

涪陵页岩气田钻井提速方案及实施效果分析

沙贞银, 杜俊伯, 向进, 付升, 李晓亮

(国民油井华高, 北京 100007)

摘要: 在深入分析涪陵页岩气田制约钻井速度的因素的基础上, 针对性地提出了钻井提速的方案, 并进行了大量的现场应用。本文详细介绍了国民油井旋冲工具、水力振荡器、POB 抗油基泥浆螺杆钻具的组成和技术原理。阐述了以上3种工具在涪陵区块的应用效果和优势, 并提出了使用中存在的不足和应改进的技术问题。这些工具的实施效果表明, 国民油井提出的钻井提速方案是切实可行的, 对该区域后期优快水平井钻井工艺的选择具有指导意义。

关键词: 钻井提速; 旋冲工具; 水力振荡器; POB 抗油基泥浆螺杆; 涪陵页岩气田

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2016)07-0031-06

A Scheme for Drilling Rate Improving in Fuling Shale Gas and Its Implementation Effects Analysis/SHA Zhen-yin, DU Jun-bo, XIANG Jin, FU Sheng, LI Xiao-liang (National Oilwell Varco, Beijing 100007, China)

Abstract: Based on the in-depth analysis on the factors that restrict the drilling rate in Fuling shale gas field, National Oilwell Varco put forward a scheme aiming at improving the drilling efficiency in this area. A large number of field practices based on this scheme have been carried out so far. This paper gave a full description of the assembly of NOV-made drilling tools of rotary impactor, hydraulic oscillator and POB(power-plus oil-based mud) downhome motor as well as the related technical principles. The performances and advantages of these tools in the application in Fuling block are elaborated comprehensively and some technical shortages are presented. The implementation effects show that the drilling rate improving scheme of NOV is practical and has important guiding significance for the selection of drilling technology in the late stage of the optimized and fast horizontal well drilling.

Key words: drilling rate improving; rotary impactor; hydraulic oscillator; POB downhome motor; Fuling shale gas field

0 引言

到2014年底,涪陵页岩气田平均钻井周期为75天,比上一年节约了20天^[1],随着“井工厂”化的推广,这一记录还在不断刷新。在涪陵页岩气田水平井钻井中,制约钻井提速的因素仍然较多。其中主要原因有如下几点:(1)二开钻井周期长,占了整个钻井周期的50%左右,原因之一是从茅口至梁山组地层的碳酸盐地层比较坚硬,PDC钻头易崩齿失效,牙轮钻头轴承寿命短,起下钻频繁;(2)定向周期长,该区域所布井以三维水平井居多,二开裸眼段较长,三开轨迹复杂,均存在托压现象,定向困难;选择牙轮钻头可以有效缓解托压现象,但效率低下;(3)三开螺杆失效频繁,三开油基泥浆腐蚀性强,对螺杆橡胶部件的机械性能影响巨大,据统计,该地区使用的8个厂家的螺杆都存在脱胶失效现象,因螺杆失效而起钻的井次较多。

为了解决以上提速难题,钻井公司广泛试用各种提速工具。如二开、三开定向段采用旋转导向技术,但旋转导向工具价格昂贵,虽提速但不提效;三开井段尝试了各种不同规格尺寸的螺杆,但仍然存在脱胶现象,甚至出现轴承脱落、断裂的事故。国民油井在深入了解以上制约因素的基础上,通过对井深结构,井眼轨迹,地层特性及泥浆性能进行进一步分析,针对不同的地层与井段,提出了不同的个性化解决方案。

1 钻井提速方案

(1)针对二开、三开定向段水平段三维复杂井眼滑动钻进托压严重,工具面摆放困难及滑动钻速低的问题,推荐使用水力振荡器,以降低钻具与井壁之间的摩擦力,提高钻压传递效率,从而提高滑动钻进效率;

