

引用格式:谢鑫, 窦正道, 杨小敏, 等. 小井眼提速技术在页岩油开发中的应用[J]. 油气藏评价与开发, 2023, 13(1): 83-90.

XIE Xin, DOU Zhengdao, YANG Xiaomin, et al. ROP enhancement technique for slimhole drilling in shale oil development[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(1): 83-90.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2023.01.009

小井眼提速技术在页岩油开发中的应用

谢鑫, 窦正道, 杨小敏, 金晶, 王媛媛, 任飞

(中国石化江苏油田分公司石油工程技术研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 中国石化江苏油田页岩油开发, 面临着投资高、产量低的问题。油田开发已近45年, 废弃老井数量多, 利用老井眼侧钻的方式开发页岩油能降低钻井成本。2022年在花庄地区开展利用老井侧钻水平井, 采用小井眼钻井方式的探索。针对小井眼钻具柔性大、轨迹控制难、钻速慢、间隙小、环空压耗大、固井质量差、井控风险高等难题, 探索大套管开窗、井眼轨迹优化、高效钻头+螺杆+LWD地质导向钻井、泡沫固井、油基钻井液堵漏、窄间隙井控等技术, 形成页岩油小井眼高效钻井技术体系。应用表明: 苏北盆地花庄地区H2CHF井实钻机械钻速最快达5.0 m/h, 与邻井常规井眼钻速相当, 比实施新井方案钻井投资降低50%, 节约投资1500万元, 为页岩油低成本开发提供了重要思路。

关键词: 页岩油; 小井眼; 轨迹优化; 提速工艺; 油基泥浆; 泡沫固井

中图分类号: TE246

文献标识码: A

ROP enhancement technique for slimhole drilling in shale oil development

XIE Xin, DOU Zhengdao, YANG Xiaomin, JIN Jing, WANG Yuanyuan, REN Fei

(Petroleum Engineering Technology Research Institute, Sinopec Jiangsu Oilfield, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: The shale oil development in Sinopec Jiangsu Oilfield is facing the problems of high investment and low production. After 45 years of development, there are a lot of abandoned old wells. Developing shale oil by old borehole side drilling can reduce drilling costs. In 2022, the sidetracking slimhole horizontal drilling in old wells is carried out in Huangzhuang. The slimhole drilling tools have the problems of large flexibility, difficult track control, slow drilling speed, small clearance, large air pressure consumption, poor cementing quality and high well control risk. In order to solve these problems, a system of efficient sidetracking slimhole horizontal drilling technology system is formed by the applications of large casing windowing, well track optimizations, high-efficiency drill bit+screw+LWD geosteering drilling, foam cementing, oil-based drilling fluid plugging, narrow gap well controlling, small hole coring, etc. A test application in H2CHF well shows that the actual drilling speed is up to 5.0 m/h, which is equivalent to the conventional drilling speed in adjacent wells, and the total drilling cost is reduced by 50%, saved by 15 million. The new development and test would provide important ideas and reference for future development of shale oil in Jiangsu Oilfield.

Keywords: shale oil; slimhole; trajectory optimization; ROP enhancement technique; oil-based drilling fluid; foam cementing

中国石化江苏油田苏北页岩油资源量达 11×10^8 t。目前在花庄、铜城、百色完成页岩油水平井7口井, 最深达6000 m, 水平段长2035 m, 钻井投资高, 产量低。油田开发已近45年, 废弃老井数量多, 利用老井

眼侧钻的方式开发页岩油, 能降低钻井成本。小井眼钻井通常指井眼直径不大于165.5 mm、井段占总井深三分之二的钻井。小井眼钻井可降低钻机型号, 减少钻井液处理剂和套管等材料的消耗, 减少废

收稿日期: 2022-09-19。

第一作者简介: 谢鑫(1984—), 硕士, 副研究员, 从事钻井工程设计和技术研究工作。地址: 江苏省扬州市中国石化江苏油田分公司石油工程技术研究院钻井室, 邮政编码: 225009。E-mail: xiexin.jsyt@sinopec.com

基金项目: 中国石化江苏油田分公司科研项目“江苏探区页岩油钻井压裂关键技术研究”(JS21024)。

弃物排放量,对环境的影响小,也节约钻井成本。同时,由于井眼小,井筒较常规井眼更加稳定^[1]。美国Midland盆地钻井中,在152.4 mm小井眼中采用旋转导向+定制高扭矩马达组合,实现水平段一趟钻进尺2 381 m,机械钻速达110 m/h^[2]。长庆油田2021年在陕北米脂、宜黄、陕295区块完钻22口小井眼井,与2020年同区块常规井相比,小井眼井平均单井钻井周期缩短22%,钻井成本节约32万元^[3]。在中国石油新疆油田滴西14井区施工的DX1420井,在139.7 mm套管内采用118 mm钻头开窗侧钻水平井,完钻井深4 237.14 m,裸眼段长1 000 m,最大井斜91.93°,完成水平位移838 m^[4]。2022年在花庄地区开展利用H2井老井侧钻水平井,采用小井眼钻井方式的探索。该井的成功实施,形成了一系列小井眼提速配套技术。为老井重复利用,页岩油低成本开发提供了新思路。

