

# 国外陆上钻井废弃物处理技术

苏 勤<sup>1</sup> 何青水<sup>2</sup> 张 辉<sup>1</sup> 张华卫<sup>2</sup> 张奎林<sup>2</sup>

(1. 中国石化 国际石油勘探开发有限公司,北京 100083;2. 中国石化 石油工程技术研究院,北京 100101)

**摘 要:**国外钻井废弃物管理遵循废弃物处理数量最少化、毒性最小化的“4R”原则,并以实现零排放为目标。目前国外常用的钻井废弃物处理方法包括回填、固化、井下回注、固液分离、生物处理和热处理等,在环境敏感性级别差异和不同类型钻井废弃物方面,对比了其适用的范围和优缺点,指出任何一种处理方法目前都很难实现零排放的目标,只有在源头控制毒害物质的使用才能从根本上解决钻井废弃物的环境污染问题。目前国内钻井废弃物处理方法仍比较单一,有必要制订石油钻井废弃物排放标准,加大钻井废弃物处理技术的研发投入。

**关键词:**钻井; 废物处理; 4R 原则; 零排放; 液固分离

**中图分类号:**TE258 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)05-0106-05

## Foreign Onshore Drilling Waste Treatment Technology

Su Qin<sup>1</sup> He Qingshui<sup>2</sup> Zhang Hui<sup>1</sup> Zhang Huawei<sup>2</sup> Zhang Kuilin<sup>2</sup>

(1. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100083, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** Foreign drilling waste treatment follows the principle of “4R”, minimum amount of drilling waste, minimum toxicity and to achieve zero-discharge goal. This paper introduced commonly used drilling waste treatment methods in foreign countries, including backfilling, solidification, underground re-injection, solid-liquid separation, bio-treatment and thermal treatment. The scope of application and advantages and limitations were compared for different environmental sensitivity and different types of drilling waste. No single treatment can achieve zero-discharge goal at present. Only source control of toxic material use can fundamentally solve the environmental pollution of drilling waste. At present, domestic drilling waste treatment methods are still relatively simple, it is necessary to develop the oil drilling waste discharge standards, and promote R & D investment for drilling waste treatment technology.

**Key words:** drilling; waste disposal; 4R rules; zero-discharge; liquid-solid separation

近年来,我国石油勘探开发业务不断向海外拓展,取得了良好的勘探成果,但钻井过程中产生的废弃物的处理却一直是难题。随着各国对环境保护要求的日益严格,废弃物处理费用在钻井成本中的比重也不断提高,因此选择合适的废弃物处理方法,对保护环境、规避国外勘探风险有着重要意义。目前国外对钻井废弃物的处理方法有很多,主要有化学方法(如中和、氧化还原、固化等)、物理方法(如自然蒸发、固液分离、吸附、热处理等)、生物方法(如微生物、生物降解)等。笔者介绍了回填、固化、井下回注、固液分离、生物处理和热处理等国外常用的处理方法,分析对比了不同方法的优缺点,指出了国内钻

井废弃物处理技术的发展方向,以期对海外钻井废弃物处理决策有所帮助。

## 1 国外钻井废弃物毒害物质及分类

国外石油工业材料中列为危险化学品的有水

收稿日期:2010-06-01; 改回日期:2010-08-09

**作者简介:**苏勤(1966—),男,福建人,1989年毕业于石油大学(华东)石油工程专业,工程部经理,高级工程师,主要从事钻井工程管理工作。

**联系方式:**(010)82332961, qsu@sipc. cn

溶性有机卤化物、有机磷化物、有机锡化合物、致癌物质、汞及其化合物、镉及其化合物、矿物油和石油烃类、污染水源的合成物质<sup>[1]</sup>。具体到石油钻井工程中,潜在的毒性化学品有杀菌剂、缓蚀剂、消泡剂、乳化剂/破乳剂、发泡剂、润滑油、聚合物稳定剂、页岩抑制剂及表面活性剂。

