

川渝地区页岩气钻井固废分类资源化处置利用*

陈立荣¹ 胡攀峰² 唐攀² 冯永东³ 蒋学彬¹ 王珏⁴ 沈弼龙³ 刘汉军¹

(1. 中国石油川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院; 2. 四川长宁天然气开发有限责任公司;

3. 中国石油西南油气田公司勘探事业部; 4. 中国石油西南油气田公司重庆气矿)

摘 要 在简要分析川渝地区主要页岩气区长宁、威远和涪陵页岩气钻井作业主要特点基础上,重点论述了页岩气钻井不同井段及不同钻井液体系钻井固废性质特点,针对页岩气钻井水基钻井固废和油基钻屑两大类固废的资源化处置利用情况及目前存在的主要问题进行了论述,提出了川渝地区页岩气钻井固废应分井段或分不同钻井液体系进行收集并分类采用不同技术进行资源化处置利用,以达到更经济安全环保的效果。水基钻井固废就地生物处理资源化土壤利用是最优选择,第二选择是就地作为井场公路及井场场地路基建设利用,其次是制成水泥块或免烧砖,最后是转运制砖利用;脱油后的油基钻屑较好的资源利用方式是协同水泥窑焚烧处置,其次制成水泥块或作井场路基材料利用。同时针对性地提出了页岩气钻井固废分类处理利用等方面的建议措施,对油气勘探钻井环保决策管理具有一定参考价值。

关键词 页岩气; 钻井; 水基钻井固废; 油基钻屑; 资源化处置

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2021.06.001

文章编号: 1005-3158(2021)06-0001-05

Soil Waste Classification, Resource Disposal and Utilization of Shale Gas Drilling in Sichuan-Chongqing Areas

Chen Lirong¹ Hu Panfeng² Tang Pan² Feng Yongdong³
Jiang Xuebin¹ Wang Jue⁴ Shen Bilong³ Liu Hanjun¹

(1. CNPC Sichuan Changqing United Drilling & Exploration Engineering Company,

Safety Environment Quality Supervision and Testing Research Inspection;

2. Sichuan Changning Natural Gas Development Co., Ltd.;

3. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Exploration Management Division;

4. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chongqing Gas Division)

ABSTRACT Based on a brief analysis of the main characteristics of shale gas drilling operations in Changning, Weiyuan and Fuling areas in Sichuan-Chongqing areas, this paper focuses on the characteristics of drilling solid waste in different drilling well section and different drilling fluid systems on shale gas, the resource disposal and utilization of water-based solid waste and oil-based drilling cuttings, as well as the other main problems existing. In addition, this paper puts forward solid wastes in shale gas exploitation in Sichuan-Chongqing area should be collected according to well section or drilling fluid system, and then be recycled with different disposal technologies to achieve the goal of economic, security and environmental protection. Water-based drilling cuttings in situ biological treatment and resource utilization is the best choice; the second option is to use it as foundation construction of well site and road, then used as raw materials for cement or unburned bricks in local area; the last is transfer to other places for brick making. On the other hand, the best resource utilization mode of oil-base drilling cuttings after oil removal should be collaborative

*基金项目: 1. 国家项目“页岩气钻井固废微生物处理土地资源化技术与示范应用”(2016ZX05040-0060-001-004); 2. 中国石油集团油田技术服务公司科研项目“钻井岩屑与废弃油环保利用技术研究及试验”(2020T-008-001); 3. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司科研项目“水基钻井固废分类处置资源化利用技术与示范应用”(CQ2019B-42-2-7)。

陈立荣, 2010年毕业于西南交通大学环境工程专业, 硕士, 高级工程师, 现在中国石油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油气田环境污染治理及技术管理工作。通信地址: 四川省广汉市绍兴路三段11号, 618300。E-mail: clycly555@163.com。

disposal of cement kilns, followed by use as cement raw materials or subgrade materials of well site. This paper also puts forward corresponding suggestions and measures about classified treatment and utilization of solid waste from shale gas drilling etc, which has a certain reference value and guiding significance for managers and workers of environmental protection decision-making in oil and gas exploration drilling.

