

渝西大安区块超深层页岩气水平井钻井提速关键技术研究

陈建国¹, 汪伟^{2*}, 都伟超³

(1. 中国石油集团大庆钻探工程公司钻井二公司, 黑龙江 大庆 163413;

2. 中国地质科学院, 北京 100037; 3. 西安石油大学, 陕西 西安 710065)

摘要:针对大安区块超深层页岩气水平井钻井过程中存在难钻地层机械钻速低、旋转导向仪器高温下的故障率高和钻井周期长等技术难点,以大安页岩气高效快速开发为目的,分析了钻遇地层特征和钻井技术难点,通过井身结构优化、高效钻头优选、“铂金靶体”快速识别、水平段降密提速、油基钻井液地面降温、抗高温白油基钻井液体系及等壁厚螺杆技术等技术研究和使用,形成了大安区块超深层页岩气水平井优快钻井技术。该技术在渝西大安区块大安104H超深层页岩气水平井进行了现场试验,实际完钻井深6789 m,水平段长2406.13 m,平均机械钻速10.60 m/h,较区块平均机械钻速8.12 m/h提高30.54%。结果表明,超深层页岩气水平井钻井提速技术可为大安页岩气高效开发提供技术支撑。

关键词:超深层页岩气;水平井;钻井提速;钻头优选;钻井液降温;大安区块

中图分类号:TE243;P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)04-0154-09

Research on key technologies for speeding up drilling of ultra-deep shale gas horizontal wells in Da'an block, western Chongqing

CHEN Jianguo¹, WANG Wei^{2*}, DU Weichao³

(1. The Second Drilling Company, CNPC Daqing Drilling Engineering Corporation, Daqing Heilongjiang 163413, China;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Xi'an Shiyou University, Xi'an Shaanxi 710065, China)

Abstract: In response to the technical difficulties in ultra-deep shale gas horizontal well drilling in the Da'an block, such as low mechanical drilling speed in difficult drilling formations, high failure rate of rotary steering instruments at high temperatures, and long drilling cycles. In aim of efficient and rapid development of Da'an shale gas, the characteristics of encountered formations and technical difficulties in drilling were analyzed. Through the technical research and application such as optimization of wellbore configuration, selection of efficient drill bits, rapid identification of "Platinum targets", density reduction and speed increase in the horizontal section, surface cooling of oil-based drilling fluid, high-temperature resistant white oil-based drilling fluid system, and equal wall thickness screw technology, the optimal and fast drilling technology for ultra-deep shale gas horizontal wells in the Da'an block was formed. This technology was tested on-site in the Da'an 104H ultra deep shale gas horizontal well, where the actual drilling depth was 6789m, with a horizontal section length of 2406.13m and an average mechanical drilling speed of 10.60m/h, which is 30.54% higher than the average value of 8.12m/h in the block. It can provide technical support for

收稿日期:2024-04-07; 修回日期:2024-06-15 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.04.019

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“油气找矿行动动态评估与部署研究”(编号:DD20242067)

第一作者:陈建国,男,汉族,1991年生,工程师,石油与天然气工程专业,硕士,从事深层天然气、非常规油气钻探工作,黑龙江省大庆市让胡路区世纪家园SA02-4,cjg3434@126.com。

通信作者:汪伟,男,汉族,1992年生,工程师,油气井工程专业,硕士,研究方向为钻井工艺和井壁稳定,北京市西城区百万庄26号,1319640666@qq.com。

引用格式:陈建国,汪伟,都伟超.渝西大安区块超深层页岩气水平井钻井提速关键技术研究[J].钻探工程,2024,51(4):154-162.

CHEN Jianguo, WANG Wei, DU Weichao. Research on key technologies for speeding up drilling of ultra-deep shale gas horizontal wells in Da'an block, western Chongqing[J]. Drilling Engineering, 2024,51(4):154-162.

the efficient development of shale gas in Da'an.

Key words: ultra-deep shale gas; horizontal well; drilling speed increase; bit optimization; drilling fluid cooling; Da'an block

0 引言

深层页岩气已逐步成为中国页岩气开发的重要接替领域,对于开创我国页岩气勘探开发新局面和保障国家能源安全具有重要的战略意义^[1]。伴随着四川盆地储层埋深3500 m以浅页岩气实现商业化效益开发,勘探开发正逐渐往泸州、渝西等埋深3500 m以深地区拓展,以期获得深层页岩气的效益开发^[2]。2022年8月,渝西地区大安区块D2H井五峰组-龙马溪组获得深层页岩气工业气流。D2H井位于大安区块临江向斜,龙马溪组底界埋深4100 m,水平段长1500 m,测试日产气量为 $26.43 \times 10^4 \text{ m}^3$,展示出渝西地区大安区块深层页岩气勘探开发的良好前景^[3]。

