

下扬子地区页岩气地质调查皖望地3井 钻井设计与施工技术

闫家¹, 刘蓓^{*1,2}, 曹龙龙¹, 张恒春¹, 王文¹,
王稳石¹, 尹浩¹, 薛倩冰¹, 梁楠¹, 任启伟¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000;
2. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西西安 710100)

摘要: 大口径页岩气地质调查井皖望地3井部署在下扬子陆块沿江拗陷带望江凹陷, 是一口定向井, 设计井深1950 m, 完钻井深1985 m。钻探目的是探索二叠系大隆组、龙潭组及孤峰组含气性, 并验证区域地层层序。本文介绍了钻井设计和施工过程, 针对钻井作业中的险点和难点问题, 通过预判和实钻相结合策略, 提出了钻井安全、定向钻进、钻井液使用管理以及地质云钻井工况实时监测等4项技术保障措施, 确保了钻井任务顺利完成。最后, 结合实际钻井情况和测井数据对钻井质量、效率及取心质量进行了分析评述, 实现了无重大井内事故发生, 钻井质量合格, 施工进度高效的目标, 取得了较好的经济效益, 为该地区大口径钻井工程施工提供了较好的技术经验。

关键词: 页岩气; 地质调查井; 大口径井; 定向钻井; 无线随钻测量; 钻井液; 地质云

中图分类号: P634; TE2 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)03-0074-09

Drilling design and construction technology of shale gas geological survey Well Wanwangdi-3 in the Lower Yangtze Block

YAN Jia¹, LIU Bei^{*1,2}, CAO Longlong¹, ZHANG Hengchun¹, WANG Wen¹,
WANG Wenshi¹, YIN Hao¹, XUE Qianbing¹, LIANG Nan¹, REN Qiwei¹

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

2. Xi'an Mineral Resources Research Center of China Geological Survey, Xi'an Shaanxi 710100, China)

Abstract: The Well Wanwangdi-3 (hereinafter referred to as Well WWD-3) is a large-diameter shale gas geological survey directional well which was deployed in Wangjiang Depression of the Lower Yangtze Block, the design depth is 1950m, and the total depth is 1985m. The purpose of drilling is to explore the gas content of the Permian Dalong Formation, Longtan Formation and Gufeng Formation, and verify the regional stratigraphic sequence. This paper introduces the well design and construction process of Well WWD-3, in view of the risks and problems in drilling process, combining the predictive and actual drilling, four technical guarantee measures are put forward including drilling safety, directional drilling, drilling fluid use management and geocloud real-time monitoring of drilling conditions, to ensure the smooth and successful completion of drilling tasks. Finally, combining the actual drilling situation and logging data, the drilling quality, efficiency and core quality were analyzed. The goals of no major accidents during the drilling process, qualified drilling quality, and high-efficient construction progress were achieved.

收稿日期: 2023-01-11; 修回日期: 2023-04-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.03.010

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“智能化深部钻探技术升级与应用示范”(编号: DD20211421)、“苏皖赣地区页岩油气战略选区调查(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号: DD20201171)

第一作者: 闫家, 男, 汉族, 1987年生, 高级工程师, 地质机械仪器专业, 硕士, 从事涡轮钻具、取心钻具及深部钻探工艺方法研究工作, 河北省廊坊市金光道77号, yj18531665717@163.com。

通信作者: 刘蓓, 男, 汉族, 1986年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 从事地质钻探工程施工和技术管理工作, 陕西省西安市长安区凤栖西路7号, liubei02105228@163.com。

引用格式: 闫家, 刘蓓, 曹龙龙, 等. 下扬子地区页岩气地质调查皖望地3井钻井设计与施工技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(3): 74-82.

YAN Jia, LIU Bei, CAO Longlong, et al. Drilling design and construction technology of shale gas geological survey Well Wanwangdi-3 in the Lower Yangtze Block[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3): 74-82.

Good economic benefits were obtained, meanwhile, good technical experience for the construction of large-diameter drilling projects in this area is also provided.

Key words: shale gas; geological survey well; large-diameter well; directional well; wireless measured while drilling; drilling fluid; geocloud

0 引言

为缓解油气资源供需压力,提高国内能源资源保障能力,近些年国家大力发展天然气,重点突破页岩气和煤层气开发,长江经济带页岩气新区块发现及油气突破被列入中国地质调查局确定的五大攻坚战之一^[1]。其中,下扬子地区页岩气地质调查皖望地3井工程是在下扬子地区望江凹陷冲断带推覆构造位置以二叠系页岩气勘探及基础地质研究为目的的一口大口径地质调查定向井,是地调局“优先突破下游,创建页岩气新格局”战略布局的具体落实,对实现新区、新层系页岩气发现意义重大。

