

引用本文:何新星,严焱诚,朱礼平,等.四川盆地威荣深层页岩气安全与提速钻井技术[J].石油实验地质,2024,46(3):630-637.DOI:10.11781/sysydz202403630.

HE Xinxing, YAN Yancheng, ZHU Liping, et al. Safety and accelerated drilling technologies for deep shale gas in Weirong of Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2024, 46(3): 630-637. DOI: 10.11781/sysydz202403630.

四川盆地威荣深层页岩气安全与提速钻井技术

何新星¹, 严焱诚¹, 朱礼平², 王希勇¹, 朱化蜀³, 王治国¹

1. 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;

2. 中国石化西南油气分公司非常规油气勘探开发管理部, 重庆永川 402160;

3. 中国石化西南油气分公司页岩气项目部, 重庆永川 402160

摘要:四川盆地威荣页岩气埋深 3 600~3 850 m, 属于典型的深层页岩气藏, 钻井工程面临压力体系复杂、茅口组部分区域断溶体发育、地层可钻性差、龙马溪组地层温度高等难题。针对复杂的地质条件, 以安全与提速钻井为核心, 通过成熟引进与先导试验技术结合的方式, 持续攻关钻井工程工艺技术; 并不断深化过路层段地质认识, 采用一段一策的方案, 提高工程技术的针对性。威荣页岩气田经历勘探评价、开发一期、开发二期 3 个阶段, 形成了以井身结构优化、断溶体避让的轨道设计、井筒压力控制和钻压同步预防压窜干扰为重点的安全钻井技术, 以“二维+小三维”的三维轨道剖面、四位一体地质导向技术、破岩工具优选和钻井参数强化为关键的提速钻井技术。该技术应用于威荣页岩气田 150 余口开发井, 机械钻速由开发初期的 6.32 m/h 提升至 9.12 m/h, 钻井周期由 106.68 d 缩短至 68.75 d, 缩短率为 35.56%, 实现了威荣深层页岩气钻井工程提速降本的目标, 其形成的安全与提速钻井系列技术对同类型气藏开发具有较强的参考意义。

关键词:井身结构优化; 轨道设计优化; 压窜干扰; 钻井技术; 深层页岩气; 四川盆地

中图分类号: TE28

文献标识码: A

DOI: 10.11781/sysydz202403630

Safety and accelerated drilling technologies for deep shale gas in Weirong of Sichuan Basin

HE Xinxing¹, YAN Yancheng¹, ZHU Liping², WANG Xiyong¹, ZHU Huashu³, WANG Zhiguo¹

1. Petroleum Engineering Technology Research Institute,

SINOPEC Southwest Oil and Gas Company, Deyang, Sichuan 618000, China;

2. Unconventional Oil and Gas Exploration and Development Management Department,

SINOPEC Southwest Oil and Gas Company, Chongqing 402160, China;

3. Shale Gas Project Department, SINOPEC Southwest Oil and Gas Company, Chongqing 402160, China

Abstract: The Weirong shale gas in the Sichuan Basin, buried at depths of 3 600–3 850 m, represents a prototypical deep shale gas reservoir. Drilling operations face challenges such as a complex pressure system, developed fault-dissolved bodies in certain areas of the Maokou Formation, poor drillability of formations, and high strata temperatures in the Longmaxi Formation. To address these complex geological conditions, this study focused on the safe and accelerated drilling. By combining mature technologies with pilot testing, continuous efforts were made to advance drilling engineering techniques. Through deepening the understanding of the geology of the passing strata sections, targeted solutions for each section were implemented to enhance the precision of engineering techniques. The Weirong shale gas field had gone through three stages: exploration and evaluation, development phase I, and II. This led to the development of safe drilling technologies that emphasize optimization of well structure, track designs avoiding fault-dissolved bodies, wellbore pressure control, and synchronized drilling and fracturing to prevent interference between wells. Additionally, accelerated drilling technologies were cultivated,

收稿日期 (Received): 2023-08-29; 修订日期 (Revised): 2024-04-03; 出版日期 (Published): 2024-05-28.

作者简介: 何新星 (1991—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事钻井工程技术研究。E-mail: hexinxing11@163.com.

基金项目: 中国石化“十条龙”科技攻关项目 (P18058) 资助。

© Editorial Office of Petroleum Geology & Experiment. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

focusing on a “2D + small 3D” three-dimensional track profile, integrated geological guidance, optimal rock-breaking tools, and enhanced drilling parameters. Applied to over 150 well drillings in the Weirong shale gas field, these technologies increased the rate of penetration from 6.32 m/h at the start of development to 9.12 m/h, reduced the drilling cycle from 106.68 days to 68.75 days (a reduction of 35.56%), achieving the goal of accelerated and cost-effective deep shale gas drilling in Weirong area. These technologies provide significant reference value for the development of similar gas reservoirs.

