

◀ 钻井与完井 ▶

塔河油田沙 3 区块水平井钻井技术

万长根¹ 林于栋² 彭汉标³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院 德州石油钻井研究所, 山东 德州 253005; 2. 中国石油吐哈油田分公司 招投标管理中心, 新疆 哈密 839009; 3. 中原石油勘探局 塔里木钻井公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要:通过对塔河油田沙 3 区块已完成的 5 口水平井的总结分析, 认为该区块水平井钻井过程中存在地层可钻性差、地温梯度高、造斜点浅、PDC 钻头复合钻进时增斜规律性不强等技术难题, 从井身结构优化、钻井液优选、应用“PDC 钻头+螺杆”钻进等方面介绍了 5 口水平井钻井所采取的主要技术措施, 并给出了相应的钻具组合、钻井液维护处理及工程技术措施, 指出应加强钻具造斜性能的统计分析及 PDC 钻头的应用, 进一步优化井身剖面, 优化技术措施, 以提高机械钻速, 缩短钻井周期, 从而提高该区块水平井钻井的综合经济效益。

关键词: 水平钻井; 井眼轨迹; 钻具组合; 机械钻速; 塔河油田
中图分类号: TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890(2008)04-0026-04

塔河油田沙 3 区块油藏埋深 5 038~5 057 m, 主要目的层为白垩系巴什基奇克组地层。截至目前, 在沙 3 区块已完成 5 口水平井, 均采用直-增-稳-增-稳五段制井身剖面, 主要钻井数据见表 1。其中 S3-6H 井在钻至井深 2 634. 51 m 时发生了卡钻事故; S3-7H 井在钻至井深 5 497. 67 m 时发生了卡钻事故, 完井套管未下到底(套管下深 5 727. 50 m)。另外, 与其它区块相比, 沙 3 区块水平井钻井周期长, 机械钻速偏低。因此, 对该区块 5 口水平井钻井技术进行总结, 分析存在的问题, 对于进一步提高该区块水平井钻井综合效益具有重要作用。

表 1 塔河油田沙 3 区块 5 口水平井完钻情况			
井号	井深/m	钻井周期/d	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)
S3-2H	5 495. 00	112. 92	3. 98
S3-3H	5 554. 00	128. 06	4. 59
S3-5H	5 750. 00	134. 17	4. 09
S3-6H	5 630. 87	140. 50	4. 14
S3-7H	5 766. 12	110. 38	4. 88

注: 5 口水平井 A、B 点均中靶。

造斜点浅 对于靶前位移长的水平井, 提高了造斜点, 导致在可钻性差的地层井段长, 从而影响了机械钻速, 也增加了定向施工的难度和卡钻的风险。

螺杆钻具造斜率变化大 受地层的影响, 螺杆钻具造斜率变化较大, 例如, S3-2H 井 1. 75°单弯螺杆钻具的造斜率只有 (5°~7°)/30m, 而 S3-5H 井 1. 5°单弯螺杆钻具的造斜率竟达到 13. 33°/30m, 为待钻井眼轨道预测及轨迹控制带来很大困难。

PDC 钻头定向钻进工具面角调整困难 PDC 钻头的切削特性决定了其对钻压特别敏感, 因此动力钻具反扭角、需要施加的钻压难以确定, 导致工具面角调整耗费了大量的时间。

PDC 钻头复合钻进时增斜规律性不强 在同一钻压下复合钻进时, PDC 钻头钻进井段的增斜率规律性不强, 有时高达 2. 47°/30m, 而有时则不增斜甚至还微降斜, 这也增加了待钻井眼轨道预测与轨迹控制的难度。

1 主要钻井难点

地层可钻性差 下第三系苏维依组地层的棕褐色泥岩、膏质泥岩、粉砂质泥岩及库姆格列木群地层的棕褐色泥岩、膏质泥岩、浅棕粉砂岩、棕褐色中砂岩和砾质中砂岩的可钻性差, 影响机械钻速的提高。