1 苏北盆地花庄地区H2CHF井施工概况

1.1 苏北盆地花庄地区H2井情况

苏北盆地花庄地区H2井1982年9月29日开钻,1983年9月12日完井。如图1所示,采用三开井身结构,一开下入339.7 mm的套管至75.86 m;二开下入177.8 mm套管至3 179.91 m,水泥返高至1 901.5 m;三开下入127 mm的尾管至4 561.85 m,悬挂器顶深为2 930.69 m,水泥返至喇叭口的位置。2016年注灰封井,注灰2次,井口砌水泥墩,该井套管没有套损记录。

苏北盆地花庄地区H2C井设计在H2井中177.8 mm套管内开窗侧钻,其套管内径为159.42 mm,故选择152.4 mm的钻头施工。其施工难点为:小井眼施工,环空间隙小,环空压耗大,易憋漏地层;钻具柔性大,与井壁接触多,摩阻大,钻头破岩效率差,机械钻速低^[5]。

1.2 苏北盆地花庄地区H2CHF井侧钻施工情况

首先在H2老井中开窗侧钻,施工导眼井H2C井,然后在H2C井中裸眼侧钻,开展水平段钻进。导眼井H2C井施工中,施工前下 $\phi 101.6$ mm钻杆至 $\phi 127$ mm尾管内注灰,防止老井井筒与地层连通,候凝后对老井H2井进行井筒试压,要求为压力10 MPa,稳压10 min,压降不超过0.5 MPa。如表1所示,在井深2 904 m下入斜向器,采用套管开窗钻井工艺,钻至井深3 680 m完井,裸眼段长度776 m,钻井周期23 d,钻完井周期36 d,全井平均钻速为4.82 m/h,取心进尺7.1 m。

对水平井H2CHF施工,如表1和图2所示,在H2C井打水泥塞,塞顶为3 058 m;从井深3 058 m裸

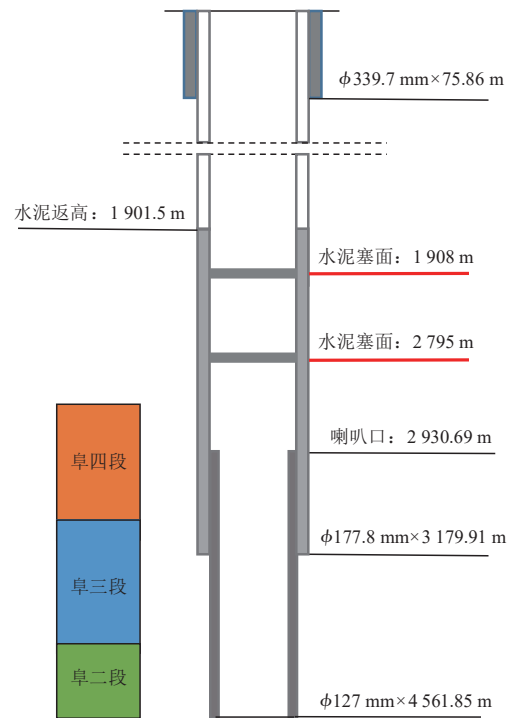


图1 苏北盆地花庄地区H2井井身结构

Fig. 1 Well structure of Well-H2 in northern Jiangsu Basin

表1 H2CHF井身结构数据
Table 1 Well structure data of Well-H2CHF

开钻次序	井深(m)	井眼尺寸(mm)	套管尺寸(mm)	套管下深(m)
导眼井	2 904 ~ 3 680	152.4	裸眼完井	裸眼完井
H2CHF	3 140 ~ 4 650	152.4	114.3	4 634.63

