

# Research on the Collaborative Path of Composite Pollution Control in Industrial Agglomeration Areas

Jinfang Wu

Inner Mongolia Huansen Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

## Abstract

With the continuous advancement of industrialization, industrial agglomeration areas are facing increasingly severe composite pollution problems. Due to the complexity of pollution sources and the diversity of pollutants, the difficulty of remediation is gradually increasing. Addressing composite pollution requires the integration of various remediation technologies, policies, and management measures to achieve comprehensive pollutant control and ecological restoration. This paper analyzes the characteristics of composite pollution in industrial agglomeration areas and explores its causes and collaborative pathways for remediation. The study highlights that cross-sectoral, industrial chain, and technology-policy synergies are key to improving remediation efficiency. Establishing collaborative governance mechanisms and optimizing resource allocation can effectively enhance pollution control outcomes, providing technical support and a theoretical basis for the sustainable development of industrial agglomeration areas.

## Keywords

industrial agglomeration areas; composite pollution; collaborative governance; pollution control; ecological restoration

## 工业集聚区复合污染治理协同路径研究

吴晋芳

内蒙古环森环保科技有限公司, 中国·内蒙古呼和浩特 010000

## 摘要

随着工业化进程的不断推进,工业集聚区面临着日益严重的复合污染问题,且由于污染源复杂、污染成分多样,治理难度逐渐加大。复合污染治理要求多种治理技术、政策及管理措施的有机结合,以实现污染物的综合控制和生态修复。本文通过分析工业集聚区复合污染的特点,探讨了其成因及治理的协同路径。研究指出,跨部门、产业链以及技术与政策的协同作用是提高治理效率的关键,构建协同治理机制,优化资源配置,能有效提升污染治理效果,为工业集聚区的可持续发展提供技术支持和理论依据。

## 关键词

工业集聚区; 复合污染; 协同治理; 污染控制; 生态修复

## 1 引言

工业集聚区是现代经济发展的重要组成部分,其集中的产业集群和高密度的生产活动为经济发展提供了重要支撑。然而,随着工业化进程的加快,工业集聚区的环境问题愈加严峻,尤其是复合污染的出现。复合污染通常指多种污染物在空间和时间上的叠加效应,常见的有大气污染、水污染、土壤污染等多种污染物共同作用的现象,给传统的污染治理方式带来了巨大挑战。工业集聚区由于其产业链条长、污染源广、污染物种类繁多,导致其治理的复杂性和不确定性增加。为了有效应对复合污染,必须探索出一条协同治理的路径,通过多方协同合作,融合技术创新与政策支持,建立起科学的污染治理机制。

**【作者简介】** 吴晋芳(1991-),女,中国内蒙古鄂尔多斯人,本科,工程师,从事污染治理研究。

## 2 工业集聚区复合污染的概述

### 2.1 复合污染的定义与特征

复合污染是指多种污染物相互作用,造成污染效果叠加或强化的现象。与单一污染物不同,复合污染涉及大气、水体、土壤等多种环境介质的污染。工业集聚区复合污染的特征在于其污染源广泛,涉及多种化学、物理和生物性污染物。污染物的种类包括有毒有害物质如重金属、有机溶剂、挥发性有机物等,这些污染物在环境中通过大气扩散、水流传输以及土壤渗透等方式相互作用,导致污染效应的放大。复合污染的处理难度较大,不仅需要考虑不同污染物的特性,还要处理它们之间的相互影响,因此其治理更加复杂<sup>[1]</sup>。

### 2.2 工业集聚区的污染现状

工业集聚区因集中众多企业,污染问题尤为突出。由于产业聚集效应,集聚区内常常有多种污染源同时存在,形

成大气、水体、土壤等多方面的污染。以化工、冶金、机械等传统产业为主的工业集聚区，排放的废水废气中常含有有毒有害物质，如氨氮、重金属、挥发性有机物等，这些污染物往往未经有效处理，直接排放到环境中，导致周围环境质量持续恶化。根据某地区的统计，化工行业废水中氨氮浓度常超标10倍以上，重金属含量超标3倍，工业废气中的有害物质浓度超标也较为严重。水体污染、空气污染及土壤污染交织，影响了人居环境的质量，形成了复杂的复合污染体系。

