

DF1 井氮气泡沫欠平衡钻井实践与认识

俞宪生

(中石化华北分公司工程监督中心,河南 郑州 450006)

摘要:氮气加泡沫欠平衡钻井是当前国际上已经成熟的一种钻井新技术。其优点是静液柱压力低,漏失量小,携屑能力强,对油气层损害小,保证水敏性地层钻井安全;可及时发现油气层,提高单井产量;因而能够最大限度地发现和保护中、低压低渗油气藏,以获取比常规过压钻井高得多的经济效益。在大牛地气田 DF1 井的施工应用中,针对本工区低压、低渗、水敏的特点,使用该项技术,很好地解决了工区内使用普通泥浆造成对产层污染的问题,并取得了成功。

关键词:DF1 井;氮气泡沫;欠平衡钻井;负压控制;定向钻进

中图分类号:TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)01-0014-04

Practice and Experience on Under-balanced Drilling with Nitrogen-foam/YU Xian-sheng (Engineering Supervision Center of North China Branch Company, SINOPEC, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: Under-balanced drilling with nitrogen-foam is an international mature technology with advantages of low pressure of hydrostatic, less leakage, strong cutting carrying capacity, less damage to oil-gas layer and safe drilling in water-sensitive layer. With this technology, low pressure and low permeability oil-gas reservoir can be discovered and protected further for much higher economic benefit than conventional over-pressure well. It was applied in DF1 Well of Danudi gas field of low pressure and water-sensitive layer, and pollution on producing formation by ordinary slurry was solved.

Key words: DF1 Well; nitrogen-foam; under-balanced drilling; negative-pressure control; directional drilling

1 基本情况

1.1 概述

山 1 气层是大牛地气田的主要产气层位,储层为低孔、低渗、水敏性砂岩气藏,平均压力系数为 0.96,地温梯度为 2.86 °C/100 m,属正常地温系统和低压系统。从已完成的井看,气层平均产量低,单井产量仅为 1 万 m³/天。2002 年,为提高山 1 气层单井产量,中石化华北分公司针对山 1 气层实施了一口水平井(DP1 井),其水平段长 600 m,裸眼完井,无阻流量为 6124 m³/d,效果不理想。2006 年中石化油田部为进一步探索钻井新工艺对山 1 气层的适应性,提高单井产量,决定在 DP1 井的基础上,针对山 1 气层实施 DF1 井,了解氮气泡沫及水平分支井钻进技术对山 1 气层的增产效果,评价该工艺对山 1 气层的技术、经济可行性,并以山 1-1 气层为主要目的层,新建产能。

1.2 试验井位置

DF1 井位于陕西省榆林市榆阳区小壕兔乡公和补兔二队,井口位于大探 1 井 57.61°方向 592 m 处,构造位置为鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部。

1.3 井身结构

一开用 Ø311 mm 钻头钻至 259 m,下入 Ø244.5 mm 套管至井深 258.44 m;二开用 Ø216 mm 钻头钻至井深 3124.07 m(斜深),下入 Ø177.8 mm 套管,套管下深 3119.72 m(斜深);三开用 Ø152 mm 钻头施工。

2 井眼轨迹及欠平衡设计

为了在大牛地气田开展低孔、低渗岩性气藏水平分支井技术的试验性研究,以此评价该技术在该气田山 1 段气藏提高单井产能的技术、经济可行性,我们在 DF1 井进行了欠平衡分支井钻井技术试验,且取得了成功。

2.1 井眼轨迹设计

DF1 水平分支井的水平段由 2 个主井眼和 5 个分支段组成。2 个主井眼成一个 V 字形,V 字形主井眼的右主井眼包括 2 个分支井,左主井眼包括 3 个分支井。其结构示意图见图 1。

南(左)主井眼靶点为 LP、ML-b,水平段 LP~ML-b 的长度为 900 m;左第一分支段(L1)的靶点为 L1-a、L1-b,L1-a~L1-b 段的轨迹长为 400 m;左第二分支段(L2)的靶点为 L2-a、L2-b,L2-a

