

湘永地 1 井钻进施工及事故处理技术

黄晟辉¹, 奎 中¹, 吴金生¹, 赵远刚¹, 房 昕²

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川 成都 611734; 2.吉林建筑大学土木工程学院,吉林 长春 130118)

摘要:介绍了页岩气基础地质调查湘永地 1 井的工程概况,重点阐述了该井的钻探施工工艺及事故处理技术;总结了湘永地 1 井处理钻井事故的典型案例,并结合实钻地层及测井数据对钻井施工工艺及实钻效果进行了剖析。湘永地 1 井完钻井深 2224.69 m,完钻口径 96 mm,全孔平均岩心采取率 98.80%,采用金刚石绳索取心钻进工艺,完井各项技术指标均满足地质设计要求。湘永地 1 井是目前湖南页岩气调查井钻探施工最深的井,施工中遇到的井漏、烧钻、钻杆折断等孔内事故与复杂问题均得到了很好的解决,形成了一套页岩气调查井深井钻探工艺及孔内事故处理技术体系。

关键词:页岩气地质调查井;钻进工艺;钻井事故;实钻分析;质量指标

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)02-0023-07

Drilling and incident treatment for well Xiangyongdi - 1

HUANG Shenghui¹, KUI Zhong¹, WU Jinsheng¹, ZHAO Yuangang¹, FANG Xin²

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

2.School of Civil Engineering, Jilin Jianzhu University, Changchun Jilin 130118, China)

Abstract: The paper introduces the outline of well Xiangyongdi - 1 for shale gas geological survey, with emphasis on drilling and incident treatment. This paper summarizes the typical cases of drilling incident treatment in well Xiangyongdi - 1 well, and analyzes the drilling process and drilling results in respect of the actual drilling strata and logging data. With the diamond wire-line core drilling technology, every technical index of well completion entirely meets the requirements of geological design. Well Xiangyongdi - 1 is the deepest shale gas survey well drilled in Hunan province at present. The incidents and complex problems encountered in the drilling process, such as leakage, burning of bits, drill pipe breakage, etc., have been well solved. With execution of the project, a set of deep-well drilling and in-hole incident treatment technology system for shale gas geological survey well has been formed.

Key words: shale gas geological survey well; drilling technology; drilling incident; field drilling analysis; quality index

1 工程项目简况

“中扬子地区古生界页岩气基础地质调查项目”钻探单列项目由中国地质科学院探矿工艺研究所承担,以开展雪峰山地区寒武系牛蹄塘组页岩气钻探调查研究为目的,实施地质调查井湘永地 1 井钻探工程。湘永地 1 井位于湖南省湘西土家族苗族自治州永顺县芙蓉镇孔坪村;在地质上,北以慈利-保靖断裂为界,南以雪峰隆起为界,主体位于雪峰隆起西侧;在大地构造上大致位于雪峰山基底隆起区和保

靖-黄平冲撞带两个二级构造单元,在构造位置上属涂乍-松柏复向斜。湘永地 1 井出露地层为寒武系上统比条组灰岩,地层产状平缓,为 $320^{\circ} \angle 15^{\circ}$,目的层位为牛蹄塘组和敖溪组,兼顾震旦系灯影组,完井层位为震旦系。

地质人员要求湘永地 1 井进行全井取心,并完成配套该钻井的测、录、固及完井工作,对目的层段的钻取岩心完成相应的页岩气现场解吸(即通过测定现场钻井岩心的解吸行为获取实际含气量);该井

收稿日期:2018-08-03; **修回日期:**2018-12-13 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.02.004

基金项目:地质调查项目“中扬子地区古生界页岩气基础地质调查(中国地质科学院探矿工艺研究所)”(编号:DD20179112)

作者简介:黄晟辉,男,汉族,1986 年生,硕士,地质工程专业,从事钻探工艺及机具的相关研究工作,四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号,shenghui.huang@hotmail.com。

引用格式: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 Jinsheng, et al. Drilling and incident treatment for well Xiangyongdi - 1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(2):23-29.

