

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021034

引用格式: 周双君, 朱立鑫, 杨森, 等. 吉木萨尔页岩油区块防漏堵漏技术 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(4): 66-70.

ZHOU Shuangjun, ZHU Lixin, YANG Sen, et al. Technology for preventing and controlling circulation loss in Jimsar shale oil block [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 66-70.

吉木萨尔页岩油区块防漏堵漏技术

周双君¹, 朱立鑫², 杨森³, 毛俊¹, 李萧杰¹, 黄维安⁴

(1. 中国石油集团西部钻探工程有限公司钻井液分公司, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油大学(华东)理学院, 山东青岛 266580; 3. 西南石油大学石油与天然气工程学院, 四川成都 610500; 4. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东青岛 266580)

摘 要: 针对吉木萨尔页岩油区块钻井过程中漏失频发的问题, 从地层分布、岩性差异与储层发育特性方面分析了漏失机理, 发现该页岩油区块的漏失主要集中在侏罗系八道湾组和二叠系梧桐沟组, 浅部漏失地层砂砾岩孔隙发育, 胶结疏松, 深部漏失地层诱导裂缝发育, 所发生漏失分别为渗透性漏失和诱导裂缝漏失。基于吉木萨尔页岩油区块的漏失机理, 结合该区块处理漏失的经验, 制定了堵漏材料与漏失速度的匹配原则及防漏堵漏技术措施, 形成了适用于吉木萨尔页岩油区块的防漏堵漏技术。吉木萨尔页岩油区块应用该技术以后, 漏失发生率由 38.0% 降至 19.7%, 堵漏成功率提高到了 75%。这表明, 页岩油区块防漏堵漏技术可以解决吉木萨尔页岩油区块漏失频发的问题, 可为该区块的开发提供技术支持。

关键词: 页岩油; 井漏; 漏失机理; 防漏; 堵漏; 吉木萨尔

中图分类号: TE28⁺3 文献标志码: A 文章编号: 1001-0890(2021)04-0066-05

Technology for Preventing and Controlling Circulation Loss in the Jimusar Shale Oil Block

ZHOU Shuangjun¹, ZHU Lixin², YANG Sen³, MAO Jun¹, LI Xiaojie¹, HUANG Weian⁴

(1. Drilling Fluid Company, CNPC Xibu Drilling Engineering Company Limited, Karamay, Xinjiang, 834000, China; 2. College of Science, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong, 266580, China; 3. Petroleum Engineering School, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China; 4. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong, 266580, China)

Abstract: To address the problem of frequent circulation loss during the drilling of the Jimusar shale oil block, an analysis of the relevant mechanism was conducted from the perspectives of stratigraphic distribution, lithological differences, and reservoir development characteristics. The circulation loss in this block was mainly concentrated in the Jurassic Badaowan Formation and the Permian Wutonggou Formation. The pores were developed in the glutenite of the unconsolidated shallow loss formation, while the induced fractures occurred in the deep loss formation. The circulation loss can be classified into the permeable type and the induced fracture type. Depending on circulation loss mechanism and the experience of dealing with it in the Jimusar shale oil block, the matching principle between plugging materials and the circulation loss rate was formulated, and prevention and control countermeasures were proposed. As a result, the technology to prevent and control circulation loss was developed for the Jimusar shale oil block. It reduced the incidence of circulation loss from 38.00% to 19.70% and enhanced the success rate of plugging to 75% in the block. This indicates that the proposed technology is effective for tackling the problem of frequent circulation loss in the Jimusar shale oil block, and can provide technical support for the development of this block.

Key words: shale oil; lost circulation; lost circulation mechanism; antileakage; lost circulation control; Jimsar

吉木萨尔页岩油区块钻井过程中井漏故障频发到 38%。统计发现, 该页岩油区块的井漏主要集中在侏罗系八道湾组、二叠系梧桐沟组。井漏是钻井

收稿日期: 2020-08-13; 改回日期: 2021-04-01。

作者简介: 周双君(1984—), 男, 湖北荆州人, 2006年毕业于长江大学应用化学专业, 2009年获长江大学应用化学专业硕士学位, 高级工程师, 主要从事钻井液与完井液技术研究与应用。E-mail: zhshjxj@cnpc.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“致密油气开发环境保护技术集成及关键装备”(编号: 2016ZX05040-005)的部分研究内容。

