

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2019057

## 胜利油田钻井环保技术进展及发展方向

韩来聚<sup>1</sup>, 李公让<sup>2</sup>

(1. 中石化胜利石油工程有限公司, 山东东营 257000; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257000)

**摘 要:** 为了解决胜利油田钻井过程中废弃物总量大、存在环境污染风险等问题, 研究开发了抗高温环保钻井液, 形成了钻井液随钻治理一体化、废弃钻井液资源化利用和废弃钻井屑无害化处理等一系列钻井环保技术。该环保技术在胜利油田及其他油气田的钻井现场进行了集成应用, 解决了钻井液环保性与功能性之间的矛盾, 显著降低了钻井废弃物的总量与污染风险, 初步实现了对钻井废弃物“源头设计, 过程控制, 末端治理”的目标。研究认为, 胜利油田钻井环保技术是在钻井作业“绿色”、高效实施与可持续发展方面探索取得的初步成果, 具有现实意义。结合目前环保技术发展所面临的实际问题, 指出了胜利油田钻井环保技术应在废弃物前期处理随钻化、经济化, 配套设备小型化、智能化, 以及末端产物资源化等 3 个方面开展攻关研究。

**关键词:** 环保技术; 钻井废弃物; 环境保护; 随钻治理; 无害化处理; 资源化利用; 胜利油田

中图分类号: TE258

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2019)03-0089-06

## Progress, Development Trends, and Outlook for Drilling Environmental Protection Technologies in the Shengli Oilfield

HAN Laiju<sup>1</sup>, LI Gongrang<sup>2</sup>

(1. Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China; 2. Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China)

**Abstract:** In order to solve the problems resulting from high levels of waste and environmental pollution risk in the drilling process in the Shengli Oilfield, a series of high-temperature resistant environment-friendly drilling fluids were developed, forming a set of environmental protection technologies. They include an integrated drilling fluid treatment while drilling, the resource utilization of waste drilling fluids, and the harmless disposal of discarded cuttings. The field practice of these technologies in the Shengli Oilfield and Xinjiang Oilfield demonstrated that the integrated application of the newly developed technologies clearly contributed to the protection of the environment. Further, the applications resolved the conflict between environmental protection and the optimal use of drilling fluids. The new process resulted in a significant reduction of the total amount of drilling wastes and pollution risk, which allowed the project to achieve their stated goal of improved “source design, process control, and end treatment” for drilling wastes. According to the positive results of the studies, these technologies have made preliminary achievements in the aspects of “green” drilling, efficient implementation and sustainable development, they demonstrate that they possess good practical significance. Combined with the actual problems faced by the current development of environmental protection technology, the development trends of the drilling environmental protection technologies in the Shengli Oilfield shall focus on real-time and more economical drilling waste pretreatment technology, miniaturized and intelligent treatment equipment, drilling waste resource utilization technology, and more.

**Key words:** environmental protection technology; drilling waste; environmental protection; treatment while drilling; harmless treatment; resource utilization; Shengli Oilfield

近年来, 随着油田勘探开发力度不断加大, 钻井数量、难度不断增大, 对具有特殊功能钻井液的需求越来越多<sup>[1]</sup>, 使得钻井废弃物的成分越来越复杂且总量日益增加, 若仍采用以往的简单固化、填埋等方式进行处理, 易对作业区环境产生不可逆的损害。胜利油田为东部老油田的典型代表, 主要油气区块分布广泛, 辖区内水系发达, 且存在湿地和自然保护区, 生态环境脆弱, 遭受钻井液污染后很难恢复。水基钻井液环境污染情况调查结果表明, 单

井废弃钻井液产生量大, 废弃钻井液在钻井液池中放置多年不干涸, 不能覆土还田, 不仅长期占地, 还存在一定的污染隐患; 更严重的是, 部分油田井场

收稿日期: 2019-03-15。

**作者简介:** 韩来聚 (1963—), 男, 山东昌邑人, 1983 年毕业于华东石油学院钻井专业, 2004 年获石油大学 (华东) 油气井工程专业博士学位, 教授级高级工程师, 主要从事钻井新技术研究及相关管理工作。系本刊编委。E-mail: hanlj.oss1@sinopec.com。

