

新疆吉木萨尔县准页4井钻探施工技术

熊虎林, 张 飞

(新疆地质矿产勘查开发局第九地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830009)

摘要:以新疆吉木萨尔县准页4井钻探工程为背景,从钻井井身结构、钻具组合、泥浆工艺、取心技术措施、井斜控制等方面,简要介绍了页岩气参数井采用石油钻机施工工艺流程。针对施工过程中遇到的大砾径覆盖层钻进、超长裸眼段钻进及钻井漏失等问题,通过采取优化钻具结构、调整泥浆粘切润滑性能、使用桥浆堵漏等技术措施,工程得以顺利完工,各项技术指标满足设计要求。总结了实践经验,可为该区大口径钻井施工提供经验借鉴。

关键词:页岩气;调查井;钻井工艺;钻井液

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)12-0038-05

Drilling Technology for Zhunye Well-4 in Jimusaer County of Xinjiang/XIONG Hu-lin, ZHANG Fei (No. 9 Geological Brigade, Xinjiang Geology and Mineral Resources Exploration and Development Bureau, Urumqi Xinjiang 830009, China)

Abstract: Based on the drilling engineering of Zhunye well-4 in Jimusaer County of Xinjiang, this paper introduces drilling rig construction technological processes of shale gas parameter well in aspects of wellbore structure, drilling tool assembly, mud technology, coring technology and well deviation control. In view of the problems encountered in the construction process, such as the overburden layer of large-sized boulders, super-long open hole section drilling and lost circulation, through optimizing drilling tool structure, adjusting mud viscous shearing and lubrication performances, using bridge slurry plugging and other technical measures, the project was smoothly completed and the technical indicators meet the design requirements. The practice experience is summarized, which can provide reference for the large diameter drilling construction in this area.

Key words: shale gas; survey wells; drilling processes; drilling fluid

1 工程概况

准页4井是新疆准噶尔盆地南缘重点远景区页岩气调查评价项目中的一口钻井,为2016年度新疆国土资源厅下达的中央返还两权价款项目。井位布设于新疆吉木萨尔县泉子街镇北约2 km,交通便利。

2 地质概况

区内地层主要包括第四系全新统、上新统昌吉河群(N₂ch)、中—上三叠统小泉沟群(T₂₋₃xq)、烧房沟组(T₁s)、韭菜园组(T₁j)、梧桐沟组(P₃w)、泉子街组(P₃q)、芦草沟组(P₂l);其中以芦草沟组黑色炭质泥页岩夹油页岩为主要目的层。准页4井实际揭露地层情况见表1。

表1 准页4井实际揭露地层情况

地 层	底界深度/m	岩 性
第四系(Q)	332.29	主要为河流冲积、山前洪积等,成分主要为砾石层夹砂层,砾径0.5~10 cm不等
昌吉河群(N ₂ ch)	880.39	以砂泥岩为主,上部砾岩增多,变为砂砾岩与泥岩互层为特征
小泉沟群(T ₂₋₃ xq)	1474.15	砾岩、砂岩与泥岩、炭质泥岩互层夹薄煤;中部为泥岩夹少量薄层细砂岩
烧房沟组(T ₁ s)	1607.98	棕红色泥岩、砂质泥岩夹灰绿色薄层细砂岩、粉紫色粉砂岩
韭菜园组(T ₁ j)	2133.99	灰绿色厚层—块状砂岩、砂砾岩与灰绿色、暗红色泥岩、砂质泥岩互层
梧桐沟组(P ₃ w)	2552.40	灰绿色、黄绿色、灰黑色夹紫红色粉砂质泥岩、泥岩夹粉砂岩及少量细砂岩
泉子街组(P ₃ q)	2753.24	主要为紫红色、棕红色砾岩、砾质泥岩、褐色泥岩夹灰绿色泥岩、砂岩
芦草沟组(P ₂ l)	3439.50	灰黑色炭质泥页岩夹油页岩及多层白云质灰岩、泥灰岩

