

# 页岩气调查黔地 4 井钻探技术

王宗友, 陈刚, 乔生贵  
(四川省煤田地质局一四一队, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 黔地 4 井是部署在渝东南凹陷褶皱带濯河坝向斜南段的一口页岩气地质调查井, 全井取心, 设计井深 2400 m, 完钻井深 2258 m。项目通过钻探设备、钻具(钻头)选择和井身结构优化设计等, 使钻头最高寿命达 466 m、钻效提高 10% 以上。全井平均机械钻速 1.78 m/h, 钻月效率 535 m, 其中二开钻月效率 704 m, 达到了快速、安全钻探目的。

**关键词:** 页岩气调查井; 钻探技术; 井身结构优化

**中图分类号:** P634; TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)02-0001-06

**A Brief Discussion on the Drilling Technology of Shale Gas Survey in Qian-di Well - 4/WANG Zong-you, CHEN Gang, QIAO Sheng-gui** (141 Team of Sichuan Coalfield Geological Bureau, Deyang Sichuan 618000, China)

**Abstract:** Qian-di well - 4 is a geological survey well of shale gas deployed in the southern section of syncline on Zhuohe dam in the depression fold belt of southeast Chongqing, whole depth coring was required. The well was designed with the depth of 2400m and completed with 2258m. Through the selection of drill rigs and drilling tools (drill bits) and the optimization design of wellbore structure, the maximum lifespan of the drill bit is up to 466m and the drilling efficiency is increased by more than 10%. The average penetration rate of the whole well is 1.78m/h and drilling-month efficiency is 535m, of which the second section drilling-month is 704m, rapid and safe drilling is realized.

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

## 1 地层概况

黔地 4 井是部署在渝东南凹陷褶皱带濯河坝向斜南段的一口页岩气地质调查井, 目的层为下志留统龙马溪组—上奥陶统五峰组, 设计井深 2400 m。钻探目的是进一步探索黔江页岩气区块南部有利区

五峰组—龙马溪组页岩含气性, 获取目的层段有关评价页岩气的各项地质参数。

### 1.1 地层

钻井位置区域预测地层见表 1。

### 1.2 油、气、水层位置预测

表 1 区域地层

层位	井深/m	厚度/m	岩性简述
第四系	5.0	5.0	第四系松散堆积物
茅口组	366.0	361.0	顶部为灰白色灰岩, 中下部为黑色厚层灰岩、生物碎屑灰岩、局部夹燧石结核, 底部夹黑色碳质页岩
栖霞组	524.0	158.0	深灰色、黑色厚层状灰岩夹瘤状灰岩及生物碎屑灰岩, 局部含燧石团块
梁山组	528.0	4.0	上部为碳质页岩夹煤线; 下部为灰白色铝土矿、粘土层
韩家店组	1755.0	1227.0	灰绿—浅灰绿色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩, 间夹粉砂纹层、条带及薄层生物碎屑灰岩或条带, 遗迹化石丰富
小河坝组	2173.0	418.0	上部薄—中层钙质石英粉—细砂岩及暗灰绿色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩; 下部深灰—灰色粉砂质泥岩, 夹细砂岩、粉砂条带及纹层发
新滩组	2288.0	115.0	中上部深灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹深灰色、灰黑色泥岩; 下部灰—灰黑色泥岩为主, 偶夹灰质泥岩; 间夹少量粉砂质纹层, 笔石稀少, 偶见角石
龙马溪组	2364.0	76.0	顶部为灰黑色页岩及黑色碳质页岩, 中部为深灰色粉砂质页岩、黑色粉砂质碳质泥岩及条带、条纹状泥质粉砂岩。近底部黑色页岩夹数层斑脱岩。笔石丰富, 偶见角石
观音桥组	2364.5	0.5	灰黑色生物泥灰岩
五峰组	2370.0	5.5	灰黑色硅质页岩, 黑色碳质页岩, 含笔石
临湘组	2384.0	14.0	褐灰色瘤状灰岩、泥灰岩
宝塔组	2400.0	16.0	浅灰—褐灰色中—厚层龟裂纹灰岩夹深褐灰色泥灰岩

