

# 页岩气基础地质调查皖南地 1 井钻探施工技术

刘文武, 赵志涛, 翁 炜, 朱迪斯, 单文军, 贺云超

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:**皖南地 1 井是部署在安徽省南陵县烟墩镇的一口页岩气基础地质调查井。文章详细介绍了该井的钻探施工工艺技术以及遇到复杂问题的处理方法, 并对钻效进行了分析, 提出了实现优质高效钻探的措施。项目的顺利实施, 梳理了皖南地区地层层序, 为页岩气储层理论推测提供了有力的实物数据支撑和验证。

**关键词:**页岩气调查井; 钻探技术; 井身结构优化; 溶洞; 取心钻进

**中图分类号:** P345.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)10-0066-05

**Drilling of Wannandi Well - 1 for Basic Shale Gas Geological Survey/LIU Wen-wu, ZHAO Zhi-tao, WENG Wei, ZHU Di-si, SHAN Wen-jun, HE Yun-chao** (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Wannandi Well - 1 is a basic shale gas geological survey well deployed in Yandun Town, Nanling County, Anhui. This paper introduces in detail the drilling techniques and the treatment of the difficulties encountered in drilling, and analyzes the drilling efficiency with the relevant measures put forward for achieving quality and efficient drilling. With successful drilling of the well, the stratigraphic sequence in the southern Anhui area has been correlated, providing powerful physical data support and verification for the theoretical inference of shale gas reservoirs.

**Key words:** shale gas survey well; drilling technology; wellbore structure optimization; caving; core drilling

## 1 地质概况

皖南地 1 井是部署在安徽省南陵县烟墩镇的一口页岩气基础地质调查井, 目的层为五峰—高家边组, 兼探牯牛潭组—仑山组, 设计井深 1500 m。钻探的目的是查明安徽皖江地区地层层序, 获取五峰—高家边组页岩厚度、有机地球化学、储集性能及含气性等页岩气评价参数, 摸清五峰—高家边组在皖江地区的发育情况, 为评价皖南地区五峰—高家边组页岩气资源潜力提供资料支撑, 同时兼顾奥陶系灰岩常规储层含气性调查。

### 1.1 地形地貌

工区位于皖南山区与沿江平原的过渡地带, 地貌类型较复杂, 呈平原、低山、丘陵和山间盆谷区的地貌组合。北部和东北部属于长江下游平原, 海拔高度在 6~60 m; 其余大部分地区地貌以低山、丘陵和山间盆谷区为主, 海拔高度在 80~600 m, 且工区西部海拔整体低于东部, 表现为南高北低、东高西低的地势。

### 1.2 地层预测

收稿日期: 2018-05-24

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“下扬子地区古生界页岩气基础地质调查”(编号: DD20179082)和“油气田勘查区砂岩型铀矿调查与勘查示范”(编号: DD20189617)

作者简介: 刘文武, 男, 汉族, 1981 年生, 高级工程师, 从事地质钻探、地勘设备研发等工作, 北京市海淀区学院路 29 号探工楼 705 室, lww2257@163.com。

钻井位置区域预测地层见表 1。

### 1.3 油气水层位置预测

浅水层预测在 300 m 以浅。

油气层依据区域地质资料, 即皖南地 1 井页岩目的层段见表 2。

### 1.4 地层压力预测

根据南陵 1 井资料和本井钻遇地层预测, 902~1500 m 可能存在高压。钻遇高家边组泥页岩地层及奥陶系灰岩地层, 钻进中需注意防塌、防漏。目的层段应注意防喷、防火、防硫化氢, 要储备一定的重泥浆备用。

## 2 钻井质量指标及技术要求

皖南地 1 井涉及钻探工程施工与测试, 技术要求按照国土资源部、中国地质调查局的相关技术规范、规程、标准和井位论证方案执行。采用直井多开次钻探方法, 要求井深 < 1500 m, 同步开展录井、测井、固井等配套工作。

