油气勘探钻井固废减量化技术措施略论*

陈立荣 何天鹏 李盛林 张 敏 黄 敏 李 辉 舒 畅 闫瑞景

（中国石油川庆钻探工程公司安全环保质量监督检测研究院）

摘 要 文章基于国外对钻井废物管理遵循的废物处理数量最少化、毒性最小化的 4R0 管理原则，论述了降低减少钻井固废毒性的措施，并从钻井固废源头减量化、过程控制减量化、再回收和再利用减量化以及末端减量化四个方面分别论述了减少钻井固废产生和处理量的技术及管理处置措施，对油气田环保工作者和相关决策者具有一定指导意义。

关键词 油气勘探；钻井；固废；毒性；产生量；处置；减量化；措施

DOI：10.3969/j.issn.1005-3158.2018.03.003 **文章编号**：1005-3158(2018)03-0008-05

0 引 言

由于石油天然气勘探钻井作业的特殊性，在钻井过程中会产生大量的固体废物，通常称为钻井固废，一般产生量为每米进尺 0.3～0.4 m^3，其主要来源为振动筛分离脱除的钻屑、清掏钻井液罐及方井产生的废渣泥、钻井过程及完钻时产生的废钻井液、废水处理时产生的渣泥及除砂除泥器脱出的固废等[1]。这些固废组分复杂，包含了钻井液处理剂的所有成分，具有固相含量高、有机物含量高、pH 值较高、黏附性强、色度深、有害重金属含量低等特点，因此其具有较大的环境危害性和处置、资源化利用难度，已成为当前油气勘探钻井污染治理的处置重点和难点。如何降低钻井固废危害性，减少其产生量，降低处置及资源化利用成本，已成为各界环保工作者的主要研究内容。本文基于国外对钻井废物管理遵循的废物处理数量最少化、毒性最小化的 4R0 管理原则，即源头减少(reduce)、再利用(reuse)、再循环(recycle)、再回收(recovery)、零排放(zero-discharge)[2]，综合论述分析了各种固废处理技术及管理措施，对油气田环保工作者和相关决策者具有一定借鉴意义。

1 钻井固废毒性降低措施

1.1 使用环境影响小的钻井液处理剂

钻井废物对环境的危害性差别很大，这主要取决于所用的钻井液及其添加剂的类型，钻井液处理剂对主要污染物(COD 等)的贡献差别较大，因此，开发优选高质量的无毒、微毒或可生物降解的钻井液处理剂(如纤维类、淀粉类、丹宁类和腐植酸类)[3]，选择具有相同功能但对污染物贡献值小的处理剂，是从根本上降低钻井固废危险性，减少其污染的首要措施。

1.2 使用环保型低危害的钻井液体系技术

研发使用新型低污染钻井液，如甲酸盐基钻井液完井液体系、共聚物-聚丙烯乙二醇体系(COP-PPG)、新型 DAP 聚合物钻井液、甘油聚合物钻井液、MCAT 阳离子聚合物水基钻井液、酯基钻井液体系等。上述钻井液体系的毒性较低，容易自然降解，适用于环境敏感地区。如雪佛龙公司使用的钻井泥浆 NAF 体系，其是基于线性石蜡(正十四烷、正十六烷)及不含氯化物的分散质(使用醋酸钾)的无水泥浆，该泥浆具有生物降解效果更好，能将钻井产生的废物转化为可再次使用的土壤，不含有害金属[4]。

1.3 采用先进的钻井工艺技术

通过采用先进的钻井工艺技术，达到缩短钻井周期、节约钻井液处理剂使用量的目的，从而减少其危险性。

1.4 优选使用高效的“一筛两器”

钻井作业的“一筛两器”是指振动筛、除砂器和除泥器。优选使用高效的“一筛两器”，可确保泥浆更干净，确保钻井液性能，以达到减少钻井液性能维护次数及减少钻井液处理剂使用量的目的，进而降低其组

