

# 页岩气基础地质调查湘洞地 1 井施工技术

黄晟辉<sup>1</sup>, 奎 中<sup>1</sup>, 吴金生<sup>1</sup>, 赵远刚<sup>1</sup>, 马银龙<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:**介绍了页岩气基础地质调查项目湘洞地 1 井的工程概况,重点阐述了该井的钻探施工技术与工艺;结合实钻地层及测井数据对钻井施工质量进行了总结分析;针对钻进过程中出现的问题,提出了改进措施,取得了显著的实钻效果。湘洞地 1 井采用金刚石绳索取心钻进工艺,通过预判该工艺及强造斜地层的常见事故,优选施工方案,中期严控施工质量,有效预防井内事故的发生,提高了钻进台月效率;钻孔质量六项指标均满足地质要求,顺利有效地完成了钻井施工任务。

**关键词:**页岩气勘探;基础地质调查;钻井施工工艺;金刚石绳索取心钻进;实钻分析;质量指标

**中图分类号:**P634;TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)03-0014-05

**Construction Technology of Well Xiangdongdi - 1 for Basic Geological Survey of Shale Gas/HUANG Sheng-hui<sup>1</sup>, KUI Zhong<sup>1</sup>, WU Jin-sheng<sup>1</sup>, ZHAO Yuan-gang<sup>1</sup>, MA Yin-long<sup>2</sup>** (1. Institute of Exploring Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

**Abstract:** The paper introduces the general situation of Well Xiangdongdi - 1 for basic geological survey of shale gas, describes emphatically the drilling construction techniques and process. Combined with the actual drilling strata and well logging data, the drilling construction quality is analyzed and summarized. In view of the problems in the drilling process, the improvement measures are put forward and remarkable effects have been achieved. Diamond wire-line core drilling technology is adopted in Well Xiangdongdi - 1, by the prediction of common accidents in this technology and strong whipstocking stratum, construction methods are optimized and mid-term construction quality is strictly controlled to effectively prevent downhole accidents and improve the driller-month efficiency. 6 indicators of drilling quality meet the geological requirements, drilling construction is smoothly completed.

**Key words:** shale gas exploration; basic geological survey; drilling construction technology; diamond wire-line core drilling; field drilling analysis; quality index

## 1 工程概况

中国地质科学院探矿工艺研究所 2017 年承担“中扬子地区古生界页岩气基础地质调查项目”中的单列项目以中扬子地区古生界富含有机质页岩为评价对象,开展页岩气基础地质调查,完成 2 口页岩气调查井钻探工程施工任务;湘洞地 1 井便是其中的钻井之一。

湘洞地 1 井位于湖南省邵阳市洞口县双联村,在构造位置上属邵阳凹陷长塘岭向斜西翼,出露地层为上泥盆统余田桥组中层状泥灰岩夹薄层状泥晶灰岩,地层产状比较平缓,为  $100^{\circ} \angle 30^{\circ}$ ,构造相对简单。目的层位为泥盆系易家湾组黑色页岩。对黑色页岩目的层常规取心,完成目的层页岩气现场解吸,

完成配套的测井、录井、固井及完井工作。

湘洞地 1 井钻井施工周期 115 d,实钻井深 1708.56 m。

## 2 钻井设计要求

湘洞地 1 井属于页岩气地质调查垂直井,设计井深 1500 m。

井斜要求:井深在 500 m 内最大井斜  $\nabla 2^{\circ}$ ,井深  $> 500$  m 后,井斜  $\nabla 5^{\circ}$ ,井深  $> 1000$  m 后,井斜  $\nabla 8^{\circ}$ ,全井全角变化率要求控制在  $2.25^{\circ}/30$  m,终孔水平位移  $\nabla 150$  m。

井径要求:终孔直径  $\nabla 96$  mm,备用终孔直径  $\nabla 76$  mm。

收稿日期:2017-12-07

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“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,地质工程专业,硕士,从事钻探工艺及机具的研究工作,四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号,shenghui.huang@hotmail.com。

取心要求:全井段取心,平均岩心采取率 $\geq 85\%$ ;气层取心时以最大速度提高内管提心速度,提心速度 $>100\text{ m/min}$ ,以减少气体的损失。

钻井液要求: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 实钻地层分层(见表 1)

