

# 柳州地区页岩气地质调查井钻探技术研究与应用

尹欣<sup>1,2</sup>, 蒙发强<sup>1,2</sup>, 李明星<sup>1,2</sup>, 李超平<sup>1,2</sup>, 胡巍<sup>1,2</sup>

(1. 广西第四地质队, 广西南宁 530031; 2. 广西矿产资源深部勘查钻探技术人才小高地, 广西南宁 530031)

**摘要:** 页岩气地质调查井, 胶结性差, 表现为岩石破碎、水敏性强、孔壁强度低。在钻进过程中容易出现坍塌、掉块、缩径等复杂情况, 从而引发孔壁失稳、卡钻、埋钻等孔内事故。对广西柳州地区页岩气地质调查井工程进行钻探技术研究, 应用PVA1788成膜体系无固相冲洗液和成膜防塌体系无固相冲洗液、绳索取心液动锤钻进技术、膨胀波纹管护壁新技术、螺杆钻具定向钻进纠斜技术, 在现场勘探施工中取得了良好的效果, 保证了项目的顺利施工。

**关键词:** 页岩气地质调查井; 孔壁稳定; 成膜防塌无固相冲洗液; 绳索取心液动锤; 膨胀波纹管; 螺杆钻具; 定向钻进  
**中图分类号:** P634.5; TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0341-07

## Research and application of drilling technology for shale gas geological survey wells in Liuzhou area

YIN Xin<sup>1,2</sup>, MENG Faqiang<sup>1,2</sup>, LI Mingxing<sup>1,2</sup>, LI Chaoping<sup>1,2</sup>, HU Wei<sup>1,2</sup>

(1. Guangxi Fourth Geological Team, Nanning Guangxi 530031, China;

2. Guangxi Mineral Resources Deep Exploration Drilling Technology Talent Small Highland, Nanning Guangxi 530031, China)

**Abstract:** Shale gas formation have developed fractures and poor cementation, manifested as rock fragmentation, poor water sensitivity, and low wellbore strength. During the drilling process, it is easy to encounter complex situations such as collapse, falling blocks, and diameter reduction, which can lead to instability of the wellbore, drilling jamming, and buried drilling accidents inside the hole. Research on deep exploration drilling technology for the geological survey well engineering of the shale gas geological survey project in Liuzhou, Guangxi, and the application of PVA1788 film-forming system without solid flushing fluid and film-forming anti collapse system without solid flushing fluid, rope coring fluid dynamic hammer drilling technology, new technology for expanding corrugated pipe wellbore protection, and directional drilling correction technology for screw drilling tools. Good construction effects have been achieved in a number of field applications.

**Key words:** shale gas geological survey well; stability of wellbore; film-forming anti collapse solid free flushing fluid; wire-line coring hydraulic hammer; expansion corrugated pipe; screw drilling tools; directional drilling

## 0 引言

页岩气是当今能源研究的热点, 中国页岩气资源开发潜力巨大。页岩气赋存于富有机质泥页岩及夹层中, 其地层岩性主要为页岩、泥岩、砂岩、碳质板岩、灰岩。该类地层裂隙发育, 胶结性差, 表

现为岩石破碎, 水敏性强, 孔壁强度低<sup>[1-2]</sup>。在钻进过程中容易出现坍塌、掉块、缩径等复杂情况, 从而引发孔壁失稳、卡钻、埋钻等孔内事故<sup>[3-4]</sup>。基于页岩气钻探的特点, 对广西柳州地区页岩气地质调查井进行了钻探技术研究, 在钻探施工现场应用中取得

收稿日期: 2024-07-11; 修回日期: 2024-07-22 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.054

基金项目: 广西壮族自治区地质矿产勘查开发局“广西矿产资源深部勘查钻探技术人才小高地”科研项目

第一作者: 尹欣, 男, 汉族, 1971年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术和岩土工程等工作, 广西南宁市江南区沙井大道33号, 466291931@qq.com。

引用格式: 尹欣, 蒙发强, 李明星, 等. 柳州地区页岩气地质调查井钻探技术研究与应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 341-347.

YIN Xin, MENG Faqiang, LI Mingxing, et al. Research and application of drilling technology for shale gas geological survey wells in Liuzhou area[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 341-347.

