

03  
2026



# 生态与环境科学

## Ecology and Environmental Science

Volume 7·Issue 3·March 2026 ISSN2737-5072(Print) 2737-5080(Online)



生态与环境科学 Ecology and Environmental Science

Volume 7 · Issue 3 · March 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 入河排污口水质监测结果的污染贡献分析  
/ 赖于民 周叶翀 龚佳妮 胡姗姗
- 4 环境管理体系在工程项目中的应用研究  
/ 蒋加峰 全洪瑶
- 7 环境工程中土壤污染治理的水文地质研究  
/ 许丽琼 李功龙
- 10 环境监测对环境治理的积极作用  
/ 郭龙 古伟 王华智
- 13 社区共管视角下云南自然保护区资源保护与执法效能提升研究  
/ 赵昌银
- 16 市政工程再生水回用工艺设计及水质保障措施研究  
/ 孙莹莹
- 19 VOCs 末端治理技术在实际应用中的选型与效果验证研究  
/ 时文文
- 22 涂装行业有机废气处理技术的研究与应用  
/ 石文静
- 25 A2/O 工艺在城镇生活污水处理厂的应用及脱氮效率提升研究  
/ 裴淑花
- 28 汽修喷涂作业废气治理工艺优化与运行效果评估  
/ 何娜娜
- 31 地方大气污染防治项目专项资金探讨及研究  
/ 张雪娇
- 34 试析工业废水处置中的废气治理技术  
/ 朱丽丽
- 37 产业园区规划大气环境影响评价工作的重要性及实施方法  
/ 纳慈萍 刘卫华
- 40 基于遥感技术的农业面源污染监测与评估  
/ 许发贤
- 43 基于物理 - 金融耦合模型的人影效益指数构建及保险应用研究  
/ 郭芳 程佳怡 吕绪祯 刘学川 王晓亚
- 46 黄葛树主要病虫害及其防治方法  
/ 侯栋元 何朋俊 张思宇 陈尚果
- 49 大数据技术支撑下环境影响评价模式创新研究  
/ 海英逵
- 52 挥发性有机物废气治理工艺优化与运行稳定性分析  
/ 夏彬斌 王金娟
- 55 北海市铁山港中内湾鸟类资源调查及多样性分析  
/ 严慕 桂柳柳 杨阳
- 58 基于分光光度法的水中氨氮测定方法优化与应用研究  
/ 胥金秀
- 61 重点流域污水处理厂水污染排放限值对比研究  
/ 沈航
- 64 工业园区水污染全过程防控体系的构建策略优化研究  
/ 张娜
- 67 城市污水处理技术现状及发展研究  
/ 李京京
- 70 风电场对鸟类迁徙影响及生态保护路径  
/ 李代丽
- 73 基于生物产品检验核心能力培养的中职微生物检测教学优化策略  
/ 李晓辉
- 76 海岸带生态修复技术与海洋资源可持续利用  
/ 陈冬梅
- 79 生态环境分区管控背景下环保咨询服务的实践演进与趋势分析  
/ 任静薇 蒲君侠
- 82 欧盟碳关税与中国碳足迹管理体系衔接机制研究  
/ 谢朋 邵珠涛
- 85 基于物联网技术的农田土壤环境实时监测系统设计与应用研究  
/ 华岚英 杨懂艳 赵明月 鲁晓倩 邬晓东

- 1 Analysis of pollution contribution of water quality monitoring results of river discharge outlet  
/ Yumin Lai Yechong Zhou Jiani Gong Shanshan Hu
- 4 Research on the Application of Environmental Management System in Engineering Projects  
/ Jiafeng Jiang Hongyao Quan
- 7 Hydrogeological Research on Soil Pollution Control in Environmental Engineering  
/ Liqiong Xu Gonglong Li
- 10 The Positive Role of Environmental Monitoring in Environmental Governance  
/ Long Guo Wei Gu Huazhi Wang
- 13 Study on Resource Protection and Law Enforcement Efficiency Improvement of Yunnan Nature Reserve from the Perspective of Community Co-management  
/ Changyin Zhao
- 16 Research on Process Design and Water Quality Assurance Measures of Reclaimed Water Reuse in Municipal Engineering  
/ Yingying Sun
- 19 Selection and Effect Verification of VOCs End-of-pipe Treatment Technology in Practical Application  
/ Wenwen Shi
- 22 Research and Application of Organic Waste Gas Treatment Technology in Coating Industry  
/ Wenjing Shi
- 25 Application of A2/O Process in Urban Domestic Sewage Treatment Plant and Improvement of Denitrification Efficiency  
/ Shuhua Pei
- 28 Optimization of Waste Gas Treatment Process and Evaluation of Operation Effect for Auto Repair Spraying Operation  
/ Nana He
- 31 Discussion and Research on Special Funds for Local Air Pollution Prevention and Control Projects  
/ Xuejiao Zhang
- 34 Analysis of waste gas treatment technology in industrial wastewater disposal  
/ Lili Zhu
- 37 The Importance and Implementation Method of Air Environmental Impact Assessment in Industrial Park Planning  
/ Ciping Na Weihua Liu
- 40 Monitoring and assessment of agricultural non-point source pollution based on remote sensing technology  
/ Faxian Xu
- 43 Research on the Construction of Human Impact Benefit Index and Its Application in Insurance Based on the Physical-Financial Coupling Model  
/ Fang Guo Jiayi Cheng Xuyi Lv Xuechuan Liu Xiaoya Wang
- 46 The main diseases and insect pests of *Akebia quinata* and their control methods  
/ Dongyuan Hou Pengjun He Siyu Zhang Shangguo Chen
- 49 Research on the Innovation of Environmental Impact Assessment Model Supported by Big Data Technology  
/ Yingkui Hai
- 52 Optimization of Volatile Organic Compound Exhaust Gas Pollution Control Processes and Analysis of Operational Stability  
/ Binbin Xia Jinjuan Wang
- 55 Birds Resources Survey and Diversity Analysis in Zhongnei Bay, Tieshan Port, Beihai City  
/ Mu Yan Liuliu Gui Yang Yang
- 58 Optimization and Application Research of Water Ammonia Nitrogen Determination Method Based on Spectrophotometry  
/ Jinxiu Xu
- 61 Comparative Study on Water Pollution Emission Limits of Sewage Treatment Plants in Key Watershed  
/ Hang Shen
- 64 Strategic Optimization for Establishing a Comprehensive Water Pollution Prevention and Control System in Industrial Parks  
/ Na Zhang
- 67 Research on the Present Situation and Development of Urban Sewage Treatment Technology  
/ Jingjing Li
- 70 The Impact of Wind Farm on Bird Migration and the Path of Ecological Protection  
/ Daili Li
- 73 Optimization Strategy of Microbial Testing Teaching in Secondary Vocational Schools Based on the Cultivation of Core Competence of Biological Product Inspection  
/ Xiaohui Li
- 76 Coastal Zone Ecological Restoration Technology and Sustainable Utilization of Marine Resources

- / Dongmei Chen
- 79 Practice Evolution and Trend Analysis of Environmental Protection Consulting Service under the Background of Ecological Environment Divisional Control  
/ Jingwei Ren Junxia Pu
- 82 Research on the Mechanism of Linkage between EU Carbon Tariff and China's Carbon Footprint Management System  
/ Peng Xie Zhutao Shao
- 85 Design and Application of Real-time Monitoring System for Farmland Soil Environment Based on Internet of Things Technology  
/ Lanying Hua Dongyan Yang Mingyue Zhao  
Xiaoqian Lu Xiaodong Wu

# Analysis of pollution contribution of water quality monitoring results of river discharge outlet

Yumin Lai Yechong Zhou Jiani Gong Shanshan Hu

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

## Abstract

This paper aims to analyze the water quality monitoring results of river inflow discharge outlets, studying the sources and magnitude of pollution contributions, providing scientific evidence for the prevention and control of water pollution. The article first introduces the pollution source characteristics of river inflow discharge outlets and the importance of water quality monitoring, then discusses the key water quality indicators and sampling methods. On this basis, the paper focuses on the principles of pollution contribution analysis and commonly used calculation methods, conducting a quantitative analysis of the contributions of pollution sources based on typical water quality monitoring results from river inflow discharge outlets. By comparing the contribution proportions of different pollution sources, the article provides specific countermeasures and suggestions for pollution control and management, offering both theoretical value and practical significance.

## Keywords

River inflow discharge outlets; Pollution contribution analysis; Water quality monitoring; Pollution sources; Environmental management

## 入河排污口水质监测结果的污染贡献分析

赖于民 周叶翀 龚佳妮 胡姗姗

浙江求实环境监测有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

## 摘要

本文旨在通过分析入河排污口水的水质监测结果, 研究污染贡献的来源与大小, 为水体污染的防治提供科学依据。文章首先介绍了入河排污口的污染源特征与水质监测的重要性, 接着阐述了水质监测的关键指标及采样方法。在此基础上, 文章重点探讨了污染贡献分析的原理与常用的计算方法, 并结合典型的入河排污口水水质监测结果, 对污染源的贡献进行定量分析。通过对比不同污染源的贡献比例, 文章为污染治理与管理提供了具体的对策建议, 具有一定的理论价值与实践意义。

## 关键词

入河排污口; 污染贡献分析; 水质监测; 污染源; 环境管理

## 1 引言

入河排污口是水体污染的重要来源, 尤其在工业化进程加速的今天, 其污染负荷越来越大, 影响范围广泛, 已成为影响水质安全的主要因素。随着水质监测技术的不断发展和数据分析方法的成熟, 对入河排污口的污染贡献进行科学分析成为了水环境管理的关键问题之一。为了有效识别污染源并采取针对性措施, 开展排污口水水质监测以及污染贡献分析具有重要的现实意义。本研究通过详细分析入河排污口水水质监测数据, 探讨了各类污染源的相对贡献, 评估了不同污染源对水质的影响, 为后续污染防治措施提供科学支持。本研究的开展, 不仅能够帮助相关部门精准定位污染源, 还能够为水资源的可持续利用提供理论依据。

【作者简介】赖于民(1995-), 男, 中国江西赣州人, 本科, 从事生态环境监测与分析研究。

## 2 入河排污口水质监测的背景与意义

### 2.1 入河排污口的污染源特征

入河排污口是各类污染物直接排入河流的重要通道, 污染源特征较为复杂, 涉及工业废水、农业排水及城市生活污水等多种成分。工业废水主要来源于化工、冶金、纺织等行业, 含有重金属、化学需氧量(COD)、氨氮等污染物。农业排水常包含农药、化肥等化学物质, 导致水体富营养化, 进而引发水质恶化。城市生活污水则含有大量有机物、微生物及营养物质。不同来源的污染物具有不同的浓度和特性, 影响水质的性质和生态系统的稳定。通过分析排污口的污染源特征, 可以为后续的水质监测和污染防控提供重要依据。

### 2.2 水质监测的重要性与意义

水质监测是评估水体健康状况及污染程度的重要手段, 具有显著的环境保护意义。通过监测水质中的污染物浓度, 可以实时掌握水体的污染状况, 及时发现水质变化, 避免污染事故的发生。特别是在入河排污口周边, 水质监测能帮助

准确识别污染源,明确污染物的排放量和排放趋势,从而为污染控制措施提供数据支持。同时,水质监测还为政策制定者提供科学依据,推动生态环境保护和水资源可持续利用的实现。通过监测,能有效改善水质,提升水体的自净能力,保障水生态环境的稳定。

### 2.3 排污口水质监测的现状与挑战

当前,排污口水质监测仍面临一些挑战。首先,由于排污口位置的分布广泛,水质监测点的设置存在盲区,难以全面覆盖所有排污口,导致监测数据的代表性不足。其次,现有的监测设备多依赖传统水质检测方法,监测周期较长,响应速度慢,难以及时反映水质的变化趋势。再者,排污口水质监测涉及的污染物种类繁多,传统单一的监测技术无法全面获取数据,需要采用更加先进的多参数监测手段。监测数据的分析方法和处理技术尚需进一步优化,以提高监测结果的准确性和有效性<sup>[1]</sup>。面对这些挑战,改进水质监测技术,提升数据分析能力,已成为当前的关键任务。

## 3 污染物种类与水质监测指标

### 3.1 主要污染物的种类与来源

入河排污口的主要污染物种类包括化学需氧量(COD)、氨氮、重金属、农药残留和总磷等。化学需氧量(COD)是衡量水中有机污染物浓度的重要指标,主要来源于工业废水和生活污水。氨氮是水体中常见的无机氮污染物,主要来源于农业化肥使用过量、污水处理不当及畜禽养殖废水等。重金属如铅、镉、汞等对水体有严重毒害作用,常见于冶金、电镀、化工等工业排放。农药残留来自农业生产中广泛使用的化学品,易导致水体污染。总磷是水体富营养化的重要指标,主要来自生活污水、工业废水及农业面源污染。污染物的来源不同,污染物的浓度、特性也有所差异,对水质造成的影响不同。因此,准确识别这些污染物及其来源是水质监测的重要任务。

### 3.2 水质监测的关键指标及其影响因素

水质监测的关键指标通常包括水温、pH值、溶解氧(DO)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)等。水温影响水体的溶解氧含量和化学反应速率,过高的水温会导致氧气溶解度降低。pH值直接影响水中的化学反应,过酸或过碱的环境会加剧某些污染物的毒性。溶解氧是水体中生命活动的必要条件,其浓度过低会导致水体生态系统破坏。氨氮和总磷是水体富营养化的重要标志,过量的氮磷污染可引起水体蓝绿藻暴发,危害水生生态系统。COD作为衡量有机污染物浓度的指标,其浓度较高通常反映水体受到严重污染。监测这些指标的结果可以反映水质的健康状况,但监测结果受多种因素影响,如水体的流量、气候变化以及周围环境的影响等,这些因素都可能导致监测结果的波动性。

### 3.3 监测数据的采集与分析方法

水质监测数据的采集通常采用现场采样与实验室分析

相结合的方式。现场采样时,需根据水体的特点和监测目标选择合适的采样点和采样方法。常见的采样方法包括抓取水样、自动采样器取样等。采样频次应根据污染物浓度的变化特点来确定,保证数据的代表性和准确性。实验室分析则依靠仪器设备如分光光度计、电化学分析仪等进行污染物的定量分析。数据分析方法包括统计分析、趋势分析和源解析等,通过对监测数据的整理和分析,能够识别水质变化的原因及其规律。现代水质监测还结合了遥感技术和大数据分析,能够实时获取更大范围的水质数据,并通过数据融合和模型计算提供精准的污染源定位与评估,为污染控制和水质管理提供科学依据<sup>[2]</sup>。

## 4 污染贡献分析方法

### 4.1 污染贡献分析的基本原理

污染贡献分析通过对监测数据的处理,旨在识别和量化各污染源对水体污染的影响程度。其基本原理在于,通过对水质监测数据的统计分析,计算各类污染物浓度与污染源之间的相关性,进而推算出各污染源的污染贡献。通常,污染贡献分析方法依赖于污染源分配模型和污染物扩散模型。污染源分配模型主要通过解析排污口的污染物排放量,结合水流模型和水质扩散规律,推算出污染物在水体中的浓度变化。采用这些模型时,需要考虑水体的水文特性、流速、温度、风力等因素,以确保分析的准确性。数据的准确采集和科学处理是进行污染贡献分析的基础。数据分析通常使用回归分析、主成分分析等统计方法,以确保分析结果能够真实反映污染源对水体的具体影响。

### 4.2 常用的污染贡献计算方法

常见的污染贡献计算方法包括源解析法、因子分析法和质量平衡法。源解析法通过对水质监测数据进行多元回归分析,利用污染物浓度与不同排放源之间的线性关系,推算出各污染源的贡献比例。该方法适用于污染源较为明确的情况,如工业区或农业区。因子分析法通过减少数据维度,提取出影响水质的主要因子,进而计算各个污染源的贡献比例。因子分析法能够有效处理大规模的监测数据,减少数据噪音,提高分析精度。质量平衡法则基于水体中的污染物守恒原理,利用流量、污染物浓度和排污量等变量,建立污染物的质量平衡方程,进而计算出各污染源的污染贡献。这种方法适用于污染源广泛且数据较为全面的水体,能够得到较为精准的贡献分析结果。

### 4.3 影响分析结果的因素与不确定性

污染贡献分析结果受多种因素的影响。首先,监测数据的质量和准确性直接影响分析结果的可靠性。若采样点的选择不当,或采样时间不具代表性,可能导致数据偏差,进而影响污染贡献的准确计算。其次,水流模型和污染物扩散模型的精度也是关键因素。水体的流速、温度、盐度等物理参数的波动,可能导致污染物在水中的扩散模式发生变化,从而影响分析结果。再者,污染源的辨识和量化是分析过程

中面临的另一大挑战。在一些情况下，部分污染源较为隐蔽或排放量难以准确测量，可能导致污染贡献的低估或高估。最后，环境变化和人为干扰也会带来一定的不确定性。例如，季节性变化可能导致水体水质的波动，而突发事件如雨水冲刷可能引起水质短期恶化，从而影响污染贡献分析的稳定性和长期准确性。为应对这些不确定性，污染贡献分析需要结合多次监测数据和多种模型手段，以提高分析结果的可信度。

## 5 入河排污口水质监测结果的污染贡献分析

### 5.1 典型入河排污口水质监测结果

在对入河排污口水的水质进行监测时，常见的污染物包括氨氮、化学需氧量（COD）、总磷等。这些污染物是评价水体污染程度的关键指标。以某工业区的排污口为例，通过连续水质监测数据发现，该排污口的氨氮浓度常年维持在 2-5 mg/L 之间，显著高于周围水体的平均值。氨氮浓度的升高通常与农业肥料的过量使用和工业废水的排放密切相关，表明该区域可能受到农业与工业污染的双重影响。与此同时，COD 浓度在 10-20 mg/L 之间，表现出较为严重的有机污染，可能来自工厂废水、生活污水或垃圾处理设施的渗透。这些有机污染物不仅影响水质，还可能影响水体的生态功能。此外，总磷浓度也超过了水质标准的限制，反映出该区域可能存在农业与城市污水的交叉污染。因此，需要根据不同水文条件下的监测数据来科学评估污染源的实际情况<sup>[1]</sup>。

### 5.2 污染贡献的具体分析与计算

通过对典型入河排污口水的水质监测数据进行污染贡献分析，可以使用源解析法计算不同污染源的贡献比例。源解析法是一种常见的环境污染评估方法，通过分析水质监测数据、流量数据和污染源排放数据，估算各污染源的贡献。以某工业排污口为例，结合污染物浓度、流量和排污量等数据，建立污染物的质量平衡方程，并结合回归分析方法，推算出各类污染源的贡献比例。通过对 COD 的分析，得出该排污口的工业废水贡献约占 60%，农业排水约占 30%，而城市生活污水贡献约占 10%。这表明工业污染是该区域污染的主要来源。类似地，氨氮和总磷的贡献比例也可以通过类似的计算得到。氨氮的贡献可能以农业排水为主，但工业和生

活污水也占有一定比例。不同污染源的贡献比例可以帮助决策者明确污染防治的重点和方向。这些水文因素能够直接影响污染物在水体中的分布和扩散，从而影响污染贡献的计算结果。因此，结合这些水文条件的监测数据进行多维度分析，能够提高污染源贡献分析的精度和可信度。

### 5.3 不同污染源的相对贡献分析

在入河排污口水的水质监测与污染贡献分析中，不同污染源的相对贡献分析是关键步骤。通过对监测数据进行因子分析，提取出污染物与排污口的主要污染源之间的关系，可以明确各污染源对水质恶化的相对贡献。例如，在某排污口的分析中，工业废水是导致氨氮和 COD 浓度高的主要源头，其贡献比例高达 70%。农业排水则主要影响总磷和部分有机物的浓度，贡献比例约为 25%。生活污水的污染贡献相对较小，占比不到 5%。通过这种分析，能够为水污染控制提供有效的数据支持，帮助决策者制定针对性更强的污染治理策略。同时，还可以通过不同季节、不同天气条件下的数据对比，进一步评估污染源对水质的变化影响，优化污染源的管理和防治措施<sup>[4]</sup>。

## 6 结语

通过对入河排污口水水质监测结果的污染贡献分析，本文深入探讨了污染源的种类、来源以及其对水质的影响。未来的研究应加强对多污染源交叉作用的理解，并优化数据采集与分析技术。结合实际监测数据的动态调整，能够更加精准地识别污染源，为水环境保护提供有力支持。通过综合施策，可以有效控制入河排污口的污染源，提升水体自净能力，保障水生态环境的健康可持续发展。

### 参考文献

- [1] 李秀玲.流域水体环境入河排污口污染源调查及溯源分析[J].中国资源综合利用,2024,42(11):199-201.
- [2] 王芳,赵晓燕,吕彩凤.呼和浩特市入河排污口水环境质量现状分析[J].环境与发展,2024,36(05):47-52.
- [3] 万鹏,纪丁愈,吴勇,陈思瑶,苟川梅,阿支以里.长江龙马潭区段入河排污口污染调查及对策研究[J].四川水利,2022,43(06):139-143+151.
- [4] 郭嘉丽.沈阳化工有限公司入河排污口设置论证分析[D].导师:宓永宁;温树影.沈阳农业大学,2018.

# Research on the Application of Environmental Management System in Engineering Projects

Jiafeng Jiang Hongyao Quan

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

## Abstract

Against the backdrop of the continuous deepening of China's ecological civilization construction and the expansion of engineering construction scale, while engineering projects promote economic and social development, problems such as high resource consumption intensity, wide environmental disturbance range, and concentrated pollution emissions are becoming increasingly prominent. The traditional environmental management model based on post governance is no longer suitable for the practical needs of environmental risk control throughout the entire lifecycle of engineering projects. The environmental management system, as a systematic management tool guided by prevention and centered on continuous improvement, provides an institutionalized path for engineering projects to achieve environmental goals and fulfill environmental responsibilities. This study suggests that deeply embedding the environmental management system into the entire process of engineering project management can help enhance environmental risk prevention and control capabilities, and promote the transformation and development of engineering construction towards green, low-carbon, and high-quality directions.

## Keywords

environmental management system; Engineering projects; Whole process management; Environmental risks; Green construction

## 环境管理体系在工程项目中的应用研究

蒋加峰 全洪瑶

江苏科易达环保科技股份有限公司, 中国·江苏 盐城 224008

## 摘要

在中国生态文明建设持续深化和工程建设规模不断扩大的背景下, 工程项目在推动经济社会发展的同时, 其资源消耗强度高、环境扰动范围广、污染排放集中等问题日益凸显。传统以事后治理为主的环境管理模式已难以适应工程项目全生命周期环境风险管控的现实需求。环境管理体系作为一种以预防为导向、以持续改进为核心的系统化管理工具, 为工程项目实现环境目标、履行环境责任提供了制度化路径。本研究认为, 将环境管理体系深度嵌入工程项目管理全过程, 有助于提升环境风险防控能力, 推动工程建设向绿色、低碳和高质量方向转型发展。

## 关键词

环境管理体系; 工程项目; 全过程管理; 环境风险; 绿色建造

## 1 引言

随着中国工程建设规模的持续扩大, 工程项目在推动经济社会发展的同时, 其资源消耗强度大、施工扰动范围广、环境风险集中等问题日益凸显。在生态文明建设和绿色发展理念不断深化的背景下, 如何在保障工程建设质量与进度的同时, 有效控制项目实施过程中的环境影响, 已成为工程管理领域亟需回应的重要课题。传统以行政监管和末端治理为主的环境管理方式, 难以适应工程项目全过程、多主体协同的现实需求。环境管理体系作为一种强调预防控制与持续改进的系统化管理工具, 为工程项目环境管理提供了新的理论

视角和实践路径。基于此, 本文围绕环境管理体系在工程项目中的应用问题展开系统研究, 旨在探讨其运行机理、实施成效及优化方向, 为提升工程项目环境管理水平提供理论参考与实践借鉴。

## 2 环境管理体系的理论基础与工程项目适配性分析

### 2.1 环境管理体系的理论内涵与发展逻辑

环境管理体系是在可持续发展理念和现代管理理论共同推动下形成的一种系统化环境治理工具, 其核心目标在于通过制度设计和过程控制, 实现组织环境绩效的持续改进。从理论渊源看, 环境管理体系深受系统论与全过程管理思想影响, 强调将环境问题视为一个由多要素、多环节构成的动态系统, 通过对环境因素的识别、评价与控制, 实现环境风

【作者简介】蒋加峰(1991-), 男, 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。

险的源头预防与过程管控<sup>[1]</sup>。与传统以末端治理为主的环境保护方式相比,环境管理体系更加注重管理机制的前置性和运行的持续性,其本质是一种将环境责任内嵌于组织管理结构中的制度安排。在运行逻辑上,环境管理体系通常以计划、实施、检查和改进的闭环模式为基本框架,通过明确环境方针、设定环境目标、规范运行程序和开展绩效评价,构建起相对完整的环境管理链条。这一逻辑不仅有助于提升环境管理的规范化水平,也为不同类型组织提供了可操作的管理路径。从实践发展来看,环境管理体系已逐步由单一的合规管理工具,转向兼顾环境绩效、资源效率与社会责任的综合治理机制,其功能边界不断拓展,为复杂工程活动中的环境管理提供了理论支撑和方法依据。

## 2.2 工程项目特征与环境管理体系的适配性分析

工程项目具有建设周期相对集中、参与主体多元、作业工序复杂以及环境影响阶段性突出的典型特征。在项目实施过程中,施工活动往往伴随着大量资源投入和环境扰动,一旦缺乏系统化管理,容易导致环境风险累积放大。传统工程环境管理多依赖行政审批和现场经验,管理措施碎片化明显,难以形成稳定有效的环境控制机制。在此背景下,引入环境管理体系,为工程项目构建系统化、制度化的环境管理模式提供了现实可能<sup>[2]</sup>。从适配性角度看,环境管理体系所强调的全过程控制理念,与工程项目从策划、实施到收尾的生命周期管理高度契合。通过将环境目标分解并嵌入项目管理流程,可以有效弥补工程项目环境管理中责任边界模糊、控制节点分散的问题。同时,环境管理体系所要求的文件化管理和持续改进机制,有助于增强工程项目环境管理的可追溯性和可复制性,使项目经验得以沉淀并推广应用。由此可见,环境管理体系并非外在附加的管理负担,而是与工程项目内在运行逻辑具有高度一致性的治理工具,其在工程项目中的应用具备坚实的理论基础和现实合理性。

## 3 环境管理体系在工程项目策划与实施阶段的应用机理

### 3.1 工程项目策划阶段环境管理体系的嵌入路径

工程项目策划阶段是决定项目环境绩效的关键前置环节,也是环境管理体系发挥预防性功能的核心阶段<sup>[3]</sup>。在该阶段引入环境管理体系,有助于将环境保护要求由传统的外部约束转化为项目内部的管理目标,从源头上降低环境风险发生的可能性。通过系统识别项目建设活动可能涉及的环境因素,并对其影响程度进行综合评价,项目管理团队能够在方案比选和技术决策层面充分考虑环境约束条件,从而避免在后续实施阶段因环境问题反复调整方案所带来的管理成本增加。在目标管理层面,环境管理体系强调环境目标与项目总体目标的协同设定,使环境保护不再停留在原则性表述,而是转化为可量化、可考核的具体指标。通过将环境目标逐级分解并落实到设计、施工和管理等不同责任主体,能

够有效强化各参与方的环境责任意识,促使其在策划阶段主动优化施工组织 and 资源配置方案。此外,环境管理体系在策划阶段还通过文件化管理手段,对环境管理职责、工作程序和应急预案进行系统梳理,为项目后续阶段的规范运行奠定制度基础。

### 3.2 工程项目实施阶段环境管理体系的运行机制

进入工程项目实施阶段后,建设活动的环境影响逐步显性化,环境管理体系的运行重点由前期策划转向过程控制和动态管理。施工阶段作业工序多、交叉作业频繁,环境风险具有突发性和累积性特征,单纯依靠事后检查难以及时有效地防控风险。环境管理体系通过建立规范化的运行控制机制,将环境要求嵌入施工管理流程,使环境管理与进度控制、质量管理形成协同关系,从而提升整体管理效能<sup>[4]</sup>。在运行实践中,环境管理体系通过制定明确的作业规范和检查制度,对施工现场的关键环境控制点实施持续监测。一旦发现偏离既定目标的情况,可依体系要求及时采取纠正和预防措施,避免环境问题进一步扩大。同时,体系运行过程中形成的环境数据和管理记录,为项目管理层开展绩效评估和决策调整提供了客观依据,有助于实现由经验判断向数据支撑的管理转变。总体而言,环境管理体系在工程项目实施阶段的有效运行,不仅提升了现场环境管理的规范性和可控性,也为工程项目实现绿色建造和可持续发展目标提供了现实支撑。

## 4 环境管理体系在工程项目运行中的实践成效与现实约束

### 4.1 环境管理体系对工程项目环境绩效的提升效应

在工程项目运行过程中,环境管理体系的持续实施对环境绩效提升具有显著促进作用。一方面,通过制度化的管理流程和明确的责任分工,环境管理体系有效强化了工程项目对环境问题的过程控制能力,使环境管理不再依赖个体经验或临时决策,而是纳入规范化、可追溯的管理轨道。特别是在施工高峰期或多工序并行条件下,体系化管理能够减少环境管理盲区,降低因协调不足导致的环境风险叠加效应。另一方面,环境管理体系通过持续监测与绩效评价机制,为工程项目环境管理提供了动态调整空间<sup>[5]</sup>。项目管理团队可依据环境监测数据和检查结果,对施工方案和管理措施进行适时优化,从而实现环境风险的前馈控制。这种以数据为基础的管理模式,有助于推动工程项目环境管理由结果导向向过程导向转变,提升环境管理的科学性与前瞻性。实践表明,持续运行环境管理体系的工程项目,其环境问题发生频率和整改成本均呈现下降趋势,环境绩效改善效果较为明显。

### 4.2 环境管理体系在工程项目运行中的现实约束

尽管环境管理体系在工程项目中发挥了积极作用,但在具体运行过程中仍面临一定现实约束。首先,部分工程项目对环境管理体系的认知仍停留在满足外部审查或合规要

求的层面,体系运行存在形式化倾向,环境管理文件与现场实际脱节,削弱了体系的实效性。其次,在工程项目工期压力和成本约束较大的情况下,环境管理目标往往容易被边缘化,导致体系运行深度不足。工程项目参与主体多、管理层级复杂,也对环境管理体系的协调运行提出挑战。不同参建单位在环境管理能力和责任意识方面存在差异,若缺乏统一的管理标准和有效的沟通机制,环境管理体系难以形成合力。与此同时,部分项目环境管理人员专业能力不足,对体系运行理解不深入,也在一定程度上制约了环境管理体系在工程项目中的应用成效。因此,如何在保障项目进度和成本控制的同时,提升环境管理体系的执行力和内在驱动力,仍是工程项目环境管理实践中亟需解决的现实问题。

## 5 环境管理体系在工程项目中的优化路径与发展趋势

### 5.1 面向工程项目的环境管理体系优化路径

针对环境管理体系在工程项目运行中暴露出的执行力不足与形式化倾向问题,有必要从制度设计与运行机制两个层面加以优化。在制度层面,应进一步强化环境管理体系在项目管理中的刚性约束,将环境目标纳入工程项目综合绩效评价体系,使其与进度、质量和成本目标形成同等重要的管理维度。通过制度协同,推动环境管理由“被动合规”向“主动治理”转变,增强项目管理层对环境管理体系运行价值的认同。在运行机制层面,应注重提升环境管理体系与工程项目管理流程的融合度,将环境管理要求细化嵌入设计审查、施工组织、分包管理和现场检查等关键环节,避免环境管理与实际管理活动脱节。同时,应加强对项目环境管理人员的专业培训,提升其对环境管理体系运行逻辑和技术要求的理解能力,从而增强体系执行的专业性与稳定性。通过持续改进机制的有效运转,使环境管理体系在工程项目中真正发挥风险防控和绩效提升的功能。

### 5.2 工程项目环境管理体系的发展趋势展望

随着绿色发展理念的不断深化,工程项目环境管理正由单一污染控制向综合环境绩效管理转型。在这一背景下,环境管理体系的应用边界和功能内涵将进一步拓展。一方

面,环境管理体系将更加注重与工程项目全过程管理理念的深度融合,通过强化前期策划和过程管控,实现环境影响的系统削减;另一方面,环境管理体系也将逐步与信息化、数字化管理工具相结合,借助数据采集与分析手段,提高环境管理决策的科学性和实时性。从长远看,工程项目环境管理体系的发展趋势将呈现出标准化、精细化与协同化并进的特征。通过在不同类型工程项目中不断积累实践经验,形成可复制、可推广的管理模式,有助于推动工程建设领域整体环境管理水平的提升。这不仅符合中国生态文明建设和绿色低碳转型的战略要求,也为工程项目实现高质量发展提供了重要支撑。

## 6 结语

环境管理体系作为一种以预防为导向、以持续改进为核心的管理工具,在工程项目环境治理中具有显著的制度优势和实践价值。通过将环境管理体系系统嵌入工程项目策划、实施与运行全过程,可有效提升环境风险防控能力,促进工程项目环境绩效持续改善。研究表明,环境管理体系的有效运行不仅依赖于制度设计的完整性,更取决于其与工程项目管理实践的深度融合。未来,应进一步结合工程项目管理特点和绿色发展要求,不断优化环境管理体系运行机制,推动工程建设活动在实现经济效益的同时,更好地履行环境责任,实现工程发展与生态保护的协调统一。

## 参考文献

- [1] 董月英,刘枫,季家俊,等. 复杂城市环境下基坑工程全生命周期管理体系分析[J].上海建设科技,2025,(06):36-39.
- [2] 胡丽娜,李陆燕,王锐,等. 大数据环境下信息安全管理研究[J].中国管理信息化,2025,28(24):227-229.
- [3] 高简. 外资生态环境下党员队伍管理体系建设探索[J].上海企业,2025,(12):89-91.
- [4] 林立华. 智慧生态环境监测管理体系建设思路与探索[J].智能建筑与智慧城市,2025,(11):31-33.DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2025.11.008.
- [5] 张育昆,陈天雷,陆凯东. 新形势下县级环境监测站质量管理体系的健全思路[J].中国品牌与防伪,2025,(15):113-115.

# Hydrogeological Research on Soil Pollution Control in Environmental Engineering

Liqiong Xu<sup>1</sup> Gonglong Li<sup>2</sup>

1. Gansu Nuclear Geology Brigade 212, Wuwei, Gansu, 733000, China

2. Gansu Nenghua Jinchang Energy Chemical Development Co., Ltd., Jinchang, Gansu, 737100, China

## Abstract

Regional hydrogeological conditions are determined by four key elements—topography, geomorphology, stratigraphy, and lithology—whose interactions govern the system's overall functionality. The dynamic interplay between groundwater and soil water influences pollutant behavior through water migration and solute exchange. Effective soil remediation requires precise quantification of critical parameters, including groundwater dynamics, aeration zone characteristics, aquifer properties, and boundary conditions, to accurately predict pollution transport patterns. Tailored remediation strategies should be implemented based on specific hydrogeological scenarios: in aquifer zones, prioritize in-situ combined techniques; in confined aquifers, adopt a hybrid approach of chemical oxidation and hydraulic control; and in aeration zone anomalies, apply stratified remediation. By optimizing in-situ restoration parameters and integrating ex-situ remediation with groundwater protection, a governance system tailored to local hydrogeological conditions can be established.

## Keywords

Environmental Engineering; Soil Pollution; Remediation Measures; Practical Strategies

## 环境工程中土壤污染治理的水文地质研究

许丽琼<sup>1</sup> 李功龙<sup>2</sup>

1. 甘肃省核地质二一二大队, 中国·甘肃 武威 733000

2. 甘肃能化金昌能源化工开发有限公司, 中国·甘肃 金昌 737100

## 摘要

区域水文地质条件由地形地貌、地层岩性等四大要素构成, 其相互耦合决定系统整体功能, 地下水与土壤水的交互作用通过水分运移和溶质交换影响污染物形态与活性。土壤污染治理需聚焦地下水动力条件、包气带特性、含水层特征及边界条件, 精准量化关键参数以研判污染迁移规律。基于不同水文地质场景, 筛选适配治理技术, 潜水含水层区优先原位组合技术, 承压含水层区采用化学氧化与水力控制结合模式, 包气带厚度异常区实施分层治理。通过优化原位修复参数、协同异位修复与地下水保护, 构建适配水文地质条件的治理体系。

## 关键词

环境工程; 土壤污染; 治理措施; 实践策略

## 1 引言

在工业化以及城市化进程不断加速的背景之下, 土壤污染的问题变得越发明显, 重金属以及有机污染物借助多种渠道渗透到土壤中, 对地下水环境产生影响, 对生态安全以及人体健康构成威胁。土壤—地下水系统污染的治理成为生态保护方面的关键课题, 水文地质条件作为调控污染物迁移转化的核心要素, 其复杂程度直接决定了污染治理的难度以及成效。在当前的治理实践过程中, 由于对水文地质要素耦合作用的认识不够充分, 并且技术与地质条件的适配性较

差, 经常会出现治理不彻底以及二次污染等问题。

## 2 水文地质核心理论

### 2.1 区域水文地质条件构成

区域水文地质条件是由地形地貌、地层岩性、地质构造以及地下水赋存运动特征这几个方面共同组合而成, 其中地形地貌在很大程度上主导着水流的路径以及汇水的范围, 地层岩性可决定介质的渗透性以及吸附能力, 地质构造会依靠改变含水层的连续性来对污染物迁移通道产生影响, 而地下水的赋存类型与运动规律则为污染治理提供了十分关键的水文动力依据<sup>[1]</sup>。

### 2.2 地下水与土壤水交互作用机制

地下水和土壤水之间的交互作用, 其核心驱动力是水

【作者简介】许丽琼(1985-), 女, 中国甘肃康县人, 本科, 工程师, 从事地质勘探水文地质研究。

势差。在基质势和重力势的作用下，土壤水向下渗透，补给地下水，而地下水可借助毛细作用向上运动，补给土壤水，在此过程中，污染物的迁移也会同时受到驱动，土壤胶体所有的吸附解吸、离子交换以及微生物转化等作用，会让污染物的形态和活性发生改变，对污染范围以及治理难度产生直接影响。

### 3 土壤污染治理中水文地质要素分析

#### 3.1 地下水动力条件分析

地下水动力条件作为调控污染物迁移扩散的关键要素，其核心分析参数囊括水流速度、流向、水力梯度以及渗透系数，水流速度对污染物迁移速率起着直接决定性作用<sup>[2]</sup>。高速水流易于推动污染羽迅速扩散，而低速水流则有利于污染物在孔隙之中进行沉积吸附，流向和水力梯度可精确地预判污染扩散路径，为阻隔工程的选址提供相应依据。渗透系数的空间异质性会致使污染迁移呈现出非均一性，砂层与粘性土层之间的系数差异有可能形成局部污染富集区域，还需要结合补给排泄条件，探究其对污染物稀释程度以及扩散范围所产生的影响，以此为控污治污策略的制定提供动力方面的支撑。

#### 3.2 包气带水文地质特性

包气带处于土壤和地下水的过渡地带，它的特性对污染物在系统中的迁移转化有着直接影响，孔隙度、含水率以及渗透率可决定水分下渗以及溶质运移的能力。孔隙度和渗透率较高的话会加快污染物向地下水渗透的速度，土壤颗粒组成和矿物成分主导着吸附、离子交换以及氧化还原的能力，粘性颗粒含量越高，对重金属和有机物的截留效果就越好。包气带的气体运动对污染物转化有影响，有氧环境有利于有机污染物降解，厌氧环境则有可能使重金属形态发生改变，它的厚度和结构异质性也很关键，薄的包气带容易让污染物穿透，分层结构或许会形成天然迁移屏障。

#### 3.3 含水层水文地质特征

含水层的水文地质特征可决定污染物的迁移范围、速率以及富集程度。这对于治理难度起着关键的决定性作用，其中岩性组成属于核心指标，砂质含水层的颗粒较为粗大，孔隙比较大，渗透性也很强，污染物在其中迁移速度快、范围广，并且截留作用较弱，治理难度较高，而粘性含水层的渗透性较差，虽然可阻滞污染物，但容易形成局部累积<sup>[3]</sup>。含水层的厚度、分布面积以及埋藏深度会对污染羽的规模产生影响，浅层含水层受到污染后容易依靠水循环进行扩散，深层含水层的修复周期长，且难度较大，富水性与水背景值可决定稀释能力与治理阈值，富水性较强时可以降低污染浓度，背景值较低则需要提高修复精度。

#### 3.4 水文地质边界条件的影响

水文地质边界条件对于界定研究区域的水文地质系统范围起着关键作用，同时也是调控水流以及污染物迁移的关

键因素。其类型和特性会直接对土壤污染治理的范围划定以及方案设计产生影响，边界条件主要囊括补给边界、排泄边界、隔水边界以及弱透水边界这几种，不同的边界在对污染物迁移的调控作用方面存在着明显差异。补给边界像河流、大气降水入渗区这类，可为系统给予水分补给，可能把外部污染物带入研究区域，或对内部污染物浓度起到稀释作用，排泄边界比如泉、地下水溢出带，会将含有污染物的地下水排出系统，使得污染影响范围得以扩大。隔水边界可阻挡水流与污染物的迁移，形成封闭或者半封闭的污染区域，这对于开展原位修复较为有利。弱透水边界则有可能形成污染物的缓慢渗透通道，造成污染出现跨区域扩散的情况，精确识别边界的类型、位置以及渗透性，是合理划定污染治理范围、防止治理不彻底或过度治理的关键前提条件。

### 4 基于水文地质条件的土壤污染治理技术优化

#### 4.1 不同水文地质条件下治理技术筛选

##### 4.1.1 潜水含水层区土壤污染治理技术

潜水含水层区域由于水位埋藏深度较浅，并且与大气降水以及地表水体之间联系紧密，使得水流交换较为活跃，需要筛选出有控制污染以及防止扩散功能的治理技术，优先选用原位修复技术。例如，可渗透反应墙与地下水曝气技术的组合模式，可渗透反应墙是依据含水层的渗透系数来确定墙体的厚度以及填充材料的，借助吸附、沉淀等作用来截留迁移的污染物，适配潜水流动性较强的特点。地下水曝气技术需要结合水力梯度来优化曝气的点位以及强度，以此加速挥发性有机污染物的脱附与降解。同时，还要避免曝气扰动致使污染羽扩散，对于污染范围较小但浓度较高的区域，可以搭配抽出处理技术，控制抽水量与速率来维持地下水位的稳定，防止地表沉降以及周边水体倒灌，实现治理效果与水文地质环境的协同保护。

##### 4.1.2 承压含水层区土壤污染治理技术

承压含水层区域受到上覆隔水层的限制，水流速度较为缓慢，但污染也不容易扩散开来，治理的时候要同时考虑穿透隔水层的精准程度以及避免出现二次污染的情况。核心选择将原位化学氧化技术和水力控制技术相结合的方案，化学氧化药剂借助专用注射井精确地输送到污染区域，药剂的用量需要根据含水层的孔隙度、渗透系数来进行计算，以此保证药剂可均匀地扩散，并且与污染物充分发生反应。水力控制技术借助构建抽注水电网，对含水层内的水流方向调控，促使污染物朝着处理井迁移并聚集起来，提高治理的效率，需要严格把控抽注水量的平衡，避免隔水层因为受力变形而引发渗漏现象，还要监测含水层水质的变化情况，及时对药剂投放量及水流调控参数做出调整，防止治理过程对含水层结构造成破坏。

##### 4.1.3 包气带厚度异常区治理技术适配

包气带厚度异常区可细分为厚包气带和薄包气带这两

种类型,针对其不同的厚度特性,需要适配不同的治理技术,厚包气带区域内,水分向下渗透的速度较为缓慢,污染物的迁移也相对滞后,这种情况下优先考虑采用土壤气相抽提技术以及生物通风技术进行协同治理。具体做法是在该区域合理布设抽气井与通风井,对井间距以及抽气速率进行优化,以此加速包气带内挥发性污染物的脱附过程,强化有氧环境,促进微生物对污染物的降解。而薄包气带区域,污染物很容易穿透至地下水层,需要采用表层治理与地下阻隔相结合的技术。在表层治理方面,运用土壤淋洗技术来去除污染物,淋洗液经过处理达到相关标准后才能排放,防止其渗入地下水,在地下,则布设防渗膜与渗透反应带,以此阻断污染物向含水层迁移的路径,同时还要监测包气带的含水率以及污染物浓度的变化情况,根据监测结果动态调整治理工艺参数,最终实现分层精准治理的目标。

## 4.2 治理技术的水文地质优化路径

### 4.2.1 原位修复技术参数优化

原位修复技术参数的优化要把水文地质条件当作核心依据,以此实现技术效能和地质环境的适配。对于不同渗透性的含水层,要对修复药剂投放的浓度以及速率做出调整,砂质含水层的渗透性比较强,可以提高药剂投放的速率并且采用分段投放的模式,以此保证药剂可覆盖污染区域。粘性含水层的渗透性较弱,需要降低投放速率,还要搭配搅拌装置来提升药剂与污染物的接触效率。要对原位修复井网布局进行优化,依据水力梯度以及污染羽分布的形态,来确定井群密度以及布设角度,让修复范围可精确覆盖污染区域,同时结合地下水补给排泄的规律,调整修复时间窗口,避开补给高峰期,减少水流对修复效果的干扰,凭借动态监测污染物浓度以及水文地质参数,建立参数优化模型,实现修复过程的精准调控。

### 4.2.2 异位修复与地下水保护协同优化

异位修复要加强与地下水保护的协同,借助水文地质条件来优化流程设计,以此规避二次污染风险。在污染土壤

开挖前,依据含水层埋深以及隔水层分布情况,划定开挖边界和深度,设置地下水防护沟以及防渗帷幕,阻断开挖过程中污染物向地下水的迁移。同时,监测地下水位的变化,防止基坑突水导致污染扩散。开挖后的土壤运输和处理过程,配备防渗措施,处理场地设置地下水监测井,实时跟踪水质变化,修复后回填土要挑选与原土层水文地质特性相近的材料,控制回填压实度,防止改变包气带与含水层的渗透性。回填后构建表层防渗与排水系统,减少降水入渗对地下水的影 响,形成“开挖—处理—回填”全流程的地下水保护体系,实现异位修复与水文地质环境的协调。

## 5 结语

水文地质系统自身具有的复杂性以及要素之间存在的关联性,使得它在土壤污染治理领域占据着基础性且关键性的地位。从核心理论出发,经过要素分析环节,到技术优化阶段,构建起了一套完整的、以水文地质为导向的治理逻辑框架,清晰地明确了各个要素对于污染物迁移扩散所起到的调控机理,可为技术筛选以及参数优化给予科学方面的支撑。在不同的水文地质场景之下所形成的技术适配方案,实现了治理效能与地质环境之间的协同平衡状态。未来,需要加强对水文地质参数精准量化技术的研发工作,结合动态监测所获取的数据来完善参数优化模型,以此提升治理方案的动态调整能力,应当深入开展多要素耦合作用方面的研究,促使治理技术朝着更加高效、环保以及适配性更强的方向不断发展,筑牢土壤与地下水的生态安全防线。

## 参考文献

- [1] 张黎黎. 环境工程中土壤污染修复技术探析 [J]. 绿色中国, 2025, (08): 109-111.
- [2] 郭林, 刘晓宇, 侯荣凯. 环境监测技术在环境保护工程中的应用研究 [J]. 清洗世界, 2025, 41 (01): 169-171.
- [3] 魏真. 环境工程中土壤污染修复技术与案例分析 [J]. 城市建筑空间, 2024, 31 (S2): 222-223.

# The Positive Role of Environmental Monitoring in Environmental Governance

Long Guo Wei Gu Huazhi Wang

Sichuan Haoyu Environmental Monitoring Co., Ltd., Yibin, Sichuan, 644000, China

## Abstract

As a foundational component of the environmental governance system, environmental monitoring systematically collects and analyzes various environmental data elements, providing scientific basis for decision-making, process control, and effectiveness evaluation throughout the entire environmental governance process. This paper focuses on the core aspects of environmental governance and examines the positive role of environmental monitoring from four dimensions: scientific decision-making, precise control, quantifiable outcomes, and standardized systems. By integrating governance practices, it elucidates the synergistic logic between monitoring activities and governance processes, explores practical pathways to enhance monitoring efficiency, and offers theoretical references and practical insights for advancing the modernization of environmental governance and promoting continuous ecological improvement.

