

# 桂中坳陷页岩气地质调查桂柳地1井钻井技术

李明星, 蒙学礼, 王嘉瑶, 杨明仙

(广西壮族自治区第四地质队, 广西南宁 530031)

**摘要:**为查明柳州东部雒容有利区下石炭统鹿寨组的岩性、沉积相及富有机质有效泥(页)厚度、含气性,获取富有机质页岩段的页岩气相关参数,广西壮族自治区国土资源厅在桂中坳陷部署了一口小口径页岩气地质调查井——桂柳地1井。通过选用HXY-8B型岩心钻机、采用直井多开次钻探方法,分层钻进;利用前导向扩孔钻具分级扩孔,逐级下套管;配合PVA1788无固相冲洗液体系;同步开展录井、测井、固井及钻井评价等配套工作,解决了深孔泥岩中钻进取心困难、井壁稳定性差、钻孔弯曲度超标等施工难题。该井钻井技术可为该地区石炭系鹿寨组泥页岩钻探提供有益经验。

**关键词:**页岩气地质调查;页岩气井;钻井技术;PVA1788无固相冲洗液体系;桂柳地1井;桂中坳陷

**中图分类号:**P634; TE2 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)05-0064-08

## Drilling technology of Well Guiliudi-1 for shale gas geological survey in Guizhong depression

LI Mingxing, MENG Xueli, WANG Jiayao, YANG Mingxian

(No.4 Geology Team of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning Guangxi 530031, China)

**Abstract:** In order to find out the lithology, sedimentary facies, thickness of organic rich effective mud (shale) and gas bearing property of the lower Carboniferous Luzhai formation in the Luorong favorable area in the east of Liuzhou, and obtain the relevant parameters of shale gas in the organic rich mud shale section, the Department of Land and Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region deployed a small-diameter geological survey well—Well Guiliudi-1 in Guizhong depression. With use of HXY-8B core drill and the multiple-section vertical drilling method, the well was drilled layer by layer; the pilot type reaming tool, together with the PVA1788 solid free flushing fluid system was used to ream the hole step by step with the casing set tier by tier, meanwhile, geological logging, electrical logging, cementing and drilling evaluation was carried out; which solved the drilling difficulties in deep mud stone, such as difficult coring, poor wellbore stability, over curvature of the borehole. The drilling technology can provide useful experience for shale drilling in the Carboniferous Luzhai formation in the area.

**Key words:** shale gas geological survey; shale gas well; drilling technology; PVA1788 solid-free flushing fluid; Well Guiliudi-1; Guizhong depression

## 0 引言

页岩气作为国家能源安全的重要组成部分,是一项有望改变我国能源结构、改变我国南方省份缺油少气格局<sup>[1]</sup>的重要能源,在保障国家能源安全、优化能源消费结构、推进生态文明建设等方面具有重

要的现实意义和战略意义。

2015年,广西壮族自治区地质调查院于柳州市鱼峰区雒容镇部署了东塘1井,该井位于宜山断坳鹿寨向斜,以下石炭统鹿寨组为主要目的层,开孔层位为下石炭统罗城组(C<sub>1</sub>l),完钻层位为鹿寨组三

收稿日期:2022-03-14; 修回日期:2022-06-26 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.009

基金项目:广西找矿突破战略行动地质矿产勘查项目“广西柳州市雒容页岩气有利目标区地质调查”

第一作者:李明星,男,汉族,1987年生,工程师,地质工程专业,主要从事钻探技术研究及管理工作,广西南宁市江南区沙井大道33号,295173462@qq.com。

引用格式:李明星,蒙学礼,王嘉瑶,等.桂中坳陷页岩气地质调查桂柳地1井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):64-71.

LI Mingxing, MENG Xueli, WANG Jiayao, et al. Drilling technology of Well Guiliudi-1 for shale gas geological survey in Guizhong depression[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 64-71.