* 国家重大专项项目“页岩气等非常规油气开发环境检测与保护关键技术”中课题 6“页岩气和煤层气开发环境保护技术集成及关键装备”(编号 2016ZX05040-006)和中国石油集团公司项目“页岩气开发废弃物处理与利用关键技术研究与示范应用”(编号 2016E-1202)中的课题“页岩气等非常规油气开发环境检测与保护技术”。

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

分的复杂性和危害性。

2　钻井固废减量化技术及管理措施

2.1　钻井固废源头减量化技术措施

2.1.1　小井眼工艺设计技术

钻井固废一半左右来源于钻井产生的钻屑,即加深井眼时随井下钻井液返排出的各地下层位中的岩屑或黏土等,如在钻井设计中设计小井眼,也即钻井井眼直径小,采用小钻头钻井,随井深增加返出的钻屑量就会少。这是从源头控制减量的最主要手段。

2.1.2　套管钻井技术

套管钻井技术作为一种正在发展中的新技术,正日益引起国内外石油工程界的关注。国外近年还出现了用套管代替钻杆,但仍完全沿用常规钻井技术的方法。套管钻井可同时进行钻进、下套管和井的评价作业[5]。其优点是:钻机和作业效率高、事故少、省去划眼与倒划眼、燃料消耗低、减少了狗腿和井斜。通过缩小井眼直径可减少钻井液用量。

2.1.3　使用少量钻井液的技术

在选定的地层中,可以用空气或其他气体通过钻井系统循环作为钻井液进行钻井。美国能源部(1999 年)描述了 4 种不同类型的气体钻井:空气颗粒钻井、空气喷雾钻井、泡沫钻井和充气钻井液钻井。这些都依靠气体或气体和钻井液的混合物将钻屑提升到地面。气体钻井不需要和传统钻井一样的地面大储存池。因而,这种钻井技术可在环境敏感地区使用。钻井液的选择能够影响整个钻井液用量和岩屑产生量。合成基钻井液比水基钻井液钻的井眼干净,掉块较少,且可以被最大程度地循环使用。

2.1.4　泥浆转化水泥浆技术

泥浆转化水泥浆(MTC)技术,又称多功能钻井液技术,它是在原有钻井液基础上转化而来的,即添加不多的水淬高炉矿渣或其他可水化材料,基本上不影响钻井液的滤失性、润滑性、流变性、携岩能力及密度等性能。它不仅能大幅降低固井成本,还为减少废钻井液的污染提供了全新思路。MTC 技术充分利用了工业废料高炉水淬矿渣和废钻井液,并在泥浆功能上转化出水泥浆功能,技术先进、经济合理、社会和环境效益较好。

2.1.5　优选使用高效的振动筛

振动筛是控制钻屑含水量的关键设备,可使用高频、双层及长筛网筛振动筛。长筛网筛振动筛由于延长了钻屑在振动筛网上的过滤时间,因此,脱液脱水效果更好。中国石油川庆钻探工程公司长庆钻井公司研发的长筛振动筛应用效果证明其脱液脱水效果较显著,可实现更好的钻屑减量化。高频振动筛更易使钻屑黏附着的水分离,使钻屑达到更好的固液分离效果。

2.2　钻井固废过程控制措施

2.2.1　钻井液性能的维护调配减量化

①钻井过程中产生的废钻井液是钻井固废主要来源之一,一是在钻井过程中由于钻井液受地下水质或地层岩层物(如石膏层、盐层)污染,而钻井液相关服务人员技术不能满足调配维护的正常作业要求,就可能使全井钻井液无法再利用,大大增加了钻井固废量;二是由于钻井液相关服务人员在钻井液性能调配维护时加量过多,造成钻井液性能无法满足正常作业要求,导致全井钻井液无法再利用,增加了固废量。

