

镇泾地区断缝体储层选择性固井关键技术

毕明清¹, 何斌斌^{2,3}, 杨伟¹, 汤祖明¹, 王臣², 赵磊¹

(1. 中石化华北石油工程有限公司井下作业分公司, 河南 郑州 450042; 2. 中石化华北石油工程有限公司技术服务公司, 河南 郑州 450042;

3. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛 266580)

摘要:鄂尔多斯盆地镇泾地区断缝体储层断层和裂缝发育, 固井极易漏失, 井漏致使地层漏封, 影响油气井开发寿命, 漏失的水泥浆污染储层堵塞油气流动通道, 不利于油气资源的经济效益开发。通过优化入井管串结构, 优选管外封隔器、分级箍和水泥承留器等固井用关键工具, 完善安全下套管技术, 配套开发了微膨胀弹性水泥浆和高效驱油前置液体系, 形成了满足镇泾地区断缝体储层的选择性固井关键技术, 可以实现井眼环空的选择性封固, 确保储层的有效分隔, 满足断缝体储层后期分层分段储改的技术需求。经过3井次现场应用试验, 效果良好。

关键词: 断缝体; 选择性固井; 水泥浆; 封隔器; 水泥承留器; 镇泾地区

中图分类号: TE256 文献标志码: A

Key technologies for selective cementing of fault-fractured reservoirs in Zhenjing area

BI Mingqing¹, HE Binbin^{2,3}, YANG Wei¹, TANG Zuming¹, WANG Chen², ZHAO Lei¹

(1. Downhole Operation Company, SINOPEC Huabei Petroleum Engineering Company Limited, Zhengzhou 450042, China;

2. Technology Service Company, SINOPEC Huabei Petroleum Engineering Company Limited, Zhengzhou 450042, China;

3. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: Due to the development of faults and fractures in the fault-fractured reservoirs in the Zhenjing area of Ordos Basin, it is easy to leakage in cementing, which leads to formation leakage sealing and affects the development life of oil and gas wells. The leaking cement slurry pollute the reservoirs and block the oil and gas flow channel, which is not conducive to the economic development of oil and gas resources. By optimizing the structure of pipe string, selecting key tools for cementing such as tubing packers, grading hoops, and cement holders, perfecting safe casing-lowering technology, and developing micro-expansion elastic cement slurry and high-efficiency oil displacement pre-fluid system, a key technology for selective cementing of fault-fractured reservoirs in Zhenjing area has been formed, which can realize the selective sealing of the annulus of borehole to ensure the effective separation of reservoirs and meet the technical requirements of stratified and segmented reservoir reform in the late stage of fractured reservoir. After 3 wells field application test, the effect is good.

Key words: fault-fracture body; selective cementing; slurry; packer; cement holder; Zhenjing area

引用格式: 毕明清, 何斌斌, 杨伟, 等. 镇泾地区断缝体储层选择性固井关键技术[J]. 复杂油气藏, 2024, 17(1): 112-117.

BI Mingqing, HE Binbin, YANG Wei, et al. Key technologies for selective cementing of fault-fractured reservoirs in Zhenjing Area [J].

Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(1): 112-117.

镇泾地区位于鄂尔多斯盆地西南缘构造转折带^[1], 构造上处于天环坳陷、伊陕斜坡、渭北隆起构造结合部, 油气资源储量丰富, 中生界延长组长8段储层断缝、断裂发育, 是典型的断缝体储层^[2-3]。断缝体储层受断裂-裂缝大规模发育的影响, 固井极易发生漏失, 甚至恶性漏失^[4]。固井漏失后, 水泥浆进入裂缝堵塞油气流动通道, 污染储层, 漏失导致的水泥返高不足、地层漏封等问题, 严重影响油气井开发寿命^[5]。因此, 开展断缝体储层固井关键工