地温梯度高 塔河油田沙 3 区块地温梯度高达 2. 6 ℃/100m, 由于井深 5 400~5 800 m, 井底最高温度约达 140 ℃, 严重影响了 MWD 仪器、螺杆钻具的正常使用, 缩短了其使用寿命。

2 主要技术措施

2.1 优化井身结构

塔河油田沙 3 区块 5 口水平井优化后的实钻井身结构见表 2。

收稿日期: 2008-03-15; 改回日期: 2008-06-02
作者简介: 万长根(1973—), 男, 江西进贤人, 1997 年毕业于中国地质大学(武汉)勘察工程系, 工程师。
联系电话: (0534)2670113

表 2 塔河油田沙 3 区块 5 口水平井实钻井身结构

井号	一开		二开		三开		
	钻头尺寸/ mm	井深/ m	钻头尺寸/ mm	井深/ m	钻头尺寸/ mm	导眼钻深/m	导眼回填侧 钻井深/m
S3-2H	444.5	807	311.1	4 000.00	215.9	5 100.00	5 495.00
S3-3H	444.5	803	311.1	4 000.00	215.9	5 095.00	5 554.00
S3-5H	444.5	805	311.1	4 000.00	215.9	5 100.00	5 750.00
S3-6H	444.5	802	311.1	4 000.35	215.9	5 104.00	5 630.87
S3-7H	444.5	800	311.1	4 000.00	215.9	5 233.45 (斜导眼)	5 760.00

2.2 优选钻井液体系

2.2.1 一开井段

一开井段采用聚合物膨润土钻井液,其基本配方为:6.0%~8.0%膨润土+0.1%~0.2%烧碱+0.1%~0.2%纯碱+0.3%~0.4%包被剂+0.1%~0.2%高粘羧甲基纤维素;主要性能:密度 1.07~1.25 kg/L,漏斗粘度 52~68 s,塑性粘度 12~27 mPa·s,动切力 10.5~14 Pa,静切力 2~4/7~16 Pa,滤失量 7~5 mL,泥饼厚度 0.5 mm,总固相体积分数 5%~11%,pH 值 10。

在钻进过程中,要保证大分子聚合物的质量分数在 0.2%左右,同时加入润滑剂,保证钻井液具有良好的润滑性。该井段有水层,为平衡水层要确保钻井液密度合理,并且保证足够的排量以及及时把井内的岩屑带离井眼。

2.2.2 二开井段

二开井段采用钾基聚合物钻井液,其基本配方为:3.5%~4.5%膨润土+0.1%~0.2%烧碱+0.1%~0.2%纯碱+0.2%~0.3%聚丙烯酸钾+0.3%~0.5%聚丙烯腈铵盐+0.2%~0.4%聚合物降滤失剂+5.0%~7.0%氯化钾;主要性能:密度 1.24~1.26 kg/L,漏斗粘度 40~58 s,塑性粘度 10~18 mPa·s,动切力 6~13 Pa,静切力 2~4/7~12 Pa,API 滤失量 8~5 mL,泥饼厚度 0.5 mm,总固相体积分数 7%~12%,摩擦系数 0.035,pH 值 8.5~10,Cl⁻ 质量浓度 11 000 mg/L,Ca²⁺ 质量浓度 340 mg/L。

在钻进过程中,要根据井下实际情况加入适量的润滑剂、防塌剂、SHC-1降滤失剂,降低钻井液的摩擦系数,稳定井壁,改善泥饼质量,并及时补充 KPAM(FQB-1)、FT-1,SHC-1、SMP-1、FKJ-2和 KPAN 等处理剂,保持其在钻井液中的有效含量,以有效抑制所钻地层中泥岩和膏泥岩的水化膨胀缩径。

