

“双碳”目标下化工行业环保治理创新路径研究

余德飞

乐平市祥林科技有限公司, 江西 乐平

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月14日; 发布日期: 2026年5月22日

摘要

化工行业作为国民经济的战略性支柱产业, 其绿色转型是我国实现“双碳”目标与生态文明建设的关键环节。本文基于2023~2024年最新行业统计数据与学术研究进展, 系统剖析了当前化工行业环境污染的现状特征, 深入评估了不同污染治理技术的适用场景与经济可行性, 并从政策、企业、行业三个维度构建了协同治理的分析框架。研究发现, 当前我国化工行业主要污染物排放总量已呈现下降趋势, 2024年绿色化工园区单位产值化学需氧量、氨氮排放量较行业平均水平分别下降38.14%、69.09%, 园区化治理成效显著, 但中小企业仍面临治理成本高、技术适配性不足的短板。在治理技术层面, 末端治理技术已较为成熟, 但源头削减的绿色化学工艺与全过程减污降碳技术成为当前研究与应用的核心方向; 成本效益分析表明, 环保投入虽在短期内增加企业运营成本, 但长期来看可通过资源回用、合规避险与品牌溢价实现经济与环境效益的双赢。本文进一步探讨了化工行业环保治理的未来发展趋势, 提出了针对不同规模企业的差异化治理建议, 为推动化工行业的可持续发展提供了理论支撑与实践参考。

关键词

化工行业, 环境保护, 污染治理, 减污降碳, 协同治理

Research on Innovative Pathways for Environmental Protection and Governance in the Chemical Industry under the “Dual Carbon” Goals

Defei Yu

Leping Xianglin Technology Co., Ltd., Leping Jiangxi

Received: April 15, 2026; accepted: May 14, 2026; published: May 22, 2026

Abstract

As a strategic pillar industry of the national economy, the green transformation of the chemical industry is a key link for China to achieve the “dual carbon” goal and ecological civilization construction. Based on the latest industry statistical data and academic research progress from 2023 to 2024, this paper systematically analyzes the current characteristics of environmental pollution in the chemical industry, deeply evaluates the application scenarios and economic feasibility of different pollution control technologies, and constructs a collaborative governance analysis framework from three dimensions: policy, enterprise and industry. The study found that the total emission of major pollutants in China’s chemical industry has shown a downward trend. In 2024, the emission of chemical oxygen demand and ammonia nitrogen per unit output value of green chemical parks decreased by 38.14% and 69.09% respectively compared with the industry average level, and the park-based governance has achieved remarkable results. However, small and medium-sized enterprises still face the shortcomings of high governance costs and insufficient technical adaptability. At the level of governance technology, end-of-pipe treatment technologies are relatively mature, but green chemical processes for source reduction and whole-process pollution and carbon reduction technologies have become the core direction of current research and application. Cost-benefit analysis shows that although environmental protection investment increases the operating cost of enterprises in the short term, in the long run, it can achieve a win-win situation of economic and environmental benefits through resource reuse, compliance risk avoidance and brand premium. This paper further discusses the future development trend of environmental protection governance in the chemical industry, and puts forward differentiated governance suggestions for enterprises of different scales, providing theoretical support and practical reference for promoting the sustainable development of the chemical industry.

Keywords

Chemical Industry, Environmental Protection, Pollution Treatment, Pollution Reduction and Carbon Reduction, Collaborative Governance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化工行业是现代工业体系的核心组成部分，其产品覆盖农业、能源、医药、建筑等数十个下游产业，是支撑国民经济运行的基础产业。化工行业在保障国家产业链供应链安全、创造就业岗位等方面发挥着不可替代的作用。近年来，随着我国工业化进程的深入，化工行业逐步向园区化、规模化方向转型，截至 2024 年底，全国已有超过 1,165 家危险化学品生产企业完成了搬迁改造，完成率达到 99.1%，有效解决了城区化工企业的安全与环境风险问题[1]。

然而，作为高耗能、高排放的重点行业，化工行业的环境压力始终是行业发展的核心约束。在“双碳”目标与污染防治攻坚战背景下，化工行业的绿色转型已成为必然要求。与传统的末端治理不同，当前的环保治理已从单一的污染物达标排放，转向减污降碳协同增效、源头削减与过程控制相结合的全