## Keywords

environmental monitoring; environmental governance; precision control; governance efficacy

## 环境监测对环境治理的积极作用

郭龙 古伟 王华智

四川皓宇环境监测有限公司, 中国 · 四川 宜宾 644000

## 摘要

环境监测作为环境治理体系的基础性支撑环节, 通过系统性采集、分析各类环境要素数据, 为环境治理决策、过程管控、效果评估提供科学依据, 贯穿环境治理全流程。本文立足环境治理的核心环节, 从决策科学化、管控精准化、效果可量化、体系规范化四个方面, 剖析环境监测的积极作用, 结合治理实践梳理监测工作与治理环节的逻辑, 探讨强化监测效能的实践路径, 为提升环境治理现代化水平、推动生态环境持续改善提供理论参考与实践借鉴。

## 关键词

环境监测; 环境治理; 精准管控; 治理效能

## 1 引言

生态环境是人类生存发展的基础, 环境治理是破解生态环境问题、保障生态安全、实现人与自然和谐共生的关键举措。环境治理的科学性、精准性与有效性, 离不开对环境状况的全面掌握与动态感知, 而环境监测正是搭建起“感知环境 - 分析问题 - 解决问题”的核心桥梁。环境监测通过运用各类技术手段, 对大气、水、土壤、噪声、固体废物等环境要素的质量状况、污染物排放情况及生态系统变化趋势进行持续追踪与系统分析, 将抽象的环境状况转化为可量化、可分析的数据信息, 为环境治理各环节提供坚实的数据支撑与技术保障。脱离科学完善的环境监测体系, 环境治理易陷入盲目性、主观性困境, 难以实现精准施策与长效管控。在

生态环境保护力度持续加大、治理要求不断提升的背景下, 深入剖析环境监测对环境治理的积极作用, 对完善环境治理体系、提升治理能力、推动生态环境改善具有重要意义。

## 2 为环境治理决策提供科学支撑 提升决策合理性

### 2.1 全面呈现环境质量整体状况与区域差异 为治理目标细化提供数据依据

环境治理需立足区域环境与污染特征设定差异化目标, 避免“一刀切”的决策误区。通过构建全域覆盖的监测网络, 对不同区域、不同时段的环境要素进行持续监测, 可精准掌握各类污染物的空间分布特征、浓度变化规律, 明确区域环境质量短板。基于监测数据, 能够精准识别重点污染区域、关键污染时段与主要污染因子, 为细化治理目标、划定治理范围提供支撑。

【作者简介】郭龙(1993-), 男, 中国四川宜宾人, 本科, 助理工程师, 从事环境监测研究。

## 2.2 追溯污染来源、剖析污染成因 为治理方案优化提供技术支撑

环境治理的核心是破解污染问题，而精准定位污染来源、明确污染传播路径是制定有效治理方案的前提。环境监测通过污染物成分分析、溯源追踪等技术手段，可精准识别工业排放、农业来源、生活污染等不同污染源的贡献度，明确污染物的迁移转化规律与影响因素。基于监测数据的深度研判，能够针对性制定治理方案，优化治理措施，避免治理工作盲目推进。同时，在治理方案实施过程中，通过持续监测可动态掌握污染物浓度变化与污染源减排效果，及时发现方案实施中的不足，为方案调整优化提供依据，确保治理措施贴合污染治理实际需求，提升决策的灵活性与有效性。

## 3 推动环境治理过程精准管控 提升治理实效性

### 3.1 实现对污染物排放的精准管控

污染源是环境污染物的主要来源，加强污染源监管是环境治理的核心环节。环境监测通过对工业企业、农业生产、城市生活等各类污染源的污染物排放情况进行实时监测、在线监控，可精准掌握污染源的排放强度、排放规律，及时发现超标排放、偷排漏排等违法违规行为。在线监测系统的普及应用，实现了对污染源排放的24小时不间断监控，数据实时传输、同步分析，一旦出现超标排放情况，可立即发出预警，为监管部门快速介入、依法处置提供支撑。同时，通过对污染源排放数据的长期积累与分析，可精准评估污染源减排成效，对减排不达标的污染源进行重点管控、限期整改，推动污染源实现达标排放、减量排放，从源头减少污染物进入环境，提升污染防治的精准度。

### 3.2 实现对治理过程的动态管控

污染治理是一个系统性、长期性的过程，需动态跟踪治理进度、及时调整治理措施。环境监测通过对治理过程中的污染物浓度变化、环境质量改善情况进行持续监测，可精准掌握治理措施的实施效果，及时发现治理过程中存在的问题。例如，在大气污染治理过程中，通过对重点区域、重点时段的大气污染物浓度进行实时监测，可动态评估扬尘管控、工业减排、机动车限行等措施的实施成效，针对污染物浓度下降缓慢的区域，进一步细化管控措施，强化重点污染源管控；在土壤污染治理过程中，通过对治理区域的土壤污染物含量进行定期监测，可跟踪土壤修复进度，优化修复技术与施工方案，确保土壤修复达到预期效果。这种动态监测与管控，能够确保治理措施落地见效，避免治理工作流于形式。

### 3.3 实现对风险隐患的精准预警与处置

生态环境风险具有隐蔽性、突发性、扩散性等特点，一旦发生环境突发事件，将对生态环境与人类健康造成严重影响。环境监测通过构建生态环境风险监测预警体系，对重点区域、敏感节点的环境要素进行常态化监测，及时捕捉风

险隐患的异常变化，发出预警信息，为风险处置争取时间。同时，在环境突发事件发生后，环境监测可快速开展应急监测，精准掌握污染物扩散范围、浓度分布与变化趋势，为应急处置方案制定、污染物处置、风险管控提供实时数据支撑，有效控制污染扩散，降低突发事件造成的生态环境损失，提升环境应急处置能力。

## 4 环境监测实现环境治理效果量化评估

环境治理效果的量化评估是检验治理工作成效、完善治理体系的重要环节，而量化评估的核心是可靠的监测数据。环境监测通过建立标准化的监测指标体系与评估方法，对环境治理前后的环境质量变化、污染源减排成效、生态系统恢复情况进行量化对比，客观呈现治理成效，发现治理短板，为长效治理机制构建提供支撑。

### 4.1 构建标准化指标体系 为治理效果量化评估提供依据

环境治理效果评估需依托科学、统一的指标体系，确保评估结果的客观性、可比性。环境监测结合生态环境质量标准、污染物排放标准，构建涵盖大气、水、土壤、生态等多领域的监测指标体系，明确各指标的监测方法、评价标准与量化口径。通过对各项指标的持续监测，可获取治理前后的量化数据，形成完整的评估数据集。例如，在流域治理效果评估中，通过监测化学需氧量、氨氮、总磷等核心指标的浓度变化，量化评估流域水质改善成效；在大气治理效果评估中，通过监测PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、臭氧等指标的年均浓度、达标天数比例等数据，客观呈现大气质量改善情况。标准化的监测指标体系，确保了治理效果评估的科学性与规范性，避免评估工作主观化、随意化。

### 4.2 通过量化对比 客观呈现治理成效与短板

通过对治理前后的监测数据进行对比分析，可精准量化环境质量改善幅度、污染源减排比例，客观评估治理工作的实际成效。同时，通过深度分析监测数据，可发现治理工作中存在的薄弱环节，明确治理差距。

### 4.3 为长效治理机制构建提供数据支撑

长效治理是环境治理的最终目标，需依托长期、连续的监测数据，总结治理经验、优化治理模式。通过长期环境监测，积累区域环境质量变化、污染源减排、生态系统恢复等各类数据，可深入分析治理措施与环境质量改善之间的关联关系，总结有效的治理经验与模式，为构建长效治理机制提供支撑。同时，基于监测数据的动态研判，可建立常态化的治理评估与调整机制，定期对治理成效进行评估，根据环境质量变化趋势与污染治理实际，及时优化治理目标、调整治理措施，确保环境治理工作持续推进、取得长效。

## 5 推动环境治理体系规范化 提升治理现代化水平

环境治理体系的规范化、现代化，是提升环境治理能

力的重要保障。环境监测通过完善监测标准、规范监测流程、推动数据共享,倒逼环境治理体系优化完善,推动治理流程规范化、治理手段智能化、治理协同高效化,助力提升环境治理现代化水平。

### 5.1 环境监测推动治理标准体系完善

环境监测的规范化的前提是完善的标准体系,而监测标准的完善又能倒逼环境治理标准、污染物排放标准的优化升级。随着监测技术的不断发展,新型污染物、复合污染等问题逐渐显现,原有监测标准已难以满足治理需求。通过优化监测指标、完善监测方法、细化监测标准,能够推动环境质量标准、污染物排放标准的更新完善,使治理工作有标可依、有规可循。同时,统一的监测标准能够确保不同区域、不同时间段的监测数据具有可比性,为跨区域、跨领域协同治理提供数据支撑,推动治理标准体系的规范化、系统化。

### 5.2 环境监测推动治理流程规范化

环境监测贯穿环境治理决策、实施、评估、反馈全流程,其规范化运行能够倒逼治理各环节流程优化、规范开展。在决策环节,基于标准化监测数据制定治理方案,避免决策的主观性与随意性;在实施环节,通过常态化监测确保治理措施规范落实,及时纠正不规范治理行为;在评估环节,依托标准化监测数据开展量化评估,确保评估结果客观公正;在反馈环节,根据监测数据与评估结果优化治理方案,形成“监测-决策-实施-评估-反馈”的闭环治理流程。这种闭环治理流程的构建,能够推动环境治理工作规范化、制度化,避免治理工作碎片化、无序化。

### 5.3 环境监测推动治理手段智能化升级

随着大数据、物联网、人工智能等技术与环境监测的深度融合,智能化监测设备广泛应用,实现了监测数据的实时采集、自动分析、智能预警,推动环境监测从“人工监测”向“智能监测”转型。智能监测体系的构建,不仅提升了监测效率与数据准确性,还能够实现对污染问题的精准识别、快速处置,推动治理手段从“粗放管控”向“精准智能”升级。

## 6 强化环境监测效能 提升环境治理水平的实践路径

环境监测对环境治理具有多维度积极作用,但当前环境监测工作仍存在监测网络覆盖不全面、监测技术有待提升、数据共享不充分、人才队伍薄弱等问题,制约了其积极作用的充分发挥。为进一步强化环境监测效能,推动环境治理水平提升,需从完善监测网络、升级监测技术、强化数据应用、培育专业人才等方面发力,构建科学完善、高效运行的环境监测体系。

### 6.1 完善全域覆盖的监测网络 补齐监测短板

结合区域环境特征与治理需求,优化监测站点布局,扩大监测覆盖范围,重点加强农村地区、偏远地区、生态敏感区等薄弱区域的监测站点建设,实现大气、水、土壤、噪声、生态等环境要素的全方位监测。同时,针对新型污染物、复合污染等问题,优化监测指标体系,增加特征污染物监测指标,提升监测的针对性与全面性。

### 6.2 推动监测技术创新升级 提升监测质量

加大对环境监测技术研发的投入,鼓励企业、科研机构开展核心监测技术、智能监测设备的研发与应用,突破新型污染物监测、精准溯源等技术瓶颈。推广应用智能化监测设备,构建“天空地水”一体化监测体系,提升监测数据的实时性、准确性与完整性。同时,加强监测技术标准化建设,完善监测方法与技术规范,规范监测操作流程,确保监测数据的可靠性与可比性。

### 6.3 强化监测数据共享与应用 提升治理效能

打破部门、区域信息壁垒,构建统一的环境监测数据共享平台,推动监测数据在环保、发改、工信、水利等部门之间的互联互通、共享共用,实现数据资源的高效利用。加强监测数据的深度分析与挖掘,运用数据分析模型开展环境质量预判、污染溯源、成效评估,提升数据的应用价值,为智能决策、精准管控提供支撑。同时,健全监测数据公开制度,定期公开监测数据与治理成效,保障公众的知情权与监督权,引导公众参与环境治理,形成协同共治格局。

## 7 结论

通过全面、精准、常态化的环境监测,能够破解环境治理中的信息不对称问题,推动治理从“经验驱动”向“数据驱动”、从“被动应对”向“主动防控”、从“粗放管控”向“精准智能”转型,构建闭环治理体系,提升环境治理现代化水平。需通过完善监测网络、升级监测技术、强化数据应用、培育专业人才等措施,进一步强化环境监测效能,充分发挥其在环境治理中的核心支撑作用,推动环境治理体系和治理能力现代化,助力实现人与自然和谐共生的生态文明建设目标。

### 参考文献

- [1] 生态环境部. 环境监测发展规划(2021-2025年). 北京: 中国环境出版社, 2021.
- [2] 张远航, 邵敏. 环境监测技术与应用进展. 环境科学学报, 2020, 40(5): 1601-1610.
- [3] 李丽, 王浩. 环境监测在精准治污中的作用及实践路径. 生态环境学报, 2022, 31(2): 225-232.

# Study on Resource Protection and Law Enforcement Efficiency Improvement of Yunnan Nature Reserve from the Perspective of Community Co-management

Changyin Zhao

Honghe Amu Mountain Provincial Nature Reserve Management Bureau, Honghe, Yunnan, 654400, China

## Abstract

As the core of ecological security barriers, nature reserves play a pivotal role in biodiversity conservation and ecological civilization development. Currently, protected areas in Yunnan Province face challenges such as conflicts between conservation efforts and community development, as well as inadequate law enforcement. Using the Honghe Amu Mountain Provincial Nature Reserve as a case study, this paper analyzes key issues including fragmented management systems, ownership disputes, limited law enforcement tools, and insufficient community participation, based on the theories of collaborative governance and sustainable development. The study proposes a governance framework characterized by “legal foundations, collaborative management, and technological empowerment”: streamlining management systems, establishing tripartite co-management mechanisms, transforming law enforcement models, and enhancing technological support and public awareness campaigns. The research provides theoretical references and practical solutions for similar protected areas to resolve the conflict between conservation and development while improving governance capabilities.

## Keywords

nature reserve; community co-management; administrative law enforcement; forest ranger management; resource protection; Yunnan

# 社区共管视角下云南自然保护区资源保护与执法效能提升研究

赵昌银

红河阿姆山省级自然保护区管护局, 中国·云南红河 654400

## 摘要

自然保护区是生态安全屏障核心, 其保护成效关乎生物多样性与生态文明建设。当前云南保护区普遍面临保护与社区发展冲突、执法效能不足等困境。本文以红河阿姆山省级自然保护区为案例, 基于协同治理与可持续发展理论, 剖析管理体制碎片化、权属纠纷、执法手段单一、社区参与不畅等关键问题。提出“法治为基、共管为核、科技为翼”的治理路径: 理顺管理体制、构建三方共管机制、推动执法模式转型、强化科技赋能与宣传优化。研究为同类保护区破解保护与发展矛盾、提升治理能力提供理论参考与实践方案。

## 关键词

自然保护区; 社区共管; 行政执法; 护林员管理; 资源保护; 云南

## 1 引言

建立以国家公园为主体的自然保护地体系是生态文明建设的重大制度创新。云南省作为我国生物多样性最丰富的省份, 其自然保护区网络在维护西南生态安全中具有战略价值。但云南众多保护区普遍存在“人地矛盾”显著、保护与发展冲突激烈的状况, 保护区管护局的巡护、执法、护林员

管理与社区宣传等核心工作面临传统挑战。

严格的保护政策与社区传统生产方式直接冲突, 有限执法力量难以应对点多面广的违规行为, 护林员桥梁作用未充分发挥。社区共管作为多元主体参与的治理模式, 为摆脱困境提供了新视角<sup>[1][2]</sup>。本文结合阿姆山保护区实践, 探讨社区共管框架下资源保护与执法效能的提升路径, 为保护区治理现代化提供实证依据。

## 2 理论基础与文献综述

### 2.1 核心概念界定

自然保护区资源保护: 指对生态系统、生物物种及其栖息地的维护、恢复与可持续管理, 涵盖“刚性保护”与“柔

【作者简介】赵昌银(1998-), 男, 中国云南昭通人, 本科, 从事林区资源管护、行政执法、生态宣传教育及野生动植物物种调查研究。

性调控”双重内涵。

社区共管：指管理机构与社区基于共同规则，共同参与保护区规划、管理与利益分享，核心是实现社区从“对象”到“主体”的转变。

执法效能：指行政执法在遏制违法、教育公众、修复生态等方面的综合效果，包含量化指标与社会生态效益，其评价可依托相关规范开展<sup>[3]</sup>。

## 2.2 理论基础

协同治理理论：指政府、市场、社会组织、公民个人等多元主体，依托正式或非正式规则与机制共同管理公共事务的理论，为构建管护局、地方政府、社区组织等多方共管平台提供框架支撑。

可持续发展理论：强调当代发展需满足自身需求且不损害后代发展能力的理论，在保护区管理中体现为生态保护、社区经济发展与社会进步的平衡，与“绿水青山就是金山银山”理念高度契合。

政策技术依据：政策层面以《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》《中华人民共和国自然保护区条例》等为法律政策基础；技术层面以《自然保护区有效管理评价技术规范》《林业数据质量评价方法》<sup>[3]</sup>等为保护与执法成效的评估工具。

## 3 云南自然保护区资源保护与执法面临的主要问题——以红河阿姆山保护区为例

红河阿姆山省级自然保护区坐落于红河哈尼族彝族自治州红河县境内，地处哀牢山纵谷区南缘，作为元江与藤条江的关键分水岭，是两江的重要汇水区，对红河流域的生态安全具有重大影响，生态保护价值凸显。此保护区属于自然生态系统类别下的森林生态系统类型自然保护区，其核心保护对象是以季风常绿阔叶林、中山湿性常绿阔叶林、山地苔藓常绿阔叶林、山顶苔藓矮林等植被类型为主导的山地森林生态系统及其生物类群多样性。其面临的问题在云南保护区中具有普遍性：

### 3.1 管理体制碎片化与权属纠纷

尽管自然保护地整合优化工作持续推进，但历史上形成的“多头管理”遗留问题依然存在。林业、环保、国土等部门在保护区内的管理职责存在交叉<sup>[4]</sup>，导致“政出多门”，管护协调难度大。更突出的是土地权属问题，保护区与集体林、农地交错，部分区域存在“一地多证”或权属不清的历史遗留问题，为资源保护和执法带来了根本性障碍。例如，社区认为自家“承包山”上种植合法，但按照《中华人民共和国自然保护区条例》可能涉嫌违法，此类纠纷是执法难点<sup>[1]</sup>。

### 3.2 保护与社区生计发展矛盾尖锐

保护区周边社区众多，居民长期依赖森林资源维持生计（如采集野生菌、草果等作物）。随着保护力度加大，传统生计方式受到限制，而替代生计培育不足，导致“保护”与“吃饭”的对立情绪滋生<sup>[1]</sup>。部分村民为短期利益实施毁林开垦、盗伐等行为，执法面临法理与情理冲突<sup>[2]</sup>。

### 3.3 行政执法面临现实困境

一是执法力量薄弱。管护局管辖区域广，但专职执法人员少，难以实现全方位执法。二是执法手段单一。目前，保护区主要靠人工巡护发现问题，对隐蔽性强的违法行为，发现和取证难<sup>[2]</sup>。三是执法效果易反复。如清理违规种植经济作物后，若无替代生计扶持，村民可能复种，陷入“清理—反弹—再清理”循环。四是执法刚性有余、柔性不足。简单处罚易激化矛盾，难取得综合效果。

### 3.4 护林员队伍作用未能充分发挥

护林员多从本地社区聘用，是“移动的哨所”。但目前其职能主要定位为“巡护员”，在矛盾调解、政策宣传、引导社区参与方面的潜能未被挖掘。其管理考核多侧重于巡护和案件上报，对其在预防冲突、促进社区关系等方面的“柔性”贡献缺乏有效激励和评价机制<sup>[1][2]</sup>。

### 3.5 社区宣传教育实效性有待提升

目前保护区的宣传多集中于法规条文宣讲，形式较为单一，与社区居民的切身利益和认知水平结合不够紧密。未能将保护政策转化为社区易懂、易接受的“地方性知识”，导致政策知晓率虽高，但认同度和内化程度不足。

## 4 社区共管视角下提升资源保护与执法效能的路径构建

针对上述问题，必须从单一主体的“管制”思维，转向多元协同的“治理”思维，构建以社区共管为核心的综合提升路径：

### 4.1 深化体制改革，夯实共管制度基础

积极融入以国家公园为主体的自然保护地整合优化，厘清保护地管理边界与职责。在保证生态完整的前提下，通过“调规”解决权属和空间冲突的历史遗留问题，为社区共管划定权责边界。推动地方政府将社区共管成效纳入乡村振兴和基层治理考核，形成政策合力。

### 4.2 创新社区共管机制，化“阻力”为“助力”

1. 建立三方共管平台：成立由保护区管护局、乡镇政府、村委会及村民代表组成的“社区共管委员会”作为常态化议事协调机构，共同制定《社区资源利用公约》，使部分非核心区可持续资源利用通过公约合法化、规范化。

2. 重构护林员角色与激励：将护林员从“雇员”转变为“社区保护领袖”。考核中，增加“社区关系维护”“矛盾成功调解次数”“带动社区参与保护活动”等指标权重。建立绩效与共管成效挂钩的薪酬奖励机制，为其提供生态导游、自然教育讲解员等技能培训，拓展职业发展空间。

3. 发展替代生计与生态补偿：利用《乡村振兴用地政策指南》等政策，引导扶持社区发展生态旅游、林下经济、生态农产品等绿色产业<sup>[4]</sup>。将生态护林员岗位、公益补偿资金向参与共管的社区和家庭倾斜。

### 4.3 推动执法模式转型，实现刚柔并济

1. 执法重心前移，强化预防与调解：建立“巡回执法与社区调解结合”工作站模式。执法人员定期驻点，联合护

林员、村干部开展普法宣传,提前介入调解苗头性、倾向性问题。同时对情节轻微、未造成损害且当事人积极配合整改的首次违法行为,探索用说服教育、责令改正等柔性方式化解矛盾。

2. 强化科技赋能,提升精准执法能力:运用高新技术,构建“空天地人”一体化监测网络。借助无人机大范围巡查,利用红外相机等设备实时监测关键区域和物种,运用GIS和遥感技术检测变化图斑<sup>[6][7]</sup>。通过科技手段固定证据,增强执法威慑力与精准度。

3. 推行“恢复性司法”实践:对于已造成生态损害的违法行为,在依法处罚的同时,探索责令当事人以“补种树木、恢复植被、担任义务宣传员”等方式承担生态修复责任,并将其履行情况作为从轻处罚的考量因素,实现惩罚、教育与修复的统一<sup>[5]</sup>。

#### 4.4 优化宣传策略,促进保护意识内化

改变单向灌输宣传模式,开展参与式、体验式宣传。组织社区居民担任“自然观察员”“生态导游”,亲身体验以理解生物多样性价值。结合保护法规、社区村规民约及民族传统文化中的生态智慧进行宣传。利用新媒体制作以本地村民为主角、讲述保护故事的短视频,增强宣传亲和力与感染力<sup>[1][2]</sup>。

### 5 案例应用与启示:以云南红河阿姆山省级自然保护区架车片区为例

#### 5.1 案例背景

架车片区与周边15个村寨接壤,长期存在村民进入实验区采集野菜、药材等问题。传统治理模式效果不佳,社区关系紧张。

#### 5.2 共管与执法创新实践

1. 成立共管小组:成立共管小组:管护站、乡政府、村委会及每村2名村民代表组成共管小组,联动开展林区巡护管控、违法线索排查、执法联合行动,打通基层共管执法“最后一公里”。

2. 护林员职能拓展:从本村选聘的护林员,除巡护外,负责辖区的日常管理、登记,并担任政策“翻译官”和纠纷“调解员”。其工资与辖区管理秩序、社区矛盾调解成功率挂钩。

3. “预防+科技”执法:根据当地情况在人为活动高发区布设10台红外相机,强化林区动态监测。发现村民安放铁夹后,不直接处罚,联合乡镇工作人员上门,结合红外相机拍摄的影像,讲解捕猎对野生动物的危害,使村民主动上交猎具,同时在该区域设立警示宣教点。

4. 发展替代生计:立足群众增收与生态保护双赢目标,引导村民利用闲置地或退耕地,开展药用植物、野生菌、古树茶等经济物种种植。同时,在政府的引导下搭建产销平台,全程协助解决销售渠道,既降低村民对林区资源依赖,又拓宽绿色增收路径。

#### 5.3 实施成效

经过两年的实践,该片区违规进入保护区的人次降幅超过70%,违法发生率显著下降。目前,在红河县人民政府和架车乡人民政府的推动下,上海市长宁区依托沪滇项目,在架车乡成立了红河架车腊咪茶厂。这使得村民在家门口就能获得稳定收益。如今,保护区周边村民对保护工作的态度,已从抵触转变为理解与支持,主动报告异常情况的次数显著增加。同时护林员在社区的威信得以提升,工作成就感也随之增强。

#### 5.4 启示

该案例表明,将资源保护、行政执法、护林员管理以及社区宣传纳入社区共管的统一框架开展系统设计,能够有效突破管理困境。关键要点如下:信任为根基(通过共商来制定规则);利益系纽带(保障社区的可持续生计);科技成杠杆(提升管理的精准度与说服力);人乃核心(赋予护林员权力,激发社区内生动力)。

### 6 结论与展望

自然保护区的资源保护是一项复杂的系统工程,单纯依靠“堵”和“罚”难以持久。对于周边社区密集、生物多样性丰富的自然保护区而言,推行以社区共管为核心的治理模式,是破解保护与发展矛盾、提升执法效能的必由之路<sup>[1][2]</sup>。

本文提出的路径强调:制度上,通过整合优化理顺管理体制,为共管创造条件;机制上,构建权责清晰的多元共管平台,特别是重构护林员管理体系,使其成为共管的“神经末梢”;手段上,推动行政执法向预防性、恢复性转型,并大力应用现代科技;目标上,追求生态安全、社区发展与执法公信力的共赢。

展望未来,建议进一步探索:1)制定适用于地方实际的《自然保护区社区共管实施指南》;2)建立社区共管与执法效能综合评价指标体系;3)深化“生态产品价值实现机制”在保护区的应用,让保护者受益的链条更加牢固。唯有如此,保护区资源保护才能从“管理方的孤军奋战”走向“社会各方的携手同行”,实现人与自然和谐共生的永续发展。

#### 参考文献

- [1] 李娟,王浩.云南纳板河流域自然保护区社区共管模式实践与启示[J].林业资源管理,2022(3):134-140.
- [2] 张敏,李建友.高黎贡山社区建设与自然保护区协同治理研究[J].生态经济,2023,39(5):201-207.
- [3] LY/T2922-2017,林业数据质量评价方法[S].
- [4] 自然资源部.乡村振兴用地政策指南(2023年)[Z].2023.
- [5] 王艳,刘敏.自然保护区行政执法效能提升路径——基于社区共管视角[J].环境科学与管理,2022,47(8):13-17.
- [6] GB/T37364.1-2019,陆生野生动物及其栖息地调查技术规程[S].
- [7] 陈明,赵磊.无人机技术在自然保护区巡护执法中的应用规范[J].林业科技,2023,48(2):78-82.

# Research on Process Design and Water Quality Assurance Measures of Reclaimed Water Reuse in Municipal Engineering

Yingying Sun

Henan Jinqiu Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

The design of reclaimed water reuse technology and water quality assurance measures in municipal engineering is a key issue in current water resource management. With the acceleration of urbanization and the increasing tension of water resources, how to achieve efficient utilization of reclaimed water has become an urgent problem to be solved. This paper thoroughly explores the design concepts and implementation process of reclaimed water reuse technology in municipal engineering, analyzes the application of key technologies such as physical methods, chemical methods, and biological methods, and focuses on the implementation paths of water quality assurance measures, including water quality monitoring, selection and application of purification technologies, and safety assurance of reclaimed water. By optimizing the design of reclaimed water reuse technology and conducting technical and economic evaluations, this paper aims to provide theoretical support and technical guidance for enhancing the sustainable use of municipal water resources. The article also discusses the challenges faced by municipal reclaimed water reuse technology and its future development directions, and proposes corresponding optimization solutions, providing valuable references for the design and implementation of practical engineering projects.

## Keywords

Municipal Engineering; Reclaimed Water Reuse; Process Design; Water Quality Assurance; Technical and Economic Evaluation

## 市政工程再生水回用工艺设计及水质保障措施研究

孙莹莹

河南金秋环保技术咨询有限公司, 中国·河南 郑州 450000

## 摘要

市政工程再生水回用工艺设计及水质保障措施乃是当下水资源管理领域里的核心课题,伴随城市化过程的提速,及水资源的愈发紧张,怎样达成再生水的高效运用已然成为亟待处置的问题,本文对市政工程再生水回用工艺的设计理念及实行过程展开深度剖析,剖析了物理法化学法和生物法等核心技术的应用情况,重点探查了水质保障措施的达成路径,囊括水质监测净化技术的挑选与使用和回用水的安全性保障。借助对市政工程再生水回用工艺的改进设计与技术经济评估,意在为提高市政水资源的长远利用给予理论支撑与技术指引,文章还剖析了再生水回用工艺面临的难题与以后发展方向,给出了提升方案为实际工程项目的设计与实行给出了宝贵的参考。

## 关键词

市政工程; 再生水回用; 工艺设计; 水质保障; 技术经济评价

## 1 引言

伴随全球水资源短缺问题的加重,水资源的合理利用成为现代城市管理的核心任务之一,再生水回用当做一种重要的水资源利用方式,已被常用于市政工程中尤其在污水处理和资源回收领域,市政工程再生水回用工艺不但能有效减轻城市供水压力,且能在提高水质安全期间推动水资源的可持续利用。但虽再生水回用技术不断进步,其在应用中仍面临大量难题,如水质保障难、工艺设计的复杂性及收益的评估等,为此本研究围绕市政工程再生水回用工艺的设计与水

质保障措施展开,意在探讨借助怎样的手段利用改进工艺设计及保障水质安全来增加再生水回用的收益与可操性。借助系统分析目前市政工程中应用的各类回用工艺及技术瓶颈,文章期望为将来水资源管理给予新的思路与解决方案。

## 2 市政工程再生水回用工艺设计的关键技术分析

### 2.1 物理法在再生水回用中的应用

物理法在再生水回用工艺中常用,主要借助吸附沉淀物理过滤等手段清除水中的大部分有机污染物颗粒物和悬浮物,常见的物理法涵盖砂滤超滤微滤等技术,这些技术有操作简单,运行开支低等优势,以超滤技术为例,膜材料的孔径为0.1-0.2微米能有效地清除水中的悬浮固体和胶体物质,

**【作者简介】**孙莹莹(1997-),女,中国河南许昌人,本科,助理工程师,从事环境工程研究。

常用于生活污水和工业废水的预处理阶段。按现有需求来讲,物理法时常会跟化学法和生物法相互结合来运用,增强水处理的成效,比如借助超滤和反渗透相联合的工艺,不但会有效清除水中的大分子有机物,且会清除水中的溶解性污染物,参照数据超滤膜会除去大概95%的有机物,及90%的细菌与病毒达成再生水的高水质需求。

## 2.2 化学法在再生水回用中的应用

化学法于再生水回用里主要借由化学反应来剔除水中的有害之物,囊括沉淀法氧化还原法混凝及絮凝等等,常见的化学处理方法囊括加药混凝、氧化还原反应氯化消毒等,上述方法可有效地清除水中的有毒有害物质,像重金属氮磷等等,以混凝沉淀为例,像铝盐和铁盐这常用的混凝剂能将水中的悬浮颗粒有效地聚集起来,引发可沉降的絮体实现清除悬浮物和部分有机污染物的目的。实验数据说明,约80%的悬浮物及部分溶解性污染物会借助混凝沉淀能清除,化学氧化法凭借诸如臭氧氯气等氧化剂,对水中的有机物及病原微生物予以氧化因而增加水质的安全性,臭氧氧化法能杀灭水中超过90%的细菌和病毒,同时还可清除水中的有机污染物由此保证水质的稳定性。

## 2.3 生物法在再生水回用中的应用

生物法于再生水回用工艺里主要仰仗微生物的降解效能,来祛除水中的有机物和氮、磷之类的营养盐,常见的生物法囊括活性污泥法,生物膜法人工湿地等,上述方法一般会被应用于污水的二级处理阶段,尤其适用于大流量的市政污水和工业废水的处理,比如活性污泥法利用悬浮于水中的微生物群体,借由生物降解来清除水中的有机污染物与氮磷,经处理后的水质能达到再生水回用的标准。数据说明水中60%~80%的有机物,和70%~90%的氮磷可被活性污泥法清除,生物膜法则是利用微生物附着在载体表面,借助膜层内的微生物代谢降解有机物,常用于低负荷污水的处理,生物法的长处是其有处理开支低能源消耗小的特性,对水质的顺应性强适宜在长期运行过程中保持稳定的处理效果。

# 3 市政工程再生水回用工艺的水质保障措施

## 3.1 水质监测与评估方法

市政工程再生水回用的水质监测与评估十分关键,会保证水质契合回用标准并保障使用安全,常见的水质监测方法囊括物理化学和生物学检测,借助对水中悬浮固体溶解氧化学需氧量(COD),及氨氮等指标展开检测会全面评估水质的变化情况,和处理效果,比如衡量水中有机物污染的核心指标是COD,标准要求再生水的COD应少于50mg/L。数据说明先进的网上监测技术会实时获取水质数据,保证水质的稳定性与安全性,借助这些监测方法可马上找到问题,并采取改变措施以保障水质契合回用要求。

## 3.2 水质净化技术的选择与应用

水质净化技术之选择径直对再生水回用之效果,和安

全性引发影响,常见的水质净化技术囊括膜过滤技术,活性炭吸附法紫外线消毒及臭氧氧化技术等,膜过滤技术尤其是反渗透(RO)技术,可有效清除水中溶解性物质与微小污染物,反渗透系统于处理过程里可将水中超出90%的有机物细菌和病毒予以清除,达成偏高的水质需求。在不添加化学药剂的情形之下,紫外线消毒会有有效把水中的微生物予以杀灭的作用,这一种方式一般被使用于后处理的阶段,依照研究结果紫外线消毒会在把水中的大肠杆菌和其他病原微生物给清除掉,由此保证水质达到安全标准,按照具体的水源状况,把不同技术的优缺点予以结合并展开选择与组合,会更优地达成水质净化的目标,保证再生水的使用安全。

## 3.3 回用水的水质标准与安全性保障

市政工程再生水回用安全的基础是回用水的水质标准,参照国家与地方的标准规定,再生水回用需达成特定的水质指标囊括总悬浮固体(TSS)化学需氧量(COD)氨氮重金属含量及微生物指标等方面,具体来讲对回用水来说其COD得被控制在50mg/L以内,总悬浮固体得少于5mg/L氨氮浓度不得超出5mg/L。在水质安全性保障方面借助运用多级处理工艺和先进的消毒技术,能切实有效地增加水质的稳定性降低污染物和病原微生物的残留量,比如将反渗透与紫外线消毒技术联合起来应用,能在清除化学污染物期间让水中的微生物被彻底消灭,满足水质回用的安全标准。

# 4 市政工程再生水回用工艺的实施与优化

## 4.1 工艺设计中的关键环节与优化路径

市政工程再生水回用工艺的设计应从水质、流量工艺技术选择等方面展开,以保证设计方案有科学性与合理性,关键环节囊括进水预处理,深度处理及水质消毒等阶段以保障水中的污染物能被有效清除,在进水预处理的该阶段应借物理方面的方法(像是过滤之类的)和化学方面的方法(比如混凝等等),来把水中存在的大颗粒悬浮物给清除掉,由此降低以后处理所面临的负荷。随后膜技术(如反渗透、纳滤)和生物处理方法(如生物膜法),可在深度处理阶段用于清除水中的溶解性污染物,水质消毒环节需择恰当之消毒方式,像紫外线消毒抑或臭氧处理等以保水质契合安全准则。

例如:在北京市南部的某市政污水处理厂,借引入反渗透(RO)技术和生物膜法相联合的深度处理工艺,达成了再生水的高效回用,该项目对生物膜法则展开了分阶段改良设计,借助深层次清除水中的氮磷等营养盐,使清除效果达到了90%,在水质消毒环节运用紫外线消毒技术,可有力地清除水中的细菌与病毒,大肠杆菌数值降低至小于100CFU/100ml契合国家饮用水标准。借助这一系列工艺的提升与设计,该污水处理厂的再生水回用率做到了80%水质稳定,会为周边社区的园林绿化道路清洗等给予可靠的水源,项目的成功实行既大程度上有效缓解了该地区水资源紧

张的严峻问题,还借助一系列举措节约了数量可观的城市供水用水在环境与经济等多个方向均有较好收益,与长远进步的长远目标高度契合。

#### 4.2 再生水回用工艺的技术经济评价

再生水回用工艺的技术经济评价乃是保障项目可操作性与经济收益的核心所在,技术评价方面需要对处理效果,能耗运行开支等不同工艺技术展开综合评估,比如反渗透膜技术虽有相较偏高的清除率,但其能耗颇为庞大膜的更换开支较高,恰当用于对水质要求偏高的场景,经由开支收益剖析可对不同工艺技术的投资回报周期,和开支回收周期予以评估因而为项目决策给予参照。技术经济评价的目标是实现水资源的高效回用,同时保证项目的长远进步在可经受的开支范围内选择最佳的技术方案。

例如:在北京昌平区再生水回用项目中,展开了一项全面技术经济评价以保障工艺选择的合理性及项目的收益,该项目选用了生物膜法与反渗透(RO)的组合工艺,按照技术评估反渗透膜技术在清除率方面达到了98%,对水中的有机物细菌和重金属可达成有效的清除,但膜更换费用较大,反渗透系统的能耗较高适用于对水质要求偏高的回用场景。与之配合的生物膜法则在低能耗情形下可拿出持续稳定的处理成效,适用于大流量水处理项目维护费用相对较低,在经济评价方面项目前期投资达1.2亿元人民币,其中膜系统的采购和安装占总投资的45%,该项目年均运行开支达1800万元人民币,经开支收益剖析预估投资回收期为7年,开支回收期为9年。经由技术经济评价项目拣选了反渗透和生物膜法的组合工艺,达成了水质安全回用和收益的平衡,为昌平区将来水资源管理给了有力支撑。

#### 4.3 市政工程再生水回用系统的运行维护与管理

再生水回用系统的运行维护与管理对系统的长期稳定运行,和水质保障有直接影响,在设备的运行维护过程当中,务必要按期针对设备展开检查及维护工作,由此来保证设备可达成正常的运行状态,尤其是关键设备如膜设备泵浦系统管道等,需要展开定期清洗和更换因而防止故障。在管理领域需建立完备的水质监测与数据采集体系,凭借实时监控水质的动态变化保证回用水契合安全标准,综合来看优良的管理体系和运行维护会延长设备服务年限,提高再生水回用的稳定性与安全性保障水资源可持续利用。

例如:在广州市黄埔区再生水回用项目中,再生水回用

项目的长期稳定性与水质保障受到运行维护与管理体的核心作用,该项目再生水回用系统借助反渗透膜技术和紫外线消毒技术的组合得来做到,其设备的正常运行取决于对膜设备泵浦系统管道等关键设备的定期检查与维护,具体来说反渗透膜系统需每隔半年展开一次清洗及更换,而泵浦系统同样需要定期予以检查以保障其无故障运行。水质监测系统是借助实时数据采集来做到的,它能对回用水中的大肠杆菌数值COD等关键水质指标展开监控,因而保证水质始终契合回用标准,在管理方面,此项目建立了详尽的操作手册与应急预案定期向操作人员展开培训以增进水质把控,设备维护和应急响应的能力,另系统的灵活性能体现,借助智能操控系统能依照水质波动和负荷变化自动改变操作参数,保证高效运行。借助提升管理和维护体系,不但延长了设备的服务年限且保障了回用水的稳定性与安全性,为黄埔区水资源可持续利用给出了有力支持。

## 5 结语

在市政工程再生水回用工艺的研究中,水质保障措施起到了极为重要的作用,借助恰当的水处理技术选择并结合实际的水质需求,高效的水资源回用得来做到,水资源紧张问题得到缓解,在工艺设计的流程当中务必要对清除率能耗及处理效果等相关因素展开综合性的考量,针对每一个环节予以提升,由此来保障水质的安全性及系统能稳定地运行。伴随技术的持续进步,未来市政工程再生水回用系统会愈发高效环保经济可行,另水质监测与消毒技术持续进步,增强了水质保障能力为城市的可持续进步给了强有力的支撑,凭借持续不断的创新及改进举措,市政再生水回用工艺必然会在水资源管理及环保领域施展更关键的效用。

## 参考文献

- [1] 张艳辉,王洋,姚左钢,纪海霞,李张卿.东莞市某污水处理厂再生水回用难点分析[J].市政技术,2023,41(05):183-187.
- [2] 张国珍,孙加辉,武福平.再生水回用的研究现状综述[J].净水技术,2018,37(12):40-45.
- [3] 王海霞.污水处理及再生水回用项目研究[J].科技创新与应用,2017,(12):178.
- [4] 本刊编辑部.北京市市政工程设计研究总院春风起处杏花红[J].中国勘察设计,2011,(06):17-20.
- [5] 刘玉红,王治荣.再生水回用之水源热泵系统的技术经济分析[J].建设机械技术与管理,2011,24(02):125-127.

# Selection and Effect Verification of VOCs End-of-pipe Treatment Technology in Practical Application

Wenwen Shi

Henan Jinqiu Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

With the increasing severity of the impact of VOCs (volatile organic compounds) on the environment and human health, how to efficiently and economically manage VOCs has become an important issue in the field of environmental protection. End-of-pipe treatment technologies, as key methods for VOCs management, have been widely applied across various industries. This paper focuses on the principles of technology selection and the actual application effectiveness of VOCs end-of-pipe treatment technologies. It analyzes common end-of-pipe treatment methods, including adsorption, catalytic oxidation, and condensation, based on the characteristics of different types of VOCs pollution sources. The results show that reasonable technology selection can significantly improve VOCs treatment efficiency and reduce treatment costs, providing scientific decision-making basis for related enterprises and governments, and offering theoretical and practical references for the optimization and promotion of VOCs end-of-pipe treatment technologies.

## Keywords

VOCs; end-of-pipe treatment; technology selection; effectiveness verification; environmental protection

# VOCs 末端治理技术在实际应用中的选型与效果验证研究

时文文

河南金秋环保技术咨询有限公司, 中国·河南郑州 450000

## 摘要

随着VOCs(挥发性有机化合物)对环境和健康影响的日益严重,如何高效、经济地治理VOCs成为了环境保护领域的重要课题。末端治理技术作为VOCs治理的关键手段,已经在各行各业得到了广泛应用。本文重点研究了VOCs末端治理技术的选型原则与实际应用效果,结合不同类型VOCs污染源的特点,分析了常见的末端治理技术,包括吸附法、催化氧化法、冷凝法等。结果表明,合理的技术选型能够显著提高VOCs治理效果,降低治理成本,为相关企业和政府提供科学的决策依据,为VOCs末端治理技术的优化与推广提供了理论基础和实践参考。

## 关键词

VOCs; 末端治理; 技术选型; 效果验证; 环境保护

## 1 引言

挥发性有机化合物(VOCs)广泛存在于工业、交通、建筑等领域,对空气质量和人体健康造成了严重威胁。VOCs不仅是空气污染的重要来源,也是形成臭氧和细颗粒物的前体物质,具有较强的环境污染性。因此,如何有效治理VOCs成为了全球环境治理的关键问题之一。末端治理技术作为应对VOCs排放的有效手段,在实际应用中得到广泛关注。不同的VOCs污染源具有不同的排放特性,因此选用合适的治理技术至关重要,所以各学者应探讨VOCs末端治理技术的选型原则与实际应用中的效果验证,进一步为VOCs治理提供科学依据。

## 2 VOCs 治理技术概述

VOCs(挥发性有机化合物)是指在常温下容易挥发并形成气体的有机化合物,广泛存在于多种工业生产、生活消费品和自然源中。这些化合物具有较低的沸点,能够在常温下迅速挥发到空气中,对环境和人类健康产生不良影响。VOCs的来源主要包括工业排放、汽车尾气、建筑材料、清洁剂、涂料以及燃料的使用等。工业领域如石化、化学制造及制药行业是VOCs的重要排放源。此外,日常生活中的清洁剂、香水和一些家庭用品中也含有大量VOCs,这些物质挥发到空气中,增加了室内外空气污染的浓度。自然源如植物和土壤的有机物质也会释放一定量的VOCs,但相较于人为源,这部分排放量较小。VOCs不仅造成空气污染,还能通过化学反应生成臭氧、细颗粒物等二次污染物,进而影响人体健康,导致呼吸系统疾病、过敏反应等问题<sup>[1]</sup>。

【作者简介】时文文(1992-),女,中国河南周口人,本科,助理工程师,从事环境工程研究。

### 3 VOCs 末端治理技术选型原则分析

VOCs 末端治理技术的选型依据主要包括污染物特性、废气的浓度、治理成本、运行稳定性以及环境标准等多个因素。污染物的种类和化学性质直接影响治理技术的选择。例如,若 VOCs 中含有较多的苯类、醇类或酮类化合物,选择适当的氧化或催化技术能够实现高效处理。废气的浓度也是选型的关键因素,对于低浓度、气量大的废气,采用吸附法较为合适,而对于高浓度的废气,则常采用催化燃烧法。治理成本是另一个重要的选型因素,既包括初期建设投资,也包括后期的运行与维护费用。不同的治理技术在处理过程中所需的能源、材料、设备等方面的开销存在差异,经济性和能效比是选型时的必须考量。运行稳定性和可靠性也是选型的重要依据,技术的稳定性直接影响治理效果的持续性和企业的长期运营<sup>[2]</sup>。此外,随着环境政策和排放标准的日益严格,符合环保要求的技术成为企业必须选择的优先项。

### 4 VOCs 末端治理技术的应用案例分析

#### 4.1 工业领域应用案例

本文选取了广东省深圳市的几家典型企业进行 VOCs 治理技术应用案例分析。首先,东芝泰格信息系统(深圳)有限公司实施的 VOCs 治理工程是一个具有代表性的末端治理案例。该企业根据《广东省 VOCs 重点监管企业综合整治实施情况评审技术指南》等要求,针对车间内含有有机溶剂的 VOCs 废气建立了废气收集与末端处理系统。该公司采用了活性炭吸附装置联用技术,通过车间密闭+集气罩或通风橱的方式收集废气,活性炭吸附床将废气净化处理后,最终通过高空排放满足排放标准。监测数据显示,VOCs 去除效率达到 85%–95%,且排放浓度稳定控制在广东省地方标准规定的限值以下。活性炭的碘值不低于 800 毫克/克,并按周期更换,确保了吸附效率和连续治理效果。该企业还建立了废气在线监控系统,为治理效果验证与持续优化提供了数据支持。

#### 4.2 城市空气污染治理应用案例

在深圳市的 VOCs 治理过程中,东芝泰格信息系统(深圳)有限公司的治理工程是一个典型的工业源 VOCs 治理案例。深圳市近年来积极推动工业源 VOCs 减排措施,通过重点监管企业建设在线监测系统、末端治理设施及密闭废气收集体系等手段,有效地控制了工业排放对城市空气质量的影响。根据深圳市环境主管部门发布的环境质量提升报告,推广 VOCs 末端治理技术后,市内工业源 VOCs 的平均排放浓度减少了 30% 至 50%。特别是在东芝泰格公司,通过采用活性炭吸附技术处理后,废气的 VOCs 浓度稳定控制在  $^{**}<100$  毫克/立方米 $^{**}$ ,远低于一般工业区的 TVOC 排放标准。

在深圳某涂料厂的 VOCs 治理工程中,采用了冷凝法,该厂通过冷却废气使其中的 VOCs 凝结成液态,回收后再

利用。冷凝法特别适用于低浓度、大风量的废气处理,该厂通过这一技术大幅降低了 VOCs 的排放浓度,并实现了溶剂的循环利用。监测数据显示,该厂治理后 VOCs 浓度降低至 30 毫克/立方米以下,符合地方排放标准。

#### 4.3 不同行业 VOCs 治理的技术选型与效果对比

在 VOCs 末端治理技术的选型过程中,不同的工艺技术根据废气的特性、浓度、组成以及行业需求表现出不同的优缺点,因此选择适合的治理技术非常关键。不同的工艺技术不仅影响 VOCs 的去除效率,还关系到治理成本和设备投资。以下将根据不同行业的废气特征,列举不同 VOCs 治理技术的适用领域、去除效率、成本等方面的对比分析。

①活性炭吸附法。活性炭吸附技术是一种常见且高效的 VOCs 末端治理技术,广泛应用于电子制造、信息系统生产、包装印刷、日用化学品等行业。这些行业的废气排放浓度较低,且大多含有易吸附的有机溶剂成分。该技术的主要优点是设备投资较低,适用于低浓度到中等浓度的 VOCs 废气,且去除效率通常可以达到 85%–95%。活性炭作为吸附介质,其碘值通常不低于 800 毫克/克,可以有效吸附废气中的 VOCs,处理过程相对简单,维护要求较低。然而,活性炭的更换频率较高,因此需要定期更换或再生,这可能会增加运营成本。

②催化燃烧法。催化燃烧技术主要适用于化工、涂装、油漆、制药等行业,这些行业的废气通常含有较高浓度的 VOCs,且有些有害物质可能具有较强的氧化性或易燃性。催化燃烧法通过高温催化剂床加热废气,将其中的 VOCs 彻底转化为二氧化碳和水,去除效率通常可以达到 95% 以上。该方法不仅能处理高浓度 VOCs 废气,还能减少二次污染,具有较高的安全性。与其他处理方法相比,催化燃烧法的处理速度较快,适用于高浓度、复杂废气的快速处理。然而,催化燃烧技术的主要缺点是能耗较大,需要较高的能源输入,同时催化剂的更换和维护成本较高,设备投资也相对较大。因此,虽然该技术适用于高浓度废气的高效治理,但其高能耗和高运营成本需要特别注意。

③冷凝法。冷凝法是一种物理处理技术,适用于低浓度、低温废气的治理,特别适用于食品加工、日用化学品等行业的 VOCs 废气。该方法通过降低废气温度,使 VOCs 物质凝结成液态,从而达到去除的目的。冷凝法的去除效率通常为 70%–80%,且能够回收废气中的有机溶剂,具有较高的资源回收率。这一技术的优势在于能效较高,能有效回收溶剂,降低废气处理成本。然而,冷凝法的初期设备投资较大,且只能处理低浓度、低温的废气,无法适应高浓度或高温废气的处理需求。

④吸附-冷凝组合工艺。吸附-冷凝组合工艺适用于印刷、包装、制药等行业的大风量、低浓度 VOCs 废气。该工艺通过结合吸附与冷凝的技术优势,能够处理大风量、低浓度的废气,去除效率通常可以达到 80%–90%。这种组合

工艺首先通过吸附技术减少 VOCs 的浓度，然后通过冷凝法进一步回收有机溶剂。其主要优点是能够处理大风量废气，且能高效降低 VOCs 的排放浓度。该技术的适用范围广，可以应对不同浓度和不同特性的废气，且设备投资适中，维护成本较低。

⑤综合选择与技术优化。在实际应用中，选择适合的 VOCs 治理技术需要综合考虑废气的浓度、组成、风量、行业需求及经济性等因素。对于低浓度废气，活性炭吸附法和冷凝法是比较经济的选择；对于高浓度废气，催化燃烧法能够提供更高的去除效率，但需要注意其高能耗和设备维护成本；对于大风量低浓度废气，吸附-冷凝组合工艺能够实现较稳定的去除效率，并在多个行业中取得了良好效果。通过合理选择技术，结合废气的特性，能够在确保治理效果的同时，降低企业的运营成本<sup>[3]</sup>。

## 5 VOCs 末端治理技术效果验证方法

### 5.1 效果评估指标体系的建立

在验证东芝泰格信息系统（深圳）有限公司 VOCs 末端治理效果时，需建立完善的效果评估指标体系。评估指标体系通常覆盖治理前后的 VOCs 排放浓度变化、去除效率、排放达标率、能耗水平与运行稳定性等核心指标。VOCs 去除效率指标定义为治理前后 TVOC 或 NMHC 浓度差异的比例，其计算公式为（处理前浓度-处理后浓度）/处理前浓度 × 100%，在该企业治理工程中，该指标多次监测结果表明去除效率稳定保持在 85%-95% 范围内。排放达标率则是判断治理设施是否持续满足国家或地方排放标准的重要依据，常用单位为毫克/立方米。处理后 VOCs 排放值低于广东省地方标准限值，即视为达标。能耗水平以单位废气处理量的能耗（千瓦时/万立方米）衡量，用于评估治理设施经济性。运行稳定性指标主要通过运行日志、故障频率和连续达标情况分析治理设施的可靠性。通过多维度指标构建的评估体系，可以全面反映治理措施在长期运行中的综合表现，并为治理方案优化提供科学依据。综合运用上述指标体系确保治理效果验证的质量和完整性。

### 5.2 常见的效果验证方法

在验证该企业 VOCs 治理效果时，可采用现场采样与在线监测相结合的技术路线。现场采样采用恒定流量采样器从废气入口与出口分别采集样品，使用气相色谱-质谱联用仪（GCMS）或热脱附气相色谱仪分析 VOCs 成分及浓度。在线监测系统安装在治理设施入口和出口，可持续记录 VOCs 浓度变化及废气流量数据，常用设备包括非甲烷总烃（NMHC）分析仪与红外在线分析仪。这一组合方法可以兼顾高精度实验室分析与动态在线监测，为治理效果提供实时数据支持。现场采样结合实验室分析的数据用于计算瞬时

去除效率，而在线监测数据则可以反映治理设施在不同工况下的连续达标情况<sup>[4]</sup>。通过双渠道验证方法结合，可确保效果验证数据准确无误，并为治理措施的调整与优化提供实时参考。

### 5.3 效果验证中的数据收集与分析

在 VOCs 治理效果验证过程中，应系统收集和整理治理设施全过程运行数据，包括废气流量、温度、压力、治理前后 VOCs 浓度、在线监测实时数据与设备运行日志等信息。这些数据采集宜通过数字化信息系统自动记录，以保证数据的连续性和完整性。在分析阶段，首先对数据进行校对与去噪处理，包括删除异常值和时间对齐。随后采用统计分析方法，通过时间序列对比评估治理前后的 VOCs 去除率及排放趋势变化。多变量分析方法辅助识别影响治理效果的关键因素，如吸附剂饱和周期与处理效率的关系。综合分析结果应用于效果评价报告，为治理设施的运行优化、技术升级和长期管理提供决策支持依据，确保治理措施持续发挥预期的污染控制效果。

## 6 结语

VOCs 末端治理技术在工业废气处理中的应用越来越广泛，随着环保要求的不断提高，如何选择合适的治理技术成为各企业面临的重要课题。通过对不同治理技术的分析，可以看出，不同技术各有优缺点，合理的技术选型需结合废气特性、治理效率、经济性及环境影响等因素进行综合考量。吸附法、催化燃烧法、冷凝法和生物法等各类技术在实际应用中的效果验证，展示了它们在不同场景中的独特优势。随着技术的不断进步和工艺的优化，未来 VOCs 治理技术的效率和经济性有望进一步提升。企业在实施 VOCs 治理的同时，不仅要关注治理效果，还应考虑长期的运行成本和资源利用率。未来，VOCs 治理技术的不断创新和政策支持将为环境保护提供更加坚实的技术保障，推动绿色环保发展迈向新高度。

### 参考文献

- [1] 范文卿. 轮胎制造过程中挥发性有机化合物（VOCs）排放特征及末端治理技术优化研究[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025, (11): 75-77.
- [2] 庞广涛. 工业区地下水污染源头控制与末端治理技术集成研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(12): 103-105.
- [3] 王刚. 挥发性有机化合物（VOCs）排放的控制与治理技术[J]. 应用能源技术, 2025, (05): 70-72.
- [4] 张浩, 李青. 工业废气 VOCs 排放特征分析及高效净化技术研究[J]. 中国战略新兴产业, 2025, (14): 96-99.
- [5] 汪易坤. 城市大气环境中 VOCs 污染特征及综合治理技术研究[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(04): 166-170.

# Research and Application of Organic Waste Gas Treatment Technology in Coating Industry

Wenjing Shi

Henan Jinqiu Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

With the rapid development of the coating industry, the issue of organic waste gas emissions has become increasingly serious, becoming a major source of environmental pollution. Organic volatile compounds (VOCs) in the coating process not only pollute air quality but also pose potential threats to human health. To address this issue, researchers and companies have gradually explored and applied various waste gas treatment technologies, including physical adsorption, biofiltration, catalytic combustion, and photocatalytic oxidation. This paper reviews the background and hazards of organic waste gas generation in the coating industry, as well as the existing waste gas treatment technologies. It analyzes the application status and effectiveness of each technology and discusses the directions for innovation and optimization in waste gas treatment. Through case analysis, the paper demonstrates the application effects of these technologies in actual production, providing practical experience and technical support for environmental protection work in the coating industry.

