

# 页岩气地质调查井浙桐地 1 井钻探施工技术

朱迪斯<sup>1,2</sup>, 岳伟民<sup>1,2</sup>, 单文军<sup>1,2</sup>, 赵洪波<sup>1,2</sup>, 翁 炜<sup>3</sup>

(1.中国地质调查局油气资源调查中心,北京 100083; 2.中国地质调查局非常规油气工程技术中心,北京 100083;

3.北京探矿工程研究所,北京 100083)

**摘要:**浙桐地 1 井是部署在浙江省桐庐县百江镇境内的一口页岩气地质调查井。该井旨在通过钻取地层岩心及测录井等工作方法探索下扬子地区页岩气新层系奥陶系胡乐组、宁国组泥页岩含气性。文章详细介绍了该井基本情况、钻探施工工艺以及孔斜超标处理方法。在孔深 140 m 时孔斜严重超标达 9.3°,水泥封孔重钻。项目组通过钻压、转速、泵量等钻进参数优化组合并采用底喷同心圆尖齿组合型钻头,克服了地层强造斜性引起的易井斜问题,完钻后测得最大井斜 5.5°,符合设计要求。

**关键词:**页岩气;地质调查井;钻探技术;取心钻进

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)09-0015-06

## Drilling technology for Well Zhetongdi - 1 for shale gas geological survey

ZHU Disi<sup>1,2</sup>, YUE Weimin<sup>1,2</sup>, SHAN Wenjun<sup>1,2</sup>, ZHAO Hongbo<sup>1,2</sup>, WENG Wei<sup>3</sup>

(1.Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

2.Unconventional Oil and Gas Engineering Technology Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

3.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Well Zhetongdi - 1 is a shale gas geological survey well deployed in Baijiang Town, Tonglu County, Zhejiang Province. The well is aimed to explore the gas-bearing properties of the shale gas new strata of the Ordovician Hule Formation and Ningguo Formation in the Lower Yangtze area by taking cores and logging wells. The article describes in detail the basic conditions of the well, the drilling process and the well deviation treatment method. When the depth was 140m, the well deviation was serious and exceeded the specification by 9.3°; thus, it was plugged and was re-drilled. Through optimum combination of drilling parameters such as weight-on-bit, rpm, and pumping volume, and use of the bottom jet bit with concentric pointed teeth, well deviation caused by the strong deflecting formation was eliminated with maximum deviation of 5.5°, meeting design requirements.

**Key words:** shale gas; geological survey well; drilling technology; core drilling

## 0 引言

浙桐地 1 井所属工程是中国地质调查局开展的南方页岩气基础地质调查工程,下扬子地区是南方页岩气重点区域之一,该地质调查井的实施为下扬子地区古生界页岩气地质调查提供地质资料和数据支撑,可直接查明该区域地层、构造以及沉积等地质条件,得到油气显示实物资料。既可修正补充物探、

地质等手段所得到的数据,也可以配合物探、地质等手段揭示该区域成藏机理和富集规律,并为后期页岩气钻探工程提供必要的经验和借鉴,对下扬子地区页岩气地质调查起到重要支撑作用,促进南方页岩气勘探开发。

**收稿日期:**2019-10-16; **修回日期:**2020-05-07 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.09.003

**基金项目:**中国地质调查局地质调查项目“下扬子地区古生界页岩气基础地质调查”(编号:DD20179082)、“合肥盆地及周缘油气资源战略调查(中国地质调查局油气资源调查中心)”(编号:DD20190725)、“重点参数井含油气参数测试”(编号:DD20201172);国家自然科学基金青年科学基金项目“高温钻井液多因素钻具腐蚀机理及评价方法研究”(编号:41802196)

**作者简介:**朱迪斯,男,汉族,1982 年生,高级工程师,从事钻井工程、地勘设备研发等工作,北京市海淀区奥运大厦 1303 室,judith163@163.com。

**引用格式:**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.

## 1 地质概况

浙桐地1井是部署在淳安—桐庐复向斜东辉向斜构造的一口页岩气地质调查井,位于浙江省杭州市桐庐县境内,千岛湖北侧,钱塘江中游,东接诸暨,南连浦江、建德,西邻淳安,东北界富阳,西北依临

