

银额盆地蒙苏地1井钻井设计与施工

钱锋, 赵远刚, 黄晓林, 石绍云, 罗显梁

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都611734)

摘要:蒙苏地1井是中国地质调查局部署在银额盆地艾特格勒凹陷的一口大口径重点油气地质调查井,根据该区块地层地质概况和钻井施工技术难点,从井身结构、钻具组合、钻头选型和钻进工艺等方面对蒙苏地1井钻井工程进行了优化设计。综合采用“简化井身结构+非常规钻具组合+常规钻头选型+强抑制性泥浆”的钻井技术方案,解决了中生界巴音戈壁组和二叠系上部地层的高硬度、可钻性差、裂缝构造易井斜及井壁失稳等一系列难题,顺利完成了该井的钻井施工任务。该井完钻井深2763.66 m,完钻口径215.9 mm,平均机械钻速3.51 m/h,成功揭示了中生界和石炭—二叠系岩石组合特征及含油气性,优质、高效、零事故完成各项目标任务。

关键词:油气地质调查;钻井设计;钻具组合;钻头选型;强抑制性泥浆;蒙苏地1井;银额盆地

中图分类号:P634; TE2 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)05-0136-09

Drilling design and construction of Well Mengsudi-1 in Yingen-Ejinaqi Basin

QIAN Feng, ZHAO Yuangang, HUANG Xiaolin, SHI Shaoyun, LUO Xianliang

(Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: The Well Mengsudi-1 is a large-diameter key oil and gas geological survey well deployed by China Geological Survey in the Aaitegle Sag, Yingen-Ejinaqi Basin. In view of the geological conditions and technical difficulties in drilling in this block, optimization has been made for the drilling works of the Well Mengsudi-1 from the aspects of the wellbore structure, the drilling assembly, bit type selection and drilling technology. A drilling technical plan with the combination of “simplified wellbore structure+unconventional drilling assembly+conventional bit selection+strong inhibitory mud” was adopted and eliminated a series of problems such as high hardness, poor drillability, easy well deviation and wellbore instability in fractures in Mesozoic Bayingebi Formation and Upper Permian, leading to the successful completion of the Well Mengsudi-1. Drilling of the well was completed at 2763.66m with the diameter of 215.9mm, and the average drilling rate of 3.51m/h. The well successfully revealed the characteristics of Mesozoic and Carboniferous Permian rock assemblages and oil and gas potential, meeting various objectives and tasks with high quality, high efficiency and zero accidents.

Key words: oil and gas geological survey; drilling design; drilling tool assembly; bit selection; strong inhibitory mud; Well Mengsudi-1; Yingen-Ejinaqi Basin

0 引言

银额盆地位于内蒙古自治区中西部,属于中国

北方勘探程度较低的陆相断陷盆地,是支撑北方新区新层系油气调查科技攻坚战,实现油气发现的重

收稿日期:2021-09-03; 修回日期:2022-05-14 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.019

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“银额盆地西部—北山盆地群油气地质调查”(编号:DD20190093、DD20190092)、“银额盆地及周缘油气基础地质调查”(编号:DD20179092)

第一作者:钱锋,男,汉族,1983年生,工程师,探矿工程专业,长期从事探矿工程技术研究工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路139号,271623380@qq.com。

引用格式:钱锋,赵远刚,黄晓林,等.银额盆地蒙苏地1井钻井设计与施工[J].钻探工程,2022,49(5):136-144.

QIAN Feng, ZHAO Yuangang, HUANG Xiaolin, et al. Drilling design and construction of Well Mengsudi-1 in Yingen-Ejinaqi Basin [J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):136-144.

点盆地之一。目前已在该地区5个凹陷、3套勘探层系中突破了工业油气流,表明银额盆地具有较好的勘探潜力。盆地中生界和石炭系一二叠系热演化程度较低的地区,具有十分有利的成藏条件,值得进一步勘探。

蒙苏地1井是中国地质调查局部署在该盆地的一口大直径重点油气地质调查井,位于阿拉善盟北部苏红图坳陷艾特格勒凹陷,旨在揭示中生界和石炭一二叠系岩石组合特征及含油气性,钻穿中生界巴音戈壁组至二叠系完钻。

目的层巴音戈壁组下段和二叠系地层岩石非均质性强,存在裂缝构造造斜、强研磨性、可钻性差等难题。针对蒙苏地1井的钻探技术难题,进行钻井工程设计,制定了“简化井身结构+非常规钻具组合+常规钻头选型+强抑制性泥浆”的精细化钻井施工技术方案,并进行了现场应用^[1]。

1 地质概况与技术要求

1.1 地质概况

蒙苏地1井自上而下钻遇地层分别为新生界第四系、白垩系下统银根组、苏红图组、巴音戈壁组以及二叠系阿其德组^[2]。

邻井钻井资料显示,苏红图组上部岩性为一大套的暗紫色泥岩、钙质泥岩夹灰色泥岩,下段岩性上部主要为一套灰色泥岩,下部为含煤的砂砾岩层,泥岩地层易垮塌、缩径^[3-5]。巴音戈壁组上段以大套暗紫色泥岩为主,夹薄层钙质泥岩,下段以大套杂色砂砾岩为主,夹暗紫色泥质砂砾岩,含砾层位较厚,砾石硬度大,倾角较大,夹层较多,且呈不均质性。钻进中扭矩变化大,易跳钻,钻进效率低,伴有渗透性漏失、井斜和垮塌现象^[6]。二叠系一石炭系岩性上部为碎屑岩、碳酸盐岩及火山岩,中上部主要为一套中酸性火山岩为主,下部以细粒石英砂岩、粉砂岩夹砾岩为主,与下覆地层假整合或角度不整合接触。

