

# 渝东北田坝背斜页岩气地质调查 田页1井钻井技术

易强忠<sup>1</sup>, 周兴华<sup>1</sup>, 李启彪<sup>1</sup>, 汪林<sup>2</sup>, 王长如<sup>2</sup>, 喻忠伟<sup>2</sup>, 施健雄<sup>3</sup>

(1. 云南地质工程第二勘察院有限公司, 云南昆明 650218;

2. 中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心, 云南昆明 650111;

3. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南昆明 650051)

**摘要:**田页1井是部署于重庆南大巴山弧形褶皱带南部田坝背斜核部的一口页岩气地质调查井,设计目的为完成南方海相页岩地区页岩气有利目标区优选及新层系探索工作,采集矿权区内页岩的基础地质数据。施工中针对该井开孔岩层陡倾致设计倾角变更、页岩水敏性强产生井壁剥落失稳、井内地层高压和H<sub>2</sub>S、CO气侵腐蚀、诱发井喷等问题,通过高密度钻井液技术与CHD127 mm 绳索取心技术应用配合,采用陀螺测斜仪结合偏心楔稳斜定向,增加了钻杆接头壁厚以提高钻杆强度,较好地解决了高压溢流、钻杆折断、H<sub>2</sub>S与CO气侵等安全隐患,很好的控制了井斜,顺利完成该井地质调查取心任务。该井施工的技术经验可供同类型工程参考。

**关键词:**页岩气地质调查井;地层孔隙压力;高密度钻井液;CHD127绳索取心;H<sub>2</sub>S腐蚀

**中图分类号:**P634;TE242 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0332-07

## Drilling technology of Well Tianye-1 of anticline shale gas Geological Survey in Tianba, northeast Chongqing

YI Qiangzhong<sup>1</sup>, ZHOU Xinghua<sup>1</sup>, LI Qibiao<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>2</sup>,

WANG Changru<sup>2</sup>, YU Zhongwei<sup>2</sup>, SHI Jianxiong<sup>3</sup>

(1. Exploration Branch, Second Prospecting Institute of Geological Engineering in Yunnan, Chuxiong Yunnan 650218, China;

2. Kunming Center of Natural Resources Survey, CGS, Kunming Yunnan 650111, China;

3. China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming Yunnan 650051, China)

**Abstract:** Tianye-1 well is a geological survey well for shale gas, which deployed in the southern Tianba anticlinal core of the South Daba Mountain curved fold belt, Chongqing. The design purpose is to complete the selection of shale gas favorable target areas in the southern Marine shale area, explore new strata, and collect the basic geological data of shale in the mineral area. In view of the problems of the design dip angle of the opening rock is changed due to steep dip, the wall spalling instability caused by the strong water sensitivity of shale, the high pressure and H<sub>2</sub>S and CO gas penetration corrosion in the inner well, and the induced blowout. Technologies are adopted such as the high density drilling fluid technology, CHD127mm wireline coring technology and gyro inclinometer combined with eccentric wedge orientation to increase the thickness of drill pipe joint to improve the strength of drill pipe. The safety hazards such as high pressure overflow, drill pipe fracture, H<sub>2</sub>S and CO gas penetration, etc. are well solved, the well inclination is controlled, and the geological survey coring task of the well is successfully completed. This paper summarizes some technical experience and problems exist in the drilling process, and provides reference experience for similar projects.

**Key words:** geological survey well for shale gas; formation pore pressure; high density drilling fluid; CHD127mm wire coring; H<sub>2</sub>S corrosion

收稿日期:2023-02-20; 修回日期:2023-05-29 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.052

第一作者:易强忠,男,汉族,1971年生,高级工程师,探矿工程专业,从事地质与钻探工程管理与研究,云南省楚雄市固业路809队,1936987252@qq.com。

引用格式:易强忠,周兴华,李启彪,等.渝东北田坝背斜页岩气地质调查田页1井钻井技术[J].钻探工程,2023,50(S1):332-338.

YI Qiangzhong, ZHOU Xinghua, LI Qibiao, et al. Drilling technology of Well Tianye-1 of anticline shale gas Geological Survey in Tianba, northeast Chongqing[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):332-338.

