

鄂尔多斯盆地北部致密气藏储层保护钻井技术

李明忠

(中石化华北石油工程有限公司技术服务公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 鄂尔多斯盆地北部致密气藏储层孔喉微细、裂缝发育且敏感性强, 钻井过程中的固相侵入与液相圈闭损害严重, 制约了效益开发。为解决储层保护与井壁稳定的矛盾, 本文通过深入分析储层损害机理, 针对性地研发了自降解暂堵剂与防水锁剂。基于此, 创新性地构建了一套集“物理颗粒自降解暂堵、界面修饰防液锁、多元协同稳井壁”于一体的低损害储层保护钻井液体系, 并配套了水平井钻井提速技术。现场应用表明, 该技术体系有效降低了钻井液侵入深度与储层损害程度, 显著提高了单井产量, 部分井实现自然建产, 为鄂尔多斯盆地乃至同类致密气藏的低成本、高效益开发提供了有力的工程技术保障。

关键词: 致密气藏; 储层损害; 低损害储层保护钻井液; 自降解暂堵剂; 防水锁剂; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE254; P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2026)02-0168-07

Drilling technology for reservoir protection in tight gas reservoirs in the northern Ordos Basin

LI Mingzhong

(Technology Service Company, SINOPEC Huabei Oilfield Service Corporation, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: In the tight gas reservoirs of the northern Ordos Basin, the presence of fine pore throats, developed fractures, and strong sensitivity leads to severe formation damage caused by solid invasion and liquid phase trapping during drilling, which restricts efficient development. To resolve the conflict between reservoir protection and wellbore stability, this study conducts an in-depth analysis of the formation damage mechanisms and, consequently, develops targeted self-degradable temporary plugging agents and liquid-lock prevention agents. Based on this research, a novel low-damage reservoir protection drilling fluid system is innovatively constructed, integrating "physical particle self-degradable temporary plugging", "interface modification for liquid-lock prevention", and "multi-synergistic wellbore stabilization". This system is complemented by a horizontal well drilling acceleration technology. Field applications demonstrate that this technological system effectively reduces the depth of drilling fluid invasion and the extent of formation damage. It significantly improves the single-well production, with some wells achieving natural production without fraturing operation. This research provides robust engineering and technical support for the low-cost and efficient development of tight gas reservoirs in the Ordos Basin and similar tight gas reservoirs.

Key words: tight gas reservoir; reservoir damage; low-damage reservoir protection drilling fluid; self-degradable temporary plugging agent; liquid-lock prevention agent; Ordos Basin

0 引言

目前, 我国陆地致密砂岩气(简称致密气)探明储量 $5.49 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占国内天然气探明储量的 33%,

致密气年产量 $4.70 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 接近国内天然气年产量的 24.4%。致密气的高效勘探与效益开发对保障国家能源安全、优化能源结构具有重要意义^[1-5]。致

收稿日期: 2025-07-20; 修回日期: 2025-08-24 DOI: 10.12143/j.ztgc.2026.02.019

基金项目: 中国石油化工股份有限公司项目“致密气藏钻井及压裂关键工程技术与应用”(编号: P20001)

作者简介: 李明忠, 男, 汉族, 1988年生, 高级工程师, 油气井工程专业, 硕士, 主要从事钻井工程应用研究工作, 河南省郑州市中原区中原西路188号, petroleumupc@163.com。

引用格式: 李明忠. 鄂尔多斯盆地北部致密气藏储层保护钻井技术[J]. 钻探工程, 2026, 53(2): 168-174.

LI Mingzhong. Drilling technology for reservoir protection in tight gas reservoirs in the northern Ordos Basin[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(2): 168-174.

