曙光油田落地原油污染控制及土壤修复技术研究

李宁
辽河油田分公司曙光采油厂质量健康安全环保部

【摘　要】本文旨在深入剖析油田落地原油污染问题，并探索有效的污染控制及土壤修复技术。通过全面分析该油田落地原油污染的来源、途径及特征。在污染控制方面，提出源头控制、过程防控及监测预警系统构建等措施，以降低原油泄漏风险并提高污染事故响应速度。在土壤修复技术方面，经适用性分析，筛选出物理、化学及生物修复技术中适合曙光油田的条件的技术，并通过优化策略提高修复效果。研究成果为油田落地原油污染治理及土壤修复提供了科学依据与实践指导，对油田可持续发展与环境保护具有重要意义。

【关键词】落地原油污染；污染控制；土壤修复技术；油田

Research on Crude Oil Pollution Control and Soil Remediation Technologies at Shuguang Oilfield

Li Ning
Quality，Health，Safety，and Environmental Protection Department，Shuguang Oil Production Plant，Liaoh é Oilfield Branch

【Abstract】This paper aims to conduct an in-depth analysis of crude oil pollution issues occurring at oilfields and to explore effective pollution control and soil remediation technologies. By performing a comprehensive analysis of the sources, pathways, and characteristics of crude oil pollution at this oilfield, this study proposes measures for pollution control—including source control, process-based prevention and control, and the establishment of a monitoring and early-warning system—to reduce the risk of crude oil leakage and enhance the response speed to pollution incidents. Regarding soil remediation technologies, through an applicability analysis, this study identifies the most suitable physical, chemical, and biological remediation techniques for the Shuguang Oilfield, and employs optimization strategies to improve the remediation effectiveness. The research findings provide a scientific basis and practical guidance for the management of crude oil pollution at oilfields and their subsequent soil remediation, holding significant importance for the sustainable development and environmental protection of oilfields.

【Key words】On-site crude oil pollution; pollution control; soil remediation technologies; oilfield

引言

随着开采规模的不断扩大，油田的地面设施逐渐完善，包括采油井、集输站、储油罐等各类生产设施遍布矿区。然而，长期高强度开发也带来了诸多环境问题，尤其是落地原油污染问题日益突出。落地原油污染对周边生态环境和居民生活造成了多方面的严重影响。首先，在生态环境方面，原油泄漏会直接污染土壤，导致土壤物理化学性质改变，影响土壤通透性和微生物活性，进而危害农作物生长。其次逸散到大气中的石油类颗粒物质也会加剧空气污染。此外，原油污染还对居民健康构成威胁，长期接触高浓度石油污染物可能引发恶心等症状，甚至增加致癌风险。从经济角度来看，污染导致的土地退化、农作物减产等问题严重影响了当地农民的收入来源，制约了区域经济的可持续发展。因此，深入研究油田的污染控制与土壤修复技术具有重要的现实意义。

1.油田落地原油污染分析

1.1 污染来源

在原油开采、运输及储存等环节中，存在多种可能导致落地原油污染的泄漏来源。在开采过程中，由于油井设备老化或密封性能不足，易发生井口泄漏现象，尤其是在采油设备拆除或封井操作时，若处理不当，落地油的风险显著增加。此外，运输环节中的管道破裂、阀门失效以及储油罐腐蚀等问题，也是原油泄漏的重要来源。人为操作失误如未按规定流程进行检查和维护，以及设备故障未能及时发现和处理，进一步加剧了泄漏的可能性。这些因素共同构成了曙光油田落地原油污染的主要来源，对周边环境安全构成了潜在威胁。

