

辽河油田挥发性有机物 (VOCs) 治理技术优化研究

李宁

辽河油田分公司曙光采油厂质量健康安全环保部

DOI: 10.12238/j.pm.v6i12.8619

[摘要] 本文旨在优化辽河油田挥发性有机物 (VOCs) 治理技术，以提升治理效率并降低治理成本，从而支持油田的可持续发展。通过技术经济性评估等方法，对辽河油田 VOCs 排放现状及现有治理技术进行了深入研究。针对现有治理技术在效率和成本方面存在不足。提出技术组合优化、设备改进及智能化管理等优化策略。这些策略不仅具有技术和经济可行性，还能显著改善 VOCs 治理效果，为油田环境保护和资源利用提供重要支持，同时对其他类似油田 VOCs 治理工作也具有借鉴意义。

[关键词] 挥发性有机物；治理技术；优化；辽河油田

Research on Optimization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Treatment Technology in Liaohe Oilfield

Li Ning

Quality, Health, Safety, and Environmental Protection Department of Shuguang Oil Production Plant, Liaohe Oilfield Branch

[Abstract] This article aims to optimize the treatment technology of volatile organic compounds (VOCs) in Liaohe Oilfield, in order to improve treatment efficiency and reduce treatment costs, thereby supporting the sustainable development of the oilfield. Through methods such as technical and economic evaluation, an in-depth study was conducted on the current status of VOCs emissions and existing treatment technologies in Liaohe Oilfield. There are deficiencies in efficiency and cost of existing governance technologies. Propose optimization strategies such as technology combination optimization, equipment improvement, and intelligent management. These strategies not only have technical and economic feasibility, but also significantly improve the effectiveness of VOCs treatment, providing important support for environmental protection and resource utilization in oil fields. At the same time, they also have reference significance for other similar VOCs treatment work in oil fields.

[Key words] volatile organic compounds; Governance technology; Optimization; Liaohe Oilfield

引言

挥发性有机物 (VOCs) 作为大气污染的重要前体物，其治理已成为当前环境保护工作的重点之一。VOCs 不仅会形成细颗粒物 (PM_{2.5}) 和臭氧 (O₃)，还对人类健康造成严重威胁。辽河油田作为中国重要的油气生产基地，其生产过程中涉及原油储存、油气集输、污水处理等多个环节，这些环节均可能产生大量的 VOCs 排放。此外，随着国家对石化行业 VOCs 管控要求的日益严格，辽河油田作为重点排放单位，其治理工作的成效不仅关系到区域环境质量改善，还直接影响企业的资源利用效率和可持续发展能力。因此，开展辽河油田 VOCs 治理技术优化研究，既是响应国家环保政策的需要，也是实现企业绿色转型的关键举措。

1. 辽河油田 VOCs 排放现状

1.1 排放源分析

辽河油田作为中国重要的石油生产基地，其挥发性有机物 (VOCs) 排放主要来源于储罐、污水池以及油气集输过程等环节。排放源具有分布广泛、组分复杂等特点，对环境和资源利用造成了显著影响。首先，储罐是油田 VOCs 排放的重要来源之一，其次，敞开式含油污水池也是油田 VOCs 排放的主要来源之一。最后，油气集输过程同样贡献了相当比例的 VOCs 排放。辽河油田 VOCs 排放源呈现多而分散的特点，涵盖了储罐、污水池以及油气集输等多个环节。这些排放源不仅排放量巨大，而且受生产工况和环境因素的双重影响，使得 VOCs 治理工作面临严峻挑战。

1.2 排放特征

辽河油田 VOCs 排放的特征主要体现在其浓度、组分以及排放量等方面，并受到生产工况和环境因素的显著影响。从浓度角度来看，VOCs 排放浓度呈现出波动性较大的特点，从排放

