

稠油热采开发区块接转站罐区 VOCs治理技术研究与应用

刘文昌 李亚峰 李建民 王振明 佟 陆 何志鹏

中国石油新疆油田公司新港公司，克拉玛依

摘要 | 当前我国VOCs治理处于政策加码与精准管控的关键阶段，国家层面通过修订《环境保护税法》，出台《重点行业挥发性有机物综合治理方案》《生态环境监测条例》等政策，构建全链条管控体系，明确对石油、化工等重点行业形成刚性约束。为落实国家管控要求，应对稠油热采开发区块接转站罐区VOCs排放的环保与安全挑战，本研究基于稠油开发区块现场实际工况，系统开展VOCs排放监测、治理方案比选与工艺优化研究。选择末端处理技术路线，采用“脱汽+脱硫+催化氧化（CO）”组合工艺，通过解决工程实施难点完成现场应用，验证了治理技术的高效性与适应性。为稠油热采区块VOCs治理推广应用提供了具备工程可行性的解决方案，对推动油田绿色转型、满足国家环保税与总量减排要求具有重要实践意义。

关键词 | 稠油热采；VOCs治理；末端治理；催化氧化；技术研究

Copyright © 2026 by authorx (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



挥发性有机物VOCs作为细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）污染的核心前体物，不仅加剧大气环境问题，还对人体呼吸系统、免疫系统构成严重危害，已成为大气污染防治的重点管控对象^[1]。近年来，国家相继出台《石油炼制工业污染物排放标准》修改单、《环境保护税法》修正案等政策，将VOCs纳入重点监管与征税范围，对石油行业形成刚性约束。稠油热采开发区块现有敞口常压缓冲罐，作业环节产生大量VOCs排放，既无法满足现行环保要求，又存在显著安全隐患，治理工作亟待推进。本研究通过现场监测明确VOCs组分与物性特征，开展治理方案多维度比选，优化确定适配工艺路线，针对性解决工程实施关键难点，通过现场应用验证

技术有效性，最终形成可推广的稠油热采区块VOCs综合治理模式，为企业履行环保责任、推动行业绿色低碳发展提供技术支撑。

1 研究背景

挥发性有机物（VOCs），是指常温下饱和蒸汽压大于70Pa、常压下沸点在260℃以下的有机化合物，或在20℃条件下蒸汽压大于或者等于10Pa具有相应挥发性的全部有机化合物^[2-3]。它不仅是大气污染的重要污染源，还是PM_{2.5}和O₃污染的关键前体物，会加剧雾霾、光化学烟雾等环境问题，还对人体呼吸系统、免疫系统等造成严重危害，直接影响生态环境质量和公众健康。

通讯作者：刘文昌，2015年中国石油大学（华东）工程师，研究方向：油气田开发生产技术管理。

文章引用：刘文昌，李亚峰，李建民，等. 稠油热采开发区块接转站罐区VOCs治理技术研究与应用 [J]. 环境与资源, 2026, 8 (1): 124-130.

<https://doi.org/10.35534/er.0801016>

基于VOCs突出的环境危害和污染影响,国家层面,从顶层设计持续强化政策引导与监管执法,VOCs治理已纳入大气污染防治重点任务,形成多重刚性约束,同时针对VOCs废气减排制定了明确的阶段性量化目标任务,强力推进专项治理。2024年5月,国家生态环境部发布了《石油炼制工业污染物排放标准》等三项国家污染物排放标准修改单,进一步细化设备泄漏、废水逸散等关键环节VOCs管控要求,彰显了国家铁腕治污的坚定决心。2025年10月全国人大常委会通过的《环境保护税法》修正案,将VOCs全面纳入征税范围,石油、化工、工业涂装等重点行业成为首批试点对象,这一政策变化将对稠油开发的环保投入和运营成本产生深远影响^[4-5]。

目前稠油热采开发区块采用注蒸汽开发,现有接转站90座站后60m³缓冲罐187座,全部为敞口常压生产方式。采出液在缓冲罐常压分离,进出油作业、清罐操作以及呼吸损耗等环节均会产生挥发性有机物排放,已不满足现行环保要求。为保障环境质量以及安全生产,减少油田开采过程中的伴生气放空损失和稠油挥发损耗,