段,完钻井深2004.8 m。钻至302.3~355.8 m时,细砂岩、粉砂质泥岩、泥岩岩心中的裂隙及砂泥层理面中均有不同程度的气泡冒出,点火后火焰高度达1.2 m。东塘1井鹿寨组三段均有气测显示,气测全烃最高达26.55%,其中含甲烷最高26.40%。经测井分析发现有18个含气层段,总厚度275 m。总体来看,侏容页岩气有利区下石炭统地层从物性、有机地化及含气性上均有很好的勘探前景。

桂柳地1井是“广西柳州市侏容页岩气有利目标区地质调查”项目部署的页岩气调查井,本项目是根据广西壮族自治区国土资源厅“2017年广西找矿突破战略行动地质矿产勘查项目”而设立的,目的是查明柳州东部侏容有利区下石炭统鹿寨组的岩性、沉积相及富有机质有效泥(页)厚度,含气性,获取富有机质泥页岩段的页岩气相关参数。

## 1 地质概况

### 1.1 构造概况

工作区位于桂中坳陷的东部,主要分布有海西—印支期构造层,遍布整个研究区,主要由泥盆系、石炭系、二叠系及下三叠统组成,发育近南北向、北东向组为主的褶皱、断裂发育。褶皱形态宽缓开阔,断裂多具多期次活动特征。

研究区的构造演化可分为3个阶段,先后经历了裂谷海槽演化阶段、大陆形成阶段及滨太平洋大陆边缘活动带发展阶段;时间上可划分雪峰—加里东构造旋回、海西构造旋回、印支构造旋回、阿尔卑斯构造旋回(包括燕山构造旋回及喜山构造旋回)。

研究区受到燕山期、喜山期构造运动的影响,石炭系以浅地层受到强烈的剥蚀,在研究区内出露的地层以泥盆、石炭系地层为主。

### 1.2 工程布置

桂柳地1井部署在东塘1井南西约1.5 km处,属于柳州鱼峰区雒容镇(图1)。区内多为峰林谷地区,是典型的喀斯特地貌。

桂柳地1井设计为直井,设计井深2350 m,基岩段全取心,同步开展录井、测井、固井及钻井评价等配套工作。目的是为了进一步研究并获取柳州东部侏容有利区下石炭统鹿寨组页岩气成藏的地质条件,具体有:调查柳州东部侏容有利区早石炭世中早期台沟相、潮坪—沼泽相等沉积相内部富有机质泥页岩的发育情况,研究富有机质层段的页岩气成藏

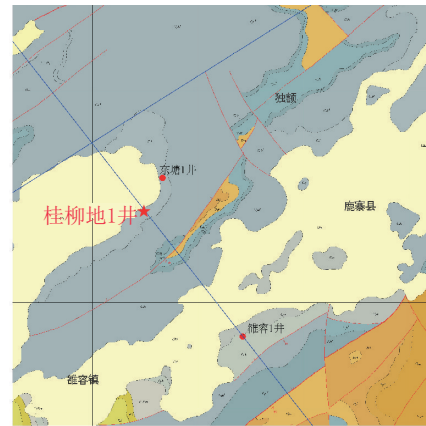


图1 地质调查井井位地理位置

Fig.1 Geological survey well location map

的地质条件;查明柳州东部侏容有利区下石炭统鹿寨组的岩性、沉积相及富有机质有效泥(页)厚度,查明其含气性,获取富有机质泥页岩段的页岩气相关参数,为圈定勘查靶区提供依据。

### 1.3 地层情况

通过钻探实钻地层划分,本井钻遇地层有:第四系,石炭系罗城组( $C_1l$ ),鹿寨组三段( $C_1l^3$ ),鹿寨组二段( $C_1l^2$ ),鹿寨组一段( $C_1l^1$ ),五指山组( $D_3w$ ),如表1所示。

## 2 钻井工程概况

### 2.1 钻井质量指标及技术要求<sup>[2]</sup>

要求全井段取心,全井套管,设计最大井深为2350 m,井身设计不少于三开,终孔直径 $\leq 95$  mm。钻井技术要求见表2。

### 2.2 钻井设备

采用HXY-8B型立轴式钻机施工,充分考虑了地层的复杂情况及钻机处理卡、埋钻事故的能力<sup>[3-4]</sup>,现场设置有效容积 $\geq 15$  m<sup>3</sup>泥浆池1个;近孔口设置容积0.5~1.0 m<sup>3</sup>的脱气池1个;设置于循环槽拐弯处容积 $\geq 2$  m<sup>3</sup>主沉淀池1个、副沉淀池2个;离心机架设在主沉淀池旁。冲洗液经脱气池、主沉淀池、离心机、副沉淀池,最终流回泥浆池;循环槽长度 $\geq 15$  m。另外设置有效容积 $\geq 5$  m<sup>3</sup>的加重泥浆池1个,用于储存调配好的加重泥浆。桂柳地1井施工现场如图2所示。主要投入钻井设备如表3所示。