收稿日期:2016-04-15; 修回日期:2016-06-24

作者简介:沙贞银,男,汉族,1964年生,副教授,NOV DI 中国区井下工具技术负责人,钻井工程专业,硕士,北京市东直门南大街来福士中心办公楼18号,dennis.sha@nov.om。

(2) 针对二开茅口至梁山组地层比较坚硬, 钻速慢, 进尺短, 起下钻频繁的特点推荐使用旋冲工具, 使钻头在剪切破岩的基础上产生冲击破岩, 提高破岩效率, 期望实现一趟钻钻穿从茅口到梁山组地层;

(3) 针对三开水平段油基泥浆对普通螺杆橡胶的侵蚀破坏, 推荐使用 POB 抗油基泥浆橡胶, 以延长螺杆的使用寿命, 减少起下钻次数以提高钻井效率。

2 钻井提速方案的工具

2.1 旋冲工具

该工具由常规螺杆动力总成、可调弯外壳总成和冲击锤总成 3 部分组成(如图 1 所示)。动力总



图 1 旋冲钻具结构示意图

2.2 水力振荡器

水力振荡器由压力脉冲短接和振荡短接组成(如图 2 所示)。压力脉冲短节是由 1:2 头的螺杆和一对偏心阀盘组成。泥浆流过螺杆时, 转子带动偏心上盘阀相对下盘阀旋转, 使泥浆的过流面积产生周期性变化, 从而产生压力脉冲。振荡短接主要



图 2 水力振荡器结构示意图

2.3 POB 抗油基泥浆螺杆

国民油井的螺杆由动力端、万向轴总成和传动轴总成 3 大部分组成。独特之处在于其动力部分采用的橡胶是 POB 型(Power-plus oil-base mud)抗油基橡胶, 相比于常规丁腈橡胶, 除了具有更优良的机械特性和抗疲劳特性外, 还具有更突出的抗油基泥浆侵蚀的能力。其次螺杆的轴承部分采用油密封设计, 可以使泥浆全部经心轴流向钻头, 有利于减少泥浆中固相颗粒对其他部件的磨损; 同时钻头获得更高的水马力, 有助于井眼净化和提高机械钻速。而常规螺杆需要泥浆旁通润滑轴承, 损失了水马力的同时还加大了轴承失效的风险。

3 实施效果分析

3.1 旋冲工具的实施效果分析

成为钻头提供转速和输出扭矩; 冲击锤由上、下心轴, 凸轮及滚轮机构组成; 轴向冲击由凸轮和滚轮机构实现。冲击锤产生的冲击力直接作用在钻头上, 冲击力大小与所加钻压相关; 提离井底即停止冲击, 有利于延长工具的使用寿命; 钻压使钻头与地层紧密接触, 钻头不离开井底, 冲击载荷不会对钻头造成损害。旋冲钻具工作时, 钻头具有两个方向上的作用力: 一是周向方向的旋转切削力; 二是轴向方向的冲击力。钻头除旋转剪切破岩外, 还能冲击破碎岩石。这种独特的工作方式可以大幅度提高破岩效率。旋冲工具工作时产生的规律性轴向振动还可以起到降低钻头扭转振动或粘滑振动的作用, 提高了钻头工作的稳定性, 有利于保护钻头, 提高钻头的使用寿命。

部件是一个对外密封的花键轴, 轴上安装有蝶形弹簧, 花键轴在压力脉冲和弹簧力的作用下, 产生高频振动, 从而带动工具沿管柱轴向产生周期性蠕动, 使其与井壁的静摩擦转变为动摩擦, 使定向钻进时钻具受到的摩阻大大减小^[2]。

3.1.1 旋冲工具在 JY41-5 井的使用案例

JY41-5 井是 41 号平台的一口评价井, 二开茅口组、栖霞组、梁山组、韩家店组上部地层主要以脆性灰岩为主, 尝试使用旋冲工具 + PDC 钻头来提高机械钻速。

