

# 青海煤系复杂地层环保冲洗液体系研究及应用

鲍海山<sup>1</sup>, 张少林<sup>1</sup>, 赵光通<sup>1</sup>, 王伟超<sup>1</sup>, 文怀军<sup>2</sup>, 罗宏昌<sup>1</sup>

(1. 青海煤炭地质一〇五勘探队, 青海 西宁 810007; 2. 青海煤炭地质局, 青海 西宁 810001)

**摘要:**为了更好地适应绿色勘查工作要求, 推动地质钻探工作绿色发展, 促进绿色勘查工作进步, 通过室内实验研究, 围绕研制的环保型冲洗液体系能否满足环境保护和钻探工程要求, 开展了对环保冲洗液添加剂及体系优选实验, 研制了适合青海煤系复杂地层的环保冲洗液体系, 并成功在木里煤田综合工程地质勘查项目 HF-4 号钻孔进行了生产试验。通过室内实验研究和现场应用表明, 研制的环保冲洗液体系生物毒性达到了国家环保排放标准  $EC_{50} \geq 30000$  mg/L, 并解决了青海煤系复杂地层孔壁易失稳等技术难题, 形成了一套适合青海煤系复杂地层的环保冲洗液体系, 取得了良好的社会和经济效益, 表明该项技术成果有着良好的推广应用前景。

**关键词:**煤系复杂地层; 环保冲洗液; 地质钻探; 绿色勘查; 废浆固化剂

中图分类号: P634.6 文献标识码: B 文章编号: 2096-9686(2021)S1-0233-06

## Research and application of environment-friendly drilling fluid system for complex Qinghai coal measures

BAO Haishan<sup>1</sup>, ZHANG Shaolin<sup>1</sup>, ZHAO Guangtong<sup>1</sup>, WANG Weichao<sup>1</sup>, WEN Huaijun<sup>2</sup>, LUO Hongchang<sup>1</sup>

(1. Qinghai Coal Geology 105 Exploration Team, Xining Qinghai 810007, China;

2. Qinghai Coal Geology Bureau, Xining Qinghai 810001, China)

**Abstract:** In order to better adapt to the requirements of green exploration, promote the green development of geological drilling, and promote the progress of green exploration, optimization experiment of environment-friendly drilling fluid additives and systems was carried out with the development of the environment-friendly drilling fluid system suitable for Qinghai coal measures complex strata through indoor experimental research focused on whether the environment-friendly drilling fluid system to be developed can meet the requirements of environmental protection and drilling engineering; and production test was successfully carried out in HF-4 borehole of the Muli Coalfield comprehensive engineering geological exploration project. Indoor experimental study and field application showed that the developed environment-friendly drilling fluid reaches the national environmental protection discharge standard for biotoxicity with  $EC_{50} \geq 30000$  mg/L, has solved the technical problems of hole wall instability in complex Qinghai Coal Measures, formed an environment-friendly drilling fluid system suitable for Qinghai coal measures complex formation, and achieved good economic and social benefits, indicating that the technical achievement has a good application prospect.

**Key words:** complex coal measures; environment-friendly drilling fluid; geological drilling; green exploration; waste mud solidifying agent

## 0 引言

近年来, 随着生态文明建设及绿色发展理念的确立, 社会各界对环境保护日益重视, 有时地质钻

探过程中冲洗液环境污染问题也越来越受到重视, 冲洗液是一种极其复杂、由多种无机物和有机物构成的混合多相体系, 以往人们对环境保护重视不

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.038

作者简介: 鲍海山, 男, 土族, 1988年生, 工程师, 从事钻探工程与泥浆技术研究工作, 青海省西宁市城东区八一中路47号, 352652199@qq.com。

引用格式: 鲍海山, 张少林, 赵光通, 等. 青海煤系复杂地层环保冲洗液体系研究及应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 233-238.

BAO Haishan, ZHANG Shaolin, ZHAO Guangtong, et al. Research and application of environment-friendly drilling fluid system for complex Qinghai coal measures[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 233-238.

