

环境与生态

Environment and Ecology



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editorial Board Member

Guobin Lv

Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center of China
Geological Survey

Zhen Da

Ngari Prefecture Gar County Emergency Management Bureau (Natural
Disaster Prevention and Rescue Center)

Shuai Yu

Hebei Province geological mineral exploration and development
Bureau second geological brigade(Hebei Province mine environmental
remediation technology center)

环境与生态

Environment and Ecology

(双月刊)

第2卷 第5期 2025年10月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《环境与生态》编辑部

ISSN(O): 2998-9108

ISSN(P): 2998-9094

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、翻
译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著作
权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



001	环境检测中地表水监测现状研究 Research on the Current Status of Surface Water Monitoring in Environmental Detection	孟庆秀 Meng Qingxiu
004	林草保护工程实施对野生动物的影响 Influence of Forest and Grass Protection Project on Wild Animals	王晓 Wang Xiao
007	污水处理设施利旧改造的初期雨水污染控制探究 ——以山西运城市为例 Exploration of Early Rainwater Pollution Control through the Renovation and Repurposing of Existing Sewage Treatment Facilities —A Case Study of Yuncheng City, Shanxi Province	荆璧 Jing Bi
010	工业危废焚烧能量回收工艺优化 Optimization of Energy Recovery Process for Industrial Hazardous Waste Incineration	谷奋 Gu Fen
013	石油化工行业中挥发性有机物的检测技术 及对人体健康危害 Detection Technologies for Volatile Organic Compounds in the Petrochemical Industry and Their Hazards to Human Health	沈晓燕, 李欣, 胡紫薇 Shen Xiaoyan, Li Xin, Hu Ziwei
017	林业营林造林关键技术及质量控制策略探讨 Discussion on Key Technologies and Quality Control Strategies for Forest Management and Afforestation	魏文洁 Wei Wenjie
020	衢州市气候变化特征及其农业影响分析 Analysis of Climate Change Characteristics and Their Agricultural Impacts in Quzhou City	陈晓, 任耘, 任英俊 Chen Xiao, Ren Yun, Ren Yingjun
024	林业病虫害生物防治技术及应用研究 Research on Biological Control Techniques and Applications for Forest Pests and Diseases	戴福龙 Dai Fulong
027	国土空间规划导向下县域土地整治与生态修复分区策略研究 Research on Zoning Strategies for Land Consolidation and Ecological Restoration in County Areas Under Territorial Spatial Planning	王继盛 Wang Jisheng
031	工业废水处理分析及环境治理 Analysis of Industrial Wastewater Treatment and Environmental Governance	刘慧 Liu Hui
034	活性炭吸附浓缩耦合催化氧化技术在喷漆废气处理中的工业应用 Industrial Application of Activated Carbon Adsorption Concentration Coupled with Catalytic Oxidation Technology in the Treatment of Painting Waste Gas	敬丹丹 Jing Dandan

环境检测中地表水监测现状研究

孟庆秀

江苏省南京工程高等职业学校，江苏 南京 211135

DOI:10.61369/EAE.2025050001

摘 要： 地表水是重要水资源，其质量状况直接关系到生态环境安全与人类生产生活。本文以环境检测中的地表水监测为研究对象，结合江苏地区的实例，从监测技术应用、监测数据管理与应用、监测体系运行等角度，分析当前地表水监测的现状。本研究发现，目前地表水监测在技术升级、数据整合等方面取得了一定成效，但仍存在监测点位布局不合理、应急监测响应滞后、数据应用深度不足等问题。针对这些问题，提出了优化监测点位布局、完善应急监测机制、加强监测数据深度挖掘等对策，为提高地表水监测水平、保证地表水生态安全提供参考。

关 键 词： 环境检测；地表水监测；监测技术；数据应用

Research on the Current Status of Surface Water Monitoring in Environmental Detection

Meng Qingxiu

Jiangsu Nanjing Engineering Vocational College, Nanjing, Jiangsu 211135

Abstract： Surface water is an important water resource, and its quality directly relates to ecological environmental safety and human production and life. This paper takes surface water monitoring in environmental detection as the research subject and, using examples from Jiangsu Province, analyzes the current status of surface water monitoring from the perspectives of monitoring technology application, monitoring data management and application, and the operation of the monitoring system. The study finds that surface water monitoring has achieved certain results in terms of technological upgrades and data integration. However, issues such as irrational layout of monitoring points, delayed emergency monitoring responses, and insufficient depth of data application still persist. In response to these problems, countermeasures such as optimizing the layout of monitoring points, improving emergency monitoring mechanisms, and enhancing in-depth mining of monitoring data are proposed to provide references for improving surface water monitoring standards and ensuring the ecological safety of surface water.

Keywords： environmental detection; surface water monitoring; monitoring technology; data application

引言

地表水是水资源的重要组成部分，具有调节气候、维持生态平衡、生产生活用水等重要功能。随着工业化、城市化进程的加快，地表水受到污染的风险越来越大，水质变差问题越来越突出，严重地威胁着生态环境和人类健康。因此，及时掌握地表水质量变化动态，开展科学、高效的地表水监测，成为环境管理工作的重要内容。近几年，我国地表水监测体系的建设不断加强，监测技术不断创新，监测范围逐步扩大，但在实际监测中，仍存在不少问题。

一、当前地表水监测的现状

（一）监测技术应用情况

地表水监测技术随着科技的发展在不断更新换代，从传统的人工采样监测逐步向自动化、智能化监测方向发展。江苏太湖流域已形成较为完善地表水自动监测网络。该监测网络中的自动监

测站，都拥有 pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等多项水质指标的自动监测仪器，可对水质指标进行实时监测和数据自动传输。如太湖流域无锡梅梁湖自动监测站，安装在线水质分析仪，每小时对溶解氧、氨氮等指标进行一次监测，并将监测数据实时上传至江苏省环境监测中心的数据库。工作人员通过远程登录数据库，可以实时掌握梅梁湖水域水质变化情况，大大

作者简介：孟庆秀（1979.05—），女，汉族，山东莒南人，理学硕士，南京工程高等职业学校助教，研究方向：地质学、环境工程。

提高了监测效率^[1]。除了自动监测技术外，生物监测技术在地表水监测中的应用也逐渐增多。在江苏南京秦淮河畔，监测人员定期收集水体中的浮游生物、底栖生物等样本，分析生物群落结构和数量的变化，评价秦淮河水质状况。秦淮河在受到污染时，水体中敏感生物种类减少，耐污生物种类增多，生物多样性降低。通过生物群落监测，可以及时发现水质污染问题，且生物监测比理化监测更能反映水体的综合生态效应。此外遥感监测技术也是地表水监测的利器。江苏省环境监测中心利用卫星遥感技术，对全省主要河流、湖泊的水域面积、水体富营养化程度等进行监测。通过遥感影像解译，能够快速掌握太湖、洪泽湖等大型湖泊的富营养化分布情况，为湖泊水质管理和污染防治提供宏观数据支持。例如，通过遥感监测发现，太湖部分水域在夏季会出现较为严重的蓝藻水华，监测人员可根据遥感监测结果，及时调配力量开展蓝藻打捞和应急处置工作。

（二）监测数据管理与应用情况

随着地表水监测点位的不断增加和监测频率的提高，监测数据量也在急剧增长。为了更好地管理和利用这些监测数据，各地纷纷建立了地表水监测数据管理系统。江苏省环境监测中心主导的地表水监测数据管理功能整合于全省生态环境大数据平台，该平台整合了全省841个地表水环境监测断面的手工监测、自动监测及遥感监测数据，具备数据录入、审核、存储、查询、统计分析等功能，工作人员可快速查询任意监测点位数据并生成评价报告^[2]。例如年度地表水质量评估中，通过平台筛选数据并按《地表水环境质量标准》评价，能快速得出优良率等关键指标，为污染防治规划提供支撑。在污染源解析领域，南京环境监测中心联合南京大学团队，依托平台数据对太湖流域高淳区松溪河监测区开展研究，引入稳定同位素源解析模型，精准定量不同农业面源的氮贡献占比，解决了污染负荷不清的问题。环境风险预警中，2023年常州溧港河九号桥国控断面pH指标持续超标，平台自动监测数据触发预警，执法人员循数据溯源，锁定企业通过水泥管偷排高pH值废水的行为。2023年全省依托该平台相关系统共发布一级预警458期、二级预警1549期，为污染处置赢得时间。

（三）监测体系运行情况

我国已建立起较为完善的地表水监测体系，从国家到地方各级环境监测机构分工明确，协同开展地表水监测工作。在国家层面，生态环境部负责制定全国地表水监测规划和技术规范，统一组织开展全国地表水国控断面的监测工作。在江苏，共有多个地表水国控监测断面，这些断面的监测数据直接反映了江苏省地表水的总体质量状况，为国家制定环境政策提供重要依据。在省级层面，江苏省环境监测中心负责统筹全省地表水监测工作，制定全省地表水监测方案，对全省各级监测站的监测工作进行技术指导和质量控制。同时，省级监测中心还负责全省范围内开展枯水期、丰水期水质监测、重大节假日期间的水质保障监测等地表水专项监测工作。市、县两级环境监测站，负责辖区内地表水监测点位的日常监测，手工采样监测和自动监测站的运行维护^[3]。例如，江苏盐城市，盐城市环境监测站负责辖区内通榆河、射阳河等主要河流监测点位手工采样监测工作，每月根据监测方案要求

进行采样分析，并将监测数据上报江苏省环境监测中心。同时，盐城市环境监测站还负责对辖区内地表水自动监测站进行维护工作，定期对自动监测仪器进行校准、维护，保证自动监测数据的准确性和可靠性。此外，各级监测机构都建立起严格的质量控制体系，以保证地表水监测数据的质量。从采样器具的清洗，采样方法的选择，到实验室分析过程中的质量控制，到数据的审核和上报都有详细的操作规程和质量控制措施。例如，在实验室分析过程中，对分析结果的质量控制通过平行样分析，加标回收率测定等方法进行。江苏省环境监测中心还定期组织开展实验室间比对和能力验证活动，对全省各级监测站的实验室分析能力进行考核，确保监测数据的准确性、可比性。

二、地表水监测中存在的问题

（一）监测点位布局不合理

尽管全省已建成高密度监测网络，但布局失衡问题仍较突出。区域分布上呈现“重城轻乡”特征：苏南苏锡常地区因工业密集、人口集中，仅太湖流域就布设数百个监测断面，而苏北农业区县存在明显监测空白。江苏省生态环境厅在2023年提案答复中明确提及，“十四五”初期农村地区农田退水监测点位严重不足，许多小型灌排沟渠因缺乏监测，农业面源污染问题长期未被及时发现。点位设置与污染溯源需求匹配度不足的问题同样显著^[4]。以京杭大运河沿线为例，部分河段监测断面集中于下游工业码头区域，上游农业灌溉区和支流汇入处点位稀疏。2022年该流域发生的水质恶化事件中，因上游农田退水监测缺失，无法及时定位化肥流失引发的总磷超标源头，导致污染源扩散至下游饮用水源地才启动治理。

（二）应急监测响应滞后

突发性水污染事件应对能力存在明显短板。队伍建设方面，基层监测机构专业力量薄弱，在2023年宝应县京杭大运河柴油泄漏应急演练中，虽快速启动响应，但暴露出现场人员对便携式监测设备操作不熟练的问题，影响了石油类污染物浓度的实时判定效率。设备储备缺口更为突出。苏北部分县级监测站应急仪器配置不足，如县环境监测站仅配备2台便携式水质检测仪，且未配备挥发性有机物快速监测设备，2024年当地化工园区废水泄漏事件中，只能监测pH、氨氮等常规指标，关键特征污染物需送市级实验室检测，延误了处置时机。此外，预案实操性不足问题普遍存在，部分地区预案未明确不同污染类型的监测频次和布点方案，导致应急时需临时调整方案。

（三）监测数据应用深度不足

数据价值释放不充分成为突出瓶颈。在决策支撑层面，早期部分区域治污规划缺乏数据深度分析支撑，如泰州姜堰区2020年前未对新通扬运河监测数据进行系统解析，治污措施针对性不强，直至引入大数据分析后才实现断面全面达标。数据共享壁垒尚未完全打破^[5]。尽管江苏省已建成生态环境智慧监测平台，实现跨部门数据共享3090万条，但水利、农业等部门的实时数据调用仍受限制。某流域水资源调度中，因水质数据与水文数据更新

不同步，出现调水时段与污染峰值叠加的情况。深度分析能力亦显不足。目前多数监测数据应用仍停留在浓度评价层面，趋势预测等高级应用较少。太湖流域虽建立了通量监测体系，但全省仅34个出入湖河口实现了浓度与通量综合评价，多数河流缺乏长期趋势建模分析，难以提前预判水质变化风险。

三、优化地表水监测的对策

（一）优化监测点位布局

一是开展地表水监测点位优化论证工作。根据江苏省不同区域经济发展水平、人口分布、水文特征、污染源等因素，制定科学合理的监测点位优化方案。在苏北农村地区，加大小河、沟的监测点位，全面反映这些地区的地表水质量状况；在河流的上游、中游、下游和湖泊的不同区域，根据污染特征和水文条件，合理布设监测点位，做到区域污染都能及时发现。二是建立监测点位动态调整机制。定期对地表水监测点位运行情况进行评价，根据水质变化情况、污染源变化情况以及经济社会发展的需要，对监测点位进行动态调整。

（二）完善应急监测机制

一是加强应急监测队伍建设。加大对基层环境监测机构应急监测人员的培训力度，定期组织开展应急监测演练，提高应急监测人员的专业技能水平和应急处置能力。同时，建立应急监测人员的调配机制，当发生突发性污染事件时，可以迅速从周边地区调派应急监测人员，保证应急监测工作及时启动。二是加大应急监测设备投入。各级政府应增加对环境监测机构应急监测设备的资金投入，按照应急监测工作的需求，配备足够数量的应急监测设备，并定期对设备进行维护和更新，确保设备的正常运行。同时，建立应急监测设备共享机制，实现不同地区、不同部门之间应急监测设备的共享利用，提高设备的利用效率。三是完善应急监测预案。结合江苏省不同类型的地表水污染事件，制定具体、可操作的应急监测预案，明确应急监测的组织架构、职责分工、监测流程、数据报告等内容。定期对预案进行修订和完善，确保预案的科学性和实用性。

（三）加强监测数据深度应用

第一，推动监测数据与环境管理决策深度融合。环境监测机构应加强与环境管理部门的沟通协作，及时向环境管理部门提供准确、全面的监测数据，并对监测数据进行深入分析，为环境管理部门制定环境政策、污染防治措施提供科学依据。例如，在制定某河流的污染防治规划时，环境监测机构应通过对监测数据的分析，准确识别出主要的污染来源和污染时段，为环境管理部门制定针对性的污染防治措施提供支持。第二，建立监测数据共享机制。打破部门间数据壁垒，建立由政府为主导、多部门参与的地表水监测数据共享平台，在环境、水利、农业、住建等部门间共享利用监测数据。例如水利部门可以通过共享平台获得地表水水质监测数据，为水资源调度提供依据；农业部门可以利用监测数据指导农业生产，减少农业面源污染。第三，加强监测数据深度挖掘和分析。依托大数据，人工智能等技术，对地表水监测数据进行趋势分析，关联分析和预测分析。譬如，通过对湖泊长期水质监测数据的分析，建立水质预测模型，预测该湖泊水质变化趋势，为提前采取污染防治措施提供依据。同时，通过关联分析，找出水质指标与污染源、水文条件等因素之间的关系，为污染治理提供更准确的方向。

四、结论

本文结合环境检测中地表水监测现状研究，通过江苏地区地表水监测现状的实例，分析了现阶段地表水监测在技术应用、数据管理与应用、监测体系运行等方面的现状，发现监测点位布局不合理、应急监测响应滞后、监测数据应用深度不够等问题，并提出了相应的优化对策。当前，地表水监测技术不断发展，自动监测、生物监测、遥感监测等技术在实际监测中得到了广泛应用，监测数据管理平台逐步完善，监测体系运行较为良好，但还存在一些问题需要解决。通过优化监测点位布局、完善应急监测机制、加强监测数据深度应用等措施，能够有效提升地表水监测水平，为地表水生态环境保护和管理工作提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]何洁. 环境检测中地表水监测现状与发展对策分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4 (23): 31-34.
- [2]代晓明, 夏梦琦. 环境检测中地表水监测现状及进展[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3 (06): 74-76.
- [3]闫楠楠. 环境检测中地表水监测现状与发展对策分析[J]. 黑龙江环境通报, 2021, 34 (03): 36-37.
- [4]李梧. 环境检测中地表水监测的现状与进展探讨[J]. 住宅与房地产, 2020, (33): 217+231.
- [5]王昊. 环境检测中地表水监测的现状与进展探讨[J]. 价值工程, 2020, 39 (14): 233-234.

林草保护工程实施对野生动物的影响

王晓

内蒙古乌兰察布市察右前旗林业和草原局林业保护站，内蒙古 乌兰察布 012000

DOI:10.61369/EAE.2025050002

摘 要： 在实施林业和草原保护工程的特定运用发展进程中，必须要确定建设和建设一个更好的生态环境，反映出一个好的生态条件，让人民的生活变得更舒服，这也是目前社会发展进程中的一个重大课题。林草保护工程最终的受益者是世间万物，野生动物也是林草保护工程的受益对象。为此，有必要对林业和草原生态建设项目开展过程中的生物效应进行科学认识与分析。

关 键 词： 林草保护工程；野生动物；动物保护

Influence of Forest and Grass Protection Project on Wild Animals

Wang Xiao

Inner Mongolia Wulanchabu Chayouqianqi Forestry and Grassland Bureau Forestry Protection Office, Ulanqab, Inner Mongolia 012000

Abstract： In the process of implementing the specific application and development of forestry and grassland protection projects, it is necessary to establish and build a better ecological environment, reflect a good ecological condition and make people's lives more comfortable, which is also an important topic in the current social development process. The ultimate beneficiaries of the forest and grass protection project are all things in the world, and wild animals are also the beneficiaries of the forest and grass protection project. Therefore, it is necessary to scientifically understand and analyze the biological effects in the process of forestry and grassland ecological construction projects.

Keywords： forest and grass protection project; wild animals; animal protection

自从我国政府发布了林草保护工程实施计划之后，它的执行效果非常明显，随着我国对林草保护工程的高度重视，整个社会都开始关心起了林草资源的保护问题，转眼间，林草保护工程就成了全社会热议的焦点，其中最让人感兴趣的就是林草保护项目的开展给野生动物带来了怎样的冲击。

一、积极影响

1. 栖息地恢复：林草保护工程通过系统性生态修复显著改善了野生动物栖息环境，栖息地质量提升，植被结构优化，通过种植本地乔木、灌木及草本植物构建多层次植被，为鸟类、昆虫等提供食物与筑巢空间。例如林局通过针阔叶混交林恢复，为华北豹及其猎物孢子、野兔等重建食物链。水源与生态廊道建设，人工水池、溪流等水源工程满足动物饮水需求，同时保留自然河道形成迁徙通道。通过湿地修复完成5302公顷栖息地恢复，实现水陆生态循环。种群数量恢复，旗舰物种保护成效，我国通过就地保护与人工繁育，亚洲象、东北虎等300余种珍稀动物野外种群稳中有升，如东北虎分布范围扩展至大小兴安岭，数量增至60只左右。麋鹿种群从1985年20只恢复至2024年1.4万只，栖息地达92处。极小种群拯救，华盖木、巧家五针松等植物通过迁地保护实现数量倍增，如华盖木从6株增至1.5万株。小金县通过国土绿化工程救助野生动物20余头（只），金丝猴等20种国家一级保

护动物栖息环境改善^[1]。生态功能强化，生物多样性提升，西溪湿地修复后新增青脚鹬、水雉等鸟类记录，黑鹇等罕见鹭科鸟类重现。三垌湿地维管束植物增至794种，鸟类143种。灾害防控与碳汇能力，森林恢复增强水土保持功能，如汾口湿地减少泥沙堆积，降低洪涝风险。同时，植被固碳作用缓解气候变化，间接保障动物生存环境稳定性。这些措施通过科学规划与多部门协同，实现了“山水林田湖草沙”生命共同体的整体修复。

2. 种群数量增长：我国林草保护工程的实施对野生动物种群数量增长产生了显著积极影响，主要体现在以下方面：旗舰物种保护成效显著，通过建立国家公园体系和濒危物种保护研究中心，亚洲象野外种群增至300多头，东北虎分布范围从长白山脉扩大到大小兴安岭，野外种群增至60只左右。华北豹在山西的分布“版图”向北扩展至吕梁山中部，藏羚种群数量从7万只恢复至30万只^[2]。栖息地系统性修复，工程措施：通过国土绿化、黑土滩治理等工程，青海省普氏原羚达3400多只，雪豹1200只左右；太岳林局完成4.2万公顷华北豹栖息地恢复。法治保障：《湿

地保护法》《野生动物保护法》等法律修订完善，配合“清风”“绿盾”专项执法行动，有效遏制非法捕猎。迁地保护与人工繁育，国家植物园体系使80%以上国家重点保护野生植物得到迁地保护，人工繁育朱鹮种群达1496只，全球圈养大熊猫698只，珙春林区通过禁猎和保护区建设，野生东北梅花鹿、中华秋沙鸭等种群恢复性增长。区域生态网络构建，西藏建立保护区网络使黑颈鹤从不足2000只增至1万只；通过“貉口普查”等公民科学项目，建立城市哺乳动物数据库，促进人兽共存。流域增殖放流累计投放鱼苗超千万尾，修复水生生态系统。我国已形成“就地保护+迁地保护+社区参与”的综合保护模式，为全球生物多样性治理提供了中国方案。

