

# 鄂西地区页岩气地质调查鄂建地4井钻井技术

刘文武<sup>1</sup>, 朱文鉴<sup>1</sup>, 赵洪波<sup>2,3</sup>, 孟凡洋<sup>2</sup>, 冯美贵<sup>1</sup>, 郭坤<sup>1</sup>, 李超<sup>1</sup>, 蒋睿<sup>\*1,3</sup>

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083;

3. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘要:**为查明鄂西页岩气勘查区域地层层序、地质参数,揭示地层含油气性特征,中国地质调查局在湖北省建始县部署了一口大口径页岩气地质调查井——鄂建地4井,完钻井深2026 m。针对卵砾石层、承压水层、致斜地层等复杂地层难钻进和坍塌掉块等井下复杂频现难题,通过钻头优选、钻具组合优化、多类型钻井液体系配制等措施,形成了卵砾石层优快钻进和防斜复合钻进技术;针对涌漏并存,从通井、下套管、固井施工工艺等方面细化技术措施,实现了“穿鞋戴帽”固井,为后续油气开发、井筒完整性等创造了有利条件。该井形成的系列技术方法可为鄂西地区未来油气钻井施工提供有益经验。

**关键词:**页岩气地质调查;页岩气井;涌漏并存;“穿鞋戴帽”固井;防斜复合钻进;鄂建地4井;鄂西地区

**中图分类号:**P634; TE2 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)05-0039-09

## Drilling technology of Well Ejiandi-4 for shale gas geological survey in western Hubei

LIU Wenwu<sup>1</sup>, ZHU Wenjian<sup>1</sup>, ZHAO Hongbo<sup>2,3</sup>, MENG Fanyang<sup>2</sup>,  
FENG Meigui<sup>1</sup>, GUO Kun<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1</sup>, JIANG Rui<sup>\*1,3</sup>

(1. *Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China;*

*2. Oil & Gas Survey, CGS, Beijing 100083, China;*

*3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)*

**Abstract:** In order to find out the stratigraphic sequence and geological parameters in the shale gas exploration area in western Hubei and reveal the characteristics of stratigraphic oil and gas potential, China Geological Survey has deployed a large-diameter shale gas geological survey Well Ejiandi-4 in Jianshi, Hubei province, with a drilling depth of 2026 m. In view of drilling challenges, such cementing difficulties, e.g. gravel layer, confined water layer and dipped formation, collapse and falling stones, with proper selection of the drilling bit, optimization of the drilling string, and development of the high-efficiency drilling fluid system, a drilling process combining quick drilling and deviation prevention for gravel layers has been formed. For the coexistence of overflow and leakage, detailed technical measures have been prepared from the aspects of wellbore drifting, casing running and cementation, and the target of “wearing shoes and hats” has been realized. The drilling technology of Well Ejiandi-4 can provide useful experience for future oil and gas drilling in western Hubei.

**Key words:** shale gas geological survey; shale gas well; gushing and leakage coexist; “wearing shoes and hats” cementing; deviation prevention drilling; Well Ejiandi-4; western Hubei

收稿日期:2022-06-30; 修回日期:2022-07-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.006

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“深部地热能源钻探技术升级与应用示范”(编号:DD20221681)、“南方重点地区1:5万页岩气地质调查(北京探矿工程研究所)”(编号:DD20201108)、“南方重点地区1:5万页岩气地质调查”(编号:DD20190561)

第一作者:刘文武,男,汉族,1981年生,高级工程师,机械工程专业,硕士,主要从事钻探设备与工艺、二氧化碳地质封存钻探技术研究工作,北京市海淀区学院路29号,lww2257@163.com。

通信作者:蒋睿,男,汉族,1990年生,工程师,地质工程专业,硕士研究生在读,主要从事地质钻探技术及工艺研究工作,北京市海淀区学院路29号,731666593@qq.com。

引用格式:刘文武,朱文鉴,赵洪波,等.鄂西地区页岩气地质调查鄂建地4井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):39-47.

LIU Wenwu, ZHU Wenjian, ZHAO Hongbo, et al. Drilling technology of Well Ejiandi-4 for shale gas geological survey in western Hubei[J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):39-47.

## 0 引言

鄂西建始调查区作为南方页岩气基础调查工程开展页岩气调查的主要方向之一,其地层属华南地层区(II)内扬子地层区(II21)的上扬子地层分区。调查区及周缘大部分地区出露上古生界—中生界下三叠统嘉陵江组、大冶组地层,局部二叠系大隆组、下窑组、龙潭组和孤峰组,其中极少数地方零星分布白垩纪以及新生代松散沉积层。二叠系龙潭组、孤峰组作为南方页岩气主力勘探层系<sup>[1]</sup>,在黔北正安、鄂西宜昌等地区先后圈定了多个页岩气远景区<sup>[2]</sup>。

基于此,中国地质调查局在湖北省建始县部署了一口大口径地质调查井——鄂建地4井,设计井深2000 m,地理位置在湖北省恩施州建始县三里乡,构造位置属于湘鄂西褶皱带花果坪复向斜,开钻

层位为三叠系巴东组,设计完钻层位为二叠系茅口组,主要目的层为二叠系大隆组、龙潭组和孤峰组,其目的是查明区域地层层序,取全取准岩心地质资料,获取目的层厚度、埋深、岩石矿物组成、地球化学、储集物性及岩石力学等评价参数,揭示地层含油气性特征,为地层含油气性测试优选有利层段提供依据。