艺技术研究, 消除固井漏失风险, 规避固井导致的断缝体储层污染, 对于高效动用镇泾地区断缝体储层的油气资源意义重大。

1 断缝体储层固井的技术难点

(1) 储层地质条件复杂, 断层、裂缝发育, 固井

收稿日期: 2023-08-21; 改回日期: 2023-10-12。

第一作者简介: 毕明清(1986—), 高级工程师, 目前主要从事石油天然气固井技术研究工作。E-mail: b004021406@126.com。

漏失风险高。断缝体储层地层压力系数大多小于1,多采用近平衡或欠平衡钻井方式,如JH17-B井目的层钻进使用了 0.92 g/cm^3 的微泡沫钻井液。水泥浆密度远高于钻井液,固井漏失风险极高,漏失后环空液柱压力损失,存在溢流、井喷等安全隐患^[6]。

(2)严苛的储层保护需求与固井易漏失的矛盾突出。镇泾地区的断缝体储层是由断裂、伴生脆性破碎带及致密低渗砂岩构成的储集体,油气流动通道以裂缝为主。固井漏失后,水泥浆进入裂缝堵塞油气流动通道,影响产能建设,储层保护需求与固井防漏之间的矛盾突出。常规固井方式难以平衡储层保护与固井漏失之间的矛盾,因此系统开展断缝体储层固井关键工艺技术研究,降低断缝体储层污染风险是保障该类油气藏高效动用的难点之一。

(3)井眼条件复杂,不利于固井质量提升。处理钻井漏失期间,部分井段形成不规则井径,堵漏材料在井壁形成的虚泥饼难以被彻底驱替,影响顶替效率。采用欠平衡钻井时部分原油流入井筒,吸附在井壁上形成油膜,固井时难以彻底清除,影响固井界面胶结质量^[7]。

(4)增产措施对水泥石性能要求高。后期试油开发阶段的增产措施对水泥石具有强大的冲击力,要求水泥石具有一定的弹韧性,防止水泥石碎裂导致层间窜流,影响增产效果。

2 固井工艺技术措施

2.1 固井工程总体思路

镇泾地区断缝体储层开发多为水平井,为了最大限度保护储层,多采用下套管不固井或者下筛管的方式完井,该完井方式无法实现水平段分段压裂及分层开发,而常规固井又会发生井漏,为了平衡上述矛盾,镇泾地区断缝体储层采用套管顶部固井+选择性固井的组合完井方式,既实现水平井分段开发,又避免固井期间水泥浆漏失污染储层。具体的技术思路为:完钻后以“筛管(套管)+盲板短节+管外封隔器+套管+管外封隔器+套管串+管外封隔器+分级箍+套管”的管串组合。先期对分级箍以

上井段封固,筛管段试油,试油结束后水平段套管定向射孔,下承留器对射孔段之间的套管环空进行封固,进行二次试油投产。镇泾地区断缝体储层选择性固井管串结构如图1所示,该方式实现了两段断缝储层的分别试采。

