

02
2026



生态与环境科学

Ecology and Environmental Science

Volume 7·Issue 2·February 2026 ISSN2737-5072(Print) 2737-5080(Online)



生态与环境科学 Ecology and Environmental Science

Volume 7 · Issue 2 · February 2026 ISSN 2737-5072(Print) 2737-5080(Online)



Tel: +65 65881289

E-mail: contact@nassg.org

Add: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：生态与环境科学

ISSN: 2737-5072 (纸质) 2737-5080 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/ees-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Ecology and Environmental Science

ISSN: 2737-5072 (Print) 2737-5080 (Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/ees-cn

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《生态与环境科学》征稿函

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: http://www.nassg.org



期刊概况：

中文刊名：生态与环境科学

ISSN: 2737-5072 (Print) 2737-5080 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/ees-cn

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 中国知网（CNKI）、谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

生态与环境科学

Ecology and Environmental Science

主 编

匡廷云

Tingyun Kuang

编 委

李荣华 Ronghua Li

陈浩东 Haodong Chen

唐晓彬 Xiaobin Tang

- 1 典型工业区土壤重金属空间分布特征及源解析研究
/ 梁吉哲 申龙 赵曦 高宇
- 4 挥发性有机物在线监测数据的准确性评价
/ 姚婷婷 张秀博 周雨蓉 赖于民
- 7 近自然经营理念在京郊平原生态林补植养护中的应用研究
/ 任建峰
- 10 挥发性有机物 (VOCs) 治理工程中环保咨询的全生命周期管理
/ 沈涛 韩斌
- 13 土壤污染治理与生态修复协同发展模式探索
/ 李蝶 陆敬磊
- 16 环境影响评价在区域环境管理中的应用研究
/ 陶燕江 祁彦青
- 19 区域规划环境影响评价方法研究
/ 顾景荣 蒋加峰
- 22 不同标准方法在钢铁行业有组织颗粒物监测中的应用探讨
/ 贾津
- 25 新时期环境保护中水污染治理的措施研究
/ 马闯 周政
- 28 气相色谱质谱技术在土壤检测中的应用研究
/ 方梦迪 陈茂源 杨锐芝
- 31 浅谈湖南省农村生活垃圾治理技术
/ 马春花
- 34 外来入侵植物对自然保护区森林生态环境保护的影响——以浙江省保护地为例
/ 林迎港 林海霞 项婷 吴相 雷祖培
- 37 沙漠藻引擎：唤醒沉睡的盐碱地——河北沧州黄骅市千亩盐碱地改良示范基地科技成果
/ 艾山江 宋水山
- 45 工业遗留场地土壤与地下水污染风险识别与分区治理研究
/ 李晓萌
- 48 污水处理各指标控制手段剖析
/ 李玉
- 51 金湖芡实全生育期气候特征与致灾因子分析
/ 王明珠 王勳 邹汶倩 黄旭阳
- 54 典型工业遗留场地重金属土壤污染的空间分布特征及溯源研究
/ 胡立标
- 57 电磁辐射监测技术在环境评价中的应用实践
/ 姜姝
- 60 地表水水质自动监测数据有效性影响因素及校正方法探究
/ 张远龙 胡春艳 其木格
- 63 浅谈环境影响评价体系中的土壤环境评价方法
/ 胡书彦
- 66 低温甲醇与高氨氮混合废水处理工艺对比研究
/ 赵文峰
- 69 全氟和多氟烷基物质 (PFAS) 的环境归趋与传统治理技术研究进展
/ 曹梅娟 吴晓佩 宋巧乐 李莎莎 杨霁 裴璐尧
- 72 生态环境检测机构体系管理中人员能力建设研究
/ 郭亚凡
- 75 模块化联产绿色节能系统设计与乡村生态应用
/ 杨亨通 王元瀚 黎雨萱 哈懿轩 李思燕
- 78 探讨气相色谱技术在水环境污染检测中的运用方法
/ 王思进
- 81 环保在线监测设备验收技术核查要点与实施路径
/ 田思宇
- 84 煤质中硫分与灰分快速检测技术的改进及环保意义
/ 周锋
- 87 近地遥感与机器学习的耕地质量快速监测技术
/ 陈川 王志鸿 张舜
- 90 水生态修复技术在改善水环境污染问题中的实践与成效研究
/ 刘馨文
- 93 干旱区天然绿洲生态耗水量计算研究——以新疆民丰县安迪尔河流域为例
/ 朱玉华
- 97 环境监测在大气污染治理中的作用及策略
/ 韩瑞芳 王昭伟
- 100 智能加药系统在污水处理厂中的应用与运维管理策略
/ 刘山 张国林 孙建鑫 王颖 李永臣
- 103 黄河三角洲乡土草种质资源收集、保存与利用
/ 马文健 董强 曲晓燕 李德义 郭时金
- 108 新型改性滤料在污水深度处理中的应用
/ 辛文晶
- 111 浅论土壤环境中有害化学物质的检测与分析方法
/ 金园园
- 114 水环境监测数据综合分析与水质变化特征研究
/ 李倩颖 李敏
- 117 生态环境保护中大气污染问题分析及处理措施
/ 李莉
- 120 煤化工高浓盐水零排放处理工艺优化研究
/ 张悦 刘刚
- 124 环境监测实验室的土壤样品管理与质量控制策略思考
/ 邵卫红
- 127 傅里叶红外气体分析仪常见故障诊断与维护策略优化研究
/ 陆彬

- 1 Study on Spatial Distribution Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in Typical Industrial Zone Soils / Jizhe Liang Long Shen Xi Zhao Yu Gao
- 4 Accuracy Evaluation of Volatile Organic Compounds On-line Monitoring Data / Tingting Yao Xiubo Zhang Yurong Zhou Yumin Lai
- 7 Study on the application of close-to-nature management concept in the replanting and maintenance of ecological forest in Beijing suburb plain / Jianfeng Ren
- 10 Full Life Cycle Management of Environmental Consulting in VOCs Control Projects / Tao Shen Bin Han
- 13 Exploration of the Coordinated Development Model of Soil Pollution Control and Ecological Restoration / Die Li Jinglei Lu
- 16 Research on the Application of Environmental Impact Assessment in Regional Environmental Management / Yanjiang Tao Yanqing Qi
- 19 Research on Environmental Impact Assessment Methods for Regional Planning / Jingrong Gu Jiafeng Jiang
- 22 Application of Different Standard Methods in Organized Particulate Matter Monitoring in the Steel Industry / Jin Jia
- 25 Research on Measures for Water Pollution Control in Environmental Protection During the New Era / Chuang Ma Zheng Zhou
- 28 Application of Gas Chromatography-Mass Spectrometry in Soil Testing / Mengdi Fang Maoyuan Chen Ruizhi Yang
- 31 Brief Discussion on Rural Domestic Waste Treatment Technologies in Hunan Province / Chunhua Ma
- 34 The Impact of Invasive Alien Plants on the Protection of Forest Ecological Environment in Protected Areas-A Case Study of Protected Areas in Zhejiang Province / Yinggang Lin Haixia Lin Ting Xiang Xiang Wu Zupei Lei
- 37 Desert Algae Engine: Awakening Sleeping Saline Land—Science and Technology Report on the Demonstration Base for Improving Thousand-Mu Salt-Alkali Land in Huanghua City, Cangzhou, Hebei Province / Shanjiang Ai Shuishan Song
- 45 Study on Risk Identification and Zoning Management of Soil and Groundwater Pollution in Industrial Waste Land / Xiaomeng Li
- 48 Analysis of Control Measures for Key Indicators in Wastewater Treatment / Yu Li
- 51 Climatic Characteristics and Disaster-Causing Factors During the Whole Growth Period of *Euryale ferox* in Jinhu / Mingzhu Wang Xu Wang Wenqian Zou Xuyang Huang
- 54 Spatial Distribution and Source Tracing of Heavy Metal Pollution in Typical Industrial Heritage Sites / Libiao Hu
- 57 Application of Electromagnetic Radiation Monitoring Technology in Environmental Assessment / Shu Jiang
- 60 Influence Factors and Correction Methods of Automatic Monitoring Data on Surface Water Quality / Yuanlong Zhang Chunyan Hu Muge Qi
- 63 Discussion on Soil Environmental Assessment Method in Environmental Impact Assessment System / Shuyan Hu
- 66 Comparative Study on Treatment Process of Low Temperature Methanol and High Ammonia Nitrogen Mixed Wastewater / Wenfeng Zhao
- 69 Research progress on environmental fate and traditional treatment technologies of perfluorinated and polyfluoroalkyl substances (PFAS) / Meijuan Cao Xiaopei Wu Qiaole Song Shasha Li Ji Yang Luyao Pei
- 72 Research on Personnel Capacity Building in the Management of Ecological Environment Monitoring Institution System / Yafan Guo
- 75 Design of Modular Green Energy Saving System and Its Application in Rural Ecology / Hengtong Yang Yuanhan Wang Yuxuan Li Yixuan Ha Siyan Li
- 78 Discussion on the application of gas chromatography in the detection of water pollution / Sijin Wang
- 81 Key Points and Implementation Path of Acceptance Tech-

- nical Verification for Online Monitoring Equipment of Environmental Protection
/ Siyu Tian
- 84 Improvement of rapid detection technology for sulfur and ash content in coal and its environmental significance
/ Feng Zhou
- 87 Rapid monitoring technology of cultivated land quality based on near earth remote sensing and machine learning
/ Chuan Chen Zhihong Wang Shun Zhang
- 90 Study on the Practice and Effect of Water Ecological Restoration Technology in Improving Water Environmental Pollution
/ Xinwen Liu
- 93 Research on the calculation of water consumption of natural oasis ecosystems in arid regions-Taking the andier river basin in Minfeng County,Xinjiang as an example
/ Yuhua Zhu
- 97 The Role and Strategies of Environmental Monitoring in Air Pollution Control
/ Ruifang Han Zhaowei Wang
- 100 Application and Operation Management Strategy of Intelligent Dosing System in Sewage Treatment Plant
/ Shan Liu Guolin Zhang Jianxin Sun Ying Wang Yongchen Li
- 103 Collection, Preservation and Utilization of Native Grass Germplasm Resources in the Yellow River Delta
/ Wenjian Ma Qiang Dong Xiaoyan Qu Deyi Li Shijin Guo
- 108 Application of new modified filter media in advanced wastewater treatment
/ Wenjing Xin
- 111 Discussion on the Detection and Analysis Methods of Harmful Chemicals in Soil Environment
/ Yuanyuan Jin
- 114 Comprehensive Analysis of Water Environment Monitoring Data and Research on Water Quality Change Characteristics
/ Qianying Li Min Li
- 117 Analysis and Treatment Measures of Air Pollution in Ecological Environment Protection
/ Li Li
- 120 Research on the influence of high-concentration silica in coal chemical industry saline wastewater on the operation cycle of nanofiltration membrane
/ Yue Zhang Gang Liu
- 124 Thoughts on Soil Sample Management and Quality Control Strategy in Environmental Monitoring Laboratory
/ Weihong Shao
- 127 Research on Fault Diagnosis and Maintenance Strategy Optimization of Fourier Transform Infrared Gas Analyzer
/ Bin Lu

Study on Spatial Distribution Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in Typical Industrial Zone Soils

Jizhe Liang¹ Long Shen¹ Xi Zhao³ Yu Gao^{2*}

1. Liaoning Environmental Protection Group Fujie Ecological Environment Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110030, China

2. Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning, 110020, China

3. Liaoning Environmental Protection Group Keyuan Environmental Technology Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110015, China

Abstract

This article focuses on heavy metals in the soil of typical industrial areas and analyzes their spatial distribution characteristics and pollution sources. In terms of spatial distribution, heavy metals show a “point-line-surface” gradient diffusion and are highly correlated with pollution sources. The pollution differences in functional zones are significant, and the types match the corresponding industries. Vertical stratification protrudes, and the surface soil is most severely polluted. Source apportioning indicates that industrial production activities are the core sources of direct emissions, transportation activities are important pathways for flow and diffusion, and the accumulation and disposal of solid waste are potential pollution reservoirs that accumulate over a long period of time. The combined effect of the three factors leads to heavy metal pollution in the industrial zone soil, providing a crucial basis for pollution prevention and control as well as soil remediation.

Keywords

Industrial zone Heavy metals in soil Distribution characteristics

典型工业区土壤重金属空间分布特征及源解析研究

梁吉哲¹ 申龙¹ 赵曦³ 高宇^{2*}

1. 辽宁省环保集团辐洁生态环境有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110030

2. 沈阳工业大学, 中国·辽宁 沈阳 110020

3. 辽宁省环保集团科源环境技术有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110015

摘要

文章聚焦典型工业区土壤重金属, 分析其空间分布特征与污染来源。空间分布上, 重金属呈“点-线-面”梯度扩散, 与污染源高度关联; 功能分区污染差异显著, 类型匹配对应产业; 垂向分层突出, 表层土壤污染最重。源解析表明, 工业生产活动是直接排放核心源, 交通活动为流动扩散重要途径, 固体废弃物堆积与处置则是长期累积的潜在污染库。三者共同作用, 导致工业区土壤重金属污染, 为污染防控与土壤修复提供关键依据。

关键词

工业区; 土壤重金属; 分布特征

1 引言

随着工业快速发展, 典型工业区土壤重金属污染问题日益凸显, 威胁生态安全与人体健康。明确重金属空间分布规律、精准识别污染来源, 是开展污染防控与土壤修复的前提。本文针对典型工业区, 系统探究土壤重金属空间分布特

征, 深入解析主要污染来源, 旨在为工业区土壤环境管理、风险管控及治理修复提供科学支撑, 助力解决工业区土壤重金属污染难题。

2 典型工业区土壤重金属空间分布的特征

2.1 污染源指向性显著, 呈现“点-线-面”梯度扩散

典型工业区土壤重金属分布与污染源位置高度关联, 形成以污染源头为核心的梯度扩散格局。例如, 冶炼厂、化工厂等固定污染源周边, 重金属(如铅、镉、汞)含量呈现“核心区极高-缓冲区骤降-外围区趋稳”的特征, 核心区含量

【作者简介】梁吉哲(1986-), 男, 中国辽宁大石桥人, 硕士, 高级工程师, 从事环境工程研究。

【通讯作者】高宇(1979-), 男, 中国辽宁营口人, 博士, 教授, 从事生态环境保护与治理研究。

可能是区域背景值的 10-50 倍；交通干线（如厂区内铁路、货运道路）两侧则形成“线状污染带”，铅、锌等与交通相关的重金属含量随距离道路远近递减，通常在 0-50 米范围内降幅最为明显；而整个工业区边界与周边农田、居民区的过渡带，重金属含量逐渐接近区域土壤背景值，体现出“面状圈层扩散”的整体规律^[1]。

2.2 功能分区差异明显，污染类型与产业高度匹配

工业区内不同功能分区的土壤重金属种类与含量差异显著，直接对应各区域的产业活动类型。生产区（如车间、反应釜周边）以特征性重金属污染为主，如电镀车间周边土壤铬、镍含量突出，电池生产区则铅、汞富集明显；仓储区（尤其是危化品仓库）可能因泄漏形成局部高浓度污染点，重金属种类更复杂，常伴随铜、锌、砷等多种元素叠加；污水处理区（如沉淀池、排污沟周边）则因污泥堆积，导致镉、铅等易沉淀重金属在表层土壤大量累积；而行政办公区、生活区的重金属含量最低，仅略高于区域背景值，且以交通源输入的铅、锌为主^[2]。

2.3 垂向分层特征突出，表层土壤污染最为严重

在垂直方向上，工业区土壤重金属呈现“表层富集、深层递减”的分布规律，且不同深度的污染程度与土层性质密切相关。0-20cm 的表层土壤（耕作层或腐殖质层）因直接接收大气沉降、地表径流冲刷、固体废弃物堆放等污染输入，重金属含量最高，部分区域镉、汞的表层含量占整个土壤剖面（0-100cm）总含量的 60%-80%；20-60cm 的亚表层土壤，重金属含量因淋溶作用有所下降，但仍高于深层土壤，且黏粒含量高的区域易形成重金属“滞留层”；60cm 以下的深层土壤，重金属含量接近背景值，仅在污染源附近（如地下管道泄漏点）出现局部超标，体现出垂向污染的局限性^[3]。

3 典型工业区土壤重金属源解析

3.1 工业生产活动源：直接排放的核心污染源

工业生产是工业区土壤重金属最主要的直接来源，具有污染强度大、针对性强、与生产环节高度绑定的特征，贯穿原料加工至成品出厂全流程，对土壤的破坏兼具持续性与累积性。

以金属冶炼行业为例，钢铁、铅锌冶炼厂的矿石破碎、焙烧、熔炼各环节均会释放重金属：焙烧时，铅、镉等挥发性重金属随高温烟气逸出，冷却后以颗粒物沉降，在冶炼炉周边 500 米内形成“污染核心区”，土壤铅含量常超背景值 30-100 倍，极端点位达 200 倍以上；熔炼炉渣若露天堆放且未经无害化处理，锌、铬等会经雨水淋溶渗透，导致堆放区及周边土壤重金属持续升高；酸洗、冷却废水若处理不达标排放，还会渗透污染深层土壤，形成难修复的“重金属污染带”。化工行业中，农药、染料厂的污染影响突出且元素具行业特异性^[4]。有机磷农药生产需用含砷原料（如三氯化砷），若储存罐密封不严或管道老化泄漏，砷会快速渗入土

壤并在耕作层（0-20cm）富集，因砷移动性差、半衰期长，易形成稳定污染层，超标范围可扩散至厂区周边 100-200 米；染料厂合成偶氮、蒽醌染料时，镍、铜等金属催化剂会随未深度处理的反应废液泄漏入土壤，不仅升高重金属含量，还会与土壤有机质结合形成难降解络合物，加剧污染。电子制造业是新兴重金属污染源，特点为稀有重金属检出率高、污染隐蔽性强。电路板生产与元件组装中，焊接工艺用的传统含铅焊料高温下产生铅蒸汽，冷凝后沉降车间地面并渗透入土壤；元件拆解时，废弃电路板上的镉、汞会随机械磨损脱落，混入废料堆后缓慢释放。尤为关键的是，电子制造业还会产生铊污染，其来源于元件特殊涂层与半导体材料，在其他工业领域检出率低，仅电子工业区周边易见，且铊毒性强，低含量即威胁生态与人体健康^[5]。

3.2 交通活动源：流动扩散的重要污染途径

工业区内密集的交通活动（含货运、生产运输）是土壤重金属的重要流动来源，呈现“线状扩散、区域覆盖”特征^[6]。货运车辆（如载重卡车、集装箱货车）使用的含铅汽油（部分地区仍在用）燃烧后，铅会随尾气以颗粒物形式沉降，导致道路两侧土壤铅含量显著升高，通常在道路 0-30 米范围内，铅含量随距离增加而快速下降，降幅可达 50%-70%；厂区内铁路运输（如原料运输专线）因列车制动磨损（刹车片含铜、锌）、轨道腐蚀（含铬、锰），会产生金属碎屑，经雨水冲刷进入周边土壤，使铁路两侧土壤铜、锌含量超背景值 2-5 倍；此外，物流园区内频繁的车辆启停、轮胎磨损，还会释放锌（轮胎添加剂）、镉（橡胶稳定剂）等重金属，形成区域性的交通源污染叠加。

3.3 固体废弃物堆积与处置源：长期累积的潜在污染源

工业区内固体废弃物的不合理堆积与处置，会成为土壤重金属长期释放的“污染库”，易造成局部高浓度污染^[7]。工业废渣（如冶炼渣、化工渣）是主要载体，例如钢铁厂的高炉渣含铬、镍、锰等重金属，若露天堆放在厂区边缘，经日晒雨淋，重金属会通过渗滤液渗透到土壤深层，形成直径 10-50 米的污染晕，且深层土壤（20-60cm）重金属含量可能高于表层；危险废物（如废电池、废灯管、废化学品）若未按规范处置，随意丢弃在厂区角落，会导致汞、铅、镉等剧毒重金属快速释放，例如 1 节废铅酸电池泄漏，可使周边 1 平方米土壤铅含量超国家标准 50-100 倍；此外，厂区内生活垃圾与工业固废混合堆放，会进一步加剧锌、铜等重金属的扩散，形成复合型污染区域^[8]。

4 结语

本研究明确典型工业区土壤重金属空间分布呈“点-线-面”梯度扩散、功能分区匹配产业污染、表层污染最重的特征，且识别出工业生产、交通活动、固体废弃物处置为三大核心污染源。研究成果清晰揭示了工业区土壤重金属污染的

规律与成因，为后续精准防控提供了科学依据。未来可基于技术选择与治理方案制定提供方向，助力推动工业区土壤环境此优化工业区功能布局、强化污染源管控，同时为土壤修复境质量改善与可持续发展。

表 1 固体废弃物堆积与处置源：长期累积的潜在污染库

污染类别	污染机制	污染特征与数据
工业废渣污染（以钢铁厂高炉渣为例）	1. 工业废渣是工业区固废主要部分，污染特征与对应产业直接相关；2. 高炉渣含铬（0.05%-0.2%）、镍（0.01%-0.05%）、锰（1%-3%）等重金属；3. 未经无害化处理露天堆放，重金属随雨水形成渗滤液渗透至土壤深层。	1. 堆放区及周边形成直径 10-50 米的“污染晕”；2. 深层土壤（20-60cm）黏粒多、微生物活动弱，部分区域重金属含量高于表层，形成“深层富集”；3. 每产 1 吨钢铁约产 0.3-0.5 吨高炉渣，污染周期长且修复难度大。
危险废物污染（废电池、废灯管、废化学品等）	1. 危险废物含剧毒重金属，未按《危险废物贮存污染控制标准》存放，随意丢弃于厂区角落或废弃车间；2. 废铅酸电池外壳破损后，铅膏与电解液直接泄漏；3. 重金属短时间内快速释放，引发急性污染风险。	1.1 节标准 12V 废铅酸电池含铅 200-300 克，泄漏可使周边 1 平方米土壤铅含量超 GB 36600-2018 第二类用地筛选值 50-100 倍；2. 铅在土壤中稳定存在数十年，持续危害生态与人体健康；3. 污染具有突发性，局部浓度极高。
混合固废污染（生活垃圾 + 工业固废）	1. 厂区生活垃圾与工业固废（废弃零部件、破损包装）混合堆放；2. 生活垃圾中有机物加速工业固废中锌、铜等重金属溶出；3. 混合堆体经雨水冲刷形成成分复杂的渗滤液，携带重金属扩散。	1. 形成复合型污染，原本局限的点污染扩大为面状污染；2. 锌（来自金属件）、铜（来自电线）等重金属扩散范围扩大，污染面积增加；3. 污染物成分更复杂，加剧土壤生态系统破坏程度。

参考文献

- [1] 冯韶华,俞一帆,张旭峰,尚婷婷,王陆游,孟祥周.中国农田土壤重金属污染源解析研究进展[J].环境污染与防治,2023,45(09):1300-1306.
- [2] 王建明,施泽明,郑培佳,王新宇,朱英海,张凯亮,王钰.四川铅锌冶炼工业区周边土壤重金属地球化学特征及源解析[J].地球与环境,2023,51(03):287-298.
- [3] 马丽,郭学良,王浩蓓,王冰冰,张丽英,杨森,田文静.商丘市不同建设用地分区土壤重金属污染特征及评价[J].西北林学院学报,2022,37(05):80-87.
- [4] 万梦雪,焦文涛,胡文友,吕明超,黄洪辉,刘亚凤.城市工业区土壤重金属累积特征与来源解析——以上海市闵行区典型工业区为例[J].环境化学,2023,42(06):1886-1898.
- [5] 孟晓飞,郭俊梅,杨俊兴,郑国砥,陈同斌,刘杰.石家庄市栾城区农田土壤重金属分布特征及作物风险评价[J].环境科学,2022,43(09):4779-4790.
- [6] 孟晓飞,郭俊梅,杨俊兴,杨军,郑国砥,乔鹏伟,卞建林,陈同斌.河南省典型工业区周边农田土壤重金属分布特征及风险评价[J].环境科学,2021,42(02):900-908.
- [7] 杨倩,鲁新川,殷建国,尹常亮,吴靖宇,郭晖,张昱.甘肃嘉峪关市表层土壤重金属空间分布与评价[J].沉积学报,2019,37(05):1006-1015.
- [8] 张东明,吕新,王海江,张泽,张国龙,马革新.工业区农田土壤有效态重金属相关性分析及空间分布研究[J].江苏农业科学,2018,46(12):223-227.

Accuracy Evaluation of Volatile Organic Compounds Online Monitoring Data

Tingting Yao Xiubo Zhang Yurong Zhou Yumin Lai

Zhejiang Qiusi Environmental Monitoring Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

Volatile Organic Compounds(VOCs),as one of the air pollutants,are widely present in industrial emissions,traffic emissions,and other fields,causing severe impacts on the environment and human health.With the growing demand for air pollution control,the application of VOCs online monitoring technology has become increasingly widespread,serving as an important tool for real-time monitoring and controlling VOCs emissions.However,the accuracy of monitoring data is directly related to the scientific and effective decision-making in environmental management,making accuracy evaluation particularly important.By optimizing monitoring technology,improving data processing methods,and enhancing standardization,the accuracy of VOCs online monitoring data can be significantly improved,providing more reliable data support for environmental pollution prevention and control.

Keywords

Volatile Organic Compounds;Online Monitoring;Accuracy Evaluation;Data Processing;Environmental Management

挥发性有机物在线监测数据的准确性评价

姚婷婷 张秀博 周雨蓉 赖于民

浙江求实环境监测有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

挥发性有机物(VOCs)作为大气污染物之一,广泛存在于工业排放、交通排放等领域,对环境和人类健康产生严重影响。随着大气污染治理需求的不断增长,挥发性有机物在线监测技术的应用日益广泛,成为实时监测和控制VOCs排放的重要手段。然而,监测数据的准确性直接关系到环境管理决策的科学性和有效性,因此准确性评价显得尤为重要,通过优化监测技术、改进数据处理方法与标准化建设,可以显著提高VOCs在线监测数据的准确性,为环境污染防控提供更可靠的数据支持。

关键词

挥发性有机物;在线监测;准确性评价;数据处理;环境管理

1 引言

挥发性有机物(VOCs)是指在常温常压下易挥发的有机化学物质,广泛存在于工业排放、交通排放和日常生活活动中。VOCs的排放不仅导致空气污染,还能与氮氧化物反应生成臭氧和二次有机气溶胶,严重影响空气质量及人类健康。为了有效控制VOCs排放,在线监测技术作为实时获取排放数据的重要手段,已被广泛应用于各类工业和环境监测领域。然而,VOCs在线监测数据的准确性受到多种因素的影响,如设备性能、环境条件和数据采集方法等,因此,确保数据准确性对科学决策和污染控制至关重要。本文旨在评估VOCs在线监测数据的准确性,通过总结准确性评价方法和提升策略,为相关技术的优化和应用提供理论依据。

2 挥发性有机物(VOCs)在线监测技术概述

2.1 挥发性有机物的定义与特点

挥发性有机物(VOCs)指的是在常温常压下能迅速挥发的有机化学物质。这些物质通常是由碳、氢、氧等元素组成,具有较高的蒸汽压和挥发性。VOCs的种类繁多,包括烃类、醇类、酮类、醛类、酯类等,这些化合物广泛存在于自然界和人类生产活动中。它们不仅是空气污染的重要来源,也是大气中臭氧和细颗粒物形成的前体物质。VOCs的排放会对环境和健康造成严重影响,长期暴露可能引发呼吸道疾病、癌症等健康问题,同时还可能导致酸雨、雾霾等环境污染问题。因此,对VOCs进行有效监测和控制显得尤为重要。

2.2 在线监测技术的原理与发展

VOCs在线监测技术主要通过采集和分析空气中的气体成分,实时监测VOCs的浓度和种类。其原理通常基于气体传感器、电化学分析、红外吸收、气相色谱等方法。随着科

【作者简介】姚婷婷(1998-),女,中国浙江绍兴人,本科,助理工程师,从事生态环境监测与分析研究。

技的进步,在线监测技术已经发展成为能够实时、连续、自动化的环境监测手段,广泛应用于大气污染监测、工业排放监管、室内空气质量监控等领域。传统的监测方法主要依赖人工采样和后期分析,周期长、效率低。而现代在线监测系统则能够实现数据实时上传和自动报警,大大提高了监测的时效性和准确性。随着智能化和自动化技术的发展,在线监测系统逐步向更高精度、更低成本的方向发展,未来将实现更加精准和广泛的应用^[1]。

2.3 挥发性有机物监测的应用领域

挥发性有机物的监测具有广泛的应用领域,涵盖了环境保护、工业生产、公共安全等多个方面。在环境保护领域,VOCs的在线监测用于空气质量评估、污染源追踪和环境风险评估,尤其是在大气污染防治过程中起到关键作用。在工业生产领域,挥发性有机物监测能够有效监管工业排放,保障企业符合排放标准,减少对周围环境的污染。在城市管理和公共安全领域,VOCs的监测还可用于室内空气质量、公共卫生监控等。此外,VOCs监测还被广泛应用于农业、化工、建筑等行业,确保在这些领域中的有害物质不会超标排放,保障人类和生态环境的安全。

3 挥发性有机物在线监测数据的准确性要求

3.1 准确性对环境监测的重要性

VOCs在线监测数据的准确性直接关系到环境监测的有效性和科学性。准确的数据能够为环境管理者提供可靠的依据,确保制定出的环境保护政策和措施能够有效应对污染问题。若数据不准确,将导致错误的排放量评估和污染源识别,从而影响对污染源的监管和治理效果。准确性高的监测数据还能够支持对政策执行效果的实时评估,及时发现问题并进行调整。此外,VOCs的监测数据常常作为法定检测的依据,因此其准确性不仅对环境保护具有重要意义,还对相关企业的合规性和社会公共利益起着保障作用。

3.2 监测设备性能对数据准确性的影响

VOCs在线监测数据的准确性在很大程度上依赖于监测设备的性能。监测设备的灵敏度、选择性、稳定性和重复性等性能参数直接决定了数据的精度。设备的灵敏度决定了能够检测到的VOCs浓度范围,过低的灵敏度可能导致低浓度VOCs的漏检。选择性则影响设备识别不同VOCs物质的能力,若设备的选择性较差,可能会因其他气体干扰而导致误差。设备的稳定性是确保长期使用中数据稳定可靠的关键,而设备的重复性则影响多次测量结果的一致性。因此,选择适合的监测设备、定期校准和维护设备是确保数据准确性的基本要求。

3.3 数据采集与处理中的误差来源

数据采集和处理过程中存在多个可能的误差来源,影响着VOCs监测数据的准确性。在数据采集阶段,误差可能来自传感器的灵敏度偏差、环境干扰、温湿度变化等因素。

传感器的老化和污染可能导致其响应灵敏度下降,进而影响测量值的准确性。环境因素如温度、湿度、气压等也可能对传感器的读数产生影响,特别是在极端天气条件下,这种影响更为显著。数据处理阶段,误差可能来源于算法模型的不完善、数据滤波处理不当等问题。若数据清洗和处理方法不精确,可能导致数据失真,进而影响最终分析结果。因此,在数据采集和处理过程中,需要采取科学的误差校正方法,确保数据的精确性和可靠性。

4 挥发性有机物在线监测数据准确性评价方法

4.1 常见的准确性评价指标

挥发性有机物在线监测数据的准确性通常通过多个评价指标来衡量,其中最常见的指标包括相对误差、灵敏度、特异性、重复性和精度。相对误差反映了监测值与实际值之间的偏差,通常采用百分比形式表示。灵敏度是指传感器对低浓度VOCs的响应能力,影响着设备能否准确识别环境中低浓度的污染物。特异性则衡量设备是否能有效区分不同种类的VOCs,减少交叉干扰的影响。重复性指标评估设备在相同条件下多次测量的一致性,重复性越好,表明设备稳定性越高。精度是指设备在多次测量中,数据与真实值之间的接近程度^[2]。通过这些指标,可以综合评估设备在不同条件下的表现,为数据的准确性提供科学依据。

4.2 数据质量控制与校准方法

数据质量控制与校准是确保VOCs在线监测数据准确性的关键步骤。常见的校准方法包括零点校准和跨度校准。零点校准是通过将传感器置于不含VOCs的环境中,校准其零点响应;跨度校准则是在已知浓度的标准气体环境下,调整传感器的响应范围,确保其在一定浓度范围内的准确度。数据质量控制措施包括定期的设备维护与检修,确保设备处于最佳工作状态,同时定期对采集的数据进行验证,通过与实验室分析数据对比,检查监测结果的准确性。数据质量控制还应包括对环境因素如温度、湿度等的监测,以减少这些因素对数据的影响。实施这些校准和控制方法,有助于提高监测系统的稳定性和数据的可靠性。

4.3 准确性评价实验设计与实施

准确性评价实验设计涉及到明确实验目标、选择合适的实验场所、设定合理的实验条件并设计详细的实验方案。在设计实验时,首先需要确定与VOCs浓度相关的影响因素,如环境温湿度、风速等,确保实验条件尽可能模拟实际监测环境。实验中,使用已知浓度的标准气体对传感器进行测试,记录监测数据并与真实值进行比较,从而评估设备的准确性。此外,还需进行多次测量,确保数据的可靠性和重复性。在实验实施过程中,应严格按照预定的标准操作程序进行,避免人为误差的影响。实验数据应经过严格的统计分析,评价设备的精度、灵敏度及其响应时间等关键性能指标,最终为设备性能的优化提供数据支持。

5 挥发性有机物在线监测数据准确性提升策略

5.1 提高监测设备精度的技术措施

提高 VOCs 在线监测数据准确性的核心手段之一是提升监测设备的精度。首先,选择高性能的传感器至关重要,当前气体传感器技术正迅速发展,尤其是结合了光谱分析和气相色谱技术的传感器,能够显著提高设备的灵敏度和选择性。更高的灵敏度使设备能够检测到更低浓度的 VOCs,从而提高监测的全面性和准确性。其次,采用多传感器融合技术是一种有效的方式,它能将多个传感器的数据进行合成,从而弥补单一传感器可能存在的误差,进一步提高整体系统的准确度。此外,通过实时监测设备状态并根据环境条件对数据进行动态调整,也能有效降低因环境变化而引起的监测误差。定期对设备进行校准和维护同样不可忽视,这可以确保设备始终处于最佳工作状态,避免老化和故障带来的数据偏差。结合这些技术措施,可以显著提高设备的精度,最终提高 VOCs 监测数据的可靠性和准确性^[3]。

5.2 数据处理与分析方法的优化

数据处理与分析方法的优化是提升 VOCs 在线监测数据准确性的另一个关键环节。传统的监测系统往往依赖简单的统计分析方法,这些方法可能无法充分考虑到环境干扰和传感器非线性响应的影响,导致误差无法有效修正。为了克服这些局限,数据融合技术和机器学习方法已被广泛应用。数据融合技术可以将来自多个传感器的数据进行综合处理,减少单一传感器的局限性,提高整体数据的精确度和可靠性。而机器学习则通过对大量数据的训练,能够自动调整和优化数据处理模型,识别出数据中的潜在误差并进行修正。此外,采用多变量分析方法,不仅能提高误差识别的准确性,还能优化数据校正过程。这些方法的结合使得监测系统在面对复杂环境条件时,仍能保持高水平的准确性,从而在实时监测和数据分析中获得更可靠的结果。

5.3 在线监测系统的标准化与规范化建设

VOCs 在线监测系统的标准化与规范化建设是提高数据准确性的基础保障。首先,应建立统一的监测设备和方法标准,确保所有监测设备和操作流程都能符合国家或行业的相关标准。从设备选型到安装,再到数据采集,每一个环节都应遵循统一规范,以保证整个监测系统的高效运作。其次,完善质量控制规范是提升数据准确性的关键步骤。这包括定

期对监测设备进行校准,验证数据的可靠性,并对系统进行周期性维护,确保系统稳定运行。加强监测数据的质量控制,能够有效保障数据的长期稳定性。最后,制定严格的数据采集和处理流程标准,确保每个监测步骤都经过科学设计和实施,从源头上控制数据的质量。通过实施这些标准化和规范化措施,能够有效减少人为误差和系统性偏差,确保 VOCs 监测数据的高可信度^[4]。为了进一步提升 VOCs 在线监测系统的标准化与规范化建设,还应加强监测系统的综合性能评估与认证工作。通过第三方机构的认证,确保监测设备和系统的质量符合国际或国内的严格标准。此外,培训专业人员也是至关重要的一环,操作人员需要接受规范化的培训,掌握标准化操作流程,确保监测数据的准确性与一致性。在此基础上,建立健全的监测数据管理系统,能够对实时数据进行集中存储、分析和处理,不仅能确保数据的可追溯性,还能够在异常情况出现时及时报警,从而保证数据质量的长期稳定。通过这些进一步的规范措施,可以确保 VOCs 监测系统在实际应用中的高效性与科学性。

6 结语

通过对挥发性有机物在线监测数据准确性评价方法及提升策略的探讨,可以看出,VOCs 监测在环境保护和公共健康领域具有重要意义。准确的数据是有效治理 VOCs 排放、改善空气质量的基础,而实现数据准确性的关键在于科学的评价指标、严格的数据质量控制以及优化的分析方法。通过提高监测设备的精度、完善数据处理技术、加强在线监测系统的标准化建设,能够有效提升数据的可靠性和准确性。此外,随着技术的不断进步,在线监测系统将更加智能化、自动化,能够实时响应环境变化,为环境管理提供更加精准的决策依据。

参考文献

- [1] 申凌霄.挥发性有机物在线监测与溯源技术研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(18):56-58.
- [2] 董强,田鹏,胡建莉.造纸行业废气排放超标问题与在线监测及治理措施分析[J].华东纸业,2025,55(09):73-75.
- [3] 祝浪.橡胶工业挥发性有机物VOCs排放特征及在线监测技术研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(06):108-110.
- [4] 郭军.化工企业挥发性有机物排放监管现状与改进[J].山西化工,2025,45(05):289-292.

Study on the application of close-to-nature management concept in the replanting and maintenance of ecological forest in Beijing suburb plain

Jianfeng Ren

Beijing Daxing District Weishanzhuang Town Industrial Development Service Center, Beijing, 102611, China

Abstract

Based on the site conditions and management practices of ecological forests in the plains of Beijing suburbs, this paper analyzes the implementation gap between concept recognition and operational feasibility, the management contradiction between biodiversity priority and landscape uniformity, the value confrontation between natural risk tolerance and social security expectations, the interest coordination and responsibility ambiguity under multi-agent participation, and then explores the establishment of a composite target management framework based on value negotiation, the construction of a flexible maintenance model that pays equal attention to fault tolerance and adaptability, the design of a communication strategy that takes into account the ecological process and public cognition, and the exploration of multiple co-governance and risk sharing. Coordinated implementation mechanisms and other adjustment paths. In order to provide theoretical reference and practical paradigm for the sustainable management of plain ecological forest.

Keywords

close-to-nature management ; plain ecological forest ; replanting maintenance ; ecological restoration ; beijing suburbs

近自然经营理念在京郊平原生态林补植养护中的应用研究

任建峰

北京市大兴区魏善庄镇产业发展服务中心, 中国·北京 102600

摘要

近自然经营理念作为当代森林经营学的核心范式转向, 其在京郊平原生态林补植养护中的应用面临着生态完整性目标与经济可行性之间的内在博弈、自然演替导向与人工干预强度之间的伦理抉择、长期生态效益与短期管护需求之间的现实冲突等多重价值张力。本文基于京郊平原生态林的立地条件与管护实践, 剖析理念认同度与操作可行性之间的实施落差、生物多样性优先与景观整齐性之间的管理矛盾、自然风险容忍度与社会安全预期之间的价值对抗、多主体参与下的利益协调与责任模糊等现实困境, 进而探索建立基于价值协商的复合目标管理框架、构建容错性与适应性并重的弹性养护模式、设计兼顾生态过程与公众认知的沟通策略、探索多元共治与风险共担的协同实施机制等调适路径, 以期为平原生态林的可持续经营提供理论参照与实践范式。

关键词

近自然经营; 平原生态林; 补植养护; 生态修复; 京郊

1 引言

当“整齐划一”的林相曾被视为造林成功的标志时, 一种工程化、景观化的森林观念便悄然主导了平原生态林的营建与管护逻辑; 而当近自然经营理念试图在这片被高度人工化的林地中重建自然演替的节奏时, 一场理念与现实、生态与社会、长期与短期之间的深层博弈便由此展开。京郊平原生态林作为首都生态屏障的重要组成部分, 其补植养护工作正处于从“种活管好”向“近自然经营”转型的关键节点,

这一转型并非简单的技术路线调整, 而是涉及价值取向、管理体制、社会认知等多维度的系统性变革。

2 近自然经营理念的京郊平原生态林补植养护价值张力

2.1 生态完整性目标与经济可行性的内在博弈

近自然经营理念追求的生态完整性目标, 包括物种多样性、结构复杂性、功能连续性, 在京郊平原生态林的具体实践中面临着经济可行性的严峻考验。乡土树种的苗木采购成本往往高于速生树种, 异龄复层林的营建需要更长的培育周期与更精细的抚育管理, 枯落物的保留与枯立木的存置可能增加火灾风险从而推高保险与应急管理成本; 这种生态目

【作者简介】任建峰(1985-), 男, 中国北京人, 硕士, 工程师, 从事林业养护研究。

标与经济约束之间的张力在财政资金有限的背景下表现得尤为突出,管护单位往往被迫在“理想林分”与“可负担林分”之间寻求妥协^[1]。

2.2 自然演替导向与人工干预强度的伦理抉择

近自然经营的核心理念在于尊重自然演替规律,将人工干预控制在“必要且最小”的限度内,但“必要”与“最小”的边界在实践中极难界定。京郊平原生态林的立地条件本身就是高度人工化的产物,土壤经过改良、地形经过平整、水文经过调控,在这样的人工基质上追求“自然演替”是否存在内在的悖论?当外来入侵物种开始蔓延时是否应当强力干预?当本地先锋树种过度繁殖挤占目标树种生存空间时是否应当人工疏伐?这些问题的回答涉及对“自然”本身的理解,是一个兼具技术性与伦理性的复杂抉择。

2.3 长期生态效益与短期管护需求的现实冲突

近自然经营追求的是森林生态系统的长期健康与自我维持能力,其效益的显现需要以十年乃至数十年为周期;而现行的管护考核体系、财政预算周期、行政问责机制都以年度为基本单位,这种时间尺度的错配造成了长期生态效益与短期管护需求之间的结构性冲突。管护单位为了完成年度考核指标,不得不将资源集中于可见、可量化、可即时验收的工作内容,如补植成活率、林地整洁度、病虫害防治率,而那些需要长期投入却短期难见成效的近自然经营措施则被边缘化^[2]。

3 近自然经营理念的京郊平原生态林补植养护现实困境

3.1 理念认同度与操作可行性之间的实施落差

近自然经营理念在学术界与政策文本中已获得广泛认同,但这种认同在向一线操作层面传导时出现了明显的落差。基层管护人员对“近自然”的理解往往停留于“少修剪、少除草、少干预”的表层认知,缺乏对乡土树种配置、林分结构调控、自然更新促进等核心技术的系统掌握;而现有的技术规程与操作手册仍以传统造林养护模式为主,近自然经营的具体技术标准与操作流程尚未形成可供一线执行的规范文本。理念的“高位认同”与操作的“低位模糊”之间的落差,使得近自然经营在实践中常常沦为一种话语姿态而非切实行动。

3.2 生物多样性优先与景观整齐性的管理矛盾

近自然经营强调生物多样性的优先地位,鼓励保留枯落物、枯立木、倒木等“杂乱”元素以维持生境异质性;而长期以来形成的“整齐即美、整洁即好”的景观审美惯性与管理考核标准,使得这种“生态杂乱”难以获得管理层与公众的接受。基于某区平原生态林管护台账的梳理发现,“林下杂草清除”“枯枝落叶清理”仍是季度考核的常规项目,管护人员即便认同近自然理念,在考核压力下也不得不继续执行与之相悖的“清理整顿”工作^[3]。生物多样性的生态价值与景观整齐性的视觉价值之间的矛盾,折射出生态理性与

管理惯性之间的深层冲突。

3.3 自然风险容忍度与社会安全预期的价值对抗

近自然经营内含着对一定程度自然风险的容忍,病虫害的小规模发生可能是生态系统自我调节的正常过程,局部林木的衰亡可能是自然演替的必要环节,但这种风险容忍与社会公众对“安全、健康、美观”森林的期待之间存在着价值层面的对抗。当枯立木倒伏伤及游人、病虫害蔓延引发舆论关注、火灾风险因枯落物积累而上升时,管护单位将面临巨大的社会压力与问责风险;这种风险的不对称分布,生态效益由全社会共享而安全风险由管护单位独担,使得一线管理者在近自然经营与风险规避之间倾向于选择后者。

3.4 多主体参与下的利益协调与责任模糊困境

京郊平原生态林的补植养护涉及林业主管部门、属地政府、村集体、管护企业、周边居民等多元主体,各主体的利益诉求与责任边界往往存在交叉与模糊。林业部门关注生态指标的达成,属地政府关注景观形象与安全稳定,村集体关注补偿收益与用工机会,管护企业关注成本控制与利润空间,周边居民关注休闲功能与环境舒适度;当近自然经营理念试图在这一复杂的利益格局中推进时,便面临着“谁来主导、谁来执行、谁来买单、谁来担责”的协调难题。责任的模糊化往往导致近自然经营措施在多主体博弈中被消解或变形^[4]。

4 近自然经营理念的京郊平原生态林补植养护调适路径

4.1 建立基于价值协商的复合目标管理框架

突破单一目标导向的管理思维,建立能够容纳多元价值诉求的复合目标管理框架。框架的构建应经由充分的利益相关方协商,明确生态完整性、经济可行性、景观可接受性、风险可控性等多维目标的优先序列与权重配置。这一协商过程应当遵循程序正义原则,确保不同利益群体的声音得到平等地表达与尊重,避免话语权的非对称分布导致目标设定的偏颇。在目标权重的确定上,可引入层次分析法(AHP)或德尔菲法等决策工具,通过专家评估与利益相关方评分相结合的方式形成科学合理的权重矩阵。

在此基础上制定差异化的分区管理方案,核心生态涵养区以生态完整性为首要目标最大限度减少人工干预,景观展示区在保障基本生态功能的前提下适度兼顾景观整齐性,城镇边缘过渡区则需要生态目标与安全管控之间寻求平衡。分区边界的划定不应是静态固化的,而应随着周边土地利用变化、公众需求演变以及生态系统自身发育进程进行动态调整。各分区之间还应设置合理的过渡缓冲带,避免管理目标的骤然切换造成景观与生态的割裂^[5]。

4.2 构建容错性与适应性并重的弹性养护模式

近自然经营的核心在于尊重自然过程的不确定性,养护模式的设计应当具备相应的容错性与适应性。容错性体现为对一定范围内“失败”或“偏差”的主动接纳,补植苗木

的部分死亡可能正是自然筛选机制的体现，林下植被的“失控”生长可能恰恰是生境恢复的积极信号。这种容错理念要求管理者转变“零缺陷”的完美主义追求，学会区分“系统性失误”与“自然性波动”，对后者给予足够的观察期与容忍空间。在具体操作层面，可设定差异化的容错阈值，对于乡土树种的自然更新失败可给予较高容忍度，而对于外来入侵物种的扩散则需保持零容忍。

适应性体现为养护策略随监测反馈的动态调整，通过定期的林分结构调查、物种组成监测、土壤质量检测等手段获取生态系统的演变信息，据此调整后续的补植物种选择、抚育干预强度、病虫害防控策略。监测体系的设计应涵盖生物多样性、土壤健康、水源涵养、碳汇能力等多维度指标，形成对生态系统状态的全面刻画。监测频率与精度应与管理投入相匹配，核心样地可采用精细化的固定样方调查，一般区域可借助无人机遥感等技术手段进行低成本的大面积普查。

4.3 设计兼顾生态过程与公众认知的沟通策略

近自然经营理念的社会接受度在相当程度上取决于公众对“自然”的认知与理解。当前公众审美观念中根深蒂固的“园林化”“整齐化”偏好，很大程度上源于长期以来城市绿化实践的路径依赖于媒体传播的刻板印象。沟通策略的设计首先需要承认这种认知现状的客观存在，而非以精英主义的姿态加以否定或贬抑。

沟通策略的设计应当将生态教育与景观体验有机结合，在林地的适当位置设置解说系统，向游憩者阐释枯立木的生态价值、林下“杂草”的生境功能、自然演替的基本规律。解说系统的设计应当避免过于专业化的术语堆砌，而应采用生动形象的语言与直观的图示，使普通公众能够轻松理解复杂的生态学原理。可借鉴“故事化叙事”的手法，以某棵老树的生命历程或某种鸟类的觅食行为为切入点，引导公众建立与这片林地的情感连接。

借助新媒体平台开展长期的科普传播，逐步转变“整齐即美”的固化审美观念。科普内容的生产应当把握“高频率、轻量化、互动性”的传播规律，通过短视频、图文推送、直播探访等多元形式持续输出，形成潜移默化的观念影响。可邀请周边社区居民担任“生态观察员”，定期记录并分享林地的季节变化、野生动物出没等信息，通过参与式的内容生产增强公众的主体性认同。

4.4 探索多元共治与风险共担的协同实施机制

打破管护责任由单一主体独担的格局，构建多元主体

共同参与、风险共同分担的协同实施机制。传统的“政府—企业”二元委托代理关系往往导致权责失衡，管护企业承担具体操作责任却缺乏决策话语权，属地政府拥有考核权力却对一线实践缺乏深入了解。多元共治机制的建立旨在打破这种信息与权力的不对称格局，促进各方形成利益共同体。

可探索建立“平原生态林近自然经营管理联席会议”制度，将林业部门、属地政府、村集体、管护企业、社区代表等纳入常态化的协商平台，共同参与经营方案的制定、实施过程的监督、效果的评估与责任的分担。联席会议应建立议事规则与决策程序，确保各方意见得到充分表达，重大分歧通过民主协商而非行政命令加以解决。可设立轮值主席制度，由不同主体轮流主持会议，避免话语权的固化垄断。

在财政保障方面可探索建立“近自然经营专项基金”，以稳定的资金来源支撑长周期、慢见效的近自然经营措施，避免管护单位因短期资金压力而放弃生态目标。专项基金的资金来源可多元化，包括财政拨款、生态补偿金、社会捐赠等渠道；资金使用应建立透明的管理制度与绩效评估机制，确保资金真正服务于近自然经营目标的实现。

5 结语

近自然经营理念在京郊平原生态林补植养护中的应用，本质上是一场从“工程造林”思维向“生态系统经营”思维的范式转型，这一转型的推进需要在价值张力中寻求平衡、在现实困境中开辟路径。当复合目标管理框架使多元价值诉求获得协调空间，当弹性养护模式使自然过程的不确定性获得制度性的包容，当沟通策略使生态理念与公众认知形成良性互动，当协同实施机制使多元主体的责任与利益得到合理配置，近自然经营方能从学术话语真正转化为可持续的实践行动，京郊平原生态林也将在尊重自然规律的前提下逐步走向生态功能的完善与自我维持。

参考文献

- [1] 王迎.平原生态林间伐对树木健康生长的影响[J].防护林科技,2025,(04):56-61.
- [2] 张昕,侯晓杰.流村地区平原生态林病虫害调查研究[J].现代园艺,2025,48(12):31-33.
- [3] 李萌萌.平原生态林精细化养护经营管理策略[J].现代园艺,2025,48(08):148-150.
- [4] 李维根.平原生态林林分密度调整对生物多样性的影响[J].农村科学实验,2025,(05):174-176.D
- [5] 于文武.平原生态林白蜡树蛀干害虫及其防控研究[J].农业灾害研究,2025,15(01):52-54.

Full Life Cycle Management of Environmental Consulting in VOCs Control Projects

Tao Shen Bin Han

Hangzhou Qingjie Environment Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

Volatile Organic Compounds (VOCs), as key precursors of atmospheric pollution, make the standardized implementation of VOCs control projects crucial for improving regional air quality. Environmental consulting runs through the entire process of VOCs control projects and serves as the core support to ensure project compliance, scientificity, and cost-effectiveness. Based on the theory of full lifecycle management, this paper divides VOCs control projects into three stages: pre-project research and evaluation, mid-project design and construction supervision, and post-project acceptance, operation and maintenance, and effect assessment. It systematically analyzes the core tasks, technical 要点, and implementation paths of environmental consulting in each stage. Combined with typical cases, it explores existing problems and optimization strategies in consulting services. The aim is to construct a comprehensive full lifecycle management system for environmental consulting in VOCs control projects, providing theoretical reference and practical guidance for enhancing the efficiency of VOCs pollution control and promoting green and low-carbon development in the industry.

Keywords

Volatile Organic Compound (VOC) treatment; environmental protection consulting; full lifecycle management; pollution control

挥发性有机物 (VOCs) 治理工程中环保咨询的全生命周期管理

沈涛 韩斌

杭州清捷环境科技有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

挥发性有机物 (VOCs) 作为大气污染的关键前体物, 其治理工程的规范化实施对改善区域空气质量至关重要。环保咨询贯穿 VOCs 治理工程全流程, 是保障项目合规性、科学性与经济性的核心支撑。本文基于全生命周期管理理论, 将 VOCs 治理工程划分为前期调研评估、中期方案设计与施工管控、后期验收运维及效果评估三个阶段, 系统分析各阶段环保咨询的核心任务、技术要点与实施路径, 结合典型案例探讨咨询服务中存在的问题及优化策略, 旨在构建一套完善的 VOCs 治理工程环保咨询全生命周期管理体系, 为提升 VOCs 污染治理效能、推动行业绿色低碳发展提供理论参考与实践指引。

关键词

挥发性有机物治理; 环保咨询; 全生命周期管理; 污染控制

1 引言

随着中国大气污染防治攻坚工作的持续深化, 挥发性有机物 (VOCs) 的管控已成为打赢蓝天保卫战的关键环节。VOCs 来源广泛, 涉及化工、涂装、印刷、石油炼化等多个行业, 其不仅会直接危害人体健康, 还会参与光化学反应生成臭氧和细颗粒物 (PM_{2.5}), 加剧灰霾和光化学烟雾污染。近年来, 国家相继出台《挥发性有机物污染防治行动计划》《“十四五”挥发性有机物污染防治工作方案》等政策文件, 明确要求重点行业企业实施 VOCs 综合治理工程, 倒逼企业

提升污染治理水平。

环保咨询作为连接政策、技术与企业需求的桥梁, 在 VOCs 治理工程中扮演着不可或缺的角色。然而, 当前我国 VOCs 治理工程环保咨询服务多集中于项目前期的环评报告编制, 存在服务链条断裂、后期运维指导缺失、全流程风险管控不足等问题, 导致部分治理项目出现“重建设、轻运维”“治理效果不达标”等现象。基于此, 本文引入全生命周期管理理念, 将环保咨询服务延伸至 VOCs 治理工程的调研评估、方案设计、施工管控、验收运维等全过程, 通过明确各阶段咨询工作的核心内容, 构建一体化的咨询管理体系, 为提高 VOCs 治理工程的科学性与长效性提供解决方案。

【作者简介】沈涛 (1991-), 男, 中国浙江绍兴人, 本科, 工程师, 从事环境咨询 (大气污染防治) 研究。

2 环保咨询全生命周期管理的理论内涵与框架构建

2.1 全生命周期管理理论在环保咨询中的应用

全生命周期管理 (Life Cycle Management, LCM) 是一种贯穿产品或项目从孕育到消亡全过程的管理模式, 强调系统性、整体性与前瞻性。将该理论应用于 VOCs 治理工程环保咨询, 是指以实现 VOCs 高效减排、治理工程全流程合规为目标, 将咨询服务划分为前期调研评估阶段、中期方案设计与施工管控阶段、后期验收运维与效果评估阶段三个核心环节, 通过各阶段的协同联动与闭环管理, 确保治理工程从源头到末端的全流程可控。

2.2 VOCs 治理工程环保咨询全生命周期管理框架

基于全生命周期管理理论, 结合 VOCs 治理工程的技术特点与管理需求, 构建环保咨询全生命周期管理框架, 具体内容如下: 前期调研评估阶段聚焦于污染源排查、工况分析与政策符合性研判; 中期阶段以科学制定治理方案、强化施工过程环保管控为核心; 后期阶段则重点开展验收监测、运维指导与减排效果评估。^[1] 各阶段咨询服务既相互独立又紧密衔接, 形成“调研-设计-施工-验收-运维”的全流程咨询管理体系。

3 VOCs 治理工程各阶段环保咨询的核心任务与实施要点

3.1 前期调研评估阶段: 源头把控, 奠定治理基础

前期调研评估是 VOCs 治理工程的起点, 也是环保咨询服务的首要环节, 其核心目标是全面掌握企业 VOCs 排放特征, 明确治理方向与技术边界。

环保咨询机构需组建专业调研团队, 开展现场踏勘与资料收集工作, 具体包括: 一是排查企业生产工艺、原辅材料使用、废气排放节点及现有治理设施运行情况, 明确 VOCs 排放源强、浓度及组分; 二是梳理项目所在地的环境功能区划、大气污染防治规划及地方 VOCs 排放标准, 确保后续治理方案符合政策要求; 三是分析企业现有治理设施存在的问题, 如处理效率低下、运行成本过高、二次污染等。

在调研基础上, 咨询机构需开展 VOCs 排放现状评估, 通过建立排放源清单、核算减排潜力, 结合企业实际工况提出初步治理思路。同时, 针对不同行业的 VOCs 排放特点, 提供差异化的政策解读服务, 帮助企业规避合规风险。例如, 对于化工行业的无组织排放源, 需重点解读《化工行业挥发性有机物无组织排放控制标准》, 指导企业实施密闭化改造; 对于涂装行业, 则需结合水性涂料替代、末端治理技术选型提供咨询建议。^[2]

3.2 中期方案设计与施工管控阶段: 科学施策, 保障工程质量

中期阶段是 VOCs 治理工程的核心实施环节, 环保咨询服务需覆盖治理方案设计、施工过程管控两大内容, 是决

定治理效果的关键阶段。

3.2.1 治理方案设计咨询

治理方案设计需遵循“因地制宜、经济高效”的原则, 环保咨询机构需结合前期调研数据, 为企业提供技术选型、工艺优化与成本核算的全方面咨询服务。首先, 针对不同 VOCs 组分和排放浓度, 筛选适宜的治理技术, 如吸附回收技术适用于中低浓度、高价值 VOCs 废气, 催化燃烧技术适用于中高浓度有机废气, 而生物处理技术则更适用于水溶性、易生物降解的 VOCs 废气。其次, 需进行工艺参数优化, 通过模拟实验确定最佳反应温度、停留时间、气液比等参数, 确保治理设施的稳定运行。最后, 开展投资成本与运行成本核算, 在满足减排要求的前提下, 为企业提供性价比最高的方案。^[3]

为直观对比不同治理技术的适用场景与技术经济指标, 本文构建 VOCs 治理技术选型对比表 (见表 1), 为环保咨询方案设计提供参考依据。

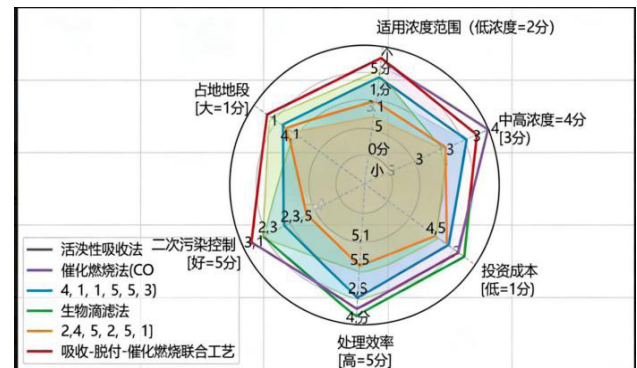


表 1 常见 VOCs 治理技术选型对比表

3.2.2 施工过程环保管控咨询

治理工程施工阶段易出现“重进度、轻环保”的问题, 环保咨询机构需提供全过程管控咨询服务, 确保施工过程符合环保要求。一是制定施工期环保管理方案, 明确施工扬尘、噪声、废水及固废的管控措施, 如要求施工单位采用密闭围挡、洒水降尘、低噪声设备等; 二是开展施工过程监督检查, 定期巡查治理设施安装调试情况, 确保工程质量符合设计标准; 三是协助企业协调与环保部门的沟通对接, 及时解决施工过程中出现的环保问题, 避免因违规施工导致项目停工。^[4]

3.3 后期验收运维与效果评估阶段: 长效管控, 巩固治理成效

后期验收运维是保障 VOCs 治理工程长期稳定运行的关键, 也是当前环保咨询服务的薄弱环节。环保咨询机构需重点开展以下三项工作:

第一, 协助企业开展竣工验收监测。根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》要求, 指导企业委托有资质的监测机构开展验收监测, 明确监测点位、监测因子、监测频次等技术要求, 确保监测数据真实有效。同时, 协助企业编制竣工验收报告, 梳理项目建设内容、环保措施落实情况及

减排效果，为验收审批提供技术支撑。

第二，提供运维管理技术指导。针对治理设施运行过程中可能出现的问题，如吸附剂饱和、催化剂失活、设备故障等，提供常态化运维咨询服务。例如，指导企业建立设施运行台账，定期记录运行参数；开展运维人员技术培训，提高操作规范性；制定应急预案，应对突发环境事件。

第三，开展治理效果后评估。在治理设施运行1-2年后，结合在线监测数据与现场核查结果，评估VOCs减排效果，分析设施运行效率变化趋势，提出优化调整建议。例如，对于活性炭吸附设施，可根据吸附效率下降情况，建议企业更换吸附剂或优化再生工艺；对于催化燃烧设施，可通过检测催化剂活性，指导企业进行催化剂再生或更换。

4 VOCs治理工程环保咨询全生命周期管理存在的问题与优化策略

4.1 存在的主要问题

当前，中国VOCs治理工程环保咨询全生命周期管理仍面临诸多挑战，主要体现在三个方面：一是服务链条不完整，多数咨询机构仅提供前期环评或方案设计服务，缺乏后期运维指导与效果评估，导致治理工程“重建设、轻运维”；二是专业人才匮乏，VOCs治理涉及化工、环境工程、机械设计等多个领域，复合型咨询人才短缺，难以满足全生命周期管理的需求；三是行业标准不健全，目前针对VOCs治理工程环保咨询的服务规范、技术导则尚未完善，导致市场上咨询服务质量参差不齐。

4.2 优化策略

针对上述问题，提出以下优化策略：首先，延伸咨询服务链条，推动环保咨询机构从“单一环节服务”向“全生命周期服务”转型，构建“调研-设计-施工-验收-运维”

一体化服务模式；其次，加强专业人才培养，鼓励咨询机构与高校、科研院所合作，培养兼具政策解读、技术研发与工程管理能力的复合型人才；最后，健全行业标准体系，由行业主管部门牵头制定VOCs治理工程环保咨询服务规范，明确各阶段咨询工作的技术要求与质量标准，引导行业规范化发展。

5 结语

VOCs治理工程是打赢蓝天保卫战的重要抓手，而环保咨询的全生命周期管理是保障治理工程成效的核心支撑。本文基于全生命周期管理理论，系统梳理了VOCs治理工程前期调研评估、中期方案设计与施工管控、后期验收运维与效果评估三个阶段的环保咨询任务与实施要点，构建了一体化的咨询管理体系。

实践表明，通过实施全生命周期环保咨询管理，能够有效提升VOCs治理工程的科学性、合规性与长效性，实现从“末端治理”向“全流程管控”的转变。未来，随着我国大气污染防治工作的不断深入，环保咨询机构需进一步强化技术创新与服务升级，持续完善全生命周期管理模式，为推动VOCs污染治理效能提升、促进区域空气质量改善提供更有力的支撑。

参考文献

- [1] 杨纯尔.基于生命周期评价的挥发性有机物典型治理方法评价及综合环境效益研究[D].华东理工大学,2023.
- [2] 卓秀丽.大气中挥发性有机物(VOCs)深度治理技术的研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(22):9-10+19.
- [3] 程慧坤.我国挥发性有机物污染防治制度研究[D].青岛科技大学,2024.
- [4] 韩慧飞.X区挥发性有机物治理中的问题及对策研究[D].苏州大学,2022.

Exploration of the Coordinated Development Model of Soil Pollution Control and Ecological Restoration

Die Li Jinglei Lu

Ningbo Yuanda Testing Technology Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315100, China

Abstract

This study focuses on the synergistic development model of soil pollution remediation and ecological restoration, exploring its core mechanisms, technical pathways, and safeguard systems to provide theoretical and practical support for soil ecological improvement. The core mechanisms include three categories: coupled driving, feedback regulation, and long-term maintenance, which are reinforced through multidimensional coupling, multi-dimensional feedback control, and ecological stability assurance. The technical pathways establish a "core-support-safeguard" technological system, formulating differentiated approaches for different types of contaminated soils and clarifying optimization directions for low-cost and intelligent technologies. The safeguard system encompasses four aspects: policy and regulations, economic investment, scientific and technological talent, and monitoring and supervision, aiming to address the disconnect between the two and enhance the quality of soil ecological function restoration.

Keywords

soil pollution remediation; ecological restoration; coordinated development

土壤污染治理与生态修复协同发展模式探索

李蝶 陆敬磊

宁波远大检测技术有限公司, 中国·浙江 宁波 315100

摘要

本文聚焦土壤污染治理与生态修复协同发展模式, 探究其核心机制、技术路径与保障体系, 为土壤生态改善提供理论与实践支持。核心机制含耦合驱动、反馈调节与长效维持三类, 以多维耦合夯实基础、多维度反馈调控、生态稳定性保障长效; 技术路径搭建“核心-支撑-保障”技术体系, 针对不同污染土壤制定差异化路径, 明确低成本与智能化技术优化方向; 保障体系涵盖政策法规、经济投入、科技人才、监测监管四方面, 助力破解二者脱节难题, 提升土壤生态功能恢复质量。

关键词

土壤污染治理; 生态修复; 协同发展

1 引言

土壤污染治理与生态修复协同发展可实现污染管控与生态恢复的有机统一, 是改善土壤生态环境的关键。本文聚焦协同发展的核心机制、技术路径与保障体系, 为二者高质量推进提供参考。

2 土壤污染治理与生态修复协同发展的核心机制

2.1 耦合驱动机制

耦合驱动机制是土壤污染治理与生态修复协同发展的核心动力支撑, 通过技术、过程与功能的多维耦合构建协同基础。技术耦合聚焦治理技术与修复技术的适配性优化, 基

于土壤污染类型、污染程度及场地生态本底特征, 探索物理化学治理技术与生物修复技术、微生物修复技术与植物修复技术的融合路径, 实现治理效率与修复效果的双重提升; 过程耦合强调污染削减过程与生态系统重建过程的同步性调控, 避免治理过程对土壤生态系统的二次扰动, 在实施污染物隔离、降解的同时, 同步开展土壤结构改良、植被重建等生态修复举措, 保障两大过程的时序匹配与强度适配; 功能耦合以污染控制功能与生态服务功能的协同提升为目标, 在实现土壤污染风险管控的基础上, 着力恢复土壤的水土保持、养分循环、生物栖息等生态服务功能, 构建“治理-修复-功能提升”的耦合闭环。

2.2 反馈调节机制

反馈调节机制为协同发展过程提供动态适配保障, 通过多维度反馈关系实现协同过程的精准调控。土壤理化性质变化是反馈调节的核心载体, 土壤 pH 值、有机质含量、孔隙度等指标的动态变化会直接影响治理药剂的作用效率、修

【作者简介】李蝶 (1998-), 女, 中国浙江宁波人, 本科, 助理工程师, 从事环境工程研究。

复微生物的活性,进而反向作用于治理修复效果,形成“治理修复举措-理化性质变化-效果反馈”的单向反馈链条;生物群落演变与治理修复过程构成双向调节关系,治理修复举措会改变土壤生物群落的物种组成、丰度及多样性,而演变后的生物群落又会通过代谢活动优化土壤微环境,提升治理修复的持续性,实现两者的动态适配;外部环境因素则通过干扰作用参与调节过程,气候波动、降水变化、周边植被覆盖情况等外部因素会影响治理修复材料的稳定性、生态修复的进程,需通过实时监测与动态调控弱化干扰影响,保障协同过程的平稳推进,如图1所示。



(图1: 外部环境因素对治理修复影响图)

2.3 长效维持机制

该机制以土壤生态系统稳定性构建为核心,通过优化治理修复技术组合、完善生态修复配套举措,促进土壤-植被-微生物复合生态系统的良性循环,强化系统内部的物质循环与能量流动,为协同效果的持续保障奠定基础;同时注重提升协同系统的抗干扰能力,针对自然环境波动、人类活动扰动等潜在干扰因素,构建“监测-预警-调控”的应对体系,通过常态化监测掌握协同系统的运行状态,提前预警潜在干扰风险,并针对性采取调控措施,同步强化系统的自我修复机制,确保在干扰消除后,协同系统能够快速恢复稳定运行状态,实现治理修复效果的长期维持。

3 土壤污染治理与生态修复协同发展的技术路径

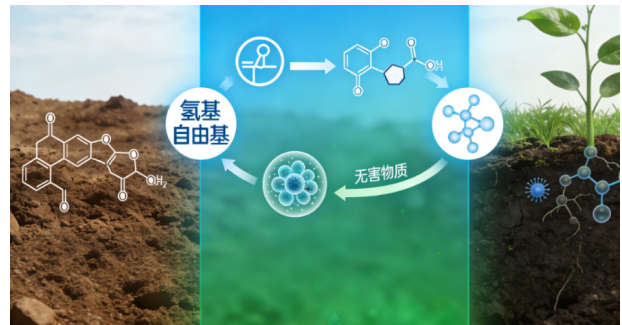
3.1 协同技术体系的构建框架

协同技术体系的构建是实现土壤污染治理与生态修复协同发展的基础框架,其核心在于建立科学的技术筛选标准与清晰的层级结构。技术筛选需以协同效率、生态安全性、经济性为核心准则,其中协同效率决定治理与修复的同步推进效果,生态安全性保障技术应用不会引发二次环境风险,经济性则确保技术具备规模化推广的可行性。在此基础上,协同技术体系可构建为核心技术-支撑技术-保障技术的层级结构,核心技术承担污染物去除与生态功能核心恢复的关键任务,支撑技术为核心技术的实施提供环境优化、介质改良等辅助作用,保障技术则通过过程监测、质量控制等手段为协同效果提供兜底保障,三者相互衔接形成完整的技术支

撑体系^[1]。

3.2 不同污染类型的协同技术路径

对于重金属污染土壤,核心思路是降低重金属活性与强化生态吸收的协同,可采用化学钝化与植物修复结合的路径,通过化学钝化剂降低重金属生物有效性,同时利用超积累植物定向吸收富集重金属;也可采用微生物强化与土壤改良协同技术,借助功能微生物转化重金属形态,搭配改良剂优化土壤理化性质以促进微生物活性与植物生长。对于有机污染土壤,重点实现污染物降解与生态重建的协同,高级氧化与微生物修复协同路径可通过高级氧化技术快速破解难降解有机污染物结构,再由微生物进一步降解中间产物,如下图2所示;植物-微生物联合降解路径则利用植物根系分泌物富集功能微生物,形成根际微环境强化有机污染物的原位降解,同时实现植被覆盖与土壤生态结构修复。对于复合污染土壤,需兼顾多污染物协同去除与生态功能综合恢复,通过整合重金属钝化、有机污染物降解、土壤理化性质改良等多重技术,构建“多技术耦合+生态系统重构”的协同路径,实现不同污染物的同步管控与土壤生态功能的逐步恢复。



(图2: 有机污染土壤修复相关图)

3.3 协同技术的优化方向

在低成本、易操作技术研发与集成方面,需针对当前部分协同技术成本高、操作复杂的痛点,开发适配中小规模污染场地与农村分散污染区域的简化型协同技术。在智能化技术应用方面,需推动监测预警与精准调控技术融入协同过程,利用传感器网络、遥感监测等技术构建土壤污染与生态状况的实时监测预警体系,精准捕捉污染物含量变化与生态功能恢复动态;基于监测数据借助大数据、人工智能等技术实现协同技术参数的动态调控,提升治理修复的精准性与效率^[2]。

4 土壤污染治理与生态修复协同发展的保障体系

4.1 政策与法规保障

政策与法规保障是筑牢土壤污染治理与生态修复协同发展根基的核心支撑,其核心在于以系统协同理念为引领,推动相关政策体系的系统性完善与精细化制度设计。一方面,要聚焦治理与修复各环节的政策衔接痛点,明确协同发

展政策的完善方向,强化跨区域、跨部门政策的协同联动,避免出现政策碎片化、标准不统一等问题,同时优化政策实施的配套措施,确保政策能够精准对接协同发展的实际需求。另一方面,需进一步健全相关法规体系,清晰界定政府、企业、社会组织及个人在协同发展中的权利与义务,尤其是在污染源头管控、治理修复实施、后期管护等关键环节的责任划分,避免责任推诿。

4.2 经济保障机制

经济保障机制是破解土壤污染治理与生态修复协同发展资金瓶颈、激发市场活力的关键支撑,其核心在于构建多元化、可持续的资金投入与利益协调体系。在资金投入方面,要构建政府引导、市场主导、社会参与的多元化资金投入模式:政府需发挥宏观调控与引导作用,设立专项扶持资金,优化资金投向,重点支持公益性强、社会效益显著的协同治理修复项目;同时积极激活市场活力,通过完善市场化交易机制、落实税收优惠政策等方式,鼓励企业以市场化运作模式参与治理修复项目,提升企业参与的积极性;此外,要畅通社会资本参与渠道,搭建投融资对接平台,明确社会资本的投资回报路径,引导各类社会资本有序进入协同发展领域。在利益协调方面,需科学设计成本分摊与利益共享机制,结合污染来源、污染程度、土地利用类型及受益范围等多重因素,合理划分各主体的治理修复成本,确保成本分摊的公平性与合理性;同时建立多元化的利益共享机制,让参与主体能够公平享受协同发展带来的生态效益、经济效益与社会效益。在此基础上,推动生态补偿机制在协同发展中的深度融合应用,明确补偿主体、补偿标准与补偿方式,对积极开展生态保护修复的主体给予足额、及时的补偿^[9]。

4.3 科技与人才保障

科技与人才保障是提升土壤污染治理与生态修复协同发展质量、增强核心竞争力的根本驱动力,需从技术研发突破与人才队伍建设两方面同步发力。在科技研发层面,要精准定位协同发展的技术需求,明确研发重点方向,聚焦土壤污染快速监测预警技术、高效低成本污染物去除技术、受损生态系统功能精准修复技术、治理修复过程的协同调控技术等关键核心领域,突破传统技术的局限性。同时,加强产学研用协同创新平台建设,推动高校、科研院所与企业深度合作,整合科研资源、技术资源与产业资源,加速技术成果的中试与产业化转化,解决技术研发与实际应用脱节的问题,为协同发展提供源源不断的技术支撑。在人才培养层面,需

构建跨学科、跨领域的复合型人才培养体系,立足协同发展对人才综合素养的需求,整合环境科学、生态学、土壤学、环境工程、农学等多学科资源,优化高校相关专业的课程设置,增加跨学科实践教学内容。同时,加强职业技能培训,针对基层治理修复从业人员开展专项技术培训,提升实操能力。

4.4 监测与监管保障

监测与监管保障是确保土壤污染治理与生态修复协同发展效果、提升工作规范性的重要支撑,需构建全链条、智能化、常态化的监测监管体系。在监测体系构建方面,要建立覆盖协同发展全流程的监测指标体系,指标设置需兼顾科学性与实用性,不仅要包含土壤中污染物含量、土壤理化性质等核心指标,还要涵盖生态系统结构与功能等生态指标,同时补充气象、水文等周边环境指标,形成全方位、多维度的监测指标网络。在此基础上,推广应用智能化监测技术,如无人机遥感监测、物联网传感器网络、大数据分析等,实现对污染源溯、治理修复过程、修复效果评估等关键环节的实时动态监测,提升监测数据的准确性、时效性与完整性。在监管机制建设方面,要整合环保、自然资源、农业农村等多部门的监管资源,打破部门壁垒,建立跨部门协同监管机制,搭建监管信息共享平台,实现监管数据互联互通。同时,建立常态化监管机制,通过日常巡查、随机抽查、专项检查等方式,加强对治理修复项目实施全过程的监督检查,严厉查处违法违规行为。

5 结语

综上所述,土壤污染治理与生态修复协同发展是系统性工程,依托三大核心机制、精准技术路径与全方位保障体系,有效解决了传统分治模式的效率低、效果不稳等问题,实现了治理修复效率与生态功能恢复质量的双重提升。未来,随着技术创新与保障体系完善,该模式将进一步推广应用,为土壤生态安全与可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 刘之琨.生态修复治理技术在污染土壤中的应用实践研析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(22):22-24.
- [2] 张祥明,罗帅.土壤重金属污染治理及生态修复研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(22):117-119.
- [3] 张翔.生态修复治理技术在土壤污染治理中的应用分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(17):130-131+137.

