

# 油库土壤污染防治现状与修复技术应用研究

王芳

中石油新疆销售有限公司巴州分公司

DOI:10.32629/eep.v9i1.3034

**[摘要]** 油库作为石油储运的核心枢纽,其运营过程中产生的油品泄漏的问题,易引发土壤污染,破坏生态环境,威胁人体健康。巴音郭楞蒙古自治州(以下简称“巴州”)作为我国西北重要的石油储运基地,境内油库分布集中、运营年限差异较大,土壤污染防治工作兼具区域特殊性与紧迫性。本文结合巴州油库分布格局、污染特征,系统分析当前巴州油库土壤污染防治的现状,梳理各类修复技术,为巴州油库土壤污染防治工作的规范化开展、修复技术的科学选用提供理论支撑与实践参考,助力区域石油产业绿色可持续发展与生态环境安全保障。

**[关键词]** 油库; 土壤污染; 防治现状; 修复技术

**中图分类号:** TU249.6 **文献标识码:** A

## Current Status of Soil Pollution Prevention and Remediation Technology Application in Oil Depots

Fang Wang

PetroChina Xinjiang Marketing Company Bazhou Branch, Korla, Xinjiang

**[Abstract]** As core hubs for petroleum storage and transportation, oil depots are susceptible to oil leakage during their operation, which can easily lead to soil contamination, damage the ecological environment, and threaten human health. The Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture (hereinafter referred to as "Bazhou"), as a significant petroleum storage and transportation base in Northwest China, has a concentrated distribution of oil depots with considerable variance in operational years, rendering the work of soil pollution prevention both regionally specific and urgent. This paper analyzes the current status of soil pollution prevention and control in Bazhou's oil depots systematically, based on their distribution patterns and pollution characteristics. It also reviews various remediation technologies, aiming to provide theoretical support and practical references for the standardized implementation of soil pollution prevention and the scientific selection of remediation technologies in Bazhou's oil depots. This contributes to the green and sustainable development of the regional petroleum industry and the assurance of its ecological and environmental safety.

**[Key words]** Oil Depot; Soil Pollution; Prevention and Control Status; Remediation Technology

### 引言

石油作为我国能源体系的核心组成部分,其储运环节的环境安全直接关系到生态环境保护与公众健康。油库作为石油储存、中转的关键设施,在装卸、储存、输送等运营过程中,受设备老化、操作不当、管线腐蚀、自然灾害等因素影响,极易发生油品泄漏,导致石油类污染物渗入土壤,破坏土壤结构、降低土壤肥力,进而通过地下水迁移、植物吸收等途径形成二次污染,引发一系列生态环境问题。巴州地处新疆东南部,是我国“西气东输”“西油东送”工程的重要节点,境内分布着中石油塔里木油田分公司、中石化西北油田分公司等多家油气企业的油库设施,同时拥有中国石化销售股份有限公司新疆巴州若羌楼兰油库、库尔勒机务段油库等多个储运站点,油库总量位居新疆前

列。巴州作为新疆石油产业的核心区域,近年来逐步推进油库土壤污染治理工作,完成了境内历史遗留含油污泥处置及污染场地治理验收,但在污染监测、修复技术应用、长效管控等方面仍存在不足。因此,系统研究巴州油库土壤污染防治现状,探索适宜区域特点的修复技术,对提升巴州油库土壤污染防治水平、保障区域生态环境安全、推动石油产业与生态环境协调发展具有重要的现实意义。

### 1 油库土壤污染特征

油库土壤污染主要源于油品泄漏,污染物以石油烃类为主,并伴有少量重金属及其他有机物,具有隐蔽性强、易迁移、难降解和危害持久等特点。污染途径主要包括:装卸作业中的滴漏与挥发;储油罐及管线因老化腐蚀引发的渗漏,导致污染物下渗

并威胁地下水; 以及污水处理和含油污泥堆放过程中的渗透与径流扩散。污染物中, 总石油烃(TPH)包含烷烃、环烷烃及苯系物等强毒性挥发性有机物, 易通过呼吸和皮肤接触危害健康; 而铅等重金属难以降解, 会通过食物链富集, 威胁生态与人体安全。研究表明, 油库不同功能区污染程度差异显著, 发油区、卸油区及辅助区域土壤污染较重, 储罐区地下水污染最为突出, 土壤中石油烃检出率高达97.35%, 浅层黏土污染物含量显著偏高。空间分布上, 污染呈现“点源集中、面源扩散”特点, 主要集中在储罐区、管线沿线、作业区及污泥堆放区, 并随时间向外扩散。此外, 油库污染具有复合特征, 土壤与地下水污染物纵向关联性强, 进一步加大了治理难度。

