

伊拉克米桑油田深井水平井钻井技术

张晓广

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要:为应对伊拉克米桑油田深井水平井高压盐膏层盐水侵,下部灰岩地层漏、喷、塌和卡等多种风险,同时尽可能降低钻井成本,提高作业时效,在 64H 井开展了深井水平井研究和实践。根据区块作业经验将深井水平井设计为六开井身结构;针对高压盐膏地层,采用高密度饱和复合盐钻井液技术;在深部灰岩地层实施了一系列定向井和尾管固井技术。解决了该区块钻井过程中的技术难题,提高了钻井安全性和时效,打破了米桑油田深井水平井钻井记录。

关键词:深井;水平井;钻井技术;高压盐膏层;盐侵;伊拉克米桑油田

中图分类号:TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)11-0024-05

Drilling Technologies for Deep Horizontal Well in Iraq Missan Oilfield/ZHANG Xiao-guang (CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: To deal with the various risks of high pressure salt-gypsum layer salt contamination and leakage, blowout, collapse and drill pipe sticking in lower limestone formation of deep horizontal well in Iraq Missan oilfield, as well as to reduce drilling cost and improve drilling efficiency, the research and operation on deep horizontal well are carried out in well 64H. Based on the block operation experience, the deep horizontal well is designed as a 6-spud well structure, the high-density saturated compound salt drilling fluid technology is adopted for high-pressure salt-gypsum layer, and a series of directional well and liner cementing technologies are implemented in deep limestone formation, which solve the drilling technical difficulties in this block, improved the drilling safety and efficiency and created a new drilling record of deep horizontal wells in Missan oilfield.

Key words: deep well; horizontal well; drilling technology; high pressure salt-gypsum layer; salt contamination; Iraq Missan oilfield

0 引言

米桑油田位于伊拉克东南部的米桑省,毗邻伊朗,西北距巴格达 350 km,中海油自 2012 年接手米桑油田钻井作业以来,吸取之前国外某知名石油公司的经验教训,成功克服各种井下困难,取得直井钻井的成功,并于 2014 年成功钻成米桑油田第一口水平井,且完钻垂深超 4000 m,完钻井深近 5000 m。为进一步加快米桑油田复产,中海油继续开展了深井水平井钻井研究和实践,成功应用于 64H 井,打破了米桑油田深井水平井钻井记录,实现了该油田深井水平井钻井周期 90 d 左右的目标。

1 地层特点

米桑油田地层自上而下:Upper Fars 组,以砂泥岩为主,厚约 2000 m;Lower Fars 组,以石膏、泥

页岩、盐岩沉积为主,厚约 800 m,是区域盖层,也是高压盐膏层所在层位;第三系的 Jeribe 组到白垩系,以碳酸盐岩为主,是储层所在层位^[1]。

2 井身结构与轨迹设计

要实现安全、高效、优质钻井,满足勘探开发的需要,首先要设计合理的井身结构。合理的井身结构设计既要满足工程要求,又要尽量避免“漏、喷、塌、卡”等复杂情况的发生,从而保证施工安全,同时最大限度地降低钻井成本,达到预期的钻探目的^[2]。米桑油田深井水平井井身结构设计以平衡地层孔隙压力、防止压漏地层、封住必封井段(高压盐膏层层段)及保护储层为套管程序设计原则^[3]。根据工程地质环境的精细描述,确定地层必封点^[4]。打开储层的井眼尺寸及油层套管的选择应满足完井和采油

收稿日期:2018-03-26;修回日期:2018-07-20

作者简介:张晓广,男,汉族,1983 年生,钻井总监,石油工程专业,从事石油钻井工作,天津市滨海新区(塘沽)渤海石油路 688 号石油大厦 B 座 B809-2 室,zhangxg@cnooc.com.cn。

