

# 大斜度定向井钻井设计优化及应用实践

吴德山,董振国,崔春兰

(神华地质勘查有限责任公司,北京 102211)

**摘要:**大斜度定向井技术具有可以钻穿更长的页岩气储层段、较大范围地探明和控制含气面积、大幅提高单井产气量等优点。在前期直井预探井工作的基础上,通过对井身结构、井眼轨迹、钻具组合、钻柱力学、钻井液、固井等技术的优化设计,优选出符合高陡构造区页岩气勘探的大斜度定向井钻井工程设计方案,建立了工区的地层压力剖面和钻头选型方案,在直井段采用防斜打直、造斜段开展复合钻井、目的层段引用旋转导向钻井、油基钻井液等技术,成功地钻成 2 口页岩气大斜度定向井,缩短钻井周期,提高钻井效率,实现了优快钻井,主力页岩储层钻遇率 100%,形成一套页岩气高效开发的钻井技术体系,可为今后其他地区页岩气、煤层气的勘探开发提供借鉴。

**关键词:**页岩气;大斜度定向井;优化设计;钻井技术

中图分类号:TE243;TD41

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)04-0058-07

## Optimum drilling design of high deviated directional wells and its application

WU Deshan, DONG Zhenguo, CUI Chunlan

(Shenhua Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 102211, China)

**Abstract:** The technology of high deviated directional well can be used to drill through a long shale gas reservoir, explore and control a wide range of gas-bearing area, and increase the production of single well and percentage recovery significantly. Based on the early exploration of vertical drilling, through the optimum design of well structure, borehole trajectory, drill assembly, friction torque, drilling fluid system, cementing technique, we selected the drilling scheme of high deviated directional well suitable for the efficient development of shale gas, established the formation pressure profile of Baojing area and completed the bit type selection. By applying the deviation control while drilling vertical straight well, compound drilling within building up section, and rotating steering drilling technique within the target section, two high deviated directional shale gas wells were constructed successfully with the drilling rate of shale formation being 100%. The technology system developed here which is for the efficient high deviated directional drilling, obviously increase the rate of penetration, shorten the drilling cycle, and achieve the goals of safe and efficient drilling, and thus provide a reference on the future exploration and development of shale gas and coalbed methane in other areas.

**Key words:** shale gas; high deviated directional well; optimum design; drilling technology

## 0 引 言

页岩气作为清洁能源,其开采已列入我国油气资源开发战略,自 2010 年中国石油天然气集团在四川省威远县威 201 井获得页岩气突破后,中国的页岩气开发就进入快速发展时期,为了加大力度促进页岩气可持续发展,2011 年、2013 年原国土资

源部先后开展 2 轮页岩气区块招标和出让,中石油、中石化、中海油、延长石油、神华集团、中联煤层气公司及河南煤层气公司等企业参与了页岩气的勘查工作,主要集中在西南四川盆地、滇黔北、湘西地区和西北鄂尔多斯盆地等。截至 2017 年底,我国页岩气产量达 169.82 亿  $m^3$ ,成为继美国、加拿大后第 3 个实现页岩气商业化的国家<sup>[1-2]</sup>。但目前在中国西南

收稿日期:2018-01-02;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.04.010

作者简介:吴德山(1968—),男,蒙古族,辽宁阜新,现任神华地质勘查有限责任公司勘探分公司总经理,高级工程师。E-mail:228990238@qq.com

引用格式:吴德山,董振国,崔春兰.大斜度定向井钻井设计优化及应用实践[J].煤炭科学技术,2018,46(4):58-64.

WU Deshan, DONG Zhenguo, CUI Chunlan. Optimum drilling design of high deviated directional wells and its application[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4): 58-64.

山区钻一口页岩气水平井需投资2 000万~3 000万元;而美国德州沃斯堡盆地密西西比 Barnett 地区页岩气水平井钻井成本则可控制在1 700万~2 300万元。由于我国页岩气分布的不均衡性,大多位于西南山区和西北丘陵地区,页岩气的勘探和开发难度大,为了获取单井产能,工程需要钻大斜度定向井或水平井才能实现钻探目的,提高钻井设计的科学性和一次钻井成功率就变得尤为重要。通过对神华保靖区块页岩气地质条件、地层倾角、储层品质等的分析,将地质和钻井知识结合,使用计算机钻井软件对大斜度定向井井身结构、井眼轨迹、钻具组合进行优化,对钻柱力学和井眼净化进行仿真模拟,对钻井液体系、固井配方进行优选,使钻井设计更加科学、合理和规范,具有先进性和实用性,以实现优质高效钻井,降低建井周期。