够,致使在钻探施工过程中往往只着重考虑其钻探工艺性能,而忽视或很少考虑冲洗液原料及添加剂对环境的潜在污染和毒性危害,使钻探作业成为地质勘查过程中的一大污染源<sup>[1]</sup>。近几年国内各大油田、研究机构 and 高校围绕提升钻井液环保性能方面在室内开展了一系列研究,也研制出了多种环保型钻井液体系<sup>[2]</sup>,但是有些环保冲洗液仅限于室内研究、实际工程中还未应用,有些由于技术保密需要、获取不到准确配方,有些合成工艺复杂成本投入很大,无法在小口径地质钻探工作中使用,因此研究一种低成本、实用性的环保型冲洗液<sup>[3]</sup>,对促进青海省绿色勘查工作进步,提高地质钻探绿色环保程度具有十分重要的现实意义。

## 1 环保冲洗液配方优选

### 1.1 优选原则

地质钻探冲洗液通常由基础液、造浆材料、絮凝剂、增粘剂、降失水剂、润滑剂等添加剂组成<sup>[4]</sup>,根据青海煤系复杂地层孔壁稳定需要和生态环境保护要

求,环保冲洗液添加剂的筛选原则是:一是具有环保性能,即色浅、无生物毒性和化学毒性;二是易生物降解,与地层水混合不生成化学沉淀,对环境损害小;三是添加剂种类少,现场易于配制,材料成本较低;四是配制出的冲洗液性能优良、质量稳定<sup>[5]</sup>。

### 1.2 关键添加剂优选

基于环保无毒、抑制性能强和易配制及经济适用的原则<sup>[6]</sup>,对适合作为青海煤系复杂地层环保冲洗液体系中起到关键作用的添加剂,进行了优选试验。

#### 1.2.1 增粘剂优选

在室温条件下,配制4%纳基膨润土浆,对羧丙级甲基纤维素(HPMC)和羧甲基纤维素钠(CMC-Na)两种环保型天然植物增粘类材料进行了优选实验,试验数据及结果见表1。

1号配方:纳基膨润土浆4%;2号配方:纳基膨润土浆4%+羧丙级甲基纤维素(HPMC)0.3%;3号配方:纳基膨润土浆4%+羧甲基纤维素钠(Na-CMC)0.3%。

表1 增粘剂优选试验数据

配方 编号	漏斗粘度/ s	表观粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	静切力/Pa		失水量/ [mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	泥饼厚度/ mm	pH值	胶体率/ %
					10 s	10 min				
1	17	6.5	4.0	2.55	1.02	1.53	35	2.2	7	96
2	35	21.5	15.0	6.64	3.06	4.08	11	0.8	7	99
3	38	22.5	16.0	6.64	1.53	2.20	13	1.2	7	99

从表1可以看出,选用的2种天然植物增粘类材料都具备良好的流变性和降失水效果,而羧丙级甲基纤维素 HPMC 增粘效果、切力、触变性最好,失水量最低,因此,选用羧丙级甲基纤维素 HPMC 作为环保冲洗液体系的增粘剂。

#### 1.2.2 絮凝剂优选

在室温条件下,配制4%纳基膨润土浆,然后对2种常用的人工合成高分子聚合物包被剂FA141型包被剂和FA367型包被剂进行优选实验<sup>[7-8]</sup>,实验数

据及结果见表2。

1号配方:纳基膨润土浆4%;2号配方:纳基膨润土浆4%+FA367型包被剂0.2%;3号配方:纳基膨润土浆4%+PAC141型包被剂0.2%。

从表2可以看出,加入FA367型两性离子包被剂的溶液中表观粘度和塑性粘度略提高,静切力降低,失水量降低,因此,加入FA367包被剂溶液的流变性能和滤失性能优于加入FA141型包被剂溶液,同时两性离子FA367聚合物包被剂可以减少或避

表2 絮凝剂优选试验数据

配方 编号	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	表观粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	静切力/Pa		失水量/ [mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	泥饼厚度/ mm	pH值
					10 s	10 min			
1	1.03	6.5	4.0	2.55	1.02	1.53	35	2.2	7
2	1.03	13.5	11.0	2.55	1.75	1.02	12	1.0	7
3	1.03	11.5	8.0	3.50	1.75	1.02	15	1.2	7

免对周围环境的生物产生富集作用,有利于环境保护,所以选用两性离子FA367型包被剂作为环保冲洗液体系的絮凝剂。

### 1.2.3 降失水剂优选

在室温条件下,配制4%纳基膨润土浆,分别加入水解聚丙烯腈钠盐、水解聚丙烯腈铵盐和以马铃薯改性淀粉<sup>[9]</sup>为主要原料研制的环保降失水剂复合产品,分别测试其溶液的密度、失水量、pH值、胶体率等性能参数,试验结果见表3。