口径215.9 mm。

3 主要工作量及技术要求

(1)实施钻井1口,设计井深3300.00 m,完钻

(2)取心。对芦草沟组目的层采用常规取心方法,岩心收获率>90%(如果岩心采取率未达到要

收稿日期:2017-06-09; 修回日期:2017-10-28

作者简介:熊虎林,男,汉族,1986年生,勘查技术与工程专业,从事钻探施工工作,新疆乌鲁木齐市西环中路497号,447573557@qq.com。

求,必须补做井壁取心),密闭率要求达到80%以上,岩心直径>100 mm。

(3)井身质量要求参照执行《石油钻井井身质量技术监督及验收规范》(Q/SY 66—2003),全井井斜 $\geq 6^\circ$,井底水平位移 ≥ 120 m,井径扩大率 $< 25\%$ 。

(4)综合录井。包括岩屑录井、岩心录井、钻时录井、地化录井、钻井液录井、气测录井、荧光录井等,以及岩心、岩屑伽马及元素扫描,现场页岩气含气量解吸等。

(5)地球物理测井。包括常规测井、特殊测井(元素ECS俘获、FMI成像、核磁共振、多极子阵列声波)以及固井质量测井等。

(6)固井及完井。表层套管水泥返至地面,技术套管水泥返至地面,生产套管水泥返至烧房沟组上部。固井质量测井评价在合格及以上。完井按油气压裂测试要求完井。

(7)井场平整、道路修理和钻后井场恢复等。

4 施工难点

(1)第四系砾石层掉块。第四系堆积物松散,成分主要为砾石层夹砂层,砾径大,地层成岩性差,容易发生井漏,井斜控制难度大,且泥浆护壁困难,易超径,易发生掉块卡钻事故。

(2)超长裸眼井段泥浆护壁。第三次开钻后, $\varnothing 215.9$ mm口径裸眼井段长达1883.84 m,需要合理选择泥浆体系实时优化泥浆性能,在保持井壁稳定同时兼顾保护目的层。

(3)井漏。据临井资料,泉子街组(P_3q)砂砾岩裂隙发育,钻井漏失风险较大。

5 钻探施工

5.1 钻探设备

选用了ZJ-50型石油钻机,其技术指标满足页岩气参数井设计井深和完钻口径的要求。钻机及附属设备见表2。

5.2 井身结构

依据钻井工作区的地质构造特征及已完工的邻近钻井施工情况,本井设计三开井身结构^[2],实际完钻井深结构如图1所示。

一开使用 $\varnothing 444.5$ mm钻头开孔,钻穿第四系后,下入 $\varnothing 339.7$ mm套管361.76 m。固井采用了插入法固井工艺,钻井液返至地面,封隔上部松散易塌

表2 钻机型号及主要设备

名称	型号	载荷/ N	功率/ kW	备注
钻机	ZJ-50	3150		
井架	JJ45k-315	3150		
转盘	ZP375			
钻井泵	3NB-1300		960	2台
钻井液罐	9000 mm × 2000 mm × 2000 mm			180 m ³
动力系统	GV12V190B-3		1000	3台
固控系统	振动筛、除泥器、除砂器、离心机			1套
井控系统	双闸板防喷器、圆形防喷器、除气器、控制系统及其节流、放喷管汇			1套

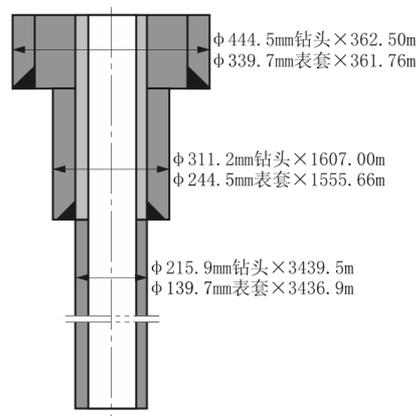


图1 井身结构及套管程序

地层,为井口控制和后续安全钻井创造条件。

二开使用 $\varnothing 311.2$ mm钻头,钻至烧房沟组下段后,下入 $\varnothing 244.5$ mm套管1555.66 m。采用技术套管固井方案,水泥浆返至355.00 m,封隔破碎易漏地层,从而确保下部目的泥页岩层段的取心、完井作业,亦有利于油气储层的保护。