## 1 保页 3XF 井和保页 4XF 井工程概况和施工难点

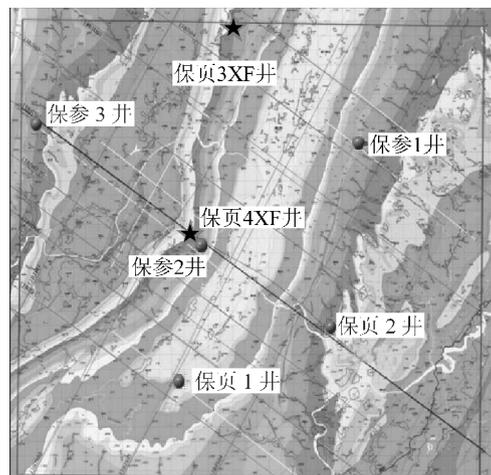
保靖区块页岩气钻探历程可分为3个阶段:第1阶段为2013年,由于刚进入工区,地质情况和地层压力系统不清,缺乏钻页岩气井的经验,钻井性质为参数井,使用岩心钻机施工,属经验钻井阶段,所钻井为保参1井、保参2井;第2阶段为2014年,开始使用石油钻机施工,钻井性质为预探井,因掌握的资料有限,影响钻井设计的准确性,井身结构设计和施工方案仍不尽合理,钻井事故时有发生,钻井周期长,所钻井为保参3井、保页1井、保页2井;第3阶段为2015年后,对工区的地质情况比较熟悉,钻井性质为评价井,井型为大斜度定向井,通过方案优化设计和科学钻井,钻井速度大幅提高,钻井成本下降,所钻井为保页3(3XF)井和保页4XF井(图1)。

在保页3井导眼获得良好的页岩气显示后,经研究决定打水泥塞回填侧钻,实施保页3XF井。保页3XF井于2015年7月7日在保页3井550 m处侧钻,11月1日在井深1 444 m着陆入靶,进入靶窗后在目的层穿行1 201 m,11月7日钻至井深2 645 m完钻。

保页4XF井为导眼井保参2井获得良好页岩气显示后部署的一口评价井。该井于2015年5月9日一开,9月13日钻至井深1 420 m着陆入靶,进入靶窗后在目的层穿行1 000 m,9月20日钻至井深2 420 m完钻<sup>[3]</sup>。

自上而下钻遇地层为马脚冲组、小河坝组和龙马溪组;龙马溪组主要为灰黑色泥岩、含钙泥质粉砂

岩、黑色粉砂质泥岩,底部为10 m左右厚的灰黑色炭质泥岩,裂隙发育、易破碎、含气,为主力页岩气层<sup>[4-5]</sup>。



★为大斜度定向井

图1 保靖区块钻井位

Fig. 1 Drilling site map of Baojing Block

1) 地表条件差,地势狭窄崎岖,可供使用的井场较少,井场分散孤立,属于山地钻井,后勤供应困难。

2) 地质条件复杂,属于高陡构造区,地层倾角大,一般为 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ,地层造斜能力强,给防斜打直和井眼轨迹控制带来困难。

3) 为古生代地层,岩石坚硬致密、可钻性差,研磨性强,机械钻速低,钻头容易先期破坏,给钻具结构优化和钻头选型带来困难。

4) 由于井斜大,滑动钻进井眼不光滑,摩阻转矩大,钻压传递困难;裸眼井段长,岩屑上返行程长,泥浆携砂困难,容易形成岩屑床,如采用旋转导向钻井,钻井成本高。

5) 由于储层埋深和地层倾角的不确定性,给着陆靶带来困难,地质给定靶窗范围小,轨迹容易出层。

6) 在油基钻井液体系条件下,生产套管固井顶替效率低,水泥浆密度高、压差大,易发生漏失事故,影响固井质量,给后续的压裂射孔试气带来困难。

## 2 钻井工程优化设计

由于大斜度定向井井斜大(通常为 $55^{\circ} \sim 86^{\circ}$ )、水平位移大、摩阻转矩大,井眼容易失稳,发生坍塌、井漏、卡钻等事故;因此,在大斜度定向井设计时必须选择合理的井身结构,尽量优化井眼轨迹,优先考虑井眼光滑、进尺少,摩阻转矩小的剖面类型,减少

裸眼段钻井液的浸泡时间,保证井眼安全;实践证明,钻井工程方案优化设计和钻井仿真模拟是大斜度定向井成井的基础<sup>[8]</sup>。

## 2.1 地层压力评价

通过声波测井可提取地层压力系数,建立地层压力剖面<sup>[9]</sup>。经钻后声波测井解释处理,保页1井声波时差未见明显偏移,基本为正常压力系统,上部地层压力系数1.03~1.05,储层地层压力系数1.09~1.10,破裂压力系数1.6~2.3。

