

油田污水处理及资源化利用探讨

任 强

南阳腾远石油工程技术服务有限公司 河南 南阳 473400

摘 要: 油田开采产生大量污水,其直接排放危害环境,在水资源紧缺背景下,资源化利用意义重大。本文阐述油田污水来源、特性,分析现有处理技术及局限性,探讨膜分离等先进技术应用。提出污水回注、工业冷却水利用、农业灌溉等资源化途径,强调技术创新集成与风险防控,以推动油田污水有效处理与合理利用,实现环境与经济效益双赢。

关键词: 油田污水; 污水处理; 资源化利用; 处理技术

引言

油田开采过程中污水产生量巨大,其成分复杂,若未经妥善处理排放,将对生态环境造成严重破坏。同时,水资源短缺问题日益严峻,油田污水资源化利用成为必然趋势。了解油田污水处理及资源化利用现状,探索有效处理技术与合理利用途径,对于保护环境、节约水资源以及促进油田可持续发展具有重要意义,下文将展开详细探讨。

1 油田污水处理及资源化利用的重要性

油田开采过程中产生的污水,富含油类、悬浮物及多种有害物质,若不加处理直接排放,将严重污染周边环境,破坏生态平衡,威胁人类及其他生物的生存空间,故而油田污水处理在环境保护层面意义重大,是守护自然生态安全不可或缺的一环。在全球水资源愈发紧缺的大背景下,水资源的循环利用成为缓解供需矛盾的关键举措;油田污水经科学处理后,能转化为可再利用的水资源,回用于油田内部的回注作业,维持地层压力,保障开采效率;也可用于设备冷却、场地冲洗等环节,减少对新鲜水资源的依赖。部分经过深度净化的污水,甚至能达到农业灌溉或工业用水标准,进一步拓宽了水资源利用途径,极大提升了水资源利用效率,有效节约了宝贵的水资源,降低了油田生产运营成本,提升了整体经济效益。从油田长远发展视角审视,积极推进污水处理及资源化利用,彰显了企业环保担当与社会责任意识,有助于塑造良好企业形象,赢得社会认可与支持;而且,这一过程促使油田企业不断探索创新处理技术与管理模式,提升自身技术实力与创新能力,推动油田产业朝着更加绿色、高效、可持续的方向转型升级,为油田的长期稳定发展筑牢根基,在保障能源供应的同时,实现与自然环境的和谐共生^[1]。

2 油田污水现状及处理技术分析

2.1 油田污水的主要来源与特性

油田污水作为石油开采过程中不可避免的副产物,来源复杂且成分多样,主要可归纳为三个方面:钻井过程中产生的钻井液废水,含有大量悬浮物、钻井添加剂及地层岩屑;采油作业中伴随原油开采而出的采出水,溶解了原油中的部分可溶物质,含有悬浮油滴、乳化油及溶解性有机物;注水开发过程中,为维持地层压力而注入的水体再循环使用后产生的废水,因长期与地层岩石接触而携带了多种溶解性盐类及矿物质。油田污水特性显著,表现为高含油量,涵盖游离油、乳化油及溶解油等多种形态,对水体造成严重污染;含有大量悬浮固体,如细小砂粒、腐蚀产物及微生物残骸等,影响水质且可能堵塞管道及处理设备;具有高盐度特征,含有氯离子、硫酸根离子等多种无机盐类,对处理设备及后续利用构成挑战;还可能含有重金属、放射性物质及有机污染物等有害物质,进一步增加了污水处理的难度。

2.2 现有处理技术及其局限性

物理处理法依靠重力分离、离心分离及过滤等技术去除悬浮物及油滴。重力分离利用密度差实现油水自然分层,但效率受温度与停留时间影响,对乳化油处理效果有限。离心分离通过高速旋转加速分离,存在能耗高与维护成本大的问题;过滤技术能有效截留悬浮物,但滤料易堵塞需频繁清洗更换,增加运行负担,化学处理法通过投加破乳剂、混凝剂及氧化剂等药剂改变胶体状态或分解有机物。破乳剂可破坏乳化油稳定性,过量使用可能引发二次污染,混凝剂促使悬浮物凝聚沉降,效果易受水质波动影响且产生污泥需后续处理;氧化剂能降解有机物但成本较高,可能生成有毒副产物。生物处理法利用微生物代谢作用降解有机物,包括活性污泥法、生物膜法及厌氧处理等方式,活性污泥法通过曝气维持微生物活性,对运行参数要求严格且易受水质冲击。生物膜法抗冲击能力较强但启动缓慢,载体易堵