Key words: well structure optimization; track design optimization; fracturing effect; drilling technology; deep shale gas; Sichuan Basin

国土资源部将埋深 3 500~4 500 m 的页岩气定义为深层页岩气,埋深超过 4 500 m 的为超深层页岩气^[1]。威荣页岩气田是近年来中石化非常规油气开发的主战场之一,区块构造主体部位海拔 300~450 m,储层埋深 3 600~3 850 m,属于典型的深层页岩气^[2-5]。相比涪陵、南川页岩气,威荣页岩气面临的主要问题有:①地层层序增多,压力体系更加复杂,复杂层位更多;②岩石强度增加,可钻性变差;③钻井液密度高,提速难度更大;④地层温度高,增加定向工具故障率^[6-7]。针对这些难题,威荣页岩气田通过井身结构优化、轨道主动避让复杂地质体等方式进行安全钻井;通过破岩工具优选、钻井参数强化提升机械钻速。威荣页岩气田经历了勘探评价,完成了开发一期、二期的钻井工作。本文阐述了威荣深层页岩气钻井工程技术进展,并提出了后续接替井优化建议,对同类型深层页岩气藏钻井工程技术的不断优化和提升具有一定借鉴意义^[8-9]。

1 地质工程特征及难点

威荣页岩气田位于四川盆地川西南坳陷西北部威远构造带南缘的白马镇向斜,其西南为梧桐场背斜,西北为威远背斜,东南为自流井和龙门镇背斜,受到威荣大型穹窿背斜的控制,整体表现为呈北东向展布的宽缓向斜,地层倾角 0.5°~7°。该区地面出露层为侏罗系沙溪庙组,纵向钻遇陆相地层 4 套(沙溪庙组—须家河组)、海相地层 12 套(雷口坡组—五峰组),陆相地层为砂泥岩互层,夹灰岩、页岩及煤线,海相地层为灰岩、泥页岩,夹粉砂岩及少量石膏^[10];地层压力梯度陆相地层为 1.00~1.30 MPa/hm、海相地层为 1.30~1.90 MPa/hm(表 1)。

区域平均地温梯度为 3.00~3.16 °C/hm,地表常年平均温度为 17.9 °C,目的层龙马溪组地层温度约为 132 °C。钻井过程中存在以下技术难点^[11-14]:

表 1 四川盆地威荣页岩气地层压力与地层破裂压力
Table 1 Formation pressure and fracture pressure of Weirong shale gas in Sichuan Basin

地层	地压梯度/ (MPa/hm)	地层破裂压力梯度/ (MPa/hm)
遂宁组/沙溪庙组—新田沟组	1.0~1.10	约 1.8
自流井组—须家河组	1.10~1.30	>1.8
雷口坡组—飞仙关组	1.30~1.50	>2.0
长兴组—龙潭组	1.40~1.50	>2.0
茅口组—石牛栏组	1.40~1.80	>2.3
龙马溪组—五峰组	1.60~1.90	2.2~3.2

(1) 压力体系复杂,易漏易涌。须家河组至栖霞组存在多个压力系统,须家河组、茅口组、栖霞组裂缝发育,同时又不规律发育裂缝性气层,漏喷同存风险大,存在“漏转溢”、“漏转喷”的可能。

(2) 茅口组部分区域存在断溶和层间岩溶。茅口组断溶体发育区域存在恶性漏失,难以采用常规堵漏手段建立循环;恶性井漏与裂缝性气侵,容易导致井控险情,严重影响井下安全与生产时效。

(3) 须家河组、龙潭组、茅口组可钻性差,机械钻速低。须家河组石英含量高,粒度小,胶结致密,可钻性 6~7 级,研磨性 8 级;龙潭组以铝土质泥岩、凝灰质细砂岩为主,铁质含量 9.5%,研磨性强。

(4) 地层温度高,定向仪器抗温性能差。威荣页岩气实钻仪器温度最高达 140 °C 左右,常规抗温 150 °C 定向工具在温度超过 130 °C 后故障率高,严重影响生产时效。

2 安全钻井技术

2.1 优化井身结构控制井控风险

威荣页岩气根据地层三压力、油气水等地质工程特征,设计了三开制井身结构,勘探阶段一开封至须家河组上部,井深约 1 000 m 封隔浅部易漏层;二开封至龙马溪组上部(表 2),封隔茅口组、栖霞组等易漏层位;三开专层专打龙马溪组。

表 2 四川盆地威荣页岩气钻井不同阶段必封点及一开套管选型

Table 2 Mandatory sealing points at different drilling stages and casing selection for the first spudding of Weirong shale gas in Sichuan Basin

项目	勘探阶段	评价阶段	一期开发	二期开发
一开必封点	须家河组上部	自流井组	沙溪庙组中部	沙溪庙组中部
二开必封点	龙马溪组上部	龙马溪组上部	石牛栏组上部	韩家店组上部
一开套管选型	N80	N80	J55/N80	P110