## 2.2 合理井身结构设计和套管强度校核

保靖区块浅部地层容易井漏、出水,深部龙马溪组地层有可能漏失、垮塌,为地质比封点。根据2个压力剖面和地质比封点,合理的井身结构设计为“导管+三级套管”程序(图2)。

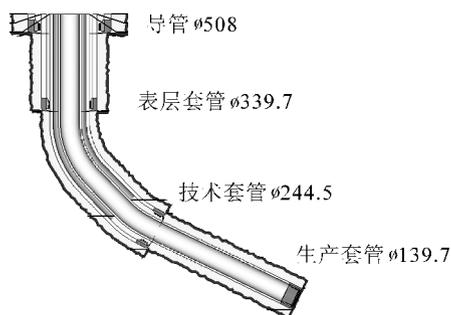


图2 适合保靖区块的井身结构示意图

Fig. 2 Diagram of three tiers well structure is fitted for Baojing Block

根据美国兰德马克应力校核软件对套管强度进

表1 套管强度校核

Table 1 Casing strength check

套管程序	井深/m	下深/m	钢级/ 壁厚/ mm	每米质量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ )	规格		抗外挤		抗拉		抗内压	
					尺寸/ mm	扣型	额定强度/MPa	安全系数	额定强度/kN	安全系数	额定强度/MPa	安全系数
导管 660.4 mm	45	44	J55/11.1	140	508	BTC	3.59	7.86	6 359.4	17.1	14.55	7.42
一开 444.5 mm	502	500	J55/10.9	90.78	339.7	BTC	10.62	2.05	4 649.3	3.15	21.30	1.69
二开 311.15 mm	1 512	1 510	N80/11.05	64.74	244.5	BTC	26.27	1.69	4 620.0	3.42	43.64	1.68
三开 215.9 mm	2 519	2 517	P110/11.7	35	139.9	TP-CQ	109	4.95	3 468.0	1.96	105.5	1.29

注:  $\phi 339.7$  mm 表管、 $\phi 244.5$  mm 技术套管按 30% 全掏空计算,  $\phi 139.9$  mm 生产套管按 100% 全掏空计算; 抗拉强度按超拉力 600 kN 计算, 生产套管按最高 80 MPa 施工压力计算内压力。

二开造斜井段, 采用“PDC 钻头 + 弯螺杆 + MWD”开展复合钻井, 尽量减少滑动钻进, 提高机械钻速, 设计的钻具组合:  $\phi 311.15$  mm PDC 钻头 +  $\phi 216$  mm L.25° 单弯螺杆 +  $\phi 203$  mm NDC + GAM + MWD +  $\phi 203$  mm NDC +  $\phi 177.8$  mm DC +  $\phi 127$  mm HWDP  $\times 15$  +  $\phi 127$  mm DP, 在定向过程中, 每单根测斜一次, 根据实钻

行校核和优选, 表层套管和技术套管采用 J55 和 N80 钢级、BTC 扣的常规套管; 生产套管采用抗内压 105.5 MPa 的 P110 钢级、气密扣的高强度套管, 完全满足后期压裂改造对泵压要求。

选择高强度的套管可增加套管的抗扭性, 便于下套管和固井作业中旋转套管, 有利于套管下入和提高固井质量(表1)<sup>[9]</sup>。

## 2.3 井眼轨迹优化设计

定向井剖面设计原则是简单易行, 以有利于轨迹控制和现场操作为准, 优先选用进尺少的剖面<sup>[10]</sup>。通过定向井软件优选的剖面类型是“直-增-稳-增-稳”剖面, 以保页 3XF 井为例进行定向井设计, 输入井位和地质给定的靶点坐标后, 井眼轨迹设计数据见表 2, 井眼轨迹投影如图 3 所示。

## 2.4 钻具组合设计和钻头优选

钻具组合可根据钻井目的进行优选设计, 要尽量简化底部钻具组合, 避免带过多的扶正器、钻铤等。

导眼设计采用塔式钻具组合防斜。钻具组合:  $\phi 660.4$  mm 三牙轮钻头 +  $\phi 279.4$  mm 大尺寸的钻铤 + 消振器。

一开采用钟摆钻具组合配合牙轮钻头进行防斜打直。钻具组合:  $\phi 444.5$  mm 牙轮钻头 +  $\phi 279.4$  mm 钻铤  $\times 3$  + 444 mm 扶正器 + 229 mm 减震器 +  $\phi 228.6$  mm 钻铤  $\times 2$  +  $\phi 203$  mm 无磁钻铤 +  $\phi 203$  mm 钻铤  $\times 2$  +  $\phi 177.8$  mm 钻铤  $\times 1$  +  $\phi 127$  mm 钻杆。