## 0 引言

页岩气是富含有机质、高碳泥页岩中的有机质以吸附、游离状态赋存在泥页岩及夹层中<sup>[1]</sup>,我国页岩气资源丰富,具有巨大的资源潜力和开发利用前景。田页1井是中国石油勘探开发研究院廊坊分院为完成南方海相页岩地区页岩气有利目标区优选及新层系探索工作,部署于重庆市巫溪县田坝背斜核部的页岩气地质调查井,目的为采集矿权区内页岩的基础地质数据,了解勘查区内寒武系筇竹寺组页岩厚度、分布、埋深及页岩气地质条件、储集条件、保存条件及含气性等,为下一步勘查区页岩气勘探工作提供地质资料依据。目的层为寒武系下统筇竹寺组( $\epsilon_1q$ ),完钻层位震旦系灯影组( $Z_2dn$ )。田页1井设计井深1800 m,最初设计为直井,井口移动后变更为85°、方位195°的定向斜井。实际完钻井深1803.25 m,完钻口径133 mm,全井平均岩心采取率99.36%,较好的完成钻探施工任务。

本文针对田页1井施工中出现的井斜偏差、井

内地层高压和 $H_2S$ 、 $CO$ 气侵腐蚀、CHD127 mm绳索取钻杆折断等问题的处理方法和经验进行了分析、总结,为类似页岩气调查钻井工程的施工提供技术参考经验。

## 1 钻井概况

### 1.1 地质概况

田页1井井区位于南大巴山弧形褶皱带南部,田坝背斜核部。受汤溪河的切割影响,下志留统龙马溪组、奥陶系地层已出露地表,在田坝背斜核部出露的最老地层为上寒武统三游洞群( $\epsilon_3sn$ )白云岩。

田坝背斜为一箱状背斜,核部地层平缓,但宽度较窄,两翼产状变陡,倾角 $50^\circ\sim 75^\circ$ ,南翼存在有局部倒转,发育规模不等的断层。目的层为寒武系下统筇竹寺组( $\epsilon_1q$ ),研究区寒武系地层构造复杂、厚度资料较少,且存在断层,对钻井深度的设计有一定的影响。

由于本井地层倾角变化较大( $25^\circ\sim 75^\circ$ ),未钻遇到目的层位筇竹寺组。实际钻遇地层见表1。

表1 田页1井钻遇地层情况

地层	底深/m	视厚/m	岩性
志留系下统龙马溪组	235.80	235.80	页岩、砂质泥岩
奥陶系上统五峰组	248.50	12.70	泥岩、灰岩
奥陶系上统临湘组	289.80	41.30	泥岩、灰岩
奥陶系中统宝塔组	295.10	5.30	灰岩
奥陶系中统庙坡—牯牛潭组	317.90	22.80	泥岩、灰岩
奥陶系下统大湾组—杨家坝组	485.50	167.60	泥岩、灰岩、白云岩
寒武系上统三游洞群	1218.40	732.90	泥岩、白云岩、灰岩
寒武系中统覃家庙群	1744.30	525.90	白云质泥岩、泥质白云岩、白云岩、泥岩
寒武系下统石龙洞组	1803.25	58.95(未钻穿)	白云岩、灰岩

### 1.2 钻井设计与要求

设计井深1800 m,全井段取心;取心收获率 $> 85\%$ ,破碎层段取心收获率 $< 80\%$ 。完井岩心直径 $> 75$  mm;完井井斜度 $\leq 5^\circ$ ,完井井身位移 $< 50$  m;井径扩大率 $< 15\%$ 。

完井原则:在设计井深范围内钻穿寒武系底部页岩目的层,钻遇震旦系上统灯影组20 m即可完钻;要求钻井液中不得掺入含油、荧光处理剂和添加剂;目的层作好随钻气测录井和页岩含气性现场解析;完井后10 d内必须进行地球物理测井。

### 1.3 设计变更

由于井位所处地形狭窄、陡峭,设计原井位处于巫溪县田坝镇境内汤溪河道边,考虑雨季施工受洪水影响,将井位移至河对岸的公路边(距原井位158 m)。井位变更后开孔层位变化为志留系下统龙马溪组,岩性则变化为页岩、砂质泥岩。龙马溪组岩层倾角为 $80^\circ\sim 90^\circ$ (见图1),如按原设计的直井施工,预测“顺层”钻进至800~1000 m左右才可能钻穿龙马溪组,对设计目的影响较大,经过委托方技术方案调整,钻井轴线变更为倾角 $85^\circ$ 、方位 $195^\circ$ 的定向斜井施工。