1号配方:纳基膨润土浆4%+水解聚丙烯腈铵盐1%;2号配方:纳基膨润土浆4%+水解聚丙烯腈钠盐1%;3号配方:纳基膨润土浆4%+环保降失水剂1%。

表3 降失水剂优选试验数据

配方编号	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	失水量/[mL·(30min) <sup>-1</sup> ]	泥饼厚度/mm	泥饼质量	pH值	胶体率/%
1	1.035	13	1.20	软	7	98
2	1.035	15	1.40	松	7	97
3	1.035	11	1.20	韧	7	99

从表3可以看出,优选的降失水剂都具有较好的滤失性能,虽然水解聚丙烯腈钠盐、水解聚丙烯腈铵盐在冲洗液中常温常压失水量控制在15 mL/30 min以内,但是形成的泥饼质量比较松软,研制的降失水剂失水量较低,并能较好地改善泥饼质量,选用研制的环保降失水剂为环保冲洗液的降失水剂。

### 1.3 基本配方优选

在室内环保型添加剂优选的基础上,结合青海煤系复杂地层对冲洗液技术性能要求,最终确定适合青海煤系复杂地层的环保冲洗液体系的基础配方:4%纳基膨润土+0.3%羧丙基甲基纤维素(HPMC)+0.2%两性离子包被剂(FA367)+1%环保降失水剂(复合产品)+0.2%聚丙烯酸钾(K-HPAN)。

## 2 综合性能评价

### 2.1 抑制性能评价

青海煤系地层属于沉积地层,也被称为水敏性地层,具有水化分散和水化膨胀的特征,因此冲洗液抑制性能的评价是衡量冲洗液能否满足煤系地层钻探施工的重要指标,环保冲洗液抑制性能评价分别采用岩屑

回收率实验、相对膨胀率实验进行评价。

### 2.1.1 岩屑回收率

岩屑回收率评价试验仪器主要采用XGRL-4型高温滚子炉和LHG-2型陈化釜,岩样取自青海省木里矿区上侏罗统泥质粉砂岩,称取10-6目岩样颗粒50 g放入陈化釜中,向其分别加入350 mL不同实验溶液及环保冲洗液配方溶液,分别进行滚动分散试验,结果见表4。

表4 岩屑回收率实验数据

配方	试验液	岩屑回收质量/g	岩屑回收率/%
1	水	13.25	26.50
2	7%氯化钾溶液	42.60	85.20
3	10%氯化钠溶液	24.65	49.30
4	3%硅酸钠溶液	31.35	62.70
5	3%硅酸钾溶液	40.70	81.50
6	30%氯化钠溶液	30.65	61.30
7	环保冲洗液溶液	43.65	87.30

从表4可以看出,环保冲洗液配方溶液滚动分散16 h之后岩屑回收质量为43.65 g,岩屑回收率87.30%,说明能有效提高岩屑回收率,环保冲洗液岩屑回收率高于2号配方7%氯化钾溶液和4#配方3%硅酸钾溶液的岩屑回收率,说明优选的环保冲洗液具有较强的抑制水化能力。

### 2.1.2 相对膨胀率

相对膨胀率试验主要采用NP-01型页岩膨胀测试仪,试验样品采用宁夏中卫纳基膨润土压制,称取纳基膨润土10 g,在专用压力机上加压至4 MPa并维持10 min制得人工岩心样品,分别用不同的溶液、冲洗液、试验液浸泡样品,测定线膨胀量,并计算相对膨胀率和相对膨胀降低率,试验结果见表5。

从表5可以看出,环保冲洗液配方溶液相对膨胀率45%,虽然相对膨胀率高于钾基冲洗液溶液,

表5 相对膨胀率试验数据

配方	试验液	相对膨胀率/%	相对膨胀降低率/%
1	蒸馏水	100	0
2	5%氯化钾溶液	68	32
3	4%植物胶溶液	61	39
4	环保冲洗液	45	55
5	钾基冲洗液	38	62
6	聚合物冲洗液	51	49