收稿日期:2008-06-24

作者简介:俞宪生(1970-),男(汉族),浙江金华人,中石化华北分公司监督中心钻井完井科副科长、工程师,石油钻井专业,从事钻进监督技术工作,河南省郑州市伏牛路南段 197 号,yxsh001@126.com。

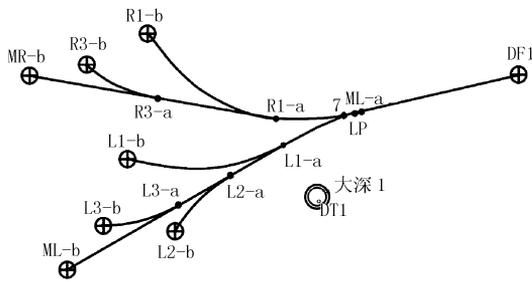


图 1 DF1 井结构示意图

~L2-b 段的轨迹长为 200 m;左第三分支段(L3)的靶点为 L3-a、L3-b, L3-a~L3-b 段的轨迹长为 200 m。

北(右)主井眼靶点为 LP、MR-b,水平段 LP~MR-b 的长度为 900 m;右第一分支段(R1)的靶点为 R1-a、R1-b, R1-a~R1-b 段的轨迹长为 400 m;右第二分支段(R3)的靶点为 R3-a、R3-b, R3-a~R3-b 段的轨迹长为 200 m。

井口及靶点平面投影坐标见表 1。

表 1 井口及靶点平面投影坐标

靶点	X	Y	海拔
DF1 井口	4304212.40	19381316.85	1295.33
ML-LP	4304117.46	19380907.76	-1544
ML-a	4304121.13	19380922.01	-1545
ML-b	4303723.33	19380184.28	-1546
L1-a	4304035.84	19380725.53	-1545
L1-b	4304002.17	19380337.59	-1547.5
L2-a	4303960.83	19380595.64	-1545
L2-b	4303821.05	19380455.83	-1545
L3-a	4303885.83	19380465.73	-1545
L3-b	4303834.67	19380274.77	-1546.5
7"套管鞋	4304111.79	19380878.27	-1543
MR-LP	4304117.83	19380907.66	-1544
MR-b	4304211.06	19380092.88	-1551
R1-a	4304104.54	19380708.70	-1546
R1-b	4304318.16	19380386.42	-1550
R3-a	4304154.62	19380412.94	-1548
R3-b	4304238.17	19380233.74	-1550.5

注:ML-LP 与 MR-LP 为同一点,表示水平井段登陆点;a—各分支侧钻点;b—各分支靶点。

2.2 欠平衡设计

2.2.1 负压值的确定

欠平衡钻井中的负压值就是井底压力与地层压力之差。如果负压值过小,容易造成井底压力与地层压力近平衡,则不是负压状态下欠平衡钻井;如果设计的负压值过大,容易造成井口设备过载失控,引发重大钻井事故。该井使用了氮气泡沫钻井,一般不控制回压,井口始终敞开或控制的井口回压 ≥ 2 MPa。

2.2.2 井底负压值的控制

当钻遇油气层或油气柱上升时,井底负压值会发生变化,此时立压和套压也随之发生变化,通过研究和实践,总结出以下井底负压值控制方案:

- (1) 当泵排量不变而泵压发生了变化,通过调节节流阀保持泵压不变,从而保持井底负压值不变;
- (2) 当随钻产气量不变而排量变化时,调节节流阀使井口压力增(排量下降时)减(排量上升时)即可保持井底负压值不变。

2.3 注气量的设计

本井用 $\varnothing 152$ mm 钻头进行分支井钻井施工,循环介质使用氮气加泡沫,根据直井的理论计算与实践经验,本井的气体注入量正常范围为 $35 \sim 70$ m³/min,可确保对井眼进行充分的清洗。