钻具组合为: $\varnothing 311.2$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 244.5$ mm 旋冲工具 + 730 × 631 接头 + $\varnothing 228.6$ mm DC × 2 根 + $\varnothing 228.6$ mm 减震器 + 306 扶正器 + 631 × 731 接头 + 浮阀 + 过渡接头 + $\varnothing 228.6$ mm DC × 3 根 + 过渡接头 + $\varnothing 203$ mm DC × 3 根 + 520 × 631 接头 + 521 × 410 接头 + $\varnothing 127$ mm HWDP × 9 根 + 411 × 520 接头 + 520 × 521 旁通阀 + 5 in DP。

该井旋冲工具共入井 2 次, 第一趟钻钻穿了茅口、栖霞、梁山组地层, 总进尺 447 m, 平均机械钻速达 13.17 m/h, 创造了该区域的钻速记录。特别在

茅口组(段长 303 m)平均钻速达到 17 m/h,创下了该区域最快钻进记录;因钻头磨损钻时变慢而起钻。第二趟钻钻进 225 m,平均钻速达 11.11 m/h,因工具失效而起钻,工具累计循环时间 72 h。

邻井通常用牙轮钻头钻完茅口组硬脆性灰岩,PDC 钻头虽钻速快但易崩齿失效。而旋冲工具独

特的工作原理产生的轴向振动,使得钻头具有轴向冲击破岩的功效,既保证了钻速,又降低了扭转振动,避免了钻头提前失效。如图 3 所示(图中所有邻井,起下钻原因主要为钻头磨损),旋冲工具配合 PDC 钻头提速效果明显,比邻井常规钻具组合至少节约 1 趟钻。

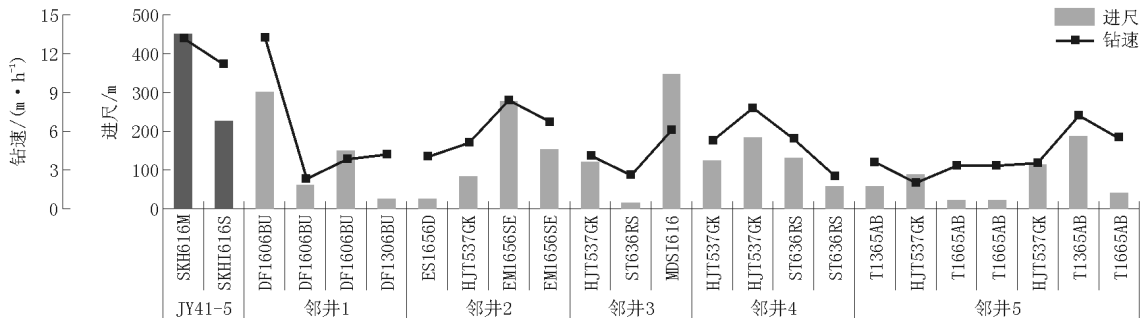


图 3 旋冲工具使用效果对比

3.1.2 旋冲工具使用中存在的问题及改进方案

旋冲工具在焦页 41-5 井使用时没有安装扶正器(如图 4 所示)。因使用的井段为直井,钟摆钻具组合可以防斜。但这种组合在茅口组硬地层产生的扭矩波动,易诱发侧向震动对钻头保径部分造成损害(图 5),而安装扶正器则可以有效减缓这种有害的侧向震动(图 6),保护钻头的同时保护旋冲工具,延长工具的使用寿命。如在焦页 54-3 井,采用相同钻头在相同地层钻进时,带有扶正器的旋冲工具所配合使用的钻头,出井磨损非常轻微如图 7 所示;同时旋冲工具的使用寿命最长达到 156 h。因此在后续井中若采用旋冲工具提速,建议安装欠尺寸(欠 1/8 ~ 1/4 in)的扶正器以减缓钻头侧向震动,从而保护钻头和工具提高其使用寿命,达到提高钻速和进尺的目的。