**基金项目:** 国家科技重大专项 “致密油气开发环境保护技术集成及关键装备” (编号: 2016ZX05040-005) 部分研究成果。

周边土壤重金属含量偏高<sup>[2-3]</sup>,目前常用的环保处理措施已不能满足相关法规的要求<sup>[4]</sup>。为此,胜利油田研发了减量化处理环保钻井液和抗高温环保钻井液,对钻井液污染进行了源头减量控制;研发了钻井废弃物随钻固液分离专用装备和处理剂,优化形成了钻井废弃物随钻治理技术,实现了过程减量处理;形成并推广了废弃钻井液区域化回收利用技术和回注调剖技术,实现了废弃物的末端减量回收利用。此外,对钻井固体废弃物的无害化处理进行了探索性研究,初步形成了高强度固化、微乳清洗和随钻生物处理等废弃钻屑无害化处理技术。为了进一步推动钻井环保技术的发展与应用,笔者结合胜利油田钻井施工实际,对钻井环保技术的研究进展进行了梳理,并指出了钻井环保技术的发展方向。

## 1 环保钻井液研究

### 1.1 减量化处理环保钻井液

胜利油田东部油区具有上部地层松软、机械钻速快、钻屑产生量大、易造浆,小循环后期往往需要大量排放钻井液,以及钻具泥包、井眼缩径、起下钻困难等复杂情况时有发生等钻井作业特征,为此确定了不落地减量化处理的环保钻井液体系构建基本原则:1)采用环保处理剂,循环利用钻井液,减少钻井液用量;2)满足快速钻进要求,具有强抑制性,固相低分散或不分散;3)满足钻井液不落地要求,易快速分离为固液两相;4)分离后的液相循环使用时满足安全钻井要求。

在分析钻井液处理剂有害成分的基础上,开发了以 $\text{CaCl}_2$ 控制地层造浆为核心的减量化处理环保钻井液。该钻井液可抗温 $120\text{ }^\circ\text{C}$ ,综合性能稳定,抑制性和抗污染能力强。现场试验时,返出的钻屑形状规则、均匀,处理后的钻屑含水率可降至 $27\%\sim 58\%$ ;钻井液的半数效应浓度( $\text{EC}_{50}$ )值大于 $30\,000\text{ mg/L}$ ,明显优于常用钻井液;钻井液滤液的化学需氧量满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中污染物最高允许排放浓度的二级标准要求,绿豆种子 $72\text{ h}$ 发芽率大于 $75\%$ 。目前,该钻井液已在胜利油田大范围推广应用<sup>[5]</sup>。

### 1.2 抗高温环保钻井液

沙河街组及以下地层具有埋藏深、温度高、泥页岩脆硬、层理性强和易发生坍塌等特点,常规环保钻井液抗温性能不足,为防止发生井下复杂情

况,加入了抗温防塌处理剂,但该处理剂大多难以降解,易对环境造成不可逆的污染<sup>[6]</sup>。为满足“环保,减量,低成本”等要求,胜利油田摒弃了常用的磺化树脂类、沥青类及磺酸盐类抗高温处理剂,以天然改性抗高温处理剂为主,以部分环保性较好的合成聚合物类处理剂为辅,形成了以抗高温改性淀粉降滤失剂为核心处理剂的抗 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 高温环保钻井液,室内性能评价结果表明,该钻井液可抗饱和盐水,可抗 $10\%\text{CaCl}_2$ ,无毒,生物降解性能好,可满足环保要求。目前,该钻井液已在胜利油田东部油区4口井成功应用。

## 2 钻井废弃物随钻治理技术

### 2.1 钻屑不落地处理技术

为满足安全快速钻井,后期往往通过大量稀释、放浆等方式进行钻井液的性能维护,不仅造成钻井液处理成本增加,而且存在较大的环境污染风险<sup>[7]</sup>。为此,根据胜利油田现有钻井工艺,结合钻井队所用固控系统现状,针对钻井过程中逐次进行的上部地层清水钻进、钻井液钻进、固井替浆和钻井后余浆处理等不同阶段的特点,自主研发了钻井液不落地成套处理装备<sup>[8]</sup>。该套装备主要由振动干燥模块、快速沉降模块、浓缩脱液模块、应急贮存模块和钻屑收集输送模块等组成,液相处理能力为 $200\text{ m}^3/\text{h}$ ,固相处理能力为 $15\sim 20\text{ m}^3/\text{h}$ ,处理后钻屑含液量质量比可降至 $60\%$ 以下,钻井液固体废弃物总量得到了良好控制。其中,快速沉降模块的固液分离装置设计了特殊流道结构,能够全流量处理井底上返的固液混合物,固相颗粒可以快速聚集、沉降并实现固液自然分离,分离后上部清水可以直接自流到固控系统的循环罐中,进行清水钻进。快速沉降模块的固液分离效果超过原来的大循环池自然沉淀方式,分离出来的清液可用于补充钻井液的消耗。此外,快速沉降模块还可在后期钻井过程中作为应急存储罐使用,提高了应急处理能力。