### 2.3 井身结构

根据地层特点及地质要求,在保证钻井质量和安全前提下,尽可能简化井身结构,降低钻井成

表1 桂柳地1井分层情况  
Table 1 Lithology at Well Guiliudi-1

地层单元			井深/m	厚度/m	岩性描述
系	统	组			
第四系			0~13.20	13.20	亚砂土
石炭系	下石炭统	罗城组(C <sub>1</sub> l)	13.20~67.15	53.95	深灰—灰色厚层状生物碎屑灰岩、微晶灰岩,中下部夹黑色薄层状泥岩
		鹿寨组三段(C <sub>1</sub> l <sub>3</sub> )	67.15~1319.83	1252.68	上部为黑色薄层状泥岩,局部夹灰—灰白色砂岩;中下部为黑色薄层状泥岩与灰—深灰色薄层状砂岩互层,局部夹灰—深灰色粉砂岩、细砂岩、中砂岩
		鹿寨组二段(C <sub>1</sub> l <sub>2</sub> )、鹿寨组一段(C <sub>1</sub> l <sub>1</sub> )	1319.83~1943.50	623.67	底部为黑色硅质岩、黑色泥岩,向上为黑色硅质岩、硅质泥岩、黑色泥岩、灰质泥岩互层沉积,顶部为黑色薄层硅质岩
泥盆系	上泥盆统	五指山组(D <sub>3</sub> w)	1943.50~2004.80	61.30	岩性为灰色扁豆状灰岩、灰色泥质条带灰岩

表2 桂柳地1井钻井技术要求

Table 2 Drilling specification for Well Guiliudi-1

项目	技术要求
岩矿心采取率	非目的层不得小于70%,目的层不得低于85%,每回次取出岩心须清洗干净并进行浸水试验,观察是否有气泡显示或原油荧光显示
钻孔弯曲度	每钻进100 m井斜 $\geq 2^\circ$ ,全井井斜 $\geq 8^\circ$
简易水文地质观测	每班观测至少1次,同时要密切关注井口返排泥浆中是否有气泡及原油荧光显示
封孔	全孔水泥封孔,设水泥标志桩,规格为10 cm $\times$ 10 cm $\times$ 40 cm
原始记录	及时、准确、整洁、详细、全面真实反映生产情况

二开:  $\Phi 175$  mm口径,井深389.18 m,下入 $\Phi 168$  mm $\times$ 7 mm直连套管388.11 m。

三开:  $\Phi 150$  mm口径,井深835.55 m,下入 $\Phi 139.7$  mm $\times$ 6.35 mm直连套管834.88 m,套管底部采用水泥固井。

四开:  $\Phi 122$  mm口径,井深1481.15 m,下入 $\Phi 114.3$  mm $\times$ 6.35 mm反丝直连套管1480.28 m。

五开:  $\Phi 95$  mm口径,裸孔钻进至终孔井深2004.80 m。

#### 2.4 钻进方法

一开开孔钻进:采用 $\Phi 122$  mm硬质合金单管钻具开孔钻进,钻进15 m并穿过第四系残坡积粘土层、伸入相对完整的基岩后,采用 $\Phi 122$  mm扩 $\Phi 150$  mm、 $\Phi 150$  mm扩 $\Phi 175$  mm、 $\Phi 175$  mm扩 $\Phi 200$  mm三级前导向扩孔钻具扩孔,下入 $\Phi 194$  mm $\times$ 8 mm井口管,并采用水泥固井。

二开钻进:一开下入 $\Phi 194$  mm $\times$ 8 mm井口管后,再下入 $\Phi 168$  mm $\times$ 6.5 mm套管、 $\Phi 139.7$  mm $\times$ 6.35 mm套管作导向,然后,采用PQ122绳索取心钻具钻进至孔深389.18 m,起拔 $\Phi 139.7$  mm $\times$ 6.35 mm套管和 $\Phi 168$  mm $\times$ 6.5 mm套管;采用 $\Phi 122$  mm扩 $\Phi 150$  mm、 $\Phi 150$  mm扩 $\Phi 175$  mm二级前导向扩孔钻具扩孔,扩孔至389.18 m入新鲜或相对完整基岩 $\geq 2$  m后,再下入带双层套管靴的 $\Phi 168$  mm $\times$ 6.5 mm套管,套管底部采用水泥固井。

