



中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊
全国中文核心期刊
美国《化学文摘》(CA) 收录期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 收录期刊
EBSCO学术数据库收录期刊 (美)
AAPG协会期刊出版平台收录期刊 (美)
中国科技论文统计源期刊
RCCSE中国核心学术期刊

临兴神府井区废弃钻井液处理技术

王景

Treatment Technology of Waste Drilling Fluids in the Linxing-Shenfu Well Area

WANG Jing

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021112>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[废弃高性能水基钻井液循环利用电吸附处理方法](#)

Electro-Sorption Treatment Method for Waste High Performance Water-Based Drilling Fluid

石油钻探技术. 2020, 48(4): 50–55 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020046>

[胜利油田钻井环保技术进展及发展方向](#)

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

石油钻探技术. 2019, 47(3): 89–94 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019057>

[废弃钻井液固液分离—化学处理技术在长北气田的应用](#)

The Application of Solid Liquid Separation–Chemistry Processing Technology for Waste Drilling Fluid in the Changbei Gas Field

石油钻探技术. 2017, 45(3): 48–56 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201703009>

[长庆油田水基环保成膜钻井液研究与现场试验](#)

Research and Field Test of Water-Based Environmental-Friendly Membrane Forming Drilling Fluid Technology in Changqing Oilfield

石油钻探技术. 2017, 45(5): 36–42 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201705007>

[大庆致密油藏水平井高性能水基钻井液优化与应用](#)

Optimization and Application of High Performance Water-Based Drilling Fluid for Horizontal Wells in Daqing Tight Oil Reservoir

石油钻探技术. 2018, 46(5): 35–39 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018090>

[辽河油田无固相强抑制水基钻井液技术](#)

Solid-Free and Strongly Inhibitive Water-Based Drilling Fluid in the Liaohe Oilfield

石油钻探技术. 2017, 45(6): 42–48 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201706008>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2021112

引用格式: 王景. 临兴-神府井区废弃钻井液处理技术 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(1): 60-64.

WANG Jing. Treatment technology of waste drilling fluids in the Linxing-Shenfu Well Area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(1): 60-64.

临兴-神府井区废弃钻井液处理技术

王 景

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要: 为了解决临兴-神府井区废弃钻井液处理效率低、处理成本高等问题, 开展了废弃钻井液无害化处理与重复利用技术研究。在分析废弃钻井液特性以及处理难点的基础上, 研发了无毒、廉价的复合高效固化剂和复合铝盐破胶剂, 产生的破胶压滤液经处理后用于配制钻井液; 结合减量处理设备, 研究形成了废弃钻井液无害化处理与重复利用技术。现场试验表明, 废弃钻井液经减量处理设备分离后, 钻屑含液率低于 30%, 钻屑质量减少 20%~40%; 固相含量大的废弃钻井液加入 15% 固化剂进行固化处理, 24 h 后即可直接运输, 3 d 后固化物浸出液满足环保要求; 含水率较高的废弃钻井液中加入 4.29% 破胶剂, 即可实现高效破胶, 破胶压滤液经处理后可用来配制钻井液, 其性能满足钻井要求。废弃钻井液无害化处理与重复利用技术解决了临兴-神府井区的废弃钻井液处理难题, 具有较好的推广应用价值。

关键词: 废弃钻井液; 破胶; 固化; 无害化处理; 重复利用; 临兴-神府井区

中图分类号: TE992

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2022)01-0060-05

Treatment Technology of Waste Drilling Fluids in the Linxing-Shenfu Well Area

WANG Jing

(CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co, Tianjin, 300452, China)