实现稠油高效、安全开发,需对接转站缓冲罐开展VOCs综合治理。

2 稠油热采开发区块接转站 VOCs 治理方法研究

2.1 缓冲罐 VOCs 排放监测及物性分析

监测分析VOCs严格按照国家相关标准,采用固体吸附-热脱附气相色谱-质谱(CG-MS)法,根据所要检测的化合物类型选择特定的吸附剂,将环境空气通入吸附剂采样管,VOCs被富集在采样管中,将采样管带回实验室,经过加热脱附,将试样导入气相色谱,经色谱柱分离后,由质谱仪进行定性定量分析^[6]。通过对5个子区块20个点位的监测,获得监测数据20组。根据实测数据,综合分析得出稠油开发区块接转站缓冲罐排放的VOCs组分以烃类化合物为主,占比达到78.6%,其中芳香烃类占比21.4%。这些物质普遍具有较低的沸点,在常温下易挥发形成气态污染物。

表 1 稠油开发区块挥发性有机物 (VOCs) 监测物性平均值

Table 1 Average physical properties of volatile organic compounds (VOCs) monitoring in heavy oil development blocks

井号	94523	D922072	94505	D956153	920029	平均数据
组分名称/单位	体积分数 (%)	体积分数 (%)	体积分数 (%)	体积分数 (%)	体积分数 (%)	体积分数 (%)
甲烷 (CH ₄)	28.11	18.59	52.73	60.65	44.52	40.92
乙烷 (C ₂ H ₆)	5.41	0.21	2.46	1.08	0.93	2.018
丙烷 (C ₃ H ₈)	1.37	0.06	1.17	1.1	0.48	0.836
异丁烷 (i-Butane, C ₄ H ₁₀)	0.86	0.06	0.43	0.67	0.19	0.442
正丁烷 (C ₄ H ₁₀)	0.2	0.04	0.29	0.27	0.24	0.208
异戊 (i-Pentane, C ₅ H ₁₂)	0.25	0.03	0.16	0.31	0.18	0.186
正戊烷 (C ₅ H ₁₂)	0.02	0.02	0.11	0.04	0.14	0.066
正己烷 (C ₆ H ₁₄)	0	0	0.02	0	0.08	0.02
氮气 (N ₂)	3.66	1.2	0.73	0.86	1.66	1.622
二氧化碳 (CO ₂)	60.12	79	41.9	35.01	50.12	53.23
硫化氢 (H ₂ S)	3266.2	6816.8	7520.5	1635.3	238.8	3895.52

环境风险方面,储罐VOCs排放具有多重危害特性。在空气质量影响层面,烃类物质作为臭氧前体物,其光化学反应活性系数(MIR)平均值为4.3gO₃/gVOCs。现场监测数据显示,稠油开发区块开发现场人员密集区域联合站下风向200米处臭氧浓度较背景值升高23.5 μg/m³。在安全风险方面,罐区VOCs爆炸极限范围为1.2%~7.8%,其中苯系物的TLV-TWA值为0.5ppm,长期接触可能造成造血系统损伤。

通过开展VOCs监测及物性分析,结果显示当前VOCs排放总量处于较高水平,且检出多种具有毒性的特征有害组分,已存在显著的环境危害与安全隐患,相关排放源的治理、管控工作亟待全面推进落地。

2.2 缓冲罐 VOCs 治理方案确定

目前常用的VOCs治理方式主要有源头控制和分散处理

(末端治理,油气行业特指接转站分散处理)两种^[7]。源头控制是从污染物产生根源出发,通过低VOCs原辅材料替代、生产工艺优化、设备密闭化改造、物料密闭储运及泄漏检测与修复(LDAR)等手段,减少或消除VOCs产生的治理策略,是VOCs污染防治的首要环节和根本途径。分散处理(末端治理)则是对生产过程中经源头控制后仍产生的VOCs废气,在产生点位或区域(如油气接转站)通过独立处理设施进行净化的治理策略,是VOCs污染防治的最后防线,在油气行业中特指接转站等中间环节对油气伴生VOCs的单独处理模式。二者遵循权威政策确立的“源头削减为本,全过程控制”原则,是当前各行业落实VOCs污染防治要求的主流应用方式^[8]。

