

ICS 号

Z10

团 体 标 准

T/CPCIF □□—20□□

焦化污染地块修复技术验证评价规范

Verification guidance of remediation technology for the contaminated coking
production site

(征求意见稿)

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

中国石油和化学工业联合会 发布

目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 总体要求.....	3
5 资料收集.....	4
6 验证评价指标体系.....	6
7 验证测试要求.....	11
8 验证评价.....	13
9 编制验证评价报告.....	14
附录 A（资料性附录）验证程序.....	16
附录 B（资料性附录）验证技术资料收集清单.....	17
附录 C（资料性附录）常见水文地质条件分类.....	18
附录 D（资料性附录）常见技术类别推荐测试周期.....	19
附录 E（资料性附录）焦化污染地块修复技术验证评价报告编制大纲.....	20
附录 F（资料性附录）焦化污染地块修复技术验证评价方案编制大纲.....	21

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、安徽国祯环境修复股份有限公司、上海圣珑环境修复技术有限公司、苏州精英环保有限公司、浙江宜可欧环保科技有限公司、上海康恒环境修复有限公司、煜环环境科技有限公司。

本文件主要起草人：呼红霞、丁贞玉、孙宁、王建飞、岳勇、黄海、车磊、吴素慷、佟雪娇、赵维维、刘锋平、张宗文、李伟平、万德山、郑阳、张娟、冯爱茜、李辉辉。

焦化污染地块修复技术验证评价规范

1 范围

本文件规定了焦化污染地块修复技术的总体要求、资料收集、验证评价指标体系、验证测试要求、验证评价、编制验证评价报告。

本文件适用于已完成中试或已有少量应用的焦化污染地块修复技术或组合技术的修复效果、工艺运行和维护管理等指标的验证评价。现有修复技术的验证评价也可参照本文件执行。

本文件不适用于实验室阶段的技术。

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 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 24034 环境管理环境技术验证

GB 36600 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

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则

HJ 164 地下水环境监测技术规范

HJ 493 水质样品的保存和管理技术规定

HJ 494 水质采样技术指导

HJ 495 水质采样方案设计技术指导
HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HJ 91.1 污水监测技术规范
T/CSES-1 环境保护技术验证评价 通则
T/CSES-2 环境保护技术验证评价 测试通用规范
T/CSES 09 燃煤电厂大气污染物超低排放技术验证评价规范
工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）
污染地块土壤环境管理办法（试行） 环境保护部令第 42 号

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 焦化污染地块 coking contaminated site

焦化企业在生产经营过程中造成土壤或地下水中污染物数量、浓度和毒性按照国家技术规范确认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地块。

3.2 修复技术 remediation technology

可用于消除、降低、固定/稳定、转移或转化地块中目标污染物的各种修复技术，包括可改变污染物结构、形态，降低污染物毒性、迁移性或含量的各种物理、化学或生物学技术。

3.3 技术自我声明 self-announcement of technology

评价委托方对委托验证评价的焦化污染地块修复技术的适用范围、性能指标、工艺参数、经济指标、运行维护以及技术应用的场地条件等所做的描述性声明。

3.4 修复效果指标 remediation performance parameter

用来表征焦化污染地块修复技术对目标污染物修复效果的指标，一般用去除率或达标率进行表征。

3.5 工艺运行指标 process and operation parameter

直接对焦化污染地块修复技术稳定运行及污染物修复效果产生影响的工艺运行参数或运行条件。

3.6 维护管理指标 maintenance and management parameter

焦化污染地块污染治理设施日常维护管理指标，如能源资源消耗（如水、电、药剂等）、

操作的难易程度、技术设施运行稳定性、安全性与耐久性等。

3.7 测试周期 test period

从正式运行开始，到达到验证评价目标所需要的最短测试时间。

3.8 样本数 sample number

满足验证评价测试要求，在同一采样条件下采集的样本数量。

3.9 采样频率 sampling frequency

满足验证评价测试要求所需的采样次数和采样时间间隔。

3.10 系统运行故障率 system failure rate

故障是指处置结果不达标、因事故系统停止运行、因事故产率降低或者拖期，且在成本、时间和效果上造成明显负面影响；故障率是测试期间发生故障的次数，或者平均每个开机停机周期的故障次数。

4 总体要求

- 4.1 验证评价应遵循科学性、客观性和公正性的基本原则。
- 4.2 验证评价应围绕技术自我声明的内容，对技术的修复效果、运行可靠性、经济性、以及环境友好性进行综合评价。
- 4.3 验证评价工作程序应符合 T/CSES 1 的相关规定，参见附录 1，验证评价技术流程见图 1。

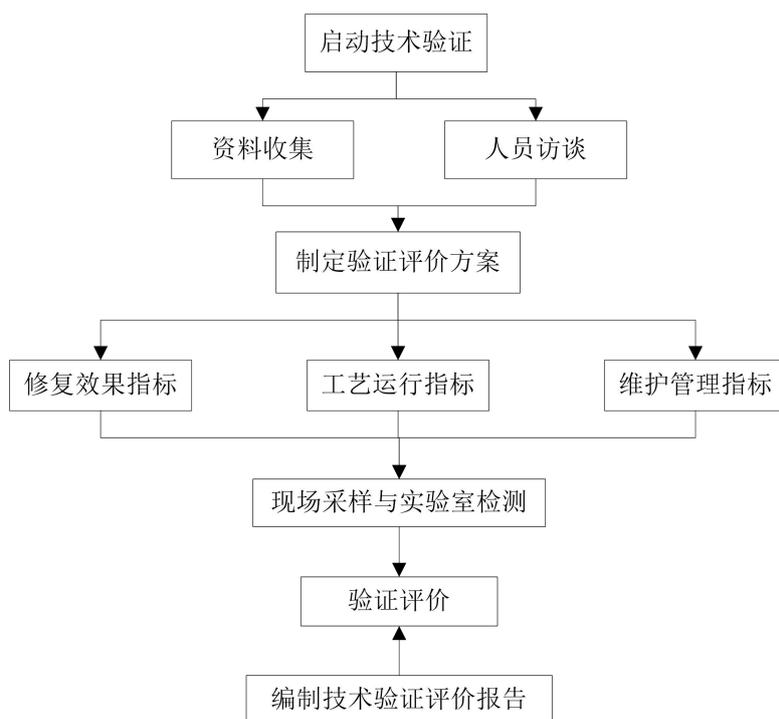


图 1 验证评价技术流程

- 4.4 验证启动前，应编制验证方案。验证方案、验证评价指标应由第三方验证评价机构会同验证评价各方，根据被验证技术特点确定。
- 4.5 验证评价指标应反映焦化污染地块修复技术的特点。一般包括修复效果指标、工艺运行指标、维护管理指标 3 类，评价指标应以定量为主，定性为辅。
- 4.6 实际运行过程数据和自检测数据如果符合验证方案中相关要求，并且数据真实可靠，可不再测试，直接进行评价，修复效果指标参数应采样测试。
- 4.7 验证评价质量控制与质量保证方法应符合 T/CSES 1、T/CSES 2 的相关规定。

5 资料收集

5.1 一般要求

5.1.1 验证评价工作启动前，应对验证技术的技术信息进行收集、整理和分析，验证评价方应对技术持有方提供的数据资料的可靠性和有效性进行判断。

5.1.2 技术信息资料一般包括技术简介、技术应用地块情况和已有数据，技术持有方所提供的技术信息是编制验证方案、验证评价报告的基础，技术持有方对所提供的资料真实性负责。技术资料收集清单参见附录B。

5.2 技术简介

5.2.1 技术基本情况

技术的基本原理、特点和主要创新点。

5.2.2 技术适用性

修复技术对污染物种类、污染物浓度、水文地质条件、修复目标等场景下的可行性，常见水文地质条件分类可参考附录C。

5.2.3 技术自我声明

技术的适用范围、修复效果、工艺运行指标、经济指标、维护管理情况等。

5.2.4 设计参数

根据技术类型，由技术持有方提供能够反映技术特点、可公开的设计参数，供验证评价机构参考。为反映技术特征，设计参数应客观反映真实水平，其指标的选取应不少于2项。

5.3 技术应用地块情况

包括地块概况、地理位置、工程规模、地块水文地质条件、土壤污染特征、地下水污染特征、地下水污染羽情况、目标污染物初始浓度、目标污染物修复目标、设施概况、平面布置图、工艺参数、现场可实施技术验证测试的条件等。

5.4 已有数据

在保护技术持有方知识产权的前提下，验证技术已有运行数据与资料，经审核后可作为验证评价的参考资料。提供的数据应确保真实、可靠，且同时提供获得数据的运行条件、治理技术运行条件、环境条件等。已有数据的审核应符合T/CSES 1的相关规定。

6 验证评价指标体系

6.1 指标体系

焦化污染地块修复技术验证评价指标主要包括修复效果指标、工艺运行指标和维护管理指标等3类。

表 1 焦化污染地块修复技术验证评价指标体系框架

一级指标	二级指标		三级指标	
修复效果	目标污染物		重金属、其它污染物：酚类、氰化物、硫化物、氟化物、氨、砷	
			挥发性有机物：苯系物（BTEX）	
			半挥发性有机物：多环芳烃（PAHs）	
	工程性能指标		石油烃类（TPH）	
工艺运行	技术参数		抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施的连续性和完整性	
			影响半径	
			热效率	
	运行参数		其他	
温度、压力、流量、药剂添加量、频率、处理量、时间				
其他				
维护管理	基建费用		修复及配套系统建设投资	
	资源能源、材料消耗		水耗	
			能耗(燃气消耗量,汽油柴油消耗量、电力消耗)	
			材料、化学药剂消耗量	
			人工、机械	
			其他	
	二次污染		土壤/地下水	过程产物、降解产物
			固体废物	一般工业固体废物、危险废物产生量
			废水	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标
			废气	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标
			噪声	等效连续 A 声级（LAeq）
	运行可靠性		连续稳定运行时间	
			故障及异常发生频率	
			故障严重程度	
排查故障时间				
日常维护保养时间				
其他				

6.2 修复效果指标

修复效果指标应根据技术自我声明、测试对象和被评价技术的修复目标污染物等来选取，一般用去除率或达标率进行表征。目标污染物包括重金属和其他污染物、挥发性有机物、半挥发性有机物和石油烃类，可参考表1，具体污染物根据实际技术应用地块确定。工程性能指标应包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施的连续性和完整性等。

