

缅甸 D 区块非渗透性防塌钻井液研究

庞小旺¹, 赵向阳², 肖超²

1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029

2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101

摘要 针对缅甸 D 区块钻井过程中存在的井壁失稳问题, 系统分析了缅甸 D 区块易塌井段泥页岩黏土矿物组分、岩石微观结构、泥页岩水化性能, 结合现场实际对前期钻井液存在的问题进行分析, 优化出适宜缅甸 D 区块特点的非渗透性防塌钻井液配方。室内性能评价表明, 该非渗透性防塌钻井液具有较强的抗污染能力、抗温能力, 泥页岩抑制能力以及封堵能力。在现场应用 4 口井过程中, 该钻井液取得了较好的井眼稳定效果, 可有效解决缅甸 D 区块井眼坍塌和井径扩大率的问题, 显著降低了井下复杂事故的发生。

关键词 缅甸 D 区块; 井壁稳定; 非渗透防塌钻井液

中图分类号 TE271

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.33.007

Impervious and Anti-collapse Drilling Fluid in Block D in Myanmar

PANG Xiaowang¹, ZHAO Xiangyang², XIAO Chao²

1. Sinopec International Petroleum Exploration & Production Corporation, Beijing 100029, China

2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China

Abstract During the drilling in Block D in Myanmar, the wellbore collapse, the abnormal drill torque and the bit broken falling cuttings were repeatedly encountered, the rate of penetration was reduced, and the drilling progress was seriously affected. This paper focuses on the wellbore instability problems in the process of drilling and develops a drilling fluid system suitable for this block, to improve the drilling speed, reduce the downhole complex accidents. The shale clay composition, the microstructure and the hydration performance of the collapse-prone section in Myanmar block D are analyzed. In view of the existing problems of the early used drilling fluid, the appropriate impervious and anti-collapse drilling fluid formulation is optimized. The laboratory experiment and evaluation results show that the impervious and anti-collapse prevention drilling fluids have a strong ability to resist pollution, a good temperature resistance, good clay shale inhibition ability and block ability. In the process of the field application in 4 wells, the drilling fluid shows a good effect on the wellbore stability and can effectively solve the problems of the borehole collapse and the hole enlargement, significantly reduce the downhole complex accidents.

Keywords Block D in Myanmar; borehole stability; impervious and anti-collapse drilling fluid

0 引言

缅甸 D 区块位于伊洛瓦底盆地中西部, 跨越钦敦凹陷和沙林凹陷, 包括钦敦凹陷的南端、北纬 22° 凸起和沙林凹陷北端^[1-3]。中石化国际石油勘探开发有限公司于 2007 年开始在该地区开展油气勘探工作, 于 2008 年获得重大油气发现, 成为该公司近期海外的重点勘探区块。该区块主要勘探层系为始新统, 地层自上而下主要分布为蓬当组、塔本组、提林组。钻井过程中井眼坍塌严重, 井壁掉块造成钻进时扭矩异常, 顶驱

蹩停, 钻头重复破碎掉块, 机械钻速降低, 严重影响了该区块的钻井进度^[3-4]。因此, 针对缅甸 D 区块钻井过程中的井壁失稳问题, 寻求一种适合于该区块的钻井液体系, 对于提高该区块的钻井速度, 减少井下复杂事故的发生具有重要意义。

1 井壁失稳分析

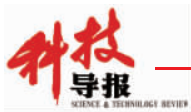
1.1 黏土矿物及微观分析

针对钻井过程中泥页岩地层井壁失稳问题, 泥页岩黏土

收稿日期: 2013-05-23; 修回日期: 2013-09-05

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05031)

作者简介: 庞小旺, 高级工程师, 研究方向为海外石油工程技术与管, 电子信箱: xwpang@petroyada.com; 赵向阳(通信作者), 工程师, 研究方向为欠平衡与控压钻井, 电子信箱: zhaoxy.sripe@sinopec.com



