

天然气开采中钻井固体废物处理处置及资源化技术的应用现状与展望

姜棵

(中石化西南石油工程有限公司油田工程服务分公司 621000)

摘要: 本文对国内外天然气开采中钻井固体废物的固化稳定技术、生物降解技术、井下回注技术、掺烧制砖、掺烧制水泥等技术进行了系统的归纳和分析。本文对各技术的特点、处理效果及资源的利用(如制砖、制水泥、修建井场等)进行了阐述。提出了利用各种技术进行钻井液固废物的综合利用,能够有效地实现资源化利用。提出了将钻井固体废物从源头进行分类、在处置中综合运用多种工艺,并根据地区发展需要,探讨终端固化土的资源化利用技术,以实现钻井固体废物再利用。

关键词: 天然气开采; 固体废物处理; 资源化技术

一、天然气开采钻井固体废物处理研究现状

目前,天然气勘探、开发中产生的钻井固体废弃物的处理和处置技术包括固化稳定、生物降解、井下回注等。固相的资源化途径包括制砖、制水泥、回填井场、改良土壤、填筑地基等。本文介绍了钻井固体废物的处理、处理和再利用的优缺点、处理效果和使用情况,并提出了未来的发展方向,为进一步开发和应用打下了坚实的基础。

二、天然气开采钻井固体废物处理方法

2.1 物理方法

目前,在天然气勘探中,填埋是一种常用的物理方法。2005 年之前采用简单填埋方法,在耕地中开挖钻井液池时,先对储液池进行防渗处理,其内容主要包括坑底及周边墙,通常采取机土+塑料膜内衬+有机土、土工膜或 HDPE 等,部分有条件的井场修建的混凝土钻井液池;在钻井完工后,将钻井过程中产生的废弃泥浆全部倒入泥浆池,在一定时期内保持一定的干燥状态。通过自然干燥将其蒸发,待水分完全蒸发后,一般土质泥浆池用耕种土覆盖,进行再植或还耕。混凝土钻井液池在上层进行 20 公分的混凝土覆盖,对固体废物形成全部包裹,混凝土上覆盖 1~1.5m 土层,进行再植或还耕。由于自然干燥的持续时间比较长,且钻井废气泥浆中含有大量抗凝物质,目前,已经不在使用单纯的填埋方法进行处理。在实际应用中,需要先将钻头的固体废物固化或固液分离,再进行密封填埋。深坑封闭技术是一种特殊的填埋技术,可以将钻井固体废物长期与外界隔离,实现较好的环境保护。采用封堵回填法,要求在泥浆池顶部保持 1~1.5 m 的土层或沙层。

干燥技术是将钻井液的稳定性降低到一定程度后,将其置于密封的容器中,自然风干。

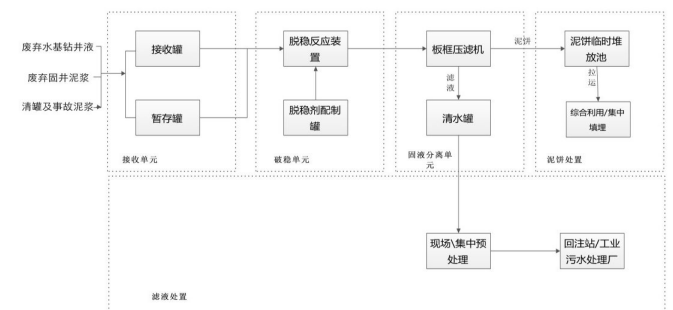
在天然气勘探中,一般使用环状注浆法和地层注水方法来处理钻井液中的固体废物。1)环状注塑。这种技术可以把可抽吸的固体废物注入到表面的套管中,或者用于制造

套管。2)对地层进行注水。在钻井过程中,通过对钻井泥浆中的固体废物进行研磨、剪切和筛选,使其达到一定的粒径,然后利用高压喷射泵将泥浆中的固体废物注入地层。渗透率高的砂岩或砂岩,渗透率较低的页岩为隔离层。

