

# 望江凹陷页岩油气地质调查皖望地2井钻井技术

闫家<sup>1</sup>, 曹龙龙<sup>1</sup>, 胡晨<sup>\*1,2,3</sup>, 王稳石<sup>1</sup>, 张恒春<sup>1</sup>, 王志刚<sup>1</sup>, 李鑫森<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;  
3. 中国地质科学院, 北京 100037)

**摘要:** 皖望地2井是部署在下扬子陆块沿江褶断带望江凹陷许岭次凹斜坡带的一口页岩油气地质调查井, 设计井深1600 m, 完钻井深1632 m。钻探目的是主探二叠系大隆组—孤峰组页岩含气性, 兼探区域地层层序、岩性、岩相发育情况。针对该井泥砂互层、井壁不稳、岩性复杂、取心困难等问题, 通过改进绳索取心钻具及工艺、改善泥页岩等敏感地层钻井液体系、优化钻进参数, 提高了钻进效率, 确保了岩心采取率。并对钻进过程中出现的问题进行分析, 提出了改进措施, 为同类型小口径页岩气调查井的钻进施工提供技术参考。

**关键词:** 页岩油气地质调查; 页岩气井; 绳索取心; 皖望地2井; 望江凹陷; 下扬子地区

**中图分类号:** P634; TE2 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2022)05-0030-09

## Drilling technology of Well Wanwangdi-2 for shale oil and gas geological survey in Wangjiang Sag

YAN Jia<sup>1</sup>, CAO Longlong<sup>1</sup>, HU Chen<sup>\*1,2,3</sup>, WANG Wenshi<sup>1</sup>,

ZHANG Hengchun<sup>1</sup>, WANG Zhigang<sup>1</sup>, LI Xinmiao<sup>1</sup>

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

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Well Wanwangdi-2 is a shale oil and gas geological survey well located in the Xuling sub-sag slope zone of Wangjiang Sag along the fold fault zone of the Lower Yangtze block with the design depth of 1600m and the completion depth 1632m. The purpose of drilling is to explore the gas-bearing properties of the shale in the Permian Dalong formation-Gufeng formation; and the regional stratigraphic sequence, the lithology, and the lithofacies development to obtain geological parameters. This paper introduces the drilling work of Well Wanwangdi-2, and describes the main drilling technology and technical measures. In view of the difficulties of mud-sand interbedding, unstable well walls, complex lithology and low core recovery rate, the wire-line coring tool and technology was improved with the drilling fluid system modified for sensitive formation and the drilling parameters optimized to increase drilling efficiency and ensure core recovery rate. The problems in the drilling process are also analyzed with improvement measures proposed to provide technical reference for drilling of similar small-diameter shale gas survey wells.

**Key words:** shale oil and gas geological survey; shale gas well; wire-line coring; Well Wanwangdi-2; Wangjiang Sag; Lower Yangtze region

收稿日期: 2022-04-02; 修回日期: 2022-07-26 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.05.005

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“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、取心钻具及钻探工艺研究工作, 河北省廊坊市金光道77号, yj18531665717@163.com。

通信作者: 胡晨, 男, 汉族, 1996年生, 中国地质大学(北京)硕士在读, 地质工程专业, 研究方向为钻头及钻探设备、工艺, 河北省廊坊市金光道77号, 10110626678@qq.com。

引用格式: 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.

## 0 引言

页岩气作为一种主要以吸附和游离状态存在的非常规天然气赋存与有机质泥页岩及其夹层中<sup>[1-2]</sup>。我国南方地区有机质页岩发育区域较大,页岩油气资源分布更加广泛<sup>[3-5]</sup>。随着油气资源的大量消耗,页岩油气的开发与利用显得尤为重要。21世纪初,我国的页岩气产业在重庆涪陵地区、四川长宁—威远等地区先后开发,近年来更是将页岩油气区块勘探上升为一种战略选区目标<sup>[6-9]</sup>。

皖望地2井是中国地质调查局部署在苏皖赣地区页岩油气调查的钻探工程,旨在通过钻探手段获取岩心实物、测录井数据等,为整个下扬子地区的页岩油气勘探开发提供地质、地球物理和工程方面的地质资料,并为后期页岩气钻探工程提供必要的经验和借鉴。

## 1 地质概况

皖望地2井位于安徽省望江县长岭镇附近,在构造上处于下扬子陆块沿江褶皱带望江凹陷许岭次凹斜坡带。该井设计井深为1600 m,完钻井深1632 m,目的层位为二叠系大隆组、龙潭组、孤峰组,设计完钻层位为二叠系栖霞组,实施全井取心,为探索下扬子地区望江凹陷二叠系大隆组—孤峰组页岩含气性,了解地层构造、岩性及岩相发育情况及变化规律提供地质资料。同时,也是落实中国地质调查局“优先突破下游,创建页岩气新格局”战略部署。

### 1.1 工区地形地貌

井位距望江县城约20 km,工作区内主要为丘陵,地表玉米、芝麻等农作物覆盖,距井位相距200 m处有武昌湖分支水塘可取水,工区内无村庄,周边乡道互通,交通条件相对便利,位置如图1所示。