## 1 地质风险分析

区域地质调查,剖面实测资料较少,相邻区已完成的高地1井和建地3井因井深均不足1000 m,完钻层位均在三叠系底部大冶组,基于此预测的大冶组厚度及上覆的嘉陵江组厚度可信度不高,实钻后发现与预测地层相差较大,为钻探工艺选择和井下复杂预判带来较大挑战。实钻地层情况见表1。

表1 鄂建地4井地层情况

Table 1 Lithology at Well Ejiandil-4

系	统	组	段	顶深/m	底深/m	地层主要岩性描述
三叠系	上统	巴东组		0	390	上部为灰黄色砂砾岩,砾径主要在3~10 mm,占比超过50%;下部为浅灰色、灰色灰质白云岩夹灰色白云质灰岩
			五段	390	478	顶部灰色灰质白云岩,中下部灰色白云质灰岩
	中统	嘉陵江组	四段	478	590	上部为灰色灰质白云岩,下部为灰白色石膏岩夹灰色白云岩
			三段	590	729	以灰色白云岩为主夹灰色白云质灰岩
			二段	729	1308	上部灰色灰质白云岩夹灰白色石膏岩,中下部灰色、浅灰色灰岩夹薄层灰色灰质泥岩,底部灰质泥岩夹灰色灰岩
	下统	大冶组	一段	1308	1420	上部灰色灰岩、深灰色泥质灰岩,下部灰白色石膏岩与深灰色泥质灰岩不等厚互层
			四段	1420	1784	中上部灰色、浅灰色灰岩,下部灰色、深灰色泥质灰岩
			三段	1784	2026(未穿)	以灰色、深灰色泥质灰岩为主夹薄层灰黑色泥岩条带

设计井位位于红岩寺复向斜西北翼近核部,从构造上分析,向斜是最重要的一类富水构造,断层、构造缝、破碎带等有利构造发育,且嘉陵江组等岩溶比较发育,周边发育大量溶洞、落水洞。井场南部虽有第四系、巴东组碎屑岩覆盖,地下水主要由向斜两翼碳酸盐岩裸露区补给,沿向斜轴部由北向南径流,综合岩溶发育的各控制因素分析,井场附近井下深部岩溶相当发育,并赋含有高水位承压水。该类岩溶地貌,在钻探施工中易发生钻井液漏失、掉钻、卡钻、涌水、顶钻等井下复杂情况。

## 2 钻探工程实施

### 2.1 井身质量要求

鄂建地4井井身质量执行《钻井井身质量控制规范》(SY/T 5088—2017)标准<sup>[3]</sup>,具体井身质量要求如下。

- (1)全井段最大井斜 $\geq 5^\circ$ ,全角变化率 $< 3^\circ/30\text{ m}$ 。
- (2)井底水平位移 $\geq 50\text{ m}$ 。
- (3)目的层平均井径扩大率 $\leq 20\%$ 。
- (4)完钻直径 $\leq 215.9\text{ mm}$ 。

## 2.2 井身结构设计<sup>[4-10]</sup>

根据地质设计要求,井身结构设计如下。

一开:Ø508 mm 钻头钻进至 30 m,下 Ø406.4 mm 导管,固井,建立循环。

二开:Ø311.2 mm 钻头钻进,如遇到溶洞,采用 Ø381 mm 钻头扩孔后,下 Ø339.7 mm 套管封隔溶洞,固井;若无溶洞则 Ø311.2 mm 钻头钻至 1020 m,下 Ø244.5 mm 套管,固井。

三开:Ø215.9 mm 钻头钻进至 2000 m,根据油气显示情况,如需则下 Ø139.7 mm 生产套管,封隔储层,满足储层改造要求。

## 2.3 钻探设备选择

根据井身结构、地层条件、负荷情况、环保要求等,鄂建地4井采用了电驱动为主、配备柴油机动力的ZJ30型石油钻机,主要设备见表2。

表2 主要钻探设备

Table 2 Main drilling equipment

序号	设备名称	型号规格	数量	参数
1	钻机	ZJ-30	1	135 t
2	井架	JJ170/41-A	1	
3	转盘	ZP205	1	
4	柴油机	PZ12V190B	2	882 kW
5	电动机	YKK400-6	1	400 kW
6	节能发电机	WL200	1	200 kW
7	双闸板防喷器	2FZ35-35	1	35 MPa
8	液气分离器	YQ-1000	1	200 m <sup>3</sup> /h

## 2.4 各开次施工情况

### 2.4.1 一开钻进(0~30 m)

一开采用 Ø508 mm PDC 钻头开孔,揭开表层土后钻遇松散卵砾石层,出现井壁坍塌、掉块,钻至 16 m 时,钻头磨损严重(图1),更换 Ø444.5 mm PDC 钻头钻进至 30 m,到达设计深度后下 Ø406.4 mm 一开套管(导管),P.O42.5 普通硅酸盐水泥固井,建立循环。

一开主要钻具组合及钻进参数如下:

钻具组合1:Ø508 mm PDC 钻头+Ø177.8 mm 钻铤+接头+方钻杆;

钻具组合2:Ø444.5 mm PDC 钻头+Ø177.8 mm 钻铤+接头+方钻杆。

钻进参数:钻压 20 kN,转速 60 r/min,泵压 3 MPa。针对卵砾石难钻进、掉块等复杂,一开钻井液



图1 钻头磨损情况

Fig.1 Drill bit wear

采用膨润土分散体系<sup>[11]</sup>,配方为:清水+0.1%~0.2% 烧碱+5%~10% 膨润土+0.3%~0.5% CMC。钻井液性能:漏斗粘度 35~40 s,密度 1.06~1.08 g/cm<sup>3</sup>,API 滤失量 10~12 mL,泥皮厚度 ≤0.5 mm,pH 值 8~10。

