

基于生命周期评价法的水基钻井岩屑资源化利用环境效益分析

刘汉军¹ 罗祝涛² 张薇¹ 陈雷¹ 陈强³ 陈立荣¹ 李辉¹ 蒋学彬¹ 张敏¹ 邓良基³

(1. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院;
2. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院;3. 四川农业大学资源学院)

摘 要 文章以水基钻井岩屑处置方式为研究对象,运用生命周期评价法对填埋处置和两种资源化利用处置(制备烧结砖、土壤化利用)的环境影响进行比较。结果表明:处置 1 m^3 水基钻井岩屑,填埋方式的环境影响值为 3.58×10^3 ,制备烧结砖为 1.19×10^3 ,土壤化利用为 -1.99×10^2 ,填埋的环境影响最大,土壤化利用的环境效益最好;三种处置方式各因素对加权综合指标的敏感度分析表明,填埋方式的水泥消耗值最大,为 99.40%,制备烧结砖方式的煤消耗值较大,为 63.12%,可通过工艺调整减少煤添加量、处置尾气和增加岩屑添加量来降低其环境影响;土壤化利用方式的秸秆消耗值较大,为 99.14%,可通过改进处置工艺来减少秸秆添加量。

关键词 水基钻井岩屑; 生命周期评价; 填埋; 制备烧结砖; 土壤化利用; 环境影响

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2021.06.010

文章编号: 1005-3158(2021)06-0046-05

Environmental Benefit Evaluation of Water Based Drilling Cutting Resource Utilization Based on Life Cycle Assessment

Liu Hanjun¹ Luo Zhutao² Zhang Wei¹ Chen Lei¹ Chen Qiang³
Chen Lirong¹ Li Hui¹ Jiang Xuebin¹ Zhang Min¹ Deng Liangji³

(1. Safety and Environmental Protection Quality Supervision & Testing Research Institute, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd. ;

2. Drilling & Production Technology Research Institute, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd. ;

3. College of Resource, Sichuan Agricultural University)

ABSTRACT This study focuses on the water based drilling cuttings (WDC). The environmental impact of the landfill, sintered brick and land use were compared by using life cycle assessment (LCA). The results show that when the unit was 1 m^3 WDC, the environmental impact of landfill was 3.58×10^3 , sintered brick was 1.19×10^3 , and soil utilization was -1.99×10^2 . landfill shown the greatest environmental impact, and soil utilization had better environmental benefits. The sensitivity analysis of the factors on three methods to the weighted comprehensive index shows that the cement consumption value of the landfill method was the largest, achieved 99.40%, and the coal consumption value of the sintered brick method was larger, which was 63.12%. The environmental impact could be reduced by reducing the coal consumption through process adjustment, disposing exhaust gas and increasing the amount of cuttings. The straw consumption value of the soil-based utilization method was 99.14%, and the amount of straw could be reduced by improving the disposal process.

KEY WORDS water based drilling cutting; life cycle assessment; landfill; sintered brick; land use; environmental impact

刘汉军,2018年毕业于四川农业大学微生物学专业,博士,高级工程师,现在中国石油集团川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院从事环境微生物及废物资源化利用研究工作。通信地址:四川省德阳市广汉市绍兴路三段11号,618300。E-mail:liuhj_bys@cnpc.com.cn。

0 引言

石油和天然气作为国家工业发展的血液,对我国国民经济起着重要的推动作用。但油气钻井会产生大量钻井岩屑,据统计,我国每年累计产生钻井岩屑 $2.50 \times 10^6 \text{ m}^3$ ^[1],其中川渝地区水基钻井岩屑的年产量约为 $3.0 \times 10^4 \sim 3.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ ^[2],因此钻井岩屑处置成为油气钻井行业的难题。早期的水基钻井岩屑处置方式为无害化固化填埋^[3-5],因此水基钻井岩屑被定义为钻井固废。随着钻井清洁生产及生态文明建设的不断推广,钻井岩屑处置由无害处置向资源化利用方向发展,其中以制备烧结砖和转化为土壤两种方式研究较多^[6-8],且制砖处置已广泛推广,土壤化利用也在逐步推广。目前已有的研究主要关注单一岩屑资源化利用途径对岩屑污染物的去除效果和经济效益,未从环境影响的角度评价各资源化利用方式的环境效益。