结合稠油开发区块实际情况,从生产运行、建设投

资、运行成本以及费用落实等方面，充分对比分析两种 处理方案对区块开发现状的影响和适应性。

表 2 现有VOCs治理方案评估对比

Table 2 Evaluation and comparison of existing VOCs treatment schemes

序号	项目	源头控制（集中处理）	末端治理（分散处理）
		建设工程量大，施工周期长	采用撬装模块化设计，占地面积小，拆装简单
1	处理工艺	高温含硫油气直接进入集油管线会导致输油管道材料性能下降、腐蚀加速；管道内的介质因油气密闭混输管输压力升高导致管道破裂分险增加，造成环境污染	单井及集油管道保持原工况不发生变化
2	生产运行	单井“一泵到底”导致井口回压升高、泵效降低，产量下降。根据已经实施的项目看，采用密闭集输后原油产量下降10%~20%左右，年影响油量5万吨左右	保持原有的生产模式，不影响单井生产，保持产量相对稳定
3	建设投资	装置检修及故障处理时间较长，整个系统伴生气只能排放或燃烧，一定时段内达不到排放要求	便于管理和维护，一套设备出现故障维修不影响其他设备运行，影响面较小
4	运行成本	总投资5072.86万，建设投资高，若后期处理量变化较大会造成投资浪费或超设计负荷等问题	可以根据各接转站的具体情况定制化配置，设备小型化、投资精准
		管理点少，运行成本低，参考已投用的处理装置，基本运行费用（未全覆盖）1.458元/方。其中：液项处理成本费1.149元/方；气项处理成本0.309元/方	管理点多，运行成本高，目前委托第三方技术服务，完全成本为1.79元/方（规模化后有压缩空间）

结合各项指标对比可知，对于敞口式缓冲罐的治理，末端处理（分散处理）方式是综合表现最优的选择：在处理工艺上，它采用撬装模块化设计，不仅占地面积小、拆装简便，还能维持单井及集油管道的原有工况，避免了源头控制（集中处理）中高温含液油气直接进入集油管线引发的管道腐蚀、环境污染风险；在生产运行层面，末端处理不改变现有生产模式，可保障单井产量稳定，既不会出现源头控制导致的回压升高、产量下降问题，也能在设备故障时仅影响单套装置，大幅降低对整体生产的干扰；在建设投资上，末端处理可根据各接转站情况定制化配置，设备小型化、投资更精准，规避了源头控制建设投资高、后期易出现投资浪费或设计负荷不符的隐患。

2.3 缓冲罐 VOCs 治理工艺技术选择

当前VOCs处理工艺主要分为回收型与销毁型两大类，工业应用中吸附法、催化燃烧法（CO）、蓄热式燃烧法（RTO）、生物法为主流工艺^[9, 10]。其中回收型工艺里吸附法因设备简单、净化效率高成为低浓度大风量工况首选，冷凝法、膜分离法多用于高浓度单一组分且有回收价值的VOCs治理，吸收法适用于中高浓度水溶性VOCs处理；销毁型工艺中蓄热式燃烧法（RTO）凭借高热回收效率适配多数中低浓度大风量场景，催化燃烧法因低温低能耗优势广泛用于连续排放的洁净VOCs废气治理，直接燃烧法仅用于高浓度高热值难降解废气，光催化氧化法与低温等离子体法多用于低浓度小风量恶臭及简易VOCs治理，组合工艺则通过多工艺串联或并联适配复杂组分、浓度波动的工况^[11-13]。

