

腰英台地区低压储层漏失分析及对策

刘金华

(1.页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室,北京 102206;2.中石化石油工程技术研究院有限公司,北京 102206)

摘要:腰英台储层营城组发育0.1~2 mm的裂缝。经过多年的开发,地层压力低至0.63~0.91 g/cm³,钻进过程中漏失严重,为压差性漏失和裂缝扩展性漏失两类。通过优选颗粒和变形填充材料,参考理想充填理论,开发了随钻防漏材料SMFL,其对钻井液流变性影响小,可有效封堵0.2 mm裂缝,承压能力大于20 MPa,形成的封堵层酸溶率达77.23%~79.21%,通过随钻防漏解决压差性漏失问题。参考SAN-2工程分布规律,确定了封堵1 mm、2 mm裂缝的高效桥接堵漏配方,其承压能力大于25 MPa,形成的封堵层酸溶率达79.39%~79.58%,通过停钻专堵解决裂缝扩展性漏失问题。随钻处理剂和高效桥接堵漏配方在YP16井和YP17井等进行了应用,成功封堵住营城组低压漏失层,堵漏时间大幅缩短,保证了钻井施工的顺利进行。

关键词:低压储层;防漏堵漏;腰英台地区

中图分类号:TE254

文献标志码:A

Analysis and countermeasures of low pressure reservoir leakage in Yaoyingtai area

LIU Jinhua

(1.State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing 102206, China;

2.Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: There are 0.1 to 2 mm cracks in Yingcheng Formation of the target stratum in Yaoyingtai area. After years of development, the formation pressure is as low as 0.63 to 0.91 g/cm³, and the lost is serious in drilling. The types of lost are differential pressure lost and fracture expansion lost. Through the optimization of raw materials, and the use of ideal filling theory, a plugging agent while drilling SMFL has been developed, which has little influence on the rheological properties of drilling fluid, can effectively block 0.2 mm fractures, the pressure bearing capacity is greater than 20 MPa, and the acid solubility of the formed plugging layer is 77.23% to 79.21%. Through the leak proof while drilling and plugging technology, the problem of differential pressure leakage can be solved. According to the distribution law of SAN-2 project, the high-efficiency bridging plugging formula for sealing 1 mm and 2 mm fractures has been determined. The pressure bearing capacity of the formula is greater than 25 MPa, and the acid solubility of the plugging layer is 79.39% to 79.58%. The problem of fracture expanding leakage can be solved by stopping drilling bridging plugging technology. The while drilling agent and high-efficiency bridging plugging formula have been widely used in YP 16 well and YP 17 well. The low-pressure leakage layer of Yingcheng Formation has been successfully sealed to ensure the smooth drilling construction.

Key words: low pressure formation; lost prevention and plugging; Yaoyingtai area

腰英台^[1-2]储层营城组经过多年的开发,后续钻井过程中漏失严重,漏失率近100%,严重影响了正常钻井施工,拖延了勘探开发步伐。如YP13井,在营城组钻遇失返性漏失,共进行了桥接堵漏、高失水堵漏、水泥堵漏和固结堵漏等21次堵漏作业,井下仍然漏失,被迫提前完井,未达到钻井目的,堵漏周期1 418.58 h,合59.11 d。针对如此严重的漏失,通过分析漏失层特点及堵漏施工过程中存在的问题,确定了堵漏配方粒径不合适及封堵层缺乏弹性

是堵漏成功率低的主要原因,针对漏失层为储层的实际情况,优选了高强度、高酸溶的颗粒材料和变形材料,通过合理的粒径级配,研发了随钻防漏处理剂,开发了高效桥接堵漏配方,在YP16和YP17井应用,成功解决了储层段压差性漏失和裂缝扩展