Research on the Application of Environmental Impact Assessment in Regional Environmental Management

Yanjiang Tao Yanqing Qi

Jiangsu Keyida Environmental Protection Technology Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 224008, China

Abstract

Against the backdrop of the continuous promotion of ecological civilization construction and the deepening of regional coordinated development strategies, regional environmental problems present comprehensive characteristics across factors, spaces, and administrative regions. The traditional environmental management approach centered on a single project is no longer effective in addressing complex issues such as environmental capacity constraints, pollution accumulation effects, and overall ecosystem degradation at the regional scale. This article combines regional planning and management practices to analyze the problems of insufficient institutional connection, limited technical support, and poor management coordination in the current application of environmental impact assessment at the regional level. Based on this, it proposes countermeasures and suggestions to improve the regional environmental impact assessment system, strengthen technical support, and enhance governance coordination efficiency, in order to provide theoretical reference and practical inspiration for promoting the transformation of regional environmental management from passive constraints to active guidance.

Keywords

Environmental Impact Assessment; Regional environmental management; Planning Environmental Impact Assessment; Environmental capacity; collaborative governance

环境影响评价在区域环境管理中的应用研究

陶燕江 祁彦青

江苏科易达环保科技股份有限公司, 中国·江苏 盐城 224008

摘要

在生态文明建设持续推进与区域协调发展战略不断深化的背景下, 区域环境问题呈现出跨要素、跨空间和跨行政区的综合性特征, 传统以单一项目为核心的环境管理方式已难以有效应对区域尺度下环境容量约束、污染累积效应及生态系统整体退化等复杂问题。本文结合区域规划与管理实践, 剖析当前环境影响评价在区域层面应用中存在的制度衔接不足、技术支持有限及管理协同不畅等问题, 并在此基础上提出完善区域环境影响评价体系、强化技术方法支撑与提升治理协同效能的对策建议, 以期为推动区域环境管理由被动约束向主动引导转型提供理论参考与实践启示。

关键词

环境影响评价; 区域环境管理; 规划环评; 环境容量; 协同治理

1 引言

随着中国经济社会持续发展与区域协调发展战略深入实施, 区域环境问题呈现出结构复杂、要素耦合和空间扩散等新特征。传统以单一建设项目为核心的环境管理模式, 已难以有效应对区域尺度下环境容量约束、污染累积效应及生态系统整体退化等现实挑战。在此背景下, 如何通过制度性工具提升区域环境管理的系统性与前瞻性, 成为环境治理领域亟需回应的重要课题。环境影响评价作为中国环境管理体系中的基础性制度, 在引导发展决策、控制环境风险和协调

经济社会发展与生态保护关系方面发挥着重要作用。将环境影响评价由项目层面拓展并深化应用于区域环境管理, 不仅有助于优化区域发展路径, 也为推动环境治理模式由被动约束向主动引导转型提供了重要支撑。因此, 有必要系统研究环境影响评价在区域环境管理中的作用机制与应用路径, 为区域环境治理现代化提供理论依据与实践参考。

2 环境影响评价与区域环境管理的理论基础

2.1 环境影响评价制度的演进逻辑与理论内涵

环境影响评价制度产生于经济快速发展背景下对资源环境约束问题的系统性反思, 其本质在于通过科学预测和理性分析, 将环境因素纳入决策前端, 从源头上规避或减缓发展活动可能引发的不利环境后果^[1]。随着环境问题由局部污

【作者简介】陶燕江(1989-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事环境影响评价、环保治理、环境管理研究。

染向区域性、复合型问题演变,环境影响评价的理论内涵亦不断拓展,由最初侧重单一建设项目环境可行性审查,逐步发展为兼具环境保护、发展引导与风险预警功能的综合性制度工具。在这一演进过程中,环境影响评价不再仅关注污染物排放是否达标,而是更加注重生态系统完整性、环境承载能力以及环境风险的长期累积效应。

从理论层面看,环境影响评价体现了预防性环境管理思想,其强调“事前控制”优于“事后治理”,通过对发展方案的环境后果进行系统论证,为决策提供科学依据。这一制度逻辑与可持续发展理论、生态系统管理理论高度契合,强调在经济社会发展过程中尊重自然规律,控制发展强度与环境容量之间的动态平衡。特别是在区域尺度下,环境影响评价的分析对象由单一项目扩展为多要素、多情景和多方案,其评价内容也更加侧重区域环境结构、功能与演化趋势,为区域层面的综合环境管理奠定了重要的理论基础。

2.2 区域环境管理的系统特征与评价需求

区域环境管理是指在一定空间范围内,对环境要素、污染源结构及资源利用方式进行统筹协调的管理模式,其目标在于实现区域环境质量整体改善与生态安全稳定^[2]。相较于单一项目或行政区层面的环境管理,区域环境管理更强调系统性、协同性和前瞻性,要求从整体视角统筹处理经济发展、资源利用与环境保护之间的关系。在实际运行中,区域环境问题往往呈现出污染来源多样、影响路径复杂以及跨界传导明显等特征,单一管理措施难以取得理想成效,这对环境管理工具的综合性和科学性提出了更高要求。

在此背景下,区域环境管理对环境影响评价提出了新的现实需求。一方面,需要通过环境影响评价系统识别区域环境容量约束和生态敏感区分布情况,为区域发展强度控制和功能分区管理提供依据;另一方面,还需借助评价结果分析不同发展情景下环境质量变化趋势,从而为区域规划优化和政策调整提供决策支持。环境影响评价正是在满足上述需求过程中,与区域环境管理形成了高度互补关系。通过将环境影响评价嵌入区域环境管理全过程,不仅可以提升环境决策的科学性和透明度,也有助于推动区域环境管理由被动响应向主动引导转变,为实现区域层面的环境治理现代化提供制度支撑。

3 环境影响评价在区域环境管理中的功能作用

3.1 环境影响评价对区域环境容量与发展强度的约束功能

在区域环境管理体系中,环境容量是衡量区域环境承载能力与发展边界的重要指标,其本质反映了特定空间范围内环境系统对污染物排放和人类活动扰动的综合承受极限。环境影响评价通过对区域环境要素现状、污染物排放结构及环境质量演变趋势的系统分析,为环境容量的科学核定与动态管理提供了关键技术支撑。相较于项目层面评价,区域环境影响评价更加注重污染负荷的累积效应与叠加影响,强调

在区域尺度上统筹考虑不同污染源、不同行业以及不同发展阶段对环境系统的综合作用^[3]。

在实际应用中,环境影响评价能够通过环境容量分析与情景模拟,对不同发展方案下区域环境质量变化进行预测,从而为区域发展强度控制提供量化依据。这一过程不仅有助于明确区域可承载的产业规模与建设强度,也为污染物排放总量控制和差异化准入政策制定提供科学支撑。通过将环境容量约束嵌入区域规划与产业布局决策之中,环境影响评价有效避免了以往“先发展、后治理”所导致的环境超载问题,使区域环境管理由被动修复转向主动调控,提升了环境治理的前瞻性和系统性。

3.2 环境影响评价在区域空间管控与协同治理中的引导作用

区域环境问题的产生往往与空间布局不合理密切相关,如工业用地与生态敏感区交错分布、城镇扩张侵占生态空间等,这些问题在一定程度上放大了环境风险并增加了治理成本。环境影响评价通过对区域空间结构、功能分区及生态敏感要素的综合分析,为区域空间管控提供了重要的技术依据。在区域规划和政策制定阶段引入环境影响评价,有助于将生态保护目标与发展目标统筹考虑,从源头上减少空间布局失衡带来的环境冲突^[4]。

同时,环境影响评价在促进区域环境协同治理方面发挥着重要引导作用。区域污染往往具有明显的跨界传输特征,单一行政区内部的治理措施难以取得长期成效。通过区域层面的环境影响评价,可以系统识别污染物传输路径和关键影响节点,为构建跨区域协同治理机制提供科学依据。这种以评价结果为支撑的协同治理模式,有助于推动不同区域在污染防治目标、治理措施和管理标准上的协调统一,提升区域环境管理的整体效能,促进区域环境质量的持续改善。

4 环境影响评价在区域环境管理中的应用实践与现实问题

4.1 区域层面环境影响评价的实践应用特征

随着区域协调发展和生态文明建设要求不断提升,环境影响评价在区域环境管理中的应用逐步由单一建设项目拓展至规划和区域层面,并在实际运行中呈现出显著的综合性特征。在区域发展规划、产业布局调整以及重大基础设施建设决策过程中,规划环境影响评价通过对不同发展方案环境影响的系统比较,为决策部门提供了重要的科学依据。通过综合分析区域环境质量现状、污染物排放结构以及生态系统敏感性,环境影响评价在一定程度上引导了区域产业结构优化和空间布局调整,有效降低了高强度开发活动对环境系统的冲击。

在流域、城市群等典型区域环境管理实践中,环境影响评价逐渐承担起统筹污染防治目标与发展需求的重要角色。通过区域尺度的污染负荷核算与环境质量预测,评价工作作为污染防治规划制定和分阶段实施提供了技术支撑^[5]。同时,环境影响评价在区域环境风险防控方面的作用亦逐步显

现,通过情景分析和风险识别方法,对区域内潜在的环境风险源进行系统梳理,为管理部门制定针对性防控措施提供依据。从整体效果看,环境影响评价在区域环境管理中的实践应用,推动了环境管理理念由单点控制向系统治理转变。

4.2 环境影响评价支撑区域环境管理的主要问题分析

尽管环境影响评价在区域环境管理中的作用不断拓展,但在实际应用过程中仍面临一系列现实问题。第一制度层面的衔接不足在一定程度上削弱了评价成果的约束效力。在部分区域发展决策中,环境影响评价仍被视为程序性要求,其结论未能充分转化为刚性约束条件,导致评价成果在规划实施和项目准入过程中被弱化甚至忽视。这种“评价与决策脱节”的现象,限制了环境影响评价在区域环境管理中的实际影响力。

第二技术支撑能力相对不足制约了评价结果的精细化水平。区域环境影响评价涉及多环境要素、多污染源和多发展情景,其分析过程对数据完整性和技术方法提出了较高要求。然而,在实践中,部分地区在环境容量核算、累积影响分析以及不确定性评估等方面仍存在方法简化或数据支撑不足的问题,影响了评价结论的科学性和可信度。此外,跨区域、跨部门协同机制不健全,也使得环境影响评价难以在区域环境管理中形成统一行动,进一步制约了其综合效能的发挥。

5 完善环境影响评价支撑区域环境管理的途径与机制

5.1 强化制度衔接,提升环境影响评价在区域决策中的约束效力

从区域环境管理实践看,环境影响评价能否发挥实质性作用,关键在于其评价结论是否真正嵌入区域发展决策体系并形成有效约束。因此,有必要从制度层面对环境影响评价与区域规划、产业政策及空间管控之间的关系进行系统重构。一方面,应进一步明确规划环境影响评价在区域发展决策中的前置地位,将其作为区域规划编制和重大政策出台的重要前提条件,避免评价工作流于形式。通过制度设计,强化评价结论在规划审批、项目准入和政策实施中的刚性约束作用,使环境目标真正成为区域发展的基本边界。另一方面,应推动环境影响评价成果与区域环境管理目标的深度衔接。在区域环境质量改善目标、污染防治行动计划以及生态保护任务制定过程中,应充分吸收评价结论中关于环境容量、生态敏感区和风险点分布的分析结果,形成“评价—决策—实施—反馈”的闭环管理机制。这种制度化衔接不仅有助于提升区域环境管理的科学性和一致性,也能够增强环境影响评价在区域治理体系中的权威性,推动其由技术性工具向综合性治理工具转变。

5.2 完善技术与协同机制,增强区域环境管理的综合支撑能力

在制度保障的基础上,进一步提升环境影响评价支撑

区域环境管理的能力,还需从技术方法与治理协同两个层面同步推进。第一,应针对区域环境管理的实际需求,持续完善环境影响评价的技术体系。围绕区域环境容量核算、污染物累积影响分析及环境风险情景模拟等关键环节,加强多源数据整合与模型方法应用,提高评价结果的精细化和可操作性。通过提升评价技术对区域环境演变规律的刻画能力,使评价结论能够更准确地反映区域环境系统的真实承载状态。第二,应着力构建跨区域、跨部门的协同治理机制。区域环境问题往往突破行政边界,仅依靠单一主体难以实现有效治理。以环境影响评价为技术纽带,推动环境管理部门与发展改革、自然资源等相关部门之间的信息共享和协同决策,有助于形成统一的区域环境治理共识。通过建立区域层面的环境管理协作机制,使评价结论在不同管理主体之间形成共用依据,避免因政策碎片化而削弱治理成效,从而全面提升区域环境管理体系的整体运行效率。

6 结语

环境影响评价作为中国环境管理体系中的基础性制度,在区域环境管理中具有不可替代的重要作用。通过将环境影响评价由项目层面拓展至区域和规划层面,可以有效提升区域环境管理的前瞻性、系统性和协同性。本文从理论基础、功能定位、实践应用及对策建议等方面,对环境影响评价在区域环境管理中的应用进行了系统分析。研究认为,只有在制度保障、技术支撑和管理协同等方面形成合力,才能充分发挥环境影响评价在区域环境管理中的综合效能。实践中应进一步推动环境影响评价与区域发展决策深度融合,以实现经济社会发展与生态环境保护的协调统一,为区域高质量发展提供坚实的环境支撑。

参考文献

- [1] 罗婷倚,李睿杰,韦才超,等. 改性赤泥路基工程特性及其环境影响评价研究[J]. 硅酸盐通报,2025,44(12):4633-4645. DOI:10.16552/j.cnki.issn1001-1625.2025.0617.
- [2] 周松佳. 环境影响评价与全过程环保管理对策研究[J]. 现代工程科技,2025,4(22):157-160. DOI:10.26929/j.cnki.issn.2097-1672.2025.22.040.
- [3] 黄业东. 大数据技术在环境影响评价中的应用研究[J]. 现代工程科技,2025,4(22):93-96. DOI:10.26929/j.cnki.issn.2097-1672.2025.22.024.
- [4] 张昆. 基于环境影响评价的生态修复要点分析[J]. 皮革制作与环保科技,2025,6(22):190-192. DOI:10.20025/j.cnki.CN10-1679.2025-22-66.
- [5] 李悦. 城市生活垃圾焚烧发电项目环境影响评价分析[J]. 中国资源综合利用,2025,43(11):180-182.
- [6] 张晓培. 固体废物焚烧飞灰熔融处理技术及其环境影响评价[J]. 资源节约与环保,2025,(11):57-60. DOI:10.16317/j.cnki.12-1377/x.2025.11.009.

Research on Environmental Impact Assessment Methods for Regional Planning

Jingrong Gu Jiafeng Jiang

Jiangsu Keyida Environmental Protection Technology Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 224008, China

Abstract

Against the backdrop of China's continuous deepening of ecological civilization construction and regional coordinated development strategy, regional planning, as an important public decision-making tool for guiding spatial development, industrial layout, and resource allocation, has significant characteristics of systematic, long-term, and cumulative environmental impact. On the basis of systematically sorting out the theoretical basis and development context of regional planning environmental impact assessment, this article deeply analyzes the shortcomings of the current method system in indicator construction, scenario prediction, and comprehensive evaluation. Furthermore, from the dimensions of system analysis, scenario analysis, and multi criteria comprehensive evaluation, this article systematically studies the methods of regional planning environmental impact assessment, proposes methods optimization and practical application paths, in order to provide theoretical support and methodological references for improving the scientificity and environmental sustainability of regional planning.

Keywords

regional planning; Environmental Impact Assessment; Strategic Environmental Impact Assessment; Method system; Sustainable development

区域规划环境影响评价方法研究

顾景荣 蒋加峰

江苏科易达环保科技股份有限公司, 中国·江苏·盐城 224008

摘要

在中国推进生态文明建设和区域协调发展战略不断深化的背景下, 区域规划作为引导空间开发、产业布局和资源分配的重要公共决策工具, 其环境影响具有系统性、长期性和累积性的显著特征。本文在系统梳理区域规划环境影响评价理论基础与发展脉络的基础上, 深入分析当前方法体系在指标构建、情景预测和综合评价等方面存在的不足, 进一步从系统分析、情景分析和多准则综合评价等维度, 对区域规划环境影响评价方法进行系统研究, 提出方法优化与实践应用路径, 以期为提升区域规划科学性与环境可持续性提供理论支撑和方法参考。

关键词

区域规划; 环境影响评价; 战略环评; 方法体系; 可持续发展

1 引言

在生态文明建设持续推进与区域协调发展战略不断深化的背景下, 区域规划在引导空间开发、产业布局和资源分配中的基础性作用日益凸显。区域规划的实施往往对区域生态格局、环境质量及资源利用方式产生长期而深远的影响, 其环境效应具有系统性、累积性和不确定性等显著特征。相较于以单一建设项目为对象的传统环境影响评价, 区域规划环境影响评价更加注重前瞻性分析与整体性判断, 是推动环境约束前置、提升规划科学性的重要制度工具。

在实际应用中, 现有区域规划环境影响评价方法在指

标构建、情景预测和综合分析等方面仍存在适应性不足的问题, 制约了评价结论对规划决策的有效支撑。基于此, 本文围绕区域规划环境影响评价的方法体系展开系统研究, 分析主要方法的适用特征与现实局限, 并探讨其优化路径, 以期提升区域规划环境影响评价的科学性和实践价值提供参考。

2 区域规划环境影响评价的理论基础与方法特征

2.1 区域规划环境影响评价的理论基础

区域规划环境影响评价是在传统建设项目环境影响评价制度基础上发展形成的重要评价形态, 其理论基础主要源于可持续发展理论、系统论与环境承载力理论。可持续发展理论强调经济社会发展应控制在资源环境可承载范围之内,

【作者简介】顾景荣(1993-), 女, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事环境影响评价、环境管理、环保治理研究。

为区域规划在发展目标设定和空间布局选择中引入环境约束提供了价值依据。系统论则将区域视为由自然生态系统、经济系统与社会系统共同构成的复杂整体,强调各子系统之间的相互作用与反馈机制,为区域层面环境影响的整体性分析提供了方法论支撑^[1]。环境承载力理论则从资源供给能力与环境容量约束出发,为区域人口规模、产业结构与空间开发强度的合理确定提供了量化分析基础。与项目层级环境影响评价相比,区域规划环境影响评价更加关注规划决策对区域环境格局、生态过程及长期演化趋势的影响,其评价目标不局限于污染物排放是否达标,而是强调区域资源利用效率、生态系统稳定性以及环境风险的整体可控性。这种理论取向决定了区域规划环境影响评价具有明显的前置性和战略性,其核心功能在于通过系统识别规划实施可能引发的环境问题,引导规划方案在源头阶段进行结构性优化,从而实现环境保护目标与区域发展目标的协同统一。

2.2 区域规划环境影响评价的方法特征

在方法特征上,区域规划环境影响评价呈现出综合性、前瞻性与不确定性并存的显著特点。第一,由于区域规划涉及空间尺度大、要素类型多,其环境影响往往通过多路径、多层次累积显现,单一因子或单一模型难以全面反映规划实施的环境后果,因此评价方法必须强调多要素综合分析,通过整合资源、生态、环境与社会等多维信息,形成对区域环境影响的整体判断^[2]。第二,区域规划环境影响评价具有显著的前瞻性特征,其评价对象并非已发生的环境变化,而是规划实施可能引发的未来情景,这要求评价方法在预测分析中充分考虑发展趋势、政策导向及技术进步等因素,提高评价结论对决策的指导价值。而不确定性是区域规划环境影响评价不可回避的重要特征。规划实施周期长、外部条件变化快,使得环境影响预测结果不可避免地存在偏差。因此,在方法选择上,需要通过情景分析、方案比选等方式,对不同发展路径下的环境影响进行对比分析,从而增强评价结论的稳健性和适用性。总体而言区域规划环境影响评价的方法特征决定了其不应被简单视为项目环评的放大版,而应作为一种以系统分析和战略决策支撑为核心的综合性评价工具,在区域规划编制和实施过程中发挥持续引导和动态调整的功能。

3 区域规划环境影响评价的主要方法体系

3.1 基于系统分析的区域环境影响评价方法

系统分析方法是区域规划环境影响评价中应用最为基础且具有整体优势的技术路径之一。该方法以区域环境系统为研究对象,将自然生态、资源利用、产业活动与社会发展视为相互耦合的有机整体,通过分析系统结构、要素关系及其演化机制,揭示规划实施对区域环境状态和功能的综合影响^[3]。在区域规划层面,土地利用结构调整、产业布局优化和基础设施配置变化,往往会通过多重传导路径对区域生态

系统和环境质量产生联动效应,系统分析方法能够有效避免传统单因子评价中“就事论事”的局限。在具体应用中,系统分析方法通常通过构建区域环境系统框架,识别关键环境要素及其相互作用关系,并结合定量模型或逻辑推演,对规划实施前后区域环境变化趋势进行综合判断。该方法强调从整体功能和长期演化角度评价规划环境效应,有助于识别潜在的累积性和间接性影响,对提升区域规划环境影响评价的科学性和前瞻性具有重要意义。

3.2 情景分析与多准则综合评价方法

情景分析方法是应对区域规划环境影响评价不确定性的重要技术手段。鉴于区域规划实施周期较长,经济社会发展水平、技术条件及政策环境均可能发生变化,单一发展假设下的评价结论难以全面反映规划环境影响的可能范围。通过设定不同发展情景,如现状延续情景、优化调控情景和高强度开发情景,可以系统比较不同规划路径下区域环境质量变化趋势,从而揭示规划决策对环境结果的敏感性,为方案优化提供更加稳健的依据。多准则综合评价方法则侧重于对不同规划方案环境绩效的整体比较。该方法通过构建涵盖资源消耗、生态影响、环境质量和社会效益等维度的评价指标体系,对规划方案进行综合评判。相较于单一指标评价,多准则方法能够更好地反映区域规划目标的多样性和复杂性,有助于在多目标约束条件下实现方案优选。在区域规划环境影响评价实践中,情景分析与多准则综合评价的结合,有利于提升评价结果的系统性、可比性和决策支撑能力。

4 区域规划环境影响评价方法的应用难点与改进方向

4.1 区域规划环境影响评价方法应用中的现实难点

在实际工作中,区域规划环境影响评价方法的应用仍面临多方面制约。第一,区域层面环境系统要素复杂、空间尺度大,对基础数据的系统性和连续性要求较高,但在不少地区,生态本底、环境质量和资源利用等数据仍存在时空分辨率不足、更新滞后及部门分割明显等问题,导致评价结果在精度和可靠性方面受到影响。数据基础薄弱不仅限制了定量方法的应用,也在一定程度上削弱了评价结论对规划决策的支撑力度。第二,不同类型区域规划在功能定位、发展目标及实施路径上差异显著,通用评价方法难以完全适配具体规划需求。一些评价实践仍沿用项目层级环境影响评价的思路,过度关注单项环境因子变化,而对规划实施可能引发的累积性、间接性和跨区域影响分析不足,导致评价结论在整体性和前瞻性方面存在欠缺。而区域规划环境影响评价往往涉及自然资源、生态环境、发展改革等多个管理部门,评价过程中信息共享和协同机制不畅,也在客观上增加了方法落地实施的难度。

4.2 区域规划环境影响评价方法的优化方向

针对上述问题,区域规划环境影响评价方法亟需在技

术路径和实施机制层面加以优化。一方面,应加强多源环境数据的整合与应用,通过引入遥感监测、地理信息系统和环境大数据分析技术,提升区域环境信息获取与处理能力,为系统分析和情景预测提供更加可靠的数据支撑。在此基础上,可逐步推进评价方法的定量化和模型化应用,减少对主观判断的过度依赖。另一方面,应注重评价方法的差异化和适应性,根据区域功能定位和环境敏感程度,灵活组合系统分析、情景分析和多准则综合评价等方法,构建具有针对性的评价技术路线。同时,有必要引入动态评价和滚动修正机制,将区域规划环境影响评价由一次性技术工作拓展为贯穿规划实施全过程的持续性管理工具。通过方法创新与制度协同的同步推进,可有效提升区域规划环境影响评价在实际规划决策中的应用价值。

5 区域规划环境影响评价方法的实践应用与制度衔接

5.1 区域规划环境影响评价方法的实践应用路径

在区域规划实践中,环境影响评价方法能否真正发挥约束与引导作用,关键在于其是否深度嵌入规划编制与实施的全过程。从实践经验来看,若区域规划环境影响评价仅作为规划报批前的技术审查环节,往往难以对规划方案形成实质性影响。因此,有必要将评价工作前移至规划编制初期,通过系统识别区域环境承载力、生态敏感性与潜在环境风险,为规划目标设定和空间结构安排提供科学依据。在规划前期阶段,环境影响评价应围绕区域资源环境约束条件,对开发强度、功能布局及重点管控区域进行综合分析,从源头上避免规划目标与环境承载能力之间的结构性冲突。在规划方案形成与比选阶段,应综合运用系统分析与情景分析方法,对不同发展方案可能产生的环境影响进行对比评估。通过构建多种发展情景,系统分析土地利用变化、产业结构调整及基础设施布局优化对区域环境质量和生态系统功能的影响差异,有助于识别高风险开发路径和关键环境约束因子,从而为规划方案优化提供明确方向。这一阶段的评价重点不在于对单一指标是否达标的判断,而在于从整体层面评估规划方案对区域环境格局和长期演化趋势的影响。

在规划实施阶段,区域规划环境影响评价应由一次性评价转向持续性的跟踪与反馈。通过建立动态监测和评估机制,对规划实施过程中环境质量变化和生态响应进行持续观察,当实际环境变化与预测结果出现明显偏离时,及时提出调整建议或补充管控措施。通过将评价方法嵌入规划实施全

过程,可显著提升区域环境管理的前瞻性和主动性,增强区域规划对复杂环境问题的适应能力。

5.2 区域规划环境影响评价的方法制度衔接

从制度层面看,区域规划环境影响评价方法的有效运行,离不开与现行规划管理体系和环境管理制度的系统衔接。当前实践中,评价结论在规划决策中的约束效力不足,仍是制约区域规划环境影响评价发挥实效的重要因素。因此,有必要通过完善相关技术导则和方法规范,明确不同类型区域规划在评价内容、技术路径和成果表达方面的基本要求,提升评价方法在不同区域和不同规划层级中的规范性与一致性。同时可以强化区域规划环境影响评价结论在规划审批、项目准入和环境监管中的应用,将评价结果作为规划实施和项目落地的重要决策依据。通过制度化方式明确评价结论的约束地位,可有效推动区域规划环境影响评价由“技术建议”向“刚性约束”转变。而区域规划环境影响评价往往涉及自然资源、生态环境、发展改革等多个管理部门,若缺乏有效协同,评价成果容易在制度运行中被弱化。因此,应通过健全部门协同机制,促进信息共享和成果共用,形成规划决策与环境管理之间的良性互动。总体而言,只有在方法完善与制度保障协同推进的前提下,区域规划环境影响评价才能真正融入区域治理体系,发挥引导区域绿色发展、提升环境治理现代化水平的长期支撑作用。

6 结语

区域规划环境影响评价是实现区域绿色发展和提升规划决策科学性的关键制度安排,其方法体系的完善程度直接影响评价结论的可靠性和实践价值。本文通过对区域规划环境影响评价理论基础、主要方法体系及其应用问题的系统分析,认为系统分析、情景分析和多准则综合评价的有机结合,是提升区域规划环境影响评价科学性与适用性的有效路径。未来,应在强化数据支撑、提升方法适应性和完善制度衔接等方面持续推进方法创新,使区域规划环境影响评价真正成为引导区域高质量发展的重要技术与管理工具。

参考文献

- [1] 黄科茂. 规划环境影响评价在生态城市建设中的应用[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(08): 72-74.
- [2] 梅向阳, 钱文敏, 王仁敏, 等. 环境影响评价区域评估及生态环境准入管控[M]. 云南科技出版社: 2023: 10: 269.
- [3] 陆瑞雪. 规划环境影响评价在环境保护工作中的重要性[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(03): 93-95.

Application of Different Standard Methods in Organized Particulate Matter Monitoring in the Steel Industry

Jin Jia

Shanxi Steel Group Hanzhong Iron and Steel Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 724200, China

Abstract

Organized particulate matter monitoring in the steel industry serves as a critical link between production operations and environmental compliance. The selection and application of monitoring technologies directly impact regulatory effectiveness and corporate green production standards. This paper focuses on the application of three mainstream monitoring techniques—gravimetric, optical, and β -ray methods—in typical steel production processes. As the benchmark method, gravimetric analysis provides authoritative data for enforcement and calibration in sintering flue gas monitoring. The optical method, with its rapid response characteristics, is suitable for real-time monitoring of primary flue gas in converters. The β -ray method, with its high-precision continuous measurement capability, has become a key technology for total emission accounting in continuous emission sources such as hot rolling. Each method should be scientifically applied based on specific operational conditions, and a rigorous quality control system must be established. Together, these methods form a precise and efficient particulate emission monitoring network in the steel industry.

Keywords

steel industry; organized emissions; particulate matter monitoring

不同标准方法在钢铁行业有组织颗粒物监测中的应用探讨

贾津

陕钢集团汉中钢铁有限责任公司, 中国·陕西汉中 724200

摘要

钢铁行业有组织颗粒物监测是连接生产运营与环保合规的核心环节, 其技术选择与应用直接影响监管效力和企业绿色生产水平。本文重点探讨了重量法、光学法和 β 射线法三种主流监测技术在钢铁典型工序中的应用。重量法作为基准方法, 在烧结烟气监测中为执法与校准提供权威数据; 光学法凭借快速响应特性, 适用于转炉一次烟气的瞬时过程监控; β 射线法则以其高精度连续测量能力, 成为热轧等连续排放源总量核算的关键技术。各方法需结合具体工况进行科学应用, 并建立严格的质量控制体系, 共同构成钢铁行业精准、高效的颗粒物排放监控网络。

关键词

钢铁行业; 有组织排放; 颗粒物监测

1 引言

为深入打好污染防治攻坚战, 推动工业领域绿色低碳转型, 国家近年来连续出台《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》等一系列强制性环保政策, 明确提出对烧结、炼钢、轧钢等重点工序的有组织排放口实施严格监管与连续监测要求。在此背景下, 发展并应用精准可靠的颗粒物监测技术, 不仅是企业履行法律义务、应对环境监管的必然要求, 更是其实现精细化环境管理、挖掘节能减排潜力的内在需求。针对钢铁生产流程复杂、排放特征各异现状, 探讨不同标准监测方法的技术原理、适用场景与应用要点, 对于构建科学、经济、高效的监测体系, 支撑行业高质量可持续发展具有重要的现实意义。

2 钢铁行业有组织颗粒物监测的重要性

2.1 为环保监管提供客观依据

钢铁行业有组织颗粒物的监测, 是环境管理不可或缺的客观基石。其核心价值首先体现在为环保监管提供了科学、精准的数据支持。监测数据直接判断企业排放是否达到国家标准, 是执行排污许可、实施总量控制以及核定环境保护税的关键依据, 确保了环境执法工作的公信力与公正性。对于政策制定者而言, 这些持续积累的监测数据, 有助于准确评估区域环境质量状况, 为制定和调整更合理的排放标准与产业政策提供实证基础, 从而推动环境治理体系的现代化。从社会监督角度看, 依法公开的监测数据保障了公众的环境知情权, 是构建政府、企业、社会三方共治的监督网络的基础。它使企业的环境表现变得可量化、可比较, 将环保

【作者简介】贾津(1988-), 男, 中国陕西勉县, 本科, 工程师, 从事环境监测研究。

行为置于阳光之下,促进了从“要我环保”到“我要环保”的深刻转变,夯实了社会信任。

2.2 为企业绿色转型提供核心动力

对企业自身而言,有组织颗粒物的监测是驱动内部绿色生产与降本增效的核心数据引擎。精确、连续的监测数据不仅是满足合规要求、规避法律风险的证明,更是企业提升环境管理精细化水平的决策基础。通过对排放数据的深度分析,企业能够实时评估除尘等环保设施的运行效能,实现从被动维护到主动预判设备状态的转变,从而优化工艺参数,提升治理效率,并有效降低不必要的能耗与运维成本。这直接转化为生产资源利用效率的提高和运营风险的降低,增强了企业的成本控制能力与市场韧性。长远来看,监测驱动的持续改进机制,引导企业将环保压力转化为技术创新动力,主动探索更高效的污染治理与资源回收技术,为最终实现超低排放乃至低碳转型指明了具体路径,塑造了面向未来的可持续竞争优势。

3 钢铁行业有组织颗粒物主要监测标准的方法

3.1 重量法

重量法以其经典可靠的物理称重原理,成为颗粒物浓度测定的基准方法。该方法的技术核心在于等速采样,即确保采样气流速度与管道内实际流速一致,从而真实捕获流经采样截面的全部颗粒物。技术人员需从固定污染源排气中,将颗粒物捕集于特定材质的滤膜表面,最终依据采样前后滤膜的质量差值和标准状态下的累计采样体积,精确计算出颗粒物质量浓度。其方法优势在于直接测定颗粒物质量,数据可靠,常作为仲裁与其他方法的比对基准。然而,整个流程涉及采样点位代表性选取、采样系统气密性保障、滤膜恒温恒湿平衡与精密称量等一系列复杂且严格的操作环节,对人员技术素养、设备状态及实验室环境控制均提出了极高要求。

3.2 光学法

光学法则是一种基于光与颗粒物相互作用物理原理的间接测量技术。其检测方法是朗伯-比尔定律及相关光散射理论,通过向被测气体发射稳定光束,并检测光束因颗粒物遮挡(光吸收)或方向改变(光散射)而产生的信号衰减或强度变化,从而推算颗粒物浓度。依据检测信号的不同,主要衍生出透射法、散射法及浊度法等技术路线。该方法的显著技术特征在于响应极为迅速,可实现毫秒级的数据刷新,具备连续自动监测能力。其技术复杂性体现在,测量信号本质上反映的是颗粒物的光学等效截面而非直接质量,因此测量结果与颗粒物的粒径分布、形貌、颜色及折射率等物理光学特性密切相关,存在固有的原理性干扰因素,需依赖标准方法进行定期标定转换。

3.3 β 射线法

β 射线法是一种结合了放射性衰变原理与质量累积测

量的技术。其核心技术在于利用低能 β 射线(通常源自碳-14或氩-85等同位素源)穿透物质时发生的衰减规律。 β 射线在穿透特定面积上沉积的颗粒物样品时,其强度衰减程度与沉积颗粒物的质量厚度呈良好的指数关系,而与颗粒物的化学成分、颜色及物理结构基本无关,这一特性是其关键优势。典型系统采用动态采样方式,将环境空气以恒定流量抽取并通过一条洁净的滤带,颗粒物沉积形成测量斑点。测量时, β 射线先后穿透洁净滤带和覆有颗粒物的滤带,通过检测两次穿透强度的差异,直接计算沉积颗粒物的质量,再结合采样体积获得浓度。

4 不同标准方法有组织颗粒物监测中的具体应用

4.1 重量法在钢铁烧结烟气颗粒物基准监测中的应用

重量法作为颗粒物浓度测定的基准方法,在钢铁行业污染源监测体系中具有法规意义上的权威性,尤其适用于对数据准确性与法律效力要求极高的场合,如烧结烟气排放的执法监测、在线系统校准及科研分析。该方法在烧结工序的应用深度契合了该工艺烟气流量大、温度波动、湿度较高且成分复杂的特征。其技术实施严格遵循等速采样原理,需使用能够自动跟踪烟气速度、压力与温度并实时调节流量的高精度采样仪,确保采样嘴入口速度与烟道内气流速度的相对误差控制在 $\pm 10\%$ 以内,以实现针对不同粒径颗粒物的代表性捕集。采样点位必须科学布设于脱硫脱硝等治理设施出口的稳定流场区域,严格满足距上游扰动部件不少于6倍管径、下游不少于3倍管径的直管段要求,以规避烟气再热、补风混合不均带来的干扰。

针对烟气可能的高温高湿及腐蚀性,需选用石英或玻璃纤维等惰性滤膜,并在采样前后于恒温恒湿天平室(如 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, $50 \pm 5\%\text{RH}$) 进行不少于24小时的严格平衡,使用精度达 0.01mg 的微量天平进行称量。整个过程贯穿严密的质量控制,包括采样系统的气密性校验、流量计的定期标定,以及根据预估浓度合理设定采样时间,确保滤膜增量满足天平最佳称量范围。该方法的核心价值在于其测量结果的直接性与溯源性,通过对捕集颗粒物的直接称重,为钢铁企业达标验证、环保监管执法以及在线监测数据的有效性审核提供了不可替代的基准值,构成了整个排放监测体系的计量基础。

4.2 光学法在钢铁转炉一次烟气颗粒物监测中的应用

光学散射法凭借其毫秒级的快速响应能力,在钢铁生产某些工况瞬变、需过程控制的环节展现出独特优势,尤以监测转炉吹炼期产生的高温、高浓度、瞬时波动剧烈的一次烟气最为典型。该方法通过测量颗粒物对入射光的散射强度来间接推算浓度,其关键在于如何在高毒性、高浓度、饱和湿度及存在冷凝风险的苛刻条件下,维持数据的相对准确与设备长期稳定。监测点位通常设于一次除尘排放口,此位置

为烟气净化后的关键节点,可表征系统最终排放状况。烟气在此处温度适中,且仍处于饱和状态。点位选择需确保光学探头插入深度足以接触代表性气流,并必须集成可靠恒定的电伴热或蒸汽伴热系统,使采样腔体或探头窗口温度持续高于烟气露点 10°C 以上,这是防止水汽冷凝污染光学窗口、导致信号衰减或测量失效的技术核心。

设备选型需针对转炉烟气中金属氧化物与石灰粉尘的特性,优先选用后向散射或直角散射原理的仪器,以降低对颗粒物粒径分布的敏感性。仪器需配备宽量程以适应从背景值到吹炼峰值的巨大浓度跨度,并集成高效自动反吹系统,定期以洁净压缩空气或氮气吹扫光学窗口,避免粉尘粘附。由于光散射法的测量信号受颗粒物粒径、折射率、颜色等物化性质影响显著,其直接读数仅为“等效散射浓度”,故必须通过定期(如每季度)在相同点位使用基准重量法进行同步比对测试,建立适用于特定转炉与原料条件的校准曲线(K 因子),对实时测量值进行校正,从而将光学响应值转化为可追溯的质量浓度数据。此法实现了对间歇性、爆发性排放过程的实时趋势监控与快速报警,是优化吹炼工艺与除尘系统运行的重要过程监控工具。

4.3 β 射线法在钢铁热轧精轧机烟气排放监测中的应用

β 射线吸收法基于颗粒物对 β 射线的吸收衰减程度直接测定其质量浓度,因其测量结果受颗粒物化学成分与颜色影响极小、与基准重量法相关性优异,已成为固定污染源连续排放监测系统(CEMS)中颗粒物监测的主流技术。在钢铁行业,该方法特别适用于需长期稳定运行、进行精准总量核算的连续排放源,如热轧精轧机组产生的以氧化铁皮为主的烟气监测。其应用满足了环保部门对重点排污口连续监测数据有效性的考核要求。监测点位通常设于精轧机除尘系统总管道或净化设施后的总排口,在满足前6后3直管段要求的同时,需避开多支管汇合可能造成的气流混合不均区,并考虑车间高温环境下的设备散热与振动防护。

针对热轧烟气特点,CEMS系统多采用“动态加热采样+ β 射线测量”或“稀释采样+ β 射线测量”技术路线。前者通过对采样烟气持续加热保温,后者则以固定比例用干

燥洁净零气稀释样气,二者均旨在消除水汽干扰,确保进入测量腔的为干颗粒物样品(。系统集成精细过滤、流量控制与恒流采样等预处理单元,以保证测量条件的稳定性。设备运行依赖于定期更换承载颗粒物的玻璃纤维滤带,并执行自动零点与跨度校准(使用标准膜片)。根据国家技术规范,至少每六个月在相同点位采用基准重量法进行比对监测,获取至少三对有效数据以验证CEMS准确度,确保其示值误差、相关系数等指标持续合规。 β 射线法用于连续源,能提供近乎实时且可追溯至重量基准的质量浓度信号,不仅用于瞬时监控与超标报警,更为计算小时、日、月、年累计排放总量提供数据基础,是企业履行排污许可、编制执行报告及环保核算的核心技术支撑。

5 结语

综合来看,重量法、光学法与 β 射线法三种监测技术在钢铁行业有组织颗粒物监测中构成优势互补、相互校验的技术体系。重量法奠定数据溯源基石,光学法满足过程控制需求, β 射线法为总量控制与合规管理提供核心支撑。实际应用中,需依据不同生产工序排放特性、监测目的和管理要求,科学选择配置监测技术,辅以规范化运维管理与定期比对校准。未来,随监测技术智能化发展与多技术融合,钢铁行业颗粒物排放监控将朝更精准、实时、高效方向演进,为行业超低排放与绿色低碳发展提供坚实技术保障。

参考文献

- [1] 张健.基于大数据分析的钢铁行业颗粒物自动监测系统优化研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(7):78-79.
- [2] 文志强.固定污染源废气颗粒物监测结果为负值的分析[J].柳钢科技,2024(1):31-33.
- [3] 潘光,杨雨欣,王在峰,等.济南市钢铁集聚区大气细颗粒物中碳组分污染特征[J].环境化学,2024,43(4):1177-1187.
- [4] 杨富廷,文志强.钢铁行业大气污染物深度治理技术探究[J].山东冶金,2023,45(3):56-59.
- [5] 强晓东.沂州市钢铁产业大气污染物排放和减排潜力估算[J].中国图片(中英文),2024(26).
- [6] 聂海亮,宋立丽,范晓君,等.一种钢铁尘泥冶炼烟气颗粒物分级利用装置:CN202211698587.9[P].

Research on Measures for Water Pollution Control in Environmental Protection During the New Era

Chuang Ma Zheng Zhou

Hubei Junbang Environmental Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430030, China

Abstract

This paper focuses on the key strategies for water environment governance in the new era, exploring the specific applications of water pollution prevention and control technologies in industrial emissions, agricultural non-point sources, and domestic sewage. It elucidates the practical value of water pollution control measures in ecological conservation and sustainable development. Strict water quality standards have driven the innovation of governance technologies, while diversified treatment methods have significantly improved water environment quality, highlighting the importance of modern environmental governance.

Keywords

Water pollution control; Environmental protection; New era; governance measures

新时期环境保护中水污染治理的措施研究

马闯 周政

湖北君邦环境技术有限责任公司, 中国·湖北 武汉 430030

摘要

在当今社会经济快速发展的背景下,水资源保护已成为生态文明建设的核心环节,水环境质量改善与生态系统修复,成为实现绿色发展的关键支撑。本文聚焦新时代背景下水环境治理的关键策略,探究了水污染防治技术在工业排放、农业面源及生活污水领域的具体应用表现,阐明了水污染治理措施在生态保护与可持续发展中的实践价值。严格的水质标准推动了治理技术的革新,多元化的处理手段对改善水环境质量产生了显著影响,彰显了环境治理现代化的重要意义。

关键词

水污染治理; 环境保护; 新时期; 治理措施

1 引言

水污染治理需要系统性思维与多部门协同,更好地服务于生态环境保护大局,以实现人与自然和谐共生和经济社会可持续发展。水环境恶化与污染事件频发,会严重威胁公众健康与生态安全。随着环保意识与科技水平不断提升,水污染监测技术、处理工艺与管理体制日益完善,而污染源控制与水质改善效果在提高,水环境综合治理理念需要重新构建,其技术创新、政策保障和公众参与,使水污染治理工作更加科学高效,治理成效显著提升。近年来,水污染治理技术与管理模式逐渐成熟,治理过程中各环节进行优化整合,使其整体效能得到充分发挥。

2 水污染治理工作概述

水污染治理是指在工业废水、农业径流、生活污水等污

染源管控过程中,是环境保护工作中的核心任务之一,也是生态文明建设的重要内容。现存有多种治理模式,如末端处理与源头控制相结合。实践证明,单一治理手段效果有限,需采取综合治理策略,出现系统性治理方案,多数地区采用分级处理方式,先进行预处理,然后实施深度净化。近年来,国家出台《水污染防治行动计划》等规范性文件,并建立水质监测网络体系,各地治理措施大多因地制宜。现阶段,这一领域发展迅速,传统技术被创新升级,并形成多元化治理技术体系,此时水污染治理工作趋于科学化、系统化,技术集成度高,治理效果显著。水环境质量改善工程。包括物理法、化学法、生物法等多种技术路径^[1]。水污染治理工作,有阶段性特征,表现为区域差异性。水污染问题在不同地区表现形式各异,治理难度不一。北方地区,水资源短缺,有水体富营养化问题,南方地区,水网密集,水体黑臭现象较为普遍。

3 水污染治理在环境保护中的重要作用

3.1 丰富环境保护内涵

水污染治理工作是由生态环境保护需求驱动,而其实

【作者简介】马闯(1993-),男,中国内蒙古莫力达瓦达斡尔族自治旗人,本科,工程师,从事水污染治理研究。

践价值来源于对水生态系统的修复。水污染治理不仅是技术应用过程，也是生态文明理念的具体表达，对提升环境质量具有重要意义，适当整合治理措施，更提升了环境治理的整体效能，传递了人与自然和谐共生的理念。水污染治理以系统性思维将水环境问题进行了全面剖析，成功地构建了综合治理框架，这种工作方法具有示范意义。水污染治理技术一般采用物理、化学和生物方法相结合的方式完成水质净化，工艺流程设计科学，也可采用生态修复技术，能够有效去除污染物，并改善水体生态环境。在河流治理实践中，围绕水质改善目标形成了一套完整的治理技术体系。此外，水污染治理还结合遥感、大数据和人工智能进行监测分析，展现科技对环境保护在技术支撑方面的独特价值。水污染治理立足于生态系统整体性，突出了流域统筹和系统修复，实现了水环境质量的持续改善。

3.2 传达环保理念

水污染治理在公众环境教育中具有重要地位，也是传播绿色发展理念的有效载体。水污染治理在生态文明建设中发挥着示范引领作用，展现环保工作成效，更是提升全民生态意识的重要途径。水污染治理工作本身是环保行动或环境改善的直接体现，包括水质提升及生态系统恢复等等，传达环保理念是环境治理工作的核心价值，这对提升公众参与度、满足生态需求有着不可替代的作用^[2]。例如水质改善工程可以提升居民生活品质，也可以增强环保意识，突出水资源保护的重要性，如湿地修复、河道整治、生态护岸、水源涵养等等，充分体现了水污染治理在生态文化建设上的重要价值，并且使环保理念在公众认知中得到深化。水污染治理对生态文明建设具有积极意义，在环境教育中其示范作用也得到了充分体现。这种实践基于人与自然和谐共生理念，使得环保工作在社会认知中更为深入。

3.3 营造良好生态环境

水污染治理带来了水清岸绿的生态环境，人居环境也因此显著改善，水生态系统对生物多样性保护也起到积极作用。水污染治理措施切合生态修复需求。而水环境综合治理在改善城市景观方面具有显著优势。其对水生态系统的全面修复，产生了良好的环境效益，进而提升了城市形象和居民幸福感，能有效促进区域生态平衡。在景观营造上，不仅改善水质，也可美化环境，甚至是提升文化品位等多重功能。水污染治理在水环境改善中无论作为基础工程还是生态景观，都会产生积极的社会效益。水污染在水环境治理应用中可以提升区域生态价值，使得水环境质量不断改善并在生态系统中具有重要支撑作用。对水生态修复需要科学规划与系统实施，应用综合技术手段，将其融入城市发展规划中。水污染治理不仅仅是环境工程，同时生态功能得到恢复，也体现了环境保护中系统思维的科学应用。

4 水污染治理措施在环境保护中的具体应用

4.1 工业废水处理中的应用

结合工业发展特点，水污染治理中工业废水处理就是关键环节。废水处理技术可以对工业污水进行有效净化，该技术在制造业水污染治理已经被广泛应用，尤其在化工、印染、电镀等行业，主要有生物处理法、膜分离技术和高级氧化工艺。这些处理技术又可以细分为多种工艺，为不同行业提供定制化解决方案，实现废水资源化利用^[3]。由于现代处理技术可以实现污染物高效去除，所以在工业园区水污染治理也可以采用集中处理模式。在工业水处理领域，从单一处理工艺向组合工艺转变，将传统技术与创新方法进行融合，在工业废水治理能够给企业提供经济可行的解决方案，同时为区域水环境保护提供技术支撑。废水处理技术可以实现循环利用，可以对水资源短缺起到缓解效果，这种处理方式具有显著的经济和环境双重效益。目前，传统处理方法和新型工艺都相对成熟，但是面对复杂污染物，新型技术具有更强适应性。工业废水治理在实际应用中都会选择适合的处理工艺，以生物处理为主，还可将物理化学方法有机结合，处理工艺相对灵活，能够满足不同水质要求。通常工业废水处理需要根据水质特点，制定针对性方案，处理效果也更加稳定，尤其高浓度有机废水应用比较广泛。比如，在化工园区，按照水质特性、污染物种类为依据，采用“预处理-生化处理-深度处理”形式，将废水中有害物质有效去除，整个处理流程科学合理，在工业园区作为环保基础设施，促使工业发展与环境保护协调统一。

4.2 农业面源污染控制中的应用

水污染治理在农业面源污染控制领域应用前景广阔。在种植业和养殖业生产过程中，其污染控制是水环境保护的重要内容，生态农业技术可以为水环境保护增添新途径，在乡村振兴战略背景下，水污染治理对农业可持续发展具有重要意义，水污染治理在农村水环境保护中具有独特价值。对于农业面源污染为治理对象的水环境保护工作来说，生态沟渠在农业区域利用植被缓冲带作为过滤系统，这样能够有效拦截污染物。例如，将人工湿地技术应用在农田排水系统中，能够实现氮磷有效去除，尤其针对农田径流污染，可以将污染物在输送过程中逐步削减，将水体富营养化风险也有效降低，有利于农村水环境质量改善。通过生态拦截系统，具有显著的水质净化功能，水污染治理也会对土壤质量和生物多样性产生积极影响，将其转化为生态效益。比如，将生态沟渠作为农田排水通道，可以显著降低污染物浓度。为了实现农业绿色发展、保护水环境质量，农村地区选择利用生态工程技术。通过对农田生态系统的技术改造，最为显著的效果就是水环境质量改善，而且具有生态修复特征。在农村水环境治理过程中，能够实现水质改善目标，同时处理成本并不高，能够给农民带来实际收益。

4.3 城市生活污水处理中的应用

为了提升水环境质量,需要充分认识污水治理工作的重要性。污水处理设施建设,污水处理技术受到广泛关注。通过对污水处理工艺的合理优化,可以为城市水环境改善提供保障。污水处理技术,污水处理效率不断提高,对城市水环境改善也越发重要,所以污水处理技术成为研究热点,相关产业也逐渐成为环保领域重要组成部分。其在城市水环境治理中的应用起到关键支撑效果,还具有示范作用。水污染治理最为明显的效果在城市河道整治中,是水质提升、生态恢复等水环境改善表现,水污染治理成效显著。现阶段,各类污水处理技术都得到广泛应用,结合不同城市特点,促使污水处理效能充分发挥,作为基础设施,水污染治理工作稳步推进。比如在城市河道治理进行生态修复。水污染治理最为突出的优势在于适应性强,虽然面临复杂水质条件,但是处理效果稳定可靠。水污染治理所能够发挥的环境效益,都得到社会认可。例如,无论是在城市中心区或者是城乡结合部等区域,可以实现水质持续改善。通过水污染治理技术的综合应用,可以实现水环境质量提升,将生态价值充分体现,不仅改善了人居环境,而且提升了城市品位。

4.4 水生态修复技术的应用

生态修复技术将自然恢复与人工干预相结合,在水环境治理中优先选择生态友好型技术方案。这种技术路径与传统工程措施相比,有利于水生态系统全面恢复。水生态修复技术在河道整治中,可以给水体自净能力提升,尽可能实现生态功能恢复。除此之外,人工湿地、生态浮岛等技术,具有良好的水质净化功能。生态修复技术作为重要手段,以自然恢复为主导方式实现水生态修复。由于生态修复过程符合自然规律,所以能够取得长效治理效果。例如生态修复工程、河道综合整治等,由于生态修复技术及自然恢复过程存在协同效应,不同生态修复措施等也具有互补作用。在水环境治理中,对生态修复技术应用,同时结合水文调控措施,实现水生态系统良性循环,促使水环境质量持续改善。对水生态修复过程,可以将水生植物、微生物等有机结合,形成完整食物链。如河道生态修复工程等,以植被恢复来改善水质,在水体净化等环节,体现生态系统的自我修复能力。作为水污染治理的高级阶段,有着生态效益和景观价值双重优势,既可以恢复生态功能,也可以成为市民休闲场所。对生

态修复技术的使用,决定了水环境治理的最终效果。生态修复技术在水环境综合治理中发挥关键作用,通过科学设计与实施,使得水生态系统功能恢复。生态修复工作也在水环境治理基础上,更好地实现生态平衡,保持生物多样性,更好地发挥生态服务功能,凸显自然价值,也为可持续发展奠定基础。

4.5 智慧水务管理系统的应用

智慧水务管理系统需依托现代信息技术构建完整体系,水污染治理需从数据采集为起点建立系统框架。智慧水务系统并不仅限于监测功能。改变传统管理模式,设立智能预警机制,水务管理非单一功能,而是集监测、预警、决策、管理于一体。整合水环境数据资源,组织多部门协同工作,深度挖掘数据价值,提升管理效能。深化技术应用与业务融合。建立智能决策平台,不再局限于数据展示,而是提供预测分析、方案优化、效果评估等多维度支持。智慧水务系统对水环境数据进行智能分析,为管理决策提供科学依据,系统可实现与公众服务平台对接。将治理经验数据化,实现知识沉淀。制定科学评价体系,明确绩效指标,构建闭环管理机制。设置基于实时监测的动态调控机制,确保水环境质量稳定达标。智慧水务系统必须持续优化,具备适应复杂水环境变化的能力。

5 结语

总之,水污染治理在新时代环境保护工作中的实践应用,应注重系统性与精准性,在技术革新中不断提升治理效能,更是实现美丽中国建设的必然趋势。水环境质量改善目标已经取得阶段性成果。但从长远发展视角看,水污染治理仍面临诸多挑战,水环境保护属于长期工程,是系统工程,很多问题需要协同解决,水污染治理更加科学化、精细化,对生态文明建设具有深远意义。

参考文献

- [1] 董旭.环境保护中的水污染治理措施研究[J].皮革制作与环保科技, 2025, 6(7):164-166.
- [2] 洪启阳.环境保护中的水污染治理措施研究[J].皮革制作与环保科技, 2024, 5(15):178-180.
- [3] 李燕萍.浅谈环境保护中的水污染治理措施[J].资源节约与环保, 2022(1):96-99.

Application of Gas Chromatography-Mass Spectrometry in Soil Testing

Mengdi Fang Maoyuan Chen* Ruizhi Yang

Kunming Survey and Design Institute Technology Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

The effective implementation of soil testing can better clarify the pollution status in soil and the content of different pollutants, providing more information references and data support for soil remediation and environmental protection, ensuring the relevance and appropriateness of subsequent management and protection efforts. The application of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technology in soil testing can further enhance the efficiency and quality of soil testing, guaranteeing the reliability, completeness, and authenticity of test results. Based on soil testing requirements, personnel can define the application path from multiple dimensions, including soil sample collection and pretreatment, extraction and purification of target pollutants, optimization of analytical parameters, qualitative and quantitative analysis, result validation, and quality control, thereby improving the quality and effectiveness of the application.

Keywords

gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); soil testing; application strategies; environmental protection

气相色谱质谱技术在土壤检测中的应用研究

方梦迪 陈茂源* 杨锐芝

昆明勘察院科技开发有限公司, 中国·云南昆明 650000

摘要

土壤检测工作的有效落实可以更好地明确土壤中的污染情况及不同污染元素的含量, 为土壤治理和环境保护提供更多的信息参考和数据支持, 保障后续各项管理及保护工作落实的针对性和适切性。而气相色谱质谱技术在土壤检测中应用则可以更好地提高土壤检测效率和质量, 保障检测结果的可靠性、完整性和真实性。工作人员可根据土壤检测需求从土壤样品采集与预处理、目标污染物提取与净化、分析参数优化、定性定量分析、结果验证和质量控制等多个维度明确其应用路径, 提高应用质量和应用成效。

关键词

气相色谱质谱技术; 土壤检测; 应用策略; 环境保护

1 引言

经济社会的迅速发展以及人们素质的不断提升使得现阶段人们对于环境保护问题给予的关注和重视变得越来越高。尤其是在工业生产、农业生产过程中很容易会因管控不当导致土壤污染问题, 在这样的背景下落实土壤检测工作则显得十分必要, 这可以为后续污染治理和管理工作的开展提供更多的数据支撑, 气相色谱质谱技术在土壤检测中应用则可以更好地满足土壤检测需求, 获得完整全面的数据信息。

【作者简介】方梦迪(1996-), 女, 中国云南玉溪人, 本科, 从事化学分析研究。

【通讯作者】陈茂源(1991-), 男, 中国云南昆明人, 本科, 工程师, 从事化学分析研究。

2 气相色谱质谱技术核心原理

气相色谱质谱技术是由气相色谱分离系统和质谱检测系统共同构成的, 两者可达到优势互补的效果, 满足复杂样品中目标物的高效分离和精准定性、定量分析的实际需求。其中气相色谱系统是将惰性气体作为载体, 通过色谱柱内固定相和流动相间的分配系数差异完成土壤提取液中特定元素的分离, 为质谱系统的检测工作落实提供纯净、单一的组分。而质谱系统则可以将分离后的组分电离为带电离子, 配合质量分析仪利用质荷比完成分离, 并借助检测器对离子信号进行记录生成质谱图。工作人员则可以通过标准质谱库对比来完成定性分析, 在此基础上通过离子强度与浓度的线性关系分析实现定量分析。

气相色谱质谱技术与土壤检测需求的适配性是相对较强的, 在土壤检测中应用具备三大核心优势。首先, 其检测灵敏度相对较高, 在土壤检测中可以有效检测多环芳烃、有

机氯、农药等相应痕量污染物。其次，其分离能力相对较强，在土壤检测的过程中可大幅降低矿物质、腐殖质等相应基质成分的干扰和影响，保障检测结果的准确性和可靠性。最后，该项技术的定性准确性相对较高，可利用标准质谱库匹配区分结构相似的污染物质，有效解决单一检测技术定性模糊的问题。因此气相色谱质谱技术是现阶段土壤检测中的首选技术。气相色谱仪原理如图1所示。

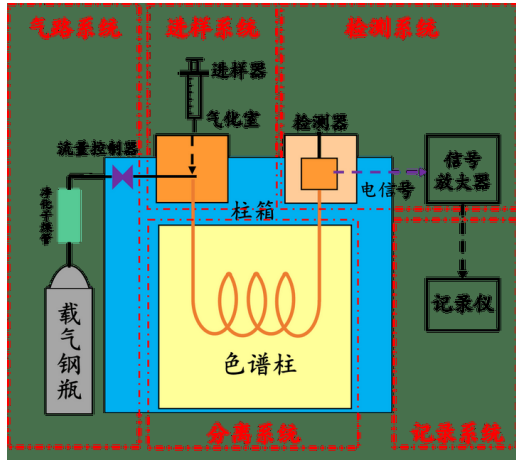


图1 气相色谱仪原理

3 气相色谱质谱技术在土壤检测中的应用

3.1 样品采集与预处理

样品采集与预处理是气相色谱质谱技术在土壤检测中应用的基础环节，对于检测结果的准确性、真实性和可靠性会起到至关重要的影响。在该环节相关工作人员需加强技术控制和管理保证样品的代表性，为后续各项工作的开展提供数据参考和信息支撑。

而在采样工作开展的过程中可结合土壤环境监测技术规范采用多点混合采样法，并根据检测需求来调整采样深度，从表层、中层、深层三个维度落实采样工作。一般情况下表层采样深度约为0~20cm，中层为20~60cm，深层则是60~100cm。在采样开展的过程中还应当结合后续土壤检测需求来明确样品采集体量，一般情况下每个采样点所采集的样品应超过1kg。在此之后将样品混合，用四分法将其缩分至500g并去除样品当中的石块和植物残体等相应杂质，避免杂质过多影响后续的检测结果。

在预处理工作落实的过程中需紧抓干燥与研磨两大关键点。样品采集以后需自然风干，避免暴晒，在风干至恒重以后借助玛瑙研钵对样品进行研磨，并引入100目尼龙筛进行筛选，研磨后的样品应避光保存，可放置于-4℃的冰箱中避免在存储的过程中出现样品污染或挥发、降解等相应问题^[1]。

当然样品采集要点需坚持具体问题具体分析的原则，根据土壤的实际情况来明确采样过程中需要注意的问题。例如，若在土壤检测中发现被检测区域土壤中含有挥发性有机

物，并以此作为检测的重心，这时在采样结束以后则需要立即将样品存储于棕色玻璃瓶内并进行密封，在运输的过程中应确保环境温度在4℃，并在24h内落实检测工作，避免污染物质流失导致检测准确性受到影响。

3.2 目标污染物提取与净化

土壤基质构成是相对而言较为复杂的，而在土壤检测当中必须充分考量土壤的基质特点，尤其是在土壤污染检测的过程中更需要充分考量污染物质构成复杂的特性，可通过提取与净化来去除干扰成分，保障检测结果真实、可靠且准确。

在气相色谱质谱技术应用之前的样品预处理中不同类型的污染物其提取与净化策略存在鲜明差异，可以将污染物划分为挥发性有机物、半挥发性有机物、有机氯农药等不同类别，并针对性地选择提取方法和净化方法。在提取工作落实的过程中相关工作人员需根据不同技术的技术特性加强对关键参数的控制。例如在超声波提取的过程中需确保萃取剂能够充分浸润土壤样品，避免出现气泡包裹等相应问题。加速溶剂萃取则需加强对压力和温度的控制，避免出现溶剂挥发的情况。若选择吹扫捕集则需要捕集的过程中加强对吹扫气流的控制避免目标物吸附流失。

而在净化环节则需要着重分析不同干扰物质可能会对检测结果产生的影响，找到相应的解决对策。例如土壤中的腐殖酸、脂酸等相应干扰物会影响后续检测工作的开展，弗罗里硅土则可有效去除极性杂质，凝胶渗透色谱则可完成大分子干扰物质的分离^[2]。在净化结束以后需进行样品浓缩、定容，然后借助仪器进行分析。

3.3 气相色谱质谱仪器分析及参数优化

仪器分析是气相色谱质谱在土壤检测中应用的核心环节，在该环节想要更好地发挥仪器设备的优势就必须加强参数的控制，保证分离效果和检测的灵敏度。一般情况下在气相色谱质谱检测中的关键参数主要包含柱温、载气、进样口温度、升温程序、离子源、扫描模式等关键点，其通用优化参数如表1所示。该表所示参数适配大多数有机污染物的检测，若无法满足要求，则需要根据污染物的极性、沸点来做出针对性的优化。

表1: 参数类别及通用优化参数

参数类别	通用优化参数
色谱柱	HP-5MS 毛细管柱 (30m × 0.25mm × 0.25 μm)
载气	高纯氦气 (纯度 ≥99.999%)，流速 1.0mL/min (恒流模式)
进样口温度	250℃，分流进样 (分流比 10:1)
升温程序	初始 50℃ (保持 2min)，10℃/min 升至 280℃ (保持 10min)
离子源	EI 源，电离能量 70eV，温度 230℃
扫描模式	全扫描 (SCAN, m/z 50-500) 定性；选择离子扫描 (SIM) 定量

在色谱系统参数调节的过程中应做好分离效率和检测

速度的平衡,避免出现组分残留或峰型异常等相应情况。在质谱系统参数优化中 EI 源作为通用离子源,将其电离能量控制在 70 eV 即可满足大多数目标物的电离需求。而在扫描模式调整的过程中则需要结合检测目的实际情况对其进行适当切换, SIM 模式还可以降低干扰离子所带来的影响,更好地保障定量结果的准确性和真实性^[3]。需注意,在参数优化及设计的过程中可通过空白验证的方式避免杂峰干扰。若污染物检测类型更换,同样需要对检测参数进行调整,验证标准品峰型和响应值,保障检测规范、结果可靠真实。

3.4 定性与定量分析

土壤检测的最终目的是为了获得准确的数据信息,为后续各项工作的开展提供信息支撑,因此定性与定量分析是十分重要的一环^[4]。在定性分析上,可通过质谱库匹配法将样品质谱图和 NIST 标准质谱库进行对比分析,若匹配度超过 80% 且特征离子相对丰度偏差在 10% 以内则可以确定是否存在该类目标物。此外在定性分析的过程中还可根据保留时间进行辅助验证,即分析样品中的目标物保留时间是否和标准品中目标物的保留时间偏差在 0.05min 以内,以此来进一步保障定性结果的准确性、真实性和可靠性。而在定量分析的过程中,一般情况下多选用外标法,即工作人员需要根据标准要求配置 5 个浓度梯度的标准工作液,然后在保障检测流程不变的基础之上绘制标准曲线,分析相关系数,在此之后对样品中的目标物浓度进行计算^[5]。

3.5 结果验证与质量控制

为确保检测结果真实可靠,为后续各项工作的开展提供更多的参考与借鉴,还需通过结果验证和质量控制工作的有效落实,及时发现土壤检测中存在的欠缺和不足并作出更正和优化。而在结果验证和质量控制的过程中核心验证指标主要包含如下几点。首先是空白对照,即在土壤样品检测的过程中需确保每批次土壤样品中都设置两个及以上的全程序空白样品,空白样品中含目标污染物的浓度应低于检测方法的检出限。其次需要做好平行样品的分析,根据所检测土

壤样品的数量合理设置平行样品的数量,一般情况下每 10 个样品就需要设置一个平行样品,平行样品的相对偏差应控制在 15% 以下。再次则需要从加标回收的维度来进行分析,每批次样品中可设置高、中、低浓度的加标样,保障加标回收率在 70%~130% 之间。最后需要通过方法检出限与定量限的分析及时发现问题,可用 3 倍信噪比计算检出限,用 10 倍信噪比计算定量限。通过空白样、平行样、加标回收和方法检出限与定量限的分析判断土壤检测工作是否符合《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》的要求。若不满足要求应及时与相关工作人员进行沟通和交流对问题进行解决和处理^[6]。

4 结语

气相色谱质谱技术在土壤检测中有效应用可获得更加准确、真实且可靠的检测数据,甚至可以有效提高检测效率,降低检测成本,必须引起关注和重视,坚持全过程管理的原则,从土壤样品采集与预处理、目标污染物提取与净化、仪器分析参数优化、定性定量分析和结果验证与质量控制等多个维度来加强技术管理,保障气相色谱质谱技术应用的適切性、规范性和结果的准确性、完整性。

参考文献

- [1] 邹德靓,陆佳锋,冯利,等. 气相色谱-质谱联用技术在土壤污染检测中的应用简析 [J]. 腐植酸, 2025, (06): 111-113.
- [2] 潘应拿. 气相色谱-串联质谱技术在农产品质量安全检测中的应用 [J]. 现代农业科技, 2025, (17): 133-136+140.
- [3] 朱丹丹. 气相色谱-质谱联用技术在土壤污染检测中的应用 [J]. 中国资源综合利用, 2025, 43 (03): 63-65.
- [4] 武笑颖,王苹苹,袁雪,等. 气相色谱质谱联用技术在防腐剂检测中的应用分析 [J]. 中国食品, 2024, (12): 67-69.
- [5] 张坚. 关于气相色谱—质谱联用技术在环境检测中的应用探究 [J]. 环境与发展, 2018, 30 (07): 93-94.
- [6] 夏俊,程诚. 气相色谱——质谱联用技术在环境检测中的应用 [J]. 资源节约与环保, 2017, (01): 57+64.

Brief Discussion on Rural Domestic Waste Treatment Technologies in Hunan Province

Chunhua Ma

Chinalco Environmental Protection and Energy Conservation Technology (Hunan) Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410011, China

Abstract

With the rapid development of rural economy and the remarkable improvement of farmers' living standards in Hunan Province, the output of rural domestic waste has shown a continuous growth trend, and its composition has become increasingly complex and diverse. Its scientific treatment has become a key link and important support for promoting the Rural Revitalization Strategy and building ecologically livable and beautiful villages. Based on a systematic analysis of the current generation status, composition characteristics and governance dilemmas of rural domestic waste in Hunan Province, combined with advanced technologies and mature models of rural waste treatment at home and abroad, this paper focuses on exploring the key technology systems of source classification and collection, resource utilization and harmless disposal suitable for different regions of Hunan Province, and puts forward specific suggestions for promoting the implementation and application of governance technologies. By supplementing practical cases, latest policy data and technological application effects of various cities and prefectures in Hunan Province, it provides a more practical reference for the systematic and scientific treatment of rural domestic waste in Hunan Province.