1.2 技术要求

根据工程实际,技术要求主要参考《直井井眼轨迹控制技术规范》(SY/T5172-2007)和《钻井井身质量控制规范》(SY/T5088)行业标准。具体如下:

(1)设计井深:2500 m,加深钻井不超过3000 m,终孔口径215.9 mm;

(2)平均岩心采取率 $\geq 85\%$,单回次岩心采取率 $\geq 80\%$,破碎地层段岩心采取率 $\geq 70\%$ 。岩心直

径 ≥ 98 mm;

(3)测斜数据采集间隔:一开每钻进40~80 m测斜1次,二开每钻进80~150 m测斜1次;

(4)最大井斜 $\leq 5^\circ$,井底水平位移 ≤ 80 m,全角变化率 $\leq 2.50^\circ/30$ m;

(5)目的层平均井径扩大率 $\leq 18\%$;

(6)井口水平度 $\leq 0.50^\circ$;

(7)本井选用的井控装置为双闸板防喷器,试压稳压时间 ≥ 10 min,允许压降 ≤ 0.7 MPa,密封部位无渗漏;

(8)固井时水泥返高至少超过油气层顶界50 m,油气层顶界以上连续胶结中等以上的水泥环段长度 ≥ 20 m。

2 钻井设计

蒙苏地1井是艾特格勒凹陷以二叠系为目的层施钻的第一口油气地质调查井,钻前进行了物探,对地层进行了层位划分,但下部地层复杂情况不明,存在不可预见的因素。实钻与工程预测可能有一定差别,可能出现井塌、井涌、井斜等复杂情况^[7],有钻遇高压含硫化氢地层的可能性。从设备选择、井身结构、钻具组合、钻头选型和钻进工艺等方面对蒙苏地1井进行了钻井施工设计。

2.1 设备选择

ZJ-30型石油钻机为两机一泵配置,是钻井作业常用的机型之一,具有能耗低、效率高等优点,但最大钩载 ≥ 1700 kN,设计最大钻深 < 2500 m,且在西部无人区作业难以保证设备24 h正常运转。邻井资料显示该地区钻进中扭矩变化大,易跳钻,钻进效率低,伴有渗透性漏失、井斜和垮塌现象,对钻机性能要求较高。最终,根据本井的具体情况,确定使用ZJ-50J型石油钻机,该钻机具有结构简单、操作方便、经久耐用等特点,最大钩载3150 kN,设计最大钻深5000 m,各项性能优良,完全满足此次钻井施工的需要。钻机主要配置见表1。

2.2 井身结构设计

井身结构的设计以钻井安全为第一原则,综合考虑施钻可行性与经济可行性,采用二开井身结构。一开表层套管封隔上部松散易塌地层和可能存在含硫化氢气层的白垩系银根组,钻至苏红图组稳定岩层下入套管。如存在含气层,可立即下入套管并固井。钻进开次情况如下:

表1 钻机主要部件选配

Table 1 Main parts of the drill rig

名称	型号	单位	数量
钻机	ZJ-50J	台	1
井架	JJ315/45-K	套	1
底座	DZ315/7.5-K	套	1
天车	TC/315	台	1
游钩	YG/350	套	1
转盘	ZP-375	台	1
水龙头	XSL-450	台	1
柴油机	12V190	台	3
泥浆泵	3NB-1300A	台	2
防喷器	2FZ35-35	套	1

一开采用 $\Phi 311.2$ mm钻头开孔,钻穿新生界第四系进入中生界50 m稳固岩层以上,下 $\Phi 244.5$ mm套管,预计钻进深度300~500 m。采用常规法固井工艺固井,水泥浆返至地面,封隔上部松散易塌地层,并为井口控制和后续安全钻井创造条件^[8]。

二开采用 $\Phi 215.9$ mm钻头,钻至2500 m根据油气显示情况判断是否达到钻探目的,如果没有油气显示,可继续加深钻进至地质设计井深3000 m。发现油气层下入钢级为J55、 $\Phi 139.7$ mm \times 7.72 mm生产套管固井,水泥浆返至油层顶层300 m以上。

二开裸眼段较长,白垩系苏红图组可能存在水敏性较强的玄武岩夹层,井壁易失稳,为确保目的层的安全钻进施工,按设计可以在一开下入套管封隔^[9]。本井设计井身结构见图1。