过程中常发生的一种井下故障,因漏层位置难以准确判断、室内对堵漏浆性能评价方法不完善等原因,堵漏成功率较低,使井漏成为困扰石油钻井的世界性技术难题^[1-9]。掌握地层的漏失机理,有助于选择合适的堵漏材料,从而形成完善的防漏堵漏技术^[10-16]。但吉木萨尔页岩油区块的漏失机理尚不明确,难以形成有效的防漏堵漏技术。因此,笔者针对吉木萨尔页岩油区块井漏频发的问题,在分析漏失地层特性的基础上,开展了漏失机理研究,并结合现场处理漏失的经验,制定了堵漏材料与漏失速度的匹配原则及防漏堵漏技术措施,形成了适应于该区块的防漏堵漏技术,取得了很好的现场应用效果。

1 地层特性及漏失机理分析

1.1 地层特性

1.1.1 地层岩性

吉木萨尔页岩油区块侏罗系头屯河组为灰色泥岩夹砂质泥岩及砂岩;西山窑组为灰色、深灰色泥岩,泥质粉砂岩,细砂岩夹煤层;三工河组为灰色泥岩、泥质粉砂岩,下部为厚层细砂岩;八道湾组为深灰色、灰色泥岩夹粉砂岩、细砂岩,含多段煤层。砂泥岩夹层较多,砂岩层较为疏松,承压能力较低。

吉木萨尔页岩油区块三叠系主要分为克拉玛依组、烧房沟组和非菜园组,部分区域有层位缺失。克拉玛依组为泥岩砂岩不等厚互层;烧房沟组以深褐色、红褐色泥岩、含砾泥岩为主;非菜园组为深褐色泥岩、含砾泥岩、砂质泥岩,钻井过程中井眼易失稳,需采用合理密度的钻井液平衡,维持井眼稳定。

吉木萨尔页岩油区块二叠系主要有梧桐沟组、芦草沟组及井井子沟组,梧桐沟组上部以泥岩为主,黏土矿物含量较高,钻井过程中井眼易失稳,中下部为砂砾岩,底部与芦草沟组为不整合接触,是漏失多发层段。

芦草沟组为目的层,以砂岩为主,部分导眼钻至井井子沟组。水平井需要在梧桐沟组造斜,而梧桐沟组井眼失稳与井漏风险同时存在,钻井液安全密度窗口较窄。芦草沟组主要为一套沉积于咸化湖泊中,受机械沉积、化学沉积及生物沉积等作用的粉细砂岩、泥岩、碳酸盐岩的混积岩,普遍发育泥晶、微晶白云石,碎屑粒径普遍较小,粉细砂、泥质及碳酸盐富集层多呈互层状分布。岩石类型主要为粉细砂岩、泥岩、碳酸盐岩。粉细砂岩包括云质粉细砂岩、岩屑长石粉细砂岩和云屑粉细砂岩。碳酸盐岩主要为砂屑白云岩、粉细砂质白云岩、泥微晶白云岩。

纵向上粉细砂岩、页岩、砂屑白云岩、泥微晶白云岩的单层厚度都在厘米级,呈明显的韵律性。芦草沟组具有矿物成分复杂、岩性纵向上变化快、岩层薄等特征。在成岩演化过程中,岩石具有不均匀的硅化、方解石化、云化、沸石化、黄铁矿化及钠长石化等,使岩石矿物成分复杂,岩性呈现多样化。

1.1.2 地层孔隙度分布

吉木萨尔页岩油区块侏罗系砂砾岩孔隙发育,胶结疏松,西山窑组、三工河组和八道湾组孔隙度集中分布在5%~20%,砂砾岩孔隙发育,承压能力较低。二叠系梧桐沟组、芦草沟组及井井子沟组岩性主要以砂砾岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,孔隙度集中分布在4%~10%,同深度地层渗透性相对较高,为漏失多发层段。

表1为吉45井测井井段孔隙度解释结果。从表1可以看出:该井测井井段的孔隙度在3.3%~11.8%,平均为7.6%;3247.7~3347.8 m井段的孔隙度变化较大,最小为6.0%,最大为10.3%;3340.7~3341.8 m井段的孔隙度最小,为3.3%。