图1 井口附近岩层剖面情况

#### 1.4 安全要求

井场周边地形陡峭、存在河流,浅部岩层产状较陡,灰岩、页岩地层可能产气等情况,预测本井地层压力为1.10~1.15。施工中要做好防斜、防漏、防涌水、防井涌、以及防 $H_2S$ <sup>[2]</sup>等有毒有害气体的安全技术措施,井口安装井控装置,以应对出现的特殊情况。

#### 2 钻井主要难点

(1)设计1800 m要求全井取心,岩心直径 $>75$  mm,倾角 $85^\circ$ ,对钻井设备和钻杆使用选择有极大的限制性,CHD钻杆在斜井施工中随应力的改变对其强度要求更高。

(2)设计钻孔轴线变更为倾角 $85^\circ$ 、方位 $195^\circ$ 的定向斜井施工,轴心夹角小,加之开孔岩层陡倾严重( $80^\circ\sim 90^\circ$ ),遇层角 $\delta\leq 10^\circ$ ,施工中钻头容易“顺层跑”产生轴心夹角减小或消失而达不到变更目的。

(3)钻井位于渝东北南大巴山弧形褶皱带南部,在该地区钻井存在地层高压和 $H_2S$ 、 $CO$ 、气侵危害,容易诱发井喷、 $H_2S$ 腐蚀中毒的安全事故,绳索取心工艺环空间隙小,对钻井液性能维护调整存在一定难度。

#### 3 钻井工程的实施

##### 3.1 钻井施工设备

考虑钻井设计及变更倾角的要求,选择了具有斜井取心能力的HXY-9B型钻机,井架平台规格为 $12500\times 12000\times 2200$  mm,绳索取心钻杆使用CHD127 mm。

考虑该井井深、口径条件下处理事故的强力起拔载荷,满足HXY-9B型钻机安装尺寸和斜井施工

倾角要求<sup>[3]</sup>,选择SGXZ-24型钻塔,额定承载能力为900 kN。

泥浆泵选择BW300/16-D型,固控设备配置J1/A-2/E48-90F-3T型振动筛、TGLW350-N型离心机、QQQ200型泥浆清洁器。井控设备采用2SFZ18-35型防喷器组<sup>[4-5]</sup>及其控制系统、FS0705型四通、TF8-5/8 $\times$ 7"-35型套管头、井控管汇等,定制安装了114.5 mm绳索取心钻杆半封闸板,解决了防喷器闸板与绳索取心钻杆的配套问题。同时安装了监测 $H_2S$ 及有害气体的BX80型固定式多路气体检测仪。

测斜仪器采用JTL-40FW型无缆陀螺测斜仪<sup>[6]</sup>,该测斜仪器在直井变更为定向斜井的施工中发挥了定向参数的监测预报关键作用。

##### 3.2 井身结构和取心钻具

井身结构须满足全井取心、岩心直径 $>75$  mm条件下的完钻口径、稳斜纠斜、固井段安全、安装井控装置等要求,同时考虑隔离上部龙马溪组陡倾、水敏性页岩地层。完钻井身结构如下:

导管段采用 $\varnothing 151$  mm复合片钻头、单动双管钻具钻进取心至20.00 m, $\varnothing 295$  mm钻头扩孔至20.00 m,下入 $\varnothing 245$  mm导管20.10 m后按要求进行固井。

一、二开均采用CHD127 mm(钻头直径增大至133 mm)<sup>[7]</sup>孕镶金刚石钻头、CHD系列绳索取心钻具,钻具组合: $\varnothing 133$  mm钻头+ $\varnothing 133.50$  mm扩孔器+ $\varnothing 119$  mm绳索取心钻具(内管规格95.5/88 mm)+ $\varnothing 133.50$  mm上扶正器+ $\varnothing 119$  mm弹卡室(弹卡挡头)+ $\varnothing 114.50$  mm绳索取心钻杆。

一开钻进至井深64.10 m, $\varnothing 215.90$  mm钻头扩孔,扩深64.10 m,下入 $\varnothing 177.8$  mm J55石油套管64.50 m,按要求固井候凝72 h后进行水压试验。在井口安装2SFZ18-35型双闸板防喷器。

