



陆上油气领域含油污泥环境管理现状及建议

徐杰¹, 郑洋¹, 何艺^{1,✉}, 刘海兵¹, 许涓¹, 姜士湖², 朱力挥³

1. 生态环境部固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029; 2. 洲际海峡能源科技有限公司, 北京 100088; 3. 中国石油塔里木油田分公司, 库尔勒 841000

摘要 陆上油气领域含油污泥具有产生量大、危害属性强、处理难度高等特征, 妥善利用处置对于陆上油气开采等行业绿色可持续发展, 保障我国能源安全具有重要作用。本研究概述了我国陆上油气领域含油污泥产生和主要利用处置技术情况, 总结分析了当下含油污泥政策法规和标准建设等管理情况, 针对行业存在的处理后剩余固相属性和相关污染控制标准建设方面的问题, 从优化处理技术、完善相关标准建设、构建剩余固相风险评价体系等方面提出对策建议。

关键词 含油污泥; 利用处置; 政策法规; 标准; 管理; 建议

陆上油气开采、储运等过程不可避免的会产生含油污泥, 因其产生量大且处理难度较高, 导致国内主要油气产区堆存大量含油污泥。含油污泥是由水、油、固体悬浮物、重金属等组成的复杂混合物, 其中苯系物等石油烃类(也称石油类/油/矿物油)和重金属等对环境和人体具有危害性, 属《国家危险废物名录(2021年版)》^[1]HW08类, 具有较强的毒性且部分具有易燃性, 妥善利用处置对有效防控周边水、气、土壤环境风险, 实现油气开采行业绿色可持续发展具有重要现实意义。有关单位和研究机构就含油污泥资源化利用和无害化处置技术开展了大量基础研究工作, 相关政府管理部门出台了一系列政策法规、技术规范和污染控制标准, 初步建立了我国含油污泥资源化利用和无害化处置管理体系。但在实际操作过程中, 仍存在较多亟待解决的利用处置技术和政策标准方面共性问题。本研究梳理了国内陆上油气领域含油污泥产生和处理现状、现行政策法规和标准体系等, 提出含油污泥在利用处置规模化 and 经济环境效益、剩余固相属性判断和标准体系建设方面存在的问题, 并针对性的提出对策建议, 以期建立现代化的含油污泥管理体系提供借鉴。

1 含油污泥产生和处理现状

陆上含油污泥常规来源于油气开采环节、储运环节和炼化环节, 具体包括落地油泥、采油注水系统沉降油泥、接转站和联合站等沉降底泥、管道等清淤油泥和“炼化三泥”等^[2-3]。另外, 在超深井、非常规油气田等开发过程中, 因为高温、地层水敏性等原因要用到以白油、柴油或合成油等为连续相的油基钻井液^[4-6], 由此产生大量废弃油基钻井液和油基岩屑。因为废弃油基钻井液和油基岩屑中基础油来源明确, 含油率较高且含有大量化学添加剂, 关于废弃油基钻井液和油基岩屑是否归类为含油污泥存在分歧, 但其作为HW08类危险废物十分明确。为便于后续讨论, 本研究将废弃油基钻井液和油基岩屑归入含油污泥。

近年我国含油污泥产生量逾 $5.0 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中废弃油基钻井液和油基岩屑产生量逾 $1.0 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 含油污泥历史堆存量逾 $1.4 \times 10^8 \text{ t}$ ^[7-9]。国内外现有利用处置技术主要包括焚烧^[10-12]、热解^[13-16]、热解析/热脱附^[17-18]、化学热洗^[19-22]、生物处理^[23-24]、萃取分离^[25-26]、调质-机械分离^[27-28]、氧化^[29-30]、调剖^[31-32]、固化填埋^[33-34]、超声和微波^[35-37]、制备型煤^[38]、地质封存^[39-40]等。各类利用处置技术具体情况见表1。

已有含油污泥利用处置技术基本实现了含油污泥减量化、资源化和无害化目的, 为保证含油污泥利用处

收稿日期: 2024-04-05 录用日期: 2024-05-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1902800)

第一作者: 徐杰(1990—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为危险废物环境管理技术, xujie@meescc.cn ✉通信作者: 何艺(1981—), 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向为危险废物环境管理技术, heyi@meescc.cn

表1 含油污泥利用处置技术对比分析

Table 1 Comparative analysis of utilization and disposal techniques of oily sludge

序号	技术名称	技术描述	主要优缺点	适用对象
1	焚烧	多采用回转窑和流化床,部分采用水泥窑协同、循环流化床和粉煤炉协同、延迟焦化协同等,在助燃剂存在条件下实现含油污泥减量化、资源化和无害化处理	优点:原料适用范围广,减容率高 缺点:成本较高,无法回收油气资源,易造成二次污染	含油率低于5%的含油污泥
2	热解	普遍被认为是一种资源化处理含油污泥的方法,近年撬装式热解装置应用较为广泛,多在绝氧和高于450℃条件下通过断链和缩合反应得到气态、液态产物和热解残渣	优点:可回收部分油气资源,处理彻底 缺点:成本较高,剩余固相重金属易富集,易造成二次污染	含水率低,挥发分高和重金属含量低的含油污泥
3	热解析/热脱附	多在低于450℃条件下,将含油污泥中水分和石油烃类“蒸馏”出来,过程中几乎不涉及热解反应	优点:操作温度较低 缺点:原料适用范围较窄,易造成二次污染	废弃油基钻井液和油基岩屑
4	化学热洗	通过表面活性剂和无机碱助剂改变含油污泥油水界面张力,破乳后脱除有机污染物	优点:技术简单,易实现规模化 缺点:剩余固相和废水产生量大,回收油不彻底	含油率较高且乳化程度不高的含油污泥
5	生物处理	主要包括生物堆肥法和生物反应器法,通过微生物作用降解含油污泥中有机污染物	优点:几乎无二次污染,处理效率较高 缺点:生物堆肥法占地面积大,周期长。生物反应器法成本高,过程控制难度大	含油率低于5%的含油污泥
6	萃取分离	物理处理方法,利用相似相溶原理选取二氯甲烷、石脑油等溶剂对含油污泥中石油类进行回收,为提高萃取效率,近年新型的萃取剂和超临界萃取方法得到更多关注	优点:技术简单,处理效率较高 缺点:较难实现规模化,产生大量废溶剂造成二次污染	含大量难以降解有机物的含油污泥
7	调质-机械分离	国外应用案例较多,通过加入破乳剂和絮凝剂首先对含油污泥进行破乳,然后采用机械离心分离的方法回收石油类	优点:技术简单,处理速度快,易实现规模化 缺点:能耗高,回收油不彻底	预处理含油率较高的含油污泥
8	氧化	利用臭氧、高锰酸钾等氧化剂通过化学氧化反应将含油污泥中的有机污染物转化为无毒害的小分子化合物,新型的光催化氧化、超临界水氧化等增强氧化方法近年也取得较快发展	优点:处理周期短,降解效率高 缺点:需要专用设备,大量氧化剂,无法回收油气资源	含油率低于5%的含油污泥
9	调剖	以含油污泥为原料,添加适当化学药剂和固相颗粒,调制带有固体颗粒的悬浮液体系,对水驱油藏目的地层进行封堵以调节吸水剖面和波及系数,从而提高原油采出率	优点:技术简单,无二次污染,无需三相分离 缺点:处理量小,封堵强度普遍不高	悬浮性较好的含油污泥
10	固化填埋	将含油污泥与适量粉煤灰、黏土等混合,在粘结剂作用下形成一定强度的固化块,进入危险废物填埋场	优点:技术简单,易实现规模化,重金属和有机物固定效果好 缺点:固化块机械强度较难保证,易出现有毒有害物质浸出超标情况	含油率较低的含油污泥
11	超声和微波	超声和微波法分别利用超声波和电磁场作用实现破乳目的,以分离含油污泥油、水、固三相	优点:技术简单,处理速度快,不造成二次污染 缺点:多作为前处理技术,三相分离程度不高	预处理含油率较高的含油污泥
12	制备型煤	利用含油污泥中热值,对含油污泥进行干化处理与煤掺烧或者直接做成型煤	优点:资源化程度高 缺点:处理量小,二次污染风险高	热值较高的含油污泥
13	地质封存	地质封存技术是指通过井筒内的注入管柱将气体、液体、浆体等废弃物注入特定地层,实现废弃物永久封存的一种技术	优点:技术简单,易实现规模化,污染物零排放 缺点:无法资源化回收油气资源	含油率较低的含油污泥

