

一种储层保护用酸溶性纤维的合成及现场应用

宋延超

(江苏煤炭地质勘探三队,江苏常州 213000)

摘要:储层伤害机理有被广泛的研究,但是储层保护技术的研究还有待进一步深入。本文针对储层保护的重要性,使用碱氧化法制备了一种酸溶性纤维,通过优选其粒径分布,评价其酸溶率,证实该纤维和刚性颗粒配合使用时可以达到储层保护的目。优选了储层保护用钻井液处理剂(润滑剂、降失水剂和包被剂),润滑性、降失水和流变性评价显示处理剂具有良好润滑性、降失水性和流变性能,研发了一套储层用的钻井液体系。酸溶性纤维和储层用钻井液体系一同使用时,其流变性满足施工要求,抗盐性能优异,沉降稳定性良好,同时具有优异的储层保护性能。通过在沁水区块某煤层气井的现场应用,展示了酸溶性纤维和储层用钻井液优异的性能,有望进一步推广应用。

关键词:酸溶性纤维;储层保护;钻井液;处理剂优选;体系优选

中图分类号:P634.6;TE25 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)S1-0196-06

Synthesis and field application of acid-soluble fiber for plugging leakage

SONG Yanchao

(Third Team of Jiangsu Coal Geological Exploration, Changzhou Jiangsu 213000, China)

Abstract: Reservoir damage mechanism has been widely studied, but the research of reservoir protection technology needs to be further in-depth. In view of the importance of reservoir protection, an acid soluble fiber is prepared by alkali oxidation method. By optimizing its particle size distribution and evaluating its acid solubility, it is confirmed that the combination of the fiber and rigid particles can achieve the purpose of reservoir protection. Drilling fluid additives (lubricants, fluid loss reducing agents and coating agents) for reservoir protection were optimized. The evaluation of lubricity, fluid loss reduction and rheology showed that the additives had good lubricity, fluid loss reduction and rheological properties. A drilling fluid system that can be used in reservoir was prepared. When acid soluble fiber and drilling fluid for reservoir are used at the same time, its rheological property can meet the construction requirements, with excellent salt resistance, good sedimentation stability and excellent reservoir protection performance. The field application in A coalbed methane well in Qinshui Block shows the excellent performance of acid soluble fiber and drilling fluid for reservoir, which is expected to be further applied.

Key words: acid soluble fiber; reservoir protection; drilling fluid; treatment agent optimization; system optimization

0 引言

随着经济的高速发展,对油气资源的依赖愈发的严重^[1]。然而,实际钻探开发过程中储层裂缝很容易受到液相和固相的损伤,最终导致油气的产量严重下降。目前,围绕如何保护储层的裂缝,解决储层伤害问题,国内外开展了大量的研究^[2-9]。针对储层保护的研究主要集中于储层保护钻井液体系。

Liu等^[9]开展了裂缝性支撑屏蔽暂堵钻井液,实验证明其暂堵率高达99%,反渗透率高达120.83%,具有良好的储层保护效果。Li等^[10]研究了水机成膜钻井液体系和纳米级钻井液,它们能够很好的保护储层,对于维护井壁稳定也有很好的效果。Wu等^[11]研制了高温聚合物胶束钻井液体系,该体系现场应用效果十分显著。李士清等^[12]研制了一种无

收稿日期:2023-09-17;修回日期:2024-04-01 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.S1.029

作者简介:宋延超,男,汉族,1985年生,工程师,勘查技术与工程专业,从事地热井、盐井、盐穴储气能库、深水井、煤层气井、煤矿矿区治理、定向井施工工艺研究和施工管理工作,江苏省常州市天宁区和电路10号,70658444@qq.com。

引用格式:宋延超.一种储层保护用酸溶性纤维的合成及现场应用[J].钻探工程,2024,51(S1):196-201.

SONG Yanchao. Synthesis and field application of acid-soluble fiber for plugging leakage[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 196-201.