### 2.4.2 二开钻进(老井眼,30~1156.20 m)

二开采用 Ø311.2 mm PDC 钻头全面钻进,钻至 64 m 未钻穿卵砾石层,出现蹩跳、掉块、卡钻情况,钻时增大,提钻并对 30~64 m 井段进行水泥封固,后继续钻进,790~855 m 井段钻遇 3 层漏失层,漏失量不大,顶漏穿过漏失层后,在 864~867 m 段出现动态承压水层,钻至设计井深 1020 m,因未见变层明显标志鲕粒灰岩,二开井段加深至 1156.20 m(图2)。

针对钻遇 3 个漏失层(790、835、855 m)和 1 个承压水层(864 m),无钻井液密度窗口,动平衡钻进

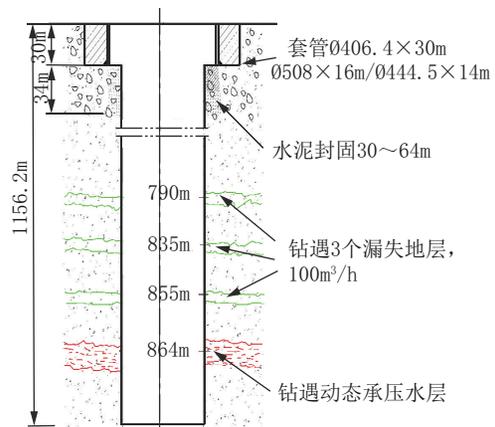


图2 二开老井眼井身结构

Fig.2 Wellbore structure of second opening interval (old)

时密度约  $1.05 \text{ g/cm}^3$ , 发生井涌失控, 涌水量最高达  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  (图3), 井筒钻井液被地下水替换。为控涌水, 采用钻井液压井, 井口附近地表出现多处冒浆, 同期钻机水泥基础出现裂纹, 后期施工过程中, 加强对钻塔垂直度、水泥地基定期观察并形成记录, 至施工顺利结束, 钻塔垂直度及地基未再变化。



图3 地层涌水

Fig.3 Water gushing

综合考虑该井上部存有不稳定层段, 存在掉块、坍塌以及钻机水泥基础不稳固造成地表设备倾倒下高风险, 后续下钻通井, 通井至  $60 \text{ m}$  遇阻, 后通井至约  $90 \text{ m}$  井深进入稳定地层时注水泥浆封固。候凝  $48 \text{ h}$  后, 继续通井至  $66.7 \text{ m}$  时速度变慢, 蹩钻严重, 注水泥浆封固。扫塞通井过程中,  $44 \text{ m}$  以深未见水泥, 蹩跳严重, 判断  $44\sim 70 \text{ m}$  卵砾石层掉块严重, 再次注浆封固。候凝  $48 \text{ h}$  后通井至  $127 \text{ m}$ , 架桥后再次注浆封固, 井底注水泥浆至井口,  $36 \text{ h}$  后进行第二次扫塞通井。通井至  $143 \text{ m}$ , 测斜  $2.6^\circ$ , 与原井井斜偏差大, 通井至  $187 \text{ m}$ , 钻时、岩性与原井眼地层正常钻进相符, 判断出现新井眼。

二开老井眼主要钻具组合及钻进参数如下:

钻具组合:  $\text{O}311.2 \text{ mm}$  PDC 钻头 +  $\text{O}203 \text{ mm}$  螺杆 + 减震器 + 接头 +  $\text{O}177.8 \text{ mm}$  钻铤 + 变径接头 +  $\text{O}159 \text{ mm}$  钻铤 + 变径 +  $\text{O}127 \text{ mm}$  钻杆; 钻进参数: 钻压  $20\sim 30 \text{ kN}$ , 转速  $60 \text{ r/min}$ , 泵压  $2\sim 7 \text{ MPa}$ 。

针对掉块、坍塌情况, 该井段主要采用聚合物防塌体系钻井液<sup>[12-13]</sup>, 配方为: 清水 +  $0.1\%\sim 0.2\%$  烧碱 +  $8\%\sim 10\%$  膨润土 +  $0.8\%\sim 1.5\%$  降失水剂 (GPNH) +  $1\%\sim 2\%$  防塌型随钻堵漏剂 (GPC) +  $0.2\%\sim 0.4\%$  CMC-HV +  $0.3\%\sim 0.6\%$  增粘剂 (GTQ) +  $0.2\%\sim 0.3\%$  包被剂 (GBBJ); 钻井液性能: 漏斗粘度  $40\sim 109 \text{ s}$ , 密度  $1.10\sim 1.19 \text{ g/cm}^3$ , API 滤失量  $6\sim 10 \text{ mL}$ , 泥皮厚度  $\leq 0.3 \text{ mm}$ , pH 值  $8\sim 10$ 。

### 2.4.3 二开钻进(新井眼, $30\sim 990 \text{ m}$ )

针对出现新井眼情况, 为保证施工进度及井身质量要求, 采用  $\text{O}311.2 \text{ mm}$  PDC + 弯螺杆 + MWD 复合钻井技术。在充分分析评估新老井眼碰撞风险后, 在新井眼钻井施工过程中, 随时进行与老井眼之间的空间位置扫描计算, 保证新井眼与老井眼之间的距离始终大于安全距离, 确保新老井眼不碰撞。因老井眼在  $790\sim 867 \text{ m}$  已钻遇井漏、井涌, 新井眼此井段施工采用顶漏强钻快速通过 (新井眼此井段机械钻速 4 倍于老井眼, 达到  $5 \text{ m/h}$  以上), 套管封隔涌、漏地层。新井眼继续钻至  $867 \text{ m}$  处漏失不返浆, 在  $867\sim 870 \text{ m}$  段钻遇动态承压水层, 涌水量更大, 约  $150\sim 200 \text{ m}^3/\text{h}$ 。调整钻井液密度至  $1.05 \text{ g/cm}^3$ , 采用动平衡钻井, 顺利钻进至  $990 \text{ m}$ 。起钻时发生井涌, 涌水失控。因承压水层涌水带出地层中大量粗砂, 经过 3 次通井尝试, 通井至井底 ( $990 \text{ m}$ )。为安全起见, 后下二开套管至  $943 \text{ m}$  (图4), 并采用“穿鞋带帽”工艺固井。