置效率，最大程度降低剩余固相中总石油烃含量和重金属含量，现多采用多种技术耦合的方式处理含油污泥，如化学热洗-焚烧、调质-机械分离-热解、热洗-干化-热解等。结合含油污泥总石油烃含量，选择适合的利用处置方式，一般原则为总石油烃含量超过 5%，必须开展含油污泥利用处置活动且不宜采用直接焚烧和填埋的方式处理，目前规模化应用的处置方式包括油污染土壤生物处理、机械分离-焚烧、化学热洗、调剖回注、热解、热解析/热脱附等。针对废弃油基钻井液和油基岩屑，多采用热解析/热脱附的方式开展连续相矿物油的回收利用。美国、加拿大和欧洲等发达地区对地下灌注技术进行了多年的研究和应用，形成了一系列政策法规和标准体系，高效、风险极低的将油气、化工、工业及市政废弃物等封存于地下^[41]。

由于含油污泥初始含油率和剩余固相含油率限值要求、设备投资和试剂耗材、处理程度和环保效益等存在差异，导致各技术处理成本波动较大。同等含油率和限值要求条件下，土壤生物处理成本最低，但处理周期长，环境风险相对较高；调质-机械分离和化学热洗成本相对较低，但除油效果一般，多作为预处理工序；热解和热解析/热脱附成本适中，油回收效果较好；焚烧成本适中，但无法回收油气资源且环境风险较大；调剖回注成本较低，但处理规模不大；萃取成本过高，较难规模化应用；地下灌注成本和环境风险较低，但国内尚无应用案例。

2 含油污泥政策法规和相关标准现状

2.1 含油污泥政策法规现状

含油污泥兼具资源属性和环境属性，相关管理部门就实现含油污泥减量化、资源化和无害化出台了相应法规政策^[42-51]，具体见表 2。

表 2 含油污泥相关政策法规

Table 2 Relevant policies and regulations of oily sludge

序号	政策法规名称	发布信息	相关要求
1	危险废物重大工程建设总体实施方案 ^[42]	生态环境部和发展改革委/2023年	建设保障相关区域包括油泥油脚等含油废物等特殊类别危险废物处置的13个重点类别区域处置中心
2	危险废物环境管理指南 陆上石油天然气开采 ^[43]	生态环境部/2021年	含油污泥和油基岩屑资源化利用产物应满足国家、地方制定或行业通行的被替代原料生产的产品质量标准，有稳定、合理的市场需求。剩余残渣在满足国家、地方制定的标准条件下，可用作油气田作业区内部铺设通井路、铺垫井场基础材料等
3	石油天然气开采业污染防治技术政策 ^[44]	生态环境部/2012年	含油污泥资源化利用率应达到90%以上，残余固体废物应按照《国家危险废物名录》和危险废物鉴别标准识别，根据识别结果资源化利用或无害化处置
4	甘肃省石油勘探开发生态环境保护条例 ^[45]	甘肃省/2017年修订	禁止掩埋作业中散落油和油水混合液、钻井应当采用无毒或者低毒泥浆，提高泥浆循环利用水平、试油过程中含油污水不得落地，应当集中处理达标后回用
5	辽宁省石油勘探开发环境保护条例 ^[46]	辽宁省/2016年修订	产生的含有毒化学药剂的泥浆、含油岩屑、污油、油泥或者清罐浮渣、底泥等污染物，应当按照危险废物管理规定进行转移、贮存和处理
6	四川省页岩气开采业污染防治技术政策 ^[47]	四川省/2018年	在适当区域大力鼓励环境友好型钻井液代替油基钻井液钻井，鼓励企业对废油基钻井液、油基岩屑实现综合利用；回收基础油和油基钻井液宜采用离心、热脱附、萃取、洗净分离等工艺技术；剩余固相符合相关产品质量标准的，不作为固体废物管理，除此之外，均按照危险废物进行管理
7	新疆维吾尔自治区煤炭石油天然气开发环境保护条例 ^[48]	新疆维吾尔自治区/2018年修订	散落油和油水混合液等含油污染物应当回收处理，不得掩埋；对钻井作业产生的污油、废矿物油应当回收处理
8	黑龙江省石油天然气勘探开发环境保护条例 ^[49]	黑龙江省/2018年修订	废弃钻井液、废水、岩屑、污油等应当进行处理，严禁随意排放。废弃钻井液集中处理排放场所选址应当经所在地市级环保部门同意
9	榆林市油（气）开采废弃物处置环保暂行管理办法 ^[50]	榆林市/2015年	油（气）井场要在钻井前配备废弃钻井泥浆岩屑地上移动式收集设施，对钻井过程中废弃钻井泥浆岩屑进行不落地收集，收集设施不得混合收集其它废弃物
10	进一步加强油气开发废弃物管理工作方案 ^[51]	延安市/2022年	油气开发各环节产生的废弃物必须做到应收尽收，严禁利用渗井、渗坑、裂隙和溶洞排放、倾倒和掩埋；油气开发企业应加大综合利用技术开发，在开发过程中推广使用综合利用制品

