

# 南方页岩气基础地质调查黔普地 1 井钻井施工技术

郝海洋<sup>1</sup>, 宋继伟<sup>2</sup>, 蒋国盛<sup>3</sup>, 杜胜江<sup>4</sup>, 李 勇<sup>2</sup>, 班金彭<sup>1</sup>, 黄明勇<sup>1</sup>, 畅利民<sup>1</sup>

(1.贵州省地质矿产勘查开发局一一五地质大队, 贵州 清镇 551400;

2.贵州省地质矿产勘查开发局一二地质大队, 贵州 安顺 561000;

3.中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 4.贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550005)

**摘要:**页岩气基础地质调查项目黔普地 1 井是部署在黔西南凹陷青山向斜的一口页岩气地质调查井。介绍了该井的工程与地层概况,重点阐述了该井的钻探施工技术;结合实钻地层及测井数据对钻井施工质量进行了分析评价。通过合理的钻探设备选型、井身结构优化、钻进取心工艺配合、泥页岩抑制性钻井液体体系优化和钻进参数的合理搭配,提高了钻进效率,钻井质量满足地质要求,有效地完成了钻井施工任务,以为同类型页岩气调查井的钻井施工提供技术参考。

**关键词:**页岩气;基础地质调查;黔普地 1 井;钻探技术

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)08-0023-07

## Drilling technology of Well Qianpudi - 1 for basic geological survey of shale gas in Southern China

HAO Haiyang<sup>1</sup>, SONG Jiwei<sup>2</sup>, JIANG Guosheng<sup>3</sup>, DU Shengjiang<sup>4</sup>,

LI Yong<sup>2</sup>, BAN Jinpeng<sup>1</sup>, HUANG Mingyong<sup>1</sup>, CHANG Limin<sup>1</sup>

(1.115 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Qingzhen Guizhou 551400, China;

2.112 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Anshun Guizhou 561000, China;

3.Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;

4.Guizhou Geological Survey, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550005, China)

**Abstract:** The Well Qianpudi - 1 is a shale gas geological survey well deployed in the Qingshan syncline in Southwest Guizhou Sag. This paper describes the outline of the project and the basic geology with focus on the drilling and construction technology of the well. In addition, the drilling quality is analyzed in light of drilling formation and logging data. With proper drilling equipment selection, well structure optimization, core drilling technology, drilling fluid system optimization and proper drilling parameters, drilling efficiency has been improved, and drilling quality met the geological requirements, resulting in effective completion of the drilling work. It may provide technical reference for drilling and construction of similar shale gas survey wells.

**Key words:** shale gas; basic geological survey; Well Qianpudi - 1; drilling technologies

我国南方地区发育了多套海相富有机质页岩,页岩气资源储量丰富<sup>[1-2]</sup>。国内涪陵、威远-长宁、昭通等地页岩气勘探开发正如火如荼地开展<sup>[3-7]</sup>,

大有掀起中国“页岩气革命”之势。贵州省南方海相页岩气勘探已取得了实质性的进展<sup>[8-12]</sup>。国内海陆交互相和中新生代陆相炭质页岩,上扬子及滇黔

收稿日期:2019-04-08; 修回日期:2019-04-22 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.08.004

基金项目:贵州省科技支撑计划项目(编号:黔科合支撑[2018]2195);贵州省科技支撑计划社会攻关项目(编号:黔科合支撑[2016]2807);贵州省地矿局地质科学研究项目(编号:黔地矿科合[2018]26、黔地矿科合[2016]27)

作者简介:郝海洋,男,汉族,1990年生,工程师,石油与天然气工程专业,硕士,主要从事钻探技术研究工作,贵州省清镇市北门桥一一五地质大队, haiyanghao2016@126.com。

引用格式:郝海洋,宋继伟,蒋国盛,等.南方页岩气基础地质调查黔普地 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.