评价阶段为促进提速,缩短 $\Phi 406.4$ mm 大尺寸井眼段长,一开上提至自流井组,井深约 850 m; 开发一期进一步上提至沙溪庙组,井深约 500 m, 满足大尺寸井眼一开一趟钻的目标。龙马溪组上部以及石牛栏组发育高压裂缝性气层,随着一开套管下深缩短,二开井控能力随之降低。为解决缩短大尺寸井眼提速与增加二开井控风险的矛盾,不断优化二开必封点,开发二期初期将二开必封点上调至石牛栏组裂缝气层以上。因区域地质非均质性较强,石牛栏组地层裂缝性气层位置不规律,现阶段将二开必封点上提至韩家店组上部(表 2,图 1)。

此外,一开套管选型从 J55 提升至 N80,再到现阶段 P110(表 2),提高一开套管抗内压强度,保障二开井控安全。

2.2 避让断溶体的轨道设计理念

由于深度大,地震资料对小断层的刻画精度不够,实钻中往往会钻遇断层及断溶体^[14]。W27-8 井在茅口组钻遇断溶体,遭遇严重井漏。该井多次采用桥浆堵漏、固结堵漏等方式进行处理,无法建立有效循环,被迫回填侧钻,累计漏失 1 013 m³ 钻井液,复杂处理用时 57.73 d。针对 W27-8 井出现

的复杂情况,地质工程一体对茅口组进一步剖析与精细刻画,识别出了在 W27-W1#平台区域 1#断层附近发育断溶区(图 2)。

根据地质精细刻画的断溶区,钻井工程对茅口组断溶体发育区域的井设计三维绕障轨道,让实钻轨迹避开断溶体最发育的区域,降低漏失风险与堵漏处理难度。对 W27-3/7 井设计复杂地质体避让轨道,实钻 W27-3 井在茅口组未发生漏失;W27-7 井在茅口组发生漏失,通过桥浆与水泥浆完成堵漏,累计漏失 460 m³,堵漏用时 11.2 d,相比邻井(W27-8 井)取得显著成效。

2.3 旋转防喷器+气滞塞井筒压力控制技术

威荣页岩气二开井段溢漏同存、由漏转喷的风险非常大。考虑提速与减小井漏风险需要降低钻井液密度,这与控制裂缝气层提高钻井液密度相矛盾。针对窄安全密度窗口问题,精细控压钻井是很好的解决方式,但精细控压钻井成本高,页岩气效益开发压力大,不满足降本的需求。为此,从井筒压力控制与成本控制的角度出发,采用旋转防喷器+气滞塞对井筒压力进行控制。主体思路是在井壁稳定的前提下,尽量降低钻井液密度,进入漏

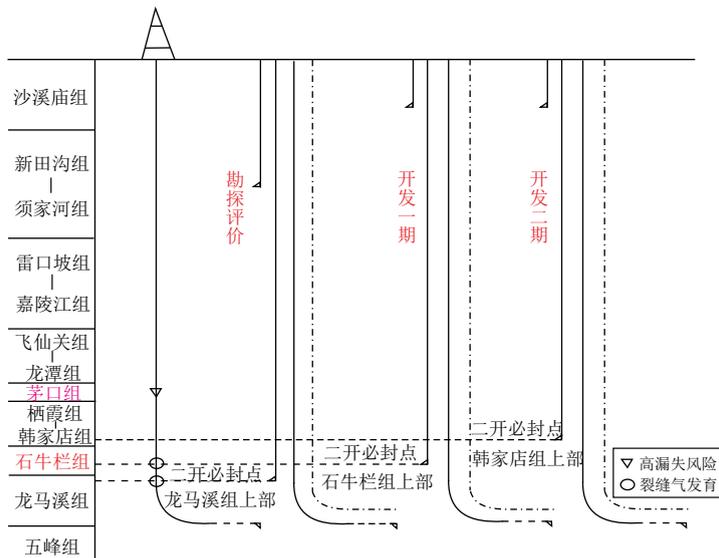


图 1 四川盆地威荣页岩气钻井二开必封点优化历程

Fig.1 Optimization history of mandatory sealing point for second spudding of Weirong shale gas well in Sichuan Basin

