

《地下水原位修复一体化技术验证指南》 编制说明

《地下水原位修复一体化技术验证指南》编制组
二〇二五年九月

目 次

1 任务来源.....	2
2 标准制定必要性、编制依据 、编制原则.....	2
3 主要工作过程.....	3
3.1 技术组组建与研究启动.....	3
3.2 重点问题专题研究.....	3
3.3 规范初稿编制.....	4
3.4 技术审查稿编制与审查.....	4
3.5 征求意见稿编制与公示.....	4
3.6 终稿首次提交.....	4
3.7 终稿审查后修改与提交.....	4
3.8 终稿二次修改与提交.....	4
4 国内外相关标准研究.....	4
4.1 国际环境技术验证评价的发展概况.....	5
4.2 我国促进环境技术验证评价发展的相关政策.....	5
5 同类工程现状调研.....	6
6 主要技术内容及说明.....	8
6.1 适用范围.....	8
6.2 技术验证评价的实施程序.....	8
6.3 资料收集.....	10
6.4 验证指标体系的确定.....	12
6.5 修复效果指标.....	14
6.6 现场验证测试.....	16
7 标准实施的环境效益与经济技术分析.....	16
8 标准实施建议.....	17

《地下水原位修复一体化技术验证指南》编制说明

1 任务来源

随着我国经济社会的高速发展，地下水污染事件频发，地下水污染修复技术的创新和推广应用显得尤为重要。目前，国内外地下水污染修复技术研究热点很多，主要有原位注入、微生物修复和监测自然衰减等方面，但应用水平整体不高，尤其我国的地下水污染修复技术应用水平与发达国家的差距较大，绝大多数仍处于“可用”阶段，究其原因，与我国的环境技术管理缺失有密切关系。技术的合理应用离不开管理的科学管控。目前，我国对环境修复技术的鉴定和评价基本以主管部门主持或者委托相关单位开展的各类专家评审会的形式进行。由于缺乏共同的评判标准和依据且存在评审专家的责任不明确、评审专家主观性较强等原因，致使评审结果在科学性、公正性、客观性方面存在一定的局限性，评价结果也难以客观、定量地反映技术的性能水平。因此，亟需加快环境技术验证评价（Environmental technology verification, ETV）研究，创建客观、公正和科学的地下水污染修复技术验证评价体系。

2020 年 10 月，成都理工大学作为“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“地下水原位同步修复一体化设备”的承担单位，承担了“地下水原位同步修复一体化技术验证评价方法研究”任务。课题组通过分析地下水原位同步修复一体化技术的特点、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，编制地下水原位修复一体化技术验证指南。主编单位：成都理工大学、四川锦美环保股份有限公司、北京高能时代环境股份有限公司、中华环保联合会水环境治理专业委员会。参编单位：吉林大学、中国环境科学研究院、北京国环莱茵环保科技股份有限公司、北京师范大学、湖南新九方科技有限公司、山东大学、中环博通生态科技（北京）有限公司。

2 标准制定必要性、编制依据 、编制原则

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。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。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性研制成为主要发展方向。为了加速污染场地地下水修复新技术、新工艺、新产品转化和推广应用，促进污染场地修复技术的不断创新，提高污染地下水修复技术水平技术支撑。亟需发展一套公认的程序和方法开展修复技术的有效评估，促进环境修复领域技术进步、技术推广。

课题组以环境技术验证评价技术体系为支撑，编制《地下水原位修复一体化技术验证指南》，是我国地下水修复领域内首次发布的技术验证评价规范，填补了技术验证评价方法在地下水修复行业中的应用空白。该标准从技术修复效果、运行稳定性、绿色低碳性、维护管理方便性等方面构建了我国污染地块地下水修复领域技术验证评价指标体系，提出了现场测试要求、验证评价方法等关键技术要求，是规范污染地下水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，为地下水修复领域新技术提供了科学、客观的评价方法，将有力推动我国场地地下水修复技术向绿色低碳方向发展。

3 主要工作过程

3.1 技术组组建与研究启动

2023 年 9 月，在中华环保联合会组织协调下，由成都理工大学牵头签署团体标准编制协议，正式成立规范编制技术组。同年 10 月 14 日，中华环保联合会组织召开《地下水原位修复一体化技术验证指南》编制启动会议，技术组就规范编制大纲及重点研究问题开展首次集中研讨，并完成任务分工。

3.2 重点问题专题研究

2023 年 12 月 20 日，规范编制技术组召开第二次工作会议，针对不同修复技术类型的技术验证评价指标体系、验证采样方法等核心问题进行专题研讨。2024 年 3 月 10 日，完成重点问题研究初稿编制。

3.3 规范初稿编制

2024年3月20日，技术组召开第三次工作会议，聚焦技术验证程序、现场测试方法等关键内容深入研讨。同年5月30日，形成《地下水原位修复一体化技术验证指南》第一版初稿。