三开钻进:二开下入带双层套管靴的 $\Phi 168$  mm $\times$ 6.5 mm套管后,再下入 $\Phi 139.7$  mm $\times$ 6.35 mm



图2 桂柳地1井施工现场

Fig.2 Well Guiliudi-1 drilling site

本<sup>[5-10]</sup>。实际井身结构如图3所示。

一开: $\Phi 220$  mm口径,井深32.55 m,下入 $\Phi 219$  mm $\times$ 7 mm套管31.52 m,并采用水泥固井,安装2FZ18-35型液动双闸板防喷器。

表3 桂柳地1井钻井设备配置  
Table 3 Drilling equipment for Well Guiliudi-1

仪器设备名称	型号规格	数量	主要技术参数
钻机	HXY-8B	1台套	钻杆直径50、60、71、89、114 mm;立轴行程800 mm;最大起重力300 kN;最大加压力141 kN;卷扬机单绳最大提升力125 kN
钻塔	SG24	1副	塔高24 m,最大天车负载680 kN
泥浆泵	BW-300	1台	流量40~300 L/min;压力4~16 MPa
泥浆搅拌机	ZJ-400D	1台	公称容量400 L,额定功率7.5 kW
绳索绞车	JS3000	1台	取心深度3000 m,额定功率11 kW,最大提升质量3.45 t
固控离心机	TGLW350	1台	功率:11 kW;质量:800 kg;最大处理量:6 m <sup>3</sup> /h;最小处理粒度:5 μm;转速:1500 r/min
发电机	FM50GF	1台	50 kW
测斜仪	JTL-40GX	1台	顶角测量范围:0~45°,测量精度±0.1°;方位测量范围:0~360°,测量精度:±2°,适用井深≤2500 m
动力液压钳	XQ114	1台	应用范围:Ø60~114 mm
防喷器	2FZ18-35	1台	通径:179.4 mm;工作压力:35 MPa
泥浆测试四件套	NY-1	1套	
六速旋转粘度计	ZNN-D6	1台	

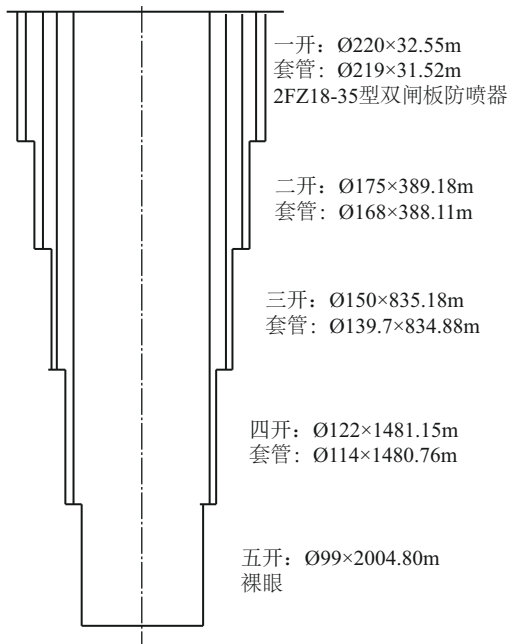


图3 桂柳地1井实际井身结构

Fig.3 Actual wellbore structure of Well Guiliudi-1

套管作导向,然后采用PQ122绳索取心钻具钻进至孔深835.18 m,起拔Ø139.7 mm×6.35 mm套管;采用Ø122 mm扩Ø150 mm前导向扩孔钻具扩孔,扩孔至835.18 mm入相对完整基岩≥2 m后,再下入Ø139.7 mm×6.35 mm套管,套管底部采用水泥固井。