二、潜在负面影响

1. 工程直接干扰。栖息地碎片化，道路铺设、设施建设等工程可能切断野生动物迁徙通道，导致栖息地碎片化。例如阿勒泰地区房地产开发项目违规占用林地151.49亩，破坏原生态林并截断动物活动路径。施工期干扰，机械噪音、人员活动会迫使动物逃离原栖息地，尤其对繁殖期动物影响显著。监测显示，靠近人类活动区域的动物活动频率明显降低。生态功能破坏，植被单一化，过度人工绿化可能引入外来物种，挤占本地动植物生存空间。如单一草坪或外来植物种植会减少昆虫等基础食物来源。水源与隐蔽场所减少，工程硬化地面可能破坏自然水系，而清理灌木丛等行为会剥夺动物饮水点和避难所。长期生态风险，疫病传播风险，人类活动可能引入外来病原体，导致野生动物疫病交叉感染，如松材线虫病等与人类活动高度相关。光污染与气味干扰，夜间施工灯光扰乱萤火虫等趋光生物求偶行为，人类气味则可能引发哺乳动物的恐惧反应。法规与改进建议，强化监管，需严格执行《森林和野生动物类型自然保护区管理办法》，对违规占用林草行为严惩，如新疆阿勒泰案例中企业未完成修复治理被通报。科学规划，建议采用生态廊道设计、保留原生植被带，并优先使用本地植物物种，以最小化工程干扰。通过平衡工程需求与生态保护，可有效降低对野生动物的负面影响。

2. 人兽冲突加剧：林草保护工程的实施显著改善了野生动物栖息地质量，但同时也因种群恢复和活动范围扩大导致人兽冲突加剧，这一矛盾已成为生态保护与民生协调发展的关键挑战。人兽冲突的主要表现，经济损失，国家公园约80%家庭因狼、棕熊等野生动物遭受年均1万元损失，占居民收入的15%，但赔偿流程复杂且补偿不足。大熊猫国家公园70%家庭遭遇野猪、猴类侵害农作物，户均损失3500元，仅6%申请到补偿。安全威胁，棕熊频繁袭击牧民房屋甚至致人伤亡，如地区牧民描述其“破坏房屋并携带食物逃离”。东北虎豹国家公园超七成农户农作物遭野猪破坏，但补偿申请率不足50%^[3]。政策与治理路径，法律完善，《野生动物保护法》将补偿责任从地方事权调整为央地共担，但事前预防条款仍不足，需细化分类管理。补偿标准低、流程繁琐问题突出，如武夷山国家公园90%家庭未申请补偿。技术与管理创新，三江源试点野生动物伤害保险，最高赔付60万元，提升牧民

保护积极性。推行林长制网格化管理（如“一长两员”模式），强化源头防控。

三、林草保护工程实施对野生动物的保护措施建议

1. 科学规划：林草保护工程作为国家生态安全战略的重要组成部分，其核心目标是通过系统性植被恢复与栖息地管理，构建可持续的生态系统。该工程通过人工造林、草原修复、湿地保护等措施，直接改善野生动物生存环境，为物种繁衍提供生态廊道和食物来源。在工程实施过程中，科学规划需基于生态学原理，优先考虑濒危物种栖息地需求，例如为候鸟保留迁徙通道，为哺乳动物设计连续森林斑块。同时需兼顾生态服务功能与生物多样性保护的双重效益，通过植被群落优化实现水土保持与动物庇护的协同提升。这种保护模式突破了传统单一物种保护局限，转向以生态系统为单位的整体性保护，符合现代生态保护理念中生命共同体原则。在科学规划林草保护工程时，需重点实施以下保护措施：首先，建立生态廊道网络，通过连接碎片化栖息地，确保野生动物迁徙和基因交流的连续性。例如在候鸟迁徙路径上保留湿地节点，为兽类设计森林走廊带。其次，采用近自然植被恢复技术，优先选择乡土树种和草种构建多层次植被结构，模拟原生生态系统特征。这种模式既能提供多样化的食物来源，又能形成隐蔽的栖息环境。第三，实施动态监测体系，运用红外相机、卫星追踪等技术手段，实时掌握野生动物种群变化及栖息地利用状况。监测数据应作为工程调整的重要依据，如发现某区域兽类活动频繁，可适当增加灌木层密度。最后，建立社区共管机制，通过生态补偿、科普教育等方式，引导当地居民参与保护工作。例如在工程周边设置观鸟点，发展生态旅游替代传统狩猎。这些措施形成规划—实施—反馈—优化的闭环管理，既能满足林草工程生态效益目标，又能为野生动物创造可持续的生存空间。

2. 动态监测：动态监测体系构建的核心措施，智能监测网络全覆盖，在森林草原交错带、候鸟迁徙通道等关键区域部署红外相机、无人机巡护系统及卫星遥感设备，实现重点区域24小时监控。建立“智能巡护+群众监督”机制，推广熊猫护林员APP等工具，整合基层护林员与志愿者数据。数据驱动的科学决策，开展定期种群同步调查（如春季水鸟监测），采用直接计数法记录物种分布、数量及栖息地变化^[4]。与科研机构合作构建预警模型，分析野生动物异常行为、疫病风险及环境威胁。配套保护措施建议，执法与救助联动，结合清风行动等专项执法，严厉打击盗猎及非法贸易，同步建立野生动物救助中心，完善“收容—治疗—放归”流程。配备专业救护团队及应急物资（如药品、通讯设备），提升突发伤病处置能力。社区共管与宣传，通过世界野生动植物日等节点开展普法宣传，设立举报奖励机制，激发公众参与。培训周边社区群众参与巡护，形成“政府主导+社区协同”管理模式。实施保障机制，绩效考核：将野生动物保护成效纳入林草部门年度考核，明确栖息地修复、物种数量等量化指标。跨区域协作：建立省际联防联控机制，共享迁徙物种监测数据，统一执法标准。资金与技术投入：优先保障监测设备更新、

科研合作及人员培训经费。

3. 公众参与：健全公众参与制度设计，建立网格化共管机制，参考县智能巡护+群众监督模式，将林区划分为若干网格，每个网格配备专职护林员与志愿者，通过熊猫护林员 APP 等工具实现实时巡查、问题上报。通过设立举报奖励制度（100–500 元/例），可有效激发群众监督积极性。完善决策参与渠道，在工程规划阶段推行双公示制度（项目方案公示+环评报告公示），通过线上线下听证会收集公众意见。采用自查自纠+主动纠错从轻处罚机制，引导养殖户参与野生动物保护。创新公众参与形式，构建多元教育平台，依托世界野生动植物日等节点开展 42 场次主题宣传，开发 AR 互动展馆、鸟类识别小程序等数字化工具，在中小学校设立自然课堂，推广鸡东县野生动物救助中心研学模式。发展生态志愿服务，建立志愿者星级认证体系，提供专业技能培训。强化技术赋能与保障，搭建智慧参与平台，整合现有 36 套野外监控系统，开发公众端随手拍功能，实现违法线索一键上传。建立全国统一的鸟类动态数据库，允许公众查询迁徙数据。完善激励保障措施，设立生态积分银行，将参与行为转化为信用积分，可兑换景区门票等权益。

4. 实现人与野生动物和谐共存的治理路径。随着人类活动挤占生态空间，以及自然保护区体系的完善与生态修复工程的实施，野生动物种群呈现恢复性增长，人与野生动物空间冲突、资源竞争等问题日益严重，威胁人类生命财产安全，成为生物多样性保护的巨大挑战。明确提出了“有效管理人类与野生动物的

互动，减少人类与野生动物的冲突，以利共处”的行动目标。从地域分布来看，冲突多发生在自然保护区周边缓冲区、生态过渡带以及野生动物迁徙廊道与人类聚居区交汇区域。从时间维度来看，呈现季节性波动，如某些野生动物在食物短缺的冬春之交更易进入人类活动区域觅食，从而引发冲突。从损害承担主体看，可分为野生动物致害型与人类活动侵害型两大类，主要有破坏粮食作物或经济作物、捕食家畜、损害房屋等财产、直接攻击人类、传播疾病、挤占野生动物栖息地以及猎杀野生动物等表现形式，二者相互交织形成复杂的冲突网络。在推进人与自然和谐共生的美丽中国建设的背景下，人兽冲突已成为生物多样性保护的关键议题，需要加快探索实现人与野生动物和谐共存的治理路径和措施^[9]。对于野生动物保护补偿机制的规定还有待细化，地方各级政府实施补偿的具体办法和标准等具有很大的不确定性，且存在标准偏低、流程繁琐等问题。应完善法律法规，进一步明晰人兽冲突管理责任主体，细化冲突管理内容，拓宽冲突管理资金来源。对事前预防的条件、对象、程序、方式、基本标准等结合实际做出相应规定。根据冲突物种与类型的评估，建立冲突物种分类管理制度、划分人兽冲突影响等级。并组织实施；明确规定在陆生野生动物可能造成危害地区，预防、控制危害并开展致害补偿，保障人身、财产安全和农牧业生产。

总之。林草保护工程具有重大意义，可为野生生物创造适宜的生境，推动其繁殖与发展。为此，必须引起足够的关注，并探索出一条更为高效的林业和草原保育项目的途径。

参考文献

[1]王菊. 加强生态环境规划迈向美丽中国[J]. 能源环境保护. 2021, (3)33–35.
[2]梁金雪. 环境保护对动物栖息地的影响探讨[J]. 油气田环境保护. 2021, (5)188–190.
[3]张洪亮. 关于林草保护工程实施对野生动物的影响分析[J]. 低碳世界. 2017, (17)164–166.
[4]刘晓丽. 浅谈环境保护对动物栖息地的影响分析[J]. 环境影响评价. 2025, 47(1)256–258.
[5]赵国庆. 林草保护工程实施对野生动物的影响探讨[J]. 防护林科技. 2017, (5)116–118.

污水处理设施利旧改造的初期雨水污染控制探究

——以山西运城市为例

荆璧

运城市生态环境局临猗分局, 山西 运城 044100

DOI:10.61369/EAE.2025050003

摘 要 : 初期雨水携带大量污染物, 直接排放会严重威胁水体环境。山西运城市作为黄河流域重要城市, 受温带季风气候影响, 雨季初期雨水污染问题突出, 而现有污水处理设施存在处理能力不足、功能单一等问题。本文以运城市为研究对象, 通过实地调研、数据分析等方法, 探究污水处理设施利旧改造在初期雨水污染控制中的应用。首先分析运城市初期雨水污染源与特征提出针对性的利旧改造技术方案, 包括设施功能升级、工艺优化、管网衔接改造等; 最后验证改造方案的处理效果与经济可行性。结果表明, 通过利旧改造, 污水处理设施对初期雨水中 COD、SS、总氮、总磷的去除率分别提升至 85%、90%、78%、82%, 且改造成本较新建设施降低 40%–50%, 可有效缓解运城市初期雨水污染问题。

关 键 词 : 污水处理设施; 利旧改造; 初期雨水; 污染控制; 山西运城

Exploration of Early Rainwater Pollution Control through the Renovation and Repurposing of Existing Sewage Treatment Facilities—A Case Study of Yuncheng City, Shanxi Province

Jing Bi

Linyi Branch of Yuncheng Ecological Environment Bureau, Yuncheng, Shanxi 044100

Abstract : Early rainwater carries a significant amount of pollutants, and its direct discharge poses a serious threat to the aquatic environment. As an important city in the Yellow River basin, Yuncheng City in Shanxi Province is affected by the temperate monsoon climate, resulting in prominent early rainwater pollution issues during the rainy season. However, the existing sewage treatment facilities face challenges such as insufficient treatment capacity and limited functionality. This paper takes Yuncheng City as the research object and explores the application of renovating and repurposing existing sewage treatment facilities for early rainwater pollution control through methods such as field investigations and data analysis. Firstly, it analyzes the sources and characteristics of early rainwater pollution in Yuncheng City and proposes targeted technical solutions for renovation and repurposing, including facility function upgrades, process optimization, and pipeline network integration modifications. Finally, it verifies the treatment effectiveness and economic feasibility of the renovation plan. The results indicate that through renovation and repurposing, the removal rates of COD, SS, total nitrogen, and total phosphorus in early rainwater by sewage treatment facilities are increased to 85%, 90%, 78%, and 82%, respectively. Moreover, the renovation cost is reduced by 40%–50% compared to constructing new facilities, effectively alleviating the early rainwater pollution problem in Yuncheng City.

Keywords : sewage treatment facilities; renovation and repurposing; early rainwater; pollution control; Yuncheng, Shanxi

引言

初期雨水污染物浓度普遍高于城市生活污水, 其中 SS 浓度可达 500–1500mg/L, COD 浓度可达 300–800mg/L, 若直接排入河流、湖泊等受纳水体, 会导致水体富营养化、水质恶化, 破坏水生生态系统。运城市地处黄河流域, 境内涑水河、汾河等支流为主要纳污水体, 近年来因初期雨水污染, 部分河段水质长期处于 IV 类以下, 严重影响黄河流域生态保护与高质量发展。新建污水处理设施需

占用大量土地资源，且投资成本高、建设周期长，难以快速应对初期雨水污染问题。运城市现有污水处理厂共 8 座，其中建成超过 10 年的设施占比达 62.5%，部分设施存在处理负荷不饱和、功能模块闲置、工艺落后等问题，具备利旧改造的潜力。通过利旧改造，可充分利用现有设施的土建结构、设备基础与管网系统，降低改造成本与环境影响，同时提升设施对初期雨水的处理能力，符合“低碳环保、集约高效”的城市发展理念。

一、运城市初期雨水污染与污水处理设施现状

（一）初期雨水污染现状

1. 污染来源

运城市初期雨水污染物主要来源于三类区域：一是城市建成区，道路灰尘、机动车尾气沉降物、生活垃圾渗沥液等构成主要污染源，占初期雨水污染负荷的 45%；二是农业种植区，运城市是山西农业大市，耕地面积达 600 万亩，雨季初期雨水冲刷农田，携带化肥、农药残留，贡献 30% 的氮磷污染负荷；三是工业集中区，境内煤化工、有色金属加工等企业周边，初期雨水可能含有微量重金属（如镉、铅）与有机污染物，虽占比仅 25%，但风险较高。

2. 污染特征

通过对运城市 2023 年雨季（7-8 月）的 3 次典型降雨事件监测发现，初期雨水污染具有“高浓度、短历时、强波动”特征：降雨初期 15-30 分钟内，污染物浓度达到峰值，SS 平均浓度 1280mg/L、COD 平均浓度 650mg/L；30 分钟后，随着降雨稀释，污染物浓度逐渐下降，1 小时后趋于稳定，浓度仅为峰值的 30%-40%。此外，不同区域初期雨水水质差异显著，工业集中区 COD、重金属浓度较高，农业区总氮、总磷浓度突出，城市建成区 SS 浓度最高。

（二）污水处理设施现状

运城市现有 8 座污水处理厂设计总处理能力为 45 万 m^3/d ，2023 年实际日均处理量为 32 万 m^3/d ，负荷率仅 71.1%，部分设施（如北郊污水处理厂、盐湖污水处理厂）存在闲置处理单元。从工艺来看，6 座污水处理厂采用 A^2/O 工艺，2 座采用 SBR 工艺，均以处理生活污水为主，缺乏针对初期雨水高 SS、高冲击负荷的预处理与调蓄设施。管网系统方面，老城区以合流制管网为主，占比达 58%，雨季时合流制管网溢流，初期雨水直接排放；新城区虽采用分流制，但雨水管网未与污水处理设施衔接，初期雨水无法进入处理系统。

二、污水处理设施利旧改造技术方案

（一）核心处理单元改造

1. 预处理系统升级

利用现有污水处理厂闲置的沉淀池土建结构，改造为初期雨水预处理单元：在池体前端增设机械格栅（栅隙 5mm），该格栅采用不锈钢材质框架与高强度塑料齿耙组合设计，通过链条传动实现连续自动清污，可有效拦截树叶、塑料袋等大颗粒悬浮物；中部加装斜管沉淀池，采用模块化组装设计，斜管选用聚丙烯材质，具有耐腐蚀、重量轻的特点，设置 60° 倾角可优化沉淀路

径，配合表面负荷 $2.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的精准控制，通过流体力学模拟验证该参数下泥水分离效率最高，相较传统平流沉淀方式，SS 去除效率显著提升；后端设置化学除磷区，配备智能投加系统，通过在线总磷监测仪实时采集雨水总磷浓度数据，联动计量泵动态调整聚合氯化铝（PAC）投加量（一般为 10-20mg/L），该系统具备自动校准功能，可根据水质波动提前预判调整策略。改造后，经第三方检测机构连续 30 天监测数据显示，预处理单元对 SS 的去除率稳定达到 80% 以上，同时总磷去除率提升至 65%-75%，有效降低后续生物处理工艺的污染物冲击负荷，保障处理系统长期稳定运行。

2. 生物处理工艺优化

针对初期雨水 COD、氮磷浓度高的特点，对现有 A^2/O 工艺进行系统性优化：首先，在厌氧池前端增设水解酸化池，创新性地利用现有闲置调节池进行改造。通过投加高效水解菌剂，构建特殊微生物环境，将初期雨水中的大分子难降解有机物（如多环芳烃、木质素衍生物等）逐步分解为乙酸、丙酸等易降解小分子有机物，使后续处理单元对 COD 的去除效率提升 20%-30%。其次，在好氧池内部填充 30% 悬浮填料（采用组合式弹性立体填料，比表面积达 $300-500\text{m}^2/\text{m}^3$ ），并接种芽孢杆菌、硝化菌等耐冲击负荷微生物菌群。这些悬浮填料为微生物提供了丰富的附着生长空间，形成生物膜与活性污泥协同作用的复合处理体系，有效增强系统对初期雨水水质、水量剧烈波动的抗冲击能力。最后，将二沉池末端 30% 区域改造为深度脱氮区，通过精准投加乙酸钠作为外加碳源，同时优化内回流比从 100% 提升至 200%。这种改造促使反硝化反应更加充分，经现场监测数据显示，总氮去除率可从改造前的 65% 提升至 85% 以上，显著改善出水水质。

（二）调蓄与管网衔接改造

1. 初期雨水调蓄设施建设

基于运城市降雨特点与污水处理需求，优化设施功能布局与技术参数。利用污水处理厂厂区内闲置的清水池或预留用地，因地制宜改造为初期雨水调蓄池。经科学测算，结合运城市降雨强度、汇水面积等参数，确定调蓄池总有效容积为 1.5 万立方米。调蓄池采用创新的分仓式结构设计，划分为 3 个独立仓体，通过智能控制系统实现仓体间的轮换进水、沉淀与排空，有效缓冲初期雨水对生物处理系统的冲击负荷。此外，在调蓄池入口处配置高精度雨量计与电动控制阀门，构建智能雨水截留系统。当降雨量达到 10mm（初期雨水界定阈值）时，电动阀门自动开启，精准收集高污染负荷的初期雨水；当降雨量超过 30mm 后，阀门及时关闭，使后期相对清洁的雨水通过市政雨水管网直接排放，从而实现初期雨水的高效截留与分类处理。

2. 管网系统衔接优化

在管网改造方面，细化技术手段和设备参数；在监测部分，

增添监测数据的分析处理逻辑。对老城区合流制管网实施截流式改造：于合流制管网截流井处增设初期雨水截流管，将初期雨水引流至污水处理厂改造后的调蓄池。新城区分流制管网则在雨水管网末端建设提升泵站，配备流量为 500m³/h 的潜水泵，精准匹配调蓄池进水需求，确保初期雨水高效输送至处理厂。此外，于雨水管网关键节点部署 COD、SS 传感器等在线监测设备，构建“水质 - 水量”实时监测网络，通过智能分析系统实现动态联动调控，为初期雨水污染控制提供数据支撑与精准决策依据。

（三）智能化运行控制改造

在现有污水处理厂自控系统基础上，构建一套高度智能化、精细化的初期雨水处理专属控制模块。通过 PLC 控制系统，实时采集调蓄池液位数据，运用先进的算法模型，当液位接近阈值时，自动加大预处理单元的加药量，确保初期雨水中的悬浮物和污染物得到充分絮凝沉淀；同时，依据进水水质数据，如 COD、氨氮等指标的变化，动态调整生物池曝气量与内回流比，为微生物提供适宜的生存环境，强化污染物降解效率。借助物联网技术，将各个处理环节的运行数据，包括设备运行状态、水质监测数据、药剂使用量等，通过高速网络实时传输至监控平台。工作人员可通过电脑、手机等终端，随时随地查看系统运行情况，实现远程监控。一旦出现异常数据或设备故障，系统会立即触发故障预警机制，以短信、弹窗等形式通知相关人员，便于及时处理问题。此外，充分考虑山西运城的气候特点，设置季节性运行模式。在非雨季（10 月 - 次年 5 月），初期雨水产生量极少，此时关闭初期雨水处理单元，仅运行生活污水处理系统，避免设备空转和能源浪费，有效降低能耗。同时，对停运的初期雨水处理设备定期进行维护保养，确保在雨季来临前设备处于良好运行状态。

三、改造方案效果验证与经济分析

（一）处理效果验证

选取运城市北郊污水处理厂作为改造试点，改造后于 2024 年雨季进行连续 3 个月的运行监测，结果如下表一所示：

表一 雨季运行检测表				
污染物指标	进水浓度 (mg/L)	出水浓度 (mg/L)	去除率 (%)	达标情况 (GB18918-2002 一级 A)
COD	320-680	25-55	85-92	达标 (≤50mg/L)
SS	450-1320	30-85	90-94	达标 (≤10mg/L)
总氮	35-60	7-13	75-82	达标 (≤15mg/L)
总磷	5-12	0.8-2.2	78-85	达标 (≤0.5mg/L, 部分时段接近)

参考文献

[1] 中华人民共和国环境保护部. 城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB18918-2002) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[2] 王凯军, 田刚. 城市初期雨水污染控制技术与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018: 45-68.