安,交通位置如图1所示。设计井深1100 m,目的层段为奥陶系胡乐组、宁国组。钻井目的是探索下扬子区页岩气新层系奥陶系胡乐组、宁国组泥页岩含气性,为下扬子地区古生界页岩油气成藏地质条件分析和资源潜力评价提供基础资料。



图1 浙桐地1井工作区交通位置及地形图

Fig.1 Traffic and topography of Zhetongdi-1 work site

### 1.1 工作区地形地貌及交通

工区淳安县、桐庐县地区平原稀少,属浙西中低山丘陵区。四周群山耸峙,中部为狭小河谷平原,山地与平原间则丘陵错落。南而北纵贯县境东部,分水江自西北向东南汇入富春江。浙桐地1井所在的桐庐县全县土地面积中,山地丘陵占86.3%,平原、

水域占13.7%。工区紧依320国道,还有杭新高速,20、23、05—16省道,交通极为便利。

### 1.2 钻遇地层

本井钻遇地层自上而下依次为奥陶系长坞组、黄泥岗组、砚瓦山组、胡乐组、宁国组、印渚埠组,未发现气测异常显示,地层数据如表1所示。

表1 浙桐地1井地质分层

Table 1 Stratification data

地 层	系	组	实钻地层岩性	顶深/m	底深/m	厚度/m
奥陶系		长坞组	泥岩、粉砂岩,产笔石	0	681.00	681.00
		黄泥岗组	钙质泥岩夹瘤状泥灰岩	681.00	760.70	79.70
		砚瓦山组	瘤状灰岩、钙质结核泥灰岩	760.70	810.70	50.00
		胡乐组	硅质岩、碳质泥质硅质岩	810.70	851.26	40.56
		宁国组	页岩、泥岩夹硅质岩、泥灰岩	851.26	1050.46	199.20
		印渚埠组(未穿)	泥岩、钙质泥岩,下部夹灰岩	1050.46	1103.16	52.70

## 2 钻井质量指标及技术要求

该工程需要使用钻井能力大于1100 m的钻机。钻探工程及取心取样质量符合地质设计要求,严格按照工程设计进行工程施工。工程采用直井多开次绳索取心钻探工艺,井深 $\leq$ 1100 m,基岩段全取心,同步开展录井、测井及固井配套工作。

### 2.1 井身质量要求

(1)井身质量执行《钻井井身质量控制规范》(SY/T 5088—2017)标准。

(2)井口允许移动范围50 m。

(3)全井段,井斜不超过 $3^\circ$ 。

(4)井底水平位移不超过50 m。

(5)井径扩大率不超过25%。

(6)终孔直径 $\leq$ 95 mm。

### 2.2 取心要求

全井段连续进行钻井取心,岩心直径 $\leq 60$  mm,岩心采取率 $\leq 90\%$ 。

### 3 钻井工艺技术

#### 3.1 钻探设备

钻井设备的选择是根据最大钻具质量和遇卡允许上提载荷进行计算<sup>[1-2]</sup>。本井设计钻深 1100 m,设计完钻口径 122 mm(备用  $\varnothing 95$  mm 应对井下复杂情况),依据钻机负荷的选择原则,选择的钻机设备负荷能力及配置能够满足 1100 m 钻井的需要。经过比选,采用 XY-6N 型岩心钻机,该钻机具体参数见表 2,同时配套 SG-24A 型钻塔、BW-300/60 型泥浆泵等设备,保障该项目顺利完成。

表 2 XY-6N 型岩心钻机参数  
Table 2 Parameters of XY-6N core drill

项目	规格	参数
钻深	$\varnothing 75$ mm(N 口径)	2000 m
	$\varnothing 95$ mm(H 口径)	1800 m
	$\varnothing 114$ mm(P 口径)	1500 m
回转	功率	85 马力柴油机
	通孔直径	118 mm
	最大扭矩	7800 N·m
提升	功率	85 马力柴油机
	钢丝绳	$\varnothing 20$ mm/120 m
	单绳拉力	90 kN
钻塔	类型	SG24A
	承载	500 kN

