

大庆油田齐家区块致密油水平井钻井提速技术

宫 华

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院,黑龙江 大庆 163413)

摘要:水平井技术是实现致密油开发的重要途径。自 2013 年开始,大庆油田在齐家、长垣等 3 个致密油区块开展了水平井井组开发先导性试验,其中齐家区块施工难度最大,针对该区块水平井水平段长、位移大的特点,及钻遇地层岩石可钻性差、三维扭方位难度大、机械钻速低、钻井周期长等主要技术难点,在分析地层特征的基础上,通过优化井身结构,井眼轨迹控制,优化三维井眼轨迹,开展个性化钻头、降摩减扭措施和配套工具的技术攻关及现场应用,初步形成了一套大庆油田齐家区块致密油水平井钻井提速技术,并取得了较好的应用效果,为大庆油田致密油长水平段水平井进一步提速及规模应用奠定了基础。

关键词:致密油藏;三维;长水平段;水平井;钻井提速;大庆油田

中图分类号:P634.3;TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)09-0038-04

ROP Improvement Technology for Tight Oil Horizontal Well in Qijia Block of Daqing Oilfield/GONG Hua (Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: Horizontal drilling technology is an important way to realize the development of tight oil. The pilot tests of horizontal well group were carried out in Qijia and another two tight oil blocks since 2013. The construction in Qijia was the most difficult, where there were characteristics of long horizontal section and large horizontal displacement with technical difficulties of poor formation drillability, 3D adjusting azimuth, low ROP and long drilling cycle. Based on the analysis on geological characteristics, by optimizing casing program, controlling well trajectory, optimizing 3D well trajectory, making technological breakthrough in personalized bit, friction & torsion reducing methods and matching tools, and according to the field application effects, a set of ROP improving technology for tight oil horizontal well in Qijia block of Daqing oilfield has been developed with good results, the foundation has been laid for the further ROP improvement and large-scale application of ROP improving technology for tight oil long horizontal well in Daqing oilfield.

Key words: tight oil reservoir; 3D; long horizontal section; horizontal well; Rop improvement; Daqing oilfield

随着油气资源勘探开发的逐步深入,浅层油(气)、稠油、致密油(气)等难动用资源进入人们的视野,但常规钻井技术开发成本高、难度大,需应用超短半径^[1]、长水平段水平井等才能实现经济开发。其中致密油(气)通常采用长水平段水平井、体积压裂等实现规模动用。

松辽盆地北部扶余、高台子等低渗透中浅层致密油资源前景广阔、潜力巨大。2013 年,大庆油田为有效开发致密油层,在龙虎泡、齐家等区块进行了水平井工厂化先导试验,涉及 3 个区块、26 口井^[2]。截止 2015 年 10 月,齐家区块已完成了 13 口致密油水平井(含 3 个平台井组)初步形成适合齐家区块的井身结构设计、井眼轨道优化、钻头优选等配套技

术,为致密油水平井钻井提速提效提供了技术支持,提高了致密油藏勘探开发的综合效益。

1 齐家区块致密油水平井钻井施工难点

(1) 齐家区块致密油水平井初期采用三开井身结构:Ø339.7 mm 表层套管 + Ø244.5 mm 技术套管 + Ø139.7 mm 生产层套管。为降低后期 1400 m 水平段施工的摩阻和扭矩,将 Ø244.5 mm 技术套管下至造斜段 70°附近。导致二开造斜段 Ø311.2 mm 井眼造斜和扭方位等施工效率偏低,行程钻速仅 30 m/d 左右。

(2) 造斜段青山口组上部钙质粉砂岩,下部钙质砂岩,可钻性较差,常规 PDC 钻头的破岩效率偏

收稿日期:2015-12-15;修回日期:2016-07-12

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目“大庆探区非常规油气勘探开发关键技术研究及现场试验”课题七“大庆探区非常规油气钻完井及增产改造技术研究”(编号:2012E-2603-07)

作者简介:宫华,男,汉族,1981 年生,副经理,工程师,主要从事水平井钻井工艺技术研究及技术服务工作,黑龙江省大庆市八百垅钻井工程技术研究院定向井分公司,gh_dq@126.com。

