



井研犍为地区缝洞型复杂地层钻井关键技术

王文刚 胡大梁 欧彪 房舟 刘磊

Key Drilling Technologies for Complex Fracture-Cavity Formation in Jingyan-Qianwei Area

WANG Wengang, HU Daliang, OU Biao, FANG Zhou, LIU Lei

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021100>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

顺北碳酸盐岩裂缝性气藏安全钻井关键技术

Key Technologies for the Safe Drilling of Fractured Carbonate Gas Reservoirs in the Shunbei Oil and Gas Field

石油钻探技术. 2020, 48(3): 8–15 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020003>

苏里格气田水平井井身结构优化及钻井配套技术

Casing Program Optimization and Drilling Matching Technologies for Horizontal Wells in Sulige Gas Field

石油钻探技术. 2021, 49(6): 29–36 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021057>

川东南地区深层页岩气钻井关键技术

Key Drilling Technology for Deep Shale Gas Reservoirs in the Southeastern Sichuan Region

石油钻探技术. 2018, 46(3): 7–12 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018073>

快速滤失固结堵漏材料ZYSD的研制及应用

Development and Application of Rapid Filtration and Consolidation Lost Circulation Material ZYSD

石油钻探技术. 2018, 46(1): 49–54 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018011>

库车山前固井环空钻井液低剪切流变特性研究

Research on the Rheological Properties of Drilling Fluids in Annular Space for Cementing at Low Shear Rates in Kuqa Piedmont

石油钻探技术. 2021, 49(6): 55–61 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021058>

哥伦比亚Matambo区块深井钻井关键技术

Key Techniques for Deep Well Drilling Optimization in the Block Matambo, Colombia

石油钻探技术. 2018, 46(2): 30–37 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018067>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021100

引用格式: 王文刚, 胡大梁, 欧彪, 等. 井研—犍为地区缝洞型复杂地层钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(2): 58-63.

WANG Wengang, HU Daliang, OU Biao, et al. Key drilling technologies for complex fracture-cavity formation in Jingyan-Qianwei Area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(2): 58-63.

井研—犍为地区缝洞型复杂地层钻井关键技术

王文刚¹, 胡大梁², 欧彪², 房舟², 刘磊¹

(1. 中石化石油工程技术服务有限公司, 北京 100020; 2. 中国石化西南油气分公司石油工程技术研究院, 四川德阳 618000)

摘 要: 井研—犍为地区地质条件复杂、裂缝溶洞发育, 钻井过程中存在井眼失稳、井漏和卡钻等技术难点。为此, 综合考虑地层三压力剖面 and 区域溶洞发育情况, 优化了井身结构; 根据陆相地层的地质特征, 采用钾基聚合物防塌钻井液钻进, 防止泥岩水化膨胀, 保持井壁稳定; 根据钻井过程中出现漏失的类型, 采用常规桥接堵漏浆封堵裂缝性漏失, 采用多功能固结承压堵漏技术解决恶性漏失, 采用随钻封隔器解决漏层多、上喷下漏等复杂情况。通过上述研究形成的井研—犍为地区缝洞型复杂地层钻井关键技术, 在井研—犍为地区的 PR1 井进行了现场试验, 试验结果表明, 采用该技术可以解决地层垮塌和严重井漏等问题, 保证钻井安全。

关键词: 溶洞; 漏失; 井身结构; 聚合物防塌钻井液; 堵漏; 井研—犍为地区; PR1 井

中图分类号: TE28⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2022)02-0058-06

Key Drilling Technologies for Complex Fracture-Cavity Formation in Jingyan-Qianwei Area

WANG Wengang¹, HU Daliang², OU Biao², FANG Zhou², LIU Lei¹

(1. Sinopec Oilfield Service Corporation, Beijing, 100020, China; 2. Petroleum Engineering Technology Institute, Sinopec Southwest Oil & Gas Company, Deyang, Sichuan, 618000, China)

Abstract: The Jingyan-Qianwei Area, characterized by complex geological conditions and developed fractures and karst caves, has technical difficulties such as wellbore instability, lost circulation, and drill pipe sticking. In order to solve the problems, the formation three-pressure profiles and the development of karst caves in the area were comprehensively considered to optimize the casing program. According to the geological characteristics of continental formations, an anti-collapse drilling fluid with potassium-based polymers was used to prevent the mudstone from hydration swelling and keep wellbore stability. Based on the types of lost circulation that occurred during drilling, three plugging methods were developed, namely plugging fracture-induced lost circulation with the conventional bridge plugging slurry, resolving severe lost circulation with multi-functional and pressure-bearing consolidation plugging slurry, and handling complicated situations such as multiple loss formations and upper blowout and lower loss with a packer while drilling. Through the research above, key drilling technologies for complex fracture-cavity formation in Jingyan-Qianwei Area were developed. The technologies have been tested in well PR1 in Jingyan-Qianwei Area, the results showed that the technologies can be used to solve problems such as formation collapse and severe lost circulation and keep safe drilling.

