

松辽盆地北部地区小口径油气钻井施工技术

张云龙, 王雪玉

(山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队, 山东 临沂 276002)

摘要:为了探查松辽盆地北部地区的地层情况,评价预测石炭—二叠系的油气前景,我队在该地区参与实施了4口油气地质调查井,设计井深均为2000 m。我队运用小口径绳索索取心钻进工艺进行全孔取心,在取心率和取心质量等技术指标上都圆满完成了设计要求。由于松辽盆地北部地区为盆地沉积地层,地层情况复杂,大部分为泥岩、砂岩地层,易水化,发生坍塌、掉块、缩径等复杂井内事故,影响钻井事故进度和取心质量。为保证钻井的顺利实施,我队在钻进过程中,根据钻进地层情况,进一步优化钻具组合和钻进参数,选择护壁性能强的成膜防塌冲洗液体系,圆满完成了钻井施工任务,取得了较好的钻探成果。

关键词:小口径;绳索索取心钻进;成膜防塌冲洗液;松辽盆地北部地区;油气地质调查井

中图分类号:P634;TE242 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0339-06

Drilling technology for small diameter oil and gas drilling in North Songliao Basin

ZHANG Yunlong, WANG Xueyu

(The Seventh Geological Brigade of Shandong Geology and Mineral Exploration and Development Bureau,
Linyi Shandong 276002, China)

Abstract: In order to explore the stratigraphic situation in the northern part of the Songliao Basin and evaluate and predict the oil and gas prospects of the Permian-carboniferous system, our team participated in the implementation of four oil and gas geological survey wells in the area, with a design depth of 2000m. Our team used the small diameter wire-line core drilling process for full hole coring, and successfully completed the design requirements in terms of technical indicators such as heart rate and coring quality. Due to the complex sedimentary strata in the northern part of the Songliao Basin, most of which are mudstone and sandstone formations that are prone to hydration, complex well accidents such as collapse, block falling, and shrinkage occur, which affect the progress of drilling accidents and the quality of coring. To ensure the smooth implementation of drilling, our team further optimized the drilling tool combination and drilling parameters based on the drilling formation conditions during the drilling process, selected a film forming and anti collapse flushing fluid system with strong wall protection performance, and successfully completed the drilling construction task and achieved good drilling results.

Key words: small diameter; wire-line core drilling; film-forming and anti-collapse drilling fluid; the northern part of the Songliao Basin; oil and gas geological survey wells

0 引言

近年来,随着国际能源形势的日益严峻,为了保障国家能源安全,我国在不断加大对油气资源

的勘探力度^[1-5]。为了进一步探查松辽盆地北部地区的地层情况,评价该地区的油气资源前景,探查石炭—二叠系充填序列,查明油气地质条件,我队

收稿日期:2023-02-24; 修回日期:2023-05-19 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.053

第一作者:张云龙,男,汉族,1990年生,工程师,勘查技术与工程专业,硕士,主要从事金矿、煤矿、铁矿、油气调查等探矿相关研究工作,山东省临沂市兰山区蒙山大道99号,574127361@qq.com。

引用格式:张云龙,王雪玉.松辽盆地北部地区小口径油气钻井施工技术[J].钻探工程,2023,50(S1):339-344.

ZHANG Yunlong, WANG Xueyu. Drilling technology for small diameter oil and gas drilling in North Songliao Basin[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):339-344.

参与实施了4口油气地质调查井,本文主要以黑讷地1井和黑林地1井为工作背景,介绍在钻探施工中的钻井结构设计、钻进参数选择和成膜防塌冲洗液体系的运用等内容。

1 区域地质特点

钻井布置于松辽盆地北部地区,井区位置如图1所示。该地区处于由平缓起伏的漫岗向平原的过渡地段,地形总趋势是北高南低,东高西低,海拔高度在146.2~224.3 m之间,相对高差78.1 m。施工地区构造位置上主体处于西部斜坡区、北部斜坡区,构造条件复杂,沉积岩相古地理面貌、地形起伏错叠,致使地层沉积特征差异较大。根据钻井揭示的不同地层岩性组合特征、岩石结构构造,以及重矿物特征、电性特征,依次从下到上(从老到新)分析区内地层的沉积特征。依据区域地层、地震剖面和工区井资料,推测可能钻遇地层深度参见表1。