密气储层孔隙度、渗透率低,非均质性强,敏感性矿物含量高,裂缝发育,岩石表面润湿性质复杂^[6]。钻井过程中,由于钻井液的化学敏感损害,在毛管力作用下的水相聚集和滞留,固相颗粒侵入堵塞孔喉与裂缝,损害储层,降低气井产量,缩短稳产周期。与常规气藏相比,致密气藏储层损害程度更高,损害难解除^[7]。

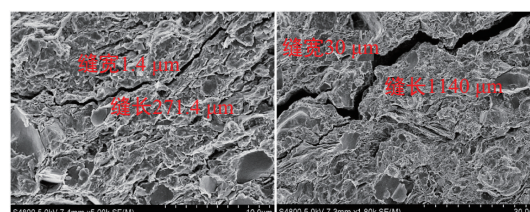
鄂尔多斯盆地北部(简称鄂北)东胜气田、大牛地气田探明储量 $7.337 \times 10^{11} \text{ m}^3$,上古生界下石盒子组是主力开发层位之一^[8],储层非均质性强,中、细砂岩与灰色、棕褐色泥岩呈不等厚互层,砂岩储层保护和泥岩井壁稳定的矛盾突出^[9-10]。近年来,围绕鄂北的致密气藏储层损害问题,笔者所在团队通过开展储层地质特征分析,总结储层损害主要机理,研制自降解暂堵剂和防水锁剂,开发低损害储层保护钻井液体系,配套储层水平段快速钻进技术,通过物理颗粒自降解暂堵、修饰界面防液锁、防漏防塌快速钻进等方式,提高致密气储层损害预防与解除效果。

1 储层损害机理

1.1 储层工程地质特征分析

开展铸体薄片、XRD衍射、电镜扫描等分析及储层岩心敏感性评价。下石盒子组孔隙类型主要为原生粒间孔、粒间溶孔,其次为粒内溶孔、裂缝,平均孔隙度9.6%,平均渗透率0.784 mD,平均孔隙直径 $78.1 \sim 85.2 \mu\text{m}$,最大孔喉半径 $20.3 \mu\text{m}$,中值半径 $0.11 \sim 0.2 \mu\text{m}$,具有孔隙度与渗透率低、孔喉微细、毛管力高的特点。砂岩储层石英含量76%,黏土矿物含量小于18%,黏土矿物包括高岭石、伊利石、伊蒙混层和绿泥石。伊利石和高岭石主要以丝缕状和集合状分布,流体流动过程中易折断形成微粒,伊蒙混层、绿泥石在滤液作用下发生溶蚀和运移,并形成沉淀物。储层泥岩的黏土矿物含量32.8~58.1%,黏土矿物中的伊蒙混层占52~67%、伊利石占17~24%。泥岩微裂缝发育,裂缝长约200~1200 μm ,缝宽1~30 μm (图1),属于硬脆性泥岩,黏土矿物的水化膨胀特性差异与微观结构引起水化不稳定,井壁易失稳。储层盐敏引起的渗透率损害率45.4%,应力敏感引起的渗透率损害率32.3%,盐敏和应力敏感性较强,速敏、碱敏的敏感度较弱。现场低矿化度钻井液体系和高激动压差

分别产生的盐敏和应力敏感,是主要的敏感损害形式。



(a)盒1段3122m处泥岩 (b)盒1段3138m处泥岩

图1 锦127井下石盒子组泥岩微裂缝发育情况

Fig.1 Microfractures in the Xiashihezi Formation mudstone from Well Jin 127

1.2 储层损害机理分析

结合鄂北前期采用的储层钻井技术,总结储层损害主要机理如下。

1.2.1 固相堵塞损害

钻井液中的固相颗粒、钻井产生的岩屑和受钻井液物理化学作用从渗流通道壁面脱落的固体颗粒,在渗流通道中运移、沉积,导致储层渗透率降低^[11]。图2为岩心在钻井液污染前后的SEM扫描图像,污染前存在大量孔洞、孔缝,污染后被钻井液固相微粒和黏土覆盖,渗透率显著下降。

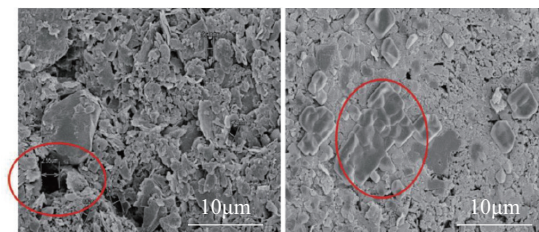


图2 岩心在钻井液污染前后的SEM扫描图

Fig.2 SEM scanning images of the core before and after drilling fluid contamination