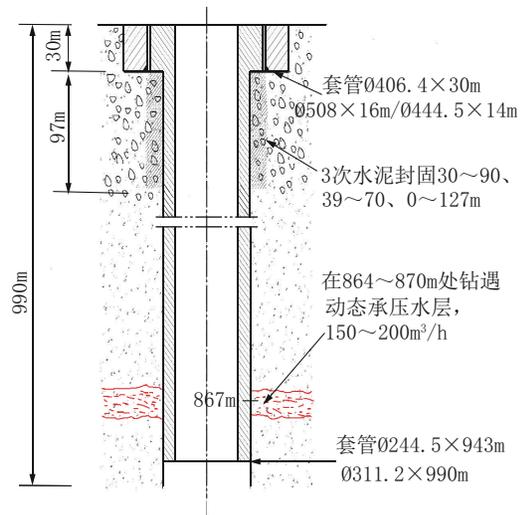


图4 二开新井眼井身结构

Fig.4 Wellbore structure of the second well section

采用分段压井法成功平衡井内承压水, 确保起钻过程顺利, 起钻后下套管 (在  $100\sim 150 \text{ m}$  处放置 5 个水泥伞), 下至  $867 \text{ m}$  处遇阻, 接方钻杆循环、上下活动套管至  $926 \text{ m}$ , 有沉沙遇阻。上下活动套管下至  $943 \text{ m}$  处 (未至井底) 后, 因套管上下活动时间较长, 为防套管损坏, 决定结束下套管作业, 准备固井。

先进行“穿鞋”固井作业, 采用套管顶替注水泥  $12 \text{ m}^3$ 。后进行“戴帽”固井。第一次“戴帽”固井: 在

套管环空间隙挤注水泥  $8 \text{ m}^3$ , 打开阀门返水, 固井失败。第二次“戴帽”固井: 先压注堵漏泥浆  $25 \text{ m}^3$  ( $1.10 \text{ g/cm}^3$ , 漏斗粘度  $70 \text{ s}$ , 含大量堵漏材料), 固井车压注水泥浆  $24 \text{ m}^3$  (平均密度  $1.756 \text{ g/cm}^3$ ), 后打开阀门, 返水量大幅减少。第三次“戴帽”固井: 先压注稠泥浆  $3 \text{ m}^3$ , 固井车缓慢压注水泥浆  $8 \text{ m}^3$  ( $1.75 \text{ g/cm}^3$ ), 候凝后, 套管环状间隙有水泥环, 固井成功。后期经过声幅变密度测井, 固井质量评价为:  $0 \sim 106 \text{ m}$ , 固井质量胶结中等;  $712 \sim 942 \text{ m}$  固井质量胶结好; 其他井段固井质量一般。

二开新井眼主要钻具组合及钻进参数如下:

钻具组合 1:  $\text{O}311.2 \text{ mm}$  PDC 钻头 +  $1.25^\circ \text{O}197 \text{ mm}$  螺杆 + 变径 + 定向接头 +  $\text{O}165 \text{ mm}$  无磁钻铤 +  $\text{O}177.8 \text{ mm}$  钻铤 + 变径 +  $\text{O}159 \text{ mm}$  钻铤 + 变径 +  $\text{O}127 \text{ mm}$  钻杆。钻进参数: 钻压  $20 \sim 40 \text{ kN}$ , 转速  $60 \text{ r/min}$ , 泵压  $3 \sim 6 \text{ MPa}$ 。

钻具组合 2:  $\text{O}311.2 \text{ mm}$  PDC 钻头 +  $1.25^\circ \text{O}203 \text{ mm}$  螺杆 + 变径 + 定向接头 +  $\text{O}165 \text{ mm}$  无磁钻铤 +  $\text{O}177.8 \text{ mm}$  钻铤 + 变径 +  $\text{O}159 \text{ mm}$  钻铤 + 变径 +  $\text{O}127 \text{ mm}$  钻杆。钻进参数: 钻压  $20 \sim 60 \text{ kN}$ , 转速  $60 \text{ r/min}$ , 泵压  $3 \sim 6 \text{ MPa}$ 。

二开井段钻井液体系:

(1) 针对  $30.00 \sim 867.00 \text{ m}$  段存在掉块、坍塌等不稳定地层, 采用聚合物防塌体系钻井液, 配方为: 清水 +  $0.1\% \sim 0.2\%$  烧碱 +  $8\% \sim 10\%$  膨润土 +  $0.8\% \sim 1.5\%$  降失水剂 (GPNH) +  $1\% \sim 2\%$  防塌型随钻堵漏剂 (GPC) +  $0.2\% \sim 0.4\%$  CMC-HV +  $0.3\% \sim 0.6\%$  增粘剂 (GTQ) +  $0.2\% \sim 0.3\%$  包被剂 (GBBJ)。钻井液性能: 漏斗粘度  $40 \sim 109 \text{ s}$ , 密度  $1.10 \sim 1.19 \text{ g/cm}^3$ , API 滤失量  $6 \sim 10 \text{ mL}$ , 泥皮厚度  $\leq 0.3 \text{ mm}$ , pH 值  $8 \sim 10$ 。