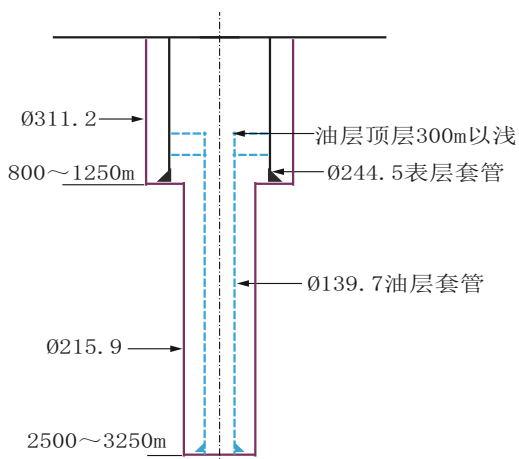


图1 蒙苏地1井设计井身结构

Fig.1 Wellbore structure of Well Mengersudi-1

2.3 钻具组合

充分优化精简钻具组合,既能够保证施工效率,也达到控制井斜的目的。采用了“低摩阻保直钻具组合+抗涡动PDC钻头”技术。

2.3.1 一开(0~500.00 m)

$\Phi 311.2$ mm PDC钻头+630/NC56转换接头+ $\Phi 203$ mm钻铤 \times 2根+ $\Phi 308$ mm螺旋扶正器(1.90 m)+631/NC56转换接头+ $\Phi 203$ mm钻铤 \times 1根+630/NC56变丝接头+ $\Phi 308$ mm螺旋扶正器+ $\Phi 177.8$ mm钻铤 \times 6根+4A10/411变径+ $\Phi 127$ mm加重钻杆 \times 6根+410/4A11变丝接头+ $\Phi 127$ mm钻杆+410/411方保接头+410/411下旋塞+ $\Phi 133$ mm方钻杆。

2.3.2 二开(500.00~2763.66 m)

(1)常规钻进: $\Phi 215.9$ mm PDC钻头+410/430转换接头+ $\Phi 177.8$ mm钻铤 \times 6根+4A10/411变丝接头+ $\Phi 127$ mm加重钻杆 \times 6根+410/4A11变丝接头+ $\Phi 127$ mm钻杆 \times 34根+410/411方保接头+410/411下旋塞+ $\Phi 133$ mm方钻杆。

(2)取心钻进: $\Phi 215.9$ mm PDC取心钻头+川7-4取心工具+ $\Phi 177.8$ mm钻铤 \times 6根+ $\Phi 165$ mm钻铤 \times 3根+4A10/411变丝接头+ $\Phi 127$ mm加重钻杆 \times 6根+410/4A11变丝接头+ $\Phi 127$ mm钻杆 \times 267根+410/411方保接头+410/411下旋塞+ $\Phi 133$ mm方钻杆。

(3)防(纠)斜钻进: $\Phi 215.9$ mm钻头+172螺杆马达(1.25°)+定向短接+ $\Phi 165$ mm无磁钻铤 \times 1根(MWD)+ $\Phi 177.8$ mm钻铤 \times 6根+4A10/411变丝接头+ $\Phi 127$ mm加重钻杆 \times 6根+410/4A11变丝接头+ $\Phi 127$ mm钻杆+410/411方保接头+410/411下旋塞+ $\Phi 133$ mm方钻杆。

优选的钻杆接头比普通钻杆长50%,可以提供较大的耐磨表面和质量,接头螺纹可以多次修复。此外,加重钻杆整体比同尺寸的普通钻杆重,壁厚增加了2~3倍,内平接箍,钻杆内径等于钻铤内径。中部外侧加厚段起小型稳定器作用,增加了抗弯曲性能,接头表面敷焊耐磨的硬质合金,寿命可以延长4倍^[10]。钻柱疲劳失效常发生在钻铤以上数根钻杆上,因为从钻铤过渡到钻杆时断面急剧变化,弯曲应力集中在这部分钻杆上。在钻铤和钻杆之间加入15~30根加重钻杆,则可以缓和断面的变化,减少应力集中,防止与钻铤连接的钻杆发生疲劳破坏,从

而减少钻具事故。另外,与钻铤相比,加重钻杆还有打捞容易、可缩短起下钻时间、搬运方便等优点,并能保持定向井的方位,起到稳斜作用。在大钩负荷和钻压相同的情况下,使用加重钻杆,还可提高钻机的钻深能力。

2.4 钻井液设计

2.4.1 钻井液总体要求

本井主要使用强抑制性钻井液体系,需要满足“五个有利于”的技术要求,即有利于发现和保护油气层、有利于地质资料录取、有利于快速钻进和安全钻井、有利于复杂情况的处理和预防以及有利于环境保护^[11]。此外,白垩系苏红图组部分岩性胶结松散,钻井液必须控制好流变性和水力参数,防止井径扩大,选用聚合物非渗透防塌钻井液体系,以达到携带岩屑、稳定井壁、保护油气层、确保安全钻进的目的。巴音戈壁组下段钻井过程中应注意防漏、防塌和砂岩短的阻卡,井斜段加足润滑剂,有效减低摩擦阻力,防止粘卡,根据预计的油气层位置,提前做好储层保护工作。钻井液密度设计参考了邻井(艾2井),现场根据实际需要及时调整钻井液密度,在保证安全的前提下,做到近平衡钻井,充分解放和保护好油气层^[12]。