大安区块深层页岩气勘探开发初期,主要借鉴了昭通、威远、长宁、涪陵和泸州等中深层页岩气区块的钻井完井技术^[4-13]。在涪陵区块,通过优化井眼轨迹、优选钻头和大扭矩螺杆、全金属水力振荡器、使用BT-100低密度强抑制钻井液和油基胶凝堵漏材料等技术措施,将平均钻井周期从128 d缩短至76.25 d^[14];在深层页岩气钻井领域,在泸州区块采用优快钻井技术将区块平均机械钻速由5.61 m/h提高至7.03 m/h,其中泸203井区钻井周期从124.9 d缩短至96.5 d,阳101井区钻井周期从114.3 d缩短至93.9 d^[15]。

四川盆地大安区块目前面临地质工程条件复杂,纵向上压力层系多,井控安全风险高,目的层龙马溪组页岩埋藏深(4000~4500 m),“双甜靶体”厚度薄(0.3~0.5 m),断层、裂缝发育,地层倾角变化频次高,井底温度高(140~165℃)等难点。在钻井工程中面临着导向仪器和钻井液耐温性不足、井眼轨迹控制难度高、井眼清洁困难钻速慢及井下复杂风险高的难题。为此,在分析钻遇地层特征和钻井技术难点的基础上,进行了井身结构优化、高效钻头优选、“铂金靶体”快速识别、水平段降密提速、油基钻井液地面降温、抗高温白油基钻井液体系技术的研究,形成了大安区块超深层页岩气水平井优快钻井技术,有力支撑了该区块深层页岩气安全钻井和钻井提速提效。

1 钻井技术难点

渝西大安区块发育4个背斜构造带,3个向斜构造带,背斜窄,向斜宽,区块整体呈隆洼相间、格挡式构造格局,局部构造复杂、断层发育、地层起伏大、倾角变化程度剧烈(图1)。

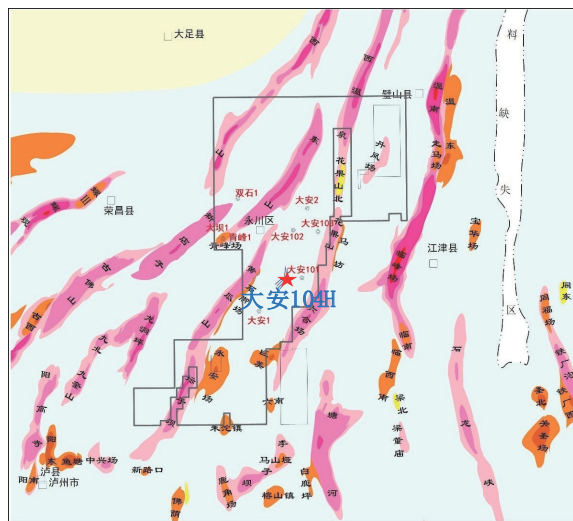


图1 渝西大安区块地理位置

Fig.1 Geographical location of Da'an block in western Chongqing

主要地层为侏罗系沙溪庙组、凉高山组、自流井组;三叠系须家河组、嘉陵江组、飞仙关组;二叠系长兴组、龙潭组、茅口组、栖霞组、梁山组;志留系韩家店组、石牛栏组、龙马溪组。岩性多为紫红色泥岩、灰色粉砂岩、灰色泥质粉砂岩、黑灰色页岩、浅灰色细砂岩、灰色白云质石灰岩、灰色含膏白云岩、灰色泥土质泥岩、灰黑色页岩、黑灰色灰岩等。大安区块纵向上含气层多,嘉陵江组、飞仙关组、长兴组、茅口组、栖霞组、石牛栏组和龙马溪组均属于含气层,地层压力系数为1.70~2.00,井控安全风险高。该区块超深层页岩气水平井钻井主要存在以下4方面技术难点:

(1) Ø311 mm井眼钻遇地层古老、可钻性差、各向异性大、胶结致密、硬度高、研磨性强。其中自流井组层厚450 m左右,地层非均质性强,尤其珍珠冲段,单只钻头钻穿难度大;须家河组层厚500 m左右,岩石石英含量高,研磨性强,单只钻头钻穿难度

大;茅口组二段含燧石,对钻头寿命影响大。

(2)地质地震预测精度不高,邻井资料少,微幅构造及小断层难以识别,预测A靶点垂深误差大,精确入靶难。优质储层厚度薄,“铂金靶体”厚度仅1.4~3.2 m,“双甜靶体”仅0.3~0.5 m,断层、裂缝发育,地层倾角变化频次高,程度剧烈,地震难以准确预测,地质导向精准穿梭难。

(3)高密度钻井液条件下长水平段钻进困难。大安区块页岩气水平井水平段长1400~2300 m,水平段油基钻井液密度高($1.98\sim 2.2\text{ g/cm}^3$),循环泵压高,如大安1H21-X井完钻井深6789 m,最高循环泵压49 MPa。长水平段快速钻进期间岩屑容易形成岩屑床,岩屑床会导致钻具摩阻和转动扭矩增大,不仅影响机械钻速,而且极易引发卡钻等井下故障。

(4)龙马溪组储层温度高,旋转导向仪器易失效。大安区块龙马溪组页岩储层相比长宁、威远区块埋藏更深,垂深达4000~4500 m,储层温度普遍在150℃左右,最高达到165℃。旋转导向仪器长时间处在高温环境下,易发生探管损伤、脉冲器工作异常等问题;温度高于135℃后,有时通过停钻降温可恢复仪器使用,严重时则会导致旋转导向仪器失