低,机械钻速低,钻井周期长。

(3)多数井斜角从 40° 增至 75° 过程中,扭方位超过 90° ,三维施工难度较大。尤其在井斜角 $>65^\circ$ 、方位角变化超过 60° 的条件下,机械钻速和定向效率明显降低。

(4)水平裸眼段长,超过800 m后轨迹控制难度变大,滑动钻进托压严重,井眼清洁困难,返屑效率降低,摩阻扭矩增加^[3],严重影响钻井速度。

2 齐家区块致密油水平井钻井提速技术措施及实践

针对上述的技术难点,大庆油田通过不断的攻关和完善,形成了一套适合于齐家区块的致密油水平井钻井提速技术,实现了致密油水平井提速的目的。

2.1 井身结构优化设计

综合考虑地层特点、地层压力情况,以及后期多级分段压裂改造^[4],重新优化井身结构,依然采用三开结构: $\varnothing 339.7$ mm表层套管+ $\varnothing 244.5$ mm技术套管+ $\varnothing 139.7$ mm生产层套管。 $\varnothing 244.5$ mm技术套管不再下至 70° 附近,而是仅下至直井段,封固上部易塌易漏井段。

如此,造斜段规避了 $\varnothing 311.2$ mm井眼施工效率低的问题,全部采用 $\varnothing 215.9$ mm井眼定向施工,提高了钻具组合造斜能力和造斜段钻进效率。

从齐家区块造斜段的实际施工情况来看,相同地层、相同角度螺杆、相同类型钻头, $\varnothing 215.9$ mm井眼钻具组合的实钻造斜能力是 $\varnothing 311.2$ mm井眼的1.6倍。能够更快地达到设计的井眼曲率,定向滑动钻井比例明显降低,复合钻进比例增加,有效提高了造斜段平均机械钻速。同时 $\varnothing 215.9$ mm井眼破岩面积 366 cm^2 ,仅是 $\varnothing 311.2$ mm井眼的48%,相同钻进参数的条件下,其钻头破岩效率明显提升。以齐家区块同一平台施工井为例,井身结构优化后,造斜段平均行程钻速同比提高92.2%(详见表1)。

2.2 三维井眼轨道优化设计

三维井眼轨道优化设计是齐家区块致密油水平井

表1 齐家区块同一平台致密油水平井井身结构优化前后数据对比

井号	原技套/ m	变更后技套	行程钻速/ ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	对比
QPT-1	技术套	造斜段 2300~2500 m	30.73	行程钻速提高 92.2%
QPT-2	管封固		35.23	
QPT-3	至造斜段	直井段 1300~1400 m	52.63	
QPT-4	段		89.33	

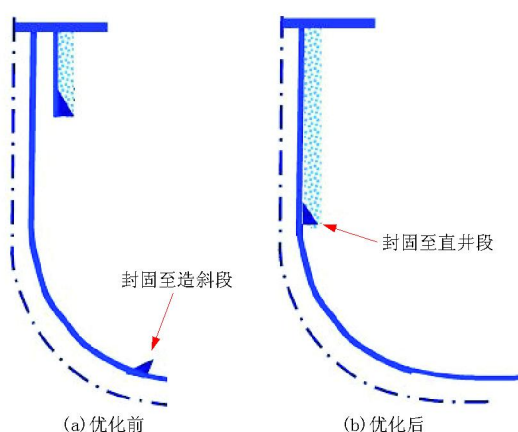


图1 齐家区块同一平台致密油水平井井身结构优化前后结构示意图

提速的重点,齐家区块井斜角从 40° 增至 75° 过程中,扭方位超过 90° ,三维施工难度较大。QPT-2井斜角要从 48° 增至 70° 时方位角变化 95° ,最大方位变化率 $8.36^\circ/30\text{ m}$ 。造斜段平均机械钻速 2.81 m/h 、钻进周期 21.7 d ,钻速慢、周期长,现场施工难度较大。

三维井设计最初是为了绕障、侧钻、纠正偏离方位,主要有水平面投影法和空间斜平面法,轨迹曲线有斜面圆弧、圆柱螺旋和自然参数曲线3种^[5-6]。但无论哪一种轨迹曲线,在三维井段都普遍采用扭方位和增井斜同时进行的设计模式。一般在方位角变化幅度较小时,施工难度较小,在方位角变化幅度较大($>90^\circ$)时,施工难度明显增大。