2.2.3 三开井段

1)导眼段采用聚磺防塌钻井液,其基本配方为:3.5%~4.5%膨润土+0.1%~0.2%烧碱+0.1%~0.2%纯碱+0.2%~0.3%聚丙烯酸钾+0.2%~0.4%聚合物降滤失剂+2.0%~3.0%磺化酚醛树脂+1.0%~2.0%磺化褐煤;主要性能:密度 1.25~1.28 kg/L,漏斗粘度 40~45 s,塑性粘度 15~18 mPa·s,动切力 4~7 Pa,静切力 2~3/6~9 Pa,pH 值 9~10,API 滤失量 5~2 mL,泥饼厚度 0.5 mm,高温高压滤失量 11~9 mL,总固相体积分数 12%,Cl⁻ 质量浓度 14 g/L,Ca²⁺ 质量浓度 380 mg/L。

在钻进过程中加入油层保护剂 QS-2、JYW-1,抗高温降滤失剂 SHC-1、KPAN、SMP-1、FKJ-2、YL-100 和润滑剂,始终保持钻井液的性能优质、均匀、稳定。

2)导眼回填侧钻段采用聚磺混油非渗透钻井液,其基本配方为:3.0%~4.0%膨润土+0.1%~0.2%烧碱+0.1%~0.2%纯碱+0.2%~0.5%聚丙烯酸钾+1.0%~2.0%磺化酚醛树脂+1.0%~2.0%磺化褐煤+0.4%~0.8%聚合物降滤失剂+6.0%~8.0%原油+0.2%~0.3%乳化剂;主要性能:密度 1.26~1.28 kg/L,漏斗粘度 40~55 s,塑性粘度 15~24 mPa·s,动切力 4~7 Pa,API 滤失量 3.0~1.8 mL,高温高压滤失量 10~8 mL,固相体积分数 12%,pH 值 9~10,膨润土质量浓度 30~32 g/L。

在钻遇油气层前,对钻井液进行处理,加入 1%QS-2、1%~2%非渗透剂和 0.5%PB-1,对地层实施屏蔽暂堵,然后逐步混入原油,加入乳化剂 SP-80充分乳化,补充足量的防塌剂和降滤失剂,并加入 2%~3%油层保护剂 QS-2。