收稿日期: 2017-09-13; 修回日期: 2017-12-18

作者简介: 王宗友, 男, 汉族, 1966 年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事工程地质钻探、岩心钻探等生产技术工作, 四川省德阳市东海南路 3 号, 1315994204@qq.com。

预计井漏及气显示层段见表2。

### 1.3 预测地层产状及断层情况

表2 黔地4井油、气、水、漏显示层段预测

层位	井段/m	显示类别	邻井显示	流体性质分析
茅口组—栖霞组	5~528	气侵井漏	本井所在地区属喀斯特地貌,溶洞发育,井口500 m范围内,地层切割深度近100 m,地表发生漏失的概率极大	天然气
韩家店组	1700~1755	井漏	濯页1井在1749.63~1749.65 m,漏失59.90 m <sup>3</sup>	
小河坝组	1755~2173	井漏	濯页1井在1983~2007 m,漏失932.20 m <sup>3</sup> ;黔地1井清水钻进过程中井段484.66~487.56 m井漏	天然气
龙马溪组—五峰组	2288~2370	气测异常	濯页1井钻至2534~2628 m见多层页岩气显示;黔地1井钻至1046~1126 m见多层页岩气显示;相邻区域该层钻进过程中普遍见气测异常	页岩气

黔地4井位于濯河坝向斜南部,西临天馆背斜,东临咸丰背斜,向斜轴线呈南北条带分布(两背斜夹一凹);凹陷轴部发育顺轴断层F5,断层西部地层较陡,地层为东倾,断层东部地层相对较为宽缓,地层倾角约为18°,龙马溪组—五峰组地层与咸丰背斜接触处为逐渐尖灭,黔地4井位置距目的层尖灭线6.2 km,埋深相对较深。

## 2 钻井质量指标及技术要求

钻井工程质量按设计标准及《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010)第16条钻探工程质量执行。其中目的层段五峰组—龙马溪组岩心采取率 $\geq$ 95%。严格控制全井井斜,正常钻进中用ADS测斜仪进行井身质量监控,根据规范测斜,每钻进50 m测一次,取得井斜角和方位角资料,井斜超标时要采取控制措施并加密测量。钻井地质设计如下。

- 项目名称:黔地4井钻井工程;
- 井号:黔地4井地质调查井;
- 地理位置:重庆市酉阳县双泉乡城墙村3组;
- 设计井深:2400 m;
- 设计执行标准:SYT 5965—2010;
- 井型:直井;
- 完钻层位:中奥陶统宝塔组;
- 目的层:龙马溪组—五峰组。

## 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。主要设备见表3。

#### 3.1.1 钻机

黔地4井设计孔深2400 m,终孔口径95 mm,钻机选用AC-VFD-AC交流变频电驱动全数字

控制的XD-30DB型顶驱岩心钻机<sup>[1]</sup>,主要部件及

表3 钻探设备配置

序号	名称	型号规格	数量	备注
1	钻机	XD-30DB	1台	交流变频顶驱钻机
2	钻塔	A-29	1部	负荷能力为686 kN
3	泥浆泵	BW300/16DB	1台	交流变频,无级变速
4	防喷器控制装置	FK125-3	1台	额定工作压力35 MPa
5	绳索取钻杆	Ø89 mm	2400 m	
6	绳索取钻杆	Ø114 mm	1260 m	

配套系统包括:钻塔、顶驱、主绞车、电气传动控制系统(VFD房)、司钻房、绳索取心绞车、液压站、动力钳、工具卷扬、泥浆泵。钻机远景见图1。



图1 XD-30DB型交流变频顶驱岩心钻机

XD-30DB型交流变频顶驱岩心钻机钻井深度 $\Phi$ 77 mm口径钻深能力可达4000 m, $\Phi$ 95 mm口径3000 m, $\Phi$ 122 mm口径2000 m,满足地质设计井深要求。该型钻机配以先进的数字化操控司钻台,能实时监控钻孔内钻进参数,能有效地控制并减少钻探事故,最大行程15 m,工艺适用性好,信息化程度高。