1.2 污染途径

原油泄漏后，通过多种途径扩散并污染土壤、水体等环境介质。地表径流是其中重要的传播方式之一，特别是在降雨条件下，泄漏的原油随雨水流动，沿地表扩散至周边区域，进而渗入土壤或进入水体。此外，原油还可以通过垂直入渗的方式直接污染土壤深层及地下水含水层，尤其是在土壤通透性较差的区域，污染物的迁移速度较慢但累积效应显著。不同传播途径的特点和影响范围各异，地表径流通常导致污染范围迅速扩大，而垂直入渗则更倾向于在局部区域内形成高浓度污染区，两种途径共同作用，使得污染范围更加复杂且难以控制。

1.3 污染特征

落地原油污染在空间分布、污染物种类及浓度方面表现出显著特征。根据实地调查数据，污染主要集中在井口、站

场及集输管线周边区域，这些区域由于长期受到原油泄漏的影响，土壤中石油烃类物质的含量明显高于其他区域。污染物种类以石油烃为主，其中小分子烃类物质具有较强的迁移能力，易随水流扩散至深层土壤或地下水。在浓度分布上，表层土壤（0–50cm）中的原油含量最高，超过 80%的污染物集中在这一范围内，这与原油的物理化学性质及土壤吸附作用密切相关。此外，激光诱导击穿光谱分析结果显示，原油浓度在 50–300mg/L 范围内，元素含量与光谱线强度呈现良好的线性关系，为污染程度的定量评估提供了科学依据。

2.落地原油污染控制措施

2.1 源头控制

源头控制是减少油田落地原油污染的关键环节，其核心在于优化生产工艺以降低原油泄漏的可能性。改进采油技术可以有效减少因操作不当或技术落后导致的原油泄漏问题。如采用先进的采油设备和技术，如智能化监控系统与高效密封装置，能够显著提升采油过程的精确性和安全性。此外，提高设备密封性也是源头控制的重要措施之一。通过对井口、管道连接处等关键部位进行密封性升级，可大幅降低原油泄漏风险。从可行性来看，这些技术改进已在部分油田得到应用，并取得了良好的效果。预期效果表明，源头控制不仅能减少落地原油污染的发生频率，还能显著降低污染治理成本，为油田的可持续发展奠定基础。

2.2 过程防控

过程防控是防止油田落地原油污染的重要保障，其核心在于加强设备维护管理，建立定期巡检和维修制度。设备故障是导致原油泄漏的主要原因之一，因此及时发现并处理潜在问题至关重要。通过制定科学合理的巡检计划，对井场、集油管线等重点区域进行定期检查，可有效预防设备老化或损坏引发的泄漏事故。同时，建立完善维修机制，确保在发现故障后能够迅速采取措施进行修复，最大限度地减少原油泄漏的可能性。此外，过程防控还需要结合隐患排查制度，定期对重点设施开展全面检查，以消除可能存在的污染隐患。实践证明，这一措施能够显著提高油田生产的安全性，降低环境污染风险。

2.3 监测预警系统

建立完善落地原油污染监测预警系统对于提高油田对污染事故的响应速度具有重要意义。该系统通过对关键指标的实时监测，能够及时发现潜在污染风险并发出预警，从而为应急处置争取时间。监测指标主要包括土壤中的石油烃含量、地表水体的油类污染物浓度及大气中的挥发性有机物浓度等。在监测方法方面，可结合遥感技术、现场采样分析及在线监测设备等多种手段，确保数据准确性和及时性。预警模型的构建则需要基于历史数据和统计分析方法，设定合理的阈值和报警机制。

3.油田土壤修复技术适用性分析

3.1 物理修复技术

物理修复技术因其高效性和相对成熟的技术体系，在油田土壤修复中具有重要的应用潜力。热脱附技术通过加热污染土壤使石油烃类污染物挥发或分解，从而实现污染物的去除，尤其适用于高浓度的石油污染土壤。然而，该技术对土壤性质的要求较高，例如土壤颗粒大小、水分含量以及有机质含量均会影响热传递效率及修复效果。油田的土壤以砂质为主，渗透性较强，这为热脱附技术的应用提供了有利条件。另一方面，土壤置换技术通过将污染土壤挖掘并替换为未污染土壤，能够快速去除污染源，但其成本较高且对土壤资源的需求量大，因此在油田的大范围应用中可能存在一定的局限性。此外，电动修复技术作为一种新兴的物理修复手段，尽管在重金属污染场地表现出色，但在石油污染场地的应用尚处于探索阶段，其对低渗透性土壤的适应性仍需进一步验证。