1 工程概况

皖望地3井所在工区因地表水系非常发育、坑

塘较多、地基普遍松软且承载力差,常用“垂直井”需要大量资金进行井场建设。因此,工程实施初期即确定了最有利的“定向井”工程技术支撑地质目标并解决地表环境困扰难题。

1.1 地质情况

区块页岩气调查程度低,可参考的邻井仅有皖望地1井(2019年)、皖望地2井(2020年)及同期施工的皖望地4井。皖望地1井钻深1305 m,仅钻遇了部分二叠系孤峰组、三叠系周冲村组地层,显示3层气测异常,累计视厚度18 m,其中二叠系孤峰组15 m,二叠系栖霞组3 m;皖望地2井钻深1632 m,受复杂地层影响仅揭露三叠系和龙山组部分地层,而未钻穿三叠系,目的层未揭示^[2]。皖望地3井预测与实钻地层见表1。

表1 皖望地3井地层情况
Table 1 Lithology of Well WWD-3

地层名称	预测地层		实钻地层		实钻地层岩性
	底深/m	厚度/m	底深/m	厚度/m	
第四系	60	60	25	25	土黄色粘土
新近系—古近系	300	240	648	623	褐红色泥岩、粉砂质泥岩夹浅灰色粉砂岩,浅灰色泥岩为主,夹有浅灰色粉砂岩
白垩系赤山组	900	600	1123	475	厚层状泥岩、细砂岩与砾岩
二叠系大隆组	—	—	1136	13	黑色炭质泥岩
三叠系南陵湖组	1150	250	1220	84	以灰色、灰白色灰岩为主,夹有大段灰色、灰白色白云质灰岩和薄层含泥灰岩
二叠系大隆组	—	—	1258	38	黑色炭质泥岩
三叠系和龙山组	1390	240	1395	137	厚层状灰岩、泥质灰岩、灰色砾屑灰岩
三叠系殷坑组	1590	200	1580	185	紫红色砾岩、泥岩、灰色灰岩、深灰色灰岩。
二叠系大隆组	1650	60	缺失	—	
二叠系龙潭组	1800	150	缺失	—	
二叠系孤峰组	1900	100	缺失	—	
志留系坟头组	—	—	1900	320	灰色钙质泥岩、灰绿色细砂岩、深灰色灰岩
二叠系栖霞组	1950	50	1980	72	深灰色灰岩、碳质灰岩(未穿过)

1.2 风险提示

皖望地3井设计垂深1850 m,斜深1950 m。构造位置为下扬子盆地沿江坳陷望江凹陷,目的层位为二叠系大隆组、龙潭组和孤峰组,设计完钻层位为

二叠系栖霞组。

(1)工区构造受区域挤压作用,发育复杂的逆冲断裂带,形成了断层遮挡的封闭环境,可能存在异常高压,钻井过程须预防井涌、井喷。

(2)邻区钻井钻遇地层交替重复、岩性破碎、产状陡峭,井斜、井塌、井漏等须提前预防。

1.3 钻井质量和技术要求

(1)井身质量要求。按照钻井井身质量控制规范和地质要求执行^[3],终孔直径 ≤ 215.9 mm,井斜角和方位角测量间隔 ≥ 30 m,全角变化率直井段 $\geq 2^\circ/30$ m,增斜段 $\geq 5^\circ/30$ m,稳斜段 $\geq 3^\circ/30$ m,井底中靶半径 < 50 m,平均井径扩大率 $\geq 20\%$ 。

(2)取心技术要求。取心长度 ≤ 18 m,岩心采取率 $\leq 85\%$,岩心直径 ≤ 100 mm。

(3)固井质量要求。固井作业要求水泥浆上返至地面,水泥密度为 $1.80\sim 1.95$ g/cm³,固井水泥候凝时间 ≤ 48 h,24 h抗压强度 ≥ 14 MPa;目的层段页岩气若显示强烈,按地质要求开展油气调查井试油试气工作,下生产套管完井;若油气显示微弱或无显示则裸眼完井,灌水泥封孔。

(4)钻井液技术要求。现场钻井液使用须满足

油气探井相关技术要求,钻井液性能要利于发现和保护气层,保证地质录井、测井、中途测试等施工顺利进行,目的层既要提前做好防喷、防漏措施,又要防止“堵死”产层通道。

(5)井控要求。配备双闸板防喷器(35 MPa)、节流和压井管汇、液气分离器、点火装置,配套地面防喷器控制装置,具备远程液压控制及手动紧锁机构。

2 钻井设计

针对钻井风险提示及邻井钻遇地层复杂、目的层浅薄及埋深难定等工程问题,为实现安全、高效钻井并准确的获取地质资料,皖望地3井优化钻井设计并综合利用先进定向钻井技术。

2.1 井身结构

皖望地3井井身结构设计为三开结构,具体深度及套管规格见表2。其中,三开采用定向钻进,800~983 m为增斜段,983~1950 m为稳斜段,钻进至斜深1950 m(垂深1850 m)的靶区内完钻。