#### 3.1.2 泥浆泵

泥浆泵选择主要根据钻孔的深度及直径,以能顺利循环、排渣,达到携带岩粉,冷却钻具、钻头的能

力。本井选择 BW300/16 型泥浆泵,该泵主要用于中深孔及深孔岩心钻探泵送冲洗液,交流变频,最大流量 300 L/min。

### 3.1.3 防喷器

防喷器是井控装置的关键部分,通过分析临近钻孔资料,该地区属于低压区,选择额定工作压力为 35 MPa 的 2FZ18-35 型液动双闸板防喷器。

## 3.2 钻井结构设计及优化<sup>[2]</sup>

### 3.2.1 井身结构设计

根据地层特点、钻孔深度及终孔直径,钻孔设计结构为:Ø219 mm 钻头开孔钻进至 10 m,下 Ø180 mm 套管并固井;换 Ø122 mm 钻头钻进至 600 m,穿过灰岩漏失地层;Ø165 mm 钻头扩孔,下 Ø140 mm 套管护壁固井;Ø122 mm 钻头钻进至 1200 m,直接用 Ø114 mm 钻杆作为技术套管;Ø95 mm 钻头钻进至终孔。

### 3.2.2 井身结构优化

#### 3.2.2.1 优化依据

钻井井深至 491 m,在最易漏失段茅口组、栖霞组灰岩没遇见大的裂隙及溶洞,有中小漏失通过随钻堵漏已能止漏,只在 431~454 m 井段地层换层,出现裂隙及岩石破碎,发生过几次失返性漏失,采用水泥浆液封堵已护好井壁。钻孔已经穿过易漏失的茅口组、栖霞组灰岩,并通过梁山组钻进至韩家店组 50 m,漏失情况完全控制住,返浆良好。经地质部门综合对比分析,目前已钻韩家店组穿过了顶部漏失层段,下部岩石整体较为完整,在韩家店组及下部地层可能存在微裂缝较发育现象,但可排除较大规模裂缝发育、发生恶性井漏的可能。对黔江、西阳东区块已有钻井情况的分析,受区域地质及构造条件的控制,黔地 4 井保存条件差,地层压力系数低,在韩家店地层不可能发育高压气层。

若钻孔直径从 Ø122 mm 扩孔至 Ø165 mm 至井深 491 m,上部地层长井段扩孔会导致已封堵地层出现再次漏失,导致堵漏、蓄水等辅助时间长,且增加出现井内复杂情况的扩孔风险,延长工期。原井身结构设计扩孔固井的目的是防止漏失、垮塌、安装防喷器,目前孔内漏失问题已解决,并且孔内无垮塌情况,431~454 m 井段水泥固井良好。

#### 3.2.2.2 优化后实际井身结构

Ø122 mm 钻头钻至 849.73 m,直接将 Ø114 mm 绳索取心钻杆作套管,下部 100 m 水泥固井,井

口安装防喷器。Ø95 mm 钻头钻至终孔井深 2258 m,实际井身结构见图 2。

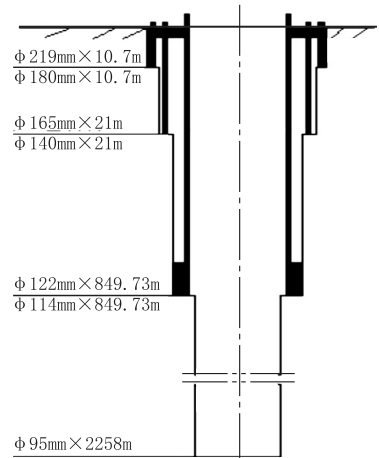


图 2 实际井身结构

## 3.3 钻进工艺

黔地 4 井除 Ø219~165 mm 开孔导管及扩孔段外,一开、二开口径采用绳索取心钻进工艺<sup>[3-4]</sup>。利用绳索打捞器捞取岩心容纳管取心钻进技术具有多方面的优点,其中最突出的优点之一是工程质量高,地质效果好,提高钻进效率。

## 3.4 绳索取心金刚石钻头

### 3.4.1 钻头方案设计

黔地 4 井钻遇地层主要岩性为灰岩、泥页岩、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<sup>[5]</sup>。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,胎体硬度 HRC30~40,唇面型式为同心尖齿、同心阶梯齿为主。见图 3。