对于钻井废弃物的分类,各国不尽相同。欧盟 2001/118/EC《废物/危险废物名录》中规定:含油、含危险成分的钻井液和废弃物属于危险废物,而淡水基、含重晶石、含氯化物的钻井液和废弃物属于一般废弃物<sup>[2]</sup>;美国环境保护署 EPA 在《危险废物鉴别标准》中也明确规定钻井固体废弃物属一般废弃物范畴<sup>[3]</sup>。

## 2 国外钻井废弃物管理原则

国外对于钻井废弃物的管理始终遵循废弃物处理数量最少化、毒性最小化的管理原则,称为“4R”原则,即源头减少(reduce)、再利用(reuse)、再循环(recycle)、再回收(recovery)。近年来,许多国家要求钻井废弃物实现“零排放”(zero-discharge),从源头减少到最终处理都进行严格要求,力争将钻井废弃物对环境的污染降至最低,进一步推动废弃物系统化处理进程。

**源头减少** 一方面随着人们对环境保护的不断重视,现场钻井废弃物管理体系不断完善;另一方面随着石油钻探技术的发展,一些新产品和新技术得到应用,在源头上大大降低了钻井废弃物处理的数量及毒性。源头减少的方法包括选用新型环保钻井液完井液体体系及添加剂、MTC 固井技术、空气钻井技术、提高固控设备使用效率、加强对井场污染源的管理、防止跑冒滴漏、优化钻井设计等。

**再利用** 再利用是指回收能以原始形态再利用的产品和材料,其中包括回收利用性能良好的水基钻井液、油基钻井液、完井液、钻杆、套管护丝、钻井液处理剂或油料包装桶,采用钻井废水冲洗岩屑等。

**再循环** 再循环是指将废弃物提取能源或转换成有用的材料,包括对废弃钻井液、完井液处理后循环再利用,将钻屑用于建筑材料、水泥原材料和改良土壤。

**再回收** 再回收是指从废料中提取有用的材料,包括从废弃加重钻井液中回收重晶石或从废弃盐水钻井液中回收盐和部分干料来配制新钻井液、回收油基钻井液中的基础油作为燃料。

**零排放** 零排放是一个系统的废弃物处理模式<sup>[4]</sup>,集合了多种钻井废弃物处理方法,包括减少源头废弃物排放量、钻井施工中的固液分离、钻井废水分类集中,也包括最终废弃物无害化处理技术,典型的零排放处理流程如图 1 所示。

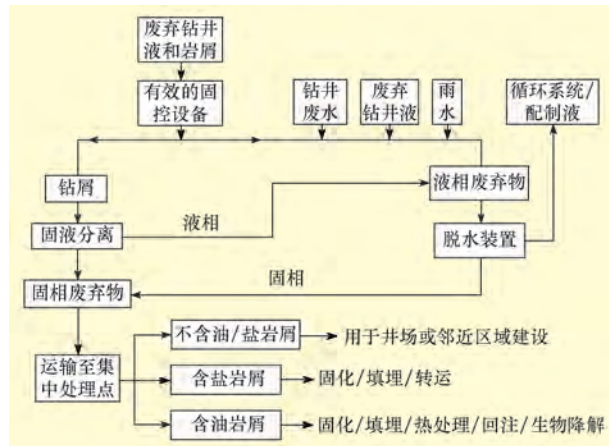


图1 钻井废弃物典型的零排放处理流程  
Fig.1 Typical zero-discharge treatment flow chart

## 3 国外钻井废弃物处理技术

据资料统计<sup>[5]</sup>:美国钻井废弃物中的 38.0% 回注处理, 19.0% 回收再利用, 15.0% 集中处理, 11.0% 自然蒸发, 5.0% 土壤分散处理, 2.5% 道路分散处理, 0.4% 热处理, 小于 0.4% 的随市政或工业垃圾填埋, 9.0% 采用其他方式处理, 如现场回填。选用何种处理方式处理废弃物, 应根据区域的环境敏感性级别及钻井废弃物类型来选择<sup>[6]</sup>。