以获取寒武系敖溪组和牛蹄塘组岩心、采集测试样品、评价寒武系黑色页岩含气性为目的。

湘永地1井完井原则:(1)钻出灯影组地层、岩性为硅质岩夹白云岩,若见良好油气显示层,经中途测试获高产工业油气流,报二级项目批准后方可完钻;(2)若未钻达设计井深而需提前完钻时,须报二级项目批准确定,方可完钻。

湘永地1井实际钻进2224.69 m,施工周期共历时188 d。

2 钻井设计参数

湘永地1井为页岩气地质调查井,井型为直井,设计井深1500 m。

设计井径要求终孔直径 ≤ 96 mm,备用终孔直径 ≤ 76 mm。

井斜控制要求:(1)井深 ≤ 500 m,井斜 $\leq 2^\circ$;(2)

500 m $<$ 井深 <1000 m,井斜 $\leq 5^\circ$;(3)井深 ≥ 1000 m,井斜 $\leq 8^\circ$;(4)全井全角变化率要求每30 m控制在 2.25° 以内,终孔水平位移 ≥ 150 m^[1-2]。

湘永地1井为全井段取心,全井段平均岩心采取率 $\geq 85\%$,在含气层段取心时应以最大速度提取内管取心,提心速度建议大于100 m/min,以减少取心过程中气体的损耗;钻井液不得掺入含油、荧光、与岩石产生化学反应的处理剂和添加剂。

3 钻井施工工艺

3.1 实钻地层简述

本井钻遇地层自上而下依次为第四系—追屯组—比条组—车夫组—花桥组—敖溪组—清虚洞组—杷榔组(未穿)。所揭示地层层序正常。地层具体分界深度、厚度简述见表1。

3.2 钻机选型与配套

表1 湘永地1井地质分层数据

Table 1 Geological stratification data of well Xiangyongdi - 1

地 层	基 本 岩 性	厚度/ m	深度/ m
第四系	第四系黄褐色表土层,含砂、砾等碎石颗粒	1.60	1.60
追屯组	主要为浅灰色、灰色块状致密白云岩、灰质白云岩,细粒结晶状结构,局部可见小型溶蚀孔洞,断面褐铁矿充填	189.53	191.13
上 比条组	主要为深灰色灰岩、泥质条带状灰岩,块状构造,泥质条带状结构,泥岩不等厚分布,含钙质,断面可见泥岩挤压滑动擦痕,成镜面光泽。条带状方解石脉局部充填,裂缝发育	209.77	400.90
统 车夫组	主要为深灰色灰岩、泥质条带状灰岩,块状构造,泥质条带状结构,泥岩不等厚分布,含钙质,断面可见泥岩挤压滑动擦痕,成镜面光泽。条带状方解石脉局部充填,裂缝发育	274.80	675.70
寒武系			
中 花桥组	主要为深灰色灰岩、白云质灰岩、泥质条带灰岩夹薄层泥灰岩,越往下,泥质条带越宽,颜色加深	762.04	1437.74
统 敖溪组	主要为灰色白云岩、深灰色泥质白云岩夹少量灰岩,下部为深灰色泥灰岩、泥页岩	286.62	1724.36
清虚洞组	上部为灰色、深灰色薄—中厚层薄层状粉、细晶灰岩,下部为灰—深灰色薄—中厚层状粉晶灰岩,粉晶含云质灰岩夹少量黑色泥页岩	163.25	1887.61
下 杷榔组	主要为灰色、深灰色钙质泥岩、粉砂质泥岩夹泥质灰岩透镜体	337.08	2224.69 (未钻穿)

所选钻机设备的负荷能力及配置^[3]需达到设计井深1500 m的需求,综合考虑钻井结构设计中终孔 $\varnothing 96$ mm及开孔 $\varnothing 150$ mm的要求,最终选用设计钻深为2000 m(配套钻杆规格 $\varnothing 89$ mm \times 5 mm)的XY-8B型岩心钻机;实践证明该钻机应用效果显著,湘永地1井三开井段采用 $\varnothing 96$ mm金刚石绳索取心钻进至2224.69 m终孔,配 $\varnothing 89$ mm钻杆,实际钻深超过钻机的设计能力范围。