2.2 含油污泥相关标准现状

1) 处理技术规范 and 污染控制技术要求。生态环境部、国家能源局和新疆维吾尔自治区、陕西省、四川省等相继发布了含油污泥处理技术规范 and 污染控制技术要求, 提出处理过程技术要求和污染控制要求, 规定剩余固相中石油烃含量、重金属含量和 pH 值等关键参数, 提出剩余固相利用处置途径^[52-74], 具体见表 3。针对剩余固相石油烃含量, 主要限值包括 5%、2%、1%、0.45% 和 0.3%。高于 5% 需开展资源化利用或无

表 3 含油污泥相关技术规范和污染控制技术要求

Table 3 Relevant technical specifications and pollution controlling requirements for oily sludge

序号	标准名称	发布机构	相关内容
1	废润滑油回收与再生利用技术导则 (GB/T 17145—1997) ^[52]	国家技术监督局	国家鼓励废油的回收、再生和使用再生油
2	废矿物油回收利用污染控制技术规范 (HJ 607—2011) ^[53]	环境保护部	含油率大于5%的含油污泥应进行再生利用; 油泥经油沙分离后含油率应小于2%; 含油岩屑经油屑分离后含油率应小于5%, 分离后的岩屑宜采用焚烧处置; 废矿物油的利用和处置应满足对应标准污染控制要求
3	油田含油污泥处理设计规范 (SY/T 6851—2012) ^[54]	国家能源局	提出含油污泥清洗、生物修复、焚烧、回灌处理要求
4	陆上石油天然气开采钻井废物处置污染控制技术要求 (SY/T 7298—2016) ^[55]	国家能源局	针对废弃油基钻井液和油基钻屑等提出填埋、固化/稳定化、土地处置和热处理等的技术方法, 并提出进入填埋场石油类限值3%和固化/稳定化后浸出液中石油类限值10 mg·L ⁻¹ 的要求; 鼓励剩余固相资源化利用
5	陆上石油天然气开采含油污泥处理处置及污染控制技术规范 (SY/T 7300—2016) ^[56]	国家能源局	提出化学热洗技术、燃料化技术、热解技术、常温萃取技术等处理要求; 鼓励剩余固相资源化利用
6	陆上石油天然气开采含油污泥资源化综合利用及污染控制技术要求 (SY/T 7301—2016) ^[57]	国家能源局	提出剩余固相中石油烃总量应不大于2%, 处理后剩余固相宜用于铺设井路等, 剩余固相禁止农用于; 燃料化制成燃料热值宜大于11 MJ·kg ⁻¹
7	非常规油气开采含油污泥处理处置技术规范 (SY/T 7481—2020) ^[58]	国家能源局	提出热脱附、热解、化学热洗等处理技术要求, 含油钻屑处理宜采用脱附技术处理; 剩余固相含油率不大于2%的, 鼓励用于制砖、制水泥等
8	油气田钻井固体废物综合利用污染控制要求 (DB65/T 3997—2017) ^[59]	新疆维吾尔自治区质量技术监督局	提出废弃油基泥浆和岩屑等综合利用剩余固相满足含油率不大于2%等要求, 可用于铺设油田内部道路、铺垫井场等
9	油气田含油污泥综合利用污染控制要求 (DB65/T 3998—2017) ^[60]	新疆维吾尔自治区质量技术监督局	提出含油污泥 (不包括废弃油基泥浆和油基岩屑) 综合利用剩余固相满足含油率不大于2%等要求, 可用于铺设油田内部道路、铺垫井场等
10	油气田含油污泥及钻井固体废物处理处置技术规范 (DB65/T 3999—2017) ^[61]	新疆维吾尔自治区质量技术监督局	提出溶剂萃取、化学热洗、热解等技术要求; 禁止采用焚烧、填埋方式处理含油率大于5%的含油污泥; 严禁使用填埋、焚烧、热解等不能回收油基泥浆钻井再利用的技术进行处置
11	油气田含油污泥处理及处置利用污染控制技术要求 (征求意见稿DB65/T XXXX—2019) ^[62]	新疆维吾尔自治区质量技术监督局	提出溶剂萃取、化学热洗、热解等技术要求, 鼓励研发、采用环境友好型新技术; 剩余固相满足含油率不大于1%等要求, 可用于铺设油田道路和井场, 含油率不大于2%等要求, 可进入填埋场、填充废弃油砂矿坑等
12	含油污泥处置利用控制限值 (DB61/T 1025—2016) ^[63]	陕西省质量技术监督局	提出剩余固相满足含油率不大于1%等要求, 可用于铺设油田井场、等级公路; 含油率不大于2%等要求, 可用作工业生产原料
13	落地油泥微生物处理技术规程 (DB61/T 1361—2020) ^[64]	陕西省市场监督管理局	提出微生物处理具体方法, 剩余固相满足DB61/T 1025 ^[63] 要求后可对应开展利用
14	含油污泥利用与处置污染控制技术规范 (DB61/T 1461—2021) ^[65]	陕西省市场监督管理局	提出调质、化学热洗、热解、焚烧、水泥窑协同处置等技术要求; 鼓励研发、采用资源化、无害化的新工艺新技术; 剩余固相可开展鉴别
15	油田含油污泥综合利用污染控制标准 (DB23/T 1413—2010) ^[66]	黑龙江省环境保护厅、黑龙江省质量技术监督局	提出剩余固相满足石油类含量不大于2%等要求, 可用于铺设井路和井场; 含油率不大于0.3%等要求, 可农用于 (同时满足GB 4284—2018 ^[75] 要求)

