

Research on the Synergistic Path of Pollution Reduction and Carbon Reduction in Chemical Industry

Peng Xie^{1,2,3} Xiaomei Shi^{1,2,3}

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

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

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

Abstract

As a cornerstone of China's national economy, the chemical industry provides essential material support for socioeconomic development. However, it is also characterized by high resource and energy consumption and significant pollutant emissions. With the implementation of carbon peaking and carbon neutrality strategies, the chemical sector faces dual challenges: reducing conventional pollutants while taking on the critical responsibility of controlling greenhouse gas emissions. Historically, pollution control and climate change mitigation operated under separate policy frameworks, with distinct approaches in goal-setting, measure selection, and effectiveness evaluation. Currently, ecological civilization construction has entered a new phase prioritizing carbon reduction, making coordinated pollution and carbon reduction efforts an inherent requirement for the chemical industry's green transition. This transformation entails not only updated governance concepts but also systematic restructuring of industrial models, technological pathways, and management practices.

Keywords

chemical industry; pollution reduction and carbon emission reduction; synergistic pathways

化工行业减污降碳协同路径研究

谢朋^{1,2,3} 史晓梅^{1,2,3}

1. 山东省生态环境规划研究院, 中国·山东 济南 250000

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

3. 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 中国·山东 滨州 256603

摘要

化学工业是我国国民经济的基础性产业, 为经济社会发展提供了不可或缺的物质支撑。但同时, 这一行业也呈现出资源能源消耗量大、污染物排放强度高的显著特征。随着碳达峰碳中和战略的推进实施, 化工行业不仅面临着削减常规污染物的持续压力, 也承担着控制温室气体排放的重要责任。长期以来, 污染防治与气候变化应对分属不同的政策体系和治理架构, 在目标设定、措施选择、效果评估等方面各自运行。当前, 生态文明建设已步入以降碳为重点战略方向的新阶段, 推动减污降碳协同增效成为化工行业绿色转型的内在要求。这种转型不仅意味着治理理念的更新, 更涉及产业形态、技术路线、管理方式的系统性重构。

关键词

化工行业; 减污降碳; 协同路径

1 引言

常规污染物与温室气体多属同根同源, 煤炭、石油等化石燃料的燃烧既释放二氧化硫、氮氧化物等污染物, 也排放大量二氧化碳。生产过程中使用的溶剂、助剂等物料,

既是污染物的潜在来源, 也承载着隐含的碳排放。这种同源性特征决定了减污与降碳可以统筹推进、发挥协同效应。从实践层面观察, 部分化工企业已在节能降耗、清洁生产、循环利用等方面开展探索, 积累了一些成功经验。然而, 由于缺乏系统性的协同设计, 减污措施与降碳措施之间尚未形成有效联动, 源头削减、过程控制、末端治理各环节的协同效应有待深度挖掘。基于此, 本研究聚焦化工行业减污降碳协同的实现路径, 从资源能源利用、措施集成优化、产业共生网络等维度展开探讨, 以期对化工行业绿色低碳转型提供

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

借鉴。

2 推进化工行业减污降碳协同的时代意义

化学工业是我国经济发展的重要基础产业，其生产过程不仅消耗大量化石能源，同时也会产生各类污染物。随着碳达峰、碳中和战略的深入实施，化工行业正面临着污染物减排与碳减排的双重压力。传统的末端治理方式往往针对单一污染物进行控制，已难以满足新时期绿色发展要求。推进减污降碳协同治理，需要从源头设计、过程控制到末端处理全过程入手，依靠技术进步与管理提升，实现污染控制与碳减排的协同增效。这既是化工行业向绿色化转型的必然选择，也是落实生态文明建设战略的重要举措。从产业发展角度看，提升减污降碳的综合能力有助于增强化工企业在低碳环境下的竞争优势，为行业可持续发展注入新的动力。探索适合化工行业特征的减污降碳协同路径，对于推动化工园区循环化改造、改善区域生态环境质量、保障国家能源资源安全具有重要的战略意义^[1]。

3 化工行业减污降碳协同面临的主要问题

3.1 资源能源利用效率偏低，源头减量空间有待挖掘

在化学工业中，资源和能耗是一个贯穿整个产业链的重要组成部分，从原材料运输到反应分离、从公共设施到成品的包装，每个步骤都会产生能耗和材料损失。该过程中，由于传热网络集成度低，难以实现对高温热位能的高效分级开发，且产生的大量废热以冷却系统的方式排出大气，不仅导致能量浪费，而且还会加剧大气中的温室效应。在化学工业中，由于分离工艺是能源消耗最大的环节，其塔盘效能和返流量设置常与优化运行状态偏差较大，且各塔内供料与塔内工质的匹配不能实现闭环运行，造成单位产品蒸汽量较高的问题。由于材料运输过程中水泵和风扇选择过大，且采用了变频调速，导致小负载条件下装置的效率降低，能耗也随之增大。在原材料使用方面，由于催化剂的活性和稳定性限制化学反应的选择性，而产生的废气、废水、废渣等含有大量尚未被转换的原材料成分，其再加工不但要消耗大量的能量，而且还会产生一次污染。针对目前存在的问题，提出采用高质量的软水处理技术，提高流程水的回用效率、冷凝水的回收效率不高、不够理想^[2]。