矿物组分及其含量分析起着至关重要的作用,决定着泥页岩稳定性及失稳类型⁵。已完钻井 P-1 井和 Y-1 井在钻井过程中井眼坍塌严重,井眼扩大率为 10%~43%,导致卡钻等井下复杂事故时有发生。因此,对 P-1 井和 Y-1 井中具有代表性的易塌井段岩样进行 X 射线衍射黏土矿物分析(表 1),同时进行泥页岩微观结构观察,图 1 为 2628~2630m,2630~2730m 扫描

电镜。从表 1 可以看出,易塌地层岩样黏土含量能达 40%(质量分数,全文同)以上,且泥岩中以伊蒙混层为主,分散性强。图 1 中的电镜照片显示易塌井段泥岩微裂缝发育、地层破碎,水分子在毛管力作用下容易进入地层,产生强大的膨胀压,导致井壁不稳定。由于易塌地层岩样石英、长石含量 19.2%~83%,岩样硬脆性强,在钻井过程中容易出现坍塌掉块⁶⁻⁸。

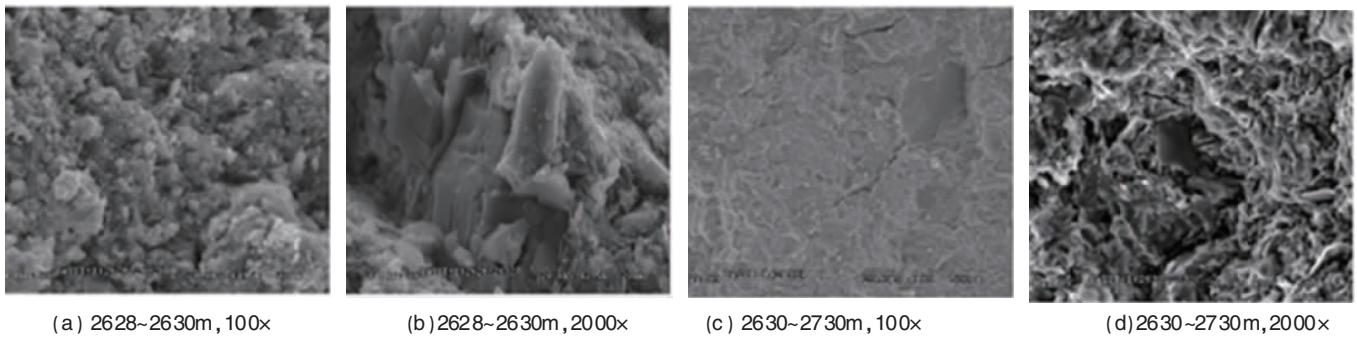


图 1 Y-1 井部分易塌层段泥页岩微观结构

Fig. 1 Well Y-1 microscopic structure of the shale in a collapse-prone section

表 1 X 衍射黏土矿物组分分析结果

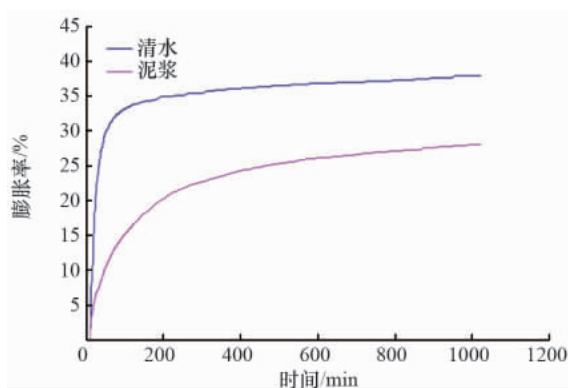
Table 1 X diffraction analysis results of clay minerals content content

井号	井段/m	总黏土含量/%	黏土矿物相对含量/%				混层比/%
			I/S	I	K	C	
P-1	3320~3325	42.1	73	5	12	10	35
Y-1	2022~2026	74	88	2	4	6	35
Y-1	2694~2698	57	65	11	9	15	35
Y-1	3122~3126	41	45	8	16	31	35

