

顺北 1-4H 井超深小井眼中短半径水平井 钻井难点及技术对策

张建龙¹, 温伟², 刘卫东¹, 刘长军³, 高炳堂¹

(1 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 2. 中国石化西北油田分公司监督中心, 新疆 库尔勒 841600; 3. 中国石油管道局工程有限公司第四分公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 顺北油田是中国石化西北油田分公司塔河油田接替区域, 顺北油田是目前国内最深的油气藏, 地层温度、压力高, 很多地方奥陶系桑塔木组含有辉绿岩, 受辉绿岩影响, 不得不用超深小井眼中短半径水平井钻井。以顺北 1-4H 井为例, 该井面临托压、温度高而仪器配套难、轨迹难以控制等难题。针对顺北 1-4H 井难题进行分析, 形成了相应的技术对策, 顺北 1-4H 井采取这些对策成功钻至目标地层, 获得了良好的油气发现。顺北 1-4H 井采用 $\varnothing 120.65$ mm 小井眼钻井, 完钻井深 8049.50 m, 创造了 $\varnothing 120.65$ mm 小井眼水平井井深最深纪录。顺北 1-4H 井的成功完井, 为超深小井眼水平井钻井的施工提供了很好的借鉴经验。

关键词: 超深井; 中短半径水平井; 托压; 井身轨迹; 顺北地区

中图分类号: P634.7; TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)04-0017-06

Drilling Difficulties and Technical Countermeasures for Medium-short Radius Horizontal Well in Super-deep Slim Hole Shunbei 1-4H/ZHANG Jian-long¹, WEN Wei², LIU Wei-dong¹, LIU Chang-jun³, GAO Bing-tang¹ (1. The Research Institute of Petroleum Engineering, SINOPEC, Beijing 100101, China; 2. The Supervise Centrality of the Field Branch Company at Northwest, SINOPEC, Korla Xinjiang 841600, China; 3. No.4 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Shunbei oilfield is the substitute region of Tahe oilfield which belongs to the Northwest Oilfield Branch Company, SINOPEC, it is the deepest oil and gas reservoirs in China with high formation temperature and high pressure, and there is diabase in many parts of Ordovician Sangtam formation. Because of this, the medium-short radius horizontal well drilling in super-deep slim hole has to be used. Taking the case of well Shunbei 1-4H, with the difficulties of insufficient bit pressure transmit, instruments matching under high temperature and trajectory control. With the corresponding technical countermeasures, the drilling target is completed to discover oil and gas reservoir. $\varnothing 120.65$ mm slim hole drilling is adopted for well Shunbei 1-4H, the completion depth is 8049.50 m, creating a new record of the deepest depth of horizontal well in $\varnothing 120.65$ mm slim hole. The completion of well Shunbei 1-4H provides the reference for the construction of horizontal well in super-deep slim hole.

Key words: super-deep well; medium-short radius horizontal well; insufficient bit pressure transmit; well trajectory; Shunbei area

0 引言

随着油气资源的不断开发, 浅层及其它易开发的油气资源越来越少, 开发难度大的砂砾岩、超深储层越来越多。

中国石化顺北油气田是近年才开发的油气藏。该油气田是中国石化西北油田分公司实施“塔河之外找塔河”战略后在顺北区块找到的塔河油田接替区域。该区块于 2015 年开采, 2016 年开始规模性开发, 预计储量达到 17 亿 t。

顺北油田储层为奥陶系一间房组、鹰山组及蓬莱坝组, 油藏埋藏深度达到 7300~8600 m, 油藏特点是储层埋藏深度大, 地层温度、压力高, 局部地区储层上部奥陶系桑塔木组地层还含有易漏、易掉块的辉绿岩地层, 进一步增加了顺北油田油气开发难度。受到油藏埋藏的地质条件限制, 顺北油田目标地层多采用超深小井眼中短半径水平井技术开发。

顺北 1-4H 井是中国石化西北油田分公司部署在顺北托勒低隆北缘的一口开发井, 该井设计目标地

收稿日期: 2018-01-28

基金项目: 中国石油化工股份有限公司项目“超深小井眼中短半径水平井优快钻井技术研究”(编号: 10010099-17-ZC0607-0025)