固化稳定化技术应包括目标污染物在分析测试期间的处理效果和长期稳定性。

6.3 工艺运行指标

工艺运行指标应根据被评价的焦化污染地块修复技术的实际情况确定，原则上不得选取涉及技术机密的工艺运行指标，可参考表2。

表2 土壤和地下水修复工艺运行指标

	技术类别	指标	单位
焦化污染地块土壤修复技术	热修复技术(以水泥窑协同处置技术为例)	水泥窑气体温度	℃
		水泥窑出口温度	℃
		水泥窑土壤停留时间	min
		土壤最大进料粒径	mm
		土壤最大进料含水率	%
		污染土壤处置能力	t/d
		二燃室温度	℃
		二燃室气体停留时间	min
	热修复技术(以电加热原位热传导热脱附技术为例)	加热时间	d
		加热温度	℃
		抽提流量/压力	m ³ /min、MPa
		加热井间距	m
		电流	A
		加热体积	m ³
		加热功率	Kw
		加热方式	/
		升温速率	℃/d
		保温时间	d
		地面处理设备运行工况	/
	其他	/	
	热修复技术(以异位直接热脱附技术为例)	处理规模	t/d
		土壤停留时间	min
		土壤最大进料粒径	mm
土壤最大进料含水率		%	
回转窑加热温度/出土温度		℃	
回转窑燃烧器燃气流量		m ³ /h	
回转窑燃烧器助燃空气流量		m ³ /h	
二燃室温度		℃	
二燃室燃烧器燃气流量	m ³ /h		

		二燃室燃烧器助燃空气流量	m ³ /h
		二燃室气体停留时间	min
		急冷塔喷水量	m ³ /h
		除酸塔喷水量	m ³ /h
		尾气风机抽提流量/压力	m ³ /h、KPa
	化学氧化技术(以原位化学氧化技术为例)	药剂添加量	kg/m ³
		药剂添加频率	次
		注入方式	/
		注入井间距	m
		注入速率与压力	m ³ /min、MPa
		注入深度	m
		注入浓度	mg/L
	其他	/	
	化学氧化技术(以异位化学氧化技术为例)	药剂添加量	%
		药剂添加频率	次
		混合搅拌频率	次
		混合搅拌方式	/
		土壤含水率	%
		批次修复时间	d
	其他	/	
	洗脱技术(以异位洗脱技术为例)	混泥机内水量及水压	m ³ 、MPa
		各级筛分分离设备水量及水压	m ³ 、MPa
		压滤设备处理量	t/h
		洗脱时间	h
		废水设备处理量	m ³ /h
		废水处理时间	h
		固液分离后固体内残余量	t
液体对目标污染物的去除效果		%	
水土比		/	
洗脱次数		次	
增效剂选择		/	
洗脱药剂添加量		kg/L	
其他		/	
抽提技术(以气相抽提技术为例)	气相抽提范围半径	m	
	抽气流量	m ³ /h	
	真空度	Pa	
	真空泵功率	kw	
	抽气井深度和距离	m	
	修复时间	d	
	地面尾气处理系统处理效率	%	
	地面尾气处理系统处理能力	/	
其他	/		
生物修复技术(以	修复时间	d	

	生物堆技术为例)	土壤质地及通气性	/
		土壤含水率	%
		土壤温度	°C
		土壤 pH 值	/
		土壤微生物含量	个/g 土壤
		堆体内氧气含量	%
		土壤营养物质质量及配比	/
焦化污染地块地下水修复技术	抽出-处理技术	处理量	m ³ /h
		处理工艺	/
		污染浓度	mg/L
		修复过程中添加药剂种类及计量	/
		修复后出水指标	mg/L
		渗透系数	cm/s
		抽水井间距	m
		抽水井数量	口
		单井抽水速率	L/h
		抽水井布置形式	/
		抽水井影响半径	m
	抽出-注入技术	处理量	m ³ /h
		处理工艺	/
		污染浓度	mg/L
		修复过程中添加药剂种类及计量	/
		修复时间点及地下水污染物指标	mg/L
		总处理时间	d
		抽水井影响半径	m
		单井抽水速率	L/h
		回注井注入速率	L/h
	吹脱处理技术	吹脱塔类型	/
		水处理量	m ³ /h
		气液比	/
		填料高度	m
		填料类型	/
		塔体横截面积	m ²
		空塔气速	m/s
鼓风机流量/压力		m ³ /h、KPa	
水温	°C		
焦化污染地块风险管控技术	固化/稳定化技术 (以异位固化稳定化为例)	药剂添加种类	/
		药剂添加比例	%
		药剂添加方式	/
		土壤含水率	%
		土壤粒径	cm
		养护时间	d

		其他	/
	阻隔技术(以渗透反应墙(PRB)为例)	填充介质选择及配比：零价铁、活性碳、沸石、石灰石、离子交换树脂、铁的氧化物和氢氧化物、磷酸盐以及有机材料(城市堆肥物料、木屑)等	/
		反应墙结构：连续反应墙；漏斗-通道系统(单通道、并联多通道、串联多通道)	/
		安装位置	/
		安装深度	m
		水力停留时间	H
		反应墙走向	/
		反应墙厚度	m
		使用期限	年
		阻隔效率	%
		监控自然衰减技术	监测井布设数量
	监测井布设位置		/
	监测时间		月
	监测指标		/
	监测频次		次
	监测井深度		m
	其他		/

注：上表未列出技术，(1)可自定义工艺工况技术指标，包括但不限于(a)设备规模指标；(b)单位时间处置能力指标；(c)单位能耗处置能力指标；(d)单位某种材料消耗处置能力指标；(e)占地面积指标等。(2)相关技术主要运行参数可以按照流体、机械、热力学、电气、生物、化学等类别提出运行指标。

6.4 维护管理指标

维护管理指标包括基建费用，运行过程中的资源能源和材料消耗，二次污染情况、维护管理性能等四类，应根据焦化污染地块修复技术的实际情况选取，可参考表3。

表3 维护管理指标

项目分类	运行及维护管理项目	单位	
基建费用	修复及辅助系统建设投资	万元	
资源能源、材料消耗	水耗	t/h	
	药剂、材料种类及用量	t/h	
	能耗	Kw·h 或 KJ	
	人工	人/天	
	单台套仪器设备的占地面积	m ²	
	其他	/	
二次污染	土壤/地下水	过程产物、降解产物、外源性化学物质 mg/kg(土壤), mg/L(地下水)	
	固体废物	一般固废、危险废物产生量	t/h
	废水	关注污染物、常规污染物排放	/

		量、是否达标	
	废气	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标	/
	噪声	等效连续 A 声级 (LAeq)、达标情况	/
运行可靠性		连续稳定运行时间	h
		故障及异常发生频率	次
		故障严重程度	/
		故障排除的时间	h
		其他	/

7 验证测试要求

7.1 测试周期和样本数

7.1.1 确定焦化污染地块修复技术的现场测试周期前，应掌握修复技术原理、污染物类型及理化性质、污染物浓度及分布特征、地块水文地质情况等详细信息，作为确定测试周期的依据。

7.1.2 测试周期的设定应能充分反映修复技术的修复效果、技术运行可靠性、稳定性、技术经济性、环境友好性等。

7.1.3 焦化污染地块修复技术现场测试周期推荐值参照附录D，组合技术宜选择测试周期的较大值，测试周期内应收集自监测数据、运行参数、维护管理情况。

7.1.4 测试应在调试结束后正式开始，在测试周期内至少选择3天开展现场测试，测试时间由验证评价机构会同验证评价各方根据焦化污染地块修复技术特点确定。

7.1.5 修复效果样本数应符合HJ 25.5、HJ 25.6等规范中相关要求。

7.1.6 有组织排放废气样本数及采样点位置的设置参照GB/T16157或相应地方标准执行，无组织排放废气样本数及采样点位置的设置按照GB/T16297或相应地方标准执行。

7.2 采样点和采样频率

7.2.1 采样点

采样点的设置应依据验证技术工艺流程、技术特点、创新点、已有数据等确定。土壤采样点位的设置应符合HJ25.5的相关规定，地下水采样点位的设置应符合HJ25.6的相关规定，必要时在修复薄弱区加密布点。

7.2.2 采样频率

采样频率应满足以下最低样本数的要求：

- a) 土壤中目标污染物应至少在验证周期末期采集1批次样品；
- b) 地下水中目标污染物应至少在验证周期中期和末期采集2批次样品；
- c) 验证周期内产生的固体废物应至少在验证周期末期采集1批次，不少于2个样品；已

经明确为危险废物（如废活性炭）并计划送至危废处置中心的，可不进行采样检测；

- d) 验证周期内废水应满足GB 8978要求；
- e) 验证周期内废气应满足GB/T16157和GB/T16297等要求；
- f) 验证周期内噪声测试应满足GB 12348要求。

7.3 样品采集与保存运输

7.3.1 土壤样品采样和保存运输应按照 HJ 25.2 和 HJ/T 166 的相关规定执行。

7.3.2 废水样品采样和保存运输应按照 HJ 164、HJ 493、HJ 494、HJ 495 和 HJ 91.1 的相关规定执行。

7.3.3 废气样品采样和保存运输应按照 GB 16157 和《空气和废气监测分析方案》（第四版增补版）的相关规定执行。

7.3.4 固体样品采样和保存运输应按照 HJ/T 20 的相关规定执行。

7.3.5 噪声测试应按照 GB 12348 的相关规定执行。

7.4 验证测试方法

7.4.1 修复效果指标测试方法

7.4.1.1 样品检测实验室应具备相应检测资质，分析方法应在实验室资质认定范围内使用；

7.4.1.2 优先选用GB36600、HJ/T 166、GB/T 14848等标准指定的检测方法；

7.4.1.3 当指标无现行的方法进行测试时，可由测试机构自行开发，并进行必要的方法学验证，形成可操作的文件，并作为测试报告的附件。

7.4.2 工艺运行指标测试方法

应优先选择现行的国家或行业标准方法作为测试方法。

7.4.3 维护管理指标测试方法

维护管理指标包括建设费用、药剂消耗和能源消耗、二次污染和运行可靠性，具体指标的获取方式可参考表4。

表 4 维护管理指标的获取方式

项目分类	运行及维护管理项目	具体指标的获取方式
建设费用	修复系统建设投资	技术持有方核算提供
药剂消耗和能源消耗	药剂、材料种类及用量	计量磅秤或加药/材料设备消耗测定，台账法
	能耗	全部测试对象的能源消耗，实际测

			量或计算，台账法
		水耗	计量泵或计量表，台账法
二次污染	土壤/地下水	过程产物、降解产物	现场测试结合实验室测试
	废水	废水产生量，及药剂添加量	计量磅秤或加药设备消耗测定，台账法
	废气	废气污染物浓度	现场测试
	噪声		现场测试
	固废	固废产生量	
固废处置			处置方式
运行可靠性		连续稳定运行时间	记录设备的连续稳定运转时间，台账法
		故障及异常发生频率	记录故障发生时间、原因、排除方法，并对测试期间的故障次数、故障频率等进行统计，台账法
		故障排除的时间	记录故障发生时间，及排除故障所需时间，台账法

