2020 年 第 20 卷 第 16 期
2020, 20(16): 06440-04
科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering
ISSN 1671—1815
CN 11—4688/T

引用格式:田 璐, 李 胜, 穆国臣. 梨树断陷页岩气水平井钻井关键技术[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(16): 6440-6443
Tian Lu, Li Sheng, Mu Guochen. Key drilling techniques for shale gas horizontal well in Lishu faulted depression[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(16): 6440-6443

梨树断陷页岩气水平井钻井关键技术

田 璐[1], 李 胜[1], 穆国臣[2]
(1. 中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院,北京 100101;2. 中国石化东北油气分公司,长春 130062)

摘 要 为解决部署在梨树断陷的首口页岩气水平井梨页 1HF 井存在的井壁失稳风险高、机械钻速低、固井施工难度大、井眼轨迹控制难度大等技术难题。在梨页 1HF 井施工过程中,通过综合应用油基钻井液、旋转导向地质导向、双凝双密度水泥浆等技术,并进行了钻头优选和钻具组合优化。施工结果表明井眼稳定,井眼轨迹平滑,水平段共完成进尺 1 020 m,储层钻遇率 92.7%,固井质量优秀。该井实现了安全、高效钻进,实际钻井周期 22.56 d,较设计钻井周期缩短了 14.94 d,平均机械钻速 7.98 m/h,较设计提高了 82.19%。该井良好的施工效果,可见对后续梨树断陷页岩气水平井施工具有积极的指导和借鉴作用。

关键词 页岩气; 水平井; 旋转导向; 油基钻井液; 水泥浆
中图法分类号 TE242; **文献标志码** B

Key Drilling Techniques for Shale Gas Horizontal Well in Lishu Faulted Depression

TIAN Lu[1], LI Sheng[1], MU Guo-chen[2]
(1. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China; 2. Sinopec Northeast Oil and Gas Company, Changchun 130062, China)

[**Abstract**] The first shale gas horizontal well Liye 1HF deployed in the Lishu faulted depression came across some problems such as high risk of wellbore instability, low rate of penetration, difficult in cementing construction, and difficulty in wellbore trajectory control. To deal with it, many techniques were comprehensively applied in the construction process of the Liye 1HF well. They were the oil-based drilling fluid, rotary-steering geo-steering, double-condensation double-density cement slurry and other technologies, and the optimization of the drill bit and the drilling tool combination. The construction results show that the wellbore is stable and the wellbore trajectory is smooth. The horizontal section has a total footage of 1 020 m, the reservoir drilling rate is 92.7%, and the cementing quality is excellent. The well achieves safe and efficient drilling. The actual drilling cycle is 22.56 d, which is shortened by 14.94 d compared with the designed drilling cycle, and the average rate of penetration is 7.98 m/h, which is 82.19% higher than the design. It is concluded that the good construction effect of the well has positive guidance and reference for the subsequent construction of shale gas horizontal wells in the Lishu faulted depression.

[**Key words**] shale gas; horizontal well; rotary guide; oil-based drilling fluid; cement slurry

梨页 1 井是部署在梨树断陷苏家屯次洼的一口勘探直井,钻至井深 3 387 m 完钻,完钻层位为沙河子组,完成了苏家屯次洼营城组营一段泥页岩地质评价参数获取、梨树断陷苏家屯次洼营城组营一段泥页岩含气性研究。在梨页 1 井基础上侧钻施工了梨页 1HF 井,目的层为营城组营一段Ⅰ亚段 4 小层。梨页 1HF 井在钻井施工中,应用了强封堵性油基钻井液体系、旋转导向地质导向钻井、双凝双密度水泥浆体系等技术[1-3],现场应用效果显著,确保了梨树断陷首口页岩气水平井顺利完钻。