其他钻机配套机具如下:SG24型管子塔;NBB-250/60及3NBB-390/15型泥浆泵;2SFZ18-35型双闸板防喷器;SJ-2000型绳索取心绞车;SQ114/8型液压钳;25 kW发电机;KXP-2X型数

字测斜仪等。

3.3 井身结构及成井工艺

湘永地1井实钻井深为2224.69 m,实际完井井身结构^[4]示意图见图1。

(1)一开0~11 m,采用 $\varnothing 150$ mm普通金刚石取心钻进,在10.86 m深处钻井液漏失严重,下入 $\varnothing 146$ mm套管封隔,固井,待水泥凝固后用 $\varnothing 130$ mm金刚石取心钻进钻穿水泥塞至11 m;固井后安装防喷装置(2SFZ18-35型双闸板防喷器等)及相关井控管汇,并按规范要求试压试验。

(2)二开11~170 m,采用 $\varnothing 114$ mm普通金刚石取心钻进;原钻井设计将 $\varnothing 114$ mm口径作为过渡

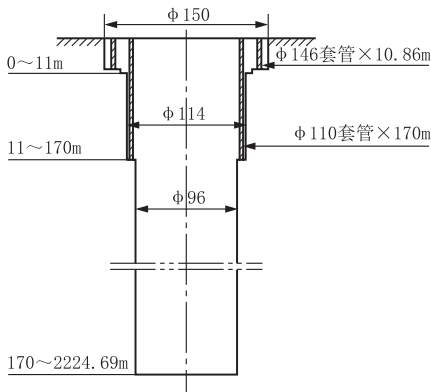


图 1 湘永地 1 井完井井身结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of well Xiangyongdi-1 completion structure

井段使用,至 16.98 m 时变径,但换 $\Phi 96$ mm 金刚石绳索取心钻进白云岩地层局部井段极其破碎且存在溶蚀孔洞,实钻过程中发生井漏事故,至 202.38 m 深时井内泥浆全部漏失,故 16.98~170 m 井段换回 $\Phi 114$ mm 普通金刚石钻头扩孔,下入 $\Phi 110$ mm 套管封隔上部漏失层段。

(3)三开 170~2224.69 m,采用 $\Phi 96$ mm 金刚石绳索取心钻进至终孔,实钻地层较稳定(白云岩与灰岩、泥页岩),以尽可能简化钻孔结构为原则,钻进过程中尽量通过采用优质钻井液或其他注浆材料进行护壁或堵漏,以达到裸眼终孔。实钻过程中因泵量较小及钻杆接头渗漏等因素造成钻头处冷却不足,在井深 1185.77 m 处发生烧钻事故,多次尝试常规处理方法不成功,改在孔深 1178 m 处割断钻具、起钻,用水泥封孔至 1078 m,采取螺杆钻具造斜绕障,之后采用常规 $\Phi 96$ mm 金刚石绳索取心继续钻进。

3.4 钻进规程参数

(1)一开 0~11 m,为第四系松散沉积覆盖层,且开钻井段要保证井斜 $<0.2^\circ$,采用低转速、低压、中泵量钻进施工(转速 30~150 r/min,钻压 12~15 kN,泵量 150~250 L/min)。为控制开孔段井斜,遵照“以满保直、以刚保直”防斜原则^[5],选用粗径钻具+扩孔器防斜钻具组合。

(2)二开 11~170 m,实钻地层为致密白云岩,细粒结晶状结构,局部井段极其破碎且存在溶蚀孔洞,实钻过程中发生井漏事故,采用普通金刚石取心扩孔钻进,以低转速、中钻压、中泵量(转速 50~300 r/min,钻压 13~18 kN,泵量 80~120 L/min)顶漏