受齐家区块地下油藏发育影响,普遍采用井斜角 70° 以后才完成扭方位作业,井斜角越小扭方位作业难度越小,井斜角越大扭方位作业难度越大。尤其是当井斜角 $>65^\circ$ 以后,相同钻具组合条件下,扭方位效果仅为造斜段初期的50%左右。需全力滑动定向才能满足方位和井斜的设计要求,为解决机械钻速低、钻井周期长等问题。上移造斜点,降低造斜率,将扭方位井段从青山口组上移至可钻性较好的姚家组和青山口组上部地层,避免 65° 以后的扭方位作业;将原三维轨迹分为分段式二维+小三维轨迹:(1)前期二维剖面全力增井斜提前形成偏移距;(2)20~60 m小三维过渡段;(3)中期二维剖面全力扭方位初步进入设计方位;(4)20~60 m小三维过渡段;(5)后期二维剖面全力调整井斜进入目标靶点。

QPT-4井优化后的井眼轨迹(如图2所示),虽然与原设计相比造斜段长度增加、方位角变化幅度变大,但扭方位作业难度降低、复合钻进比例增

加、造斜段整体钻井效率明显提高。与同平台、同井型的 QPT-3 井相比:造斜段平均机械钻速提高了 56%,造斜段钻井周期缩短了 6.9 d。

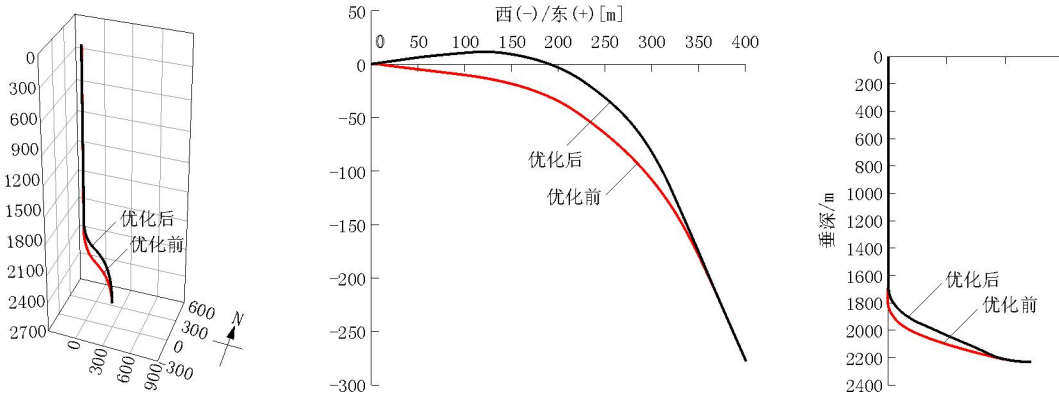


图2 QPT-4井造斜段三维井眼轨道优化前与优化后三维轨迹对比图(左)、水平投影对比图(中)和垂直投影对比图(右)

2.3.1 个性化钻头的优选

钻头可根据所钻地层岩石的研磨性、可钻性等力学性质来合理优化^[7],由于齐家区块青山口组多为钙质粉砂岩或钙质砂岩,硬度大、抗压强度高、研磨性强、可钻性较差(为5~6级,属于中硬地层)。PDC钻头选型难度较大,与钻头厂家结合进行了个性化研选。

(1)针对造斜段初期工具面不稳导致定向效率偏低的问题,将PDC钻头从四刀翼增至五刀翼,以增加钻头工具面的稳定性,提高造斜段定向效率。

(2)针对青山口组含钙地层硬度大、研磨性强的问题。将PDC钻头切削齿的尺寸从 $\varnothing 19$ mm缩小至 $\varnothing 16$ mm。并综合考虑钻头在硬地层的可切入能力、导向性、寿命等因素^[8],适当增大切削齿的后倾角,以此减小切削齿的可切入性,提高钻头抗冲击能力和抗研磨能力,提高钻头寿命。

