

昌探1井优化设计及钻井技术优选

孙义春¹, 孙莉²

(1. 大庆钻探工程公司钻井二公司, 黑龙江 大庆 163000;
2. 大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 随着对松辽盆地北部古中央隆起带基岩钻探, 发现储层好坏受裂缝影响较大。因此, 在已钻隆探X3井东北部, 更靠近徐西断裂带, 断层活动明显的裂缝发育区部署了昌探1井。设计完钻斜深5086.90 m, 垂深3906.70 m, 最大井斜角81.95°。由于松辽盆地基底构造特征极为复杂, 受多期构造运动影响, 断层类型多样、组合复杂, 增加了钻井设计与现场施工的难度。针对该井在钻井过程中可能遇到的难点与风险, 在安全可行性分析的基础上, 进行了井身结构和井眼轨道优化设计, 钻井参数优化以及钻头优选等。实钻效果表明, 该井全井平均机械钻速4.20 m/h, 钻井周期120.67 d, 与邻井相比钻井周期缩短了20.35%, 现场施工提速效果明显, 为探索该区域基底构造提供了宝贵的经验。

关键词: 基岩钻探; 钻井设计; 强化钻井参数; 复合钻头; 防漏堵漏

中图分类号: TE242 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)07-0091-07

Optimization design and drilling technology optimization for Well Changtan-1

SUN Yichung¹, SUN Li²

(1.No.2 Drilling Company of Daqing Drilling & Exploration Engineering Company,
Daqing Heilongjiang 163000, China;

2.Daqing Drilling Engineering & Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering
Company, Daqing Heilongjiang 163000, China)

Abstract: The exploration of the central uplift belt in northern Songliao Basin shows that the reservoir conditions are greatly influenced by fractures. Therefore, Well Changtan-1 was deployed in the northeast of Well Longtan-X3 which is closer to the fracture belt of Xuxi, and where the fault activity is obvious. The total designed depth is 5086.90m with vertical depth of 3906.70m and maximum inclination of 81.95°. The basal structure of Songliao Basin is very complex and the type and composition of the fault is variegated because of multiphase tectonic activities, which increases the difficulty on drilling design and field operations. In view of the difficulties and risks that may be encountered in the drilling process of the well, the safety feasibility analysis is conducted with optimization of the well structure, well trajectory, drilling parameter and drill bit. Field drilling results showed that the average rate of penetration is 4.20 m/h with the drilling period of 120.67d which is shortened by 20.35% compared with nearby wells, increasing drilling efficiency to a great extent. It provides valuable experience for exploration of the basal structure in the region.

Key words: bedrock exploration; drilling design; strengthening drilling parameters; composite bit; leakage prevention and sealing

收稿日期:2020-09-16; 修回日期:2021-02-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.07.014

作者简介:孙义春,男,汉族,1980年生,工程师,从事定向井设计与施工工作,黑龙江省大庆市红岗区八百垧10-4-1单元-602,613344156@qq.com。

引用格式:孙义春,孙莉.昌探1井优化设计及钻井技术优选[J].钻探工程,2021,48(7):91-97.

SUN Yichung, SUN Li. Optimization design and drilling technology optimization for Well Changtan-1[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7):91-97.

1 昌探1井基本情况

昌探1井是一口部署在松辽盆地古中央隆起带的大斜度定向井,地质目标为花岗岩淋滤型风化壳和断层破碎带。设计完钻斜深 5086.90 m,垂深 3906.70 m,最大井斜角 81.95°,水平位移 1725.10 m,水平段长 1479.82 m,实际完钻井深 4900.00 m。勘探钻井的目的是通过大斜度井探索裂缝发育带,寻找风化壳好储层,同时兼探上覆登娄库组及基底内的含气性。其目的层为基底、探泉头组一段、登娄库组及营城组。由于松辽盆地基底构造特征极为复杂,受多期构造运动影响,断层类型多样、组合复杂,增加了钻井设计与现场施工的难度^[1]。

2 技术难点

(1)预计本井将于嫩四段中部约 830 m,青二、三段上部约 1620 m 各钻遇一断层,施工时要注意防止井斜、井漏等工程事故的发生。

(2)本井区邻井有多口井发生卡钻、遇阻、井漏等与地质有关事故复杂情况。三开存在漏、喷、塌卡同存的风险,因此本井应严格控制钻井液性能并加强井口监测,降低事故复杂风险程度。