表 1 皖南地 1 井地质分层数据

系 组	岩性	井深/m	厚度/m
第 四 系	芜湖组 含砾砂、粉质轻粘土	3.5	3.5
	下蜀组 砾、含砾粗砂、粉质轻粘土及粉质重亚粘土	7	3.5
	戚家叭组 网纹状粉质轻粘土,底为砾或含砾粉质轻粘土;与下伏宣南组为不整合接触	10	3
志 留 系	高家边组 上段为黄绿—灰绿色砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩,表现出浅水陆棚特征;下段为青灰色中厚—厚层泥岩、粉砂质泥岩与含炭质页岩互层,同时见笔石,下段底部为一套黑色炭质泥岩,可见大量笔石,表现为深水陆棚环境特征,同下伏五峰组为假整合接触	799	789
	五峰组 灰黑色硅质、炭质泥岩,见笔石化石,表现为深水陆棚—盆地环境特征,同下伏汤头组为整合接触	820	21
	汤头组 中层状泥质灰岩、钙质泥岩,同下伏宝塔组整合接触	832	12
奥 陶 系	宝塔组 浅灰色中薄层瘤状含生屑微晶灰岩,和下伏牯牛潭组呈整合接触	850	18
	牯牛潭组 灰色中厚层龟裂纹泥晶泥质灰岩,和下伏紫台组整合接触	902	52
	紫台组 上段为泥质灰岩,下段为泥页岩,和下伏红花园组整合接触	938	36
	红花园组 上段为亮晶、微晶生屑灰岩,中段为微晶白云岩,下段为浅灰色厚层状微晶灰岩。同下伏仑山组整合接触	1218	280
	仑山组 灰白色厚层中—细晶白云岩、细晶白云岩	1500	282

表 2 皖南地 1 井预计高家边组—仑山组主要目标层段

层 位	井深/m	参考临近钻孔及区域资料
五峰—高家边组(下段)	499~820	工区东侧外马村、云岭脚剖面及露头资料
奥陶系	902~1500	工区东侧天井湖露头资料

(1) 井身质量参照《钻井井身质量控制规范》(SY/T 5088—2008)标准。

(2) 井口允许移动范围 50 m。

(3) 全井段井斜 $\geq 8^\circ$ ,全井全角变化率控制在 $3^\circ/30$  m。

(4) 井底水平位移 $\geq 80$  m。

(5) 全井井径扩大率 $\geq 25\%$ 。



图 1 皖南地 1 井钻探施工现场

### 3 钻井工艺技术

#### 3.1 钻探设备、机具配置

钻探主要设备根据施工的钻井目的、施工的环境条件、钻探方法、钻井深度、终孔直径等综合因素确定<sup>[1-2]</sup>。

钻探主要设备配置见表 3。钻探施工现场如图 1 所示。

表 3 钻探设备配置

序号	名称	型号	数量
1	钻机	XY-8	1
2	钻塔	SG24	1
3	泥浆泵	BW-300/12	1
4	测斜仪	SDYQ-48	1
5	防喷器	2FZ18/35	1
6	绞车	SJ-2000	1
7	绳索取心钻杆	Ø89 mm	1600 m
8	绳索取心钻杆	Ø114 mm	300 m

#### 3.2 井身结构设计及优化

##### 3.2.1 井身结构设计<sup>[3]</sup>

根据地层特点、钻孔深度及终孔直径,钻孔结构设计如表 4 所示。

##### 3.2.2 井身结构优化

###### 3.2.2.1 优化依据

表 4 皖南地 1 井钻孔结构设计

开钻次序	井深/m	钻头/mm	套管/mm	套管下深/m	水泥封固段/m
导管	12	200	193	0~12	0~12
一开	300	165	146	0~300	0~300
二开	1500	98	裸眼,视工况是否扩孔至 Ø122 mm,下套管		
三开(备用)		98			