效。据统计高温导致仪器失效率达7%~36%,一旦失效就只能通过频繁起下钻来更换仪器,造成钻井周期浪费。

2 钻井提速关键技术

针对渝西大安区块大安104H超深层页岩气水平井的钻井技术难点,从提高机械钻速、提升钻井效率和降低井下事故复杂等方面入手,研究形成了井身结构优化技术、高效钻头优选技术、“铂金靶体”快速识别、水平段降密提速技术、油基钻井液地面降温技术、抗高温白油基钻井液体系技术等。

2.1 井深结构优化技术

渝西大安区块页岩气水平井采用常规四开井身结构(图2)。一开大尺寸钻进中憋跳钻严重,制约了机械钻速提高,严重影响了钻井时效^[16],通过采用工程机空气钻技术,提高机械钻速的同时减少大井眼钻进震动对钻机顶驱等设备的损耗。一开井深结构由原来的150 m优化为80 m。二开表层套管主要封固沙溪庙组垮塌层、窜漏层和浅气层,由原来钻进至须家河组顶部10 m完钻,优化为钻穿凉高山组完钻,二开完钻井深从1540 m更改为1063 m后,减少 $\varnothing 444.5\text{ mm}/\varnothing 406.5\text{ mm}$ 大井眼钻进477 m,二开钻井周期从16.23 d缩短至2.71 d。

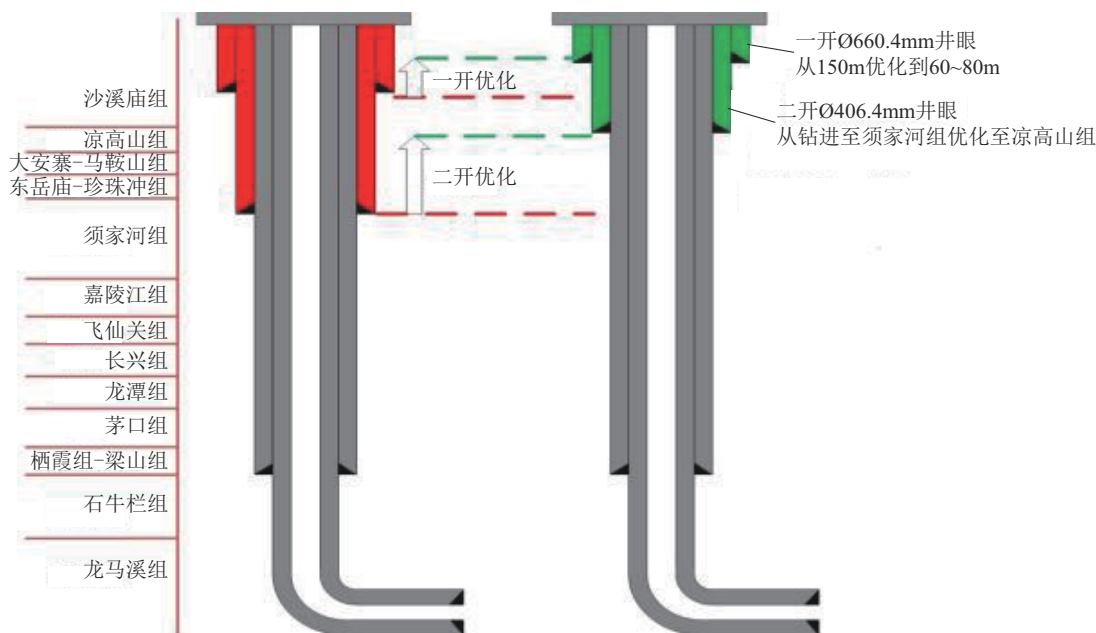


图2 井深结构优化前后示意

Fig.2 Schematic diagram before and after well depth structure optimization

2.2 高效钻头优选技术

针对 $\varnothing 311$ mm井眼钻遇地层层序多、井段长、硬度高、研磨性强等难点^[17];为进一步提高三开机械钻速,缩短三开钻井周期,制定了4趟钻优快方案;三开钻遇自流井组—须家河—嘉陵江—飞仙关—长兴—龙潭—茅口—栖霞—梁山至韩家店多套地层^[18],地层条件复杂,难以用一个型号钻头覆盖整个三开井段,深入分析地层岩性及可钻性后,通过优选高效钻头、改进钻头设计、提高布齿密度、肩部加入异形齿等方式提高钻头抗冲击性和稳定性,进而达到提高机械钻速的目的。