### 3.1 回填

**简易回填法** 主要适用于普通淡水基钻井液。普通淡水基钻井液的半致死浓度 LC50 (lethal concentration 50) 一般为  $10^5 \sim 10^6$  mg/L<sup>[7]</sup>, 属于低毒或无毒范围, 其中的大部分有害指标均低于排放标准, 可直接排放。通常的作法是完井后用原开挖时产生的土将钻井液坑回填, 回填前可根据需要将钻井废弃物自然晾晒一段时间, 但最长不准超过 12 个月<sup>[8]</sup>。在可耕种场地开挖钻井液坑时, 应注意将表层土隔离堆放, 施工最后将其覆盖在最上层, 恢复原始状态。

**密封回填法** 回填废弃物时的坑需要在底部和四周铺一层有机土, 然后上面铺一层 0.5~0.7 mm 厚的聚乙烯塑料作为垫层, 最后再盖一层有机土; 也可以在底部和四周加固化层或具有一定强度的防渗

膜。密封回填法要求在废弃物之上必须保持顶部的土层有 1.0~1.5 m 厚<sup>[9-10]</sup>,该方法适用于盐水钻井液和油基钻井液废弃物。

### 3.2 固化

固化是通过向废弃钻井液中加入固化剂,通过废弃钻井液与固化剂之间发生一系列物理、化学反应,将有毒有害物质封固在固化物中,降低毒害物质的转移扩散<sup>[11-12]</sup>。该方法操作简便,完井后进行,能有效治理 COD、Cr 值和总铬污染。施工前通过检测废弃物中毒害物质类型来选择合适的固化剂,常用的固化剂有石灰、石膏、硅酸盐、矿渣和水泥等。该方法适用于膨润土钻井液、聚合物钻井液、磺化钻井液和油基钻井液等。按照在井深 4 500 m 左右钻进时产生的废弃钻井液和钻屑,通常需要 30 d 来完成固化施工作业。现场工艺流程为<sup>[13]</sup>:取样化验→方案设计→配料→固化施工→候凝→现场监测→平整井场→验收交接。

### 3.3 井下回注

对毒性较大的钻井废弃物可以通过回注法处理,根据回注位置的不同分为环空回注和地层回注。环空回注是将具有可泵性的废弃物注入表层套管或生产套管环空中,该方法仅能一次性处理废弃物,且该方法受到机械装备和套管腐蚀的影响,如果管道长期遭受腐蚀,一旦损坏则注入液就可能污染水层。地层回注可将废弃的水基或油基钻井液和钻屑,通过地面处理回注到合适地层;用于回注的地层孔隙度要大,回注容量大且深度必须大于 600 m,以免废弃物污染地下水源,该方法主要受到地层注入能力和回注过程中的地层堵塞等不确定因素的影响,还涉及到回注期间地层压裂增注和酸化解堵作业等。地层回注的处理流程如图 2 所示。

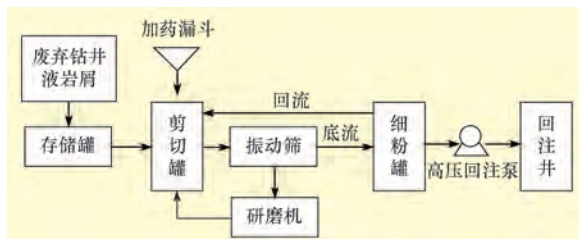


图2 钻井废弃物地层回注处理流程  
Fig.2 Drilling waste reinjection flow chart

### 3.4 固液分离

固液分离技术在国内外的应用已十分广泛,该技

术利用化学絮凝、沉降和机械分离等组合技术,分离钻井液中的固、液两相,液相可以重复使用。由于废弃钻井液是一种复杂的悬浮液,主要由膨润土、无机盐、化学处理剂、加重材料和钻屑等组成,简单自然沉降和机械分离很难破坏钻井液中的胶体体系,需要加入絮凝剂提高机械分离效果。絮凝剂的作用机理是通过破坏固体颗粒表面结构,中和表面的电荷,减少颗粒之间的静电引力,促使固相颗粒聚结变大,从而达到固液分离的目的。采用固液分离技术可以使钻井液维护的稀释倍率从 1.6 降低至 0.3<sup>[14]</sup>,大大节约钻井液成本,特别适合于偏远缺水地区的钻井作业。最近日本在常规固液分离技术的基础上引入真空蒸发分离装置、卧式旋流压缩装置等,进一步提高了随钻处理钻井废弃物的效果<sup>[15]</sup>。但固液分离属于过程处理,经过固液分离后的钻井废弃物仍需终端处理。目前国外常用的固液分离设备及流程如图 3 所示。