桂地区单层厚度较大<sup>[13-14]</sup>;贵州省内二叠系龙潭组地层分布广泛,具有形成煤系气资源的良好物质基础<sup>[15-17]</sup>。中国地质调查局油气中心南方页岩气基础地质调查工程黔普地1井的实施,对揭露黔西南地区海陆交互煤系地层龙潭组页岩气、煤层气及致密砂岩气的储层物性、含气性具有重要意义。本文总结了黔普地1井的钻井施工技术,并评价了钻井质量,以期为同类型页岩气调查井的钻井施工提供参考。

## 1 项目概况

### 1.1 工程概况

黔普地1井位于黔西南普安县南部上独村上桃子湾,是中国地质调查局油气资源中心在黔西南地区实施的一口页岩气地质调查井,该项目由贵州省地质调查院承担,贵州省地质矿产勘查开发局一一五地质大队负责钻探施工(见图1)。黔普地1井部署在黔西南凹陷青山向斜南翼,目的层为二叠系上统龙潭组。

该井设计井深1500 m,完钻井深1402.68 m,达



图1 黔普地1井施工现场

Fig.1 Construction site of Well Qianpudi-1

到地质勘查目的;钻井周期为106 d,纯钻时间53 d;钻穿“三气”(煤层气、页岩气和致密砂岩气)储层277.21 m,获得岩心长度270.30 m,储层段岩心采取率97.5%;820 m以浅井斜角在1.3°以内,820 m以深井斜控制在3.28°以内。

### 1.2 地层

黔普地1井钻遇地层包括第四系、三叠系永宁镇组和飞仙关组、二叠系龙潭组和峨眉山玄武岩组<sup>[16]</sup>,具体钻遇地层分层、岩心特征及钻进时注意事项见表1。

表1 黔普地1井地层分层

Table 1 Formation stratification of Well Qianpudi-1

地 层			基 本 岩 性	厚度/ m	底深/ m	注意事项	
系	统	组 段 代号					
第四系		Q	黑色、黄色浮土	6.38	6.38		
三叠系	下	永宁镇组	灰岩、白云岩及角砾状白云岩夹泥岩	441.39	447.77	防漏、防卡、防斜	
		飞仙关组	紫红、灰绿色砂岩及泥岩,夹少量灰岩及含铜砂岩	620.35	1068.12	防漏、防塌、防斜	
二叠系	上	第三段	顶部岩性主要为1套灰黑色泥岩,上部为深灰色钙质泥岩,中部为深灰色粉砂质泥岩,下部变为灰色钙质粉砂岩,底部为1层黑色煤层,本段刚钻取岩心做现场浸水实验可见少量气泡	123.22	1191.34		
		第二段	顶部主要为1套深灰色、灰黑色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩夹少量煤层,中部主要为黑色煤层夹炭质泥岩、粉砂质泥岩,下部主要为深灰色钙质粉砂岩、粉砂质泥岩夹少量煤层,本段煤层主要集中在中上部,根据取岩心做现场浸水实验可发现靠中部具有较高的煤层气含气量	105.89	1297.23	防塌、防喷	
		第一段	岩性主要为深灰色粉砂质泥岩,下部含有黑色煤层,底部与峨眉山玄武岩组沉凝灰岩接触的为深灰色炭质泥岩	48.10	1345.33		
	中	峨眉山玄	P <sub>2-3em</sub>	暗绿色及灰绿色玄武岩	57.35	1402.68	
	下	武岩组					

## 2 钻井质量指标及技术要求

### 2.1 岩心采取率

全井段岩心采取率 $\geq 85\%$ ,不得出现零回次,每任意5 m段岩心采取率 $> 75\%$ ,钻至目的层以后,以副绞车最大提升速度提取内管,以减少岩心气体损失。

### 2.2 钻孔弯曲度

500 m以浅,最大井斜 $\geq 2^\circ$ ;500 m $<$ 井深 $<$ 1000 m,井斜 $\geq 3^\circ$ ;井深 $>$ 1000 m,井斜 $\geq 5^\circ$ 。

### 2.3 井深校正

用钢尺校正井深,每100 m必须校正一次,终孔时测一次,误差 $\geq 1\%$ 。根据地质工作需要可随机进行井深校正。

## 2.4 钻井液要求

钻进目的层后,钻井液中不得添加含荧光性物质。

## 3 钻井工程技术

### 3.1 钻井设备

选择钻井设备时,应充分考虑钻机处理卡、埋钻事故的能力。黔普地 1 井选用 HXY-8 型立轴钻机,最大起重力 300 kN、最大加压力 141 kN,基本满足黔普地 1 井钻井工程的施工要求。选用的具体设备详见表 2。

