

沱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

李正前^{1,3}, 房勇¹, 陈孝红², 李旭兵²

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734; 2. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205;
3. 成都华建地质工程科技有限公司, 四川成都 611734)

摘要:为评价雪峰古陆周缘页岩含气性, 2019年在沱麻盆地施工了页岩气地质调查井湘桃地1井, 完钻井深1850.88 m, 全井取心, 平均岩心采取率97.24%。施工中应用XY-8型钻机, 采用三开井身结构, 配合录井及测井技术, 并优选钻具组合、钻头、钻进参数、钻井液性能。因牛蹄塘组碳质泥岩失稳掉块及钻探工艺调整不及时发生了卡钻、埋钻、钻具折断等井下复杂, 采取螺杆马达侧钻绕障予以解决, 侧钻后同径继续钻进806.87 m至完钻。该井的顺利完钻和井下复杂处理方法为同类地区地质调查井施工提供了可借鉴的经验。

关键词:页岩气地质调查; 页岩气井; 井下复杂; 卡钻; 埋钻; 侧钻绕障; 螺杆马达; 湘桃地1井; 沱麻盆地

中图分类号: P634; TE2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2022)05-0048-09

Drilling and downhole complex treatment of Well Xiangtaodi-1 for shale gas geological survey in Yuanma Basin

LI Zhengqian^{1,3}, FANG Yong¹, CHEN Xiaohong², LI Xubing²

(1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China;

2. Wuhan Center of Geological Survey, CGS, Wuhan Hubei 430205, China;

3. Chengdu Huajian Geological Engineering Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: In order to evaluate the gas bearing property of shale around Xuefeng Ancient Land, Well Xiangtaodi-1, a shale gas geological survey well, was constructed in Yuanma Basin in 2019. The completed drilling depth was 1850.88m. the whole well was cored, and the average core recovery rate was 97.24%. XY-8 drilling rig is used in the construction, which adopts third spud hole structure, cooperate with gas logging and comprehensive geophysical logging technology, and optimizes the BHA, bit, drilling parameters and drilling fluid performance. Due to the instability and block falling of the carbonaceous mudstone in Niutitang Formation and the untimely adjustment of the drilling process, the downhole complications such as drill rod sticking, drill rod burying and drill tool breaking occurred. The screw motor sidetracking is adopted to bypass the obstacles, so as to solve the downhole problems such as sticking and burying. After sidetracking, continue to drill 806.87m with the same diameter until the completion of drilling. The successful completion of the well and the complex downhole treatment methods provide reference experience for the construction of geological survey wells in similar areas.

Key words: shale gas geological survey; shale gas well; downhole complex; drill rod sticking; drill rod burying; sidetracking obstacle; screw motor; Well Xiangtaodi-1; Yuanma Basin

收稿日期: 2022-06-07; 修回日期: 2022-08-10 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.05.007

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“雪峰古陆周缘页岩气地质调查”(编号: DD20190559, DD20190558)

第一作者: 李正前, 男, 汉族, 1969年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻探相关技术方面的研究工作, 四川省成都市郫都区成都现代工业港港华路139号, 292270557@qq.com。

引用格式: 李正前, 房勇, 陈孝红, 等. 沱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.

LI Zhengqian, FANG Yong, CHEN Xiaohong, et al. Drilling and downhole complex treatment of Well Xiangtaodi-1 for shale gas geological survey in Yuanma Basin[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 48-56.

0 引言

页岩气作为一种非常规清洁能源,近年来受到国内外学者的广泛关注。围绕雪峰古隆起边缘的页岩气勘探和研究从未停歇,许多学者对该区的页岩气前景充满了期待^[1-3]。沅麻盆地西北白垩系覆盖区(草堂凹陷)及北缘上寒武统一奥陶统覆盖区,即凤凰—吉首—沅古坪—常德一带,下寒武统牛蹄塘组页岩有机碳含量高,热演化程度适中,构造相对简单,可作为页岩气勘探的有利区^[4]。湘桃地1井是2019年雪峰古陆周缘页岩气地质调查项目部署在沅麻盆地的一口地质调查井,钻探目的是获取牛蹄塘组岩心,采集测试样品,评价页岩含气性。目的层位为寒武系牛蹄塘组,完井层位震旦系灯影组。根据地质要求,湘桃地1井设计深度1600 m,完钻口径 $\varnothing 96$ mm。完钻原则为钻遇震旦系灯影组白云岩夹硅质岩完钻。需进行全井取心,完成测、录井工作,进行现场检测烃类气体含量和变化、测定岩石解析气量等工作任务。实际完钻深度1850.88 m,实现了该井地质设计的全部工作目标。全井累计施工时间161 d。

本文针对沅麻盆地湘桃地1井钻探工作中所采用的施工工艺及井下复杂的处理技术进行分析与总结,重点总结了小口径地质钻探采用螺杆马达定向实现绕障,侧钻后同径继续钻进到实现地质目标的经验,为今后该类钻探工作提供技术参考。