Abstract: In order to solve the problems of low treatment efficiency, high treatment cost of waste drilling fluids in the Linxing-Shenfu Well Area, a technical research on harmless treatment and reuse technology of waste drilling fluids was carried out. After analyzing the characteristics of the waste drilling fluids and the difficulties in the treatment, a non-toxic composite curing agent with low cost and high efficiency, as well as aluminum salt gel breaker were developed, and the gel-breaking filtrate produced was processed for compound drilling fluids. Combined with the reduction treatment equipment, a harmless treatment and reuse technology of waste drilling fluids was formed. The field test results showed that the liquid content of cuttings was less than 30% and the weight of cuttings reduced by 20%~40% after the separation of the waste drilling fluids by reduction treatment equipment. The waste drilling fluids with high solid content can be directly transported 24 hours after the addition of 15% curing agent, and the leaching fluid can meet the requirements for environmental protection after 3 days. When a 4.29% gel breaker was added to the waste drilling fluids with high water content, a high-efficiency gel breaking can be achieved. The gel-breaking filtrate can be used for compound drilling fluids after treatment, which can meet the operational requirements for drilling. The harmless treatment and reuse technology of waste drilling fluids have solved the problem in treating waste drilling fluids in Linxing-Shenfu Well Area, with good promotion and application value.

Key words: drilling fluids; gel breaking; curing; harmless treatment; reuse technology; Linxing-Shenfu well area

临兴-神府井区位于鄂尔多斯盆地东缘, 横跨伊陕斜坡和鄂尔多斯盆地晋西挠褶带, 是当前我国陆上致密气藏勘探开发的重点区块之一, 钻井和压裂

井数量逐年增多^[1-4], 每年产生大量废弃钻井液和压裂返排液。按照当地环保要求, 自 2016 年起该井区所有钻井废弃物全面执行零排放无害化处理政策。

收稿日期: 2021-03-03; 改回日期: 2021-11-03。

作者简介: 王景 (1983—), 男, 河北定州人, 2007 年毕业于河北科技师范学院机械设计制造及其自动化专业, 工程师, 主要从事钻井完井技术、装备及油气田环保等相关技术研究及项目施工管理工作。E-mail: wangjing26@cnooc.com.cn。

基金项目: 中国海油重点科技攻关项目“鄂尔多斯盆地东缘致密气开发钻完井关键技术研究与应用”(编号: ZSWSAKYXM2019-76) 部分研究内容。

在提质增效、控本减排的大背景下,亟需研究钻井废弃物无害化处理技术,减少环境危害,降低钻井完井成本^[5-6]。目前,废弃钻井液无害化处理和循环利用的技术方法很多,包括填埋法、回注法、焚烧法、固化法、固液分离法、电吸附法和随钻不落地处理技术等^[7-11],这些技术方法均具有较好的处理效果,但也存在一定的局限性和适应性,如工艺复杂或成本高昂等^[12]。受限于当地自然环境和处理成本控制要求,临兴-神府井区主要采用固化法和破胶压滤法进行废弃钻井液的无害化处理。以往使用的处理材料主要为常规的氧化钙和聚合氯化铝,虽然成本低、操作简单,但加量大、效率低,处理效果较差,无法重复利用。

为满足当地越来越高的环保要求、降低开发成本、提高废弃钻井液处理效率,笔者在分析临兴-神府井区废弃钻井液特性和作业条件的基础上,分析了该井区废弃钻井液无害化处理的难点,研发了价格低、效果好的固化处理剂,研究形成了适用于临兴-神府井区的废弃钻井液无害化处理和重复利用

技术,并进行了现场试验,为该井区的低成本废弃钻井液处理提供了可借鉴的方法和经验。

1 废弃钻井液组成及处理难点

1.1 废弃钻井液性能及组成

选取现场3种典型的废弃钻井液,分别编号。1号、2号废弃钻井液颜色较深,具有刺激性气味;3号废弃钻井液土黄色,无特殊气味。此外,1号废弃钻井液黏度较低,固相含量11.5%,且其滤失量很高,抑制性不足;2号废弃钻井液基本性能与1号类似,黏度较低,固相含量10.2%,滤失量高;1号和2号废弃钻井液已基本失去了设计性能,无法满足现场钻井需求;3号废弃钻井液主要表现为高黏、高固相含量,设计密度为1.60 kg/L,但经过井底循环后,密度已经降至1.23 kg/L,但滤失量仍然较低,性能相对较稳定,属于有回收利用价值的废弃钻井液,可通过去除固相、补充添加剂等方法恢复其性能。3种废弃钻井液的基本性能见表1。

