

绿色勘查高温环保冲洗液研究

付帆, 陶士先, 李晓东
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 针对国家深部地质资源绿色勘查需求, 以及地质特深孔复杂地层小环空条件下护壁难、冲洗液排放污染等难题, 采用高温交联保护技术, 研制了一套耐温 150 °C 环保冲洗液体系。研究表明, 该冲洗液经过 150 °C 高温滚动后仍具有良好的流变性、降滤失性及页岩抑制性能, 并具备较易降解 (BOD_5/COD_{Cr} 值为 21.5%) 和经济性好的特点, 在绿色勘查和环保要求严格的地质钻探中具有广阔的应用前景。

关键词: 绿色勘查; 深部钻探; 高温; 环保; 冲洗液; 经济性

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2020)04-0129-05

Research on environment-friendly high-temperature drilling fluid for green exploration

FU Fan, TAO Shixian, LI Xiaodong

(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: In view of green exploration requirements of national deep geological resources, difficulty in borehole wall protection due to small annulus in extra-deep geological drilling in complex formation, and pollution from waste drilling fluid, an environmentally-friendly high-temperature drilling fluid was developed using high temperature crosslinking and protection technology. Tests showed that after rolling at 150°C, the drilling fluid had good rheological properties, fluid loss reduction, shale expansion suppression, as well as easy degradation (BOD_5/COD_{Cr} value of 21.5%) and cost-effectiveness. It has broad application prospects in green exploration and geological drilling where strict environmental protection requirements are exercised.

Key words: green exploration; deep drilling; high temperature; environmental protection; drilling fluid; economy

0 引言

随着绿色勘查理念渐入人心, 对现有冲洗液技术的环保性能提出了更高的要求^[1-8]。与此同时, 随着地质特深孔复杂地层小环空条件下护壁、冲洗液排放污染^[9-17]等难题的日渐凸显, 对环保冲洗液的要求不仅局限于环保性能, 还要有一定的抗高温以及护壁能力^[18-19]。石油行业中常用的环保冲洗液虽然可以解决上述问题, 但因成本高昂, 未在地质钻探中获得广泛应用^[20]。因此, 研发经济性好的护壁、耐高温环保冲洗液体系势在必行。

现有常用耐高温处理剂中聚合物处理剂的合成原料单体多有毒性且易在产品中残留, 导致冲洗液的毒性难以满足环境保护的要求, 如铁铬盐、磺化褐煤和磺化酚醛树脂等磺化类处理剂往往含有毒金属铬等有害物; 常用的防塌材料例如磺化沥青等沥青类处理剂的生物降解能力差, 难以达到环保排放的要求^[21-22]。普通淀粉类降滤失剂、天然植物胶、改性植物胶类产品及水溶性抑制剂均属于易生物降解处理剂^[23], 且无毒^[24], 但是其耐温能力均低于 130 °C, 不能满足应用需求。基于上述情况, 课题组运用

收稿日期: 2020-02-14 DOI: 10.12143/j.tkgc.2020.04.019

基金项目: 国家重点研发计划项目“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用示范”课题六“绿色环保冲洗液体系与废浆处理技术”(编号: 2018YFC0603406)

作者简介: 付帆, 女, 锡伯族, 1986年生, 工程师, 硕士, 材料科学与工程专业, 从事钻井液材料和钻井液体系研究工作, 北京市海淀区学院路29号探工楼, 120953889@qq.com。

通信作者: 陶士先, 女, 汉族, 1964年生, 室主任, 教授级高级工程师, 从事钻井液材料和钻井液体系研究工作, 北京市海淀区学院路29号探工楼, 13641250082@139.com。

引用格式: 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, 47(4): 129-133.

FU Fan, TAO Shixian, LI Xiaodong. Research on environment-friendly high-temperature drilling fluid for green exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4): 129-133.