收稿日期:2022-09-25;改回日期:2022-11-30。

作者简介:刘金华(1976—),高级工程师,现从事防漏堵漏研究及现场技术服务工作。E-mail:liujinhua.sripe@sinopec.com。

性漏失难题。

1 腰英台储层特性

1.1 地层岩性及组构

腰英台目的层营城组为火成岩地层,岩性为紫灰色、深灰色、灰色凝灰岩、灰白色流纹岩,黏土含量较低,只有1%左右,石英和斜长石含量高,达到80%以上。黏土矿物中,伊利石含量最高,所占比例高达55%以上,其次是伊/蒙混层,大约为30%,几乎不含蒙脱石。该地层硬脆性强,容易发生裂缝性漏失。

1.2 地层压力及地层温度

腰英台目的层营城组埋深3 500~3 800 m,原始气藏压力系数为1.17左右。经过多年的开发,地层压力逐渐降低,YP2、YP5、YP12、YP13、YP14、YP15井实测地层压力系数分别为0.79、0.76、0.91、0.68、0.66和0.63,成为漏失潜在的隐患。腰英台目的层营城组埋深3 500~4 000 m,地温梯度3.3℃/100 m,折算出目的层温度为120~130℃。

1.3 地层裂缝

通过观察早期地质取心资料,可知腰英台目的层营城组地层裂缝宽度基本在0.1~2 mm之间,足以引起漏速每小时数立方米至失返等不同漏速的漏失。地层压力降低后,裂缝所受支撑力也相应降低,通过模拟计算^[3-4],目前裂缝宽度小于1.5 mm。

1.4 钻井液密度

腰英台目的层营城组钻进过程中,为保证井下安全,满足井壁稳定和压稳气层的要求,钻井液密度基本控制在1.05~1.15 g/cm³。

1.5 漏失类型及防漏堵漏要求

通过综合分析漏失层特征和钻井液密度情况,结合漏失类型分类原则,将营城组漏失归结为压差性漏失和裂缝扩展性漏失^[5-8]。由于井筒压力高于地层压力导致的漏失为压差性漏失,此时地层骨架不受破坏;在漏失发生过程中,井筒流体作用于漏失裂缝表面,引起裂缝宽度进一步增大,同时破坏地层骨架结构,此时的漏失为裂缝扩展性漏失。

对于压差性漏失,需要堵漏材料在漏失通道即裂缝内形成具有足够强度的“封隔墙”,能够承受井筒和地层压力差,就可以达到堵漏的目的;对于此种漏失,将堵漏材料加入钻井液中,采用随钻防漏工艺就可满足正常钻井要求。

对于裂缝扩展性漏失,形成的“封隔墙”除了要

满足井筒和地层压力差的要求,还要具有较强的抗压能力,即满足裂缝扩展后的漏失通道对“封隔墙”的挤压,使“封隔墙”一直保持原状态支撑住漏失裂缝,避免“封隔墙”受挤压后遭到破坏再次漏失。对于此种漏失,除了形成的“封隔墙”具有一定的承压能力,还必须具有较高的强度,要求颗粒材料能够承受裂缝面的法向压力,承压能力大于裂缝闭合压力,使“封隔墙”在受压状态下持续保持原状态。由于裂缝扩展后宽度较大,所需颗粒堵漏材料粒径也较大,一般需要停钻专堵。

根据腰英台营城组目前情况,按地层压力系数0.63~0.91、井筒钻井液密度1.1 g/cm³计算,控制压差性漏失,需要随钻处理剂生成的“封隔墙”承压能力为8~19 MPa。通过计算模拟,结合现场堵漏施工,裂缝开启产生扩展性漏失的压力为当量密度1.5 g/cm³,合20 MPa,且压力越大,裂缝宽度越大,堵漏施工时,要根据承压要求选择合适的颗粒材料和配方。

由于营城组是储层,防漏堵漏过程中所用的堵漏材料必须具有较高的酸溶性,利于后期解堵,满足开发要求。另外,营城组地层温度超过120℃,防漏堵漏材料还要考虑抗温性能。

2 防漏堵漏技术研究

针对0.2 mm以下的小裂缝产生的压差性漏失,开发随钻防漏处理剂,通过随钻措施进行随钻封堵;针对毫米级较大裂缝产生的裂缝扩展性漏失,开发具有弹性的高效桥接堵漏技术,使封堵层能够随着裂缝的扩展而实时变形封堵,防止后期复漏,提高堵漏效果。