表 2 黔普地 1 井钻井设备配置  
Table 2 Drilling equipment for Well Qianpudi-1

设备名称	型号	主要技术参数	
钻机	HXY-8	钻杆直径/mm	50、60、71、89、114
		钻机最大起重力/kN	300
		钻机最大加压力/kN	141
		单绳最大提升力/kN	125
钻塔	SG24	塔高 24 m,最大天车负载 680 kN	
泥浆泵	BW320-Z	最大流量 320 L/min,最大压力 100 kg/cm <sup>2</sup> ,驱动压力 30 kW	
绳索取心绞车	JS-2000	功率 7 kW;钢丝绳直径 5.5 mm	
液压钳	SQ118/8	可用于 Ø71、89、114 mm 钻杆	
柴油机	YC6108ZLD	功率 134 kW,转速 1800 r/min	

### 3.2 井身结构设计

井身结构设计应基于钻井质量指标和技术要求,满足页岩气基础地质调查的研究目的,既要考虑到事故预防和处理的合理化安排,又要考虑到后续测录井的有效开展。同时,由于地层压力剖面资料缺乏,难以把握“必封点”的准确位置。因此,在实际钻进施工中,应基于井内实时情况,及时优化调整井身结构。黔普地 1 井的实际井身结构见表 3。

表 3 黔普地 1 井各开次钻具组合

Table 3 Configuration of drilling tools for each section drilling of Well Qianpudi-1

开次	钻进方法	井深/m	钻具组合	备注
一开	提钻取心	0~9.75	Ø172 mm 金刚石取心钻头+Ø172.5 mm 下扩孔器+普通取心钻具外管+Ø114 mm 绳索取心钻杆	采用 Ø172 mm 硬质合金钻头钻穿第四系浮土层进入基岩,下入 Ø168 mm 表层井口管固井并安装井口
二开	提钻取心	9.75~45.23	Ø150 mm 金刚石取心钻头+Ø150.5 mm 下扩孔器+普通取心钻具外管+Ø114 mm 绳索取心钻杆	采用 Ø150 mm 表镶金刚石钻头钻入永宁镇组,下入 Ø146 mm 套管封隔孔壁
三开	绳索取心	45.23~489.90	Ø122 mm 取心钻头+Ø122.5 mm 下扩孔器+绳索取心钻具外管+Ø114 mm 绳索取心钻杆	采用 Ø122 mm 绳索取心钻头取心,钻入飞仙关组,下入 Ø114 mm 钻杆作为套管封隔孔壁
四开	绳索取心	489.90~1402.68	Ø96 mm 取心钻头+Ø96.5 mm 上扩孔器+绳索取心钻具外管+Ø96.5 mm 上扩孔器+弹卡室+弹卡室挡头+Ø89 mm 绳索取心钻杆	采用 Ø96 mm 绳索取心钻头取心,钻入峨眉山玄武岩组一段指定深度

### 3.5 钻进参数

表 3 黔普地 1 井井身结构

Table 3 Sstructure of Well Qianpudi-1

开次	井径/mm	设计井深/m	实际井深/m	套管规格/mm	套管下深/m	备注
一开	172	0~10	9.75	Ø168	9.75	
二开	150	10~50	45.23	Ø146	45.23	
三开	122	50~750	489.90	Ø114	489.90	PQ 钻具
四开	96	750~1500	1402.68			HQ 钻具

### 3.3 钻头选型

根据黔普地 1 井钻遇地层岩石的可钻性、研磨性和破碎程度等情况的预判,参照有关规程推荐的钻头选用标准及施工经验,确定开孔时选择硬质合金钻头,二开至终孔使用电镀、复合片和孕镶金刚石钻头,其主要技术参数应符合如下要求:

钻头直径(外径):根据井身结构确定,一开采用 Ø172 mm 硬质合金钻头;二开采用 Ø150 mm 电镀金刚石钻头取心;三开采用 Ø122 mm 金刚石钻头;四开采用 Ø96 mm 金刚石或复合片钻头。

钻头内径:Ø150 mm 提钻取心钻头内径确定为 108 mm。Ø122 mm 绳索取心钻头内径为 85 mm;Ø96 mm 绳索取心钻头内径为 64 mm。钻头水口、水槽的设计应考虑冲洗钻屑和保护岩心的作用,适当加大水口、水槽断面,增加水口、水槽数量,以减少流通阻力,保证钻头得到充分的冷却,同时要避免冲洗液直接冲刷岩心和地层,可采用底喷式和侧喷式。