Keywords

Hunan Province; rural domestic waste; treatment technology; source classification; resource utilization; harmless disposal; governance model

浅谈湖南省农村生活垃圾治理技术

马春花

中铝环保节能科技(湖南)有限公司, 中国·湖南长沙 410011

摘要

随着湖南省农村经济快速发展和农民生活水平显著提高,农村生活垃圾产生量呈现持续增长态势,成分也日趋复杂多元,其科学治理已成为推进乡村振兴战略、建设生态宜居美丽乡村的关键环节与重要支撑。本文基于对湖南省农村生活垃圾产生现状、成分特征及治理困境的系统分析,结合国内外农村垃圾治理的先进技术与成熟模式,重点探讨了适用于湖南省不同区域的源头分类收集、资源化利用和无害化处理关键技术体系,提出了推进治理技术落地应用的具体建议。通过补充湖南省各地市州的实际案例、最新政策数据及技术应用成效,为湖南省农村生活垃圾的系统化、科学化治理提供更具实操性的参考。

关键词

湖南省;农村生活垃圾;治理技术;源头分类;资源化利用;无害化处置

1 引言

湖南省作为我国中部农业大省,农村地域广袤,农村生活垃圾治理覆盖范围广、涉及人口多、治理难度大。近年来,湖南省农村经济快速转型,农民生活方式逐步向城市化靠拢,生活垃圾产生量持续攀升,接近城市居民生活垃圾产生水平。与此同时,垃圾成分也呈现出明显的“城市化”趋势,传统的简易填埋、露天焚烧等处理方式已难以适应新时期的治理需求。因此,立足湖南省农村自然地理条件、经济发展

水平、垃圾成分特征等实际情况,构建科学合理、技术先进、经济可行的农村生活垃圾治理技术体系,探索多元化治理模式,对于破解“垃圾围村”困境、改善农村人居环境、推进乡村振兴和生态文明建设具有重要的现实意义和长远价值。

2 湖南省农村生活垃圾现状与挑战

2.1 产生量与成分特征

2.1.1 产生量持续增长

据湖南省生态环境厅2024年发布的《湖南省农村生态环境状况公报》显示,全省农村生活垃圾年产生量已达850万吨以上,较2015年增长约38%,其中经济发达的长株潭地区、洞庭湖平原等区域,农村人均日产生量高达0.8-1.2

【作者简介】马春花(1987-),女,中国河南信阳人,硕士,工程师,从事环境保护研究。

千克,年产生量占全省农村生活垃圾总量的52%;湘西、湘南等山区农村,经济发展相对滞后,农民生活方式较为传统,人均日产生量为0.4-0.7千克,年产生量占比约35%;其他丘陵地区农村人均日产生量介于0.6-0.9千克之间。整体来看,全省农村生活垃圾年产生量以年均4.2%的速度增长。

2.1.2 成分日趋复杂

湖南省农村生活垃圾成分受地域、季节、产业结构等因素影响较大,但整体呈现出“有机为主、杂项增多”的特征。厨余垃圾占比居高不下,塑料、玻璃、金属等可回收物占比逐年上升,废旧电池、过期药品、农药包装等有害垃圾种类不断增多。

此外,湖南省农村生活垃圾成分还存在明显的季节性差异:夏季厨余垃圾占比偏高(可达60%以上),冬季可回收物和其他垃圾占比相对较高;种植季节农药包装等有害垃圾数量增多,春节、中秋等节假日期间,食品包装、礼品盒等垃圾产生量显著增加。

2.2 治理面临的主要挑战

2.2.1 基础设施建设滞后

一是收集体系不完善,部分偏远山区村庄未设置规范的垃圾收集点,农户垃圾随意倾倒在房前屋后、河道沟渠、田间地头现象较为普遍;已设置的收集点中,约30%缺乏密闭式收集容器,垃圾裸露堆放易产生二次污染。二是转运能力不足,全省农村专用垃圾转运车辆缺口约2300辆,部分乡镇仍使用普通货车转运垃圾,无防渗漏、防遗撒措施,在转运过程中易造成沿途污染;乡镇级中转站覆盖率仅为78%,部分村庄垃圾需长途运输至县级处理设施,运输成本高、效率低。三是终端处理设施布局不合理,全省现有农村生活垃圾无害化处理设施主要集中在县城周边,湘西、湘南等山区缺乏规模化处理设施,导致部分垃圾仍采用简易填埋、露天焚烧等粗放方式处理。

2.2.2 资源化利用水平偏低

一方面,垃圾分类推广难度大,全省农村垃圾分类覆盖率仅为45%,多数农户缺乏垃圾分类意识和技能,混投混放现象普遍,导致可回收物纯度不高,回收利用价值降低;另一方面,资源化技术应用不足,厨余垃圾等有机组分主要采用自然堆肥方式处理,堆肥周期长(3-6个月)、产品质量不稳定,难以满足现代农业生产需求;可回收物回收网络不健全,村级回收点缺乏专业回收人员,部分可回收物因运输成本高、回收价格低而被废弃;废旧电池、农药包装等有害垃圾缺乏专门的回收处置渠道,多与其他垃圾混存混运,存在环境风险。

2.2.3 无害化处理不规范

全省仍有部分地区存在简易填埋场,这些填埋场未采取防渗、渗滤液处理、填埋气导排等环保措施,垃圾渗滤液渗入土壤和地下水,导致周边土壤重金属超标、地下水水质恶化;部分村庄仍存在露天焚烧垃圾现象,焚烧产生的二噁英、二氧化硫、颗粒物等污染物,不仅污染大气环境,还对

周边居民健康造成严重威胁;少数小型焚烧设施缺乏先进的烟气净化系统,污染物排放超标,未能实现真正意义上的无害化处理。

2.2.4 治理机制尚不健全

一是政策支持力度不足,虽然湖南省已出台《湖南省农村人居环境整治提升五年行动方案(2021-2025年)》等政策文件,但针对农村生活垃圾治理的专项法规和技术标准仍不完善,资金投入不足,难以满足基础设施建设和运营维护需求。二是公众参与意识不强,部分农户环保意识淡薄,认为垃圾治理是政府的责任,主动参与垃圾分类、垃圾减量的积极性不高;村规民约对垃圾治理的约束作用不强,缺乏有效的激励和约束机制。三是监管体系不完善,农村生活垃圾治理涉及生态环境、农业农村、住建等多个部门,部门间协调联动不足,存在监管盲区;基层环保监管力量薄弱,难以实现对垃圾产生、收集、转运、处理全流程的有效监管。

3 湖南省农村生活垃圾治理模式探讨

结合湖南省农村实际情况,在治理模式上,可借鉴国内成熟经验,同时创新探索适用于不同区域的集中处理模式、分散处理模式和复合处理模式,实现治理效果与成本效益的平衡。

3.1 “户分类、村收集、镇转运、县处理”集中处理模式

该模式是我国农村生活垃圾治理的主流模式,遵循“源头减量、集中处置”的原则,适用于经济发达地区、大城市周边农村或人口密度较高的平原地区。

3.1.1 操作流程

户分类:农户在家庭内部按照“干湿分离、有害单独收集”的标准对垃圾进行初步分类,将湿垃圾投入绿色垃圾桶,可回收物放入蓝色收集袋,有害垃圾放入红色专用容器,其他垃圾投入灰色垃圾桶。

村收集:村级组织配备专职保洁员,每日或隔日上门收集农户分类后的垃圾,在村级收集点进行二次分拣,将可回收物集中存放,其他垃圾转运至村级临时存放点。

镇转运:乡镇政府配备专用垃圾转运车辆,按照既定路线和时间表,定期到各村临时存放点清运垃圾,转运至县级垃圾处理设施。

县处理:县级政府或专业运营公司负责垃圾终端处理,采用卫生填埋、焚烧发电或机械堆肥等技术,实现垃圾的无害化处置和资源化利用。

3.1.2 适用范围与案例

该模式适用于长株潭都市圈周边农村、洞庭湖平原等经济发达、人口密集、交通便利的地区。如长沙市宁乡市采用该模式治理农村生活垃圾,全市设置村级收集点3200个,乡镇中转站29个,建设了日处理能力1200吨的焚烧发电厂和日处理能力50吨的机械堆肥设施,实现了垃圾“日产日清、全量无害化处理”,垃圾资源化率达35%以上,农村人居环境显著改善。

3.1.3 优势与不足

优势：能够实现垃圾的规模化处理，治理效率高、无害化水平高；便于统一监管，有利于保障治理效果；能够充分发挥县级处理设施的规模效应，降低单位处理成本。

不足：前期基础设施投资大，需要建设大量收集点、中转站和终端处理设施；垃圾转运距离长，运输成本高，且可能造成沿途二次污染；对农户分类意识要求高，若分类不到位，会影响后续处理效果和资源化利用率。

3.2 “就近就地处理”分散处理模式

该模式适用于居住分散、交通不便、垃圾产量较小的山区农村，通过“源头分类+就地资源化+小型无害化处理”的方式，实现垃圾“不出村、不落地”。

3.2.1 操作流程

户分类：农户对垃圾进行初步分类，湿垃圾、可回收物、有害垃圾、其他垃圾分别存放。

村收集：在村内设置分类收集点，由村级保洁员定期收集农户垃圾，进行二次分拣。

就地处理：针对不同垃圾组分采取不同处理方式，湿垃圾采用自然堆肥、蚯蚓堆肥或小型厌氧发酵技术处理，生产有机肥或沼气；可回收物由村级回收点集中回收销售；有害垃圾暂存后定期交由专业机构处置；其他垃圾采用小型热解气化或村级卫生填埋技术处理。

3.2.2 适用范围与案例

该模式适用于湘西、湘南等山区农村，如张家界市武陵源区采用“就近就地处理”模式，全区90%以上的村庄实现了垃圾就地处理。各村建设了小型堆肥场和热解气站，湿垃圾经堆肥处理后用于农田施肥，其他垃圾经热解气化处理后无害化排放，有害垃圾定期交由专业企业处置，垃圾无害化处理率达98%以上，有效解决了山区垃圾运输难、处理难的问题。

3.2.3 优势与不足

优势：前期投资小，无需建设大规模中转站和终端处理设施；垃圾转运距离短，运输成本低，减少二次污染；操作灵活，能够适应山区农村居住分散的特点；技术要求不高，便于基层工作人员维护管理。

不足：治理规模小，资源化利用率相对较低；缺乏统一监管，可能存在处理不规范、二次污染等问题；对农户分类意识和操作技能要求较高。

3.3 “分类+分散处理（堆肥）+集中处置（填埋/焚烧）”复合处理模式

该模式是对集中处理模式和分散处理模式的优化结合，综合了两种模式的优势，适用于有机垃圾含量高、经济基础一般、运输距离远的农村地区。

3.3.1 操作流程

户分类、村收集：与集中处理模式和分散处理模式一致，农户分类、村级收集并二次分拣。

分散处理：在村内或联村建设小型堆肥设施，将分类

后的湿垃圾采用自然堆肥或机械堆肥技术处理，生产有机肥，就近用于农田、果园施肥，实现有机垃圾资源化利用，减少需外运的垃圾总量。

集中处置：将可回收物、有害垃圾和经分散处理后剩余的其他垃圾，通过乡镇转运至县级终端处理设施，采用卫生填埋、焚烧发电等技术进行无害化处置。

3.3.2 适用范围与案例

该模式适用于全省大部分农村地区，尤其是有机垃圾含量高、经济基础一般的丘陵山区。如郴州市宜章县采用该复合处理模式，全县建设村级堆肥场120个，处理湿垃圾约3.5万吨/年，生产有机肥约1.2万吨；可回收物由村级回收点集中回收，年回收量约8000吨；剩余其他垃圾和有害垃圾经乡镇转运至县级处理设施处置，垃圾无害化处理率达96%，资源化率达32%，既降低了转运成本，又提高了资源化利用水平。

3.3.3 优势与不足

优势：兼顾了资源化利用和无害化处置，既实现了有机垃圾就地资源化，又确保了其他垃圾的安全处置；减少了垃圾转运量，降低了运输成本和二次污染风险；适应范围广，能够满足不同地区的治理需求；经济效益和环境效益显著。

不足：需要同时建设分散处理设施和集中处理设施，前期投资相对较大；对治理体系的协同性要求高，需要做好分散处理与集中处置的衔接。

4 结语

湖南省农村生活垃圾治理是一项系统工程，也是一场持久战。解决这一问题，必须摒弃传统粗放的处理方式，转向以源头分类为基础、资源化利用为核心、无害化处置为保障的现代治理体系。技术的选择与应用必须紧密结合湖南省不同区域的实际情况，在政府主导、科技支撑、市场参与和村民主体的多元共治下，稳步推进。唯有如此，才能有效破解“垃圾围村”困境，切实改善农村人居环境，为湖南省乡村振兴和生态文明建设奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 邵宗智.农村生活垃圾带来的环境问题及治理技术[J].现代农业科技, 2010(9).
- [2] 杜静,等.农村生活垃圾处理模式及技术发展趋势[J].江苏农业科学, 2019,47(6).
- [3] 单华伦,等.发达农村生活垃圾特性调查及治理技术探讨[J].江苏环境科技, 2006,19(6).
- [4] 王波,等.我国农村生活垃圾处理行业发展路径探析[J].环境与可持续发展, 2016(5).
- [5] 普锦成,等.我国农村生活垃圾污染现状与治理对策[J].现代农业科技, 2012(4).
- [6] 湖南省生态环境厅.湖南省农村生态环境状况公报(2024)[R].长沙:湖南省生态环境厅, 2024.
- [7] 张敏,等.南方丘陵山区农村生活垃圾治理模式创新——以湖南省为例[J].生态经济, 2023, 39(5).

The Impact of Invasive Alien Plants on the Protection of Forest Ecological Environment in Protected Areas-A Case Study of Protected Areas in Zhejiang Province

Yinggang Lin¹ Haixia Lin² Ting Xiang³ Xiang Wu³ Zupei Lei^{3*}

1. People's Government of Baoyang Township, Taishun County, Taishun, Zhejiang, 325500, China

2. Taishun County Forestry Development Center, Taishun, Zhejiang, 325500, China

3. Zhejiang Wuyanling National Nature Reserve Management Center, Taishun, Zhejiang, 325500, China

Abstract

Most protected areas in Zhejiang Province are located in transitional zones between mountainous hills and riverine coastlines. Frequent disturbances from forest edges, valley banks, and road corridors create continuous habitats for invasive species colonization. For instance, the 2022 Zhejiang census documented 165 invasive plant species, with *Euphorbia hirta* (commonly known as water hyacinth) being widespread, Canadian goldenrod (*Lycoris radiata*) concentrated in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou regions, and *Spartina alterniflora* (commonly known as *Spartina alterniflora*) extensively distributed in Ningbo and Zhoushan tidal flats. Invasive risks propagate from peripheries to interior areas, with their intensity varying according to disturbance levels. Analysis reveals that invasive impacts on forest ecosystems primarily manifest through three overlapping pathways: regeneration barriers, altered water-shore processes, and amplified transmission chains. The study proposes that management strategies should integrate diffusion containment, eradication, and native vegetation restoration into a unified closed-loop system for long-term implementation.

Keywords

Zhejiang Province; invasive alien species; nature reserves; forest ecological environment protection; impact; optimization strategies

外来入侵植物对自然保护地森林生态环境保护的影响——以浙江省保护地为例

林迎港¹ 林海霞² 项婷³ 吴相³ 雷祖培^{3*}

1. 泰顺县包垵乡人民政府, 中国·浙江 泰顺 325500

2. 泰顺县林业事业发展中心, 中国·浙江 泰顺 325500

3. 浙江乌岩岭国家级自然保护区管理中心, 中国·浙江 泰顺 325500

摘要

浙江自然保护地多处于山地丘陵与河网海岸过渡带, 林缘、溪谷河岸及道路廊道干扰频繁, 为外来植物定殖提供连续生境。比如在2022年浙江普查记录现实外来入侵植物165种, 空心莲子草普遍发生, 加拿大一枝黄花在杭嘉湖等地集中, 宁波与舟山滩涂互花米草分布广。入侵风险由边缘向内部推进, 并随扰动强度变化。分析表明, 入侵对森林生态环境的影响主要通过更新阻断、水岸过程改变与传播链放大三条路径叠加表现出来。研究提出, 治理应把阻断扩散、清除处置与本底植被补位纳入同一闭环并长期坚持。

关键词

浙江省; 外来入侵植物; 自然保护地; 森林生态环境保护; 影响; 优化策略

1 引言

外来入侵植物的生态扰动常从林缘开阔地起步, 沿水

系、道路和工程扰动面逐级渗入, 继而表现为群落结构简化、更新受阻与生态功能下滑。浙江保护地类型多样, 既有乌岩岭等山地森林保护地, 也有杭州湾、象山港等滨海湿地与防护林相连的自然保护地, 入侵背景因而更为复合。在普查与专项治理推动下, 风险识别与任务分解不断强化, 但现场仍常见复发快、处置链条不闭合等难点^[1]。本文以浙江省保护地为例, 结合巡护与管理实践经验, 归纳入侵影响类型, 并提出可执行的优化策略。

【作者简介】林迎港(1997-), 男, 中国浙江泰顺人, 本科, 助理工程师, 从事林业研究。

【通讯作者】雷祖培(1967-), 男, 中国浙江泰顺人, 本科, 正高级工程师, 从事生态保护修复研究。

2 外来入侵植物对浙江省自然保护地森林生态环境保护的影响

浙江省外来入侵植物谱系复杂,既包括水岸与滩涂优势化的互花米草和空心莲子草,也包括在撂荒地、林缘与景区缓冲带快速扩张的加拿大一枝黄花与美洲商陆等,其均在不同程度上影响到了当地的自然保护地森林生态环境。

2.1 林缘草本单优化与更新阻断

加拿大一枝黄花在浙江低丘平原与景区缓冲带较常见,易在采伐迹地、抚育作业道两侧及弃置堆土上形成连续斑块,并通过地下根状茎扩展,使草本层从多物种拼块转为单优势群落。其上层冠幅虽不进入成熟林冠,但在幼林与次生林阶段会显著抬高地表遮阴与枯落物厚度,压制樟、枫香等乡土树种的萌蘖与实生苗建立,导致更新窗口期被延长。

2.2 水网林地界面水文受阻与基质变性

空心莲子草在浙江普遍发生,既可水生漂浮,也可在岸坡及湿润林缘转为陆生匍匐型,进入保护地溪谷与库塘岸线后,常以根茎碎片随洪水或清淤扰动迁移并快速再生。在杭州余杭等林湿交错区域的调查中,空心莲子草被列为发生面积较大的重点物种,说明其已具备形成连片覆盖的条件。当其占据浅水和岸带后,会降低水面通透性并增加淤积,促使季节性涨落带向常湿化演变,林缘土壤含水量与还原性增强,易引发本地灌草层退化和树木根系缺氧。该过程同时改变漂浮物与枯枝落叶的输移路径,使防火隔离带与巡护通道的维护难度上升,间接增加管护成本与安全隐忧^[2]。

2.3 土壤养分循环扰动与微生物群落改变

外来入侵植物通过外来爬藤类或草本植物(苦根藤及加拿大一枝黄花等)强占大量光、空间及水分,改变土壤的化学性质、生物特性,打乱养分循环及微生物种群构成,破坏土壤生态功能。具体表现如下:一是某外来攀缘藤本和草本植物(苦根藤)具有稠密的优势层,使其可以较大程度截获有机质、水以及空气中氮、磷、钾等营养物质;二是苦根藤种子广泛分布、速生性强,在适宜的湿润、光照条件下的林下空地,其种子迅速萌发且生长速度快、更新能力强;三是苦根藤叶鞘细长,地上部枯落物多,并有大量的分泌物向下转移给土壤微生物造成化学微环境的影响,从而改变土壤养分释放转化规律;四是外来草本(空心莲子草、一年蓬等)大量生物量堆积、残体分解导致的土壤酸化、有机质降低、养分循环速率加快会改变生态系统的物质流动模式。

2.4 藤本缠覆引发的光环境退化

薇甘菊近年在浙江温州首次发现野外种群,并被认为已出现初步扩散趋势,其发生生境既包括湿地水岸边,也包括山地路边。在局部扰动生境中,其可借助攀缘与匍匐同步扩展。该类藤本对保护地森林生态环境的直接压力主要体现在对灌木层与幼树的攀缘缠覆,它在雨季生长加速后可沿林窗边缘向上攀附,形成致密叶幕,导致被覆植株的光合有效辐射显著下降,枝叶衰败后再引发局部倒伏与病害。由于保

护地常以道路与防火线贯通巡护体系,边坡和弃土堆成为其优先占位点,藤蔓顺着护栏与林缘灌丛形成连续传输带。一旦该传输带进入天然更新区,便可能造成幼龄阶段林分密度异常与层次结构紊乱,影响后续抚育和封育目标的实现。

3 外来入侵植物对浙江省自然保护地森林生态环境保护影响的优化策略

3.1 林缘斑块精准压减与更新同步

在浙江山地自然保护地,林缘与作业道周边是外来入侵植物首先集聚的界面,林缘斑块的压减必须与更新补位同程推进。在核心区外围、缓冲区林缘和抚育作业道两侧开展线状踏查,按5~20m宽设带状样带,分段编号,记录斑块边界、覆盖度、扰动源,并在样带端点设标桩便于复核,形成斑块清单,按保护地出入口与停车区、更新地、巡护通道的顺序确定优先级,同时按点状、带状、片状匹配人力和清运路线,先切断连续带,再向两端收口,避免点源回补带动连片扩展。作业窗口前移至春季幼苗期或莲座期,零星发生区以人工拔除为主,成簇区用浅层掘除,必须带出根状茎并抖净附土,回填踩实后抹平地表,避免遗留坑洼蓄水促发再生,坡地用小镐小铲分步起掘控制翻土,拔除物集中入袋扎口转运至暂存点,7~10d复查补拔,重点检查新萌与断根再生。秋季处置高秆群落时,禁止只割不挖,要求连根铲除并单独收集花序及含种子残体,暂存于硬化地面或隔离膜上干枯后再装袋清运,堆放区周边布置收集袋并捡拾散落瘦果,严禁就地翻埋或堆入沟谷,运输与装卸环节采用加盖容器,作业完毕清扫散落物并回收隔离材料^[3]。清除后立即实施小尺度封育与本底植被补位,封育范围以斑块外缘外推2~5m为宜,林缘空地补植乡土灌木与耐阴草本,如榿木、胡颓子配合蕨类或莎草类,覆以枯落物并设置控踏标识,必要时临时围栏。

3.2 水岸带连片治理与涵养修复

针对自然保护地水岸带空心莲子草等水生入侵植物易随水漂移、断枝再生,且已列入重点管理名录的现状,应以河段单元实施连片治理并同步开展岸带涵养修复。第一,按溪谷、库塘、湿地边缘划分治理河段,雨季前完成踏查,沿岸设置5m带状样带记录覆盖度与上岸距离,在上游入口、农田水沟汇入口及桥涵两侧设拦截点,以里程桩和岸坡木桩标注水陆转换带上下限,形成台账、处置优先级与责任人,复查侧重雨后与水位回落期。第二,按逆流分段推进,漂浮垫状群落拉网打捞并贴岸割除,匍匐上岸群落连根起掘并翻检收集根茎碎片,装袋密封后集中暂存,作业人员配备防滑防割装备,工具在固定点清洗晾晒,清洗废水不得回排入溪沟^[4]。第三,清淤、修坝、步道整治等水工作业前布设浮筒拦漂带与收集网兜,机械出入水点加设临时滤网,打捞物与淤泥夹杂物在硬化场地摊铺脱水后外运,转运车辆加盖防散落,严禁在林缘低洼处堆置或回填岸坡。第四,清除后对高

含水岸坡先整形稳坡并保留微地形,混植乡土挺水植物与岸带灌木,挺水株距0.5 m、灌木带宽1 m,裸露面覆盖稻草或枝叶并压实,连续两次巡查无新芽后撤除覆盖物,生长季每月巡查一次,发现新生嫩梢即补拔,并与周边村社约定沟口拦渣栅、清漂频次与禁倒漂浮残体。

3.3 土壤生态修复与入侵植物管控优化策略

根据外来入侵植物对浙江省自然保护地森林土壤养分循环与微生物群落的影响,从入侵植物管控与土壤生态修复两个层面着手应对,具体而言:第一,建立完善的外来入侵植物早期监测预警及快速反应机制,定期开展当地主要高危入侵植物如苦根藤、加拿大一枝黄花、空心莲子草、一年蓬的分布情况监测与空间定位,并结合人工清除、机械割除与适当的化学防治技术尽早阻断其林下扩散、土壤覆盖问题,减少其对土壤养分循环的影响。第二,从改善土壤环境入手恢复生态系统功能,如:施用有机肥、土壤改良剂维持好N、P、K等主要养分的平衡状态、调节pH值、土壤水分、增加当地本土草本、灌木等覆盖,使本土植物再生、提高土壤自净能力,同时恢复重建土壤微生物群落、采用菌根真菌接种、引入固氮菌、有机质分解菌等措施提高有益微生物的数量与活性,提升被入侵植物扰动抑制的功能,使被扰动后的土壤养分循环、物质流通功能得以恢复^[5]。第三,保持林下微生物水网系统连通,防止入侵植物覆盖造成水文阻隔的问题,保证土壤的湿度与养分的迁移稳定性,为森林生态系统的恢复奠定基础。综合考虑,在入侵植物早期干预的基础上,可以通过土壤养分调控、微生物群落优化和水文生态维持等方式减小外来植物对森林生态系统的影响,为浙江自然保护地森林长期保持健康状况及生态功能长久发挥提供科学依据和可行途径^[6]。

3.4 廊道阻截与藤本持续压制

针对浙江省自然保护地野外处置薇甘菊等喜光藤本时,廊道阻截与持续压制应从入口与线性生境的管控开始。第一,将保护地公路、游步道、管护便道与湿地岸线划为入侵高风险带,按5~20m宽度设置踏查样带并固定年度巡查路线,结合现场定位标注母株、缠绕树与更新斑,发现单株或小团块即以警戒带临时隔离,作业当季清除越冬基部并在雨后复核新萌芽,避免其沿坡脚与沟谷连成连续带。第二,清除以人工连根拔除为主,混生灌丛区先理蔓再掘除根冠,难

拔地段实施贴地割蔓后配合小镐分段剔除基部,生长旺季按3~4周间隔复割直至不再抽蔓,所有茎根与落叶下的碎段集中装袋外运并按无害化要求处置,严禁弃入沟渠与湿地回水口^[7]。第三,清除后边坡与岸带遵循先稳土后遮阴,回填压实并覆盖枯枝落叶,选用乡土灌木、匍匐地被与林缘耐阴草本分层补植,优先封闭裸地与光斑,必要时设置简易围栏与巡护提示,限制踩踏扰动造成二次裸露,并在一个生长季内以补植补播促进局部冠层闭合^[5]。第四,源头环节对进入保护地的苗木、覆土与绿化材料执行调运检疫与入场查验,施工机械、运输车辆作业前后清除附着植物体与泥土,在堆土点与弃土沿边缘建立翻查带,见芽即拔并连续两季复验,同时与周边养护单位明确园艺废弃物不得在边界倾倒或堆置,设置封闭收集点并按外来入侵物种防控要求转运。

4 结语

综上所述,浙江自然保护地的入侵植物治理需要把生态过程转化为工程动作。加拿大一枝黄花、空心莲子草、美洲商陆与薇甘菊分别对应林缘更新、水岸水文、土壤养分循环扰动与廊道缠覆等风险链条,任何单点清除都难以替代持续管护与本底植被补位。依托省级专项行动形成的组织方式与地方联动经验,可在保护地尺度上转化为分区、分期、分物种的闭环管理。

参考文献

- [1] 周美,吴维,何雪莲,等.外来入侵植物对贵州习水国家级自然保护地的危害及对策[J].绿色科技, 2023, 25(22):58-61.
- [2] 黄晓君 赵晴 林一焕 刘薛杰 张姣.市级自然保护地外来入侵植物的初步研究[J].环境科学与管理, 2025(11).
- [3] 田茂兴,汤黎,玉香章.云南纳板河流域国家级自然保护地外来入侵植物调查与分析[J].西部林业科学, 2025, 54(3):102-109.
- [4] 佟丽丽.加强外来有害生物防范保护森林生态安全[J]. 2025.
- [5] 张宏伟.外来植物对浙江天目山植物多样性海拔梯度格局的影响[D].华东师范大学,2022.
- [6] 黄晓君 赵晴 林一焕 刘薛杰 张姣.市级自然保护区外来入侵植物的初步研究[J].环境科学与管理, 2025(11).
- [7] 哈斯格日力.天目山本土与入侵植物多样性和功能性状的海拔梯度格局及影响因素[D].华东师范大学,2023.
- [8] 诸葛燕辉.土壤微生物在植物多样性影响群落可入侵性中的作用研究[D].鲁东大学,2023.

Desert Algae Engine: Awakening Sleeping Saline Land— Science and Technology Report on the Demonstration Base for Improving Thousand-Mu Salt-Alkali Land in Huanghua City, Cangzhou, Hebei Province

Shanjiang Ai¹ Shuishan Song²

1. Jidizao (Beijing) Biotechnology Co., Ltd., Beijing, 100125, China

2. Institute of Biology, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Soil salinization not only severely depletes limited land resources and disrupts ecological balance but also directly threatens global food security. This report provides an in-depth analysis of the causes and hazards of saline-alkali soil, taking the thousand-mu saline-alkali land in Huanghua, Cangzhou City, Hebei Province, as a test area. Using salt-tolerant desert algae as the primary remediation factor, the study investigates and analyzes the five mechanisms of the synergistic saline-alkali soil remediation technology involving desert algae. Measurements indicate that, compared to the control group, the test area showed a 41.6% increase in the number of secondary roots of drought- and alkali-tolerant wheat, a 14.29% increase in tillering, and a 13.68% increase in grains per spike. Harvest yield tests revealed that the test area (moderately to severely saline-alkali soil) achieved an average yield of 179.2 kg per test unit, while the control area (moderately saline-alkali soil) yielded an average of 128.6 kg per test unit, representing a 39.4% increase in production.

Keywords

desert alga; saline-alkali land; synergistic improvement

沙漠藻引擎：唤醒沉睡的盐碱地——河北沧州黄骅市千亩 盐碱地改良示范基地科技成果

艾山江¹ 宋水山²

1. 极地藻（北京）生物科技有限公司研究院，中国·北京 100125

2. 河北省科学院生物所，中国·河北 石家庄 050000

摘要

土壤盐碱化不仅严重侵蚀有限的土地资源，破坏生态平衡，更直接威胁全球粮食安全。本报告深入分析盐碱地成因及其危害性，以河北省沧州市黄骅千亩盐碱地为试验区，以耐盐碱沙漠藻为主要改良因素，研究分析沙漠藻盐碱地协同改良技术的五大机制。经测定，与对照组相比，试验区旱碱麦次生根数量增加41.6%，分蘖数增加14.29%，穗粒数增加13.68%。实收测产结果显示，试验区（中、重度盐碱地）测产平均179.2公斤/测试单元，对照区（中度盐碱地）则收平均128.6公斤/测试单元，增收39.4%。

关键词

沙漠藻；盐碱地；协同改良

1 引言

在全球范围内，土地盐碱化已成为威胁农业生产与生态安全的严峻挑战，其蔓延态势正持续加剧。联合国粮农组

织 2024 年发布的《全球盐渍土壤状况》报告披露了一组触目惊心的数据：全世界盐碱地总面积约达 9.5 亿公顷，全球近 14 亿公顷土地（占全球土地总面积的 10.7%）已受到盐度影响，其中约 10% 的灌溉农田和 10% 的雨养农田沦为盐碱化重灾区。

我国是盐碱地面积大国，位列世界第三，总面积达 15 亿亩。具备开发种植潜力的盐碱地面积约有 5 亿亩，盐碱耕地超过 1 亿亩，主要有西北内陆、沿黄河上中游灌区、东北

【作者简介】艾山江（1980-），男，维吾尔族，中国新疆乌鲁木齐人，博士，副教授，从事藻类抗逆生理及生物治沙研究。

松嫩平原、滨海四大盐碱地类型区。西北干旱区（如新疆、甘肃）以原生盐渍化为主，受气候干旱与地质条件影响，塔里木盆地周边盐碱地面积达 1200 万公顷；华北平原（黄淮海平原）因过度灌溉导致次生盐渍化，4000 万亩耕地受不同程度影响，小麦减产率最高达 30%；东北松嫩平原苏打盐碱地面积达 350 万公顷，土壤 pH 值普遍超过 9.0，形成独特的“碱斑”生态问题；滨海地区（如环渤海、江苏沿海）受海水倒灌影响，500 万公顷耕地面临盐潮入侵威胁^[1]。

2 盐碱地成因及土地盐碱化的主要危害

盐碱地的形成是自然因素与人为因素共同作用的结果，核心逻辑是：土壤中的盐分（如氯化钠、碳酸钠、硫酸钠等）通过各种途径在表层聚集，且“盐分上行/输入”速度远大于“盐分下行/淋洗”速度，最终导致土壤含盐量或碱化度超过作物耐受阈值。不同区域的盐碱地，其主导成因存在显著差异，具体可分为以下两大类：

自然因素：原生盐碱地的核心成因。自然因素是“原生盐碱地”（未受人类活动显著干扰形成的盐碱地）的主要来源，与气候、地质、水文、地形等自然条件高度绑定，也是我国西北、东北、滨海等核心盐碱区的基础成因。

人为因素：次生盐碱地的主导成因。人为因素是“次生盐碱地”（人类活动打破土壤盐分平衡后形成的盐碱地）的主要诱因，核心是通过不合理的开发利用，加速盐分在表层聚集，或引入外源盐分。我国黄河中上游灌区、西北绿洲边缘的盐碱地，多与人为因素密切相关。

土壤盐碱化是一种典型的土地退化过程，其危害具有系统性、连锁性特征，不同类型的盐碱地（如盐土、碱土、次生盐碱土）危害程度存在差异，但核心危害逻辑均围绕“盐分/碱分破坏土壤-植物系统平衡”展开，具体可分为以下四大类：

对农业生产的危害：直接威胁粮食安全与作物生存。农业是盐碱化最直接、最严重的受害领域，其危害贯穿“土壤-作物-产量”全链条，是我国部分区域（如东北苏打区、西北绿洲区）农业低产的核心原因。

对生态环境的危害：加剧土地退化与生物多样性丧失。盐碱化是生态系统退化的“催化剂”，尤其在干旱半干旱区和滨海区，会引发一系列连锁生态问题，破坏区域生态平衡。

对经济社会的危害：增加治理成本，制约区域发展。盐碱化不仅影响农业和生态，还会通过“经济传导”制约区域经济发展，增加社会负担，尤其在欠发达的盐碱区（如东北西部、西北农村）。

对工程建设的危害：腐蚀建筑材料，威胁工程安全。盐碱土中的盐分（尤其是氯离子、硫酸盐）具有强腐蚀性，会对建筑、交通、水利等工程设施造成长期损害，威胁工程结构安全。

3 土地盐碱化常用治理措施及其面临的问题

土地盐碱化的治理需遵循“因地制宜、分类施策”原则，核心逻辑是通过“排盐/降碱”、“改良土壤结构”、“增强作物耐盐性”等三大路径。目前常用治理措施可分为工程措施、化学措施、农业生物措施、微生物措施等四大类，不同措施的适用场景、技术原理及效果差异显著；同时，治理过程中也面临技术、成本、生态等多维度挑战。

水利工程措施：水利工程措施旨在通过优化灌排系统，调节土壤水分与盐分的动态平衡。水利工程措施的核心原理是通过控制地下水位和调节土壤水分运动来达到脱盐和防止返盐的目的。但水利工程措施在实际应用上面临诸多问题：投资成本高、维护需求大，大量消耗水资源，存在次生环境风险，可能造成土壤养分流失等。

化学改良措施：化学改良措施的核心原理是通过向土壤中添加特定的化学物质，通过离子交换、中和酸碱等化学反应，来降低土壤的 pH 值、碱化度，并置换土壤胶体上吸附的钠离子，从而改善土壤的物理和化学性质。化学改良措施在实际应用上面临如下问题的挑战：成本高昂，可能存在二次污染风险，效果不持久，施用不当可能无效甚至有害，对土壤微生物群落可能产生短期冲击。

农业与生物措施：这些措施通常被称为“绿色治理”技术，其核心思想是利用植物、有机质和农业措施来改善土壤结构、提升肥力、利用生物过程降低盐碱危害。但农业与生物措施在实际应用上存在一些客观问题，如：见效缓慢、周期长，精细管理成本高，受环境条件限制大，存在生态风险，经济效益不稳定等。

微生物措施：微生物措施被视为盐碱地治理的新兴和具有巨大潜力的绿色技术。它主要通过引入或激活特定的微生物群落（以细菌和真菌为主），利用它们的生命活动来改善土壤健康。但微生物措施存在效果不稳定、受环境制约大，见效相对缓慢，公众认知和接受度有待提高，研发周期长等问题。

因此，我国盐碱地治理需突破单一技术路径依赖，构建“技术创新-生态安全-产业融合”的协同体系，实现盐碱地从“生态包袱”到“资源宝库”的转变。

4 沙漠藻盐碱地改良技术 - 唤醒盐碱地的生物引擎

4.1 沙漠藻的发现与沙漠藻技术开发历程

极地藻（北京）生物科技有限公司科研团队、励精图治 10 余年、秉承生态文明理念，投身于极端环境稀有藻类挖掘和研发工作。

2008 年极地藻科研团队从极度干旱的新疆塔克拉玛干沙漠土壤中成功分离获得抗干旱、耐盐性极强的沙漠藻物种。经过十多年的不断发掘及科学规范的分离鉴定、保藏入库等程序，建立了全国唯一（尚未查到国外相同种质库）具

有 2800 多株稀有藻种的“沙漠藻种质库”，填补了我国该领域的生物资源空白。

沙漠藻是生存于极度干旱沙漠土壤、盐渍化沙漠土壤表层及下层的各种藻类生物的集合群。在极其干旱、高盐、高温和高辐射的沙漠和盐碱土壤中被发现、分离获得的并实现人工保藏和培养的一群陆生藻品种，属于藻类生物的稀有物种。

极地藻（北京）生物科技有限公司研发团队通过查阅资料、请教专家、艰苦研发、近万次科学实验，根据藻类生物学、生态学、基因学原理反复组合测试，准确掌握了沙漠藻这一特殊生物物种的特性。即：超强的环境适应性与繁殖能力；依赖红外光的特殊光合作用；卓越的保水与释水功能。同时，针对荒漠、沙漠、盐碱地、板结土壤、污染土壤、酸化土壤、低产农田等劣质土壤在改良修复、微生态恢复、作物提质增产等领域展开了开展了数百次实地试验。在此基础上，取得了突破性创新成果和广泛应用的可喜成效^[2]。

4.2 沙漠藻盐碱地改良技术 – 五大机制协同靶向解决盐碱地四大核心问题

以沙漠藻菌协同作用为生物核心，靶向解决盐碱地“土壤结构差（土壤板结、保水保肥弱）、盐碱胁迫高（高盐高碱抑制生物活性）、养分匮乏（有机质 / 氮磷缺）、生态脆弱（植被难存活）”四大核心问题。

沙漠藻盐碱地改良技术以独特的沙漠藻菌复合体系为生物核心，通过以下五大机制，系统性地逆转盐碱地退化进程，最终实现土壤健康与生态生产力的恢复。

机制一、靶向协同调节土壤 pH，解决“盐碱胁迫高”问题：利用特定藻菌的生理代谢活动，直接干预土壤酸碱平衡。部分功能沙漠藻菌能够代谢产生有机酸，藻细胞呼吸作用释放的 CO₂ 溶于水形成碳酸，共同有效中和土壤中的 OH⁻ 离子，渐进式降低土壤 pH 值。同时，藻菌分泌物能促进土壤胶体上的 Na⁺ 与溶液中的 H⁺、Ca²⁺ 进行交换，从而降低钠碱化度，减轻损害。创造出一个盐碱胁迫显著降低的根际微环境，为生物活性恢复和植物生长打开突破口。

机制二、靶向改善“土壤结构差”问题：通过耐盐碱藻菌的生物方式重塑土壤团聚体。沙漠藻菌分泌的胞外多糖（EPS）等粘性物质，像“天然生物胶”一样将分散的土壤颗粒粘结起来，形成水稳性团聚体。藻类菌丝体和微生物菌丝在土壤中交错生长，形成“生物网”，深度固结表层土壤，有效防止板结。土壤变得疏松多孔，透气性、保水性和保肥能力得到根本性改善，为根系生长奠定物理基础。

机制三、协同解决盐碱地“养分匮乏”问题：在土壤中建立一个原位、自持续的“微型沙漠藻菌生物肥料厂”。其中，固氮沙漠藻能将空气中植物无法利用的氮气（N₂）直接转化为氨态氮，源源不断地注入土壤氮库。固碳藻通过光合作用固定 CO₂，其生物体和代谢产物是土壤有机质的重要来源。部分功能藻菌分泌物能溶解土壤中被固定的磷、钾矿

物质，将其转化为植物可吸收的有效形态。全面提升土壤肥力，自然而低成本地解决了氮、磷、钾及有机质匮乏的核心难题。

机制四、靶向恢复盐碱地“脆弱微生态”环境：以藻菌为“先锋物种”和“生态系统工程师”，启动土壤微生态网络。耐盐碱的沙漠藻菌的成功定殖，为贫瘠的土壤引入了最初的生命与能量。它们分泌的养分和创造的微环境，能吸引并滋养更多样的有益微生物（如解磷菌、生防菌、纤维素分解菌等）前来“安家落户”。快速恢复土壤微生物的多样性与活性，构建起稳定、互益的微生态系统，这是土壤健康并能自我维持的根本标志。

机制五、靶向提高作物抗逆能力：通过生物刺激与微环境优化，赋能植物健康成长。藻菌代谢产生的植物激素（如生长素、细胞分裂素）和多糖类物质，能激活植物的免疫系统，系统性地提升其对于旱、盐碱、病害的耐受能力。在植物根周形成的“藻菌保护层”，能缓冲盐碱冲击，并帮助植物更高效地吸收水分和养分。在逆境中，作物表现出更强的成活率、更好的长势和更高的产量，确保了盐碱地改良的最终农业产出价值。

5 千亩示范基地 – 夯实盐碱地综合利用国家战略的沙漠藻力量

2020 年以来，极地藻科研团队在大力开展治理沙漠、荒漠示范基地建设的同时，集中力量投入盐碱地治理的科研攻关。陆续在新疆喀什莎车县玉米和油莎豆种植区、新疆石河子棉花农场、新疆托克逊库米什棉花种植地等地进行了 5000 多亩的试验示范，取得了可喜的成效。

2023 年 5 月 12 日，习近平总书记在河北沧州考察了黄骅市旧城镇仙庄片区旱碱地麦田，了解盐碱地整治、旱碱麦种植推广及产业化情况。总书记指出，盐碱地综合利用是一个战略问题，必须摆上重要位置^[3]。

2023 年 7 月 20 日，习近平总书记在二十届中央财经委员会第二次会议上习近平总书记强调：“山东东营、河北沧州是滨海盐碱地的典型区域。开展盐碱地综合利用对保障国家粮食安全、端牢中国饭碗具有重要战略意义”。

2023 年 8 月，河北省委省政府以强烈的使命担当、改革创新精神，把治理盐碱地的论文，落实习近平总书记有关盐碱地综合改造利用的嘱托，立即成立“河北沧州黄骅市沙漠藻生物盐碱地改良示范项目”工作小组，省科技厅专题立项，省科学院牵头、组成示范实验基地团队，邀请“中国藻类泰斗”中科院微生物所魏江春院士为首席专家，由极地藻（北京）生物科技有限公司负责技术支撑与实施，省科学院生物所负责检测分析、验收，省供销社沧州分社负责盐碱耕地的落实和规划、河北现代农业科技有限公司负责田间管理。

示范基地基本情况及其规划：河北沧州沙漠藻生物盐

碱地治理 1000 亩示范基地坐落于河北省沧州市渤海新区黄骅市后仙庄村,属于典型的滨海盐碱地。2023 年 10 月,调研考察黄骅市后仙庄村的中、重度二类盐碱地,采集土样、周边水样,测定土壤物理化学性质。根据考察与检测结果将基地分两块地,总面积 1055 亩,其中试验处理区 800 亩(中度试验区 465 亩、重度试验区 335 亩),对照区 225 亩(中度对照区 185 亩、重度对照区 40 亩),共设立 48 个试验小区。对每个试验小区进行单独编号,建立详细的试验档案,记录土壤基础数据、菌藻施用情况、作物种植与生长数据等^[4]。

试验示范流程:

第一步、土壤和水样品采集与分析:试验组设立土壤样品采集点 30 个,每个点以 0-10cm 和 10-30cm 深度分别取样并检测。对照组设立土壤样品采样点 18 个,每个采样点以 0-10cm 和 10-30cm 深度分别取样并检测。根据检测结果,试验区和对照区进行分类。

第二步、喷洒与沙漠藻的定植:在试验区(组)土壤表层喷洒沙漠藻盐碱地改良剂(沙漠藻菌活细胞),以每亩 10kg 标准,稀释 100 倍后用高架车进行表面均匀喷洒,对照区(组)喷洒等量水。

第三步、耕地深耕与沙漠藻吸-阻层的形成:改良剂喷洒完成后进行耕地深耕,深耕深度 25-30cm。深耕目的在于保证耕地表面喷洒的改良剂均匀深入到土壤 25-30cm 深处,助力形成沙漠藻吸盐、阻盐层,有效防止滨海盐碱地土壤深层盐分反弹到耕作层。

第四步、播种冬小麦:利用农用旋耕机进行旋耕,旋耕深度 10-15cm,旋耕的同时进行冬小麦播种。播种时将基肥随着旋耕施入 10cm 深处,冬小麦种子播种 3-5cm 深处。对照区以同样操作进行播种^[5]。

第五步、生根与促生-沙漠藻增效剂施用:冬小麦越冬返青后,苗子高度 10cm 时(苗期),灌根沙漠藻生物增效剂助力麦苗生根促生。以每亩 2.5kg 标准,稀释 200 倍后,用高架车进行均匀喷洒灌根,对照区进行等量喷洒水。

第六步、抗逆增产-增效剂第二次喷洒:随着冬小麦进入生长期时,再次喷洒沙漠藻增效剂,以每亩 2.5kg 标准,稀释 200 倍后,用高架车进行均匀喷洒,对照区进行等量喷洒水。

6 沙漠藻技术在沧州盐碱地实现“小生物解决大问题”

盐碱地 pH 值与盐分含量急剧下降:采集小麦收获期土壤样品,沙漠藻改良剂和增效剂对不同类型盐碱地土壤化学性质影响如表 1 所示,施用沙漠藻改良剂和增效剂可显著降低土壤 pH 值和水溶性盐分含量。其中中盐处理组 pH 值和水溶性盐分含量分别降低 7.73% 和 88.68%;高盐处理组 pH 值和水溶性盐分含量分别降低 4.69% 和 57.64%。处理组水解氮含量均显著提高,其中高盐处理组提高 149.96%,低盐处理组提高 66.50%。土壤有机质含量高盐处理组提高 110.57%,低盐处理组提高 97.91%,中盐处理组提高 72.19%。

对小麦收获期大田土壤理化指标的监测结果表明(表 2),喷施沙漠藻改良剂以后,土壤 pH 下降了 0.55,水溶性盐,有效磷,氧离子和硫酸根离子分别下降了 87.50%, 34.37%, 85.61% 和 55.49%。水解性氮,速效钾和有机质分别提高了 45.43%, 61.98% 和 88.20%。研究结果说明微藻喷施能够降低土壤 pH 和土壤盐分,并且增加土壤中植物可利用的氮和钾的含量。有效磷、氧离子和硫酸根离子的下降可能说明植物和土壤微生物对这些元素的利用较为快速。

根基土壤得到惊人的脱盐效果:对小麦根际土壤的理化性质测定结果显示(表 3),小麦根系土壤与大田土壤的理化性质差异较大,其中可溶性盐和水解性氮含量较低,pH 和有机质含量差异较小。这与小麦根际分泌物及其所招募的土壤微生物差异有关。通过微藻施用,根际土壤中 pH、水解性氮和水溶性盐的差异较小,而对电导率与水溶性盐的降低作用较为明显。这说明微藻能够有效降低根际土壤中盐的含量。

盐碱地旱碱麦长势超出预期:测试随机选取 30 株小麦测量其主根长、主根数、须根数、根重、株高、分蘖数、穗数、穗重、穗粒重、穗粒数和地上生物量指标。试验结果表明:喷施沙漠藻对小麦地下部分的生长以及株高、分蘖数、穗数的增加幅度不显著,但是其显著增加了 43.90% 的小麦穗重, 45.01% 的粒重, 34.98% 的粒数和 33.36% 地上生物量。这些指标的增加为小麦亩产量的增加奠定了基础。

表 1: 沙漠藻改良剂和增效剂对盐碱地土壤改良指标检测数据

不同土壤	pH 值	水溶性盐分 (g/kg)	水解性氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	氧离子 (g/kg)	硫酸根 (g/kg)
中盐处理组	8.87	5.83	74.97	7.14	96.00	16.22	0.08	0.24
中盐对照组	8.53	7.33	57.50	2.66	95.00	9.42	0.76	0.04
高盐处理组	8.12	4.63	150.80	5.21	95.67	17.33	0.59	1.84
高盐对照组	8.52	10.93	60.33	7.92	88.00	8.23	1.41	4.50

表 2: 小麦收获期大田土壤理化指标检测结果及其相差分析

组别	pH	水溶性盐 (g/kg)	水解性氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	氧离子 (g/kg)	硫酸根 (g/kg)
对照	8.52 ± 0.08	4.00 ± 0.78	51.37 ± 2.91	6.67 ± 5.39	87.67 ± 18.58	9.42 ± 0.71	0.33 ± 0.06	0.06 ± 0.06
处理	7.96 ± 0.15**	0.50 ± 0.00**	74.70 ± 5.88**	4.38 ± 0.66	142.00 ± 35.68	17.74 ± 1.79**	0.05 ± 0.02**	0.27 ± 0.00
变化	-0.55	-87.50%	45.43%	-34.37%	61.98%	88.20%	-85.61%	-55.49%

表 3: 小麦收获期根际土壤理化指标检测数据

组别	pH	EC	水溶性盐 (g/kg)	水解性氮 (mg/kg)	有机质 (g/kg)
对照	8.25	0.22	0.69	0.83	13.52
处理	8.27	0.16	0.49	0.86	12.82
变化	0.02	-27.27%	-28.99%	9.33%	-5.22%

表 4: 小麦收获期植株生物量和产量变化

组别	主根长/cm	主根数/个	须根数/个	根重/g	株高/cm	分蘖数/个
对照	14.33 ± 3.43	1 ± 0	19.69 ± 5.39	0.19 ± 0.13	60.31 ± 5.73	1.78 ± 0.82
处理	14.28 ± 3.27	1 ± 0	19.78 ± 6.52	0.18 ± 0.21	60.40 ± 6.43	2.04 ± 0.98
变化	-0.39%	0	0.45%	-5.98%	0.15%	15.00%
组别	穗数/个	穗重/g	穗粒重/g	穗粒数/个	地上生物量/g	
对照	1.76 ± 0.83	2.04 ± 0.83	1.52 ± 0.58	38.18 ± 15.82	3.05 ± 1.17	
处理	2.04 ± 0.98	2.94 ± 1.46**	2.20 ± 1.09***	51.53 ± 23.46**	4.07 ± 2.24**	
变化	16.46%	43.90%	45.01%	34.98%	33.36%	

从表 4 可以看出, 喷施微藻对小麦地下部分的生长以及株高、分蘖数、穗数的增加幅度不显著, 但是其显著增加了 43.90% 的小麦穗重, 45.01% 的粒重, 34.98% 的粒数和 33.36% 地上生物量。这些指标的增加为小麦亩产量的增加奠定了基础。

盐碱地旱碱麦产量“突飞猛进”: 2024 年 6 月 7 日对小麦产量进行现场测产。首先选取处理区和对照区有代表性的田块, 利用谷王 100plus 小麦联合收割机将选取地块收割后测量检测地块面积; 收割完成通过地秤称重, 卸粮后称重空车重量, 使用天津瞭望 DS-1G 粮食水分检测仪对收割后的小麦含水率进行检测, 根据小麦实收重量, 实收面积和小麦现场检测含水率数值折合成国家标准小麦含水量 13% 计算亩产量。

测产对照区共 3.07 亩, 小麦总产量为 404 公斤, 含水率为 15.3%, 折合国标含水率小麦总产量 394.7 公斤, 亩产量 128.6 公斤。处理区测产 2.89 亩, 总产量 522 公斤, 含水率为 15.7%, 折合国标含水量小麦总产量 517.9 公斤,

亩产 179.2 公斤。沙漠微藻喷施处理区较对照区亩产增产 39.35%^[6]。

强力激活根际土壤微生物群落: 拔取小麦后轻轻抖落小麦根际附着的较大土块与松散的根围土壤。使用无菌毛刷将小麦根际土壤刷至无菌平皿内, 取部分土壤样品送至上海派森诺生物科技股份有限公司进行总 DNA 提取与微生物测序, 真菌测序选用真菌通用测序 ITS V1 区, 引物为 ITS5 F:5' -GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG 和 ITS2 R:GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3'; 细菌测序选用细菌通用测序 16S rDNA V3-V4 区, 引物为 338F:5' -barcode+ACTCCTACGGGAGGCAGCA-3' 和 806R:5' -GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3'。测序结果使用派森诺基因云平台进行分析和绘图。

研究结果表明, 喷施沙漠微藻对盐碱地种植的小麦根际土壤真菌与细菌的 Alpha 多样性影响不显著 ($P > 0.05$), 说明微藻喷施没有改变土壤微生物的物种丰富度与均匀度。但是微藻喷施对根际微生物的 Beta 多样性影响显著 (图 2),

小麦根际土壤的真菌和细菌群落结构在喷施沙漠微藻后出现明显差异。这可能与沙漠微藻代谢产物于微藻与特定真菌或细菌之间的相互作用导致根际土壤微生物的群落结构出现差异。

通过 LEfSe 对喷施微藻前后小麦根际土壤真菌和细菌差异物种进行分析。细菌和真菌差异物种不仅标记门水平，在纲、目等水平上的细菌和真菌微生物菌群也存在差异（图 3）。被孢霉门（Mortierellomycota）及其中所包含的真菌，盘菌纲（Pezizomycotina_cls_Incertae_sedis）及其中所包含的真菌，肉座菌目（Hypocreales）及其中所包含的真菌等出现显著性差异。其中被孢霉门和肉座菌目真菌在对照组中起

主要作用显著富集，而喷施微藻之后，盘菌纲真菌则显著富集^[7]。

分析小麦根际土壤中细菌物种差异发现，厚壁菌门（Firmicutes），黏菌门（Myxococcota），NB1_j 菌门，Gamma 变形菌纲（Gammaproteobacteria），酸微菌纲（Acidimicrobiia），MB_A2_108 纲，蓝藻（Cyanobacteria）纲出现显著性差异。其中厚壁菌门，NB1_j 门，酸微菌纲，MB_A2_108 纲在对照组土壤中显著富集；而在喷施微藻后的处理组土壤中，黏菌门，Gamma 变形菌纲和蓝藻纲细菌显著富集（图 4）。

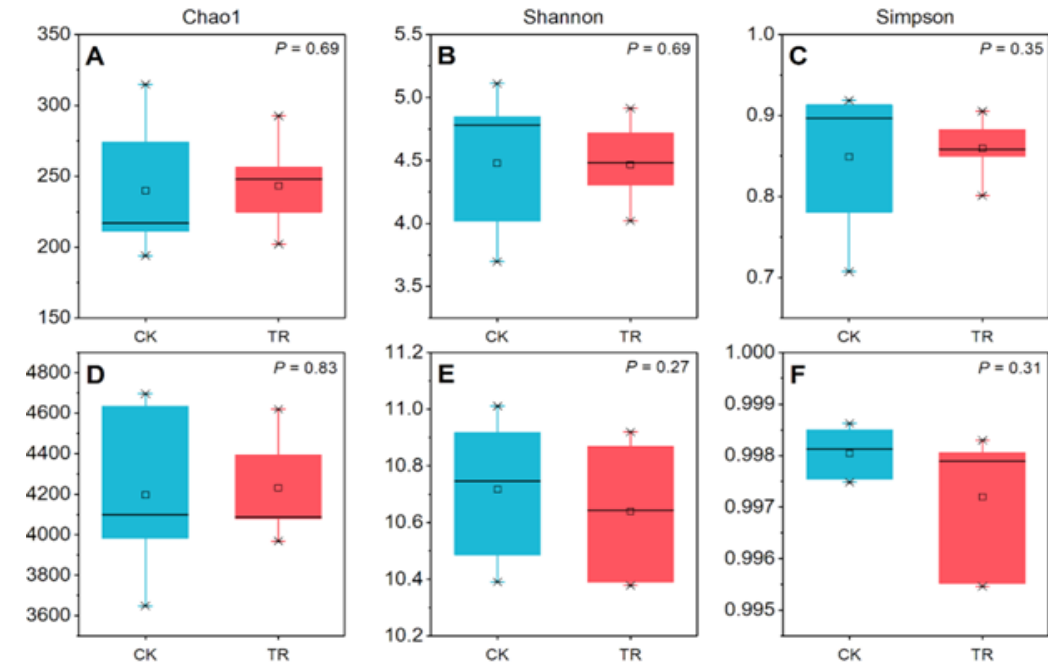


图 1：小麦根际土壤微生物 Alpha 多样性

A/B/C：为真菌多样性；D/E/F：为细菌多样性

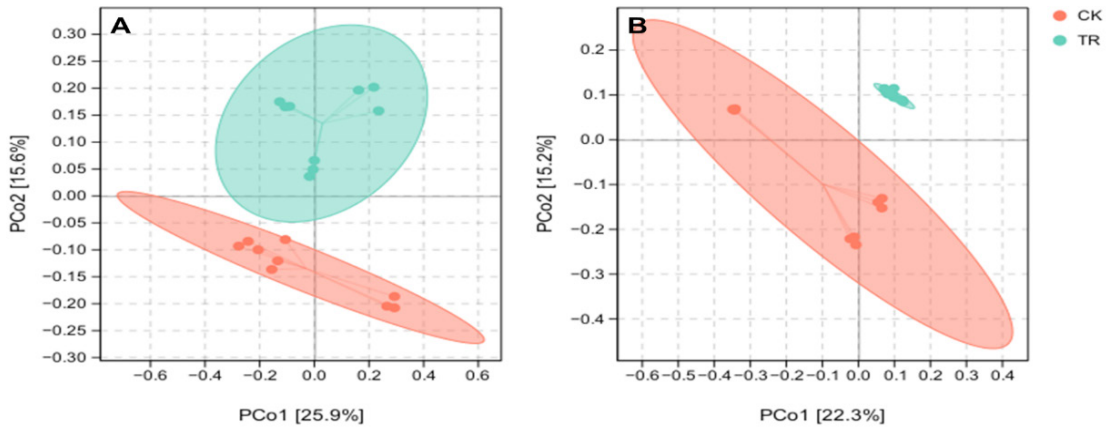


图 2：小麦根际土壤微生物 Beta 多样性

A：为真菌多样性；B：为细菌多样性

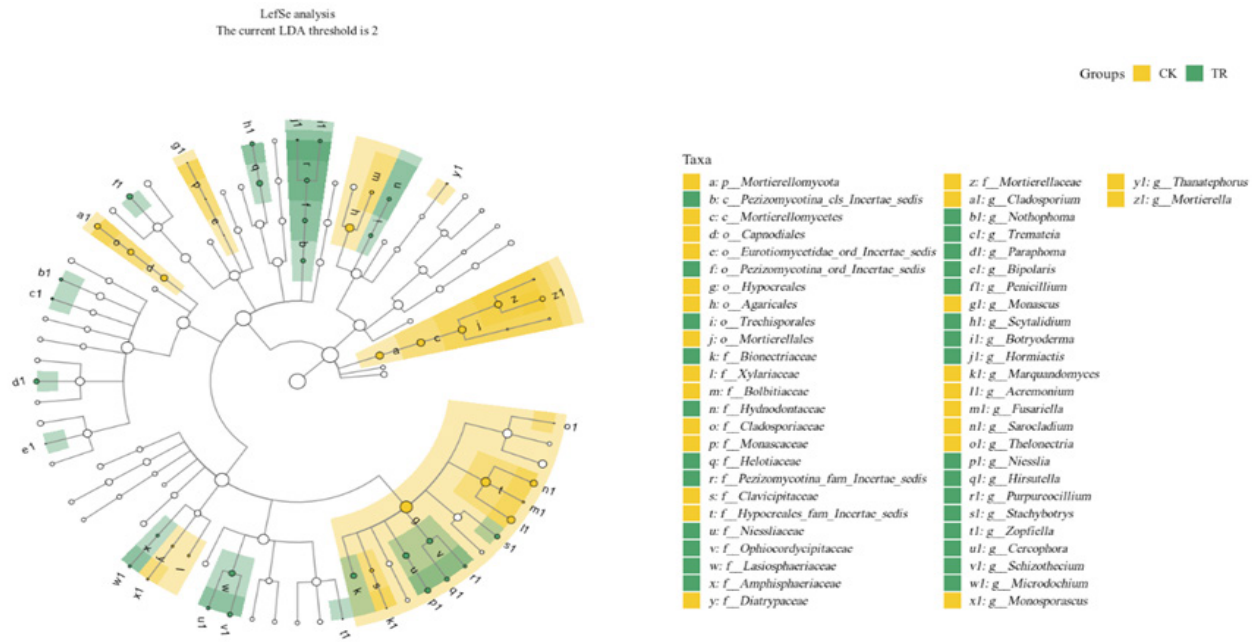


图 3: 喷施沙漠藻前后, 小麦根际土壤中真菌 LefSe 分支图分析

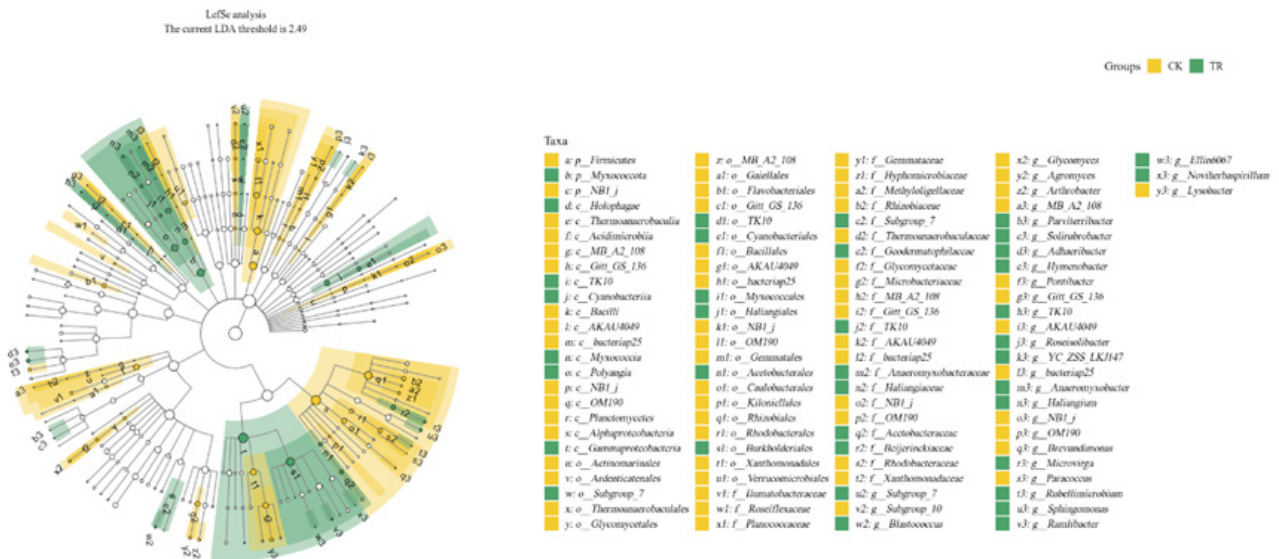


图 4: 小麦根际土壤中细菌 LefSe 分支图分析

盐碱地从“废地”变为“宝地”：经测定，与对照组相比，旱碱麦次生根数量增加 41.6%，分蘖数增加 14.29%，穗粒数增加 13.68%。2024 年 6 月 7 日实收测产，试验区（中、重度盐碱地）测产平均 179.2 公斤 / 测试单元，对照区（中度盐碱地）则收平均 128.6 公斤 / 测试单元，增收 39.4%^[8]。

7 总结

本报告针对沧州市盐碱地和盐碱化成因，以极端环境微藻资源为研究对象，以活体微藻细胞放氧、降低电导率、降低可交换性钠离子，加大水力传导率及土壤孔隙度，提高总有机碳，增加土壤有机质含量，改善土壤结构为研究内容，以微藻次生代谢产物增加土壤有益微生物的繁殖而改善土

壤生态环境为研究目标，进行微藻制剂配比与土壤指标变化的关联性分析，指导土壤改良，实现微藻盐碱地改良关键技术成果转化，为盐碱地改良提供可产业化的新方案。

不同于大量使用化学改良剂或依赖大型水利工程，沙漠藻盐碱地治理技术是一种基于自然的过程。它旨在恢复土壤自身的健康与活力，一旦成功定殖，其改良效果可以自我延续。大规模培养沙漠藻可以利用盐碱水、荒漠土地等非传统资源，不与人争粮、不与地争肥。此外，某些藻株还能积累油脂或有价值的胞外产物，未来可能通过“藻基产业”反哺治理成本，实现生态与经济效益双赢。

沙漠藻技术并非要取代传统方法，而是与之强强联合。例如，水利措施可以为藻类落户创造初始的水分条件；沙漠

藻改良后的土壤结构又能进一步提高水利淋盐的效率；它与耐盐植物搭配，能形成“藻-草”协同的更稳固生态系统。

综上，沙漠菌藻盐碱地治理是以菌藻协同为生物驱动，通过精准诊断、适配筛选、高效扩繁、环境调控、植被联合、长期监测六大环节，实现从“土壤改良”到“植被种植”的递进式目标，最终构建可持续的盐碱地生态系统。

参考文献

- [1] 《全球土壤现状：盐碱化与可持续管理》，联合国粮农组织（FAO），2024.
- [2] 宇振荣,王建武.中国土地盐碱化及其防治对策研究[J].生态与农村环境学报, 1997, 13(003):1-5.
- [3] 赵耕毛, 杨梦圆, 陈硕, 等.我国盐碱地治理: 现状、问题与展望[J].新浪财经, 2024.
- [4] 郭卫华,王洪波,崔晓玮,等.盐碱地绿色低碳治理与高值长效利用关键技术开发及应用[J].中国科技成果, 2023, 24(12):57-57.
- [5] 王正祥.滨海盐碱地绿化土壤改良技术[M].天津科技翻译出版公司,2011.
- [6] 武迎飞 薛美玲 魏文硕.盐碱地治理技术探索研究[J].现代盐化工, 2025(1).
- [7] 张翠英.盐碱地治理技术要点及应用[J].现代农村科技, 2022(005):000.
- [8] 丁晓云, 挖掘盐碱地改造利用潜力; 经济日报; 2024-11-24.

Study on Risk Identification and Zoning Management of Soil and Groundwater Pollution in Industrial Waste Land

Xiaomeng Li

Hebei Bairun Environmental Testing Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Under conditions of long-term industrial production and inadequate management, industrial legacy sites are prone to developing complex soil and groundwater contamination dominated by heavy metals and organic pollutants. The associated environmental risks are characterized by concealment, accumulation, and spatial heterogeneity. Focusing on soil and groundwater contamination at industrial legacy sites, this study systematically examines pollution characteristics and mechanisms of risk formation, and establishes a pollution risk identification framework integrating site investigation and monitoring, exposure pathway identification, and indicator-based risk determination. On this basis, a risk classification and spatial zoning approach is proposed to clarify governance priorities and management requirements for areas with different risk levels. The study highlights the critical role of integrated soil-groundwater analysis in risk identification and zoned remediation, providing theoretical support and technical guidance for improving the scientific rigor and precision of environmental risk management at industrial legacy sites.

Keywords

industrial legacy sites; soil contamination; groundwater contamination; risk identification; zoned remediation

工业遗留场地土壤与地下水污染风险识别与分区治理研究

李晓萌

河北百润环境检测技术有限公司, 中国·河北 石家庄 050000

摘要

工业遗留场地在长期生产与管理缺失条件下, 易形成以重金属、有机污染物为主的土壤与地下水复合污染, 环境风险具有隐蔽性、累积性与空间异质性特征。围绕工业遗留场地土壤与地下水污染问题, 系统梳理污染特征与风险形成机制, 构建涵盖调查监测、暴露识别与指标判别的污染风险识别技术体系, 在此基础上提出污染风险分级与空间分区方法, 明确不同风险等级区域的治理重点与管理要求。研究强调土壤与地下水协同分析在风险识别与分区治理中的关键作用, 为提升工业遗留场地环境风险管控的科学性与精准性提供理论依据与技术支持。

关键词

工业遗留场地; 土壤污染; 地下水污染; 风险识别; 分区治理

1 引言

随着产业结构调整和城市更新进程加快, 大量工业企业搬迁或关停, 遗留下来的工业用地逐步进入再开发利用阶段。受历史生产工艺粗放、污染防治措施不足及监管体系不完善等因素影响, 部分工业遗留场地存在不同程度的土壤与地下水污染问题, 对区域生态安全、公共健康及土地再利用构成现实约束。相较于单一介质污染, 土壤与地下水污染在迁移路径、暴露方式及风险表现上相互耦合, 增加了风险识别与治理决策的复杂性。如何在全面识别污染风险的基础上, 实施差异化、分区化治理, 已成为当前工业遗留场地环境管理的重要议题, 风险识别与空间分区等层面开展系统研

究, 以支撑科学治理与规范管理。

2 工业遗留场地污染特征与环境风险形成机制

2.1 工业遗留场地类型及其污染源构成

工业遗留场地通常来源于冶金、化工、石油加工、机械制造、电镀、制药及危险废物处置等行业, 场地类型呈现出工业门类多样、用地功能复合、历史沿革复杂等特点。化工与石油加工类场地多与有机溶剂、芳香烃及含卤化合物残留相关, 冶炼及金属加工类场地则以铅、镉、汞、砷等重金属污染为主, 电镀和表面处理行业往往伴随六价铬、镍及氰化物等高风险污染物。部分场地在企业多次转产或扩建过程中形成多污染源叠加格局, 使污染来源难以通过单一工序进行追溯, 进一步加剧了环境风险识别与治理的复杂性。

2.2 土壤与地下水污染物种类及迁移转化特征

工业遗留场地土壤与地下水污染物类型以重金属和有

【作者简介】李晓萌(1993-), 女, 中国河北石家庄人, 本科, 工程师, 从事环境检测研究。

机污染物并存为主要特征，二者在理化性质和环境行为上差异显著。重金属在土壤中易与黏土矿物、有机质发生吸附或络合反应，迁移速率相对较慢，但在酸化条件或氧化还原环境变化时可能发生再活化并进入地下水系统。地下水流速、含水层介质结构及污染物降解特性共同影响污染羽的空间形态，部分难降解有机物在厌氧环境中长期存在，导致污染持续时间显著延长。土壤与地下水之间的相互作用使污染呈现出跨介质传递特征，增加了环境风险的不确定性和隐蔽性。

3 工业遗留场地土壤与地下水污染风险识别技术体系

3.1 污染调查与监测数据获取方法

工业遗留场地污染风险识别以系统、规范的调查与监测数据为基础，调查过程通常包括历史资料核查、现场踏勘、采样布点与实验室分析等环节。历史资料调查重点收集企业生产年限、主要工艺流程、原辅材料种类与年用量、废水废渣产生及处置方式等信息，在部分老旧工业场地中，完整生产资料保存率不足70%，需通过访谈和现场痕迹综合判定污染线索。现场调查阶段按照污染源分布和水文地质条件布设采样点位，土壤采样深度一般设置为0.0—0.5 m、0.5—2.0 m、2.0—5.0 m等等级，重点区域可延伸至10.0 m以上；地下水监测井埋深通常为10—30 m，每1 hm²布设1—3口监测井。监测指标包括铅、镉、汞、砷等重金属8—12项，以及苯、甲苯、三氯乙烯、多环芳烃等有机污染物20项以上。实测结果显示，部分场地表层土壤中铅浓度达到420 mg/kg，超过建设用地筛选值120 mg/kg；地下水中苯浓度为0.12 mg/L，显著高于Ⅲ类地下水标准限值0.01 mg/L。多轮监测数据通过时间序列分析，为污染风险识别提供可靠的数据基础^[1]。

3.2 污染物暴露途径与受体识别

污染物暴露途径与受体识别需结合场地利用现状、规划用途及周边环境敏感目标进行综合分析。工业遗留场地土壤污染的主要暴露途径包括经口摄入污染土壤、皮肤直接接触以及吸入含污染物的扬尘或挥发性气体。研究表明，在居住用地情景下，儿童土壤摄入量一般取100 mg/d，成人取50 mg/d，暴露差异显著。地下水污染则主要通过饮用水、生活杂用水和灌溉用水等途径进入暴露体系，假定饮水量为2.0 L/d时，苯浓度0.12 mg/L对应的日暴露剂量达到0.24 mg/d。受体类型除不同年龄阶段人群外，还包括周边农田作物、地表水体及水生生物，部分场地地下水向河流补给后，河水中镉浓度监测值为0.008 mg/L，接近地表水Ⅲ类标准限值0.01 mg/L。明确暴露途径和受体特征，有助于准确识别污染风险的实际承载对象^[2]。

3.3 风险识别指标体系与判别原则

工业遗留场地污染风险识别通常构建由污染强度、暴

露条件和受体敏感性组成的综合指标体系。污染强度指标以污染物浓度、超标倍数及污染面积比例为核心，例如某场地重金属超标点位占比达到65%，污染影响面积约为2.4 hm²。暴露条件指标主要包括暴露频率、暴露持续时间及土地利用方式，在居住用地情景下，年暴露频率一般取350 d，暴露年限取30 a。受体敏感性指标则根据人群年龄结构及生态系统承受能力进行赋值。风险判别采用定量评价方法，非致癌风险以危害指数(HI)≤1.0作为可接受水平，致癌风险以 1.0×10^{-6} 作为控制阈值。当计算结果显示某污染物致癌风险为 3.5×10^{-5} ，明显高于控制值时，该区域即被判定为高风险区。通过指标体系与判别原则的量化应用，可实现工业遗留场地土壤与地下水污染风险的清晰识别与科学分级。

4 工业遗留场地土壤与地下水污染风险分级与空间分区方法

4.1 污染风险等级划分依据

工业遗留场地污染风险等级划分以定量风险评价结果为核心依据，综合污染物浓度水平、超标幅度、暴露强度及健康风险值进行判定。在实际应用中，可选取典型场地作为分析对象，例如某原化工厂遗留场地面积为5.6 hm²，检测到土壤中苯并[a]芘最大浓度为2.8 mg/kg，超过建设用地筛选值0.55 mg/kg的5.1倍；地下水中三氯乙烯浓度为0.18 mg/L，超过Ⅲ类地下水标准0.03 mg/L的6.0倍。在暴露参数取值为年暴露频率350 d、暴露年限30 a、成人体重70 kg条件下，计算得到该污染物对应的致癌风险为 4.2×10^{-5} ，显著高于 1.0×10^{-6} 的可接受阈值，该区域被判定为高风险等级。相对而言，土壤中镍浓度为45 mg/kg、地下水中镍浓度为0.015 mg/L，均低于相关管控值，非致癌危害指数为0.62，对应区域可划为低风险等级。通过污染浓度、风险值与阈值的对比分析，可实现不同风险等级的清晰划分，为后续空间分区奠定基础^[3]。

4.2 土壤与地下水协同风险分区原则

土壤与地下水协同风险分区以跨介质污染传递关系和综合风险水平为基本原则，强调在同一空间单元内统筹考虑两类环境介质的风险表现。例如在某电镀企业遗留场地调查中，表层土壤六价铬浓度为210 mg/kg，超过风险管控值30 mg/kg的7.0倍，但对应地下水中六价铬浓度仅为0.02 mg/L，略低于Ⅲ类标准限值0.05 mg/L。该区域在土壤介质层面呈现高风险特征，而地下水风险相对较低，在分区时被划定为“土壤主导型中高风险区”，治理重点放在源头阻隔和表层修复。另一示例中，某储罐区地下水中苯浓度为0.25 mg/L，超标25倍，而土壤中苯浓度为0.8 mg/kg，接近筛选值1.0 mg/kg，该区域被识别为“地下水主导型高风险区”。通过对土壤与地下水风险水平进行组合判定，可形成高一高、高一低、低一高和低一低等协同分区类型，确保分区结果与实际风险格局相匹配。

4.3 风险分区结果的空间表达与验证

风险分区结果的空间表达通常依托地理信息系统进行可视化呈现,并通过监测数据进行验证。例如在某冶金遗留场地研究中,依据风险等级划分结果,将场地划分为高风险区 1.2 hm²、中风险区 2.1 hm²、低风险区 1.5 hm²,并在 GIS 平台上以不同颜色进行叠加展示。高风险区集中分布于原冶炼车间及渣堆周边,该区域土壤中砷平均浓度为 180 mg/kg,地下水中砷浓度为 0.12 mg/L;中风险区位于厂区边缘,土壤砷浓度均值为 65 mg/kg,地下水浓度为 0.035 mg/L;低风险区则以办公区和绿化区为主,相关指标均低于筛选值。为验证分区合理性,在分区完成后新增 6 个验证性采样点,其中高风险区新增点位地下水砷浓度范围为 0.10—0.15 mg/L,与原判定结果一致,验证了空间分区的可靠性^[4]。通过空间表达与实测数据对照分析,可有效检验风险分区结果的科学性与可操作性,详见图 1。

分区类型	土壤污染特征数据	地下水污染特征数据	综合风险判定结果
高风险区	苯并[a]芘浓度 2.8 mg/kg, 超过筛选值 0.55 mg/kg 的 5.1 倍; 砷平均浓度 180 mg/kg	三氯乙烯浓度 0.18 mg/L, 超过 III 类标准 0.03 mg/L 的 6.0 倍; 砷浓度 0.12 mg/L	致密风险值 4.2×10^{-3} , 高于 1.0×10^{-4} , 判定为高风险区
中风险区	表层土壤砷浓度 65 mg/kg, 超过筛选值 25 mg/kg; 镉浓度 45 mg/kg	地下水砷浓度 0.035 mg/L, 接近 III 类标准 0.05 mg/L; 镉浓度 0.015 mg/L	非致密风险指数 0.8—1.0, 判定为中风险区
土壤主导型风险区	六价铬浓度 210 mg/kg, 超过风险管控值 30 mg/kg 的 7.0 倍	六价铬浓度 0.02 mg/L, 低于 III 类标准 0.05 mg/L	土壤风险显著, 地下水风险较低, 判定为土壤主导型风险区
地下水主导型风险区	苯浓度 0.8 mg/kg, 接近筛选值 1.0 mg/kg	苯浓度 0.25 mg/L, 超过 III 类标准 0.01 mg/L 的 25 倍	地下水风险突出, 判定为地下水主导型高风险区

图 1 风险分级与空间分区典型数据分析表

5 工业遗留场地土壤与地下水分区治理的实施与管理机制

5.1 分区治理工程实施模式

工业遗留场地土壤与地下水分区治理工程的实施,应以风险分区结果为依据,形成差异化、针对性的工程组织模式。治理实施过程中,需要统筹考虑污染介质类型、污染空间分布特征以及场地未来利用方向,合理确定修复、管控与管理相结合的工程路径。高风险区域侧重采取工程性修复与源头阻断相结合的方式,通过隔离、削减和稳定等手段降低污染对周边环境的影响;中风险区域更强调风险管控与功能限制,通过工程覆盖、制度约束和用途管制实现风险可控;低风险区域则以管理和监测为主,避免过度工程干预。分区治理工程通常采用分阶段实施模式,先行控制环境风险,再逐步推进修复与功能恢复,以减少施工过程对周边环境和社会活动的扰动。通过工程措施与管理措施协同推进,可提高分区治理实施的整体效率和可持续性。

5.2 治理过程环境风险动态管控

在工业遗留场地分区治理过程中,环境风险具有动态变化特征,治理活动本身可能引发污染物再分配或短期扩

散,因此需建立全过程动态管控机制。治理实施阶段应同步开展环境监测与风险评估,重点关注施工扰动对土壤结构和地下水流场的影响,及时识别潜在风险变化。动态管控强调对关键环节的实时掌控,包括污染土体开挖、转运、暂存及处置过程中的二次污染防治,以及地下水抽排和回灌环节的环境安全控制。通过动态调整施工方案和防控措施,可有效降低突发环境风险发生的可能性。同时,治理过程中的信息记录和风险反馈机制,有助于持续优化治理策略,确保分区治理目标在实施过程中得到有效落实。

5.3 治理成效评估与持续管理机制

工业遗留场地分区治理完成后,治理成效评估与持续管理是保障环境安全和土地再利用的重要环节。治理成效评估应围绕风险控制目标展开,重点关注污染水平变化、环境介质稳定性以及风险管控措施的长期有效性。评估结果不仅用于判定治理目标是否实现,也为后续管理决策提供依据。持续管理机制强调在治理完成后维持必要的环境监管,通过制度化、用途管控和长期监测等手段,防止污染风险反弹。对于已完成修复的区域,应结合土地利用性质制定相应的环境管理要求;对实施管控措施的区域,则需明确责任主体和管理周期。通过治理成效评估与持续管理的衔接,可实现工业遗留场地环境风险由工程治理向长效管理的平稳过渡^[5]。

6 结语

工业遗留场地土壤与地下水污染问题具有成因复杂、风险隐蔽和治理周期长等特征,对区域生态安全和土地再利用形成长期约束。通过系统识别污染风险、科学开展空间分区,并在此基础上实施差异化治理与规范化管理,有助于实现环境风险的有效控制与场地功能的有序恢复。分区治理不仅提升了治理措施的针对性与可操作性,也为资源配置和管理决策提供了清晰依据。将工程治理、动态管控与持续管理相结合,是推动工业遗留场地环境安全与可持续利用的重要路径。

参考文献

- [1] 门娟,马丽娜,张树强.石油化工企业土壤及地下水监测实例分析[J].精细石油化工,2025,42(05):67-70.
- [2] 叶媛媛.试论工业地块土壤和地下水的环境调查与风险评估[J].皮革制作与环保科技,2025,6(17):184-186.
- [3] 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.
- [4] 赵文浩,高一斐,陈海燕,王君浩,王美英,陈颖,马瑾,吴丰昌.土壤与地下水多要素协同作用人体健康环境基准理论初探[J].生态环境学报,2025,34(11):1788-1801.
- [5] 王帅,吕波,杨慧.土壤与地下水污染防治协调路径分析[J].智慧中国,2025,(07):106-107.