2.4 配方设计

为了保证井内安全,满足钻井要求。经过室内与现场实验,本井选用水基氮气泡沫,其基液的配方为:清水 + 0.15% NaHCO₃ + 0.05% KOH + 0.2% CMC + 0.6% Dionic900(泥岩抑制剂) + 0.2% Corr Foam(防腐蚀) + (0.3~1)% Klean Foam(发泡剂)。此配方的泡沫基液密度为 1005 kg/m³,粘度 30~35 s, pH 值 9~11 之间。测得泡沫半衰期为 15 min。

3 配套设备及井下工具

3.1 配套设备

实施氮气泡沫钻进工艺,除设备的常规配套外,还需增加以下设备。

(1) 制氮机。根据 DF1 井的钻井深度(垂深 2835 m,最长的水平分支井为 1000 m),能满足井底清洁的最少氮气量为 42 m³/min,以此来选取制氮机。本井选用 NPU1500 型制氮机,一台该型制氮机每分钟可以分离出 42 m³、纯度为 95% 的氮气,最大供气量为 136 m³/min,分离出的氮气量为 68 m³/min,完全能满足钻井需求。

(2) 空压机。要为 NPU1500 型制氮机供气,要求其供气量 ≤ 136 m³/min,因此选择 4 台 Quincy1500/200 型空气压缩机为其提供气源。每台空气压缩机在最大输出压力为 1.4 MPa 的情况下,供气量为 34 m³/min。4 台空压机的供气量是 136 m³/min。

(3) 增压机。经过制氮机出来的氮气压力为 1.16 MPa,远不能满足钻井需要,因此要对其进行增压。本井选用 Joy WB-12 型低压增压机,它可以将氮气压力从 1.16 MPa 最高增压可达到 10 MPa,可以满足 DF1 井欠平衡钻井施工工艺需要。

(4) 雾化泵。本井用一台“国民 J-60-L”型雾

化泵,其功能是在钻井时,用来产生和循环泡沫。

(5) 旋转防喷器、分离系统及点火炬。

3.2 井下工具

为了安全钻井,氮气泡沫钻井需要在钻具上安装浮阀等特殊工具。

(1) 浮阀。安装在钻头或井下动力钻具之上,一般安装 2 个,防止空气、钻屑倒流和钻头水眼堵塞。

(2) EMMWD 随钻测量仪器。其功能和 MWD 基本相似,而 EMMWD 则是利用电磁波,把井下的井斜、方位、伽马值等信号传递到地面,地面人员通过双向通信来控制井眼轨迹,以实现受控定向钻井。

(3) 单向阀及 18° 斜坡钻杆。

4 施工难点和工艺

4.1 施工难点及对策

4.1.1 泡沫质量的控制

泡沫质量的好坏关系到施工的成败,若泡沫质量数(泡沫质量数 = 气体体积流量/混合物总体积流量)达到 0.6,则气泡之间紧密挤压,逐渐形成空间 12 面体形状,泡沫流动呈现很强的结构运动,此时的泡沫流体已无自由液体,液体全部束缚在泡沫膜之间,失水很小。泡沫质量数逐渐增大到 0.95 时,泡沫仍保持 12 面体形状,只是泡沫尺寸增大,液膜变薄,此时泡沫的失水几乎为零。现场施工时,一般泡沫质量数要控制在 0.6 ~ 0.95 之间,技术人员要不断地观察返出的泡沫及携岩情况,通过增加发泡剂及表面活性剂等来调整泡沫的质量,满足生产需要。

4.1.2 信号传输困难

氮气泡沫易压缩,且泡沫中的氮气不是连续相,因此不能用它来传输井底信号,即不能使用 MWD 来传输信号。在现场施工过程中,利用电磁波来传输井底的信号,即 EMMWD。

4.1.3 井眼清洁问题

根据理论计算,直井中环空泡沫速度为 27.4 m/min 就能满足井眼清洁的要求。但在实际施工过程中,这个速度在水平井中携岩效果并不理想,在起下钻及钻进过程中经常出现阻卡现象。经过现场不断试验,水平井中满足携岩的最小的环空速度 > 32 m/min,即氮气注入量 < 50 m³/min 才能满足井眼清洁要求。