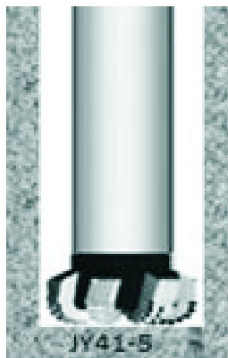


图 4 不带扶正器



图 5 JY41-5 钻头



图 6 带扶正器



图 7 JY54-3 钻头

3.2 水力振荡器的实施效果分析

水力振荡器于 2014 年 3 月引入涪陵页岩气田,由于在开始几口试验井中使用效果非常明显,逐步在后续井中得到推广与大面积应用。截止到 2015 年 8 月,在 12 1/4 in(Ø311 mm)井眼定向段共使用 8 in 水力振荡器 34 趟,总进尺 12528.3 m,平均机械钻速 5.92 m/h,平均纯钻时间 62.19 h;在 8 1/2 in(Ø215.9 mm)井眼使用 6 3/4 in 水力振荡器 16 趟,总进尺 13872.5 m,平均机械钻速 8.44 m/h,平均纯钻时间 102.66 h。客户总体评价是:在定向段使用水力振荡器,减少井壁与管柱之间的摩阻,平稳的传递钻压,解决了托压的问题,提高定向钻速 50% 以上;水力振荡器处于工作状态时与 LWD、MWD 的兼容性好,不会损坏 MWD 仪器,不干扰 MWD 信号。

3.2.1 8 in 水力振荡器在 JY42-2HF 井的使用案例

JY42-2HF 井是中原油田西南钻井分公司在涪陵区块承钻的一口水平井,设计井深 4466 m。同平台邻井用常规钻具组合定向时发现托压严重,必须反复上提下放摆工具面,定向效果较差,不仅达不到轨迹设计要求,而且严重制约钻速。在这种情况下钻井公司决定使用水力振荡器。

钻具组合:12.25 in PDC 钻头 + 8.5 in 单弯螺杆(0.75°) + 8 in 无磁 DC + MWD 短节 + 631 × 630 减震器 + 631 × 631 双公 + 浮阀 + 631 × 520 接头 + 5.5 in HWDP × 11 根 + 521 × 630 接头 + 8 in 水力振荡器 + 631 × 520 接头 + 5.5 in 加重 × 1 柱 + 521 × 410 接头 + 5 in 钻杆 × 30 柱 + 411 × 520 接头 + 5.5 in 钻杆。

使用井段:2012 ~ 2496 m,段长 484 m,井斜范围 37° ~ 55°。

钻遇地层:小河坝组—龙马溪组;岩性:泥岩。

钻井参数:钻压 120 ~ 140 kN,转速 50 r/min + 螺杆,排量 47 L/s(工区最低要求是 50 L/s)。

加入水力振荡器之后,钻时由之前的 30 ~ 40 min/m 缩减到 12 ~ 20 min/m,定向工程师反应定向效果很好,摆工具面的时间也由原来的 30 ~ 40 min 直接缩短到 5 ~ 10 min,定向过程中无托压、钻具滑脱憋泵现象。进尺和平均钻速都比邻井常规钻具组合提高了 1 倍多(如表 1 和图 8 所示)。

表 1 邻井使用效果对比

井号	钻具组合	入井深度/m	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)
JY42-1HF	Motor	2178.00	222.00	3.70
JY42-3HF	Motor	2153.00	202.00	4.13
JY42-2HF	AGT	2012.00	482.00	8.51

