

ICS
CCS Z10

团 体 标 准

T/ACEF-□□-20□□

地下水原位修复一体化技术验证评价指南

Verification guidance of in-situ integrated remediation technology for the
contaminated groundwater

(征求意见稿)

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

前 言

本指南为技术指导性文件，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。

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。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件主编单位：

本文件参编单位：

本文件主要起草人：

目 次

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	3
6 验证评价指标体系	4
7 验证测试	10
8 修复效果验证评价	11
9 验证评价报告	13
附录 A（资料性）验证评价程序	15
附录 B（资料性）验证技术资料收集清单	16
附录 C（资料性）常见水文地质条件分类与修复技术适用性	19
附录 D（资料性）地下水原位修复一体化技术适应性	20
附录 E（资料性）验证评价报告编制大纲	21

地下水原位修复一体化技术验证评价指南

1 范围

本文件规定了地下水原位修复一体化技术验证的验证评价总体要求、资料收集、验证评价指标体系、验证测试、修复效果验证评价和验证评价报告等。

本文件适用于地下水原位修复一体化技术验证评价。

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 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）
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 682	建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HJ/T 164	地下水环境监测技术指南
HJ/T 166	土壤环境监测技术指南
HJ/T 20	工业固体废物采样制样技术规范
HJ 610	环境影响评价导则 地下水环境

HJ 706	环境噪声监测技术指南	噪声测量值修正
T/CSES-1	环境保护技术验证评价	通用指南
T/CSES-2	环境保护技术验证评价	测试通用指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地下水原位修复一体化技术 *In-situ integrated remediation technology*

基于地下水循环井水力循环协同抽提、井内生物强化降解、化学氧化、尾气净化等技术原位去除场地地下水有机污染自由相、溶解相、气相及吸附相共存的修复技术。

3.2

技术自我声明 *Self-announcement of technology*

验证评价委托方对委托验证评价的地下水原位修复一体化技术的适用范围、性能指标、工艺参数、经济指标、运行维护等的介绍性声明。

3.4

验证评价 *Assessment criteria*

对地下水原位修复一体化技术实施中目标污染物修复效果、稳定性、运行可靠性、经济性、运行维护方便性和环境友好性进行评价的活动。

3.5

维护管理指标 *Maintenance and management parameter*

水、电和药剂等能源、资源消耗，操作难易程度、设施运行稳定性、安全性与耐久性等指标。

3.6

系统运行故障率 *System failure rate*

测试期间系统发生故障的次数，或者平均每个开机停机周期的故障次数。

4 总体要求

4.1 验证评价应针对已完成工程应用或中试的地下水原位修复一体化技术。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。

4.2 地下水原位修复一体化技术验证评价流程见图 1。验证评价工作程序应符合 T/CSES 1 的相关规定，具体流程见图 A.1。评价结果最终通过编制的技术验证评价报告体现。