处理剂协同配伍性及分子基团的桥接作用原理,提高冲洗液的耐温性能,研制了一套耐温 150 °C 环保冲洗液体系。该冲洗液不仅可以解决现有环保冲洗液耐温性差的问题,同时还具有良好的流变性能和护壁性能。

1 高温环保冲洗液配方优选

1.1 优选方法

使用 XGRL-4A 型高温滚子加热炉将加有相同加量处理剂的冲洗液在不同温度下热滚 16 h,然后采用 HTD13145 型六速旋转粘度计、SD6 型六联中压失水仪、NP-02 型常温页岩膨胀仪和 GGS71-B 型高温高压失水仪测试冲洗液的粘度、滤失量、页岩抑制性能及高温高压滤失量等。实验温度梯度为 25、90、120、150 °C。

1.2 关键处理剂优选

1.2.1 环保增粘剂优选

对收集的 4 种环保增粘剂进行了流变性和 API 滤失量性能测试,实验结果见表 1。从表 1 结果可以看出,经过 150 °C 高温滚动后,加入环保增粘剂 GZNA 的冲洗液粘度变化率最低,具有最优的抗高温增粘效果,但是会明显增加动塑比,导致冲洗液的流动性很差,并且高温滚动后 API 滤失量明显增大。对比另外 3 种环保增粘剂,环保增粘剂 GZNB 的粘度和动塑比的变化率最低,具有最佳的增粘效

表 1 不同环保增粘剂性能测试结果

Table 1 Test results of different environment-friendly thickeners

处理剂	老化温度/°C	表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动塑比/[Pa·(mPa·s) ⁻¹]	API 滤失量/mL
GZNA	25	70.0	21	2.33	24
	90	69.0	21	2.29	24
	120	60.0	17	2.53	89
	150	52.0	13	3.00	116
GZNB	25	100.0	48	1.08	11
	90	98.0	47	1.09	12
	120	12.0	6	1.00	28
	150	11.0	6	0.83	29
GZNC	25	117.5	55	1.14	10
	90	115.0	60	0.92	12
	120	7.0	5	0.40	19
	150	5.5	5	0.10	22
GZND	25	64.0	30	1.13	10
	90	60.0	30	1.00	10
	120	7.0	5	0.40	59
	150	6.0	4	0.50	64

注:冲洗液配方为基浆+1%处理剂。

果。因此,优选 GZNB 作为环保增粘剂。

1.2.2 环保高温稳定剂优选

将收集到的 3 种环保高温稳定剂分别加入环保增粘剂 GZNB 配制的冲洗液中,测试 150 °C 高温滚动后冲洗液的流变性和高温高压滤失量,结果见表 2。

表 2 不同环保高温稳定剂性能测试结果

Table 2 Test results of different environment-friendly high-temperature stabilizers

处理剂	表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动塑比/[Pa·(mPa·s) ⁻¹]	HTHP 滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]
未加处理剂	11	6	0.83	104
GHTS	57	39	0.46	32
CGSJ	43	32	0.32	42
GMSJ	42	32	0.31	46

注:冲洗液配方为基浆+1%GZNB+1%处理剂。

从表 2 结果可以看出,在 150 °C 高温条件下,加入环保高温稳定剂后可以明显提高冲洗液粘度,降低 HTHP 滤失量,说明它们的加入可以防止高温对增粘剂的氧化作用,显著提高高温稳定性。其中,加入 GHTS 的冲洗液粘度最高,动塑比也保持在合理范围内,且 HTHP 滤失量最小,因此优选 GHTS 作为高温稳定剂。

1.2.3 环保降滤失剂优选

对 4 种环保降滤失剂不同温度下的降滤失能力进行了测试,冲洗液配方为:基浆+1%GZNB+2%处理剂。结果如图 1 所示。根据不同降滤失剂配制的冲洗液在不同温度老化后 API 滤失量及 HTHP 滤失量变化规律,可知随着温度的升高,滤失量均变大。尤其是在 90 °C 之后,失水量明显增加。在 150 °C 热滚后,添加 GSTP 的冲洗液 API 滤失量最低,添加 GLAD 的冲洗液 HTHP 滤失量最低,说明两种降滤失效果不同。因此,优选 GSTP 和 GLAD 同时作为环保降滤失剂。