(3)营城组地层破裂压力系数最低仅 1.4,地层承压能力低,防漏与防气窜矛盾突出,应从固井工艺上解决防漏防窜问题。

(4)二开葡萄花油层存在高压注水,对井控安全和钻井液密度要求更高。

(5)基底岩性复杂,处裂缝发育区,易井漏。

(6)基底岩石硬度大,可钻性差,研磨性强,钻井速度慢^[2]。

(7)大斜度、高研磨性井段取心,取心难度较大。

3 钻井设计

3.1 地质情况

目的层基岩岩性以花岗岩为主,花岗岩风化壳储集空间主要为裂缝和溶蚀孔,以裂缝为主,岩心孔隙度一般在 0.1%~4.8% 之间。本井地质目标为花岗岩淋滤型风化壳和断层破碎带。该区邻井钻井显示花岗岩储层非均质性较强、储层发育情况尚不清楚,储层发育情况存在不确定性^[3]。同时,由于本区风化壳储层相互连通性较差,因而地层压力变化会比较复杂,预测地层压力系数可能存在偏差,存在不可预见的风险。根据井区实测地层温度,基底平均地温梯度 4.09 °C/100 m,本井目的层垂深 3331.5~3744.5 m,预测地层温度在 136.26~153.15 °C 之间。

3.2 参考邻井分析

3.2.1 邻井分析认识

本井重点参考近期施工完成的隆平1井,以及距离较近的另一口勘探基岩定向井隆探X3井。通过对邻井的井身结构、钻头、钻井液、钻井参数、提速工具等进行了统计分析,针对各项设计重点、难点问题,取得了多项认识,见表1(表内相关数据为2口邻井数据的平均值)。

表1 邻井设计与施工情况统计

Table 1 Design and drilling data of adjacent wells

设计重点、难点	解 决 措 施	实 钻 效 果
深层水平井提速提效	强化钻井参数	二开钻速提高 29.28%, 基底钻速提高 87.12%
大井眼造斜效率低	复合钻头造斜	相比牙轮钻速可提高 1.5 倍
基岩硬度大、可钻性差	引进贝克休斯牙轮钻头	相比普通牙轮钻速可提高 26.08%
裂缝发育,易井漏	钻前地质预测,提前 50 m 针对性地采取随钻堵漏措施	可降低井漏发生的几率
地层承压能力低	采用尾管+尾管回接方式固井	可有效防止井漏和气窜的发生
基岩的不确定性	技术套管下至基岩以上 30~50 m, 封隔上部高压注水层和营城组主要气层	可实现基岩储层专打,降低施工风险

3.2.2 新技术推广应用可行性分析

针对在邻井中推广应用的钻前地质预测技术、复合钻头造斜、基岩提速钻头优选、强化钻井参数等新技术手段,结合实钻资料,进行了钻前可行性安全

分析(见表2),其中,强化钻井参数存在排量过高时,循环压耗过大压漏地层,且超过泵的承受能力,造成设备损坏的风险,但可通过软件计算设定下限来保证提速效果,设定上限来保障施工安全^[4]。最

终,评价结果显示均为“适用本井”。因此,在昌探 1 井钻井设计中优选了表 2 中的四项新技术进行推广应用。同时,通过集成应用邻井实钻效果好的优势技术,绘制了钻井学习曲线,指导本井施工。

表 2 新技术可行性评价
Table 2 New technology feasibility evaluation

新技术名称	在邻井中是否应用	应用效果评价	是否存在施工风险	是否有解决方案	在本井中是否适用
钻前地质预测技术	是	有效防漏	无		是
复合钻头造斜	是	提速明显	无		是
基岩段引进休斯牙轮钻头	是	提速明显	无		是
强化钻井参数技术	是	提速明显	压漏地层,设备损坏	通过软件计算设定排量上限和下限	是