当钻井液中的固相粒径分布与储层孔隙孔径、裂缝开度不匹配时,固相侵入储层堵塞渗流通道。测试鄂北现场钻井液的粒径分布范围为 $0.3 \sim 108 \mu\text{m}$ 、 $D_{90} = 62.29 \mu\text{m}$,依次绘制裂缝开度20、50、100 μm 时的油保基线,与钻井液粒径分布的关系,见图3。鄂北致密气藏储层微裂缝宽度 $9.6 \sim 126 \mu\text{m}$,裂缝开度为20、50 μm 时,钻井液粒径曲线与油保基线基本重合,该开度裂缝形成一定封堵,固相颗粒侵入量较少;但裂缝开度为100 μm 时,现场钻井液粒径分布位于左侧,固相颗粒无法对裂缝进行暂堵,固相

颗粒大量侵入储层。优化暂堵材料粒径级配,在井壁和近井带对全尺寸裂缝形成致密暂堵带。但目前暂堵带解除需要射孔、化学溶解或返排,无法完全解堵,储层保护效果有限^[12]。

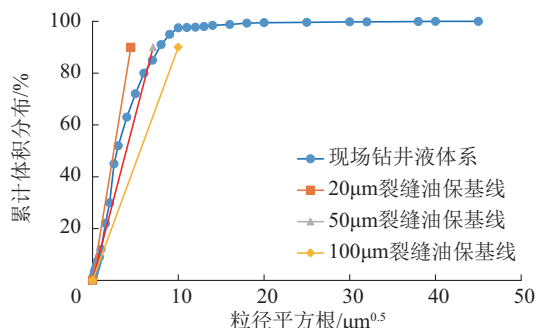


图3 现场钻井液粒径累计体积分数与裂缝油保基线关系

Fig.3 Relationship between cumulative volume fraction of particle size in drilling fluid on site

1.2.2 液相圈闭损害

致密气储层孔喉细小,中值半径 $<0.4\ \mu\text{m}$,表面偏亲水性,与钻井液接触时液相易通过毛管力自吸进入储层,孔隙半径越小,水锁损害越严重^[13]。以石英含量85%、黏土矿物含量15%制备的人造岩心孔隙度5.0~9.7%,平均孔隙度6.5%,渗透率0.16~20 mD,平均渗透率1.27 mD,可较为真实地反映储层物性特征。利用人造岩心,分别测试气驱水和水驱气过程的岩心相对渗透率曲线,如图4所示。水驱气中,含水饱和度达到0.7时,岩心的气相渗透率接近于0,气体失去渗流能力,水相相对渗透率迅速增大,此时水相圈闭损害接近于上限。气驱水模拟水基钻井液侵入后的返排过程,随着含水饱和度的不断减小,气相相对渗透率不断增大,但是增大速率较为缓慢,残余水饱和度下的气相相对渗透率下降明显。钻井液侵入储层后,绝大多数细微孔喉处的水在开采时很难完全驱走,大量的水以水膜的形式附着在孔隙和喉道表面,堵塞渗流通道,气体的相对渗透率很难完全恢复。

1.2.3 稳定井壁与保护储层的矛盾

储层硬脆性泥岩发育,在化学势差、毛管力和井底压差作用下,滤液沿微裂缝侵入地层,井壁易失稳。常采取提高钻井液密度、加强微裂缝封固等方式解决井壁失稳问题^[14-15],但由于正压差增大和封固材料无法自行解除,加剧了储层损害。

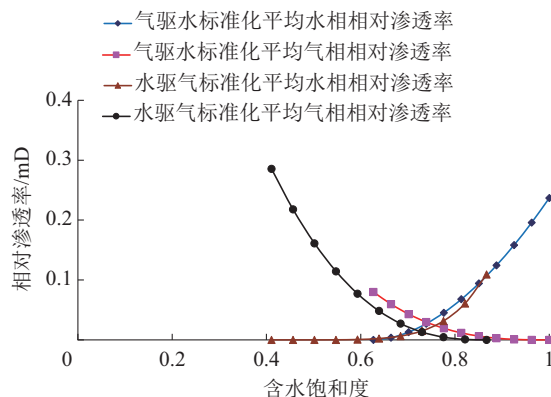


图4 岩样水驱气和气驱水过程标准化平均相对渗透率关系

Fig.4 Standardized average relative permeability relationship during the water flooding