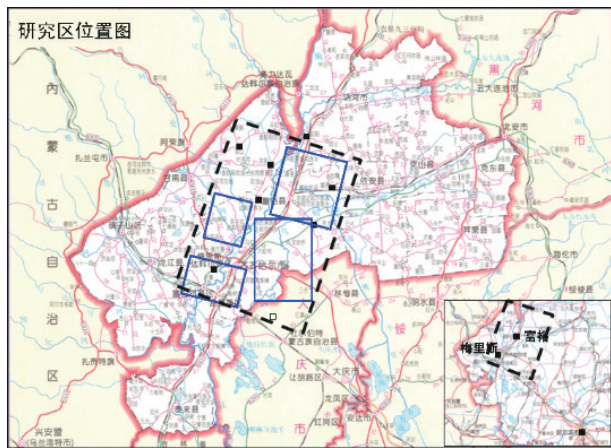


图1 调查井区地理位置

2 井身质量要求及主要技术难点

根据设计要求,目的层平均井径扩大率 $\geq 15\%$ 。完钻井径应 ≤ 95 mm,保证测井工作能正常进行。井斜等井身质量指标要求见表2,从表2中可以看出,井身质量要求较高。

钻井施工中存在以下技术难点:

(1)取心难度大、岩心采取率要求高。根据设计要求,钻穿第四系后至井底连续进行钻井取心,采用绳索取心方式,取心直径不得低于60 mm,岩心采取率 $\leq 85\%$ 。由于软泥岩层、砂岩层多,容易缩径坍塌,岩体松软强度低,取心难度较大^[6-8]。

表1 地层岩性

统	组	地层深度/m	岩性
第四系		0~202.40	
上白垩统	明水组	202.40~473.10	灰色泥岩、粉砂岩
	四方台组	473.10~529.40	棕红色泥灰色砂岩
	嫩江组	529.40~876.00	灰色泥岩、黑色泥岩、粉砂岩
	姚家组	876.00~1083.00	灰色泥岩夹粉砂岩
下白垩统	青山口组	1083.00~1181.80	紫红、灰绿泥岩、黑色泥、灰色粉砂岩
	泉头组	1181.80~1386.42	紫红色泥及粉砂岩及细砂岩
上二叠统	林西组	1386.42~2089.40	灰黑色泥板岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩

表2 井斜、水平位移允许范围

井深/m	井斜/(°)	水平位移/m	井斜测量间距/m
0~500	≤ 1.0	≤ 10.0	
500~1000	≤ 3.0	≤ 30.0	25
1000~2000	≤ 5.0	≤ 50.0	

(2)地层涌水严重、护壁困难。该地区地下裂隙水比较丰富,容易出现涌水问题,特别是流砂层遇到涌水时可能出现坍塌事故,如何加强对井壁的维护是关键^[9-10]。

(3)对冲洗液性能要求高。根据地质资料显示,下部地层有流砂层、泥岩段。泥岩易吸水膨胀,导致缩径。泥岩胶结性差,容易沿层理成块状剥落,出现井内掉块现象。出于储层保护的以及满足测井要求,限制了永久性堵漏材料和荧光级别较高的冲洗液材料的加入,这对冲洗液性能提出了更高的要求^[11-14]。

(4)钻进效率低、钻井成本高。因地层复杂,钻进困难,特别是软泥岩段钻进时,由于冲洗液在粗径钻具内外产生压差,造成井底动力不足,导致钻探作业效率低。软质泥岩极易分散,形成劣质固相,污染钻井液,致使钻井液性能恶化,容易出现起下钻困难、托压等问题,增加了处理事故的时间和冲洗液处理剂用量,钻井成本增高^[15]。