注:二开以 Ø98 mm 绳索取心钻进,视工况决定是否一径到底。如需三开,则扩孔至 Ø122 mm,Ø114 mm 绳索取心钻杆作为技术套管。

在二开钻进过程中,采用 Ø98 mm 绳索取心钻

进,因在井深 1223.34~1226.34 m 处发现 2.8 m 高的溶洞,失返,严重井漏,经论证下套管封隔,因此二开钻深 1230.84 m,将二开使用的  $\Phi 91$  mm 绳索取心钻杆作为活动套管封隔溶洞,下深 1230 m,接着用  $\Phi 77$  mm 金刚石取心钻头+ $\Phi 73$  mm 绳索取心钻具总成+ $\Phi 73$  mm 绳索取心钻杆钻至终孔。

### 3.2.2.2 优化后实际井身结构

$\Phi 165$  mm 钻头钻至 233.49 m,下  $\Phi 146$  mm 套管,水泥固井,井口安装防喷器。为了保证级配, $\Phi 131$  mm 钻头钻至 246.50 m,下  $\Phi 127$  mm 活动套管 246.50 m。 $\Phi 98$  mm 钻头钻至 1230.84 m,因遇到溶洞,直接将  $\Phi 91$  mm 绳索取心钻杆作为活动套管,封隔溶洞,下至 1230 m。 $\Phi 77$  mm 钻头钻至终孔井深 1506.91 m。实际井身结构见图 2。

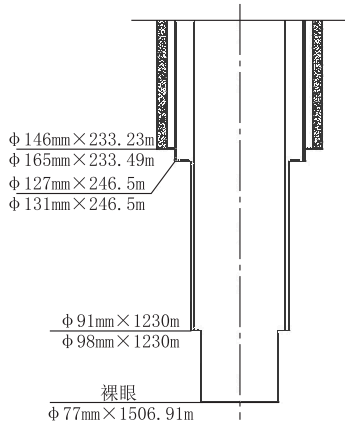


图 2 实际井身结构

### 3.3 钻进工艺

皖南地 1 井除开孔及扩孔段外,一开、二开、三开口径均采用绳索取心钻进工艺<sup>[4-5]</sup>。利用绳索取心钻杆捞取岩心管取心钻进技术具有多方面的优点,其中最突出的优点就是工程质量高,地质效果好,提高钻进效率。

### 3.4 钻头设计

皖南地 1 井钻遇地层主要岩性为灰岩、泥岩、粉砂质泥页岩、泥质粉砂岩、灰质粉砂岩,岩石可钻性级别以 4 级为主。岩石硬度较软,研磨性较弱,选用中等硬度细颗粒孕镶金刚石钻头。绳索取心钻头的水口适当加宽,方便排渣,降低泵压,钻头内径加大金刚石浓度,防止钻头内径磨损过快。根据岩石可钻级别,以胎体硬度 HRC30~40,唇面形式为同心尖齿、同心阶梯齿钻头为主。

### 3.5 钻进参数

XY-8 型钻机是一款成熟的立轴钻机,其转速为 I 挡:0~300 r/min,II 挡:0~1100 r/min。钻压略大于钻杆二次弯曲临界钻压,对防止钻孔偏斜有利<sup>[6]</sup>。钻进参数见表 5。

表 5 钻进参数

钻头直径/ mm	钻压/ kN	转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	泵量/ (L·min <sup>-1</sup> )	深度/ m
124	18~20	200~300	160	0~249
98	12~18	200~300	90~160	249~1232
77	15	200~300	85~90	1232~1506

### 3.6 钻井液及护壁<sup>[7-8]</sup>

#### 3.6.1 钻井液性能

皖南地 1 井钻井液性能主要从以下几个方面进行控制。

(1) 泥浆润滑性能。绳索取心钻进工艺主要是靠高转速研磨破碎,在钻具高转速下泥浆的润滑性能对钻具的保护尤为重要,尤其是深孔钻进。

(2) 泥浆携带岩屑的能力。深孔钻进过程中岩粉及岩屑若不能及时排出,就会造成岩屑重复破碎,影响钻进效率,同时岩粉过多会造成打捞岩心时(停泵)泥浆反压,造成内管遇卡情况的出现。