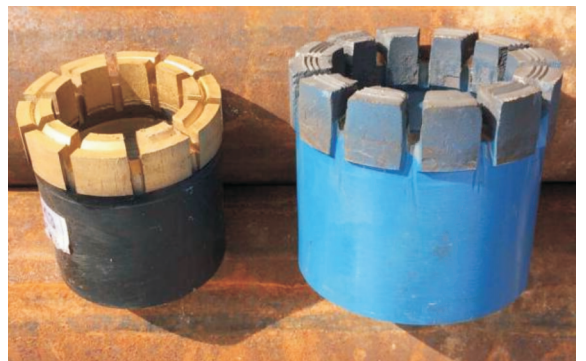


图 3 绳索取心金刚石钻头

### 3.4.2 钻头效率

钻进施工中,开孔导管段  $\text{O}219$ 、165 mm 为单管复合片钻头。 $\text{O}122$ 、95 mm 为绳索取心孕镶金刚石钻头,胎体硬度为 HRC37~39。

一开使用  $\text{O}122$  mm 金刚石钻头 4 个,平均进尺 180 m,最大钻头寿命 412 m;二开使用  $\text{O}95$  mm 钻头 9 个,平均进尺 158 m,最大寿命 466 m。

### 3.5 钻进参数

XD-30DB 型钻机最大转速 600 r/min,为新购钻机,对钻机性能掌握有限,使用中为预防顶驱电机温度过高损坏顶驱,对转速进行限速设置;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>[7]</sup>,钻进参数见表 4。1015~1185 m 钻压  $>15$  kN,孔斜增大,为控制孔斜,1185 m 后将钻压控制在 12 kN 以内。

表 4 钻进参数

钻头直径/mm	钻压/kN	泵压/MPa	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	排量/(L·min <sup>-1</sup> )	井深段/m
122	12~15	0.6~0.8	200~250	75~80	21.3~127
122	15~18	1~1.5	300~350	75~80	127~374
122	15~20	0.5~2	350~400	75~85	374~849
95	15~18	1~1.7	350~400	75~90	849~1218
95	8~12	3~5	350~400	80~100	1218~2258

## 3.6 钻井液及护壁

### 3.6.1 钻井液性能

黔地 4 井钻遇地层相对稳定,钻井液<sup>[6-9]</sup>性能主要控制以下几点。

#### 3.6.1.1 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。

#### 3.6.1.2 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。

#### 3.6.1.3 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

钻井液采用无固相—低固相泥浆,配比为:基浆+0.3%片碱+0.5%CMC+0.02%聚丙烯酰胺+

0.5%特效润滑剂+0.5%聚乙烯单体共聚物 141+0.3%保壁剂+低荧光防塌降失水剂。钻遇漏失地层加 0.2%~1%随钻堵漏剂。

### 3.6.3 钻井液测试

主要测试其粘度、密度、失水量。粘度控制在 20~24 s,密度 1.01~1.03 g/cm<sup>3</sup>,API 失水量  $<10$  mL/30 min。

该井钻井液主要强调降失水、润滑性。消耗较多的材料为低荧光防塌护壁降失水剂、特效润滑剂。

### 3.6.4 护壁堵漏<sup>[10]</sup>

(1)堵漏:失返性漏失有 2 段,通过常规堵漏无效后用水泥封堵,轻微漏失段通过随钻堵漏剂堵漏。水泥封孔堵漏见表 5。

表 5 水泥浆堵漏统计

起止深度/m	情况	处理方法	处理效果
62.33~69.93	全漏失	水泥封孔堵漏	钻井液全部返出
443.03~452.53	全漏失	水泥封孔堵漏	钻井液全部返出,孔壁稳定

(2)固井:0~10.7 m 下  $\text{O}180$  mm 套管,10.7~21 m 下  $\text{O}140$  mm 套管并固井;一开  $\text{O}122$  mm 钻进结束,用  $\text{O}114$  mm 绳索取心钻杆做技术套管,并在底部和顶部封固套管,考虑到井控安全及后期方便起拔套管,下部固井段至少封闭 100 m,在 705.93 m 处用正反扣接头连接上下部套管,方便起拔,在上部环空封闭以防止岩屑、岩粉窜入环空间隙。