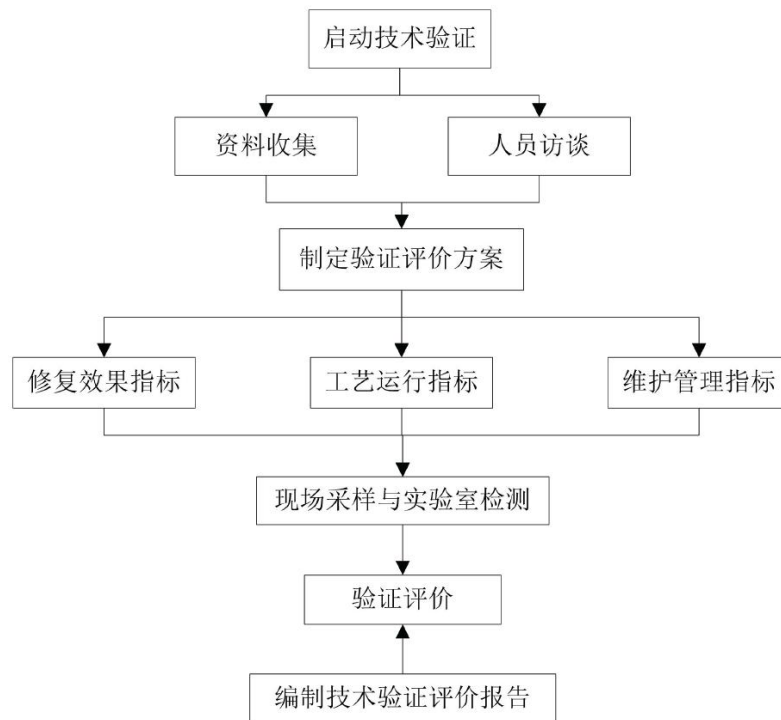


图 1 验证评价流程

4.3 具有评价资质的第三方验证评价机构会同验证评价各方，根据地下水原位修复一体化技术的特点，设定验证评价指标，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。

4.4 地下水原位修复一体化技术验证测试为现场验证测试为主，实验室分析为辅。

4.5 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。

4.6 根据验证评价方案，编制地下水原位修复一体化技术验证评价报告。

5 资料收集

5.1 技术应用地块基础数据收集

验证评价工作启动后，应对验证技术的技术信息进行收集、整理和分析，通过与相关方等进行沟通和访谈，明确技术验证评价的关键因素，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。资料收集清单参考表 B.1。包括地下水污染源及类型、场地概况、地理位置、工程规模、地块水文地质条件、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、污染物迁移和转化、现场可实施技术验证测试的条件、法律经济、风险评估和管控等基础内容。

污染场地土壤和地下水调查应符合 HJ 25.1、HJ 25.2、 HJ 25.3、 HJ 25.4、 HJ 25.5、HJ 25.6、HJ 682，常见水文地质条件分类与修复技术适用性见表 C.1。

5.2 技术简介

5.2.1 技术原理

包括所选地下水原位修复一体化技术的基本原理等。阐明验证评价技术对环境条件、地下水水质适用范围、适用领域等。

5.2.2 技术适用性

地下水原位修复一体化技术对污染物种类、污染物浓度、水文地质条件、修复目标等场景下的可行性。修复技术适用污染物类型可参考附录 D。

5.2.3 技术自我声明

地下水原位修复一体化技术适用范围、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

以知识产权保护为原则，根据技术的类型，由技术持有方从附录 B 表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。对于地下水中污染物原位处理装置的验证评价，应提供装置的构造概要图并注明装置的外形尺寸及各反应单元的主要尺寸。设计参数主要反映验证评价项目的设计条件，为准确反映技术的特征，设计参数应客观反映真实水平。

6 验证评价指标体系

6.1 指标框架

地下水原位修复一体化技术验证测试指标应分为修复效果指标、工艺运行指标、维护管理指标。验证测试指标体系框架见表 1。

表 1 验证测试指标体系框架

一级指标	二级指标	三级指标
修复效果	1-1 目标污染物	挥发性有机物：苯系物（BTEX）等
		半挥发性有机物：多环芳烃（PAHs）、石油烃类（TPH）等
		不挥发有机物：卤代烃、抗生素、内分泌干扰物等

一级指标	二级指标	三级指标
		重金属：砷（As）、铅（Pb）、铬（Cr）、铜（Cu）、锌（Zn）、镉（Cd）等
	1-2 其他环境介质	天然有机质、微生物群落数等
	1-3 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等
工艺运行	2-1 技术参数	地下水中污染物去除效率、水力循环速率、NAPL 抽提效率、抽提尾气净化效率、修复效果半径
		温度、压力、流量、药剂添加量、频率、处理量、运行时间等
		其他
	2-2 修复周期	修复活动的运行时间
	2-3 绿色低碳	修复工艺的能耗强度、碳排放强度
维护管理	3-1 基建费用	一体化修复装置及配套系统建设投资
	3-2 资源能源、材料消耗	水耗
		能耗（电力消耗、汽油柴油消耗量）
		材料、化学药剂消耗量
		人工、机械
		其他
	3-3 环境影响	地下水：过程产物、降解产物
		固体废物：一般固废、危险废物产生量
		废水：目标污染物和常规污染物排放量、是否达标
		废气：目标污染物和常规污染物排放量、是否达标
		噪声：等效连续 A 声级（Laeq）
	3-4 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