工程的要求,同时,在安全的前提下,兼顾油田开发的经济性^[5]。

一开,采用 $\Phi 666.40$ mm 钻头配合 $\Phi 914.40$ mm 扩眼器,钻至井深 30 m,下 $\Phi 762$ mm 导管至井深 30 m,以封固地表黄土层(流砂),为下一井段安全钻进建立循环通道;二开,钻 $\Phi 666.40$ mm 井眼至 121 m,下 $\Phi 508$ mm 套管至 120 m,防止钻井液冲刷地表,保护井口和浅层水源;三开,钻 $\Phi 444.50$ mm 井眼至 Lower Fars 组 Mb5 层 80 m 左右,下 $\Phi 339.73$ mm 套管至距井底 0.2 m(硬石膏层中),确保套管鞋处有良好的封固,为打开高压膏盐层做好准备;四开,钻 $\Phi 311.15$ mm 穿 Lower Fars 组的 Mb2 层,进入盖层 Mb1 层 0.6~0.8 m,下 $\Phi 244.48$ mm 套管封固高压膏盐层,口袋长度 0.2 m;五开,钻 $\Phi 209.55$ mm 井眼至深井水平井着陆井深,下入 $\Phi 168.28$ mm 尾管,与上层 $\Phi 244.48$ mm 套管重合段不少于 150 m;六开,钻 $\Phi 142.90$ mm 水平段 600 m 左右。

64H 井轨迹设计数据见表 1。

表 1 米桑油田 64H 井井眼轨迹设计数据

井深/ m	井斜/ (°)	方位/ (°)	垂深/ m	全角变化率/ [(°)·(30 m) ⁻¹]	备注
3400.00	0.00	0.00	3400.00	0.00	造斜点 1
3506.07	14.14	125.00	3505.00	4.00	
3566.07	14.14	125.00	3563.18	0.00	造斜点 2
4133.00	90.00	122.00	3874.00	4.00	A 靶点
4733.00	90.00	122.00	3874.00	0.00	B 靶点

3 高密度饱和复合盐钻井液技术

米桑油田四开 $\Phi 444.50$ mm 井眼钻穿大段石膏层、硬质泥岩、硬石膏、纯盐层和塑性泥岩等复杂地层,地层压力系数均在 2.0 以上。由于高压盐层压力高、矿化度高、连通性好,一旦钻遇就可能出现“非喷即漏”,甚至造成井喷、井漏、井眼报废等严重情况^[6]。之前一直使用某外国石油公司的饱和氯化钠盐水钻井液体系,普遍存在井径扩大、高压盐水侵、钻头泥包、井漏和漏失后卡钻等问题,后改用一种国产的具有完全自主知识产权的高密度饱和复合盐钻井液技术。

64H 井使用的高密度饱和复合盐钻井液,密度高达 2.30 g/cm^3 ,具有低活度、低失水、强抑制性和优良流变性能的特点。其采用无机盐与有机盐复配的方式,使地层多种无机盐在钻井液中均不溶解,有

效解决了盐的重结晶问题,控制了盐膏层的溶解;通过强抑制性,抑制地层中泥岩的水化膨胀能力;通过钻井液低活度高半透膜效率达到离子的活度平衡,提高泥、页岩半渗透膜特性;通过强封堵阻止滤液侵入,加强钻井液封堵性,进一步提高了井壁的稳定性和^[7-8]。

在钻井液性能维护方面,严格控制钻台和罐区用水,尽量使用刮泥器刮刮钻杆,避免清水进入循环系统影响钻井液性能。严格控制 API 失水量,防止膏、泥岩吸水膨胀。通过烧碱灌向循环系统补充自由水,并根据 pH 值、氯离子和钙离子浓度,及时调整烧碱、纯碱的加量,平衡各种离子的作用,以防止碳酸根和碳酸氢根污染,以及钙侵。关注氯离子含量,保持钻井液在井下高温状态下盐饱和,避免盐层溶蚀,同时钻井液中加入一定浓度的盐重结晶抑制剂,避免盐重结晶。由于高密度钻井液在性能维护时无法使用离心机,为尽可能清除有害固相,64H 井使用筛布目数达到 140 目以细,并定期清理沉淀池和循环池的沉砂和稠浆。

在米桑油田 64H 井高压盐膏层地层钻井中,使用高密度饱和复合盐钻井液,返出岩屑成形较好,钻头切削痕迹明显,见图 1。井径相对较规则,平均井径扩大率 1%,见图 2。