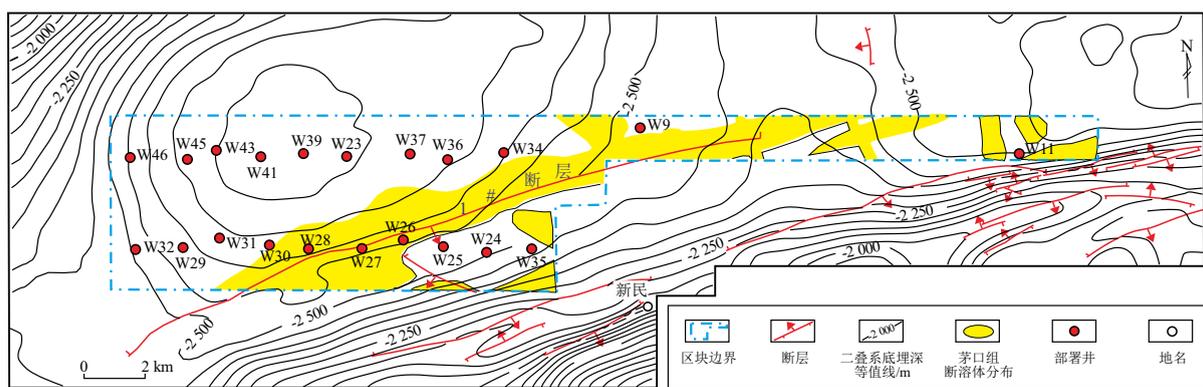


图2 四川盆地威荣页岩气田茅口组断溶体分布示意

Fig.2 Distribution of fault-dissolved bodies in Maokou Formation of Weirong shale gas field, Sichuan Basin

层前强化钻井液封堵性能,发生漏失后以随钻堵漏为主;钻遇气层后通过旋转防喷器循环排气,为保证起钻过程中的井控安全,起钻前在气层之上打300~500 m气滞塞,下钻过程中采用分段循环排气的方式保证井控安全。井筒压力控制流程图见图3。

通过应用旋转防喷器+气滞塞井筒压力控制技术,威荣页岩气二开钻井液密度降低约0.2 g/cm³,同时避免了前期处理气侵时卡钻的情况;三开平均单井减少循环排气时间约2 d。

2.4 钻压同步技术方案

威荣页岩气井水平段井间间距为250~400 m,产能建设过程中存在钻压同步情况。在裂缝较为发育的区域,压裂缝沟通天然裂缝(W2井最高压裂半缝长在123~151 m左右^[15]),将压力与压裂液传递到邻井,会发生压窜现象。

W23平台在压裂施工期间,相邻平台W39-3井三开钻进,钻井过程中立管压力出现突然上涨,扭矩异常憋停顶驱,倒划过程中发生卡钻;同平台邻井W39-7井及时起钻至套管内,对W39-7井钻

井液取样检测,发现含有压裂材料成分。W39-3井发生卡钻后解卡无效,通过爆炸松扣、回填侧钻处理,累计用时138.85 d;W39-7井处理受污染井筒用时61.88 d,处理排污452 m³。

为降低压窜对三开钻井的干扰,采用钻压同步安全施工技术方案,建立预警机制并制定对应处置措施,由被动处理变为主动应对。首先建立工区全专业信息平台,及时掌握工区钻井和压裂工况,尽量避免对正在施工三开的邻井进行压裂。其次,重点监测邻井有正在压裂的施工井的钻井液性能和钻井参数,根据异常情况分级预警,并采取对应措施。一级预警,发现扭矩泵压异常,带泵上提钻具、循环观察;二级预警,测量返出钻井液的破乳电压、油水比和密度,如果出现降低,快速上提钻具至安全井段,敞井观察或关井求压,并同步采集钻井液样品送检。若确认井下发生压窜,提高钻井液密度,同时结合小型实验补充胶液、采取地面循环混配等措施,维持钻井液性能稳定,做好压井及通井处理。

威荣页岩气开发阶段完钻150余口井,压窜影响了5个平台9口井钻井作业,累计损失时间250.86 d(表3)。2019年12月实施钻压同步技术方案之后,压窜导致的钻井复杂逐渐减少。

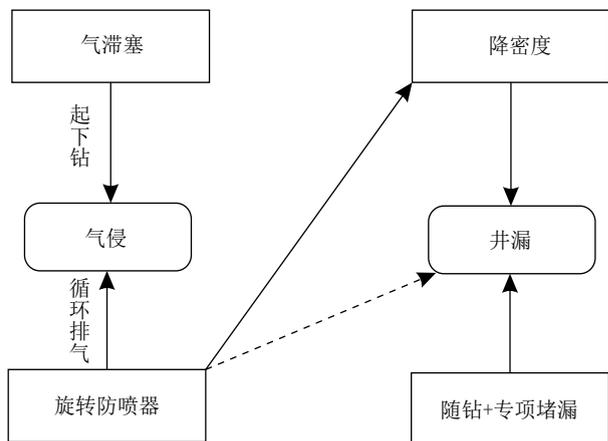


图3 井筒压力控制示意

Fig.3 Schematic diagram of wellbore pressure control

表3 四川盆地威荣页岩气钻井受压窜影响的统计
Table 3 Statistics of fracturing effect on drilling of Weirong shale gas, Sichuan Basin

井数	发生时间	窜压类型	复杂情况	损失时间/d
2	2019-10	气窜+液窜	卡钻、复杂	200.73
1	2019-11	液窜	复杂	2.67
1	2019-12	气窜	复杂	14.85
1	2020-01	气窜+液窜	复杂	19.58
1	2020-05	液窜	复杂	3.63
1	2020-06	气窜	复杂	9.4
1	2022-05	液窜	复杂	
1	2022-06	液窜	复杂	

