

全过程欠平衡水平井在大庆油田的应用

孙念, 刘永贵, 奚广春, 李锁成, 邢广宇

(中国石油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:南扶273-平253井是大庆油田一口重点实验井,采用全过程欠平衡技术钻进,钻探目的层位是F15油层。在全过程欠平衡钻井作业过程中,通过井下套管阀开关,保证井底始终处于欠平衡状态,成功地进行了欠平衡钻进、不压井起下钻等作业,有效地保护了储层。介绍了应用于该井的全过程欠平衡技术、井眼轨迹控制技术、设备选择以及现场出现过的问题和解决方法等。

关键词:水平井;欠平衡;钻井;井眼轨迹

中图分类号:TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)05-0029-04

Application of Whole Process Unbalanced Horizontal Well in Daqing Oil Field/SUN Nian, LIU Yong-gui, XI Guang-chun, LI Suo-cheng, XING Guang-yu (Drilling Technology Research Institute of PetroChina Daqing Drilling Engineering Company, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: Nanfu 273 - Ping 253 well is an important experimental well in Daqing oil field, which was drilled by whole process unbalanced technology with the target layer of F15 oil reservoir. Unbalanced state was kept at the bottom of the well by downhole casing shut-off valve in whole process unbalanced drilling operation, the oil reservoir was protected by unbalanced drilling and non-snubbing service. The paper introduced the whole process unbalanced technology, well trajectory control, equipment selection, the difficult problems in field and the countermeasures.

Key words: horizontal well; whole process unbalanced technology; drilling; well trajectory; unbalance

1 全过程欠平衡的概念和特点

全过程欠平衡技术是指在不压井的条件下实现欠平衡钻进、不压井起下钻具、不压井起下电测仪器等。

欠平衡钻进:即在钻进过程中始终保持钻井流体的循环压力低于所钻地层的孔隙压力。通过利用欠平衡动态数值模拟软件进行设计计算、选用合理的欠平衡钻井液体系、配备井口压力监控设备。

不压井起下钻具:起钻时由于抽吸作用、钻井液环空流动阻力减少等因素,井底瞬时欠压值将大于设计的欠平衡压力值,地层流体涌入量将超过地面设备的控制能力,造成作业困难,因而起钻前或起下钻过程中需要压井以平衡地层压力。但压井作业有可能完全抵消欠平衡技术带来的好效果,因此需要采用不压井起下钻技术。该作业方法需要采用更先进的作业技术和专用设备。

不压井起下电测仪器:由于根据目前的地质判别能力还不能确切地掌握油层分布位置,因此,在完井前进行测井作业是不可避免的。由于一般测井周期比较长,测井过程中井下又没有钻具,为避免井控事故,在测井前通常也需要压井。目前国内外都有

不压井测井的实例,即测井仪器下入井中后,利用电缆防喷头密封井口和测井电缆,实现带压测井。在本井施工中,使用先进的LWD,在钻进过程中实现测井任务。

同起下钻一样,如果下入完井管具时操作不当,也会对储层产生污染,因此,在下完井管具时井下也必须要保持欠平衡状态^[1]。

该井实现了欠平衡钻进,不压井起下钻作业等全过程欠平衡技术。

2 全过程欠平衡与水平井结合的特点

全过程欠平衡水平井,是水平井工艺与全过程欠平衡技术相结合,通过特殊的技术保证井底始终处于欠平衡状态,有以下优点。

(1)减少地层伤害,提高油井产能。在全过程欠平衡水平井中,井内循环系统中流体的液柱压力始终低于储层孔隙压力,有效的避免完井液和完井液中的固相颗粒及水敏物质侵入储层,从而减轻地层污染,明显地提高油井产能。在常规水平井中,因为钻井、完井时间长,相应储层与钻井液接触时间长,储层损害程度较为严重。而全过程欠平衡技术

收稿日期:2008-11-17; 改回日期:2009-04-03

作者简介:孙念(1983-),男(汉族),河南驻马店人,中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院助理工程师,石油工程专业,从事水平井钻井技术服务工作,黑龙江省大庆市红岗区八百垅, sunnian@cnpc.com.cn。

