

元页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术

李恒东¹, 李培丽², 付怀刚²

(1. 中石化胜利分公司胜利采油厂, 山东 东营 257000; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要:元页 HF-1 井是中石化部署在川东北元坝区块的第一口页岩气预探水平井。通过分析该井的工程地质难点, 优化了三开次井身结构, 优选出合理的钻井方式、钻井液体系和配套工艺措施, 形成了一套适合该区块的页岩气水平井钻井技术方案。该井成功钻达目的层, 完钻井深 4982 m, 水平位移 1421.73 m, 钻井周期 168.88 d, 平均机械钻速 3.07 m/h, 三开井径扩大率仅为 4.82%, 取得良好的应用效果, 为元坝区块页岩气的勘探开发提供了技术支持。

关键词:井身结构; 井壁稳定; 空气锤; 油基钻井液; 元页 HF-1 井

中图分类号: TE243⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1627-7428(2014)08-0018-03

Key Technology of Drilling for Yuanye HF-1 Shale Gas Horizontal Well/LI Heng-dong¹, LI Pei-li², FU Huai-gang²

(1. Shengli Oil Production Plant, Shengli Oilfield Limited Company, SINOPEC, Dongying Shandong 257000, China; 2. Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Engineering Co., Ltd., SINOPEC, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Yuanye HF-1 is the first shale gas pre-exploration horizontal well in Yuanba block of Northeastern Sichuan. Based on the analysis on the difficult points in engineering geology, the third spud section structure was optimized; rational drilling method, drilling fluid system and drilling process measures are selected to form a set of shale gas horizontal well drilling technical scheme suitable for this area. The well is drilled to the objective layer with drilled depth of 4982m, horizontal displacement of 1421.73mm, drilling cycle of 168.88d, average penetration rate of 3.07m/h and the three open well diameter enlargement ratio is only 4.82%.

Key words: well structure; borehole stability; air hammer; oil base drilling fluid; Yuanye HF-1 well

元页 HF-1 井是中石化部署在川东北元坝南部低缓断褶带的一口重点页岩气开发预探井^[1], 该井在钻探过程中面临地质不确定因素多、地层可钻性差、页岩层易坍塌、井身质量要求高、固井难度大等难题。施工中合理选择钻井方式, 系统优化工程设计, 创新应用配套技术, 最终成功钻达目的层, 为元坝区块页岩气水平井钻井积累了宝贵经验。

1 地质概况

元页 HF-1 井自上而下钻遇剑门关组、蓬莱镇组、遂宁组、上沙溪庙组、下沙溪庙组和千佛崖组。蓬莱镇及以上地层为细砂岩、泥质粉砂岩、砂质泥岩不等厚互层; 遂宁组-下沙溪庙组以泥岩、粉砂质泥岩为主; 千佛崖组以泥岩、粉砂质泥岩、黑色泥页岩为主。地层压力情况: 剑门关组-遂宁组压力系数为 1.0~1.15, 上沙溪庙组压力系数为 1.1~1.3, 下沙溪庙组压力系数为 1.15~1.3, 千佛崖三段压力

系数为 1.39~1.5, 千佛崖二段压力系数为 1.88。

2 钻井难点

本井的工程地质难点主要体现在以下几个方面。

(1) 井眼失稳问题突出。页岩气水平井钻井的最大难题在于如何在坍塌周期内快速完成泥页岩水平段的钻进, 保持井壁稳定。由于泥页岩易吸水膨胀, 水化剥蚀, 水基钻井液极易导致井壁坍塌掉块, 这就对钻井液性能提出较高要求^[2]。

(2) 摩阻扭矩大。元页 HF-1 井水平段长 1052 m, 钻具与井壁的轴向摩擦和径向摩擦加大了起下钻阻力和扭矩, 加之下部泥页岩层易坍塌且水平井岩屑清洁困难, 更加剧了钻具与井壁的摩擦^[3]。

(3) 固井难度大。水平段长, 下套管摩阻大, 套管居中度难以保证, 油基钻井液造成井壁及套管清

收稿日期: 2014-03-07; 修回日期: 2014-05-07

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05022-001)

