

中国石油和化学工业联合会 发布

目 次

前 言	1
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体原则与要求.....	3
5 资料回顾与现场踏勘.....	4
6 更新地块概念模型.....	5
7 制定效果评估工作方案.....	6
8 修复效果评估数据分析方法.....	11
9 后期监测计划.....	12
10 编制效果评估报告.....	13
附录 A	14
附录 B	20

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由.....提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部环境规划院、北京市环境科学研究院、安徽国祯环境修复股份有限公司、实朴检测技术（上海）股份有限公司、煜环环境科技有限公司、上海圣珑环境修复技术有限公司、上海化工研究院有限公司。

本文件主要起草人：刘锋平、丁贞玉、孙宁、王建飞、李绍华、尉黎、张长波、赖冬麟、贾晓洋、张丽娜、呼红霞、张宗文、万德山、余锦涛、王世杰、张娟、杨进、谢荣焕、孟静娟。

焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范

1 范围

本文件规定了焦化污染地块风险管控与修复效果评估的工作内容、工作程序、工作方法，以及针对焦化污染地块的特征污染物常用修复技术的具体要求，以加强焦化污染地块环境保护监督管理。

本文件适用于从事焦化污染地块风险管控与修复技术方案编制、工程实施、工程效果评估、地块监督管理等相关技术人员和机构。

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 14848 地下水质量标准

GB18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准

GB36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范

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（试行）

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 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

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 目标污染物 target contaminant

在地块环境中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，需要进行风险管控与修复的关注污染物。

3.2 修复目标 remediation target

通过地块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物浓度值。

3.3 风险管控目标 risk control goal

阻断土壤或地下水污染物暴露途径，阻止土壤或地下水污染扩散，防止对人体健康和生态受体产生影响的阶段目标。

3.4 评估标准 assessment criteria

评估地块是否达到环境和健康安全的标准或准则，本文件指评估标准包括目标污染物浓度达到修复目标值、二次污染物不产生风险、工程性能指标达到规定要求等。

3.5 风险管控与修复效果评估 verification of risk control and remediation

通过分析焦化污染地块相关资料、现场采样和实验室检测数据，综合评估地块风险管控与修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。

3.6 地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式综合描述水文地质条件、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 制度控制 institutional control

通过制定和实施条例、准则、规章或制度，减少或阻止人群对地块污染物的暴露，防范和杜绝地块地下水污染可能带来的风险和危害，利用管理手段控制污染地块潜在风险。

3.8 工程控制 engineering control

采用阻隔、堵截、覆盖等工程措施，控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径，降低和消除地块地下水污染对人体健康和生态受体的风险。

4 总体原则与要求

4.1 总体要求

焦化污染地块风险管控与修复效果评估应对土壤和地下水是否达到修复目标、风险管控是否达到规定要求、地块风险是否达到可接受水平等情况进行科学、系统地评估，提出后期环境监管建议，为焦化污染地块管理提供科学依据。

4.2 工作内容

污染地块风险管控与土壤修复效果评估的工作内容包括:更新地块概念模型、布点采样与实验室检测、风险管控与修复效果评估、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告。

4.2 评估程序

焦化污染地块修复效果评估工作程序包括资料回顾与现场踏勘、更新地块概念模型、编制评估工作方案、布点采样与实验室检测、风险管控与修复效果达标判定、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告等 7 个步骤，工作程序流程见图 1。

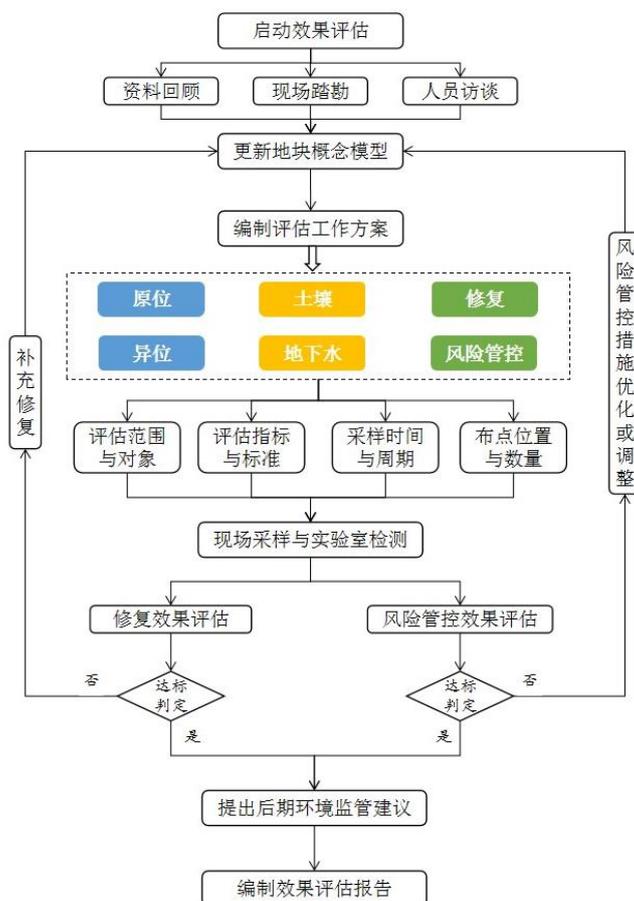


图 1 焦化污染地块风险管控与修复效果评估程序

5 资料回顾与现场踏勘

5.1 资料回顾

5.1.1 在开展焦化污染地块治理修复与风险管控效果评估工作之前，效果评估单位应收集与污染地块相关的资料，对收集的资料进行整理和分析，并通过与地块责任人、调查评估负责人、工程实施负责人、工程监理人员、环境监理人员等进行沟通和访谈，明确效果评估的关键因素。效果评估单位应根据专业知识和经验识别资料的有效性，并对资料进行深入研究。

5.1.2 需收集的资料主要包括但不限于：

- a) 地块环境调查报告、风险评估报告、修复技术方案、风险管控技术方案等文件；
- b) 地块修复施工组织方案、施工进度计划、施工记录等工程资料；
- c) 地块修复监理方案、监理报告以及监理现场记录等监理资料；
- d) 相关合同协议（委托处理污染土壤的相关文件和合同、实施方案变更协议、施工过程中废水、废渣、污泥等去向接收证明等）；
- e) 外运污染土壤资源化利用或无害化处置的相关资料（环境监理报告、运输情况台账、设备运行台账、环境监测数据等）；
- f) 其它文件和图件（地块用地规划、地块所在地环境功能区划、相关环境保护规划和行政规范性文件等）。

5.2 现场踏勘

5.2.1 焦化污染地块风险管控和修复效果评估机构应开展现场踏勘工作，了解污染地块风险管控与修复工程实施相关情况、环境保护措施落实情况，包括核实现场状况与资料文件的相符性、修复设施运行情况、修复工程施工进度、异位修复基坑清理情况、污染土壤有无暂存及暂存区情况、场地内临时道路、修复工程施工进度、修复施工管理情况等。

5.2.2 调查人员可通过照片、视频、录音、文字等方式，记录地块踏勘情况。

5.3 人员访谈

必要时通过人员访谈对前期收集到的资料和现场踏勘所涉及的疑问和不完善处进行核实和补充，对地块风险管控与修复工程情况、环境保护措施落实情况进行全面了解。访谈对象可以是地块责任单位、地块调查单位、地块修复方案编制单位、修复施工单位等单位的参与人员，也可以是企业职工、周边居民、政府管理人员等。

6 更新地块概念模型

6.1 完善地块修复后概念模型

效果评估机构应收集地块风险管控与修复相关资料，在资料回顾和分析的基础上，开展现场踏勘工作，并通过与地块责任人、施工责任人、监理人员等进行沟通和访谈，了解地块调查评估结论、风险管控与修复工程实施情况、环境保护措施落实情况等，掌握地块地质与水文地质条件、污染物空间分布、污染土壤去向、风险管控与修复设施设置、风险管控与修复过程监测数据等关键信息，更新地块概念模型，完善地块风险管控与修复实施后的概念模型。

6.2 地块概念模型信息清单

a) 地块风险管控与修复概况：修复起始时间、修复范围、修复目标、修复设施设计参数、修复过程运行监测数据、技术调整和运行优化、修复过程中废水和废气排放数据、药剂添加量等情况；

b) 关注污染物情况：目标污染物原始浓度、运行过程中的浓度变化、潜在二次污染物和中间产物产生情况、土壤异位修复地块污染源清挖和运输情况、修复技术去除率、污染物空间分布特征的变化、以及潜在二次污染区域等情况；

c) 地质与水文地质情况：关注地块地质与水文地质条件，如地层分布及岩性、地质构造、地下水类型、含水层系统结构、地下水分布条件、地下水流场、地下水动态变化特征、地下水补径排条件等，以及修复设施运行前后地质和水文地质条件的变化、土壤理化性质变化等，运行过程是否存在优先流路径等；

d) 潜在受体与周边环境情况：结合地块规划用途和建筑结构设计资料，分析修复工程结束后污染介质与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

6.3 概念模型重新调整

6.3.1 地块概念模型可用文字、图、表等方式表达，作为确定效果评估范围、采样节点、布点位置等的依据。在效果评估开展过程中，可根据资料与数据的充实程度，不断完善地块概念模型，以助于科学合理评估地块修复效果。

6.3.2 若地块利用方式较之于调查评估阶段变更（例如原规划居住用地修改为商业用地）、或其他可能影响修复范围的情况有变（例如污染物毒性参数调整），则可结合修复工程实际情况与管理要求，根据具体资料，重新确定的修复范围，并划定修复效果评估的范围。

6.3.3 若地块暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估指标及标准值。

7 制定效果评估工作方案

7.1 污染土壤原位修复

7.1.1 评估范围和对象

焦化污染地块中经原位修复的土壤，其效果评估范围为修复方案确定的污染范围，评估对象为原位修复后的土壤。

7.1.2 评估指标和标准值

对于原位修复的土壤，效果评估指标和标准值分别为修复方案中确定的目标污染物和修复目标值。

7.1.3 采样时间

7.1.3.1 原位修复的土壤，应在修复完成后、进行再利用之前进行采样。

7.1.3.2 原位修复的土壤可按照修复进度、修复设施设置等情况分区域采样。

7.1.3.3 原则上，土壤修复效果评估一般开展一次采样，若评估不达标则需继续修复后补充采样。

7.1.3.4 焦化污染地块原位修复土壤应考虑可能出现的拖尾、反弹或可逆现象，确定土壤中污染物浓度的统计特征处于稳定状态后的采样检测数据方可作为修复效果评估的依据。

7.1.4 布点方法和数量

7.1.4.1 原位修复土壤效果评估时建立三维网格进行均匀布点。考虑到原位修复的不均匀性，建议平均每 400m³ 土壤采集一个样品。

7.1.4.2 应结合焦化污染地块的污染特征、地层分布、污染物迁移特征、不同修复技术的潜在薄弱点的判断布点，必要时在污染物聚集区、修复薄弱区的增加判断布点（土壤修复薄弱点见附表 1）。