### 1.2 区域构造及特征

工区构造位于下扬子陆块的沿江褶皱带望江凹

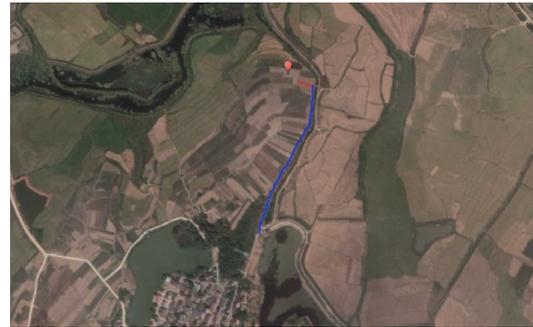


图1 工区地形地貌特征

Fig.1 Topographic and geomorphic features at site

陷许岭次凹构造单元中,许岭次凹为中生界断陷区,保存上古较齐全盆地,长期凹陷生油区,古生界埋藏相对较浅,如图2所示。

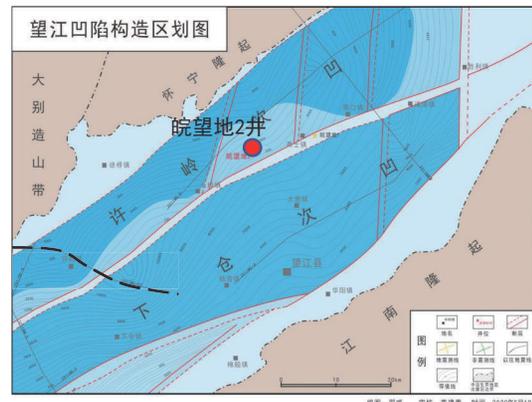


图2 望江凹陷区域构造

Fig.2 Tectonic map of the Wangjiang depression area

### 1.3 钻遇地层

皖望地2井设计井深1600.00 m,钻遇地层依次为第四系(Q)、古近系望虎墩组( $E_1w$ )、白垩系上统赤山组( $K_2c$ )、三叠系中统南陵湖组( $T_2n$ )、三叠系下统和龙山组( $T_1h$ )(未穿)。完钻井深1632.00 m,如表1所示。

表1 皖望地2井钻遇地层

Table 1 Lithology at Well Wanwangdi-2

地层/组	实钻地层岩性	顶深/m	底深/m	厚度/m
第四系(Q)	表土层,含砾石、砂、粘土等松散堆积物	0	25.83	25.83
古近系望虎墩组( $E_1w$ )	棕红色弱固结泥质粉砂岩,粉砂质泥岩及含砾砂岩夹层	25.83	604.70	578.87
白垩系上统赤山组( $K_2c$ )	青灰色砾岩,粉砂质泥岩,含砾砂岩,灰色、紫红色砾岩	604.70	1242.34	637.64
三叠系中统南陵湖组( $T_2n$ )	灰色泥质灰岩,灰色砾岩	1242.34	1418.09	175.75
三叠系下统和龙山组( $T_1h$ )	青灰色灰岩,条带状灰岩,肉红色白云质灰岩,灰质白云岩	1418.09	1632.00	213.91

## 2 钻井质量指标及技术要求

皖望地2井工程的实施严格按照自然资源部、中国地质调查局的相关技术规范、规程、行业标准和井位论证方案执行,并依据工程设计进行工程施工。采用直井多开次钻探方法,要求井深 $<1600$  m,同步开展录井、测井、固井等配套工作。

### 2.1 井身质量要求

(1)井身质量参照《钻井井身质量控制规范》(SY/T 5088—2017);

(2)全井段井斜 $>8^{\circ}$ ,全井全角变化率 $>3^{\circ}/30$  m;

(3)平均井径扩大率 $\leq 25\%$ ;

(4)终孔直径 $<76$  mm。

### 2.2 取心要求

该井钻穿表层松散层后至井底进行全井取心,整体岩心采取率 $<85\%$ ,破碎地层岩心采取率 $<70\%$ 。岩心出筒后,做好防护措施避免岩心因风化而影响分析化验数据的准确性,并记录岩心的岩性。钻至目的层位后,取心时应当合理加快内管提升速度,减少气体损失。

### 2.3 测井及录井技术要求

全井段录井(第四系松散层除外),包括地质录井(岩心、荧光录井)、综合录井(气测录井、工程录井、钻井液录井),并开展 $H_2S$ 监测等工作;导管鞋至井底进行标准测井,目的层段进行组合测井。测井及录井技术严格按油气井相关标准规范、工程设计执行。

## 3 钻井工艺技术

### 3.1 钻井设备

获取岩心是页岩气地质调查井工程的主要目标之一,因此采用绳索取心钻进工艺与器具<sup>[10-11]</sup>。依据设计井深和完钻直径要求,考虑设备处理复杂和事故的能力以及施工的经济性等,选择XY-8B型钻机、SGZ23型钻塔、NBB-390/15型泥浆泵等钻探设备。皖望地2井施工主要设备和仪器见表2。