作者简介: 李恒东(1978-), 男(汉族), 山东章丘人, 中石化胜利分公司胜利采油厂工程师, 钻井工程专业, 硕士, 从事石油开发工作, 山东省东营市。

洗困难,影响顶替效果和胶结质量。页岩气层分段压裂对套管胶结质量和水泥石的弹性、韧性及耐久性提出很高的要求^[4]。

3 井身结构优化

井身结构的确定是根据地质钻探目的,考虑地层岩性和压力分布情况,确定合理的必封点,从而确定套管层次和下深。设计中应兼顾岩性、压力可能存在的变化,套管程序的选择为各开次钻井安全留有余地^[5]。本井在满足地质要求的同时还充分考虑了钻井方式的优选和后期压裂施工的要求。为了增加空气钻的进尺,一开尽量使用空气钻,套管下深以封隔水层为原则,为二开继续使用空气钻创造条件;为了满足三开泥页岩段的水平钻进,二开套管下至 A 靶点,一方面提高了水平段延伸能力,另一方面为三开油基钻井液的使用创造条件。综合考虑上述要求,根据本井地层特点、压力预测及相邻构造已钻井的实钻井身结构,元页 HF-1 井井身结构设计如表 1 所示。

表 1 元页 HF-1 井井身结构设计

| 开次 | 钻头尺寸/mm | 钻深/m | 套管外径/mm | 套管下深/m |
|----|---------|------|---------|--------|
| 导管 | 558.8 | 42 | 476.25 | 42 |
| 1 | 444.5 | 705 | 339.7 | 703 |
| 2 | 311.2 | 3730 | 244.5 | 3727 |
| 3 | 215.9 | 4982 | 139.7 | 4976 |

4 钻井方式优选

为了克服地层硬度大,泥岩、砂岩交错频繁,憋跳钻严重等问题,进一步提高机械钻速,二开井段选用空气锤钻进。为了提高定向段和水平段轨迹控制能力,加快泥页岩段钻进速度,二开、三开选用高效 PDC + 螺杆复合钻井方式。

4.1 空气锤钻井

空气锤钻井是一种低钻压、低转速、高冲击破岩回转钻进技术,兼有气体钻井和冲击回转钻井的双重效果,如图 1 所示。空气锤钻进的主要优势表现在^[6]:(1)主要以冲击方式破碎岩石,可以提高机械钻速;(2)转速低,保径能力强,可以长井段钻进,减少起下钻次数;(3)是一种低钻压、低转速、高冲击破岩回转钻进技术,能有效防斜纠斜,保证井身质量。

二开空气锤使用井段为 735 ~ 2178 m,进尺 1443 m,地层为遂宁组和上沙溪庙组,钻具组合采用塔式钻具:Ø311.2 mm 空气锤 + 浮阀 + Ø228 mm 钻铤 × 6 根 + Ø203 mm 钻铤 × 6 根 + Ø178 mm 钻铤 × 3 根 +



图 1 空气锤实物钻头

Ø127 mm 钻杆 + 方保 + 旋塞 + 133.4 mm 六方方钻杆。钻压控制在 20 ~ 30 kN,转速控制在 20 ~ 30 r/min,气量为 130 m³/min。该只空气锤纯钻时间 43.5 h,机械钻速 33.17 m/h,最高日进尺 535 m,创本区块空气锤机械钻速和日进尺 2 项最高纪录。

4.2 PDC + 螺杆复合钻井

为了发挥 PDC 小钻压、高钻速的优势,采用螺杆钻具与之配合使用,能够显著增加机械钻速。螺杆钻具是把液体压力转换为机械能的容积式井下动力钻具,具有低转速、大扭矩的硬特性,过载能力强,结构简单,钻具较短,维修方便^[7]。本井选用百施特 T1665B PDC 钻头配合 1.25° 螺杆,使用井段为 3320 ~ 4982 m,进尺 1665 m,地层为下沙溪庙组和千佛崖组,机械钻速 1.39 m/h,平均单只钻头进尺达到 412.2 m,大大延长了钻头寿命,减少了起下钻次数,提高了钻井速度。

定向钻具组合:Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1.25°) + 回压阀 + Ø127 mm 无磁承压钻铤 + Ø168 mm MWD 悬挂短节 + 旁通阀 + 斜坡钻杆 × 21 柱 + Ø127 mm 加重钻杆 × 14 柱 + 随钻震击器 + Ø127 mm 钻杆。

稳斜钻具组合:Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1.25°) + Ø207 mm 欠尺寸扶正器 + 回压阀 + Ø168 mm MWD 悬挂短节 + 旁通阀 + 斜坡钻杆 × 46 柱 + Ø127 mm 加重钻杆 × 14 柱 + 随钻震击器 + Ø127 mm 钻杆。

5 无土相逆乳化油基钻井液

油基钻井液是以油作为连续相的钻井液,具有强抑制性,有利于保持井壁稳定,其优点表现在:

(1)对油层损害小,能最大限度地保护油气层,特别是水敏性地层;(2)性能稳定,易于维护,热稳定性好;(3)抗污染能力强,有良好的润滑性,压差卡钻的几率小。与水基钻井液相比,油基钻井液更适用于水敏性强、易坍塌的泥页岩地层^[8]。

三开本着稳定页岩水平井段,润滑防卡及保护油气层的原则,选用了无土相逆乳化油基钻井液,使用井段 3730 ~ 4982 m,进尺 1252 m,地层为千佛崖组三段、二段,平均机械钻速 1.93 m/h。油基钻井液有效抑制了页岩水化膨胀,在长达 1052 m 的水平井段没有发生井壁垮塌、掉块现象,三开平均井径扩大率仅为 4.82%;上提下放摩阻保持在 8 ~ 16 t,相比水基钻井液降低了 20% ~ 30%;返出岩屑颗粒正常,井壁规则,井眼通畅无阻,下套管一次到底。

6 配套工艺措施

为了提高生产时效,加快钻井进度,本井在空气钻井结束后采用了干井筒固井技术和喷淋法替换钻井液工艺。为了提高页岩气井第二界面固井质量,防止环空气窜,采用了滤饼固化技术。

6.1 干井筒固井技术

干井筒固井技术是气体钻井结束后不替换钻井液,直接下入套管并注水泥固井的工艺技术^[9]。气体钻井结束后,首先进行通井,循环高压气流反复吹扫井筒,确保井眼清洁无沉砂。下套管管柱为引鞋 + 套管鞋 + 浮箍 + 套管 + 浮箍或内插管座 + 套管串,合理选择扶正器的尺寸和安放位置。采用“穿鞋戴帽”方式注水泥浆,先根据套管抗外挤强度和水泥浆密度,确定水泥返高进行正注,待水泥浆初凝后再进行环空吊灌。水泥浆应满足低失水、零析水、微膨胀、低渗透、护壁性好、沉降稳定、早期强度高要求。

本井一开空气钻至 705 m 完钻,在干井筒下入 $\varnothing 339.7$ mm 套管,向套管和环空中灌入密度 1.90 g/cm³ 的水泥浆 71.5 m³,考虑套管内外压差和强度校核情况,分两段注入,施工顺利,无复杂情况发生,施工时间仅 3.2 d,第二界面固井质量较邻井提高 21.8%。

6.2 喷淋法替换钻井液工艺

喷淋法替换钻井液工艺是在前置液法和分段注入法的基础上,克服其钻头钻具易被埋、钻井液与前置液易混浆、润湿反转不充分等不足,提出的一种新型气液转换方法^[10]。基本工艺流程:气体钻井结束后,起钻至上一层套管内。往钻杆内注入润湿反转剂,并旋转钻头,使润湿反转剂喷淋在井壁上并沿着

井壁往下流,从而对整个井壁进行润湿反转处理,使井壁由亲水变为亲油,避免井壁坍塌,如图 2 所示。充分处理后,下钻具到井底,直接进行替浆,边小排量注钻井液边慢速起钻,直至钻井液返出井口,完成替浆作业。

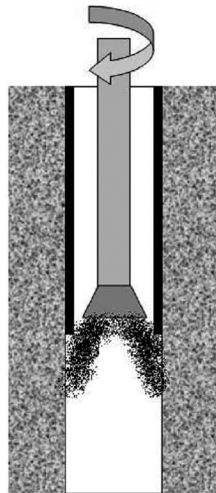


图2 润湿反转剂的喷淋示意图

二开 $\varnothing 311.2$ mm 井眼空气钻至 3100 m,决定采用喷淋法替换成聚磺润滑防塌钻井液,裸眼段为 705 ~ 3100 m,地层包括蓬莱镇组、遂宁组和上沙溪庙组。替浆用时 36 h,为常规方法的 47%;消耗 RSF-1 润湿反转剂 1.8 m³,仅为常规方法的 13%;整个过程无复杂情况发生。可见,该方法是一种安全、简易、经济的气液转换工艺。

6.3 滤饼固化技术

滤饼固化技术是采用滤饼固化剂在不改变钻井液和水泥浆的情况下,实现滤饼固化和界面交联,该方法克服了 MAT 方法受钻井液性能限制的缺点,可应用于井深 3000 m 以深的中深井和深井^[1]。固井前先用 GJ-1 型滤饼固化剂溶液浸泡井筒,再用 GJ-2 型滤饼固化剂溶液浸泡井筒,充分养护处理后灌入水泥浆固井。该技术在二开 $\varnothing 244.5$ mm 套管固井中首次实验应用,通过声波-变密度测井,解释结果显示:封固段相对声幅值 < 15% (优质) 的井段占 93.49%,第一、二界面胶结质量均为优质,较邻井固井质量大幅度提高;气层井段测井相对声幅值均 < 15%,第二界面固井质量为全优,有效封固了气层,达到了页岩气井防气窜的目的。

