

富县天然气井直井优快钻井技术优化与应用

王学俏, 孙敦乾, 王磊

(中石化华北油气分公司采油三厂, 陕西 延安 727500)

摘要:为解决富县区块天然气井钻井机械钻速低、钻井周期长、井下复杂情况多等问题,开展了优快钻井技术研究。总结分析了富县气井钻井施工难点,通过岩石可钻性研究、岩屑滚动回收实验和处理剂筛选实验,同时结合现场应用,优选出各钻井参数。优选出一批能适应该区地层特征,耐磨性强,进尺效率高的钻头;优选钻具组合,采用转盘+螺杆的复合钻进方式;为保障井下安全,优选了钾铵基聚磺钻井液体系。现场应用表明,平均钻井周期由优化前 80.96 d 缩短至 41.02 d,平均缩短 39.94 d,缩短 49.35%,井下事故复杂情况大大减少,为富县区块天然气井优快钻井提供了有力的技术支持。

关键词:天然气井;钻井;优快钻井;富县区块

中图分类号:P634.5;TE242 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)12-0054-04

Optimization and Application of High Quality and High Speed Drilling Technology for Gas Well in Fuxian Gas-field/WANG Xue-qiao, SUN Dun-qian, WANG Lei (The Third Oil Production Plant of Huabei Branch, SINOPEC, Yan'an Shaanxi 727500, China)

Abstract: The research is carried out on high quality and high speed drilling technology to solve low ROP, long drilling cycle and complex downhole instances of natural gas well in Fuxian block. The difficulties in drilling construction are summed up and analyzed; based on the study on rock drillability, by the cuttings rolling recovery experiment and agents screening experiment and combining with the field application, the drilling parameters are optimized. A group of bits are selected, which are applicable to the formation characteristics of this block with strong wear resistance and effective footage; bottom hole assembly is optimized with compound drilling of rotary table + screw; potassium-ammonium polysulfonate drilling fluid system are optimized to ensure downhole safety. Field practice shows that the average drilling cycle reduces 49.35% and the downhole accident reduces greatly, which provide the powerful technical support for high quality and high speed drilling in natural gas well of Fuxian block.

Key words: natural gas well; drilling; high quality and high speed drilling; Fuxian block

0 引言

富县区块位于陕北斜坡的东南部,基本构造形态为一向北西倾向的单斜,下古生界发育多条南北向趋势的冲沟,奥陶系构造为一平缓的西倾大单斜。本区块内钻井揭示地层由上至下依次是:新生界第四系;中生界侏罗系富县组;三叠系上统延长组、中统纸坊组、下统和尚沟组、刘家沟组;上古生界二叠系上统石千峰组、上石盒子组,二叠系下统下石盒子组、山西组;石炭系上统太原组、中统本溪组;下古生界奥陶系下统马家沟组。

2009—2011 年华北分公司取得富县区块采矿权后,完成古生界气探井 6 口,分别是新富 1 井、新富 2 井、新富 3 井、新富 4 井、新富 5 井、新富 6 井。新富 1~6 井钻井指标较前期其他队伍施工的井钻

井指标有所提升,但总体钻井指标仍然很低,平均单井完钻井深 3117.5 m,平均钻井周期长达 80.96 天,平均机械钻速也仅有 3.63 m/h。如此低的钻井指标必然导致钻井成本高,投入大,在一定程度上制约了富县天然气井勘探开发的步伐,针对这些难点,开展了富县天然气井直井优快钻井技术研究,探索了一套能够有效提高富县天然气井钻速的方案,对富县天然气井经济高效开发具有重要的意义。

1 气井钻井存在的问题

(1) 岩石可钻性差,机械钻速低。富县地区岩层可钻性级值总体较高,从浅层至刘家沟组可钻性级值整体随深度增大,刘家沟组可钻性级值相对上部地层增加明显,石千峰组至本溪组可钻性级值整

收稿日期:2016-02-29;修回日期:2016-05-26

作者简介:王学俏,男,汉族,1989 年生,助理工程师,石油工程专业,从事钻井工程技术管理工作,陕西省延安市富县茶坊镇正街北 33 号, wangxq0911@126.com。