7.1.4.3 焦化污染地块热脱附修复后的土壤采样，应考虑到温度对 VOCs 的影响，尽量在土壤降至常温后进行采样。

7.1.4.4 在焦化污染地块内的重点功能区，如焦炉区、硫酸罐区、沉淀池、油库等，可根据污染程度和地块面积适当增加布点数量。

7.2 污染土壤异位修复

7.2.1 评估范围和对象

焦化污染地块内土壤采用异位修复后,评估对象为污染土壤挖掘后遗留基坑的底部和侧壁,异位修复处理后的土壤堆体,以及修复可能涉及的二次污染区域。

7.2.2 评估指标和标准值

7.2.2.1 对于异位修复污染土壤挖掘后遗留的基坑底部和侧壁,效果评估指标一般为修复方案中确定的目标污染物。效果评估标准值为修复方案中确定的修复目标值。

7.2.2.2 异位修复的土壤原则上应根据其最终去向确定效果评估标准值。若外运到其他场地,应根据其目的场地情况确定评估标准值,必要时需根据目的地实际情况进行风险评估;若回填到原地块,评估标准值为修复方案中确定的污染物修复目标值。

7.2.2.3 若采用异位修复的相邻基坑目标污染物不同时,基坑交界线两侧 2 米之内应同时检测相邻基坑的目标污染物。

7.2.3 采样时间要求

7.2.3.1 对于异位修复工程清理的基坑底部和侧壁,需在污染土壤挖掘之后、回填之前进行采样。

7.2.3.2 按照堆体模式进行修复的土壤,应在堆体拆除之前进行采样。

7.2.3.3 小地块原则上建议不分批次采样,大地块或分区域开发的地块必要时可开展分批次采样,地块基坑清理效果应依据分批次采样的数据整体评估。

7.2.4 布点方法和数量

异位修复遗留基坑底部、侧壁,及土壤堆体的修复效果评估布点数量和位置按照 HJ25.2 执行。

7.3 污染土壤风险管控

7.3.1 评估指标和标准值

7.3.1.1 污染土壤固化/稳定化修复效果评估通常需要评估物理和化学两类指标:物理指标包括无侧限抗压强度、渗透系数等;化学指标为修复方案中确定的目标污染物浓度,根据其不同的再利用和处置方式,采用合适的浸出分析方法和效果评估标准值。

7.3.1.2 固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水用途对应标准值或不会对地下水造成危害。

7.3.1.3 土壤阻隔填埋技术等工程控制措施效果评估指标一般为对应的工程指标,如阻隔层厚度、渗透系数等。

7.3.1.4 采用风险管控措施的区域下游地下水中污染物浓度应持续下降。

7.3.1.5 需定性评估隔离工程措施的实施效果。

7.3.2 采样时间和频次

7.3.2.1 风险管控工程效果评估一般在工程设施完工 1 年内开展。

7.3.2.2 工程性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

7.3.2.3 污染物指标应采集 4 个批次的的数据，建议每个季度采样一次。

7.3.3 布点方法和数量

7.3.3.1 需结合风险管控措施的布置，在风险管控范围上游、内部、下游，以及可能涉及的潜在二次污染区域设置地下水监测井。

7.3.3.2 可充分利用地块调查评估与修复实施等阶段设置的监测井，现有监测井须符合修复效果评估采样条件。

7.4 污染地下水修复

7.4.1 评估范围

地下水修复效果评估的范围应包括地下水修复范围的上游、内部和下游，以及修复可能涉及的二次污染区域。

7.4.2 评估指标和标准值

7.4.2.1 地下水修复的效果评估指标为修复方案中确定的目标污染物，标准值为修复方案中确定的污染物修复目标值，或者通过对残留污染物进行风险评估，若风险可接受，则认为达到修复效果。

7.4.2.2 必要时可增加地下水常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

7.4.3 采样时间和频次

7.4.3.1 地下水采样工作开始前需确定地下水修复活动已经终止，并须判断地下水处于稳定状态，稳定状态后的采样检测数据方可作为修复效果评估的依据。采样节点参照 HJ25.6 执行。

7.4.3.2 地下水修复效果评估采样频次应根据地块地质与水文地质条件、地下水修复方式确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等。

7.4.3.3 地下水修复效果评估阶段应至少采集 8 个批次的样品，采样持续时间至少为 1 年。

7.4.3.4 原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

7.4.4 布点数量和位置

7.4.4.1 原则上修复效果评估范围上游应至少设置 1 个监测点，内部应至少设置 3 个监测点，

下游应至少设置 2 个监测点。

7.4.4.2 原则上修复效果评估范围内部采样网格不宜大于 80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，采样网格不宜大于 40 m×40 m。

7.4.4.3 地下水采样点应优先设置在修复设施运行薄弱区、地质与水文地质条件不利区域等。

7.4.4.4 可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的监测井，现有监测井应符合地下水修复效果评估采样条件。

7.5 污染地下水风险管控

7.5.1 评估范围和对象

地下水风险管控效果评估的范围应包括地下水风险管控范围的上游、内部、两侧和下游，以及可能涉及的二次污染区域。

7.5.2 评估指标和标准值

7.5.2.1 风险管控效果评估检测指标包括工程性能指标和污染物指标。

7.5.2.2 工程性能指标包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施连续性与完整性等，工程性能指标值应满足设计要求或不影响预期效果。

7.5.2.3 污染物指标包括地下水、土壤气和室内空气等环境介质中的目标污染物及其他相关指标。地块风险管控措施下游地下水中污染物浓度应持续下降，地下水污染扩散得到控制。

7.5.2.4 可增加地下水水位、地下水流速、地球化学参数等作为风险管控效果的辅助判断依据。

7.5.3 采样时间和频次

7.5.3.1 风险管控效果评估一般在工程实施完工 1 年内开展。

7.5.3.2 污染物指标应至少采集 4 个批次的样品，原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

7.5.3.3 工程性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

7.5.4 布点数量和位置

7.5.4.1 地下水监测井设置需结合风险管控措施的布置，在风险管控范围上游、内部、下游，以及可能涉及的二次污染区域设置监测点。

7.5.4.2 可充分利用地块环境调查、修复和风险管控实施阶段设置的监测井，现有监测井应符合风险管控效果评估采样条件。

7.6 二次污染区域

7.6.1 评估范围和对象

7.6.1.1 潜在二次污染区域包括污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、土壤或地下水待检区、废水暂存处理区、修复过程中污染物迁移涉及的区域、其他可能的二次污染区域。

7.6.1.2 评估对象主要为与污染土壤有接触或遗撒涉及的地面表层或其他区域。

7.6.1.3 对于经过分析判断，认为不属于二次污染区域的地块内区域，需结合资料进行分析审核，判断污染的可能性。

7.6.2 评估指标和标准

7.6.2.1 潜在二次污染区域效果评估指标应依据地块调查评估、修复过程环境监理报告等资料确定。

7.6.2.2 施工作业区域的评估指标除了地块的特征污染物之外，还需要考虑与施工作业相关的特征污染物，如道路区域需要附加考虑汽油、柴油等；如土壤养护区需要附加考虑投加药剂类型；如可能发生化学反应的区域需要附加考虑化学反应的中间产物等。

7.6.2.3 对于采用化学氧化/还原、热脱附、微生物修复等技术进行修复的焦化污染地块的土壤和地下水的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复技术方案中的可行性分析结果和修复工程运行监测结果确定。

7.6.2.4 潜在二次污染区域效果评估标准值可参照 GB36600 中一类用地筛选值确定，或进行残留污染物风险评估分析其潜在风险，确保风险在可接受水平内。

7.6.2.5 考虑到焦化污染地块挥发性污染物种类较多，若修复实施方案中涉及到恶臭修复目标，执行方案要求进行验收；也可以根据地块责任单位要求，采用环境影响评价要求，开展三同时验收。

7.6.2.6 若修复过程可能产生的有毒有害物质（例如化学氧化/还原技术），除修复方案中确定的指标外，还应检测潜在二次产物，在产物不明确的情况下可开展生物毒性测试作为辅助。

7.6.3 采样时间和频次

7.6.3.1 潜在二次污染区域土壤应在此区域开发使用之前进行采样。

7.6.3.2 可根据工程进度对潜在二次污染区域进行分批次采样。

7.6.3.3 原则上，二次污染区域评估仅开展一次采样。

7.6.3.4 对于涉及固体废物或危险废物清除的焦化污染地块，应对清除后的区域进行采样评估。

7.6.4 布点方法和数量

7.6.4.1 对于修复效果评估时发现的潜在二次污染区域进行验收时，先结合场地资料和现场勘查情况进行甄别。

7.6.4.2 潜在二次污染区域土壤原则上根据修复设施设置、潜在二次污染源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点。

7.6.4.3 地下水抽出处理过程中可能产生二次污染的区域，采样点设置时应将污染羽及其潜在污染区域统一考虑。

8 修复效果评估数据分析方法

8.1 土壤修复效果评估

8.1.1 当评估区域样品数量少于 8 个时，须采用逐点对比方法进行评价。当检测值低于或等于评估标准值时，达到修复要求；当检测值高于评估标准值时，则认为未达到修复要求。

8.1.2 采用逐点达标评价方法时，若同一污染物污染的样品中平行样数量大于或等于 4 组时，可结合 t 检验方法，分析采样和检测过程中的误差，确定检测值与修复效果评估标准值的差异：

a) 若各样本点的检测值显著低于修复效果评估标准值或与修复效果评估标准值差异不显著，则认为该地块达到修复效果；

b) 若某样本点的检测结果显著高于修复效果评估标准值，则认为地块未达到修复效果。

8.1.3 焦化污染地块中，对于存在非水相流体区域时，建议采用逐点比较判定。

8.1.4 当评估区域采样数量大于等于 8 个时，可采用统计分析方法进行修复效果评价。一般用样品均值的 95%置信上限与修复效果评估标准值比较。下述条件全部符合方可认为达到修复效果：

a) 样品均值的 95%置信上限小于等于修复效果评估标准值；

b) 样品浓度最大值不超过修复效果评估标准值的两倍。

8.1.5 按照批次开展修复的土壤，可根据修复进程对修复后土壤开展分批次采样，修复效果可根据分批次采样结论确定。

8.2 地下水修复效果评估

8.2.1 原则上每口监测井中的检测指标均持续稳定达标，方可认为地下水达到修复效果。若未达到修复效果，应对未达标区域开展补充修复。

8.2.2 可采用趋势分析进行持续稳定达标判断：

a) 地下水中污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，可判断地下水达到修复效果。

b) 地下水中污染物浓度呈现上升趋势，则判断地下水未达到修复效果。

8.3 风险管控效果评估

若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护；若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到预期效果，须对风险管控措施进行优化或修理。

8.4 继续修复与评估

8.4.1 对于基坑，若某采样点未达到清理效果，则可根据网格对局部污染土壤进行再次清理和修复效果评估；也可在采用网格布点方法在局部进行详细采样，确定较为精确的不达标区域，进行再次清理和修复效果评估。