3.2.2 6.75 in 水力振荡器在 JY50-6 井的使用案例

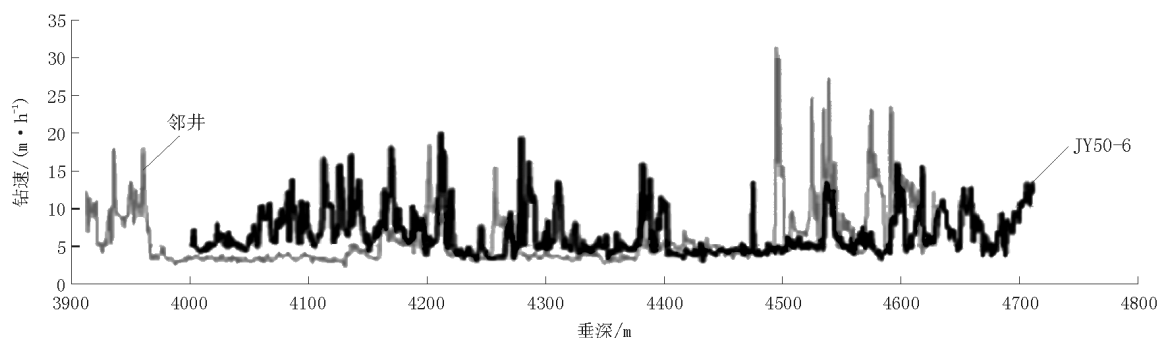


图 9 使用水力振荡器的钻速对比

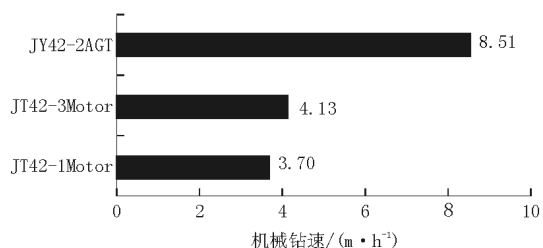


图 8 水力振荡器同常规螺杆的使用效果对比

该井是江汉钻井一公司在涪陵区块钻进的一口大斜度井,设计井深 4712 m。工具使用取得了良好的效果,有效减少了钻具和井壁之间的摩擦,使得定向钻进时钻压传递效率得到大幅提高,工具面容易控制,钻时快而平稳。尤其当定向钻进随着井深加深时,更能彰显水力振荡器减阻提速的优势。

钻具组合:8.5 in PDC + 6.77 in 单弯螺杆(1.25°) + 扶正器 + 浮阀 + 5 in 无磁承压钻杆 × 1 根 + 411 × 4A10 接头(无磁) + LWD 组件 + 5 in 加重钻杆 × 9 根 + 5 in 钻杆 × 4 根 + 6.75 in 水力振荡器 + 5 in 钻杆 × 131 根 + 5 in 加重钻杆 × 25 根 + 5 in 钻杆。

使用井段:4000 ~ 4712 m,段长 712 m,井斜范围 73° ~ 74°。

钻遇地层:龙马溪组;岩性:泥岩、页岩。

钻井参数:钻压 60 ~ 80 kN,转速 55 r/min + 螺杆,排量 26 L/s(工区最低要求是 28 L/s)。

加入水力振荡器之后,定向钻时稳定在 8 ~ 15 min/m,而邻井开始阶段定向钻时和下入水力振荡器相比相差不大,但后期定向钻时则一直上涨到 30 ~ 40 min/m(如图 9 所示),并且定向钻压达到 200 ~ 250 kN,托压严重、憋泵频繁。相比而言加入水力振荡器的定向钻压则一直维持在 100 ~ 120 kN,摩擦阻明显减小,定向顺利、无憋泵现象,平均钻速提高 48%(如图 10 所示),大大降低了施工难度。