3.3 工程设计

3.3.1 井身结构设计

该井针对多个必封点进行了分析,确定了井身结构,见图 1。

一开:表层套管下至 300 m 四方台组稳定泥岩处,封固明水组及以上松软地层,保护水源,安装井控装置,为二开施工提供安全保障。

二开:由于本井受注水开发影响,葡萄花油层

(1490~1545 m)设计泥浆密度为 1.50 g/cm³,营城组破裂压力系数最低为 1.40,安全窗口窄,易造成井涌、井漏,难以实现固井全过程的压力平衡,顶替效率低,甚至会出现因漏失和井控而导致固井作业失败等问题^[5]。因此,将技术套管下至登二段底 3374 m(营城组顶部,井斜角 61.17°),封隔不同压力层系,封住葡萄花高压注水层,嫩江组、青山口组不稳定泥岩,实现储层专打。

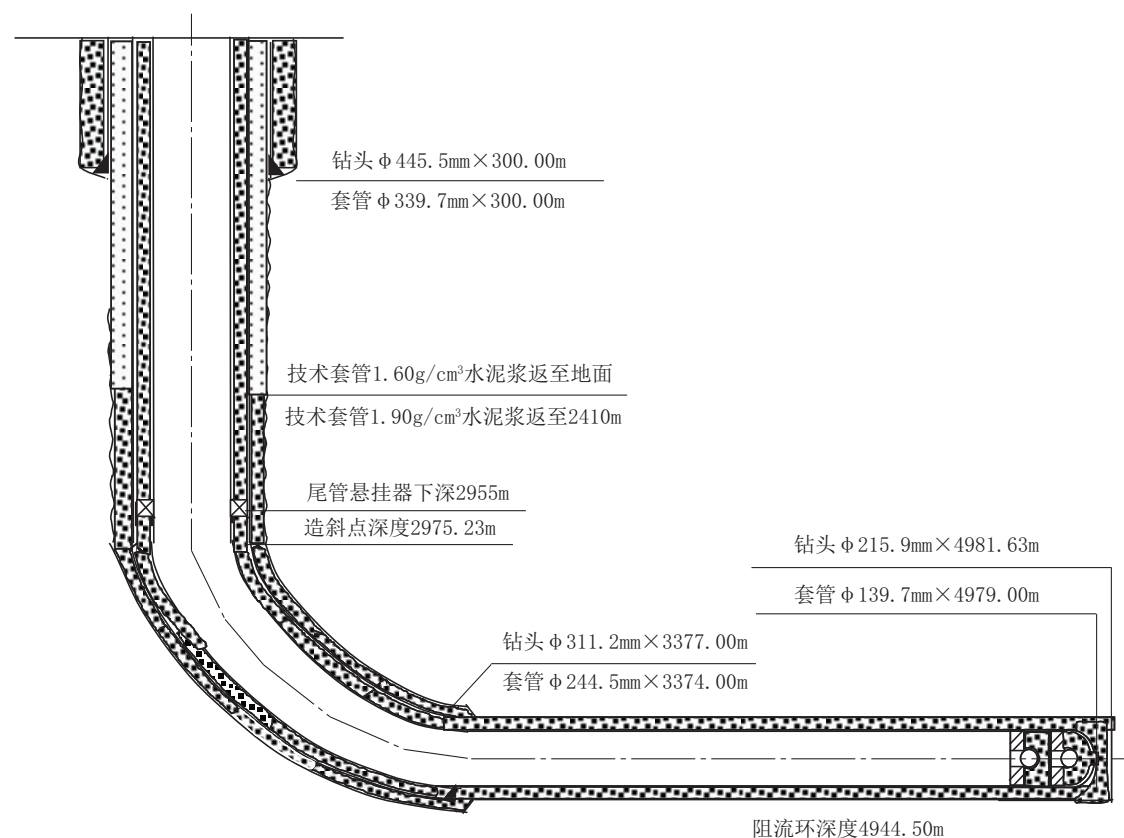


图 1 昌探 1 井井身结构示意
Fig.1 Structure of Well Changtan-1

三开:钻至设计井深。采用尾管+尾管回接方式固井,保证井筒完整性^[6]。设计悬挂器位于直井段 2955 m(造斜点以上 20 m)降低尾管回接施工难度。

3.3.2 井眼轨道设计

本井地质目标为花岗岩淋滤型风化壳和断层破碎带,因受断层影响,两个地质目标未在同一垂线

上,所以设计为一口大斜度定向井。井眼轨道从 A 靶点进入花岗岩体,水平段自北向南穿过第一风化壳、第二风化壳,在花岗岩体内依次设计靶点 B、靶点 C,在花岗岩体底面终靶点 D 结束。因此,本井采用逆推设计法设计井眼轨道^[7],造斜点 2975.23 m,造斜率 4.5°/30 m~5°/30 m,最大井斜角 81.95°,详细井眼轨道设计见表 3。

