

石油石化放散火炬对环境与发展的影响研究

周皓 彭健

北京航化节能环保技术有限公司, 中国·北京 637919

摘要: 石油石化产业作为高能耗、高排放的支柱型产业, 其生产过程中的可燃气体处理对环境保护和资源利用效率至关重要。点火系统作为火炬单元的核心组成部分, 通过安全引燃、优化燃烧和应急响应, 显著降低了污染物排放和能源浪费。论文通过梳理石油石化产业中点火系统的技术演进结合技术原理、案例分析、政策法规及数据对比, 系统探讨点火系统在减少温室气体排放、提升资源回收率、推动绿色低碳转型中的作用, 并提出未来技术优化方向。研究表明, 高效点火技术不仅能显著降低碳排放和污染物释放, 还能通过余热回收等方式实现资源的循环利用, 为行业可持续发展提供技术支撑。

关键词: 石油石化; 放散火炬; 环境影响; 点火系统; 资源利用

Research on the Impact of Oil and Petrochemical Flare Torches on the Environment and Development

Hao Zhou Jian Peng

Beijing Hanghua Energy Conservation and Environmental Protection Technology Co., Ltd., Beijing, 637919, China

Abstract: The petroleum and petrochemical industry, as a pillar industry characterized by high energy consumption and high emissions, the treatment of combustible gases during its production process is of great significance for environmental protection and the efficiency of resource utilization. As a core component of the flare unit, the ignition system significantly reduces pollutant emissions and energy waste through safe ignition, optimized combustion, and emergency response. This paper systematically explores the role of the ignition system in reducing greenhouse gas emissions, improving resource recovery rates, and promoting the green and low-carbon transformation by combing the technological evolution of the ignition system in the petroleum and petrochemical industry, along with technical principles, case studies, policies and regulations, and data comparisons. It also proposes future directions for technical optimization. The research shows that high-efficiency ignition technology can not only significantly reduce carbon emissions and pollutant release but also achieve the recycling of resources through methods such as waste heat recovery, providing technical support for the sustainable development of the industry.

Keywords: petroleum and petrochemicals; release the torch; environmental impact; ignition system; resource utilization

1 概述

1.1 研究背景

据统计, 石化行业贡献了全球约 8% 的二氧化碳排放和 30% 的工业 VOCs 排放 (IEA, 2022)。传统的火炬系统因燃烧效率低、甲烷逃逸等问题饱受诟病, 而点火系统的技术创新成为平衡生产安全与环境保护的关键, 优化点火系统以减少环境负荷、提高资源利用率成为行业发展的必然趋势。

1.2 研究意义

点火系统通过精准控制燃烧过程, 可减少有毒气体泄漏、降低碳足迹, 并推动能源循环利用, 对实现联合国可持续发展目标 (SDGs) 中的气候行动 (目标 13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响) 和清洁能源 (目标 7: 推动可再生能源替代化石燃料) 具有重要意义。

1.3 研究方法

技术对比: 分析长明灯、电子点火等系统的性能差异。

案例研究: 选取国内外炼厂、化工厂的改造案例。

数据分析: 引用 IPCC、IEA 等权威机构的排放数据。

2 点火系统的技术原理与分类

2.1 核心功能与工作原理

安全引燃: 确保可燃气体在 0.3 秒内点燃, 防止爆炸风险 (API 537 标准)。

燃烧优化: 通过蒸汽喷射、空气分级燃烧技术提高燃烧效率至 98% 以上。

动态响应: 集成压力传感器与 PLC 控制系统, 实时调节点火参数。

2.2 主要类型及技术特点

主要类型及技术特点如表 1 所示。

3 点火系统的环境保护作用

3.1 减少大气污染物排放

完全燃烧控制:

通过优化燃烧温度 ($> 800^{\circ}\text{C}$) 和停留时间 (0.3~0.5s), 将 CO 排放降至 50ppm 以下 (案例: 某炼厂改造后 CO 减排 65%)。

表 1 主要类型及技术特点

类型	原理	优点	缺点
长明灯	持续燃烧少量燃料气	可靠性高，适应复杂工况	燃料消耗大，碳排放高
电子点火	高压电弧 / 热表面按需点火	节能（减少 90% 燃料消耗）	高湿度环境易失效
混合型	长明灯 + 电子备用	平衡安全与环保	系统复杂度高

VOCs 高效处理：替代开放式燃烧，苯系物、醛类等 VOCs 燃烧效率达 99.9%（EPA，2021）。

3.2 遏制温室气体排放

甲烷和 CO₂（来自燃烧）直接推动全球变暖。据 IPCC 数据，油气行业贡献了全球约 15% 的温室气体排放。黑碳（PM 的一种）沉降 to 冰雪表面会降低反照率，加速北极冰川融化。