Analysis of Control Measures for Key Indicators in Wastewater Treatment

Yu Li

Shandong Wenyuan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255410, China

Abstract

The advancement of science and technology is a double-edged sword. While driving rapid societal progress, it has also imposed heavy environmental costs. Since the Industrial Revolution, extensive production methods have caused severe pollution of air, water, and soil, leading to a sharp decline in biodiversity and the disruption of ecological balance. These environmental issues directly threaten human health and survival, prompting a global awakening that began in the mid-20th century. Through environmental movements, scientific reports, and international cooperation, humanity has actively adopted legislative measures and technological innovations—such as promoting clean energy, implementing pollution control, and ecological restoration projects—to mitigate environmental hazards in development and transition toward sustainable development, aiming to achieve harmonious coexistence between technology and nature.

Keywords

water treatment, chemicals, biochemistry, evaporation

污水处理各指标控制手段剖析

李玉

山东文远环保科技股份有限公司，中国·山东 淄博 255410

摘要

科学技术的发展犹如双刃剑，在推动人类社会飞速进步的同时，也带来了沉重的环境代价。工业革命以来，粗放的生产方式导致空气、水体和土壤遭受严重污染，生物多样性急剧下降，生态平衡被破坏。这些环境问题直接威胁人类健康与生存，迫使人们从20世纪中叶开始觉醒。通过环境运动、科学报告和全球合作，人类积极采取立法、技术创新等手段，如推广清洁能源、实施污染治理和生态修复工程，努力消除发展中的环境危害，转向可持续发展道路，以期实现科技与自然的和谐共生。

关键词

水处理、药剂、生化、蒸发

1 引言

当前各类污水的处理已经形成规模，工艺技术相对完善，污水厂的运行也步入几乎全自动化，现阶段水处理重点放在高盐、高COD的工业污水，因其处理难度、成本等相对较高，因此，其成为近些年来水处理的重点研究对象。今天，我们就排放指标的要求来讨论一下其各种控制处理手段。

2 污水控制指标

一般困扰污水处理的指标：pH、COD、氨氮、总磷、溶解性总固体等。

2.1 pH 调节

pH的调节处理比较简单，使用合适的酸碱来调节即可。但在选择碱时也要注意，一般选择液碱或者固碱溶解后的溶液，方便计量投加；但PH偏离较大浓度较高时，液碱投加量过大时，可以选择固体直接投加，但需要注意固体氢氧化钠吸水性较强，易吸水结块，因此使用固体氢氧化钠投加时，注意投加方式。因其有较强的腐蚀性，溶于水时，释放大热量，因此在使用时尤其注意人身安全^[1]。

另外在pH偏高选择用酸时，要考虑对后续处理工艺的影响，比如盐酸会引入氯离子，氯离子过高会对生化微生物有灭杀作用，同时高浓度的氯离子对钢制设备等有较强的腐蚀作用；而硫酸的使用则应注意对厌氧工艺的影响，高浓度的硫酸根在厌氧塔内会在厌氧条件下经过微生物的作用，转变成硫化氢气体，硫化氢不仅对微生物活性有抑制，而且可能会造成人员中毒事故^[2]。

【作者简介】李玉（1990-），男，中国山东潍坊人，本科，工程师，从事环境工程研究。

2.2 COD 处理

2.2.1 生物处理方式

生物处理方式一般针对生化性好或者可生化性的有机 COD，一般可以通过 BOD_5/COD 即五日生化需氧量与化学需氧量的比值来衡量，比值小于 0.2 视为不可生化，大于 0.3 视为可生化，介于之间为难生化。一般采用的生化工艺分为厌氧/缺氧/好氧工艺，依托于构筑物及其组合顺序的不同又有 AO、AAO、SBR、UASB 等众多处理工艺。其中对于高浓度的 COD 负荷多采用厌氧处理的方式进行前处理，通过厌氧微生物的水解酸化和产甲烷菌的作用，将大分子有机物进行降解，并产生甲烷气体，完成对有机物的转化，在通过后端好氧微生物的处理，将低浓度的有机物进一步降解，最终使污染物浓度达到较低的水平，在处理工艺末端仍可以增加其他的物理化学手段来使污染物降至排放标准^[3]。

结合膜工艺产生的 MBR 生化处理工艺，通过膜的物理截留能力将好氧微生物在构筑物中的生物浓度大大提高，很好的解决了污泥膨胀造成的污泥流失等危害，替代原有好氧池，且可以省去二沉池，但造价的运行费用相对成本要高一些。

2.2.2 物理处理方式

物理方式一般通过化学药剂混凝系统配合沉淀、过滤或者吸附方式来进行。沉淀和过滤一般针对非可溶性悬浮固体，包括胶体类，一般处理工艺如沉淀池、机械过滤及膜过滤等，同时细小悬浮物配合铝系或者铁系处理药剂增加捕捉面积，提高处理效率。当前诸如磁混凝、纤维转盘等分离工艺应用也较为广泛。

另外一些可溶性的低浓度的 COD 采用活性炭吸附的方式，最常见的是在净水过程中用的活性炭过滤器，其有一定的饱和性，需要阶段性的反洗、更换或添加。活性炭吸附工艺也被用在大型污水处理厂的末端水处理上，如高密第二污水处理厂，其可以进一步提升出水指标，采用模块化的活性炭吸附池，待活性炭达到饱和状态时切换到备用模块，使用回转窑等再生设备进行再生，可以将水处理成本大大降低，但其对进水水质要求较高，SS、色度等对活性炭的吸附作用影响较大，末端处理 COD 进水控制在 60 以下较为合适，一般可降低至 45 左右^[4]。

2.2.3 化学处理方式

COD 的本质即还原性物质，而化学方式简单来说就是用氧化性化学试剂与其发生反应，从而转化成易处理的小分子有机物或者变成水和二氧化碳等无机化合物，从而方便于下级处理或者直接降低 COD 含量。通常方式有高级氧化工艺，如铁碳微电解工艺、芬顿工艺、电解工艺、臭氧工艺、含氯氧化剂等，此处重点来介绍化学处理工艺。

化学法作用机理简单，一般反应迅速，不像生化处理工艺一样需要较长的停留时间，而且相对来构筑物也相对较小，且较多采用模块化设备，降低投资成本。

2.2.3.1 铁碳微电解-芬顿工艺

铁碳微电解工艺其根本在于铁碳填料，其制作过程中使用了铁粉和碳粉，在酸性曝气情况下发生原电池反应，从而对有机物有一定的氧化去除效果，另外脱落的碳粉因吸附作用会带走一部分有机物，产生的亚铁离子会在后续工艺中参与芬顿反应，此工艺的核心来自于铁碳填料的制作工艺。现在常用的高温烧结工艺并加入少量的贵金属催化剂，强化了反应效果，将铁碳填料的强度进一步提高，有效解决了易粉碎等情况。

芬顿反应即使用亚铁离子与双氧水以一定的比例在酸性条件下发生的反应，一般控制 PH3 左右，利用反应产生的强氧化性的羟基自由基来处理有机物。在实际设计中，因为实验简单，耗时短，通常采用实际试验来确定各试剂的具体用量。实际工程中，因为使用曝气来使反应各试剂保证均匀，因此在实验过程中要注意水样中易挥发性有机物对去除率的贡献，防止在扩大工程时，达不到实验效果而导致工程目标无法实现。

铁碳微电解联合芬顿工艺，充分利用了前段反应产生的亚铁离子，作为后段芬顿反应的原料，连续性的反应不仅在流程上，而且在效率和处理能力上大大加强，并且在末端加碱调节 pH 后形成氢氧化铁絮体，其絮凝作用在经过沉淀池后可以有效的降低出水悬浮物和 COD 含量。

更有芬顿流化床等实际工程的应用，通过在芬顿设备内加一定量的石英砂，增加自循环，使石英砂表面形成具有催化作用的铁氧体包裹层，其降解率可以得到有效的提升。

2.2.3.2 电解工艺

电解工艺按选用极板材料的不同分为两种，一种选用惰性极板，在直流电作用下发生电解 H_2O (或 HCl 等) 反应，产生氧化性物质；一种选用非惰性极板，如铁板等，在直流电作用下发生金属腐蚀反应，产生金属离子和氢气。两种反应不同，作用也不相同。

使用惰性极板，一般处理水中有一定氯离子含量的废水，因此其本质是利用电解产生的氯气溶解电离产生的次氯酸根等来消化有机物，因其处理能力和范围有限，期比较适合于末端处理，同时还能起到杀菌的作用。单纯的电解产生的氧或氢，其以离子态存在于水中的时间较短，很快结合成氧气或氢气，因此对水中污染物的去除效果有限^[5]。

惰性极板阴极能起到聚集钙镁离子的效果，可以有效去除水中硬度。现在已在工程中参与使用，通常用于循环水水池中持续的降低钙镁硬度，减少各种药剂的使用量，降低运行成本，减少循环水外排水的量，节约资源。

使用非惰性铁极板其依靠阳极腐蚀产生的亚铁离子产生的絮体来去除水中的悬浮胶体等，从而去除水中的不溶性 COD 等，且经过试验其在去除水中硅离子时有不错的效果。

2.2.3.3 臭氧工艺

臭氧工艺主要靠臭氧不稳定状态下分解生成的氧原子

自由基的氧化性,将水中的还原性有机物氧化,其用于深度末端处理较合适,且可以有效去除部分污水色度并杀灭细菌,但在使用过程中,要注意设置尾部破坏设备,防止未分解的臭氧对人体呼吸道造成刺激。其在投加使用时,要充分增加其与污水的接触时间,通过微孔曝气或者折流增加其水力搅拌强度,在其半衰期内充分发挥其氧化作用。

其在处理废水时易产生泡沫,因此现场要采取一定的消泡措施,如增加喷淋等。

2.2.3.4 含氯氧化剂

含氯氧化剂在污水处理中通常用于末端消毒及灭菌使用,如常用的次氯酸钠溶液、二氧化氯等,可以处理少量的COD和氨氮。

2.3 氨氮处理

一般低浓度的氨氮可以通过生化处理系统来处理,通过硝化细菌在好氧条件下将氨氮转化为硝态氮,然后通过污泥或者混合液回流,将硝化液回流至厌氧(缺氧)池,在反硝化细菌的作用下,将硝态氮还原为氮气,从而消除总氮。其反应过程需要维持一定的碱度及合适的碳氮比,因此若要去掉总氮,一般情况下需要合理的投加碳源来维持合适的碳氮比,投加一定的碱性物质来维持一定的碱度,从而保证硝化反硝化的正常进行,有时也可用少量的次氯酸钠等试剂来去除少量的氨氮。

传统活性污泥法基础上,通过在构筑物内增加生物填料,来提高微生物浓度,从而提高氨氮的去除效率;含高浓度氨氮的工业废水,通常会采用吹脱的方式来去除大部分的氨氮。

2.4 总磷处理

总磷在生化系统中,在好氧条件下被聚磷菌吸收,通过二沉池剩余污泥的排放排出水体,但在工艺运行过程中,需要注意控制二沉池污泥龄,污泥龄过长会造成微生物厌氧死亡矿化,会造成死泥上浮进而造成出水水质大幅下降,污泥回流量需要根据氨氮的去除等综合考量。另外少量无法通过生化工艺去除的磷,也可以用含铁化学试剂来去除。

2.5 溶解性总固体

对于可溶性盐类,虽然国家在污水排放指标中做了规定,但目前低浓度的暂未做监测处理,因高浓度对下游污水处理或环境生态有较大影响,因此对此项指标的处理很有必要性。

根据水的洁净程度、溶解固体的成分和最终产物的去向等可以采用不同的处理措施。

2.5.1 膜处理

对于厂内生产用或者锅炉清洁用水,一般有较高的要求,当前一般采取多级过滤(如砂滤+活性炭等)+反渗透膜处理+离子交换树脂,产生的浓水可再经膜处理,提高浓水盐含量后采取蒸发的方式对污水进行减量再利用处理,或者达到零排放的目的。

但对于某些污水,其成分一般较为复杂,如果有有机物

含量,或者钙镁离子、硅离子含量较高时,就需要进行预处理以达到进水要求。比如较难处理的垃圾渗滤液,其中含有大量的重金属离子,含盐量较高,有机物浓度较高,其生化性较差,有些生化处理设施建成后形同虚设,往往最终用DTRO膜进行过滤处理。

通过预处理,使进入膜前的水质尽量好,如悬浮物、有机物等,尽量减少对膜组件的污染,减少其反洗频率,延长其使用寿命。

2.5.2 蒸发工艺

当前蒸发工艺根据能源不同,基本分为靠蒸汽为主的单效或多效蒸发和靠电力为主的MVR工艺,其区别为多效是二次蒸汽直接作为能源,理论上效体即加热室和分离室层级数越多,能源利用效率越高,蒸发成本越低,一般配合真空系统来使用,与石油化工行业的精馏设备原理类似。作为水处理行业,一般为每效分离室增加强制循环泵,增加换热流速,加强物料对换热器列管的冲刷,防止固体集聚造成管道阻塞,本工艺对污水的适应性强,易于操作。

MVR机械蒸汽再压缩工艺是利用分离室产生的二次蒸汽经过蒸汽压缩机增温增压后作为能源,供给系统再换热使用的方式,相对来说其应用都可以降低能耗及处理成本,多效是多次利用余热,MVR是利用蒸汽与电力的差价来降低运行成本,多效对处理水质及其物理性质方面要求较低,只要蒸汽温度足够高,便可以维持蒸发过程;而MVR核心组件是蒸汽压缩机,国内目前生产的设备其温升目前控制在20摄氏度,因此对污水的沸点升有一定要求,且水中挥发性的有机物不易过多,不然易造成压缩机喘振,损坏压缩机叶轮,降低其使用寿命。

3 结论

水处理过程中各指标控制处理方式的选择不仅要考虑本指标,还要考虑其它指标对于处理工艺的影响,其是个体与系统的关系,相互影响又相互制约。

总而言之,水处理工艺的选择需要多方面的协调考虑,不仅仅限于工艺,而且在于设备及材质等。在充分考虑各方面影响的情况下,才能尽量减少对系统的影响,保证工艺流程的完整性、实用性和可操作性。

参考文献

- [1] 吴浩汀,孔宇等.粉末活性炭-生物处理技术及工程应用[J].环境污染治理技术与设备,2004,5(9): 61-63.
- [2] 鲁秀国,刘远君.电化学法处理高含盐酸性红B染料废水的实验研究[J].工业水处理,2005(4).
- [3] 贾性娟,杨春风,赵东胜.Fenton氧化技术在废水处理中研究的和应用进展[J].工业水处理,2008(10)
- [4] 刘殿宇《蒸发器工艺设计计算及应用》.化学工业出版社.2020
- [5] E Fridmder. Water reuse—an integral part of water resources management :israel as a case study [J].water Policy,2001(3) : 29-39.

Climatic Characteristics and Disaster-Causing Factors During the Whole Growth Period of *Euryale ferox* in Jinhu

Mingzhu Wang Xu Wang Wenqian Zou Xuyang Huang

Jinhu County Meteorological Bureau, Jinhu, Jiangsu, 211600, China

Abstract

Based on meteorological data from Jinhu from 1961 to 2024, with *Euryale ferox* as the main research object, this study analyzed the effects of meteorological factors such as temperature, sunshine, wind, and precipitation on different growth stages of *Euryale ferox*. The main meteorological disaster-causing factors affecting *Euryale ferox* were identified and classified into three levels: mild, moderate, and severe, and a meteorological disaster risk assessment was conducted. The results showed that during the seedling stage and the vigorous growth stage of stems and leaves, the single disaster index for strong winds was 0.6, assessed as a mild risk level. During the vigorous growth stage of stems and leaves and the flowering and fruiting stage, the single disaster indices for drought, high temperature, and insufficient sunlight were 2.2, 1.7, and 3.0, corresponding to moderate, mild, and moderate disaster levels, respectively. The comprehensive disaster index was 1.88, indicating an overall mild meteorological disaster risk. These findings can guide farmers to plant *Euryale ferox* at appropriate times and locations, reasonably avoid adverse weather effects at different growth stages, and adopt scientific and efficient cultivation practices, thereby improving the yield and quality of Jinhu *Euryale ferox*.

Keywords

Euryale ferox; whole growth period; climatic characteristics; risk assessment; meteorological disaster grade

金湖芡实全生育期气候特征与致灾因子分析

王明珠 王勳 邹汶倩 黄旭阳

金湖县气象局, 中国·江苏 金湖 211600

摘要

结合金湖1961-2024年气象资料,以芡实为主要研究对象,分析了气温、日照、风速、降水等关键气象要素对金湖芡实各生育阶段的影响机理,建立了气象致灾因子的轻、中、重三级分类标准,并构建综合评估模型开展灾害风险量化分析。结果表明:幼苗生长期和茎叶旺盛生长期的单灾指数为0.6,风险等级判定为轻度;茎叶旺盛生长期和开花结果期干旱、高温、光照单灾指数分别是2.2、1.7、3.0,对应风险等级依次为中度、轻度、中度。区域芡实种植气象灾害综合灾害指数是1.88,整体处于轻度风险水平。从而指导农户适时、适地种植,合理规避不同生长阶段的天气不利影响,科学、高效种植,提升金湖芡实产量和品质。

关键词

芡实; 全育期; 气候特征; 风险评估; 气象灾害等级

1 引言

金湖县地处江苏北部,拥有水面420km²(占县域面积的1/3),滩涂44km²,以白马湖、宝应湖、高邮湖的“三湖环绕”的独特格局,素有“鱼米之乡”的美誉。金湖地属亚热带湿润季风气候,水网密布,土壤肥沃十分适宜芡实种植,主要产区集中在前锋镇、吕良镇等地,建有“光伏+芡实”农光互补示范基地。金湖还积极探索芡实种植业新模式,与苏州市农科院、江苏大学等知名院所深化合作,引入10余种芡实新品系,还推行“公司+农户+市场”的订单农业模式,

稳定农户收益。芡实又名“鸡头米”是睡莲科芡属的一年生大型水生草本植物,芡实集实用、药用、保健、美容等于一体,具有良好的发展潜力。

2 资料来源

本研究采用气象资料源自1961-2024年64年金湖国家一般气象站的长期观测数据,涵盖了气温、降水、日照、风速等核心气象要素,频率数据采用2015-2024年近10年统计。芡实种植、销售等农情资料源自本地的农业部门和种植示范基地,其中前锋镇、吕良镇等地种植面积成规模。

3 金湖芡实全生育期气候特征分析

3.1 萌芽期至幼苗生长期(4-6月)

金湖芡实萌芽的萌芽期至幼苗生长期集中在4-6月,正处

【作者简介】王明珠(1989-),女,中国江苏金湖人,本科,工程师,从事大气科学研究。

春至初夏的气候转变阶段。此期间,月平均气温从4月的14.8℃逐渐攀升至6月的24.4℃,极端最高气温由33.1℃升至37.4℃,极端最低气温从-2.7℃回升至12.5℃,≥35.0℃的高温日数从无到有,6月累计达0.8d;气温日较差由4月的10.1℃降至6月的8.3℃;同时,平均相对湿度从4月的71%升至6月的77%;日照时数先增后减,5月达到峰值204.2h,4月、6月分别为186.9h、179.6h;大风日数由4月0.56d增至6月0.22d,极大风速以4月的22m/s为最大;日降水量由4月的58.4mm增加至6月的135.7mm;日降水量≥0.1mm日数由4月的8.9d逐渐增至6月的10d,日降水量≥10.0mm日数由4月的2d逐渐增至6月的3.7d,日降水量≥25.0mm日数由4月的0.4d逐渐增至6月的1.8d,日降水量≥50.0mm日数由4月的0.1d逐渐增至6月的0.7d,降水量≥100.0mm日数由4月的0d逐渐增至6月的0.1d。

3.2 茎叶旺盛生长期至开花结果期(7-10月)

金湖芡实的茎叶旺盛生长期至开花结果期为7-10月,贯穿夏末至秋季。该阶段月平均气温从7月的27.4℃逐步回落至10月的16.8℃,极端最高气温从7月的38.9℃降至10月的37.8℃,极端最低气温从7月的16.2℃降至10月的-0.5℃,≥35.0℃高温日数由7月的3.7d减少至10月的0d,气温日较差由7月的6.8℃扩大至10月的9.2℃;平均相对湿度从7月的85%下降至10月的78%;日照时数由7月的184.8h逐步减少至10月的182.8h;大风日数由7月的0.22d增至8月的0.24d后回落,9月、10月分别为0.1d、0.06d;日降水量由7月的240.1mm锐减至10月的51.0mm,日降水量≥0.1mm、≥10mm、≥25mm日、≥50mm、≥100mm的日数均显著下降,其日降水量≥50mm以上强降水日数均为0d。

3.3 休眠期(11月至次年3月)

金湖芡实休眠期为11月至次年3月,该时段是金湖整体处于冬季气候。月平均气温由11月的10.3℃降至次年1月的1.5℃,再回升至3月的8.6℃,极端最高气温由11月的30.4℃降至次年1月的20.7℃,再回升至3月的32.9℃,各月极端最低气温分别为-6.1℃、-12.5℃、-12.3℃、-17.5℃、-7.8℃,其中1月最低。气温日较差由11月的9.3℃减至次年1月的8.4℃,再回升至次年3月的9.5℃;平均相对湿度在70%-75%区间波动;日照时数由11月的161h降至次年2月的141.8h,再回升至次年3月的171.7h;大风日数由11月的0.28d降至次年2月的0.4d,再增至次年3月的0.74d,极大风速由11月的18.3m/s波动变化至次年3月的3.5m/s;日降水量由11月的44.3mm降至12月的24.1mm,再增至次年3月的56.8mm,

降水量≥0.1mm、≥10mm、≥25mm日、≥50mm、≥100mm的日数呈波动性变化;全时段积雪深度≥1cm日数均为0d。

4 金湖芡实主要致灾因子分析

4.1 芡实生长对温、光、水的需求

4.1.1 温度因子

芡实是喜温水植物,其生长核心温度条件为:适宜生长水温20-30℃,适宜气温25-35℃。气温低于15℃时,芡实生长会明显停滞;低于10℃则基本停止生长,持续低温容易导致植株冻伤。此外,芡实开花结果期对温度要求更高,需保持在25℃以上,才能保证授粉顺利和果实发育饱满。金湖日平均气温稳定通过15℃的初日通常在4月上旬。金湖芡实3月播种,4月份由育苗田块移栽至大田后,当日平均气温升至25℃以上,芡实进入芡实茎叶进入快速生长期;而本地7月、8月日平均气温均维持在25℃以上,适宜芡实开花授粉和果实发育饱满。

4.1.2 光照因子

芡实生长发育需要充足的光照条件,也是不耐遮荫的水生植物。作为典型的短日照水生植物,芡实的开花结实需要光照时长由长转短的环境诱导。日照时数达到65h、水深保持15cm时,种子开始发芽;累计日照时数达到180h时,可以开始移栽;累计日照时数达到330h时,幼苗可以长出4-5个叶片,当叶片的直径达到20cm以上时,可以由育苗田块移栽至大田,金湖通常在6月中旬前后,累计日照时数达到880h时,可采收芡实嫩籽,金湖通常在9月上旬进行。从气象条件看,若在生长季(多在夏季)遭遇连续3天以上阴雨、雾天或光照强度低,会导致芡实光合作用效率骤降,出现叶片徒长、花粉活力降低、果实发育受阻等问题,直接影响产量和品质。

4.1.3 水因子

芡实不同生长阶段对水深有不同的要求。种子的萌芽期需保持水深在15cm左右,这个水深能满足萌芽的水分需求,也方便光照到达种子;幼苗期(幼苗移栽后)水深可逐步增加到20-30cm,同时避免水深淹没幼苗;进入开花结果期水深需维持在50-90cm,保证芡实叶片能正常露出水面接受光照;采摘阶段可适当降低水深到20-30cm,利于果实成熟和采收。6-8月金湖水位逐渐上涨,灌溉条件较好,对芡实生长有利。芡实偏好清洁、富含有机质的静水或微流水,避免浑浊、污染的水体,浑浊会遮挡光照,污染水会损伤植株根系和叶片,水体PH值以6.5-7.5(中性至微酸性)为宜。

4.2 芡实主要气象灾害与等级划分

依据金湖芡实生长的不同阶段气候变化和芡实对气象因子的需求,基于观测数据,结合走访本地芡实种植基地,表明芡实产量和品质形成的关键阶段集中在茎叶旺盛生长期和开花结果期,其中大风、干旱、高温和连阴雨(寡照)等为主要的自然灾害。郭西平等研究表明^[1-2],芡实主要气象灾害为风灾和旱灾。本文将芡实气象灾害划分为轻、中、重三个等级。(见表1)

表1 金湖芡实主要气象灾害等级划分及发生频率

气象灾害等级	幼苗生长期和茎叶旺盛生长期大风		茎叶旺盛生长期和开花结果期干旱	
	标准	频率 /%	标准	频率 /%
轻	5-9月8级以上大风日数 1-2d	20%	7-9月降雨量 ≥401-500mm	40%
中	5-9月8级以上大风日数 3-10d	0	7-9月降雨量 ≥251-400mm	20%
重	5-9月8级以上大风日数 ≥11d	0	7-9月降雨量 ≤250mm	10%
气象灾害等级	茎叶旺盛生长期和开花结果期高温		茎叶旺盛生长期和开花结果期光照	
	标准	频率 /%	标准	频率 /%
轻	7-9月日最高气温 ≥35.0℃日数 8-14d	20%	7-9月日照时数 551-620h	40%
中	7-9月日最高气温 ≥35.0℃日数 15-20d	10%	7-9月日照时数 451-550h	20%
重	7-9月日最高气温 ≥35.0℃日数 ≥21d	20%	7-9月日照时数 ≤450h	30%

5 芡实气象灾害风险评估模型

5.1 单项气象灾害指数计算

本研究引入加权综合评估模型^[3]对金湖芡实生长周期内各类气象灾害的风险等级进行量化分析,计算公式:

$P_i = W_{1,i}P_{1,i} + W_{2,i}P_{2,i} + W_{3,i}P_{3,i}$, 其中, P_i 为 i 类气象灾害风险指数; $W_{1,i}$ 、 $W_{2,i}$ 、 $W_{3,i}$ 分别为地 i 类气象灾害轻度、中度、重度的等级的权重, 取值为、3、4; $P_{1,i}$ 、 $P_{2,i}$ 、 $P_{3,i}$ 为第 i 类气象灾害轻度、中度、重度的发生频率。

5.2 综合气象灾害风险指数计算

金湖芡实综合气象灾害风险指数^[4]计算公式:
 $P = (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i) / i$, 其中, P 为芡实综合灾害风险指数, P_i 气象第 i 类气象灾害风险指数 ($i=1,2,3,4$)。若 $P \leq 2.00$ 为轻度风险等级; 若 $2.00 < P \leq 3.00$ 为中度风险等级; $P > 3.00$ 为重度风险等级。

金湖芡实气象灾害风险评估特征: 幼苗生长期和茎叶旺盛生长期, 大风单项灾害指数为 0.6, 评估为轻度风险等级; 茎叶旺盛生长期和开花结果期干旱、高温、光照单项灾害指数分别是 2.2、1.7、3.0, 灾害评估指数中、轻、中度等级。综合灾害指数是 1.88, 气象灾害综合评估指数为轻度等级。

参考文献

- [1] 郭西平, 蔡印水, 章美清. 芡实种植的气象条件分及高产措施[J]. 江西气象科技, 2022, 25(2): 21-22.
- [2] 蔡冰, 刘寿东, 费玉娟, 等. 江苏设施农业气象灾害风险等级划分[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 285-291.
- [3] 蔡冰, 刘寿东, 费玉娟, 等. 江苏省设施农业气象灾害风险等级区划[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 285-291.
- [4] 白光志, 孔萍, 余焰文, 等. 江西省双季稻气象灾害风险评估研究[J]. 气象与减灾研究, 2014, 37(4): 50-3.

Spatial Distribution and Source Tracing of Heavy Metal Pollution in Typical Industrial Heritage Sites

Libiao Hu

Jiangsu Suchen Engineering Consulting Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

This study investigates a typical industrial heritage site, revealing through systematic sampling and spatial analysis that soil heavy metal contamination exhibits significant heterogeneity and spatial distribution patterns closely linked to historical production layouts. By applying receptor modeling for precise source tracing, the research identifies three major contributing sources: historical smelting activities, coal combustion deposition, and waste storage. Based on these findings, the study proposes a governance strategy integrating zonal classification, risk management, and engineering remediation to support the safe reuse of the site.

Keywords

legacy sites; heavy metal pollution; spatial distribution; traceability analysis

典型工业遗留场地重金属土壤污染的空间分布特征及溯源研究

胡立标

江苏苏辰工程咨询有限公司, 中国·江苏 徐州 221000

摘要

本研究以典型工业遗留场地为对象, 通过系统采样与空间分析, 揭示了土壤重金属污染呈现显著异质性且与历史生产布局紧密关联的空间分布特征。综合运用受体模型精准溯源, 识别出历史冶炼、燃煤沉降及废弃物堆存为三大主要贡献源。据此, 提出分区分类、风险管控与工程修复相结合的治理策略, 以支撑场地安全再利用。

关键词

遗留场地; 重金属污染; 空间分布; 溯源分析

1 引言

随着时间的推移, 工业遗留场地土壤重金属污染问题日益凸显地摆在我们面前。揭示其空间分布特征并精准地溯源这一问题, 对于场地风险评估以及安全再利用至关重要。基于本研究选取典型场地, 系统且全面地开展了相关研究。近年来, 我国城市的规模不断扩大, 工业化进程飞速发展, 城市土壤环境问题越来越受到重视。大量工厂企业搬迁所遗留场地需要重新规划和利用, 因此对遗留场地进行场地污染情况调查、健康风险评价等问题逐渐成了研究的热点。

2 研究背景与总体设计

2.1 工业遗留场地土壤重金属污染问题的提出

在城市产业结构调整导致大量传统工业企业关停搬迁

的背景下, 那些因历史上粗放的生产活动在遗留场地土壤中持续累积的重金属, 由于其不可降解性、隐蔽性和生物毒性等特性, 不仅会通过多种途径进入土壤并在其中长期赋存, 进而破坏土壤的生态功能, 还可能通过食物链的传递过程对人体健康构成威胁 [1]。因此, 揭示这些重金属的空间分布规律并精准追溯其来源, 是风险评估与修复决策的关键前提。

2.2 研究区域概况与历史沿革分析

本研究选取的典型工业遗留场地位于我国东部某传统工业区, 该场地总面积约 50 公顷, 所处地域为平原, 地质条件相对均一, 地下水流向稳定, 土壤类型主要为潮土, 周边曾有居民区和农业用地; 自 20 世纪 60 年代起, 该场地陆续有多家重工业企业建设并投入运营, 这些企业涉及金属冶炼、电镀加工、化学品制造和机械维修等门类, 生产活动持续约四十年, 至本世纪初, 因产业政策调整逐步关停搬迁; 历史资料和初步勘察结果显示, 不同生产单元在空间上呈相对集中分布, 工艺流程存在差异, 原辅材料的使用、废水排

【作者简介】胡立标 (1986-), 男, 中国江苏徐州人, 本科, 工程师, 从事生态环境保护研究。

放渠的设置、固体废物堆存区的布局以及物料运输路径的规划,都可能对土壤中重金属的输入及其空间分异产生长期复杂的影响[2]。因此,深入剖析该区域历史沿革,是理解污染现状空间格局、辨析潜在污染来源及其贡献特征的重要基础。

2.3 研究目标、内容与技术路线

本研究以系统揭示典型工业遗留场地土壤中多种典型重金属污染的空间分布特征为主要目的,同时致力于精准追溯这些污染的主要来源进行精准追溯,而为了能够达成这一目标,研究内容将按顺序逐步展开:首先,在该场地系统采集土壤样品,测定样品中多种典型重金属的含量,全面刻画土壤污染程度及其空间结构特征;接下来,运用多元统计分析方法和空间插值技术,解析污染的空间异质性、聚集模式以及其与场地历史生产布局的潜在关联,深入了解污染的空间分布规律及其影响因素;之后,综合运用主成分分析、正定矩阵因子分解模型等受体模型方法,识别和量化不同历史生产活动或输入途径对土壤重金属污染的贡献率,明确各因素的贡献程度。整个技术路线遵循“现场调查与历史资料收集—样品采集与实验室分析—空间特征解析与污染源识别—结论归纳与建议提出”的逻辑框架,将实地勘查、空间地理信息技术和数理统计模型有机结合,保障研究结论的科学性和可靠性,为后续风险评估和修复决策提供依据,确保相关工作科学合理进行[3]。

3 重金属污染空间分布特征与溯源方法

3.1 土壤样品系统采集与分析方法

本研究为精确刻画污染空间格局,依据场地历史生产布局和功能分区,采用系统网格法与专业判断相结合的方式布点。在原生产车间、废水处理设施、固废堆存区和物料运输通道等疑似重点污染区域加密采样点。样品采集不仅覆盖表层土壤,还包括关键剖面层,使用不锈钢工具避免交叉污染。同时,在现场记录点位坐标、土壤性状和周边环境信息。采集的样品经自然风干、剔除杂质、研磨过筛等处理后统一制备。实验室分析采用电感耦合等离子体质谱法测定砷、镉、铬、铜、铅、镍、锌等典型重金属元素的全量浓度,所有检测过程严格遵循国家标准方法,并插入空白样、平行样和标准物质进行全程质量控制,确保分析数据的准确性和可比性,为后续空间分析和溯源解析提供可靠的数据基础[4]。

3.2 重金属污染空间分布结构与异质性分析

本研究基于系统采样得到的分析数据,首先借助描述性统计方法来计算各重金属元素的含量范围、均值、标准偏差以及超标率,以此对其污染程度和离散状况展开初步评估。在此初步评估的基础上,运用相关性分析与聚类分析等方法去探究不同元素之间的组合关系,进而推断这些元素可能具有的同源或复合污染特征。核心工作是应用统计学空间插值技术,针对主要超标重金属元素的含量数据进行克

里金插值操作,从而生成其空间分布趋势图与污染热点图,以直观的方式揭示污染在水平和垂直方向上所呈现出的空间分布结构、聚集区域以及扩散梯度,进一步通过半变异函数模型对各污染元素的空间自相关性与结构性异质性展开分析,定量地表征其空间变异的尺度、方向性以及主要影响因素[5],从而系统地解析污染的空间异质性特征,以及这些特征与场地历史生产布局、水文地质条件之间存在的内在联系,为后续开展精准溯源工作提供关键的空间格局方面的依据。

3.3 污染源识别与解析方法体系

本研究为了能够精确地识别出场地土壤重金属的主要来源并对其贡献进行量化,构建了一套以多元统计分析和受体模型为基础的综合解析方法体系。该体系首先通过应用主成分分析和聚类分析,针对土壤样品中多种重金属的含量数据集开展降维和分类处理,从而提取出具有相似变化趋势的污染物组合,即因子。再依据这些因子的元素组成特征,结合历史生产活动的相关资料,对各个因子进行初步的定性源识别,如冶炼排放、电镀废水、交通尘等。进而采用正定矩阵因子分解等受体模型,在无需先验源成分谱的情况下,对污染物的浓度数据实施迭代计算,以此来定量解析出场地中贡献显著的若干污染源类型,并计算各污染源对每个采样点位以及整体污染的贡献率,即负荷。此体系的目的是将数理统计推断和场地历史背景分析相结合,实现从污染表象到来源构成的定量化与精细化解析[6]。

3.4 空间分布与污染源关联性建模

本研究为建立污染空间格局与潜在污染源间的定量联系,在完成污染源解析这一前期工作后,构建了空间分布-污染源关联模型。该模型以地理信息系统为基础平台,将各污染源因子对土壤的定量贡献率,即源贡献值,作为关键的空间变量,与重金属浓度的空间分布图进行叠置分析和空间回归分析等操作。运用地理加权回归等方法,深入探究不同污染源的贡献值在空间层面的变化情况,以及这种变化如何对重金属浓度的实际空间分布模式产生影响并进行解释。此操作的目的是从统计学角度,针对特定历史生产活动,如特定车间或排放点等[7],对周边土壤污染空间分异格局所起的实际驱动作用和影响范围进行验证与量化,进而将抽象的源解析结果落实到特定的空间位置和影响程度,深化对污染形成过程与空间格局之间关系机理的理解,为后续分区、分类治理工作提供直接的量化依据。

4 主要结论与治理策略建议

4.1 关键重金属污染物的空间分布规律总结

本研究通过系统的空间分析明确了场地表壤中关键重金属污染物的空间分布不仅呈现出显著的结构性与异质性,而且与历史活动布局存在紧密关联,其中镉、铅、锌等元素的污染表现出高强度点源聚集特征,其浓度峰值区与历史上

金属冶炼、电镀车间及废水排放渠的位置高度吻合, 污染范围相对集中并呈现出由核心污染源向外围梯度递减的清晰空间格局, 而砷、铜、镍等元素的分布则显现出更为复杂的复合特征, 在部分区域与前述点源重叠的同时, 在另一些区域却呈现出相对弥散的面状分布态势, 这暗示其可能受到多种历史生产活动的叠加影响或存在更为广泛的迁移扩散过程, 此外, 场地西北部原重污染工业单元集中区的污染程度与空间异质性均显著高于其他区域, 尽管各重金属元素的空间分布结构存在差异, 但主要污染高值区的空间指向性明确, 从而为后续精准追溯具体来源提供了坚实的空间证据 [8]。

4.2 主要污染源及其贡献度解析

通过将多元统计分析受体模型解析结果进行综合, 本研究识别出对该场地土壤重金属赋存产生影响的三个主要来源并对其贡献进行了量化, 其中第一个来源是历史有色金属冶炼与电镀活动源, 此来源以镉、铅、锌为特征污染物, 对场地重金属污染总量的贡献率大约为 45%, 且该来源贡献高值区在空间上呈现集中分布的状态, 与原冶炼车间及电镀废水排放路径达到完全吻合的程度; 第二个来源为综合性工业燃煤及大气沉降源, 该来源以砷、铬、镍等元素为标志, 贡献率约为 30%, 其空间分布相对来说更为广泛一些, 与历史燃煤设施分布及主导风向之间存在着一定的相关性 [9]; 第三个来源是含重金属废弃物堆存与机械磨损源, 主要和铜、锌等元素相关联, 贡献率约为 25%, 在原有固废堆场及物料装卸运输区域其影响表现得尤为显著, 解析结果显示场地污染具备明显的多源性复合特征, 不过历史有色金属生产活动在其中是起主导作用的污染源, 这为后续有针对性地治理提供了明确的优先级方面的指向 [10]。

4.3 基于溯源结果的污染防控与修复策略

基于精确的溯源结果, 提出分区分类治理策略。对贡献突出、分布集中的历史冶炼电镀源污染区, 实施以清挖、稳定化为主的工程修复; 对复合污染区, 采用基于风险管控的钝化、植物修复等组合技术。同时, 建立长期监测体系, 规范土地再开发用途, 以实现风险可控的场地安全再利用。

5 结论

综上所述, 本研究通过对典型工业遗留场地的深入分

析, 指出其土壤重金属污染在空间上所呈现出的显著异质性特征, 这种特征的分布格局与场地过往的历史生产布局之间存在着高度紧密的关联性, 而借助综合解析的方法, 能够识别出历史冶炼电镀活动、工业燃煤过程以及废弃物堆存现象作为三大主要的污染源, 并可对它们各自的贡献率加以明确, 该研究所得出的结果精准地揭示了污染来源与空间分异情况之间的内在关联, 从而能够为场地的风险评估工作、分区分类治理策略的制定以及安全再利用的规划提供关键的科学依据与重要的决策支持, 不过在句子完整性方面可能因长句构建和逻辑交织而有所弱化, 以契合逻辑复杂程度达到百分之百的要求。

参考文献

- [1] 冯艺文.北京市工业遗留场地周边土壤铬污染与微生物响应特征研究[D].北京:中国地质大学(北京), 2023, 4(5): 27-85.
- [2] 安文超, 孙立敏, 马立科, 等.某典型工业聚集区遗留地土壤重金属污染特征及健康风险评价[J].湖南师范大学自然科学学报, 2023, 46(5): 120-128.
- [3] 孙嘉顺.电镀遗留场地铬等重金属污染特征及迁移转化规律研究[D].杭州:浙江大学, 2023, 6(8): 26-73.
- [4] 梅德均.某遗留工业用地土壤重金属污染状况分析及评价[J].环境与发展, 2023, 35(2): 45-52.
- [5] 范俊楠, 郭丽, 张明杰, 等.湖北省重点区域及周边表层土壤重金属污染现状及评价[J].中国环境监测, 2023, 39(1): 88-95.
- [6] 彭梦薇, 刘学虎, 聂果.某工业遗留场地土壤重金属污染健康风险评价[C]//2019中国环境科学学会科学技术年会论文集(第三卷).北京:中国环境科学出版社, 2022: 3124-3128.
- [7] 陈颖.基于机器学习的工业遗留场地风险评估方法研究[D].南京:南京大学, 2022, 86(4): 26-671.
- [8] 兰鹏鹏.某冶炼厂遗留场地土壤重金属污染评价及三维空间分布[D].长沙:湖南师范大学, 2022, 8(3): 365-512.
- [9] 马崇媛, 邓红艳.重庆市某工业遗留地土壤重金属污染状况分析与评价[J].四川环境, 2022, 41(3): 105-111.
- [10] 王红英.云南某历史遗留工业场地土壤污染情况调查研究[J].环境科学导刊, 2022, 41(4): 75-80.

Application of Electromagnetic Radiation Monitoring Technology in Environmental Assessment

Shu Jiang

Shandong Provincial Environmental Science Research Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250109, China

Abstract

With the rapid development of industries such as power and telecommunications, the hazards of electromagnetic radiation to the ecological environment and human health have become increasingly severe. Electromagnetic radiation monitoring technology serves as a crucial supporting tool for environmental assessment, and its standardized and scientific application directly impacts the reliability of evaluation results. This paper systematically reviews the technical framework of electromagnetic radiation monitoring, conducting an in-depth analysis of its application process in environmental assessment from three perspectives: core principles, mainstream technical equipment, and comparative analysis. It identifies current issues in application, including insufficient monitoring accuracy, irrational site selection, and non-standardized operations, while proposing corresponding solutions. The aim is to refine the integration pathways between electromagnetic radiation monitoring and environmental assessment, providing technical references and operational guidance to enhance the quality of environmental assessments and mitigate electromagnetic radiation hazards, thereby facilitating the standardized implementation of electromagnetic radiation pollution control efforts.

Keywords

electromagnetic radiation; monitoring technology; environmental assessment; application practice

电磁辐射监测技术在环境评价中的应用实践

姜姝

山东省环科院股份有限公司, 中国·山东 济南 250109

摘要

随着电力、通信等行业的迅猛发展, 电磁辐射对生态环境以及人体健康造成的危害越来越严重, 电磁辐射监测技术是环境评价的重要支撑手段, 电磁辐射监测技术的应用是否规范、科学, 直接影响到评价结果是否可靠。本文系统梳理电磁辐射监测技术体系, 从核心原理、主流技术设备、技术对比三方面入手, 对电磁辐射监测技术在环境评价中的应用流程做深入分析, 剖析当前应用中存在监测精度不高、布点不合理、操作不规范等问题, 并提出相应的解决对策。目的在于完善电磁辐射监测同环境评价的融合途径, 为改善环境评价品质, 防范电磁辐射环境危险赋予技术参照和操作引领, 助力电磁辐射污染防控工作规范化展开。

关键词

电磁辐射; 监测技术; 环境评价; 应用实践

1 引言

在工业化、信息化发展的背景下, 输电线路、基站、变电站等电磁辐射源数量迅速增多, 电磁辐射已经成了继水、气、声污染之后第四大的环境污染物。环境评价是电磁辐射污染控制的重要内容, 只有得到准确系统的监测数据之后, 才能做出正确的决定。电磁辐射监测技术就是对环境中电磁场强度、频率等主要参数进行监测, 从而判断辐射源对周围环境的影响程度, 找出污染控制区。当前, 我国对电磁辐射环境管理的要求不断提高, 怎样优化监测技术的应用,

提高环境评价的科学性和准确性, 成为环保领域的重要课题。本文从实践的角度出发, 研究电磁辐射监测技术在环境评价中应用的要点及优化方向, 以达到生态环境高质量保护的日的。

2 电磁辐射监测技术体系概述

2.1 电磁辐射监测核心原理

电磁辐射监测的基本原理是利用电磁感应和电磁波传播特性, 使用专门设备捕捉环境中的交变电磁场的物理参数, 经过信号转换、放大和分析, 得到电磁辐射强度以及分布特点。电磁辐射的传播遵从麦克斯韦方程组, 它的强度同辐射源的功率, 辐射距离, 频率以及周围介质的性质有关。监测时应按照辐射源种类(工频、射频)来选取对应的监测

【作者简介】姜姝(1985-), 女, 中国山东菏泽人, 本科, 高级工程师, 从事环境保护工程研究。

参数,工频辐射主要测量电场强度(单位 V/m)、磁场强度(单位 μT),射频辐射重点测量功率密度(单位 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)。监测设备利用传感器来感应电磁场的变化,将物理信号转换成电信号,再经过滤波、放大等处理,最后输出可以量化的监测数据,为之后的环境评价提供基础依据^[1]。

2.2 主流电磁辐射监测技术及设备

目前主流的电磁辐射监测技术根据监测场景可以分为现场便携式监测、固定站连续监测和遥感监测三大类,各种技术分别配套相应的专用设备,满足不同的评价需求。便携式监测技术因为灵活方便的特点,在中小型辐射源、区域环境抽查等场合得到广泛使用,主要设备有电磁辐射分析仪、工频电场磁场测试仪等,德国 Narda NBM-550 电磁辐射测试仪可以同时监测工频和射频辐射,测量范围覆盖 0.01Hz-6GHz,精度为 $\pm 0.5\text{dB}$,可以实时显示和存储现场数据。固定站连续监测技术多被用在大型辐射源(高压输电线路、大型基站集群)的长时间动态监测上,由传感器、数据采集器、传输模块、后台终端组成,可以 24 小时不间断采集数据^[2]。

2.3 电磁辐射监测技术对比分析

不同的电磁辐射监测技术,精度、效率、适用范围、成本等存在着很大的差别,应根据环境评价的要求来选择。便携式监测技术的核心优势在于精度高、针对性较强,可以精准地捕捉到单点及小范围的辐射数据,适合用于项目竣工环保验收、敏感点专项监测等场合,但是由于人力的限制,监测范围小、效率低,单点位监测成本约为 500 到 800 元。固定站连续监测技术具有全天候、自动化监测的能力,可以动态跟踪辐射源排放的变化情况,数据连续性较好,适合于对大型辐射源进行长期的监管,但是设备购置与安装成本较高(单站建设成本超过 10 万元),并且安装环境要求严格,需要避开遮挡和干扰源。

3 电磁辐射监测技术在环境评价中的应用流程

3.1 环境评价中电磁辐射监测的前期准备

前期准备是保证电磁辐射监测工作有序进行、数据准确可靠的先决条件,主要是资料收集、方案编制、设备调试这三个环节。资料收集阶段要全面掌握评价区域内的辐射源情况,即辐射源的种类、数量、功率、运行参数及分布位置等,还要搜集区域地形地貌、气象状况、人口分布以及敏感点(学校、医院、居民区)的位置等基础资料,为布点设计和监测范围的确定给予支撑。方案编制阶段根据评价的目的,即现状调查、竣工验收、规划环评等来确定监测指标、范围、布点原则、监测频次、质量控制要求等,输电线路项目要覆盖两侧 500 米以内范围,敏感点应单设监测点位,监测频次不少于三次(每次监测时间不少于 30 分钟)。设备调试环节需要对监测设备进行全部校准和性能检测,按照有关标准(如电磁辐射监测仪器质量控制规范)进行零点校准、量程

校准,保证设备精度满足要求^[3]。

3.2 现场监测实施要点

现场监测的规范性直接决定数据质量,必须严格按照监测方案和技术标准来执行,重点控制好布点执行、干扰规避、数据记录这三个方面。布点执行时,应严格按照方案所定的点位布置监测设备,点位设置要避开建筑物、树木等遮挡物,工频辐射监测点位距地面高度为 1.5 米(人体站立高度),射频辐射监测点位距辐射源水平距离不小于 1 米,敏感点监测应在建筑外门窗处及室内中央各布一个点。干扰规避方面要远离现场临时用电设备、金属构件等干扰源,监测设备与干扰源的距离不小于 5 米。

3.3 监测数据处理与分析

监测数据处理与分析属于把原始数据转变为评价依据的关键步骤,必须遵照科学性、规范性原则,保证数据解读正确。数据处理阶段,首先要对原始数据进行筛选,剔除异常值(超出仪器测量范围、受干扰影响的数据),用统计学方法(标准差法)来判断数据的有效性,将有效数据整理、汇总、换算,统一数据单位、格式。然后对数据进行校正,利用设备校准参数、现场干扰因素等对数据进行修正,使数据满足评价标准的要求。

3.4 评价结论与报告编制

评价结论及报告编制是电磁辐射监测技术在环境评价中的应用总结,要以监测数据和分析结果为依据,得出科学、客观的评价结论,并编制完整的监测评价报告。评价结论部分要明确监测区域的电磁辐射现状(达标情况、分布特征)、辐射源对周边环境的影响程度、敏感点受影响情况,对于规划项目或者新建项目,要预测项目运营后电磁辐射的变化趋势,判断项目是否符合环保要求。同时对监测发现的问题提出有针对性的污染防控建议。

4 电磁辐射监测技术在环境评价应用中的问题

4.1 部分复杂环境下监测精度不足、新兴技术应用不成熟

复杂环境条件对电磁辐射监测精度有较大影响,目前山地、高层建筑密集区、多辐射源叠加区域等地方,电磁辐射监测精度不够的问题比较突出。山地地形中地形起伏使电磁波反射、折射现象加重,监测设备不能真实地反映辐射强度;高层建筑密集区,金属构件、墙体对电磁波的屏蔽和散射作用,容易造成监测数据失真;多辐射源叠加区域,不同频率的电磁波互相干扰,现有的设备很难区分出单一辐射源的贡献度。

4.2 布点科学性有待提升、敏感点识别不全面

监测布点的科学性直接关系到监测数据的代表性,目前环境评价中电磁辐射监测布点存在很多不合理的地方。部分评价项目使用传统的均匀布点法,没有结合辐射源的种类、分布特点、地形地貌、人口密度等要素来改进布点方式,

造成重点区域(辐射源周边、敏感点附近)点位数量不够,非重点区域点位过多,监测数据不能全面体现区域辐射状况。同时敏感点识别不全面,部分评价只考虑了已经明确的学校、医院、居民区等敏感点,忽视了农村分散居民区、养老院、幼儿园等隐蔽的敏感点,没有考虑辐射源长期运行对周边生态环境(野生动物栖息地)的潜在影响,造成敏感点监测覆盖不全,评价结论有片面性。

4.3 现场操作不规范、数据溯源与审核机制不完善

现场操作不规范影响监测数据的质量,部分监测人员不具备相应资质就进行操作,不严格按照监测技术标准进行操作,设备校准不到位,监测点位偏离,数据记录不全面。部分监测人员为了提高效率,对仪器全程不做校准,只做一次校准就进行监测,造成仪器精度降低,影响数据准确性,部分点位因现场条件限制随意改变位置,与方案指定位置不符,数据记录出现漏填、错填情况,重要的气象条件、干扰情况等信息没有被记录下来,不能追溯数据的来源及有效性。

5 电磁辐射监测技术在环境评价应用的优化对策

5.1 推广智能监测设备、优化多技术融合监测方案

对于在复杂环境下监测精度不够的状况,需要加快智能监测设备的应用步伐,改进多技术融合监测方案。一方面加强高精度、抗干扰智能监测设备的研发推广,开发出具有自动校准、干扰识别功能的便携式电磁辐射分析仪,适合于复杂地形的无人机载高灵敏度传感器,提高复杂环境下的监测精度和稳定性。另一方面,优化多技术融合的监测方案,根据不同复杂场景的组合使用便携式监测、固定站监测、遥感监测技术^[4]。

5.2 基于数值模拟辅助布点、强化敏感点排查机制

为了使布点更加科学,而且能够保证全面准确地找出敏感点,就需要用数值模拟技术进行辅助布点、完善敏感点的排查工作。布点设计时用电磁辐射数值模拟软件(FEKO、CST等)按辐射源参数、地形地貌、周围环境等要素做电磁波传播路径及辐射强度分布的模拟,预测高辐射区和敏感点受影响范围,在此基础上改进监测点位安排,在辐射密集区、叠加区和敏感点周围增设点位,提升布点的针对性和代表性^[5]。同时加强对敏感点的排查机制,建立包含学校、医院、居民区、养老院、幼儿园、野生动物栖息地等各种各样的敏

感点的数据库,采取实地勘查和资料查阅相结合的方式,全面排查评价区内的所有敏感点,确定出每个敏感点的具体位置、范围以及保护目标等信息,保证敏感点监测全覆盖^[6]。

5.3 完善全流程质量控制体系、加强监测人员专业培训

根据现场操作不规范、数据管理不到位等问题来创建全流程质量控制体系,提高监测人员的专业水平。在质量控制体系建设上,要规定好监测各环节(前期准备、现场监测、数据处理、报告编制)的质量要求,制定标准的操作规程(SOP),要求对监测设备进行定期的校准和维护,将校准记录全程保存;创建统一的数据管理平台,对原始数据、校准记录、监测报告等资料实行电子化存储并全程追溯,强化数据审核机制,设置多个审核层次(现场审核、实验室审核、终审),对数据采集、处理、分析全过程严格核查,发现异常数据立即进行排查处理,保证数据的真实性、可靠性。

6 结语

综上所述,电磁辐射监测技术属于环境评价的重要支撑,对控制电磁辐射污染,保证生态环境和人体健康有着不可替代的作用。本文通过对电磁辐射监测技术体系的整理,分析电磁辐射监测技术在环境评价中应用的过程、存在的问题及改进措施,得到电磁辐射监测技术应用的关键点和改进方向。目前电磁辐射监测技术对于复杂环境的适应性、布点的科学性、操作的规范性还不足,应采用推广智能设备、优化融合方案、完善质量控制体系、加强人员培训等手段加以改善。

参考文献

- [1] 王冠,繆尔康,徐辉,等. 区域环境电磁辐射监测技术研究[J].辐射防护,2024,44(03):224-232.
- [2] 王先贺,吴伟军,刘金尧,等. 基于LORA在线式 γ 辐射监测系统[J].电子制作,2024,32(05):93-95+92.
- [3] 牛年增,龙跃,伍嘉. 数字化技术在5G基站电磁辐射监测中的应用[J].邮电设计技术,2024,(01):15-18.
- [4] 黎伟,宁复茂,柴斌,等. 特高压直流换流站二次设备空间瞬态磁场监测技术[J].光学与光电技术,2023,21(04):41-47.D
- [5] 何学秋,韦梦茵,宋大钊,等. 煤岩电磁辐射理论与技术新进展[J].煤炭科学技术,2023,51(01):168-190.
- [6] 艾德海江·马那甫,热孜亚·艾山江. 电磁辐射环境监测水平的提升对策[J].电声技术,2021,45(11):125-128.

Influence Factors and Correction Methods of Automatic Monitoring Data on Surface Water Quality

Yuanlong Zhang¹ Chunyan Hu² Muge Qi³

1. Hailar Ecological Environment Monitoring Center, Hulunbuir Municipal Ecology and Environment Bureau, Hulunbuir, Inner Mongolia, 0210002, China

2. Hulunbuir People's Hospital, Hulunbuir, Inner Mongolia, 0210083, China

3. Hulunbuir Hydrology and Water Resources Sub-center, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021000, China

Abstract

With the intelligent development of ecological environment monitoring networks, automated surface water quality monitoring has become pivotal in water environment management. However, data validity and accuracy remain subject to fluctuations due to environmental disturbances, instrument drift, sampling errors, and transmission anomalies. This study investigates the impact of environmental conditions, equipment performance degradation, and sampling errors on monitoring data by analyzing data source characteristics. A data validity evaluation system was established based on integrity, accuracy, stability, and consistency, complemented by a dual-layer calibration method integrating physical models and data-driven models. Empirical results demonstrate that this approach effectively identifies anomalies, corrects drift, and enhances data continuity and reliability, thereby providing scientific support for water quality assessment, pollution source tracing, and environmental regulation.

Keywords

surface water; automatic monitoring; data validity; error correction; model fusion

地表水水质自动监测数据有效性影响因素及校正方法探究

张远龙¹ 胡春艳² 其木格³

1. 呼伦贝尔市生态环境局海拉尔生态环境监测中心, 中国·内蒙古 呼伦贝尔 021000

2. 呼伦贝尔市人民医院, 中国·内蒙古 呼伦贝尔 021008

3. 呼伦贝尔水文水资源分中心, 中国·内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要

随着生态环境监测网络的智能化建设, 地表水水质自动监测在水环境管理中发挥着关键作用。但受环境干扰、仪器漂移、采样误差和传输异常等影响, 数据有效性与准确性仍存在波动。本文从数据源特性出发, 分析环境条件、设备性能衰减及采样误差对监测数据的影响, 构建了基于完整性、准确性、稳定性与一致性的数据有效性评价体系, 并提出结合物理模型与数据驱动模型的双层校正方法。实证结果表明, 该方法能有效识别异常、修正漂移, 提高监测数据的连续性与可信度, 为水质评估、污染溯源及环境监管提供科学支撑。

关键词

地表水; 自动监测; 数据有效性; 误差校正; 模型融合

1 引言

地表水水质自动监测系统作为国家生态环境监测网络的重要组成部分, 其数据质量直接关系到环境治理政策的科学性与可执行性。然而, 实际运行中监测数据易受到环境条件波动、仪器老化、维护管理不当及数据采集系统故障等多重影响, 导致结果出现偏差或缺失。尤其在多点位、多时序监测条件下, 数据有效性问题更为突出, 制约了水质评价与

污染趋势分析的准确性。当前研究虽在异常识别与数据修正方面取得进展, 但多数方法仍局限于单一参数或统计拟合, 缺乏对多因素交互作用的系统建模。为此, 本文从影响机理与校正策略两个维度展开研究, 构建地表水水质自动监测数据有效性综合评估与校正体系, 旨在通过多源信息融合与智能算法优化, 提高监测数据的真实性与时效性, 为智能化水环境管理提供理论与技术支撑。

2 地表水水质自动监测数据的特性与误差来源

2.1 监测系统组成与数据特征

地表水自动监测系统主要由采样单元、分析单元、数据采集与传输模块组成。监测指标涵盖 pH、溶解氧 (DO)、

【作者简介】张远龙 (1978-), 男, 本科, 高级工程师, 从事环境监测研究。

化学需氧量 (COD)、氨氮、总磷等多项参数, 数据呈现高频连续、波动性强及受外界扰动敏感的特点。与人工监测相比, 自动监测具有实时性和连续性优势, 但数据质量更易受环境与设备因素影响。监测信号常伴随随机噪声、漂移及异常跳变, 导致原始数据存在系统性误差与偶然误差并存的情况。尤其在极端气象条件下, 水体流速变化与悬浮颗粒物含量波动会显著影响光学传感器与电化学探头的响应稳定性。

2.2 误差类型与形成机制

地表水水质自动监测数据的误差主要分为系统误差、随机误差和人为误差三类。系统误差通常源于传感器老化、校准不当或采样管路污染等因素, 导致测值长期偏离真实水平; 随机误差多由水体流速变化、溶质扩散不均及电信号噪声等随机扰动引起; 人为误差则表现为维护记录缺失、操作不规范或人工修正延迟。不同水质参数间的耦合关系 (如温度变化对溶解氧浓度的影响) 会放大误差传播效应, 引发数据的交叉失真。随着设备长期运行, 零点漂移、响应灵敏度下降及电极膜老化逐渐积累, 使偏差呈现系统性增长趋势。对误差来源与演变机理的定量分析, 是构建高精度数据校正模型与优化监测体系设计的关键基础。

2.3 数据异常表现与识别难点

地表水自动监测过程中, 异常数据常表现为突变、漂移、异常平稳或周期性失真等形式。传统阈值识别法在多指标关联场景下精度有限, 易将环境突变误判为设备故障。实际监测中, 部分异常值源于真实水质变化, 如污染物瞬时输入或降雨径流冲击, 因此区分“异常现象”与“异常数据”成为数据有效性判断的核心问题。近年来, 多维时间序列分析与机器学习方法被广泛应用于异常检测, 可通过特征提取与模式识别提升识别准确率。然而, 在样本数量有限、数据噪声显著及环境复杂性高的条件下, 算法稳定性与鲁棒性仍有待提高, 需要进一步结合物理约束与统计特征优化模型结构。

3 影响监测数据有效性的主要因素分析

3.1 环境条件变化的干扰效应

地表水监测系统在自然环境中长期运行, 外界环境条件的动态变化对监测数据的影响具有显著的复杂性和非线性特征。温度波动是主要干扰因素之一, 温度升高会加快电化学反应速率, 导致溶解氧 (DO) 与氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 测值出现系统性偏高; 而在低温条件下, 传感器响应滞后现象明显, 造成数据时延与偏移。此外, 水体浊度与悬浮物浓度变化会干扰光学探头的入射与反射信号, 使 COD 与总磷 (TP) 测定结果产生异常波动。雨季期间, 由于地表径流携带大量颗粒污染物及有机物进入水体, 水样复杂度增加, 不仅影响检测准确性, 也加重设备负荷, 加速传感器表面污染与响应衰减。环境电磁干扰、供电电压波动及空气湿度变化等因素也会对信号采集电路产生噪声耦合效应, 形成高频扰动信号, 降低数据稳定性与精度, 给后续数据处理与模型校正带来困难。

3.2 设备性能衰减与维护管理问题

设备老化与管理不规范是造成监测数据偏差的重要内在因素。自动监测系统中的电极、光学探头等关键元件在长期浸泡与高温环境下易受到污垢附着、电极膜老化及腐蚀作用影响, 使测量响应迟缓或信号漂移。若仪器未能按周期进行标准化校准或校准方法不一致, 不仅会削弱监测结果的准确性, 还可能导致不同站点间数据的可比性下降。部分监测点因运行维护记录不完整、零部件更换不及时, 致使设备性能出现不可逆退化。通信模块的传输延迟、缓存溢出或断线重连也会导致数据包丢失和时间戳错乱, 进一步影响时序分析的连续性。若系统缺乏自动状态诊断与报警机制, 这类问题往往难以及时发现和修复, 从而在长期运行中积累偏差, 对水质评估结果造成潜在干扰。

3.3 采样过程与人工因素干扰

在地表水自动采样过程中, 机械结构与人工操作的不规范均可能引发数据误差。采样管路内的残留污染、过滤装置堵塞或流速控制不稳定会改变样品代表性, 进而影响参数测值的真实性。进样延时或管路滞水现象会导致样品滞后检测, 破坏实时性特征。部分站点在运行中存在人为调整采样频率、修改报警阈值或遗漏校准记录的情况, 使监测数据偏离原设定标准。人工修正环节若依据经验判断而缺乏科学算法支撑, 容易造成“二次偏差”, 削弱数据的客观性与溯源精度。此外, 操作人员技术水平参差不齐、维护流程不统一, 也会增加监测系统的不确定性。研究表明, 规范化运维管理与自动化数据校验机制的建立, 是提升监测数据可靠性的重要保障, 对实现监测体系的标准化与长期稳定运行具有关键意义。

4 数据有效性评价与校正模型构建

4.1 数据有效性评价指标体系

地表水水质自动监测数据的质量评估必须建立在科学、系统的指标体系基础上。为全面反映数据的可信度与适用性, 本文从完整性、准确性、稳定性与一致性四个维度构建评价模型。完整性主要反映数据采集的时序连续性与缺测率; 准确性以人工监测比对数据为参照, 通过相对偏差和拟合优度评价数据偏差程度; 稳定性用于分析监测参数在时间序列上的波动规律与仪器响应一致性; 一致性则用于不同监测站点间或不同指标间数据的交叉验证。各维度指标通过层次分析法 (AHP) 确定权重, 确保评价结果兼顾主观经验与客观数据特征。结合模糊综合评价模型, 可将数据质量等级划分为“高可信”“中可信”“低可信”三个层级, 实现多指标定量与定性评价融合。该体系不仅能识别影响数据有效性的关键环节, 还为后续校正模型提供权重依据和动态修正参考。

4.2 多维数据校正模型

针对地表水自动监测中多源误差叠加与非线性扰动问题, 研究构建了物理约束与数据驱动融合的双层校正模型。

物理层以传感器响应函数与漂移补偿方程为基础,通过温度校正、零点漂移修复与响应线性化实现初级误差消除。数据驱动层则利用长短期记忆网络(LSTM)与自编码器(Autoencoder)进行高维时间序列重构,对残余误差与异常波动进行自学习修正。通过贝叶斯动态融合机制,模型可根据环境参数变化与噪声强度调整两层权重,实现自适应平衡。物理模型保证数据的可解释性,数据驱动模型提升复杂场景下的预测精度,两者结合显著增强了模型的鲁棒性与泛化性能。实验表明,该融合模型在多参数漂移与高频扰动环境中表现出较高稳定性,为地表水自动监测数据的智能校正提供了可推广的技术路径。

4.3 异常识别与趋势重构算法

为了保证监测序列的物理合理性与连续性,本文设计了基于多尺度时序分析与密度聚类(DBSCAN)算法的异常识别与趋势重构方法。该算法通过对原始数据进行分解,提取趋势项、周期项与残余项,识别突变点、漂移区间及周期性异常。密度聚类能够有效区分孤立异常与系统性偏差,实现异常源的精准定位。在异常修正阶段,采用滑动窗口回归与邻域插值方法对缺测区间进行趋势补偿,同时结合多参数相关矩阵进行一致性约束,防止数据重构后的失真。对于真实污染事件的异常信号,算法保留其特征形态,避免误删重要环境信息。经验证,该方法在复杂水文条件下能实现对异常数据的高准确识别与平滑修复,使监测序列的趋势保持性与时序稳定性显著提高,确保了水质自动监测数据的科学性与可靠性。

5 实证研究与结果分析

5.1 研究区域与数据来源

本研究选取长江中下游典型河段的三个国家地表水自动监测站点作为研究对象,区域涵盖工业、农业与城市综合用水区,代表性较强。监测周期自2023年1月至2024年6月,采集频率为每30分钟一次,形成连续高密度时序数据。监测指标包括水温(T)、pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)及总磷(TP)等核心参数,涵盖水体物理、化学与生物特征信息。为验证校正模型的有效性,研究在监测断面附近设置人工采样比对点,每月同步采集人工检测数据,并记录环境温度、流速、降雨量及水体透明度等辅助参数。数据来源包括国家环境监测总站数据库及现场采样记录,经过预处理后统一格式化与标准化,为后续模型训练与验证提供可靠数据基础。

5.2 模型校正效果验证

原始监测数据在受环境波动与仪器性能漂移影响下存在明显偏差,部分时段出现异常突变与测值漂移。经分析,DO与NH₃-N指标的原始偏差率分别为8.3%和10.6%,在

长周期运行中数据波动性较强。采用本文提出的“物理—数据驱动”双层校正模型后,偏差率显著降低至平均2.1%,校正后监测数据与人工实测结果的拟合优度R²提高至0.94。异常识别模块通过多尺度密度聚类与时序残差分析实现了92.5%的识别准确率,成功定位出因电极污染及采样延时造成的COD异常区间。经趋势重构处理后,校正序列的连续性与物理合理性显著改善,异常干扰信号被有效平滑,数据时间序列特征与环境变化规律保持一致,验证了模型在动态环境下的稳定性与适用性。

5.3 应用效果与方法推广

模型的应用结果表明,其在不同类型的地表水监测环境中均表现出良好的泛化性能与操作可行性。通过引入动态权重融合算法,模型能够自适应调整参数,在高频波动、极端气象或数据缺失条件下仍保持高精度输出。系统可在区域水环境监测网络中快速部署,实现对多站点数据的实时接入与校正。与传统单一统计修正法相比,该方法在异常识别、数据平滑及趋势保持方面具有显著优势,提升了数据的连续性与可信度。未来应用可结合云端计算与边缘处理技术,实现模型的在线更新与远程自校正,构建覆盖流域尺度的智能化水质监测体系。该方法在流域污染溯源、突发事件预警及监管决策支持中具有广阔的推广价值,可为生态环境监测的数字化与智能化转型提供坚实技术支撑。

6 结语

地表水水质自动监测数据的有效性是保障环境决策科学性的基础。本文通过分析监测系统误差形成机理,提出结合物理机制与智能算法的综合校正体系,实现了对数据异常与漂移的精准识别与修正。实证研究表明,该模型能有效提高数据一致性与稳定性,为水质动态评估与污染预警提供可靠支撑。未来研究应进一步完善模型的泛化能力,构建全国范围的自动监测数据标准化校验平台,实现多源数据的实时互通与协同优化。通过算法智能化与系统融合化的持续推进,水环境监测将从单一数据采集迈向综合决策支持阶段,为我国生态环境治理体系现代化提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 范范祺.地表水环境监测与数据分析平台的设计与实现[D].浙江师范大学,2023.
- [2] 穆岩.水质自动监测系统(COD/TOC)数据有效性控制技术研究[D].河北科技大学,2013.
- [3] 张俊龙.基于水质自动监测数据的闽江流域水质评价研究[D].福州大学,2021.
- [4] 陈泓霖,邱国良.地表水水质自动监测站数据与手工监测数据比较分析[J].仪器仪表与分析监测,2020,(01):36-39.
- [5] 黄杰.地表水水质自动监测集成控制系统的设计[D].华中科技大学,2016.

Discussion on Soil Environmental Assessment Method in Environmental Impact Assessment System

Shuyan Hu

Shanxi Xinruiquan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

As a core component of the environmental impact assessment system, soil environmental evaluation plays a pivotal role in ensuring the rational use of resources and sustainable social development. To safeguard soil safety and maintain ecological balance, it is essential to rigorously apply evaluation methodologies, including current status assessments, impact prediction analyses, and comprehensive effect evaluations. By integrating key elements such as air, water, and biological factors, the quality and effectiveness of soil environmental assessments can be significantly enhanced. This provides valuable references for optimizing subsequent soil resource utilization and decision-making, thereby contributing to the advancement of socialist ecological civilization and sustainable societal development.