(2) 针对  $867.00 \sim 990.00 \text{ m}$  存在漏失不返浆, 其中  $867 \sim 870 \text{ m}$  动态承压水层, 采用低固相聚合物体系钻井液, 配方为: 清水 +  $0.1\% \sim 0.2\%$  烧碱 +  $3\% \sim 5\%$  膨润土 +  $0.2\% \sim 0.4\%$  CMC-HV +  $0.3\% \sim 0.6\%$  增粘剂 (GTQ) +  $0.1\% \sim 0.2\%$  包被剂 (GBBJ)。钻井液性能: 漏斗粘度  $30 \sim 35 \text{ s}$ , 密度  $1.02 \sim 1.05 \text{ g/cm}^3$ , API 滤失量  $6 \sim 10 \text{ mL}$ , 泥皮厚度  $\leq 0.5 \text{ mm}$ , pH 值  $8 \sim 10$ 。

#### 2.4.4 三开钻进 ( $990 \sim 2026 \text{ m}$ )

三开采用  $\text{O}215.9 \text{ mm}$  PDC + 弯螺杆 + MWD 的随钻纠斜复合钻井技术<sup>[14-16]</sup>, 钻至  $2026 \text{ m}$  完钻。

三开主要钻具组合及钻进参数如下:

钻具组合:  $\text{O}215.9 \text{ mm}$  PDC 钻头 +  $\text{O}172 \text{ mm}$   $1.25^\circ$  螺杆 +  $\text{O}165 \text{ mm}$  无磁钻铤 + 接头 +  $\text{O}159 \text{ mm}$  钻铤 + 变径接头 +  $\text{O}127 \text{ mm}$  钻杆。钻进参数: 钻压  $40 \sim 60 \text{ kN}$ , 转速  $60 \text{ r/min}$ , 泵压  $3 \sim 8 \text{ MPa}$ 。

三开井段地层比较稳定, 采用低固相聚合物体系钻井液, 配方为: 清水 +  $0.1\% \sim 0.2\%$  烧碱 +  $3.0\% \sim 5.0\%$  膨润土 +  $0.2\% \sim 0.4\%$  CMC-HV +  $0.3\% \sim 0.6\%$  增粘剂 (GTQ) +  $0.1\% \sim 0.2\%$  包被剂 (GBBJ)。钻井液性能: 漏斗粘度  $30 \sim 40 \text{ s}$ , 密度  $1.08 \sim 1.13 \text{ g/cm}^3$ , API 滤失量  $5 \sim 10 \text{ mL}$ , 泥皮厚度  $\leq 0.5 \text{ mm}$ , pH 值  $8 \sim 10$ 。

#### 2.4.5 取心情况

密闭取心和密闭保压取心被认为是页岩气钻井获取资料最准确的方法<sup>[17]</sup>, 本井采用了大直径取心<sup>[18]</sup>和保压取心 2 种取心方法, 全井段共取心 5 回次 (见表 3), 前 2 次采用  $\text{O}215.9 \text{ mm}$  川 7-4 取心钻具, 后 3 次采用北京探矿工程研究所研制的  $\text{O}215-80$  型保压取心钻具。取心钻进总进尺  $30.7 \text{ m}$ , 岩心长  $28.95 \text{ m}$ , 采取率  $94.3\%$ , 2 种取心方法均达到取心质量要求。

#### 2.4.6 完井

三开钻至  $2026 \text{ m}$  完钻, 测井后采用水泥对井筒  $1500 \sim 1300$ 、 $1000 \sim 900$ 、 $100 \sim 0 \text{ m}$  进行分段封固处理, 井口地面留暗标, 同时对钻孔施工场地进行恢复平整。完钻井身结构如图 5 所示。

### 3 施工成果

#### 3.1 钻探技术经济分析

受新冠疫情、当地持续暴雨及山体滑坡造成道路中断无法运输钻探设备等种种不利因素影响, 本井 2020 年 10 月 20 日开钻, 一开钻进  $0 \sim 30 \text{ m}$ , 二开钻进过程中, 因钻遇大段卵砾石层、漏失地层和动态承压水层等复杂情况, 在处理复杂地层过程中, 钻出新井眼, 经现场商定, 最终沿着新井眼继续钻进。本井最终于 2021 年 3 月 22 日以井深  $2026 \text{ m}$  完钻, 扣除冬休  $42 \text{ d}$ , 共计耗时  $111 \text{ d}$ , 与设计施工进度相比, 延长工期  $21 \text{ d}$ 。各开次施工进度如图 6 所示。

经过钻探施工统计 (表 4),  $0 \sim 2026 \text{ m}$  (包括老井眼  $1156 \text{ m}$ ), 施工总时间为  $2475.8 \text{ h}$ , 纯钻时间为  $962.37 \text{ h}$ , 占总作业时间的  $38.87\%$ ; 测井时间为  $13.88 \text{ h}$ , 占总作业时间的  $0.56\%$ ; 下套管及固井