8.4.2 对于分批次修复处理后的土壤，若某采样点未达到修复效果，则将对对应土方的污染土运至处置设施处再次修复，修复后进行修复效果评估。

9 后期监测计划

9.1 后期环境监管要求

9.1.1 下列情景下，应提出后期环境监管建议：

- a) 修复后土壤中污染物浓度未达到 GB 36600 第一类用地筛选值的地块；
- b) 实施风险管控的地块；

9.1.2 后期环境监管的方式一般包括长期环境监测与制度控制，两种方式结合使用。原则上后期环境监管直至地块土壤中污染物浓度达到 GB 36600 第一类用地筛选值、地下水中污染物浓度达到 GB/T 14848 中地下水使用功能对应标准值为止。

9.2 长期环境监测

9.2.1 实施风险管控的地块应开展长期监测。

9.2.2 一般通过设置地下水监测井进行周期性采样和检测，也可以设置土壤气监测井进行土壤气样品采集和检测，监测井位置应优先考虑污染物浓度高的区域、敏感点所处位置等。

9.2.3 应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

9.2.4 原则上长期监测 1-2 年开展一次，可根据实际情况进行调整。

9.3 制度控制

9.3.1 修复后土壤中污染物浓度未达到 GB36600 第一类用地筛选值的地块和实施风险管控的地块均需开展制度控制。

9.3.2 制度控制包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、通知和公告地块潜在风险、制定限制进入或使用条例等方式，多种制度控制方式可同时使用。

10 编制效果评估报告

焦化污染地块风险管控与修复效果评估报告应当包括焦化污染地块风险管控与修复工程概况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。焦化污染地块风险管控与修复效果评估报告大纲见附录。

附录 A
(资料性附录)
修复效果薄弱点列表

表 A.1 给出了焦化污染地块治理修复和风险管控过程中可能存在的薄弱点，这些环节（点位）的修复效果是开展效果评估工作的关键。。

表 A.1

序号	技术名称	修复技术薄弱点	修复过程的薄弱环节	污染物去除难点描述
1	原位热脱附技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焦化污染地块修复中相对较少关注重金属去除效果； 2. 若修复不达标,再次原位修复难度较大、成本高 3. 高沸点有机物难去除； 4. 加热温度不够或保温时间不足，易导致修复不达标。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 土壤异质性大，加热升温不均匀，可能存在加热薄弱区，导致土壤未达到目标温度，污染物脱附受到影响。 2. 加热区的边界、底部、加热中心冷点等地方热损大，影响脱附效果。 3. 脱附出来的有机蒸气需要靠抽提系统去除，远离抽提井的区域污染物去除受到影响。 4. 脱附出的土壤气体容易向上迁移到地面，冷凝后聚焦在地表，污染土壤。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对于粘土中的污染物或存在 NAPL 等高浓度污染土壤和地下水，单一原位热脱附技术处理达标困难； 2. 系统运行过程中可能产生大量的污染冷凝水，需要处理； 3. 不同加热升温阶段抽提出的废气量和组成变化大，尾气处理有超标排放风险； 4. 高浓度高沸点有机物离加热源较远，很难保证修复效果。
2	异位热脱附技术	<ol style="list-style-type: none"> 1.对焦化污染地块，需同时关注有机物和重金属复合污染区域； 2.关注高含氯有机物的尾气处理过程中设备和管道腐蚀问题； 3.加热温度不够或停留时间不足，易导致修复不达标。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粘性大、含水量高的土壤预处理不好，容易导致修复达标率低； 2. 焦油含量较高的污染土壤修复效果较难保证； 3. 污染土壤在热脱附设备内的停留时间与焦油含量较高的污染土壤的去除率较难匹配，导致焦油类污染物去除达不到修复效果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.运行过程中产生的粉尘含污染物较高，还需处理。 2.运行过程可能产生二恶英；为控制二恶英的排放，尾气处理时喷入活性炭，产生危废。 3.尾气脱酸处理时，运行时间较长后循环水中盐分较高，需要处理才可排放。 4.清挖过程易导致 BETX 等 VOCs 挥发扩散。
3	原位化学氧化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般氧化剂对焦化场地中 PAHs 的氧化能力普遍较低，难以修复达标。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 土壤中还原物质含量和组成对氧化剂的用量和氧化效果影响大； 2. 氧化剂的选择影响污染物的去除效果； 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对苯并芘等高环的污染物氧化修复效率低； 2. 氧化剂效果持久性不足时，往往导致污染物反弹现象；

序号	技术名称	修复技术薄弱点	修复过程的薄弱环节	污染物去除难点描述
		<p>2. 对场地的精细化调查程度要求较高，需精细刻画土层条件、污染物分布条件，以供设计、施工和效果评估等环节使用；</p> <p>3. 修复药剂与污染土壤接触的均匀性较难保证；</p> <p>4. 现有原位注入技术装备作用深度有限；</p> <p>5. 在粘性土壤修复过程中易出现涌浆现象，导致实际注入药剂剂量有限；</p> <p>6. 注入泵压力有限，单孔注入修复半径较小。</p>	<p>3. 加入方式、活化方式等工艺操控条件对氧化结果影响大；</p> <p>4. 渗透性较差的土层（如粘土）会使药剂传输速率减慢影响氧化效果，易存在修复薄弱区；</p> <p>5. 当土层渗透性差异大，药剂传输过程存在“优势通道”；</p> <p>6. 修复药剂注入过程可能不太顺利；</p> <p>7. 原位注入技术在不同渗透系数土层土壤，渗透系数较低土层扩散半径较小，应重点关注；</p> <p>8. 多个注入井影响半径共同覆盖的边缘区域药剂剂量较小，应重点关注。</p>	<p>3. 中间产物或药剂及其强化剂易导致二次污染；</p> <p>4. 修复药剂为点状注入，较难保证污染物去除的均匀性；</p> <p>5. 污染地块不同土层渗透系数不同，需以渗透系数最低土层作为参考进行注射井布置；</p> <p>6. 若污染地块渗透系数较小，在注入过程中易发生井喷现象，实际注入药剂难以达到标靶位置；</p> <p>7. 氧化药剂及其强化剂、污染物氧化中间产物等可能造成二次污染。</p>
4	异位化学氧化	<p>1. 一般氧化剂对焦化地块中 PAHs 的氧化能力普遍较低，难以修复达标。</p> <p>2. 受混合搅拌设备性能限制，修复高含水率粘性土壤时难以保证药剂与污染介质的混合均匀度。</p>	<p>1. 土壤中还原物质含量和组成对氧化剂的用量和氧化效果影响大；</p> <p>2. 氧化剂的选择影响污染物的去除效果；</p> <p>3. 加入方式、活化方式等工艺操控条件对氧化结果影响大；</p> <p>4. 土壤筛分、破碎等预处理措施不足可能导致部分团聚土壤修复不合格；</p> <p>5. 应重点关注粘性及淤泥质土壤结块部分修复过程的药、土混合均匀度和后期实际修复效果。</p>	<p>1. 对苯并芘等高环的污染物氧化修复效率低；</p> <p>2. 氧化剂效果持久性不足时，往往导致污染物反弹现象；</p> <p>3. 中间产物或药剂及其强化剂易导致二次污染；</p> <p>4. 清挖过程易导致 BETX 等 VOCs 挥发扩散，形成二次污染。</p>
5	多相抽提技术	<p>1. 抽提系统应用受深度限制；</p> <p>2. 需关注地下水水位及其变化情况；</p>	<p>1. 抽提时间长，难以靠单一技术抽提达标；</p> <p>2. 抽提真空度不足时，容易导致污染物去除效率低；</p>	<p>1. 抽提出来污染物和水形成乳浊液，加大了废水处理难度；</p> <p>2. 当存在自由相或残留相 NAPL 时可能会造</p>

序号	技术名称	修复技术薄弱点	修复过程的薄弱环节	污染物去除难点描述
		3. 对于粘土土质污染土壤多相抽提较难实现。	3. 从经济成本节约的角度出发，多相抽提不适用于渗透系数较大、富水性较好的含水层，原因是抽提的气量、水量过大，处理成本高； 4. 多相抽提在粘土土质中较难保证修复效果。	成土壤污染范围的扩大，特别是难以抽出重油DNAPL； 3. 在粘土土质中远离抽提点的污染土壤修复后达不到修复效果。
6	异位固化/稳定化技术	1. 反应过程中的可逆性； 2. 受混合搅拌设备性能限制，修复高含水率粘性土壤时难以保证药剂与污染介质的混合均匀度。	1. 药剂配方、加入方式、活化方式等工艺操控条件对固化/稳定化结果影响大； 2. 需较长的养护时间； 3. 多种重金属同时存在时，部分重金属的固化/稳定化较差； 4. 应重点关注粘性及淤泥质土壤结块部分修复过程的药、土混合均匀度和后期实际修复效果。	1. 对于变价重金属或类金属的固化/稳定化后，固化体有受环境 Eh 的影响存在释放的风险； 2. 土壤中重金属的赋存形态多样，且分布不均，易导致修复效果不理想； 3. 由于存在反应的可逆性，目标污染物可能被再次反应生成。
7	异位土壤洗脱技术	1. 不宜用于土壤细粒(粘/粉粒)含量高于 25%的土壤； 2. 一般只能对污染土壤进行减量化处理，不能完全洗脱修复全部土壤； 3. 洗脱废水处理量大； 4. 洗脱工艺对污染物的去除率相比其它工艺较低。	1. 污染土赋存在不同粒径的土壤颗粒中，土壤筛分洗脱的切割粒径划分影响减量化和洗脱效果； 2. 污染物的存在形态、腐殖质影响洗脱效率； 3. 洗脱药剂配方、洗脱停留时间、pH、固液比等工艺操控条件对洗脱结果影响大。	1. 对于土壤中残渣态含量较高的土壤淋洗效果差； 2. 对于高浓度污染土壤单一淋洗技术修复达标率低，需与其它工艺结合使用； 3. 较高浓度的污染物浓缩至泥饼中，需后续进一步处置； 4. 淋洗产生大量废水或淋洗液，处理回用或排放难度大。
8	水泥窑协同处置技术	1. 水泥生产对进料中氯、硫、氟等元素有要求，需满足进窑条件； 2. 处理量小，可用于水泥窑协同处置的水泥窑资源有限； 3. 受运输距离和处理量影响较	1. 土壤进窑前需要进行充分的预处理； 2. 处理周期受水泥生产线生产能力限制； 3. 处理前需对现有水泥窑处置系统进行改造，才能满足投料、尾气排放等需要。	1. 预处理、投料和尾气排放过程易产生二次污染； 2. 由于水泥窑处置能力有限，处置现场的污染土暂存时间长，易产生二次污染。