情况及时调整钻具组合控制井眼轨迹, 保证井眼的光滑。

三开目的层井段, 采用旋转导向钻井提高钻速和储层的钻遇率, 钻具组合设计:  $\phi 215.9$  mm PDC 钻头 + 旋转导向工具 + 柔性短节 + OnTrak-MWD +  $\phi 127$  mm 无磁承压钻杆 +  $\phi 127$  mm HWDP  $\times 3$  + 柔性短节 +

随钻震击器+ $\phi 127$  mmHWDP $\times 9$ + $\phi 127$  mmDP,要求钻进过程中密切监测地层变化,根据地质导向师指令,随时调整井眼轨迹,保证储层的钻遇率,降低拖压、卡钻的风险<sup>[11-12]</sup>。

表2 保页3XF井井眼轨迹设计数据

Table 2 The trajectory plan data for Baoye 3XF well

参数	参数值	参数	参数值
井深/m	2 519	北/南位移/m	-49
造斜点位置/m	580	东/西位移/m	1 401
井斜角/(°)	64.31	水平位移/m	1 401.86
方位角/(°)	92.01	造斜率/ (°)/(30 m) <sup>-1</sup>	3
垂深/m	1 716	目的层段长/m	1 000

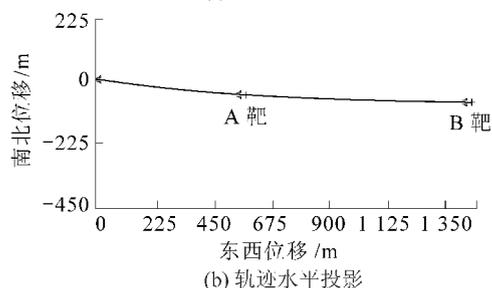
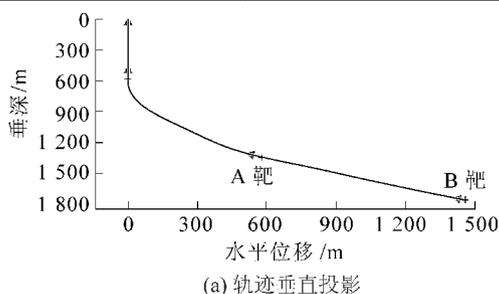


图3 保页3XF井轨迹投影图(投影方位角93.17°)

Fig. 3 Trajectory projection of Baoye 3XF well at 93.17°

保靖区块钻头选型主要依据可钻性和邻井钻头记录,优选寿命长、进尺多和钻速高的钻头。马脚冲-小河坝组地层坚硬、岩性较均匀,推荐使用5—6刀翼的16 mm的PDC钻头,要求钻头每个刀翼外侧带有孕镶块,可提高钻头的抗研磨性;龙马溪组岩性均匀、性脆,含炭质较高,推荐使用5刀翼的16 mm的PDC钻头配合旋转导向工具钻进<sup>[13]</sup>。

## 2.5 钻柱力学和井眼净化的仿真模拟

钻柱力学的精细分析可为大斜度定向井可行性分析提供依据,能更好地指导钻井设计和施工。以保页3XF井为例,利用钻井设计软件预测摩阻转矩,模拟工况为旋转/滑动钻进、起下钻、倒划眼等<sup>[14]</sup>。

软件采用三轴应力法对钻具强度进行抗拉、抗

扭校核和屈曲分析,正常起钻时,127 mm G105钻杆所受的最大拉力为773.4 kN,摩阻为227.8 kN;若发生井下复杂情况,需要克服摩阻超拉300 kN时,钻杆所受的最大拉力将达到1 301.2 kN,小于钻杆本体的屈服强度1 970 kN;在旋转/滑动钻进工况下,实际轴向载荷线大于正旋弯曲临界载荷线,没有发生弯曲,钻压可有效地传递到钻头上(图4);倒划眼时最大扭矩为19.29 kN·m,小于钻具本体的抗扭强度28 kN·m,不会发生断钻具事故(图5)。