二开钻进至井深235.80 m,测量井斜数据为倾角 $87^\circ$ 、方位 $198.2^\circ$ ,为避免井斜向铅垂方向“顺层跑”,采用 $\varnothing 150$  mm钻头扩孔至235.80 m,实施增斜工作后下入 $\varnothing 146$  mm技术套管236.00 m。

三开 $\varnothing 133$  mm钻头钻进至1803.25 m完钻。完钻井身结构见表1。

##### 3.3 施工中遇到的问题及解决措施

(1)导管段采用 $\varnothing 151$  mm单动双管钻具、低固相钻井液取心钻进。钻穿河床卵砾石、沙、孤石松散层,钻入龙马溪组6.50 m后采用 $\varnothing 295$  mm钻头扩孔

表1 完井井身结构

开序	井深/m	取心 钻头/ mm	扩孔 钻头/ mm	套管 尺寸/ mm	套管 下深/ m	水泥 返高
导管	0~20.00	172	295	245	20.10	井口
一开	20.00~64.10	133	215.9	177.8	64.50	井口
二开	64.10~235.80	133	151	146	236.00	
三开	235.8~1803.25	133	/	/	/	

下入 $\Phi 245$  mm套管,水泥封闭井管外环至井口,封隔疏松、垮塌、潜水层,建立井口。

(2)一、二、三开采用 $\Phi 133$  mm孕镶金刚石绳索取心施工<sup>[8-9]</sup>,采用无固相聚合物钻井液体系。一、二开钻遇地层为志留系下统龙马溪组,岩性为页岩、砂质泥岩。井深至35.60 m时发生失返性漏失,采用泥球、锯末、PLus膨胀剂做成泥球送至漏失部位钻扫后堵漏成功<sup>[10]</sup>。

在龙马溪组钻进施工中,由于岩层陡倾严重(倾角 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ),井斜极难控制。自60~180 m井段共发生6次井斜超差情况。在发生的6次井斜超差情况时,皆采用可回收偏心楔<sup>[11]</sup>配合JTL-40FW型无缆陀螺仪进行纠斜,纠斜后井身轴线符合设计要求。具体方法为:在取心施工中采用JTL-40FW型无缆陀螺测斜仪以10 m间距跟踪井斜,及时掌握井身轨迹变化。井斜偏差超过 $2^{\circ}$ 时立即停钻,采用 $\Phi 150$  mm钻头扩孔至井底(见图2),将自制 $\Phi 146$  mm偏心楔(楔顶角 $1.5^{\circ}\sim 1.8^{\circ}$ )与 $\Phi 146$  mm套管连接,井口做好定向标记下入井内,下偏心楔过程中 $\Phi 146$  mm套管须连续做定向标记,偏心楔下至井底后,再下入JTL-40FW无缆陀螺仪至偏心楔楔口部位复核倾角、方位角定向情况,如存在偏差可轻微转动井口套管进行调整,符合要求后套管在井口加以固定防止扭转移动。偏心楔定向完成后采用 $\Phi 130$  mm短钻具下至偏心楔部位进行增斜钻进。进入岩层后为保证轴线与偏心楔定向一致, $\Phi 130$  mm短钻具依次更换为相应长钻具尤为关键, $\Phi 130$  mm钻具始终保持 $1/3$ 在偏心楔楔口以上,保证定向增斜效果可靠。钻入岩层5~6 m后,下JTL-40FW无缆陀螺仪复核增斜角度,符合定向要求后下 $\Phi 133$  mm孕镶金刚石绳索取心钻具继续正常施工。

井深235.80 m后进入五峰组泥岩、灰岩岩层,倾角变缓为 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。测量井斜为倾角 $87^{\circ}$ 、方位



