

# Integrated application of waste gas treatment technology in ultra-low emission transformation of coking industry

Weimin Li

Henan Pingdingshan Dongxin Coking Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467045, China

## Abstract

With China's escalating environmental protection standards, the coking industry—a traditional high-pollution sector—faces increasingly stringent emission control requirements. During the 14th Five-Year Plan period (2021-2025), the nationwide implementation of ultra-low emission policies has accelerated the need for coking enterprises to upgrade pollution control technologies. This paper investigates integrated application pathways and system optimization strategies for exhaust gas treatment technologies in coking industry upgrades. Research demonstrates that multiple processes—including coke oven flue gas purification, coal feeding dust removal, and raw gas purification—can achieve efficient pollutant reduction through multi-technology integration. Notably, the synergistic effects of combined technologies such as dry desulfurization, SCR denitrification, and high-efficiency dust removal are most pronounced. Through case studies, the paper analyzes the applicability and economic viability of different treatment processes, proposing that establishing a comprehensive process control system serves as the critical pathway for achieving ultra-low emissions in the coking industry. These findings provide actionable recommendations for future industrial transformation and upgrading.

## Keywords

coking industry; ultra-low emission; waste gas treatment; integrated technology; pollution control

## 焦化行业超低排放改造中废气治理技术的集成应用

李维民

河南省平顶山市东鑫焦化有限公司, 中国·河南·平顶山 467045

## 摘要

随着国家对生态环境保护要求的持续提升, 焦化行业作为传统高污染行业, 面临越来越严格的排放控制标准。特别是在“十四五”期间, 超低排放政策的全面推进, 使得焦化企业亟须加快污染治理技术升级。本文围绕焦化行业超低排放改造过程中的废气治理技术, 探讨其集成化应用路径与系统优化策略。研究表明, 焦炉烟气、装煤除尘、荒煤气净化等多个环节均可通过多技术联用的方式实现污染物的高效削减, 尤其是干法脱硫、SCR脱硝与高效除尘等技术组合的协同效应最为显著。文章结合工程实例, 总结不同治理工艺的适用条件与经济性分析, 提出构建基于全流程控制的集成治理体系是实现焦化行业超低排放的关键路径, 为今后行业改造升级提供可行性建议。

## 关键词

焦化行业; 超低排放; 废气治理; 集成技术; 污染控制

## 1 引言

焦化工业在我国重工业体系中占据重要地位, 是钢铁冶金、化工和能源行业的基础性配套产业。然而, 其生产过程中排放大量含硫、含氮及颗粒物的有害气体, 严重影响环境质量。特别是传统焦化工艺的烟气排放具有污染物种类复杂、排放点多、波动性强等特点, 加之行业整体自动化水平较低, 使得废气治理成为焦化企业环保工作的重中之重。

在国家“碳达峰、碳中和”目标引导下, 焦化行业被列入重点污染物排放源治理清单, 要求全面推进超低排放改

造。2020年生态环境部发布的《焦化行业污染排放标准(征求意见稿)》中, 明确提出颗粒物、二氧化硫和氮氧化物等主要污染物的排放限值需达到超低标准, 这对现有治理技术提出了更高挑战<sup>[1]</sup>。在此背景下, 单一治理手段已难以满足排放控制的系统性需求, 构建以多技术耦合、系统集成成为特征的废气治理体系成为行业发展的必然方向。

本文立足于焦化行业工艺特点, 系统分析废气产生源及主要污染物种类, 梳理当前主流的废气治理技术, 探索各技术之间的协同关系与集成路径, 结合实际改造工程, 总结适用性经验与实施建议, 力求为焦化企业实现绿色低碳转型提供理论支持与实践指导。