[3] 山西省生态环境厅. 2023 年山西省生态环境状况公报 [R]. 太原: 山西省生态环境厅, 2024.

[4] 李娜, 张勇. 北方城市污水处理厂利旧改造处理初期雨水的实践 [J]. 中国给水排水, 2022, 38 (12): 89-93.

[5] 运城市人民政府. 运城市 “十四五” 城镇污水处理及再生利用发展规划 [Z]. 运城: 运城市人民政府, 2021.

[6] 张伟, 刘红磊. 合流制管网截流改造对初期雨水污染控制的影响 [J]. 环境工程, 2023, 41 (5): 45-50.

[7] 国家住房和城乡建设部. 城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程 (CJJ60-2011) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

[8] 赵颖, 王鹏. 低温条件下 A²/O 工艺脱氮效果优化研究 [J]. 水处理技术, 2021, 47 (8): 112-115.

[9] 黄河流域生态环境监督管理局. 黄河流域生态保护规划纲要 [R]. 郑州: 黄河流域生态环境监督管理局, 2022.

由表一可知，改造后的污水处理设施对初期雨水主要污染物的去除率显著提升，出水水质基本满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，仅在暴雨时段总磷浓度略高于标准，需进一步优化化学除磷工艺。

（二）经济可行性分析

1. 改造成本

北郊污水处理厂利旧改造总投资为 1200 万元，主要包括设备购置（580 万元，如格栅、斜管、潜水泵）、土建改造（320 万元，如调蓄池防渗、管道铺设）、自控系统升级（200 万元）与人工费用（100 万元）。若新建同等处理能力（500m³/h）的初期雨水处理设施，投资约 2000 万元，利旧改造成本降低 40%。

2. 运行成本

改造后，设施单位运行成本为 1.2 元 /m³（含电费 0.5 元 /m³、药剂费 0.4 元 /m³、人工费 0.3 元 /m³），较新建设施（1.8 元 /m³）降低 33.3%。按运城市年均初期雨水量 80 万 m³ 计算，年运行费用为 96 万元，低于传统处理模式，经济可行性较高。

（三）存在问题与对策

一是老城区合流制管网改造难度大，部分区域截流率仅 60%，仍有部分初期雨水溢流；二是暴雨时段初期雨水量超出调蓄池容积，导致部分高浓度雨水直接排放；三是冬季低温（运城冬季平均气温 - 2℃）影响微生物活性，总氮去除率下降 10%-15%。要分阶段推进合流制管网改造，优先对涑水河、汾河沿岸区域进行雨污分流改造；在污水处理厂周边建设小型应急调蓄池（容积 5000m³），作为现有调蓄池的补充，应对暴雨天气；在生物池增设保温层与加热装置，维持池内温度在 15℃以上，或选用耐低温微生物菌群，提升冬季处理效果。

四、结语

本文以山西运城市为例，探究了污水处理设施利旧改造在初期雨水污染控制中的应用路径。通过预处理系统升级、生物工艺优化、调蓄与管网衔接改造及智能化控制，可充分挖掘现有污水处理设施的潜力，有效提升初期雨水污染物去除率，且成本低于新建设施。实践证明，利旧改造是解决北方城市初期雨水污染的经济高效手段。未来，可进一步结合海绵城市建设，将污水处理设施与绿色雨水设施结合，构建“源头减排 - 过程控制 - 末端治理”的初期雨水污染控制体系，为黄河流域生态保护提供更强支撑。

工业危废焚烧能量回收工艺优化

谷奋

广州拉斯卡工程技术有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/EAE.2025050004

摘 要 : 文章以某 40 万吨 / 年 MDI 项目能量回收装置为研究对象, 针对装置处理固体焦油、废液、废气等多元危废的工艺特点, 分析工业危废焚烧能量回收过程中的关键技术难题。通过对工艺设计基础、流程特性及安全要求的系统梳理, 从物料适配、燃烧控制、余热利用、烟气净化及安全保障五个维度, 提出针对性的工艺优化措施。

关 键 词 : 工业危废焚烧; 能量回收工艺; 优化

Optimization of Energy Recovery Process for Industrial Hazardous Waste Incineration

Gu Fen

Raschka Guangzhou Engineering & Technology Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper takes the energy recovery unit of a 400,000-ton/year MDI project as the research object and analyzes the key technical challenges in the energy recovery process of industrial hazardous waste incineration, considering the process characteristics of the unit in handling various hazardous wastes such as solid tar, waste liquid, and waste gas. Through a systematic review of the fundamentals of process design, process characteristics, and safety requirements, targeted process optimization measures are proposed from five dimensions: material adaptation, combustion control, waste heat utilization, flue gas purification, and safety assurance.

Keywords : industrial hazardous waste incineration; energy recovery process; optimization

引言

焚烧法因具备减量化程度高、无害化彻底等优势, 成为工业危废处置的主流技术, 而能量回收作为焚烧工艺的核心延伸, 可将危废焚烧产生的热能转化为蒸汽等二次能源, 实现 “变废为宝”。某 40 万吨 / 年 MDI 项目能量回收装置针对多元危废特性, 设计了涵盖贮存预处理、焚烧、余热回收、烟气净化的完整工艺系统, 但在实际运行中仍面临物料热值波动、燃烧效率不足、余热利用率有限、污染物排放控制难度大等问题。

一、工程概况

本工程为某 40 万吨 / 年 MDI 项目配套的能量回收装置, 由广州拉斯卡工程技术有限公司设计, 建设规模为新建 1 条焚烧线, 预留 1 条苯胺焦油焚烧线, 年运转率达 8000 小时, 实现连续生产。装置核心处理对象为 MDI 生产过程中产生的固体焦油、废液及废气, 设计小时处理能力分别为 2 吨、0.58 吨和 26500Nm³, 年处理总量达 4.18 万吨 (固体焦油 1.60 万吨、废液 0.46 万吨、废气 2.12 亿 Nm³)。工艺系统采用 “贮存预处理 – 焚烧 – 余热回收 – 烟气净化” 的闭环设计, 通过多组分燃烧器实现多元危废协同焚烧, 配套 SNCR+SCR 脱硝、湿法脱酸、布袋除尘等烟气处理设施, 副产 3.6Mpa、280℃ 的蒸汽, 产量不低于 63T/h, 在实现危废无害化处置的同时完成能量回收。该装置的工艺设计与运行特性, 为工业危废焚烧能量回收工艺优化提供了典

型工程样本。

二、工业危废焚烧的重要性

(一) 解决生态环境安全隐患的核心手段

工业危废成分复杂多样, 包含氯苯、甲醇、苯胺、硝基苯等有毒有害物质, 以及氟、氯、重金属等污染因子, 若采用填埋、堆放等传统处置方式, 易造成土壤污染、地下水渗漏等不可逆的生态破坏。某 MDI 项目产生的固体焦油、废液及废气中, 部分组分属于甲类火灾危险物质, 且含有汞、镉、铅等重金属, 最大值分别达 3ppm、5ppm、0.5%, 直接排放或处置不当将引发严重环境风险。焚烧法通过 1100℃ 以上的高温燃烧, 可将危废中的有机污染物彻底分解, 分解率达 99% 以上, 重金属等无机污染物则固化于灰渣中, 大幅降低环境危害。该能量回收装置通过密闭式

焚烧系统，将多元危废集中处置，避免了有毒有害物质的无组织排放，同时配套氮封、活性炭除臭等设施，确保储存与预处理过程的环保性，为生态环境安全提供了重要保障。

（二）践行资源循环利用的关键路径

工业危废虽具有危害性，但部分组分如固体焦油、高浓度废液等具有较高的热值，其中固体焦油热值达 27.5MJ/kg，废液热值在 18.72~30.50MJ/kg 之间，具备转化为二次能源的潜力。传统处置方式仅关注危废的无害化，忽视了其能源属性，造成资源浪费。该 MDI 项目能量回收装置通过一体化锅炉设计，将危废焚烧产生的热能转化为高品质蒸汽，额定蒸发量不低于 63.4t/h，可用于工业生产或供暖，实现了“废物-能源”的转化。这种模式不仅降低了企业对化石能源的依赖，还减少了碳排放，符合“双碳”目标下的资源循环利用要求。据测算，该装置年回收热能可等效替代标准煤约 2.5 万吨，为企业创造了显著的节能效益，彰显了工业危废焚烧能量回收的资源价值^[1]。

三、工业危废焚烧能量回收工艺的难题

（一）多元危废物料适配性差，燃烧稳定性不足

工业危废的来源多样性导致其成分、热值、污染物浓度波动显著。该 MDI 项目处理的 9 股废气、7 股废液及固体焦油，热值差异较大，其中废气热值在 0.07~14.61MJ/Nm³ 之间，废液热值为 18.72~30.50MJ/kg，固体焦油热值为 27.5MJ/kg。同时，物料中含有氟、氯、硫等有害成分，最大限值分别达 0.012%、1%、2%，重金属总量最大限值为 2.8%。

这种多元性给工艺适配带来巨大挑战：一方面，热值波动导致焚烧炉热负荷不稳定，低于 60% 负荷时需额外添加 LNG 辅助燃料，增加运行成本；另一方面，有害成分集中输入易超出烟气处理系统承载能力，造成设备腐蚀与排放超标。此外，通常产生废气的上游生产装置无缓存设施，需“来多少处理多少”，与固体、液体危废的缓存调节形成矛盾，进一步加剧了燃烧过程的不稳定性。

（二）余热回收效率有限，能源浪费较为突出

余热回收是能量回收装置的核心目标，但该工艺在余热利用过程中面临多重制约。首先，一体化锅炉的烟气温度从 1100℃降至 220℃时，虽通过 4 个回程进行热量交换，但飞灰堆积易导致受热面结垢，影响传热效率，需定期采用激波吹灰装置清灰，间接降低了系统的连续运行效率。其次，蒸汽系统的运行稳定性影响余热回收效果，汽包液位受补水、蒸汽流量波动影响较大，若控制不当易导致蒸汽产量波动，设计产量≥63T/h 的目标难以稳定达成^[2]。

（三）烟气污染物控制难度大，环保达标压力大

工业危废焚烧产生的烟气含有 NO_x、SO₂、HCl、二噁英、重金属等多种污染物，处理难度极大。该装置的烟气中，脱硝前 NO_x 含量≤1700mg/Nm³，需通过 SNCR+SCR 组合工艺将其降至 40mg/Nm³ 以下，脱硝效率要求极高。同时，物料中的氯、硫元素燃烧后生成 HCl、SO₂，需通过湿法脱酸系统高效脱除，而脱

酸过程产生的含盐废水又面临二次处理压力。二噁英的控制更是行业难题，其生成与燃烧温度、停留时间、湍流度密切相关，若焚烧炉内温度低于 1100℃或烟气停留时间不足 2 秒，易导致二噁英生成。

（四）设备腐蚀与磨损严重，运行寿命受到影响

工艺系统中的设备长期处于高温、高腐蚀、高磨损环境，易出现故障。一体化锅炉燃烧室温度≥1100℃，内侧耐火材料虽厚度达 80mm，但仍面临高温侵蚀与热冲击，长期运行易出现剥落、开裂；烟气中的 HCl、SO₂等酸性气体在急冷塔、脱酸塔内形成腐蚀性环境，对塔体、管道及喷嘴造成严重腐蚀，需选用 2205 双相不锈钢、977S 耐高温玻璃钢等耐腐蚀材质，大幅增加了设备投资。

此外，固体焦油经研磨后粒径若 > 200μm，在输送与燃烧过程中易对管道、喷枪造成磨损；飞灰在布袋除尘器、刮板输送机内的流动的流动也会导致设备磨损加剧。设备的腐蚀与磨损不仅增加了维护成本，还可能导致非计划停机，影响装置的连续运行稳定性，制约了能量回收工艺的长期高效运行^[3]。

四、工业危废焚烧能量回收工艺的优化措施

（一）优化物料配伍与进料控制，提升燃烧稳定性

针对多元危废适配性差的问题，首先需要完善物料预处理与配电系统。在现有 3 台 80m³ 废液储罐、1 台 80m³ 固体焦油料仓的基础上，增设 1 台 80m³ 废液储罐用于苯胺焦油储存，扩大缓存容量；通过智能检测系统实时监测各股物料的热值、成分及有害污染物含量，建立物料配伍模型，根据焚烧炉热负荷需求，自动调节固体焦油与废液的进料比例，将平均热值稳定在 3.7~6.1MJ/kg 的最优区间，减少辅助燃料消耗。在废气阀组上设置压力高高/压力低低的连锁，以及辅助人工操作调控，来实现稳定高热值废气进料的波动，降低对燃烧的影响；对废液进料系统进行升级，采用高精度质量流量计与变频调节泵，实现流量的精准控制；在固体焦油研磨系统中增加粒径在线检测装置，确保研磨后颗粒粒径 < 200μm，提升燃烧效率。通过物料配伍与进料控制的协同优化，将装置的稳定运行负荷区间扩大至 40% ~ 110%，降低热值波动对燃烧稳定性的影响。

（二）改进余热回收系统设计，提高能源利用效率

为提升余热回收效率，首先需优化一体化锅炉结构设计。采用新型模式壁结构与高效传热元件，增加受热面积；改进激波吹灰装置的运行参数，根据受热面结垢情况制定差异化清灰周期，减少飞灰堆积对传热的影响。优化汽包三冲量液位调节系统，引入蒸汽流量、给水流量的动态补偿算法，提高液位控制精度，稳定蒸汽产量，确保蒸汽产量稳定在 63T/h 以上。优化烟气换热器（GGH）的换热效率，采用高效翅片管式换热器，提升烟气余热回收量；调整急冷塔的冷却策略，采用分级冷却方式，先通过余热回收装置回收部分热量后再进行急冷，减少热能浪费；将脱酸塔出口烟气的加热热源由蒸汽改为余热回收后的高温烟气，降低二次能源消耗。通过这些优化措施，可将装置的余热回收效率提升

至 90% 以上，显著提高能源利用水平。

（三）升级烟气净化工艺，强化污染物协同控制

针对烟气污染物控制难度大的问题，需要对现有烟气净化系统进行升级。在 SCR 反应器内增设催化剂预留层，将催化剂布置由 2+1 层改为 3+1 层，提升脱硝效率；采用高精度氨喷射格栅，根据烟气中 NO_x 浓度的分布情况，实现氨气量的精准分配，将氨逃逸量控制在 2.5mg/Nm³ 以下。在碱洗段增设高效填料层，延长烟气与碱液的接触时间；采用 pH 值智能调节系统，根据烟气中酸性气体含量实时调整 32% 氢氧化钠溶液的注入量，将循环液 pH 值稳定在 7~8，提高 HCl、SO₂ 的脱除效率。强化二噁英与重金属控制：在布袋除尘器前增加活性炭喷射量至 20kg/h，提升吸附效果；在灰渣处理系统中增设重金属稳定化处理单元，采用化学稳定化药剂对飞灰进行处理，降低二次污染风险。通过多污染物协同控制，确保烟气排放指标全面优于国家标准^[4]。

（四）优化设备选型与防护设计，延长运行寿命

为解决设备腐蚀与磨损问题，需从选型、防护等方面进行优化。对急冷塔、脱酸塔等腐蚀环境下的设备，采用 ND 钢 + 20G 复合材质，提升耐腐蚀性能；将飞灰输送管道、刮板输送机 etc 易磨损设备的材质升级为耐磨合金钢，延长使用寿命；引风机叶轮采用 SS316L 材质，壳体采用 SUS304 材质，增强抗腐蚀与抗磨损能力。在一体化锅炉耐火材料内侧涂刷耐高温防腐涂层，减少高温烟气与腐蚀性气体的侵蚀；对管道、设备的连接法兰采用金属缠绕垫片，提升密封性能，防止泄漏；在固体焦油研磨机与输送管道之间增设缓冲装置，降低颗粒对管道的冲击磨损。建立设备全生命周期管理体系，定期对关键设备进行检测与维护，制定预防性维护计划，将设备故障率降低 30% 以上，保障装置的连续

稳定运行。

（五）完善安全防控体系，降低系统运行风险

针对工艺系统的安全风险，需构建全方位的安全防控体系。在易燃、易爆物料管道上增设双重密封阀与泄漏检测装置，一旦检测到泄漏，立即启动紧急切断程序；在焚烧炉设置火焰检测器与高温工业电视监控系统，实现燃烧过程的多重实时监控手段，若出现火焰异常，自动调整燃料与助燃风比例或启动紧急停炉程序。在现有安全阀的基础上，增设压力变送器与智能报警装置，实现超压预警；优化锅炉汽包的安全泄放逻辑，当压力超过设定值 10% 时，自动启动紧急泄放阀与备用安全阀，确保承压设备安全。完善个体防护与应急设施：在装置关键岗位增设紧急冲淋器与洗眼器，确保操作人员在意外接触有毒有害物质时能及时急救；为操作人员配备防毒面具、防噪声耳罩、耐高温手套等防护用品；建立应急救援预案，定期开展火灾、泄漏等应急演练，提升应急处置能力。通过多重安全防护措施，实现安全风险的有效管控^[5]。

结束语：工业危废焚烧能量回收工艺是实现危废无害化处置与资源化利用的有效途径，对环保与节能具有重要意义。文章以某 40 万吨 / 年 MDI 项目能量回收装置为研究对象，系统分析了工艺运行中存在的物料适配性差、余热回收效率低、污染物控制难度大、设备腐蚀磨损严重、安全风险高等核心难题。通过优化，可显著提升装置的燃烧稳定性、能源利用效率与环保达标水平，降低设备故障率与安全风险，为工业危废焚烧能量回收工艺的高效运行提供技术支撑。未来，还需结合智能化技术，进一步提升工艺的自动化控制水平，推动工业危废处置行业向绿色、高效、可持续方向发展。

参考文献

- [1] 张然然. 工业危废焚烧处置设施的性能研究 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15(27): 83-87.
- [2] 张立春. 工业危废焚烧处置的安全管理要点 [J]. 化工管理, 2024(4): 84-86.
- [3] 田世豪, 田永林. 工业园区危险废物集中焚烧处理工艺优化与环境影响评估 [J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(8): 204-206.
- [4] 陈继东. 工业危险废物焚烧处置运行管理 [J]. 当代化工研究, 2021(10): 115-116.
- [5] 郭开展. 工业危险废物焚烧处置系统的设计优化 [J]. 化工设计通讯, 2024, 50(12): 113-115.

石油化工行业中挥发性有机物的检测技术及对人体健康危害

沈晓燕, 李欣, 胡紫薇

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司川西北气矿, 四川 江油 621700

DOI:10.61369/EAE.2025050005

摘 要 : 挥发性有机物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 作为一类广泛存在于环境中的有机污染物, 其来源复杂、种类繁多, 不仅对大气、水体、土壤等生态环境造成严重破坏, 还会通过呼吸、皮肤接触等途径危害人体健康。论文系统梳理了当前 VOCs 检测领域的主流技术, 主要分为实验室离线检测技术、现场快速检测技术及在线连续监测技术, 结合海南瑞达检测有限公司实际应用场景分析各类方法的使用情况; 从检测限制、准确性、时效性、操作复杂度等维度, 对比不同检测技术的优势与局限性; 讨论 VOCs 在环境中的迁移转化规律及其对大气环境、水体与土壤生态系统的影响, 并简单阐述典型 VOCs 对人体呼吸系统、神经系统、生殖系统及遗传物质的危害。

关 键 词 : 挥发性有机物; VOCs 检测技术; 环境影响; 人体健康; 污染防控

Detection Technologies for Volatile Organic Compounds in the Petrochemical Industry and Their Hazards to Human Health

Shen Xiaoyan, Li Xin, Hu Ziwei

Northwest Sichuan Gas Field, Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Jiangyou, Sichuan 621700

Abstract : Volatile Organic Compounds (VOCs), as a class of organic pollutants widely present in the environment, have complex sources and a wide variety of types. They not only cause severe damage to ecological environments such as the atmosphere, water bodies, and soil but also pose hazards to human health through pathways such as inhalation and skin contact. This paper systematically reviews the mainstream technologies in the current field of VOCs detection, which are primarily categorized into laboratory offline detection technologies, on-site rapid detection technologies, and online continuous monitoring technologies. It analyzes the application of various methods in practical scenarios, drawing on the experiences of Hainan Ruida Detection Co., Ltd. The advantages and limitations of different detection technologies are compared from dimensions such as detection limits, accuracy, timeliness, and operational complexity. Additionally, the paper discusses the migration and transformation patterns of VOCs in the environment and their impacts on the atmospheric environment, water bodies, and soil ecosystems, while briefly elaborating on the hazards of typical VOCs to the human respiratory system, nervous system, reproductive system, and genetic material.