3 钻井提速技术

3.1 三维轨道设计与轨迹控制技术

3.1.1 三维轨道设计

页岩气开发采用丛式井组,针对三维轨道,威荣页岩气在不同阶段根据轨迹控制工艺进行优化调整。评价及一期开发初期,旋导工具较少,更多地采用滑动定向工艺,为降低轨迹控制难度,三维轨道采用“双二维”剖面设计。“双二维”剖面将三维轨道分解为 2 个二维剖面,只需要进行增降斜,不用扭方位,采用常规定向工艺能够满足施工要求。一期开发中后期以及二期开发阶段,三开定向工艺设计全旋导,旋导工具增加了轨迹控制能力,为进一步提速,将“双二维”剖面优化为“二维+小三维”剖面(图 4)。

“二维+小三维”剖面的设计思路,通过较小角度的造斜段与稳斜段进行二维消偏,通常控制在 25° 以内,消除三维轨道的大部分偏移距;三开充分利用旋导工具优异的轨迹控制能力,进行增斜扭方位,采用小三维着陆,通常井斜 60° 以深井段的扭方位控制在 10° 以内。“二维+小三维”的优势在于增斜之后不用降斜,减少定向工作量,提高了机械钻速,轨迹更为平滑。

通过模拟计算表明,与“双二维”轨道剖面相

比,“二维+小三维”轨道定向工作量减少 27.75%, 钻井扭矩减少 3%~8%, 摩阻降低 10%~12% (表 4)。

3.1.2 轨迹控制技术

二开直井段采用“ $\Phi 244$ mm 弯螺杆 $0.75^\circ \sim 1^\circ + \Phi 308$ mm 扶正器 + MWD”预弯曲防斜钻具组合,既能控制井斜,也能提高机械钻速。二开造斜段采用“ $\Phi 216$ mm 弯螺杆 $1^\circ \sim 1.5^\circ + \Phi 290 \sim 308$ mm 螺旋尾扶”钻具造斜至 $5^\circ \sim 8^\circ$, 然后利用钻具组合力学特性,采用复合钻自然增斜,减少滑动钻进。二开稳斜段采用微降斜钻具,稳斜钻至二开中完井深,二开钻趟数由 6~9 趟减少至 3~5 趟。

三开造斜段+水平段采用旋转导向工具,优化入窗轨迹,采用稳斜探顶、复合入窗的轨迹控制方式,增强应对储层变化、垂深调整的主动性,基本实现了一次性入靶。采用“地震预测+随钻 GR+元素录井+精细建模”四位一体地质导向技术,不仅保证了轨迹平滑,同时实现了优质储层的动态预测,及时优化调整水平井轨迹,确保优质页岩储层的钻遇率达 98% 以上^[16-17]。

3.2 破岩工具优化选型

对须家河组、龙潭组、茅口组、栖霞组、韩家店组、石牛栏组、龙马溪组等层位露头进行取样,开展岩石可钻性测试,建立区块的岩石可钻性剖面。除

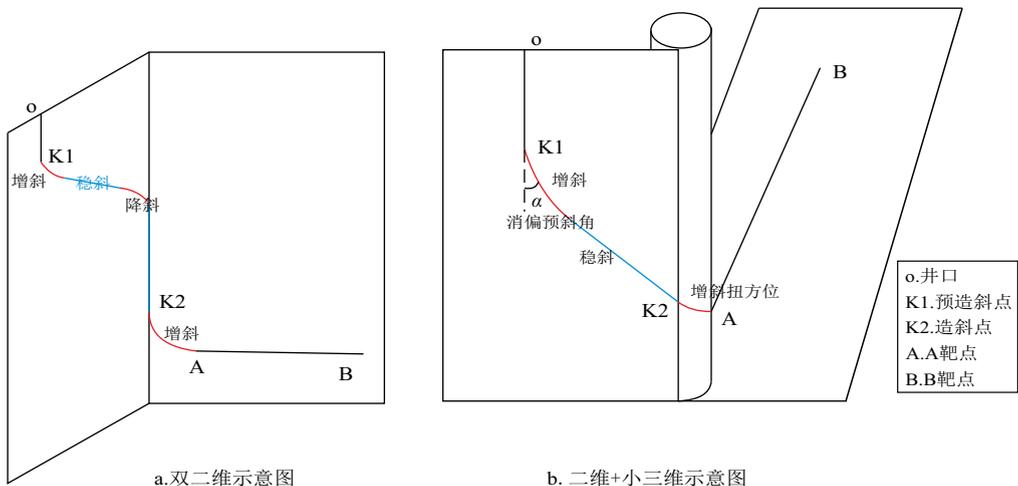


图 4 四川盆地威荣页岩气钻井三维轨道剖面示意

Fig.4 Schematic diagram of 3D track profile of Weirong shale gas wells in Sichuan Basin

表 4 四川盆地威荣页岩气钻井不同类型三维轨道剖面参数对比

Table 4 Comparison of parameters for different types of 3D track profiles of Weirong shale gas wells in Sichuan Basin

