

ICS XXXXXXX

Z XXX

团 体 标 准

T/ACEF ***-2023

有机污染地块多相抽提修复技术验证 评价规范

Evaluation specification for validation of multiphase extraction remediation
technology for organic contaminated site
(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中 华 环 保 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 基本规定 2

5 资料收集 3

6 验证评价指标体系 4

7 验证评价测试 5

8 验证评价及报告编制 7

附录 A 10

附录 B 11

附录 C 12

附录 D 15



前 言

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

本文件为首次发布。

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。

本文件由上海大学提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件主编单位: 上海大学

本文件参编单位:

本文件主要起草人:



有机污染地块多相抽提修复技术验证评价规范

1 范围

本文件规定了有机污染地块多相抽提修复技术验证评价的总体要求、资料收集、验证评价指标体系、验证评价测试要求和验证评价及报告编制等。

本文件适用于有机污染地块多相抽提修复技术验证评价。

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（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB 8978	污水综合排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 14848	地下水质量标准
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 16297	大气污染物综合排放标准
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）
GB 37822	挥发性有机物无组织排放控制标准
GB/T 50887	工业企业噪声控制设计规范
HJ/T 20	工业固体废物采样制样技术规范
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 25.5	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 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 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 1165	污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附
HJ 2025	危险废物收集、贮存、运输技术规范
T/CSES 1	环境保护技术验证评价通用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

技术验证评价 environmental technology verification

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，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。

[来源：环境保护技术验证评价实施指南，有修改]

3.2

多相抽提 multiphase extraction

采用真空提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和非水相液体（NAPL）到地面上分离和处理，控制和修复土壤和地下水有机污染物的技术。

[来源：HJ 1165，有修改]

3.3

环境效果指标 remediation performance parameter

对目标污染物去除效果及环境质量影响的指标。

[来源：T/CSES 1，有修改]

3.4

工艺运行指标 process and operation parameter

对多相抽提修复系统稳定运行及污染物修复效果产生影响的技术参数和运行参数。

[来源：T/CSES 1，有修改]

3.5

维护管理指标 maintenance and management parameter

表征多相抽提系统稳定运行的可靠性，经济性及维护管理方便性的维护管理指标。

[来源：T/CSES 1，有修改]

3.6

测试周期 test period

根据环境保护技术验证评价目标、测试要求，以及污染物负荷、生产周期、环境条件等，为达到验证评价目标所需要的最短测试时间。

[来源：T/CSES 1]

4 基本规定

- 4.1 验证评价应遵循科学性、客观性和公正性的原则。
- 4.2 验证评价应对环境效果、工艺运行以及维护管理综合评价。
- 4.3 验证评价程序应符合 GB/T 24034 和 T/CSES 1 的规定。
- 4.4 验证评价启动前，应编制验证评价方案，明确验证评价指标。验证评价指标应以定量为主、定性为辅，宜包括环境效果指标、工艺运行指标、维护管理指标。验证评价方案、验证评价指标应由验证评价机构，根据被验证技术特点确定，并经专家委员会评审通过。

5 资料收集

5.1 一般要求

- 5.1.1 验证评价工作启动前，应对验证评价技术资料收集、整理和分析，验证评价机构应对技术资料有效性判断。
- 5.1.2 技术资料应包括技术应用情况、技术应用地块和已有数据，技术资料收集清单见附录 A。

5.2 技术应用情况

5.2.1 技术简介

技术简介应包括工艺设计方案、工艺流程图、主要设备、技术特点及创新点。

5.2.2 技术适用性

技术适用性应包括修复技术对污染物种类、污染物浓度、修复目标等场景下的可行性。

5.2.3 技术自我声明

技术自我声明应包括多相抽提技术的适用范围、修复效果、工艺运行指标、维护管理情况等。

5.2.4 设计参数

工艺设计参数应根据技术类型提供反映技术特点的设计参数，供验证评价参考，设计参数应客观反映真实水平。

5.2.5 去除率

目标污染物的去除浓度与目标污染物初始浓度的比值。

5.2.6 修复成本

修复成本包括时间成本、金钱成本及人力成本。

5.2.7 三废及噪声污染情况

废水、废气、固体废弃物的排放量以及噪声污染的等级。

5.3 技术应用地块

技术应用地块情况应包括地块概况、地理位置、工程规模、地块地质与水文地质条件、土壤污染特征、地下水污染特征、气相有机物污染、溶解性有机物污染及 NAPL 等污染情况，以及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、现场技术验证评价测试条件等。