与水平井技术的结合,就可避免这种地层伤害,提高油井产能。

(2)避免复杂事故发生,提高钻井速度,降低钻井成本。应用全过程欠平衡技术钻井时,由于钻头端面上液柱压力减小,正在被钻的岩石更容易破碎,另外低密度的钻井液也减小了“压持作用”,使钻头不会重复碾压已破碎岩屑,能有效提高机械钻速和钻头使用寿命。对于在水平段钻速较慢的水平井来说,不但能节省钻进时间,节约成本,而且能够避免井下复杂情况的发生。

(3)实时监测井下数据,及时调整,提高开发效益。在进行全过程欠平衡钻进中,井下流体能及时返到地面,有利于地质人员及时发现情况。同时,产生的流体数据与水平井仪器LWD相结合,能更准确地进行油藏描述,优化开发方案,提高开发效益^[2]。

3 全过程欠平衡水平井适合的油藏

(1)低压低渗油藏。在低压低渗油层中,地层容易受到钻井液和完井液的污染,使产量更低。使用全过程欠平衡水平井则可避免这类情况的发生。

(2)漏失性地层。此类地层中,传统的近平衡钻井,会使钻井液漏失,使用欠平衡钻井则可克服这类不足。

(3)薄油层。在薄油藏中,水平井可以增加泄油面积,从而大大增加油井产量。

4 全过程欠平衡水平井设计简况

4.1 地质设计

南扶273-平253井井口坐标:纵(X)5045376.69 m,横(Y)21627741.53 m。

设计方位:磁方位298.92°;真方位288.96°;网格方位:287.79°。

地磁参数:磁偏角-9.96°;磁倾角63.05°;磁场强度:55490 nT。

4.2 工程设计

井身结构设计数据见表1。

表1 井身结构设计数据

| 开钻次序 | 井深/m | 钻头尺寸/mm | 套管柱类型 | 套管尺寸/mm | 套管下入层位 | 套管下入深度/m | 环空水泥浆返深/m |
|------|--------|---------|-------|---------|--------|----------|-----------|
| 一开 | 121.0 | 444.5 | 表层套管 | 339.7 | 四方台组 | 120.0 | 地面 |
| 二开 | 1932.4 | 311.2 | 技术套管 | 244.5 | 泉四段 | 1930.4 | 地面 |
| 三开 | 2560.0 | 215.9 | 生产套管 | 139.7 | 泉四段 | 2557.0 | 1149.0 |

5 施工难点及解决途径

5.1 施工难点

(1)该井采用三开井身结构,在二开12¼ in (Ø311.2 mm)井眼定向,因井眼尺寸较大,定向困难,定向时钻速较慢。

(2)井眼摩阻大,钻具托压严重,钻头加压困难。

(3)二开时,钻井液排量较低,使岩屑上返困难,容易形成岩屑床而造成井下复杂情况。

(4)由于二开井眼尺寸较大,井壁稳定性较差,对钻井液的性能要求较高。

5.2 技术措施

(1)采用无线随钻测量系统(FEWD),加密测量各井段井斜、方位,并依照测斜数据及时调整待钻轨迹设计,以确保精准中靶要求。

(2)直井段水平位移沿设计方向线延伸过多,增大了水平井控制的施工难度,为了满足原地质、工程设计的要求,在综合分析直井段的测斜数据的基础上,应用Landmark软件重新进行了井眼待钻设计。

(3)优化钻具结构,用加重钻杆替代钻铤,减少钻具与井壁的接触,降低摩阻,减少托压现象的发生;其次,定期对所有钻具进行探伤检查,防止各类钻井事故的发生。

(4)采用优质的硅基阳离子钻井液体系,优化钻井液各项性能,保证岩屑能顺利返出井口。

(5)为解决钻压传递问题,一方面在斜井段及水平段采用斜坡钻杆,减小钻具在水平段的摩擦阻力;另一方面采取及时短起下钻,破坏已形成的岩屑床,保证井眼通,便于钻压的传递。