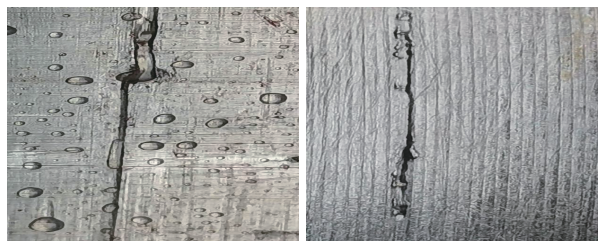
图2 增斜过程扩孔采心

$198.2^{\circ}$ ,为减小 $\Phi 177.8$  mm套管与 $\Phi 114.5$  mm绳索钻杆环空间隙过大以及倾角偏差达到增斜需要。使用上述纠斜方法将倾角增至 $84.5^{\circ}$ ,下入 $\Phi 146$  mm技术套管封隔泥、页岩水敏地层后继续钻进。完钻井深1803.82 m时井斜误差控制在 $85.7^{\circ}$ 、方位 $208.2^{\circ}$ ,完全符合设计要求。

(3)三开采用孕镶金刚石绳索取心结合高密度聚合物钻井液钻进。钻进至1051.40 m,连续发生了2次钻杆折断事故,皆发生在钻头不到井底循环扫孔过程中突然折断,断口皆处于235.00 m井段。采用可退式打捞锥将事故处理完成后,分析钻杆折断原因为井深235.80 m增斜变径部位存在 $2.5^{\circ}$ 的“狗腿”增斜拐点,钻柱与井壁接触面积增大导致摩擦阻增大<sup>[12]</sup>,钻杆接头设计强度已满足不了轴线陡斜条件下的应力强度,导致过载疲劳断裂<sup>[13]</sup>。经研究后采取补强钻杆壁厚(外径由设计119 mm增大至124 mm)、提高钻井液润滑能力、适当控制转速等技术措施,未再发生钻杆折断事故。

(4) $H_2S$ 腐蚀钻杆问题。钻进至1441.35 m时,钻杆接头出现腐蚀、凹痕现象(见图3),BX80型气体检测仪未见 $H_2S$ 报警显示,分析为井口返流钻井液中 $H_2S$ 浓度低于报警值(10 ppm),但井口返流钻井液呈墨绿色,判断为 $H_2S$ 气侵特征。经地质人员分析判断,造成钻杆的腐蚀、凹痕原因是井内存在 $H_2S$ 腐蚀,如处理不及时会发生钻杆“氢脆”危害,导致钻杆折断、刺漏的严重事故。通过在钻井液中添加 $1\%$ 碱式碳酸锌和调节PH值为 $10\sim 11$ 后解决了此问题。后续施工中钻杆未出现腐蚀、凹痕。

(5)高压地层失稳、溢流问题。钻进至1550.20 m寒武系中统覃家庙群白云岩,井口返流钻井液中气泡明显增加,在取心间隙中,井内液面出现异常上升情况(平均达到 $0.5$  m/min,监测10 min后仍持续

图3 钻杆H<sub>2</sub>S腐蚀痕迹

上升),此时井内循环钻井液密度为1.30 g/cm<sup>3</sup>,判断为井内地层压力平衡不足导致流体侵入产生失稳、溢流。立即启动了应急措施:合上立轴压入密度1.40 g/cm<sup>3</sup>备用重浆循环,循环一周后井内平衡得到了控制,后续施工中将钻井液密度调整至1.40~1.43 g/cm<sup>3</sup>、粘度35~40 s、PH值10~11,至完钻未发生压力失衡、溢流情况。

### 3.4 钻进参数的选用

(1)HXY-9B型钻机转速范围82~949 r/min, BW300/16~D型泥浆泵泵量调节范围52~300 L/min,可完全满足本次钻井参数的选择变化要求<sup>[14]</sup>。导管段地层为回填卵砾石、沙、粘土等,开孔钻具做

到“满、刚、长、直”,开孔后逐级加长钻具做到满眼钻进,可达到防斜保直目的<sup>[15]</sup>,钻进至20.00 m后扩孔下入表层导管。

(2)一、二开进入龙马溪组陡倾地层,须防止钻头“顺层跑”产生井斜超差(井斜偏差控制<2°),采用低转速、轻钻压、适当泵量钻进施工,加密测量井斜,超差后及时纠斜方可钻进,钻至倾角平缓地层及时下管稳斜。

(3)三开井段为保持井身轨迹在定向范围内,不可盲目加压提速。井深1200 m以浅提速井段采用333 r/min、11~12 kN的钻进参数,1200 m后采用234 r/min、10~11 kN的稳斜参数。