3.4 技术审查稿编制与审查

2024年6月完成技术审查稿编制，7月10日由中华环保联合会组织召开团体标准技术审查会，顺利完成标准技术审查工作。

3.5 征求意见稿编制与公示

2024年11月，编制组完成征求意见稿编制，并面向社会公开征求意见。

3.6 终稿首次提交

2025年3月，编制组完成《地下水原位修复一体化技术验证指南》（征求意见稿修订版），正式提交中华环保联合会。

3.7 终稿审查后修改与提交

2025年3月28日，针对终稿审查意见进行修改完善，于6月26日完成修订稿并提交中华环保联合会。

3.8 终稿二次修改与提交

2025年7月28日，组织终稿修改稿审查会，会后整合专家意见进一步优化，于9月22日将最终修订稿提交中华环保联合会。

4 国内外相关标准研究

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。

4.1 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。迄今全球已经完成1500多项环境保护技术验证案例，在新技术推广领域的应用得到各国广泛认可。为了规范世界各国开展环境技术验证工作国际标准化组织在2016年11月正式发布ISO-ETV标准（ISO 14034: 2016）。

4.2 我国促进环境技术验证评价发展的相关政策

我国在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；
- (6)《焦化污染地块修复技术验证评价规范》（T/CPCIF 0197-2022），2022.04。

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。

5 同类工程现状调研

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。

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 5-1 我国环境技术验证评价案例汇总表

序号	内容	数量（项）
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
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
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
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
5	环境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
6	依托“十一五”水专项《流域水环境模型评估验证技术指南》	5
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	4
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

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
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
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
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
13	生态环境部环境规划院《环境技术验证在污染土壤修复领域的应用——以原位热脱附-水平井-化学氧化耦合修复技术为例》	1
汇 总		32

6 主要技术内容及说明

6.1 适用范围

（1）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流程、资料收集、验证评价指标体系、验证测试周期、采样频率及采样点、修复效果评估验证评价和效果评估报告等。

（2）本文件适用于地下水原位修复一体化技术验证评价。包括：1）已完成中试或已有少量应用的污染地下水原位同步修复一体化技术和设备的修复效果、工艺运行和维护管理等指标的验证评价；2）地下水原位同步处理中所采用的地下水循环井、多相抽提、高效净化协同修复工艺技术或单元技术、工艺运行和维护管理等指标的验证评价；3）以“抽提-高效净化”、“水力循环调控”、“强化生物降解”等技术为核心的同步修复一体化技术各类单元功能组件性能的验证评价。

（3）地下水原位同步修复一体化技术验证评价的主要对象是建立在一定科学原理基础上，已完成工业性试验或已有少量应用，具有市场推广前景的新技术或改良技术。

6.2 技术验证评价的实施程序

采用本指南开展地下水原位修复一体化技术的修复效果、工艺运行和维护管理等指标的验证评价。应对地下水污染是否达到修复目标、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，提出后期技术和设备运行管理及环境监管建议，为污染地块地下水原位修复一体化技术的

实施和管理提供科学依据。采用本规范开展地下水原位同步修复一体化技术验证评价，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。