表3 鄂建地4井取心情况统计  
Table 3 Cores from Well Ejiandi-4

取心筒次	取心井段/m	取心层位	进尺/m	心长/m	岩心采取率/%	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	岩心描述	钻具
1	1709.10~1718.80	大冶组四段	9.70	8.25	85.1	4.0	灰色泥质灰岩夹深灰色、褐灰色灰质泥岩,见水平层理,裂缝较发育,大部分被方解石充填	川7-4取心钻具
2	2005.00~2020.00	大冶组三段	15.00	15.00	100.0	4.2	灰色灰岩为主夹灰色含泥灰岩,见水平层理,夹泥岩条带	
3	2020.00~2022.00	大冶组三段	2.00	1.85	92.5	3.0	深灰色泥灰岩、深灰色灰岩,见水平层理,夹泥岩条带	Ø215-80型保压取心钻具
4	2022.00~2024.00	大冶组三段	2.00	2.00	100.0	3.5	深灰色泥质灰岩,见水平层理,夹泥岩条带	
5	2024.00~2026.00	大冶组三段	2.00	1.85	92.5	4.5	深灰色泥质条带灰岩,见水平层理	

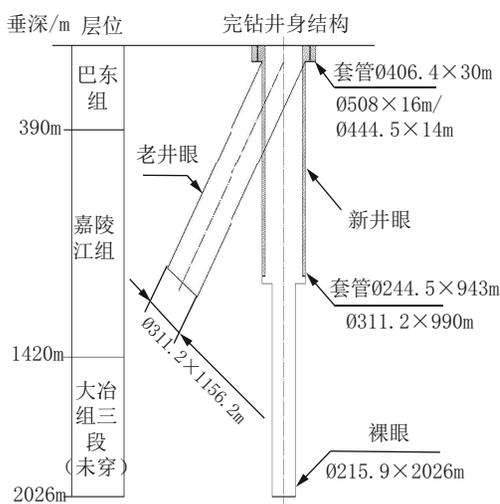


图5 鄂建地4井完井身结构

Fig.5 Completion structure of Well Ejiandi-4

187.5 h, 占总作业时间的7.57%。相比常规钻具组合(钻头+钻铤+钻杆, 钻头+直螺杆+钻铤+钻杆), 更换为复合钻进后, 机械钻速提高2倍以上。该钻具组合可随钻测斜, 随钻纠斜, 提高了时效, 创造了极大的经济价值, 在深孔大口径钻探中有着极大的应用前景。鄂建地4井各类型钻具钻速统计见表5所示。

依据测井资料(图7), 本井在井深1831 m处井斜最大为4.27°, 对应方位角349.53°, 在井深2019 m处井底水平位移最大为46.70 m, 井底温度43.19℃。本井共解释储层22层, 一类储层2.40 m/1层, 二类储层1.10 m/1层, 三类储层134.10 m/20层; 开展了

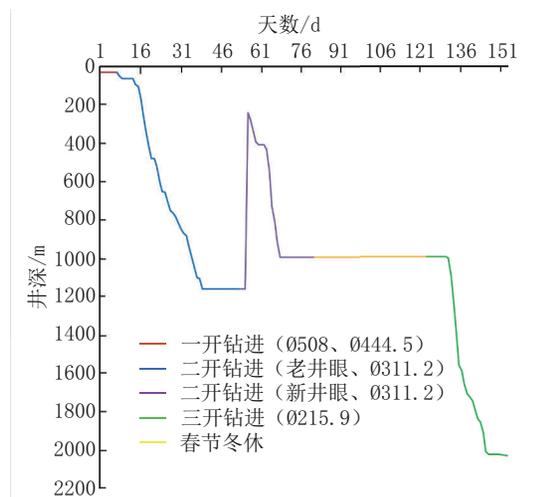


图6 鄂建地4井钻探施工进度曲线

Fig.6 Progress curve of the Ejiandi-4 drilling work

钻时、钻井液、工程参数、岩屑、岩心、气测等录井工作。

### 3.2 钻井关键技术总结

#### 3.2.1 大段卵砾石钻井成孔技术

鄂建地4井0~70 m井段含有大量卵砾石, 为能更好地解决该施工区的技术难题, 减少井内事故, 提高施工效率, 降低钻探施工成本, 探索适合此类地层施工方法。

##### 3.2.1.1 钻头的选择。

金刚石钻进时, 大口径金刚石极易崩脱和磨损, 而且价格较高; 牙轮钻头的牙掌以及刚体比较厚, 当钻具自重达到钻头有效施工压力时, 对于卵砾石地

表4 鄂建地4井全井时效分析

项 目		全井时效分析	
		时间/h	时效/%
生产时间	纯钻进	962.37	38.87
	取心	6	0.24
	扩划眼	123.66	4.99
	起下钻	283.9	11.47
	循环泥浆	58.49	2.36
	测井	13.88	0.56
	固井	187.5	7.57
	辅助	104	4.2
	生产时间合计	1739.8	70.27
	复杂处理	367	14.82
停待	220	8.89	
非生产时间	修理	48	1.94
	其他	101	4.08
	非生产时间合计	736	29.73
时间共计	2475.8	100	

表5 鄂建地4井各钻具类型钻速统计

钻头类型	螺杆	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
PDC		1.72
牙轮		0.97
PDC	直螺杆	2.74
PDC	单弯螺杆	1.77
PDC	单弯螺杆+MWD	5.55
PDC	直螺杆+MWD	2.46

层的破碎明显;PDC 钻头在石油、地热以及水文钻进中应用广泛。最终一开采用  $\varnothing 508$  mm PDC/ $\varnothing 444.5$  mm PDC 钻头钻进,二开采用  $\varnothing 311.2$  mm PDC 钻进。

### 3.2.1.2 泥浆的使用。

工作区主要在河谷平坦区域,部分卵石含量超过70%,粒径较大,部分含砂量高,含水丰富,地层胶结性极差,护壁工作是重点;采用全面钻进施工,造成井内砂砾石较多,需要靠泥浆携带排出。经现场实践,在该工作区施工当遇到地层胶结性较好时,采用膨润土+纯碱+水+CMC,钻进时,适当加大泥浆粘度和密度,携带砾石效果好且价格低廉。