Key words: karst cave; lost circulation; casing program; anti-collapse drilling fluid with polymer; loss circulation control; Jingyan-Qianwei Area; Well PR1

四川盆地天然气资源丰富, 是国内天然气最富集的地区之一, 其中井研—犍为地区位于该盆地西

南部, 地质储量超过千亿方, 具有多层位立体勘探开发的巨大潜力^[1-3]。该地区地质条件复杂多变, 钻

收稿日期: 2021-03-12; 改回日期: 2021-12-03。

作者简介: 王文刚 (1982—), 男, 贵州贵阳人, 1990 年毕业于重庆石油学校钻井工程专业, 2010 年获西南石油大学石油工程专业学士学位, 高级工程师, 主要从事井控管理、钻井提速、复杂故障处理等工作。E-mail: wangwg.os@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项课题“低渗油气藏钻井液完井液及储层保护技术”(编号: 2016ZX05021-004) 部分研究成果。

井过程中易发生井漏、井眼失稳、卡钻等井下故障。例如, JS1 井钻遇飞仙关组、沙湾组和峨眉山组玄武岩地层时井壁掉块严重, 造成起下钻阻卡, 需频繁划眼, 浪费钻井时间 13 d; 茅口组发生 6 次井漏, 累计漏失钻井液 545.68 m³, 桥浆堵漏效果不佳。笔者在调研国内解决井眼失稳和漏失问题技术的基础上, 根据井研-犍为地区的地质特征和地层三压力剖面优化了井身结构^[4-8], 设计采用钾基聚合物防塌钻井液, 针对不同漏失类型制定了相应的防漏堵漏技术措施^[9-14], 形成了适用于井研-犍为地区缝洞型复杂地层的钻井关键技术。该技术在 PR1 井进行了现场试验, PR1 井钻进中未出现井眼失稳问题, 解决了漏失问题, 钻至井深 4 285.00 m 完钻, 实现了设计目标。

1 地质特征及钻井难点

1.1 地质特征

井研-犍为地区地表出露层位一般为蓬莱镇组, 主要目的层为筇竹寺组和灯影组, 自上而下钻遇侏罗系蓬莱镇组、遂宁组、沙溪庙组、凉高山组和自流井组, 三叠系须家河组、雷口坡组、嘉陵江组和飞仙关组, 二叠系沙湾组、峨眉山组玄武岩、茅口组、栖霞组和梁山组, 寒武系沧浪铺组、筇竹寺组和麦地坪组, 震旦系灯影组。蓬莱镇组、遂宁组、沙溪庙组、凉高山组、自流井组和须家河组属于陆相地层, 岩性以砂岩、粉砂岩、泥页岩为主, 部分层位含煤; 雷口坡组及以下地层属于海相地层, 其中雷口坡组和嘉陵江组以灰岩、白云岩夹硬石膏岩为主, 峨眉山组顶部为紫灰色蚀变玄武岩, 下部为灰黑色和黑色玄武岩^[3]; 茅口组和栖霞组为灰岩、白云岩夹页岩; 灯影组岩性为藻丘相沉积的藻凝块、藻叠层、藻粘结格架云岩, 储层厚度 60.00~250.00 m。

沙溪庙组、自流井组和须家河组可能钻遇油气显示层, 雷口坡组、嘉陵江组、茅口组、栖霞组和灯影组可能钻遇孔隙型、裂缝性及溶洞型气层。根据邻井实测地层温度预测灯影组地温梯度为 3.21~3.26 °C/100m, 灯影组地层温度为 146~160 °C。

1.2 钻井技术难点

井研-犍为地区地质条件复杂, 地层发育溶洞、裂缝和断层等, 海相地层普遍含硫化氢, 钻井面临“漏、塌、卡、喷、毒”等技术难点, 主要体现在以下几个方面:

1) 陆相上部蓬莱镇组地层疏松、承压能力低, 易发生漏失; 须家河组煤层发育, 局部存在煤矿开

采区; 雷口坡组三段发育小断层; 峨眉山组玄武岩、茅口组、栖霞组和灯影组可能发育溶蚀缝洞^[15]。对于断层和缝洞发育井段, 发生恶性漏失的风险较高。

2) 陆相沙溪庙组和自流井组为砂岩和泥页岩互层, 泥页岩在钻井液中长时间浸泡易水化膨胀; 雷口坡组、嘉陵江组发育大段膏盐岩, 膏盐岩蠕变可能导致井眼缩径; 沙湾组为灰黑色泥岩、灰色凝灰质粉砂岩。此井段存在多个不稳定地层, 易发生卡钻等井下故障。

3) 嘉陵江组裂缝发育, 可能钻遇裂缝性气层。目的层灯影组溶蚀缝洞发育, 钻遇高产气层后由于地层承压能力低, 存在“漏转喷”的可能性, 而且海相地层普遍含硫化氢气体, 井控风险较高。

2 复杂地层钻井关键技术

2.1 井身结构设计

2.1.1 前期井身结构

井研-犍为地区前期已完钻井主要采用三开井身结构: 一开封隔须家河组或雷口坡组, 二开封隔茅口组、筇竹寺组等, 三开钻至目的层完钻。由已完钻井的井身结构可以看出, 二开各井封隔的地层各不相同(见表 1), 说明该地区的井身结构设计处于探索阶段。该地区发生的井下故障主要为漏失和卡钻, 其中漏失主要发生在灯影组, 其次是茅口组, 主要原因是灯影组地层裂缝、溶蚀缝洞发育; 卡钻主要发生在飞仙关组、茅口组等地层, 原因是这些地层岩性复杂, 易发生掉块。

表 1 前期完钻井井身结构

Table 1 Casing programs of wells completed in the early phase

井号	一开		二开		三开完钻	
	深度/m	层位	深度/m	层位	深度/m	层位
JS1井	540.00	雷口坡组	2 518.00	茅口组	4 202.00	灯影组
JY1井	506.00	须家河组	2 797.00	五峰组	3 940.00	灯影组
JY2井	745.00	须家河组	3 375.00	筇竹寺组	4 000.00	灯影组
JSH1井	717.00	雷口坡组	3 436.00	麦地坪组	4 221.00	陡山沱组
JS103井	504.00	须家河组	3 042.50	陡坡寺组	3 824.00	灯影组

2.1.2 井身结构设计原则及方案

因为陆相地层孔隙压力系数基本一致(见表 2), 为有效封隔上部易塌、易漏地层, 同时确保下部井段钻进安全和井身结构的经济性^[16-17], 要在二开施工前建立井控条件。考虑尽量缩短大直径井段, 必封点 1 设置在下沙溪庙组顶部, 封隔上沙溪庙

表2 地层三压力剖面预测
Table 2 Prediction of formation three-pressure profiles

层位	埋深/m	地层孔隙压力系数	地层破裂压力系数	地层坍塌压力系数
蓬莱镇组—沙溪庙组	870.00	1.00~1.10		1.00~1.10
凉高山组—须家河组	1 665.00	1.00~1.20	1.86~3.90	1.00~1.10
雷口坡组—飞仙关组	2 880.00	1.10~1.30	1.68~3.50	1.00~1.10
沙湾组、峨眉山组玄武岩	3 145.00	1.20~1.40	1.80~2.70	1.00~1.40
茅口组—梁山组	3 570.00	1.20~1.40	1.70~2.50	1.00~1.10
沧浪铺组—麦地坪组	3 990.00	1.20~1.45	2.50~3.20	1.00~1.40
灯影组	4 430.00	1.00~1.20	1.79~3.31	1.00~1.10

组以浅地层。麦地坪组及以浅地层孔隙压力系数为1.45,灯影组地层孔隙压力系数最高1.20,同时预测麦地坪组与灯影组地层呈角度不整合接触,考虑灯影组存在井漏风险,必封点2设置在麦地坪组底部,不钻开灯影组。据此将井身结构设计为:导管, $\phi 406.4$ mm 钻头 $\times 52.00$ m, $\phi 339.7$ mm 导管 $\times 50.00$ m;一开, $\phi 316.5$ mm 钻头 $\times 810.00$ m, $\phi 273.1$ mm 套管 $\times 808.00$ m,封隔上沙溪庙组以浅地层;二开, $\phi 241.3$ mm 钻头 $\times 3 990.00$ m, $\phi 193.7$ mm 套管 $\times 3 988.00$ m,封隔麦地坪组以浅地层;三开, $\phi 165.1$ mm 钻头 $\times 4 430.00$ m, $\phi 139.7$ mm 尾管 $\times 3 838.00 \sim 4 428.00$ m,射孔完井。