生命周期评价(LCA)法是一种基于生命周期的思想,定量和定性评价研究对象能源消耗及环境影响的环境评价工具^[9-10]。1995年,Finnveden等^[11]最先将LCA法引入固废管理系统评价,此后,LCA法在固废管理被广泛研究和应用,其中研究较多的是对城市生活垃圾处理系统的LCA^[12-14]。2004年,于红艳^[15]将LCA法引入废物资源化中,介绍了固废资源化LCA的必要性、内容和步骤,为固废资源化利用模式的评价研究提供了新思路。此后该法应用于固废资源利用模式的环境影响评估、模式优选和工艺优化。张芸等^[16]利用LCA法评价了4种贝壳处置方式的环境影响,并确定贝壳制备水泥具备最佳环境效益。李志明等^[17]利用LCA法评估了破碎重铺与水泥混凝土再生利用过程的节能减排效益,确定水泥混凝土再生利用具有更好的节能减排效益。王地春等^[18]用LCA理论评价了废旧黏土砖的几种典型治理方式的环境影响及差异。

本文选取西南油气田目前应用较多的两种资源化利用方式(制备烧结砖和土壤化利用)及填埋法分别构建LCA模型,评估不同资源化利用方法的环境效益,为西南地区选择环境友好的水基钻井岩屑资源化利用模式提供科学依据,并提出改进措施和建议。

1 水基钻井岩屑处理生命周期清单分析

1.1 目标和范围定义

本文以水基钻井岩屑处置方式为研究对象,采用LCA法对三种处置方式的环境影响进行分析。①填埋处置,将水基钻井岩屑固化后填埋;②以水基钻井

岩屑代替部分页岩制备烧结砖,水基钻井岩屑添加量为8%(质量分数);③通过生物处理转化为土壤后用于复垦。

本文以 1 m^3 水基钻井岩屑为功能单位,所有数据以该单位为准进行换算,压滤机压滤后的水基钻井岩屑密度约 2.6 g/cm^3 。因三种处置方式在水基钻井岩屑产出前过程相同,因此不考虑岩屑产出前的环境影响,填埋处置以填埋为终点;资源化利用系统以资源化利用为终点,只考虑资源化利用过程中对水基钻井岩屑加工过程的环境影响,不考虑资源化利用后生产产品的运输、存储、使用、废弃等过程的环境影响。三种处置方式的LCA系统边界的确定见图1。

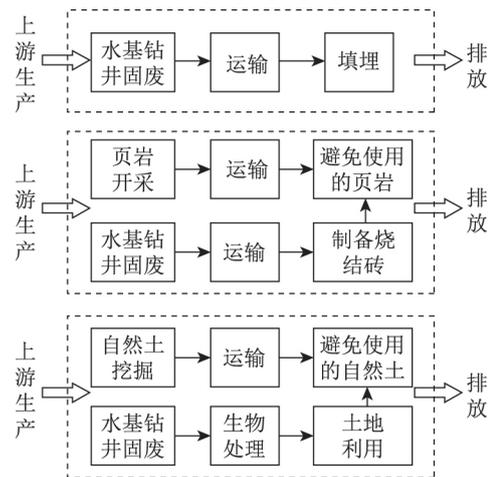


图1 系统边界的确定

1.2 生命周期清单分析

本文涉及的水基钻井岩屑填埋场地一般与钻井井场在同一区域,平均运输距离约0.5 km,主要以装载机进行转运,装载机车斗容量 5 m^3 ,平均柴油耗为 0.030 L/km 。水基钻井岩屑填埋阶段需添加30%(质量比)的水泥进行固化,同时使用挖掘机搅拌均匀,挖掘机平均柴油耗为 0.23 L/m^3 (发动机功率90 kW,耗油 $140 \text{ g/(kW} \cdot \text{h)}$,每天工作8 h,使用效率0.65,日处理量 300 m^3)^[19];还需使用混凝土振动器,其功率为1.5 kW,处理 1 m^3 水基钻井固废平均耗时0.2 h。由此推算得到填埋过程的能耗为每处理 1 m^3 岩屑消耗柴油 0.003 kg 、电力 $0.30 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 、水泥 780 kg ,见表1。