污染的钻井液,可以有效地防止储层伤害和保护储层。正电胶钻井液体系同样具有良好的降低水锁伤害和应力敏感性伤害,提高岩石渗透率恢复值的能力^[13]。国内外储层保护技术的现场应用,多数研究还是集中在钻井液体系的优化上。Lei^[14]关于储层保护用的处理剂是针对于纳米材料的研究,认为其在储层保护领域具有重要的研究意义。同时也优化了表面活性剂,认为表面活性剂可以有效地破坏滤饼,能够提高储层保护性能。但是处理剂的研究主要集中在纳米和有机处理剂,这些材料的成本高,现场应用较少,多数都是集中在理论研究方面^[15]。

针对现场应用对储层保护材料的迫切需要,本文研制了一种酸溶性纤维,生产成本低、经济效益高,可以快速应用于现场。针对纤维的特性,分析了酸溶性纤维的粒径分布,评价了其酸溶率;与刚性颗粒形成了储层保护用暂堵配方。通过优选钻井液用处理剂,研制了一种储层保护用钻井液。将储层保护用材料和储层保护钻井液体系进行配伍,评价了其流变性、抗盐性、沉降稳定性、储层保护性,证实了该钻井液具有现场应用的能力。沁水区块某煤层气井的应用证明了其现场应用效果优良,有望进行大范围推广。

1 实验方案和仪器材料

1.1 酸溶性纤维的制备方法

通过碱氧化法实验,取2 g原纤和300 mL的N-甲基吡咯烷酮加入到500 mL的圆底烧瓶,当其搅拌均匀时加入3 g腐殖酸、2 g二环己基碳二亚胺和1.2 g催化剂(二甲氨基吡啶),待其反应3.5 h后过滤,将产物干燥后得到酸溶性纤维。

1.2 酸溶性纤维制备材料及设备

试剂:原纤、腐殖酸、二环己基碳二亚胺、二甲氨基吡啶,润滑剂、包被剂、降失水剂,刚性颗粒。

仪器:反应釜一套,ZNN-D6型六速旋转粘度计,GG571-B型高温高压滤失仪,高温滚子加热炉,极压润滑仪,CLD-II型岩心渗透率测定仪。

采用CLD-II型设备,通过行业标准《储层敏感性流动实验评价方法》(SY/T 5358—2010),对沁水区块太原组储层的岩样开展渗透率实验,采用FT-IR测定原纤和酸溶性纤维的官能团,证明酸溶性纤维制备成功。

1.3 酸溶性纤维的性能特点

粒径分布合理。制备的酸溶性纤维粒径满足储层保护需要。

配伍性好。酸溶性纤维加入到储层保护钻井液体系中后,对钻井液流变性能影响不大,表观粘度、塑性粘度和切力均在设计值范围内,同时降低了储层保护用钻井液的高温高压的失水量。

酸溶率高。酸溶性纤维为高分子材料,遇酸后会出现溶解,因此可以确保酸溶性纤维封堵后可以很好地解堵,从而达到不污染储层的目的。

封堵效果好。酸溶性纤维具有良好的弹性,能够在地层中进行有效地变形充填裂缝,起到良好的堵漏效果。

储层保护性优异。酸溶性纤维在160 ℃下老化16 d后,仍具有足够的储层保护性能,证明其具有应用于高温地层的条件^[16]。

2 暂堵材料和处理剂的优选

2.1 酸溶性纤维的合成

原料与样品的FTIR结果如图1所示,原料分别拥有3445、2918、1485、1379、1068 cm^{-1} 5个主要峰,分别对应着O-H伸缩振动峰、C-H伸缩振动峰、C=O伸缩振动峰、C-H弯曲振动峰和C=O振动峰。