剖面类型	井深/m	定向段长/m	起钻摩阻/kN	下钻摩阻/kN	钻进扭矩/(kN·m)
二维+小三维	5 748.56	721.57	267	332	25.9
双二维	5 772.66	998.81	302	337	26.8

韩家店组为软地层外,须家河组—龙马溪组硬度均为中软—中硬级别。PDC 可钻性级值为 4.00~7.00,常压与围压条件测试差异不大;牙轮可钻性级值常压测试为 4.50~6.30,平均 4.95;围压条件测试为 5.80~9.60,平均 8.28,围压对可钻性测试结果影响较大^[10]。

根据威荣区块岩石可钻性特点,开展异型齿破岩、新型混合破岩结构机理等多项技术研究,针对性优选了个性化钻头,分井段、分层位建立威荣区块全井段钻头序列。

(1)遂宁组—沙溪庙组岩性以砂岩为主,夹少量页岩,可钻性较好,提升钻头攻击性和吃入能力是提速的关键。PDC 钻头选型采用小倾角、大齿间距布齿,提高攻击性;使用六刀翼、平稳切削结构设计;肩部二排应用“锥形齿”技术,预破碎地层,同时提高钻头抗冲击性。

(2)沙溪庙组下部—雷口坡组上部:自流井组及须家河组泥砂层交替频繁,地层软硬交错,局部含石英硬夹层,PDC 复合片易崩齿后磨损。针对陆相砂岩致密,形成的钻头优化技术如下:①肩部二排“锥形齿”,预破碎地层,同时提高钻头抗冲击性;②主刀翼提高稳定性,水力结构优化,适合强化参数钻进;③在原切削结构的基础上,优选三棱齿,增强钻头切削齿的攻击性。

(3)雷口坡组—飞仙关组:雷口坡组与嘉陵江组以灰岩、白云岩为主,整体可钻性较好,加强钻头攻击性;针对嘉陵江组底部致密泥膏岩、飞仙关组强塑性砂泥岩,采用宽顶尖齿与圆齿组合,通过尖齿的犁削和圆齿的剪切 2 种破岩方式复合破岩,提升破岩效率。

(4)龙潭组—韩家店组:龙潭组含紫红色泥岩、铝土质泥岩,膏岩和泥岩质纯,塑性强,常规 PDC 钻头吃入效果差,机械钻速低。茅口组、栖霞组岩性以灰岩为主,含黄铁矿、隧石结核,冲击性和研磨性强,PDC 易崩片和磨损,导致环磨。梁山组—韩家店组为灰色泥岩、绿灰色泥岩,质纯、塑性强,针对硬塑性地层,采用“斧形齿”或“斧形齿+三

棱齿”结构,提高攻击性,增强抗冲击能力。斧形齿、三棱齿等采用脊状结构,以剪切+挤压方式破岩,同等钻压下,比平面齿吃入深度更深,犁削作用明显。室内试验表明,斧形齿岩屑粒径更粗,切削效率更高。有限元分析表明,切削相同体积岩石,斧形齿消耗能量更低,仅为平面齿的 85%,破岩能力更强。

(5)石牛栏组—龙马溪组:石牛栏组和龙马溪组整体可钻性较好,造斜段应用旋导配合 PDC 钻头,水平段选用强攻击 PDC 钻头。

为保证钻头的破岩效率,在钻头优选的基础上,配套大扭矩螺杆,提供较高的破岩能量,减少黏滑效应,更好地保护钻头,从而提高钻头的单趟进尺,螺杆选型推荐见表 5。

此外,针对茅口组易恶性漏失,螺杆通过能力差的问题,进入茅口组前起钻更换扭力冲击器兼顾提速与井漏复杂处理。扭冲工具的通过能力更强,可边堵漏边钻进,不需起钻专项堵漏;同时能提供周向与轴向的冲击载荷,进行复合冲击破岩,提高破岩效率。

3.3 钻井参数强化与设备配套

钻井参数直接影响机械钻速,通过强化钻井参数,增强水力机械联合破岩效率。参数强化的总体思路是大排量、大钻压、高转速、高泵压,但在不同井段强化项有侧重:上部井段侧重排量与转速;中部地层侧重钻压与转速;水平段更加侧重转速与高泵压。

通过升级设备保证钻井参数的强化(表 6),装备具体配套如下:(1)配备 3 500 kN 以上顶驱,顶驱使用金属密封冲管总成,提高冲管耐冲、耐压能力;(2)配备 52 MPa 钻井泵,配套 70 MPa 高压管汇,提高水力参数,增强井眼净化能力;(3)SCR 房匹配相应的控制装置,满足大排量施工需要,杜绝过载跳闸故障和进线电缆过热情况发生,提高供电系统稳定性,配置高压网电系统;(4)配置 3 200 kVA 无功补偿房,提高功率因数,降低网电成本费用,提高电能利用率;(5)提升固控设备配置:①配

表 5 四川盆地威荣页岩气钻井螺杆选型推荐

Table 5 Recommended mud motor selection for Weirong shale gas wells in Sichuan Basin