2.3 应用“螺杆+PDC 钻头”钻进

应用“螺杆+PDC 钻头”钻具组合在低钻压和高转速条件下钻进速度快、防斜纠斜能力强的特点,

与钟摆钻具组合配合使用,来提高钻井速度和井身质量^[1]。

螺杆钻具转速一般为 150~200 r/min,远远高于钻机转盘的转速。因此,在可钻性强的软一中软地层能获得较高的机械钻速和较好的防斜、纠斜效果。

防斜效果好 由于螺杆的转速高,只要钻头紧贴下井壁,其防斜效果就非常好。特别是在倾斜地层,防斜效果更加明显。

机械钻速高 由于螺杆的转速高,软一中软地层的机械钻速提高了 30%~50%,大大缩短了钻井周期。

2.4 其他工程技术措施

2.4.1 提高钻井液的携岩能力

1) 确定合理的钻井液排量,以提高钻井液的环空返速,从而满足携岩要求。

2) 保证钻井液具有适当的粘度、高切力和高动塑比,流性指数控制在 0.3~0.5,确保钻井液流型为平板层流,以减少对井壁的冲刷,提高悬浮能力和携岩能力。

2.4.2 提高钻井液的润滑性

1) 严格控制钻井液滤失量,保证形成薄韧致密的泥饼,减少钻柱与井壁的接触面积,减少摩阻。

2) 在造斜段和水平段钻进过程中,在钻井液中定期补充原油,保持原油体积分数在 8%以上,使摩阻系数维持在 0.03~0.05,同时降低泥饼的摩擦系数。

3) 合理使用固控设备,及时除去有害固相。控制钻井液固相体积分数低于 12%,保持钻井液清洁,降低扭矩和起下钻的阻力。

2.4.3 清除岩屑床

1) 定向钻进井段要充分划眼,以修整井壁,使井壁圆滑规则。

2) 钻进一定井段后,进行短程起下钻,以破坏、清除岩屑床。

3) 进入大斜度井段后,在钻头使用后期,起钻前打入稠浆封闭大斜度井段,以防止岩屑床的形成。

4) 每钻完一单根划眼两次,若机械钻速增快,增加钻井液循环时间,以有效防止岩屑床的形成。

3 现场施工

3.1 钻具组合

3.1.1 直井段

在水平井施工中,上部直井段关键是防斜打直^[2-4]。塔河油田沙 3 区块水平井直井段钻井过程中,使用牙轮钻头时通常采用塔式钻具组合 $\phi 311.1$ mm 钻头 + $\phi 241.3$ mm 钻铤 $\times 3$ 根 + $\phi 203.2$ mm 钻铤 $\times 12$ 根 + $\phi 177.8$ mm 钻铤 $\times 9$ 根 + $\phi 127.0$ mm 钻杆;使用 PDC 钻头时通常采用钟摆钻具组合 $\phi 311.1$ mm 钻头 + $\phi 241.3$ mm 钻铤 $\times 2$ 根 + 稳定器 + $\phi 241.3$ mm 钻铤 $\times 1$ 根 + $\phi 203.2$ mm 钻铤 $\times 12$ 根 + $\phi 177.8$ mm 钻铤 $\times 9$ 根 + $\phi 127.0$ mm 钻杆。

3.1.2 造斜段

侧钻钻具组合 $\phi 215.9$ mm 钻头 + $\phi 171.5$ mm 直螺杆钻具 + 2.5°弯接头 + $\phi 165.1$ mm 无磁钻铤 + MWD 悬挂短节 + $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 + $\phi 127.0$ mm 斜坡钻杆。

自设计造斜点开始侧钻时,根据设计调整好工具面角,使用小钻压控制好钻时,确保一次造台阶成功,前 2~3 m 钻时一般控制在 120 min/m 以上,每 0.50 m 捞取一次砂样,分析对比砂样的不同,及时判断侧钻情况,确保一次侧钻成功。

增斜、稳斜钻具组合 $\phi 215.9$ mm 钻头 + $\phi 171.5$ mm 单弯螺杆钻具 + $\phi 165.1$ mm 无磁钻铤 + MWD 悬挂短节 + $\phi 127.0$ mm 无磁承压钻杆 + $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 + $\phi 127.0$ mm 斜坡钻杆。

定向钻进参数:钻压 30~120 kN,排量 26~28 L/s,泵压 18~20 MPa;复合钻进参数:钻压 30~80 kN,排量 26~28 L/s,转速 25~40 r/min,泵压 18~19 MPa。

在井斜角超过 30°后,采用倒装钻具组合,斜井段使用 18°斜坡钻杆,加重钻杆放在直井段,以降低摩阻和扭矩。

水平段钻具组合 $\phi 215.9$ mm 钻头 + $\phi 171.5$ mm 单弯螺杆钻具 + $\phi 127.0$ mm 无磁承压钻杆 + $\phi 165.0$ mm MWD 悬挂短节 + $\phi 127.0$ mm 无磁承压钻杆 + $\phi 127.0$ mm 斜坡钻杆 + $\phi 127.0$ mm 加重钻杆 + $\phi 127.0$ mm 钻杆。

定向降斜钻进参数:钻压 100~160 kN,排量 27 L/s,泵压 18~19 MPa;复合钻进参数:钻压 20~40 kN,排量 27 L/s,转速 22~45 r/min,泵压 18~19

MPa。

3.2 工程技术措施

确定合适的造斜率 根据塔河油田沙 3 区块实钻资料,上部地层造斜能力不强,确定造斜率为 $7^{\circ}/30\text{m}$ 左右,以便于选择螺杆钻具。

提前扭方位 在着陆控制中,方位控制相当重要,由于中曲率水平井井斜角增加较快,不提前扭方位将会增加扭方位的难度。在钻进过程中,通过调整工具面加强对方位的动态监控,为后续施工保证井眼平滑创造有利条件。

