

俄罗斯油气钻采废弃物处理及其利用研究

汤凤林^{1,2}, 赵荣欣¹, 周欣³, 段隆臣², Третьяк А.А.⁴

(1.上海市建筑科学研究院有限公司,上海 200032;

2.中国地质大学(武汉)工程学院,湖北 武汉 430074; 3.湖北省地震局,湖北 武汉 430064;

4.Южно-Российский Государственный Технический университет, Новочеркасск Россия 364611)

摘要:生态安全和环境保护是世界各国都非常关心的问题。地质钻探和石油天然气钻采工作中产生大量废弃物,直接影响生态安全和环境保护,给经济建设和人民生活带来很大的负面影响。俄罗斯钻探工作者对此进行了研究,取得了一定效果。他们主要采用综合处理方法和磁化处理方法。利用这2种方法,废弃物不仅可以再生,而且还可以二次使用,有一定的创新和实际意义,值得引起我们的重视,建议对此进行研究与讨论。

关键词:生态安全;环境保护;石油天然气;钻采废弃物;综合处理;磁化处理

中图分类号:X74;TE2;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)05-0202-06

Research on processing and use of wastes in oil and gas drilling and production in Russia

TANG Fenglin^{1,2}, ZHAO Rongxin¹, ZHOU Xin³, DUAN Longchen², TRETYAK A.A.⁴

(1.Shanghai Institute of Building Sciences Limited Company, Shanghai 200032, China;

2.Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;

3.Hubei Earthquake Agency, Wuhan Hubei 430064, China;

4.Russian Southern State University of Technology, Novocherkassk 364611, Russia)

Abstract: Ecological security and environmental protection are important issues concerned all over the world. In geological drilling, and oil and gas drilling and production, a lot of wastes are produced, directly influencing ecological security and environmental protection, and having a negative impact on national development and people's life. In Russia, the problems have been researched by drillers with some results achieved. They have used two methods: the complex processing method and the magnetization processing method. The methods have certain innovation and practical significance. Using the methods, the wastes can not only be reproduced, but also can be used for the second time. It is suggested for us to pay attention to them and to study and discuss the methods.

Key words: ecological security; environmental protection; oil and gas; wastes in drilling and product; complex processing; magnetization processing

世界上由于人类生产和生活活动的结果,对生态环境的影响和污染几乎达到了毁灭性的规模,因此,研究和解决生态安全和环境保护问题非常紧迫。地质钻探中,特别是石油天然气钻采工作中,常常产生很多废弃物,对周围环境和生态平衡造成

了严重危害,对于人民的生活也有很大的负面影响^[1-5]。俄罗斯环境和自然资源发展规划规定:要降低周围自然环境污染,满足进出口需求,保证自然资源和原料资源稳定增长。实践和统计表明,俄罗斯的石油生产企业和石油加工企业是周围环境的

收稿日期:2022-07-29; 修回日期:2022-08-12 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.027

基金项目:国家自然科学基金面上项目“液压冲击回转作用下热压WC-CU基孕镶金刚石钻头的磨损行为研究”(编号:D0219,2019-2022)

第一作者:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院外籍院士,俄罗斯自然科学院外籍院士,国际矿产资源科学院院士,探矿工程专业,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市鲁磨路388号,ftang_wuhan@aliyun.com。

引用格式:汤凤林,赵荣欣,周欣,等.俄罗斯油气钻采废弃物处理及其利用研究[J].钻探工程,2022,49(5):202-207.

TANG Fenglin, ZHAO Rongxin, ZHOU Xin, et al. Research on processing and use of wastes in oil and gas drilling and production in Russia[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5):202-207.

主要污染源之一。这种污染在油气钻井、开采、运输、加工等全过程都会发生,产生大量的废弃物,如石油废弃物、石油产品、岩屑等,对生态环境影响很大^[4]。西伯利亚西部的石油开采量占俄罗斯石油总开采量的50%以上,单是岩屑(俗称岩粉)每年的数量就达到100 t以上。岩屑的矿物成分复杂,含有石油废弃物、石油产品和钻井液处理用的有毒处理剂,如KMI(羧基甲基纤维素)、CCB(亚硫酸盐酒精废液)、ПAA(聚丙烯酰胺)、OЭЦ(氧化乙基纤维素)等残留,在和地下自然条件,如和地下水等接触时,会对生物群和农业生产产品的稳定自然平衡产生不