### 3.2 井身结构设计

井身结构的设计不仅要满足任务目标需求,也要综合考虑井壁稳定并满足后续测录井等工作需求。皖望地2井采用绳索取心钻进工艺,井身采用三开次结构,实际井身结构如图3所示。

### 3.3 钻具组合

合理的钻具组合有利于提高机械钻速、控制井

表2 皖望地2井钻井主要设备及仪器

Table 2 Main drilling equipment and instruments used in Well Wanwangdi-2

序号	名称	型号	数量
1	钻机	XY-8B	1台
2	钻塔	SG24	1副
3	泥浆泵	NBB-390/15	2台
4	底座	DZ125/2.3-T	1台
5	离心机	TGLW350	2台
6	泥浆搅拌机	NJ-1	1台
7	测斜仪	KYP-2X	1台
8	防喷器	2FZ18-21	1台
9	绞车	SJ-2000	1台
10	泥浆性能测试仪	NB-1、NA-1、1006	1套

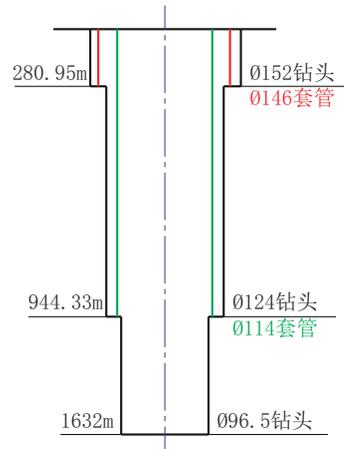


图3 井身结构示意图

Fig.3 Wellbore structure

斜以及提高钻头寿命。皖望地2井基于绳索取心钻进工艺各开次钻具组合如表3所示。

### 3.4 绳索取心钻头选型及应用

该井钻遇地层主要为粉砂质泥岩、泥岩、泥质粉砂岩、灰岩、白云质灰岩,可钻性以4~6级为主。

#### 3.4.1 钻头选型设计

皖望地2井钻遇地层岩石可钻性级别平均为4级,大部分岩石硬度较软,研磨性较弱,选用低胎体硬度(HRC25~30)、粗颗粒的孕镶金刚石钻头及配套扩孔器,较低的胎体硬度保证钻头快速出刃。钻头唇面型式可选齿轮形尖齿或锯齿状,减少钻头唇面与岩石的接触面积,使之更容易切入岩石,提高破岩效率。钻遇灰岩地层时,使用PDC钻头钻进,配合钻进参数,加大钻压。钻头选型如图4所示。

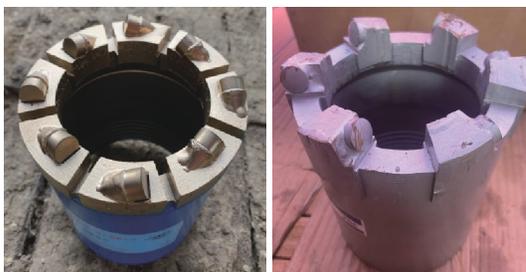
表 3 钻具组合

Table 3 Bottom hole assembly

开次	钻进方法	井深/m	钻 具 组 合	备注
一开	绳索取心+扩孔	280.95	扩孔: $\text{O}152$ mm 金刚石钻头+下扩孔器+岩心管+上扩孔器+ $\text{O}114$ mm 绳索取心钻杆 取心: $\text{O}124$ mm 金刚石钻头+下扩孔器+岩心管+上扩孔器+S122 mm 取心钻具	
二开	绳索取心	944.33	$\text{O}122$ mm 金刚石取心钻头+ $\text{O}122.5$ mm 下扩孔器+ $\text{O}114$ mm 绳索取心钻具总成+ $\text{O}122.5$ mm 上扩孔器+ $\text{O}114$ mm 绳索取心钻杆	
三开	绳索取心	1632.00	$\text{O}96.5$ mm 金刚石钻头+ $\text{O}97$ mm 下扩孔器+ $\text{O}92$ mm 岩心外管+ $\text{O}97$ mm 上扩孔器+ $\text{O}89$ mm 绳索取心钻杆	三开钻进时将二开 $\text{O}114$ mm 钻杆作为套管使用



(a) 孕镶金刚石取心钻头



(b) PDC复合片取心钻头

图 4 钻遇地层所用钻头类型

Fig.4 Bits used for drilling different formations

### 3.4.2 钻头改进及应用

钻进过程中,初始钻进时采取小钻压、大排量钻进,并依据地层特点,逐步调整钻压大小。

一开钻进使用  $\text{O}152$  mm 热压金刚石钻头 2 只,平均进尺约 130 m,钻头最长寿命 142 m;二开钻进在望虎墩组和赤山组钻遇长段主要岩性为泥岩和泥质粉砂岩的地层(如图 5 所示),上部泥岩地层造浆率高,钻头泥包现象严重,如图 6 所示,平均钻速  $<1$  m/h,绳索取心钻具内总成打捞、投放阻力大,耗费大量时间,加之地层研磨性弱,金刚石孕镶钻头出刃困难,绳索取心钻进速度极慢。