了良好的效果。

## 1 项目概况

广西柳州地区页岩气地质调查井工程属于南方地区1:5万页岩气基础地质调查项目,其经费预算为中央财政,勘查单位为广西壮族自治区地质调查院,钻探施工单位为广西第四地质队下属的广西第一地质工程公司。计划部署2口钻井,东泉1井计划井深1300 m,雒容1井计划井深1200 m,总工作量2500 m。

项目工作区位于广西壮族自治区柳州市鱼峰区雒容镇,构造位置位于宜山凹陷的东部,在钻探区内出露的地层以泥盆、石炭系地层为主。岩石可钻性以4~6级为主,部分7级。构造破碎的泥岩和页岩等水敏性地层较多,易产生孔壁缩径或坍塌等不稳定问题;砂泥岩互层易产生孔斜等问题。进场施工时,雒容1井设计井深改为1300 m,东泉1井变更为东塘1井,设计井深为931 m。后根据地质工作的需要,雒容1井加深至1615.55 m终孔,东塘1井加深至1224.65 m终孔。经钻探单位不断创新,积极应用新技术、新工艺钻进,优化方案,精心施工,解决了生产过程中出现的技术难题,取得了显著的钻探经济技术指标,累计完成工作量2840.2 m。

## 2 主要钻探技术研究与应用

### 2.1 双聚防塌和成膜防塌冲洗液体系

页岩气地层中含有大量强水敏性、硬脆性的泥质页岩、炭质泥岩、炭质砂岩、碳质板岩,该类地层裂隙发育,胶结性差,表现为岩石破碎、水敏性强、井壁强度低。在钻进过程中容易出现坍塌、掉块、

缩径等复杂情况。目前水基冲洗液在页岩气钻井施工中需要解决的核心问题是如何保证页岩地层的井壁稳定,而井壁的稳定性的主要取决于:合理的冲洗液密度、足够的水化抑制性和良好的微裂隙封堵能力这3个方面<sup>[5-6]</sup>。通过对广西柳州地区页岩气地质调查井工程进行钻探技术的研究:应用PVA1788成膜体系无固相冲洗液钻进,不断探索,进一步优化完善,基本解决了深孔不稳定地层中钻进维持孔壁稳定的难题;应用双聚防塌和成膜防塌冲洗液体系钻进,不断攻关,为深孔特别复杂地层实现安全钻进夯实了基础。

#### 2.1.1 PVA1788成膜体系无固相冲洗液

PVA1788成膜体系无固相冲洗液是在聚丙烯酰胺PHP+广谱护壁剂GSP+聚乙烯醇PVA1788体系无固相冲洗液的基础上,为了提高冲洗液的抑制性能,提高维持孔壁稳定能力,添加成膜A剂等冲洗液处理剂<sup>[7-8]</sup>。PVA1788、GSP、成膜A剂为降失水、抑制护壁作用的主剂,聚丙烯酰胺PHP以包被、絮凝钻屑作用为主,增粘剂GTQ仅作为提高粘度的作用。雒容1井施工前,委托北京探矿工程研究所进行了无固相冲洗液对比试验,冲洗液配比详见表1,试验性能详见表2,岩样浸泡试验成果对比情况详见图1。

表1 PVA1788体系无固相冲洗液委托试验配比

编号	配 比
1	清水 + 1.5%PVA1788 混合粉 (PHP: GSP: PVA1788=1:5:5)
2	清水 + 1.5%PVA1788 混合粉 (PHP: GSP: PVA1788=1:5:5) + 5% 成膜 A 剂 + 0.5% 增粘剂 GTQ

表2 PVA1788体系无固相冲洗液委托试验性能

配比 编号	陈化 条件	摩阻 系数	相对膨胀降低率/ %	岩屑回收率/ %	API滤失量/ mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/ Pa	动塑比
1	14d	0.19	57.3	80.8	24	3	3	0	0	0
2	16h	0.18	74.0	77.4	8	19.5	13	6.5	0.75	0.5

根据表1、表2和图1,PVA1788体系无固相冲洗液的摩阻系数在0.18~0.19之间,成膜A剂基本不影响冲洗液的润滑性能。成膜A剂具有降失水功能,岩样浸泡试验成果表明,加入成膜A剂后,冲洗液的成膜抑制能力更强。

现场应用过程中,通过现场配比试验及实践应用,不断探索,PVA1788、GSP、成膜A剂为冲洗液的降失水、抑制护壁作用的主剂,聚丙烯酰胺PHP以包被、絮凝钻屑作用为主,增粘剂GTQ仅作为提高粘度的作用,进一步优化完善PVA1788成膜体系