## Keywords

coating industry; organic waste gas; VOCs; waste gas treatment technology; environmental pollution

## 涂装行业有机废气处理技术的研究与应用

石文静

河南金秋环保技术咨询有限公司, 中国·河南郑州 450000

## 摘要

伴随涂装行业的迅猛进步,有机废气的排放问题变得愈发严峻,已然成为生态污染的核心源头,涂装过程中的有机挥发性物质(VOCs)不但会污染空气质量,且还会对人体健康出现隐藏危害,为应对这一问题,研究者和企业渐渐探索和使用涵盖物理吸附生物过滤催化燃烧及光催化氧化等几种废气处理技术。本文就涂装行业有机废气出现之背景危害和现存之废气处理技术予以综述,剖析了各技术之应用现况与成效,另剖析了废气治理中的创新及提升趋向,这些技术在生产中的使用效果借助案例分析有了展示,为涂装行业的环保工作提供了应用经验和技術援助。

## 关键词

涂装行业; 有机废气; VOCs; 废气处理技术; 环境污染

## 1 引言

涂装行业乃是现代制造业里极为关键且重要的构成部分,在汽车家电机械等产品的表面处理方面有了广泛的使用,但涂装过程中不可防止地会出现众多挥发性有机化合物(VOCs)和其他有害物质,这些废气不但对空气质量引发污染,且还可能对周围居民及工人健康构成威胁。伴随环保法规的日趋严苛,废气治理已然成为行业的核心议题之一,为此涂装行业急需探寻高效且有长远性的废气处置技术,本文将从危害与来源着手,有机废气回顾发展的现状,涂装行业废气处理技术剖析,各类技术的使用和挑战研讨提升及创新路径,借助对现有研究和案例的归纳,为涂装行

业的废气治理给出参考与参照,推动绿色涂装技术的深层次进步。

## 2 涂装行业有机废气产生的背景与危害

### 2.1 涂装行业概况及废气来源

涂装行业是现代制造业的核心环节之一,在汽车家电、电子机械等多个行业中有广泛的使用,涂装过程内频繁运用溶剂油漆涂料等化学物质,这类材料于挥发过程当中,会释放出巨量有机废气尤其是挥发性有机化合物(VOCs),这些废气主要来自于涂料的蒸发喷涂操作和固化过程中溶剂挥发等因素。伴随涂装行业不断地扩张及生产规模的慢慢增大,废气的排放量也开始渐渐增多,被当做工业污染当中的主要来源之一,故涂装行业的有机废气的有效处理,已然成为环保领域的重要课题。

【作者简介】石文静(1996-),女,中国河南开封人,本科,助理工程师,从事环境工程研究。

## 2.2 有机废气的种类与特征

涂装行业的有机废气主要由挥发性有机化合物(VOCs)构成,其中含有醇类、酮类、酯类芳香烃等几种物质,按照涂料的不同成分,废气种类也有一些变化,VOCs有挥发性和毒性,这些特性让这些废气有强烈的刺激性气味且更容易扩散,因大气中一些有机废气的分子结构复杂,会引发臭氧和酸雨进而加重生态污染。VOCs的挥发性高和沸点低,致使它们在常温状况下就更容易蒸发变成大气污染的核心来源。

## 3 涂装行业有机废气处理技术的现状

### 3.1 常见废气处理技术概述

涂装行业有机废气的处理技术涵盖物理吸附法、化学吸附法、催化燃烧法、生物处理法及光催化氧化法等,物理吸附法时常运用活性炭之类的材料来吸附有害气体,适宜低浓度的VOCs废气,化学吸附法凭借化学反应把有害物质转变成无害物质,时常用于处置高浓度废气,催化燃烧法利用催化剂降低燃烧温度,把有机废气完全氧化成二氧化碳和水是一种高效的废气处理办法。生物处理法则借微生物的降解效能,实现废气内有机物质的转化属于绿色环保型的废气处理技术,光催化氧化法则凭借紫外线对催化剂予以照射,推动废气分子的降解过程有优良的处理成效。

### 3.2 国内外涂装行业废气处理技术的发展现状

在国内伴随生态保护要求的增加,涂装行业的废气治理技术获大量应用,传统的物理吸附与化学吸附技术依旧是主要的处理办法,但伴随技术的进步,催化燃烧法和生物处理法慢慢在大规模涂装生产里获得使用,在国外废气处理技术于涂装行业中相较来讲比较成熟,很多企业运用几种技术联合使用的形式来开展废气治理。比如涂装企业在欧洲和美国一般选用光催化氧化技术与催化燃烧法相联合的手段,在增加处理效率之时降低能耗与排放,另国外涂装行业的废气处理过程中,一些创新的绿色技术像臭氧氧化法和低温等离子体技术也获得了应用。

### 3.3 废气治理技术的适用性与局限性分析

有区别的废气处理技术在涂装行业的应用中各自有优缺点,物理吸附法是一种适用于处理低浓度VOCs废气的方法,但该方法仍有局限性,其中之一是吸附剂的服务年限较短,这意指需要定期更换吸附剂,因而增加了处理开支,化学吸附法虽处理效率高,但对高浓度有机废气之处理能力颇为有限且或许会引发二次污染。催化燃烧法在处理高浓度有机废气时有偏高的效率,但针对低浓度废气的处理成效欠佳设备投资数较大,生物处理法当做一种环保技术虽有强的处理能力,但对温湿度要求颇高,故依照废气成分浓度排放要求及经济条件展开综合评估,需选择恰当的废气治理技术。

## 4 涂装行业有机废气处理技术的应用案例分析

### 4.1 低温等离子体技术的应用

低温等离子体技术系一种新兴的废气治理技术,在常温或低温环境下生成等离子体,借其强大的氧化还原能力分解废气中的有机污染物,某汽车涂装厂选用低温等离子体技术,来处理喷漆车间的有机废气,该厂每小时能处理10000m<sup>3</sup>的废气,其废气里VOCs的浓度为300mg/m<sup>3</sup>。在低温等离子体设备运行之时,废气里的有机物分子经由等离子体的效用被拆解成水与二氧化碳,VOCs浓度于处理后降至40mg/m<sup>3</sup>,废气的清除效率达成了85%,该技术有在常温或低温情形下运作的长处,规避了高温催化反应对设备的高能耗需求,且会切实处置几种有机废气囊括苯类酮类等,需补充的是在一些情况下因等离子体的出现需要消耗电能,所以整体的能耗可能较高。

例如:济南重汽集团有限公司选用了低温等离子体治理技术,来对车间有机废气展开净化因而提高喷漆产线的尾气处理效果,据项目设计该企业涂装车间废气平均处理风量达到130m<sup>3</sup>/h,其中喷漆工序带来的VOCs浓度约320mg/m<sup>3</sup>烘干工序带来的VOCs浓度约320mg/m<sup>3</sup>。在治理系统中低温等离子体单元被当作末端净化模块,与前端废气预处理及催化氧化单元共同使用,主要借高能电子激发和自由基氧化等物理化学过程,达成对废气中挥发性有机物的降解,现场监测数据说明经低温等离子体模块处置的VOCs浓度平稳降低至50mg/m<sup>3</sup>以下,整个系统的VOCs清除效率超85%,大增长尾气排放质量并契合当地环保排放标准要求。在项目运作过程中该技术呈现针对苯类、烷烃类等诸多VOCs成分的适配性,于生产状况下运转平稳,此案例成为国内涂装领域复合等离子体治理技术应用的核心参照实例。

### 4.2 臭氧氧化技术的应用

臭氧氧化技术乃是一种颇为高效的废气治理手段,凭借臭氧所有的强氧化性来对废气里的有机污染物予以氧化分解,某涂装企业为治理其喷涂过程中排放的VOCs废气,选用了臭氧氧化技术,该企业废气处理装置的处理能力是15000立方米每小时,废气当中的VOCs浓度为400毫克每立方米。在臭氧氧化的过程当中,废气借由和臭氧出现反应,VOCs里的有害分子被氧化成无害的二氧化碳与水,处理后的VOCs浓度下降至50mg/m<sup>3</sup>,废气清除效率达成了92%,臭氧氧化技术可高效清除苯甲、苯二甲等有机物,对一些特定的有机污染物如醛类和芳香烃效果极为显著,虽臭氧氧化技术有不错的处理效果,但也尚有着缺陷。臭氧的浓度得要严格把控,如臭氧的浓度太过高,或许会引发臭氧二次污染给环境带来影响,需补充的是众多电能是臭氧生成所必需的,故而设备的运行开支颇高。

例如:广东景中景工业涂装设备有限公司针对其大型

汽车涂装生产线的有机废气治理工程,引入了低温等离子体净化技术来展开末端处理,该公司针对 VOCs 废气配备了一套治理系统,该废气由车间喷漆和前处理出现,系统设计处理风量约为 15000m<sup>3</sup>/h,且选用低温等离子体和其他净化单元复合的手段。在实际运行过程当中针对进入到等离子体反应器的废气予以电离激发,让其中的有机污染物分子出现断键裂解的状况凭借所带来的高能电子及自由基推动有机物深层次氧化分解,监测数据说明该系统运行后在进入净化装置前,VOCs 浓度大概为 420 mg/m<sup>3</sup>经低温等离子体反应器处理后废气中 VOCs 浓度降低到约 55 mg/m<sup>3</sup>整体清除效率达到约 87% 废气排放稳定达到当地环保部门规定的排放标准要求。该技术在多个涂装产线废气治理装备的景中景里实行了工程化应用实践,降低了喷漆过程中释放的苯系物酯类和酮类等有机污染物,达成了颇高的净化成效和生产现场达标排放,景中景长期专注于工业涂装及 VOC 治理设备研发,在产业内引发了稍稍精进的的设备产品线,囊括低温等离子体、RTO、UV 光氧及吸附类装备等,可为涂装企业给出体系化的废气治理方案。

#### 4.3 分子筛吸附技术的应用

分子筛吸附技术利用分子筛材料特有的孔径结构和表面性质,能高效吸附废气里的有机分子,某涂装企业针对车间排放的 VOCs 废气,运用分子筛吸附技术予以处理,该厂的废气处理装置有 12000m<sup>3</sup>/h 的处理能力,其中废气内 VOCs 的浓度为 250mg/m<sup>3</sup>,选用分子筛吸附后 VOCs 浓度降低至 25mg/m<sup>3</sup>,清除效率达至 90%。分子筛材料有偏高的选择性与吸附容量,会高效地吸附各类有机物尤其是在处理低浓度 VOCs 废气方面有显著优势,分子筛吸附技术不但处理效率较高,吸附剂的再生流程相较简易能切实降低运行开支,在该企业的使用中分子筛吸附系统,以定期再生吸附剂的手段会保证废气处理设备的长期稳定运行。但分子筛吸附技术也仍有限制,先分子筛材料的吸附容量是有限的,在处理高浓度 VOCs 废气时吸附剂需要频繁更换或再生因而增加了维护开支。

例如:青岛中集特种冷藏设备有限公司在其工业涂装车间有机废气治理项目里运用了“沸石转轮吸附/浓缩+RTO”系统,该系统的核心是凭借分子筛吸附技术,针对低浓度大风量 VOCs 废气实行高效吸附与浓缩处理,青岛中集特装涂装生产线废气处理设计处理风量 14000m<sup>3</sup>/h,喷涂烘干及冷却等工序排放 VOCs 原始浓度约 280mg/m<sup>3</sup>。在进入 RTO(再生式热氧化炉)装置前废气先经沸石分子筛转轮吸附区展开浓缩与吸附,让大风量低浓度废气高效吸附于转轮分子筛表面,经高温脱附后引发高浓度小风量废气进入 RTO 展开深度氧化处理,现场监测数据说明吸附后浓缩废气的 VOCs 浓度能增加至约 1500mg/m<sup>3</sup>,而后进入 RTO 在

整体系统运行过程中尾气排放的 VOCs 稳定降低至 30mg/m<sup>3</sup>以下满足国家及地方排放标准的要求。该分子筛吸附系统持续工作靠周期性吸附-脱附循环来达成,大大降低了 RTO 运行能耗增长整体废气治理效率,还借助定期高温热风再生延长吸附材料寿命削减了维护开支。

#### 4.4 光电催化技术的应用

光电催化技术是一种废气处理方法,它结合了光催化和电催化两种作用机制,这一种方法借助用紫外光或可见光照射催化剂,在催化剂的作用下分解废气中的有机污染物,某涂装厂选用了光电催化技术来处理车间的 VOCs 废气,该厂的废气处理装置处理能力为每小时 8000 立方米,废气中 VOCs 的浓度为每立方米 350 毫克。借助光电催化系统的作用,废气中的有机物质在紫外光照射下被催化降解,VOCs 浓度在处理后至 60mg/m<sup>3</sup>清除效率为 83%,光电催化技术的优势是它会高效地处理复杂废气,有分解几种有机污染物的能力尤其是对苯类醛类等有机物的降解效果显著,与传统的催化燃烧技术较之来说,光电催化技术会达成常温状态下的高效处理,降低了能耗。但工业化使用的过渡阶段位于实验室的光电催化技术,虽有进步潜力但设备投入较高且对废气的预处理要求稍稍严格,也是技术使用中的一个关键因素服务年限是催化剂。

### 5 结语

涂装行业的有机废气处理技术在生态保护方面所起到的作用是不能被忽略的,伴随环保法规渐趋严格和技术的持续进步,涂装企业于废气治理领域持续创新并提升,推动了行业的绿色进步,从催化燃烧技术到物理吸附法,接着到智能化操控系统的应用,这类技术的持续改进不但增长废气处理效率,还为企业节省了开支减少了排放。未来伴随新型材料的研发,和废气处理工艺的持续提升,涂装行业在达成环保目标之时会推动可持续进步,借助绿色制造理念与技术更新的结合,涂装行业有望在生态保护和收益获得更好的平衡,为全球生态体系的改良贡献力量。

#### 参考文献

- [1] 林涛,黄鹏,赵剑,尚龙飞,刘天力,魏玉龙.汽车涂装车间绿色低碳解决方案研究[J].工业炉,2025,47(06):57-59+65.
- [2] 庞加杰,纪亮,韩洪琦,赵磊,王开锋.汽车涂装VOC废气处理环保设施与常见问题解决探析[J].中国设备工程,2025,(15):91-93.
- [3] 沈吉义.涂装车间废气处理设备运行状态在线监测方法[J].今日制造与升级,2025,(07):185-188.
- [4] 栾子坤,郭大勇,孙立刚,李青.车辆底盘涂装车间废气处理设计关键点研究[J].农业装备与车辆工程,2025,63(07):71-75.
- [5] 谢珉.喷淋塔在汽车行业涂装臭气治理中的应用[J].汽车与新动力,2024,7(06):79-81.

# Application of A2/O Process in Urban Domestic Sewage Treatment Plant and Improvement of Denitrification Efficiency

Shuhua Pei

Henan Jinqiu Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

With the acceleration of urbanization, the pressure on urban domestic sewage treatment has been increasingly severe. As an efficient biological nitrogen removal process, the A2/O process has been widely applied in urban domestic sewage treatment plants, particularly demonstrating significant advantages in nitrogen removal efficiency. This paper systematically analyzes the basic principles and characteristics of the A2/O process, and discusses its application in nitrogen removal treatment in the context of the actual needs of urban domestic sewage treatment plants. By analyzing case studies of A2/O process applications in different sewage treatment plants, this paper further proposes strategies to enhance nitrogen removal efficiency, including optimizing process parameters and introducing innovative technologies. The A2/O process has considerable potential in improving nitrogen removal efficiency and reducing operational costs. The paper concludes with an outlook on the future development of the A2/O process, providing technical support and decision-making references for urban sewage treatment plants.

## Keywords

A2/O process; urban domestic sewage; nitrogen removal efficiency; sewage treatment; optimization technology

## A2/O 工艺在城镇生活污水处理厂的应用及脱氮效率提升研究

裴淑花

河南金秋环保技术咨询有限公司, 中国·河南郑州 450000

## 摘要

随着城镇化进程的加快, 城镇生活污水厂面临着日益严峻的压力。A2/O工艺作为一种高效的生物脱氮工艺, 已广泛应用于城镇生活污水处理厂中, 尤其在脱氮效率方面展现出显著优势。本文系统分析了A2/O工艺的基本原理与特点, 并结合城镇生活污水处理厂的实际需求, 探讨了其在脱氮处理中的应用现状。通过对A2/O工艺在不同污水处理厂中的应用案例进行分析, 本文进一步提出了提升脱氮效率的策略, 包括优化工艺参数和引入创新技术, A2/O工艺在提高脱氮效率、降低运行成本方面具有较大的潜力。文章最后对A2/O工艺的未来发展方向进行了展望, 为城镇污水处理厂提供了技术支持和决策依据。

## 关键词

A2/O工艺; 城镇生活污水; 脱氮效率; 污水处理; 优化技术

## 1 引言

城镇生活污水的处理一直是水环境管理中的重要课题, 尤其是随着生活水平的提高和工业化进程的加速, 污水中的氮磷污染日益严重。氮污染不仅会导致水体富营养化, 还会破坏生态平衡, 严重影响水质安全。传统的污水处理工艺在脱氮方面面临一定的瓶颈, 因此, 寻找高效的脱氮技术成为了污水处理厂的迫切需求。A2/O工艺, 作为一种成熟的生物脱氮技术, 通过合理的水力负荷和微生物群落的协调作用, 有效地去除了水中的氮污染, 得到了广泛的应用。然而,

在实际应用中, A2/O工艺的脱氮效率受多种因素的影响, 如何进一步提高其脱氮效率, 成为了研究的热点。本文将对A2/O工艺的基本原理、应用现状及其脱氮效率提升策略进行深入分析, 以为城镇生活污水处理厂的技术改进与优化提供理论依据和实践参考。

## 2 城镇生活污水处理厂的现状与需求

### 2.1 城镇生活污水处理厂的基本功能与作用

城镇生活污水处理厂的核心功能是通过物理、化学和生物手段, 去除污水中的污染物, 保障水环境质量, 满足排放标准。处理厂的作用不仅限于清洁污水, 还承担着对水资源的再利用责任。随着城镇化进程的不断加快, 城镇生活污水处理厂在水质净化、资源回收以及环境保护方面扮演着至

【作者简介】裴淑花(1997-), 女, 中国河南洛阳人, 本科, 助理工程师, 从事资源环境科学研究。

关重要的角色。污水处理厂利用多种工艺手段,如初级沉淀、二级生物处理及深度处理等,去除污水中的悬浮物、氮磷等污染物。处理后的水体能达到排放标准,减少对周围水体的污染。此外,随着污水处理技术的进步,部分处理厂还在进行污泥处置、垃圾处理及能源回收等综合利用,以实现污水处理资源化、无害化。

## 2.2 脱氮处理在城镇生活污水处理中的重要性

脱氮处理是城镇生活污水处理的重要组成部分,主要目的是减少水体中的氮污染,防止水体富营养化,保障水资源的可持续利用。氮化合物,尤其是氨氮和总氮,是水体污染的重要源头之一。过量的氮污染物进入水体后,会导致水体富营养化,造成藻类过度生长,进而引发水质恶化、鱼类死亡等生态问题,甚至影响饮用水安全。因此,脱氮技术在污水处理过程中具有至关重要的作用。当前,许多城镇污水处理厂的脱氮效果仍不理想,导致氮污染无法有效去除,严重影响水体环境质量。有效的脱氮技术不仅能够帮助处理厂满足排放标准,降低环境污染,还能够促进污水的回用和资源化利用。随着环境保护要求的提高和水资源管理的日益严格,脱氮处理在污水处理中的重要性愈加突出<sup>[1]</sup>。

## 3 A2/O 工艺的基本原理与特点

### 3.1 A2/O 工艺的工作原理与流程

A2/O 工艺是一种经典的污水生物脱氮除磷工艺,主要通过厌氧、缺氧和好氧三种环境的交替作用,实现氮磷的去除。其工作原理分为三个主要阶段:首先,在厌氧区,污水中的有机物被硝酸盐还原为氮气,同时,磷酸盐被活性污泥吸附并暂时积累;然后,污水进入缺氧区,在该区内,微生物通过反硝化作用将硝酸盐还原为氮气,减少总氮的含量;最后,污水流入好氧区,在好氧环境下,剩余的有机物被好氧微生物氧化,完成进一步的去除,并促进磷的释放,便于后续去除。A2/O 工艺的关键技术参数包括污泥负荷、污水流速及水力停留时间等,通常通过调整这些参数以优化氮磷的去除效果。数据表明,A2/O 工艺在处理城市污水时能够达到较高的脱氮效率,氮的去除率通常在 70%-90% 之间<sup>[2]</sup>。

### 3.2 A2/O 工艺在脱氮处理中的优势

A2/O 工艺在脱氮处理中的优势体现在其高效的氮去除能力和较为简便的工艺结构。首先,A2/O 工艺通过将厌氧、缺氧和好氧三个阶段有效结合,在污水处理过程中最大限度地利用微生物的脱氮特性,能够大幅度提高氮的去除效率。根据实验数据,A2/O 工艺能够在处理生活污水时达到较高的总氮去除率,通常为 70%-90%。其次,A2/O 工艺具有较强的适应性,能够处理不同污染负荷的污水,适合城镇生活污水的处理要求。此外,A2/O 工艺在运行过程中,能显著降低污泥的产生量,相较于传统的处理工艺,能够有效减轻污泥处理和处置的压力,从而降低运行成本。再者,A2/O 工艺的操作相对简单,且对操作人员的技术要求较低,易于维护与管理,适合大规模推广应用,图 1 为 A2/O 污水处理

流程图。

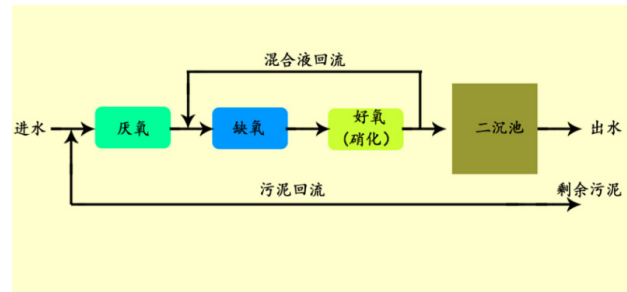


图 1 A2/O 污水处理流程

### 3.3 A2/O 工艺与其他脱氮技术的比较

污水中氮磷等污染物的去除效果常常受到工艺、设备及管理等方面的制约。尤其是氮污染的控制,仍然是污水处理厂面临的主要难题,脱氮技术的效率较低,无法达到理想的脱氮效果。再者,污水处理中污泥的处理和处置问题也日益突出。与其他脱氮技术相比,A2/O 工艺具有较为明显的优势,尤其在应用于城镇生活污水处理中。与传统的活性污泥法相比,A2/O 工艺不仅能够去除较高浓度的氮,还能够同时去除磷,具有一体化处理的优点。此外,与单一的反硝化脱氮技术相比,A2/O 工艺通过多段的反应区设置,提高了脱氮效果。对于传统的生物接触氧化法,A2/O 工艺在去除总氮方面表现出更高的效率,且在较低的运行负荷下仍能维持较好的脱氮效果。与较为先进的膜生物反应器(MBR)技术相比,A2/O 工艺的成本较低,特别适用于大规模的城镇生活污水处理,能够在控制成本的同时,达到较高的氮磷去除效果。因此,A2/O 工艺在脱氮处理中的综合性能表现突出,特别适合城镇生活污水处理厂的实际需求。

## 4 A2/O 工艺在城镇生活污水处理厂中的应用

### 4.1 A2/O 工艺在城镇污水处理厂中的设计与配置

A2/O 工艺在城镇污水处理厂的设计与配置是基于污水处理厂的规模、污水水质以及处理要求来确定的。一般情况下,A2/O 工艺的设计采用三级反应池配置,其中厌氧区用于去除磷,缺氧区用于反硝化去除氮,好氧区则用于进一步的有机物降解和氨氮的去除。对于城市污水处理厂,其日处理能力通常在 2,000 吨至 50,000 吨之间,设计时需确保每个反应池的水力停留时间(HRT)符合处理需求。以一座年处理量为 3 万吨的污水处理厂为例,厌氧区、缺氧区与好氧区的水力停留时间分别为 4 小时、2 小时和 6 小时。此外,A2/O 工艺在城市污水处理中具有较高的灵活性,能够根据进水水质调整各反应区的溶解氧浓度和混合强度,以适应不同水质和负荷变化的需求。设计时还需关注污泥回流比的设置,通常污泥回流比为 1.0-1.5,这有助于提高系统的氮磷去除效果<sup>[3]</sup>。

### 4.2 A2/O 工艺的实际应用分析

A2/O 工艺已经在多个城镇污水处理厂中得到了成功应

用。在某市的污水处理厂中，A2/O工艺被用于处理城镇生活污水，处理能力为每日10,000吨。通过调整工艺参数，确保了良好的脱氮效果。经过实际运行，氮的去除率达到了85%，总磷的去除率达到了90%以上。工艺中，污水进入厌氧区后，经过4小时的停留，磷的去除效果非常明显，而在缺氧区，反硝化微生物将硝酸盐转化为氮气，达到较高的脱氮效果。随着处理厂的运行，A2/O工艺的效果得到了进一步验证，尤其在处理高峰期，处理能力仍然稳定，脱氮和除磷的效率没有明显下降。此外，该工艺还显示出了较好的能效比，能够在保证处理效果的同时，降低能耗。

#### 4.3 A2/O工艺在脱氮效率上的具体表现

A2/O工艺在脱氮效率方面表现出显著的优势。在城镇生活污水处理过程中，A2/O工艺通过合理的分区设置和精确的反应时间控制，能够有效去除污水中的氮污染。某市污水处理厂在采用A2/O工艺后，其氮的去除率稳定在85%左右，能够满足严格的排放标准。通过控制缺氧区和好氧区的溶解氧浓度，进水中的氨氮被微生物降解为氮气，降低了水体中的氮负荷。数据表明，在处理高浓度氮污水时，A2/O工艺的脱氮效率比传统的活性污泥法提高了15%-20%。对于污水中的总氮，A2/O工艺可以将其去除率提高至90%以上，且在氮污染浓度较高的情况下，工艺依然保持稳定的脱氮效果<sup>[4]</sup>。整体而言，A2/O工艺在提高脱氮效率、满足排放标准方面展现了强大的技术优势。

### 5 提升A2/O工艺脱氮效率的策略与方法

#### 5.1 影响A2/O工艺脱氮效率的关键因素

A2/O工艺脱氮效率的高低受到多个因素的影响，其中最重要的因素之一是反应区的水力停留时间。水力停留时间过短会导致反应不足，不能完全去除污水中的氮污染。其次，反硝化过程中的溶解氧浓度也会影响脱氮效果。在缺氧区溶解氧过高时，反硝化作用会受到抑制，导致脱氮效率降低。此外，污泥回流比的设定也至关重要，较低的回流比可能导致污泥的沉降性能下降，影响脱氮效果。最后，污水中的有机物含量也是影响脱氮效率的重要因素，高浓度的有机物可提供足够的碳源供反硝化微生物使用，从而提高脱氮效率。综上所述，通过对水力停留时间、溶解氧浓度、污泥回流比和有机物浓度等因素的优化，能够显著提升A2/O工艺的脱氮效率。

#### 5.2 优化A2/O工艺参数提升脱氮效率

为了提升A2/O工艺的脱氮效率，需要针对各工艺参数进行优化。首先，合理设置反应区的水力停留时间，确保氮的去除能够充分进行。通过实验数据发现，适当延长缺氧区的停留时间，有助于提高反硝化效果，进而提高脱氮效率。

其次，控制缺氧区的溶解氧浓度至1-2mg/L，可以有效促进反硝化作用，避免过高的溶解氧浓度抑制脱氮过程。污泥回流比也是一个关键参数，通常通过优化回流比，提高反应效率，确保反应池中足够的活性污泥供氮源的去除。最后，对进水的碳源进行补充，尤其是在高氮污水处理中，碳源的补充能够促进反硝化过程，提升脱氮效率。通过以上参数优化，A2/O工艺的脱氮效率可以得到显著提高。

#### 5.3 创新技术与措施在脱氮效率提升中的应用

为进一步提升A2/O工艺的脱氮效率，近年来，创新技术与措施逐渐得到应用。例如，膜生物反应器(MBR)技术与A2/O工艺的结合，可以有效提高系统的固液分离性能，从而提高氮的去除效率。MBR技术能够使污水中的有机物和氮污染物充分接触，提高微生物的降解效率，进而提升脱氮效果。此外，集成的自动化控制系统也是提升脱氮效率的一个重要措施。通过实时监测各反应区的溶解氧浓度、污泥回流比等参数，自动调节工艺条件，可以更精确地控制脱氮过程，确保高效稳定的运行。通过采用这些创新技术和措施，A2/O工艺在城镇污水处理中脱氮效率得到了进一步的提升<sup>[5]</sup>。

### 6 结语

A2/O工艺作为一种高效的生物脱氮技术，在城镇生活污水处理厂中得到了广泛应用，尤其在提高脱氮效率方面展现出显著优势。通过优化设计与配置、合理调整工艺参数，并结合创新技术与措施，A2/O工艺能够有效去除污水中的氮污染，满足日益严格的环保标准。在实际应用中，A2/O工艺不仅在脱氮效率上取得了显著成效，还在降低运行成本、提高污水处理厂整体效能方面发挥了重要作用。随着技术的不断进步和优化，A2/O工艺在城镇生活污水处理中的应用前景广阔，将为水环境保护和可持续发展提供有力支撑。未来，随着更加精细化的管理和技术创新，A2/O工艺将在污水处理领域继续发挥重要作用，推动环境保护事业的不断发展。

#### 参考文献

- [1] 孙秉毅,秦庆东,孔宇,李建.AGS强化A2O工艺处理生活污水的效能[J].中国给水排水,2025,41(17):113-119.
- [2] 薛世玉.A2O处理低碳氮比生活污水的强化脱氮除磷研究[D].导师:云玉攀.河北地质大学,2025.
- [3] 陈建,汪军,马洁晨,奚姗姗,刘海林,龚明杰,王啟华.A2O-MBBR+CWs组合技术处理农村生活污水的效果[J].环境工程技术学报,2025,15(02):436-445.
- [4] 姜科,王真真,战琪,廖晓希,曹喆.城镇生活污水处理厂A2O工艺运行状态的快速判别[J].山东化工,2024,53(01):258-261.
- [5] 王子龙.MBBR-A2/O工艺处理城镇生活污水实验研究[D].导师:张吉库.沈阳建筑大学,2020.

# Optimization of Waste Gas Treatment Process and Evaluation of Operation Effect for Auto Repair Spraying Operation

Nana He

Henan Qiusheng Environmental Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

During automotive repair spray coating operations, the emissions of spray paint fumes have a significant environmental impact, especially the volatile organic compounds (VOCs) and other pollutants contained within them. This paper thoroughly analyzes the generation characteristics and pollutant composition of automotive repair spray coating emissions, discusses the current state of air pollution control technologies, and proposes optimization ideas and technical approaches for the process. By optimizing the treatment processes, the efficiency of pollutant removal has been improved, ensuring the stability and safety of the emission control system. The paper further explores methods for evaluating the operational effectiveness of the emission control system, proposing a more scientific evaluation indicator system that incorporates energy consumption, maintenance costs, and pollutant removal efficiency. Ultimately, this study provides valuable technical references and improvement directions for air pollution control in the automotive repair industry, contributing to the enhancement of environmental protection standards in the sector.

## Keywords

automotive repair spray coating; air pollution control; volatile organic compounds; process optimization; operational effectiveness evaluation

## 汽修喷涂作业废气治理工艺优化与运行效果评估

何娜娜

河南秋晟环境科技有限公司, 中国·河南 郑州 450000

## 摘要

随着环保要求的提高, 汽修喷涂作业中排放的废气, 尤其是挥发性有机物 (VOCs) 和其他污染物, 已成为严重的环境问题。本文的目的是通过分析汽修喷涂作业废气的产生特征与污染成分, 提出优化废气治理工艺的具体路径, 提升治理效果。研究方法包括对当前废气治理技术的评估, 并通过组合工艺 (如吸附法与催化燃烧法的结合) 进行优化。工艺优化后, VOCs去除率从80%提升至90%, 系统能耗降低了33%, 维护成本减少了16.67%。通过对优化后的治理效果进行系统评估, 结合能耗、维护成本和污染物去除效率, 建立了更加科学的评估指标体系。研究结果表明, 优化后的废气治理系统在效率和经济性方面均有所提升, 为汽修行业的废气治理提供了有效的技术方案和理论依据, 推动了行业的环境保护水平。

## 关键词

汽修喷涂; 废气治理; 挥发性有机物; 工艺优化; 运行效果评估

## 1 引言

随着环保要求的日益严格, 汽修喷涂作业中产生的废气污染问题已经成为环境治理的重要议题。喷涂作业产生的废气中, 挥发性有机物 (VOCs) 是主要污染成分, 对空气质量和人体健康造成威胁。现有的废气治理技术虽然在一定程度上降低了污染排放, 但仍存在治理效果不稳定、能耗较高、系统维护困难等问题。为了应对这些挑战, 本文将重点研究汽修喷涂作业废气治理的优化工艺, 并对其运行效果进

行全面评估。通过引入新的技术路线和优化现有工艺, 旨在提升治理效果并减少环保成本, 从而为汽修行业的可持续发展提供有效的支持。

## 2 汽修喷涂作业废气产生特征与污染成分构成

### 2.1 汽修喷涂工序流程及废气产生环节

汽修喷涂作业主要包括表面处理、涂料喷涂、干燥固化等工序。在表面处理过程中, 使用的清洗剂和去污剂可能会挥发产生有害气体。涂料喷涂时, 喷涂设备将涂料均匀地喷洒到车辆表面, 而涂料中的溶剂则会在空气中挥发, 释放出大量挥发性有机物。干燥和固化阶段的高温条件进一步促使涂料中的有害物质挥发, 并伴随气流排放到空气中。这些

【作者简介】何娜娜 (1996-), 女, 中国河南商丘人, 本科, 助理工程师, 从事环境科学研究。

废气通常具有强烈的气味和刺激性，且富含大量挥发性有机物（VOCs），如苯、甲苯和二甲苯等，严重影响空气质量。

## 2.2 喷涂废气中挥发性有机物的主要类型

喷涂废气中的挥发性有机物（VOCs）主要包括苯、甲苯、二甲苯、乙酸乙酯、丙酮等有机溶剂，这些溶剂主要来源于涂料中的溶剂成分。苯和甲苯是最常见的有机污染物，具有强烈的毒性和致癌性，长期接触可能对人体健康造成威胁。二甲苯和乙酸乙酯等物质，虽然毒性相对较低，但仍能对环境产生一定的污染。除了这些主要的有机溶剂外，还可能包含一些低沸点的气体，如醇类和酮类化合物，它们的挥发性较强，易于进入大气并扩散，进一步加剧了废气的污染程度。

## 2.3 汽修喷涂废气排放的时序性与波动性特征

汽修喷涂作业废气的排放具有明显的时序性和波动性特征。在高峰时段，喷涂工作集中进行，废气排放量较大，而在工作间隙或喷涂任务较少时，废气排放量则相对减少。此外，喷涂工艺中的涂料类型、操作条件、设备性能等因素也会导致废气排放的波动性。例如，某些高挥发性涂料的使用会导致废气浓度骤升，尤其是在喷涂与固化过程中，废气的排放量和成分变化更加显著。气流速度、环境温度和湿度等也会对废气的排放特征产生一定影响，增加了废气治理过程中的不确定性<sup>[1]</sup>。

## 3 汽修喷涂作业废气治理工艺配置现状

### 3.1 常见汽修喷涂废气治理技术路线

目前，汽修喷涂废气治理常用的技术路线包括吸附法、催化燃烧法、冷凝法、热氧化法等。吸附法主要通过活性炭或其他吸附剂吸附废气中的挥发性有机物，适用于低浓度废气的处理。催化燃烧法通过催化剂在低温条件下促进废气的氧化反应，能够有效去除有机污染物。冷凝法则利用温差使废气中的有机物凝结，适用于溶剂挥发性较强的废气。此外，近年来，分子筛吸附技术、等离子体技术以及光催化技术也逐渐应用于喷涂废气的治理中，通过高级氧化吸附处理提高废气净化效率。

### 3.2 现行治理工艺在汽修行业中的适配性

目前的废气治理技术在汽修喷涂行业中应用广泛，但由于行业的特殊性，现行工艺的适配性面临一定挑战。汽修喷涂作业中废气的浓度波动大，且喷涂作业周期短，传统的连续性治理技术往往难以适应这种变化。吸附法适用于废气量小的情况，但需要频繁更换吸附剂，且对高浓度废气的处理效果有限。催化燃烧法虽有效去除有害气体，但高能耗和设备成本较高，限制了其在一些中小型汽修厂的推广应用。因此，针对汽修喷涂行业的特殊需求，亟需结合不同治理工艺的优缺点，研发出适合该行业的集成化处理技术<sup>[2]</sup>。

### 3.3 典型治理工艺运行中存在的主要问题

在汽修喷涂废气治理工艺的实际运行中，仍然存在一些问题。首先，治理效率不稳定，废气浓度波动大时，部分

工艺难以持续有效地去除污染物，尤其是在高峰期或极端工作条件下。其次，能耗较高，尤其是催化燃烧法和热氧化法在高温下运行时，消耗大量能源，导致治理成本上升。此外，设备维护和更换周期长，尤其是吸附法中吸附剂的更换频繁，增加了运行成本。最后，治理工艺的适配性和灵活性较差，部分技术无法针对汽修喷涂行业的特定废气成分进行有效治理，影响了整体废气处理效果。

## 4 汽修喷涂作业废气治理工艺优化思路与技术路径

### 4.1 基于废气特征的治理工艺组合优化原则

针对汽修喷涂废气的特征，治理工艺组合的优化应综合考虑废气中挥发性有机物的浓度、成分及其变化规律。不同的废气成分和排放浓度对治理技术的选择具有决定性影响，因此应根据具体废气成分选用合适的处理方法。对于低浓度废气，采用吸附法结合催化燃烧技术可有效提升处理效率；而对于高浓度废气，则可以考虑结合等离子体技术与冷凝技术的复合工艺。此外，工艺优化还应关注处理过程的连续性和稳定性，采用多级处理的方式能有效应对废气排放的波动性，确保在各类工况下均能稳定高效地运行。

### 4.2 关键处理单元结构与参数的优化方向

在废气治理工艺的优化过程中，关键处理单元如吸附塔、催化炉和冷凝器的结构与参数调节至关重要。吸附塔的填料层设计应通过优化孔隙率与比表面积来提高废气与吸附剂的接触效率，进而提升吸附性能。催化炉的温控系统需要精准调节催化反应温度，以保证高效催化作用的持续性。在冷凝单元中，应重点优化温差设计，确保挥发性有机物能够在较低温度下有效凝结，从而减少能耗。各单元参数的优化应结合实际废气排放特性，确保系统能够在最经济的运行条件下发挥最大效能。

### 4.3 工艺优化对系统稳定性与安全性的影响

工艺优化不仅能够提升废气治理效率，还能在一定程度上增强系统的稳定性与安全性。通过对废气处理单元的优化，系统能够更加灵活地应对废气排放的波动性，避免因瞬时废气浓度升高而导致的设备负荷过重或安全隐患。同时，优化后的工艺能够减少操作中的能耗波动和设备磨损，延长系统使用寿命。关键设备的高效运行保障了废气治理的稳定性，避免了因设备故障或处理不当导致的排放超标。此外，通过完善监控系统和自动化控制，能够实时监测处理过程，确保系统安全、高效运行<sup>[3]</sup>。

## 5 汽修喷涂作业废气治理系统运行效果评估方法

### 5.1 运行效果评估指标体系构建

废气治理系统的运行效果评估需要建立一套完善的指标体系，从多个维度对其性能进行综合评价。首先，废气治理效率是衡量系统核心性能的关键指标，一般通过污染物

去除率来判断。对于汽修喷涂废气，主要关注挥发性有机物（VOCs）的去除效率。理想情况下，废气治理系统应能够去除 85% 以上的 VOCs，甚至在某些优化技术下，可以达到 95% 以上的去除效率。其次，能耗是另一个重要评估指标，尤其是系统运行过程中所消耗的电力、热能等资源。优化后的系统能耗应控制在每立方米废气处理 0.4-0.5 千瓦时，确保高效运行的同时不造成过高的能源浪费。此外，系统的维护成本也是评估的重要内容，包括设备的维修、保养及更换费用。通过工艺优化与设备更新，维护成本应有效降低<sup>[4]</sup>。最后，系统的稳定性与运行可靠性也是评价的重要因素。废气排放是否符合国家环保标准是判断治理效果长期稳定性的直接指标，系统的稳定运行应确保没有出现超标排放现象。

## 5.2 污染物去除效率与达标稳定性评价

废气治理系统的污染物去除效率直接决定了治理效果的优劣。在汽修喷涂作业中，废气中的挥发性有机物（VOCs）是主要污染物，因此，VOCs 的去除效率成为最为关键的评价指标。通过分析系统长期运行数据，评估去除效率的稳定性与波动情况。在优化后的系统中，理想的 VOCs 去除率应保持在 85%-95% 之间，且在不同的工作状态下，去除率变化应保持在合理范围内。污染物去除效率的提升不仅要依靠优化技术路线，还应结合治理设备的性能、操作环境等因素。为了确保系统能够在长期运行中持续达标，可以通过安装实时监测设备，全天候监控废气浓度，及时调整处理参数。长期运行数据的积累能够帮助准确评估系统的整体治理效果，避免因设备老化或其他因素导致的排放超标<sup>[5]</sup>。

## 5.3 运行能耗与维护成本综合分析

废气治理系统的运行能耗和维护成本是评估其经济性的重要维度。优化后的系统能耗应得到有效控制，特别是在高效能的催化燃烧法、吸附法和冷凝法等技术优化下，系统的能耗水平应得到显著降低。具体来说，优化后的系统能耗应控制在每立方米废气处理 0.4-0.5 千瓦时，与传统系统的 0.6 千瓦时相比，节约约 30% 的能源。这一能耗降低不仅能够有效减少运营成本，还符合绿色环保的发展方向。此外，废气治理系统的维护成本也是影响经济效益的关键因素之一。在优化过程中，通过选择高效、低维护需求的设备和材料，可以有效延长设备的使用寿命，减少频繁维修与更换所带来的费用。例如，通过改进催化炉的材料和催化剂，可以延长其使用周期，减少维护频率，降低运营成本。综合分析后，优化后的废气治理系统的总运行成本将比未优化系统低 20% 左右。此项优化不仅提升了系统的经济效益，同时也

推动了废气治理的可持续发展，降低了对环境的负面影响。因此，能耗和维护成本的优化在保障系统高效运行的同时，也有助于提高整个治理系统的经济性和可行性，详见表 1。

表 1 某汽修喷涂厂废气治理效果数据对比分析

评估项目	优化前数据	优化后数据	数据对比分析
VOCs 去除率 (%)	80	90	10%
系统能耗 (kWh/m <sup>3</sup> )	0.6	0.4	-33.33%
维护成本 (元/年)	6000	5000	-16.67%
达标稳定性 (%)	80	100	20%
污染物去除率 (%)	75	90	15%
系统稳定性 (%)	70	95	25%

## 6 结语

本文通过对汽修喷涂作业废气治理的工艺优化进行系统研究，提出了基于废气特征的工艺组合优化原则，并通过多种技术手段相结合（如吸附法与催化燃烧法的结合）有效提高了废气治理效率。研究表明，优化后的工艺不仅显著提升了 VOCs 的去除效率（从 80% 提升至 90%），还有效降低了系统能耗（减少了 33%）和维护成本（降低了 16.67%），为汽修行业提供了实用且经济的废气治理技术方案。同时，本文创新性地构建了一个科学的评估体系，该体系从能耗、维护成本和污染物去除效率等多维度进行全面评价，为废气治理效果的长期稳定性提供了可操作性指标。该评估体系的应用，不仅帮助衡量了工艺优化后的效果，也为类似行业的废气治理提供了参考。然而，本研究仍存在一定局限性。首先，由于研究对象主要集中在汽修喷涂行业，其他领域的废气治理效果可能有所不同。其次，尽管采用了组合工艺，但不同技术的协同效应仍有待进一步验证。未来的研究可以针对不同类型的废气进行多工艺协同优化实验，并探索智能化监控和动态调整技术的应用，以提高废气治理系统的适应性和可靠性。

## 参考文献

- [1] 吴菊花.环境影响评价中喷涂废气污染物的核算及治理技术研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(20):126-128.
- [2] 张妹.环境影响评价中喷涂废气的治理对策[J].黑龙江环境通报,2025,38(08):174-176.
- [3] 许岩,虞益军.臭氧协同低温催化技术在汽修喷涂废气治理中的应用[J].资源节约与环保,2025,(07):78-82.
- [4] 李雅君,林翔,罗庆城,姜顶楠,罗奕隆,李彬.大型工件喷涂废气治理工艺分析及应用[J].中国环保产业,2025,(01):44-48+53.
- [5] 焦秀琴.涂料制造与涂装过程中废气排放与治理技术研究[J].现代工程科技,2025,4(01):65-68.

# Discussion and Research on Special Funds for Local Air Pollution Prevention and Control Projects

Xuejiao Zhang

Changsha Haolong Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

## Abstract

Guided by Xi Jinping's Ecological Civilization Thought, this initiative adheres to precision, scientific, and law-based pollution control. With air quality improvement as the core objective and fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) management as the priority, it accelerates the green and low-carbon transition in industries, energy, and transportation, driving sustained nationwide air quality enhancement. In line with the CPC Central Committee and State Council's directives for the Beautiful Blue Sky Initiative, relevant departments actively implement environmental policies to upgrade corporate emission control systems. Enterprises are encouraged to apply for Beautiful Blue Sky funding projects, which will boost local economic development, reduce operational burdens, and improve daily environmental management practices, ultimately contributing to regional environmental improvement.

## Keywords

special funds; air pollution prevention and control; project application; environmental benefits

## 地方大气污染防治项目专项资金探讨及研究

张雪娇

长沙皓龙环保科技有限公司, 中国 · 湖南长沙 410000

## 摘要

以习近平生态文明思想为指导, 坚持精准、科学、依法治污, 以空气质量改善为核心, 以细颗粒物治理为主线, 加快推动产业、能源、交通绿色低碳转型, 加速推动全国空气质量持续改善。贯彻落实党中央、国务院关于美丽蓝天建设工作部署, 相关部门为积极响应环保政策要求, 提升企业废气治理水平, 为企业申报美丽蓝天资金项目, 促进当地经济发展, 减轻企业负担, 进一步提高企业日常环境管理。有效改善区域环境。

## 关键词

专项资金; 大气污染防治; 项目申报; 环境效益

## 1 引言

环保专项资金是国家为支持特定环境保护目标, 符合环保要求的项目而设立的, 具有专属性。国家陆续下达 2026 年大气污染防治、水污染防治、土壤修复、农村环境整治以及废弃电器电子产品处理专项资金预算, 共计 500 多亿元, 其中大气污染防治资金约为 200 多亿元, 分配至某 A 省预算 8 个多亿。根据地方重点任务的管控要求及实施计划, 这些资金必须落实到具体项目, 并完成备案。整个申报过程中应严格落实环保政策, 确保项目实施进度和实施效果符合环保申报要求。

## 2 支持方向

以中央资金为引领, 支持项目城市开展全市大气污染

防治工作, 资金支持方向包括低效产能与设施淘汰退出、锅炉窑炉清洁能源替代、重点行业污染防治、移动源污染治理、面源污染控制等, 不包含能力建设和不予支持事项, 比如: 违法违规事项或对违法违规事项的整改的项目、属于企事业单位法定义务事项。电网、气网、各类管道、公路、铁路、能源保障等基础设施建设。属于产能置换、迁建、汰小建大的项目。采用非成熟高效治理技术或条件不成熟的项目。除源头替代、VOCs“绿岛”建设项目外其他新改扩建“三同时”项目; 其他中央财政资金或价格补贴已有支持的; 过度治理的项目均不支持。

## 3 组织形式及服务对象

今年与往年不同之处在于, 申报形式, 以往以企业单独项目进行申报, 现在将以打捆方式申报, 以地级及以上城市全域为单元申报, 直辖市作为单个申报单元。以某 A 省申报为例, 以前某 A 省园区的 50 家涉气企业需要对环保设施进行提级改造, 这 50 家可分别委托单位进行单个申报,

【作者简介】张雪娇(1989-), 女, 苗族, 本科, 工程师, 从事环境保护工程研究。

审批及获得资金补贴,而今年的组织形式将原来的单个改为区域批量打捆模式上报,由当地相关部门统计需要申报且符合环保要求的企业项目信息汇总至主管部门统一申报、统一审批、统一管理。对纳入支持范围的城市进行补助,每个项目实施期以年合计,资金分阶段下达,最终资金于项目总体绩效评价及验收合格后下达。

## 4 效益目标

紧跟“十五五”计划,实现企业自主节能减排。比如,通过地方涉气企业的提级改造、节能减排等措施处理后,某A城市的PM<sub>2.5</sub>浓度年均浓度由原来35 μg/m<sup>3</sup>以上持续下降,而小时平均浓度均达标,那么区域大气污染防治减排效益较为明显,该城市的空气质量符合国家标准,达到了《环境空气质量标准》,仅达到优等级别。为实现效益目标更进一步。

## 5 典型案例申报探讨

针对行业内在大气污染防治项目专项资金申报过程中存在的通过率低、企业效益差、不符合要求等问题,本文基于某市的一家汽车销售服务公司钣喷中心绿岛项目为例,重点探讨如何申报、分析其重要性及给企业和社会带来的环境效益、经济效益及社会效益。

首先介绍该项目具体位置及企业情况,某A家汽车销售服务有限公司位于某市某区某东路。

其次介绍项目申报内容情况,项目拟整合某市A家、B家等10多家汽车服务企业的钣喷业务,集中建设汽车集中钣喷中心。将统一建设包括钣金、喷漆、烤漆车间等构筑物,并采用VOCs废气收集设备(建封闭式打磨房、密闭式喷烤房等密闭收集设备及管道)、VOCs废气处理设备“干式过滤+活性炭吸附+脱附催化燃烧”,可显著提升汽修钣喷行业废气收集处理效率。项目内容为挥发性有机物(VOCs)综合治理-“绿岛”项目建设。符合大气污染防治专项资金范围内企业可申请补助资金一部分,企业自筹一部分。

接着分析企业面临现状及效益情况:目前,周边汽车维修服务企业主要采用“等离子UV光解或活性炭”的末端处理技术,处理效率较低,加之各企业的环保意识和管理水平参差不齐,废气收集和处理设施维护保养不到位,导致废气收集效率和处理效率偏低且不稳定,造成产生的VOCs废气大量排入周边环境,由于分散排放,对日常监管也形成一定难度,由于部分汽车维修服务企业生产空间有限,处理设备均位于喷烤漆房后侧狭小空间,空间有限,改造难度大。因此,将针对目前汽修行业的污染防治需求,高标准打造建设集中钣喷中心,采用封闭性喷烤单元,同时配套建设高效VOCs废气收集和治理设施,使得涉VOCs的生产工序均在有废气收集治理设施的密闭空间内进行,收集后的废气经吸附、脱附浓缩+催化燃烧处理后排放,实现VOCs废气

的高效收集和处理,解决当前汽车维修服务企业废气收集处理效率低及分散排放的问题。

开展过程中需完成区域周边各汽车维修服务企业的业务签约,建成后钣喷工序集中到钣喷中心统一实施,同时继续扩展承接周边区域其他4S店及汽车服务企业的钣喷业务,根据整合的区域内汽车维修服务企业目前年涂料使用量及维修车辆幅面估算,项目建成后通过提升废气收集和处理效率,可减少VOCs排放量,对改善区域环境状况起到一定的作用。

项目实施必须符合国家的法律法规、相关政策、规范及标准;根据实地勘查及生产需求,确定项目建设规模;结合企业现有工艺装置特点和场地布置实际情况,充分考虑当地资源条件和工程建设条件,对收集治理设施建设进行有针对性的研究,提出切实可行的技术方案,保证收集率及处理率达到相应要求;改造方案技术先进、设备可靠,投运后,能持续安全稳定运行,且启停和正常运行均不影响生产设备的安全运行和企业的文明生产;在满足上述条件下做到低投资费用和低运行管理费用。

## 6 项目申报必要性

### 6.1 积极响应国家政策的要求

国家相关部门在大气污染防治重点工作中有强调,将重点打好三个标志性的战役,其中“重污染天气歼灭战”、“臭氧污染防治攻坚战”是其中两项,而重污染天气的形成及臭氧污染无一不与“挥发性有机物”有关。继“大气十条”和“蓝天保卫战”两大计划之后,近年新出台国家级重磅政策空气质量持续改善行动计划,行动计划坚持稳中求进工作总基调,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,以改善空气质量为核心,以减少重污染天气为重点,以改善PM<sub>2.5</sub>指标为主线,明确了PM<sub>2.5</sub>的下降目标,突出了氮氧化物、VOCs等多污染物协同减排。在所出台的各项措施中,大部分涉及VOCs治理,其中明确了VOCs(包括油烟、恶臭异味)的治理要求。VOCs减排控制行业要围绕源头减排、过程严控、末端治理,强化全流程全环节综合治理。

通过整合区域内原有汽车维修服务企业,升级改造为VOCs“绿岛”项目集中钣喷中心,服务于周边汽车维修服务企业,提升挥发性有机物废气收集效率,更新挥发性有机物治理设施,采用高效挥发性有机物治理工艺进行深度治理,不仅解决了分散的汽车维修服务企业现采用的UV光氧等低效处理设备的问题,而且有效起到挥发性有机物减排、改善区域及周边环境空气质量的作用,是属于当前国家挥发性有机物治理领域鼓励实施的重点项目,其实施是对国家政策的落实的需要。

### 6.2 改善地方大气环境的要求

以某A市工业企业较多为例,在经过连续进行“污染防治攻坚战”、“夏季攻势”等行动,通过压实企业主体的

治污责任,区域内的重点企业已基本已改造完成、配置了高效大气污染物处理系统,有效的进行了整治工作。现存在的中小型企业成了排放污染物的主要来源,各小型企业生产量较低,但由于一些特殊的如汽车维修服务行业,具有一定的聚集性,在一定区域内其污染物总量排放会达到较高的水平,产生的废气中含有颗粒物、挥发性有机物等,会造成区域大气质量遭到破坏,进一步影响居民日常生活。

项目申报实施后,可将分散的企业存在挥发性有机物的工序集中,将产生的废气统一收集后利用高效成熟的处理工艺进行处理达标后排放,可达到降低区域污染物排放量的目的,以区域内现有汽车维修服务店钣喷工作量计算,集中钣喷中心通过提高废气收集及处理效率,投产后每年可实现挥发性有机物减排量,因此对区域大气环境质量有一定的保护和改善。

### 6.3 企业可持续发展需要

汽车维修行业低效的污染治理技术装备和管理水平,阻碍了行业健康发展的同时,更造成了严重的大气污染。由于废气气量及其中污染物含量达不到一定的浓度,同时由于小型企业经济能力有限,无法负担较高的运行费用,因此无法使用像燃烧等处理效率较高的工艺,而在使用活性炭等简单吸附系统时,活性炭更换量较大,废活性炭只能作为危险废物委托有资质单位进行处理,使用的UV光氧设备中,灯管的更换处理,涉及到的运输、处理费用较高的问题,为节约成本,企业尽可能的减少更换频率,导致由于活性炭等处理设备日常维护不及时而使处理系统形同虚设,无法满足废气处理的要求,由于监管的不断严格,由于废气处理不规范的问题,也影响到企业正常生产。

而项目的申报可以有效的将小型维修企业中产生挥发性有机物的工序集中,将其废气统一收集治理项目,不仅降低了单位废气量的处理成本,同时集中后使用高效处理工艺,提高了废气的收集和处理效率,不仅有利于生态环境的保护,也降低了企业由于停产等带来的成本,同时能推动企业技术进步升级,推进清洁生产,改善员工职业健康,实现了生态环境、企业社会和经济效益多赢,有利于企业的可持续发展。作为企业,跟着党走,依照政策规定,调整产结构,优化能源使用,保护生态环境,减少污染物排放是必要的,也是紧迫的。

## 7 效益分析

### 7.1 环境效益

以某A市汽车维修服务公司的项目申报为例,项目属于废气治理项目-“绿岛”建设,通过将多个汽车4S店/汽车维修服务企业资源整合,集中进行钣喷生产,建设高效收集处理设施,将提高钣喷生产中产生的挥发性有机物的收集处理效率,因此治理措施改造后挥发性有机物处理相对原有

措施大大减少,年挥发性有机物减排量较小,可有效改善周边环境空气质量;按规模化生产打造的行业性环保“绿岛”工程,建立环保管理制度流程,通过对装备高标准的环保技术设备设施的运营,形成对生产过程产生的VOCs的集中收集和处理,实现区域性污染的集中处理排放,并降低了政府部门监管难度。

### 7.2 社会效益

项目申报落地后,可显著改善企业的生产环境,降低企业外排废气的总量,减少项目对外环境的污染,有利于保护环境空气质量,减少对周边居民的环境空气影响,是“环境友好”社会建立的基础,同时依据国家/地方法规、标准,可严格行业准入门槛、淘汰落后产能,根据市场需求统一规划布局,引进投资经营主体,加快钣喷维修产业转型升级;产业集群所涉及的车辆钣金维修、喷涂作业、供应链仓储物流、危废品治理项目等内容,可为当地提供大量劳动就业机会,包括基础管理和产业工人都会得到技能培训,中心统一运营的管理方式,保障合法税收的履行,社会效益较为显著。

### 7.3 经济效益

在大环境经济不好的情况下,从某A市汽车维修服务企业实际发展来看,申报项目为废气处理改造工程,虽然初次投资较高,但是长远来看,经济效益明显,主要表现在废气处理能力提高,减少企业频繁更换活性炭产生的费用,同时减少了企业的生产风险,改善了员工的工作环境;实现投资运营主体一体化,可保证投资建设与运营的紧密衔接,实现产业的可持续发展。

## 8 结语

综上所述,通过本项目的案例分析表明,在大气污染防治专项资金申报这一项工作中,应重点熟悉国家环保政策,紧跟区域环保计划,了解资金支持的方向,挖掘企业的特性,突出申报的必要性及带来的效益。为同类项目的实施提供了部分参考。虽然申报周期较长,但从长远来看,给企业带来的经济效益明显,主要表现在废气处理能力提高,减少企业频繁更换活性炭产生的费用,同时减少了企业的生产风险,改善了员工的工作环境;实现投资运营主体一体化,可保证投资建设与运营的紧密衔接,实现产业的可持续发展。

### 参考文献

- [1] 纪永春.大气污染防治中的区域联防联控机制构建策略[J].中国资源综合利用,2025,043(002):173-176.
- [2] 胡蝶.中国地方政府大气污染防治专项资金管理研究[J].济南大学,2020,01-56.
- [3] 徐顺青.中国大气污染防治投融资机制分析[J].华中科技大学,2021,001-206.
- [4] 程婷.湖北省大气污染防治政策绩效评估与优化策略研究[J].皮革制作与环保科技,2024,005(020):153-156.