②掏钻井液罐产生的钻井液渣泥,其产生量大,因此,加强钻井液性能维护工作,尽量使钻井液具备良好的黏切能力而不造成过多沉淀,减少掏钻井液罐次数。

2.2.2　确保“一筛两器”完好率和使用率减量化

确保“一筛两器”完好率和使用率,可减少钻井液中的砂泥含量,进而减少掏钻井液罐次数,从而达到固废减量的目的。同时,也确保钻井液性能,减少了钻井液性能维护次数及钻井液处理剂使用量。

2.2.3　空气钻粉尘清水淋洗除尘减量化

空气钻钻井时产生的粉尘如采用废水淋洗降尘,淋洗尘将含有污染物而成为固废;而如采用清水直接淋洗降尘可收集后直接堆放或再利用,大大减少固废产生量和处理量。

2.2.4　起下钻钻杆带出的钻井液控制减量化技术

现为发现和保护油气层,均采用欠平衡技术进行钻井,特别是四川油气田等以天然气为勘探钻井目的的作业,加之钻井液往往黏切力较高,这样当取下钻加长钻具或换钻头时钻井液会随钻具带出于井口转盘处,如在转盘下方安置倒立钻井液伞对带出的钻井液进行回收再利用,可减少钻井固废的产生及处理量。

2.2.5　清掏钻井液循环罐固废控制减量化

清掏钻井液循环罐产生的钻井固废量较大,为减少其产生量,一是采取人工干掏法清掏,二是采取渣泥汲排泵汲取转出。应避免采用水冲掏方式,否则将会增加固废产生及处理量。

2.2.6　钻井液体系转化时的固废控制减量化

一口井钻井多数情况下会采取 3 种左右的钻井液体系钻井,在钻井液体系转化时应尽可能在原基浆

基础上进行，这样可达到节约原料和减少污染物产生排放量的目的。同时尽可能选择“一条龙”钻井液体系作业完全井，减少因体系转化造成的废钻井液的产生。

2.2.7 管理控制减量化

①合理配置并控制固井时的返排液，尽量减少返排物。

②妥善存放和保管钻井液处理剂，存放房（处）要有遮雨设施，以防钻井液处理剂失效而转变成钻井固废。

③加强对现场钻井液技术服务人员的业务培训，提高其业务能力，管理控制和调配好钻井液，避免钻井液最终转化成钻井固废。

④根据工程要求合理配置储备钻井液，并定期对储备钻井液进行维护（主要是冲搅，防止沉淀于池底），减少废钻井液的产生。

⑤加强设备管理保养，杜绝设备的“跑、冒、滴、漏”。

⑥制定鼓励钻井液的再回收利用奖惩制度。完井剩余钻井液是钻井固废的主要来源之一，回收利用原井队或其他井队的钻井液不仅可减少废钻井液的产生量和处理量，又可达到节约能源和成本之目的。因此制定鼓励钻井液的再回收利用奖惩制度，对控制固废数量很有必要且具有重要意义。

2.3 钻井固废再回收和再利用减量化措施

2.3.1 直接重复利用钻井液

钻井固废约一半来源于钻井液，一口井完钻后，循环系统和储备钻井液往往达 600 m^3 左右，深井达 800 m^3。如完钻后这些钻井液能被直接转移到另一新井应用，将大大减少钻井固废的产生和处理量。

2.3.2 处理后再重复利用钻井液

由于不同井地质构造不同，要求的钻井液性能有差异，一口井完钻后其剩余钻井液直接转移到其他井应用不一定能满足新井设计的钻井液性能要求，这种情况下可先把钻井液转移到钻井液处理站，对其调配到满足新井性能要求指标后再重复利用。

2.3.3 硬质钻屑清洗直接资源化

对于硬质钻屑，可采取清水淋洗措施，去除污染物质。处理后的岩屑可用于填充材料、垃圾填埋场日常的覆盖材料、混凝土、砖或石板制造的填充料或骨料，也可运送到贮存场另做他用。

