

土壤与地下水协同防治的环境管理体系构建与优化策略研究

张明星

(江苏宜兴无锡西玖环保科技有限公司, 江苏 宜兴 214200)

摘要: 土壤与地下水作为生态环境系统的核心组成部分, 其质量状况直接关系到生态安全与可持续发展, 构建科学完善的协同防治环境管理体系是保障二者生态功能的关键举措。开展土壤与地下水协同防治环境管理体系构建与优化研究, 对破解二者污染防治的关联性难题、提升生态环境治理效能具有重要现实意义。本文基于环境系统理论、可持续发展理论与协同治理理论, 剖析现有管理体系的构成、运行机制及协同防治方面的提升空间, 明确制约协同防治效果的关键因素, 进而提出管理体系的构建目标、总体架构及各子体系协同机制, 搭建信息共享平台, 并从技术支撑、监管机制、公众参与三个维度制定优化策略, 为提升土壤与地下水协同防治水平、完善环境管理体系提供理论参考与实践路径。

关键词: 土壤与地下水; 协同防治; 环境管理体系

中图分类号: X523

文献标识码: A

文章编号: 3106-2547 (2025) 10-0011-10

DOI: 10.62022/FHR.issn3106-2547.2025.10.002

Research on the Construction and Optimization Strategy of Environmental Management System for Collaborative Prevention and Control of Soil and Groundwater

Mingxing Zhang

(Jiangsu Yixing Wuxi Xijiu Environmental Protection Technology Co., Ltd., Yixing, Jiangsu 214200)

Abstract: Soil and groundwater are the core components of the ecological environment system, and their quality directly affects ecological security and sustainable development. Building a scientifically sound collaborative prevention and control environmental management system is a key measure to ensure the ecological functions of both. Conducting research on the construction and optimization of an environmental management system for collaborative prevention and control of soil and groundwater is of great practical significance for solving the problem of the correlation between pollution prevention and control of the two and improving the efficiency of ecological environment governance. Based on environmental system theory, sustainable development theory, and collaborative governance theory, this article analyzes the composition, operation mechanism, and improvement space of the existing management system in terms of collaborative prevention and control. It clarifies the key factors that constrain the effectiveness of collaborative prevention and control, and proposes the construction goals, overall architecture, and collaborative mechanisms of each subsystem of the management system. An information sharing platform is built, and optimization strategies are formulated from three dimensions: technical support, regulatory mechanism, and public participation. This provides theoretical reference and practical path for improving the collaborative prevention and control level of soil and groundwater and perfecting the environmental management system.

Keywords: soil and groundwater; collaborative prevention and control; environmental management system

一、土壤与地下水协同防治的背景与意义

(一) 土壤与地下水污染现状及危害

土壤是生态系统物质循环与能量交换的重要载体, 承担着植被生长、养分转化、水土保持等基础生态功能, 地下水作为地球上重要的淡水资源储备, 为工农业生产及城乡居民生活用水提供重要保障。二者通过地下水位升降、毛细上升等水文地质过程, 形成相互补给、相互影响的共

生关系, 共同维系陆地生态系统的稳定运行。当前, 受工业化推进、产业布局调整及人类生产生活活动频繁等因素影响, 部分区域土壤与地下水出现污染物累积现象, 污染呈现复合化、隐蔽化、扩散化特点, 对生态环境与人类生存发展存在潜在影响。从污染类型来看, 主要包括重金属(如铅、镉、汞、铬等)、挥发性有机物(VOCs)、半挥发性有机物(SVOCs)、持久性有机污染物(POPs)及农

作者简介: 张明星, 硕士, 工程师, 研究方向为土壤与地下水污染防治及环境管理。

业面源污染物（如化肥、农药残留）等，污染物来源较为广泛，涵盖工业场地泄漏、废水排放、固废堆放等点源污染，以及农业生产、城市径流等面源污染，且多以复合污染形态存在，增加了治理工作的复杂性。

在土壤与地下水系统中，污染物的迁移扩散形成了完整链条，呈现“土壤—地下水”相互传导、循环影响的态势。土壤中累积的污染物，会在大气降水、灌溉用水的淋溶作用下逐步渗入地下含水层，可能导致地下水中污染物含量超出国家饮用水安全限值或地下水质量标准，影响地下水资源的正常使用；受污染的地下水则会通过毛细作用向上迁移，补给表层及深层土壤，使土壤污染物含量有所上升，加重土壤污染程度，同时还可能通过地下水径流扩散至周边区域，扩大污染影响范围。这种跨介质污染传导模式，使污染问题从单一区域、单一介质向多区域、多介质蔓延，提升了治理工作的难度。

污染物在土壤与地下水系统中的长期累积，会对生态环境、人体健康及经济社会发展产生多方面影响。在生态层面，过量污染物会破坏土壤团粒结构，导致土壤透气性、保水性下降，土壤肥力有所衰减，进而影响植物根系生长与养分吸收，可能引发植被退化、生物多样性减少等问题，不利于生态系统的完整性与稳定性；同时，污染物还会改变土壤与地下水中微生物群落结构，抑制有益微生物活性，阻碍生态系统物质循环与能量流动，造成生态功能弱化。在健康层面，受污染的土壤与地下水会通过多种途径影响人体健康：一是通过食物链富集，污染物被农作物吸收后进入食物链，经逐级传递累积于人体，可能引发慢性中毒、器官损伤等疾病；二是通过直接接触，人体皮肤接触受污染土壤或饮用受污染地下水，导致污染物直接进入体内；三是通过挥发性污染物扩散，土壤与地下水中的挥发性有机物挥发至大气中，经呼吸作用被人体吸入，带来一定健康风险。在经济社会层面，污染问题会制约区域土地资源的高效利用，受污染场地难以开展城市更新、农业开发或产业布局，造成土地资源闲置；同时，污染治理需投入一定的人力、物力、财力，增加社会治理成本，且可能影响区域产业绿色转型与招商引资，对区域经济社会可持续发展产生不利影响。因此，精准研判土壤与地下水污染现状、系统梳理污染危害机理，是开展协同防治工作、筑牢生态安全防线的重要前提。