钻井液不落地成套处理装备具有不改变钻井工艺、不降低钻井速度和不需要额外添加化学处理剂的技术优势,并去掉了大循环池,可实现钻井液固相废弃物脱液干化、液体重复利用,处理后的钻井固相满足运输条件。该套设备在胜利油田推广应用200余井次,实现了清污分开、分类处理,达到了减量化处理目标,降低了后期无害化处理难度和钻井液综合治理费用。

## 2.2 固相控制与随钻治理一体化技术

常规随钻处理装备独立于井队固控系统之外, 存在占地面积大、设备配置多、劳动强度高和经济效益差等问题。针对这些问题, 通过调整固控设备组合、简化固控系统结构、优化固液分离参数和升级随钻处理设备, 形成了钻井液固相控制与随钻治理一体化技术与成套装备。成套装备主要有振动筛循环罐、离心机循环罐、加重循环罐、絮凝剂调配罐和废弃物自动装载系统。实际施工时, 根据需要配套 3~5 个钻井液储备罐。其中, 振动筛循环罐上面配置 1 套三联五网振动筛、1 台除气器(预留)、1 台除砂一体机及 2 台搅拌器。固控设备上, 用三联五网振动筛替代二联三网振动筛, 在筛内进行分级处理, 对分离的固相废物进行浓缩脱液干燥, 进一步降低其含水率。离心机循环罐上面装有 2 台中速离心机、1 台高速离心机及 3 台搅拌器。

钻井液固相控制与随钻治理一体化技术已在胜利油田推广应用 193 口井。钻进上部地层时产生的固体废弃物, 经处理达到《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001) 中第 I 类一般工业固体废物标准要求后, 可采用回填井场、铺路和制免烧砖等方式进行资源化利用。现场应用表明, 该技术可降低钻井液废弃物总量 45%~50%。与常规钻井液随钻处理技术相比, 钻井液固相控制与随钻处理一体化装备实行一体化运行方式, 设备直接配套到井队, 井队负责操作、维护和管理, 第三方负责固相、完井余浆等的运输和后期处理。一体化运行方式不仅可以减少钻井液不落地设备和操作人员, 降低运行成本, 还可以提高钻井液回收利用率, 降低有害固相含水率, 减少完井废浆量, 更好地实现减量化, 提高经济效益<sup>[9]</sup>。

## 2.3 化学强化处理技术

目前, 对于上部地层机械钻速不高时产生的钻井液废弃物, 使用高速离心分离设备或板框式压滤分离设备即可获得较好的固液分离效果。但是, 在上部地层快速钻进阶段钻屑产生量很大的情况下, 2 种设备均不能及时处理; 且对于东营组及以下地层应用的胶体稳定性较好的钻井液体系, 2 种设备的固液分离效果均欠佳。通过分析不同处理工艺下钻井液所形成的絮团结构及机械强度, 胜利油田自主研发了适用于高速离心分离处理用的复合高分子全絮凝剂和适用于板框式压滤分离处理的不含高价

金属离子的脱稳助滤剂, 并在胜利油田 12 口井成功应用。现场应用结果表明, 对于高速离心分离处理, 以“细水长流”的方式保持沉降罐中全絮凝剂的加量为 0.20% 左右时, 即可使离心处理后的钻屑由井口返出的流动态黏稠物转变为干燥固态物, 钻屑含液量质量比降低 30% 以上。对于板框式压滤分离处理, 当脱稳助滤剂加量为 0.25% 时, 可使井口返出的钻屑从流动态黏稠物转变为干燥泥饼, 实现从压滤机上快速卸除; 随着脱稳助滤剂加量的增大, 钻屑含液量质量比明显降低(当加量增至 0.50% 时, 钻屑含液量质量比可降至 40% 以下)。综合而言, 2 种化学强化处理剂的加入均可明显提高废弃钻井液的固液分离效率, 处理后的废弃固相满足运输要求, 且分离出来的液相色度及悬浮物指标达到国家二级水排放标准, 满足循环配浆使用要求。化学强化处理技术可显著降低钻井液废弃物总量, 有利于钻井液废弃物污染的源头减量控制<sup>[10]</sup>。