2 储层保护关键技术

针对鄂北致密气储层主要损害机理,结合裂缝与泥岩发育的工程地质特征,开展关键助剂研制。

2.1 自降解暂堵剂

以聚乳酸(PLA)为原料,引入多元醇、亲水链段,研制了一种脂肪族聚酯类的自降解暂堵剂。主链上不稳定的酯键在氢离子作用下断裂,水解成低聚物乳酸和醇,最终生成水和 CO_2 。在80~100℃条件下,3 d的降解率 $<20\%$,7 d后降解率大幅增加,最终降解率 $>95\%$,如图5所示。使用滤失仪测试时,自降解暂堵剂形成的滤饼,在90℃条件下,8 d后在清水中只剩下少量蓬松的絮状残留物,如图6所示。若与超细碳酸钙等可酸溶封堵材料复配使用,低聚物乳酸提供的 H^+ 在与可酸溶封堵材料发生溶解反应同时,可促进自降解暂堵剂水解反应正向进行。

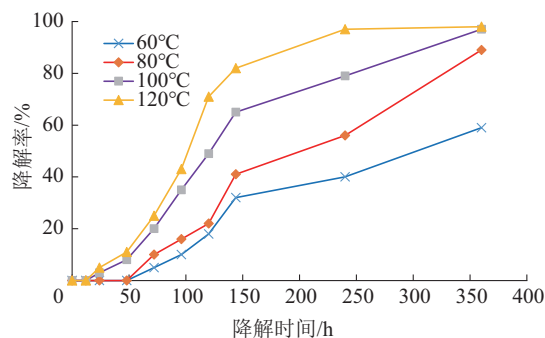
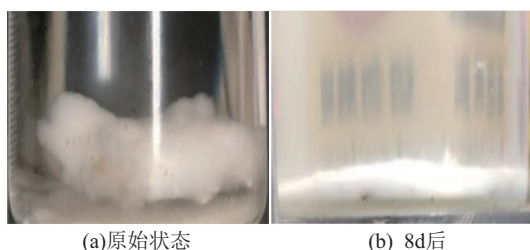


图5 自降解暂堵剂在不同温度下的降解率

Fig.5 Degradation rate of self-degradable temporary plugging agent at different temperatures



(a)原始状态

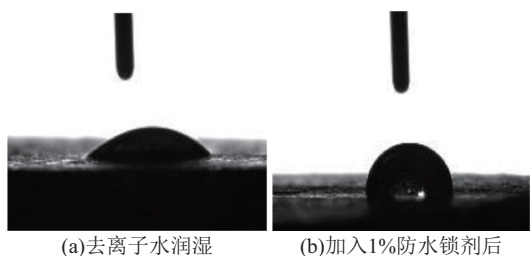
(b) 8d后

图6 自降解暂堵剂滤饼8d降解情况

Fig.6 Degradation status of self-degradable temporary plugging agent filter cake after 8 days

2.2 防水锁剂

以甲基丙烯酸甲酯(MMA)、甲基丙烯酸(MAA)和甲基丙烯酸十三氟辛酯(PFOMA)等为主要原料,研制了一种氟烷基团富集于聚合物分子表面的氟碳型核壳乳液防水锁剂。测试的“气-液-固”三相接触角,去离子水在干净岩心表面接触角为 43° ,加入1%防水锁剂后接触角增大到 92° ,如图7所示。该防水锁剂可将孔喉表面润湿性由水润湿调整为气润湿,降低水与储层孔喉的黏附力和气液两相表面张力。在相同的压差下,能够有效增强钻井液返排能力,促进气相渗透率恢复。



(a)去离子水润湿

(b)加入1%防水锁剂后

图7 防水锁剂润湿反转效果

Fig.7 Wetting and reversal effect of waterproof locking agent

3 储层保护钻井工艺

3.1 低损害储层保护钻井液体系

开发具有储层保护、井壁稳定、随钻防漏等功能的钻井液体系,关键构建方法如下。

3.1.1 物理颗粒自降解暂堵

基于研制的自降解暂堵剂,优选可酸溶堵漏剂,优化暂堵材料粒径分布,对砂岩裂缝和泥岩微裂缝进行一体致密暂堵。东胜气田致密气藏砂岩储层最大裂缝宽度 $126\ \mu\text{m}$,优选600目($23\ \mu\text{m}$)、1500目($10\ \mu\text{m}$)和3000目($5\ \mu\text{m}$)的超细碳酸钙和230目($62\ \mu\text{m}$)的自降解暂堵剂,在粒径测试基础