5.4 已有数据

已有数据应在保护技术持有方知识产权的前提下，包含土壤污染数据、地下水污染数据和污染物变化、实际材料和药剂消耗台账，经审核后可作为验证评价资料。数据应真实、可靠，且应提供获得数据的运行条件、环境条件等。已有数据审核应符合 T/CSES 1 的规定。

6 验证评价指标体系

6.1 指标体系

技术验证评价指标体系应符合表 1 的规定。

表 1 技术验证评价指标体系

一级指标	二级指标		三级指标
环境效果	土壤和地下水目标 污染物去除效果	去除率	石油烃、卤代烃、苯系物、多环芳烃、苯胺类和联苯胺类及酚类
		达标率	
	环境质量影响	土壤/地下水	过程产物、降解产物、孔隙结构、地下水位
		固体废物	一般工业固体废物、危险废物产生量
		废水/废气	污染物排放是否达标
工艺运行	技术参数		影响半径、井深、井距、井径、理论真空度、理论抽提气量及流量、油水分离停留时间、废气吸附停留时间、吸附容量
	运行参数		真空度、气液流量、PID（废气浓度）、温度、抽提液位、油水液位、NAPL 罐液位、活性炭饱和度、空气湿度
维护管理	运行可靠性	连续稳定运行时间	
		故障及异常发生频率	
		故障程度	
	经济性	水耗	
		能耗	
		药剂、材料种类及用量	
		人工、机械	
		单台（套）仪器设备占地面积	
	维护管理方便性	排查故障时间	
		日常维护保养时间	

6.2 环境效果指标

环境效果指标应包括目标污染物和环境质量指标。环境效果指标宜符合下列规定：

a) 目标污染物应根据测试对象和修复目标选取，宜用去除率或达标率表征，污染物应根据实际技术应用地块确定，目标污染物见附录 B。

b) 环境质量指标应包括土壤/地下水中的过程产物和降解产物、一般工业固体废物和危险废物产生量、废水/废气污染物排放是否达标、噪声等效连续 A 声级等污染指标。

6.3 工艺运行指标

6.3.1 工艺运行指标应包括技术参数和运行参数。

6.3.2 工艺运行指标应根据修复技术实际情况确定，当修复技术不足以完成场地修复任务时，可采用蒸汽注入、电阻加热、增溶脱附等强化方法与多相抽提技术联用，修复技术及强化手段的常见工艺运行指标见附录 C。