## 3 废弃钻井液回收利用技术

### 3.1 区域化回收利用技术

#### 3.1.1 水基钻井液回收利用技术

针对水基钻井液余浆组分复杂、无害化处理成本高的问题, 在经济性分析的基础上, 确定了水基钻井液分类处理回收利用的处理思路, 优化形成了水基钻井液劣质固相选择性清除技术。按照“就近, 协调, 联动”的原则, 胜利油田建成钻井液区域处理站 10 座, 开发了钻井液回收再利用网络调剂管理平台, 采用同台井循环使用与处理站调运 2 种方式对完井后的钻井液余浆进行回收利用, 并制定了水基钻井液余浆循环利用推荐做法, 对回收钻井液余浆的密度、滤失量及流变性等给出了具体要求, 实现了钻井余浆的回收利用。截至目前, 已利用该技术累计回收利用水基钻井液余浆  $5.84 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 降低了废弃钻井液的环境污染风险和钻井液综合应用成本。

#### 3.1.2 油基钻井液回收利用技术

与水基钻井液相比, 油基钻井液在抗温、井壁稳定、润滑及储层保护性能方面都具有明显优势, 已成为钻进各种复杂地层的主要工作流体。为降低成本, 油基钻井液经常会在完钻后转井处理, 循环利用。经多次反复使用后, 若不采取相应的调整措



施, 钻井液性能极易恶化, 成为废弃油基钻井液, 不仅会造成有用资源的浪费, 还会在一定程度上污染环境<sup>[11]</sup>。在分析多次回收利用的油基钻井液性能的基础上, 确定了油基钻井液回收利用时性能调整的关键指标为乳化稳定性和润湿性, 优选了抗高温乳化剂和专用润湿剂, 并优化了现场性能调控工艺, 形成了油基钻井液回收利用技术。该技术在胜利油田义137-5HF井、渤页平1-2井及威荣页岩气田威页9-1HF井等10余口井进行了规模化推广应用, 取得了明显的经济效益和环境保护效果。

### 3.2 回注调剖技术

针对胜利油田上部地层低密度钻井液余浆循环利用时经济性较差的问题, 以低密度钻井液余浆为基液, 通过分析钻井液中固相粒度与目标储层的匹配关系, 设计了废弃钻井液分离压滤一体化预处理流程, 开发了回注调剖用分离压滤一体化预处理装置, 并优选了悬浮分散处理剂和专用交联剂, 开发了钻井液余浆驻留调剖体系, 优化形成了钻井液余浆堵水调剖技术<sup>[12-13]</sup>。室内模拟评价结果表明, 钻井液余浆驻留调剖体系对岩心的封堵率不小于90%, 岩心经100倍孔隙体积的流体冲刷后的封堵率保持率不小于80%。该技术在胜利油田应用13井次, 累计增油1 852.20 t。

## 4 废弃钻屑无害化处理技术

### 4.1 上部地层废弃钻屑无害化处理

胜利油田上部地层钻井产生钻屑的速度快, 钻屑含水率高、总量大, 经现场固液分离处理后仍存在pH值、化学需氧量等指标超标的情况。这种钻屑属于《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)中规定的第Ⅱ类一般工业固体废物, 若只是简单堆放或填埋, 存在一定的环境污染风险。为此, 胜利油田研究形成了高强度固化技术、环保免烧砖技术和路基土技术等无害化处理技术。

1) 高强度固化技术。采用常规固化措施处理后的废弃钻屑固化物存在强度不够、封固稳定性不足、浸水后固化物强度下降和有害成分存在二次浸出污染等问题, 针对这些问题, 在分析钻井液固体废物主要组分和有害物质成分的基础上, 通过优选高效固液分离条件、优化高强度固化配方和表面涂覆工艺, 形成了以MgO、MgCl<sub>2</sub>和粉煤灰为固化处

理主剂, 氟碳树脂为涂覆处理主剂的高强度固化涂覆技术。采用该技术进行固化处理后, 形成的固化试样表面针状物排列整齐、紧密, 呈结晶簇交织的网状结构, 提高了固化物强度, 28 d后抗压强度达39.6 MPa, 固化物浸出液中重金属含量和浸出液化学需氧量满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中规定的污染物最高允许排放浓度要求。