西南地区天然气/页岩气钻井产生的水基钻井岩屑通常采用18 t重型货车(柴油)转运至当地砖厂的暂存场,平均转运距离约25 km,水基钻井岩屑不向空气逸散气体,因此运输过程中除汽车尾气外,不存在其它污染物排放。制备烧结砖时岩屑的添加约8%

(质量比),即处理 1 m³ 水基钻井岩屑,可减少 208 kg 页岩。经过调研,页岩开采地距离砖厂约 1 km,开采的页岩被运往砖厂进行粉碎处理,粉碎 1 kg 页岩耗电量为 0.001 71 kW · h,此处置方式避免了页岩开采、运输及粉碎处理的过程;制砖时,暂存场地的水基钻井岩屑采用装载机进行转运,转运距离 0.5 km;制备砖块时每 1 m³ 原料添加 9.6%的煤和 7.7%的自来水、耗电 55 kW · h。由此推算得到水基钻井岩屑制砖处置过程的能耗为每处理 1 m³ 水基钻井岩屑,重型柴油货车(18 t)运输 2 600 kg/km,消耗柴油 0.15 kg、电力 55 kW · h、水 138 kg、煤 172 kg,见表 1。

表 1 三种处置方式的生命周期清单

项目	阶段	能耗	数值
填埋处置过程输入	转运	柴油/kg	0.003
	填埋	水泥/kg	780
		柴油/kg	0.22
		电/(kW · h)	0.30
制砖处置过程输入	转运	重型柴油货车(18 t)运输/(kg · km ⁻¹)	2 600
	制砖	电/(kW · h)	55
		柴油/kg	0.15
		水/kg	138
		煤/kg	172
制砖处置避免过程输入	页岩开采	页岩开采/kg	208
	运输	电/(kW · h)	0.36
		重型柴油货车(18 t)运输/(kg · km ⁻¹)	208
土壤化利用过程输入	生物处理	电/(kW · h)	0.09
		水/kg	18
		柴油/kg	0.22
		秸秆/kg	130
		自然土运输-重型柴油货车(10 t)运输/(kg · km ⁻¹)	1 300
土壤化利用避免过程输入	土壤化利用	自然土开采油耗/kg	0.04
		自然土运输-重型柴油货车(10 t)运输/(kg · km ⁻¹)	2 600

注:①填埋和土地利用的工程数据为中国石油集团川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院长期工程服务过程的数据平均值;②制砖的工程数据为调研川渝地区 4 家大型砖厂的数据平均值。

水基钻井岩屑土壤化利用方式的生物处理阶段在井场清洁生产区域进行,不存在转运。生物处理阶

段需添加 5%的秸秆和 0.5 倍的自然土。自然土一般采集自 5 km 范围内地区,用 10 t 重型货车(柴油)转运至处理场地;处理过程使用挖掘机进行混合搅拌,同时用通气设备进行供氧,通气设备功率 3 kW,按单次处理 1 000 m³,周期 90 d,每 3 d 通气 1 h 计算;生物处理过程在防渗池中进行,不存在浸出液对土壤和地下水的污染。无害化处理后形成的土壤浸出液满足 GB 3838—2002《地表水环境质量》V 标准,直接用于井场复垦,不存在向土壤和地下水排放污染物,还可减少 1 m³ 自然土的开采和运输。由此推算得到水基钻井岩屑土壤化利用过程的物质和能耗为每处理 1 m³ 水基钻井固废消耗电力 0.09 kW · h、柴油 0.22 kg、水 18 kg、秸秆 130 kg,同时重型柴油货车(10 t)运输 1 300 kg/km,见表 1。

eBalance 是国内专业的 LCA 软件,广泛应用于各领域节能减排及生态设计、研究等工作。本文基于 LCA 的原理及理论框架,选取 eBalance 分析软件进行生命周期建模、清单数据输入和生命周期环境影响评价(LCIA)分析,LCIA 分析选取的数据库为中国生命周期基础数据库(CLCD)。将三种水基钻井岩屑处置方式的输入输出数据导入 eBalance,获得处理 1 m³ 水基钻井岩屑的环境排放清单,见表 2。