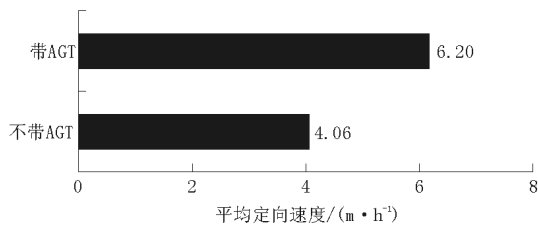


图 10 使用效果同常规螺杆的对比

3.2.3 工具使用中存在的不足及改进方案

影响水力振荡器使用效果的因素是多方面的,如工具的安放位置、井眼轨迹、泵的排量大小等。极少数工具因个别井水平段井斜调整频繁,轨迹复杂,或其它原因未能有效解决托压现象。如图 11 所示,在焦页 57-1 井,下入水力振荡器时井斜 70°,随后增斜到 102°,再降斜到 87°,后又增斜到 97°。此前定向顺利,当再次要求降斜到 91°时,发现定向困难,加压工具面不回,出现托压现象。主要原因是钻具在轨迹突变位置摩阻突然增大,钻具产生屈曲堆叠并形成自锁状态。这种情况下即使在钻具组合中加入了水力振荡器,也很难有效的降低摩阻,解决托压问题。建议在后续钻进中:(1)使用国民油井专用的 VibraSCOPE™ 摩阻分析软件,结合区块经验,进一步优化水力振荡器的安放位置,实现最佳减阻效果;(2)钻具中加入国民油井 DLReamer™ 微扩孔扶正器,在钻进的同时对井壁进行修正,并微扩孔 1/8 in,这将极大地提高井眼质量及轨迹的平滑度,为水力振荡器降低摩阻创造良好的条件;(3)在钻具中加入旋冲钻具,在为钻头提供冲击作用的同时,带动钻头附近的钻具产生轴向振动,降低摩阻;解放水力振荡器,使其布置于钻具中摩阻可能最大的位置,这样发挥旋冲钻具和水力振荡器各自特有的优势,实现综合效益的最大化。

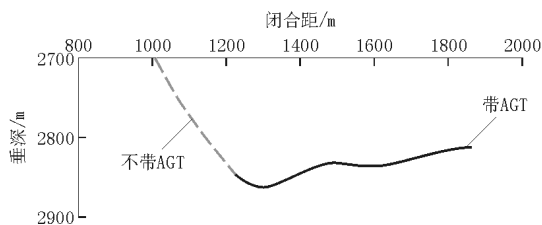


图 11 井眼轨迹变化情况

3.3 POB 抗油基泥浆螺杆的实施效果分析

从 2014 年初开始在焦石坝页岩气田引入 POB 抗油基泥浆螺杆,因其优良的表现,在焦石坝得到大量应用(见表 2),平均循环时间达到 73.97 h,到了

2015 年平均循环时间被提升到 90 h。实践证明,该螺杆是目前焦石坝气田油基泥浆中使用效果最好的螺杆品牌之一。

表 2 2014—2015 年 POB 抗油基泥浆螺杆在涪陵区块的使用情况

年份	井眼尺寸/in	工具尺寸/in	使用数量	总循环时间/h	平均循环时间/h
2014	8½	6¾	24	1775.25	73.97
2015	8½	6¾	15	1350	90

3.3.1 POB 抗油基泥浆螺杆的使用案例

在焦页 42-2HF 井,国民油井一根 POB 抗油基泥浆螺杆钻进 1718 m 至三开完钻,总纯钻时间 126 h,而同平台的 42-1HF 井在相同井段使用 3 根其它品牌的螺杆都没有钻完三开井段(如图 12 所示),且这 3 根螺杆都是因脱胶而起钻。又如在焦页 59-1 井,前两趟钻使用的其它螺杆都是因脱胶而起钻,随后下入的 POB 抗油基螺杆表现稳定,共计使用 4 趟钻,每次都因非螺杆原因而起钻,累计循环时间达到 143 h,最终中完三开起钻(如图 13 所示)。