作者简介: 张建龙, 男, 汉族, 1966 年生, 高级工程师, 从事常规及特殊工艺水平井、欠平衡/控压钻井、优快钻井及计算机在钻井工程中应用研究工作, 北京市朝阳区北辰东路 8 号, zhangjl.sripe@sinopec.com。

层垂直深度达到 7546 m,完钻井深 8049.50 m,垂深 7561.96 m,水平段长 430.20 m,创造了 $\varnothing 120.65$ mm 井眼中短半径水平井井深最深及水平段最长纪录。顺北 1-4H 井顺利完成为进一步探索超深中短半径水平井优快钻井技术提供帮助,也为顺北油田后期采用中短半径水平井开发提供借鉴。

1 顺北 1-4H 井概况

顺北 1-4 井地层情况见表 1。该井设计四开井身(见表 2),设计造斜点 7530 m,造斜率 $23.8^\circ/30$ m。受到奥陶系桑塔木组辉绿岩的影响,四开 $\varnothing 120.65$ mm 井眼采用中短半径水平井钻井。实际造斜点 7475 m,增斜段平均造斜率 $25.27^\circ/30$ m。

表 1 顺北 1-4H 井设计地层层序

地 层		深度/m	岩性简述(参考顺北 1 井、顺北 1-1H 井实钻岩性)
界 系 统	群 组 代号		
新近系	中新统	康村组 N_{1k}	2477 浅灰、灰白色细粒砂岩、粉砂岩与黄灰色泥岩、粉砂质泥岩略等厚互层,泥岩中含分散状石膏
		吉迪克组 N_{1j}	2737 上部为蓝灰色、棕色泥岩与棕色粉砂岩、细粒砂岩略等厚互层,下部以棕色泥岩、膏质泥岩、粉砂质泥岩夹棕色粉砂岩、细粒砂岩
古近系	渐-古新统	苏维依组 E_{3s}	2807 棕色泥岩与浅棕色细粒砂岩略等厚互层
		库姆格列木群 E_{1-2km}	2827 浅棕色细粒砂岩夹棕色泥岩
白垩系	下统	巴什基奇克组 K_{1bs}	3317 上部为浅棕色、棕色细粒砂岩、粉砂岩夹棕褐色泥岩,中部为浅灰色、棕色细粒砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩与棕褐色泥岩略等厚互层,下部为浅棕色细粒砂岩夹棕褐色泥岩
		巴西盖组 K_{1b}	3397 棕红色细粒砂岩与棕色泥岩略等厚互层
		卡普沙良群 舒善河组 K_{1s}	3627 浅棕色粉砂岩、细粒砂岩与棕色泥岩等厚互层
		亚格列木组 K_{1y}	3677 浅棕色细粒砂岩夹棕色泥岩
中生界	侏罗系	下统 J_1	3727 浅棕色细粒砂岩与棕色泥岩不等厚互层
		上统 哈拉哈塘组 T_3h	3977 T_3h^2 :灰色泥岩、粉砂质泥岩夹灰色粉砂岩; T_3h^1 :浅灰色细粒、中粒砂岩与灰色泥岩略等厚互层,即“T-I砂组”
三叠系	中统	阿克库勒组 T_2a	4357 $T_2a^4-T_2a^2$:灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩夹浅灰色粉砂岩、细粒砂岩; T_2a^1 :浅灰色细粒、含砾中粒、砾质中粒、杂色砂砾岩与灰色、深灰色泥岩略等厚互层,即“T-III砂组”
		下统 柯吐尔组 T_1k	4436 灰色、深灰色泥岩,底部为浅灰色细粒砂岩,杂色砂砾岩
二叠系	中统	阿恰群 P_2	4886 黑色、灰绿、灰色凝灰岩,顶部为灰绿色英安岩
		下统 卡拉沙依组 C_1kl	5155 C_1kl^2 :棕褐色泥岩、粉砂质泥岩、灰质泥岩与浅灰、灰色细粒砂岩、粉砂岩不等厚互层; C_1kl^1 :棕褐色、灰色泥岩、灰质泥岩、膏质泥岩
石炭系	下统	巴楚组 C_1b	5315 C_1b^3 :褐灰色灰岩、泥质灰岩夹灰色泥岩; C_1b^2 :灰色、褐灰色、棕褐色泥岩、粉砂质泥岩; C_1b^1 :灰色泥灰岩、灰白色含灰质细粒砂岩夹棕褐色泥岩
		泥盆系 上统 东河塘组 D_3d	5380 灰白色细粒砂岩与灰色、棕褐色泥岩不等厚互层
古生界	志留系	下统 塔塔埃尔特格组 S_1t	6170 上部为棕色、灰色泥岩、粉砂质泥岩与灰色、浅灰色、浅棕色粉砂岩、细粒砂岩略等厚互层,下部为灰色、浅灰色粉砂岩、细粒砂岩与灰色、绿灰色、棕褐色泥岩、粉砂质泥岩不等厚互层
		柯坪塔格组 S_1k	6607 S_1k^3 :灰色、浅灰色细粒砂岩与棕褐色泥岩、粉砂质泥岩等厚互层; S_1k^2 :深灰色泥岩、灰绿色泥岩,局部夹灰色泥质粉砂岩; S_1k^1 :灰绿色泥岩、棕褐色泥岩、灰色粉砂质泥岩与灰色、浅灰色粉砂岩、细粒砂岩略等厚互层
		上统 桑塔木组 O_{3s}	7432 上部为褐灰色、灰色灰质泥岩、泥岩与褐灰色泥灰岩略等厚互层;中部为灰绿色、灰黑色辉绿岩,预测辉绿岩侵入体顶面深度为 6879 m,厚度 30~35 m;下部为灰色泥岩、含灰质泥岩
		奥陶系	良里塔格组 O_3l
哈尔巴克组 O_3q	7462 上部灰色灰质泥岩,下部黄灰色泥质灰岩		
中统		一间房组 O_2yj	斜深 垂深 7761.21 7546