金刚石单晶强度:选择的金刚石单晶强度应大于 343 N,即单晶强度应相当于 SMD35 以上的人造金刚石。胎体硬度:软岩 HRC15~40,硬岩 HRC5~8。

### 3.4 钻具组合

除了上部大口径段采用普通取心钻具外,三开四开钻具一般采用绳索取心钻具。黔普地 1 井的钻具组合见表 4。

选用合理的钻进参数,才能使钻进过程达到最

优的技术和经济指标。应根据地层变化和井内的实际情况,结合金刚石钻头(尤其是绳索取心金刚石钻头)的破岩机理,及时控制钻压、转速和排量。基于黔普地1井钻遇地层的实际情况,推荐钻进参数见表5。

表5 黔普地1井钻进参数推荐

钻进方法	钻压/ kN	转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	排量/ (L · min <sup>-1</sup> )
Ø172 mm 提钻取心	5~10	30~80	120~150
Ø150 mm 提钻取心	10~15	50~100	80~120
Ø122 mm 绳索取心	15~20	200~300	60~90
Ø96 mm 绳索取心	10~15	200~400	50~70

值得注意的是,采用绳索取心钻进工艺后,应控制好内管下放和上提的速度,以免由此产生的“激动”压力和抽吸压力诱发易漏、易垮、易喷段的孔内事故发生。

### 3.6 钻井液

页岩气基础地质调查黔普地1井采用欠平衡钻进,钻井液的性能设计主要从泥浆护壁、携岩和冷却钻头方面考虑。一开钻遇的第四系主要是浮土,采用清水+3%~5%膨润土即可满足钻进目的。二开、三开、四开永宁镇组和飞仙关组以灰岩和砂岩为主,钻井施工所用钻井液为清水+4%膨润土+0.25%

CMC。四开钻进至1072.41 m后,到达龙潭组,龙潭组包含易水敏膨胀缩径的泥页岩以及易垮塌的煤岩;为确保该井井壁稳定,保证钻探取心的正常进行,确定的无固相钻井液配方为:清水+0.3% NH<sub>4</sub>-HPAN+0.15% CMC+0.02%烧碱+3%~5% KCl。

图2是采用现场岩心所做的浸泡实验,从图中可以清晰看出,浸泡在清水中的泥页岩在45 min后由于水化膨胀,出现松软、分散的状态;而采用无固相泥页岩抑制钻井液具有相对较好的泥页岩抑制效果。现场实测的钻井液参数见表6。



图2 浸泡45 min后无固相钻井液对泥页岩抑制性效果

Fig.2 Inhibitory effect of non-solid drilling fluid on mud shale after soaking for 45 min

表6 各开次钻井液体系及性能参数

Table 6 Drilling fluid systems and performance parameters for each section drilling

开次	深度/m	配 方	密度/(g · cm <sup>-3</sup> )	马氏粘度/s	泥饼厚度/mm	滤失量/mL	pH 值
一开	9.75	清水+3%~5%膨润土	1.03	28	0.30	28	9.0
二开	45.23	清水+4%膨润土+0.25%CMC	1.05	30	0.25	10	8.5
三开	489.90						
	1072.41	清水+4%膨润土+0.25%CMC	1.05	30	0.25	10	8.5
四开	1402.68	清水+0.3% NH <sub>4</sub> -HPAN+0.15% CMC +0.02%烧碱+3%~5% KCl	1.02	35		15	9.0

## 4 钻井质量结果分析

### 4.1 井斜控制与井深校正

图3给出了黔普地1井的井斜角测量结果,820 m以浅井斜角在1.3°以内,820 m以深井斜控制在3.28°内,说明黔普地1井的井眼轨迹满足设计要求。黔普地1井共校正井深14次,井深校正符合设计要求。