量来看, VOCs 排放总量巨大且分布不均。根据相关研究, 单罐组油品的挥发损耗量虽小, 但全年、全时段、全罐组统计后的累积量却十分可观。此外, 油气集输过程中的无组织排放同样不可忽视, 尤其是在未实施 LDAR 检测的情况下, 动静密封点泄漏可能导致额外的 VOCs 排放。这些排放不仅造成了资源浪费, 还对区域空气质量产生了深远影响。生产工况和环境因素对辽河油田 VOCs 排放特征的影响尤为显著。具有浓度波动大、组分复杂、排放量巨大且受多种因素共同作用的特点。这些特征不仅反映了油田 VOCs 治理的复杂性, 也为后续优化治理技术提供了重要的研究方向。

2. 现有治理技术分析

2.1 回收技术

在挥发性有机物 (VOCs) 治理中采用了多种回收技术, 主要包括吸附法、吸收法和冷凝法。这些技术通过物理或化学手段将 VOCs 从废气中分离并进行回收, 以实现资源利用和环境保护的双重目标。

(1) 吸附法是一种基于固体吸附剂对 VOCs 分子进行选择性吸附的技术。其原理在于利用吸附剂表面的多孔结构和高比表面积, 通过分子间作用力捕获 VOCs 分子。常用的吸附剂包括活性炭、沸石和硅胶等。该技术适用于低浓度、大风量的 VOCs 废气处理, 具有较高的净化效率。然而, 吸附法的缺点在于吸附剂需要定期再生, 且再生过程可能产生二次污染。此外, 吸附剂的成本较高, 限制了其在大规模应用中的经济性。

(2) 吸收法是通过液体吸收剂与 VOCs 气体接触, 利用溶解度的差异实现分离的技术。其核心在于选择合适的吸收剂, 吸收法适用于高浓度、易溶于吸收剂的 VOCs 废气处理, 具有操作简单、设备投资较低的优点。然而, 该技术的局限性在于吸收剂的再生和处理成本较高, 且部分吸收剂可能对环境造成二次污染。因此, 在实际应用中需综合考虑吸收剂的选择和后续处理工艺。

(3) 冷凝法是通过降低废气温度至 VOCs 露点以下, 使其由气态转化为液态从而实现回收的技术。该技术主要依赖于 VOCs 的物理性质, 如沸点和饱和蒸气压, 适用于高浓度、高沸点的 VOCs 废气处理。冷凝法的优势在于回收效率较高, 回收率可达 90%以上。然而, 该技术需要消耗大量的能量用于制冷, 运行成本较高, 且对低沸点 VOCs 的回收效果较差。

2.2 销毁技术

在 VOCs 治理中还采用了多种销毁技术, 主要包括生物处理、燃烧法和催化氧化法。这些技术通过化学或生物手段将 VOCs 分解为无害物质, 如二氧化碳和水, 从而实现对污染物的彻底去除。

(1) 生物处理技术是一种基于微生物代谢作用的废气处理方法, 其原理是将 VOCs 气体通过填充有微生物的滤料层, 微生物在适宜的环境条件下将有机物分解为无害物质。该技术适用于大气量、中等浓度的 VOCs 废气处理, 具有运行费用低、净化效果稳定的优点。研究表明, 生物处理技术净化效率一般

可达 80%以上, 但对含氯有机物等难降解物质的处理效果较差。此外, 生物处理技术的启动时间较长, 且对环境条件的要求较为严格, 这在一定程度上限制了其广泛应用。

(2) 燃烧法是通过将 VOCs 与空气混合并在高温下氧化分解为二氧化碳和水的技术。根据燃烧方式的不同, 可分为直接燃烧、蓄热式燃烧和催化燃烧三种形式。直接燃烧适用于高浓度、回收价值低的 VOCs 废气处理, 具有操作简单、处理效率高的优点。然而, 该技术的能耗较高, 且可能产生氮氧化物等二次污染物。蓄热式燃烧和催化燃烧则通过热回收或催化剂的作用降低了能耗, 提高了处理效率, 但设备投资和运行维护成本较高。

(3) 催化氧化法是一种通过催化剂降低反应活化能, 从而在较低温度下实现 VOCs 氧化分解的技术。该技术以贵金属为催化剂, 具有净化效率高、能耗低的优点。催化氧化法适用于中低浓度的 VOCs 废气处理, 尤其在高湿度条件下表现出良好的稳定性。然而, 催化剂的寿命受废气成分影响较大, 且催化剂的成本较高, 这在一定程度上限制了其大规模应用。