1 施工概况

梨页 1HF 井利用梨页 1 井的已钻井眼进行侧钻施工,原井眼水泥塞面深度 2 861 m,扫塞至井深 3 025 m,将水基钻井液转换为油基钻井液,扫塞至井深 3 050 m 开始侧钻,完钻井深 4 630 m,垂深 3 581.3 m,水平位移 1 340.72 m,水平段长 1 050 m,全井最大井斜角 84.98°。该井于 2019 年 4 月 22 日 10:00 开始侧钻,采用随钻测量工具钻至井深3 450 m,3 450 ~4 630 m 井段采用旋转导向工具钻进,2019 年 5 月 14 日完钻,钻井周期 22.56 d,

收稿日期: 2019-09-06; 修订日期: 2019-11-26
基金项目: 国家科技重大专项(KTBE170004000201)
第一作者:田 璐(1984—),女,汉族,硕士,工程师。研究方向:钻井工程技术研究及应用。E-mail:tianlu.sripe@sinopec.com。

全井平均机械钻速达 7.98 m/h。梨页 1HF 井实钻井身结构如表 1 所示,其中一开和二开为梨页 1 井已钻井眼,分别钻至井深 505 m 和 2 950 m,水泥返至地面,2 950 ~3 050 m 为原井眼三开裸眼井段,实钻井段为 3 050 ~4 630 m,套管下深 4 626.53 m,水泥返至地面,固井井段 0 ~4 630 m。

表 1　梨页 1HF 井身结构数据

Table 1　Datas of Liye 1HF wellbore structure

开次	钻头尺寸×井深/(mm×m)	套管尺寸×下深/(mm×m)	类型名称
一开	444.5×505	339.7×504.74	导眼井
二开	311.2×2 950	244.5×2 947.17	导眼井
三开	215.9×3 387	裸眼	导眼井
	215.9×4 630	139.7×4 626.53	水平井

2　施工难点分析

根据梨树断陷营城组地层特征及梨页 1 井实际钻井情况,分析认为梨页 1HF 井在施工中主要存在以下技术难点。

2.1　井壁失稳风险高

根据梨页 1 井所取岩心的观察及分析结果,黑色泥页岩局部纹层发育,水平缝及高角度缝均较发育,水平缝缝宽 0.1 ~0.2 mm,方解石充填,高角度裂缝缝长 0.05 ~0.4 m 不等,缝宽 0.1 mm。目的层营城组Ⅰ亚段 4 小层岩石矿物组分以黏土矿物、石英、白云岩、长石为主,其中黏土矿物含量高达 38.0%,黏土矿物以伊蒙混层及伊利石为主,含量分别为 72.3% 和 25%,钻井过程中极易出现井眼失稳、携岩困难、频繁阻卡等复杂问题[4-5]。

2.2　机械钻速低

根据梨页 1 井完钻资料可知,型号为 BRS1655Z 的聚晶金刚石复合片钻头在营城组地层从井深 2 950 m钻至井深 3 176 m,进尺 226 m,机械钻速仅为 2.2 m/h;型号为 GC315M 的聚晶金刚石复合片取芯钻头在营城组地层累计取芯 180.34 m,平均机械钻速仅为 3.0 m/h。营城组地层可钻性达 7 ~9 级,可钻性差,机械钻速低。

2.3　固井施工难度大

水平段较长,套管在水平段与井壁接触面积大,下套管摩阻较大;套管串在水平井段不易居中,居中度低会导致顶替效率低,影响固井质量;采用油基钻井液施工,固井施工井壁油膜难以清除干净,影响二界面的胶结质量。气层活跃、地层温度高、长水平井段固井对水泥浆的性能要求高,另外大型压裂增产要求水泥石具有高强的弹韧性以及耐久性[6]。

2.4　井眼轨迹控制难度大

梨树断陷营城组地层倾角高达 14° ~20°、岩性变化大,且水平段长,为确保在优质储层段中钻进,对井眼轨迹控制要求高。

3　关键技术措施

为确保梨树断陷首口页岩水平井顺利施工,并为后续压裂施工提供优质井筒,梨页 1HF 井应用强封堵性油基钻井液体系、旋转导向地质导向钻井、双凝双密度水泥浆体系等技术,并优选钻头和优化钻具组合,为安全、快速钻进提供技术保障。