可控制的负面影响^[4-5]。

俄罗斯在钻采废弃物处理和利用方面做了很多工作,取得了一定的效果。他们主要采用2种方法:综合处理方法和磁化处理方法^[4-24]。

1 综合处理方法

这种方法(见图1)分2步。

第一步是初步处理,即岩屑从井口返出来,通过螺杆泵使岩屑和水进入沉淀池。此后,初步净化的岩屑一方面通过螺杆泵进入水力旋流器除砂除泥后,使水进入水池子净化;另一方面通过离心泵使水进入水池子,对岩屑继续净化。

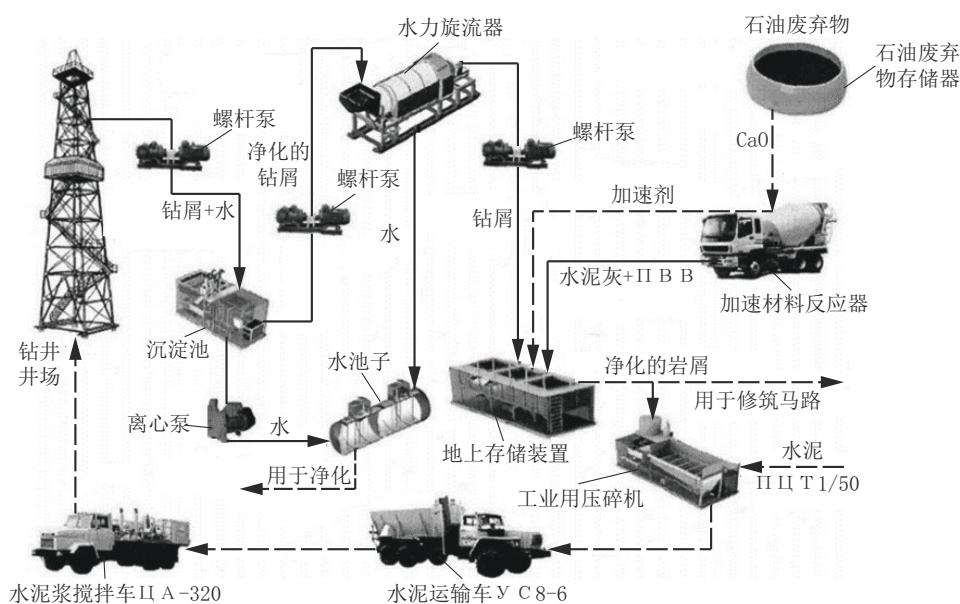


图1 岩屑综合处理方法示意^[5]

Fig.1 Schematic diagram of the complex processing method for drilling cuttings

第二步是后续处理。把岩屑储存在岩屑池中。在混凝土搅拌机中,利用CaO和石油废弃物容器中的石油废弃物混和的办法来准备加速剂。净化可在钻采井场进行。处理后的岩屑可以用作铺筑马路,其中一部分可以作为水泥浆的组成部分,通过粉碎机处理后,用水泥运输车及水泥搅拌机将其压入套管外空间,作为灌注水泥浆进行固井。

1.1 废弃物处理用加速剂优化

为了提高加速剂材料的强度,使用了水泥灰(水泥工业中的大量废料)作为粘结添加剂。为了防止周围自然环境、地质生态环境因素对加速剂的负面影响,使用了全年四季可用的聚合物水添加剂ПBB

(技术条件 2216-002-75821482-2006)。通过试验确定,加速剂材料质量最优组成为:水泥灰15%~30%;加速剂材料20%~30%;聚合材料ПBB 1%~2%;岩屑:其余的。

还研究了加速剂材料的抗水性和抗酸性,因为这2个指标是评价毒性组成材料是否有析出的标准指标。为了分析酸对加速剂材料的作用,使用了耗时4个月制备的石油废弃物和十六烷为基础的处理剂。此外,研究了加有ПBB和未加ПBB加速剂的性能。所有样品都是用0.1当量盐酸、0.1当量硫酸和0.1当量硝酸处理的。

研究确定,利用质量1.5% ПBB处理的加速剂

材料的抗水性最强(见图2),此时质量损失最小,小于1%,说明毒性成分几乎没有解析出来。用十六烷基制备的材料抗水性较差,使用30%十六烷基制备的材料时,质量损失达到9%以上^[4-5]。