### 4.2 井径及井径扩大率

基于测井资料,图4给出了目的层段的井径随井深变化的曲线。从图中可以看出目的层段有一定

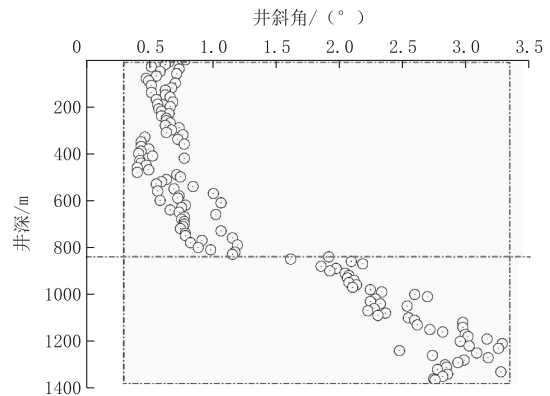


图3 黔普地1井井斜角测定结果

Fig.3 Well inclination measurement results of Well Qianpudi - 1

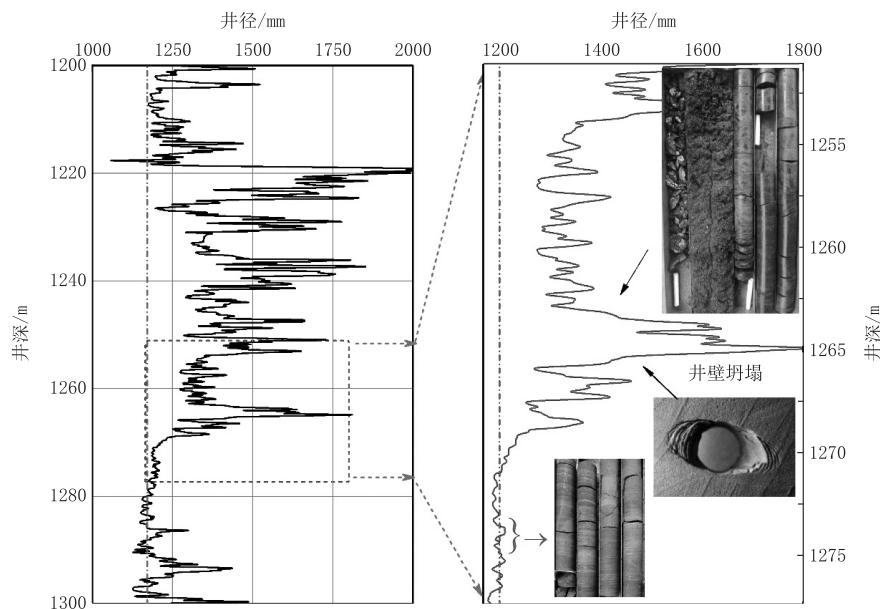


图 4 黔普地 1 井目的层段井径变化情况

Fig.4 Diameter variation in the target formation of Well Qianpudi - 1

的井径扩大率,尤其是煤层段,出现井径扩大率激增现象。说明无固相钻井液虽然能够起到抑制泥页岩水化的作用,却无法有效防止井壁坍塌。欠平衡钻进时,钻井液的液柱压力小于目的层段的坍塌压力可能是煤层段垮塌的原因之一<sup>[18-19]</sup>。煤岩本身节理裂隙发育、机械强度低的性质和泥页岩水化膨胀后的推挤作用也可能是煤层段井径扩大的原因<sup>[20-21]</sup>。当然,在泥页岩垮塌周期以外进行测井,也是井径扩大率较大的客观原因之一。

#### 4.3 岩心采取率

黔普地 1 井完钻井深 1402.68 m,记录岩心长度 1351.15 m,平均岩心采取率为 96.4%;目的层 277.21 m,获得岩心长度 270.30 m,平均岩心采取率 97.5%;岩心采取率满足地质设计要求。

为充分研究黔普地 1 井各层段的岩心采取率,统计分析了全井段岩心采取率的情况,如图 5 所示。从图中可以看出,一开、二开大口径钻井时由于采用普通取心工艺,岩心采取率无法有效保证;三开以后采用绳索取心工艺,岩心采取率基本保持在 95%以上。钻至目的层龙潭组后,地层中出现煤泥交互地层,煤层临近井段的采取率略有降低,最低也基本在 90%以上;由于砂岩和大部分泥页岩的岩心较为完整,目的层整体岩心采取率高达 97.5%。由此可见,进入目的层后采用无固相泥页岩抑制性钻井液,配合小口径绳索取心工艺进行页岩气基础地质调查,