注:1 马力=0.75 kW,下同。

#### 3.2 井身结构

井身结构是钻井工程设计的重要内容之一,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,使得各项钻井作业得以安全顺利进行,又能最大程度地降低钻井成本,提高钻进速度<sup>[3-8]</sup>,井身结构采用二开形式,数据见表 3。

表 3 井身结构数据  
Table 3 Data of the well profile

开次	井深/m	钻头尺寸/mm	套管尺寸/mm	套管下入深度/m	水泥返高
一开	40.42	152	146	40.42	返至地面
二开	1103.16	122	裸眼		

#### 3.3 钻井液

浙桐地 1 井分段采用了无固相泥浆体系和非分散低固相无荧光钾基聚合物泥浆体系,保证了地层气体的自然溢出,对测录井基本没有影响<sup>[9-10]</sup>。具

体配方:1 m<sup>3</sup>清水+1%~2%膨润土+1%~2%广谱护壁剂+1%~2%腐植酸钾+0.05%~0.01%聚丙烯酸钾+0.1%~0.3% L-CMC。

为了安全钻进,复杂地层(比如煤系地层、破碎地层)适当加入 0.1%~0.3%的中粘 CMC(俗称纤维素)<sup>[11-12]</sup>,其他材料的用量也适当增加。目的层取心过程,停止加入破坏泥页岩地层孔壁的纯碱和片碱等分散剂,不加影响测、录井工作的泥浆处理剂。泥浆的性能:苏式漏斗粘度 21~25 s,密度 1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>,失水量 8~12 mL/30 min,pH 值 7.5~8.5,含砂量 $< 1\%$ ,胶体率 100%,泥皮厚度 0.15~0.25 mm。

#### 3.4 一开施工情况

采用  $\varnothing 152$  mm 金刚石取心钻头钻进,进尺 40.42 m。下入  $\varnothing 146$  mm 套管并固井。

(1)钻遇地层:第四系及泥质砂岩。

(2)钻进参数:钻压 5~10 kN、转速 87~147 r/min、泵量 155.2~238.4 L/min。

(3)取心钻进钻具组合:主动钻杆+ $\varnothing 114$  mm 绳索取心钻杆+ $\varnothing 140$  mm 钻具+ $\varnothing 152$  mm 金刚石绳索取心钻头。

(4)扩孔钻进钻具组合:主动钻杆+ $\varnothing 114$  mm 绳索取心钻杆+ $\varnothing 140$  mm 钻具+ $\varnothing 165$  mm 复合片导向扩孔钻头。

(5)钻井液性能参数:密度 1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>,粘度 25~35 s,失水量 8~12 mL/30 min,泥皮厚度 0.15~0.25 mm,含砂量 0.1%,pH 值 7.5~8.5。

#### 3.5 二开施工情况

二开采用 95 mm 口径绳索取心钻进,岩心直径 63 mm,钻至井深 144.66 m,因井斜超标封孔侧钻。先用  $\varnothing 130$  mm 刚性钻具自然侧钻至 85.29 m,换用  $\varnothing 127$  mm 绳索取心钻进至 309.95 m,再用  $\varnothing 122$  mm 绳取钻进至完钻 1103.16 m,岩心直径 80.5 mm。

(1)钻遇地层:长坞组、黄泥岗组、砚瓦山组、胡乐组、宁国组、印渚埠组。

(2)钻进参数:8~25 kN,87~212 r/min,97~194 L/min。

(3)钻具组合:六方主动钻杆+ $\varnothing 114$  mm 绳索取心钻杆+ $\varnothing 119$  mm 金刚石绳索取心钻具+C 级  $\varnothing 122.3$  mm 金刚石扩孔器+ $\varnothing 122$  mm 金刚石绳索取心钻头。