1.2.4 环保抑制剂优选

对 4 种环保抑制剂在不同温度下的流变性、API 滤失量和 HTHP 滤失量和页岩抑制性能进行了测试,结果如表 3 所示。

比较不同环保降抑制剂配制的冲洗液(经不同温度老化后)的页岩膨胀降低率可知,温度对它们抑制性影响不大。经过 150 °C 高温滚动后,加有 CYZB 的冲洗液页岩抑制性最优(页岩膨胀降低率为 84.9%),并且 HTHP 滤失量最低。因此,优选

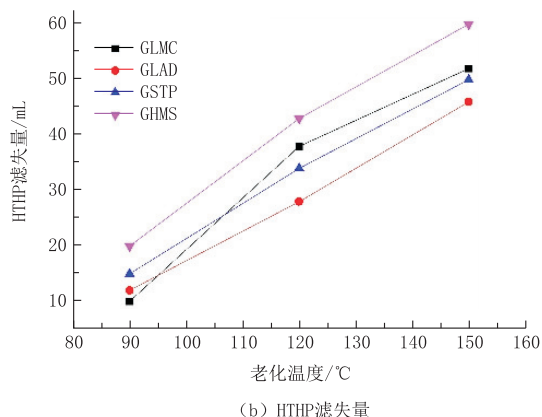
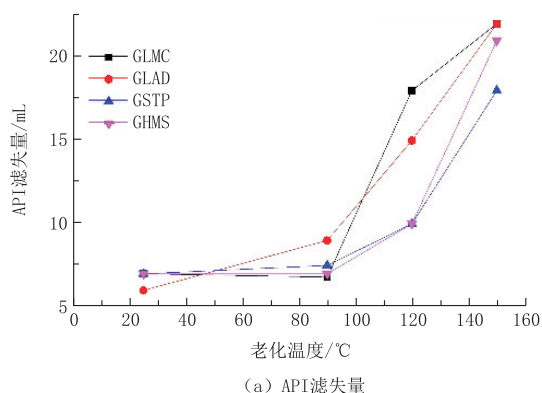


图 1 不同降滤失剂的降滤失效果

Fig.1 Filter loss reduction effect of different reducing agents

CYZB 作为环保抑制剂。

1.3 配方优选

通过对上述优选处理剂的加量实验研究,优选出了高温环保冲洗液关键处理剂加量范围如下:增粘剂 GZNB, 0.5%~1%;降滤失剂 GLAD, 1%~2%;降滤失剂 GSTP, 2%~3%;抑制剂 CYZB, 0.3%~0.5%;高温保护剂 GHPS, 1%。

表 4 冲洗液高温老化前后常规性能评价结果

Table 4 Results of drilling fluid performance before and after high temperature aging

项 目	表观粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动塑比/ [Pa·(mPa·s) ⁻¹]	API 滤失量/ mL	HTHP 滤失量/ [mL·(30 min) ⁻¹]	pH 值	高温高压泥 皮厚度/mm
常温陈化 16 h	105.5	60	0.76	6.8		10	
150 °C 热滚 16 h	27.5	23	0.20	6.0	14	9	0.1

从表 4 可看出,在经过 150 °C 高温热滚后,该冲洗液仍然具有良好的流变性能及降滤失性能。

2.2 冲洗液页岩抑制性能评价

冲洗液页岩抑制性能评价是对岩心相对膨胀降低率和滚动回收率进行测试。相对膨胀降低率测试采用 NP-02 型常温页岩膨胀测试仪,岩心采用山东钙膨润土压制。用冲洗液浸泡岩心,测试岩心线