表 1 湘洞地 1 井地层分层

系	统	组	段	代号	基本岩性	厚度/ m	深度/ m
第四系				Q	松散堆积物、粘土及鹅卵石	3.50	3.50
泥盆系	上统	余田桥组	第五段	$D_3s^5$	主要为深灰色泥晶灰岩、泥灰岩、瘤状灰岩,向上为灰黑色泥质灰岩与深灰色泥晶灰岩不等厚互层	210.23	213.73
			第四段	$D_3s^4$	主要为深灰色中层状泥灰岩、泥质灰岩及深灰色薄层状泥质灰岩与灰绿色薄层状泥灰岩不等厚互层	625.09	838.82
			第三段	$D_3s^3$	主要为灰黑色瘤状灰岩与灰黑色、黑色中层状泥质灰岩交替出现	189.60	1028.42
			第二段	$D_3s^2$	主要深灰色、灰黑色泥质灰岩夹深灰色薄层状泥晶灰岩	499.03	1527.45
			第一段	$D_3s^1$	主要为中—薄层状黑色炭质钙质页岩与中—薄层状深灰色泥晶灰岩不等厚互层	117.18	1644.63
	中统	榴江组		$D_2l$	黑色含炭硅质岩,向下为黑色炭质钙质页岩夹深灰色灰岩、深灰色泥质灰岩	63.93(未穿)	1708.56

本井开孔层位为第四系,钻遇地层自上而下依次为:第四系、泥盆系上统余田桥组,泥盆系中统榴江组。

#### 3.2 钻机选型与主要设备配套

(1)钻机选型:所选择的钻机设备负荷能力及配置应能满足 1500 m 钻井的需要,并考虑到完井直径 96 mm 及一开井径 150 mm,要求选用钻深能力为 2500 m 的 XY-8B 型岩心钻机;但受目前拥有设备条件所限,湘洞地 1 井实际施工选用 XY-6N 型岩心钻机(钻深 1500~2000 m;钻杆直径 65、50 mm),实钻证明满足当前施工要求。

(2)设备配套:配备 SG24 型四角管子直塔;NBB-250/60 型泥浆泵;1.0 m<sup>3</sup> 泥浆搅拌机;KXP-2X 型数字测斜仪;SFZ18-21 型单闸板防喷器;唐山金石 JS-2500B 型绳索取心绞车;SQ114/8 型绳索取心钻杆液压钳;25 kW 发电机等。

#### 3.3 钻井结构及施工工艺

钻井实际施工 1708.56 m,最终完井井身结构如图 1 所示。

一开 0~3.8 m,采用  $\Phi 150\text{ mm}$  普通金刚石取心钻进,为防止孔斜,特别是开孔孔斜,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”;钻穿表层碎岩石,进入完整致密基岩后,下入  $\Phi 146\text{ mm}$  表层套管 3.8 m 保护孔口,并用 425 水泥浆固井。3.8~5.13 m,采用  $\Phi 114\text{ mm}$  普通金刚石取心钻进,形成 1.33 m 的过渡井段,为便于二开井段开孔时钻头对中。

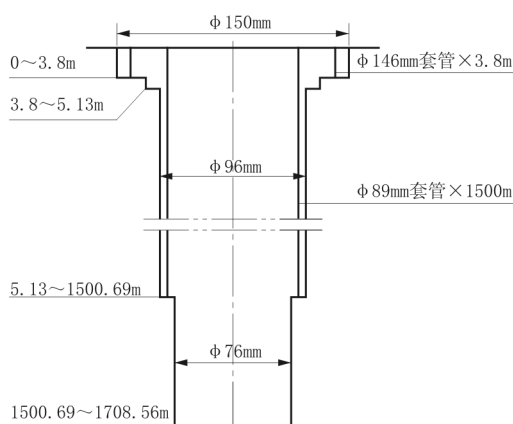


图 1 湘洞地 1 井完井井身结构示意图

因施工设备所限,本井未采用二级钻井平台施工,井口无法直接安装防喷器,不符合页岩气施工的安全要求,故固井后要求再下挖 1.6 m 深坑预留空间安装单闸板防喷器、放喷及压井管汇,并按规范进行试压试验。