钻进施工,尽快通过漏失层段后下入 $\Phi 110$ mm 套管封隔。

(3)三开 170~2224.69 m,实钻地层主要为厚层灰岩、泥质灰岩,间夹薄—中等厚度泥岩及白云岩,岩性均质,钻速均匀,施工中采用金刚石绳索取心钻进,采用中转速、中钻压、中泵量钻进施工(转速 220~520 r/min,钻压 12~17 kN,泵量 80~120 L/min);在深孔及低固相泥浆钻进条件下钻进时,为保证孔内安全及避免钻杆内结泥垢,则要限制钻具转速和钻压。另外,因烧钻后造斜绕障,钻头轨迹偏离钻井轴线,此时改用中转速、轻钻压、中泵量钻进,尤其要控制钻压,下部钻具在钟摆力的作用下实现纠斜钻进。

4 钻井事故与复杂问题

钻探施工孔内事故的处理,是保障钻探施工工作顺利完成的重要环节。在湘永地 1 井钻井施工过程中,出现了井漏、烧钻及钻杆折断等孔内事故,这些孔内事故均得到了妥善的处理,确保了钻井工作的顺利完成。

4.1 井漏事故的处理

一开由于表土与岩层界面钻井液漏失严重,钻进困难,下 $\Phi 146$ mm 套管固井解决了漏失问题。

二开局部井段极其破碎且存在溶蚀孔洞,实钻过程中发生井漏事故,钻至井深 202.38 m 处泥浆全部漏失,无法钻进,用水泥封孔堵漏^[6]后继续钻进。当钻至井深 523.38 m 时,钻井上部堵漏段水泥皮被破坏,泥浆再次漏失,决定用 $\Phi 114$ mm 金刚石钻头扩孔至井深 170 m,并下 $\Phi 110$ mm 套管至井深 170 m 进行封堵。

4.2 烧钻事故的处理

湘永地 1 井在井深 1185.77 m 处发生烧钻事故,钻进过程中由于泥浆泵流量较小,钻进时只用二挡泵量,加上部分钻杆接头渗漏,钻头部位冷却不够;且未及时发现初期泵压升高等异常征兆,未采取有效措施,最终导致烧钻。前期经多次强拉,没有效果。预采用 S73 钻杆先打捞 S89 内管总成,然后用 S75 钻头扫过 S96 钻头处,把 S96 钻具打松再提取,但经扫、捞、锥等方法处理 S89 内管总成,都没有效果。故在孔深 1178 m 处割断钻具、起钻,用水泥封孔至 1078 m,改用螺杆钻具造斜绕障^[7-8]处理。

事故处理:透孔至 1140 m,采用螺杆钻具带复

合片 $\text{O}89$ mm 无心钻头造斜(图 2),造斜未成功。换用螺杆钻具 + $\text{O}89$ mm 平底钻头(图 2),角度调整为 1.25° ,并在马达偏斜部位加厚 7 mm(图 3),泥浆流量控制在 $120\sim 230$ L/min,工作压力降控制在 2.4 MPa,泵压控制在 $3.5\sim 4$ MPa,严格按照螺杆钻具操作规程操作,在 1170 m 处开始造斜钻进,施工过程中泵压稳定,进尺均匀,随着偏斜进尺增加,泥浆槽内岩屑增多,偏斜绕障进尺 7.62 m 起钻。下 $\text{O}96$ mm 绳索取心钻具,在偏斜大约 3.5 m 处遇阻,轻压慢转扫至孔底,钻进 1.6 m 取心打捞,岩心呈完整状态,说明偏斜绕障成功,续钻 2.5 m 后提钻换钻杆接头,正常钻进。钻进至 1200 m 时,用测斜仪测井斜,顶角为 2.78° 。湘永地 1 井采用螺杆钻具进行造斜绕障后,据图 4 湘永地 1 井井斜位移东西方向投影图,井身投影曲线在 1200 m 处出现拐点,正是偏斜绕障之处,由测井成果数据该拐点处顶角为 3.7° ,故经偏斜绕障后钻孔弯曲度仍满足设计要求。