2.4.2 一开钻井液

一开使用聚合物无固相钻井液,配方:淡水+

0.1%~0.2%KPAM+0.1%~0.2%FA368,钻井液密度 1.03 g/cm^3 ,漏斗粘度维持在30~35 s,pH值7~8。钻进中强化固控措施,保证振动筛及其它固控设备连续使用。维护井内钻井液性能时,将聚合物处理剂配成胶液,再均匀加入井内^[13]。若表层砂塌和渗漏严重时,换入预水化膨润土浆钻进。停泵作业和下套管前用稠浆循环携砂、垫底,推荐稠浆配方为:5%~7%膨润土浆+0.2%~0.4%CMC-HV。

2.4.3 二开钻井液

二开上段进入巴音戈壁组之前使用聚合物无固相钻井液,配方:井浆+0.1%~0.3%KPAM+0.1%~0.3%FA368。出 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 套管前,严禁使用清水钻开地层,必须使用加有足够量的抑制剂和包被剂的聚合物钻井液,防止地层早期出现水化膨胀造成地层不稳定。该井段裸眼段长,携砂防垮塌是关键,停泵作业前,应用稠浆携砂、垫底,推荐配方为:0.2%KPAM+0.2%FA367+0.2%~0.4%CMC-HV。进入苏红图组后,采用小循环适量加入特种泥浆性能调节剂(SD-21)0.1%~0.2%,使钻井液API滤失量控制在8 mL以内,进入巴音戈壁组后滤失量控制在5 mL以内,必要时加入适量膨润土。本段钻井液性能见表2。

表2 钻井液性能

Table 2 Drilling fluid properties

密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	漏斗粘 度/s	API滤失 量/mL	泥饼厚度/ mm	pH值	含砂量/ %	摩阻系数	静切力/Pa		塑性粘度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	动切 力/Pa
							初切	终切		
1.03~1.04	30~35	5~8	1	7~8	≤ 0.2	≤ 0.12	1~2	2~4	2~10	1~5

二开下段的钻井液以控制巴音戈壁组井径扩大为主,应注意钻井液的抑制性、低滤失性及泥饼质量^[14],将钻井液转化为膨润土聚合物钻井液,推荐配方:2%~4%膨润土+0.3%~0.5% Na_2CO_3 +0.8%~1.2% SMP-2+0.8%~1.2%无荧光防塌降滤失剂+0.1%~0.2%SD-21+重晶石。在进入巴音戈壁组20~30 m起钻,下光钻杆进行地层承压堵漏作业,保证堵漏压力 $< 5.0\text{ MPa}$,稳压10 min以上。

钻进至二叠系时,适当提高钻井液密度,使其维持在 $1.15\sim 1.20\text{ g/cm}^3$,防止下部地层的坍塌、掉块,

净化井筒,减少电测遇阻问题。如果起下钻(接单根)有遇阻现象应及时配稠浆进行清洗井眼,将井眼内的沉砂或掉块清洗干净后,再重新下钻和钻进,以防阻卡^[15]。

2.5 钻头选型与钻井参数设计

2.5.1 钻头选型

为确保按期完成工作任务和地质录井的准确性,参考邻井资料对钻头进行选型。全面钻进时优先选用PDC钻头提速,加强气测监控,钻遇油气显示地层或火成岩地层时根据实际情况调整使用钻头。取心钻进考虑钻井效率,采用PDC取心钻头。

钻头设计总体计划见表3。

2.5.2 钻进参数

防斜打快的关键技术是如何确定最优钻压,随着钻井深度的增加,最优钻压是个变量,控制好钻压是蒙苏地1井成功实施的关键。钻压的控制是由钻具组合类型决定的,常规钻具组合通常采用大钻压钻进,钻铤5~6柱,加重钻杆16~18根,可以大大增

加井底钻压,提高机械钻速。在造斜地层中使用此钻具组合,虽然可以增加钻具刚度,提高钻压的传递效率,但是,同样会增加造斜力,使井斜增加^[16]。本井使用中等钻压可以保证井壁平滑度,有效传递钻压,降低井斜,减少钻头的磨损和冲击破坏,提高钻头寿命,减少起下钻次数,最终达到提高施工效率的目的。本井钻进参数见表4。

表3 钻头选型设计
Table 3 Bit selection design

设计地层	井段/ m	岩性	取心筒次	钻头直径/ mm	钻头型号	风险提示
第四系	150	由未成岩粘土层和砂砾层组成		311.2	KTS5195PDC、HJ517(备用)	砂砾层未成岩,易垮塌;粘土易吸水膨胀
白垩系银根组	454	灰色泥岩、砂质泥岩与灰色砂岩、含砾砂岩、砂砾岩不等厚互层	油气显示 取心	311.2 (取心 215.9)	KTS5165PDC(单排)、普通PDC取心钻头	
白垩系苏红组	1250	紫红色泥岩、钙质泥岩夹灰色泥岩,局部见紫红色砂砾岩。		215.9	KTS5165PDC	
巴音戈壁组上段	1700	灰、深灰色,灰黑色粉砂质泥岩,泥岩,灰质泥岩和白云质泥岩。	1~5	215.9	KTS5165PDC(双排)、KTS5165FA(砾石层专用)、HRDQX-74-12JK	砾岩层砾径大,部分层段为粘土胶结,较松散,容易形成掉块;砂岩容易形成泥饼缩径;泥岩段容易扩径
	2542		1~5	215.9	KTS5165FA(砾石层专用)、HJ617、HRDQX-74-12JK	
巴音戈壁组下段	2892	深灰色砂砾岩、泥质砂岩夹深灰色泥岩	1~8	215.9	KTS5165FA(砾石层专用)、HJ617、普通PDC取心钻头	
二叠系	3000	主要为灰绿色安山岩等火山岩,局部夹灰色泥岩(未穿)。	1~2	215.9	HJ617、H637、HRDQX-74-12JK	顶部风化壳含气预防井喷