# Analysis of waste gas treatment technology in industrial wastewater disposal

Lili Zhu

Fistar Precision Industrial Parts (Suzhou) Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215129, China

## Abstract

Industrial wastewater treatment processes often generate exhaust gases, particularly volatile organic compounds (VOCs), hazardous substances, and odorous emissions during the collection, regulation, sedimentation, flotation, biochemical treatment, and sludge disposal stages of oily wastewater such as mold release agents and cutting fluids. These exhaust gases contain complex components with both irritant and environmental hazards. Direct discharge may endanger personnel safety and disrupt ecosystems. An integrated exhaust gas treatment system can be established through the design and optimization of exhaust collection and containment systems, pre-treatment safeguards for exhaust conveyance, alkali spray pretreatment systems, and activated carbon adsorption purification systems. This approach enhances treatment efficiency and minimizes environmental impact during industrial operations and development.

## Keywords

industry; wastewater treatment; associated waste gas; control measures

## 试析工业废水处置中的废气治理技术

朱丽丽

菲斯达精密工业部件(苏州)有限公司, 中国·江苏 苏州 215129

## 摘要

在工业废水治理过程中很容易会产生废气,尤其是在脱模剂、切削液等相应含油废水在收集、调节、沉淀、气浮、生化及污泥处理环节很容易会产生挥发性有机废气、有害物和异味气体。废气的组成成分较为复杂,兼具刺激性和环境危害性,若直接排放则很容易会威胁相关工作人员的人身安全并破坏生态系统。可通过废气收集与密闭系统、废气输送与预处理前保障系统、碱喷淋预处理系统、活性炭吸附深度净化系统的设计和优化构建一体化废气治理系统,提高废气治理效能,最大化的降低工业产业运行及发展过程中对环境的破坏和影响。

## 关键词

工业; 废水治理; 伴生废气; 治理措施

## 1 引言

经济社会的迅速发展使得现代化工业生产规模日益扩大,在工业生产的过程中废水排放体量也是相对较大的。而工业废水在处理期间很有可能会产生伴生废气,若不及时加以处理则很容易会影响生态环境和周边居民的身心健康。可通过废气收集处理设施的有效应用提高废气治理成效,打造完善的废气治理系统,工业企业可以从如下几点着手进行系统设计,保障废水治理过程中伴生废气的治理效果。

## 2 废气收集与密闭系统设计

废气收集与密闭系统设计可以避免废气无组织扩散进

而带来更大的影响。在密闭与通风设计上需根据构筑物的形态特点对通风设计和密闭设计作出适当调整,通过构筑物封闭、局部包裹、区域隔离等多种方式有效避免废气自由扩散的问题。此外,在密闭形式设计的过程中还应当充分考量运行维护需求和检修需求,分析如何在保证密闭效果的同时确保药剂投加、日常巡检、排泥、设备维修等相应工作能够正常开展。一般情况下,固定池体可以采用防腐轻质板材整体密封,而移动设备或操作频繁区域则可采用柔性密闭,配合可拆卸密封模块和快开式检修口满足操作需求。在此之后则需要进行集气设计和分区配置,可根据不同构筑物废气释放强度和空间分布特点确定不同的集气子区并设置集气点和支管,避免出现互相干扰或风量匹配不均的问题。在集气配置上需根据不同处理单元来确定集气布置方式并针对性地优化密闭形式,如表1所示。

【作者简介】朱丽丽(1987-),女,中国江苏苏州人,硕士,安全高工,环境中级工程师,从事环境管理研究。

表 1: 不同处理单元集气配置效果

处理单元类型	主要密闭形式	集气布置方式	控制重点
调节/均质池	固定式整体盖板	多点均匀集气	减少液面扰动, 防止泡沫外溢
气浮/隔油装置	整体密闭罩	顶部集中集气	降低浮油黏附, 提高收集纯度
生化处理池	分段密闭盖板	沿池长方向分布式集气	匹配曝气强度, 均衡负压分布
污泥处理区域	局部密闭+围挡	重点点位定向集气	控制高异味区域扩散

最后还需要做好负压和风量设计, 确保风量和负压能够满足废气收集需求, 避免出现过度抽吸或增加能耗问题。这就需要通过历史数据收集整合, 精准估算废气释放量、构筑物开放空间换气需求、管道漏损补偿, 然后对设计风量作出适当调整, 配合变频风机, 根据季节变化、进水波动、运行工况实时调节风量。同时在管道系统设计的过程中还可通过流速与坡度的适当调整有效避免油雾、冷凝水沉积的问题, 规避系统堵塞与腐蚀风险。

### 3 废气输送与预处理前保障系统

首先需科学选择材质, 尤其是输送管道应保障其抗粘附、耐温和防腐蚀性。一般情况下, 工程塑料、防腐金属材料都是较为常用且应用效果相对较好的材料, 其内壁光滑, 可以有效减少阻力, 避免废气沉积的问题。在管道布置中应确保管道顺直, 尽可能减少弯头和变径的使用, 这也可以有效降低系统阻力, 确保其负压传递稳定。可在主干管和支管处设置阀门或检修口及取样口, 为后续的分段调试、维护和监测提供更多的帮助<sup>[1]</sup>。

在此之后, 可通过预分离与储水设计为后续废气处理提供更多帮助。一般情况下, 废气在运输期间可能会携带大量水汽或冷凝液, 若这些水汽和冷凝液直接进入处理设备则会影响到后续废气治理效果。例如, 若采用碱喷淋处理则会影响到碱喷淋的传质效果, 加重活性炭负荷, 因此做好预分离和储水设计是十分必要的, 可以在预处理的前端设计中借助重力沉降或惯性分离等多种方式有效去除废气中的大颗粒液滴、游离水和部分粘附性油雾, 进而有效降低后续处理环节的负担, 确保系统整体的稳定性和可靠性。需注意, 在废气输送与预处理前保障系统设计的过程中不需要添加复杂的动力设备, 应以扩容减速、流道优化为核心, 通过导流板的合理布设确保输送平稳, 避免出现涡流、夹带液滴等相应问题, 这也可以更好地降低系统投入使用以后的能耗和维护成本<sup>[2]</sup>。

### 4 碱喷淋预处理系统

碱喷淋预处理系统的主要功能是完成油雾捕集, 做好酸性气体中和, 同时需要去除废气中的颗粒物完成废气的降温增湿, 为后续活性炭吸附提供良好的条件, 避免因油雾、酸性物质、颗粒物等相应物质进入后续处理环节致使活性炭微孔堵塞或吸附点位失效等相应情况的出现, 同时酸性物质和油雾的出现也会引发设备腐蚀, 降低设备寿命, 必须引起关注和重视。碱喷淋系统可以设置立式塔体, 其主要构成包含进气段、喷淋段、填料或传质构件、除雾端、集液端等等。

在废气输送中废气先从塔底进入向上蔓延, 塔顶部会向下喷洒吸收液, 通过逆向接触保障接触效果和吸收效果。在此基础上可通过内部构件的适当优化和调整进一步推动气液接触, 减少压力损失。在喷淋系统设计中需保证布水均匀, 能够有效覆盖截面, 尤其需要注意规避偏流、沟流等相应问题。同时还需要设置循环系统, 借助循环泵、管路、加药口、过滤器、排液口等相应组件为吸收液的循环使用提供更多的帮助, 确保系统整体运行的稳定性和可靠性。在吸收液选择上可以以碱性溶液为主, 保障其对废气的 pH 值中和效果。为了更好地提高废气治理成效, 还可以通过自动控制逻辑的设计根据废气实际情况及系统运行状态对药剂投加量和排泥量做出适当调节, 始终保障吸收液性能。在吸收液循环系统设置中应添加过滤环节, 避免在塔内累积杂质和油泥, 进一步降低管路和喷嘴的堵塞概率。塔顶部可通过除雾结构的设置将细小液滴截留, 避免液体进入活性炭单元, 进而降低湿度对吸附过程所产生的影响和冲击<sup>[3]</sup>。

### 5 活性炭吸附深度净化系统

经过碱喷淋预处理系统处理后的废气其内部仍旧存在挥发性有机物和异味物质, 还需要进一步处理才能够达到排放标准, 这时则需要构建活性炭吸附系统达成最终净化的目标。在吸附系统设计中可采用箱式或塔式结构设置气流分布板、支撑结构、装填区、检修更换口等相应组件, 废气会通过水平或垂直的方式匀速流入到吸附结构当中, 保障其停留时间充足, 进而确保吸附效率。在进气分布区、活性炭装填层、支撑和格栅、检修更换口等不同组件设计中主要设计内容及目标存在一定差异<sup>[4]</sup>。例如, 进气分布区应设计中以保障气流均匀、避免偏流与短流问题为核心进行设计。在活性炭装填层设计中需要关注吸附容量和接触时间问题。在支撑与格栅层设计中需关注能否稳定承托、能否有效减少阻力。在检修更换口设计中则需着重关注能否为后续更换、维护及作业提供帮助, 具体设计内容如表 2 所示。

表 2: 活性炭单元结构与设计内容

结构组成	主要设计内容	设计目标
进气分布区	导流、均流、整流	气流均匀, 避免偏流与短流
活性炭装填层	厚度、孔隙率、装填密度	保证吸附容量与接触时间
支撑与格栅	强度、通透性、防漏料	稳定承托, 减少阻力
检修更换口	尺寸、密封、操作空间	便于更换、维护与安全作业

为了确保活性炭单元能够稳定运行,在系统设计中还需要通过防静电、防雷、阻燃、防爆等安全措施的有效应用更好地规避各类潜在安全风险,此外,活性炭的吸附能力会随着使用时间的增加逐渐变弱,因此在系统设计中还需要设置监测口,实时监测进出口的浓度、压差、温度等相应指标,判断吸附状态是否达到标准,若排放的废气无法达到相关文件要求则需要及时更换活性炭定期<sup>[5]</sup>。

## 6 系统联动

在废气治理的过程中需通过各单元的有机融合形成完整的系统,进而提高废气治理效果,因此做好系统联动是十分必要的。而在系统联动上需要关注联动控制逻辑设计、防腐防堵和长效运行设计以及排放与末端管理设计等相应关键点。首先在联动控制逻辑设计上应以故障联锁保护、同步启停、风量联动调节为核心,明确不同设备的启停顺序,依次开启风机、循环泵、加药装置等相应设备,避免在系统运行的过程中出现气流冲击、液阀过载等相应情况。同时在系统运行期间可借助人工智能技术、传感器技术等相应现代化技术实时监测系统风压、pH值、液位、压差等相应参数,自动调整控制指令,为异常提醒、自动保护提供更多帮助,提高系统运行的安全性和智能化水平。在防腐、防堵和长效运行设计中需要考量到废气中可能含油、含水和酸性成分,因此必须通过防腐处理,延长系统使用寿命。在系统设计及构建的过程中需要从材质、涂层、结构、排水等多个维度分析如何提高耐久性,同时避免积液问题,这也可以延长仪器设备及系统的使用寿命。在此基础之上则需要关注系统结构,分析哪些位置为易堵塞位置,通过放大管径、流速控制、定期排污、自动冲洗、过滤保护等多种方式,减少对人工维

护的依赖性并保障系统设备运行的稳定性。此外,在设备布局的过程中还需充分考量后续的运行强度和运维需求,预留检修通道,为易损件的更换、耗材的补给提供更多便捷。最后在排放与末端管理设计中需要通过数据资料的收集整理明确相关文件要求,确定排气筒的高度、位置和出口,为日常监测与防护提供更多的帮助。在此基础之上可通过降噪、防风、防雨处理确保其运行的稳定性和可靠性<sup>[6]</sup>。

## 7 结语

在工业废水处置中废气治理技术的合理应用可更好地保护生态环境,维护生态平衡,尤其是脱模剂、切削液等相应含油工业废水处置过程中会产生较大体量的挥发性气体,若不及时加以处置则很容易会威胁生态环境。可通过“密闭收集+碱喷淋+活性炭吸附”系统的构建为工业企业的废气治理提供更多的帮助,有效解决废水处理中伴生废气治理不达标的问题,提高治理成效。

## 参考文献

- [1] 吴永琼. 浅谈工业废气治理效率的主要影响因素及提升建议 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (23): 132-134.
- [2] 何伟,向瑾. 环境监测视角下的现代工业废水废气治理措施研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (19): 56-58.
- [3] 黄晓萍. 环保工程中活性炭吸附工艺在工业有机废气治理中的应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (16): 131-133.
- [4] 刘基华. 工业废水处置中的废气治理技术探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (11): 98-100.
- [5] 王程. 工业化背景下工业废水处置中的废气治理技术研究 [J]. 清洗世界, 2024, 40 (06): 105-107.
- [6] 杨蕾英. 工业废水处置中的废气治理技术分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (08): 90-92.

# The Importance and Implementation Method of Air Environmental Impact Assessment in Industrial Park Planning

Ciping Na<sup>1</sup> Weihua Liu<sup>2</sup>

1. Yunnan Tianqi Environmental Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China  
2. Yunnan Xintuo Environmental Technology Co., Ltd., Baoshan, Yunnan, 678000, China

## Abstract

With the advancement of socioeconomic development and industrial upgrading, air pollution has emerged as a critical bottleneck hindering environmental improvement in industrial parks. In the environmental impact assessment (EIA) of industrial park planning, it is imperative to prioritize atmospheric environmental impact evaluation. By aligning with the park's industrial positioning and regional environmental characteristics, scientifically appropriate assessment methods should be selected, and feasible optimization strategies formulated to ensure precise implementation of the evaluation. This will facilitate scientific planning and green development in industrial parks. This paper analyzes the core significance of such efforts, explores standardized implementation methods, and provides support for orderly execution of related work, ultimately promoting the synergy between environmental protection and economic growth in industrial parks.

## Keywords

production area; planning environmental impact assessment; atmospheric environmental impact assessment; importance; implementation methods

## 产业园区规划大气环境影响评价工作的重要性及实施方法

纳慈萍<sup>1</sup> 刘卫华<sup>2</sup>

1. 云南天启环境工程有限公司, 中国·云南昆明 650000  
2. 云南欣拓环境科技有限公司, 中国·云南保山 678000

## 摘要

随着社会经济的发展, 工业水平日益提高, 大气污染问题已成为制约园区环境改善的关键瓶颈, 在产业园区规划环评工作中, 需提高大气环境影响评价工作的重视程度, 结合园区产业定位与区域环境特征, 选取科学适配的评价方法, 制定可行优化策略, 推动评价工作精准落地, 助力园区科学规划、绿色建设。本文主要分析其核心重要性, 深入探讨规范化实施方法, 为相关工作有序开展提供支撑, 推动园区实现环保与经济协同共赢。

## 关键词

产业园区; 规划环评; 大气环境影响评价; 重要性; 实施方法

## 1 引言

我国高度重视大气污染防治与生态环境保护, 先后出台《中华人民共和国大气污染防治法》<sup>[2]</sup>《规划环境影响评价条例》<sup>[3]</sup>等法律法规, 明确产业园区规划必须开展环评, 其中大气环境影响评价是核心内容之一。当前, 部分园区规划环评存在针对性不足、方法滞后、成果与管控脱节等问题, 导致产业布局与大气管控不匹配, 污染隐患突出。因此, 探讨产业园区规划大气环境影响评价的重要性, 完善其实施方法, 对强化源头防控、推动绿色转型、保障生态安全具有重要

现实意义。

## 2 产业园区规划大气环境影响评价工作的重要性

产业园区规划大气环境影响评价贯穿园区规划、建设、运营全过程, 其重要性主要体现在源头防控、规划优化、风险防控、政策落地和民生保障五个方面, 全方位支撑产业园区与生态环境的协同发展。

### 2.1 源头防控大气污染, 保障生态环境底线

规划大气环评通过在园区规划编制早期介入, 全面识别园区规划实施可能产生的大气污染隐患, 预测污染物排放总量、扩散路径和环境影响范围, 提前划定大气环境防护距离, 明确污染物排放限值和治理要求, 从源头避免高污染、高排放产业的盲目引入和不合理布局。识别影响大气环境质

【作者简介】纳慈萍(1990-), 女, 中国云南昆明人, 回族, 本科, 工程师, 从事环境影响评价、环保管理、排污许可研究。

量的关键因素,提出针对性的防控措施,可有效避免园区规划与大气生态保护底线冲突,防范区域大气污染累积效应,落实区域生态环境质量改善的核心目标,保障区域大气生态环境底线。

## 2.2 优化园区规划布局,推动产业绿色转型

通过科学分析不同产业布局方案对大气环境的影响,优化园区功能分区,避免同类高排放产业过度集聚,推动产业集群化、绿色化发展;针对园区能源结构、生产工艺等环节,提出清洁能源替代、污染治理技术升级、循环经济发展等优化建议,倒逼园区淘汰落后产能,引进低耗能、低排放产业,推动产业结构转型升级,实现园区发展与生态保护的良性互动。

## 2.3 防范大气环境风险,保障园区环境安全

园区企业集聚、污染物排放集中,易引发突发性大气环境事件。大气环境影响评价系统识别风险源,分析风险概率、影响范围及危害,制定防控措施与应急预案,建立预警机制,可有效防范突发事件,降低环境、经济及社会损失。同时,前置隐患排查可避免先天性污染问题,减少后期治理投入,提升环境管理经济性<sup>[4]</sup>。

## 2.4 落实环保法律法规,规范园区管理

开展产业园区规划大气环境影响评价,是落实《中华人民共和国环境保护法》<sup>[1]</sup>《中华人民共和国大气污染防治法》<sup>[2]</sup>《规划环境影响评价条例》<sup>[3]</sup>等法律法规的硬性要求。其评价成果可作为园区规划审批、产业准入、环保监管的重要依据。规划环评的实施,可确保园区入驻企业符合国家、地方大气污染防治政策及生态环境保护要求,推动环保政策落地生根,同时可规范园区企业的排污行为,实现园区规划管理的规范化、科学化。规划大气环评明确了园区大气环境管理的重点任务、监管指标和责任主体,为环保部门开展园区大气环境监管提供了清晰的依据,有助于强化环境监管效能,规范园区环境管理行为。此外,规划环评还可衔接区域大气污染防治规划,推动园区污染物排放总量纳入区域减排计划,实现区域大气污染协同治理。

## 2.5 保障公众健康权益,促进社会和谐稳定

规划大气环评通过全面预测污染物对敏感点的影响,明确防护距离,制定严格治理措施,确保排放达标,有效降低健康威胁,减少纠纷,维护社会和谐,保障公众环境与健康权益。

# 3 产业园区规划大气环境影响评价的实施方案

产业园区规划大气环境影响评价需结合园区规划的不同阶段,明确评价思路、细化评价内容、优化评价方法,确保环评成果能够有效支撑园区规划优化和大气污染防治。

## 3.1 明确评价范围和目标,强化前置衔接

结合园区规划范围、产业类型、大气污染物扩散特性、周边敏感点分布等因素确定评价范围,既要覆盖园区全部规

划区域,也要包括污染物可能影响的周边区域,重点涵盖敏感点。时间维度上,应包括产业园区整个规划期,重点关注近期;空间尺度上,基于园区规划范围,结合规划实施对大气环境可能影响的周边地区及敏感区,统筹确定评价空间范围。评价目标应紧扣区域大气环境质量改善要求,分析潜在影响,识别环境制约因素,提出规划优化建议和大气污染防治措施,确保园区规划符合大气环境承载力要求,保障区域大气环境质量稳定。同时,衔接区域生态环境分区管控成果,细化园区环境准入要求,推动规划大气环评与园区规划编制同步开展、全程互动,将环评工作融入规划编制的各个环节,在园区规划初稿形成前介入,及时识别规划中可能存在的大气污染隐患,避免规划与环保要求脱节。建立园区管理机构、规划编制单位和环评单位的协同工作机制,定期沟通对接,确保环评意见能够及时融入园区规划优化方案,提升环评工作的前置引领作用。

## 3.2 开展基础调查和监测,掌握大气环境本底

基础调查与现状监测是环评核心基础,需全面精准掌握环境本底,为后续工作提供数据支撑,重点做好四方面工作。一是基础调查,梳理园区规划背景、产业定位等基础信息,排查现有及规划企业的污染源强、排放方式及治理水平,识别高污染产业与重点污染源;调查集中供能等基础设施,分析环境可行性;掌握气候、地形等影响污染物扩散的关键自然因素。二是大气环境现状监测,按照技术标准科学布设监测点位,覆盖园区内、边界及周边敏感点,监测常规与特征污染物;保障监测时间符合要求,严格执行质量控制,确保数据准确、有代表性。统筹建设监测监控网络,推动数据与当地生态环境部门联网共享<sup>[5]</sup>。三是周边敏感点调查,摸清敏感点分布、规模及保护要求,明确其与园区的方位距离,分析潜在影响,为预测及防护距离划定提供依据;对防护距离内敏感点,提出选址优化或搬迁建议。四是环境承载力调查,结合区域环境现状与总量控制要求,分析大气环境承载力,明确园区总量控制指标,分析减排和节能潜力,落实减污降碳协同要求,推动绿色低碳发展。

## 3.3 进行大气预测,识别关键因素

大气环境影响预测是核心环节,采用定量与定性结合的方法,分析影响、识别关键因素。一是确定预测因子与情景,因子结合产业类型与监测结果,涵盖常规与特征污染物;情景涵盖不同规划阶段、方案及极端气象条件,确保预测全面针对性。二是选择合适预测方法,常用的预测方法包括模式预测法(如AERMOD、CALPUFF等大气扩散模式)、类比分析法等。大型园区建议采用AERMOD等大气扩散模式定量预测,精准测算污染物浓度分布与超标范围;中小型园区结合类比分析法,参考同类园区情况定性预测。三是开展影响评价,结合预测结果,评价排放是否符合质量标准与承载力要求,识别产业布局、能源结构等关键制约因素,明确规划不足,为后续优化提供依据。

### 3.4 提出规划优化建议与大气污染防治措施

基于调查监测与预测结果,结合环保要求,优化规划方案,制定针对性防控措施。规划优化重点围绕三大领域:产业布局上,避免高排放产业过度集聚,将高排放企业布置在主导风向下风向、远离敏感点的区域,推动同类产业集群化发展,便于集中治理、提升治理效率;能源结构上,大力推动园区清洁能源替代,采用天然气、太阳能、风能等清洁能源替代煤炭,降低煤炭消耗比重,严格控制高耗能产业准入,从源头减少污染物产生;交通物流上,完善园区交通路网,推广新能源汽车,减少机动车尾气排放,优化货物运输方式,降低物流环节的大气污染物排放,构建绿色交通体系<sup>[6]</sup>。

在大气污染防治方面,构建“源头防控、过程管控、末端治理”三位一体的防控体系:源头防控上,严格执行产业准入标准,禁止引入高耗能、高排放、高污染产业,推动企业采用清洁生产工艺,减少污染物产生量;过程管控上,建立园区大气污染物排放总量控制体系,明确各企业的排污指标,加强对企业排污行为的实时监管,推广LDAR技术,强化生产全过程污染管控;末端治理上,要求企业配套建设高效的大气污染治理设施,确保污染物达标排放,推动园区建设集中式大气污染治理设施,提升污染物治理效率,明确园区大气污染治理设施的建设标准、建设时序和运营要求,确保企业废气处理设施与生产设施同步设计、同步建设、同步投产。此外,针对大气环境风险,建立健全风险防控体系和应急响应机制,制定突发性大气污染事件应急预案,定期开展应急演练,提升风险处置能力,降低风险危害。

### 3.5 规范公众参与流程,提升参与实效性

扩大公众参与范围,明确公众参与的对象,涵盖园区周边居民、企业职工、行业专家、社会组织等重点群体,确保参与范围的广泛性和代表性。拓宽公众参与渠道。采用网站公示、张贴公告、问卷调查、座谈会、听证会等多种方式开展公众参与,方便公众表达意见和建议;建立线上线下联动的公众参与平台,提高公众参与的便捷性和积极性。完善意见采纳与反馈机制,梳理分析公众意见,合理意见融入规划与环评报告,未采纳意见详细说明理由并反馈,接受公众监督,提升认可度。涉及重点区域、重点行业且跨区域环境影响的规划,应依照相关规定组织开展环评会商。

### 3.6 强化环评落实监管,完善后续跟踪评价

建立健全环评落实责任制,明确园区管理机构、入驻企业、环保部门的具体责任,将环评报告提出的优化调整建议、污染治理措施和风险防控要求,分解落实到具体责任主体,明确落实时限和考核标准,确保各项措施落地。环保部门加强对园区规划实施过程中的大气环境监管,建立常态化监管机制,定期开展现场检查和监测,对违规排放、未落实

环评要求的行为,依法加大处罚力度,强化监管震慑力;园区管理机构加强对入园企业的日常监管,督促企业落实污染治理主体责任,确保污染物达标排放,同时建立产业园区规划环评文件、环境质量监测数据等信息共享机制,实现与入园建设项目及时共享,提升监管效率。

园区规划实施后,严格开展后续跟踪评价,重点监测园区大气环境质量变化、污染物排放总量控制情况、环评措施落实情况等,分析评价环评结论的科学性和可操作性,及时发现问题并提出优化调整建议,动态完善园区大气环境管理措施。对实施五年以上且未发生重大调整的规划,及时开展环境影响跟踪评价工作,编制跟踪评价报告并上报相关生态环境主管部门,确保环评工作贯穿园区规划实施全过程,实现动态管控、持续优化。

## 4 结论

产业园区规划大气环境影响评价是强化大气污染源头防控、推动园区绿色高质量发展、保障区域生态环境安全和公众健康的重要举措,其核心价值在于通过前置引领、全程管控,实现园区规划与大气环保要求的深度契合,破解园区发展与环境污染的矛盾。开展此项工作,既能防范区域大气污染累积效应、保障牢生态环境底线,也能优化园区产业布局、推动产业转型升级,同时落实环保法律法规、规范园区管理,兼顾经济性、环保性与社会性。在实施过程中,需严格遵循“明确目标、摸清本底、科学预测、优化防控、广泛参与、强化监管”的思路,做好评价范围与目标界定、基础调查与监测、大气环境影响预测、规划优化与防控措施制定、公众参与、环评落实与跟踪评价等关键环节的工作,强化各主体协同配合,优化评价方法,提升环评成果的针对性和可操作性。充分发挥环评的引领和管控作用,推动产业园区实现绿色、低碳、可持续发展,为区域生态环境质量改善和经济社会高质量发展提供有力支撑。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国环境保护法 [Z]. 2014-04-24 修订, 2015-01-01 实施.
- [2] 中华人民共和国大气污染防治法 [Z]. 2018-10-26 第二次修, 2018-10-26 实施.
- [3] 规划环境影响评价条例 [Z]. 国务院令 第 559 号, 2009-10-01 实施.
- [4] 李娟, 张强. 产业园区大气环境风险评价及防控措施研究[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(2): 654-660.
- [5] 赵伟, 孙晓峰. 大数据在产业园区大气环境影响评价中的应用探讨[J]. 环境科学导刊, 2023, 42(2): 34-38.
- [6] 李娟, 王浩. 产业园区大气环境影响评价的重点与优化路径[J]. 环境保护科学, 2024, 50(2): 45-50.

# Monitoring and assessment of agricultural non-point source pollution based on remote sensing technology

Faxian Xu

Fuzhou Luoyuan Environmental Monitoring Station, Fuzhou, Fujian, 350000, China

## Abstract

Agricultural non-point source pollution has characteristics such as concealment, randomness, and lag. Traditional monitoring methods are difficult to achieve comprehensive, dynamic, and efficient control. Remote sensing technology, with its advantages of large-scale coverage, real-time speed, and non-contact, has become the core technical means for monitoring and evaluating agricultural non-point source pollution. This article takes Luoyuan County, Fuzhou City, Fujian Province as the research area. Based on the monitoring data of agricultural non-point source pollution during routine and flood seasons from 2023 to 2025 (core indicators such as total nitrogen, total phosphorus, and ammonia nitrogen), the application principles, technical processes, and evaluation methods of remote sensing technology in agricultural non-point source pollution monitoring are systematically expounded. The spatiotemporal distribution characteristics and pollution sources of agricultural non-point source pollution in Luoyuan County from 2023 to 2025 are analyzed, and problems in the monitoring process are identified. Optimization monitoring plans and pollution control suggestions are proposed. Research has shown that remote sensing technology can effectively support the dynamic monitoring of agricultural non-point source pollution across the entire region. From 2023 to 2025, agricultural non-point source pollution in Luoyuan County showed obvious seasonal characteristics, with significant fluctuations in pollution load during the flood season, and targeted control of core pollution indicators is needed.

## Keywords

remote sensing technology; Agricultural non-point source pollution; Monitoring and evaluation; Spatiotemporal distribution; contamination control

## 基于遥感技术的农业面源污染监测与评估

许发贤

福建省福州罗源环境监测站, 中国·福建 福州 350000

## 摘要

农业面源污染具有隐蔽性、随机性、滞后性等特征,传统监测方法难以实现全域、动态、高效管控,而遥感技术凭借大范围覆盖、实时快速、非接触式等优势,已成为农业面源污染监测与评估的核心技术手段。本文以福建省福州市罗源县为研究区域,基于2023年~2025年常规及汛期农业面源污染监测数据(总氮、总磷、氨氮等核心指标),系统阐述遥感技术在农业面源污染监测中的应用原理、技术流程与评估方法,分析罗源县2023年~2025年农业面源污染时空分布特征及污染来源,识别监测过程中存在的问题,提出优化监测方案与污染管控建议。研究表明,遥感技术可有效支撑农业面源污染全域动态监测,罗源县2023年~2025年农业面源污染呈现明显季节性特征,汛期污染负荷波动较大,核心污染指标需针对性管控。

## 关键词

遥感技术; 农业面源污染; 监测评估; 时空分布; 污染管控

## 1 引言

农业面源污染是当前农业生态环境保护的核心痛点,主要源于农业生产过程中化肥农药施用、畜禽养殖废弃物排放、农田径流等,其污染物通过地表径流、地下渗透等方式进入水体,引发水体富营养化、水质恶化等问题,严重威胁生态环境安全与农业可持续发展。我国高度重视农业面源

污染治理工作,《农业面源污染治理与监督指导实施方案(2023-2025年)》明确提出,要构建“天地一体”的农业面源污染监测网络,提升污染监测精准度与评估科学性。传统农业面源污染监测多依赖地面站点采样分析,存在监测范围有限、耗时费力、难以反映全域污染状况等弊端,无法满足精细化治理需求。遥感技术作为一种新型监测手段,可通过卫星、无人机等平台获取地表多光谱、高光谱数据,结合地面监测数据反演土壤含水率、植被覆盖度、污染物浓度等核心指标,实现农业面源污染的大范围、动态化、常态化监测,为2023年~2025年农业面源污染治理任务落地提供技术支持。

【作者简介】许发贤(1989-),男,中国福建上杭人,本科,工程师,从事环境监测研究。

## 2 遥感技术在农业面源污染监测中的应用原理与技术流程

### 2.1 遥感技术监测核心原理

农业面源污染的核心污染物（总氮、总磷、氨氮等）虽无法通过遥感技术直接监测，但可通过反演与污染物迁移转化密切相关的地表参数，间接实现污染负荷评估。一是植被覆盖度反演，通过遥感影像的归一化植被指数（NDVI）计算植被覆盖度，植被覆盖度越高，对土壤侵蚀与污染物流失的拦截作用越强，反之则污染流失风险越高；二是土壤含水率反演，基于遥感影像的热红外波段与近红外波段数据，反演土壤含水率，土壤含水率过高易引发农田径流，增加污染物流失概率；三是地表径流反演，结合数字高程模型（DEM）与遥感影像数据，提取地形坡度、坡向等信息，预判地表径流路径与强度，识别污染高风险区域；四是污染物浓度反演，通过高光谱遥感数据，结合地面监测的污染物浓度数据，建立反演模型，实现区域尺度污染物浓度的空间分布模拟<sup>[1]</sup>。该原理为2023年~2025年罗源县农业面源污染遥感监测工作的开展奠定了核心技术基础。

### 2.2 罗源县遥感监测技术流程

结合罗源县地形特征与2023年~2025年污染监测工作需求，构建的遥感监测技术流程核心包含四个环节。一是数据收集与预处理，收集2023年~2025年常规及汛期污染监测、卫星遥感、DEM、气象及农业生产等多源数据，对遥感影像进行辐射定标、大气校正等预处理，保障数据质量。二是地表参数反演，基于预处理影像计算NDVI、植被覆盖度等参数，结合DEM提取地形因子，构建适配2023年~2025年监测周期的参数数据集。三是模型构建，以2023年~2025年地面监测数据为基础，融入各年度遥感反演参数，构建污染负荷评估模型并反演空间分布。四是结果验证与分析，结合各年度实地调研情况验证精度，系统分析2023年~2025年污染特征与来源并提出针对性建议。需注意，县域地形复杂，汛期易因山涧水汇入出现污染量倒挂，需结合2023年~2025年多年度、多类型数据修正结果，保障评估科学性<sup>[2]</sup>。

## 3 基于遥感技术的罗源县农业面源污染监测与评估实践

本文以福建省福州市罗源县（编码350123）为研究区域，基于2023年~2025年常规及汛期农业面源污染地面监测数据，结合遥感技术应用，开展多年度污染监测与评估实践，重点分析核心污染指标的时空分布特征、污染负荷变化规律及污染来源，为区域农业面源污染治理提供数据支撑与实践参考。

### 3.1 监测数据概况与监测方法

从监测数据来看，罗源县2023年~2025年常规农业面源污染监测均涵盖总氮、总磷、氨氮、化学需氧量、高锰酸

盐指数、磷酸盐、可溶性磷酸盐等7项核心指标（硝酸盐氮未监测），各年度监测方法统一为“监测区常规污染量=(出口浓度\*出口流量-入口浓度\*入口流量)\*月天数”；2023年~2025年汛期监测均仅在5月、7月有效数据（其他月份未监测或数据缺失），监测方法统一为“监测区汛期农业面源污染入河量=所有出口农业面源污染入河量-所有入口农业面源污染入河量”，且2023年~2025年每年5月、7月均出现部分指标污染量倒挂（总氮、总磷等指标为-1，氨氮为正值），原因主要为汛期山涧水汇入导致出境污染物浓度偏低，该特征在2023年~2025年监测周期内表现一致。结合2023年~2025年遥感技术反演的植被覆盖度、土壤含水率、地形坡度等参数，对罗源县该周期内农业面源污染监测结果进行系统评估<sup>[3]</sup>。

### 3.2 污染时间分布特征分析

时间分布特征方面，罗源县2023年~2025年各年度常规农业面源污染均呈现明显季节性波动，且年度间规律一致，6-8月均为污染高发期，核心污染指标负荷显著高于其他月份。以2025年（监测数据最完整年度）为例，总氮污染量6月达743.88 kg，7月为392.12 kg，8月为586.51 kg，分别是1月（78.07 kg）的9.5倍、5.0倍、7.5倍；总磷污染量6月达88.47 kg，7月为51.83 kg，8月为50.65 kg，显著高于1月（13.18 kg）与2月（5.51 kg）；氨氮污染量6月达101.25 kg，为全年最高，7月、8月分别为40.53 kg、28.32 kg，其他月份均低于5 kg。结合2023年~2025年遥感反演结果综合分析，6-8月罗源县降雨量充沛，各年度同期土壤含水率均维持在较高水平（遥感反演值达25%-35%），植被覆盖度虽处于较高区间（NDVI值0.6-0.8），但强降雨引发的农田径流强度大，导致土壤中氮、磷等污染物大量流失，污染负荷显著增加；11-2月各年度降雨量均偏少，土壤含水率低（遥感反演值10%-15%），农田径流少，污染负荷持续维持在较低水平，年度间波动较小。

### 3.3 污染空间分布特征分析

空间分布特征方面，基于2023年~2025年遥感技术反演的污染负荷空间分布结果综合分析，罗源县农业面源污染高风险区域在监测周期内保持稳定，主要集中在县域中部平原农田区与东南部丘陵农田区（图1）。中部平原区地形平坦（坡度<5°），土壤肥沃，农业种植密度高，2023年~2025年化肥施用强度持续处于较高水平，虽植被覆盖度较高，但农田径流污染物流失风险高，总氮、总磷污染负荷占县域总负荷的45%以上，且各年度占比相对稳定；东南部丘陵区地形坡度较大（5°-15°），土壤保水保肥能力弱，2023年~2025年各年度降雨后农田径流强度均较大，污染物流失风险高，氨氮、磷酸盐污染负荷占比达30%以上；北部山区地形坡度大（>15°），农业种植面积少，2023年~2025年植被覆盖度持续维持在高位（NDVI值0.7-0.9），对污染物的拦截作用强，污染负荷较低，仅占县域总负荷的10%以下。此外，2023年~2025年每年汛期，受山涧水汇

人影响,东南部丘陵区与中部平原区交界地带均易出现污染量倒挂现象,是监测周期内需重点关注的区域<sup>[4]</sup>。

### 3.4 污染来源综合评估

污染来源评估方面,结合2023年~2025年遥感监测结果与区域农业生产实际,罗源县农业面源污染核心来源在监测周期内未发生明显变化,主要包括三个方面:一是化肥施用污染,县域中部、东南部农田区2023年~2025年化肥施用强度持续偏高,氮、磷化肥过量施用后,未被作物吸收的部分随农田径流流失,成为总氮、总磷污染的主要来源,且贡献占比逐年趋于稳定;二是农田径流污染,2023年~2025年各年度6-8月强降雨引发的农田径流是污染物迁移的主要载体,遥感反演的地表径流强度与污染负荷呈显著正相关(相关系数0.82),年度间相关性特征一致;三是汛期山涧水汇入影响,2023年~2025年每年汛期山涧水携带的清水均会稀释出境污染物浓度,导致部分月份污染量倒挂,同时山涧水冲刷山体表层土壤,也会带入少量污染物,增加了2023年~2025年各年度污染监测与评估的复杂性,是贯穿整个监测周期的突出问题。

## 4 遥感监测应用中存在的问题与优化建议

### 4.1 遥感监测应用现存核心问题

结合2023年~2025年罗源县农业面源污染遥感监测实践,梳理得出当前应用中存在的核心问题:一是复杂地形条件下遥感监测精度受限,罗源县山地、丘陵占比较大,地形起伏明显,2023年~2025年收集的遥感影像均易出现阴影遮挡、混合像元等问题,导致植被覆盖度、土壤含水率等参数反演精度降低,进而影响各年度污染负荷评估准确性;二是地面监测数据与遥感数据融合不足,2023年~2025年监测工作均以地面站点采样分析为主,遥感数据仅作为辅助参考,未建立常态化的数据融合机制,且各年度地面监测指标与遥感反演参数的关联性分析不够深入,影响监测结果的全面性;三是汛期特殊情况应对能力弱,罗源县2023年~2025年每年汛期均出现污染量倒挂现象,但当前遥感监测模型未充分考虑此类特殊情况,缺乏针对性的反演与修正方法,导致各年度汛期污染评估结果可靠性不足;四是高光谱遥感数据应用不足,2023年~2025年监测均采用多光谱遥感数据,分辨率有限,难以精准反演低浓度污染物浓度,对氨氮、磷酸盐等微量污染物的监测能力不足<sup>[5]</sup>。

### 4.2 遥感监测与污染管控优化建议

针对2023年~2025年遥感监测实践中发现的问题,结合罗源县农业面源污染治理需求,提出以下优化建议:一是优化遥感监测技术方案,针对复杂地形特征,采用“卫星遥感+无人机遥感”协同监测模式,卫星遥感实现全域覆盖监测,无人机遥感针对山地、丘陵等重点区域开展高精度监测,减少阴影遮挡、混合像元等问题影响,提升2023年~2025年后续监测及未来工作中地表参数反演精度;二是建

立常态化数据融合机制,整合2023年~2025年多年度地面监测数据、遥感数据、气象数据、农业生产数据等多源信息,构建县域农业面源污染监测数据库,深入分析地面监测指标与遥感反演参数的关联性,优化污染负荷评估模型;三是完善汛期污染监测与修正方法,结合地形数据、2023年~2025年气象数据与实地调研情况,识别汛期山涧水汇入范围与强度,在遥感监测模型中加入清水稀释、山体冲刷等影响因子,建立针对性的反演与修正模型,提升汛期污染评估准确性;四是加强高光谱遥感技术应用,引入高光谱遥感数据,结合2023年~2025年地面监测的低浓度污染物数据,构建高精度污染物浓度反演模型,提升氨氮、磷酸盐等微量污染物的监测能力;五是强化监测成果应用,基于2023年~2025年遥感监测与评估结果,精准识别污染高风险区域与核心污染来源,针对性制定化肥减量施用、农田径流拦截、生态缓冲带建设等管控措施,推动农业面源污染精准治理。

## 5 结论

遥感技术凭借大范围覆盖、实时快速、非接触式等优势,可有效支撑县域尺度农业面源污染全域动态监测与评估,通过反演植被覆盖度、土壤含水率、地形坡度等地表参数,结合地面监测数据,能够精准厘清污染时空分布特征、核心污染来源与污染负荷变化规律,为农业面源污染精准治理提供科学支撑。研究表明,罗源县2023年~2025年期间,农业面源污染呈现明显季节性特征,6-8月持续为污染高发期,总氮、总磷、氨氮等核心污染指标负荷显著高于其他月份,主要受各年度汛期强降雨引发的农田径流影响;空间上,污染高风险区域在监测周期内保持稳定,集中在中部平原农田区与东南部丘陵农田区,北部山区污染负荷持续较低;污染核心来源为化肥过量施用与农田径流迁移,2023年~2025年每年汛期山涧水汇入均易导致污染量倒挂,增加监测与评估的复杂性。未来,县域尺度农业面源污染监测与评估应进一步强化遥感技术的深度应用,构建“天地一体、多源融合、精准高效”的监测网络,结合2023年~2025年监测积累的数据与经验,持续优化污染负荷评估模型,提升监测精度与评估科学性,为农业生态环境保护与可持续发展提供有力保障。

### 参考文献

- [1] 亓宝艳. 高光谱遥感技术在水环境监测中的应用研究[J]. 皮革制作与环保科技,2024,5(21):144-146.
- [2] 吴怡. 卫星遥感技术在现代气象服务中的应用[J]. 安徽农学通报,2025,31(8):114-116.
- [3] 李洋,刘阁,李思佳,等. 内陆水体浊度遥感监测研究进展与未来趋势[J]. 湿地科学,2025,23(4):834-845.
- [4] 陈敏,白雪蕾,高吉喜,等. 农业面源污染立体遥感监测体系构想[J]. 环境保护,2020,48(14):49-53.
- [5] 魏静. 工程测量技术在农业面源污染监测与治理中的应用研究综述[J]. 农业与技术,2025,45(23):54-57.

# Research on the Construction of Human Impact Benefit Index and Its Application in Insurance Based on the Physical-Financial Coupling Model

Fang Guo<sup>1</sup> Jiayi Cheng<sup>2</sup> Xuyi Lv<sup>1</sup> Xuechuan Liu<sup>1</sup> Xiaoya Wang<sup>1</sup>

1. Liaocheng Meteorological Bureau, Liaocheng, Shandong, 252000, China

2. Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan, 650500, China

## Abstract

Against the backdrop of global climate change and increasing frequency of extreme weather events, weather modification stands out as a crucial technological approach to harness cloud water resources and mitigate meteorological disasters, demonstrating significant strategic value. While China ranks among the world's top in weather modification operations, persistent challenges like uncertain operational effectiveness evaluation and economic benefits that are hard to quantify have constrained its marketization and sustainable development. This study establishes a quantitative framework integrating meteorological physical effects with financial risk management, innovatively proposing the Artificial Weather Modification Benefit Index (AIWEI). It develops a three-tier technical framework: "physical effect assessment → benefit equivalence conversion → financial index generation," combining multi-source observational data with cloud numerical modeling to convert physical effects like rainfall enhancement into standardized tradable indices. The research provides operational benefit assurance, mitigates fiscal fund risks, and drives the transformation of weather modification from traditional public services to a collaborative model integrating public services and market mechanisms.