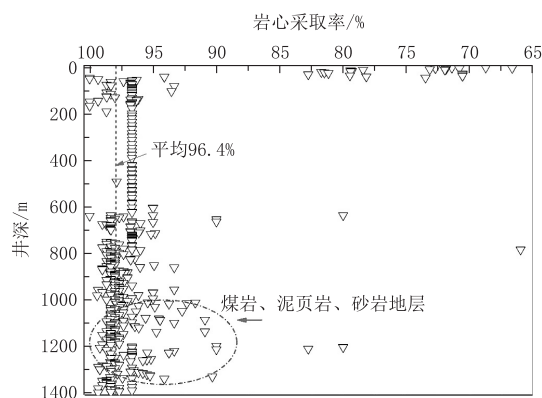


图 5 黔普地 1 井全井段岩心采取率分布图

Fig.5 Core recovery distribution map for the whole well

完全能够满足岩心采取率的设计要求。

## 5 钻效分析

### 5.1 机械钻速

机械钻速受钻井施工中不可控因素(地层岩性、储层埋深和地层压力等)和可控因素的(钻井设备、钻头类型、钻井液性能和钻进参数等)两大方面的影响和制约。黔普地 1 井一开、二开采用普通绳索取心钻进工艺,平均机械钻速分别为 3.12、3.86 m/h;三开以后选用绳索取心钻进工艺,三开平均机械钻速为 4.26 m/h,四开目的层以浅平均机械钻速为 2.95 m/h,四开目的层平均机械钻速为 1.56 m/h,四开玄武岩段平均机械钻速为 1.95m/h,全井段平

均机械钻速 2.69 m/h。黔普地 1 井全井段机械钻速分布如图 6 所示。

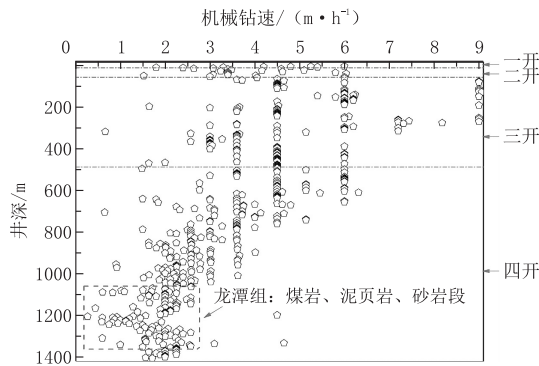


图 6 黔普地 1 井全井段机械钻速分布图

Fig.6 Mechanical drilling rate distribution diagram for the whole well

从图 6 中可以看出,随着井深的增加,机械钻速呈下降趋势,目的层段最低。机械钻速呈现出这种状态的原因是多方面因素综合作用的结果。就选定了钻机设备的黔普地 1 井而言,钻进效率的大小与地层因素和人为可控因素关系密切。三开主要为砂岩、灰岩地层,钻进时提高转速、适当增大钻压(大于该区地层的“门限钻压”),根据不同地层的可钻性等级选用了不同胎体硬度的金刚石取心钻头。钻进速度快时,产生的岩屑就会增多,此时的排量应适当增大以确保清洗孔底和及时上返岩屑。对于目的层的泥页岩地层,由于地层相对较软,钻压应减小,排量适当降低。黔普地 1 井全井段平均机械钻速 2.69 m/h,不低于相同设计类型的页岩气基础地质调查井。

## 5.2 钻井周期与时效分析

黔普地 1 井自 2017 年 1 月 14 日建井、2017 年 1 月 16 日开钻,至 2017 年 4 月 29 日完钻,2017 年 4 月 30 日撤场,建井周期 106 d,钻井周期 103 d。

图 7 给出了黔普地 1 井的建井周期分布柱状图,其中纯钻时间占建井周期 50%,事故处理占 16%,全井生产时间占 71%。纯钻时间为 521.23 h,平均机械钻速 2.69 m/h;钻机台月数为 3.53 个,综合台月效率 397.36 m,平均钻时 22.31 min/m。与相同设计类型的页岩气基础地质调查井相比,黔普地 1 井的建井周期略长,除了事故处理 17 d 外,还有 21 d 的停待和春节放假时间,影响了机台的台月效率。