6.4 维护管理指标

6.4.1 维护管理指标应根据修复技术实际情况选取。

6.4.2 维护管理指标应包括运行可靠性、经济性、维护管理方便性等。

7 验证评价测试

7.1 测试周期

7.1.1 确定修复技术测试周期前，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信息。

7.1.2 测试周期设定应满足修复效果、运行可靠性、稳定性、技术经济性、环境质量等。

7.1.3 测试应从正式运行开始，测试周期内应至少选择 3 天开展现场调查，测试时间应根据修复技术特点确定。测试周期见附录 D。

7.2 环境效果指标

7.2.1 样本数、采样点和采样频率

7.2.1.1 样本数和采样点应根据技术工艺流程、技术特点、已有数据等确定，应符合下列规定：

a) 土壤样本数和采样点位应符合 HJ 25.5 的规定，地下水样本数和采样点位应符合 HJ 25.6 的规定，必要时应在修复薄弱区加密布点；

b) 有组织排放废气样本数及采样点位可参照 GB/T 16157 或地方标准执行，无组织排放废气样本数及采样点位应按 GB/T 16297 或地方标准执行。

7.2.1.2 采样频率应符合下列规定：

a) 土壤中目标污染物应至少在验证评价周期末期采集 1 批次样品；

b) 地下水中目标污染物应至少在验证评价周期中期和末期采集 2 批次样品；

c) 验证评价周期内产生的固体废物应至少在验证评价周期末期采集 1 批次，不应少于 2 个样品，已列入国家危险废物名录的可不采样检测；

d) 验证评价周期内废水采样频率应符合 GB 8978 的规定；

e) 验证评价周期内废气采样频率应符合 GB/T 16157 和 GB/T 16297 的规定；

f) 验证评价周期内噪声测试频率应符合 GB 12348 的规定。

7.2.2 样品采集和保存运输应符合下列规定：

a) 土壤样品采样和保存运输应符合 HJ 25.2 和 HJ/T 166 的规定；

b) NAPL 自由相污染物的收集、贮存和运输应符合 HJ 2025 的规定；

c) 废水样品采样和保存运输应符合 HJ 164、HJ 493、HJ 494 和 HJ 495 的规定；

d) 废气样品采样和保存运输应符合 GB/T 16157 的规定；

e) 固体样品采样和保存运输应符合 HJ/T 20 的规定。

7.2.3 验证评价测试方法宜符合 GB 36600、HJ/T 166、GB/T 14848 的规定。当指标无测试方法时，可由测试机构自行开发，并采用方法学验证评价，形成可操作文件，并作为测试报告的附件。

7.3 工艺运行指标

工艺运行指标应包括技术参数和运行参数。指标获取方式见表 3。

表 3 工艺运行指标获取方式

指标参数分类	具体参数	获取方式
技术参数	影响半径	技术持有方提供，验证评价机构资料审核及现场查验
	井深	
	井距	
	井径	
	理论真空度	
	理论抽提气量及流量	
	油水分离停留时间	
	废气吸附停留时间	
	吸附容量	
运行参数	真空度	验证评价周期内实时记录，台账法
	气液流量	
	废气浓度	
	温度	
	抽提液位	
	油水液位	
	NAPL 罐液位	
	活性炭饱和度	
	空气湿度	

7.4 维护管理指标

维护管理指标应包括运行可靠性、药剂消耗和能源消耗、维护管理方便性，指标获取方式见表 4。

表 4 维护管理指标获取方式

指标参数分类	具体参数	获取方式
运行可靠性	连续稳定运行时间	记录设备连续稳定运转时间，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，并对测试期间故障次数、故障频率等统计，台账法
	故障程度	评估并记录故障的程度，台账法。
经济性	水耗	计量泵或计量表，台账法
	能耗	全部测试对象的燃气消耗量，汽油柴油消耗量，电力消耗量等能源消耗，实际测量或计算，台账法
	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
	人工、机械	人数统计台账和设备清单，台账法
	单台（套）仪器设备占地面积	设备参数查询或人工测算
维护管理方便性	故障排除的时间	记录故障发生时间及排除故障时间，台账法
	日常维护保养时间	记录日常维护保养时间，台账法

8 验证评价及报告编制

8.1 目标污染物去除效果评价

8.1.1 去除率

污染物去除率（σ）可按公式（1）计算：

$$\sigma=\frac{c_{i0}-c_i}{c_{i0}}\times100\%$$

(1)

式中：

c_{i0} —场地第 i 种污染物初始浓度的平均值，土壤单位为毫克每千克（mg/kg），地下水单位为毫克每升（mg/L）；

c_i —场地第 i 种污染物验证结束后浓度的平均值，土壤单位为毫克每千克（mg/kg），地下水单位为毫克每升（mg/L）。

8.1.2 达标率

土壤修复效果验证评价可采用逐一对比或统计分析方法。样本数小于 8 个时，应采取逐个对比法；样本数不小于 8 个时，可采取统计分析方法。效果评价方法可按 HJ 25.5 执行。

地下水修复效果验证评价时可采用趋势分析法对持续稳定达标判断，可按下列规定判断：

- a) 在 95%置信水平下, 趋势线斜率显著大于 0, 可表明地下水中污染物浓度呈现上升趋势;
- b) 趋势线斜率显著小于 0, 可表明地下水中污染物浓度呈现下降趋势;
- c) 趋势线斜率与 0 无显著差异时, 可表明地下水中污染物浓度呈现稳态;
- d) 地下水中污染物浓度呈现稳态或下降趋势时, 可判断地下水达到修复效果或修复极限;
- e) 效果评价方法可按 HJ 25.6 执行。

8.2 环境质量指标评价

有组织废气、无组织废气、废水、噪声评价应采用逐一对比法, 应符合下列规定:

- a) 废水指标: 废水若纳管排放的, 应达到现行国家标准 GB 8978 相关标准要求。
- b) 废气指标: 废气处理应控制气体相对湿度在 40%以下, 多相抽提系统排放的尾气应满足 GB 16297 及 GB 37822 相关标准要求。
- c) 噪声指标: 宜用是否达到工业企业厂界环境噪声排放标准进行评价, 噪声控制应符合 GB 12348 和 GB/T 50087 的规定。
- d) 固废指标: NAPL 污染物的收集和贮存应符合 HJ 2025 的规定。

8.3 技术参数及运行参数评价

- 8.3.1 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;
- 8.3.2 一般采用均值、中位值、数据范围、方差等进行分析;
- 8.3.3 应在对数据统计分析的基础上, 对数据结果做出科学合理的评价。

8.4 运行可靠性评价

- 8.4.1 运行可靠性指标分析判断宜根据连续稳定运行时间、维护管理难易程度、故障发生频率、排除故障难易程度、维护管理技能水平等确定。
- 8.4.2 运行可靠性评价结果可包括下列内容:
 - a) 运行可靠稳定, 基本没有发生故障;
 - b) 运行基本可靠, 发生过故障但未影响整体运行, 故障容易被排除;
 - c) 运行可靠性差, 故障频繁或故障发生后不易排除。

8.5 经济性评价

- 8.5.1 对于水、能源、物料消耗等参数, 应折算成单位污染物消耗量、单位时间消耗量、综合能耗等方便评价的数据。
- 8.5.2 其它经济性指标宜根据建设费用、运行费用、维修费用、折旧费用综合评价。
- 8.5.3 费用评价宜采用下列方法:

- a) 建设费用: 可采用单套设备设施投资和单位时间修复量的比值, 以单位时间内每修复单位污染土或污染水的基建投资评价;
- b) 运行费用: 可采用修复单位土方量或水量对应的水耗、能耗、药剂和材料消耗、人工成本、机械成本等之和评价;

c) 维修费用：宜通过污染修复设施维修频率和单次维修费用评价；

d) 折旧费用：宜通过污染修复设施使用年限评价。

8.6 维护管理方便性评价

维护管理方便性应根据维护管理工作量、维护管理难易程度、维护管理技能水平等评价。可按下列规定评价：

a) 维护管理工作量小或操作简单，掌握技术难度较小，可认为维护管理方便性好；

b) 维护管理工作量大或操作复杂，掌握技术难度较大，可认为维护管理方便性差。

8.7 报告编制

8.7.1 验证评价报告编制应根据验证评价方案，对技术资料、已有数据、测试报告、验证评价过程中形成的初始数据和记录等分析与评价确定。

8.7.2 验证评价报告应客观确定技术性能和实际效果。

附录 A (资料性)

技术资料收集清单

A.1 技术资料收集清单见表 A.1.1。

表A.1.1 技术资料收集清单

分 类	指 标	单 位
技术应用情况	技术简介	/
	技术适用性	/
	技术自我声明	/
	设计参数	/
	去除率	%
	修复成本	元/方
	三废及噪声污染情况	/
	其他	/
技术应用地块	工程概况	/
	水文地质情况	/
	土壤污染特征	/
	地下水污染特征	/
	污染物情况	/
	目标污染物初始浓度	mg/kg、mg/L
	目标污染物修复目标	mg/kg、mg/L
	修复设施概况	/
	平面布置图	/
已有数据	工艺参数	/
	土壤污染数据	mg/kg
	地下水污染数据	mg/L
	实际材料和药剂消耗台账	/
	能耗	标准煤
	水耗	/

附录 B（资料性）
目标污染物

B.1 土壤和地下水常见目标污染物见表 B.1.1。

表B.1.1 目标污染物

序号	类别	常见污染物
1	石油烃	石油烃（C ₄ ~C ₄₀ ）
2	卤代烃	二氯甲烷、二氯乙烷、二氯丙烷、三氯甲烷、三氯乙烷、三氯丙烷、四氯化碳、四氯乙烷等卤代烷烃，氯乙烯、二氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯等卤代烯烃，氯苯、二氯苯等卤代芳烃
3	苯系物	苯、甲苯、二甲苯、乙苯、间二甲苯、对二甲苯、邻二甲苯等
4	多环芳烃	苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、二苯并[a,h]蒽、芘、蔡、菲、蒎、茚并[1,2,3-cd]芘等
5	苯胺类和联苯胺类	苯胺、邻硝基苯胺、间硝基苯胺、2,6-二硝基苯胺、3,5-二硝基苯胺、对硝基苯胺、2,4-二硝基苯胺、联苯胺、3,3'-二氯联苯胺等
6	酚类	酚、2-甲酚、3-甲酚、4-甲酚、2,4-二甲酚、2,6-二甲酚、3,4-二甲酚、2-氯酚、2,4-二氯苯酚等