2.1 防漏技术

对于腰英台营城组压差性漏失,防漏作业主要针对0.2 mm以下的小裂缝,防漏处理剂要从以下方面考虑:首先要选择抗高温的酸溶性颗粒材料,根据合适的粒径分布规则进行架桥级配,进行初级架桥;利用可变形的填充材料,填充于架桥留下的小缝隙中,提高封堵层弹性,同时提高封堵范围,防止复漏;利用可酸溶的抗高温纤维材料在封堵层中实现拉筋,提高封堵层稳定性。经过室内实验,开发出随钻处理剂,采取随钻工艺进行防漏施工。

2.1.1 防漏材料优选

(1)颗粒材料。颗粒材料在小裂缝内互相作用,按一定规则形成“架桥”,“桥”的强度受颗粒材

料强度的影响较大,因此颗粒材料需要有一定的强度来满足“架桥”的稳定性^[9]。收集了6种高酸溶高强度的刚性颗粒材料,其抗压强度均大于20 MPa,清水中150 ℃热滚16 h后,强度基本不变,利用15%盐酸测得的酸溶率均在95%以上。收集的6种材料

的粒径如表1所示。

(2)纤维材料。从抗温和酸溶率两方面来考虑,优选出矿物纤维MJXW(见图1),130℃烘干24 h后,其质量损失率仅为0.3%,15%盐酸酸溶率为61.7%。

表1 刚性颗粒材料粒径分布 μm

材料代号	D_{10}	D_{20}	D_{30}	D_{40}	D_{50}	D_{60}	D_{70}	D_{80}	D_{90}	D_{100}
A	1.62	2.98	7.21	12.10	18.79	25.76	31.96	40.36	50.67	149.95
B	10.20	38.29	72.11	95.97	128.64	162.23	193.56	227.95	269.75	326.17
C	3.77	9.36	16.98	26.32	37.43	52.69	75.87	111.21	175.62	717.78
D	2.73	7.25	15.67	27.11	39.52	54.12	70.43	90.21	114.79	167.36
E	1.57	3.27	5.21	7.78	9.41	12.01	14.27	18.12	23.24	56.53
F	2.25	5.16	8.52	10.93	14.39	17.89	23.23	27.57	35.12	73.55



图1 矿物纤维MJXW

(3)可变形填充材料。从拉伸强度、断裂伸长率和回弹率三方面考虑,用万能材料试验机测试不同材料的性能,优选了抗高温高回弹率变形填充材料GHT(见图2),该材料在130 ℃养护24 h后,拉伸强度大于8.1 MPa,断裂伸长率大于559.3%,回弹率大于91%。

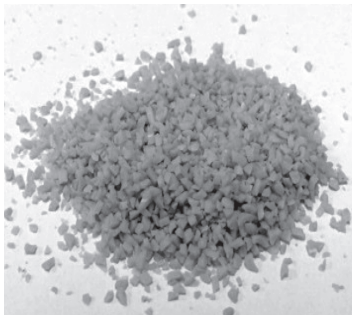


图2 抗高温变形填充材料GHT

2.1.2 防漏处理剂配方

首先依据理想充填理论确定了颗粒材料的比例,在此基础上,通过实验,从堵漏浆性能、封堵能力和经济性方面综合考虑,确定了纤维材料和可变形填充材料的比例及加量,最终确定了防漏处理剂

SMFL的配方。

(1)颗粒材料级配。参考理想充填理论^[10-13],从收集的高酸溶高强度颗粒材料中优选材料,进行合理级配,确定了封堵0.2 mm裂缝的颗粒材料及比例。最终优选出颗粒材料F、D和B,其比例为10:35:55,这3种材料复配最接近理想充填效果,其优化曲线如图3所示。