(6)增加钻井液中的原油含量,提高其润滑性,降低摩阻及复合钻进时的扭矩。

6 全过程欠平衡井实钻井眼轨迹控制技术

6.1 造斜段控制技术

由于上直段的施工基本达到设计要求,井斜方位与设计偏差不大,因此造斜点按设计选在1547 m。

造斜段钻具组合为:Ø311 mm PDC钻头+Ø216 mm×1.5°螺杆+Ø178 mm MWD+Ø178 mm无磁钻杆1根+Ø159 mm钻铤6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆。

由于直井段施工过程中位移沿设计方位延伸较多,造成定向施工时造斜率偏高,根据邻井资料统

计, $\varnothing 216$ mm 螺杆 (1.25°) 的造斜率在该地质条件下很难满足设计要求, 因此在综合分析已钻井段的井斜数据的基础上进行了新的井眼待钻设计, 在满足地质设计的基础上, 达到了井眼轨迹最优的目的。在该待钻设计的基础上, 通过对该区块地层岩性的调研以及对 $\varnothing 216$ mm 螺杆性能的分析, 确定下入 1.5° 螺杆进行定向钻进施工。通过定向施工表明, 1.5° 螺杆满足了井眼轨迹控制的要求, 并且达到了缩减钻井周期的目的。

在定向施工时, 主要采取以下技术措施:

(1) 在造斜段定向施工时, 密切注视 FEWD 仪器各参数特别是井斜、方位变化, 根据实钻井眼轨迹变化情况及时调整待钻设计。

(2) 施工过程中通过调整钻压等严格控制工具面, 使实钻轨道与设计轨迹保持一致, 当工具面稍有偏差即停止钻进, 小幅度活动钻具, 等工具面方向正确之后再慢慢加压钻进。造斜开始时严格控制钻时, 确保进尺有效。

(3) 在大斜度段, 由于摩阻大, 钻速比较慢, 在实钻时通过改善钻井液性能、调整钻井参数、调整钻具组合等来实现降低摩阻。

通过上述技术措施, 实现了该井造斜段的精确控制, 为水平段应用全过程欠平衡技术施工打下了坚实的基础。

6.2 水平段控制技术

水平段钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm PDC + 箭形止回阀 $\times 2$ + $\varnothing 216$ mm 螺杆 (1°) + $\varnothing 178$ mm LWD + $\varnothing 127$ mm 无磁钻杆 1 根 + $\varnothing 127$ mm 钻杆 120 根 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆 24 根 + $\varnothing 127$ mm 钻杆。

水平段由井深 1962.34 m 钻至井深 2548.32 m, 水平进尺 586 m, 共下 2 趟钻。第一趟使用 0.75° 螺杆, 以复合钻进保持在水平段平稳钻进, 井斜过高或过低时通过定向来弥补。但由于 0.75° 螺杆造斜率较低, 降斜时只有 $3^\circ/30$ m, 复合钻进钻具的造斜率达 $2.4^\circ/30$ m 左右, 复合钻进与滑移钻进比例很低, 影响了钻进速度, 因此决定起钻换 1° 螺杆, 这是由于 1° 螺杆井眼扩大率大, 复合钻井时钻具的造斜率相对较低, 只有 $1.2^\circ \sim 1.8^\circ/30$ m, 而降井斜时造斜率可达 $4.5^\circ \sim 4.8^\circ/30$ m, 因此增大了复合钻进与滑移钻进比例, 加快了钻进速度。

另外, 在水平段钻进时, 随着井深增加, 实钻井眼轨迹垂深不断降低, 井眼轨迹变化较大, 钻具的扭矩和摩阻增加, 钻压传递困难, 为了保证井下安全, 顺利钻进, 在钻井液中加入 10% 的原油以增加钻井液的润滑性, 减少摩阻。另外, 施加较小的钻压 (20 ~ 30 kN) 钻进, 并采用加密短起下钻和分井段循环方法, 以破坏岩屑床。通过以上措施, 顺利完成了水平段的施工。