1 钻井基本情况

1.1 钻井设计参数

湘桃地1井为页岩气地质调查井,井型为直井,设计井深1600 m。采用超前裸眼钻进技术优化设计井身结构,即在钻进中尽可能完成甚至超过本开次的设计井深任务,一旦钻遇复杂情况再下入套管,这样可为下部井段提供安全储备口径,减轻深部复杂地层钻进的安全风险,确保满足完井深度及口径要求^[5-7]。为此,设计三开(备用四开)井身结构,完钻直径 $\varnothing 96$ mm(备用 $\varnothing 76$ mm)。按地质要求全井段取心,全井平均岩心采收率 $\varnothing 85\%$,目的层段(暗色泥岩段)控制取心,岩心平均采取率 $\varnothing 90\%$,不合格需采取补救措施;钻井液须具备防塌、防漏、防油气层污染、保护油气层等能力,不得掺入含油、荧光、与岩石产生化学反应的处理剂和添加剂。

1.2 设备选型

钻探设备选择的依据是最大钻具质量和遇卡允许上提载荷。综合考虑湘桃地1井设计井深1600 m,完钻井径 $\varnothing 96$ mm,以及井身结构、钻井工程质量等要求,选择XY-8型钻机,主要使用 $\varnothing 89$ mm \times 5 mm钻杆。其他钻具配套机具为:SG24型钻塔;3NBB-390/15型泥浆泵;2SFZ18-35型双闸板防喷器;SJ-3000型绳索取心绞车;4134AD型柴油发电机;KXP-2DS型数字罗盘测斜仪;SK-2N01G、ANY-1型泥浆性能测试仪等^[8-10]。该钻井采用 $\varnothing 98$ mm金刚石钻头绳索取心钻进至井深1697.38 m,由于发生井内复杂,使用螺杆马达钻具在井深1044.01 m处进行侧钻绕障后,采用同径(H系列) $\varnothing 96$ mm金刚石钻头绳索取心钻进至完钻井深1850.88 m。实践证明XY-8型钻机选型满足工程实际需要。

1.3 实钻地层情况

根据实钻情况,本井钻遇地层自上而下依次为东井组、比条组、车夫组、花桥组、敖溪组、清虚洞组、榔榔组、牛蹄塘组、灯影组(未穿),见表1。

2 钻井施工工艺

2.1 钻井结构及钻进方法

根据实际钻遇地层及钻井施工情况,本井采用三开钻进。

一开:0~47.28 m。采用 $\varnothing 152$ mm普通金刚石取心钻进至47.28 m,进入较完整基岩,下 $\varnothing 146$ mm套管至井深47.28 m,水泥固井,水泥浆返至地面。根据中国地质调查局《陆域油气地质调查井井控技术要求(试行)》的规定,表层套管下深需满足井控安全,封固浅水层、疏松地层和松散砾石层的要求。

二开:47.28~241.50 m。采用 $\varnothing 124$ mm金刚石钻头绳索取心钻进至井深241.50 m,下 $\varnothing 114.3$ mm技术套管至井深241.50 m。

三开:241.50~1850.88 m。采用 $\varnothing 98$ mm金刚石钻头绳索取心钻进至井深1697.38 m,由于发生卡钻事故,在处理事故过程中,钻杆折断于井内,采用多种常规方法处理不成功,综合考虑工期及经济效益等因素后,采用螺杆马达钻具进行侧钻绕障施工,侧钻出新井S1。三开S1井段:1044.01~1850.88 m,采用 $\varnothing 96$ mm金刚石钻头绳索取心钻进至完钻井深1850.88 m。这2种规格的钻头均属于S96系