过程治理，这对行业的技术与管理体系提出了全新的挑战。

尽管近年来我国化工行业的环保水平已有显著提升，但仍存在诸多亟待解决的问题。一方面，行业内的发展不均衡问题突出，大型企业与园区的治理水平较高，而大量中小企业由于资金、技术不足，仍存在污染物超标排放、治理设施运行不稳定的问题，部分地区甚至出现了偷排漏排的违法行为，如2023年广西某铅锌矿企业偷排含镉废水，导致下游河道底泥镉含量超标23倍，严重威胁周边生态与居民健康[2]。另一方面，当前的治理模式仍存在重末端、轻源头的问题，多数企业仍依赖末端治理设施实现达标排放，而源头的清洁生产、绿色工艺的应用比例仍然较低，导致治理成本居高不下，企业的环保投入压力较大。

在此背景下，如何构建适配不同规模企业的环保治理体系，如何实现环保投入的成本与效益平衡，如何推动从末端治理向全过程治理的转型，成为当前化工行业环保工作的核心问题。本文正是围绕这些问题，结合最新的行业数据与研究进展，展开系统的分析与探讨，提出未来化工行业环保治理的发展方向与针对性建议，为推动化工行业的整体绿色转型提供了更具针对性的解决方案。

2. 文献资料与理论基础

2.1. 核心理论基础

化工行业环保治理的理论基础，经历了从末端治理到清洁生产，再到可持续发展与循环经济的演进过程。早期的环保治理主要基于末端治理理论，强调对生产过程产生的污染物进行事后处理，以实现达标排放，这一理论在污染问题突出的阶段发挥了重要作用，但也存在治理成本高、资源浪费的问题。

随着研究的深入，清洁生产理论逐步成为行业的核心指导理论，该理论强调从源头削减污染，通过改进生产工艺、采用无毒无害原料、提高资源利用效率，在生产过程中减少污染物的产生，而非仅依赖末端处理。在此基础上，可持续发展理论进一步拓展了治理的边界，强调经济、社会、环境三个维度的协调发展，要求化工行业在发展经济的同时，兼顾生态环境的保护，满足当代与后代的发展需求。

近年来，随着“双碳”目标的提出，全过程减污降碳协同治理理论成为新的研究热点，曹宏斌等[3]提出，工业污染治理需要实现控制方法协同、跨介质协同，将分子水平的基础研究与工程应用相结合，实现污染物减排与碳减排的协同增效，这一理论为化工行业的绿色转型提供了全新的指导框架。

2.2. 国内外研究进展

近年来，国内外学者围绕化工行业的环保治理展开了大量的研究。在治理技术方面，早期的研究主要聚焦于末端治理技术的优化，如吸附剂的改性、催化剂的研发、膜材料的改进等，旨在提升末端治理的效率、降低运行成本。随着研究的推进，研究热点逐步转向源头治理技术，如绿色化学工艺的开发，Mitchell等[4]提出，可持续化学需要围绕环境、经济、公平三个维度构建研究框架，催化技术是推动可持续化学合成的核心驱动力，通过绿色催化剂可以有效提升反应效率，减少副产物的产生。

在管理模式方面，研究重点从单一的企业管理，转向了多主体的协同治理。Chen等[5]的研究指出，绿色化学与循环经济的结合，需要政府、企业、教育机构的协同，通过跨部门合作、清洁生产技术推广、化学品管理体系的构建，实现可持续发展目标。在国内，庞月等[6]提出了网络化的环保治理策略，通过物联网技术实现企业间的信息共享与治理协同，提升行业的整体治理水平。

在低碳转型方面，最新的研究聚焦于化工行业的净零转型路径，Huo等[7]的研究指出，通过CCUS技术，将CO₂作为化工原料，可以实现化工行业的净零排放，全球范围内这一路径在技术上是可行的，仅在部分地区存在原料供给的约束。Tang和Zhang[8]则提出了绿色电气化的路径，通过可再生能源电力