体更高,且数值振荡剧烈^[1-2]。新富 1~6 井平均单井完钻井深 3117.5 m,平均机械钻速也仅有 3.63 m/h。

(2)井下事故复杂情况多发。古生界探井钻达石千峰组以后,易钻遇膏盐层发生盐侵,钻遇石膏层、石膏造浆发生钙侵,钻井液增稠,密度难于控制,钻井液性能极不稳定,给保证井壁稳定增加了难度。其中刘家沟组棕红色泥岩造浆严重,易引起缩径和钻头泥包,底部易漏。新富 3、新富 4 井在该层位时出现盐侵,新富 3 井钻至井深 2310 m(石千峰)时出现盐侵现象,泥浆的失水增大,密度上升,气泡增多,pH 值上调困难,现场水分析氯根含量为 7361.81 mg/L,泥浆受污染后掉块明显增多,接单根上提下放困难,并且憋转盘严重;新富 4 井,在钻到井深 2500 m(上石盒子)同样发生了比较严重的无机盐污染,后又钻遇石膏层,井壁失稳,发生缩径,每次起下钻在石膏层都有阻卡现象。刘家沟组、石千峰组地层井壁失稳严重,井壁掉块多,遇阻遇卡频繁,新富 2、新富 5、新富 6 均出现大量掉块情况,仅新富 6 井一口井在该层段发生遇阻遇卡 11 次,并最终导致了填井。

2 优快钻井技术关键

2.1 钻头选型优化

收集了富县地区完钻气井及邻近区块一定数量

完钻井的钻头使用资料,首先通过经济性评价初步筛选出完钻井使用效果较好的钻头,同时利用测井资料建立了完钻井对应层段的变形、强度、可钻性等参数剖面,利用这些数据建立最优指标集。常用的钻头选型方法有比能法、综合经济效益法、主因子分析法、灰色关联法等^[3-6]。本文运用层次分析方法得到了各参数在钻头优选问题中的重要程度,确定各参数的相对权重^[7]。在此基础上分析岩石力学参数的相关程度,运用灰色关联分析法计算待评价对象岩石力学参数与最优指标集的灰色关联度,综合各层段的灰色关联度最终得到待钻井分层系的钻头选型结果^[8]。结合 IADC 编码及《金刚石钻头及金刚石取心钻头》(SY/T 5217—2000)中规定编号进行的钻头选型结果,最终提出了富县气井钻头优选结果。

钻头选型在新富 8 井初见成效,其中延长组平均机械钻速较新富 1~6 井同层位提高 35.01%,纸坊组机械钻速较新富 1~6 井同层位提高 7.31%,和尚沟组平均机械钻速较新富 1~6 井同层位平均提高 60.76%,太原组平均机械钻速较新富 1~6 井同层位提高 76.21%。在新富 7 井应用成效明显,新富 7 井全井机械钻速达到 9.14 m/h,整体提高 151.79%,在富县区块机械钻速较慢的山西组提高 120.11%。

富县气井钻头优选结果如表 1 所示。

表 1 钻头及钻井参数综合优选结果

地层	底界深度/m	钻头型号	钻井参数			
			钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	立管压力/MPa
富县-刘家沟	1095	M1655FG、M516BD	40~80	60+螺杆	32	17.04
石千峰组	2441	M1655FG、M513KS	40~80	60+螺杆	30	8.78
上石盒子组	2604	M1665FGA	160~200	60	30	6.92
下石盒子组	2706	ST617GG	160~200	60	30	6.92
山西组	2816	HJT537G、YHF517G	160~200	55	30	7.1
太原组	2838	HJ517GL、YHF517G	160~200	75	28	6.5
马家沟组	3037	M1655FGA	40~80	55+螺杆	28	6.79

2.2 钻具组合优化

“四合一”是 PDC、单弯螺杆、定向短接和稳定器 4 种工具的集成应用,是复合钻井和 PDC 钻头两种技术的结合与发展,它的应用改变了以往定向后强增斜的轨迹控制思路,它具备了塔式钟摆和预弯曲动力钻具的防斜性能、刚性双稳定器结构的强稳定性、复合钻井的滑动可调能力、PDC 钻头的高机械钻速等综合优势^[9-10]。

该钻具组合应用于直井中的主要优点一是防斜效果好,由于螺杆的转速较高,在相同进尺下切削下井壁的次数比常规组合高出几倍,只要钻头紧贴下井壁,其防斜效果非常好;二是机械钻速快,由于螺杆的钻速高,机械钻速明显提高,对于软—中硬地层,机械钻速可提高 50%~100%^[11-12]。