3 钻探施工技术

3.1 井身结构设计

虽然地层情况复杂,但因我队之前在该地区内

实施过钻探工作,具备一定的钻探施工经验,根据查询的参考资料,三开完钻可满足要求。表层套管井径 220 mm。采用 $\varnothing 220$ mm 硬质合金跟管钻具钻进,下入 $\varnothing 219$ mm 表层套管,表层套管井深约 80 m。一开井径 172 mm。采用 $\varnothing 172$ mm 硬质合金单管取心钻进,下入 $\varnothing 168$ mm 一开套管,套管材质为 DZ40,一开井深约 650 m,随后下入 $\varnothing 146$ mm 技术套管,套管材质为 DZ40,主要目的是预防出现不可预测复杂地层,预留一级钻井结构。二开井径 127 mm,采用 $\varnothing 127$ mm 金刚石钻头配合 $\varnothing 114$ mm 绳索取心钻杆,下入 $\varnothing 114$ mm 二开套管,套管材质为 DZ40,井深约 1300 m。三开井径 98 mm,采用 $\varnothing 98$ mm 金刚石绳索取心钻进,至终井深度 2000 m。井身结构如图 2 所示。

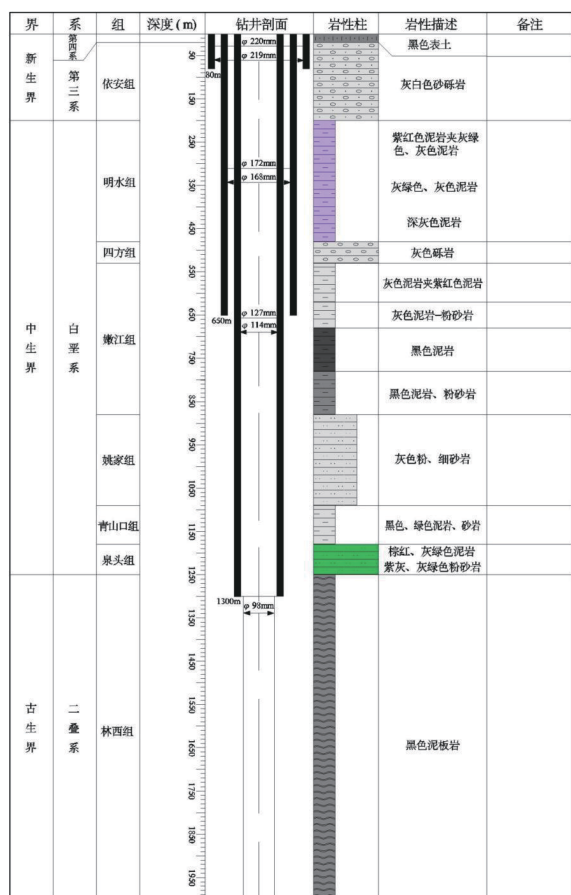


图2 井身结构

3.2 钻探设备

投入使用的主要钻探设备、仪器、钻具见表 3。

表3 主要设备

序号	名称	型号规格	数量
1	立轴岩心钻机	XY-8	1套
2	泥浆泵	NBB390、NBB250	2台
3	无缆光纤陀螺测斜仪	JTL-40FW	1套
4	发电机	11 kW 雅马哈	1台
5	发电机	HG-W200GF	1台
6	泥浆测试仪	ANY-1	1套
7	泥浆失水量测定仪	NS-1	1套
8	取心绞车	SJ-4000	1台
9	防喷器	SFZ18-21	1套
10	绳索取心钻杆	HQ 钻杆/PQ 钻杆	1300 m/ 2200 m
11	绳索取心钻具总成	J95/JS122	2套/2套
12	离心机	LW350型	1台

3.3 取心工艺与钻进技术参数

采取绳索取心钻进工艺进行取心。钻进深部地层的取心率和采取质量决定了岩心钻探的工程效率。提高取心钻探效率和取心质量的措施主要有:

(1)在每次下钻之前必须对钻具的主要零部件进行认真检查,特别是打捞器要安装在正中,不能偏向一侧。组装完内外管总成后认真调整钻具上下间隙,保持弹卡和弹卡挡头顶面的距离为 3~4 mm,若距离过小钻进时钻具无法定位,若距离过大则影响岩心的采取率。