Keywords : volatile organic compounds; VOCs detection technologies; environmental impact; human health; pollution prevention and control

一、绪论

(一) 挥发性有机物的定义与分类

挥发性有机物 (VOCs) 通常指在标准大气压下, 沸点介于 50°C - 260°C 之间, 常温下饱和蒸气压大于 133.32 Pa, 能够以气态形式存在于空气中的一类有机化合物的总称。根据化学结构差异, VOCs 可分为烷烃类、烯烃类、芳香烃类、卤代烃类、醛酮类、酯类及其他含氧化合物等。

从来源角度, VOCs 可分为自然来源与人为来源。自然来源主要包括植物释放、火山喷发、森林火灾等, 排放量相对稳定且分散; 人为来源则是当前环境中 VOCs 污染的主要来源, 其中涵盖

工业生产、交通运输、日常生活及农业活动等, 具有排放集中、成分复杂、毒性差异大等特点。

(二) 研究 VOCs 检测技术及环境与健康影响的意义

随着工业化与城市化进程的加快, 人为源 VOCs 排放量持续增加, 已成为我国大气污染防治的重点对象。VOCs 是大气中臭氧和二次有机气溶胶的关键前体物, 其与氮氧化物在光照条件下发生复杂的光化学反应, 加剧区域光化学烟雾污染与细颗粒物污染, 破坏生态系统平衡; 而准确、高效的检测技术是掌握 VOCs 污染特征、评估环境风险、制定防控政策的前提。因此, 系统性的分析各类 VOCs 检测技术的应用现状与优劣, 明确其适用范围, 对提升 VOCs 污染监测水平具有重要实践意义。

与此同时，分析 VOCs 在环境中的迁移转化路径及其对生态系统和人体健康的影响机制，能够为污染源头管控、环境质量标准制定及健康风险预警提供科学依据。

二、挥发性有机物检测技术及实际应用情况

（一）现场快速检测技术

现场快速检测技术旨在缩短检测周期，实现 VOCs 的实时分析，核心优势是无需将样品送至实验室，可在现场直接获取检测结果，适用于应急监测、初步筛查与大范围污染普查。

1. 便携式气相色谱（PGC）技术

便携式气相色谱是实验室 GC 的小型化版本，体积通常为数十至数百立方米，重量 5–20kg，可通过电池或外接电源供电，具备现场采样、分离、检测一体化功能。PGC 采用微型色谱柱与小型化检测器，分析时间通常为 5–30 分钟，检测限可达 0.1–1mg/m³。

2. 光离子化检测器（PID）技术

光离子化检测器利用紫外灯产生的高能紫外光使 VOCs 分子电离，形成的离子在电场作用下产生电流信号，信号强度与 VOCs 浓度呈线性关系，从而实现定量分析。PID 传感器体积小，响应时间短，检测范围宽，可直接手持或安装于便携式仪器中，成本相对较低。

3. 火焰离子化检测器（FID）技术

火焰离子化检测器是 VOCs 检测的常用技术，核心原理是碳氢类 VOCs 在氢火焰中燃烧裂解，产生的离子在电场中形成电流，电流强度与 VOCs 含量成正比，以此实现定量分析。

FID 优势显著：对碳氢类 VOCs 检测限达 ppb 级，灵敏度高；线性范围宽至 10⁷，适配高低浓度场景；响应速度快，操作维护简便，稳定性强，长期运行成本低。

4. 传感器阵列技术

传感器阵列技术由多个对不同 VOCs 具有交叉响应的传感器组成，通过不同传感器对目标 VOCs 的响应信号差异，形成“指纹图谱”，结合模式识别算法实现 VOCs 的定性半定量分析。

三、挥发性有机物检测技术优劣对比

为明确不同 VOCs 检测技术的适用范围，本节从检测限、准确性、分析时间、成本、操作复杂度、基体适应性及适用场景等维度，对实验室离线检测技术、现场快速检测技术与在线连续监测技术进行全面对比。

（一）核心性能指标对比

1. 检测限制

现场快速检测技术中，PID 检测限为 0.1–1mg/m³，传感器阵列技术为 0.1–10mg/m³，仅适用于中高浓度 VOCs 的初步筛查；PGC 与便携式 FTIR 检测限可达 0.1–1mg/m³，可满足应急监测与现场定量分析需求，但低于实验室技术。

2. 准确性

现场快速检测技术准确性较低：PID 与传感器阵列技术仅能实现半定量，且无法区分 VOCs 种类；PGC 定性准确性依赖保留时间，RSD5%–15%，但分离能力有限；便携式 FTIR 通过谱库匹配定性，RSD10%–20%，受光谱重叠影响较大。

3. 分析时间

现场快速检测技术分析时间最短：PID 与传感器阵列技术响应时间 1–30 秒，可实时获取结果；PGC 与便携式 FTIR 分析时间 5–30 分钟，可现场完成检测。

4. 成本

便携式 FTIR>PGC>便携式 PID>传感器阵列 >FID。

5. 操作复杂度

现场快速检测技术操作简单，PID、FID 与传感器阵列仪器无需专业培训即可操作，PGC 与便携式 FTIR 需简单培训。

其中海南瑞达检测有限公司所使用的谱育 3100 在 LDAR 检测中的优点突出：整机轻便只有 3.7kg，现场操作灵活；采用 PID+FID 双检，几乎能测所有 VOCs；防爆设计，安全可靠；搭配数字化平台，数据管理高效。

表 1 挥发性有机物（VOCs）检测技术优劣对比表

检测技术类别	具体方法	检测限	准确性（RSD）	分析时间	购置成本（万元）	年运行成本（万元）	操作复杂度	基体适应性	适用场景
现场快速检测	PID	0.1–1mg/m ³	10%–30%	1–30 秒	1–5	0.1–1	低	空气（低湿度）	污染源初步筛查、室内空气快速评估、职业卫生现场预警
	传感器阵列	0.1–10mg/m ³	15%–30%	1–30 秒	0.5–3	0.1–0.8	低	空气（简单基体）	大范围污染普查、特定场所浓度预警
	PGC	0.1–1mg/m ³	5%–15%	5–30 分钟	10–50	1–5	中	空气、废气	工业园区巡查、应急监测初步定量、室内空气现场检测
	便携式 FTIR	0.1–5mg/m ³	10%–20%	1–5 分钟	20–50	1–5	中	空气、废气	污染源无组织排放监测、应急事件污染物种类识别
	FID	0.1–10ppm	5%–10%	10–30 秒	0.3–1	1–5	低	空气、废气	污染源排放实时监控、城市空气质量周期性监测

四、挥发性有机物对环境的影响

（一）VOCs 在环境中的迁移与转化

VOCs 进入环境后，会在大气、水体、土壤等介质中发生迁移

与转化，其过程受自身理化性质与环境条件影响显著。

1. 大气中的迁移与转化

大气是 VOCs 最主要的存在介质，自然源与人为源排放的 VOCs 通过大气扩散实现长距离迁移，迁移范围取决于 VOCs 的大

气寿命。

大气中 VOCs 的转化以光化学反应为主：在阳光照射下，VOCs 与氮氧化物、臭氧等发生系列反应，生成臭氧、二次有机气溶胶、醛酮类等二次污染物。

2. 水体中的迁移与转化

水体中 VOCs 主要来源于大气沉降、工业废水排放、农业面源污染及土壤渗透。VOCs 在水中的溶解度差异显著，溶解度高的 VOCs 易在水体中扩散，溶解度低的 VOCs 则易挥发至大气或吸附于悬浮颗粒物表面。

3. 土壤中的迁移与转化

土壤中 VOCs 主要来源于工业废渣填埋、农药施用、油气泄漏及大气沉降。VOCs 在土壤中的迁移受土壤质地影响：砂质土壤孔隙大，透气性好，VOCs 易向下渗透至地下水或挥发至大气；黏质土壤孔隙小，吸附能力强，VOCs 易被土壤颗粒吸附，迁移速度慢。

（二）对大气环境的影响

1. 加剧臭氧污染

臭氧是夏季大气污染的主要污染物之一，其浓度升高会对人体健康与生态系统造成严重危害。VOCs 是臭氧生成的关键前体物，尤其在 NO_x 浓度较高的区域，VOCs 浓度的增加会显著促进臭氧生成。

2. 破坏臭氧层

含氯、溴的 VOCs 是臭氧层破坏的主要物质。这类 VOCs 在对流层中性质稳定，可长期迁移至平流层，在紫外线照射下分解产生氯自由基或溴自由基，通过链式反应催化臭氧分解。

（三）对水体与土壤生态系统的影响

1. 对水体生态系统的危害

（1）影响水生生物生长繁殖：高浓度 VOCs 会导致鱼类、藻类等水生生物急性中毒，出现呼吸困难、游动异常甚至死亡；低浓度长期暴露会干扰生物内分泌系统，影响繁殖能力。

（2）破坏水体食物链：VOCs 在水体中可通过食物链富集，浓度沿食物链逐级升高。

（3）影响水体自净能力：高浓度 VOCs 会抑制水体中微生物的活性，降低其对有机物的降解能力，导致水体自净能力下降，加剧水质恶化。

2. 对土壤生态系统的危害

（1）损害土壤微生物群落：土壤中的 VOCs 会抑制微生物的生长与代谢，导致微生物多样性下降。

（2）影响植物生长发育：VOCs 可通过植物根系吸收或叶片呼吸进入植物体内，干扰生理过程。

（3）导致土壤质量退化：长期高浓度 VOCs 污染会破坏土壤结构，降低土壤通气性与保水性，导致土壤肥力下降。

五、挥发性有机物对人体健康的影响

（一）VOCs 的人体暴露途径

人体接触 VOCs 的途径主要包括呼吸暴露、皮肤接触暴露与

消化道暴露，其中呼吸暴露是最主要的途径。

1. 呼吸暴露

室内与室外空气中的 VOCs 通过人体呼吸进入呼吸道，进而扩散至肺部并进入血液循环。不同场景下，呼吸暴露的 VOCs 浓度差异显著：

（1）室外环境：城市道路、工业园区周边空气中 VOCs 浓度较高；农村与偏远地区浓度较低；

（2）室内环境：由于建筑装饰材料、家具、日用品的挥发，室内空气中 VOCs 浓度往往高于室外。

（3）职业环境：石油化工、涂装、印刷、制鞋等行业工人长期暴露于高浓度 VOCs 环境中。

2. 皮肤接触暴露

皮肤直接接触含 VOCs 的物质时，VOCs 可通过皮肤角质层渗透进入人体。脂溶性强的 VOCs 皮肤渗透能力强，而水溶性强的 VOCs 渗透能力较弱。例如，制鞋工人在使用含苯胶水时，皮肤直接接触胶水，苯通过皮肤吸收量可达呼吸吸收量的 10%–20%；家庭主妇使用含甲醛的清洁剂时，皮肤接触也会导致甲醛吸收。

3. 消化道暴露

消化道暴露主要通过饮用被 VOCs 污染的水、食用被 VOCs 污染的食物及吸入 VOCs 后通过唾液吞咽进入消化道。例如，长期饮用含三氯甲烷的饮用水，会导致三氯甲烷通过消化道进入人体；食用受农药 VOCs 污染的蔬菜，也会造成消化道暴露。

（二）对人体各系统的危害

1. 呼吸系统危害

VOCs 对呼吸系统的危害最为直接，短期高浓度暴露会刺激呼吸道黏膜，引发急性炎症；长期低浓度暴露则可能导致慢性呼吸道疾病，甚至诱发肺癌。

（1）急性危害：甲醛、乙醛、丙烯醛等醛酮类 VOCs 具有强烈刺激性，浓度超过 1mg/m³ 时，会引起鼻腔、咽喉黏膜充血、水肿，导致打喷嚏、咳嗽、咽痛等症状；浓度超过 10mg/m³ 时，可诱发急性支气管炎、肺水肿。

（2）慢性危害：长期暴露于低浓度 VOCs 会损伤呼吸道黏膜，降低肺功能，增加慢性阻塞性肺疾病、哮喘的发病风险。

（3）致癌风险：国际癌症研究机构已将甲醛、苯、氯乙烯等 VOCs 列为 I 类致癌物。

2. 神经系统危害

VOCs 易通过血脑屏障进入中枢神经系统，干扰神经递质合成与传递，导致神经功能损伤，表现为头痛、头晕、记忆力下降等症状，严重时可导致神经退行性疾病。

（1）急性神经毒性：高浓度 VOCs 会迅速抑制中枢神经系统，导致头晕、头痛、意识模糊、共济失调等症状。；

（2）慢性神经毒性：长期低浓度暴露于 VOCs 会导致慢性神经损伤，表现为记忆力减退、注意力不集中、情绪波动、肢体麻木等。

3. 遗传物质损伤与致癌性

部分 VOCs 具有遗传毒性，可直接损伤 DNA，导致基因突

变、染色体畸变，进而诱发癌症。

(1) DNA 损伤机制：苯在体内代谢生成苯醌、氢醌等活性中间产物，这些物质可与 DNA 结合形成加合物，导致 DNA 链断裂、碱基缺失或突变；

(2) 致癌性表现：除前文提及的白血病、肺癌、鼻咽癌外，不同 VOCs 还可诱发特定癌症。

六、结论与展望

VOCs 检测技术日趋多元化，但需按需选择，现场快速检测技术以时效性优势，在应急监测、初步筛查中不可或缺；

VOCs 对环境的危害具有多介质、多维度特征：VOCs 在大气中通过光化学反应加剧臭氧污染与 PM_{2.5} 污染，破坏臭氧层；在水体与土壤中通过迁移转化导致生态系统退化，影响水生生物与植物生长，降低土壤质量。VOCs 的跨介质污染进一步扩大了其环境危害范围，需从全生命周期角度开展污染防控。

VOCs 对人体健康的危害广泛且严重：VOCs 通过呼吸、皮肤接触、消化道等途径进入人体，对呼吸系统、神经系统、生殖内分泌系统造成损伤，部分 VOCs 具有明确致癌性。儿童、老年人、孕妇等敏感人群对 VOCs 更为易感，健康风险更高，需重点关注。

参考文献

-
- [1] 中华人民共和国环境保护部. GB 37822-2019 挥发性有机物无组织排放控制标准 [S]. 北京：中国环境科学出版社，2019.
- [2] 李红，王铁宇，吕永龙. 挥发性有机物的环境健康效应研究进展 [J]. 环境科学学报，2020，40 (5): 1579-1596.

林业营林造林关键技术与质量控制策略探讨

魏文洁

韶关玛聿林业有限公司, 广东 韶关 512500

DOI:10.61369/EAE.2025050006

摘 要： 社会主义生态文明建设背景下，在关注经济发展基础上，更要注重生态环境保护。森林作为“地球之肺”，随着林业事业的不断发展，我国营林造林工程建设规模持续扩大，选择合理的营林造林技术，加强工程质量控制，便于实现林业资源的合理开发和利用，对于保护生态系统平衡，助推环境友好型社会发展具有重要意义。文章围绕林业营林造林关键技术进行分析，探讨了现阶段工程质量问题，针对性提出质量控制策略，以提升营林造林工程生态效益，为类似项目提供实践范式。

关 键 词： 营林造林；关键技术；质量控制；策略

Discussion on Key Technologies and Quality Control Strategies for Forest Management and Afforestation

Wei Wenjie

Shaoguan Mayu Forestry Co., Ltd., Shaoguan, Guangdong 512500

Abstract： Against the backdrop of the construction of socialist ecological civilization, it is imperative to prioritize ecological and environmental protection alongside economic development. Forests, known as the "lungs of the Earth," have seen a continuous expansion in the scale of forest management and afforestation projects in China with the ongoing development of the forestry sector. Selecting appropriate forest management and afforestation techniques and strengthening project quality control are crucial for facilitating the rational development and utilization of forestry resources, protecting the balance of ecosystems, and promoting the development of an environmentally friendly society. This article analyzes the key technologies involved in forest management and afforestation, explores current project quality issues, and proposes targeted quality control strategies to enhance the ecological benefits of forest management and afforestation projects, providing a practical paradigm for similar projects.

Keywords： forest management and afforestation; key technologies; quality control; strategies

“双碳”目标持续推进下，生态文明建设逐渐朝着高质量发展，营林造林属于人工干预森林资源培育的重要手段，其技术水平的高低和质量的优劣，很大程度上影响着森林生态功能的发挥以及林业的持续发展。目前国内林业事业逐渐从数量扩张转向质量优先阶段，而社会对森林需求不再局限于常规的生态屏障作用，还需要其发挥景观文化和经济产出等作用。在这一需求下，对于新时期的林业营林造林技术提出了更高的要求，除了契合不同区域的立地条件，林分类型精准实施外，更要注重全过程质量控制，为营林造林工程质量和效益提供保障。

一、林业营林造林关键技术分析

（一）整地技术

林业营林造林工，整地技术作为一项基础技术，其目标在于改善林地土壤结构、水分状况等立地条件，消除营林造林障碍，为后续苗木根系生长发育创设良好的环境。整地技术在实际应用中，通过清理地表杂灌和腐殖质，能够有效减少杂草与幼苗之间的营养竞争，通过翻根破碎土壤还可增加土壤孔隙，显著提高土壤的蓄水保肥能力^[1]。更为重要的是，通过坡面整理还可有效

改善水土流失问题，尤其在一些侵蚀敏感地带，运用整地技术可大幅度降低土壤侵蚀模数。常见的整地技术可分为局部整地和全面整地良种。全全面整地适合坡度在5°以下的缓坡或地势平坦区域，操作时采用人工、机械方式翻垦土壤，翻垦深度为20cm ~ 30cm，以消除地表植被和根系，该方式适合大规模营造桉树、速生杨等人工纯林，但要注意规避水土流失风险。局部整地适合应用于丘陵或山地等地形复杂的区域，具体需要结合地形差异，做进一步区分调整。带状整地都是沿着等高线开挖，宽度0.8m ~ 1.5m，深0.3m ~ 0.5m的带状土带，保留宽度大概1/3

的带间原生植被,可利用带间植被遮阴保墒的同时,避免水土流失。块状整地是针对一些坡度在25度以上的破碎陡坡地,以小群落为单位挖穴,或是坡面上开挖半月形鱼鳞坑,将有机肥混入回填土中进行回填^[2]。

(二) 良种育苗技术

两种育苗技术致力于科学选种,并通过集约化培育从源头上保证苗质量。两种的选择需要结合立地条件,优先选择乡土树种或是经过科学验证的外来引进树种,如北方大旱地区选用樟子松等耐旱树种,南方地区红壤区选择火力楠树种;对比分析木材品质和生态功能。现阶段我国已设立了国家级林木种质资源库100余处,为良种选育提供了坚实基础^[3]。

根据不同的立地条件和培育目标,育苗方式也不尽相同。

(1) 播种育苗作为一种传统育苗方式,多适用于落叶松、油松等繁殖系数较高的树种,采用精选种子、消毒、催芽等一系列过程处理后,将种子置于苗床中,根据不同树种设定相应的播种密度、覆土厚度,如落叶松树种按照150~200粒/平方米规格播种,避免种子之间竞争养分,配合灌溉、遮掩等措施培育1~2年。

(2) 扦插/嫁接无性繁殖育苗技术,适合毛竹、杉木等繁殖难度较大的树种,筛选1、2年生健壮枝条,使用ABT生根粉浸泡处理后扦插,或是嫁接在生苗砧木上,此种方式可保留母本的抗病性、速生性。

(3) 容器育苗技术,属于现代化育苗技术,将轻基质材料装入塑料容器或是无纺布,将种子或幼苗放置于容器中进行培育。此种培育方式可保证根系完整,并且后期移栽时避免损伤根系适合石质山地或干旱地区营林造林^[4]。

(三) 播种造林技术

播种造林技术是将林木种子直接播撒于造林区域,通过灌溉、施肥等方式,使其自然萌发成林。此项技术的成本低、操作简单,并且可减少根系损伤,更容易形成自然的林分结构,适合一些人员较少的偏远山区。但此项技术对于造林地的条件要求较高,需要保证水源充足、土壤疏松、外部危害少,部分情况需要人工干预处理。选择土壤厚度不小于30cm、坡度在30°以下,当地的气候湿润,具有良好的灌溉条件的造林地。种子优先选择发芽率高、种粒大等树种,如油松、核桃等,对于一些马尾松等种类较小的树种,则需要配合保护措施谨慎种植。种子处理环节使用0.5%的高锰酸钾溶液浸泡10min,消毒处理,随后放置在温水浸种24h~48h催芽,提高种子发芽率;根据地形条件和种子特性采用撒播、调播、点播等方式;按照种子直径2~3倍的规格及时覆土,并且在表面覆盖一层枯枝落叶,干旱地区则需要覆盖一层地膜保温保湿^[5]。

(四) 植苗造林技术

植苗造林是将容器苗、裸根苗转移到造林区域,使其自然扎根生长的一种技术,相较于播种造林,此项技术能够保证苗木根系完整,提高造林成活率和抗逆性,适合一些生根难的珍贵树种栽种,属于现阶段我国人工林营造的核心技术之一^[6]。优先选择苗茎、根系发达的种苗,起苗前控水提高苗木根系韧性,保证根系完整使用湿草帘包裹根系避免失水。此项技术主要有两种造林方式:其一,裸根苗造林操作简单、成本较低,适合春、秋土壤湿润季节造林,但裸根苗容易暴露在外。失水速度较快。因此,