（二）协同防治的必要性分析

土壤与地下水天然的水文地质关联性，决定了二者污染防治工作必须坚持协同防治理念，这是从根本上解决跨介质污染问题的核心前提。从污染成因与传导规律来看，

绝大多数污染事件均呈现土壤与地下水同步受影响、相互传导的特征，污染物在“土壤—地下水”系统中的迁移转化的动态性，使得单一介质的治理模式难以切断污染链条，极易出现治理后反弹、治理成效大打折扣的情况，无法实现污染的彻底管控。例如，在工业场地污染治理中，化工、冶炼、电镀等行业的污染物泄漏，会同时污染表层土壤、深层土壤及浅层地下水，若仅针对土壤开展异位修复或原位治理，未同步对受污染地下水进行管控与修复，地下水中的污染物会持续向土壤扩散补给，导致已修复的土壤再次被污染，治理效果难以长期维持；反之，若仅聚焦地下水治理，采用抽出一处理、原位氧化等技术去除地下水中的污染物，而忽视土壤中的污染物源头，土壤中的污染物会在淋溶作用下不断渗入地下水，使地下水治理工作陷入“治理—反弹—再治理”的恶性循环，不仅浪费大量治理资源，还会延误污染管控的最佳时机。

此外，在农业区域、城市周边等面源污染突出的区域，污染协同传导特征更为明显。农业生产中过量施用的化肥、农药，会一部分残留于土壤中，另一部分通过地表径流、土壤淋溶渗入地下水，导致土壤与地下水同步受到污染；城市生活污水渗漏等，也会同时对土壤与地下水造成污染，单一介质治理无法从根源上解决问题。同时，随着污染治理工作的深入，复杂污染场景日益增多，深层土壤与地下水复合污染、多污染物协同作用等问题凸显，单一介质治理技术难以适配这类复杂场景的治理需求，必须通过协同防治实现多介质、全方位管控。

协同防治理念的核心价值，在于统筹考虑土壤与地下水的污染关联性、传导规律，构建“源头防控—过程拦截—末端治理”的全链条协同治理体系，从根本上切断污染物跨介质迁移路径。通过协同防治，能够实现治理资源的优化整合，避免不同介质治理工作的重复投入与相互脱节，提升污染治理的针对性与高效性；能够精准把握污染物在“土壤—地下水”系统中的迁移转化规律，制定一体化治理方案，实现多介质同步治理、协同达标；能够有效防范跨介质污染风险，保障土壤与地下水生态系统的完整性与稳定性，为生态环境质量持续改善提供坚实支撑。因此，开展土壤与地下水协同防治，是应对复杂污染问题、提升污染治理效能的必然选择，也是落实生态环境保护战略、推动生态系统良性循环的重要举措。

（三）环境管理体系构建的重要意义

构建科学完善的土壤与地下水协同防治环境管理体系，是落实国家生态环境保护要求、提升污染治理规范化、制度化、系统化水平的核心举措，对推动协同防治工作常

态化开展、破解跨介质污染治理难题具有不可替代的支撑作用。当前，我国土壤与地下水污染治理工作已从分散式、应急式治理逐步转向常态化、精细化管控，但在实际工作中，仍存在管理职责划分不清晰、治理流程不规范、技术标准不统一、各环节协同不畅等问题，导致治理工作效率不高、成效不稳定，难以适应复杂污染场景的治理需求。而完善的环境管理体系，能够通过明确工作目标、界定责任主体、规范流程标准、整合资源力量，有效破解这些管理难题，形成分工明确、协同高效、闭环管控的工作格局。

从治理实践来看，环境管理体系的构建能够为协同防治工作提供全方位支撑。在制度层面，体系能够整合现有法律法规、技术标准与管理办法，补充完善跨介质协同防治的专项制度安排，明确协同监测、风险评估、污染防治、修复治理、应急处置等各环节的工作要求，为各项治理工作提供清晰的制度依据与行为准则，避免因管理碎片化导致的治理脱节、责任推诿问题。在技术层面，体系能够搭建技术支撑平台，统筹各类监测、评估、修复技术的研发与应用，推动技术资源的优化配置，引导先进适用技术在治理工作中落地见效，提升协同防治的科学性与技术适配性。在管理层面，体系能够建立动态监管与闭环管理机制，通过全过程跟踪监测、阶段性成效评估、及时问题整改，实现对协同防治工作的全流程管控，确保各项治理措施落地见效，持续提升治理效能。

此外，环境管理体系的构建还具有重要的社会与战略意义。一方面，体系能够推动协同防治理念的广泛普及，引导政府部门、企业、科研机构、公众等各类主体明确自身职责，主动参与污染防治工作，形成“政府主导、企业主体、科研支撑、公众参与”的多方共治良好局面，凝聚协同防治的强大合力。另一方面，体系能够为区域生态环境治理提供示范引领，推动土壤与地下水污染治理与产业转型、城市更新、生态保护等工作深度融合，保障土壤与地下水资源可持续利用，为区域经济社会绿色高质量发展提供支撑。同时，通过构建协同防治环境管理体系，能够提升我国生态环境治理体系与治理能力现代化水平，筑牢生态安全屏障，推动形成人与自然和谐共生的发展局面，为全球土壤与地下水污染治理提供中国方案与实践经验。

二、土壤与地下水协同防治环境管理体系的理论基础

（一）环境系统理论

环境系统理论是构建土壤与地下水协同防治环境管理体系的核心理论支撑，该理论认为生态环境是由多个相互

关联、相互作用的要素构成的有机整体，各要素通过物质循环、能量流动与信息传递形成复杂的系统结构，某一要素的变化会通过系统关联产生连锁反应，进而影响其他要素的功能与状态。土壤与地下水作为生态环境系统的重要组成部分，二者并非孤立存在，而是通过补给、毛细上升等水文地质过程形成紧密的物质与能量交换关系，与大气、植被、微生物、岩石圈等要素共同构成完整的陆地生态环境系统，形成不可分割的有机整体，任何单一要素的异常变化都可能引发整个系统的功能波动。

基于环境系统理论，土壤与地下水协同防治需从系统整体出发，统筹考虑二者的内在关联性及其他环境要素的相互影响，构建全要素、全链条协同的管理体系。在体系构建过程中，需充分尊重环境系统的整体性、关联性与动态性，将土壤与地下水污染防治纳入区域生态环境治理全局，不再局限于单一介质的污染治理，而是同步考虑污染对大气质量、植被生长、微生物群落结构等要素的间接影响，以及这些要素反作用于土壤与地下水环境的反馈效应。通过制定系统性的治理方案，实现土壤、地下水及周边生态要素治理的协同联动，精准把控污染物在跨介质间的迁移转化路径，从整体上保障环境系统的结构稳定与功能完好，为协同防治工作提供系统性的理论指引。