四开钻进:三开下入Ø139.7 mm×6.35 mm套

管后,采用PQ122绳索取心钻具钻进至孔深1481.15 m,下入Ø114.3 mm×6.35 mm反丝直连套管,套管底部采用水泥固井。

五开完井钻进:四开下入Ø114.3 mm×6.35 mm反丝直连套管后,采用CHD98绳索取心液动锤钻具钻进至完井井深2004.80 m。

### 3 钻井关键技术

#### 3.1 钻头选型

桂柳地1井自34.14 m开始使用Ø122 mm孕镶金刚石钻头钻进,钻进至1481.15 m,Ø122 mm口径累计进尺1447.01 m,共使用13个钻头,平均每个钻头进尺111.31 m;自1481.15 m开始使用Ø99 mm孕镶金刚石钻头钻进,钻进至2004.80 m,Ø99 mm口径累计进尺523.65 m,共使用6个钻头,平均每个钻头进尺87.3 m;全孔累计使用钻头19个,平均每个钻头进尺103.72 m,平均钻进时间89.21 h,平均时效1.25m,平均回次数39回次,平均回次进尺2.76 m。单钻头最高进尺达到了318.25 m。进尺超100 m的钻头占比42%。桂柳地1井进尺超100 m的钻头使用情况详见表4。

依据现场原始班报表统计,全孔所使用钻头均达到了较高的寿命,但是钻时过高,平均时效较低。在正确选择钻头的情况下,钻井效率和钻头寿命取

表4 桂柳地1井进尺超100m的钻头使用情况

Table 4 Usage of bits with footage exceeding 100m at Well Guiliudi-1

钻头编号	胎体硬度 HRC	粒度/目	回次数	孔深/m		进尺/m	钻时/(min·m <sup>-1</sup> )	岩层情况
				自	至			
TJS			149	34.14	246.95	212.81	60	砂岩为主
GL-1	15~20	60~80	50	448.95	596.00	147.05	41	泥岩为主
GL-2	15~20	46~80	120	596.00	914.25	318.25	37	泥岩、砂岩
XE-4			42	1019.35	1138.05	118.70	45	砂岩、泥岩
XE-6			39	1221.55	1330.65	109.10	51	泥岩、砂岩
GL-4	20~25	46~80	41	1330.65	1451.75	121.10	48	灰岩、砂岩
GL-8	20~25	46~80	45	1646.50	1771.70	125.20	49	砂岩、泥岩
GL-9	20~25	46~80	75	1803.20	1980.00	176.80	72	泥岩、灰岩

决于钻井参数和钻井技术。鹿寨组地层岩性主要为硅质灰岩、泥岩、砂岩等软硬互层，“钻速差”作用明显，钻孔防斜要求严峻，采用减压钻进，但钻孔掉块、超径处或孔壁局部会出现拐点，岩屑重力效应等导致携岩困难，岩屑床难以清除，进一步增加了摩阻、扭矩，钻进时无法准确判定钻头的实际工作钻压，是造成钻时过高、平均时效较低的原因之一。随着孔深加深，HXY-8B型岩心钻机卡盘夹持力不足，采用夹持器和卷扬机减压钻进，给进压力不均匀，应是造成时效较低的客观原因之一；钻进参数和钻井技

术的选择、配合不适应此类岩层，钻进泥岩时，表现为“糊钻”、“泥包”，也是造成钻时过高、平均时效较低的原因之一。

### 3.2 钻进参数选择

本工作区采用绳索取心钻进为主，选用孕镶金刚石钻头，可钻性5~7级岩石选用单位压力为40~60 kg/cm<sup>2</sup>，可钻性8~9级岩石选用单位压力为60~75 kg/cm<sup>2</sup>。经计算并结合以往的经验，钻进参数按表5选择。

表5 钻进参数选择

Table 5 Drilling parameters

钻进工艺	钻头参数/mm		钻压/kN		转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	泵量/ (L·min <sup>-1</sup> )
	外径	内径	中硬—硬岩	硬岩		
硬质合金单管钻进	122		5~10		75~235	72~155
Ø122 mm扩Ø150 mm	150		6~12		60~190	115~300
Ø150 mm扩Ø175 mm	175		7~14		55~160	220~300
Ø175 mm扩Ø200 mm	200		8~16		45~140	300
PQ122	122	85	18.5~23.0	23.0~32.5	235~470	95~155
CHD98	99	62	14.0~17.5	17.5~24.5	290~580	70~120

### 3.3 钻井液技术

要求钻井液低失水、低固相、低摩阻、携带及悬浮钻屑能力强、防气侵能力强、抑制性能好，防止井壁坍塌；不能影响荧光录井；做到含气层保护、环境保护、钻井安全的统一<sup>[11]</sup>。