表 1 3 种废弃钻井液的基本性能

Table 1 Basic properties of three kinds of waste drilling fluids

序号	钻井液类型	外观和气味	密度/ (kg·L ⁻¹)	表观黏度/ (mPa·s)	塑性黏度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	API滤失 量/mL	页岩回收率, %	总固相 含量, %
1	聚合物钻井液	棕黑色,恶臭味	1.27	10.5	8	2.5	21.6	79.25	11.5
2	抗温聚合物钻井液	深黑色,刺激性气味	1.25	15.5	11	4.5	28.4	83.75	10.2
3	高密度聚合物钻井液	黄色,无特殊气味	1.23	80.0	55	25.0	6.0	90.55	22.7

对废弃钻井液进行污染物成分检测,结果见表2。3种废弃钻井液均具有一定的生物毒性,有机污染物较多,尤其是2号废弃钻井液毒性相对较大。这些废弃钻井液若直接排放,容易对生态环境造成危害,大幅提高后期治理成本。

表 2 3 种废弃钻井液的污染物检测结果

Table 2 Detection result of pollutants in three kinds of waste drilling fluids

废弃钻井液	色度	石油类/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	EC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)
1号	20 000	5	15 040	4 980
2号	30 000	9	45 000	1 040
3号	2 900	2	9 500	15 430

1.2 处理难点

1)废弃钻井液排放量大,处理成本高。按照当地环保要求,所有钻井废弃物全区域禁止直接排

放,均需拉运至当地指定地点集中处理。在施工现场,废弃钻井液主要采用2种处理方式进行处理:1)直接固化后拉运,固化物需符合《危险废物鉴别标准:浸出毒性鉴别》(GB 5085.3—2007);2)经过“不落地处理”实现固液分离后,分类运送至处理厂处理。该井区每年产生几十万吨废弃钻井液,现有处理手段效率低、达标准,环保风险高^[6];常规不落地处理方式综合处理成本高。因此,需要研究成本低、能够重复利用的新型处理方式。

2)井区地处山区,设备搬运困难。临兴-神府井区内大山环绕,若设备体积过大,搬运困难,设备搬迁成本高,因此需要研究工艺简单、能够就地处理废弃钻井液的技术。

3)当地水资源缺乏,自然取水无法满足大规模钻井用水量。临兴-神府井区处于开发初期,钻井用水量大,但该井区处于水资源匮乏的山丘地带,自然供水量有限,因此研究和采用废弃钻井液回收

再利用技术势在必行。

4) 废弃钻井液、钻屑无法实现随钻高效处理。钻井过程为持续过程, 需要研究随钻处理重复利用模式, 减少废弃物总量, 完钻后就地固化, 提高作业时效。

5) 常规固化、破胶方法存在问题。现场废弃钻井液量较大, 需要及时、快速、高效固化或破胶, 以便于进一步处理, 现有固化技术成本较高, 破胶材料破胶时效低, 难以同时满足井区对成本和效果的要求。

2 废弃钻井液无害化处理与重复利用技术

2.1 技术思路

废弃钻井液无害化处理与重复利用技术, 主要利用负压减量设备减少固体废弃物总量, 采用直接固化方法对最终废弃钻井液进行固化和直接拉运, 结合破胶作业和压滤设备实现固液分离, 压滤液经处理后用来配制钻井液实现循环利用。具体处理流程见图 1。