注:上下地层之间关系,实线表示整合接触,点划线表示平行不整合接触,波浪线表示角度不整合接触。

2 顺北 1-4H 井水平井钻井难点分析

顺北 1-4H 井钻井难点主要表现在以下几个方面。

2.1 钻具易弯曲变形引起托压,影响定向钻井

顺北 1-4H 井井眼及钻具尺寸小,钻具柔性大,钻具易弯曲变形,增大钻具与井眼接触面积,同时井眼曲率大,易形成岩屑床,阻碍钻具上提及下放,从而

表 2 顺北 1-4H 井井身结构

序号	钻头直径/mm	井深/m	套管尺寸/mm	下深/m	管鞋位置	水泥返深/m	备注
导管	660.40	150.00	508.0	149.00	N	地面	
一开	346.07	2000.00	273.1	1999.30	N ₁ k	地面	
二开	250.88	6840.00	193.7	6838.52	O ₃ s	地面/4000	
三开	165.10	7452.00	139.7	7449.00	O ₃ q	6700	悬挂器位置
四开	120.65	8049.50					裸眼完井

增大钻井摩阻,引起托压,滑动钻井时上部钻具处于静止状态,钻井摩阻增大,托压现象更加明显。顺北 1-4H 井滑动钻井、复合钻井、及起下钻等不同工况大钩负荷变化情况如图 1 所示。