鹿寨组泥岩以黑色泥岩与砂岩混层为主，大部分地层破碎至极破碎，黑色泥岩为水敏、破碎不稳定地层，钻探效率低，裸孔钻进时间过长，破碎的泥岩水敏地层遇水膨胀，孔壁失稳，极易发生钻孔超径、

坍塌。全孔选用PVA1788无固相冲洗液体系，配方为：1 m<sup>3</sup>清水+0.5~0.8 kg水解聚丙烯酰胺PHP+7~15 kg聚乙烯醇PVA1788+7~20 kg广谱护壁剂GSP+25~50 kg成膜A剂+0~20 kg封堵剂GFD-1+0~2 kg氢氧化钾KOH。在钻进过程中视钻井液性能和地层稳定情况，加入防塌润滑减阻剂GFT，以保持钻井液性能稳定。

鹿寨组三段(C<sub>1</sub>l<sup>3</sup>)的黑色泥岩，551.05~556.85 m岩心情况详见图4。

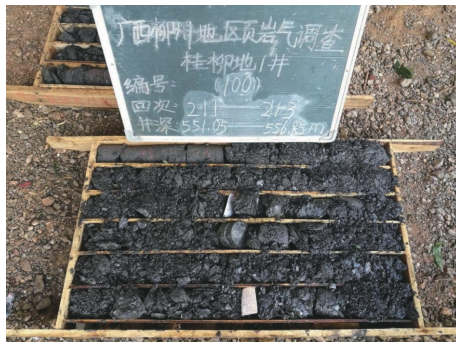


图4 551.05~556.85 m(211~213回次)岩心

Fig.4 Cores from 211 to 213 runs at depth from 551.05 to 556.85m

注意事项:打捞内管总成及提大钻时,必须向井内回灌钻井液,使孔内钻井液面基本保持在孔口的附近,使泥浆柱压力与地层压力趋于平衡,避免孔塌、严重超径、钻井液携带钻屑不畅。在孔口密封器回水阀出口设置回灌接头,与泥浆泵回水管连接,在打捞内管总成或提大钻时,向孔内回灌钻井液。

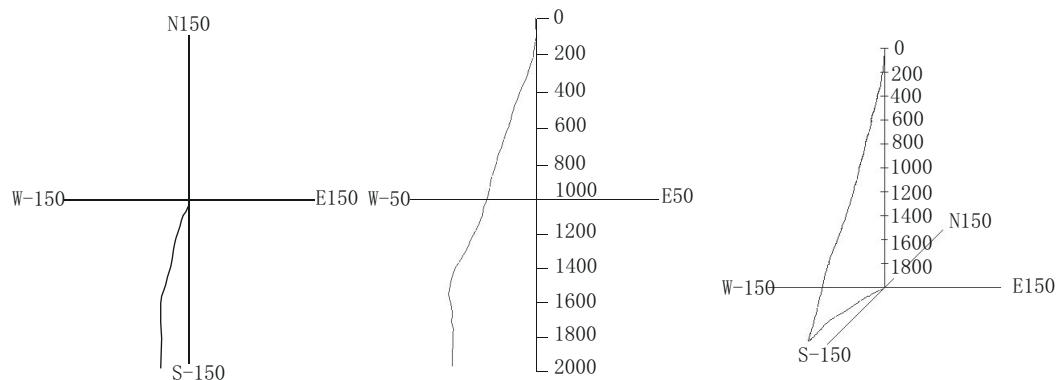


图5 桂柳地1井井身投影

Fig.5 Projection of Well Guiliudi-1

#### 4.4 井径及井径扩大率

依据测井资料,部分井段的井径随井深变化的曲线如图6所示。从图中可以看出,井径有一定的扩大率,平均井径扩大率为13.5%,最大井径扩大率为296%,尤其是840~875 m处。施工中,掉块、井壁坍塌时有发生,造成长时间处理捞渣及孔内扫孔,详见图7。说明PVA1788无固相冲洗液体系能够抑制泥页岩水化的作用,却无法有效防止井壁坍塌。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<sup>[14]</sup>。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,可能是泥页岩层段垮塌的原因之一<sup>[15-16]</sup>。泥页岩本身节理裂