8 验证评价

8.1 一般要求

验证评价一般可采用均值、中位数、数据范围、方差等对修复效果指标、工艺运行指标、维护管理指标进行统计分析，依据统计分析结果做出科学、合理的评价。

8.2 去除率

按照下面公式计算污染物的去除率（ σ ）。

$$\sigma = \frac{C_{i0} - C_i}{C_{i0}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C_{i0} ——验证场地第*i*种污染物初始浓度的平均值，单位为mg/kg（土壤），mg/L（地下水）。

C_i ——验证场地第*i*种污染物验证结束后浓度的平均值，单位为mg/kg（土壤），mg/L（地下水）。

8.3 达标率

土壤可采用逐一对比或统计分析的方法进行修复效果评价。样本数小于8个时，采取逐个对比法；样本数大于等于8个时，可以采取统计分析方法。效果评价方法可参见HJ25.5。

针对地下水，技术验证时可采用趋势分析法进行持续稳定达标判断，在95%的置信水平下，趋势线斜率显著大于0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与0没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。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或

修复极限。效果评价方法可参见HJ25.6。

8.4 运行可靠性

运行可靠性指标主要根据连续稳定运行时间、维护管理难易程度、故障发生频率、排除故障的难易程度、维护管理所需要的技能水平等来进行分析和判断。评价结果可分为：

- a)运行可靠 运行稳定、基本没有发生故障情况；
- b)运行基本可靠 发生过故障，但没有影响整体运行，故障很容易被排除的情况；
- c)运行可靠性差 故障频繁或故障发生后不易排除等情况。

8.5 经济性

经济性指标主要根据建设费用、运行费用、维修费用、折旧费用进行综合评价。

建设费用：一般可采用单套设备设施的投资和单位时间处理量的比值，以单位时间内每处理一方污染土或污染水的基建投资进行评价。

运行费用：一般可采用修复单位土方量或水量所对应的水耗量、能耗、药剂和材料消耗、人工成本、机械成本等之和进行评价。

维修费用：主要通过污染治理设施维修频率和单次维修费用进行评价。

折旧费用：主要通过污染治理设施的使用年限进行评价。

8.6 环境友好性

根据技术产生废水、废气、噪声、固体废物等二次污染情况评价技术的环境影响。

废水指标一般用修复单位土方量清洁水使用量、废水产生量、废水回用率或排放率、是否达标排放等进行评价；

废气指标一般用修复单位土方量废气排放量、是否达标排放进行评价；

噪声指标一般用是否达到工业企业厂界环境噪声排放标准进行评价；

固废指标一般用修复单位土方量固废/危废产生量、危险废物是否交由有处理资质单位统一处理处置等定量化评价。

8.7 维护管理方便性

根据维护管理工作量、维护管理难易程度、维护管理所需要的技能水平等评价焦化污染地块修复技术的维护管理性能。维护管理工作量小或操作简单，掌握技术难度较小则可认为维护管理方便性好。维护管理工作量大或操作复杂，掌握技术难度较大则可认为维护管理方便性差。

9 编制验证评价报告

9.1 根据验证评价方案，对技术资料、已有数据、测试报告、验证评价过程中形成的原始数据和各种记录等进行综合分析评价，编制验证评价报告。

9.2 验证评价报告应客观陈述技术性能和实际效果。

9.3 验证评价报告的格式参见附录E。

附录 A
(资料性附录)
验证程序

图 A.1 给出了验证评价程序。

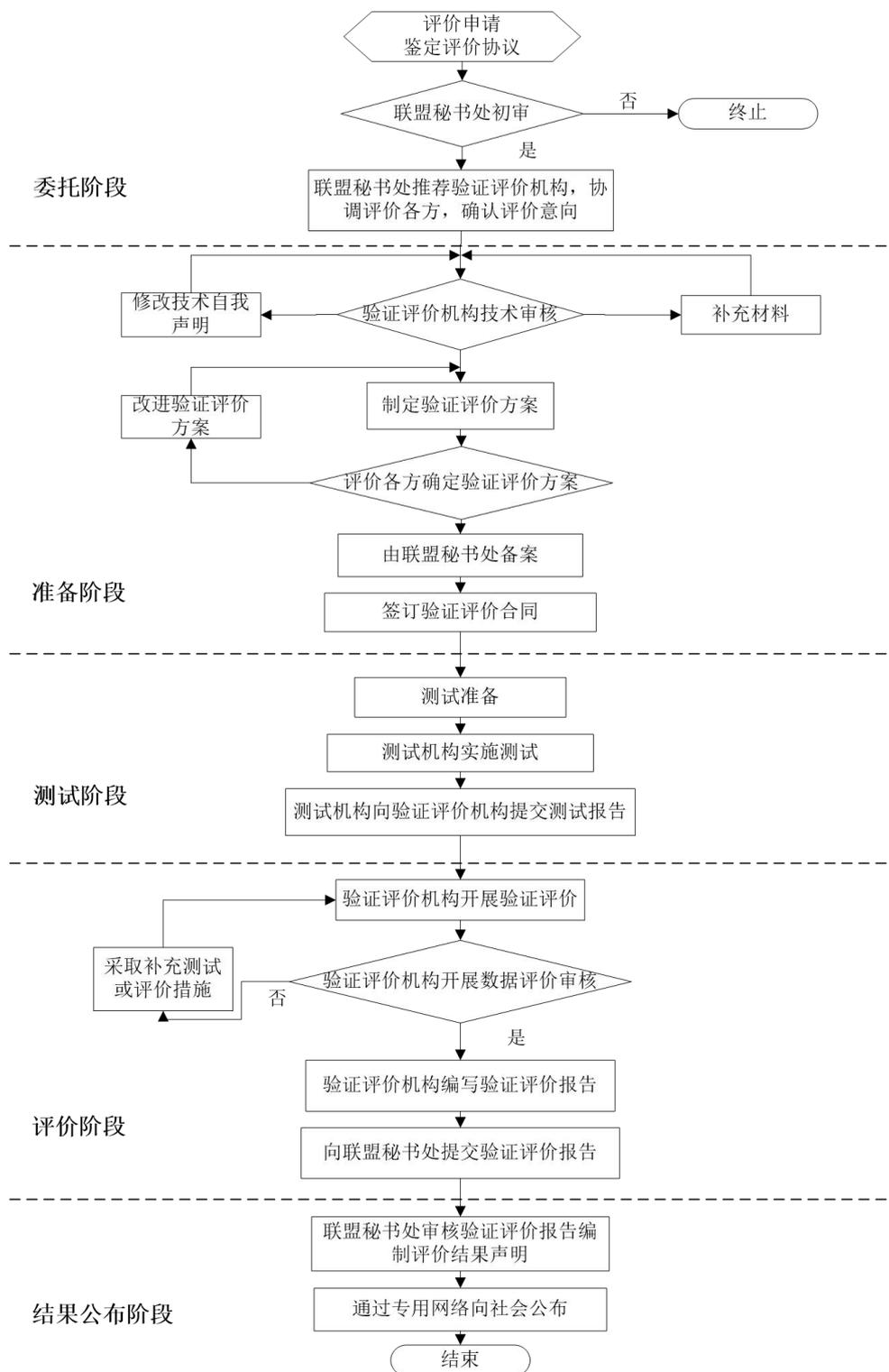


图 A.1 验证评价程序

附录 B
(资料性附录)

验证技术资料收集清单

表 B.1 给出了验证技术资料收集清单。

表 B.1 验证技术资料收集清单

分 类	指 标	单 位	适用情况
技术基本情况	技术简介	/	
	工艺原理	/	
	工艺流程图	/	
	适用范围	/	
	技术特点	/	
	技术创新性	/	
	技术自我声明	/	
	主要设备	型号、数量、规格参数等	
	设计参数	/	根据修复技术特点确定
	环境处理效果	mg/kg、mg/L	
	修复需要时间	月	
	修复成本	元/方	
	二次污染情况（固体废物、废水、废气、 噪音产生情况）	/	
其他	/		
技术应用地块情况	工程概况	/	
	地块水文地质情况	/	
	土壤污染特征	/	土壤修复技术
	地下水污染特征	/	地下水修复技术
	污染羽情况	/	地下水修复技术
	目标污染物初始浓度	mg/kg、mg/L	
	目标污染物修复目标/GB36600 中一类用地筛选值	mg/kg、mg/L	
	修复设施概况	/	
	平面布置图	/	
工艺参数	/		
已有数据	土壤污染数据	mg/kg	
	地下水污染数据、污染羽的变化情况	mg/L	
	实际材料和药剂的消耗台账	/	
	能耗	标准煤	
	水耗	/	

附录 C
(资料性附录)
常见水文地质条件分类

表 C.1 给出了常见水文地质条件分类。

表 C.1 常见水文地质条件分类

类型	内涵
中到高渗透性的高均质粗颗粒介质	类型 I 介质的孔隙度与常见的颗粒状地质介质一致 (从 5% 到 40%)，渗透率与砂砾沉积物一致 ($>10^{-14} \text{ m}^2$ ，或渗透系数 $>10^{-7} \text{ m/s}$) 高度均质性 (颗粒级差 $<10^3$)。如以上概念所描述的，这种介质在自然界中是非常均一的，也不常见。自然界中常见的这类沉积物如风积沙和海滩沉积物。
低渗透性的高均质粗颗粒介质	类型 II 地质条件的孔隙度与通常的颗粒状介质一致 (从 5% 到 40%)、渗透性随空间的变化也很小 ($<10^3$)、与淤泥和黏土的渗透率相同 ($k < 10^{-14} \text{ m}^2$) 以及渗透系数很低 ($K < 10^{-7} \text{ m/s}$)。典型的例子就是没有次生渗透特征 (如裂隙、植物根孔、动物洞穴等) 的黏土沉积物。这种地质介质也不常见。
中到高非均质性的粗颗粒介质	类型 III 地质条件的渗透率呈现从中度到高度的变化 ($>10^3$)，孔隙度与粒状介质一致 (从 5% 到 40%)。如果渗透率在空间上变化很大，(变化范围从厘米级到米级尺度)，那么地质体中的部分区域透水性就相对较强，其他区域主要是滞留区。基于此分析，类型 3 介质中渗透性较强的区域，其渗透率 $>10^{-14} \text{ m}^2$ (渗透系数 $>10^{-7} \text{ m/s}$)。由于渗透性空间变异较大的冲积物非常多见。
孔隙度低的裂隙介质	类型 IV 地质体中的主要透水特点是由裂隙形成的次生渗透性，因为没有裂隙的该类岩体中几乎不存在空隙空间。在无裂隙的该类岩体中渗透率一般 $<10^{-17} \text{ m}^2$ (渗透系数 $K < 10^{-10} \text{ m/s}$)。但是，单位体积介质的渗透率取决于裂隙发育程度、大小及相互连通程度，通常单位体积渗透率的预计范围为 10^{-15} — 10^{-11} m^2 (渗透系数 $K=10^{-8}$ - 10^{-4} m/s)。岩体和裂隙的孔隙度都较小，通常小于 1%。然而，在风化壳广泛发育的结晶岩地区 (如基岩顶部)，单位体积介质的性质更类似于多孔介质，而不是通常所认为的裂隙介质类型。
孔隙度高的裂隙介质	类型 V 地质体包括流体运移的主要通道裂隙 (指次生裂隙)，也包括母岩中的大孔隙空间。不含裂隙的母岩，其渗透率一般认为 $<10^{-17} \text{ m}^2$ (渗透系数 $K < 10^{-10} \text{ m/s}$)。单位体积平均渗透率的范围为 10^{-16} - 10^{-13} m^2 (渗透系数 $K=10^{-9}$ - 10^{-6} m/s)。裂隙的孔隙度远小于总体积 ($<1\%$)。然而，与类型 4 不同，该类地质体中不含裂隙的母岩孔隙度值预计在 1% 至 40% 之间。母岩具有高孔隙度的裂隙介质常见于沉积岩中 (如灰岩、白云岩、页岩和砂岩) 和含有裂隙的黏土中。