图 1 米桑油田 64H 井高压盐膏层井段岩屑

4 深部灰岩地层定向井技术

米桑油田深井水平井第一造斜点选择在第三系和白垩系之间的灰岩地层。由于造斜点较深,直井段需防斜打直;采用大钟摆钻具组合,在钻进中控制钻压,不盲目追求机械钻速,特别是在易增斜的盐膏层和容易起泥球、泥包的泥岩地层。避免产生较大的正位移,以免影响下步定向钻进井段轨迹控制。

随着井斜角和斜井段长度的增加,钻具对下井壁的正压力和作用面积越来越大^[9],为降低作业成本,并未使用国外旋转导向钻具,仍然采用国产常规

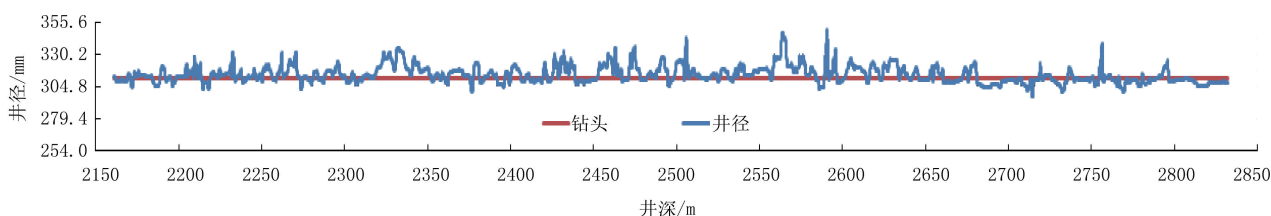


图2 米桑油田64H井高压盐膏层井段井径

螺杆钻具进行定向钻井作业。因此,钻具托压问题是深部灰岩地层定向井钻井面临的巨大挑战。为此,在下部斜井段,采用增斜钻具组合(不加扶正器),旋转钻进时尽可能加大钻压,充分利用地层的自然增斜规律,尽可能减小滑动井段,提高钻井时效。

在定向钻具组合设计过程中,钻柱在井眼内的屈曲状态是影响钻进的重要因素^[10]。为避免钻具屈曲,在井斜 $>45^\circ$ 后,对钻具进行倒装,将加重钻杆置于井斜小于 30° 井段,保证在下部井段可以施加足够钻压。同时用 $\varnothing 127$ mm无磁加重钻杆代替 $\varnothing 171.45$ mm无磁钻铤,减小了钻具接触井壁的面积。随着井斜的增大,滑动托压现象明显,提前准备钻井液润滑剂,保持钻井液足够的润滑性,从而保证滑动时的连续性,钻压方面少加勤加,及时活动钻具。

为保证深井水平井顺利着陆,同时降低井眼轨

迹控制难度,米桑油田深井水平井将井眼轨道设计为双增式轨道,为井眼轨迹调整预留空间^[11]。在实际轨迹控制方面,加强与现场地质部门沟通,通过对比前期地层的变化,及时、适度调整井眼轨迹的走向,以便于给因地层复杂及着陆点的改变等因素造成的轨迹调整留出较为充分的空间。64H井在钻进至 45° 时实际轨迹控制在设计轨迹的上方6 m,为储层实际垂深提前13 m做了充分的预留。为了降低“狗腿”度,避免进行全力纠方位作业,滑动时分段滑动保证轨迹的平滑。根据井史资料提前预知地层特性,滑动段尽量避开可钻性差地层。初始造斜时,保障初始方位的精准,控制滑动井段长度,摸索造斜率,精细化控制轨迹,确保顺利着陆。64H井五开井段最大“狗腿”度 4.2° ,整个井眼轨迹较平滑,见图3,为 $\varnothing 168.28$ mm尾管顺利下入提供了良好的井眼准备^[12]。