替代化石能源，实现化工行业的脱碳，这一路径可以有效降低化工行业的碳排放，是未来行业转型的重要方向。

2.3. 现有研究的不足与研究切入点

尽管现有研究已取得了丰富的成果，但仍存在一些不足之处。首先，现有研究多聚焦于大型企业与先进技术的应用，对中小企业的治理需求关注不足，多数先进技术由于成本较高，难以在中小企业中推广，而中小企业恰恰是当前化工行业污染排放的主要短板之一。其次，现有研究多关注单一的技术或管理维度，缺乏对技术、管理、经济的整合分析，未能充分厘清环保投入的成本效益逻辑，难以破解企业的环保投入顾虑。最后，现有研究对减污降碳协同治理的实践路径探讨不足，多数研究仍停留在理论层面，缺乏针对化工行业的具体落地路径分析。

基于此，本研究以不同规模企业的差异化治理需求为切入点，结合最新的行业数据，系统分析不同治理技术的适配性，同时从成本效益的角度，厘清环保投入的长期价值，探索多主体协同的治理路径，为化工行业的绿色转型提供更具针对性的解决方案。

3. 化工行业环境污染现状与治理进展

3.1. 污染物排放的整体特征

根据 2024 年的行业统计数据，我国化工行业的主要污染物排放总量已呈现逐步下降的趋势，2024 年化工行业主要污染物排放总量约为 1.2 亿吨，其中二氧化硫排放量 850 万吨，氮氧化物排放量 720 万吨，化学需氧量排放量 480 万吨，固体废物产生量约为 3 亿吨[9]。与 2019 年相比，主要污染物的排放强度(单位产值排放量)下降了超过 40%，行业的环保水平已有显著提升。

从污染物的类型来看，废气、废水、废渣的排放特征存在显著差异。废气方面，化工行业的废气主要包括二氧化硫、氮氧化物与挥发性有机化合物(VOCs)，其中 VOCs 是当前治理的重点，由于 VOCs 的种类多、成分复杂，且部分具有毒性，其治理难度较大，2024 年绿色化工园区的 VOCs 排放量较行业平均水平下降了 2.84%，显示出园区治理的成效[10]。废水方面，化工废水具有高浓度、高毒性、难降解的特点，是工业废水治理的重点难点，近年来，随着废水治理技术的进步，化工废水的达标率已提升至 95% 以上，但部分中小企业仍存在废水处理设施运行不稳定的问题。废渣方面，化工废渣的种类繁多，其中危险废物占比约为 15%，这类废物的处理难度大，成本高，近年来，资源化利用技术的推广，使得化工废渣的综合利用率提升至 65% 以上，有效减少了填埋量。

3.2. 区域与企业层面的治理差异

当前化工行业的治理水平存在显著的区域与企业差异。从区域来看，东部沿海地区的化工园区发展较为成熟，治理水平较高，而中西部地区的部分中小化工企业，由于技术与资金不足，治理水平相对较低。从企业规模来看，大型企业与园区内的企业，由于资金充足、技术先进，治理水平较高，而园区外的中小企业，由于规模小、资金有限，难以承担高昂的治理成本，成为污染排放的主要来源。

以绿色化工园区为例，根据人民日报的报道，30 家国家级绿色化工园区的单位工业总产值化学需氧量排放量平均下降 38.14%，氨氮排放量平均下降 69.09%，二氧化硫排放量平均下降 16.83%，氮氧化物排放量平均下降 33.99%，各项指标均显著优于行业平均水平[11]。这表明，园区化的集中治理模式，能够有效提升治理效率，降低治理成本，是化工行业环保治理的有效路径。

3.3. 当前存在的核心问题

尽管行业的治理水平已有显著提升，但仍存在一些核心问题。首先，中小企业的治理短板突出，大

量中小企业由于资金不足，难以购置先进的治理设备，也难以承担高昂的运行成本，部分企业甚至存在治理设施闲置、偷排漏排的问题，这也是当前部分地区环境污染事件的主要诱因。其次，源头治理的比例仍然较低，多数企业仍依赖末端治理，清洁生产、绿色工艺的应用比例不足 30%，导致治理成本居高不下，企业的环保压力较大。最后，跨区域的协同治理机制不完善，对于流域性的污染问题，上下游地区的治理标准不统一，监测信息不共享，导致治理存在盲区，难以实现全流域的协同治理。