(2)因该井地层层理、节理发育,地层松散且胶结性差,取心难度大。因此,取心工艺上采用了活塞式单动双管取心钻进,这种取心工艺可以避免冲洗液长时间冲刷岩心,以及震动、摩擦等对岩心的破坏作用,保证岩心的完整度。

钻具组合和钻进参数如表 4 和表 5 所示。表层套管钻穿第四系土层;一开钻穿明水组、四方台组泥岩、砂岩层,随后下入 $\varnothing 168$ mm 一开套管,主要是为了隔离涌水层,随后下入 $\varnothing 146$ mm 套管作为技术套管使用;二开和三开的施工重点是防斜,上、下白垩统松散砂层和泥岩层较多,容易发生井斜,为了控制井斜必须及时调整钻进参数,在钻进过程中,坚持每钻进 2 d 时间短起下钻 1 次,并且勤划眼,保持井眼畅通。及时调整泵排量,使冲洗液具有合适的上返速度。

3.4 钻头选型

钻头选型是否合理直接影响钻井效率,钻井周

表4 钻具组合

开次	井段/m	钻具组合
表套	0~80	P规格绳索取心钻杆+ $\Phi 219$ mm表层套管+ $\Phi 220$ mm合金钻头
一开	80~650	P规格绳索取心钻杆+ $\Phi 168$ mm单管取心钻具+ $\Phi 172$ mm金刚石钻头
二开	650~1300	P规格绳索取心钻杆+P规格绳索取心钻具+ $\Phi 127$ mm金刚石钻头
三开	1300~2000	H规格绳索取心钻杆+H规格绳索取心钻具+ $\Phi 98$ mm金刚石钻头

表5 钻进技术参数

开次	钻头尺寸/mm	钻压/kN	转速/($r \cdot \min^{-1}$)	泵压/MPa	排量/($L \cdot \min^{-1}$)
表套	220	20	80	2	160
一开	172	20	120	3	120
二开	127	20	200	4	100
三开	98	15	300	6	100

期等技术指标,并且对减少井内事故,保护油气储层具有重要作用。钻进施工过程中在上部第四系地层采用硬质合金钻头,这种钻头优点是耐磨性好。第四系以下多选用孕镶金刚石绳索取心钻头(如图3所示)钻进,取心效率和取心质量较高。针对钻进效率低,易出现泥包钻头或出现打滑的泥岩砂岩地层,通过尝试不同类型和不同形式的钻头,如大水口合金钻头,大水口复合片钻头(如图4所示),导向刮刀钻头,均未取得良好的钻进效率,最终采用多级配扩孔器钻具,配合表镶金刚石钻头钻进(如图5所示),取得了较高钻进效率,钻进效率可达30 m/d。经分析,由于表镶金刚石钻头为齿轮唇面设计,能增大排粉排水空间,有效降低糊钻可能性,同时表镶金刚石钻头出刃较好,能保持较高的切削效率。



图3 孕镶金刚石绳索取心钻头



图4 复合片钻头



图5 表镶金刚石钻头

3.5 冲洗液技术

(1)上部第四系地层胶结性差,地层松散易坍塌,可利用冲洗液进行护壁堵漏。冲洗液性能主要以高密度、粘度、防塌护壁为主,配方为:1 m^3 清水+30~50 kg膨润土+2~5 kg烧碱+5~10 kg增黏剂+5~15 kg降滤失剂。

(2)下部地层泥岩、砂岩等地层较为复杂,存在多段水敏性地层及松散破碎地层、易垮塌,灰色泥岩地层吸水后易水化膨胀缩径或分散剥落,引起井内掉块、坍塌等现象,为解决上述问题,提升井壁稳定性,最终采用成膜防塌冲洗液体系。根据钻探实际情况,调整冲洗液密度,在冲洗液中加入成膜B剂,增强冲洗液护壁性能,加入降滤失剂、随钻堵漏剂、包被剂等,防止泥岩水化,维持井壁稳定,各处理剂加量及作用如表6所示。