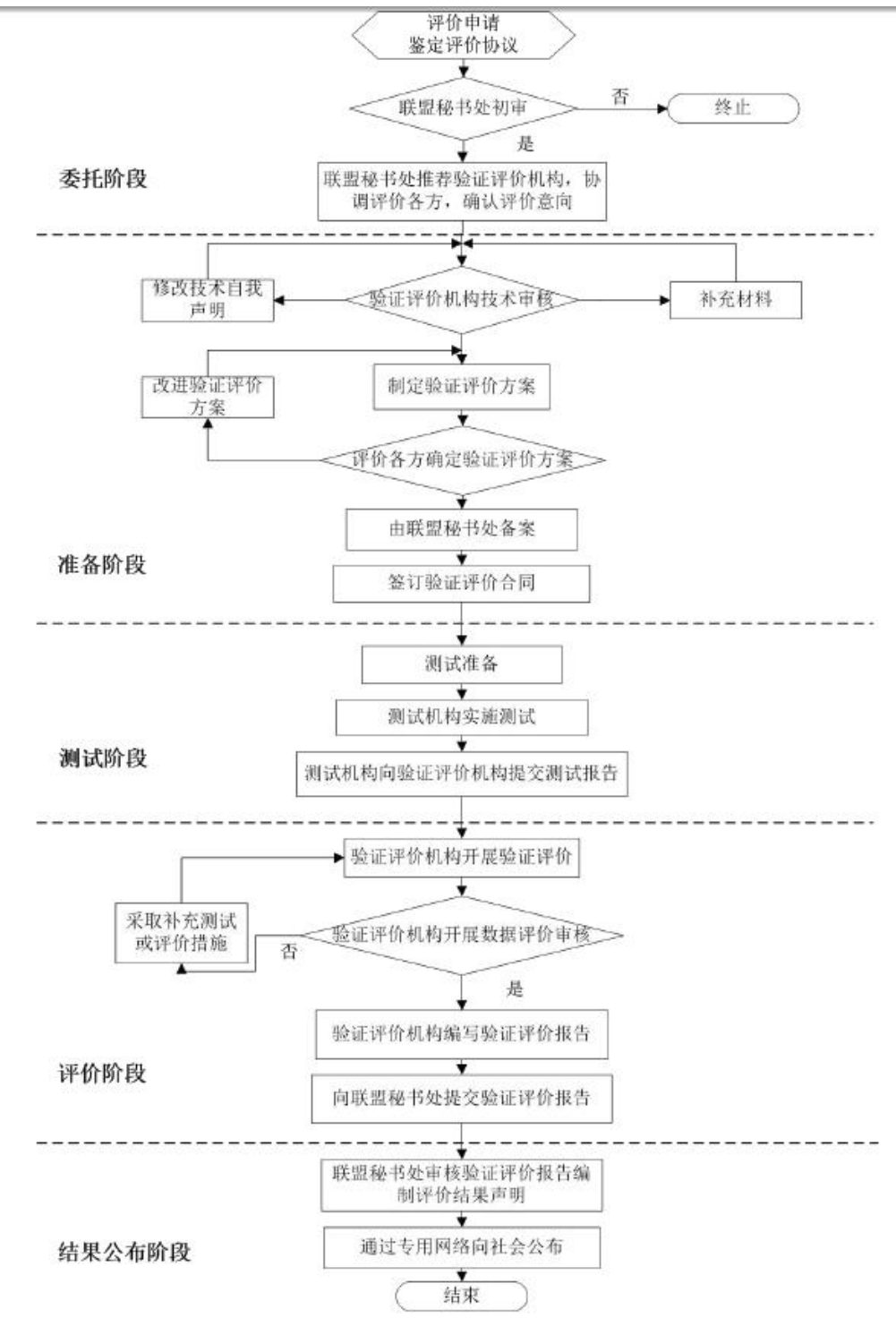


图6-1 验证评价流程

6.3 资料收集

(1) 为确保验证评价的科学性、公正性、客观性，验证评价方案编制前需要对验证技术的技术信息进行收集、整理和分析。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。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。

(2) 在开展污染地块原位同步修复效果评估工作之前，效果评估单位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。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，明确技术验证评价的关键因素。

(3) 技术持有方所提供的技术信息是编制验证评价方案、验证评价报告的基础，并对所提供的资料真实性负责。所验证的技术有以往的运行数据与资料，经审核后这部分数据可以作为验证评价的参考资料。提供的数据必须确保真实、可靠，且同时提供获得数据的环境条件、背景情况等。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。技术信息资料分为基本信息和设计参数两类，参见表6-1。

表 6-1 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	/	根据污染场地地下水的修复需求确定
	环境处理效果	mg/L	

	修复完成时间		月		
	修复成本		元/m³		
	二次污染情况（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		%	
	地 下 水 原 位 同 步 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	m³/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	℃	
			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	m³/h	
			真空度	Pa	
			真空泵功率	kw	
			抽提井深度和间距	m	
			处理量	m³/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	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	
			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	$^{\circ}\text{C}$	
			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		
		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	-	

6.4 验证指标体系的确定

评价指标以定量指标为主，以定性指标为辅。指标分为通用指标和特征指标两种类型。通用指标是必选指标，是完成验证评价工作所需的最低要求；特征指标为可选指标，可根据技术特征、污染物特征、验证费用、委托方要求等进行取舍。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。

地下水原位同步修复一体化技术验证测试指标分为水质指标、工艺运行指标、维护管理指标等 3 类。验证测试指标体系框架见表 6-2。

表 6-2 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
		重金属：砷（As）、铅（Pb）、铬（Cr）、铜（Cu）、锌（Zn）、镉（Cd）等
	1-2 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 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
	2-4 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 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（L _{acq} ）
	3-3 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

6.5 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。目标污染物包括自由相、溶解相、残余相有机污染物，挥发性、半挥发性有机物，重金属和其他污染物，可参考表 6-1，具体污染物根据实际技术应用地块污染地下水确定。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。

（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。目标污染物包括多相有机污染物、挥发性有机物、半挥发性有机物和石油烃类、重金属和其他污染物，可参考表 6-2，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井体抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施的连续性和完整性等。

（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、容重、含水率、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，应根据地下水原位同步修复一体化技术的具体情况选取。

（4）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、潜水泵、注射泵等设备的消耗；能源消耗指天然气消耗、电耗、用电负荷等。