2.1.3 溶蚀缝洞发育区井身结构优化

井研—犍为地区可溶岩分布广泛,海相茅口组、栖霞组等主要为灰岩和白云岩,受岩性与地质构造作用,岩溶发育程度不均匀,易发生恶性漏失,钻井施工风险高,根据溶洞发育区的地质特征,形成2个井身结构设计原则。1)必封点1设置在雷口坡组顶部,封隔陆相地层,保障下开次钻遇漏层时的安全;必封点2设置在麦地坪组底部,封隔上部溶蚀缝洞发育地层,不进入灯影组低压层,避免井漏,并保证目的层专打。2)必封点1设置在须家河组顶部,封隔自流井组易垮塌地层;必封点2设置在栖霞组顶部,不揭开溶洞型易漏层;三开合理控制钻井液密度,钻穿栖霞组漏层,并钻至设计完钻井深。根据原则1设计的井身结构:导管, $\phi 406.4$ mm 钻头 $\times 102.00$ m, $\phi 339.7$ mm 导管 $\times 102.00$ m;一开, $\phi 316.5$ mm 钻头 $\times 1 670.00$ m, $\phi 273.1$ mm 套管 $\times 1 670.00$ m,封隔雷口坡组以上陆相地层;二开, $\phi 241.3$ mm 钻头 $\times 3 990.00$ m, $\phi 193.7$ mm 套管 $\times 3 988.00$ m,封隔麦地坪组以上地层;三开, $\phi 165.1$ mm 钻头 $\times 4 500.00$ m,下入 $\phi 139.7$ mm 尾管,射孔完井。根据原则2设计的井身结构:导管, $\phi 406.4$ mm 钻头 $\times 102.00$ m, $\phi 339.7$ mm 导

管 $\times 102.00$ m;一开, $\phi 316.5$ mm 钻头 $\times 1 150.00$ m, $\phi 273.1$ mm 套管 $\times 1 150.00$ m,封隔易垮塌的自流井组;二开, $\phi 241.3$ mm 钻头 $\times 3 440.00$ m, $\phi 193.7$ mm 套管 $\times 3 440.00$ m,封隔栖霞组以上地层;三开, $\phi 165.1$ mm 钻头 $\times 4 500.00$ m,下入 $\phi 139.7$ mm 尾管,射孔完井。

2.2 钾基聚合物防塌钻井液

陆相沙溪庙组、自流井组和须家河组岩性主要为砂岩、泥岩和页岩,泥岩段黏土矿物含量高,钻井过程中泥岩和页岩易水化膨胀,从而导致缩径、剥落掉块甚至大面积失稳坍塌。因此,钻井液以稳定井壁为主,同时有利于安全快速钻进,设计采用钾基聚合物防塌钻井液。钾离子与黏土六方晶格的尺寸刚好相符,且钾离子的水化能力弱,嵌入黏土六方晶格可以使黏土不易水化膨胀和分散,从而保持泥页岩地层井壁稳定。钾基聚合物防塌钻井液配方为:3.0%~4.0% 膨润土+0.3%~0.5% 复合金属离子聚合物+0.1%~0.2% 黄原胶+0.2%~0.3% 两性离子聚合物包被剂+0.2%~0.3% 两性离子聚合物降黏剂+0.5%~1.0% 水解聚丙烯腈铵盐+0.5%~1.0% 水解聚丙烯腈钾盐+0.5%~1.0% 水解聚丙烯酰胺+1.0%~2.0% 改性沥青+1.0%~2.0% 改性石蜡封堵防塌剂+3.0%~5.0% 氯化钾+0.4%~0.6% 生石灰。要求 K^+ 含量不低于25 000 mg/L,高分子聚合物含量达到2%。该钻井液密度1.10~1.25 kg/L,漏斗黏度40~50 s。钻井过程中要及时补充氯化钾、生石灰和聚合物包被剂,同时加入井壁封固剂、成膜封堵剂等,以保障二开上部井段井壁稳定,为下一开次钻进创造有利条件。

2.3 防漏堵漏技术措施

2.3.1 常规桥接堵漏浆堵漏

针对钻井过程中的裂缝性漏失,首先考虑建立循环,持续从环空泵注钻井液。加入大量的大颗粒

堵漏材料配制堵漏浆,再加入粗、中粗颗粒堵漏架桥材料,增强堵漏浆的架桥能力^[18-19]。桥接堵漏浆配方为:20.0% 桥接堵漏剂+6.0% 核桃壳(粒径 1~3 mm)+4.0% 核桃壳(粒径 3~5 mm)+2.0% 核桃壳(粒径 5~7 mm)+3.0% 快速堵漏剂+0.4% 成膜堵漏剂+3.0% 高强度纤维+7.0% 随钻堵漏剂。