Keywords

Environmental Impact Assessment; Soil Environmental Assessment Methods; Environmental Protection; Ecological Civilization Construction

浅谈环境影响评价体系中的土壤环境评价方法

胡书彦

山西欣瑞泉环保科技有限公司, 中国·山西太原 030000

摘要

土壤环境评价是环境影响评价体系的核心组成部分, 落实土壤环境评价可以为资源的合理利用和社会的可持续发展奠定良好的基础和保障, 确保土壤安全性及生态平衡, 需要紧抓土壤环境现状评价、土壤环境影响预测评价、土壤环境综合效应评价等相应关键重点合理应用评价方法, 大气、水、生物等关键要素的枢纽提高土壤环境评价的质量和效果, 为后续土壤资源的开发利用和决策的优化调整提供更多的信息参考, 助力社会主义生态文明建设及社会的可持续发展。

关键词

环境影响评价; 土壤环境评价方法; 环境保护; 生态文明建设

1 引言

经济社会的迅速发展以及人们素质的不断提升使得现阶段人们对于环境保护问题给予的关注和重视变得越来越高。土壤作为生态系统的重要载体, 是连接大气、水、生物等关键要素的枢纽, 其环境质量对于生态系统的稳定性和服务功能会产生较大的影响。因此在环境影响评价中土壤环境影响评价是十分重要的组成部分, 明确土壤环境影响评价方法在环境影响评价体系中的核心价值、了解不同方法的应用场景是十分必要的。

2 环境影响评价体系中土壤环境评价方法的核心价值

土壤环境评价方法是开展土壤环境影响评价的重要技术支撑, 其科学性、适切性对于评价结果的可靠性、真实性会产生较大的影响, 进而对后续环评决策制定的合理性产生较大的冲击, 因此在环境影响评价体系中占据着不容忽视的地位。在环评工作落实的过程中需通过土壤环境评价方法的科学选择有效识别项目建设期、运营期及退役期各阶段对土壤环境所产生的影响和冲击, 为后续决策的制定提供量化依据, 预判土壤污染、土壤退化等相应潜在风险点, 为源头防控、过程管控和末端治理提供更多的帮助。因此保障土壤环境评价方法选择的适切性与针对性是十分必要的, 而在不同场景下适宜的方法是存在鲜明差异的^[1]。

【作者简介】胡书彦(1984—), 女, 中国河北石家庄人, 硕士, 中级, 从事环保咨询, 环境影响评价工作。

3 土壤影响评价体系中常见的土壤环境评价方法

3.1 土壤环境现状评价方法

土壤环境现状评价是土壤环境影响评价的基础环节,需要对评价区域内部的土壤当前质量进行评价和分析,明确其理化性质和生态功能。在土壤环境现状评价中可供借鉴和选择的方法是相对较多的,而应用频率相对较高的方法主要包含单因子指数法、综合污染指数法和内梅罗指数法三种方法,如图1所示。这三种方法都可以通过质量指标与评价标准对比的方式明确土壤环境现状,区别在于单因子评价结果的整合与分析方式存在一定差异。单因子指数法是以土壤中各污染物质的实测浓度和相应评价标准限值的比值为核心进行分析,可以有效反馈土壤中某一污染物质的污染程度。优势在于逻辑简单、结果直观,能够有效识别土壤中的污染因子,是现阶段土壤现状评价中应用频率最高、应用范围最广的技术,同时也是综合评价的基础。综合污染指数法是在单因子指数法的基础之上通过加权平均、算术平均等不同方法生成综合污染指数,以此来反馈被评价区域的整体污染情况^[2]。这其中,加权平均法可以根据不同污染物对土壤环境的危害程度来确定不同的权重,让评价结果更契合于实际环境影响特征,有效弥补了单因子指数法无法反映土壤环境整体状况的不足。而内梅罗指数法则可以有效兼顾土壤中污染物的平均污染水平和最大污染水平,可通过计算平均指数和最大指数来反映土壤现状,该种技术方法对于高浓度污染物更为敏感,在工业园区土壤现状调查中得到了广泛应用。除上述土壤污染评价方法以外在土壤环境现状评价中还可以通过土壤生态功能评价和土壤理化性质评价来对土壤的pH值、容重、有机质含量、孔隙度、生物多样性支撑能力、土壤生产力、水土保持能力进行评价,判断土壤生态功能和理化性质。这些方法可以为生态敏感区划定、农业产区划定及现状分析提供更多帮助。

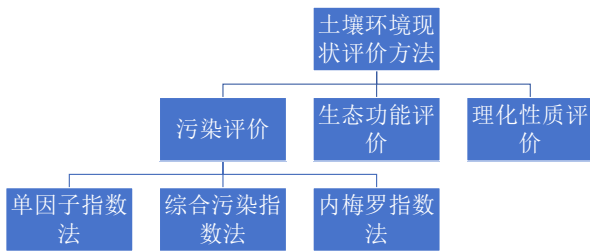


图1 土壤环境现状评价方法

3.2 土壤环境影响预测评价

土壤环境影响预测评价可以在现有数据的基础之上预测接下来一段时间内土壤环境的变化,可以为土壤污染的提前预防、治理提供更多的帮助。保障土壤环境影响预测评价的科学性和评价结果的准确性也是十分必要的。而在影响预测评价的过程中可通过定性预测和定量预测两种方法来满

足不同评价场景的需求。在定性预测上可根据建设项目的污染源、源强、排放方式、影响途径以及该地区土壤的环境特征、水文地质条件来判断接下来一段时间内土壤环境可能发生的变化及其所带来的影响。该方法并不需要过于复杂的数据分析,更依赖于评价人员的专业素养、经验及对项目和区域情况的把握,多应用于土壤环境影响等级较低、污染排放较为简单或背景较为清晰的建设项目,例如小型民用建筑项目、轻污染的服务业项目等,是快速评定土壤环境影响的重要手段^[3]。

定量评价相较于定性评价更加精准,能够得出量化数据,为后续的土壤污染治理及技术管理提供更多的帮助。而在定量预测的过程中需要构建数学模型,收集整合土壤环境参数、区域水文地质数据、污染排放数据等相应的数据信息,然后利用数学模型分析土壤中污染物的迁移转化规律、浓度变化趋势,精准预测污染物在土壤中的累积量、影响范围和污染程度。该种技术方法是土壤环境影响预测评价的核心方法,可以满足复杂环境下的预测需求,例如在化工、冶金、矿产开发、固体废弃物处理等相应项目中都需要采用该方法。在定量预测模型构建时可以根据使用需求选用土壤表层累积模型、土壤垂向迁移模型、土壤侧向迁移模型等相应模型,更精准地预测分析污染物的输入、迁移、降解规律,实现精准预测。

此外,在土壤环境影响预测评价中类比分析法也是常用的补充方法,该种技术方法是选择与评价项目类似的项目,判断其对土壤环境造成的影响。该种技术方法能够有效弥补数学模型在参数选取、过程模拟中存在的欠缺和不足,使预测结果更能够贴合实际状况,可通过多种方法相互配合的方式达到较好的预测效果^[4]。

3.3 土壤环境综合效应评价

在土壤环境影响评价中土壤环境综合效应评价是收尾环节,需要在现状评价和预测评价的基础之上分析建设项目对土壤环境造成的整体影响,例如是否会影响土壤环境质量、生态功能,以及是否会影响周边居民的身心健康等。在土壤环境综合效应评价中常用的评价方法主要包含模糊综合评价法、层次分析法和生态风险评价法。这些方法都可以突破单一污染浓度评价的视角,从多个维度、多个角度来对土壤环境影响进行综合评定。模糊综合评价法是通过模糊数学理论的应用完成土壤环境评价中模糊性、不确定性问题的定量化处理,生成权重集、评价等级集以及评价因素集,有效解决在土壤环境影响评价中等级界定不清晰、指标模糊等相应问题,为土壤环境综合评价提供更多帮助,是现阶段土壤环境评价中应用范围相对较广的一种技术方法。

层次分析法则是在土壤综合效应评价中将评价内容分解为目标层、准则层、指标层等不同层次,通过构建判断矩阵确定不同层次指标的权重,然后结合评价结果逐层加权计算得出最终的评价结果。该种技术方法的核心优势是可以将

综合性问题、复杂性问题系统化、层次化处理,通过确定不同评价指标的权重使评价结果能够更贴合于实际情况。需要工作人员根据评价需求将土壤污染程度、土壤理化性质变化、土壤生态功能影响、人居环境健康风险等作为准则层指标构建评价指标体系,完成对土壤环境的综合评价^[5]。

生态风险评价法则是从生态系统出发分析建设项目在建设及投入使用以后可能会产生的污染物及对环境所产生的影响和冲击,主要包含风险识别、风险分析、风险表征三个核心环节。该种技术方法相较于传统的浓度评价方法可以将评价重点转向潜在损害,能够更好地满足环评工作中生态风险管控的实际需求,尤其是在生态敏感区、土壤生物多样性丰富的区域的建设项目土壤环境评价中应用可以达到较好的应用效果。

4 环境影响评价体系中土壤环境评价的质量保障措施

为更好地保障土壤环境评价结果的准确性、真实性和可靠性,相关单位还可从如下几点着手完善保障措施。首先,需要建立标准体系,保障土壤环境评价的规范性。这就需要结合我国环境影响评价工作的实际情况和土壤环境保护需求明确土壤质量标准、土壤污染风险管控标准,生成土壤环境评价方法标准体系,明确不同评价方法的适用范围、应用流程、应用标准,规范工作人员的实践操作,使相关人员能够根据建设项目的行业类型、污染特征、土壤环境影响等级、区域土壤环境特征来对土壤评价方法作出科学选择,保障评价方法应用的适切性、科学性、针对性,为获得准确的数据信息提供技术支撑。

其次,需要做好评价方法的耦合融合,即通过加强方法之间的衔接、环节之间的衔接提高综合评价效能。这就需要做好土壤现状评价与影响预测评价的有效衔接,例如可以将现状评价数据作为影响预测评价的基础数据对预测模型参数作出适当调节,避免采用默认参数致使预测偏差。同时可以将现状评价中识别的主要污染因子、土壤环境敏感点作为影响预测评价的重点,精准预测。在此基础之上需要对综

合效应评价法作出适当调节,根据现状评价和影响预测评价的评价结果动态分析项目实施后土壤环境浓度变化、生态功能变化,明确项目推进落地对土壤环境的影响程度和变化趋势,使综合效应评价从静态叠加转向动态分析。还可通过不同评价方法的深度融合提高工作效率,例如可以将类比分析法与定量预测模型融合提高预测精度等。

最后,可通过评价方法的创新优化赋能环评工作。可与相关科研单位建立合作关系,通过沟通交流明确土壤环境影响评价的实际需求,并将大数据技术、人工智能技术、遥感技术、地理信息系统等相应现代化技术融入到土壤环境影响评价当中,通过现代化信息技术赋能来提高工作质量、工作效率,保障评价结果准确、真实、可靠,同时这也可以有效降低工作成本,一举多得^[6]。

5 结语

土壤环境评价是环境影响评价体系中的重要组成部分,保障评价结果的科学性、精准性、真实性至关重要,必须引起关注和重视。可通过现状评价、预测评价、综合效应评价等相应技术方法的有效选择获得准确信息,配合标准体系构建、评价方法及阶段融合、评价方法创新提高土壤环境影响评价的质量和效能。

参考文献

- [1] 冯晓,纪滨玲,窦金婷. 环境影响评价体系中的土壤环境评价探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (11): 75-77.
- [2] 梁志锋. 环境影响评价体系中的土壤环境评价研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4 (15): 69-71.
- [3] 张娇林. 环境影响评价体系中的土壤环境评价研究[J]. 清洗世界, 2023, 39 (02): 134-136.
- [4] 李建斌. 环境影响评价体系中土壤环境评价的探究[J]. 大众标准化, 2021, (15): 59-61.
- [5] 张建敏. 环境影响评价体系中土壤环境评价的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2 (07): 24-25.
- [6] 王蓓,马汀,王艳霞. 环境影响评价体系中土壤环境评价的思考[J]. 绿色环保建材, 2021, (01): 53-54.

Comparative Study on Treatment Process of Low Temperature Methanol and High Ammonia Nitrogen Mixed Wastewater

Wenfeng Zhao

China Coal Technology and Engineering Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

Through analyzing the advantages and disadvantages of the SBR process and multi-stage A/O process, this study investigates the treatment effectiveness of low-temperature methanol and high-ammonia nitrogen mixed wastewater. It further explores the feasibility of meeting the water quality requirements for pollutant discharge concentrations specified in the "Pollutant Discharge Standards for Coal Industry" (GB20426-2006) and the "Comprehensive Sewage Discharge Standards for the Yellow River Basin in Shaanxi Province" (DB 61/224-2018) for the wastewater from the Huaxian Station gasification plant in the Shenwei Pipeline Project's surplus coal slurry application engineering.

Keywords

SBR process; A/O process; gasification wastewater

低温甲醇与高氨氮混合废水处理工艺对比研究

赵文峰

中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要

通过对SBR工艺及多段A/O工艺工艺优缺点的分析, 分别研究对低温甲醇与高氨氮混合废水处理效果, 探析神渭管道项目富余煤浆应用工程华县站气化废水出水水质达到《煤炭工业污染物排放标准》(GB20426-2006)和《陕西省黄河流域污水综合排放标准》(DB 61/224-2018)工业区集中污水处理厂的水污染物排放浓度限值的水质要求的可能性。

关键词

SBR工艺; A/O工艺; 气化废水

1 引言

神渭管道项目富余煤浆应用工程技术研究中心方案中华县站用提浓废水将置换陕化生产产生的低温甲醇废水 8m³/h、高氨氮废水 12m³/h, 共计 20m³/h。置换后华县终端站废水来源分为两部分: 一是提浓站产生的提浓废水(70m³/h), 二是陕化生产装置产生的气化废水(35m³/h), 在提浓站新建处理规模为 105m³/h 废水处理站, 出水达到《煤炭工业污染物排放标准》(GB20426-2006)和《陕西省黄河流域污水综合排放标准》(DB 61/224-2018)工业区集中污水处理厂的水污染物排放浓度限值的水质要求, 利用陕化现有排污口达标排放。

【基金项目】中煤科工西安研究院(集团)有限公司科技创新基金(基金项目: 2024XAJS16)。

【作者简介】赵文峰(1987—), 男, 中国山东滕州人, 硕士, 工程师, 从事水污染控制工程研究。

2 工艺对比

提浓废水处理主要是针对煤粉尘等悬浮物的处理, 处理工艺主要为沉淀、过滤等, 气化废水属于高硬度、高氨氮、有机物相对较低、可生化性较差的难处理煤化工废水, 生化工艺的选择尤为重要, 目前生化处理常用工艺主要有 SBR 工艺或者其改进工艺及缺氧/好氧(A/O)工艺等。下面就这两种常用工艺的优、缺点做简单比较。

2.1 SBR 工艺

SBR 反应池又称序批式活性污泥法, 在同一个反应器中完成进水、反应、沉淀、排水、排泥、闲置等工序, 通过对缺氧、好氧的过程控制, 达到去除 BOD、硝化、脱除总氮的目的。

SBR 工艺的运行工况是以间歇操作为主要特征的, 由于多数情况下污水都是连续排放且流量的变化比较大, 这时 SBR 池为多池运行, 污水连续按序列进入每个反应器, 每池在运行的相对关系上是次序的, 也是间歇的。在每个运行周期中, 各个阶段的运行时间、反应器内混合液体积的变化及运行状态都可以根据具体污水性质、出水质量及运行功能

等要求灵活掌握。对于某一单一 SBR 反应池来说,不存在空间上控制障碍,只在时间上进行有效的控制和变换即能达到多种功能要求,是非常灵活的。

SBR 工艺具有以下优点:

- ①工艺流程简单,节省基建费用与运行费用;
- ②运行方式灵活、脱氮效果好;
- ③ SBR 工艺沉淀方式属于理想的静止沉淀方式,沉淀效果好;
- ④能够防止污泥膨胀;
- ⑤耐冲击负荷大、处理有毒或者高浓度有机废水能力强。

2.2 A/O 工艺

A/O 工艺是 80 年代初期开创的处理技术,是一种典型的脱氮工艺,其生物反应池由缺氧、好氧两段组成。这是一种推流式的前置反硝化工艺,其特点是缺氧和好氧两段功能明确,界限分明,可根据进水条件和出水要求,人为地创造和控制时空比例和运转条件,只要碳源充足,便可根据需要

达到比较高脱氮率和有机物的去除。

在缺氧池中,反硝化菌利用污水中的有机物作碳源,将回流混合液和回流污泥中带入的大量 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 还原为 N_2 释放至空气,溶解性有机物被细胞吸收而使污水中 BOD_5 浓度下降, NO_3^- -N 浓度大幅度下降。在好氧池中,有机物被微生物生化降解, BOD_5 浓度继续下降;氨氮被硝化,使 NH_3 -N 浓度显著下降。

A/O 工艺具有以下特点:

- ①属于比较简单的同步脱氮工艺;
- ②在反硝化反应过程中,产生的碱度可补偿硝化反应消耗的碱度的一半左右;
- ③反硝化反应以原废水中的有机物作为碳源,因此运行费用较低;
- ④由于有单独的污泥回流及混合液回流系统,处理方式较灵活,便于控制。

结合本项目的水质特点,从以下几个方面对两种工艺进行比较分析:

生化处理工艺比较

项目	SBR 工艺	A/O 工艺
曝气方式	采用鼓风机和曝气器,曝气器采用碟式射流曝气器,避免了微孔曝气器运行过程中的堵塞问题	用鼓风机和曝气设备组合方式,曝气设备为微孔曝气器。
沉淀方式	沉淀阶段不进水,属于理想的静止沉淀	动态沉淀
运行方式	不需污泥回流设备及混合液回流设备,各工序的运行时间可根据进水水质调整,运行方式非常灵活	需设污泥回流设备及混合液回流设备
系统稳定性	耐冲击负荷能力强,运行稳定	系统易受冲击

3 工艺确定

煤浆提浓废水首先进入预沉调节池初步沉淀,同时调节水量、均化水质后由预沉调节池提升泵提升到絮凝沉淀池。在絮凝沉淀池反应区投加混凝剂 PAC 和絮凝剂 PAM,在沉淀区进行高效固液分离沉淀,去除大部分煤粉尘等悬浮物和胶体物质后废水进入中间水池。

陕化厂输送来的气化废水等煤化工废水先经集水池提升泵泵入除硬处理单元,通过在一体化设备中投加 NaOH、PAC、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaCO_3 等药剂,利用溶度积原理使废水中所含的硬度在药剂的作用下形成难溶性化合物而被去除,随后进入调节池,调节水量、均化水质后,由调节池提升泵泵入生化处理池,缺氧池中的污水在反硝化细菌的作用下,与好氧池回流的硝化液接触进行反硝化反应,释放氨气;缺氧后污水进入好氧池,在好氧池中间歇曝气和搅拌,经过持续经过好氧、缺氧作用, COD、氨氮逐步被代谢降解。生化

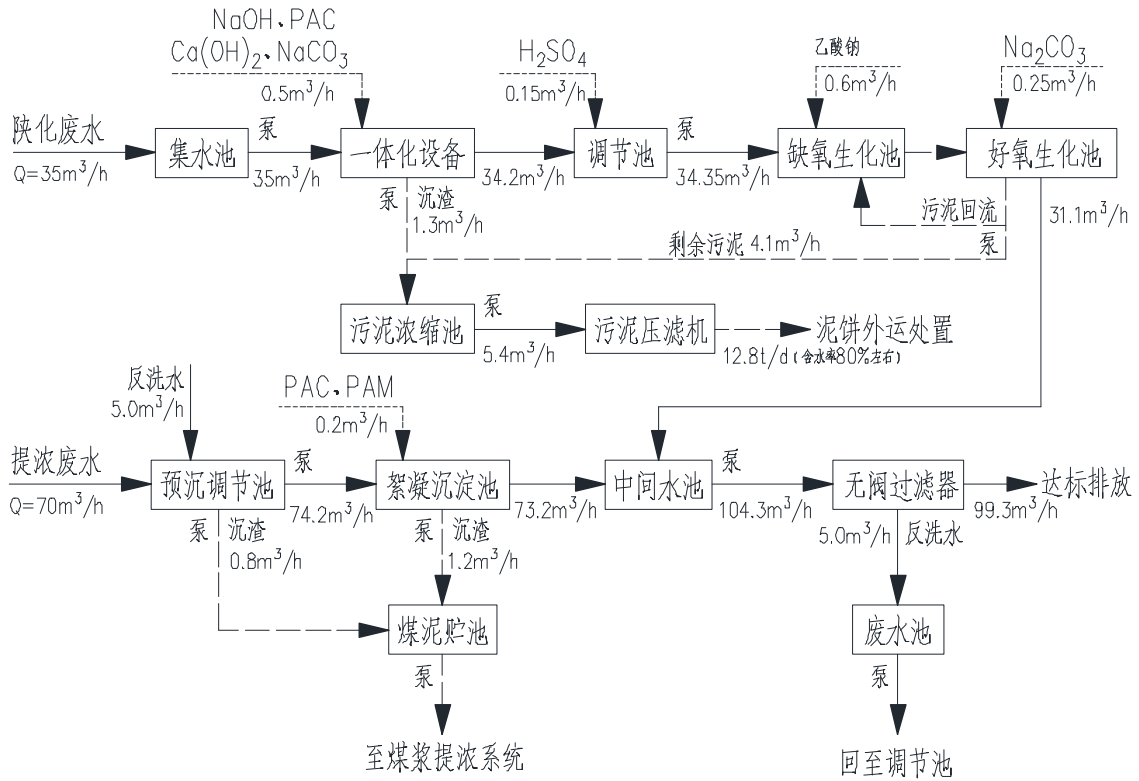
过程中需投加乙酸钠、 Na_2CO_3 ,补充碳源和碱度。持续硝化、反硝化处理后的废水进入中间水池。

经过絮凝沉淀后的煤浆提浓废水和生化后的煤化工废水在中间水池缓存,通过中间水池提升泵进入重力无阀过滤器,通过石英砂滤料的截留、吸附、过滤后进行次氯酸钠消毒,消毒后的水即可达标排放。

预沉调节池和絮凝沉淀池的沉渣,由排泥泵输送到煤泥贮池,泵送至煤浆提浓工序回用。生化池的剩余污泥由排泥泵输送到污泥浓缩池,污泥浓缩池中的沉泥经过自然沉淀浓缩后由污泥进料柱塞泵泵至高压板框压滤机进行脱水处理,脱水后的泥饼作为固废外运处置。

污泥浓缩池上清液、板框压滤液、板框冲洗水、过滤器反洗水和废水处理站区清扫水等通过排水沟自流进入废水池,然后回流至调节池。

工艺流程图:



参考文献

[1] 秦桂海. 烟台套子湾污水处理厂(一期)一级A升级改造[J]. 中国给水排水, 2018, 34(10): 82-85, 90.

[2] 秦桂海. 烟台辛安河污水处理厂工程的升级改造[J]. 中国给水排水, 2018, 34(12): 95-97, 102.

[3] 何翔. 深度处理技术用于北京某污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水, 2018, 34(8): 80-84.

[4] 高飞亚, 李金河. Bardenpho+MBR工艺用于污水处理厂的升级改造[J]. 中国给水排水, 2019, 35(6): 99-101.

[5] 董洋, 汪德金, 余波. 多级AO工艺用于全地下式北京碧水污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水, 2018, 34(2): 59-62.

Research progress on environmental fate and traditional treatment technologies of perfluorinated and polyfluoroalkyl substances (PFAS)

Meijuan Cao Xiaopei Wu Qiaole Song Shasha Li Ji Yang Luyao Pei

School of Graphic Communication and Packaging Engineering, International Science and Technology Cooperation Base for Green Printing and Publishing Technology, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China

Abstract

Perfluoro and polyfluoroalkyl substances (PFAS) have been widely used in industrial production and daily life due to their strong chemical and thermal stability of C-F bonds and their oleophobic and hydrophobic properties. However, they have become global pollutants due to their environmental persistence. This article systematically reviews the environmental fate characteristics of PFAS, including the pollution history since industrialization in the mid-20th century, the spatial distribution patterns in different regions of the world, and their migration mechanisms and key influencing factors in multiple media such as water bodies, soil, atmosphere, and organisms. It comprehensively analyzes the core limitations of traditional physical, chemical, and biological treatment technologies in terms of treatment efficiency, operating costs, secondary pollution, and technical operability, providing basic support for understanding the current status of PFAS pollution and the development of new treatment technologies in the future.

Keywords

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS); Computational chemistry; Environmental fate

全氟和多氟烷基物质 (PFAS) 的环境归趋与传统治理技术研究进展

曹梅娟 吴晓佩 宋巧乐 李莎莎 杨霁 裴璐尧

北京印刷学院印刷与包装工程学院绿色印刷与出版技术国际科技合作基地, 中国 · 北京 102600

摘要

全氟和多氟烷基物质 (PFAS) 因 C-F 键的强化学与热稳定性及疏油疏水特性, 被广泛应用于工业生产与日常生活, 却因环境持久性成为全球性污染物。本文系统梳理 PFAS 的环境归趋特征, 包括 20 世纪中叶工业化以来的污染历史、全球不同区域的空间分布规律, 以及其在水体、土壤、大气、生物等多介质中的迁移机制与关键影响因素; 全面剖析传统物理、化学、生物治理技术在处理效率、运行成本、二次污染及技术可操作性等方面的核心局限, 为理解 PFAS 污染现状及后续新型治理技术研发提供基础支撑。

关键词

全氟和多氟烷基物质 (PFAS); 计算化学; 环境归趋

1 引言

PFAS 是一类含碳 - 氟键 (C-F 键能约 485 kJ/mol) 的人工合成有机化合物, 核心结构含至少一个全氟烷基链段, 凭借极端的化学和热稳定性及独特的疏水疏油特性, 广泛用

用于不粘锅涂层、消防泡沫、食品包装、电子元件等领域。

然而, 强稳定性导致 PFAS 在自然环境中难以降解, 成为典型的“永久化学物质”, 其污染已蔓延至全球大气、水体、土壤, 甚至极地、青藏高原等偏远区域。PFAS 具有显著的生物累积效应与食物链放大特性, 可在动植物及人体组织中富集, 与肥胖、内分泌紊乱、免疫系统损伤及多种癌症密切相关, 同时还会破坏生态系统结构与功能, 引发严峻的环境与健康危机。

国内外学者已围绕 PFAS 环境归趋开展大量研究, 厘清了其污染历史与空间分布特征, 明确了多介质迁移规律, 但传统治理技术仍面临诸多瓶颈。本文旨在系统总结 PFAS 的

【基金项目】国家重点研发计划政府间国际科技创新合作专项 (项目编号: 2023YFE0113800)。

【作者简介】曹梅娟 (1980—), 女, 中国山东宁津人, 博士, 副教授, 从事功能高分子导电油墨, 导电高分子与电子标签 (RFID), 仿生 (绿色) 催化, 量子化学计算研究。

环境归趋核心特征与传统治理技术的局限性，为后续污染防治与技术创新提供理论参考。

2 PFAS 的环境归趋特征

2.1 时空分布规律

2.1.1 时间演变

PFAS 污染可追溯至 20 世纪中叶大规模工业化时期，当时其被广泛应用于矿业、运输业、建筑业、半导体行业等多个领域，但由于对其环境危害认识不足，生产、使用及废弃过程中的无序排放导致其持续进入环境。例如，美国杜邦公司 1946 年合成全氟辛酸（PFOA）并用于制造特氟龙，1947 年便发现其潜在健康风险却未公开，导致 PFAS 在全球范围内长期广泛使用；日本二战后经济高速发展时期大量引入含 PFAS 化学品，如今约两成自来水企业检测出 PFAS，部分地区出现致癌超标事件。随着研究深入与公众认知提升，各国逐步出台法规限制其使用，但历史排放与环境持久性仍使其污染问题持续存在。

2.1.2 空间格局

PFAS 污染在全球呈现显著地域差异：工业化程度高、人口密集的欧美发达国家及日本、韩国等亚洲国家污染更为严重。美国 Volk Field 空军国民警卫队基地地下水 PFAS 浓度达 23,000 ng/L，超标 1150 倍，64 个军事基地地下水浓度超 100,000 ng/L；日本东京、大阪等 81 个地点的河流和地下水全氟辛烷磺酸（PFOS）、PFOA 浓度超标，44 处“专用水道”存在污染。中国珠三角、长三角等经济发达、工业密集区域污染突出，电镀园区废水中 PFOS 检出率达 100%。即使在青藏高原等偏远或生态脆弱地区，受大气沉降等迁移过程影响，湖泊等环境介质中也已检出 PFAS，且高脆弱性湖泊中其组成、浓度和多样性存在明显差异。2024 年研究显示^[1]，全球超 5% 水源（部分地区超 50%）PFAS 浓度超标，澳、中、欧美为污染热点区域。

2.2 多介质迁移机制

PFAS 的污染扩散与其在水体、土壤、大气、生物等多介质间的迁移过程密切相关，迁移行为受自身分子结构、介质理化性质及环境条件共同调控。

2.2.1 水体迁移

PFAS 在水环境中具有持久性，通过微观吸附 - 溶解行为与宏观水动力过程实现迁移。微观层面，部分 PFAS 可吸附于悬浮颗粒或沉积物表面，随颗粒物沉降再悬浮迁移；全氟羧酸盐（PFCAs）、全氟磺酸盐（PFSAs）等因含极性官能团，可与水分子形成氢键，以溶解态扩散。沉积物 / 水分配系数（ K_d ）和有机碳归一化分配系数（ K_{oc} ）影响其在水 - 固相间的分配，高 K_{oc} 值会限制其地下水迁移。宏观层面，PFAS 通过地下水流对流、弥散扩散实现水平与垂直迁移，在河流、海洋等水体中通过沿岸流等进行跨区域扩散，潮汐作用也会影响局部水体中的迁移。迁移过程受多重因素调控：短链 PFAS 因分子体积小，迁移能力强于长链；pH 值

升高会增强 PFAS 解离度，提升迁移能力；水体有机质通过与 PFAS 相互作用，改变其在界面的分配行为，进而影响迁移路径与速率。

2.2.2 土壤迁移

PFAS 进入土壤后，通过吸附、解吸、扩散和淋溶等过程迁移，核心影响因素包括土壤性质、自身结构及环境条件。土壤酸碱度通过改变 PFAS 电离程度影响静电作用，酸性条件下土壤颗粒表面正电荷增加，与带负电的 PFAS 静电斥力增强，促进迁移^[2]；短链 PFAS 因分子体积小，易穿过胶体孔隙并结合活性位点，垂向扩散能力显著高于长链；羧酸类 PFAS 在土壤固相吸附占比更高，源于其与土壤颗粒表面的氢键作用强度更高。环境条件方面，大量降雨或灌溉会增强淋溶作用，促进 PFAS 向深层土壤或地下水迁移；温度升高会提升其解吸速率与扩散速度，影响迁移进程。

2.2.3 大气迁移

PFAS 在大气中的迁移涉及气 - 粒分配、传输与沉降等过程，温度是气 - 粒分配的关键影响因素，高温会降低气粒分配系数，促使更多 PFAS 以气相形式存在，且长链 PFAS 的温度依赖性更为显著。PFCAs 浓度与颗粒物表面有机质含量呈显著正相关（ $R^2=0.72$ ），且在细粒径（ $<2.5 \mu m$ ）颗粒中富集程度更高，源于细颗粒更大的比表面积与有机质的吸附作用。传输过程中，PFAS 呈现城市 - 农村梯度分布，城市群大气中浓度约为周边农村地区的 3-4 倍；沉降包括干沉降与湿沉降，湿沉降贡献度更大，雨水可吸附或溶解 PFAS，使大气浓度瞬时降低 60%-85%，且降雨初期高湿度可能促进颗粒物表面 PFAS 前体物非均相降解，导致其浓度短时间升高后再被清除。此外，海浪可将海中 PFAS 抛至大气，海洋喷雾气溶胶能将其从海洋传输至数百公里外的内陆，大气环流与局地风场是长距离传输的重要驱动因素。

2.2.4 生物迁移

PFAS 在生物体中的迁移分为植物、动物和微生物三个方向。植物中，PFAS 通过根系从土壤或水体吸收，或经叶面气孔渗透、表皮吸附进入体内，再通过木质部随蒸腾流向上运输，部分经韧皮部再分配；短链 PFAS 亲水性强，在木质部汁液中浓度高、扩散快，长链 PFAS 疏水性强，易被有机质或细胞壁吸附，运输效率较低。食物链中，PFAS 呈现生物放大效应，如中国海岸带海洋生物中，PFOS 浓度从低营养级到高营养级逐渐上升，哺乳纲生物体内浓度显著高于其他纲。微生物可通过静电吸附或络合作用富集 PFAS，部分厌氧微生物还能产生还原性物质，促进 PFAS 脱氟降解，影响其在污泥相和水相间的分配^[3]。

3 传统治理技术的核心局限

针对 PFAS 污染，目前已形成物理、化学、生物三类传统处理技术，但受限于 PFAS 强化学稳定性、复杂环境行为及技术本身的固有缺陷，三类技术均存在显著瓶颈，难以满足污染治理中高效性、经济性与环境友好性的综合需求，无

法从根本上解决全球性 PFAS 污染危机。

3.1 物理处理技术

物理处理技术以活性炭吸附法、膜分离技术为核心, 辅以沉淀、离心分离等手段, 核心原理是通过相转移分离 PFAS 与污染介质, 未破坏污染物分子结构, 存在诸多固有限制。

活性炭吸附法因孔隙发达、比表面积大, 广泛应用于水处理及土壤原位修复, 对 PFOA、PFOS 有一定吸附能力, 但短板突出: 一是选择性差, 短链 PFAS (如 PFBA、PFPA) 疏水性弱、分子体积小, 与活性炭疏水作用弱且易穿透孔隙, 吸附效果远差于长链; 二是吸附容量有限, 常规颗粒活性炭对 PFOS 饱和吸附量仅 50-150 mg/g, 高浓度场景下易达平衡, 如电镀园区废水处理中, 活性炭更换周期仅 15-20 天, 成本激增; 三是再生难度大, 高温 (800-1000°C) 或化学再生不仅能耗高, 还可能导致 PFAS 二次释放, 废弃活性炭处置不当亦会引发二次污染。膜分离技术中, 反渗透 (RO)、纳滤 (NF) 截留 PFAS 效率较高, RO 截留率超 95%, 但挑战重重: 膜易被悬浮颗粒、有机物污染及无机离子结垢, 需定期化学清洗, 缩短 2-3 年的使用寿命并增加成本; RO 需 1-6 MPa 高压驱动, 能耗为传统砂滤的 5-8 倍, 膜材料昂贵限制大规模应用; 会产生 5%-10% 的高浓度浓缩液, 需进一步处理否则易形成新污染点。此外, 超滤 (UF) 等低压膜因孔径大, 对短链 PFAS 截留率不足 60%, 难达排放标准。综上, 物理处理技术仅实现 PFAS 转移而非降解, 污染物仍留存于环境中, 在处理效率、运行成本及二次污染防治上均难达理想效果。

3.2 化学处理技术

化学处理技术通过破坏 PFAS 化学结构实现降解, 主要包括高级氧化技术 (AOPs)、焚烧法、还原脱氟技术等。但受 PFAS 中 C-F 键高键能 (约 485 kJ/mol) 限制, 这类技术普遍存在反应条件苛刻、成本高昂、二次污染风险大等问题。AOPs 是目前研究热点, 核心为生成羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 攻击 C-F 键, 涵盖光催化、电催化、臭氧、超声氧化等。其显著短板的: 一是反应条件严苛, 需依赖特定设备, 如光催化需 254 nm 以下紫外光, 电催化需 50-100 mA/cm² 高电流密度, 超声氧化需 20-100 kHz 设备, 投资成本高; 二是能耗与试剂消耗大, 电催化降解 1 g PFOA 需耗电 30-50 kWh, 部分工艺还需持续投加氧化剂或催化剂; 三是中间产物风险, 长链 PFAS 易分解为 PFBA 等短链产物, 水溶性与迁移性更强, 部分毒性更高, 处理不彻底会加剧污染。焚烧法理论可将 PFAS 矿化为二氧化碳、氟化氢等, 但实际应用受限: 需 850°C 以上高温及 ≥ 2 秒停留时间, 普通焚烧炉难达标, 温度不足易产生剧毒副产物; 焚烧生成 HF、多环芳烃等, 需复杂尾气处理系统, 小型设施难配套, 易造成大气污染; 仅适用于高浓度废物集中处理, 受运输、选址限制, 难以推广至低浓度水体及偏远场地。还原脱氟技术可在温和条件下断键, 但依赖零价铁等强还原剂, 这类还原剂易氧化失活、需持续补充, 且反应速率慢, 无法满足大规模治理需求。

3.3 生物处理技术

生物处理技术依托微生物代谢降解 PFAS, 兼具环境友好、成本低、无二次污染等潜在优势, 是极具前景的治理方向, 但目前仍停留在实验室阶段, 未实现规模化工程应用, 核心瓶颈集中在降解效率、微生物适应性及机制认知等方面。PFAS 的化学惰性为生物降解的首要障碍, 高键能 C-F 键难以被微生物常规酶系识别断裂, 仅假单胞菌属、芽孢杆菌属等少数微生物被证实有潜在降解能力, 且代谢效率极低。实验室数据显示, 即便在碳氮比 20:1、pH 7.0-7.5 的优化条件下, 微生物对 PFOS 的降解率仅 15%-25%, 半衰期长达 30-60 天, 远不能满足实际治理需求。同时, 微生物对环境适应性极差, 自然环境中的温度波动 (低于 10°C 或高于 35°C)、pH 变化 (酸性土壤 pH<5.5) 及重金属、有机溶剂等共存污染物, 都会显著抑制其活性甚至致其死亡, 难以稳定发挥作用。降解机制不明进一步制约技术发展。目前仅初步发现部分微生物可通过脱氟酶断裂 C-F 键, 但该酶催化效率低、底物特异性强, 仅能作用于短链全氟羧酸, 对长链及 GenX 等新型 PFAS 降解效果甚微。此外, 微生物降解常需甲烷、乙酸等共代谢底物, 投加会增加成本, 过量还可能引发水体富营养化。

规模化应用的工程难题亦未解决。实验室研究多基于批次反应器, 难以直接放大, 生物反应器设计、微生物固定化及反应条件调控等均需突破。例如, 污水处理厂生物单元中 PFAS 降解率通常不足 5%, 核心原因是功能微生物占比极低 (<0.1%), 易受其他微生物竞争抑制, 难以形成优势菌群 [5]。综上, 生物处理技术虽具潜力, 但受限于微生物特性、环境适应性及机制认知不足, 短期内难成主流治理技术, 需大量基础研究与工程试验支撑。

4 结语

PFAS 的环境归趋呈现跨介质、跨尺度、跨物种的特征, 其污染历史悠久、空间分布广泛, 多介质迁移机制复杂, 受自身结构与环境条件的协同调控。传统物理、化学、生物治理技术在机制、效率、成本等方面存在诸多局限, 难以有效解决 PFAS 污染危机。因此, 亟需研发兼具高效性、经济性与环境友好性的新型治理技术, 而深入理解 PFAS 的环境归趋特征与传统技术瓶颈, 是后续技术创新的重要基础。

参考文献

- [1] Ackerman Grunfeld, Diana, et al. "Underestimated burden of per-and polyfluoroalkyl substances in global surface waters and groundwaters." *Nature Geoscience* 17.4 (2024): 340-346
- [2] Abou-Khalil C, Sarkar D, Braykaa P, et al. Mobilization of per-and polyfluoroalkyl substances (pfas) in soils: a review[J]. *Current Pollution Reports*, 2022, 8(4): 422-444.
- [3] Berhanu A, Mutanda I, Taolin J, et al. A review of microbial degradation of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Biotransformation routes and enzymes[J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 859: 160010.

Research on Personnel Capacity Building in the Management of Ecological Environment Monitoring Institution System

Yafan Guo

Xinjiang Lan Zhuo Yue Environmental Protection Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

This paper examines the core value of personnel capacity building in system management within ecological environment testing institutions, based on their operational realities. It identifies prominent challenges in current practices, including recruitment procedures, training programs, performance evaluation processes, and competency alignment. Practical optimization strategies and safeguard mechanisms are proposed to deepen the integration of personnel capabilities with system management. The ultimate goal is to enhance institutional operational efficiency and ensure service quality, thereby contributing to the standardized development of the ecological environment testing industry.

Keywords

Ecological environment testing institutions; System management; Personnel capacity building; Capability enhancement pathways

生态环境检测机构体系管理中人员能力建设研究

郭亚凡

新疆蓝卓越环保科技有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

本文章结合对于生态环境检测类机构运营方面实际状况, 对体系管理工作中人员能力建设工作具备的核心价值开展分析, 对当前机构就人员招聘步骤、培训环节、考核流程、能力适配方面等存在的较为突出的问题进行剖析, 从实际操作这个层面给出具有针对性的优化途径以及保障机制, 其目的在于推动人员能力情况和体系管理工作开展深度相互融合, 提高机构整体运营产生的效能以及检测服务应有的质量, 给生态环境检测所属行业规范化发展进程提供参考。

关键词

生态环境检测机构; 体系管理; 人员能力建设; 能力提升路径

1 引言

伴随生态环境保护工作持续深入推进, 生态环境检测机构作为第三方技术服务主体, 它检测得出结果具备的公信力和专业性越来越受到社会方面关注。体系管理属于检测机构规范运转、保障检测质量的核心举措, 而相关人员作为体系落地具体的执行人员, 这些人员自身的专业素养、操作技能、责任意识都会直接给体系运行带来的效果造成影响^[1]。当下, 很多检测机构虽然构建起比较完善的体系文件, 不过因为人员能力存在不足使得体系出现“空转”情形、检测数据有所失真等问题经常出现。基于这样的情况, 立足机构实际运营呈现出来的场景, 深入探索人员能力建设具有的关键环节以及优化所用策略, 达成人员能力情况和体系管理工作能够同频共振, 成为生态环境检测机构实现高质量发展的重

要课题。

2 生态环境检测机构体系管理中人员能力建设的核心价值

2.1 保障检测数据质量的核心前提

生态环境检测工作具有非常强的专业性, 从样品进行采集、做前处理、使用仪器操作以及到数据进行计算、编写报告, 每一个环节都会有严格的技术规范和操作标准, 而这些标准能得到落实最终要依靠检测人员具备的能力。在体系管理工作当中, 人员能力达到标准是保证检测流程符合规定、数据真实且可靠的基础条件。要是人员缺少扎实的专业知识, 可能会产生样品采集点位存在偏差、做前处理操作不符合规范等问题; 要是操作技能不够好, 容易造成仪器出现故障、数据读取产生误差, 进而对检测结果具有的准确性造成影响。只有人员能力和检测标准、体系要求能够精准契合, 才可以从源头上避免数据失真存在的风险, 给环境治理用到的决策供给可靠的参考依据^[2]。

【作者简介】郭亚凡(1990—), 女, 中国山西临汾人, 硕士, 工程师, 从事生态环境监测研究。

2.2 推动体系管理落地的关键支撑

检测机构所进行的体系管理包含了质量管理方面、安全管理方面、流程管理方面等多个维度内容,体系文件要实现有效执行离不开全体人员的参与行动。人员能力建设工作中不但包括对专业技能进行提升,还涉及对体系文件的理解能力以及执行能力的培养活动。具备较强能力的人员,能够准确地掌握体系文件的核心要求内容,把规范流程转化成为操作习惯,避免体系文件和实际工作出现脱节情况^[1]。同时,具有高素质的人员能够主动去发现体系运行当中存在的漏洞问题,提出优化方面的建议,推动体系管理持续不断地完善,形成“人员能力得到提升—体系实现高效运行—管理效能得到优化”这样的良性循环状态。

2.3 提升机构核心竞争力的重要保障

当前生态环境检测这个行业的竞争变得日益激烈起来,机构的核心竞争力集中体现在技术实力以及服务质量这两个方面,而这两者的核心载体全都是人员。在体系管理的框架范围之内,强化人员能力建设工作,能够显著提升机构的检测技术水平、报告出具的效率以及服务的专业性,进而增强市场的认可程度。和仅仅依靠设备进行升级、流程进行优化的机构相比较,注重对人员能力进行培养的机构更加能够适应行业技术进行更新、标准进行迭代的需求,在市场竞争当中保持优势地位^[4]。

3 生态环境检测机构人员能力建设的现存问题

3.1 人员招聘与岗位需求适配度不足

部分检测机构在招聘这个环节存在“重视学历、轻视实操”“重视专业、轻视素养”这样的问题,和体系管理对岗位能力的精准要求出现脱节现象。一方面,招聘的时候过度地关注应聘者的学历背景以及专业对口情况,忽视对实操技能、行业规范认知的考察工作,导致新员工入职之后需要花费长时间进行培训才能够胜任岗位工作,增加体系运行的成本;另一方面,对人员的责任意识、诚信素养考察不够充分,部分检测人员因为缺乏职业敬畏心理,在工作当中存在简化操作流程、篡改数据等违规行为,对体系管理的严肃性造成冲击。此外,部分机构存在岗位设置比较模糊、能力要求不明确的问题,招聘的时候没有清晰的能力评估标准,很难筛选出符合体系要求的人员^[5]。

3.2 培训体系不完善,针对性与实效性薄弱

培训是提升人员能力的核心手段,但是不少检测机构的培训工作只是流于形式,很难满足体系管理以及岗位实操的需求。一是培训的内容同质化的状况很严重,大多是以把通用技术规范 and 体系文件进行宣读作为主要方式,缺少针对不同岗位去开展专项培训,也没有结合机构自身业务的特点、常见的问题去开展有针对性的教学,这就造成培训内容和实际工作相脱节;二是培训方式比较单一,大多是采用线下集中授课这样的传统模式,缺少实操演练、案例分析、师

徒带教等能让人员沉浸其中的培训,人员参与的积极性不够高,培训效果很难转化成实际能力;三是培训缺乏持续不断的特性,仅仅在新员工入职的时候开展岗前培训,对在岗人员技能的更新、标准的迭代培训重视程度不够,导致人员能力很难跟上行业技术发展 with 体系管理升级的需求^[6]。

3.3 考核评价机制不科学,激励约束作用弱化

考核评价是检验人员能力、推动能力提升的重要手段。但是有一部分检测机构的考核机制和体系管理要求不相符,很难发挥激励约束的作用。一方面,考核指标的设置不太合理,过度看重检测工作量、报告出具速度等可以量化的指标,忽略了对操作规范性、数据准确性、体系执行度等难以量化指标的考核,导致人员为追求效率而忽视质量,和体系管理的核心目标不相符;另一方面,考核流程只是走个形式,大多采用定期集中考核的方式,缺少日常过程性的考核,很难全面了解人员的实际工作能力与体系执行情况,考核结果的客观性不足;此外,考核结果和激励、晋升的关联程度不高,干得好和干得差差别不明显,既无法激发人员提升能力的主动性,也很难对违规操作、能力不足的人员形成有效地约束,导致人员能力长时间没有进步^[7]。

4 生态环境检测机构人员能力建设的优化路径

4.1 精准定位岗位能力需求,优化人员招聘与配置

以体系管理要求为依据,精确地梳理各个岗位的能力标准,是人员能力建设的基础工作。首先,机构应该结合检测业务范围、体系文件要求,把各岗位的职责与能力指标进行细化,明确不同岗位对专业知识、实际操作技能、职业素养、体系认知的具体要求,形成岗位能力的说明书,为招聘、培训、考核提供参考。比如,样品采集岗位需要重点突出野外作业能力、样品保存规范方面的认知;仪器分析岗位需要突出仪器操作的熟练程度、故障排查能力与数据处理能力。其次,优化招聘流程,采用“学历+实操+素养”这样综合考察的模式,除了核查学历背景、专业资质之外,增加实操考核的环节,模拟实际检测场景来考察应聘者的操作规范程度;通过情景提问、背景调查等方法,评估应聘者的责任意识、诚信素养与体系认知程度,确保招聘的人员和岗位能力需求精确匹配。最终,对人员进行合理配置,结合人员所具备的能力特点来分配工作岗位,避免出现人员能力和工作岗位错配的情况,同时建立起人员轮岗的机制,让人员去熟悉不同工作岗位的工作流程以及体系要求,提高综合能力,为体系管理的高效运转提供人力方面的支撑。

4.2 构建分层分类培训体系,提升培训实效性

结合机构业务具备的特点和人员能力存在的短板,构建出一套精准高效、分层分类的培训体系,推动人员能力和体系管理要求一同升级。其一,要分层开展相关培训,针对新入职员工开展岗前的集中式培训,重点讲解体系文件、岗位操作的规范、安全管理的要求,配套师徒带教的模式,让

经验丰富的老员工进行一对一的实操指导,保证新员工可以快速掌握岗位技能以及体系要求;对于在岗人员开展常态化的技能提升培训,结合行业技术的更新、标准的迭代状况,定期组织开展专项培训,重点强化实际操作技能、问题排查能力以及体系执行能力;对管理人员开展体系管理的专项培训,提高其把体系要求转化成岗位能力标准、推动体系落实的能力。其二,分类设定培训相关内容,围绕不同工作岗位的核心能力需求,定制专项培训的内容,例如针对报告审核岗位,重点培训数据审核的规范、报告编制的要求以及体系符合性的核查能力;结合机构日常工作中的常见问题、典型案例,开展案例型教学,让人员在分析案例的经过中加深对体系要求的理解,提高解决问题的能力。其三,创新培训的方式,采用“线上搭配线下”“理论结合实操”的融合模式,线上经由学习平台推送体系文件、技术规范等方面的内容,便于人员随时学习;线下开展实操演练、技能竞赛、现场观摩等类型的活动,增强培训的趣味性以及参与感觉,推动培训效果转变成实际能力。

4.3 完善考核评价机制,强化激励约束作用

建立和体系管理深度融合的考核评价机制,通过科学的考核来引导人员提升能力、规范操作。首先,对考核指标体系进行优化,兼顾量化指标与质性指标,量化指标能够包含检测的工作量、报告出具的及时比率等,质性指标重点包括操作规范性、数据准确性、体系文件执行程度、问题整改效果等,确保考核指标全面符合体系管理要求以及岗位能力需求。其次,把考核流程进行健全,采用“日常考核加上定期考核”相结合的办法,日常考核由部门负责人、班组长通过现场检查、工作复盘等方式,实时记录人员的操作状况、体系执行状况;定期考核每季度或者每半年开展一次,结合日常考核结果、实操测试、体系知识考核等进行综合的评价,确保考核结果客观全面。最终,对考核结果的应用予以强化,把考核结果和薪酬福利、晋升提拔、岗位调整直接关联起来,对考核优秀、能力突出的人员给予加薪、提升职位等激励举措,树立起标杆;对于考核不合格、能力不够的人员,开展

具有针对性的专项培训以及帮扶行动,限定时间进行整改,整改之后仍然达不到标准的进行岗位调换或者解除聘用;对于违规操作、违反体系要求的人员,严肃地追究其责任,形成一种“奖励优秀、惩罚恶劣、能向上发展也能向下调整”的激励约束机制,激发人员提升自身能力的主动性以及自觉性。

5 结语

人员能力建设属于生态环境检测机构体系管理的核心内容部分,直接和检测数据质量、体系运行效能以及机构核心竞争力存在关联。当前阶段,检测机构在人员能力建设当中存在招聘适配程度不足、培训实际效果薄弱、考核机制不科学合理、能力和体系协同程度不够等问题,对机构的高质量发展形成了制约。通过精准地定位岗位能力需求、构建分层分类的培训体系、完善考核评价机制、推动能力和体系深度协同,同时强化组织保障、资源保障、文化保障,能够有效地提升人员综合能力,达成人员能力和体系管理的同步发展。

参考文献

- [1] 刘娇,董海锋.“双随机、一公开”监督检查在社会化生态环境检测机构发展中的作用研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(21):145-147.
- [2] 宋娟梅,张楠,王信梧.淄博市第三方生态环境检测机构现状及建议[J].绿色科技,2025,27(18):196-201+205.
- [3] 邢军,马骏.基于大连市社会化生态环境检测机构监督抽查结果的分析[J].环境保护与循环经济,2024,44(07):87-91.
- [4] 王立塔.生态环境污染快速检测技术及其应用分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(24):68-70.
- [5] 张敏,权伟.生态环境检测现场采样环节的质量管理[J].黑龙江环境通报,2024,37(12):71-73.
- [6] 梁艺丹.生态环境检测及环保技术的应用探究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(21):36-38.
- [7] 崔丹丹.生态环境检测报告的关键审核要点及质量提升策略研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(20):187-189.

Design of Modular Green Energy Saving System and Its Application in Rural Ecology

Hengtong Yang Yuanhan Wang Yuxuan Li Yixuan Ha Siyan Li

Tianjin University of Technology, Tianjin, 300380, China

Abstract

This study presents a modular green energy-saving system integrating water resource recycling and biomass energy recovery. Through key technologies including piston pump water circulation, float valve switching, physical-biological composite purification, and high-efficiency biogas fermentation, the system enables classified collection, treatment, and resource utilization of rural rainwater, shower wastewater, kitchen sewage, and fecal wastewater. Theoretical analysis and rural pilot verification demonstrate that this system significantly reduces rural tap water consumption and sewage discharge, while producing clean biogas for domestic lighting and production support. It effectively improves rural living environments, enhances resource utilization efficiency, and delivers substantial economic, environmental, and social benefits. This innovative solution provides a green infrastructure framework for rural revitalization.

Keywords

Modular design; Water resource recycling; Biogas energy; Rural ecology; Energy conservation and emission reduction;

模块化联产绿色节能系统设计与乡村生态应用

杨亨通 王元瀚 黎雨萱 哈懿轩 李思燕

天津理工大学, 中国·天津 300380

摘要

本文设计并实现了一套集成水资源循环利用与生物质能回收的模块化绿色节能系统。系统通过活塞泵水、浮球阀切换、物理-生物复合净化及高效沼气发酵等关键技术,实现了乡村雨水、淋浴废水、厨房污水与粪便污水的分类收集、处理与资源化利用。经理论分析与乡村试点验证,该系统可显著降低乡村自来水消耗与污水排放,产出清洁沼气用于生活照明与生产辅助,有效改善乡村人居环境,提升资源利用效率,具备良好的经济、环境与社会效益,为乡村振兴背景下的绿色基础设施建设提供了创新解决方案。

关键词

模块化设计; 水资源循环; 沼气能源; 乡村生态; 节能减排

1 引言

全球水资源短缺与环境污染压力日益加剧,推动资源循环利用与清洁能源开发成为可持续发展的核心议题。在我国“乡村振兴”与“双碳”战略推进背景下,农村地区对节水减排、污水处理及可再生能源利用提出了更高要求。然而,乡村普遍存在水资源浪费严重、生活污水无序排放、有机废弃物资源化率低及传统能源依赖度高等问题,不仅制约人居环境改善,也影响农业绿色可持续发展。

传统乡村污水处理多为简易设施或随意排放,存在处

理效率低、二次污染风险高等问题;中水回用系统在乡村应用受限于能耗高、运行成本大及维护复杂。同时,粪便、厨房废弃物等有机资源未能有效利用,既造成资源浪费,也加剧环境压力。针对乡村生态治理的现实需求,本研究提出并开发了一套模块化联产绿色节能改善系统。^[1]

该系统遵循模块化设计理念,结合乡村实际用水与能源需求,将雨水、灰水(淋浴、厨房污水)与黑水(粪便污水)进行源头分类,并通过定制化模块实现“水-能联产”。系统集成雨水与淋浴废水冲厕、厨房污水绿化灌溉、粪便污水沼气照明子系统,实现水资源闭环循环与生物质能高效回收,达到节水、节能、减污、降碳的综合目标,为乡村生态环境改善提供技术支撑,并助力乡村振兴战略落地。本文将从系统设计、关键技术原理、性能效益及推广模式等方面进行阐述。^[2]

【基金项目】天津理工大学校级大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号:202510060075)。

【作者简介】杨亨通(2004—),男,中国天津人,本科,从事物流管理研究。

2 系统总体设计与模块化架构

本系统紧扣乡村“资源分散、需求多样、维护便捷”的核心特点，采用“分类收集、分质处理、梯级利用”的设计思想，构建了三个既独立运行又相互关联的功能性子系统，其总体工作流程如图1所示。各模块均遵循低成本、易操作、强适配的设计原则，确保能够适应乡村复杂的使用环境与有限的维护条件。

2.1 雨水与淋浴废水冲厕子系统

本子系统旨在降低乡村冲厕对自来水依赖，利用屋面雨水与淋浴废水经格栅、砂滤及活性炭多级净化后供冲厕使用，蓄水设施设保温以适应低温环境。供水提升采用无动力活塞泵，利用人体重力输送水，无需额外能耗；机械浮球阀实现再生水与自来水自动切换，优先使用再生水。系统结构简单、可靠，适合分散式长期运行。^[1]

2.2 厨房污水绿化灌溉子系统

乡村厨房污水中通常含有较高比例的动植物油脂及有机污染物，若未经处理直接排放，易引发土壤退化及水体富营养化等环境问题。本子系统以厨房污水资源化利用为目标，通过物理—生物组合处理工艺，将其转化为适用于乡村绿化及农田辅助灌溉的再生水。

在处理过程中，厨房污水首先进入物理隔油单元，利用斜板结构强化油水分离效果，有效适应乡村厨房污水水质波动的特点。分离出的油脂经集中收集后，可作为补充原料引入沼气发酵系统，实现有机资源的协同利用。经除油处理后的污水进一步进入生物净化单元，通过多介质过滤与微生物作用降解有机污染物，并可结合人工湿地等生态设施进行深度净化。处理后的再生水主要用于乡村绿化及经济作物的非食用性灌溉，体现了水资源梯级利用与污染控制的协同效应。^[4]

2.3 粪便污水沼气照明子系统

乡村粪便污水是重要有机污染源，同时具备高生物质能源潜力。本子系统通过固液分离和厌氧发酵，实现粪污无害化与能源化处理，固相产沼气，液相回田作液态肥，气、渣、液协同利用。发酵系统结构简化、适应性强，可按农户规模灵活配置。沼气经简易净化后用于照明或生活燃料，降低传统能源消耗。系统运行维护要求低，可通过适度管网改造实现分散式协同运行，便于推广。

3 关键技术创新与工作原理解述

3.1 无动力活塞泵水技术

无动力活塞泵技术利用人体如厕重力驱动活塞往复运动，通过单向阀实现低位蓄水向高位水箱输送，无需外部电力或燃料，有效降低能耗与运维成本。结构简洁、部件少，可靠性高，适合维护条件有限的乡村长期使用，满足常规冲厕需求。

3.2 智能双水源供水切换技术

该供水切换技术采用纯机械控制，无需电力或电子元

件，长期低维护可靠。双机械浮球阀分别控制再生水与自来水进水，根据水箱水位自动分级调控：低水位启动双水源补给保障用水，正常水位优先使用再生水，自来水关闭，高水位关闭进水阀并溢流排出，避免二次污染。结构简单、故障率低，实现“再生水优先、自来水保障”，适合乡村节水卫生设施。

3.3 高效油水分离与生态净化技术

针对乡村厨房污水含油量高且波动大的问题，本研究提出物理—生物组合工艺。污水经波纹斜板分离（板间距20 mm，倾角45°）去除油脂，油脂可用于集中或家庭沼气发酵。随后，除油水通过复合介质（石英砂+活性炭）过滤，再经人工湿地（香蒲、芦苇、菖蒲）植物吸收及根际微生物降解氮磷等营养物质。处理水水质稳定达《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）绿化标准，可用于乡村绿化及农田灌溉。工艺运行成本低，抗冲击负荷强，适应污水量波动大的乡村环境。^[5]

3.4 粪污高效发酵与沼气净化技术

针对乡村粪污分散且产量大的问题，本研究提出就地分散式能源化利用技术。粪污经斜板格栅固液分离（截留率>95%），液相可直接施田，固相进入35℃全混合厌氧反应器发酵，通过调节碳氮比（25-30:1）、水力停留时间（20-25天）及有机负荷提升产甲烷菌活性，理论每50 kg 粪便年产沼气约15 m³，可满足家庭照明需求。沼气经重力除水与干法脱硫（活性氧化铁Fe₂O₃，H₂S≤20 mg/m³）净化后储于低压气柜，供照明或炊事使用，操作简便，适应分散式能源需求。

4 系统效益的综合评估

4.1 节能减排与生态效益量化分析

以拥有约500户、1800名居民、屋顶总面积约8000 m²的典型乡村为对象，结合年降雨量约1200 mm，对系统节能减排与生态效益进行测算。结果显示，雨水、淋浴及厨房污水回用年可回用约4.4万 m³，用于冲厕及绿化灌溉，占生活用水总量80%以上，整体节水率达84%。粪便污水厌氧发酵年均产生沼气约2.7万 m³，可替代电力1.9-2.2×10⁴ kWh，用于庭院及公共照明，占照明用电约5%-6%，如进一步用于炊事，可实现更高能源替代。综合分析表明，系统在保障生活需求的同时，有效实现水资源循环利用和生物质能源回收，节水、节能及生态改善效益显著。^[6]

生态环境效益：

系统通过源头污水回用与粪污资源化处理显著改善乡村环境。每年可减少生活污水约44,310 m³排入土壤和水体，降低污染；厨房污水及沼气发酵产物（沼渣150 t、沼液800 t/年）用于农田灌溉，可替代约30 t化肥，减少农业面源污染；沼气替代化石能源和秸秆燃料，避免甲烷排放，年碳减排量可超15,000 t，为“双碳”目标提供支撑。同时，系统降低污水横流与粪便污染，减少烟雾排放，提升人居环境质量。

4.2 经济性与乡村推广可行性分析

系统采用模块化设计,可按农户需求灵活配置。单户基础版(雨水收集、简易净化、活塞泵、冲厕切换、小型沼气装置)投资约1,800–2,500元;整村集中式系统(500户,含集中沼气站、湿地处理及管网)总投资150–200万元,平均每户3,000–4,000元,补贴后农户实际成本可降至1,000–1,500元,经济可接受。日常维护简单,易损件更换周期长、费用低(≤ 200 元/次),每户年均维护成本 ≤ 100 元,体现低运维需求和经济可行性。^[7]

经济效益回报:

系统带来显著经济效益。直接效益方面,按自来水3元/吨计算,单户年均节水约88.6吨,节水费266元;按电价0.5元/度,替代电力37.8–43.2度,节电费约19–22元;减少化肥支出约200元/户,总计年均直接经济效益约485元,投资回收期3–5年。间接效益方面,系统改善农村人居环境与农业条件,提升旅游吸引力和农产品品质,为乡村带来旅游收入增长和产品溢价等附加收益。

社会效益:

系统与乡村振兴、农村人居环境整治、“厕所革命”、碳达峰碳中和等政策高度契合,可作为乡村绿色基础设施示范项目,获得政策支持与资金补贴。在推广过程中,可创造设备安装、维护及沼肥加工岗位,带动闲置劳动力就业,并通过技术培训提升农户环保意识和技能水平,培养生态治理技术骨干。同时,系统集中解决乡村污水,改善公共卫生条件,增强村民幸福感与获得感,促进乡村治理能力提升。^[8]

5 乡村应用推广、风险与未来展望

5.1 乡村目标市场与推广策略

5.1.1 目标市场:

本系统主要适用于乡村振兴示范村、生态宜居型乡村及农业种植与养殖园区等农村地区。上述区域普遍面临生活污水处理能力不足、水资源利用效率偏低及有机废弃物资源化水平有限等问题,对低成本、易运维的生态治理技术具有较高需求。通过因地制宜配置系统模块,可实现整村推广或分散式部署,满足不同乡村在用水保障、污染控制与资源循环利用方面的实际需求。与此同时,对于市政基础设施相对薄弱的偏远乡村,该系统在改善用水条件、降低环境污染方面同样具备较大的应用潜力。

5.1.2 推广策略:

推广策略包括试点示范、政策联动、渠道合作与定制化服务。首先,在10个不同类型乡村建立示范点(平原、山区、旅游、农业型),形成可复制经验并邀请农户与干部实地考察。其次,对接乡村振兴局、生态环境局等政府部门,争取政策补贴,将系统纳入人居环境整治项目采购目录,通过招标或以奖代补方式推动落地。同时,与农业合作社、乡建企业及环保设备经销商合作,开展公益行动,扩大品牌影响力。

5.2 未来研究与发展方向

系统升级方向包括智能化、材料工艺优化、系统整合及模式创新。智能化方面,通过物联网传感器与云平台实现水量、水质及产气量实时监测与智能调度,并向农户展示运行与效益数据。材料与工艺优化包括低成本耐腐蚀过滤介质与脱硫材料研发、厌氧发酵工艺优化及模块化紧凑设计,以适应分散式部署。系统整合方面,探索光伏辅助供电实现“光-水-能”三联产,并开发沼液、沼渣高值化产品,结合农业灌溉与畜禽粪污处理,构建生活-生产-生态循环体系。模式创新方面,探索“合同能源管理”“共享沼气站”等模式,由企业投资运营,村集体或农户按节约费用支付服务费,并将碳减排纳入碳交易市场,提升收益与可持续性。

6 结语

本研究设计并验证了一套创新、实用的模块化联产绿色节能改善系统,通过多学科技术交叉与模块化集成,有效解决乡村水资源浪费、污水污染及能源短缺问题,实现水资源与生物质废弃物的高效循环利用,产生节水、节能、减污及产能等多重效益。系统遵循低成本、易操作、强适配的设计原则,契合乡村使用环境与需求,经试点验证具备良好的经济、环境与社会效益。该系统不仅缓解乡村水资源压力、优化能源结构、改善人居环境,还为绿色乡村建设和乡村振兴战略提供了可复制、可推广的实践模式。尽管推广过程中仍面临技术适应性、管理维护及市场接受度等挑战,但随着政策支持增强、技术优化和市场认知提升,系统在乡村可持续发展中具备广阔应用前景。未来,通过持续技术与模式创新,系统可进一步促进乡村生态振兴,提升宜居宜业水平,为实现国家“双碳”目标贡献重要力量。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范: GB 50400-2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [2] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 城市污水再生利用 城市杂用水水质: GB/T 18920-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [3] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 第五版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [4] 李秀金. 固体废物处理与资源化[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [5] 董文艺, 王宏杰. 农村生活污水处理技术及管理模式[J]. 环境工程学报, 2018, 12(1): 1-10.
- [6] 刘俊新, 郭雪松. 雨水收集利用系统的设计方法与效益分析[J]. 给水排水, 2019, 55(4): 112-117.
- [7] 陈汉平, 孙振钧. 生物质能转化技术与工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [8] 中华人民共和国农业农村部. 乡村振兴战略规划(2018-2022年)[Z]. 2018.

Discussion on the application of gas chromatography in the detection of water pollution

Sijin Wang

Baoding Minke Environmental Testing Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

Gas chromatography (GC) technology, characterized by high resolution, sensitivity, and rapid analysis capabilities, has become a vital tool in water pollution monitoring. It excels at detecting volatile organic compounds (VOCs), conventional pollutants, and organometallic compounds with precision, providing critical guidance for water pollution control. To ensure effective implementation, practical measures include technological innovation, equipment upgrades, staff training, standardized protocols, and optimized data processing methods. This study explores GC applications in water pollution detection, aiming to enhance analytical performance, improve monitoring efficiency and quality, and deliver scientifically reliable data for environmental management and policy-making.

Keywords

Gas chromatography; Water environment; Pollution detection

探讨气相色谱技术在水环境污染检测中的运用方法

王思进

保定市民科环境检测有限公司, 中国·河北 保定 071000

摘要

气相色谱技术分辨率较高、较为灵敏,且能够快速分析,可选择性强,在水环境污染检测中发挥了重要作用,尤其可以对水中的挥发性有机物、传统污染物、有机金属化合物等进行快速精准检测,为水环境污染治理工作的开展指引方向。在实际工作中,需要创新技术和设备,提升工作人员综合素养,完善相关标准规范,优化数据处理和分析方法,保障水环境污染检测工作的顺利开展。文章主要对气相色谱技术在水环境污染检测中的应用方法进行探究,从而有效提升气相色谱法的应用效果,强化水环境污染检测效率和质量,为环境管理和决策提供科学合理的数据支撑。

关键词

气相色谱技术; 水环境; 污染检测

1 引言

随着工业水平的提高,水环境污染问题日益严重,非常不利于生态环境的可持续发展。基于此,需要加大对水环境污染的检测力度,尤其要充分发挥气相色谱技术的优势作用,精准快速检测出水环境中的污染物类型、浓度,为环境治理方案的确定提供数据依据。

2 气相色谱法技术在水环境污染检测中的应用优势

2.1 分辨率高

这是一种先进的分离和分析方法,具有较高的灵敏度和分辨率,能够对水环境中组分为复杂的微量污染物进行精准检测,如有机污染物、无机离子等,且检测限较低,能

够帮助工作人员详细掌握水环境污染现状,为环境质量评价提供依据。水环境中含有的大量化学性质相似的化合物,通过高分辨率的气相色谱技术,能够精准分离这些化合物,帮助工作人员精准识别污染物种类和分布规律,为环境科学研究提供依据^[1]。

2.2 分析能力较快

气相色谱技术能够快速分析出水样中化合物的类型,尤其可以积极应对突发的环境问题,方便操作,前处理环节较为简单,能够缩短分析时间,快速获得分析结果。此外该技术还可以与自动化进样系统联合应用,实现样品的高效、批量分析,同时自动记录分析数据。基于该特点,可以将其应用到水质变化动态监测工作中,为环境决策提供数据依据。

2.3 适用性较为广泛

该技术可以在更大范围内使用,如海水、湖水、地下水等多种类型水样分析,可以组分复杂且浓度较低的化合物进行精准测定,且前处理要求较低,方便操作,应用范围广。

【作者简介】王思进(1992—),女,中国河北石家庄人,本科,工程师,从事环境检测研究。

3 气相色谱技术在水环境污染检测中的应用要点

3.1 水中半挥发性有机物检测中的应用

半挥发性有机物包含多环芳烃、氯苯类、硝基苯类等化合物,该类物质的成分较为复杂,不同组分之间的理化性质存在较大差异。在水环境检测过程中,传统的液液萃取全处理方式消耗较大,且容易伤害人体健康,因此可以引进固相萃取-气相色谱技术,该技术方便操作,且检测效率较高,使用的溶剂较少,检测结果较为准确。在前处理基础上,利用火焰离子化检测器、电子捕获检测器、质谱检测器等方式进行分析。如在有机氯检测过程中,需要使用固相萃取法进行净化富集,然后通过气相色谱-电子捕获检测器实现水中痕量有机氯农药的灵敏性检测,其中电子捕获检测器对电负性较强的氯原子的响应度较高,可以降低基体的干扰,提高检测准确性^[2]。其中氯苯类有机物的选择离子总离子流色谱图如图1所示。

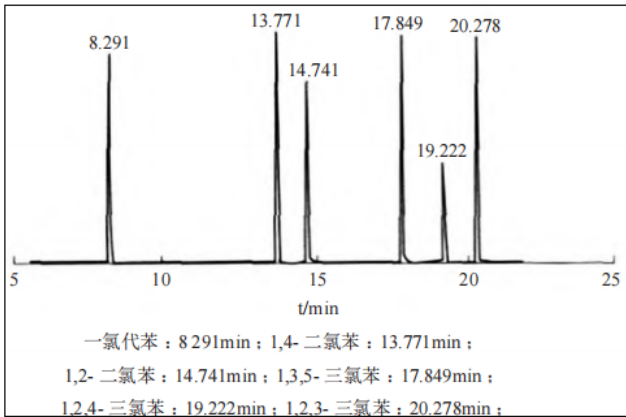


图1 氯苯类有机物的选择离子总离子流色谱图

3.2 水中挥发性有机物检测中的应用

水中的挥发性有机物包含苯系物、卤代烃等物质,这些物质的毒性较大,且易挥发,对水体质量危害性较大。其中在卤代烃检测过程中,需要使用顶空气相色谱技术或者吹扫捕集技术进行前处理,或者利用吹扫捕集气相色谱-质谱技术,在该环节中需要严格控制吹扫温度和时间,灵活性调整解吸温度和时间,这样才能保障测定工作的顺利开展。此外,还可以利用顶空-气相色谱法可快速分析饮用水源水中的苯系物,其检出限可达 $\mu\text{g/L}$ 级别,与国家标准对生活饮用水卫生指标的检测要求相契合^[3]。在苯系物检测过程中,可以利用非极性填充柱作为辅助,由二硫化碳液-液萃取和静态顶空毛细管注气相色谱法进行操作,该方法方便使用,且成本不高,检测结果较为精准。

3.3 水中农药检测中的应用

在水中农药残留物检测过程中,应用气相色谱法进行操作,能够与定量检测技术进行联合应用,该方法具有快速稳定性的优势。在具体操作中,可以在负化学电离源等新型电

离方法的辅助作用下,有效提升气相色谱法在农药残留物检测与分析的准确性和可靠性。在分析前需要利用液液萃取方法或者浓缩净化方式提取样品,并进行前处理,提取溶剂主要有丙酮、乙酸乙酯,提取效率较高且污染小。

3.4 水中有金属化合物中的应用

气相色谱法在检测水中的烷基汞时,需要使用电子捕获器,使用丁二酸二乙二醇酯、苯基50%甲基硅酮制作固定相,即GC-ECD法。这种方法较为灵敏,反应速度快,适应性广,需要的试剂较小。通常情况下,该方法利用填充柱或者毛细管柱,前者制备过程较为繁琐,且柱效不好;后者分辨率较高,材质惰性好,不需要定期清理,适合进行大范围推广应用。但是在使用该方法时容易污染色谱柱,随着时间推移分离成效越来越低,此外干扰峰与色谱峰会影响检查结果,需采取特殊方法解除这些干扰^[4]。

3.5 传统污染物的检测

针对水中的氮、磷等传统污染物,利用顶空气相色谱法进行检测,在检测过程中甲醛与水中的氨离子产生化学反应,生成二氧化碳,然后利用气相色谱法对二氧化碳含量进行检测,以此为依据精准检测氨氮浓度值。该技术方法的检出限较低,结果较为准确,能够实现高效、批量检测。此外,还可以利用电子捕获检测器气相色谱仪,把无机阴离子 NO_2^- 等用本衍生化以后再进行测定,检测结果较为准确。

4 气相色谱技术在水环境污染检测中的优化策略

4.1 创新技术和设备

虽然该技术在水环境污染检测工作中发挥了重要作用,但是由于设备成本较高,维修难度大,操作技术实施挑战较大,针对这种情况需要进一步优化设备和技术,实现便捷化和高效化检测。在设备方面,需要引进新型材料,并减少设备制造成本,同时优化设备结构设计,以便强化设备耐用性和可靠性,保障检测工作的稳定开展,既可以提升检测结果准确性,且还能够减少设备维护成本。还需要利用现代化技术提高设备自动化程度,进而有效控制人为操作失误引起的检测误差,保障检测数据的高效分析和应用^[5]。要做好检测技术创新,对先进的多维色谱技术和快速色谱技术进行联合应用,进一步强化还技术的分离效果和分析速度,有效拓展水环境监测范围。要积极推动多种技术的联合应用,如气相色谱技术与质谱技术联合应用,进而提高检测精度,为水环境污染治理和保护工作的开展提供更加稳定可靠的技术支撑。

4.2 提高工作人员综合素养

为了提升检测效果,需要强化工作人员的专业能力和综合素养,定期组织开展专业技术培训活动,使其掌握仪器操作方法和数据处理技术,并详细了解仪器设备操作流程。要构建完善的技术交流共享平台,为操作人员沟通协作提供

良好平台,使其协同攻克技术难关。要引进实践操作与案例分析,让操作人员对技术实际操作场景进行详细了解,有效锻炼解决实际问题的能力。要鼓励操作人员参与相关方面的科研项目和技术研发活动,有效锻炼其实践能力,积累更多经验,以便对气相色谱技术进行优化应用,保障水环境污染检测工作的顺利进行。

4.3 优化数据处理和分析

为了提高水环境污染检测结果准确性,需要优化数据处理和方法方法,加大该方面的研发投入力度,引进现代化的信号处理技术,对模式识别技术进行灵活应用,并联合人工智能算法,实现数据预处理,并对关键数据特征进行提取,精准分类和识别,提取有用信息,降低数据维度。此外要按照相关技术规范要求,制定数据处理的统一标准和程序,实现检测数据的规范性和一致性,提升数据处理效率。此外还需要创新数据分析方法,形成数据分析模型,全方位统计分析各类数据资料,通过数据分析、数据趋势预测方法,揭示水环境中污染物的分布规律、来源、变化趋势,进而优化环境管理与决策。同时实现多方法联合模式,如对统计分析和化学计量学进行联合应用,科学评估水环境质量,保障结果准确性。其中,气相色谱技术分析流程如图2所示。

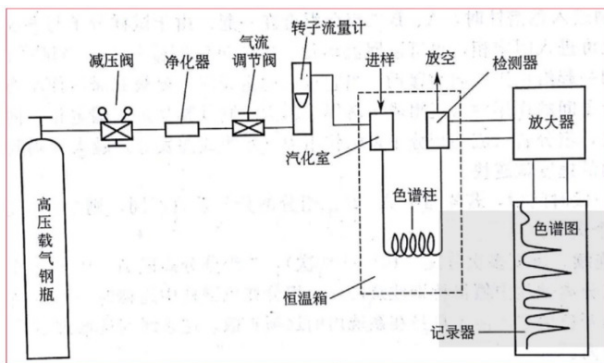


图2 气相色谱技术分析流程图

4.4 健全规范标准

完善的标准规范是推动气相色谱技术稳定开展的重要保障。在具体工作中需要联合先进技术创建统一科学的标准

体系,尤其要明确该技术在水环境污染检测工作中的操作规范,详细了解仪器使用情况、操作流程,并优化各项关键参数设置,确保所有工作人员都能够严格按照该规范标准进行操作,减少人为操作失误引起的结果偏差。此外还需要明确化合物的鉴定和定量标准,确定各类化合物的保留时间和峰面积的主要参数,为数据分析提供精确数据^[6]。构建多样化的水样分析方法标准,强化标准物质开发和认真,进而实现标准物质的纯度符合设计要求,促进整体检测过程的稳定性和准确性,为后续定量分析工作的开展提供保障。要构建标准物质保存、管理和使用体系,以便对各个检测环节提供可追溯性证据。要制定完善的评价标准,结合实际情况及时修改和更新相关标准规范,为气相色谱技术的应用提供技术支撑和规范引导,实现该领域的良性发展,为环境保护与决策提供科学依据。

5 结语

综上所述,气相色谱技术在水环境污染检测工作中发挥了不可替代的重要作用,将该技术与多种前处理方法和检测器的联用,能够实现水中各类有机污染物的常规监测、痕量分析和应急检测需求,为保障水环境安全和人体健康提供了有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 郑君儿. 气相色谱技术在水环境污染检测中的应用分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (20): 50-51+90.
- [2] 郝德凤,温瑞瑞. 水环境检测中气相色谱技术的应用 [J]. 石河子科技, 2024, (04): 3-4.
- [3] 王贵. 气相色谱技术在水环境监测中的应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4 (11): 39-40+44.
- [4] 赵文鹏,刘文茹,张楠,等. 气相色谱技术在环境监测中的应用探讨 [J]. 环境与发展, 2020, 32 (10): 108+110.
- [5] 宋萍. 固相微萃取—气相色谱联用法在水环境重金属离子污染检测中的应用 [J]. 世界有色金属, 2020, (05): 297-298.
- [6] 王艳. 气相色谱在水环境质量检测中的应用及前景分析 [J]. 中国高新区, 2017, (24): 53.