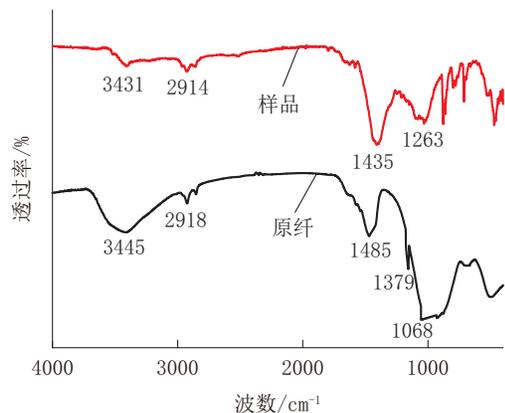


图1 原纤与酸溶性纤维的FTIR图谱

样品分别拥有3431、2914、1435和1263 cm^{-1} 4个主要峰,前3个峰值对应的官能团与原料对应的官能团一致。1263 cm^{-1} 对应的C-H弯曲振动峰,证明腐殖酸嫁接到了原纤上,形成了酸溶性纤维。

2.2 暂堵材料优选

2.2.1 暂堵材料粒径分析

针对储层的地质特点,结合前期的资料调研,选用大颗粒的刚性颗粒架桥,中等颗粒补充,小颗粒填充,纤维作为连接的桥架,在储层形成有效的暂堵。采用 bettersize2000 型激光粒度分析仪分析各种材料的粒径分布,详情如表 1 所示。

表 1 各种堵漏材料的粒径分布

成分	粒径范围/mm	平均粒径/mm
1号刚性颗粒	0.12~50.2	24.6
2号刚性颗粒	51.3~120.1	80.3
3号刚性颗粒	121.3~180.1	150.4
酸溶性纤维	15.1~198.2	111.2

2.2.2 暂堵剂酸溶率分析

由图 2 可知,随着刚性颗粒粒径的增加,酸溶率呈下降的趋势,但是所有的储层用屏蔽暂堵剂的酸溶率均高于 90%。酸溶性纤维的酸溶率最高,达到 94%。实验数据证实,复配的储层用暂堵剂配方在实现堵漏效果后,能够通过酸溶的方法进行解堵,不会对储层造成伤害。

2.3 处理剂优选

2.3.1 包被剂和降失水剂的优选

根据现场对处理剂和钻井液性能的要求,本研究优选聚磺钻井液作为储层用体系。通过优选包被剂(K-PAM)和高温高压降失水剂(RHTP-2),改

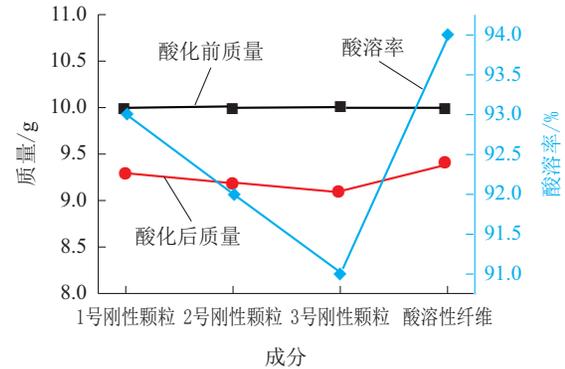


图 2 暂堵材料酸溶前后的质量和酸溶率

善钻井液的相关性能。本研究的基础配方为:4% 钻井液用膨润土+0.5% Na_2CO_3 +3% RHJ-2+0.7% DS-302+2% SPNH+2.5% SMC;通过改变 RHTP-2 (0.3%~0.5%) 和 K-PAM (0.4%~0.5%) 的加量,优选最优配方。实验结果显示,RHTP-2 加量较大时,钻井液的失水量较小,但是流变性变差。K-PAM 加量为 0.5% 时,钻井液的切力有明显提高,但是流变性变差。综合考虑 K-PAM 和 RHTP-2 加量分别为 0.4%。

2.3.2 润滑剂加量的优选

在最优钻井液配方中加入润滑剂 JM-4,通过改变润滑剂加量来提高钻井液的润滑性能。实验结果如图 3 所示。从图 3 中可以看出,随着 JM-4 的增加,润滑系数显著降低,降低率达到了 36.5%。结合经济和技术考量,优选 JM-4 的加量为 1.5%。