3.2 减污与降碳措施衔接不畅，协同效应尚未充分释放

长期以来，我国化学工业的环境治理制度中，污染防治与碳减排分别属于两条不同的管理途径与技术系统，两者间缺乏有效的联系。终端处理设备在实际操作中多以达到达标为目的，没有对处理工艺自身的碳浓度进行足够的关注。目前 VOCs 处理以吸收和燃烧为主，其中吸收剂的回收要耗费大量的水蒸气或热风，而在燃烧时会生成 CO₂，其能耗和环保效应还没有被纳入本体设备的能量效率优化中。污水处理厂曝气装置常年运转，能耗巨大，如果不进行高效循环再

循环，将会导致大量的能量损失，同时会导致更大的温室效应。虽然通过燃烧处理可以达到减少污染的目的，但是附加燃油的加入和烟气处理的操作都会产生大量的二氧化碳。在设计时没有将减排和减排的手段进行综合考虑，导致控制设备布置与主要设备换热网络和蒸汽平衡系统不协调，造成废热资源的高效利用，尾气处理生成的热无法被高效回收。现有治污设备的操作参数设置常与生产工况无关，且在调节生产负载时无法进行节能优化，导致大量的资源浪费。目前还没有构建减排协同减排所必需的基础信息收集和统计系统，缺少对污染源和污染源的统一辨识和关联分析，导致了协同优化过程中缺少科学支撑^[3]。

3.3 产业共生体系不完善，物质循环链条存在断点

由于其产业链条长，上下游关联密切，在理论上为发展产业共生和物质循环提供了很好的依据。然而，企业之间的物料交流和能源的分级开发却受到许多限制。由于园区内各企业材料的匹配程度不高，且上下游产品质量、规格及供应稳定性均不理想，缺少净化或修饰副产品的过程，造成许多有应用前景的材料被弃用。副产盐酸和废硫酸的产量很高，周边磷肥和水处理等需要产业分布较为零散，输送范围超过经济范围，循环经济效果很难保证。由于废热资源的多企业使用受限于管道的投入与计量方式，导致其所生成的热量不能向周边居民提供，而仅经冷却塔逸出。目前，我国对含高附加值成分废水的处置方法仍不明确，含高附加值成分的废水常被掺入垃圾焚烧处置，有效成分无法有效回收。此外，包括催化剂在内的贵金属循环使用系统尚不健全，在失活的催化剂中，金属组分的回收效率较差，新的催化材料又要耗费大量的矿物资源。在产物代谢方面，由于在处理过程中没有形成标准化的废物利用网络，高分子材料如塑料、橡胶等在处理过程中被投入到垃圾的焚烧和填埋中，无法进行化学品的资源化和资源化利用。产业共生系统的构建还面临着标准衔接、物流组织和利益分配等一系列难题，而目前的体制支持力度显然不够，导致物流链断裂。

4 深化化工行业减污降碳协同增效策略

4.1 优化源头结构与工艺路线，推进资源能源高效利用

化工行业减污降碳协同的实现，首先有赖于从源头入手对产业结构和工艺路线进行系统性优化。原料结构的调整是源头控制的关键环节，企业需要结合资源禀赋和技术条件，逐步推动原料向低碳化、轻质化方向转变。以传统煤化工为例，可通过优化煤炭气化工艺参数，提高碳转化效率，减少原料消耗和废弃物生成。炼化企业应根据原油性质差异，合理配置加氢裂化、催化重整等二次加工装置的比例，使原油资源得到梯级利用，减少重质副产物的产生。工艺路线的选择应优先考虑原子经济性高的反应路径，采用绿色催化技术替代传统当量反应，从反应机理上降低副产物生成。

企业在新建或改扩建项目时,需对备选工艺进行全生命周期环境影响评估,不仅考察单位产品能耗,还应综合评估污染物生成强度。实际操作中,可通过引入过程强化技术,如微反应器、超重力分离等新型装备,提升传质传热效率,缩短反应时间,降低反应温度和压力,从源头上减少能源消耗。对于现有生产装置,应定期开展用能诊断和物料平衡核算,找出原料损耗和能量散失的关键节点,通过局部技术改造优化反应条件,调整进料配比,减少不必要的资源浪费。源头优化还体现在产品的生态设计层面,企业在产品开发阶段就应考虑其全生命周期环境影响,开发可降解、易回收的绿色化工产品,减轻末端治理压力^[4]。