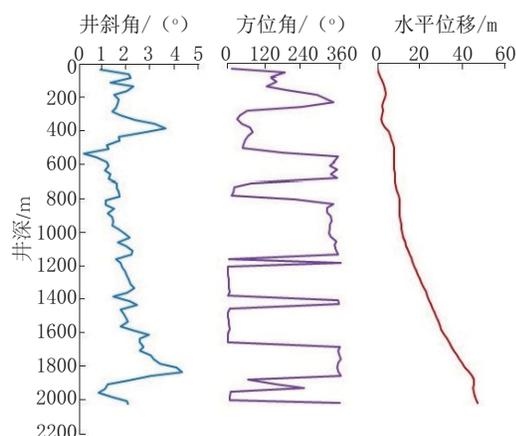


图7 鄂建地4井井斜、方位角、井底水平位移数据曲线

Fig.7 Well inclination, azimuth, h bottom hole horizontal displacement curves of Ejiandi-4

### 3.2.1.3 水泥封固

本井大段卵砾石,在新老井眼施工过程中,前后共注水泥浆5次,对不稳定地层进行了护壁加固,最终得以成孔。

### 3.2.2 涌漏同存复杂情况处理技术

该工区嘉陵江组涌漏共存现象,与地质因素有关,需采取相应有效预防和措施,进而提升页岩气复杂井型钻井施工安全,降低作业成本。

(1)涌漏同存井发生井漏后,先解决井漏,再解决涌水,根据不同的复杂情况和现场条件实施堵漏压井。

(2)钻进过程中,从提高钻井液封堵造壁能力及随钻堵漏入手,提高地层的承压能力,扩展钻井液安全密度窗口,必要时可采取水泥封堵的方法提高地层承压能力。对于恶性漏失,可考虑凝胶堵漏浆+桥堵堵漏浆进行堵漏作业及光钻具大颗粒材料进行堵漏作业。

(3)对于多次堵漏效果不理想,可考虑强行钻进,强行钻进要简化钻具组合,确保钻具安全,采用近平衡钻进,顺利通过涌漏层位后,可考虑优化井深结构提前中完,从而节约钻井成本,缩短建井周期。

### 3.2.3 井眼轨迹防碰技术

鄂建地4井在确认钻出新井眼后,因老井眼情况复杂,结合井眼轨迹测量及计算理论与实践,新井眼利用主动防碰技术,采用MWD复合钻进工艺,控制实钻轨迹,利用防碰扫描方法扫描出新井与老井间的距离,确保井眼不相交,保证了工程顺利竣工。

### 3.3 取得的地质成果

本井开孔层位为三叠系巴东组,自上而下钻遇三叠系中统巴东组、三叠系中下统嘉陵江组,三叠系下统大冶组(未穿),详见表1。由于巴东组与嘉陵江组厚度较设计变厚,在设计井深内未钻达设计目的层二叠系大隆组、龙潭组及孤峰组,已钻遇地层层序与设计相符。通过鄂建地4井实施,对湘鄂西褶皱带花果坪复向斜地层含流体情况有了更进一步的认识;完成了鄂西地区完整钻穿嘉陵江组全套地层,获取钻遇地层岩屑、部分地层岩心和全井段测录井数据,初步查明了地层层序,为鄂西地区油气调查工作的开展奠定坚实的基础数据支撑;完钻后根据现场录井资料及邻井资料对地层含流体情况进行了现场解释:全井最终发现气显示4.50 m/4层,显示集中在嘉陵江组、大冶组,其中现场解释含气层0.50 m/1层,微含气层4.00 m/3层。

### 4 存在问题与思考

(1)井身结构未能及时根据实钻调整。合理的井身结构设计既能最大限度地避免漏、喷、塌、卡等工程事故的发生,又能最大限度地减少钻井工程费用,由于对地层认识不足和邻区资料收集不够,导致表层套管不能对地表部分易坍塌、易漏失地层和地表水层封隔,一开套管(导管)下入深度不够,没有根据地层情况及时调整。

(2)对涌水认识不足,前期处理不当。在新老井眼钻进过程中,均在860~870 m处发生涌水,水头不高,水量不小。因初期涌水处理方法不当,使钻进工作无法进行,同时引起井壁坍塌等复杂情况。后期主要从改善钻井液性能着手,防止被水稀释,平衡钻进,必要时加入重晶石粉来提高密度,增大井眼液柱压力。

(3)承压水层特殊情况科学决策水平有待提高。施工中一旦遇到承压水层,在钻进过程中一定要确认承压水层的顶界、底界、厚度和承压水层的压力,分析钻井的具体施工条件。鄂建地4井在钻进承压水层过程中,充分考虑水头大小、水压、涌水位置、下套管深度等因素,采用顶漏快速钻穿,下套管封隔方案,保证钻井能顺利完成。

### 5 结语

(1)鄂建地4井完钻井深2026 m,终孔直径

215.9 mm,因未钻至目的层,根据二级项目要求定深取心进尺30.7 m,岩心长28.95 m,岩心采取率94.3%。针对地层及井壁极不稳定(大段卵砾石层)、涌水及漏失夹层等各种困难,形成了卵砾石层优快钻进、承压水层动态平衡钻井、随钻纠斜复合钻井等系列技术,为该区域油气钻井实现安全环保高效奠定了基础,为鄂西地区开展油气地质调查工作提供有益经验。