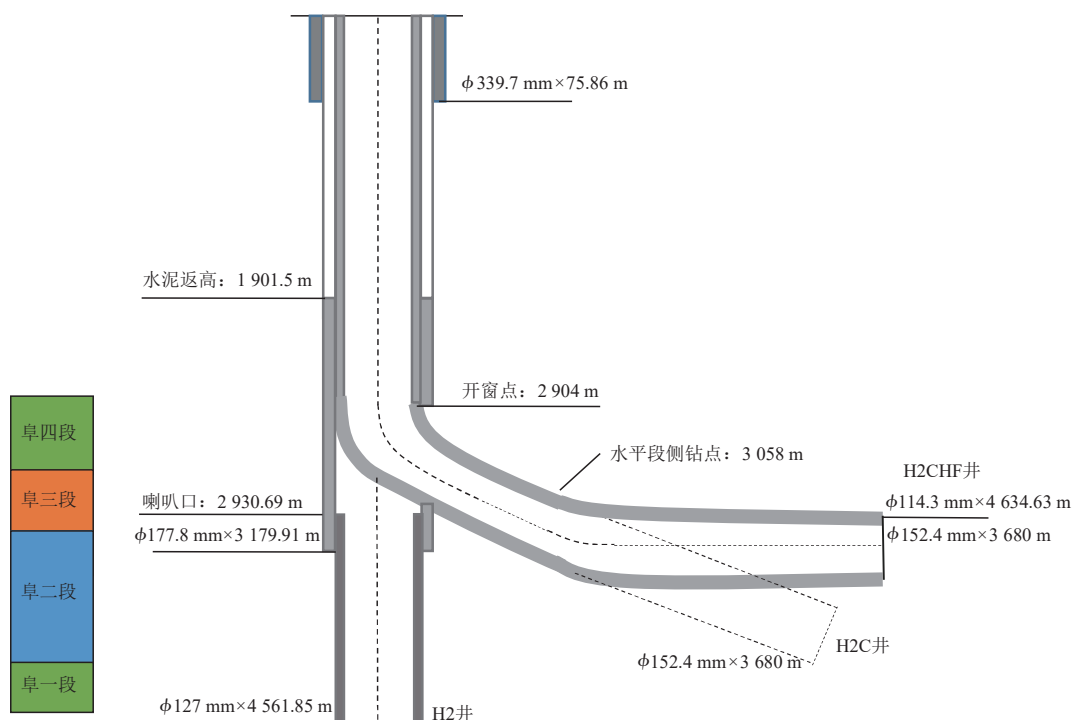


图2 苏北盆地花庄地区H2CHF井井身结构
Fig. 2 Well structure of Well-H2CHF in northern Jiangsu Basin

眼侧钻,实钻至井深4 650 m,下114.3 mm套管至4 634.63 m。实钻最大井斜 85° ,闭合位移1 232.1 m,水平段长1 024.62 m,平均钻速4.38 m/h,钻井周期27 d,钻完井周期40 d。水平井H2CHF井设计在H2C导眼井中侧钻,多利用导眼井进尺154 m,降低钻井投资。

2 钻井提速技术

2.1 开窗侧钻技术

侧钻点优选原则为钻速快,地层稳定,且尽量多利用老井井筒。故优选在2 904 m开窗,该井深处钻时为10.6 min/m,如图3所示,比邻井段高20%,该井深在卓四段地层较为稳定。首先刮管作业,钻具组合为 $\phi 178$ mm套管刮削器GX-T178 + $\phi 120$ mm螺旋钻铤6根 + $\phi 101.6$ mm加重钻杆21根 + $\phi 101.6$ mm钻杆,在开窗点附近井深2 872 ~ 2 915 m井段反复刮削,充分循环干净。接着下入斜向器,钻具组合为 $\phi 152$ mm斜向器+配合接头+ $\phi 101.6$ mm加重钻杆21根 + $\phi 101.6$ mm钻杆。因老井为直井,采用陀螺仪确

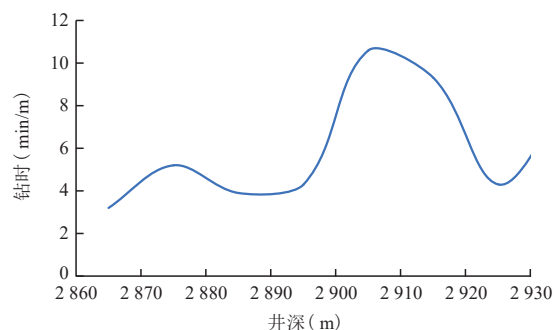


图3 苏北盆地花庄地区H2井钻速
Fig. 3 ROP of H2 well in northern Jiangsu Basin

定SZ-154型斜向器方位。打压座封后,使用154 mm XZ-154型铣锥+154 mm ZZX-154型西瓜皮磨鞋,进行开窗和修窗一体化施工,开窗参数为钻压40 kN到50 kN,转速为70 r/min,排量为18 L/s,泵压为24 MPa,仅0.5 d即成功开窗。

2.2 利用地层造斜规律的井眼轨迹控制技术

针对H2CHF井钻遇多套微断层,轨迹调整频繁的问题,通过轨道设计优化,采用 $(15^\circ \sim 16^\circ)/\text{hm}$ 的

低曲率,以降低钻井摩阻。在水平段采用预设计井斜的控制技术,利用前面井段地层的造斜规律,提前调整井斜,如图4所示,储层钻遇率达100%。H2CHF井在井深3 058 m侧钻,要求井斜迅速从6°~7°,增加至40°井斜,方位需从116°增加至117.5°。如表2所示,老井H2C井在侧钻点3 058 m处,老井井斜由6.5°增加至6.9°,方位由123.64°增加至124.74°,地层有增斜增方位的趋势,利用地层漂移规律,实现快速钻出新井眼^[6]。对在不同的井深处开窗的轨迹,进行摩阻的计算,如图5所示,在3 058 m侧钻比井深3 180 m侧钻的摩阻少26%。

