

效。目前,我国污水处理与资源化综合利用途径不断丰富、利用效率持续提升^[4],结合各地污水处理厂的工程实践经验,其主要利用途径可分为以下三个方面。

一是水资源利用,通过深度处理将污水转化为再生水,广泛应用于工业生产、市政杂用、生态补水、农田灌溉等领域。截至目前,我国再生水利用率呈稳步提升态势,《“十四五”节水型社会建设规划》明确要求,到2025年地级及以上缺水城市再生水利用率达到25%以上。二是能源利用,通过污泥厌氧消化产生沼气,经净化处理后用于发电、供热,同时推广污水源热泵技术,实现能源的循环利用,其中北京市高安屯再生水厂通过多能耦合技术的集成应用,实现能源自给的碳中和示范目标。三是营养物质回收,从污水和污泥中获取氮、磷等营养物质,用于生产有机肥,应用于园林绿化和土壤改良,实现污泥无害化处置与资源化利用。随着技术的不断进步,污水处理与资源化综合利用将向精细化、多元化方向发展,资源综合利用效率和利用价值将得到进一步提升。

5 污水处理新技术与发展趋势

近年来,我国污水处理新技术研发与应用不断取得突破,技术发展聚焦“降碳-减污-健康-智慧”方向,有效弥补了传统工艺的不足,推动行业实现跨越式技术升级。在生化处理技术方面,移动床生物膜反应器(MBBR)、膜生物反应器(MBR)等新型生物膜技术不断优化升级,兼具负荷高、占地面积小、出水水质优等优势,已广泛应用于大中型污水处理厂;厌氧氨氧化技术(Anammox)实现了氨氮的高效生物去除,相比传统工艺能耗降低50%以上,大幅减少碳源消耗,成为高氨氮废水处理的核心技术。

在深度处理技术方面,臭氧催化氧化、光催化氧化等高级氧化技术快速发展,可有效降解传统工艺难以去除的难降解有机物,显著提升出水水质;超滤、纳滤、反渗透等膜分离技术的应用范围不断扩大,成为推动水资源循环利用的关键技术。在污泥处理处置技术方面,好氧发酵、厌氧消化等低碳工艺得到推广,污泥沼气综合利用、污泥焚烧灰渣建材化等技术实现了污泥的资源化利用,逐步压减污泥填埋规模。此外,材料基因组、合成生物学等前沿交叉技术在污水处理领域的应用逐步拓展,为污水处理技术的创新发展提供了新方向、新路径。

在智慧水务方面,依托大数据、物联网、人工智能、数字孪生等新一代信息技术,实现污水处理全流程智能化监测、调度、管理的新型运营模式^[5],朝着“全域感知、协同管控、智能高效”的方向深度发展:一是实现全流程智能化感知,推动传感器微型化、低功耗化升级,监测范围覆盖管网“最后一公里”,实现污水处理全流程的无死角监测;二是推动跨部门、跨区域数据互通,打破水务、气象、市政等部门的数据壁垒,构建流域协同的智慧水务管理平台;三是强化国产技术与设备的应用,筑牢工控安全和数据合规防线,采用机器人替代高危作业环节,提升厂区运营的安全性。

结合当前生态环境保护政策导向、污水处理技术发展和城市发展实际需求,我国污水处理厂将向“资源循环枢纽”“绿色低碳工厂”“智能高效园区”三位一体转型,呈现五大发展趋势:一是资源化导向深化,将污水处理与再生水回用、污泥资源化、能源综合利用、营养物质获取深度融合,构建“污水—再生水—能源—有机肥”的全链条资源循环体系,实现“污水变清水、污泥变资源、能源自给自足”,提升资源利用的生态与经济双重价值;二是低碳化运营常态化,推广节能工艺、可再生能源应用,拓展“以废治废”等降碳路径,推动污水处理厂逐步向近零碳排放转型;三是智能化升级全面化,融合AI大模型等技术,实现工艺运行、设备管理、水质监测、应急处置的全流程智能化,推广机器人巡检、智能投药、精准曝气等应用场景,打造“少人值守”的智慧厂区;四是多功能融合广泛化,推动污水处理厂与城市生态、休闲、科普、产业等功能深度融合,实现“治污与造景”“治污与产业”的双赢,破解传统污水处理厂的“邻避效应”,推动行业整体实现高质量发展。