上,用理想充填理论优化暂堵材料配比。当600目超细碳酸钙:1500目超细碳酸钙:3000目超细碳酸钙:230目自降解暂堵剂=1:2:3:4时,颗粒粒径累计分布曲线与储层最大裂缝基线基本重合,如图8所示,暂堵方案较为理想^[16]。

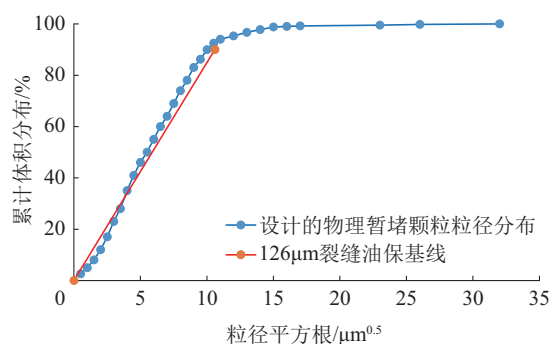


图8 采用D90规则设计的物理颗粒暂堵粒径分布

Fig.8 Temporary blockage particle size distribution of physical particles designed using D90 rule

3.1.2 多元协同井壁稳定设计

针对泥岩井壁失稳及诱导储层损害问题,采用多元协同井壁稳定方法^[17-18],降低水平段钻进时的地层坍塌压力增量,从而降低稳定水平段所需钻井液密度。不同目数超细碳酸钙和自降解暂堵剂复配,对微米级裂缝进行致密暂堵;纳米乳液填充物理颗粒架桥之间的孔隙及泥岩表面的纳米级孔缝,并可改变泥岩表面润湿性;沥青封堵剂在软化后通过变形挤入颗粒之间的缝隙,并在井壁表面形成一层疏水性不渗透保护层;聚胺抑制剂与钾离子无机盐“协同增效”,聚胺单层吸附在黏土片层表面,KCl压缩黏土双电层、镶嵌黏土晶格,减弱或消除黏土矿物的分散程度,协同降低活度,减少滤液向泥岩地层扩散、渗透。

3.2 钻井液综合性能评价

3.2.1 钻井液配方

石墨等固体润滑剂在发生井漏时,固相颗粒容易对储层造成污染,因此选择液体润滑剂。分别测试了聚醚润滑剂、白油润滑剂和极压润滑剂的润滑效果,极压润滑剂使润滑系数降低76%,黏附系数降低83%,润滑效果最佳。较低的滤失量既可降低对储层损害,又可以减弱对泥岩裂缝的劈裂作用和黏土矿物的分散作用。以抗高温淀粉为主降失水剂,复配磺酸盐共聚物降滤失剂DSP-2、羧甲基纤

维素钠盐 LV-CMC 和聚阴离子纤维素 PAC-LV, API 滤失量 4 mL/30 min 以下, 150 °C/3.5 MPa 滤失量 10 mL/30 min 以下。室内试验优化的低损害储层保护钻井液体系配方: 2.0% 膨润土 + 5.0% KCl + 0.3% 聚胺 + 1.0% 防水锁剂 + 2.0% 自降解暂堵剂 (350 目) + 0.5% 超钙 (600 目) + 1.0% 超钙 (1500 目) + 1.5% 超钙 (3000 目) + 1.5% 纳米乳液 + 1% 沥青封堵剂 + 1.5% 改性淀粉 + 1.0% DSP-

2+0.5% LV-CMC+0.8% PAC-LV+0.2% 包被剂+2% 极压润滑剂。

3.2.2 性能评价

针对前述配方, 重点开展了井壁稳定与储层保护效果的评价测试。在温度 90 °C 老化 1~5 d 的黏度、切力变化较小, 滤失量较低, 满足钻井需要; 90 °C 老化 7 d 后, 因自降解暂堵材料降解程度较高, 钻井液滤失量升高, 如表 1 所示。

表 1 低损害储层保护钻井液流变及滤失性能

Table 1 Low damage reservoir protection drilling fluid rheological and filtration performance

条 件	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	动切力/Pa	高温高压滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]
老化前	32	19	13	3.2
90 °C 老化 1 d 后	26	16	10	4.6
90 °C 老化 5 d 后	24	12	12	12.0
90 °C 老化 7 d 后	20	12	8	38.0