4. 化工行业污染治理技术的适配性分析

4.1. 废气治理技术的应用与选择

针对化工废气的治理，当前应用最广泛的技术主要包括吸附法与催化燃烧法，两种技术的适配场景存在显著差异。

吸附法是当前中小企业应用最广泛的废气治理技术，其原理是通过活性炭、沸石等吸附剂的多孔结构，捕获废气中的污染物分子。该技术的优势在于操作简便、设备投资低，对于低浓度、大风量的有机废气具有较好的处理效果，一套处理 10,000 m³/h 风量的吸附设备，初始投资仅为 20~30 万元，运行成本约为 0.5~0.8 元/m³ 废气，适合中小企业的需要。不过，该技术的局限性在于吸附剂需要定期再生或更换，会产生二次固废，且对于高浓度的废气处理效果有限。近年来，新型活性炭纤维吸附剂的研发，有效提升了吸附容量，将再生周期从原来的 1~2 周延长至 1 个月，降低了运行成本，部分企业应用后，运行成本降低了 15%左右[12]。

催化燃烧法则是大型企业与高浓度废气治理的首选技术，其原理是通过催化剂降低有机物的氧化活化能，在 200°C~500°C 的温度下，将有机物转化为二氧化碳和水。该技术的处理效率高，对于高浓度的有机废气，去除率可以达到 95% 以上，且无二次污染。不过，该技术的初始投资较高，一套同等风量的催化燃烧设备，初始投资约为 80~100 万元，且需要消耗一定的能源维持反应温度，运行成本约为 1.2~1.5 元/m³ 废气，更适合大型企业或高浓度废气的治理。近年来，非贵金属催化剂的研发，有效降低了催化剂的成本，使得该技术的应用门槛有所降低，逐步向中型企业推广[13]。

4.2. 废水治理技术的应用与选择

化工废水的治理技术主要包括生物处理技术与膜分离技术，两种技术分别适用于不同的废水类型与企业需求。

生物处理技术是当前应用最广泛的废水治理技术，其原理是通过微生物的代谢作用，降解废水中的有机污染物，其中活性污泥法与生物膜法是最常用的两种工艺。该技术的优势在于运行成本低，对于可生化性较好的废水，处理成本仅为 0.5~1 元/吨废水，适合大多数中小企业的需要。不过，该技术对于高毒性、难降解的废水处理效果有限，且对水质波动的适应性较差，容易出现冲击负荷导致的处理效果下降。近年来，复合微生物菌剂的应用，有效提升了微生物对难降解污染物的降解能力，拓展了生物处理技术的适用范围[14]。

膜分离技术则是针对高难度废水的高端治理技术，其原理是通过膜的选择性透过作用，分离废水中的污染物，其中超滤与反渗透技术应用最为广泛。该技术的处理效率高，能够有效去除废水中的重金属、盐类、难降解有机物，处理后的废水可以直接回用，实现水资源的循环利用。不过，该技术的初始投资与运行成本较高，处理成本约为 3~5 元/吨废水，且存在膜污染的问题，需要定期清洗与更换膜元件。该技术更适合大型企业或水资源短缺地区的企业，通过废水回用，可以降低用水成本，抵消部分治理成本，例如某西部化工企业，应用膜分离技术后，废水回用率达到 90%，每年节省用水成本超过 200 万元，有效平衡了治理成本[15]。

4.3. 废渣治理技术的应用与选择

化工废渣的治理，当前的核心方向是资源化利用，安全填埋仅作为最终的兜底处置手段。资源化利用技术是当前废渣治理的首选，通过回收废渣中的有用物质，或将废渣转化为建筑材料、功能性材料，实现变废为宝。例如，磷石膏、赤泥等工业废渣，可以作为原料生产水泥、砖块等建筑材料，不仅减少了废渣的堆存压力，还替代了天然原料，降低了建材生产的成本。根据国务院的报告，2024年我国磷石膏的综合利用率已提升至75%以上，赤泥的综合利用率也达到了40%，有效解决了这类大宗废渣的处理问题[16]。对于含有价金属的废渣，通过酸浸、碱溶等工艺，可以提取其中的金属成分，用于生产合金或化工原料，例如某铜化工企业，通过回收废渣中的铜元素，每年创造收入超过150万元，实现了环保与经济效益的双赢[17]。