表1 湘桃地1井实钻地层分层数据

Table 1 Well Xiangtaodi-1 drilling stratigraphic subdivision table

地层系统		预测地层		实钻地层		岩性简述
系	组	顶/m	底/m	底深/m	钻厚/m	
第四系		0.00	10.00	0.00	0.00	
白垩系	东井组	10.00	40.00	204.18	204.18	顶部岩性主要为紫红色含灰粉砂质泥岩、灰色灰质细砂岩、灰色灰质泥岩;中下部主要为紫红色砾屑含灰泥岩、紫灰色含灰泥质粉砂岩、灰色砂砾岩、灰色含砾细砂岩;紫红色—紫灰色砾岩为底
	比条组	40.00	230.00	681.42	477.24	顶部为大套灰色泥质纹层灰岩、灰色条带状灰岩互层;中部见厚层灰色泥晶灰岩;底部见一套薄层灰色含砾灰岩。岩心表面见方解石脉发育,零星状黄铁矿分布于方解石脉体表面,局部岩心断口平整、光滑,具金属光泽的碳质泥岩发育
	车夫组	230.00	520.00	859.16	177.74	为大套深灰色泥质条带灰岩、灰色含钙质条带灰岩互层,夹泥质灰岩。岩心表面见呈片状黄铁矿发育;岩性表面见钙质条带发育
	花桥组	520.00	720.00	939.44	80.28	顶部主要为大套深灰色泥质条带灰岩夹薄层灰黑色泥岩、泥灰岩互层;中部为灰色泥灰岩、深灰色泥质条带灰岩互层;下部为深灰色灰质泥岩、灰色条带状灰岩、灰色泥灰岩互层
	敖溪组	720.00	1020.00	1178.98	239.54	顶部主要为黑色含灰碳质页岩、夹薄层灰色泥灰岩互层;中下部为深灰色白云质泥岩、厚层灰白色泥晶白云岩
寒武系	清虚洞组	1020.00	1250.00	1523.71	344.73	顶部主要为深灰色含灰粉砂质泥岩、大套灰白色泥晶灰岩、黑色碳质泥岩(含灰)夹灰色泥灰岩;中部主要为黑色碳质泥岩及深灰色粉砂质泥岩互层、黑色硅质碳质泥岩、灰色白云岩;下部主要为浅灰色泥灰岩、厚层灰白色泥晶灰岩
	杷榔组	1250.00	1350.00	1576.73	53.02	顶部主要为灰色泥灰岩、黑色碳质泥岩;中下部主要为灰黑色泥岩、黑色碳质页岩夹薄层泥灰岩,岩心断口偶见古生物化石;底部为厚层黑色碳质页岩夹1~4 cm粉砂岩夹层,局部黄铁矿发育
	牛蹄塘组	1350.00	1550.00	1826.25	249.52	顶部主要由厚层含灰碳质页岩、碳质泥岩夹薄层泥灰岩,钙质条带发育,黄铁矿呈星点状及层状发育;中下部主要为灰色含硅质碳质泥岩夹黄铁矿夹层、黑色碳质泥岩夹薄层灰色泥灰岩,岩性表面见黄铁矿呈块状发育;底部为黑色含硅质碳质泥岩夹薄层灰黑色硅质岩、薄层灰色泥质灰岩互层
震旦系	灯影组 (未穿)	1550.00	1600.00	1850.88	24.63	上部为黑色硅质岩夹薄层黑色碳质泥岩、灰黑色含白云质硅质岩、浅灰色含硅质白云岩

列绳索取心钻头。

湘桃地1井实际井身结构如图1所示。

2.2 钻具选用及组合

在近年来我国地质找矿深孔、特深孔钻进中,绳索取心仍然是最有效的钻进方法,也是首选的工艺方法^[11]。绳索取心钻具主要由外管、内管总成2部分组成。具有单动性、内管到位报信功能、岩心堵塞报信功能,可以有效防止冲洗液冲刷岩心和避免机

械力对岩心的破坏作用,保证取心质量。根据区内主要岩石的物理机械性质,岩石硬度较软,研磨性较弱,本着保证质量、降低成本、提高钻探效率综合考虑,湘桃地1井开孔采用 $\varnothing 152$ mm普通取心钻进,二开采用S122绳索取心钻进,三开采用S96绳索取心钻进到底。该井主要钻进方法为绳索取心钻进,以获得较高的岩心采取率和较高的台月效率。该井主要选用S122 mm、S96 mm绳索取心钻具^[12]。

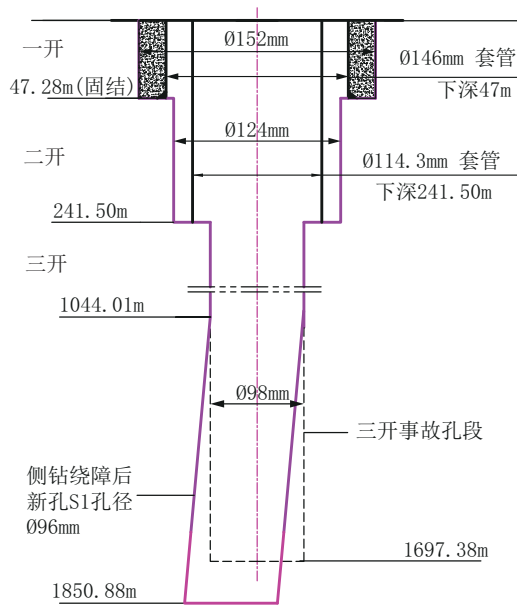


图 1 湘桃地 1 井实际井身结构

Fig.1 Actual wellbore structure of Well Xiangtaodi-1

为防止井斜,特别是开孔井斜,采用粗径钻具、扩孔器等防斜钻具组合,做到“以满保直、以刚保直”,满足钻井设计要求,达到地质研究目的。钻杆与井壁间的环状间隙过大容易引起井斜和断钻杆,过小则泵压很高,泥浆泵易出故障,且流速太高,对井壁稳定不利,金刚石绳索取心钻进环状间隙以 2~4 mm 为宜。该井取心钻具组合如表 2 所示。