实钻井眼轨迹见图 1, 实钻井眼轨迹与设计轨迹对比见表 2。

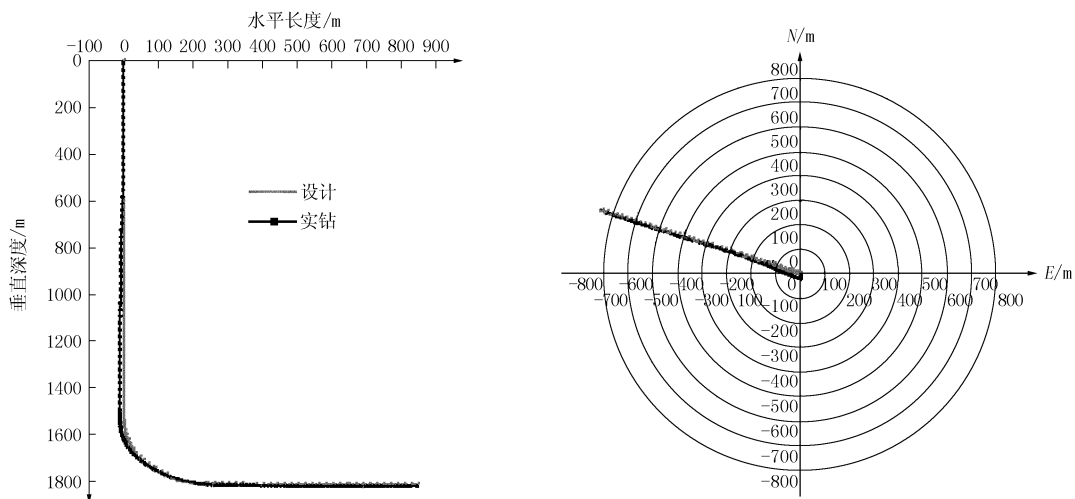


图 1 实钻井眼轨迹图

表 2 实钻井眼轨迹与设计轨道对比表

| 对比 | 垂深/m | 靶前位移/m | 窗口左右偏差/m |
|------|---------|--------|----------|
| 设计 | 1813.2 | 240 | / |
| 实际 | 1812.54 | 241.18 | / |
| 允许偏差 | ± 1 | -15/+5 | ± 10 |
| 实际偏差 | -0.66 | +1.18 | 左 1.26 |

7 全过程欠平衡工艺

7.1 全过程欠平衡钻井主要设备

实现全过程欠平衡钻井的主要设备包括: 液气分离器、旋转防喷器、燃烧管线、自动点火器、井下套

管阀(一套)等。

7.2 不压井起下钻工艺技术方案的选择

全过程欠平衡水平井不压井工艺技术有2种:一种是应用强行起下钻设备,另一种是应用井下套管阀。井下套管阀与强行起下钻设备相比具有以下优点:

(1)套管阀安装简便,操作简单;

(2)与常规起下钻作业相比时间基本不增加,与强制带压起下钻装置相比,大大节约钻井时间;

(3)允许下入长而复杂的钻井、完井管串及测井仪器;

(4)为带压测井创造了条件等。

由于套管阀具有上述优点,因此本井选用井下套管阀完成不压井起下钻工艺。

井下套管阀的应用是起下钻时井下处于欠平衡的保证。该井使用了 $\varnothing 244.5$ mm套管阀,安装在距地面450 m的技术套管中,通过2根液控管与地面控制设备相连。在起下钻时,地面控制设备通过液控管使其闭合,保证井底始终处于欠平衡状态,成功地进行了不压井钻进,不压井起下钻等作业,有效地保护了油层,利于及时发现高产工业油流。

实现欠平衡钻井工艺控制,地面依靠旋转防喷器和节流管汇来完成井口的旋转密封及压力控制,依靠液气分离器和油水分离器完成钻井液的液气分离和油水分离,依靠点火装置将分离出来的气体烧掉,从而保障欠平衡钻井工艺顺利实施。