(4)钻井液性能参数:密度 1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>,

粘度 21~25 s,失水量 8~12 mL/30 min,pH 值 7.5~8.5,含砂量 <0.1%,胶体率 100%,泥皮厚 0.15~0.25 mm。

### 3.6 钻头使用情况

浙桐地 1 井采用了  $\varnothing 152$  mm 绳索取心钻头、 $\varnothing 130$  mm 普通金刚石钻头、 $\varnothing 127$  mm 绳索取心钻头及  $\varnothing 122$  mm 绳索取心钻头。钻头使用情况统计如表 4 所示。

表 4 钻头使用情况统计  
Table 4 Summary of drill bits

序号	孔段/m	钻头外径/mm	钻头类型	胎体硬度(HRC)	唇面形状	数量/个	钻头磨损情况	泥浆类型
1	0.00~9.42	152	绳索取心金刚石	30	尖齿	1	正常磨损	低固相
2	9.42~12.42	152	绳索取心复合片		阶梯	1	正常磨损	低固相
3~4	12.42~144.66	100	绳索取心金刚石	25	尖齿	2	胎体磨平	低固相
5~7	12.60~85.29	130	普通金刚石	30	平底圆弧	3	内外径磨损	低固相
8~10	85.29~309.95	127	绳索取心金刚石	25	尖齿	3	胎体磨平	无固相
11	309.95~496.87	122	绳索取心金刚石	10	齿轮	1	胎体磨平	无固相
12	496.87~569.07	122	绳索取心金刚石	10	齿轮	1	胎体磨平	无固相
13	569.07~601.33	100	绳索取心金刚石	25	尖齿	1	胎体磨平	低固相
14	601.33~611.23	100	绳索取心金刚石	25	尖齿	1	正常	低固相
15	611.23~665.06 (含 42.16 m 扩孔)	122	绳索取心金刚石	12	齿轮	1	扩孔+取心外拉槽	低固相
16	665.06~820.76	122	绳索取心金刚石	12	齿轮	1	外、底部拉槽	低固相
17	820.76~846.56	122	绳索取心金刚石	12	齿轮	1	胎体磨平	低固相
18	846.56~911.16	122	绳索取心金刚石	30	齿轮	1	拉槽	低固相
19	911.16~1032.68	122	绳索取心金刚石	15	齿轮	1	拉槽	低固相
20	1032.68~1103.16	122	绳索取心金刚石	20	齿轮	1	尚能使用	低固相

## 4 强造斜地层孔斜控制

孔深 144.66 m 时,因地层原因造成了孔斜超标,水泥封孔重钻。钻遇岩石以泥质砂岩为主,砂质泥岩次之。泥质砂岩结构致密,研磨性较小,岩石硬度软—中硬—硬,地层岩石倾角  $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ,钻进时容易顶层进<sup>[13-15]</sup>。砂质泥岩节理较发育,节理面光滑,硬度变化较大。根据取出岩心岩性及产状等因素推断,该套地层具有各向异性、软硬不均、层状结构变化大等易斜因素,属于强促斜地层。

项目组通过对钻压、转速、泵量优化组合,并采用底喷同心圆尖齿组合型钻头,克服了地层的强造斜性引起的井斜问题,封孔前后斜度对比见表 5。

(1)钻压:由于地层不稳,容易造成孔斜超标,必须严格控制钻压,钻进时钻压在 8~12 kN 之间,最大不超过 15 kN,对钻进时效有一定负面影响。

(2)转速:钻机使用 4~6 挡转速(369~494 r/min),最大线速度达到 3.28 m/s,但由于压力太低,且地层有一定的硬度,进尺效率不高,时效不足 1 m。