表4 钻进参数设计
Table 4 Drilling parameter design

井段/m	井径/mm	钻头型号	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	备注
0~500	311.2	KTS5195、HJ 517	60~100	70~100	50	
500~1500	222.5	KTS5195、HJ 517	60~80	70~100	35	
1500~3000	215.9	KTS5195、KTS5165FA、HJ617、J637	60~80	70~100	35	
500~3000	215.9	PDC取心钻头、HRDQX-74-12JK	60~80	70~100	32	取心段

2.6 井下复杂预防及处理

该区泥岩、灰岩裂缝发育,钻井过程中容易发生井漏现象,使井筒内钻井液漏入地层孔隙、裂缝等空

间。钻井过程中应加强泥浆漏失监控,及时调整泥浆性能。发现井漏后如遇泥浆罐液面下降应立即向环空灌注钻井液,且必须灌满。在确保井控安全的

前提下用方钻杆上提钻具起钻,起钻时及时灌满钻井液,起至安全井段后试循环,静止堵漏,再试循环,在此期间必须做好坐岗观察工作,以确保井控工作的安全。渗透性或裂缝性漏失较严重时,可加入颗粒状为主的固体堵漏剂,或泵入含有堵漏材料的稠钻井液。

区内第四系为松散层,成岩程度低,砂岩层段易垮塌,粘土层吸水易膨胀,容易造成井内事故,因此可能会导致钻井井壁垮塌,应提前做好预防措施。可通过提高钻井液密度至设计上限、减轻钻具对井壁的碰撞和压力激动以及减轻流体对井壁的冲刷,加入低荧光或无荧光防塌抑制剂改变钻井液滤液的性质,满足对泥岩的有效抑制和封堵等方式,减小或消除井塌。

阿木山组砂岩容易缩径(形成泥饼),泥岩段容易扩径(掉块或垮塌),容易造成卡钻事故。第四系和新近系砂砾岩成岩程度低,易垮塌。部分层段为粘土胶结,较松散,容易形成掉块造成卡钻事故。保持良好的钻井液性能,降低钻井液中的无用固相含量,改善钻井液固相颗粒的匹配,使井筒清洁畅通,使用润滑剂改善钻井液及其滤饼的润滑性。钻具在井内静止时间 ≥ 3 min,上提遇卡不得超过100 kN,下放遇阻不超过50 kN,活动钻具距离 ≤ 5 m。钻进中扭矩异常时,及时上提钻具,使钻头离开井底至少5 m,活动钻具。

工区特点多表现为高造斜性,但各个层位造斜性各异,针对不同地层倾角不同井斜控制要求,优选不同的防斜钻具结构,以达到各自的应用效果。对于中等倾角地层,采用特殊钟摆系列钻具,配合适当钻压,可以将井斜控制在要求范围。对于偏离地质设计数据倾角 $> 30^\circ$ 的孔段,井斜难以控制,极低的钻压也会导致井斜缓慢增长,采用钟摆钻具防斜,螺杆钻具实施纠斜、防斜。钻进过程中应严格按照设计要求进行井眼轨迹监测,当井斜超标时,及时采取MWD定向纠斜保直。

3 钻井施工

为提高施工效率,根据地层情况判定,蒙苏地1井可采取不下井口管快速钻进方案进行提速。

3.1 一开井段

一开采用 $\Phi 311.2$ mm牙轮钻头钻进,钻至井深419.00 m,岩性改变为灰色泥质砂岩,较为稳定,起

钻准备下套管固井,一开完钻。下入 $\Phi 244.5$ mm表层套管37根,钢级J55,壁厚8.89 mm,下深418.50 m,注水泥浆 21 m^3 ,密度为 1.85 g/cm^3 ,水泥返出地面,固井结束。

3.2 二开井段

3.2.1 钻进过程

二开采用 $\Phi 215.9$ mm口径钻进,钻达2763.66 m完钻。全井共计取心4回次,取心进尺27.63 m,岩心长26.12 m,平均岩心采取率94.53%。

3.2.2 多层位涌水

自开钻以来,蒙苏1井共出现3次地层涌水复杂工况。由于缺少该区钻井资料,设计钻井液密度偏低,无法满足平衡地层压力的需要,在起下钻抽汲压力作用下,地层内承压水大量涌出,严重影响施工安全。3次涌水事件的经过为:

(1)井深1110 m时起钻更换钻头,起至450 m,振动筛处出现溢流,现场组织接方钻杆后,高压水喷出转盘面2 m以上,加入重晶石将泥浆密度调至 1.26 g/cm^3 后成功压井。

(2)井深1958 m时起钻更换电磁刹车,起至970 m时,再次发生溢流,调整泥浆密度至 1.28 g/cm^3 后才完全控制住涌水。判断水层位于950~1050 m的苏红图组地层内。