续表 3

序号	标准名称	发布机构	相关内容
16	油田含油污泥处置与利用污染控制要求 (DB23/T 3104—2022) [67]	黑龙江省市场监督管理局	提出剩余固相满足石油类含量不大于0.3%等要求, 可用于通井路和井场建设、进入危险废物填埋场等
17	天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准 (DB51/T 2850—2021) [68]	四川省市场监督管理局	提出废弃油基泥浆和岩屑等综合利用剩余固相满足石油烃含量不大于0.45%等要求, 可用于铺垫井场和井场道路 (同时满足GB 36600—2018 ^[76] 第二类筛选值要求); 不大于1%等要求可用于制烧砖、烧结陶粒或作为井场地坪及井场道路混凝土掺配料; 不大于2%等要求可开展水泥窑协同处置
18	石油天然气开采含油废物污染控制技术规范 (DB63/T 2116—2023) [69]	青海省生态环境厅、青海省市场监督管理局	提出油基岩屑不宜采用焚烧处置; 含油污泥剩余固相不得农用和制备免烧砖; 剩余固相可开展鉴别; 剩余固相石油类和重金属等含量满足GB 36600—2018 ^[76] 第二类筛选值可用于铺垫井场和井场道路; 对剩余固相石油类等浸出浓度进行了限制
19	油田含油污泥处理处置技术规范 (征求意见稿) [70]	山东省市场监督管理局	提出热解、化学热洗等技术要求; 剩余固相满足SY/T 7301 ^[57] 等要求后, 可进行资源化利用; 剩余固相可按照GB 5085.6 ^[77] 开展鉴别
20	陆上油气田含油污泥处理后剩余固相污染物控制标准 (试行) (征求意见稿) [71]	辽宁省质量技术监督局、辽宁省生态环境厅	提出剩余固相满足石油烃含量不大于0.45%等要求, 直接用于GB 36600—2018 ^[76] 中规定的第二类用地的建设用地; 不大于2%等要求可用于制非烧砖、铺垫井场和通井路
21	油田废弃油土综合利用污染控制 (征求意见稿) [72]	吉林省质量技术监督局	提出剩余固相满足石油烃含量小于25%, 可用作制备型煤; 小于5%, 可用于制砖; 小于2%, 可作为井场土方工程材料
22	石油石化行业含油污泥处理技术规范 (T/CPCIF 0075—2020) [73]	中国石油和化学工业联合会	提出剩余固相中总石油烃含量应不大于2%, 宜用于铺设通井路等; 不大于0.3%, 可进行水泥窑协同处置; 剩余固相的鉴别应符合相应的国家标准规定
23	含油污泥处理处置及污染控制技术规范 (T/GDACERCU 0018—2021) [74]	广东省循环经济和资源综合利用协会	提出剩余固相含油率低于0.5%且不具有危险特性的前提下, 可按一般工业固体废物要求处理, 但不应作为农用

害化处置, 不宜直接焚烧或填埋^[53,61,70]; 不高于 2% 等要求宜用于铺设通井路、垫井场、制砖、水泥窑协同和用作工业原料等^[57-60,63,66,68,71-73], 但青海省地标《石油天然气开采含油废物污染控制技术规范》(DB63/T 2116—2023) [69]规定, 剩余固相不得用于制备免烧砖; 国家能源局行标《陆上石油天然气开采含油污泥资源化综合利用及污染控制技术要求》(SY/T 7301—2016) [57]、青海省地标《石油天然气开采含油废物污染控制技术规范》(DB63/T 2116—2023) [69]和广东省循环经济和资源综合利用协会团标《含油污泥处理处置及污染控制技术规范》(T/GDACERCU 0018—2021) [74]明确提出剩余固相不得农用; ; 0.3% 来源于《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018) [75]用于 B 级园地、牧草地、不种植食用农作物的耕地限值要求, 黑龙江省地标《油田含油污泥综合利用污染控制标准》(DB23/T 1413—2010) [66]规定石油类含量不大于 0.3% 等要求剩余固相可农用, 随后在更新版本《油田含油污泥处置与利用污染控制要求》(DB23/T 3104—2022) [67]中提出石油类含量不大于 0.3% 可用于通井路和井场建设、进入危险废物填埋场等, 删除了农用条款; 四川省地标《天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准》(DB51/T 2850—2021) [68]提出石油烃含量不大于 0.45% 等要求可用于铺垫井场和井场道路, 不大于 1% 等要求可用于制烧砖、烧结陶粒或作为井场地坪及井场道路混凝土掺配料 (同时满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB 36600—2018) [76]第二类筛选值其他要求)。

2) 石油类指标检测标准。剩余固相石油烃检测方法主要包括《危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别》(GB 5085.6—2007) [77]红外光谱法、《城市污水处理厂污泥检验方法》(CJ/T 221—2005) [78]红外分光光度法和紫外分光光度法、《土壤和沉积物 石油烃 (C10-C40) 的测定 气相色谱法》(HJ 1021—2019) [79]气相色谱法和《土壤 石油类的测定 红外分光光度法》(HJ 1051—2019) [80]红外分光光度法, 检测范围和相对误差等存在差别, 国家层面尚未形成统一的针对含油污泥石油烃检测的方法。另外, 《水质 石油类和动植物油类的测定 红外光度法》(GB/T 16488—1996) [81]、《海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析》(GB 17378.4—2007) [82]、《海洋石油开发工业含油污水分析方法 红外分光光度法》(GB/T 17923—2017) [83]和《油田采出水中含油量

测定方法 分光光度法》(SY/T 0530—2011)^[84]也提出采用分光光度法检测水质或固相中的石油类,但现有含油污泥处理技术规范和污染控制技术要求相关标准未引用这几类标准方法。参考《石油天然气工业 钻井液现场测试 第1部分:水基钻井液》(GB/T 16783.1—2014)^[85]和《石油天然气工业 钻井液现场测试 第2部分:油基钻井液》(GB/T 16783.2—2012)^[86],采用蒸馏法蒸馏出石油类物质也可作为检测方法之一。针对石油类中多环芳烃,可采用液相色谱法或气相色谱法进行检测^[87-89]。相关检测标准见表4。

表4 含油污泥中石油类检测标准
Table 4 Test standards of petroleum in oily sludge

序号	标准名称	检测方法	应用于标准情况
1	危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别 (GB 5085.6—2007) ^[77]	附录O 固体废物 可回收石油烃总量的测定 红外光谱法	SY/T 7298 ^[55] 和SY/T 7301 ^[57] 采用
2	城市污水处理厂污泥检验方法 (CJ/T 221—2005) ^[78]	矿物油的测定 红外分光光度法 矿物油的测定 紫外分光光度法	DB65/T 3997 ^[59] 、DB65/T 3998 ^[60] 、DB61/T 1025 ^[63] 、DB61/T 1361 ^[64] 、DB23/T 1413 ^[66] 、辽宁省地标 ^[71] 、吉林省地标 ^[72] 、GB 4284 ^[75] 、CJ/T 309 ^[90] 等采用
3	土壤和沉积物 石油烃(C10-C40)的测定 气相色谱法 (HJ 1021—2019) ^[79]	石油烃(C10-C40)的测定 气相色谱法	DB51/T 2850 ^[68] 、DB63/T 2116 ^[69] 、辽宁省地标 ^[71] 采用
4	土壤 石油类的测定 红外分光光度法 (HJ 1051—2019) ^[80]	石油类的测定 红外分光光度法	DB23/T 3104 ^[67] 、DB63/T 2116 ^[69] 采用
5	水质 石油类和动植物油的测定 红外光度法 (GB/T 16488—1996) ^[81]	石油类的测定 红外光度法	—
6	海洋监测规范 第4部分:海水分析 (GB 17378.4—2007) ^[82]	含油污水中的石油类 紫外分光光度法	—
7	海洋石油开发工业含油污水分析方法 红外分光光度法 (GB/T 17923—2017) ^[83]	红外分光光度法	—
8	油田采出水中含油量测定方法 分光光度法 (SY/T 0530—2011) ^[84]	分光光度法	—
9	石油天然气工业 钻井液现场测试 第1部分:水基钻井液 (GB/T 16783.1—2014) ^[85]	水基钻井液的含油量 蒸馏法	—
10	石油天然气工业 钻井液现场测试 第2部分:油基钻井液 (GB/T 16783.2—2012) ^[86]	非水基钻井液钻屑的含油量 蒸馏法	—
11	城市供水 多环芳烃的测定 液相色谱法 (CJ/T 147—2001) ^[87]	多环芳烃的测定 液相色谱法	—
12	土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法 (HJ 784—2016) ^[88]	多环芳烃的测定 高效液相色谱法	—
13	土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法 (HJ 805—2016) ^[89]	多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法	—