KEY WORDS shalegas; drilling; water-baseddrilling solid waste; oil-based drilling cuttings; resource disposal and utilization

0 引言

页岩气作为一种重要的非常规油气资源,在我国可采储量达 25 万亿 m^3 ^[1],目前已成为我国油气资源勘探开发的重点。国家发改委等四部委联合制定的《页岩气十三五发展规划》的出台大力推动了国内页岩气的勘探开发,对改善我国能源结构、保障能源安全、带动经济发展具有重要意义。川渝地区作为国家页岩气勘探开发的主要区域,近年页岩气勘探开发发展迅速,重庆涪陵页岩气田 2018 年生产页岩气已达 60 亿 m^3 ,四川长宁-威远区块页岩气 2020 年产能已达 100 亿 m^3 。页岩气勘探开发与常规天然气钻井开发一样,其在钻井作业过程中产生大量固废,但由于页岩气产量有限,递减率高,为获得合理的投资回报,需采用特殊的钻井作业工艺,钻达目的层的钻井前期,往往需采用成本相对较低的水基聚合物钻井液及

空气进行钻井,产生的固废组分相对单一,污染物含量相对较少,危害性较低,而钻达深部页岩目的层位时需进行水平钻进,为确保水平井段的安全钻井,通常需采用成本较高的油基钻井液钻井,进而产生危险废物油基钻屑(属于《国家危险废物名录》(2021 年版)HW08 类),其含油量高达 15%~20%^[2],因此,页岩气全井产生的固废性质存在很大差异,为固废分类资源化处置利用奠定了基础。

1 川渝地区页岩气钻井固废的特点

1.1 页岩气钻井作业情况

川渝地区主要页岩气区长宁、威远和涪陵页岩气钻井主要采用“水基钻井液+空气钻+油基钻井液”方式进行钻井作业。一般的钻井井身结构及对应的钻井液主要成分见表 1。

表 1 川渝地区页岩气钻井井身结构和钻井液的主要成分

项目	表层段	一开	二开	三开
井身深度/m	0~50 左右	50~1 000 左右	1 000~2 000 左右	2 000~4 000 左右的目的层
钻井液体系类型	清水	水基聚合物无固相、聚合物低固相钻井液	水基钾聚合物、有机盐聚合物钻井液	气体
钻井液主要成分	清水	膨润土、聚丙烯酸钾、两性离子聚合物强包被剂、石灰等	膨润土、聚丙烯酸钾、氯化钾、氢氧化钾或氢氧化钠、低黏聚阴离子纤维素、黄原胶、重晶石粉等	空气或空气+雾化剂+防塌剂+气雾稳定剂
固废量占比	约 1/20	约 1/2	约 1/4	约 1/4

1.2 页岩气钻井固废性质特点

钻井固废性质主要与所钻地层岩性及钻井液有关,而不同钻井层段所使用钻井液体系不同,产生的钻井固废组成性质和特点也不同。

1) 表层导管段(0~50 m 左右井深)

在页岩气钻井的表层导管段一般均采用清水钻井,其固废主要是所钻地层岩屑,此岩屑不含任何污染物质。但由于表层钻井钻头尺寸大,虽井深段不深,但固废产生量较多。

2) 一开井段(50~1 000 m 左右井深)

为了提高钻井速度,一开井段基本采用水基聚合物无固相、聚合物低固相钻井液钻井,钻井液主要以无毒低害的无机盐和聚合物为主调配而成,主要含易生物降解的非苯环有机物^[3],固废基本为浅灰色或黄色,污染物组分相对较单一,COD 含量较低,且基本不含汞、铬、铅等重金属有毒有害物质。但此井段所用钻头尺寸大,固废产生量基本占全井总量的 1/2 左右。

3) 二开井段(1 000~2 000 m 左右井深)

在二开井段,主要采用两种钻井液体系钻井。一是采用水基钾聚合物或有机盐聚合物钻井液,钻井液主要以无毒低害的有机盐和聚合物为主调配而成,产生的固废主要含易生物降解的非苯环有机物,并含一定盐分和 Cl^- ,基本不含汞、铬、铅等重金属有毒有害物质^[4]。二是采用空气钻井,通常情况下采用纯空气钻井,如遇地层出水,才加入一定雾化剂、井壁防塌剂和气雾稳定剂等,转化为气体雾化钻井。气体钻井产生的固废主要为气体携带出的地下岩屑,为防止气体钻井粉尘污染大气,常采用水淋洗降尘,降尘钻屑储存在污水应急池中。如采用清洁水淋洗降尘,在纯空气钻井时所产生的固废完全不含污染物;如采用钻井废水进行淋洗降尘,其将含钻井废水中的污染物成分,但其含量相对较少,即使采用气体雾化钻井,由于雾化剂等加量较少,降尘中污染物含量也较低,但气体钻井产生的钻屑颗粒粒径小。二开固废产生量一般占全井的 1/4 左右。