(3)起钻更更换取心工具,下钻至1466 m时,含水层高压水喷出井口,立即注入加重泥浆(密度 1.30 g/cm^3)后平衡住水压,恢复正常施工。

3.2.3 井斜

本井使用了无线随钻定向钻进技术,解决了中生界巴音戈壁组地层裂缝构造造斜难题^[17]。最大水平位移10.9 m,最大井斜角 2.45° ,如图2所示。

3.3 关键钻进技术

3.3.1 硬岩钻进技术

针对本井巴音戈壁组下段的高硬度、强研磨性造斜地层,综合采用“简化井身结构+常规钻头+非常规钻具组合+强抑制性钻井液体系”的钻进技术方案。主要目的是通过钻具和工艺保证井的垂直度和井壁的平滑度来降低摩擦阻力,有效传递钻压和扭矩,减少钻柱的振动,最终达到提高钻进效率和保证工程质量的目的。

本井的第四系、中生界乌兰苏海组、银根组、苏红图组和巴音戈壁组二段适合使用PDC钻头钻进,在巴音戈壁组一段和二叠系的砾岩层中适合使用

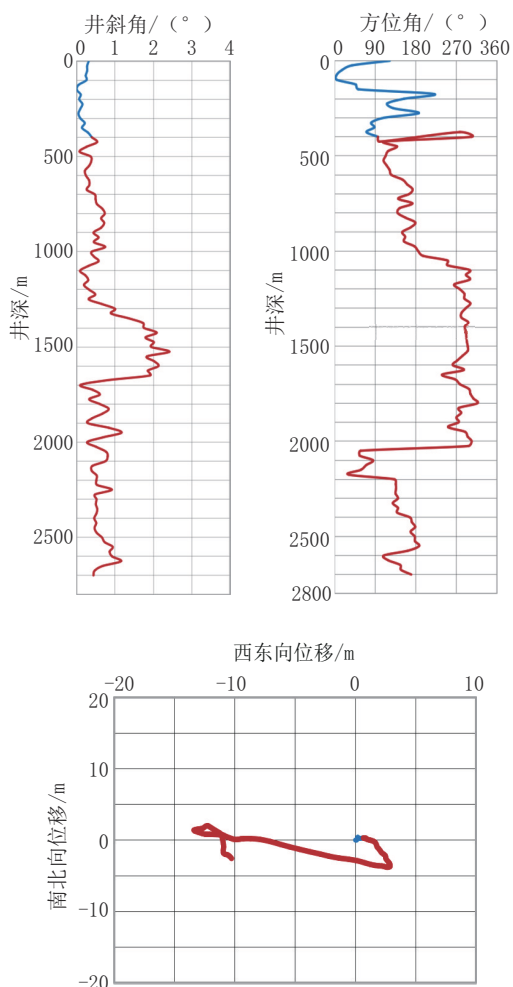


图2 蒙苏地1井井斜空间轨迹和位移

Fig.2 Spatial trajectory and displacement of the well deviation of Well Mengsudi-1

537、617或637牙轮钻头钻进。取心钻头采用PDC

钻头效率高,虽然在二叠系砾岩中机械钻速低至0.18 m/h,但是根据相似层位钻进效率判断,钻进效率仍高于孕镶金刚石钻头。

3.3.2 取心钻进技术

本井取心主要针对二开井段,通过取心了解二开段各层段岩性特征和油气特性,以方便对含油气性地层进一步分析。采用川7-4型取心钻具,钻具结构如图3所示,取心钻头如图4所示。

钻具参数为:外筒尺寸 $\Phi 172\text{ mm} \times \Phi 136\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ (外径 \times 内径 \times 壁厚),内筒尺寸 $\Phi 121\text{ mm} \times \Phi 108\text{ mm} \times 6.5\text{ mm}$ (外径 \times 内径 \times 壁厚),岩心直径 $\geq 98\text{ mm}$,钻头外径215.9 mm,顶端扣型 $4\frac{1}{2}\text{ in}$ (114.3 mm)API IF(可根据具体情况变换扣型),外筒上扣扭矩12.5~13.3 kN·m,外筒猫头绳二挡三道,外筒抗拉强度1100 kN、抗扭强度16 kN·m。

取心工艺参数见表5,共计取心4个回次,取心进尺27.63 m,获取大直径($\Phi 100\text{ mm}$)岩心26.12 m,其中白垩系岩心13.30 m,二叠系岩心12.82 m,为判定关键储层层位岩性、建立地层剖面 and 油气资源评价提供了可靠的实物地质资料。具体取心情况见表6,典型岩心如图5所示。

3.4 钻进效果

蒙苏地1井一开采用 $\Phi 311.2\text{ mm}$ 口径钻进至419.00 m,换 $\Phi 215.9\text{ mm}$ 口径钻进口袋至井深449.00 m,一开中完,下 $\Phi 244.5\text{ mm}$ 石油套管至井深418.50 m固井。二开 $\Phi 215.9\text{ mm}$ 口径钻进至2763.66 m,其中:取心钻进4个回次,取心进尺27.63 m,心长26.12 m,平均岩心采取率94.53%;钻