表2 设计与实际井身结构

Table 2 Designed and actual drilling structure

开次	钻头直径/ mm	设计深度/ m	实钻深度/ m	套管设计深度/ m	套管实际深度/ m	套管参数		
						外径/mm	壁厚/mm	钢级
一开	444.5	30~60	58.6	30~60	58.6	339.7	9.65	J55
二开	311.2	500~750	715	500~750	715	244.5	8.94	J55
三开	215.9	1950	1980	1950		139.7	9.17	N80

注:根据油气显示情况,决定三开生产套管是否下井,并进行完井作业。

2.2 设备选择

根据预测地质条件和井身结构,皖望地3井原则上使用ZJ30型钻机及配套设备即可满足条件,实际考虑到工期紧张、地下复杂情况及设备搬迁等因素,该井调配ZJ50型钻机实施钻井施工。

2.3 钻具及钻进参数

为满足高效及高质量,全面钻井、目的层取心钻进,施工钻具组合设计见表3。各开次钻头类型及钻进参数设计见表4。

2.4 钻井液

重点保护井壁、预防坍塌、井漏并利于目的层油气发现,同时着重考虑井涌、井喷等工程问题,参照邻井皖望地2井地层和钻井液使用情况^[4],以钾铵基聚合物钻井液体系为主^[5-6];浅层钻进时,钻井液要保持低失水、优良的造壁性和润滑性,采用膨润土钻井

液体系^[7]。各开次钻井液设计与性能参数见表5。

3 钻井施工

3.1 一开钻进(0~58.60 m)

一开采用 $\varnothing 445.5$ mm的PDC钻头,1个回次全面钻进至较稳定的细砂岩层(58.60 m)完钻。一开所钻地层为新进系的浅软地层,岩性主要为:粘土、棕红色细砂岩,泥质胶结。因此实际采用钻进参数为:钻压 $10\sim 40$ kN、转数 45 r/min、排量 32 L/s、泵压 $1\sim 3$ MPa,膨润土钻井液性能为:密度 $1.03\sim 1.05$ g/cm³、粘度 $30\sim 35$ s、滤失量 6 mL/30 min、pH值 9 、含砂量 0.3% 。

下入J55钢级 $\varnothing 339.7$ mm $\times 9.65$ mm表层套管至58.60 m。固井水泥注入密度 $1.80\sim 1.85$ g/cm³,消耗量 5 m³,水泥浆返出地面。

表3 钻具组合

Table 3 Drilling string assembly

开次	钻具组合	备注
一开	Ø444.5 mm 钻头+Ø228.6 mm 钻铤×3根+Ø203 mm 钻铤×6根+Ø177.8 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 钻杆 Ø311.2 mm 钻头+Ø228.6 mm 钻铤×3根+Ø203 mm 钻铤×10根+Ø177.8 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 钻杆 Ø311.2 mm 钻头+Ø228.6 mm 钻铤×2根+Ø310 mm 扶正器+Ø228.6 mm 钻铤×1根+Ø203 mm 钻铤×10根+Ø177.8 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 钻杆	
二开	Ø311.2 mm 钻头+Ø216 mm 螺杆(或1.25°弯螺杆)+Ø203 mm 无磁钻铤×1根+Ø203 mm 钻铤×10根+Ø177.8 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 钻杆 Ø215.9 mm 钻头+Ø177.8 mm 无磁钻铤×1根+Ø177.8 mm 钻铤×3根+Ø165 mm 钻铤×11根+Ø127 mm 钻铤或Ø215.9 mm 钻头+Ø177.8 mm 无磁钻铤×1根+Ø177.8 mm 钻铤×1根+Ø214 mm 扶正器+Ø177.8 mm 钻铤×2根+Ø165 mm 钻铤×11根+Ø127 mm 钻杆	提速 纠斜
三开	Ø215.9 mm 钻头+Ø172 mm 单弯螺杆钻具(1.25°)+钻具止回阀+定向接头+Ø165 mm 无磁钻铤(内带MWD)+Ø165 mm 绝缘短节+Ø165 mm 钻铤×6根+Ø127 mm 斜坡加重钻杆×15根+Ø127 mm 钻杆 Ø215.9 mm 取心钻头+KT194型取心钻具+Ø178 mm 钻铤×3根+Ø165 mm 钻铤×6根+Ø127 mm 钻杆或Ø215.9 mm 取心钻头+川8-4型取心钻具+Ø177.8 mm 钻铤×3根+Ø165 mm 钻铤×12根+Ø127 mm 钻杆	定向 稳斜 取心

表4 钻进参数

Table 4 Drilling parameters

开次	钻进方法	钻头类型	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·s ⁻¹)	立管压力/MPa
一开	转盘钻进	PDC 全面钻头	30~60	60~90	55~65	1~3
二开	复合钻进	PDC 全面钻头	40~80	转盘(40~60)+螺杆	42~56	5~12
	复合钻进	PDC 全面钻头	50~80	转盘(40~60)+螺杆	32~35	
	转盘钻进	牙轮钻头	80~100	45~60	34~45	
三开	定向滑动钻进	PDC 全面钻头	50~80	弯螺杆	32~26	8~16
	转盘钻进	PDC 取心钻头	30~80	50~60	28~32	
	转盘钻进	孕镶金刚石取心钻头	30~100	60~80	20~25	