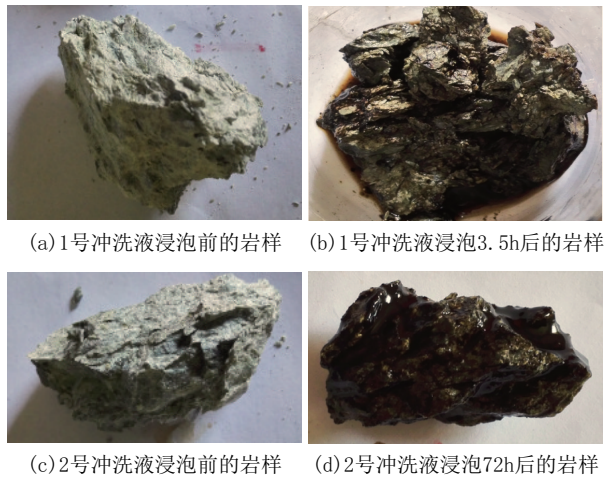


图1 PVA1788体系无固相冲洗液浸泡试验成果对比

无固相冲洗液,现场配比试验成果详见表3。

优化后的PVA1788成膜体系无固相冲洗液配比:清水+300~500 mg/L聚丙烯酰胺PHP+0.75%~1.5%聚乙烯醇PVA1788+0.75%~2%广谱护壁剂GSP+5%成膜A剂+0~0.3%增粘剂GTQ。

PVA1788成膜体系无固相冲洗液低粘、低切力、高效润滑性能,特别适用于绳索取心液动锤钻进;具有低失水量以及较强的抑制、护壁性能。解决了研究区内构造破碎的泥岩和页岩等水敏性地层易产生孔壁缩径或坍塌等不稳定问题。在后续的项目中,又应用于桂来地1井、桂柳地1井,应用效果良好,较好地解决了孔壁稳定性的问题<sup>[9]</sup>。

### 2.1.2 成膜防塌无固相冲洗液

根据雒容1井钻遇孔壁不稳定地层的问题,在

东塘1井施工前将雒容1井1585 m处附近的不稳定岩样及相对稳定岩样,委托北京探矿工程研究所做冲洗液配方试验及浸泡试验。岩心样品详见图2。



图2 岩心样品

对岩心进行了浸泡试验,配制的冲洗液配方详见表4,冲洗液性能详见表5,浸泡试验情况详见图3、图4。

由表4、图5和图3、图4可以看出,2号冲洗液(成膜防塌无固相冲洗液)岩心浸泡试验效果显著。

东塘1井钻进中,在256.50~982.00 m孔段,首次应用成膜防塌无固相冲洗液钻进<sup>[10-11]</sup>。钻遇地层为下石炭统鹿寨组三段的钙质泥岩、黑色泥岩、生物碎屑灰岩夹黑色薄层泥岩、黑色泥岩夹粉砂岩。部份鹿寨组三段地层极破碎,黑色泥岩为水敏、破碎不稳定地层(详见图5)。

此成膜防塌无固相冲洗液维持护壁稳定的能力较强,但因增粘剂GTQ加量过大等原因,冲洗液粘度及密度不断增大,维持冲洗液的性能稳定较困难。

经过不断摸索后,对冲洗液体系进行了适当的调整。因烧碱含钠离子,起水化分散作用,不利于

表3 PVA1788成膜体系无固相冲洗液现场试验成果

编号	冲洗液配方	漏斗粘度/ s	API滤失量/ mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/ Pa
1	清水+1.5%PVA1788混合粉+2%成膜A剂	21.21	5	4.5	4.5	0	0
2	清水+1.5%PVA1788混合粉+3%成膜A剂	22.06	9	6.25	6	0.25	0
3	清水+1.5%PVA1788混合粉+4%成膜A剂	22.52	6	5.5	5	0.5	0
4	清水+1.5%PVA1788混合粉	32.96	9	7.5	6.5	1	0
5	清水+1.5%PVA1788混合粉+1.5%KCl	23.10	8	3.25	3	0.25	0
6	清水+1.5%PVA1788混合粉+1.5%KCl+ 2%成膜A剂	20.09	10		4	0.25	0
7	清水+1%PVA1788+1%GSP+4%成膜A剂	20.31	6		4	0.25	0
8	清水+1%PVA1788+1%GSP+6%成膜A剂	20.21	8		4.5	0	0