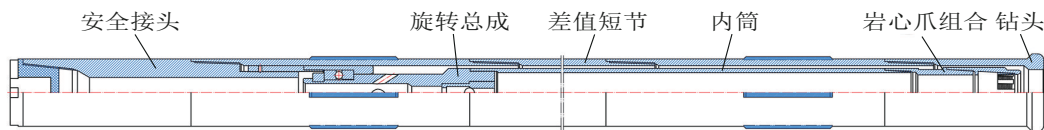


图3 川7-4型取心钻具结构

Fig.3 Chuan7-4 core barrel

表5 取心工艺参数

Table 5 Coring parameters

钻头参数			钻进参数				水力参数						
外径/mm	型号	喷嘴直径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	总泵压/MPa	喷嘴压降/MPa	喷射速度/(m·s ⁻¹)	水功率/kW	比水功率/(W·mm ⁻²)	冲击力/kN	上返速度/(m·s ⁻¹)	钻井液密度/(g·cm ⁻³)
215.9	PDC取心钻头	10、11各2个	60~80	70~100	32	10.64	5.99	96	192	5.24	4.15	1.44	1.07~1.20



图4 取心钻头
Fig 4 Coring bit

表6 蒙苏地1井取心情况

Table 6 Coring results of Well Mengsudi-1

取心井段/ m	取心进尺/ m	出心长度/ m	岩心采取率/ %
1977.52~1984.97	7.45	7.43	99.70
2383.81~2390.33	6.52	5.87	90.03
2750.00~2757.13	7.13	6.94	97.33
2757.13~2763.66	6.53	5.88	90.05
合计	27.63	26.12	94.53



图5 2750.00~2757.13 m代表性岩心

Fig.5 Representative cores from 2750.00 to 2757.13m

井施工周期67 d,其中纯钻进时间32.9 d;平均机械钻速3.51 m/h,平均台月效率1275.5 m。全井时效分析见图6。

本井白垩系银根组作为烃源岩主力发育层位,沉积环境不稳定性发育棕红色、棕褐色泥岩;苏红图组地层上部发育厚层棕褐色泥岩、褐灰色灰质泥岩和绿灰色灰质泥岩;巴音戈壁组二段也发育绿灰色灰质泥岩;银根组沉积相为氧化环境,有机质丰度差,不具备生油条件;苏宏图组、巴音戈壁组发育有暗色烃源岩。

本井储层属于河流、浅海—湖泊相沉积,伴有洪积、冲积相沉积岩体,砂、砾、泥混积,物性差,沉积环境差,储集条件较差。白垩系银根组、苏宏图组泥岩成岩性好,压实作用好,成为很好盖层。

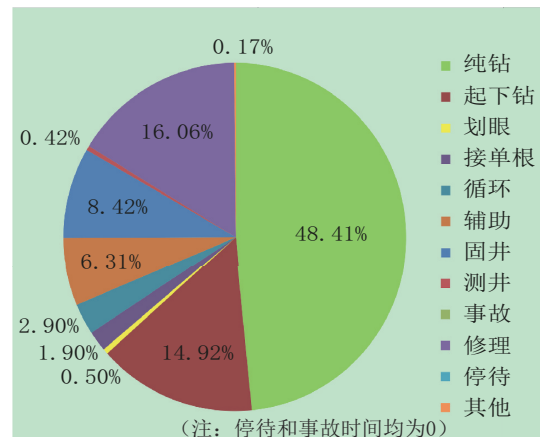


图6 蒙苏地1井施工时效分析

Fig.6 Analysis of drilling time efficiency of Well Mengsudi-1

4 结语

蒙苏地1井完钻井深2763.66 m,完钻口径215.9 mm,平均机械钻速3.51 m/h,平均台月效率1275.5 m,优质、高效、零事故完成各项目标任务。

(1)综合采用“简化井身结构+非常规钻具组合+常规钻头+强抑制性泥浆”的钻井技术方案,有效解决了中生界巴音戈壁组和二叠系上部地层的高硬度、强研磨性、裂缝构造造斜及井壁失稳等一系列难题,为深部大直径硬岩钻进提供借鉴。

(2)共计取心4个回次,取心进尺27.63 m,获取大直径(Ø100 mm)岩心26.12 m,其中白垩系岩心13.30 m,二叠系岩心12.82 m,为判定关键储层层位岩性、建立地层剖面 and 油气资源评价提供了可靠的实物地质资料。

(3)建议对白垩系、石炭系一二叠系地层沉积特征和分布规律进一步研究,以提高下步勘探成功率,利用地球物理储层预测方法在本井区加强物探资料及区域地质资料更深入的综合分析研究,选择更有利的部位布井,力争在该区获得油气突破。

参考文献(References):

[1] 赵远刚,吴琳,石绍云,等.地质调查预算分列钻探项目管理模式创新研究与实践[J].钻探工程,2021,48(4):54-59.
ZHAO Yuangang, WU Lin, SHI Shaoyun, et al. Innovation research and practice on the management mode for separate budget drilling projects in geological survey [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4): 54-59.

[2] 王志伟.银额盆地巴北凹陷延巴参1井烃源岩评价[J].石化技术,2018,25(9):201.