从图 1 可以看出,7500 m 开始不同工况大钩负荷变化曲线均发生明显的变形,形成了明显的托压现象。托压从大到小的工况依此为滑动钻井、复合钻井、

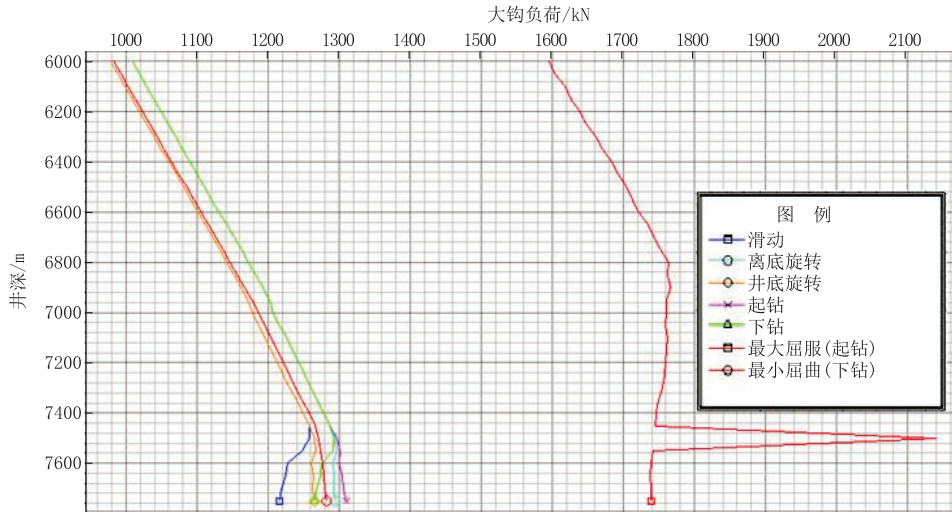


图 1 顺北 1-4H 井大钩负荷变化情况

下钻、离底旋转。滑动钻井托压最大,7060 m 处滑动钻井比复合钻井托压增大 22 kN,7760 m 处托压更大。7984 m 处因托压无法定向。

2.2 超深小井眼温度高,可用测量仪器少

顺北 1-4H 井进行 $\varnothing 120.65$ mm 井眼水平井钻井前,顺北地区完钻井只有顺北 1-1H 井。顺北 1-1H 井井眼尺寸为 $\varnothing 149.2$ mm,井深 7602.05 m,仪器配套可借鉴的资料少。

顺北地区地温梯度达到 $2.0 \sim 2.18$ $^{\circ}\text{C}/100$ m,顺北 1-4H 井设计井底垂深 7546 m,预计井底静止温度 165 $^{\circ}\text{C}$ 以上,而小井眼循环排量低,循环降温效果差,可用测量仪器少。

目前国内厂家生产的仪器抗温一般在 140 $^{\circ}\text{C}$ 左右,虽然有些厂家已经生产了抗温 175 $^{\circ}\text{C}$ 仪器,但研发完后尚未形成工业化应用。

国外高温仪器直接供应流程复杂,供应少,租用价格高。国内虽然引进了标称抗温 175 $^{\circ}\text{C}$ 仪器,但目前引进的 175 $^{\circ}\text{C}$ 仪器实际抗温能力很多不到 165 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 $\varnothing 120.65$ mm 井眼使用的 $\varnothing 95$ mm 螺杆振动大,对仪器测量精度影响大

螺杆钻具均为中空结构(图 2),钻具抗弯强度对应的弯曲力计算如式(1)所示。

$$F = k\sigma S = k\sigma\pi(2R - d)d \quad (1)$$

式中: F ——螺杆钻具弯曲所需力,kN; σ ——材料抗弯强度,MPa; R ——螺杆钻具外径,m; d ——螺杆钻具壁厚,m; k ——系数,常数; S ——横截面积, m^2 。

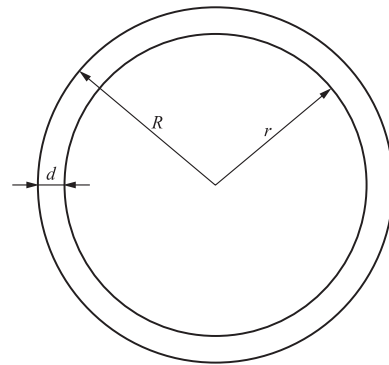


图 2 螺杆结构示意图

从式(1)可以看出,螺杆钻具外径越大,钻具弯曲需要的力也越大,钻具的抗弯能力也越强, $\varnothing 95$ mm 螺杆比 $\varnothing 120.65$ mm 螺杆抗弯能力更低,钻具更容易发生弹性变形。

钻具发生弹性变形后,弹性变形的形成及恢复易引起钻具的振动,弹性振动的强度又受到材料抗弯强度、受力性质及大小、力矩影响。对于某一种材

料,其抗弯强度一定,螺杆钻具的弹性变形主要受到交变力的大小及力矩大小影响,交变力越大,变化频率越高,钻具受到的力越大,螺杆钻具的弹性变形能力就越强。当弹性变形达到一定程度时就会引起固定在电路板上的元器件损坏。