表 2 三种水基钻井岩屑处置方式的环境排放清单 kg

项目	污染物名称	处置方式		
		填埋	制烧结砖	土地利用
大气	NH ₃	1.22 × 10 ⁻⁴	1.12 × 10 ⁻⁴	0.33
	总颗粒物	1.13 × 10 ⁻⁵	2.89 × 10 ⁻³	-3.83 × 10 ⁻⁴
	SO ₂	6.41 × 10 ⁻²	0.62	5.50 × 10 ⁻³
	NO _x	5.57 × 10 ⁻⁴	3.96	-6.30
	CO ₂	15.30	66.05	0.17
	CH ₄	0.46	3.21	3.55 × 10 ⁻⁴
	N ₂ O	2.18 × 10 ⁻⁴	9.46 × 10 ⁻⁵	0.14
	CO	2.15 × 10 ⁻²	1.06 × 10 ⁻²	1.81 × 10 ⁻²
	THC	1.96 × 10 ⁻⁸	4.41 × 10 ⁻⁹	8.01 × 10 ⁻⁸
	PM _{2.5}	2.82 × 10 ⁻²	2.78 × 10 ⁻³	1.45 × 10 ⁻²
	HCl	6.79 × 10 ⁻⁴	1.06 × 10 ⁻⁴	7.41 × 10 ⁻⁴
	H ₂ S	5.71 × 10 ⁻⁵	1.54 × 10 ⁻⁵	5.21 × 10 ⁻⁴
	总磷	0.17	0.20	0.15
	TN	1.90 × 10 ⁻²	6.09 × 10 ⁻²	7.81
	水体	氨氮	2.01 × 10 ⁻⁴	2.04 × 10 ⁻⁴
COD		0.10	0.18	-2.76 × 10 ⁻³
OIL		2.70 × 10 ⁻²	5.62 × 10 ⁻²	-5.38 × 10 ⁻²

2 水基钻井岩屑处理生命周期环境影响评价

本文采用 eBalance 软件进行西南地区水基钻井岩屑三种处置方式的 LCIA 分析。选取的与岩屑处置利用关系密切的环境影响评价指标包括:中国资源消耗潜值(CADP)、全球变暖潜值(GWP)、可吸入无机物(RI)、酸化潜值(AP)、富营养化(EP)、固体废物(WS)、化学需氧量(COD)、淡水消耗量(WU)、氨氮(NH₃-N)和氮氧化物(NO_x)。

2.1 特征化分析

采用 eBalance 软件对西南地区水基钻井岩屑三种处置方式的环境影响评价指标进行归一化处理,得到环境影响特征化指标计算结果,见表 3。其中 CADP、GWP、RI、AP、EP 的特征化因子分别为锑、CO₂、PM_{2.5}、SO₂ 和 PO₄³⁻; WS、COD、WU、NH₃-N、NO_x 来源于清单物质,无需特征化。

表 3 三种处置方式生命周期环境影响特征化指标

项目	处置方式		
	填埋	制砖	土壤化利用
AP	1.20	0.42	-3.73
CADP	961.81	104.51	-832.20
COD	0.14	-0.05	-0.13
EP	0.91	0.11	0.32
GWP	625.57	180.82	-73.18
NH ₃ -N	0.00	0.00	0.01
NO _x	1.05	-0.76	-6.07
RI	0.21	0.15	-0.78
WS	67.75	-25.90	-1.29
WU	1 918.11	933.16	718.03