表 3 不同环保抑制剂性能测试结果

Table 3 Test results of different environment-friendly inhibitors

处理剂	老化 温度/ °C	表观 粘度/ (mPa·s)	API 滤 失量/ mL	HTHP 滤失 量/[mL· (30 min) ⁻¹]	页岩膨 胀降低 率/%
CYZA	25	136.5	8.0		83.9
	90	111.0	8.0	20	83.6
	120	62.0	7.8	30	82.9
	150	47.0	7.6	30	82.2
CYZB	25	114.5	8.0		83.9
	90	110.0	8.0	10	84.2
	120	70.0	8.0	14	84.2
	150	58.5	7.0	26	84.9
GPNH	25	92.5	7.6		80.7
	90	90.0	7.0	28	80.5
	120	12.0	7.0	34	80.2
	150	12.5	6.0	40	79.8
GBLQ	25	129.0	7.6		81.7
	90	126.0	8.0	19	81.7
	120	63.0	7.4	21	82.5
	150	50.0	7.2	28	83.1

注:冲洗液配方为基浆+1%GZNB+1%GHTS+0.5%处理剂。

2 高温环保冲洗液性能评价

对耐 150 °C 高温环保冲洗液配方进行综合性能评价,具体包括冲洗液高温老化前后常规性能变化、高温高压滤失量、页岩抑制性能以及生物降解性。以“基浆+0.7%增粘剂 GZNB+2%降滤失剂 GLAD+2%降滤失剂 GSTP+0.3%抑制剂 CYZB+1%高温保护剂 GHPS”配方配制的环保冲洗液各项性能评价如下。

2.1 环保冲洗液老化前后的常规性能

高温老化前后冲洗液性能见表 4。

性膨胀量,计算相对膨胀降低率。滚动回收率测试采用高温滚子加热炉,岩样采用自制岩样,用山东钙膨润土压制。

实验方法如下:将 50 g 6~10 目岩样放入装有 350 mL 冲洗液的老化罐中,在 150 °C 下滚动 24 h,取出岩屑在 105 °C 下烘干,分别经 40 目、20 目筛余后称重并计算回收率。结果见表 5。

表5 冲洗液页岩抑制性能评价结果
Table 5 Results of shale suppression performance

项目	相对膨胀 降低率/%	岩屑回收率/%	
		20目	40目
蒸馏水		7.2	10.5
配方	81.5	83.4	85.4

从表5结果可以看出,该冲洗液的相对膨胀降低率和岩屑回收率均大于80%,具有良好的页岩抑制性能。

2.3 冲洗液生物降解性能评价

对冲洗液生物降解性能进行评价,测试方法参照《水溶性油田化学剂环境保护技术评价要求》(SY/T 6787-2010)^[25]。最终测得该优化配方的生物降解性结果BOD₅/COD_{Cr}比值为21.5%,属于较易降解,符合冲洗液环保要求^[26]。

上述评价可以看出,研制的环保冲洗液经150℃高温老化后具有良好的流变性能、降滤失性能、页岩抑制性能以及生物降解性能。

3 高温环保冲洗液经济性分析

对高温环保冲洗液的关键处理剂成本进行了初步核算,成本在472~780元/m³,经济性好,有利于在绿色勘查和环保要求严格的地质钻探中推广应用,具有广阔的应用前景。

表6 高温环保冲洗液成本计算
Table 6 Cost calculation of environment-friendly high-temperature drilling fluid

处理剂	加量/(kg·m ⁻³)	单价/(元·kg ⁻¹)	金额/(元·m ⁻³)
GZNB	5~10	16	80~160
GLAD	10~20	12	120~240
GSTP	20~30	8	160~240
CYZB	3~5	14	42~70
GHPS	10	7	70
合计			472~780

4 结论

(1) 优选出增粘剂GZNB、降滤失剂GLAD和GSTP、抑制剂CYZB、高温保护剂GHPS作为高温环保冲洗液用关键处理剂,并进一步完成了处理剂加量优化,确定环保冲洗液参考配方为:基浆+0.5%~1%增粘剂GZNB+1%~2%降滤失剂GLAD+2%~3%降滤失剂GSTP+0.3%~0.5%抑制剂CYZB+1%高温保护剂GHPS。