一开井段地层钻遇第四系黄土层,直罗组,志丹群等胶结相对疏松地层,钻井易漏,易斜。因此钻具

组合优化思路是保证防斜打快,保证井眼质量,以确保一开表层套管的顺利下入,井口的安装优化的钻具组合为:Ø311.2 mm PDC 钻头 + Ø203.2 mm 直螺杆或 1°螺杆 + Ø203.2 mm 钻铤(5 根) + Ø165 mm 钻铤(18 根) + Ø127 mm 钻杆。

二开刘家沟组以上井段采用动力钻具组合: Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 直螺杆或 1°螺杆 + Ø158.8 mm 钻铤(1 根) + Ø212 mm 扶正器 + Ø158.8 mm 钻铤(11 根) + Ø127 mm 钻杆。

二开石千峰组以下井段采用钻具组合: Ø215.9 mm 三牙轮钻头 + Ø158.8 mm 钻铤(2 根) + Ø212 mm 扶正器 + Ø158.8 mm 钻铤(18 根) + Ø127 mm 钻杆。

2.3 钻井液体系优化

富县区块探井所钻遇地层易塌、易漏,泥岩中以非膨胀性粘土矿物为主,延安组以上部分井段蒙脱石含量较高,遇水易产生不均匀的水化膨胀,易膨胀缩径,二叠系以下的泥页岩易水化分散、剥落、掉块。目的层具有低孔、低渗等特点。富县区块深井钻井液技术难点集中体现在井壁稳定性、防膏盐层钙侵盐侵、储层保护等几个方面。

借鉴华北分公司在鄂北区块钾铵基聚磺钻井液体系应用成功的基础上^[13],开展富县气井钻井液体系优化研究。研究过程中本着低伤害、低成本、快速优质的原则,着重对钾基聚磺钻井液体系进行一系列的室内试验,包括处理剂的筛选、配方的优化和岩心伤害试验等,从钻井液的配方、密度、流变性、复杂井段的应对能力等方面进行了室内配方调整,取得了较好的研究成果。形成了一套低伤害、低成本、优

质快速的钾铵基聚磺钻井液体系。

根据处理剂筛选试验,挑选的 4 种大分子高聚物的抑制钻屑分散的能力依次是: KPAM > FRK > 80A51 > PAC141,筛选出大分子聚合物 KPAM 作为抑制剂;中小分子聚合物降滤失剂在三轴应力防塌仪上的防塌试验结果如图 1 所示,中小分子聚合物 KHPAN、NH₄HPAN 作为降失水剂,配合无荧光防塌剂、抗高温材料(SMP、SPNH)进行复配试验,结合分公司在大牛地区块使用效果^[14-15],反复调整处理剂加量进行配方优选,优选结果如下:

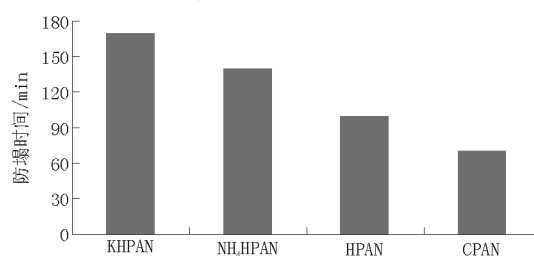


图 1 中小分子聚合物防塌时间对比

二开上部井段使用低固相钾基聚合物钻井液: 清水 + 2% ~ 4% 钠土 + 0.1% ~ 0.2% Na₂CO₃ + 0.1% ~ 0.2% K-PAM + 0.2% ~ 0.3% K-HPAN。

二开下部井段优化后为钾铵基聚磺钻井液体系: 清水 + 4% 钠土 + 0.2% Na₂CO₃ + 1% K-PAN + 0.4% K-PAM + 0.4% NH₄HPAN + 2% SMP + 0.4% SPNH + 6% CaCO₃。

实际钻井过程中应提前将钻井液性能调整为钾铵基聚磺钻井液体系,避免出现盐侵现象导致钻井液性能不稳定,调整难度增大。二开钻井液主要性能见表 2。

表 2 钾铵基聚磺钻井液体系性能参数

井段	$P/(g \cdot cm^{-3})$	T/s	B/mL	K_f/mm	$\Pi/\%$	$(Q_1/Q_{10})/Pa$	pH 值	固相含量/%	YP/Pa	$PV/(mPa \cdot s)$
二开—刘家沟底	< 1.08	20 ~ 40	≤ 8	0.5	0.5	0.5 ~ 1/1 ~ 4	8 ~ 9	2 ~ 4	0.5 ~ 3	3 ~ 8
刘家沟底—目的层	1.08 ~ 1.15	30 ~ 45	≤ 5	0.2	0.2	2 ~ 5/4 ~ 8	8 ~ 9	5 ~ 8	3 ~ 6	6 ~ 17