图 2 $\text{O}89$ mm 无心钻头及 $\text{O}89$ mm 平底钻头

Fig.2 $\text{O}89$ mm full face bit and $\text{O}89$ mm flat bottom bit



图 3 马达偏斜部位加厚 7 mm

Fig.3 Mud motor bent section padded by 7mm

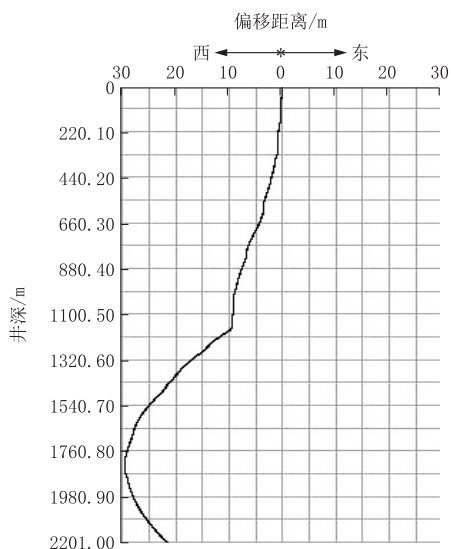


图 4 湘永地 1 井井斜位移东西方向投影图

Fig.4 Eastern and western direction projection map of well Xiangyongdi - 1 inclination displacement

4.3 钻井井斜的处理

如上所述,实钻过程中因泵量较小及钻杆接头渗漏等因素造成钻头处冷却不足,在井深 1185.77 m 处发生烧钻事故,用水泥封孔至 1078 m,透孔至 1140 m,采取螺杆钻具造斜^[9]成功绕障,此时钻头轨迹已偏离钻井轴线,如继续盲目钻进将导致钻孔轨迹不受控制,无法达到预期设计要求,经分析后仍采取常规 $\text{O}96$ mm 金刚石绳索取心继续钻进,控制钻压,实现吊打纠斜钻进。

分析:因实钻地层稳定,地层倾角较小,软硬交替现象不明显,另外钻深已超过千米,此时施加给钻头上的轴心压力(钻压 P)是由下部一定长度的钻杆柱和粗径钻具的自重形成的^[10],故钻压较小,因此钻进过程中钻头处所受倾倒地矩 M_1 的影响较小(见图 5);当继续钻进时,下部钻杆柱产生弯曲,钻杆柱在井壁的切点处受反作用力 F_N ,同时钻杆柱回转时产生离心力(见图 6),因造斜绕障后产生的“狗腿”的弯曲强度越大,下部钻柱的纠斜力(钟摆力 M_2)越大^[11]。综上,因钻头处所受倾倒地矩 M_1 不论是有增斜作用或纠斜作用,其作用力矩 M_1 远小于因钻柱弯曲产生的下部钟摆力 M_2 ,最终钻头轨迹将向钻井轴线方向实现纠斜钻进。经测斜及测井数据显示:湘永地 1 井最大井斜位于井底 2201 m 处,井斜为 4.3° ,方位角为 147° ,满足“井深大于 1000 m 后,井斜 $\geq 8^\circ$ ”的设计要求,该井的纠斜工作是有效的。

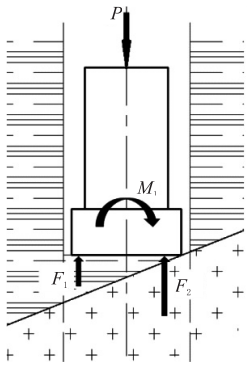


图 5 倾侧力矩作用于钻头
Fig.5 Tipping moment acting on drill bit

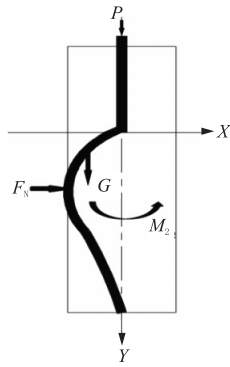


图 6 钟摆力原理纠斜钻进
Fig.6 Deviation correction drilling based on pendulum force principle

4.4 钻杆折断事故的处理

湘永地 1 井施工过程中共出现 3 次钻杆折断事故。分别是井深 2064.53 m 时钻杆于 1173 m 处折断;井深 2212.42 m 时钻杆于 1180 m 处折断;井深 2224.65 m 时钻杆于 1173 m 处折断。3 次折断位置都是在钻杆接头丝扣处,并且井段 1170~1180 m 正是处理烧钻事故时用螺杆造斜绕障的位置。

