

花页 1-1HF 井长水平段页岩油钻井技术

胡忠涛

(中石化华东石油工程有限公司江苏钻井公司, 江苏 扬州 225000)

摘要 为提高页岩油水平井产量, 大多水平段长, 井眼轨迹复杂, 随着苏北盆地页岩油开发力度的加大, 页岩油钻井机械钻速低、钻井周期长以及断层多、地层破碎所导致的轨迹控制难度大、储层钻遇率低等问题也越来越突出。本研究通过分析江苏油田首口页岩油示范井花页 1-1HF 的钻井难点和关键技术, 探讨了二开增斜段和水平段的高效钻头、旋转导向、负压振动筛以及激进钻井参数等工具和技术的应用效果, 总结了花庄区块页岩油长水平段钻井的提速提效经验措施, 以期为提高机械钻速、降低非生产时间提供参考。

关键词 页岩油; 提速提效; 旋转导向; 负压振动筛; 钻井参数

中图分类号: TE2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.028

0 引言

页岩油是指以吸附或游离状态赋存于页岩层微小孔隙中的自生自储、连续分布的石油聚集, 是重要的石油接替资源。苏北盆地地层泥页岩发育, 有机质丰富, 演化程度高。在勘探过程中, 苏北盆地泥页岩层里清晰可见明显的油气显示, 这意味着该盆地在地质条件上完全满足泥页岩油气成藏的要求。近年来, 江苏油田先后在花庄区块部署多口页岩油井施工并取得了良好的钻探成果, 但由于花庄页岩油区块地质构造复杂, 小断层发育, 岩性层位判断难, 施工中轨迹调整频繁, 施工难度大, 也对钻井工艺水平提出了更高的要求。对此, 本文针对江苏油田首口页岩油示范井花页 1-1HF 井开展了钻井提速提效难点分析, 并提出技术对策, 为加快苏北页岩油的勘探开发提供理论基础和技术指导。

1 花页 1-1HF 井基本情况及钻井难点

1.1 设计基本情况

花页 1-1HF 井位于高邮凹陷内坡带花庄构造, 设计井深 6 011.42 m, 垂深 4 052.78 m, 设计井身轨迹为二维+小三维, 造斜点 2 550 m, 最大井斜角 92.55°, 最大水平位移 2 419.98 m, 水平段长 2 057.31 m。采用“导管+二开制”井身结构, 如表 1 所示。

1.2 钻井难点

1. 阜宁组泥岩易垮塌。四尖峰—七尖峰粘土矿物含量高, 粘土敏感性强, 易水化, 同时还存在破碎地层, 断层裂缝发育, 钻井液长时间浸泡井壁, 易造成井壁剥落掉块和垮塌, 形成起下钻阻卡, 增大钻井风险。

表 1 花页 1-1HF 井设计井身结构表

开钻次序	井深 (m)	井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)	备注
导管	260	406	339.7	封固地表松软地层
一开	2 500	311.1	244.5	封住盐城组、三垛组、戴二段等不稳定地层
二开	6 011.42	215.9	139.7	—

2. 轨迹控制难度大。花页 1-1HF 井目的层埋藏深, 轨迹采用三维偏移距设计, 设计水平段长, 水平段设计有四个控制靶, 地层倾角 10~18°, 水平段整体上倾, 使得后期井下摩阻和扭矩大, 钻压传递困难, 长水平段定向调整轨迹易出现托压、憋泵现象, 且水平轨迹上可能存在微断层, 轨迹可能调整频繁, 进而影响时效。

3. 井控风险高。阜二段地层油气活跃, 可能存在高压和异常高压, 且邻井花页 1HF 井大型压裂返排开采产生裂缝沟通, 高压层易导致压裂液侵入, 造成水窜、油气窜, 施工过程中可能导致井壁失稳、地层出水等风险。

4. 井底温度高。该井井底最高温度达 130~140 °C, 对随钻仪器、螺杆等工具抗温性、稳定性要求高。

2 钻井关键技术

2.1 导向钻井技术

花页 1-1HF 井造斜段设计三维扭方位轨迹, 若采用常规滑动导向的钻井方式, 工具面调整困难, 施工周期长。邻井花页 3HF 井造斜段采用螺杆钻具滑动钻

进,机械钻速仅为2.6~3.2 m/h,平均日进尺50 m/d。相比之下,旋转导向钻井技术可全程旋转钻进,仅用一套钻具就能实现造斜、增斜、稳斜等井眼轨迹的控制与调整。该技术具备低摩阻扭矩、强水平段延伸能力,不仅钻井效率高、井眼轨迹控制精准,而且井身质量好,井眼净化效果也十分出色^[1]。