在二开与三开过渡阶段,钻遇泥质灰岩、含砂泥岩及少量泥灰岩与砾岩夹层,地层固结好,致密且硬



图 5 红色泥岩、粉砂岩互层岩心

Fig.5 Cores of alternating red mudstone and siltstone



图 6 钻头泥包及 PDC 钻头崩齿现象

Fig.6 Drill bit balling and PDC bit with broken teeth

度大,与砂岩互层多,应用 PDC 钻头在致密纯泥岩中易打滑,钻遇砂泥岩互层易崩齿,钻进效率低。为提高泥岩地层的钻进效率,改进了钻头流道参数及胎体配方,优化后的齿轮形尖齿金刚石钻头适当增大水口过流面积,适当降低切削齿上胎体硬度,并在胎体工作层中采用较大颗粒金刚石以方便更好地切入岩石。同时,钻井施工全过程利用“震动筛+高速离心机”二级固控设备分离出侵入钻井液的泥砂,保持钻井液性能稳定,金刚石钻头钻速明显提升,在泥岩地层平均钻速可达到 3 m/h,单只钻头可累计进尺 200 余米,大大提高了泥岩段及夹层段的钻进效率。优化后的齿轮形尖齿金刚石钻头和锯齿形尖齿金刚石钻头如图 7 所示。



图7 优化后的金刚石钻头

Fig.7 Optimized bits

### 3.4.3 钻头应用分析

当二开钻进钻遇泥岩及泥灰岩夹杂地层时,由于岩层泥质含量高、易水化,因此易产生钻头泥包现象,极大影响了机械钻速,井下粘附糊钻等问题的概率增大;钻遇泥砂岩夹层时,现场PDC钻头还发生崩齿现象。对此,提出几点建议及思考:

(1)钻压的控制:在泥岩地层钻进过程中,较大的钻压会使岩屑在钻头表面受到的挤压增大,产生较大的摩擦阻力,岩屑与钻头接触越紧密,容易形成泥包。因此应该采用低钻压、大排量,均匀精确送钻的原则。

(2)增大钻头唇面水口并提高钻头表面及水口处的的光洁度有利于冲刷岩屑并降低泥岩岩屑粘附性,可相应减少岩屑的聚集。

(3)钻遇硬夹层时,岩石可钻性级别增大,PDC钻头切削齿出现崩齿现象,可通过改进钻头切削齿形状及钻头唇面结构改善,或者换同心度较高、人工出刃后的尖齿金刚石钻头配合液动锤应用<sup>[12-13]</sup>。

### 3.5 钻进参数

在钻进过程中,原则上应控制转速和钻压以保证钻进的安全实施。皖望地2井主要采取金刚石绳索取心钻进工艺,以在合适钻压条件下采用高转速、小排量模式为钻进原则,钻进参数选择如表4所示。配合低固相泥浆,控制转速以避免钻杆内结泥皮而影响内管的投放和打捞。内管投放及打捞时合理控制捞放速度,以防止孔内产生“激动”压力和抽吸作用引发的孔内事故。

一开施工:深度280.95 m。开孔阶段地层较为复杂,为保证井斜要求,该井段钻进时采取低转速、小钻压、大排量钻进,并采用扩孔器及粗径钻具等防止孔斜。一开采用 $\varnothing 152$  mm金刚石普通钻头钻至

表4 钻进参数

Table 4 Drilling parameters

开次	钻头直径/mm	钻压/kN	转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	泵量/( $L \cdot \min^{-1}$ )
一开(单管提钻取心)	152	8~12	280~360	120
一开(绳索取心)	124	10~12	250~264	120
二开	124	10~12	250~264	120
三开	96.5	16~20	300~360	90

井深164.38 m,因岩心采取率低,随后采用 $\varnothing 124$  mm绳索取心钻头钻至411.91 m,后用 $\varnothing 152$  mm金刚石普通钻头扩孔至井深280.95 m,并下入 $\varnothing 146$  mm套管至280.95 m,水泥固井、候凝,安装防喷器。

二开施工:采用S122 mm绳索取心钻具、 $\varnothing 124$  mm金刚石钻头钻进至944.33 m。因实钻地层以泥岩、粉砂质泥岩及砾岩不等厚互层为主,采用中低转速(250~264 r/min)、轻压力、中排量钻进,并根据实际地层情况和钻头使用情况合理控制规程参数。为防止泥岩地层井下发生水化膨胀现象导致孔壁失稳,故将 $\varnothing 114$  mm钻杆作为套管,封住上部泥岩及松散地层, $\varnothing 114$  mm套管悬挂在套管头,不固井。