（5）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。

(6) 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。地下水原位同步修复一体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。

6.6 现场验证测试

现场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。本指南确定地下水原位修复一体化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。按技术特点将地下水原位修复一体化技术由“抽提—水力循环—生物降解—高效净化协同”等技术组成，需先分别对各单一技术的修复效果、工艺运行和维护管理进行验证，根据最终对一体化技术进行综合验证评价。

现场验证测试指在技术真实使用条件下进行测试，具有装置大小不受限制、数据更真实、评价费用低、地下水水质容易确保、所需时间长等特点，基本适用于所有地下水原位修复一体化技术的验证评价。必要时可在实验室（如技术申请者开发的测试平台、国家已有的实验室验证平台等）模拟运行环境获得相关结果后，再进行必要的现场测试。对于技术原理、技术路线等有较大创新的突破性技术，应成立由相关领域专家组成的专家委员会，对验证评价方案进行反复论证，达成一致意见后方可开展验证测试。

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。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。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

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。地下水原位同步修复一体化设备运行过程需解决的重点问题包括装备性能与运行工况、运行能耗、运行效果之间的关系。本指南筛选出工程应用过程中衡量设备

性能的关键参数，结合装备性能指标，综合考虑技术、环境、经济、资源等指标，采用层次分析、专家调查、案例分析法，研究地下水原位同步修复技术与设备修复效果的关键评估指标、评估手段等，参照 ETV 国际标准，创建地下水原位同步修复技术与设备环境技术评估体系；本标准根据构建的评估体系，开展验证评估，基于修复效果-稳定运行-智能控制-环境经济的原则，甄别协同修复技术与装备关键模块与工艺参数，利用“跟踪-评价-反馈-优化”模式，优化技术与装备工艺参数与运行条件，提升技术水平、装备性能和地下水循环井修复系统技术的应用水平，建立适应我国场地特征的地下水原位同步修复一体化技术与装备环境技术验证评价体系。指南以环境技术验证评价技术体系为支撑，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。

8 标准实施建议

采用本规范开展污染地块地下水原位同步修复一体化技术验证评价工作时，工作程序与技术方法须严格遵循《环境保护技术验证评价通用规范（试行）》（T/CSES-1）及《环境保护技术验证评价测试通用规范（试行）》（T/CSES-2）的要求，确保验证评价过程的科学性、规范性和权威性。

（1）规范核心内容框架

本规范明确了地下水原位同步修复一体化技术验证评价的完整技术体系，主要包括以下关键内容：

总体要求：确立技术验证评价的基本原则、目标与总体框架；

资料收集：规定验证评价所需基础资料的范围、内容及核验要求；

验证评价指标体系：构建涵盖修复效果、工艺性能、运维管理等维度的指标体系；

验证测试要求：明确现场测试、采样分析、数据记录等操作的技术标准；

验证评价方法：提供指标核算、效果评估、综合判定的具体方法；

验证评价报告编制：规范报告的结构、内容及编制要求。

（2）规范适用与不适用范围

本规范适用于以下三类技术及设备的验证评价工作：

1) 已完成中试或具备少量工程应用案例的多相污染地下水原位同步修复一

体化技术及成套设备，重点验证其修复效果、工艺运行稳定性及维护管理便捷性等指标；

2) 地下水原位同步处理过程中采用的关键工艺技术或单元技术，包括但不限于地下水循环井、多相抽提、生物降解、高效净化协同修复等工艺；

3) 以“抽提-高效净化”“水力循环调控”“强化生物降解”等为核心的同步修复一体化技术中，各类单元功能组件的性能验证评价。

本规范不适用于实验室阶段的技术验证评价。验证评价的主要对象需满足以下条件：建立在明确科学原理基础上，已完成工业性试验或具备少量实际应用案例，且具有明确市场推广前景的新技术或改良技术。现有成熟地下水污染治理修复技术的验证评价工作，可参照本规范执行。

(3) 规范动态完善机制

鉴于本规范为首次制定发布，为保障其持续适用性与技术先进性，建议采用“试行-反馈-修订”的动态完善路径：

试行阶段：鼓励各相关单位在实际验证评价工作中积极采用本规范，同步梳理实施过程中遇到的问题、难点及优化建议；

修订完善：结合试行反馈意见及行业技术进步情况，定期对规范内容进行修订，重点优化指标体系、测试方法等核心内容；

长期目标：力争通过持续完善，最终形成一套兼具适用性、先进性和引领性的环境修复技术验证评价规范性文件，全面满足我国生态环境治理对技术评价的需求。

同时，随着社会经济发展、环保技术创新及行业实践经验积累，应根据环境技术发展的实际需求，对规范的指标体系和内容进行常态化的完善、拓展与更新，确保规范始终与行业发展水平相适应。