井眼尺寸/mm	螺杆型号	螺杆类型	工作扭矩/(kN·m)
Φ406.4	7LZ×244-7.0DW	0.5°~0.75°单弯	23
Φ311.2	直井段	7LZ×244-7.0DW	0.75°~1.25°单弯
	斜井段	7LZ×216-7.0DW	1.25°~1.5°单弯
Φ215.9	Y7LZ172×7.0IV	1.25°~1.5°单弯	7.6

表 6 四川盆地威荣页岩气不同阶段钻井参数强化
Table 6 Drilling parameter strengthening at different stages of Weirong shale gas in Sichuan Basin

开次	钻井参数	装备配套升级前	装备配套升级后	强化提升率/%
一开	钻压/kN	40~100	60~120	28.57
	转速/(r/min)	50~60	60~80	27.27
	排量/(L/s)	60~65	60~70	4.00
二开	直井段 钻压/kN	60~140	100~160	14.29
	转速/(r/min)	60~70	60~80	7.69
	排量/(L/s)	55~60	60~65	8.69
斜井段	钻压/kN	60~120	80~160	14.29
	转速/(r/min)	50~60	60~80	27.27
	排量(L/s)	50~55	55~60	9.52
三开	旋导 钻压/kN	60~120	80~140	22.22
	转速/(r/min)	50~70	60~80	16.67
	排量/(L/s)	28~30	30~32	6.90
常规	钻压/kN	80~140	100~160	18.18
	转速/(r/min)	60~80	70~90	14.29
	排量/(L/s)	28~30	30~35	16.66

备 3 台高频振动筛或负压振动筛(二开 ≥ 180 目、三开 ≥ 200 目),提高一级固控能力;②配备高、低速双级离心机,提高三级固控、清除有害颗粒能力。

4 现场应用

威荣页岩气田从 2015—2017 年进行勘探评价,2018 年底开始一期开发,2020 年二期开发,钻井工程提速技术不断迭代提升,形成 3.0 版提速推荐作法。根据钻井提速关键技术的应用,开发阶段完钻 150 余口井,机械钻速由 6.32 m/h 提升至 9.12 m/h,钻井周期由 106.68 d 缩短至 68.75 d,钻井周期缩短 35.56%。近三年平均钻井周期 70 d 左右,钻井周期 65 d 以内占比 23.75%,2 口井在 50 d 以内完钻,实现了威荣深层页岩气钻井工程提速降本的目标(图 5)。

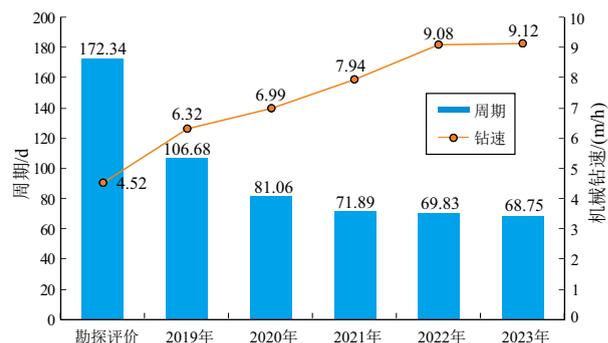


图 5 四川盆地威荣页岩气不同阶段钻井周期指标

Fig.5 Drilling cycle indicators of Weirong shale gas at different stages in Sichuan Basin

5 结论与建议

(1) 针对威荣深层页岩气工程地质特征形成的安全与提速钻井技术具有较好的适应性,取得了显著的提速成效,可为川南地区资源占比高、面积分布广的深层页岩气的勘探开发提供技术借鉴。

(2) 三开设计旋导,受高温、高密度条件限制,旋导故障较高,而且定向费用高,下一步建议对“二维+小三维”剖面进一步优化,满足常规定向工艺施工,降低定向费用。

(3) 威荣深层页岩气受地质条件限制,钻井提速目前处于瓶颈状态,为促进效益开发,下一步重点工作在于降本,对接替井开展井身结构瘦身试验,从而降低钻井工程费用。

利益冲突声明/Conflict of Interests

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors disclose no relevant conflict of interests.

作者贡献/Authors' Contributions

何新星负责文章整体撰写;严焱诚负责文章审核与指导;朱礼平负责轨道优化设计与复杂地质体轨道绕障内容;王希勇完成区域地质工程特征与难点分析;朱化蜀负责压窜防干扰与参数强化部分内容;王治国参与论文写作与修改。所有作者均阅读并同意最终稿件的提交。