北京石油机械厂 $\varnothing 95$ mm 螺杆在顺北 1-4H 井出现多次振动损坏仪器,影响正常测量情况。定向钻并至 7563.38 m 工具面出现异常,随即 MWD 仪器无脉冲信号。随后复合钻进钻至 7576.73 m,钻时明显变慢,钻时由 18~20 min/m 增加到 35 min/m,泵压由 23 MPa 升高到 25 MPa,最高升高到 28 MPa,出现憋泵现象,同时定向工具面出现异常。工具面一直保持在 75° 无变化,振动值也一直处于高危振动警告区域。起钻检查发现仪器探管扶正金属块及固定螺丝被振断,电路板线圈脱落,电容掉落(图 3),仪器监测的振动值达到 68~75 G(图 4)。

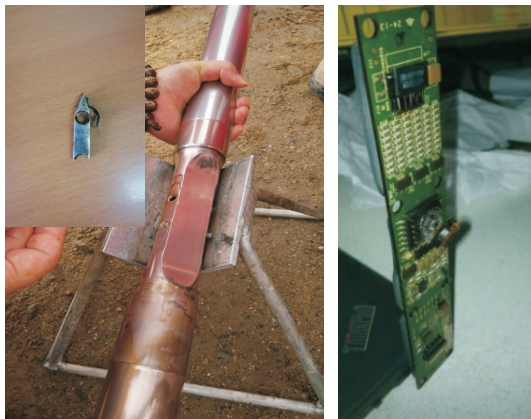


图 3 顺北 1-4H 井振动对仪器损伤

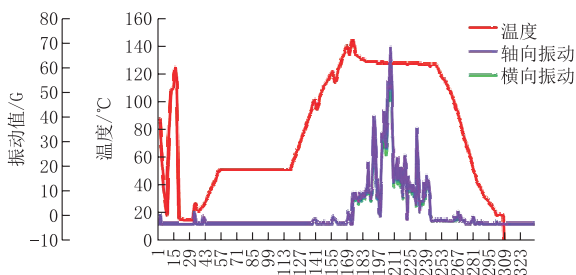


图 4 顺北 1-4H 井仪器监测振动值变化

2.4 超深中短半径水平井轨迹控制难度大

顺北地区目标地层一间房组灰岩地层缝洞发育,超深中短半径水平井轨迹控制难度主要表现在钻具托压引起工具面摆动困难及小钻具钻遇大裂缝地层时轨迹延伸易受裂缝等影响发生改变。

顺北 1-4H 井水平段复合钻进至 7796.76 m 后钻遇左下倾裂缝,本来复合钻井井斜及方位均增

大的趋势突然变为井斜突然减小、方位变小的趋势(图 5、表 3)。

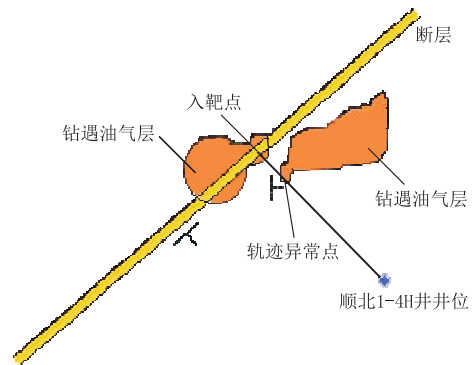


图 5 顺北 1-4H 井水平段钻遇裂缝轨迹变化

表 3 顺北 1-4H 井水平段复合钻至 7085.82 m 轨迹变化

序号	测深/m	井斜/ $^\circ$	方位/ $^\circ$
1	7787.44	89.0	302.8
2	7796.76	89.2	303.2
3	7802.90	86.8	302.9
4	7805.82	86.9	303.4

3 顺北 1-4H 井水平井钻井技术对策

顺北 1-4H 井井眼尺寸 $\varnothing 149.2$ mm,井眼深度达到 8049.50 m,在这样超深小井眼中短半径水平井钻井面临许多难题(前面已进行了分析),针对顺北 1-4H 井超深小井眼中短半径水平井面临的主要难题,采取如下技术措施。