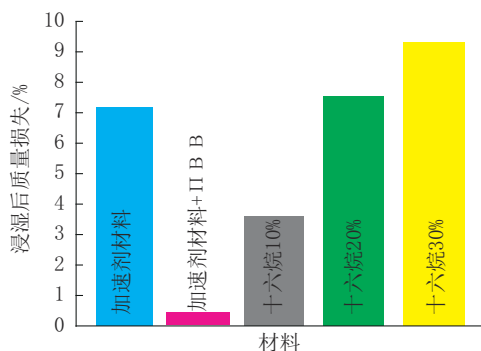


图2 加速剂材料的抗水性^[4]

Fig.2 Water-resistance of capsulated reagent materials

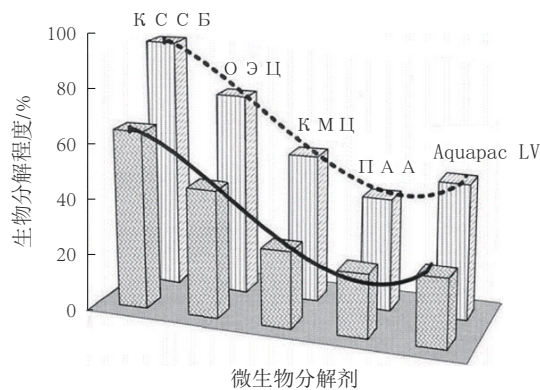
研究结果还表明,利用ΠBB处理的加速剂材料,在酸性介质中浸湿7个昼夜之后,强度变化不大,只降低了6.67%,而没有利用ΠBB处理的加速剂材料,在酸性介质中浸湿7个昼夜之后,强度降低了33.3%。可见,使用ΠBB是非常必要的。

1.2 非病原微生物分解剂处理岩屑毒性成分

为了提高净化后岩屑的地质生态安全性,乌拉尔国立科技大学应用生态教研室对利用非病原微生物分解剂 *Rhodococcus erythropolis* (红细胞红斑) AC-1339Д、与其组合的 *Bacillus* (病菌) BKM 1742Д 和 *Fusarium species* (镰刀鱼类) No.56,按1:1:1比例对毒性聚合物钻井液处理剂进行了试验研究。结果表明,利用上述组合微生物分解剂对毒性聚合物的分解速度比单用 *Rhodococcus erythropolis* AC-1339Д 进行分解的速度平均高出20%~30%,见图3^[4-5]。

关于利用非病原微生物分解剂 *Rhodococcus erythropolis* AC-1339Д、*Bacillus* BKM 1742Д 和 *Fusarium species* No.56 按1:1:1比例组合,对毒性聚合物处理剂分解情况进行了工业试验。对岩屑中的Na-KMΠ残余含量,每月测量2次。结果表明,利用锯屑作结构形成剂时,经过180 d,Na-KMΠ的分解程度最好,回归方程和趋势曲线见图4。

俄罗斯联邦巴什科尔斯坦(Башкортостан)共和国鉴定实验室的实验室鉴定结果表明,钻探岩屑的安全等级为4级。利用非病原微生物分解剂 *Rhodococcus erythropolis* AC-1339Д、*Bacillus* BKM



--- 利用单一-Rh. Erythropolis AC-1339Д生物分解程度

— 按1:1:1比例利用Rh. Erythropolis AC-1339Д、Bacillus BKM1742Д和Fusarium species No. 56组合生物分解程度

图3 单项微生物与组合微生物处理聚合物毒性添加剂的分解程度^[5]

Fig.3 Decomposition degrees of polymer toxic additives processed with individual microorganisms and combinational microorganisms

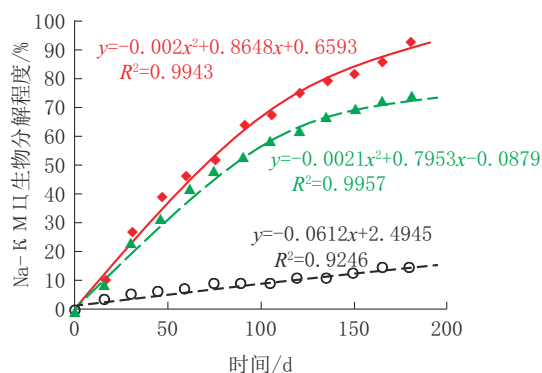


图4 组合的非病原微生物作用时,Na-KMΠ的分解程度与时间的关系^[4]