4.1.4 井内有毒害气体的控制

因为是欠平衡钻进,井内负压,地层中的气体会

无限制地流入井筒,并随氮气泡沫流到井外。现场施工时,在井口及钻台等处安装检测仪,并在井口装上旋转防喷器,正常钻进时把井内气体引到远离井口的火炬头燃烧掉。

4.2 施工工艺

4.2.1 气举

进行氮气泡沫施工前,要把井内的清水全部置换成氮气。鉴于威德福公司注氮泵的工作压力最高只能达到 8.4 MPa,因此没法直接一次性用氮气把井内清水替出。只能分 3 步进行,分别在井深 1500、2250 m 及井底进行。

操作程序如下:起钻至井深 1500 m,用泥浆泵以 10 L/s 的排量循环并保持不变,注氮泵同时以 15 m³/min 的排量注入氮气,静候立压下降,并在此过程中,泥浆泵排量逐渐降到 5 ~ 6 L/s,氮气排量提高到 25 m³/min,立管压力下降后泥浆泵排量随着压力的降低最终降到 0,而氮气排量逐渐提到 40 m³/min,直到 1500 m 以上的清水全部被氮气替出为止。下钻至 2250 m 与在井底时的操作相同,最后下钻到井底后直接用氮气把井内清水替出。

4.2.2 钻进

气举完成后,配好氮气泡沫,开始进行钻进作业。通常钻进时要进行控时钻进。因为是负压钻进,钻速很快,如不进行控时钻进,产生的岩屑很难及时清理掉,容易造成埋钻事故。一般钻进速度控制在 20 m/h 之内。

4.2.3 接单根

氮气泡沫的钻进作业与一般的常规钻进作业没有多大区别,不同之处在于加单根与起下钻作业。每打完一个单根后循环清洗井眼 5 ~ 10 min,保证环空循环畅通,避免沉砂卡钻,待井内压力平稳后,方可进行接单根作业。接单根程序:上提钻具→坐吊卡→停止供气→打开卸压阀→待立压为 0 时→接单根→关闭卸压阀→向井内注氮气泡沫。接完单根后,待排出口气体返出及各项参数恢复正常后,缓慢下钻正常钻进。在整个接单根的过程中钻台上的风扇必须工作正常。

4.2.4 起下钻

与常规起下钻不同,因为是负压钻进,因此起下钻时,要用旋转防喷器关井起下钻。起钻操作步骤是:先用氮气将井内的泡沫都顶出来,然后停止供气、关闭旁通阀→打开卸压阀→待立压为 0 时→上提钻具起钻。下钻操作步骤为:关闭全封闸板防喷器,接好钻头、马达等井下工具后,钻头下到全封闸

板防喷器处→关闭环形防喷器→打开闸板防喷器→下放钻具→安旋转控制头→下钻。

4.2.5 轨迹控制

与一般定向井的轨迹控制区别不大,只因本井采用氮气泡沫钻进,定向马达用的是空气马达。为了满足施工需要,现场采用了 EMMWD 来传输信号,EMMWD 把井内的井斜方位等信号转换成电磁信号,地面接收设备收到电磁信号后再还原成井斜方位等原始数据,再根据需要进行适时调整。

4.2.6 施工过程

本井于 2006 年 11 月 8 日开始气举作业,11 月 9 日开始三开钻进,12 月 21 日右主支钻至 3805.85 m 发生卡钻事故,处理完事故后完成右主分支作业。2007 年 2 月 5 日在施工右主井的第一小分井时,钻进至 3236.17 m 后发生卡钻事故,处理完后没再继续钻进。2007 年 3 月 12 日下斜向器在井深 3050 m 处进行开窗侧钻左主支,3 月 15 日钻至井深 3082.4 m,钻遇煤层并引起煤层坍塌而不再进行下步施工。本井三开总共施工进行了 128 天,发生了 2 次事故,共损失 60.2 天。

