

泡沫钻井在大牛地气田盒1气层的应用

陈晓华, 邓红琳, 闫吉曾, 牛萌萌

(中石化华北分公司工程技术研究院, 河南 郑州 450006)

摘要:为有效解放气层,且对应用欠平衡技术开发大牛地气田盒1气藏进行经济技术评价,在盒1气层开展了氮气泡沫欠平衡钻井试验,实现了全过程欠平衡,有效保护了储层,机械钻速较常规水平井大幅度提高,为大牛地低渗气田的开发提供了技术储备。

关键词:泡沫钻井;欠平衡钻井;钻井工艺;机械钻速;大牛地气田;盒1气层

中图分类号:TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)10-0019-04

Application of Foam Drilling in He 1 Gas Layer of Daniudi Gas Field/CHEN Xiao-hua, DENG Hong-lin, YAN Ji-zen, NIU Meng-meng (Sinopec Huabei Sub-Company, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: Nitrogen foam under-balanced drilling test was made to effectively release gas reservoir and evaluate the technical and economic feasibility of under-balanced horizontal well in developing He 1 gas reservoir of Daniude gas field, whole process under-balanced was realized to protect the gas reservoir with higher penetration rate than common horizontal well drilling. It provides the technical reserve for the development of Daniudi low permeability gas field.

Key words: foam drilling; under-balanced drilling; drilling technology; penetration rate; Daniudi gas field; He 1 gas layer

大牛地气田位于鄂尔多斯盆地北部,储层孔隙度、渗透率低,地层压力低,有效应力高、基块毛管压力高,易产生水锁伤害。因此,大牛地气田从2002年开始尝试水平井提高单井产量和储量动用率的可行性试验,DP1、DP35-1井证实了气层存在一定的自然产能,但整个水平井试验未取得预期成果。为解放气层,实现自然建产,先后试验了漂珠低密度欠平衡钻井、无土相充氮气欠平衡钻井、氮气泡沫欠平衡钻井。在山1气层部署实施的分支井DF1井按预案实施了负压钻进,循环介质为氮气泡沫,3120~3720 m井段产气量达 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,欠平衡技术在山1气层取得了初步成效,积累了宝贵经验,但没完全达到预期试验效果^[1]。因此,在山1气层和盒3气层分别实施了DF2、DP3井,分别以 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配产,获经济自然产能,结束了大牛地气田靠后期改造才能建产的历史^[2]。

1 盒1储层地质特征

对于盒1储层尤为明显,属于典型的三类储层,该储层为辫状河沉积,横向变化大,夹带分布不稳定、无规律的泥岩薄层,其平均孔隙度10.27%,平均渗透率 $1.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,原始地层压力系数为0.85~0.9。该气层占探明储量的近1/3,至2009

年动用率约为12%。为了有效动用盒1气层探明未动用储量,实现自然建产,在盒1气层实施了欠平衡钻井。

2 实施泡沫钻井的原因

截止2010年底,大牛地盒1气层实施了5口井的欠平衡钻井,DP4、DP5充气欠平衡钻井,DP14、DP19、DP22泡沫欠平衡钻井。盒1储层属于低渗致密气层,对应力敏感,毛管压力高,毛管压力曲线陡峭,临界水饱和度高,气水界面模糊^[3]。相关实验研究证明盒3、盒1、山2和山1段4个层位毛管自吸速率呈盒3>山2>盒1>山1段^[4]。因此,盒1气藏易发生毛细管自吸,诱发水相圈闭损害。盒1气层毛管压力3.5 MPa, DP4井充气量 $50 \text{ m}^3/\text{min}$,计算循环当量密度 $0.82 \text{ g}/\text{cm}^3$ 左右,计算欠压值1.24~2.74 MPa,在盒1气层水平段实施欠平衡钻井过程中后效明显,7次点火,其中一次持续140 min,火焰高达3~9 m^[5]。欠平衡取得初步效果。但欠压值不能有效克服毛管自吸力,实现真正意义的欠平衡。因此,在前期欠平衡施工的基础上,在难动用储量层盒1气层进行泡沫钻井试验,DP14、DP19、DP22井欠压值可以有效克服毛管自吸力(见表1)。