【作者简介】李维民(1979-), 男, 中国山西交口人, 从事焦化、炼焦、化工研究。

## 2 焦化行业废气排放特征与污染源识别

### 2.1 主要废气排放环节及污染物构成

焦化工艺是以炼焦煤为原料,通过干馏获得焦炭的过程,广泛应用于钢铁冶金、化工等产业。其生产过程涵盖煤炭准备、高温干馏、焦炉煤气净化、焦炭处理以及副产品回收等多个环节,每个环节几乎都伴随着不同类型的废气排放,污染物种类繁多、成分复杂。

其中,烟气污染的主要来源是焦炉燃烧室产生的高温废气和荒煤气净化过程中逸散的尾气<sup>[2]</sup>。燃烧烟气中主要含有二氧化硫( $\text{SO}_2$ )、氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、粉尘等典型污染物,具有高温、高速、强腐蚀性等特点。尤其在燃烧不完全或炉温不稳定时, $\text{CO}$ 和 $\text{NO}_x$ 排放会显著增加。

装煤、推焦、出焦等操作过程中,则会释放出大量高温有机废气,包含焦油、萘、苯、甲苯、二甲苯等多种挥发性有机化合物(VOCs)及非甲烷总烃(NMHC),并伴随无组织粉尘的溢出。这些污染物不仅对车间操作环境产生强烈影响,也极易通过扩散作用污染周边大气,产生恶臭和异味,影响居民生活质量。

此外,在焦炉煤气冷却、洗涤、脱硫及再利用的过程中所释放的尾气中,常含有硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、氰化氢( $\text{HCN}$ )以及部分残余VOCs。这些物质具有强烈毒性、腐蚀性及挥发性,若处理不当,不仅对治理设施造成腐蚀磨损,也可能因逸散而对操作人员健康和厂区安全造成威胁。长期排放则可能引发酸雨、光化学烟雾等区域性环境问题,对生态系统和公众健康带来严重危害。

### 2.2 污染物排放特性与控制难点

焦化废气污染物呈现出多样性和复杂性,其控制存在诸多难点:

排放点位分散、形式多样。焦化各环节分布较广,废气既有有组织排放,如烟筒排放的烟气,也有大量无组织排放,如装煤时炉门泄漏、出焦过程中逸散的烟尘气体。这种多污染源排放模式对集中治理系统构成挑战。

排放具有周期性和波动性。焦化炉的操作存在装煤、干馏、推焦等循环过程,每一周期均伴随不同强度的废气排放,且成分随操作阶段和温度变化而波动。部分污染物在高温条件下会发生二次化学反应,生成如多环芳烃(PAHs)、二噁英类等更具毒性的污染物,加剧了污染控制的复杂程度。

治理设备稳定性差,运行效率低。目前不少焦化企业仍在使用传统的湿法除尘、石灰浆脱硫或简易冷凝收集VOC的方式<sup>[3]</sup>。这些技术在负荷变化大、污染物组分多变的情况下处理效率明显不足,特别是在“超低排放”新标准背景下,传统工艺已难以实现颗粒物、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 和VOCs的全面稳定达标排放。

企业自动化水平较低,控制响应滞后。由于部分企业

设备陈旧,自动控制系统不健全,污染物排放浓度变化时,系统难以及时调整运行参数,导致治理装置频繁超负荷、超限运行,排放波动频繁、监测预警能力不足,难以满足监管要求。

因此,焦化废气治理亟须在技术、设备、系统管理等方面进行全面升级,构建更加高效、可靠、智能的多污染物协同控制体系。

### 2.3 环境标准提升对技术提出新要求

随着国家对大气污染防治的要求日益严格,焦化行业作为重点排放行业之一,面临着更加严苛的排放限值控制。根据最新《钢铁工业大气污染物排放标准》(GB 28662-2020)及地方实施细则,焦化烟气排放的颗粒物限值已降低至 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下, $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 分别控制在 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 和 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以内。同时,对于挥发性有机物(VOCs)和异味控制也提出更高标准,如VOCs削减率需达到90%以上,无组织排放点需设置有效收集与处理装置,并实现全过程监管。

这些标准的提升对焦化污染治理技术提出以下新要求:

多污染物协同控制能力。传统“一对一”的单污染物治理思路已无法满足实际需求,必须采用多种工艺的组合和集成,如“干式电袋复合除尘+半干法脱硫+低温脱硝+活性炭吸附/催化燃烧”等组合工艺,实现颗粒物、酸性气体、氮氧化物和有机废气的多元协同净化<sup>[4]</sup>。

高效收集与分级治理。尤其对无组织排放环节,应采用集气罩、负压系统等手段提高废气收集效率,同时针对不同污染物设置差异化处理装置,如VOCs预浓缩—高温催化氧化系统、等离子体辅助除臭系统等,以增强末端治理能力。

智能化监控与运行管理。推动污染治理设备与工艺全过程纳入自动控制系统,应用DCS/PLC技术对各处理环节实现联动控制与异常预警,提升运行稳定性。同时,通过安装烟气在线监测系统(CEMS),实现对颗粒物、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、VOCs等指标的实时跟踪,确保持续达标排放。

综上所述,焦化废气治理面临日益严峻的挑战,需从排放特性识别、技术手段升级、系统集成优化和智能监管等多维度出发,构建覆盖全过程、多污染物协同治理的技术体系。未来焦化行业应以绿色转型为目标,推动治理技术由“合规排放”向“近零排放”迈进,实现高质量、可持续发展路径。

## 3 焦化废气治理主流技术分析 with 适应性评估

### 3.1 干法脱硫技术应用优势

干法脱硫工艺通常包括活性炭吸附法、干式氢氧化钙喷射吸收法与炉内喷钙联合布袋除尘等形式,具有系统占地小、水耗低、适应负荷变化快等优点。对于焦炉烟气中 $\text{SO}_2$ 浓度波动性大的特征,干法工艺响应速度快,适用于焦炉短

周期波动频繁的运行状态。活性炭脱硫脱苯技术不仅可高效吸附  $\text{SO}_2$ ，还能协同去除部分有机废气，但存在吸附剂成本高、再生困难的问题。结合废热回收装置，干法脱硫能在提升除尘脱硫效率的同时，提高能源利用率。

### 3.2 高效除尘技术的组合优化

在颗粒物控制方面，静电除尘、布袋除尘及旋风分离是目前应用较广的三种技术。对于焦化烟气颗粒粒径小、负载波动大的问题，复合式布袋除尘器因其过滤精度高、运行稳定性强，被广泛推荐用于超低排放改造。实践表明，采用预分离+布袋除尘组合结构，在确保稳定运行的基础上，能有效降低布袋阻力与更换频率，从而实现长期稳定达标排放。

### 3.3 SCR 脱硝技术的深度治理能力

选择性催化还原 (SCR) 作为氮氧化物控制的主流技术，其适用于中高温区反应条件，可有效将  $\text{NO}_x$  还原为无害的  $\text{N}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}$ 。催化剂通常采用  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$  型，具备反应活性高、抗硫能力强等特点。焦化行业在使用 SCR 时需注意烟气中粉尘与硫分对催化剂中毒的风险，故常结合高效除尘与干法脱硫系统进行协同配置，以提升整体系统稳定性与治理深度。

## 4 集成化技术系统构建与协同机制分析

### 4.1 工艺集成协同控制

为实现焦化行业超低排放，打破传统“单项治理”模式，建立基于污染物全链条识别与控制的集成治理系统迫在眉睫。在工艺集成层面，“高效除尘+干法脱硫+SCR脱硝”三位一体方案优势显著。此方案中，前端的高效除尘装置率先发挥作用，有效控制颗粒物，大幅降低后端脱硫、脱硝设备的处理负荷，延长设备使用寿命，减少维护成本。中段采用干法脱硫技术，精准吸收处理烟气中的  $\text{SO}_2$ ，避免传统湿法脱硫可能产生的二次污染问题。尾气段设立 SCR 装置，利用催化剂在适宜温度下，将  $\text{NO}_x$  精准还原为无害的氮气和水，实现  $\text{NO}_x$  的高效去除。这种工艺集成方式并非简单组合，而是通过各环节的紧密配合与协同作用，形成一个有机的整体，从源头上减少污染物的产生，在过程中实现高效净化，最终确保排放的烟气达到超低排放标准。