（二）可持续发展理论

可持续发展理论强调经济社会发展与生态环境保护的协调统一，核心是在满足当代人生产生活需求的同时，不损害后代人满足其自身需求的能力，追求人与自然的和谐共生，其核心要义在于实现资源利用、生态保护与经济发展的动态平衡。土壤与地下水作为维系人类生存发展的重要生态资源，其质量稳定性与可持续利用性直接关系到区域经济社会的长远发展，是实现可持续发展目标的重要前提。而土壤与地下水协同防治环境管理体系的构建，正是将可持续发展理论融入生态环境治理实践的具体体现，通过科学管控污染风险、合理保护资源质量，实现二者生态功能的长效维持。

基于可持续发展理论，土壤与地下水协同防治环境管理体系需确立“生态优先、预防为主、协同治理”的核心原则，在制定各项治理策略与管理措施时，充分平衡经济社会发展与生态环境保护的关系，坚决避免以牺牲土壤与地下水环境质量为代价换取短期经济利益。在保障生态安全的前提下，通过科学规划土地利用、优化产业布局、规范资源开发等方式，实现土地资源与地下水资源的高效、可持续利用。体系构建需兼顾短期治理成效与长期生态效益，既要通过精准治理改善已受污染区域的环境质量，更

要通过源头防控从根本上减少污染产生；既要通过科学修复技术快速缓解污染危害，更要通过长效管理机制维持治理成效，推动形成资源利用高效、生态环境良好、发展可持续的良性循环，为后代人留下优质、可利用的土壤与地下水资源，筑牢区域可持续发展的生态根基。

（三）协同治理理论

协同治理理论源于系统科学与公共管理领域，强调多元主体基于共同的治理目标，通过平等沟通、协商协作、资源整合、权责划分等方式，形成协同高效的治理格局，核心目标是实现治理资源的优化配置、治理流程的无缝衔接与治理效能的最大化。土壤与地下水协同防治是一项涉及范围广、技术难度大、参与主体多、治理周期长的复杂系统工程，涵盖监测预警、风险评估、污染防治、修复治理等多个环节，仅靠单一主体的力量难以完成复杂的治理任务，亟需基于协同治理理论构建多方参与、协同联动的管理体系。

基于协同治理理论，土壤与地下水协同防治环境管理体系需明确政府部门、企业、科研机构、公众等各类主体的职责与定位，建立多元主体协同参与的工作机制与沟通平台，形成“政府主导、企业主体、科研支撑、公众参与”的协同治理格局。政府部门承担统筹规划、制度制定、监督管理、资源统筹的主导职责，负责搭建协同治理框架，明确各主体的行为边界与责任清单；企业作为污染防治的责任主体，需严格落实污染治理责任，主动开展清洁生产与风险管控，积极配合各类监管与治理工作；科研机构发挥技术支撑作用，聚焦协同防治中的技术难题开展研发，为治理方案制定、技术选择、效果评估提供专业指导；公众通过监督举报、意见征集、志愿服务等方式参与治理过程，形成多元主体相互配合、相互监督、协同发力的良好局面，全面提升协同防治工作的整体性、高效性与科学性。

（四）环境风险管理理论

环境风险管理理论是土壤与地下水协同防治环境管理体系构建的重要理论补充，核心是通过系统的风险识别、科学的风险分析、精准的风险评估，针对性制定风险管控措施，将环境风险控制在可接受范围之内，实现对生态环境与人类健康的有效保护。该理论强调风险防控的前瞻性、系统性与动态性，摒弃“事后治理”的被动模式，注重从源头防范风险、全过程管控风险、末端化解风险，形成覆盖风险全生命周期的闭环管控体系，这与土壤与地下水协同防治中“预防为主、防控结合”的核心需求高度契合，为协同防治工作提供了精准化的防控思路。

基于环境风险管理理论，土壤与地下水协同防治需建

立全链条、跨介质的风险管控机制，将风险评估与管控贯穿于污染防治、修复治理的各个环节，实现从风险源头到风险末端的全流程管控。在源头防控阶段，需通过全面的风险识别，明确工业生产、农业种植、资源开发等活动中可能引发土壤与地下水污染的潜在风险源，结合风险等级划分制定针对性防控措施，从源头减少风险产生；在过程管控阶段，需通过动态监测实时跟踪污染物迁移转化情况与风险变化趋势，结合水文地质条件与污染特征及时调整管控策略，有效阻止风险扩散蔓延；在末端治理阶段，需通过科学的修复技术降低风险水平，同时建立长效风险管控机制，定期开展风险复核与跟踪监测，防范污染反弹与风险复现。环境风险管理理论为协同防治工作提供了精准化的防控思路，助力管理体系实现从“被动治理”向“主动防控、精准管控”的转变，显著提升协同防治的前瞻性、针对性与有效性，为土壤与地下水环境质量的稳定改善提供保障。

（五）生态系统服务理论

生态系统服务理论是土壤与地下水协同防治环境管理体系构建的重要理论支撑，该理论认为生态系统通过自身结构与功能，为人类生存发展提供供给服务、调节服务、支持服务与文化服务等多元价值，土壤与地下水作为生态系统的核心组成部分，其健康状况直接决定生态系统服务功能的完整性与可持续性。土壤提供的养分供给、水土保持等服务，与地下水提供的水资源供给、水质调节等服务相互依存、相互支撑，共同构成区域生态系统服务的重要基础，二者的协同保护是维系生态系统服务功能稳定的关键。

基于生态系统服务理论，土壤与地下水协同防治环境管理体系需立足生态系统服务价值保护，将维持与提升二者生态服务功能作为核心目标之一，避免因单一介质污染治理导致生态系统服务功能受损。在体系构建过程中，需充分考量土壤与地下水生态服务功能的关联性，例如在污染修复治理中，不仅要关注污染物去除效果，更要注重保护土壤团粒结构、地下水补给能力等核心功能，避免治理过程对生态系统服务功能造成二次影响。通过协同防治，维持土壤与地下水生态系统的结构稳定，保障其供给、调节、支持等多元服务功能持续发挥，为人类生产生活与生态环境可持续发展提供坚实支撑，同时推动生态系统服务价值融入协同防治决策全过程，提升管理体系的生态性与科学性。