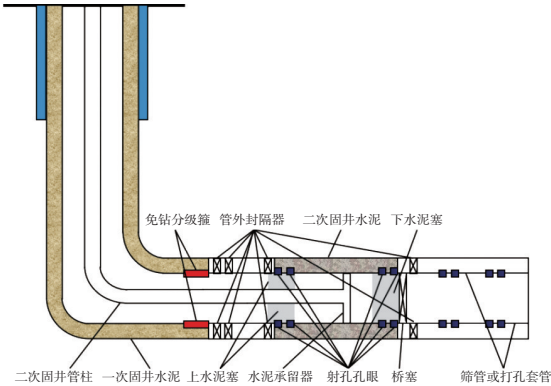


图1 镇泾工区断缝体储层选择性固井管串

2.2 管串结构设计

2.2.1 入井工具优选

套管顶部固井+选择性固井的组合完井方式,需要用到管外封隔器、液压式分级箍,水泥承留器、桥塞等工具。入井工具多,可靠的工具是选择性固井成功实施的关键保障,如果工具失效,二次选择性固井将无法实施。优选的管外封隔器是水力扩张式套管外封隔器的一种,在原有基础上升级了封隔器的密封原件,将起到密封作用的膨胀胶筒长度由1.0 m增加至2.0 m,强化了密封效果。入井的4套封隔器设计两个不同的坐封压力,压力差3~4 MPa,单个封隔器坐封后压力下降值为0.5~0.8 MPa。管串入井后首先坐封下部井段的封隔器,出现1.0~1.5 MPa的压力降表明2组封隔器均坐封成功。随后坐封分级箍附近的封隔器,实现了封隔器自下而上分别坐封。优选的封隔器设计有自锁功能,胶筒涨封后自锁机构启动,防止胶筒回缩,可实现管外环空的永久密封。优选的分级箍耐压等级35 MPa,设计有防关闭套关闭机构,防止分级箍关闭套提前开启/关闭,无法实施后续的固井。优选的水泥承留器如图2所示,水泥承留器整体式的卡瓦结构可避免中途坐封,锚定密封性能强,耐压等级达70 MPa。



图2 优选的水泥承留器

2.2.2 入井管串结构

为保障管外封隔器的密封效果,优选井径规则的井段安放封隔器。完钻后依次下入筛管(打孔管)、盲板短节、管外封隔器、分级箍等工具,固井入井管串结构如图3。固井结束后,钻除分级箍处的水泥塞及盲板短节,下部井段试油结束后定向射孔,下入桥塞、水泥承留器等工具,实施二次选择性固井,定向封固设计井段。二次选择性固井入井管串结构如图4。

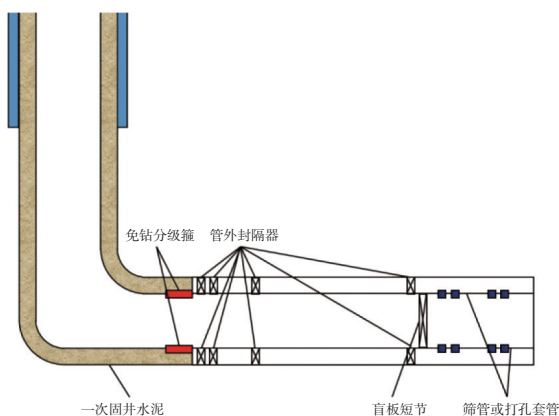


图3 入井套管串结构

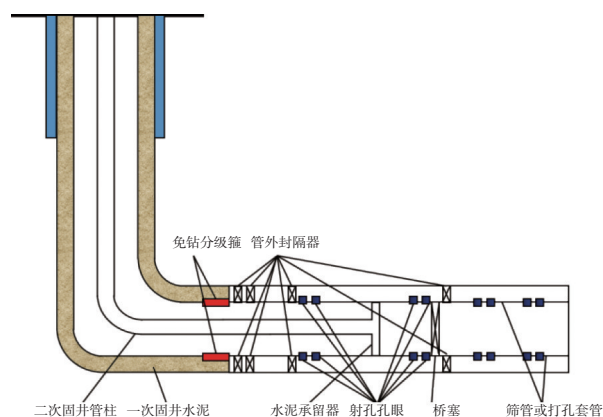


图4 二次选择性固井入井管串结构

2.3 安全下套管技术

断缝体储层钻井极易发生井漏,处理井漏等复杂情况时多会导致井眼状况变差,不利于安全下套管。选择性固井的管串结构设计有盲板短节,下套管期间无法循环,这就对下套管前的井筒质量提出了严苛要求。因此,将套管安全下放至设计井深是成功实施选择性固井技术的关键。为强化通井质量,保障套管顺利下放到位,采取了以下技术方法:

(1)水平段及大斜度段井眼循环时低边的钻井液流速显著低于高边的流速,以50~60 r/min转速旋转钻具,通过钻柱旋转的“黏性耦合”作用将滞留在低边的岩屑运移到井眼高边,由钻井液高速流动

携岩出井,提高井眼清洁效果^[8]。

(2)通井钻具的刚度模拟套管刚度,以刚度比不小于1的钻具通井,计算单扶、双扶通井钻具刚度,刚度值不低于入井管串的刚度,可以保障套管顺利下入。镇泾地区断缝体储层固井管串结构复杂,为了保障套管顺利下放到位,刚度比取值以不小于1.3为宜,采用双扶通井钻具组合通井,对阻卡井段划眼、循环清洁,确保阻卡井段起下顺畅,无阻挂现象。

(3)下套管期间若出现遇阻的现象,采用活动套管的方式通过,最大下压不超过8.0 t,避免出现管串无法提活。

2.4 扶正器安放设计

选择性固井入井工具多,为防止工具入井后与井壁刮蹭、封隔器居中程度不足等问题导致井下复杂情况发生,优选了树脂旋流扶正器和树脂滚珠扶正器,降低扶正器与井壁之间的摩阻、保障扶正效果。管外封隔器上、下3根套管连续安放树脂滚珠扶正器,扶正器使用止动环固定。二次选择性固井封固井段每1根套管安放1只树脂滚珠扶正器,确保封固井段的居中度不低于67%。顶部固井尾浆封固井段每1根套管安放1只扶正器,树脂旋流扶正器与树脂滚珠扶正器交替安放,非目的层井段每3根套管安放1只扶正器。

2.5 环空防憋堵技术措施

实施顶部固井后,钻除水泥塞、盲板后,下部地层试油、增产。作业结束后,下入桥塞、定向射孔后再进行二次选择性定向固井,二次固井前作业程序多,作业时间少则7到8天,多则十余天,若作业期间二次固井井段环空出现坍塌、憋堵,二次选择性固井将无法实施,选择性固井井段环空的防憋堵处置是选择性固井成功实施的又一关键。

为了防止二次选择性固井井段在固井前出现垮塌、憋堵等复杂情况,揭开二次选择性固井封固井段前,加入纳米和微米材料、超细碳酸钙等封堵材料和抑制剂,优化钻井液抑制、封堵性能。试验对比评价了钻井液优化前、后的性能(见表1)。结果表明:优化后的钻井液防膨率、滤失量较优化前分别提升了25.1%和26.5%,优化后的防膨率为71.57%,滤失量为3.6 mL,表现出良好的抑制、封堵效果。良好的抑制、封堵效果确保选择性固井井段在固井作业前井壁稳定,实施的3口井均顺利顶通,固井前以0.3 m³/min的排量顶通,最高顶通压力4.3 MPa。

表 1 钻井液性能优化前后对比

防膨率/%		滤失量/mL	
优化前	优化后	优化前	优化后
57.25	71.57	4.9	3.6

3 固井液设计

3.1 水泥浆

镇泾地区断缝体储层开发期间需采取压裂增能、酸化解堵等增产措施,增产过程环空水泥石承受的压力为 40~60 MPa,要求水泥石具有良好的弹韧性和形变能力,以降低增产措施对水泥环的冲击破坏^[9]。优选降失水剂、弹塑增韧剂、膨胀剂,开发了微膨胀弹性水泥浆体系,失水小于 30 mL,弹性模量小于 6.5 GPa,48 h 抗压强度不小于 28 MPa,稠化过渡时间小于 15 min。

室内利用高压堵漏评价仪分别评价了缝板宽度为 3.0 mm、6.0 mm、8.0 mm 的承压堵漏效果,其中 3.0 mm、6.0 mm 承压能力大于 14.0 MPa,8.0 mm 的承压能力大于 16.0 MPa,封堵效果良好。