二开 5.13~1500.69 m,采用  $\Phi 96\text{ mm}$  金刚石绳索取心钻进,实钻地层稳定(余田桥组灰岩);如地层较复杂,原则上尽可能采用冲洗液或其他注浆材料护壁或堵漏,以简化钻孔结构(使用高粘度、大密度的膨润土泥浆进行护壁钻进,无固相钻井液),下入  $\Phi 89\text{ mm}$  套管至井深 1500.69 m,未固井。

三开 1500.69~1708.56 m,采用  $\Phi 76\text{ mm}$  金刚石绳索取心钻进至终孔。

#### 3.4 钻进规程参数

(1)一开 0~5.13 m,孔及上部地层较为复杂,

且开钻井段要保证井斜 $<0.2^\circ$ ,所以采用低转速、轻压力、中泵量钻进施工。为防止开孔孔斜,采用粗径钻具、扩孔器防斜钻具组合,做到“以满保直、以刚保直”钻进。

(2)二开 5.13~1500.69 m,实钻地层为泥晶灰岩、泥灰岩、瘤状灰岩不等厚互层,采用金刚石绳索取心钻进施工,通常采用中低转速、轻压力、中泵量钻进施工,实钻中根据地层情况,钻头使用情况等适当调整钻进参数,以维持所钻地层与钻进工具两者的平衡,如:在 213.73~625.09 m 井段钻遇产状陡立,倾角近  $90^\circ$  的灰岩地层,采用中转速、轻钻压、中泵量,838.82~1028.42 m 井段钻遇黑色中层状泥质灰岩,含泥质成分,质软,钻速提高,岩粉多,采用低转速、轻钻压、中泵量。

(3)三开 1500.69~1708.56 m,实钻地层为炭质钙质页岩,泥晶灰岩,含炭硅质岩,泥质灰岩不等厚互层,属典型的软硬互层,岩层倾角较大,是极易产生钻井倾斜的地层,施工中采用金刚石绳索取心钻进,为控制井斜,采用低转速、轻钻压、中泵量。

### 3.5 钻井液配制和维护

本井采用无固相钻井液或低固相钻井液。

一开井段 0~5.13 m 的大井眼携岩问题和井壁稳定问题是上部地层钻进的关键,采用清水钻进,下套管护壁。

二开、三开 5.13~1708.56 m 主要是目的层泥

页岩遇水膨胀、防垮塌,同时考虑溢流和井喷等,采用基本配方及处理添加剂,基本配方:3.0%~4.0%膨润土+0.1%~0.2%烧碱(0.1%~0.2%纯碱)+0.1%~0.3%聚丙烯酰胺+1%~3%聚合醇防塌剂+0.1%~0.2%CMC 钠羧甲基纤维素,处理剂:抗盐降粘滤失剂、稀释剂、润滑剂等。密度 1.03~1.06 g/cm<sup>3</sup>;漏斗粘度 18~25 s;泥饼厚 $<0.5$  mm;含砂量 $<0.3\%$ ;pH 值 8~9;固相含量 3%~5%。

每回次必须专人清理钻井液,用铁铲或专业工具捞取沉淀槽、沉淀池中的泥沙。严格控制钻井液中的有害固相,正常钻进时 1 班清理岩粉 2 次,定期更换钻井液。

## 4 实钻施工效果及分析

### 4.1 钻井效率

全井施工纯钻时间共 1091.7 h,纯钻时间利用率 39.5%;机械钻速 1.57 m/h,台月效率 445.7 m,全井平均钻时 38.34 min/m。

湘洞地 1 井钻时曲线见图 2。依据不同井段的平均钻时及井径可将全井分为 4 个井段,分析钻时曲线:钻时随井深呈增长趋势;在同一井径下,井深 $>1000$  m 后,钻时较之前至少增长 1 倍,其中,第三井段 1133.19~1500.69 m 及第四井段 1500.69~1708.56 m,钻时曲线波动明显,且幅度较大,表明该井段地层软硬互层现象较为明显。