需要随起随栽,采用保湿运输方式尽可能减少水分流失。其二,容器苗造林,采用轻基质培育苗木,保证其根系无损伤,适合实质山地或干旱地区造林,如图1。具体栽植时则需要去除部分容器,确保基质与造林地土壤接触,避免影响水分传导。



图1 容器苗培育

具体栽植过程中,通常开挖直径40cm~60cm、深度30cm~50cm的穴,回填10cm~15cm表土;裸根苗自然舒展放于穴中,容器苗去除容器保留部分基质,与穴底部充分贴合;填入部分表土,使苗木根系与土壤接触,随后分层填土、压实,最后覆盖5cm~10cm松土^[7]。

(五) 抚育管理技术

抚育管理技术通过松土、除草、施肥、灌溉等一系列人工干预措施,改善幼苗生长环境、生长密度等,促进幼苗发芽生长,形成结构合理的林分。此项技术可有效减少幼苗死亡率,加快成林进程。幼林期属于养分竞争最为激烈的阶段,灌木、杂草等与幼苗争抢水分、养分,适合每年的5月~8月进行除草2、3次,松土深度保持在5cm~10cm之间,避免损伤根系;疏松土壤,促进根系呼吸。针对新栽植的幼苗,强降雨可能出现倒伏现象,需要人工及时培土固定,或是使用木棍支撑;干旱区定期人工灌溉,浇透土层30cm;施加氮肥、磷钾肥,雨季前开沟施肥,在提供养分同时,避免烧根现象出现。

幼林后期后期阶段结合不同树种生长特性和立地条件,动态调整密度,可采取间伐或间苗的方式控制区域的株数。以杉木为例,目标栽种密度每公顷1600~2000株,最终保留每公顷800~1200株最佳。第一次间伐多是在造林5~7年时进行,将病虫害感染和生长不良的被压木清除,保留优势木,促使其逐渐生长为自然的林分结构^[8]。

苗木栽种后,为了保证其正常成长,应做好后期的监测与保护工作。幼龄期的苗木容易受蚜虫、地老虎等害虫侵袭,导致根茎嫩梢受损。需每月一次人工巡查,采用释放天敌赤眼蜂或是喷洒吡虫啉喷雾等化学药剂进行防治。针对夏季暴雨灾害,应及时

清理冲刷沟壑，避免苗木根系裸露在外，水分过快流失而死亡；冬季冻害较为严重的北方地区则采用包裹防寒物的减轻自然灾害侵袭。设置固定样地，定期监测苗木的胸径、树高、冠幅等指标，定期评估苗木抚育效果，根据实际情况动态调整管理策略，如发现密度过大则提前间伐^[9]。

二、林业营林造林质量控制有效策略

（一）统筹规划设计

林业营林造林工程质量容易受多种因素影响，为了保证工程总体质量和效益，应多措并举，建立全周期的质量控制体系。而统筹规划则是质量控制的基础环节，具体包括以下几点：

（1）立地调查，精准定位。在立地调查环节，依托森林资源连续清查成果、国土三调数据，以及无人机遥感技术，建立一体化的立地信息采集体系，针对造林地土壤、地形、水分、植被等因素进行系统化调查，针对盐碱地、石漠化以及高寒山地等特殊林地地区，则采用取样检测和实地探查等方式采集数据，形成立地质量分级图谱（一级适宜林地、二级改良潜力林地、三级限制利用林地），为后续造林工作顺利开展提供数据支持。例如南方红壤区通过实地勘察分析土壤 pH 值、铁铝氧化物含量，土层厚度 50cm 以上、坡度 25° 以下的缓坡地优先划拨为珍贵阔叶林用地，坡度在 30° 以上的土地则划拨为生态修复区或是灌木林，因地制宜，避免林地资源浪费。

（2）多目标协同，优化树种配置。打破传统思维，根据造林地的立地条件和主导功能，设计合理的树种配置模式。生态公益林优先选择樟树、杉木等乡土树种，或是柠条、刺槐等耐贫瘠的树种，按照 6：4 的比例针阔混交种植，或是采取乔灌草复层结构，可大幅度提高生物多样性，为区域生态系统稳定提供保障。针对经济林、材林等商品林，充分考虑区域优势 and 市场需求，选择油茶高产无性系、杉木第三代等优良品种，采取适地适树、密度调控组合模式，最大程度上提高造林地效益^[10]。针对特色功能林，可选择银杏、楠木等芳香植物，或是冷杉、栎类等固碳能力较强的树种，可有效改善区域生态环境，满足特殊功能需要。

（二）优化管理制度体系

为了保证林业营林造林质量控制工作有效落实，应建立完善的制度体系明确责任约束，确保各项工作有章可循。首先，建立层级化管理体系，落实责任到实处。制定属地管理和分级负责的责任制度，县级政府属于营林造林工程第一责任人，统筹造林规

划制定和监督实施；乡镇政府负责造林地落实和日常巡查；村集体负责具体整地、栽植和抚育等工作，与林业部门签订责任书，明确营林造林各项指标要求。对于政府购买服务的市场化项目，则需要在签订的合同中明确技术标准、违约条款，并要求企业缴纳保证金，借此来约束企业的营林造林行为。其次，严格执行技术标准，规范操作流程。严格遵循《造林技术规程》GB/T 15776、《容器育苗技术》LY/T 1000 等国家标准，依托区域实际情况制定具体的实施细则。例如整理环节要求穴深不小于 30cm，穴径不小于 40cm，栽植苗木要求为 I 级壮苗。最后，强化全过程监督，保证各环节质量可追溯。前期加强树种配置方案，绿地调查报告等文件审核，对于不符合要求的禁止通过；中期阶段选择随机抽查和专项督查的方式，检查整地质量、苗木质量、栽种密度等情况，将现场上传的数据和照片实时上传到控制系统中，通过移动终端 APP 即可同步查看；后期由第三方机构进行验收，地形条件复杂的区域可采用无人机遥感技术核查，并将最终的验收结果与项目资金划拨以及信用评价等相挂钩，借此约束相关人员行为^[11]。

（三）建立技术推广服务体系

技术力量强弱，很大程度上影响质量控制措施的具体落实和执行效果。一方面，加强基层技术队伍建设，采取公开招聘和定向培养方式补充林业专业相关人才，保证每个乡镇林业站至少配备了 2、3 名技术人员，定期组织技术人员参加专业培训活动，培训内容覆盖实操技能、最新标准等；落实技术包片责任制，每名技术人员负责 5 ~ 10 个行政村，并且每个月至少有 10 天的时间驻村提供技术指导，从而及时有效解决苗木定植不当或是整地偏差等问题。另一方面，建立多主体协同推广体系，加强省级林业科研单位和地方推广站合作，针对区域营林造林关键问题，针对性研发集成技术，同时建设高标准示范基地；县级推广机构则负责开辟现场观摩示范基地，与造林主体面对面讲解营林造林技术要点；开通微信公众号线上推送技术视频、答疑解惑。

三、结论

综上所述，林业营林造林工程涉及到诸多核心技术，需要因地制宜，结合立地条件、功能需要和技术水平选择最佳的技术手段，并通过统筹规划设计、优化管理制度体系、建立技术推广服务体系等质量控制措施，打造兼具质量和效益的营林造林工程体系。

参考文献

- [1] 崔文明. 林业营林方法与林木病虫害防治方法探讨 [J]. 农业灾害研究, 2021, 11 (12): 160-162.
- [2] 卢彩君. 现代林业造林技术及营林生产管理措施 [J]. 农村科学实验, 2024, (21): 114-116.
- [3] 王瑞萍. 林业经济可持续发展背景下营林造林技术要点 [J]. 世界热带农业信息, 2022, (06): 24-25.
- [4] 陈其良. 生态理念下林业营造林技术与有效实施病虫害防治分析 [J]. 种子世界, 2024, (09): 165-167.
- [5] 杨多瑞. 会宁县林业营林造林工作存在的问题及其解决策略 [J]. 南方农业, 2024, 18 (16): 181-183.
- [6] 申连波. 营林生产中林区造林技术与规划设计探究 [J]. 广东蚕业, 2024, 58 (07): 81-83.
- [7] 石明章. 生态理念下林业营造林技术与病虫害防治探究 [J]. 农业灾害研究, 2024, 14 (06): 43-45.
- [8] 夏润林. 陇南市植树造林技术与森林经营管理措施 [J]. 南方农业, 2024, 18 (08): 246-248.
- [9] 刘智勇. 林业营林造林工作现存问题及解决措施研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52 (12): 139-141.
- [10] 潘庆全. 林业营造林关键技术及质量管理措施研究 [J]. 农业灾害研究, 2023, 13 (08): 129-131.
- [11] 王江旭. 营林造林技术在林业工作中的要点探讨——以贵州铜仁市为例 [J]. 数字农业与智能农机, 2023, (04): 82-84.

衢州市气候变化特征及其农业影响分析

陈晓, 任耘*, 任英俊

成都信息工程大学管理学院, 四川 成都 610225

DOI:10.61369/EAE.2025050007

摘 要 : 本文基于衢州市 1981–2020 多年份的气象数据, 查看了该市气温及降水的时空变化特征。着重对其对当地农业生产 (如水稻、柑橘等主要作物) 的潜在影响与适应性对策进行了探讨, 结果表明: 衢州市气温呈现明显的上升走向, 温度增加速率为 $0.409^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 年降水量呈波动性增加, 增长速率为 $32.33\text{ mm}/10\text{a}$, 其中春季升温最快 $0.52^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 但季节差异显著, 夏季增多而秋季减少。这些变化引发农业热量资源的增加, 作物潜在生长的季节延长, 但与此同时也加剧了春季低温、阴雨、夏涝和秋旱等农业气象灾害风险。本研究主张, 应当构建基于气候变化的适配模式适应型农业布局, 增强农业公共气象服务精准预警的实力, 并针对主要作物提出防灾减灾管理手段用以保障衢州市农业实现可持续的高质量发展。

关 键 词 : 衢州市; 气候变化; 农业生产; 农业气象灾害; 公共气象服务; 适应策略

Analysis of Climate Change Characteristics and Their Agricultural Impacts in Quzhou City

Chen Xiao, Ren Yun*, Ren Yingjun

College of Management, Chengdu University of Information Technology, Chengdu, Sichuan 610225

Abstract : Based on multi-year meteorological data from 1981 to 2020, this study examines the spatial and temporal variations of temperature and precipitation in Quzhou City. It further explores their potential impacts on local agricultural production—particularly on major crops such as rice and citrus—and discusses corresponding adaptation strategies. The results indicate that the mean temperature in Quzhou has shown a significant upward trend, with an increase rate of 0.409°C per decade. Annual precipitation has fluctuated but generally increased at a rate of 32.33 mm per decade. The fastest temperature rise occurs in spring (0.52°C per decade), while notable seasonal differences are observed, with increases in summer and decreases in autumn. These climatic changes have enhanced thermal resources and extended the potential growing season for crops, but they have also intensified the risks of agro-meteorological disasters such as spring cold spells, continuous rainfall, summer floods, and autumn droughts. The study suggests establishing a climate-adaptive agricultural layout model, strengthening the precision early-warning capacity of public meteorological services, and developing disaster prevention and mitigation measures for key crops to ensure the sustainable and high-quality development of agriculture in Quzhou.

Keywords : Quzhou City; climate change; agricultural production; agrometeorological disasters; public meteorological services; adaptation strategies

引言

全球气候变化已成为当今人类社会面临的主要挑战之一, 其对自然生态系统和农业生产的影响尤为突出。农业是最依赖气候条件的产业之一, 气温升高、降水时空分布异常以及极端天气事件频发, 正在深刻改变作物的生长周期、产量稳定性与区域种植格局。对于以农业为主的地区而言, 气候变化导致的热量和水分资源重新分配, 以及灾害风险的持续上升, 已直接影响到粮食安全与农民生计。

衢州市位于浙江省西部、钱塘江上游, 属于典型的亚热带季风气候, 四季分明、雨热同期, 光热条件优越, 是浙江重要的粮食、柑橘及茶叶生产基地。近年来, 衢州市气候变暖趋势明显, 极端高温、连阴雨、秋季干旱等农业气象灾害频率上升, 对主要作物生产造成一定影响。与此同时, 复杂的地形条件使得气候变化在区域内表现出差异性, 增加了农业气象服务与管理的难度。

第一作者: 陈晓 .Email: 2642248376@qq.com

通信作者: 任耘 .Email: 450785331@qq.com

国外的 IPCC 系列报告^[1]中展现了对气候变化与农业响应的研究,表现了全球变暖的现状以及农业生态系统中潜藏的风险,而国内学者大多从全国或省域的尺度去探讨气候变化规律和农业适应性对策,如翟盘茂^[3]、王绍武^[4]等揭示了我国气温与降水等气象因子的时空差异,然而此类研究中针对浙江省中西部山区精细化研究的数量相对不足,特别是缺乏将长时期气候序列的变化与农业气象服务体系相结合的研究。

本文在这样的背景下,探讨衢州市在近四十年的气候变化特征,主要研究气温、降水等气象因子的时空变化,分析突变时期,探讨气候变化对主要农作物生长条件的影响,计划揭示气候变化对衢州农业气候资源及灾害风险格局的作用,进而从公共气象服务范畴出发提出适应性对策,给区域农业防灾减灾、气候风险管理与可持续发展提供科学凭据。

一、数据来源与研究方法

本研究所用气象数据来源于中国气象数据网(https://data.cma.cn)及衢州市国家基准气象站观测资料,时间范围为1981年1月1日至2020年12月31日。所用数据包括日平均气温、最高气温、最低气温和日降水量。为保证数据的完整性和准确性,对原始数据进行了质量控制与一致性检验,剔除明显异常值,并采用邻近台站资料和《浙江水文年鉴》数据进行插补和比对。数据处理遵循《中国气象数据质量控制技术规范(QX/T 1059-2018)》标准。

在此基础上,选取了能够反映农业气候资源变化的主要指标,如 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温、无霜期以及各季节降水距平等,用于分析气候变化对区域热量和水分条件的影响。数据的整理与绘图主要通过 Python 3.11 和 Excel 完成。趋势与突变分析则借助王毓森^[2]开发的“水文时间序列趋势变化及突变分析系统”进行。该系统集成了线性趋势计算、滑动 T 检验、累积距平分析及 Mann-Kendall(M-K)非参数检验等方法,能够较为准确地识别气候序列中的长期变化趋势及突变特征。

气温与降水变化趋势采用线性回归法分析,其回归系数反映气候要素随时间变化的速率;突变分析采用 M-K 检验判断时间序列是否存在显著转折点,显著性水平取 0.05。通过年代际距平比较,揭示气候要素在不同阶段的偏差特征。部分指标结果辅以滑动平均平滑处理,以识别长时间尺度的波动变化趋势。

综合以上方法,本研究主要针对衢州市近40年来气温和降水的变化特征展开分析,识别其趋势变化和突变时期,并探讨气候变化对当地农业热量条件、水分供给及主要作物生长环境的影响,为后续气象服务改进和农业管理决策提供参考依据。

为进一步揭示气温与降水在不同阶段的变化特征,计算了1981—2020年各年代际的气温和降水距平(表1)。表1显示了衢州市气候要素的阶段性波动情况,为后续的趋势分析和突变检验提供了基础数据支撑。

表 1 衢州市年平均气温与降水年代际距平表(1981—2020)

年份	年降水距平(mm)	平均气温距平($^{\circ}\text{C}$)
1981-1990	-56	-0.58
1991-2000	98.15	-0.18
2001-2010	172.83	0.23
2011-2020	130.72	0.56

二、结果与分析

(一) 气温变化特征

根据衢州市1981—2020年气象资料统计,40年间年平均气温为 17.78°C ,呈显著上升趋势。年均气温的线性倾向率为 $0.409^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,说明该地区增温明显。气温最高值出现在2020年(19.29°C),最低值为1984年(16.70°C),年际变化平稳,符合亚热带季风气候特征。线性回归与显著性检验结果显示,升温趋势在 $p < 0.05$ 水平下通过统计检验。

Mann-Kendall(M-K)突变检验结果(见图3)显示,衢州市年平均气温在20世纪90年代末出现明显跃升,突变点主要集中在1997—1998年之间。累积距平分析和滑动 T 检验结果(见图1)与此一致,均表明区域气候由偏冷阶段转入持续偏暖阶段。该突变意味着衢州市气候特征发生阶段性转折,热量资源显著增加,但同时极端高温天气和热害发生的风险也随之上升。

年代际变化特征进一步表明,20世纪80年代气温整体偏低(距平 -0.58°C),为“冷周期”;90年代起气温逐步升高,进入21世纪后四季气温全面转正,2011—2020年代际距平达 $+0.56^{\circ}\text{C}$ 。特别是春季增温速率最快,达 $0.52^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,夏季增温最慢($0.24^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$),秋冬季次之($0.44^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $0.41^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$)。

这种季节性的不均衡升温对农业生产产生了明显影响。春季气温上升有助于早稻提早播种、加快热量积累,但也容易导致作物返青过早,增加倒春寒发生的可能。夏季高温持续时间延长,使水稻抽穗期遭受热害的风险上升。秋季变暖有利于晚稻灌浆和果实糖分积累,而冬季升温则在一定程度上减轻了柑橘等作物的冻害风险,但对于梨、桃等需冷量较高的果树,可能造成休眠不足等问题。总体而言,气候变暖提升了农业热量资源的利用水平,但也要求种植结构与灾害防御体系进行相应的适应性调整。

图1展示了1981—2020年衢州市年平均气温及其变化趋势,可以看出增温趋势显著,突变特征清晰,与东部亚热带地区普遍的变暖特征基本一致。

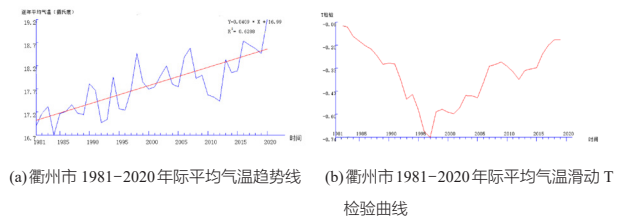


图 1 年平均气温变化趋势(1981—2020)

（二）降水变化特征

1981—2020年衢州市年平均降水量为1723 mm，总体呈波动性增加趋势，倾向率为 $32.33 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ，但未通过显著性检验，说明增幅不稳定。年降水量最大值出现在2015年（2559 mm），最小值出现在2004年（1282 mm），年际波动幅度较大。五年滑动平均曲线呈“丰—枯—丰”循环特征，降水变化具有明显的阶段性。

突变分析结果表明，2009年前后是衢州市降水序列的重要转折期。M-K检验与滑动T检验结果一致，均显示2009年之后年际降水差异明显增大，极端降水事件的发生频率显著上升。此后强降雨和区域性洪涝在夏季出现得更加频繁，干湿波动幅度加大，说明衢州市降水结构逐渐趋于不稳定。

从年代际变化看，20世纪80年代降水距平为 -56 mm ，属偏干时期；90年代转为偏湿（距平 $+98 \text{ mm}$ ），水分条件较充足；2001—2010年代际再次偏干（距平 -173 mm ），春夏干旱现象突出；2011—2020年又重新进入偏湿阶段（距平 $+131 \text{ mm}$ ）。这种“干—湿—干—湿”的周期性变化反映了区域水文气候的不确定性，也对农业生产中的水资源调配提出了更高要求。四季降水分配差异明显。春季降水略有增加（ $2.17 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ），但升温使土壤蒸发加快，易出现“春旱”；夏季降水显著增多（ $82.85 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ），强降雨易引发涝害并导致寡照天气；秋季降水减少（ $-14.3 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ），加重晚稻灌浆期和柑橘膨大期的干旱风险；冬季降水上升（ $34.13 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ），有助于补充底墒、改善春耕水分条件。总体来看，衢州市农业水分格局呈现出“春旱—夏涝—秋旱”的特征，降水时空分布不均已成为影响农业稳产的关键因素。图2展示了1981—2020年衢州市年降水量的变化趋势，可见降水波动显著加剧，突变之后丰枯转换更为频繁。

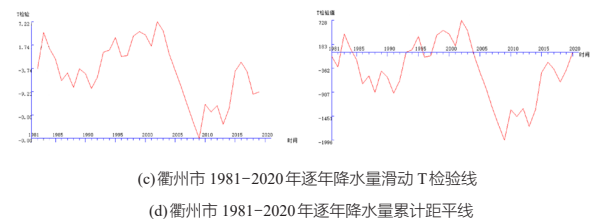
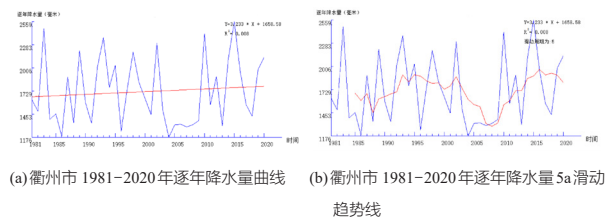


图2年降水量变化趋势（1981—2020）

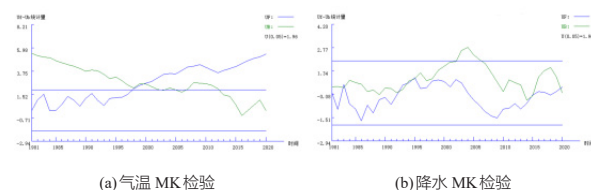


图3气候突变分析图

（三）农业气候资源变化及影响

气候变暖导致衢州市农业气候资源总体改善。根据气象资料推算， $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温与无霜期均有显著延长趋势，热量资源充裕提高。热量增加有利于双季稻安全生产、晚稻成熟度提升及柑橘糖分积累。冬季温和化使得越冬冻害风险下降，为发展中亚热带果树创造条件。