计算获得钻具单根侧向力为6.6 kN,小于侧向力临界值8 kN,由图6可知,随着井深和井斜的加大钻具出现贴边现象,侧向力作用在井筒低边。

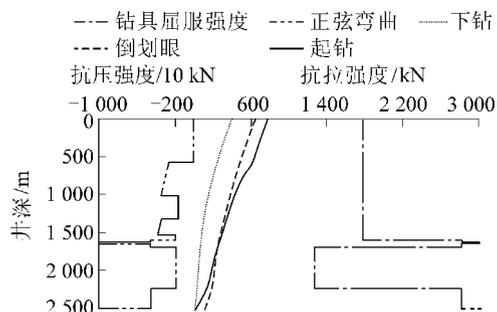


图4 钻具抗拉校核

Fig. 4 Tension check of drill string

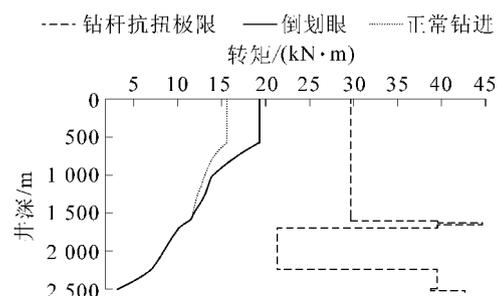


图5 钻具转矩模拟

Fig. 5 Torque simulation of drill string

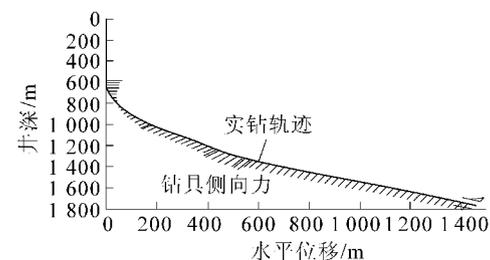


图6 钻具单根侧向力分析

Fig. 6 Sideforce analysis of drill string

井眼清洁问题关系到钻井安全,井眼净化不好容易发生黏附卡钻等事故。在地面机泵条件允许下,尽可能提高排量,要求环空返速大于临界返速,

软地层适当控制机械钻速以清洁井眼,尽量减少岩屑床的生成,控制环空岩屑浓度<5%、岩屑床厚度小于环空直径的15%。

使用钻井设计软件进行钻井水力参数的仿真模拟,在215.9 mm井眼,保持井眼净化的最小排量26.93 L/s,对应的泵压为11.5 MPa,小于泥浆泵的额定泵压27 MPa,在井深1 000~1 500 m(井斜45°~60°)的井段,环空岩屑浓度和岩屑床开始显现,环空岩屑浓度最大为2%,岩屑床厚度最大为8 mm,说明井眼净化程度良好(图7)。

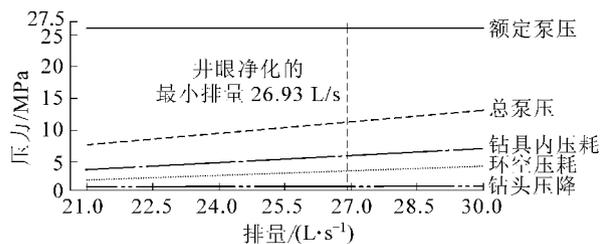
## 2.6 钻井液设计

根据岩性特征和储层保护要求,优选与地层配伍性好的钻井液体系。一开直井段主要防漏,优选清水或膨润土钻井液钻进;二开主要防垮塌和掉块,优选膨润土或氯化钾聚合物体系;三开龙马溪组为预防储层伤害,优选油基钻井液体系,要求流变性能稳定,具有较好的乳化稳定性,破乳电压在400 V以上,具有较低的滤失量,以实现安全钻井<sup>[15]</sup>,钻井液体系和配方见表3。

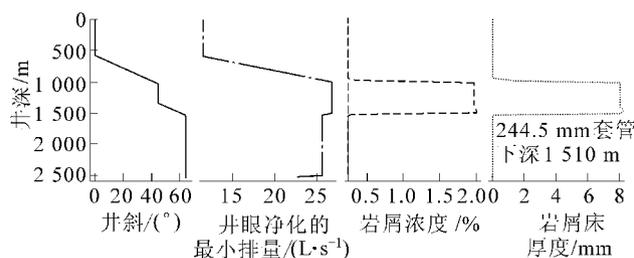
## 2.7 固井设计

固井设计:φ508 mm导管采用内插入式注水泥固井,水泥浆密度1.80 g/cm<sup>3</sup>;φ339.7 mm表层套管采用常规注水泥固井,水泥浆密度1.85~1.90

g/cm<sup>3</sup>;φ244.5 mm技术套管选用常规双密度固井,领浆1.58 g/cm<sup>3</sup>和尾浆1.9 g/cm<sup>3</sup>;φ139.7 mm生产套管采用常规注水泥固井,水泥浆体系为韧性胶乳防气窜体系,水泥浆密度1.85~1.9 g/cm<sup>3</sup>;要求水泥返至地面,固井质量要满足固井规范,为后期压裂测试、采气作业创造良好的井眼条件<sup>[16]</sup>。