表 3 昌探 1 井井眼轨道设计

Table 3 Trajectory design of Well Changtan-1

施工位置	井深/ m	井斜角/ (°)	方位角/ (°)	垂深/ m	视平移/ m	“狗腿”度/ [(°)·(30 m) ⁻¹]	造斜率/ [(°)·(30 m) ⁻¹]
井口	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
造斜点	2975.23	0.00	0.00	2975.23	0.00	0.00	0.00
增斜段	3241.90	40.00	0.00	3220.76	89.36	4.50	4.50
稳斜段	3249.78	40.00	0.00	3226.80	94.43	0.00	0.00
增斜段	3405.48	65.95	0.00	3319.75	217.68	5.00	5.00
靶点 A	3435.48	67.95	0.00	3331.50	245.28	2.00	2.00
靶点 B	3781.84	68.32	0.00	3461.50	566.32	1.50	1.50
靶点 C	4417.78	81.95	0.00	3665.50	1166.81	1.50	1.50
靶点 D	4981.63	81.95	0.00	3744.50	1725.10	0.00	0.00

3.3.3 钻井液设计

一开采用膨润土混浆,二开采用钾盐共聚物钻井液体系、三开采用麦克巴水基钻井液体系。针对二开葡萄花油层存在高压注水,设计在进入葡萄花油层前 50 m,将钻井液密度提高到 1.35 g/cm³,二开钻井液密度上限为 1.50 g/cm³。

3.3.4 防漏堵漏设计

在地质设计基础上,结合邻井地震、井史、录井、测井、压裂等相关资料,通过裂缝/破碎带详细预测,给出了 4 个易漏层段:A 段(3540~3733 m),B 段(3969~4079 m),C 段(4235~4327 m),D 段(4417~4700 m),并根据裂缝形态和发育特征,提前 50 m 采用针对性的随钻堵漏措施,成功防漏^[8]。

由于深部地层裂缝开度分布范围广,以往模拟最小缝宽仅 100 μm,无法实现全范围封堵。本井利用金属箔片在碱性条件下会发生腐蚀的特点,制作出最小缝宽仅为 3 μm 的人造微裂缝,实现了地层裂缝宽度的全尺寸模拟,为防漏堵漏效果室内评价提供了手段^[9]。

另外,以纤维材料、纳米材料、热塑性弹性体和吸水树脂主要材料研制的膨胀堵漏剂,粒度分布范

围更广,可对裂缝形成有效封堵,抗温 160 ℃,承压 5 MPa,解决了常规堵漏剂反复漏失的问题^[10]。

通过室内试验数据,结合现场施工经验,形成了不同漏速下的堵漏配方,制定了防漏堵漏工艺技术模板和操作规程,并根据昌探 1 井裂缝预测结果,制定了针对该井的堵漏措施,实现了堵漏作业规范化。

3.3.5 钻头选型

本井通过井震结合的点一线一面一体化分析研究,详细描述了昌探 1 井的岩石可钻性、压力、裂缝/破碎带等参数,为钻头优选、防漏堵漏措施的制定提供理论依据^[11]。

在岩石可钻性和岩性预测的基础上,绘制了不同层段钻头特征图版(刀翼、复合片尺寸等),重新又选了钻头序列,减少了钻头数量,提高了机械钻速。其中,针对 Ø311.2 mm 大井眼造斜段砂砾岩互层,优选牙轮+PDC 复合钻头有效解决牙轮钻头速度慢、PDC 钻头工具面不稳的双重矛盾^[12],提高了大井眼造斜效率,其效果与 Ø215.9 mm 井眼基本相当。针对基底岩石硬度大,可钻性差,研磨性强,钻井速度慢等问题,统计了隆探 X3 井及隆平 1 井钻头使用情况,发现牙轮钻头效果优于 PDC 和复合钻