2.3.2 多功能固结承压堵漏技术

针对漏失严重、环空未见液面的恶性井漏,为了尽快建立液面、避免井眼在井筒无井浆情况下失稳,采用多功能固结承压堵漏技术。该技术将钻井液固

结堵漏和高滤失固化堵漏技术合二为一^[20-22],固结材料正常工作温度 30~160 ℃,堵漏浆挤入漏层后能像水泥浆一样固化(见图 1),且稠化时间可控;固结材料具有微膨胀性,固结后膨胀系数 0.6%,挤入地层后有利于封堵裂缝和溶洞,酸溶率大于 80%,有利于保护储层,适用于任何密度的水基钻井液,能够进行随钻作业,提高堵漏效率。固结承压堵漏浆具有直角稠化性能,驻留性好;高强度固结使封堵更加牢固,微膨胀特性能够进一步提高地层承压能力,有利于解决溶洞型等失返性恶性漏失问题。

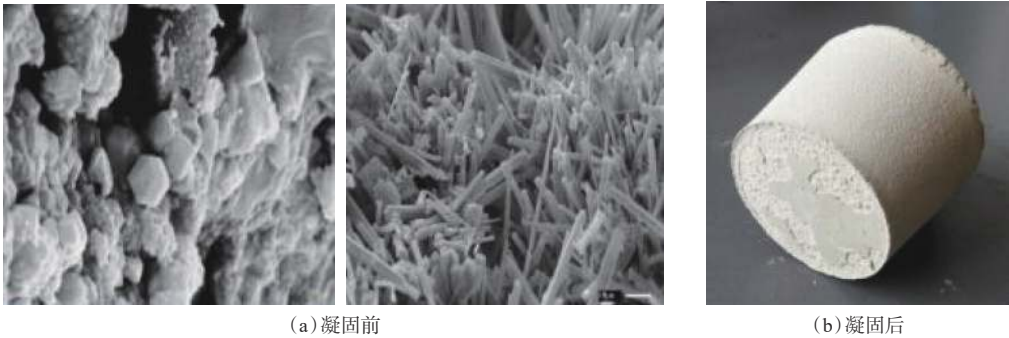


图 1 固结材料凝固前后的状态

Fig.1 States of the consolidation material before and after solidification

2.3.3 新型随钻封隔器封堵漏层

对于长裸眼井段漏层多、上喷下漏等复杂情况,若采用常规堵漏钻具组合,存在封堵井段长、针对性不强等问题,堵漏成功率不高,于是采用随钻封隔器封堵漏层。现场施工时, $\phi 165.1$ mm 牙轮钻头钻至距漏层顶部 10.00 m 左右,充分循环后起钻;

下入随钻封隔器钻具组合(见图 2),封隔器坐封后,环空泵注钻井液保证环空液面高度,高压泵车从钻具内注入高强度固结性封堵浆,替浆到位后关闭自封滑套,保证封堵浆以井筒为中心在近井筒地层形成高强度封堵层;封堵作业完成后,倒开安全接头起钻。

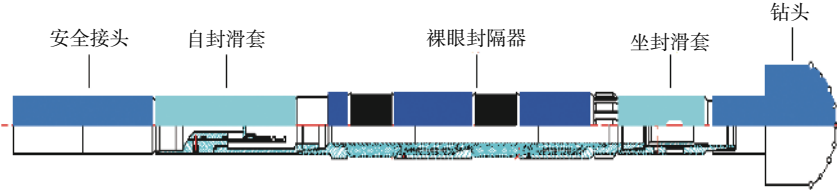


图 2 随钻封隔器钻具组合示意

Fig.2 Bottom hole assembly with packer while drilling

3 现场试验

缝洞型复杂地层钻井关键技术在 PR1 井进行了现场试验,试验结果表明,各项关键技术可以解决井研-犍为地区存在的钻井技术难点。

PR1 设计完钻井深 4 430.00 m,主要目的层为灯影组。根据地震预测,PR1 井区栖霞组发育 3 个溶

洞,分别位于待钻井眼北侧、西侧及南侧(见图 3);沧浪铺组岩屑石英砂岩、页岩发育,筇竹寺组和麦地坪组泥页岩发育,地质预测该段地层最高坍塌压力系数达到 1.40。为此,按照溶洞发育区井身结构设计原则,对 PR1 井的井身结构进行优化设计,设计为三开井身结构,二开不揭开栖霞组溶洞易漏层,三开使用低密度钻井液揭开栖霞组,钻至设计井深完钻。