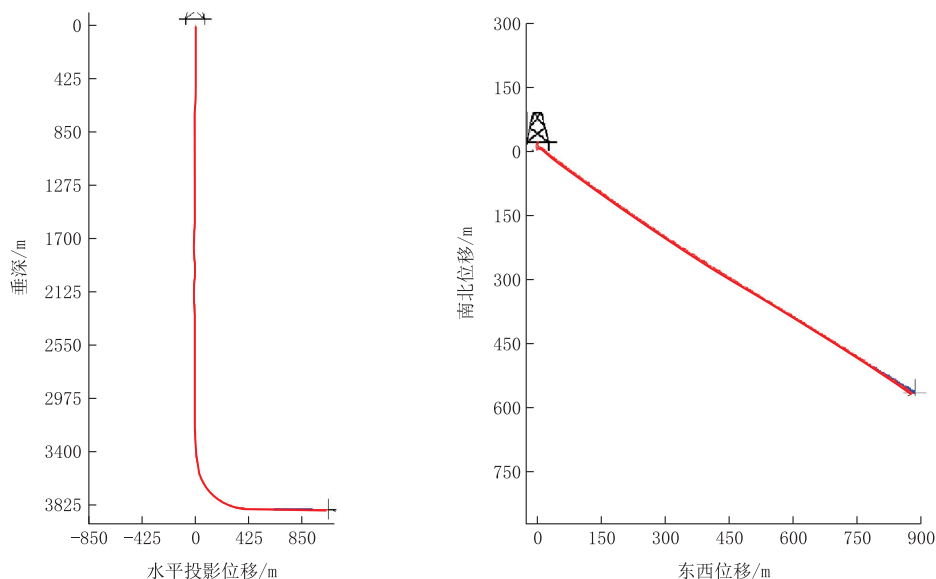


图3 米桑油田64H井实钻井眼轨迹

5 深部灰岩尾管固井技术

尾管悬挂器在尾管固井中具有重要作用。目前

尾管固井日益增多,所使用的尾管悬挂器结构多种多样。机械式悬挂总成一般只适合于直井中的浅井、不易卡钻的井以及管串结构中对压力变化有严格限制

的井。液压式悬挂总成适合于直井、斜井、水平井、深井、超深井等井型^[13]。基于以上选择依据,米桑油田深井水平井尾管固井选用液压式尾管悬挂器。

尾管悬挂器有其自身优点,如节省套管费用,降低钻机提升负荷,减少环空摩阻等。但也有其自身缺点,如过流面积小,易憋泵甚至堵塞环空。下钻遇阻处理措施受限制。施工潜在的风险大,工具缺陷、水泥浆性能缺陷、施工不连续、技术措施不当等都易

造成施工事故甚至井报废^[13]。

为避免尾管悬挂器过流面积过小,尾管固井期间环空不畅,64H 井在尾管固井前,使用 Landmark 软件对固井前循环环空压耗进行了模拟:在钻井液密度 1.20 g/cm³,塑性粘度 28 mPa·s,屈服值 10.5 Pa 的情况下,对比使用 $\varnothing 168.28$ mm 尾管悬挂器和 $\varnothing 177.8$ mm 尾管悬挂器 2 种工况下的环空循环压耗,具体数值见表 2。

表 2 米桑油田 64H 井固井前环空循环压耗模拟

尾管悬挂器外径/ mm	循环排量/ (m ³ ·min ⁻¹)	环空循环压耗/ kPa	循环排量/ (m ³ ·min ⁻¹)	环空循环压耗/ kPa	循环排量/ (m ³ ·min ⁻¹)	环空循环压耗/ kPa
168.28	0.5	4956.7	0.6	5051.9	0.7	5147.3
177.80	0.5	4956.9	0.6	5052.1	0.7	5147.7

由表 2 可以看出:2 种工况下的环空循环压耗相差不大,但考虑到 $\varnothing 168.28$ mm 尾管悬挂器与井眼环空间隙相对较大,可降低岩屑堵塞环空的概率,避免尾管固井前循环及固井注水泥期间井眼环空憋

漏,64H 井最终采用 $\varnothing 168.28$ mm 尾管悬挂器代替之前井使用的 $\varnothing 177.8$ mm 尾管悬挂器。采用 $\varnothing 168.28$ mm 尾管悬挂器后固井前循环压耗值与排量的对应关系见图 4。