塞；厌氧处理适用于高浓度废水，但效率偏低且需严格控制环境条件，微生物种类单一、活性不足及抗冲击力弱等问题也制约其应用效果^[2]。

2.3 先进处理技术的探索与应用

(1) 膜分离技术：膜分离技术通过膜的选择性透过功能实现油水分离与污染物截留，在油田污水处理中具有重要价值。微滤、超滤和纳滤等不同精度膜材料可针对性去除各类污染物；该技术具备处理效率高、占地少和操作简便的优势，但膜污染问题限制了其广泛应用，当前研究聚焦于开发新型抗污染膜材料、优化清洗方法与再生技术以提升运行稳定性。(2) 高级氧化技术：该技术通过产生强氧化性自由基实现有机物深度降解，包括芬顿氧化、臭氧氧化、光催化氧化和电化学氧化等方法。芬顿氧化需精确控制反应条件，臭氧氧化效率较高但成本受限，光催化氧化条件温和却面临催化剂回收难题，电化学氧化设备简便但能耗较大，各类方法在应用过程中需要根据水质特性进行合理选择与工艺优化。

(3) 生物强化技术：通过投加特定功能菌种增强系统处理能力，重点针对难降解有机物等污染物。高效菌种筛选培育是关键环节，基因工程技术可用于构建专用工程菌；该技术还需配合工艺参数优化来改善微生物生长环境，虽然具有处理针对性强、效率高的优点，但在菌种投加策略、活性维持等方面仍需深入研究完善。

3 油田污水资源化利用途径与策略

3.1 污水回注技术及其优化

(1) 回注水质标准与控制：回注水质需建立多维度控制标准。悬浮物浓度及其粒径分布应满足地层孔隙结构要求，防止物理堵塞，油类物质含量需严格管控，避免在储层中形成流动屏障。溶解性固体总量应与地层水相协调，防止化学沉淀；细菌微生物指标特别是硫酸盐还原菌需控制在安全范围内，抑制其对地层和设备的危害。腐蚀性参数包括溶解氧、二氧化碳和硫化氢含量需持续监测，以防加速管道腐蚀及影响地层流体性质，水质稳定性需通过实时监测和工艺动态调整来维持，确保回注水与储层环境长期相容。(2) 回注系统设计与运行管理：回注系统设计需综合考虑地质条件与注水要求。注入泵选型应兼顾压力、流量及能耗优化，保障系统稳定运行，管线材质须具备耐腐蚀和承压能力，根据不同工况采用差异化设计；过滤单元采用多级串联配置，包括重力沉降、介质过滤和精密过滤，形成完整悬浮物去除链条。注水井完井设计注重地层保护，选用合适筛管和封隔系统以减少近井污染，运行管理需建立全流程监控体系，实时跟踪注入压力、流量及水质变化，及时调

整工艺参数；系统维护包括定期反洗过滤器、检测管线腐蚀状况和校准监测仪表，确保长期可靠运行^[3]。

3.2 污水作为工业冷却水的利用

(1) 冷却水水质要求与处理：工业冷却水水质需满足系统稳定运行要求。结垢控制通过软化处理降低钙镁离子浓度，并配合阻垢剂抑制沉积。腐蚀控制需调节水体碱度与pH值，通过缓蚀剂在金属表面形成保护膜，微生物控制采用交替使用氧化性与非氧化性杀菌剂的方式，防止生物黏泥滋生；悬浮物控制依赖多级过滤工艺，确保颗粒物浓度符合设备要求。处理流程通常包含混凝沉淀、多介质过滤、离子交换软化及杀菌消毒等单元，可根据原水特性灵活组合；循环水系统需精确控制浓缩倍数，平衡节水需求与结垢风险。(2) 冷却水系统节能与减排：冷却水系统节能改造涉及设备优化与运行调控。换热设备通过强化传热管件与流道设计提升效率；水泵系统采用高效叶轮与变频调速实现流量与负荷匹配，冷却塔通过优化填料结构与布水系统提高气水接触效率。运行参数需合理控制温差与流量分配以减少能量损失；减排方面注重循环水排污的处理回用，通过分级利用降低废水排放。化学药剂管理优先选用环境友好型药剂并精确控制投加过程，系统维护需建立预防性计划，包括定期清洗、泄漏检测与设备保养，保障系统持续高效运行。