2.3 提速工艺

H2CHF井侧钻井段为阜宁组,采用邻井的声波

测井数据开展可钻性分析^[7],从分析结果可知,该区的可钻性在4.3左右。岩心X射线实验可知,阜宁组二段地层破碎,开展3 564~3 701 m阜二段岩心X射线衍射定量实验,平均黏土含量仅为13.6%,石英、方解石、斜长石等脆性矿物平均含量在86.4%左右。开展井深3 602 m和3 607 m的岩心的力学分析,其脆性为38.7%(表3),易破碎。^[7]

优选HJT517GL牙轮钻头(表4),采用1.5°单弯螺杆+定向接头+φ120 mm无磁钻铤+φ120 mm螺旋钻铤+φ101.6 mm加重钻杆+φ101.6 mm钻杆。使用小钻压1~2 t,低排量13 L/s,防止冲垮新钻井眼。采用定点划眼,控时钻进的方式,快速形成新井眼,增加夹壁墙厚度,防止轨迹回到老井眼^[8]。

在水平段钻进中,开展钻具振动分析,如图6所示,

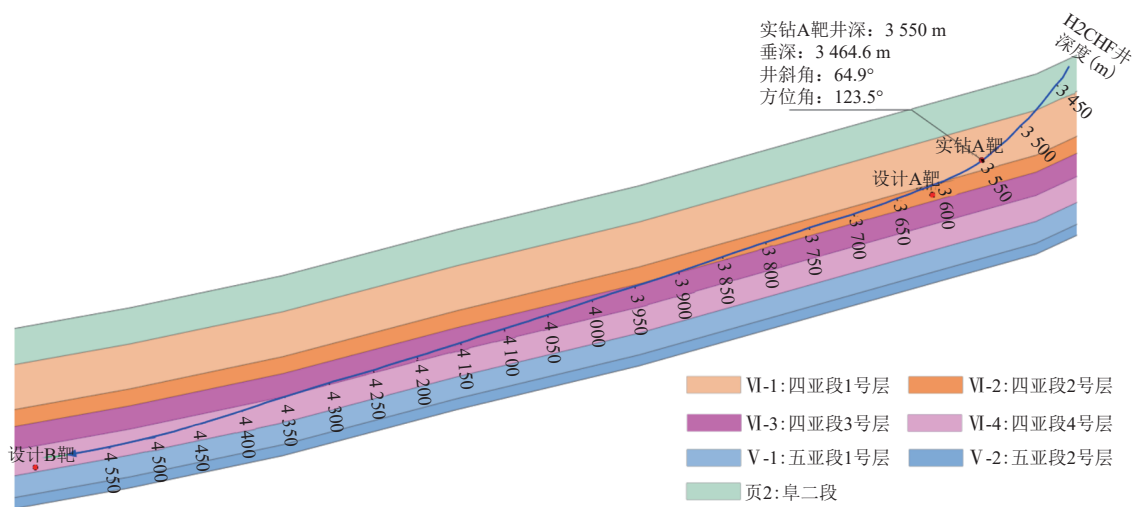


图4 苏北盆地花庄地区H2CHF井眼轨迹

Fig. 4 Borehole trajectory of Well-H2CHF in northern Jiangsu Basin

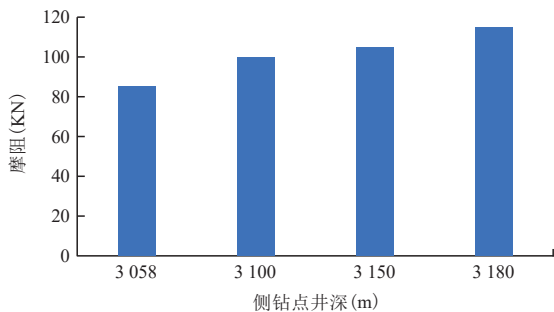


图5 H2CHF井不同侧钻点摩阻

Fig. 5 Friction of different sidetracking points of Well-H2CHF

表2 苏北盆地花庄地区H2C井部分井眼轨迹数据

Table 2 Partial wellbore trajectory data of Well-H2C

井深 (m)	井斜(°)	方位(°)
2 959.96	3.78	118.64
2 988.91	6.02	115.54
3 017.87	6.02	115.84
3 046.83	6.24	122.64
3 075.81	6.90	123.64
3 104.77	6.68	124.74
3 133.73	6.81	121.84
3 163.67	6.99	122.94
3 181.94	6.68	132.04

钻具在离钻头 230 m 处时钻具的应力集中,变形最大,使用加重钻杆代替钻铤,减小钻具刚性,增加钻具的振动,减少托压^[9]。设计采用 PK4232SJ 斧齿型高效 PDC 钻头+1.5°单弯高效螺+LWD 随钻测量+倒装钻具组合。钻压 2~5 t,排量 17 L/s,实现快速钻

进。结果表明钻速达 5.2 m/h,接近邻井 215.9 mm 井眼同层位机械钻速 5.8 m/h。^[10]