1.1.3 地层裂缝分布

利用吉木萨尔页岩油区块部分漏失井的成像测井资料,分析该区块漏失井漏失层位的裂缝发育情况,结果为:诱导缝占74.42%,高阻缝占13.95%,高导缝占11.63%。由此可知,吉木萨尔页岩油区块主要以诱导缝为主,含有部分高阻缝和高导缝^[17]。由于钻开地层以后,原始地层的应力释放,挤压井眼周围的地层,在井壁上产生了诱导裂缝。高导缝属于以构造作用为主形成的天然裂缝,诱导缝和高导缝的存在是导致井漏的直接原因。高阻缝为充填缝,由于充填物中有其他矿物,为闭合裂缝,对漏失影响不大。

1.2 漏失机理

形成漏失要有2个必要条件^[18-19]:1)有工作液经过的通道(孔隙、裂缝或溶洞等);2)存在正压差。吉木萨尔页岩油区块地层存在高导缝,钻井过程中又会产生大量的诱导缝。

当钻井液液柱作用于井壁的动压力超过地层裂缝内流体的压力,井壁与裂缝系统连通时即可发生天然裂缝性漏失。其漏失程度取决于井筒动压力与地层孔隙压力的差、天然裂缝的发育程度及连通状况、裂缝宽度、裂缝长度、漏失通道内流体的流变性等。

诱导裂缝漏失,指储层本身并不存在漏失通道,但由于井下地层压力系数低或地层破裂压力低,在各种作业过程中诱发裂缝或者使闭合裂缝重新开启而导致的井漏。以下4种情况容易引发诱导裂缝性

表1 吉45井测井井段孔隙度解释结果

Table 1 Interpretation results of porosity in the logging section of Well Ji 45

地层	井段/m	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	孔隙度, %	渗透率/ mD
梧桐沟组	3 123.6~3 126.0	2.45	11.8	39.1
	3 126.8~3 128.3	2.49	9.9	38.5
	3 135.5~3 139.7	2.47	10.6	39.2
	3 158.0~3 163.4	2.48	10.1	44.1
	3 167.3~3 170.9	2.51	8.4	37.3
	3 175.1~3 182.6	2.49	9.4	40.9
芦草沟组	3 247.7~3 249.5	2.50	6.0	48.1
	3 263.4~3 266.4	2.44	10.3	77.2
	3 267.0~3 268.0	2.49	4.5	38.6
	3 269.1~3 272.1	2.50	6.6	53.2
	3 272.7~3 273.4	2.45	4.2	34.3
	3 277.0~3 281.7	2.46	8.3	59.9
	3 281.7~3 283.6	2.52	5.0	26.4
	3 283.6~3 285.5	2.46	6.6	51.9
	3 289.4~3 294.2	2.44	9.0	60.1
	3 305.4~3 307.6	2.47	7.2	57.3
	3 311.3~3 313.0	2.46	4.5	33.8
	3 313.9~3 316.2	2.47	7.2	59.2
	3 323.3~3 327.3	2.49	7.5	62.4
	3 331.3~3 333.5	2.51	5.9	46.6
	3 340.7~3 341.8	2.50	3.3	33.5
井井子沟组	3 432.4~3 437.1	2.46	8.1	37.9
	3 440.9~3 443.9	2.49	6.9	41.2
	3 451.2~3 453.4	2.48	7.6	34.5
	3 454.4~3 457.8	2.46	8.5	41.6
	3 458.8~3 463.3	2.45	9.0	40.3

漏失: 1) 钻高压油气层时, 或在进行压井作业时, 由于工作液密度过高, 压开低压地层而发生漏失; 2) 下钻(下套管)时下放速度过快, 或是在泥包钻头、稳定器的情况下提或下放钻具, 造成压力激动, 将地层压开而发生漏失; 3) 钻井液切力过高, 特别是静切力过高时, 如开泵过快, 造成瞬时激动压力, 将地层压开产生漏失; 4) 井筒内钻井液动压力促使天然裂缝开启而发生漏失。

吉木萨尔页岩油区块漏失主要集中在侏罗系八

道湾组和二叠系梧桐沟组, 钻井过程中因提高钻井液密度、排量以及开泵等原因, 导致井下正压差增大, 形成诱导裂缝, 造成井漏。

2 防漏堵漏技术思路及措施

2.1 防漏堵漏技术思路

根据吉木萨尔页岩油区块地层漏失特性, 通过评价堵漏材料与防漏堵漏体系的性能, 结合该区块处理井漏的经验, 针对不同的漏失速度, 选用不同的堵漏材料进行防漏堵漏。堵漏材料与漏失速度的匹配原则见表2。

表2 堵漏材料与漏失速度的匹配原则

Table 2 Matching principle between plugging materials and the circulation loss rate