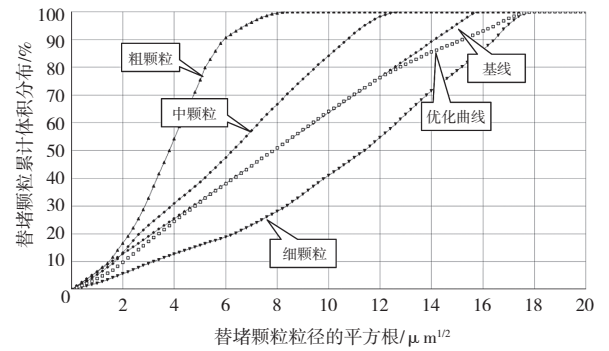


图3 理想充填优化曲线

(2)纤维材料和填充材料加量。将优选出的颗粒材料组合按10%的加量,加入6%膨润土浆中,搅拌均匀后,加入不同的纤维材料,配制成堵漏浆,利用六速旋转黏度计测试其黏度,利用DLM-01型堵漏仪测试承压能力(所用裂缝为0.2 mm楔形缝),综合考虑黏度、承压效果和经济效益,确定颗粒材料与80目(0.18 mm)的纤维MJXW配合使用,其配制的堵漏浆黏度较低、承压能力较强,颗粒与纤维材料的比例为10:2。在确定纤维材料加量的基础上,进一步加入变形填充材料,配制堵漏浆,测试其承压能力。最终确定了50目(0.30 mm)的变形填充材料与颗粒材料和纤维材料复配,可以达到较好的封

堵效果。变形填充材料与颗粒材料组合和纤维材料的比例为1:10:2。

最终确定了随钻防漏处理剂SMFL的配方,即颗粒、纤维和变形填充材料的比例为10:2:1。

2.1.3 防漏处理剂性能评价

利用腰英台常用的1.3 g/cm³密度的非渗透聚磺钻井液,对防漏配方进行了评价,所用钻井液配方为:3%土浆+0.2%NaOH+0.15%Na₂CO₃+0.4%NH₄HP

AN+1.5%SMC+0.5%SMP-I+ 1.0%SPNH + 0.2%抗高温聚合物降滤失剂DSP-2 + 2.0% FST- I。

(1)钻井液流变性能。将防漏处理剂SMFL加入上述非渗透聚磺钻井液中,测常温和高温热滚后的流变性,实验结果如表2所示。从表2可以看出,加入4%的防漏处理剂SMFL,钻井液的塑性黏度和切力值有所增加,但增加量不大,都在可控范围内,防漏处理剂SMFL对钻井液流变性影响小。

表2 防漏处理剂SMFL对钻井液流变性的影响

类别	实验条件	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	初终切/(Pa/Pa)
基浆	常温	33	13	3/5
	130℃, 16 h	31	12	3/6
基浆+2%SMFL	常温	34	13.5	4/6
	130℃, 16 h	33	13	4/6
基浆+3%SMFL	常温	35	14	4/7
	130℃, 16 h	34	13.5	4/6.5
基浆+4%SMFL	常温	37	15	4/7.5
	130℃, 16 h	34	14	5/7

(2)封堵性能。将防漏处理剂SMFL加入上述非渗透聚磺钻井液中,130℃下热滚16 h后,测其封堵砂床和0.2 mm裂缝的能力。实验结果表明,可有效封堵20~60目砂床,随着SMFL加量的增加,钻井液浸入深度逐渐减小,加量大于3%后,浸入深度小于3.5 cm,推荐加量为3%。加入3%SMFL的钻井液,可有效封堵0.2 mm的裂缝,通过高温高压堵漏

仪测试,承压能力可以达到20 MPa以上。

(3)酸溶率。将测试0.2 mm裂缝封堵性能后形成的封堵层取出烘干后,放入15%盐酸中测试酸溶率,实验结果如表3所示,加入随钻处理剂后,形成的封堵层的酸溶率有上升的趋势,通过使用石灰石粉加重后,封堵层酸溶率可进一步提高,可达77.23%~79.21%,有利于后期酸化解堵。