优选的弹塑增韧材料由不同长度的纤维、乳胶粉等材料复合而成,微观结构如图 5,加入水泥浆后可屏蔽水泥石裂纹尖端应力场,提升水泥石抗冲击能力^[10]。优选的膨胀剂为晶格膨胀剂,水化过程可形成无机多水混合物,补偿水泥的体积收缩,提高一、二界面的胶结质量^[11-12]。实验确定了微膨胀弹性水泥浆配方:G 级水泥+(3.0%~4.5%)降失水剂+(1.0%~2.5%)复合堵漏材料+(2.5%~4.0%)弹塑增韧材料+(1.5%~3.0%)膨胀剂+(0.2%~0.8%)减阻剂+水。水泥浆具有弹性模量低、失水低、抗压强度发展速度快等特点(见表 2)。

表 2 微膨胀弹性水泥浆综合性能

密度/ (g·cm ⁻³)	流动度/ mm	失水量/ mL	游离液/ mL	<i>P</i> _{48h} 强度/ MPa	稠化过渡时间/ 稠化时间/min	弹性模量/ GPa	静胶凝过渡时间/ min
1.90	230	28.0	0.0	28.5	7/283	6.5	24

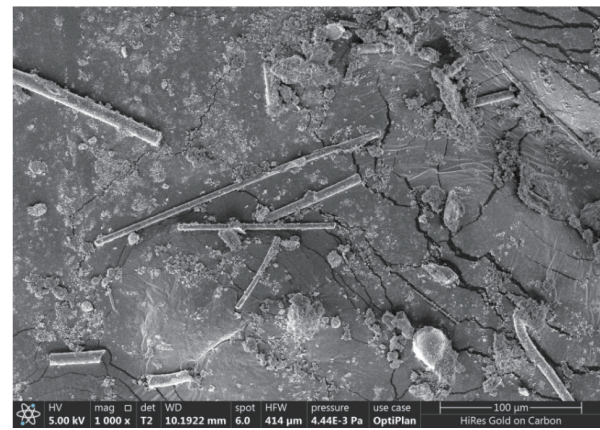


图 5 弹塑增韧材料 SEM 微观结构

3.2 前置液

镇泾地区断缝体储层采用欠平衡或近平衡钻井技术,钻井期间地层原油进入井筒,在井壁及套管壁上形成油膜^[13],固井期间驱替难度高。为了高效驱替井内油膜,优选了润湿反转效果良好的高效驱油冲洗液配制前置液。试验评价了浸泡混油钻井液的铁条和岩石,经质量分数为 20% 的前置液冲洗 5 min 后的润湿反转效果(见图 6)。结果表明:经混油钻井液浸泡的铁条和岩石滴水时,水滴呈圆滴状静置在表面,而经冲洗液冲洗后水滴可以快速铺开,润湿反转效果显著。

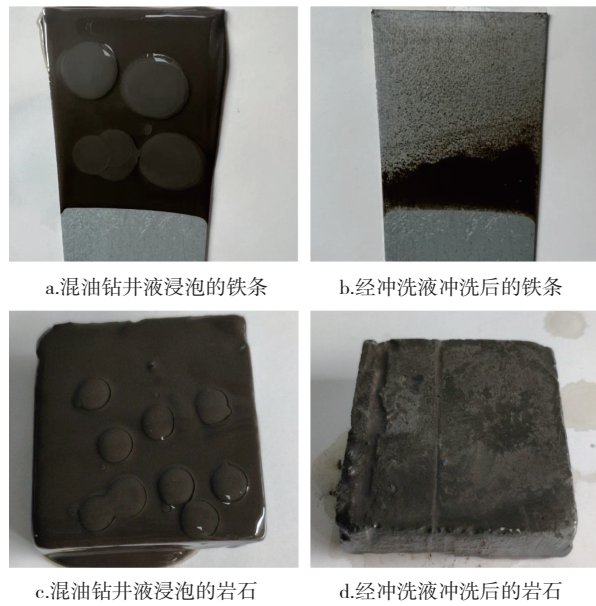


图 6 前置液润湿反转效果评价试验

4 现场应用

上述技术在镇泾地区 3 口井进行了现场应用,固井成功率 100%,定向封固井段的固井优质率 100%(见表 3)。以 JH5ZP5 井为例,该井完钻后入井管串结构:筛管+盲板短节+1 根套管+1#封隔器+1 根套管+2#封隔器+套管+3#封隔器+1 根套管+4#封