3) 重金属指标检测标准。含油污泥中重金属大致有3个来源:①落地油泥、联合站沉降底泥中原油自带的微量钒、镍、砷、锰、铅、铜、锌、铬、镉、汞等,其中通常钒含量最高、镍含量次之;②油基岩屑中增稠剂、稳定剂带来的锰、钛等重金属;③“炼化三泥”中由炼化过程催化剂、废水处理过程催化剂和添加剂引入的镍、锰等重金属。结合相关文献数据^[2,91],含油污泥和剩余固相中主要重金属为钒、铬、锌、镍、铅、铜、砷、镉和汞。梳理含油污泥利用处置后剩余固相中主要重金属检测方法见表5。

表 5 含油污泥中重金属检测标准
Table 5 Test standards of heavy-metals in oily sludge

检测类型	检测因子	检测标准/方法
浸出毒性	铜、锌、铬、镍、钡	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781-2016) ^[92]
	硒、砷、汞	《固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解原子荧光法》(HJ 702—2014) ^[93]
	六价铬	《固体废物 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法》(GB/T 15555.4—1995) ^[94]
毒性物质含量	锌、锰、钛、钒、钡、镍、铍、钴、锶	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016) ^[92]
	硒、砷、汞	《固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解原子荧光法》(HJ 702—2014) ^[93]
	六价铬	《固体废物 六价铬的测定 碱消解\火焰原子吸收分光光度法》(HJ 687—2014) ^[95]

3 含油污泥环境管理现状及问题

3.1 现有利用处置水平不高, 环境风险较大

含油污泥利用处置布局规模已超过含油污泥产生量, 但由于处理成本、跨省转移受限、处理难度大等因素, 目前仍未能完全消纳产生的含油污泥, 导致含油污泥堆存量不断增大, 含油污泥中大量石油类和重金属物质带来较大环境风险。同时, 利用处置过程不规范导致“三废”污染环境事件时有发生。

现有主流处理工艺主要包括化学热洗、热解、调质-机械分离和萃取等。化学热洗易实现规模化, 但存在石油烃类回收不彻底, 剩余固相环境风险高的问题; 热解投资较大、能耗高, 且热解设备多以撬装式小型回转窑为主, 规模化程度不高; 调质-机械分离类似化学热洗, 可实现较大规模处理能力, 但其剩余固相含油率较高, 同时产生大量含油废水, 环境风险较大; 萃取过程使用大量有机溶剂, 溶剂、热分离过程成本较高, 产生大量的废有机溶剂处理难度大。现阶段缺乏兼顾处理规模、处理效率、经济效益、环境效益、操作难度等的优质技术路线。呈现出利用处置企业规模偏小, 撬装式处理设施占比较大的趋势, 导致利用处置水平不高, 过程环境风险较大。

3.2 利用处置过程缺乏全国性的标准规范

现有含油污泥相关利用处置技术规范 and 污染控制标准在含油污泥和石油类污染物定义、石油类检测方法、剩余固相石油烃含量和对应利用方式、剩余固相是否按照危险废物管理、剩余固相是否可以农用等方面缺乏统一性。

1) 废弃油基钻井液和油基岩屑是否纳入含油污泥存在差异; 石油类和总石油烃类为烃类化合物(烷烃、环烷烃和芳香烃等)和非烃类化合物(硫化物、氮化物、环烷酸类等)组成的混合物, 石油烃为单一烃类化合物, 矿物油则表示原油精炼后得到的白油、柴油等基础油, 不同标准中针对该污染物叫法不统一。

2) 剩余固相中石油类检测方法不统一, 红外光谱(石油类)、气相色谱(C6-C9 和 C10-C40 石油烃)等检测方法对应选择的萃取剂不同。四氯化碳、四氯乙烯、正己烷等非极性溶剂对烃类和非烃类萃取能力存在差异, 可能会导致石油类污染物含量检测结果不同。

3) 剩余固相 2%、1%、0.45% 和 0.3% 石油烃限值设置与对应铺垫井场路、水泥窑协同等存在差异。《陆上石油天然气开采含油污泥资源化综合利用及污染控制技术要求》(SY/T 7301—2016)^[57] 规定剩余固相含油率不大于 2% 用于铺垫通井路等基础材料, 各地方结合当地危险废物利用处置技术能力、环境风险控制水平、剩余固相市场接收途径等制定地方标准, 剩余固相石油类限值的制定均比行标严格, 如四川地标提出废弃油基泥浆和岩屑等综合利用剩余固相应满足石油烃含量不大于 0.45% 的要求, 方可用于铺垫井场和井场道路^[68]。

4) 关于含油污泥处理方式是否属于利用没有明确界定, 由此剩余固相是否可以开展鉴别, 各地管理方式存在差异。四川省页岩气开采业污染防治技术政策^[47] 规定剩余固相符合相关产品质量标准的, 不作为固体废物管理, 除此之外, 均按照危险废物进行管理; 石油天然气开采业污染防治技术政策^[44]、《含油污泥利用与处置污染控制技术规范》(DB61/T 1461—2021)^[65]、《石油天然气开采含油废物污染控制技术规范》(DB63/T 2116—2023)^[69]、山东省地标《油田含油污泥处理处置技术规范(征求意见稿)》^[70] 和团体标准

《石油石化行业含油污泥处理技术规范》(T/CPCIF 0075—2020)^[73]则规定, 剩余固相可以开展危险废物鉴别, 经鉴别不具有危险特性的, 不作为危险废物管理。