不同地层冲洗液性能见表7。

冲洗液的维护与处理是钻探作业中的重要工作之一,直接影响钻探工程的施工进度,冲洗液的维护与处理主要措施如下:

表6 成膜防塌冲洗液各处理剂加量及作用

名称	型号	1 m ³ 泥浆中的加量/kg	作用
烧碱	NaOH	1~2	去除水中的镁离子(Mg ²⁺),提高pH值
纯碱	Na ₂ CO ₃	1~2	去除水中的钙离子(Ca ²⁺),提高pH值
成膜B剂	GCM-B	20~50	在井壁及岩心上形成保护膜,防塌护壁
增粘剂	GTQ	3~5	提粘、提切、降失水,主要提粘材料
降失水剂	GPNH	10~15	降低失水量,主要降失水材料
封堵剂	GFD-1	10~30	封堵微裂隙,减少钻井液渗漏
随钻堵漏剂	GPC	10~20	封堵裂隙,适用于破碎地层
包被剂	GBBJ	2~3	抑制泥岩分散,絮凝沉淀岩粉

表7 不同地层冲洗液性能

开次	密度/ (g·cm ⁻³)	粘度/s	失水量/[mL· (30 min) ⁻¹]	泥皮厚/mm	pH值	表观粘度(AV)/ (mPa·s)	塑性粘度(PV)/ (mPa·s)	动切力 (YP)/Pa
表套	1.04~1.15	30~40	≤11	≤1.5	8~10	6~15	8~13	4~6
一开	1.04~1.10	30~40	≤8	≤1	9~11	7~15	9~13	5~6
二开	1.06~1.12	30~45	≤8	≤1	9~11	8~15	7~13	4~6
三开	1.06~1.15	30~45	≤6	≤1	9~11	8~15	6~12	0.5~2

(1)上部地层为松散,容易塌陷,需要保持一定的膨润土含量,适当提高冲洗液的密度,增加井壁稳定性。

(2)根据不同地层配制不同比例和浓度的胶液,并对其进行维护。保持钻井液包被剂的浓度控制在0.3%~0.5%,抑制造浆,控制钻屑分散和膨润土含量上升。

(3)井深650 m后,冲洗液中加入一定量乳化油提高钻井液的润滑性,防止出现卡钻事故,并随钻及时补充维护。

(4)随着井深的增加,增加冲洗液中降滤失剂、随钻堵漏剂等处理剂加量,封堵剂含量维持在2%,改善泥饼质量,降低冲洗液滤失量。

3.6 关键技术措施

3.6.1 强烈涌水地层处理工艺

二开地层岩性主要为灰色泥岩,棕红色泥岩,灰色粉砂岩,钻遇3层含水流砂层,最为严重涌水事故地层位于617.40 m,出现强烈涌水现象,涌水高度达地面以上2.5 m。主要处理方法是利用预留 Φ 146 mm技术套管将涌水层位封堵。处理过程需要扩孔井段149.7~631.4 m。扩孔中配合大密度泥浆1.3 g/cm³,粘度80 s,失水量6 mL/30 min,泥皮厚1 mm,通过计算共加入重晶石粉4.4 t,在穿过涌水地层过程中,既不出现涌水,也不出现漏水现象,顺利

将技术套管下到629.3 m,为下一步换径钻进工作提供了技术保障和安全保障。

3.6.2 增大环状间隙

一般岩心钻探工程井壁与钻杆的环状间隙较小,稍微硬一点的异物掉入井内就可能造成卡钻事故。由于地层水敏性强,易膨胀缩径,在前期钻探过程中出现过粘附卡钻、起下钻遇阻等问题,针对上述问题,在实际钻探施工中,及时优化钻具组合,通过增大环空间隙,提高钻井液排量等办法进行处理。钻头尺寸由原来 Φ 122 mm扩大至 Φ 127 mm,由原来 Φ 95 mm扩大至 Φ 98 mm,钻井液排量由原来80 L/min增大至100 L/min。采取这样的施工方法一方面大大降低发生粘附卡钻钻井事故的风险,另一方面提高了钻进效率,提高了工程质量。