2.3.4 含油岩屑作为燃料

在采用油基钻井液钻井时产生的油基固废，黏附和包裹着大量油，可直接用于制砖厂的燃烧热源。

2.3.5 用于制造建筑材料

经振动筛脱出的硬质岩屑和页岩气钻井作业中产生的经脱油后的油基页岩钻屑，由于其具有较大硬度，因此可制成水泥块、砖，或固化用作路基材料再利用。

2.3.6 用于制造水泥使用

由于页岩组分与水泥原料组分较相近，因此，页岩气钻井作业中产生的经脱油后的油基页岩钻屑，可送于当地水泥厂用作制造水泥原材料。四川威远区块页岩气钻井脱油后的油基钻屑主要采用此方式利用。

2.4 钻井固废末端减量化技术措施

钻井固废末端减量十分重要和关键，其主要技术措施是对钻井固废分别采用化学混凝脱稳、絮凝增大、过滤和机械分离技术或其组合技术，分离钻井固废中的固、液两相，实现固液分离，降低固废含水率，液相可以重复使用，进而达到固废处理量最小化的目的。常用的末端减量化技术主要有离心分离技术、压滤技术和过滤技术，其各有优缺点和适用范围。

2.4.1 固废离心分离技术

①技术原理：离心装置由转载和带空心转轴的螺旋输送器组成，污泥由空心转轴送入转筒，在高速旋转产生的离心力下被甩入转鼓腔内，形成固液分离，固相在螺旋输送器的推动下，被输送到转鼓的锥端由出口连续排出；液环层的液体则由堰口连续“溢流”排至转鼓外靠重力排出。

②适用范围：适用于钻井固废中固相与液相密度存在一定差值的钻井固废的固液分离，即适用于钻井固废中的钻屑的固液分离，同时也常用于页岩气钻井中含油钻屑的离心脱油分离，但不适用于除钻屑外的其他钻井固废如废泥浆、处理水产生渣泥和掏泥浆罐的渣泥等的固液分离。

③优点：设备操作简单，技术要求不高，设备少，占地面积少，不需添加化学脱稳剂和絮凝剂，脱除液主要是钻井液，可重复利用，固相含水率较低。

④缺点：离心设备耗能高、噪声大，如脱除的钻井液不能或无法重复利用，其仍为固废，没实现减量目的。

2.4.2 固废压滤技术

①技术原理：压滤技术是采取挤压原理，把固相包裹吸附着的水分挤压分离出来。

由于废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、加重材料等组成，含有大量的胶体，简单自然沉降和物理机械分离很难破坏其胶

体体系而实现破胶脱稳,主要是通过添加化学试剂,使其中固相形成一定强度的絮凝体,实现被挤压而固液分离脱水,达到固液分离要求。

适用和常用的钻井固废压滤技术装备主要有板框式、带式和叠式压滤脱水机。

板框式压滤脱水机:在密闭状态下,经过高压泵打入的污泥经过板框的挤压,使污泥中的水通过滤布排出,达到脱水目的。一般板框式压滤机与其他类型脱水机相比,泥饼含固率最高,可达 35%。但滤板的移动方式,要求可以通过液压—气动装置全自动或半自动完成,操作不方便;滤布振荡装置,使滤饼易于脱落。与其他型式脱水机相比占地面积较大。

带式压滤脱水机:由上下两条张紧的滤带夹带着污泥层,从一连串有规律排列的辊压筒中呈 S 形经过,依靠滤带本身的张力形成对污泥层的压榨和剪切力,把污泥层中的毛细水挤压出来,从而实现污泥脱水。

叠式压滤脱水机:由固定环和游动环相互层叠加,螺旋轴贯穿其中形成的过滤主体,通过重力浓缩以及污泥在推进过程中受到背压板形成的内压作用实现充分脱水,滤液从固定环和活动环所形成的滤缝排出,泥饼从脱水部的末端排出。