6.2.1 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选取，宜采用去除率或达标率表征。目标污染物包括自由相、溶解相、残余相有机污染物和重金属，可参考表 1，具体污染物根据实际技术应用地块污染地下水确定。

6.2.2 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。

6.3 工艺运行指标

评价方对工艺运行指标的选择应根据被评价的地下水原位修复一体化技术的实际情况确定，可参照表 2 确定。

表 2 技术工艺运行指标

技术类别	指标	单位
地下水循环井技术	抽、注水方式	/
	抽注水速率	L/h
	处理量	m ³ /h
	泵运行功率	kw
	井内强化处理工艺	/
	污染物浓度	mg/L
	修复过程中添加药剂种类及计量	kg
	药剂添加频率	次
	气液比	/
	水位波动	m
	溶解氧	mg/L
	井中生物反应器功能组件参数	/
	温度	°C
	渗透系数	cm/s
	井间距	m
	井数量	口
	影响半径	m
	修复后出水指标	mg/L
	总处理时间	d
	NAPL 相抽提处理技术	抽提范围半径
抽气（液）流量		m ³ /h
真空度		Pa
真空泵功率		kw
抽提井深度和间距		m
处理量		m ³ /h
污染浓度		mg/L
修复过程中添加药剂种类及计量		个、kg
修复后出水指标		mg/L
修复时间		d
地面废液处理系统处理效率		%
其他		
井内生物强化降解技术		菌剂添加种类和计量
	地下水 pH 值	/
	井内生物反应器表面水力负荷	m ³ /(m ² ·d)
	溶解氧含量	mg/L 或 g/L

	修复时间	d
	反应器高径比	-
	设计运行温度	°C
	营养物质质量及配比	/
	最大允许上升流速	m/h
化学氧化技术	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	/
尾气净化技术	吹脱塔类型	/
	填料类型	/
	填料高度	m
	空塔气速	m/s
	抽提废气污染物浓度	mg/L
	抽气流量	m ³ /h
	鼓风机流量/压力	m ³ /h, KPa
	尾气排放浓度	mg/L
	催化剂种类及滤料厚度	m
	抽气泵功率	kw
	地面尾气处理系统处理能力	/
	地面尾气处理系统处理效率	%

6.4 维护管理指标

维护管理指标应根据地下水污染原位修复一体化技术实际情况选取，可参照表 3 确定。

表 3 维护管理指标及获取方式

项目分类		运行及维护管理	指标获取方式
建设费用		修复及辅助系统建设投资	技术持有方核算提供
药剂消耗和能源消耗		药剂消耗和能源消耗	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
环境影响	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	隔声降噪	现场测试
	固废	固废产生量	计量磅秤测定, 台账法

		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
	系统运行故障率		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，及排除故障所用时间，台账法

6.4.1 资源、能源消耗与回收量指标

资源、能源消耗与回收量指标可按表 4 确定。

表 4 资源、能源消耗与维护管理指标

分 类	指 标	单 位	备 注
能源消耗量	耗电量	kW·h/单位时间	kW·h/d 或 kW·h/周等
	其他能源消耗量	kW·h/单位时间	或 kJ/单位时间
药剂消耗量	生物助剂消耗量	kg/投药周期	
	碱剂消耗量	kg/投药周期	
	絮凝剂消耗量	kg/投药周期	
	碳源	kg/投药周期	
	营养盐	kg/投药周期	
	其他药剂消耗量	kg/投药周期	
材料消耗量	膜用量	kg/单位时间	
	填料（滤料）用量	kg/单位时间	
水资源消耗销量	耗水量	m ³ /单位时间	m ³ /d 或 m ³ /周等