事故处理:用公锥打捞断在井底的钻杆^[12-13]。

4.5 经验教训

(1)当班班长、副班长必须要集中注意力,随时观察泥浆泵的上返泵量、泵压以及柴油机出现异常声音的情况,特别是二层平台施工。

(2)处理湘永地 1 井烧钻事故时先采用传统的拉、扫、捞、锥等方法均未成功,后改用螺杆钻具造斜绕障方法。处理事故时使用水力割管器,减少了使用反丝钻杆起绳索钻杆的次数,节约处理事故的时间

间和成本。

(3)采用螺杆钻具进行人工造斜不宜用无心钻头,应配用平底钻头。

(4)造斜井段是钻杆受弯曲应力最大的区间,钻杆丝扣连接处是钻杆弯曲强度最弱点,极易引发钻杆折断事故,采用公锥打捞时因钻杆折断位置较深,打捞钻杆时间长,劳动强度大,安全隐患高^[14]。

5 实钻效果及分析

5.1 钻井效率

根据湘永地 1 井全井段拟合钻时曲线分析:全井钻速波动不大,钻时随井深呈渐增态势,见图 7,全井平均钻时为 31.89 min/m。分析钻时曲线:尽管拟合钻时曲线起伏较小,仍可据钻进过程中不同阶段的平均钻时将其分为四个井段,第一井段 0~600 m 平均钻时为 29.95 min/m,实际钻时曲线波动较为明显,表明该井段局部地层软硬交互致钻进效率不均,结合实钻地层分析知该井段局部极其破碎且存在溶蚀孔洞的致密白云岩地层及厚层灰岩中的泥岩夹层。第二井段 600~1000 m 平均钻时为 25.78 min/m,表明钻遇该井段钻速相对提高,结合实钻地层分析该井段为泥质条带灰岩夹薄层泥灰岩,越往下,泥质条带越宽,颜色加深,表明该井段地层岩性泥质含量较高,岩石硬度偏软。同时需注意在三开 170~2224.69 m 井段(井径为 96 mm),当钻深>1000 m,第三、四井段相较第二井段钻时增长约 40%。

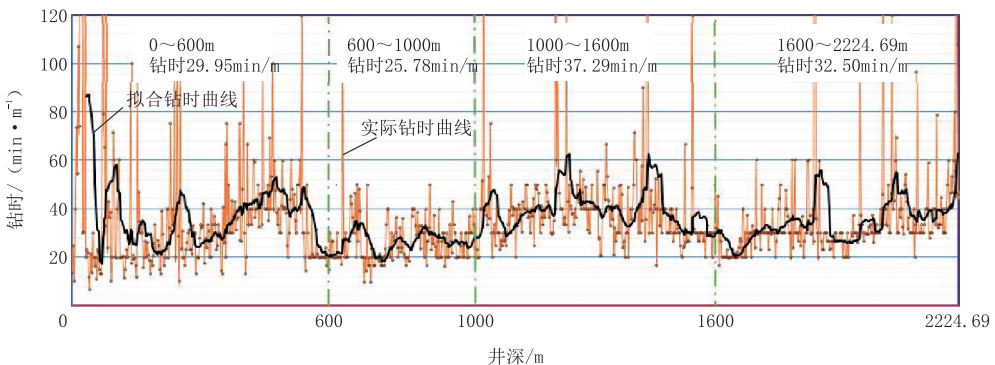


图 7 湘永地 1 井钻时曲线图

Fig.7 Drilling time curve of well Xiangyongdi-1

湘永地 1 井全井施工周期 185 d,其中纯钻时间为 1182.28 h(即 49.26 d),故纯钻时间利用率仅为 26.628%;实钻井深 2224.69 m,机械钻速 1.88 m/h,