2.2.1 三长两短五刀翼PDC钻头

自流井组底部珍珠冲以及须家河组研磨性较强,因此本段使用KS1652FGRY三长两短五刀翼钻头(图3),该钻头具有中等抛物线攻击性头型,高攻击角度设计,高抗研磨,抗冲击和热稳定性切削齿配置特点;使用锥形齿和异型齿混布,增强钻头穿夹层能力及强化参数的适应能力,提高机械钻速;微螺旋刀翼,深宽水槽,水力优化设计,提高岩屑运移能力及复合片清洗效果。钻进井段1063~1504 m,进尺441 m(自流井—须六段),钻头出井磨损情况:内锥轻微磨损,肩部、规径中度磨损,保径磨损较为严重。原因分析:进入须家河组,岩性为砂岩夹泥岩,研磨性强,导致PDC鼻肩部齿发生磨损。



(a) 钻头使用前 (b) 使用后磨损情况

图3 KS1652FGRY钻头使用情况

Fig.3 Usage of KS1652FGRY drill bit

2.2.2 三长三短六刀翼双排齿PDC钻头

须家河组一趟钻使用KS1662ART三长三短六刀翼双排齿钻头(图4),该钻头具有双排齿设计,异型齿组合技术,抗研磨、抗冲击切削齿配置,提高钻头抗研磨性能;中高密度布齿,高攻击角度设计,提高钻头切削效率,保证钻头机械钻速及使用寿命;优选抗研磨性强的高端进口复合片,改进钻头设



(a) 钻头使用前 (b) 使用后磨损情况

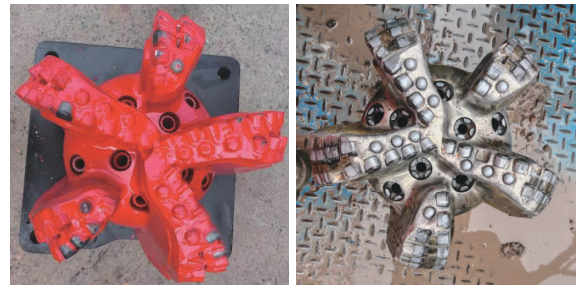
图4 KS1662ART钻头使用情况

Fig.4 Usage of KS1662ART drill bit

计,提升钻头对激进参数的适应性;微螺旋刀翼,横向减震设计,降低横向涡动,防止复合片过早失效。钻进井段1504~1963 m,进尺459 m(须六段—嘉三段),钻遇砂页岩互层地层时,导致钻头复合片磨损严重。

2.2.3 TKC56五刀翼PDC钻头

进入嘉陵江组后更换TKC56五刀翼钻头(图5)进行提速,该钻头配备最新一代ION复合片,复合片采用深脱钻及侧脱钻技术,进一步提升复合片的热稳定性、抗冲击性及抗研磨性能;切削齿表面镜面级抛光打磨处理,降低切削齿表面摩擦,提高机械钻速和剪切效率。钻进井段1963~3181 m,进尺1218 m(嘉三段—茅二段),起出钻头心部齿崩齿1颗,鼻肩部、保径齿部分磨损,分析原因为进入茅口后,钻遇致密灰岩地层时,钻头复合片磨损后发生崩齿。



(a) 钻头使用前 (b) 使用后磨损情况

图5 TKC56钻头使用情况

Fig.5 Usage of TKC56 drill bit

2.2.4 GT65DROs PDC钻头

进入茅口组后更换GT65DROs钻头(图6),该钻头保径加长至152.4 mm,通过增加鼻部和肩部异型齿Razor的数量、减小钻头肩部后排齿高差,内锥改成弯刀齿,进而提高钻头攻击性;双排齿设计,全

保径,延长肩部抛物线长度,提高金刚石含量,提升钻头稳定性和寿命。通过三开优选高效钻头钻进,大安区块三开趟钻数由平均7.47趟降至4.82趟,机械钻速由平均6.62 m/h提升至9.39 m/h,三开钻井周期由平均32.78 d将至23.49 d,降幅达34.44%。

2.3 “铂金靶体”快速识别技术

针对渝西大安区块“铂金靶体”储层薄,断层、



(a) 钻头使用前

(b) 钻头使用后

图6 GT65DROs钻头使用情况

Fig.6 Usage of GT65DROs drill bit

裂缝发育,地层倾角变化频次高,程度剧烈,地震难以准确预测,地质导向精准穿梭难等问题;根据大安区块页岩气评价井的测井、地质等资料,开展页岩气地质—工程“双甜点”储层测井综合评价,获得页岩气“双甜点”储层纵向发育位置^[19];再结合测录井资料,明确自然伽马、铀钍比及硅铝比是页岩气“铂金靶体”快速识别的敏感性参数,其测录井响应特征为:中高自然伽马、高铀钍比和高硅铝比;进一步建立页岩气“铂金靶体”识别标准,综合利用该标准可快速识别出页岩气水平井的“铂金靶体”^[20];钻进中再根据实钻资料及时迭代更新,修正地震模型,为地质导向轨迹调整提供及时参考,定导结合,通过适时调整井斜,提高了轨迹在“双甜点”区(图7)钻进的比例,在保证箱体钻遇率的同时,提高钻速,实现优快钻井。通过应用“铂金靶体”快速识别技术区块平均箱体钻遇率从83.6%提升至97.1%。