漏失速度/ ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	核桃壳加量, %		棉籽壳/ 果壳加 量, %	KZ系列/ TP-2堵漏剂 加量, %	蛭石加 量, %	纤维 FCL 加量, %
	1~3 mm	3~5 mm				
1~5				4~6		
5~15	2~4	2~3	1~2	3~4	1	0.2~0.4
15~30	4~5	3~5	2~3	3~4	1	0.3~0.4
>30	6~8	5~8	3~5	3~4	1	0.4~0.5

2.2 防漏技术措施

2.2.1 上部井段防漏技术措施

1) 控制钻井液密度。钻进八道湾组时将钻井液密度控制在 1.25~1.45 kg/L, 三开中完时控制钻井液密度不高于 1.50 kg/L。

2) 控制钻井液流变性。将钻井液漏斗黏度控制在 45~50 s, 钻进中保持低黏、低切、低膨润土含量。

3) 改善滤饼质量。钻井液中超细碳酸钙和阳离子乳化沥青的含量保持在 3%, 控制 API 滤失量不高于 5 mL。

4) 提高钻井液抑制性。由于八道湾组以上的泥岩地层极易水化膨胀, 钻进时将聚合物抑制剂含量提高到 0.6% 以上, 钾离子含量不低于 25 000 mg/L, 协同增强钻井液的抑制性, 防止缩径。

5) 加强封堵。钻进八道湾组以上地层时, 钻井液中超细碳酸钙和阳离子乳化沥青的含量保持在 3%、随钻堵漏剂含量保持在 2%, 以形成致密的滤饼, 增强对砂岩井段的封堵。

6) 工程措施。 $\phi 311.1$ mm 井段选用 $\phi 290.0$ mm 稳定器, 或采用不带稳定器的钻具组合; 将排量控制在 50~60 L/s, 易漏失层段先以小排量顶通, 再逐

渐提高至正常排量,以免造成循环压耗和激动压力过大;在泥岩段加强短程起下,以保持井眼畅通。

2.2.2 下部井段防漏技术措施

1)密度控制。钻进斜井段和水平段时,将钻井液密度控制在1.50~1.60 kg/L。

2)钻进非易漏失层时,钻井液中加入2%~3%复合随钻堵漏剂,以封堵诱导裂缝。

3)钻进易漏失层时,钻井液中加入4%~6%随钻堵漏剂,使用100目筛布,钻穿易漏失层后换用160目以上筛布。

4)调控钻井液性能。下套管前严格控制钻井液漏斗黏度不超过70 s,并提高钻井液的润滑性,降低摩阻,下套管中途选择合适的井段循环洗井,以避免套管下至设计井深,开泵困难憋漏地层。

2.3 堵漏技术措施

1)发生漏失后,根据漏失速度选择堵漏材料配制堵漏浆,泵入到漏失层堵漏。当需要泵入堵漏材料含量高的堵漏浆时,需要起钻,更换光钻杆钻具组合。因为钻具组合如果有螺杆钻具或旋转导向系统,堵漏浆中的堵漏材料可能会损坏螺杆钻具和旋转导向系统。在漏失速度较小的情况下,可以不起钻更换钻具组合,直接泵入堵漏浆。

2)下钻到漏失井段上部,以小排量循环,利用液柱压力进行静止堵漏。

3)在没有漏失的情况下,缓慢提高排量,使堵漏浆进入裂缝。

4)关井,以一定压力挤入堵漏浆,增强地层承压能力。若所钻地层的承压能力较弱,为了防止憋压压破地层,可采用不关井静止堵漏的方式堵漏。

5)三开井钻进二开井段时漏失主要集中在八道湾组,需根据漏失速度选择堵漏材料配制30~40 m³堵漏浆进行堵漏;定向井段与水平段钻进梧桐沟组和芦苇沟组时漏失频发,主要表现为裂缝性漏失,须采用堵漏材料含量和粒径较大的堵漏浆堵漏。因此,需要起钻更换光钻杆钻具组合泵入堵漏浆,需准备20~30 m³堵漏浆。

3 现场应用

吉木萨尔页岩油区块应用防漏堵漏技术后,漏失发生率由38.0%降至19.7%,堵漏成功率提高了75%,有效保障了该页岩油区块的开发。下面以JHW00722井为例详细介绍应用情况。