表3 封堵层酸溶性评价数据

样品名称	酸化前质量/g	酸化后总质量/g	酸溶率/%	备注
非渗透聚磺钻井液	1.02	0.75	26.47	重晶石加重
非渗透聚磺钻井液+3%SMFL	1.02	0.71	30.39	重晶石加重
	1.01	0.23	77.23	石灰石粉加重
非渗透聚磺钻井液+4%SMFL	1.01	0.66	34.65	重晶石加重
	1.01	0.21	79.21	石灰石粉加重

备注:钻井液密度为1.20 g/cm³。

2.2 高效桥接堵漏技术研究

传统桥接堵漏配方多由刚性颗粒、片状及纤维材料组成,当裂缝因承受压力过高开启后,在裂缝处形成的“封隔墙”因为缺少弹性,遭到破坏,再次漏失。高效桥接堵漏配方的关键是利用变形填充材料,扩展封堵范围,使形成的“封隔墙”能够跟随裂缝开启而弹性变形,维持对地层的紧密封堵。

2.2.1 堵漏材料优选

基于高效桥接堵漏配方的开发思路,通过对传统桥接堵漏材料、非常规高酸溶材料以及部分高性能变形填充材料性能测试,从抗温、酸溶率、强度、密度、硬度等方面综合考虑,优选出颗粒材料SMKL、纤维MJXW、变形填充材料GHT(见表4),用于高效桥接堵漏配方的研究。

表 4 材料性能测试

材料名称	密度/(g·cm ⁻³)	抗温/℃	回弹率/%	莫氏硬度	酸溶率/%	抗压(拉)能力/MPa	
						常温 24 h	150℃ 16 h
颗粒 SMKL	2.6 ~ 2.8	>800		3	98	>25	>25
纤维 MJXW	1.2 ~ 1.4	>1000		2.5	72	900	850
变形填充材料 GHT	1.2 ~ 1.4	>240	220	1 ~ 1.5		8.8	8.5

2.2.2 堵漏配方优选

(1) 粒径级配。粒径最优级配参考了 SAN-2 工程分布理论^[14-15], 同时引入了弹性变形材料。SAN-2 工程分布理论考虑了不同粒径颗粒的比例, 而不是仅仅给出一个范围, 相比于“三分之一”和

“三分之二”架桥规则, 其架桥封堵性能更好。根据该理论, 确定了颗粒材料的粒径分布(见表 5)。在引入弹性变形材料后, 该材料可通过改变形状充填于不规则粒径接触后形成的孔隙之间, 同时变形材料具有一定的强度, 因此粒径级配可适当放宽。

表 5 颗粒材料的粒径分布

序号	裂缝宽度/mm	不同粒径材料所占体积分数/%					
		10 目	20 目	40 目	60 目	80 目	100 目
1	1		4.6	41.5	25.7	15.9	12.2
2	2	3.5	25.2	31.1	19.3	11.9	9.1

(2) 堵漏配方。在优选材料的基础上, 经过室内实验优选, 从承压能力、酸溶率和经济方面综合考虑, 形成了针对不同裂缝宽度的高效桥接堵漏配方。

参考 SAN-2 工程分布理论确定的封堵 1 mm、2 mm 裂缝的颗粒材料级配, 引入变形填充材料和纤维材料, 通过室内实验, 利用高温高压封堵及防返吐评价装置, 调整材料加量, 加入井浆(非渗透聚磺钻井液)中, 优选出承压能力大于 25 MPa 的堵漏配方, 通过利用 15% 盐酸测试其酸溶率, 最终确定了封堵 1 mm 和 2 mm 裂缝的堵漏配方, 封堵实验如图 4、图 5。