## 2 巴州油库土壤污染防治现状

### 2.1 污染防治工作推进成效

近年来, 巴州依托国家土壤污染防治行动, 结合区域石油产业发展实际, 扎实推进油库土壤污染防治, 取得显著成效。首先, 全面完成历史遗留污染治理。境内中石油塔里木油田、中石化西北油田分公司的历史遗留含油污泥已全部清运并规范化处置, 通过治理验收。以库尔勒油库、库尔勒机务段油库为例, 经初步调查确认不属于污染地块, 有效消除了污染隐患。其次, 法规监管体系逐步完善。严格落实《土壤污染防治法》, 制定实施方案, 明确企业主体责任; 生态环境局加强常态化执法检查, 督促规范排污。如若羌楼兰油库已办理排污许可证, 实现废气、废水规范化管控。再次, 监测能力持续提升。重点油库建立监测体系, 定期对罐区、管线开展土壤采样, 监测石油烃等指标; 生态环境部门整合企业数据, 完善区域监测网络, 初步实现动态管控。最后, 探索出适宜本地的防治模式。结合干旱气候特点, 部分油库推行“源头防控+过程管控+末端治理”模式, 通过更换耐腐蚀管线、规范处置含油污泥等措施, 有效降低土壤污染风险, 提升了防治的系统性与针对性。

### 2.2 巴州油库土壤污染特殊性

巴州油库土壤污染除具备上述共性特征外, 受区域自然环境、油库分布格局、运营现状等因素影响, 还呈现出显著的区域特殊性。

一是自然环境加剧污染扩散与修复难度。巴州属于温带大陆性气候, 干旱少雨、蒸发量大, 年降水量不足200mm, 土壤以戈壁土、荒漠土为主, 土层疏松、孔隙度大, 保水性差, 油品泄漏后, 污染物易通过土壤孔隙快速向下迁移, 渗透深度可达数米, 甚至污染地下水; 同时, 区域植被覆盖率低, 土壤微生物活性弱, 自然降解能力差, 污染物在土壤中残留时间长, 进一步增加了修复难度。此外, 巴州部分油库位于戈壁滩区域, 土壤质地均一、渗透能力强, 污染物扩散速度更快, 给污染监测与管控带来挑战。

二是油库分布集中且运营年限差异大。巴州境内油库主要集中在库尔勒市、若羌县等交通便利、油气资源丰富的区域, 其中库尔勒机务段油库地块总面积达20000m<sup>2</sup>, 1984年开始运营, 历经改扩建, 年周转柴油量约4.2万吨; 若羌县铁干里克镇的楼兰油库, 位于G315国道旁, 是区域重要的成品油储运站点。这些

油库中, 部分运营年限超过30年, 设备老化严重, 管线腐蚀、储罐渗漏等问题突出, 历史遗留含油污泥处置任务艰巨; 同时, 部分新建油库虽配备了基础污染防治设施, 但受区域技术条件限制, 污染防控水平仍有待提升。

三是污染防控与生态保护矛盾突出。巴州是我国西北重要的生态屏障, 境内分布着塔里木河、塔克拉玛干沙漠边缘等生态敏感区域, 部分油库临近生态保护区, 土壤污染一旦扩散, 极易破坏周边生态系统, 威胁区域生态安全。例如, 塔里木油田分公司、中石化西北油田分公司在巴州境内的油库, 部分临近塔里木河湿地, 油品泄漏引发的土壤污染, 可能通过地表径流进入河流, 影响水体生态与周边植被生长。此外, 巴州土壤资源稀缺, 耕地与绿洲面积有限, 油库土壤污染若得不到有效治理, 会进一步挤占有限的土地资源, 制约区域农业与生态产业发展。