从表 3 可看出,填埋处置方式对 10 种环境影响类型的环境影响均为正值,其中对 CADP、GWP、WS 和 WU 的影响较大,这是因为填埋处置需要使用大量的水泥,而水泥生产过程消耗煤和电力资源较多,因此对资源消耗、全球变暖、WS 和 WU 的影响较大。制砖处置方式除 COD、NO_x 和 WS 的影响为负值外,对其余 7 种指标的环境影响为正值,主要的环境影响为 CADP、GWP 和 WU,原因为制砖处置的运输消耗柴油,且生产过程消耗一定量的煤和电力;但制砖过程中避免了页岩开采和粉碎等过程,从而减少了固废产生,因此 WS 较小。土壤化利用处置方式除 EP、NH₃-N 和 WU 为正值外,其余 7 种指标的环境影响均为负值,其中对 WU 的影响较大,这是因为土壤化利用处置使用一定量的

秸秆,在秸秆生产过程中水消耗较多。相比于填埋和制砖处置方式,土壤化利用对所有 10 种指标的影响均较小,主要是因为土壤化利用的运输距离短,电力消耗少,且避免自然土开采和运输等过程。

利用 eBalance 软件进行三种处置方式的环境影响值计算,结果显示(图 2)三种处置方式中填埋处置的环境影响值最大,为 3.58×10³,高于制砖处置方式的 1.19×10³;土壤化利用处置的环境影响值为 3.54×10³,高于制砖处置,且与填埋处置相当,但可避免复垦过程中的自然土开采和运输等过程,避免阶段的环境影响值为 3.74×10³,因此土壤化利用处置的加权综合环境影响值为 -1.99×10²,说明土壤化利用处置方式会带来环境效益。

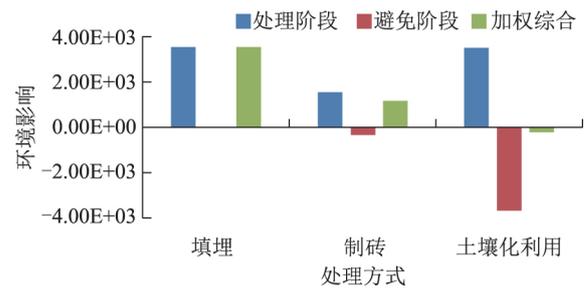


图 2 三种处置方式不同阶段的环境影响值

2.2 过程贡献及敏感度分析

利用 eBalance 软件分析获得各环节环境影响值,导出三种处置方式运输和处置阶段的过程贡献率如表 4 所示,填埋处置运输阶段对环境的影响贡献率较低,仅为 0.11%,而填埋阶段对环境的影响贡献大,贡献率为 99.89%,表明填埋阶段对环境造成的影响大;制砖处置运输阶段对环境的影响贡献率为 0.06%,制砖阶段的贡献率为 99.94%,说明制砖阶段对环境的影响最大;土壤化利用方式不存在固废运输,所有对环境的影响贡献均出自生物处理阶段。

表 4 处置过程各环节对环境的影响贡献

处置方案		填埋	制砖	土壤化利用
运输阶段	环境影响值	4.08	0.98	—
	贡献率/%	0.11	0.06	—
填埋阶段	环境影响值	3 572.66	—	—
	贡献率/%	99.89	—	—
制砖阶段	环境影响值	—	1 534.98	—
	贡献率/%	—	99.94	—
生物处理阶段	环境影响值	—	—	3 538.06
	贡献率/%	—	—	100

为进一步找出对 LCA 结果影响最大的关键清单数据和原始数据,采用 eBalance 软件自带的敏感度计算功能,利用最初建立的生命周期模型计算水基钻井岩屑填埋、制砖和土壤化利用过程中各清单数据的敏感度,结果如表 5 所示,填埋阶段水泥对加权综合指标的敏感度大,达到 99.40%。制砖阶段的 SO₂ 和煤对加权综合指标的敏感度较大,因煤添加量由制砖工艺确定,因此可通过工艺调整减少煤添加量,同时对排放气体进行脱硫,以减少 SO₂ 排放;另外还可调整岩屑制砖工艺,加大岩屑添加量,进一步避免页岩开采,降低加权环境影响潜值。生物处理阶段秸秆对加权综合指标的敏感度大,接近 100%,因此可改进钻井岩屑土壤化处置利用工艺,进一步减少秸秆添加量,从而减少 CO₂、SO₂ 和 NO_x 排放。