2.3 钻进参数

钻进参数选择的原则^[13]:在较软地层钻进,采用低转速、小泵量和适当的压力;在坚硬的研磨性强的岩层钻进,采用大钻压、较高的转速和泵量;在裂隙发育的破碎岩层和研磨性强的岩层钻进,采用小钻压、中低转速和适当的泵量。在深井钻进时,为保证井内安全,则要限制转速和钻压。在低固相泥浆钻进条件下,为避免钻杆内结泥垢,应限制钻具转速和回次时间。本井使用的钻进参数见表 3。

表 2 取心钻具组合

Table 2 Core drilling tool combination table

开次	钻进方法	井深/m	钻具组合	环状间隙/mm
一开	普通金刚石取心	0~47.28	Ø152 mm 金刚石取心钻头+Ø152.50 mm 下扩孔器+Ø139.7 mm 普通取心钻具外管+变径接头+Ø114.3 mm 绳索取心钻杆	
二开	绳索取心	47.28~241.50	Ø124 mm 绳索取心钻头+Ø124.5 mm 下扩孔器+Ø114.3 mm 绳索取心钻具外管+Ø124.5 mm 上扩孔器+弹卡室+弹卡室挡头+Ø 114.3 mm 绳索取心钻杆	3~5
三开	绳索取心	241.50~1697.38	Ø98 mm 绳索取心钻头+Ø98.5 mm 下扩孔器+Ø89 mm 绳索取心钻具外管+Ø98.5 mm 上扩孔器+弹卡室+弹卡室挡头+Ø 89 mm 绳索取心钻杆	2~4
三开 S1 井段	绳索取心	1044.01~1850.88	Ø96 mm 绳索取心钻头+Ø96.5 mm 下扩孔器+Ø89 mm 绳索取心钻具外管+Ø 96.5 mm 上扩孔器+弹卡室+弹卡室挡头+Ø 89 mm 绳索取心钻杆	2~4

表 3 湘桃地 1 井钻进技术参数选择表

Table 3 Well Xiangtaodi-1 drilling technical parameter selection table

井段/m	井径/mm	钻进参数		
		钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
0~47.28	152	8~12	30~150	150~250
47.28~241.50	124	10~15	150~380	80~120
241.50~1697.38	98	10~18	260~520	80~220
1044.01~1850.88	96	10~18	260~520	80~220

2.4 钻井液

钻井液要求低固相、强抑制,优良的造壁性和润滑性,良好的流变性,以实现安全快速钻进。

一、二开使用低固相双聚钻井液,密度 1.01~1.02 g/cm³,漏斗粘度 55~58 s, pH 值 7~8。基本配方:3%~4% 膨润土+3% 纯碱+400 ppm 水解聚丙

烯腈+100~300 ppm 水解聚丙烯酰胺+清水。

三开、三开 S1 井段使用低固相防塌钻井液,密度 $1.04\sim 1.05\text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $23\sim 30\text{ s}$,pH 值 $8\sim 9$ 。基本配方:3%~4% 膨润土+0.1%~0.2% 烧碱+0.1%~0.2% 纯碱+0.1%~0.3% 聚丙烯酸钾+1%~3% 聚合醇防塌剂。

3 井下复杂及处理

钻井施工井下复杂的处理,是保障钻井工作顺利完成的重要环节。在湘桃地 1 井钻井施工过程中,出现了卡钻、钻杆折断等井下复杂,最终这些井下复杂均得到了妥善的处理,确保了钻井工程的顺利完成。

3.1 井下复杂发生情况

湘桃地 1 井在钻进至 1697.38 m 时,发现不进尺,返浆量减少,此时泥浆密度为 $1.03\sim 1.04\text{ g/cm}^3$,粘度 16 s,准备提立轴打捞取心,遇阻,当时钻具可以上下活动,但不能回转,随后强行提起立轴及 3 m 单根后,阻力增大,强拉时固定钢丝绳的绳卡崩开,换好绳卡后无法再提起,钻具被卡死。保持钻具拉力,对主要设备和安全部件进行检修、维护后,循环泥浆,再次强力起拔钻具,钻具解卡提钻后发现下部扩孔器和钻头(0.20 m)+内管(3.02 m)+部分内管总成(0.67 m)残留井内。

根据揭露地层分析,牛蹄塘组碳质泥岩岩性易碎且较软,吸水后容易泡发,岩石呈层状或片状,倾斜的地层在重力作用下失稳掉块是本次复杂发生的主要原因。钻探施工过程中井深 1345 m 处发现有漏失点,提钻后有涌水提示该处存在空洞隐患,未及时有效处置造成提下钻产生抽吸和压力激动加剧地层失稳是次要原因。钻进至牛蹄塘组地层时明显进尺加快,在 1654~1697 m 钻时均在 30 min/m 以下,发生卡钻当天钻进 1691~1697 m 时钻时 $14\sim 20\text{ min/m}$,井底清洁不及时和设备未有效支持也是本次卡钻的重要原因。

3.2 井下复杂处理过程

复杂处理应遵循“科学诊断、安全快捷及经济”的基本原则。“科学诊断”是关键,井下复杂发生后,认真研究发生情况、性质、原因,同时查清复杂部位以及井内情况等,慎重制定井下复杂处理方案^[14]。