但是低于聚合物冲洗液及其他2种溶液相对膨胀率,试验结果表明,优选的环保冲洗液基本配方能满足煤系地层孔壁稳定需要。

## 2.2 抗地层水污染评价

环保冲洗液基本配方抗地层水污染评价,主要采用模拟地层水污染方法测试分析冲洗液性能变化,在环保冲洗液基础配方中分别加入0~20%的模拟地层水,模拟地层水取自青海省大柴旦以东饮

马峡附近的地表河水,通过测量被模拟地层水污染后的各项性能,说明该环保冲洗液配方抗地层水污染能力的强弱程度,试验结果见表6。

1号配方:环保冲洗液基本配方;2号配方:环保冲洗液基本配方+5%模拟地层水;3号配方:环保冲洗液基本配方+10%模拟地层水;4号配方:环保冲洗液基本配方+15%模拟地层水;5号配方:环保冲洗液基本配方+20%模拟地层水。

表6 模拟地层水污染试验数据

配方 编号	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	表观粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	静切力/Pa		动塑比	失水量/ [mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	pH值
					10 s	10 min			
2	1.028	21.5	16.0	5.50	1.53	1.75	0.34	7.5	7
3	1.025	20.0	15.0	5.00	1.25	1.00	0.33	8.0	7
4	1.023	18.5	15.0	3.50	1.00	0.75	0.33	9.0	7
5	1.020	16.5	13.0	3.50	0.50	0.50	0.26	10.0	7

从表6可以看出,随着模拟地层水的不断污染,环保冲洗液体系的密度、漏斗粘度、表观粘度等性能逐渐稀释降低,塑性粘度、动塑比在污染量5%~15%之内变化范围较小,动切力在污染量5%~10%之内变化较小,失水量随着污染量逐渐增大。在环保冲洗液配方中分别加入0~20%的模拟地层水,虽然1号至5号配方冲洗液的塑性粘度、动切力、动塑比等流变性重要参数变化均在正常需求范围之内,但是5号配方地层水污染达到20%时冲洗液滤失量增加到11 mL、冲洗液密度降低至1.02 g/cm<sup>3</sup>,综上所述,环保型冲洗液配方抗地层水污染能力及承受污染量在0~15%之内,可以满足煤系地层钻探施工需要。

## 2.3 抗岩粉入侵评价

环保冲洗液配方抗岩粉入侵评价,样品选用木里煤田侏罗系地层泥页岩,在体系中分别加入5%~20%的岩粉,测量被岩粉污染后的各项性能,

分析岩粉增加会对冲洗液的粘度造成的影响和冲洗液的稳定性能,说明环保冲洗液基础配方可以抗岩粉侵入能力<sup>[10]</sup>,试验结果见表7。

1号配方:环保冲洗液基本配方;2号配方:环保冲洗液基本配方+5%岩粉;3号配方:环保冲洗液基本配方+10%岩粉;4号配方:环保冲洗液基本配方+15%岩粉;5号配方:环保冲洗液基本配方+20%岩粉。

从表7可以看出,随着岩粉颗粒的不断入侵,冲洗液密度逐渐增大,其中5号配方加入200 g岩粉后密度增至1.22 g/cm<sup>3</sup>,冲洗液的表观粘度、塑性粘度、动切力、动塑比变化范围较小,1号至5号配方冲洗液失水量变化范围在8~9 mL/30 min之间,说明环保型冲洗液基本配方溶液具有较好的抑制性能及抗岩粉入侵能力,能有效控制泥页岩地层黏土颗粒吸水膨胀和岩粉分散造浆,具有较好的絮凝作用<sup>[11]</sup>。

表7 抗岩粉入侵实验数据

配方 编号	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	表观粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	静切力/Pa		动塑比	失水量/ [mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	pH值
					10 s	10 min			
1	1.031	22.5	16.0	6.64	1.53	2.20	0.44	7.0	7
2	1.064	23.0	17.0	6.00	1.53	2.20	0.35	7.0	7
3	1.127	23.0	16.0	7.00	1.78	2.04	0.43	7.5	7
4	1.191	24.0	17.0	7.14	1.78	2.04	0.42	7.5	7
5	1.225	25.0	18.0	7.14	2.04	2.55	0.39	8.0	7