针对花页1-1HF井增斜和水平段钻井难点,采用斯伦贝谢Power Drive Archer旋转导向系统,该系统是一种混合了传统推靠式和指向式的旋转导向工具,可在全旋转模式下实现高造斜率安全钻进,还具有井眼轨迹控制精确、耐用性好、可实时监测井下参数等特点。花页1-1HF井于2022年6月9日下入旋转导向钻具组合,至6月18日起出,完成进尺1 144 m,顺利实现造斜段增斜扭方位钻进,克服了常规螺杆滑动造斜时工具面波动、托压、造斜率偏低的难题。

从井身轨迹上,在定向段确保了平稳入窗,保证了水平段精准入靶,水平段轨迹始终保持在层内穿行,靶窗箱体钻遇率100%,实现了对轨迹的精确控制,在进入水平段(3 973 m)后,全角变化率维持在较低水平,最大全角变化率3.88°/30 m,确保了井眼轨迹平滑。

2.2 高效钻头+振荡螺杆优快钻井技术

2.2.1 高效钻头优选

复合钻进效果很大程度上取决于PDC钻头的选型。花庄区块地层的戴南组至阜宁组存在大段泥页岩,其中常常夹杂着大颗粒的砾石层。金刚石复合片抗冲击载荷能力较弱,钻进使用常规的PDC钻头,砾岩会对切削齿造成很强的冲击力,致使切削齿极易破损。只要切削齿出现细微的结构性损坏,短短30分钟内就会被彻底击碎,导致钻头损坏,最终降低钻进速度。邻井花页1HF井由于钻头选择不当,PDC切削齿磨损严重,存在断齿、掉齿,部分钻头出现了极为严重的环磨情况,致使钻进时机械钻速低下,单个钻头的钻进进尺较短,并且钻头的数量消耗量较多,二开钻进共使用钻头8只,钻头应用效果差。

为延长钻头使用寿命、减少钻头磨损,花页1-1HF井在分析地层可钻性的基础上针对PDC钻头外形、结构等进行优选,采用带有斧形齿的PDC钻头。在结构

设计上,常规PDC钻头采用的是圆柱形单一工作面结构,而斧形PDC切削齿则创新地设计为具有两个工作面的斧形脊状结构。这一独特设计赋予了斧形齿更为锋利的切削形态,使其在作用于地层时,能同时发挥剪切与挤压的双重功效。当破碎岩石时,斧形齿的斧刃能够在其前方岩石内部催生一个剪应力集中区域,让岩石更易于发生剪切破坏。在相同的作业条件下,斧形齿切入地层的深度远超常规平面齿,钻头切削效率因而显著提升。不仅如此,斧形齿还具备更厚的金刚石层,这一特性极大地增强了它的抗冲击性能,有效减少了齿崩片与磨损的状况,大幅拓展了复合片在不同地层条件下的适用性,特别是在硬地层和研磨性地层中,钻头的钻进效率得到了极大的提高^[2]。

花页1-1HF井二开第一趟钻使用“尖峰”KSD1652 AGRX钻头,其鼻尖部的主切屑齿布置有最新型内凹斧形齿,可大幅提高钻头的攻击性和抗冲击性;造斜段为配合旋转导向钻井系统实现高的造斜率,使用与旋转导向适配的史密斯XS516PDC钻头,采用双排斧形齿结构,并针对高造斜率工具采用最新一代高抗冲击PDC复合片,具有强攻击性和高稳定性,耐磨能力和抗冲击能力强、稳定性好,定向工具面稳定;水平段在旋导着陆后更换回KSD1652AGRX钻头,显著提高水平段机械钻速(见表2)。

2.2.2 振荡螺杆应用

水平段钻进中,常规螺杆钻具存在摩阻扭矩大、钻压传递效率低、滑动托压严重的问题。相比之下,振荡螺杆可在马达旋转提供扭矩的同时在近钻头振动产生高频纵向冲击力,即使托压严重,底部钻具也有少量动力工作,通过自身振动有效缓解滑动钻进中托压及工具面波动的问题,可减少水平井定向钻进中托压和卡钻风险,并大幅提高复合钻进中的钻速。

花页1-1HF井二开水平段在旋导着陆后,及时更换尖峰KSD1652ARXPDC钻头+1.5°达坦振荡螺杆,机械钻速达到11.97 m/h,相比设计10 m/h提速19.7%,显著提高水平段机械钻速^[3]。

2.3 强化钻井参数

在钻井过程中,水力参数的选择对于安全快速钻

表2 花页1-1HF井二开钻头使用情况

型号	厂家	下入井深(m)	起出井深(m)	进尺(m)	纯钻时间(h)	机械钻速(m/h)
KSD1652AGR	江钻	2 500	3 449	949	45	21.09
XS516	史密斯	3 449	4 593	1 144	103	11.11
KSD1652ARX	江钻	4 593	6 012	1 419	118.5	11.97