收稿日期:2011-03-05;修回日期:2011-06-03

作者简介:陈晓华(1984-),女(汉族),河北人,中石化华北分公司工程技术研究院助理工程师,油气井工程专业,硕士,从事钻井工程设计、研究及相关工作,河南省郑州市陇海西路199号,xiaohua9280@163.com。

表1 泡沫钻井参数统计表

井号	基液密度/(g·cm ⁻³)	钻井液排量/(L·s ⁻¹)	注气量/(m ³ ·min ⁻¹)	等效钻井液密度/(g·cm ⁻³)	地层压力系数	欠压值/MPa
DP14	1.0	5~7	50~80	0.18~0.50	0.89	10.29~18.61
DP19	1.0	2~6	55~60	0.20~0.34	0.89	13.33~16.65
DP22	1.0	3~6	60~80	0.15~0.28	0.89	16.04~19.42

3 现场实施

3.1 泡沫基液处理剂的优选

在泡沫钻井过程中,钻速较快,岩屑不容易被及时带出,为了彻底携带岩屑,清洗井底,需要依据盒1气层的地质情况对泡沫基液处理剂进行优选。

3.1.1 发泡剂的优选

AC-Ⅱ发泡剂的发泡高度和泡沫半衰期随着发泡剂浓度增加而增大,当浓度>0.5%时,发泡剂的发泡高度、泡沫半衰期增大不多,见图1。

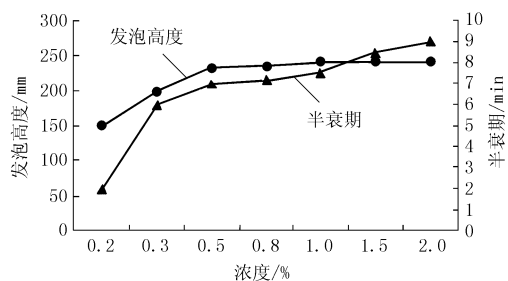


图1 发泡剂的发泡高度和泡沫半衰期随浓度的变化曲线

对发泡剂的耐温性、抗盐、抗原油污染等性能进行了评价,结果见图2。可以看出,AC-Ⅱ发泡剂具有良好的抗盐抗钙能力,在实验浓度范围内的盐和钙对发泡能力的影响很小,另外发泡剂还有良好的抗原油污染能力。

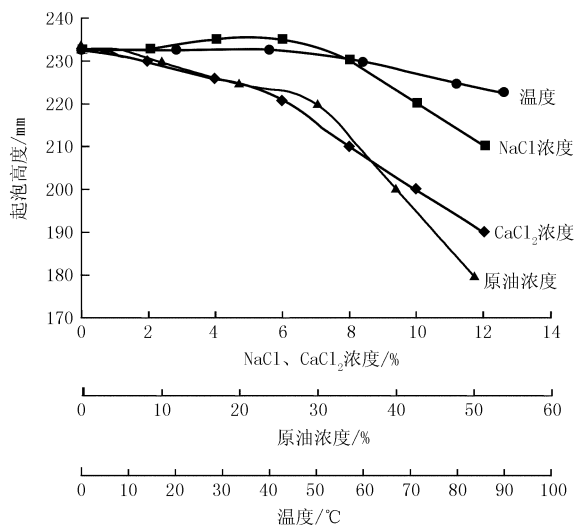


图2 不同介质及温度对发泡能力的影响

3.1.2 处理剂的优选

为了满足盒1气层钻井要求,需要优选一种抑制性好、且与发泡剂配伍的处理剂。选用了YJB-1的井壁稳定保护剂,可在井壁周围形成憎水保护膜,防止泥页岩因吸水膨胀垮塌,同时可与泡沫有效配伍,提高泡沫液的整体性能,以解决井壁失稳问题。

3.1.3 防水锁剂优选

为了避免盒1储层水锁伤害,优选了防水锁剂。选用气测渗透率在 $1 \sim 10 \mu\text{m}^2$ 的大牛地山1组岩心,用一定矿化度的盐水真空饱和,先用煤油测渗透率,然后用配制的防水锁剂盐水溶液驱替,再用煤油测其渗透率,再计算出渗透率恢复值(表2)。可见,防水锁剂5具有较高的渗透率恢复值,有效地保护了气藏。