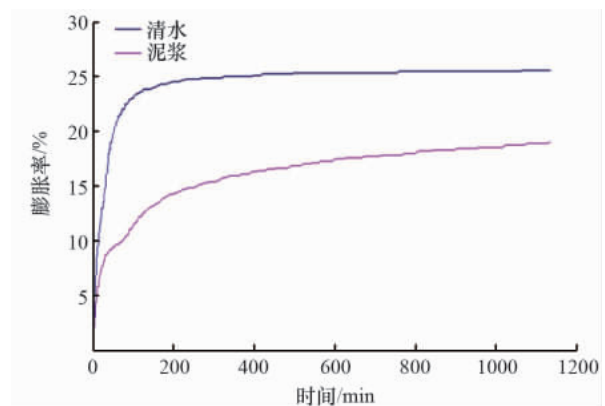
1.2 泥页岩水化性能分析

1.2.1 泥页岩膨胀性实验

将 P-1 井和 Y-1 井中易塌地层岩样磨成粉,过 120 目筛,然后在压模机上制成人造岩心,采用泥页岩膨胀仪分别测定在清水和前期钻井液条件下泥页岩的水化膨胀情况,实验结果如图 2 所示。通过清水膨胀量与前期钻井液膨胀量对比实验可以看出,清水膨胀量一般在 20%~40%,膨胀较为严重。前期钻井液膨胀量为 15%~30%,虽然在一定程度上能降低泥页岩水化,但其抑制性能仍然偏低,黏土水化严重,需做进一步改进^{9,10}。



(a) P-1, 2755~2760m



(b) Y-1, 3166~3174m

图 2 泥页岩岩样膨胀实验结果

Fig. 2 Shale swelling experiment results

1.2.2 泥页岩滚动回收实验

室内选取过4~10目筛P-1井和Y-1井易塌地层岩样,在60℃条件下,测定不同岩样分别在清水和前期钻井液中的泥页岩滚动回收率,实验结果如表2所示。由实验结果可以看出,缅甸D区块易塌地层泥页岩岩样在清水和前期钻井液中的滚动回收率低,泥页岩水化分散能力强,在钻井过程中容易产生坍塌掉块,并且分散的泥页岩也容易对钻井液造成固相污染,引起钻井液流变性能恶化,导致泥饼质量降低,引起起下钻阻卡等井下复杂事故。

表2 泥页岩滚动回收实验

Table 2 Shale rolling recovery experiment

井号	井段/m	回收率/%	
		清水	钻井液
P-1	1590~1595	9.97	45.13
	1950~1955	7.59	55.09
	2450~2455	3.01	41.82
	3335~3340	10.74	60.06
Y-1	1946~1958	30.72	58.86
	2578~2586	8.38	36.77
	2690~2694	29.81	87.68
	3130~3138	18.13	56.29

1.3 前期钻井液影响井壁稳定分析

缅甸D区块前期钻井液的基本配方为:清水+0.15%纯碱+0.15%烧碱+0.3%PAC-LV+0.3%ENCAPSUL-8XP+8%KCl+0.2%XC-EED+3%聚合醇+0.85% SOLTEX +2% HYDRO-STARNF+2%QS-2。通过对前期钻井液的性能评价,结合对现场出现复杂情况的分析,其缺点主要表现在以下方面:(1)钻井液流变性能不能满足破碎井段井眼稳定和携岩要求;(2)钻井液封堵防塌能力差;(3)实际钻井过程中钻井液抑制性不够;(4)深部地层钻井液抗温性能不足。因此,需对前期钻井液进行优化改进,研究适用于该区块的钻井液体系。