MTC 转化法是利用廉价的水淬渣和激活剂,将废弃完井泥浆的脱水、悬浮性转变为可与天然气井水泥浆媲美的固化剂。

2.2 化学方法

固化填埋法是将破稳剂、包裹剂、调节剂添加到废弃钻井液中,利用废弃钻井液与固化药剂发生一系列的物理化学作用,将钻井液中的有害物质固定、稳定或包含在固化剂中,从而限制和降低其毒性物质的移动和溶解,最后进行安全掩埋和覆盖层。在进行固废处理之前,要对固废中的有害成分进行测试,并选用适当的破稳剂、包裹剂。固体废物固化处理在天然气勘探中的应用,目前已有两种成熟方法:就地固化和集中固化两种。就地固化处置的方法是将钻井中的固体废物在井场不落地环保处理设备中加入破稳剂和处理剂,实现固液分离,废水运往污水厂集中处置,固相废弃物采用物理封闭方式在井场泥浆池进行填埋。集中固化,就是将钻井废弃物全部拉运至集中化处置场站,在处置场站内进行固液分离,产出固相拉运至集中填埋场进行填埋。如中石化在川西地区修建的固化土填埋场,至 2017 年,已集中堆放填埋处理后钻井固废 100 万立方米以上。



燃烧技术是将垃圾在 1200–1500 摄氏度的高温下进行氧化（燃烧），从而将其转变为低危险、无毒的固体。当温度上升，垃圾在燃烧室内滞留的时间增加，其处理效果也会增加，因此，废物中的烃类会被彻底分解。

热处理是对诸如天然气勘探中产生的钻屑、废弃泥浆等固体废料进行加热、蒸发、干燥的处理方式。热解吸附技术利用无氧化工艺对废物中的挥发性和半挥发性有机物进行加热和汽化。热解吸附过程中，挥发性是影响热解吸附的重要因素。因此，利用热解吸附技术，可以轻松地将垃圾中的轻烃、芳烃和其它挥发性有机物进行分离。在低温区，一般可在 250~350℃ 下进行热解吸附，从而使残渣中的轻烃和芳香族类物质（例如：苯、甲苯、乙苯、二甲苯等）。在高温度范围内可达到 520 摄氏度，可以从天然气废料中提取出基本油。在热解吸附工艺中，存在固体、凝析油、凝析油等中间产物，通过分析得到最优的再生/处置方式。为了改善生产过程的经济效益，通常采用回收利用的方法，将废液中的液体相进行再利用。在其它一些情况下，例如高含盐量和含金属的废料，则需要增加一个新的工艺设备来降低环境污染。该工艺的最大特点是对资源的循环利用，具有占地少、自动化程度高、操作简便、无高温、无高压、无燃烧、无燃烧等优点。热分解后的产品可以以液体油的形式进行回收，其固体残留物具有较高的热值。经处理的固体重金属经钝化富集于固体渣中会产生少量的不凝结气体，从而降低 SO₂、NO、有机氯等有害气体的产生，从而减少二次环境污染。目前，这种技术和装备已经在中国的中国石化焦石坝、中国的卫源油田等油田进行了大量的应用。适合于处理含油 10% 以上的固体废弃物。锤片式热机械解吸技术是将电与机械能相结合（锤片），根据废料中的各种物料的沸点，将液体和废水中的水分和油脂进行汽化。本装置具有轻便（可实现吊车提升）、占用空间少、处理率高的特点；最后的固态微粒为惰性物质，在整个工艺中不会产生任何气体；整套装置可以安装在公路或海洋平台的固定位置，方便操作；安全和低廉的处置费用。然而，该技术在操作工况下很难实现稳定的脱油处理，且处理能力受到限制，属于油基固体废弃物的预处理技术。国外已有相当成熟的技术，可应用于海洋钻井废料的处置。中国川庆钻探公司已研制出一套用于四川页岩油基钻屑的成套装备。

2.3 生物处理方法

生物处理技术是把已经降解的细菌和营养物质引入到钻井固体废弃物中，通过细菌的生长、繁殖和内呼吸来对气体和其他有机物进行分解。这项技术中使用的微生物需要通过自然筛选、突变、遗传工程和细胞工程技术来获得。微生物降解技术的核心是：充分的降解菌、足够的氧、足够的营养、水分、温度、pH、盐度等。