7 结论与认识

(1) 元页 HF-1 井通过优化井身结构,优选
(下转第 45 页)

时,要特别注意,如果钻具跳动较大时,压力和转速都要相应地减少。冲洗液流量也要做适当控制,不可超过正常钻进时的泵量,即要满足对卡钻岩屑的冲洗上返效果,又要保证套铣孔壁的稳定,不能给孔壁造成冲刷破坏。

(7)套铣过程中,发生不正常情况时,应及时分析原因,不得盲目施工。如泵压突然升高或憋泵,要立即上提钻具,一直提到泵压恢复正常为止,发生这种现象是由井壁坍塌或环空钻屑太多造成,应立即停止套铣,待冲洗液清除岩屑循环正常后再继续套进。若查不出原因,应立即提钻。

(8)当套铣顺利通过卡钻钻头后,经冲洗液彻底循环排出岩屑,确认无包裹卡钻钻具后,先提卡钻钻具,再提套铣钻具。

4 结语

几年来的生产实践证明,卡钻事故的处理固然重要,但在施工中,应将工作重点放到卡钻事故的预防上,严守操作规程,这样才能更大地发挥空气反循

环连续取样钻探工艺的技术优势,为生产勘探服务,使地质资源得到更加合理的开发和利用。

参考文献:

- [1] 邓梦春,陆生林,殷琨,等.地质勘探空气反循环钻进技术找矿效果示范应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):1-6.
- [2] 李锋.空气反循环连续取样钻探技术在新疆乌什磷钒矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):23-25.
- [3] 邓梦春,黄晟辉,殷琨,等.空气反循环取样钻探的岩样收集和缩分技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):73-76,80.
- [4] 田敏,赵志强,曾石友,等.小秦岭复杂地层潜孔锤反循环钻探技术试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):1-4.
- [5] DZ/T 0227-2012,地质岩心钻探规程[S].
- [6] 牟培英,董萌萌,许翠华,等.定向钻进套铣打捞钻杆的设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):64-66.
- [7] 张纯峰.套铣管技术在水文钻具事故处理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):39-41,45.
- [8] 蒋希文.钻进事故与复杂问题[M].北京:石油工业出版社,2002:135-135.

(上接第 20 页)

空气锤、PDC+螺杆复合钻井方式,三开使用油基钻井液,综合应用干井筒固井、喷淋法气液转换、滤饼固化剂等配套工艺技术,有效地提高了钻井速度,保证了良好的井身质量。

(2)如何保证井壁稳定是页岩气水平井钻井的首要难题,本井主要采取 2 方面技术措施:一是使用油基钻井液,通过化学方法抑制页岩膨胀;二是采用 PDC+螺杆复合钻进,提高机械钻速,在坍塌周期内快速穿过敏感地层。

(3)PDC+螺杆复合钻进过程中要注意螺杆动力不足、PDC 排屑槽泥包等问题,应合理选择钻井参数和钻井液性能。另外,由于水平段对钻头外径磨损严重,建议适当增加 PDC 保径齿的数量和硬度,以增加钻头寿命,减少起下钻次数。

参考文献:

- [1] 孙坤忠,何吉标,曾鹏琨,等.滤饼固化剂在元页 HF-1 井的应用[J].石油钻探技术,2013,41(5):41-45.
- [2] 何振奎.泌页 HF1 井油基钻井液技术[J].石油钻探技术,2012,40(4):32-37.
- [3] 祁宏郡,闫振来,唐志军,等.金平 1 井长水平段水平井的设计与施工[J].中外能源,2010,15(2):56-57.
- [4] 马庆涛,葛鹏飞,王晓宇,等.泌页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术[J].石油机械,2013,41(8):107-110.
- [5] 唐志军,邵长明.钻井工程设计优化与应用[J].石油地质与工程,2007,21(3):75-78.
- [6] 葛鹏飞,马庆涛,郭敏.空气锤钻井技术在元坝区块陆相井的应用[J].石油机械,2013,41(8):9-12.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 焦建芳,姚勇,舒秋贵,等.气体介质条件下固井技术在元陆 1 井的应用[J].钻井液与完井液,2012,29(4):59-62.
- [10] 马庆涛.气体钻井后气液转换新工艺[J].石油钻探技术,2013,41(5):67-70.
- [11] 周延军,陈明,于承朋.元坝区块提高钻井速度技术方案探析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):1-4.