The overall writing of the paper was carried out by HE Xinxing. The article review was completed by YAN Yancheng. The track optimization design and the complicated geological body track barrier relief were completed by ZHU Liping. The geological engineering characteristics and difficulties were analyzed by WANG Xiyong. The fracturing effect prevention and parameter strengthening were completed by ZHU Huashu. WANG Zhiguo participated in the writing and revision of the paper. All authors have

read the last version of the paper and consented to its submission.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部.页岩气资源/储量计算与评价技术规范: DZ/T 0254-2014[S].北京: 中国标准出版社, 2014.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Regulation of shale gas resources/reserves estimation: DZ/T 0254-2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [2] 睢圣, 沈建文, 李显垚, 等. 威荣深层页岩气水平井钻井提速关键技术[J]. 石油和化工设备, 2022, 25(9): 106-109.
SUI Sheng, SHEN Jianwen, LI Yuyao, et al. Key technology of ROP increase for horizontal well drilling in Weirong deep shale gas oilfield[J]. Petro & Chemical Equipment, 2022, 25(9): 106-109.
- [3] 林永学, 甄剑武. 威远区块深层页岩气水平井水基钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(2): 21-27.
LIN Yongxue, ZHEN Jianwu. Water based drilling fluid technology for deep shale gas horizontal wells in block Weiyuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 21-27.
- [4] 兰凯, 董成林, 李光泉, 等. 威荣深层页岩气田水平段安全提速技术对策[J]. 断块油气田, 2023, 30(3): 505-510.
LAN Kai, DONG Chenglin, LI Guangquan, et al. Technical strategy to enhance drilling speed safely of horizontal section for deep shale gas field in Weiyuan-Rongchang Block[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2023, 30(3): 505-510.
- [5] 王兴文, 缪尉杰, 何新星, 等. 川南威荣气田深层页岩气工程技术进展[J]. 石油实验地质, 2023, 45(6): 1170-1177.
WANG Xingwen, MIAO Weijie, HE Xinxing, et al. Progress in deep shale gas engineering technology in Weirong gas field in southern Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(6): 1170-1177.
- [6] 潘军, 刘卫东, 张金成. 涪陵页岩气田钻井工程技术进展与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 9-15.
PAN Jun, LIU Weidong, ZHANG Jincheng. Drilling technology progress and recommendations for the Fuling shale gas field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 9-15.
- [7] 张国荣, 王俊方, 张龙富, 等. 南川常压页岩气田高效开发关键技术进展[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(3): 365-376.
ZHANG Guorong, WANG Junfang, ZHANG Longfu, et al. Key technical progress in efficient development of Nanchuan normal-pressure shale gas field[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(3): 365-376.
- [8] 曾文金. 深层页岩气开发工程技术进展[J]. 石油科学通报, 2019, 4(3): 233-241.
ZENG Yijin. Progress in engineering technologies for the development of deep shale gas[J]. Petroleum Science Bulletin, 2019, 4(3): 233-241.
- [9] 孙仲忠, 陶谦, 周仕明, 等. 丁山区块深层页岩气水平井固井技术[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(3): 55-60.
SUN Kunzhong, TAO Qian, ZHOU Shiming, et al. Cementing technology for deep shale gas horizontal well in the Dingshan block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(3): 55-60.
- [10] 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.
- [11] 臧艳彬. 川东南地区深层页岩气钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(3): 7-12.
ZANG Yanbin. Key drilling technology for deep shale gas reservoirs in the southeastern Sichuan region[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(3): 7-12.
- [12] 杜洋, 倪杰, 雷炜, 等. 威荣深层页岩气井油管最优参数设计研究[J]. 油气藏评价与开发, 2022, 12(3): 526-533.
DU Yang, NI Jie, LEI Wei, et al. Optimum time of tubing installation in deep shale gas wells of Weirong[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(3): 526-533.
- [13] 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.
- [14] 郭彤楼, 熊亮, 雷炜, 等. 四川盆地南部威荣、永川地区深层页岩气勘探开发进展、挑战与思考[J]. 天然气工业, 2022, 42(8): 45-59.
GUO Tonglou, XIONG Liang, LEI Wei, et al. Deep shale gas exploration and development in the Weirong and Yongchuan areas, south Sichuan Basin: progress, challenges and prospect[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(8): 45-59.
- [15] 赵勇, 李南颖, 杨建, 等. 深层页岩气地质工程一体化井距优化: 以威荣页岩气田为例[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(3): 340-347.
ZHAO Yong, LI Nanying, YANG Jian, et al. Optimization of deep shale gas well spacing based on geology-engineering integration: a case study of Weirong shale gas field[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(3): 340-347.
- [16] 祝效华, 李瑞, 刘伟吉, 等. 深层页岩气水平井高效破岩提速技术发展现状[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2023, 45(4): 1-18.
ZHU Xiaohua, LI Rui, LIU Weiji, et al. Development status of high-efficiency rock-breaking and speed-increasing technologies for deep shale gas horizontal wells[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2023, 45(4): 1-18.
- [17] 熊亮, 赵勇, 魏力民, 等. 威荣海相页岩气田页岩气富集机理及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2023, 44(8): 1365-1381.
XIONG Liang, ZHAO Yong, WEI Limin, et al. Enrichment mechanisms and key exploration and development technologies of shale gas in Weirong marine shale gas field[J]. Acta Petroli Sinica, 2023, 44(8): 1365-1381.