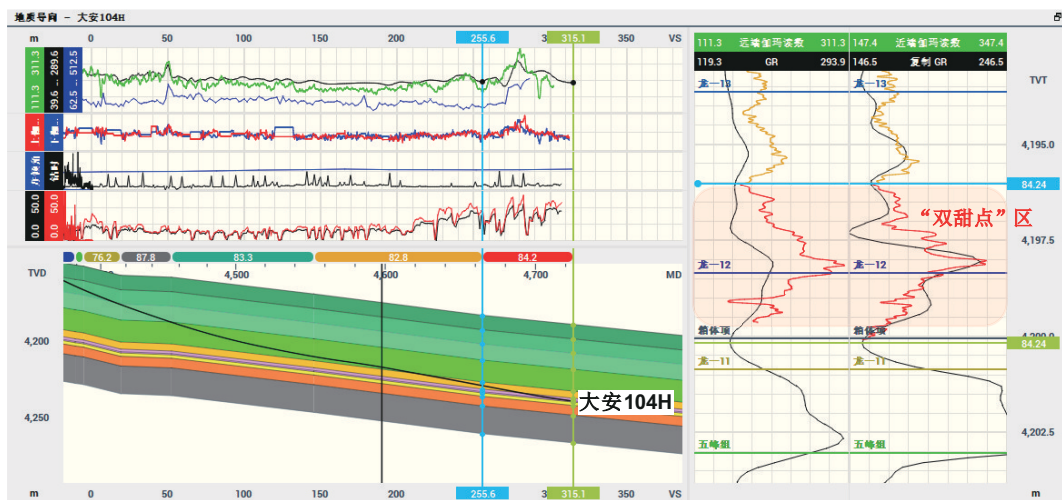


图7 地质—工程“双甜点”区

Fig.7 Geological engineering “double dessert” area

2.4 水平段降密提速技术

针对渝西大安区块龙马溪组储层在高密度钻井液条件下水平段钻进困难的问题。通过将全井 $\varnothing 139.7$ mm 钻杆更换为 $\varnothing 149.2$ mm 钻杆,同时应用IDAS钻井工程优化软件精准计算井底ECD,在保证井控安全和井壁稳定的情况下,不断下探密度低值,

原设计密度为 $2.07\sim 2.27$ g/cm³,参照地层压力系数与邻井密度分析,开始使用密度 1.96 g/cm³为

下限钻进,之后又降低密度至 1.94 g/cm³,降低密度对于降低钻井液固相含量同时降低井温有着十分积极的意义,进而达到降密提速的效果。更换 $\varnothing 149.2$ mm 钻杆可以达到以下4点效果:

- (1)在同等排量下提高了井眼环空返速,提高了返砂效率;
- (2)减小了钻杆内压耗,降低了泵压,减轻了钻井泵的施工压力;
- (3)钻杆内容积增大,钻井液与地层热交换减

少,降低四开后期降温压力;

(4)钻杆环空压耗增加,钻进过程中井底ECD增加,为区块进一步降低密度提供了保障。

大安1H21-X井使用 $\varnothing 139.7$ mm钻杆四开完钻最高泵压达到49 MPa,更换为 $\varnothing 149.2$ mm钻杆的大安1H21-Y井为43 MPa,降低泵压6 MPa,旋转导向仪器温度由158.5℃降低到152℃,钻进钻井液密度由1.97 g/cm³进一步降低到1.94 g/cm³,水平段机械钻速由8.67 m/h提高到11.54 m/h,提速33.1%。

2.5 油基钻井液地面降温技术

为解决水平段钻进期间井底温度高而导致旋转导向仪器失效的问题,采用油基钻井液地面降温设备,钻井液地面降温装置的工作原理是以风冷、喷淋和交互式换热方式为主^[21]。其中,采用“板式/空气换热器+喷淋(强制冷)”的组合降温模式,钻井液降温处理能力满足大排量(>30 L/s)的要求,钻井液地面温度能够降低20℃以上。该模式主要通过冷水循环降低板式换热器中油基钻井液的温度,然后循环水进入凉水塔并通过喷淋(强制冷)方式将所吸收的热量耗散至空气中成为冷水,然后再次循环进入板式换热器。

在大安104H超深井使用油基钻井液地面降温设备后,地面钻井液温度由56℃降至32℃,井下入靶点钻井液循环温度由145℃降至138℃,完钻井深处循环温度降至140℃。采用降温设备后,大安区块 $\varnothing 215.9$ mm井眼造斜段+水平段平均趟钻数由5.6趟减至3.2趟,并在大安1H21平台连续3口井实现旋转导向一趟钻,大大降低了旋转导向仪器因高温导致信号失联的发生率。

2.6 抗高温白油基钻井液体系技术

针对龙马溪组岩性主要为厚层泥岩、页岩,泥页岩层水平层理和裂缝发育,脆性明显,易发生垮

塌的特性优选抗高温油基钻井液体系,其配方为:白油+2.1%三合一乳化剂+2.7%降滤失剂氧化沥青+3.4%生石灰+氯化钙溶液(30%)+3.5%超细碳酸钙+0.03%纳米聚合物+1.5%润湿剂+重晶石(按需),油水比83:17~88:12。