隔器+1根套管+分级箍+套管串,管串下放到位后,坐封封隔器,打开分级箍循环孔,对分级箍以上井段固井。候凝结束后,钻除胶塞及盲板短节,筛管井段试油求产,作业结束后下桥塞、定向射孔,实施

二次选择性固井,固井结束后上提钻具反循环洗井,转入下步作业。测井表明:JH5ZP5井选择性固井的1 830~2 130 m井段固井声幅值不高于10%,质量优,满足后续作业需求(见图7)。

表3 镇泾地区选择性固井技术应用情况

井号	井深/m	水平段长/m	双级箍位置/m	顶部固井质量	二次固井段/m	二次固井质量
JHZP9	2 238	570	1 665	优质	1 720~2 030	优质
JH5ZP5	2 351	662	1 710	优质	1 830~2 130	优质
JHZP43	2 331	979	1 779	优质	1 820~2 040	优质

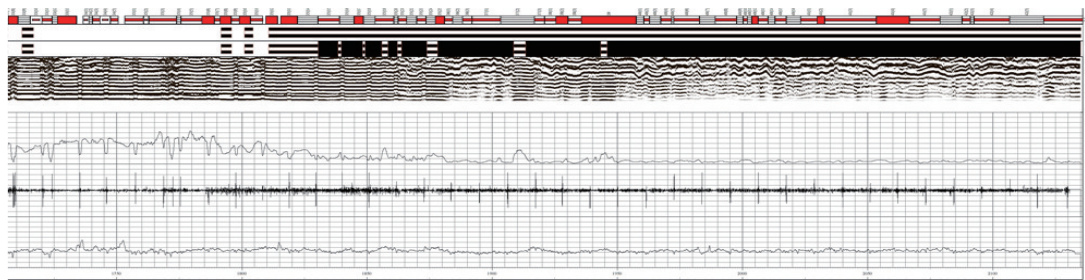


图7 JH5ZP5井1 830~2 130 m井段选择性固井质量

5 结论与建议

- (1)通过优选性能可靠的分级箍、管外封隔器、水泥承留器等固井关键工具,构建了选择性固井关键技术。
- (2)入井的分级箍、管外封隔器、水泥承留器等固井工具的可靠性是保障选择性固井能否成功实施的关键。
- (3)优选的高效驱油冲洗液润湿反转效果显著,可以高效清除井壁油膜,提高界面胶结质量。开发的微膨胀弹性水泥浆具有弹性模量低、水泥石微膨胀、早期强度发展速度快、稠化过渡时间短等特点。
- (4)该工艺采用的“筛管+盲板短节+套管串+分级箍+套管串”管串组合,下套管期间无法建立循环,具有一定局限性,建议优化完善管串组合,进一步提升工艺技术的适用范围。

参考文献

[1] 杨桂林,任战利,何发岐,等.鄂尔多斯盆地西南缘镇泾地区断缝体发育特征及油气富集规律[J].石油与天然气地质,2022,43(6):1382-1396.
YANG Guilin, REN Zhanli, HE Faqi, et al. Fault-fracture body growth and hydrocarbon enrichment of the Zhenjing area, the southwestern margin of the Ordos Basin [J]. Oil