(2) 综合性能评价结果表明:该冲洗液流变性、

降滤失、抑制性能以及生物降解性能(达到较易降解)均较好,并且具有较好的经济性,在绿色勘查和环保要求严格的深部地质钻探中具有广阔的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 陈建君. 环保钻井液技术的发展现状分析及趋势探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(17): 134-135.
CHEN Jianjun. Development status and trend of environment-friendly drilling fluid technology[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2019, 39(17): 134-135.
- [2] 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.
ZHOU Hongkui. Research on progress on environmentally friendly drilling fluid technology[J]. West-China Exploration Engineering, 2018, 30(9): 89-90.
- [3] 王立辉. 环保钻井液技术及发展趋向研究[J]. 环境工程, 2018, 36(S1): 975-977.
WANG Lihui. Research on the technology and development trend of environmental drilling fluid[J]. Environmental Engineering, 2018, 36(S1): 975-977.
- [4] 刘朝劲. 环保钻井液技术现状及发展趋势[J]. 化工管理, 2017(27): 139.
LIU Chaojin. Development status and trend of environment-friendly drilling fluid technology[J]. Chemical Enterprise Management, 2017(27): 139.
- [5] 潘丽娟, 孔勇, 牛晓, 等. 环保钻井液处理剂研究进展[J]. 油田化学, 2017, 34(4): 734-738.
PAN Lijuan, KONG Yong, NIU Xiao, et al. Research advances of environmental drilling fluid additives[J]. Oilfield Chemistry, 2017, 34(4): 734-738.
- [6] 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(14): 128.
YANG Ying. Development status and trend of environment-friendly drilling fluid technology[J]. Technology and Economic Guide, 2016(14): 128.
- [7] 邵旭佳, 蒲晓林. 环保钻井液研究现状及发展趋势[J]. 化学世界, 2018, 59(9): 545-551.
SHAO Xujia, PU Xiaolin. Research status and development trend of environmental protection drilling fluid[J]. Chemical World, 2018, 59(9): 545-551.
- [8] 段志锋, 陈春宇, 黄占盈, 等. 天然高分子环保钻井液体系的构建与性能评价[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(25): 32-37.
DUAN Zhifeng, CHEN Chunyu, HUANG Zhanying, et al. Construction and performance evaluation of natural polymer environmental protection drilling fluid system[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(25): 32-37.
- [9] 储政. 国内聚胺类页岩抑制剂研究进展[J]. 化学工业与工程技术, 2012, 33(2): 1-4.
CHU Zheng. Research progress of polyamines shale inhibitor inland[J]. Journal of Chemical Industry & Engineering, 2012, 33(2): 1-4.
- [10] 杨丽晶. 南苏丹A油田KCl/硅酸盐钻井液体系的评价与优选