6.4.1.1 耗电量

耗电量应为单位时间内受污染地下水处理设施运行的实际电能消耗量。

6.4.1.2 药剂消耗量应符合下列规定：

(1) 每个投加周期内受污染地下水处理设施正常运行所需的实际药剂投加量。处理设施运行过程中消耗的药剂主要包括絮凝剂、生物助剂、碱剂、碳源（甲醇等）、营养盐等。

(2) 生物助剂是指受污染地下水生物处理过程中，向污水中投加的能够改善微生物活性、增强其适应环境的能力或提高处理效果的物质。

(3) 应对药剂的类型、纯度、投加周期、投加方式等进行记录。投加周期为药剂、生物制剂等一次投加至下一次投加间隔的时间。

6.4.1.3 耗水量

耗水量应为单位时间内受污染地下水处理设施正常运行所需的清洁水的实际消耗量。

6.4.2 环境影响

6.4.2.1 环境影响指标应考察验证评价技术在运行过程中对周边环境造成的影响。

环境影响指标可按表 5 确定。

表 5 环境影响指标

分 类	指 标	单 位
噪声	等效连续 A 声级 (L _{Aeq})	dB(A)
气味	臭味浓度/臭气强度	无量纲/级
固废	一般固废产生量	t/d
	危险废物产生量	t/d

6.4.2.2 噪声

噪声影响评价应通过等效连续 A 声级 (L_{Aeq}) 指标测试确定。

6.4.2.3 气味

气味应按臭气浓度或臭气强度指标测试进行评价。

6.4.2.4 固废应符合下列规定：

(1) 一般固废产生量

指工程实施过程中地下水中沉降的泥沙和修复系统中的反应沉淀物等。

(2) 危险废物产生量

对于列入《国家危险废物名录》或根据国家规定的危险废物鉴别标准和方法认定的具有危险特性的污泥，应严格按照危险废物进行管理。

6.4.3 运行可靠性指标

运行可靠性指标以定性描述为主，指标可按表 6 确定。

表6 操作及维护管理指标

指 标	记 录 事 项
故障和异常的发生频率	包括修复结果不达标、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，以及发生时间、原因、排除方法
故障排除的难易程度	是否可以简单地排除故障，所需时间
维护管理所需的人数及技能	每项作业所需的人数及时间，所需的专业技能
构造安全性	是否有漏水、变形；通气是否顺畅；是否设置事故溢流、防跌落等安全措施
设备的稳定运转性能	设备的连续稳定运转时间
控制系统可靠性	自动系统的可靠性，手动系统的可靠性，有无自动报警系统等
操作说明的可靠性	是否全面、易于理解

7 验证测试

7.1 验证测试周期及样本数

7.1.1 地下水原位修复一体化技术现场测试周期不少于 60 天，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，地下水监测应符合 HJ/T 164 的规定。

7.1.2 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污染地块修复技术特点确定。

7.1.3 修复效果样本数应符合 HJ 25.5、HJ 25.6 的规定。

7.1.4 有组织排放废气样本数及采样点位置的设置参照 GB/T 16157 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/T 16297 或相应地方标准执行。

7.1.5 现场验证测试需每日定时测试现场地下水水位的变化情况，分析测试期间流经循环井的日平均流量、最高日流量、最低日流量。验证测试原则上应确保测试期间地下水水位变化不超过 10%，水质变化不超过 30%。

7.2 采样点和采样频次

7.2.1 采样点

土壤采样点位的设置宜符合 HJ 25.5 的相关规定，地下水采样点位的设置宜符合 HJ 25.6 的相关规定，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，必要时在修复薄弱区加密布点。