附录 D
(资料性附录)

常见技术类别推荐测试周期

表 D.1 给出了常见技术类别推荐测试周期。

表 D.1 常见技术类别推荐测试周期

	技术类别	测试周期推荐值	主要考虑因素
焦化污染地块修复技术	热修复技术（以水泥窑协同处置技术为例）	现场测试不多于 14 天	尾气排放，修复效果评估
	热修复技术（以电加热原位热传导热脱附为例）	现场测试不多于 90 天	机械及耐高温运行稳定性、原料成分变化、负荷变化，修复周期
	化学氧化技术（以原位化学氧化技术为例）	现场测试不多于 120 天	现场设备试运行，特定地块修复药剂与用量确定，修复效果评估
	洗脱技术（以异位洗脱技术为例）	现场测试不多于 60 天	淋洗设备运行的稳定性，特定地块淋洗药剂与用量确定，修复效果评估
	抽提技术（以气相抽提技术为例）	现场测试不多于 120 天	现场设备运行稳定性，特定地块修复药剂与用量确定，修复效果评估
	吹脱处理技术	现场测试不多于 90 天	设备运行的稳定性、处理效果
焦化污染地块地下水修复技术	抽出-处理技术	现场测试不少于 60 天	现场设备运行稳定性、修复效果评估
	抽出-注入技术	现场测试不少于 60 天	现场设备运行稳定性、修复效果评估
焦化污染地块风险管控技术	固化/稳定化技术（以异位固化稳定化为例）	现场测试不少于 120 天	固化稳定化效果以及长期稳定性
	阻隔技术（以渗透反应墙（PRB）为例）	现场测试不少于 120 天	阻隔效果以及长期有效性
	监控自然衰减技术	现场测试不少于 120 天	衰减效果

附录 E
(资料性附录)
焦化污染地块修复技术验证评价报告编制大纲

E.1 概要

1.1 背景

1.2 目的

1.3 工作过程简介

E.2 参与验证评价的机构及职责

2.1 评价委托方

2.2 评价机构

2.3 测试机构

2.4 咨询专家（如有需要）

E.3 技术简介

包括：技术基本情况，技术适用性，技术自我声明，设计参数，已经申请和获得专利情况等。

E.4 技术应用地块情况

包括：地块概况、地理位置、工程规模、地块水文地质条件、土壤污染特征、地下水污染特征、地下水污染羽情况、目标污染物初始浓度、目标污染物修复目标、设施概况、平面布置图、工艺参数等。

E.5 评价内容、方法及过程介绍

包括：验证评价指标，测试周期、采样、检测分析、设施操作的方法、内容和主要工作过程等。如评价过程中评价指标、测试周期、采样数、检测方法等发生变化，应详细记录并说明原因。

E.6 检测结果及讨论

对检测和评价指标的检测结果进行统计分析，得出性能指标的分析结论。

E.7 质量控制

描述分析验证评价的质量管理过程及结果。

E.8 评价结论

通过验证评价得出的技术性能结论。

E.9 附录

如测试报告、设施操作记录、专家咨询记录等。

附录 F
(资料性附录)
焦化污染地块修复技术验证评价方案编制大纲

F.1 评价方案简介

F.2 技术自我声明

技术自我声明是指申请单位对申请验证评价的环境保护技术的适用范围、性能指标、工艺参数、经济指标、运行维护等所做的声明。

F.3 参与评价各方职责与分工

评价机构、测试机构、评价委托方等评价各方的责任与分工。

F.4 技术介绍

包括：技术工艺原理，适用范围，污染物处理效果，主要技术指标，材料和药剂消耗、能耗等；主要创新点（应可通过验证测试检测）；工程化应用情况（或工业化试验情况）；已经申请和获得专利情况等。

F.5 实验设施介绍（测试对象）

F.6 评价工作方案

F.7 质量保证与质量控制

F.8 经费预算

F.9 进度安排

F.10 附件（如：检测记录、设施运行记录、异常情况和故障处理记录）。

**《焦化污染地块修复技术验证评价规范》
(征求意见稿) 编制说明**

《焦化污染地块修复技术验证评价规范》技术编制组

2021年9月

目 录

1 任务来源.....	1
2 我国焦化污染地块分布和修复现状.....	1
2.1 京津冀及周边典型焦化厂地块分布.....	1
2.2 国内其他地区遗留焦化地块分布.....	2
2.3 污染特征分析.....	5
2.4 焦化污染地块典型修复技术的分析.....	7
3 技术验证评价在我国的发展历程和发展趋势.....	8
3.1 国际环境技术验证评价的发展概况.....	9
3.2 我国促进环境技术验证评价发展的相关政策.....	9
3.3 环境技术验证评价在我国的管理现状.....	10
3.4 我国环境技术验证评价案例.....	11
4 制定必要性和重要意义.....	12
5 主要编制过程.....	13
5.1 组建编制技术组和研究启动.....	13
5.2 重点问题研究.....	13
5.3 规范初稿的编制.....	13
5.4 专家咨询和规范第二版初稿的编制.....	13
5.5 专家咨询和征求意见稿的编制.....	14
6 规范制定原则和依据.....	14
6.1 制定原则.....	14
6.2 制定依据.....	15
6.2.1 政策法律依据.....	15
6.2.2 技术依据.....	15
7 主要条款说明.....	15
7.1 适用范围.....	15
7.2 技术验证评价的实施程序.....	15
7.3 资料收集.....	16
7.4 验证指标体系的确定.....	18
7.4.1 通用性指标体系.....	18
7.4.2 焦化污染地块修复技术验证评价指标体系的构建.....	19
7.5 验证评价方法.....	22
7.5.1 验证评价测试周期.....	22
7.5.2 采样点和采样频率.....	23
7.5.3 验证评价指标的测试方法.....	24
7.5.4 验证评价指标的数据处理.....	25
7.6 验证结果的应用.....	27
8 与相关标准的关系分析.....	27

9 其他应说明的事项.....	28
-----------------	----

1 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研究及集成示范》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《焦化污染地块典型治理修复技术验证评价方法研究》任务。课题组通过分析焦化场地典型治理修复与风险管控技术的特点、技术经济性能、修复效果等，确定典型的评价技术类型，研究验证程序、指标体系、监测方法、评价方法等，编制焦化污染地块修复技术验证评价规范。

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《焦化污染地块修复技术验证评价规范》编制的申请文件，经专家评审、社会公示后，2020年3月30日，《焦化污染地块修复技术验证评价规范》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、上海圣珑环境修复技术有限公司、苏州精英环保有限公司、浙江宜可欧环保科技有限公司、上海康恒环境修复有限公司、煜环环境科技有限公司等单位签署了团体标准编制协议，成立了技术编制组，正式启动了《焦化污染地块修复技术验证评价规范》的编制工作。2021年4月，《焦化污染地块修复技术验证评价规范》（征求意见稿）及编制说明正式公开征求意见。

2 我国焦化污染地块分布和修复现状

2.1 京津冀及周边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，总结归纳出焦化污染地块常见的修复技术，为编制焦化污染地块修复技术验证评价规范打下坚实基础。京津冀典型焦化场地基本情况见表2-1。

表 2-1 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

2.2 国内其他地区遗留焦化地块分布

截至2020年12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29个焦化类污染地块在名单中。其中重庆市有6家，占全国总数的20.7%；四川省排列第二，有5家，占全国总数的17.2%。

表 2-2 《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数据

省市	数量（块）
河南	1
四川	5
云南	2
江苏	4
安徽	2
浙江	1
重庆	6
山东	3
广东	2
江西	1
浙江	1
辽宁	1
合计	29

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 2-3 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	/
四川星荣焦化有限公司地块	四川省	24500 m ²	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	四川省	27142.5 m ²	四川省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
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
昆明钢铁集团有限责任公司桥钢厂片区地块	云南省	354911.71 m ²	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

名称	地理位置	基本情况	来源
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
徐州市焦化厂地块	江苏省	2017年开展了工程治理修复	/
原丰远焦化厂旧址地块	江西省	100005 m ²	江西省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
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
重庆钢铁集团产业有限公司(源丰)	重庆市	202666 m ²	重庆市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
重庆钢铁集团耐火材料有限责任公司原址	重庆市	102636 m ²	重庆市建设用地土壤污染风险管控和修复名录
重庆江合煤化（集团）有限公司焦化厂原址	重庆市	63851 m ²	重庆市建设用地土壤污染风险管控和修复名录
重庆钢铁集团钢管有限责任公司	重庆市	60666 m ²	重庆市建设用地土壤污染风险管控和修复名录
重庆市鹏程钢铁有限公司	重庆市	81372 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，217773 m ²	山东省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
青岛焦化制气有限责任公司地块（混合地块1）	山东省	169066.7 m ²	山东省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
益海收储地块（原珠江钢铁厂）	广东省	194132 m ²	广东省建设用地土壤污染风险管控和修复名录
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	/

名称	地理位置	基本情况	来源
		程技术方案编制项目	
凌钢集团朝阳焦化有限责任公司	辽宁省	85642.8 m ²	辽宁省建设用地土壤污染风险管控和修复名录

2.3 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2-4所示。

表 2-4 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
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 粗苯、洗油、硫酸、氨水储存，地下废水池	二氧化硫、氮氧化物 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