三开施工工况:采用 $\varnothing 96.5$  mm金刚石钻头至终孔。实钻地层以灰色灰岩、泥质灰岩、白云质灰岩为主的软硬互层,且一部分灰岩岩层倾角较大,接近 $90^\circ$ ,极易井斜,施工中通过降低转速与钻压并配合中排量钻进,以防井斜<sup>[14-18]</sup>。

## 3.6 钻井液技术

### 3.6.1 钻井液设计要点

皖望地2井钻遇地层相对较为稳定,通过对地层岩性变化规律进行分析,现场对钻井液性能设计时充分考虑到了以下3点:

(1)在以含泥量较高的破碎或裂隙地层及泥岩地层,控制好钻井液滤失量及泥饼质量,降低岩层吸水膨胀及垮塌的风险,保证取心钻进顺利进行。

(2)钻进过程中若岩屑不能及时排出,就会造成岩屑在井底重复破碎,降低钻进效率;同时,岩粉聚集会使打捞岩心过程中(停泵)钻井液反压,造成内管遇卡情况的出现。因此,钻井液需具有较好的携带和悬浮岩屑的能力。

(3)绳索取心钻进工艺主要是靠高转速研磨碎岩,在钻具高转速下钻井液的润滑性能对钻具的保

护尤为重要,具有较好的润滑和减阻作用的钻井液,能确保井内的钻井液良好流变性,起到降低滤失量、减少含砂量效果<sup>[19]</sup>。

该井在施工过程中使用的钻井液主要以低固相聚丙烯酰胺为主,依据地层岩性变化规律合理调控钻井液配方。在以泥岩为主的岩层钻进中,基于所设计的低固相防塌聚合物钻井液体系,有效降低了钻井液粘度和切力,解决了泥岩在井下长时间浸泡后可能引发的井壁不稳定及水敏膨胀的难题。

### 3.6.2 钻井液配方及性能

(1)一开:要求配制快捷,净化能力强,能支撑上部第四系表土层,采用低固相双聚钻井液。配方为:3%~4%膨润土+3%纯碱+400 ppm的水解聚丙

烯腈+100~300 ppm的水解聚丙烯酰胺。其它材料:膨润土、封堵剂。

(2)二开采用低固相防塌聚合物钻井液体系。配方为:3%~4%膨润土+0.1%~0.2%烧碱+0.1%~0.2%纯碱+0.1%~0.3%聚丙烯酸钾+1%~3%聚合醇防塌剂;处理添加剂(视情况加入):抗盐降粘滤失剂、稀释剂、润滑剂等;其它材料:重晶石、颗粒堵漏材料。

(3)三开钻井液配方为:1 m<sup>3</sup>水+8~10 kg膨润土+3.5 kg纯碱+0.1~0.2 kg水解聚丙烯腈+0.1~0.3 kg水解聚丙烯酰胺。视情况加入润滑剂。

钻井液配方性能参数见表5。

表5 各开次钻井液性能参数

Table 5 Properties of drilling fluid for each drilling sections

开次	密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	粘度 $FV/s$	中压失水(API) $FL/mL$	泥饼厚度 $K/mm$	静切力 $Gel/(Pa/Pa)$	pH值	屈服值 $YP/Pa$
一开	1.02~1.05	20~25	3~5	<0.5	2~4/5~10	7~8	5~10
二开	1.08~1.10	25~28	5~10	<0.5	3~5/6~10	8~9	3~8
三开	1.10~1.13	25~28	5~10	<0.5	3~5/6~10	8~9	5~9

## 4 钻孔质量分析

### 4.1 岩心采取率

按地质设计要求,钻穿松散层后,自井深166.52 m开始全井段取心。一开井段为提高大段泥岩井段的取心质量,采用“小径取心、大径扩孔”完井程序,在166.52~411.91 m井段进行 $\varnothing 124$  mm取心钻进245.39 m,获取 $\varnothing 85$  mm岩心244.48 m;二开在411.91~944.33 m井段使用 $\varnothing 124$  mm取心钻进532.42 m,获取 $\varnothing 85$  mm岩心520.75 m;三开在944.33~1632.00 m井段进行 $\varnothing 96.5$  mm取心钻进687.67 m,获取 $\varnothing 63$  mm岩心674.86 m。累计取心钻进1465.48 m,获得岩心1440.09 m,综合岩心采取率为98.27%,符合地质设计岩心采取率 $\geq 85\%$ 的要求。

### 4.2 井斜测量及控制

皖望地2井设计井斜要求:全井段井斜 $\nlessgtr 8^\circ$ ,控制全井全角变化率 $\nlessgtr 3^\circ/30$  m。该井钻遇地层以砂泥岩为主且交互频繁、灰岩地层产状陡,易井斜,为了保障井身质量,全井段采用数字测斜仪进行了16