调研分析了川渝地区部分页岩气一二开采用水基聚合物钻井液体系钻井产生的固废中主要污染物性质,其有机污染物 COD、含油量比较低,有害重金属含量也较低,基本都低于 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(其他,风险筛选值, pH 值 >7.5) (表 2);卢邦俊^[5]调查分析了涪陵页岩气水基钻井固废中铜、锌、铬、铍、镍、钡、铝、铅、镉、砷、汞、硒等指标,其值均远低于 HJ 350—2007《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》A 级标准值,部分元素甚至属于低背景含量;张思兰等^[6]研究了西南页岩气水基钻屑特性,结果显示,水基钻屑结晶矿物主要是 SiO_2 、 BaSO_4 、 CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,除水基钻屑中矿物油超出 HJ 350—2007 标准值 0.28 mg/L 外,重金属指标满足 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》中Ⅲ级标准,且均低于 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(其他,风险筛选值, pH 值 >7.5),且除有效磷、碱解氮含量较低外,速效钾、有机质等含量满足 CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》标准要求。

川渝地区页岩气水基钻井固废主要污染物监测结果见表 2。

4) 三开井段(2 000~4 000 m 左右目的层)

为确保目的层页岩层水平段的安全快速钻井,川渝地区的长宁、威远和涪陵页岩气区块在目的层水平井段通常采用油基钻井液进行钻井,以加强钻井液造壁性与封堵性,降低钻井液失水,抑制地层坍塌,防止

表 2 川渝地区页岩气水基钻井固废主要污染物监测结果

项目	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	标准*
井深/m	2 509	1 476	1 220	1 750	—
钻井液体系	聚合物	有机盐 聚合物	聚合物	聚合物	—
pH 值	9.78	7.78	8.5	8.9	
COD/(mg·L ⁻¹)	309	200	128	162	
石油类/(mg·L ⁻¹)	15.6	0.53	0.48	0.27	
Cl^- /(mg·L ⁻¹)	360	451	408	512	
色度/倍	11	16	16	32	
铬/(mg·kg ⁻¹)	ND	73.4	278	89.6	250
镉/(mg·kg ⁻¹)	ND	0.54	0.533	0.11	0.6
砷/(mg·kg ⁻¹)	0.011 9	ND	13.8	5.92	25
汞/(mg·kg ⁻¹)	0.000 13	0.185	0.308	0.367	3.4
铅/(mg·kg ⁻¹)	ND	102	8.7	115	170
镍/(mg·kg ⁻¹)	ND	51.8	82.4	20.6	190
锌/(mg·kg ⁻¹)	0.013	ND	170	ND	300
铜/(mg·kg ⁻¹)	ND	72.1	97.2	42.3	100

注:* GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(试行);“ND”表示低于方法检出限;其他,风险筛选值, pH 值 >7.5 。

卡钻等事故。长宁和威远区块主要以白油为基础油,涪陵区块部分采用柴油,并添加较多的乳化剂、润湿剂、降滤失剂和封堵剂等配制而成。造成此井段的固废含油量高达 15%~20%,同时,固废中污染物组分也较复杂,固废环境危害性大。梅绪东等^[2]研究分析了涪陵页岩气油基钻屑的组成成分,其有机物包含烷烃类、非烃类、胶质和沥青质等,烷烃类占 73%,非烃类包括脂肪酸甲酯、硬脂肪酸盐等,胶质和沥青质主要为含 S/N 等杂原子的环状化合物,油基钻屑浸出液中重金属含量均低于 GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》中的标准限值,重金属含量有检出,但未超过 GB 15618—2018 标准中的风险管控值。卢邦俊^[5]调查分析了涪陵页岩气油基钻屑重金属含量,与 HJ 350—2007 表 1A 标准值比较,锌、钡、镍、铅和镉 5 种元素存在超标现象,尤其是钡、铅超标明显,分析主要原因可能是钻井中使用加重剂造成的;分析了长宁页岩气油基钻屑中的重金属含量,检测的 8 个有害重金属指标均未超过 GB 15618—2018 标准中的风险管控值。此井段固废量一般占全井的 1/4 左右。

2 川渝地区页岩气钻井固废资源化利用情况及存在问题

2.1 页岩气钻井固废资源化利用情况

1) 水基钻井固废

川渝地区主要页岩气区块长宁、威远和涪陵地区对上部地层一二开钻井所有水基钻井固废均采用随钻收集,大部分外运地方砖厂制烧结砖利用,少部分送第三方制备免烧砖或水泥块综合利用。川庆钻探公司安检院采用生物处置土壤化利用技术,在川渝地区 10 多口井,处理水基钻井固废近 1 万 m^3 ,取得较好效果^[7-12]。孙静文等^[13]介绍国外壳牌、雪佛龙、哈里伯顿等公司使用生物技术处理钻屑;某公司曾拟在川东北某井采用生物技术对该井水基钻井固废进行生物处理利用(通过了国家的环评认可),构建了面积达 3 000 m^2 左右的钻井固废生物处理物堆放降解场,虽最终由于其他原因而未实施,但也说明了该技术的可行性和认可度。