#### 4 取得的钻井成果<sup>[12-13]</sup>

桂柳地1井钻孔开孔口径220 mm,终孔口径99 mm,实际完井深度2004.80 m,是广西实施的最深小口径绳索取心页岩气钻井。

##### 4.1 钻井周期

钻井周期242 d(含测井、固井等时间),纯钻时间71 d。

##### 4.2 岩心采取率

取心井段1.2~2004.8 m。非目的层厚115.25 m,岩心长104.66 m,岩心采取率90.81%;目的层厚1876.35 m,岩心长1860.12 m,岩心采取率99.14%;全井取心进尺共计1991.6 m,获取岩心1964.78 m,岩心采取率达98.65%。

##### 4.3 井斜控制

要求每钻进100 m及终孔各测斜一次,井斜 $\leq 8^\circ$ 。本井是直井,连续测斜井段在1999 m处井斜为 $6.54^\circ$ ,方位角 $182.46^\circ$ 。井身投影见图5。

隙发育、机械强度低的性质和水化膨胀后的推挤作用也可能是泥页岩段井径扩大的原因<sup>[17-18]</sup>。

##### 4.5 钻效分析

桂柳地1井自2017年12月21日建井,2018年8月19日完井,建井周期242 d。图8为其建井周期及分析,纯钻时间71 d,占建井周期29%,平均机械钻速1.18 m/h,平均钻时50.91 min/m,台月效率278.10 m;辅助占建井周期28%,扩孔、事故处理、停待、固测井及放假时间分别占建井周期的13%、10%、8%、5%、5%。桂柳地1井建井周期略长,其主要因素为辅助、分级扩孔、井内事故及停待时间,严重影响了井队的台月效率和建井周期。

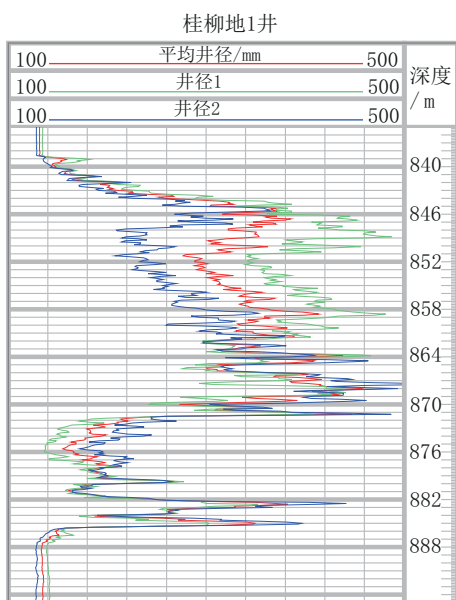


图6 桂柳地1井835~888m井径变化情况  
Fig.6 Caliper logging results from 835 to 888m  
at Well Guliudi-1

## 5 结语

(1)桂柳地1井完整地揭穿了下石炭统鹿寨组的岩性、沉积相及富有机质有效泥(页)厚度,为该地地区石炭系鹿寨组泥页岩钻探提供了有益经验。

(2)选用HXY-8B型岩心钻机、采用直井多开次钻探方法,分层钻进;利用前导向扩孔钻具分级扩孔,逐级下套管,配合PVA1788无固相冲洗液体系,成功完成了桂柳地1井,完钻井深2004.8m。非目的层岩心采取率90.81%;目的层岩心采取率99.14%;全井取心进尺共计1991.6m,获取岩心1964.78m,全井岩心采取率达98.65%。钻井各项指标满足地质设计要求。