(a) 215.9 mm 井眼泵压和排量的关系



(b) 215.9 mm 井眼岩屑浓度和岩屑床厚的关系

图7 钻井水力学分析成果

Fig. 7 Drilling hydraulics analysis results

表3 钻井液体系和配方

Table 3 Drilling fluid system and recipe

井眼	泥浆体系	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	漏斗黏度/s	钻井液配方
导管 660.4 mm	清水/膨润土 钻井液	1.00~1.04	27~35	清水+5%~8%膨润土+0.2%~0.3%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (+2%~3%随堵剂)
一开 444.5 mm	膨润土/聚合物 钻井液	1.04~1.08	30~60	8%膨润土+0.2%~0.3%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +0.2%HV-CMC+0.5%PL
二开 311.15 mm	氯化钾 聚合物体系	1.05~1.20	50~75	0.5%NaOH+0.1%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +3%Lv-CMC+0.5%HP+1%PL+0.3K-PAM+0.5%NH <sub>4</sub> PAM+8%KCL
三开 215.9 mm	油基钻井液 体系	1.10~1.30	60~70	70~80/30~20基础柴油/水+2%~3%有机土+2%~5%乳化剂+2%~3%降滤失剂+1%~2%润湿剂+2%~3%封堵剂+0.2%~0.5%流型调节剂+15%~20%CaCl <sub>2</sub>

## 3 现场实施效果

针对保靖区块钻井难点,通过合理井身结构设计、井眼轨迹优化、摩阻转矩仿真模拟、钻井液体系、固井方案的优选等<sup>[18]</sup>,2015年,使用2台ZJ50型

钻机完成了2口垂深1 733.73~1 798.31 m,水平位移1 330.46~1 580.56 m,最大井斜角61.08°~69.74°的大斜度定向井施工,形成一套大斜度定向井优化方案与优快钻井技术,实现了页岩气井优质高效勘探开发(表4)。

表4 大斜度定向井基本数据

Table 4 Basic data for high deviated directional wells

井号	实际井深/ m	实际垂深/m	水平位移/ m	靶距/ m	最大井 斜角/(°)	位垂比	钻井周期/d	机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )
保页 3XF	2 645	1 733.73	1 580.56	1 201	69.74	0.91	75.97	3.58
保页 4XF	2 420	1 798.31	1 330.46	1 000	61.08	0.74	52.49	3.96

### 3.1 井身结构

井身结构设计合理,比较适合现场实际情况,除了下深度有调整外,钻前与钻后的实际井身结构基本吻合;如保页 3XF 井导管下深 56.5 m,表层套管下深 511 m,技术套管下深 1 412 m,生产套管下深 2 645 m,生产套管抗内压强度 105.50 MPa,比压裂设计的最大泵压 70 MPa 高出 30%。

### 3.2 井眼轨迹控制

在上部直井段开展防斜打直,控制最大井斜 <2°;二开造斜井段,利用地层的自然造斜趋势开展“PDC 钻头+1.25°等厚壁螺杆”的复合钻井,使用 MWD 随钻测斜仪进行井斜监控,确保井眼轨迹光滑和安全着陆,实钻井眼轨迹基本符合设计意图。

三开目的层井段使用旋转导向钻井开展钻井提速试验<sup>[20]</sup>,保页 3XF 井使用哈里伯顿的 Geo-Pilot 旋转导向工具,机械钻速达到 7.36 m/h;保页 4XF 井使用贝克休斯的 ATK G3 旋转导向系统,机械钻速高达 8.88 m/h,比保页 3XF 井提高 17%,实现了三开目的层 1 000 m 井段“一趟钻”完钻,创造了保靖区块页岩气钻井纪录,经钻后测井解释,储层的钻遇率 100%。

### 3.3 钻井液使用和维护

开钻后坚持使用高频、高目振动筛固控设备,保持钻井液清洁;二开后钻进时,振动筛换用 0.088 mm 以上筛布,全时段运行振动筛、除砂器、除泥器和离心机,并保证其完好率,有效地降低钻井液固相含量,实测含砂量仅为 0.2%。

三开为降低油基钻井液成本,使用低油水比的油基钻井液,油水质量比控制在 80:20~70:30,加入活性水调节钻井液活性,使之与地层活性相匹配,密度控制在 1.20~1.28 g/cm<sup>3</sup>,HTHP 失水 <5 mL,保持乳状液稳定性,破乳电压 ≥400 V,根据破乳电压大小适当补充主辅乳化剂,维持钻井液性能良好,确保井壁稳定和井下安全。