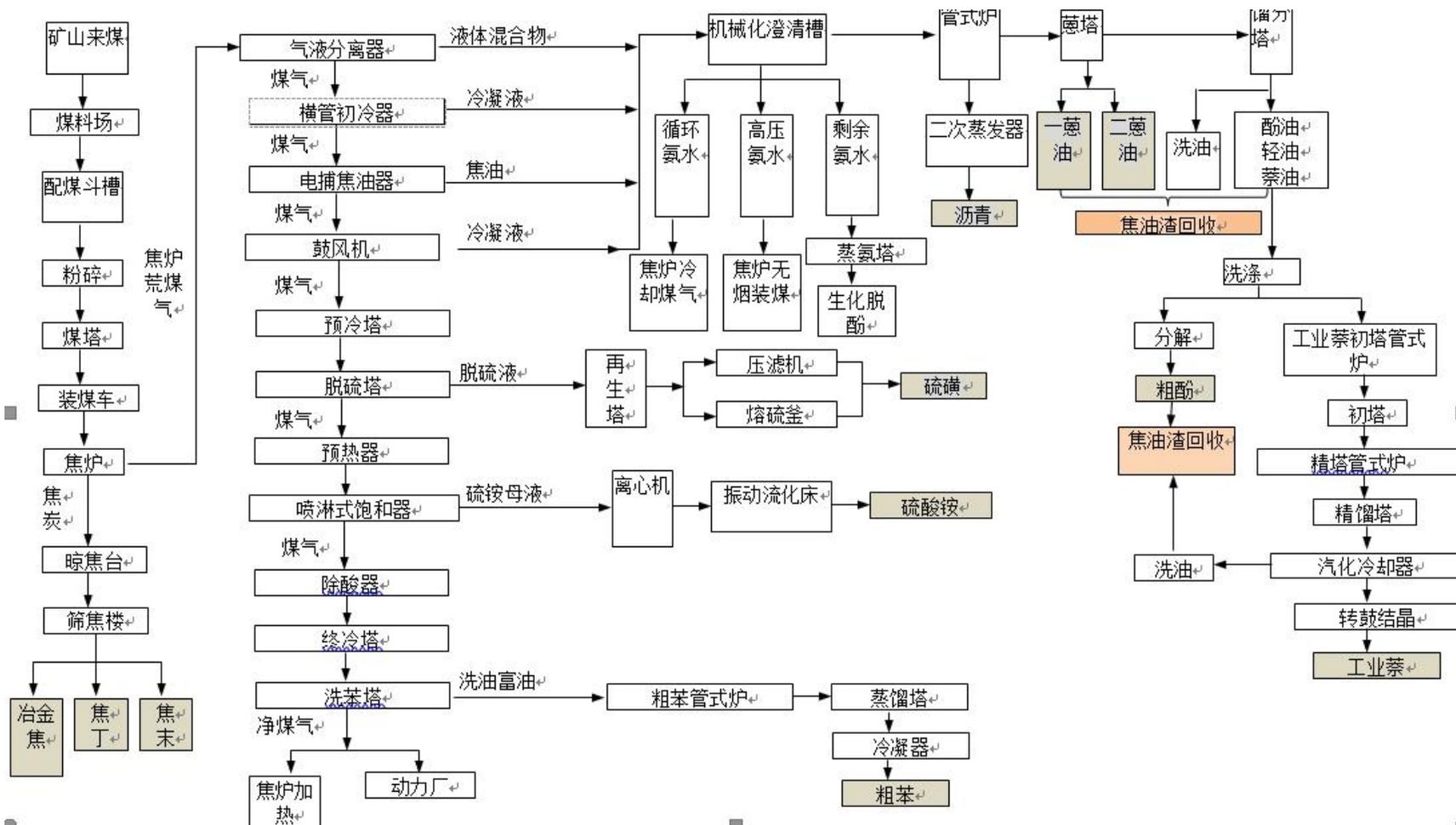


图 2-1 典型焦化厂总体生产工艺示意图

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，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。

从污染深度来看，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。

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一定差异。苯污染的人体健康风险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)芘的人体健康风险主要暴露途径为经口摄入途径（55.00%）和皮肤接触途径（43.33%）。

通过分析各地块不同深度修复面积占场地总面积的比例情况发现，污染超标需要进行修复或者风险管控的深度主要集中表层杂填土，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。

2.4 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) 生物修复技术。
- (2) 焦化污染地块地下水修复技术：包括 f) 抽出-处理技术； g) 抽出-注入技术； h) 吹脱处理技术。
- (3) 焦化污染地块风险管控技术：包括 i) 固化/稳定化技术； j) 阻隔技术； k) 监控自然衰减技术。

a) 热修复技术主要包括水泥窑协同处置技术、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) 生物修复技术主要包括生物堆修复技术

f) 抽出-处理技术

g) 抽出-注入技术

h) 吹脱处理技术主要包括异位吹脱技术、原位空气曝气技术

i) 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

j) 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

k) 监控自然衰减技术

对于上述未提及的相关技术或组合技术，在后期技术验证过程中应当参照相同或相近原理技术的特征指标选择相关指标。

3 技术验证评价在我国的发展历程和发展趋势

环境保护技术验证评价（英文缩写：Environmental Technology Verification, ETV）是指受政府、环境技术开发者（所有者）、技术使用者或其他相关方的委托，依据国家相关法规和标准，根据《环境保护技术验证评价 通则》（以下简称《验证通则》）、《环境保护技术验证评价 测试通用规范》（以下简称《测试通用规范》）的要求，综合运用分析测试、数理统计以及专家辅助评价等方法，对所委托环境技术的环境保护效果、环境影响以及从其他环境观点出发的重要性能进行科学、客观、公正的测试、分析与评价的活动。

3.1 国际环境技术验证评价的发展概况

环境技术验证最早是美国为实现环境技术的商业化推广而提出的。1995年，美国环保署与地方政府、联邦机构联合建立了环境技术验证体系，1995-2001年期间进行了ETV试点，并取得了较好的效果，2001年起美国组建了六个验证中心，由环保署直接管理，正式运行ETV制度，截止2010年，美国基本开展了全部环境技术领域、共443项技术的验证评价；随后，加拿大借鉴美国在ETV制度上的运作经验，也建立了相应的环境技术验证体系。2008年，美国、加拿大等国联合设立了ETV国际工作小组（International Working Group, IWG-ETV），致力于推进ETV国际标准化，建立ETV国际互认。这一举措赢得了中国、日本、韩国等众多国家及欧盟的认可，也使ETV制度快速发展起来，日本开展了9个技术类别、323项技术的验证，韩国ETV管理机构—韩国环境技术产业院的报告指出，通过技术验证评价的技术，其商业化率高达70.2%，远高于科技成果平均转化率，ETV在促进技术转化方面发挥了积极作用。欧盟委员会于2005年开始ETV研究，共开展了36项技术验证，目前已经联合欧盟主要成员国正式开展验证评价试点。

为适应我国市场经济条件下技术创新成果不同需求，对科技成果的水平及其价值做出客观、科学的评价。我国制定了系列政策并发布了相关规范性文件，在规范性文件的指导下，截至目前已经开展了近30个技术验证评价项目。

3.2 我国促进环境技术验证评价发展的相关政策

2009年颁布的《国家环境保护技术评价与示范管理办法》（环发〔2009〕58号）明确规定了我国环境技术评价制度的基本框架、评价模式，ETV作为一种重要的评价模式在该办法中明确。

《关于加快完善环保科技标准体系的意见》（环发〔2012〕20号）、《关于发展环保服务业的指导意见》（环发〔2013〕8号）等指导文件中再次重申了建立ETV制度的重要性。

2018年颁布的《关于促进生态环境科技成果转化的指导意见》（环科财函〔2018〕175号）确定了以生态环境科技成果增值服务为目标，以技术成果验证评价为核心，以人才资源整合为支撑，以系统服务和法律为保障，是全面建设社会协同创新体系的重要组成部分。

2020年《关于加强生态环境技术评估工作增强技术服务能力的实施意见（征求意见稿）》（环办便函[2020]97号）中提出建立健全以有效解决实际环境问题为核心的技术评估工作体系，规范以技术验证（ETV）为核心的生态环境技术评估内容，促进生态环境技术评估服务规范化发展。

目前环境技术验证评价的主要规范性文件包括：

- （1）《环境保护技术验证评价实施指南》，中国环境科学学会发布，2015.06；
- （2）《环境保护技术验证评价 通用规范》（中国环境科学学会发布，T/CSES-1-2015），2015.09；
- （3）《环境保护技术验证评价 测试通用规范》中国环境科学学会发布，（ T/CSES-2-2015 ），2015.09；
- （4）《环境管理 环境技术验证》（GB/T 24034-2019），2019.12；
- （5）《燃煤电厂大气污染物超低排放技术验证评价规范》（T/CSES 09-2020），2020.10。

这些文件初步构建出一套完整的环保技术验证体系，包括可进行技术验证的技术要求，技术报告内容、验证评价工作经费、验证评价机构、质量控制要求等。

2016年11月，国际标准化组织（ISO）正式发布ISO 14034: 2016 Environmental management-Environmental technology verification.在中国标准化研究院的统一协调组织下，中国环境科学学会联合技术验证评价联盟成员单位，组建技术验证评价国家标准起草工作组，成为技术验证评价国家标准工作组主要成员单位。该标准于2019年正式发布，对完善我国环境技术管理体系有着十分重要的意义，同时也为环境技术国际互认提供有力保障。

3.3 环境技术验证评价在我国的管理现状

环境保护技术验证评价联盟是从事环境保护技术研发、咨询、测试服务的中国环境科学学会会员自愿组成，按照社会化、市场化、专业化原则开展第三方技术验证评价项目的合作平台。联盟由中国环境科学学会牵头发起，是学会环境保护科技评价工作平台的有机组成部分，是整合环境评价资源、服务环保科技创新发展的重要窗口。目前已经有**30多家会员单位**，包括科研院所、高校、分析检测机构、各级环境管理部门等。在ETV标准框架下，依托ETV联盟成员单位的技术

力量，目前我国开展案例近30项。并与韩国、丹麦等国开展ETV联合验证，推进环境技术的国际互认。

3.4 我国环境技术验证评价案例

我国首个环境技术验证试点项目于2011年在浙江富阳展开，验证的技术为水蚯蚓原位消解污泥技术。“十一五”期间，水体污染控制与治理科技重大专项专门安排课题对 ETV 制度框架、验证程序、验证规范、评价方法等进行了系统研究，编制了《环境保护技术验证评价实施细则》、《环境保护技术验证评价测试规范》等文件草案，为验证评价的全面实施提供了技术支撑。