土壤耕作技术是将废弃的钻井液用作肥料，或是将废弃的钻井液与有机物质（例如粪便）混在一起，以提高土壤的

浓度，从而有效地将有机物分解。具体来说，是一种将钻井废弃物撒在地表并与其混合的一种机械耕作方法。现在，在英国和加拿大都有大量的使用。这个技术的限制主要取决于农业耕作标准。对于含有石油的泥浆和天然气的钻屑，要在泥土中混合，深度要达到 30 厘米。耕地主要是在土壤中添加碳、氮、磷的平衡，调整土壤的水分和 pH 值，以优化碳氢化合物的降解环境，并利用机械方法改善土壤的氧化性能，实现碳氢化合物的混合。

生物桩是一种将污水集中在桩基础上的生物处理技术，利用适当的水、肥、氧等方法，为微生物提供一个较好的生态环境，以减少废水的排放。在处理钻井液的过程中，通常会先将钻井液放置在有防渗层的处理区，将其预处理后的微生物处理菌注入木材或喷油中，然后将钻井液和木屑混合，并定期进行搅拌，使之维持一定的温度和湿度，使其降解。利用当地的生物或生物膜中的微生物，将土壤中的污染物分解，在被污染的土地上架设管道，为生物降解提供必需的水分，并在被污染的土地上设置一根有孔洞的集水管，以收集废水。生物反应堆还配备了一根空气输送管道和一台空气泵，以确保氧的供给。通过调节温度、湿度、养分、氧气、pH 等因素，可以达到均匀的灌溉和灌溉，加速生物降解。

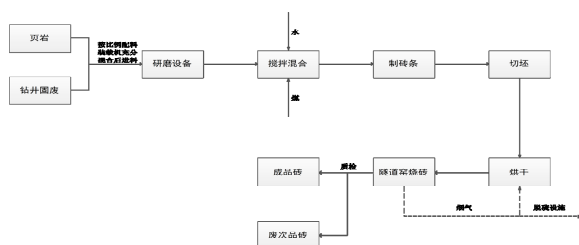
生物降解法是将被降解的微生物和营养物质引入钻井废料，通过微生物的生长、繁殖和体内的呼吸来分解天然气。这一技术所使用的微生物，需要经过自然筛选，诱变育种，基因工程和细胞工程。

生物降解-土壤复合处理技术是一类具有高代谢多样性的微生物，其降解速度快，成本低，降解完全，可实现废物资源的再利用。土壤中含有大量的细菌、真菌、放线菌、藻类、原生生物等。土壤中微生物的含量越高，其降解有机物、矿物质和氨氮越多，其含氧量越大，对好氧细菌的繁殖也越有利。由于土质和土质的特性，使其具有较好的吸附能力，因此，通过与土壤的结合，可以提高其对固体废弃物的分解、复杂有机物的微生物的分解、有机物的分解、简单的无机物、甚至 CO₂、H₂O 的分解，实现对固体废弃物的无害化、资源化。生物处理技术是将土壤耕作、生物量处理和微生物处理相结合的一种生物处理技术。生物菌种对环境的适应能力和对土壤性质的利用，比单一耕法、生物堆积法、生物菌生物降解法都要好，且能大大缩短生物降解的时间，操作更方便，适用范围更广。

3 天然气开采钻井固体废物资源化处理措施分析

3.1 掺烧制砖

天然气开采钻井液中的固相可以用作掺烧制砖，中石化西南油气田在四川、重庆区块内开采天然气，年产生钻井固废约 12 万吨。根据西南油气田绿色企业计划，结合地方生态环境部门要求，与多家年产砖 ≥ 6000 万匹的砖厂合作，将钻井固废掺烧制砖。



钻井固废按照 $\leq 30\%$ 的比例和页岩用装载机进行充分混合,混合后原料进行研磨,粉料进行搅拌混合设备进一步混合并添加水及煤,材料进行陈化,陈化后进入挤砖机,再进行切坯切条制成砖块,后用码坯机将砖块码堆,进如隧道窑进行烘干和烧制,处理过程产生的粉尘和废气经环保设施处理后排放,成品砖包装后销售。项目实施过程中将对砖块强度、环保指标等进行监测,主要指标包括强度、外观,砖浸出液的环保指标,主要为重金属指标,大气污染物的监测主要包括硫化物、氮氧化物等。