表5 钻井液体系与性能参数

Table 5 Drilling fluid system and performance parameters

开次	钻井液体系	基本配方	基本性能						
			$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	FV/s	FL/mL	泥饼/mm	pH值	PV/(mPa·s)	YP/Pa
一开	膨润土 钻井液	6~8% NV-1+4% Na ₂ CO ₃ (土量)+0.1~0.3% HV-CMC	1.05~1.10	40~80	≤8	<0.8	8.5~9	5~20	2~8
二开、三开	钾铵基 聚合物 钻井液	0.1~0.2% Na ₂ CO ₃ +2~4% NV-1+0.2% NaOH+0.1~0.3% NH ₄ -HPAN 或 KPAM +0.5~1% PAMS-150+0.5~1.0% LV-CMC+1~2% CFL+1~2% FT-1+1~2% SMP+0.2% 聚胺抑制剂	1.08~1.15	40~75	≤6	<0.5	8~9	12~18	8~15

注:(1)添加剂为QS-2/SDL、FCR-2、XCD、聚胺抑制剂、FT-1/342;(2)钻进中控制好钻井液固相含量。

3.2 二开钻进(58.60~715.00 m)

二开采用转盘+螺杆复合钻进方法,钻进至白垩系赤山组的砾岩层(715.00 m)完钻,相比钻井设

计中采用钻进过程多点测斜来检测和控制井斜的方法,为减少辅助时间以缩短工期、有效控制井斜、钻井方位,实际施工中全过程采用无线随钻测斜仪(泥

浆脉冲MWD)进行轨迹跟踪监测井斜情况。钻具组合为:Ø311.2 mm PDC钻头+Ø203 mm直螺杆+定向接头+Ø203 mm无磁钻铤(内带MWD)×1根+Ø308 mm螺扶+Ø203 mm钻铤×3根+631×4A10接头+4A11×410接头+Ø178 mm钻铤×9根+Ø127 mm加重钻杆×6根+Ø127 mm钻杆。实际钻进参数为:钻压40~80 kN、转数45 r/min+螺杆、排量32 L/s、泵压5~6 MPa,钾铵基聚合物钻井液性能为:密度1.05~1.08 g/cm³、粘度30~45 s、滤失量6 mL/30 min、pH值9、含砂量0.3%。

下入J55钢级Ø244.5 mm×8.94 mm技术套管至715.00 m。固井水泥注入密度1.85 g/cm³,消耗

量44 m³,水泥浆返出地面。为做好井控,候凝期间安装35 MPa双闸板防喷器,检查远程控制装置、节流和压井管汇、四通、液气分离器以及点火装置,按照规程规范要求对技术套管和防喷器进行试压符合安装要求。

3.3 三开钻进(715.00~1980.00 m)

三开涉及直井段、增斜段、稳斜段和取心井段钻进,根据岩屑反映出的地层软硬交替、机械钻速变慢及起下钻的通暢性等情况变化,不同井深实际采用钻具组合及钻进参数见表6、表7,采用钾铵基聚合物钻井液配合钻进。

表6 定向井段钻具组合

Table 6 Drill string assembly of directional drilling section

井段/m	钻进方法	钻具组合
直井段 (715~730)	转盘钻进	Ø215.9 mm PDC钻头+430×410接头+Ø178 mm无磁钻铤×1根+Ø178 mm钻铤×6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆
增斜段 (730~965)	定向滑动钻进	Ø215.9 mm PDC钻头+Ø172 mm单弯螺杆(1.25°)+定向接头+Ø178 mm无磁钻铤(带MWD)×1根+Ø178 mm钻铤×6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆
稳斜段 (965~1410)	复合钻进定向 滑动钻进	Ø215.9 mm PDC钻头+Ø172 mm单弯螺杆(1.25°)+定向接头+Ø178 mm无磁钻铤(带MWD)×1根+Ø178 mm钻铤×6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆
稳斜段 (1410~1440)	转盘钻进	Ø215.9 mm三牙轮钻头+410×430接头+Ø178 mm无磁钻铤×1根+Ø178 mm钻铤×6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆
稳斜段 (1440~1938.92)	复合钻进定向 滑动钻进	Ø215.9 mm PDC钻头+Ø172 mm单弯螺杆(1.25°)+定向接头+Ø178 mm无磁钻铤(带MWD)×1根+Ø178 mm钻铤×6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆
取心井段 (1938.92~1960.33)	转盘钻进	Ø215.9 mm PDC取心钻头+川8-4取心钻具+Ø178 mm钻铤×6根+Ø127 mm加重钻杆×15根+Ø127 mm钻杆