2) 油基钻屑

川渝地区主要页岩气区块长宁、威远和涪陵地区单井油基钻屑产生量一般在 400 m^3 左右。对于油基钻屑,主要采用场内预脱油,降至含油量 5% 左右后,一是送当地具备危险废物处置资质的单位进行处置(如采取回转窑高温焚烧工艺),二是送当地水泥厂进行水泥窑协同处理,处理后的熟料作为水泥添加剂,少部分送第三方采用热脱附、热解析和 LRET 溶剂萃取等工艺进一步脱油处置,其脱油后的油基钻屑含油量 $\leq 2\%$,甚至 $\leq 1\%$ ^[2,13],周素林等^[14]报道采用热馏处理技术,可使其含油量 $\leq 0.3\%$ 。脱油后的油基钻屑多数送具备危废处理资质的水泥窑协同处理利用,一些用于制备免烧砖。

2.2 页岩气钻井固废资源化处置利用存在的主要问题

2.2.1 水基钻井固废

1) 水基钻井固废未进行分类收集处置利用,基本是全井一并外送当地制砖厂制砖利用。一是转运量大;二是处置费用高,包括转运前预脱水费用,药剂、人工及设备费用,运输和最终处置费用等;三是增加了转运中的安全环保潜在风险。

2) 地方砖厂接纳有限,价格易受其控制。一是页岩气水基钻井固废只能作为制砖辅料利用,其添加量一般控制在 5%~20%,否则砖质量和烟气排放很难满足要求;二是在转运前为防止固废过稀造成运输中废水漏失,常需加入水泥等胶凝固废并增加其强度,

进而影响制砖质量;三是由于粒径高强度高的硬质钻屑类固废易引起砖在加热中爆裂;四是一些地县监管部门要求接收砖厂需有废物处理资质,加之砖厂本身不愿意接收水基钻井固废,所以符合条件的砖厂较少。

3) 川渝地区一些地县不允许水基钻井固废制砖利用。

4) 接受水基钻井固废的第三方是否能对其合规合法处置利用,委托方往往监管不到位,并存在一定的法律风险。

5) 建设方要求清洁生产服务单位配备板框压滤机作为固废减量化装置,但一是需要加入较多破胶脱稳剂,造成脱除液中含有较多高价阳离子,难以再利用用于调配钻井液,虽固废减量了,但相应增加了废水量;二是无谓增加了固废减量化装置及人员费用等投资;三是压滤设备占地面积较大,并影响钻井现场的“三标”建设;四是此设备不适用于硬质、具一定颗粒粒径的钻屑类固废的挤压脱水。

2.2.2 油基钻屑

1) 场内预脱油处理委托第三方服务机构,其相应配置设备主要为高速离心机、钻屑收集斗及转移叉车、岩屑输送带等,不仅设备及操作人员多、投资高、设备占地面积大,同时也增加了现场安全环保风险,也不利于现场“三标”建设。

2) 油基钻屑由于不论脱油与否都属于危废,需要办理转运处置手续,同时,由于地方利益关系,一些地区办理转移手续难度大,且不允许跨区县转运。

3 结论与建议

3.1 结论

1) 长宁、威远和涪陵页岩气区块页岩气钻井作业的不同井段或不同钻井液体系固废性质存在较大差异。

2) 川渝地区主要页岩气区域的水基钻井固废中有机污染物及有害重金属含量不高,有机污染物主要为易降解的非苯环类有机物。就地生物处理资源化土壤利用是最优选择,此方式既节能又更利于生态修复,如处理后能作为完井井场复耕土,则更具经济生态性,并可减少转运中的安全环保风险。

3) 表层清水钻及纯空气钻清洁水淋洗降尘固废最好在环评中明确可直接收集堆放,完井可直接作为井场复耕用土。这样既可节约一定的转运处置费用,减少相应安全环保风险,还也可减少完井新鲜土的使用。

4) 油基钻屑污染物含量高,部分井还含有一定量

的有害重金属,同时,由于页岩组分性质(其含 SiO_2 为45%~80%, Al_2O_3 为12%~25%, Fe_2O_3 为2%~10%, CaO 为0.2%~12%)与水泥熟料组分性质比较相近,并具有一定强度和粒径,因此,初步脱油后的油基钻屑最好的资源利用方式应是协同水泥窑焚烧处置,其次制成水泥块或作井场路基材料利用也是一种较好的资源化利用途径。