主要性能为:钻井液密度在1.92~1.96 g/cm³,破乳电压1150~1250 V。水平段钻进,为减少摩阻,每柱补充固体润滑剂25 kg,提高润滑性。

具体维护方法:

(1)封堵性:施工时及时与录井进行沟通,提前预判地层岩性变化,对封堵材料优化配比使用,以达到最优封堵效果。

(2)固相控制:振动筛使用240目筛布,保持离心机和一体机的使用效率,在施工过程中,根据含砂及固相变化,做出相应调整。

(3)润湿性:实钻过程中按照每百米0.2 t比例循环补充润湿剂,有利于岩屑成型,比表面积减少更有利于降低损耗。

(4)任何助剂入井,都必须配置成乳液,干粉类助剂杜绝直接入井。

(5)严格把控石粉质量,做到每车必验,尤其监测是否含铁等金属,避免对旋导仪器产生影响。

(6)根据旋导要求,对碱度及低密度固相进行严格控制,碱度2.5~3.0,避免对旋导设备腐蚀,低密度含量≤6%。

2.7 等壁厚螺杆技术

本井二开使用1根螺杆,三开使用3根螺杆,耐受大排量,都涂有抗高温抗盐耐腐蚀碳化钨涂层。二开用 $\varnothing 260$ mm等壁厚螺杆,三开用 $\varnothing 244.5$ mm等壁厚螺杆。等壁厚螺杆使用情况见表1,实物见图8。优选的大扭矩螺杆使用时间均在200 h以内,能确保 $\varnothing 311$ mm井眼4趟钻完钻。

表1 等壁厚螺杆使用情况

Table 1 Usage of screws with equal wall thickness

螺杆型号	螺杆尺寸/mm	输出扭矩/(N·m)	累计使用时间/h	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)
DF7LZ260×7.0	260	40548	65	980.5	52.1	18.82
DF7LZ244×7.0	244	32600	154	900	131.9	6.82
DF7LZ244×7.0	244	32600	136.5	1338	107.05	12.50
DF7LZ216×7.0	216	18040	40	159	26.55	5.99



图8 等壁厚螺杆实物

Fig.8 Actual screw with equal wall thickness

3 生产时效和机械钻速分析

3.1 生产时效分析

大安 104H 井 2023 年 2 月 26 日 02:00 二开钻至 3 月 31 日 06:00 二开钻进生产时间总计 796 h (33.17 d)。其中纯钻进 317.65 h、起下钻 137.8 h、接立柱 16 h、划眼 27.3 h、辅助 71.12 h、循环及测斜 54.93 h、测井 19 h、固井 142.5 h、非生产时间 9.7 h。纯钻时效率 40%，与 大安 101H 井纯钻时效率 28.19% 对比提高了 41.89%，非生产时效同比大安 101H 井 4.3% 降低了 72.1%，本井的生产效率相比 大安 101H 井有很大提高。3 月 31 日 06:00 四开钻至 4 月 22 日 19:00 起出钻头，钻井生产时间总计 541 h (22.54 d)。其中纯钻进 313.63 h、起下钻 78.5 h、接立柱 13.5 h、划眼 69.5 h、辅助 8 h、循环及测斜 57.87 h。纯钻时效率 58.63%。5 月 5 日 1:00 完井，测井 238 h、下套管 43 h、固井 13 h。

3.2 机械钻速对比分析

大安 104H 井与 101H 井钻速对比见表 2 和图 9。

表 2 大安 104H 井与 101H 井钻速对比
Table 2 Comparison of drilling rate between
Da'an Well 104H and Well 101H

开次	井深/ m	进尺/ m	钻时/ h	钻速/ (m·h ⁻¹)	101H 井钻速/ (m·h ⁻¹)
二开	1063	982.17	52.15	18.83	9.97
三开	3460	2397	265.5	9.03	5.07
合计		3379.17	317.65	10.63	6.24