（六）环境法治理论

环境法治理论是土壤与地下水协同防治环境管理体系长效运行的制度性理论支撑，核心是通过完善的法律规范、

严格的制度执行与明确的责任追究，为生态环境治理提供刚性约束，确保各项防治工作在法治框架内有序推进。该理论强调法治的统一性、规范性与强制性，要求通过健全的法律体系明确各主体权利义务，规范治理行为，保障治理成效，同时通过严格执法与公正司法，筑牢生态环境保护的法治防线，为协同防治工作提供稳定的制度保障。

基于环境法治理论，土壤与地下水协同防治环境管理体系需以法治建设为重要支撑，推动协同防治工作的制度化、规范化与法治化。在体系构建中，需完善协同防治相关法律法规与标准体系，明确协同监测、风险评估、修复治理、责任追究等环节的法治要求，填补跨介质协同防治的制度空白，确保各项工作有法可依、有规可循。同时，强化法治执行力度，将协同防治责任纳入法治约束范围，明确各类主体违法违规行为的法律后果，通过严格执法提升制度执行力，保障协同防治各项措施刚性落地。此外，需加强法治宣传引导，提升各类主体的环境法治意识，引导其主动遵守协同防治相关规定，形成依法开展协同防治、依法履行保护责任的良好局面，为管理体系的长效运行提供坚实的法治保障。

三、现有土壤与地下水环境管理体系剖析

（一）现有管理体系的构成与运行机制

现有土壤与地下水环境管理体系以污染防控为核心目标，立足多年治理实践逐步迭代完善，已形成由组织架构、制度体系、技术体系、监管体系四大模块构成的基本框架，各模块相互支撑、协同运转，为区域土壤与地下水污染治理工作提供了坚实的基础支撑，推动污染防控工作逐步走向规范化、常态化。在组织架构方面，已形成分级负责、分工协作的层级化管理模式，明确了各相关部门在土壤与地下水污染监测、风险评估、源头防控、修复治理、应急处置等关键环节的核心职责，初步建立了跨部门的协调工作机制与定期会商制度，有效避免了单一部门独立作战的局限，推动各项治理工作有序落地、高效推进。

在制度体系方面，已逐步出台一系列与土壤、地下水污染防治相关的规范、标准与管理办法，构建了覆盖污染源头防控、监测评估、修复治理、应急处置等全流程的制度框架，为各项管理工作的开展提供了清晰的制度依据与行为准则，确保污染治理工作有章可循、有规可依。在技术体系方面，经过长期的研发与实践，已形成包括常规监测技术、专项风险评估技术、多元化修复技术在内的较为完备的技术储备，各类高精度监测设备、高效修复工艺逐步在实际治理工作中推广应用，技术应用的成熟度与覆盖

面持续提升，为污染治理工作提供了有力的技术支撑。在运行机制方面，已建立起“预防—监测—评估—治理”的全流程闭环管理机制，通过源头管控优化产业布局、规范污染物排放，从源头减少污染产生；通过常态化监测全面掌握土壤与地下水环境质量状况及变化趋势；通过科学评估精准识别治理重点与风险等级；通过针对性修复治理改善受污染区域环境质量，四大环节层层递进、无缝衔接，保障管理体系的稳定有序运行。

（二）现有管理体系在协同防治方面的不足

现有管理体系在单一土壤或地下水要素污染治理方面已积累了丰富经验，形成了较为成熟的治理模式与工作流程，治理成效逐步显现，但在适配土壤与地下水跨介质协同防治需求方面仍存在提升空间，难以充分契合二者水文地质关联性强、污染相互传导的治理特点，协同治理的系统性与针对性有待进一步增强。在管理架构方面，部门间的协同联动机制有待完善，部分区域仍存在土壤与地下水管理分属不同部门、各自为政的管理格局，跨部门的信息共享、沟通协商与工作协同的顺畅性有待提升，导致治理工作缺乏统筹规划与全局考量，难以形成协同发力的治理合力，部分跨介质污染问题得不到及时有效的管控。

在制度设计方面，现有制度规范多针对单一环境要素制定，缺乏专门面向土壤与地下水协同防治的系统性制度安排，对二者协同监测的点位布局、指标设定、数据共享标准，协同评估的技术方法、流程规范，协同修复的方案设计、成效验收等核心环节的要求不够明确，导致协同防治工作缺乏针对性的制度指引，工作开展的规范性与统一性有待提高。在技术应用方面，现有技术多侧重于单一介质的污染治理，针对土壤与地下水跨介质协同治理的专项技术研发与应用力度有待加强，技术集成度与适配性不够高，难以满足复合污染、跨介质污染等复杂场景的治理需求，技术对协同治理的支撑作用未能充分发挥。此外，现有管理体系对信息共享的重视程度与建设力度不足，监测数据、评估结果、治理方案、成效反馈等关键信息分散存储在不同部门与单位，缺乏统一的整合与共享平台，导致各类信息无法高效互通、深度融合，影响协同防治工作的精准性与高效性。

（三）制约协同防治效果的关键因素

制约土壤与地下水协同防治效果的关键因素呈现多元化、关联性特征，主要包括协同机制不完善、技术支撑不足、资源配置不合理及公众参与度不高等方面，这些因素相互交织、相互影响，共同制约了管理体系协同效能的充分发挥，需针对性破解以提升协同治理水平。其中，协同

机制不完善是核心制约因素,部分区域部门间的职责划分不够清晰,缺乏常态化、制度化的协同工作机制与责任追究机制,导致治理工作难以统筹推进,跨介质污染防治存在管控漏洞,无法及时阻断污染物在土壤与地下水之间的迁移传导。