2) 环保免烧砖技术。针对污染风险较低的钻井废弃固相, 形成了环保免烧砖技术。钻井废弃固相与电厂废弃物炉渣混合后加入固化剂制成环保型免烧砖, 抗压强度可达10.2 MPa, 浸出液的pH值为7~8, 且各项污染物的浓度均满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中规定的污染物最高允许排放浓度要求, 可用于井场铺垫或土建作业<sup>[14]</sup>。

3) 路基土技术。针对达不到环保指标要求的钻井废弃固相, 研发了WJ型复合固化剂, 并形成了固化养护工艺。采用该工艺综合处理后的钻井废弃固相各项指标满足《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)中第Ⅰ类一般工业固体废物标准要求, 用作素土时最大干密度为1.60 g/cm<sup>3</sup>, 最佳含水率为21.0%, 液限为41.5%, 塑限为31.0%, 塑性指数为10.5%, 承载比为67.5%, 满足路基土填料使用标准。胜利油田已成功应用该技术将12×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>钻井固体废物处理后用于铺设铁路路基, 取得了较好的经济效益和社会效益。

### 4.2 中下部地层含油钻屑无害化处理

胜利油田中下部地层钻井过程中, 为保障井下作业安全, 所使用钻井液中含有机物含量高, 且钻遇油层所产生的钻屑上附着的化学成分种类繁多, pH值、化学需氧量和含油率等多项指标偏高, 属于《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)中规定的第Ⅱ类一般工业固体废物, 不能采用简单固化、填埋等方式进行处理。胜利油田在分析中下部地层含油钻屑理化性质的基础上, 形成了油基钻屑随钻处理技术和水基钻屑微乳清洗与随钻生物处理技术, 用该技术处理后的含油钻屑符合《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)中规定的第Ⅰ类一般工业固体废物要求, 为下一步集中处理与资源化利用奠定了良好的基础。

#### 4.2.1 油基钻屑随钻处理技术

针对高含油的油基钻屑环境污染风险高、无害

化处理难度大的问题,胜利油田自主研发了油基钻屑随钻处理工艺及成套装置,研选了清洗能力强且安全、无毒的环保型清洗剂,形成了高含油钻屑实时处理技术<sup>[15]</sup>。该技术采用分步实施的工艺,将回收油相与清洗含油钻屑分开进行,首先对井口返出的高含油钻屑进行搅拌清洗和浓缩脱液处理,然后将分离出来的液相作为基油回收利用,处理后的钻屑用专用处理剂清洗并进行甩干处理<sup>[16]</sup>。该装置主要由预处理装置、回收及清洗装置、调配及存储装置、钻屑输送装置、管线、电缆和集成控制系统等组成。该装置的油基钻屑处理能力为 5~10 m<sup>3</sup>/h,处理后钻屑含油率可降至 1.0% 以下,且能够回收 90% 以上的油基钻井液。目前,油基钻屑随钻处理技术已在胜利油田渤页 2HF 井、梁页 1HF 井、义 173-5HF 井和桩 129-平 10 井,以及涪陵页岩气田焦石坝区块的焦页 8-1HF 井进行了成功应用,实现了油基钻屑的低成本随钻处理。

#### 4.2.2 高含油水基钻屑微乳清洗技术

为对含油量在 3.0% 以上的高含油钻屑进行无害化处理,优选了微乳液用表面活性剂和助表面活性剂,研发了以 DOA 和 AEC-9Na 为核心处理剂的单相水包油型微乳液。结合水基钻屑中有机污染物成分的复杂性,明确了不同因素对微乳液增溶能力的影响,确定了清洗时间、温度和搅拌速率等主要处理参数,形成了微乳清洗技术。室内模拟评价结果表明,优化形成的单相水包油型微乳液在清洗转速为 200 r/min 时,仅需 30 min 即可将含油量 4.69%~5.11% 的水基钻屑的含油量降至 1.00% 以下,为后续无害化处理与资源化利用创造了良好条件。

#### 4.2.3 钻屑微生物处理技术

针对含油量在 1%~3% 的钻井液固体废弃物,开展了微生物处理技术研究。在研制多功能生物菌剂与优化生物调控工艺的基础上,采用固定化微生物处理技术制备了固定化微生物颗粒;开展了钻屑生物降解条件优化及参数研究,明确了电芬顿技术与微生物处理技术的协同作用,试制了实验室规模的微生物修复模拟评价装置,初步形成了微生物处理技术。室内模拟评价结果表明,对于含油量在 3% 以下的现场钻屑,通过对养分、温度、通风量及生物制剂投加量等参数优化调控,处理 4 个月后含油量可降至 1% 以下(比常规自然投菌处理时间缩短一半),处理后钻屑浸出液的化学需氧量降至 70 mg/L 以下。