表2 防水锁剂优选表

岩心编号	气测渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	防水锁剂溶液	煤油渗透率/ $1/\mu\text{m}^2$	煤油渗透率/ $2/\mu\text{m}^2$	渗透率恢复值/%
1	3.18	防水锁剂1	1.23	0.66	53.66
2	4.24	防水锁剂2	1.19	0.70	58.82
3	3.84	防水锁剂3	0.55	0.30	54.55
4	6.40	防水锁剂1	1.42	0.03	2.11
5	6.79	防水锁剂4	3.12	0.88	28.20
6	8.57	防水锁剂5	1.02	1.00	98.04
7	2.06	防水锁剂0	0.03	0.02	66.67

针对盒1气层的地质及气藏特点,确定了由发泡剂+井壁稳定保护剂+稳泡剂+防水锁剂组成的泡沫液基液体系。

泡沫基液配方:清水+0.5%~2%发泡剂+1%~2%井壁稳定保护剂+1%~2%稳泡剂+1%~2%防水锁剂。

泡沫基液性能:发泡体积600 mL,半衰期6 min,pH值6.5。

其中半衰期随水平段的井深增加而调整,确保水平段携岩。

3.2 水平段钻具组合优选

在较长的水平段钻进过程中,为了达到稳斜、快速钻进,并实现“少滑动,多复合”钻进目的,在水平段优选了“PDC钻头+1.25°单弯螺杆(扶正块)+欠尺寸扶正器(扶正块)”的单弯双稳钻具组合进行导向钻进,并通过合理匹配钻井参数,最大限度减少了滑动进尺,提高了钻井时效。使用倒装钻具组合,根据水平段长度调整倒装钻杆数量,使加重钻杆放置在井斜 $40^\circ \sim 50^\circ$,以便加重钻杆的重力能传递到钻头上。通过变换螺杆扶正器外径尺寸和欠尺寸扶正器外径尺寸的相对大小来保证稳斜钻进。

3.3 水平段钻进概况

DP14 井三开选用纯氮气钻井, 2889.24 m 处由于钻出的岩屑不能及时上返, 造成岩屑堆积卡钻, 仪器信号在纯气体中无法实现传导, 因此, 改为泡沫钻井。钻 4147.03 m 时, 从随钻测井曲线结合前一趟钻井内遇阻情况分析: 钻遇高伽玛井段, 地层泥质含量增加, 欠平衡作业引起地层坍塌再次出现卡钻。

DP19 井水平段长 1200.55 m, 全井水平位移

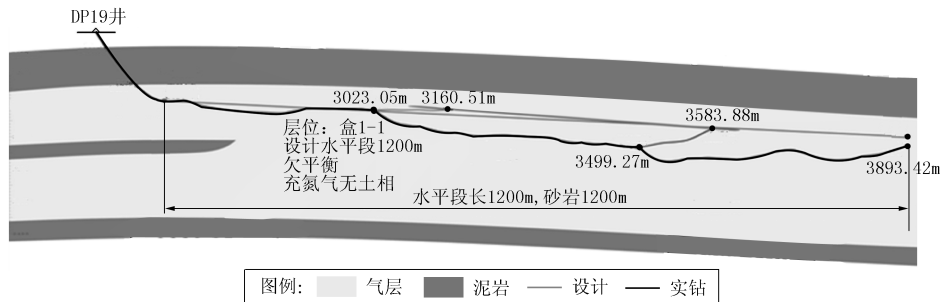


图3 DP19 井实钻井眼轨迹

DP22 井水平段钻至 3943.28 m 钻遇泥岩卡钻, 于 3470 m 控时侧钻。

3.4 水平段技术难点及施工措施

(1) 盒 1 储层没有明显的标志层位, 横向变化比较大, 并夹带泥岩薄层, 很难找准靶点, 给水平井着陆带来一定的难度。DP14 井实施了 $\varnothing 311.2 \text{ mm} + \varnothing 215.9 \text{ mm}$ 的复合斜导眼, 顺利找到 A 靶点。DP19 井在斜井段的后期, 钻至 2660.92 m, 垂深 2459.40 m 时, 已达原设计层位, 由于全烃显示不好, 调整井斜至 $82^\circ \sim 83^\circ$ 稳斜下探至 2782.51 m, 根据砂样和全烃显示, 表明已经钻穿储层盒 1 段, 回填侧钻, 影响了斜井段轨迹的平滑, 增大了摩阻和扭矩。

