

欠平衡长水平段水平井钻井技术^{*}

譙抗逆¹ 郭世侯¹ 姚振华¹ 李峰² 白璟¹

(1. 四川石油管理局钻采工艺技术研究院 2. 四川石油管理局川东钻探公司)

譙抗逆等. 欠平衡长水平段水平井钻井技术. 天然气工业, 2007, 27(8): 57-59.

摘 要 广安 002-H1 井为国内使用钻井液欠平衡水平井钻井技术完成的第一口水平段长超过 2000 m 的欠平衡长水平段水平井。该构造为低渗低压碎屑岩气藏, 常规钻完井技术开发效益较差。为此, 介绍了中空玻璃微珠低密度钻井液和套管阀在该井欠平衡技术中的应用, 旋转地质导向技术在长水平段井眼轨迹控制中的应用, PDC 钻头在高研磨性地层的应用情况, 着重介绍了长水平段水平井在井眼清洁、防塌、防卡、防磨、降摩阻、减扭矩等方面的技术措施。上述技术的综合应用, 效果很好, 储层钻遇率达 82.74%, 获工业性天然气。

主题词 欠平衡钻井 水平井 钻井液 旋转地质导向系统 套管阀 PDC 钻头

欠平衡钻井技术与水平井钻井技术是近年来为适应低渗低压碎屑岩气藏开发而提出的消除污染漏斗、保护油气层和增产、提高单井产能的工艺技术。欠平衡钻井技术的特点是在钻井过程中实现了井筒压力小于地层压力, 钻井液不会进入地层造成近井周围油气层的伤害。因此, 特别适合于采用常规钻井方法无法实现油气层保护的低压地层以及与钻井滤液作用后渗透率急剧降低的水敏、盐敏、碱敏及碎屑岩等地层。同时, 水平井钻井技术的优点是井眼在产层中水平延伸, 增加井眼与储层的接触面积, 或增大井眼钻遇裂缝的机率, 因而比较适合于油气层厚度较薄、裂缝沟通性差、利用直井开发效益差的油气藏。

一、国内欠平衡水平井钻井状况

目前采用的欠平衡钻井方式有气体(氮气、天然气、柴油机尾气等)、泡沫、钻井液欠平衡钻井, 各种欠平衡钻井方式在短水平段水平井中都有一些初步应用, 但由于气体欠平衡钻井对随钻测量仪器提出了较高要求, 目前主要依靠在一定井深起钻测试, 根据测斜结果及时改变钻具组合来调整井眼轨迹, 来实现对井眼轨迹的连续监测和控制。但是, 不能适应长水平段水平井或薄储层水平井井眼轨迹控制要求。钻井液欠平衡钻井工艺技术没有气体欠平衡钻井的这一缺点, 能满足常规随钻测量仪器的要求。

又由于目前国内水平井技术已发展到能租用旋转地质导向系统来控制井眼轨迹。因此, 可考虑把钻井液欠平衡钻井技术与水平井技术有机地结合起来完成一口欠平衡长水平段水平井。广安 002-H1 井就是国内使用钻井液欠平衡水平井钻井技术完成的第一口水平段长超过 2000 m 的欠平衡长水平段水平井。

二、广安 002-H1 井设计简况

(1) 广安 002-H1 井身结构设计: 考虑到该井第三次开钻作业的安全性, 技术套管下到垂直井深进入须六段地层 2 m 处, 封住上部页岩和煤等易垮层。

(2) 广安 002-H1 井井身轨迹设计(表 1): 为保障第三次开钻旋转导向工具的顺利下入、满足旋转导向工具高转速、减少技术套管和钻具磨损, 优选了造斜点和第二次开钻井眼轨迹, 设计第二次开钻井眼轨迹狗腿度控制在 $3.5^{\circ}/30\text{ m}$ 左右。为找到发育好的储层, 并使井眼轨迹以较好的姿态进入水平段钻进, 第三次开钻还设计了用地质导向技术来实现的造斜段。

三、广安 002-H1 井欠平衡钻井技术应用情况

(1) 中空玻璃微球 HGS(Hollow Glass Spheres) 低密度钻井液的应用。该井须六段地层压力系数为

^{*} 本文为中国石油天然气集团公司重点科技攻关项目“川渝气田最大储层有效进尺钻完井技术现场试验”的成果。本文作者还有四川石油局钻采工艺技术研究院的张德军。

作者简介: 譙抗逆, 1964 年生, 硕士, 高级工程师; 长期从事钻井工作。地址: (618300) 四川省广汉市中山路南二段 88 号。电话: (0838) 5151333。E-mail: qiaokangni@263.net

表 1 广安 002-H1 井井身轨迹设计表

井段名	井眼尺寸 (mm)	斜井段 (m)	垂井段 (m)	井斜角 (°)	方位角 (°)	闭合位移 (m)	增斜率 [°/30 m]
直井段	444.5/311.2	0~1270	0~1270	0	0	0	0
造斜段	311.2	1270~1981	1270~1762	0~82	288	427	3.46
造斜段	215.9	1981~2055	1762~1766.5	82~90.57	288	501	3.46
稳斜段	215.9	2055~4055	1766.5~1746.6	90.57	288	2501	0