Fig.4 Na-KMΠ decomposition degree vs time when processing with nonpathogenic combinational microorganisms

1742Д 和 *Fusarium species* No.56 按1:1:1比例组合对毒性聚合物处理剂进行分解后的安全等级为5级。安全等级降到5级,说明这种方法的有效性,可以用来改善油气钻采区域的地质生态环境^[4-5]。

1.3 已净化岩屑的应用

为了探讨净化岩屑的应用可能性,把净化后的岩屑磨碎,通过0.9 mm筛网后,以不同比例添加到ΠΠT 1/50牌号水泥中,搅拌水泥浆,形成水泥石,

测量其强度,见图 5。从图 5 可见,经过粉碎净化后岩屑,其含量(质量)为 5% 时,水泥石强度最大,比原始的 ПЦТ 1/50 牌号水泥石强度提高了 30%~35%。经过粉碎机粉碎的岩屑比未经过粉碎机粉碎的岩屑形成的水泥石强度高出 15%~20%^[4-5]。

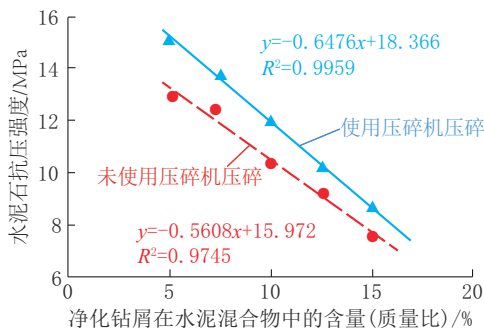


图 5 水泥石抗压强度与水泥浆中净化岩屑含量的关系
Fig.5 Cement stone compressive strength vs content of processed drilling cuttings in cement slurry

2 磁化处理方法

目前,世界上许多国家提出了用不同方法来解决钻采废弃物及其利用问题。俄罗斯南方国立工业大学 Третьяк А.А. 教授等对钻井液磁化处理问题进行了理论和试验研究^[5-12],提出了利用磁场处理的方法,见图 6。

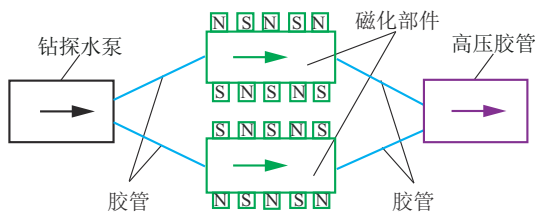


图 6 钻井液磁化处理示意
Fig.6 Schematic diagram of magnetization processing of drilling fluid

2.1 磁化处理原理^[5]

目前,大多数情况下使用膨润土泥浆作为钻井液,其主要原料是粘土,含有高分散的铁磁性颗粒,所以,可以把钻井液看成是一个铁磁性系统。由于范德瓦尔斯(Ван-дер-валь)力是因与原子中电子有关产生量子力学发生作用的,所以,永久磁铁可以改变这种分子力。施加磁场时,电子的运动及其能量将明显改变。当排斥力>吸引力时,粘土颗粒从钻井液中絮凝沉降出来。

粘土颗粒具有一定的磁矩,在外磁场的作用下,可以将其看成是带有电荷的载体。因此,应该把絮凝过程不仅看成是分子能平衡、静电能平衡、热能平衡,而且也是磁场能的平衡。

颗粒沉降速度按下式计算:

$$V(r) = Cr^j = H/t$$

式中: $V(r)$ ——半径为 r 的颗粒沉降速度,规定单位; C ——常数; j ——幂指数(2, 1, 1/2); H ——磁场强度, Oe; t ——时间, h。