注:钻进1409~1432 m井段,地层以角砾状灰岩、砾岩为主,采用三牙轮钻头钻进。

表7 定向井段钻进参数

Table 7 Drilling parameters of directional section

井段/ m	钻压/ kN	转数/ (r·min ⁻¹)	排量/ (L·s ⁻¹)	泵压/ MPa	密度/ (g·cm ⁻³)	粘度/ s	滤失量/ [mL· (30min) ⁻¹]	pH值	含砂 量/%
直井段(715~730)	40	45	32	4~5	1.08	45	6	9	0.3
增斜段(730~965)	40	0+螺杆	32	10~11	1.08~1.09	45~46	6	9	0.3
稳斜段(965~1410)	40~60	0~45+螺杆	32	10~11	1.08~1.09	45~46	5	9	0.3
稳斜段(1410~1440)	60~100	45	32	6	1.09	45	5	9	0.3
稳斜段(1440~1938.92)	40~100	45+螺杆	32	10~13	1.06~1.08	45~46	6	9	0.3
取心井段(1938.92~1960.33)	40~60	45	32	7	1.08	45~46	6	9	0.3

注:钻进至720~1100 m井段,地层以棕红色和紫红色泥岩、泥质粉砂岩为主,具有水敏性,易水化分散引起坍塌或掉块,在造斜井段钻井液护壁性能尤为重要,调整提高了钻井液的密度和粘度2项指标。

直井段(715.00~730.00 m)采用转盘钻进方法,钻至白垩系赤山组棕红色泥岩地层,达到造斜钻进有利地层条件;增斜段(730.00~965.00 m)采用定向滑动钻进方法,鉴于增斜段地层岩石可钻性级别低,采用PDC钻头钻进,以提高定向速度,定向钻进至965.00 m,随钻测斜仪显示造斜井斜角、方位角变化均已达到设计值要求范围,停止定向增斜钻进,准备调整钻进参数进入稳斜钻井阶段;稳斜段(965.00~1938.92 m)分别采用了转盘钻进、复合钻进和定向滑动钻进方法,钻进依次穿过赤山组、南陵湖组、和龙山组、殷坑组、坟头组,进入栖霞组(参见表1),按地质要求采取岩心;取心井段(1938.92~1960.33 m)采用PDC取心钻头+转盘钻进方法。

为确保测井仪器测量数据能够覆盖全井段,钻井需加深20 m,采用牙轮钻头钻进至1980.00 m栖霞组灰岩地层(地层未穿)完钻。由于未见油气显示,实行裸眼完井,并打水泥塞分段封井,井口设置水泥标识桩。

3.4 施工难点及应对技术措施

皖望地3井钻探施工技术难点为:(1)地层构造复杂,产状不稳定、地层破碎,钻进过程存在卡钻风险,尤其是在定向钻进过程中风险更大,在以泥岩、泥质粉砂岩为主的软地层中钻进,井壁易遇水膨胀、垮塌或掉块,进而发生缩径、砂桥或泥包卡钻等事故;(2)工作区地层软硬互层多,在软硬不均匀的泥岩、泥质粉砂岩和砾岩互层中钻进,井身轨迹控制难度大,钻头切削齿易发生冲击损坏(碎裂或崩齿);(3)灰岩为主的地层裂隙和溶洞发育,地层漏失情况较严重^[8]。因此,提出以下几方面技术保障措施。

3.4.1 钻井技术

严格把控各工序环节,落实安全操作技术要求,全井段共计划眼8次,累计划眼时间26.5 h,通井1次,累计通井时间3 h。确保了钻井全过程无井内事故,高质高效如期完成钻井任务。

具体措施:(1)严控起下钻速度,提钻中或提钻后及时向井内回灌钻井液,每下15~20根立柱,向井内回灌一次钻井液,防止井壁垮塌。钻具提出地面,应认真检查钻具、钻头磨损情况,并能够及时更换。(2)螺杆钻具和测斜仪器下井之前应试运转,检查状态是否正常。弯螺杆钻具划眼作业,不加压划眼,遇阻时开泵冲洗,上下活动钻具并变换方向。(3)采用PDC钻头在泥岩、泥质粉砂岩为主的松软、水

敏性地层钻进时,结合实际工况,每次钻进300~500 m进行短起下钻,起出长度大于新钻进孔段长度,防止发生卡钻事故。钻时升高,大于30 min/m时,提钻检查钻头磨损情况。(4)每钻进25 m测井斜角和方位角,软硬互层井段加密测量次数,控制全角变化率符合设计的要求。(5)钻井现场配备H₂S检测仪,在接近钻至目的层时,加强对井口及施工区域H₂S气体的监测。