- WANG Zhiwei. Source rock evaluation of Well Yanbacan 1 in Babei Sag, Yine Basin[J]. *Petrochemical Technology*, 2018, 25(9):201.
- [3] 白晓寅, 贺永红, 任来义, 等. 银根—额济纳旗盆地苏红图坳陷西区构造特征与演化[J]. *延安大学学报(自然科学版)*, 2017, 36(2):57-61.
- BAI Xiaoyin, HE Yonghong, REN Laiyi, et al. Tectonics and evolution of the West Suhongtu Depression in Yingen-Ejinaqi Basin[J]. *Journal of Yan'an University (Natural Science Edition)*, 2017, 36(2):57-61.
- [4] 卫平生, 姚清洲, 吴时国. 银根—额济纳旗盆地白垩纪地层、古生物群和古环境研究[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2005, 20(2):17-21, 6.
- WEI Pingsheng, YAO Qingzhou, WU Shiguo. Study on cretaceous stratum, palaeobiota and palaeoclimate of Yin'gen-Ejinaqi Basin[J]. *Journal of Xi'an University of Petroleum (Natural Science Edition)*, 2005, 20(2):17-21, 6.
- [5] 江小青. 柴达木盆地西部地区深层气成藏条件及典型油气藏解剖[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- JIANG Xiaoqing. A study on formation conditions of deep gas and anatomy of a typical oil and gas reservoirs in the western Qaidam[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [6] 刘春燕, 林畅松, 吴茂炳, 等. 银根—额济纳旗中生代盆地构造演化及油气勘探前景[J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1328-1335.
- LIU Chunyan, LIN Changsong, WU Maobing, et al. Tectonic evolution and petroleum prospects of the Mesozoic Yingen-Ejinaqi Basin, Inner Mongolia[J]. *Geology of China*, 2006, 33(6):1328-1335.
- [7] 袁建强, 何振奎, 刘霞. 泌深1井钻井设计与施工[J]. *石油钻探技术*, 2010, 38(1):42-45.
- YUAN Jianqiang, HE Zhenkui, LIU Xia. Well Bishen-1 drilling design and operation[J]. *Petroleum Drilling Technology*, 2010, 38(1):42-45.
- [8] 李红. 兴古7-H209井钻井液方案设计[J]. *内蒙古石油化工*, 2012, 38(19):61-63.
- LI Hong. Drilling fluid project design of Xinggu 7-H209 well[J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2012, 38(19):61-63.
- [9] 周勇, 杨叶辉, 谢春强, 等. 白音查干区块气体钻井技术研究与应用[J]. *天然气技术与经济*, 2011, 5(6):40-42, 79.
- ZHOU Yong, YANG Yehui, XIE Chunqiang, et al. Research and application of gas drilling technology in Baiyinchagan Block[J]. *Natural Gas Technology and Economy*, 2011, 5(6):40-42, 79.
- [10] 刘光磊. 石油钻柱疲劳腐蚀失效机理及防治措施研究[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2007.
- LIU Guanglei. Study on weary petroleum drill post corrosion loses efficacy mechanism and prevention and cure measure[D]. Dongying: China University of Petroleum, 2007.
- [11] 熊军. 欠平衡钻井技术在梨深1井的应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2008, 35(6):37-40.
- XIONG Jun. Application of underbalanced drilling technology in Lishen-1 well[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2008, 35(6):37-40.
- [12] 黄纪勇. 煤层气开发常用钻井完井技术应用分析[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2017, 37(18):182-183.
- HUANG Jiyong. Application analysis of common drilling and completion technologies for coalbed methane development[J]. *China Petroleum and Chemical Standards and Quality*, 2017, 37(18):182-183.
- [13] 陶永平. 下川东复杂非钻井液体系深化研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2015.
- TAO Yongping. Deepening research on drilling fluid system of complex wells in Lower Eastern Sichuan[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2015.
- [14] 宁印平, 崔迎春, 薛波, 等. 鄂尔多斯盆地延长区块天然气探井钻井液技术改进与应用[J]. *钻井液与完井液*, 2009, 26(2):126-128, 140.
- NING Yinping, CUI Yingchun, XUE Bo, et al. Drilling fluid technology for gas exploration wells in Block Yanchang in Erdos Basin: Improvement and application[J]. *Drilling Fluid and Completion Fluid*, 2009, 26(2):126-128, 140.
- [15] 孙方龙, 李子钰. 复合欠饱和盐水钻井液体系在顺北志留系复杂地层的应用[J]. *钻探工程*, 2021, 48(7):65-71.
- SUN Fanglong, LI Ziyu. Application of the composite under-saturated brine drilling fluid system in drilling of Silurian complex formation in Shunbei[J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(7):65-71.
- [16] 魏文忠, 王振光, 张军. 草20-平4井钻井技术[J]. *西部探矿工程*, 1993(6):58-60.
- WEI Wenzhong, WANG Zhenguang, ZHANG Jun. Drilling technique of Cao20-Pin4 well[J]. *West-China Exploration Engineering*, 1993(6):58-60.
- [17] 赵远刚, 樊腊生, 李前贵, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4孔套管护壁技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2014, 41(9):109-113.
- ZHAO Yuangang, FAN Lasheng, LI Qiangui, et al. Wall casing protection technology in WFSD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2014, 41(9):109-113.

(编辑 李艺)