进有着重要影响,合理的水力参数是提高机械钻速,实现低成本、高效益钻井的重要手段之一。花庄地区储层特征复杂多变、地质条件相对复杂,钻井参数不当导致的水力功效不足、环空压耗大和岩屑上返不顺畅等问题尤为突出。为提高钻井效率,花页 1-1HF 井在参考分析邻井施工的经验上,采用了激进式水力参数设计,在钻井参数选择上充分释放优越的机泵条件,在设备和工具能力满足要求的前提下采用高钻压、高转速、大排量等措施,钻井参数向极限参数靠拢,二开井眼最大排量达到 36L/s,充分保证清洁井眼,确保井下安全(见表 3)。

表 3 花页 1-1HF 二开钻井参数

井段	钻压 (kN)	转速 (rpm)	排量 (L/s)
直井 + 造斜段	60 ~ 120	60+ 螺杆	32 ~ 36
造斜段	100 ~ 140	80 ~ 100	32 ~ 34
水平段	100 ~ 140	60+ 螺杆	32 ~ 34

2.4 负压振动筛新型固控技术

现有常规振动筛大多在开式或半开式条件下工作,筛面上下均是大气压,钻井液实现透筛以及固相颗粒得以干燥,主要是借助筛面振动赋予钻井液的惯性力,再加上钻井液自身所具有的位能来达成,存在处理量小、排出的岩屑含液量高等缺点。负压振动筛可在筛面下真空盘中形成负压,利用真空吸力,使筛面上下形成一定压差,使钻井液获得附加的透筛能力,在振动作用和压差的共同作用下透过筛网,有效解决了振动筛上钻井液飞溅、固液分离效率低等技术问题。在相同的振动强度、筛布面积和筛网目数下,负压振动筛的处理能力明显高于传统钻井液振动筛,处理后的岩屑含液量显著下降,还具有钻井液回收率高、后续环保处理工作量小等优点,尤其在使用油基钻井液的情况下,能有效降低岩屑含油率,减少油基钻井液损耗,实现油基岩屑减量化,降低白油的费用及油基岩屑的处理费用^[4]。花页 1-1HF 井自二开 2 500 m 油基钻井开始采用负压振动筛,至完钻累计使用进尺 3 512 m,产生油基岩屑 457.731 吨。与邻井花页 5HF 井相比,花页 1-1HF 井油基岩屑产生量较花页 5HF 井每米减少 0.014 吨,总共减少油基岩屑 49.168 吨。同时,使用负压振动筛后排出的岩屑较为干燥,液相含量显著降低,经现场测定,使用负压振动筛的岩屑含油率由 15.1% 下降至 14.6%,使用效果良好^[5]。

2.5 提速提效效果

花页 1-1HF 井完钻井深 6 012 m,全井平均机械钻

速 17.65 m/h,钻井周期 33.81 d,比设计周期 41 d 缩短 17.5%,相比邻井缩短钻井周期 17.3 d,提速 70.4%,其中二开进尺 3 512 m,平均机械钻速 13.18 m/h,用时 25.55 d,比设计周期节约 8.75%,并以水平段日进尺 245 m,创江苏油田水平段日进尺最高纪录。

3 结论与建议

1. 针对花庄区块岩石力学特性,从 PDC 钻头头型、刀翼、布齿等方面进行了优选,提升了钻头机械钻速,延长了使用寿命,同时在水平段配合高效钻头使用振荡螺杆,显著提高了水平段机械钻速。

2. 旋转导向钻井技术中靶精度高,精准控制技术可确保井眼轨迹平滑,实现水平段高精度控制。该技术还能降低摩阻扭矩,提升水平段的延伸能力,提升储层的钻遇率和井身质量,但同时旋转导向钻井工具对使用环境要求较高,花页 1-1HF 井旋导钻进后期出现了仪器粘滑严重、扭矩波动大的情况,影响了机械钻速的进一步提高。

3. 选取钻井参数要综合考虑地层特征和设备能力,在设备、工具和仪器能力范围内尽量采用强化钻井参数,可有效提高水马力破岩、物理机械破岩效率,增加机械钻速。

4. 负压振动筛能有效降低油基岩屑含油率,减少油基钻井液损耗,降低白油的费用及油基岩屑的处理费用。

5. 对于页岩油井施工,要重点加强对区域钻井技术的总结分析,加大成熟钻井技术的推广应用,以吸纳先进钻井技术为主导,整合钻头、钻具使用等技术资源,逐步形成更加优化的技术集成,完善区域化钻井模式,实现优质高效钻井。

参考文献:

- [1] 王建龙,冯冠雄,吴嘉澍,等.长宁页岩气钻井提速提效难点与对策分析[J].西部探矿工程,2020,32(10):70-72.
- [2] 杨灿,王鹏,饶开波,等.大港油田页岩油水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(02):34-41.
- [3] 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(04):9-12.
- [4] 刘克强,李欣,艾磊,等.旋转导向钻井技术在页岩油水平井的应用与认识[J].复杂油气藏,2021,14(03):100-104.
- [5] 霍阳,朱艳,魏凯,等.PowerDrive Archer+VorteX 旋转导向技术在页岩气开发中的应用[J].长江大学学报(自然科学版),2019,16(01):39-43,49.