(3)针对桂柳地1井建井周期长的问题,施工中录井、测井、浸水试验及解析等多工种同时作业。

(4)建议提高各工序间的有力配合,减少辅助时间及停待时间;采用前导向扩孔钻具扩孔,工作量大,效率低,建议配套S口径绳索取心钻具。

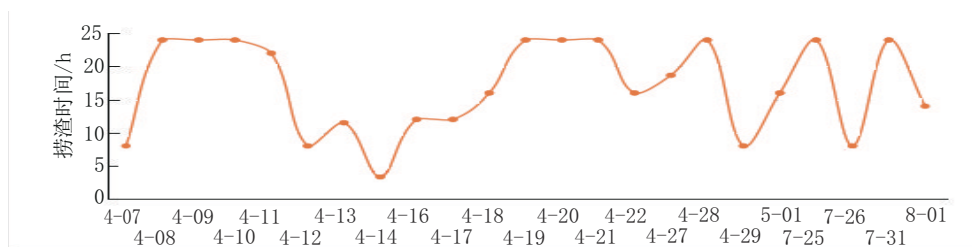


图7 桂柳地1井捞渣时间统计  
Fig.7 Statistics of cuttings sampling time at Well Guliudi-1

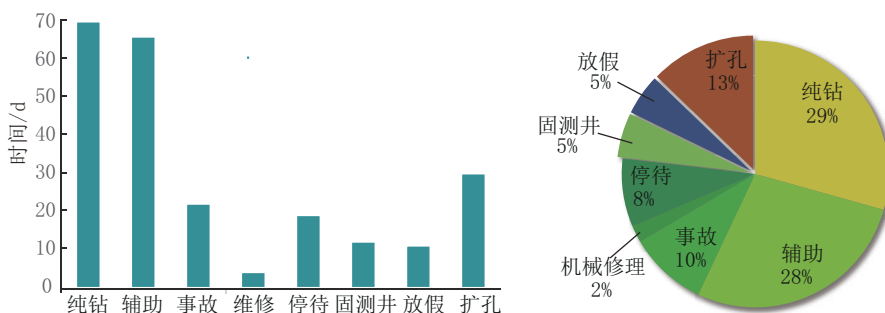


图8 桂柳地1井建井周期及分析  
Fig.8 Well construction period and analysis for Well Guliudi-1

## 参考文献 (References):

- [1] 刘猛.页岩气钻完井技术[M]:上海:华东理工大学出版社, 2016.  
LIU Meng. Shale Gas Drilling and Completion Technology

[M]. Shanghai: East China University of Technology Press, 2016.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 王宗友,陈刚,乔生贵.页岩气调查黔地4井钻探技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018,45(2):1-6.  
WANG Zongyou, CHEN Gang, QIAO Shenggui. Abrief discussion on the drilling technology of shale gas survey in Qiandi Well-4[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018,45(2):1-6.
- [5] 刘小康,田智生.页岩气井钻遇破碎地层的井身结构优化设计[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2016,43(7):89-91,110.  
LIU Xiaokang, TIAN Zhisheng. Optimal design of casing program of shale gas drilling in broken formation[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016,43(7):89-91,110.
- [6] 朱迪斯,岳伟民,单文军,等.页岩气地质调查并浙桐地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.
- [7] 李正前,罗宏保,薛晓彤.油气基础地质调查井新柯地1井工程设计[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018,45(8):39-43.  
LI Zhengqian, LUO Hongbao, XUE Xiaotong. Engineering design of Xinkedi Well-1 for oil and gas basic geological survey[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018,45(8):39-43.
- [8] 黄晟辉,奎中,吴金生,等.页岩气基础地质调查湘洞地1井施工技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018,45(3):14-18.  
HUANG Shenghui, KUI Zhong, WU Jinsheng, et al. Construction technology of Well Xiangdongdi-1 for basic geological survey of shale gas[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018,45(3):14-18.
- [9] 邓亮,张承飞,邓少东,等.贵州省页岩气资源调查评价(黔北项目)钻探施工技术[J]. *西部探矿工程*, 2014,26(12):57-60.  
DENG Liang, ZHANG Chengfei, DENG Shaodong, et al. Drilling technology for investigation and evaluation of shale gas resources in Guizhou province (Qianbei project)[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2014,26(12):57-60.
- [10] 韩毅,张绍和,王文彬,等.湘西北复杂构造区雪峰山先导孔钻进技术[J]. *钻探工程*, 2021,48(7):20-25.  
HAN Yi, ZHANG Shaohe, WANG Wenbin, et al. Drilling technology for Xuefengshan pilot hole for shale gas geological survey in Northwest Hunan[J]. *Drilling Engineering*, 2021,48(7):20-25.
- [11] DZ/T 0250—2010,煤层气钻井作业规程[S].  
DZ/T 0250—2010, Specifications for coalbed methane drilling engineering[S].
- [12] 张德龙,翁炜,黄玉文,等.油气地质调查井钻井技术问题与对策[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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] D.Yi, P.Luo, X.Li, et al. Wellbore stability model for horizontal wells in shale formations with multiple planes of weakness [J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2018,52: 334-347.
- [17] Wang W., A. D. Taleghani. Three-dimensional analysis of cement sheath integrity around wellbores[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2014,121(2):38-51.
- [18] Labus M., P.Such. Microstructural characteristics of well-bore cement and formation rocks under sequestration conditions[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2016, 138: 77-87.

(编辑 李艺)