在稠油开发区块现场实际生产中，缓冲罐排放的气体通常具有“三高三低”的特点：高含硫（H₂S）、高挥发性有机物（VOCs）、高湿度，且低浓度、低压力、低热值。传统的单一治理技术（如单纯的燃烧或吸附）均会面临不同难题，比如使用燃烧法直接燃烧会产生大量

的二氧化硫（SO₂），造成二次污染；使用吸附法硫化物会导致吸附剂（如活性炭、分子筛）中毒失效，寿命极短。通过对以上各种常用VOCs处理工艺的对比分析，结合废气参数，严格开展适用性评估，稠油开发区块选用催化燃烧法（CO）工艺处理VOCs。该工艺原理是通过催化剂的作用，在低温下将VOCs氧化成二氧化碳和水，达到净化废气的效果。该方法能有效降低VOCs的排放浓度，适用于中高浓度的废气处理。其优点是燃烧温度较低，能耗较少；但催化剂的选择和催化反应的稳定性对处理效果有重要影响，且催化剂的寿命有限，需要定期更换^[14]。

3 稠油开发区块 VOCs 治理现场应用

3.1 工程实施难点分析及对策制定

采用催化燃烧法（CO）处理油田原油储罐VOCs，需要在工艺改造前对施工难点进行全面分析并提出相应措施。根据稠油开发现场情况，确定施工核心难点集中在防爆区域适配、含硫介质防护以及冬季低温工况适配三个方面。

3.1.1 防爆区域电气设备选型

稠油开发区块缓冲罐VOCs催化氧化治理工程中，防爆区域电气设备选型是确保安全生产的核心环节。根据GB 3836.1-2021《爆炸性环境用电气设备》标准要求，设备选型需严格匹配储罐区爆炸危险等级划分。典型原油储罐区通常被划分为Ⅱ类B级T3组爆炸危险区域，对应温度组别为200℃，设备表面最高温度不得超过该限值^[15]。

3.1.2 含硫 VOCs 对催化剂的毒化防护

在油田原油储罐VOCs治理过程中，含硫组分对催化剂的毒化效应是工程化实施的核心难点之一。硫元素与催化剂活性位点的不可逆反应会导致催化氧化效率显著

降低。针对含硫化物问题，多层级防护策略已在实际工程中得到验证。预处理环节通过增设预冷段将高温油气冷却至常温，同步去除60%以上的水分和30%的硫化物气溶胶，从源头降低硫负荷。

3.1.3 冬季低温运行稳定性保障

在低温环境下实施VOCs催化氧化治理工程需建立系统化的运行保障体系。保温系统的实施需重点关注三个

技术层面，储罐本体保温采用复合绝热材料，确保罐体表面温度不低于介质凝固点；催化氧化反应器保温需维持反应区温度在催化剂活性窗口范围内；配套管道系统实施全程伴热保温。