2.4 油基钻井液堵漏技术

花庄地区阜二段部分井段的矿物组分分析可知,黏土矿物在 75 % 左右,脆性型矿物在 25 % 左右,地层易水化膨胀,故采用油基泥浆钻进。油基泥浆的配方为:白油+2 % 主乳化剂+1.5 % 辅乳化剂+0.5 % 润湿剂+1.2 % 有机土+3 % CaO+1.5 % 封堵剂+1.8 % 降滤失剂+CaCl₂ 盐水(CaCl₂ 质量分数为 30 %)。实钻中钻井液密度最高为 1.43 g/cm³,低于导眼井最高密度 1.48 g/cm³,有利于气测录井和油气发现。结果表明,井眼累计浸泡 40 d,井筒井壁稳定,效果良好。

开展油基钻井液堵漏室内配方的实验^[11],如表 5 所示,将堵漏剂复配之后,滤失量明显降低,其堵漏效果优于单一堵漏剂作用下封堵效果^[12],其中配方 4 的滤失量仅为 8 mL,满足堵漏需要。利用 20 % 和 30 % 的 2 种浓度堵漏剂,互相配合封堵不同孔径的漏失^[13]。

20 % 堵漏配方为:竹纤维 4 %+弹性石墨 2 %+复合堵漏剂 1 型 2 %+复合堵漏剂 2 型 2 %+酸溶性材料堵漏剂(100~200 目)3 %+酸溶性材料堵漏剂(40~100 目)1 %+双亲承压堵漏剂 1 %+纳米堵漏剂 1 %+

表 3 阜宁组力学脆性指数计算

Table 3 Calculation of mechanical brittleness index of Funing Formation

深度(m)	泊松比	杨氏模量(MPa)	脆性(%)
3 602.63 ~ 3 602.83	0.24	22 537.13	41.0
3 606.93 ~ 3 607.09	0.25	18 956.30	36.4
平均			38.7

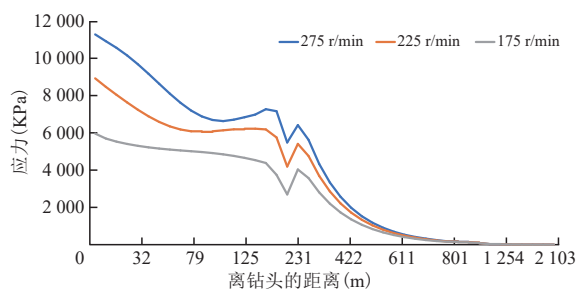


图 6 钻头转速和钻具应力

Fig. 6 Bit speed and drill tool stress

表 4 苏北盆地花庄地区 H2CHF 钻头参数

Table 4 Bit parameters of Well-H2CHF in northern Jiangsu Basin

序号	钻头直径(mm)	钻头型号	类型	钻头数量	使用井段(m)	进尺(m)	机械钻速(m/h)
1	152.4	HJT517GL	牙轮	1	2 895 ~ 3 119	224	1.78
2	152.4	PK4232SJ	PDC	2	3 119 ~ 4 596	1 477	5.20
3	152.4	FL1654JH	PDC	1	4 596 ~ 4 650	54	3.04

表 5 堵漏浆砂盘滤失量

Table 5 Filtration performance of slurry plugging formula

序号	堵漏浆配方	砂床目数	时间(min)	实验压力				
				1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa
1	井浆+1 % 复合堵漏剂	30 ~ 50	30	62 mL	91 mL	105 mL	122 mL	全失
2	井浆+1 % 复合堵漏剂+1 % 竹纤维	30 ~ 50	30	无滤失	10 mL	12 mL	14 mL	15 mL
3	井浆+2 % 复合堵漏剂+1 % 竹纤维	30 ~ 50	30	无滤失	3 mL	8 mL	10 mL	12 mL
4	井浆+4 % 复合堵漏剂+4 % 竹纤维	30 ~ 50	30	无滤失	1 mL	3 mL	5 mL	8 mL

超细4%。浓度30%的堵漏浆配方为:竹纤维4%+弹性石墨2%+复合堵漏剂1型4%+复合堵漏剂2型4%+酸溶性材料堵漏剂(100~200目)4%+酸溶性材料堵漏剂(100~200目)+石英砂4%+核桃壳(0.5~1 mm)3%^[13]。

实钻中钻进至阜二段微断层,发生井漏,漏速达3.5 m³/h。采取随钻堵漏措施,先后泵入20%和30%的堵漏浆。采用憋压堵漏的方式,其方法是根据固井需要承压当量密度做到1.61 g/cm³,静态承压6.5 MPa,关防喷器憋压堵漏,缓慢开泵,每分钟提高0.5 MPa,静止观察15 min,当压力稳定在6.5 MPa,稳压4 h,缓慢卸压,最终堵漏成功。