表 2 不同配方的流变参数和失水参数

配方编号	RHTP-2 加量/%	K-PAM 加量/%	老化条件	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	动塑比	FL _{RHTP} /mL
1	0.3	0.4	160°C/16h	34	27	7.3	0.27	12.5
2	0.4	0.4	160°C/16h	49	28	6.9	0.246	11.5
3	0.5	0.4	160°C/16h	55	44	9.8	0.223	11
4	0.3	0.5	160°C/16h	44	39	6.1	0.156	12.1
5	0.4	0.5	160°C/16h	50	39	7.9	0.203	10.9
6	0.5	0.5	160°C/16h	58	46	11.6	0.252	9.8

2.4 暂堵剂和钻井液复配后渗透率评价

使用大小为 2.5 cm×5.2 cm 的岩心试块开展渗透率实验。由图 4 可知,随着暂堵剂的加入,1 号和 3 号钻井液对岩心的损害较大,渗透率恢复值仅为 57.6% 和 78.8%。2 号和 4 号钻井液的渗透率恢复值均达到了 82.4% 和 85.4%。5 号钻井液的渗透率

恢复值最高为 93.4%。说明 5 号钻井液加入暂堵剂后配方的损害率最低,完全满足储层保护要求。

配方 1: 基础配方+0.4% RHTP-2+0.4% K-PAM+1.5% JM-4。

配方 2: 配方 1+1% 刚性颗粒(细粒)+1% 刚性颗粒(中粒)+2% 酸溶性纤维。

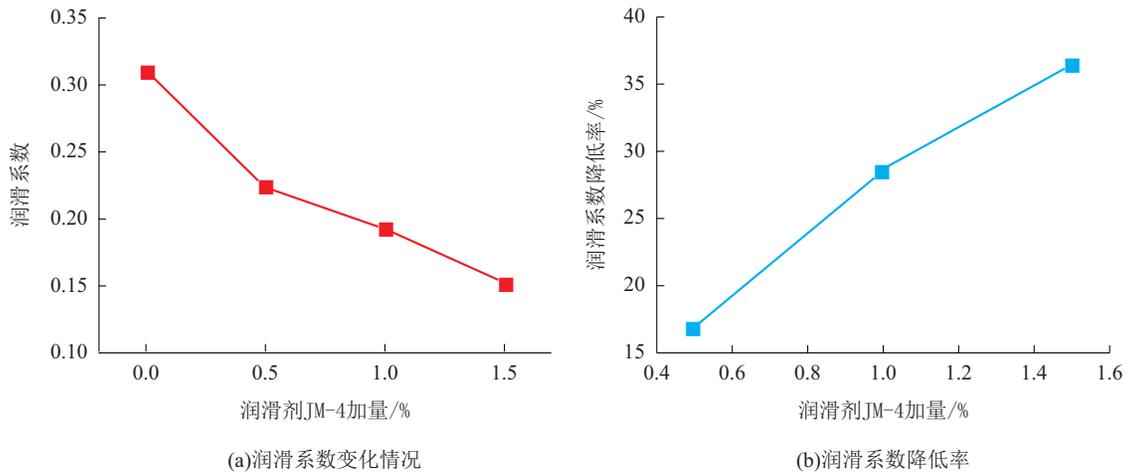


图 3 钻井液加入润滑剂后润滑系数和润滑系数降低率的变化

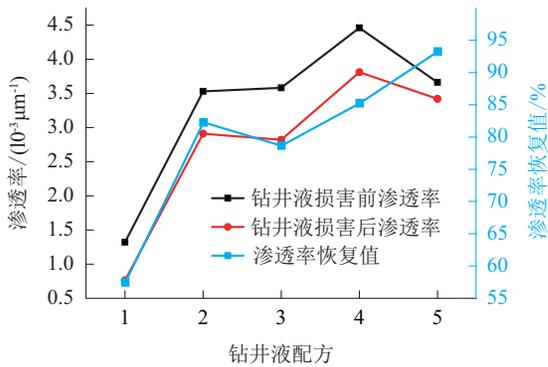


图 4 不同钻井液配方渗透率和渗透率恢复值数据

配方 3: 配方 1+1% 刚性颗粒(细粒)+1% 刚性颗粒(粗粒)+2% 酸溶性纤维。

配方 4: 配方 1+1% 刚性颗粒(细粒)+1% 刚性颗粒(中粒)+1% 刚性颗粒(粗粒)+2% 酸溶性纤维。

配方 5: 配方 1+1% 刚性颗粒(细粒)+1% 刚性颗粒(中粒)+1% 刚性颗粒(粗粒)+3% 酸溶性纤维。

3 储层用钻井液综合性能评价

3.1 钻井液基础性能评价

在最优的钻井液配方下(4% 钻井液用膨润土+0.5% Na₂CO₃+3% RHJ-2+0.7% DS-302+2% SPNH+2.5% SMC+0.4% RHTP-2+0.4% K-PAM+1.5% JM-4+1% 刚性颗粒(细粒)+1% 刚性颗粒(中粒)+1% 刚性颗粒(粗粒)+3% 酸溶性纤维),测定钻井液常温和 160 °C 老化后的流变性能和失水量等参数。实验数据如表 3 所示,160 °C 高温