通过对以上工艺实施过程中存在的难点开展研究并制定措施，选用稠油开发区块1座站3具缓冲罐进行工艺流程改造。

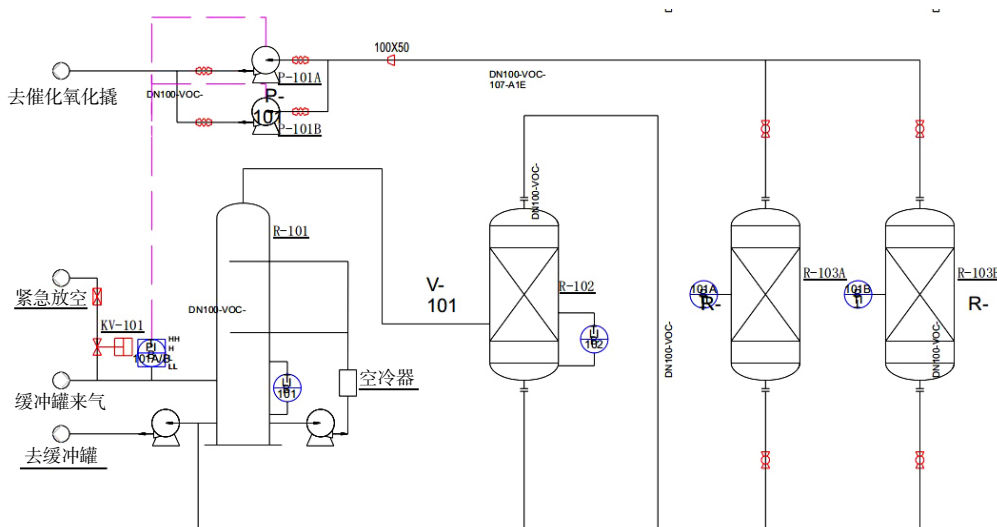


图1 稠油开发区块VOCs治理装置流程图

Figure 1 Flow chart of VOCs treatment device in heavy oil development blocks

3.2 现场应用

结合现场稠油开发现有流程设备对该技术进一步研究，最终采用脱汽+脱硫+CO（催化氧化）工艺治理原油缓冲罐挥发的含硫VOCs气体。利用喷淋冷却，去除VOCs中的水汽和大部分油滴，不凝气经过脱硫塔脱硫后进入CO（催化氧化）处理系统，通过催化氧化，将其中的碳氢化合物氧化成二氧化碳和水，最终使排放气满足排放要求。通过以下几个方面的技术研究完成现场调试。

3.2.1 反应温度与空速优化设计

在缓冲罐VOCs治理中，催化氧化系统的反应温度与空速设计直接影响处理效率与运行经济性。基于工程实践与热力学分析，300℃被验证为兼顾催化活性与能耗平衡的核心参数。该温度下常见VOCs（如苯系物、烷烃类）的氧化效率可达98%以上，同时将反应温度控制在催化剂适宜范围（如300–450℃）^[16]。针对原油储罐典型的高浓度工况（如初始NMHC浓度465000mg/m³），空速宜控制在10000–15000h⁻¹区间，以确保气体在催化剂床层的停留时间≥0.1秒。实际运行数据显示，在此参数下VOCs转化率可提升至98.8%，排放浓度降至5.43mg/m³，远低于行业限值。

3.2.2 旋流分液器设置

在缓冲罐顶设置旋流分液器，利用高速旋转叶片将伴生气和蒸汽带出的油滴通过高速离心作用甩至分流器壁并沿导槽流回罐内，使离开缓冲罐的气体含油量大幅降低，保障后续处理单元管道顺畅。罐顶设置微压差变送器，实时监控缓冲罐压力变化，并及时将信号传递给PLC，通过控制引气风机的转速调整引气量，保障罐内压力处于安全范围，同时，每个缓冲罐安装呼吸阀，在极端情况下，保障罐体安全。

3.2.3 脱汽、脱硫系统设计

脱汽选用循环喷淋技术，通过高效喷嘴在喷淋塔内形成雾状水幕，将从缓冲罐引出的伴生气及蒸汽，通过喷淋降温过程，使水蒸气冷凝下来，不凝气进入脱硫单元。冷凝下来的蒸汽使喷淋塔液位升高，通过齿轮泵将冷凝液送回缓冲罐，保持喷淋塔液位在正常范围。

脱硫选用羟基氧化铁干法脱硫剂，对于H₂S具有很好的脱除性能。氧化铁脱硫剂的优点是脱除速度快、硫容高。

3.2.4 催化剂选型及载体设计

油田原油储罐VOCs催化氧化治理的关键在于贵金

属催化剂系统的优化设计,催化氧化催化剂可分为贵金属和非贵金属催化剂,其中贵金属催化剂(Au、Pt、Pd等)具有寿命长、耐腐蚀的特点^[17]。针对原油储罐排放的VOCs组分特性,催化剂选型需综合考虑苯系物、烷烃类及含氧化合物的协同处理效果。铂-钯双金属催化剂在280–350℃反应温度区间表现出最佳活性,对非甲烷总烃的转化效率可达98%以上,且硫耐受性较传统钯基催化剂

提升40%。

催化剂载体采用堇青石蜂窝陶瓷结构,比表面积控制在180–220m²/g范围,贵金属负载量维持在0.3–0.5wt%区间。实验数据显示,当空速保持在15000h⁻¹时,催化剂床层压降不超过9kPa,可确保处理气量20000m³/h的工艺需求。