### 3 工业集聚区复合污染的成因分析

#### 3.1 工业集聚区发展特点对污染的影响

工业集聚区的污染成因复杂，首先，集聚区产业结构的单一性导致污染源高度集中。例如，以重化工和基础化学产业为主的集聚区，其排放的废水和废气中含有大量的化学品、重金属及有机污染物。这些污染物通过大气、水体和土壤相互交织，形成了复合污染体系。根据某工业园区数据，其废水中氨氮浓度高达120 mg/L，远超国家标准80 mg/L，且每年排放的挥发性有机物量达200吨。此外，工业集聚区内企业密集，基础设施不完善，污染物的治理设施未能覆盖到所有企业，导致污染治理的盲区。基础设施不完善，导致污染源未能得到及时监控与治理，这也是污染加剧的一个重要因素。

#### 3.2 污染源的多样性与交互作用

工业集聚区的污染源多样且存在交互作用，不同类型的污染物相互影响，加剧了污染治理的难度。以某集聚区为例，其大气污染主要来自化工厂排放的废气，其中包含大量的挥发性有机物（VOCs），这些有害气体与周边企业排放的氮氧化物相互作用，形成了二次污染，如臭氧污染。而水体污染则主要来源于工业废水排放，尤其是金属废水，其余的有机废水与水中悬浮物、氮磷等物质发生反应，进一步加剧了水体的富营养化现象。这些污染源的交互作用使得单一治理措施难以奏效，反而可能引发新的污染问题<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 现有治理模式的不足与局限

现有的污染治理模式未能有效应对工业集聚区的复合污染问题。首先，传统的污染治理模式主要针对单一污染源，缺乏整体协调和综合治理的理念。大多数企业依赖自建的污水处理设施，治理设施的规模和技术水平参差不齐，导致处理效果不稳定。其次，治理技术创新滞后，现有的处理技术多偏重物理和化学方法，缺乏对新型污染物的有效处理。以某集聚区的污水处理为例，其生化处理法虽能去除一定量的有机物，但对于重金属等难降解物质的去除效果较差。此外，监测与评估体系不健全，导致污染源的精准定位与及时治理受限。现有模式难以实现污染源头的控制，治理效果的持久性差，造成了长期积累的环境负担。

## 4 复合污染治理的协同机制

### 4.1 跨部门协同管理模式

复合污染的治理不仅仅是环境保护部门的责任，还需要各相关部门共同合作。因为工业集聚区的污染源来自多个领域，包括工业、能源、交通、农业等，单一部门的管理无法全面解决复合污染问题。跨部门协同管理模式要求各个职能部门在污染治理中共同发挥作用。各部门应通过信息共享、协同执法、联合监测等手段，形成综合治理合力。例如，环保部门可以负责制定环境标准和监督执行，交通部门可以在物流和交通运输环节实施环保措施，能源部门可以通过能源结构的调整减少污染排放。各部门通过有效协调，避免了重复投入和政策冲突，提升了治理效率。同时，跨部门协同管理还能够形成政策的联动效应，提升政策的执行力和一致性，确保污染治理的全面性和持续性。各部门在复合污染治理中的角色分工清晰、协作紧密，形成了一个互为支撑、合力推动污染治理的管理体系，有效应对工业集聚区的复杂污染问题。

### 4.2 产业链协同治理模式

在工业集聚区，污染不仅仅是某个单一企业的问题，而是整个产业链的问题。产业链协同治理模式通过在产业链上下游的企业之间建立合作机制，共同推进污染控制和资源利用效率提升。这种模式要求从原材料的供应到生产加工，再到废物的回收处理，各个环节都要实施绿色发展和污染减排措施。在这一模式下，企业不仅要履行环保责任，还要通过合作共享技术和信息，推动污染的协同控制。例如，化工企业和废物回收企业可合作处理废气和废水，通过共建污染治理设施或共享技术成果，降低各自的治理成本。与此同时，产业链协同治理模式还强调通过技术创新和政策引导，推动整个产业链的绿色转型。在这一模式中，政府可以出台相关政策，鼓励企业之间的合作，提高污染治理的技术水平与经济效益，帮助工业集聚区实现污染物的多方共治。这不仅能够优化资源配置，还能提高治理效率，形成产业链内部的绿色发展闭环。

### 4.3 技术与政策的协同路径

复合污染的治理要求技术创新和政策引导相结合，形成合力。技术与政策的协同路径首先要确保技术的先进性和可操作性，并通过政策的引导和支持，促进技术的推广和应用。例如，政府可以通过制定绿色技术标准，推动企业采用低污染、节能的生产工艺，同时提供资金支持和税收优惠，降低企业实施环保技术的成本。在技术层面，随着污染治理技术的不断创新，新型的污染处理技术如膜分离、吸附、催化氧化等逐渐被应用于工业集聚区的污染治理中，能够有效去除多种污染物。政策则要与技术进步保持同步，通过鼓励绿色投资、制定排放标准、推进碳排放交易等手段，推动企业在生产过程中不断采用创新技术。技术与政策协同作用的