技术支撑不足对协同防治效果形成明显制约,协同监测技术、跨介质风险评估技术、一体化修复技术的研发与应用深度有待加强,现有技术手段难以精准捕捉污染物在土壤与地下水系统中的迁移转化规律、累积效应及跨介质影响,导致治理方案的科学性、针对性与有效性有待提升,难以实现跨介质污染的精准管控与高效治理。资源配置不合理也是重要制约因素,协同防治工作所需的资金投入、专业人员配置、高精度设备保障等资源在区域间、部门间分布不均衡,部分区域资源投入不足,专业技术人才队伍建设滞后,高精度监测与修复设备配备不齐全,难以支撑复杂跨介质污染场景的协同治理工作。此外,公众对土壤与地下水协同防治的认知度与重视程度有待提升,参与渠道的便捷性与畅通性不够,公众参与的积极性与主动性未能充分发挥,难以形成政府主导、企业主体、公众参与的多方共治良好局面,制约了协同防治工作的整体成效与长效性。

四、土壤与地下水协同防治环境管理体系的构建

(一) 构建目标与原则

土壤与地下水协同防治环境管理体系的构建目标,是立足土壤与地下水的水文地质关联性及生态系统整体性,建立“统筹协调、分工明确、技术先进、管理高效、多方参与”的系统性管理体系,实现土壤与地下水污染从源头防控、过程监管到末端修复的全链条协同防控与精准治理。通过体系构建,有效切断污染物在土壤与地下水系统中的跨介质迁移路径,将环境风险稳定管控在可接受范围之内,显著提升土壤与地下水资源利用效率,改善二者生态环境质量,保障区域生态安全,最终形成人与自然和谐共生的可持续发展格局,为生态环境治理体系升级提供坚实支撑。

体系构建需严格遵循四项核心原则,确保体系的科学性、可行性与长效性。一是系统性原则,牢牢立足土壤与地下水相互补给、相互影响的内在关联性,从区域生态环境整体出发统筹规划治理工作,实现各治理环节、各参与主体、各生态要素的全方位协同联动,避免碎片化治理导致的成效损耗。二是预防为主原则,将污染防控重心前移,强化源头管控力度,通过优化产业布局、推广清洁生产、

规范污染物处置等方式减少污染产生,同时依托常态化监测与动态风险预警机制,提前识别潜在污染风险,做到风险早发现、早干预、早处置,从根源上降低污染危害。三是科学精准原则,以先进技术与精准数据为核心支撑,结合不同区域水文地质条件、污染类型、污染程度等差异化特征,制定针对性强、可操作性强的治理方案,提升协同防治的科学性与有效性,实现治理资源的优化配置。四是多方共治原则,明确政府、企业、科研机构、公众等各类主体的职责定位,搭建多元化协同参与平台,完善主体间协作机制,充分调动各方积极性,形成“政府主导、企业主体、科研支撑、公众参与”的良性治理格局,凝聚协同防治合力。

(二) 管理体系的总体架构设计

基于上述构建目标与原则,结合土壤与地下水协同防治的实际需求,构建“核心层—支撑层—保障层”三层递进、协同联动的总体架构,各层面功能互补、衔接顺畅,形成闭环运行的完整体系结构,确保协同防治工作有序开展、效能最大化。其中,核心层是整个管理体系的功能核心与执行载体,聚焦协同防治的核心任务,涵盖监测预警、风险评估、污染防治、修复治理四大子体系,四大子体系环环相扣、层层递进,共同实现从污染动态监测、风险科学评估,到污染精准防控、生态修复治理的全流程管控,构成协同防治的核心工作链条。

支撑层为核心层工作的开展提供全方位保障服务,主要包括信息共享与沟通平台、技术支撑体系、资金保障体系三大模块。信息共享与沟通平台作为体系协同的“神经中枢”,负责整合各类监测数据、风险评估结果、污染防治方案、修复治理成效、应急处置记录等全量信息,实现跨部门、跨主体、跨区域的信息实时互通与高效流转;技术支撑体系聚焦协同防治技术需求,通过产学研协同发力,提供技术研发、成果转化、现场应用指导等全流程服务,为核心层工作提供技术支撑;资金保障体系通过多元筹资机制,整合各类资金资源,为监测设备更新、技术研发应用、修复工程实施、平台建设运维等工作提供稳定的资金支持,确保体系持续有效运行。保障层是体系长效运行的重要基石,包括制度保障、组织保障与监督考核体系,为核心层与支撑层的高效运转保驾护航。制度保障通过完善协同防治相关规范、标准与管理办法,明确各环节工作要求与主体责任,为协同防治工作提供制度依据;组织保障通过建立统一的协同治理协调机构,明确各部门、各主体的职责分工与协作机制,避免管理混乱与责任推诿;监督考核体系通过建立科学的成效评估指标体系,定期对协同

防治工作开展情况、成效进行监督评估，将评估结果与相关主体绩效挂钩，确保各项工作落到实处、取得实效。

（三）各子体系的协同机制设计

监测预警子体系是土壤与地下水协同防治的基础前提，核心功能是精准、实时掌握土壤与地下水的环境质量状况、污染物分布特征及跨介质迁移趋势，为后续风险评估、污染防治、修复治理等工作提供精准、全面的数据支撑，确保各项工作有的放矢。该子体系需建立标准化、规范化的土壤与地下水协同监测机制，统筹规划监测点位布局，兼顾土壤污染重点区域、地下水补给区、径流区、排泄区、敏感点周边等关键区域，确保监测点位覆盖全面、分布合理，能够精准捕捉污染物在土壤与地下水之间的迁移转化过程。

监测指标体系需科学设定，既要涵盖土壤与地下水共有的重金属、挥发性有机物、半挥发性有机物等共性污染物，也要针对不同污染场景增设特征污染物指标，同时同步监测土壤含水量、孔隙度、地下水水位、水质、流速等关键水文地质参数，全面掌握污染物迁移转化的环境条件与规律。监测频率需结合区域污染程度、生态敏感性、土地利用类型等因素差异化设定，对工业场地、工业园区等污染高发区、高敏感区实行高频次动态监测，对一般区域实行常态化定期监测，同时建立监测方案动态调整机制，根据监测结果、污染变化趋势及治理需求，及时优化监测点位、指标与频率。通过构建一体化协同监测网络，形成统一标准、精准可靠的监测数据成果，为后续风险评估、污染防治与修复治理工作提供坚实的数据支撑，保障各项工作的针对性与科学性。