### 4.2 系统控制与资源回收

系统控制是集成治理系统稳定运行的关键。配置实时监测系统与自动调节装置，能够实时获取烟气流量与成分数据，并根据这些数据的波动动态调整各单元运行参数。当烟气流量增大或污染物浓度升高时，系统自动增加处理单元的运行功率，确保污染物排放始终稳定在控制限值之内。同时，集成系统注重能源与资源的回收利用，将高温烟气用于预热燃料，提高燃料燃烧效率，降低能源消耗；回收蒸汽用于工艺加热，实现能源的循环利用<sup>[5]</sup>。通过系统化的工艺设计与运行优化，集成化治理体系不仅提升了单体工艺效能，还

降低了运行成本，实现了经济效益与环境效益的双赢，推动焦化行业向绿色、可持续方向发展。

## 5 工程案例分析与经济性评估

以山西某大型焦化企业为案例，该企业在响应国家“超低排放”政策要求的过程中，成功实施了“SCR脱硝+干法脱硫+布袋除尘”一体化集成技术体系。该系统集成了选择性催化还原 (SCR) 对  $\text{NO}_x$  的精准控制、干法喷氨法高效脱硫以及高效布袋除尘，形成多污染物协同治理模式。改造后经权威监测数据显示，烟气中颗粒物排放稳定控制在  $8\text{mg}/\text{Nm}^3$  以内，二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 分别降至  $30\text{mg}/\text{Nm}^3$  和  $40\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下，全面达到并优于国家超低排放标准。

该系统采用模块化设计理念，通过与智能控制平台联动，实现各处理单元之间的负荷调节与反应速率动态匹配，不仅提升了整体运行效率，也显著延长了设备使用寿命。在经济性方面，总投资约为 1800 万元，年运行成本约为 320 万元，通过高效运行与能源回收，年可实现节能与副产品回收收益约 200 万元，预计三年内实现投资回收，运行效益可观。该集成治理模式在省内外多个焦化企业成功复制推广，充分验证了其在实现环保效益与经济效益双赢方面的可行性与示范价值。

## 6 结语

随着环境治理要求的持续收紧，焦化行业超低排放改造已成为必然趋势。在这一过程中，废气治理技术的集成应用成为突破传统技术瓶颈、提升治理水平的有效路径。本文通过分析焦化废气的排放特征与控制难点，系统梳理了当前主流的治理技术，并结合实际工程经验构建出适用于焦化行业的集成化治理模型。

未来，焦化企业应在实现技术集成的同时，加快信息化系统建设与智能运维平台搭建，推动治理系统向精细化、智慧化方向发展。此外，政策层面应鼓励企业探索多元化融资与收益共享机制，降低绿色改造门槛，形成企业、社会与政府多方协同的生态治理格局，为实现工业污染物系统治理与国家“双碳”目标协同推进奠定基础。

### 参考文献

- [1] 董威,袁楚雄.DCS在钢铁厂超低排放监测中的研析应用[J].中国仪器仪表,2024,(05):17-21.
- [2] 刘浩然.D自备电厂超低排放项目风险分析及应对策略研究[D].吉林大学,2024.
- [3] 罗忠河,黄导:共建清洁美丽世界中国钢铁是务实行动派[N].中国冶金报,2022-06-07(001).
- [4] 张应雨.浅谈钢铁企业环保超低排放改造技术方案[J].能源与环境,2021,(06):78-79+77.
- [5] 张延青,郑德富,李冠志.超低排放下钢铁行业滤料的选用与发展趋势[J].中国环保产业,2021,(09):54-59.