关键在于,政策能为技术提供实施的市场和空间,而技术能为政策目标的实现提供可行路径,从而确保复合污染问题能够得到有效解决<sup>[3]</sup>。

## 5 工业集聚区复合污染治理的技术路径

### 5.1 污染源头控制技术

污染源头控制是预防和减少复合污染的关键。源头控制技术通过减少污染物的产生和排放,能够从根本上降低污染负荷,避免污染问题的扩大。在工业集聚区内,源头控制主要依靠清洁生产技术和高效能源使用技术。清洁生产技术通过优化生产工艺,减少原料的消耗和废弃物的产生,达到减少污染的效果。例如,某化工企业通过优化反应过程和原料选择,减少了30%以上的废气排放。高效能源使用技术则通过提高能源利用效率,减少因能源浪费而产生的二氧化碳排放。在水污染控制方面,采用先进的废水回用技术,实施零排放或部分回用,使废水不再排入外部水体,有效降低了水体污染负荷。通过这些源头控制技术的实施,不仅能够减少工业集聚区的污染排放,还能提升资源的循环利用效率,为区域的可持续发展打下坚实基础。

### 5.2 污染过程中的协同控制技术

污染过程中的协同控制技术是通过多种技术手段结合,针对污染物在生产过程中的产生、扩散和迁移等环节进行控制。这一技术路径的核心在于通过多种污染治理技术的协同作用,处理工业集聚区内的多种污染物。例如,废水处理中的物理化学法和生物法相结合,能有效去除水中的有机污染物、氮磷等物质。在大气污染治理方面,采用脱硫、脱氮、除尘等多种技术手段,协同去除工业废气中的污染物。在处理重金属污染时,可以结合化学沉淀、吸附、膜分离等技术,通过协同去除不同种类的污染物。这些技术的协同使用能够有效提高污染治理的效率,并通过降低污染物排放,减轻后期治理的压力。同时,污染过程中的协同控制还强调污染物的实时监测和调控,利用大数据和物联网技术实现污染源的动态管理,进一步提升治理精度和响应速度。

### 5.3 污染后期治理与生态修复技术

污染后期治理与生态修复是污染控制的最后一道防线。

在污染物已经排放到环境中并对生态系统造成影响后,采取后期治理和修复措施可以有效减少污染的负面影响并恢复生态系统的功能。水体污染治理中,采用人工湿地、藻类修复等生态修复技术,能够有效去除水中的有害物质,并恢复水体的生态平衡。土壤污染修复则通过生物修复、物理修复和化学修复等方法,减少土壤中重金属和有害化学物质的积累,提高土壤质量<sup>[4]</sup>。同时,生态修复技术还包括恢复植被和增加生物多样性,促进生态环境的自我恢复。污染后期治理不仅仅是清理污染物,更重要的是恢复被污染的生态功能,确保环境的持续健康。这些技术的综合应用,为工业集聚区的污染治理提供了长效机制,有助于实现区域环境的可持续发展。

## 6 结语

随着工业集聚区的快速发展,复合污染问题日益严峻,传统的单一治理模式已无法满足日益复杂的环境治理需求。因此,探索复合污染治理的协同路径显得尤为重要。通过跨部门的协同管理、产业链的合作治理以及技术与政策的结合,可以有效推动污染治理的综合性和系统性。源头控制、过程控制和后期治理的技术路径为污染治理提供了具体的实施方案,技术创新与政策引导的相辅相成,保障了治理目标的实现。尽管复合污染治理面临诸多挑战,但随着技术的进步和政策的完善,工业集聚区的环境问题依然能够得到有效缓解。未来,工业集聚区应持续加强污染治理协同机制的建设,推动绿色发展和可持续发展,为实现经济、社会和环境的和谐共生提供坚实保障。

### 参考文献

- [1] 贾瑞华,段小琳,闫雨龙,彭林,牛月圆,董佳奇.典型工业型城市PM2.5与O3复合污染特征及相互影响研究:以长治市为例[J].环境化学,2025,44(05):1719-1733.
- [2] 郑兰婷.某铬渣场土壤重金属复合污染插值模拟与污染物运移研究[D].导师:刘兴旺.湘潭大学,2024.
- [3] 王思贤.社会经济因素对大气复合污染的影响机制研究[D].导师:韩秀兰.山西财经大学,2023.
- [4] 李莹.白腐真菌菌剂及固定化酶对多环芳烃—石油烃复合污染土壤的修复研究[D].导师:梁红;吴昌永.北京建筑大学,2023.