②适用范围:各种压虑脱水技术装备适用范围不同,板框式和叠式压滤脱水技术装备适合于所有钻井固废的固液分离;带式压滤脱水技术装备主要适用于不含硬质固相的钻井固体中的废钻井液的固液分离,不适合于钻屑的固液分离。

③优点:可使钻井固废实现很低的含水率,固废减量化大,脱出的液相中固相含量少,可回用作为压滤设备的反冲洗水,或把其作为废水进行处置。

④缺点:技术应用配套设备配置多,占地面多,需各种脱稳剂和絮凝剂等的配置加药设备,回流污泥多,反冲洗用水量大、能耗高,操作维修复杂,由于污泥负荷波动的影响,最佳脱稳和絮凝条件较难控制,对运转人员的素质要求较高。同时,由于加入了化学脱稳剂,造成脱出水中含有化学脱稳剂成分,回用来调配钻井液,会对钻井液性能造成影响,因此脱出液或水难以回收再利用。

2.4.3 过滤技术

①技术原理:在外力作用下,根据钻井固废不同组分颗粒的粒径差异,使固废中的水分(液体)通过多孔介质的孔道,而固体颗粒被截留在介质上,从而实现固液分离脱水。

过滤技术装备主要有振动筛、真空过滤、加压过滤脱水、离心过滤脱水、干化床式和砂滤床式脱水技术装备。总体讲,由于此技术装备多数具有较明显优点,因此,过滤技术应是今后发展方向。

振动筛脱水技术:通过高频振动使不同粒径的固废颗粒通过过滤网实现分离,固相在网下,液相过网脱出。同时,此技术装备还可使钻屑黏附着的水分离。

真空过滤脱水技术:转鼓在运转过程中,在真空抽吸作用下,槽体内的物料经滤布过滤,在转鼓表面形成滤饼,经吹气区反吹后由卸料刮刀刮下;滤液经转鼓吸液管流向分配阀排出,从而实现物料的固液分离。包括间歇过滤和连续过滤。间歇过滤是用真空泵等机械产生过滤压力,间歇地交替进行生成滤饼、脱水和滤饼剥离等工序,适用于较少量污泥的处理。连续地过滤是用真空泵等机械使装在旋转体内的滤材两侧产生过滤压差,连续地重复进行生成滤饼、脱水和滤饼剥离等工序,广泛适用于较大量污泥的处理,有不少过滤机种适用于难过滤污泥的连续处理。

加压过滤脱水技术:也包括间歇过滤和连续过滤。间歇过滤是用泵或压缩机间歇式顺次进行加压过滤、脱水、滤饼剥离等工序,广泛用于污泥的脱水处理。连续过滤包括三种形式:A. 用泵或压缩机使装在旋转体内的滤材两侧产生过滤压差,连续地重复进行加压过滤,脱水、滤饼剥离等工序;B. 在滤带间提供滤材进行压榨脱水;C. 利用螺旋挤压作用过滤脱水。适用于给水污泥和排水污泥等,由于构造复杂,实用例子很少。

离心过滤脱水技术:离心过滤是依靠设置在高速旋转体内壁的滤材及离心作用进行脱水过滤,通常需添加混凝剂。

干化床式和砂滤床式技术:干化床式是利用太阳热量和风的作用进行自然蒸发脱水,适用于给水污泥、排水污泥等。砂滤床式是依靠砂层过滤脱水以及利用太阳能和风进行自然蒸发脱水。

直接过滤布技术:使固废直接通过有一定倾斜度的过滤布实现固液分离脱水。

②适用范围:振动筛脱水技术装备适用于钻屑的固液脱水分离,并得到广泛应用,但不适合于废泥浆和处理水渣泥的固液脱水分离;真空过滤脱水和加压过滤脱水技术适用于废泥浆、掏泥浆罐产生的固废和处理水渣泥的固液脱水分离,但用于钻井固废脱水中的使用案例少;离心过滤脱水技术适用于所有钻井固废的固液脱水分离,但用于钻井固废脱水中的使用案例少;直接过滤布技术特别适用于掏泥浆罐产生的渣