(3) 泥浆的护壁性能。泥页岩及破碎地层要控制好泥浆失水量及泥饼质量,减少泥浆中水的渗透,降低岩层吸水膨胀及垮塌的风险,长井段的裸眼需要稳定的井壁,保证取心钻进顺利进行。

#### 3.6.2 钻井液配方

##### 3.6.2.1 一开钻井液

要求配制快捷,净化能力强,能支撑上部第四系粘土层及高家边组上部较松散地层,采用不分散低固相化学钻井液。配方:清水 1 m<sup>3</sup>+4%~6% 钠土粉+0.1%~0.3% 纯碱+600 ppm 聚丙烯酰胺+0.1%~0.2% CMC 钠羧甲基纤维素,辅之以磺化沥青护壁剂等。性能指标:密度 1.03~1.07 g/cm<sup>3</sup>、漏斗粘度 22~24 s、失水量 8~12 mL/30 min、pH 值 8~9。

##### 3.6.2.2 二开钻井液

针对水敏性的泥页岩、泥质含量高的砂岩且大倾角地层,改用防塌性好,排粉能力强,流变性好、抑制性强的低固相防塌聚合物钻井液体系。配方:1 m<sup>3</sup> 水+1.0~2.0 kg 纯碱+30~50 kg 膨润土+5~10 kg 降失水剂(GPNH)+5~10 kg 增粘剂(GTQ)+1~3 kg 包被剂+10~20 kg 随钻堵漏剂

(GPC)+20~50 kg 封堵剂+5~20 kg 极压润滑剂 (GLUB)。性能指标:密度 1.03~1.07 g/cm<sup>3</sup>、漏斗粘度 20~25 s、失水量 9~12 mL/30 min、pH 值 8~9。

### 3.6.2.3 三开钻井液

顶漏钻进灰岩、白云岩地层,采用普通化学泥浆,辅以锯末、麻绳等堵漏材料,保证润滑降温,且减少漏失污染。性能指标:密度 1.02~1.07 g/cm<sup>3</sup>、粘度 20~25 s。

## 4 复杂问题的处理

### 4.1 溶洞处理

皖南地 1 井在井深 1223.34~1226.34 m 处发现 2.8 m 高的溶洞,上部 0.3 m 直接失钻压,下部 2.2 m 有填充物,岩心缺失,自然漏失,进行溶洞堵漏,共进行 7 次。

1 次堵漏:3 编织袋锯末配浆,加纤维素、聚丙烯酰胺、植物胶;钻杆内泵入井底,165 L/min,无效。

2 次堵漏:5 编织袋锯末,经筛选长度 3~6 cm,配浆,加纤维素、聚丙烯酰胺、植物胶;钻杆内泵入井底,165 L/min,无效。

3 次堵漏:5 编织袋锯末,且加入 4~6 cm 的稻草、麻绳和棉絮,配浆,加纤维素、聚丙烯酰胺、植物胶;钻杆内泵入井底,165 L/min,无效。

4 次堵漏:海带 10 kg,黄豆 25 kg、混合锯末,拌浆;分 3 次堵漏,无效。

5 次堵漏:筛选大颗粒钻渣 50 L 配浆堵漏,无效;混合 70 L 钻渣堵漏,无效;静置一段时间后,发现返浆,冲扫孔至井底井漏。

6 次堵漏:一次加入 12 编织袋锯末,堵漏无效。

7 次堵漏:堵漏网,500 kg 堵漏王,主要为玻璃纤维丝、膨胀剂、堵漏剂等成分,无效。

鉴于堵漏一直无效,经过专家论证,用  $\varnothing 98$  mm 的钻头钻至溶洞下面取出完整岩心,用现有  $\varnothing 91$  mm 的钻杆做套管下放到溶洞下面完整岩石的位置, $\varnothing 91$  mm 的钻杆接头避开溶洞的位置,下入孔内的套管全部抹上钠质黄油,S73 mm 的绳索取心钻具钻进钻至 1500 m 终孔。做好后期再遇溶洞的预案:如果在 1223.54 m 孔深下面还钻遇溶洞,取出孔内  $\varnothing 89$  mm 的套管再用 S89 mm 的绳索取心钻具钻至完整岩石再下  $\varnothing 89$  mm 的套管,还是用 S73 的绳索取心钻具钻至 1500 m。