风险评估子体系需建立土壤与地下水跨介质协同风险评估机制，充分考虑污染物在土壤与地下水之间的迁移转化特征、累积效应及对生态环境、人类健康的潜在影响，开展全方位、系统性的跨介质风险评估，为明确治理重点、制定防控策略提供科学依据。评估流程需形成标准化闭环，涵盖污染现状全面调查、污染物跨介质迁移模拟、风险等级科学判定、防控优先级合理划分等关键环节，评估过程中需充分结合区域水文地质条件、土地利用类型、敏感点分布、人口密度等因素，确保风险评估结果贴合实际需求。

评估方法需采用定性与定量相结合的方式，引入先进的跨介质迁移模型，精准模拟污染物在土壤与地下水系统中的迁移路径、扩散范围及累积规律，量化分析不同区域、不同暴露途径下的风险水平，科学判定高、中、低风险区域。针对评估出的高风险区域，优先划定管控范围，制定针对性强的风险管控措施，强化源头阻断与过程拦截，严

防风险扩散；针对中低风险区域，实行常态化管控，定期开展风险复核，动态跟踪风险变化趋势，及时调整管控策略。通过协同风险评估，精准锁定协同防治的重点区域、关键环节与核心风险点，为污染防治与修复治理方案的科学制定提供依据，显著提升风险管控的精准性与高效性。

污染防治子体系需构建“源头防控—过程管控—应急处置”三位一体的协同防控机制，形成全链条、无死角的污染防治网络，从源头切断污染链条，有效防范污染物跨介质扩散，最大限度降低污染危害。源头防控作为核心环节，需强化工业企业、工业园区、农业生产基地等重点污染源的管控力度，推动企业实施清洁生产改造，优化生产工艺，推广环保型原料与设备，从生产源头减少污染物排放；同时严格规范污染物储存、运输、处置等全流程管理，强化防渗、防泄漏设施建设与运维，严防污染物泄漏进入土壤与地下水系统。

过程管控需针对污染物跨介质迁移路径，采取针对性的防控措施，构建污染扩散拦截屏障，例如在地下水补给区、污染源周边等关键区域采取土壤防渗处理、地下水阻隔墙等工程措施，阻止污染物在土壤与地下水之间迁移扩散；同时加强对土壤与地下水环境的动态监测，实时跟踪污染物变化趋势，及时调整管控措施，确保防控效果。应急处置需建立土壤与地下水协同应急机制，结合区域污染风险特征，制定科学完善的突发污染事件应急预案，明确应急响应流程、责任分工与处置措施，足额储备应急物资与设备，定期开展协同应急演练，提升应急处置能力。当发生突发污染事件时，快速启动应急响应，同步采取土壤与地下水污染控制、阻断、处置措施，防止污染范围扩大，最大限度降低环境风险与损失。通过全链条协同防控，实现污染风险的有效管控，从根本上减少污染对土壤与地下水生态环境的影响。

修复治理子体系需建立土壤与地下水协同修复机制，摒弃单一介质修复模式，根据区域污染类型、污染程度、水文地质条件、土地利用规划等因素，制定一体化协同修复方案，实现土壤与地下水同步修复、协同达标，提升修复治理的整体成效。修复技术选择需坚持“高效、环保、低成本、易运维”的原则，兼顾土壤与地下水的修复需求，优先采用原位热脱附技术、化学氧化还原技术、生物修复技术、联合修复技术等先进协同修复技术，针对复合污染、跨介质污染等复杂场景，可采用多种技术组合的修复模式，优化技术参数，提升修复效果。

修复实施过程中需强化协同监测，实时跟踪土壤与地下水的污染物含量变化、水文地质参数变化及修复效果，

根据监测数据动态调整修复方案与技术参数,确保修复工作科学推进、效果达标。修复工程完成后,需开展一体化协同验收评估,综合评估土壤与地下水的的历史质量状况、生态功能恢复情况,严格落实验收标准,确保修复成效符合要求。同时建立长效管控机制,对修复后的区域开展定期跟踪监测与风险复核,加强后期运维管理,严防污染反弹,持续巩固修复成效。通过协同修复治理,实现土壤与地下水环境质量的同步改善,恢复其生态功能,为区域土地资源与地下水资源的可持续利用提供保障。

(四) 信息共享与沟通平台建设

信息共享与沟通平台是打通各子体系、各参与主体协同壁垒,提升管理体系整体效能的核心支撑,需构建集数据采集、存储、分析、共享、应用、沟通于一体的智能化平台,实现跨部门、跨主体、跨区域的信息高效互通与深度融合,为协同防治决策提供数据支撑与沟通保障。平台建设需明确统一的信息共享范围与标准,确保信息的全面性、完整性与规范性,共享范围涵盖监测数据、风险评估结果、污染防控方案、修复治理成效、应急处置记录、制度标准文件、主体责任清单等各类与协同防治相关的信息,实现全流程信息全覆盖。

在技术架构方面,依托大数据、云计算、物联网、人工智能等先进技术,搭建智能化数据处理系统,实现数据的自动采集、实时传输、安全存储与智能分析。通过物联网技术对接各类监测设备,实现监测数据的自动采集与实时上传,减少人工干预,提升数据时效性;借助云计算技术搭建稳定的云端存储平台,保障海量数据的安全存储与高效调用;运用大数据与人工智能技术对采集的各类数据进行深度分析,挖掘数据背后的污染物迁移规律、风险变化趋势,生成可视化的数据分析报告与决策建议,为管理决策提供科学支撑。平台需建立严格的信息安全管理机制,设置差异化的主体访问权限,对敏感信息进行加密处理,确保信息不泄露、不滥用;同时建立信息动态更新机制,明确各主体信息更新责任与时限,确保各类信息及时更新、动态维护,保障信息的准确性与时效性。此外,平台需专门搭建沟通协商模块,设置在线交流、意见征集、信息公示、经验共享等功能,为政府部门、企业、科研机构、公众提供便捷的沟通交流渠道,方便各方及时反馈意见建议、共享治理经验、监督工作进展,推动协同防治工作高效开展。通过信息共享与沟通平台建设,实现各类资源的优化配置,提升管理体系的协同效能与决策科学性,为协同防治工作提供强有力的信息支撑。