泥和处理水产生的渣泥的固液脱水分离，同时也适合于废泥浆的固液脱水分离，但现实用案例少；干化床式和砂滤床式技术适用于所有钻井固废的固液脱水分离，特别适用于雨水少，日照时间长，风大干旱的西北地区。

③优点：其多种技术设备操作简单，技术要求不高，设备少，占地面积少，不需添加化学脱稳剂和絮凝剂，脱出液相或水可直接回用于调配钻井液而不影响其性能，特别是直接过滤布技术、振动筛脱水技术、真空和加压过滤脱水技术。一些技术也可实现固相较低的含水率，固废减量化大，如真空和加压过滤脱水技术。

④缺点：除真空和加压过滤脱水技术，其他技术装备脱出的固相含水率较高。真空和加压过滤技术装备操作要求较高。干化床式和砂滤床式技术实现固废固液分离时间长，使用区域受限，占地也较多。离心过滤脱水技术通常需添加混凝剂，脱出水难以回收再利用于调配钻井液。

3 结束语

钻井固废是油气勘探钻井的必然产物，其减量化措施是固废处理中最重要的环节，由于油气勘探钻井作业具有特殊性及钻井固废产生及来源组分的复杂性，决定了只有针对性的采取各种减量化技术措施组合实施，才能获得最佳减量化效果，为最终实现固废的无害化、资源化和处置的经济性、环境安全性创造条件，打下基础。

参 考 文 献

[1] 陈立荣，叶永蓉，蒋学彬，等. 油气钻井节能减排及清洁生产措施实践[J]. 油气田环境保护，2009，19(1)：23-25.
[2] 乐宏，陈华勇，许期聪，等. 国外新型钻井完井废弃物处理技术[C]//2010 环保型钻井液技术及废弃钻井液处理技术研讨会，2010：15-20.
[3] 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.
[4] 徐旭. 钻井废物生物降解技术现状及发展趋势[J]. 环境工程，2010(增刊)：205-208.
[5] 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.

（收稿日期 2017-08-17）
（编辑 王 蕊）

（上接第 3 页）

7 结 论

为有效应对大型油气生产设施密集的敏感水域溢油应急处置，集团公司经过 10 多年的努力，已经建成了以海上应急救援响应中心为主要力量，以大连、海口、钦州、吉林、延安、兰州、保山等七个集团公司一级应急物资储备库为物资保障的一支溢油应急处置力量；中国石油海上应急救援响应中心先后完成溢油应急处置任务 13 次、海上救助任务 16 次、海上消防任务 5 次，累计完成装卸油守护超过 1 000 余船次，具备海上石油勘探开发 II 级突发事件应急处置能力，并获得国家船舶污染清除作业单位一级资质，彰显了中国石油“召之即来、来之能战、战之能胜”的良好企业形象。

参 考 文 献

[1] 王亚锋，李国柱，赵绍祯，等. 海上溢油风险分析及处置技术研究[J]. 油气田环境保护，2016，26(6)：25-28.
[2] 2017 中国油气管道发展展望[EB/OL]. (2017-05-02)[2018-01-20]. http://gas.in-en.com/html/gas-2609761.shtml.
[3] 2017 年中国石油管道系统大事回眸与展望[N/OL]. 中国石油报，2018-01-16[2018-01-20]. http://center.cnpc.com.cn/bk/system/2018/01/16/001675397.shtml.
[4] 陈辉，王长伟. 浅析油气长输管道环境管理[J]. 油气田环境保护，2014，24(4)：77-81.
[5] 方美琴，吕涛. 应急物资储备库选址问题研究述评[J]. 江苏商论，2011(8)：66-69.

（收稿日期 2018-02-07）
（编辑 王 薇）