安全填埋技术则是针对无法资源化利用的危险废渣的最终处置手段，通过建设防渗层、渗滤液收集系统，实现废渣的安全隔离。该技术的优势在于适用性广，能够处理各种类型的废渣，但存在占用土地、长期环境风险的问题，且填埋成本较高，当前危险废物的填埋成本已超过2,000元/吨，因此，仅作为无法资源化利用的废渣的兜底处置方式[18]。

5. 多主体协同的环保管理体系构建

5.1. 政策层面的引导与约束

政策法规是化工行业环保治理的基础约束与引导力量。近年来，国家先后出台了一系列法律法规，为化工行业的环保工作设定了明确的底线。同时，地方政府也结合区域特点，出台了更严格的地方性标准，例如长三角地区出台了更严格的VOCs排放标准，推动区域内的废气治理。

除了约束性政策，激励性政策也成为推动企业环保投入的重要力量。政府通过环保补贴、税收优惠、绿色信贷等政策，降低企业的环保投入成本，例如针对中小企业的环保设备购置补贴，最高可以补贴设备投资的30%，有效降低了中小企业的治理门槛。同时，排污权交易、碳交易等市场化政策，也通过市场机制，激励企业主动减少污染物排放，提升资源利用效率。

5.2. 企业层面的精细化管理

企业作为环保治理的核心主体，其自身的管理水平直接决定了治理的成效。当前，越来越多的化工企业建立了以ISO 14001为基础的环保管理体系，通过明确的环境方针、量化的目标指标，实现环保管理的规范化。例如，某大型化工企业，通过建立环保目标考核制度，将环保指标分解到每个车间、每个岗位，将环保绩效与员工的薪酬挂钩，有效提升了全员的环保意识，使得企业的污染物排放强度在三年内下降了35% [19]。

员工环保培训也是企业管理的重要环节，通过系统化的培训，提升员工的环保意识与操作技能，减少人为失误导致的环境事故。研究表明，经过系统化环保培训的企业，环境事故的发生率比未培训的企业低60%以上，同时，员工的主动环保行为，也能够有效降低治理成本，例如一线员工通过优化操作参数，减少了污染物的产生，降低了末端治理的负荷。

5.3. 行业与社会层面的协同监督

行业协会在化工行业的环保治理中发挥着重要的桥梁作用，通过制定行业环保规范、组织技术交流与推广，推动行业整体水平的提升。例如，中国化工协会制定了化工行业环保自律公约，引导企业主动提升环保水平，同时，组织企业间的技术交流活动，推广先进的治理技术与管理经验，帮助中小企业解决技术难题。此外，行业协会还建立了行业环保信息共享平台，实现了企业间的监测信息、治理经验的

共享，提升了行业的整体治理效率。

社会监督则是环保治理的重要补充，随着环境信息公开制度的推进，企业的环境排放信息逐步向社会公开，公众、媒体的监督，能够有效遏制企业的环境违法行为。例如，公众通过 12345 政务便民热线，对企业的偷排行为进行举报，成为环保监管的重要补充，同时，媒体的曝光，也能够倒逼企业主动整改，提升环保水平。

协同治理分析框架见图 1。

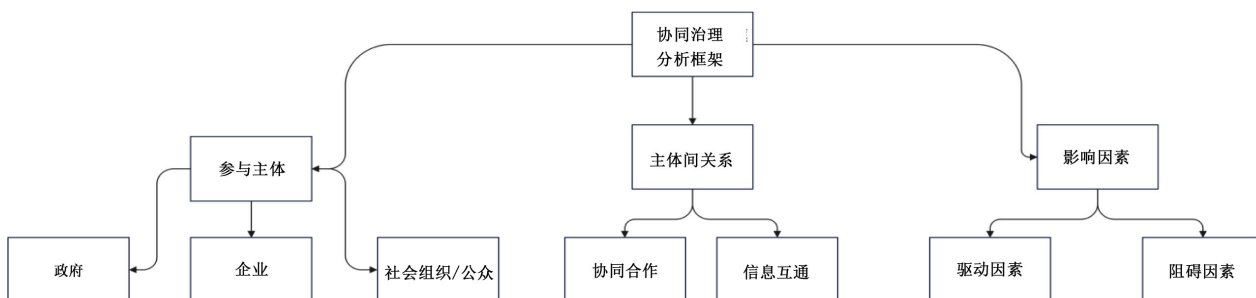


Figure 1. Collaborative governance analysis framework
图 1. 协同治理分析框架

6. 环保治理的成本效益分析

6.1. 环保投入的成本构成

化工企业的环保投入主要包括三个部分：一是污染治理设备的购置成本，二是设备的运行维护成本，三是环保技术的研发成本。根据 2024 年的统计数据，全国环境污染治理投资总额为 8,037.4 亿元，其中工业污染源治理投资中，废气治理投资占比 38.9%，废水治理占比 24.1%，固废治理占比 4.0% [20]。