注:PVA1788混合粉混合配比为:PHP:GSP:PVA1788(川维120目)=1:8:8;1~3号配比为陈化13天后的试验数据,4~8号配比为配浆当天的试验数据。



表4 东塘1井试验冲洗液配方

编号	配 方
1	清水 + PHP 300 mg/L + 2% PVA1788 + 2% GSP + 4% 钠土 + 2% KCl
2	清水 + 0.2% 烧碱 + 5% 成膜 A 剂 + 0.2% 包被剂 BBJ + 0.6% 增粘剂 GTQ + 5% 成膜 B 剂 + 1% 防塌减阻剂 GFT + 1% 封堵剂 GFD-1

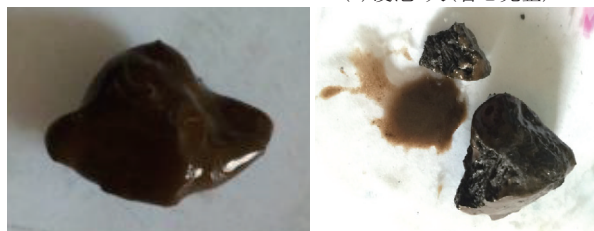
表5 东塘1井试验冲洗液性能

配比 编号	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘 度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	静切 力/Pa	动塑 比	API滤 失量/ mL
1	16	14	2	0.05	0.14	4
2	13	9	4	0.25	0.44	10



(a) 浸泡前

(b) 浸泡2天(岩心完整)



(c) 浸泡9天(岩心完整)

(d) 浸泡12天(掰开内部非常完整)

图4 2号冲洗液配方浸泡试验情况



(a) 浸泡前



(b) 浸泡2天(有些软)

(c) 浸泡9天(镊子夹不起来)

图3 1号冲洗液配方浸泡试验情况



图5 东塘1井孔深621.35~629.25m岩心

氧化钾代替烧碱,调节冲洗液的pH值;并把增粘剂GTQ的用量降低;必要时,加入聚乙烯醇PVA1788降低冲洗液API滤失量。优化后的成膜防塌无固相冲洗液性能维护相对较方便。

配制成膜防塌体系基浆:清水+0.2%氢氧化钾+5%成膜体系A剂+5%成膜体系B剂+0.2%包被剂BBJ+1%防塌润滑剂GFT+1%封堵剂GFD-1,采用不同加量的增粘剂GTQ,成膜防塌体系无固相冲洗液现场试验成果见表6。

絮凝钻屑,是冲洗液粘度增高的原因之一,采用氢

表6 成膜防塌体系无固相冲洗液现场试验成果

编号	冲洗液配方	漏斗粘度/ s	API滤失量/ mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/ Pa
1	基浆	20.72	7.6	5.5	4.5	1	0
2	基浆+0.1%增粘剂GTQ	23.16	7.4	7.75	6.5	1.25	0
3	基浆+0.2%增粘剂GTQ	24.21	7.8	9	7	2	0
4	基浆+0.3%增粘剂GTQ	25.41	6.8	11	8	3	0.25
5	基浆+0.4%增粘剂GTQ	31.44	9.4	14.75	10.5	4.25	0.5

2.1.3 冲洗液对比

委托北京探矿工程研究所对PVA1788成膜体系无固相冲洗液和成膜防塌无固相冲洗液进行对比实验。

冲洗液配比详见表7,性能试验成果详见表8,岩样浸泡试验成果详见图6、图7。

表7 不同类型冲洗液配方

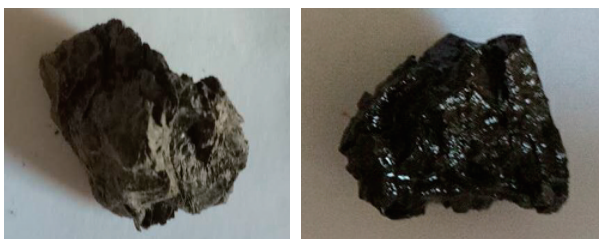
冲洗液类型	配方
成膜防塌无固相冲洗液	1 m <sup>3</sup> 清水+2 kg 氢氧化钾+50 kg 成膜体系 A 剂+50 kg 成膜体系 B 剂+2 kg 包被剂 BBJ+10 kg 防塌润滑剂 GFT+4 kg 增粘剂 GTQ+10 kg 封堵剂 GFD-1
PVA1788成膜体系无固相冲洗液	1 m <sup>3</sup> 清水+0.3 kg 水解聚丙烯酰胺 PHP+7.5 kg 聚乙烯醇 PVA1788+7.5 kg 广谱护壁剂 GSP+50 kg 成膜 A 剂+10 kg 封堵剂 GFD-1+3 kg 增粘剂 GTQ+2 kg 氢氧化钾