## 3 油库土壤污染修复技术的应用

### 3.1 物理修复技术的应用

物理修复技术是通过物理手段分离、去除土壤中的污染物, 具有修复速度快、适用范围广、无二次污染等特点, 适用于高浓度、大面积的石油污染土壤修复, 尤其适合巴州干旱地区土壤污染物迁移快、微生物活性弱的特点。

土壤气相抽提技术(SVE)是油库土壤挥发性有机污染物修复的常用物理技术, 其原理是通过在污染场地设置抽气井, 利用真空泵抽出土壤中的挥发性有机化合物, 从而降低土壤污染水平, 适用于质地均一、渗透能力强、孔隙度大、湿度小和地下水位较深的污染土壤。巴州部分油库位于戈壁滩区域, 土壤质地疏松、孔隙度大, 地下水位较深, 非常适合该技术的应用。该技术修复周期短, 可快速去除土壤中的挥发性有机污染物, 且对土壤结构破坏较小, 适合巴州油库表层土壤挥发性污染物的修复。但该技术的应用成本较高, 需要配备专业的抽气设备与监测设备, 且对深层土壤污染物的修复效果有限, 适合与其他技术联合使用。

土壤淋洗技术是通过向土壤中注入淋洗液, 将土壤中的污染物溶解、分离, 再通过淋洗液处理实现污染物去除, 适用于多孔隙、易渗透的污染土壤。巴州油库土壤以戈壁土、荒漠土为主, 渗透性强, 适合该技术的应用。该技术可有效去除土壤中的石油烃、重金属等污染物, 修复效果稳定, 且可实现淋洗液的循环利用, 降低修复成本, 适配巴州水资源短缺的现状。但该技术需要消耗一定量的水资源, 在巴州干旱地区应用时, 需合理规划水资源利用, 避免水资源浪费; 同时, 淋洗液的选择需结合土壤性质, 避免对土壤造成二次污染。

固化/稳定化技术是将污染土壤与水泥等胶凝材料或稳定化药剂混合, 通过形成晶格结构或化学键, 将污染物固定在固体结构中, 降低污染物的迁移性与毒性, 适用于污染深度小于20m、土壤理化特征差异性较小的污染场地。该技术操作简单、修复成本较低, 适合巴州老旧油库历史遗留污染地块的修复, 尤其适用于重金属与石油烃复合污染土壤的修复。但该技术仅能降低污染物的迁移性, 无法彻底去除污染物, 修复后的土壤难以恢复

原有肥力, 适合用于工业用地的污染修复, 不适用于耕地、绿洲等区域的污染修复。

### 3.2 化学修复技术的应用

化学修复技术是通过向土壤中添加化学药剂, 与污染物发生化学反应, 实现污染物的降解、转化或去除, 具有修复效率高、针对性强等特点, 适用于中高浓度石油污染土壤的修复, 尤其适合巴州油库中重度污染地块的修复。

原位化学氧化技术 (ISCO) 是通过向污染土壤中注入氧化剂, 与污染物发生氧化反应, 将污染物降解为无毒或低毒物质, 适用于土壤结构异质性强、渗透性较好、地下水位较高的污染场地。该技术修复效率高, 可快速降解土壤中的石油烃、挥发性有机污染物等, 适合巴州油库储罐区、装卸区等中重度污染区域的修复。巴州部分油库地下水埋深较浅, 土壤渗透性较好, 具备该技术的应用条件。但该技术的化学药剂成本较高, 且部分氧化剂可能对土壤微生物造成破坏, 需合理选择药剂类型与用量, 避免对土壤生态造成二次影响; 同时, 该技术对深层土壤污染物的修复效果有限, 需与其他技术联合使用。

异位化学氧化技术 (ESCO) 是将受污染土壤挖掘出来, 转移至其他场所进行化学氧化处理, 适用于无法在原位进行有效处理、需要快速降低污染物浓度的污染场地。该技术修复效果稳定, 可针对性处理高浓度污染土壤, 适合巴州历史遗留含油污泥污染地块的修复, 尤其适用于小面积、高浓度污染土壤的应急修复。但该技术需要挖掘、运输土壤, 施工成本较高, 且可能在挖掘、运输过程中造成污染物扩散, 需加强施工过程中的污染防控; 同时, 处理后的土壤需妥善处置, 避免二次污染。