序号	技术名称	修复技术薄弱点	修复过程的薄弱环节	污染物去除难点描述
		大。		
9	原位固化/稳定化技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 土壤和污染物分布异质性差，修复效果相对稳定性不足，存在长期的污染风险； 2. 反应存在可逆性； 3. 受混合搅拌设备性能限制，修复高含水率粘性土壤时难以保证药剂与污染介质的混合均匀度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水文地质情况、药剂配方、活化方式等对固化稳定化结果影响大； 2. 施工设备选择及现场搅拌/注入点位设计不合理，导致存在修复薄弱区； 3. 粘土类污染土壤与药剂拌和不均，修复效果较差。 4. 需较长的养护时间； 5. 多种重金属同时存在时，部分重金属的固化稳定化较差； 6. 应重点关注粘性及淤泥质土壤结块部分修复过程的药、土混合均匀度和后期实际修复效果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对于变价重金属或类金属的固化稳定化后，固化体有受环境 Eh 的影响存在释放的风险 2. 土壤中重金属的赋存形态多样，且分布不均，易导致修复效果不理想； 3. 由于存在反应的可逆性，目标污染物可能被再次反应生成； 4. 对于地下水埋深较浅的污染场地及酸雨发生频次较高地区需对系统的稳定性和浸出性(地下水)进行加密监测。
10	土壤阻隔填埋技术	未将污染物去除，需长期风险管控	<ol style="list-style-type: none"> 1. 阻隔材料、密封材料的选型和设计，显著影响阻隔效果； 2. 垂直阻隔较深时，容易产生阻隔薄弱区，施工质量要求高； 3. 需对阻隔效果进行渗漏检测，及时发现漏点； 4. 阻隔区域需避免其他可能破坏阻隔效果的开发活动。 	无法取出污染物，需在阻隔体内及四周布设监控点位，进行长期风险管控。
11	生物堆技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 修复时间较长，特别是高环 PAHs 物质； 2. 易受周边环境温度、湿度、营养物质、pH 等的影响，技术适应性不足。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需利用和筛选该项目适宜的微生物或营养包，缩短修复时间，提高修复效果； 2. 对高浓度的污染土壤修复效果较差，实施时应根据土壤进行高、低浓度分类处理； 3. 生物堆运维条件严格，避免微生物死亡或失 	无法取出复合污染中的重金属，高环 PAHs 降解困难，耗时长，效率低。

序号	技术名称	修复技术薄弱点	修复过程的薄弱环节	污染物去除难点描述
			活。	
12	地下水抽出处理技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 污染物去除不彻底,易反弹在地下水污染修复后期,修复效果越来越差; 2. 抽提水量大,修复耗时长; 3. 受土壤种类影响较大; 4. 会对修复区地下水流向产生干扰,导致污染羽面积逐步缩小的同时向抽出和注入井沿线两侧方向延伸。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 污染源不封闭,停止泵抽后会反弹,持续时间长; 2. 受水文地质条件限制,含水层介质与污染物之间相互作用,随着抽水工程的进行,抽出污染物浓度变低,出现拖尾现象; 3. 扰动可能促进污染物从上游转移到下游; 4. 为保护地下水资源,通常需要与回灌技术联用,但回灌效率低是主要问题; 5. 抽出注入井连线方向两侧最远点需重点关注。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 抽提水量大,废水处理和回灌可能造成水体二次污染; 2. 当存在自由相或残留相 NAPL 时可能会造成土壤污染范围的扩大,特别是难以抽出重油 DNAPL; 3. 在渗透性低的污染地块中进行修复可能达不到修复目标值; 4. 处理过程易发生跑漏现象造成二次污染。
13	可渗透反应墙技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 反应墙介质容量有限,需更换反应墙中反应介质; 2. 修复深度有限,施工工程费用较高; 3. 属于被动修复技术,见效慢。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 应结合水文地质条件和污染物分布情况设计合适的反应墙; 2. 墙体材料、填充方法、墙体厚度和水力梯度、流速等对反应墙体处理效果影响大; 3. 运维过程避免反应墙体堵塞; 4. 复合污染情况对墙体材料和设计要求高。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 易产生二次污染; 2. 墙体吸附、氧化还原等消耗完毕后,导致失效,影响处理效果; 3. 不适用于存在残留相 NAPL 或自由相 NAPL 的场地。
14	原位生物通风技术	<ol style="list-style-type: none"> 1. 耗时较长; 2. 一般只能处理低浓度焦化污染土壤; 3. 不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤修复; 4. 只适用于包气带土壤。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需利用和筛选该项目适宜的微生物或营养包,或通入足够的氧气,强化微生物作用,缩短修复时间,提高修复效果。 2. 对高浓度的污染土壤修复效果较差,实施时应对土壤进行高、低浓度分类处理。 3. 对生物堆运维条件严格,避免微生物死亡或失活; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 无法取出复合污染中的重金属,高环 PAHs 降解困难,耗时长,效率低; 2. 不适用于高浓度有机污染场地,包括存在残留相 NAPL 或自由相 NAPL 的场地。

序号	技术名称	修复技术薄弱点	修复过程的薄弱环节	污染物去除难点描述
			4. 需要高强度的监测监控，以适时补给养分和水分，保证微生物的生长。	

附录 B

(资料性附录)

焦化污染地块风险管控与修复效果评估报告大纲

1 项目背景

简要描述焦化污染地块基本信息，调查评估及修复的时间节点与概况、相关批复情况等。简明列出以下信息：项目名称、项目地址、业主单位、调查评估单位、修复单位、监理单位、修复效果评估单位。

2 工作依据

2.1 法律法规

2.2 标准规范

2.3 项目文件

3 地块概况

3.1 地块调查评价结论

3.2 风险管控或修复方案

3.3 风险管控或修复实施情况

3.4 环境保护措施落实情况

4 地块概念模型

4.1 资料回顾

4.2 现场踏勘

4.3 人员访谈

4.4 地块概念模型

5 效果评估布点方案

5.1 土壤修复效果评估布点

5.1.1 评估范围

5.1.2 采样节点

5.1.3 布点数量与位置

5.1.4 检测指标

5.1.5 评估标准值

5.2 风险管控效果评估布点

5.2.1 检测指标和标准

5.2.2 采样周期和频次

5.2.3 布点数量与位置

6 现场采样与实验室检测

6.1 样品采集

6.1.1 现场采样

6.1.2 样品保存与流转

6.1.3 现场质量控制

6.2 实验室检测

6.2.1 检测方法

6.2.2 实验室质量控制

7 效果评估

7.1 检测结果分析

7.2 效果评估

8 结论与建议

8.1 效果评估结论

8.2 后期环境监管建议

附件

a)地块规划图；

b)修复范围图；

c)水文地质剖面图；

d)钻孔结构图；

e)岩芯箱照片；

f)采样记录单；

g)建井结构图；

h)洗井记录单；

i)地下水采样记录单；

j)实验室检测报告。

**焦化污染地块风险管控与修复效果评估
技术规范（试行）
编制说明**

技术规范编制组

2021 年 4 月

目 录

一、立项背景及意义.....	1
二、任务来源.....	2
三、编制过程.....	3
四、我国焦化污染地块分布和修复现状.....	3
（一）京津冀典型焦化厂地块分布.....	3
（二）国内其他地区遗留焦化地块分布.....	4
（三）焦化污染地块污染特征分析.....	6
（四）焦化污染地块典型修复技术的分析.....	11
五、国内外效果评估技术规范研究进展.....	12
（一）我国污染地块修复效果评估发展状况.....	13
（二）国外关于效果评估技术规范的研究进展.....	20
六、规范制定原则和依据.....	22
（一）编制原则.....	22
（二）编制依据.....	22
（三）适用对象.....	23
（四）技术路线.....	23
七、规范主要结构框架.....	24
八、主要条款说明.....	25
（一）关于土壤原位修复布点方法.....	25
（二）关于修复薄弱区域布点.....	26
（三）关于二次污染区域验收.....	26
（四）关于焦化污染地块异味问题.....	26
（五）关于暴露情景变化.....	27
九、与相关标准的关系分析.....	27
十、规范实施的措施建议.....	27

一、立项背景及意义

《土壤污染防治法》总体要求：2019年起实施的《中华人民共和国土壤污染防治法》提出建立“污染地块风险管控与修复名录”制度，要求名录内的污染地块必须达到风险管控或修复目标要求且可以安全利用的，才能从名录中退出，进而才能进入到后续的地块开发利用中。我国的污染地块治理修复工作起步相对较晚，相关工作一直缺乏法规标准和技术规范的指导，尤其是在2016年《土壤污染防治行动计划》发布之后，土壤污染治理修复领域迅速发展，更加凸显出行业发展的不规范、不标准，其中也包括对污染土壤治理修复或风险管控后的效果进行评价的工作。由于实际工作需要，北京、上海、重庆、浙江、广东等地结合本省实际情况，先行制定出台了省级层面的效果评估技术规范。2011年北京市发布了《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011），2014年上海市发布了《上海市污染场地修复工程验收技术规范（试行）》，2016年重庆市发布了《污染场地治理修复验收评估技术导则》（DB50/T 724-2016）；2018年浙江省发布了《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》（DB33/T2128-2018），这些省级技术导则都在一定程度上支撑了各地土壤和地下水治理修复，近期都在根据国家技术导则的要求进行修订。国家层面的效果评估技术导则《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》（HJ25.5）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6）相继发布，两个导则分别规定了土壤和地下水修复或风险管控效果评估工作的原则、方法、程序、标准等。建设用地土壤风险管控与修复效果评估就成为非常重要的管理性和技术性的工作。

焦化污染地块是我国典型的污染地块类型之一，其特点是地块占地面积大、污染类型典型，污染程度较重，一般呈现PAHs、VOCs、SVOC、总石油烃、重金属等多组分复合污染，但往往焦化污染地块同时又成为城市土地再开发利用的重点，先后出现了北京焦化厂地块、重庆钢铁集团地块、武汉东钢遗留地块、广东白鹤洞钢铁遗留地块、山西煤气化厂遗留地块、杭州钢铁厂遗留地块等一批典型的焦化生产遗留地块，引起行业和社会的高度关注。根据全国重点行业企业用地调查的初步成果，纳入调查的钢铁与焦化类型的地块在7种主要类型地块中排名第三，地块数量（含在产和遗留在内）初步估计近千块，是我国污染地块环境

管理和实现安全利用目标的重点和难点。针对不同污染类型、不同污染程度的土壤治理修复所选择的技术也有所不同，例如对于选择热脱附技术处理 PAHs、苯并(a)芘、TPHs 污染土壤；采用异位常温解析技术修复易挥发的苯和萘的污染土壤；采用化学氧化技术修复石油烃污染土壤等。

开展焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范的研究和编制，具有重要的现实意义。首先，分行业、分技术制定土壤环境管理技术规范是当前和未来技术规范发展的重要趋势，是我国不断健全土壤环境管理体系的重要表现；其次，国家层面的效果评估技术导则规定了总体的原则、方法、程序、判断标准等，但由于我国地块类型多、技术类型多、污染类型多、二次污染问题多（“四多问题”），国家技术导则在运用过程中缺少针对性和操作性。根据焦化污染地块风险管控和修复发展需要，急需结合污染类型特征和修复技术特点，在国家导则基础上进行针对性的细化，提高操作性和适宜性。该项工作是不完善我国污染地块环境管理技术体系的重要表现、是加快焦化污染地块安全开发利用的必然要求、是推动焦化污染地块风险管控和修复技术向着绿色可持续方向不断进步的重要抓手，同时为其他类型污染地块制定效果评估技术规范进行先行先试和经验探索。