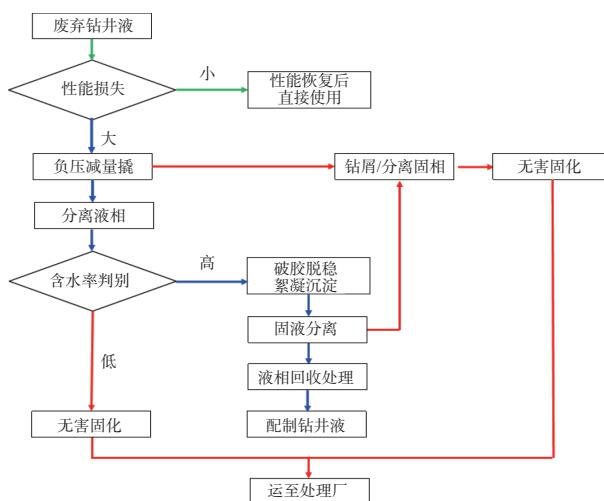


图 1 废弃钻井液无害化处理与重复利用流程

Fig.1 Harmless treatment and reuse process of waste drilling fluids

该处理流程主要包括以下 3 方面: 1) 采用减量设备对废弃钻井液进行二次筛分^[13], 最大程度分离其中的液相, 降低分离后固相(钻屑)的含液率, 实现钻屑减量; 2) 对含水率较高的废弃钻井液进行破胶絮凝, 然后利用压滤机进行固液分离, 分离液相在储集罐中进行处理, 用来配制钻井液; 3) 对于固相含量高、稠度大的废弃钻井液, 以及处理过程中分离出的钻屑和其他固相, 就地进行无害固化处理, 并根据当地要求拉运至处理厂。

废弃钻井液性能分析表明, 1 号、2 号废弃钻井液

性能失效严重, 可利用该流程进行无害化处理; 3 号废弃钻井液的性能相对损失较小, 经过常规的固控设备处理后可回收重复利用, 无需深度处理。因此, 下面主要针对 1 号、2 号废弃钻井液进行处理研究。

2.2 固化处理

通过室内材料优选、复配和单因素试验, 研究确定了复合固化剂 SD 配方为 8%~12%SD-1(粉煤灰)+8%~10%SD-2(CaO)+1%~3%SD-3(胶结剂)+2%~3%SD-4(饱和氯化钙溶液)。固化剂中的 Ca^{2+} 具有强烈的吸水特性, 极易与水反应, 同时释放出大量的热量激活固化剂中其他组分的胶凝特性。粉煤灰中的 SiO_2 和 Al_2O_3 可在废弃钻井液中与 CaO 的水化产物 $Ca(OH)_2$ 反应生成水化硅酸钙凝胶和水化铝酸钙, 提高废弃钻井液的胶凝组分含量和硬化质量^[14~15]。同时, 氯化钙可与氧化钙反应生成金属碱式氯化物, 其具有类似水泥的硬化性质, 可快速吸水、稠化和固化废弃钻井液, 形成不易流动的固体胶结物^[16]。

采用该配方对废弃钻井液进行固化, 并测试固化物的抗压强度和其浸出液的毒性。固化物浸出 7 d 后, 取浸出液测试, 各项指标满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 中的二级水质排放标准 (COD 小于 150 mg/L, pH 值 6~9, 色度小于 80, 见表 3), 固化物强度较高, 可直接拉运。

表 3 复合固化剂的固化效果
Table 3 Curing effect of composite curing agents

废弃钻井液	固化剂加量, %	浸出液 COD/ (mg·L ⁻¹)	浸出液 pH 值	色度	固化强度/ MPa
1号	20	145.5	6.8	26	1.6
2号	20	133.4	6.5	20	1.7