4.2.7 成井效果

本井用氮气泡沫钻进后,最高日产量达到了 20000 m³ (现场估算),是邻井 DP1 井的 3 倍,显示了欠平衡钻井工艺对保护油气层、提高产能的优越性。

5 几点认识

欠平衡分支井钻进技术虽然在 DF1 井的施工

中达到了一定的目的,积累了不少宝贵、有益的经验,但没能完全取得预期的试验效果。

(1)携岩方面,氮气泡沫在直井与水平井中携带相同量的岩屑,所用的氮气泡沫量相差太大,这也是引起 DF1 井经常遇阻与遇卡的原因之一。因此不能以直井理论来推导水平井所需的氮气泡沫量。为了增加携岩能力,在水平井中应加大氮气泡沫的量与供气压力。

(2)地层方面,欠平衡钻进必须在比较稳定的地层中实施,而在 DF1 井施工中,地层中夹有煤线,而煤线的坍塌引起了卡钻事故的发生。

(3)轨迹控制,空气马达与常规马达相比,反扭角与装置角相对难以把握一些。在本井施工中,井底方位及井斜角控制起来都比较困难,在以后的施工中有待进一步分析总结、研究解决。

(4)欠平衡钻进技术可有效地减少储层污染,有利于储层产能的充分释放。

(5)分支定向井能提高大牛地气田低压、低渗气藏单井的日产量,虽然效果明显,但未能完全达到预期的经济效果。

参考文献:

[1] 陈星元,陈光,程晓年,等.空气(泡)沫钻井与安全[R].上海:上海气体钻井会议材料,2006.

注:本文还参考了胡杨、孙素琴、刘艳、曹忠辉的《DF1 井地质工程设计》(2006);威德福亚太有限公司的《DF1 鱼骨井技术协议》(2006)。

2008 年度十大地质科技成果和十大地质找矿成果揭晓

本刊讯 2008 年 12 月 21 日,中国地质学会组织召开了 2008 年度十大地质科技成果和十大地质找矿成果评选活动,评选委员会由 32 人组成,其中 7 名两院院士参加评选,孟宪来常务副理事长任评选委员会主任,孙枢、李廷栋院士任副主任。

自 2007 年开始,每年年末中国地质学会开展年度优秀地质科技与找矿成果汇编工作,并进行中国地质学会年度十大地质科技成果、十大地质找矿成果评选活动。这项工作的目的是为更好地总结我国地质界年度地质科技成果与重大找矿进展,在全行业推广地质找矿新思路、新方法,介绍地质找矿成功的典型案例,加快科技成果的转化与应用。并以此向社会各界展示地质行业年度最新成就,提高地质行业的社会显示度。

2008 年度十大地质科技成果和十大地质找矿成果评选结果如下(排名不发先后)。

十大地质科技成果:(1)柴达木盆地发现罕见鱼化石;(2)我国学者提出龟类起源的新证据;(3)云南昆明发现反

映动物集体行为特征的节肢动物化石;(4)石炭系维宪阶和寒武系古丈阶全球界线层型剖面在我国建立;(5)天然后尖晶石超高压矿物的发现;(6)铁、铜、锌等非传统稳定同位素地球化学研究取得突破性进展;(7)青藏高原新构造及晚新生代古大湖研究;(8)全国主要城市环境地质调查评价取得重大进展;(9)危机矿山深部预测盲矿的新突破——构造叠加晕找矿法;(10)1:250 万“亚洲中部及邻区地质图系”。

十大地质找矿成果:(1)安徽省庐枞深部发现泥河大型铁矿;(2)河南省唐河县周庵发现含铂族-铜镍硫化物矿床;(3)黑龙江省东宁县金厂发现超大型金矿;(4)湖北省铜绿山铜铁矿深部找矿取得重大突破;(5)湖北省宜昌磷矿深部勘查取得重大突破;(6)内蒙古二连盆地中东部地区发现大型铀矿床;(7)山西省灵丘县支家地铅锌银矿深部找矿取得重大突破;(8)四川省攀枝花市宝鼎煤矿找矿取得重大突破;(9)塔河油田奥陶系碳酸盐岩中发现大型油气田;(10)准噶尔盆地发现第一个千亿方大气田——克拉美丽气田。