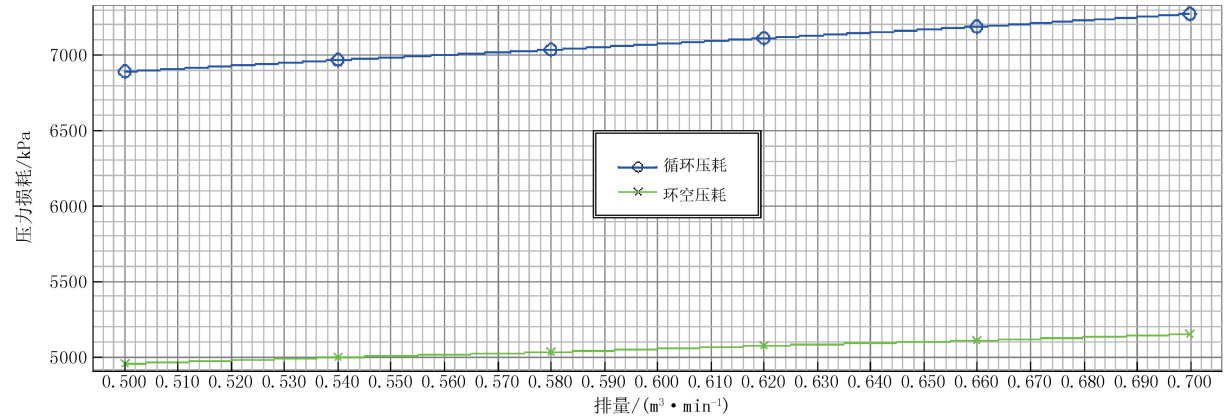


图 4 米桑油田 64H 井固井前循环环空压耗($\varnothing 168.28$ mm 尾管悬挂器)

为避免出现提前坐挂、过量顶替和无法碰压等固井复杂情况或恶性事故,入井前对 $\varnothing 168.28$ mm 尾管悬挂器碰压球座短节进行检查、确认、丈量 and 场地预连接;认真检查胶塞与钻杆,以及套管内壁间隙,确认相符;尾管悬挂器总成接好后开泵循环,并记录尾管重;尾管出套管鞋前循环 1.5 周,控制循环压力避免提前剪断销钉;尾管下入到位后循环并缓慢增加排量,避免环空堵塞压漏地层;尾管固井前校正钻井液泵泵效,尽可能消除钻井液气泡,最大化降低对顶替量计算的影响。

固井前,钻井液性能在调整至“三低一高”的基础上,尽可能降低钙离子含量,降低钻井液对水泥浆的污染。下套管前通井期间,井底垫满塑料小球等润滑材料。

下尾管过 $\varnothing 244.48$ mm 套管分级箍时控制速度,进入上部裸眼后控制下入速度 <0.2 m/s,进入下部裸眼后控制下入速度 <0.15 m/s,同时尽量降低尾管在裸眼内静止时间。由于尾管悬挂器与裸眼间隙小,开泵要缓慢,防止憋漏易漏灰岩地层。固井顶替期间对泵效进行再次校核,钻杆胶塞与尾管胶塞成功啮合后,降低泵冲,继续顶替至碰压。64H 井尾管固井成功碰压,放压,无回流,循环,见 5 m³ 纯水泥浆返出,整个固井作业顺利。

64H 井尾管固井电测情况:固井质量整体良好,除 3490~3560 m(共 70 m)为“固井质量中等”,其余均为“固井质量好”^[14],尾管与上层套管重合段等关键井段均实现良好封固,见图 5。