次井斜测量,每100 m左右测量一次。若出现井斜超标趋势,马上采取轻压吊打的方法进行纠斜,缩短测斜间距,以免造成井壁间隙不均匀<sup>[20]</sup>。在钻进过程中,根据井斜情况,合理调整钻进参数,克服顶角易朝某个方向增大、岩层含有裂隙等对应问题,遇易斜地层,如三开井段灰岩地层倾角过大(接近 $90^\circ$ ),或地层软硬变化较明显时,应适当提高转速、减小钻压来控制井斜变化<sup>[21-22]</sup>。一开完井最大井斜 $0.64^\circ$ ,二开完井最大井斜 $0.83^\circ$ ,三开完井最大井斜 $3.45^\circ$ ,满足皖望地2井地质设计要求。各开次井斜测量成果见表6。

### 4.3 井控设备及措施

根据地质设计及确保工程安全实施,皖望地2井井内压力按照最大工作压力21 MPa井控压力级别配置,配备了2FZ18-21双闸板防喷器、PG610-H<sub>2</sub>S型便携式H<sub>2</sub>S检测仪及KQ500D-H<sub>2</sub>S智能型H<sub>2</sub>S探测器为主的井控设备。各开次井口装置如图8所示。

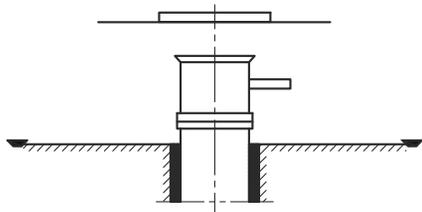
### 4.4 井径控制

一开上部松散层进行 $\varnothing 152$  mm钻进,一开完井

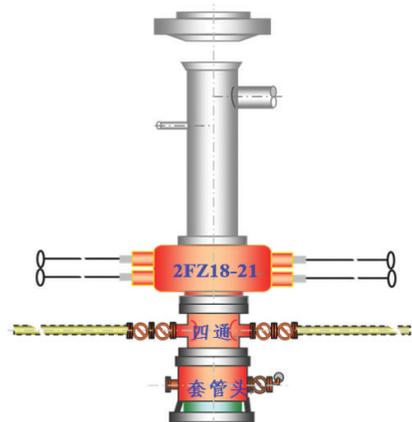
表6 井斜测量成果

Table 6 Inclination measurement results

开次	井深/m	顶角/(°)	方位角/(°)
一开	10	0.24	87.83
	90	0.19	298.15
	170	0.39	327.18
	270	0.64	342.33
	410	0.26	98.67
二开	510	0.38	135.62
	620	0.10	260.88
	720	0.51	202.14
	830	0.17	207.15
	940	0.83	189.60
三开	1100	1.18	210.52
	1220	1.68	206.52
	1320	2.00	214.46
	1420	1.91	297.55
	1500	2.76	348.23
	1605	3.41	304.30



(a) 一开井口装置



(b) 二开、三开井口装置

图8 各开次井控装置

Fig.8 Surface well control equipment used for each section

测井平均井径 144.79 mm, 井径扩大率为 16.76%; 二开自井深 411.91~944.33 m 进行  $\varnothing 124$  mm 口径钻进, 完井测井平均井径 150.86 mm, 井径扩大率为

21.66%; 三开自井深 944.33~1632 m 进行  $\varnothing 96.5$  mm 口径钻进, 完井测井平均井径 123.44 mm, 井径扩大率为 22.13%, 全井段井径扩大率  $\leq 25\%$ , 符合井身质量要求。一、二开井径曲线见图9、三开井径曲线见图10。