(2)鄂建地4井完钻井深已超过设计井深,钻达三叠系大冶组三段,但未到设计层位,因项目经费原因,未继续进行加深钻进。但结合鄂建地4井上段油气显示情况,建议对该井进行加深钻探,以查明二叠系泥页岩层系含气性特征,为评价鄂西地区二叠系页岩气资源潜力提供资料支撑。

### 参考文献(References):

- [1] 李浩涵,杜江,陈科,等.湖北五峰地区发现二叠系页岩气[J].中国地质,2020,47(6):1932-1933.  
LI Haohan, DU Jiang, CHEN Ke, et al. The discovery of Permian shale gas in Wufeng area, Hubei province[J]. Geology in China, 2020,47(6):1932-1933.
- [2] 许光,韩志军,张君峰,等.公益性陆域油气地质调查工作进展与发展建议[J].地质通报,2022(网络首发).  
XU Guang, HAN Zhijun, ZHANG Junfeng, et al. Progress of public oil and gas geological survey during the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan period and prospect forecast for the 14<sup>th</sup> Five-Year Plan[J]. Geological Bulletin of China, 2022.
- [3] SY/T 5088—2017, 钻井井身质量控制规范[S].  
SY/T 5088—2017, Specification for wellbore quality of drilling[S].
- [4] 樊腊生,刘伟,张统得,等.四川沐川大口径地质调查井(川沐地2井)钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(12):43-53.  
FAN Lasheng, LIU Wei, ZHANG Tongde, et al. Drilling of a large diameter geological survey well (Well Chuanmudi-2) in Muchuan county of Sichuan province[J]. Drilling Engineering, 2021,48(12):43-53.
- [5] 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. A brief discussion on the drilling technology of shale gas survey in Wannandi Well-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):66-70.
- [6] 刘文武,刘家荣,郭坤,等.雄安新区D14地热井钻探施工技术研究[J].西部探矿工程,2019,31(8):102-106.  
LIU Wenwu, LIU Jiarong, GUO Kun, et al. Study on dringing

- technology of D14 geothermal well in Xiong'an New Area[J]. West-China Exploration Engineering, 2019,31(8):102-106.
- [7] 刘文武,欧阳志勇,赵志涛,等.青海花土沟地区砂岩型铀矿钻探施工技术研究[J].矿产勘查,2019,10(5):1228-1232.  
LIU Wenwu, OUYANG Zhiyong, ZHAO Zhitao, et al. A brief discussion on drilling technology for sandstone type uranium in Qinghai Hua Tu Gou area [J]. Mineral Exploration, 2019, 10(5):1228-1232.
- [8] 李岩,郭军,王文彬.滇东地区页岩气调查云宣地1井钻探施工难点及对策[J].钻探工程,2021,48(8):12-18.  
LI Yan, GUO Jun, WANG Wenbin. Drilling difficulties and solutions for Well Yunxuandi-1 for shale gas survey in eastern Yunnan[J]. Drilling Engineering, 2021,48(8):12-18.
- [9] 熊虎林,张飞.新疆吉木萨尔县准页4井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):38-42.  
XIONG Hulin, ZHANG Fei. Drilling technology for Zhunye Well-4 in Jimusaer county of Xinjiang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(12):38-42.
- [10] 秦杜,袁明进,张娜.川南坳陷仁怀区块仁页1井钻井关键技术[J].石油机械,2015,43(6):16-19.  
QIN Du, YUAN Mingjin, ZHANG Na. Key drilling technologies for shale gas exploration Well Renye-1 in Block Huai ren in Southern Sichuan Depression[J]. China Petroleum Machinery, 2015,43(6):16-19.
- [11] 迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.黔西地区表层易漏地层钻井工程技术[J].钻探工程,2021,48(4):66-72.  
CHI Huanpeng, HU Zhifang, WANG Shengjian, et al. Drilling techniques for thief zones in surface formations in western Guizhou[J]. Drilling Engineering, 2021,48(4):66-72.
- [12] 董海燕,高永进,白忠凯,等.塔里木盆地柯坪地区新苏地1井冲洗液护壁堵漏工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):47-55.  
DONG Haiyan, GAO Yongjin, BAI Zhongkai, et al. Wall protection and leak-plugging with drilling fluid for Well Xinsudi-1 in Keping area of Tarim Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):47-55.
- [13] 刘文武,郭坤,冯美贵.页岩气钻探施工钻进护壁技术[J].西部探矿工程,2021,33(1):60-61,65.  
LIU Wenwu, GUO Kun, FENG Meigui. Drilling wall protection technology for shale gas drilling construction [J]. West-China Exploration Engineering, 2021,33(1):60-61,65.
- [14] 樊腊生,贾小丰,王贵玲,等.雄安新区D03地热勘探井钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):13-22.  
FAN Lasheng, JIA Xiaofeng, WANG Guiling, et al. Drilling practice of D03 geothermal exploration well in Xiong'an New Area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):13-22.
- [15] 王希勇,朱礼平,胡大梁,等.复合钻井技术在川东北地区的应用[J].天然气工业,2008,28(11):77-79.  
WANG Xiyong, ZHU Liping, HU Daliang, et al. Application of compound drilling technology in northeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008,28(11):77-79.
- [16] 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.
- [17] 赵洪波,朱芝同,梁涛,等.页岩气基础地质调查钻井技术进展及展望[J].中国地质,2022(网络首发).  
ZHAO Hongbo, ZHU Zhitong, LIANG Tao, et al. Shale gas geological survey drilling technologies: Progress and prospect [J]. Geology in China, 2022.
- [18] 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.

(编辑 李艺)