(3)为进一步提高水平段稳斜效果,适当增加保径长度。在水平段施工过程中,稳斜效果好于短保径钻头,井眼更加圆滑,降低了施工难度。

通过一系列的个性化钻头优化设计和造型,单只PDC钻头最长进尺1682 m,机械钻速9.71 m/h。

2.3.2 提速工具的优选

齐家区块部署的3组平台井,受齐家区块地下油藏发育影响,偏移距大、造斜段长(最长超过1000 m),后期滑动定向摩阻扭矩明显增大,效率降低。为此QPT-4井优选应用了大庆油田自主研发的 $\varnothing 178$ mm水力振荡器,该水力振荡器主要由振动短节、密封总成、弹簧机构、动力机构和阀门总成等部分组成,结构如图3所示。在液力作用下动力机构

的叶轮高速旋转,将液体能量转化为机械能。通过叶轮带动阀门片旋转,实现钻井液通道的打开和关闭,产生周期性压力脉冲。阀门总成产生的压力脉冲通过密封总成作用到振动短节的弹簧上,使得弹簧周期性伸缩。而振动心轴就在压力和弹簧的双重作用下产生轴向往复运动,使井下钻具水力振荡器往复运动而轴向振动,利用机械振动的原理,将钻具与井壁之间的静摩擦转变为动摩擦^[9-10],有效降低了摩阻,提高了钻井效率。与同平台施工井同比摩阻降低了45%(详见表2)。

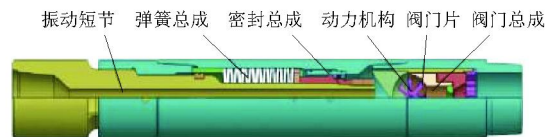


图3 水力振荡器基本结构

表2 水力振荡器施工数据对比

井号	是否应用	使用井段	摩阻/kN	对比
QPT-2	未应用		60~80	
QPT-3	未应用	造斜段	50~60	摩阻减少45%
QPT-4	应用		30~40	

2.4 旋转导向钻井技术

齐家区块的13口致密油水平井,分别应用了Baker-Hughes INTEQ公司的AutoTrak和Halliburton公司的Geo-Pilot两种旋转导向技术,其中AutoTrak为静态推靠式、Geo-Pilot为静态指向式^[11-12]。两种旋转导向仪器虽然结构不同,但在钻具组合及钻井效率基本一致。

齐家区块致密油水平井水平段钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm PDC钻头+ $\varnothing 172$ mm旋转导向+ $\varnothing 172$ mm LWD

+ $\varnothing 127$ mm 无磁加重钻杆 + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆 + $\varnothing 165$ mm 随钻震击器 + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 + $\varnothing 127$ mm G105 钻杆。

在旋转导向方式下,钻柱所受到的摩阻、扭矩远小于滑动导向方式下所受的摩阻、扭矩,井眼轨迹更加圆滑,循环清洗井眼时间大幅度地减少,并且井眼清洗状况好于传统螺杆定向方式^[13-15],钻压更易传递、无需摆放工具面,提高了水平段的钻井效率。

齐家区块 13 口旋转导向水平井,最长水平段 1806 m,最大水平位移 2250 m,平均水平段长 1400 m,水平段平均机械钻速 7.1 m/h,取得了较好的应用效果。

3 现场应用情况

齐家区块通过 13 口致密油水平井逐步改进完善并最终形成了包括井身结构优化、个性化钻头优选、三维水平井井眼轨迹优化在内的致密油水平井钻井提速配套技术。

QPT-1、QPT-2、QPT-3、QPT-4 平台井中,QPT-4 井集成应用井身结构优化、个性化钻头及提速工具的优选、三维井眼轨迹优化等提速技术。与同平台的其他 3 口井相比完钻井深最长、钻井周期最短、行程钻速最高、机械钻速最快、水平段最长(如表 3、图 4 所示)。

表 3 QPT-4 井造斜段钻具组合

使用井段	实际施工钻具组合
$0^\circ \sim 45^\circ$ 造斜段	$\varnothing 215.9$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 172$ mm 螺杆(7LZ172 \times 7.0-XI-SF 1.5 $^\circ$) + $\varnothing 172$ mm 浮阀 + $\varnothing 172$ mm LWD + 4A10/411 变扣接头 + $\varnothing 165$ mm 无磁钻铤 \times 1 根 + $\varnothing 165$ mm 螺旋钻铤 \times 2 根 + 410/4A11 变扣接头 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 \times 6 根 + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆 \times 60 根 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 \times 27 根 + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆
$45^\circ \sim 89^\circ$ 造斜段	$\varnothing 215.9$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 172$ mm 螺杆(7LZ172 \times 7.0-XI-SF 1.5 $^\circ$) + $\varnothing 172$ mm 浮阀 + $\varnothing 172$ mm LWD + $\varnothing 127$ mm 无磁加重钻杆 \times 1 根 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 \times 6 根 + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆 \times 9 根 + $\varnothing 178$ mm 水力振荡器(DQS-178) + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆 \times 51 根 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 \times 21 根 + $\varnothing 127$ mm(18°)斜坡钻杆