对于中小企业而言，环保投入的成本压力相对较大，一套完整的废气、废水治理设备，初始投资通常在 50~100 万元，占中小企业固定资产的 10%~15%，同时，每年的运行成本约为 10~20 万元，对于利润空间有限的中小企业而言，这一成本压力较大。而对于大型企业而言，由于规模效应，环保投入的占比相对较低，通常仅占固定资产的 5%~8%，且能够通过技术优化，降低运行成本[21]。

6.2. 环境与社会效益

环保治理的环境效益是最为直接的，通过污染治理，有效减少了污染物的排放，改善了生态环境质量。例如，某化工园区通过推广催化燃烧技术，每年减少 VOCs 排放超过 2,000 吨，有效改善了区域的空气质量，园区周边的 PM_{2.5} 浓度下降了 12%，酸雨发生率下降了 8%。同时，废水治理技术的应用，减少了废水对水体的污染，园区内的河流断面水质从原来的 IV 类提升至 III 类，恢复了水体的生态功能[22]。

社会效益方面，环保治理有效改善了企业与周边社区的关系，减少了环境投诉与社会矛盾。例如，某化工企业通过加强废气治理，消除了厂区周边的恶臭气味，使得周边居民的环境投诉量下降了 90%，实现了企业与社区的和谐共处。同时，环保治理也提升了公众的环保意识，推动了全社会绿色发展理念的普及。

6.3. 长期经济效益

尽管环保投入在短期内会增加企业的成本，但从长期来看，环保投入能够带来显著的经济效益。首先，资源回用能够直接降低企业的生产成本，例如，废水回用可以减少企业的新鲜水用量，废渣资源化

利用可以创造额外的收入,某化工企业,通过废水回用与废渣资源化,每年节省与创造的收入超过 300 万元,远高于其每年 200 万元的环保运行成本[23]。

其次,环保合规能够避免企业的违法成本,近年来,环保监管力度不断加大,超标排放的罚款金额最高可达 1,000 万元,同时,还会面临停产整改的处罚,给企业带来巨大的损失,而主动的环保治理,能够帮助企业规避这些风险,例如,某中小企业,由于投入环保设备实现达标排放,避免了一次罚款 500 万元的处罚,同时避免了停产一个月导致的超过 1,000 万元的产值损失。

最后,环保投入能够提升企业的品牌竞争力,随着消费者环保意识的提升,绿色产品越来越受到市场的青睐,拥有良好环保记录的企业,能够获得更多的市场份额,同时,在绿色信贷、政府采购等方面,也能够获得更多的政策支持,例如,某化工企业,通过获得绿色产品认证,其产品的市场售价提升了 10%,市场份额提升了 5%,带来了显著的经济效益[24]。

7. 化工行业环保治理的发展趋势

7.1. 源头治理：绿色化学工艺的普及

未来,化工行业的环保治理将逐步从末端治理转向源头治理,绿色化学工艺将得到广泛的普及。绿色化学工艺通过设计高效的化学反应,采用无毒无害的原料与溶剂,从源头上减少污染物的产生,同时提升资源利用效率。例如,生物催化技术、可再生原料替代技术,能够在降低污染物排放的同时,降低生产能耗,实现减污降碳的协同。根据最新的研究,到 2030 年,绿色化学工艺在化工行业的应用比例将提升至 60%以上,成为行业的主流生产模式[25]。

7.2. 技术升级：智能化与低碳化转型

智能化技术将成为环保治理的重要支撑,基于传感器网络、大数据、人工智能的智能化监测与治理系统,能够实现污染物排放的实时监控与精准调控,提升治理效率,降低运行成本。例如,智能废水处理系统,能够根据废水的水质实时调整处理参数,将运行成本降低 20%以上,同时,AI 预测模型,能够提前预测污染风险,实现预防性的治理[26]。