## Keywords

Weather Modification; Operational Effect Evaluation; Benefit Index (AIWEI); Index Insurance; Numerical Simulation; Risk Management

## 基于物理-金融耦合模型的人影效益指数构建及保险应用研究

郭芳<sup>1</sup> 程佳怡<sup>2</sup> 吕绪祎<sup>1</sup> 刘学川<sup>1</sup> 王晓亚<sup>1</sup>

1. 聊城市气象局, 中国·山东聊城 252000

2. 云南师范大学, 中国·云南昆明 650500

## 摘要

在全球气候变化与极端天气频发背景下,人工影响天气作为开发云水资源、防御气象灾害的重要技术手段,战略价值突出。我国人工影响天气作业规模居世界前列,但长期面临作业效果评估不确定、经济效益难以显性化等问题,制约其市场化与可持续发展。本研究构建气象物理效应与金融风险管理相衔接的量化体系,创新性提出人工影响天气效益指数(AIWEI),建立“物理效应评估—效益当量转化—金融指数生成”三层技术框架,融合多源观测数据与云解析数值模式,将增雨等物理效果量化为标准可交易指数。研究可为作业效益提供保障、分散财政资金风险,推动人工影响天气由传统公共服务向公共服务与市场机制协同发展转型。

## 关键词

人工影响天气; 作业效果评估; 效益指数(AIWEI); 指数保险; 数值模拟; 风险管理

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

全球气候变化导致极端干旱事件频发,对粮食安全构成严峻挑战。以2025年夏季为例,山东省聊城市遭遇严重

旱情,最大受旱面积达37万亩,对夏播作物构成直接威胁<sup>[1]</sup>。在此背景下,人工影响天气作为主动抗旱的科技手段,其作业需求与日俱增。我国已建立起世界最大规模的人影业务体系,但长久以来,如何科学、定量地回答“作业是否有效、效益几何”这一核心问题,始终是制约行业发展的瓶颈<sup>[2]</sup>。

### 1.2 国内外研究现状

人影效果评估方面:国际通行方法主要围绕物理检验、统计检验和数值模拟检验三大类展开<sup>[4]</sup>。国内业务实践在此

【作者简介】郭芳(1979—),女,本科,工程师,从事人工影响天气,气象服务与应用气象研究。

基础上,已形成从作业条件识别、合理性分析到效果检验的规范化业务流程<sup>[5]</sup>。尤其在数值模拟方面,耦合催化模块的中尺度模式已成为定量评估作业潜力和分离“有/无”催化效果的重要工具<sup>[6]</sup>。

气象金融与指数保险方面:基于气温、降水量等自然气象指数的金融衍生品与农业保险已形成较为成熟的市场与理论体系<sup>[7]</sup>。其核心优势在于以客观指数触发赔付,规避了传统保险定损难、道德风险高的问题。但这一模式始终未延伸至对“人工催化效果”这一兼具科学不确定性和公共产品属性的特殊标的进行开发。

研究缺口:当前“气象物理”与“金融工程”的研究呈平行发展态势,缺乏一个权威、可信的“转译器”将规范化的科学评估结果转化为金融合约的基础变量。本研究旨在填补这一空白。

### 1.3 研究内容与技术路线

本文核心研究内容包括:

构建 AIWEI 指数:依据国家人影效果评估业务指南,建立“物理效应评估—效益当量转化—金融指数生成”的三层量化理论框架。

设计金融应用模型:基于 AIWEI,设计指数保险产品,详述其合约结构、定价模型(融合历史成功率与天气可实现度)与风险管理机制。

典型案例模拟验证:以 2025 年夏季山东省聊城市抗旱增雨作业为背景,完整模拟 AIWEI 指数的计算与保险应用流程,验证体系的可行性与实用性。

## 2 人影作业效益指数 (AIWEI) 构建的理论与方法

### 2.1 核心概念与构建原则

人影作业效益指数 (Artificial Influence Weather Effect Index, AIWEI) 是一个基于规范化的业务评估流程,旨在客观、定量反映单次或批次人影作业所产生的、可归因于人工催化干预的净物理效益的标准化数值。其构建遵循三大原则:科学性(基于物理机制与公认模型)、客观性(依赖可观测数据与透明算法)和业务可衔接性(流程与国家现行人影效果评估业务规范兼容)。

### 2.2 基于业务规范的三层量化框架

第一层:物理效应评估层

本层目标是采用业务指南推荐的“数值模拟检验”作为核心方法,剥离自然降水与催化贡献。

数据输入:

输入要素包括:1)全要素作业信息(依据《人工影响天气作业信息格式规范》获取的作业时间、位置、催化剂量等);

2)多源观测数据(聊城市及周边雷达、卫星、自动气象站、探空资料);

3)数值模式初始场与边界条件。

核心方法——有/无催化对比模拟:采用耦合了碘化银

(AgI)催化模块的 WRF 中尺度数值模式,针对同一目标天气过程,分别进行控制试验 (CTRL, 无催化) 和催化试验 (EXP, 有催化) 的模拟。两个试验除催化模块开关外,初始场、边界条件及物理参数化方案完全一致。

关键参数提取——面雨量增量 ( $\Delta R$ ):对比分析两个试验的输出结果,计算目标区域(如聊城市受旱的冠县、临清等地)在作业影响时段内的格点降水差异。核心评估参数为面雨量增量:

$$\Delta R = R\_EXP - R\_CTRL.$$

其中,  $R\_EXP$  与  $R\_CTRL$  分别为催化与未催化情景下的区域平均面雨量。 $\Delta R > 0$  表示正增雨效果。

第二层:效益当量转化层

本层目标是将物理参数  $\Delta R$  转化为具有初步经济含义的标准化当量。

增雨效益当量 (Water Use Effectiveness, WUE):将面雨量增量转化为水资源体积当量。公式为:

$$WUE = \Delta R * A * 10^3.$$

其中,  $\Delta R$  单位为毫米,  $A$  为预先根据催化剂扩散模型或模拟确定的“作业影响区”面积(平方公里)。

以聊城案例模拟为例,若影响区  $A$  为 5000 平方公里,  $\Delta R$  为 1.3 毫米,则  $WUE = 1.3 * 5000 * 10^3 = 6.5 * 10^6$  立方米。

第三层:金融指数生成层

本层目标是将效益当量标准化为无量纲、可交易的金融指数。

指数定义:  $AIWEI = WUE / WUE\_std.$

其中,  $WUE\_std$  为标准化基准值。该基准值可根据区域历史作业评估结果设定,例如设定为对应一次“典型成功作业”(如  $\Delta R = 1.0$  毫米)所产生的效益当量。在聊城案例中,若取  $WUE\_std$  为对应  $\Delta R=1.0$  毫米的当量 ( $5.0 * 10^6$  立方米),则计算得  $AIWEI = 6.5 / 5.0 = 1.3$ 。

指数特性:AIWEI 是一个相对值,  $AIWEI > 1$  表示作业效果优于历史基准水平。此设计避免了直接货币化带来的价格波动干扰,使指数更稳定、更适用于金融合约。

## 3 基于 AIWEI 的指数保险产品的设计

### 3.1 产品基本结构与运作机制

参与方:投保人(作业委托方,如聊城市农业农村局)、保险人(保险公司/再保险公司)。

保险标的:特定人影作业的预期效益,以 AIWEI 指数衡量。

触发与赔付机制:

触发值 ( $AIWEI\_T$ ):在保险合同中事先约定。可基于作业成本、预期效益或历史平均水平设定。例如,设定  $AIWEI\_T = 1.0$ ,即要求作业效果至少达到历史基准水平。

赔付函数:采用线性赔付结构。赔付额 =  $\text{Max}(0, (AIWEI\_T - AIWEI\_Actual) / AIWEI\_T) * \text{保险金额}$ 。其中,  $AIWEI\_Actual$  为作业后按第二章流程计算的最终指数值。该设计

意味着仅当作业效果未达约定标准时，才按比例进行赔付，实现了对财政资金的“效果保障”。

### 3.2 定价模型：融合技术成功率与天气可实现度

保险费率 (P) 是核心，本研究提出混合定价模型：

$$P = P_{base} * f(\lambda)$$

基础费率 ( $P_{base}$ )：反映人影作业固有的技术不确定性。 $P_{base} = (1 - S_{hist}) * L$ 。其中， $S_{hist}$  为基于历史同类作业通过回溯模拟计算的 AIWEI 达标率 ( $AIWEI_{Actual} \geq AIWEI_T$  的概率)； $L$  为保险人目标赔付率。

天气可实现度调整因子 ( $f(\lambda)$ )：反映本次作业具体天气条件的优劣。作业前，利用数值模式集合预报评估自然降水潜力  $R_{CTRL\_forecast}$ 。定义实现度因子

$$\lambda = (R_{CTRL\_forecast} - R_{threshold}) / R_{threshold}$$

其中  $R_{threshold}$  为该类作业所需的最低自然云水条件气候阈值。 $\lambda$  的概率分布可通过历史预报与实况分析得到， $f(\lambda)$  为基于该分布的调整函数 ( $\lambda$  越小， $f(\lambda)$  越大，费率越高)。

### 3.3 保险人的风险对冲策略

为管理 AIWEI 指数的聚合风险，保险人可采取：

再保险：向国际再保险市场分保，转移极端损失风险。

发行巨灾债券：设计与区域性 AIWEI 指数篮子（如“黄淮海夏旱增雨指数”）挂钩的巨灾债券，将风险证券化，转移至资本市场。

利用传统天气衍生品对冲：分析 AIWEI 指数与区域自然降水量指数之间的相关性，通过交易降水量期货、期权等工具，对冲部分基础天气风险。

## 4 案例模拟：以 2025 年山东聊城市抗旱增雨为例

### 4.1 案例背景与数据基础

旱情背景：2025 年 6 月上中旬，聊城市出现持续高温少雨天气，全市最大受旱面积达 37 万亩，夏播作物出苗与生长受到严重威胁 [1]。

作业能力：山东省“人工影响天气水资源保障工程”已在聊城落地实施，具备实施大规模飞机及地面火箭增雨作业的能力。

模拟设定：假设针对一次过境的具备增雨潜力的天气系统，聊城市人影办组织实施了一次联合增雨作业。目标区域设定为受旱严重的冠县、临清等区县，总面积约 5000 平方公里。

### 4.2 AIWEI 指数计算模拟

物理效应评估模拟：利用 WRF 模式进行“有/无”作业对比模拟。控制试验 (CTRL) 能合理再现当日实际观测到的弱降水过程 (模拟面雨量  $R_{CTRL} = 0.8$  毫米)。催化试验 (EXP) 模拟显示，在催化作用下，目标区域降水增强，模拟面雨量  $R_{EXP} = 2.1$  毫米。

效益当量与指数计算：

$$\Delta R = 2.1 - 0.8 = 1.3 \text{ 毫米。}$$

增雨效益当量： $WUE = 1.3 * 5000 * 10^3 = 6.5 \times 10^6$  立方米。

采用区域历史基准  $WUE_{std}$  (对应  $\Delta R=1.0$  毫米，即  $5.0 \times 10^6$  立方米)，最终得到  $AIWEI_{Actual} = 1.3$ 。

### 4.3 保险合同结算模拟

假设投保人 (聊城市农业农村局) 为此次作业投保，保单约定：保险金额为作业成本 (假设为  $C$ ) 的 150%，触发值  $AIWEI_T = 1.0$ 。

情景 1 (实际模拟结果)：

$AIWEI_{Actual} = 1.3 > 1.0$ ，未触发赔付。作业效果显著，保障了抗旱目标，财政资金使用效率高。

情景 2 (假设效果不佳)：若模拟得

$AIWEI_{Actual} = 0.7$ ，则触发赔付。

$$\text{赔付额} = ((1.0 - 0.7) / 1.0) * 1.5C = 0.45C$$

投保人可回收 45% 的作业成本，显著平滑了财政支出波动，对冲了作业效果不达预期的风险。

### 4.4 讨论

本模拟展示了 AIWEI 指数如何将一次复杂的气象作业效果，转化为清晰、客观的金融合约结算依据。聊城市作为气象为农服务效益评价试点，其已有的效益定量评估工作基础，与 AIWEI 指数的经济转化逻辑高度契合，证明了本地化应用的可行性。

## 5 结语

本研究以国家人影效果评估业务规范为科学基石，构建了人工影响天气效益指数 (AIWEI) 的三层量化框架，并创新性地将其应用于指数保险产品的设计。通过对山东聊城市 2025 年抗旱增雨作业的模拟，验证了从物理评估到金融结算的全链条可行性。该体系的核心价值在于，通过金融工程手段，为人影作业固有的科学不确定性提供了市场化风险分散工具，能够提升公共财政资金使用的韧性和效率。

未来研究可在以下方向深化：1) 发展融合物理检验、统计检验结果的 AIWEI 集合评估算法，提升指数稳健性；2) 利用机器学习技术，开发基于实时数据的 AIWEI 快速估算模型，满足保险快速定损需求；3) 探索区块链技术用于指数计算数据、流程与结果的全链存证，确保其不可篡改与可追溯性。

### 参考文献

- [1] 聊城市气象局. 聊城市 2025 年 6 月农业气象服务专报[R]. 2025.
- [2] 中国气象局人工影响天气中心. 人工增雨 (雪) 作业效果评估业务指南 (2022 版) [Z]. 2022.
- [3] 张岳恒, 等. 农业气象指数保险研究进展[J]. 气象, 2018, 44(7): 845-856.
- [4] World Meteorological Organization (WMO). WMO Statement on the Status of Weather Modification Research and Operations[R]. WMO, 2021.
- [5] 李集明, 等. 人工增雨效果统计检验方法研究进展[J]. 气象科技进展, 2015, 5(3): 6-13.

# The main diseases and insect pests of *Akebia quinata* and their control methods

Dongyuan Hou<sup>1</sup> Pengjun He<sup>2</sup> Siyu Zhang<sup>2</sup> Shangguo Chen<sup>3</sup>

1. State-owned Forest Management Service Center, Tongnan District, Chongqing, 400000, China

2. Tongnan District Chongqing Huajiao Industry Development Station, Chongqing, 400000, China

3. Industrial Development Service Center Baizi Town Tongnan District Chongqing City, Chongqing, 400000, China

## Abstract

*Ficus virens*, a native tree species and excellent street tree in South and Southwest China, is widely used in landscaping. However, its growth is frequently affected by various diseases and pests, which impair both its health and ornamental value. Based on relevant research literature, this paper systematically reviews the common diseases and pests of *Ficus virens* and proposes comprehensive control measures according to their occurrence patterns, aiming to provide theoretical basis and practical guidance for its scientific maintenance and management.

## Keywords

*Coptis chinensis*; Pests and diseases; Occurrence patterns; Integrated pest management

## 黄葛树主要病虫害及其防治方法

侯栋元<sup>1</sup> 何朋俊<sup>2</sup> 张思宇<sup>2</sup> 陈尚果<sup>3</sup>

1. 重庆市潼南区国有林管理服务中心, 中国·重庆 400000

2. 重庆市潼南区花椒产业发展站, 中国·重庆 400000

3. 重庆市潼南区柏梓镇产业发展服务中心, 中国·重庆 400000

## 摘要

黄葛树 (*Ficus virens*) 作为我国华南和西南地区重要的乡土树种和优良的行道树, 在园林绿化中应用广泛。然而, 在其生长过程中常受到多种病虫害的侵袭, 影响其健康生长与景观价值。本文基于相关研究文献, 系统梳理了黄葛树常见的主要病害和主要虫害, 并针对其发生规律提出了相应的综合防治措施, 旨在为黄葛树的科学养护管理提供理论依据和实践指导。

## 关键词

黄葛树; 病虫害; 发生规律; 综合防治

## 1 引言

黄葛树 (*Ficus virens*) 是桑科榕属的落叶大乔木, 该树种树体高大, 冠形呈伞状半球形, 叶片纸质且叶脉呈独特的矩形网络结构, 并随季节变化呈现鲜明的物候特征, 其隐头花序及成熟果实具有典型的榕属植物繁殖特征。在生态适应性方面, 黄葛树广泛分布于我国华南、西南及东南亚至大洋洲地区, 表现出对温暖湿润气候的偏好以及较强的抗旱、耐瘠薄和抗寒能力, 其发达的根系与较强的抗风、抗污染性能使其能够适应多种生境条件。

【基金项目】2025年度潼南区科研项目(项目编号: TK-2025-3)。

【作者简介】侯栋元(1993—), 男, 中国山西晋城人, 硕士, 工程师, 从事农业害虫与昆虫防治研究。

## 2 主要病害及其防治方法

### 2.1 锈病

发病症状与规律: 病原菌为 *Uredo* sp. (冬孢菌纲、锈菌目)。该病主要危害叶片, 发病初期叶片正反面出现圆形黄点, 逐渐扩大后, 叶正面呈褐色或黄褐色, 叶背面出现黄褐色粉末状夏孢子堆。严重时病斑连片, 叶片皱缩, 甚至提前脱落。病害发生于3-12月, 7-10月为发病盛期。病菌可在病株芽鳞、叶痕、病叶及嫩枝上越冬, 成为翌年初侵染源。夏孢子在26℃、相对湿度90%时萌发率最高<sup>[1]</sup>。

防治方法: 首要措施是中断其转主寄生链, 清除果园或绿地周边可能存在的转主寄主植物(如某些松科植物), 从源头上减少初始菌源。关键环节在于树体抗性管理与微环境调控, 通过平衡施肥(增施磷钾肥)、合理修剪以增强通风透光, 降低林间湿度, 创造不利于孢子萌发与侵染的微气候。生物与生态防治是重要方向, 可在发病前期应用壳聚糖、

芸苔素内酯等诱导树体系统抗性，或喷施木霉菌等拮抗微生物制剂进行生态位竞争。化学防治应精准用于发病初期或流行预警期，选用三唑类（如戊唑醇）或甲氧基丙烯酸酯类（如啞菌酯）药剂进行保护性或治疗性喷施，并严格遵循抗性管理原则。

## 2.2 黑斑病

发病症状与规律：病原菌为 *Alternaria tenuis* Nees（丝孢纲、丝孢目）。主要危害嫩梢和叶片，嫩叶病斑多始于叶尖叶缘，初呈水渍状，后转为墨绿至黑色，叶片皱缩脆裂；老叶病斑多为长椭圆形或不规则形黄褐色至深褐色斑块，潮湿时叶背产生橄榄色霉层。病害在2-6月发生，3-5月上旬为盛期。病菌通过风雨、昆虫或病叶接触传播，从伤口或衰弱组织侵入。幼树、嫩叶发病重<sup>[5]</sup>。

防治方法：核心在于通过环境调控与寄主健康管理，打破病原真菌（主要为尾孢菌属）的侵染循环。关键在于优化树体微环境，通过结构性修剪改善林内通风透光，降低叶面滞留湿度，并彻底清除病落叶以减少越冬菌源。栽培管理是抗性基础，应通过平衡施肥（控制氮素、增施磷钾）与科学灌溉培育健壮树势。生物防治可同步应用，喷施枯草芽孢杆菌等拮抗微生物制剂，或使用壳聚糖等诱导剂激活树木系统抗性。化学防治作为辅助手段，应在发病初期精准选用苯醚甲环唑与啞菌酯等内吸性药剂，并遵循轮用原则以延缓抗性。整个防控体系强调各类措施的时序协同与生态整合，实现从单一杀菌到综合生态管理的范式转变。

## 2.3 叶斑病

发病症状与规律：病原菌为 *Phyllosticta ficis* Bres.（腔孢纲，球壳孢目），主要危害叶片。发病初期叶片出现黄褐色小点，后扩展为不规则灰褐色至褐色斑块，微皱缩，后期生黑色小点（分生孢子器）。分生孢子器扁球形、黑褐色。该病菌以菌丝体及分生孢子器在病组织内越冬，次年夏初借风雨传播进行初侵染。高温高湿条件下发病重，10月后病情减缓。广东行道树常见该病，危害中等<sup>[5]</sup>。

防治方法：加强栽培管理以提高植株抗性，及时清除并销毁林间病残体以减少初侵染源；在病害发生初期或高湿季节前，科学选用代森锰锌、苯醚甲环唑等高效低毒杀菌剂进行精准防控，并实施药剂的轮换使用以延缓抗药性发展；通过合理调整种植密度和树体结构，优化林间微生态环境，降低病害流行风险。

## 2.4 煤烟病

发病症状与规律：病原菌为 *Trispospermum acerinum* (syd) Speg. 在叶片和枝干表面形成一层黑色煤烟状霉层，影响光合作用。此病常伴随蚜虫、介壳虫等害虫发生，因其分泌物是霉菌的培养基，对黄葛树危害显著<sup>[6]</sup>。

防治方法：需立足于其“害虫-蜜露-真菌”的三角共生关系，治理核心应从直接处理表生菌层转向根源性生态调控。首要策略是精准切断蜜露来源，即对介壳虫、蚜虫等同翅目害虫实施靶向治理，可选用螺虫乙酯、吡虫啉等内吸

性药剂并结合矿物油物理封闭，同时辅以色板诱杀等物理手段。其次需优化树体微环境，通过合理修剪改善冠层通风透光，降低湿度以抑制真菌增殖，并科学调控水肥以增强树势。在病害发生后，可对关键观赏部位进行叶面清洗（如施用碱性皂液）以快速恢复光合作用。更具前瞻性的策略是应用生态调控，可喷施含拮抗酵母菌或芽孢杆菌的微生物制剂，通过营养与空间竞争促进叶际微生物群落平衡，抑制煤污病菌的定殖。整个防控体系体现了从被动杀菌到源头控制与生态重建的治理范式升级。

## 2.5 根腐病

发病症状与规律：最新研究发现，由热带灵芝（*Ganoderma tropicum*）引起的根腐病是黄葛树的严重病害。病株初期树冠叶片失绿，旱季黄化脱落，树冠稀疏，枯枝增多；多雨时在根部可见红褐色漏斗状或檐状担子果，病根组织呈白色腐朽。病原菌主要通过根系伤口侵入。极端天气、机械损伤等造成的伤口是重要诱因<sup>[1]</sup>。

防治方法：核心在于构建以健康土壤生态系统为基础的预防性体系。其重点并非单一依赖化学杀菌，而是通过综合调控根区环境，切断病害发生的环境链条。根本措施在于优化土壤物理结构与生物环境，确保种植地排水绝对通畅，通过掺入透气基质、增施腐熟有机质等方式改良土壤，营造不利于病原菌（如腐霉、镰刀菌）生存的氧化型根际微域。在管理上，应规范栽植，避免深栽与机械损伤。对于初期染病植株，需采取“外科清创结合生物修复”策略：挖开根区，彻底切除腐烂组织并对伤口消毒，随后回填混有木霉、丛枝菌根真菌等拮抗微生物的健土，以生物竞争方式抑制病原并促进根系再生。化学药剂（如甲霜灵、噁唑酰肼）仅应在病害早期作为精准的辅助干预手段。整个防治逻辑体现了从被动处理到主动生态管理的范式转变。对于重病濒死植株，应及时移除并对植穴土壤进行彻底消毒与轮作，防止病原在区域内持续扩散。

## 3 主要虫害及其防治方法

### 3.1 褐斑白蚕蛾 (*Ocinara brunnea*)

危害特点和发生规律：幼虫取食叶片，严重时可将叶片吃光，仅留叶脉。老熟幼虫体长20.1~39.3mm，灰褐色或褐色，具黄白色斑<sup>[2]</sup>。在重庆地区一年发生4-5代，以4-5龄幼虫越冬。9月中旬至10月上旬为危害高峰期。幼虫共7龄，整日可取食，早晚食量最大<sup>[2]</sup>。

防治方法：核心在于打破其生活史，重点抓准越冬成虫羽化及幼虫低龄期进行精准干预。物理防治是基础，利用成虫趋光性，在发生期设置黑光灯或频振式杀虫灯进行诱杀，可有效降低田间虫口基数。生物防治是关键，应优先保护与利用自然天敌（如鸟类、寄生蜂），或在幼虫期喷施苏云金杆菌等微生物制剂进行靶向防控。农业防治为根本，结合冬季清园，人工刮除或刷除枝干上的越冬卵块，能显著减少来年虫源。化学防治应作为补救措施，仅在幼虫大规模

爆发时,于低龄期科学选用高效低毒药剂(如甲维盐、虫酰肼),并注意轮换使用,以延缓抗性产生并保护生态。通过监测预警,将上述措施有机整合,方可实现对该虫害的持续有效管控。

### 3.2 桔全爪螨 (*Panonychus citri*)

危害特点和发生规律:以成螨、若螨刺吸叶片汁液,导致叶片失绿,出现黄白色小点,严重时叶片灰白,造成夏季非正常落叶。一年有两个发生高峰,分别在6月中旬和9月下旬至10月上旬。树冠内膛螨量显著高于外侧。天敌有塔六点蓟马、尼氏钝绥螨等<sup>[3]</sup>。

防治方法:防治基础在于创造不利其爆发的果园生态。可通过生草栽培(如种植藿香蓟等良性杂草)以增加园内湿度,恶化其喜干旱的生存环境,并为捕食性天敌(如巴氏新小绥螨、加州新小绥螨等)提供栖息地与替代食源,从而增强自然控制力。生物防治是可持续治理的支柱,应主动释放或保护上述捕食螨,并避免使用对其高毒的广谱杀虫剂。化学防治需精准且具抗性管理意识,应依据监测结果,在种群数量超过经济阈值时,于春季发生初期精准施药。药剂选择应优先使用对天敌安全的专性杀螨剂(如乙唑螨腈、联苯肼酯),并严格遵循不同作用机理药剂的轮换与混合使用策略,以延缓抗药性发展。整个体系强调前期生态预防优于后期化学扑杀。

### 3.3 小蠹虫 (*Scolytinae*)

危害特点和发生规律:属鞘翅目小蠹科,成虫体长3.4-4.7mm,棕褐色。成虫和幼虫钻蛀为害长势衰弱的寄主枝干,蛀孔直径约2mm,孔口有木屑,影响树木养分输送,导致树势衰弱甚至死亡<sup>[4]</sup>。一年1代,以成虫在被害枝梢内越冬。

防治方法:首要措施是强化树木健康管理,通过合理水肥、减少机械损伤等栽培措施维持树势,这是降低其寄主选择性的根本。监测与物理清除是关键环节,利用信息素诱捕器进行动态监测,及时识别并清理、销毁虫害木及严重受害枝干,以切断虫源扩散。化学生态调控是高效手段,可在发生初期于树干基部注射内吸性杀虫剂(如吡虫啉、噻虫胺),使整株产生系统性抗性;或采用聚集信息素结合诱饵树进行诱杀,实现种群聚集后集中灭除。生物防治作为补充,可探索利用其病原微生物(如绿僵菌)或保护啄木鸟等天敌。

### 3.4 介壳虫(如吹棉蚧、角蜡蚧、桑白蚧)

危害特点和发生规律:刺吸枝干和叶片汁液,引发煤烟病,导致树势衰退。这三类介壳虫是危害古树名木的主要害虫<sup>[6]</sup>。

防治方法:关键在于打破其生活史中的薄弱环节,核心策略为“前期预防重于后期灭杀”。物理与机械防治是基础,可利用若虫孵化盛期活动性强且无蜡壳保护的特点,采用高压水枪冲刷或矿物油进行物理封闭窒息。生物防治为可持续途径,需重点保护与引进瓢虫、寄生蜂等天敌,并可通

过喷施白僵菌等微生物制剂进行靶向控制。化学防治应作为精准补充,优先选用螺虫乙酯、氟啶虫胺脒等具备内吸与渗透作用的药剂,于若虫期精准施药,并严格轮换使用以延缓抗性。此外,加强种苗检疫、结合修剪清除虫枝、增强植株抗逆性等农业措施构成防控基础。整个体系强调监测预警与多方法在时间与空间上的协同,实现从单一杀灭到生态调控的治理范式转变。

### 3.5 榕透翅毒蛾 (*Perina nuda*)

危害特点和发生规律:榕透翅毒蛾是南方危害黄葛树等榕属树木的主要食叶害虫。幼虫啃食叶片,造成严重观赏损害,体具毒毛可致人皮肤过敏。该虫年发生一代,5-10月为害盛期,梅雨季尤重<sup>[5]</sup>。

防治方法:物理防治方面,可利用成虫的正趋光性,布设黑光灯或频振式杀虫灯进行诱杀;同时结合人工手段,摘除卵块及群集危害的初孵幼虫,降低虫口基数。生物防治侧重于天敌群落的保护与利用,如寄生蜂、捕食性昆虫等自然控制因子;在幼虫低龄高峰期,推荐喷施微生物制剂,如苏云金杆菌或核型多角体病毒,以实现靶标特异性控制。化学防治作为应急手段,宜在幼虫盛发期选用高效、低毒、低残留药剂(如甲维盐、氯虫苯甲酰胺或拟除虫菊酯类)进行喷雾,需注意交替轮换用药以延缓抗性产生。农业防治则强调加强树木养护以增强树势,并通过冬季清园(清除枯枝落叶)等措施,有效减少越冬虫源。鉴于该虫体表毒毛易引发人体皮肤过敏,所有防治作业均须严格做好个人防护,避免直接接触虫体。

## 4 结语

黄葛树的病虫害防治应遵循“预防为主,综合防治”的原则。首先,加强栽培管理,增强树势,提高树木自身的抗病虫能力,如合理修剪、科学施肥、改善立地条件。其次,优先采用生物防治和物理防治方法,如保护利用天敌、人工捕杀、灯光诱杀等。最后,在病虫害发生严重时,科学合理地使用化学农药,注意药剂的轮换使用,以延缓抗药性产生,并减少对环境的污染。通过一系列综合管理措施,才能有效控制黄葛树病虫害的发生与危害,保障其健康生长,持续发挥其生态与景观效益。

## 参考文献

- [1] 付金鑫,李增平,张宇.黄葛树根腐病原菌鉴定及其生物学特性研究[J].植物病理学报,2024.
- [2] 丁文川,汪良芳,曾治中.黄葛树褐斑白蚕蛾生物学及防治研究[J].西南农业大学学报,1991.
- [3] 丁文川,曾治中,马跃.黄葛树桔全爪螨种群动态及防治研究[J].西南农业大学学报,1990.
- [4] 李家芬,孙华平.黄葛树小蠹虫危害的发生及防治[J].现代园艺,2017.
- [5] 陈年生,冯海强.黄葛树主要病虫害及防治[J].现代园艺,2021.

# Research on the Innovation of Environmental Impact Assessment Model Supported by Big Data Technology

Yingkui Hai

Guangxi Hengyuan Environmental Engineering Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

## Abstract

With the rapid development of big data technology, it has become an important tool in the field of Environmental Impact Assessment (EIA), driving the digital transformation of environmental management. Big data technology improves the identification, monitoring, and early warning capabilities of environmental impacts by real-time collection and processing of large amounts of environmental data, optimizing the traditional environmental impact assessment model. It plays a crucial role, especially in data integration, environmental risk assessment, and decision support systems. This paper explores how big data technology supports the innovation of the environmental impact assessment model, analyzes the core functions of big data in environmental monitoring, data analysis, and environmental decision-making, and proposes the implementation path for the innovative model. Big data technology not only improves the accuracy and efficiency of environmental impact assessments but also promotes the intelligent and precise environmental management strategies, thereby advancing the implementation of ecological environmental protection and sustainable development.

## Keywords

Big data technology; Environmental impact assessment; Environmental monitoring; Data analysis; Decision support

## 大数据技术支撑下环境影响评价模式创新研究

海英逵

广西恒源环境工程有限公司, 中国·广西南宁 530000

## 摘要

随着大数据技术的迅速发展,它已成为环境影响评价(EIA)领域的重要工具,推动了环境管理的数字化转型。大数据技术通过实时采集和处理大量环境数据,提升了环境影响的识别、监测和预警能力,优化了传统的环境影响评价模式。尤其在数据整合、环境风险评估和决策支持系统等方面,发挥了重要作用。本文探讨了大数据技术如何支撑环境影响评价模式的创新,分析了大数据应用对环境监测、数据分析和环境决策中的核心功能,并提出了创新模式的实施路径。大数据技术不仅能提高环境影响评价的精度与效率,还能促进环境管理策略的智能化和精准化,从而推动生态环境保护与可持续发展的实施。

## 关键词

大数据技术; 环境影响评价; 环境监测; 数据分析; 决策支持

## 1 引言

环境影响评价(EIA)是对项目、规划、政策等活动可能产生的环境影响进行预测、评估与管理的关键手段。随着全球环境问题日益严峻,传统的环境影响评价方法面临着数据获取不及时、分析效率低、决策支持不足等挑战。因此,借助大数据技术的强大功能,已成为提升环境影响评价质量和效率的有效途径。大数据技术能够实现了对大范围、多维度环境数据的实时采集、处理与分析,从而增强环境监测的实

时性与精准度,为环境风险识别、预警机制和决策支持提供有力保障。大数据的广泛应用正在推动环境影响评价模式的创新,不仅优化了数据处理方式,还促进了环境影响评估过程的智能化与数据驱动决策的实现。

## 2 大数据技术在环境影响评价中的应用背景

### 2.1 大数据技术的发展历程

大数据技术源于信息技术的飞速发展,尤其是互联网、物联网和传感器技术的进步。随着数据采集和存储能力的提升,大数据的概念逐渐形成,并在多个领域得到广泛应用。早期,大数据技术主要集中于互联网公司、金融领域和科研机构的数据处理,随着技术不断成熟,越来越多的行业开始应用大数据技术解决各类复杂问题。近年来,环境领域的数

**【作者简介】** 海英逵(1992—),男,回族,中国广西柳州人,本科,工程师,从事环境工程类专题报告编制相关研究。

字化转型带动了大数据技术在环境影响评价中的应用。环境数据的多样性和复杂性为大数据技术提供了巨大的发展空间,特别是在实时监测、数据挖掘和预测分析等方面,大数据技术的应用使得环境管理能够更加精细化、科学化。

## 2.2 大数据在环境管理中的核心作用

大数据技术在环境管理中具有重要的支撑作用,能够实现海量数据的高效采集、存储、处理与分析。通过实时获取空气、水质、土壤等环境数据,决策者可以及时掌握环境状态,制定更加精准的政策。大数据技术在环境监测中的应用,能够有效整合来自不同传感器、卫星遥感和气象站等多个渠道的数据,形成全面的环境监测网络。这种数据整合不仅提升了环境监测的精准度,还能通过分析历史数据与实时数据,发现潜在的环境风险,提供预警信息。此外,大数据还在环境影响评估、污染源追踪和资源管理中发挥着越来越重要的作用,帮助决策者实现智能化管理和可持续发展目标<sup>[1]</sup>。

## 3 大数据技术支持环境影响评价的核心功能

### 3.1 环境监测数据的实时获取与分析

环境监测数据的实时获取是大数据技术应用的关键领域之一。通过传感器、遥感技术和物联网设备,环境监测能够实现水质、空气质量、土壤污染等环境参数的实时采集。实时数据采集不仅可以帮助评估当前的环境状况,还能为环境变化趋势分析提供数据支持。例如,空气质量监测系统通过布设大量传感器,实时记录PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>等污染物的浓度。这些实时数据通过数据平台进行处理与分析,为环境管理部门提供了快速响应的能力,能够在污染物浓度超标时及时发出预警,并采取相应措施。此外,实时数据分析还能够揭示污染源分布、污染物迁移路径等信息,增强环境监测的精准度。

### 3.2 环境数据的智能化处理与分析方法

随着大数据技术的成熟,环境数据的智能化处理与分析方法逐渐成为环境影响评价中的重要工具。数据清洗、数据挖掘和机器学习算法是处理大规模环境数据的核心方法。通过数据清洗,系统可以剔除噪音数据和异常值,保证数据的准确性。接下来,运用数据挖掘技术,能够从复杂的环境数据中提取出有价值的信息,发现潜在的环境风险或趋势。例如,通过机器学习算法,系统能够对历史污染数据进行分析,预测未来某区域的污染趋势,帮助决策者制定前瞻性的环境管理策略。此外,基于人工智能和大数据分析,环境数据的多维度结合和智能化预测,已成为环境监测、污染治理及生态保护的重要手段<sup>[2]</sup>。

## 4 大数据技术创新推动环境影响评价模式的转型

### 4.1 环境影响评价的决策支持功能

大数据技术在环境影响评价中的决策支持功能主要依靠数据集成、智能分析和实时反馈等技术。通过传感器、

遥感技术和地理信息系统(GIS),大数据能够实时获取环境监测数据。例如,空气质量监测设备能够采集PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>等多项数据,并通过传输网络将其发送至处理中心。在数据处理过程中,使用大数据分析平台对这些数据进行实时清洗与分析,并通过人工智能算法对未来环境变化趋势进行预测。根据某市的监测数据显示,PM<sub>2.5</sub>的年均浓度为55μg/m<sup>3</sup>,超标率为40%。大数据技术将这一数据与气象、交通流量、工业排放等数据结合,构建了实时预测模型,推算出污染源的可能位置,并建议采取限行、减排等措施,从而降低环境污染的影响。

### 4.2 大数据在环境风险识别与预警中的应用

在环境风险识别与预警方面,大数据技术可以有效整合和分析多源数据,从而提高环境管理的响应速度与准确性。通过集成气象数据、污染源监控数据、地理空间数据等,结合预测分析模型,能够实时评估环境风险。例如,通过空气质量传感器和卫星遥感技术,监测到某区域二氧化氮(NO<sub>2</sub>)浓度升高,达到100μg/m<sup>3</sup>,而根据气象数据和历史污染趋势,模型推算出该区域可能会出现严重的雾霾天气。基于这一数据,预警系统能够提前72小时发布预警,提醒相关部门采取减排措施。此外,预警系统不仅能够针对空气污染,还能对水质污染、土壤污染等其他环境风险进行预测。在灾害管理中,大数据技术提供了实时环境监测、动态风险评估、及早预警的能力,帮助管理部门做出及时反应,减少潜在的环境损失<sup>[3]</sup>。

### 4.3 数据可视化技术在环境影响评价中的应用

数据可视化技术在环境影响评价中扮演着至关重要的角色,能够将复杂的环境数据转化为易于理解的图形和图表,从而提升决策效率。使用数据可视化技术,环境数据可以通过热力图、地图和动态图表等形式展现。例如,某市的水质监测数据显示,某条河流上游水质出现恶化,监测到的氨氮浓度达到5.2 mg/L,远高于国家标准1.0 mg/L。通过GIS平台,实时监控数据通过可视化图形呈现,显示污染源的位置及其对下游的影响范围。例如,通过将预测数据与实际环境数据进行对比,动态生成图表和变化趋势,展示出项目对空气质量、噪音、生态系统等方面的影响。在实际案例中,利用可视化技术进行动态监控,减少了传统手工分析的时间,提升了决策的实时性与科学性。通过这一技术,环境管理者能够迅速了解环境变化,并根据实时反馈调整策略,有效避免了潜在的环境风险,详见表1。

## 5 大数据支撑环境影响评价模式创新的实施路径

### 5.1 数据采集与处理平台的建设

数据采集与处理平台是实现大数据技术在环境影响评价中的核心支撑系统。通过部署先进的传感器和智能设备,可以实时采集空气质量、水质、噪音、土壤污染等各类环境

数据。这些设备包括空气质量传感器、智能水质监测仪、温湿度监测设备等，能够提供精准的环境数据，涵盖PM<sub>2.5</sub>、CO<sub>2</sub>、氮氧化物、重金属含量等各类污染物的实时数据。在数据传输过程中，使用物联网技术和5G通信网络，可以实现大规模数据的低延迟、高频率传输，为平台实时处理提供

保障。数据清洗技术和数据挖掘技术可以消除噪声数据和异常值，保证数据的准确性。基于这些技术，平台能够对采集到的环境数据进行深入分析，从而实现环境状态的实时监测、趋势预测和风险评估<sup>[4]</sup>。数据处理后的结果通过分析模型生成决策支持信息，支持管理者作出环境保护决策。

表1 环境影响评价中的大数据应用分析表

项目	数据类型	采集频率	数据分析方法	结果 / 预测数据
空气质量监测	PM <sub>2.5</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	每分钟	数据清洗, 时序预测	PM <sub>2.5</sub> 浓度 :55μg/m <sup>3</sup> ; NO <sub>x</sub> :25μg/m <sup>3</sup>
水质监测	pH, 氨氮, COD	每小时	回归分析, 模型预测	氨氮浓度 :5.2 mg/L (超标)
土壤污染监测	重金属 (Cd, Pb)	每日	多维数据融合分析	土壤 Cd 浓度 :0.25 mg/kg; Pb 浓度 :1.1 mg/kg
污染源追踪	排放量, 交通流量	每日	空间分析, 聚类分析	污染源: 工业区、交通干道 (30% 排放)
生态变化监测	植被覆盖度, 生物多样性	每月	时空数据分析, 趋势预测	植被覆盖度下降 5%; 生物多样性降低 3%

## 5.2 大数据技术在环境影响评价中的应用场景

大数据技术在环境影响评价中的应用场景非常广泛，特别是在多个领域的环境监测、污染源追踪和评估分析中表现突出。例如，在一个大型建设项目的环境影响评价过程中，通过集成大数据技术，可以实时获取该地区的环境数据，包括空气质量、噪声、生态变化等。使用遥感技术和卫星影像，可以监测项目区域及周边的土地利用变化、植被覆盖度变化等环境指标。大数据技术还能够整合交通流量、气象数据、产业排放等信息，通过环境模型对项目实施可能带来的影响进行定量评估。例如，通过流域水质监测网络，实时获取水质指标，结合流域模型预测污染物的扩散和影响，及时调整水资源保护措施。大数据技术能够提升环境影响评估的精度和时效性，帮助决策者制定更具前瞻性的环境保护政策。此外，大数据还可以通过历史数据分析与当前数据的对比，评估项目实施前后的环境变化，从而为项目审批提供科学依据。

## 5.3 大数据驱动的环境影响评价流程优化

大数据驱动的环境影响评价流程优化涉及多个方面，主要体现在提高评估效率、准确性和决策支持能力。传统的环境影响评价流程较为依赖人工收集数据和手动分析，常常面临数据滞后和分析不及时的问题。而通过大数据技术，整个评估流程得到了优化。首先，数据采集的自动化和实时化使得环境监测数据能够在第一时间被采集并传输到平台，避免了传统采集方式的时间延迟。例如，利用无线传感器网络，环境监测数据能够迅速传输至数据处理平台，在数据上传后，平台即可自动进行清洗、分类和存储<sup>[5]</sup>。此外，大数据技术还能够通过优化决策支持系统的流程，使得环境影响评价的各个环节更加智能化。例如，在评估过程中，通过实时数据与历史数据对比，能够动态评估环境变化趋势，快速

调整评估模型参数，保证评估结果的时效性和准确性。整体来看，基于大数据技术的环境影响评价流程大大提高了评估的效率与准确性，同时也提升了决策者对环境变化的响应能力，最终实现了环境影响评价模式的创新与优化。

## 6 结语

随着大数据技术的不断发展和应用，环境影响评价模式正在经历前所未有的变革。通过实时数据采集、智能分析和可视化技术的结合，大数据不仅提升了环境监测的精准度，也为决策者提供了更加科学、及时的依据。大数据技术的引入，使得环境风险预测更加精准，环境影响评估更为高效，为环境保护政策的制定提供了强有力的支持。随着技术的不断进步，未来大数据将在环境管理中发挥更加重要的作用，推动环境影响评价的智能化、精细化发展，助力实现可持续发展目标。大数据技术的创新为环境保护提供了全新的思路和路径，深刻影响了环境管理的各个层面，带来了更加科学、合理的决策方式。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 张军. 大数据在环境咨询和环境影响评价中的应用[J]. 智慧中国, 2025, (08): 84-85.
- [3] 曹世海, 王慧雅, 丁克强. 生态环境大数据下“环境影响评价”课程教学改革探索[J]. 教育教学论坛, 2025, (32): 89-92.
- [4] 蔡翔. 基于生态承载力的规划环评审核机制优化——以重点行业排污许可协同管控为例[A]. 2025年第二届工程技术数智赋能县域经济城乡融合发展学术交流会议论文集[C]. 广西大学广西县域经济发展研究院: 2025: 9-11.
- [5] 周泽中, 丁梦倩. 环评告知承诺制的现实困境及完善路径[J]. 阴山学刊, 2024, 37(01): 74-81.

# Optimization of Volatile Organic Compound Exhaust Gas Pollution Control Processes and Analysis of Operational Stability

Binbin Xia Jinjuan Wang

Sichuan Rongchuang Dingfeng Environmental Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

Volatile organic compound emissions are common atmospheric pollutants generated in industrial production processes and are characterized by complex emission patterns and diverse compositions, posing persistent impacts on regional environmental quality and the safety of production operations. Focusing on the optimization of treatment processes and the operational stability of volatile organic compound emission control systems, this study conducts a systematic analysis from the perspectives of pollutant characteristics, treatment technology structures, and operational process control. Particular attention is given to the adaptability and stability of different treatment technologies under long-term operating conditions. Through a comprehensive examination of process parameter configuration, coordinated system operation, and performance variations of key equipment, the main factors influencing fluctuations in treatment effectiveness are identified, and targeted optimization approaches are proposed from the aspects of operational management and technical control.

## Keywords

Volatile organic compounds; Exhaust gas pollution control; Process optimization; Operational stability; System operation

# 挥发性有机物废气污染治理工艺优化与运行稳定性分析

夏彬斌 王金娟

四川蓉创鼎锋环境科技有限公司, 中国·四川成都 610000

## 摘要

挥发性有机物废气是工业生产过程中常见且控制难度较高的大气污染物,其排放特征复杂、成分多样,对区域环境质量和生产运行安全均产生持续影响。围绕挥发性有机物废气污染治理工艺的优化与运行稳定性问题,从污染物特性、治理技术结构及运行过程控制等角度展开系统分析,重点关注不同治理工艺在长期运行条件下的适应性与稳定性表现。通过对工艺参数配置、系统协同运行及关键设备性能变化的综合考察,揭示影响治理效果波动的主要因素,并从运行管理与技术控制层面提出针对性的优化思路。

## 关键词

挥发性有机物; 废气污染治理; 工艺优化

## 1 引言

随着工业结构的不断调整与生产强度的持续提升,挥发性有机物废气排放问题日益凸显,其来源广泛、排放形式多变,对治理技术和运行管理提出了更高要求。现阶段,针对挥发性有机物废气已形成多种治理工艺路线,但在实际运行过程中,受废气组分波动、负荷变化及设备性能衰减等因素影响,治理系统易出现效率下降与运行不稳定现象。相比单纯关注去除效率,如何在复杂工况下维持治理设施的长期稳定运行,逐渐成为废气污染治理领域的重要研究方向。基

于此,从工艺结构合理性与运行过程稳定性两个层面开展分析,对于提升挥发性有机物废气治理效果、保障治理设施持续发挥功能具有现实意义。

## 2 挥发性有机物废气污染特征与治理需求分析

### 2.1 挥发性有机物废气的组成特征与排放规律

挥发性有机物废气通常由烃类、含氧有机物、含卤有机物及部分含硫含氮化合物构成,分子结构差异显著,理化性质跨度较大。其挥发性强、气味明显,在常温条件下易进入大气环境并参与多种化学反应过程。不同物质在沸点、饱和蒸气压和反应活性方面存在明显差异,导致废气在排放过程中呈现出瞬时性与连续性并存的特点。生产工况变化、原辅材料更替及操作方式调整,均会引起废气组成比例和浓度

【作者简介】夏彬斌(1990—),男,中国四川广安人,本科,从事废气治理研究。

水平的波动。排放时间多集中于生产运行阶段，部分工序在启停过程中产生短时高浓度排放，增加了污染控制难度。上述特征决定了挥发性有机物废气在治理过程中需要兼顾成分复杂性与排放不稳定性，对工艺适应性提出较高要求。

## 2.2 不同行业挥发性有机物废气的污染负荷特性

工业领域中不同行业的挥发性有机物废气来源差异明显，污染负荷水平呈现出显著的行业特征。化工与石化生产过程中排放的废气组分复杂，浓度范围较宽，部分环节具有持续排放特征。涂装、印刷及包装等行业废气以溶剂型有机物为主，排放量随生产节奏变化明显，峰值浓度较高。电子制造与精细加工领域废气总量相对较低，但成分种类多样，对处理精度要求较高。食品、医药等行业废气中有机物浓度较低，气味问题较为突出。行业差异导致污染负荷在排放强度、持续时间及波动幅度方面存在明显区别，治理系统在设计 and 运行阶段需充分考虑这些差异，以保证污染控制效果的稳定性<sup>[1]</sup>。

## 2.3 挥发性有机物废气污染治理的技术需求与控制目标

在挥发性有机物废气污染治理过程中，技术需求不仅体现在去除效率水平，还体现在对运行可靠性和适应能力的综合要求。治理系统需要在废气浓度和组分变化条件下保持稳定运行状态，避免因工况波动导致处理效率下降。控制目标涵盖排放浓度达标、运行过程安全可靠以及长期运行成本合理等方面。部分有机物具有易燃易爆特性，对设备密封性和运行安全性提出严格要求。随着污染控制要求的不断提高，治理技术需在保障处理效果的同时兼顾能源利用效率与设备寿命，形成稳定、连续、可调节的运行体系，以满足不同生产条件下的污染控制需求。

## 3 挥发性有机物废气污染治理主流工艺体系

### 3.1 吸附类治理工艺的技术原理与适用条件

吸附类治理工艺利用多孔材料对挥发性有机物分子的物理或化学吸附作用，将废气中的有机成分截留在吸附介质表面，从而实现净化目的。该类工艺对低至中等浓度废气具有较好的处理效果，运行条件相对温和，对废气温度和湿度具有一定适应范围。吸附材料种类繁多，不同材料在比表面积、孔径结构及吸附选择性方面存在差异，直接影响治理效果和运行周期。吸附过程具有可逆性，需要通过再生措施恢复材料吸附能力，再生过程对运行稳定性和能耗水平产生重要影响。适用条件的合理匹配是保证吸附工艺长期稳定运行的重要前提。

### 3.2 燃烧与催化转化治理工艺的运行特征

燃烧与催化转化工艺通过高温或催化反应将挥发性有机物转化为二氧化碳和水，实现污染物的彻底去除。直接燃烧工艺适用于高浓度废气，反应过程快速，去除效率较高，但能耗水平相对较大。催化转化工艺在较低温度条件下即可实现反应，对能源利用效率具有一定优势。运行过程中，废

气成分变化、温度控制精度以及催化材料活性衰减均会影响处理效果。该类工艺对系统安全性和运行连续性要求较高，需要在稳定供气和精确控制条件下运行，以维持治理效率的稳定输出。

## 3.3 生物法与组合工艺在挥发性有机物治理中的应用

生物法治理工艺依托微生物代谢作用分解挥发性有机物，具有运行温和、能耗较低的特点，适用于低浓度、可生物降解性较好的废气类型。该工艺对环境条件敏感，温度、湿度及营养条件变化均会影响微生物活性，从而影响处理效果。为适应复杂工况，生物法常与吸附或燃烧工艺形成组合治理模式，通过多单元协同运行提升整体处理能力。组合工艺能够在不同浓度区间发挥各单元优势，提高系统适应性与运行稳定性，在实际工程应用中逐渐得到重视<sup>[2]</sup>。

## 4 挥发性有机物废气治理系统运行稳定性影响因素

### 4.1 废气浓度与组分波动对系统稳定性的影响

挥发性有机物废气在实际生产过程中常伴随浓度和组分的动态变化，这种波动性对治理系统运行稳定性产生显著影响。当废气浓度短时间内升高时，处理单元可能出现负荷超限现象，导致去除效率下降或设备运行异常。组分变化会影响反应路径和处理介质性能，使系统难以维持稳定处理状态。吸附材料饱和速度加快、催化反应活性受抑制、生物处理过程失衡等问题均可能由此引发。废气波动越频繁，系统调节难度越大，对运行控制和参数调整能力提出更高要求。

### 4.2 运行负荷变化对治理设施稳定运行的作用

治理设施在长期运行过程中需应对生产节奏变化带来的负荷调整。负荷升高时，系统能耗与设备磨损程度同步增加，运行风险随之上升。负荷降低时，部分工艺单元可能偏离最佳运行区间，影响处理效果和运行效率。频繁的负荷变化易引发设备启停次数增加，缩短关键部件使用寿命。保持相对平稳的运行负荷，有助于治理设施维持稳定工况，减少运行波动对系统结构和处理效果的影响，是保障长期稳定运行的重要条件。

### 4.3 关键设备性能衰减与运行可靠性分析

挥发性有机物废气治理系统由多类关键设备构成，其性能状态直接决定系统运行可靠性。随着运行时间延长，吸附介质老化、催化材料活性降低、风机与控制部件磨损等现象逐步显现，处理效率和系统稳定性受到影响。设备性能衰减具有渐进性和隐蔽性，若缺乏有效监测和维护，易在高负荷条件下集中暴露问题。通过对设备运行状态的持续评估，及时发现性能变化趋势，有助于提前采取维护和调整措施，保障治理系统在长期运行中的稳定性和安全性。

## 5 挥发性有机物废气污染治理工艺优化路径

### 5.1 工艺参数配置对治理效率的影响机制

挥发性有机物废气治理过程中，工艺参数配置直接关

系到污染物去除水平和系统运行状态。废气停留时间、反应温度、空速条件及介质接触效率等参数共同决定了有机物转化与去除过程的充分程度。参数设置偏离合理区间时,易造成处理不完全或能耗升高等问题。不同治理工艺对参数敏感程度存在差异,吸附过程对流速和浓度变化反应明显,燃烧与催化转化过程对温度控制要求较高,生物法对环境条件变化较为敏感。通过科学匹配工艺参数,使反应过程保持在相对稳定的工作区间,有助于提升治理效率并降低运行波动风险,从而实现治理效果与运行经济性的协调提升<sup>[3]</sup>。

### 5.2 多工艺耦合条件下的系统协同优化方式

在复杂废气条件下,单一治理工艺难以兼顾不同浓度区间与多组分特性,多工艺耦合成为提升治理效果的重要途径。系统协同优化的关键在于合理确定各工艺单元的功能定位与运行顺序,使其在整体系统中形成互补关系。前端单元可对高负荷或波动性废气进行调节,为后续处理创造稳定条件,后端单元则侧重深度净化与排放控制。通过优化工艺衔接方式和运行参数匹配,能够减少能量浪费与设备冲击,提升系统整体适应能力。协同运行模式有助于缓解单一工艺运行压力,提高治理系统在复杂工况下的连续运行能力。

### 5.3 源头控制与末端治理协同优化策略

挥发性有机物废气治理效果不仅取决于末端处理设施性能,还与生产过程中的源头控制密切相关。通过优化原辅材料选择、改进生产工艺条件及减少无组织排放,可有效降低进入治理系统的污染负荷。源头减排有助于缓解末端治理压力,使治理设施在较为稳定的负荷条件下运行。末端治理则通过合理配置工艺单元,实现对残余有机物的高效去除。两者协同优化能够在控制排放水平的同时,降低系统运行风险与维护强度,形成覆盖生产全过程的污染控制体系,提高整体治理效果的稳定性和持续性。

## 6 挥发性有机物废气污染治理运行稳定性提升措施

### 6.1 运行管理制度对治理系统稳定性的保障作用

完善的运行管理制度是保障挥发性有机物废气治理系统稳定运行的重要基础。通过建立规范化的运行流程与岗位职责要求,可有效减少人为操作差异对系统运行状态的影响。明确设备启停条件、运行参数控制范围及异常工况处置流程,有助于在废气工况变化时保持系统运行秩序。运行管理制度还能够通过标准化记录方式,对关键参数变化和运行状态进行持续跟踪,为运行调整提供依据。管理制度的

持续执行可促使治理系统在长期运行中形成稳定的工作模式,降低突发故障发生概率,提高整体运行可靠性。

### 6.2 在线监测与运行调控在稳定运行中的应用

在线监测技术在挥发性有机物废气治理系统中发挥着重要支撑作用。通过对废气浓度、流量及关键运行参数的实时监测,可及时掌握系统运行状态变化趋势。监测数据为运行调控提供依据,使系统能够在负荷波动条件下进行动态调整,避免处理单元超负荷运行或效率下降。运行调控手段的合理应用,有助于保持处理过程处于相对稳定区间,降低突变工况对系统造成的冲击。持续、准确的监测与调控协同作用,有利于提升治理系统的响应能力和运行稳定性<sup>[4]</sup>。

### 6.3 维护保养与运行评估机制对系统稳定性的支撑作用

维护保养与运行评估机制是保障治理系统长期稳定运行的重要支撑条件。通过定期检查关键设备运行状态,及时更换性能下降的部件,可有效防止设备性能衰减对系统造成累积影响。运行评估机制通过对处理效果、能耗水平及设备状态进行综合分析,能够发现潜在风险并提出改进方向。维护与评估相互配合,有助于延长设备使用周期,降低运行故障发生频率。该机制的持续实施,为挥发性有机物废气治理系统提供了稳定运行的技术保障。

## 7 结语

挥发性有机物废气污染治理是一项系统性和连续性要求较高的环境控制工作,其治理成效不仅取决于工艺技术水平,更依赖于运行稳定性的长期保障。通过对废气污染特征、治理工艺体系、优化路径及运行稳定性影响因素的系统梳理,可以看出,科学的工艺配置、合理的参数控制以及规范的运行管理对治理效果具有决定性作用。在复杂工况条件下,将技术优化与运行管理有机结合,有助于降低系统运行波动风险,提升治理设施的可靠性与持续运行能力。围绕运行稳定性开展持续改进,是实现挥发性有机物废气治理效能长期发挥的重要保障。

### 参考文献

- [1] 赖嘉雄.典型凹版印刷企业有机废气产生水平及治理效果分析[J].中国资源综合利用,2024,42(10):156-158.
- [2] 严文浩.华南某电子垃圾拆解园区废气SVOCs排放清单及风险评估[D].导师:杨彦,李艳杰.广东工业大学,2024.
- [3] 任俊.牛皮加工行业挥发性有机废气污染防治方法探讨[J].环境保护与循环经济,2023,43(06):41-44.