在三开期间,起下钻畅通无阻,没有遇阻遇卡现象,其中保页 4XF 井在 2 100~2 300 m 短起钻实测摩阻为 100 kN,在正常摩阻范围;完井电测下入一

次成功,井径扩大率小于 5%,油基泥浆取得了较好的应用效果<sup>[21]</sup>。

### 3.4 油基钻井液条件下的生产套管固井

1) 生产套管固井前。下入带双扶正器的刚性钻具通井,充分循环洗井,采用大排量驱油加重冲洗液冲洗工艺,保证井眼清洗效果和润湿反转,使用双凝双密度水泥浆固井,领浆采用 1.50 g/cm<sup>3</sup> 低密度水泥浆;尾浆采用 1.90 g/cm<sup>3</sup> 弹性防气窜水泥浆体系,提高水泥胶结能力和抗冲击能力。

2) 水泥浆配方。领浆基本配方:嘉华 G 水泥+30%漂珠+10%微硅+4%降失水剂+3%早强剂+0.5%缓凝剂;尾浆基本配方:嘉华 G 级+3%弹性材料+2.5%降失水剂+0.3%减阻剂+1.5%膨胀剂+2%防窜剂+0.1% 3mm 纤维。

3) 固井质量。经测井评价,水泥胶结质量为优,井筒完整性好,能够满足压裂试气要求和经受起长期开发的考验。

### 3.5 钻井指标对比

据统计,2015 年度保页 3XF、保页 4XF 大斜度定向井的平均井深 2 533 m,平均垂深 1 766 m,平均目的层段长 1 100.5 m,平均机械钻速 3.77 m/h,钻井周期 64 d(扣除停待时间);与 2014 年度的保页 1 井、保页 2 井 2 口直井相比,机械钻速提高 49%,钻井周期缩短 10%。

## 4 结 论

1) 充分收集地震、地质、录井、测井等资料,使用计算机钻井软件对井身结构、井眼轨迹、钻柱力学、水力参数、钻井液和固井进行优化设计和分析,是大斜度定向井成功的前提。