附录 C (资料性)

多相抽提技术修复土壤和地下水常见工艺运行指标

C.1 多相抽提技术修复土壤和地下水常见工艺运行指标见表 C.1.1。

表C.1.1 多相抽提技术修复土壤和地下水工艺运行指标

分类	技术类别	参数类别	指标	单位
多相抽提技术	单泵多相抽提	技术参数	抽提井深度和距离	m
			抽提井数量	个
			抽提井间距	m
			土壤气体抽提半径	m
			地下水抽提半径	m
			NAPL 抽提半径	m
		运行参数	真空泵功率	kW
			真空度	Pa
			各相抽提速率	L/h
			其他	-
	双泵多相抽提	技术参数	抽提井深度和距离	m
			抽提井数量	个
			抽提井间距	m
			土壤气体抽提半径	m
			地下水抽提半径	m
			NAPL 抽提半径	m
		运行参数	真空泵功率	kW
			真空度	Pa
			潜水泵功率	kW
			各相抽提速率	L/h
			其他	-
多相分离与净化技术	多相分离技术	运行参数	气液分离处理速率	L/h
			水油分离处理速率	L/h
	土壤气体处理(催化氧化技术为例)	运行参数	处理量	m ³ /h
			药剂使用量	kg
			药剂使用频次	次
			批次修复时间	d

表C.1.1 多相抽提技术修复土壤和地下水工艺运行指标（续）

分类	技术类别	参数类别	指标	单位
多相分离与净化技术	土壤气体处理（催化氧化技术为例）	运行参数	处理温度	K
			其他	-
	地下水处理（吹脱技术为例）	技术参数	吹脱塔类型	-
			塔体横截面积	m ²
			填料类型	-
			填料高度	m
			气液比	-
		运行参数	水处理量	m ³ /h
			空塔气速	m/s
			鼓风机流量/压力	m ³ /h, kPa
			水温	K
			其他	-
强化抽提技术	热强化蒸汽注入	技术参数	加热井间距	m
			土壤含水率	%
		运行参数	升温速率	K/d
			加热时间	d
			加热温度	K
			保温时间	d
			加热体积	m ³
			加热功率	kW
			其他	-
	热强化电阻加热	技术参数	电极井填料	-
			电极材料	-
			电极井间距	m
			土壤含水率	%
		运行参数	升温速率	K/d
			加热时间	d
			加热温度	K
			保温时间	d

表C.1 .1 多相抽提技术修复土壤和地下水工艺运行指标（续）

分类	技术类别	参数类别	指标	单位
强化抽提技术	热强化 电阻加热	运行参数	加热体积	m ³
			加热功率	kW
			其他	-
	增溶脱附	运行参数	增溶剂使用量	kg
			增溶剂使用频次	次
			增溶剂注射泵功率	kW
			其他	-

附录 D（资料性）
多相抽提技术测试周期

D.1 多相抽提技术测试周期见表D.1.1。

表D.1.1 多相抽提技术测试周期

技术类别		测试周期	主要因素
多相抽提技术		不少于 90 天	现场设备运行稳定性，抽提效果评估
气态污染物修复技术	热修复技术	应与多相抽提系统周期一致	现场设备运行稳定性，修复效果评估
	化学氧化技术		
	冷凝		
	吸附		
	生物滤池		
地下水修复处理	空气吹脱	应与多相抽提系统周期一致	现场设备运行稳定性，修复效果评估
	碳吸附		
	高级氧化		
	生物反应器		
强化抽提技术	生物通风	应与多相抽提系统周期一致	现场设备运行稳定性，强化效果评估
	热强化		
	增溶脱附		