3.4.2 定向钻进技术

定向增斜井段在730~965 m,该段地层以泥岩、泥质粉砂岩和细砂岩互层为主,发生卡钻风险大,在软硬不均匀的地层中钻进,井斜角和方位角易跑偏。定向钻进选用7LZ172×7.0-DW型单弯螺杆钻具(1.25°),以获得较高的输出扭矩,既可保证较高的造斜率,又可开转盘+螺杆复合钻进以提高钻速^[9],增斜段实际行程时间27.75 h,行程钻速为8.47 m/h,机械钻速达到了9.13 m/h。稳定器选用三瓣偏心型稳定器,减少钻进中的阻力,提高了稳定器的支撑效果并增大造斜率,实际定向造斜率已达到3.85°/25 m。定向采用YST-48R型泥浆正脉冲式无线随钻测斜仪(图1)。



图1 无线随钻测斜仪(MWD)

Fig.1 Measurement while drilling (MWD)

定向钻进采取措施如下:(1)定向钻进开始,加强监测钻柱悬重、扭矩、钻时与地层岩性变化,以判断井下情况,特别是摩阻、扭矩增大时,应短起钻、清理岩屑床;(2)合理确定钻压,可采用连续加压、快速间断加压等方法,采用转盘控制轨迹的走向,避免或少用滑动方式钻进,以保障井内安全,提高施工效率,确保轨迹平滑;(3)根据工具面的控制情况,滑动钻进距离及测斜数据,可预算出每米的造斜率;(4)泥浆泵排量做到维稳,保持钻井液性能稳定,及时去除钻井液有害固相(含砂量<0.4%)和有害气体^[10],确保螺杆钻具和定向仪器能够正常工作,预防井内钻具发生粘卡。

3.4.3 钻井液技术

1688.46~1840 m井段钻进时,钻井液漏失严重,累计漏失达到了195 m³,配制随钻堵漏浆8次,成功控制了漏失引起的钻井液消耗异常,保障了后期的钻进工作正常开展。以上漏失井段地层以钙质泥岩、细砂岩和灰岩为主,从采取的岩心可知,该灰岩地层发育裂缝多,溶蚀孔和溶蚀洞发育(见图2)。考虑目的层可能存有高压气体,在取心钻进前,还专门制备重浆150 m³,以预防井喷。



图2 灰岩地层岩心

Fig.2 Core from limestone formation

钻井液技术保障措施:(1)钻进过程采用五级自控系统,有振动筛、除气器、旋流除砂器、旋流除泥器和离心机,及时处理有害固相;(2)漏失井段钻进过程中,采用低密度、低失水钻井液,漏失严重井段加强泥浆罐中钻井液体积消耗量的观测,消耗过快情况下及时补充,以保证钻井液正常循环。定向钻进井段漏失,使用随钻堵漏材料浓度 $\geq 120 \text{ kg/m}^3$,最大颗粒直径 $\geq 1.5 \text{ mm}$ 。

3.4.4 钻井工况实时监测技术

施工过程采用了“工程录井+云监测”的现场与地质云方式对井深、钻速、钻压、转速、钩载、立压以及钻井液性能等14项参数进行监测和采集,通过5G无线通信模块实时传送至地质云数据库系统,并经地质云后台系统集中处理后以曲线图的形式输出钻进实时参数^[11],通过远程访问地质云,实时查询和掌握钻井状态与施工进度情况(见图3)。

4 钻井质量评述

4.1 井身质量

直井段(0~730 m),采用转盘钻进和复合钻进方法,全角变化率0~0.6°/25 m,符合钻井规范和设计($< 2^\circ/30 \text{ m}$)要求。

增斜—稳斜井段,采用复合钻进、转盘钻进和定向滑动钻进方法。增斜段为730~965 m,全角变化

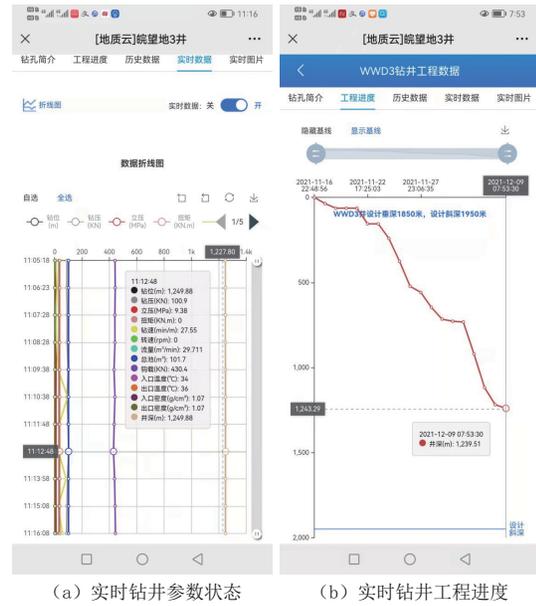


图3 地质云钻井数据监测界面

Fig.3 Monitoring interface of geocloud Drilling data

率 $0.92^\circ \sim 3.85^\circ/25 \text{ m}$,符合钻井规范($< 5^\circ/30 \text{ m}$)与定向设计($4^\circ/30 \text{ m}$)要求;稳斜段为965~1980 m,全角变化率 $0.01^\circ \sim 2.12^\circ/25 \text{ m}$,符合钻井规范和设计($< 3^\circ/30 \text{ m}$)要求。