1.03 g/cm³,第三次开钻钻井液密度设计为 0.85~0.95 g/cm³,使用生物聚合物正电胶聚合醇中空玻璃微球钻井液体系。中空玻璃微球是美国 3M 公司生产的一种耐热碱石灰硼硅酸盐玻璃,该微球直径为 10~90 μm,中空,有坚硬的外壳,壳内为稀薄气体,可承压为 14~124 MPa,真实密度为 0.32~0.6 g/cm³。在钻井液中加入中空玻璃微球最高体积浓度可达 50%,最低可把钻井液密度降低到 0.66 g/cm³,该井先后使用了 HGS-5000 和 HGS-18000 两种;HGS-5000 密度为 0.38 g/cm³,可承压为 37.9 MPa,HGS-18000 密度为 0.6 g/cm³,可承压为 124 MPa。该井在施工初期发现加入中空玻璃微球的钻井液密度上升较快,主要原因如下:①中空玻璃微球被筛出一部分;②部分中空玻璃微球破损成了加重剂;③钻速快,钻井液中有害固相增加。主要解决办法有:①适时补充中空玻璃微球;②加强固控设备的使用,合理调整离心机转速,该井施工中发现将离心机转速由原来的 1600 r/min 降到 400~500 r/min 时,能够把密度小于 1 g/cm³ 的低密度钻井液有害固相分离出来,分离效果较好,上述技术措施的采用基本控制住了钻井液密度的快速增长。

(2)套管阀的应用。由于旋转地质导向仪器长、外径大、外形不规则,起下仪器时,旋转防喷器无法密封井筒。该井欠平衡施工中使用了∅244.5 mm 套管阀,该阀可承受的最大压差为 35 MPa,安装在井深 310 m 处的技术套管中,通过两根液控管线与地面控制设备相连。在起下钻施工前,先进行循环洗井,尽量减少环空钻井液中的天然气含量。起钻中利用旋转防喷器带压起钻,并用压裂车按时或连续灌钻井液,起钻中注意控制起钻速度,钻头起过套管阀后,通过与套管阀相连的地面液控系统关闭套管阀,使其将上部井筒和下部井筒分隔开。当卸掉套管阀上部套压后,即可进行正常起钻作业。下钻中,当钻头下至套管阀顶时,使用旋转防喷器控制适当的平衡压力,然后打开套管阀,控压下钻。

(3)欠平衡主要技术。①钻具组合中强制回压

阀的使用;欠平衡钻井钻具组合中要求使用两只强制式回压阀,每趟钻都要认真检查其完好性,确保欠平衡钻进在可控下进行;②保持钻井参数相对稳定;③欠平衡钻进中,坐岗人员应连续观察液面和全烃的变化,每 10 min 测量一次液面并作好记录,发现井内情况变化时应加强监测,并严格控制回压,防止回压过高憋漏地层或回压过低,地层流体大量溢出;④起下钻过程中,注意相互配合,严格控制起钻下速度,做到补压或卸压及时;⑤每天钻进前,做低泵冲次试验,为后期作业提供依据;⑥常检测钻井液性能,及时检测地层流体种类和控制地层流体侵入量。欠平衡水平井钻井液与常规水平井钻井液相比,主要不同之处是在欠平衡钻进过程中,钻井液容易受到地层流体的污染,从而影响钻井液的性能。因此,检测地层流体种类和控制地层流体侵入量是欠平衡安全钻井的一项重要工作。根据侵入水、油、天然气、CO₂、H₂S 等的多少,及时采取相应的对策。

(4)优选钻头。①PowerDrive 工具对 PDC 钻头的结构要求是:平底、短护径,不满足此要求的 PDC 钻头不能使用,以免影响 PowerDrive 工具控制井眼轨迹能力;②针对该地层研磨性强,以前使用国产 PDC 钻头效果差,该井使用了贝克休斯生产的 PDC 钻头,PDC 钻头与旋转导向系统显示了较好的钻井特性,机械钻速为 9~12 m/h,是过去在该地区同层位钻速的 3 倍。纯钻 100 h,进尺 900 多米,出井钻头只有轻微磨损,从而打破了人们认为在须家河组使用 PDC 钻头效果不好的观念,首次在研磨性很强的须家河组使用 PDC 钻头获得成功。

(5)旋转地质导向系统。旋转地质导向系统能测量多种参数,地质师根据测得的参数和岩屑录井资料及时建立地质模型并指导定向井工程师的施工,从而保证在最好的储层穿行,提高储层钻遇率。由于钻具处于旋转状态,减少了岩屑床的形成,降低了卡钻风险。旋转导向使井眼平滑,摩阻小,对钻头加钻压也没有问题,使钻成长水平段水平井成为可能。使用旋转导向系统要注意以下几点:①钻头水