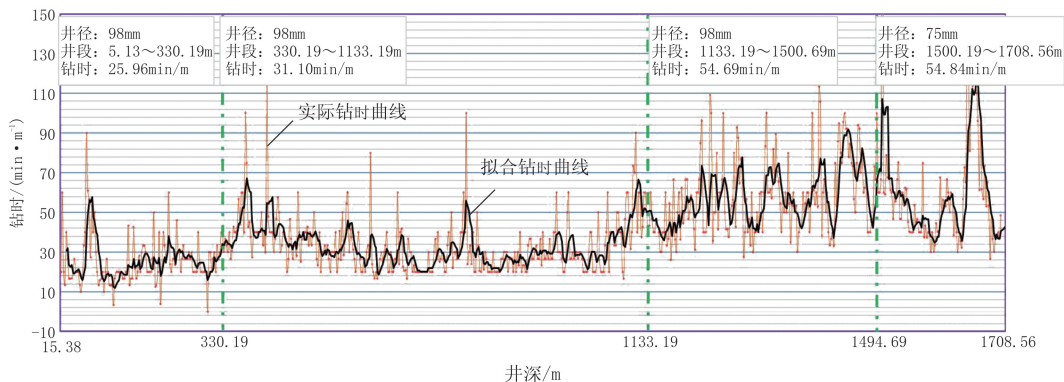


图 2 湘洞地 1 井钻时曲线图

### 4.2 岩心采取率

岩心采取率要求:全孔平均采取率 $\geq 85\%$ ,目的层平均采取率 $\geq 90\%$ 。湘洞地 1 井终孔孔深 1708.56 m,全孔取心 1698.51 m,全孔岩心采取率达 99.41%,岩心采取率高于设计要求。共取岩心 618 回次,平均每个回次收获岩心 2.75 m。

湘洞地 1 井岩心致密,完整,质地较软,采用金刚石绳索取心钻进工艺,极大地提高了钻进效率及岩心采取率,全孔采取率高达 99.41%。

### 4.3 钻井弯曲度

采用 KXP-2X 型数字测斜仪共进行了 17 次井斜测量。设计井斜要求: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 $\geq 8^\circ$ , 测斜仪及测井测量数据均显示实钻过程中钻井顶角得到了有效控制, 最终施工钻井弯曲度符合设计要求。钻孔弯曲度测量记录见表 2。

结合测斜数据及位移投影曲线(图 3)分析: 湘洞地 1 井自 500 m 井深井斜开始加剧, 结合实际钻遇地层情况, 可知遇软硬互层及陡倾角强造斜地层对钻孔顶角影响较大, 但通过适时调整钻进参数(降低钻压, 调节转速)的措施成功地预防了产生较大孔斜, 满足质量要求。

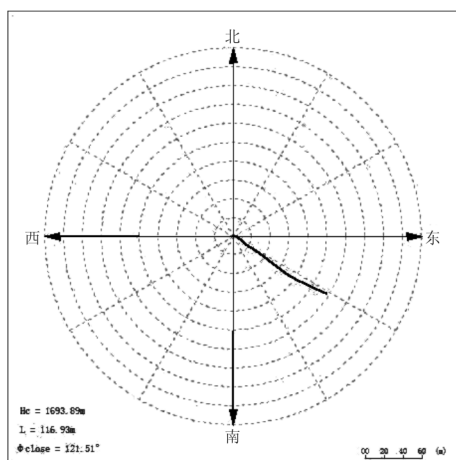
#### 4.4 井径扩大率

二开裸井段中 20~1500 m 段井径平均缩小率为 1.1%, 三开裸井段 1520~1700 m 井径平均扩大率为 5%, 反映出二、三开裸井段井径无明显缩径和扩径现象。