选择合适的井段循环钻井液,降低温度 由于所用 MWD 仪器最高工作温度 131.5°C 、循环温度 107.8°C ,而塔河油田沙 3 区块地温梯度高达 $2.63^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,水平井钻井过程中均出现 MWD 仪器到底工作不正常的现象。为此,选择直裸眼段或复合钻进井段循环钻井液,以达到降温的目的,现场应用效果良好,避免了不必要的起下钻。

使用 PDC 钻头提高机械钻速 在水平井施工过程中,动力钻具带动钻头高速旋转,同时动力钻具在井下不居中,导致钻头产生较大的径向力使钻头磨损不均匀,因而相对缩短了钻头的使用寿命(牙轮钻头纯钻时间一般 $30\sim 40\text{h}$),造成起下钻次数增多,而使用 PDC 钻头可大大减少起下钻次数,从而提高机械钻速。

摸索及掌握 PDC 钻头定向钻进工具面角的规律 PDC 钻头的切削特性决定了其对钻压特别敏感,动力钻具反扭角、需要施加的钻压难以确定^[5]。在施工中,PDC 钻头入井应确保井底干净,井眼通

畅,在大斜度井段定向工具面不好调整时,应上下大力活动钻具,慢慢放至井底,待接触井底后观察工具面稳定后再调整,在施工中效果明显。

4 认识与体会

1)水平井钻井过程中应加强钻具造斜性能的分析分析及地层因素的影响分析,确定钻具在不同地层中的造斜规律,可避免不必要的起下钻。

2)建议使用 PDC 钻头定向钻进,摸索及掌握 PDC 钻头定向钻进工具面角的规律,可大幅度提高机械钻速,缩短钻井周期,并发挥动力钻具、MWD 仪器的最佳使用效率。

3)下第三系苏维依组和库姆格列木群地层的泥岩可钻性极差,施工过程中可采取增大钻压的技术措施提高机械钻速。

4)在分析、总结沙 3 区块水平井钻井技术的基础上,针对地层造斜不稳定的情况,进一步优化井身剖面,以提高机械钻速,缩短钻井周期。

参 考 文 献

- [1] 寇海成,张松杰,熊腊生,等. 螺杆钻具配合 PDC 钻头在深直井中的应用[J]. 石油钻探技术,2001,29(5):52-53.
- [2] 刘修善. 井眼轨道几何学[M]. 北京:石油工业出版社,2006.
- [3] 吴叶成,陈小元,范迎春. 长靶前位移水平井轨迹控制技术[J]. 钻采工艺,2006,29(4):14-16.
- [4] 苏义脑. 水平井井眼轨道控制[M]. 北京:石油工业出版社,2000.
- [5] 翟科军. 塔河油田水平井钻井技术经济性分析与评价[J]. 石油钻探技术,2005,33(1):21-23.

[审稿 陈天成]

Horizontal Well Techniques in Sha-3 Block of Tahe Oilfield

Wan Changgen¹ Lin Yudong² Peng Hanbiao³

(1. Dezhou Petroleum Drilling Research Institute, Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec, Dezhou, Shandong, 253005, China; 2. Tender Management Center of Tuha Oilfield Branch Company, CNPC, Hami, Xinjiang, 839009, China; 3. Tarim Drilling Company, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Korla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: Based on the analysis of five horizontal wells completed in Sha-3 block of Tahe Oilfield, technical challenges were identified, including poor drillability, high geothermal gradient, shallow kick off point, weak build up rate while using PDC bit and mud motor. The main techniques used in these 5 horizontal wells were introduced, including casing schematics design, drilling fluid selection, compounding drilling using PDC bit and positive displacement mud motor (PDM). The corresponding bottom hole assembly (BHA), drilling fluid preparation, and engineering measures were introduced in this paper. Finally, this paper suggests, in order to improve the comprehensive economic benefits, we should further optimize the well schematics design, improve technical measures, increase rate of penetration, and reduce drilling cycle.

Key words: horizontal drilling; hole trajectory; bottom hole assembly; penetration rate; Tahe Oilfield