4 应用效果

在该区施工的4口钻井均超过设计井深2000 m,岩心采取率均达到了95%以上,完成了获取地质岩心资料和测井资料的目标任务,为探查石炭—二叠系充填序列,分析该地区地层状况提供了详实的实物资料,为查明油气地质条件,评价该地区油气资源前景提供了基础资料。黑林地1井利用成膜防塌冲洗液体系所获泥岩、砂岩岩心情况,如图6、图7所示。经过野外项目验收,通过查看原始资料及岩

心样品,一致认为圆满完成了规定的目标任务和实物工作量,各项指标均达到了设计要求,各项原始资料齐全,质量体系运行、施工质量良好,取得了成果验收优秀的评价。



图6 运用成膜B剂获取的黑色泥岩岩心



图7 运用成膜B剂获取的红色砂岩岩心

5 结语

(1)根据地质信息,设计合适的井身结构,在实际钻探作业中要及时优化井身结构,由于地层复杂,上部为第四系地层,下部主要是泥岩、砂岩地层,地层具有不稳定性,易水化坍塌、缩径,容易出现井内事故,三开井身设计是比较适合的选择,预留一级技术套管尤为必要。

(2)成膜防塌冲洗液体系具有优良的防塌和护壁性能,适合于水敏性强、易水化分散等复杂地层的岩心钻探,有利于保持岩心完整不分散,保持井壁相对稳定,降低了井内事故发生的可能性,有利于提高钻进效率。

(3)在松辽盆地滨北地区施工的4口小口径油气地质调查井,井下地层十分复杂,钻探技术难度

高,所取得的施工经验,可为该地区后续油气地质调查井钻探施工提供良好的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王彧嫣,白羽,黄书君,等.2018年国内外油气资源形势分析[J].中国矿业,2019,28(7):1-6.
- [2] 李阳,薛兆杰,程喆,等.中国深层油气勘探开发进展与发展方向[J].中国石油勘探,2020,25(1):45-57.
- [3] 王世炬,刘昕伟,王烁,等.潮页1井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):33-37.
- [4] 门相勇,王陆新,王越,等.新时代我国油气勘探开发战略格局与2035年展望[J].中国石油勘探,2021,26(3):1-8.
- [5] 谢玉洪,高阳东.中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J].中国石油勘探,2020,25(1):20-30.
- [6] 伍晓龙,朱芝同,董向宇,等.小口径油气地质调查井的问题与工程实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):27-32.
- [7] 马秀春.通地-1井绳索取心钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):40-44,52.
- [8] 齐治虎,魏思宇,徐影,等.安徽北部地区小口径地质调查井施工技术研究[J].钻探工程,2021,48(S1):143-147.
- [9] 刘选朋,郑秀华,王志民,等.硅酸盐防塌泥浆研究及其在碳质泥岩钻探中的应用[J].地质与勘探,2010,46(5):967-971.
- [10] 孙飞飞,宋世杰,葛晓华.聚合物钻井液体系在松辽盆地油气井中的应用[J].地质装备,2021,22(3):36-38.
- [11] 田明锦,孙平贺,曹函,等.固结钻井液对湘西北页气储层的护壁机理研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):193-196.
- [12] 蔡晓文,李晓东,牛彦杰,等.甘肃山丹花草滩煤矿扩大区煤炭详查钻井液工艺及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):56-60.
- [13] 王正浩,杜文斌.柴达木盆地深层钾盐察ZK02孔施工工艺[J].中国煤炭地质,2014,26(10):61-64.
- [14] 张健松,刘永升,李之军,等.地质钻探复杂地层固壁堵漏新工艺[J].地质与勘探,2020,56(4):819-825.
- [15] 舒义勇,孙俊,周华安,等.哈拉哈塘区块标准井防阻卡钻井液技术[J].石油钻采工艺,2020,42(3):296-300.

(编辑 王文)