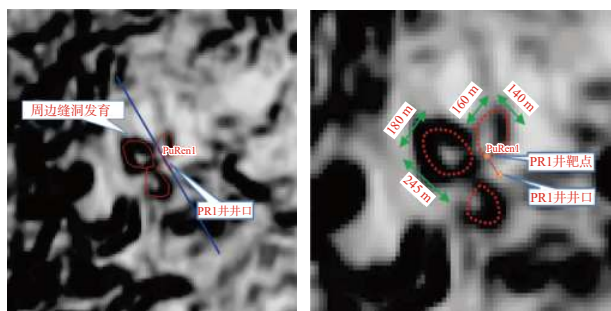


图3 栖霞组溶洞分布示意

Fig.3 Distribution of karst caves in Qixia Formation

一开使用密度 1.10 kg/L 钾基聚合物防塌钻井液开钻, 随后通过混重浆的方式逐步将其密度提高至 1.25 kg/L, 钻至一开完钻。随钻补充由 FA-367 和 LV-CMC 等复配的胶液, 高分子聚合物含量要高于 2.0%, 根据钻井液表观黏度调整胶液加量; 控制钾离子质量浓度在 25 000 mg/L 左右、钻井液漏斗黏度 45~60 s、API 滤失量不大于 5 mL。钻进过程中随时观察井口返浆及振动筛处的岩屑, 分析井眼净化情况, 发现异常后及时用高黏稠浆段塞清扫, 以满足大井眼条件下岩屑悬浮和井眼清洁。一开陆相地层的平均井径扩大率从早期的 10% 左右降至 7%~8%, 有效维护了井壁稳定性。

二开钻至井深 3 179.94 m (峨眉山组玄武岩) 发生漏失, 此时钻井液密度 1.68 kg/L, 漏失量 35.15 m³, 采用桥浆堵漏成功。钻至井深 3 300.00 m 掉块增多, 将钻井液密度提至 1.75 kg/L, 钻至井深 3 523.52 m 时发生失返性漏失, 利用桥接堵漏浆堵漏 5 次, 累计注入桥接堵漏浆 270 m³, 静止 3~4 h, 观察堵漏效果, 发现钻井液持续漏失, 累计漏失 930 m³, 桥接堵漏浆未能有效封堵漏层。鉴于漏失通道大, 堵漏材料难以架桥封堵, 决定采用多功能固结承压堵漏技术。采用井浆配制固结堵漏浆, 堵漏浆密度 1.70 kg/L, 采用平衡堵漏原理将堵漏浆推入漏层, 以 8 L/s 排量注入 21 m³ 堵漏浆, 泵压为 0; 以 10 L/s 排量替入 22 m³ 密度 1.50 kg/L 的钻井液, 泵压为 0; 停泵, 环空液面无明显变化, 候凝后憋压至 7 MPa 环空未通, 环空液面无变化, 表明悬空桥塞承压成功。

三开采用密度 1.45 kg/L 的钻井液开钻, 进入栖霞组 22.78 m (井深 3 532.78 m) 处发生漏失, 之后 3 556.82~4 006.00 m 井段多次发生漏失, 累计漏失钻井液 262.98 m³。考虑要保证栖霞组漏层和下部筇竹寺页岩层井壁稳定, 确定以强化抑制防塌性能为主, 调整密度为辅的思路优化钻井液配方, 并

其密度逐步降至 1.40 kg/L。优化后钻井液的配方为 5% 承压堵漏剂+5% 超细碳酸钙+3% 随钻堵漏剂+6% 核桃壳 (粒径 0.5~1.0 mm)+3% 核桃壳 (粒径 1.0~3.0 mm)+复合堵漏剂 3%。采用边漏边钻的方式钻穿低压漏层, 保障了低密度条件下筇竹寺组页岩地层井壁的稳定, 安全钻至井深 4 285.00 m (灯影组) 完钻。利用该井的钻井资料、测录井资料基本弄清了井研-犍为地区灯影组二段、四段的成藏条件和储层特征, 且该井的成功完钻为该地区后续探井钻井及川南溶洞发育区钻井提供了经验。

4 结论与建议

1) 针对井研-犍为地区溶蚀缝洞发育的特点, 根据地层三压力剖面, 优化形成了 2 种井身结构: 一种是利用技术套管封隔栖霞组漏层, 保障目的层专封专打; 另一种是不揭开漏层, 将漏层与目的层置于同一裸眼段, 通过优化钻井液密度兼顾防漏防塌。