- [J]. 钻采工艺, 2013, 36(6): 102-105.
- YANG Lijing. Evaluation and optimization of KCl/silicate drilling fluid system for a oilfield of south Sudan[J]. *Drilling & Production Technology*, 2013, 36(6): 102-105.
- [11] 王中华. 国内外钻井液技术进展及对钻井液的有关认识[J]. *中外能源*, 2011, 16(1): 48-60.
- WANG Zhonghua. Advances on drilling fluid technology and understanding of the relevant fluid at home and abroad[J]. *Sino-Global Energy*, 2011, 16(1): 48-60.
- [12] 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.
- XIE Shuixiang, JIANG Guancheng, CHEN Mian, et al. An environment friendly drilling fluid system[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(3): 369-378.
- [13] 马磊, 蒲晓林, 张舒. 废弃钻井液处理技术研究进展及发展趋势[J]. *现代化工*, 2017, 37(4): 42-45, 47.
- MA Biao, PU Xiaolin, ZHANG Shu. Research progress and development trend of drilling waste treatment technology[J]. *Modern Chemical Industry*, 2017, 37(4): 42-45, 47.
- [14] 白剑, 石明杰, 付娜, 等. 钻井泥浆生物无害化处理技术的应用效果及发展趋势[J]. *石油化工应用*, 2017, 36(2): 4-8.
- BAI Jian, SHI Mingjie, FU Na, et al. Application and development tendency of biological non-hazardous treatment technology in drilling mud[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2017, 36(2): 4-8.
- [15] 李志敏. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2018, 38(24): 187-188.
- LI Zhimin. Discussion and field use of deep hole drilling mud wall protection technology in complex stratum[J]. *China Petroleum and Chemical Standards and Quality*, 2018, 38(24): 187-188.
- [16] 王金树, 周芳芳, 兰宏飞. 废弃钻井液无害化处理工艺设计[J]. *石油石化节能*, 2020, 10(2): 33-36.
- WANG Jinshu, ZHOU Fangfang, LAN Hongfei. Harmless treatment process design of waste drilling fluid[J]. *Chengde Petroleum College*, 2020, 10(2): 33-36.
- [17] 付帆, 李艳宁, 陶士先. 一种环保型海水冲洗液室内研究[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集, 2019: 228-234.
- FU Fan, LI Yanning, TAO Shixian. Research on environmentally friendly seawater drilling fluid[C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conferences, 2019: 228-234.
- [18] 褚奇, 薛玉志, 李涛, 等. 新型聚合醇钻井液抑制性能研究[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(3): 208-211.
- CHU Qi, XUE Yuzhi, LI Tao, et al. Research on inhibition behavior of new polyalcohol drilling fluid[J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(3): 208-211.
- [19] 许洁, 朱永宜, 乌效鸣, 等. 松科二井取心钻进高温钻井液技术[J]. *中国地质*, 2019, 46(5): 1184-1192.
- XU Jie, ZHU Yongyi, WU Xiaoming, et al. High-temperature core drilling fluid technology of Well Songke-2[J]. *Geology in China*, 2019, 46(5): 1184-1192.
- [20] 宋波凯, 阮彪, 谢建安, 等. 新疆油田环保钻井液体系的研究与评价[J]. *化学工程师*, 2018, 32(11): 43-46.
- SONG Bokai, RUAN Biao, XIE Jian'an, et al. Research and evaluation of environmentally friendly drilling fluid system in Xinjiang Oilfield[J]. *Chemical Engineer*, 2018, 32(11): 43-46.
- [21] 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.
- DAI Qiushi, PAN Yi, YANG Shuangchun. Research progress of environmentally friendly drilling fluids at home and abroad[J]. *Oilfield Chemistry*, 2015, 32(3): 435-439.
- [22] 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): 1-7.
- WANG Zhonghua. Present status and trends in research and development of drilling fluid additives in China[J]. *Petroleum Drilling Technology*, 2016, 44(3): 1-7.
- [23] 邢希金, 王荐, 何松, 等. 关于我国环保钻井液标准的探讨[J]. *石油工业技术监督*, 2018, 34(5): 18-22.
- XING Xijin, WANG Jian, HE Song, et al. Discussion on standard for environment-friendly drilling fluid in China[J]. *Technology Supervision in Petroleum Industry*, 2018, 34(5): 18-22.
- [24] 刘晓辉, 谢水祥, 许毓, 等. 页岩气井钻井液添加剂环保性能与废弃物污染特性的相关性[J]. *石油石化绿色低碳*, 2019, 4(4): 53-59.
- LIU Xiaohui, XIE Shuixiang, XU Yu, et al. Shale gas drilling fluid additives environmental performance vs waste pollution[J]. *Green Petroleum & Petrochemicals*, 2019, 4(4): 53-59.
- [25] SY/T 6787-2010, 水溶性油田化学剂环境保护技术评价要求[S].
- SY/T 6787-2010. Environmental protection technology evaluation requirements for water-soluble oilfield chemicals [S].
- [26] 王蓉沙, 周建东, 刘光全. 钻井液废弃物处理技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- WANG Rongsha, ZHOU Jiandong, LIU Guangquan. *Drilling fluid waste treatment technology*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.

(编辑 韩丽丽)