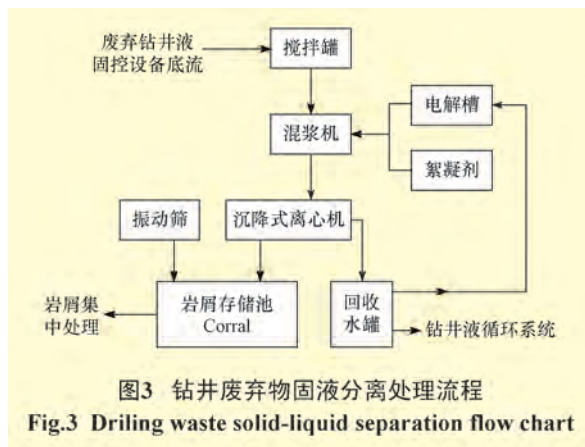


图3 钻井废弃物固液分离处理流程  
Fig.3 Drilling waste solid-liquid separation flow chart

### 3.5 生物处理

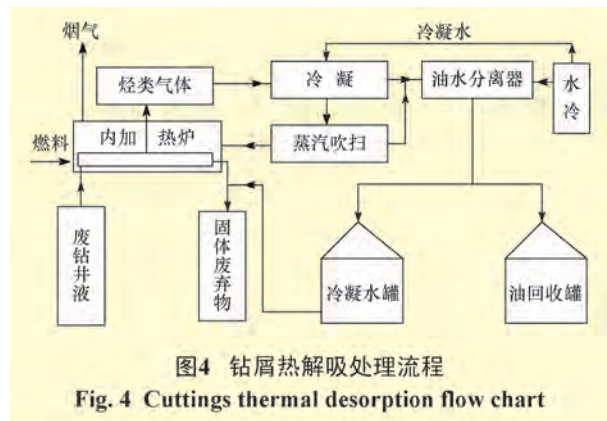
生物处理方法是向钻井废弃物中引入降解菌和营养物质,通过细菌的生长、繁殖和内呼吸,来分解钻井废弃物中的油污。该方法中所用微生物需要通过自然筛选或诱变培育及基因工程、细胞工程技术获得。生物处理技术主要的影响因素有充足的降解菌数量、足够的氧气、提供降解菌新陈代谢必要的营养元素、湿度控制、温度、pH 值和盐度<sup>[16]</sup>。

### 3.6 热处理

热处理是通过将钻屑进行外界加热,将钻屑中所含油分、易挥发有机物和水分蒸发并收集后处理,热处理方法可以处理固相含量为 30%~50% 的废弃物<sup>[17]</sup>,处理后的钻屑含油量小于 1%。目前国外常用的热解吸装置<sup>[18]</sup>使用燃料燃烧、电动或电磁能



源热提供的热量加温脱附含油废弃物,热解吸装置一般有低温系统及高温系统两种类型,低温系统的温度通常是 250~350 ℃,而高温系统的温度高达 520 ℃。低温系统足以处理轻油废弃物,高温系统将能够处理含量较低的重油废弃物<sup>[19]</sup>。热解吸处理工艺流程见图 4。



4 钻井废弃物不同处理技术对比

尽管钻井废弃物的处理方法很多,但每种方法都有其自身的适用范围和优缺点:

- 1) 回填法,主要是简单的地面隔绝,未消除钻井废弃物中的毒害物质,适用于沙漠、戈壁等环境敏感性低的地区;
- 2) 固化法,采用物理、化学方法降低钻井废弃物中的毒害物质含量,适用于陆上大多数环境中;
- 3) 井下回注法,通常利用压力衰竭的开发井或者新钻井进行回注,投资成本高,适用于成规模的油田整体开发中;
- 4) 固液分离法,不用开挖钻井液池,实时随钻处理,循环利用液相来降低钻井用水量及钻井液维护费用,适合于农田、雨林等陆上环境敏感性高的地区,同时也适用于缺水地区;
- 5) 生物处理及热处理,用来处理经过固液分离回收基液油之后的含油钻屑、污泥。
- 表 1 为钻井废弃物不同处理技术的适用范围和优缺点对比。从表 1 可以看出,回填、固化、井下回注、生物处理以及热处理法属于钻井废弃物终端处理方式,缺少了过程管理;而固液分离法是对钻井废弃物的过程管理,但分离出的固相需要进行进一步终端处理,因此现有单一的处理方式均不能满足零排放的要求,国外往往采用组合方式如“固液分离+回填”、“固液分离+固化”等方法来处理钻井废弃物。

表 1 不同钻井废弃物处理技术对比			
Table 1 Comparison of different drilling waste treatment technologies			
处理方式	主要适用范围		优缺点对比
	环境敏感性	钻井液体系	
简易回填	低	普通淡水钻井液及岩屑	优点:操作简单,成本低廉
密封回填		油基、盐基钻井液及岩屑	缺点:未消除有毒污染物,存在污染隐患
固化	中	淡水基/低盐度/油基钻井液及钻屑	优点:完井后施工,成本较低,处理时间短 缺点:废弃物处理后体积增大
井下回注	高	各类钻井液及钻屑	优点:彻底消除地面污染 缺点:设备复杂,成本高,受限于地层物性
固液分离	高	水基及油基钻井液	优点:随钻处理,无需开挖钻井液坑,回收利用水相 缺点:设备租赁成本较高,需要终端处理
生物处理	中	含油钻屑、污泥	优点:环保,经济 缺点:选择降解菌困难,降解时间受环境影响大
热处理	高	含油钻屑、污泥	优点:物理方法,无需处理剂 缺点:运行成本高,产生烟尘和浓烈气味

5 结论及建议

1) 从源头上控制毒害物质的使用,减少有毒有害钻井废弃物的排放,才能从根本上解决钻井废弃物的环境污染问题。近年来国内已开发出具有无

毒、易生物降解等环保特性的多元醇钻井液、合成基钻井液、甲酸盐钻井液及甲基葡萄糖苷钻井液,缓解了复杂地质条件下安全钻井与环境保护之间的矛盾。

2) 缺乏认同的钻井废弃物排放标准制约了国内钻井废弃物处理技术的发展。由于目前钻井液体

系及处理剂种类多,钻井废弃物中成分复杂多样,国内固化法通常依照国家污水综合排放标准,通过测定固化物浸出物 COD、石油类、六价铬、总铬及 pH 值来判断是否达到排放要求,但有限的检测项目尚不能被人们普遍认同,因此有必要针对不同钻井液体系的环境污染指标进行评估,制订石油领域的钻井废弃物排放标准,加大钻井废弃物处理技术的研发投入。

3) 国内钻井废弃物处理方式从早期的简单回填到现在普遍使用的固化方式,体现了国内对环保问题的重视和对钻井废弃物的管理日益严格。但与国外相比,国内的处理方式仍很单一,钻井废弃物配套处理设备研发力度不够,尤其是国内常用的固液分离设备性能效果与国外相比尚存在较大差距,自主研发撬装式、可移动随钻处理设备将是一个发展趋势。