三开使用 $\varnothing 215.9$ mm钻头,穿至目的层芦草沟组上段,完钻井深3439.50 m。下入钢级为P110, $\varnothing 139.7$ mm生产套管固井,固井水泥浆上返至1550.00 m。

优化施工工艺技术,提高顶替效率以确保封固质量,按照既定固井方案固井,采用声波变密度检测,固井质量合格,达到设计要求。

5.3 钻具组合及钻井工艺参数

5.3.1 钻具组合

根据井身结构及地层特征选取钻具组合方案,以塔式钻具组合为主,转盘处采用 $\varnothing 133$ mm方钻杆传动。各开次钻具组合见表3。

5.3.2 全面钻进工艺参数

依据多年施工经验和邻区已完钻井所钻遇的地

层情况,原则上在第四系较软地层钻进,采用高转速、

表3 各开次钻具组合

开钻次序	井段/m	钻具组合	备注
一开	0 ~ 362.50	Ø444.5 mm 牙轮钻头 + Ø228.6 mm 钻铤 + Ø177.8 mm 钻铤 + Ø127 mm 钻杆	
二开	362.50 ~ 1555.88	Ø311.1 mm 牙轮/PDC 钻头 + Ø177.8 mm 钻铤 + Ø159 mm 钻铤 + Ø127 mm 钻杆	
三开	1555.88 ~ 3439.50	Ø215.9 mm 牙轮/PDC 钻头 + Ø177.8 mm 钻铤 + Ø159 mm 钻铤 + Ø127 mm 钻杆	防斜
	2753.24 ~ 3439.50(取心段)	Ø215.9 mm PDC/金刚石取心钻头 + 川8-4 取心筒 + Ø177.8 mm 钻铤 + Ø127 mm 钻杆	取心

大泵量和适当的压力;在坚硬的研磨性强的岩层钻进,则采用大钻压和适当的转速和泵量;在裂隙发育的破碎岩层和研磨性强的岩层钻进,则采用小钻压、中低转速和适当的泵量^[3]。第三次开钻后随着钻井深度增加,为保证井内安全,则要限制转速和钻压。钻进工艺参数见表4。

表4 全面钻进工艺参数

开钻次序	层位	井段/m	钻进参数			
			钻压/ kN	转速/ (r· min ⁻¹)	排量/ (L· s ⁻¹)	立管 压力/ MPa
一开	Q	0 ~ 332.29	50 ~ 150	65 ~ 110	55	1 ~ 5
二开	N ₂ ch	332.29 ~ 880.39	60 ~ 160	65 ~ 90	45	4 ~ 9
	T ₂₋₃ xq	880.39 ~ 1474.15	40 ~ 120	90 ~ 120	45	8 ~ 12
三开	T ₁ s—T ₁ j	1474.15 ~ 2133.00	100 ~ 180	65 ~ 90	40	10 ~ 14
	P ₃ w—P ₃ q	2133.00 ~ 2753.24	60 ~ 150	90 ~ 120	28	12 ~ 16
	P ₂ l	2753.24 ~ 3439.50	40 ~ 120	65 ~ 100	28	14 ~ 18

施工过程中严格控制好井内压力平衡,起钻时必须采取钻井液回灌措施,并根据本次所遇地层的实际情况,控制起下钻的速度,防止井内压力失衡造成井壁坍塌。

5.3.3 取心技术措施

(1)取心工具必须严格检查、丈量、计算、选配。组装钻具后,调整好间隙。其它辅助工具配套齐全。

(2)下钻时操作平稳,严禁猛刹、猛放。遇阻不得超过30 kN,不得划眼强下。下钻距井底3~5 m,开泵循环,冲洗取心内筒及井眼。

(3)循环正常后,缓慢下放钻具到井底试转,轻压慢转后,树心钻进0.3~0.5 m,再逐渐调整到最佳取心钻进参数。

(4)钻进中,不停泵、不停转盘、不上提钻具、不溜钻、不顿钻,尽量减少憋跳钻。时刻注意钻压、泵压及转盘负荷的变化,认真观察、分析钻进中的相关情况,发现异常及时压井、割心起钻。