7.2.2 采样频次

地下水修复效果评估采样频次应根据水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等地块地质与水文地质条件、地下水修复方式确定。采样频率应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 验证周期内产生的固体废物采样和保存运输应按照 HJ/T 20 的相关规定执行；
- d) 验证周期内废水应满足 GB 8978 要求；
- e) 验证周期内废气应符合 GB/T 16157 和 GB/T 16297 的规定，地下水挥发性有机物样品应该用低流量取样法；
- f) 验证周期内噪声测试应符合 GB 12348 的规定。

7.3 样品采集与保存运输

7.3.1 地下水样品采集和保存运输应按 HJ 25.2 和 HJ/T 166 的规定执行。

7.3.2 废气样品采集和保存运输应按 GB/T 16157 的规定执行。

7.3.3 固体样品采集和保存运输应按 HJ/T 20 的规定执行。

7.3.4 噪声测试应按 GB 12348 的规定执行。

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 检测方法应符合 GB 36600、HJ/T 166、GB/T 14848 的规定。

7.4.1.3 当指标无测试方法时，可由测试机构自行开发，并经方法学验证，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

测试方法应符合国家现行标准 GB/T 24034 的规定。

7.4.3 维护管理指标测试方法

维护管理指标可按表 3 确定。

8 修复效果验证评价

8.1 一般要求

地下水原位修复一体化技术验证评价是在对测试数据进行统计分析的基础上，对数据结果给出科学、合理的评价。验证评价方应对验证技术的技术信息进行收集、整理和分析，并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。修复技术适用性与常见水文地质条件的分类对应关系见表 C.1。一般采用均值、中位数、数据范围、方差等对修复效果指标、工艺运行指标及维护管理指标等进行统计分析，并围绕着技术自我声明的内容，对地下水原位修复一体化技术的污染物去除率、处理效果稳定性、运行可靠性、环境友好性、经济性、维护管理方便性等进行评价。已有数据的审核应符合 T/CSES-1 附录 3 的相关规定。

8.2 修复效果评估

8.2.1 修复目标污染物的去除率应按下式计算：

$$\text{去除率}(\%) = (\sum C_{\text{inf},i} \times V_i - \sum C_{\text{eff},i} \times V_i) \times 100\% / (\sum C_{\text{inf},i} \times V_i) \quad (8-1)$$

式中

$C_{inf,i}$ ——验证场地第 i 种污染物初始浓度的平均值 (mg/L)；

$C_{eff,i}$ ——验证场地第 i 种污染物验证结束后浓度的平均值 (mg/L)；

V_i ——测定日 i 的地下水水量 (m^3 或 L)。

8.2.2 地下水中污染物浓度持续稳定达标判断可采用下列趋势分析法确定,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:

- a) 趋势线斜率显著大于 0,说明污染物浓度呈现上升趋势;
- b) 若趋势线斜率显著小于 0,说明污染物浓度呈现下降趋势;
- c) 若趋势线斜率与 0 没有显著差异,说明污染物浓度呈现稳态;

目标污染物浓度呈现稳态或下降趋势,可判断达到修复效果;反之,则未达到修复效果。效果验证评价方法可参见 HJ 25.6。

8.2.3 同时满足下列条件的情况下,可判断地下水修复达到极限:

- a) 地块概念模型清晰,污染羽及其周边监测井可充分反映地下水修复实施情况和客观评估修复效果。
- b) 至少有 1 年的月度监测数据显示地下水中污染物浓度超过修复目标且保持稳定或无下降趋势。
- c) 通过概念模型和监测数据可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标的主要原因。
- d) 现有修复工程设计合理,并在实施过程中得到有效的操作和足够的维护。
- e) 进一步可行性研究表明不存在适用于本地块的其他修复技术。