宽度 0.5、1.0 mm 的裂缝承压值分别达到 6、5.3 MPa, 对储层微裂缝和孔喉具有良好封堵效果。滤饼酸溶率 94.3%, 现场钻井液泥饼酸溶率仅 37%, 砂岩岩心的渗透率恢复值为 91.1%; 盒 1 段泥岩岩屑滚动回收率为 95.4%, 平均膨胀率 7.8%, 抑制性强; 砂床侵入深度 0.9 cm, 现场钻井液砂床侵入深度 3.8 cm, 封堵性好; API 滤失量 3.2 mL/30 min, 高温高压滤失量 9.5 mL/30 min, 失水低。

3.3 水平井钻井提速技术

为减少钻井液与储层接触时间, 强化钻井液防漏能力, 提高机械钻速, 本研究针对微裂缝在井筒压差下造成的诱导性井漏, 优选高酸溶纤维、柔性片状材料和超细碳酸钙等随钻堵漏材料。纤维和柔性片状材料参与泥饼形成, 泥饼薄而致密, 通过提高泥饼致密性及在裂缝中的驻留堵塞作用, 阻止井筒压力向微裂缝趾端传递^[10], 防止裂缝扩展。针对水平段砂泥岩交互分布, 井眼轨迹需频繁调整, 摩阻扭矩大, 兼顾高效定向与快速钻进, 优化设计了 PDC 钻头的中深内锥冠部轮廓和脊形齿与三棱齿的混合布齿^[19], 井径 152.4 mm 水平段中配套双向扭摆自动控制系统, 井径 215.9 mm 水平段中配套水力振荡器^[20-21], 在 1000~1200 m 水平段基本实现了“一趟钻”。

4 现场应用

开发的低损害储层保护钻井液体系及配套工

艺在鄂北的东胜气田、大牛地气田的定向井、水平井推广应用, J30-9-P4 等井常规基质储层经压裂后单井产量得到提高, J66P23、J58P43 等裂缝发育储层实现自然建产, 节省压裂费用。技术效果体现在: (1) 钻井液密度降低, 保障了安全高效钻井。使用该体系后, 三级结构水平井钻井液密度由 1.20 g/cm³ 降至 1.12 g/cm³, 二级结构水平井钻井液密度由 1.25 g/cm³ 降至 1.22 g/cm³, 降低了液柱压力, 减少了滤液侵入和应力敏感损害。(2) 强化封堵降低侵入深度。借助深、浅电阻率曲线计算钻井液侵入深度, 应用该体系的 J30-9-P4 井侵入深度 103 mm, 应用常规体系的 J30-9-P3 井侵入深度 165 mm, 平均降低 37.6%。对砂岩裂缝、泥岩微裂缝一体致密暂堵, 同时有助于低密度下的井壁稳定。(3) 多方式降低水锁圈闭损害。降低钻井液的滤失量, 控制液相来源; 强化封堵形成致密外、内泥饼, 关闭液相侵入路径; 降低钻井液活度, 弱化液相转移的化学势差; 表面修饰岩石润湿特性, 弱化液相侵入孔喉的毛管力。

5 结论

(1) 基于储层孔喉结构、矿物组分和敏感性分析等, 明确鄂北致密气储层损害主要机理是固相堵塞、液相圈闭, 为稳定泥岩井壁采取的相关措施则加剧了损害程度。

(2) 开发出一套适用于鄂北的低损害储层保护

钻井液配方:2.0%膨润土+5.0% KCl+0.3% 聚胺+1.0% 防水锁剂+2.0% 自降解暂堵剂(350目)+0.5% 超钙(600目)+1.0% 超钙(1500目)+1.5% 超钙(3000目)+1.5% 纳米乳液+1% 沥青封堵剂+1.5% 改性淀粉+1.0% DSP-2+0.5% LV-CMC+0.8% PAC-LV+0.2% 包被剂+2% 极压润滑剂。该钻井液体系具有强暂堵、强抑制、低失水、防水锁、低密度等特点,满足砂泥岩交互、微裂缝普遍发育的致密气藏钻井中的储层保护、井壁稳定和随钻防漏需求。