## 6 结语

黔普地 1 井是南方页岩气基础地质调查工程

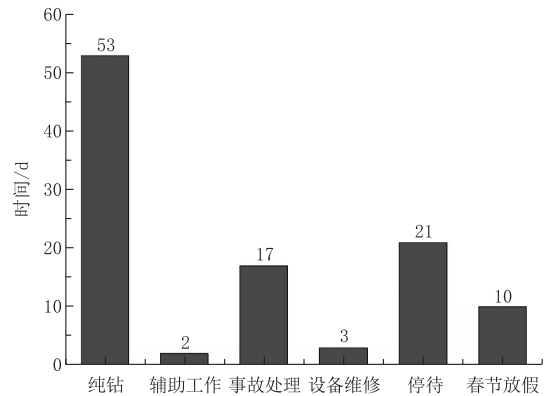


图 7 黔普地 1 井建井周期

Fig.7 Well construction period of Well Qianpudi-1

在黔西南地区所实施的一口页岩气地质调查井,为揭示南方海陆过渡相页岩的发育特征和煤系地层含“三气”性特点,和进一步深入研究黔西南地区龙潭组页岩气资源潜力提供了重要的参数依据。通过合理的钻探设备选型、井身结构优化、钻进取心工艺配合、钻井液体系优化和钻进参数的合理搭配,成功实施了黔普地 1 井。黔普地 1 井完钻井深 1402.68 m,揭穿了二叠系龙潭组;全井最大井斜角为 3.28°;平均岩心采取率为 96.4%,目的层岩心采取率达 97.5%。钻井各项指标满足业主方地质设计的要求。

与石油钻井工艺相比,黔普地 1 井采用的机械岩心钻探工艺,具有钻井成本低、钻进效率高、岩心采取率高等突出优势,然而其在安全方面(井控、HSE、储备加重钻井液等)还存在诸多亟须解决的问题<sup>[22-23]</sup>。此外,包含黔普地 1 井在内的同类型的页岩气基础地质调查井中,均未有采用密闭取心技术的报道。黔普地 1 井钻遇目的层后,尽管采用无固相泥页岩抑制性钻井液,获得较高的岩心采取率,然而并没有很好地解决井壁稳定性问题。