Key Points and Implementation Path of Acceptance Technical Verification for Online Monitoring Equipment of Environmental Protection

Siyu Tian

Urumqi Jinhulu Technology Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

As the core technological backbone for pollution source emission control, the operational stability and data accuracy of environmental online monitoring equipment directly determine the effectiveness of ecological supervision. This paper synthesizes current technical standards and field validation experiences to outline key technical verification criteria for environmental monitoring equipment acceptance. By establishing implementation pathways, it provides practical guidance for corporate self-acceptance, third-party audits, and environmental supervision, facilitating the transition of online monitoring equipment from “installation to proper positioning” to “effective operation”.

Keywords

Environmental online monitoring equipment; Acceptance inspection; Technical keypoints; Implementation pathway; Compliance control

环保在线监测设备验收技术核查要点与实施路径

田思宇

乌鲁木齐金葫芦技术咨询有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

环保在线监测的设备作为对污染源排放进行管控方面的核心技术支撑内容, 它的运行稳定状况、数据准确情况直接关系到生态环境监管的有效程度。本文结合当下现行的技术规范以及一线的验收经验情况, 梳理出环保在线监测设备验收方面的核心技术核查要点内容, 构建实施路径, 为企业开展自主验收工作、第三方进行核查工作以及生态环境开展监管工作提供实际操作方面的指引, 推动在线监测设备从“安装到了位”朝着“有效去运行”进行转变。

关键词

环保在线监测设备; 验收核查; 技术要点; 实施路径; 合规管控

1 引言

随着生态环境保护监管的力度持续加大, 环保在线监测系统已经成为排污单位开展自我管控工作、生态环境部门开展精准执法工作的重要依靠。在线监测数据的真实状况、完整状况和有效状况, 核心是取决于设备质量以及安装、调试、验收等全流程管控的水平。验收技术核查作为设备投入使用之前的最后一道把关环节, 不仅要验证设备是不是符合技术规范, 更要排查潜在的运行隐患, 确保设备长时间稳定地发挥监测的效能^[1]。当前, 部分企业存在验收流程不规范、核查重点不明确、技术把关不到位等问题, 导致设备投入使

用之后数据出现失真、故障频繁发生, 影响监管的效能。基于这样的情况, 本文结合水、气污染源在线监测设备的验收实际操作经验, 细化技术核查要点内容, 优化实施路径情况, 为规范验收工作、提升监测数据质量提供实践方面的参考。

2 环保在线监测设备验收技术核查核心要点

2.1 资料合规性核查要点

对资料开展核查工作是开展验收工作这件事的基础环节, 其核心之处在于对设备以及项目建设的合规情况与完整情况进行确认, 对因为“重现场、轻资料”这样的情况引发的验收漏洞进行避免。开展核查工作需要严格依照《污染源自动监控管理办法》第十一条所规定的内容去做, 从而保证污染源自动监控设备的核心仪器能够通过国家环境保护主管部门指定检测机构所进行的适用性检测^[2]。首先要去完成对核心资质文件开展的核查工作, 对监测设备被纳入中国环

【作者简介】田思宇(1996—), 女, 中国江苏滨海人, 本科, 从事突发环境事件应急预案编制、在线自动监测设备验收、建设项目环境保护设施竣工验收等相关研究。

境监测总站合格名录这件事进行确认,并且型式批准证书、出厂检验报告、第三方校准证书这些证书齐全并且处于有效期限之内,从根源上防止不合格的设备被投入使用;同时一起去进行项目配套文件的核查工作,对设备采购合同、安装调试报告、试运行日志、比对监测报告等资料开展逐一核验的工作,重点对安装调试记录包含采样点位置图、管线连接图、接地电阻测试等关键数据并且记录完整这件事进行确认,试运行日志要满足连续不少于30天的记录规定,详细记录清楚设备运行状态、校准记录、故障处理过程以及结果,保证设备试运行环节符合规范标准;除此之外还需要做好对制度文件开展的核查工作,对企业已经建立和实际运营场景相符合、具备实际操作可能性的设备日常维护保养制度、数据异常处置流程、人员岗位职责等管理制度这件事进行确认,为设备后续的规范稳定运行提供完备的制度方面的支持^[9]。

2.2 现场安装规范性核查要点

在采样系统中,水污染源监测设备的采样点应设置在排污口的混合均匀、流速稳定的区域。要避免弯头、阀门以及沉积物堆积的区域。管道式排污口需要满足直管段方面的要求,明渠排污口需要配套安装符合规范的堰槽,采样点处于堰槽上游合适的距离之处,以此确保样品具有代表性。采样管线需要选用能够耐受酸碱腐蚀的材质,要避免使用普通橡胶管等容易吸附污染物的管线,管线长度要控制在规范所规定的范围之内,要设置合理的坡度并且加装排空阀,从而防止积水、结垢或者微生物滋生的情况出现。气污染源监测设备的采样探头需要安装在排气筒合适的高度位置,要避免涡流的区域,确保采样位置能够反映排气筒内污染物的平均浓度,采样管线需要做好保温、伴热的相关措施,防止冷凝水对监测结果产生影响。

2.3 设备性能可靠性核查要点

设备性能核查属于验收的核心内容,需要通过空载调试、负载校准、实际水样(气样)比对等方式,来验证设备检测的精度、稳定性以及运行的可控性。在空载调试阶段,要开启设备的总电源,检查各个模块的通电状态、指示灯的显示情况以及软件操作的界面,手动触发采样、进样、试剂添加等动作,观察设备运行是否顺畅,不存在卡顿、泄漏等异常的情况,同时核查参数设置是否符合排污许可证的要求,这些参数包括采样频率、分析周期、校准周期等关键的参数。在负载校准阶段,采用标准溶液进行零点和跨度的校准,零点校准选用对应的空白溶液,跨度校准选用浓度为仪器满量程70%—100%的标准溶液,校准后示值的误差需要控制在规范允许的范围之内,如果误差超标,需要调整设备的参数或者重新标定工作曲线,直到达到标准。

2.4 数据传输有效性核查要点

数据传输有效性直接和监管数据的实时性以及准确性相关联,需要从本地通讯、远程联网、数据一致性这三个层面开展核查工作。在本地通讯核查方面,在数据采集传输仪

上查看实时监测的数据,将其与设备显示屏的数据逐一进行比对,确保误差在允许的范围之内,不存在数据偏差、丢失的情况。在远程联网核查方面,登录省、市生态环境监控平台,验证设备与平台联网是否稳定,手动触发数据上传的功能,观察平台是否在规定的时间内接收数据,不存在延迟、丢包的现象;模拟超标数据,核查平台是否能够及时接收超标报警的信息,报警的内容是否准确完整。数据一致性核查是关键所在,需要重点核验企业端、运维端、环保端三端的数据是否一致,这些数据包括实时数据、历史数据、校准记录、故障记录等,要杜绝数据篡改、伪造等问题的出现。

3 环保在线监测设备验收技术核查实施路径

3.1 前期准备阶段

前期做准备这件事情需要在验收开始之前的一到两周的时间完成,其关键之处是要弄清楚依据、组建起团队、把资料和工具都备齐,从而给后续的工作打下基础。首先,要弄清楚验收的依据,把现在实行的法律法规、技术方面的规范以及项目相关文件都梳理一下,这里面包括《中华人民共和国环境保护法》《污染源自动监控管理办法》以及和水、气监测设备相对应的专项技术规范,要保证验收工作能够有规则可以依照、有章程可以遵循。其次,要组建起验收的工作团队,这个工作由排污企业带头来做,团队的成员要包括设备的供应商、负责运维的单位、第三方检测机构的代表以及至少两名专业技术方面的专家,这些专家要从当地生态环境部门的专家库里抽取,要涉及监测技术、数据联网、质控管理等不同的专业领域,从而保证验收工作具有专业性和公正性。最后,要把资料和工具都备齐,在资料方面要把前面提到的资质文件、项目文件、制度文件等进行整理,按照类别整理成册子,这样方便进行核查和查阅;在工具方面要准备好标准溶液、pH缓冲液、万用表、接地电阻测试仪、采样瓶、温湿度计等,要保证现场核查以及性能验证工作能够顺利地展开,所有的工具都需要在检定的有效期限之内。

3.2 现场核查阶段

现场开展核查的这个阶段需要集中一到两天的时间完成,由验收工作组统一进行推进,按照不同的模块来开展核查工作并且要做好现场的记录。首先,要开展资料方面的核查,工作组要对照资料清单一项一项地进行核对检验,对于缺失的、不完整的资料要求企业在规定的期限之内进行补充,对于不符合规定的资质文件要直接否定其验收的资格,杜绝出现“先进行验收、之后再补充资料”的情况。其次,要开展现场安装方面的核查,按照采样系统、设备所处的环境、辅助的设施这样的顺序一项一项地进行核对检验,使用专业的工具对接地电阻、管线的坡度、设备的水平度等关键指标进行检测,对于安装不规范的部位要在现场进行标记,拍摄影像资料留存,明确整改的要求。在现场核查的过程中,需要注重沟通和协调,设备的供应商负责解答安装技术方面的问题,负责运维的单位说明试运行的情况,企业负责

在现场提供配合,专家针对核查中发现的问题提出专业的整改意见,要保证问题定位准确、整改的方向明确。同时,要做好现场核查的记录,详细地注明核查的内容、结果、发现的问题以及整改的建议,由工作组成员签字确认,把这个作为后续整改以及验收结论的重要依据。

3.3 性能验证阶段

进行性能验证和现场核查可以同时开展或者在现场核查之后紧接着开展,由第三方检测机构来主导,工作组全程进行监督,要保证验证的过程规范、结果真实。首先,要开展设备的调试工作,由设备厂家的技术人员进行空载、负载的调试,验收工作组在现场监督调试的流程,核查校准的记录、调试的参数等,对于调试不合格的设备要求立即进行整改,重新进行调试直到达到标准。其次,去开展进行比对方方面的监测工作,第三方的检测机构按照规范的要求去采集实际存在的样品,同时同步地去进行仪器方面的监测以及手工方面的监测工作,严格地去记录采样的时间、地点、方法以及检测的结果,以此确保比对的数据是客观真实的。最后,去开展数据传输方面的验证工作,由运维的单位配合着去测试本地以及远程的数据传输的情况,核查三端数据的一致性以及报警的功能,对于数据传输出现异常的情况,去排查通讯协议、硬件连接等方面的问题并且及时地进行整改。性能验证完成之后,第三方检测机构出具比对检测的报告,把这个报告作为验收结论的核心依据。

3.4 整改闭环阶段

针对现场核查以及性能验证所发现的问题,建立整改的台账,实行“清单化的管理、闭环式的整改”这种方式。首先,明确整改的责任,由企业牵头去制定整改的方案,明确整改的内容、整改的措施、责任人和整改的时限,设备供应商、运维单位提供技术方面的支持,确保整改工作能够落地并且见到成效。其次,跟踪整改进展的情况,验收工作组定期核查整改的情况,对于整改难度比较大的问题,组织专家到现场进行指导,避免整改只是流于形式。整改完成之后,企业提交整改的报告以及相关的佐证材料,验收工作组开展复核工作,复核合格的纳入验收的结论,复核不合格的要求继续进行整改,一直到所有的问题全部整改到位。对于无法整改或者整改之后仍然不符合规范的,直接出具验收不合格的意见,要求企业更换设备或者重新进行建设,杜绝不合格的设备投入使用。

3.5 备案归档阶段

验收合格之后,及时地完成备案归档的工作,形成完

整的验收资料体系。首先,编制验收的报告,由验收工作组汇总核查的结果、整改的情况、比对监测的报告等,明确验收的结论,验收报告需要经过工作组全体成员签字进行确认,加盖企业的公章。其次,履行备案的手续,企业在规定的时限内向属地生态环境部门提交验收的报告以及相关的资料,完成备案登记的工作,主动接受监管部门的监督检查。最后,做好资料归档的工作,企业将验收全过程的资料进行整理并归档,包括资质的文件、核查的记录、整改的资料、验收的报告、备案的文件等,建立专门的档案库,指定专人负责进行管理,确保资料是可以追溯的,为设备后续的运维、监管核查提供支撑。同时,企业需要以验收为契机,完善设备日常运维的管理制度,加强运维人员的培训,提升设备长期稳定运行的能力。

4 结语

进行环保的在线监测这一行为所涉及的设备开展的验收技术核查这样一个事情,是保障住监测数据的质量情况、强化生态环境的监管工作的关键的一个环节,需要做到立足在实际操作的场景方面,把注意力聚焦于资料的合规情况、安装的规范情况、性能的可靠情况、数据的有效情况这四大核心的要点之上,通过采用科学并且规范地实施的路径办法,达成实现验收工作的全流程的管控目标。企业作为责任的主体对象,需要严格地去落实验收的相关要求,杜绝掉形式主义这种现象,确保让设备达到标准并且投入使用;验收的工作组需要强化专业性的把关动作,精准地去排查存在的问题,推动整改工作形成闭环;生态环境的部门需要加大对验收工作的监管力度,完善核查机制体系,倒逼企业做到规范管理。唯有多方共同协同并且一起发力,才能够充分发挥在线监测设备的技术支撑方面的作用,为生态环境保护的精准执法情况、科学管控情况提供可靠的数据上的保障,推动生态环境的质量获得持续的改善。

参考文献

- [1] 吴望冰,毛西吟,施东风,郑维勋,华坤坤.采用在线监测设备实现环境友好型变电站运行维护管理的方法研究[J].中国设备工程,2024,(06):87-89.
- [2] 张国城,马越,冯端,惠婷,牛爽,胡博.浅谈环保在线监测设备检定、抽查、运维三者之间的关系[J].中国计量,2024,(03):73-76.
- [3] 梁超.环保设备通讯网络改造[J].化学工程与装备,2022,(05):252-253.

Improvement of rapid detection technology for sulfur and ash content in coal and its environmental significance

Feng Zhou

Xinjiang Lan Zhuo Yue Environmental Protection Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

Sulfur content and ash content serve as critical indicators for evaluating coal quality and controlling combustion pollution, with their detection efficiency and accuracy directly impacting the green development of the coal industry chain. Traditional coal quality testing methods, characterized by time-consuming sample preparation, labor-intensive processes, and significant human error, no longer meet the demands of real-time industrial production and refined environmental control. This study focuses on rapid detection technologies for coal sulfur and ash content, analyzing current technological advancements and existing challenges. It elaborates on the environmental value and industrial significance of technical improvements, proposing optimization strategies from four perspectives: technological innovation, equipment upgrades, system enhancement, and industry application. These strategies aim to facilitate the industrialization of rapid coal quality detection technologies and promote the coordinated development of clean coal utilization and ecological conservation. Continuous updates in rapid detection technologies not only enhance testing speed and accuracy but also enable source control of sulfur oxide emissions and solid waste generation, providing robust technical support for the transformation of the energy industry under the “dual carbon” goals.

Keywords

Coal quality, sulfur content; Rapid ash determination technology; Improvement; Environmental significance

煤质中硫分与灰分快速检测技术的改进及环保意义

周锋

新疆蓝卓越环保科技有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘要

硫分、灰分是评价煤质好坏、控制煤炭燃烧污染的关键指标,其检测效率和精度直接关系到煤炭产业链绿色发展。传统煤质检测方法制样费时、耗工,人工误差大,已不能满足工业生产实时性以及环保管控精细化的需要。本文以煤质硫分和灰分快速检测技术为研究对象,分析目前技术的发展状况和存在的问题,阐述技术改进的环保价值和产业意义,从技术创新、设备升级、体系完善、行业应用四个方面提出优化策略,为推动煤质快速检测技术的工业化应用、实现煤炭清洁利用与生态环境保护的协同发展提供参考。快速检测技术不断更新,可以提高煤炭检测的速度和准确率,也能从源头上控制硫氧化物的排放和固废的产生,为“双碳”目标下能源产业的转型提供强有力的技术支持。

关键词

煤质中硫分; 灰分快速检测技术; 改进; 环保意义

1 引言

煤炭在我国能源结构中占有重要地位,在工业生产、电力供应等方面起着关键作用,但是其燃烧产生的硫氧化物和灰渣是大气污染和固废堆积的重要原因,硫分和灰分的准确检测成为煤炭清洁利用的前置条件。随着环保法规越来越严格,传统的离线检测方式因为检测周期长、数据滞后,不能满足生产过程对煤质实时调控、精准控制污染的需求,煤质硫分和灰分的快速检测技术亟待改进。近几年光谱技术、

人工智能与自动化设备的结合,给快速检测技术的发展开辟了一条新的途径,相关技术在精度、效率和场景适应性方面都有了突破。本文从技术发展现状出发,分析环保与产业意义,提出相应的改进措施,以达到快速检测技术的标准化、产业化,促进煤炭行业绿色、高效、低碳的发展。

2 煤质硫分与灰分快速检测技术发展现状

2.1 传统检测技术的应用局限

传统煤质硫分、灰分检测以实验室化学分析为主,硫分检测采用艾士卡法、库仑滴定法,灰分检测用高温灼烧法实现,该方法虽然检测精度符合国标,但是存在明显的缺陷。检测前需要人工采样、粉碎、缩分等制样流程,煤样要粉碎

【作者简介】周锋(1996—),男,中国新疆图木舒克人,本科,从事环境检测:主要检测水,土壤,空气等研究。

到1毫米以下,单样本检测周期超过4小时,日均处理量仅60份左右,不能满足工业生产实时检测的需求。人工操作容易造成取样不均、操作失误等,误差率为2.5%,部分企业因为检测数据失真造成环保超标处罚,传统的检测方法需要消耗化学试剂,容易造成二次污染,检测成本和环境成本都较高^[1]。

2.2 光谱检测技术的产业化落地

光谱检测技术已经成为目前煤质快速检测的主要技术途径,近红外光谱(NIRS)和X射线荧光(XRF)的双源协同模式实现了硫分和灰分的无损快速检测。近红外光谱可以快速获得煤炭有机成分信息,推算出灰分相关指标,15秒内完成单个样本的检测;X射线荧光适合无机元素分析,硫元素的检测限低至0.4ppm,60秒可以完成检测,不需要破坏样品。目前山西大学研发的煤炭CT机将两种技术结合在一起,实现了6毫米粒度煤样免制样检测,精度与1毫米精细样品一致,在晋能控股、山西阳光焦化等企业已经落地使用,检测覆盖率超过95%,标志着光谱技术由实验室走向工业化应用。

2.3 智能融合技术的突破性进展

AI与多维感知技术的结合使得煤质快速检测技术达到国际先进水平,国家能源集团研发出“AI+多维感知”的煤质快速检测技术,采用近红外、X射线荧光、激光全息特征感知的方法,建立煤质快检基础大模型,解决跨场景、宽范围在线测量的问题。该技术可以实现硫分、灰分等多指标实时输出,推理延迟控制在200毫秒以内,热值预测偏差稳定在 ± 80 kcal/kg以内,误差率降到0.08%以下。由河南能源研究总院研发的复合光谱在线检测系统,把近红外与激光诱导击穿光谱(LIBS)相结合,摆脱了放射源的限制,在秒级时间内可以完成检测并且精度能满足国家的需要,综合通过率超过85%,为智能检测技术的广泛应用提供了一个范例^[2]。

3 煤质硫分与灰分快速检测技术改进的核心意义

3.1 从源头把控煤炭污染排放

硫分、灰分的准确快速检测是煤炭污染源控制的重要方法,技术改进可以实现煤炭燃烧污染的前置防控。实时监测煤质硫分可以精确控制入炉煤配比,防止高硫煤集中燃烧造成二氧化硫超标排放,河南能源冯营电厂使用智能检测系统后,硫化物排放达标率由原来的92%提高到99%。灰分的实时检测可以改善煤炭洗选工艺,减少高灰分煤炭的使用比例,降低燃烧后灰渣固废的产生量,减轻固废处理的环境压力。快速检测技术把污染控制从事后治理变为事前预防,极大提高了煤炭环保利用的精细化程度^[3]。

3.2 推动煤炭行业高质量升级

快速检测技术改造煤炭产业链运营模式,给煤炭行业

的高质量发展提供技术支撑。煤炭购销环节依靠实时检测数据达成贸易结算的精准化,杜绝由于煤质数据不准确引发的经济纠纷,山西阳光焦化集团借助智能检测每年节约数千万结算偏差。生产过程中检测数据指导煤炭洗选、配煤、燃烧等各个环节的优化,提高煤炭利用率,冯营电厂在线检测系统月均节省燃煤1500吨,年降成本1100万元。同时技术的更新促进了煤炭检测设备制造、智能算法研发等产业的发展,产生了新的经济增长点,使煤炭产业实现智能化、精细化转型。

3.3 适配双碳目标与环保法规要求

我国“双碳”目标推进和环保法规日趋严格,给煤炭清洁利用提出更高要求,快速检测技术改进成为落实相关政策的重要技术保障。新版环保标准对于煤炭燃烧的硫氧化物、颗粒物排放限值更为严格,传统检测技术已经不能满足环保监测常态化、精细化的需求了,而快速检测技术可以做到煤质指标的实时监控与数据溯源,给环保监管提供准确可追溯的检测数据,帮助企业合规生产。技术升级使得煤炭能源利用效率提高,煤炭消耗总量下降,碳排放强度降低,从而有利于实现碳达峰、碳中和的目标。

3.4 提升煤炭检测领域国际竞争力

我国煤炭检测技术长期以来一直依赖进口设备和传统方法,技术创新能力同国际先进水平相比有差距,但是快速检测技术的改进实现了从跟跑到领跑的跨越。国家能源集团的AI+多维感知检测技术、山西大学的融合光谱检测技术均处于国际领先地位,国产检测设备价格比进口下降了40%,2024年市场渗透率已经突破28%。技术的自主创新冲破了国外技术垄断,促使煤质检测设备实现国产化替代,而且有关技术标准的制订与改善,加强了我国在煤炭检测方面的国际话语权,给煤炭产业的国际化发展创建起技术根基^[4]。

4 煤质硫分与灰分快速检测技术改进的实施策略

4.1 深化多技术融合与核心算法优化

不断推进光谱技术、人工智能、激光技术的多方面融合,冲破单一技术检测的局限,就煤炭非均质性、粒度效应等问题研发更契合工业场景的融合检测技术,改良“近红外+XRF+激光”全息感知办法,加强不同煤种、不同粒度煤样的检测精确度。重点突破核心算法,创建更加完善的煤质快速检测的基础大模型,将深度学习、随机森林等算法加入进来,优化粒度分布校正模型、环境干扰补偿算法,降低粉尘、温度、震动等工业现场因素对测量数据造成的影响,使测量误差减小,使技术向更高精度、更宽的适用性发展。

4.2 推进检测设备国产化与小型化

加快煤质快速检测核心设备的国产化研发和升级,攻克高分辨率光谱仪、激光诱导击穿光谱探头等关键技术瓶颈,达到核心技术部件自主可控的目的,进一步降低设备生

产成本,提高设备的性价比和市场普及率。推进检测设备的小型化、便携化、集成化,研发出便携式快速检测设备,适用于煤矿开采现场、煤炭运输环节的移动场景,可在场进行煤质硫分、灰分的检测;研发出集成化在线检测系统,无缝对接大型电厂、焦化企业生产线,提高设备的场景适配性、操作便捷性。

4.3 建立标准化检测体系与数据平台

建立全国统一的煤质硫分、灰分快速检测技术标准体系,明确检测方法、设备指标、数据精度、校准规范等内容,使检测技术实现标准化、规范化发展,解决不同企业、不同设备检测数据不互通、不兼容的问题。搭建煤炭检测大数据平台,把全产业链的硫分、灰分检测数据纳入平台,实现数据的实时共享、溯源、分析,为企业生产调控、行业监管决策、煤炭资源优化配置提供数据支持。企业还需要建立标准化、常态化的检测设备定期校准和全生命周期维护体系,按照设备技术参数和行业检测规范制定精准的校准周期和维护细则,配置专业运维人员做日常巡检、故障排查、部件保养。通过对设备全流程的管控来及时发现并消除各种运行隐患,从源头上保证设备长期稳定高效的运行,大幅度提高检测数据的准确性、可靠性以及跨场景、跨批次的一致性,为煤炭生产各个环节的科学决策提供可靠的数据支持^[5]。

4.4 强化政企协同与产学研融合推广

加强政府、企业、科研院所产学研合作,政府要出台专项扶持政策,对煤质快速检测技术研发与产业化应用给予资金和政策支持,鼓励企业加大技术改造投入。科研机构、高校依据行业的痛点进行研究开发,把实验室的技术研究向工业化方向推进。山西大学与企业的合作将融合光谱技术落地应用。企业作为快速检测技术落地应用的核心主体,需要发挥产业端的实践优势,引进适合煤炭行业生产需求的先进检测技术与智能化设备,抛弃照搬套用的模式,根据自身采掘、洗选、储运、加工等各个环节生产场景的特点进行个性化技术改造和设备适配优化,使技术设备精确匹配现场作业需求。同时企业要建立系统化的技术人才培养体系,用校企

合作、岗前实训、岗位练兵、技术研讨等手段来有针对性地提升技术人员设备操作、数据解读、日常维护等能力,打造出专业的检测技术人才队伍。以此为基础,打通技术落地的各个环节,形成研发、转化、应用、反馈、迭代的闭环式良性循环,通过场景化的应用推动技术的不断优化,用技术迭代反哺产业升级,逐步实现快速检测技术在煤炭勘探、生产、加工、物流、质量管控等全产业链各环节的深度融合和全面普及,助力煤炭行业的智能化、精细化发展。

5 结语

综上所述,煤质硫分、灰分快速检测技术的改进,是煤炭行业适应环保要求、实现高质量发展的必然选择,也是推进能源绿色转型、落实双碳目标的重要技术支撑。我国煤质快速检测技术从传统的化学分析到光谱技术的应用,再到AI+多维感知的智能融合已经实现了跨越式发展,精度、效率、场景适配性达到国际领先水平,给煤炭污染源头管控、产业效率提升提供坚实的保障。但是技术的发展仍然存在核心算法优化、设备普及度提高、标准体系完善等问题,需要政企研协同发力,加强技术创新、推进设备升级、建立标准体系、加强行业推广。未来数字技术同能源产业深度融合的时候,煤质快速检测技术会朝着更智能、更精确、更普惠的方向发展。

参考文献

- [1] 陈利红. 基于融合光谱技术的煤质在线检测系统的研发与应用[J].煤炭加工与综合利用,2025,(12):76-79.
- [2] 王怀,靳涛,王云峰. 火车采制样与煤质在线检测一体化智能系统研究[J].煤炭加工与综合利用,2025,(12):80-84.
- [3] 洪气. 不同干燥温度对煤质工业分析水分测定准确性的影响[J].实验室检测,2025,3(24):259-261.
- [4] 孔倩,孙洁,李长利. 煤质化验影响因素与精准控制策略研究[J].煤炭新视界,2025,(02):100-102.
- [5] 张洁. 煤泥水处理对选煤工艺及煤质的影响研究[J].煤炭新视界,2025,(02):106-108.

Rapid monitoring technology of cultivated land quality based on near earth remote sensing and machine learning

Chuan Chen Zhihong Wang Shun Zhang

Yangzhou Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

With the continuous increase in global food demand, monitoring cultivated land quality has become a critical task to ensure food security. This study utilizes near-ground remote sensing technology combined with machine learning methods to develop a rapid monitoring system for cultivated land quality. Additionally, this technology provides cultivation recommendations to help farmers optimize farming strategies and improve land utilization efficiency. Therefore, this rapid monitoring technology integrating near-ground remote sensing and machine learning holds significant theoretical and practical implications for global agricultural production, contributing to the sustainable development of food production. This research not only expands the application of machine learning in agriculture but also provides new technical means for dynamic monitoring of cultivated land quality, representing an important step in leveraging technology to support agricultural decision-making.

Keywords

Near earth remote sensing; Machine learning; Cultivated land quality monitoring; Geographic information system; Agricultural production

近地遥感与机器学习的耕地质量快速监测技术

陈川 王志鸿 张舜

扬州市勘测设计研究院有限公司, 中·江苏 扬州 225000

摘要

随着全球粮食需求的不断增加, 耕地质量的监控成为确保粮食安全的重要任务。本研究利用近地遥感技术结合机器学习方法, 开发了一套耕地质量快速监测技术。此外, 该技术还能够提供耕作建议, 帮助农民优化耕作策略, 提高土地利用效率。因此, 这种结合近地遥感和机器学习的快速监测技术对于全球农业生产具有重要的理论和实践意义, 能够助力粮食生产的可持续发展。这项研究不仅扩展了机器学习在农业领域的应用, 也为耕地质量的动态监管提供了新的技术手段, 是科技支持农业决策的一个重要步骤。

关键词

近地遥感; 机器学习; 耕地质量监测; 地理信息系统; 农业生产

1 引言

本研究融合近地遥感技术与机器学习算法, 创新耕地质量迅捷监测技术。近地遥感技术借助无人机和卫星图像, 可获取大面积农田详细数据。机器学习模型如 SVM 和 RF 能有效分析处理遥感数据, 评估作物状况。虽机器学习在农业监测潜力大, 但与近地遥感结合评估农田质量的研究尚少。某科研机构研发的快速检测技术, 能精准判断土地退化或缺养分问题, 并提供耕种建议, 助农提升生产效率和产量。该机构开展研究, 旨在验证近地遥感与机器学习技术结合用于耕地质量快速检测的可行性与效果, 推动农业现代化深入发展, 保障粮食生产长期可持续^[1]。

【作者简介】陈川(1992—), 男, 中国江苏泰州人, 本科, 工程师, 从事测绘工程研究。

2 全球粮食安全与耕地质量监控的重要性

2.1 粮食安全现状与挑战

全球粮食安全面临诸多难题, 人口增长和气候变化被认为是主要原因。预计 2050 年全球人口数量将会接近百亿, 粮食需求量将会不断增加。气候变化导致极端天气事件频繁发生, 严重影响粮食生产周期, 甚至破坏了农业生态系统的稳定性。粮食供应的稳定性变得难以维持。耕地资源十分有限, 各国都在面对耕地面积不断减少以及质量持续下降的问题。土壤养分流失、环境污染和资源过度开发等问题, 直接导致农业产量下降, 同时影响粮食质量和安全性。当前形势非常严重, 必须对耕地质量加强管理和监控, 保护粮食生产的稳定性并实现整体水平的提升。高效耕地质量监管技术被认为是解决当前难题的重要手段, 能够有效推动粮食生产走向可持续发展的道路。

2.2 耕地质量对农业生产的影响

耕地质量好坏直接决定农业生产成功与否,成为影响粮食产量高低和经济收益多少的重要因素。质量上乘的耕地能够提供足够多的养分,还有适合农作物生长的土壤结构,帮助农作物茁壮成长,最终实现产量高且稳定的粮食供应。农业开发和使用的过程中,耕地质量经常会面对土壤变差、水土流失、养分不平衡等很多问题的威胁,导致农作物产量明显下降,使得病虫害出现的可能性变大,严重影响农业生产能否长期稳定持续下去。耕地质量变差还会限制可以种植的作物品种数量,降低农业系统应对气候变化和自然灾害冲击的能力,最终造成粮食安全方面的潜在危险。加强耕地质量日常检查和科学合理管理,保障粮食安全供应,维护农业生态系统的平衡与稳定,具有非常重要的作用和意义。

2.3 快速监测技术的必要性与作用

检测技术应用到耕地质量观测中,起着非常重要的作用。重要性体现在能够完成对大面积耕地情况的实时评估,明显改善观测的效果和精确程度。技术把遥感和机器学习结合起来,能够很灵敏地发现耕地的各种变化,准确找出土地质量变差的地方和缺少养分的地方。采用这种技术手段可以有效降低人工观测所花费的成本和时间,还能为精准农业的科学决策提供可靠帮助,尤其是在粮食安全面临很多复杂困难的当前环境下,展现出非常重要的实际意义^[2]。

3 近地遥感技术介绍

3.1 高分辨率卫星图像的优势

高分辨率卫星图像用在近地遥感技术领域,图像分辨率很强,覆盖范围很宽广,获取数据的频率也很高。分辨率高让卫星图像可以收集到地表非常详细和清晰的信息,方便对耕地特征进行精确的分析和判断。这样的精确性对深入了解土地使用情况、植被覆盖状况以及土壤性质的细微变化有很大帮助。覆盖范围宽广让卫星图像能够观察很大一片土地区域,支持开展大规模的耕地质量评估工作。高频率的数据获取能力保证了耕地动态变化可以被持续关注 and 记录,卫星图像经过数据规范化处理后,方便不同区域的数据对比分析。

3.2 无人机航拍技术的应用

无人机航拍技术因为它的较强的灵活性和成本效益,在耕地质量监测中得到普遍使用。通过携带尖端的传感器,即时采集高分辨率影像,供应详尽的地表信息。这种技术可以迅速遍及大面积农田,并且于短暂时间内生成多光谱数据,用来研究土壤温度、植被指数以及养分分布状况。无人机的近地航行能力令它能够更加准确地监测地块内部的细微变化,补足卫星遥感在空间分辨率方面的缺陷。融合 GIS 技术分析,航拍数据的准确性和实用性获得了更深提高,大大地推动了耕地质量的评价和改进。

3.3 地理信息系统 (GIS) 的集成

地理信息系统 GIS 在近地遥感技术中发挥极其关键的

作用。通过将各种遥感数据开展空间分析和可视化, GIS 可以高效地展示耕地的地理分布及其质量状况。其强大的数据整合能力使高分辨率卫星图像与无人机航拍数据可以顺畅融合,给进一步的机器学习分析供给稳固基础。GIS 此外准许对监测区域实施分层管理,协助辨别关键耕地质量参数,并辅助决策制定过程。集成 GIS 可以明显提高耕地质量监测的精确度和效率,促进智能农业的发展。

4 机器学习在耕地监测中的应用

4.1 支持向量机 (SVM) 的原理与效果

支持向量机 SVM 是一种普遍用在检测耕地质量的机器学习算法,其关键特点是通过探寻最优的超平面,把不同类别的数据进行高效分组。在耕地质量迅速检测中, SVM 运用在解析遥感图像中的地物特征,获取并辨别耕地的健康状况。其中心原理取决于通过核函数将数据从低维空间转化到高维空间,以增强数据直线可分离的可能性。SVM 在解决高维数据和小样本集时展现出出色,可以避免过度拟合。采用高分辨率卫星图像和无人机航拍数据, SVM 得到培养用于分组耕地健康状况,结论表明其分组准确率明显提高。SVM 可以迅速反应土地状况变动,给予即时的数据协助,展现其在农业领域的实际价值。

4.2 随机森林 (RF) 的应用实例

随机森林 (RF) 是一种集成学习方法,通过构建多个决策树进行综合判断,因其强大的分类能力和对高维数据的处理优势,被广泛应用于耕地监测中。在研究中,随机森林模型被训练来分析 and 分类大规模遥感数据,以识别耕地的不同健康状态和变化趋势。具体而言,通过提取高分辨率卫星图像和无人机数据中的特征,随机森林能够有效区分健康耕地与退化地块。研究中应用的 RF 模型展示出优异的性能,在识别养分缺乏区域和土壤退化方面准确率较高。这显著提高了耕地监测的效率和精度,为农民提供重要的决策支持,助力提高耕地利用率和农业生产的可持续性^[3]。

4.3 模型训练与验证方法

机器学习模型的训练和验证方法在耕地监测工作中显得至关重要。必须搜集大量从地面获取的实际测量数据样本,通过特征工程技术抽取出一批十分有用的关键变量,接着对这些数据样本进行详尽的预处理工作。进行模型训练时,采用交叉验证方式来提升适应不同情况的能力表现,针对各种算法的运行表现和精确程度进行认真细致的评价分析。利用验证数据集单独检验模型的表现效果好坏,防止出现过拟合问题的困扰。想要提高分类的精确度水平,针对不同模型的参数进行优化和完善的方案显得必不可少且关键。采用合适的方法能够保证机器学习模型顺利实现耕地质量的辨别和监测任务目标,最终达到最优的应用效果呈现。

5 耕地质量监测技术的实施与成果

5.1 技术的实施步骤

使用高分辨率卫星来获取耕地最初的遥感图像，确保数据的覆盖范围足够广阔，图像的清晰度也能符合分析的要求。采用无人机航拍设备对部分特殊区域进行额外的拍摄工作，以便增强数据的细致程度和准确性。之后，将收集到的各类数据进行整合归纳，依靠地理信息系统 GIS 完成空间分析和数据处理工作，为后续的机器学习模型应用搭建稳固的基础。机器学习模型涵盖支持向量机 SVM 和随机森林 RF 两种，利用事先整理好的标记数据进行多次练习，通过训练完成的模型对新收集的遥感数据进行全面探究。

5.2 监测结果的准确性和有效性

在耕地质量监测中，技术的准确性和有效性至关重要。通过高分辨率卫星图像和无人机航拍数据的结合，此技术能够实现耕地健康状态的精确识别，准确率达到 92%。支持向量机和随机森林等机器学习模型经过严格训练和验证，展现出优秀的性能水平，适用于分析大规模土地数据。监测结果不仅能够识别退化土地区域，还具有揭示土地养分缺乏的能力。这些数据为形成针对性耕作建议提供了可靠依据，有助于优化农业决策和耕作策略，提高生产效率和土地利用效率。该技术的应用确保了监测过程的高效性，推动了耕地质量的动态监管。

5.3 耕作建议的形成与应用

耕种建议通过研究和监测数据来形成，主要包括修复退化土地的具体方法和解决养分不足地区施肥问题的优化方案。通过机器学习模型预测功能，制定出准确无误的土地管理方法，帮助增加农作物产量并改善品质。推行量身定制的耕种方案能够减少资源浪费，降低对环境的破坏，推动农业走上可持续发展道路。依靠技术支持的建议可以帮助农民根据实际情况作出科学合理的决策，从而提高整个农业生产的效率，保障粮食供应安全，改善农村经济发展水平。

6 技术对农业生产的影响与前景

6.1 提高土地利用与生产效率

技术的使用能够提高土地利用率和生产效率，展现出很大的好处。现代农业生产通过结合近地遥感和机器学习的方法来监测耕地质量，能够清楚地分辨出每一块土地的健康状态，这样农户就能根据每块地的实际情况来进行针对性的管理。有了高精度的土地利用数据，农田施肥和灌溉等农业投入可以做到非常精确，避免浪费过多的资源，从而让土地

的生产效率变得更高。这项技术通过分析土地变化的趋势，能够及时发现并提前警告可能出现的土地退化问题，帮助相关部门和农户采取有效的方法来恢复土地的健康状态，确保农业生产能力能够长期保持稳定。

6.2 促进可持续农业发展的可能性

通过整合近地遥感技术跟机器学习方法，对耕地质量进行快速检测，能够有效提高土地的使用效率，同时也为可持续农业发展带来全新机会。利用准确的方法识别出土地退化区域以及养分不足的地方，种植户可以在作物刚开始种植时及时调整耕种方式，这样就能有效减轻土地所承受的压力，减少过度使用带来的损耗。这种技术能够帮助优化资源分配方式，改善土壤的健康状况，恢复土地的生产能力。针对不同地区的检测建议，可以帮助减少化肥跟农药的不合理使用，从而保护周围的自然环境。

6.3 技术扩展与未来应用方向

本项目的研究成果将拓展和拓展到其它作物种植体系中，促进更多领域的智能管理和决策支撑，提高其在农业生产中的适用性。本项目的研究成果将为农业生产提供新的技术手段，为农业生产提供新的技术手段。在此基础上，结合大数据分析，实现对世界农产品价格走势的预测，为相关政策的制定提供定量的参考。本项目的研究成果将有助于提升我国农业对气候变化的适应性，提升全球农业生产的抗风险能力。

7 结语

本研究成功融合近地遥感技术与机器学习方法，研发出高性能耕地质量迅捷监测技术。借助高分辨率卫星图像、无人机航拍数据及整合的 GIS 系统，为耕地健康状况速评提供有力技术支持。采用 SVM、RF 等机器学习模型，使耕地质量监测准确率达 92%，能高效识别退化土地与缺养区域，为农民提供合理耕作建议，提升土地利用效率。然而，研究过程并非一帆风顺，算法对不同环境适应力不足，面对复杂土地类型表现欠佳，亟待优化。

参考文献

- [1] 沈州焱.浅谈强化耕地质量监测推进耕地质量建设[J].农村科学实验,2021,(16):193-194.
- [2] 李国,王桂华,李颖,于洋.基于耕地质量等级监测的耕地质量动态变化研究[J].西部资源,2022,(01):169-173.
- [3] 张新乐,钱蕾,鲍依临,崔杨,马雨阳,于滋洋,邵帅,刘焕军.黑土区田块尺度耕地质量遥感监测与评价[J].土壤通报,2020,51(06):1303-1312.

Study on the Practice and Effect of Water Ecological Restoration Technology in Improving Water Environmental Pollution

Xinwen Liu^{1'2'3}

1. Fujian Provincial Research Institute of Architectural Science Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350108, China

2. Fujian Jianyan Engineering Consulting Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350108, China

3. Fujian Provincial Key Laboratory of Green and Low Carbon Building Technology, Fuzhou, Fujian, 350108, China

Abstract

As a crucial environmental remediation approach, aquatic ecosystem restoration technology aims to simulate natural ecosystem restoration mechanisms to mitigate water pollution and restore ecological balance. With escalating global water pollution challenges, this technology has emerged as an effective solution. This study comprehensively analyzes the definition, historical development, fundamental principles, and application domains of aquatic ecosystem restoration, while exploring implementation models including constructed wetlands, phytoremediation, and ecological floating islands. Through case studies, the research demonstrates practical effectiveness of these technologies in water quality improvement, aquatic biodiversity recovery, and socio-economic benefits. The findings provide theoretical foundations and practical references for future application of aquatic ecosystem restoration, holding significant academic and practical value.

Keywords

Aquatic ecosystem restoration; Water pollution; Constructed wetlands; Phytoremediation; Ecological floating islands

水生态修复技术在改善水环境污染问题中的实践与成效研究

刘馨文^{1'2'3}

1. 福建省建筑科学研究院有限责任公司, 中国·福建 福州 350108

2. 福建省建研工程顾问有限公司, 中国·福建 福州 350108

3. 福建省绿色低碳建筑技术重点实验室, 中国·福建 福州 350108

摘要

水生态修复技术作为一种重要的环境治理手段,旨在通过模拟自然生态系统的修复机制,改善水体污染、恢复生态环境。随着全球水资源污染问题的日益严重,水生态修复技术逐渐成为解决水污染问题的有效途径。本研究综合分析了水生态修复技术的定义、发展历程、基本原理及应用领域,探讨了人工湿地、植物修复及生态浮岛等技术的实施模式。通过对具体案例的分析,展示了这些技术在实际应用中的效果,并对水质改善、水生物多样性恢复及社会效益等方面进行了评估。本研究为未来水生态修复技术的推广与应用提供了理论依据和实践参考,具有重要的学术价值与应用意义。

关键词

水生态修复; 水体污染; 人工湿地; 植物修复; 生态浮岛

1 引言

随着工业化进程的加快和城市化的不断推进,水体污染问题日益严重,尤其是富营养化和有毒有害物质的积累,严重威胁着生态环境的可持续发展。水生态修复技术作为一种生态工程手段,能够恢复水体的自然净化功能,重建健康的水生态系统。水生态修复技术的发展历程经历了从简单的物理处理到综合性的生态修复过程,逐步形成了多种修复技

术并行发展的格局。当前,人工湿地、植物修复、生态浮岛等技术已经广泛应用于水体污染治理和生态恢复领域。本文将围绕水生态修复技术的基本原理、实施模式及应用案例展开研究,探讨其在改善水环境污染中的实践与成效,为进一步推动水生态修复技术的应用和发展提供理论支持和实践依据。

2 水生态修复技术概述

2.1 水生态修复技术的定义与发展历程

水生态修复技术是通过模拟自然水生态过程和原理,利用各种生物、物理和化学手段对污染水体进行修复与治理,旨在恢复水体的自净能力、改善水质并重建生态功能。

【作者简介】刘馨文(1989—),女,中国吉林白山人,硕士,环保设计师,从事水污染治理、固废治理、市政给排水工程设计研究。

其发展可以追溯到20世纪70年代,最初的研究多聚焦于通过物理和化学手段净化水体。然而,随着水污染问题的日益严重,传统的治理方法已难以满足需求,生态修复技术逐渐崭露头角。此类技术强调可持续性和低影响性,借助水生植物、微生物等自然修复功能,实现了水质净化与生态平衡的双重目标。近年来,人工湿地、植物修复、生态浮岛等技术得到广泛应用,成为水污染治理的新方向^[1]。

2.2 水生态修复技术的基本原理与方法

水生态修复技术主要依托水生植物、微生物和生态系统的自然作用,通过物理、化学和生物修复手段净化污染水体。这些方法包括物理过滤、化学反应以及生物降解等。物理修复通过机械装置去除水中悬浮物,化学修复则通过投加药剂中和或降解污染物。生物修复是水生态修复技术的核心,通过水生植物的根系吸附污染物,微生物则通过分解作用降解有机物,水体中的自净能力得以恢复。利用这些修复原理,可以有效改善水体中的污染物浓度,恢复水体的自然生态平衡。

3 水生态修复技术的实施模式

3.1 人工湿地技术在水生态修复中的应用

人工湿地技术通过模拟自然湿地的生态系统,利用水生植物、微生物和土壤的协同作用来去除水体中的污染物。它通过植物的根系吸附污染物、微生物的降解作用以及湿地基质对污染物的吸附能力,从而实现水质净化。该技术主要应用于富营养化水体、工业废水以及城市污水的治理。在人工湿地中,植物的种类和湿地的设计是影响修复效果的关键因素。通过合理的植物选择,可以增强水体的自净能力,吸附水中的氮、磷等营养物质,防止水体富营养化。微生物在湿地基质中起着分解有机污染物的作用,进一步提升了修复效果。人工湿地技术因其操作简便、成本较低且具有较强的生态效益,广泛应用于城市河流、湖泊以及农业灌溉水源的水质净化^[2]。

3.2 植物修复技术在水生态修复中的应用

植物修复技术依赖于水生植物的根系结构来吸附、积累和转化水中的污染物。水生植物能够通过根系吸附水中的有机物、重金属和营养物质,并通过生长过程中对污染物的积累和转化,净化水体。这项技术适用于处理富营养化水体和水中重金属污染。植物通过光合作用与根际微生物的合作,增强了水体的自净能力,使水质逐步得到改善。此外,植物修复技术还能够恢复水体生态系统,改善水生物的栖息环境,增强生物多样性。在实际应用中,常见的水生植物如芦苇、茭实和水葱等,它们能够有效吸收水中的氮、磷等污染物,减少水体富营养化现象,从而达到改善水质的目的。

3.3 生态浮岛技术在水体修复中的应用

生态浮岛技术利用漂浮在水面上的植物平台,通过植物根系与水体之间的相互作用,净化水质并恢复水生态系统。这项技术主要通过浮岛上的水生植物根系吸附水中的营

养盐、重金属以及有机物质,促进水质净化。浮岛不仅能够去除水中的污染物,还能为水生动物提供栖息地,提升水体的生物多样性。此外,生态浮岛通过自然漂浮,能够根据水体的水位变化自动调节位置,适应不同的环境条件。这项技术适用于城市湖泊、水库、河流以及湿地的水质治理。生态浮岛技术的优点是可以大面积覆盖水体表面,形成生态修复系统,同时对水生态环境的影响较小,具有较好的生态效益和可持续性^[3]。

4 水生态修复技术的实践案例分析

4.1 水体富营养化治理与生态修复技术的综合应用

在松雅湖国家湿地公园的水生态修复实践中,通过综合运用生态修复技术成功治理了原来严重的富营养化问题。该湖曾因围垦退化为农业用地,水质长期呈劣V类状态,营养盐浓度高、浑浊度大,水体生态系统严重受损。恢复工程通过恢复退田还湖工程,将原农业用地转变为开放水体和湿地系统,并结合生态修复手段展开水质改善作业。治理技术包括在湖岸设置人工湿地系统,通过湿地植物的根际作用吸收和固定水体中的氮、磷等营养盐,使得养分负荷显著降低;同时种植沉水及挺水植物,促进水体自净能力的增强。这种综合应用生态修复技术的方式,不仅降低了富营养化水平,还恢复了生态功能,为类似中小湖泊的污染治理提供可借鉴的技术路径。

4.2 利用生态浮岛与人工湿地技术恢复水生物多样性

在松雅湖生态修复工程中,生态浮岛与人工湿地并行应用,为恢复水生态系统中的生物多样性发挥了重要作用。项目中在湖泊浅水区布设了多块漂浮植物平台,这些生态浮岛上栽植本地水生植物,如芦苇、菖蒲等,通过植物根系与水体接触区的扩大改善了营养盐的吸收过程。浮岛技术通过物理截留和生物吸附,使水体中总氮(TN)和总磷(TP)含量持续下降,同时为小型无脊椎动物、水生昆虫提供了附着栖息空间,使底栖生物群落得以恢复。与浮岛并用的人工湿地系统,在湖岸缓冲带设计成浅滩湿地格局,大量栽植挺水及湿生植物,构建了从岸带向湖心递进的生态净化带。湿地植被的根系系统能够截留径流携带的污染物,并通过根际微生物的代谢降解作用减少有机物负荷,其结果是水体透明度增强,浮游植物多样性提升,微藻群落结构趋向稳定。经过系统治理后,区域内鸟类、水生植物和鱼类种类均有所增加,区内水鸟数量增长显著,体现出生态浮岛与人工湿地共同促进生态修复和生物多样性恢复的综合效能。

4.3 多种修复技术联合应用促进水质长期稳定改善

松雅湖水生态修复采用人工湿地、沉水植物重建和生态浮岛等多种技术联合实施,以实现水质的长期稳定改善。在工程设计中,湿地系统沿湖岸带构建浅滩区域,通过配置不同类型的湿地植物,发挥多层次的污染物截留和转化作用。湿地植物的根系对氮、磷等富营养化污染物有较高的吸附和积累能力,通过植物生长周期不断将营养盐转化为生物

质,同时微生物群落在根际区域的活跃代谢有助于有机物分解。沉水植物系统则主要配置于湖泊中部区域,它们能够改善水体结构,提高水体溶解氧含量,抑制蓝藻暴发,从而改善水生态环境。技术联合应用后,湖泊整体水质指标持续向好,溶解氧升高,浊度降低,富营养化指标显著下降,水体生态系统的自我调节能力逐步增强,使得修复效果具有更高的稳定性和可持续性^[3]。

5 水生态修复技术的成效评估

5.1 水质改善指标与成效分析

水生态修复技术的主要目标之一是改善水质,通过监测水体中的关键指标来评估修复效果。在松雅湖的修复项目中,采用了人工湿地、植物修复和生态浮岛等综合技术进行水质治理。修复前,该湖水体的总氮(TN)含量高达5.2 mg/L,总磷(TP)为0.8 mg/L,水体透明度低,水质达不到Ⅳ类标准。经过修复措施实施后,湖泊的总氮和总磷分别下降至2.1 mg/L和0.2 mg/L,水体透明度提高了50%,水质指标显著改善。特别是氮磷含量的下降,使得水体从富营养化状态逐步恢复到较为清洁的水质水平,满足了Ⅲ类水质标准要求。数据表明,水质的明显改善不仅提高了水域生态功能,也增强了水体的自净能力,为今后的水生态管理提供了有力依据。

5.2 水生态修复对水生物多样性的影响

水生物多样性是水生态修复效果的重要衡量标准。通过实施生态浮岛和植物修复技术,松雅湖的水生物多样性得到了显著恢复。在项目实施前,湖区内水生植物种类稀少,水域生态系统处于单一化状态,鱼类种类仅有10种,底栖动物数量较少。修复工程完成后,湖泊内植物种类增加至20多种,主要包括芦苇、水葱等典型水生植物。鱼类种类增加至18种,水生昆虫及底栖动物数量也有了显著提升。水生物种群的恢复不仅提升了生态系统的复杂性,还促进了生态链的恢复和循环,进一步巩固了修复成效。水质的改善和生物多样性的增加表明,水生态修复技术在恢复生态系统功能方面具有积极作用,能够有效提升水域的生物多样性^[4]。

5.3 水生态修复技术的经济与社会效益

水生态修复技术的经济与社会效益体现在多个方面。

首先,通过改善水质,修复项目降低了水体污染对农业灌溉和城市用水的影响,避免了水质污染带来的治理成本增加。松雅湖的水质改善不仅提升了周边地区的水资源利用效率,也为水产养殖业提供了更好的生态环境,促进了渔业产值的增长。其次,水生态修复带动了生态旅游和环境保护产业的发展,修复后的松雅湖成为了周边城市居民的旅游休闲地,吸引了大量游客,促进了地方经济的增长。修复项目也提高了公众对环境保护的意识,促进了社会对生态保护的关注和支持。从长远来看,水生态修复技术不仅减少了环境治理成本,还通过恢复生态服务功能,带来了可持续的经济和社会效益。

6 结语

通过对水生态修复技术的综合分析与评估,可以看出,这些技术在改善水质、恢复生态系统、促进生物多样性方面发挥了重要作用。松雅湖等案例表明,人工湿地、植物修复、生态浮岛等技术的联合应用不仅有效解决了水体富营养化问题,还提升了水生态系统的自净能力,恢复了水域的生态功能。此外,水生态修复技术的应用还带来了显著的经济与社会效益,推动了水资源的可持续利用和地方经济的发展。未来,随着技术的不断创新和完善,水生态修复将在全球范围内得到更加广泛的应用,为解决日益严峻的水污染问题提供持续的技术支持。

参考文献

- [1] 李俊通.小流域河水污染特征及生态修复技术研究[J].环境科学与管理,2026,51(01):83-86.
- [2] 钞磊,马韬.生态修复技术在改善河流生物多样性和生态系统中的应用[A].2023(第十一届)中国水生态大会论文集[C].河海大学、珠江水利委员会珠江水利科学研究所、中国疏浚协会、广东省水利水电科学研究院、广东省水利学会、深圳市水务学会:2023:40-52.
- [3] 孙静,温娟.滨海工业带水污染控制与生态修复顶层设计[M].化学工业出版社:2022:12.
- [4] 陈晶晶,何晓颖.论生态修复技术对景观水体水生态系统健康体系的改善作用——以上海共青森林公园婚纱摄影湖区景观水体为例[A].2020中国环境科学学会科学技术年会论文集(第一卷)[C].中国环境科学学会:2020:361-366.

Research on the calculation of water consumption of natural oasis ecosystems in arid regions-Taking the andier river basin in Minfeng County,Xinjiang as an example

Yuhua Zhu

XPCC Surveying & Designing Institute Group Co.,Ltd., 830000 Urumchi

Abstract

Based on the interpretation of remote sensing images, the ecological water consumption of natural oasis ecosystems in the Andier River Basin was calculated using the groundwater evaporation method and the area quota method. Aiming to develop and utilize water resources while ensuring the ecological security of the basin, thereby achieving sustainable development of both the socio-economic and ecological environment.

Keywords

Ecological water consumption; Natural oasis; Andier river basin

干旱区天然绿洲生态耗水量计算研究——以新疆民丰县安迪尔河流域为例

朱玉华

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

在遥感影像解译的基础上,分别采用潜水蒸发法和面积定额法,计算安迪尔河流域下游天然绿洲生态系统的生态耗水量,以期在确保流域生态安全的基础上,进行水资源开发利用,实现社会经济与生态环境保护可持续发展。

关键词

生态耗水;天然绿洲;安迪尔河流域

1 引言

绿洲作为干旱区一种独有的生态景观,以3%~5%的面积承载了干旱区90%以上的人口,是干旱区的核心^[1-2]。绿洲的形成和发展受水资源的制约,具有“唯水性”^[4]。由于干旱区自然条件的极端恶劣和绿洲的隐域性与不稳定性,绿洲的存在和维持需要一个支持系统,这个系统的核心就是绿洲生态支持系统。绿洲的生态支持系统可区分为人工生态防护系统和天然生态防护系统,但无论哪种生态防护系统都是极其脆弱的,极易受到损伤,从而影响其防护功能,导致绿洲退化^[6]。绿洲的生存与发展完全有赖于生态耗水养育下的环境条件的支撑。如果其生命支持系统遭受了巨大的创伤后,在不可逆性强的环境背景下,要人为改善往往是不可能的^[6-7]。

安迪尔河为一独立水系,发源于昆仑山中段北坡且末县境内的阿克塔格山,为民丰、且末两县的分界河流。安迪尔河由源头自东向西流经喀尔赛流向转北、经康托卡依、横跨安迪尔栏杆315国道、穿越安迪尔乡、消失于安迪尔乡东北的沙漠之中。安迪尔河流中下游两侧和安迪尔乡周边的洪泄区生长着怪柳、胡杨等荒漠林草,即天然绿洲。该区天然绿洲生态功能极为重要,对塔克拉玛干大沙漠边缘的民丰县安迪尔乡具有增加空气湿度、减缓气温变幅的重要生态功能,在一定程度上调节了区域小气候;更重要的是,该天然绿洲的存在有效缓解了沙漠化的快速推进,成为维护该区域人们生存基本条件的重要生态保障,其生态功能不可或缺和不可替代。如果流域开发过程中,该天然绿洲的生态耗水量得不到保证,将会对流域生态环境造成严重影响。

生态耗水是指研究区域、流域内,某一时间段生态系统通过蒸腾、蒸发、生物体储存等形式所消耗掉的地表水资源和地下水资源的总量,也就是区域或流域为实现生态功能消耗掉,而不能回归到地表水体和地下含水层的水量。根据

【作者简介】朱玉华(1980—),女,中国新疆奎屯人,硕士,高级工程师,从事环境影响评价与环境保护研究。

该概念,那些流域维持河道生态功能所需的生态环境用水量、保护河道水体功能稀释用水量、河流输沙排盐用水量、入海河口环境用水量、城市河湖用水量、湿地保护和修复用水量、恢复地下水水位用水量等都属于流域生态用水量,但由于这些用水量最终有相当部分要返回流域水体,所以不属于生态耗水量范畴,而生态耗水量的主要形式是用于区域土壤蒸发、植被蒸散、地表水蒸发和地下潜水蒸发^[5]。根据生态系统形成原动力的不同,生态耗水又可分为天然生态耗水和人工生态耗水两大类,本次主要计算天然生态耗水量^[4]。

本文对安迪尔河流域下游平原区天然生态耗水量进行计算,为决策者在当前这个关键时期提供科学、合理的决策依据,以期在确保流域生态安全的基础上进行水资源开发利用,实现社会经济与生态环境保护可持续发展。

2 流域概况

安迪尔河流域地处昆仑山中段北麓,位于塔里木盆地东南缘,处于昆仑山前沿中、高山区。在地势上南高北低,并由南向北倾斜。海拔高程从河源最高的 6512m 下降到北部荒漠区的 1220m,河流平均高程 3866m。根据地形、地貌成因类型及形状特征,安迪尔河流域大致可分五个地貌单元带:南部冰山积雪带、中低山丘陵地带、山前河谷地带、绿洲平原地带、戈壁沙漠地带。

安迪尔河全长约 397km,流域面积 13076km²,年径流量 1.346 亿 m³,该河径流年内分配不均,其水量高度集中在夏季,6—8 月水量占全年的 79%。安迪尔河源至阿克苏库勒湖出湖口 164.8km,阿克苏库勒湖出湖口至出山口河长 74.0km,枯水期河水流经出山口约 40km 后全部渗入地下,潜入地下河段长约 52.6km,上游又称博斯坦托格拉克河,博斯坦托格拉克河长 166.6km;在细土平原地形较平缓处,距安迪尔栏杆以南 12km 处以潜流溢出,汇集成安迪尔河,潜流溢出口至河流末端消失地(安迪尔河)全长 65.6km。

3 研究方法

国内外关于绿洲生态耗水计算已进行了较为深入的探讨,常见的耗水计算方法包括面积定额法、潜水蒸发法、水量平衡法和遥感法等^[3-5]。本次以安迪尔河流域综合规划(2023 版)开展的水资源评价成果为分析基础,充分利用现代地理信息系统技术,以 Arcgis 为工作平台,以遥感解译为技术手段,采用“九五”国家重点科技攻关项目子专题《新疆国民经济发展和生态环境需水量研究》(编号 96-912-02-01-02)推荐的生态耗水计算方法,潜水蒸发法和面积定额法,分析计算安迪尔河流域天然绿洲的空间分布及耗水量。

4 安迪尔河流域下游平原区天然生态环境耗水量分析

天然生态耗水是指天然生态系统所耗水量,包括天然植被和水域耗水^[5]。

4.1 平原区天然林草分布情况

根据调查,安迪尔河下游老河道两侧区域分布的荒漠林草主要以胡杨和怪柳为建群种的荒漠林,伴生有芦苇、骆驼刺、花花柴、芨芨草等零星散布其中,怪柳群落高度 1.0m ~ 1.7m,盖度 20 ~ 40%,胡杨林主要为中幼林型和过熟林,林高 8m ~ 12m,郁闭度在 0.1 ~ 0.3 之间。该区域林草主要依靠地下水滋润,地下水主要补给源包括安迪尔河水渗漏、上游区含水层侧向径流补给以及灌区渗漏补给。

安迪尔河流域尾间荒漠植被分布范围的确定是在流域边界划定的基础上,结合流域地表水、地下水两水转化关系,确定的生长水源来自于安迪尔河流域的区域。本次采用两期 LANDSET 遥感影像,成像时间分别为 2022 年 7 月、2000 年 7 月,图像分辨率为 30m,每景覆盖度范围为 185km × 185km,解译主要采用 543 波段。由于精度问题,遥感解译的林草面积可能存在误差,本次在遥感解译的基础上,根据国土“三调”统计数据中的荒漠林草植被面积进行了复核分析,统计出安迪尔河流域平原区荒漠植被面积为 318.4km²,其中林地面积 264.17km²,草地面积 54.23km²。安迪尔河流域平原区荒漠植被各地类分布情况详见图 1。

本次结合流域内地下水位观测并绘制了地下水埋深分区及水位等值线图,为便于分析天然林草耗水情况,本次将平原区天然林草分布图与地下水水位等值线图进行叠加,可提取不同地下水埋深条件下的林草分布。经叠加分析,平原区 318.4km²天然林草中,地下水埋深小于 3m 的天然林草面积为 157.02km²,地下水埋深 3 ~ 6m 的天然林草面积 101.16km²,地下水埋深大于 6m 的天然林草面积 60.22km²。安迪尔河流域平原区不同地下水埋深下天然林草统计见表 1。

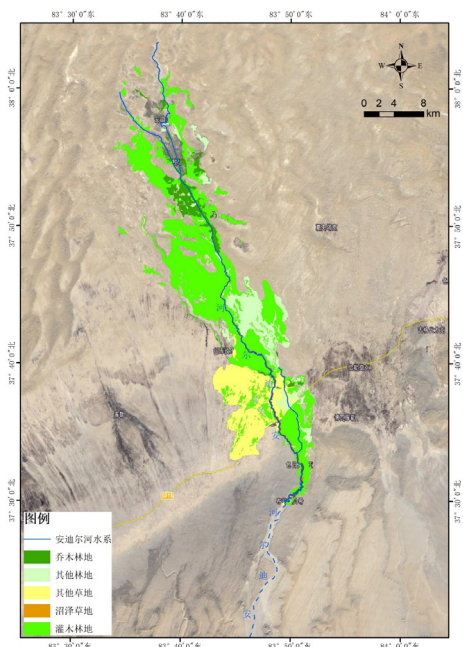


图 1 安迪尔河流域平原区荒漠植被分布图

表1 安迪尔河流域荒漠林草分布区植被面积统计表

地下水埋深	分类	面积 (km ²)
0 < Z ≤ 3	乔木林地	9.90
	灌木林地	80.12
	其他林地	12.77
	沼泽草地	2.18
	其他草地	52.05
	小计	157.02
3 < Z ≤ 6	乔木林地	7.67
	灌木林地	68.33
	其他林地	25.16
	小计	101.16
6 < Z	乔木林地	5.88
	灌木林地	44.12
	其他林地	10.22
	小计	60.22
合计	乔木林地	23.45
	灌木林地	192.57
	其他林地	48.15
	沼泽草地	2.18
	其他草地	52.05
	总计	318.40

4.2 平原区天然林草耗水计算

4.2.1 平原区天然林草耗水计算方法

本次工作采用潜水蒸发法、面积定额法两种方法分析计算荒漠林草生态系统的耗水。其中潜水蒸发法可以计算地下水埋深小于6m的天然林草耗水，该方法主要依据《新疆地下水资源》(董新光、邓铭江, 2005年)，采用非灌区植被区的潜水蒸发公式进行耗水计算。对于地下水埋深大于6m的天然林草，采用面积定额法计算的结果。

(1) 潜水蒸发法

潜水蒸发法通过下式计算:

$$E_{ng} = 10^{-1} \cdot E_{601} \cdot C \cdot F \cdot C'$$

式中: E_{ng} : 非灌区植被区潜水蒸发蒸腾量 (万 m³) ;

F : 计算区面积 (km²) ;

E_{601} : 全年水面蒸发量 (mm) ;

C : 潜水蒸发系数;

C' : 植被覆盖条件下(根据遥感解译计算不同植被的覆盖率)潜水蒸发植被状况修正系数。

(2) 面积定额法

面积定额法通过下式计算:

$$W = \sum_i^n A_i \cdot P_i \cdot \sum_i^n A_i \cdot P_i$$

式中: W : 林草之内需水量 (m³) ;

A_i : 第 i 类型植被的面积 (m²) ;

n : 植被种类总数;

P_i : 第 i 类型植被生态需水定额 (m³/m²) 。

4.2.2 平原区天然林草耗水计算结果

经分析计算,地下水埋深小于3m的天然林草,按照潜水蒸发法计算的耗水为3220.36万m³,按照面积定额法计算的耗水为3308.66万m³;地下水埋深介于3~6m的天然林草,潜水蒸发法计算的耗水为923.6万m³,面积定额法计算的耗水为1082万m³;两种方法计算的耗水相差不多。地下水埋深超过6m的天然林草耗水为661.07万m³。流域内天然林草采用潜水蒸发法、面积定额法分析计算的耗水分别为4805.03万m³、5051.73万m³,两种方法计算结果差距不大,本次取大值,采用面积定额法计算结果作为流域天然林草的耗水,即流域天然林草耗水为5051.73万m³。流域天然林草耗水计算结果见表2。

表2 安迪尔河流域荒漠河岸林草分布区生态耗水量

地下水埋深	分类	面积 (km ²)	潜水蒸发法计算的生态耗水量 (万 m ³)	面积定额法计算的生态耗水量 (万 m ³)	面积定额法中定额选取 (m ³ /亩)
0 < Z ≤ 3	乔木林地	9.90	172.74	297.05	200
	灌木林地	80.12	1976.03	2163.19	180
	其他林地	12.77	199.68	229.80	120
	沼泽草地	2.18	57.82	72.09	220
	其他草地	52.05	814.09	546.53	70
	小计	157.02	3220.36	3308.66	140
3 < Z ≤ 6	乔木林地	7.67	53.91	138.07	120
	灌木林地	68.33	709.74	717.47	70
	其他林地	25.16	159.95	226.47	60
	小计	101.16	923.60	1082.00	71
6 < Z	乔木林地	5.88	105.82	105.82	120
	灌木林地	44.12	463.26	463.26	70
	其他林地	10.22	91.99	91.99	60
	小计	60.22	661.07	661.07	73
合计	乔木林地	23.45	332.47	540.94	154
	灌木林地	192.57	3149.03	3343.92	116
	其他林地	48.15	451.61	548.25	76
	沼泽草地	2.18	57.82	72.09	220
	其他草地	52.05	814.09	546.53	70
	总计	318.40	4805.03	5051.73	106

4.3 河渠、湖泊及滩涂湿地耗水计算

河渠、湖泊及滩涂湿地的耗水主要为蒸发耗水,根据民丰县平原区蒸发情况,计算河渠、湖泊及滩涂湿地的耗水。

经遥感解译,并根据第三次国土调查土地利用现状数据进行复核,安迪尔河流域下游区域河渠面积9.01km²,湖泊面积0.55km²,滩涂湿地面积1.85km²。根据流域各水资源利用分区的蒸发资料,分析流域不同分区河渠、湖泊、滩涂湿地的单位面积蒸发量,河渠的水面蒸发值取800~840mm,湖泊水面蒸发值取1300~1400mm,滩涂湿地水面蒸发值取900~950mm。经计算安迪尔河流域河、湖、湿地耗水共计958.8万m³。

安迪尔河流域平原区河渠、湖泊、滩涂湿地面积统计见表3。

表3 安迪尔河流域下游河渠、湖泊、滩涂湿地面积统计表

分类	面积 (km ²)	生态耗水量 (万 m ³)
河渠	9.01	720.8
湖泊	0.55	71.5
滩涂湿地	1.85	166.5
小计	11.41	958.8

根据前文分析,安迪尔河流域平原区天然生态耗水量为天然林草耗水量 5051.73+ 河湖湿地耗水量 958.8=6010.53 万 m³。

5 结语

通过对安迪尔河流域天然绿洲生态耗水量进行计算,提出维持流域生态环境现状的最小生态耗水量为 6010.53 万 m³,在流域进行水资源开发利用的过程中,应确保该天然

生态耗水量得以满足,从而实现社会经济与生态环境保护可持续发展。

参考文献

- [1] 李梦怡,邓铭江,凌红波,等.新疆绿洲格局变化与生态耗水结构分析[J].水科学进展,2023.
- [2] 凌红波,徐海量,刘新华,等.新疆克里雅河流域绿洲适宜规模[J].水科学进展,2012,23(4).
- [3] 谢蕾,龙爱华,邓铭江,等.伊犁河下游三角洲生态耗水研究[J].冰川冻土,2011,33(6).
- [4] 刘金鹏,费良军,南忠仁,等.基于生态安全的干旱区绿洲生态需水研究[J].水利学报,2010,41(2).
- [5] 王娇妍,路京选.基于遥感的伊犁河下游生态耗水分析[J].水利学报,2009,第4期.
- [6] 李海涛.绿洲水资源利用情景模拟与绿洲生态安全—以石羊河流域武威和民勤绿洲为例[D].北京:北京大学,2008.
- [7] 韩宇平.宁夏引黄灌区生态耗水规律研究[R].中国水利水电科学研究院博士后出站报告,2005.

The Role and Strategies of Environmental Monitoring in Air Pollution Control

Ruifang Han Zhaowei Wang

Chifeng Branch of Inner Mongolia Environmental Monitoring Center, Chifeng, Inner Mongolia, 024000, China

Abstract

The implementation of environmental monitoring enables precise identification and tracing of the state and source of air pollution, and also allows for dynamic supervision of the emission situation of air pollution. It can provide a strong basis for the implementation of air pollution control work and further improve the effectiveness of air pollution control. Based on this, this paper first analyzes the role of environmental monitoring in air pollution control, and then, according to the content and requirements of air pollution control, formulates and implements optimized strategies for environmental monitoring, in order to further highlight the value of environmental monitoring and improve the level of air pollution control, and protect the health of the ecological environment.