### 参 考 文 献

- [1] Bashat H. Managing waste in exploration and production activities of petroleum industry[EB/OL]. [2010-06-01]. <http://www.ecaa.gov.eg/english/main/Env2003/Day1/Oil/bashat.aeec.pdf>.
- [2] Environmental Protection Agency. European waste catalogue and hazardous waste list[EB/OL]. [2010-06-01]. [http://www.epa.ie/downloads/forms/wreport/nwr/EPA\\_waste\\_catalogue\\_hazard\\_list\\_2002.pdf](http://www.epa.ie/downloads/forms/wreport/nwr/EPA_waste_catalogue_hazard_list_2002.pdf).
- [3] Environmental Protection Agency(America). Identification and listing of hazardous waste[S/OL]. [2010-06-01]. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&tpl=%2Findex.tpl>.
- [4] 薛玉志,马云谦,李公让,等.海上废弃钻井液处理研究[J].石油钻探技术,2008,36(5):19-23.  
Xue Yuzhi, Ma Yunqian Li Gongrang, et al. Offshore waste drilling fluid treatmet [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008,36(5):19-23.
- [5] ICF Consulting for The American Petroleum Institute. Overview of exploration and production waste volumes and waste management practices in the United States[EB/OL]. [2010-06-01]. <http://www.api.org/aboutoilgas/sectors/explore/waste-management.cfm>.
- [6] 羊东晓.塔河油田废弃钻井液回收利用经济性评价[J].石油钻探技术,2004,32(3):83-84.  
Yang Dongxiao. The economic evaluation on recycling waste muds in Tahe Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004,32(3):83-84.
- [7] 蔡利山,刘四海,郭才钊.石油钻井环境保护技术综述[J].西部探矿工程,2002,14(3):132-134.  
Cai Lishan, Liu Sihai, Guo Caixuan. Technology of environmental protection of petroleum drilling[J]. West-China Exploration Engineering, 2002,14(3):132-134.
- [8] International Finance Corporation & World Bank Group. Environmental, health, and safety guidelines for onshore oil and gas development[EB/OL]. [2010-06-01]. <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EHSGuidelines>.
- [9] Iran Standard High Council. Iran petroleum standard, disposal of solid waste[S]. Iran:1997.
- [10] 赵雄虎,王凤春.废弃钻井液处理研究进展[J].钻井液与完井液,2004,21(2):43-48.  
Zhao Xionghu, Wang Fengchun. Research development of waste drilling fluids disposal[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2004,21(2):43-48.
- [11] 赵吉平,任中启,刘爱军,等.废弃钻井物的二次利用和无害化处理[J].石油钻探技术,2003,31(1):37-39.  
Zhao Jiping, Ren Zhongqi, Liu Aijun, et al. Reuse and harmless process of discarded drilling materials [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003,31(1):37-39.
- [12] 宋明全,蔡利山,刘四海.钻井废浆液固化剂 HB-1 的研制与应用[J].石油钻探技术,2001,29(3):53-55.  
Song Mingquan, Cai Lishan, Liu Sihai. The developments and applications of hardener HB-1 for waste drilling fluids[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2001,29(3):53-55.
- [13] 韩应合,李俊波.废弃钻井液无害化处理技术及应用[J].特种油气藏,2005,12(2):100-102.  
Han Yinghe, Li Junbo. Innocuous treatment of wasted drilling fluid[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2005,12(2):100-102.
- [14] Thomas Geehan, Alan Gilmour, Guo Quan. The cutting edge in drilling-waste management[EB/OL]. [2010-06-01]. [http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield\\_review/ors06/win06/p54\\_67.ashx](http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors06/win06/p54_67.ashx).
- [15] 何仲,刘希洁,何伦.日本废弃固体钻井物处理技术的发展新动向[J].钻井液与完井液,2009,26(2):115-116.  
He Zhong, Liu Xijie, He Guan. The new trend of drilling waste treatment technology in Japan [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009,26(2):115-116.
- [16] 曾玉彬,黄锋,刘世海,等.钻井废弃物的生物处理技术研究进展[J].精细石油化工进展,2008,9(2):42-45.  
Zeng Yubin, Huang Feng, Liu Shihai, et al. Development of biological treatment technology for drilling wastes [J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2008,9(2):42-45.
- [17] Iran Standard High Council. Process design of plant solid waste treatment and disposal systems[S]. Iran:1997.
- [18] 李欣.油气田钻井废弃物的处理原则和工艺[J].环境工程,2003,21(3):58-59.  
Li Xin. Principle and process of treating drilling wastes in oil-gas fields[J]. Environmental Engineering, 2003,21(3):58-59.
- [19] Owens C K, Rycroft D R, Stephenson M T, et al. Exploration and production waste management guidelines[R/OL]. [2010-06-01]. <http://www.deq.state.la.us/portal/Portals/0/permits/sw/ePwaste%20magt%20gdlns%201993.pdf>.