表 5 各清单数据对加权综合指标的敏感度分析 %

清单数据	敏感度		
	填埋阶段	制砖阶段	生物处理阶段
CO ₂	100	134.23 ^a	100.01 ^a
水泥	99.40	—	—
水	—	2.01	2.02
柴油	0.42	0.63	0.71
煤	—	63.12	—
平均电网	0.09	11.92	0.90
秸秆	—	—	99.14
SO ₂	100	104.81 ^a	100.17 ^a
NO _x	70.24	32.65	50.04

注:a.敏感度分析数据出现大于 100%是因为其只体现过程输入环节的敏感度数据,而在制砖和生物处理阶段存在避免过程输入环节,该部分敏感度为负值。

3 结 论

1)运用 LCA 模型计算分析西南地区水基钻井岩屑三种处置方式的环境影响,结果表明填埋、制砖和土壤化利用的环境影响值分别为 3.58×10^3 , 1.19×10^3 和 -1.99×10^2 ,制砖和土壤化利用均能有效减少钻井岩屑填埋对环境的影响,其中土壤化利用有更好的环境效益。

2)环境影响特征化指标计算结果表明,制砖和土壤化利用方式对 CADP、GWP、NO_x、WS 和 WU 具有很大优势;相比于制砖,土壤化利用对 CADP、GWP、NO_x 和 WU 的优势更明显。

3)填埋处置对环境贡献最大的是填埋阶段;

两种资源化利用则分别是制砖阶段和生物处理阶段对环境影响的贡献大。制砖阶段可通过工艺调整减少煤添加量、处置尾气和增加岩屑添加量来降低环境影响值;生物处理阶段可通过改进处置工艺来减少秸秆添加量。

4)水基钻井岩屑制砖目前已广泛应用,而土壤化利用还处于应用的起步阶段。本文通过清单对比分析,得到土壤化利用比制砖具备更好的环境效益,为西南地区水基钻井岩屑土壤化利用技术的推广应用提供科学依据。

参 考 文 献

[1] 孙琳,姚昌顺,张涛,等. 高效无害处理钻井施工废弃泥浆工艺[J]. 石化技术,2015(1):31.

[2] 蔡利山. 石油钻井废弃物环境污染特征的分析与评价[J]. 西部探矿工程,2003,15(2):54-57.

[3] 刘宇程,吴冕,陈明燕. 钻井废泥浆固化处理技术研究进展及展望[J]. 环境科学与技术,2010,33(6E):534-537.

[4] 吴戎,雷彬,杨林. 钻井废弃物无害化处理技术研究及应用[J]. 油气田环境保护,2010,20(2):21-24.

[5] 韩敬,钱文,郭晓红,等. 油田钻井废泥浆固化处理研究[J]. 油气田环境保护,2012,22(3):22-26.

[6] 王朝强,梅绪东,张春,等. 我国钻井固废制备烧结砖研究现状[J]. 粉煤灰综合利用,2018(2):93-96.

[7] 陈立荣,黄敏,蒋学彬,等. 微生物-土壤联合处理废弃钻井液渣泥技术[J]. 天然气工业,2015,35(2):100-105.

[8] 杜国勇. 钻井废弃泥浆土壤化实验研究[J]. 天然气工业,2010,30(8):95-97.

[9] 徐小宁,陈郁,张树深,等. 复合硅酸盐水泥的生命周期评价[J]. 环境科学学报,2013,33(9):2632-2638.

[10] ZHANG Y,DUAN S S,LI J H, et al. Life cycle assessment of industrial symbiosis in Songmudao chemical industrial park, Dalian, China[J]. Journal of cleaner production,2017,158:192-199.

[11] FINNVEDEN G,ALBERTSSON A C,BERENDSON J, et al. Solid waste treatment within the framework of life-cycle assessment[J]. Journal of cleaner production,1995,3(4):189-199.