3.3 污水在农业灌溉中的应用潜力

(1) 灌溉水质标准与安全性评估：农业灌溉水质需兼顾作物生长与土壤保护需求。盐度指标应控制在作物耐受范围内，避免土壤性质恶化；重金属含量需严格限制，重点关注镉、铅、汞等易积累元素。持久性有机污染物必须彻底去除，保障农产品安全，病原微生物指标应符合灌溉要求，防止生物污染传播。安全性评估需要系统预测长期灌溉对土壤的影响，建立涵盖物理化学生物指标的监测体系；作物安全性评估应研究不同作物对污染物的吸收特性，制定差异化灌溉方案。(2) 污水灌溉对土壤与作物的影响：长期灌溉对土壤—作物系统产生多方面影响。土壤理化特性可能改变，包括pH缓冲能力、盐基离子组成和有机质动态，土壤生物学特性可能发生变化，影响微生物群落和酶活性，需重点关注重金属在土壤—植物系统中的迁移规律，研究其在根际区域的行为特征。作物生理响应表现在水分养分吸收效率的变化，可能影响产量品质；污染物在作物各部位的分布规律需深入研究，为农产品安全提供依据，土壤自净能力研究有助于确定合理灌溉制度，维护农业生态健康^[4]。

3.4 污水资源化利用中的技术创新与集成

(1) 多技术耦合处理与回用: 技术耦合创新通过系统集成提升整体处理效能。膜分离与高级氧化技术的协同应用可有效缓解膜污染问题, 延长膜使用寿命, 生物处理与物化处理的序列组合能够实现污染物的分级去除, 优化物质转化路径。吸附技术与膜技术的联合使用可提高系统抗冲击负荷能力, 保障出水水质稳定; 不同技术单元之间的衔接需要考虑能量流和物质流的匹配性, 实现系统内部资源的合理配置; 工艺参数的全局优化需要建立各单元操作之间的动态响应模型, 达到整体协同增效的目标, 技术集成的可持续性评价包括能耗物耗、环境影响等多维度分析, 为技术选择提供科学依据。(2) 智能化监控与管理系统: 智能监控系统通过数据驱动提升运行管理精细化水平。在线监测网络实时采集水质水量参数, 构建工艺过程的数字镜像; 自动化控制设备根据预设算法调节运行条件, 实现系统的自适应优化。数据分析平台整合历史运行数据, 建立工艺参数与处理效果的智能关联模型, 预警预报系统通过机器学习识别异常工况特征, 实现风险早期识别和主动防控; 远程监控功能使管理人员能够突破时空限制, 提高管理决策的及时性, 知识管理系统积累运行经验和故障案例, 为系统优化提供持续的知识支持。

3.5 资源化利用过程中的风险防控

(1) 环境风险识别与评估: 环境风险识别需全面考察资源化利用过程中的潜在隐患。水质波动可能影响处理工艺稳定性, 进而干扰出水水质, 设备异常与工艺故障可能导致处理效能下降或运行中断; 需关注污染物在环境介质中的迁移转化规律, 评估其生态毒性效应, 长期累积风险涉及污染物在生物链中的富集作用, 需预测其潜在环境影响; 风险评估应采用定性与定量相结合的

方法, 建立分级管理体系, 通过布设监测点位跟踪指标变化, 掌握风险演变规律。(2) 风险防控措施与应急预案: 风险防控需构建多层次防护体系。通过优化运行参数与设置缓冲单元提升系统抗冲击能力, 关键设备采用冗余配置并加强预防性维护, 降低故障概率。建立全流程监测网络实现风险早期识别; 针对不同类型突发事件制定详细应对方案, 控制影响范围, 储备必要的处理药剂、备用设备和防护物资, 保障应急响应能力。定期组织实战演练提升应急处置水平。通过分析既往事件持续改进防控措施, 完善风险管理体系^[5]。

结束语: 油田污水处理及资源化利用是环境保护与资源节约的必然要求。通过深入分析污水特性, 合理选用处理技术, 积极探索资源化途径, 并加强技术创新与风险防控, 能够有效提升污水处理效果, 实现污水资源的高效利用。这不仅有助于解决油田污水带来的环境问题, 还能为油田生产提供稳定的水资源支持, 推动油田产业绿色、可持续发展。

参考文献

- [1] 卢巧云. 油田污水地面处理的工艺及方法探讨[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2025(2):009-012.
- [2] 史园园. 油田污水处理中膜分离技术的应用与优化研究[J]. 石油石化物资采购, 2025(11):106-108.
- [3] 邓焱伟. 高含盐油田污水膜分离技术的应用研究[J]. 工程建设(维泽科技), 2025, 8(5):113-115.
- [4] 王斐, 曾柏松. 絮凝剂在油田污水中的应用研究[J]. 油气田地面工程, 2025, 44(6):76-81.
- [5] 李洪涛. 油田联合站节水与污水处理措施探讨[J]. 化工安全与环境, 2025, 38(3):33-35.