3. 治理技术优化策略

3.1 技术组合优化

挥发性有机物 (VOCs) 治理技术的单一应用往往难以满足复杂工况下的处理需求, 因此将多种技术进行组合以提高治理效率和经济效益成为研究的重要方向。吸附-催化燃烧技术是一种典型的组合方式, 其核心在于通过吸附剂对低浓度 VOCs 进行浓缩, 随后利用催化燃烧将富集后的 VOCs 高效转化为无害物质。该技术不仅显著降低了燃烧设备的运行负荷, 还减少了能源消耗。此外, 冷凝-吸收组合技术也是一种成熟的工艺, 特别适用于高浓度有机化合物的处理。该技术通过冷凝回收有价值的溶剂成分, 再结合吸收法去除残余废气, 从而实现资源化和无害化的双重目标。在实际应用中, 这两种组合技术均表现出良好的稳定性和适应性, 尤其适用于辽河油田这类排放源复杂、废气浓度波动较大的场景。

对于辽河油田而言, 不同排放源的特点决定了技术组合的具体应用方式。例如, 在储罐和油气集输过程中, 由于废气浓度较高且含有可回收溶剂, 冷凝-吸收组合技术具有较高的适用性; 而在污水处理池等低浓度排放场景中, 吸附-催化燃烧技术则更为经济高效。通过合理选择技术组合方式, 不仅可以提升整体治理效率, 还能有效降低运行成本, 为油田 VOCs 治理提供科学依据和技术支持。

3.2 设备改进

现有治理设备的性能优化是提升 VOCs 治理效率的关键环节之一。针对辽河油田的实际情况, 设备改进应重点关注密封性提升和运行参数优化两个方面。首先, 提高设备的密封性能可以有效减少废气泄漏, 从而降低无组织排放对环境的影响。例如, 在固定顶罐的治理中, 采用大罐抽气技术并结合高效密封材料, 能够实现油气的全密闭储存和输送, 避免因挥发气量波动导致的处理效率下降。其次, 优化设备运行参数也是提升

治理效果的重要手段。通过对设备操作温度、压力、风量等关键参数的精确控制，可以显著提高治理技术的运行稳定性。

此外，设备改进还需结合智能化技术，以实现运行状态的实时监测和动态调整。如在冷凝回收装置中安装温度传感器和压力传感器，可以实时监控设备运行状态，并根据废气浓度变化自动调整冷凝温度，从而确保设备始终处于最佳工作状态。这些改进措施不仅有助于提升治理效率，还能显著降低设备维护成本，为油田 VOCs 治理的可持续发展奠定基础。

3.3 智能化管理

随着信息技术和自动化技术的发展，智能化管理在 VOCs 治理中的应用日益广泛。辽河油田作为大型工业企业，其 VOCs 排放源分布广泛且排放特征复杂，传统的人工管理模式已难以满足现代化治理需求。因此，引入智能化手段对治理过程进行全程监控和管理具有重要意义。具体而言，智能化管理主要包括实时监测、数据分析以及自动调节三大功能模块。通过部署高精度传感器网络，可以实时采集各排放源的 VOCs 浓度、温度、压力等关键数据，并将数据传输至中央控制系统进行分析处理。在此基础上，系统可以根据预设算法自动调节治理设备的运行参数，从而实现对废气排放的精准控制。

智能化管理不仅能够提高治理效率，还可以显著降低人工成本和操作失误。例如，在油气集输系统中，通过引入智能引射回收技术，可以利用输气管道的剩余压力实现油气的自动回收，无需额外的人工干预。此外，智能化管理系统还能够对设备运行状态进行故障预警，及时发现并解决潜在问题，从而保障治理设备的长期稳定运行。这些优势使得智能化管理成为油田 VOCs 治理技术优化的重要组成部分，为其实现高效、低成本的治理目标提供了有力支持。