[12] LIU G Y,HAO Y,DONG L, et al. An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management[J]. Resources, conservation and recycling,2017,120:131-143.

[13] 李娜,王根绪,张建强,等. 成都市城市生活垃圾处理生命周期评价[J]. 安徽农业科学,2009,37(2):789-791.

[14] 操家顺,赵嘉楠,操乾,等. 基于生命周期评价的两种城市生活垃圾处理模式对比[J]. 环境保护科学,2019,45(6):92-100.

(下转第 53 页)

士1.33%,但全自动索氏提取系统价格较高,传统索氏提取时间又较长,而超声萃取同时具有设备价格低、萃取时间短的特点,因此在萃取方法上选择超声萃取。

2.1.3 萃取剂的蒸除

通过对比水浴蒸发(水浴温度 70℃,略高于正己烷沸点即可)和旋转蒸发(旋转蒸发水浴温度 25℃、真空度 90 kPa 左右)发现,由于水浴蒸发时间过长,会导致部分油类物质同正己烷一同挥发,可能会使结果偏低;而旋转蒸发具有蒸除时间短,准确度高的优点。

2.2 回收率和精密度

分别取不同钻井现场的固体废物 10.00 g,分别以钻井固体废物中提取的油和钻井过程中添加的纯净白油作为加标物质,用超声萃取方法对所取样品进行测定,测定结果见表 1。

表 1 超声萃取测定结果

样品编号	测定值/g	加标测定值/g	理论加标量/g	实测加标量/g	加标回收率/%
A(加标提取油)	0.882 2	1.412 5	0.56	0.530 3	95
B(加标提取油)	0.858 2	1.409 2	0.55	0.551 0	100
C(加标提取油)	0.833 2	1.529 1	0.66	0.695 9	105
A(加标白油)	0.846 0	1.805 6	1.00	0.959 6	96
B(加标白油)	0.813 2	1.891 4	1.00	1.078 2	108
C(加标白油)	0.824 4	1.835 9	1.00	1.011 5	101

由表 1 可知,回收率在 90%~110%,满足检测需求。

3 结 论

本文采用不同方法对比钻井固体废物中含油量的测定,从实验操作简便、经济性、加标回收率等方面综合考虑,建立超声波萃取+旋转蒸发测定钻井固体废物含油率的方法。此方法操作简单、加标回收率效果理想、操作时间短、成本低;钻井固体废物中油类成分复杂,此方法不易受油类组分的限制,适合钻井固体废物中含油量的测定。

参 考 文 献

- [1] 朱艳吉,王宝辉,盖翠萍.石油类污染物的环境行为及其对环境的影响[J].化工时刊,2006,20(9):66-69.
- [2] 史红星,黄廷林.黄土地区土壤对石油类污染物吸附特性的实验研究[J].环境科学与技术,2002,25(3):10-12.
- [3] 中华人民共和国建设部.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.
- [4] 国家环境保护总局.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.
- [5] 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:中国环境出版集团,2019.
- [6] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.生活饮用水标准检验方法 有机物综合指标:GB/T 5750.7—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.

(收稿日期 2021-01-28)

(编辑 王蕊)

(上接第 50 页)

- [15] 于红艳.在固体废弃物资源化中引入生命周期评价(LCA)方法[J].中国资源综合利用,2004(1):35-37.
- [16] 张芸,秦承露,侯昊晨,等.基于生命周期评价法的贝壳资源化利用环境效益分析——以大连市为例[J].环境污染与防治,2020,42(1):124-128.
- [17] 李志明,熊渝,郭彧.基于生命周期法的水泥混凝土再生利用资源化环境评价[J].交通节能与环保,2018,14(6):69-72.
- [18] 王地春,张智慧,刘睿劼,等.建筑固体废弃物治理全生命周期环境影响评价——以废旧粘土砖为例[J].工程管理学报,2013,27(4):1-5.
- [19] 李雯婧,孙娜,张令戈.大连市生活垃圾处理的生命周期评价[J].环境卫生工程,2009,17(6):55-57.

(收稿日期 2021-04-07)

(编辑 郎延红)