气候变化使农业面临的风险明显增加。春季升温过快，早播作物易遭受倒春寒；夏季高温与强降水叠加，水稻常出现热害与渍涝并发的情况；秋季降水偏少，易引发秋旱，影响作物灌浆进程和果实品质。季节性极端事件的增强，使传统种植制度和农业用水方式面临新的挑战。从农业管理的角度看，衢州市需要建立灵活的气候适应机制。在热量资源总体充足的背景下，可适当调整作物布局，例如优化双季稻比例，推广耐热、耐湿品种。同时应加强农田水利工程建设与排涝设施的维护，以缓解“夏涝秋旱”的水分矛盾。此外，还应依托公共气象服务体系，完善精细化气候风险预警。结合M-K检验识别的突变节点（图3），可将1998年（气温突变）和2009年（降水突变）视为农业防灾减灾的重要气候分界点。通过强化季节预测与灾害监测，构建“预警—响应—评估”一体化管理体系，以提升农业系统应对气候波动和极端事件的韧性。

（四）综合分析

综上所述，1981—2020年间，衢州市气候整体呈现出“显著增温、波动增湿”的特征。气温升高趋势明显，并伴随显著的年代际突变；降水量虽总体增加，但季节分配仍不均衡。气候变化在改善农业热量条件、延长作物生长期长的同时，也使气象灾害呈现出多样化和高频化的特点。未来对农业气候资源的利用，应由“单一追求增产”转向“风险平衡与系统韧性提升”。图4概括了衢州市气温与降水变化的主要趋势及其对农业的综合影响。从图中可以看出，在气候变暖与增湿的总体格局下，农业系统表现出“热量充足、水分失衡、灾害强化”的基本特征。这一特征表明，农业发展需更加依托气象科技支撑与管理手段的优化，实现对

气候变化的动态适应和风险调控。

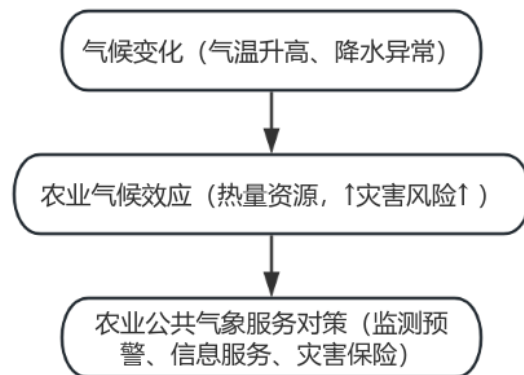


图4气候变化对农业影响与应对示意图

三、讨论与对策

近40年来,衢州市气候总体呈现出显著增温、波动增湿的特征。气候变暖一方面改善了农业热量条件,延长了作物生长期,但另一方面也带来了季节性干旱、暴雨和高温等气象灾害风险的上升,农业气候资源表现为“热量充足、水分失衡、灾害强化”的综合特征。如何在气候变化背景下保持农业生产的稳定与安全,已成为区域农业发展的重要课题。

气温上升使 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温和无霜期显著延长,为水稻、柑橘等主要作物提供了更加充足的热量条件。然而,春季升温过快易导致作物提前返青,增加倒春寒发生的风险;夏季高温日数增多,水稻抽穗期热害概率上升;秋季降水偏少,则加剧晚稻及果树生长后期的干旱胁迫。降水分布的不均衡使“春旱、夏涝、秋旱”现象并存,农业水分矛盾日益突出。总体来看,气候变暖在提升热量资源利用效率的同时,也增强了农业生产过程的不确定性。

针对这些变化,衢州市的农业适应策略应从结构调整、工程防御与气象服务三个方面协同推进:

(1) 优化种植布局与品种结构。

应根据热量资源变化趋势,适度调整作物布局,扩大双季稻

及耐高温经济作物的种植比例,推广抗热、抗湿、抗旱新品种。同时,合理安排播种和收获时间,尽量避开高温和强降雨集中期,以降低灾害风险。

(2) 强化农田水利与节水技术建设。

加快完善排涝与蓄水设施,推广喷灌、滴灌等高效节水技术,提高用水效率实现精准化农业灌溉,从而缓解“旱涝并存”的风险,增强农田系统的水资源调控能力。

(3) 提升农业公共气象服务能力。

依托气象部门的监测和预报体系,建立面向主要农作物的气候风险预警与信息服务平台。发展智慧农业系统,将天气预报、墒情监测和灾害预警有机融合到农事管理中。通过“气象+农业+保险”模式,推动天气指数保险的应用,完善灾害风险分担机制,提升农户的抗风险能力。

未来,应进一步完善区域气候风险评估与分区管理体系,构建“监测—预警—应急—评估”一体化的公共气象服务链条,实现从气候信息获取到农业决策的精准对接。总体而言,气候变化对衢州市农业既带来了挑战,也孕育着新的机遇。通过科学开发利用环境资源、强化气象服务的科技支撑与创新,能够有效提升农业系统的气候适应能力,促进区域农业的高质量与可持续发展。

参考文献

- [1] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[J]. 2013.
- [2] 王毓森. 水文时间序列趋势变化及突变分析系统开发与应用研究[D]. 南京信息工程大学, 2016.
- [3] 翟盘茂, 王绍武. 中国气候变化研究的回顾与展望[J]. 气象学报, 1999, 57(3): 257-266.
- [4] 王绍武, 施能, 龚道溢. 近百年来我国气温变化的特征[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 345-353.
- [5] 刘玲玲, 徐影. 浙江省气候变暖对农业生产的影响及适应对策[J]. 中国农业气象, 2019, 40(6): 405-412.
- [6] 张丽, 赵志强. 华东地区气候变暖与极端气温事件分析[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 231-236.
- [7] 杨勇, 陈建华. 农业气象服务的现状与发展趋势[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(3): 145-151.
- [8] 衢州市气象局. 衢州市气候变化监测公报(1981-2020).

林业病虫害生物防治技术及应用研究

戴福龙

内蒙古自治区第二林业和草原监测规划院, 内蒙古 乌兰浩特 137400

DOI:10.61369/EAE.2025050009

摘 要： 林业对维持生态系统的稳定和生态系统的功能具有十分重要的作用。近年来, 林业害虫频发, 对林业资源的安全与健康构成了极大的威胁。目前, 林业病虫害种类繁多, 危害日趋严重, 对林业的发展和生态环境造成了很大的危害。由于农药残留和害虫抗药性的增加, 传统的药剂控制方法已经不适应当前林业可持续发展的需要。而利用生物控制是一种绿色、高效和持久的方法, 是林业害虫治理的重要途径。在林业生态系统中, 如何有效地利用和控制害虫, 是林业生态安全与经济可持续发展的关键。

关 键 词： 林业病虫害; 生物防治技术; 应用

Research on Biological Control Techniques and Applications for Forest Pests and Diseases

Dai Fulong

Inner Mongolia Autonomous Region Second Forestry and Grassland Monitoring and Planning Institute, Ulanhot, Inner Mongolia 137400

Abstract： Forestry plays a crucial role in maintaining the stability and functionality of ecosystems. In recent years, frequent outbreaks of forestry pests have posed a significant threat to the safety and health of forestry resources. Currently, there is a wide variety of forestry pests and diseases, with their harm becoming increasingly severe, causing significant damage to forestry development and the ecological environment. Due to pesticide residues and the increasing resistance of pests, traditional chemical control methods are no longer suitable for the current needs of sustainable forestry development. Biological control, as a green, efficient, and sustainable approach, represents an important avenue for managing forestry pests. In forestry ecosystems, effectively utilizing and controlling pests is key to ensuring ecological security and sustainable economic development in forestry.

Keywords： forestry pests and diseases; biological control technology; application

引言

由于林业害虫的频繁发生, 给生态安全和可持续发展带来了严峻的挑战, 因而, 利用生物控制的方法引起了社会的高度重视。以环境友好、高效和可持续发展为代表的生物控制方式日益受到人们的关注。叙述了林业害虫对生态环境造成的危害, 以虫治虫, 以菌治虫, 综合运用禽畜、植物源农药及生物信息化合物等方法, 重点叙述了生物控制在优化造林方式、防控外来种入侵及降低农药残留等中的应用。

一、林业病虫害生物防治技术体系

1. 天敌微生物应用。林业病虫害生物防治技术体系以天敌和微生物为核心, 通过生态调控与技术创新实现可持续控害, 具体应用如下: 天敌昆虫应用技术, 捕食性天敌, 释放瓢虫、草蛉、螯蜂等捕食性昆虫, 直接捕食蚜虫、鳞翅目幼虫等害虫。例如, 大兴区释放螯蜂1.6万头防治林木害虫, 效果显著。寄生性天敌, 利用赤眼蜂、周氏啮小蜂等寄生蜂类, 通过产卵寄生控制松毛虫、白蛾等。河南新乡市通过释放周氏啮小蜂实现白蛾精准防

控, 化学农药用量减少50%。微生物防治技术, 真菌制剂, 白僵菌、绿僵菌可感染并杀死松毛虫、蛱蝶等害虫, 需高温高湿环境以提升效果。中国林科院研发的3D打印繁育装置使花绒寄甲繁育效率提升5.2倍。细菌与病毒, 苏云金杆菌(Bt)制剂对鳞翅目幼虫防效达80%; 核型多角体病毒(NPV)可特异性感染害虫。协同增效技术, 天敌-微生物联合: 异色瓢虫搭载虫生真菌防治蚜虫, 静电载菌技术提升效率并降低成本^[1]。诱捕器协同: 性诱捕器压低害虫基数后释放天敌, 如玉米螟防治中赤眼蜂寄生率提高30%。生态调控与设施优化, 生态岛模式: 山东通过构建“生态

岛”维持天敌种群，减少化学农药依赖。防虫网与蜜源植物：安装60目防虫网阻断害虫侵入，种植金盏菊等蜜源植物吸引天敌。该体系通过天敌与微生物的精准应用，结合生态工程，实现林业害虫的绿色长效防控。

2.昆虫信息素诱杀。昆虫信息素诱杀技术原理，昆虫信息素诱杀技术通过模拟害虫释放的化学信号（如性信息素、聚集信息素或食诱信息素），干扰其交配、觅食或聚集行为，实现精准防控。核心方法包括：诱捕法：利用性信息素吸引雄虫至诱捕器集中灭杀，降低下一代虫口密度。迷向法：释放大量信息素干扰雌雄虫通讯，使其无法完成交配。食诱法：针对成虫营养需求期，通过诱食信息素吸引雌虫至诱捕器灭杀，阻断产卵。技术优势，专一性强：仅靶标目标害虫，不伤害天敌及益虫。环保长效：信息素用量极低（每亩几克），持效期达2-3个月，且无农药残留。兼容性高：可与化学农药、生物防治等技术协同使用，减少化学农药用量。应用场景与案例，林业害虫监测：通过信息素诱捕器调查害虫发生规律，指导精准施药。检疫防控：在口岸利用信息素快速检测外来入侵物种。果园综合防治：如针对果蝇的雌雄双杀技术，结合性诱与食诱，显著降低落果率。配套措施，生态调控：种植蜜源植物吸引天敌，增强自然控害能力。健康栽培：轮作、清洁田园等减少虫源基数。该技术体系通过“监测-诱杀-生态修复”闭环，实现林业病虫害的可持续治理。

3.生物农药开发。林业病虫害生物防治技术体系与生物农药开发是当前生态保护与林业可持续发展的核心方向，其技术框架和实践应用可归纳如下：生物防治技术体系构建，天敌昆虫立体防控，以七星瓢虫、小花蝽、夜蛾黑卵蜂等天敌昆虫为核心，形成“海、陆、空”立体防控网络，通过自然捕食关系抑制害虫种群。例如烟叶产区通过释放昆虫病原线虫等天敌，实现烟田生态平衡。生物信息素与诱杀技术，利用性信息素诱捕器、食诱剂等干扰害虫交配或聚集行为，结合太阳能诱虫灯、色诱板等物理手段，减少化学药剂依赖。大兴安岭松岭林业局通过智能鼠饵站投放不育剂，精准控制鼠害扩散。农业生态调控，推广轮作、间作等“三作两清”模式，增强林木抗病性；同时清理病弱枝、优化林分结构，从源头降低病虫害滋生风险^[2]。生物农药开发方向，微生物农药应用，白僵菌、苏云金杆菌（Bt）、核型多角体病毒等微生物制剂对草地贪夜蛾等害虫具有高效靶向性，且环境兼容性高。植物源农药创新，印楝素、苦参碱等植物提取物通过干扰害虫生理活动实现防治，符合有机农业标准。国际有机农业联盟正推动此类天然农药的标准化生产。智能递送技术，结合太阳能驱动装置与精准投放系统（如智能鼠饵站），提升生物药剂利用率并降低人工干预风险。政策与科技支撑，国家层面已将生物防治纳入《全国松材线虫病疫情防控五年攻坚行动计划》，并通过林长制强化责任落实。同时，无人机喷洒、遥感监测等技术的应用进一步提升了防治精准度。未来需持续优化“农业防治为基础、生物防治为核心”的综合体系，推动生物农药的规模化生产与生态效益最大化。

二、技术集成与创新

1.遥感监测预警。林业病虫害生物防治技术的集成与创新与遥感监测预警的结合，正推动现代林业病虫害防治向智能化、精

准化方向发展。

2.生物防治技术集成创新。多技术融合应用，以虫治虫（如释放天敌昆虫）、以菌治虫（如白僵菌防治松毛虫）及植物源农药等技术已形成综合防治体系。例如，祁连山地区针对云杉叶锈病等专项病害，采用生物防治技术显著提升了生态平衡维护效果。生物技术突破，基因工程和微生物控制技术成为新方向，如通过基因编辑增强林木抗病性，或利用纳米传感器早期检测植物挥发性有机物（VOCs）实现病虫害预判。遥感监测预警技术，“天地空”立体监测网络，卫星遥感（如哨兵2号时序数据）、无人机巡查（厘米级纹理采集）与地面传感器结合，构建多尺度监测体系。江西遂川通过该网络实现松材线虫病“双下降”，北京则利用高分辨率影像锁定美国白蛾危害区域。智能识别与预警模型，光谱分析：通过NDVI、红边指数等植被指标识别早期病害。深度学习：U-Net++模型分割受灾斑块，精度达IoU≥0.8。扩散模拟：结合元胞自动机（CA）预测病虫害蔓延范围，精度超85%。技术集成案例，“慧眼”系统：我国首个天空地智能监测预警系统，集成近地探测、低空遥感及区域预警，支持20余种病虫害动态监测。数字化平台：如农林病虫害监测预警系统，通过物联网与区块链技术实现“监测-预警-治理-评估”闭环管理。未来趋势，智能化：AI图像识别准确率将超95%，结合大数据预测爆发风险。早期检测：分子级传感器可在病害显现前1-2天预警。设备轻量化：便携式监测仪支持田间实时数据上传。通过生物防治与遥感技术的深度融合，林业病虫害防治正从被动应对转向主动防御，为生态安全提供科技支撑。

3.森林健康管理。森林健康管理的挑战与对策，技术推广的瓶颈，生物防治技术成本较高，且依赖专业培训。对策包括：政府补贴规模化生产，建立“公司测报中心—林场测报站—管护员测报点”三级体系，提升基层人员技能。桦南局公司通过三级监测网络，对208.3万亩林区实施立体监测，确保早发现早处置。跨区域协同机制，病虫害跨区域传播需联防联控。京津冀地区通过联合防治2300多万亩次，遏制了美国白蛾的蔓延。未来需完善数据共享平台，推动“天空地”一体化监测网络建设。公众参与与社会认知，提升公众对生物防治的接受度是关键。大兴安岭地区通过“森防知识进社区”活动，发放科普资料500余份，增强了群防群治意识。构建智慧森林生态网，生物防治技术的集成与创新，标志着森林管理从“人防”向“技防”的跨越。未来，5G、无人机与气象数据的融合，将实现更高效的立体监测。例如，智能虫情监测系统与气象站联动，可预测病虫害暴发趋势，为科学决策提供依据。森林健康管理的终极目标，是构建“预防为主、治理为辅”的生态屏障，守护绿水青山。

三、林业病虫害生物防治应用挑战与对策

1.抗药性管理。林业病虫害生物防治在应用过程中面临多重挑战，需结合生态优先原则与科学管理策略进行系统性应对。生物防治的主要挑战，天敌种群稳定性不足，人工释放的天敌（如瓢虫、捕食螨）易受环境因素影响，存活率波动大，且部分害虫

(如红蜘蛛)繁殖周期短,天敌控害效果滞后。抗药性协同管理困难,化学农药的过度使用导致害虫抗药性增强,同时杀伤天敌,形成“农药依赖-抗药性上升-天敌减少”的恶性循环。例如,蚜虫对有机磷类农药的抗性已显著降低生物防治效果^[3]。监测与预警体系薄弱,基层技术力量不足,病虫害暴发初期难以识别,错过最佳防治窗口期。如松材线虫病的潜伏期长,发现时往往已造成不可逆损失。抗药性管理对策,农药轮换与精准用药,交替使用作用机理不同的药剂(如吡虫啉与螺虫乙酯),避免单一药剂选择压力。采用低有效浓度施药,减少抗性诱导风险。生物-化学协同技术,优先选用对天敌安全的药剂(如烟参碱),结合释放天敌(如加州新小绥螨)形成复合防控。推广微生物制剂(苏云金杆菌)靶向防治特定害虫,降低非目标杀伤。抗性监测与品种优化,建立抗性基因库,定期评估害虫种群抗药性动态。培育多抗性树种,通过遗传多样性降低病虫害暴发风险。系统性支持措施,强化预警能力:利用遥感与物联网技术提升监测精度,实现早期干预。政策与资金倾斜:加大绿色防控技术研发投入,建立农药包装回收制度减少环境残留。跨部门协作:整合造林、检疫、防治环节,避免“重造林轻管理”的脱节问题。通过上述综合策略,可逐步构建以生物防治为核心、抗药性管理为支撑的可持续林业病虫害防控体系。

2. 基层技术培训。基层技术培训的核心挑战,技术认知局限,基层人员对生物防治原理(如天敌昆虫、微生物制剂)的掌握不足,常误判防治时机或混淆虫害类型。例如,枣庄培训中发现部分技术人员难以区分松材线虫病与普通枝枯病,导致防治延误。实操能力薄弱,生物防治技术(如释放赤眼蜂、喷施白僵菌)需精准操作,但基层培训多停留于理论,缺乏田间指导。某

基地培训显示,仅30%人员能独立完成诱虫板布设。资源配套不足,生物防治依赖持续投入,但基层单位常面临资金短缺、设备老化问题。如腾冲培训中,60%学员反映缺乏显微镜等监测工具。针对性培训对策,分层课程设计,基础层:通过案例教学(如江苏省松材线虫病“三下降”经验)强化病虫害识别与法规意识。进阶层:增设生物防治实操模块,如天敌昆虫繁育技术、微生物制剂配比。管理层:融入检疫执法与灾害保险知识,提升综合防控能力。创新培训模式,“田间课堂”:借鉴定南县闽楠基地模式,在受害植株现场教学病害辨识与绿色防治技术。数字工具辅助:开发AR识别小程序,帮助基层人员通过手机扫描叶片快速诊断虫害。长效支持机制,建立“专家-基层”结对帮扶,定期回访指导。例如,枣庄培训后组建专家团队,季度性解决技术难题。推动政府购买服务,为基层单位提供生物防治物资补贴。实施路径建议,短期行动(1年内),开展覆盖所有县区的“生物防治技术轮训”,重点培训松材线虫病、美国白蛾等重大病虫害防治。编制《基层生物防治操作手册》,图文并茂解析技术要点。中长期规划(3-5年),将生物防治纳入基层人员职称评定体系,激励技术学习。建设区域性生物防治示范基地,如江苏省的“防控体系能力提升项目”,辐射带动周边地区。

总之,林业病虫害生物防治技术对林业可持续发展能起到有力的保障作用,其凭借生物间相互作用有效控制病虫害的发生与危害,能够减少化学农药的使用并保护生态环境。当前,这一技术仍存在着一些挑战,如防治效果会受到环境因素的较大影响、技术推广的难度较高等。当前,需进一步强化该技术的创新,优化防治方案,提高防治效果。此外,要加大宣传推广力度,增强林业从业者对该技术的认识,提升其应用水平。

参考文献

-
- [1] 辛维丽. 林业病虫害生物防治技术与管理措施 [J]. 吉林农业. 2019, (5)22-23.
[2] 官忠民. 林业病虫害生物防治技术 [J]. 江西农业. 2016, (22)133-135.
[3] 赵彩梅, 冯桂林. 林业病虫害防治生物技术探析 [J]. 现代园艺. 2020, (22)153-154.