## 4 保质增效技术

### 4.1 加长岩心容纳管

二开  $\text{O}95$  mm 钻进,采购和配套 4.5 m 长绳索取心内外管组合,每回次的取心长度增加 1.5 m,提高了纯钻进时间,相同时间内钻进效率提高 12.6%。

### 4.2 卡取岩心技术

#### 4.2.1 岩心脱落原因

在钻进韩家店组地层 1114~1145 m,新滩组地层 2060~2080 m 多次掉落岩心,主要原因为钻进过程中岩层软硬互层,存在钻速差,造成岩心外径大小不一,在岩心上形成葫芦状凹槽,回次取心时,遇到岩心直径较小处,卡不住而脱落。

#### 4.2.2 卡取岩心技术

减小卡簧内径,从厂家定制非常规  $\text{O}62$  mm 卡

簧(常规卡簧直径 62.5 mm),或通过点焊增加卡簧内径,适当加大卡簧开口处宽度,让卡簧行程更长,适应岩心直径,见图 4。回次进尺结束前,适当提高钻压,使钻进岩心减少磨损,更利于卡取岩心。每次卡取岩心时,快速回转钻具,使已卡断的岩心在转动过程中在内管或卡簧内遇到较大的扭矩而卡稳,不易脱落。通过上述措施提高了岩心采取率及钻进效率。黔地 4 井共取心 681 回次,进尺 2258 m,心长 2214.30 m,岩心采取率 98%。



图 4 卡簧点焊后岩心上形成的拉痕

### 4.3 孔斜控制

孔斜预防和控制<sup>[11-15]</sup>是影响钻井质量和钻探效率的主要工艺技术因素之一。本井采用多点 KXP-2X 型无线数字罗盘测斜仪,由于 KXP-2X 型测斜仪测方位是在非磁性环境中工作,钻进过程中为减少提钻时间,在钻杆内测斜,主要记录顶角,方位角则通过与内管连接的变径接头伸出钻具在无磁环境中测量,提高测斜效率。钻井在 1015~1185 m 井斜弯曲强度增大较快,在 1185 m 控制钻压后孔斜基本保持不变。

(1)井斜原因分析:二开钻进井径由直径  $\varnothing 122$  mm 变为  $\varnothing 95$  mm,在 1065 m 井深内管长度由 3.0 m 增加到 4.5 m,粗径钻具直径变小,长度增加,因而二次弯曲临界钻压降低,未及时调低钻压,造成井斜弯曲强度增大。

(2)孔斜控制措施及效果:在粗径钻具上增加一个扩孔器,起扶正作用。降低钻压在 8~12 kN,孔斜得到控制,甚至出现下降情况。通过井斜控制,该井至完钻,没有出现二次增斜,完钻井斜  $12.6^\circ$ ,见表 6。据地质钻探行业钻孔质量标准,孔斜为甲级孔标准。

表 6 黔地 4 井测斜数据

井深/ m	顶角/ ( $^\circ$ )	方位角/ ( $^\circ$ )	顶角增 量/ $^\circ$	钻尺增 量/m	弯曲强度/ $[(^\circ) \cdot$ (100 m) $^{-1}]$
1015	2.2	120	2.2	1015	0.22
1185	12.1	104	9.9	170	5.80
2220	12.6	188	0.5	1035	0.05

## 5 环境保护

### 5.1 环境保护措施

(1)钻场、生活区挖掘废液池,收集钻探机械水泥砂浆硬化,厚度  $>15$  cm,池内壁作混凝土砖砌筑防渗处理,保证废液、废液、废冲洗液、生活污水。废液池及泥浆循环槽底用废浆不渗漏污染地下水体。

(2)废液池中污水在施工和结束后委托西阳县污水处理厂运移处理。

(3)废弃岩粉及岩屑在复垦前通过加水泥搅拌均匀现场固化,并通过运移、填埋处理。对生活垃圾和其它废弃物统一收集后,在指定场所进行焚烧或填埋。

### 5.2 土地复垦

井场的碎石、片石垫层彻底清理,井场池类进行回填,机台基础挖去 60 cm 厚。在原土地上覆以耕土,见图 5。



图 5 井场土地复垦恢复后的地貌

## 6 钻井周期及钻效

### 6.1 钻井周期

本井 2016 年 12 月 25 日开孔,于 2017 年 5 月 17 日钻至 2258.00 m 完井。7 月 13 日通过钻井井场环保验收。

### 6.2 钻效

#### 6.2.1 全井段钻效

黔地 4 井钻井工期 141.7 d,平均机械钻速 1.78 m/h,钻月效率 478 m,不计春节组织停工,钻月效率 535 m,其中二开纯钻进时间为 42.5%,钻效