眼选择要满足钻头压降不小于 3.4 MPa 的要求,最好为 4~5 MPa。使有足够的力推出支撑块。②若造斜率低了,要通过加大排量、提高转盘转速或降低钻压来提高造斜率,仍然不起作用,就应起钻检查仪器。③调整工具面靠发送指令给 PD,一条指令由 6 个持续时间长度不同的高低排量组合组成,为保证指令的正确性,一定要在较短的时间内达到指定的排量。

四、施工简况

2007 年 3 月 28 日开始第三次开钻欠平衡钻进,该井须六段地层压力系数为 1.03 g/cm^3 ,使用钻井液密度为 $0.85 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$,钻进中控制压力为 $0 \sim 1 \text{ MPa}$,起下钻控制压力为 $3 \sim 4 \text{ MPa}$,返出钻井液先经过分离器分离气体,再经过振动筛、除砂器、除泥器、离心机四级固控设备除去有害固相。在施工初期发现加入中空玻璃微球的钻井液密度上升较快,后调整好离心机转速后,有效地控制了钻井液密度的增长,保障了欠平衡钻进的顺利进行。第三次开钻钻进共起了六趟钻,第一趟钻使用 1.5° 弯螺杆配合地质导向技术成功着陆,第二趟钻检验贝克休斯牙轮钻头效果,所用钻压较高,不利于保护 1900 m 以下技术套管。第三、四、六趟钻使用贝克休斯 PDC 钻头配合旋转地质导向欠平衡钻进,获得了较高的机械钻速,达到了较好效果。第五趟钻未带旋转地质导向仪器,只为试验水平段钻杆上每柱接一只 $\varnothing 185 \text{ mm}$ 防磨接头后钻进摩阻和扭矩情况,未获得较佳效果。该井在井段 3344~3356 m 钻遇了页岩夹层,但由于各项技术措施合理,钻井过程中,未出现厚岩屑床、井壁垮塌、套管被磨(完钻后对套管试压 35 MPa 合格)等井下异常情况,由于顶驱能力限制,2007 年 4 月 25 日钻达设计完钻井深 4055 m 就完钻了。

施工主要钻具组合如下: $\varnothing 215.9 \text{ mm}$ PDC 钻头 + PD675 X5(旋转导向系统、内装回压阀,限流阀) + GVR6(电阻率、成像测井、伽马) + ECOSCOPE(伽马、中子、密度、井径) + TELESCOPE(MWD) + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 无磁钻杆(1 根) + 回压凡尔 + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 钻杆(90 柱) + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 加重钻杆(1 柱) + 随钻震击器 + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 加重钻杆(2 柱) + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 钻杆。

钻井参数:钻压为 70~90 kN、转速为 70~80 r/min、排量为 28 L/s、泵压为 12~14 MPa。钻井中最大扭矩为 40 kN·m(条件:钻压为 80 kN、转速为 70

r/min),起下钻最大摩阻为 600 kN。

五、使用欠平衡和旋转导向后获得的主要指标

(1)水平段所用纯钻时间为 228.08 h;机械钻速为 8.96 m/h,其中 HCM506ZX 这只 PDC 钻头平均机械钻速达 12.34 m/h,是过去在该地区同层位钻速的三倍。

(2)该井顺利完成水平段长 2010 m,创川渝地区水平段最长纪录。

(3)钻遇孔隙度大于 8% 的储层达到 85%。

(4)实钻入靶点井深为 2045 m,垂深为 1770.76 m,闭合距为 490.43 m;出靶点井深为 4055 m,垂深为 1773.83 m,闭合距为 2499.16 m;达到设计要求。

(5)水平段用的两只 PDC 钻头指标,第一只 PDC 钻头:型号为 HCM506ZX;井段为 2247.61~3066.45 m;进尺为 818.84 m;纯钻为 66.33 h;机械钻速为 12.34 m/h;第二只 PDC 钻头:型号为 HC506ZX;井段为 3066.45~4055 m;进尺为 988.85 m,纯钻为 100.33 h,机械钻速为 9.85 m/h;两只钻头出井都只有轻微磨损。

(6)初测产量 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是邻井广安 002 井产量(稳定产量 $1.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)的 12.8 倍。

六、结 论

(1)从解放油气藏,保护油气藏两方面的角度考虑,实现欠平衡钻井技术与水平井钻井技术的有机结合,是合理、经济开发油气藏的必然趋势。

(2)使用针对性的欠平衡水平井钻井技术开发广安构造须六段储层是可行的。

(3)先进的旋转导向工具和大功率顶驱的应用是长水平段水平井成功钻井的关键。

(4)各种技术措施的综合运用,特别是合理的钻具组合和钻井参数,保障了广安 002-H1 井这口欠平衡长水平段水平井的顺利完成。

参 考 文 献

- [1] 陶冶,刘伟.欠平衡钻井新技术在夏 72 井的应用[J].钻采工艺,2005(1).
- [2] 饶政,吴锋,李晓平.水平井开发气顶油藏合理位置的确定方法[J].西南石油学院学报,2006,28(1):32-34.

(收稿日期 2007-06-08 编辑 钟水清)