(5)钻井裸眼段长,严格控制起下钻速度,减小压力激动,确保井壁稳定,不具备安全起下钻条件时

不起钻^[5]。取心井段:2753.24~3439.50 m;取心工具为常规川8-4取心筒,取心钻具组合为:Ø215.9 mm 取心钻头(表镶金刚石/复合片)+川8-4取心筒+Ø172 mm 螺杆+Ø177.8 mm 钻铤+Ø159 mm 钻铤+Ø127 mm 钻杆,取心钻进参数为:取心正常钻压30~80 kN、树心钻压10~20 kN,转速190~260 r/min,排量20~28 L/s。

5.4 钻井液

5.4.1 钻井液管理原则

(1)井壁稳定技术方面。为减少固相对润滑性的影响,尽量按设计下限施工,当出现其他复杂情况,不限定密度指标上限,现场工程师按现场施工情况调整。保证钻井液中处理剂含量满足设计施工要求,加强钻井液抑制地层水化膨胀和分散能力^[6]。

(2)固控技术方面。四级固控,振动筛、除砂器利用率达到100%,除泥器、离心机保证随时可用。

(3)油层保护技术方面采用屏蔽暂堵技术,减小固液相对储层的伤害。

(4)钻井液大型处理前必须进行小型试验钻井液处理剂必须选用合格的产品。

5.4.2 钻井液配制及维护管理

钻井液主要以不漏、压稳地层流体、维持井壁稳定为原则进行配制^[4]。各开次钻井液性能见表5。

(1)一开钻进时充分利用固控设备清除钻屑,以0.3%~0.5% NH₄HPAN水溶液调整粘切。中完后充分洗井,调整好钻井液性能,确保下表套、固井施工顺利。

(2)二开钻固井水泥塞时,可加入适量纯碱以清除Ca²⁺,防止造成污染。随着井深逐步加深,应对泥浆实施护胶,各种处理剂含量应逐渐向设计配方的上限靠拢,以期实现泥浆的抑制性,防塌性及失水造壁性,控制地层造浆和吸水膨胀,确保井眼稳定畅通。

(3)三开后随着井深的增加,按照1.5%的比例

加入高效润滑剂 RH-1,减小钻井液的摩阻系数,提高钻井的润滑防卡能力。

表 5 各开次钻井液配方及性能

钻井程序	钻井液体系	钻井液配方	钻井液性能				
			密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	粘度/ s	失水量/ mL	泥饼厚/ mm	pH 值
一 开	高膨润土含聚合物	8% ~ 10% 膨润土 + 0.4% Na_2CO_3 + 0.3% NaOH + 0.3% CMC(中粘) + 2%	1.10 ~ 1.20	60 ~ 90	8	0.5	8 ~ 9
		~3% MMH + 重晶石					
二 开	强抑制聚磺钻井液	4% 膨润土 + 0.2% Na_2CO_3 + 0.5% KOH + 0.6% MAN101 (SP-8) + 8%	1.20 ~ 1.30	45 ~ 80	5	0.5	9 ~ 10
		KPAM + 0.6% ~ 0.8% MAN104 (FA367) + 2% ~ 3% SMP-1 + 0.3% ~ 0.5% NPAN + 2% ~ 3% SPNH + 3% ~ 5% 无荧光阳离子乳化沥青(磺化沥青) + 1% ~ 2% 低荧光润滑剂 + 重晶石					
三 开	低伤害低摩阻聚磺钻井液	4% 膨润土 + 0.2% Na_2CO_3 + 0.5% KOH + 0.8% MAN101 (SP-8) + 8% ~ 10%	1.22 ~ 1.35	45 ~ 60	5	0.5	9 ~ 11
		10% KPAM + 0.6% ~ 0.8% MAN104 (FA367、PMHA-2) + 2% ~ 3% SMP-1 + 0.5% ~ 0.7% NPAN + 2% ~ 3% SPNH + 5% 无荧光阳离子乳化沥青(磺化沥青) + 2% QCX-1 + 0.2% ~ 0.5% CaO + 1% ~ 2% 低荧光润滑剂 + 重晶石					