五、土壤与地下水协同防治环境管理体系的优化策略

(一) 技术支撑强化

1. 关键技术研发与应用。强化技术支撑是优化土壤与地下水协同防治环境管理体系的核心抓手,需将关键技术研发与应用置于优先位置,聚焦土壤与地下水协同监测、跨介质风险评估、一体化修复等核心技术领域,加大专项研发投入,完善技术研发体系,持续提升技术成熟度与适配性。科研机构与企业需深度建立产学研协同合作机制,以协同防治的实际需求为导向,精准对接工业场地、农业区域、敏感生态区等不同场景的污染治理需求,针对性开展技术研发,突破传统技术瓶颈,打造适配不同污染类型、水文地质条件的专项技术方案。

在协同监测技术方面,重点研发高精度、智能化、便携式的协同监测设备,整合传感器技术、无线传输技术与数据处理技术,实现污染物在土壤与地下水之间迁移过程的实时追踪、动态监测,同时提升设备对低浓度污染物、复合污染物的识别能力,保障监测数据的精准性、时效性与连续性;在跨介质风险评估技术方面,优化升级跨介质迁移模型,融入水文地质动态参数、污染物转化系数等关键指标,提升模型对污染物在土壤—地下水系统中迁移转化规律的模拟能力与预测精度,增强风险评估结果的科学性与可靠性;在一体化修复技术方面,研发高效、环保、低成本的协同修复技术,重点突破原位协同修复、复合污染联合修复等技术难题,针对重金属与有机物复合污染、深层土壤与地下水同步污染等复杂场景,优化技术参数,提升修复效果与效率。同时,加强成熟技术的推广应用,建立技术示范基地,选取典型污染区域开展技术试点,总结推广可复制、可推广的技术应用经验,以技术创新驱动协同防治效能持续提升。

关键技术的研发与应用,能够为协同防治工作提供坚实的技术支撑,有效破解跨介质污染治理的技术难题,显著提升管理体系的科学性与高效性,推动协同防治工作从传统模式向精准化、智能化、高效化方向发展,为土壤与地下水环境质量改善提供核心技术保障。

2. 技术集成与创新。技术集成与创新是整合现有技术资源、提升协同防治综合技术水平的重要路径,需要系统整合现有监测、评估、防控、修复等各类技术资源,构建门类齐全、功能完善、适配性强的系统化协同防治技术体系,实现不同技术的优化组合、优势互补与高效应用。针对工业场地、农业种植区、生态敏感区等不同类型的污染场景,

开展针对性的技术集成研究,结合污染程度、污染物类型、水文地质条件等差异化特征,形成定制化的技术组合方案。例如针对工业场地复合污染场景,集成协同监测技术、跨介质风险评估技术、多技术联合修复技术与动态管控技术,构建“监测—评估—修复—管控”一体化治理技术方案,实现全流程闭环治理。

同时,加强技术创新升级,深度融合大数据、物联网、人工智能、区块链等新一代信息技术,推动传统防治技术的智能化、数字化升级。例如依托物联网技术搭建智能监测预警网络,实现监测数据的实时上传、自动分析与异常预警,精准预测污染物迁移趋势;借助人工智能技术构建数字化修复管理平台,实现修复过程的实时监控、智能调控与效果预判,提升修复工程的管理效率;利用区块链技术保障监测数据、评估结果、治理记录等信息的不可篡改与全程可追溯,增强数据可信度。此外,健全技术创新成果转化机制,搭建产学研用对接平台,简化技术转化流程,缩短技术从研发到应用的周期,同时加强技术人才培养,组建专业技术团队,提升技术应用与运维能力,确保技术创新成果能够快速落地见效,提升技术的实用性与可操作性。

技术集成与创新能够充分发挥各类技术的优势,大幅提升协同防治技术的系统性、适配性与智能化水平,有效破解复杂污染场景的治理难题,为管理体系的高效运行提供强有力的技术保障,推动协同防治工作迈向高质量发展阶段。

(二) 监管机制完善

1.明确监管主体与职责。完善监管机制是保障土壤与地下水协同防治环境管理体系有序运行的关键,需首先明确各类监管主体的职责定位,厘清权责边界,构建分工明确、协同高效、权责统一的监管格局,从根本上避免监管重叠、监管空白与责任推诿问题。政府部门需牵头建立统一的协同防治监管协调机构,统筹协调各相关部门的监管工作,整合监管资源,明确各相关部门在协同监测、风险评估、污染防治、修复治理、应急处置等各环节的具体监管职责,细化监管流程、监管标准与工作要求,形成标准化的监管工作规范,确保各项监管工作落到实处、有序推进。

明确监管部门的协同监管职责,强化部门间的分工协作,建立常态化的协同监管机制,推动监管工作从单一介质监管向跨介质协同监管转变,实现土壤与地下水监管工作的无缝衔接。企业作为污染防治的责任主体,需明确其在污染物排放管控、自行监测实施、风险隐患排查、污染治理修复、应急处置落实等方面的主体责任,督促企业建立健全内部环境管理体系,主动开展清洁生产改造与风险

管控工作,严格落实各项协同防治要求,积极配合监管部门的监督检查与指导工作。科研机构需承担技术支撑责任,为监管工作提供专业的技术指导、效果评估、数据核验等服务,助力监管部门提升监管的科学性与精准性。通过清晰界定各类主体的监管职责与责任清单,形成权责清晰、协同联动、各司其职、各尽其责的监管格局。

明确监管主体与职责能够有效破解监管碎片化问题,显著提升监管工作的针对性、高效性与规范性,确保协同防治各项工作有序推进、落地见效,为管理体系的稳定运行提供坚实的监管保障。

2.加强联合执法与监督。加强联合执法与监督是强化监管效能、确保协同防治各项制度与措施严格落实的重要举措,需建立健全跨部门联合执法机制,整合各部门执法资源、执法力量与执法权限,明确联合执法的工作流程、执法范围与执法标准,提升执法工作的协同性与权威性,确保协同防治相关制度与措施刚性落地。联合执法工作需聚焦污染高发区、高敏感区、重点行业与重点污染源,定期组织开展专项执法行动,严厉查处违法违规排放污染物、未落实风险管控措施、擅自闲置污染治理设施、修复治理不达标擅自投入使用等行为,形成强有力的执法震慑。