按规范要求测井,测斜数据采集间隔为25 m,在1609 m处实测最大井斜角为 23.63° ,在759 m处实测最大全角变化率为 $3.85^\circ/25 \text{ m}$,符合定向设计要求,设计靶点A与实测靶点A'空间位置参数见表8,A'距离A为25.87 m,中靶误差符合钻井设计要求($< 50 \text{ m}$),并眼三维空间轨迹见图4。二开井段为砂泥岩地层,510~610 m井径相对稳定、规则,其它井段扩径较大;三开井段为灰岩、砂泥岩地层,725~1095 m、1445~1685 m井段处扩径较大,其它井段井径相对稳定、规则。井径测量数据见表9,实测平均井径扩大率均小于20%。综上所述,皖望地3井井身质量各项指标均满足质量要求。

4.2 固井质量

固井质量评价井段为0~715 m,实测水泥返高到达地面,第一界面共评价211段,固井质量胶结良好的层段共503.8 m,占比71.7%,胶结中等的层段共96.1 m,占比13.7%,胶结差的层段共102.9 m,占比14.6%。;第二界面共评价111段,固井质量胶结良好的层段共462.4 m,占比65.8%,胶结中等的层段共127.3 m,占比18.1%,胶结差的层段共113.1 m,占比16.1%。按照规范要求对技术套管进行试

表 8 靶点参数

Table 8 Parameters of target points

靶点	垂深/m	斜深/m	东西位移/m	南北位移/m	位移/m	闭合方位/°	A-A'距离/m
A(设计)	1850.00	1950	-258.91	369.51	451.19	324.98	25.87
A'(实测)	1850.63	1934	-248.28	345.92	425.80	323.18	

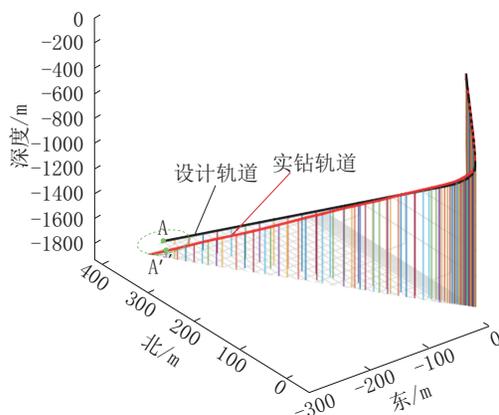


图 4 井眼轨道和轨迹示意

Fig.4 Wellpath and well trajectory

压,试压值 20 MPa,稳压 30 min,压降 0.1 MPa<0.5 MPa,各项固井质量指标满足要求。

表 9 井径测量数据

Table 9 Well diameter measurement data

开次	钻头直径/mm	最小井径/mm	最大井径/mm	平均井径/mm	平均井径扩大率/%
二开	311.2	313.2	385.6	353.8	13.69
三开	215.9	216.3	333.1	238.0	10.24

4.3 取心质量

取心钻具参数及岩心采取情况见表 10。采用大口径同径取心钻进工艺,既满足取心质量要求,又满足钻井口径设计要求,使用川 8-4 型常规取心钻具采取岩心,取心 3 个回次,累计取心进尺 21.41 m,累计岩心长度 20.98 m,累计岩心采取率 98.0%,取心质量合格率 100%,均达到了地质取心质量目标。

表 10 取心钻具参数与取心情况

Table 10 Coring tool parameters and coring situation

回次	取心井段/m	单筒取心进尺/m	单筒岩心长度/m	单筒收获率/%	川 8-4 型取心钻具		
					外筒尺寸/mm (外径/内径)	内筒尺寸/mm (外径/内径)	岩心直径/mm
1	1938.92~1945.71	6.79	6.50	95.7	180/144	127/112	105
2	1945.71~1954.89	9.18	9.18	100.0			
3	1954.89~1960.33	5.44	5.30	97.4			

采用川 8-4 型常规取心钻具+胎体 PDC 取心钻头在灰岩、碳质灰岩地层中钻进,机械钻速为 0.91~1.36 m/h,通过对比类似地层的大口径取心钻井^[12-15],判断取心钻进阶段的机械钻速在正常范围内。在灰岩、碳质灰岩地层钻进时,PDC 取心钻头切削齿碎裂和剥落较严重(见图 5),取心钻进 3 个回次更换钻头 3 只,总体来看使用寿命较短。



图 5 PDC 钻头切削齿冲击损坏情况

Fig.5 Damage by impact load of PDC cutter

5 结论及建议

(1)油气资源勘探区块的环境逐步恶劣,地质目标的实现应充分结合钻探设备、工艺的优势而综合考虑,减少钻前工程的时间、成本投入。

(2)皖望地 3 井开钻前充分分析了工程险点和难点问题,合理制定钻井安全、定向钻进、钻井液技

术以及钻井工况实时监测等4项技术保障措施,实现了钻井全程无重大井内事故发生,钻井质量好,施工进度快的目标,取得了较好的经济效益,为该地区大口径钻井工程施工提供了较好的技术经验。