二、任务来源

2018年12月，生态环境部环境规划院作为国家重点研发计划“场地土壤污染成因与治理技术研究”项目《京津冀及周边焦化场地污染治理与再开发利用技术与集成示范》课题四《焦化场地安全开发利用模式与应用推广机制研究》承担单位，承担了《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》任务。课题任务书要求针对焦化污染地块制定风险管控与修复效果评估技术规范，进一步规范焦化污染地块的治理修复和风险管控工程。

2019年11月，中国石油和化学工业联合会向社会发布《关于征集2019年中国石化联合会团体标准计划项目的通知》，征集团体标准制定需求。2019年12月，生态环境部环境规划院向中国石油和化学工业联合会递交《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》编制的申请文件，经专家评审、社会公示后，2020年3月30日，《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》正式纳入中国

石油和化学工业联合会2020年第一批团体标准制定计划中。2020年5月，中国石油和化学工业联合会和规范编制牵头单位生态环境部环境规划院，参与单位安徽国祯环境修复股份有限公司、实朴检测技术（上海）股份有限公司、煜环环境科技有限公司、上海化工研究院有限公司、上海圣珑环境修复技术有限公司等团队签署了团体标准编制协议，成立了标准技术编制组，正式启动了《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》的编制工作。

三、编制过程

（1）2019年12月，生态环境部环境规划院向中国石油和化学工业联合会递交《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》编制的申请文件。

（2）2020年3月30日，通过专家评审，《焦化污染地块风险管控与修复效果评估技术规范》正式纳入中国石油和化学工业联合会2020年第一批团体标准制定计划中。

（3）2020年5月，中国石油和化学工业联合会和规范编制牵头单位生态环境部环境规划院，参与单位安徽国祯环境修复股份有限公司、实朴检测技术（上海）股份有限公司、煜环环境科技有限公司、上海化工研究院、上海圣珑环境修复技术有限公司等团队签署了团体标准编制协议，成立了标准技术编制组，正式启动了规范编制工作。

（4）2020年8月，牵头单位编制完成规范初稿，并发给各参编单位进行第一轮审核，提出意见和建议；11月，汇总各单位的意见并进行修改，开展第二轮审核，并组织交流讨论会。

（5）2021年1月，技术牵头单位编制完成规范征求意见稿，邀请专家召开咨询会，对技术规范的技术问题、格式问题进行把关，推进技术规范发布。

四、我国焦化污染地块分布和修复现状

（一）京津冀典型焦化厂地块分布

焦化污染地块是我国典型的污染地块类型之一，其特点是地块占地面积大、

污染类型典型、污染程度较重，是污染地块环境管理的重点和难点。在过去我国污染地块治理修复和开发利用的实践过程中，先后出现了北京焦化厂、重庆钢铁集团、武汉东钢遗留地块、广东白鹤洞钢铁遗留地块、山西煤气化厂遗留地块、杭州钢铁厂遗留地块等一批典型的焦化生产区遗留地块，引起行业和社会的高度关注。根据全国重点行业企业用地调查的初步成果，纳入调查的钢铁与焦化类型的地块在7种主要类型地块中排名第三，地块数量（含在产和遗留地块）初步估计数量近千余块，对修复技术的需求强烈。通过对京津冀区域范围内，在国内具有重要影响的原北京焦化厂、原首钢焦化厂、原太原煤气化厂、原唐山焦化厂、原石家庄焦化厂进行研究，分析京津冀典型焦化场地污染共性特征。

表 4-1 京津冀典型焦化场地基本情况

编号	名称	地理位置	占地面积 (万m ²)	生产时期 (年)	生产规模
A	原北京焦化厂	北京市	135	1959-2006	年产焦炭约 180 万 t，焦炉煤气 74000 万 m ³ /d，粗焦油 6.5 万 t、轻苯 2.1 万 t、粗苯 2.2 万 t、硫铵 2.98 万 t、工业萘 1.0 万 t、煤沥青 6.0 万 t
B	原首钢焦化厂	北京市	31.37	1937-2010	年产焦炭 190 余万 t，焦炉煤气 210 万 m ³ /d，轻苯和焦油年处理能力分别为 2.5 万 t 和 7.5 万 t
C	原太原煤气化厂	太原市	28.07	1980-2012	年产城市煤气 1.4 亿 m ³ 、优质冶金焦炭 70 余万 t、焦油、粗苯、硫铵、黄血盐等化工产品 5 万 t
D	原唐山焦化厂	唐山市	18.01	1968-2006	年产焦炭 47.72 万 t，年产粗焦油约 2.2 万 t，年产硫酸铵、粗苯、工业萘等化工产品约 1.0 万 t
E	原石家庄焦化厂	石家庄市	55.16	1958-2008	年产焦炭 76.33 万 t，焦炉煤气 89.24 万 Nm ³ ，煤焦油约 3.67 万 t，硫酸铵、轻苯、酚钠盐等化工产品约 2 万 t

（二）国内其他地区遗留焦化地块分布

截至2020年4月，全国各省（自治区、直辖市）生态环境厅公开的《建设用地土壤污染风险管控和修复名录》中，除北京、天津、山西、河北省市以外全国共有17个焦化类污染地块在名单中。其中江苏省有4家，占全国总数的23.5%；四川省排列第二，有3家，占全国总数的17.6%。

表 4-2 《建设用地土壤污染风险管控和修复名录》中各省市焦化地块的情况统计

省市	数量（块）
河南	1
四川	3
云南	1
江苏	4
安徽	2
浙江	1
重庆	1
山东	2
广东	1
浙江	1
合计	17

根据不完全统计，近年来除北京市、天津市、山西省、河北省以外的其他省区启动的焦化地块调查评估和修复工程的地块情况如下表所示。

表 4-3 国内部分焦化污染地块分布及基本情况

名称	地理位置	基本情况	来源
宏源（许昌）焦化有限公司老厂区地块	河南省	6666.7 m ²	河南省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
四川星荣焦化有限公司地块	四川省	24500 m ² ，多环芳烃，治理修复方案制定	四川省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
达州市福鑫冶炼有限责任公司焦化厂关闭地块	四川省	27142.50 m ² ，多环芳烃、萘，完成初步调查	四川省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
彭州市通济焦化厂地块	四川省	2019 年开展了土壤环境详细调查	/
昆明焦化制气有限公司地块	云南省	703670.2 m ² ，苯系物、多环芳烃、石油烃	云南省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
无锡焦化厂退役场地东厂区地块	江苏省	98377 m ²	江苏省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
无锡焦化厂退役场地西厂区地块	江苏省	131623 m ²	江苏省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
原苏钢老区焦化区域（4 号地块）	江苏省	66951 m ²	江苏省建设用地土壤污染风险管控和修复名录

名称	地理位置	基本情况	来源
徐州市焦化厂地块	江苏省	2017 年开展了工程治理修复	/
长源（淮北）焦化有限公司	安徽省	200000 m ²	安徽省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
铜陵市原亚星焦化厂场地	安徽省	始建于 1970 年 9 月，成立于 1981 年 5 月，占地面积 42 万 m ²	安徽省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
杭钢半山基地焦化区域退役场地	浙江省	359329 m ²	浙江省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
重庆钢铁（集团）有限公司焦化厂（含精苯厂地块）	重庆市	4871571 m ²	重庆市建设用地土壤污染风险管控和修复名录
济南钢铁厂焦化污染地块	山东省	/	/
原滕州瑞达焦化有限公司地块	山东省	2019 年开展了环境调查评估与修复技术方案编制	/
广州钢铁厂焦化地块	广东省	/	/
原杭州钢铁厂焦化地块	浙江省	2019 年开展了补充调查和修复工程技术方案编制项目	/

（三）焦化污染地块污染特征分析

针对典型焦化类生产企业的生产工艺布局总结分析，总体分为焦煤区域（包括原料、配煤、炼焦车间）、化产区（回收、焦油车间）、固废堆场和废水处理厂，针对不同生产工艺的产污环节分析，确定场地污染调查热点区域、特征污染物及主要污染途径，分析结果如表4-4所示：

表 4-4 典型焦化场地调查热点区域及污染途径分析

分厂	生产活动	污染物种类	污染途径
炼焦分厂	炼焦、推焦、熄焦	多环芳烃、苯系物、酚、氰等	大气扩散
焦油分厂	焦油蒸馏；酚盐洗涤；焦油、杂酚油、洗油、粗酚等储存	多环芳烃、苯系物、酚、氰等	大气扩散、设施渗漏
回收分厂	煤气净化、脱硫；油水分离；焦油、氨水、焦油渣、催化剂的储存	多环芳烃、苯系物、酚、氰、钒等	大气扩散、设施渗漏

分厂	生产活动	污染物种类	污染途径
煤制气分厂	两段炉制气、脱酸、储罐	苯系物、多环芳烃、杂环芳烃、酚、氰等	大气扩散、设施渗漏
	脱酸、蒸氨、洗苯	二氧化硫、氮氧化物	
	粗苯、洗油、硫酸、氨水储存，地下废水池	多环芳烃、苯系物、酚、氰等	
精苯分厂	古马隆蒸馏、粗苯-重苯储存	苯系物	设施渗漏
污水处理分厂	酚水池、隔油池、均化池、曝气池、浓缩池、沉淀池等	苯系物、多环芳烃、杂环芳烃、酚、氰等	设施渗漏
洗罐站	废水池存放	苯系物、多环芳烃、杂环芳烃、酚、氰等	设施渗漏

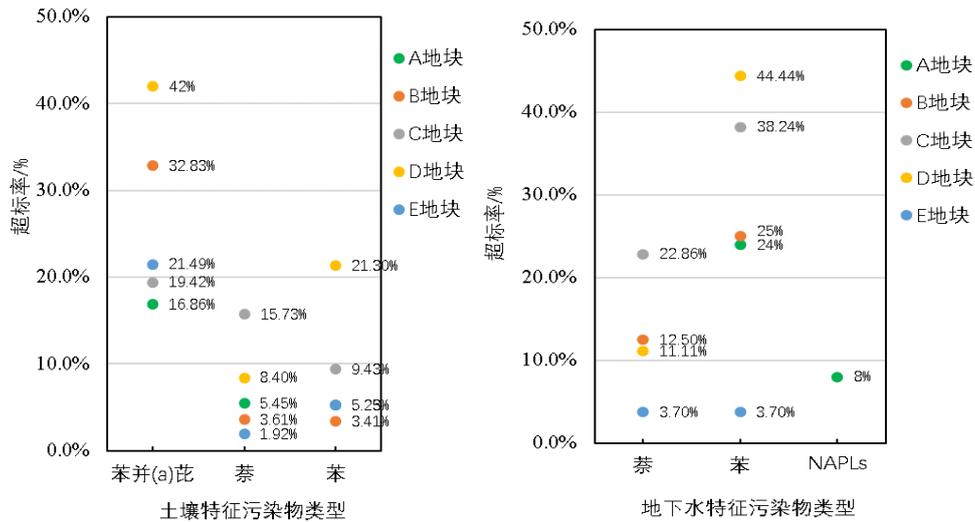


图 4-2 京津冀 5 个典型焦化场地的特征污染物统计

京津冀5个典型焦化厂地块土壤和地下水中主要污染物为多环芳烃类、苯系物、石油烃类等，其中，以苯并(a)芘、萘和苯污染最为严重。统计结果显示（图 2-2），土壤中苯并(a)芘超标率为16.86%-42.00%，苯超标率为3.41%-21.30%；地下水中苯超标率较高为3.70%-44.44%，萘超标率为3.70%-22.86%，个别污染严重的场地存在NAPLs污染。