& Gas Geology, 2022, 43(6): 1382-1396.
[2] 王威,凡睿.四川盆地北部须家河组“断缝体”气藏特征及勘探意义[J].成都理工大学学报(自然科学版), 2019, 46(5): 541-548.
WANG Wei, FAN Rui. Characteristics of Xujiahe Formation fault-fracture reservoirs in the northern Sichuan Basin and its exploration significance [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 46(5): 541-548.
[3] 何发岐,梁承春,陆骋,等.鄂尔多斯盆地南缘过渡带致密-低渗油藏断缝体的识别与描述[J].石油与天然气地质, 2020, 41(4): 710-718.
HE Faqi, LIANG Chengchun, LU Pin, et al. Identification and description of fault-fracture bodies in tight and low permeability reservoirs in transitional zone at the south margin of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(4): 710-718.
[4] 何斌斌.杭锦旗地区J58井区低压易漏失井固井技术[J].石油工业技术监督, 2020, 36(8): 52-56.
HE Binbin. Cementing technology for low-pressure and easy-leakage wells in Hangjinqi J58 well area [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2020, 36(8): 52-56.
[5] 金凯,牛刚强.青海油田漏失性油藏选择性固井技术[J].能源与节能, 2021(8): 153-155.
JIN Kai, NIU Gangqiang. Selective cementing technology for leaky reservoirs in Qinghai Oilfield [J]. Energy and

- Conservation, 2021(8): 153-155.
- [6] 鲜明, 陈敏, 余才焮, 等. 动态平衡固井技术与实践[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(6): 73-78.
- XIAN Ming, CHEN Min, YU Caijun, et al. Technology of well cementing under dynamically balanced pressure and its application [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(6): 73-78.
- [7] 何斌斌, 张军义, 黄佩, 等. 东海盆地大位移井固井工艺技术研究[J]. 复杂油气藏, 2022, 15(3): 111-117.
- HE Binbin, ZHANG Junyi, HUANG Pei, et al. Research on cementing technology of extended reach wells in the East China Sea Basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2022, 15(3): 111-117.
- [8] 石晓兵. 大位移井中利用钻柱旋转作用清除岩屑床的机理研究[J]. 天然气工业, 2000, 20(2): 51-53.
- SHI Xiaobing. A study of the mechanism to remove cuttings bed in extended reach well by utilizing rotational action[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(2): 51-53.
- [9] 滕兆健, 郭文猛, 饶辰威, 等. 低渗透油气藏水平井固井用增韧防窜剂的研发和应用[J]. 钻采工艺, 2019, 42(3): 101-103, 111.
- TENG Zhaojian, GUO Wenmeng, RAO Chenwei, et al. Development and application of anti-channeling agent for horizontal well cementing in low permeability oil and gas reservoirs [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(3): 101-103, 111.
- [10] 吴磊. 提高固井水泥石韧性方法研究[D]. 荆州: 长江大学, 2020.
- WU Lei. Improve the toughness cement cementing method[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2020.
- [11] 田宝振, 覃毅, 高飞, 等. ZG112深井低密度高强度韧性水泥浆固井技术[J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(3): 288-293.
- TIAN Baozhen, QIN Yi, GAO Fei, et al. The cementing technology of low-density, high-strength tough cement slurry for the deep well ZG112 [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(3): 288-293.
- [12] 李望军, 周成裕, 廖易波, 等. 新型防气窜剂DA34L的室内评价及现场应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2015, 17(4): 80-84.
- LI Wangjun, ZHOU Chengyu, LIAO Yibo, et al. Field application and laboratory evaluation of a new anti-gas channeling agent: DA34L [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2015, 17(4): 80-84.
- [13] 刘伟, 曾敏, 马开华, 等. LQ乳液亲油水泥浆研究与性能评价[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(1): 39-44.
- LIU Wei, ZENG Min, MA Kaihua, et al. The study and property evaluation of a lipophilic cement slurry with LQ emulsion [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(1): 39-44.
- (编辑 韩 枫)