2.5 窄间隙压井技术

小井眼环空间隙小,循环压耗大,采用泵入重浆加节流循环的压井方法,首先分别打入500 m和400 m的高切力、高黏度的气滞塞,其密度按照比正常钻进钻井液密度高0.2~0.5 g/cm³。降低油气上窜速度。然后按照每一个循环调整钻井密度都增加0.02 g/cm³的方法,利用钻井液循环的环空压耗压井^[14-15]。

H2CHF钻进至3 926 m时出现溢流,关井后套压无明显增加。钻井液密度由1.46 g/cm³降至1.42 g/cm³,黏度由64 s升高至80 s。首先打入两段气滞钻井液塞,降低油气上窜速度^[16-17],第一段在3 926~3 450 m,打10 m³密度为1.68 g/cm³液塞,黏度157 s;第二段在井深2 885~2 500 m,打8 m³密度为1.68 g/cm³液塞,黏度157 s。按照每个循环周增加钻井液密度,依次至1.44 g/cm³和1.46 g/cm³时,按照正常钻进的排量17 L/s进行环钻井液,井口返出钻井液大于泵入量。接着将钻井液密度提高至1.48 g/cm³时,按钻进排量循环,井口未出现溢流,恢复正常钻进。

2.6 窄间隙固井技术

小井眼环空间隙小,循环压耗大,为降低液柱压力防止固井漏失,使用泡沫水泥浆体系^[18]。前置液设计采用洗油冲洗液+加重洗油隔离液(密度1.40 g/cm³)的体系,保证井眼清洗效果和润湿反转,以增强油基钻井液顶替效率以及一二界面的胶结强度,同时兼具压稳油气层功能^[19]。开展泡沫水泥浆体系配方的实验,水泥浆的稠度设计为70 bc(伯登),选择6种配方:①领浆大样:643 g大样灰+415 g大样水;②领浆大样:(升降温)643 g大样灰+415 g大样水;③领浆大样:643 g大样灰+415 g大样水+15 g发泡稳泡剂;④尾浆半大样:812 g大样灰+8%自愈合乳液+3%缓凝剂+55%自来水;⑤尾浆半大样:812 g大样灰+8%自愈合乳液+3%缓凝剂+55%自来水+15 g发泡稳泡剂;⑥领尾浆相容性:领浆:尾浆=1:1。实验结果如图7所示,领浆配方3和尾浆配方5稠化时间,满足固井需求。

使用注氮泡沫水泥浆体系,配方如表6所示,浆柱结构为双凝双密度水泥,领浆采用密度1.30 g/cm³泡沫超低密度水泥浆体系,基浆为密度1.50 g/cm³高

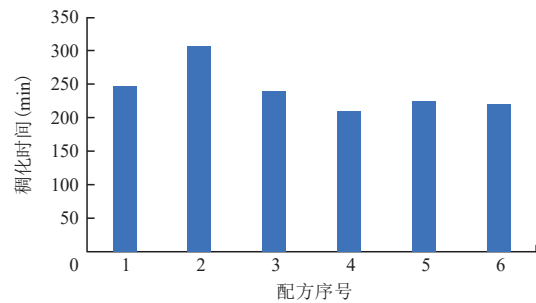


图7 不同泡沫水泥浆体系配方稠度70 bc稠化时间
Table 7 Thickening time at formula consistency of 70 bc with different foam cement systems

表6 水泥浆配方
Table 6 Cement slurry formula

项目	水泥浆配方	密度(g/cm ³)
泡沫领浆	葛洲坝G级水泥+16%高强度中空玻璃微球+12%微硅+5%降失水剂+8%弹性材料+5%增稠剂+5%胶乳+3%减阻剂+3%缓凝剂+自来水+3%发泡稳泡剂	1.30
泡沫尾浆	葛洲坝G级水泥+30%石英砂+5%降失水剂+8%弹性材料+5%增稠剂+8%自愈合+3%减阻剂+3%缓凝剂+自来水+3%发泡稳泡剂	1.80

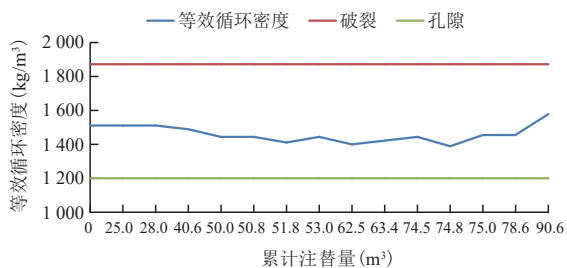


图8 注替井底压耗
Fig. 8 Pressure loss of injection hole

强度中空玻璃微珠低密度弹性防气窜水泥浆体系,领浆前1~2 m³按1.40 g/cm³密度充气。尾浆采用密度1.80 g/cm³泡沫水泥浆体系,尾浆基浆采用弹性自愈合防气窜泡沫水泥浆体系,密度1.88 g/cm³,确保压稳油气层,防窜防漏。如图8所示,施工中碰压37 MPa,最高井底等效循环密度为1.60 g/cm³,小于该处地层破裂压力。采用环空加压候凝的方式,如图9所示油层井段固井质量优秀^[20]。