8.3 修复效果稳定性

a) 通过监测地下水水位波动、污染物去除效率等指标,确认地下水原位修复一体化技术对污染区域修复的影响范围。

b) 监测井水质稳定性是指水质各项指标值的稳定程度,该指标通过监测井水质主要控制因子的自我声明指标达成率来判断。

c) 对监测井水质的波动、抗冲击负荷能力、连续稳定运行状况等进行分析评价。

d) 地下水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、HJ25.6。

8.4 运行可靠性

根据修复技术实施过程中的系统运行故障率,评价污染物种类、污染物浓度、水文地质条件、修复目标等场景下的可靠性。设备运行可靠性评价可按表 7 确定。

表7 设备运行可靠性评价

级别	评价结果	描述
1	可靠运行	运行稳定、基本没有发生故障情况可认为运转可靠
2	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可认为运转基本可靠
3	运行可靠性差	故障频繁或故障发生后不易排除等情况可认为运转可靠性差

8.5 经济性

经济性指标宜根据下列费用综合评价：

建设费用：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地下水的基建投资进行评价。

运行费用：可采用修复单位地下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：宜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：通常根据设备的具体类型和使用情况来确定折旧年限，但一般不低于上述规定的最低年限。根据实际情况选择合适的折旧方法，包括年限平均法、工作量法、双倍余额递减法等。

8.6 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地下水原位修复一体化技术的维护管理性能。

8.7 环境友好性

根据技术产生废水、废气、噪声、固体废物等环境影响情况评价技术的环境影响。定性分析和评价在验证技术的运行过程中，使用的修复剂、功能材料、排放的噪音、剩余污泥等是否会对周围环境以及人体健康存在潜在的危害风险，是否会对包括地下水在内的周边水体环境产生潜在的风险。固废指标一般用修复单位地下水量固废/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量化评价。评价标准应参照 GB 12348、GB/T 16297、GB/T 24034、HJ 610、HJ/T 20、HJ 706、T/CSES-1、T/CSES-2 等标准中的相关规定。

9 验证评价报告

9.1 污染地块地下水原位修复一体化技术验证评价报告应包括污染地下水修复工程概况、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。