图2 稠油开发区块现场应用图片

Figure 2 Field application photos of heavy oil development blocks

3.2.5 数据远程上传

在VOCs治理体系中,以PLC工控系统为核心构建监测数据的传输与管控链路,将治理设施进出口VOCs浓度、温压流、设备运行状态等多维度监测数据进行实时采集与解析,实现多监测点位、多治理设施的VOCs监测

数据集中监控与统一管理。实现监测数据从采集、传输到存储的全链路数字化,同时结合工业VOCs治理的设备管控规范,通过PLC系统完成监测数据与治理设施运行的联动调控,构建起“数据采集—远程传输—集中监控—智能管控”的VOCs治理数字化管理体系。



图3 稠油开发区块实时数据监控情况

Figure 3 Real-time data monitoring status of heavy oil development blocks

3.3 VOCs 处理技术应用效果

稠油热采开发区块选用的VOCs治理技术及配套工艺,经过84天的现场稳定运行与实践验证,应用效果显著,完全达到预期治理目标,实现了技术工艺的成功落地。应用期间,系统累计收集监测数据16296组,数据覆盖治理全流程关键指标,为工艺运行效果评估提供了坚实的数据支撑。现场监测结果显示,VOCs去除效率稳

定达到99.99%,污染物减排效果突出,远超常规治理标准;同时,系统日处理能力稳定维持在673 m³,可充分适配现场处理需求,运行连续性与稳定性优异。此次现场应用充分证明,所选技术工艺具备高效、稳定、适配性强的核心优势,能够有效破解现场VOCs治理难题,为后续同类场景的污染治理提供了可靠的技术参考与实践范例,技术工艺的应用价值得到充分验证。

表 3 稠油开发区块VOCs处理技术现场应用数据监测情况

Table 3 Field application data monitoring of VOCs treatment technology in heavy oil development blocks

序号	时间	监测地点	日流量 (m ³)	烟囱排气非甲烷总烃 VOCs 浓度 (mg/m ³)
1	2026/1/12	联合站集中监控	627.73	0.13
2	2026/1/13	联合站集中监控	468.12	0.13
3	2026/1/14	联合站集中监控	294.61	0.13
4	2026/1/15	联合站集中监控	419.89	0.13
5	2026/1/16	联合站集中监控	542.11	0.13
6	2026/1/17	联合站集中监控	204.73	0.02
7	2026/1/18	联合站集中监控	639.22	0.02
8	2026/1/19	联合站集中监控	802.48	0.02
9	2026/1/20	联合站集中监控	1031.82	0.02
10	2026/1/21	联合站集中监控	1118.37	0.02

通过现场应用,验证了催化燃烧法(CO)处理技术及工艺的可行性,奠定了规模化应用基础。以新港油田187具原油储罐,每天挥发24000方有机废气核算,采用催化氧化技术每年可减少VOCs排放约2000吨,同时减排40吨硫化氢。作为首个采用催化燃烧法(CO)处理VOCs的稠油热采开发区块,通过高度成功的治理研究和实践,形成了技术选型、流程设计、运维管理一体化的参考范式,为稠油开发环保治理提供了标准化参考。

4 结论

通过主动开展VOCs治理,响应国家生态环境保护战略,践行重大政策部署。从落实《大气污染防治行动计划》到践行“双碳”目标与绿色低碳发展战略,以VOCs治理为抓手,主动对标国家政策要求,将政策导向转化为具体治理实践。通过构建源头防控、过程管控、末端治理的全链条VOCs治理体系,稳步降低污染物排放,有效遏制大气污染隐患,为守护区域生态环境、筑牢多环境要素协同保护屏障贡献了坚实的企业力量,用实际行动践行了企业的环保责任与社会担当。