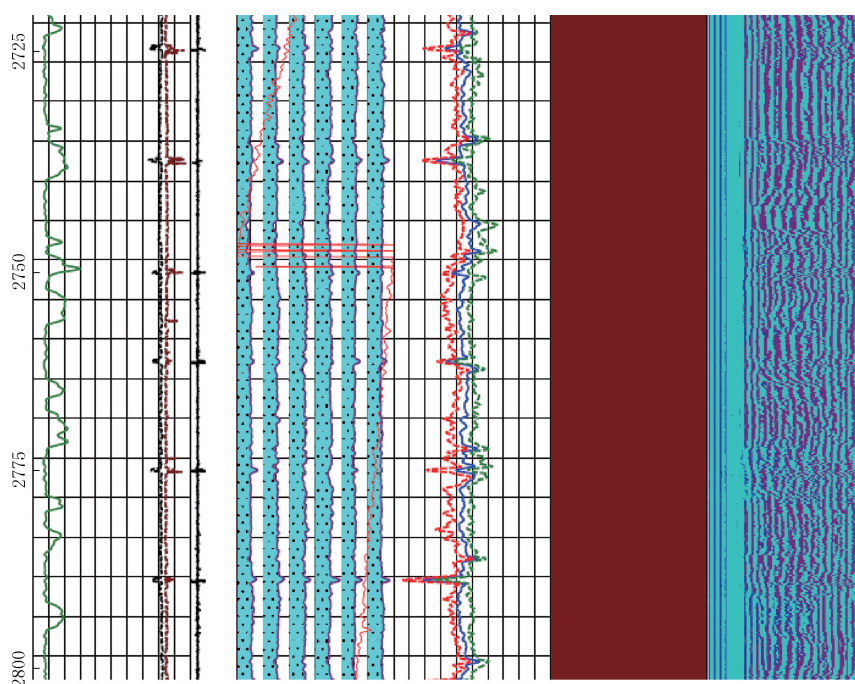


图5 米桑油田64H井尾管固井质量测井图(部分)

6 结语

(1)米桑油田深井水平井共六开井身结构,设计合理,为油气井钻井作业安全、顺利、高效和储层保护奠定了技术基础。

(2)高密度饱和复合盐钻井液技术应用于米桑油田深井水平井钻井,解决了其高压盐膏层井段井径扩大、高压盐水侵、钻头泥包、井漏和漏失后卡钻等问题。

(3)深部灰岩地层定向井技术,采用常规螺杆钻具钻进,克服了深井水平井钻井中普遍存在的钻具托压问题,与采用旋转导向钻具相比,节约了成本,也有利于米桑油田后续深井水平井钻井技术的全面推广。

(4) $\varnothing 168.28$ mm尾管悬挂器与 $\varnothing 177.8$ mm尾管悬挂器相比,环空间隙相对较大,虽然对环空循环压耗影响不大,但能降低固井前循环及固井注水泥期间环空堵塞而憋漏地层的概率,提高尾管固井质量,为米桑油田后续深井水平井尾管固井提供了借鉴。

参考文献:

[1] 蒋凯,罗宇维,史元,等.米桑油田高压盐膏层固井技术研究与

应用[J].中国海上油气,2013,(3):44—49.

- [2] 刘奥,曹光福,谢建安,等.霍尔果斯背斜深井井身结构优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):26—29.
- [3] 陈明,黄志远,马庆涛,等.马深1井钻井工程设计与施工[J].石油钻探技术,2017,45(4):15—20.
- [4] 乐守群,王进杰,苏前荣,等.涪陵页岩气田水平井井身结构优化设计[J].石油钻探技术,2017,45(1):17—20.
- [5] 董星亮,曹式敬,唐海雄,等.海洋钻井手册[M].北京:石油工业出版社,2011:298.
- [6] 张桂林.土库曼斯坦阿姆河右岸B区块钻井关键技术[J].石油钻探技术,2015,43(6):1—6.
- [7] 陈强,雷志永.高密度复合盐水钻井液体系在伊拉克 Missan 油田盐膏层中的应用[J].长江大学学报(自科版),2017,14(15):51—55,93—94.
- [8] 邓义成,徐博韬,张伟.HIBDRILL 高密度钻井液在伊拉克 Missan 油田群高压盐层中的应用[J].石油天然气学报,2013,35(10):141—143,152,10.
- [9] 薄玉冰.定向钻井中托压机理分析及对策探讨[J].石油钻探技术,2017,45(1):27—32.
- [10] 杨琳,张斌,肖林.莫116井区水平井钻井设计优化与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):7—11.
- [11] 刘彪,潘丽娟,张俊,等.顺北区块超深小井眼水平井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2016,44(6):11—16.
- [12] 阮臣良,王小勇,张瑞,等.大斜度井旋转尾管下入关键技术[J].石油钻探技术,2016,44(4):52—57.
- [13] 郑殿富.尾管悬挂器结构优选与事故预防及处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):27—30.
- [14] 步玉环,宋文字,何英君,等.低密度水泥浆固井质量评价方法探讨[J].石油钻探技术,2015,43(5):49—55.