2 非渗透性防塌钻井液研究

在处理钻井过程中的井壁失稳问题,国内外通用做法是通过添加不同类型处理剂,阻止钻井液滤液进入泥页岩地层或最大限度降低泥页岩地层的水化膨胀作用,从而实现井壁稳定^[11-13]。本文针对缅甸D区块泥页岩地层特点,通过前期钻井液使用效果对比,提出采用非渗透防塌钻井液维持较高的泥页岩抑制性,同时有效地降低钻井液滤失量及滤液侵入深度,从而保证钻井液较好的防塌性能,实现钻井井壁稳定。

2.1 钻井液处理剂优选

2.1.1 抑制剂优选

室内采用聚合醇与FST进行抑制性能实验研究,具体方法如下:配置1%、2%的聚合醇溶液与1%、2%的FST溶液,分

别加入4%膨润土进行抑制造浆实验,测定初始条件下(热滚前)以及120℃热滚16h后的黏度和失水,实验结果如表3所示。从实验结果可以看出,FST具有比聚合醇更强的抑制性能,为此将选用FST替代部分聚合醇作为主要抑制剂。

表3 抑制剂优化实验

Table 3 Inhibitors optimization results

配方		旋转黏度测试			API 滤失/mL	pH
		$\varphi_{600}/\varphi_{300}$	$\varphi_{200}/\varphi_{100}$	φ_0/φ_3		
1%FST+	热滚前	5/4	3/2	1/—	167	9
4%膨润土	热滚后	4/3	2/1	0.5/—	98	9
2%FST+	热滚前	4/3	2.5/2.0	1/—	13s 全失	9
4%膨润土	热滚后	3/2	1.5/1.0	0.5/—	45s 全失	9
1%聚合醇+	热滚前	10/7	6/4	3/2	46	9
4%膨润土	热滚后	11/6	4/2	1/—	31	9
2%聚合醇+	热滚前	11/8	7/5	3/2	45	9
4%膨润土	热滚后	14/9	7/5	2/1	31	9

2.1.2 防塌剂优选

室内选用沥青与石蜡作为防塌剂,将其分别加入基浆(4%膨润土+0.2%纯碱+0.2%烧碱)中测定在120℃热滚16h前后的黏度和失水,实验结果见表4所示。从实验结果可以看出沥青和石蜡均具有较好的防塌作用,其中白沥青的性能更为优越,为此选择白沥青作为随后的防塌剂。

表4 防塌剂优选实验

Table 4 Anti-collapse agent optimization experiment

配方		旋转黏度测试			API 滤失/mL	pH
		$\varphi_{600}/\varphi_{300}$	$\varphi_{200}/\varphi_{100}$	φ_0/φ_3		
基浆+	热滚前	37/29	25/21	14/12	21	9
3%乳化石蜡	热滚后	38/22	16/10	2/1	34	9
基浆+	热滚前	20/11	8/4	1/—	19	9
3%乳化沥青	热滚后	18/10	7.5/4.5	1/1	22	9
基浆+	热滚前	26/16	12/7	2/1	19	9
3%白沥青	热滚后	36/23	18/11	3.0/2.5	9	9
基浆+	热滚前	27/16	11/6	2/1	18	9
3%改性沥青	热滚后	25/17	15/11	11/10	24	9

2.1.3 降滤失剂优选

由于缅甸D区块泥页岩水化能力强,为此在进行降滤失剂优化时采用4%膨润土+0.2%纯碱+0.2%烧碱+8%KCl作为基浆配方。通过评价在不同降滤失剂作用下,测定在120℃条件下热滚16h后的黏度与失水情况,实验结果如表5所示。从实验结果可以看出,淀粉、PAC-R、SMP-2、SPC-220、JT-888均具有很好的降滤失水效果,后面的研究中将选用以上处理剂作为降滤失水剂。