## 4.2 孔斜控制

孔斜预防和控制是影响钻井质量和钻探效率的主要工艺技术因素之一<sup>[9-12]</sup>。本井采用 SDYQ-48 型无线随钻测斜仪,钻进过程中为减少提钻时间,在钻杆内测斜,主要记录顶角、方位角。在 330~360 和 620~640 m 由于地层倾角较大,通过扶正器及降低钻压在 8~12 kN,保证了钻孔的孔斜度。全孔最大孔斜度 6.17°,符合设计要求。

## 5 钻井周期及钻效分析

### 5.1 钻井周期

2017 年 9 月 30 日开钻,2018 年 1 月 31 日完钻,共计 124 d,且在施工中实际钻进遇见 2.8 m 溶洞,处理时间 24 d。

### 5.2 钻进效率

皖南地 1 井钻井工期为 124 d,平均机械钻速 2.26 m/h,台月效率 364.57 m,平均钻时 26.60 min/m,不计溶洞处理 24 d,钻机台月效率 452.07 m。详见表 6。

表 6 钻进效率统计

项 目	时间/h	百分比/%	
生产 时间	纯钻进	668.0	22.36
	起下钻	882.2	29.57
	测水位	97.5	3.27
	其他	975.0	32.68
非生 产时 间	事故	0	0
	测斜	8.7	0.29
	维修	335.0	11.23
	其他	17.8	0.6

### 5.3 效率分析

全井生产时间占 87.88%,其中纯钻进时间 22.36%,全井非生产时间 12.12%。与同口径、深度的地质孔相比,皖南地 1 井施工周期略长。主要原因是在钻进过程中出现溶洞,护壁堵漏及堵漏无效后变更设计等待钻杆钻具时间较长,延误了一部分工期。同时钻机的维修时间略长,占据 11.23%。

## 6 结语

皖南地 1 井于 2017 年 9 月 29 日通过开钻验收,采用绳索取心工艺钻进,同步开展录井,2018 年 1 月 31 日 23:53 顺利完钻,完钻深度 1506.91 m,完钻层位奥陶系红花园组。该工程实现了钻探的目的,梳理了安徽皖南地区地层层序,特别摸清了五峰

—高家边组发育情况;在高家边组发现2层气测异常井段:886.60~900.00 m井段和965.40~971.00 m井段。项目的顺利实施为页岩气优质储层的理论推测提供了有力的实物数据支撑和验证。同时今后项目施工中应在不超钻机额定最高转速的情况下,提高转速,发挥绳索取心工艺孕镶金刚石钻头高转速碎岩的特点,钻效会进一步得到提高。针对性的技术措施须与严格的组织管理措施结合,方能更好地实现优质高效。

#### 参考文献:

- [1] 王宗友,陈刚,乔生贵.页岩气调查黔地4井钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):1-6.
- [2] 谭春亮,宋殿兰,岳永东,等.北京地震台白家瞳观测井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):19-23.
- [3] 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.
- [4] 张春波,等.绳索取心金刚石钻进技术[M].北京:地质出版社,1985:4-9.
- [5] 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.
- [6] 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):175-181.
- [7] 田明锦,孙平贺,曹函,等.固结钻井液对湘西北页岩气储层的护壁机理研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):193-196.
- [8] 章术,尹亮先,首照兵.贵州铜仁地区页岩气钻井施工难点及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):10-13.
- [9] 吴光琳,汤顺德.钻孔弯曲和定向钻探[M].四川成都:成都地质学院,1984:32-36.
- [10] 米合江,张飞.新疆页岩气调查井准页2井钻井施工技术及问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):25-30.
- [11] 陈风云,谷天本.西平铁矿深孔绳索取心钻探技术应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):16-19.
- [12] 王英,刘炳志.绳索取芯钻进工艺中防斜措施的探讨[J].山东煤炭科技,2008,(1):116-117.