# Birds Resources Survey and Diversity Analysis in Zhongnei Bay, Tieshan Port, Beihai City

Mu Yan Liuliu Gui Yang Yang\*

Wuhan Yimei Jing Technology Development Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

## Abstract

To understand the avian resources and diversity of Tieshan Bay Wetland, this study conducted an avian survey and diversity analysis along the coast of Tieshan Port in Beihai City from 2023 to 2024. The results showed that a total of 35 species of waterbirds from 7 orders and 11 families were recorded in the area, with Charadriiformes being the most represented, comprising 14 species from 4 families. Among them, there were 2 nationally protected waterbird species and 8 Guangxi Zhuang Autonomous Region-level protected wildlife species. One species was listed as Vulnerable in the “China Biodiversity Red List”. The dominant species included Egret, Heron, Rock Sedge, and Ring-necked Plover. The bird diversity and evenness were highest in mangrove habitats, followed by pond surfaces (farming ponds), while the bird diversity index was lowest in coastal tidal flat habitats. The waterbird community diversity on the eastern side of Tieshan Port was significantly higher than other areas, with more balanced distribution, stronger resistance to disturbance, and more complex and stable ecosystem structure. The research findings provide important reference value for the ecological and environmental protection and bird conservation of Tieshan Bay.

## Keywords

Bird resources; Wetland; Tieshan Bay

## 北海市铁山港中内湾鸟类资源调查及多样性分析

严慕 桂柳柳 杨阳\*

武汉市伊美净科技发展有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

## 摘要

为了解铁山港湾湿地的鸟类资源和多样性, 本文于2023—2024年对北海市铁山港沿海进行鸟类调查和多样性分析。结果表明: 该区域共记录到水鸟7目11科35种, 其中鹤形目种类最多, 有4科14种; 国家重点保护水鸟2种, 广西壮族自治区级重点保护野生动物8种; 《中国生物多样性红色名录》中易危物种1种; 优势种为白鹭、池鹭、矶鹬、环颈鸬等。红树林生境的鸟类多样性及均匀度均最大, 其次为坑塘水面(养殖坑塘), 沿海滩涂生境的鸟类多样性指数最小。铁山港东侧水鸟群落多样性显著高于其他片区, 水鸟分布更均衡, 群落抗干扰能力更强, 生态系统结构更复杂稳定。该研究结果对铁山港湾的生态环境保护和鸟类保护具有重要参考价值。

## 关键词

鸟类资源; 湿地; 铁山港湾

## 1 引言

湿地鸟类是红树林生态系统最重要的组成部分, 同时鸟类也是红树林生态系统健康状况和变动程度的“指示剂”。红树林生态系统丰富的动物资源和繁茂的枝干, 是水鸟觅食、栖息和繁殖之所, 也是候鸟的越冬场和迁徙中转站。铁山港湾是广西红树林面积占比较大的海湾之一, 红树林集中分布在铁山港湾的东岸和北岸。铁山港湾丹兜海海域的红树

林属于广西山口红树林生态国家级自然保护区的管辖范围。在以往的研究中, 学者主要对铁山港湾丹兜海海域的山口红树林保护区范围内的鸟类进行调查研究。丹兜海山口红树林保护区内有红树林 919.6 公顷, 铁山港湾中内湾(不包括丹兜海)红树林总面积为 1108.69hm<sup>2</sup>。对铁山港中内湾红树林湿地鸟类的调查鲜有报道, 为更全面地掌握铁山港湾中内湾湿地鸟类资源现状, 为铁山港中内湾红树林生态系统保护提供科学依据, 2023—2024 年对铁山港中内湾鸟类做了专项调查, 对铁山港中内湾湿地鸟类种类现状进行摸底, 分析铁山港中内湾鸟类分布与湿地生境及与红树林分布面积的关系。

【作者简介】严慕(1990—), 女, 中国汉川人, 硕士, 中级, 从事环保研究。

【通讯作者】杨阳(1994—), 男, 中国湖北枣阳人, 本科, 工程师, 从事林业生态保护研究。

## 2 研究区域

铁山港湾位于广西壮族自治区东部沿海、北部湾的东北部，地理坐标范围为北纬 21° 28.5′ ~21° 45′、东经 109° 26′ ~109° 45′。铁山港湾湿地类型主要有浅海水域、沿海滩涂、其他沼泽地、红树林地、坑塘水面(水产养殖场)，其中红树林面积占铁山港湾湿地面积的 11.14%。

## 3 研究方法

### 3.1 调查时间

野外调查时间为 2023 年 9 月、2023 年 12 月、2024 年 4 月。调查时间为每日 7:00—10:00, 15:00—18:00。

### 3.2 调查方法及点位

#### 3.2.1 样点法

按照铁山港范围划分 2km×2km 网格，并筛选有效网格(单个网格中海域面积超过 30%)，每个网格中设置 1~2 个动物调查样点，共设置 50 个调查样点。每个样点观测 15—30min。记录观测到鸟类的种类、数量以及它们与样点的垂直距离。

#### 3.2.2 样线法

共调查 4 条固定样线，长度在 3km 左右，沿样线以约 1.5km/h 的速度前进，使用双筒望远镜观察样线两侧 200m 范围内的鸟类，并使用相机进行拍摄。记录样线两侧鸟类的种类、数量以及它们与样线中心线的垂直距离。

鸟种鉴定参照《中国鸟类野外手册》，鸟类分类系统、居留型和区系依据《中国鸟类分类与分布名录(第四版)》和《中国动物地理》，保护级别按照《国家重点保护野生动物名录》(2021 版)，珍稀濒危及特有种根据《中国生物多样性红色名录》(2020 版)，在调查过程中，使用两步路 App 记录行进速度、样线长度、起点、观察点、终点的经纬度，以及海拔信息。

### 3.3 生物多样性计算

采用物种的丰富度指数(D)、香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H)、均匀度指数(J)评估鸟类群落物种多样性。

香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数公式： $H = -\sum p_i \ln p_i$ ，其中： $p_i$  为调查中第  $i$  个种的个体的比例。

均匀度指数公式： $J = H' / H'_{\max} = H' / \ln S$ ，其中： $H'$  为实测多样性指数值， $H'_{\max}$  为最大多样性指数值， $S$  为物种种数。

## 4 结果与分析

### 4.1 鸟类物种组成

铁山港中内湾共记录水鸟 7 目 11 科 35 种 3137 只。从物种组成上看，鸻形目鸟类最多，有 4 科 14 种，分别占总科数和总种数的 36.36% 和 40.00%；其次为鹬形目，有 9 种，占总种数的 25.71%。

表 1 铁山港湾水鸟组成

目	科数	占比 (%)	种数	占比 (%)
一、雁形目 ANSERIFORMES	1	9.09	2	5.71
二、鸻形目 PODICIPEDIFORMES	1	9.09	1	2.86
三、鹤形目 GRUIFORMES	1	9.09	3	8.57
四、鸻形目 CHARADRIIFORMES	4	36.36	14	40.00
五、鹬形目 PELECANIFORMES	1	9.09	9	25.71
六、佛法僧目 CORACIIFORMES	2	18.18	5	14.29
七、雀形目	1	9.09	1	2.86
合计	11	100	35	100.00

从数量上看，区域个体数量前 10 的鸟类为白鹭、池鹭、环颈鸻、矶鹬、黑翅长脚鹬、中白鹭、红脚鹬、青脚鹬、栗喉蜂虎和苍鹭；其中有 4 种鹭科鸟类，3 种鸻科鸟类，鹤科、反嘴鹬科、蜂虎科各 1 种；共调查到白鹭 2096 只，占总数量的 66.82%。

从物种保护等级来看，分布有国家二级重点保护鸟类 2 种，为栗喉蜂虎和白胸翡翠，广西壮族自治区级重点保护野生动物 8 种，为白胸苦恶鸟、黑水鸡、白骨顶、彩鹬、池鹭、苍鹭、绿鹭和蓝翡翠；被评为易危等级的有 1 种，为长嘴剑鸻；纳入“三有”名录的有 33 种。

从生态类型来看，涉禽数量最多，共 26 种，占总种数的 74.29%，主要为鸻形目、鹬形目的种类；游禽 3 种，主要有雁形目和鸻形目种类；攀禽 5 种，主要为佛法僧目种类；鸣禽 1 种，为白鹡鸰。

从分布区系来看，调查到的 35 种水鸟中，古北种、东洋种、广布种数量分别占总数量的 40.00%、34.29% 和 25.71%。从居留型来看，铁山港湾水鸟留鸟、冬候鸟、夏候鸟、旅鸟数量分别占总数量的 40.00%、37.14%、8.57% 和 14.29%。水鸟成分以古北种、冬候鸟较优，这与冬季大量冬候鸟前来越冬或迁徙途中在此区域停留相关。

### 4.2 不同生境鸟类多样性比较

铁山港湾湿地类型主要包括浅海水域、沿海滩涂、红树林地、坑塘水面(水产养殖场)，占比分别约 41.57%、36.11%、11.14%、7.68%。从不同生境的鸟类多样性分析，红树林生境的鸟类多样性及均匀度均最大，其次为坑塘水面(养殖坑塘)，沿海滩涂生境的鸟类多样性指数最小。红树林林分茂密，涨潮时红树林可为鹭科等鸟类提供休憩场所，退潮时，浅水区、滩地含有丰富的浮游生物和底栖动物资源，各种涉禽会沿红树林潮沟觅食，因此红树林湿地鸟类生物多样性及均匀度均最高。坑塘水面(养殖坑塘)受潮流影响小，养殖坑塘中小鱼小虾等能为湿地鸟类提供食物，也为多种水鸟提供觅食及休息生境，但养殖坑塘食物资源种类少于红树林湿地，人为干扰程度相对大，鸟类易受到惊吓，因此水鸟多样性及均匀度较红树林湿地生境小。沿海滩涂由于受潮流影响，随着潮汐高度的升高，水鸟可利用的潮间带面积减小，不得不在周边坑塘水面(养殖坑塘)活动，受此种影响较大

的主要是鹤鹑类，因此沿海滩涂水鸟多样性及均匀度相对较小。

表 3 不同湿地生境水鸟多样性指数

生境类型	红树林地	沿海滩涂	坑塘水面 (水产养殖场)	乔灌木林地
H' 指数	1.5539	0.8732	1.2640	0.9626
J 指数	0.2040	0.1534	0.1961	0.1856

#### 4.3 红树林面积对水鸟的影响

铁山港中内湾红树林地树种组成相似，均以白骨壤纯林为主，偶见秋茄、桐花树。红树林主要集中分布于东侧沿岸和西北侧沿岸，白沙头港区域零散分布少量红树林。

从不同片区鸟类多样性分析，红树林分布面积较大的铁山港湾西北侧区域、东侧区域水鸟种类、数量、多样性指数、均匀度指数均高于白沙头港区域。说明铁山港东侧水鸟群落多样性显著高于其他片区，水鸟分布更均衡，群落抗干扰能力更强，生态系统结构更复杂稳定。进一步分析三个区域鹮形目和鹤形目鸟类的种类及数量发现，红树林面积大小对于鹮形目种类数量影响不大，对鹤形目水鸟种类数量影响较大，可能是因为鹤形目鸟类多为小型涉禽，依赖潮间带、泥滩、红树林边缘等多样化微生境觅食和停歇，对栖息地面积和连通性高度依赖，大面积红树林通过提供更丰富的潮位梯度、植被结构和水文条件，显著提升了生境异质性，从而支持更多种类和更大种群的鹤形目。

表 4 不同红树林区域水鸟多样性对比

片区	白沙头港区域	铁山港西北侧 区域	铁山港东侧 区域
红树林面积	21.75	533.11	651.07
水鸟种类 / 数量	10/382	25/1328	28/1427
鹮形目种类 / 数量	6/349	6/1019	8/1139
鹤形目种类 / 数量	2/9	12/249	10/242
H' 指数	0.9718	1.4602	1.5026
J 指数	0.1635	0.2030	0.2069

## 5 讨论

### 5.1 水鸟空间分布

根据本次调查的铁山港中内湾水鸟种类 35 种，较韦江玲 2015 年—2018 年在山口红树林国家级自然保护区调查的水鸟种类 55 种少，主要原因为铁山港为北海市重要港口，中内湾人为干扰程度相对较大。但铁山港中内湾湿地水鸟资源仍具有一定丰富度，群落结构特征显著，物种组成以鹤形目和鹮形目为核心，涉禽为优势生态类型（占总种数 74.29%）；居留型呈现留鸟与冬候鸟为主的特征，反映出该区域是古北界候鸟南下越冬和迁徙停歇的重要驿站，同时为本土留鸟提供了稳定的栖息环境。

### 5.2 水鸟分布与湿地类型关系

不同湿地生境的水鸟多样性差异显著，红树林生境为

水鸟最优栖息环境。铁山港中内湾 4 类主要生境中，红树林生境的香农—威纳多样性指数和均匀度指数均为最高，其次为坑塘水面，沿海滩涂多样性指数最低。红树林林分茂密，涨潮时可为鹭科等鸟类提供隐蔽休憩场所，退潮后潮沟及浅水区的浮游生物、底栖动物资源丰富，能满足多种涉禽的觅食需求，生境的综合性和适宜性突出。

### 5.3 水鸟分布与红树林面积关系

铁山港中内湾红树林面积与水鸟物种多样性呈正相关，东侧区域水鸟群落分布更均衡、抗干扰能力更强、生态系统结构更复杂稳定。红树林面积对鹤形目水鸟的种类和数量影响显著，大面积红树林通过提升生境异质性，为小型涉禽的鹤形目提供了多样化的觅食和停歇微生境，满足了其对栖息地面积和连通性的高需求。

### 5.4 保护建议

铁山港东侧区域红树林面积最大，水鸟物种多样性指数均为最高，是区域内生态完整性和生物多样性最优的片区，应作为区域红树林湿地保护的核心载体，重点维持生态系统稳定。铁山港西北侧区域可通过红树林生态修复提升栖息地质量，增强区域生态连通性。白沙头港区域仅零散分布少量红树林，应尽量避免过度开发干扰。

### 参考文献

- [1] 苏炳欢,黄琦,陈其应.广西山口红树林区鸟类资源现状及多样性研究[J].南方国土资源,2020,(09):45-48+52.
- [2] 韦江玲,孙仁杰,刘文爱,等.广西山口红树林湿地鸟类多样性研究[J].亚热带资源与环境学报,2020,15(01):1-10.DOI:10.19687/j.cnki.1673-7105.2020.01.001.
- [3] 余桂东.广西山口国家级红树林自然保护区冬季鸟类对沿海植被的利用[D].广西大学,2015.
- [4] 舒晓莲,陆舟,廖晓雯,等.广西北部湾沿海地区鸟类居留型变化分析[J].广西科学,2013,20(03):226-229+233.DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.2013.03.015.
- [5] 许亮,周放,蒋光伟,等.广西山口红树林保护区海陆交错带夏季鸟类多样性调查[J].四川动物,2012,31(04):655-659.
- [6] 蒋光伟,周放,余辰星,等.广西北部湾沿海地区水鸟多样性及季节变动[J].广西科学,2012,19(02):174-179.DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.2012.02.023.
- [7] 许亮.山口红树林区鸟类群落的多样性及对滨海生境的利用[D].广西大学,2012.
- [8] 韩小静.广西山口红树林区鸟类群落的研究[D].广西大学,2006.
- [9] 周放,房慧伶,张红星,等.广西沿海红树林区的水鸟[J].广西农业生物科学,2002,(03):145-150.
- [10] 屈明,刘源志弘,邓诗泉,等.基于冗余分析(RDA)的红树林水鸟物种组成特征及影响因子研究[J].林业与环境科学,2023,39(6):11-19.

# Optimization and Application Research of Water Ammonia Nitrogen Determination Method Based on Spectrophotometry

Jinxu Xu

Yanting Ecological Environment Monitoring Station, Mianyang, Sichuan, 621600, China

## Abstract

Ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) serves as a core indicator for assessing water pollution severity. Although spectrophotometry has become the standard method for routine ammonia nitrogen determination due to its operational simplicity and cost-effectiveness, traditional approaches face limitations including stringent color development conditions, weak interference resistance, and insufficient detection accuracy at low concentrations. This study optimizes the Nessler's reagent spectrophotometric method by investigating three key parameters: color development system, reaction conditions, and interference elimination. The optimized protocol features a color developer ratio of mercury iodide:potassium iodide:sodium hydroxide = 1.0:0.5:2.0, a reaction pH range of 11.8–12.2, color development temperature of 25°C, and reaction duration of 15 minutes. The interference is eliminated using a combined potassium sodium tartrate-EDTA masking method. The optimized method demonstrates a linear range of 0.02–2.0 mg/L, a correlation coefficient  $R^2 = 0.9998$ , a detection limit of 0.005 mg/L, a recovery rate of 95.2%–103.6% for spiked samples, and a relative standard deviation (RSD)  $\leq 2.1\%$ .

## Keywords

Spectrophotometry; Ammonia nitrogen determination; Method optimization; Water quality monitoring; Interference elimination

# 基于分光光度法的水中氨氮测定方法优化与应用研究

胥金秀

绵阳市盐亭生态环境监测站, 中国·四川 绵阳 621600

## 摘要

氨氮是反映水体水质污染程度的核心指标, 分光光度法因操作简便、成本低廉成为水中氨氮常规测定方法, 但传统方法存在显色条件严苛、抗干扰能力弱、低浓度检测精度不足等问题。本文以纳氏试剂分光光度法为基础, 从显色体系、反应条件、干扰消除三方面开展优化研究, 确定最佳测定参数: 显色剂配比为碘化汞:碘化钾:氢氧化钠=1.0:0.5:2.0, 反应pH值11.8~12.2, 显色温度25°C, 反应时间15min, 同时采用酒石酸钾钠-EDTA联合掩蔽法消除干扰。优化后方法的线性范围为0.02~2.0mg/L, 相关系数 $R^2=0.9998$ , 检出限0.005mg/L, 加标回收率95.2%~103.6%, 相对标准偏差 $\leq 2.1\%$ 。

## 关键词

分光光度法; 氨氮测定; 方法优化; 水质监测; 干扰消除

## 1 引言

氨氮是水体中以游离氨 ( $\text{NH}_3$ ) 和铵离子 ( $\text{NH}_4^+$ ) 形式存在的氮, 主要来源于生活污水、工业废水排放及农业面源污染。水体中氨氮含量过高会导致水体富营养化, 引发藻类大量繁殖, 溶解氧骤降, 造成水生生物死亡, 破坏水体生态平衡; 同时, 氨氮经硝化作用转化为硝酸盐, 会影响饮用水安全, 威胁人体健康。

目前, 水中氨氮的测定方法主要有分光光度法、气相色谱法、离子选择电极法等, 其中纳氏试剂分光光度法因操作简便、仪器成本低、检测效率高, 被广泛应用于各级环境

监测站、水厂及实验室的常规检测, 也是我国水环境监测的标准方法 (HJ 535-2009)。但传统纳氏试剂分光光度法在实际应用中仍存在诸多不足: 显色剂纳氏试剂的配比无统一优化标准, 易产生沉淀导致显色不稳定; 反应 pH 值、温度、时间等条件把控严苛, 微小偏差即影响检测结果; 水体中常见的钙、镁、铁等金属离子易产生干扰, 导致测定结果偏高; 对低浓度氨氮水样的检测精度不足, 难以满足地表水一类、二类水质的监测要求。

## 2 实验部分

### 2.1 实验仪器与试剂

#### 2.1.1 实验仪器

TU-1901 型紫外可见分光光度计 (北京普析通用仪器有限公司); pHS-3C 型精密 pH 计 (上海雷磁仪器厂); HH-4 型恒温水浴锅 (金坛市科析仪器有限公司); 电子

【作者简介】胥金秀 (1979—), 女, 本科, 中国四川绵阳人, 环境监测工程师 (专业技术十级), 从事环境监测研究。

分析天平(赛多利斯科学仪器有限公司,精度0.0001g);50mL具塞比色管;移液管;容量瓶等常规玻璃仪器。

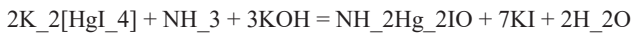
### 2.1.2 实验试剂

氨氮标准储备液(1000mg/L,国家标准物质中心);碘化汞( $\text{HgI}_2$ ,分析纯);碘化钾(KI,分析纯);氢氧化钠(NaOH,分析纯);酒石酸钾钠( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,分析纯);乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na,分析纯);盐酸(HCl,分析纯);氨水( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,分析纯);钙标准溶液(1000mg/L);镁标准溶液(1000mg/L);铁标准溶液(1000mg/L)。

实验所用试剂均为分析纯,实验用水为无氨水,制备方法:将蒸馏水通过强酸性阳离子交换树脂柱,去除水中铵离子,临用前制备。

## 2.2 实验原理

纳氏试剂分光光度法测定水中氨氮的核心原理:在碱性条件下,水中的铵离子与纳氏试剂(碘化汞和碘化钾的碱性溶液)发生显色反应,生成淡红棕色络合物( $\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{IO}$ ),该络合物的吸光度与氨氮含量在一定范围内呈良好的线性关系,通过分光光度计测定其在420nm波长处的吸光度,结合标准曲线计算水样中的氨氮含量,反应方程式如下:



本研究通过优化显色剂配比、反应条件,提升络合物生成的稳定性与反应效率;采用联合掩蔽法消除金属离子干扰,减少测定误差,实现氨氮的精准测定。

## 2.3 实验方法

### 2.3.1 标准曲线绘制

取7支50mL具塞比色管,分别加入0.00、0.10、0.20、0.50、1.00、1.50、2.00mL氨氮标准储备液,用无氨水稀释至标线,加入经优化的纳氏试剂1.5mL,摇匀,在最佳反应条件下显色后,于420nm波长处,以无氨水为参比,用10mm比色皿测定吸光度。<sup>[1]</sup>以氨氮质量浓度(mg/L)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,计算线性回归方程与相关系数。

### 2.3.2 单因素试验设计

分别考察显色剂配比( $\text{HgI}_2:\text{KI}:\text{NaOH}$ )、反应pH值(10.5~12.5)、显色温度(15~35℃)、反应时间(5~30min)对氨氮测定吸光度的影响,每个因素设置5个水平,其他因素保持不变,确定各单因素的最佳取值范围。

### 2.3.3 正交试验优化

基于单因素试验结果,选取显色剂配比、反应pH值、显色温度、反应时间为考察因素,每个因素设置3个水平,采用 $\text{L}_9(3^4)$ 正交表进行试验,以吸光度为评价指标,确定最佳测定参数组合。

### 2.3.4 干扰消除试验

选取水体中常见的干扰离子 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ ,分别配制不同浓度的干扰离子溶液,加入一定量的氨氮标准溶液,分别采用传统酒石酸钾钠掩蔽法、EDTA-2Na掩蔽法、酒石酸钾钠-EDTA联合掩蔽法进行处理,测定吸光度,计算干

扰消除率,确定最佳干扰消除方法。

### 2.3.5 方法性能验证

按照优化后的方法,测定方法的线性范围、检出限、精密度(相对标准偏差RSD)与准确度(加标回收率),验证方法的可靠性。检出限按3倍空白标准偏差计算,精密度通过对0.5mg/L和1.0mg/L的氨氮标准溶液进行6次平行测定计算,准确度通过对实际水样进行加标回收试验计算。<sup>[2]</sup>

### 2.3.6 实际水样测定

采集当地地表水(河流、湖泊)、生活污水(污水处理厂进水)、工业废水(化工企业废水)各3组,分别采用传统方法与优化后的方法进行氨氮测定,对比分析两种方法的测定结果,验证优化方法的实际应用效果。

## 3 结果与分析

### 3.1 单因素试验结果

#### 3.1.1 显色剂比对测定结果的影响

显色剂纳氏试剂的配比直接影响络合物的生成量与稳定性,试验结果表明,当 $\text{HgI}_2:\text{KI}:\text{NaOH}$ 为1.0:0.5:2.0时,吸光度达到最大值,且显色溶液澄清无沉淀;当 $\text{HgI}_2$ 比例过高时,易产生碘化汞沉淀,导致显色不稳定;当NaOH比例过低时,碱性条件不足,络合物生成量减少,吸光度降低。

#### 3.1.2 反应pH值对测定结果的影响

反应pH值是显色反应的关键条件,试验结果表明,当pH值为11.8~12.2时,吸光度最大且稳定;当pH值<11.8时,碱性条件不足,络合物生成不完全;当pH值>12.2时,过量的 $\text{OH}^-$ 会与 $\text{Hg}^{2+}$ 反应生成氢氧化汞沉淀,破坏显色体系,导致吸光度骤降。

#### 3.1.3 显色温度对测定结果的影响

显色温度影响反应速率,试验结果表明,当显色温度为25℃时,吸光度达到最大值;当温度<25℃时,反应速率较慢,络合物生成不完全;当温度>25℃时,络合物稳定性下降,易分解,导致吸光度降低。

#### 3.1.4 反应时间对测定结果的影响

反应时间决定络合物的生成程度,试验结果表明,当反应时间为15min时,吸光度达到最大值且趋于稳定;当时间<15min时,显色反应不完全;当时间>15min时,络合物开始分解,吸光度略有下降。

## 3.2 正交试验优化结果

基于单因素试验结果,通过 $\text{L}_9(3^4)$ 正交试验,确定优化后的最佳测定参数组合为:显色剂配比 $\text{HgI}_2:\text{KI}:\text{NaOH}=1.0:0.5:2.0$ ,反应pH值12.0,显色温度25℃,反应时间15min。该参数组合下,显色反应完全,络合物稳定性好,吸光度最大,测定结果精准。

## 3.3 干扰消除试验结果

水体中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 等离子会与纳氏试剂中的 $\text{OH}^-$ 反应生成氢氧化物沉淀,产生正干扰,影响测定结果。试验结果表明,传统酒石酸钾钠掩蔽法对低浓度干扰离子有一定掩蔽效果,但对高浓度干扰离子掩蔽能力不足;EDTA-2Na

掩蔽法对  $\text{Fe}^{3+}$  掩蔽效果好,但对  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  掩蔽效果一般;酒石酸钾钠-EDTA 联合掩蔽法对  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  均具有良好的掩蔽效果,干扰消除率达 98% 以上,且掩蔽剂用量少,不影响显色反应,为最佳干扰消除方法。

### 3.4 优化方法的性能验证结果

#### 3.4.1 线性范围与相关系数

优化后方法在 0.02~2.0mg/L 氨氮浓度范围内,线性关系良好,线性回归方程为  $y=0.3856x+0.0021$ ,相关系数  $R^2=0.9998$ ,满足水质监测的线性要求。

#### 3.4.2 检出限

对空白溶液进行 7 次平行测定,计算标准偏差为 0.0017mg/L,按 3 倍空白标准偏差计算,方法的检出限为 0.005mg/L,远低于传统方法的检出限 (0.02mg/L),大幅提升了低浓度氨氮水样的检测精度。<sup>[3]</sup>

#### 3.4.3 精密度

对 0.5mg/L 和 1.0mg/L 的氨氮标准溶液进行 6 次平行测定,相对标准偏差 (RSD) 分别为 1.8% 和 2.1%,均  $\leq 2.1\%$ ,表明优化方法的精密度良好,测定结果稳定性高。

#### 3.4.4 准确度

对实际水样进行加标回收试验,加标回收率为 95.2%~103.6%,符合水质监测中加标回收率 90%~110% 的要求,表明优化方法的准确度高,无明显系统误差。

### 3.5 体系框架与实际水样测定结果

优化后的分光光度法水中氨氮测定体系以参数优化+干扰消除为核心,构建了“试剂配制-样品前处理-显色反应-定量测定”的标准化测定流程,体系框架如图 1 所示。该体系通过优化显色体系与反应条件,提升了方法的灵敏度与稳定性;通过联合掩蔽法消除干扰,提升了方法的抗干扰能力;通过标准化流程,保证了测定结果的精准性与重复性。

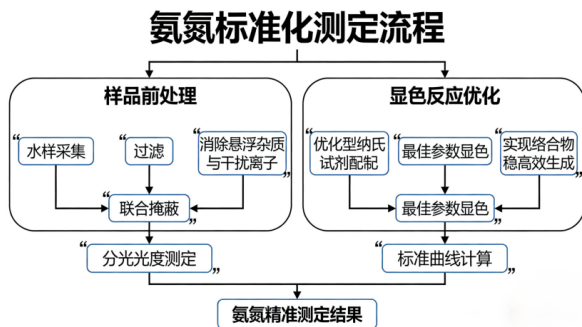


图 1 基于分光光度法的水中氨氮优化测定体系框架图

采用传统方法与优化方法对地表水、生活污水、工业废水共 9 组实际水样进行氨氮测定,结果表明,优化方法的测定结果更贴合实际水质情况,与传统方法相比,地表水低浓度水样的测定偏差从 8.5% 降至 2.3%,生活污水与工业废水高干扰水样的测定偏差从 10.2% 降至 3.1%,充分说明优化方法在各类水体中均具有良好的适用性,检测精度与抗干扰能力显著优于传统方法。

## 4 讨论

### 4.1 优化方法的核心优势

与传统纳氏试剂分光光度法相比,本研究优化后的方法具有三大核心优势:一是检测精度大幅提升,检出限从 0.02mg/L 降至 0.005mg/L,能精准测定地表水一类、二类水质中的低浓度氨氮,弥补了传统方法对低浓度水样检测能力不足的缺陷;二是抗干扰能力显著增强,酒石酸钾钠-EDTA 联合掩蔽法能有效消除水体中常见的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等离子干扰,适用于干扰离子含量较高的生活污水与工业废水测定;三是反应条件更宽松,优化后的显色体系与反应参数对温度、时间的微小偏差耐受性更强,在常规实验室条件下即可获得稳定的测定结果,降低了操作难度,提升了检测效率。

### 4.2 影响测定结果的关键因素

在实际应用中,仍需关注三大关键因素:一是无氨水的制备,水中微量铵离子会导致空白吸光度偏高,影响低浓度水样的测定结果,因此需保证无氨水的制备质量,临用前制备;二是纳氏试剂的储存,优化后的纳氏试剂虽稳定性有所提升,但仍需避光密封储存,储存时间不超过 1 个月,若出现沉淀则需重新配制;三是水样的前处理,对于浊度较高的水样,需先经滤纸过滤去除悬浮杂质,再进行掩蔽处理,避免杂质对显色反应的干扰。

### 4.3 方法的适用范围与局限性

本研究优化后的分光光度法适用于地表水、生活污水、工业废水等各类水体的氨氮测定,尤其适用于低浓度、高干扰离子含量的水样,检测范围 0.02~2.0mg/L,满足我国《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)与《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的监测要求。但该方法仍存在一定局限性:对于氨氮浓度  $>2.0\text{mg/L}$  的水样,需进行稀释后测定,稀释倍数过大会引入稀释误差;对于含有挥发性胺类的工业废水,显色前需进行预蒸馏处理,操作相对繁琐。后续可针对高浓度水样与特殊工业废水,开展进一步的改进研究,拓展方法的适用范围。

## 5 结语

本文针对传统纳氏试剂分光光度法测定水中氨氮存在的显色条件严苛、抗干扰能力弱、低浓度检测精度不足等问题,从显色体系配比、反应条件调控、干扰消除方法三方面开展系统优化研究,确定了最佳测定参数组合,并构建了标准化的测定体系。优化后方法的线性范围为 0.02~2.0mg/L,相关系数  $R^2=0.9998$ ,检出限 0.005mg/L,加标回收率 95.2%~103.6%,相对标准偏差  $\leq 2.1\%$ ,各项性能指标均优于传统方法。

### 参考文献

- [1] 黄春荣.微型水质多参数快速监测仪 (MWQMP-RM) 应用性能提升关键技术研究[D].华南理工大学,2024.
- [2] 吴巍,赖晓晨,刘玲,等.气相分子吸收光谱法测定海水中氨氮的优化[J].当代化工,2022,51(10):2504-2508+2516.
- [3] 郑鑫吾.气相分子吸收光谱法测定海水中氨氮的干扰因素识别及预处理方法研究[D].北京林业大学,2022.

# Comparative Study on Water Pollution Emission Limits of Sewage Treatment Plants in Key Watershed

Hang Shen<sup>1,2</sup>

1. Yunnan Academy of Ecology and Environment, Kunming, Yunnan, 650034, China

2. Key Laboratory of Pollution Processes and Management in Plateau Lake Basins, Yunnan Province, Kunming, Yunnan, 650034, China

## Abstract

China promulgated the “Pollutant Discharge Standard for Urban Sewage Treatment Plants” (GB 18918-2002) in 2002, and issued amendments in 2006 and 2025 respectively to gradually improve the requirements for water pollutant discharge limits. Under this framework, key river basins have set stricter control targets for the effluent quality of urban sewage treatment. This paper systematically reviews the current sewage discharge standard system and management status in China, compares and analyzes regional differences in the setting of discharge limits for key river basins such as the Haihe River, Yangtze River, Yellow River, and Pearl River, discusses the main problems existing in the implementation of the current standards, and proposes optimization strategies for regional environmental management, aiming to provide a reference for differentiated standard formulation and precise environmental supervision.

## Keywords

Wastewater treatment plant; Key river basins; Water pollutant discharge limits; Water environmental capacity; Environmental supervision

# 重点流域污水处理厂水污染排放限值对比研究

沈航<sup>1,2</sup>

1. 云南省生态环境科学研究院, 中国·云南昆明 650034

2. 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 中国·云南昆明 650034

## 摘要

中国于2002年颁布《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002), 并于2006年及2025年分别发布修改单, 逐步完善水污染物排放限值要求。在此框架下, 重点流域对城镇污水处理出水水质提出了更为严格的控制目标。本文系统梳理中国现行污水排放标准体系及管理现状, 对比分析海河、长江、黄河、珠江等重点流域在排放限值设定上的区域差异, 探讨现行标准在实施过程中存在的主要问题, 并提出面向区域环境管理的优化对策, 以为差异化标准制定与精准化环境监管提供参考依据。

## 关键词

污水处理厂; 重点流域; 水污染物排放限值; 水环境容量; 环境监管

## 1 引言

中国已制定涵盖污水处理厂污染物排放的纲领性技术规范, 并基于地域广阔、区域差异显著的现实特征, 建立了分级分类的污水排放标准体系, 为重点流域的水环境治理提供了重要的技术支撑与政策依据。污水处理排放标准是不可逾越的红线, 更是精准执法的量化依据, 在中国的生态环境保护工作中占据重要地位<sup>[1]</sup>。污水处理厂作为削减水体污染物的关键环节, 其排放标准的优化与升级直接关系到受纳水

体的环境质量改善。在此背景下, 针对不同地区的资源禀赋、环境容量与发展阶段, 因地制宜制定差异化的污水排放限值, 既是提升区域污水处理效能的内在要求, 也是改善水环境质量、推动中国生态环境保护事业持续发展的现实路径。

## 2 国家污水处理排放标准体系及管理现状

在城镇污水处理领域, 现行有效的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)及其修改单是最为核心的强制性标准, 对污水处理的去向和功能要求都有明确规定。一级A标准是最为严格的等级, 是排入国家和省市确定的重点流域及湖泊、水库等封闭、半封闭水体的准入条件。一级B标准适用于排入GB3838地表水IV、V类功能水域

【作者简介】沈航(1991—), 男, 中国云南建水人, 本科, 工程师, 从事水污染防治研究。

的执行标准。二级标准是过渡性或接纳水体环境容量相对较大地区的排放要求,可排入 GB3838IV、V 类水域。然而,由于近年来水环境治理力度的不断加强,以及中国各地区水环境容量的巨大差异,统一制定的污水排放标准逐渐显现出局限性<sup>[2]</sup>。

当前,中国重点流域的地方污水排放标准普遍严于国家基准,依托自动监控设施的广泛部署,生态环境监管部门已初步实现对重点排污单位出水水质的实时监测与动态管控。以《重点流域水污染防治规划(2016—2020年)》(环水体〔2017〕142号)为标志,相关政策进一步推动了敏感流域污水深度处理技术的应用与治理进程。然而,排放标准的持续加严也给污水处理厂的运行管理带来了新的挑战。尤其在生态环境敏感性较高的区域,如云南高原湖泊流域,如何在保障高标准稳定运行的同时提升处理效能,已成为重点流域污水治理亟需破解的关键难题。

### 3 重点流域污水处理地方标准对比

#### 3.1 海河流域

海河流域的水资源量约占全国 1.2%,但却承载着 11% 的人口和 12.6% 的经济总量,因而具有人均水资源匮乏、水环境容量有限的特点。天津的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB12/599-2015)、《污水综合排放标准》(DB12356-2018),都是在国家污水排放标准基础上所制定的更为严格的地方排放标准,适用于天津市域范围内的排污单位。河北省 2023 年发布的《滦河及冀东沿海流域水污染物排放标准》(DB13/5886—2023)适用于滦河及冀东沿海流域等地区的排污单位,明确了排放污水的 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、总氮、总磷等水污染物的管理要求<sup>[3]</sup>。河北省《潮白河流域水污染物排放标准》(DB13/5881-2023)适用于潮白河流域,旨在为密云水库水质提供了保障。

#### 3.2 长江流域

长江上游以四川省的岷江和沱江流域为例,出台了《岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311-2016),极大地促进了长江上游的生态屏障建设。长江中下游以巢湖和太湖为例,分别制定了《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB34/2710-2016)和《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB32/1072-2018),其污水排放尤其重视污水中“总氮”和“总磷”的含量。这主要是因为,巢湖和太湖是淡水湖群,水污染问题以蓝藻水华最为典型,而蓝藻水华发生的直接原因在于水中氮、磷等营养物质含量过剩。因此,在国家污水排放一级 A 的基础上,巢湖(DB34/2710-2016)和太湖(DB32/1072-2018)均加强了对总磷和总氮的管控。例如合肥市,根据巢湖流域对污水排放的管理标准,针对大型污水处理厂明确提出污染物排放限值,如总氮 $\leq 10\text{mg/L}$ 、总磷 $\leq 0.3\text{mg/L}$ 。云南滇池为长江流域金沙江水系,属于高原湖泊,昆明市 2020 年发布的《城镇污水处理厂主要水污染物排放

限值》(DB5301/T 43-2020)则是针对其城镇污水处理提出的更严格的排放要求,如 A 级限值总氮限值 $\leq 5\text{mg/L}$ 、总磷限值 $\leq 0.05\text{mg/L}$ 。

#### 3.3 黄河流域

黄河流域具有水资源匮乏、泥沙含量高、下游断面水质目标严格等特点,因此污水排放标准更注重资源化利用、泥沙控制和下游水质衔接。需要说明的是,在地理上邻近黄河的南四湖流域,水系划分上属淮河流域沂沭泗水系,为保障南水北调东线工程水质安全,山东省 2018 年发布、2023 年修订了《山东省南四湖流域水污染物综合排放标准》(DB37/3416),明确了该流域污水处理厂的污染物排放限值。河南省 2021 年发布的《河南省黄河流域水污染物排放标准》(DB41 2087-2021),根据接纳水体敏感程度(黄河干流、一级支流、其他水体)设置了分级排放限值,在保障水质目标的同时兼顾了污水处理的技术经济可行性。

#### 3.4 珠江流域

广东省于 2018 年发布了《茅洲河流域水污染物排放标准》(DB44/2130-2018),主要针对流域内的重点控制行业及城镇污水处理厂的水污染物加强了排放管理,旨在恢复茅洲河的水体功能。广西壮族自治区于 2020 年发布了《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(征求意见稿),适用于城镇建成区以外地区设计处理规模小于 500m<sup>3</sup>/d 的农村生活污水处理设施,而其城镇污水处理厂则主要按照国家标准 GB 18918-2002 执行。另外,广东省出台了《小东江流域水污染物排放标准》(DB44/2155-2019),针对跨市界流域的污水处理强化了相关的管控要求。

## 4 重点流域水污染物排放限值差异性的形成原因

### 4.1 水环境容量

不同流域在水体自净能力与生态敏感性方面存在显著差异,直接影响其对污染物的承载能力与响应机制。以云南高原湖泊为例,其水体流动性较弱,污染物滞留时间长、自净速率低,长期累积易诱发蓝藻水华等生态风险,因而对排污管控提出更高要求。相较之下,长江中下游地区水流量大、稀释扩散能力强,水环境容量相对充足,其排放标准更侧重于与下游断面水质目标的衔接,以保障流域水环境质量的整体稳定。而在北方水资源短缺地区,污水处理厂尾水往往成为河流的重要补给水源,排放标准的制定更强调再生水水质保障与水资源循环利用,以缓解区域水资源供需矛盾。

### 4.2 技术与经济成本的制约性

污水排放标准的执行需要足够的技术和经济支撑,一旦流域污水排放标准加严后,污水处理技术要求更高,且建设和运营成本也将显著升高。因此,针对重点流域制定的污水排放标准应在生态环境保护和保护、经济之间寻找平衡性。如果制定的标准没有充分考虑当地的经济承受能力,就可能出现运行不稳定或私自降低标准等问题,反而对环保造成负面影响<sup>[4]</sup>。

表1 重点流域污水处理水污染排放限值

流域	标准文号	适用区域	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
国家基础标准	GB 18918-2002	全国城镇污水处理厂	50	5 (8)*	15	0.5
太湖	DB32/1072-2018	太湖流域	40	3 (5)*	10	0.3
巢湖	DB34/2710-2016	巢湖流域	40	2.0	12	0.3
黄河流域	DB41/2087-2021	河南省黄河流域	40	3.0 (5.0)*	15	0.4
滦河	DB13/5886—2023	滦河及冀东沿海流域	30	1.5*	15	0.3
岷江、沱江	DB51/2311-2016	岷江、沱江流域	40	2	15	0.3
潮白河	DB13/5881-2023	河北省潮白河流域	20	1.0 (1.5)*	10	0.2
滇池	DB5301/T 43-2020	昆明市县级及以上城镇污水处理厂	20	1.0 (1.5)*	5 (10)*	0.05
天津	DB12/599-2015	天津市城镇污水处理厂	30	1.5 (3.0)*	10	0.3
南四湖流域	DB37/3416-2023	山东省南四湖、东平湖流域	40	3 (5)*	10 (12)*	0.3
茅洲河	DB44/2130-2018	茅洲河流域周边城镇及重点行业	30	1.5	15	0.3
广西农村	征求意见稿 (2020) 一级标准	广西农村生活污水处理设施 (<500m <sup>3</sup> /d)	60	8 (15)*	20	1
小东江流域	DB44/2155-2019	小东江流域周边排污单位	40	2.0	-	0.4

注：\* 括号外数值为水温超过 12℃时的控制限值，括号内为水温 ≤12℃的控制限值。

注：污水排放限值受处理规模或受纳水体敏感程度的影响而设有不同等级，本表统计了其标准中最严格的等级或与一级 A 对比的核心限值。

### 4.3 监管能力的匹配度

污水排放标准的严格程度应与区域监管能力相匹配，唯有具备相应的监测技术与执法资源，方能确保标准落地见效。在经济发达地区，监管部门通常具备较为完善的监测设备、信息化平台及专业化人才队伍，能够实现对排污行为的精准监控与动态管控。而在经济欠发达地区，即便制定了严格的排放限值，受限于监测能力薄弱、执法力量不足等因素，往往难以有效落实，导致标准“空转”或执行偏差。

## 5 重点流域污水排放限值制定建议

### 5.1 基于水环境容量制定精准化排放标准

重点流域的污水排放标准制定应立足于区域治理实践的系统梳理与问题识别，紧密结合水环境容量与排污特征，推动排放限值的精准化设计。通过实施分区管控，使排放标准与流域内不同水体的环境敏感性相适配，避免“一刀切”政策引发的资源错配与治理失效。以云南高原湖泊为例，应基于湖泊水环境容量测算污染物最大允许排放负荷，据此制定差异化的排放限值。推行“一湖一策、一河一策”的精细化管理模式，有助于在保障水生态安全的同时，提升治理资源配置效率，实现环境保护与成本控制的协同优化。

### 5.2 强化污水排放监管

重点流域往往跨越多个行政区域，若上下游执行的地方标准不一致，可能导致上游治理成效被削弱，或下游治理压力增大，难以实现流域水环境的整体保护目标。为此，生态环境部门应强化重点流域的统筹监管，推动建立跨行政区域的污水排放标准衔接机制，实现上下游水质数据的实时监测与信息共享。同时，应积极引入视频监控、智能分析等信息化监管手段，提升对排污行为的全天候监控能力与异常情

况识别效率，切实保障污水排放质量，为流域精细化管理提供技术支撑<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

重点流域污水处理厂的排放标准正逐步向差异化和区域化方向演进，这一趋势是中国水环境治理实践不断深化的具体体现。通过对海河、长江、黄河、珠江等重点流域污水排放限值的系统梳理，可以看出，地方排放标准的制定既注重与区域水资源禀赋相适应，也兼顾了技术可行性、经济成本与监管能力的匹配度。差异化的排放标准不仅为污水处理厂提供了明确的运行依据，也为生态环境部门实施精准监管奠定了基础，有效避免了“一刀切”政策与地方实际脱节可能引发的执行矛盾。未来，应进一步推动污水排放的精细化管理，强化标准与区域水环境容量的协同衔接，以促进水资源的可持续保护与利用。

## 参考文献

- [1] 韦克昊. 污水排放标准对比与水环境治理发展路径研究 [J]. 广东化工, 2025, 52 (24): 96-99.
- [2] 冯振涛, 黄冰, 何明, 等. 污水处理厂减污降碳协同控制研究 [J]. 环境生态学, 2025, 7 (04): 178-182.
- [3] 魏君, 韩丽君, 宋薇, 等. 河北省直排海污染源排放特征及管理对策分析 [J]. 农业与技术, 2024, 44 (04): 86-89. DOI:10.19754/j.nyyjs.20240229021.
- [4] 马耀宗, 武海霞, 孟庆宇, 等. 更严格排放标准下中国城市污水处理厂提标改造进展 [J]. 净水技术, 2023, 42 (11): 37-48+126. DOI:10.15890/j.cnki.jsjs.2023.11.005.
- [5] 张骅. 某镇污水厂提标改造工程实践 [J]. 水处理技术, 2022, 48 (05): 150-153+156. DOI:10.16796/j.cnki.1000-3770.2022.05.031.

# Strategic Optimization for Establishing a Comprehensive Water Pollution Prevention and Control System in Industrial Parks

Na Zhang

Xinjiang Chuangyu Water Resources and Environmental Technology Co., Ltd., Yili, Xinjiang, 835000, China

## Abstract

With the rapid development of industrial parks, water pollution has become a critical challenge to regional ecological security and sustainable development. Traditional end-of-pipe treatment models struggle to address the complex composition and hidden risks of industrial wastewater. This study focuses on water pollution prevention and control in industrial parks, aiming to overcome the limitations of linear passive treatment. It proposes an optimized strategy centered on the “source-process-end-support” four-dimensional synergy, establishing an operational framework for industrial park water pollution prevention and control systems. This framework provides systematic solutions for environmental management in industrial parks. The system emphasizes reducing pollution at the source through strengthened industrial access and clean production, achieving precise process interruption via smart pipeline networks and intelligent supervision, transforming end-of-pipe facilities into “resource factories” to enhance quality and efficiency, and providing long-term support through institutional innovation and multi-stakeholder governance. This research systematically integrates technical, managerial, and institutional elements to offer theoretical foundations and practical guidance for industrial parks to achieve green, low-carbon transformation and high-quality development.