5) 剩余固相是否可以农用存在分歧^[57, 66-67, 69, 74-75], 存在剩余固相污染农用地、石油类和重金属等污染物进入人类食物链的风险。

3.3 污染控制研究基础薄弱, 尚未开展系统的风险评价

剩余固相中石油类、重金属和 pH 等污染物限值主要基于下游利用处置方式和国外相关标准提出, 如基于《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)^[75]提出农用途石油类和重金属等限值要求; 基于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)^[76]提出建设用石油类、重金属和其他有机物等限值要求; 基于《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ 662—2013)^[96]提出水泥窑协同用重金属和氟、氯等限值要求。

水泥窑协同和填埋处置已有完善的污染控制要求, 但不作为危险废物管理的剩余固相在其他利用过程, 如制备烧结砖, 制备公路路基土方等, 自身缺乏相应产品质量标准, 较难满足替代原料质量标准, 如较难满足《烧结普通砖》(GB/T 5101—2017)^[97]、《蒸压粉煤灰砖》(JC/T 239—2014)^[98]等原料要求。在剩余固相利用过程中, 有关石油类和重金属等污染控制的研究较少, 限值的提出缺乏对地下水、地表水、土壤等的环境风险评价, 因此标准中剩余固相污染物限值的提出是否合理, 缺乏足够支撑。

4 对策建议

4.1 推动含油污泥利用处置规模化发展, 有效防控环境风险

含油污泥现有利用处置途径消纳速率缓慢, 大量年产生量、历史堆存量和突出的环境问题倒逼利用处置规模化和无害化。部分地区对新技术的研发等提出了明确要求, 新疆地标《油气田含油污泥处理及处置利用污染控制技术要(征求意见稿)》^[62]提出鼓励研发、采用环境友好型新技术, 陕西省地标《含油污泥利用与处置污染控制技术规范》(DB61/T 1461—2021)^[65]提出鼓励研发、采用资源化、无害化的新工艺新技术。应深入开展现有利用处置技术经济效益和环境效益对比分析, 择优选取处理能力较大, 环境风险较小的现有利用处置技术, 过程中加强三废监管。另外, 鼓励有条件地区在充分开展环境风险评价基础上, 开展调剖堵水和深井回灌等工程试验研究。

4.2 加强含油污泥相关标准精细化建设

加快含油污泥利用处置污染控制国家标准体系建设, 标准明确含油污泥定义、剩余固相污染物限值和对应利用方式等问题。鼓励重点油气产区和炼化区块积极参与标准制定工作。

1) 将废弃油基钻井液和油基岩屑纳入含油污泥, 对应不同利用处置方式和污染控制要求; 剩余固相中有机污染物宜统一称为石油类或总石油烃。

2) 从国家标准或行业标准层面, 明确剩余固相不同石油烃限值对应的利用方式。

3) 将含油污泥相关利用处置技术实行分类管理, 利用后剩余固相可开展固体废物危险特性鉴别, 处置后剩余固相作为危险废物管理。例如参照青海省地方标准《石油天然气开采含油废物污染控制技术规范》(DB63/T 2116—2023)^[69], 所有处理技术产生的剩余固相均可开展鉴别。

4) 明确剩余固相是否可以农用或细化剩余固相农用条款。农业农村部行业标准《有机肥料》(NY/T 525—2021)^[99]提出污泥禁止作为农用有机肥的原料, 但其在林业、花卉产业和地耕法自然消解途径等尚无明确规定。

4.3 加快构建剩余固相风险评价体系

开展含油污泥中石油类和重金属特征污染物精准识别研究, 分析确定各种利用场景特征污染物的环境浓度-效应, 开展对应利用场景暴露评估, 定量得出特征污染物在各场景中的环境浓度, 结合浓度-效应研究结果和暴露评估结果等, 进行环境风险表征, 构建剩余固相风险评价体系, 为石油类和重金属限值提出提供理论支撑。基于风险评价研究结果, 加强剩余固相替代原料产品标准建设, 明确相关污染物限值要求。标准制定过程中, 剩余固相石油类和重金属等污染物限值提出需充分结合区域环境特点, 同时建立在环境风险评价基础之上。