2015年，中国环境科学学会联合中国科学院高能物理研究所完成了医疗废物高温干热处理技术的技术验证工作，该技术目前已经实现规模化推广应用；2017年，环境保护技术验证评价联盟与中国环境科学学会完成了废荧光灯管处理过程含汞废气低温等离子体集成处理技术的验证评价。这两个项目的顺利完成检验了技术验证评价在中国的可行性和《环境保护技术验证评价实施指南》的有效性和指导性。整体来讲，在相关政府部门不断加强完善环境保护体制的形势下，我国环境技术验证评价尚处于探索推广阶段。

2015年，经原环境保护部认可，中国环境科学学会牵头组建“环境保护技术验证联盟”，首批有25家学术团体、环保科研院所、监测检测机构、高校等单位加入联盟，联盟成员单位紧密协作，向政府和社会提供优质技术评价服务。

近年来，中国环境科学学会联合技术验证评价联盟成员单位、国家环境保护工程技术中心、会员单位等，在医疗废物高温干热处理、污水防治生物处理、分散性污水处理、燃煤电厂超低排放等领域，联合开展了近30个技术验证评价项目。

表 3-1 我国环境技术验证评价案例汇总表

序号	内 容	数量
1	环境科学学会与中科院高能物理所合作完成《医疗废物高温干热处理技术》验证评价	1 项
2	与丹麦 ETA-Danmark 公司合作，开展《牙科用水消毒技术》验证评价	1 项
3	与韩国环境产业技术研究院合作，对韩国《固体废物分拣》、《污泥脱水》、《自来水厂水源絮凝过滤抚州》等三项技术进行联合验证	3 项
4	与法国 RESCOLL 咨询公司合作，开展《室内空气净化技术》联合验证	1 项

序号	内 容	数量
5	科学学会与环保部对外合作中心开展《水泥窑处置垃圾焚烧飞灰技术》验证项目（全球环境基金项目）	1 项
6	依托“十一五”水专项	5 项
7	863 项目的四项技术成果验证（陶瓷、水泥、活性焦），验证评价结果作为项目验收的依据之一。	3 项
8	环境科学学会完成中科院北京综合研究中心研发的《废荧光灯管处理过程含汞废气低温等离子体集成处理技术》验证评价	1 项
9	依托“十二五”水专项课题，中国环科院与科学学会合作，开展化工、生态修复、造纸废水、废水监测等 9 项水处理技术的验证	9 项
10	辽宁省环科院《城镇污水处理厂蚯蚓处理污泥技术》验证评价	1 项
11	环境科学学会与沈阳环科院开展《医疗废物旋转式高温蒸汽消毒器处理技术》验证评价	1 项
12	环境科学学会与中科院北京综合研究中心开展《医疗废物环氧乙烷消毒处理技术》、《医疗废物热熔固化消毒处理技术》、《医疗废物焚烧烟气二噁英及汞等多污染物低温等离子体集成处理技术》验证评价	3 项
汇 总		30 项

4 制定必要性和重要意义

随着我国环境修复产业的不断发展，人们对环境质量的需求越来越高，对环境修复过程中产生的二次污染问题越来越敏感。环境修复领域内技术有效性和成熟度不够、处理效果不够稳定、能源消耗或者化学处理药剂成本较高等明显制约技术推广应用，多技术集成开发、精细化管理和装备的针对化研制成为主要发展方向。然而，缺少一套公认的程序和方法开展修复技术的有效评估，不利于环境修复领域技术进步、技术推广。

目前，大气环境、水环境在环境技术验证评价工作上进行了一定程度的探索，但环境修复领域尚未开展环境技术验证评价，尤其是对指标选取、评价周期、采样点及采样频率、评价方法等关键问题上缺乏经验，需要结合国内典型类型的污染场地，建立污染地块修复技术验证评价方法体系，并进一步开展验证评价工作。为加速污染场地新技术、新工艺、新产品转化和推广，促进焦化污染场地修复技术的不断创新，提高焦化污染地块修复技术水平提供技术支撑。

因此，以环境技术验证评价技术体系为支撑，编制《焦化污染地块修复技术验证评价规范》，是规范污染地块修复技术验证评价工作，确保验证评价结果的科学性、公正性、客观性的紧迫工作。

5 主要编制过程

5.1 组建编制技术组和研究启动

2020年4月，在中国石油和化学工业联合会的组织协助下，由生态环境部环境规划院牵头，联合安徽国祯环境修复股份有限公司、上海圣珑环境修复技术有限公司、苏州精英环保有限公司、浙江宜可欧环保科技有限公司、上海康恒环境修复有限公司、煜环环境科技有限公司等单位签署了团体标准编制协议，成立了规范编制技术组。2020年5月25日，中国石油和化学工业联合会组织召开了《焦化污染地块修复技术验证评价规范》编制启动会议，规范编制技术组就规范编制大纲和重点研究问题进行了第一次集中讨论和任务分工。

5.2 重点问题研究

2020年7月1日，规范编制技术组召开了第二次工作会议。对不同修复技术类型下的技术验证评价指标体系和验证采样方法等重点问题进行了专题研讨。7月10日，形成了重点问题的研究初稿。

5.3 规范初稿的编制

2020年12月10日，规范编制技术组召开了第三次工作会议。对技术验证程序、现场测试方法等问题进行了专题研讨。12月20日，形成了《焦化污染地块修复技术验证评价规范》第一版初稿。

5.4 专家咨询和规范第二版初稿的编制

2021年1月6日，生态环境部环境规划院牵头组织召开了规范初稿的专家咨询会，就规范格式和重点技术内容进行了重点咨询。会后经修改完善后形成了《焦

化污染地块修复技术验证评价规范》第二版初稿。

5.5 专家咨询和征求意见稿的编制

2021年2月25日，规划编制技术组召开内部研讨会议，对第二版初稿中的内容再次进行研讨。3月25日邀请专家对规范文本和格式进行了把关，经修改完善后于4月7日形成了《焦化污染地块修复技术验证评价规范》（征求意见稿）。

5.6 公开征求意见并修改完善

2021年4月13日，《焦化污染地块修复技术验证评价规范》（征求意见稿）及编制说明面向社会公开征求意见，共收到14家单位92条意见。规范编制技术组针对意见逐一讨论，形成《焦化污染地块修复技术验证评价规范》（送审稿）。

6 规范制定原则和依据

6.1 制定原则

本研究在借鉴国外验证评价体系发展的经验教训基础上，以实现验证评价体系的可持续的发展，推动环境修复技术的创新发展为目标，确定了焦化污染地块修复技术验证评价规范的设计原则。

（1）在我国环境技术验证评价通用规范指导下开展研究和编制。环境技术验证评价通用规范是各个领域各种技术验证评价技术规范编制的指导性文件，需要在该文件确定的技术验证评价的程序、评价指标体系的框架范围下开展本规范的研究。

（2）充分结合焦化污染地块当前修复主流技术和未来一段时间技术发展趋势开展针对性的评价指标的设计。

（3）做好通用性要求和差异性要求的衔接。

6.2 制定依据

6.2.1 政策法律依据

国家对环境保护的有关法律、法规，如《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日施行）等。

6.2.2 技术依据

《环境保护技术验证评价实施指南》中国环境科学学会发布，2015.06；

《环境保护技术验证评价 通用规范》（中国环境科学学会发布，T/CSES-1-2015），2015.09；

《环境保护技术验证评价 测试通用规范》中国环境科学学会发布，（T/CSES-2-2015），2015.09；

《环境管理 环境技术验证》（GB/T 24034-2019），2019.12。

7 主要条款说明

7.1 适用范围

7.1.1目前中试技术和已有工程化但应用范围和数量仍较为有限的，技术拥有方有意愿开展技术验证评价的技术。

7.1.2适用于修复技术拥有方、修复工程施工方为了客观、公开评价技术性能和修复效果而委托第三方技术验证评价单位开展的评价过程。

7.1.3适用于焦化污染地块修复技术或组合技术的验证评价，现有修复技术的验证评价也可参照本文件执行。

7.2 技术验证评价的实施程序

采用本规范开展焦化污染地块修复技术验证评价，工作程序、方法应符合《环境保护技术验证评价 通用规范（试行）》（T/CSES-1）、《环境保护技术验证评价 测试通用规范（试行）》（T/CSES-2）的规定。