## Keywords

Industrial park; water pollution; Whole-process prevention and control; Intelligent supervision; Multi-stakeholder governance

## 工业园区水污染全过程防控体系的构建策略优化研究

张娜

新疆创禹水利环境科技有限公司, 中国·新疆伊犁 835000

## 摘要

随着工业园区快速发展,其水污染已成为制约区域生态安全与可持续发展的严峻挑战。传统末端治理模式难以应对工业废水成分复杂、风险隐蔽的特性。为此,本文聚焦于工业园区水污染防控,旨在突破线性被动治理的局限,提出以“源头—过程—末端—保障”四维协同为核心的优化策略,构建可操作的工业园区水污染防控体系框架,为园区环境管理提供系统化解解决方案。该体系强调通过强化产业准入与清洁生产实现源头减量,依托智慧管网与智慧监管实现过程精准阻断,推动末端设施向“资源工厂”转型实现提质增效,并以制度创新与多元共治提供长效支撑。该研究旨在系统整合技术、管理与制度要素,为工业园区实现绿色低碳转型与高质量发展提供理论依据与实践指引。

## 关键词

工业园区;水污染;全过程防控;智慧监管;多元共治

## 1 引言

随着我国生态文明建设的深入推进,水污染防治攻坚战已进入系统治理、精准施策的新阶段。《中共中央国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》等国家最新政策明确要求,推动工业污染源全面达标排放,并强化工业园区环境风险管控,这为工业园区水环境管理指明了方向。传统治理模式聚焦末端,难以适应工业废水成分复杂、风险隐蔽的特点,局部水环境压力依然严峻。因此,突破线性被动治理的

局限,构建覆盖“源头—过程—末端—保障”的全过程、系统化防控体系,不仅是落实国家政策的具体体现,更是破解园区发展与环境保护矛盾、推动产业绿色转型升级、实现高质量发展的内在要求与紧迫任务。本文旨在系统分析当前工业园区水污染防控中的关键短板,探索全过程防控体系的优化路径,以期为园区水环境管理提供理论支撑与实践指导。

## 2 工业园区水污染防控的必要性

工业园区水污染全过程防控体系构建,因传统末端治理模式应对复杂工业污染失效,也是新发展阶段工业与环境协调发展的必然选择。工业化背景下,水环境容量制约园区可持续发展,许多园区早期规划未考量生态承载力,粗放生

【作者简介】张娜(1991—),女,中国河南人,本科,中级,从事环境工程研究。

产与碎片化管理致水资源过度消耗、污染物叠加排放,使局部流域陷入恶性循环。全过程防控可突破线性被动治理困境,将水环境保护要求融入园区规划、企业生产、运营管理及区域协同全过程,实现水环境治理从“事后补救”到“全程介入”的转变。这不仅是技术路径改变,更是发展理念革新,通过源头预防、过程控制、系统治理,促使园区向绿色、循环、低碳的生态产业共同体演进。面对水资源短缺和水质安全保障压力,构建全涵盖、精细化、智能化的全过程防控体系,是保障区域水安全、增强产业竞争力、实现高质量发展的内在需求和紧迫任务。

### 3 工业园区水污染的深层危害

#### 3.1 生态系统完整性的侵蚀与瓦解

工业园区排放的废水成分复杂,其所含的持久性有机污染物、重金属离子及难降解化学物质,能在水生环境中长期存留并不断累积,对受纳水体生态系统造成渐进性、结构性的破坏。这些污染物首先通过食物链在不同营养级生物体内富集,干扰水生生物的生理代谢与生殖功能,导致生物多样性降低、种群结构失衡,最终瓦解水域生态系统的稳定与完整。污染物质沉降进入底泥后形成长期内源污染,即便外部排放得以控制,仍可能在环境条件变化时重新释放,造成持续危害(图1)。污染物随水循环进入地下水系统,将对战略水源储备构成难以逆转的威胁。此外,受污染水体用于农业灌溉,污染物通过土壤-作物系统迁移,破坏土壤微生物群落结构与功能,损害土地生态健康。



图1 工业园区水污染对生态系统的影响示意图

#### 3.2 公共健康与社会发展的隐性威胁

工业园区水污染通过直接与间接途径,对公共健康构成严重持久威胁。污染物进入饮用水源,部分有毒有害物质难被常规工艺完全去除,长期饮用会增加患病风险,如重金属蓄积损害神经与脏器功能,某些有机物有致癌、致畸潜在危害。食用受污染的水产品与农作物,污染物经食物链富集进入人体,健康影响潜伏期长、关联复杂,危害深远却易被忽视(如图2)。在社会经济层面,水污染加剧水资源短缺与

利用矛盾,引发资源争夺,影响社会稳定。治理污染、保障供水安全需投入巨额财政资源,挤占其他民生与发展资金。受污染区域生态恶化,导致地产贬值、旅游业萎缩、投资吸引力减弱,制约地方经济可持续发展。重大水污染事件还会损害政府公信力与企业社会责任形象,削弱社会互信基础。



图2 水污染对公共健康的潜在危害路径图

### 4 工业园区水污染全过程防控体系的优化策略

全过程防控体系的构建是一项系统工程,其优化策略遵循“源头防控是基础,过程阻断是关键,末端治理是保障,制度创新是支撑”的逻辑,需四者协同推进,形成闭环管理的有机整体。具体优化策略如下:

#### 4.1 源头防控强化准入与工艺革新

优化防控体系的根基在于正本清源,将污染遏止于萌发之初。建立并严格执行基于水环境承载力的园区产业准入与布局负面清单制度是这一理念的核心实践。在园区规划与项目引进的初始阶段,必须开展精细化的水资源论证与水环境影响预评估,从战略层面禁止高耗水、高污染、难治理的产业门类入驻,同时系统性鼓励发展符合生态设计、资源循环要求的绿色产业,这实质上是将环境容量作为珍贵的生产要素进行前置配置。

对于园区内现有企业,推行定期的清洁生产强制审核已成为驱动其内生变革的关键机制,通过系统性评估和标杆比对,敦促企业主动采用无毒或低毒原材料,改进生产工艺与设备,其目的在于从生产线上最大限度地减少废水产生量与污染物初始负荷。具体技术路径包括推广干法或半干法生产工艺以替代传统高耗水的湿法工艺,采用逆流清洗、多级套用等精细化的节水技术,推动实现废水的厂内循环或工序间的梯级利用,从而在源头实现“减量化”和“资源化”。

这一策略的深层逻辑在于通过制度约束与市场激励相结合,将长期被外部化的环境成本有效内化于企业的生产决策过程,引导企业从被动合规的“要我环保”转向主动寻求竞争力提升的“我要环保”,使得源头减量不再仅是环保要求,更成为具有经济理性与可持续发展视野的企业自觉选择,为整个防控体系奠定了坚实且清洁的基础。

## 4.2 过程阻断完善管网与智慧监管

生产过程中的跑冒滴漏、不达标预处理以及混乱的排水体系，是导致污染物无序排放和管控失效的关键薄弱环节。相应的优化策略必须聚焦于构建一套“分类收集、分质处理、清晰归趋”的园区废水收集与转输物理系统。这要求园区实施彻底且严格的雨污分流、清污分流改造工程，从基础设施上杜绝交叉污染与稀释排放。

对于含有特殊有毒有害污染物如重金属或高浓度有机物的废水，必须强制要求产生企业在车间内进行独立且有效的预处理，确保其达到特定接管标准后，再通过专设管道接入园区集中处理设施，这一措施的核心目的是严防有毒有害物质通过混合稀释规避处理，或对末端集中处理系统造成不可预测的冲击负荷。与此同时，大力建设并深度应用“智慧水环境”管理平台是提升过程监管效能的技术飞跃。通过在关键节点布设自动化监测设备并利用物联网技术实时采集数据，再借助大数据与人工智能技术进行动态分析与智能研判，这个数字化神经中枢能够实现从企业排放口到环境接纳水体的全过程透明化监控。它不仅能对异常排水行为进行即时预警，还能快速进行污染溯源，精准锁定违规排放主体，从而将传统耗时费力的人工巡查转变为高效精准的智能响应。

这种“过程阻断”模式将物理管网的清晰分割与数字监管的智能洞察紧密结合，大幅提升了园区水环境风险的可控性与管理效率，确保了污染物在迁移转化过程中得到有效拦截与控制。

## 4.3 末端治理提升效能与资源循环

集中式污水处理厂作为防控体系的最后一道实体工程屏障，其功能定位必须从单一的“达标排放”向综合性的“提质增效”与“资源能源回收”战略跃升。针对工业园区混合废水水质复杂、波动性大的特点，技术策略的重点在于推广采用耐冲击负荷强、处理效率高且运行稳定的先进工艺组合，例如将“厌氧-好氧”生物处理单元与高级氧化、高效膜分离等技术进行集成创新，确保出水稳定达到甚至持续优于日益严格的排放标准。

在此基础上，积极探索并实施污水的深度处理与再生利用，将达标尾水通过进一步净化，定向用于园区绿化浇灌、道路洒扫、工业冷却或生态补水，这不仅创造了新的、稳定的替代水源，也显著减少了区域对新鲜水的取用需求，实现了水资源的局部循环。更具前瞻性和变革性的方向是将传统的污水处理厂重构为面向未来的“资源工厂”，通过厌氧消化等工艺回收废水中有机物蕴含的化学能转化为沼气能源，或从处理产生的污泥中提取回收磷等稀缺营养物质，从而推动污染物治理设施从纯粹的“成本中心”向具有“价值产出”潜力的部分转变。

这一转型要求技术创新与商业模式创新并重，例如通过合同能源管理、资源产品收益分享等模式，为末端治理设

施的可持续运营与提质改造注入内生经济动力，使其在完成减排基本任务的同时，贡献于园区的资源能源安全和循环经济发展。

## 4.4 保障制度的创新与多元共治

技术体系与工程措施的落地与长效运行，从根本上依赖于健全的制度框架与协同的治理结构。优化策略必须着力于制度层面的创新与相关方能力的系统性建设。在立法与标准层面，推动制定或修订更具针对性且更严格的工业园区水污染防治地方性法规与技术标准，清晰界定园区管理机构、入园企业、运营单位及监管部门的法定责任与义务边界，为一切行动提供坚实的法治基础。

在经济手段方面，需要完善与污染物排放总量、排放毒性等直接挂钩的差别化污水处理收费政策，并探索建立水权交易与排污权交易等市场化机制，同时积极运用绿色信贷、环境污染责任保险等金融工具，引导社会资本流向绿色领域，从经济理性上激励企业持续减排。在管理机制上，落实园区环保基础设施的“统一规划、统一建设、统一运营”模式至关重要，这能有效避免多头管理带来的责任推诿与效率损耗，并应建立与企业环境信用评级体系紧密衔接的奖惩联动机制，使评价结果切实影响其信贷获取、项目审批等发展要素。最终，需要构建一个“政府主导、企业主体、社会组织和公众共同参与”的多元共治格局。

通过依法定期公开环境信息、畅通公众监督与举报渠道、引入第三方专业机构开展独立评估以及持续进行环保宣传教育等方式，将社会各方关注的压力有效转化为园区绿色转型与污染防控的持续推动力。

## 5 结语

工业园区水污染全过程防控体系的构建与优化是一项复杂的系统工程。它超越了单纯的技术升级，是发展理念、管理模式和治理结构的深刻变革。从源头预防到过程严控，从末端资源化到制度长效化，各个环节环环相扣，共同构成了一个有机整体。这一体系的成功实施，能够有效降低环境风险，提升水资源利用效率，增强园区产业竞争力，最终服务于区域生态安全与经济社会可持续发展的长远目标。展望未来，持续推动技术创新、制度创新和多元共治模式的深化，将是该体系不断成熟和完善的关键所在。

## 参考文献

- [1] 本刊讯.工业园区水污染物排放标准征求意见稿[J].中国石油和化工, 2025(6).
- [2] 孙晶晶.六安市各工业园区土壤及地下水污染状况调查及分析[J]. 2023.
- [3] 薛山.工业园区污水处理现状与问题[J].有色冶金节能, 2023(005):039.
- [4] 齐童.石油化学工业废水中污染物可协同处理性研究[D].中国环境科学研究院,2023.

# Research on the Present Situation and Development of Urban Sewage Treatment Technology

Jingjing Li

Shouguang Zhongye Water Service Co., Ltd., Shouguang, Shandong, 262700, China

## Abstract

The advancement of urbanization and industrialization has led to a surge in urban wastewater discharge, making sewage treatment a critical measure for sustainable development. This paper reviews the evolution of urban wastewater treatment technologies, from simple processes like sedimentation and filtration to the traditional activated sludge method. It focuses on analyzing the principles, advantages, application scenarios, and existing challenges of activated sludge, biofilm, and membrane separation technologies, which are often combined in processes such as membrane bioreactors to enhance treatment efficiency. Additionally, the paper explores the potential of advanced oxidation technologies in degrading refractory biodegradable organic pollutants, highlighting that future urban wastewater treatment will develop toward higher efficiency, lower carbon emissions, resource utilization, and intelligent systems. This provides theoretical and practical references for technology selection, optimization, and innovation.

## Keywords

Urban wastewater treatment; Activated sludge process; Membrane separation technology; Advanced oxidation technology;

## 城市污水处理技术现状及发展研究

李京京

寿光市中冶水务有限公司, 中国·山东 寿光 262700

## 摘要

城市化与工业化推进使城市污水排放量攀升, 污水处理成为可持续发展的关键举措。本文梳理了城市污水处理技术从沉淀、过滤等简单工艺到传统活性污泥法的发展历程, 重点分析了活性污泥法、生物膜法、膜分离技术的原理、优势、应用场景及现存问题, 这些技术常以膜生物反应器等组合工艺形式提升处理效能。同时, 本文探讨了高级氧化技术在降解难生物降解有机污染物方面的潜力, 指出未来城市污水处理将朝着高效化、低碳化、资源化与智慧化方向发展, 为技术选择、优化与创新提供理论和实践参考。

## 关键词

城市污水处理; 活性污泥法; 膜分离技术; 高级氧化技术;

## 1 城市污水处理的背景与意义

随着城市化进程的加速, 城市人口数量急剧增长, 工业活动日益频繁, 导致城市污水排放量显著增加。这种现象对环境、居民健康以及城市的可持续发展均造成了深远的负面影响。未经处理或处理不当的城市污水直接排放到自然水体中, 会导致水体富营养化、重金属污染以及有毒有害物质积累, 从而破坏水生生态系统平衡<sup>[1]</sup>。此外, 污水中的病原微生物可能通过饮用水或食物链传播, 威胁居民健康, 引发各种疾病。从城市可持续发展的角度来看, 水资源短缺问题因污水排放而加剧, 制约了经济社会的长期发展。因此, 加强城市污水处理已成为当前亟待解决的重要课题, 其紧迫性

不容忽视。

## 2 城市污水处理技术发展历程

### 2.1 早期简单处理技术

早期的城市污水处理技术主要以沉淀和过滤等物理方法为主, 这些技术通过去除污水中的悬浮颗粒和部分有机物来改善水质。沉淀技术利用重力作用使污水中的固体颗粒沉降到底部, 从而实现固液分离; 过滤技术则通过多孔介质(如砂滤层)截留污水中的悬浮物。这些技术广泛应用于早期城市的排水系统中, 尤其是在工业革命后期, 随着城市化进程的加快, 人口密集区域的生活污水和工业废水排放量急剧增加, 简单的污水处理技术成为应对水污染问题的重要手段。然而, 这些技术的局限性也显而易见: 它们仅能去除污水中的部分悬浮物, 对溶解性污染物和微生物的去除效果有限, 且处理后的水质难以满足日益严格的环保要求。尽管如此,

【作者简介】李京京(1984—), 女, 硕士, 工程师, 从事环境工程研究。

早期简单处理技术在当时发挥了重要作用，为后续污水处理技术的发展奠定了基础。

## 2.2 传统污水处理技术发展

从早期简单处理技术到现代复杂工艺的过渡中，传统污水处理技术经历了显著的发展与改进<sup>[1]</sup>。活性污泥法作为最具代表性的传统污水处理技术之一，于20世纪初被提出并逐步完善。其基本原理是利用悬浮生长的微生物群体分解污水中的有机物质，通过曝气提供氧气以促进微生物的代谢活动，从而实现污染物的去除。然而，随着城市化规模的扩大和污水排放量的增加，传统活性污泥法也暴露出一些不足，例如能耗较高、占地面积大以及对氮磷等营养物质的去除效果有限。为应对这些问题，研究者们不断优化工艺流程，开发出诸如A/O工艺、SBR工艺等改进型技术，这些技术在提升处理效率的同时，也增强了系统对复杂污染物组成的适应性。总体而言，传统污水处理技术的发展历程体现了人类对水污染问题认识的深化以及技术手段的逐步完善。

## 3 主流城市污水处理技术剖析

### 3.1 活性污泥法

活性污泥法是一种基于微生物群体代谢作用的污水处理技术，其核心原理是利用悬浮生长的微生物群体分解污水中的有机物质。在活性污泥系统中，污水与回流污泥混合后进入曝气池，在充分供氧的条件下，微生物通过摄取污水中的有机物进行新陈代谢活动，将有机物转化为二氧化碳、水以及自身的细胞物质。这一过程主要包括两个阶段：第一阶段是有机物的吸附和氧化分解，第二阶段是微生物的合成与增殖。活性污泥法的关键在于维持曝气池中适当的微生物浓度和良好的混合条件，以确保高效的有机物去除效果。

### 3.2 生物膜法

生物膜法是一种利用附着在载体表面的微生物群体降解污水中污染物的处理技术。其基本原理是，微生物在载体表面形成一层生物膜，污水流经生物膜时，其中的有机物被生物膜中的微生物吸附、分解和转化，最终生成二氧化碳、水及其他无机物。与活性污泥法不同，生物膜法中的微生物以固着状态存在，这使得生物膜能够承受较高的冲击负荷并保持稳定的处理效果。此外，生物膜内部存在好氧区、缺氧区和厌氧区，这种分层结构有利于同步实现有机物降解、脱氮和除磷等功能。

### 3.3 膜分离技术

膜分离技术是一种基于膜的选择透过性实现污染物分离的先进污水处理技术<sup>[3]</sup>。其基本原理是利用特定孔径和化学性质的膜材料，通过物理筛分或化学吸附作用，将污水中的悬浮物、胶体物质、溶解性有机物和无机盐等污染物分离出来，从而实现水质净化的目的。根据膜孔径大小的不同，膜分离技术可分为微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和反渗透(RO)等多种类型。

## 4 新兴城市污水处理技术探索

### 4.1 高级氧化技术

#### 4.1.1 高级氧化技术原理

高级氧化技术(Advanced Oxidation Processes, AOPs)是一种通过产生高活性的羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )来氧化降解污水中难降解有机污染物的高效处理技术。其核心机制在于利用化学反应生成强氧化性的羟基自由基，这些自由基能够无选择性地攻击有机物分子，将其分解为二氧化碳和水等无害物质。常见的AOPs包括臭氧氧化、过氧化氢催化氧化以及光催化氧化等。例如，臭氧氧化技术通过臭氧分子在水中的分解产生羟基自由基，而光催化氧化则利用紫外光激发催化剂表面生成自由基。此外，芬顿试剂( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ )也是典型的高级氧化技术之一，其通过亚铁离子与过氧化氢反应生成羟基自由基，从而实现高效氧化。

#### 4.1.2 高级氧化技术优势

高级氧化技术在处理难降解污染物方面具有显著优势，其反应速度快、适用范围广且对多种有机污染物均有良好的去除效果。由于羟基自由基的标准电极电位高达2.8V，远高于普通氧化剂，因此其氧化能力极强，能够有效分解传统生物处理方法难以去除的有机化合物，如苯环类化合物、多环芳烃等。然而，尽管高级氧化技术表现出优异的性能，其运行成本较高的问题仍需引起重视。

### 4.2 人工湿地技术

#### 4.2.1 人工湿地技术原理

人工湿地技术是一种模拟自然湿地生态系统的污水处理方法，通过植物、微生物和基质的共同作用实现对污水中污染物的有效去除。在该技术中，植物根系为微生物提供了附着表面和氧气输送通道，同时通过光合作用释放氧气，促进好氧微生物的活性；微生物则负责降解污水中的有机污染物和氮磷等营养物质；基质则起到过滤和吸附的作用，进一步去除悬浮物和重金属离子。

#### 4.2.2 人工湿地技术优势

人工湿地技术在生态友好性和运行成本方面具有显著优势。人工湿地能够美化环境，为动植物提供栖息地，具有一定的生态价值。此外，其建设成本相对较低，特别是在土地资源丰富的地区，可以大幅降低初期投资。然而，人工湿地技术也存在一定的局限性，例如占地面积较大、处理效率受气候条件影响明显等。

## 5 城市污水处理技术面临的挑战与解决策略

### 5.1 处理成本高

城市污水处理成本居高不下，主要源于能耗大、药剂费用高以及设备维护成本高等多方面因素。在污水处理过程中，曝气系统、污水提升泵等高能耗设备的运行消耗了大量电力资源，导致处理成本显著增加。此外，化学药剂的投入也是成本的重要组成部分，尤其是在深度处理阶段，用于除

磷脱氮的药剂费用占据了较大比例。与此同时，污水处理设备的复杂性和长期运行对设备维护提出了较高要求，频繁的检修和更换零部件进一步推高了整体成本。因此，如何有效降低这些关键环节的成本，成为提升污水处理经济性的核心问题。

### 5.1.2 降低成本策略

为应对城市污水处理成本高的问题，可从优化工艺流程、采用节能设备以及资源回收利用等方面入手。例如，采用生物接触氧化工艺结合底层疏浚技术，不仅可以提高处理效率，还能有效降低运行成本。其次，引入高效节能设备，如智能曝气系统和变频污水提升泵，能够在保证处理效果的同时减少能源消耗。此外，资源回收利用也是降低成本的重要途径，通过对污泥中有机物质的资源化利用，如生产沼气或肥料，可实现经济效益与环境效益的双赢。

## 5.2 污泥处置难

### 5.2.1 污泥处置难题

污泥处置是城市污水处理中的一大难题，其主要表现为污泥产量大、成分复杂以及处理不当易造成二次污染等问题。随着污水处理规模的扩大，污泥产量逐年增加，传统的填埋和焚烧处理方式已难以满足实际需求。此外，污泥中含有重金属、病原微生物等有害物质，若处理不当，可能对土壤、水源和空气造成严重污染。因此，如何妥善处置污泥并实现其资源化利用，成为亟待解决的关键问题。

### 5.2.2 污泥处置策略

针对污泥处置难题，可采取污泥减量化、稳定化和资源化利用等策略。污泥减量化通过优化污水处理工艺，减少污泥产生量，从而降低后续处置压力。例如，采用膜分离技术替代传统沉淀工艺，能够显著减少污泥产量。污泥稳定化则通过生物发酵或化学固化等手段，使污泥中的有害物质得到固定，避免对环境造成二次污染。此外，污泥资源化利用是解决污泥问题的根本途径，可通过将污泥转化为建筑材料、肥料或能源等高附加值产品，实现经济效益与环境效益

的统一。

## 5.3 二次污染风险

### 5.3.1 二次污染风险来源

城市污水处理过程中存在多种二次污染风险，其主要来源包括消毒剂残留、有害气体排放以及处理不当导致的环境污染。在深度处理阶段，消毒剂的使用虽然能够有效杀灭病原微生物，但过量残留可能对受纳水体造成生态危害。此外，污水处理过程中产生的甲烷、硫化氢等有害气体，若未妥善处理，可能对周边环境和居民健康构成威胁。因此，如何有效控制这些二次污染风险，成为保障污水处理环境友好性的重要课题。

## 6 结语

再生水利用是城市污水资源化利用的另一重要方向。通过对污水进行深度处理，可以获得符合特定用途水质标准的再生水，用于工业用水、农业灌溉、城市绿化等领域。例如，膜分离技术结合高级氧化工艺可以实现对污水中微量污染物的有效去除，从而生产出高质量的再生水。许多国家和地区已出台相关政策，鼓励企业和公众使用再生水以缓解水资源短缺问题。例如，以色列通过完善的法规体系和激励机制，实现了高达90%的污水再生利用率，成为全球再生水利用的典范。未来，随着公众环保意识的提升和技术的进一步发展，城市污水资源化利用将在更大范围内得到推广，为水资源的可持续利用提供重要保障。

## 参考文献

- [1] 张吉若,王磊.城市水资源污染治理与环境保护刍议[A].京津冀生态环境科技产业金融协同发展大会论文集[C].河北省环境科学学会、北京环境科学学会、天津市环境科学学会:2024:205-209.
- [2] 徐彦飞.城市污水处理厂的大气污染治理技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(22):101-103.
- [3] 高秋凤.工业企业废水排放对城市污水处理厂运行影响的研究[D].导师:吴军;王金辉.扬州大学,2023.

# The Impact of Wind Farm on Bird Migration and the Path of Ecological Protection

Daili Li

Yunnan Enjie Industrial Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

With the rapid development of the wind power industry, the construction and operation of wind farms have exerted multidimensional impacts on bird migration, emerging as a significant threat to biodiversity. This paper systematically examines the core mechanisms by which wind farms affect bird migration, including physical threats from direct collisions, behavioral disturbances causing altered migration rhythms, habitat destruction leading to fragmented migration support systems, and cumulative ecological risks from regional development. Integrating existing research and practical experience, the study proposes targeted conservation strategies from four dimensions: source control, process optimization, technological support, and institutional safeguards. These include scientific site selection, low-intervention operations, intelligent monitoring, and closed-loop management. The findings provide theoretical and practical references for balancing wind energy development with bird migration protection and maintaining regional ecological equilibrium.

## Keywords

Wind farm; Bird migration; Ecological impact; Conservation pathways; Biodiversity

## 风电场对鸟类迁徙影响及生态保护路径

李代丽

云南恩捷实业有限公司, 中国·云南昆明 650000

## 摘要

随着风电产业快速发展,风电场建设与运行对鸟类迁徙产生多维度影响,已成为威胁生物多样性的重要因素之一。本文梳理风电场对鸟类迁徙的核心影响机制,包括直接碰撞的物理威胁、行为干扰导致的迁徙节律改变、栖息地破坏引发的迁徙支撑系统碎片化及区域连片开发的累积生态风险。结合现有研究与实践,从源头管控、过程优化、技术支撑、制度保障四个维度,提出科学选址、低干扰运行、智能监测、闭环管理等针对性保护路径,为协调风电能源开发与鸟类迁徙保护、维护区域生态平衡提供理论与实践参考。

## 关键词

风电场; 鸟类迁徙; 生态影响; 保护路径; 生物多样性

## 1 引言

鸟类迁徙属于地球生态系统的重要组成,对维持生物多样性、调节食物链平衡起着不可替代的作用。近些年来,全球风电产业飞速发展,风电场在陆地和海上广泛分布,风机运行、施工建设等活动同鸟类迁徙通道、栖息地紧密接触,造成诸多生态问题。鸟类碰撞致死、迁徙路线偏移、栖息地碎片化等问题越来越严重,一些珍稀濒危鸟类种群处于衰退的风险当中。

已有研究表明,我国西北迁徙廊道、东部沿海滩涂等区域的风电场已经出现黑颈鹤、丹顶鹤等珍稀鸟类碰撞致死

事件,为区域鸟类种群带来严重影响。风电场的建设及运行会对黑颈鹤等珍稀鸟类的越冬栖息地造成干扰,从而影响到它们的越冬种群生存状态及活动规律<sup>[1]</sup>。在此背景下,系统剖析风电场对鸟类迁徙的影响机制,探寻科学可行的生态保护途径,对推动风电产业绿色可持续发展,守护鸟类迁徙安全,破解能源开发与生态保护矛盾,有着十分重要的现实意义和生态价值。

## 2 风电场对鸟类迁徙的核心影响机制

风电场主要从直接碰撞、行为干扰、栖息地破坏三个层面,对迁徙鸟类形成立体威胁。风机叶片旋扫区和鸟类飞行高度高度重合,夜间迁徙和弱光环境又进一步增加了碰撞的可能性,春秋迁徙季风险最大,猛禽、鹤类等大型鸟类致死率更高,密集区年均死亡率可达每万千瓦0.8—3.2只。风机噪声、光影和电磁辐射会迫使鸟类偏离最佳路线,干扰鸟

【作者简介】李代丽(1990—),女,中国云南昆明人,本科,工程师,从事污染防治、项目环评、排污许可、生态环境保护、环境管理等研究。

类的通讯和导航,虽然不会直接致死,但是会极大增加鸟类体能消耗、降低繁殖成功率,并引起群落结构的变化。风电场建设还会破坏湿地、草原等重要的微生境,造成栖息地破碎化、食物资源缺乏,使水鸟的繁殖率下降10%至16%,削弱了迁徙廊道的生态支撑功能<sup>[2]</sup>。

从长期生态效应来说,区域风电场群连片开发会形成累积影响,阻断多条迁徙通道、占用多处栖息地,造成鸟类种群数量和遗传多样性下降。珍稀鸟类大多属于繁殖率低、恢复时间长的可选择物种,局部死亡就会造成种群的衰减。鸟类作为生态系统中的关键物种,其数量和行为变化会沿着食物链传递,进而影响植被、昆虫、微生物等组成成分,导致区域生态系统结构和功能发生改变。大范围、长时间叠加的风险,是风电场开发中需重点关注的生态风险。

### 3 风电场鸟类迁徙生态保护路径

#### 3.1 源头管控:科学选址与生态避让

##### 3.1.1 建立迁徙廊道数据库

整合卫星追踪、雷达监测、地面调查数据,绘制出全国鸟类迁徙路线、停歇地、觅食区高精度生态红线图,将其纳入国土空间规划和风电项目审批前置条件。依托高校、科研院所及生态保护机构,开展跨区域联合调查工作,对东亚—澳大利亚、中亚等地的重点迁徙路线进行细致分析,在各个季节、各个物种之间做出迁徙路线的划分以及主要的活动范围。数据库实行动态更新机制,按照年度监测数据及时增添新增停歇地、觅食区信息,标出珍稀濒危鸟类主要栖息地,为风电项目选址提供准确的生态依据,从源头上避免项目和鸟类迁徙关键区域发生空间重叠的情况,牢牢筑牢生态保护第一道防线。

##### 3.1.2 严格执行避让标准

禁止在核心迁徙通道、珍稀鸟类集中区布置风电场,重要栖息地外围设置5-10公里生态缓冲带,缓冲带内风机密度和高度严格控制。根据不同的生态敏感区制定差异化避让标准,沿海滩涂、内陆湿地等水鸟集中分布区缓冲带可以适当加宽到10公里,禁止建设连续式的风电场,避免形成鸟类迁徙的物理屏障<sup>[3]</sup>。明确缓冲带内禁止开展植被清除、地表硬化等破坏生境的活动,限制风机单机容量和安装密度,使缓冲带起到隔离与缓冲功能,减少风电场对鸟类迁徙的间接干扰,实现能源开发与生态保护的空间分离。

##### 3.1.3 强化前期生态评估

将鸟类影响专项评价纳入环评强制性内容,实行全年周期性监测,确定敏感物种、迁徙高峰、飞行高度,为选址提供科学依据。前期评价要涵盖整个鸟类迁徙周期,春季3—5月、秋季8—10月主要对迁徙种群数量、轨迹和行为进行监测,非迁徙季主要对留鸟和繁殖鸟类的活动规律进行监测,全面掌握区域鸟类群落结构和生态需求。在评价时主要关注珍稀濒危鸟类分布及活动范围,通过量化方法评价风电

场建设造成的碰撞风险、栖息地破坏程度,提出相应的避让和减缓措施。对评估不合格的项目坚决不予审批,对存在潜在生态风险的项目要求优化选址方案,确保项目建设前充分规避鸟类迁徙核心风险点。

#### 3.2 过程优化:工程与运行的低干扰设计

##### 3.2.1 优化风机布局与参数

降低风机轮毂高度和叶片扫风面积,避开鸟类主要飞行高度层;采用分散式布局,减少连续障碍带;控制叶片尖端线速,提高鸟类避让时间。结合区域鸟类飞行高度监测数据,将风机轮毂高度调整到鸟类非主要飞行区,中小型候鸟集中区可适当降低轮毂高度,猛禽活动频繁区优化叶片扫风面积,减少物理碰撞概率。抛弃连片密集式布局模式,采用分散式、组团式布局,确保风机之间留有足够的鸟类通行空间,避免形成连续的飞行障碍带。合理控制叶片尖端线速,使叶片尖端线速处于鸟类可以快速识别、避让的范围之内,在兼顾发电效率的同时,实现生态保护与能源生产的协调优化。

##### 3.2.2 实施动态运行调控

迁徙高峰期、夜间、恶劣天气时使用雷达+视觉AI监测系统,鸟类靠近时自动减速,确保发电效率和生态安全。根据监测数据,在春秋迁徙高峰期,对核心区域的风机实行分时段降载或者停机,重点时段(清晨、傍晚鸟类迁徙活跃期)适当延长停机时间;夜间开启智能监测模式,当监测到鸟类集群靠近时,自动降低风机转速或者停机,避免夜间视觉辨识能力弱造成的碰撞风险。提前启动预警系统,对于雾、霾、暴雨等恶劣天气条件采取降载停机措施,降低鸟类碰撞发生的概率。同时建立动态调控台账,记载调控时段和效果,按照监测数据不断改善调控方案,实现运行阶段低干扰管控<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 技术支撑:智能监测与预警体系

##### 3.3.1 构建全域监测网络

部署鸟类监测雷达、高清摄像头、声学监测设备,实时采集迁徙种群、轨迹、数量数据,建立区域联动预警平台。在风电场和周边重要区域部署相应的监测设备,通过雷达对迁徙种群的轨迹进行大范围的监测,高清摄像头对鸟类个体的行为和碰撞现象进行采集,声学监测装置对鸟类的鸣叫、集群活动等信号进行捕捉,从而达成天空地面一体化的观测。整合各个监测设备的数据,创建区域联动预警平台,实现数据的实时传输、分析以及共享,精准识别鸟类迁徙高峰、集群路线和高风险区域。该系统可以根据鸟类的数量、距离风机的距离设定不同预警等级并发出信号,为风机的运行调控提供及时准确的信息。

##### 3.3.2 推广智慧保护技术

应用AI识别、大数据分析、无人机巡护等方式,实现风险的自动识别、快速处置,建立鸟类碰撞和行为影响长期监测站,量化保护措施效果。通过AI识别技术可以快速地对监测数据进行分析,识别鸟类种类、数量和活动情况,

准确判断碰撞的风险,从而实现风险的自动预警和处理。利用大数据分析,发现鸟类迁徙规律同风电场影响之间的结合,从而改进保护方案和风机运行调节策略。采用无人机巡护代替传统的人工巡护,提高巡护效率,覆盖人工难以到达的区域,及时发现栖息地破坏、鸟类碰撞等问题并及时处置。建立长期监测站,对鸟类碰撞死亡率、种群数量变化、行为改变等进行持续跟踪,量化保护措施的实施效果,为以后保护方案的优化提供数据支持。

### 3.3.3 加强生态修复技术应用

对风电场及其周边地区实施栖息地人工修复工作,恢复植被、水源,并且设置人工觅食点、安全停歇区等措施以补偿由于生态环境破坏所造成的损失。对于风电场施工过程中造成栖息地破坏的区域,采取有针对性的修复措施,加强施工范围内的植被物种配置,提高植被覆盖率,为鸟类繁殖、栖息创造有利条件,修复水库、芦苇滩的水源湿地生态系统,确保水鸟的觅食、停留生存需求。根据区域鸟类的食性来建设人工觅食点,投放适宜的食物来补充自然食物资源的不足,在风机外围安全区域内建设人工停歇区,设置防护设施,为迁徙鸟类提供安全的中途补给场所。采用生态修复技术改善区域生态环境,提高栖息地质量,补偿风电场建设所造成的生态损失,促进鸟类种群恢复<sup>[5]</sup>。

### 3.3.4 制度保障:政策与管理的闭环体系

#### 完善法规标准

制定风电项目鸟类保护专项规范,明确监测、避让、减缓、补偿等强制性要求,将生态保护纳入风电项目的全生命周期管理。结合我国风电产业的发展和鸟类保护的实际情况,制定风电项目鸟类保护专项法规,对风电项目的前期评估、建设施工、运行管理、退役修复等各个环节的鸟类保护要求作出具体规定,明确企业的责任。完善鸟类监测技术标准、栖息地修复标准、生态补偿标准等有关标准体系,对保护措施的実施流程和效果评价进行规范。将鸟类保护纳入风电项目全生命周期管理,从项目审批、建设、运行到退役,全过程加强监管,对违反法规标准的企业,依法进行处罚,确保保护措施的落实。

#### 建立生态补偿机制

推行“谁开发谁保护、谁造成生态影响谁补偿”的原则,征收生态补偿金补偿迁徙廊道修复及鸟类保护科研。建立健全风电项目生态补偿机制,确定补偿主体、补偿范围、补偿标准、补偿方式,对风电项目建设造成的鸟类栖息地破坏、种群影响等,由项目开发企业承担补偿责任。征收生态补偿

金专项用于鸟类迁徙廊道修复、栖息地人工修复、鸟类保护科研、监测设备部署等工作,确保生态损失得到补偿。其次,企业实行自愿生态补偿,即通过企业的公益捐赠资助、企业与其他组织合作等方式来进行生态补偿。

#### 强化多方协同监管

能源、生态环境、林草三个部门共同审批、执法,引入第三方机构独立评价,鼓励公众和公益组织参与监督,形成保护合力。建立跨部门协同监管机制,能源部门负责风电项目的审批和行业管理,生态环境部门负责生态环评和环保监管,林草部门负责鸟类资源保护和栖息地管理,实现联合审批、联合执法、联合督查,避免监管脱节。聘请第三方专业机构,对风电项目鸟类保护措施实施效果和生态影响程度展开独立评价,确保评价结果客观公正,为监管工作提供科学依据。畅通公众监督渠道,鼓励公民、公益组织参与到鸟类保护的监督当中来,对于风电项目建设及运行过程中出现的违规行为进行举报,形成政府监管、企业自律、公众参与的多元协同保护格局。

## 4 结语

风电场对鸟类迁徙的影响具有多维度、累积性特点,直接碰撞、行为干扰、栖息地破坏、区域叠加效应都会对鸟类种群的生存以及生态系统稳定造成威胁,并且非致死性影响的隐蔽性容易被忽视。从实践上来说,以源头科学选址、生态避让为基础,工程运行低干扰为方式,智能监测预警系统为平台,全过程制度保障为抓手,可以减缓风电场生态破坏的力度。未来还需完善法规标准、多方协同、推进监测技术创新、栖息地修复,促进风电能源开发与鸟类迁徙保护协调发展,保障生物多样性、生态系统平衡。

## 参考文献

- [1] 董紫娟.风电场建设对黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 越冬种群的影响及风险防范[D].大理大学,2025.
- [2] 任西婵,伊坤朋,曹垒.优化风电场和电网布局以避免鸟撞[J].环境保护科学,2022,48(03):13-19.
- [3] 宋惠君.风电建设对鸟类迁徙的影响——以青山风电场为例[J].绿色科技,2023,25(18):87-92.
- [4] 陈斯婷,李智,马丽.海上风电场对鸟类生态影响研究[J].环境影响评价,2022,44(03):31-34.
- [5] 林晋洪,陈振亮,王送林,等.基于鸟类行为-风机参数交互影响的海上风电场鸟击风险预测[J/OL].南方能源建设,1-7[2026-02-28].

# Optimization Strategy of Microbial Testing Teaching in Secondary Vocational Schools Based on the Cultivation of Core Competence of Biological Product Inspection

Xiaohui Li

Shanghai Environmental School, Shanghai, 200124, China

## Abstract

Secondary vocational colleges undertake the core training task of front-line skilled talents, and the teaching quality of microbial testing courses directly affects students' employment competitiveness and job competence. This study focuses on secondary vocational biotechnology students, using literature research, questionnaire survey, practical training assessment, enterprise research and other methods to explore the existing problems in the current training of core competencies in secondary vocational microbial testing teaching, combined with the actual needs of biological product inspection positions, from the four levels of teaching content, teaching mode, practical training teaching and evaluation system, and rely on teaching practice to verify the optimization effect. The optimized teaching mode can significantly strengthen students' practical ability of microbial testing, result analysis and problem solving, compliance awareness and job adaptation ability, and provide practical reference for the reform of microbial testing teaching in secondary vocational schools.

## Keywords

Biological product inspection; Core competencies; Secondary vocational school; Microbiological testing; Teaching optimization

# 基于生物产品检验核心能力培养的中职微生物检测教学优化策略

李晓辉

上海市环境学校, 中国·上海 200124

## 摘要

中职院校承担一线技能人才的核心培养任务, 微生物检测课程的教学质量, 直接影响学生的就业竞争力和岗位胜任力。本次研究聚焦中职生物技术类专业学生, 采用文献研究、问卷调查、实训考核、企业调研等方法, 挖掘当前中职微生物检测教学核心能力培养中的现存问题, 结合生物产品检验岗位的实际需求, 从教学内容、教学模式、实训教学、评价体系4个层面制定优化策略, 依托教学实践核验优化效果。优化后的教学模式能明显强化学生的微生物检测实操能力、结果分析与问题解决能力、合规意识及岗位适配能力, 给中职微生物检测教学改革提供实操参照。

## 关键词

生物产品检验; 核心能力; 中职; 微生物检测; 教学优化

## 1 引言

中职院校生物技术类专业以造就“懂理论、强技能、能上岗”的一线技术人才为目标, 微生物检测属核心专业课程序列<sup>[1]</sup>。部分中职微生物检测教学还存在缺陷, 这些问题让学生毕业时已有一定理论基础, 但实操不标准、结果分析能力有限、合规意识匮乏, 无法快速契合企业岗位需求, 出现“就业易、胜任难”的情况。本文系统搭建“能力导向、

岗课融合、实训强化、多元评价”的教学体系, 为中职微生物检测教学改革提供参考。

## 2 研究材料与方法

### 2.1 研究对象

把某中职院校2024级生物产品检验检测专业2个班级的86名学生定为研究对象, 43人为实验班, 43人为对照班。两个班级学生的入学成绩、性别比例、前期基础课程无显著差异( $P>0.05$ ), 具有可比性。实验班采用针对生物产品检验核心能力培养设计的优化教学策略, 对照班采取传统教学模式。

**【作者简介】** 李晓辉(1978—), 女, 中国山东人, 硕士, 中级, 从事生物产品检验检测专业、中职微生物检测专业课、生物等课程教学研究。

## 2.2 研究材料

对照《微生物检测技术》《生物产品检验技术》等中职教材,按照企业实际检测标准,如GB 4789系列食品安全国家标准、《中国药典》微生物限度检查法,制作岗位导向型教学讲义和实训指导书;归集企业真实检测案例、操作视频、违规案例分析等数字化教学资源。学校实训中心置备微生物实验室常用设备,比如超净工作台、高压蒸汽灭菌锅、恒温培养箱、显微镜、菌落计数器等,和2家生物产品生产企业合作校外实训基地,给予真实检测场景和岗位实操平台;实训耗材有营养琼脂培养基、革兰氏染色液、标准菌株(大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等)、模拟样品(食品、药品模拟样品)等。

## 2.3 研究设计

实验班与对照班采用相同教学课时(80课时,理论32课时、实训48课时),依托相同实训条件开展教学。课程结束后,采用理论测试、实操考核、结果分析能力测试、岗位模拟实践等形式,比对2个班级学生的核心能力水平;邀请企业导师测评学生的岗位适配能力。

## 3 结果与分析

### 3.1 对学生微生物检测实操能力的影响

课程结束后,对2班级学生实施微生物检测实操考核,5个核心实操模块构成考核内容,具体为“培养基配制与灭菌”“样品前处理与接种”“微生物分离与纯化”“革兰氏染色与显微镜观察”“菌落计数与结果记录”,各模块满分20分,满分100分,考核标准依照企业岗位操作规范设定。两班级学生微生物检测实操考核成绩对比数据见表1。对比其他模块,实验班学生在“无菌操作”“样品前处理”等贴合企业岗位实际的模块里,得分优势格外明显。

表1 两班级学生微生物检测实操考核成绩对比( $\bar{x} \pm s$ ,分)

考核模块	实验班 (n=43)	对照班 (n=43)	t值	P值
培养基配制与灭菌	18.2±1.3	16.5±1.8	5.12	<0.001
样品前处理与接种	17.8±1.5	15.2±2.1	6.78	<0.001
微生物分离与纯化	18.5±1.2	16.8±1.6	5.64	<0.001
革兰氏染色与显微镜观察	18.0±1.4	15.5±2.0	6.35	<0.001
菌落计数与结果记录	17.1±1.6	12.3±2.5	10.89	<0.001
总分	89.6±5.2	76.3±6.8	10.23	<0.001

### 3.2 对学生检测结果分析与问题解决能力的影响

用来考核学生的检测结果分析与问题解决能力,开发综合案例分析题:给出一组含异常数据的模拟食品样品微生物检测数据,安排学生分析检测结果有效性、判定样品是否合格,针对检测过程中可能出现的异常状况(如菌落数过多、染色结果异常、无菌操作污染等)制定应对方案,此项测试满分设为50分,评分依据含结果分析准确性。两个班级学生检测结果分析及问题解决能力测试成绩对比见表2,实验

班学生在“问题判断”“解决方案”两个维度的得分优势明显,说明优化教学纳入的案例教学、小组讨论、企业真实问题探究等环节。

表2 两班级学生检测结果分析与问题解决能力测试成绩对比( $\bar{x} \pm s$ ,分)

评价维度	实验班 (n=43)	对照班 (n=43)	t值	P值
结果分析的准确性	18.2±1.5	14.8±2.3	7.89	<0.001
问题判断的精准性	13.5±1.4	9.6±2.1	9.76	<0.001
解决方案的可行性	12.6±1.6	7.1±2.4	11.32	<0.001
总分	42.3±4.1	31.5±5.8	10.56	<0.001

### 3.3 对学生合规意识与岗位适配能力的影响

依托问卷调查和企业导师评价,从合规意识、岗位适配能力两项开展综合评估。合规意识调查涉及4个维度:检测标准熟悉程度、无菌操作重视程度、实验记录规范性、职业道德认知,所有维度采用5分制(1分=非常不足,5分=非常充足),全部分值20分;岗位适配能力的评价主体为企业导师,评价依据是学生在企业实训基地的表现,涉及岗位操作适应性、团队协作能力、沟通能力、问题处理主动性4个维度,各维度采用5分评分制,满分20分。两班学生合规意识与岗位适配能力的评价结果见表3,说明优化教学要融入的合规教育、企业岗位规范培训等内容,切实增强学生合规认知与岗位适配能力。

表3 两班级学生合规意识与岗位适配能力评价结果对比( $\bar{x} \pm s$ ,分)

评价维度	实验班 (n=43)	对照班 (n=43)	t值	P值
合规意识	17.8±1.6	13.2±2.1	11.24	<0.001
岗位适配能力	16.5±1.8	11.3±2.5	10.37	<0.001

此外,教学任务完成后调查2个班级学生就业意向,7%的实验班学生表态愿意从事微生物检测相关岗位,另有32.6%的学生通过企业面试得到实习机会;对照班对应两项占比分别为51.2%、16.3%,差异符合统计学意义标准( $\chi^2=7.89$ 、6.54, P均<0.05),补充验证优化教学策略培养的学生更受企业认可,更适配岗位。

## 4 基于生物产品检验核心能力培养的中职微生物检测教学优化策略

### 4.1 教学内容优化

开展行业摸排,明确岗位核心能力条件,实地探访生物制药、食品检测、医疗器械相关10家企业,与20名一线检测岗位员工、人力资源主管开展访谈,明确微生物检测岗位的核心工作任务,比如样品接收与处理、培养基制备、微生物分离鉴定、检测结果分析与报告、实验室安全管理等,并对应拆解为核心能力要素。按照岗位工作任务和能力要素,去掉教材中和岗位需求脱节的理论知识,加入企业常用

检测技术(如快速微生物检测技术、实时荧光定量 PCR 基础应用)、行业标准规范(如 GB 4789 系列、《中国药典》相关标准)、实验室安全与合规管理(如生物安全二级实验室操作规范、实验记录填写要求)等实用内容。设计“模块化、项目化”教学内容体系,把教学内容整合成微生物检测基础模块、核心检测技术模块、产品专项检测模块、结果分析与报告模块、合规与质量管理模块等五大模块。各模块下配有若干项目化实训任务,如“食品中大肠杆菌的检测”“药品微生物限度检查”,所有项目均还原企业真实检测流程,实现“学习内容对应工作任务”<sup>[2]</sup>。

#### 4.2 教学模式优化

采用“理实一体化”教学方式,打破理论课和实训课的隔阂,课堂移至实训车间或实验室,实现“边讲边练、讲练结合”,实施“革兰氏染色技术”教学环节时,教师结合企业实操视频,先讲解染色原理、操作步骤和注意事项,随后学生马上到实验台操作,教师巡回授课,及时修正学生的不规范操作;学生操作结束后,师生携手观察染色结果,排查异常结果的诱因,达成理论和实践深度契合。采用案例教学和问题导向教学,根据企业实际检测案例,指导学生按小组进行讨论,剖析案例里的检测流程、现存问题及解决办法,训练学生的结果分析及问题解决能力;实施实训教学阶段,刻意设置若干常见实操问题,促使学生在操作中发现、分析问题、解决问题,增强实际应用本领。借助数字化技术拓展教学形式,依托虚拟仿真软件、在线教学平台等数字化工具,填补实训设备和场地的短板,运用微生物检测虚拟仿真系统,指导学生完成虚拟环境下的无菌操作、微生物分离纯化实训,减少实训耗材损耗降低操作风险;依托在线教学平台发布预习任务、教学视频、案例分析题,安排学生进行线上讨论与答疑,延伸教学时长与空间,增强教学效率<sup>[3]</sup>。

#### 4.3 实训教学优化

依照生物产品检验实验室标准,翻新学校实训中心,配齐和企业同款的实训设备及耗材,还原企业实际检测场景;实训开展阶段,要求学生依规恪守企业操作规程和安全规范,穿好实验服,戴妥手套、口罩等防护用品,按规范填写实验记录,创设“进校园似进企业,上实训似上岗”的实训氛围。结合学生的认知规律和能力发展水平,把实训项目划分成3个层级。即基础技能实训、专项技能实训、综合技能实训。基础技能实训聚焦学生基本操作能力培养;专项技能实训对标不同类型生物产品的检测要求,实施针对性实训;综合技能实训模拟企业实际检测任务,推动学生独立完成从样品接收、前处理、检测、结果分析到报告编制的全流程操

作,培育综合实操能力<sup>[4]</sup>。

#### 4.4 评价体系优化

以生物产品检验核心能力为核心,确定评价内容涉及理论知识、实操技能、结果分析和问题解决能力、合规意识、岗位适配能力5个维度,为每个维度设定具体评价指标及评分标准。理论知识模块核心考查学生对微生物检测基础理论、行业标准、安全规范的掌握程度;实操技能重点考核操作规范、准确程度及完成速度;评价结果分析与问题解决能力,采用案例分析、实操过程的问题处理等方式;合规意识主要考查学生对行业标准的执行情况、实验记录的规范水平;采用企业实习表现、岗位模拟实践等方式,评价岗位适配能力<sup>[5]</sup>。改变仅用单一标准的教师评价模式,纳入学生自评、互评、企业导师评价等多类评价主体,学生自评引导学生审视自身学习过程和能力水平,开展自我反思与评价;学生互评采用小组交流、技能竞赛等形式,组织学生互评,培育评价能力和团队意识;企业导师评价聚焦学生的企业实习表现,从岗位实操、工作态度、合规意识等维度开展评价,保证评价结果客观实用<sup>[6]</sup>。

### 5 结语

本研究结论显示,调整后的教学策略可大幅增强学生的微生物检测实操能力、结果分析与问题解决能力、合规意识及岗位适配能力,成功破解传统教学里教学内容和岗位需求脱节、实操训练欠缺、评价体系不健全等难题。针对中职微生物检测教学聚焦生物产品检验核心能力培养的优化办法,符合职业教育发展规律与行业岗位需求,可切实强化教学质量和学生的核心能力,给中职生物技术类专业教学改革提供了有益的参照和借鉴。

#### 参考文献

- [1] 王燕.信息技术环境下中职医学微生物学学生自主学习能力培养策略研究[J].中国新通信, 2025, 27(09):47-49.
- [2] 金志强.中职业水平测试背景下食品微生物学教学改革探索与实践[J].特种经济动植物, 2023, 26(08):189-191.
- [3] 苏秀华.中职食品微生物学实训教学的探索与思考[J].华夏教师, 2023, (09):85-87.
- [4] 周楚缘,黎春怡,王春晓,等.“微生物检测技术”课程思政教育探索[J].食品工业,2024,45(10):273-275.
- [5] 朱爱兰,魏建威,郑登滋,等.思政融入实验诊断学“临床常见病原体检测”单元教学中的探索[J].中国继续医学教育,2023,15(21):11-14.
- [6] 曾燕艳,李廷锋,王玥婷,等.基于聚集变色机制可视化检测微生物的实验教学设计[J].广东化工,2023,50(17):231-234+228.

# Coastal Zone Ecological Restoration Technology and Sustainable Utilization of Marine Resources

Dongmei Chen

Guangdong Hailantu Environmental Technology Research Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

## Abstract

As the transitional zone between land and sea, the coastal zone serves as both a vital ecological barrier and a core area for human exploitation of marine resources. However, human activities such as overfishing, pollution discharge, and land reclamation, coupled with climate change impacts, have led to multiple crises in coastal ecosystems, including habitat destruction, biodiversity loss, and resource depletion. The application of ecological restoration technologies offers potential for recovery in damaged coastal areas, while sustainable utilization of marine resources remains crucial for long-term development. This paper examines the current ecological status of coastal zones, reviews the application scenarios and outcomes of mainstream ecological restoration technologies, explores diversified pathways for sustainable resource utilization, and discusses how to achieve a virtuous cycle between ecological protection and resource utilization, drawing on practical experiences in coordinated development.