3.1　强封堵性油基钻井液

梨页 1HF 井目的层营城组地层泥页岩发育,地层可钻性差,造斜段与水平段施工井钻井周期长,对钻井液浸泡时间长,不利于井壁稳定性,区块内施工的苏 4-1HF、SW6-2HF 采用水基钻井液钻遇营城组地层均发生井壁失稳问题。本井三开水平段长达 1 000 m,斜井段与水平段超过 1 500 m,随轨迹变化钻屑易堆积形成岩屑床,因此需保障钻井液具有良好的携岩效果,同时加强短起下、调节变换排量等工程措施,实现长水平段的井眼清洁。针对页岩气水平井施工特点,目的层井段泥页岩极易垮塌,钻井液体系选择应具有较强的防塌护壁能力、强的抑制性、优良的流变性和稳定性、良好的润滑性能、较好的储层保护能力,因此选择采用具有低黏高切流变特征的油基钻井液[7-8]。针对营城组页岩微裂缝发育特点,油基钻井液设计配方中使用不同级配和加量的随钻封堵材料,实现减小滤失、强化井筒、稳定井壁。

3.2　优选钻具组合

针对梨页 1HF 井地层特征及井眼轨迹控制需要,3 050 ~3 450 m 侧钻定向段增斜钻具组合为:215.9 mm 钻头 +172 mm 螺杆 1.5° + 浮阀 + 转换接头 +159 mm 无磁钻铤 1 根 + 转换接头 +165 mm 悬挂短接 +127 mm 加重钻杆 ×39 根 +127 mm 钻杆 ×n 根。

3 450 ~4 630 m 井段采用旋转导向钻具组合为:215.9 钻头 +192 mm 旋转导向 +172 mm 接收器 +175 mm 探边工具 +190 mm 扶正器 +175 mm 随钻测量工具 +172 mm 无磁钻铤 +174 mm 滤网接头 +174 mm 回压凡尔 +127 mm 加重钻杆 ×13 根 +165 mm 震击器 +127 mm 加重钻杆 ×7 根 +127 mm钻杆。

3.3　钻头优选

针对营城组地层可钻性较差的特点,优选了适合地层岩性的钻头。3 050 ~3 450 m 井段选用

T1665B 型聚晶金刚石复合片钻头[图 1(a)],纯钻时间 95 h,平均机械钻速 4.21 m/h,钻井参数:钻压 40~70 kN、转速 40 r/min、排量 30 L/s,该钻头出井,切削齿、保径齿有一定磨损。3 450~4 630 m 井段选用 MDI516BPXG 型聚晶金刚石复合片钻头[图 1(b)],它是改进型钻头,该钻头在原设计的基础上缩短了保径长度,增加了钻头本身的稳定性,且具有 5 刀翼单排齿钻头的良好攻击性和耐磨性,纯钻时间 103 h,平均机械钻速 11.46 m/h,钻井参数:钻压80~100 kN、转速 90~100 r/min、排量 30 L/s 该钻头出井,保径齿有轻微磨损。



(a) T1665B型

(b) MD1516BPXG型

图 1 聚晶金刚石复合片钻头

Fig. 1 Polycrystalline diamond compact bit

3.4 双凝双密度水泥浆体系

针对梨页 1HF 井固井技术难题,采用双凝双密度水泥浆体系,领浆低密度弹韧性防漏水泥浆(密度 1.60 g/cm^3),降低漏失风险;尾浆弹韧性防气窜防漏水泥浆(密度 1.88 g/cm^3),改善水泥石弹韧性,提高水泥石抗冲击能力[9]。领浆尾浆分界面 2 650 m,水泥返高至地面,确保压稳气层,防窜防漏。采用洗油冲洗液+加重洗油隔离液+后置液的前置液体系,保证井眼清洗效果和润湿反转,以增强油基钻井液顶替效率及水泥石与一二界面的胶结强度,同时兼具压稳气层功能。替浆水平段采用清水顶替,使水平段套管漂浮,提高套管居中度,直井和斜井段采用泥浆替浆,降低施工压力,保证施工安全连续。替浆采用前期大排量紊流顶替与后期小排量塞流顶替相结合的方式,以提高顶替效率,确保生产套管固井质量。