## 参考文献(References):

- [1] 金之钧,蔡立国.中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J].石油与天然气地质,2006,27(6):722-730.  
JIN Zhijun, CAI Ligu. Exploration prospects, problems and strategies of marine oil and gas in China[J]. Oil & Gas Geology, 2006,27(6):722-730.
- [2] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(6):136-140.  
ZHANG Jinchuan, XU Bo, NIE Haikuan, et al. Exploration potential of shale gas resources in China[J]. Natural Gas Industry, 2008,28(6):136-140.
- [3] 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.
- [4] 梁兴,王高成,徐政语,等.中国南方海相复杂山地页岩气储层甜点综合评价技术——以昭通国家级页岩气示范区为例[J]. *天然气工业*,2016,36(1):33-42.
- LIANG Xing, WANG Gaocheng, XU Zhengyu, et al. Comprehensive evaluation technology for shale gas sweet spots in the complex marine mountains, South China: A case study from Zhaotong national shale gas demonstration zone[J]. *Natural Gas Industry*, 2016,36(1):33-42.
- [5] 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.
- [6] Xia, L., D. Luo, J. Yuan. Exploring the future of shale gas in China from an economic perspective based on pilot areas in the Sichuan basin—A scenario analysis[J]. *Journal of Natural Gas Science & Engineering*, 2015,22:670-678.
- [7] Tang, X., Z. Jiang, H. Huang, et al. Lithofacies characteristics and its effect on gas storage of the Silurian Longmaxi marine shale in the southeast Sichuan Basin, China[J]. *Journal of Natural Gas Science & Engineering*, 2016,28:338-346.
- [8] 杨瑞东,程伟,周汝贤.贵州页岩气源岩特征及页岩气勘探远景分析[J].*天然气地球科学*, 2012,23(2):340-347.
- YANG Ruidong, CHENG Wei, ZHOU Ruxian. Characteristics of organic-rich shale and exploration area of shale gas in Guizhou Province[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012,23(2):340-347.
- [9] 郭曼,李贤庆,张明扬,等.黔北地区牛蹄塘组页岩气成藏条件及有利区评价[J].*煤田地质与勘探*,2015,43(2):37-43.
- GUO Man, LI Xianqing, ZHANG Mingyang, et al. Reservoir-forming conditions and evaluation of favorable area of shale gas in Niutitang Formation in northern Guizhou[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2015,43(2):37-43.
- [10] 雷子慧,赵安坤,余谦,等.贵州北部安场向斜下志留统龙马溪组页岩气保存条件[J].*地质科技情报*,2016,35(4):121-127.
- LEI Zihui, ZHAO Ankun, YU Qian, et al. Preservation of shale gas in Lower Silurian Longmaxi Formation in Anchang Syncline Unit in Northern Guizhou, South China[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2016,35(4):121-127.
- [11] 吴纪修,王志刚,辛云路,等.南方地区页岩气基础地质调查黔绥地 1 井钻井工艺及完井地质[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2018,45(2):12-17.
- WU Jixiu, WANG Zhigang, XIN Yunlu, et al. Drilling technology of Qiansuidi Well - 1 for basic geological survey of shale gas in the southern area of Guizhou Province and completion geologic[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018,45(2):12-17.
- [12] 罗超,刘树根,罗志立,等.贵州丹寨南皋下寒武统牛蹄塘组黑色页岩孔隙结构特征[J].*地质科技情报*,2014,33(3):93-105.
- LUO Chao, LIU Shugen, LUO Zhili, et al. Pore structure characteristics of black shale in the Lower Cambrian Niutitang Formation of Nangao Section in Danzhai, Guizhou Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2014,33(3):93-105.
- [13] 邹才能,董大忠,王社教,等.中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J].*石油勘探与开发*,2010,37(6):641-653.
- ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010,37(6):641-653.
- [14] Lau, H.C., H. Li, S. Huang. Challenges and opportunities of coalbed methane development in China[J]. *Energy & Fuels*, 2017,31(5):4588-4602.
- [15] 王中鹏,张金川,孙睿,等.西贡 1 井龙潭组海陆过渡相页岩含气性分析[J].*地学前缘*,2015,22(2):243-250.
- WANG Zhongpeng, ZHANG Jinchuan, SUN Rui, et al. The gas-bearing characteristics analysis of the Longtan Formation transitional shale in Well Xiye 1[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015,22(2):243-250.
- [16] 杜胜江,陈厚国,罗香建,等.贵州普安地区龙潭组煤系“三气”储层孔隙特征对比:以黔普地 1 井为例[J].*矿物学报*,2018,38(5):531-540.
- DU Shengjiang, CHEN Houguo, LUO Xiangjian, et al. Comparison study of pore properties of the unconventional gas reservoir of the Longtan Formation in the Pu'an Area of Guizhou Province: A case study of Well Qianpudi - 1[J]. *ACTA Mineralogica Sinica*, 2018,38(5):531-540.
- [17] Jia, J., L. Cao, S. Sang, et al. A case study on the effective stimulation techniques practiced in the superposed gas reservoirs of coal-bearing series with multiple thin coal seams in Guizhou, China[J]. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2016,146:489-504.
- [18] Gholami, R., H. Elochukwu, N. Fakhari, et al. A review on borehole instability in active shale formations: Interactions, mechanisms and inhibitors[J]. *Earth-Science Reviews*, 2018, 177: 2-13.
- [19] Yi, D., P. Luo, X. Liu, et al. Wellbore stability model for horizontal wells in shale formations with multiple planes of weakness[J]. *Journal of Natural Gas Science & Engineering*, 2018,52:334-347.
- [20] Wang W., A.D. Taleghani. Three-dimensional analysis of cement sheath integrity around Wellbores[J]. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2014,121(2):38-51.
- [21] Labus, M., P. Such. Microstructural characteristics of wellbore cement and formation rocks under sequestration conditions[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2016,138:77-87.
- [22] 张德龙,翁炜,黄玉文,等.油气地质调查井钻井技术与对策[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2017,44(12):21-25.
- ZHANG Delong, WENG Wei, HUANG Yuwen, et al. Drilling technical problems and countermeasures of oil and gas geological survey well[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017,44(12):21-25.
- [23] 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. A review of current study of well control technology for shale gas geological survey wells constructed by coring drilling rigs[J]. *Equipment for Geotechnical Engineering*, 2018,19(1):6-10.