同时,低碳化转型将成为行业的核心方向,绿色电气化、CCUS 等技术将逐步得到应用,推动化工行业的净零转型。通过可再生能源电力替代化石能源,以及将 CO₂ 作为化工原料,化工行业的碳排放将逐步下降,最终实现净零排放的目标[27]。

7.3. 治理模式：跨区域与全球协同

面对流域性、全球性的环境问题,单一地区的治理已难以满足需求,跨区域与全球的协同治理将成为未来的趋势。在国内,流域性的协同治理机制将逐步完善,上下游地区将建立统一的治理标准、联合监测机制,实现全流域的协同治理。

8. 结论与建议

8.1. 研究结论

本文通过对化工行业环境保护与治理工作的系统分析,得出以下结论:

(1) 当前我国化工行业的环保治理已取得显著成效,主要污染物排放强度持续下降,园区化治理模式成效突出,但中小企业的治理短板仍然存在,源头治理的比例仍需提升。

(2) 不同的污染治理技术具有不同的适配场景,吸附法、生物处理技术等低成本技术更适合中小企业,而催化燃烧、膜分离等高效技术更适合大型企业,企业应根据自身的规模与污染物特征,选择适配的治

理技术。

(3) 环保投入虽然在短期内增加企业的成本,但长期来看,能够通过资源回用、合规避险、品牌溢价实现经济与环境效益的双赢,破解了“环保不经济”的误区。

(4) 多主体协同的治理体系是推动行业绿色转型的关键,政府的政策引导、企业的精细化管理、行业与社会的协同监督,共同构成了完整的治理框架。

8.2. 针对性建议

基于上述研究结论,本文提出以下针对性建议:

(1) 对于政府部门,应进一步完善差异化的政策体系,针对中小企业出台专项的环保补贴与技术支持政策,降低中小企业的治理门槛,同时,完善跨区域的协同治理机制,推动流域性污染的协同治理,此外,进一步完善市场化的环保政策,通过排污权交易、碳交易等机制,激励企业主动减排。

(2) 对于化工企业,大型企业应加大绿色化学工艺的研发与应用,推动源头治理与低碳转型,同时,发挥龙头企业的带动作用,向中小企业分享治理技术与经验;中小企业应根据自身情况,选择适配的低成本治理技术,同时,积极参与园区的集中治理,通过规模效应降低治理成本,此外,所有企业都应建立完善的环保管理体系,提升精细化管理水平。

(3) 对于行业协会,应进一步发挥桥梁作用,组织行业内的技术交流与推广,建立技术共享平台,帮助中小企业解决技术难题,同时,制定行业环保规范,推动行业自律,提升行业的整体环保水平。

8.3. 研究展望

尽管本文对化工行业的环保治理进行了系统的分析,但仍存在一些局限性,例如,对不同细分化工行业的差异化特征关注不足,不同的化工子行业,其污染物特征与治理需求存在显著差异,未来的研究可以针对具体的子行业,开展更具针对性的分析。此外,对减污降碳协同治理的具体路径,仍需进一步的量化分析,未来的研究可以通过量化模型,评估不同治理路径的减污降碳协同效应,为政策制定提供更精准的支撑。