(2) 盒 1 气层采用的是泡沫钻井, 循环介质为氮气泡沫, 属于可压缩流体, 而以常规钻井液作为信号传输介质的常规无线随钻测量仪器在泡沫钻井液中无法实现信号的传输, 从而无法实现井眼轨迹的实时监测^[6,7]。因此, 选用电磁波无线随钻测量仪实现了井眼轨迹的随钻测斜和实时跟踪, 保证了水平段井眼轨迹的有效控制, 实践证明该仪器在 3000 m 以浅地层的稳定和可靠。

(3) 盒 1 气层属于夹带泥岩薄层的非均质地层, 泥岩胶结性差, 如钻遇泥岩, 会发生应力失稳, 井壁坍塌, 造成卡钻。DP19 井欠平衡钻进过程中共两次钻遇泥岩, 两次顺利进行悬空侧钻。在悬空侧钻施工过程中, 为了提高井底钻头侧向切削力, 保证侧钻一次成功, 下钻施工前, 起钻甩掉螺杆上欠尺寸扶

正器, 进行划槽作业, 根据摩阻显示优化划槽作业井段的时间参数, 再进行控时钻进, 后停气加钻压测试台阶面, 直至能够支撑, 之后开始加压定向钻进。根据钻至一定井深时的测深、垂深、静态测量井斜、方位的变化来确定是否成功侧钻, 侧钻成功后, 复合钻进并间歇滑动钻进使轨迹向调整设计靠拢, 复合钻进后修整窗口, 保证后续下钻的顺利。

1573.66 m, 水平段垂深最大落差 9.23 m, 其实钻井眼轨迹见图 3。在水平段钻进过程中, 两次出现泥岩, 多次调整轨迹, 水平段共悬空侧钻 3 次: 钻至 3160.51 m, 钻遇泥岩, 自 3023.05 m 悬空侧钻至 3583.88 m, 钻遇泥岩, 自 3527.38 m 悬空侧钻至 3546.29 m, 台阶不能承压, 侧钻失败; 自 3449.27 m 重新侧钻。

(4) 盒 1 气层实施的 3 口泡沫钻井水平段超过 1200 m, 氮气泡沫与常规钻井液相比, 润滑性能要差很多, 另外, 钻柱浮力在泡沫介质中减小, 使得钻柱在水平井段偏沉于下井壁, 静压力增大, 钻具上提下放的摩阻增大, 转动钻柱时扭矩大^[8]。水平段长超过 1000 m 后, 托压现象明显, 后期摩阻扭矩大, 滑动钻进困难。为了缓解滑动困难, 保证欠平衡钻进的顺利进行, 实施短程划眼、复合钻进、滑动定向相结合的原则。

(5) 盒 1 地层岩性为浅灰、灰白色中、粗石英砂岩及含砾粗砂岩夹棕褐色泥岩薄层、条带, 地层研磨性强, 造成钻头寿命快速降低(见图 4^[9]), 欠尺寸扶正器和电磁波发射短节迅速磨损, DP19 井有一只钻头的纯钻时间仅 11.98 h。DP22 井钻具组合在入井一段时间后因欠尺寸扶正器的磨损和地层因素造成复合钻进增斜率增大, 而必须采用滑动降斜和复合钻进相结合的方式合理控制井眼轨迹, 另外, 多次因电磁波发射短节迅速磨损造成仪器无信号, 共损坏 5 只电磁波发射短节。



图4 DP19井水平段PDC钻头磨损情况

3.5 实钻数据

盒1气层实施氮气泡沫钻井,机械钻速有大幅提高,是无粘土相钻井液体系机械钻速的1.4~4.8倍(见表3)。盒1气层水平段钻井过程中,利用单弯双稳钻具组合导向钻进,并通过合理匹配钻井参数,滑动进尺比例最小为5.87%(见表4),既保证了轨迹圆滑,又满足了轨迹控制的需要,减小了复合钻进扭矩,提高了钻井时效。