4.2 强化全过程集成优化,实现减污降碳措施协同发力

化工生产过程涉及多个单元操作和复杂的物质能量流动,减污与降碳措施的协同需要从全过程视角进行集成优化。能量系统集成是全过程优化的核心内容,企业应对生产装置的热能、电能、冷能进行综合平衡,构建梯级利用的能源网络。反应单元产生的高温位热能可通过余热锅炉回收产生蒸汽,供给下游工艺使用或用于发电;低温位余热可通过热泵提升品位后用于供暖或工艺加热。在热网布局上,应打破车间界限,建立全厂范围的蒸汽管网和热水管网,实现多装置间的热能互济。

物质流集成方面,需要系统梳理各生产单元的物料流向,建立上下游工序之间的物质耦合关系。上一单元产生的副产物或中间产物,应尽可能作为下一单元的原料加以利用,减少中间体的冷却、储存和再加热环节。如,炼化一体化企业可将催化裂化产生的轻烃直接送至乙烯裂解装置作为原料,避免中间环节的能源消耗和污染物排放。水系统集成也是全过程优化的重要组成部分,应建立分质分级的水循环体系,高浓度废水经预处理后回用于对水质要求不高的工序,冷却水应循环使用并定期投加水处理药剂,减少新鲜水取用量和废水外排量。实际操作中,企业可借助流程模拟软件建立全厂模型,对物料平衡、能量平衡、水平衡进行模拟计算,识别优化潜力。通过夹点分析技术找出换热网络中的瓶颈,重新匹配冷热物流,提高热回收率。对压缩机、泵等动力设备进行变频改造,根据负荷变化调整运行参数,减少电力消耗。

4.3 深化园区循环化改造,构建产业共生减污降碳网络

化工园区是化工产业集聚发展的重要载体,园区层面的循环化改造能够突破单个企业的边界限制,构建更大范围的产业共生体系。园区管理者需要系统梳理入驻企业的产品

链和废物代谢路径,绘制园区物质流和能量流图谱,识别企业间潜在的共生机会。核心企业产生的余热、废气、废液等二次资源,可通过管网输送或槽车运输方式供给周边企业作为能源或原料使用。例如,氯碱企业产生的电石渣可供给建材企业生产水泥,合成氨企业产生的二氧化碳可供给食品加工企业或用于驱油采油。

在能量梯级利用方面,可依托园区集中供热中心或热电联产装置,为入园企业提供蒸汽和电力,替代分散的小锅炉,提高能源转换效率。园区应配套建设统一的环境基础设施,包括集中式污水处理厂、危废处置中心、再生水回用系统等。污水收集管网应实现分质分流,根据废水性质分别纳入不同处理单元,高浓度有机废水可单独进行厌氧发酵回收沼气,含盐废水经脱盐处理后回用。危废集中处置设施应兼顾资源回收功能,对有机废液进行热解回收热能,对废催化剂进行金属回收。在空间布局上,应根据产业关联度优化企业落位,将有物料供需关系的企业就近布置,减少物料输送距离和损耗。园区管理机构应建立信息共享平台,定期发布各企业可提供的余热资源、副产品信息和需求信息,促进企业间交易对接。制定园区循环化改造的准入标准,新建项目需符合产业共生导向,优先引进能够消纳现有企业废物的补链项目。

5 结语

综上所述,推动化工行业减污降碳协同,本质上是将环境保护与气候应对从分立走向融合的过程,是对传统治理模式的系统性超越。通过优化源头结构、强化过程集成、深化产业共生,化工行业能够在削减污染物的同时降低碳排放强度,实现环境效益与气候效益的双重提升。这一转型不仅有助于行业自身提高资源利用效率、增强竞争力,也可为其他高耗能行业提供可借鉴的协同路径。展望未来,随着政策机制的完善、技术创新的突破、管理体系的整合,减污降碳协同将逐步从理念走向实践,从局部探索走向全面铺开,为促进经济社会发展全面绿色转型注入持久动力。

参考文献

- [1] 柴麒麟等.鄂尔多斯现代煤化工行业减污降碳协同创新实践进展及启示建议[J].世界环境, 2025, (05): 94-96.
- [2] 孙园园等.黄河流域煤化工行业降碳减污路径研究[J].环境科学研究, 2025, 38 (11): 2569-2579.
- [3] 陈辉.碳中和背景下智慧城市的减污降碳策略[J].资源节约与环保, 2025, (02): 147-150.
- [4] 周纪武,张磊,罗杰.基于减污降碳的石油化工设备管理策略分析[J].化工管理, 2024, (28): 50-52.