(3)通过实钻发现,该地区泥岩、砾岩软硬互层多,牙轮钻头钻进效率低,PDC钻头切削齿异常磨损快(碎裂、崩齿),应加强该地区钻头的适用性研究,如优选抗冲击性强、耐磨性好的PDC钻头或牙轮+PDC复合钻头,灰岩地层取心钻进可尝试采用金刚石取心钻头,以提高钻进效率,降低成本。

(4)该地区以灰岩为主的地层裂隙和溶洞发育,地层漏失情况较严重,应加强堵漏钻井液和相关钻进技术方法的攻关,以确保钻井安全。

参考文献(References):

- [1] 包书景,李世臻,徐兴友,等.全国油气资源战略选区调查工程进展与成果[J].中国地质调查,2019,6(2):1-17.
BAO Shujing, LI Shizhen, XU Xingyou, et al. Progresses and achievements of the National Oil and Gas Resource Strategic Constituency Survey Project [J]. Geological Survey of China, 2019,6(2):1-17.
- [2] 闫家,曹龙龙,胡晨,等.望江凹陷页岩油气地质调查皖望地2井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):30-38.
YAN Jia, CAO Longlong, HU Chen, et al. Drilling technology of well Wanwangdi-2 for shale oil and gas geological survey in Wangjiang sag[J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):30-38.
- [3] SY/T 5008—2017, 钻井井身质量控制规范[S].
SY/T 5008—2017, Specification for wellbore quality of drilling[S].
- [4] 胡晨,闫家,张恒春,等.泥页岩地层绳索取心钻进钻头应用及优化设计研究[J].钻探工程,2021,48(12):65-71.
HU Chen, YAN Jia, ZHANG Hengchun, et al. Research on application and optimal design of wireline core drilling bits for mudstone and shale[J]. Drilling Engineering, 2021,48(12):65-71.
- [5] 黄聿铭,张金昌,杨钦明.钾铵聚合物钻井液在地热钻井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):265-268.
HUANG Yuming, ZHANG Jinchang, YANG Qinming. Research and application of Potassium-Ammonium polymer drilling fluid suitable for geothermal well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):265-268
- [6] 徐波,王智洪.钾铵基聚合物钻井液抑制性研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):30-33.
XU Bo, WANG Zhihong. Study on inhibition of potassium amino polymer drilling fluid [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(7):30-33.
- [7] 刘文武,赵志涛,翁炜,等.页岩气基础地质调查皖南地1井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):66-70.
LIU Wenwu, ZHAO Zhitao, WENG Wei, et al. Drilling of

- Wannandi Well-1 for basic shale gas geological survey [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):66-70.
- [8] 李大勇,肖超,王胜建,等.下扬子地区页岩气井失返性漏失堵漏技术研究——以WY-1HF井为例[J].油气藏评价与开发,2021,11(2):122-126,134.
LI Dayong, XIAO Chao, WANG Shengjian, et al. Plugging technology applied for total loss in shale gas wells of Lower Yangtze Region; Taking Well-WY-1HF as an example [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021,11(2):122-126,134.
- [9] 孙传佳,黎波.螺杆马达复合钻进在川西南幸福1井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):37-39.
SUN Chuanjia, LI Bo. Sliding and rotary PDM drilling of Well Xingfu-1 in southwest Sichuan [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(11):37-39.
- [10] 谭现锋,王景广,郭新强,等.螺杆钻进工艺在青海共和干热岩GR1钻井中的应用[J].钻探工程,2021,48(2):49-53.
TAN Xianfeng, WANG Jingguang, GUO Xinqiang, et al. Application of PDM drilling technology in Well-GR1 drilling in hot dry rock [J]. Drilling Engineering, 2021,48(2):49-53.
- [11] 汤小仁,孟义泉,瞿兵,等.钻探参数实时采集系统研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):46-53.
TANG Xiaoren, MENG Yiquan, ZI Bing, et al. Development and application of the real time acquisition system for drilling parameters [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):46-53.
- [12] 熊虎林,张飞,甘辉敏,等.页岩气调查泉参1井大口径同径取心钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):19-25.
XIONG Hulin, ZHANG Fei, GAN Huimin, et al. Coring technique for shale gas survey Quancan Well-1 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):19-25.
- [13] 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.
- [14] 曹华庆,冯云春,杨以春,等.松辽盆地南部油气田钻井取心关键技术[J].钻探工程,2021,48(11):49-55.
CAO Huaqing, FENG Yunchun, YANG Yichun, et al. Key technology for drilling and coring in southern Songliao Basin [J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):49-55.
- [15] 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 Yichun, SUN Li. Optimization design and drilling technology optimization for Well Changtan-1 [J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):91-97.

(编辑 王文)