2.3 破胶处理

室内试验表明, 芬顿试剂对聚合物钻井液具有较好的破胶效果, 但原料管控严格、成本高、二次污染大, 因此, 结合临兴-神府井区的废弃钻井液特点, 研发了以铝盐为主要成分的破胶剂。该破胶剂无毒、成本低, 主要为硫酸铝、聚合氯化铝和阳离子聚合物的复合水溶液, 通过单因素法确定硫酸铝、聚合氯化铝和阳离子聚合物的质量比为 (3.00~5.00):2.00:0.33。铝盐类水溶液可以生成羟基铝离子, 与其他离子形成羟基桥联, 生成无机高分子聚合物, 直至出现 $Al(OH)_3$ 沉淀。其破胶机理为: 1) 水解聚合形态物质吸附胶体离子, 使之脱稳; 2) 胶体离子被氢氧化铝沉淀物网捕, 再与阳离子聚合物

的絮凝作用结合, 就可以实现高效破胶作用。在 100.0 g 水中加入 30.0 g 硫酸铝、15.0 g 聚合氯化铝和 2.5 g 阳离子聚合物, 配制成破胶剂溶液, 对废弃钻井液进行破胶试验, 结果见表 4。从表 4 可以看出, 破胶剂溶液加量达到 13.33% 时, 1 号、2 号废弃钻井液的破胶出水率分别可达到 60% 和 50% 左右, 具有较好的破胶效果, 此时破胶剂的有效加量为 4.29%。

表 4 破胶剂加量优选试验结果

Table 4 Test results of gel breaker dosage optimization

废弃钻井液质量/g	破胶剂溶液加量/g	破胶剂加量, %	压滤时间/min	出水率, %
1号	300	10	1.07	35
	300	20	2.15	40
	300	30	3.22	30
	300	40	4.29	30
2号	300	10	1.07	47
	300	20	2.15	58
	300	30	3.22	48
	300	40	4.29	51
				60.42
				50.42

2.4 压滤液处理及重复利用

废弃钻井液经破胶压滤后, 产生黄褐色的压滤液, 这部分液体需要经过处理后进行重复利用。压滤液的处理流程为: 1) 向 100 mL 压滤液中加入 0.5 g NaOH 和 1.0 g Na₂CO₃, 搅拌 5 min, 然后静置 30 min 除去底部沉淀; 2) 加入 0.5 g 活性炭和 1.0 mL NaClO 溶液, 搅拌 10 min; 3) 加入 2.5 g 膨润土, 搅拌 10 min, 静置 20 min; 4) 将处理液进行过滤, 除去沉淀。

处理后的压滤液无色透明、呈弱碱性, 使用处理后的压滤液配制钻井液。钻井液配方为: 2.0% 膨润土+0.2%Na₂CO₃+0.4% 增黏提切剂+2.0% 降滤失剂+3.0% 封堵剂+3.0% 抑制剂+重晶石粉。采用处理前、后的压滤液配制的钻井液性能见表 5。

由表 5 可知, 与采用清水配制的钻井液相比, 利用压滤液直接配制钻井液的黏度和切力有一定程度降低, 滤失量略上升, 且出现严重沉降现象, 说明不能直接用压滤液配制钻井液; 利用处理后压滤液配制钻井液的流变性能变化较小, 且与清水混合后配制的钻井液无沉降, 性能与清水配制的钻井液基本相当, 可用于配制浅层钻井液。

表 5 清水与破胶压滤液所配钻井液的性能

Table 5 Performance of drilling fluids prepared with clean water and gel-breaking filtrate

配制钻井液用液体	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	静切力/Pa		中压滤失量/mL	24 h后是否沉降
				初切	终切		
清水	25	15	10	2.0	2.5	4.5	否
处理前压滤液	17	12	5	0.5	1.0	5.0	严重沉降
处理后压滤液	20	14	6	1.5	1.8	4.4	轻微沉降
处理后压滤液+等量清水	23	15	8	1.5	2.0	4.4	否

3 现场试验

2019 年 3—7 月, 临兴-神府井区 3 口井进行了废弃钻井液无害化处理及重复利用技术现场试验, 现场处理废弃钻井液 1 238 m³。经减量处理后, 固相含量较高、稠度较大的废弃钻井液利用研发的固化剂直接固化处理, 固化 24 h 后已经充分固结为可直接运输的固化物, 具有一定强度; 含水率较高的废弃钻井液, 进一步处理后配制钻井液 185 m³, 实际入井测试未发生异常情况, 满足现场作业要求。下面以 SM-29 井为例说明试验情况。