参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部等. 国家危险废物名录(2021年版)[EB/OL]. [2024-03-15]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202011/W020201130399742157558.pdf>.
- [2] 徐春明, 杨朝合. 石油炼制工程(第四版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [3] 姜勇, 赵朝成, 赵东风. 含油污泥特点及处理方法[J]. 油气田环境保护, 2005, 15(4): 38-41.
- [4] 王中华. 国内外油基钻井液研究与应用进展[J]. 断块油气田, 2011, 18(4): 533-537.
- [5] 李建成, 杨鹏, 关键, 等. 新型全油基钻井液体系[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(4): 490-496.
- [6] 张文波, 戎克生, 李建国, 等. 油基钻井液研究及现场应用[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(3): 303-305.
- [7] 陈忠喜. 含油污泥处理工艺技术现状及展望[J]. 油气田地面工程, 2020, 39(10): 1-7.
- [8] LI J, LIN F, LI K, et al. A critical review on energy recovery and non-hazardous disposal of oily sludge from petroleum industry by pyrolysis[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 406: 124706.
- [9] 莫榴, 林顺洪, 李玉, 等. 含油污泥与玉米秸秆共热解协同特性[J]. 环境工程学报, 2018, 12(4): 1268-1276.
- [10] 俱虎良. 含油污泥干化系统安全氧浓度的探讨[J]. 油气田环境保护, 2023, 33(1): 16-19.
- [11] 郭耘, 彭森, 李国峰, 等. 河南油田含油污泥焚烧和资源化利用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2009, 24(1): 64-66.
- [12] 刘玉丽. 油田含油污泥焚烧处理技术及设备研究[J]. 石油与天然气化工, 2005, 34(5): 426-428.
- [13] 王万福, 金浩, 石丰, 等. 含油污泥热解技术[J]. 石油与天然气化工, 石油与天然气化工, 2010, 39(2): 173-177.
- [14] 黄静, 刘建坤, 蒋廷学, 等. 含油污泥热解技术研究进展[J]. 化工进展, 2019, 38(1): 232-239.
- [15] 宋薇, 刘建国, 聂永丰. 含油污泥热解和燃烧的反应过程[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, 48(9): 1453-1457.
- [16] 马宏瑞, 吴家强, 许光文, 等. 油田采油污泥的热解动力学及其热解效果研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(5): 932-936.
- [17] 徐军, 张新发, 李世勇. 含油钻屑热解析处理技术研究进展[J]. 油气田环境保护, 2020, 30(3): 11-13.
- [18] 刘宇程, 王茂仁, 吴建发, 等. 油基岩屑热脱附处理技术研究进展[J]. 天然气工业, 2020, 40(2): 140-148.
- [19] 余兰兰, 宋健, 郑凯, 等. 热洗法处理含油污泥工艺研究[J]. 化工科技, 2014, 22(1): 29-33.
- [20] 张楠, 王宇晶, 刘涉江, 等. 含油污泥化学热洗技术研究现状与进展[J]. 化工进展, 2021, 40(3): 1276-1283.
- [21] 周龙涛, 贾悦, 李杰, 等. 含油污泥化学热洗技术研究[J]. 油气田环境保护, 2023, 33(1): 23-27.
- [22] 肖楠, 朱玲, 王春雨, 等. 含油污泥化学清洗处理实验研究与工艺参数优化[J]. 环境工程学报, 2019, 13(5): 1202-1208.
- [23] 包木太, 王兵, 李希明, 等. 含油污泥生物处理技术研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 865-871.
- [24] 平罗怡曼, 鱼涛, 陈景辉, 等. 含油污泥微生物处理技术研究[J]. 石油化工应用, 2022, 41(12): 1-6.
- [25] 曾海鳌, 宋若远, 王志强, 等. 三相萃取法处理油田含油污泥研究[J]. 油田化学, 2006, 23(4): 375-378.
- [26] 赵欢, 陈元飞, 陈立宇. 超声萃取法处理含油污泥[J]. 环境工程学报, 2012, 6(6): 2104-2108.
- [27] 余兰兰, 王丹, 吉文博. 调质-机械分离技术处理油田含油污泥[J]. 化工机械, 2011, 38(4): 413-416.
- [28] 安静, 周龙涛, 贾悦, 等. 新疆油田含油污泥破乳-离心脱水工艺优化[J]. 环境工程学报, 2021, 15(8): 2721-2729.
- [29] 高国宁, 鱼涛, 张晓飞, 等. 水热氧化技术处理含油污泥的研究进展[J]. 化工技术与开发, 2021, 50(10): 31-34.
- [30] 陈明. 油田企业含油污泥处理技术研究[J]. 化工管理, 2022, 25: 61-63.
- [31] 舒政, 郑川江, 叶仲斌, 等. 油田含油污泥调剖技术研究进展[J]. 应用化工, 2012, 41(7): 1232-1235.
- [32] 唐金龙, 杜新勇, 郝志勇, 等. 含油污泥调剖技术研究及应用[J]. 钻采工艺, 2004, 27(3): 86-87.
- [33] 曹蕊, 韩冬云, 曹祖斌. 含油污泥的固化与成型机理研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2022, 35(2): 9-14.
- [34] 孙景欣, 刘晓艳, 毛国成, 等. 油田含油污泥处理技术研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2006, 24(6): 18-22.
- [35] 王新强, 杨志刚, 谢娟. 超声处理含油污泥除油实验研究[J]. 石油与天然气化工, 2006, 35(3): 239-241.
- [36] 刘晓娟, 张宁生. 油田含油污泥微波处理实验研究[J]. 油田化学, 2004, 21(3): 287-289.
- [37] 毛飞燕. 基于离心脱水的含油污泥油-水分离特性及分离机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [38] 李冰, 谢卫红, 朱景义. 中国石油油田含油污泥处理现状[J]. 石油规划设计, 2009, 20(4): 18-20.
- [39] 陈宏坤, 王晓华, 于景琪, 等. 地下灌注技术及其在美国的应用[J]. 环境保护, 2007, 3B: 76-79.
- [40] 王晓华, 于景琪, 陈宏坤, 等. 美国工业废液地下灌注与控制技术介绍[J]. 油气田环境保护, 2007, 17(3): 41-44.
- [41] 闫伦江, 陈昌照, 唐丹. 国内外油田地下灌注环境保护管理剖析[J]. 油气田环境保护, 2014, 24(4): 1-7.
- [42] 生态环境部, 发展改革委. 危险废物重大工程建设总体实施方案(2023-2025年)[EB/OL]. [2024-03-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202305/t20230509_1029446.html.
- [43] 生态环境部. 危险废物环境管理指南 陆上石油天然气开采[EB/OL]. [2024-03-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202112/t20211227_965326.html.
- [44] 环境保护部. 石油天然气开采业污染防治技术政策[EB/OL]. [2024-03-15]. https://www.mee.gov.cn/ywzq/fgbz/bz/bzwb/wrfzjszc/201203/t20120319_224789.shtml.
- [45] 甘肃省生态环境厅. 甘肃省石油勘探开发生态环境保护条例[EB/OL]. [2024-03-15]. <https://sthj.gansu.gov.cn/sthj/c113018/202104/715fd9ce58e94c2ea6c13d610411f606.shtml>.
- [46] 辽宁省生态环境厅. 辽宁省石油勘探开发环境保护条例[EB/OL]. [2024-03-15]. <https://sthj.ln.gov.cn/sthj/zfxgk/fdzdgnr/lzyj/dffg/2B21B6B9FC4B42F6AC8007AAD51120CD/index.shtml>.
- [47] 四川省生态环境厅. 四川省页岩气开采业污染防治技术政策[EB/OL]. [2024-03-15]. <http://sthjt.sc.gov.cn/sthjt/uploadfiles/201908231103222489.pdf>.
- [48] 新疆人大常务委员会. 新疆维吾尔自治区煤炭石油天然气开发环境保护条例[EB/OL]. [2024-03-15]. <https://flk.npc.gov.cn/detail2.html?ZmY4MDgwODE2ZWlxYWZiODAxNmVjOWJlZlZjMzOGY>.
- [49] 黑龙江省生态环境厅. 黑龙江省石油天然气勘探开发环境保护条例[EB/OL]. [2024-03-15]. http://sthj.hl.gov.cn/sthj/c111963/200910/c00_30827178.shtml.