3.2.1 磨铣及套铣

用传统的方式对井内“落鱼”进行磨、铣^[15],分

别采用全面平底磨鞋和取心钻头,见图 2。



(a) 平底磨鞋

(b) 取心钻头

图 2 平底磨鞋及取心钻头

Fig.2 Flat milling shoes and coring bits

首先采用全面平底磨鞋对井内“落鱼”进行磨铣,准确计量钻具长度下钻碰“落鱼”,“鱼头”处 1689.80 m,经过 4 d 使用 4 个全面平底磨鞋,在井内磨铣时间共计 79.5 h,磨铣进尺 3.00 m 至井深 1692.80 m 后再不进尺,提钻检查发现第四个磨鞋与变丝接头连接处丝扣断裂掉在井底,发生二次复杂。

二次复杂发生后全面平底磨鞋磨铣无效,下取心钻头进行套铣^[16-17],期望将掉入井内的磨鞋周边磨穿后套入取心钻头内将其打捞起来。套铣时间 11 h 无进尺。

3.2.2 强磁打捞

经过 7 d 的磨铣和套铣,井内铁屑较多,下入强磁打捞器打捞,打捞出部分小碎铁块及铁屑,见图 3。



图 3 强磁打捞器捞起的部分铁块及铁屑

Fig.3 Some iron blocks and iron filings picked up by strong magnetic fishing tool

3.2.3 第一次侧钻

采用磨铣、套铣、打捞的方法处理井内“落鱼”均未成功后,确定采用侧钻方法绕障施工^[18]。第一次进行偏心楔侧钻处理,侧钻成功,但由于全角变化率

(狗腿度)过大致钻杆折断,打捞过程发生跑钻造成三次复杂,根据施工记录和下钻碰鱼,钻杆断裂,“鱼顶”位于井深1104.30 m。

3.2.4 第二次侧钻

三次复杂发生后,综合工期、经济成本和事故处理的风险考虑,决定将1104.30 m以下复杂井段用水泥封隔,然后采用螺杆马达侧钻绕障,侧钻成功后,再采用同径钻具继续钻进。

从经济、技术实现角度,侧钻点的选择距“鱼头”越近越经济,地层越软越易于造斜。查已钻获岩心,1030~1104 m段为敖溪组灰黑色页岩,夹薄层灰岩或白云岩。岩石硬度低易于造斜成功,选取侧钻位置1030~1104 m。统计了该段井斜及方位变化,井斜角 $3.0^{\circ}\sim 5.2^{\circ}$,方位角基本一致,原井的井斜主要受到地层的影响,无一致性增加或减少斜率现象,有利于造斜成功。该井段井壁完整,井径98~100 mm。

侧钻前,为保证造斜钻具着力,需要在造斜段构建人工井底^[19]。在1102~1104 m使用泥球架桥封堵下部复杂段,然后对1030~1104 m段用水泥浆封隔,注浆和替浆完成后,提钻候凝。水泥凝固时间72 h后,下取心钻具取一段水泥心,检查凝固情况。

螺杆钻具选用5LZ73×7.0×1.5°弯螺杆,该型螺杆适用井眼直径89~114 mm,造斜钻头采用平底全面钻头,见图4。螺杆马达下井前先在地面进行调试,流量压降正常后才能下井。下井钻具组合:Ø98 mm平面金刚石钻头+5LZ73×7.0×1.5°弯螺杆+Ø89 mm绳索取心钻杆+主动钻杆。钻具下井时,钻具丝扣必须拧紧,防止压力损失,下钻至井底30~50 cm处,手动调整螺杆工具面方位,上下活动钻具,将螺杆高边工具面朝下,侧钻时降低井斜。接触井底前轻压慢放,待明显感觉螺杆开始工作后,固定钻杆方位,不得随意转动。

开始造斜段钻进时采用小转速、小泵量,造斜时,尽量控制钻进速度。根据螺杆马达和钻头的斜率,计算好造斜段长度。从井深1044.01 m处开始造斜,采用清水钻进,泵量控制在120~230 L/min,压降控制在2.4 MPa,泵压控制在3.5~4 MPa。施工过程中泵压比较稳定,进尺均匀,随着偏斜进尺增加,泥浆槽内的岩屑增多,从岩屑判断新井基本形成,历时30 h造斜进尺3.80 m,井深为1047.81 m。

初步判断已侧钻成功后,下S96绳索取心钻具



(a) 平底全面金刚石钻头



(b) 螺杆马达

图4 平底全面金刚石钻头及螺杆马达

Fig.4 Flat bottom full diamond bit and screw motor

进行取心验证,第一回次取心0.6 m,其中水泥心约占2/5,见图5(灰色为水泥结构,黑色为炭质页岩),在钻进至1055.05 m时,取出的已基本全是岩心,见图6,说明侧钻绕障成功,开始正常钻进。