## Keywords

Coastal zone; Ecological restoration technology; Marine resources; Sustainable utilization; Coordinated development

## 海岸带生态修复技术与海洋资源可持续利用

陈冬梅

广东海兰图环境技术研究有限公司, 中国·广东 广州 510000

## 摘要

海岸带作为陆地与海洋的过渡地带,既是生态系统的重要屏障,也是人类开发利用海洋资源的核心区域。然而,过度捕捞、污染排放、围填海等人类活动,加上气候变化的影响,让海岸带生态系统面临栖息地破坏、生物多样性减少、资源衰退等多重危机。生态修复技术的应用为受损海岸带带来了复苏的可能,而海洋资源的可持续利用则是实现长久发展的关键。本文从海岸带生态现状出发,梳理主流生态修复技术的应用场景与效果,探索资源可持续利用的多元路径,结合协同发展的实践经验,探讨如何实现生态保护与资源利用的良性循环。

## 关键词

海岸带; 生态修复技术; 海洋资源; 可持续利用; 协同发展

## 1 引言

海洋呈现蔚蓝之色,海岸展现金色之貌,二者能共同造就地球上极富生机的景观之一。海岸带仿若一条纽带,显得温柔,可将陆地和海洋连接起来。在这儿,红树林生长得茂密,滩涂湿地分布得广阔,浅海生物活动得活跃。这里不但能成为众多动植物栖息之所,更会是人类生存发展的关键依托。从远古时候靠渔猎来谋求生存,到现代开展港口航运、进行渔业养殖、搞滨海旅游,海岸带始终能滋养人类文明,提供接连不断的资源以及便利。如何使生态修复和资源利用构建起良性互动,让海岸带再度焕发出活力,守护好大自然

给予的馈赠,满足人类发展方面的需求,成为当下迫切需要去探索的一个重要课题。

## 2 海岸带生态现状与修复的核心意义

### 2.1 海岸带的生态功能与战略价值

海岸带是地球上生态系统最复杂、生物多样性最丰富的区域之一,其功能之多样,早已超越了单纯的“地理边界”。红树林、盐沼、海草床等湿地生态系统,就像海岸边的“绿色卫士”,茂密的根系牢牢固定着泥沙,抵御着海浪与风暴的侵蚀,减少海岸坍塌的风险;它们又是天然的“水质净化器”,吸收水中的营养盐、重金属等污染物,让海水保持清澈洁净。对于生物而言,海岸带是名副其实的“生命摇篮”。浅海区域的珊瑚礁、岩礁滩涂,为鱼类、虾蟹、贝类等提供了繁殖、栖息、觅食的场所,许多海洋生物的生命周期都离不开这片温暖的浅水环境。据统计,全球近70%的海洋渔

【作者简介】陈冬梅(1996—),女,中国广东丰顺人,本科,助理工程师,从事海岸带生态修复与海洋资源利用研究。

业资源都依赖海岸带湿地繁殖生长，没有健康的海岸带生态，就没有稳定的渔业产出<sup>[1]</sup>。

## 2.2 当前海岸带面临的生态危机

尽管海岸带价值非凡，但如今却深陷多重危机。工业生产与城市生活产生的污水，未经处理便直接排入海洋，导致近岸海域水质恶化，富营养化问题突出，赤潮、绿潮等生态灾害频繁发生，大量海洋生物因缺氧或中毒死亡。塑料垃圾更是成为海岸带的“顽疾”，微小的塑料颗粒被海洋生物误食，进入食物链，最终可能危害人类健康。栖息地破坏是另一个严峻挑战。为了满足城市扩张、港口建设的需求，围填海工程不断推进，大片湿地被填埋，红树林被砍伐，滩涂被硬化，原本连续的生态系统被分割得支离破碎。许多依赖特定栖息地生存的生物，因失去家园而数量锐减，生物多样性持续下降。过度捕捞则让海洋资源不堪重负。一些渔民采用拖网、电鱼、炸鱼等非法捕捞方式，不分大小、不分季节地捕捞，导致渔业资源枯竭，传统经济鱼类的种群数量大幅减少，海洋生态的食物链遭到破坏。

## 2.3 生态修复的核心意义：守护家园与资源根基

面对日益严峻的生态危机，海岸带生态修复不再是“选择题”，而是关乎人类未来的“必答题”。生态修复的意义，远不止于让海岸带重现美景，更在于守护人类生存发展的根基。通过修复红树林、盐沼等湿地，能重新构建海岸带的生态屏障，增强抵御风暴、海啸等自然灾害的能力，保护沿海地区的生命财产安全。健康的湿地生态系统能净化海水、涵养水源，改善近岸海域的水质，为海洋生物提供适宜的生存环境，促进渔业资源的恢复与增殖<sup>[2]</sup>。

## 3 海岸带主流生态修复技术与实践应用

### 3.1 植被修复技术：重建海岸“绿色屏障”

植被是海岸带生态系统的核心，植被修复技术通过种植本土耐盐植物，重建受损的湿地生态，恢复生态系统的结构与功能。这种技术既环保又经济，是海岸带生态修复中最常用的方法之一。

植被修复典型代表可算红树林修复（如图1）。红树林生长于热带、亚热带海岸潮间带，是特有植被，它根系发达能将泥沙牢牢抓住，可抵御风浪侵蚀，还能为众多海洋生物提供栖息地。修复时，技术人员会挑选适合当地气候和土壤条件的红树林品种，像秋茄、桐花树之类，在潮间带合适区域开展人工种植工作。为提升成活率，可先在苗圃进行幼苗培育，等幼苗长到一定高度之后再移栽到修复区域，同时会清理影响红树林生长的污染物以及入侵物种。

盐沼和海草床的修复同等关键。盐沼大多生长于温带、亚热带的潮间带，可有效地对水质进行净化、将洪水蓄住并防止干旱；海草床乃是浅海区域的“水下草原”，会成为许多鱼类的育幼场所。当修复盐沼时，能种植芦苇、互花米草（得控制范围，防止入侵）等本土植物，去构建完整的盐沼

生态系统；修复海草床则需要先把海水水质改善，将海底的污染物与杂物清除掉，然后人工去播种海草种子或者移栽海草幼苗，为海草生长营造良好的条件。

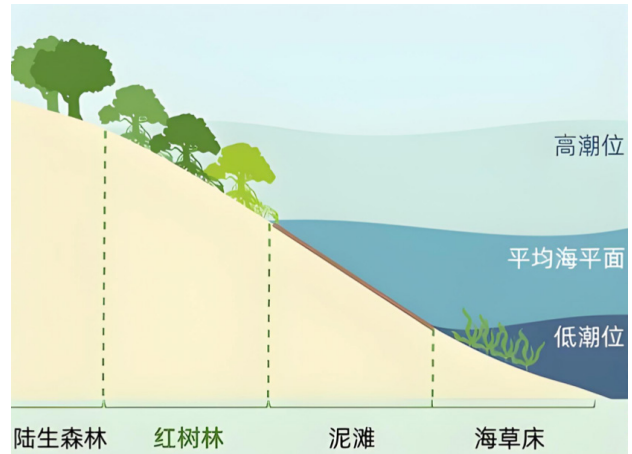


图1 红树林修复示意图

### 3.2 水文与地貌修复技术：还原海岸自然肌理

海岸带的生态健康与水文条件、地貌形态密切相关，水文与地貌修复技术通过调整水流、重塑地形，还原海岸的自然状态，为生态系统的恢复提供基础条件<sup>[3]</sup>。

许多滨海沙滩会因海浪侵蚀、游客踩踏之类的缘由，出现沙滩萎缩、沙质变差这种状况。沙滩养护可通过人工补沙这一途径，从别的区域搬移合适的沙子，补充到遭受损害的沙滩，让沙滩的宽度与厚度得以恢复；与此同时通过采用防波堤、离岸堤等辅助设施，可减缓海浪对沙滩造成的侵蚀，对沙滩形态予以保护。在某些滨海旅游城市，沙滩被养护之后，不但能让沙滩重新变得宽阔且松软，会吸引更多的游客前来，也可为近海生物供给更为适宜的栖息环境。

河口与海湾综合治理是水文修复的重要内容。河口是淡水与海水交汇的区域，水流复杂，容易积累污染物。修复过程中通过拆除影响水流的拦河坝、围堤等设施，恢复河流的自然径流，让淡水顺利汇入海洋，改善河口区域的水质与生态环境；同时清理河口的淤泥与污染物，修复河岸植被，构建连通的生态廊道。在一些海湾区域，通过疏通航道、拆除非法围填设施、恢复海湾的自然轮廓，让海湾的水动力条件得到改善，海水交换能力增强，水质明显提升，生物多样性也逐渐恢复。

## 4 海洋资源可持续利用的多元路径

### 4.1 渔业资源：从“过度索取”到“养护增殖”

为实现渔业资源的可持续利用，关键之处在于要转变“重进行捕捞、轻开展养护”的传统模式，建立起一种全新格局，也就是“以开展养护为主、实施合理捕捞”的新格局，从而实现海洋渔业资源从“过度索取”到“养护增殖”的有效转变。

渔业增殖放流是恢复渔业资源的有效手段。可人工培育经济鱼类、虾蟹、贝类等苗种,在适宜季节和海域投放,补充自然种群数量,进而改善渔业资源结构。投放时,挑选本土物种,避免外来物种入侵情况发生,同时要严格把控投放数量与规格,确保增殖放流能达成预期效果。众多沿海地区每年都会开展增殖放流活动,经过多年实践操作,传统经济鱼类种群数量明显得以恢复,渔民捕捞收益也得到提升。

海洋牧场的建设则实现了渔业的生态化发展。海洋牧场能够在近海海域处搭建好人工渔礁并且种植海藻,接着构建成适合海洋生物栖息的人工生态系统,可吸引鱼类、虾蟹等聚集起来进行繁殖;同时可采用“不投饵、不施肥”这种生态养殖模式,让海洋生物自然地生长,保证好产品的品质 and 安全性。海洋牧场不仅会提高渔业的产量,还能保护海洋生态环境,达成“以渔养海、以海兴渔”的良性循环。在中国山东、辽宁等沿海省份,海洋牧场已成为渔业可持续发展的重要载体,带动着周边渔民做出增收致富之事。

#### 4.2 滨海旅游:从“粗放开发”到“生态优先”

滨海旅游凭借独特的海洋景观与休闲体验,成为热门的旅游形式,但粗放式的开发模式也给海岸带生态带来了压力。实现滨海旅游可持续利用,需要坚持“生态优先、适度开发”的原则,让旅游发展与生态保护相得益彰。

生态旅游是滨海旅游的未来方向。许多沿海地区不再盲目建设大型游乐设施与度假酒店,而是依托修复后的红树林、沙滩、湿地等自然景观,开发徒步观光、观鸟、赶海、生态研学等旅游项目。在旅游开发过程中,严格控制游客数量,划定游览区域,避免游客对生态环境造成破坏;同时建设生态厕所、污水处理设施等环保基础设施,减少旅游活动产生的污染。这样的生态旅游项目,既让游客亲近了自然,又能让当地居民通过旅游服务获得收益,更能增强人们的生态保护意识<sup>[4]</sup>。

旅游跟文化相融合,能够提升旅游内涵以及可持续性。众多沿海区域具备丰富海洋文化资源,像渔家民俗、海洋传说、传统渔业技艺之类。可通过挖掘这些文化资源,打造海洋文化节、渔家体验游、非遗展示等特色旅游产品,使游客在感受自然美景时,体验独特海洋文化。这种融合式旅游发展模式,不仅能招引更多游客,还能守护与承传海洋文化,让滨海旅游更具活力生机。

#### 4.3 可再生能源:从“依赖传统”到“绿色转型”

海洋蕴含着足量的可再生能源,诸如风能、潮汐能、波浪能一类,对这些清洁能源实施开发利用,可降低对传统化石能源的依赖程度,也可实现碳排放减少,为海岸带可持续发展供给动力支撑。

海上风电是当前技术最成熟、应用最普遍的海洋可再生能源,离海岸较远海域修建风力发电场,依靠海上充裕的风能发电,通过海底电缆把电力输送到陆地,海上风电不耗费土地资源,电能转化效率佳,对生态环境的影响偏弱,许多沿海国家正加紧开发海上风电项目,国内海上风电产业同样发展迅猛,在江苏、福建、广东等沿海省份建设了多个海上风电场,向当地输送大量清洁电力。

潮汐能和波浪能的开发利用正有序推进,潮汐能借助海水涨落产生的能量发电,波浪能借助海浪的动能发电,该类能源拥有可再生、无污染的属性,可布局于潮汐明显、海浪丰沛的沿海地带,即便现在潮汐能和波浪能的开发成本较高,技术持续进行优化升级,伴随科技不断进步,该对象成长空间充足。

### 5 结语

海岸带是自然馈赠给人类的珍贵资源,生态修复是守护这份财富的必要手段,海洋资源可持续利用是保障这份财富实现长期价值的关键手段,由植被修复过渡至污染治理,从生态渔业到绿色能源,人类正借行动弥补过去错失,探寻和海洋和谐共生的发展路径,生态修复令受损伤的海岸带重拾活力,合理开发海洋资源可实现长久留存,两方的配合发展,可保护海岸带的生态环境,给生物供给宜居的居住空间,可给人类供给持续的资源与福祉,完成人和自然的和谐共存。

#### 参考文献

- [1] 姚月,张洪剑.基于全链条视角的海岸带生态修复技术思路探讨[J].规划师,2025,41(10):113-120.
- [2] 李瑜.港口建设中的生态修复技术运用研究[J].水上安全,2024,(15):103-105.
- [3] 方正飞.寻求海洋生态保护修复最优解[N].中国自然资源报,2024-04-30(005).
- [4] 陈彬.海岸带生态保护修复规划关键技术研究与应用.福建省,自然资源部第三海洋研究所,2023-08-11.

# Practice Evolution and Trend Analysis of Environmental Protection Consulting Service under the Background of Ecological Environment Divisional Control

Jingwei Ren<sup>1</sup> Junxia Pu<sup>2\*</sup>

1. Environment Monitoring Center Station of Sichuan Province, Nanchong, Sichuan, 637000, China
2. Sichuan Iot Environmental Protection Technology Co.,Ltd, Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

The establishment and implementation of ecological environment zoning control systems hold significant implications for the environmental consulting service industry. This paper examines how the regional environmental management system has transformed the fundamental requirements of environmental consulting services, analyzes the evolution of specific service content such as environmental impact assessments (EIA) and explores future trends in technical methodologies, core competencies, and service models for environmental consulting. Research indicates that zoning control has shifted the focus of environmental consulting from single-project technical evaluations to spatial compliance assessments and precise policy interpretation, leading to more diversified service types, higher technical demands, and the emergence of comprehensive service models as key industry directions. This study aims to provide references for environmental consulting institutions to adapt to new challenges and enhance service capabilities.

## Keywords

Ecological environment; Zoning control; Environmental consulting services; Technical assessment

# 生态环境分区管控背景下环保咨询服务的实践演进与趋势分析

任静薇<sup>1</sup> 蒲君侠<sup>2\*</sup>

1. 四川省南充生态环境监测中心站, 中国·四川南充 637000
2. 四川爱欧特环保科技有限公司, 中国·四川成都 610000

## 摘要

生态环境分区管控制度的建立与实施, 对环保咨询服务具有重要意义。本文论述了该制度对环保咨询服务基础要求的重塑, 分析了其对项目环境影响评价、排污许可、技术评估等核心服务的演进影响, 探讨了行业技术方法、核心能力与服务模式的发展趋势。研究表明, 分区管控推动服务重心从单一项目技术论证转向空间符合性判断与政策精准解读, 服务类型更趋多元, 技术要求持续提升, 全过程综合化服务将成为行业核心发展方向。本文旨在为相关技术服务单位适应新形势、提升服务能力提供参考。

## 关键词

生态环境; 分区管控; 环保咨询服务; 技术评估服务

## 1 引言

生态环境分区管控制度是我国环境治理体系迈向空间

精细化、清单化管理的重要标志。2024年中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于加强生态环境分区管控的意见》确立其核心制度地位, 2026年1月生态环境部发布3项分区管控国家生态环境标准, 四川省同步发布省级实施意见, 形成了从顶层设计到地方落地的完整制度体系。该制度以管控单元为基础、以准入清单为抓手, 深刻改变了传统环保咨询服务的逻辑起点与方法路径<sup>[1]</sup>, 相关工作由此进入从“项目合法性评价”向“空间适宜性评估+政策衔接”的一体化转型阶段。本文立足实践, 梳理分区管控对环保咨询服务的核心影响, 展望行业发展方向, 为行业转型与能力提升提供

【作者简介】任静薇(1992—), 女, 中国四川阆中人, 硕士, 工程师, 从事环保咨询(环评评估、排污许可审核、污染天气绩效评级等)、环境监测研究。

【通讯作者】蒲君侠(1991—), 男, 中国四川眉山人, 硕士, 工程师, 从事环评评估、排污许可审核、环保管家、环境监理等研究。

参考。

## 2 生态环境分区管控对环保咨询服务基础要求的重塑

### 2.1 管控体系构建与咨询服务定位转变

生态环境分区管控将国土空间划分为优先保护、重点管控和一般管控三类单元<sup>[1]</sup>，要求相关技术服务单位必须先掌握这一空间分类逻辑。过去环保咨询服务多以单一项目环评编制为主，核心关注项目污染物排放与治理措施；当前服务起点需大幅前移，首要明确项目或规划所处的管控单元类别与环境准入要求，空间适宜性研究成为后续工作的核心前提。相关单位需在项目筹划阶段，协助建设单位明确选址与管控要求的匹配性，避免后期出现方向性错误。传统模式下项目选址先于环保论证，常出现选址不合规、后期大幅调整的问题，既增加企业投资成本，也加大审批部门技术审核压力，而分区管控通过前置空间准入要求，从根本上扭转了这一被动局面，这是分区管控下环保咨询服务定位最核心的转变。

### 2.2 环境准入清单成为咨询服务核心依据

各管控单元配套的生态环境准入清单，是分区管控落地的关键抓手，内容涵盖空间约束、污染物排放管控、环境风险防控、资源利用效率四大核心维度。因此，环保咨询与技术评估服务需围绕准入清单细化内容，例如开展项目环评编制与评审时，不仅要分析项目排污情况、治理措施可行性，还需逐一对应所属管控单元的准入清单，全面论证项目符合性。这推动相关服务从单纯技术论证，升级为政策符合性与技术可行性并重的综合模式，对技术人员的政策解读、技术审核能力提出了更高要求。

### 2.3 数据平台应用成为基础工作手段

分区管控依托全国统一的生态环境分区管控信息平台，2026年发布的《生态环境分区管控信息平台建设指南》《生态环境分区管控信息平台接口规范》两项国家生态环境标准，进一步统一了全国平台建设与数据共享互通的技术要求。平台汇集了空间坐标、管控单元、准入清单及各类基础数据，环境准入、执法监管、规划研判等相关工作已全面依托平台管控要求查询、辅助研判服务等功能开展<sup>[2]</sup>。技术人员需熟练掌握平台操作，获取准确的管控边界与要求，在编制环评报告时，需引用平台数据开展项目选址与管控单元的叠图分析，直观呈现项目合规性结论。平台的应用，提升了技术服务的精准度与权威性，也让过程更加透明可追溯。

## 3 环保咨询服务在实践中的具体调整与演进

### 3.1 项目环评服务内容的深度拓展

分区管控要求下，项目环评类咨询服务不再是孤立的报告编制或技术评估工作，而是贯穿项目全周期的综合性服务。服务需向前延伸至项目选址、线路比选阶段，提供基于分区管控要求的预评估与合规性预判服务，技术人员需收集

不同选址方案的坐标信息，查询对应管控单元的类型与准入限制，比选各方案的环境管控优劣。

例如某建设项目有多个备选地块，一处位于重点管控单元、管控要求严格，另一处位于一般管控单元、约束相对宽松，技术人员需向建设单位、审批部门清晰传达管控要求，结合项目特点提出选址建议，为项目决策与审批把关提供技术参考。编制环评报告、开展技术评估时，涉及重点管控单元的项目需重点关注特征污染物排放上限与减量要求，评估工艺能否满足管控标准；涉及限制、淘汰类产业的需论证项目合规性；涉及优先保护单元的需深化生态影响评价，明确项目对保护目标的影响及减缓措施。这种服务内容的拓展，让环评真正发挥了源头防控作用，也为审批部门技术把关提供了扎实支撑。

### 3.2 规划环评服务的宏观指引作用增强

分区管控为规划环评提供了明确的上位依据与空间约束框架，强化了规划环评的宏观调控作用，也对规划环评类咨询服务提出了更高要求。开展规划环评编制与前期研判工作时，需先收集规划范围空间数据，与管控单元图层叠合分析，明确规划范围内管控单元的类型与占比，评估规划发展方向与单元功能定位的协调性。例如城市周边产业园区规划若包含优先保护单元，规划环评与技术评估需重点分析园区开发的生态影响，提出避让与减缓方案，协助规划编制部门、审批部门将管控准入要求转化为规划的空间布局红线。

在空间合规性研判的基础上，园区规划环评还需做好环境承载能力的全维度管控。需依据所在重点管控单元的污染物排放限值，结合区域环境质量现状，合理核定园区发展规模与产业结构，避免规划超出区域环境承载能力；同时需关注规划实施后的累积环境影响，尤其是重点管控单元内多项目集中布局的污染物叠加效应。这种从空间准入到规模管控的全流程服务优化，让规划环评真正发挥了优化方案、源头预防的作用，避免了规划与管控要求脱节的被动局面，也为园区规划审批提供了扎实的技术支撑。

### 3.3 咨询服务对象和类型的多元化

分区管控的实施催生了新的环保咨询服务需求，服务对象从传统的项目建设单位，扩展至地方生态环境主管部门、园区管委会与企业决策层。分区管控作为全域系统性管控制度，落地实施需要大量基础数据整理、空间分析、政策衔接等技术工作，而基层主管部门普遍存在人员力量不足、技术支撑缺口大的问题，这成为环保咨询服务新的核心增长点<sup>[4]</sup>。各级生态环境主管部门在分区管控成果实施、动态修订中，会向专业技术团队寻求咨询支撑，包括汇总基础数据、支撑管控单元划定修编、参与准入清单编制修订；各地推进的分区管控与环评、排污许可制度衔接，也需要环保咨询单位参与制定技术规则、开展技术审核工作。

其中，面向主管部门的技术评估类咨询服务，是环保咨询业务拓展的重要方向，也是行业服务能力的重要体现。

同时,还衍生出环评文件技术复核、排污许可现场核查、管控单元环境质量跟踪评估等专项咨询服务,进一步填补了基层审批监管的技术支撑缺口。企业战略布局与项目前期策划中,也需要环保咨询单位提供基于分区管控的合规性排查与风险分析服务,衍生出排污许可衔接技术核查、企业合规体检等新型服务,进一步丰富了环保咨询服务的业务体系。

## 4 生态环境分区管控下环保咨询服务的趋势分析

### 4.1 技术方法向精细化与定量化方向发展

随着分区管控技术指南的落地实施,管控准入要求持续细化,环保咨询服务的技术方法也需同步深化。分区管控将环境管理尺度从单个项目细化至具体管控单元,对环境分析分析的精度、空间匹配度要求大幅提升,传统粗放式分析方法已无法满足管理要求,倒逼技术方法持续升级,技术评估工作也同步对技术方法的精细化、标准化提出了更明确的要求。污染源分析环节,需更精准核算项目污染物排放量,厘清特征污染物产排与区域环境容量的匹配关系,重点污染物项目需采用物料衡算法、实测法等逐项核算,确保数据准确可靠;环境影响预测与审核环节,需采用精准预测模型模拟项目环境影响,判定其是否满足区域环境质量要求。

对于位于大气环境敏感区的建设项目,需采用高精度扩散模型,结合地形、气象参数提升预测精准度;涉及优先保护单元的生态影响类项目,需深化生态现状调查,采用无人机测绘、样线调查、生境质量评估模型等前沿方法开展分析。技术方法的精细化与定量化,将成为环保咨询服务质量的核心竞争力,单纯依靠经验判断、简单类比的方法将逐渐无法满足行业需求,相关技术服务单位需加大技术装备与专业人才投入。

### 4.2 政策跟踪与动态响应能力成为核心竞争力

生态环境分区管控成果并非一成不变,会根据国家发展战略、区域环境质量变化、国土空间规划调整等情况,开展定期调整与动态更新。按国家要求,分区管控成果原则上每五年一次定期调整,也可根据管理需求实时更新,配套的环评、排污许可等制度也在持续优化,以适配分区管控要求。因此,环保咨询服务必须具备敏锐的政策跟踪与快速响应能力,开展技术评估工作时,更需确保对政策的理解与执行要求同频同步。

技术人员需持续关注国家与地方分区管控成果的更新动态,深入理解每项变更的管理意图与依据。为长周期项目、园区滚动开发提供服务时,需预判管控要求变化趋势,结合项目进程提出应对方案,同时为审批部门政策落地提供技术衔接支撑。能及时捕捉、精准解读政策导向的环保咨询服

务单位,将在市场竞争中占据核心优势,而政策敏感度低、信息更新滞后的单位,将面临服务成果不达标、客户流失的风险。

### 4.3 服务模式向全过程与综合化演变

单一、阶段性的咨询服务,已难以满足分区管控背景下的各方需求。项目从前期酝酿、选址论证、建设实施、运行管理到退役关闭的全生命周期,都与所在管控单元的要求紧密相关,任何环节的环境违规,都可能给企业带来损失,也会给审批监管带来风险。未来环保咨询服务将向全生命周期覆盖方向发展:项目前期,提供合规性诊断与选址优化服务,为审批部门提供前置技术预判;建设期,协助企业落实环保设施,开展过程性技术核查;运行期,提供环境台账建立、排污许可执行报告审核等服务,确保持续符合管控要求;管控要求调整时,及时协助企业、主管部门评估影响并优化管理措施。

同时,服务将向综合化方向发展,改变过去环评编制、技术评估、排污许可核查等业务相互独立的现状。相关环保咨询服务单位可统筹各项关联的环境管理要求,为企业、主管部门提供一体化合规解决方案,理清各项要求的内在联系,减轻多头应对的负担,也更契合当前全链条环境管理的政策导向,实现分区管控、环评、排污许可、执法监管的全流程闭环衔接。这种全过程、综合化的服务模式,对技术服务单位综合能力提出了更高要求,也能为客户创造更大价值,增强服务黏性。

## 5 结语

总之,随着生态环境分区管控的深入实施,环保咨询服务正从单一技术层面向整体化、多元化转型。未来行业核心竞争力,将集中体现在政策理解深度、数据分析能力与空间适配精度上。为此,相关环保咨询服务单位与技术支撑单位应加快构建快速响应机制与技术支撑体系,主动适应从“项目驱动”向“空间驱动”的理念转变,以系统思维重构服务模式,以精准手段回应监管需求,促进行业高质量发展,助力生态文明建设。

### 参考文献

- [1] 杨俊辉,刘迪,高倍.生态环境分区管控实施中的关键技术研究[J].环境保护与循环经济,2025,45(7):106-110.
- [2] 李嘉俊.环境咨询服务在环境工程项目中的应用与发展[J].黑龙江环境通报,2025,38(12):63-65.
- [3] 唐丽云.生态环境分区管控视域下政策环评实施机制的优化路径[J].环境保护,2025,53(Z2):54-58.
- [4] 刘磊,李晓举,张禹翎.新形势下进一步深化环境影响评价改革的路径与建议[J].环境影响评价,2026,48(01):13-19+25..

# Research on the Mechanism of Linkage between EU Carbon Tariff and China's Carbon Footprint Management System

Peng Xie<sup>1'2'3</sup> Zhutao Shao<sup>1'2'3</sup>

1. Shandong Academy for Environmental Planning, Jinan, Shandong, 250000, China

2. Key Laboratory of Land and Sea Ecological Governance and Systematic Regulation, Ministry of Ecology and Environment, Jinan, Shandong, 250000, China

3. Shandong Key Laboratory of Eco-Environmental Science for the Yellow River Delta, Binzhou, Shandong, 256603, China

## Abstract

The global climate governance model is undergoing profound changes, with carbon tariffs and carbon footprint management becoming core issues in the intersection of international trade and environmental protection. The implementation of the EU Carbon Border Adjustment Mechanism marks a new phase of deep integration between global climate policies and trade rules, posing systemic challenges to China's export-oriented industries. Meanwhile, China's accelerated development of a product carbon footprint management system is not only a passive adaptation to external regulations but also an active choice for industrial green transformation. These two systems exhibit significant differences in accounting methods, data standards, and certification processes, and the research on their integration mechanisms directly affects the international competitiveness of China's manufacturing sector and its positioning in the global value chain.

## Keywords

EU carbon tariff; China carbon footprint; management system; linkage mechanism

## 欧盟碳关税与中国碳足迹管理体系衔接机制研究

谢朋<sup>1'2'3</sup> 邵珠涛<sup>1'2'3</sup>

1. 山东省生态环境规划研究院, 中国·山东 济南 250000

2. 生态环境部陆海统筹生态治理与系统调控重点实验室, 中国·山东 济南 250000

3. 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 中国·山东 滨州 256603

## 摘要

全球气候治理模式正在发生深刻变化, 碳关税和碳足迹管理已经成为国际贸易和环境保护交叉领域的核心问题。欧盟碳边界调整机制的实施标志着全球气候政策和贸易规则的深度融合进入一个新的阶段, 给中国出口导向产业带来系统性挑战。同时, 中国加快产品碳足迹管理体系的建设, 不仅是对外部管制的被动适应, 也是对产业绿色转型的一种主动选择。这两个系统在核算方法、数据标准和认证流程等维度上存在着明显的差异, 它们之间的衔接机制研究直接关系到中国制造业国际竞争力和全球价值链的定位。

## 关键词

欧盟碳关税; 中国碳足迹; 管理体系; 衔接机制

## 1 引言

由于碳排放的跨国流动, 单一国气候政策的溢出效应显著, 贸易措施和环境保护的界限越来越模糊。欧盟利用后发优势, 通过碳边界调整机制, 将自身的气候基准纳入到国际规则之中, 这给中国的参与带来结构上的压力。中国既是

制造大国, 又是贸易大国, 面临着外部合规成本不断增加、内部转型动力不足的双重压力。产品碳足迹管理作为解决该困境的基础制度安排, 然而其建设进程与欧盟的需求存在一定差距。深入剖析中欧碳管理规则差异的根源和趋同可能性, 有助于在保障发展权益的前提下增强制度兼容性, 为构建公平合理的气候贸易秩序提供理论支持。

## 2 欧盟碳关税制度实施特征

### 2.1 核算全周期, 覆盖维度多元

以全生命周期碳核算为核心的欧盟碳关税体系, 突破了只关注生产环节的传统碳排放核算模式, 不仅包含了生产

【作者简介】谢朋(1989—), 男, 中国山东临沂人, 硕士, 工程师, 从事环境规划、环境科学与工程、应对气候变化研究。

过程的碳排放,还将所用原料隐含的碳排放纳入核算体系。其核算体系将碳排放的度量维度分为两个维度,既包括直接生产环节的化石燃料燃烧排放,又包括生产辅助环节的间接碳排放,并精确测算产业链上下游各环节的碳排放传导<sup>[1]</sup>。为保证碳关税核算结果的准确性和可比性,从源头上保证碳关税征收的科学性和公平性,增强碳关税征收依据的说服力。

## 2.2 域外强适用, 实施范围渐扩

欧盟碳关税具有明显的“域外适用”特征,其对出口欧盟的高碳产品实施碳关税,实质上是将其减排责任向全球产业链转移。它并没有一步到位地实施,而是采取渐进扩张的方法,在初始阶段,选择碳排放强度较高的能源、钢铁、水泥和铝等产业作为试点,确定具体的产品清单和征收范围。后续将根据试点效果,逐步将化工、陶瓷、玻璃等高碳产业纳入管制范围,并持续细化产品征收目录,扩大碳关税覆盖范围。这一渐进扩张不仅为欧盟内部各行业提供一段适应新规定的缓冲时间,同时也给全球高碳业带来持续的减排压力。

## 2.3 征管规范化, 流程衔接严密

欧盟碳关税建立一套标准化、标准化的征收管理制度,从产品申报到碳排放核算,到关税计算,再到缴税,都有明确而严谨的操作程序。设立专门的碳关税征收机构,对全过程进行统筹管理,明确企业申报的责任和义务,要求出口企业提交准确的碳排放核算报告和相应的支持材料<sup>[2]</sup>。为保证申报资料的真实性和准确性,在征管过程中,各个环节都有严密的衔接。同时制定明确的关税计算方法,将产品碳排放与欧盟内部碳市场价格相结合,实现税收征管的透明化和制度化,避免在征管上的随意性。

## 2.4 机制联动化, 与碳市场融合

欧盟碳关税不是一项独立的碳管制政策,它是一种与欧盟内部碳市场紧密相连的执行机制,通过碳关税征收标准和欧盟碳市场的配额价格相结合,达到碳管制政策的协同作用。碳关税税率的计算依据是欧盟碳市场基准碳价格,并根据碳市场价格的动态变化对税率进行动态调整,使碳关税和碳市场形成互补。与此同时,欧盟还将部分碳关税所得收入用于碳市场建设和碳减排技术研究,促进碳市场的发展和完善。这一政策联动机制使得欧盟碳监管系统形成一个闭环,既以碳关税控制境外高碳产品流入,又以碳市场推动国内行业减排,从而实现内外碳减排协同推进。

# 3 中国碳足迹管理体系的建设现状

## 3.1 政策框架初建, 层级逐步完善

目前,中国已初步构建了碳足迹管理制度框架,初步形成国家层面的顶层设计和地方层面的支持实施相结合的政策体系。在国家层面,一系列关于碳排放和碳中和的政策文件中,明确碳足迹管理是绿色低碳发展的重要内容,明确

碳足迹核算、认证和管控的总体方向。各地政府要根据本地区产业发展特征,制定有针对性的实施细则和配套政策,以促进碳足迹在各地区的落地。政策体系层次不断完善,由国家层面的宏观规划、行业层面的专项规范、地方层面的具体操作规范等多层次的政策体系,为构建和运行碳足迹管理制度提供政策支持和制度保障。

## 3.2 核算标准推进, 行业差异兼顾

中国正稳步推进碳足迹计量基准的制定,围绕重点高碳产业开展碳足迹核算规范研究,逐步构建适合中国产业发展的碳足迹核算体系。在制定标准时,要充分考虑各行业的行业特点、生产工艺和碳排放特征,对钢铁、电力、化工、建材等重点行业建立差别化的核算边界、核算方法和排放因子选择标准,避免“一刀切”的核算模式。与此同时,在制定碳足迹计量标准时,要注意与国际主流会计制度对接,实现核心核算原则和方法的趋同,为后续国际互认打下基础。目前,许多行业都已经发布碳足迹核算的指导性文件,其系统、专业程度不断提高。

## 3.3 实践试点开展, 覆盖范围渐广

试点工作已由最初几家高碳产业的龙头企业逐步扩展到中小型企业 and 跨行业企业,覆盖面不断扩大。在此基础上,促进企业构建碳足迹数据收集和管理系统,开展碳足迹核算和产品碳标识认证,探索碳足迹控制与企业生产经营深度融合的模式。与此同时,一些地方还创建了碳足迹管理试点示范园区,促进园区内企业之间的碳足迹数据共享和协同减排,以点带面推进碳足迹管理工作的整体推进,使碳足迹管理的实践应用逐渐进入常态化。

## 3.4 支撑体系建设, 能力持续提升

在技术层面上,加大对碳核算、碳监测、碳数据管理等相关技术的研发投入,促进数字化和智能化技术在碳足迹管理领域的应用,提高碳足迹收集和核算的准确性和有效性。在服务层次上,培养一批专业的碳足迹核算、验证和认证机构,为企业提供全方位的碳足迹管理专业服务,解决企业在碳足迹管理方面的不足。在监管方面,建立碳足迹管理的监督和核实机制,加强企业碳足迹核算和申报数据的真实性验证,规范碳足迹认证市场秩序,保证碳足迹管理系统的有序运行。

# 4 欧盟碳关税与中国碳足迹管理体系的衔接机制构建实施

## 4.1 对标校准, 统一核算核心标准

对中欧两国碳核算标准进行比较研究,全面梳理两国碳核算核心维度的差异,并结合中国工业发展现状和欧盟碳关税要求,提出中国碳排放核算基准优化调整方案;在核算边界方面,逐步向欧盟全生命周期计量准则靠拢,考虑产品产业链各个环节的碳排放,保留适合中国中小企业特点的简化核算条件。构建统一的排放因子数据库,结合中国各地区

和行业的生产过程特征,对本地化的排放因子进行更新和完善,并推进与欧盟排放因子数据库的对接和互认,保证碳排放核算结果的可比较性。建立标准化的碳足迹核算流程,对数据采集方法、核算步骤、结果验证等方面进行明确规定,使企业开展碳足迹核算有条理,保证核算结果的准确性和规范性,为中欧碳核算成果互认奠定基础。针对不同行业分别制定不同的核算基准实施细则,考虑到高碳产业和低碳产业、大型企业和中小型企业的具体情况,使核算标准更加切合实际,促进不同行业的企业按照统一的标准开展碳足迹核算,使其与欧盟碳关税核算要求有效对接。

#### 4.2 互认共建,完善认证体系衔接

构建中欧碳足迹认证机构互认机制,建立统一认证机构资格认定标准,开展中、欧碳足迹认证机构的资质审核和备案工作,相互认可对方认证能力和成果,消除重复认证环节,减少企业认证成本。对碳足迹认证流程和规范进行统一规范,明确认证申请、材料审核、现场核查、证书签发、后监管等各个环节的具体要求,为中欧认证工作统一规范,保证认证结果的权威和有效性<sup>[3]</sup>。建立中欧认证机构之间的认证信息共享平台,实现认证结果的实时查询和互认验证,强化认证过程动态监管,杜绝虚假认证。同时,加强中国碳足迹认证行业标准化建设,培育一批具有国际竞争力的国内认证机构,提高其专业服务水平 and 国际认可度,促进国内认证机构参与欧盟碳足迹认证市场的交流与合作。结合欧盟碳关税政策和中国碳足迹管理工作的推进,适时调整认证标准和规范,保证认证体系的衔接和时效性,使其在欧盟市场上被有效认可。

#### 4.3 打通壁垒,搭建碳数据共享体系

建立国家统一的企业碳足迹数据管理平台,统一碳数据收集和报送标准,明确其采集范围、报送格式和更新频次等方面的要求,促进企业将碳数据数字化收集、系统管理和标准化报送,从而达到国内碳数据的集中集成和统一管理。构建碳数据质量控制体系,建立碳数据核查和验证规范,通过第三方机构核查和政府监督抽查等手段,保证企业提供的碳数据真实、准确和完整,为我国碳数据跨境流通提供数据质量基础。在进一步推进中欧碳数据跨境流通机制建设,与欧盟共同制定碳数据跨境流通规则和标准,明确数据的跨境流通范围、模式和安全性需求,构建数据跨境流通的安全保障体系,通过加密传输、分级授权等技术方法,保证碳数据在跨境流通中的安全和企业商业秘密。同时,搭建中欧碳排放数据共享和对接平台,实现中国碳排放数据管理平台和欧盟碳关税征管平台之间的技术对接和数据交换,促进中国企业碳足迹数据的跨界共享和验证,使欧盟能够快速准确地获取出口企业的碳足迹数据,提升企业合规效率。构建一个

面向中小企业的碳数据服务平台,为中小企业提供碳数据收集、整理和上报等专业服务,帮助中小企业实现碳数据标准化管理,实现与中欧碳数据共享系统的有效对接。

#### 4.4 协同赋能,强化能力建设衔接

构建政企联动的碳足迹管理培训体系,针对不同行业和规模的企业,分层次进行培训,培训内容包括欧盟碳关税政策解读,碳足迹核算标准,认证流程,数据管理等,并邀请业内专家和第三方服务组织开展线下培训和线上直播,提高相关人员的专业素质。构建面向中小企业的碳足迹管理服务平台,将第三方服务机构、科研院所等资源整合起来,实现对中小企业的碳足迹核算、认证、合规咨询等一站式专业服务,解决中小企业的专业能力不足和资金不足的难题,降低其合规成本。另一方面,促进行业协会发挥桥梁和纽带的作用,各行业协会根据各自行业特点,制定实施细则,指导行业内企业制定统一的碳足迹管理规范,促进行业内企业之间进行碳足迹数据共享和协同减排,提高整个行业碳足迹管理水平。加大对碳足迹管理相关技术的研究和推广,由政府设立专项研发基金,支持企业和科研院所研发碳核算、碳监测和碳减排技术,促进数字化和智能化技术在碳足迹管理领域的应用,提高我国企业碳足迹管理水平。构建碳足迹管理激励约束机制,将碳足迹认证结果纳入到绿色产品、绿色信贷和政府绿色采购等评价体系中,对碳足迹管理成效显著的企业给予政策支持和资金奖励,对未按要求开展碳足迹管理的企业予以整改,促进企业提高碳足迹管理水平,促进全产业链与欧盟碳关税有效衔接。

### 5 结语

综上所述,欧盟碳关税和中国碳足迹管理制度之间的对接,是气候治理全球化和本土制度调适相互影响的必然结果。该过程的技术复杂性来自于核算边界、排放要素和认证制度等方面的制度异质性,以及不同发展阶段对气候责任的认识差异。关键是要建立以科学共识为基础的数据互认机制,培养具有国际公信力的本地核查能力,促进多边框架下兼顾效率和公平的碳管理规则的形成。未来研究需要持续关注企业合规成本传导和技术创新响应机制,探索数字工具在跨境碳数据治理中的应用前景,并警惕碳壁垒对全球南方国家发展空间的挤压效应。

#### 参考文献

- [1] 王利荣,王建慧,张子悦.欧盟碳关税政策背景下江苏省出口贸易机遇、挑战与应对[J].对外经贸实务,2025,43(03):81-89.
- [2] 乔佳琪,魏夕凯,谭效时,顾建康,翟士鑫,王正.欧盟碳关税背景下典型船舶产品筛选研究[J].船舶物资与市场,2025,33(03):96-101.
- [3] 王琳,董晓玮,胡诗雨,李敏.欧盟碳边境调节机制对中国纺织服装产品出口影响分析[J].现代商业,2025,(04):114-117.

# Design and Application of Real-time Monitoring System for Farmland Soil Environment Based on Internet of Things Technology

Lanying Hua Dongyan Yang Mingyue Zhao Xiaoqian Lu Xiaodong Wu

Beijing Municipal Ecological and Environmental Monitoring Center, Beijing, 100048, China

## Abstract

IoT technology has demonstrated significant technical advantages in agricultural informatization, providing real-time, precise, and intelligent means for farmland soil environment monitoring. This study focuses on the system design and application of IoT in farmland soil environment monitoring, constructing a real-time monitoring system composed of the perception layer, transmission layer, and application layer. The system achieves multi-dimensional monitoring of soil temperature and humidity, pH value, salinity, conductivity, and meteorological parameters. Utilizing multi-modal sensing and low-power wide-area communication technology, the system aggregates data, enables dynamic visualization, and triggers threshold alerts through a cloud platform. Combined with algorithm models, it supports decision-making for irrigation and fertilization. Experimental results indicate that this system effectively enhances the precision management of agricultural production, reduces resource waste rates, and promotes green and sustainable agricultural development. The research provides a replicable reference model for smart agriculture construction.

## Keywords

Internet of Things (IoT); farmland soil; real-time monitoring; data fusion; smart agriculture

# 基于物联网技术的农田土壤环境实时监测系统设计与应用研究

华岚英 杨懂艳 赵明月 鲁晓倩 邬晓东

北京市生态环境监测中心, 中国·北京 100048

## 摘要

物联网技术在农业信息化进程中展现出显著的技术优势,为农田土壤环境监测提供了实时、精准与智能化的手段。本文围绕物联网在农田土壤环境监测中的系统设计与应用展开研究,构建了一套由感知层、传输层和应用层组成的实时监测系统,实现了对土壤温湿度、pH值、盐分、电导率以及气象参数的多维度监测。系统采用多模态传感与低功耗广域通信技术,通过云端平台实现数据汇聚、动态可视化与阈值预警,并结合算法模型实现对灌溉与施肥的决策支持。试验结果表明,该系统能有效提升农业生产的精细化管理水平,降低资源浪费率,促进农业的绿色与可持续发展。研究为智慧农业建设提供了可推广的参考模型。

## 关键词

物联网; 农田土壤; 实时监测; 数据融合; 智能农业

## 1 引言

随着我国农业现代化水平的不断提高,传统依赖经验的种植方式逐渐暴露出管理粗放、响应滞后与资源浪费等问题<sup>[1-2]</sup>。农田土壤作为作物生长的根本环境,其理化性质的

变化对作物产量与品质具有直接影响,而实时掌握土壤环境状态成为精准农业发展的关键环节。物联网技术通过多源传感器、无线网络与数据平台的融合,为农业环境监测提供了技术支撑,使农业信息化从“数据采集”走向“数据驱动决策”<sup>[3]</sup>。与传统监测方式相比,物联网系统能够实现分布式、连续化与远程化的环境数据采集,极大提高了农业生产的可控性与响应速度<sup>[4-8]</sup>。本文基于农田实际需求,从系统设计原理、硬件配置、通信架构、数据处理与应用策略等方面系统研究物联网在土壤环境监测中的应用,为农业环境监测管理技术提供参考与工程示范。

【基金项目】国家重点研发计划项目(项目编号:2025ZD1205502)。

【作者简介】华岚英(1974-),女,硕士,高级工程师,从事土壤环境监测与评价研究。

## 2 物联网农田监测系统总体设计与架构

### 2.1 系统结构与功能规划

农田土壤环境实时监测系统以分层体系架构为核心,整体由感知层、网络传输层和应用层构成,形成“采集—传输—分析—服务”的闭环结构。感知层由分布式监测节点组成,负责采集土壤温湿度、pH、电导率、盐分及环境气象等关键数据,实现多维度参数的动态监测。网络传输层利用无线通信技术将数据从农田节点传送至云端数据库,实现远程访问与集中管理。应用层通过数据分析算法与可视化平台实现数据挖掘、趋势预测与阈值预警,并为农业管理者提供智能化决策支持。系统结构遵循模块化与开放式原则,便于针对不同作物与区域特征进行灵活扩展与功能重构,使监测网络具备可扩展性与跨区域适配能力。

### 2.2 感知层节点设计与采集精度控制

感知层节点设计以高可靠性和低功耗为目标,由微控制单元、传感模块、电源管理模块及通信模块组成。核心控制单元采用 ARM 架构低功耗处理器,具备多通道采样与信号调理功能,可同时采集温度、湿度、电导率及 pH 等多源数据。传感模块选用高灵敏度电容式湿度传感器与离子选择电极式 pH 传感器,并通过多点标定与漂移补偿算法保证数据的长期稳定性。节点外壳采用 IP67 防护标准,具备防尘、防水与耐腐蚀性能,适应长期野外运行环境。系统配置太阳能供电与智能休眠机制,使节点在低功耗状态下保持数据采集的连续性和可靠性,从而显著延长设备寿命并降低维护成本。

### 2.3 通信与数据传输机制设计

为实现大范围、低功耗与高可靠的数据传输,系统采用 LoRa 与 NB-IoT 双模通信架构。LoRa 用于构建局域网范围内的多节点通信网络,具备远距离传输与强抗干扰能力;NB-IoT 负责将网关数据上传至云平台,实现跨区域数据汇聚与远程监控。通信模块集成自动重传与差错检测机制,以确保在信号衰减或干扰环境下的数据完整性。系统采用时分多址(TDMA)机制调度各节点传输,减少冲突与丢包现象。为防止突发断链导致数据丢失,系统设置分层数据缓存策略,可在恢复通信后自动补发缓存数据,确保数据连续性。该通信设计使系统在复杂农田环境中仍能保持高稳定性与高可靠性,为实时监测与远程控制提供坚实支撑。

## 3 数据融合与监测算法实现

### 3.1 多源传感数据预处理方法

在农田环境实时监测系统中,多类型传感器采集的数据受信号漂移、温湿度变化及外部电磁干扰影响,若不加以处理将导致分析误差与模型偏移。为保证数据质量,系统在采集端嵌入多层数据预处理机制。首先采用低通滤波与滑动均值算法抑制瞬时脉冲噪声,对短周期波动进行平滑化处理,确保信号连续性与稳定性。其次,通过归一化与标准化运算统一不同量纲的物理量,使多源数据在同一尺度下可比较与融合。针对环境温度对传感器输出特性的影响,系统建

立基于历史数据的温度修正系数矩阵,动态调整传感器响应系数,减少温漂误差。为保证数据的时序一致性,各监测节点利用 GPS 授时系统实现全网同步采集,主节点定时广播校正信号,从而使时间戳统一、数据传输精准,为后续的数据融合建模与趋势分析奠定可靠基础。

### 3.2 数据融合与土壤参数动态建模

由于单一传感器易受环境扰动和参数耦合影响,系统引入数据融合算法提升信息可靠性。通过加权卡尔曼滤波方法整合湿度、电导率与盐分等多维信号,在滤除噪声的同时实现参数动态估算,得到更接近实际的土壤水分与养分分布模型。模型参数的权值依据传感器历史性能自动调整,使数据融合结果兼具精度与稳定性。经实地对比验证,模型输出误差控制在 5% 以内。进一步结合支持向量回归(SVR)算法,对土壤湿度与气温、光照、蒸散量之间的非线性关系进行建模,预测不同气象条件下的土壤含水变化趋势。该模型具备自学习能力,可随监测数据累积不断优化参数,实现灌溉时机的智能判断。实验结果表明,融合建模后系统响应速度提高约 20%,预测准确率显著优于传统单参数模型。

### 3.3 实时监测与阈值预警机制

为了实现农田环境的主动监管,系统建立了基于作物生长周期的分级阈值预警机制。平台根据不同作物与土壤类型设定多维参数区间,当监测数据超过设定范围时,系统自动触发多通道预警,向用户终端发送短信、APP 提醒及网页弹窗提示。为降低误报警率,预警算法中引入滞后时间与持续超限判断逻辑,只有当异常状态连续存在超过设定周期时才被识别为有效预警事件。系统还与气象数据接口对接,通过未来天气预测模型结合实时土壤湿度趋势,提前识别潜在旱涝风险,并自动优化灌溉计划。例如在预报强降雨前暂停补水指令,以防止土壤过湿造成根系通气受阻。

## 4 系统平台与软件架构实现

### 4.1 云端平台设计与数据库管理

云端平台是整个农田土壤环境监测系统的信息核心,承担数据存储、分析与共享的重要任务。平台采用 B/S 架构设计,实现了跨终端的灵活访问与统一管理。数据传输经由安全网关进入云端,通过分布式数据库架构完成存储与调用。系统将 MySQL 用于结构化信息管理,利用 InfluxDB 处理高频时序数据,以支持多节点并发写入与高速查询。平台依据地块、传感器类型与时间维度建立多层索引体系,保证数据检索的高效性与准确性。为提升系统的可靠性,设计了多副本备份与容灾机制,在节点故障时实现自动迁移与数据恢复。安全层面引入加密认证与权限分级管理策略,确保用户访问的合法性与数据隐私的可控性。通过这种体系化的云端架构,系统实现了高并发、大规模农田环境数据的持续接入与稳定运行,为后续的智能分析与可视化提供数据支撑。

### 4.2 可视化界面与人机交互功能

系统的人机交互界面以数据可读性与操作直观性为核心设计理念,兼顾农户与科研管理者的多层级使用需求。可

可视化模块采用 GIS 地图叠加技术,将农田空间位置、传感器节点与环境指标动态联动显示,形成直观的地理监测界面。历史数据以折线图、热力图和趋势面等形式呈现,便于用户识别时序变化与异常分布。用户可通过交互面板灵活设置采样周期、参数阈值与报警策略,系统亦可根据设定自动生成监测报告与数据摘要,支持 PDF 与 Excel 格式导出。界面采用响应式布局,兼容 PC 端与移动端访问,并具备多语言切换功能以适应国际化农业管理需求。设计中强化了操作可视反馈与容错机制,使非专业用户亦能快速掌握系统使用方法,实现数据管理的普惠化与便捷化,显著提升了农业信息化系统的易用性与传播价值。

### 4.3 智能分析与决策支持模块

智能分析模块是系统实现农业决策优化的关键环节,依托机器学习与多变量统计分析算法,对监测数据进行深层挖掘与预测建模。系统利用聚类算法识别不同地块的土壤水分保持特征,形成差异化灌溉分区策略,从而实现精细管理。通过多因素回归模型与支持向量机分析,系统可计算环境参数、气候因素与作物生长指标之间的函数关系,推算出最优的施肥时机与水分补给方案,有效减少肥料流失与环境污染。结合历史数据与气象预测模型,系统具备趋势预测功能,能提前识别潜在的干旱或过湿风险,并自动生成管理建议。

## 5 系统应用与性能验证

### 5.1 试验区部署与运行环境

为验证系统的工程可行性与环境适应性,研究团队选择某省农业高产示范区作为试验场地,分别在砂质壤土、黏土及盐碱地三类地块布设监测节点。节点包括土壤温湿度、pH、电导率及光照强度传感单元,埋设深度根据作物根系分布分层配置,以反映不同耕层的水分与离子变化。系统采用太阳能供电与蓄电池双能模式,在夜间与阴雨天气仍可持续运行。数据采集周期设定为 10 分钟,节点间距约 20 米,通过 LoRa 网络实现短距传输,网关经 NB-IoT 模块将数据实时上传至云平台。系统连续运行 180 天,数据完整率达到 98.7%,表明硬件结构与通信机制在复杂田间环境中具备高稳定性与可靠性。

### 5.2 数据对比与系统精度验证

为评估监测数据的准确性与模型稳定性,研究组在系统运行周期内定期采集样本进行实验室检测,并将其结果与系统采集数据进行对照分析。对比显示,土壤湿度平均相对误差为 3.6%,pH 误差为 4.2%,电导率偏差控制在 5% 以内,数据波动与实验值高度一致。进一步分析表明,采用卡尔曼滤波融合算法后,系统在多传感器协同下显著抑制了随机噪声与漂移误差,监测精度较单传感器模式提升约 15%。在高盐度与高湿度条件下,系统仍能保持稳定信号输出,验证其抗干扰与环境适应性能。整体结果证明,该系统能够满足农田连续监测的精度与时效性要求,为后续智能分析提供可靠数据基础。

### 5.3 应用效果与农业管理成效

系统投入应用后,试验区农业管理模式实现了由经

验型向数据驱动型的转变。农户根据平台提供的实时土壤水分与养分信息,调整灌溉与施肥计划,平均节水率达到 22%,肥料利用率提高约 18%。监测平台的动态预警功能使管理者能在湿度异常或盐分升高时提前干预,显著降低作物因环境胁迫造成的减产风险。通过对比传统人工巡测方式,系统在劳动力投入方面节约约 30%,并提升决策的时效性。长周期运行结果显示,作物产量平均增长 7%—10%,农田生态环境得到改善。研究表明,该系统在农业资源优化配置与绿色生产中具有良好的推广前景与经济效益。

## 6 结语

基于物联网的农田土壤环境实时监测系统实现了从环境感知到智能决策的完整闭环,突破了传统农业信息采集滞后与数据孤立的局限。系统以多参数传感、低功耗通信和云端分析为核心,构建了高可靠、可扩展的监测体系。实践表明,该系统不仅提高了农田信息化水平,也显著优化了水肥资源配置与管理决策,为农业绿色化、智能化发展提供技术路径。未来研究可在两方面深化:其一,引入 AI 预测模型与数字孪生技术,实现对土壤变化的精准模拟与趋势推演;其二,探索与无人农机、智能灌溉系统的协同应用,构建农业生态的全链路智慧管理框架。随着物联网、人工智能与遥感技术的持续发展,基于数据驱动的农业监测与调控将成为推动现代农业可持续发展的关键力量<sup>[9-10]</sup>。

## 参考文献

- [1] 刘映江.基于LoRaWAN物联网技术的农田环境监测系统的设计[D].西南石油大学,2018.
- [2] 曹帅,钱谦,张娅玲,等.基于LoRa的智慧农田土壤环境监测系统研究[J].农业装备与车辆工程,2024,62(01):18-22.
- [3] 徐议涛;刘勇;李双喜;郑宪清;吕卫光;王运圣.基于农业物联网的农田土壤环境监测系统的研究与设计[J].中国农学通报,2018,34(23):145-150.
- [4] Alessandro Comegna;Shawkat Basel Mostafa Hassan;Antonio Coppola.Recent Technological Upgrades to the SHYPRM IoT-Based System for Monitoring Soil Water Status[J].Sensors,2025(16).DOI:10.3390/S25164934.
- [5] 李建荣.物联网精准灌溉对人参栽培土壤生态环境及产量质量的影响[D].吉林农业大学,2020.
- [6] 胡跃鑫.基于物联网技术的农业小气候环境中的研究及其应用[D].沈阳建筑大学,2017.
- [7] 吴丹娜.有机蔬菜生长过程的物联网监测和预测模型及碳收支的估算[D].浙江农林大学,2015.
- [8] 张滔,范芸菲,王思嘉,等.面向农田土壤温湿度监测的传感终端[J].物联网技术,2021,11(07):9-11+15.
- [9] 陈程程,吴佳平,于合龙.光智农业数据感知技术的前沿进展与发展趋势——从光学传感器到智能决策系统[J].智慧农业(中英文),2025,7(5):1-16. DOI:10.12133/j.smartag.SA202507049.
- [10] 李玉淋.基于物联网的水稻生长环境智能监测与调控[J].北方水稻,2025,55(4):120-122. DOI:10.3969/j.issn.1673-6737.2025.04.030.