表 5 降滤失剂优选实验

Table 5 Fluid loss agent optimization experiment

配方	旋转黏度测试			API 滤失/mL	pH
	$\varphi_{60}/\varphi_{300}$	$\varphi_{200}/\varphi_{100}$	φ_0/φ_3		
基浆+2%淀粉	31/20	16/13	12/11	32	9
基浆+0.5%PAC-R	46/30	25/18	16/15	16	9
基浆+3%SMP-2	21/18	18/16	15/12	22	9
基浆+3%SMC	59/53	51/47	39/30	52	9
基浆+3%SPNH	54/51	50/47	38/25	88	9
基浆+3%SPC-220	70/66	64/59	40/36	41	9
基浆+3%JT-888	43/28	22/15	1.5/8.0	11	9

2.1.4 降黏剂优选

对于降黏剂的优选,室内将不同降黏剂加入基浆(4%膨润土+0.2%纯碱+0.2%烧碱+8%KCl)中,评价其各自在 120°C 条件下热滚 16h 后的黏度与失水情况,实验结果如表 6 所示。从实验结果可以看出,SMT 对钻井液具有较好的降黏作用,随后的研究中选用 SMT 作为降黏剂。

表 6 降黏剂优选

Table 6 Viscosity reducer selection

配方	旋转黏度测试			API 滤失/mL	pH
	$\varphi_{60}/\varphi_{300}$	$\varphi_{200}/\varphi_{100}$	φ_0/φ_3		
基浆+1%TX	12/8	7/5	5.5/5.0	120	9
基浆+1%CXP-2	15/11	9/8	2/—	109	9
基浆+1%SF-260	23/15	13/10	10/10	76	9
基浆+1%SMT	9/5	3/2	0.5/—	90	9

通过室内对钻井液中不同处理剂的优选以及各项性能的评价,最终优选出的钻井液配方为:2%膨润土浆+0.1%纯碱+0.3%烧碱+0.2%PAC-R+2%淀粉+2%SMP-2+2%SPC-220+2%白沥青+1%SMT+8%KCl+1%聚合醇+2%FST。

2.2 钻井液综合性能评价

2.2.1 抗污染实验

实际钻井过程中,钻井液必须具备一定的抗污染能力,以保证钻井过程中钻井液性能的稳定,增强井壁的稳定作用。为此,室内对于最终优选出来的钻井液配方进行抗固相污染、抗盐污染、抗钙污染性能评价,实验结果如表 7 所示。可以看出,该钻井液具有良好的抗污染能力,可抗 4%膨润土、20%NaCl、0.4%石膏污染。

表 7 钻井液抗污染性能测试

Table 7 Drilling fluid pollution resistance test

污染物	表观黏度/ (mPa·s)	塑性黏度/ (mPa·s)	动切力/Pa	API 滤失/mL	pH
无	32.0	29	3.10	4.5	9
4%膨润土	38.5	31	7.67	4.5	9
20%NaCl	33.0	29	4.08	3.9	9
0.4%石膏	26.5	23	3.57	4.1	9

2.2.2 抗温实验

一个好的钻井液应该具有足够的抗温性能,室内对比评价了该钻井液在 150°C 条件下老化 16h 前后的钻井液性能,实验结果如表 8 所示。从实验结果可以看出,该钻井液性能稳定,可以满足缅甸深部地层钻井需要。