化学淋洗技术与物理淋洗技术类似, 但需添加化学螯合剂、表面活性剂等药剂, 增强淋洗液对污染物的溶解能力, 适用于难降解污染物的修复。该技术可有效去除土壤中的重金属与难降解石油烃, 适合巴州油库复合污染土壤的修复。但该技术的化学药剂可能对土壤结构造成破坏, 影响土壤肥力, 且药剂残留可能造成二次污染, 在巴州绿洲周边油库应用时需谨慎, 避免影响周边农业生产。

### 3.3 生物修复技术的应用

生物修复技术是利用微生物、植物等生物的代谢作用, 降解、吸收土壤中的污染物, 具有环境友好、修复成本低、无二次污染等特点, 适用于轻度至中度石油污染土壤的修复, 符合巴州生态环境保护的需求。但该技术修复周期长, 受土壤环境、气候条件影响较大, 需结合巴州干旱气候与土壤特点进行优化。

微生物修复技术是利用土著微生物或人工驯化的功能微生物, 通过代谢作用降解土壤中的石油烃等污染物, 适用于污染程度较低、适合微生物生长的污染场地。巴州油库土壤中存在一定的土著降解微生物, 可通过人工驯化、接种等方式, 提高微生物的降解能力, 适配区域土壤条件。该技术修复成本低、环境友好,

好, 适合巴州大面积轻度污染土壤的修复, 尤其适合绿洲周边油库的污染修复, 可避免修复过程对周边环境造成破坏。但该技术修复周期长, 受土壤水分、温度等条件影响较大, 巴州干旱少雨的气候会限制微生物活性, 需通过灌溉、添加营养剂等方式改善土壤环境, 提高修复效果。

植物修复技术是利用植物的吸收、转化作用, 去除土壤中的污染物, 适用于污染程度较低、污染较浅、适合植物生长的污染场地。结合巴州气候与土壤特点, 可选择耐旱、耐污染的植物, 如沙棘、梭梭、柽柳等, 这些植物不仅能吸收土壤中的石油烃、重金属等污染物, 还能改善区域生态环境, 实现“修复+生态恢复”的双重效果。该技术适合巴州油库周边轻度污染土壤的修复, 尤其适合荒漠、戈壁区域油库的污染修复, 可在修复土壤的同时, 提升区域植被覆盖率, 防止土壤沙化。但该技术修复周期长, 对高浓度污染土壤的修复效果有限, 且需要长期管护, 适合与微生物修复技术联合使用, 提升修复效率。

监测自然衰减技术 (MNA) 是利用自然界的自净机制, 包括微生物降解、物理吸附、化学反应等, 降低土壤中污染物浓度, 适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的污染场地。巴州部分油库轻度污染地块, 土壤虽干旱, 但存在一定的自然衰减能力, 可采用该技术进行修复, 无需投入大量的人力、物力, 修复成本低, 且对环境无二次污染。但该技术需要长期监测, 确保污染物浓度持续下降, 且仅适用于轻度污染地块, 对中重度污染地块的修复效果不佳, 需结合其他技术使用。

## 4 结束语

未来, 随着我国土壤污染防治政策的不断完善, 以及修复技术的不断创新, 巴州油库土壤污染防治工作应立足区域实际, 持续推进技术研发与应用, 优化污染防治模式, 健全长效管控机制, 推动石油产业与生态环境协调发展。同时, 应加强区域协同治理, 加强与周边地区的技术交流与合作, 共同提升石油储运环节的土壤污染防治水平, 为我国西北生态屏障建设提供保障。此外, 还应进一步探索绿色低碳的修复技术, 降低修复过程中的能源消耗与环境影响, 实现“修复污染、保护生态、促进发展”的良性循环。

## 【参考文献】

- [1] 岳留强, 宋易南, 高亮, 等. 油库土壤地下水环境管理问题与对策建议[J]. 油气田环境保护, 2024, 34(4): 10-14+20.
- [2] 马海林, 范志平, 王博, 等. 石油污染土壤联合修复技术与应用研究进展[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2025, 45(3): 1-8.
- [3] 中国土壤学会. 石油化工污染场地土壤—地下水污染修复技术遴选指南[J]. 土壤学报, 2025, 62(6): 1589-1602.

## 作者简介:

王芳(1983—), 女, 汉族, 河北献县人, 硕士, 工程师, 研究方向为油库、加油气站安全环保管理。