3.2 掺烧制水泥

钻井固废可用于掺烧制水泥。首先进行钻井固废的成分分析并同水泥厂生料成分进行对比分析,依据CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃等矿物成分及KH、SM、IM等配料参数标准范围确定钻井固废的理论掺烧比例,考虑到含水率等因素适当扩大掺烧比例的范围。利用挖掘机将钻井固废装载至做好防渗处理的槽车中,将原料转运至水泥厂预处理场。将钻井固废按照质量比例4%~10%输送至水泥生料线上,与生料各组份在均化罐中混合均匀,并依次输送至预热系统、煅烧系统,最后经篦冷机处理后,得到水泥熟料产品。

对钻井固废、协同处置产生的水泥熟料及协同处置过程中窑尾烟气排放进行监测,并出具相关检测报告。对不同掺烧比例进行水泥质量、环保指标监测,水泥质量检测主要依据《普通硅酸盐水泥》(GB175-2007)的要求对游离钙含量、氧化镁、初凝时间、终凝时间、安定性、抗压强度等指标进行监测。依据《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4915-2013)、《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)、《水泥窑协同处置固体废物技术规范》(GB30760-2014)标准开展大气及水泥生产过程生料及熟料中重金属含量监测。对钻井固废添加比例10%的配方做成的熟料粉磨后进行活性检测。检测结果表明,当钻井固废投入比例为10%时,钻井固废通过高温灼烧磨粉生产出的水泥熟料性能良好,各项指标均优于《硅酸盐水泥熟料》标准(GB/T21372-2008)要求。检测表明,投加比例10%的钻井固废协同处置过程中,颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等排放浓度均符合以上昂管标准的相关限值,不造成污染。

3.3 吸附剂

目前,天然气钻探废料的热解工艺是一项应用广泛的技术。该技术是利用热分解技术,将废渣中的重质物质转变为轻质、挥发性和半挥发性化合物。热解后的残余物质在一定程度上有吸附力,经进一步处理后,可用作吸附剂。结果表

明:在热解反应中,热分解温度对吸附剂性能的影响最大,其次为热解时间,其次为温升。结果表明:550℃热解4小时,N₂保护,10℃/min时,对吸附剂的热分解效果最好;采用高温热活化、硝酸钾活化、氢氧化钾活化、氧化钾活化及氢氧化钠活化等方法制备出大比表面积、微孔率的吸附材料。该吸附剂可用于脱硫、除油。另外,该吸附剂具有表面粗糙度大、亲油性好、吸附原油性能好等特点,可用作紧急情况下的防渗透吸附。另外,在进行热分析时,还可以利用碳化技术来获得优良的吸附性。

小结

由于天然气开采钻井中的固体废物组成较为复杂,影响油气钻井固体废物利用的因素主要有重金属、有毒有机物、含油量、含盐量、颗粒组成等因素。在综合考虑天然气勘探开发经济成本与环保成本后,要找到特定的资源综合利用途径,必须对其特征进行全面的分析。在大规模开发的成熟油气田,建议可以采用钻井固废集中处置,形成的固相掺烧制砖、制水泥或热解综合利用。在偏远勘探井的固废处置中,建议可以采用钻井固废物理-化学现场处置后原地填埋还耕的方式进行处置。

参考文献

- [1]杨敏,陈晓岑,赵建夫,李卫超.油气开发钻井废弃物的处理及资源化利用研究[J].新型建筑材料,2021,48(12):155-161+186.
- [2]何天鹏,闫瑞景,舒畅,黄敏,陈立荣,李辉,蒋学彬,张薇.油气勘探天然气开采钻井固体废物处理方法综述[J].天然气化工安全环保技术,2018,34(06):56-61+8.
- [3]郭海霞,陈文焱.固体钻井废弃物资源化利用技术现状[J].绿色环保建材,2017(08):13-15.
- [4]舒畅,张继川.天然气开采钻井固体废物夯实除水装置试验研究[J].中国天然气石化,2017(03):95-96.
- [5]杨毅.钻井废弃物处理技术创新动力机制研究[D].西南天然气大学,2015.
- [6]翁帮华.钻井废弃物综合处理技术研究与应用.四川省,中国天然气西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院,2015-05-09.
- [7]王以顺,王黎.天然气钻井废弃物无害化处理装置的研究与应用[C]//.环保钻井液技术及废弃钻井液处理技术研讨会论文集.,2014:185-192.
- [8]刘涛.陆上天然气钻井废弃物综合处理技术探讨[J].安全、健康和环境,2008(07):29-30+44.