图5 侧钻后第一次取心

Fig.5 First coring after sidetracking



图6 水泥心逐渐减少

Fig.6 Gradual decrease of cement core

钻进至 1078 m 时,用测斜仪测井斜,顶角为 3.34°,符合设计要求的全角变化率每 100 m 顶角偏斜 $\geq 2^\circ$,为侧钻后成功钻探到 1850.88 m 最终完成地质目的打下了坚实基础。

4 施工效果

4.1 钻探成果

钻探工程达到地质设计要求,其中三开侧钻 S1 段(1044.01~1850.88 m)完钻口径 $\varnothing 96$ mm,事故处理后一径到底,采用同井径(H系列)金刚石钻头绳索取心钻进达 806.87 m。全井平均岩心采取率 97.24%,取全取准了岩心资料。

井眼轨迹情况,通过侧钻绕开了事故障碍,也改变了该井从 0~1100 m 的逐渐增斜的趋势,从 3.47°/1040 m 逐渐减小到 0.2°/1700 m,完钻时反弹到 1.85°/1850 m,方位角基本在 300°~100°波动(第四象限到第一象限)。该井在 877.90 m(垂深 877.25 m)井斜角最大,为 4.998°,方位为 114.92°。水平位移在 1574.9 处最大达到 55.18 m,完钻水平位移为 49.74 m。东西位移最大为 E48.17 m/H1578.10 m,井底位移为 E44.47 m/H1850 m;南北位移量最大为 S27.48 m/H1675.90 m,井底位移为 S22.293 m/

H1850 m。图 7 为该井的井身轨迹平面投影图,直观显示了钻井的井身轨迹情况。

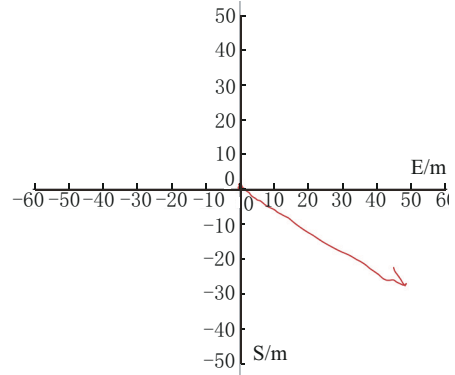


图 7 湘桃地 1 井井身轨迹平面投影
Fig.7 Plane projection of well trajectory of Well Xiangtaodi-1

台月效率 466.63 m,平均机械钻速 2.31 m/h,纯钻进时间利用率 28.33%。

湘桃地 1 井在进入寒武系中下部地层后有较明显的扩径现象,扩径率 4%~12%,这与寒武系中下部地层泥页岩与灰岩软硬互层相关联。全井井温随井深正常递增 2.18 °C/100 m。湘桃地 1 井井斜角、方位角、井温、井径结果见图 8。

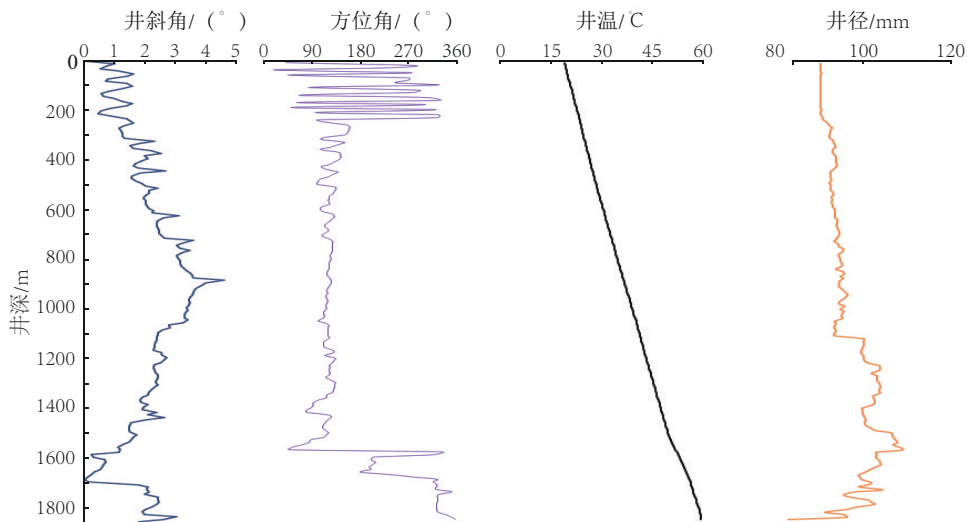


图 8 湘桃地 1 井井斜角、方位角、井温、井径(据完钻测井)

Fig.8 Deviation angle, azimuth angle, well temperature and well diameter of Well Xiangtaodi-1 (according to completion logging)