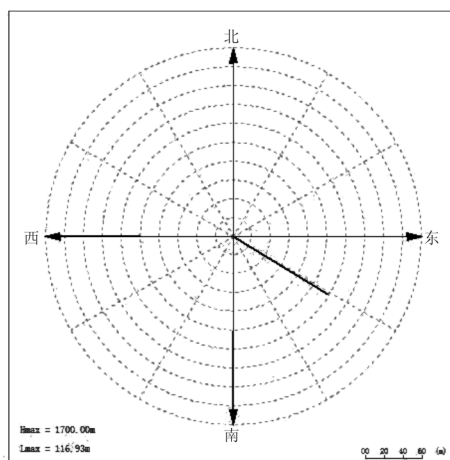
结合实钻地层分析: 全井段以泥晶灰岩、泥灰岩

表 2 钻孔弯曲度测量记录

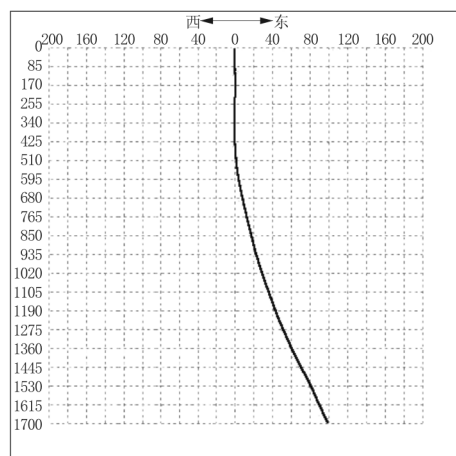
序号	测量孔深/m	顶角/( $^\circ$ )
1	99.68	0.20
2	202.68	0.30
3	302.29	0.40
4	408.69	0.70
5	501.69	1.10
6	606.69	1.30
7	701.19	1.70
8	800.19	2.40
9	900.69	3.30
10	1016.19	4.30
11	1095.69	4.60
12	1204.39	4.76
13	1292.00	4.98
14	1400.19	5.21
15	1500.69	5.37
16	1600.00	6.80
17	1708.56	7.50



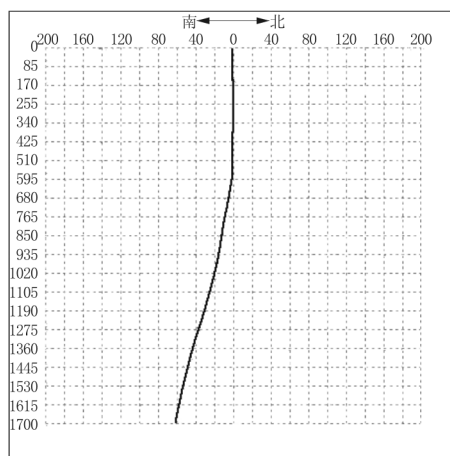
(a) 水平投影图



(b) 最大位移投影图



(c) 东西方向投影图



(d) 南北方向投影图

图 3 湘洞地 1 井 0~1700.00 m 井斜位移各向投影图(测井数据)

为主,岩心致密,完整,吸水性较差,故无明显缩径和扩径现象,湘洞地1井井径扩大率远优于优质井的评价指标(非页岩气层井段平均井径扩大率 $\geq 15\%$ ,页岩气层井段平均井径扩大率 $\geq 10\%$ )。

## 5 结语

中国地质科学院探矿工艺研究所通过前期充分论证钻井施工组织设计,优选施工方案,中期严控施工质量及安全管理,顺利有效地完成了湘洞地1井的钻井及配套的测、录井、固井及完井工作。

(1)通过监控调整泥浆性能参数,定期检查卡簧、卡簧座及内管等措施,预防“单管”钻进,取心途中未出现拔断岩心、损伤岩心、丢心、脱心等现象,保证了获取岩心的质量及采取率,湘洞地1井施工全孔岩心采取率达99.41%,优于设计要求。

(2)湘洞地1井500 m以深钻遇软硬互层及陡倾角强造斜地层,钻孔轨迹明显出现了偏移现象,对钻井顶角这一成井质量指标影响极大,但通过适时调整钻进参数的措施,有效地控制了井斜,施工完井井斜满足设计要求。

(3)在钻探施工管理中,多采取加强事前控制的措施,极大减少了金刚石绳索取心钻进施工中常见的钻探事故,有效预防井内事故的发生,提高了施工

台月效率(台月效率达445.7 m),湘洞地1井在钻探设备条件有限的情况下满足了施工质量和安全生产的要求。

## 参考文献:

- [1] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,2009.
- [2] 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.
- [3] 郑宇轩,谭现锋,赵长亮,等.页岩1井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):80-83.
- [4] 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.
- [5] 李秋茂.关于页岩气钻井防喷井控技术的研究[J].石化技术,2017,24(2):176-176.
- [6] 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.
- [7] 单文军,蒋睿.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.
- [8] 刘璠,杜建平.当阳复向斜荆门探区页岩气钻完井技术[J].非常规油气,2016,3(2):75-82.
- [9] DB43/T 971—2014,页岩气井钻井技术规程[S].
- [10] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [11] 秦诗诗,宗庆伟,孙晓飞,等.页岩气钻完井技术现状与难点探究[J].石化技术,2015,(3):103.
- [12] 宋海燕,李旭文,何宗常,等.XY-6N型钻机的改进及使用情况介绍[J].地质装备,2011,12(6):11-12.