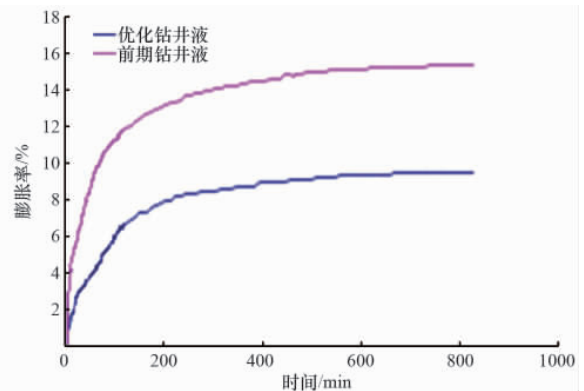
表 8 钻井液抗温性能测试

Table 8 Drilling fluid temperature resistance test

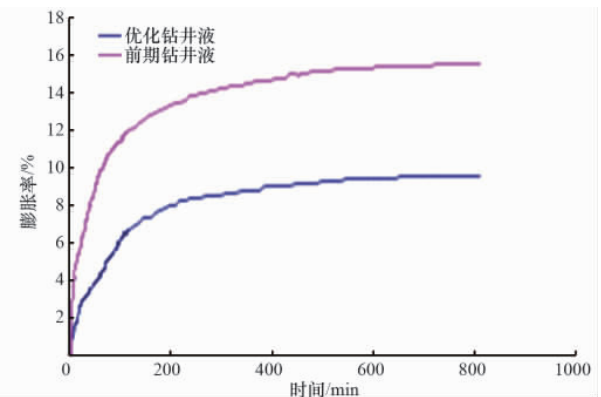
抗温条件	表观黏度/ (mPa·s)	塑性黏度/ (mPa·s)	动切力/Pa	API 滤失/mL	pH
无	32	29	3.1	4.5	9
150°C, 16h	30	26	4.0	4.0	9

2.2.3 抑制性能评价

由于缅甸 D 区块泥页岩水化能力强,因此保证钻井液中较强的泥页岩水化抑制性能是维持井壁稳定的一个重要保障。室内对比评价了前期钻井液与非渗透防塌钻井液(优化钻井液)对于缅甸 D 区块泥页岩的抑制性能,实验结果如图 3 所示。从实验结果可以看出,非渗透防塌钻井液具有较强的泥页岩水化抑制能力,主要是由于非渗透防塌钻井液中的 FST 处理剂吸附在泥页岩表面,可有效防止水分子进入泥页岩内部,抑制泥页岩水化膨胀。



(a) P-1, 3310-3315m



(b) Y-1, 1946-1958m

图 3 钻井液抑制性实验结果

Fig. 3 Drilling fluid inhibitory experiment results

2.2.4 封堵性能评价

缅甸 D 区块易塌井段泥页岩比表面积大,微孔隙发育,表面能大,容易造成钻井液滤液侵入,引起泥页岩水化分散,同时水化膨胀后压力分布不均匀,易诱发井壁坍塌。解决上述问题的关键是钻井液必须具有较强的封堵能力,如果钻井液封堵能力足够,对所有微裂缝、微孔隙有效封堵,可有效避免钻井液进入地层内部引起井眼坍塌。因此,室内采用 FA 砂床测试仪测试钻井液的封堵性能,初始钻井液量 500mL,砂床完全侵入深度 19cm,实验结果如表 9 所示。从实验结果可以看出,非渗透防塌钻井液体系较前期钻井液具有较强的封堵性能,能快速在破碎地层表面形成非渗透泥饼,钻井过程中阻止钻井液及滤液进入地层内部,可有效防止井眼坍塌。

表 9 优化前后钻井液封堵效果评价

Table 9 Drilling fluid plugging effect evaluation before and after optimization

钻井液体系	漏失量/mL	砂床侵入深度/cm	砂床目数
前期钻井液	460	19	40~60
非渗透防塌钻井液	0	3	40~60

3 现场应用

通过对缅甸 D 区块现场使用的钻井液体系进行研究,形成了适合缅甸 D 区块的非渗透防塌钻井液体系。在现场 4 口井的应用过程中,该钻井液取得了较好的井眼稳定效果,现场复杂情况、划眼井段和划眼时间得到显著降低。前期钻井液在 P-1 井二开井段易塌地层使用时井径扩大率为 20.3%,采用非渗透防塌钻井液在 P-1 井相邻 3 口井中使用以后,P-2 井二开井段井径扩大率降为 3.6%,T-1 井二开井段井径扩大率降为 3.9%,P-3 井的二开井段井径扩大率降为 5.25%,且井径规则,取得了良好的井眼稳定效果。同时,前期钻井液在 Y-1 井二开和三开钻井过程中井径扩大率分别为 7%和 15%,采用非渗透防塌钻井液在邻井 Y-1X 井中使用以后,其二开和三开井眼扩大率分别降为 3.4%和 8.6%,且井径规则,实现良好的井壁稳定效果。