7.3 欠平衡钻井液技术

一开、二开直井段:使用两性复合离子钻井液体系。

二开造斜段(1577.65 ~ 1930.40 m)钻井液使用硅基阳离子钻井液体系。

三开钻井液:本井扶杨油层压力系数为1.05,钻井液密度设计为 $0.82 \sim 0.92$ g/cm³,考虑到全过程欠平衡要求,进行多种钻井液体系选择,备选的体系有:硅基阳离子微珠钻井液、油包水微珠钻井液、泡沫钻井液、充氮气钻井液等。通过调研和实验室研究,综合成本等因素,确定选择使用硅基阳离子加微珠钻井液。

中空玻璃微球是美国3M公司生产的,具有质轻、低导热、无毒、不燃、化学稳定性好、高分散等优点,广泛应用于工业领域。粒径 $10 \sim 90$ μm ,承压能力 $14 \sim 124$ MPa,真实密度 $0.32 \sim 0.60$ g/cm³。作为密度减轻剂加入钻井液和完井液中,最大能加入到40%的体积浓度。

本井在施工中发现加入中空玻璃微球的钻井液密度上升较快,主要有以下原因:(1)中空玻璃微球被筛出一部分;(2)在钻进过程中,部分玻璃微球钻井液通过螺杆和钻头时,由于挤压和剪切作用,致使微珠破碎,反而成了加重剂;(3)由于井眼尺寸大,钻井液排量较低,井筒中岩屑不能及时返出,造成重复破碎,致使钻井液中的有害固相增加。

解决办法有2个:一是适当补充玻璃微球;二是加强固相处理设备的使用,合理调整离心机的转速,转速在 $400 \sim 500$ r/min时,能把密度小于 1.0 g/cm³的低密度钻井液有害固相分离出来,分离效果较好。

使用上述处理措施后,钻井液密度暂时得到控制,但是循环一段时间后,密度上升较快,不能满足施工要求;另外,硅基阳离子水基钻井液+微珠减轻剂体系钻井液,摩阻较大,托压明显,钻压难以传递,不利于定向钻进。井深2138 m时决定改用水包油钻井液。水包油钻井液密度可控制在 0.9 g/cm³左右,现场能够控制在 $0.92 \sim 0.94$ g/cm³,符合欠平衡要求;同时该钻井液体系摩阻较小,利于传压的传递和定向要求。水包油钻井液技术成熟,因此水平段后期钻井液转换为水包油钻井液体系。

使用水包油钻井液,密度较硅基阳离子水基钻井液+微珠减轻剂体系大,但是能够满足欠平衡施工要求,符合工程要求,应用该钻井液体系顺利完成了全过程欠平衡水平井水平段后期作业施工。

8 存在的问题及解决途径

(1)本井在钻遇青山口组时,发生了井壁坍塌、卡钻等井下复杂,井壁有大量的岩石剥落,下通井钻具至1600 m时遇阻严重,上提最大载荷1000 kN,到1660 m处时,有少量大块岩屑返出,增加钻井液粘度,返砂效果不明显,划眼无进尺。经研究决定改用下入捞砂筒划眼打捞井筒中大块岩屑。

第一次起出捞砂筒,里面有大块的剥落体,粒径10 cm左右,捞出大块有数十块;第二次下入捞砂筒,起出后小颗粒居多,捞出总体积约有 0.2 m³,鲜有大块掉块,但是在套铣头内,有2块大块掉块,最长处超过25 cm。又重复打捞作业数次后,下定向钻具下入顺利,未有遇阻现象。

由于 $12\frac{1}{4}$ in井眼井壁稳定性较差,特别在钻遇青山口组时,容易出现井塌等井下事故,需要具有良好性能的钻井液体系保证钻井施工的顺利进行。

(下转第35页)

7.1.3 下管

(1)下管前对钻塔、钻机升降系统检查、加固。对下入的井管进行地面压力实验,要求18 mm厚井管压力>10 MPa,14 mm井管压力>9 MPa,11 mm厚井管压力>5 MPa,并稳压10 min。井管底部加管靴,管靴上部0.5 m处割4~6个 $\varnothing 20$ mm旋流孔。