2) 通过大斜度定向钻井方案优化设计和科学钻井,可以有效缩短钻井周期,减少事故的发生。

3) 引进先进成熟的钻井技术,精心组织施工,开展旋转导向钻井、新型 PDC 钻头、油基钻井液等新技术的应用是大斜度定向井成功的关键。

4) 积极开展钻井提速、优快钻井应用,提高页岩气井开发效率,降低作业成本,增创经济效益。

## 参考文献 (References):

- [1] 肖刚,唐颖.页岩气及其勘探开发[M].北京:高等教育出版社,2012:1-223.
- [2] 周守为.页岩气勘探开发技术[M].北京:石油工业出版社,2013:30-50.
- [3] 吴奇,梁兴,鲜成刚,等.地质-工程一体化开发中国南海相页岩气[J].中国石油勘探,2015,20(4):1-23.  
WU Qi, LIANG Xing, XIAN Chenggang, *et al.* Geological-engineering integrated development Chinese southern marine shale gas [J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20 (4): 1-23.
- [4] 李斌.湖南保靖地区龙马溪组页岩气成藏条件分析[J].特种油气藏,2016,23(5):12-16.  
LI Bin. The Longmaxi shale gas accumulation condition analysis of Hunan Baojing region [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2016, 23 (5): 12-16.
- [5] 王军鹏,鲁东升,陈洪亮,等.湖南保靖龙马溪组页岩气地质特征及有利区优选[J].非常规油气,2017,4(5):32-37.  
WANG Junpeng, LU Dongsheng, CHEN Hongliang, *et al.* The geological characteristics of the shale gas and the favorable areas for the optimization in the Longmaxi formation, Baojing, Hunan [J]. Unconventional Oil and Gas, 2017, 4 (5): 32-37.
- [6] 吴奇.地质导向与旋转导向技术应用及发展[M].北京:石油工业出版社,2012:20-30.
- [7] 周正武,刘新凯,王延忠,等.保靖地区龙马溪组高成熟海相页岩吸附气量及其影响因素[J].中国石油勘探,2017,42(4):73-83.  
ZHOU Zhengwu, LIU Xinkai, WANG Yanzhong, *et al.* Baojing Longmaxi formation in high mature marine shale gas adsorption and its influencing factors [J]. China Petroleum Exploration, 2017, 42 (4): 73-83.
- [8] 董振国,吴德山,于鹏.湘西页岩气大斜度定向井优快钻井技术研究[J].非常规油气,2017,4(5):88-93.  
DONG Zhenguo, WU Deshan, YU Peng. Research on rapid and efficient drilling technology at high deviated wells of shale gas in West Hunan [J]. Unconventional Oil and Gas, 2017, 4 (5): 88-93.
- [9] 王建龙,张卫东,刘学松,等.基于地应力的套管强度优化设计方法[J].探矿工程,2018,45(1):31-33.  
WANG Jianlong, ZHANG Weidong, LIU Xuesong, *et al.* The design method of casing strength optimization based on in-situ stress [J]. Exploration Engineering, 2018, 45 (1): 31-33.
- [10] 周德华,焦方正,贾长贵,等.JY1HF页岩气水平井大型分段压裂技术[J].石油钻探技术,2014,42(1):75-80.  
ZHOU Dehua, JIAO Fangzheng, JIA Changgui, *et al.* JY1HF shale gas horizontal wells large scale fracturing technology [J]. Petroleum Drilling Technology, 2014, 42 (1): 75-80.
- [11] 张锦宏.彭水区块页岩气水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):9-15.  
ZHANG Jinhong. Key technology of shale gas horizontal well drilling in Pengshui Block [J]. Petroleum Drilling Technology, 2013, 41 (5): 9-15.
- [12] 胡文瑞.地质工程一体化是实现复杂油气藏效益勘探开发的必由之路[J].中国石油勘探,2017,22(3):1-5.  
HU Wenrui. Integration of geology and engineering is the only way to realize the benefit exploration and development of complex oil and gas reservoirs [J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22 (3): 1-5.
- [13] 董振国.保页3(3XF)井、保页4XF井钻井工程设计[R].北京:神华地质勘查公司,2015:1-40.
- [14] 周贤海.涪陵焦石坝区块页岩气水平井钻井完井技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):26-30.  
ZHOU Xianhai. Drilling and completion technology of shale gas horizontal well in Fuling Jiaoshiba area [J]. Petroleum Drilling Technology, 2013, 41 (5): 26-30.
- [15] 陈海力,王琳,周峰,等.四川盆地威远地区页岩气水平井优快钻井技术[J].天然气工业,2014,34(12):100-105.  
CHEN Haili, WANG Lin, ZHOU Feng, *et al.* The rapid drilling technology of shale gas horizontal well in Weiyuan area of Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34 (12): 100-105.
- [16] 姜政华,童胜宝,丁锦鹤.彭页HF-1页岩气水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2012,40(4):28-31.  
JIANG Zhenghua, TONG Shengbao, DING Jinhe. The key technology of Pengye HF-1 shale gas horizontal well drilling [J]. Petroleum Drilling Technology, 2012, 40 (4): 28-31.
- [17] 童杰,李明,魏周胜,等.油基钻井液钻井的固井技术难点与对策分析[J].钻采工艺,2014,37(6):17-20.  
TONG Jie, LI Ming, WEI Zhousheng, *et al.* The cementing difficulties and countermeasures analysis under oil based drilling fluid drilling [J]. Drilling and Mining Technology, 2014, 37 (6): 17-20.
- [18] 王华平,张铎,张德军,等.威远构造页岩气钻井技术探讨[J].钻采工艺,2012,35(2):9-11.  
WANG Huaping, ZHANG Duo, ZHANG Dejun, *et al.* Weiyuan tectonic shale gas drilling technology exploration [J]. The Drilling & Production Technology, 2012, 35 (2): 9-11.
- [19] 王金磊,黑国兴,赵洪学.昭通YSH1-1页岩气水平井钻井完井技术[J].石油钻探技术,2012,40(4):23-27.  
WANG Jinlei, HEI Huoxing, ZHAO Hongxue. The shale gas horizontal well drilling and completion technology in Zhaotong YSH1-1 well [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40 (4): 23-27.
- [20] 郭旭升,胡东风,魏志红,等.涪陵页岩气田的发现与勘探认识[J].中国石油勘探,2016,21(3):24-37.  
GUO Xusheng, HU Dongfeng, WEI Zhihong, *et al.* Discovery and exploration of fuling shale gas field [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21 (3): 24-37.
- [21] 聂靖霜,王华平,王富渝.长宁威远地区页岩气大斜度水平井钻井技术研究[J].钻采工艺,2013(3):118-120.  
NIE Jingshuang, WANG Huaping, WANG Fuyu. Research on drilling technology of shale gas high deviated horizontal well in Weiyuan area of Changning [J]. Drilling and Production, 2013 (3): 118-120.