(3)形成的鄂北致密气藏储层保护钻井液与钻井工艺,为致密气藏高效勘探开发提供了保障。针对致密气藏投产前施工作业程序复杂、储层损害因素多的客观现状,建议进一步开展“钻井-固井-压裂-试气”复合损害机理分析,形成致密气藏全流程储层保护对策。

参考文献(References):

- [1] 孙龙德,邹才能,贾爱林,等.中国致密油气发展特征与方向[J].石油勘探与开发,2019,46(6):1015-1026.
SUN Longde, ZOU Caineng, JIA Ailin, et al. Development characteristics and orientation of tight oil and gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(6): 1015-1026.
- [2] 贾爱林,位云生,郭智,等.中国致密砂岩气开发现状与前景展望[J].天然气工业,2022,42(1):83-92.
JIA Ailin, WEI Yunsheng, GUO Zhi, et al. Development status and prospect of tight sandstone gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(1): 83-92.
- [3] 李鹭光.中国天然气工业发展回顾与前景展望[J].天然气工业,2021,41(8):1-11.
LI Luguang. Development of natural gas industry in China: review and prospect[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 1-11.
- [4] 郭旭升,蔡勋育,刘金连,等.中国石化“十三五”天然气勘探进展与前景展望[J].天然气工业,2021,41(8):12-22.
GUO Xusheng, CAI Xunyu, LIU Jinlian, et al. Natural gas exploration progress of Sinopec during the 13th five-year plan and prospect forecast during the 14th five-year plan[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 12-22.
- [5] 徐旭辉,周卓明,宋振响,等.油气资源评价方法关键参数研究和资源分布特征——以中国石化探区“十三五”资源评价为例[J].石油实验地质,2023,45(5):832-843.
XU Xuhui, ZHOU Zhuoming, SONG Zhenxiang, et al. Methods and key parameters for oil and gas resource assessment and distribution characteristics of oil and gas resource: a case study of resource assessment of SINOPEC during the 13th five-year plan period[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2023, 45(5): 832-843.
- [6] 高德利.非常规油气井工程技术若干研究进展[J].天然气工业,2021,41(8):153-162.
GAO Deli. Some research advances in well engineering technology for unconventional hydrocarbon[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 153-162.
- [7] 孙金声,许成元,康毅力,等.致密/页岩油气储层损害机理与保护技术研究进展及发展建议[J].石油钻探技术,2020,48(4):1-10.
SUN Jinsheng, XU Chengyuan, KANG Yili, et al. Research progress and development recommendations covering damage mechanisms and protection technologies for tight/shale oil and gas reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(4): 1-10.
- [8] 何发岐,张宇,王付斌,等.鄂尔多斯盆地中国石化“十三五”油气勘探进展与新领域[J].中国石油勘探,2022,27(5):1-12.
HE Faqi, ZHANG Yu, WANG Fubin, et al. Petroleum exploration progress and new field of Sinopec in Ordos Basin during the 13th five-year plan period[J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(5): 1-12.
- [9] 付斌,马志欣,孙卫峰,等.苏里格气田苏X区块盒8段裂缝特征与识别方法[J].湖北大学学报(自然科学版),2015,37(6):527-531.
FU Bin, MA Zhixin, SUN Weifeng, et al. Su X block of sulige gas field fracture characteristics of He8 section and recognition method[J]. Journal of Hubei University (Natural Science), 2015, 37(6): 527-531.
- [10] 吴天乾,李明忠,蒋新立,等.杭锦旗地区裂缝性漏失钻井堵漏技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):49-53.
WU Tianqian, LI Mingzhong, JIANG Xinli, et al. Research and application of plugging technology for fracture type leakage in the Hangji area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 49-53.
- [11] 冯永超.东胜气田致密砂岩气藏钻井储层保护研究及应用[J].钻探工程,2022,49(5):118-126.
FENG Yongchao. Reservoir protection in drilling through the tight sandstone gas reservoir of Dongsheng Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 118-126.
- [12] 蒋官澄,毛蕴才,周宝义,等.暂堵型保护油气层钻井液技术研究进展与发展趋势[J].钻井液与完井液,2018,35(2):1-16.
JIANG Guancheng, MAO Yuncui, ZHOU Baoyi, et al. Progress made and trend of development in studying on temporarily type plugging reservoir protection drilling fluids[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018, 35(2): 1-16.
- [13] 曾皓,金衍,王海波.宁东油田致密油储层损害机理与对策[J].石油钻探技术,2024,52(1):62-68.
ZENG Hao, JIN Yan, WANG Haibo. Damage mechanism and countermeasures for tight oil reservoirs in Ningdong Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2024, 52(1): 62-68.
- [14] 孔勇,金军斌,林永学,等.封堵防塌钻井液处理剂研究进展[J].油田化学,2017,34(3):556-560.
KONG Yong, JIN Junbin, LIN Yongxue, et al. Research advances of plugging anti-sloughing drilling fluid additives[J]. Oil-field Chemistry, 2017, 34(3): 556-560.
- [15] 马超,赵林,宋元森.聚铝胺盐防塌钻井液研究与应用[J].石油钻探技术,2014,42(1):55-60.