2.2 钻井液净化过程和试验结果

钻井液净化过程见图 7。在精细净化站处理后,为了进行分析研究和对比,一部分钻井液进入岩屑池,另一部分钻井液进行磁化处理。

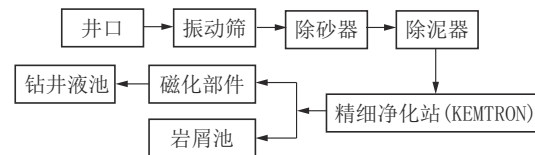


图 7 钻井液净化过程示意

Fig.7 Schematic diagram of drilling mud cleaning

为了改善在复杂地质条件和工程条件下(如高粘性粘土、易于膨胀和强度变弱地层中的垂直井、定向斜井和水平井钻进情况)钻井液的结构流变性能、抑制性能、润滑性能、过滤性能、防卡钻性能、保护自然环境性能等,研发出新型纳米级结构钻井液(俄罗斯发明专利,专利号为 No.RU3708849),其主要成分(质量百分比)为:大理石颗粒 5%~10%,多离子纤维素 5%~10%,苏发努尔 2%~5%,氯化钾 2%~5%,甲基硅酸钾 1%~4%,醋酸钾 1.5%~4%,水氯镁石 2%~5%,铬铁木质磺酸盐 1%~5%,ГКЖ-11 硅有机液 2%~5%,重晶石 0.5%~5%,消泡剂 0.5%~1%,铝酸钾 1%~5%,纳米级分散铜 0.5%~4%,液相-废植物油和废水按比例 55/45 为 80%~20%;其它。

通过试验,研究了该钻井液中岩屑沉降含量与磁场强度的关系(见图 8),可知:钻井液中沉淀出的岩屑量随着磁场强度的增加而增加,磁场强度 0.50 kOe 时的沉淀岩屑量为 4.5%,磁场强度 2.0 kOe 时为 6.1%,达到了最大值。磁场强度 > 2.0 kOe 时,沉淀岩屑量开始减小,这可能与钻井液的成分复杂有关。

通过试验,研究了该钻井液岩屑沉降速度与温度

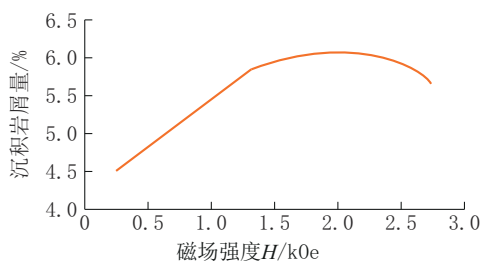


图8 40 min内岩屑从钻井液中沉淀出的数量与磁场强度的关系

Fig.8 Percentage of drilling cuttings settled down from drilling fluid during 40 minutes vs magnetic field strength

的关系(见图9)。钻井液中的粘土颗粒看成是一个处于布朗运动中的微小物体,可以以一定速度在钻井液任何方向上移动。钻井液是胶体颗粒悬浮体。磁场对胶体颗粒悬浮体的作用在于,胶体颗粒在磁场作用下,可以相对介质产生一定方向的运动,胶体溶液在磁场作用下形成结构。当溶液整体稳定性遭到破坏时,即排斥力 $>$ 吸引力时,胶体溶液沉降性质发生明显变化,不仅是各个颗粒沉降,而且是絮凝物沉降。可见,磁场的作用促进了岩屑从钻井液中沉淀出来,增大了其沉降速度,有利于钻井液中岩屑的净化。

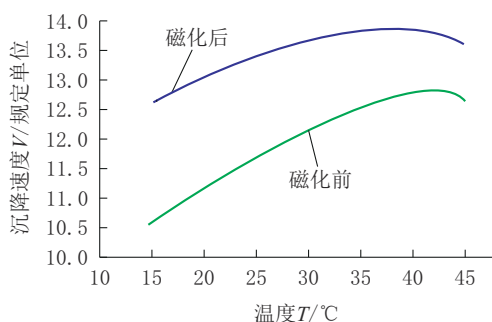


图9 粘土颗粒从纳米结构高抑制钻井液中沉降速度与温度的关系

Fig.9 Precipitation speed of clay particles from nanostructure and highly inhibited drilling fluid vs temperature