4.2 地质成果

通过岩心编录,湘桃地 1 井牛蹄塘组页岩矿物

组分复杂,具有石英、粘土矿物和碳酸盐矿物质量组合的特点,岩心普遍含有方解石、斜长石、白云石、黄

铁矿及钾长石等矿物。页岩脆性矿物种类丰富、质量分数高、脆性指数大,有利于储层的压裂改造;粘土矿物的组合有利于页岩中有机质的富集和保存^[20]。页岩气属于典型的自生自储式成藏,但气体在页岩内部仍存在短距离的初次运移,即发生了排烃过程。随热演化程度的不断加大,页岩生成的气体量不断增大,只有当生气量大于有机质周缘液态烃和水的溶解能力时,剩余的气体才以游离态赋存于页岩的孔隙和裂缝中^[21]。

湘桃地1井完钻井深1850.88 m,钻穿目的层寒武系牛蹄塘组。在牛蹄塘组见气显,录井显示全烃

从0.10%逐步上升至0.75%,有3段气显异常系数达到4以上。在牛蹄塘组中下段1690 m以深,钻时记录从上部的25~40 min/m显著下降到16~30 min/m,证明该段地层松软进尺快。湘桃地1井牛蹄塘组气测录井和钻时井深关系曲线见图9。根据测井解释结果揭示该段地层泥质含量在85%~100%,属于泥页岩干层或三类泥页岩层,TOC含量0.9%~1.5%,具生烃条件。湘桃地1井完钻,揭示了沉麻残留盆地是雪峰隆起周缘页岩气勘查远景区域,为下一步雪峰隆起地区页岩气调查和有利区优选奠定了基础。

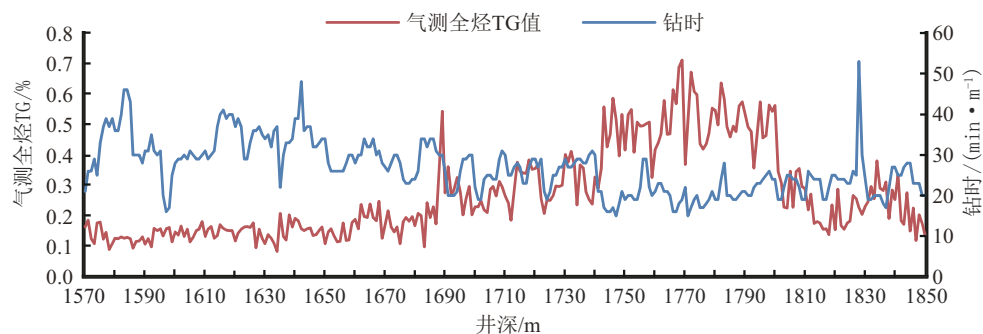


图9 湘桃地1井牛蹄塘组气测录井和钻时井深关系曲线

Fig.9 Relation curve of gas logging, drilling time and well depth Niutitang Formation of Well Xiangtaodi-1

根据测井曲线响应特征和数据处理结果,结合岩性录井和气测录井资料,对储层进行综合评价,解释储层24层99.5 m,有三类泥页岩2层14.5 m。湘桃地1井测井解释结果如表4所示。

表4 湘桃地1井测井解释结果
Table 4 Logging interpretation results of Well Xiangtaodi-1

结论	差气层	干层	三类泥页岩层	干层(泥页岩)	合计
(厚度/m)/ 层数	3.5/1	44.1/12	14.5/2	37.4/9	99.5/24

5 结论和建议

湘桃地1井顺利完钻,取得的工程成果以及经验、认识如下:

(1)使用螺杆马达钻具侧钻绕障施工,在没有井下定向仪器设备的情况下,通过地面一定的操作手段,避免出现“顺斜”情况发生,螺杆马达钻具在小口径地质调查井事故处理中的使用较少,本井的应用,

为小口径页岩调查井施工提供了参考经验。

(2)采用超前裸眼钻进技术设计的井身结构,为下部井段提供了安全储备口径,为侧钻后同径继续钻进806.87 m至完钻提供了保障。

(3)雪峰古陆西北缘沉麻盆地页岩气调查有一定基础,但工作程度仍然相对较低,调查井少,缺乏邻井资料,给钻井设计带来较大的不确定性,也给钻探施工增加了难度。地质和钻探手段有效配合是实现地质目标的保证。

(4)在井下复杂情况发生后,综合考虑时间和经济成本,当处理方案效果不明显时,应及时调整方案,所需的设备及材料提前作好准备,减少等待时间,提高事故处理效率。

参考文献(References):

- [1] 范小林.雪峰山系—沉麻盆地地质结构及找油意义[J].石油实验地质,1996,18(1):64-70.
FAN Xiaolin. The geological structure of the Xiefeng Mountains-Yuanma Basin and its significance to oil exploration[J]. Experimental Petroleum Geology, 1996,18(1):64-70.
- [2] 张大伟.全国页岩气资源潜力调查评价[M].北京:地质出版