钻探效率 355 m/台月。结合钻时曲线及钻井效率分析表明湘永地 1 井钻遇地层稳定、均质性较好,但实钻效率不佳。主要原因在于井内事故率较高

(相继发生井漏、烧钻、钻杆折断),纯钻时间利用率较低(仅占全井施工时间的1/4)。

5.2 岩心采取率

湘永地1井完井井深为2224.69 m,取心回次共803次,平均每个回次收获岩心2.77 m,全井岩心采取长度为2197.95 m(设计全井段连续取心),全井岩心采取率高达98.8%。故湘永地1井全井平均采取率及目的层平均采取率均满足地质设计要求(全孔平均采取率 $\geq 85\%$,目的层平均采取率 $\geq 90\%$)。

5.3 钻孔弯曲度

本井是直井,连续测斜井段为0~2201 m,最大

井斜位于井底2201 m处,井斜为 4.3° ,方位为 147° ,闭合方位为 117.45° ,闭合位移为24.28 m。井身轨迹水平面投影见图4(a),井身轨迹垂直投影见图8(c)、8(d)。从东西方向投影图8(c)知:井身轨迹在1200 m左右处出现拐点,结合实钻分析知湘永地1井在井深1185.77 m处发生烧钻事故,多次尝试处理无效后改用螺杆钻具进行人工造斜绕障,据测井井斜成果表知该拐点处顶角为 3.7° ;故井斜符合设计要求。湘永地1井钻孔弯曲度满足设计要求(井深在500 m内最大井斜 $\geq 2^\circ$,井深 >500 m后,井斜 $\geq 5^\circ$,井深 >1000 m后,井斜 $\geq 8^\circ$)。