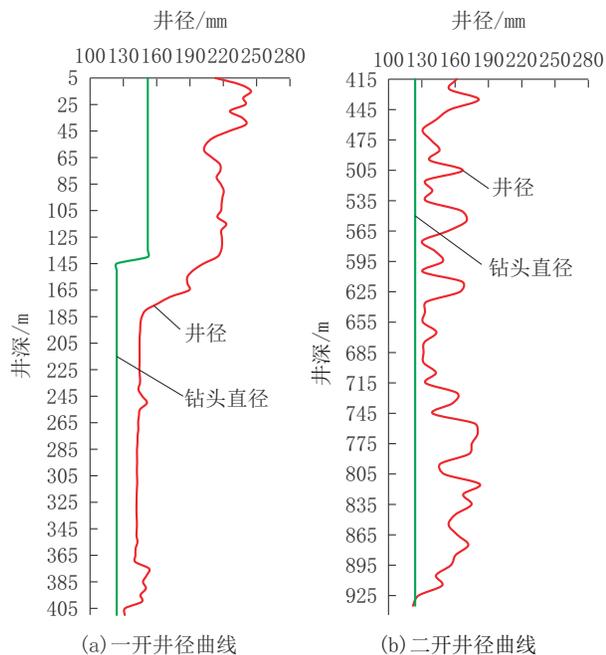


图9 一、二开井径曲线

Fig.9 Caliper logging curves for the first and second sections

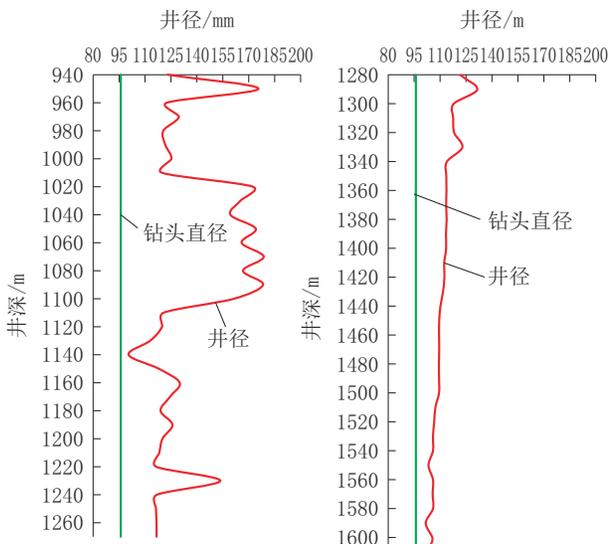


图10 三开井径曲线

Fig.10 Caliper logging curve for the third section

从图10可以看出,在三开钻进940~1100 m层段有一定的井径扩大现象,其对应的地层为泥岩及粉砂质泥岩。这主要是因为在该井段泥岩、砂岩互层频繁,取心钻进钻速平均为16 m/d,钻井周期长、机械扰动大,且该段地层在钻井液中长时间浸泡产生的水化膨胀及膨胀后产生的推挤作用而导致该井段出现的井径扩大。

## 5 取得的成果

### 5.1 查明了该井区地层情况

通过皖望地2井钻探施工及取心,配合录井、测井工作,获取了该井的实物资料和测录井原始数据,查明了该井的地层层序(见表1),为该井区的基础地质研究、油气资源发现奠定了良好基础。

### 5.2 长井段泥岩地层高效取心

皖望地2井钻遇地层层序与地质预测基本相符,但实钻地层深度、厚度与设计存在一定差距。该井钻穿第四系(0~25.83 m)后,即钻遇长井段棕红色泥质粉砂岩夹杂薄层砂岩、砾岩等,表现出不胶结或弱胶结状态,并呈现交替出现形式,井段为25.83~1056 m,严重制约着钻进时效、缩短钻头寿命。钻探施工中利用锯齿形唇面增加过流面积,调整钻头金刚石浓度及目数,合理选用PDC取心钻头并在小口径绳索取心钻进过程中引入“振动筛+高速离心机”的二级固控设备全过程分离出钻井液中侵入的泥砂,保持泥浆性能稳定,实现了“红层”井段高效取心钻进,钻时由平均43 min/m提高至21 min/m,岩心采取率由60%左右上升至90%以上。

### 5.3 评估了油气显示情况

对井区1632 m以内的地层含油气性进行了录井监测及测井评估,皖望地2井常规储层岩性以砂岩、灰岩和白云质灰岩为主,泥质含量低,气测显不活跃,储层不发育,物性较差,测井解释以干层为主,较好的储层为三类储层,共1层6.1 m。同时,受实钻地层与预测地层的深度偏差影响,外加三叠系和龙山组灰岩产状近90°等原因,造成了井区二叠系目的层埋深、厚度等不可估。

## 6 结语

在下扬子地区望江凹陷完成了小口径油气调查井皖望地2井的钻探、取心、录井及测井等施工任务,按地质要求查明了该井区的地质结构及主要岩

性,获取了地层岩性、物性、电性、岩相及含油气水等基础地质特征以及地层厚度、埋深,为下扬子陆块沿江拗陷带望江凹陷页岩油气新层系资源新发现提供了基础资料。针对长井段泥质粉砂岩夹杂薄层砂岩、砾岩且互层频繁、固结程度差的复杂工况,开展了小口径孕镶金刚石钻头改进与钻头优选、复杂地层钻井液维护及长井段泥岩地层绳索取心钻进提速等应用研究,在井下地层情况未知的条件下,有效提高钻进效率,缩短建井周期,确保了岩心采取率,实现了全井零事故的稳定施工。

## 参考文献(References):

- [1] 董旻蓉,陈钢,王莉萍.页岩气开采技术与开发现状分析[J].科技创新与生产力,2012(8):96-98.  
DONG Minrong, CHEN Gang, WANG Liping. Analysis on exploiting technology and exploiting status of shale gas [J]. Sci-tech Innovation and Productivity, 2012(8):96-98.
- [2] 张金川,陶佳,李振,等.中国深层页岩气资源前景和勘探潜力[J].天然气工业,2021,41(1):15-28.  
ZHANG Jinchuan, TAO Jia, LI Zhen, et al. Prospect of deep shale gas resources in China[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(1):15-28.
- [3] 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.  
JIANG Guosheng, WANG Rongjing. Summary of key technologies for shale gas exploration and development [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(1):3-8.
- [4] 郭旭升,郭彤楼,魏志红,等.中国南方页岩气勘探评价的几点思考[J].中国工程科学,2012,14(6):101-105,112.  
GUO Xusheng, GUO Tonglou, WEI Zhihong, et al. Thoughts on shale gas exploration in southern China [J]. Chinese Engineering Science, 2012, 14(6):101-105, 112.
- [5] 张金川,姜生玲,唐玄,等.我国页岩气富集类型及资源特点[J].天然气工业,2009,29(12):109-114.  
ZHANG Jinchuan, JIANG Shengling, TANG Xuan, et al. Accumulation types and resources characteristics of shale gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(12):109-114.
- [6] 张金成.第一性原理思维法在页岩气革命中的实践与启示[J].钻探工程,2022,49(2):1-8.  
ZHANG Jincheng. First principle thinking promotes innovation of shale gas revolution [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2):1-8.
- [7] 郭旭升,胡东风,魏志红,等.涪陵页岩气田的发现与勘探认识[J].中国石油勘探,2016,21(3):24-37.  
GUO Xusheng, HU Dongfeng, WEI Zhihong, et al. Discovery and exploration of Fuling Shale Gas Field [J]. China Petroleum