参考文献

- [1] 刘好民. 化工工程中化工生产工艺分析[J]. 石油石化物资采购, 2024(3): 34-36.
- [2] 郭少杰. 浅析我国化工行业环保问题及思考[J]. 科教导刊(电子版), 2018(12): 264.
- [3] 曹宏斌, 赵赫, 赵月红, 等. 工业生产全过程减污降碳: 方法策略与科学基础[J]. 中国科学院院刊, 2024, 38(2): 342-350.
- [4] Mitchell, S., Martín, A.J., Guillén-Gosálbez, G. and Pérez-Ramírez, J. (2024) The Future of Chemical Sciences Is Sustainable. *Angewandte Chemie International Edition*, **63**, e202318807. <https://doi.org/10.1002/anie.202318676>
- [5] Chen, T., Kim, H., Pan, S., Tseng, P., Lin, Y. and Chiang, P. (2020) Implementation of Green Chemistry Principles in Circular Economy System Towards Sustainable Development Goals: Challenges and Perspectives. *Science of the Total Environment*, **716**, Article 136998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136998>
- [6] 庞月, 何燕燕, 朱国祥, 等. 化工行业网络化环保治理策略探讨[J]. 化工管理, 2022(12): 40-42.
- [7] Huo, J., Wang, Z., Oberschelp, C., Guillén-Gosálbez, G. and Hellweg, S. (2023) Net-Zero Transition of the Global Chemical Industry with CO₂-Feedstock by 2050: Feasible Yet Challenging. *Green Chemistry*, **25**, 415-430. <https://doi.org/10.1039/d2gc03047k>
- [8] Tang, C. and Zhang, Q. (2024) Green Electrification of the Chemical Industry toward Carbon Neutrality. *Engineering*, **33**, 1-4.
- [9] 智研咨询集团. 2025-2030 年化工行业环境保护政策分析报告[R]. 北京: 智研咨询, 2025. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/sthjtinb/202511/W020251128751529122742.pdf>, 2026-05-19.
- [10] 中国能源报. 化工园区绿色发展迈上新台阶[EB/OL].

- <https://fdi.mofcom.gov.cn/selfBuild/1666841032797/content.html?id=9532>, 2024-05-13.
- [11] 人民日报. 化工园区绿色发展迈上新台阶[EB/OL].
http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2024-04/22/content_26056527.htm, 2024-04-22.
- [12] 郝吉明, 马广大, 王书肖. 大气污染控制工程[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [13] 包鹏飞, 周小纳, 韩维亮, 等. VOCs 催化燃烧整体式催化剂及涂层材料研究进展[J]. 分子催化, 2024, 38(3): 254-262.
- [14] 林涛, 赵一玲, 薛永常. 生物强化技术在污水处理中的应用研究进展[J]. 工业水处理, 2025, 45(9): 39-47.
- [15] 王晓琳, 余立新. 膜分离技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2021.
- [16] 工业和信息化部等七部门. 磷石膏综合利用行动方案[EB/OL]. 2024-05-14.
<https://gxt.hebei.gov.cn/hbgvhyxht/zcfg30/gnzc/2025042121422795091/index.html>, 2026-05-19.
- [17] 彭伟, 黄健, 王振杰, 等. 钨冶炼渣中有价金属回收利用研究现状[J]. 化工进展, 2022, 41(12): 6656-6663.
- [18] 中李翔, 徐亚, 李忠国, 等. 危险废物填埋场环境安全性能评估框架体系及案例研究[J]. 环境科学研究, 2026, 39(4): 1027-1038.
- [19] 史丹, 张永坤. 环境管理体系认证的收入分配效应: 基于企业劳动收入份额的研究[J]. 经济与环境研究, 2024(2): 1-17.
- [20] 周玉, 王子龙. 环境补贴与企业环保投资: 清洁生产还是末端治理? [J]. 贵州财经大学学报, 2024(6): 68-78.
- [21] 张光利, 兰明慧, 于连超, 等. 环境政策不确定性, 环境执法与企业环保投资[J]. 财经研究, 2024, 50(6): 79-92.
- [22] 王鹏, 张莉. 催化燃烧技术在化工园区 VOCs 治理中的工程应用及环境效益[J]. 环境工程, 2023, 41(9): 152-158.
- [23] 赵领娣, 王小飞. 企业绿色投资及绿色费用能否提升经营绩效?——基于 EBM 和面板 Tobit 模型的经验分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2022, 24(3): 28-42.
- [24] 冯勇杰, 张静娴. 上市公司绿色治理(ESG)与企业竞争地位: 基于竞争战略调节效应的实证研究[J]. 商业会计, 2022(18): 19-24.
- [25] 戴厚良, 陈建峰, 袁晴棠, 等. 我国化工石化产业绿色低碳转型发展研究[J]. 中国工程科学, 2024, 26(6): 223-232.
- [26] 吴凌冰, 贾嘉. 化工企业生产过程中的生态环境保护问题与解决路径[J]. 辽宁化工, 2023, 52(8): 1161-1164.
- [27] 张浩. 化工行业安全风险防范措施研究[J]. 清洗世界, 2024, 40(5): 184-186.