3.1 优化钻具组合及钻井液性能,减少滑动钻井托压

通过优化钻具中刚度较强的加重钻杆使用数量来改善钻具组合的变形状况,尽量减少钻具弯曲引起的钻具托压,同时通过改变钻井液的润滑性能来提高井眼的润滑状态,通过调整钻井液的携岩性能减少岩屑床的形成,从而减少钻井托压。

根据顺北 1-4H 井井眼情况,使用不同长度加重钻杆后 7550、7600、7650 m 处托压情况如图 6 所示。

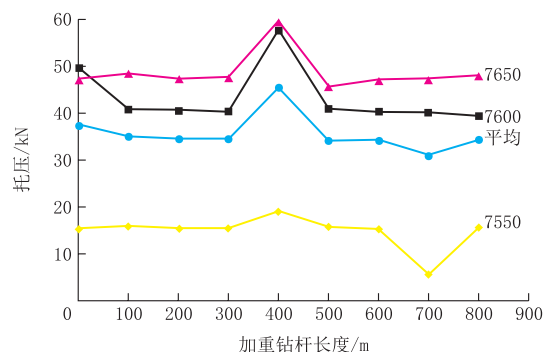


图 6 顺北 1-4H 井不同长度加重钻杆托压情况

从图 6 可以看出,随着加重钻杆使用长度的增加,7600 m 托压情况明显好转,7550 及 7650 m 处托压情况变化不大,使用 100 m 加重钻杆时 7650 m 处托压甚至还有微增趋势,加重钻杆长度达到 300 m 时托压比较小,加重钻杆长度达到 500 m 时,7550 m 以下各点托压情况均有所改善,长度达到 700 m 时托压最小,达到 800 m 后托压明显增加。根据顺北 1-4H 井及邻井钻井情况,推荐选用加重钻杆 500~700 m,最少使用 200~300 m。

表 4 国内引进的小井眼高温 MWD 仪器性能及使用情况

型号	尺寸/mm	井斜精度/(°)	方位精度/(°)	工作温度/℃	耐压/MPa	排量/(L·s ⁻¹)	适合钻铤尺寸/mm	备注
APS	47.80	±0.10	±1.00	175	175	7~12	105	
SLIMPULSEG5	44.50	±0.10	±1.00	≤150	≤155	5~10	63.5~241.3	多口井应用
GE-MWD	47.80	±0.05	±0.25	≤175	≤170	8~12	88.9~241.3	多口井应用
Boreview	47.80	±0.10	±0.25	≤175	≤138	5~11	105	3 口膨胀管井应用
SUPERSLIM	53.96	±0.05	±0.25	≤150	≤124.1	7~10	89	

国内已进口的高温 MWD 仪器没有高额的动迁费,使用成本相对较低,引进的高温 MWD 仪器在国内应用效果良好。

中国石化石油工程技术研究院引进的 APS 仪器在元坝地区 $\varnothing 152.4$ mm 井眼、顺北 1-1H 井 $\varnothing 149.2$ mm 井眼均进行了成功应用。虽然 $\varnothing 120.65$ mm 井眼定向在顺北地区均是首次应用,但在与顺北 1-4H 井相近深度、相近尺寸的顺北 1-1H 井成功应用,给顺北 1-4H 井提供了 MWD 测量保障,引进的抗温 175 ℃ MWD 仪器为顺北 1-4H 井等 $\varnothing 120.65$ mm 井眼定向测量基本提供了测量保障。

但是,随着仪器的使用,仪器的测量及抗温性能在不断降低,同时由于国内引进的抗温 175 ℃ 仪器实际抗温能力在 160~165 ℃,而 $\varnothing 120.65$ mm 井眼尺寸小,循环降温效果差。为了更好保障顺北 1-4H 井 $\varnothing 120.65$ mm 井眼随钻测量,最好对仪器电路板及抗温敏感元件进行更新,以达到更好的抗温性能。

改进后的进口 175 ℃ MWD 仪器,提高了测量核心部件的新度,进一步提高了测量系统的抗温能力,配合循环降温,能够满足顺北 1-4H 井等类似井的 MWD 测量需要。