4. 优化方案的可行性分析

4.1 技术可行性

辽河油田挥发性有机物(VOCs)治理技术的优化方案在技术层面上具备较高的可行性。从技术原理来看，吸附-催化燃烧、冷凝-吸收等组合技术已被证明能够有效提升 VOCs 治理效率。例如，吸附浓缩与燃烧组合技术通过将低浓度有机废气转化为高浓度 VOCs 后进行焚烧处理，显著降低了后期焚烧装置的投入和运营费用。此外，催化氧化技术作为目前处理 VOCs 最有效的途径之一，在热催化、光催化及光热协同催化领域均展现出良好的应用前景。贵金属(如 Pt、Pd、Au) 和过渡金属氧化物(如 Mn、Co、Cr) 催化剂的研究为油田提供了丰富的技术参考。在现有技术基础上，辽河油田已部分采用了吸附法和冷凝法等回收技术，这为引入更先进的组合技术奠定了实践基础。同时，智能化管理手段的应用也符合当前工业发展趋势，通过实时监测和自动调节设备运行状态，可进一步提升治理效果。因此，优化方案的技术可行性得到了充分保障。

4.2 经济可行性

优化方案的经济可行性主要体现在成本投入与经济效益

之间的平衡。首先，从成本角度来看，优化方案涉及设备购置、运行维护以及智能化系统的建设等方面的费用。例如，吸附-催化燃烧设备的初期投资较高，但其长期运行成本较低，且能够显著减少能源消耗。此外，冷凝-吸收组合技术虽然需要一定的蒸汽消耗，但由于其对蒸馏分离阶段的优化设计，整体能耗较传统工艺明显减少，从而降低了运营费用。其次，从经济效益的角度分析，优化方案能够带来多方面的收益。一方面，通过资源回收技术，辽河油田可以实现部分 VOCs 的高效回收，从而创造一定的经济价值；另一方面，随着环保法规的日益严格，优化方案的实施有助于减少环保罚款支出，并提升企业的社会形象。综合考虑，尽管优化方案存在一定的前期投入，但其长期经济效益显著，具备良好的经济可行性。

4.3 环境可行性

优化方案的实施对油田及周边环境的影响是评估其可行性的主要方面。从环保要求来看，该方案通过技术组合和设备改进，能够显著提高 VOCs 的治理效率，降低污染物排放量。在智能化管理的支持下，实时监测系统能够有效控制 VOCs 泄漏风险，避免对环境造成二次污染。同时，优化方案还注重废气收集系统的密闭性和负压运行状态，以减少无组织排放的发生。总体而言，优化方案不仅能够满足现行环保法规的要求，还能显著降低对周边环境的不利影响，具备良好的环境可行性。

5. 结论

(1) 通过技术组合优化、设备改进和智能化管理，构建了一套适用于辽河油田特定环境的 VOCs 治理技术体系，为实现高效、经济和环保的治理目标奠定了坚实基础。

(2) 多学科融合研究将成为推动 VOCs 治理技术创新的重要途径，通过建立智能化的排放预测模型和优化控制算法，可以更加精准地调控治理设备的运行状态，从而实现资源的最大化利用和成本的最小化。

(3) 随着环保法规的日益严格和公众环保意识的不断提高，未来辽河油田 VOCs 治理技术研究还需更加注重环境友好性和可持续性。总之，通过持续的技术创新和多学科协作，辽河油田 VOCs 治理技术将迎来更加广阔的发展前景。

【参考文献】

- [1] 赵风杰; 韦安培; 孙慧.油田企业 VOCs 污染管控研究[J].石油石化物资采购, 2021, (5): 94-95.
- [2] 肖经伦; 张文字; 卜宪彬.油田 VOCs 治理技术应用与 VOCs 监管探讨[J].化工安全与环境, 2023, 36(6): 82-85.
- [3] 谢媚; 何旭; 王黎宏.油气集输工艺 VOCs 治理技术[J].石油化工建设, 2024, 46(6): 150-153.
- [4] 李巍; 杨静.关于挥发性有机物治理技术的研究[J].皮革制作与环保科技, 2023, 4(2): 13-15.
- [5] 张琰; 李好管.挥发性有机物(VOCs)治理:技术进展及政策探析[J].煤化工, 2022, 50(6): 1-10.