- Exploration, 2016, 21(3):24-37.
- [8] 谢军. 长宁—威远国家级页岩气示范区建设实践与成效[J]. 天然气工业, 2018, 38(2):1-7.  
XIE Jun. Practices and achievements of the Changning-Weiyuan Shale Gas National Demonstration Project Construction[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(2):1-7.
- [9] 艾军, 张金成, 臧艳彬, 等. 涪陵页岩气田钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(5):9-15.  
AI Jun, ZHANG Jincheng, ZANG Yanbin, et al. The key drilling technologies in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(5):9-15.
- [10] 赵志涛, 刘文武, 朱迪斯, 等. 岩心钻机施工页岩气地质调查井的井控技术现状[J]. 地质装备, 2018, 19(1):6-10.  
ZHAO Zhitao, LIU Wenwu, ZHU Disi, et al. The status quo of well control technology for construction of shale gas geological survey wells with core drilling rigs[J]. Geological Equipment, 2018, 19(1):6-10.
- [11] 胡晨, 同家, 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.
- [12] 胡郁乐, 胡晨, 张恒春, 等. 钻头泥包原因分析及松科二井防泥包钻井液的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(5):254-261, 268.  
HU Yule, HU Chen, ZHANG Hengchun, et al. Analysis of bit balling and application of the balling-preventing drilling fluid in well Songke-2[J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(5):254-261, 268.
- [13] 孟庆鸿, 张恒春, 胡郁乐, 等. 防泥包钻头的优化设计与应用[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(1):71-73.  
MENG Qinghong, ZHANG Hengchun, HU Yule, et al. Optimum design and application of balling-preventing bit[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(1):71-73.
- [14] 郝海洋, 宋继伟, 蒋国盛, 等. 南方页岩气基础地质调查黔海地1井钻井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(8):23-29.  
HAO Haiyang, SONG Jiwei, JIANG Guosheng, et al. Drilling technology of Well Qianpudi-1 for basic geological survey of shale gas in southern China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(8):23-29.
- [15] 朱迪斯, 岳伟民, 单文军, 等. 页岩气地质调查井浙桐地1井钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(9):15-20.  
ZHU Disi, YUE Weimin, SHAN Wenjun, et al. Drilling technology for Well Zhetongdi-1 for shale gas geological survey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(9):15-20.
- [16] 赵亮, 汪程林. 页岩气地质调查皖含地1井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(4):42-47.  
ZHAO Liang, WANG Chenglin. Drilling for Well Wanhandi-1 for shale gas geological survey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4):42-47.
- [17] 朱恒银, 王强, 蔡正水, 等. 页岩气勘探钻探关键技术方法研究综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(S1):4-10.  
ZHU Hengyin, WANG Qiang, CAI Zhengshui, et al. Research summary of the key technical methods for shale gas exploration drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(S1):4-10.
- [18] 宋继伟, 李勇. 贵州省页岩气调查井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(8):26-30.  
SONG Jiwei, LI Yong. Summary of shale gas investigation well construction technology in Guizhou province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(8):26-30.
- [19] 王文, 吴纪修, 孙建华, 等. 黔铜地1井钻井技术及页岩气含气性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(5):1-10.  
WANG Wen, WU Jixiu, SUN Jianhua, et al. Analysis of drilling techniques and shale gas compacity of Well QTD-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(5):1-10.
- [20] 杨晓宁, 盛子堂, 范中平, 等. 塔深1井超深井井斜控制技术应用分析[J]. 中外能源, 2008, 13(3):47-52.  
YANG Xiaoning, SHENG Zitang, FAN Zhongping, et al. Application and analysis of borehole deviation control technique in ultra-deep Well Tashen-1[J]. Sino-Global Energy, 2008, 13(3):47-52.
- [21] 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 Wanhandi Well-1 for basic shale gas geological survey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(10):66-70.
- [22] 明显森, 杨梦莹, 刘伟. 强水敏性地层钻进水基钻井液抑制能力的表征[J]. 广州化工, 2018, 46(24):119-121, 148.  
MING Xiansen, YANG Mengying, LIU Wei. Characterization of inhibitive ability of water based drilling fluid in water sensitive formation[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2018, 46(24):119-121, 148.

(编辑 李艺)