3.2 化学修复技术

化学修复技术在油田土壤修复中具有显著的应用潜力，尤其是化学淋洗和催化氧化技术。该技术通过使用表面活性剂或有机溶剂溶解土壤中的石油烃类污染物，并将其从土壤中分离出来，具有操作简单、耗能低的优点。研究表明，表面活性剂纳米颗粒技术的引入显著提高了污染物的去除效率，然而，化学淋洗技术的应用需要考虑淋洗剂的选择及其对环境的影响，尤其是生物表面活性剂的研发和优化将是未来研究的重要方向。催化氧化技术则通过氧化剂与污染物发生化学反应，将其转化为无害物质。研究表明，活化过硫酸钠对石油污染土壤中总石油烃的降解率可达 89.9%，显示出良好的应用前景。然而，化学修复技术的成本较高，且可能引发二次污染问题，因此在油田的实际应用中需综合考虑其经济性和环境友好性。

3.3 生物修复技术

生物修复技术作为一种绿色环保的修复手段，在油田土壤修复中展现出独特的优势。该技术通过筛选和培育耐盐碱的石油烃降解菌，利用其代谢活动将石油污染物分解为无害物质，已在多个研究中得到验证。然而，油田土壤的盐碱化特性对微生物修复效果提出了挑战，高盐环境可能抑制微生物的生长和代谢活性。植物修复技术则通过种植耐盐碱植物（如翅碱蓬）利用其根际效应促进污染物的降解。刘欢等的研究表明，翅碱蓬种植试验组中土壤中原油、菲和芘的降解率显著高于对照组，证明植物修复技术在盐碱土壤中的可行性。尽管如此，植物修复技术的修复周期较长，且受土壤水分、养分等条件的限制，因此在油田的实际应用中需结合其他修复技术以提高整体效率。

4.油田土壤修复技术选择与优化

4.1 技术选择依据

在油田土壤修复技术的选择过程中，需综合考虑修复成本、时间效率、环境影响及修复效果等多方面因素，以制定科学合理的技术选择标准。修复成本是决定技术可行性的关键因素之一，包括设备投资、运行维护费用以及人工成本等，

直接影响修复项目的经济可行性。同时，修复时间的长短也至关重要，特别是在污染面积较大或急需恢复土地使用功能的场景下，快速高效的修复技术更具优势。此外，修复技术对环境的影响不容忽视，应优先选择绿色环保的技术手段，避免因修复过程引发二次污染。

4.2 组合修复技术

单一修复技术往往难以全面解决复杂土壤污染问题，因此将多种修复技术进行组合应用成为一种重要解决方案。组合修复技术优势在于能够充分发挥不同技术协同作用，从而提高修复效率并降低整体成本。如物理修复技术如热脱附可快速去除土壤中高浓度的挥发性有机物，而生物修复技术则可通过微生物降解残留的低浓度污染物，两者结合能够实现更彻底的修复效果。此外，化学修复技术与生物修复技术的联合应用也展现出良好前景。研究表明，化学淋洗技术可通过表面活性剂将污染物从土壤中解吸出来，随后利用微生物进一步降解溶解态的污染物，这种组合方式尤其适用于石油类污染土壤的修复。在实际应用中，需根据污染物的种类、浓度分布以及土壤特性等因素，合理选择和设计技术组合方案，以实现最佳修复效果。