CHD127 mm钻头直径增大至133 mm后,增大了环空间隙,对钻井液上返流速产生一定影响,上返流速过低则排屑困难、产生重复破碎、反复研磨钻头<sup>[11]</sup>。钻井液上返流速在钻头直径 $\varnothing$ 127 mm时使用115 L/min排量可达到0.8 m/s,钻头直径优化为 $\varnothing$ 133 mm后将排量增加至155 L/min可达到0.72 m/s,满足排屑的水力参数需求。技术参数见表2。

表2 田页1井钻进参数配合

开序	钻 头			钻 井 参 数				钻井液密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )
	直径/mm	类型	取心工艺	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	排量/(L·min <sup>-1</sup> )	泵压/MPa	
导管段	151	复合片	单动双管	3~5	119	155	0.5	1.05
一开	133	金刚石	绳索取心	5~7	170	155	0.5	1.02
二开	133	金刚石	绳索取心	5~8	170~234	115~155	1.0~1.5	1.02
三开	133	金刚石	绳索取心	10~12	234~333	115~155	1.5~3.0	1.30~1.43

### 3.5 钻头的使用

一、二开岩石为页岩、粉砂质泥岩,可钻性2~4级、研磨性中等、裂隙发育破碎、倾角较陡<sup>[16-17]</sup>。采用 $\varnothing$ 133 mm聚晶孕镶金刚石钻头,胎体硬度HRC30~35,底唇以齿轮形状为主,由于采用稳斜参数钻进,机械钻速保持1.5~2.0 m/h。

三开钻进岩石为泥岩、灰岩、白云岩,可钻性4~6级、研磨性中等、裂隙发育局部破碎、倾角稍缓(40°~50°)。采用 $\varnothing$ 133 mm聚晶孕镶金刚石钻头,胎体硬度HRC20~25,金刚石浓度60~80目,底唇形式尖环齿、宽水口为主。

在全井段岩石硬度级别不高情况下,钻头外径的加大对机械钻速影响较小,能保持机械钻速达到3.5~4.0 m/h。单只钻头进尺达到399.74 m的较好

成绩<sup>[18]</sup>(如图4所示)。同时也增加了外环空体积,减小了钻井液上返阻力,另一方面可满足钻井液高密度、大泵量的使用要求,增加了钻井液防漏、防塌、高密度、高润滑性、抑制性能的调整范围,可很好的提高排屑和清除井底岩粉能力。解决了绳索取心钻杆与井壁环空小而出现钻井液护壁、平衡性能要求高导致循环泵压过高的矛盾,同时也为加强钻杆强度增大接头直径提供了充足的空间。

### 3.6 钻井液的应用与维护

#### 3.6.1 钻井液应用

(1)该井钻遇岩性以泥页岩、泥岩、灰岩、白云岩为主,局部夹石膏。根据井区以往邻井资料提示,上述地层具有强水敏性、裂隙发育、岩石破碎及硬脆性等特点,钻井中存在缩径、井漏、地层压力失衡、泥页



图4 外径加大绳索取心金刚石钻头单只进尺399.74 m

岩水化坍塌导致井壁失稳等井害问题<sup>[19]</sup>,深部地层存在高地层压力和 $H_2S$ 腐蚀等风险,容易发生井喷(涌),对钻井人员及设备安全造成极大危害。

(2)钻井液设计和应用须解决井漏(涌)、护壁排屑、钻杆结垢和润滑的需求,尤其需解决高地层压力、 $H_2S$ 腐蚀及有毒的危害问题。

依据油气钻井液设计安全规范要求,钻井液密度应大于地层压力 $0.10\sim 0.15\text{ g/cm}^3$ ,而本井预测地层压力为 $1.10\sim 1.15$ ,本井区为含 $H_2S$ 高危地区密度按高限设计。钻井设计采用密度 $\rho > 1.30\text{ g/cm}^3$ 的聚合物钻井液,配方:水( $1\text{ m}^3$ ) + 钠膨润土(2.5%) + LBM(0.5%) +  $BaSO_4$ (40%) + NaOH(0.1%) + K-PAM(0.1%) + NPAN(0.5%) + PAC-LV(0.1%) + 润滑油(0.2%) + 碱式碳酸锌0.2% + 消泡剂(0.2%)。性能参数:漏斗粘度 $30\sim 35\text{ s}$ 、PH值 $9\sim 10$ 、密度 $1.30\sim 1.35\text{ g/cm}^3$ 、失水量 $8\sim 10\text{ ml}$ 。