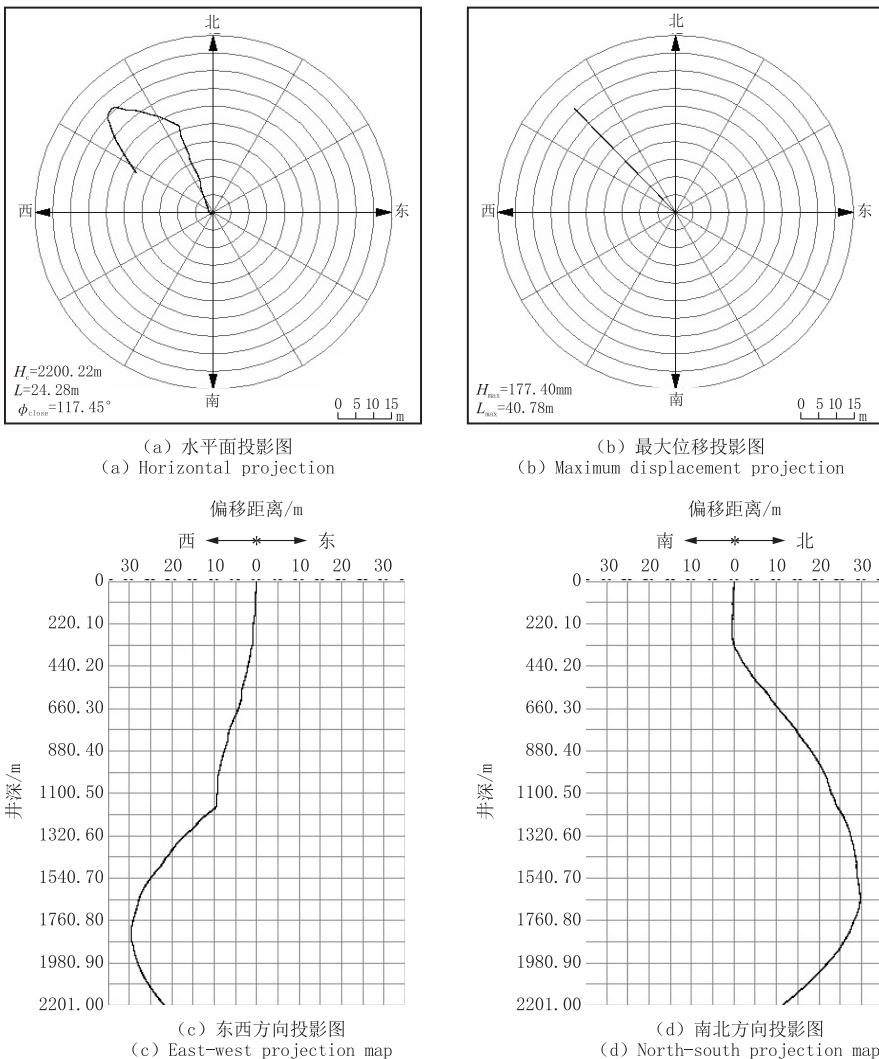


图8 湘永地1井0~2201 m井斜位移各向投影图(测井数据)

Fig.8 Anisotropic projection map of inclination displacement over the section from 0 to 2201m in well Xiangyongdi - 1 (logging data)

6 结语

中国地质调查局探矿工艺研究所承担的页岩气基础地质调查井湘永地1井按地质要求顺利完成钻探、录井及测井工作,完钻井深2224.69 m,完钻口径96 mm,全孔平均岩心采取率98.80%,各项技术指标均满足地质设计要求。

湘永地1井是目前湖南页岩气调查井钻探施工最深的井,施工中遇到的井漏、烧钻、钻杆折断等孔内事故与复杂问题均得到了很好的解决,形成了一套页岩气调查井深井钻探工艺及孔内事故处理技术体系。

参考文献(References):

- [1] DB43/T 971—2014,页岩气井钻井技术规程[S].
DB43/T 971—2014, Shale gas well drilling technology specification[S].
- [2] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [3] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,2009.
LIU Guangzhi. Diamond drilling handbook[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.
- [4] 张伟,胡时友,等.汶川地震断裂带科学钻探项目的钻探工程[M].北京:地质出版社,2016.
ZHANG Wei, HU Shiyou, et al. Drilling project of WFSD[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [5] 黄晟辉,奎中,吴金生,等.页岩气基础地质调查湘永地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 Xiangyongdi-1 for basic geological survey of shale gas[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):14—18.
- [6] 赵小强.昭通页岩气示范区钻井井漏处理及预防措施[J].石化技术,2018,25(3):199.
ZHAO Xiaoqiang. Treatment and preventive measures of drilling well leakage in Zhaotong shale gas demonstration area[H]. Petrochemical Industry Technology, 2018,25(3):199.
- [7] 孙孝刚,卢忠友.岩心钻探烧钻事故浅析及实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):28—32.
SUN Xiaogang, LU Zhongyou. Analysis and practice of bit-burnt accident in core drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):28—32.

- [8] 罗永贵,古世丹,罗璇,等.深孔小口径金刚石钻进严重烧钻事故的预防与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):37—40.
LUO Yonggui, GU Shidan, LUO Xuan, et al. Prevention of drill bit burning in small diameter diamond drilling of deep hole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(3):37—40.
- [9] 刘振杰.同心偏重钻铤防斜工艺在易斜地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,(8):13—14.
LIU Zhenjie. Application of deviation control by concentric bias weighted drill collar in easily inclined formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(8):13—14.
- [10] 杨力.几种防斜技术在宣页1井的试验应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):37—38,56.
YANG Li. Experimental application of deviation control technologies in Xuanye well-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(5):37—38,56.
- [11] 隆威,卫军刚.柔性纠斜防斜钻具组合的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1):50—52.
LONG Wei, WEI Jungang. Application and research on combination of the flexible deviation correction and prevention drilling tools[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(1):50—52.
- [12] 庞少青,李国东,姜彬霖.钻探施工中钻杆折断事故原因分析及预防建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):31—34,42.
PANG Shaoqing, LI Guodong, JIANG Binlin. Analysis on causes of drill pipe breaking-off accident in drilling construction and the prevention suggestions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(6):31—34,42.
- [13] 刘广志.岩心钻探事故预防与处理[M].北京:地质出版社,1982.
LIU Guangzhi. Prevention and treatment of core drilling accidents[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.
- [14] 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 Xiangyongdi well-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(8):28—33.

(编辑 韩丽丽)