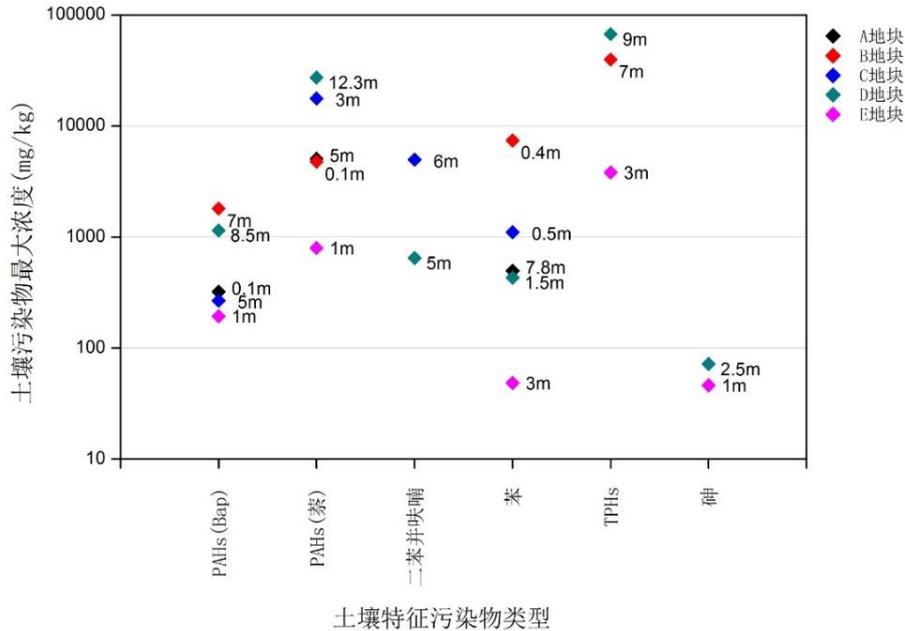


图 4-3 京津冀 5 个典型焦化场地污染超标最高点垂向分布统计

土壤中污染超标最高点垂向分布情况如图4-3所示，总体而言，不同污染物超标最高点大多分布在表层土壤，但是，不同场地污染超标最高点位分布因污染途径和场地水文地质情况不同而存在一定的差异性。其中，苯、萘和砷污染超标

最大点多数存在浅层土壤，TPHs、苯并(a)芘、二苯并呋喃污染超标最大点多数存在深层土壤。总体而言，焦化类污染场地最为关注的污染物为多环芳烃和苯系物，两者复合污染效应明显。

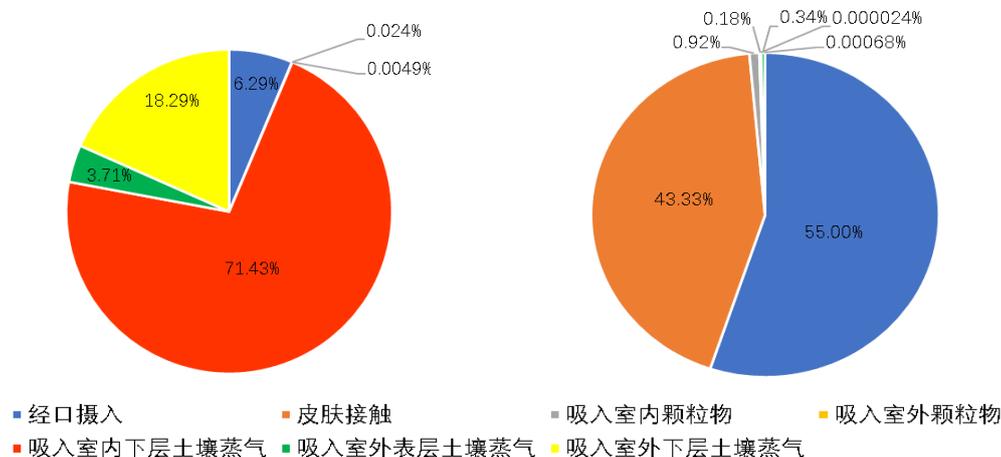


图 4-4 京津冀 5 个焦化类污染场地土壤特征污染物主要暴露途径

受污染物特性的影响，不同污染物对人体健康风险产生危害的暴露途径存在差异。京津冀5个焦化类污染场地土壤中苯和PAHs人体健康风险的主要暴露途径如图4-4所示，苯污染的人体健康主要暴露途径为吸入室内下层土壤蒸气途径（71.43%）和吸入室外下层土壤蒸气（18.29%）；苯并(a)芘的人体健康主要暴露途径为经口摄入途径（55.00%）和皮肤接触途径（43.33%）。

各地块不同深度修复面积占场地总面积的比例如图4-5所示，总体来看，污染超标需要进行修复风险超标的管控深度主要集中在表层杂填土，所占修复治理方量比例在30%~50%，随着土层深度的增加需要进行风险管控修复面积逐渐减少。

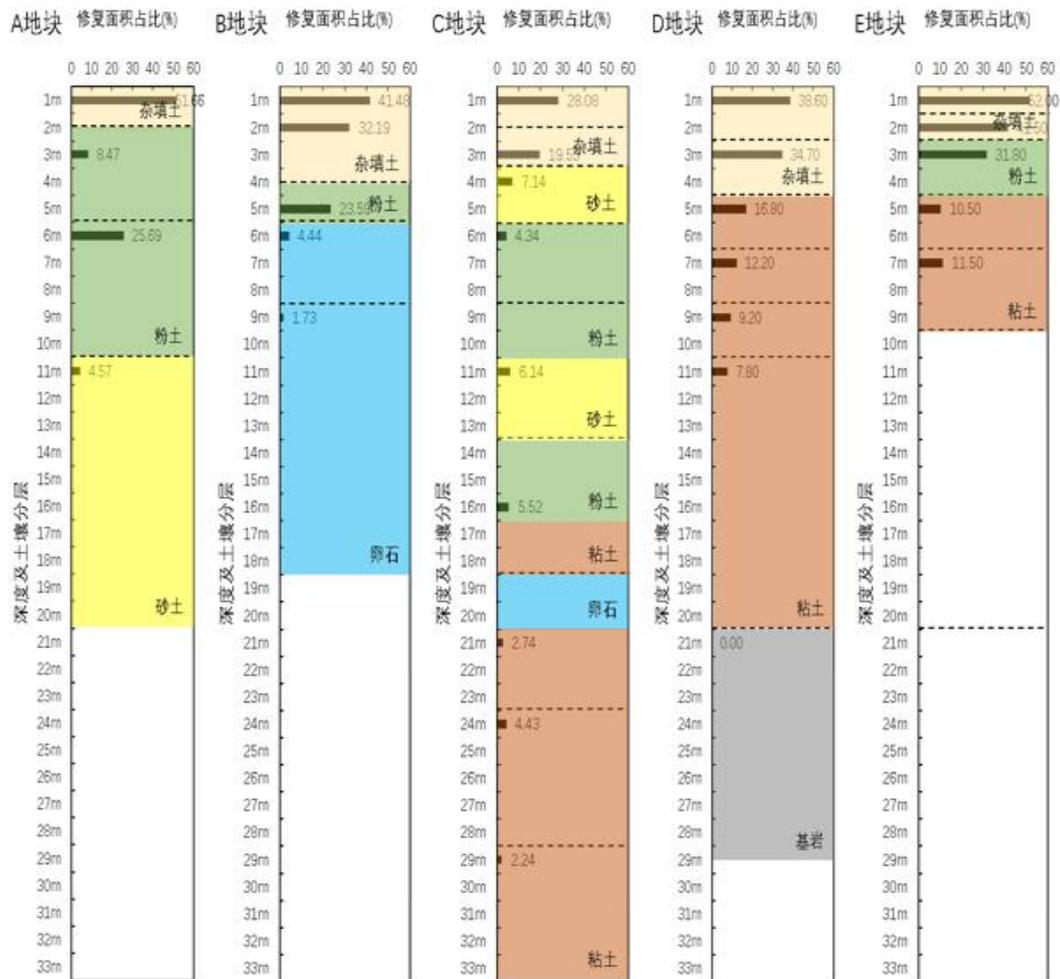


图 4-5 京津冀 5 个焦化类污染场地不同深度土壤污染修复面积贡献比例

(四) 焦化污染地块典型修复技术的分析

通过对国内焦化污染地块案例进行分析，总结归纳出焦化污染地块常见的修复技术，主要包括以下几种类型：

(1) 焦化污染地块修复技术：包括 a) 热修复技术；b) 化学氧化技术；c) 洗脱技术；d) 抽提技术；e) 吹脱处理技术。

(2) 焦化污染地块风险管控技术：包括 f) 固化/稳定化技术；g) 阻隔技术；h) 监控自然衰减技术。

a) 热修复技术主要包括原位电加热热传导热脱附技术、原位燃气加热热传导热脱附技术、原位热蒸气注入技术、原位电阻加热热脱附技术、异位直接热脱附技术、常温热解吸技术、异位堆式热脱附技术、异位间接热脱附技术、水泥窑协同处置技术；

- b) 化学氧化技术主要包括原位化学氧化技术、异位化学氧化技术；
- c) 洗脱技术主要包括异位土壤洗脱技术、原位土壤洗脱技术；
- d) 抽提技术主要包括生物堆技术、多相抽提技术、双相抽提技术、气相抽提技术、原位生物通风技术；
- e) 吹脱处理技术主要包括异位吹脱技术、原位空气曝气技术；
- f) 固化/稳定化技术主要包括原位固化稳定化技术、异位固化稳定化技术；
- g) 阻隔技术主要包括渗透反应墙（PRB）或反应带技术、水泥搅拌桩墙、高压喷射灌浆墙、水泥帷幕灌（注）浆墙、HDPE 土工膜隔离墙、土-膨润土隔离墙等垂直阻隔技术；混凝土水平阻隔、粘土水平阻隔、柔性水平阻隔技术等水平阻隔技术；
- h) 监控自然衰减技术。

五、国内外效果评估技术规范研究进展

建设用地风险管控及修复效果评估（以下简称“效果评估”），是指通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块风险管控和修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。2019年1月1日正式实施的《中华人民共和国土壤污染防治法》“第六十五条规定：风险管控、修复活动结束后，土壤污染责任人应当另行委托有关单位对风险管控效果、修复效果进行评估，并将效果评估报告报地方人民政府生态环境主管部门备案。”生态环境部于2018年12月29日发布实施《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）、于2019年6月18日发布实施《污染地块地下水修复和风险管控技术导则（试行）》（HJ25.6-2019），二者详细规定了建设用地污染地块风险管控与土壤修复、地下水修复效果评估的内容、程序、方法和技术要求，初步形成了完整的建设用地土壤和地下水风险管控和修复的效果评估体系。