头,因此,选择采用休斯的牙轮钻头^[13]。三开基岩定向段取心难度大,优选具有切削功能的取心钻头,钻头寿命和钻速。风化壳顶部碎裂岩石应重点保证收获率,花岗岩取心进尺慢,需精确确定取心井段,保证取全取准层位。设计使用 SC279 取心钻头,该钻头在隆探 X3 井使用效果较好,同时,为保证取全取准层位及取心收获率,每筒岩心按 5 m 设计,设计取心 8 筒。全井钻头优选见表 4。

表 4 昌探 1 井钻头选型
Table 4 Bit design for Well Changtan-1

井眼尺寸/mm	钻头型号	井段/m	层位	进尺/m	钻速/(m·h ⁻¹)	纯钻时间/h
444.5	B535E×1	0.00~300.00	四方台组	300.00	30.00	10.00
315.0	T1951DB×1或CK605×1	300.00~2400.00	泉二段	2100.00	18.00	116.67
311.2	Q535×1、Q635×1	2400.00~2975.00	登四段	575.00	3.00	191.67
311.2	SH533×3造斜段	2975.00~3377.40	登二段	402.40	2.00	201.20
215.9	VMD-DS44CDX2×17	3377.40~5086.90	营城组、基底	1669.50	2.20	758.86
	造斜段+稳斜段					
	SC279×8	机动	基底	40.00	0.62	64.52
全面钻速				5086.90	3.78	1342.92

3.3.6 钻具组合设计

(1)造斜段钻具组合:Ø311.2 mm BIT×0.3 m+Ø216.0 mm LZ×8.4 m(造斜段 1.5° 自带螺旋扶)+Ø203.0 mm MWD×13.3 m+Ø203.0 mm NMDC×9.0 m+Ø178.0 mm DC×54.0 m+Ø159.0 mm DC×54.0 m+Ø127.0 mm HWDP×135.0 m+Ø139.7 mm DP。

(2)造斜段+稳斜段钻具组合:Ø215.9 mm BIT×0.3 m+Ø172.0 mm LZ(带 1 个扶正器,0.75°/1.0°)×8.4 m+Ø214.0 mm STB×1.5 m+Ø172.0 mm 止回阀×1.0 m+Ø172.0 mm MWD×13.3 m+Ø165.0 mm NMDC×9.0 m+Ø127.0 mm HWDP×27.0 m+Ø127.0 mm DP×1548 m+Ø139.7 mm DP。

一开保证大钻铤用量,控制参数,保证井眼开直;二开以后,为保证井控安全,应配备齐全钻具内防喷工具;嫩四段、青二三段钻遇断层,注意加强测斜(钻具组合加 2 根无磁钻铤);二开、三开为保证强化钻井参数需求,钻杆由常规的 Ø127.0 mm 优化为 Ø139.7 mm;二开采用 1.5° 螺杆,三开采用 1.0° 螺杆;建议三开钻具中加入清砂接头,避免岩屑堆积形成岩屑床;斜井段建议采用水力振荡器。

3.3.7 摩阻扭矩分析

本井造斜段+稳斜段共计 2006.40 m,稳斜角 81.95°,通过软件模拟,其最大扭矩为 18.13 kN·m,根据实际与理论差值约 8 kN·m,预计最终扭矩为

26 kN·m 左右,未超出允许极限。软件模拟本井上提摩阻为 248.1 kN,下放摩阻为 186.7 kN。

3.3.8 钻井参数设计

为了大井眼造斜的顺利施工,优选钻头的同时,进行了钻井参数的强化,二开排量 50~60 L/s,三开排量 25~38 L/s,在保证井眼清洁的同时,发挥螺杆的功率,可有效提高钻速^[14]。

3.3.9 固井设计

(1)表层套管:采用插入式固井。

(2)技套套管:严格按照规定通井、洗井,维护好钻井液性能,固井前做地层承压试验,根据试验结果确定最终的水泥浆密度,保证压稳,保障固井质量;采用高效冲洗隔离液,实现替净,保证固井质量^[15]。