3.5 旋转导向地质导向钻井技术

旋转导向系统是在钻柱旋转钻进时,随钻实时完成导向功能的一种导向式钻井系统使用旋转导向工具[10],钻井过程中钻具始终处于旋转状态,因而有利于提高机械钻速、降低摩阻、扭矩,且井眼轨迹平滑。探边工具及近钻头井斜和伽马的应用,配合地质导向师指导,更加有利于轨迹的精确控制,提高储层钻遇率。该井设计使用地质导向钻井技术进行水平段的钻进。能够识别工具周围地层延伸方向和工具到地层边界的距离。该工具是以方向电磁感应测量为原理,通常情况下能够探测到地层边界,便于地质导向师作出决策。工具在井下工作的时候,能够传出实时数据到地面以便实时解释。在电阻率变化比较明显的地方,实时数据能够测量出:①上下地层边界到工具的距离;②地层边界的延伸方向;③工具所在地层的电阻率;④上下地层的电阻率,实现在优质储层中钻进的目的。

4 现场应用及效果分析

梨页 1HF 井从梨页 1 井井深 3 050 m 处采用随钻测量工具进行侧钻,定向钻至井深 3 450 m,井斜 67.3°,垂深 3 359.15 m。3 450~4 630 m 井段采用旋转导向地质导向钻井系统,其中 A 靶点井深 3 580 m,垂深 3 391.96 m,井斜 77.81°;B 靶点井深 4 600 m,垂深 3 574.05 m,井斜 75.76°;完钻井深 4 630 m,垂深 3 581.30 m,井斜 76.08°。使用旋转导向地质导向系统确保了井眼轨迹在优质储层中钻进,水平段共完成进尺 1 020 m,储层钻遇率 92.7%,且在旋转状态下实现了井眼轨迹的调整,3 450~4 630 m 井段平均机械钻速高达 11.46 m/h。

为确保井眼稳定,开钻所用油基钻井液密度为 1.48 g/cm^3,并随着井斜的增加,逐渐提高至 1.55 g/cm^3,同时利用不同粒径级配的刚性封堵材料、纤维封堵材料等强化油基钻井液的随钻封堵性能,井眼稳定,起下钻顺畅,返出钻屑中无剥落的掉块,油基钻井液施工井段的平均井径扩大率仅为 3.92%。通过在新配制油基钻井液中加入足量的主乳化剂、辅乳化剂,确保了油基钻井液的破乳电压高于 400 V,具有良好的乳化稳定性。通过补充有机土、流型调节剂,施工期间油基钻井液塑性黏度 28~32 mPa·s,动切力 8~12 Pa,动塑比 0.3 以上,并配合工程短起下措施,确保了水平段施工期间振动筛返砂良好,井眼清洁,为旋转导向仪器安全施工创造了条件。

梨页 1HF 井完钻后下入型号为 P110 的生产套管,下深 4 626.53 m,固井施工中注前置冲洗液

5 m^3,注加重隔离液40 m^3,密度1.60 g/cm^3,注后置冲洗液5 m^3,共注水泥浆121.5 m^3,其中领浆69 m^3,排量1.5~1.8 m^3/min,最大密度1.61 g/cm^3,最小密度1.58 g/cm^3,平均密度1.59 g/cm^3,压力6 MPa;注尾浆52.5 m^3,排量1.5~0.8 m^3/min,最大密度1.88 g/cm^3,最小密度1.8 g/cm^3,平均密度1.85 g/cm^3,压力4 MPa。共使用辽宁抚顺G级水泥150 t,替清水15.9 m^3,排量1.8 m^3/min,泵压25 MPa,替泥浆35 m^3。声幅测井表明400~3 350 m井段声幅为20%~30%,3 350~4 610 m井段平均声幅为10%,固井质量综合评定为优秀。