随着污染土壤环境管理相关通知和标准规范的发布，我国土壤修复产业迅速发展。据统计，2010年从事污染土壤调查与修复的企业不到20家，2013年达到370余家，2015年快速增加到1000余家。修复技术也从单一的阻隔技术、热脱附技术发展多种技术组合联用。针对污染土壤修复工程如何进行效果评估，国

家层面一直缺乏专有导则规范，2018年12月29日生态环境部发布实施《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）和2019年6月18日发布实施《污染地块地下水修复和风险管控技术导则（试行）》（HJ25.6-2019），对污染土壤修复工程效果评估技术要点进行了明确的规定，对我国修复工程效果评估工作起到了深远的影响。同时，通过梳理美国、英国、加拿大、澳大利亚、新西兰等发达国家的效果评估技术规范，以期为我国效果评估的继续发展提供借鉴。

（一）我国污染地块修复效果评估发展状况

近年来，北京、上海、重庆、浙江、广东等地均基于当地管理需要，并根据近年来土壤修复技术的发展状况，发布了地方性的修复效果评估技术导则。在国家层面，原环保部于2014年颁布实施《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，于2019年《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）都提出了关于污染地块风险管控与修复效果评估的部分要求，但缺乏对修复效果评估系统性的规定，仍不足以支撑污染场地的修复效果评估工作。2018年12月29日发布实施的《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》（HJ25.5-2018）系统规定了建设用地污染地块风险管控与土壤修复效果评估的内容、程序、方法和技术要求，导则的出台加强了环境保护监督管理，防控了污染地块环境风险，为开展污染地块风险管控与修复效果评估工作提供了科学指引。《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）规定了地下水修复或风险管控效果评估工作的原则、方法、程序、标准等。国内已发布相关导则或规范的对比情况如下表：

表 1 国内污染地块验收相关规范比较

序号	内容	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》(HJ25.5)	《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ25.6)	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2)	工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)	北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	重庆市污染场地治理修复验收技术导则(DB50/T724-2016)	污染地块治理修复工程效果评估技术规范(DB33/T2128-2018)	广东省修复效果评估技术指南
1	定位	通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测,综合评估地块修复是否达到预期效果或修复后场地风险是否达到可接受水平。	地下水修复和风险管控后评估修复是否达到修复目标,评估风险管控是否达到工程性能指标和污染物指标要求。	对污染场地治理修复工程完成后的环境监测,主要工作是考核和评价治理修复后的场地是否达到已确定的修复目标及工程设计所提出的相关要求。	在污染场地修复完成后,对场地内土壤和地下水、以及修复后的土壤和地下水进行调查和评估的过程。	污染场地修复完成后依据修复目标值对场地内土壤和地下水进行的调查和评价过程。	在污染场地治理修复工程完成后,考核和评价场地是否达到风险评估所确定的修复目标及工程设计所提出的相关要求。	在污染场地修复工程完成后,对场地土壤和地下水进行监测,以确定场地修复是否达标并总体评估修复效果的过程。	根据治理修复工程实施后的情况,评估污染地块的现状和污染物削减、去除或风险管控的成效。	根据治理修复工程实施后的情况,评估污染地块的现状和污染物削减、去除或风险管控的成效。

序号	内容	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》(HJ25.5)	《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ25.6)	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2)	工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50/T724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T2128-2018)	广东省修复效果评估技术指南
2	工作程序	将土壤与地下水修复评估工作程序分别列出并细化,风险管控效果评估以文字形式进行叙述。	参照 HJ25.5	无工作程序	沿用北京导则工作程序框图	主要适用于土壤修复验收	沿用北京导则工作程序框图并进行细化	沿用北京导则工作程序框图	沿用北京导则工作程序框图	沿用北京导则工作程序框图并增加风险管控效果评估工作程序
3	修复概念模型	在文件审核与现场踏勘的基础上,提炼出修复概念模型的相关要求。	参照 HJ 25.5 执行	无此内容	文件审核与现场勘察	文件审核与现场勘察	资料收集分析与现场踏勘	资料审核与现场核查	资料整理与现场踏勘	资料整理与现场踏勘
4	验收对象	土壤异位修复和原位修复效果、地下水抽出处理	地下水修复或风险管控效果	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果、工	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果、风险管控效果	土壤和地下水修复效果、风险管控效

序号	内容	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》(HJ25.5)	《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ25.6)	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2)	工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50/T724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T2128-2018)	广东省修复效果评估技术指南
		和原位修复效果以及风险管控的效果评估			程控制措施					果、绿色可持续修复效果
5	检测指标	目标污染物、二次污染物、常规指标、修复设施运行参数	目标污染物、二次污染物、常规指标、修复设施运行参数	目标污染物	目标污染物	目标污染物	目标污染物	目标污染物、二次污染物	目标污染物、二次污染物、修复设施工程指标	目标污染物、二次污染物、修复设施工程指标
6	土壤修复效果评估布点数量	基坑根据网格大小设置,不超过 1600 m ² ; 修复后土壤原则上不超过 500m ³ , 对于均匀的可 1000 m ³ ; 也		基坑不超过 1600 m ² , 也可参照详细调查的密度; 异位修复每个样品代表的土壤体积不超过 500 m ³ ; 原	沿用北京市导则要求, 异位修复后不超过 500 m ³	基坑根据网格大小设置; 异位修复未做规定; 原位修复根据网格大小结合污染深度分层设置。	基坑沿用北京市要求, 异位和原位修复沿用 25.2-2014 要求。	基坑沿用北京市要求, 异位和原位修复沿用 25.2-2014 要求。	基坑沿用北京市要求, 原位修复沿用 25.2-2014 要求, 异位一般要求 500m ³ , 对于效果不均匀的要求每个样品代表土方不超过 200m ³ .	基坑沿用北京市要求, 异位和原位修复沿用 25.2-2014 要求。

序号	内容	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》(HJ25.5)	《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ25.6)	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2)	工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)	北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	重庆市污染场地治理修复验收技术导则(DB50/T724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T2128-2018)	广东省修复效果评估技术指南
		可根据浓度分布计算采样数量。		位修复根据工程设计进行布设。						
7	土壤修复效果评估方法	逐个对比、统计方法		未提及	逐个对比、统计方法	逐个对比、统计方法	逐个对比、统计方法	逐个对比、统计方法	逐个对比	逐个对比、统计方法
8	地下水修复果布	数量根据实际情况而定,不做具体要求,并且可利用符合条件的监测井。	上游应至少设置1个监测点,内部应至少设置3个监测点,下游应至少设置2个监测点。内部采样网格不宜大于80m×80m,存	可利用原有监测井,但数量不应超过验收时监测井总数的 60% ,新增监测井位置布设在地下水污染最严重区域。主	沿用北京市导则要求。	上游 1 个、内部 3 个、下游 2 个,原有井比例不超过井总数 60%	上游 1 个、内部 3 个、下游 1 个,原有井比例不超过井总数 60%	沿用北京市导则要求。	沿用北京市导则要求。	沿用北京市导则要求。

序号	内容	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》(HJ25.5)	《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ25.6)	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2)	工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)	北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	重庆市污染场地治理修复验收技术导则(DB50/T724-2016)	污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T2128-2018)	广东省修复效果评估技术指南
			在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域,采样网格不宜大于40 m×40 m。优先设置在修复设施运行薄弱区、地质与水文地质条件不利区域等。	要沿用北京市导则要求。						
9	地下水修复效果评估方法	稳定达标、修复极限与残留污染物风险评估	逐个对比、统计方法	未提及	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题

序号	内容	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》(HJ25.5)	《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》(HJ25.6)	《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2)	工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50/T724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T2128-2018)	广东省修复效果评估技术指南
10	风险管控效果评估方法	对风险管控的短期效果评估和长期环境监测作出技术要求。		未涉及	简单提及	未涉及	未涉及	未涉及	根据风险管控技术方案确定的技术路线、参数和工程要求,对工程实施情况的符合性进行验证。	根据风险管控技术方案确定的技术路线、参数和工程要求,对工程实施情况的符合性进行验证。
11	后期环境管理与监测要求	按照 42 号令要求,细化了长期环境监测与制度控制内容。	后期环境监管方式应包括长期环境监测与制度控制。	对回顾性评估提出原则要求。	对后期管理提出要求。	未涉及	未涉及	未涉及	未涉及	未涉及

（二）国外关于效果评估技术规范的研究进展

（1）美国《场地清理达标评估方法——土壤、固废、地下水》

美国环保局于 1989 年发布了《场地清理达标评估方法卷 1：土壤和固废》、于 1992 年发布了《场地清理达标评估方法卷 2：地下水》、于 1992 年发布了《场地清理达标评估方法卷 3：基于对照场地的土壤和固废》，指南提出只有充分的数据证明污染物残余浓度低于适当的修复目标值或限值，方可认为场地清理干净，并且统计方法对于推断的做出是重要的。美国固体废物和应急响应办公室于 2011 年发布了《超级基金场地关闭程序》。本指南主要描述了在超级基金清单场地关闭时候需要考虑的关键原则和目标，总结了超级基金场地关闭的关键节点：

①修复设施完成（Remedial Action Completion）：指的是场地某个单元的修复设施完成，对于源清理，要求达到修复目标；对于工程控制和地下水修复，要求修复设施达到操作性与功能性，对设施是否正常运行的观察期一般小于一年；

②建设工程完成（Construction Completion）：指的是整个场地范围的建设工程完成；

③场地完成（Site completion）：即场地修复已经达到修复目标，对人体和环境不产生风险；

④场地删除和局部删除（Site Deletion and Partial Deletion）。

超级基金场地一般首先进行场地修复调查，以获得污染程度、修复标准、可能的修复技术筛选和修复费用预算等数据，再编制可行性研究报告；此后，进行修复工程的设计实施与运行维护；当修复场地达到修复标准后，一般还需进行 5 年的跟踪监测，确定稳定达标时，可将其从超级基金（NPL）中删除。在整个修复期间，可将场地已稳定达标的部分区域或污染物提前从超级基金（NPL）中删除。

除此之外，美国的安大略省、怀俄明州、新罕布什尔州、密歇根州等州都对场地验收制定了相关指南。美国安大略省 1996《安大略污染地点使用的抽样和分析方法指南》将效果评估分为修复阶段的确认验收和修复后的审计抽样。前者是与预期的修复目标进行比对，而后者没有通用的程序。美国怀俄明州 2000 年《土壤取样确认指南》的特点是按照场地面积确定数据分析方法。对于面积小于