下,钻井液的粘度、切力、动塑比满足规范要求,拥有良好的流变性。高温高压失水 < 10 mL,具有良好的抗失水能力。由此可见,该钻井液体系具有良好的抗温性能。

表 3 钻井液流变性能实验结果

老化条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/Pa	动塑比	FL _{HTHP} / mL
常温	56	43	12.1	0.281	
160°C/16h	53	41	11.8	0.287	8.9

3.2 钻井液抗盐性能评价

表 4 中的实验数据显示,随着 CaCl₂ 加量的增加,钻井液的表现粘度、塑性粘度、动切力和动塑比有一定的变化,但是幅度不大。钻井液的流变性良好。CaCl₂ 加量达到 1.5% 时,160 °C 老化 16 h 后钻井液的高温高压失水 < 10 mL。完全满足储层钻井液设计要求。因此我们得出结论,优化后的钻井液抗 CaCl₂ 能力至少为 1.5%。

表 4 160 °C 老化 16 h 后钻井液抗盐性能实验结果

CaCl ₂ 加量/%	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/Pa	动塑比	FL _{HTHP} / mL
0	53	41	11.8	0.287	8.9
0.5	58	44	13	0.295	9
1	65	50	12.3	0.246	9.2
1.5	69	53	14.5	0.274	9.5

3.3 钻井液的沉降性能评价

将最优钻井液体系在 160 °C 老化 16 h,测定不

同密度(1.2~1.6 g/cm³)下钻井液的上下部密度,同时计算密度差。实验结果如图5所示。由图5可知,随着钻井液的密度逐渐增加,钻井液的密度差逐渐增大。当钻井液密度<1.4 g/cm³时,钻井液上下密度差≤0.05 g/cm³。当钻井液密度1.4~1.6 g/cm³时,钻井液上下密度差<0.1 g/cm³。上述数据证明优选的钻井液体系稳定性良好。

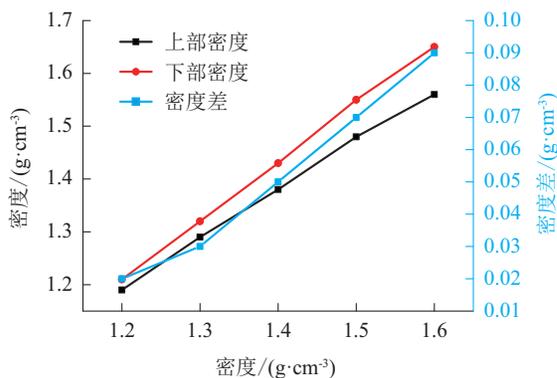


图5 不同密度配方160℃老化16h后上下部密度和密度差数据

3.4 储层保护性评价

使用大小为2.5 cm×5.2 cm的岩心试块开展渗透率实验,评价钻井液体系的储层保护性能。实验数据如图6所示,3种不同的岩样的渗透率恢复值均大于90%。符合实际要求的85%。证实了优选的钻井液配方具有良好的储层保护能力。