1 mm 堵漏配方: 井浆+ 1%SMKL-3(1~2 mm)+ 4%SMKL-4 (<1 mm)+ 1%GHT-2 (0.4~1 mm)+ 2%GHT-3 (<0.4 mm)+ 1%MJXW-2 (1~2 mm)+ 2%MJXW-3 (<1 mm)+ 4%SMKL-5(100 目)。

2 mm 堵漏配方: 井浆+2%SMKL-2(1~3 mm)+ 6%SMKL-4 (<1 mm)+ 1%GHT-1 (1~3 mm)+ 1%GHT-2 (0.4~1mm)+2%GHT-3 (<0.4 mm)+ 1%MJMXW-1 (2~4 mm)+2%MJXW-2 (1~2 mm)+ 5%SMKL-5(100 目)。

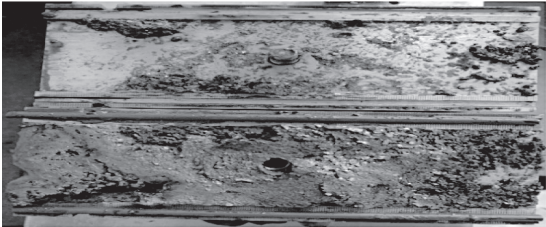


图 4 1 mm 裂缝堵漏配方封堵

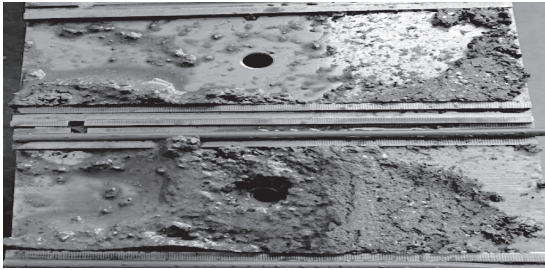


图 5 2 mm 裂缝堵漏配方封堵

2.2.3 高效桥接堵漏配方性能评价

(1) 稳定性及承压能力。将利用井浆(2.1.3 中的非渗透聚磺钻井液)配制好的堵漏浆, 放入量筒中静置 24 h, 观察沉降稳定性, 利用高温高压堵漏仪测试承压能力。实验结果表明, 1 mm 和 2 mm 堵漏浆配方静置后, 上下层密度差小于 0.03 g/cm³, 稳定性好; 能够有效封堵缝宽为 1 mm 和 2 mm 的缝板, 承压能力均达到 25 MPa 以上。

(2) 酸溶率。将上述堵漏实验过程中形成的封堵层烘干后, 放入 15% 盐酸中, 评价其酸溶率, 实验结果表明, 1 mm 和 2 mm 高效桥接堵漏配方形成的封堵层的酸溶率分别为 79.39% 和 79.58%, 投产前可采用酸化解堵等措施解除储层污染。

3 现场应用

上述防漏堵漏技术在 YP16 井和 YP17 井储层段进行了应用, 较 YP13 井堵漏时间减少 96.1% 以上。实施过程中, 以随钻防漏为主, 停钻专堵为辅,

取得了良好的堵漏效果,顺利完钻。邻井YP13井储层段钻遇漏失,耗时2个月未能封堵住漏失层,被迫提前完钻。

YP16井目的层营城组地层压力系数0.70~0.91,目的层水平段长1 000.13 m,钻进过程中共漏失12次。其中漏速15 m³/h以下的漏失9次,通过随钻防漏工艺成功封堵住漏失层,恢复正常;漏速30 m³/h以下的漏失2次,利用高效桥接堵漏成功封堵住漏失层;失返性漏失1次,利用高浓度高效桥接堵漏浆堵漏成功,实现了钻探目的并顺利完钻,堵漏用时55.3 h。

YP17井目的层营城组地层压力系数0.72~0.95,目的层水平段长967.18 m,钻进过程中共发生漏失7次,其中漏速15 m³/h以下的漏失3次,通过随钻防漏工艺成功封堵住漏失层,恢复正常;漏速30 m³/h以下的漏失4次,利用高效桥接堵漏成功封堵住漏失层。实现了钻探目的并顺利完钻,堵漏用时31.77 h。