4 现场应用

渝西大安区块大安 104H 超深层页岩气水平井钻井提速技术在大安 1H21 平台 3 口井进行了试验，

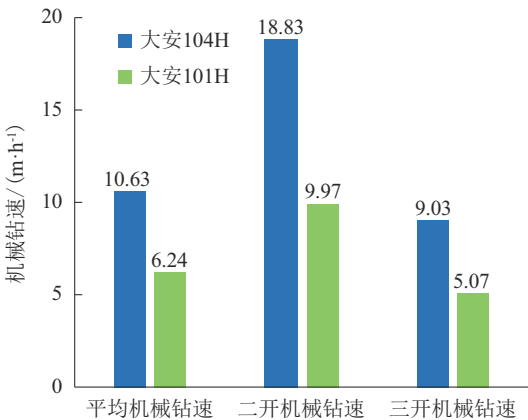


图 9 大安 104H 井与 101H 井钻速对比

Fig.9 Comparison of ROP between Da'an
Well 104H and Well 101H

四开全井段选用三长两短五刀翼双排齿史密斯保径 PDC 钻头。第一趟钻使用 $\varnothing 172$ mm、弯度 1.5° 的螺杆钻具完成直井段施工，第二趟钻选用抗温 165°C 的 NeoSteer 旋导工具+直螺杆，配备地面钻井液降温装置，完成造斜段+水平段施工至完钻。三口井平均完钻井深 6735 m，平均水平段长 2040 m，平均机械钻速 10.22 m/h，较区块平均机械钻速 8.12 m/h 提高 25.86%，平均钻井周期 56.38 d，较同区块平均钻井周期 76.58 d 缩短了 35.83%，创造了垂深 4000 m 以深深层页岩气水平井水平段单日进尺 305 m、连续 3 口井造斜段+水平段一趟钻完钻、单趟钻进尺 2856 m 最长等多项川渝地区施工纪录。大安区块现场应用 3 口井数据见表 3。

5 结论

(1)通过井身结构优化技术、高效钻头优选技术、“铂金靶体”快速识别、水平段降密提速技术、油基钻井液地面降温技术、氯化钾聚合物水基钻井

表 3 大安 1H21 平台钻井施工数据

Table 3 Drilling data of Da'an 1H21 platform

井眼直径/mm	井号	趟钻数	机械钻速/(m·h ⁻¹)	钻井周期/d	平均趟钻进尺/m	单趟最长进尺/m	井深范围/m
311.2	大安 1H21-X	5	9.03	23.50	479.40	1218	1063~3460
	大安 1H21-Y	4	10.73	19.71	599.50	1229	1070~3463
	大安 1H21-Z	6	8.41	26.15	398.83	1267	1070~3468
215.9	大安 1H21-X	2	10.54	22.54	1730.00	2854	3460~6789
	大安 1H21-Y	2	11.11	19.50	1630.50	2789	3463~6720
	大安 1H21-Z	2	10.68	21.77	1041.33	2856	3468~6592

液+抗高温白油基钻井液体体系技术的研究与应用,形成了适用于渝西大安区块深层页岩气水平井钻井提速技术,为该区块深层页岩气水平井高效开发提供了参考。

(2)针对 Ø311 mm 井眼钻遇地层层序多、井段长、硬度高、研磨性强等难点;通过优选高效钻头、改进钻头设计、提高布齿密度、肩部加入异形齿等方式提高钻头抗冲击性能和稳定性,为大安区块深层天然气井进一步提高三开机械钻速,缩短钻井周期提供了重要参考。

(3)针对渝西大安区块“铂金靶体”储层薄,断层、裂缝发育,地层倾角变化频次高,程度剧烈,地震难以准确预测,地质导向精准穿梭难等难点,通过“铂金靶体”快速识别技术,精准快速预测地质-工程“双甜点”,旋导指令次数降幅明显,机械钻速大幅度提升,箱体钻遇率从 83.6% 提升至 97.1%。

参考文献(References):

[1] 贾利春,李枝林,张继川,等.川南海相深层页岩气水平井钻井关键技术与实践[J].石油钻采工艺,2022,44(2):145-152.
JIA Lichun, LI Zhilin, ZHANG Jichuan, et al. Key technology and practice of horizontal drilling for marine deep shale gas in southern Sichuan Basin[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2022,44(2):145-152.

[2] 张成林,张鉴,李武广,等.渝西大足区块五峰组-龙马溪组深层页岩储层特征与勘探前景[J].天然气地球科学,2019,30(12):1794-1804.
ZHANG Chenglin, ZHANG Jian, LI Wuguang, et al. Deep shale reservoir characteristics and exploration potential of Wufeng-Longmaxi Formations in Dazu area, western Chongqing[J]. Natural Gas Geoscience, 2019,30(12):1794-1804.

[3] 舒红林,何方雨,李季林,等.四川盆地大安区块五峰组-龙马溪组深层页岩地质特征与勘探有利区[J].天然气工业,2023,43(6):30-43.
SHU Honglin, HE Fangyu, LI Jilin, et al. Geological characteristics and favorable exploration areas of Wufeng Formation-Longmaxi Formation deep shale in the Da'an Block, Sichuan

Basin[J]. Natural Gas Industry, 2023,43(6):30-43.

[4] 张金成.第一性原理思维法在页岩气革命中的实践与启示[J].钻探工程,2022,49(2):1-8.
ZHANG Jincheng. First principle thinking promotes innovation of shale gas revolution[J]. Drilling Engineering, 2022,49(2):1-8.

[5] 李奎.泸州深层页岩气呼吸性地层井漏堵漏方法及对策分析——以 Y101H3-4 井为例[J].钻探工程,2022,49(5):106-110.
LI Kui. Plugging of breathing formation in deep shale gas wells in Luzhou: Taking Well Y101H3-4 for example[J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):106-110.

[6] 张立新,刘瑞.高密度油基钻井液在阳 101H3-6 井长水平段的应用[J].钻探工程,2021,48(7):79-83.
ZHANG Lixin, LIU Rui. Application of high-density oil-based drilling fluid in the long horizontal section of Well Yang101H3-6[J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):79-83.