(4)井浆加重时,除严格控制泥浆膨润土含量和总固相含量外,护胶剂和润滑剂的加量应向设计配方的上限靠拢,并同时使用好降粘剂,调节和控制好流变性能,以防止发生卡钻事故。

(5)日常维护以 MAN101、MAN104、XY-27、JT-888、FA-367、CMC-HV、NPAN 配置成胶液,以细水长流的方式维护钻井液性能,以避免泥浆性能波动过大。

5.5 井斜控制

钻具结构必须符合设计要求,及时测斜,用测斜数据指导钻井施工,确保井身质量达到设计要求。

(1)表层开钻打方钻杆时,每钻进 3 ~ 5 m 用水平尺校正方钻杆,确保开直井口。

(2)新钻头下井,以设计钻压下限钻进,当稳定器全部进入新井眼后再以正常钻压钻进。

(3)钻进中注意防斜,按要求每 100 ~ 150 m 测斜一次。钻进按规定要求进行测斜,若井斜角在 2° ~ 2.5° 之间以及经预测完钻点井底水平位移超过设计值时,要进行纠斜钻进,并每钻进 20 ~ 30 m 测斜一次。

(4)有增斜趋势并井斜可能超出设计要求的情况下,采用钟摆钻具进行纠斜,如钟摆钻具达不到控制井斜效果,采用螺杆钻具进行纠斜。

5.6 井控

参照中国石油天然气集团公司《石油与天然气钻井井控规定》(中油工程字【2006】247号)组织实施井控工作。

准页 4 井施工历时 158 d,完钻井深 3439.50 m,最大井斜 3.43° (3425 m),井底闭合位移 24 m,平均井径扩大率不大于 20%。录井工作中,钻时录

井工程量 3439 个、岩屑 1713 件、全井累计进行钻井液性能测试 545 次;固井质量合格;取心 20 回次,平均取心收获率 95.3%。各项技术指标达到设计要求。

6 主要技术措施及应用效果

6.1 第四系砾石层钻进

一开井径大,钻遇卵砾石层砾径大、胶结差,井壁易失稳,易垮塌,泥浆护壁困难。

施工中使用高膨润土含量的聚合物钻井液钻进,防止由于粘切过低,造成表层窜漏和钻屑携带困难等问题。维护过程中,使用聚合物胶液配合 CMC-HV 进行处理。通过调节聚合物浓度有效地防止了地层不稳及钻屑携带困难的问题。

工程上紧密配合,使用高粘切钻井液大排量钻进,中完后注入防卡钻井液,保证了起下钻和下表层套管的顺利进行。

6.2 三开超长裸眼井段施工

三开井段 $\varnothing 215.9$ mm 口径裸眼井段长达 1883.84 m (1555.66 ~ 3439.50 m),钻井液维护处理重点是防卡、防漏及保护气层。因此,井段中将二开强抑制聚磺钻井液体系转化为低伤害低摩阻聚磺钻井液,从而有效地保护气层。将 API 失水控制在设计范围内,增加滤液粘度,及时补充 CMC-HV 和 KPAM。将两者的浓度达到 0.6% 以上。防止托压和降低摩阻,减小钻具回转阻力。保证在起下钻顺畅。在固控方面为了保护油气层,将振动筛、除砂器和离心机的使用率达到纯钻时间的 100%。减少钻井液中的固相含量对油气层的伤害程度。工程上坚持多短起下钻,提高钻井速度,缩短钻井液对油气层