梨页1HF井通过采用旋转导向地质导向体系、优选钻头、优化钻具组合、并采用油基钻井液等技术,实现了该井的优质高效钻进。该井实际钻井周期22.56 d,较设计钻井周期缩短了14.94 d,平均机械钻速7.98 m/h,较设计提高了82.19%,提速提效效果显著。为加快梨树断陷页岩气勘探开发步伐积累了宝贵的经验。

5　结论

(1)梨页1HF井通过应用旋转导向地质导向钻井技术,同时结合钻头优选和钻具组合优化,实现了快速钻进,大幅度提高了机械钻速,缩短了钻井周期。

(2)梨页1HF井所用油基钻井液体系良好的乳化稳定性、强封堵性能、流变性,施工中井眼稳定、井眼清洁,为安全快速钻进提供了技术保障。

(3)梨页1HF井采用双凝双密度水泥浆技术,很好地满足了长裸眼页岩井段固井需求,水泥浆正常返至地面,固井质量较好。

(4)为实现安全、环保、高效钻井,建议加强地质特征认识,开展页岩水基钻井液体系研究,进一步优化钻具组合、优选钻头,达到降本增效的目的。

参　考　文　献

1　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. Key technologies adopted for shale gas horizontal well Pengye HF-1 [J]. Petroluem Drilling Techniques, 2012, 40(4): 28-31.

2　李恒东, 李培丽, 付怀刚. 元页HF-1页岩气水平井钻井关键技术[J]. 探矿工程, 2014, 41(8): 18-20.
Li Hengdong, Li Peili, Fu Huaigang. Key technology of drilling for Yuanye HF-1 shale gas horizontal well [J]. Exploration Engineering, 2014, 41(8): 18-20.

3　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): 100-104.
Chen Haili, Wang Lin, Zhou Feng, et al. Rapid and efficient drilling of horizontal wells in the Weiyuan shale gas field Sichuan basin [J]. Nature Gas, 2014, 34(12): 100-104.

4　王中华. 页岩气水平井钻井液技术的难点及选用原则[J]. 中外能源, 2012, 17(4): 43-45.
Wang Zhonghua. Difficulty and application principle of the drilling fluid technology of horizontal wells for shale gas[J]. Sino-global Energy, 2012, 17(4): 43-45.

5　何　涛, 李茂森, 杨兰平, 等. 油基钻井液在威远区页岩气水平井中的应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(3): 1-3.
He Tao, Li Maosen, Yang Lanping, et al. Application of oil-based drilling fluid in shale gas horizontal well in district of Weiyuan [J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2012, 29(3): 1-3.

6　刘　伟, 陶　谦, 丁士东. 页岩气水平井固井技术难点分析与对策[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(3): 40-43.
Liu Wei, Tao Qian, Ding Shidong. Difficulties and countermeasures for cementing technology of shale gas horizontal well[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2012, 34(3): 40-43.

7　韩秀贞, 王显光, 李　胜, 等. 一种低粘高切油基钻井液体系[J]. 钻井液与完井液, 2015, 32(3): 16-19.
Han Xiuzhen, Wang Xianguang, Li Sheng, et al. A low viscosity high gel strength oil base drilling fluid [J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2015, 32(3): 16-19.

8　何　恕, 李　胜, 王显光, 等. 高性能油基钻井液的研制及在彭页3HF井的应用[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(5): 1-4.
He Shu, Li Sheng, Wang Xianguang, et al. Research on high performance oil-based drilling fluid and its application on Pengye 3HF [J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2013, 30(5): 1-4.

9　辜　涛, 李　明, 魏周胜. 页岩气水平井固井技术研究进展[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(4): 75-80.
Gu Tao, Li Ming, Wei Zhousheng. Research progress on cementing technology of shale gas horizontal well [J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2013, 30(4): 75-80.

10　白　璟, 刘　伟, 黄崇君. 四川页岩气旋转导向钻井技术应用[J]. 钻井工艺, 2016, 39(2):9-11.
Bai Jing, Liu Wei, Huang Chongjun. Application of rotary steering drilling technology in Sichuan shale gas reservoir[J]. Drilling and Production Technology, 2016, 39(2):9-11.