[7] 冉启华,赵晗.威远页岩气水平井钻井关键技术及发展方向[J].钻采工艺,2020,43(4):12-15,6.
RAN Qihua, ZHAO Han. Key technology and development direction of horizontal well drilling in Weiyuan shale gas reservoir[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2020,43(4):12-15,6.

[8] 王建龙,冯冠雄,刘学松,等.长宁页岩气超长水平段水平井钻井完井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(5):9-14.
WANG Jianlong, FENG Guanxiong, LIU Xuesong, et al. Key technology for drilling and completion of shale gas horizontal wells with ultra-long horizontal sections in Changning Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020,48(5):9-14.

[9] 宋保健,孙凯,乐守群,等.涪陵页岩气田钻井提速难点与对策分析[J].钻采工艺,2019,42(4):9-12,6.
SONG Baojian, SUN Kai, LE Shouqun, et al. Drilling acceleration challenges at Fuling shale gas field and solutions[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2019,42(4):9-12,6.

[10] 郑述权,谢祥峰,罗良仪,等.四川盆地深层页岩气水平井优快钻井技术——以泸 203 井为例[J].天然气工业,2019,39(7):88-93.
ZHENG Shuquan, XIE Xiangfeng, LUO Liangyi, et al. Fast and efficient drilling technologies for deep shale gas horizontal wells in the Sichuan Basin: A case study of Well Lu 203[J]. Natural Gas Industry, 2019,39(7):88-93.

[11] 李传武,兰凯,杜小松,等.川南页岩气水平井钻井技术难点与对策[J].石油钻探技术,2020,48(3):16-21.

- LI Chuanwu, LAN Kai, DU Xiaosong, et al. Difficulties and countermeasures in horizontal well drilling for shale gas in southern Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(3):16-21.
- [12] 王金磊, 黑国兴, 赵洪学. 昭通 YSH1-1 页岩气水平井钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(4):23-27.
- WANG Jinlei, HEI Guoxing, ZHAO Hongxue. Drilling and completion techniques used in shale gas horizontal well YSH1-1 in Zhaotong Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(4):23-27.
- [13] 张其星, 侯冰, 武安安, 等. 昭通龙马溪组页岩坍塌风险分层研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2023, 40(3):279-288.
- ZHANG Qixing, HOU Bing, WU Anan, et al. Study and application on risk stratification of wellbore collapse for the Longmaxi formation shale in Zhaotong city[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2023, 40(3):279-288.
- [14] 杨海平. 涪陵平桥与江东区块页岩气水平井优快钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(3):13-19.
- YANG Haiping. Optimized and fast drilling technology for horizontal shale gas wells in Pingqiao and Jiangdong Blocks of Fuling Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(3):13-19.
- [15] 李涛, 杨哲, 徐卫强, 等. 泸州区块深层页岩气水平井优快钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2023, 51(1):16-21.
- LI Tao, YANG Zhe, XU Weiqiang, et al. Optimized and fast drilling technology for deep shale gas horizontal wells in Luzhou Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(1):16-21.
- [16] 彭兴, 周玉仓, 龙志平, 等. 南川地区页岩气水平井优快钻井技术进展及发展建议[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(5):15-20.
- PENG Xing, ZHOU Yucang, LONG Zhiping, et al. Progress and development recommendations for optimized fast drilling technology in shale gas horizontal wells in the Nanchuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(5):15-20.
- [17] 李涛, 苏强, 杨哲, 等. 川西地区超深井钻井完井技术现状及攻关方向[J]. 石油钻探技术, 2023, 51(2):7-15.
- LI Tao, SU Qiang, YANG Zhe, et al. Current practices and research directions for drilling and completion technologies for ultra-deep wells in western Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(2):7-15.
- [18] 刘卫中, 石水建, 秦波波. 永川页岩气井 $\Phi 311.2\text{mm}$ 井眼提速技术[J]. 内蒙古石油化工, 2023, 49(1):90-94.
- LIU Weizhong, SHI Shuijian, QIN Bobo. Acceleration technology of shale gas well $\Phi 311.2\text{mm}$ borehole in Yongchuan[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2023, 49(1):90-94.
- [19] 刘清友, 朱海燕, 陈鹏举. 地质工程一体化钻井技术研究进展及攻关方向——以四川盆地深层页岩气储层为例[J]. 天然气工业, 2021, 41(1):178-188.
- LIU Qingyou, ZHU Haiyan, CHEN Pengju. Research progress and direction of geology-engineering integrated drilling technology: A case study on the deep shale gas reservoirs in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(1):178-188.
- [20] 钟光海, 张静, 邱小雪, 等. 基于测录井信息的页岩气“铂金靶体”快速识别技术[J]. 天然气工业, 2023, 43(4):176.
- ZHONG Guanghai, ZHANG Jing, QIU Xiaoxue, et al. Shale gas “platinum target” rapid identification technology based on logging information [J]. Natural Gas Industry, 2023, 43(4):176.
- [21] 李奎. 泸州深层页岩气水平段钻井提速关键技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(5):100-105.
- Li Kui. Key technologies for improving deep shale gas horizontal drilling ROP in Luzhou[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5):100-105.

(编辑 荐华)