## 5 钻井环保技术发展方向

近几年,胜利油田通过钻井废弃物治理研究和实践,形成了设计环保钻井液进行源头减量控制、钻井阶段钻井液随钻治理一体化中间过程减量控制和完井阶段回收利用减量控制等一系列技术,该系列技术的集成应用解决了钻井液环保性与功能性之间的矛盾,显著降低了钻井废弃物总量与污染风险,初步实现了钻井废弃物“源头设计,过程控制,末端治理”的目标。

但是,随着我国环保法规的日益健全,需要考虑的问题更多,需要达到的标准更高,降本增效和绿色发展已成为石油钻井的必经之路,钻井技术面临着巨大的成本和环保压力。截至目前,胜利油田相关技术的集成应用程度不够,规模化示范效应不足,仍需结合钻井实际进行梳理、完善。结合上述环保形势和目前环保技术发展所面临的实际问题,笔者认为,胜利油田应围绕钻井废弃物前期处理随钻化、经济化,配套设备小型化、智能化,以及末端产物高效资源化,从以下几个方面开展研究工作:

1) 深入研究钻井过程中的石油烃控制技术,以解决石油烃(重点为芳香烃)的污染处理问题。

2) 研究更为高效的、不含高价金属离子的钻井液固液分离技术,以解决压滤废液回收利用及经济处理问题。

3) 开展不易回收利用的低密度废弃钻井液分级调质技术研究,以形成高效经济的回收利用技术。

4) 持续深化研究废弃固相经济性资源化利用技术,以形成低成本钻屑处理技术,真正实现“变废为宝”;研究油田钻井废弃物控制集成技术与装备体系,解决钻井废弃物组分复杂与经济高效处理之间的矛盾,探索可推广、可复制的技术路径。

## 6 结束语

钻井环保技术是一项多个研究领域交叉融合且需要政府与企业间多级联动的系统工程,需要因地制宜,统筹协调管理,大胆探索,充分积累经验,总结推广。工作中需要强化整体保护,注重统一性的管理规范和技术标准,注重钻井环保技术的顶层设计,树立油气井全生命周期的理念,树立钻井废弃物为一种“放错了位置的资源”的观点,辩证地分析其中的有害物质来源与资源化利用途径,结合油