井深1441.35 m出现 $H_2S$ 腐蚀钻杆情况时,将NaOH和碱式碳酸锌加量至0.2%和1.0%,PH值控制于 $10\sim 11$ 后,缓解了 $H_2S$ 腐蚀钻杆危害。

井深1550.20 m时地层压力平衡不足导致流体侵入出现失稳、溢流现象,通过提高重晶石含量至55%,密度提高至 $1.40\sim 1.43\text{ g/cm}^3$ 后,恢复了井内循环平衡。

PH值和密度提高后泥浆粘度大幅增加至 $75\sim 80\text{ s}$ ,给正常钻进带来了极大的循环困难,通过现场小样实验,添加0.8%的高效稀释剂和0.2%的有机硅稀释剂GYZ将粘度降至 $35\sim 40\text{ s}$ ,降粘过程中为抑制重晶石粉的快速沉降,添加了0.5%的钙离子改性泥浆稳定剂PF-HCS以提高其稳定性,将钻井液密度变幅稳定在 $0.02\text{ g/m}^3$ 内,保证了绳索取心的正常钻进和井内安全。

调整后配方:水( $1\text{ m}^3$ ) + 钠膨润土(2.5%)

+LBM(0.5%) +  $BaSO_4$ (55%) + 改性泥浆稳定剂PF-HCS(0.5%) + NaOH(0.2%) + K-PAM(0.1%) + NPAN(0.5%) + PAC-LV(0.1%) + 高效稀释剂(0.8%) + 有机硅稀释剂GYZ(0.2%) + 润滑油(0.2%) + 碱式碳酸锌1.0% + 消泡剂(0.3%)。性能参数:漏斗粘度 $35\sim 40\text{ s}$ 、PH值 $10\sim 11$ 、密度 $1.40\sim 1.43\text{ g/cm}^3$ 、失水量 $10\sim 12\text{ ml}$ 。

### 3.6.2 钻井液维护

在页岩气调查井绳索取心工艺施工中使用高密度钻井液可借鉴经验较少,钻井液高密度要求使其性能的配伍统一十分困难<sup>[20]</sup>。钻井液性能维护好坏会直接影响金刚石绳索取心技术优势的发挥,同时也给正常钻进带来较大的安全隐患。做好以下性能维护是保证正常钻进和井内安全的关键。

(1)每小班井口取样2次进行性能监测,井口安装 $H_2S$ 、CO等气体传感器加强监测,结合钻进、钻井液和地层变化情况做好性能维护。

(2)处理剂严格按照规定配比添加,钻井液性能较大调整前做好现场小样实验,确保调整后性能符合井内安全和正常钻进需求,保持密度 $< 1.40\text{ g/cm}^3$ 、PH值 $10\sim 11$ 、粘度 $35\sim 40\text{ s}$ 。

(3)适当增加固控设备的使用率,增加沉淀池(槽)数量提高沉淀岩屑能力,及时清除有害固相以减少钻杆泥皮结垢。

(4)金刚石绳索取心应保持较好的润滑性能,乳化分散作用使添加各类润滑剂(油)后产生钻井液密度严重下降,严重危害井内安全,经过多种润滑剂(油)实验与筛选,采用进口润滑油和添加消泡剂可将密度降幅可控制于 $0.02\text{ g/cm}^3$ 内,达到润滑性能。

## 4 钻井完成情况

### 4.1 钻井质量

完钻井深1803.25 m,完钻口径133 mm,取得岩心1792.27 m,平均岩心采取率99.36%,岩心直径 $\geq 80\text{ mm}$ (见图5)。完钻井斜误差 $0.7^\circ$ ,井底水平位移179.04 m,减除井口位移后实际偏差21.04 m,平均井径为133.5 mm,平均井径扩大率为0.3%(见图6)。

### 4.2 钻探目的

由于岩层产状较陡(倾角 $40^\circ\sim 50^\circ$ ),井深1803.82 m钻遇层位为寒武系下统石龙洞组(钻入59.50 m未钻穿),岩性为白云岩、灰岩,未到设计目的层寒武系下统水井沱组( $\epsilon_{1sh}$ ),根据岩层倾角推