9.2 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，编制地下水原位修复一体化技术验证评价报告。

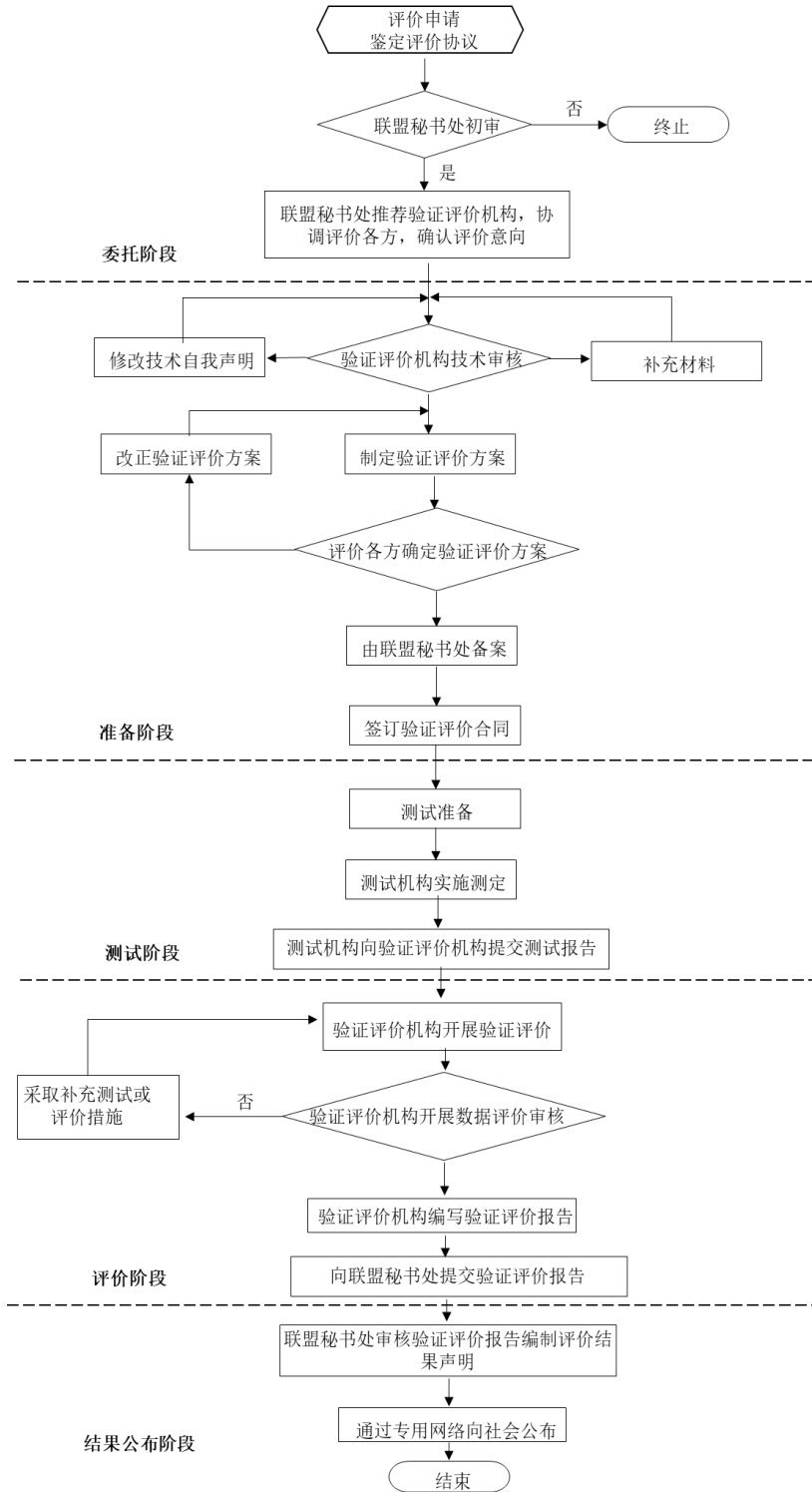
9.3 验证评价报告应客观陈述技术性能和实际修复效果。

9.4 验证评价报告编制大纲见附录E。

附录 A (资料性)

验证评价程序

A.1 验证评价流程见图 A.1。



图A.1 验证评价流程

附录 B（资料性）

验证技术资料收集清单

B.1 验证技术资料收集清单见表B.1。

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	/	
	设备基本构造	/	
	技术创新性	/	
	技术适用性	/	
	技术自我声明	/	
	主要设备	型号、数量、规格参数等	
	设计参数	/	根据污染场地的修复需求确定
	环境处理效果	mg/L	
	修复完成时间	月	
	修复成本	元/m ³	
	环境影响情况（固体废物、废水、废气、噪音产生情况）	/	
	其他	/	
修复施工数据	工程概况	/	
	地块水文地质情况	/	
	地下水污染特征	/	
	污染羽情况	/	
	目标污染物初始浓度	mg/L	
	目标污染物修复目标/GB36600 中一类用地筛选值	mg/L	
	修复设备概况	/	
	平面布置图	/	
	工艺参数	/	
	地下水污染数据、污染羽变化情况	mg/L	
	实际材料和药剂的消耗台账	/	
	能耗	标准煤	
	水耗	吨	
	设计参数	普遍适用 污染物去除效率	%