(3)泵量:BW-300/12B 型泥浆泵选用 II~III 挡加大缸套,238~310 L/min,泵量选用正常;泵压为 0.1 MPa。

表 5 封孔前后斜度对比表

Table 5 Comparison of well deviation before and after plugging

序号	孔深/m	顶角/( $^{\circ}$ )		备注
		封孔前	封孔重钻后	
1	0.0	0.0	0.0	裸孔
2	10	0.0	0.0	裸孔
3	20	0.5	0.6	裸孔
4	30	0.7	0.3	裸孔
5	40	1.9	1.2	裸孔
6	50	3.1	1.1	裸孔
7	60	3.7	1.2	裸孔
8	70	4.4	1.5	钻杆内
9	80	4.7	1.6	钻杆内
10	90	6.4	1.1	钻杆内
11	100	7.1	1.2	钻杆内
12	110	7.9	2.0	钻杆内
13	120	8.1	1.8	钻杆内
14	130	8.3	2.1	钻杆内
15	140	9.3	2.3	钻杆内

(4)冲洗液润滑及携粉能力:本孔使用无固相冲洗液,加入了一定量的环保型无荧光润滑剂和悬浮剂,大大降低了钻具的摩擦阻力,增加了钻进时钻具的稳定性和携渣能力,保持了孔底干净,有利于钻头碎岩和钻孔保直。

(5)金刚石钻头:钻头采用底喷同心圆尖齿形

式,如图 2 所示,胎体底唇面不足环状面积的 1/2,比压高,选用胎体硬度 HRC15~25 的软胎体,金刚石容易出刃。



图 2 底喷同心圆尖齿钻头

Fig.2 Bottom jet bit with concentric pointed teeth

## 5 施工效果

### 5.1 钻井工程质量

井口位置按设计定位并进行第三方复测;全井最大井斜  $5.5^\circ$ ;全井平均井径扩大率  $<6\%$ ,目的层(地层水敏且较软)井径扩大率  $<10\%$ ;开孔直径 152 mm,终孔直径 122 mm,岩心平均采取率达 98.7%,各项指标均完全满足设计要求。

### 5.2 钻井时效分析

浙桐地 1 井实际完钻施工周期 106 d(2018-09-13-2018-12-27),总取心进尺 1103.16 m。受设备能力、钻杆质量及钻孔防斜保直的影响,本井取心钻进平均台月效率 312.22 m,最大台月效率 403.50 m。

本井时间统计中辅助工作时间包括:27 次  $\varnothing 130$  mm 普钻提钻、8 次检查更换绳索取心钻头提钻、2 次因需要维修钻机提钻、3 次断钻处理事故提钻、3 次内管打捞失败提钻,以及加单根、取心、冲孔等时间。

因机械故障、固井侧钻等误工 28.93 d。为了控制孔斜而人为限制进尺速度也造成一定的工时延长。另外, $\varnothing 122$  mm 钻进至 569.07 m 时,换  $\varnothing 100$  mm 钻进,发生了 2 次异径接头、1 次钻杆折断事故,内管打捞失败提大钻 3 次,加之地层破碎,小直径钻进时岩心容易堵塞,回次长度短,14 d 仅进尺 42.16 m,严重影响了施工进度,具体见表 6。

表 6 作业时间参数

Table 6 Operation time

时间参数	时间/h	总台时/h	时间利用率/%	井深/m	台月效率/m	备注
纯钻	899.25		35.34			钻机取心回转
辅助	928.25		36.47			提下钻、内管提放
机械故障	259.5		10.20			不包括钻机带“病”
停待	114	2545	4.48	1103.16	312.22	因培训、下雨等
孔内事故	23		0.90			断钻处理
固孔	72		2.83			侧钻前固井
侧钻	249		9.78			

## 6 结语

浙桐地 1 井实现了钻探目的,梳理了淳安一桐庐地区地层层序,探索了下扬子地区页岩气新层系奥陶系胡组乐、宁国组泥页岩含气性;获得了岩心实物资料,以及钻井、录井和测井相关数据,为评价研究该区页岩气资源潜力提供了资料支撑。通过钻井参数优化结合采用底喷同心圆尖齿组合型钻头,解决了该地区强促斜地层易引发井斜的问题,为后期该区域资源勘探开发相关钻探工程提供了经验。