国土空间规划导向下县域土地整治与生态修复分区策略研究

王继盛

云南导航地理信息系统工程有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/EAE.2025050010

摘 要： 国土空间规划是我国国土空间开发的顶层设计，是实现城乡统筹、城乡协调发展的重要基础。本文以 X 县为例，以“三生空间”为优化目标，集成 GIS 空间分析、PSR 评价模型、聚类分析等技术手段，建立“现状诊断—适宜性评估—区划划分—战略制定”的研究思路，对县域土地利用和生态环境现状进行系统梳理，辨识其核心矛盾和重点地区，综合考虑资源环境承载能力与国土空间发展适宜性，划分出具有差异性的整治整治区域，并有针对性地提出耕地保护地、城乡融合、生态保育、综合整治等区域的具体实施对策，为提高土地利用效率及修复受损生态环境提供可借鉴的实践范例。

关 键 词： 国土空间规划；县域；土地整治；生态修复；分区策略

Research on Zoning Strategies for Land Consolidation and Ecological Restoration in County Areas Under Territorial Spatial Planning

Wang Jisheng

Yunnan Navigation Geographic Information System Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract： Territorial spatial planning serves as the top-level design for China's territorial development, forming a crucial foundation for achieving coordinated urban-rural development. Using X County as a case study, this paper establishes a research framework encompassing "current diagnosis, suitability assessment, zoning division, and strategic formulation". By integrating GIS spatial analysis, PSR evaluation models, and cluster analysis techniques with the "Three-Life Spaces" optimization goal, the study systematically examines current land use patterns and ecological conditions. It identifies core conflicts and key areas, balances resource-environmental carrying capacity with spatial development suitability, and delineates differentiated remediation zones. Targeted implementation strategies are proposed for farmland protection, urban-rural integration, ecological conservation, and comprehensive remediation. These findings provide practical references for enhancing land use efficiency and restoring damaged ecosystems.

Keywords： territorial space planning; county; land consolidation; ecological restoration; zoning strategy

前言

随着我国城市化和工业化进程的加快，我国的土地资源供求矛盾越来越大，耕地侵占、生态破坏、环境污染等问题频频发生，这对县域的可持续发展造成了很大的阻碍^[1]。2023年《全国国土空间规划纲要（2021—2035年）》明确提出“坚持生态优先、绿色发展，推进国土空间开发保护格局优化，加强生态保护修复和土地综合整治”，以县域为实施国土空间规划的重要单位，如何在国土空间规划指导下，对其进行科学区划，使其与生态保护协调发展，是当前迫切需要解决的关键问题^[2,3]。

在理论上融合“三生空间”的土地整治与生态修复理论，完善县级土地资源优化配置与生态修复理论体系，弥补现有“规划引导—区划实施”衔接不足的缺陷^[4]。在实践上直接用于 X 县国土整治和生态修复项目中，为县级政府科学划分整治区域、合理配置资源提供借鉴，对我国类似地区的国土整治和生态文明建设具有重要的借鉴意义。

一、相关概念与理论基础

（一）核心概念界定

国土空间规划是对一定区域国土空间开发保护在空间和时间上作出的安排，包括总体规划、详细规划和相关专项规划，核心是优化“三生空间”（生产空间、生活空间、生态空间）布局，提升国土空间开发保护质量和效率^[5]。

县级土地整治是在国土空间规划的指引下在县级尺度上对土地利用结构进行调整，优化土地布局，提高土地质量，达到耕地保护、城乡建设集约利用、生态环境改善等目的的综合性工程^[6]。

（二）理论基础

“三生空间”最优理论强调集约高效的生产空间、适度宜居的生活空间和山清水秀的生态空间，需要在国土整治和生态修复过程中兼顾“发展”和“保护”之间的协调发展，实现三个空间的协调共融，是区域规划的重要理论基础^[7]。

资源环境承载力是一个地区人口规模、经济发展水平和社会生活水平的极限，在区划时要根据资源环境容量评估结果，合理规划各地区的发展强度和恢复顺序，以防止因过度开发造成的生态平衡失调^[8]。

景观生态学是研究景观格局和生态过程之间的内在联系，强调通过优化景观元素（如点、廊、底）来提高生态系统的连通性和稳定性，提出生态敏感区整治与恢复的新思路，为生态廊道的建设与保护提供技术支持^[9]。

二、县域土地整治与生态修复现状诊断——以X县为例

（一）研究区概况

X县位于西部，地处山地丘陵区，总面积2021平方公里，下辖10个乡镇（街道），总人口31.75万人。该县是典型的农业县，近年来城镇化率稳步提升，但土地利用与生态保护的矛盾逐渐凸显。

（二）土地利用现状与问题

根据2024年X县土地利用变更调查数据，县域土地利用类型以农用地为主，其中农用地占比为91.10%（耕地占23.57%）；建设用地占比2.40%，主要集中县城及重点乡镇；其他土地占比6.50%，分布于县域西部山区主要问题如下：

（1）耕地碎片化严重：由于历史耕作习惯与地形限制，县域耕地地块小、分布散，机械化作业难度大，耕地质量参差不齐；

（2）建设用地集约度低：农村居民点“空心化”现象突出，闲置宅基地占比达12.11%，而县城建设用地扩张面临耕地保护约束；

（3）生态用地连通性差：林地、湿地等生态用地呈“孤岛化”分布，生态廊道缺失，生态系统稳定性弱。

（三）生态环境现状与问题

县域生态敏感区主要包括2处省级自然保护区、4条主要河流流域，土壤类型以砂土为主，水土流失轻度以上区域占比27.15%，县域实施生态修复工程，如矿山修复、退耕还林，生态

环境得到一定改善，主要问题如下：

（1）水土流失局部突出：县域东部丘陵区因植被覆盖低、降雨集中，水土流失问题较为严重，土壤侵蚀模数达12.17吨/平方公里·年；

（2）矿山生态修复滞后：历史遗留矿山37处，面积24.5211公顷，存在土壤重金属污染、植被枯死等问题，未完成修复面积占比49.55%；

（3）湿地功能退化：KL湿地因围垦、污染等原因，面积缩减4.54%，湿地调蓄洪水、净化水质的功能下降。

（四）国土空间规划约束与需求

根据《X县国土空间总体规划（2021-2035年）》，县域国土空间规划明确了耕地保有量、永久基本农田保护面积、生态保护红线面积不低于不减少，严禁开发建设；城镇开发边界内建设用地规模控制增加比例不超过10.00%，规划提出“打造农业强县、生态宜居县”的目标，对土地整治与生态修复提出了具体要求：优化耕地布局、提升城镇用地集约度、修复受损生态系统。

三、国土空间规划导向下县域土地整治与生态修复分区方法体系

（一）分区原则

县域土地整治与生态修复分区需遵循四大原则：规划引领原则要求严格依照县域国土空间总体规划中“三生空间”布局，保证分区结果与规划目标相符，例如生态保护红线内区域优先划为生态保育型分区；问题导向原则强调针对不同区域土地利用与生态环境的核心问题（如耕地碎片化、矿山退化等），划定差异化分区以确保策略精准解决问题；统筹协调原则需兼顾耕地保护、城乡建设、生态修复的多重需求，避免单一功能导向造成资源浪费，像城乡融合型分区要同时考虑城镇扩张与农村人居环境改善；可操作性原则规定分区单元以乡镇（街道）为基础，保障数据获取便捷与策略落地可行，且分区数量需适中，防止因过于复杂影响管理。

（二）指标体系构建

基于PSR评价模型，构建县域土地整治与生态修复分区评价指标体系，分为3个准则层、12个指标层，具体如下：

表1 PSR评价模型指标含义及数据来源

准则层	指标层	指标含义	数据来源
压力（P）	耕地碎片化指数	反映耕地地块分散程度	土地利用变更调查数据
	建设用地集约度	城镇建设用地地均GDP	统计年鉴、国土空间规划
	水土流失强度	反映生态环境压力	生态环境局监测数据
	矿山遗留面积占比	反映矿山修复压力	自然资源局矿山台账
状态（S）	耕地质量等级	反映耕地生产能力	耕地质量等别调查数据
	生态用地占比	反映生态系统基础	土地利用变更调查数据
	人均城镇建设用地面积	反映生活空间状态	统计年鉴、住建部门数据

状态 (S)	河流湿地水质达标率	反映水环境状态	生态环境局监测数据
响应 (R)	规划耕地保护目标	耕地保护约束	国土空间总体规划
	规划生态修复任务量	生态修复需求	生态修复专项规划
	城镇开发边界面积占比	城镇发展导向	国土空间总体规划
	财政投入能力	整治修复保障	统计年鉴、财政部门数据

（三）数据处理与评价方法

1.数据标准化

采用极值法对指标数据进行标准化处理，消除量纲影响，公式如下：

正向指标（如生态用地占比）：
$$x'_{(ij)} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

负向指标（如水土流失强度）：
$$x'_{(ij)} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

其中， x_{ij} 为第 i 个乡镇第 j 个指标的原始值；
 x'_{ij} 为标准化后的值；
 $\max(x_j)$ 、 $\min(x_j)$ 分别为第 j 个指标的最大值、最小值。

2.权重确定

采用层次分析法（AHP）确定各指标权重，通过邀请国土空间规划、土地整治、生态修复领域的5位专家打分，构建判断矩阵，计算得出准则层权重：压力层（0.35）、状态层（0.40）、响应层（0.25），指标层权重通过权重乘积计算得出。

3.综合评价与聚类分区

根据指标权重与标准化数据，计算每个乡镇的综合评价得分： $F_i = \sum_{j=1}^n w_j x'_{ij}$ （ w_j 为第 j 个指标的权重），基于综合评价得分，采用 K-means 聚类法将县域 10 个乡镇划分为 4 类整治修复分区，通过肘部法则确定最优聚类数为 4。

三、X 县土地整治与生态修复分区结果与策略

（一）分区结果

基于上述方法，将 X 县划分为 4 类整治修复分区，各分区特征与分布如下：

表 2X 县划分为 4 类整治修复分区表

分区类型	包含乡镇	面积占比	核心特征
耕地保护型分区	YJ 镇、PE 镇	15.47%	耕地占比高（>40%），碎片化严重，生态压力小
城乡融合型分区	XL 乡、DS 镇、TT 乡	27.56%	城镇建设用地集中，农村居民点“空心化”，靠近县城
生态保育型分区	ZH 镇、LY 乡、SZ 镇	41.22%	生态用地占比高（>60%），含生态保护红线，水土流失轻度
综合整治型分区	NZ 乡、MB 镇、	15.75%	耕地、建设用地、生态用地混杂，矿山遗留问题突出

（二）各分区整治修复策略

1.耕地保护型分区：聚焦“连片提质”

（1）农用地整治：开展耕地连片整理，合并碎片化地块，修建田埂、灌溉渠道等基础设施，提升耕地质量等级，目标将耕地

连片度从当前 27.55% 提升至 49.57%；

（2）土壤改良：针对区域内 612.4215 公顷中低产田，采用增施有机肥、秸秆还田等措施，改善土壤肥力，提高粮食产量；

（3）生态廊道构建：在耕地之间保留或种植防护林带，宽度不低于 5 米，提升农田生态系统稳定性，同时避免化肥农药滥用，保护土壤环境。

2.城乡融合型分区：聚焦“集约宜居”

（1）建设用地整治：推进农村居民点拆旧复垦，将闲置宅基地整理为耕地或生态用地，计划复垦面积 117.6824 公顷；同时优化城镇建设用地布局，提高容积率，目标将城镇建设用地集约度提升 1 倍；

（2）人居环境改善：整治城镇周边“城中村”，完善污水管网、垃圾处理等基础设施；在农村建设休闲绿地、文化广场，提升生活空间宜居性；

（3）产业融合发展：利用整理后的建设用地发展乡村旅游、农产品加工等产业，如在 LY 乡建设农产品加工园，实现“整治—产业—增收”的良性循环。

3.生态保育型分区：聚焦“修复提质”

（1）生态系统修复：在自然保护区周边实施封山育林，面积 138.5420 公顷；对 LL 河流域开展湿地修复，通过退田还湿、水质净化等措施，恢复湿地面积 86.5242 公顷，提升调蓄功能；

（2）水土流失治理：在县域东部丘陵水土流失重点区域，采用鱼鳞坑、水平阶等工程措施结合植被种植（如马尾松、紫穗槐），降低土壤侵蚀模数至 6.8541 吨 / 平方公里 · 年以下；

（3）严格管控开发：生态保护红线内严禁任何开发建设活动，生态控制区内仅允许开展生态修复项目，建立“县—乡—村”三级巡查机制，确保生态环境不受破坏。

（三）分区实施保障措施

1.政策保障

出台《X 县土地整治与生态修复分区实施管理办法》，明确各部门职责（自然资源局负责土地整治、生态环境局负责生态修复监管、财政局负责资金保障），建立跨部门协同工作机制，每季度召开工作推进会，解决相关的问题。

2.资金保障

构建“政府主导 + 社会参与 + 金融支持”资金筹措模式：一是争取中央、省级生态修复专项补助资金，重点投向生态保育型与综合整治型分区；二是通过特许经营、PPP 模式吸引社会资本参与城乡融合型分区的基础设施建设；三是设立县域生态修复专项基金，为中小微生态企业提供贷款贴息。

3.技术保障

组建由高校（如 YN 农业大学、科研院所专家组成的技术指导团队，为各分区提供技术咨询与培训；建立“互联网 + 监测”平台，利用遥感、物联网技术实时监测整治修复效果，及时调整技术方案。

4.公众参与

通过政府官网、微信公众号、乡村公告栏等渠道，宣传分区整治修复的目标与意义；在项目实施前开展公众意见征集会，充

分听取村民对土地调整、补偿方案的建议；建立“村民监督小组”，参与项目质量监督与后期管护，提高公众参与积极性。

四、总结

构建了“国土空间规划—现状诊断—指标评价—聚类分区—策略制定—保障实施”的县域土地整治与生态修复分区研究框架，将“三生空间”优化理论、资源环境承载力理论与分区实践

深度融合，弥补了现有研究中“规划与实践脱节”、“单一功能导向”的不足，为县域尺度整治修复分区提供了理论支撑。

以X县为实证，通过PSR模型与K-means聚类法，科学划定4类整治修复分区，提出差异化实施策略，明确各分区3-5年核心目标，制定政策、资金、技术、公众参与四维保障措施，确保策略可落地、可执行，为县域落实国土空间规划提供具体实践方案。

参考文献

[1] 自然资源部. 全国国土空间规划纲要（2021-2035年）[Z]. 2023.
[2] 欧洲土地整理协会. 土地整理与可持续发展 [M]. 北京：中国农业出版社，2019.
[3] X县国土空间总体规划（2021-2035年）.
[4] 朱营，王玉敏，刘萌. 国土空间规划中全域土地综合整治与生态修复对策 [J]. 农村科学实验，2025, (18): 33-35.
[5] 樊洁. 农村全域土地综合整治与国土空间生态修复路径 [J]. 南方农机，2025, 56(14): 104-106.
[6] 赵彦，陈雪初，蔡珥青，等. 生态基底调查赋能全域土地综合整治生态空间规划与修复设计探索 [J]. 园林，2025, 42(07): 103-111.
[7] 孙思敏，程志萍，赵庆. 代际协同视角下涝水源村土地生态修复规划研究 [J]. 山西建筑，2025, 51(10): 157-161.
[8] 肖宁玲，董贤东. 国土空间规划中综合整治与生态修复的路径研究以湖北省麻城市为例 [J]. 中华建设，2025, (04): 99-101.
[9] 刘燕. 国土空间规划视域下综合整治与生态修复路径的思路分析 [J]. 绿色中国，2025, (06): 103-105.

工业 wastewater 处理分析及环境治理

刘慧

内蒙古瀚晴环境技术有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000

DOI:10.61369/EAE.2025050011

摘 要 : 中国工业化的发展稳步向前, 为我国经济发展奠定了坚实的基础, 发挥着承上启下的积极作用。而随着工业生产的发展, 排出的污水量也随之增加, 一旦处理不完全, 以忽视之态, 无章法的肆意排放, 就会严重污染周围水质和土壤环境。部分工业企业对污水的处理工作极其不重视, 造成周围的生活用水被污染。因为水本身具有流动性的特点, 能够使污染源不断地向周围发展、恶化, 使附近的城市和农田遭受到不同程度的污染。

关 键 词 : 工业; 污水; 污染; 污水处理; 治理

Analysis of Industrial Wastewater Treatment and Environmental Governance

Liu Hui

Inner Mongolia Yanqing Environmental Technology Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 017000

Abstract : The development of China's industrialization is progressing steadily, laying a solid foundation for the country's economic growth and playing a pivotal role in bridging past and future development. However, with the expansion of industrial production, the volume of wastewater discharged has also increased. If this wastewater is not treated thoroughly and is instead discharged indiscriminately and without proper regulation, it can severely pollute surrounding water bodies and soil environments. Some industrial enterprises pay extremely little attention to wastewater treatment, resulting in the contamination of nearby domestic water sources. Due to the inherent mobility of water, pollutants can continuously spread and worsen, causing varying degrees of pollution to nearby cities and farmland.

Keywords : industry; wastewater; pollution; wastewater treatment; governance

引言

污水处理是当下环境保护需要首先解决的问题。在人们生活中, 水质良好与土壤洁净直接关系到人类的生活和生存。如果无法对工业污水的污染问题进行合理解决, 就会对人类的生活和生存造成不可估量的危害。因此, 社会想要持续稳定的发展, 人们能够健康安定的生活, 首先就是对大自然环境的爱护, 减少对环境的污染, 特别是工业污水对水质的污染。

一、工业废水处理技术

1. 物理法: 工业废水处理中的物理法是通过物理或机械作用分离污染物, 不改变物质化学性质的技术, 主要作为预处理或一级处理手段。重力分离法, 原理: 利用颗粒密度差异实现沉降或上浮, 如平流式沉淀池通过重力使悬浮物沉降。应用: 去除悬浮固体和浮油, 是基础物理处理手段。气浮法, 原理: 通入微气泡携带悬浮物上浮分离, 适用于细小颗粒或油滴。设备: 气浮机广泛用于工业废水处理。过滤与离心分离, 过滤法: 使用多孔材料 (如滤布、砂滤) 截留悬浮物。离心分离: 高速旋转加速高密度悬浮物沉降, 常用于高浓度废水。其他技术, 吸附法: 活性炭等吸附剂去除溶解性有机物^[1]。膜分离: 反渗透、超滤等精细分离技术。物理法通常位于处理系统前端, 保护后续设备并稳定处理流程, 常与化学法、生物法结合形成分级处理模式。

2. 化学法: 工业废水处理中的化学法是通过化学反应去除或转化污染物的技术, 中和法, 通过投加酸/碱药剂调节废水 pH 值, 同时使重金属离子生成氢氧化物沉淀 (如 Cr^{3+} 转化为 $\text{Cr}(\text{OH})_3$)。例如含氰废水在碱性条件下通氯气氧化, 分步转化为 CO_2 和 N_2 。氧化还原法, 氧化剂应用: 使用臭氧、双氧水等氧化有机物, 或通过碱性氯化法处理含氰废水。还原剂应用: 如用 FeSO_4 将 Cr^{6+} 还原为 Cr^{3+} 后沉淀去除。混凝沉淀法, 投加混凝剂 (如铝盐、铁盐) 使胶体颗粒脱稳聚集, 通过沉淀或气浮分离悬浮物及胶体污染物。高级氧化技术, (AOP) 利用羟基自由基氧化难降解有机物, 如电催化氧化技术可降低处理成本 40%^[1]。2025 年零排放项目中, 该技术已实现有机物高效分解。其他化学法, 离子交换: 树脂吸附重金属离子。化学沉淀: 如磷酸盐沉淀除磷。技术特点与趋势, 化学法处理效率高, 但药剂成本较高, 常需与物理法 (如过滤) 或生化法联用。2025 年技术突破聚焦智

能化投药系统与资源化回用，如 MBR+化学氧化组合工艺使 COD 去除率达95%。

3.生化法：工业废水处理中的生化法是通过微生物代谢作用降解有机污染物的核心技术，主要分为需氧和厌氧处理两大类。其核心优势在于处理成本低、无二次污染，且对有机物、氨氮、总磷等污染物去除效果显著。技术分类与原理，需氧处理，活性污泥法：利用悬浮微生物群体吸附分解有机物，包含曝气池、沉淀池等单元。生物膜法：通过填料表面的微生物膜降解污染物，如生物滤池、生物接触氧化法。厌氧处理，消化池工艺：在密闭反应器中分阶段降解高浓度有机物。UASB（升流式厌氧污泥床）：利用颗粒污泥层提升处理效率。应用场景与限制，适用性：市政污水、食品加工废水等可生化性高的废水。局限性：对含重金属、高浓度大分子物质（如化工废水）需先通过物理化学法预处理。技术发展趋势，未来将聚焦低碳源利用工艺（如S2EBPR、DAS）及微生物菌种优化，以提升处理效率和降低能耗。

二、零排放与资源化

1.深度处理：核心技术体系，分质预处理，针对不同水质（如含重金属、高盐废水）采用硫化沉淀、离子交换等技术，实现污染物精准分离。例如电镀废水通过分质收集可使重金属回收率超95%。膜分离技术，反渗透（RO）：脱盐率>98%，产水回用率达85%以上，如煤化工项目通过多级RO将废水TDS浓缩至200,000mg/L。纳滤（NF）：用于分盐预处理，为后续结晶提供基础。蒸发结晶，MVR蒸发：能耗较传统蒸发降低40%，某化工园区通过MVR+冷冻结晶年产工业盐300余吨。分盐结晶：通过纳滤或离子交换膜分离氯化钠与硫酸钠，纯度可达99.5%。资源化实践案例，钢铁行业：智慧水网络管控平台提升吨钢用水效率，重点企业重复利用率达98.25%。电子工业：成都双流再生水厂采用地埋式设计，处理工业废水同时打造生态公园，实现“处理+增值”。煤化工：威立雅项目通过多级RO与MVR组合，水资源回收率超99%。政策与成本挑战，政策要求：2025年钢铁、石化等行业重复利用率需达97%以上。处理成本：约90.8元/m³（含电费药剂），设备投资占比3.75%–7.5%。通过技术创新与智慧化管理，工业废水零排放已从环保需求升级为资源循环的重要途径。