表8 不同类型冲洗液性能

冲洗液类型	密度/ (kg·L)	API滤失量/ mL	漏斗粘度/ s	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	摩阻 系数	页岩膨胀 降低率/%	动切力/ Pa
成膜防塌无固相冲洗液	1.06	10	26.31	13	9	0.22	76	4
PVA1788成膜体系无固相冲洗液	1.04	8	28.85	18	14	0.30	75.1	4



(a) 浸泡前 (b) 浸泡9天后  
图6 成膜防塌无固相冲洗液浸泡试验



(a) 浸泡前 (b) 浸泡9天后  
图7 PVA1788成膜体系无固相冲洗液配方浸泡试验

由图6、图7可见,成膜防塌无固相冲洗液浸泡9天后,岩心很完整,表面未出现吸水膨胀裂开或者变软的情况;PVA1788成膜体系无固相冲洗液浸泡9天后,岩心变软,再次夹取时散落。可见成膜防塌无固相冲洗液的抑制性能、维持孔壁稳定的能力,比PVA1788成膜体系无固相冲洗液强,更适用于深孔特别复杂地层钻进。

2.2 绳索取心液动锤钻进技术

以锥容1井为例,终孔孔深1615.55 m,采用

CSD1800A型全液压岩心钻机施工。孔深11.42~421.59 m应用Ø95 mm口径绳索取心工艺钻进,时效为3.34 m。421.59~1507.75 m应用Ø77 mm口径绳索取心液动锤工艺钻进,时效达到了4.57 m。在提高机械钻速方面具有显著的效果,为深孔取心钻探实施优质高效钻进提供了技术支撑<sup>[12]</sup>。

2.3 膨胀波纹管护壁新技术

锥容1井钻进至孔深1510.75 m后,因更换钻深能力更强的钻探设备,再加上恰逢春节机台人员放假等原因,长时间裸孔,在孔深1472 m处出现了严重坍塌,不能正常进行钻进取心作业。现场多次采用水泥护壁仍未能穿越此复杂孔段。孔深1472 m孔段的不稳定岩心见图8。



图8 锥容1井钻孔事故层位岩心状况

针对此问题,应用膨胀波纹管护壁技术,在事故段采用水力扩孔器进行扩孔,扩孔完毕后,将特定材质制作的膨胀波纹管送入事故孔段,然后利用泥浆泵及增压设备,促使波纹管膨胀,隔离孔壁不



稳定孔段<sup>[13]</sup>。

雒容1井应用膨胀波纹管护壁技术后,解决了因孔壁坍塌,不能实现正常钻进的技术难题,继续钻进至1615.55 m终孔。在 $\varnothing 76$  mm小口径钻进中,在这个深度使用膨胀波纹管并取得成功,在广西尚属首例。

#### 2.4 螺杆钻具定向钻进纠斜技术

东塘1井设计为直井,设计井深931 m,孔斜 $\neq 8^\circ$ ,钻进至设计深度后,勘查单位对钻井进行加深。

钻孔加深钻进后,导致孔斜不能满足设计要求,考虑到钻孔加深深度未明确,应用螺杆钻具定向钻进技术纠斜。通过确定造斜孔段轴线轨迹、人工建立孔底、造斜钻进、修孔、稳斜钻进等技术后,孔斜被控制在 $8^\circ$ 范围内,定向纠斜效果良好,详见表9。