等于 10000 平方英尺（约合 930m²）的区域，采用逐个对比的方法，若有检测值超过修复目标值，则认为场地未达到修复标准，需要进行进一步修复和验收；对于面积大于 10000 平方英尺的区域，则采用统计分析方法，用整体均值的 95% 置信上限与修复目标比较，分析整个场地的修复效果，并提出在整体达标的情况下，允许一个或多个采样点的检测数据超过修复目标值。新罕布什尔州 2004《污染场地关闭：业主指南》确定的场地关闭目标：包括污染源必须被清除；地下水中污染物水平低于 AGQS（联邦和国家饮用水标准）、土壤直接接触风险被消除；影响区内的污染物浓度必须低于标准值。美国密歇根州自然资源部 2006《地下水与土壤修复关闭验收指南》对于地下水修复验收，本标准认为修复井中的地下水样品连续 6 个月达标，并且所有监测井连续两个季度达标，修复系统可关闭；修复关闭后需要根据场地水文地质情况，评估潜在毛细带污染、吸附解吸等可能造成的季节变化，因此修复井与监测井均需要开展季度采样，采样周期至少一年，所有监测井的数据都必须低于目标值才能证明场地修复达标。若样品出现超标情况，需要通知 USTD 部门评估是否需要重新启动修复。

（3）加拿大《联邦污染场地关闭指南》

加拿大于 2012 年发布的《联邦污染场地关闭指南》认为以下情况场地可以关闭：通过评估确认场地不需要开展进一步修复工作、修复目标已经达到、长期监测标准已经达到，并规定了异位修复、原地异位修复、原位修复、风险管控等不同修复模式场地是否可关闭的要求。

（4）英国《污染地块修复验证》

英国于 2004 年发布的《污染场地管理程序》将验收定义为基于定量分析证明风险已经降低到修复标准和目标的过程。2010 年发布的《污染地块修复验证》将验收过程分为四个阶段：制定修复策略、制定验收计划、实施验收计划、必要时开展长期监测和维护。同时，本标准明确修复验收对象包括土壤、地下水、土壤气。

（5）澳大利亚《污染场地咨询报告指南》

澳大利亚在 2011 年发布的《污染场地咨询报告指南》明确在验收阶段需要的文件包括两种：验收和必要时的监测报告。修复验收需要基于：原有污染程度、修复类型、场地用途。验收必须在统计意义上确认修复场地达到清理标准。另外，

《地下石油储罐技术注意事项：场地验收报告》对地下石油储罐（UPSS）退役、限制或清理之后、修复措施实施之后，是否符合开发要求、是否符合验收技术要求等做出了规定，对验收报告编制要求、验收注意事项，数据质量目标、场地快速筛查等内容做了基本规定。

（6）新西兰《污染场地管理指南》

新西兰政府于 2011 年发布的《污染场地管理指南卷 1-场地报告》对污染场地管理涉及各阶段的报告编制做了统一性要求，主要包括：初步调查报告（PSI）、详细调查报告（SIR）、修复方案编制（RAP）、修复验收报告（SVR）、长期监测和管理计划（MMP）五个方面。不同之处在于提高了长期监测和管理计划的地位，作为一个单独的环节来考虑，而在我国是将这部分内容纳入修复效果评估报告中。2011 年《污染场地管理指南卷 5-场地土壤调查和分析》中提到，修复验收过程一般不使用判断布点方法，可采用系统布点方法。

六、规范制定原则和依据

（一）编制原则

本技术导则编制主要遵从以下原则：

（1）针对性原则：针对污染地块风险管控与修复效果评估工作，提出系统的修复效果评估工作程序和技术要求。

（2）规范性原则：规范污染地块风险管控与修复效果评估工作程序和各项技术要求，增强具体工作过程开展的规范性和科学性。

（3）可操作性原则：充分考虑国内污染地块管理政策，结合国内污染地块修复技术与修复实施现状，借鉴国外先进经验，细化各项技术方法，确保本技术指南的可操作性，便于实施与推广。

（二）编制依据

本技术规范引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本规范。

《中华人民共和国环境保护法》（2015年）
《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年）
《中华人民共和国水污染防治法》（2018年）
《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年）
《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）
《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）
《工业固体废物采样制样技术规范》（HJ/T 20）
《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1）
《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2）
《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）
《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.4）
《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）
《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）
《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》（HJ 682）
《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599）
《污染地块土壤环境管理办法》（部令第42号）
《工矿用地土壤环境管理办法》（部令第46号）
《突发环境事件应急管理办法》（部令第34号）
《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600）
《地下水质量标准》（GB/T 14848）

（三）适用对象

本规范适用于从事焦化污染地块风险管控与修复技术方案编制、工程实施、工程效果评估、地块监督管理等相关技术人员和机构。

（四）技术路线

拟采用的技术路线如下：

（1）调研国外污染地块管理相关政策、修复效果评估的工作流程和主要内容，收集国内现有的相关技术规范及修复工程效果评估案例，结合我国污染地块

管理要求和修复工程特点，明确本规范的定位。

(2) 分析美国、欧盟等发达国家污染地块土壤原位修复相关资料，研究其统计布点的计算方法与推荐数量，结合国内现有相关技术规范及污染地块风险管控与修复效果评估经验和存在的问题，研究不同布点方法之间的差异以及适用条件，分析原位修复布点方法，总结各种布点方法的适用性并进行布点优化方法研究；

(3) 针对土壤采样点位针对性、采样布点密度合理性、二次污染防治、异味污染控制等问题开展具体研究。

- 研究将结合地块污染特征、地块土层分布、污染物迁移特征、不同修复技术的潜在薄弱点等因素，提出典型技术下的以提高土壤样品代表性为目的的土壤采样要求。
- 开展二次污染防治区域的进一步划定和明确分析检测指标的要求。结合焦化污染地块污染物易挥发的特点，以及风险管控与修复的主要技术和施工平面布置主要方法，更加细化和明确二次污染区域范围的界定，细化对这些区域采样布点的要求，加强修复设施周边区域的治理修复效果评估。
- 开展修复过程中异味污染控制效果的评估，进一步强化对污染发生反应后的二次（间接）污染物类型的检测要求和除目标污染物以外的其他相关指标的分析检测要求。
- 对热脱附、常温热解析等热处理技术和气相抽提技术下，尾气排放中特征性污染物（如二噁英、氯化氢等指标）的研究和分析检测指标的针对性设计。

(4) 在标准制订过程中积极开展专家论证和咨询会，征求管理部门、相关单位、行业专家的意见对规范进行逐步修改和完善；严格遵守国家环境保护标准制修订工作管理办法中的要求，配备专业队伍，保障优质高效地完成标准制定全过程各项工作。

七、规范主要结构框架

鉴于国内外修复技术发展与应用现状，基于《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》

(HJ 25.2)等相关技术规范的应用情况,考虑修复效果评估全过程的主要环节,本次导则制定过程中,对于在实施过程中得到公认的技术要求进行了明确、对尚存疑问的重要技术要点进行了梳理、同时充分了解行业现状对于较为棘手的技术环节提出了关键技术要求。

本标准编制采用标准的规范编制框架,在技术环节考虑到土壤修复效果、地下水修复效果、风险管控效果评估在工作程序、点位数量、效果评估等各方面技术要求的不同,在章节设置上将其分开,分别规定了评估范围与对象、采样节点、采样频次与周期、点位数量与位置、检测指标、评估标准值、评估方法等各方面的具体要求,对于涉及到的技术性较强的内容以附录的形式给出。

具体章节设置见图7-1。

目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 效果评估工作程序.....	3
5 资料回顾与现场踏勘.....	4
6 更新地块概念模型.....	5
7 制定效果评估工作方案.....	5
8 修复效果评估数据分析方法.....	11
9 后期监测计划.....	12
10 编制效果评估报告.....	13
附录 A.....	14
附录 B.....	20

八、主要条款说明

(一) 关于土壤原位修复布点方法

原位修复土壤效果评估时建立三维网格进行均匀布点。考虑到原位修复的不均匀性,建议平均每 400m³ 土壤采集一个样品,即 20m×20m×1m。同时,在焦化污染地块内的重点功能区,如焦炉区、硫酸罐区、沉淀池、油库等,可根据污染程度和地块面积适当增加布点数量。

(二) 关于修复薄弱区域布点

应结合焦化污染地块的污染特征、地层分布、污染物迁移特征、不同修复技术的潜在薄弱点的判断布点，必要时在污染物聚集区、修复薄弱区的增加判断布点。修复薄弱区是综合考虑修复技术特征、施工过程、设备条件，污染物去除难易程度等参数，在这些修复薄弱区可能由于以上参数条件的影响，使得地块污染物治理修复或风险管控不能达到预想的效果，而作为效果评估技术人员必须从这些修复薄弱区的治理修复或风险管控效果来总体评估地块修复效果。

(三) 关于二次污染区域验收

本规范所指潜在二次污染区域包括污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物或危险废物堆存区、运输车辆临时道路、土壤或地下水待检区、废水暂存处理区、修复过程中污染物迁移涉及的区域、其他可能的二次污染区域。施工作业区域的评估指标除了地块的特征污染物之外，还需要考虑与施工作业相关的特征污染物，如道路区域需要附加考虑汽油、柴油等；如土壤养护区需要附加考虑投加药剂类型；如可能发生化学反应的区域需要附加考虑化学反应的中间产物等。评估对象主要为与污染土壤有接触或遗撒涉及的地面表层或其他区域。原则上根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点。对于采用化学氧化/还原、热脱附、微生物修复等技术进行修复的土壤和地下水的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据修复技术方案中的可行性分析结果和修复工程运行监测结果确定。

(四) 关于焦化污染地块异味问题

考虑到焦化污染地块挥发性污染物种类较多，若修复实施方案中涉及到恶臭修复目标，执行方案要求进行验收；也可以根据地块责任单位要求，采用环境影响评价要求，开展三同时验收。若修复过程可能产生的有毒有害物质（例如化学氧化/还原技术），除修复方案中确定的指标外，还应检测潜在二次产物，在产物不明确的情况下可开展生物毒性测试作为辅助。

（五）关于暴露情景变化

若地块利用方式较之于调查评估阶段变更（例如原规划居住用地修改为商业用地）、或其他可能影响修复范围的情况有变（例如污染物毒性参数调整），则可结合修复工程实际情况与管理要求，根据具体资料，重新确定的修复范围，并划定修复效果评估的范围。相应地调整效果评估指标及标准值。

九、与相关标准的关系分析

本技术规范是在《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）等文件的基础上，结合焦化污染地块的污染特点、污染物类型、污染特征、修复技术特点等，提出适用于焦化污染地块风险管控与治理修复效果评估的技术要求，相关技术人员在开展焦化污染地块风险管控与治理修复效果评估时可同时参考。

十、规范实施的措施建议

本技术规范可与《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）、《建设用土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2）、《土壤环境质量 建设用土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600）等相关政策制度结合使用，更好地指导开展焦化污染地块的调查评估和治理修复。

各地可结合本地区实际情况及地方标准规范，灵活使用本技术规范。

由于我国目前相关的基础研究比较薄弱，更未针对焦化污染地块风险管控和治理修复制定专门的技术要求，所以本规范为先行先试。通过在焦化行业的具体实践，并不断完善、修订和补充，以更好的为工业污染地块的风险管控或治理修复服务。