### 3 环保性能评价

环保性能主要从生物毒性、生物降解性、重金属测定评价,其中生物毒性采用发光细菌法测定 $EC_{50}$ 值进行评价、生物降解性采用BOD/COD比值评定方法来评价<sup>[12-13]</sup>,重金属通过测定铅、锌、镉、镍、铜、总铬、钡在冲洗液体系中的有效含量进行评价,在2010年国家能源局发布的石油天然气行业标准中明确了生物毒性(发光细菌 $EC_{50}$ ) $>20000$  mg/L、生物降解性大于(BOD5/CODCr) $\geq 0.05$ 、重金属含量达到相应要求就可定为符合环境保护技术要求的水溶性油田化学剂,检测结果见表8、表9。

表8 环保性能检测数据

序号	检测项目	检测结果	规定值	毒性
1	生物毒性 $EC_{50}$	86400 mg/L	25000 mg/L	无毒
3	BOD5/COD生物降解性	0.05	$\geq 0.05$	可降解

表9 重金属检测数据

序号	检测项目	检测结果/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	综合污水排放标准/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )
1	铅含量	$< 0.06$	$\leq 1.0$
2	锌含量	$< 0.06$	$\leq 2.0$
3	镉含量	$< 0.05$	$\leq 0.1$
4	铬含量	0.06	$\leq 1.5$
5	镍含量	$< 0.03$	$\leq 1.0$
6	铜含量	$< 0.02$	$\leq 0.5$
7	钡含量	0.045	$\leq 0.5$

从表8、表9可以看出,该冲洗液体系生物毒性 $EC_{50} > 25000$  mg/L、无毒,生物降解性 $\geq 0.05$ 、易降解,重金属含量均在《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)标准值以内<sup>[14]</sup>,无潜在的重金属超标污染和毒性危害,符合环保要求。

### 4 现场应用及效果

通过室内实验研究,优选的环保冲洗液配方各项技术指标达到了设计要求,为验证室内实验研究的可行性,在木里综合工程地质勘查项目HF-4钻孔进行了现场试验。

#### 4.1 钻孔概况

木里综合工程地质勘查项目HF-4钻孔(见图1),设计孔深150.00 m、终孔深度150.30 m,终孔口

径100 mm,该孔施工采用三级成孔结构,全孔取心、岩心采取率 $\geq 90\%$ ,测井终孔之后全孔下入 $\varnothing 55$  mm观测管,该孔全程使用室内优选研制的环保冲洗液,在整个钻进取心及测井下管作业过程中安全顺利。



图1 生产试验现场

#### 4.2 现场试验情况

HF-4钻孔地层岩性较为复杂,表层为矿渣填方、易导致冲洗液漏失,中层为冲积、洪积的腐殖土、砂、砾石,易造成孔壁失稳坍塌、掉块等,下层为中侏罗统地层,以泥页岩、粉砂岩、油页岩为主,主要由泥质成分构成,水敏性强,易水化分散孔壁失稳、造浆等,针对这些难题在室内添加剂及配方优选的基础上,优选出了适合青海煤系复杂地层的环保冲洗液体系配方:4% 纳基膨润土+0.3% 羧丙基甲基纤维素(HPMC)+0.2% 两性离子包被剂(FA367)+1% 环保降失水剂(复合产品)+0.2% 聚丙烯酸钾(K-HPAN),该环保冲洗液体系在HF-4钻孔实钻过程中性能优良,满足了现场钻进取心作业需要,现场所用冲洗液各项性能指标均符合设计要求,环保冲洗液生产试验及性能参数结果见表10。

表10 冲洗液性能指标

孔深/ m	密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	粘度/ s	失水量/ mL	pH 值	岩层特征
25.80	1.04	38	8.0	7	粉砂岩、致密、坚硬
32.80	1.04	37	8.0	7	粉砂岩、致密、坚硬
39.10	1.05	38	8.0	7	粉砂岩、致密、坚硬
47.60	1.06	39	8.0	7	粉砂岩、致密、坚硬
57.70	1.07	40	8.5	7	粉砂岩、致密、坚硬
64.90	1.06	37	8.0	7	粉砂岩、致密、坚硬
71.20	1.07	39	9.0	7	粉砂岩、致密、较硬
78.40	1.08	40	9.0	7	粉砂岩、致密、较硬
93.40	1.07	36	8.0	7	粉砂岩、致密、较硬
111.70	1.07	37	8.0	7	粉砂岩、较硬、完整
129.70	1.08	38	8.5	7	粉砂岩、较硬、完整
148.50	1.08	39	8.0	7	细砂岩、较硬、完整
150.30	1.08	38	8.0	7	粉砂岩、较硬、完整