参考文献

[1] 吴晓春. 工业有机废气污染治理技术的探讨[J]. 化工管理, 2022(36): 69-71.
[2] 车均, 姜宗林. 工业源挥发性有机化合物减排与

控制的研究[J]. 环境科学与管理, 2014(3): 24-26.
[3] 尚筱洁. 大气中挥发性有机化合物与氮氧化物的反应研究[D]. 兰州: 兰州大学论文, 2013(5): 28-30.
[4] 环境保护部. 挥发性有机物(VOCs)污染防治技术政策[S]. 公告2013年第31号, 2013-05-24.
[5] 生态环境部. 重点行业挥发性有机物综合治理方案[Z]. 环大气[2019]53号, 2019-06-26.
[6] 黄浩. 探究大气污染治理存在的问题及解决办法—预浓缩—气质联用技术测定大气中41种挥发性有机物的方法探讨[J]. 资源节约与环保, 2015, 7(2): 45-47
[7] 佟玲. VOCs治理技术及发展趋势[J]. 资源节约与环保, 2016(9): 210-211.
[8] 巩远辉, 王燕, 蔡旺锋, 等. 吸附浓缩-蓄热催化燃烧工艺过程研究[J]. 现代化工, 2019, 39(5): 202-206.
[9] 庄思源, 沙莎, 郭森, 等. 石化化工VOC污染源控制的对策建议[J]. 环境影响评价, 2014(1): 18-19.
[10] 沈迪新, 胡成南. 挥发性有机化合物污染的净化技术[J]. 中国环保产业, 2002, (12): 30-32.
[11] 陈平, 陈俊. 挥发性有机化合物的污染控制

- [J]. 石油化工环境保护, 2006, 29(3): 20-23.
- [12] 栾志强, 郝郑平, 王喜芹. 工业固定源VOCs治理技术分析评估[J]. 环境科学, 2011, 32(12): 3475-3484.
- [13] 于丹, 田振玉, 杜利军, 等. 国内VOCs来源、排放标准及脱除技术分析[J]. 工程热物理学报, 2024, 45(6): 1934-1944.
- [14] 李庚波. 化工企业防爆电气设备安全管理探讨[J]. 电气开关, 2025, 63(2): 108-110+113.
- [15] 程雷. 石油化工区域防爆电气设备选用与管理[J]. 设备管理与维修, 2024, (14): 21-23.
- [16] 中国石油石油化工研究院. 挥发性有机物催化氧化催化剂的性能及工业应用[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(10): 98-104.
- [17] 严会成, 易会宇, 梁澜, 等. 非贵金属催化剂催化氧化VOCs研究进展[J]. 四川化工, 2025, 28(6): 11-15.

Research and Application of VOCs Control Technology in Transfer Station Tank Farms of Heavy Oil Thermal Recovery Blocks

Liu Wenchang Li Yafeng Li Jianmin Wang Zhenming Tong Lu He Zhipeng

Xin Gang Company, Xinjiang Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Karamay

Abstract: VOCs control in China is currently at a critical stage of policy intensification and precision regulation. At the national level, a comprehensive control system covering the whole chain has been established through amendments to the Environmental Protection Tax Law of the People's Republic of China and the issuance of the Volatile Organic Compounds (VOCs) Comprehensive Governance Plan for Key Industries and the Regulation on Ecological Environment Monitoring, imposing stringent constraints on the petroleum and chemical industries. To meet these regulatory requirements and address the environmental and safety challenges posed by VOCs emissions from transfer station tank farms in heavy oil thermal recovery blocks, this study systematically investigates VOCs emission monitoring, comparative evaluation of control strategies, and process optimization based on field operational conditions. An end-of-pipe treatment approach is selected, employing a combined process of degassing, desulfurization, and catalytic oxidation (CO). Key engineering implementation challenges are resolved through on-site application, validating the efficiency and adaptability of the technology. This study provides an engineering-feasible solution for the promotion and application of VOCs control in heavy oil thermal recovery blocks, offering significant practical value for advancing green transformation in oilfields and achieving compliance with national environmental tax and total emission reduction targets.

Key words: Heavy oil thermal recovery; VOCs control; End-of-pipe treatment; Catalytic oxidation; Technology research