从图9可见,岩屑沉降速度与温度有关,磁化前后均随着温度的升高而增加,磁化后增加的幅度更为明显。温度40℃以后,沉降速度增加幅度有所下降。

通过试验,研究了该钻井液沉淀岩屑量与时间的关系(见图10)。

从图10可见,沉淀岩屑的数量均随着时间的增加而增加,但是,磁化后岩屑沉淀的数量比磁化前的沉降数量要高出1.5%~2%,磁化的效果是明显的。

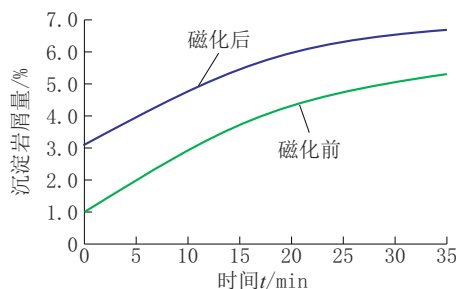


图10 岩屑从纳米结构高抑制钻井液中沉淀岩屑量与时间的关系

Fig.10 Percentage of drilling cuttings precipitated from nanostructure and highly inhibited drilling fluid vs time

研究和试验结果表明,从经过磁化处理的钻井液中沉淀出来的岩屑量均比未经过磁化处理钻井液中沉淀的岩屑多,说明磁化处理是有效的、成功的。

3 结语及建议

(1)地质钻探和石油天然气钻井、开采产生的废弃物很多,对人民生活 and 环境保护具有负面影响,对废弃钻井液的处理应当更加关注。钻井液用的处理剂,如KMLI(羧基甲基纤维素)、CCB(亚硫酸盐酒精废液)、PIAA(聚丙烯酰胺)、OЭI(氧化乙基纤维素)等具有一定的毒性,过去研究不够、认识不足。俄罗斯钻探专家为了提高净化后岩屑的地质生态安全性,研究了利用非病原微生物分解剂来处理这些毒性处理剂残留问题。通过对Rhodococcus erythropolis AC-1339D及其组合的Bacillus BKM 1742D和Fusarium species No.56,按1:1:1比例组合对毒性聚合物处理剂进行分解的试验研究发现,利用上述组合微生物分解剂对毒性聚合物的分解速度比单用Rhodococcus erythropolis AC-1339D进行分解的速度平均高出20%~30%,对生态安全和环境保护具有应用意义。

(2)通过利用CaO和石油废弃物混合的办法制备的加速剂有利于岩屑的再生和后续有效使用。对粘土型钻井液施加磁场时,磁化作用有利于岩屑从钻井液中沉淀出来。

(3)俄罗斯南方国立技术大学钻探工作者开发出了一种新型纳米级结构高抑制性钻井液,可用于复杂地质条件下钻井,如高粘性粘土、易于膨胀和强度变弱地层中的垂直井、定向斜井和水平井,主要是为了改善钻井液的结构流变性能、抑制性能、润滑性

能、过滤性能、防卡钻性能、保护自然环境性能等。建议对其进行研究与探讨。

(4)在钻探和油气井钻采废弃物综合处理方法中,经过初步处理后,后续处理的岩屑可以用作铺筑马路,其中一部分可以作为水泥浆的组成部分,压入套管外空间作为灌注水泥浆进行固井。

(5)建议有关单位和专家对地质钻探和石油天然气钻井、开采中的废弃物处理和利用进行研究,以便妥善解决其对生态安全和环境保护带来的负面影响。

参考文献(References):