3.3 优选动力钻具,减小钻具振动对 MWD 测量影响

动力钻具包括螺杆钻具及涡轮钻具等等,由于结构不同,动力钻具压耗也存在较大的差别,一般螺杆钻具压耗为 2~4 MPa,涡轮钻具压耗达到 8~14 MPa。

顺北 1-4H 井井眼尺寸太小,井超深,涡轮钻具因压耗太大,影响正常钻井排量,难以满足携带岩

3.2 选用已改进的进口 175 ℃ 仪器解决高温测量问题

顺北 1-4H 井设计井深 7761.21 m,设计垂深 7546 m,预计井底温度 165 ℃ 左右。

国内已经工业化应用 MWD 仪器抗温 140 ℃ 左右仪器,抗温 175 ℃ MWD 仪器虽然已经生产,但尚未进行工业化应用,仪器抗温性能有待检验。

国内进口了不少高温 MWD 仪器,国内引进的高温 MWD 仪器使用情况如表 4 所示。

屑要求,动力钻具只能选用螺杆钻具。

国内生产抗温 180 ℃ 的螺杆钻具的生产厂家有北京石油机械厂、天津立林石油设备有限公司、德州石油联合机械厂等等。顺北 1-4H 井井眼尺寸只有 $\varnothing 120.65$ mm,只能使用 $\varnothing 95$ mm 动力钻具。由于 $\varnothing 95$ mm 螺杆钻具国内使用少且高温橡胶灌注复杂,生产 $\varnothing 95$ mm 螺杆钻具生产厂家更少,只有北京石油机械厂及天津立林石油设备有限公司等单位。

从式(1)可以看出,螺杆钻具振动强度与受到的力矩大小有关。由于螺杆钻具外壳为单弯结构,螺杆钻具所受力矩与弯点以下钻具长度有关,弯点以下长度越长,螺杆钻具所受力矩也越大,螺杆钻具的弹性振动也越强烈;因此,为减少螺杆钻具的振动频率,应选择弯点以下长度比较短的螺杆。

北京石油机械厂 5LZ95×7.0 螺杆弯点下长度为 0.93 m,天津立林石油设备有限公司 5LZ95×7.0 SF 螺杆弯点以下长度为 0.763 m。为了避免螺杆振动对 MWD 仪器带来损伤,顺北 1-4H 井定向钻井应选用天津立林石油设备有限公司生产的 5LZ95×7.0 SF 螺杆。

3.4 加密监测,定向脱离裂缝,减少裂缝对轨迹控制的影响

顺北 1-4H 井目标地层断层发育,在构造运动的作用下,断层形成时容易在周围产生许多伴生裂缝,微小的裂缝对井眼轨迹影响小,大的裂缝面对井眼轨迹造成影响,引导易变形的小钻具沿裂缝面前进,虽然有些大裂缝可能被次生方解时或其它

物质充填,但依然存在明显的地层各向异性,依然可能对轨迹控制产生影响。

对于可能存在大裂缝的井眼,最好加密监测井眼轨迹、钻时、气测及钻井液总体积等的变化情况。缩短轨迹测量间隔距离,将测量间隔由5 m改为1~2 m,井眼轨迹测量方式可以为动态监测或静态测量。一旦发现井眼轨迹出现明显的异常变化,立即改变定向钻井方式,消除裂缝对井眼轨迹控制的影响,及早脱离裂缝,避免轨迹出现大的波动,保持井眼轨迹的光滑。

4 技术措施应用情况分析

顺北1-4H井从7475 m开始定向钻井,定向后受井队条件限制,钻具组合中加重钻杆只有27根。水平段钻井期间,周围完钻的 $\Phi 120.65$ mm中短半径水平井大部分因提前钻遇油气层而未钻进至水平段就提前完钻,钻进至水平段的水平井一般水平段也只钻进200 m左右,水平段最长的顺北1-6H井钻进至7789.07 m因漏失完钻。顺北1-4H井水平段钻井至7980 m定向时,水平段长已经达到360.70 m,无可借鉴的定向经验。该井7980 m定向时开始出现严重的托压定向困难情况,通过采用有效措施,顺利完成了该井定向钻井任务。