SM-29 井钻井循环出来的钻井液, 首先采用负

压减量橇, 利用高频振动结合负压抽汲原理, 将附着于钻屑表面的废弃钻井液最大限度分离出来, 实现钻屑减量; 现场分离后钻屑的含液率低于 30%, 钻屑质量减少 20%~40%, 回收废弃钻井液 34 m³, 进一步处理后可以重复利用。

对需要固化的废弃钻井液, 按照 15% 的加量向废弃钻井液中加入固化剂进行固化, 使用现场的挖掘机等设备辅助搅拌, 使废弃钻井液迅速固结、硬化, 转化成高强度的固化物。对固化 3 d 后的样品进行浸出试验, 取浸出液进行检测。浸出液中铜含量 90 μg/L, 锌含量小于 5 μg/L, 铅含量 300 μg/L, 镉含量 18 μg/L, 镍含量小于 50 μg/L, 铬含量 60 μg/L, 砷含量 6.37×10^{-4} mg/L, 汞含量 1.60×10^{-4} mg/L, pH 值

为 12.3, 满足《危险废物鉴别标准: 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3—2007)中的相关要求。

含水率较高的废弃钻井液采用破胶絮凝、固液分离和水质调节等工艺进行处理, 得到压滤液, 用来配制钻井液。所配钻井液的表观黏度为 22 mPa·s, 动切力为 8 Pa, 中压滤失量仅为 4.2 mL, 静置 24 h 后无沉降; 钻井过程中钻井液性能稳定, 未出现异常情况, 顺利完成 SM-29 井钻井作业。

4 结 论

1) 针对临兴-神府井区废弃钻井液的无害化处理与重复利用要求, 研发了高效的复合固化剂和复合铝盐破胶剂, 其成本低廉, 且具有良好的固化、破胶效果, 优于常见的处理剂。

2) 结合负压减量设备, 研究形成了废弃钻井液无害化处理与重复利用技术, 并进行了现场试验, 满足了临兴-神府井区作业需求。

3) 临兴-神府井区废弃钻井液处理过程中, 单井作业应以随钻减量、高效固化为主, 丛式井可着重废弃钻井液重复利用, 减少废弃物总量, 降低作业成本。未来大规模推广应用时, 临近区块可建立集中处置维护站, 实现降本增效。