验证技术资料收集清单（续）

分类	指 标		单 位	适用情况	
设计参数	地下水原位修复一体化技术	地下水循环井技术	抽、注水方式	/	正/逆循环
			抽、注水流量	m ³ /h	
			泵运行功率	kw	
			处理工艺	/	化学/生物处理
			污染物浓度	mg/L	在线监测技术
			修复过程中添加药剂种类及计量	kg	化学/生物处理
			药剂添加频率	次	
			气液比	/	井中曝气技术
			水位波动	m	
			溶解氧	mg/L	生物/曝气技术
			井中生物反应器功能组件参数	/	生物处理
			温度	°C	
			主井高径比	/	
			NAPL 相抽提处理技术	抽提范围半径	m
		抽气（液）流量		m ³ /h	
		真空度		Pa	
		真空泵功率		kw	
		抽提井深度和间距		m	
		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		个、kg	
		修复后出水指标		mg/L	
		修复时间		d	
		地面废液处理系统处理效率		%	
		其他			
		强化生物降解技术		菌剂添加种类和计量	CFU
			表面水力负荷	m ³ /(m ² ·d)	
			MLSS	mg/L 或 g/L	
			停留时间	m ³ /d	
			反应器高径比	-	
			设计运行温度	°C	
			最大允许上升流速	m/h	
		化学注入技术	药剂添加量		
			药剂添加频率	次	
			注入方式		
			注入井间距		
			注入速率与压力		
			注入深度		
			注入浓度		
其他					

验证技术资料收集清单（续）

分类	指 标		单 位	适用情况	
设计参数	地下水原位修复一体化技术	尾气/水净化技术	抽提废气/水污染物浓度	mg/L	
			抽气/水流量	m ³ /h	
			尾气/水排放浓度	mg/L	
			催化剂种类及滤料厚度	m	
			抽气/水泵功率	kw	
			尾气/水处理系统处理效率	-	

附录 C (资料性)

常见水文地质条件分类与修复技术适用性

C.1 常见水文地质条件分类与修复技术适用性见表C.1。

表 C.1 常见水文地质条件分类与修复技术适用性

类型	内涵	技术适用性
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 (渗透系数 $>10^{-7}$ 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系数很低 ($K < 10^{-7}$ 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, 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III介质中渗透性较强的区域, 其渗透系数 $K \geq 10^{-7}$ 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系数 $K < 10^{-10}$ 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, 通常渗透系数 $K=10^{-8} \sim 10^{-4}$ 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, 其渗透系数 $K < 10^{-10}$ m/s。渗透系数 $K=10^{-9} \sim 10^{-6}$ m/s。裂隙的孔隙度远小于总体积 ($<1\%$)。然而, 与类型IV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。	√√

注: √√√表示较好的成功实施潜力; √√表示一般的成功实施潜力; √表示有限的成功实施潜力

附录 D (资料性)

地下水原位修复一体化技术适应性

D.1 地下水原位修复一体化技术适应性见表D.1。

表 D.1 地下水原位修复一体化技术适应性

内 容	适用性
污染物类型	
挥发性有机物 (VOC)	√√√
半挥发性有机物 (SVOC)	√√
重金属	√
放射性核素	√
修复策略	
源头处理	√√√
羽流减少	√√
羽流拦截	√
非饱和厚度	
0-1.5 m	√
1.5-30 m	√√
饱和厚度	
0-1.5 m	√
1.5-35 m	√√√
>35 m	√
含水层特征	
多孔介质	√√
裂隙介质	√
喀斯特	√
背景流速	
低 (例如, $>3 \times 10^{-4}$ m/d)	√√√
中等 (例如, 3×10^{-4} - 3×10^{-1} m/d)	√√
高 (例如, $> 3 \times 10^{-1}$ m/d)	√
水平与垂直导水率之比	
各向异性 (H:V= 3~10)	√√
高度各向异性 (H:V>10)	√
含水层化学	
水中的高铁	√
水中高钙	√
水中高镁	√

注: √√√表示较好的成功实施潜力; √√表示一般的成功实施潜力; √表示有限的成功实施潜力

附录 E（资料性）

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 验证评价方案

2.1 评价方案简介

2.2 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。

2.3 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。

2.4 实验设施介绍（测试对象）

2.5 评价工作方案

2.6 质量保证与质量控制

2.7 经费预算

2.8 进度安排

E.3 技术简介

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。

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、异常情况和故障处理记录等。