- MA Chao, ZHAO Lin, SONG Yuansen. Research and application of anti-sloughing drilling fluid of poly aluminum-amine salt[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1): 55-60.
- [16] 张金波, 鄢捷年. 钻井液暂堵剂颗粒粒径分布的最优化选择[J]. 油田化学, 2005, 22(1): 1-5.
- ZHANG Jinbo, YAN Jienian. Optimization of particle size distribution for temporarily plugging/shielding agents in water base reservoir drilling fluids[J]. Oilfield Chemistry, 2005, 22(1): 1-5.
- [17] 谢建宇, 王中华, 张滨, 等. 中原油田新型钻井液体系和防漏堵漏技术[J]. 精细石油化工进展, 2010, 11(1): 1-6.
- XIE Jianyu, WANG Zhonghua, ZHANG Bin, et al. Novel drilling fluid systems for Zhongyuan Oilfield and its prevention and control of mud-loss[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2010, 11(1): 1-6.
- [18] 蓝强, 邱正松, 王毅. 硅酸盐钻井液防塌机理研究[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 133-138.
- LAN Qiang, QIU Zhengsong, WANG Yi. Study on anti-collapse mechanism of silicate drilling fluid[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 133-138.
- [19] 祁任泽, 任雷, 卜长根. PDC钻头V形齿的磨损对岩石接触面积的影响[J]. 钻探工程, 2025, 52(3): 103-109.
- QI Renze, REN Lei, BU Changgen. Influence of wear on rock contact area of V-shaped cutter PDC bit[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(3): 103-109.
- [20] 罗翰. 川西新场构造带须二段致密气藏定向井优快钻井关键技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(6): 132-140.
- LUO Han. Key technology for optimal fast drilling of directional well in Xujiahe-2 Formation of Xinchang Structure, western Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(6): 132-140.
- [21] 于占森. 鄂北气田小井眼钻完井关键技术研究及应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(6): 136-144.
- YU Zhanmiao. Research and application of drilling and completion technologies for slim-holes in North Ordos Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6): 136-144.
- (编辑 王跃伟)

“非常规地质能源钻采理论与技术”专刊致谢

在本期专刊的出版过程中,得到了很多单位和专家的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢!

感谢第二届地球能源国际前沿论坛组织委员会,搭建了联合专刊这个平台,促成了本期专刊的构想。

感谢本期专刊的发起者、首席召集人郭威教授,以及召集人王韧正高级工程师、王志远教授、王胜教授、田波正高级工程师、宁伏龙教授、朱海燕教授、孙平贺教授、苏建政正高级工程师、李宽正高级工程师、宋先知教授、张轩正高级工程师、张菲菲教授、张智教授、庞守吉正高级工程师、赵永哲研究员、赵建刚正高级工程师、胡远彪教授、侯立东教授、郭启锋正高级工程师、黄海教授、唐颖高级工程师、贾瑞教授、邓孙华副教授、朱超凡副教授,为本期专刊确定选题、邀请行业专家撰稿、组织同行评议,使本期专刊得以聚焦核心主题,保持学术锐度。

感谢本期专刊的三位客座主编郭威教授、宁伏龙教授、宋先知教授,从审稿专家的遴选到作者修改的把关,以严苛的标准,确保了本期专刊的学术品质。

最后,感谢几十位匿名审稿专家,在繁忙的科研教学之余,抽出宝贵时间为每一篇稿件把脉问诊,确保本期专刊的学术质量。

《钻探工程》编辑部

2026年3月