(3)生产尾管:由于本井为深层天然气井,地层承压能力低,存在漏失风险,针对天然气井井口带压等问题,如采用超低密度水泥浆一次性全封,即使采取井口加压等辅助措施,仍会发生井口带压。因此,本井采用尾管+尾管回接方式固井,设计悬挂器位于直井段 2955 m(造斜点以上 20 m)降低尾管回接施工难度;采用高温防窜水泥浆体系,变排量顶替技术,保证顶替效率,提高固井质量。

3.3.10 井控设计

本井为 I 类井。根据本区基岩地层压力系数平均值(1.01)预计本井基岩地层压力为 32.99~37.08 MPa;根据《大庆油田井控实施细则》设计采用 70 MPa 封井器组合,为满足大规模压裂需求设计采用

TF13 $\frac{3}{8}$ ×9 $\frac{5}{8}$ ×5 $\frac{1}{2}$ -105MPa分体式防腐套管头。

4 实钻效果

昌探1井,完钻斜深4900.00 m,垂深3857.67 m,平均机械钻速4.20 m/h,钻井周期120.67 d,建井周期158.54 d,设计符合率93.5%。本井未出现方案设计原因导致的工程、质量事故及井控风险。将昌探1井按照邻井的平均井深(4321.5 m)进行折算,其钻井周期为101.35 d,和邻井平均钻井周期(127.25 d)相比,钻井周期缩短了20.35%,无井口带压现象。按照70钻机日费15万元/天计算,本井和邻井相比,平均节约成本100万元左右。

4.1 各开次钻速对比

昌探1井全井使用钻头31只(其中6只PDC钻头,4只复合钻头,17只牙轮钻头,2只通井牙轮,2只取心钻头),累计进尺4900 m,平均钻速4.09 m/h,单只钻头进尺168.96 m,单只纯钻40.90 h。

(1)一开 $\varnothing 444.5$ mm井眼进尺300 m,平均机械钻速27.27 m/h,使用PDC钻头1只。

(2)二开 $\varnothing 315$ mm和 $\varnothing 311.2$ mm井眼进尺3070 m,平均机械钻速6.26 m/h,使用PDC钻头2只,牙轮钻头1只,复合钻头2只,通井牙轮1只。

(3)三开 $\varnothing 215.9$ mm井眼进尺1530 m,平均机械钻速2.26 m/h,使用复合钻头2只,PDC钻头3只,牙轮钻头16只,通井牙轮1只。

4.2 新技术推广应用效果

(1)钻前地质预测技术。本井通过钻前综合分析,一方面对井身结构、钻头选型、钻井参数等开展了针对性的优化设计,提高了钻井施工效率;另一方面根据裂缝形态和发育特征,成功预测了4个易漏层段,施工时,提前50 m采用针对性的随钻堵漏措施,降低了实钻过程中井下漏失风险,保证了施工安全。

(2)大井眼段采用复合钻头造斜。本井造斜段钻头尺寸为 $\varnothing 311.2$ mm,由于在大井眼造斜难度大,风险高,对泵排量及返砂情况要求也较高,因此钻进时采用了宝石SH533复合钻头,单只平均进尺169.5 m,平均机械钻速2.29 m/h,相比牙轮钻头,进尺提高139%,钻速提高83.2%。

(3)基底引进进口牙轮钻头。本井贝克休斯牙轮应用情况较好,累计进尺757.12 m,平均机械钻速2.42 m/h,牙轮寿命稳定,单只平均纯钻34.78 h,平

均单只钻头进尺84.12 m,比本井同层位使用的普通牙轮单只钻头进尺多24.28 m,机械钻速提高60.33%,实钻效果显示,该钻头对基底层花岗岩的研磨性更好。

(4)强化钻井参数。本井通过强化钻井参数,在设备允许的情况下,将二开排量提高至60 L/s,与常规参数相比,钻速提高26.4%,将三开排量提高至38 L/s,同比钻速提高74.6%。