2) 使用钾基防塌聚合物钻井液钻进陆相易塌地层, 钻进时要保证高分子聚合物含量大于 2%、K⁺ 质量浓度不低于 25 000 mg/L 和 API 滤失量不大于 5 mL, 以确保钻井液具有足够的抑制防塌性能。海相易漏地层要合理控制钻井液密度, 配合随钻堵漏工艺钻穿漏层。

3) 裂缝性漏失采用桥浆堵漏; 溶洞性严重漏失采用多功能固结型材料封堵漏失通道, 或尝试随钻封隔器+高强度固结封堵浆封堵漏层。

4) 对于区域性风险探井, 建议进一步加强对地层压力、地下裂缝、断层和溶洞等情况的研究, 为井身结构优化、钻井液体系和密度的合理设计提供科学依据, 实现地质工程一体化。

参考文献

References

- [1] 刘伟, 何龙, 胡大梁, 等. 川南海相深层页岩气钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(6): 9-14.
LIU Wei, HE Long, HU Daliang, et al. Key technologies for deep marine shale gas drilling in southern Sichuan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(6): 9-14.
- [2] 常雨琪, 孙玮, 李泽奇, 等. 川东南深层震旦系灯影组油气勘探前景 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2019, 46(2): 142-152.
CHANG Yuqi, SUN Wei, LI Zeqi, et al. Oil and gas exploration prospects of the deep buried Dengying Formation in the southeastern Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2019, 46(2): 142-152.
- [3] 马新华, 徐春春, 李国辉, 等. 四川盆地二叠系火成岩分布及含气性 [J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(2): 216-225.