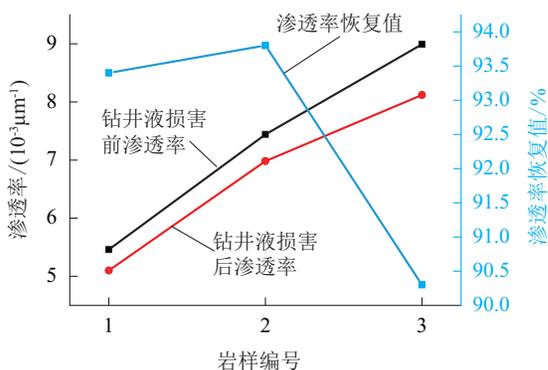


图6 不同钻井液配方渗透率和渗透率恢复值数据

4 现场应用

4.1 钻井液日常维护

根据室内研究数据,结合现场实际情况优选储层保护用钻井液配方为:井浆+6%暂堵剂(1%刚性颗粒(细粒)+1%刚性颗粒(中粒)+1%刚性颗

粒(粗粒)+3%酸溶性纤维)。

在钻探过程中要实现瞬间封堵的原则,确保酸溶性纤维和刚性颗粒的加量符合配方设计要求,用在储层封堵时可以提高储层保护性能。

在进入目标地层时,必须调整好钻井液体系的性能,使钻井液常温常压失水量<5 mL,高温高压失水量<12 mL,尽量防止钻井液中的固相进入储层,造成储层的堵塞性伤害。

正常钻进时,需要适时适量的加入酸溶性纤维和刚性颗粒,进行暂堵。同时还要及时添加各种处理剂(如包被剂),保证钻井液体系的稳定性。

如果需要给钻井液体系加重,在保证井下安全的同时,可以适当加入易酸溶性的石灰石粉,确保其酸化后可以被顺利返排,避免给储层带来伤害。

对储层用钻井液体系,要经常测量其沉降稳定性和流变性。

储层用钻井液应当具有良好的剪切稀释性,防止开钻时产生的压差骤降,导致应力伤害。

钻进到储层时,要同时开启四级固相控制设备,及时有效地除去有害的固相颗粒^[17]。

4.2 井浆使用暂堵剂时的性能

通过观察加入暂堵剂后井浆性能的变化(见表5),我们发现随着暂堵剂的加入,井浆的表观粘度、塑性粘度和动切力没有大幅度的变化。只有当暂堵剂加量达到3%时,粘度和切力才有稍微的升高,但在设计范围之内。暂堵剂的加入对失水量有一定的降低,说明暂堵剂可以提高钻井液的抗滤失能力。

表5 暂堵剂现场应用时的性能

组 成	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FL _{API} / mL
井浆+1.0%暂堵剂	33	28	5.6	4.1
井浆+1.5%暂堵剂	34	29	5.5	3.8
井浆+2.0%暂堵剂	34	28	5.3	3.9
井浆+2.5%暂堵剂	36	30	6	3.6
井浆+3.0%暂堵剂	39	32	7	3.1

4.3 钻井液应用效果

现场应用数据如表6所示,我们可以看到沁水区块某煤层气井在2020年10月7日完钻,完钻后下入三开套管不固井,并进行酸化洗井作业,洗井后进行分段压裂,使用注水排采方式进行试开采,实

现日均产气量 $<5000\text{ m}^3$ 。针对储层酸化完井后效果分析,酸溶性纤维在沁水区某煤层气井储层取得了良好的应用效果,完全符合沁水区块的储层保护要求,具有很强的现场应用价值。

表6 沁水区某煤层气井试产情况

时间	日产气量/ m^3	累计产气量/ m^3
12.03	4580	4580
12.04	4723	9303
12.05	4852	14155
12.06	4930	19085
12.07	5037	24122
12.08	5080	29202