- 社, 2012.
- ZHANG Dawei. National Shale Gas Resource Potential Investigation and Evaluation [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.
- [3] 杨长清. 黔中隆起及周缘下寒武统牛蹄塘组页岩气勘探前景[J]. 矿产与地质, 2016, 30(4): 640-645.
- YANG Changqing. Shale gas exploration potential of the Lower Cambrian Niutitang Formation in Qianzhong Uplift and its periphery [J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30 (4) : 640-645.
- [4] 彭中勤, 田巍, 苗凤彬, 等. 雪峰古隆起边缘下寒武统牛蹄塘组页岩气成藏地质特征及有利区预测[J]. 地球科学, 2019, 44(10): 3512-3528.
- PENG Zhongqin, TIAN Wei, MIAO Fengbin, et al. Geological features and favorable area prediction of shale gas in Lower Cambrian Niutitang Formation of Xuefeng Ancient Uplift and Its periphery[J]. Earth Science, 2019, 44(10): 3512-3528.
- [5] 张统得, 李正前, 蒋炳, 等. 塔里木盆地油气地质调查新乌地1井钻探工艺技术[J]. 中国地质调查, 2019, 6(4): 59-62.
- ZHANG Tongde, LI Zhengqian, JIANG Bing, et al. Drilling technology of Well Xinwudi 1 in oil and gas geological survey of Tarim Basin [J]. Geological Survey of China, 2019, 6 (4) : 59-62.
- [6] 薛倩冰, 梁楠, 韩丽丽, 等. 大陆科学钻探工程技术发展动态及趋势分析[J]. 钻探工程, 2021, 48(12): 1-6.
- XUE Qianbing, LIANG Nan, HAN Lili, et al. Development trend of continental scientific drilling technology[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12): 1-6.
- [7] 王达, 张伟. “科钻一井”钻探施工技术概览[J]. 中国地质, 2005, 32(2): 184-194.
- WANG Da, ZHANG Wei. General introduction on drilling techniques used in China's First Deep Scientific Drilling Well CC-SD-1[J]. Geology in China, 2005, 32(2): 184-194.
- [8] 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.
- [9] 奎中, 黄晟辉. 湘永地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 the Xiangyongdi 1 well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(8): 28-33.
- [10] 杨芳, 陈师逊. 深部地质钻探钻孔结构与施工分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(11): 21-26.
- YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 21-26.
- [11] 冉恒谦, 张金昌, 谢文卫, 等. 地质钻探技术与应用研究[J]. 地质学报, 2011, 85(11): 1806-1822.
- RAN Henqian, ZHANG Jinchang, XIE Wenwei, et al. Applications study of geo-drilling technology[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1806-1822.
- [12] GB/T 16951—997, 金刚石绳索取心钻探钻具设备[S].
- GB/T 16951—997, Diamond core drilling equipment wire line system[S].
- [13] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].
- DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [14] 吴金生, 贾军, 段玉刚, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目钻探事故预防与处理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(9): 49-52, 65.
- WU Jinsheng, JIA Jun, DUAN Yugang, et al. Drilling accident prevention in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project and the treatment technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(9): 49-52, 65.
- [15] 张文生, 张正. 汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFSD-3)事故处理与认识[J]. 安徽地质, 2016, 26(1): 40-43.
- ZHANG Wensheng, ZHANG Zheng. Treatment of the accident with scientific drilling hole WFSD-3 in the Wenchuan Seismic Fault zone and the understandings[J]. Geology of Anhui, 2016, 26(1): 40-43.
- [16] 杨轶, 王建强, 洪建俊. 煤矿井下套铣打捞技术研究与应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(2): 64-69.
- YANG Yi, WANG Jianqiang, HONG Jianjun. Application of washer fishing technology in underground holes in coal mines [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2): 64-69.
- [17] 裴森龙, 李博, 侯朝勇, 等. 西南天山复杂地层绳索取心钻探跑钻事故处理方法[J]. 钻探工程, 2021, 48(8): 53-58.
- PEI Senlong, LI Bo, HOU Chaoyong, et al. Treatment of drilling string falling-off in wire-line core drilling in complex strata of Southwest Tianshan Mountains[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 53-58.
- [18] 黄晟辉, 奎中, 吴金生, 等. 湘永地1井钻进施工及事故处理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2): 23-29.
- HUANG Shenghui, KUI Zhong, WU Jingsheng, et al. Drilling and incident treatment for Well Xiangyongdi 1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2): 23-29.
- [19] 邹道全. 受控定向钻进技术在福建马坑矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(1): 70-74, 80.
- ZOU Daoquan. Application of controlled directional drilling technology in makeng mining area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(1): 70-74, 80.
- [20] 焦鹏, 郭建华, 王玺凯, 等. 湘西北牛蹄塘组页岩气储层岩矿特征及意义[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2018, 49(6): 1447-1458.
- JIAO Peng, GUO Jianhua, WANG Xikai, et al. Characteristics and significance of petrological-mineralogical of lower Cambrian Niutitang formation shale gas reservoir in northwest Hunan[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2018, 49(6): 1447-1458.
- [21] 王香增, 范柏江. 页岩气解析实验及其地质应用[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(3): 532-538.
- WANG Xiangzeng, FAN Bojiang. The desorbing experiments of shale gas and its geological application[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(3): 532-538.