3 结论与建议

通过H2CHF井小井眼水平侧钻探索,初步形成了一系列针对页岩油小井眼钻进优快钻井技术和认识。

1) 水平段采用预设计井斜的控制技术,利用前面井段地层的造斜规律,提前调整井斜,提高储层钻遇率。

2) 侧钻施工采用1.5°大弯度螺杆,采用低排量、低钻压等控压钻进,实现快速侧钻出新井眼。水平段采用高效钻头+LWD地质导向,提高机械钻速,缩短钻井周期。

3) 油基钻井液堵漏中,采用不同浓度的堵漏浆配合使用,封堵不同孔径的漏失。

4) 小井眼钻井井控中,首先使用高切力、高黏气滞塞,减缓油气上窜;接着采用每个循环周逐步提高钻井液密度,利用环空压耗压井,即实现井口压力控制,又避免高密度泥浆带来的漏失问题。

5) 小井眼固井环空压耗大,易发生漏失,可采用泡沫水泥浆固井技术提高固井质量。

参考文献

[1] 刘娟. 利用侧钻井技术挖潜苏北老区剩余油研究[J]. 油气藏评价与开发, 2016, 6(2): 42-45.

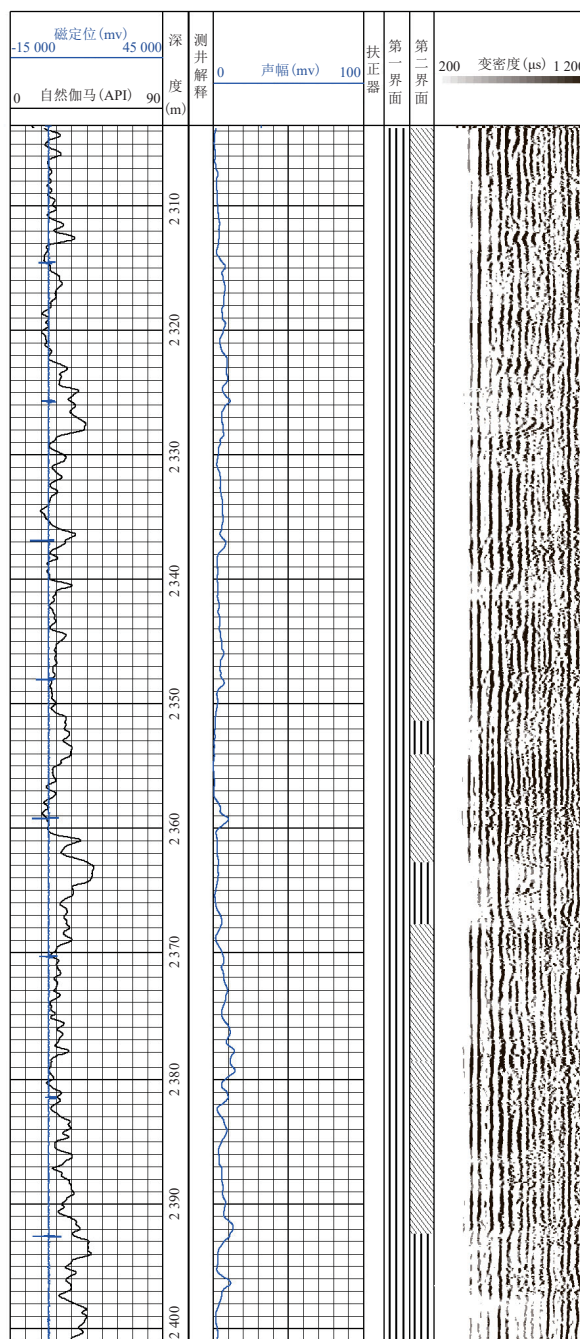


图9 苏北盆地花庄地区H2CHF油层井段固井质量
Fig. 9 Cementing quality of Well-H2CHF reservoir section in northern Jiangsu Basin

LIU Juan. Remaining oil tapping by the usage of sidetracked hole technology in old Subei area[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2016, 6(2): 42-45.
[2] 孙焕泉, 周德华, 赵培荣. 中国石化地质工程一体化发展方向[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(3): 269-280.
SUN Huanquan, ZHOU Dehua, ZHAO Peirong. Geology-engineering integration development direction of Sinopec[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11