JHW00722井设计完钻井深4508.00 m,设计使

用密度1.35~1.63 kg/L的钻井液钻进。该井钻至井深1844.00 m(八道湾组),接顶驱开泵顶通,出口未返浆,漏失钻井液5 m³。邻井JHW00724井在钻井和完井作业期间多次发生井漏。因此,该井采用堵漏浆进行堵漏。配制25 m³堵漏浆,堵漏浆配方为基浆+3.0%核桃壳(粒径1~3 mm)+2.0%核桃壳(粒径3~5 mm)+2.0%综合堵漏剂(棉籽壳+细果壳)+4.0%随钻堵漏剂(TP-2)+1.0%蛭石+0.3%工程纤维(FCL)。基浆配方为4.0%膨润土+0.5%聚合物抑制剂+0.7%降滤失剂+0.5%复配铵盐+2.0%封堵剂+12.0%NaCl+7.0%KCl+3.0%阳离子乳化沥青+15.0%有机盐+2.0%液体润滑剂+重晶石,密度为1.55~1.60 kg/L。

将光钻杆钻具组合下至漏失层,降低排量泵入20 m³堵漏浆,当堵漏浆充满钻杆要出钻杆时,逐步将排量提至30 L/s,保证堵漏浆部分进入漏失层,替浆时钻杆中预留2 m³堵漏浆,将钻具组合上提至安全井段,关井憋压,实施挤注作业,控制套压不超过2.0 MPa,进行多次挤注,累计挤入2.6 m³堵漏浆,泄压过程中返出0.4 m³,实际挤入2.2 m³堵漏浆。挤注作业完成后起钻,下入常规钻具组合洗井,以25 L/s排量循环下钻至井底,无漏失后循环洗井,筛除堵漏剂,将排量逐步提高至32 L/s,循环过程中,液面稳定,表明堵漏成功。该井后续钻井过程采取上文制定的防漏堵漏技术措施,顺利钻至完钻井深。

4 结 论

1)吉木萨尔页岩油区块漏失层位多,其中侏罗系八道湾组、二叠系梧桐沟组为漏失高发层位,漏失类型以诱导裂缝漏失为主。

2)根据吉木萨尔页岩油区块的漏失特点,通过评价堵漏材料与防漏堵漏体系的性能,结合该区块处理井漏的经验,制定了堵漏材料和漏失速度的匹配原则,并针对不同井段制定了防漏堵漏技术措施,形成了适应于该区块的防漏堵漏技术。

3)吉木萨尔页岩油区块应用防漏堵漏技术后,漏失率从38.0%降至19.7%,堵漏一次成功率提高至75%,有效保障了该区块的钻井安全。

参 考 文 献

References

- [1] 刘延强,徐同台,杨振杰,等. 国内外防漏堵漏技术新进展[J]. 钻井液与完井液, 2010, 27(6): 80-84.