## 参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 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. A brief 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.
- [3] 秦天宝,李铭华.YB121 井井身结构优化设计研究[J].内蒙古石油化工,2016(S2):164-165.  
QIN Tianbao, LI Minghua. Study on optimal design of well profile of Well - YB121[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2016(S2):164-165.
- [4] 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.
- [5] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社, 1991:118-130. LIU Guangzhi. Diamond drilling handbook[M]. Beijing: Geological Press, 1991:118-130.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [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. HANG 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] 吴代国. 页岩气钻井液技术进展研究[J]. 西部探矿工程, 2018, 30(11):14-15, 19. WU Daiguo. Research progress in shale gas drilling fluid technology[J]. West-China Exploration Engineering, 2018, 30(11):14-15, 19.
- [10] 唐思诗. 页岩气钻井关键技术及难点分析[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(6):239. TANG Sishi. Key technology and difficulty analysis of shale gas drilling[J]. Chemical Engineering Design Communica-
- tions, 2017, 43(6):239.
- [11] 伍晓龙, 朱芝同, 董向宇, 等. 小口径油气地质调查井的问题与工程实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(11):27-32. WU Xiaolong, ZHU Zhitong, DONG Xiangyu, et al. Problems and field cases of small-diameter oil and gas geological survey wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11):27-32.
- [12] 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.
- [13] 刘治. 小口径岩心钻探技术在页岩气地质调查井中的应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(9):32-37. LIU Zhi. Application analysis on small diameter core drilling technology in shale gas geological exploration well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(9):32-37.
- [14] 奎中, 黄晟辉. 湘水地1井钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(8):28-33. KUI Zhong, HUANG Shenghui. Drilling construction technology for Xiangyongdi Well-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(8):28-33.
- [15] 麻坦, 郜晓勇. 牛D1井复杂构造带绳索取心钻探工艺技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(4):19-22. MA Tan, GAO Xiaoyong. Research on wire-line core drilling technology for Niu D1 Well in complex structural belt[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(4):19-22.

(编辑 韩丽丽)

## (上接第14页)

- [19] 卢予北, 吴焯, 陈莹. 绳索取心工艺在大口径深部钻探中的应用研究[J]. 地质与勘探, 2012, 48(6):1221-1228. LU Yubei, WU Ye, CHEN Ying. Application of the wire-line coring technique to large-diameter deep drilling[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(6):1221-1228.
- [20] 卢运虎, 陈勉, 金衍, 等. 钻井液浸泡下深部泥岩强度特征试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(7):1399-1405. LU Yunhu, CHEN Mian, JIN Yan, et al. Experimental study of strength properties of deep mudstone under drilling fluid soaking[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(7):1399-1405.
- [21] 聂兴平, 杨川琴, 孙宝华, 等. 泥页岩井壁失稳机理研究[J]. 内蒙古石油化工, 2010(24):183-184. NIE Xingping, YANG Chuanqin, SUN Baohua, et al. Borehole instability mechanism of shale[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010(24):183-184.
- [22] 何满潮, 周莉, 李德建, 等. 深井泥岩吸水特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008(6):1113-1115. HE Manchao, ZHOU Li, LI Dejian, et al. Experimental re-
- search on hydrophilic characteristics of mudstone in deep well[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008(6):1113-1115.
- [23] 丁立钦, 王志乔, 凌霄, 等. 深部地质钻探钻遇弱面地层井孔围岩稳定分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(4):122-128. DING Liqin, WANG Zhiqiao, LING Xue, et al. Deep geo drilling borehole stability analysis in anisotropic formations[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4):122-128.
- [24] 丁立钦, 王志乔, 吕建国, 等. 基于围岩本体 Mogi-Coulomb 强度准则的层理性岩层斜井井壁稳定模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(3):622-632. DING Liqin, WANG Zhiqiao, LÜ Jianguo, et al. A model for inclined borehole stability in bedding rocks based on Mogi-Coulomb criterion frock matrix[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(3):622-632.

(编辑 韩丽丽)