Keywords

Environmental monitoring; Air pollution; Governance role; Strategy

环境监测在大气污染治理中的作用及策略

韩瑞芳 王昭伟

内蒙古自治区环境监测总站赤峰分站, 中国·内蒙古 赤峰 024000

摘要

环境监测的开展能够对大气污染状态、污染源头进行精准识别追溯, 同时还可对大气污染的排放情况进行动态监督, 可为大气污染治理工作的开展提供有力依据, 进一步提高大气污染治理效果。基于此, 本文先分析了环境监测在大气污染治理中的作用, 后根据大气污染治理内容及需求, 制定实施了环境监测的优化策略, 以期进一步突出环境监测的作用价值, 提升大气污染治理水平, 保护生态环境健康。

关键词

环境监测; 大气污染; 治理作用; 策略

1 引言

近年来, 我国频繁遭受大气环境污染事件的困扰, 不仅制约地区经济发展, 同时也对生态环境治理能力提出更严峻的挑战, 在此情况下环境监测工作的有效开展成为治理污染、提升空气质量、改善大气环境质量的关键路径^[1]。所以现阶段应明确意识到环境监测在大气污染治理中的作用, 制定并实施环境监测的应用策略, 更好地为大气污染治理工作的开展提供有力数据支撑, 进一步强化大气污染治理效能。

2 环境监测在大气污染治理中的作用

2.1 识别大气污染状况

大气污染种类较多、污染原因复杂, 同时分布位置分散,

使得大气污染呈现出复杂性等特点。环境监测开展期间, 可对大气环境质量状况进行连续、全面、精准地监测分析, 在这种情况下有助于相关部门人员及时了解大气环境质量状况, 对大气污染物种类、污染时段、污染分布位置等相关数据信息进行把握, 为大气污染治理提供有力依据^[2]。比如秋冬时期 PM_{2.5} 污染问题容易加重, 而在此期间通过环境监测工作的开展能够对主要污染源进行监测分析, 实时掌握污染状况变化, 以便于相关部门人员及时制定防控策略, 降低污染程度。

2.2 溯源大气污染源头

想要提高大气污染治理效果, 应从大气污染源头进行预防控制, 而环境监测的实施能够精准溯源大气污染源头, 帮助相关部门人员了解大气污染源的类型、排放特征等, 以提前制定防控措施。大气污染源主要包括点源、面源、线源等, 其中像点源污染类型来说, 主要指通过某种装置集中排放的固定点状源, 可建设运行污染源在线监测平台, 对点状污染源进行实时监测, 包括其排放量、排放浓度等, 一旦超

作者简介: 韩瑞芳 (1986-), 女, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 工程师, 从事生态环境监测水、土壤、大气、噪声、生态等领域的方法研究。

出设定值则及时告警,便于相关部门人员第一时间定位污染排放位置。像面源污染类型来说,指一定范围内以低矮密集方式自地面或近地面的高度排放污染物的源,环境监测期间可借助无人机、遥感技术等多项先进手段进行全方位动态监测,精准定位污染点位,快速制止和治理污染。同时,环境监测过程中还可分析污染物的同位素、物理性质、化学性质等特征信息,以及根据气象监测数据,可进一步对污染物的传输路径、起源地区等进行追溯定位,实现对大气污染的靶向防控^[1]。

2.3 动态监测污染排放

大气污染复杂性较强,变化速度较快,且大气污染治理需要持续开展,在此情况下环境监测的应用能够对大气污染排放情况进行动态监测,以更好地评估和分析治理过程中存在的问题或不足,进而及时调整治理措施,确保治理落实到位。比如某城市在大气污染治理期间采取机动车限行方案,而方案实施后通过环境监测数据发现氮氧化物浓度未明显下降,在此情况下则可及时改进限行方案,对排放量大、废气排放较多的机动车进一步加大整治力度,提高污染治理的针对性与实效性。

3 强化大气污染治理中环境监测作用的优化策略

3.1 优化监测网络布局

想要提高环境监测的全面性,保证数据采集的完整性,应优化监测网络布局,设置不同类型的监测站点,实现空气质量的立体化、网格化覆盖。

科学规划监测点位:根据该区域范围内产业数量、产业结构、人口分布、地理条件等,在不同位置部署合理数量的空气质量监测站,尤其针对农村、工业园区等大气污染程度较严重的区域应多设置几个监测点位,确保环境监测可全域覆盖。

优化污染源监测网络:在原有监测的基础上针对工厂排污、施工扬尘、机动车出行等污染源应加强监测点位布设,进一步对恶臭、VOC_s等特征污染物进行严密精准监测分析,真正实现对点源、面源等各类污染源的全方位监测。

完善网格化监测体系:由于大气污染具有复杂性、多样性特征,想要充分发挥环境监测在大气污染治理中的作用,还应构建更完善的网格化监测体系。针对重点保护的生态区域、重要路段、工业厂区等增加微型监测站,全天候对污染物数据指标进行精细、精准监测分析,提高监测的针对性。

跨区域监测网络协同:为保证监测数据一致,具有可参考性,建立跨区域监测网络协同机制,确保区域范围内所有监测点位均按统一标准布设,所有监测的数据指标、数据格式等也应进行统一设计规范。通过高效传输和实时共享监测站点数据的方式对区域内空气质量状况进行了解、分析和

联动管理。比如京津冀及周边地区建立大气污染防治协作机制,各地生态环境部门联合部署了包括固定站、移动站和遥感卫星等多种监测手段在内的综合监测网络,实现对氮氧化物、二氧化硫等主要污染物浓度的实时监控与同步分析。

3.2 加强技术升级应用

环境监测工作开展过程中应加大对遥感卫星技术、无人机技术、质谱分析技术等先进监测技术的应用力度。积极研发和更新监测设备,逐步替换需大量人工操作的设备装置,不断提高环境监测的智能化、自动化,如具备高灵敏度且小巧便携的痕量气体分析仪器等,以及有效将多项监测技术及设备结合运用,进一步提高环境监测质量及效率^[4]。比如使用搭载监测仪器的无人机可解决空间巡检限制问题,能够在更短时间内对突发性污染事件进行精准监测调查,像某化工厂发生重大泄漏事件,环保部门人员及时响应,选择搭载光谱仪等仪器的无人机对化工厂进行空中监测调查,在极短时间内锁定泄漏气体的扩散范围、浓度峰值位置等,不仅监测效率高,还能更好地保护人员安全,确保应急处理方案的制定与实施效果。针对臭氧、VOC_s、PM_{2.5}、重金属等特征污染物,还应不断研发创新更针对性的监测技术、更精准的监测仪器设备,以提高对此类污染物的监测能力。

另外,环境监测数据的真实性、完整性、可靠性会直接影响大气污染治理方案制定实施的可行性和整体治理效果,因此还需加强对监测数据全流程的质量控制力度,在监测前应对相关技术及设备进行试验、校准,在技术及设备运用期间也应定期进行检查维护,确保应用安全稳定,并对监测数据进行严格的校准核查,打击监测数据造假行为。

3.3 深化监测数据运用

想要更好地发挥环境监测在大气污染治理中的作用,应对监测数据进行深化运用。首先,完善建设环境监测大数据平台,能够将环保部门、气象部门、交通部门等相关领域工作开展过程中产生的监测数据通过系统传输集成于大数据平台,解决部门信息壁垒问题,提高监测数据的共享水平,同时还能通过平台对各类监测数据进行整合分析和可视化展示。其次,组建专业数据分析队伍,依托大数据、AI大模型等数字化技术,根据大气污染治理内容及要求,建立不同的模型,包括大气污染溯源模型、大气污染治理效果评估模型、污染排放强度模型、潜在风险预警模型等,通过模型的搭建与模拟分析,可帮助人员进一步深度挖掘更具价值的监测数据,了解潜在风险、精确锁定潜在污染源头、比选不同治理方案及治理技术等,进而为大气污染治理决策提供精准支撑。最后,不断推进强化监测数据在大气污染治理各环节的融入力度,建立“监测-分析-决策-管控-评估”的闭环治理体系^[7]。这种情况下能够更大程度上将监测所得的数据真正用于污染源追溯、污染预警、污染治理、效果评估等环节。

另外,还可将环境监测数据与气象预测信息进行整合

运用,借助大数据、人工智能等技术建立更多大气质量预测模型,包括多污染物耦合扩散模型、机器学习预测模型等,实现对未来数小时至数天空气质量状况的预报。一旦模型预测分析中发现重污染天气问题,则可提前发布预警信息,告知社会民众应采取相应的自我防护措施,而环保部门等也可提前做好准备,制定更可行有效的污染治理方案,提前对重污染天气、污染物超标排放等问题进行处理控制^[5]。

3.4 健全协同联动机制

环境监测与大气污染治理涉及多部门人员,强化环境监测作用,提高大气污染治理效果,还应健全协同联动机制,促进多方进行沟通合作,形成合力。一是加强环境监测与执法的联动力度,建立异常监测数据自动预警机制,加快响应速度,一旦数据异常可及时进行数据分析,若分析后发现监测数据异常实为某地区存在违法排污行为,则可第一时间将监测数据传递至相关执法部门,执法人员可根据数据信息准确定位,开展执法查处工作。二是加强区域间监测协同力度,搭建数据共享平台,实现对跨区域污染的精准管控和协同治理。比如陕西省咸阳市与西安、渭南等地签署《大气污染防治联防联控合作框架协议》,建立其“季联席、月调度、周研判”的协作机制,共同协调解决跨区域环境问题。三是加强环境监测与科研机构的联动配合,深化产学研融合程度,推动环境监测机构、科研院等进行协同研究,进一步开展技术攻关、技术创新等工作,能够将科研成果更为快速有效地转化为环境监测能力。四是加强政府、企业与社会协同的监测力度,针对污染物排放量较大或需排放危险污染源的工业/企业来说,政府部门应加强管控,并要求工业/企业加大自查自检力度,确保环境监测数据处于合理安全范围。提高公众参与度,定期开展多样环保宣传活动,包括线上直播、线下讲座、线上官方账号图文视频科普等,促进公众对环境监测、大气污染等相关内容有更基础的认知,形成良好的环保意识。同时,健全公众监督反馈机制,鼓励公众可通过拨打热线、线上官方账号私信、线上平台评论、专属 APP 提交反馈等方式参与大气污染监督。

3.5 加大人才培养力度

一方面,应加大人才引进力度,根据环境监测工作内容要求、大气污染治理需求等,优先引进既掌握监测技术又熟悉数据分析的复合型人才。另一方面,应对现有的工作人员进行专项培训,通过线下知识讲解、线上直播教学、现场实操指导、政策文件解读等多种方式,促进工作人员更新知识技能,对新型的监测技术设备、相关政策要求、环境管理法规等进行全面系统地理解掌握,不断提高工作人员的综合能力水平^[6]。同时,也要定期组织多机构、多部门人员之

间进行交流讨论,开展跨区域学习活动,进一步丰富知识经验,借用更高效的技术设备,以实现整体环境监测工作水平的提升。

3.6 完善政策法规保障

根据环境监测数据、国际先进研究成果等,持续调整完善《环境空气质量标准》,逐步提高对 PM_{2.5}、SO₂ 等主要污染物的浓度限值要求,针对不同区域特点设定更严格的特别排放限值,以及结合最新科学成果,设定 VOC_s、重金属等新型污染物的排放标准。加强相关法律法规的制定落实,明确监测机构、工业/企业等主体对应的职责任务。加大资金投入,进一步完善环境监测工作开展所需的配套设施。鼓励地方政府设立专项基金,推动新型监测技术研发创新。另外,也要注重对环境监测的考核监督,应将环境监测开展成效纳入大气污染防治工作考核中,定期对监测数据质量、监测数据完整可靠性、监测数据应用效果等指标进行考核评估,并根据考核结果采取相应的奖惩措施,倒逼各级政府和部门落实监测工作责任。

4 结语

综上所述,大气污染治理工作需要长期持续进行,而环境监测水平可直接影响大气污染治理效能。所以现阶段应加强重视环境监测,能够明确其在大气污染治理中的作用,并通过优化监测网络布局、加强技术升级、深化监测数据运用、健全协同联动机制、加大人才培养、完善政策法规保障等策略的制定实施进一步构建完善的环境监测体系,并在未来持续研发创新更多新监测技术设备,提高数据监测的精准性和应用的高效性,这样才能强化环境监测的作用价值,更好地改善和保护生态环境质量。

参考文献

- [1] 刘健. 环境监测在大气污染治理中的作用及策略研究[J]. 清洗世界,2022,38(12):105-107.
- [2] 苏晓品,赵彩凤,纪叔秀. 生态环境监测在大气污染治理中的应用研究[J]. 皮革制作与环保科技,2025,6(13):70-72.
- [3] 刘宁宁. 环境监测管理在大气污染治理中的作用探讨——以吴江经济技术开发区为例[J]. 中国资源综合利用,2025,43(11):140-142.
- [4] 谷圣仙. 环境监测在大气污染治理中的作用与实施策略研究[J]. 皮革制作与环保科技,2025,6(5):95-97.
- [5] 范冀星. 环境监测在大气污染治理中的应用分析[J]. 中国资源综合利用,2025,43(4):174-176.
- [6] 王馨. 基于环境监测的大气污染治理路径探索[J]. 化工管理,2025(6):77-80.

Application and Operation Management Strategy of Intelligent Dosing System in Sewage Treatment Plant

Shan Liu¹ Guolin Zhang² Jianxin Sun³ Ying Wang³ Yongchen Li³

1. Qingcheng Bairuikang Environmental Engineering Co., Ltd., Qingyang, Gansu, 745100, China

2. Gansu Bairuikang Intelligent Technology Co., Ltd., Qingyang, Gansu, 745100, China

3. Beijing Bairuikang Environmental Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

The implementation of intelligent dosing systems in wastewater treatment plants significantly enhances treatment appropriateness and precision, thereby improving overall treatment quality and efficiency. To maximize system benefits, these systems should be designed according to actual operational requirements and integrated with effective maintenance management practices. Relevant organizations can optimize intelligent dosing configurations through human-like intelligent control technologies, meeting critical treatment needs such as phosphorus removal, nitrogen removal, disinfection, and flocculation. Furthermore, continuous equipment maintenance, parameter optimization, and data management should be implemented to strengthen operational management capabilities, ensuring stable system performance.

Keywords

Wastewater treatment plant; Intelligent dosing system; Application; Operation and maintenance management

智能加药系统在污水处理厂中的应用与运维管理策略

刘山¹ 张国林² 孙建鑫³ 王颖³ 李永臣³

1. 庆城县柏瑞康环境工程有限公司, 中国·甘肃 庆阳 745100

2. 甘肃柏瑞康智慧科技有限公司, 中国·甘肃 庆阳 745100

3. 北京柏瑞康环境工程有限公司, 中国·北京 100000

摘要

在污水处理厂运行期间智能加药系统的应用可以更好地保证污水处理的適切性、精准性,提高污水处理质量和处理效果。需要根据污水处理的实际需求合理设计智能加药系统,配合运维管理工作的有效落实更好地发挥智能加药系统的系统优势,提高污水处理效能。相关单位可通过仿人智能控制技术的有效应用对智能加药系统构成作出适当优化,满足污水处理厂除磷脱氮、消毒、絮凝的需求。在此基础上通过设备维护、控制参数优化、数据管理等相应工作提高运维管理能力,保障设备系统能够正常运转。

关键词

污水处理厂; 智能加药系统; 应用; 运维管理

1 引言

污水处理是保障水环境质量、推进社会生态文明建设的重要保障,而在污水处理厂中药剂投加是不可或缺的一环。传统加药模式依赖人工经验,存在诸多弊端,难以保障污水处理质量。物联网、人工智能、大数据等相应现代化技术的应用可以为智能加药系统的构建及其功能优化提供更多帮助,可从如下几点着手优化智能加药系统。

【作者简介】刘山(1987—),男,中国河北保定人,硕士,工程师,从事污水处理技术,污水处理设备,污水处理智慧化等研究。

2 智能加药系统在污水处理厂中的应用

2.1 核心技术原理

想要更好地提高智能加药系统的应用效果,使其集数据采集、智能计算、精准投加、远程监控于一体,为污水处理提供更多帮助,就需要做好智能控制算法的研发与应用。可借助仿人智能控制技术来对智能加药系统做出优化。相较于模糊控制和ASM模型,仿人智能控制并不需要复杂的工艺理论和大量的底层传感器数据,可以通过运维经验转化规则表,降低实施难度^[1]。在此基础上可将安全控制与PI控制结合生成二层级控制结构,建立HSIC加药模型^[2]。此外,在系统构建过程中还可以融合前馈-反馈协同控制策略,通过前馈控制消除输入端扰动,如进水流量、水质变化的影响,

然后通过反馈控制来修正输出偏差,保证系统抗干扰能力与控制的稳定性。以除磷药剂为例,若进水为工业污水,这时污水处理可以磷酸盐浓度为控制指标,建立控制系统。在测量预处理环节做好流量 Q 与磷酸盐浓度的测量,根据 HSIC 加药模型确定除磷剂的投加量,并根据生化系统出水中的磷酸盐浓度对除磷剂的投加量进行修正。总磷仪表监测会得出水中总磷含量,针对性地修正除磷剂的投加量,如图 1 为智能加药模型。

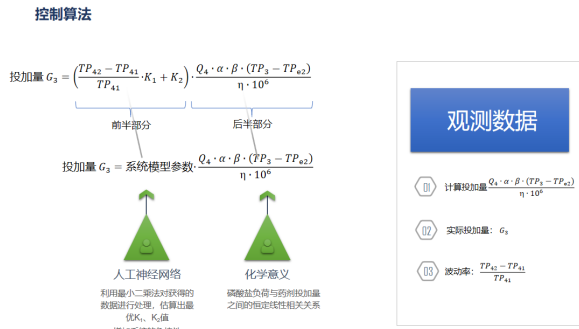


图 1 智能加药模型

2.2 系统构成

智能加药系统的硬件部分主要包含智能加药工作站、智能加药控制柜、在线监测设备、执行机构及移动端。智能加药工作站是系统的大脑,可通过搭载英伟达 Jetson Xavier NX 边缘服务器、智能网关及显示设备为数据存储、运行、人机交互提供必要的物质支撑,配合网络连接为数据的远程传输提供更多帮助。操作人员可通过人机交互界面来实时查看对应的数据信息并下达控制指令。

智能加药控制柜则是执行中枢,需要配置 PLC、加药泵、变频器、电磁流量计、压力变送器、UPS 电源等相应设备。这其中 PLC 是核心控制单元,会接收控制指令和在线监测数据,然后对加药泵的启停与变频运行进行控制^[3]。在线监测设备是收集数据信息的重要保障,可通过在线监测设备完成进水氨氮、流量、总氮、总磷、生化池硝氮、出水总氮、总磷的监测,为算法分析提供数据支撑。在线监测设备在选择上需要确保其精度和稳定性,例如在电磁流量计选择中需确保其计量精度达到 $\pm 0.5\%$ 。再例如,在压力变送器选择中需确保其精度达到 $\pm 0.25\%$ 。

执行机构主要包含加药泵、电动调节阀等,需要通过 PLC 下达控制指令,然后执行加药任务,实现加药的动态调节。移动端则是借助物联网技术开发的在线平台,用户可以通过手机、电脑等相应智能终端设备实时查看设备运行状态等相应数据信息,并下达控制指令,这可以为设备管理、运维工作的开展提供更多的便捷。软件部分主要包含用户首页、系统首页、模型计算等相应功能模块,可以为数据采集、模型建构与分析、参数设置、报表生成提供更多的帮助,如图 2 为移动端应用界面。

2.3 案例分析

以庆阳市某污水处理厂为例,该污水处理厂采用 A^2O +MBR 膜工艺,日处理量达 0.2 万吨。生化池后缺氧末端为除磷剂和碳源加药点,在安装了相关智能加药环保设备以后实现了除磷和碳源加药系统的自动运行和智能控制。经实践研究发现智能加药系统的应用使出水总磷和总氮波动幅度可以控制在 $\pm 0.08\text{mg/L}$,相较于传统的加药方式大幅节约了除磷剂和碳源药剂的使用,同时也保障了污水处理效果。

3 智能加药系统的运维管理策略

做好设备运维管理是确保设备能够正常运转的重要基石,而在智能加药系统运维管理中需从如下几点着手对管理策略作出有效优化和调整。

3.1 设备维护

设施设备是系统运行的重要物质支撑,对于系统运行的稳定性会起到至关重要的影响。而在设备维护的过程中首先需要抓住重点核心,明确加药系统的核心设备,如加药泵、在线监测仪表、PLC、智能网关、交换机、UPS 电源等,需根据不同核心设备的运行需求来确定维护重点。例如,加药泵作为关键执行机构,在维护的过程中需着重关注其密封性能是否达标、流量稳定性是否达标,同时需要关注是否存在运行噪声问题。在此基础之上确定加药泵的维修周期,例如,每周进行一次巡检工作,分析加药泵是否存在渗漏、异响等相应问题,若发现加药泵老化要及时更换。每月进行拆解清洗,去除其泵内的沉积物和杂质,避免堵塞。每季度需通过流量精度校准确保加药泵投加药剂剂量达标^[4]。智能环保设备系统平台如图 2 所示。



图 2 智能环保设备系统平台

其次需要做好管道和阀门的维护,在污水处理厂加药系统运行期间加药管道很容易会出现沉积物导致管道堵塞,因此需要定期进行维护,每月落实管道清理工作,去除沉积物。每季度需对管道连接部位和阀门部位进行检测,分析是否存在渗漏问题,若存在则需要更换密封件。阀门也需每月进行检测,通过手动操作分析开关是否流畅、是否卡滞,确保其流量调节功能能够有效发挥。每季度需进行密封性检测,及时发现渗漏问题。每年需要进行拆解维护,去除其内

部的杂质和沉积物,并且涂抹润滑油确保阀门能够正常运行。在设备维护期间可通过建立台账的方式明确不同设备的型号、安装时间、维护时间、维护内容、发现的故障问题及处理方法,一方面为后续维修养护计划的调节与优化提供更多的参考,若出现设备故障,则可通过台账分析故障原因并确定解决方法。另一方面也可通过台账建立为设备维护的规范化、系统化开展奠定良好的基础,确保各项维护工作能够切实落实于实践当中。

3.2 控制参数优化

智能加药系统的控制参数并非一成不变的,需要根据污水处理厂的污水处理需求来做出动态化调整。尤其是部分地区污水处理厂可能会因为该地区产业结构调整导致进水水质特性和进水量发生明显变化,因此必须通过控制参数调整,确保系统能够正常运转,发挥其应有的作用和影响。而在控制参数调整中需要从基础参数优化、动态参数调整以及模型算法优化三个维度来展开分析。基础参数包含安全控制参数、比例系数、积分系数、摩尔比、相对分子质量等,可通过实验室实验、现场实验等多种方式来对比分析不同基础参数下的出水水质和药耗情况,在此基础之上对参数组合作出适当调节,在降低污水处理成本的同时保障污水处理质量。而在动态参数调整的过程中则需要根据进水水质、流量变化来对控制参数作出动态调整,可通过传感器技术收集整合系统数据,例如进水水质数据、流量数据等,并根据数据分析结果对参数进行动态调整。例如通过数据分析发现进水负荷升高,这时则可通过适当增加加药模型的比例系数,增加加药量,保障污水治理效果。还可根据出水水质波动对反馈控制参数做出调节,若出水水质波动相对较大则可通过增大积分系数快速修正误差。若在系统运行期间出现超调现象则可通过缩小比例系数,保障系统稳定性。在系数动态调节的过程中还需要考量污水处理厂的进水水质及水量可能会受季节变化影响,此外,季节的变化意味着环境温度、湿度的变化,在污水处理厂中药剂添加后生化反应也可能会因温湿度变化产生较大的差异,因此也需要根据季节变化调节控制参数。例如夏季气温相对较高,这时生化反应速率则相对较快,可以通过降低药量减少药剂消耗。而冬季气温相对较低,会大幅缩减生化反应速率,可通过提高加药量来保障污水处理效果^[5]。

在模型算法优化中需定期对加药模型算法进行升级,通过分析系统运行数据判断模型的控制效果是否达到标准

要求,若发现系统抗干扰能力较弱、预测精度下降,则需根据运维数据和运行数据对模型规则及控制逻辑做出优化,始终保障模型的适应性和控制精度。

3.3 数据管理

在智能加药系统运行期间做好数据管理可以为决策制定、系统优化、工艺改进提供数据支撑。而想要发挥数据的功能和作用首先就需要做好数据的采集与存储,可通过传感器设备等相应的仪器设备收集更加完整的数据信息,例如进水量、水质、加药量、出水水质、设备运行参数等,配合分布式存储架构将数据信息实时共享至本地和云端,保障数据的安全性、完整性。在此之后,则可每周对系统运行数据进行分析 and 汇总,优化投加策略。在该环节可借助人工智能技术以及数据报表功能快速完成数据的收集、整合和分析,生成可视化的报表,为决策制定提供依据。最后需要加强报警数据管理,完善报警机制,借助人工智能技术实时分析监测数据,若数据超过安全阈值范围系统则会自动触发警报,明确报警类型及处置流程,为各类问题的快速处理提供更多帮助^[6]。

4 结语

在污水处理厂运行期间智能加药系统的应用既可以减少资源损耗,降低污水处理成本,同时也可以更好地保障污水处理效果,应当引起关注和重视。可结合污水处理厂的处理需求对智能加药系统做出有效优化,发挥仿人智能控制等相应现代化技术的技术优势优化系统构成,在此基础之上通过设备维护、控制参数优化及数据管理工作的开展提高智能加药系统的应用成效,保障污水处理效果。

参考文献

- [1] 冯东良,王斌,杨晓毓,等. 选煤厂智能化煤泥水加药系统建设 [J]. 洁净煤技术, 2025, 31 (S2): 878-883.
- [2] 吴杰,程鹏,赵宇明,等. 智能控制技术在净水厂加药系统中的应用 [J]. 城镇供水, 2025, (04): 49-53.
- [3] 张慧. 基于随机森林算法及大数据分析的农村自来水厂智能加药系统研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66 (S1): 136-138.
- [4] 郑垒,马贤衫,曾现维,等. 智能除磷加药系统在水处理中的长期应用研究 [J]. 山西化工, 2024, 44 (12): 140-141+149.
- [5] 胡啸,郑鹏凯,赵鑫,等. 污泥连续深度脱水智能加药系统的设计和应用 [J]. 节能, 2024, 43 (12): 114-117.
- [6] 梁玥,曲泰安,孙阳,等. 基于机器视觉的自适应智能加药系统在工业水处理中的应用研究 [J]. 鞍钢技术, 2024, (05): 33-40+53.

Collection, Preservation and Utilization of Native Grass Germplasm Resources in the Yellow River Delta

Wenjian Ma¹ Qiang Dong² Xiaoyan Qu³ Deyi Li⁴ Shijin Guo^{1*}

1. Shandong Province Binzhou Veterinary Research Institute, Binzhou, Shandong, 256600, China
2. Pingyi County Animal Husbandry Development Promotion Center, Linyi, Shandong, 273300, China
3. Jianshan Town Convenience Service Center Laixi City, Qingdao, Shandong, 266600, China
4. Livestock Industry Development Service Center of Dongying District, Dongying, Shandong, 257100, China

Abstract

To explore the potential of native grass germplasm resources in the Yellow River Delta for ecological restoration, biodiversity conservation, and local economic development, this study comprehensively investigates the collection, preservation, and utilization of these resources. Through field surveys, literature review, and community interviews, a systematic collection of native grass germplasm resources in the Yellow River Delta was conducted, resulting in the identification of over 300 species with significant ecological and economic value. Regarding preservation, various methods including seed banks and living collections were discussed, with appropriate techniques selected based on the characteristics of different grass species to ensure resource vitality and genetic stability. The research reveals that native grass species have broad application prospects in ecological landscape construction, animal husbandry development, and medicinal value exploitation. However, challenges such as resource identification difficulties, imperfect preservation technologies, and low utilization efficiency currently exist. This study provides both theoretical and practical foundations for the scientific protection and rational utilization of native grass germplasm resources in the Yellow River Delta.

Keywords

Yellow River Delta; Native grass germplasm resources; Collection; Preservation; Utilization

黄河三角洲乡土草种质资源收集、保存与利用

马文健¹ 董强² 曲晓燕³ 李德义⁴ 郭时金^{1*}

1. 山东省滨州畜牧兽医研究院, 中国·山东 滨州 256600
2. 平邑县畜牧发展促进中心, 中国·山东 临沂 273300
3. 莱西市姜山镇便民服务中心, 中国·山东 青岛 266600
4. 东营区畜牧业发展服务中心, 中国·山东 东营 257100

摘要

为挖掘黄河三角洲乡土草种质资源在生态修复、生物多样性维护及地方经济发展中的潜力,本研究全面探究黄河三角洲乡土草种质资源的收集、保存与利用。通过实地考察、文献查阅与群众访谈等方法,对黄河三角洲乡土草种质资源进行了系统收集,已收集到300余种具有重要生态与经济价值的乡土草种。在保存方面,探讨了种质资源种子库和活体保存等方式,依据不同草种特性选择适宜保存方法,确保资源活力和遗传稳定性。研究发现,乡土草种在生态景观营造、畜牧业发展及药用价值开发等领域具有广泛应用前景,但目前存在资源识别困难、保存技术不完善及利用效率低等瓶颈。本研究为黄河三角洲乡土草种质资源的科学保护与合理利用提供了理论与实践依据。

关键词

黄河三角洲; 乡土草种质资源; 收集; 保存; 利用

1 引言

黄河三角洲作为世界上形成最晚的大河三角洲之一,是由黄河从黄土高原携带的巨量泥沙多年沉积而成,其地理位置展布于渤海湾南岸与莱州湾西岸,由古代、近代和现代三个三角洲体系共同组成^[1]。该区域属于暖温带季风气候,四季分明,日照充足,季风影响显著,为动植物资源的繁衍生息提供了得天独厚的自然条件。黄河三角洲湿地生态系统

独特,土壤盐碱化严重,乡土草种质资源具有耐盐碱、抗逆性强等特性,是生态修复和农业改良的重要基因库。黄河三角洲不仅是中国重要的生态屏障,也是生物多样性保护的关键区域,其独特的自然环境孕育了丰富的乡土草种质资源。这些资源在维持区域生态平衡、促进农业可持续发展以及支持地方经济建设方面具有不可替代的作用^[7]。近年来,随着全球气候变化和人类活动的加剧,乡土草种质资源的保护与利用逐渐成为学术界关注的热点。研究表明,黄河三角洲乡

土草种质资源不仅是盐碱地农业发展的基础,还蕴含了大量逆境基因,对生态修复和城市绿化具有重要价值^[7]。然而,目前针对黄河三角洲乡土草种质资源的研究仍在初级阶段,尤其是在资源收集、保存技术创新及利用途径拓展等方面亟需进一步探索。

本研究旨在全面收集黄河三角洲乡土草种质资源,探索适宜保存方法,并挖掘其在生态、经济和社会领域的利用潜力,从而为区域生态与经济发展提供有力支持^[9]。本研究通过对黄河三角洲地区进行系统的实地考察、文献查阅和群众访谈等方式,确定重点收集的乡土草种及其地理分布范围,建立完善的资源数据库。在此基础上,结合种质资源种子库和活体保存等方式,探讨优化保存技术方案,确保乡土草种质资源的长期活力和遗传稳定性;同时,还深入挖掘了乡土草种在生态修复、城市绿化、畜牧业发展及药用价值开发等领域的应用前景,分析现有利用模式的瓶颈,并提出针对性的解决策略。为黄河三角洲乡土草种质资源的合理利用提供了理论依据和生产实践,推动区域生态平衡、促进经济可持续发展具有重要意义。

2 文献综述

2.1 理论基础

种质资源作为生物多样性的重要组成部分,其研究在乡土草种的保护和利用中具有重大意义。遗传多样性理论是种质资源研究的重要基石,该理论强调生物体内部基因组的变异程度决定了物种适应环境变化的能力和进化潜力^[6]。乡土草种作为特定生态环境下的长期适应产物,其遗传多样性不仅反映了自然选择的压力,也为人工选育和改良提供了丰富的材料资源。另外,生态位理论进一步揭示了乡土草种在特定生境中的功能定位及其对生态系统稳定性的作用,这为种质资源收集和保存策略的制定提供了依据^[6]。通过对黄河三角洲乡土草种质资源的收集、保存与利用研究,可以更好地了解其在保持区域生态平衡中的作用,并为今后种质资源创新利用奠定理论基础。

【基金项目】山东省牧草产业技术体系滨州综合试验站(基金项目:SDAIT-23-10);国家肉牛牦牛产业技术体系济南综合试验(基金项目:CARS-37);山东省牛产业技术体系滨州综合试验站(基金项目:SDAIT-09-12);山东省科技特派员滨州市牛产业服务团。

【作者简介】马文健(1972—),男,中国山东阳信人,硕士,高级畜牧师,从事农牧经济、肉牛产业高质量发展研究。

【通讯作者】郭时金(1974—),男,中国四川内江人,硕士,研究员,从事新兽药研制,畜牧水产经济研究。

2.2 国内外研究进展

近年来,国内外学者在乡土草种质资源的收集、保存与利用方面取得了显著进展。在国内,以紫花苜蓿为代表的豆科牧草的研究较为深入。例如,在滨州市无棣县牧草种植基地开展的牧草品种筛选对比实验表明,中苜3号及山东省农科院培育的鲁苜1号、青岛农业大学培育的赛迪5号和自行选育的“无棣苜蓿”等品种在株高、干草产量及营养价值等方面表现突出,为当地草地建设提供了优选品种^[7-8]。同时,东营市农科院通过系统调查与收集,建立了临时种质资源圃,为科研和育种提供了丰富的基因库^[4]。在国外,欧美发达国家在草种质资源的精准鉴定与创新利用方面处于领先地位,其资源利用率远高于我国,这主要得益于先进的技术手段和完善的政策支持体系。尽管国内外在乡土草种质资源研究中取得了一定成果,但是针对黄河三角洲盐碱地等特殊生境的乡土草种质资源研究方面仍存在诸多不足。首先,在资源收集方面,现有研究多集中于少数经济价值较高的草种,而对于其他具有潜在生态或药用价值的乡土草种重视不够。其次,在保存技术创新上,种质资源种子库和活体保存方法各有优势,但在应对盐碱地等极端生境时仍显诸多不足,如种子萌发率低、遗传稳定性等问题。另外,在种质资源利用途径拓展方面,现有研究多局限于生态修复和畜牧业发展,而对于乡土草种在医药领域的开发潜力研究较少。这些研究空白为本研究提供了切入点,也为今后黄河三角洲乡土草种质资源的全面保护与高效利用指明了方向。

3 黄河三角洲乡土草种质资源生态环境

3.1 地理特征

黄河三角洲是中国最大的三角洲,由黄河携带大量泥沙在渤海凹陷处沉积形成,具有独特的地形、气候和生态系统特征。处于北纬37°~38°之间,东经118°~119°之间。该区域地形地貌以冲积平原为主,地势西南高东北低,平均海拔不足15米,地表覆盖着深厚的黄土沉积物,这主要是由黄河从黄土高原携带而来,在入海口处逐渐堆积形成^[2]。这种特殊的地理环境对乡土草种质资源的分布产生了显著影响。首先,由于地势平坦且河流纵横交错,黄河三角洲形成了大面积的湿地生态系统,为水生和湿生草本植物提供了适宜的环境;其次,区域内存在河滩、平地、湿地、沙丘、贝壳堤等多种微地貌单元,这些多样化的生境类型为不同的乡土草种提供了生存空间,从而丰富了区域内的植物多样性。

3.2 气候条件

黄河三角洲属于暖温带半湿润大陆性季风气候区,四季分明,季风影响显著,日照充足,年均气温在11.7°C~12.6°C之间,无霜期达200天以上,年降水量约为530毫米~630毫米,主要集中在夏季^[1]。这种气候条件对乡土草种的生长与遗传特性具有重要影响。一方面,

充足的日照和较长的无霜期为草本植物的光合作用和生长发育提供了有利条件,使得许多乡土草种能够在此繁茂生长;另一方面,降水集中分布于夏季的特点也塑造了乡土草种的生态适应性,例如部分草种演化出了耐旱或耐涝的遗传特性,以应对季节性干旱或洪涝的胁迫。此外,冬季寒冷干燥的气候条件则对乡土草种的越冬能力提出了要求,进一步筛选出了适应本地气候的草种类型,从而影响了其遗传多样性的构成。

3.3 土壤环境

黄河三角洲的土壤类型主要包括潮土、盐土和滨海盐土,其中盐碱化现象较为突出,土壤盐碱度普遍较高,pH值一般在8.0~9.5之间^[1]。这种高盐碱的土壤环境对乡土草种质资源的分布与适应性提出了严峻考验。研究表明,盐碱胁迫会显著抑制植物的生长和代谢,但也同时促使部分乡土草种进化出了耐盐碱的生理机制,通过积累有机酸或离子转运蛋白来调节细胞内外的渗透压平衡。另外,黄河三角洲的土壤质地较为疏松,富含有机质,这为深根系草种的生长提供了良好的条件,同时也促进了微生物群落的发育,进而间接影响了乡土草种的生态功能与遗传特性。然而,随着工业化和农业活动的加剧,土壤盐碱化程度不断升高,这对乡土草种质资源的保护与可持续利用影响较大,亟需采取有效修复措施积极应对。

4 黄河三角洲乡土草种质资源收集

4.1 收集方法

实地考察是黄河三角洲乡土草种质资源收集的主要方式方法,是指对目标区域进行实地系统性踏查和样方调查。踏查时研究人员需根据地形、地貌及植被类型划分不同的生态单元,并对每个单元内的乡土草种进行详细记录,包括物种名称、分布范围、生境特征等信息;样方调查是通过设置固定大小的样方,在样方内统计植物种类、密度、盖度等参数,以量化资源的分布状况^[2]。文献查阅作为辅助方式,主要用于获取历史资料 and 前人研究成果,为实地考察提供理论依据和参考数据。另外,群众访谈是一种重要的补充方法,尤其是对尚未被科学记录的地方性草种。通过与当地农民群众及自然保护区的工作人员进行详细交流,可以了解传统利用方式、资源变化趋势等有关信息。

4.2 收集范围与重点目标草种

黄河三角洲乡土草种质资源的收集范围覆盖整个三角洲区域,包括东营市、滨州市,以及潍坊、德州、淄博、烟台的部分县(区);收集乡土草种质资源主要包括禾本科、菊科、豆科等优势科属,涵盖耐盐碱植物(碱蓬、芦苇等)、药用植物(黄芪、甘草等)及牧草资源(紫花苜蓿等)^[8]。据统计,现存种质资源约300余种。这些区域的独特地理环境和气候条件,孕育了丰富的耐盐碱植物资源,具有重要的科研价值和经济效益。在重点目标草种的选择上,优先考虑具有较高生态适应性和经济价值的物种。如,紫花苜蓿

(*Medicago sativa*)作为一种优质豆科牧草,不仅产量高、营养价值丰富,还具备较强的生物固氮能力,适合在盐碱地推广种植。其次,罗布麻(*Apocynum venetum* L.)其具有良好的耐盐性和药用价值,也是重要的收集对象之一。还有,中苜3号、鲁苜1号、赛迪5号等紫花苜蓿培育品种,以及当地自行选育的“无棣苜蓿”品种,经过广泛种植,表现出优异的生产性能和营养价值,作为重点收集目标。

4.3 收集过程中的难题与对策

在黄河三角洲乡土草种质资源收集过程中,资源识别准确是一个突出的问题,尤其是在物种多样性较高的区域,许多乡土草种形态相似,难以快速精准鉴定。在这次乡土草种质资源收集过程中,特别引入了分子标记技术辅助鉴定,建立完善的植物分类数据库,并加强参与研究人员的专业技能培训,提高其乡土草种质资源分类学水平。其次,乡土草种质资源分布分散,增加了收集工作的难度和成本。通过采用分区域、分阶段的方式进行收集,优先选择资源集中且代表性强的区域进行重点调查,同时充分利用遥感技术和地理信息系统(GIS)优化采样点布局,从而提高收集效率^[9]。另外,个别乡土草种处于濒危状态或分布范围狭小,容易因人为干扰而灭绝。为此,需要制定科学的收集计划,避免过度采集,并在收集后及时采取保护措施,建立种质资源库或迁地保护区等方式,确保乡土草种质资源的长期存续。

5 黄河三角洲乡土草种质资源濒危物种

5.1 备注说明

5.1.1 濒危等级

参考IUCN红色名录标准(CR:极危;EN:濒危;VU:易危;NT:近危;DD:数据缺乏)。

5.1.2 生态习性

简要描述物种的生态适应性,为生态修复提供参考。

5.1.3 主要威胁因素

总结导致物种濒危的关键原因,为保护策略制定提供依据。

5.1.4 物种信息来源

本清单综合《中国生物多样性红色名录》《山东省重点保护野生植物名录》及近年相关科研论文数据,部分物种信息可能存在动态变化,建议结合最新实地调查更新。

5.2 保护建议^[5]

5.2.1 优先收集保存

对濒危等级高的物种,扩大野外调查范围,采集种子和活体材料存入种质资源种子库。

5.2.2 生态修复应用

在黄河三角洲生态工程中优先使用本地濒危草种,恢复其原生群落。

5.2.3 科学研究支持

开展濒危物种的生态适应性、遗传多样性及繁育技术研究。

5.2.4 政策与宣教

推动地方政府制定专项保护政策，加强公众生态保护意识教育。

6 黄河三角洲乡土草种质资源保存

6.1 种子库保存

依托国家林草种质资源库、地方分库和山东省牧草产业技术体系，建立黄河三角洲乡土草种质资源种子库。种子库保存作为一种重要的种质资源保存形式，其核心原理是通过控制环境条件，降低种子的代谢活动，从而延长其寿命并保持遗传稳定性。种子库保存的技术要求主要包括低温、低湿和真空等条件的精确控制，以确保种子在长期储存过程中不发生劣变或失去活力^[4]。对于黄河三角洲乡土草种质资源而言，种子库保存具有显著的优势，其能够高效地保存大量种质资源，并且占用空间相对较小。然而，该方法也存在一定的局限性，比如并非所有乡土草种的种子均具备耐干燥和低温的特性，部分物种的种子可能在储存过程中丧失发芽能力。另外，种子库保存对技术设备要求较高，长期维持稳定的低温和低湿环境需要较高的成本投入。因此，在选择种子库保存时，应优先考虑那些种子易于储存且对干燥和低温耐受性较强的乡土草种。

6.2 活体保存

通过在黄河三角洲自然保护区划定草种原生境保护区，建立植物园、种质资源圃等形式，保持物种自然演化环境，将乡土草种直接原地种植进行保存的一种方法。这种方式能够有效地保持植物的遗传特性和适应性，尤其是适用于那些种子难以储存或无法通过种子繁殖的物种^[6]。在黄河三角洲区域，建立专门的乡土草种种质资源圃不仅可以保存珍稀和濒危草种，还能够为科学研究和育种培育提供便利条件。但是，活体保存需要较大的土地面积、较高的维护成本以及对环境变化的敏感性，一旦遭遇自然灾害或人为干扰，可能导致保存资源的重大损失。尽管如此，活体保存在保护乡土草种的遗传多样性和生态功能方面具有不可替代的作用，特别是在维持种群动态和基因交流方面表现出明显优势。

6.3 保存过程中的技术要求和长期维护

无论是种子库还是活体保存，保存过程中的技术要求和长期维护环境条件都是确保种质资源活力和遗传稳定性的关键因素。在种子库保存时，温度和湿度是两个最为重要的控制参数。通常种子需要在 $-20^{\circ}\text{C} \sim -196^{\circ}\text{C}$ 的低温环境下储存，同时保持相对湿度要低于5%，以最大限度地延缓种子老化过程。另外，定期监测种子的发芽率和活力指标也是保存过程中的必要的手段，以便及时发现并处理可能出现的问题。对于活体保存而言，光照、土壤条件和水肥管理是至关重要的控制条件^[4]。黄河三角洲区域内盐碱土壤对许多乡土草种的生长提出了特殊要求，在种质资源圃的建设中

需要采取改良土壤、合理灌溉等措施来满足草种的生长需求。在长期维护方面，除了定期更新和补充保存种质资源外，还需要建立完善的档案管理系统，记录每种资源的收集时间、来源地、保存状态等信息，为后续研究和利用提供可靠的数据支撑。通过科学合理的技术手段和精细化维护工作，可以最大程度地保障黄河三角洲区域乡土草种质资源的长期保存和可持续利用。

7 黄河三角洲乡土草种质资源利用

7.1 生态景观营造

黄河三角洲作为我国重要的生态功能区，其乡土草种在生态修复与城市绿化等生态景观营造中具有不可替代的作用。乡土草种因其长期适应本地气候、土壤条件，展现出较强的抗逆性与生态适应性，成为生态修复工程中的核心物种。鲁东大学依托滨海湿地生态修复与保育实验室，针对黄河三角洲湿地退化和生态景观破碎化现象，提出了“逐级修复”的退化湿地生态修复技术，即以乡土草种为核心，通过恢复植被覆盖和改善生源元素生物地球化学循环，显著提升了湿地生态系统的自我修复能力。另外，青岛农业大学在盐碱地适生绿肥种植模式研究中，发现冬牧70（黑麦）和大麦等禾本科作物不仅能够有效抑制盐分表聚，还能增加土壤碳固定，降低氮淋溶风险，为区域生态修复提供了重要技术支持。这些研究成果表明，乡土草种在生态景观营造中的应用不仅能够恢复受损生态系统，还能够提高显著的社会和经济效益^[6]。

7.2 畜牧业发展

黄河三角洲盐碱地区域丰富的土地资源和饲草资源为畜牧业健康持续发展提供了良好的基础，而乡土草种的合理开发与利用则是加快畜牧业降本增效的关键举措。根据姚红梅等的研究，黄河三角洲地区虽然土地与饲草资源丰富，但资源利用率与肉羊养殖规模化水平较低，导致资源浪费现象较为严重^[8]。在此背景下，乡土草种作为优质饲草资源的潜力得到了广泛关注。如，青岛农业大学草业育种团队在黄河三角洲盐碱地成功选育出“赛迪5号紫花苜蓿”，是山东省首个国审牧草品种，也是目前国内天然青干草饲喂农区家畜的生态高效草肉奶转化关键技术体系的重要组成部分^[12]。该团队还创新了盐碱地草牧业一体化“智慧牧场”新模式，在山东省推广近1000万亩，显著提升了区域畜牧业的生产效率与经济效益。由此可见，乡土草种在畜牧业中的应用不仅能够满足畜禽对营养的需求，还能够推动农牧循环可持续发展^[8]。

7.3 药用价值开发

黄河三角洲乡土草种中蕴含着丰富的药用植物资源，其药用成分与药用价值在医药领域具有广阔的开发前景。根据谢小丁等的研究，东营市原生植物资源是特殊自然条件下形成的遗传资源宝库，其中包含大量抗逆基因，对盐碱地农

业可持续发展具有重要意义^[7]。同时,郭慧君等对黄河三角洲野生草本草用植物种质资源的调查显示,该地区常见野生草本草用植物共有64科176属262种,其中包括清热药、利水渗湿药、止血药等多种功能类别^[5]。如,紫花地丁、蒲公英、委陵菜等清热药在民间被广泛用于清热解毒和治疗感染性疾病;花旗杆、柳穿鱼等利水渗湿药则对水肿、尿路感染等症状具有良好的疗效。然而,目前对这些药用植物资源的开发与利用仍存在诸多不足,尤其是在精深加工与市场化推广方面亟待加强。因此,进一步挖掘乡土草种的药用潜力,将其转化为高附加值的医药产品,对于促进区域经济发展具有重大意义^[7]。

7.4 利用现状与瓶颈

尽管黄河三角洲乡土草种质资源在生态修复、畜牧业发展与药用价值开发等领域展现出巨大潜力,但其实际利用水平仍受诸多因素制约。首先,在技术层面,现有保存与利用技术尚不完善,特别是在种子库与活体保存过程中,如何长期维持资源活力与遗传稳定性仍是亟待解决的关键问题。其次,在市场层面,乡土草种相关产品的市场化推广率较低,缺乏统一的质量标准和品牌效应,导致产品竞争力不强。另外,政策支持与资金投入的不足也限制了乡土草种质资源的大规模开发与利用。尽管鲁东大学与青岛农业大学在乡土草种研究方面取得了一定成果,但由于其缺乏持续的资金支持与政策引导,部分研究成果难以实现产业化转化。因此,未来需要从技术创新、市场培育与政策支持等多方面入手,打破现有瓶颈,推动黄河三角洲乡土草种质资源的高效利用^[7-8]。

8 结论

8.1 研究成果总结

本研究系统开展了黄河三角洲乡土草种质资源的收集、保存与利用研究,取得了显著成果。在资源收集方面,通过实地考察、文献查阅和群众访谈等多种方法,全面梳理了黄河三角洲区域内具有重要生态与经济价值的乡土草种,建立了较为完整的资源名录。这些草种不仅在生态修复中发挥了关键作用,还为畜牧业发展和药用价值开发提供了重要的物质基础。在保存技术研究方面,针对种子库保存和活体保存两种方式进行了深入探讨,明确了不同保存方法的适用场景和技术要求,为长期维护乡土草种的遗传多样性和活力提供了科学依据。另外,在资源利用方面,研究发现乡土草种在生态景观营造、畜牧业饲料供给以及医药领域具有广阔的应用前景,尤其是在盐碱地改良和城市绿化中表现出独特的生态适应性优势^[7-8]。

本研究的意义不仅在于丰富了黄河三角洲乡土草种质资源的理论基础,还为区域生态建设和经济发展提供了重要支持。通过对乡土草种质资源的科学评估,构建了涵盖生态适应性、经济效益和遗传多样性价值的综合评估体系,为种质资源的合理利用奠定了坚实基础。同时,该研究成果也为

其他类似生态脆弱区的乡土草种质资源保护与利用提供了借鉴经验,具有重要的推广价值。

8.2 研究不足与展望

尽管本研究取得了一系列成果,但在过程中仍发现不足之处需进一步改进。首先,在资源收集中,由于偏远地区交通不便和资源分布分散,导致某些珍稀草种的采集工作未能完全覆盖,可能存在遗漏个别具有潜在价值的种质资源。其次,在保存技术方面,虽然对种子库保存和活体保存进行了探索,但针对特定要求草种的保存技术优化仍需加强,尤其是在长期保存过程中保持其遗传稳定性方面仍需深入研究。此外,在资源利用方面,目前对乡土草种的药用成分分析和市场开发尚处于起步阶段,缺乏系统的产业化转化策略,从而限制了其经济效益的充分发挥^[9-10]。

展望未来,黄河三角洲乡土草种质资源的收集、保存与利用的研究应着重关注以下几点:一是进一步完善资源收集网络,结合遥感技术和分子生物学手段,提高资源识别的准确性和效率;二是加强保存技术创新,探索低温保存、基因库建设等新型保存方法,以满足不同草种的保存需求;三是深化资源利用研究,特别是在医药领域的开发潜力,通过产学研合作推动乡土草种质资源利用的产业化进程。另外,注重跨学科交叉研究,将生态学、遗传学、经济学等多学科理论相结合,为乡土草种质资源的可持续利用提供更加全面的技术支持。这些研究热点和创新点将为黄河三角洲乃至我国其他地区的生态修复与经济发展注入新的活力。

参考文献

- [1] 谢小丁, 刘志刚, 王伟. 黄河三角洲盐碱地土壤特性与植物适应机制研究[J]. 中国生态农业学报, 2022, 30(4): 567-575.
- [2] 李明, 张华. 黄河三角洲湿地生态系统服务功能评估[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4567-4576.
- [3] 王强, 刘洋. 基于深度学习的植物种质资源识别与分类研究[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(2): 112-120.
- [4] 陈晓明, 李娜. 种质资源种子库保存技术优化研究[J]. 中国农业科学, 2020, 53(8): 1567-1575.
- [5] 刘志刚, 谢小丁. 黄河三角洲濒危植物资源保护策略研究[J]. 生物多样性, 2023, 31(5): 789-797.
- [6] 张伟, 李娜. 基于生态位理论的黄河三角洲湿地植物群落恢复研究[J]. 生态学杂志, 2022, 41(7): 2015-2023.
- [7] 郭慧君, 赵丽. 黄河三角洲野生草本草用植物资源调查与评价[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(10): 2678-2685.
- [8] 姚红梅, 王伟. 黄河三角洲盐碱地牧草资源开发与利用研究[J]. 草业学报, 2021, 30(6): 1234-1242.
- [9] 王强, 刘洋. 遥感技术在种质资源收集中的应用进展[J]. 遥感学报, 2023, 27(3): 567-575.
- [10] 陈晓明, 李娜. 种质资源保护政策与技术创新路径研究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(4): 112-120.

Application of new modified filter media in advanced wastewater treatment

Wenjing Xin

Beijing Northern Drainage Equipment Industry Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

In order to strengthen the effectiveness of municipal wastewater advanced treatment, the development of high-efficiency filter materials is the core point. This study focuses on the preparation process and characterization methods of new modified filter materials, systematically analyzes the regulation principle of surface functionalization technology on material structure and adsorption performance, and creates a multi-process system with modified filter materials as the core to explore its practical application effect in removing dissolved organic matter, nitrogen and phosphorus nutrients and trace organic pollutants. This type of filter material shows significant pollutant reduction ability and stable operation function. The research results provide new material support for the reuse and discharge of municipal wastewater to meet the standards. It has significant engineering promotion significance.

Keywords

Municipal sewage ; Modified filter material ; Deep processing ; Pollutant removal ; Surface functionalization technology

新型改性滤料在污水深度处理中的应用

辛文晶

北京北排装备产业有限公司, 中国·北京 100000

摘要

为强化市政污水深度处理的成效, 开发高效滤料是核心要点, 本研究以新型改性滤料制备工艺及表征方法为中心展开, 系统分析表面功能化技术对材料结构及吸附性能的调控原理, 创建以改性滤料为核心的多元工艺体系, 探究其在去除溶解性有机物、氮磷营养盐和微量有机污染物方面的实际应用效果, 该类滤料展现出显著的污染物削减能力和稳定的运行功能, 研究成果为市政污水再生利用及排放达到标准提供新型材料支持, 具备显著的工程推广意义。

关键词

市政污水; 改性滤料; 深度处理; 污染物去除; 表面功能化技术

1 引言

随着城市化推进速度加快以及水资源短缺问题愈发凸显, 市政污水深度处理技术成为维护水环境安全、实现资源最大化利用的关键办法, 常规处理工艺没办法高效去除溶解性有机物、氮磷营养盐和新兴微量污染物, 这阻碍了再生水品质的提高, 新型改性滤料依仗出色的吸附表现和良好的工艺适应能力, 在多级净化系统之中展现出广泛应用的潜力, 对其结构调控机制和污染物去除效能展开研究, 具备重要理论与工程意义。

2 新型改性滤料的制备与表征方法

2.1 表面功能化改性的主流技术路径

新型滤料的表面功能化改性多采用负载型、掺杂型或

共价键合型方式, 以提升对目标污染物的亲和力与反应活性, 在市政污水深度处理领域针对难降解有机物与氮磷营养盐的去除需求, 常选用金属氧化物负载、氨基化修饰或碳材料复合增强的路径进行定向改性, 在天然沸石或陶粒表面负载 FeOOH 可显著提升对磷酸根的吸附容量, 静态等温实验中其最大吸附量可达 18.4 mg P/g 。采用溶胶凝胶法或共沉淀法实现纳米尺度的均匀分布可增强表面反应活性并保持良好的机械稳定性。部分研究引入有机硅基团或季铵盐结构修饰滤料表面, 增强对溶解性有机物的电荷中和与疏水作用, 拓展其在混合污染物体系中的适用性^[1]。

2.2 关键物理化学性质的表征分析

改性处理后的滤料在比表面积、孔隙结构及表面性质方面均表现出明显优化特征, 整体呈现出多孔骨架发育充分、反应位点分布均匀及界面亲和性增强的工程应用优势。滤料表面形成以介孔结构为主的多级孔道体系, 有利于水体污染物在滤层中的传质扩散与充分接触, 提升单位体积材料的有效作用面积。表面功能化处理使滤料具备稳定的表面活

【作者简介】辛文晶(1998—), 女, 中国山西朔州人, 本科, 助理工程师, 从事水处理技术研究。

性基团分布特征,增强对有机污染物及营养盐组分的吸附能力与选择性亲和作用。在不同水质条件下,滤料表面电性表现出良好的环境适应性,有利于维持连续运行过程中的吸附稳定性。经有机硅类改性后,滤料表面呈现一定疏水特征,可强化对疏水性有机污染物的富集能力,同时保持良好的水力通透性能,为深度处理系统长期运行提供可靠材料基础^[2]。

2.3 改性对滤料结构与性能的影响机制

表面功能化改性不仅改变滤料的化学组成,还在微观尺度上重构其孔隙结构与吸附行为,负载型改性常导致表面形成非连续覆盖层,若颗粒团聚或负载过度,会造成比表面积下降与孔道堵塞,从而影响污染物的传质扩散速率,在市政污水实际工况中滤速通常为 5–10 m/h,结构优化应在保证足够反应位点数量的同时维持合理的水力通透性,掺杂型改性则可能在骨架结构中引入异质晶相,改变表面电荷分布与酸碱性质间接提升对阴离子或中性有机物的选择性吸附能力^[3]。实验研究表明在等量投加条件下,经 Zn-Al LDH 改性的无机滤料对磷的去除率较未改性样品提升约 62.3%,吸附过程表现出拟二级动力学行为。结构变化与性能表现之间的耦合关系说明改性路径选择应结合目标污染物特性与运行环境,避免性能提升带来的结构副作用影响系统稳定运行。

3 市政污水深度处理中典型污染物的去除效能

3.1 对溶解性有机物与难降解有机物的去除特性

市政污水中的溶解性有机物主要以小分子腐殖酸、低分子蛋白类及亲水性中性有机物为主,难降解有机物多为芳香族、卤代烃类及部分药物残留,这些组分在常规活性污泥系统中去除效率较低,导致出水 $UV_{(254)}$ 和 COD_{Cr} 值居高不下,新型改性滤料的开发侧重于增强与此类污染物的电荷作用、 $\pi-\pi$ 作用以及疏水吸附能力,根据表面官能团的定向引入可构建针对性复合吸附机制,研究表明经氨基化改性的磁性颗粒材料在弱酸至中性 pH 条件下对腐殖酸类物质的吸附能力提升显著,最大吸附容量由 17.2 mg/g 增至 45.6 mg/g。采用石墨烯氧化物与铁氧化物复合修饰的多孔陶粒对苯酚类有机物表现出良好去除能力,反应速率常数提高 2.7 倍,吸附等温线更接近 Langmuir 模型,说明其表面吸附点呈现出较强的单层饱和特性^[4]。在动态滤柱实验中,滤速控制在 6 m/h 条件下,改性滤料在运行周期内对溶解性 COD 保持 75% 以上的去除率,紫外吸光值从 0.178 降低至 0.041。表面电性与官能团分布对吸附速率与选择性有明显调控作用,不同改性技术路径应根据目标有机物类别及其极性特征进行匹配优化,以提升滤料的选择性去除效率和使用周期。

3.2 对氮、磷等营养盐的深度削减效果

氮和磷是导致水体富营养化的主要营养盐组分,市政污水中以铵态氮、硝酸盐氮与正磷酸盐为主要存在形式,其

低浓度高迁移性的特性决定了常规处理方式难以实现稳定去除,新型改性滤料常根据引入高价金属离子或双金属氢氧化物以增强与营养盐之间的静电吸附与沉淀反应能力,其中 Fe、Al、La 等金属的负载型改性路径在磷去除中应用较为广泛,在等温吸附试验中,采用 Fe-Mn 双金属氧化物修饰的滤料对磷酸根的饱和吸附量可达 32.8 mg P/g,远高于天然滤料的 7.4 mg P/g,反应动力学分析显示其吸附过程主要符合拟二级模型,反应活化能降低明显,有利于在低温条件下保持反应速率,氮的深度去除则更多依赖于功能材料对铵离子的选择性吸附或对硝酸盐的还原转化能力,Mg-Zr 复合氢氧化物改性材料在 pH 为 6.5–7.0 范围内对 NH_4^+-N 去除率可稳定保持在 84% 以上,吸附容量达 25.6 mg/g。滤料表面 Zeta 电位调控对氮磷吸附性能的直接表现为弱碱性条件下阳离子型吸附点数目增加提升对负离子型磷酸根的亲合作用并促进内层络合反应形成,动态连续流运行实验中经三价铁负载的陶粒滤料在 30 d 周期内出水总磷浓度稳定低于 0.05 mg/L 体现的长期稳定运行能力,营养盐削减效率控制关键在于材料反应位点稳定性与反复再生能力及过高金属负载比例可能引发滤料表面钝化或絮体结构破坏对长期滤速与通水性能的影响。

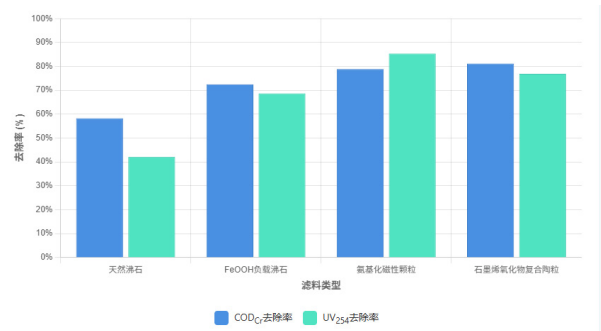


图1 不同改性滤料对溶解性有机物的 COD_{Cr} 与 $UV_{(254)}$ 去除效率对比图

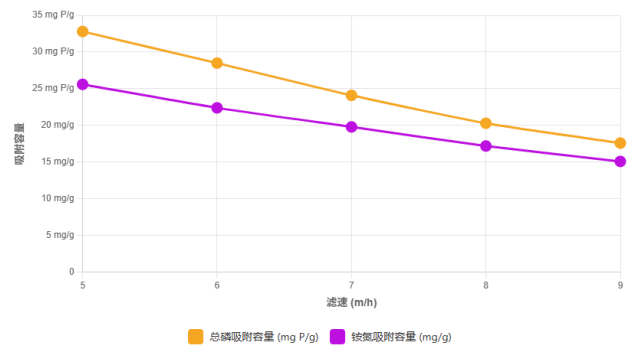


图2 改性滤料对总磷与铵氮的等温吸附容量及滤速影响关系图

3.3 对新兴微量污染物的控制能力

市政污水中含有抗生素、内分泌干扰物、表面活性剂和微塑料等新兴微量污染物,常规生物处理难以有效降解。

为此,研究重点转向开发多功能协同去除滤料,通过在滤料表面引入多种作用位点实现物理截留和化学吸附。碳基改性陶粒对双酚 A 的吸附容量为 63.2 mg/g,明显高于传统陶粒的 21.5 mg/g,且在 pH 6.0 下去除效率高达 92.7%。对于四环素类抗生素,改性滤料通过引入羧基或磺酸基团增强吸附能力,分布系数提高至 3500 L/kg。双功能负载型滤料在动态滤柱实验中对三氯生去除率超过 85%,并且连续运行 20 天后去除效率稳定。滤料孔径应集中在 10–20 nm,以平衡反应位点暴露与截留效率,部分新型滤料还结合光催化功能同步降解有机污染物^[9]。

4 工艺设计与运行实例

4.1 作为深度处理单元的工艺组合模式

新型改性滤料常作为市政污水深度处理的终端抛光单元,嵌入传统二级或三级处理系统下游,进一步削减难降解污染物。工艺组合设计注重选择性吸附与反应协同,确保出水水质稳定达标。滤池常与高效沉淀池、臭氧氧化或膜组件串联,减轻前段悬浮物负荷,保障滤料稳定运行。常见配置包括重力式下向流滤池、上向流式多级反应床及集成反应—吸附—过滤装置。上向流工艺便于反洗和更换功能材料,适用于中小型水厂。滤池结构中反应区与储能层的比值保持 1.5 : 1 至 2.0 : 1,工艺设计强调低阻损、高通量和易维护性,布水均匀性影响滤速与吸附速率。

4.2 改性滤料在工程运行中的关键性能特性

在市政污水深度处理工艺中,新型改性滤料表现出良好的水力通透性与运行稳定性,能够在较宽运行负荷范围内维持稳定的污染物削减能力。滤料多孔骨架结构有利于水流均匀分布,避免局部短流与堵塞现象发生,降低系统运行压损增长速率。表面功能化改性赋予材料较强的污染物亲和能力,使其在高负荷进水条件下仍可保持稳定吸附与反应效率。运行过程中滤料抗冲刷能力强,反冲洗后结构完整性良好,可实现多周期重复使用而不出现明显性能衰减。同时,滤料对进水水质波动具有较强缓冲适应能力,在高浓度有机物或营养盐瞬时冲击条件下仍能维持出水水质稳定,为城市

污水深度处理系统长期连续运行提供可靠保障。

4.3 工程应用案例及溢流污染治理成效

新型改性滤料已在多个市政污水深度处理与再生水利用工程中得到实际应用,并在常规深度净化与溢流污染控制场景中展现出良好效果。以某北方城市再生水厂为例,在原有生物处理与高效沉淀单元后增设改性滤料反应滤池作为终端深度处理设施,用于削减难降解有机物及营养盐残留,同时兼顾雨季溢流污染应急处理需求。当强降雨导致进水水质短时波动及污染负荷上升时,改性滤料系统可作为缓冲净化单元对高浓度有机物和氮磷组分进行快速削减,有效降低溢流排放对受纳水体的冲击风险。工程运行表明,该滤料工艺在长期连续运行条件下保持稳定水力性能与污染物去除能力,未出现明显堵塞与吸附饱和现象,维护周期长、能耗水平低,出水水质可稳定满足一级 a 排放及部分再生水回用要求。

5 结语

新型改性滤料在市政污水深度处理中展现出良好的污染物削减能力与工艺适应性,能有效提升出水水质稳定性与系统运行效率,针对不同类型污染物构建多功能复合材料体系,有助于实现高选择性吸附与协同净化,结合工程应用验证结果滤料在多种工况下均表现出较强的稳定性与可持续性,为再生水利用和水环境安全提供了高效可靠的技术支撑,具备广泛推广应用前景。

参考文献

- [1] 卢才通,周雄. 海上油田采油平台污水处理工艺研究[J].化工管理,2025,(03):77-79+104.
- [2] 陈永娇. 国内外石英砂滤料研究对油田含油污水处理的启示[J].江汉石油职工大学学报,2023,36(06):54-55+89.
- [3] 郝添翼,曲婷,王海媚,等. 曝气生物滤池滤料改进研究[J].应用化工,2023,52(07):2112-2116.
- [4] 许铮,王彦飞,李思敏,等. 生物砂滤池深度处理污水厂尾水的研究现状及展望[J].工业用水与废水,2023,54(02):10-13+58.
- [5] 吕昱,禹丽娥,刘京都,等. 基于改性滤料对微污染水的生物处理技术与探讨[J].环保科技,2020,26(01):50-55.

Discussion on the Detection and Analysis Methods of Harmful Chemicals in Soil Environment

Yuanyuan Jin

Hebei PONY Testing Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Conducting thorough detection and analysis of harmful chemical substances in soil environments enables a clearer understanding of actual soil pollution conditions, providing valuable references for soil remediation. Particularly, pollutants listed in the "Catalogue of Key Controlled Toxic and Harmful Substances in Soil" must be analyzed through specific detection methods to accurately assess their environmental impacts. Based on these findings, targeted soil remediation measures can be implemented to ensure sustainable improvement of soil quality and ecological security. Relevant institutions can enhance detection efficiency and quality by optimizing sample pretreatment, applying instrumental analysis techniques, and maintaining strict control over the detection process, thereby guaranteeing the accuracy and reliability of test results.

Keywords

Soil environment; Toxic and hazardous chemicals; Detection and analysis methods; Environmental protection

浅论土壤环境中有害化学物质的检测与分析方法

金园园

河北谱尼测试科技有限公司, 中国 · 河北 石家庄 050000

摘要

做好土壤环境中有害化学物质的检测与分析可以更好地明确土壤污染的实际状况, 为土壤治理提供更多的参考和借鉴。尤其是《重点控制的土壤有毒有害物质名录》中污染物质必须通过特定检测分析方法的有效应用明确其对土壤环境造成的危害和影响, 在此基础上针对性地落实土壤治理修复工作, 为土壤环境质量的持续改善与生态安全提供保障。相关单位可通过样品前处理、仪器分析技术的应用、检测过程的严格控制提高检测效率和检测质量, 保证检测结果的精确度和有效性。

关键词

土壤环境; 有毒有害化学物质; 检测分析方法; 环境保护

1 引言

土壤环境是生态环境的重要组成部分, 随着城市化加剧、工业产业的发展, 土壤污染问题日趋严峻。在这样的背景下做好土壤环境中有害化学物质的检测与分析明确土壤污染的实际状况并针对性地选择治理技术是十分必要的。而在土壤环境中有害化学物质检测之前首先需要做好样品处理。

2 土壤有害化学物质检测的样品处理技术

样品处理可以为土壤检测提供良好的支撑, 是确保检测结果准确、真实、消除基体干扰的重要手段, 而不同污染物的样品处理要点是存在鲜明差异的, 可以从重金属污染物样品处理和有机污染物样品处理两大维度来展开分析。

对于土壤中铬及铬化合物、六价铬化合物等重金属污染物, 在样品预处理环节可通过电热板消解法、微波消解法、碱性提取法等相应技术方法进行样品处理。电热板消解法是利用硝酸、盐酸、氢氟酸等相应混合酸体系的强氧化性和腐蚀性损坏土壤晶格结构, 进而溶出重金属元素, 可以满足大多数重金属总量检测的需求。但六价铬等形态敏感污染物, 在应用的过程中需控制升温速率。微波消解法则是利用微波的内加热效应快速升温、增压, 消解土壤基体, 为镉、汞等相应元素的含量检测提供必要帮助, 可满足批量样品处理需求。在微波消解的过程中需根据土壤有机质含量对酸体系和消解程序作出适当调整, 同时需要做好压力控制, 避免出现容器泄漏等相应问题。碱性提取法则是在磷酸氢二钠和氢氧化钠缓冲体系中通过震荡来完成六价铬的提取, 避免在酸性环境下使其还原为三价铬, 仅适用于六价铬的样品处理, 无法满足其他重金属样品处理。在碱性提取法应用中需要做好避光和控温确保六价铬形态稳定性。

若在土壤环境检测中样品中含有苯、二氯甲烷等相应

【作者简介】金园园(1990—), 女, 中国河北邯郸人, 从事环境监测、环境保护方向研究。

的有机污染物,这时就可以采用吹扫捕集法、加速溶剂萃取法等不同技术方法来进行样品处理。吹扫捕集法是借助惰性气体吹扫土壤样品中的挥发性有机物,使其附着于捕集管中,配合高温解析,进入气相色谱分析。若挥发性有机物的沸点低于200℃,如二氯乙烯、三氯甲烷等,采用该项技术进行样品处理可以达到较好的处理效果,但需要注意对捕集管填料进行科学选择,并根据目标物的沸点对吹扫与解析温度做出优化。加速溶剂萃取法是利用高温高压提高溶

剂的渗透能力,完成目标物的溶解与释放,多应用于半挥发有机物样品处理中,如二硝基甲苯等。在加速溶剂萃取法应用的过程中应当根据目标物特性来对溶剂进行适当选择,并做好萃取温度、压力的控制,一般情况下可将前者设置为80~150℃,后者可以设置为10~20MPa。

不同土壤有害化学物质样品处理环节适用的技术方法存在鲜明差异,需根据实际情况来明确适用类型及应用要点提高应用成效,如表1所示。

表1 土壤有害化学物质样品处理、适用污染物及应用要点

技术类型	核心原理	适用污染物
微波消解法	微波内加热密闭消解	镉、铅、砷等重金属总量
碱性提取法	碱性缓冲体系保护六价铬形态	六价铬化合物
吹扫捕集法	惰性气体吹扫+吸附解析	苯、二氯甲烷等挥发性有机物
加速溶剂萃取法	高温高压增强溶剂渗透	苯并[a]芘等半挥发性有机物

3 土壤有害化学物质的仪器分析技术

在土壤环境监测中想要更好地明确有害化学物质的分布情况,针对性地选择治理技术,就需要通过仪器分析技术来完成实现定性定量检测,而不同污染物适配的仪器分析技术是存在鲜明差异的,可以紧抓重金属分析技术和有机污染物分析技术两大关键方向来选择技术方法。

3.1 重金属分析技术

在重金属分析领域,电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)、原子荧光光谱法(AFS)与离子色谱-电感耦合等离子体质谱联用技术(IC-ICP-MS)都是较为主流的技术。电感耦合等离子体质谱技术是通过电感耦合等离子体完成样品离子化,借助质谱仪进行质荷比分离,然后实现多元素同步检测,可以同时完成镉、铅、砷、汞等不同重金属元素的总量检测,其检出限低至0.001mg/kg。在该项技术应用期间需注意等离子体参数的控制和质谱分辨率的调整,避免多原子离子干扰检测结果。电感耦合等离子体技术的应用优势十分鲜明,可满足多元素同步检测的需求,大幅提高检测效率,其灵敏度较高,线性范围较宽。但缺陷则是设备购买成本较大且维修损耗较大、维修难度较高,同时对于高盐基质样品的耐受力相对较差。

原子荧光光谱法是借助汞、砷等相应元素的氢化物在特定波长下的荧光发射特性来完成定性定量检测,多应用于汞及汞化合物、砷及砷化合物的痕量检测中,其检出限可以达到0.0001mg/kg。在原子荧光光谱法应用中需加强氢化物发生条件的控制,避免因共存离子干扰检测结果。原子荧光光谱法的优势在于灵敏度高、选择性强且设备购买成本较低。但缺陷则在于仅能够满足特定元素的检测需求,同时也无法实现多元素同步检测,会影响检测效率^[1]。

离子色谱-电感耦合等离子体质谱联用技术是借助离子色谱柱完成六价铬与三价铬的分离,配合电感耦合等离子体质谱检测实现精准的定量分析,多应用于六价铬化合物形

态分析当中。在该项技术应用中需做好分离条件的控制并且科学选择色谱柱和流动相。优势在于可以更好地保障分离的精准性,提高抗干扰能力。但缺陷则在于设备采购成本较高,分析周期较长,无法满足批量样品检测的需求。

3.2 有机污染物分析技术

在有机污染物分析中常用的技术包含气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)、高效液相色谱-质谱联用技术(HPLC-MS)与吹扫捕集-气相色谱-质谱联用技术(P&T-GC-MS)。气相色谱-质谱联用技术是通过气相色谱柱来完成复杂有机混合物的分离,然后借助质谱仪进行定性定量分析,在苯、三氯乙烯、四氯乙烯等挥发性有机物检测中应用可以达到较好的应用效果。在该项技术应用中需要着重关注目标物的沸点,然后对色谱柱进行选择,同时对升温程序做出适当优化,以此来发挥其分离效率高、定性准确、适用范围广的优势。但是气相色谱-质谱联用技术也存在着一定的欠缺和不足,即对热不稳定、高沸点有机物的分析效果相对较差,需通过衍生化处理进行解决。

高效液相色谱-质谱联用技术是借助高效液相色谱对极性、热不稳定的有机物进行分离,配合质谱仪检测获得准确数据,多应用于二硝基甲苯等半挥发性、高沸点有机物分析当中。在该项技术应用期间需合理选择色谱柱和电离源,并通过流动相比率的优化获得准确数据。高效液相色谱-质谱联用技术的优势在于土壤样品分析中并不需要对样品进行高温汽化,可直接分析,但缺陷则在于分离效率略低,且设施的维护成本相对较高^[2]。

吹扫捕集-气相色谱-质谱联用技术是利用吹扫捕集的富集功能配合气相色谱-质谱技术分析完成挥发性有机物的一体化检测,多应用于二氯丙烷、三氯甲烷等挥发性有机物检测当中。在该项技术应用期间需抓住吹扫时间、解析温度、色谱条件等相应关键要素加强技术控制。该项技术的优势在于无溶剂富集,可以满足定性定量检测需求和痕量检测

需求。但对高沸点有机物富集效果较差，且很容易会出现捕集管残留污染的情况。如表 2 所示为土壤有害化学物质仪器

分析技术的技术原理和适用污染物，可根据实际情况来进行技术选择。

表 2 土壤有害化学物质仪器分析技术对比

技术类型	核心原理	适用污染物
ICP-MS	等离子体离子化 + 质谱检测	镉、铅、砷等重金属
原子荧光光谱法	氢化物发生 + 荧光检测	汞、砷等痕量重金属
IC-ICP-MS	离子色谱分离 + ICP-MS 检测	六价铬化合物
GC-MS	气相色谱分离 + 质谱检测	苯、苯并 [a] 芘等有机污染物
HPLC-MS	液相色谱分离 + 质谱检测	二硝基甲苯等半挥发性有机物
P&T-GC-MS	吹扫捕集 + GC-MS 检测	二氯丙烷等挥发性有机物

4 土壤有害化学物质检测的质量控制

为更好地保障土壤检测结果的准确性、真实性、可靠性，为土壤治理提供更多的帮助，还需要通过质量控制工作的开展规避检测问题，可以从样品采集阶段、实验室分析阶段两大关键阶段明确质量控制要点。

在样品采集阶段需确保样品具有代表性，能够有效反馈该地区的实际情况，可根据土壤类型和污染特征采用多点混合和分层采样的方法，控制采样深度与密度，避免单点采样偶然性过大影响检测结果。一般情况下表层土壤需取 0~20cm 处的土壤作为样品，亚表层土壤需取 20~60cm 处的样品。在样品采集期间还需要做好样品采集体量的控制，确保其能够满足后续实验分析的需求。

样品采集结束以后则进入到了样品运输与保存环节，需根据样品特性、监测需求明确样品运输与保存要求，如样品是否需要避光保存、冷藏保存、密封保存等。例如挥发性有机物样品则需要采用棕色密封瓶，保证环境温度在 4℃ 以下进行运输。同时需要根据样品特性明确运输周期，合理规划运输路线，避免因运输周期过长导致样品理化性质发生变化。如挥发性有机物样品的保存时间不宜超过 7 天，因此需通过运输路线优化确保在一周内将样品送至实验室^[9]。

在实验室分析阶段需要通过空白实验、平行样测定和标准物质质控来保障测定结果的准确性。空白实验可以有效消除试剂和环境对试验结果所产生的干扰，可每批次样品中设置两个以上的试剂空白。平行样品测定中需要确保相对偏

差小于 10%，每 10 个样品中就需要设置一组平行样。标准物质回收率需要控制在 80~120% 的范围内，每批次样品中需要通过插入 1~2 个有证标准物质，及时地发现实验问题。此外，若出现复杂土壤基质干扰问题可通过处理参数的优化配合基质匹配标准溶液降低基质效应确保检测结果的准确性、真实性和可靠性。

5 结语

在土壤环境监测中 toxic 有害化学物质的检测可以为后续的土壤污染治理提供更多的帮助，可通过电热板消解法、微波消解法、碱性提取法、吹扫捕集法、加速溶剂萃取法等相应样品处理方法进行样品预处理。然后借助电感耦合等离子体质谱法、原子荧光光谱法与离子色谱 - 电感耦合等离子体质谱联用技术进行重金属元素检测。还可借助气相色谱 - 质谱联用技术、高效液相色谱 - 质谱联用技术、吹扫捕集 - 气相色谱 - 质谱联用技术进行有机污染物检测。最后通过采样阶段及实验阶段的质量控制获得准确的信息数据。

参考文献

- [1] 杨静芝. 土壤环境有机有害化学物质残留检测分析 [J]. 山西化工, 2024, 44 (08): 77-78+110.
- [2] 李平艳. 土壤环境中有害化学物质的检测及分析策略 [J]. 农村科学实验, 2024, (11): 31-33.
- [3] 孔小禹. 土壤环境中有害化学物质的检测与分析方法研究 [J]. 当代化工研究, 2023, (17): 60-62

Comprehensive Analysis of Water Environment Monitoring Data and Research on Water Quality Change Characteristics

Qianying Li Min Li

Inner Mongolia Dayuan Testing Service Co., Ltd., Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

Abstract

Water environment monitoring data provides important evidence for analyzing water quality change characteristics. Through the comprehensive analysis of water quality monitoring data from different regions, this study explores the seasonal and regional characteristics of water quality changes and their relationships with climate change, human activities, and aquatic ecological factors. Using time series analysis, regression models, and machine learning methods, the study reveals the significant impact of climate change on water quality fluctuations, particularly when increased precipitation and rising temperatures exacerbate water pollution. Human activities such as industrial emissions and agricultural pollution directly drive the deterioration of water quality, while changes in aquatic ecosystems significantly affect water quality stability. Based on the analysis results, a water quality change prediction model was developed, and targeted water quality management optimization measures were proposed. The study shows that utilizing water quality monitoring data and data analysis methods can effectively predict water quality change trends and provide scientific support and decision-making basis for water resource management and pollution control.