在螺杆选用方面,7475~7810 m使用北京石油机械厂生产的 $\Phi 95$ mm螺杆钻具,由于螺杆钻具振动太大,振动值达到68~75 G,造成MWD仪器电路版及扶正器损坏;现场定向技术分析后通过采取有效措施顺利完成了定向服务任务。

在仪器配套方面,优选了APS 175 °C高温MWD仪器,仪器使用期间,使用振动大的北京石油机械厂的螺杆时出现了仪器损坏问题(图3)。通过前述分析,及时更换振动较小的天津立林公司的螺杆钻具,并将MWD仪器探管扶正块由金属材质更换为橡胶材质,MWD仪器测量正常,未出现过任何仪器问题。仪器测得井底最大温度165 °C,最大循环温度154 °C。

在裂缝影响轨迹控制方面,顺北1-4H井水平段复合钻井井眼趋势为微增井斜及方位(7787.44~7796.76 m,井斜由89°增加到89.2°,方位由302.8°增加到303.2°)。复合钻进至7802.9 m,井斜突然由89.2°降低到86.8°,方位由303.2°降低到302.9°。钻井时没有出现明显的钻井液漏失现象,发现问题后立即从7818 m开始定向,测量间隔距

离由5 m改为1 m,测量采用动态测量、静态校验方式。定向时尽可能加大钻压,定向至7857 m后井斜由7815.45 m的86.1°增加到7853.45 m的88.5°,方位也增加到304°,快速解决了裂缝对井眼轨迹控制的影响。

顺北1-4H井通过采取上述措施有效保证了安全、优质钻达地质设计的目标地层,达到地质开发目的。该井水平段钻至8049.09 m出现了钻井液失返性漏失,强钻至8049.50 m完钻,完井测试日产原油185 t,日产天然气9万 m^3 。创造了 $\Phi 120.65$ mm井眼水平段最长、完钻井深最深的纪录。

5 结语

(1)超深小井眼中短半径水平井钻具柔软,易托压,定向钻井时应保证加重钻杆的用量,并保持钻井液具有良好的润滑及携岩性能,能够有效降低定向钻井托压现象。

(2)超深小井眼中短半径水平井井深,井底温度高,目前国内抗温175 °C仪器尚未形成工业化应用,进口抗温175 °C仪器通过更换抗温敏感元件,能够满足顺北1-4H井类似深度超深水平井定向钻井测量需要。

(3)超深小井眼中短半径水平井使用的螺杆钻具振动大,对测量仪器造成不利的影 响。随着螺杆钻具尺寸的增大,振动减少,对仪器的影响也越小。螺杆钻具振动也受到钻具弯矩大小的影响,弯点以下长度越长,振动也越大。定向钻井时应尽量选用外径尺寸大及弯点以下距离短的螺杆钻具。

(4)顺北1-4H井及顺北其它地区储层裂缝发育,裂缝会对井眼轨迹控制产生影响。轨迹控制时应缩短随钻测量间隔距离,勤测量井眼轨迹的变化,及早发现裂缝对井眼轨迹的影响规律,通过定向方式及早脱离裂缝,避免轨迹出现大的变化,保持轨迹圆滑。

参考文献:

- [1] 王炜,王敏中.弹性振动问题的中值定理[J].应用数学学报,1991,(4):496-499.
- [2] 秦永和,付胜利,高德利.大位移井摩阻扭矩力学分析新模型[J].天然气工业,2006,(11):77-79,177.
- [3] 王俊良,陈洪亮,刘永峰.大位移井钻具组合设计及摩阻扭矩分析[J].钻采工艺,2012,35(1):24-26,68,9.
- [4] 易浩,唐波,练章华,等.考虑接头的钻柱摩阻扭矩分析[J].西南石油学院学报,2006,(4):85-89,106.
- [5] 付建红,施太和.弯外壳动力钻具力学性能分析[J].石油钻采工艺,1995,(2):8-11,27-97.
- [6] 王向涛.螺杆钻具振动与减振分析[D].四川成都:西南石油大学,2013.