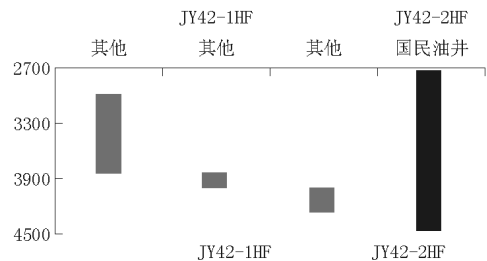


图 12 不同井使用效果对比

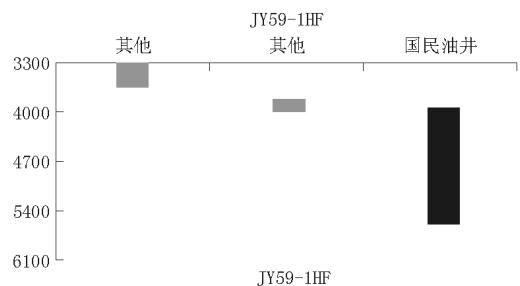


图 13 同井使用效果对比

3.3.2 工具使用中存在的问题与解决方案

POB 抗油基泥浆螺杆在使用中仍存在脱胶现象,主要原因是水平段所使用的油基泥浆对橡胶的侵蚀作用很强,对橡胶的机械性能影响巨大。据统计,其他 8 个厂家的螺杆包括进口螺杆都存在脱胶现象,目前针对“脱胶问题”还没有特别彻底的解决办法,对此主要采取的措施:一是根据具体所使用井段的井温来调节定转子之间的间隙以达到最优配

合;间隙太大会导致螺杆动力不足,间隙太小导致橡胶过度挤压变形,摩擦生热而提早失效;二是加紧做泥浆与橡胶的配伍实验,选择与所使用泥浆匹配性更好,性能更优的橡胶。

4 结论与建议

(1)使用旋冲工具配合 PDC 钻头可以实现从茅口组到韩家店上部地层一趟钻的目标。若在旋冲工具上安装欠尺寸扶正器可以更好的保护钻头和工具,提高钻头寿命的同时延长工具的使用时间,从而提高钻速和改善进尺。

(2)水力振荡器的现场应用表明,该工具可以比常规钻具组合提高定向钻速 50% 以上。优化水力参数和工具的安放位置可以更好的发挥工具性能。

(3)建议在定向段,水平段针对不同的井况,在钻具组合中分别加入 DLReamer™ 微扩孔扶正器或旋冲工具,与水力振荡器配套使用,以取得更好的使用效果。

(4)建议使用国民油井专用 VibraSCOPE™ 摩阻分析软件,模拟水力振荡器在不同安放位置的减阻效果。把水力振荡器安放在减阻最大的位置,以取得最佳使用效果。

(5)POB 抗油基泥浆螺杆在该区域相对表现最好,但应加紧做泥浆与橡胶的配伍实验,选择性能更优的橡胶,以更好的解决螺杆脱胶问题。

(6)国民油井的钻井提速方案是切实可行的。旋冲工具、水力振荡器、POB 抗油基泥浆螺杆等提速工具均发挥出了其独特优势,提高了钻井效率,可以在该区域全面推广,为涪陵页岩气田钻井提速做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 王坤,夏宏南,白凯,等.涪陵焦石坝地区水力振荡器在页岩气井应用评价[J].辽宁化工,2014,(12):1579-1581.
- [2] 艾军,张金成,臧艳彬,等.涪陵页岩气田钻井关键技术[J].石油钻探技术,2014,42(5):9-15.
- [3] 牛新明.涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J].石油钻探技术,2014,42(4):1-6.
- [4] 胡小兰.涪陵页岩气水平井钻井提速实践[J].江汉石油科技,2014,24(4):41-43.
- [5] 陈星星.涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.
- [6] 杨金华,田洪亮,郭晓霞,等.美国页岩气水平井钻井提速提效案例与启示[J].石油科技论坛,2013,(6):44-48.
- [7] 汤卫华.深井、超深井钻井提速技术难点及对策分析[J].化学工程与装备,2015,(2):96-98.
- [8] 韩福彬,杨决算,李瑞营,等.大庆深层钻井提速技术现状与展望[J].大庆石油地质与开发,2014,33(5):220-225.
- [9] 陈海力,王琳,周峰,等.四川盆地威远地区页岩气水平井优快钻井技术[J].天然气工业,2014,(12):100-105.
- [10] 陈广,郭少帅,王建波,等.焦页非常规页岩气井优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):17-21.
- [11] 索忠伟,尹慧博,张海平,白彬珍,陈卓.旋冲钻井技术在内蒙古意1井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):18-20,24.