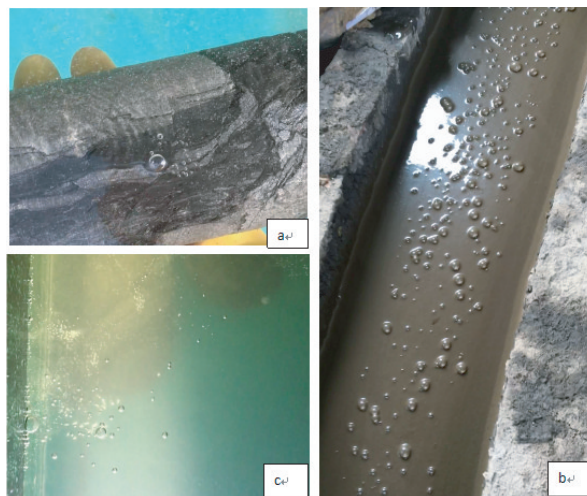
表9 东塘1井纠斜前后孔斜数据对比

孔深/m	纠斜前测斜数据/( $^\circ$ )		纠斜后测斜数据/( $^\circ$ )	
	顶角	方位角	顶角	方位角
1000	7.81	125.93	7.81	125.93
1050	8.02	104.05	6.66	113.36
1100	9.69	90.68	6.64	97.39
1150	14.5	103.24	6.73	93.67
1200	15.45	123.58	7.77	87.18
1220			7.96	84.73

### 3 取得的钻探成果

本页岩气调查项目东塘1井在下石炭统鹿寨组三段获得了良好的页岩气显示。该井钻至鹿寨组三段( $C_1l_3$ )灰黑色泥岩夹薄层砂岩段时,岩心浸水实验气泡明显,气泡较连续;钻至355.80 m,井口套管内冲洗液中出现大量气泡(图9),并发生井涌,开始气量较大、气体无异味,用排水法收集气体样品并点燃,火焰呈淡蓝色—蓝色。封闭井口引管放喷,点火可燃,火焰高度约1.2 m(图10)。现场燃烧法解析气量为 $1.67 \text{ m}^3/\text{t}$ (未含损失气和残余气量)。

钻探过程中,积极推行绿色勘查新理念,在场地建设、道路选线、物料堆存、废弃物处置、土地复垦等方面,最大限度地减少对生态环境的扰动、减轻给生态环境带来的负担、恢复和改善生态环境。把绿色发展理念和生态环境保护的要求,贯穿整个项目,做到文明施工和环境保护并重。



(a) 307.10~308.9 m 裂隙中见气泡;(b) 305.3~307.1 m 泥浆反排中的气泡;(c) 907.37~907.55 m 岩心浸水实验见气泡

图9 岩心浸水实验



图10 东塘1井页岩气点燃放喷

### 4 结论

通过在广西柳州地区页岩气地质调查井工程开展钻探技术的研究与应用,不断创新,积极应用新技术、新工艺,优化方案,精心施工,解决了生产过程中出现的技术难题。

(1)应用PVA1788成膜体系无固相冲洗液和成膜防塌体系无固相冲洗液钻进,不断探索,进一步优化完善,解决了深孔不稳定地层中钻进维持孔壁稳定的难题。成膜防塌无固相冲洗液的抑制性能、维持孔壁稳定的能力更强,更适用于深孔特别复杂地层钻进。

(2)应用绳索取心液动锤钻进技术,取得了显著的钻探经济技术指标。

(3)应用膨胀波纹管护壁新技术钻进,穿越深孔段孔壁不稳定地层,效果良好。

(4)应用螺杆钻具定向钻进技术纠斜,在钻孔加深的情况下,孔斜控制在设计要求范围内,确保了钻探施工的质量。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 胡继良,陶士先,纪卫军,等.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32.
- [4] 赵洪波,朱芝同,梁涛,等.页岩气基础地质调查钻井技术研究进展及展望[J].中国地质,2023,50(2):376-394.
- [5] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):176-181.
- [6] 王中华.页岩气水平井冲洗液技术的难点及选用原则[J].中外能源,2012,7(4):43-47.
- [7] 苏力才,蒙学礼,李永卫,等.PVA1788成膜体系无固相冲洗液在桂柳地1井的应用[J].钻探工程,2022,49(5):57-63.
- [8] 苏力才,谢健全,李永卫,等.PVA1788无固相冲洗液体系的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(4):68-73.
- [9] 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.
- [10] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(9):1147-1154.
- [11] 郑洪涛.嵩县某金矿区复杂地层强抑制防塌泥浆技术[J].钻探工程,2022,49(4):81-86.
- [12] 郭强,翁炜,袁文真,等.射流式液动冲击器在ZK01-2井提速应用研究[J].钻探工程,2021,48(10):56-61.
- [13] 李晓晨,陈晓君,杨宏胜,等.小口径膨胀波纹管技术在若尔盖铀矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):20-23.

(编辑 荐华)