执法过程中需加强部门间的协同配合,建立执法信息共享机制,实现执法数据、违法线索、查处结果的实时互通,形成执法合力,提升执法效率;同时严格规范执法流程,坚持依法执法、公正执法、文明执法,严格执行执法标准,确保执法行为合法合规,提升执法的公正性与权威性。此外,建立常态化的监督考核机制,构建科学完善的协同防治成效评估指标体系,将协同防治工作成效、责任落实情况纳入相关主体的绩效考核体系,定期开展监督评估与专项检查,及时发现并解决监管工作中出现的问题,督促各类主体严格落实协同防治责任。畅通社会监督渠道,搭建公众监督平台,鼓励公众、社会组织参与执法监督与成效评价,形成政府监管、部门协同、社会监督、公众参与的多方监督良好局面。

加强联合执法与监督能够有效震慑各类违法违规行为,督促各类主体严格落实协同防治责任,确保管理体系的各项制度与措施落地见效,持续提升协同防治工作成效,为土壤与地下水环境质量稳定改善提供有力保障。

(三) 公众参与提升

1.加强宣传教育。提升公众参与度是构建多方共治格局、推动协同防治工作深入开展的重要基础,需将宣传教育工作贯穿协同防治全过程,通过多样化的宣传形式与丰富的宣传内容,普及土壤与地下水协同防治的重要意义、

相关知识、政策措施与工作成效,提升公众的生态环保意识、责任意识与参与积极性,营造“人人关心、人人支持、人人参与”协同防治工作的良好社会氛围。宣传教育工作需兼顾覆盖面与针对性,结合线上线下多种渠道,构建全方位、立体化的宣传体系,扩大宣传影响力与覆盖面。

线上通过电视、广播、官方网站、短视频平台、微信公众号等渠道,发布科普文章、宣传视频、政策解读、工作动态等内容,借助新媒体的传播优势,实现宣传内容的快速扩散与广泛覆盖;线下通过社区宣传、科普讲座、主题展览、志愿服务、田间宣讲等形式,深入基层、贴近群众开展宣传活动,增强宣传的互动性与实效性。宣传内容需贴近公众生活,通俗易懂、生动具体,重点讲解土壤与地下水污染的危害、协同防治的重要性、公众参与的途径与方式、相关法律法规要求等内容,引导公众树立“生态保护人人有责”的理念,自觉践行绿色生活方式。针对企业员工、青少年、社区居民、农业从业者等不同群体,开展针对性的宣传教育活动,例如对企业员工重点宣传污染防治责任与清洁生产知识,对青少年开展生态环保科普教育与实践活动,对农业从业者宣传绿色种植技术与农业面源污染防治知识,提升宣传教育的精准性与实效性。同时,及时宣传协同防治工作的成效与典型案例,增强公众对协同防治工作的认知度、认可度与信心,激发公众参与热情。

加强宣传教育能够有效提升公众对土壤与地下水协同防治的认知度、责任感与参与意识,引导公众主动践行生态环保行为,积极参与协同防治工作,为协同防治工作营造良好的社会氛围,凝聚起多方共治的强大合力。

2.建立公众参与机制。建立健全公众参与机制是保障公众参与权、表达权、监督权与知情权,提升公众参与实效的核心保障,需搭建多元化、便捷化的公众参与平台,畅通参与渠道,完善参与流程,让公众能够有序、有效参与到协同防治的全过程。完善信息公开制度,依托信息共享与沟通平台、政府官网、政务新媒体等渠道,定期公开土壤与地下水环境质量状况、协同防治工作规划、重点项目进展、治理成效、风险管控措施等信息,确保信息公开及时、全面、透明,保障公众的知情权与监督权。

建立健全公众意见征集与反馈机制,在协同防治方案制定、重大治理项目实施、政策标准出台等关键环节,通过线上征求意见、线下座谈会、听证会等形式,广泛征求公众意见与建议,对合理的意见建议及时采纳并反馈,提升决策的科学性、民主性与可操作性。搭建公众监督与举

报平台,畅通电话、邮箱、网络平台等举报渠道,明确举报受理流程与反馈时限,鼓励公众对违法违规污染行为、监管不力等问题进行举报,对举报属实的给予适当奖励,充分调动公众监督的积极性。此外,鼓励公众参与志愿服务活动,组建生态环保志愿服务队伍,组织公众参与土壤与地下水环境监测辅助、污染隐患排查、生态修复监督、科普宣传等工作,提升公众的参与感与责任感。同时,建立公众参与激励机制,对积极参与协同防治工作、贡献突出的个人与社会组织给予表彰与奖励,营造积极参与的良好氛围。

建立公众参与机制能够充分调动公众参与协同防治工作的积极性与主动性,构建政府、企业、科研机构、公众多方共治的良好局面,为管理体系的优化完善与高效运行提供坚实的社会支撑,推动协同防治工作持续深入开展。

六、结束语

土壤与地下水协同防治环境管理体系的构建与优化,是保障生态环境质量、推动可持续发展的重要举措,对破解跨介质污染治理难题、提升生态环境治理效能具有不可替代的作用。相关监管部门今后应强化技术支撑,推进关键技术研发应用与集成创新,完善监管机制,明确监管主体责任并加强联合执法监督,提升公众参与度,通过宣传教育与机制建设引导公众主动参与,全面落实各项优化策略。通过体系的构建与优化,能够有效整合各类资源,形成协同高效的治理格局,切断污染物在土壤与地下水之间的迁移链条,实现二者生态环境质量的持续改善。这不仅能够保障生态安全与资源可持续利用,还能为区域经济社会绿色转型提供支撑,推动形成人与自然和谐共生的发展局面,为生态环境治理体系与治理能力现代化奠定坚实基础。

参考文献:

- [1]何泳仪.土壤-地下水协同污染机制与修复策略研究[J].生态学与可持续发展研究,2025,2(04):127-129.
- [2]田俊.铜冶炼企业土壤及地下水污染防治研究[J].生态学与可持续发展研究,2025,2(04):101-103.
- [3]左丹丹.土壤酸化对地下水污染的影响及其修复措施[J].农村科学实验,2025(23):60-62.
- [4]陈冬梅,李国强.土壤与地下水污染防治的环境管理问题探讨[J].皮革制作与环保科技,2025,6(18):97-99.
- [5]李明明.土壤与地下水污染防治的协调措施思考[J].皮革制作与环保科技,2025,6(16):115-117.