的浸泡时间。

三开钻进过程中,泥浆性能完全满足施工要求,钻井得以顺利完钻。

6.3 典型井漏及其处理措施

准页4井钻井过程中,出现 20 m^3 以上较严重漏失情况4次,轻微漏失18次。对典型漏失情况及处理措施介绍如下。

钻遇地层为泉子街组砂岩,分析为中细裂缝性漏失,经讨论决定采用桥浆堵漏。2909.60 m处井漏,平均漏速 $9\text{ m}^3/\text{h}$ 。漏失密度 $1.26\text{ g}/\text{cm}^3$ 、粘度 59 s 泥浆 12.6 m^3 。钻遇地层为芦苇沟组砂岩,分析为中细裂缝性漏失,经讨论决定采用桥浆堵漏^[7-8]。注15%桥浆 10 m^3 ,桥浆配方:8%复合堵漏剂+5%随钻堵漏剂+2%膨胀堵漏剂。关井挤入 6 m^3 憋压 1.7 MPa 降至 1.4 MPa ,20 min后挤入泥浆 4 m^3 憋压 1.2 MPa ,循环候堵,泥浆池液面未下降,堵漏成功。

2910.55 m发生井漏,平均漏速 $7\text{ m}^3/\text{h}$ 。漏失密度 $1.26\text{ g}/\text{cm}^3$ 、粘度 67 s 泥浆 8.5 m^3 。注20%桥浆 11 m^3 ,桥浆配方:10%复合堵漏剂+8%随钻堵漏剂+2%膨胀堵漏剂。关井挤入 5 m^3 憋压 1.2 MPa 不降,20 min后挤入泥浆 3.5 m^3 憋压 1.2 MPa 不降。循环候堵,泥浆少量渗漏,30 min后漏失量增大。继续配制浓度28%的桥浆堵漏。注入桥浆 12 m^3 ,顶桥浆过程中井口少量返浆,漏失泥浆 22.7 m^3 。起钻140 m未出桥浆面,发现环空被桥浆堵塞,开泵循环排出环空桥浆,漏失泥浆 23 m^3 。起钻至套管内配制补充泥浆。下钻分段循环泥浆调整性能,下至井底循环不漏,恢复钻进。

7 经验和体会

(1)泥浆性能的保持,应以维护为主,处理为辅的方式进行。各种粉状处理剂均应配成不同浓度胶

液连续均匀加入;其它处理剂则应严格按泥浆循环周连续均匀加入,避免因泥浆性能大幅波动而造成井下情况复杂化。

(2)该地区山前河床砾石层机械钻速低,钻头使用寿命短,钻井施工建议选用钻具组合: $\text{Ø}444.5\text{ mm}$ 515 镶齿牙轮钻头+2LZ244 直螺杆+ $\text{Ø}177.8\text{ mm}$ 钻铤8根+ $\text{Ø}127\text{ mm}$ 钻杆,采用吊打方式钻进,同时配合大排量高压辅助破岩和清洗井底,提速增效。完钻后采用 $\text{Ø}444\text{ mm}$ 螺旋扶正器通井,修复不平整井壁,使表层套管顺利下入。

(3)进入二叠系施工,泉子街组以下地层为硬脆性泥岩,层理发育,井漏频繁,漏失量大,鉴于地层复杂,建议在使用暂堵钻井液的同时,简化钻具结构,采用常规钻具结构钻进,当井下情况允许可以尝试采用MD 高效牙轮(或PDC)+直螺杆钻具组合提速提效。钻进中,应充分利用固控设备,及时清除劣质固相。严格控制井浆坂土含量,预留泥浆加重空间。

参考文献:

- [1] 蒋国盛,王荣璟.页岩气勘探开发关键技术综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):3-8.
- [2] 陈宁,彭步涛.贵州页岩气调查评价井钻探施工技术综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):260-265.
- [3] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [4] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):176-181.
- [5] 卢予北,陈莹,申云飞.河南中牟页岩气区块地层特征及钻探问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):62-67.
- [6] 邓亮,张承飞,邓少东,等.贵州省页岩气资源调查评价(黔北项目)钻探施工技术[J].西部探矿工程,2014,(12),38-40.
- [7] 马光长,吉永忠,熊焰.川渝地区井漏现状及治理对策[J].钻采工艺,2006,29(2):25-27.
- [8] 王参书,邹盛礼,李子成,等.桥浆混水泥堵漏技术在迪那11井的应用[J].钻井液与完井液,2002,19(1):47-48.