3 现场应用效果

(1) 富县天然气井优化后钻井速度明显提升,优化前后的各项数据指标对比见表 3。

从表 3 可知,平均钻井周期从优化前的 80.96 d 缩短至优化后的 41.02 d,平均缩短 49.35%;平均机械钻速从 3.63 m/h 提高至 6.44 m/h,提高了 77.4%。新富 7 井在二开选用 PDC 钻头,选用型号

为 M1655FG,单只钻头进尺达到 1171 m,机械钻速为 15.51 m/h,均达到工区最高水平。

(2) 富县天然气井优化后井径规则,井壁稳定。

新富 8 井石千峰以上地层平均井径扩大率为 5.47%,远远小于 15% 考核标准;目的层平均井径扩大率仅为 3.89%,远远小于 10% 考核标准;全井井径扩大率 4.91%,达到了良好的应用效果。

表 3 优化前后的气井指标对比

井 号	实钻井 深/m	钻井周 期/d	完井周 期/d	纯钻时 间/h	平均机械钻速/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)
新富 1 井	3361.00	72.71	87.88	785.28	4.28
新富 2 井	3168.00	64.06	69.00	798.73	3.97
新富 3 井	3003.00	60.96	67.92	798.73	3.76
新富 4 井	3037.00	77.10	68.94	1050.87	2.89
新富 5 井	3036.00	60.79	68.23	612.10	4.96
新富 6 井	3100.00	150.14	157.79	1106.30	2.80
新富 7 井	2919.00	36.58	42.17	319.50	9.14
新富 8 井	3218.00	45.46	54.42	633.17	5.09

4 结论与建议

(1)富县天然气井优快钻井技术有效地提高了机械钻速,缩短了钻井周期,钻井周期平均缩短 49.35%;机械钻速提高 77.4%。

(2)钾铵基聚磺钻井液体系有效地保障了井下安全,避免了盐侵、大量掉块、缩径等井下复杂情况的发生,井壁稳定,井径规则。

(3)富县天然气井钻井技术的优化与应用为富县区块天然气资源的经济高效开发提供了有力的技术支持。

(4)建议对其他体系钻井液进行试验探索,如油基钻井液、复合盐钻井液等。

参考文献:

[1] 张东清,吴超,田绘杰. 钻井地质环境因素描述及其应用[J].

科学技术与工程,2015,15(14):24-31.

[2] 吴超,刘建华,王磊,等. 鄂尔多斯气井钻井岩石力学描述难度及对策[J]. 科学技术与工程,2016,16(9):46-50.

[3] 张辉,陈庚绪. 基于改进灰色聚类的钻头优选方法及其应用[J]. 石油机械,2013,41(2):20-27.

[4] 高德利,张辉,潘起峰,等. 流花油田地层岩石力学参数平均及钻头选型技术[J]. 石油钻采工艺,2006,28(2):1-6.

[5] 闫铁,张杨,李玮,等. 基于分形维数的钻头优选指数标度法及其应用[J]. 石油学报,2012,33(3):472-276.

[6] 王小建,夏宏南,孙继明,等. 主成分钻头评价方法在中原油田的应用[J]. 断块油气田,2005,12(3):70-72.

[7] 闫铁,刑云龙,毕雪亮,等. 基于层次分析方法的 PDC 钻头选型[J]. 科学技术与工程,2010,10(24):5995-5997.

[8] 朱海燕,祝校华,刘清友. PDC 钻头选型方法研究[J]. 矿山机械,2008,21(36):14-16.

[9] 董明键,肖新磊,边培明. 复合钻井技术在元坝地区陆相地层中的应用[J]. 石油钻探技术,2010,38(4):38-40.

[10] 孙艺伟. 镇泾油田“优快钻井”的现状与潜力[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):40-43,46.

[11] 赵文彬,王萍. 大牛地气田直井复合式钻进的可性分析[J]. 特种油气藏,2011,18(3):132-134.

[12] 常兴浩,秦玉英,王锦昌. 大牛地气田水平井钻完井工艺技术[J]. 特种油气藏,2013,20(2):130-133.

[13] 王旭宏. 钾铵基聚磺钻井液体系在大牛地气田水平井钻井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,38(8):31-33.

[14] 张晓文,任富鹏. 大牛地气田水平井优快钻井技术探索[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):23-25.

[15] 闫永辉. 鄂北工区水平井提速提效技术探索[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):43-47.