### 4.3 现场实施效果

环保冲洗液在HF-4钻孔生产试验及工程验证中,钻孔孔壁较为稳定,未出现因冲洗液问题引起的孔壁失稳现象或孔内事故,且纯时钻进效率达到1.96 m/h,高于邻近钻孔,试验表明,该冲洗液体系具有色浅无毒、性能稳定、流变性好,现场易维护处理,并且具有一定的抑制防塌性能和携带岩粉能力。

### 4.4 经济成本分析

根据室内优选及试验情况,对环保冲洗液构成材料进行了成本核算(见表11),经核算该冲洗液体系基础配方每立方米成本约为252.00元,经济成本低于其他环保冲洗液体系,因此从经济效益分析,该冲洗液体系在青海省地质钻探工作中具有较好的推广应用价值<sup>[15]</sup>。

## 5 结论

(1)通过对环保型添加剂的优选,确定适合青海

表11 环保冲洗液成本核算

产品名称	加量/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	单价/ ( $\text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	金额/ ( $\text{元}\cdot\text{m}^{-3}$ )
膨润土	40	1.2	48.00
HPMC	3	18	54.00
FA367	2	15	30.00
环保降失水剂	10	8	80.00
K-HPAN	2	20	40.00
合计			252.00

煤系复杂地层的环保冲洗液基本配方为:4%纳基膨润土+0.3%羧丙基甲基纤维素(HPMC)+0.2%两性离子包被剂(FA367)+1%环保降失水剂(复合产品)+0.2%聚丙烯酸钾(K-HPAN)。

(2)环保性能检测表明,筛选的环保冲洗液组成添加剂均属于无毒类添加剂,优选的环保冲洗液体系基本配方溶液生物毒性 $EC_{50}>25000\text{ mg/L}$ 、无毒,生物降解性 $\geq 0.05$ 、易降解,重金属含量均在《污水综合排放标准》(GB8978—1996)标准值以内,满足国家相关环保标准要求。

(3)现场应用表明,该冲洗液体系具有色浅无毒、流变性好、抑制能力强、现场易维护处理等特点,在实钻中性能优良,满足了青海煤系复杂地层孔壁稳定需要。

### 参考文献:

- 付帆,陶士先,李晓东.绿色勘查高温环保冲洗液研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,4(4):129-133.
- 付帆,李艳宁,陶士先.一种环保型海水冲洗液室内研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,6(4):228-234.
- 潘丽娟,孔勇,牛晓.环保钻井液处理剂研究进展[J].油田化学,2017,34(4):734-738.
- 周洪奎.环保钻井液技术进展研究[J].西部探矿工程,2018,30(9):89-90.
- 杨莹.简述环保钻井液技术现状及发展趋势[J].科技经济导刊,2016,15(14):128-130.
- 吴明强.新型环保高性能钻井液体系研制与应用[J].油气藏评价与开发,2012,2(6):58-63.
- 胡进军,孙强,夏小春,等.环境友好型水基钻井液GREEN-DRILL的研制与应用[J].石油钻探技术,2014,42(2):75-79.
- 谢水祥,蒋官澄,陈勉,等.环保型钻井液体系[J].石油勘探与开发,2011,38(3):369-378.
- 代秋实,潘一,杨双春.国内外环保型钻井液研究进展[J].油田化学,2015,32(3):435-439.
- 王中华.国内钻井液处理剂研发现状与发展趋势[J].石油钻探技术,2016,44(3):1-8.
- 吴富生,许春田,玄美龄.WZ油田环保钻井液应用技术[J].钻井液与完井液,2006,23(5):43-46.
- 张妍,周守菊,马云谦,等.钻井液组分及体系生物毒性测试方法研究[J].石油钻探技术,2009,37(1):18-22.
- 李秀珍,李斌莲,范俊欣,等.油田化学剂和钻井液生物毒性检测新方法 & 毒性分级标准研究[J].钻井液与完井液,2004,21(6):44-46.
- 易绍金,向兴金,肖稳发.利用发光细菌法快速测定钻井液完井液的生物毒性[J].钻井液与完井液,2001,18(4):1-2.
- 卜文海,赵誉杰,杨勇,等.环保型钻井液的研究应用现状及发展趋势[J].油气田环境保护,2010,20(3):52-57.