704 m,详见表7。

表7 钻进效率统计

项 目	导 眼		一 开		二 开		全 井		
	时间/h	百分率/%	时间/h	百分率/%	时间/h	百分率/%	时间/h	百分率/%	
生产 时间	纯钻进	63	34.05	554.6	33.0	652.5	42.5	1270.1	37.4
	起钻取心			347.7	20.7	617.0	40.2	964.7	28.4
	其他			201.7	12.0	238.0	15.5	439.7	12.9
小计	63	34.05	1104.0	65.7	1507.5	98.2	2674.5	78.7	
非生 产时 间	事故							0.0	0.0
	组织停工			360.0	21.5			360.0	10.6
	测斜			15.5	0.9	23.5	1.5	39.0	1.2
	修理			31.5	1.9	5.0	0.3	36.5	1.0
	其他	122	65.95	168.5	10.0			290.5	8.5
小计	122	65.95	575.5	34.3	28.5	1.8	726.0	21.3	
合计	185	100.00	1679.5	100.0	1536.0	100.0	3400.5	100.0	

## 6.2.2 效率分析

全井生产时间占78.7%，其中纯钻进时间37.4%，全井非生产时间21.3%。与同口径、深度的地质孔相比，黔地4井施工周期短，钻进效率高。一开纯钻进时间33.0%，而非生产时间占34.3%，非生产时间超过纯钻进时间，主要原因：一是春节放假停工15d，复工完善、调试相关设备，排除孔底沉渣，护壁堵漏等延误工期；二是 $\varnothing 122$  mm绳索取心钻进钻速相对低。二开 $\varnothing 95$  mm钻进，施工时间60d，进尺1408.29 m，纯钻进时间42.5%，生产时间98.2%，钻效704 m。

## 7 结语

深孔页岩气全取心调查井配置交流变频顶驱钻机与传统机械传动、油压立轴式钻机比，信息化程度高，钻进参数可无级调速、调整，精确控制，确保安全生产，实现优质高效。根据实钻进程优化钻井结构，减小扩孔风险及工作量，钻井结构与钻具匹配合理，提高钻井质量与效率。选用适岩中等胎体硬度孕镶齿轮形、同心圆阶梯绳索取心金刚石钻头，加宽水口，加大钻头内外径金刚石浓度，钻头寿命高，减小起下钻次数及时间，提高钻进效率。加长绳索取心内管长度，由常规3.0 m加长至4.5 m，相同时间，钻效提高10%以上。采用防渗、固化、运移、污水外理、粘土覆土等环境保护措施，达到保护环境、土地复垦目的。黔地4井一开 $\varnothing 122$  mm钻进，今后项目施工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] 欧阳志强,陈刚,雷统平,等.XD系列电传动顶驱岩心钻机的研制[J].地质装备,2017,18(4):11-14.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1991:118-130.
- [6] 鄢捷年.钻井液工艺学[修订版][M].山东青岛:中国石油大学出版社,2001:73-80.
- [7] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲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] 易强忠,廖国平,李绍河,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.
- [9] 孙孝刚,卢忠友,邓鹏.贵州页岩气班竹1井钻进施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):84-88.
- [10] 李得新,首照兵,吴金生.页岩气基础地质调查万地1井钻井堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):23-26.
- [11] 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.
- [12] 米合江,张飞.新疆页岩气调查井准页2井钻井施工技术及相关问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):25-30.
- [13] 陈风云.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.
- [14] 王英,刘炳志.绳索取心钻进工艺中防斜措施的探讨[J].山东煤炭科技,2008,(1):116,118.
- [15] 石伯彪.绳索取心钻进孔斜及其防斜探讨[J].西部探矿工程,1990,(3):69-80.