6 结语

近年来,我国污水处理与资源化领域取得了显著的研究与工程实践进展,以北京市高安屯再生水厂为代表的综合低碳技术示范工程的实施,为城市污水厂的升级改造提供了典型示范,推动行业逐步从“污染治理”向“资源利用”转型,为生态文明建设和“双碳”目标的实现提供了重要保障。未来,我国污水处理行业将朝着绿色化、高效化、智能化、资源化的方向持续深度发展,一是推广“一厂一策”的个性化改造模式,强化工艺优化和运营模式升级,进一步提升出水水质和运营效率,巩固提质增效的工程实践成果;二是加快污水处理新技术的产业化应用,通过技术迭代与工程规模化应用降低技术成本;三是完善智慧水务建设体系,打破数据壁垒,实现污水处理全流程的智能化管控;四是进一步拓展资源综合利用途径,提升利用价值,实现生态效益与经济效益的双重收益;五是加强区域协同和产学研深度融合,推动污水处理技术的持续创新和工程实践经验的跨区域推广,打造更多绿色低碳标杆厂,实现减污降碳协同增效,助力我国生态文明建设和经济社会的高质量发展。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部,生态环境部,国家发展改革委.“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划[Z].2021.
- [2] 王峰,高陆令,万明辉,张辰.“双碳”背景下城镇污水处理厂绿色发展[J].土木工程与绿色建筑,2025,1(5):1-7.
- [3] 江梅,王洪臣,刘达克,王绕,杨胜东,张帅.污水源热泵系统厂前取热最佳取热量研究——以北京市城市污水系统为例[J].给水排水,2025,51(11):61-66.
- [4] 杨亚男,陈琰,张琼海,韩泽洁.污水资源化中水回用的现状和意义[J].中国科技产业,2026,1:67-70.
- [5] 李卫.智慧水务模式下污水处理厂运营能效优化策略研究[J].水利学报,2021,52(09):1025-1034.

Action Plan for Synergistic Prevention and Control of Soil and Groundwater Pollution under the Background of Beautiful China Construction

Xueru Wang Xiang Wang*

Nanjing Guohuan Technology Co., Ltd., Xinjiang Branch, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Guided by the construction of a beautiful China, establish overall and phased objectives for coordinated prevention and control of soil and groundwater pollution, adhering to core principles such as systematic coordination and precise science. Focus on five key tasks: source control, collaborative investigation and assessment, and classified and graded remediation, to build a comprehensive action system. Relying on key technologies such as precise identification of pollution sources, integrated collaborative remediation techniques, and intelligent monitoring, coupled with a technical applicability evaluation system, a "technology-action-goal" closed loop is formed. Through multi-element coordination, application of green and low-carbon technologies, and demonstration and promotion in typical regions, new pollution is curbed, existing pollution is mitigated, soil and groundwater environmental safety is ensured, and the ecological foundation of a beautiful China is consolidated.

Keywords

beautiful China; soil; groundwater; collaborative governance

美丽中国建设背景下土壤地下水协同防治行动方案

王雪如 王翔*

南京国环科技股份有限公司新疆分公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

以美丽中国建设为导向, 确立土壤与地下水协同防治的总体及阶段性目标, 遵循系统协同、精准科学等核心原则。聚焦源头防控、协同调查评估、分类分级治理修复等五大重点任务, 构建全方位行动体系。依托污染源精准识别、协同修复技术集成、智能化监测等关键技术, 搭配技术适用性评价体系, 形成“技术-行动-目标”闭环。通过多要素联动、绿色低碳技术应用及典型区域示范推广, 遏制新增污染、消解存量污染, 保障土壤地下水环境安全, 筑牢美丽中国生态根基。

关键词

美丽中国; 土壤; 地下水; 协同治理

1 引言

建设美丽中国是社会主义现代化的关键目标, 土壤及地下水作为生态根基的核心构成, 其环境质量直接关系到国家生态安全与高质量发展。目前, 我国生态环境保护仍处于压力叠加阶段, 根据相关数据, 全国受污染耕地约 1.5 亿亩, 土壤和地下水污染源头复杂、存量未清, 结构性风险未从根

本上缓解。为落实净土保卫战要求, 打破单要素治理局限, 迫切需要依据习近平生态文明思想, 构建一体化协同防治体系, 应对污染防治挑战, 为人与自然和谐共生的现代化提供环境支撑。

2 土壤—地下水污染现状及治理成效

2024 年《中国生态环境状况公报》显示, 我国土壤和地下水环境整体保持稳定向好, 治理成效逐渐显现, 但是局部问题仍然需要关注。在土壤方面, 全国土壤环境风险得到了基本管控, 重点风险监控点重金属含量整体呈现出下降趋势, 污染加重的趋势得到了初步遏制。农用地土壤环境状态保持总体平稳, 受污染耕地安全利用率达到 92%, 重点建设用地安全利用获得有效保障, 优先监管地块进行污染管控的比例高于 75%。关于地下水, 水质整体保持稳定, I 到 IV 类水质点位所占比例达到 77.9%, 和 2023 年相比上升 0.1