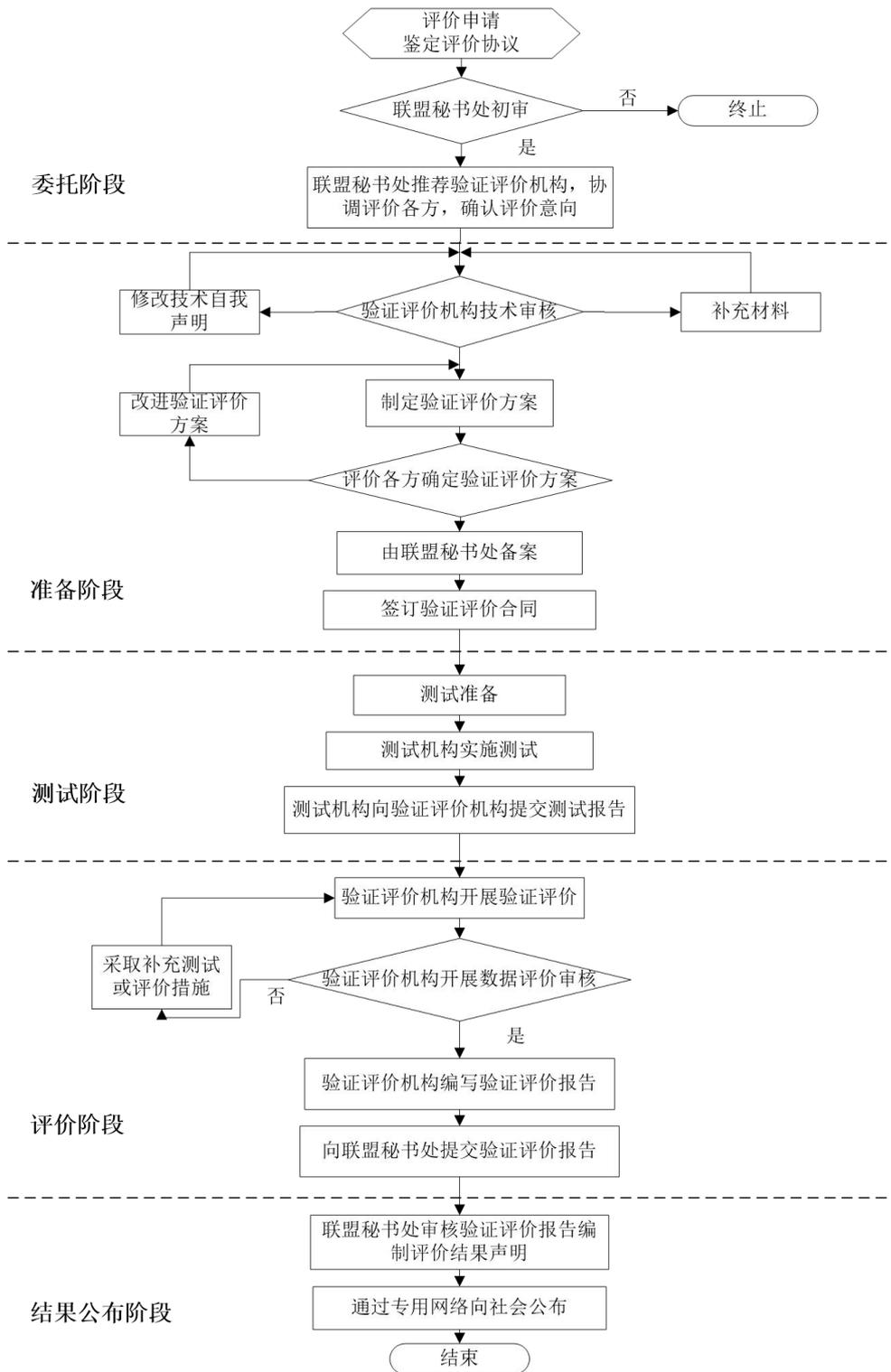


图 7-1 验证评价流程

7.3 资料收集

本规范针对焦化污染地块修复单项技术或组合技术开展验证评价，综合收集技术的基本原理、适用范围、设计参数等，从环境效果、工艺运行以及维护管理

开展全面评价。根据污染地块修复技术特点，本规范提出资料收集清单，具体内容见表7-1。

资料收集主要包括技术基本情况、技术应用地块情况、已有数据三部分。技术基本情况主要以工艺原理、技术特点、主要设备、设计参数、技术自我声明等技术描述性文件为主，阐明技术主要创新点、适用条件、二次污染等情况。设计参数反映了验证评价项目的设计条件，本规范根据不同技术的技术类型，制定了相应的技术参数，由技术持有方从工艺运行参数中选取能够反映技术特点、可公开的设计参数，供验证评价机构参考。

由于土壤的不均质性以及不同地块水文地质条件的差异性，同一修复技术对不同地块土壤的修复效果具有较大的差异性。因此，应明确验证技术应用地块的情况，包括地块概况、地块水文地质情况、土壤污染特征、修复设施概况、平面布置图等情况，如涉及地下水修复，则需要包括地下水污染特征，污染羽的情况等。明确污染地块目标污染物、初始浓度以及修复目标。

可以收集技术持有方以往的运行数据与资料作为验证评价的参考资料，同时，在验证过程中，技术持有方应记录能耗、水耗、材料以及药剂的消耗等台账，为验证评价单位提供依据。

表 7-1 验证技术资料收集清单

分 类	指 标	单 位	适用情况
技术基本情况	技术简介	/	
	工艺原理	/	
	工艺流程图	/	
	适用范围	/	
	技术特点	/	
	技术创新性	/	
	技术自我声明	/	
	主要设备	型号、数量、规格参数等	
	设计参数	/	根据修复技术特点确定
	环境处理效果	mg/kg、mg/L	
	修复需要时间	月	
	修复成本	元/方	
	二次污染情况（固体废物、废水、废气、噪音产生情况）	/	
其他	/		
技术应	工程概况	/	

用地块 情况	地块水文地质情况	/	
	土壤污染特征	/	土壤修复技术
	地下水污染特征	/	地下水修复技术
	污染羽情况	/	地下水修复技术
	目标污染物初始浓度	mg/kg、mg/L	
	目标污染物修复目标/GB36600 中一类用地筛选值	mg/kg、mg/L	
	修复设施概况	/	
	平面布置图	/	
	工艺参数	/	
已有数 据	土壤污染数据	mg/kg	
	地下水污染数据、污染羽的变化情况	mg/L	
	实际材料和药剂的消耗台账	/	
	能耗	标准煤	
	水耗	/	

7.4 验证指标体系的确定

7.4.1 通用性指标体系

根据《环境保护技术验证评价通用规范（试行）》（T/CSES-1-2015），环境技术验证评价指标一般分为环境效果指标、维护管理指标和工艺运行指标三类，具体的评价指标根据被评价技术对象特点确定。

《环境保护技术验证评价实施指南》中提出验证评价的主要技术内容包括：

- （1）技术的科学性、对环境法规和标准的符合性等；
- （2）反映污染物削减效果的性能参数（**环境效果参数**）；
- （3）反映技术特点的特征工艺参数（**特征性工艺技术参数**）；
- （4）反映原材料消耗、能耗等水平的经济参数（**原辅材料消耗、能源消耗等经济参数**）；
- （5）反映连续稳定运行的可靠性参数；
- （6）反映运行维护水平的管理参数等（**运行管理参数**）；

综合上述要求，环境技术验证评价指标从如下三个方面进行设计：

（1）**环境效果指标**（去除后的污染物是否达标和污染物去除率等）：应根据被评价技术处理的目标污染物等来选取。目标污染物包括通用性污染物和特征性污染物；

（2）**维护管理指标**：是指维护管理指标包括工艺运行过程中产生的二次环

境影响（包括介质中共存物质在运行过程中产生的影响）、去除单位污染物的原材料消耗和能耗及运行成本等、运行及维护管理性能参数；

（3）工艺运行指标：应根据被评价技术的具体情况确定。根据处置技术正常运行时需要控制和维持的**工艺运行参数**、处置技术连续稳定运行时所需要的参数等进行确定。

评价结论主要从如下方面得出：

（1）环境效果方面的指标的评价结果。通过实验室分析测试数据，说明在测试时间内采集的各个测试样品的分析结果，与相关污染物排放标准、污染物浓度标准相比较后，说明是否达到排放标准或者污染物浓度标准的状况；

（2）反映工艺运行参数。根据实际运行情况，如实记录和反映各项工艺运行参数的数值情况，如反应温度、反应时间、搅拌速度、工艺运行过程中的压力参数等；

（3）反映维护管理方面的指标数值。通过计算后说明设施的处理能力、说明处理单位污染物的电耗、蒸汽消耗量、煤耗、水耗、燃油消耗量等实际运行参数，可统一折算为处理单位污染物的标准煤消耗数量。

7.4.2 焦化污染地块修复技术验证评价指标体系的构建

根据上述通用性要求，本规范确定焦化污染地块修复技术验证评价指标主要包括修复效果指标、工艺运行指标和维护管理指标等三类。本规范中按技术的特点将焦化污染地块修复技术进行如下划分：

（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) 生物修复技术。

（2）焦化污染地块地下水修复技术：包括 f) 抽出-处理技术； g) 抽出-注入技术； h) 吹脱处理技术。

（3）焦化污染地块风险管控技术：包括 i) 固化/稳定化技术； j) 阻隔技术； k) 监控自然衰减技术。

a) 热修复技术主要包括水泥窑协同处置技术、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) 生物修复技术主要包括生物堆修复技术
- f) 抽出-处理技术
- g) 抽出-注入技术
- h) 吹脱处理技术主要包括异位吹脱技术、原位空气曝气技术
- i) 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
- j) 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
- k) 监控自然衰减技术

表 7-2 焦化污染地块修复技术验证评价指标体系框架

一级指标	二级指标	三级指标
修复效果	目标污染物	重金属、其它污染物：酚类、氰化物、硫化物、氟化物、氨、砷
		挥发性有机物：苯系物（BTEX）
		半挥发性有机物：多环芳烃（PAHs）
	石油烃类（TPH）	
	工程性能指标	抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施的连续性和完整性
工艺运行	技术参数	影响半径
		热效率
		其他
	运行参数	温度、压力、流量、药剂添加量、频率、处理量、时间
其他		
维护管理	基建费用	修复及配套系统建设投资
	资源能源、材料消耗	水耗
		能耗（燃气消耗量，汽油柴油消耗量、电力消耗）
		材料、化学药剂消耗量
		人工、机械
其他		

	二次污染	土壤/地下水	过程产物、降解产物
		固体废物	一般工业固体废物、危险废物产生量
		废水	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标
		废气	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标
		噪声	等效连续 A 声级 (LAeq)
	运行可靠性	连续稳定运行时间	
		故障及异常发生频率	
		故障严重程度	
		排查故障时间	
		日常维护保养时间	
		其他	

1、修复效果指标：修复效果指标应根据技术自我声明、测试对象和被评价技术的修复目标污染物等来选取，一般用去除率或达标率进行表征。目标污染物包括重金属和其他污染物、挥发性有机物、半挥发性有机物和石油烃类，可参考表7-2，具体污染物根据实际技术应用地块确定。工程性能指标应包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施的连续性和完整性等。

由于固化稳定化技术只是改变污染物的形态，并未将污染物从土壤中彻底去除，因此，不仅需包括目标污染物在分析测试期间的处理效果，还应考虑固化稳定化技术的长期稳定性。

2、工艺运行指标：工艺运行指标应根据被评价技术的具体特点确定，选择直接对修复技术稳定运行及污染物处理效果产生影响的工艺运行指标，如温度、压力、流量、药剂添加量、频率、处理量、时间等。根据不同修复技术特征，本规范提出典型修复技术工艺运行指标。对于表中未提及的相关技术，应当参照相同或相近原理技术的特征指标选择相关指标。不同土壤类型对修复技术工艺运行参数的影响很大，因此技术验证评价过程中应同时测定土壤的各种理化性质指标，包括土壤有机质含量、土壤容重、土壤含水率、土壤颗粒密度等指标，以提高工艺运行参数的针对性和有效性。

3、维护管理指标：维护管理指标指环境修复设施日常运行、维护指标，包括药剂消耗、材料消耗、能源消耗，二次污染、操作的难易程度、技术设施运行稳定性等，应根据焦化污染地块修复技术的具体情况选取。

(1) 经济性指标主要包括处理设施建设和运行费用两种类型。运行费

用包括水资源消耗、能源消耗、材料消耗和药剂消耗等。材料消耗指真空抽提风机、废水处理设备、废气处理设备、助燃风机、燃烧器等设备的消耗；能源消耗指天然气消耗、电耗、用电负荷等。

(2) 二次污染指标指的是修复过程中产生副产物的情况，同时考虑采取一定技术处理后是否达标的情况。包括修复过程中固体废物（含危险废物）的产生量、处理处置措施，废水产生量以及达标情况，废气（含恶臭）产生量以及达标情况、噪声达标情况，用来判断修复技术的二次污染控制情况和对周边公众的社会影响。