5 结论

本文针对于沁水区块的储层,研制了一种酸溶性纤维,酸溶率 $>90\%$,结合不同粒径的刚性颗粒一起使用,完全满足储层暂堵技术的要求。优选了3种核心处理剂,研制了储层用钻井液体系(4%钻井液用膨润土+0.5% Na_2CO_3 +3%RHJ-2+0.7%DS-302+2%SPNH+2.5%SMC+0.4%RHTP-2+0.4%K-PAM+1.5%JM-4+1%刚性颗粒(细粒)+1%刚性颗粒(中粒)+1%刚性颗粒(粗粒)+3%酸溶性纤维)。优选的储层保护用钻井液体系具有良好的流变性,高温高压失水量 $<12\text{ mL}$,抗温能力达到了 $160\text{ }^\circ\text{C}$,抗盐(CaCl_2)能力至少为1.5%,沉降稳定性良好,渗透率恢复值达到了90%。完全满足了设计要求。现场应用显示,钻井液体系具有优异的应用效果,制备的酸溶性纤维适用于多种井况。

参考文献:

- [1] 母晓明. 环境友好型钻井液技术现状与发展趋势[J]. 西部探矿工程, 2023, 35(5): 55-57.
- [2] 谭现锋, 刘肖, 马哲民, 等. 干热岩储层裂隙准确识别关键技术探讨[J]. 钻探工程, 2023, 50(2): 47-56.
- [3] 张建忠, 杨海, 刘安邦, 等. Slickwo在线清洁压裂液在延长气田

Y区域的应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(2): 85-90.

- [4] 吴诗平, 鄢捷年, 蒋海军. 三塘湖盆地裂缝性油藏保护储层暂堵技术研究[J]. 钻井液与完井液, 2004(1): 23-26, 63-64.
- [5] 王昌军, 岳前声, 肖稳发, 等. 聚合醇的储层保护机理室内研究[J]. 重庆石油高等专科学校学报, 2001(4): 15-16, 23.
- [6] 崔迎春. 裂缝性储层屏蔽暂堵分形理论的研究[J]. 天然气工业, 2002(2): 45-47.
- [7] Kang Y L, Xu Ch Y, You L J. Comprehensive evaluation of formation damage induced by working fluid loss in fractured tight gas reservoir[J]. Journal of Natural Gas Science & Engineering, 2014, 18: 353-359.
- [8] Huang W, Lei M, Qiu Z, et al. Damage mechanism and protection measures of a coalbed methane reservoir in the Zhengzhuang block[J]. Journal of Natural Gas Science & Engineering, 2015, 26: 683-694.
- [9] Liu D, Kang Y, Liu Q, et al. Laboratory Research on Fracture-Supported Shielding Temporary Plugging Drill-In Fluid for Fractured and Fracture-Pore Type Reservoirs [J]. Journal of Chemistry, 2017: 1-8.
- [10] Li L, Li Y M, Yang Y P. Application of Nanomaterials in Reservoir Protection[J]. Progress in Industrial and Civil Engineering, 2012(S1): 697-700.
- [11] Wu X L, Pu H, Zhu K L, et al. Formation damage mechanisms and protection technology for Nanpu nearshore tight gas reservoir [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2017, 158: 509-515.
- [12] 李士清, 薛玉志, 刘宝双. 埕岛油田埕北32东营组油藏用钻井液对油层污染影响的研究[J]. 精细石油化工进展, 2003, 4(12): 14-16.
- [13] 张振华, 鄢捷年, 王书琪. 保护裂缝性碳酸盐岩油气藏的钻井完井液[J]. 钻采工艺, 2000(1): 63-66.
- [14] Lei M, H. W., Li N, et al., The damage mechanism of oil-based drilling fluid for tight sandstone gas reservoir and its optimization [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2017; S0920410517307088.
- [15] 刘静, 康毅力, 陈锐, 等. 碳酸盐岩储层损害机理及保护技术研究现状与发展趋势[J]. 油气地质与采收率, 2006(1): 103-105, 116.
- [16] 唐国旺, 于培志. 油基钻井液随钻堵漏技术与应用[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(4): 32-37.
- [17] 吕忠楷. 顺北区块裂缝性碳酸盐岩储层损害机理及保护技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.

(编辑 王文)