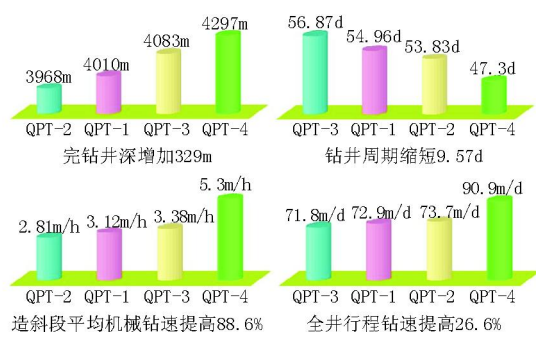


图 4 QPT-4 井与同一平台施工井完钻数据对比图

4 结论与认识

(1)通过致密油水平井的钻井技术攻关和实践,初步形成了适用于齐家区块致密油水平井的井身结构设计、三维井眼轨迹优化、个性化钻头及提速工具的优选等提速配套技术,提高了钻井速度,为龙虎泡、芳 38 等致密油区块的钻井提速提供了经验。

(2)应用水力振荡器、旋转导向等新工具,有效提高了造斜段和长水平段的钻井速度,有利于提高钻井效率,降低长水平段后期施工风险。

(3)方位角变化幅度大于 90° 的三维水平井,可上移造斜点、降低造斜率;整体三维轨迹优化为分段式轨迹;避免大井眼、大井斜条件下的扭方位作业等方式。有效提高三维井眼轨迹的施工效率,缩短钻井周期。

参考文献:

- [1] 宫华,郑瑞强,范存,等.大庆油田超短半径水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2011,39(5):19-22.
- [2] 艾鑫,杨永祥.大庆致密油水平井经济性开发[J].中国科技信息,2014,(22):200-201.
- [3] 胡玉,蒋西平,李鹏昌.吉致密油先导试验区钻井提速及工具国产化[J].新疆石油科技,2014,24(3):9-13.
- [4] 钱峰,杨立军.三塘湖致密油长水平段水平井钻井技术[J].石油钻采工艺,2014,36(6):20-23.
- [5] 韩志勇.三维定向井轨道设计和轨迹控制的新技术[J].石油钻探技术,2003,31(5):1-3.
- [6] 刘根梅,卢发掌.定向井井眼轨迹的三维设计方法[J].石油钻采工艺,1990,(4):1-8.
- [7] 宫华,李国华,邓胜聪,等.大庆油田火山岩砾岩水平井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):19-22.
- [8] 徐建飞,赵晓波.硬地层定向 PDC 钻头个性化设计与应用[J].金刚石与磨料磨具工程,2014,34(3):57-61.
- [9] 李博.水力振荡器的研制与现场试验[J].石油钻探技术,2014,42(1):111-113.
- [10] 李博,王羽曦,孙则鑫,等.078 型水力振荡器研制与应用[J].石油矿场机械,2013,42(8):55-57.
- [11] 赵金洲,孙铭新.旋转导向钻井系统的工作方式分析[J].石油机械,2004,32(6):73-75.
- [12] 赵金海,唐代绪,朱全塔,等.国外典型的旋转导向钻井系统[J].国外油田工程,2002,18(11):33-36.
- [13] 杨剑锋,张绍槐.旋转导向闭环钻井系统[J].石油钻采工艺,2003,25(1):1-5.
- [14] 狄勤丰,张绍槐.旋转导向钻井系统控制井眼轨迹机理研究[J].石油钻探技术,1998,26(3):52-54.
- [15] 狄勤丰,张绍槐.井下闭环钻井系统的研究与开发[J].石油钻探技术,1997,25(2):56-59.