3.2 建议

3.2.1 水基钻井固废处置利用方面

1)应对页岩气钻井不同钻井液体系固废分类收集,分类进行资源化处置利用,这样可实现更经济节能的利用效果。

2)为确保水基钻井固废分类处置利用的实施,建议建设方在环评报告编制中应增加不同井段或不同水基钻井液体系固废的资源化处置利用方式,确保每种处置利用方法均合规合法。如表层清水钻井及纯空气钻清洁水淋洗降尘产生的固废可直接收集堆放,完成后可作为完井井场复耕用土;一二开水基聚合物钻井液固废及空气钻废水淋洗降尘固废可就地采用生物处理资源化土壤利用等。

3)为便于空气钻淋洗降尘固废的收集处置利用,建议川渝地区页岩气钻井平台污水应急池在容积不变情况下可设计构建成两格池,以便其中一格池用来收集处置气体钻井水淋洗降尘(处置利用后可及时腾空该池)。

4)如对页岩气水基钻井固废采用生物处理资源化土壤利用方式处置利用,建议在钻前建设时按单井同时租地构建一个容积为 $600\sim 700\text{ m}^3$ 的生物处理物堆放降解场(平台所有井完钻后,前期水基钻井固废生物处理物已达到相关标准要求,可及时再利用并还租)。

5)根据固废压滤液是否再回用于配制钻井液或压裂液等情况,建设方对页岩气钻井平台是否配备水基钻井固废压滤减量化设备的经济和必要性作全面评估。

3.2.2 油基钻屑处置利用方面

1)按照GB 5085.3—2007《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》规定,油基钻屑经处理后产生的灰渣仍属危废,建议行业或建设方积极向国家或地方争取油基钻屑其含油量降至一定量,如降至2%或1%以下,在经过认定,不具危险废物特性时即可认定为一般固废的政策或规定。

2)建议川渝地区页岩气钻井队应研究配置高速离心机或多级振动筛作为钻井设备集成化配套设备。如能实现油基钻屑含油量降低5%左右时,可不必使用预脱油设备,不仅可节约预脱油设备投资及人员费用,同时可减少此设备占地面积和相应安全环保风险。

3)建议开展油基钻屑生物处理利用技术研究。国外壳牌、雪佛龙、哈里伯顿等很多公司,已开始使用生物处理技术处理油基钻屑。

参考文献

- [1] 闫伦江.我国页岩气开发钻井废物污染防治技术进展[J].油气田环境保护,2018,28(4):1-6.
- [2] 梅绪东,廖新睿,王朝强,等.涪陵页岩气田油基钻屑安全处理与利用实践[J].油气田环境保护,2018,28(2):29-32.
- [3] 谢水祥,邓皓,孙静文,等.油气田聚合物钻井液添加剂分子结构与环境影响的相关性[J].环境工程学报,2017(12):6477-6489.
- [4] 刘瀚吾.钻井液废液对环境的影响分析和处理[J].科技传播,2013(4):210.
- [5] 卢邦俊.页岩气钻屑中重金属成分研究[J].能源环境保护,2015(6):20-21.
- [6] 张思兰,张春,何敏,等.水基钻屑特性分析及其土地利用关键问题初探[J].安全与环境学报,2018,18(3):1150-1154.
- [7] 陈立荣,田建军,蒋学彬,等.钻井固废处置利用技术及工程实例[M].成都:四川科学技术出版社,2018:5.
- [8] 陈立荣,舒畅,李盛林,等.钻井固废资源化处置利用技术综述[J].油气田环境保护,2018,28(2):11-13.
- [9] 何天鹏,舒畅,李盛林,等.油气勘探钻井固体废物处理方法综述[J].石油化工安全环保技术,2018(6):56-61.
- [10] 苏勤,何青水,张辉,等.国外陆上钻井废弃物处理技术[J].石油钻探技术,2010,38(5):106-110.
- [11] 刘涛.陆上石油钻井废弃物综合处理技术探讨[J].安全、健康和环境,2008,8(7):29-30.
- [12] 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(2):100-105.
- [13] 孙静文,许毓,刘晓辉,等.油基钻屑处理及资源化回收利用技术进展[J].石油石化节能,2016(1):30-32.
- [14] 周素林,刘肃枫.页岩气油基钻屑热馏处理技术研究和应用[J].油气田环境保护,2017,27(5):33-37.

(收稿日期 2020-12-18)

(编辑 王薇)