【作者简介】王雪如(1994—), 女, 中国湖北麻吉人, 硕士, 工程师, 从事生态环境保护专业/环境工程与技术咨询研究。

【通讯作者】王翔(1994—), 女, 中国四川广安人, 硕士, 工程师, 从事生态环境保护专业/环境工程与技术咨询研究。

个百分点。全国地下水污染防治重点区划定工作已基本完成，重点污染源管控得到加强，化工园区和垃圾填埋场等区域的地下水污染治理工作正在推进，地下水超采治理取得了明显成效。

3 美丽中国建设背景下协同防治的总体目标与原则

美丽中国建设作为新时代生态文明建设的核心目标与重要战略部署，精准回应了人民群众对美好生活的生态需求，且贯穿于经济社会发展的全过程、各领域。其核心要义在于统筹山水林田湖草沙冰系统治理，推动生态环境保护与经济社会高质量发展协同推进，最终实现人与自然和谐共生的现代化。党的十八大提出相关理念后，经过十九大和二十大不断深化，确立了节约优先、保护优先和自然恢复为主的方针，形成了全方位生态环境治理模式，以改善环境质量、筑牢生态屏障、实现绿色发展和提高治理能力。土壤和地下水是生态环境的重要基础和战略资源，它们的安全状况直接影响人体健康、粮食安全和生态安全，是进行美丽中国建设的主要载体。推进土壤和地下水协同防治、守住环境安全底线，同时是落实美丽中国建设要求、巩固生态根基的重要内容，并且为形成整体防治模式提供了方向指引。

3.1 总体目标

在习近平生态文明思想的指引下，依据美丽中国建设对生态根基的需求，构建土壤与地下水一体化的防治体系。强化源头防控以及风险管控之间的协同配合，全面统筹污染治理、生态保护以及高质量发展等方面，有效地遏制新增污染的产生，逐步消解已有的存量污染。全力保障耕地以及建设用地的环境安全，切实维护地下水作为战略资源的功能，提升生态系统的稳定性，凭借高品质的土壤地下水环境来支撑人与自然和谐共生的现代化格局，筑牢美丽中国建设过程中的土壤地下水生态屏障^[2]。

3.2 阶段性目标

建设用地安全利用可得到全面保障，地下水国控点位 I—IV 类水比例稳步上升，土壤地下水污染源头防控机制初步建立健全，重点区域污染隐患排查实现全覆盖，协同监测网络基本形成。到 2035 年，土壤地下水环境质量呈现稳中向好态势，环境风险可实现全面管控，农业面源污染得到有效遏制，形成系统完善的协同防治长效机制，符合美丽中国建设远景目标。

3.3 核心原则

始终坚持系统协同治理的理念，全面统筹土壤与地下水污染之间的关联性，积极推动多要素以及多部门联动防控工作。秉持精准科学治污的原则，依据区域水文地质状况以及产业特征，因地制宜地优化技术路线，恪守防治结合优先的方针，着重强化源头预防以及过程管控，推动绿色低碳修复技术的应用。坚守依法治污的底线，不断完善标准体系以

及监管机制，切实落实主体责任，注重长效机制的构建，兼顾短期治理成效以及长期生态维护，达成生态效益与社会效益的统一^[3]。

4 土壤地下水协同防治行动重点任务

4.1 源头精准防控行动

依靠污染源精准识别技术支持，围绕工业、农业和生活三个主要污染来源进行全过程精细管理（如图 1 所示）。需要严格执行产业准入标准并优化空间布局，对重点行业的污染物排放进行严格管控，依靠技术帮助推动清洁生产和绿色转型，对农业面源污染进行精细化的管控。科学调控化肥和农药的使用，推进畜禽养殖废弃物的资源化利用，完善农田排水和地表径流的调控设施。加强生活污染源的治理工作，对固体废物的贮存及处置进行规范，严格控制污水的渗排，形成动态排查污染隐患的机制并制定风险分级清单。依靠精准识别技术对污染溯源与追踪方式进行优化，使各方治理主体责任得到落实，从源头阻断土壤和地下水污染的迁移途径，构筑共同防治的第一道技术防线^[4]。



图 1 美丽中国农业发展

4.2 污染协同调查与风险评估行动

着手开展全国范围内土壤地下水污染状况的系统性协同调查工作，以此明确污染区域的具体分布情况、污染物的种类以及其迁移转化的路径，建立一体化的污染数据库。构建一套科学合理的风险评估指标体系，将土地利用类型与地下水功能区划分相结合，精准评估污染对生态环境、人体健康以及饮水安全所存在的潜在风险。加强调查与评估成果的共享共用，对调查技术方法给予优化，提升精细化调查的水平，定期更新风险评估结果，划分出高、中、低风险区域，为后续的分类治理与动态管控提供精准的数据支撑，达成污染风险的早发现以及早研判^[5]。

4.3 分类分级协同治理与修复行动

依据污染程度、土地用途和风险等级开展分类分级治理修复工作，参考《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》与《地下水质量标准》，结合风险评估结