(3) 维护管理性能主要是包括经常发生故障和异常的设备、故障及异常发生频率故障排除的难易程度。

7.5 验证评价方法

基于验证评价指标体系，为了对验证测试技术的先进性、可靠性、经济性等进行测试，本文件确定了以定量测试分析为主，定性描述为辅的测试原则，并对具体的验证测试方法进行了规定。各评价指标能采用国标法进行定量分析的均优先采用国标法，对于尚无国标法或目前尚不能进行定量分析，则采用验证测试规程推荐方法进行定量或定性评价。

焦化污染地块修复技术验证测试工作采取现场验证测试结合实验室测试的方式开展。现场验证测试主要针对噪声样品、大气样品和废水样品，数据可靠，评价费用低。由于土壤现场快速检测设备的数据尚不能定量，且与实验室数据有较大差异，因此，土壤样品均需送至实验室进行检测分析。

7.5.1 验证评价测试周期

验证评价测试周期是验证评价过程中一个需要重点考虑的关键因素。验证周期的长短直接关系到是否能全面反映验证技术在各种工况条件下的各种效能，同时也影响到验证测试的经济成本。验证时间过长虽然可完整的体现测试技术在各种工况条件下的效果，但会明显增加验证测试的成本，影响验证评价工作开展的经济可行性和推广性；而验证时间过短，则难以全面反映在各种不同情况下处理工艺技术的使用效果及可靠性。因此，本规范中针对土壤修复技术规定了最长验

证周期，针对风险管控技术规定的最少验证周期。由于土壤修复设备（系统）刚启动后需要进行调试以及试运行，调试以及试运行阶段无法真实客观的反映技术性能，因此，验证周期从正式运行开始。

测试周期选择要反映所有技术运行工况，如启动、温度变化、负荷变化等，借鉴国内外验证技术测试周期，本规范针对不同焦化污染地块修复技术给出了推荐的测试周期，具体验证周期应由验证机构、测试机构、专家组结合实际情况确定。测试周期的确定原则如下：

（1）应满足对验证技术性能的有效性和可靠性、运营维护管理的稳定性和经济性以及操作难易程度等的测试要求；

（2）应反映被验证技术对环境条件的适应性，例如：低温条件对生物堆技术运行稳定性影响较大，测试周期应至少涵盖30天低温期；

（3）应反映被验证技术对特征污染物的去除效果；

（4）应反映污染物负荷周期变化和抗冲击能力；

（5）在考虑科学合理采样频率的条件下，应满足数据评价最低样本数要求。

7.5.2 采样点和采样频率

根据所收集的技术资料，充分研究验证技术工艺流程、技术特点、创新点、已有数据等信息，合理设置具有代表性的采样点。采样点位的设置应符合HJ25.5、HJ25.6的相关规定，并尽量将采样点设置在修复薄弱区。

采样频率应能满足可真实反映验证工艺绩效的最低样本数的要求。土壤中目标污染物应至少在验证周期末期采集1批次样品；地下水中目标污染物应至少在验证周期中期和末期采集2批次样品；验证周期内产生的固体废物应至少在验证周期末期采集1批次，不少于2个样品；已经明确为危险废物（如废活性炭）并计划送至危废处置中心的，可不进行采样检测；验证周期内废水应满足GB 8978要求；验证周期内废气应满足GB/T16157和GB/T16297等要求；验证周期内噪声测试应满足GB 12348要求。

样品采集时，需对每个样品贴上标签，注明样品编号、样品类型、采样时间等信息，样品标识应具有唯一性，避免混淆和出错，并保证样品量足够用于检测分析。采样人应及时填写采样记录表。所有样品信息都需要在采样记录表中体现，采样记录表作为评价过程记录文件，需妥善保存。

样品的保存参照标准方法执行，测试机构现场工作人员采集好样品，并用专门的样品箱保存样品，根据要求保存要求及时送至实验室。样品运输前应将容器的外（内）盖盖紧，装箱时应用泡沫塑料等分隔，以防破损，运输过程中，做好防震处理，避免日光照射，并要防止新的污染物进入容器或玷污瓶口。

7.5.3 验证评价指标的测试方法

1) 环境效果指标测试方法

对于环境效果指标的检测应优先选择现行的国家或行业标准方法作为检测方法。样品检测实验室应具备相应检测资质，分析方法应在实验室资质认定范围内使用；优先选用GB36600、HJ/T 166、GB/T 14848等标准指定的检测方法；暂无标准检测方法时，可选用行业统一分析方法或等效分析方法，但须进行方法确认和验证。

2) 工艺运行指标测试方法

工艺运行指标应优先选择现行的国家或行业标准方法作为测试方法。在企业已有数据真实可信的条件下，可直接采用企业自测数据；在企业数据缺失或可疑情况下，应开展现场测试。

技术治理设施的工艺参数参照其工程技术规范的相关规定执行，无工程技术规范的应选择适当的方法，污染物浓度测定按照其对应的标准方法的相关规定执行。

3) 维护管理指标测试方法

对于操作及维护管理过程，应当记录故障发生时间、原因、排除方法，并对测试期间的故障次数、故障频率等进行统计，考察故障和异常的发生频率。记录故障发生时间、是否可以简单的排除故障及排除故障所需时间，考察故障排除的难易程度。检查并记录设备的连续稳定运转时间，考察设备稳定运转性能。检查并记录自动控制的可靠性，手动系统的可靠性等，考察控制系统的可靠性。

对于二次污染、原料及资源消耗指标可以通过设备运行参数获得，具体获取方式可参考表7-3所示方法。

表 7-3 药剂消耗和能耗、二次污染指标的获取方式

项目分类	运行及维护管理项目	单位
基建费用	修复及辅助系统建设投资	万元
资源能源、材料消耗	水耗	t/h

		药剂、材料种类及用量	t/h
		能耗	Kw·h 或 KJ
		人工	人/天
		单台套仪器设备的占地面积	m ²
		其他	/
二次污染	土壤/地下水	过程产物、降解产物、外源性化学物质	mg/kg (土壤), mg/L (地下水)
	固体废物	一般固废、危险废物产生量	t/h
	废水	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标	/
	废气	关注污染物、常规污染物排放量、是否达标	/
	噪声	等效连续 A 声级 (LAeq)、达标情况	/
运行可靠性		连续稳定运行时间	h
		故障及异常发生频率	次
		故障严重程度	/
		故障排除的时间	h
		其他	/

7.5.4 验证评价指标的数据处理

验证评价一般可采用均值、中位数、数据范围、方差等对修复效果指标、工艺运行指标、维护管理指标进行统计分析，依据统计分析结果做出科学、合理的评价。

1) 污染物去除率

污染物去除率是验证评价环境效果的重要参数，按照以下公式计算污染物的去除率。

$$\sigma = \frac{C_{i0} - C_i}{C_{i0}} \times 100\%$$

式中：

C_{i0} ——验证场地第*i*种污染物初始浓度的最大值，单位为mg/kg（土壤），mg/L（地下水）。

C_i ——验证场地第*i*种污染物验证结束后浓度的最大值，单位为mg/kg（土壤），mg/L（地下水）。

2) 达标率

土壤可采用逐一对比或统计分析的方法进行修复效果评价。样本数小于8个

时，采取逐个对比法；样本数大于等于8个时，可以采取统计分析方法。效果评价方法可参见HJ25.5。

针对地下水，技术验证时可采用趋势分析法进行持续稳定达标判断，在95%的置信水平下，趋势线斜率显著大于0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与0没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。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或修复极限。效果评价方法可参见HJ25.6。

3) 运行可靠性

运行可靠性指标主要根据连续稳定运行时间、维护管理难易程度、故障发生频率、排除故障的难易程度、维护管理所需要的技能水平等来进行分析和判断。评价结果可分为：

a)运行可靠 运行稳定、基本没有发生故障情况；

b)运行基本可靠 发生过故障，但没有影响整体运行，故障很容易被排除的情况；

c)运行可靠性差 故障频繁或故障发生后不易排除等情况。

4) 经济性

经济性指标主要根据建设费用、运行费用、维修费用、折旧费用进行综合评价。

建设费用：一般可采用单套设备设施的投资和单位时间处理量的比值，以单位时间内每处理一方污染土或污染水的基建投资进行评价。

运行费用：一般可采用修复单位土方量或水量所对应的水耗量、能耗、药剂和材料消耗、人工成本、机械成本等之和进行评价。

维修费用：主要通过污染治理设施维修频率和单次维修费用进行评价。

折旧费用：主要通过污染治理设施的使用年限进行评价。

5) 环境友好性

根据技术产生废水、废气、噪声、固体废物等二次污染情况评价技术的环境影响。

废水指标一般用修复单位土方量清洁水使用量、废水产生量、废水回用率或排放率、是否达标排放等进行评价；

废气指标一般用修复单位土方量废气排放量、是否达标排放进行评价；

噪声指标一般用是否达到工业企业厂界环境噪声排放标准进行评价；

固废指标一般用修复单位土方量固废/危废产生量、危险废物是否交由有处理资质单位统一处理处置等定量化评价。

6) 维护管理方便性

根据维护管理工作量、维护管理难易程度、维护管理所需要的技能水平等评价焦化污染地块修复技术的维护管理性能。维护管理工作量小或操作简单，掌握技术难度较小则可认为维护管理方便性好。维护管理工作量大或操作复杂，掌握技术难度较大则可认为维护管理方便性差。

7.6 验证结果的应用

根据技术验证评价结果，推荐是否纳入生态环境部《污染场地修复技术目录》、生态环境部《重点环保实用技术及示范工程》、发改委《绿色技术推广目录》、工信部《国家鼓励发展的重大环保极少数装备目录》等省部级目录。

8 与相关标准的关系分析

本规范规定的内容均符合国家相关的环保政策。同时，本规范作为我国环境技术评价体系中的一部分，在编制过程中，有关条款能引用国家现有国家标准或行业标准的直接进行了引用，尽量避免重复，力求简化。内容上力求突出焦化污染地块修复技术验证评价特有的技术要求，层次上尽量体现与各标准之间的衔接配套关系。对于土壤修复效果指标这类通用的监测方法（例如多环芳烃、苯系物等污染物指标）在本验证评价规程中没有做出规定，可直接参考国家已制定的标准测试方法。

采用本规范开展焦化污染地块修复技术验证评价，工作程序、方法等还应符合《环境保护技术验证评价 通用规范（试行）》（T/CSES-1）、《环境保护技术验证评价 测试通用规范（试行）》（T/CSES-2）的规定。

9 其他应说明的事项

鉴于本规范为首次制定，在实施过程中可采用先试行，根据反馈的问题和技术进步情况，进行进一步的修订完善，力争最终形成适用的、先进的环境修复技术验证评价的规范性技术文件，更好的满足我国生态环境技术评价需要。此外，随着经济的发展和技术的进步，以及对环保技术研究的不断深入及实践经验的不断积累，根据环境技术发展的实际需要，指标体系和规范的内容应不断得到完善、拓展和更新。