表3 泡沫钻井与常规钻井水平段钻速比较表

井号	井眼尺寸/mm	水平段长/m	水平段钻速/(m·h ⁻¹)	循环介质	目的层	钻头平均进尺/m
DP8	215.9	1485.91	2.63	无粘土相	山1	70.76
DP11	215.9	749.17	2.07	无粘土相	山1	74.47
DP14	215.9	1281.83	5.74	氮气泡沫	盒1	126.93
DP19	152.4	1200.00	3.79	氮气泡沫	盒1	165.68
DP22	215.9	1500.00	10.12	氮气泡沫	盒1	197.33

表4 泡沫钻井滑动进尺比例表

井号	井眼尺寸/mm	累计水平段长/m	滑动进尺/m	滑动比例/%	除去侧钻后滑动比例/%
DP19	152.4	1472.07	146.5	9.95	7.71
DP22	215.9	2000.02	142.4	7.12	5.87

4 实施效果

(1)针对大牛地气田盒1气藏特征及伤害因素,优选氮气泡沫循环介质钻井液体系,钻进中保证了地质捞砂、钻进正常;泡沫流体具有较强的携岩能力,能够满足水平井携岩等钻井要求。另外,与常规液相充气钻井液相比,能有效克服毛管自吸力,实现了真正意义的欠平衡。

(2)鉴于盒1地层的非均质性,水平段钻进过程中,将地质与工程结合,使用电磁地质导向,应用悬空侧钻技术,有效保证了欠平衡水平段砂岩钻遇率100%。

(3)在盒1实施的泡沫钻井,机械钻速均比常

规钻井机械钻速高,体现了实施欠平衡泡沫钻井的优越性。

(4)DP14和DP22井水平段采用氮气泡沫欠平衡钻完井工艺在三类储层盒1气层实现自然建产,分别获得无阻流量 $5.68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $3.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,与周围直井相比单井产量提高1.35~2.88倍。

5 认识与建议

(1)通过DP14和DP22井与临井产量对比,水平井钻井技术和欠平衡泡沫钻井技术结合利用是开发低压、低渗油气藏的一种有效的方法。

(2)DP14井水平段纯氮气钻井,由于不能完全携带岩屑造成卡钻,纯氮气钻井在盒1气层适用差;泡沫欠平衡钻井泥岩段适用性问题导致钻遇泥岩卡钻。

(3)氮气泡沫与常规钻井液相比,润滑性能要差很多,随着水平段的增加,摩阻和扭矩增加,托压现象明显,水平段超过1000m滑动困难。建议泡沫欠平衡钻井控制水平段长1000m左右。

(4)盒1地层研磨性强,普通PDC钻头寿命有限,钻具磨损严重,增加起下钻次数,增加了钻井周期。建议选用长寿命的高效PDC钻头配合新的螺杆钻具。

参考文献:

- [1] 俞宪生. DF1井氮气泡沫欠平衡钻井实践与认识[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(1): 14-17.
- [2] 卢周芳. 大牛地气田欠平衡水平井钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(9): 10-14.
- [3] 张曙光, 石京平, 刘庆菊, 等. 低渗致密砂岩气藏岩石的孔隙结构与物性特征[J]. 新疆地质, 2004, 22(4): 438-441.
- [4] 游利军, 康毅力. 油气储层岩石毛管自吸研究进展[J]. 西南石油大学学报, 2009, 31(4): 112-116.
- [5] 卢周芳. 充气欠平衡钻井液技术在DP4井水平段的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2): 17-19.
- [6] 李田军, 焉泰灵. 电磁波随钻测量与欠平衡钻井[J]. 西部探矿工程, 2006, (3): 198-199.
- [7] 汤明, 何世明, 邢景宝, 等. 大牛地气田DP14水平井氮气泡沫钻井实践与认识[J]. 天然气工业, 2010, 30(3): 74-76.
- [8] 孙海芳, 譙抗逆, 胡超, 等. 广安002-H8井气体钻水平井实践[J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 61-63.
- [9] 崔海林, 曹树生, 杨春旭, 等. DP19小井眼欠平衡水平井井眼轨迹控制技术[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(3): 18-22.