- [1] 胡郁乐,张惠,王稳石,等.深部岩心钻探关键技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2018.
HU Yule, ZHANG Hui, WANG Wenshi, et al. Key Technologies in Deep Core Drilling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2018.
- [2] 朱恒银,王强,杨凯华,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
ZHU Hengyin, WANG Qiang, YANG Kaihua, et al. Deep Core Drilling Technology and Management [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [3] 朱恒银,王强,杨展,等.深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M].武汉:中国地质大学出版社,2014.
ZHU Hengying, WANG Qiang, YANG Zhan, et al. Research and Application of Diamond Bit for Deep Geological Drilling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2014.
- [4] Третьяк А.А., Яценко Е.А., Онофриенко С.А., Карельская Е.В. Идентификация отходов бурения и их использование [J]. Известия Томского политехнического университета, 2021, 332(2): 36-43.
- [5] Рахматуллин Дамир Валерьевич. Разработка комплексного метода утилизации буровых шламов [D]. Россия г. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2011.
- [6] Губа А.С., Плетнева Н.И., Явич М.Ю. Идентификация отходов бурения [J]. Нефть, газ, новации, 2019(11): 82-86.
- [7] Матвиенко В.В., Кузнецова В.А., Цеханский М.В. К вопросу о современных методах переработки и утилизации отходов бурения [J]. Нефть и газ Сибири, 2017, 28(3): 147-151.
- [8] А.А. Третьяк, Ю.М. Рыбальченко, С.И. Лубянова, Ю.Ю. Турунтаев, К.А. Борисов. Буровой раствор для строительства скважин в сложных условиях [J]. Нефтяное хозяйство, 2016(2): 28-31.
- [9] Третьяк А. Я., Рыбальченко Ю. М. Теоретические исследования по управлению буровым раствором в осложненных условиях [J]. Известия высших учебных заведений СевероКавказский регион. Технические науки. Приложение, 2006(7): 56-61.
- [10] Н.М. Шерстнёв, С.П. Шандин, С.И. Голоконский, Н.О. Черская, А.В. Уголева. Применение физических полей для регулирования свойств буровых растворов и тампонажных материалов [J]. Российский химический журнал, 1995, 39(5): 22-26.
- [11] Онофриенко Сергей Александрович. Наноструктурированный, Высокоингибированный буровой раствор: № 2708849 [P]. 2019-12-12.
- [12] Третьяк А. Я., Мнацаканов В. А., Зарецкий В. С.. Высокоингибированный буровой раствор: № 2303047 [P]. 2007-07-20.
- [13] В.Ф. Чихоткин, А.Я. Третьяк, Ю.М. Рыбальченко, М.Л. Бурда. Буровой раствор и управление его реологическими свойствами при бурении скважин в осложненных условиях [J]. Бурение на нефть, 2007(7-8): 58-60.
- [14] Caenn R., Darley H.C.H., Gray R.G. Drilling and Drilling Fluids Waste Management: Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids (Seventh Edition) [M]. Cambridge: Gulf Professional Publ., 2017: 597-636.
- [15] Sanzone D.M., Neff J.M., Vinhateiro N. Environmental fates and effects of ocean discharge of drill cuttings and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations [R]. IOGP Report 543, 2016: 4-10.
- [16] Можжерин А.В., Коржавин А.Ю. Исследование остаточной проводимости алюмосиликатных и магнезиально-кварцевых пропантов при циклических нагрузках [J]. Бурение и нефть, 2017(5): 42-45.
- [17] Можжерин А.В., Коржавин А.Ю. Керамический пропант или песок? [J]. Сфера. Нефть и газ, 2018(1): 92-95.
- [18] Рахматуллин Д.В., В.Б. Барахнина, Г.Г. Ягафарова, А.В. Чебирева. Изучение биостойкости буровых реагентов на основе производных целлюлозы [J]. Нефтегазовое дело, 2007, 5(2): 151-153.
- [19] Рахматуллин Д. В., В. Б. Барахнина, Г. Г. Ягафарова. Оценка биостойкости полимерных буровых химических реагентов компании "Baroid Limited" [J]. Башкирский химический журнал, 2007, 14(5): 51-53.
- [20] Рахматуллин Д.В., В.Б. Барахнина, Г.Г. Ягафарова, Е.Г. Ильина. Прогнозирование биодеградации бурового реагента с помощью математической модели [J]. Нефтегазовое дело, 2009, 7(1): 128-132.
- [21] Рахматуллин Д.В., В.Р. Рахматуллин, У.С. Карабалин, Г.Г. Ягафарова. Утилизация буровых отходов реагентным методом [J]. Бурение и нефть, 2009(12): 14-15.
- [22] Рахматуллин Д.В., Г.Г. Ягафарова, В.Р. Рахматуллин, И.Р. Ягафаров, А.В. Московец. Утилизация отходов бурения с последующей биологической доочисткой [J]. Экология и промышленность России, 2010(5): 42-44.
- [23] Рахматуллин Д.В., Г.Г. Ягафарова, В.Б. Барахнина, И.Р. Ягафаров. Экономические аспекты применения нефтеокисляющего биопрепарата "РОДОТРИН" [С]// Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии, Уфа, 2008: 220-221.
- [24] Рахматуллин Д. В., Г. Г. Ягафарова, В. Б. Барахнина. Утилизация буровых отходов, содержащих полимерные добавки [С]// Материалы 3 научно-технической конференции с международным участием. Основные проблемы освоения и обустройства нефтегазовых месторождений и пути их решения. Россия. Оренбург, ВолгоУралНИПИгаз, 2009: 75-78. .

(编辑 李艺)