- MA Xinhua, XU Chunchun, LI Guohui, et al. Distribution and gas-bearing properties of Permian igneous rocks in Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(2): 216–225.
- [4] 马鸿彦, 郑邦贤, 陈景旺, 等. 杨税务潜山超深超高温井安全优快钻井技术[J]. *石油钻采工艺*, 2020, 42(5): 573–577.
- MA Hongyan, ZHENG Bangxian, CHEN Jingwang, et al. Optimized, safe and fast drilling technologies used in the ultra deep and high temperature wells in Yangshuiwu buried hill[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2020, 42(5): 573–577.
- [5] 王建龙, 于志强, 苑卓, 等. 四川盆地泸州区块深层页岩气水平井钻井关键技术[J]. *石油钻探技术*, 2021, 49(6): 17–22.
- WANG Jianlong, YU Zhiqiang, YUAN Zhuo, et al. Key technologies for deep shale gas horizontal well drilling in Luzhou Block of Sichuan Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(6): 17–22.
- [6] 李磊, 杨进, 刘宝生, 等. 渤海渤中区域深井井身结构优化[J]. *石油钻采工艺*, 2020, 42(5): 569–572.
- LI Lei, YANG Jin, LIU Baosheng, et al. Casing program optimization of deep wells in the central Bohai Area[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2020, 42(5): 569–572.
- [7] 史配铭, 李晓明, 倪华峰, 等. 苏里格气田水平井井身结构优化及钻井配套技术[J]. *石油钻探技术*, 2021, 49(6): 29–36.
- SHI Peiming, LI Xiaoming, NI Huafeng, et al. Casing program optimization and drilling matching technologies for horizontal wells in Sulige Gas Field[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(6): 29–36.
- [8] 谭天宇, 邱爱民, 汤继华, 等. 吉兰泰油田吉华1区块超浅层水平井钻井关键技术[J]. *石油钻探技术*, 2021, 49(6): 37–41.
- TAN Tianyu, QIU Aimin, TANG Jihua, et al. Key drilling technologies for ultra-shallow horizontal wells in the Jihua-1 Block of Jilantai Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(6): 37–41.
- [9] 王志远, 黄维安, 范宇, 等. 长宁区块强封堵油基钻井液技术研究与应[J]. *石油钻探技术*, 2021, 49(5): 31–38.
- WANG Zhiyuan, HUANG Weian, FAN Yu, et al. Technical research and application of oil base drilling fluid with strong plugging property in Changning Block[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(5): 31–38.
- [10] 张雄, 余进, 毛俊, 等. 准噶尔盆地玛东油田水平井高性能油基钻井液技术[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(6): 21–27.
- ZHANG Xiong, YU Jin, MAO Jun, et al. High-performance oil-based drilling fluid technology for horizontal wells in the Madong Oilfield, Junggar Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(6): 21–27.
- [11] 李钟, 罗石琼, 罗恒荣, 等. 多元协同防塌钻井液技术在临盘油田探井的应用[J]. *断块油气田*, 2019, 26(1): 97–100.
- LI Zhong, LUO Shiqiong, LUO Hengrong, et al. Application of multivariate synergistic anti-caving drilling fluid technology in exploratory wells of Linpan Oilfield[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2019, 26(1): 97–100.
- [12] 李建山. 杭锦旗区块防塌防漏钻井液技术[J]. *钻井液与完井液*, 2019, 36(3): 308–314.
- LI Jianshan. Drilling fluid technology for borehole wall stabilization and mud loss control in Block Hangjinqi[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2019, 36(3): 308–314.
- [13] 袁国栋, 王鸿远, 陈宗琦, 等. 塔里木盆地满深1井超深井钻井关键技术[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(4): 21–27.
- YUAN Guodong, WANG Hongyuan, CHEN Zongqi, et al. Key drilling technologies for the ultra-deep well Manshen 1 in the Tarim Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(4): 21–27.
- [14] 陈修平, 高雷雨, 刘景涛, 等. 顺北油气田却尔却克组井壁失稳机理及应对措施[J]. *钻井液与完井液*, 2021, 38(1): 35–41.
- CHEN Xiuping, GAO Leiyu, LIU Jingtao, et al. Mechanisms of borehole wall destabilization in Que'er'Que'ke formation in Shunbei oil and gas field and measures dealing with the borehole wall collapse[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2021, 38(1): 35–41.
- [15] 张志磊, 胡百中, 卞维坤, 等. 昭通页岩气示范区井漏防治技术与实践[J]. *钻井液与完井液*, 2020, 37(1): 38–45.
- ZHANG Zhilei, HU Baizhong, BIAN Weikun, et al. Mud loss control techniques and practices in Zhaotong Demonstration Zone of shale gas drilling[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2020, 37(1): 38–45.
- [16] 胡大梁, 郭治良, 李果, 等. 川南威荣气田深层页岩气水平井钻头优选及应用[J]. *石油地质与工程*, 2019, 33(5): 103–106.
- HU Daliang, GUO Zhiliang, LI Guo, et al. Bit optimization and application of deep shale gas wells in Weirong Gas Field of southern Sichuan Basin[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2019, 33(5): 103–106.
- [17] 胡大梁, 欧彪, 郭治良, 等. 川西二叠系超深风险井永胜1井钻井关键技术[J]. *断块油气田*, 2019, 26(4): 524–528.
- HU Daliang, OU Biao, GUO Zhiliang, et al. Key drilling technology of Permian ultra-deep risk exploration Well YS1 in western Sichuan[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2019, 26(4): 524–528.
- [18] 左星, 罗超, 张春林, 等. 四川盆地裂缝储层钻井井漏安全起钻技术认识与探讨[J]. *天然气勘探与开发*, 2019, 42(1): 108–113.
- ZUO Xing, LUO Chao, ZHANG Chunlin, et al. Safe tripping-out technology against lost circulation in fractured reservoirs, Sichuan basin[J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2019, 42(1): 108–113.
- [19] 王军, 范翔宇, 贺立勤, 等. 喷漏同存条件下堵漏压井技术: 以四川盆地九龙山构造龙探1井为例[J]. *天然气工业*, 2019, 39(1): 106–112.
- WANG Jun, FAN Xiangyu, HE Liqin, et al. Well killing and plugging technology under the coexistence of blowout and circulation loss: a case study on Well Longtan 1 in the Jiulongshan Structure, Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(1): 106–112.
- [20] 田军, 刘文堂, 李旭东, 等. 快速滤失固结堵漏材料ZYSD的研制及应用[J]. *石油钻探技术*, 2018, 46(1): 49–54.
- TIAN Jun, LIU Wentang, LI Xudong, et al. Development and application of rapid filtration and consolidation lost circulation material ZYSD[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2018, 46(1): 49–54.
- [21] 詹俊阳, 刘四海, 刘金华, 等. 高强度耐高温化学固结堵漏剂HDL-1的研制及应用[J]. *石油钻探技术*, 2014, 42(2): 69–74.
- ZHAN Junyang, LIU Sihai, LIU Jinhua, et al. Development and application of chemical consolidation plugging agent HDL-1[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2014, 42(2): 69–74.
- [22] 方俊伟, 贾晓斌, 刘文堂, 等. ZYSD高失水固结堵漏技术在顺北5-9井中的应用[J]. *钻井液与完井液*, 2021, 38(1): 74–78.
- FANG Junwei, JIA Xiaobin, LIU Wentang, et al. Control mud losses in Well Shunbei-5-9 with ZYSD high fluid loss solidifying slurry[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2021, 38(1): 74–78.