- [50] 榆林市人民政府. 榆林市油(气)开采废弃物处置环保暂行管理办法[EB/OL]. [2024-03-15]. <http://www.yl.gov.cn/P/C/34864.htm>.
- [51] 延安市生态环境局延长分局. 进一步加强油气开发废弃物管理工作方案[EB/OL]. [2024-03-15]. <http://www.yanchangxian.gov.cn/zfxgk/fdzgkkr/stjxx/1575287539844030466.html>.
- [52] 国家技术监督局. 废润滑油回收与再生利用技术导则: GB/T 17145-1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [53] 国家标准化管理委员会. 废矿物油回收利用污染控制技术规范: HJ 607-2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [54] 国家能源局. 油田含油污泥处理设计规范: SY/T 6851-2012[S]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [55] 国家能源局. 陆上石油天然气开采钻井废物处置污染控制技术要求: SY/T 7298-2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- [56] 国家能源局. 陆上石油天然气开采含油污泥处理处置及污染控制技术规范: SY/T 7300-2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- [57] 国家能源局. 陆上石油天然气开采含油污泥资源化综合利用及污染控制技术要求: SY/T 7301-2016[S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
- [58] 国家能源局. 非常规油气开采含油污泥处理处置技术规范: SY/T 7481-2020[S]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- [59] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局, 中国国家标准化管理委员会. 油气田钻井固体废物综合利用污染控制要求: DB65/T 3997-2017[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017.
- [60] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局, 中国国家标准化管理委员会. 油气田含油污泥综合利用污染控制要求: DB65/T 3998-2017[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017.
- [61] 新疆维吾尔自治区质量技术监督局, 中国国家标准化管理委员会. 油气田含油污泥及钻井固体废物处理处置技术规范: DB65/T 3999-2017[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017.
- [62] 新疆维吾尔自治区生态环境厅. 油气田含油污泥处理及处置利用污染控制技术要求(征求意见稿)[EB/OL]. [2024-03-15]. <http://sthjt.xinjiang.gov.cn/xjepd/gtfwxxsp/201910/7d40b4fdc1bd4b43b67f86deec6b8df1.shtml>.
- [63] 陕西省质量技术监督局, 中国国家标准化管理委员会. 含油污泥处置利用控制限值: DB61/T 1025-2016[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [64] 陕西省市场监督管理局, 中国国家标准化管理委员会. 落地油泥微生物处理技术规程: DB61/T 1361-2020[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2020.
- [65] 陕西省市场监督管理局, 中国国家标准化管理委员会. 含油污泥利用与处置污染控制技术规范: DB61/T 1461-2021[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021.
- [66] 黑龙江省环境保护厅, 黑龙江省质量技术监督局, 中国国家标准化管理委员会. 油田含油污泥综合利用污染控制标准: DB23/T 1413-2010[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.
- [67] 黑龙江省市场监督管理局, 中国国家标准化管理委员会. 油田含油污泥处置与利用污染控制要求: DB23/T 3104-2022[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2022.
- [68] 四川省市场监督管理局, 中国国家标准化管理委员会. 天然气开采含油污泥综合利用后剩余固相利用处置标准: DB51/T 2850-2021[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021.
- [69] 青海省生态环境厅, 青海省市场监督管理局, 中国国家标准化管理委员会. 石油天然气开采含油废物污染控制技术规范: DB63/T 2116-2023[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2023.
- [70] 山东省生态环境厅. 油田含油污泥处理处置技术规范(征求意见稿)[EB/OL]. [2024-03-15]. http://xxgk.sdein.gov.cn/zfwj/lhh/202207/t20220715_4002113.html.
- [71] 辽宁省生态环境厅. 陆上油气田含油污泥处理后剩余固相污染物控制标准(试行)(征求意见稿)[EB/OL]. [2024-03-15]. <https://sthjt.ln.gov.cn/sthj/zmhd/yjzj/zjz/E6DD4993C9064D8E953A3BE2397431E9/P020191230309974296071.pdf>.
- [72] 吉林省质量技术监督局. 油田废弃油土综合利用污染控制(征求意见稿)[EB/OL]. [2024-03-15]. <http://www.51gufei.com/news/show.php?itemid=2337>.
- [73] 中国石油和化学工业联合会, 中国国家标准化管理委员会. 石油石化行业含油污泥处理技术规范: T/CPCIF 0075-2020[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2020.
- [74] 广东省循环经济和资源综合利用协会, 中国国家标准化管理委员会. 含油污泥处理处置及污染控制技术规范: T/GDACERCU 0018-2021[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021.
- [75] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 农用污泥污染物控制标准: GB 4284-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [76] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 36600-2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [77] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别: GB 5085.6-2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [78] 建设部. 城市污水处理厂污泥检验方法: CJ/T 221-2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [79] 生态环境部. 土壤和沉积物 石油烃(C10-C40)的测定 气相色谱法: HJ 1021-2019[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019.
- [80] 生态环境部. 土壤 石油类的测定 红外分光光度法: HJ 1051-2019[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019.
- [81] 环境保护部. 水质 石油类和动植物的测定 红外光度法: GB/T 16488-1996[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [82] 自然资源部(海洋). 海洋监测规范 第4部分: 海水分析: GB 17378.4-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [83] 自然资源部(海洋). 海洋石油开发工业含油污水分析方法 红外分光光度法: GB/T 17923-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [84] 国家能源局. 油田采出水中含油量测定方法 分光光度法: SY/T 0530-2011[S]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [85] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 石油天然气工业 钻井液现场测试 第1部分: 水基钻井液: GB/T 16783.1-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [86] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 石油天然气工业 钻井液现场测试 第2部分: 油基钻井液: GB/T 16783.2-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [87] 建设部. 城市供水 多环芳烃的测定 液相色谱法: CJ/T 147-2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [88] 环境保护部. 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法: HJ 784-2016[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [89] 环境保护部. 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱: HJ 805-2016[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [90] 建设部. 城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质: CJ/T 309-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [91] 杜春蕾. 油田钻井废弃泥浆中重金属分布特征与污染评价[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2015.
- [92] 环境保护部. 固体废物 22种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法: HJ 781-2016[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.

- [93] 环境保护部. 固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解原子荧光法: HJ 702-2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [94] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 固体废物 六价格的测定 二苯碳酰二肼分光光度法: GB/T 15555.4-1995[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [95] 环境保护部. 固体废物 六价格的测定 碱消解-火焰原子吸收分光光度法: HJ 687-2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [96] 环境保护部. 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范: HJ 662-2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [97] 中国建筑材料联合会. 烧结普通砖: GB/T 5101-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [98] 中国建筑材料联合会. 蒸压粉煤灰砖: JC/T 239-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [99] 农业农村部. 有机肥料: NY/T 525-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.

(责任编辑: 金曙光)

Current situation and suggestions of onshore oily sludge environmental management

XU Jie¹, ZHENG Yang¹, HE Yi^{1*}, LIU Haibing¹, XU Juan¹, JIANG Shihu², ZHU Lihui³

1. Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China; 2. Strait Energy Technology Co.Ltd., Beijing 100088, China; 3. PetroChina Tarim Oilfield Company, Kuerle 841000, China

*Corresponding author, E-mail: heyi@meescc.cn

Abstract Onshore oily sludge is characterized by high production volume, strong hazardous property, and high treatment difficulty. Proper comprehensive utilization and non-hazardous disposal of oily sludge resources would play an important role in the green and sustainable development of onshore oil and gas exploitation, and ensuring energy security in China. A comprehensive review and analysis were conducted on the production and treatment of onshore oily sludge, on the current management situation of oily sludge policies, regulations and standards. In response to the problems relating to the properties of residual solid after treatment and the construction of relevant pollution controlling standards, targeted suggestions including optimizing treatment techniques, improving relevant standards and constructing risk assessment system of residual solid were then proposed.

Keywords oily sludge; utilization and disposal; policies and regulations; standards; management; suggestions