2.分质处理：工业废水零排放（Zero Liquid Discharge,ZLD）是通过分质处理、膜分离、蒸发结晶等技术组合，实现废水全量回用和污染物资源化的闭环处理体系。其核心特征包括全量回用（回用率≥95%）、盐分资源化（如氯化钠、硫酸钠结晶纯度达99%）及环境友好性。关键技术流程，分质预处理，针对不同水质（如含重金属、高盐废水）采用硫化沉淀、离子交换等技术，实现污染物精准分离。例如，电镀废水通过分质收集，重金属回收率超95%。膜分离技术，纳滤（NF）分离一价/二价盐，反渗透（RO）脱盐率>98%，产水回用率可达85%以上^[2]。某煤化工项目通过多级RO将含盐废水浓缩至TDS 200,000mg/L，回用率超

99%。蒸发结晶，机械蒸汽再压缩（MVR）能耗较传统蒸发降低40%，分盐结晶技术可产出纯度99%的工业盐。某化工园区采用MVR+冷冻结晶组合，年产工业盐300余吨。资源化应用案例，燃煤电厂：国电汉川电厂采用全膜法工艺，淡水回收率超93%，实现水、盐、泥资源化。煤化工：百万吨级项目通过MCR膜化学反应器+高倍膜浓缩+蒸发结晶，运行8年稳定达标。经济与挑战，成本：设备投资高（如MVR蒸发器单套超千万元），能耗占运营成本40%–60%。技术难点：需应对高盐、高硬度水质，工艺设计需精准调控。

三、工业废水环境治理管理策略

1.总量控制：总量控制的核心原则，环境容量导向：依据水功能区划和水质标准，反推污染物允许排放总量，确保输入负荷与水体自净能力相匹配。分级管理机制：实行流域–控制单元二级分配，跨省水域需联合核定，强化区域协同治理。动态响应机制：建立水质目标与污染源治理的联动体系，根据环境变化调整排放限额。实施总量控制的关键措施，纳污能力核算：采用技术经济分析方法，结合水文、水质数据，确定区域环境容量。引入安全余量计算，预留突发污染事件的缓冲空间。总量分配与许可：省级政府制定总量控制计划，明确重点污染物种类、削减量及时限。排污许可证制度：对达标企业发放正式许可证，超标企业限期治理并核发临时许可证。工业废水循环利用：推动石化、钢铁、造纸等行业废水回用，力争2025年规模以上工业用水重复利用率达94%以上。推广电化学循环水处理、智慧用水管控等先进技术，减少废水排放量。分类监管与风险防控：针对有毒有害水污染物（如油类、剧毒废液）实施名录管理，严格禁止非法排放。强化含病原体污水消毒处理，确保达标排放。推动污染土壤修复、工业废气治理等配套技术应用。

2.厂内与厂外协同：厂内治理：源头控制与工艺优化，分类收集与预处理，按废水性质（如酸碱、含油、重金属）设置独立管道系统，配套中和、隔油、化学沉淀等预处理设施，确保水质稳定达标。高浓度有机废水采用“厌氧+好氧”组合工艺，通过UASB反应器降解COD并回收沼气，降低后续处理负荷。清洁生产与循环利用，推行节水工艺，减少新鲜水用量；工业废水经处理后回用于冷却、冲洗等环节，实现梯级利用。化工园区内企业间构建生态产业链，如将某企业废水作为另一企业原料，实现资源闭环。厂外协同：管网衔接与联合处理，纳管准入与动态调控，严格限制含重金属、难降解有机物废水进入市政管网，鼓励食品加工等优质碳源废水接入。通过“动态余量–实时配比”模型，根据污水处理厂进水水质自动调整工业废水投加量，避免冲击生化系统。园区集中处理与资源化，专业园区建设共享污水处理厂，采用“工业废水+生活污水”协同处理模式，降低单位处理成本。达标再生水用于工业循环冷却、市政绿化，形成“处理–回用–减排”循环链^[3]。政策与技术双轮驱动，政策引导与监管强化，落实排污许可与排水许可制度，对纳管企业实施全流程监管。通过阶梯水价、排污权交易等经济杠杆，倒逼企业提

升治污水平。技术创新与数智赋能，推广零碳技术（如电化学氧化、生物强化）和智能化管理系统，实现能效与降碳协同提升。建立厂网协同平台，整合水质、流量实时数据，优化工艺参数与应急响应。协同效益与未来方向，厂内厂外协同可降低30%以上处理成本，减少温室气体排放，助力园区绿色转型。未来需深化“五律协同”（技术、经济、社会、生态、制度）机制，推动工业废水治理从末端处置向全生命周期管理跃迁。

四、工业污水处理与环境治理的挑战与趋势

1. 浓盐水处理难：主要挑战，技术瓶颈，高盐废水因渗透压高、腐蚀性强，传统处理技术难以实现高效脱盐与资源化。部分工业园区仍存在处理设施不完善、技术参差不齐的问题，导致达标排放率不稳定。成本压力大，浓盐水处理需结合膜分离、蒸发结晶等高能耗工艺，1吨高盐废水处理成本显著高于普通工业废水。企业面临环保投入与经济效益的平衡难题。国家政策明确要求化工等重点行业实现废水“零排放”，并加强在线监测与“一企一管”管控。2025年新国标对总溶解性固体（TDS）等指标提出更严限制。结合光伏发电降低碳足迹。资源化：通过分盐结晶回收工业级氯化钠、硫酸钠，实现盐分资源循环利用。智能化：引入AI算法优化膜通量、预测结垢风险，提升系统稳定性。

2. 智能化管理：智能化管理的核心突破，AI驱动的精准调控，通过神经网络算法实时分析水质参数（如COD、氨氮含量）及设备运行数据，动态调整曝气量、药剂投加等参数，使印染废

水COD去除率提升15%–20%。智能系统还能替代高风险区域人工巡检，实现全天候无死角监测。数据整合与决策优化，当前治理系统多停留在数据可视化阶段，需解决数据分散、标准缺失问题，构建统一规范的生态大数据平台，以支撑算法模型的高效训练。边缘计算与轻量化算法的应用可降低对高算力的依赖。行业转型趋势，从达标排放到资源化循环，“十五五”期间，工业废水处理将向深度回用与资源回收转型，尤其在缺水地区需结合绿色工厂建设，推动污水再生利用。VOCs治理领域已形成从材料研发到“绿岛”集中服务的完整产业链，市场规模达1150亿元。技术融合与模式创新，数字孪生、物联网技术与水务治理深度融合，智慧水务系统实现从被动响应到主动管理的跃升。中小型企业通过“绿岛”模式共享集中治污设施，降低治理成本。现存挑战，技术短板：传感器可靠性不足，AI模型可解释性差，需机理模型与统计模型结合提升决策容错率。人才缺口：复合型技术人才缺乏制约智能化落地。标准细化：工业废水排放标准需针对重金属、微塑料等新污染物制定针对性限值。未来，智能化治理需进一步推动环保数据基建与绿色算法研发，实现低碳化与精细化的双重目标。

总之，污水处理和水环境保护是现阶段经济发展的薄弱环节。企业和政府有责任做好废水处理和环境保护工作，发挥监督引导作用，提高企业废水处理环保意识，使企业承担起应有的社会责任，提高综合效益。企业也应采取适当的方法处理生产中的工业废水。水资源对我们的生存和发展至关重要，必须实现绿色发展和和谐发展，给人们一个健康的用水环境。

参考文献

[1] 袁鹏. 常见工业污水治理方法的研究 [J]. 化工技术与开发. 2012, (10)88–90.
[2] 张宏宇. 浅谈工业污水处理分析及环境治理 [J]. 污染防治技术. 2006, (3)125–127.

活性炭吸附浓缩耦合催化氧化技术在喷漆废气处理中的工业应用

敬丹丹

广州拉斯卡工程技术有限公司，广东 广州 510305

DOI:10.61369/EAE.2025050012

摘 要： 本文阐述了喷漆废气的来源、排放特征，并对当前应用的常规处理技术的优缺点进行了分析。通过对某自动化装备生产企业喷漆车间废气产排情况及应用活性炭吸附浓缩耦合催化氧化技术的工艺流程、处理效率、运行费用等深入分析总结，证明了该技术在喷漆 VOCs 废气治理上的可行性，以期为有效解决工业涂装行业的喷漆废气问题提供指导。

关 键 词： 活性炭；催化氧化；工业涂装；挥发性有机物

Industrial Application of Activated Carbon Adsorption Concentration Coupled with Catalytic Oxidation Technology in the Treatment of Painting Waste Gas

Jing Dandan

Raschka Guangzhou Engineering & Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510305

Abstract： This article discussed the sources and emission characteristics of painting exhaust, and analyzed the advantages and disadvantages of the conventional treatment technologies. Through analysis and summary of the exhaust gas generation and emission in the painting workshop of an automated equipment manufacturing enterprise, as well as the process, treatment efficiency, and operation costs of applying activated carbon adsorption and concentration coupled with catalytic oxidation technology, it has been proved that this technology is feasible for the treatment of painting VOCs. This is expected to provide guidance for effectively solving the problem of painting exhaust in the industrial coating industry.

Keywords： activated carbon; catalytic oxidation; industrial coating; VOCs

引言

喷漆废气广泛产生于汽车及零部件制造、家具制造、汽修及金属表面处理等行业，废气排放流量大、以低浓度为主且波动大、排放源分散。针对喷漆废气，单一活性炭吸附、低温等离子体、光催化等技术应用占比大，处理效率低下。为打赢蓝天保卫战、进一步改善环境空气质量，喷漆废气作为工业 VOCs 废气的重要来源之一，迫切需要行之有效且经济性可接受的技术。

一、喷漆废气的排放特征及常用处理技术

据2023年中国生态环境统计年报^[1]可知，全国 VOCs 的排放量达到651.5万吨，其中工业源排放量为214.4万吨，约占 VOCs 总排放量的33%。在涉 VOCs 排放的工业行业中，石化、化工、工业涂装、包装印刷、油品储运销为我国 VOCs 重点排放源^[2]。工业涂装 VOCs 排放占整个工业源排放量的20%以上^[3]，是 VOCs 减排不可忽视的行业。

工业涂装的喷漆废气主要来源于含挥发性有机物的原辅料的使用，主要排放工序为漆料涂覆及干燥/固化。喷漆废气作为工业

VOCs 的重要来源，其排放呈现多维度特征。从排放源看，汽车及船舶制造、木质家具制造、金属表面处理、汽修等行业是主要产生领域，涉及行业多且以小规模分散作业为主，收集困难。从排放成分看，主要污染物种包括漆雾颗粒、芳香烃和含氧挥发性有机物（OVOCs），如苯系物、乙酸乙酯、乙酸丁酯等，这些组分难降解且部分具有神经毒性和致癌性。从排放模式看，废气具有间歇性、浓度随喷漆作业起停从几十到上千毫克波动，考验治理设施稳定性。上述排放特征使得喷漆废气收集困难，处理效率不高，设施稳定性降低，治理难度加大。

目前较为成熟的工业 VOCs 治理技术主要包括以吸收、冷凝

作者简介：敬丹丹（1988-），女，四川南充人，工学硕士，工程师，主要从事三废焚烧及 VOCs 处理工艺设计及技术开发工作。

等为主的回收技术及以燃烧、催化氧化等为主的破坏技术^[4]。每一种技术均有不同的适用范围，实际应用需结合废气的特征选择适配的技术。根据喷漆废气的特征，目前广泛采用的处理技术包括活性炭吸附、低温等离子体、光催化、浓缩+燃烧/催化等。单一活性炭吸附处理初期效果较好，但饱和后需及时换炭，且易因湿度饱和导致效率衰减缩短换炭周期，成本高；低温等离子体及光催化技术存在有机物未彻底分解而以其他小分子有害成分排放的风险，且低温等离子体易引起安全风险。燃烧/催化技术，虽能实现有机组分彻底分解，但其对 VOCs 的浓度有要求，以催化氧化为例，经济浓度为 3~6g/m³，无法直接用于低浓度喷漆废气处理。采用分子筛或活性炭对间歇排放的浓度波动大的喷漆废气进行浓缩均化后，再经燃烧或催化氧化彻底分解，原理上可行。

二、某自动化装备生产企业喷漆废气处理应用实例

（一）应用案例喷漆废气产生及排放情况

本案例位于四川某自动化装备生产企业，该企业主要从事长距离运输设备生产，喷漆废气的排放源于大件金属零部件表面喷涂。用到的涉 VOCs 的原辅料主要为 PU 聚氨酯面漆和稀释剂。PU 聚氨酯面漆的化学组成为树脂 60%（SIC80%、二甲苯 5%、丁酯 15%）、二氧化钛 35%、助剂 2%、醋酸正丁酯 3%，使用量为 940L/天/车间；稀释剂的化学组成为二甲苯 15%、醋酸正丁酯 45%、乙酯 20%、环己酮 20%，使用量为 460L/天/车间。本案例共计 2 个车间，两车间的喷漆工艺、原辅料消耗一致。

涉 VOCs 的 PU 聚氨酯面漆和稀释剂，在使用过程中苯系物、酯类、酮类会挥发至车间空气中，VOCs 的浓度随喷涂作业时间呈现周期性规律变化。VOCs 高强度排放出现在喷涂作业期间，之后随着喷涂作业的结束，VOCs 浓度开始逐渐下降，直至第二次喷涂作业开始再回升。

根据车间尺寸，按每小时换气 4 次考虑，单个车间的排气量约 80000m³/h。依据 PU 聚氨酯面漆及稀释剂的用量和有机物含量计算可挥发成分的量分别为 160 L/d、460 L/d。VOCs 密度按 0.85kg/L 计算，挥发率按 50% 考虑，则单个车间 VOCs 平均浓度计算为 412mg/m³。事实上，因间歇作业，VOCs 浓度在喷涂作业期间达到峰值，远大于计算的平均浓度。

（二）设计及实施处理工艺流程

本案例采用活性炭吸附浓缩耦合催化氧化工艺。喷漆废气在引风机的作用下负压进入预处理单元。预处理单元为一台双效过滤器，分别采用 G4 滤网和 F5 滤网进行初效、中效两级过滤以去除漆雾、漆粉等颗粒，避免对后续处理系统造成黏附、堵塞。经过滤预处理后的废气进入活性炭罐，苯系物、酯类、酮类等 VOCs 分子经活性炭层后被吸附拦截而去除，尾气经烟囱达标排放。吸附达饱和后采用热空气进行脱附，热空气来源于催化氧化的高温净烟气。脱附出的高浓度废气进入催化氧化单元，经与催化氧化后的尾气换热预升温后，再经加热器进一步升温至需要的反应温度进入催化氧化反应塔，有机组分在催化剂的作用下被彻底分解为 CO₂ 和 H₂O 并放热。净化后的高温尾气经回收热量后，一部分

经排气筒达标排放，另一部分用作活性炭罐的脱附热风。工艺流程如图 1。

每个车间设置 5 个炭罐，各炭罐吸附脱附轮流进行，设计按 4 吸 1 脱，吸附周期 6h，脱附及吹冷周期 1.5h。脱附媒介采用 120℃ 热空气，热空气来源于催化氧化的高温净烟气。催化反应起燃温度 300℃。

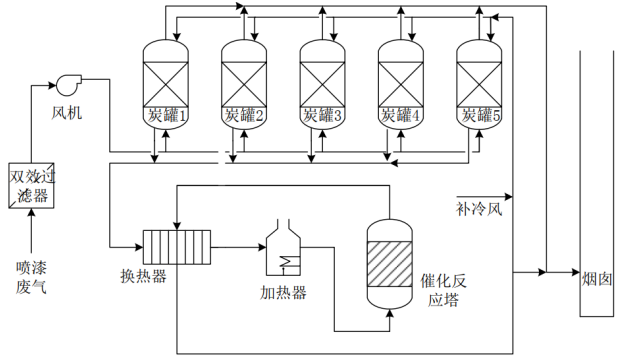


图1. 设计处理工艺简图

（三）运行数据及处理效率分析

本案例装设在线监测设备，对废气处理装置的进出口非甲烷总烃（NMHC）及特征组分苯、甲苯、间二甲苯、邻二甲苯的浓度进行实时监测。进口采样点设在双效过滤器上游，出口采样点设在烟囱上，截取一个完整喷漆周期的实时监测数据分析进出口浓度及去除率如图 2。

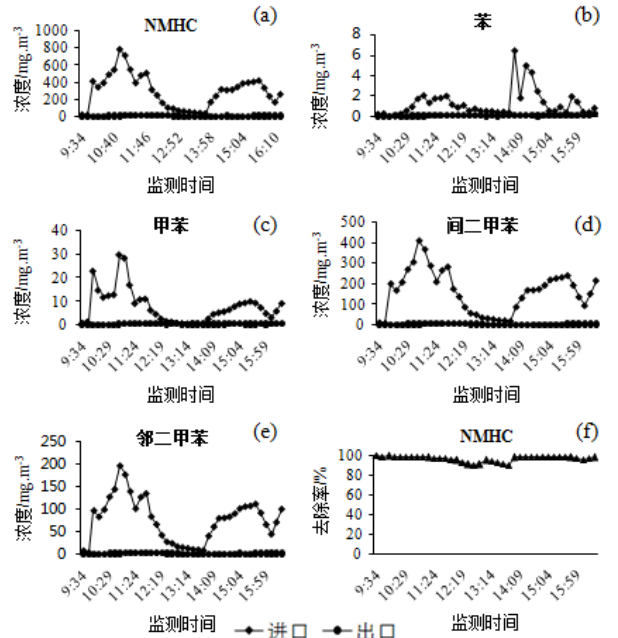


图2. 进出口浓度数据及处理效率

从图 2 可知，NMHC 及各特征组分的进口浓度变化趋势与车间喷漆作业规律吻合。喷漆开始后，污染物浓度逐渐上升并达到峰值；当工人休息停止作业后，污染物浓度随之下降，同时浓度峰值还与作业强度相关，上午 9:30~12:00，为集中喷漆作业，NMHC 及各特征组分浓度峰值更高，而下午 14:00~16:00，为零星喷涂、补漆，浓度峰值相对较低。

四川地区对于 NMHC、苯、甲苯、二甲苯的排放限值分别为

60、1、5、15，单位 mg/m^3 。图2中 NMHC 及各特征组分的出口浓度数据表明经处理装置后均能实现达标排放，且处理效率达到90%以上。

三、运行费用及技术经济性分析

本案例运行费用主要包括电加热器及各风机的电耗，滤网、活性炭、催化剂耗材费用，以及年度检修费用。根据工艺设计、消耗量、市场单价，按年操作时间4000h/y核算，总电力消耗量1376MWh，单价800元/MWh，电费110万元/年；滤网年耗量1920张，单价105元/张，耗费20万元/年；折算活性炭年耗量10m³，单价2万元/m³，费用20万元/年；折算催化剂年耗量432L，单价300元/L，费用13万元/年。活性炭、催化剂寿命均按2年考虑。年度检修按4人次考虑，价格5000元/人次，费用为2万元/年。综合前述数据，本案例年运行总费用为165万元/年，其中电力消耗和耗材占比分别为67%、32%。

单一活性炭技术处理成本约24元/kgVOCs，低温等离子体技术处理成本约16元/kgVOCs^[5]。本案例依据运行费用核算处理成本约6元/kgVOCs。由此可见，与单一活性炭吸附或低温等离子体法处理相比，采用活性炭吸附浓缩耦合催化氧化工艺，运行费用更低，具备技术经济可行性。

四、结语

针对某自动化装备生产企业产生的喷漆废气采用活性炭吸附浓缩耦合催化氧化工艺进行处理，NMHC及特征污染物苯、甲苯、邻二甲苯、间二甲苯均能实现稳定达标排放，NMHC的去除率稳定达到90%以上。经运行费用核算，处理成本约6元/kgVOCs，运行成本明显低于单一活性炭吸附或低温等离子体法，表明活性炭吸附浓缩耦合催化氧化技术可在喷漆废气治理进行推广。

参考文献

[1] 国家统计局. 2023年中国生态环境统计年报 [R]. 2024.

[2] 陈岷轩, 杨霞, 张强, 等. 重点行业挥发性有机物排污权核算方法研究: 以湖北省企业为例 [J]. 环境科学与技术, 2024, 47 (S2) : 245-250.

[3] 宁森, 邵霞, 刘杰, 等. 对构建工业涂装 VOC 全过程管控体系的系统思考 [J]. 涂料工业, 2017, 47(12):42-47.

[4] 高宗江. 典型工业涂装行业 VOCs 排放特征研究 [D]. 华南理工大学, 2015.

[5] 敬丹丹, 赖庆智, 易晓辉, 等. 多段式臭氧光催化技术在制药企业有机废气治理中的应用 [J]. 广东化工, 2017, 44 (10) : 163-164.