甲烷减排：甲烷的全球变暖潜势（GWP）为 CO₂ 的 28~36 倍（IPCC AR6）。高效点火系统可将甲烷逃逸量从 5% 降至 0.1%。

低碳燃烧技术：低氮氧化物（Low-NOx）火炬头减少 N₂O 生成，某项目实测 NOx 排放降低 40%。

3.3 降低环境事故风险

- 安全燃烧可燃气体，防止爆炸风险。
- 降低有毒气体排放，减少环境危害。

4 点火系统的资源效率提升作用

4.1 能源回收与再利用

联锁控制：非紧急工况下将火炬气导入燃料管网，某乙烯装置年回收燃气 1.2 亿立方米，相当于替代 4 万吨标煤。

余热发电：高温烟气（> 500℃）驱动余热锅炉发电，效率达 25%。

4.2 减少原料浪费与设备损耗

放空量最小化：实时监测系统（如 SCADA）将非计划放空量减少 70%。

腐蚀控制：优化燃烧减少 H₂S 氧化生成硫酸，设备寿命延长 30%。

4.3 经济效益与社会效益

成本节约：某石化园区采用智能点火系统后，年运营成本降低 1200 万元。

碳交易收益：减少的碳排放量可参与碳市场交易，按 60 元 / 吨 CO₂ 计算，年收益超 500 万元。

5 政策驱动与行业实践

5.1 国内外政策法规的引导

中国“十四五”规划明确要求石化行业单位产品能耗和碳排放显著下降，挥发性有机物排放总量降低 10% 以上。沙特 2025 年《石油与石化法》强调资源最优利用和环保标准，推动行业价值链本地化。欧盟《工业排放指令》（IED）则对炼油厂 NOx 排放限值设定为 50mg/m³，倒逼企业升级点火系统。

5.2 企业技术创新与示范项目

中国石油在吉林油田推广风光发电和储能技术，实现 1/4 生产用电的清洁替代。

振华石油在阿布扎比应用等离子点火技术，结合红外气体监测系统，提升了油田数智安全水平。

6 现存挑战与优化路径

6.1 技术瓶颈

复杂组分适应性：高含硫、低热值气体易导致点火失败（如焦炉煤气）。

极端气候影响：北极地区低温、赤道高湿度环境对设备可靠性提出挑战（例如，高压点火器的使用寿命受环境因素影响显著，高温高湿环境下可能缩短至 1~2 年，增加了更换成本）。

6.2 经济与政策障碍

投资成本高：一套智能点火系统造价约 500 万 ~800 万元，中小企业难以承担。

标准不统一：发展中国家缺乏强制性的火炬排放监管法规。

6.3 全生命周期环境评估

现有研究多聚焦点火系统的使用阶段，而对其生产、废弃环节的环境影响关注不足。例如，点火线圈的绝缘填充材料和铜绕组在生产过程中产生较高的碳足迹，占总碳排放量的 39%~62%。未来需加强全生命周期评估（LCA），推动材料绿色化和循环利用。

6.4 优化建议

技术升级：开发耐硫型点火电极、等离子体辅助点火技术。

政策激励：将点火系统改造纳入环保补贴范围（如中国《大气污染防治专项资金》）。

国际合作：推广“一带一路”沿线国家技术援助与能力建设。

7 未来发展趋势

7.1 氢能适配技术

绿氢炼化场景下，开发氢兼容点火装置（如预混燃烧技术）。

7.2 数字化与智能化

数字孪生：通过虚拟仿真优化燃烧参数，减少试错成本。

区块链溯源：记录碳排放数据，增强碳交易透明度。

7.3 零排放愿景

光催化分解技术: 实验室内已实现 VOCs 无火焰分解(转化率 > 95%)，未来或替代传统燃烧。

8 结论

点火系统在石油石化产业的环境与资源管理中扮演关键角色。通过技术创新、政策引导和企业实践，高效点火系统已在减少污染物排放、提升能源效率和推动资源循环利用方面取得显著成效。其中，点火系统通过高效燃烧与智能控制，成为石油石化行业绿色转型的核心技术载体。未来，随着智能化、清洁能源技术的深入应用，点火系统将进一步助力行业向绿色低碳转型，为实现全球可持续发展目标提供支撑。其在减少污染物排放、提升资源效率方面的作用已获实证，未来需进一步融合清洁能源与数字化技术，推动行业从“被动减排”向“主动增值”转变。

参考文献:

[1] International Energy Agency (IEA). Tracking Clean Energy Progress: Petrochemicals[Z].2022.

[2] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Flare Efficiency and Emissions Reductions[Z].2021.

[3] API 537. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Services[Z].2020.

[4] IPCC. Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2021[Z]. 2021.

[5] 搜狐网.守护蓝天碧水:石油火炬点火装置的环保贡献[EB/OL]. [2025-04-23].

[6] Chen C M, Chang H L. Environmental Impact Assessment of an Ignition Pencil Coil by a Combination of Carbon Footprint and Environmental Priority Strategies Methodology[J]. Sustainability, 2022,14(8):4783.

[7] 力爽官网.SPE高性能点火系统[EB/OL].[2025-04-23].

[8] 贵州省发改委.金元织金“上大压小”异地改建项目换上清洁能源“油改气”锅炉一次点火成功[EB/OL].[2025-04-23].

[9] 国务院国资委.中国石化高能电子点火系统填补国内空白[EB/OL]. [2025-04-23].

[10] 中国石油化工.融合发展的深度探索[EB/OL].[2025-04-23].

[11] 汽车测试网.采用高能点火的均质稀薄燃烧汽油机试验[EB/OL]. [2025-04-23].

[12] 中国石化新闻网.勇攀高峰奋力担当国家战略科技力量[EB/OL]. [2025-04-23].

[13] 振华石油.振华石油参加2024年ADIPEC成果斐然[EB/OL]. [2025-04-23].

[14] 中华人民共和国驻沙特阿拉伯王国大使馆经济商务处.沙特发布《石油与石化法》,推动行业现代化与可持续发展[EB/OL]. [2025-04-23].

[15] 中华人民共和国商务部.工业和信息化部 发展改革委 科技部 生态环境部 应急部能源局关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见[EB/OL].[2025-04-23].

作者简介: 周皓 (1986-), 男, 中国河北廊坊人, 硕士, 副高级工程师, 从事石化节能环保技术和经营采购管理研究。