田生产实际,推进经济性资源化利用。切实构建政府机构、企业和其他社会主体参与的市场化运作机制,促进资源集约利用和保护,真正践行“绿水青山就是金山银山”的科学论断,形成人与自然和谐发展的油区建设新格局。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 东营: 石油大学出版社, 2001: 1-3.  
YAN Jienian. Drilling fluid technology[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2001: 1-3.
- [2] 李景新, 田忠宝, 万政钰, 等. 吉林省松原油田井场周边农田土壤重金属含量特征及生态风险评价[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(4): 128-129, 137.  
LI Jingxin, TIAN Zhongbao, WAN Zhengyu, et al. Heavy metals content characteristics and ecological risk assessment of surrounding soil of production wells in Songyuan Oilfield of Jilin Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(4): 128-129, 137.
- [3] 傅晓文, 陈贯虹, 迟建国, 等. 胜利油田土壤中重金属的污染特征分析[J]. 山东科学, 2014, 28(1): 88-96.  
FU Xiaowen, CHEN Guanhong, CHI Jianguo, et al. Contamination characteristic analysis of heavy metals in the soil of Shengli Oilfield[J]. Shandong Science, 2014, 28(1): 88-96.
- [4] 刘尧文. 涪陵页岩气田绿色开发关键技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(5): 8-13.  
LIU Yaowen. Key technologies of green development in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(5): 8-13.
- [5] 吴雄军, 李公让, 张敬辉, 等. 钻井液废弃物减量化处理技术: 中国石化第十六届水处理技术研讨会论文集[C]. 北京: 中国石化出版社, 2017.  
WU Xiongjun, LI Gongrang, ZHANG Jinghui, et al. Drilling fluid waste reduction processing technology: Symposium of the 16th Sinopec Symposium on Water Treatment Technology[C]. Beijing: China Petrochemical Press, 2017.
- [6] 柴金鹏, 刘均一, 邱正松, 等. 含油污泥资源化制备钻井液用封堵防塌剂与应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2018, 42(2): 172-180.  
CHAI Jinpeng, LIU Junyi, QIU Zhengsong, et al. Preparation and application of anti-sloughing agent based on resource utilization of oil sludge for drilling fluid[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2018, 42(2): 172-180.
- [7] 董怀荣, 李宗清, 李琴, 等. 钻井液固控系统技术现状与发展趋势[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(11): 49-52.  
DONG Huairong, LI Zongqing, LI Qin, et al. Current situation and development trend of drilling fluid solid control system technology[J]. West-China Exploration Engineering, 2015, 27(11): 49-52.
- [8] 董怀荣, 李宗清, 郭振, 等. 胜利油田钻井液不落地处理工艺研究[J]. 西部探矿工程, 2017, 29(11): 50-51, 55.  
DONG Huairong, LI Zongqing, GUO Zhen, et al. Study on non-landing treatment technology of drilling fluids in Shengli Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2017, 29(11): 50-51, 55.
- [9] 李亚伟, 董怀荣, 陈志礼, 等. 钻井液固相控制与随钻处理一体化装备研制: 2018年度钻井技术研讨会暨第十八届石油钻井院(所)长会议论文集[C]. 北京: 中国石化出版社, 2018.  
LI Yawei, DONG Huairong, CHEN Zhili, et al. Development of integrated equipment for drilling fluid solid control and while drilling treatment: Symposium of the 2018 Annual Drilling Technology Seminar and the 18th Meeting of Directors of Petroleum Drilling Academy[C]. Beijing: China Petrochemical Press, 2018.
- [10] 蒋官澄, 李新亮, 彭双磊, 等. 一种亚微米固相絮凝剂的合成及性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(4): 15-19.  
JIANG Guancheng, LI Xinliang, PENG Shuanglei, et al. Synthesis and evaluation of a submicron solid flocculant GCS[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(4): 15-19.
- [11] 吴雄军, 刘会斌, 陈健, 等. 回收再利用的油基钻井液性能调整分析: 2013年度钻井技术研讨会暨第十三届石油钻井院(所)长会议论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2013.  
WU Xiongjun, LIU Huibin, CHEN Jian, et al. The performance adjustment of recovered and reused oil-based drilling fluids: Symposium of the 2013 Annual Drilling Technology Seminar and the 13th Meeting of Directors of Petroleum Drilling Academy[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [12] 韩来聚, 李公让, 吴雄军, 等. 胜利油田水基钻井液环保治理技术: 2018年第二届油田化学国际学术会议论文集[C]. 青岛: 中国石油大学出版社, 2018.  
HAN Laiju, LI Gongrang, WU Xiongjun, et al. Technology of water-based drilling fluid environmental protection in shengli oil field: Symposium of the 2nd International Academic Conference on Oilfield Chemistry[C]. Qingdao: China University of Petroleum Press, 2018.
- [13] 卓龙成, 王波, 张金焕, 等. 苏北盆地 ZC 油田废弃钻井液再利用调剖工艺[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 109-114.  
ZHUO Longcheng, WANG Bo, ZHANG Jinhuan, et al. Profile control for wasted drilling fluid recycling in ZC Oilfield of the Su-bei Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 109-114.
- [14] 夏海帮, 包凯, 王玉海, 等. 涪陵页岩气田平桥南区块钻井液屑屑综合利用技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(2): 63-67.  
XIA Haibang, BAO Kai, WANG Yuhai, et al. An integrated drilling cuttings utilization technique in the South Pingqiao Block of the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 63-67.
- [15] 王智锋, 李作会, 董怀荣. 页岩油油基钻井液屑屑处理装置的研制与应用[J]. 石油机械, 2015, 43(1): 38-41.  
WANG Zhifeng, LI Zuohui, DONG Huairong, et al. Apparatus for oil-base cuttings processing while drilling in shale oil wells[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(1): 38-41.
- [16] 牟顺泉, 董怀荣, 丁希军, 等. 钻屑随钻处理技术研究[J]. 西部探矿工程, 2012, 24(6): 77-80.  
MOU Shunquan, DONG Huairong, DING Xijun, et al. Research on drilling cutting treatment while drilling technology[J]. West-China Exploration Engineering, 2012, 24(6): 77-80.