5 结论

(1)复合钻头定向,是提高大井眼造斜效率的有效技术措施,建议继续推广应用。

(2)强化钻井参数,在保证井眼清洁的同时,充分发挥螺杆的功率,从而提高机械钻速,是深层水平井提速的关键措施。

(3)针对基底硬脆性花岗岩地层,牙轮钻头效果优于PDC钻头和复合钻头。

(4)在地质设计基础上,通过裂缝/破碎带详细预测,并根据裂缝形态和发育特征,提前50 m采用针对性的随钻堵漏措施,可有效降低井漏发生的几率。

(5)针对注水开发和营城组破裂压力系数低造成的窄密度窗口问题,通过优化技术套管下深,实现储层专打,保障了施工安全顺利进行。

(6)对于承压能力低的地层,采用尾管+尾管间接方式固井,可有效防止井漏和气窜的发生,保证固井质量。

参考文献(References):

- [1] 朱芝同,伍晓龙,董向宇,等.松辽盆地页岩油勘探大口径取心技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):45-50.
ZHU Zhitong, WU Xiaolong, DONG Xiangyu, et al. Large diameter coring technology for shale oil exploration in Songliao Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(1): 45-50.
- [2] 孙莉.隆平1井钻井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):36-40.
SUN Li. Drilling design and practice of Well Longping-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 36-40.
- [3] 段晓岩.隆探X3井基岩定向井钻井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):57-63.
DUAN Xiaoyan. Design and drilling of directional Well Longtan X3 in bed rock[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drill-

- ing and Tunneling), 2019, 46(7):57-63.
- [4] 代锋, 曾桂元, 李林, 等. 元坝高研磨性地层提速提效集成钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(4):27-30.
DAI Feng, ZENG Guiyuan, LI Lin, et al. Efficient drilling technology for high abrasive formation in Yuanba Region[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4):27-30.
- [5] 王彦祺, 龙志平. 隆页2HF页岩气水平井钻井技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(7):30-33.
WANG Yanqi, LONG Zhiping. Research and practice on drilling technology of horizontal shale gas well Longye 2HF[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(7):30-33.
- [6] 吴金生, 房勇, 石绍云, 等. 浅层气区地质岩心钻探技术综合研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(8):23-27.
WU Jinsheng, FANG Yong, SHI Shaoyun, et al. Comprehensive study and application of geological core drilling technology in shallow gas area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(8):23-27.
- [7] 刘玲榕. 抗高温水泥浆体系研究及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(9):29-33.
LIU Lingrong. Research and application of thermostable cement slurry system[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(9):29-33.
- [8] 陈强, 郭威, 李强, 等. 油页岩原位开采井钻井工艺设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(7):9-14.
CHEN Qiang, GUO Wei, LI Qiang, et al. Drilling design and construction of oil shale in situ production well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(7):9-14.
- [9] 孙妍. 松辽盆地基岩水平风险探井钻井优化设计与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(8):83-88.
SUN Yan. Drilling optimization design and application of bed-rock risk exploration horizontal wells in Songliao Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(8):83-88.
- [10] 谷玉堂, 盖兆贺, 陈绍云, 等. 徐深气田开展天然气钻井的可行性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(8):59-62.
GU Yutang, GE Zhaohe, CHEN Shaoyun, et al. Feasibility analysis on natural gas drilling in Xushen Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(8):59-62.
- [11] 闫吉曾. 红河油田低压易漏地层水平段固井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(5):40-45.
YAN Jizeng. Horizontal well cementing technology for low pressure and leakage formation in Honghe Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(5):40-45.
- [12] 石绍云, 邓伟, 吴金生, 等. 大庆油田浅层气地区小口径岩心钻探井控防喷技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(6):14-18.
SHI Shaoyun, DENG Wei, WU Jinsheng, et al. Research on well control and blowout prevention technology for small diameter core drilling in shallow gas area of Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(6):14-18.
- [13] 赵常伟. 新型低密度水泥浆体系在大庆油田深层气井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(8):15-18.
ZHAO Changwei. Application of new low density cement slurry system in deep gas well of Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(8):15-18.
- [14] 谷玉堂, 奚博文, 邢广宇. 大庆致密油区块工厂化水平井优快钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(8):29-33.
GU Yutang, XI Bowen, XING Guangyu. Optimized and fast drilling technology for industrialized horizontal wells in Daqing Tight Oil Blocks[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(8):29-33.
- [15] 宫华. 大庆油田齐家区块致密油水平井钻井提速技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(9):38-41.
GONG Hua. ROP improvement technology for tight oil horizontal well in Qijia Block of Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(9):38-41.

(编辑 荐华)