图5 岩心

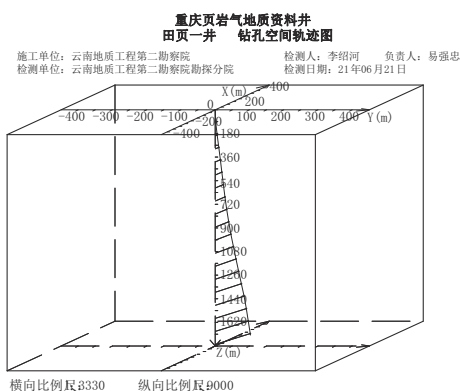


图6 完钻井身轨迹

测,达到地质目的层预测井深 2800 m 以下,与目前井深差距较大,考虑继续实施钻进存在较多不确定安全、技术因素,即下达了完钻指令。

## 5 结语

通过田页 1 井页岩气地质调查的钻探取心施工,在大直径绳索取心技术与高密度钻井液结合施工方面取得了一些宝贵的经验<sup>[21]</sup>,但仍有以下问题与不足之处需要改进。

(1)页岩气地质调查钻井存在异常高地压及  $H_2S$ 、 $CO_2$  等气侵的危害及安全风险,钻井设计应合理选择施工设备、取心钻具、钻杆、钻井液体系,针对提示风险做好泥浆性能调整所需材料、技术方案储备工作,做好在设计倾角变更后钻杆的应力强度校验。

(2)本井采用 JTL-40FW 无线陀螺仪跟踪钻井轨迹并配合可回收偏心楔纠斜达到较好的控制井斜要求,但辅助时间占用多、工作繁琐,今后类似工程可考虑绳索取心随钻测斜仪控制钻井轨迹。

(3)页岩气地质调查取心深井施工中取心工艺与钻井液的体系统一至关重要,既要满足安全要求、

又需满足金刚石绳索取心技术优势,本次钻井虽然取得一定的施工经验,但在以后类似钻井中应加强相关的研究与总结。

## 参考文献:

- [1] 闫家,曹龙龙,胡晨,等.望江凹陷页岩油气地质调查皖望地 2 井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):30-38.
- [2] 何远信,胡志方,单衍胜,等.公益性陆域油气地质调查钻探工程技术进展与公关建议[J].钻探工程,2022,49(5):3-10.
- [3] 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.
- [4] 赵亮,汪程林,等.页岩气地质调查皖地 1 井施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):42-47.
- [5] 赵志涛,蒋睿,卢彤,等.下扬子页岩气地质调查井的溶洞识别与处理[J].钻探工程,2022,49(5):22-29.
- [6] 易强忠,郎学伟,周兴华,等.云南金平长安金矿大倾角钻孔绳索取心施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):48-55.
- [7] 朱恒银,王强,张正,等.大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):160-164.
- [8] 孙建华,王林钢,梁健,等.深孔小直径绳索取心钻进施工调研分析和技术建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):12-17.
- [9] 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].钻探工程,2018,45(10):66-70.
- [10] 易强忠,李绍河,盖海涛,等.Aus-Plug 堵漏剂在金厂河等矿区绳索取心钻孔漏失中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):20-24,30.
- [11] 孙孝刚,卢忠友,张涛,等.地质岩心钻孔人工造斜方法实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):15-20.
- [12] 马振锋,闫志远,杨全枝等.延页平 3 井大偏移距水平井减阻降摩技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):76-79,83.
- [13] 王志刚,梁健,刘秀美,等.深部地质取心钻探钻柱失效行为分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):28-31,46.
- [14] 李正前,房勇,陈孝红,等.沅麻盆地页岩气地质调查湘桃地 1 井钻井技术及井下复杂处理[J].钻探工程,2022,49(5):48-56.
- [15] 卢子北,陈莹,申云飞等.河南中牟页岩气区块地层特征及钻探问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):62-67.
- [15] 王达,何远信.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014.
- [17] DZ/T0227-2010,地质岩心钻探规程[S].
- [18] 易强忠,廖国平,等.云南盐津页岩气调查盐津 1-2 井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):68-75.
- [19] 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.
- [20] 黄杨.川藏铁路 DZ-深 02-1 钻孔高密度冲洗液的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):25-28,36.
- [21] 何勇,苏时才,陈杨,等.高压涌水及高含硫化氢页岩气井绳索取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):23-28.

(编辑 王文)