4 结论

(1)腰英台目的层营城组地层压力低,裂缝发育,漏失类型分为压差性漏失和裂缝扩展性漏失两类。压差性漏失可用随钻处理剂配合随钻防漏堵漏工艺解决,裂缝扩展性漏失可用高效桥接堵漏技术解决。

(2)在优选颗粒材料、纤维材料和变形填充材料的基础上,利用理想充填理论确定了颗粒材料的比例,通过室内实验确定了纤维材料和变形填充材料的加量,最终确定了随钻防漏处理剂SMFL的配方。随钻防漏处理剂SMFL对钻井液流变性影响小,可有效封堵0.2 mm裂缝,承压能力大于20 MPa,形成的封堵层的酸溶率达77.23%~79.21%,有利于后期酸化解堵。

(3)在优选酸溶性抗温颗粒材料、纤维材料和变形填充材料的基础上,利用SAN-2工程分布规律确定了颗粒材料的级配,通过室内实验,确定了纤维材料和变形填充材料的加量,形成了封堵1 mm、2 mm裂缝的高效桥接堵漏配方,该配方承压能力大于25 MPa,形成的封堵层的酸溶率达79.39%~79.58%,可有效降低储层损害。

(4)开发的随钻处理剂和高效桥接堵漏配方在YP16井和YP17井等进行了应用,成功封堵住储层水平段漏失层,保证了钻井施工的顺利进行,达到了钻井目的。较邻井YP13井堵漏时间减少96.1%以上。

参考文献:

- [1] 刘彦学.松南气田低密度低伤害随钻堵漏钻井液技术[J].钻井液与完井液,2019,36(4):442-448.
- [2] 王彦祺.松南气田火山岩气藏水平井钻完井关键技术研究[J].钻采工艺,2009,32(4):23-25.
- [3] 刘四海,张浩,刘金华,等.裂缝性岩样应力敏感性实验研究[J].钻采工艺,2011,34(6):14-15.
- [4] 陈曾伟.基于神经网络算法的井下裂缝诊断与堵漏技术[J].钻井液与完井液,2019,36(1):20-24.
- [5] 蒋宏伟,石林,郭庆丰.地层压差漏失分析研究[J].石油机械,2011,39(5):16-19.
- [6] 李大奇.裂缝性地层钻井液漏失动力学研究[D].成都:西南石油大学,2012.
- [7] 潘军,李大奇.顺北油田二叠系火成岩防漏堵漏技术[J].钻井液与完井液,2018,35(3):42-47.
- [8] 王伟志,刘金华,李大奇,等.奥陶系灰岩地层放空段堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):48-51,55.
- [9] 艾正青,叶艳,刘举,等.一种多面锯齿金属颗粒作为骨架材料的高承压强度、高酸溶随钻堵漏钻井液[J].天然气工业,2017,37(8):74-79.
- [10] 张金波,鄢捷年,赵海燕.优选暂堵剂粒度分布的新方法[J].钻井液与完井液,2004,21(5):4-7.
- [11] 王利国,鄢捷年,冯文强.理想充填暂堵型钻井完井液的设计及室内评价[J].中国石油大学学报(自然科学版),2007,31(3):72-76.
- [12] 张凤英,鄢捷年,李志勇.钻井过程中暂堵剂颗粒尺寸优选研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2011,33(3):130-132.
- [13] 郭虹,黎晓茸,张会森.一种裂缝堵漏体系在超低渗透油田的研究和应用[J].科学技术与工程,2012,12(33):8835-8840.
- [14] 刘金华,刘四海,陈小锋,等.承压堵漏技术研究及其应用[J].断块油气田,2011,18(1):116-118.
- [15] 李胜,田璐,薛玉志,等.北部湾盆地徐闻X3井抗高温承压堵漏技术[J].天然气工业,2011,31(10):73-77.

(编辑 韩 枫)