4 结论

(1) 缅甸 D 区块断层发育、地层破碎、微裂缝、孔隙发育,易塌地层黏土矿物高,以伊蒙混层为主,具有易膨胀、强分散的特点。因此,在进行钻井液设计时,应具有较强的泥页岩抑制性能,强化钻井液封堵能力和护壁能力。

(2) 室内研究的非渗透防塌钻井液体系适合用于缅甸 D 区块易塌地层,具有较强的抗温、抗污染能力,同时兼顾强抑制、强封堵性能。在现场应用过程中,该钻井液展现出良好的

井壁稳定性能,使得应用井井径扩大率得到显著改善,井下复杂事故得到明显降低。

参考文献 (References)

- [1] McMordie Jr W C, Bland R G, Hauser J M. Effect of temperature and pressure on the density of drilling fluids [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, September 26-29, 1982.
- [2] 李红,曹永斌,王新云. 缅甸 D 区块石油地质特征及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 265-272.
Li Hong, Cao Yongbin, Wang Xinyun. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 265-272.
- [3] 李洪乾. 缅甸 D 区块井壁稳定性周期浅析 [J]. 钻采工艺, 2012, 35(1): 17-20.
Li Hongqian. Drilling & Production Technology, 2012, 35(1): 17-20.
- [4] 梁建挺,卢运周,徐济银. 缅甸 D 区块复杂地质条件下优快钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2010, 38(5): 22-25.
Liang Jianting, Lu Yunzhou, Xu Jiyin. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(5): 22-25.
- [5] 刘厚彬,孟英峰,李皋,等. 泥页岩水化作用对岩石强度的影响 [J]. 钻采工艺, 2010, 33(6): 18-20.
Liu Houbin, Meng Yingfeng, Li Gao, et al. Drilling & Production Technology, 2010, 33(6): 18-20.
- [6] Wandrey C J. Eocene to miocene composite total petroleum system, irrawaddy-andaman and north burma geologic provinces, myanmar [M]. Reston, Virginia: US Geological Survey, 2006: 21-52.
- [7] Dyke C G, Wu Bailin, David Milton-Taylor. Advances in characterising natural fracture permeability from mud log data [J]. SPE Formation Evaluation, 1995, 10(3): 160-166.
- [8] Lietaud O, Unwin T, Guillot D, et al. Fracture width LWD and drilling mud/LCM selection guidelines [C]. European Petroleum Conference. Milan, Italy, October 22-24, 1996.
- [9] Sanfillippo F, Brignoli M, Santarelli F J, et al. Characterization of conductive fractures while drilling [C]. SPE European Formation Damage Conference. Hague, Netherlands, June 2-3, 1997.
- [10] Federico V D. Non-Newtonian flow in a variable aperture fracture[J]. Transport in Porous Media, 1998, 30(1): 75-86.
- [11] 丁锐. 钻井液防塌剂的作用方式及分类[J]. 石油大学学报, 1998, 22(6): 125-128.
Ding Rui. Journal of the University of Petroleum, China, 1998, 22(6): 125-128.
- [12] 王立泉,王睿,陈国强,等. 抑制封堵型防塌钻井液在雁 60 断块的应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(5): 47-49.
Wang Liquan, Wang Rui, Cheng Guoqiang, et al. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012, 29(5): 47-49.
- [13] 黄进军,李家学,吴兰,等. 聚合醇封堵性能室内研究 [J]. 钻采工艺, 2011, 34(6): 86-88.
Huang Jinjun, Li Jiaxue, Wu Lan, et al. Drilling & Production Technology, 2011, 34(6): 86-88.

(责任编辑 赵业玲)