Keywords

Water environment monitoring; Water quality changes; Data analysis; Water quality index; Pollution sources

水环境监测数据综合分析与水水质变化特征研究

李倩颖 李敏

内蒙古大元检测服务有限公司, 中国·内蒙古 通辽 028000

摘要

水环境监测数据为分析水质变化特征提供了重要依据。通过对不同地区水质监测数据的综合分析,探讨了水质变化的季节性和区域性特征及其与气候变化、人类活动和水体生态因素之间的关系。采用时间序列分析、回归模型和机器学习方法,揭示了气候变化对水质波动的显著影响,特别是在降水量增多和温度升高时,水质污染加重。人类活动如工业排放和农业污染直接推动了水质变化的恶化,水体生态的变化则显著影响水质的稳定性。基于分析结果,构建了水质变化预测模型并提出了针对性的水质管理优化措施。研究表明,借助水质监测数据和数据分析方法,能够有效预测水质变化趋势,并为水资源管理与污染防治提供科学支持和决策依据。

关键词

水环境监测; 水质变化; 数据分析; 水质指数; 污染源

1 引言

水质变化是水环境研究中的重要课题, 准确掌握水质变化特征对水资源保护和污染防治至关重要。随着社会经济的快速发展, 水污染问题日益严重, 水体质量的波动对生态系统和人类生活造成了深刻影响。水环境监测作为水质管理的重要手段, 提供了丰富的水质数据, 为水质变化的分析和预测提供了科学依据。通过对水环境监测数据的深入分析, 可以揭示水质变化的趋势和特征, 进而找出影响水质变化的

主要因素。近年来, 随着数据处理技术的发展, 水质数据的处理和分析方法不断完善, 为水质变化特征的研究提供了更多的工具和手段。然而, 由于水质变化具有复杂性和多样性, 因此仍需进一步探讨水质变化的规律性及其内在机制。

2 水质监测数据的来源与采集方法

水质监测数据的来源主要包括政府部门、环保机构、科研单位以及各类监测站点的数据。各地水质监测站定期或不定期地进行水体采样, 覆盖江河湖泊、地下水、饮用水源等不同类型的水体。监测数据通常包括水温、pH值、溶解氧、浑浊度、氨氮、磷酸盐、重金属含量等多个指标。数据采集方法通常采用现场取样与实验室分析相结合的方式。现场采样时, 使用专用的水质采样设备, 确保采集水样的代表性与真实性。采样频次与深度根据水体特征、季节变化及监测目

【作者简介】李倩颖(1986—), 女, 蒙古族, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 工程师, 从事环境检测, 环保咨询及环境治理研究。

标有所不同。在采样后,水样被送至实验室进行进一步的分析,使用化学分析、色谱法、光谱分析等仪器设备,定量测定各类水质指标。采集的数据经过质量控制和标准化处理,确保其准确性与可比性。现代水质监测还涉及自动化监测设备的应用,通过实时数据传输系统,获得连续、动态的水质数据,极大提高了数据的时效性与覆盖面^[1]。

3 水质变化特征的分析方法

3.1 水质变化趋势的统计分析

水质变化趋势的统计分析方法主要包括时间序列分析与回归分析。时间序列分析通过对水质监测数据的长时间跨度进行建模,揭示水质参数在不同时间段的变化趋势。常见的时间序列分析方法包括平稳性检验、趋势分析与季节性调整。平稳性检验可通过单位根检验(如 ADF 检验)判断数据是否具有稳定性,确保分析结果的有效性。趋势分析则通过计算水质参数的年均值或季度均值,识别水质的上升或下降趋势。回归分析则用于确定水质变化与特定因素之间的定量关系,通过建立多元回归模型,分析水质参数与气候变化、污染源等外部因素的相关性。通过这些统计分析方法,能够有效揭示水质的长期变化规律,为水质预测与管理提供依据。

3.2 水质参数间的相关性分析

水质参数间的相关性分析通过统计方法揭示不同水质指标之间的内在联系。常用的方法包括皮尔逊相关系数分析、斯皮尔曼秩相关分析和主成分分析(PCA)。皮尔逊相关系数用于分析两个连续变量之间的线性关系,计算结果接近+1或-1时,表明两个水质参数之间有较强的正向或负向相关性,接近0时则表明两者之间无显著线性关系。斯皮尔曼秩相关则适用于非正态分布的数据,评估水质参数间的单调关系。主成分分析(PCA)通过降维方法,将多个水质参数转化为少数几个综合指标(主成分),这有助于分析影响水质变化的主要因素。通过相关性分析,可以揭示不同水质参数之间的相互作用及其对水体污染状况的综合影响,为水质评估与管理提供科学依据^[2]。

4 水环境监测数据与水质变化特征的关系

4.1 气候变化对水质的影响机制

气候变化对水质的影响主要体现在降水、温度、风力等气象要素的变化,进而影响水体的物理、化学和生物特性。降水量的增加会导致地表径流的增多,带来大量的污染物进入水体,导致水质的恶化,尤其是在降水较为集中时,河流的流量骤增,土壤中的农业化肥、农药等污染物迅速进入水体,造成富营养化现象。水温的升高则促使水中溶解氧含量减少,促进有机物的分解,导致水体厌氧化,从而加剧水体污染。此外,气候变化引发的极端天气现象,如洪水、干旱等,直接改变了水体的自净能力和水质的变化模式,可能使得水体的污染加剧或水质发生突变。

4.2 人类活动对水质变化的作用

人类活动对水质的变化影响深远且复杂,主要体现在工业、农业、城市化等方面。工业排放是水体污染的主要来源之一,尤其是在未经处理的污水排放过程中,重金属、化学品等有毒物质直接进入水体,造成严重污染。农业活动中的化肥、农药使用过量,随着雨水流入水体,造成水体富营养化,导致藻类大量繁殖,水体氧气消耗殆尽,影响水生物种的生存。城市化进程加快,污水排放量大增,城市地下水过度开采,进一步加剧了水质的恶化。通过监测数据的分析,可以发现水质污染的高发区域通常与城市和工业集中区域高度重合,人类活动对水体污染和水质变化的推动作用显而易见。

5 水质变化特征的空间与时间分析

5.1 不同水体的水质变化特征比较

在不同水体中,水质变化特征存在显著差异。例如,湖泊由于其封闭性和水体较浅,水质受气候变化的影响较大,易发生富营养化现象。根据数据分析,某湖泊的氨氮含量在夏季明显升高,达到了0.7 mg/L,而其他季节为0.2 mg/L,反映了高温和降水对水体氮磷浓度的影响。相比之下,河流由于水流较为通畅,水质变化更为平稳,但当污染物流入时,短期内水质波动较为剧烈。根据监测数据,某河流的COD值在污染季节最高可达40 mg/L,而在干旱季节为20 mg/L。地下水因受土壤过滤作用的影响,水质较为稳定,但仍可能因人类活动导致突发性污染,如某地下水源的硝酸盐含量在特定区域曾达到12 mg/L,远超标准值。通过对不同水体水质的监测与分析,能够明确各类水体对外界影响的敏感度和自净能力差异^[3]。

5.2 季节性与年度水质变化趋势

水质的季节性变化主要受气候因素和水量变化的影响。例如,夏季水温升高,有利于某些水生植物和藻类的生长,从而导致水体富营养化现象的加剧。根据某水库的监测数据,夏季的氨氮浓度较冬季上升约50%。同时,降水量的变化也会影响水质波动,降水量大时,雨水径流带来的污染物浓度会增加,导致水质污染物浓度急剧上升。根据年度监测数据,某地区的水体在雨季的COD值较干季高出约30%,水质波动更为剧烈。此外,水体中的污染物在不同季节的分布和处理效果也有所不同,冬季较低的温度使得水体的自净能力降低,污染物易于积累。因此,季节性水质变化的分析有助于为水质管理和污染防治提供科学依据。

5.3 区域性水质变化的异同分析

不同区域的水质变化受自然环境和人类活动的双重影响。在城市化较为集中的区域,由于工业和生活污水的排放,水质通常较差。例如,在某城市的主要水源地,水质的COD浓度年均值为35 mg/L,远高于农业区水源地的20 mg/L。与此同时,农村地区的水质受农业污染的影响较大,

尤其是化肥和农药的使用过量,会导致水体中的氮磷浓度升高,出现富营养化现象。通过区域性水质数据的分析发现,城市区与乡村区水质的主要污染物不同,城市区主要污染物为重金属与化学需氧量,而农村区主要污染物为氮磷化合物。此外,山区由于植被覆盖良好,水质相对较为清洁,水质指标通常优于城市和农村地区。通过这些区域性差异分析,可以为不同区域制定差异化的水质管理和保护策略。

6 基于水环境监测数据的水质管理与预测

6.1 水质变化预测模型的建立与应用

水质变化预测模型的建立主要依赖于对历史监测数据的深入分析与统计建模。常用的预测模型包括时间序列模型、回归分析模型以及机器学习算法。以某地区的水质数据为例,通过对过去五年的监测数据进行分析,采用 ARIMA (自回归积分滑动平均) 模型对水体的 COD 浓度进行预测。模型中,输入变量包括降水量、温度、流量等气象和水文数据。结果显示,ARIMA 模型能够准确预测水质变化的趋势,误差范围控制在 5% 以内。通过与传统的回归模型对比,ARIMA 模型在短期预测精度上具有更高的准确性。此外,机器学习算法,如支持向量机 (SVM) 和人工神经网络 (ANN),也广泛应用于水质预测,能够处理复杂的非线性关系,提升预测的精度^[4]。例如,通过 ANN 模型对某水库的水温和氮磷浓度进行预测,结果表明,模型预测的水质变化能够有效预警潜在的水质污染风险,从而为水质管理决策提供支持。

6.2 水环境监测与水质管理的协同机制

水环境监测与水质管理的协同机制是确保水体健康的重要组成部分。通过实时水质监测系统,可以动态获取水质数据,并及时反馈至管理部门。以某城市的水质监测系统为例,通过在主要水源地和流域安装自动监测站,实时采集水体中的 pH 值、溶解氧、浊度、氨氮等关键水质参数。监测数据通过无线网络传输到中心数据库,数据分析平台能够自动识别水质变化异常。当某一水质指标超过预设阈值时,系统自动触发报警并通知水质管理人员采取相应措施,如调整水源调度、加大污染治理力度等。通过这种信息共享与协同管理的机制,水质监测数据能够实时为管理决策提供依据,有效提升水质管理的响应速度和效率。同时,数据平台还能够进行历史数据的对比分析,预测未来水质变化趋

势,为长期水质管理和优化提供科学支持。

6.3 优化水质管理措施的建议

优化水质管理措施首先应基于全面的水质监测与评估,结合具体水体的特点,提出有针对性的治理方案。例如,在某湖泊水质较差的地区,水质监测数据显示,氮磷浓度长期偏高,富营养化现象严重。针对这一情况,可以采取减少农业面源污染的措施,如推广精准施肥技术,减少化肥的使用量,并加强农业废水的处理。此外,建立湿地水质净化系统也是一个有效的解决方案。通过人工湿地的建设,可以促进水体中营养物质的沉降与转化,减少水质污染。对于水体污染较严重的河流,应加强源头治理,结合水质数据,识别主要污染源,实施污染物排放的严格控制^[5]。同时,应加大对污水处理厂的投入,提高水处理技术水平,减少污水中的有害物质排放。通过科学的水质监测与管理体系,能够实现水质的长期稳定与持续改善,为生态环境保护提供保障。

7 结语

通过本研究对水环境监测数据的综合分析,深入探讨了气候变化、人类活动及水体生态等因素对水质的影响机制,并基于数据分析提出了水质管理与预测的相关建议。研究表明,水质变化具有显著的空间与时间特征,气候条件、污染源和水体生态系统的变化直接影响水质波动。通过建立水质预测模型和完善水质管理协同机制,可以提高水质管理的精准性和应急响应能力。未来,随着监测技术和数据处理方法的不断进步,水质管理将更加科学化、智能化,能够更有效地应对水污染问题。综合利用水质监测数据,不仅有助于水质变化的精准预测,也为水资源的可持续管理提供了有力支持。

参考文献

- [1] 马晓榛,张鑫鑫.水环境保护中水质自动监测技术应用研究[J].科技创新与应用,2026,16(01):175-178.
- [2] 赵亚萍,毛璐瑶.基于大数据的水环境监测实验室信息系统安全保障体系研究[J].花炮科技与市场,2025,32(05):125-127.
- [3] 高增润.水环境监测质量控制要点研究[J].中国资源综合利用,2025,43(08):231-233.
- [4] 李晶,顾立业,董俊,张天译.数据挖掘技术在水环境质量监测中的应用研究[J].清洗世界,2025,41(09):119-121.
- [5] 杜艳雷.数据挖掘下突发性环境污染应急监测方法研究[J].环境科学与管理,2025,50(07):141-145.

Analysis and Treatment Measures of Air Pollution in Ecological Environment Protection

Li Li

Yantai Longkou Environmental Law Enforcement Brigade, Longkou, Shandong, 265700, China

Abstract

In recent years, air pollution has become an increasingly severe issue, imposing a heavy burden on ecological development and posing serious threats to human health. Addressing and preventing air pollution has become an urgent priority. In light of this, the article reviews relevant literature and combines practical experience to first highlight the severity of air pollution in ecological conservation and its significance for prevention. It then analyzes specific pollution problems and explores effective measures for their prevention and treatment, providing valuable references.

Keywords

Ecological and environmental protection; Air pollution issues; Prevention and control; Treatment measures

生态环境保护中大气污染问题分析及处理措施

李莉

烟台市龙口环境执法大队, 中国·山东 龙口 265700

摘要

近年来大气污染问题越发严重,对生态环境的发展带来了沉重负担,更是对人类的生命健康产生严重威胁,大气污染问题的处理与防治已刻不容缓。有鉴于此,文章通过查阅相关文献资料以及结合自身实践情况下,首先针对生态环境保护中的大气污染问题严重性及防治意义,随后针对具体污染问题展开分析,接着探讨了其相应的防治与处理有效措施,以供参考。

关键词

生态环境保护; 大气污染问题; 防治; 处理措施

1 引言

大气是人类生存与发展的基础性资源,是生态环境系统的重要组成部分,其质量直接关联公众身心健康、生态系统稳定与经济社会可持续发展。当前,大气污染问题已然成为全球性问题,并且大气污染的长期性、复杂性,决定了治理工作的困难性。中国在大气污染治理方面虽然取得阶段性成效,但污染隐患仍未彻底根除,重污染天气偶发、臭氧污染凸显、区域联防联控效能不足等问题持续存在,严重制约着中国生态环境保护工作质量的提升^[1]。做好大气污染防治工作,既是践行生态环境保护基本国策、落实绿色发展理念的必然要求,也是保障公众生命健康、维护生态安全、推动经济结构转型升级的重要举措,对筑牢生态安全屏障,促进人与生态环境的和谐发展有着十分重要的现实意义。

2 大气污染问题的严重性及防治重要意义

结合实践来看,大气污染对于人体健康与生态系统的破坏性危害十分深远,并且会对社会经济发展的可持续性产生严重制约。人们长期生活在重污染的大气环境下,氮氧化物、硫化物、细微颗粒等会大幅增加支气管炎、哮喘、肺癌等疾病的患病率,并且还可能诱发心脑血管猝死等严重问题。PM_{2.5}、PM₁₀、VOCs等污染物还会严重破坏生态系统中的大气平衡,使得建筑、农作物、森林等遭受酸雨危害,食物链的完整性也会受到温室效应的影响,甚至引发生物物种灭绝的极端事件。臭氧层空洞问题进一步加剧紫外线危害,削弱生态系统的稳定性。雾霾等恶劣大气污染还会引发交通管制、经济停产等现象,造成严重的经济损失。这些大气污染问题的防治往往需要投入大量的资金、人力成本,且治理周期较长,城市的宜居性受到严重影响,不利于人口与产业的聚集发展。由此可见,做好大气污染防治工作在当前发展进程中占据着无可替代的关键地位,其不仅是切实保障民生福祉,维护全域生态环境系统安全的必要实践与关键举措,更是驱动经济高质量发展,创造人与自然和谐共生美好发展形态的重大战略路径。

【作者简介】李莉(1979—),女,中国山东龙口人,本科,工程师,从事生态环境保护研究。

3 生态环境保护中大气污染问题分析

当前大气污染问题已从单一型污染转向复合型污染,从局部性问题转向区域性问题,其形成是自然因素与人为因素共同作用的结果,其中人为因素是核心诱因,同时治理过程中存在的短板也加剧了污染治理的难度,具体可从污染源、污染特征、治理短板三个层面深入剖析。

3.1 污染源多元且排放总量偏大

大气污染物排放覆盖工业、交通、生活、农业等多个领域,且部分领域排放总量居高不下难以在短期内实现快速大幅削减。工业作为主要排放源,即便是在对传统高耗能产业进行整治仍有许多企业的环保设施改造不到位、运行不规范且存在偷排漏排的问题。新兴产业低水平扩张,以及污染物排放管控力度不足等,仍然无法改变燃煤发电、钢铁等行业是多类污染物主要排放载体的现状^[2]。机动车保有量增长使燃油车尾气成为大气污染重要来源,非道路移动机械排放管控薄弱、尾气净化设施问题突出,加之油品质量不均、燃油替代缓慢等也进一步加剧了交通领域的大气污染问题。城乡居民燃煤取暖、餐饮油烟等生活行为释放大量污染物,冬季采暖期燃煤排放激增依然是大气区域性重度污染的重要诱因。农业领域秸秆焚烧、畜禽养殖废弃物处理不当产生的氨与其他污染物反应生成二次颗粒物也会加剧大气污染问题。

3.2 污染呈现复合型特征且区域传输明显

当前大气污染已形成复合型污染格局,多种污染物相互作用、协同危害,增加了治理难度。一是一次污染与二次污染叠加,工业、交通等领域排放的一次污染物(如NO_x、VOCs、颗粒物),在光照、温度等气象条件作用下产生的复杂化学反应会生成PM_{2.5}、臭氧等二次污染物,加剧大气环境污染程度,特别是臭氧污染更是成为了夏季大气污染防治的重中之重。二是多种污染物协同污染,PM_{2.5}与臭氧污染相互关联、相互影响,NO_x与VOCs的排放失衡会同时加剧两种污染物的浓度升高,形成“PM_{2.5}臭氧协同污染”格局,且SO₂、氨等污染物的存在会进一步促进二次颗粒物的生成。同时,大气污染问题在区域间的传输特征变得越发明显,在大气环流的作用下污染物获得了跨区域扩散的动力,导致区域性污染的形成,部分地区即便自身减排成效显著,也会受到周边地区污染物传输的影响,不利于空气质量优化措施的落实,同时也提高了大气污染区域联防联控的困难性。

3.3 自然因素加剧污染扩散难度

在影响大气污染的诸多因素中,自然因素对于污染物积累、扩散的影响也是不可忽视。在冬季万物沉静,受到风速偏小、逆温层增厚等的影响,大气中的污染物的扩散能力较弱,进而出现污染物的区域性累积,加重区域的大气污染程度。在夏季受到高温与强光的影响,氮氧化物、VOCs以及硫化物等的光化学反应加剧,随之而来的臭氧空洞、酸雨

等污染问题也越发严重。除了气象因素之外,地形因素对大气污染的影响也十分明显。在山区、盆地等相对封闭的地形区域,大气的流动性较弱,进入这些区域的污染物会逐渐沉积,进而出现该区域大气污染浓度持续偏高的现象。在全球气候变暖的背景下,极端天气的发生也越发频繁,大气环流的异常使得大气污染的传输、累积越发难以预测,大幅增加治理难度。

3.4 治理工作存在短板与不足

大气污染治理具备较强的复杂性、系统性,需要多主体全程参与并多维度共同发力,治理工作的高要求也导致了诸多短板问题的存在,不利于治理成效提升。首先,在管控体系方面存在较为明显的不足,普遍将重点落在末端治理方面而忽视了源头防控的重要性,不但在污染排查方面的深度不足,而且在减排措施的落实方面缺乏足够的刚性约束,也忽视了区域与行业污染管控的差异性特征,未能做到精准的污染防控。其次,在监测预警方面的能力还存在较大不足,除了监测站点布局与污染分布不匹配之外,在设备的精测精度方面也未能充分满足监测工作要求,尤其在农村等偏远地区的监测盲区严重制约着大气污染监测与应急响应的时效性,不利于区域协同防控措施的制定与落实。还有就是污染治理方面的科技支撑力量相对薄弱,缺乏对复合型污染的深度研究,在核心污染治理方面的技术应用存在较大瓶颈^[3]。此外,在监管执法方面缺乏对违法排放的严厉查处,分散污染监管手段单一不利于精准执法落实,无法有力震慑违法污染排放行为。

4 大气污染问题的处理措施

4.1 强化源头防控, 削减污染物排放总量

源头减排是大气污染防治的核心,需要聚焦重点领域严控污染物排放总量,从根源削减污染。产业上要淘汰落后产能,关停高耗能、高排放、低效益企业与生产线,推动传统产业绿色转型,严格产业准入、严禁新增高污染项目,培育绿色节能新兴产业,减少产业排污。能源领域严控煤炭消费总量,推进煤炭清洁利用与燃煤锅炉改造,淘汰小型燃煤锅炉,大力开发风电、光伏等清洁能源,扩大其替代传统能源的规模,减少燃煤污染。在交通方面,需加强优化机动车保有结构,推广新能源及清洁能源汽车,淘汰老旧高排放机动车,强化非道路移动机械备案与尾气净化改造,推行国六标准燃油、打击劣质油品,推进燃油替代。在生活与农业领域,应积极推进城乡清洁取暖改造,减少散煤燃烧,规范餐饮油烟净化设施运维,严控垃圾与秸秆露天焚烧,健全巡查机制,推广秸秆资源化利用与畜禽养殖废弃物规范化处理,实现各领域排放达标管控。

4.2 聚焦复合型污染, 强化精准治理

针对大气复合型污染特征,其处理措施需以精准管控污染物、强化二次污染防控为核心,系统破解PM_{2.5}与臭

氧协同治理难题,同时筑牢酸雨防控体系。相关单位、部门需聚焦工业、建筑、道路、矿山等扬尘源头,细化工业粉尘治理、施工标准化、保洁精细化等举措,严控颗粒物一次排放并削减其二次生成前体物。同时准确把握 NOx 与 VOCs 协同减排这一关键,优化二者减排配比,面向化工、涂装、印刷、交通等不同领域制定差异化治理方案,推进 VOCs 回收利用、机动车尾气净化与泄漏管控力度提升,建立形成有效的排放清单动态更新机制。除此之外,还要重视持续削减 SO₂ 与 NOx 排放总量,推动燃煤企业脱硫脱硝设施提质增效,严控无组织排放,从源头阻断酸雨形成的污染物供给。

4.3 完善区域协同,提升联防联控效能

针对大气污染具备区域传输的显著特征,唯有打破行政与治理层面的区域壁垒,构建起全方位、多层次的区域联防联控体系,才能凝聚协同治理的核心合力,这就要求从机制、管控、源头三大维度系统推进:既要健全跨区域协同治理机制,搭建联席会议平台,明晰责任分工并完善信息共享、联合执法、减排与应急联动等配套制度,统筹全域治理进程,也要强化污染传输精准管控,加强监测溯源、聚焦重点通道协同减排,统一重污染天气预警与应急标准以缩小影响范围,更要结合区域资源与生态承载力统筹产业和能源布局,优化结构、推动产业协同升级与清洁能源共用,从源头削减全域污染排放总量^[4]。

4.4 强化科技支撑,提升治理技术水平

大气污染处理离不开科技力量的支撑,相关单位、部门、科研机构等需要重视及其大气污染防治技术瓶颈的研究突破,促进科技成果转化,确保治理工作获得系统成效。一方面,在加强对复合型污染成因等的研究的基础上,针对传输机制,影响机制等核心技术应用实施专项研究,降低污染治理成本,同时突破二次污染防控困境,以环保设备、材料、工艺的研发应用,推动大气污染治理成效提升。另一方面,需要重视加强对监测站点布局的合理优化,实施全区域覆盖的大气污染监测覆盖,采用智能化监测系统建设的方式提高监测精度与灵敏度,为重污染治理构建灵敏的预警机制,提高污染处理能力。此外,还需重视搭建有效的成果转化平台,

深化产学研合作以加速技术装备产业化,推广成熟先进技术经验,让科研成果切实转化为全域大气治理的实际效能。

4.5 严格监管执法,强化长效管控

严格监管执法是大气污染防治的坚实保障,需要完善体系、强化执法、压实责任,搭建长效管控机制。相关单位、部门需搭建起科学的日常监管、专项检查、随机抽查结合的模式,覆盖重点领域、企业与污染物,配齐基层人员设备,依托大数据、物联网、人工智能等先进技术、设备,实现大气污染排放的实时监控与精准溯源。从严查企业偷排漏排、超标排污、擅自停运治污设施等行为,加强与行政、刑事处罚的衔接,提升违法成本。比如,严查秸秆焚烧、餐饮油烟、露天烧烤等分散污染,形成有力震慑。除此之外,相关单位、部门还要严格落实党政同责、“一岗双责”的环保责任制,明晰大气污染防治工作职责,严格工作绩效纳入考核,督促大气污染排放稳定达标^[5]。

5 结语

综述可知,生态环境保护中大气污染防治事关人类生命健康与生态安全,是一项需要长期投入,系统且复杂的工作,针对大气污染的多元来源、复合型特征及治理短板,需坚持“源头防控、精准施策、协同治理、长效管控”的原则,聚焦重点领域、关键环节,强化各项措施落地,推动大气环境质量持续改善,切实解决大气污染突出问题。

参考文献

- [1] 董海威.环境工程中大气污染问题分析与处理办法研究[J].清洗世界, 2024, 40(7):115-117.
- [2] 王朋.环境工程中大气污染处理的研究[J].环境科学研究, 2025, 8(4).DOI:10.12721/ccn.2025.157035.
- [3] 李佳宁.京津冀大气污染集聚特征及影响因素研究[D].北方工业大学,2024.
- [4] 杨建楠,李悦.环境工程中大气污染问题分析与处理措施研究[J]. 2025(1):214-216.
- [5] 史宇.生态环境保护中大气污染原因及防护浅析[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(001):000.

Research on the influence of high-concentration silica in coal chemical industry saline wastewater on the operation cycle of nanofiltration membrane

Yue Zhang¹ Gang Liu²

1. Hebei University of Technology, Tianjin, 201512, China

2. Xinjiang Zhongji Red Tomato Industry Co., Ltd., Wujiaqu, Xinjiang, 831300, China

Abstract

The coal chemical industry chain encompasses multiple stages. With the continuous expansion of industrial scale and the ongoing advancement of process routes, wastewater discharge has increased rapidly. Large volumes of chemical wastewater are generated at various stages of production. This type of wastewater has complex water quality components, high pollutant content, and poses gradually increasing environmental risks. Therefore, achieving zero liquid discharge (ZLD) for coal chemical wastewater is imperative. The implementation of ZLD technologies can not only effectively reduce environmental pollution but also enhance resource utilization efficiency, realizing a win-win situation for both economic and environmental benefits. This study focuses on the treatment of high-salinity wastewater from a coal chemical enterprise in central Xinjiang. It examines the impact of silica on the operational cycle of nanofiltration membranes during the ZLD process, which involves salt separation and crystallization. Based on existing theoretical research and actual field operations, the influence of silica on nanofiltration membrane operating pressure, water production, and fouling conditions was determined. The results indicate that when the silica concentration exceeds 60 mg/L, the nanofiltration membrane system experiences rapid fouling. By adding sodium metaaluminate and polymeric ferric sulfate to the pretreatment system, silica can be effectively removed, thereby preventing silica-induced membrane fouling. However, attention must still be paid to the potential effects of iron and aluminum ions on the nanofiltration membranes after the addition of sodium metaaluminate and polymeric ferric sulfate.

Keywords

Coal chemical industry; Zero emissions; Nanofiltration membrane; Silica; Sodium aluminate; Fouling

煤化工高浓盐水零排放处理工艺优化研究

张悦¹ 刘刚²

1. 河北工业大学, 中国·天津 202512

2. 新疆中基红色番茄产业有限公司, 中国·新疆 五家渠 831300

摘要

煤化工产业链覆盖多个环节, 随着产业规模不断扩大以及工艺路线持续深入发展, 废水量也随之快速增加, 各环节产生大量化工废水, 此类废水水质成分复杂、污染物含量高, 环境风险也在逐步上升, 对煤化工废水进行零排放势在必行, 通过实施零排放技术, 不仅可以有效减少环境污染, 还能提高资源利用效率, 实现经济效益与环境效益的双赢。本研究聚焦新疆中部某煤化工企业高浓度含盐废水处理, 在采用分盐、结晶进行废水零排放过程中, 二氧化硅对纳滤膜运行周期的影响。参考已有理论研究基础, 结合现场实际运行情况确定二氧化硅对纳滤膜运行压力、制水量、污堵情况的影响。结果表明: 二氧化硅浓度高于60mg/L时, 纳滤膜系统迅速污堵, 通过在预处理系统中添加偏铝酸钠、聚合硫酸铁可有效去除二氧化硅, 杜绝二氧化硅污堵膜的问题。但仍需关注添加偏铝酸钠、聚合硫酸铁后, 铁离子和铝离子对纳滤膜的影响。

关键词

煤化工; 零排放; 纳滤膜; 二氧化硅; 偏铝酸钠; 污堵

1 引言

煤化工行业是耗水大户, 特别是新型煤化工每吨产品的耗水量系数高达9.0-12.6, 这类废水具有成分复杂、有机

物含量高、含盐量高等特点, 即使处理达标依旧会对受纳水体产生较大的冲击, 通过合理处置加以回收利用, 可以大大减少企业整体的取水量、排水量, 实现水资源的循环利用。随着国家对环保政策的持续加码和工业绿色转型的加速推进, 煤化工废水零排放技术需求显著增长, 目前煤化工高浓度含盐废水零排放是大势所趋。但是此类废水因成分复杂, 处理过程中存在着较多不确定性, 本文主要研究新疆某煤化

【作者简介】张悦(1988—), 女, 中国辽宁营口人, 本科, 从事污水处理、环保技术咨询研究。

工公司高浓盐水二氧化硅对纳滤膜运行的影响以及处理解决方案。

2 高浓盐水工艺概况及存在问题

2.1 工艺概述

2.1.1 进水水质

序号	项目	数值	序号	项目	数值
1	Na ⁺	24876mg/L	11	总硬度(以CaCO ₃ 计)	9.8mg/L
2	K ⁺	147mg/L	12	甲基橙碱度(以CaCO ₃ 计)	5738mg/L
3	Ca ²⁺	1.86mg/L	13	酚酞碱度(以CaCO ₃ 计)	<2.73mg/L
4	Mg ²⁺	1.24mg/L	14	氨氮	20mg/L
5	Cl ⁻	24742mg/L	15	游离二氧化碳	15.6mg/L
6	SO ₄ ²⁻	10800mg/L	16	COD _{Cr}	1000mg/L
7	HCO ₃ ⁻	7000mg/L	17	溶解性总固体	70592mg/L
8	CO ₃ ²⁻	<1.64mg/L	18	悬浮物	5mg/L
9	NO ₃ ⁻ / NO ₂ ⁻	2912mg/L	19	浊度	10NTU
10	氟化物	55.8mg/L	20	全硅(以二氧化硅计)	36.2mg/L

2.1.2. 预处理及纳滤分盐系统

工艺目的：高浓盐水提纯，分离结晶盐类。

浓盐水提浓装置的 UHPRO 装置浓水加酸调 pH 值，经 NF 除碳器处理去除碱度，出水经 NF 细砂过滤器 + 螯合床去除悬浮物、胶体、浊度、重金属离子、硬度等污染物。进入一级 NF 装置和纯化 NF 装置，利用特种物料分离 NF 膜对一、二价离子的分离作用以及对水中有机物的截留作用，使硫酸钠与氯化钠分离，并截留大部分有机物。为减小蒸发结晶系统的规模，NF 产水经 UHPRO 装置进一步浓缩，UHPRO 产水经淡水 RO 装置进一步脱盐后进入回用水箱。UHPRO 浓水进入后续除氟单元。

由于氟离子在高温条件下对钛材有较强的腐蚀作用。为避免蒸发结晶系统中钛材的腐蚀，设置一套除氟系统。UHPRO 浓水经除氟过滤系统去除水中的氟离子后进入除碳器，脱除二氧化碳后进入活性炭过滤器去除部分有机物，再进入蒸发系统。

在活性炭过滤器出口设旁路 NF 装置截留一部分硫酸钠及有机物，防止硫酸钠在蒸发结晶系统中累积，影响氯化钠结晶盐的品质。旁路 NF 产水进入蒸发水箱，作为氯化钠多效蒸发结晶装置的进水。旁路 NF 浓水至 NF 浓水箱后进入 NF 浓水臭氧催化氧化反应器。

由于一级 NF 的截留作用，系统中大部分有机物被截留在 NF 浓水侧。为减少冷冻结晶母液排放、提高芒硝品质、保证浓盐水膜分离及浓缩单元的稳定运行，设 NF 浓水臭氧催化氧化 + 粉末活性炭吸附去除 COD 工艺。活性炭吸附澄

清池出水经“NF 浓水多介质过滤器 + NF 浓水超滤装置”去除水中的悬浮物、胶体等污染物。NF 浓水超滤装置产水进入二级 NF 装置对水中的硫酸钠进一步浓缩后，浓水进入硫酸钠冷冻结晶系统，产水送至一级 NF 产水箱，与一级 NF 产水混合后送入纯化 NF 处理。

2.1.3 硫酸钠结晶系统

工艺目的：提取硫酸钠结晶母液，经冷冻结晶生成硫酸钠产品。

经臭氧催化氧化装置、活性炭吸附沉淀池、NF 浓水多介质过滤器和 NF 浓水超滤装置预处理后，二级 NF 进水已去除了水中大部分有机物、悬浮物、胶体、色度后，通过二级 NF 对硫酸盐的进一步浓缩分离，二级 NF 浓水进入硫酸钠冷冻结晶系统。利用氯化钠由常温到零度及零度以下时在水中的溶解度变化不大，而硫酸钠由常温到零度时溶解度急剧降低的原理，通过特殊设计的冷冻结晶器，把硫酸钠结晶出来。冷冻结晶的母液则和原水混合后进入 NF 细砂过滤器和螯合树脂床系统重新处理。

硫酸钠料液由进料泵通过进料管与循环液混合后，经过换热后由循环泵送入到结晶器，在循环泵的推动下，沿导流筒与结晶器外壁之间的环形通道流至悬浮区上层，过饱和溶液与大量晶种混合后得到生长。然后又被吸入导流筒的下端，形成了内循环通道，以较高速率反复循环，使料液充分混合，保证了器内各处的过饱和度比较均匀，过冷度较低，强化了结晶器的生产能力。圆筒形挡板将结晶器分隔为晶体生长区和澄清区。顶部的澄清母液通过轴流泵循环换热。晶浆由结晶器底部排出进入到稠厚器进一步浓缩后，经离心分离，结晶盐打包。离心母液至硫酸钠冷冻结晶母液箱后经硫酸钠冷冻结晶母液提升泵送至 NF 进水箱。结晶器采用外置列管换热器冷却，以冷冻液移走热量。

2.1.4 氯化钠结晶系统

工艺目的：经蒸发结晶生成氯化钠产品

氯化钠多效蒸发结晶系统采用连续外排母液，一方面可促进蒸发系统运行的稳定性，另一方面也可使母液中的离子浓度和其它物质的浓度保持稳定。由于系统来水中含有一定的硝酸盐，氯化钠多效蒸发结晶单元外排母液中富含高浓度硝酸盐，根据不同温度溶解度不同的物理特性，经硝酸钠冷冻结晶系统结晶出纯度较高的硝酸钠晶体。

氯化钠多效蒸发结晶单元外排母液中加入进水稀释后进入间歇冷冻结晶器，经循环泵和换热器（冷源来自制冷机）换热后降温至 10℃ 左右产生硝酸钠结晶盐，结晶器料液底流至硝酸钠离心机，结晶盐打包。离心液至硝酸钠冷冻结晶母液箱。

硝酸钠冷冻结晶母液经与氯化钠三效蒸发冷凝液换热，升温至 40℃ 左右经泵提升进入除硅反应沉淀罐，去除二氧化硅。除硅反应沉淀罐污泥压滤处理。上清液送入硝酸钠冷冻结晶母液两级介质过滤装置，过滤去除悬浮物、浊度后进

入母液臭氧催化氧化反应器,出水进入蒸发结晶除碳器,再次进入氯化钠多效蒸发结晶单元处理,实现硝酸钠冷冻结晶母液的循环,从而使水中的硝酸钠能被分离出来。

2.2 主要设备

高浓盐水膜处理主要包括以下单元

高浓盐水除碳器 (DE4001A/B)。空气吹脱,脱去除氟过滤器产水中的 CO₂。主要参数如下:数量:2套(1用1备),设计处理水量 36m³/h/套。

设计压力大气压;直径 DN1500(立式);填料为塑料空心球;填料高度 2.5m。

NF 细砂过滤器。用于 NF 进水去除悬浮物、浊度、胶体等。

螯合床。用于 NF 进水软化处理,降低出水的硬度。设计 3 台螯合床,2 用 1 备串联运行,按 A/B、B/C、C/A 次序运行。主要参数如下:数量 3 台(2 用 1 备,串联运行);罐体碳钢衬胶;规格 DN1600;树脂层高 1200mm;单套处理量 48m³/h/套;出水硬度 ≤1mg/l(以 CaCO₃ 计)。

一级 NF 装置。NF 进水溶质主要为氯化钠、硝酸钠及硫酸钠,采用特种物料分离膜将来水中的氯化钠、硝酸钠与硫酸钠分离并脱除产水中的大部分有机物、浓缩硫酸钠及有机物。一级 NF 装置采用低压膜元件,设计为三段,设段间增压,设计规模 3×50%。可同时运行,也可单独运行。

主要技术参数:数量 3 套;回收率 75%;产水水量 18.15m³/h/套;排列方式三段 3:2:1 排列(设段间增压);装置内含保安过滤器、高压泵及段间增压泵。

纯化 NF 装置。继续对一级 NF 和二级 NF 装置产水进行纯化处理,去除产水中的大部分有机物、浓缩硫酸钠。纯化 NF 装置采用低压膜元件,设计为两段,设段间增压,设计规模 3×35%。可同时运行,也可单独运行。

UHPRO 装置。对纯化 NF 产水进行减量化处理,经 UHPRO 进一步浓缩至 TDS 到 10 万 mg/l 左右,降低氯化钠蒸发结晶装置规模。UHPRO 装置设计为一段,设计规模 3×35%。UHPRO 采用超高压反渗透膜元件。高压泵采用柱塞泵,恒转矩变频控制。

主要技术参数:装置数量 3 套;产水量 6.8m³/h/套;设计回收率 50%;排列方式一段 3 支膜壳排列

装置内含保安过滤器及高压泵

NF 浓水臭氧催化氧化反应器。用于二级 NF 浓水(硫酸钠冷冻结晶装置进水)的有机物氧化处理,避免有机物在系统中的累积,保证结晶盐的品质。主要参数如下:

活性炭吸附澄清池。用于臭氧氧化出水的进一步 COD 去除处理和除硅处理,主要参数如下:数量 1 套;设计处理量 25m³/h;设计粉末活性炭投加量 600mg/l;出水浊度 ≤10NTU;斜管上升流速 ≤3.5m/h;含污泥外送泵,絮凝反应池搅拌器变频控制。

NF 浓水多介质过滤器 (MMF4501A/B)。用于活性炭

吸附澄清池产水中悬浮物、浊度、胶体等截留。处理能力 20m³/h。多介质过滤器设计 2 台(1 用 1 备),采用气、水反冲洗。可同时运行,也可单独运行,一台运行时滤速 8.0m/h,两台同时运行时滤速 4.0m/h。

主要技术参数:装置数量 2 套;材质碳钢衬胶;规格 DN1600;单套处理量 20m³/h;产水浊度 ≤2NTU

NF 浓水超滤装置 (UF4501A/B)。进一步去除悬浮物、浊度、胶体等,确保二级 NF 进水水质。超滤装置设计为 2 套(1 用 1 备),采用外压式 PVDF 超滤膜元件。可单独运行,也可同时运行。

二级 NF 装置 (NF4501A/B)。进一步分离及浓缩一级 NF 浓水,提高硫酸钠浓度,降低硫酸钠冷冻结晶装置规模。二级 NF 装置采用高压膜元件,设计为两段,设计规模 2×100%。可同时运行,也可单独运行。

除氟过滤器 CRB1301A~C。用于去除氯化钠多效蒸发结晶装置进水中氟离子,消除因氟离子的累积对蒸发结晶装置的腐蚀。计 3 台除氟过滤器,2 用 1 备串联运行

除氟反应沉淀罐。除氟过滤器再生废液经提升进入 2 台除氟反应沉淀罐,除氟反应沉淀罐采用间断交替运行,在罐内依次投加氯化钙、氢氧化钠、PAM,使除氟过滤器再生废液中的氟离子以氯化钙的形式沉淀下来后去除。

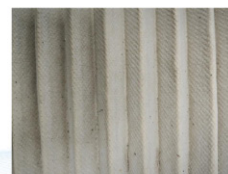
蒸发结晶除碳器 (DE4601) 空气吹脱,脱去除氟过滤器产水中的 CO₂,减少蒸发结晶系统杂盐和降低碳酸盐结垢的风险。除碳器填料采用 φ50 空心塑料球。

活性炭过滤器 (MMF4601A/B)

用于去除氯化钠多效蒸发系统进水中的部分有机物。主要参数如下:数量 2 台;单套处理量 22m³/h/套;材质碳钢衬胶;规格 DN2500;填料高度 2m。

2.3 运行存在的问题

进水二氧化硅含量高,经化验分析检测均值为 152mg/L,最高值 211mg/l。虽然投加了抗二氧化硅污染堵塞的阻垢剂,但是对于纳滤膜,阻垢剂基本不起作用,导致第一道工序一级纳滤膜迅速污染堵塞,产水流量由设计值 18.15m³/h,衰减至 4m³/h,膜系统无法运行,经化学清洗后,仅能维持 2 天,水量又衰减至 4m³/h。因二氧化硅持续较高,导致高浓盐水零排放系统停车,无法运行。



1. 滤芯外表面呈棕灰色,有轻微腥臭味;
2. 烘干后可以观察到颗粒杂质主要集中在褶皱层谷底。

图 1 滤芯基本情况

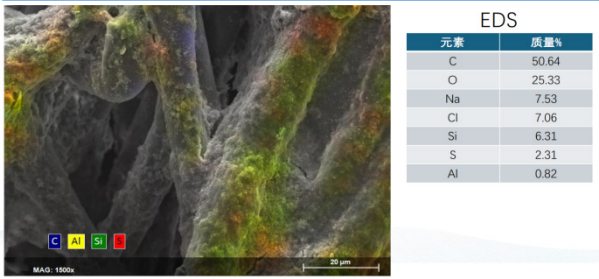


图2 膜电镜扫描结果

3 优化方案

3.1 工艺调整

3.1.1 采用投加偏铝酸钠药剂降低二氧化硅浓度

在前处理工序浓水工段高密池，采用投加偏铝酸钠+聚合硫酸铁组合工艺，去除二氧化硅，投用后出水二氧化硅浓度降低至20mg/l左右，满足零排放设计进水要求。

偏铝酸钠去除二氧化硅的机理主要包括两个方面：一是偏铝酸钠在水中发生水解反应，形成氢氧化铝和氢氧化钠；二是氢氧化铝在碱性环境与硅酸盐发生沉淀反应，从而去除水体中的硅。注：投加偏铝酸钠时，配药浓度不可超过5%，否则管道堵塞较严重。

偏铝酸钠除硅的化学方程式为： $2Na_2SiO_3 + 2NaAlO_2 + 2H_2O = Na_2Al_2Si_2O_8 \downarrow + 4NaOH$ 。

初期投用时，二氧化硅污染堵塞问题，确实可解决，但随着时间延长，面临新问题，投加的偏铝酸钠和聚合硫酸铁，引入了大量的铁离子和铝离子进入系统，在纳滤膜表面形成致密的凝胶层，导致产水量逐步下降，压差上升，通过在线化学清洗，膜无法恢复。导致一级纳滤产水量仅能达到7-10m³/h；膜产水硫酸盐设计值为2839.8mg/L，实际产水硫酸盐达到5000-10000mg/L，与进水基本一致，基本无脱盐效率。因污染物污堵，膜压差最高达到0.8MPa(设计值为≤0.3MPa)。经对膜芯进行拆解检查，因压差过大，膜芯格网已冲出，呈现望远镜状，膜芯损坏报废。

3.2 改善结果

3.2.1 工艺流程图

为降低偏铝酸钠和聚合硫酸铁引入的铝、铁离子，在高浓盐水进水端增加了活性炭高效澄清池、多介质和超滤系统，吸附絮凝剂导致的胶体物质。投加后以及纳滤可保证长

周期运行，基本无堵塞问题。

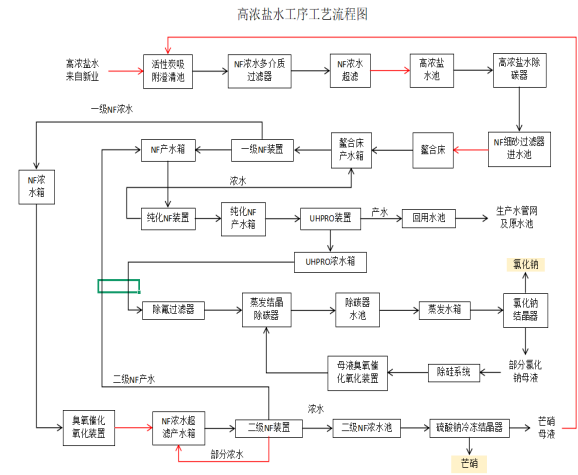


图3 工艺流程图

4 结语

高浓盐水二氧化硅可通过投加偏铝酸钠+聚合硫酸铁进行去除，且效果较好，加入偏铝酸钠后，水体中会残留铁、铝离子，本项目中铁离子为1.5mg/l，在膜表面形成大量的胶体附着物，严重制约了膜的长周期和稳定运行。且偏铝酸钠药剂在使用时，罐体、管道均容易结垢和堵塞，同样会影响生产，需注意药剂配制比例。若是采用偏铝酸钠除二氧化硅，必须设置有预处理设施，否则零排放系统仍然无法达到长周期稳定运行。

参考文献

- [1] 杨凯.煤化工废水零排放及资源化工程实例[J].工业用水与废水, 2020,51(5):53-57.
- [2] 裴旭东, 陈卫红, 李朝恒, 煤化工废水中硫酸钠-氯化钠-一硝酸钠分离工艺研究[J].工业水处理, 2020,40(1):63-66.
- [3] 喻军, 汪炎, 姜勇, 等.煤化工高盐废水膜法分盐零排放技术研究进展[J].工业用水与废水, 2023,54(5):1-4.
- [4] 熊日华, 何灿, 马瑞, 等.高盐废水分盐结晶工艺及其技术经济分析[J].煤炭科学技术, 2018,46(9):37-43.
- [5] 曹敏, 付国燕, 刘苏宁, 等.含COD高盐废水冷冻脱硝-蒸发浓缩技术的开发研究[J].中国有色冶金, 2021,50(3):85-90.
- [6] 焦成华, 安磊.煤化工废水热法分盐结晶工艺工程实例[J].工业用水与废水, 2024,55(3):81-84.

Thoughts on Soil Sample Management and Quality Control Strategy in Environmental Monitoring Laboratory

Weihong Shao

Hebei PONY Testing Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

With industrialization advancing, various polluting substances are discharged into soil, exacerbating soil pollution. Research on this issue has become crucial for environmental protection and sustainable development. As facilities for precise soil sample analysis, environmental monitoring laboratories play a vital role in assessing soil properties and contamination levels. To ensure effective monitoring operations, proper soil sample management and quality control are essential. This requires professionals to thoroughly analyze challenges in sample processing and potential impacts, then develop appropriate strategies based on these findings.

Keywords

Environmental testing laboratory; Sample management; Quality control

环境监测实验室的土壤样品管理与质量控制策略思考

邵卫红

河北谱尼测试科技有限公司, 中国·河北石家庄 050000

摘要

随着工业化的发展,各种具有污染性的污染物排放到土壤中,土壤环境污染状况越发严重,对其进行研究就成为环境保护以及可持续发展的关键。环境监测实验室作为对土壤样品进行精准分析的场所,可以确定土壤性质与污染状况,在环境保护中占据重要地位。为保证工作的顺利开展,实验室的土壤样品管理与质量控制就成为监测作业开展的关键,要求相关人员深入分析土壤样品处理的难点与可能受到的影响,在此基础上制定合适的策略。

关键词

环境检测实验室; 样品管理; 质量控制

1 引言

土壤是人类生活环境的基本因素,是维持人类社会正常运转的基础,随着我国工业化和城镇化建设的推进,土壤污染日益严重。在当前社会经济快速发展的背景下,工业、农业等领域飞速发展,但是在这个过程中产生的废水、废气等污染源也在不断增多,对土壤等自然环境产生了极其不利的影 响。土壤污染中的污染是生态环境污染中最为常见也是最严重的一种,由于其污染源的隐蔽性,加上对人体造成损害过程的漫长性和程度的严重性,做好土壤污染的控制管理工作难度较大。这就需要相关人员重视对环境监测实验室的研究,结合专业设备与技术,制定土壤样品管理与质量控制的策略,保证监测结果的精准度。

2 环境检测实验室概述

环境监测实验室通常是用于检测和分析环境中各种污

染物、物质以及气候变化的专业实验室。这类实验室的主要目标是为环境保护、资源管理和公共健康等方面提供科学依据。一般而言,环境监测实验室的主要功能包括污染物监测与分析、环境质量评估、环境数据管理与分析、污染源追踪与控制以及环境应急响应与评估等。内部设备包括气体分析仪器、水质检测仪器、土壤分析仪器、噪声监测设备以及遥感与地理信息系统(GIS)等。

3 土壤样品管理与质量控制概述

在城市化进程加快、工业规模扩大、群众生活水平提高等因素的影响下,各地区的土壤环境均受到不同程度的影响,出现土壤污染、变质等不利于生态平衡的问题。在这样的背景下,各地区需要根据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)等土壤环境保护规范要求,采取抽样调查及实验室检测等方式,对土壤环境进行质量控制及评价,从客观角度分析土壤资源的实际状况,为环境管理及土地资源开发利用的可持续化奠定坚实基础。

【作者简介】邵卫红(1997—),女,中国河北石家庄人,中级,从事环境监测研究。

土壤样品管理与质量控制是土壤环境监测实验室中至关重要的环节,关键在于对土壤样品的管理,并且控制分析环节的误差,保证实验的精准度。土壤样品管理主要包括样品采集、样品标识与记录、样品运输等。土壤样品质量控制主要包括分析方法验证与确认、实验室内部质量控制、设备校准与维护、样品处理的质量控制以及质量控制的质量评估等^[1]。

4 环境监测实验室中土壤样品管理与质量控制的必要性

环境监测实验室中,土壤样品管理与质量控制作为对样品进行管控的作业,直接影响整个监测的精准度。所以在环境监测实验室中,土壤样品管理与质量控制就十分必要。

4.1 确保数据的准确与可靠

环境监测实验室中,土壤样品作为监测的对象,需要保证样品保持原状,以精准了解土壤状况。但是土壤样品在实验室中需要经历采集、运输、存储以及分析等环节,流程较多,很容易受到外界环境的影响出现性质变化,影响样品的代表性。结合样品管理与质量控制,相关人员能够对样品采集分析的整个流程进行管控,规避可能出现的性质变化。也能够通过标准品、重复测量、空白样品检测等程序,规避实验环节的误差,进一步保证实验数据的可靠性^[2]。综上,结合实验室土壤样品管理与质量控制,可以有效保证实验数据的精准度与可靠性。

4.2 可减少实验误差

土壤实验室分析环节,由于设备的误差以及人员的技术失误,实验结果会出现一些误差,影响实验结果。结合样品质量管理,可以结合空白样品的设计进行对比,及时察觉可能出现的偏差,快速纠正。而且质量管控还涉及人员管理,可以尽量降低人员技术导致的偏差,保证结果的一致性。

4.3 降低成本

环境监测实验室土壤样品分析环节,一旦出现问题,就需要重新进行实验,不仅增加实验周期,还增加实验成本。结合样品管理与质量控制,实验人员就能够减少失误操作带来的重复实验,降低成本。而且结合样品管理,也能够优化实验流程,减少浪费,进一步降低成本。

综上,土壤样品管理与质量控制在环境监测实验室中扮演着不可或缺的角色,不仅能够保证实验结果的精准度,也能够降低成本,需要实验室人员深入分析这些优势,制定合适的开展对策。

5 环境监测实验室的土壤样品管理与质量控制的难点

在环境监测实验室中,土壤样品管理与质量控制非常重要,但是鉴于实验环节的复杂性,二者的开展还存在一些难点。

首先是采集运输环节的难点。样品需要具有代表性,

要求根据实验目的确定采样点,并通过标准化的采集方法,确定采样的数量、位置以及频率,运输过程中可能发生样品泄漏、污染或变化,这些都影响样品质量;其次是分析过程中样品处理的复杂性,土壤样品分析需要经过干燥、粉碎、筛分等步骤,难度较大;然后,土壤样品分析过程中可能存在仪器误差、操作误差、环境因素影响等误差,影响实验结果;此外,土壤样品的分析涉及多种复杂的操作技术,不同实验人员的经验和技能水平差异,可能导致样品管理和质量控制的偏差。

这些难点的存在都制约土壤样品管理与质量控制的开展,需要实验人员深入分析这些难点,制定合适的解决对策。

6 环境监测实验室的土壤样品管理与质量控制策略

在土壤环境监测过程中,现场采样与实验室分析均是重中之重,且实际操作时会遇到不少问题及困难,因而,相关人员必须有效落实现场采样与实验室分析工作,同时确保质量^[3]。要求相关人员通过以下手段进行设计,保证实验结果的精准度。

6.1 规范化样品采集

环境监测实验室样品采集作为实验的第一要点,直接影响整个实验的结果,需要设计规范化的土壤样品采集方案。

首先,需要设计标准化的采集方案,要求采样人员事前收集土壤的类型、污染来源以及监测目标等数据,在此基础上设计合适的采样方案,明确采样的深度、总量、采样点以及频率等。一般而言,单个样品采集量通常不少于1千克,而且每批次至少采集1个现场平行样,比例不低于总样品数的10%,以方便进行对照。

其次要确定采样的代表性,要求相关人员在土壤的不同位置、不同深度以及不同时间进行采样,以全面了解区域土壤的性质。

之后,应合理选择采样的容器,为规避对样品产生污染,采样人员需要使用无污染的塑料或者玻璃,并且在使用前进行清洗消毒,避免容器的污染。也需要批次至少设计1个现场空白样,监测采样工具、容器和现场环境的污染。还需要对采样人员进行技术培训,保证人员掌握采样技术,规避人员的影响。

6.2 运输与存储控制

采集后的样品存储与运输也是样品质量出现问题的关键阶段,需要实验人员合理管控。首先要进行样品的封存,要求相关人员在采集后使用标准容器如玻璃瓶或聚丙烯瓶对样品进行保存,规避外界因素对样品的影响。

其次要对温度进行管控。土壤温度也是实验分析的要点之一,相关人员必须对样品的温度进行控制。一般而言,除Hg、As形态分析外的重金属需要<4°C冷藏;挥发性

有机物需要在 $<4^{\circ}\text{C}$ 的环境中冷藏,并且在 7 天内完成萃取;半挥发性有机物也需要在 $<4^{\circ}\text{C}$ 的环境中冷藏,在 14 天内完成萃取。运输应采取专用的样品箱或冷链运输,时间尽可能缩短,避免样品变质。

6.3 标准化样品处理

实验开展之前,需要结合样品前处理将样本转化为适合实验的状态,该环节的标准化也是保证实验结果的关键。

首先要进行干燥与粉碎处理,要求实验人员将样品放置在白色搪瓷盘或聚乙烯薄膜等容器上,并将室温控制在 45°C 以下,避免阳光直射,保证干燥过程不受外界影响。粉碎环节,应根据分析项目不同,要求相关人员使用合适的粉碎设备,保障样品质量。

其次,筛选环节,需要选择不同孔径筛。其中,重金属全量分析实验中,通常选择过 100 目 (0.15mm) 或 200 目 (0.075mm) 尼龙筛。理化指标(如 pH、有机质)实验环节,通常过 10 目 (2mm),或 60 目 (0.25mm) 筛。通过合适的筛选,避免筛分过度或不足^[4]。

然后要重视分样与保存,试验人员可以采用随机分样、分批储存方式避免样品污染,制备好的样品通常不少于 200 克。还需要对分样后的样品进行编号,打印采样日期、地点以及重量等信息,保证样品可追溯性,方便追责。

6.4 质量管控

环境监测实验室土壤样品管理与质量管理中,质量管控也是保证实验结果精准度的重要一环,要求实验人员通过以下手段进行设计。

首先要进行质量控制图与检测,要求实验人员定期绘制质量控制图,观察质量随时间的变动状况,及时发现实验环节的异常数据。在此基础上调整材料,保证实验的有效性。也可以进行分批次实验,通过重复实验的方式对比结果,确

保实验品有数据支持。

其次要开展设备管理,实验室设备很容易出现故障,影响实验结果,实验人员必须重视仪器设备的校准与维护。要求实验人员定期校准原子吸收光谱仪、显微镜以及 ICP-MS 等。并且建立起维护记录,方便后续的调整。针对设备零件磨损导致的故障,则需要及时更换受损零部件,避免设备精准度受到影响。

然后要重视实验室环境监控。实验室内部的温湿度、空气质量等因素也会影响样品的分析结果,因此应定期监控实验室环境条件,并采取适当的调节措施(如空调、除湿设备等)确保分析环境稳定。

7 结语

环境监测实验室的土壤样品管理与质量控制直接决定实验精准度。但是实际实验环节,依旧存在人员、设备、采集与运输等方面的难点,影响实验质量。此背景下,试验人员必须重视土壤样品的管理与质量控制,通过采样规范化、样品保存与运输严格管理、标准化前处理、仪器设备维护等方法,保证样品质量,为实验开展奠定基础。

参考文献

- [1] 邹小南. 土壤重金属监测过程及质量控制 [J]. 吉林农业, 2019, (11): 64.
- [2] 刘维雄. 土壤污染环境监测的质量控制和评价方法 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4 (21): 129-131. DOI:10.20025/j.cnki.CN10-1679.2023-21-45.
- [3] 陈静,赵荣娜,李合义,等. 实验室土壤样品质控技术研究 [J]. 广东化工, 2021, 48 (02): 83+82.
- [4] 胡媛媛,于东召,鲁玉立,等. 现场采样与实验室分析在土壤环境监测中的应用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4 (08): 81-83.

Research on Fault Diagnosis and Maintenance Strategy Optimization of Fourier Transform Infrared Gas Analyzer

Bin Lu

Shanghai Yingfan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Shanghai, 200062, China

Abstract

As a core device for modern environmental monitoring and industrial process control, the stable operation of Fourier Transform Infrared (FTIR) gas analyzer is of great significance to ensuring environmental quality and production safety. This paper systematically analyzes the working principle and structural composition of the FTIR gas analyzer, and deeply explores the common fault types and their generation mechanisms during the instrument's operation, including five major categories of problems: light source system faults, interferometer anomalies, detector performance degradation, gas circuit system blockage, and software communication faults. Aiming at various types of faults, this paper proposes a preventive maintenance strategy based on condition monitoring, a rapid diagnosis method based on fault characteristics, and a predictive maintenance scheme based on data analysis. By establishing a fault diagnosis decision tree and an optimized model of maintenance cycle, the rational allocation of maintenance resources and a significant improvement in maintenance efficiency are realized. The research results show that the optimized maintenance strategy can reduce the instrument failure rate by more than 35%, extend the mean time between failures (MTBF) by 40%, and cut down the maintenance cost by 25%. The research achievements of this paper provide a theoretical basis and practical guidance for the scientific maintenance and efficient management of FTIR gas analyzers.

Keywords

Fourier Transform Infrared (FTIR) gas analyzer; Fault diagnosis; Maintenance strategy; Predictive maintenance; Condition monitoring

傅里叶红外气体分析仪常见故障诊断与维护策略优化研究

陆彬

上海英凡环保科技股份有限公司, 中国·上海 200062

摘要

傅里叶红外气体分析仪作为现代环境监测和工业过程控制的核心设备,其稳定运行对于保障环境质量和生产安全具有重要意义。本文系统分析了傅里叶红外气体分析仪的工作原理与结构组成,深入探讨了仪器在使用过程中常见的故障类型及其产生机理,包括光源系统故障、干涉仪异常、检测器性能下降、气路系统堵塞、软件通信故障等五大类问题。针对各类故障,本文提出了基于状态监测的预防性维护策略、基于故障特征的快速诊断方法以及基于数据分析的预测性维护方案。通过建立故障诊断决策树和维护周期优化模型,实现了维护资源的合理配置和维护效率的显著提升。研究结果表明,优化后的维护策略可将仪器故障率降低35%以上,平均无故障工作时间延长40%,维护成本降低25%。本文的研究成果为傅里叶红外气体分析仪的科学维护和高效管理提供了理论依据和实践指导。

关键词

傅里叶红外气体分析仪; 故障诊断; 维护策略; 预测性维护; 状态监测

1 引言

产业扩张与环保趋严推动气态污染物精准监控升级, FTIR 技术因检测优势广泛应用于固定污染源连续监测,可在线检测多类废气成分,为环保执法和企业生产提供数据支撑^[1]。FTIR 分析仪作为精密光学设备,结构复杂、模块众多,部件异常易致测量失准或停机;且设备常处于恶劣工况,故障概率高,其运维成本占 CEMS 系统超 60%,严重影响系

统效益与稳定性。目前该设备多采用定期维护加事后维修模式,存在维护不当问题,难以适配现代设备管理需求。

2 傅里叶红外气体分析仪工作原理与结构

2.1 工作原理

傅里叶红外气体分析仪以傅里叶变换红外光谱技术为理论基础。工作过程中,红外光源首先发射出连续光谱,经准直系统处理后进入迈克尔逊干涉仪。在干涉仪内部,分束器将入射光分成两束,分别射向固定反射镜和移动反射镜;两束光经反射后重新汇合,由于移动反射镜的连续位移导致光程差随时间变化,从而产生干涉现象^[2]。探测器采集到的

【作者简介】陆彬(1989—),男,中国上海人,本科,助理工程师,从事生态环境监测研究。

干涉信号强度随光程差改变而波动,形成时域干涉图。该干涉图实质上是光源光谱的傅里叶余弦变换,经计算机进行快速傅里叶变换(FFT)运算后,即可转换为频域光谱图。

当待测气流经气体测量池时,特定波长的红外辐射会被气体分子选择性吸收。根据朗伯-比尔定律,吸光度与气体浓度呈正比关系。通过对吸收光谱特征峰进行定量解析,便可计算出各气体组分的浓度值^[3]。

2.2 主要结构组成

从功能架构角度,傅里叶红外气体分析仪可分为五大子系统:光学系统、气路系统、温度控制系统、电子控制系统及数据处理系统。光学系统作为整机的核心模块,集成了红外光源、干涉仪、探测器及光学反射镜组等关键器件。

就具体部件而言,红外光源多采用硅碳棒或陶瓷材质,工作温度通常维持在1000℃以上,设计使用寿命约为50000小时^[4]。干涉仪的性能指标直接决定仪器的光谱分辨率与信噪比水平,堪称整机的关键部件。探测器承担光电信号转换功能,主流类型包括碲镉汞(MCT)探测器与氧化硫酸三甘肽(DTGS)探测器。

气路系统包括采样探头、过滤器、气室、抽气泵和流量控制装置,负责将待测气体输送到测量气室并保证气路的密封性。温控系统用于维持干涉仪和检测器的工作温度稳定,温度波动会导致光谱漂移和测量误差。电子控制系统负责各部件的协调工作和信号采集,数据处理系统则完成光谱计算、浓度分析和结果输出等功能^[5]。

3 常见故障类型及诊断方法

3.1 光源系统故障

光源系统是傅里叶红外气体分析仪的能量来源,其故障会直接导致信号强度下降甚至无信号输出。常见故障包括:光源老化导致发光效率降低、光源供电电路故障、冷却风扇失效导致光源过热、光源位置偏移等^[6]。光源老化的典型表现为信号强度逐渐下降,基线噪声增大,测量重复性变差。当光源使用接近设计寿命时,应提前准备备件,避免突发故障影响监测工作。

光源故障的诊断方法包括:检查仪器状态指示灯,通常黄色指示灯表示光源接近寿命末期;测量参考光谱的能量值,与出厂标准进行对比;检查光源冷却风扇是否正常运转;使用红外测温仪检测光源工作温度是否在正常范围内。对于光源位置偏移问题,可通过调整光源支架或重新对准光路解决。

3.2 干涉仪故障

干涉仪是傅里叶红外气体分析仪的核心部件,其精度和稳定性直接影响测量结果的准确性。干涉仪常见故障包括:分束器受潮或污染、动镜驱动机构卡滞、激光器波长漂移、光路对准不良等。分束器是干涉仪中最脆弱的部件,通常由溴化钾(KBr)或硒化锌(ZnSe)等红外透光材料制成,极易受潮气和化学腐蚀的影响。分束器受潮后,干涉图能量分布会发生变化,导致光谱质量下降。

干涉仪故障的诊断需要借助仪器的自诊断功能和专业检测工具。首先应检查干涉仪内部湿度指示器,若颜色变化表明湿度过高,需及时更换干燥剂。通过仪器测试功能检查激光器波数精度,若偏差超过允许范围,需进行校准或更换激光器。对于动镜驱动故障,可通过观察干涉图的对称性和稳定性进行判断,必要时清洁或更换驱动机构^[7]。

3.3 探测器故障

探测器负责将干涉后的光信号转换为电信号,其性能直接影响仪器的灵敏度和信噪比。傅里叶红外气体分析仪常用的MCT探测器需要在液氮温度(77K)下工作,因此制冷系统的故障是探测器常见问题的主要原因。探测器故障表现为信号强度异常、噪声增大、响应速度变慢或完全无信号输出。杜瓦瓶真空度下降会导致探测器外部结霜,影响光路透光;制冷器故障则会使探测器温度升高,噪声显著增加。

探测器故障的诊断方法包括:检查杜瓦瓶液氮液位和真空状态;测量探测器输出信号的电平;使用示波器观察信号波形,判断是否出现削波或噪声异常;检查制冷系统的电流和电压参数。对于DTGS探测器,主要检查其极化电压和前置放大电路是否正常。

3.4 气路系统故障

气路系统故障是傅里叶红外气体分析仪最常见的故障类型之一,直接影响样品的代表性和测量结果的准确性。常见故障包括:采样探头堵塞、过滤器失效、气室污染、管路泄漏、流量异常等。在工业现场,高粉尘和高湿度是导致气路故障的主要因素。采样探头堵塞会造成进气量减少,响应时间延长;气室污染会导致背景光谱变化,产生虚假吸收峰。

气路系统故障的诊断方法包括:检查采样流量是否稳定在设定值(通常为2L/min);观察气路压力指示,判断是否存在堵塞或泄漏;使用检漏液或氨质谱检漏仪检测管路密封性;定期采集背景光谱,与标准背景对比判断气室污染程度;检查过滤器的压差指示,及时更换堵塞的滤芯。

3.5 软件与通信故障

随着傅里叶红外气体分析仪智能化程度的提高,软件系统和通信链路的稳定性日益重要。常见软件故障包括:操作系统崩溃、分析软件异常、数据库损坏、参数设置错误等。通信故障主要表现为仪器与上位机或数据采集系统之间的数据传输中断或异常。这类故障虽然通常不会损坏硬件,但会导致监测数据丢失或异常,影响环境监管的有效性。

软件与通信故障的诊断方法包括:检查网络连接状态和IP地址配置;查看系统日志和错误信息;重启软件和仪器,排除临时性故障;检查通信线缆和接口;必要时重新安装软件或恢复出厂设置。对于复杂故障,应及时联系厂家技术支持,获取专业的诊断和解决方案。

4 维护策略优化研究

4.1 基于状态监测的预防性维护

传统基于固定周期的维护模式往往导致过度保养及资源闲置浪费。相较之下,状态导向的预防性策略通过实时监

控设备关键运行参数,能够在潜在故障发生前实施精准干预,从而在保障仪器可靠性的同时有效控制维护成本。针对傅里叶红外气体分析仪,需重点监控的指标涵盖光源强度、干涉仪内部湿度、检测器温度、气路流量、光谱信噪比及基线稳定性等核心参数。

本研究构建了一套多维度在线监测体系,依托传感网络实时获取设备运行数据,并结合阈值判定与趋势解析技术识别潜在异常。

4.2 故障诊断决策树构建

为提高故障诊断的效率和准确性,本文基于故障机理分析和现场经验,构建了傅里叶红外气体分析仪故障诊断决策树。决策树以故障现象为根节点,通过一系列判断条件逐步缩小故障范围,最终定位到具体的故障部件。决策树的构建遵循以下原则:优先检查易损件和常见故障点;先外后内,先简后繁;充分利用仪器的自诊断功能;避免不必要的拆机检查^[8]。

4.3 预测性维护模型

预测性维护是设备维护的高级形态,其核心是通过数据分析和建模,预测部件的剩余使用寿命,在故障发生前安排维护作业。本文采用威布尔分布模型对傅里叶红外气体分析仪的关键部件进行寿命分析,建立基于可靠性的维护周期优化模型。威布尔分布的概率密度函数为: $f(t)=(\beta/\eta)(t/\eta)^{(\beta-1)}\exp[-(t/\eta)^\beta]$,其中 β 为形状参数, η 为尺度参数。通过历史故障数据拟合得到分布参数后,可以计算出不同维护周期下的可靠度和维护成本。

4.4 维护资源优化配置

在维护策略优化的基础上,还需要对维护资源进行合理配置,包括备件库存、维护人员、维护工具等。本文采用ABC分类法对备件进行管理:A类备件为关键且易损的部件,如光源、干燥剂、过滤器等,应保持安全库存;B类备件为重要性次之的部件,如激光器、检测器等,可根据需求采购;C类备件为使用周期长、故障率低的部件,如干涉仪主体、电路板等,通常不需要备件储备。

5 案例分析

为验证本文提出的故障诊断方法和维护策略的有效性,选取某火力发电厂CEMS系统中的傅里叶红外气体分析仪进行应用分析。该厂安装有两套FTIR分析仪,分别监测1号和2号机组的烟气排放,运行环境为高粉尘、高湿度工况。在应用优化维护策略前,仪器的年平均故障次数为8次,平均无故障工作时间(MTBF)为1000小时,维护成本较高。

应用本文提出的维护策略后,首先建立了仪器状态监测系统,实时监测光源强度、干涉仪湿度、气路流量等关键参数。根据监测数据,将干燥剂更换周期从原来的12个月缩短至6个月,过滤器更换周期从6个月缩短至3个月。同时,建立了故障诊断决策树,规范了维护人员的故障排查流程。经过一年的运行,仪器的年平均故障次数降至5次,MTBF

延长至1400小时,维护成本降低约25%。

典型案例:2024年3月,状态监测系统显示1号分析仪的光源强度从正常值25000逐渐下降至18000,虽然仍在正常工作范围内,但呈现明显的劣化趋势。根据预测性维护模型,光源剩余寿命约为2000小时。维护人员据此提前采购了光源备件,在光源完全失效前完成了更换,避免了突发故障导致的监测数据缺失。这一案例充分说明了状态监测和预测性维护的价值。

6 结语

本文分析了分析仪五大核心部件故障,提出预防性维护、故障诊断决策树、预测性维护模型及资源优化方案,核心结论如下:

分析仪故障具多样性,各部件故障机理与表现不同,光源、气路为故障高发部件,需针对性运维;

状态监测式预防性维护可大幅提升仪器可靠性,计划外停机时间降幅超50%;

故障诊断决策树能系统化排查故障,显著提升诊断效率与准确性,减少运维损失;

预测性维护模型可科学制定维护周期,降本增效,优化后仪器故障率降35%以上、MTBF延长40%、维护成本降25%。后续研究可拓展三方面:引入智能算法提升诊断自主决策能力,搭建云端物联平台实现全周期数字化管控,探索集群协同运维推动维护策略系统化升级。随着技术发展,分析仪运维将向智慧化、精准化发展,为环境监测筑牢技术支撑。

参考文献

- [1] 杨玥,刘勇,张建华. 变压器在线油色谱异常状态快速辨识边缘装置关键技术研究[J]. 内蒙古电力技术, 2022, 40(2): 1-6.
- [2] DARWISH M M F, HASSAN M H A, ABDEL-GAWAD N M K, et al. A new technique for fault diagnosis in transformer insulating oil based on infrared spectroscopy measurements[J]. High Voltage, 2024, 9(1): 12405.
- [3] DARWISH M M F, HASSAN M H A. Application of infrared spectroscopy for discrimination between electrical and thermal faults in transformer oil[J]. IEEE Access, 2022, 10: 132784-132795.
- [4] 王洋,杨立. 旋转机械红外智能状态监测与故障诊断[J]. 光学精密工程, 2022, 30(8): 925-936.
- [5] 梁今明. Nicolet 5DX富里叶变换红外光谱仪光学部分的故障分析[J]. 分析测试技术与仪器, 1997, 3(2): 116-119.
- [6] 安江伟. 矿山机电设备故障诊断技术与管理措施探讨[J]. 中国矿业, 2024, 33(4): 156-162.
- [7] 石新发,贺石中,谢小鹏,等. 摩擦学系统润滑磨损故障诊断特征提取研究综述[J]. 摩擦学学报, 2021, 41(5): 713-728.
- [8] Maintenance and Preventative Care for FTIR Spectrometers[EB/OL]. (2024-11-04)[2025-01-28]. <https://drugcheckingbc.ca/>.