参 考 文 献

References

- [1] 李建, 冯雷, 和鹏飞, 等. 临兴地区浅层气井钻固井技术研究与应用 [J]. 石油工业技术监督, 2020, 36(9): 18–20.
LI Jian, FENG Lei, HE Pengfei, et al. Research and application of drilling and cementing technology for shallow gas wells in Linxing Area[J]. *Technology Supervision in Petroleum Industry*, 2020, 36(9): 18–20.
- [2] 傅宁, 杨树春, 贺清, 等. 鄂尔多斯盆地东缘临兴-神府区块致密砂岩气高效成藏条件 [J]. 石油学报, 2016, 37(增刊1): 111–120.
FU Ning, YANG Shuchun, HE Qing, et al. High-efficiency reservoir formation conditions of tight sandstone gas in Linxing-Shenfu Blocks on the east margin of Ordos Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2016, 37(supplement 1): 111–120.
- [3] 郭明强. 储集空间类型对宏观物性的影响: 以鄂东临兴神府地区为例 [J]. 中国煤层气, 2020, 17(2): 18–23.
GUO Mingqiang. Effects of reservoir space types on macroscopic physical properties: a case study of Linxing-Shenfu in Eastern Ordos Basin[J]. *China Coalbed Methane*, 2020, 17(2): 18–23.
- [4] 刘玲, 王峰, 汤达祯, 等. 临兴地区上古生界煤系烃源岩评价及排烃特征 [J]. 特种油气藏, 2018, 25(1): 5–10.
LIU Ling, WANG Feng, TANG Dazhen, et al. Evaluation on upper Paleozoic coal-bearing source rocks and hydrocarbon expulsion feature in Linxing Region[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(1): 5–10.
- [5] 吴泽舟, 游靖, 张勇, 等. 钻井液环保性能标准的现状与对策 [J]. 石油工业技术监督, 2019, 35(12): 20–23.
WU Zezhou, YOUNG Jing, ZHANG Yong, et al. Current situation of standard for environmental protection performance of drilling fluid and countermeasures to it[J]. *Technology Supervision in Petroleum Industry*, 2019, 35(12): 20–23.
- [6] 苏延辉, 耿学礼, 马成华, 等. 临兴致密砂岩气区块废弃钻井液固液分离实验研究 [J]. 石油化工应用, 2016, 35(5): 116–119.
SU Yanhui, GENG Xueli, MA Chenghua, et al. Experimental research on solid-liquid separation of waste drilling fluid from Linxing tight sandstone gas area[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2016, 35(5): 116–119.
- [7] 龙怀远, 王松, 李行, 等. 长庆油田废弃钻井液固化处理研究 [J]. 长江大学学报(自科版), 2017, 14(7): 50–52.
LONG Huaiyuan, WANG Song, LI Hang, et al. Study on solidification of waste drilling fluids in Changqing Oilfield[J]. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*, 2017, 14(7): 50–52.
- [8] 赵宏波, 李新宝, 王冲, 等. 废弃钻井液固液分离-化学处理技术在长北气田的应用 [J]. 石油钻探技术, 2017, 45(3): 48–56.
ZHAO Hongbo, LI Xinbao, WANG Chong, et al. The application of solid liquid separation-chemistry processing technology for waste drilling fluid in the Changbei Gas Field[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2017, 45(3): 48–56.
- [9] 黎金明, 陈在君, 陈磊, 等. 苏里格气田废弃钻井液固液分离及回用研究 [J]. 钻采工艺, 2018, 41(4): 89–91.
LI Jinning, CHEN Zaijun, CHEN Lei, et al. Research on solid-liquid separation and recycling of waste drilling fluid at Sulige Gas-field[J]. *Drilling & Production Technology*, 2018, 41(4): 89–91.
- [10] 任雯, 刘晓辉, 李盛林, 等. 废弃高性能水基钻井液循环利用电吸附处理方法 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(4): 50–55.
REN Wen, LIU Xiaohui, LI Shenglin, et al. Electro-sorption treatment method for waste high performance water-based drilling fluid[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(4): 50–55.
- [11] 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 Subei Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2018, 46(4): 109–114.
- [12] 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.
SU Qin, HE Qingshui, ZHANG Hui, et al. Foreign onshore drilling waste treatment technology[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2010, 38(5): 106–110.
- [13] 李文霞. 负压振动筛分机理研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2018.
LI Wenxia. Study on screening mechanism of negative pressure vibrating screen[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2018.
- [14] 王丽, 董娅玮, 王文科. 废弃钻井液固化处理技术研究 [J]. 应用化工, 2015, 44(12): 2186–2188, 2192.
WANG Li, DONG Yawei, WANG Wenke. Treatment of waste drilling fluid curing technology[J]. *Applied Chemical Industry*, 2015, 44(12): 2186–2188, 2192.
- [15] 刘宇程, 吴冕, 陈明燕. 钻井废泥浆固化处理技术研究进展及展望 [J]. 环境科学与技术, 2010, 33(增刊1): 534–537.
LIU Yucheng, WU Mian, CHEN Mingyan. Research progress and prospect on technology of solidification of waste drilling mud treatment[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(supplement 1): 534–537.
- [16] 李雪光. 废弃钻井液的固化处理及低毒性钻井液研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2018.
LI Xueguang. Research on the control system of oil extraction joint station based on PLC[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2018.