(2)由于井管质量大,为保证下管安全,采用逆止阀浮力塞下管法,逆止阀为华北油田生产的高压逆止阀,其抗压强度为20 MPa,承压2380 kN,满足下管要求。

(3)下管焊接采用手工交流电弧焊,焊接电流在160~240 A范围内。

(4)下管过程中,随时往管内注清水,拉力表保持在100~120 kN范围内,以防压差过大,损坏逆止阀。

7.2 固井技术

(1)为了保证固井顺利进行,使用了SMC-N300型石油高压固井车固井,水泥标号为42.5R,水灰比0.5。

(2)固井时,下入 $\varnothing 89$ mm钻杆,距逆止阀0.5

m,上部孔口封闭,循环替浆畅通后,开始送浆至水泥浆头返出地面,打顶替清水 3.5 m^3 ,提出钻杆候凝。

8 井管压力试验及管内浆液处理

候凝72 h后,用泥浆泵对排水孔进行耐压试验,稳压时间 ≤ 30 min,经试压达到8.75 MPa,为工作压力的1.25倍,达到设计要求,证明固井效果良好。

试压结束后,下入 $\varnothing 325$ mm筒状钻具将逆止阀扫掉,然后用 $\varnothing 325$ mm提桶将孔内浆液提出,孔底残液高度 < 0.5 m,封闭孔口待用。

9 结语

本次排水孔施工中,施工口径、深度大,根据地层情况,采取合理的钻具组合和泥浆,制定有效的防斜技术措施是工程顺利完成的关键。同时先用小径钻进、后扩孔的施工方法,保证了工程成功率。存在的问题是施工周期较长,钻探效率较低。

层不受污染。全过程欠平衡水平井技术在该井获得成功,为两种技术的完美结合积累了宝贵经验。

(2)控制好 $\varnothing 311.2$ mm大井眼斜井段井眼轨迹,保证轨迹平滑、井壁清洁是 $\varnothing 244.5$ mm技术套管顺利下入的保障。

(3)井眼轨迹优化设计与精确控制,有效地降低了长水平段的摩阻、扭矩,实现了安全、高效钻井。

参考文献:

- [1] 俞宪生,DF1井氮气泡沫欠平衡钻井实践与认识,探矿工程(岩土钻掘工程)[J],2009,36(1).
- [2] 郑金洲.井下隔离法全过程欠平衡钻井技术及应用[J].天然气工业,2006,(11).

(上接第32页)

(2) $12\frac{1}{4}$ in井眼造斜段摩阻较大,定向困难。该井钻具组合中用加重钻杆替代钻铤,以减少钻柱和井壁间的摩擦力,同时在钻井液中加入润滑剂以减小摩阻,保证定向施工的顺利实施。

(3)水平段使用 0.75° 螺杆,复合钻进造斜率较高,降低了复合钻进的比率。该井后期在水平段钻进时使用 1° 螺杆,提高复合钻进的比率,以增加钻进速度。

9 结语

(1)南扶273-平253井是大庆首次将全过程欠平衡工艺应用于水平井,最大程度地保护了油气

厦深铁路榕江特大桥基础工程全面施工

新华社北京消息 从中国铁建获悉,被称为“世界第一跨度”的厦深铁路重难点控制性工程——榕江特大桥基础工程全面展开施工。

由中国铁建十三局集团承建的厦深铁路榕江特大桥全长7.4 km,总投资近9亿元人民币。大桥的主跨为跨度达220 m的钢桁梁柔性拱,这在世界同类型桥梁中位居第一。为满足万吨巨轮通航需要,主桥水面至桥梁底部净空高38 m,相当于10层楼的高度;水面至拱顶的高度达100 m,高度超过了30层楼的高层建筑。

大桥主跨计划采用整体吊装作业法,桥梁的重量将达创纪录的7000 t左右。大桥的两大突出特点,一是“正交焊接整体节点”;二是异型钢桥面板。其施工工艺和技术难度在国内罕见。

榕江特大桥的施工环境十分复杂,除施工场地狭窄之外,桥址处于榕江入海口25 km处。受海潮影响及航运通航影响极大,且台风和雨水干扰十分频繁。

目前,全桥已完成桩基910根,栈桥全部拉通,江上6个施工平台已搭建完成4个,前期工程施工进展顺利。