- (3): 269-280.
- [3] 欧阳勇, 刘汉斌, 白明娜, 等. 苏里格气田小井眼套管开窗侧钻水平井钻完井技术[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(1): 129-134.
OUYANG Yong, LIU Hanbin, BAI Mingna, et al. Drilling and completion of sidetracking horizontal well with small hole casing in Sulige Gas Field[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(1): 129-134.
- [4] 李复兴. 阿尔及利亚OMG723侧钻小井眼短半径水平井技术[J]. 钻采工艺, 2020, 43(6): 31-34.
LI Fuxing. Algeria OMG723 sidetracking slim hole short radius horizontal well technology[J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(6): 31-34.
- [5] 林昕, 苑仁国, 谭伟雄, 等. 地质导向钻井着陆关键技术及分析图版[J]. 断块油气田, 2021, 28(5): 700-705.
LIN Xin, YUAN Renguo, TAN Weixiong, et al. Key technology and analysis chart of geosteering drilling landing[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2021, 28(5): 700-705.
- [6] 李兴, 李乾. 神府区块新型小井眼优快钻井技术应用与建议[J]. 海洋石油, 2021, 41(4): 80-84.
LI Xing, LI Qian. Application and suggestion of new type slim hole drilling technology in Shenfu Block[J]. Offshore Oil, 2021, 41(4): 80-84.
- [7] 谢鑫, 付成林, 丁少华, 等. 江苏油田联38块高效开发技术集成[J]. 石油石化节能, 2021, 11(6): 21-23.
XIE Xin, FU Chenglin, DING Shaohua, et al. Jiangsu Oilfield Lian38 efficient development technology integration[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2021, 11(6): 21-23.
- [8] 谢鑫, 付建红, 张智, 等. 深水测试管柱动力学分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(1): 77-79.
XIE Xin, FU Jianhong, ZHANG Zhi, et al. Mechanical analysis of deep water well-testing strings[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(1): 77-79.
- [9] 贾佳, 夏忠跃, 冯雷, 等. 鄂尔多斯盆地神府区块小井眼优快钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(2): 64-70.
JIA Jia, XIA Zhongyue, FENG Lei, et al. Key technology of optimized and fast slim hole drilling in Shenfu Block, Ordos Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(2): 64-70.
- [10] AL DOUSERI K M M, BARNES C, YOUNG D, et al. Swellable packers provide a brownfield water management solution in open and cased hole - case histories including straddles, plugs, slimhole sidetracks and testing in corroded casing[C]// Paper SPE-124394-MS presented at the SPE Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition, Aberdeen, UK, September 2009.
- [11] KUYKEN C, VAN DER PLAS K, FREDERIKS K, et al. Developing and using slimhole rotary steerable systems in the North Sea changing the economics of mature asset drilling[C]// Paper SPE-83948-MS presented at the SPE Offshore Europe Oil and Gas Exhibition and Conference, Aberdeen, United Kingdom, September 2003.
- [12] 王名春, 刘书杰, 耿亚楠, 等. 海上油气田硬地层可钻性级值的确定方法[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2020, 22(3): 17-20.
WANG Mingchun, LIU Shujie, GENG Ya'nan, et al. Calculation method of drill ability grade value for offshore hard formation[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology(Natural Sciences Edition), 2020, 22(3): 17-20.
- [13] 房炎伟, 吴义成, 张蔚, 等. 滴西区块侧钻小井眼水平井钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2021, 38(5): 611-615.
FANG Yanwei, WU Yicheng, ZHANG Wei, et al. Study on application of high efficiency drilling fluid for sidetracking slim horizontal wells[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2021, 38(5): 611-615.
- [14] 袁兰峰, 何世明, 黎学年, 等. 考虑钻具屈曲的环空流动仿真研究[J]. 断块油气田, 2017, 24(5): 714-718.
YUAN Lanfeng, HE Shiming, NI Xue'nian, et al. Simulation of annular flow considering buckling drilling tools[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(5): 714-718.
- [15] 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, etc. 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.
- [16] 张锐尧, 李军. 基于空心球破碎概率的双梯度钻井井筒压力预测[J]. 断块油气田, 2017, 24(5): 714-718.
ZHANG Ruiyao, LI Jun. Prediction of wellbore pressure in dual-gradient drilling based on the breaking probability of hollow glass spheres[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(5): 714-718.
- [17] 汤历平, 余岱林, 董仕明, 等. GQX121型小井眼取心工具研制[J]. 石油矿场机械, 2022, 51(3): 45-51.
TANG Liping, YU Dailin, DONG Shiming. Development of GQX121 slim hole coring tool[J]. Oil Field Equipment, 2022, 51(3): 45-51.
- [18] 许强. 固井前置液合理用量计算方法[J]. 断块油气田, 2018, 25(1): 130-132.
XU Qiang. Rational dosage calculation method of cementing pad fluid[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2018, 25(1): 130-132.
- [19] 王忠良, 周扬, 文晓峰等. 长庆油田小井眼超长水平段水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(5): 14-18.
WANG Zhongliang, ZHOU Yang, WEN Xiaofeng, et al. Drilling technologies for horizontal wells with ultra-long horizontal section and slim hole in Changqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(5): 14-18.
- [20] 汪海阁, 周波. 致密砂岩气钻完井技术进展及展望[J]. 天然气工业, 2022, 42(1): 159-169.
WANG Haige, ZHOU Bo. Progress and prospect of tight sandstone gas well drilling and completion technologies[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(1): 159-169.

(编辑 徐佩)