- LIU Yanqiang, XU Tongtai, YANG Zhenjie, et al. Recent progress on preventing and treating lost circulation domestic and overseas[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2010, 27(6): 80–84.
- [2] 吴显盛. 钻井工程中井漏预防及堵漏技术分析[J]. 化学工程与装备, 2019(2): 85–86.
- WU Xiansheng. Leak prevention and plugging technology analysis in drilling engineering[J]. *Chemical Engineering & Equipment*, 2019(2): 85–86.
- [3] 徐同台. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 217–220.
- XU Tongtai. Technology of well drilling sealing up and leaking stoppage[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 217–220.
- [4] 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.
- PAN Jun, LI Daqi. Technology of preventing and controlling mud losses into the Permian igneous rocks in Shunbei Oilfield[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2018, 35(3): 42–47.
- [5] 殷召海, 李国强, 王海, 等. 克拉苏构造带博孜1区块复杂超深井钻井完井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 16–21.
- YIN Zhaozhai, LI Guoqiang, WANG Hai, et al. Key technologies for drilling and completing ultra-deep wells in the Bozi 1 Block of Kelasu Structure[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 16–21.
- [6] 赵洪波, 朱迪斯, 黄正, 等. 南华北盆地亳州—阜阳地区页岩气钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2020, 42(6): 679–683.
- ZHAO Hongbo, ZHU Disi, HUANG Zheng, et al. Shale gas drilling technologies used in Bozhou-Fuyang Area of the Southern North China Basin[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2020, 42(6): 679–683.
- [7] 谢春来, 胡清富, 张凤臣, 等. 伊拉克哈法亚油田 Mishrif 组碳酸盐岩储层防漏堵漏技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 41–46.
- XIE Chunlai, HU Qingfu, ZHANG Fengchen, et al. Antileaking and lost circulation control technology for the Mishrif carbonate reservoir in the Halfaya Oilfield of Iraq[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 41–46.
- [8] 刘彪, 张俊, 王居贺, 等. 顺北油田含侵入岩区域超深井安全高效钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2020, 42(2): 138–142.
- LIU Biao, ZHANG Jun, WANG Juhe, et al. Technologies for the safe and efficient drilling of ultradeep wells in the areas with intrusive rocks in the Shunbei Oilfield[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2020, 42(2): 138–142.
- [9] 彭兴, 周玉仓, 朱智超, 等. 延川南深部煤层气井防漏堵漏技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 47–52.
- PENG Xing, ZHOU Yucang, ZHU Zhichao, et al. Antileaking and lost circulation control technology for deep coalbed methane well in the Yanchuannan Block[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 47–52.
- [10] 韩子轩, 林永学, 柴龙, 等. 裂缝性气藏封缝堵气技术研究[J]. *钻井液与完井液*, 2017, 34(1): 16–22.
- HAN Zixuan, LIN Yongxue, CHAI Long, et al. Plugging microfractures to prevent gas-cut in fractured gas reservoir drilling[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2017, 34(1): 16–22.
- [11] 刘四海, 崔庆东, 李卫国. 川东北地区井漏特点及承压堵漏技术难点与对策[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 20–23.
- LIU Sihai, CUI Qingdong, LI Weiguo. Circulation loss characteristics and challenges and measures to plug under pressure in Northeast Sichuan Area[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2008, 36(3): 20–23.
- [12] AFOLABI R O, PASEDA P, HUNJENKON S, et al. Model prediction of the impact of zinc oxide nanoparticles on the fluid loss of water-based drilling mud[J]. *Cogent Engineering*, 2018, 5(1): 15145785.
- [13] 李公让, 于雷, 刘振东, 等. 弹性孔网材料的堵漏性能评价及现场应用[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(2): 48–53.
- LI Gongrang, YU Lei, LIU Zhendong, et al. The evaluation and application of lost circulation control by elastic mesh materials[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(2): 48–53.
- [14] 于欣, 张振, 郭梦扬, 等. 抗高温油基钻井液堵漏剂的研制与应用: 以龙马溪组页岩气井 W204H 为例[J]. 断块油气田, 2021, 28(2): 168–172.
- YU Xin, ZHANG Zhen, GUO Mengyang, et al. Development and application of high temperature resistant oil-based drilling fluid plugging agent: taking shale gas well W204H of Longmaxi Formation as an example[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2021, 28(2): 168–172.
- [15] 张杜杰, 金军斌, 陈瑜, 等. 深部裂缝性致密储层随钻堵漏材料补充时机研究[J]. 特种油气藏, 2020, 27(6): 158–164.
- ZHANG Dujie, JIN Junbin, CHEN Yu, et al. Study on the supplement timing of leakage stoppage materials while drilling for deep fractured tight reservoirs[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2020, 27(6): 158–164.
- [16] 柳伟荣, 倪华峰, 王学枫, 等. 长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(1): 9–14.
- LIU Weirong, NI Huafeng, WANG Xuefeng, et al. Shale oil horizontal drilling technology with super-long horizontal laterals in the Longdong Region of the Changqing Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(1): 9–14.
- [17] 高霞, 谢庆宾. 储层裂缝识别与评价方法新进展[J]. *地球物理学进展*, 2007, 22(5): 1460–1465.
- GAO Xia, XIE Qingbin. Advances in identification and evaluation of fracture[J]. *Progress in Geophysics*, 2007, 22(5): 1460–1465.
- [18] 王业众, 康毅力, 游利军, 等. 裂缝性储层漏失机理及控制技术进展[J]. *钻井液与完井液*, 2007, 24(4): 74–77.
- WANG Yezhong, KANG Yili, YOU Lijun, et al. Progresses in mechanism study and control: mud losses to fractured reservoirs[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2007, 24(4): 74–77.
- [19] 贾利春, 陈勉, 张伟, 等. 诱导裂缝性井漏止裂堵漏机理分析[J]. *钻井液与完井液*, 2013, 30(5): 82–85.
- JIA Lichun, CHEN Mian, ZHANG Wei, et al. Plugging mechanism of induced fracture for controlling lost circulation[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2013, 30(5): 82–85.