4.3 优化策略

针对油田的具体条件，对所选修复技术进行优化是确保修复效果的关键环节。首先，需根据土壤性质调整技术参数。例如，在采用热脱附技术时，应根据土壤含水率、有机质含量等因素优化加热温度和时间，以提高污染物去除率并减少能源消耗。其次，改良修复材料也是提升修复效果的重要手段。在化学修复中，可通过开发新型表面活性剂或纳米材料来提高污染物的溶解性和迁移性；在生物修复中，则可通过基因工程技术筛选高效降解菌株，增强微生物的降解能力。此外，还需结合现场实际情况优化修复工艺。。

5.污染控制与土壤修复的风险管理与可持续发展

5.1 风险管理

在油田落地原油污染控制及土壤修复过程中，风险管理是确保修复工作可持续性和环境安全性的重要环节。化学修复技术虽然具有高效去除污染物的潜力，但其应用可能引发二次污染问题，为应对上述风险，建议建立多层次的风险防范体系。首先，应在修复前进行详细的环境基线调查，明确修复区域的敏感目标与生态脆弱性。其次，在修复过程中，应实时监测关键指标，如化学药剂浓度、微生物活性及环境毒性变化，及时发现并处理异常情况。最后，在修复完成后，需开展长期跟踪监测，评估修复技术的长效稳定性及其对环境的累积影响。通过以上措施，可有效降低污染控制与土壤修复过程中的二次污染风险，保障环境安全。

5.2 可持续发展

在保障环境安全的前提下，实现油田污染控制与土壤修复的经济、社会与环境的协调发展，是推动油田可持续发展的关键目标。从经济角度来看，修复技术的成本效益分析至关重要。

从社会角度来看，污染控制与土壤修复工作的实施应充分考虑当地居民的利益与需求。例如，修复过程中可能涉及土地征用、居民搬迁等问题，需通过透明的沟通机制与合理的补偿政策，确保居民权益不受损害。此外，修复后的土地再利用规划也应结合地方经济发展需求，优先考虑生态农业、生态旅游等绿色产业模式，以促进当地经济的转型升级。

从环境角度来看，修复工作应以实现生态系统的恢复与重建为核心目标。如在生物修复技术中，可通过筛选适应当地环境的土著微生物或植物品种，提高修复效果的稳定性和生态兼容性。同时，修复过程中应注重资源的循环利用；此外，建议建立跨学科的协作平台，整合分子生物学、环境工程学等领域的研究成果，开发更加高效、环保修复技术，为油田可持续发展提供技术支撑。通过以上措施，可在保障环境安全基础上，实现污染控制与土壤修复的经济、社会与环境效益的最大化。

6.结论

（1）本文系统分析了落地原油污染的控制措施及土壤修复技术的适用性，取得了一系列重要研究成果。

（2）油田落地原油污染控制及土壤修复技术的研究不仅明确了污染来源与传播途径，还提出了一套切实可行的污染防控与修复方案，为油田可持续发展提供了科学依据和技术支持。

（3）随着科学技术的不断进步，油田落地原油污染控制及土壤修复技术将迎来更加广阔的发展空间，为全球能源行业的可持续发展提供重要参考。

参考文献

[1]聂海军;蒋培明;张敏.陆地油田开发建设项目土壤环境影响评价分析[J].石油化工安全环保技术,2024,40(3):1-5.
[2]王龙;刘会娥;刘宇童;于云飞;陈爽;于文赫;张秀霞.微乳液法用于落地原油应急处理及资源回收的研究[J].化工学报,2019,70(7):2699-2707.
[3]陈紫彤;任爱玲;刘烁.石油类污染土壤修复技术研究进展[J].能源环境保护,2020,34(4):1-6.
[4]石丽芳;吝美霞;李法云;高明;王玮;周纯亮.生物炭固定化微生物对石油烃污染土壤酶活性与修复效果的影响[J].应用技术学报,2021,21(4):382-388.
[5]雷迪;刘丽红;张雷;屈霜;索雲凯;冯云飞.石油污染盐碱土壤微生物修复的研究进展[J].当代化工,2021,50(9):2201-2205.