

# 黔水地1井钻探施工技术难点及对策

苏舟<sup>1,2</sup>, 张绍和<sup>\*1,2</sup>, 王文彬<sup>3,4</sup>, 曹函<sup>1,2</sup>,  
刘磊磊<sup>1,2</sup>, 肖金成<sup>3,4</sup>, 何红生<sup>3,4</sup>, 郭军<sup>3,4</sup>

(1. 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南长沙 410083;  
2. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083; 3. 湖南省煤炭地质勘查院, 湖南长沙 410014;  
4. 湖南省地质新能源勘探开发工程技术研究中心, 湖南长沙 410014)

**摘要:**总结了桂中-南盘江地区页岩气调查黔水地1井在钻进过程中出现的严重井漏、卡埋钻、起下钻或通井遇阻等技术难点及相应的处理措施。由于钻遇的地层较为复杂,因此综合采取了回填粘土、商砼封堵、顶漏钻进、岩屑打捞、空气钻进、跟管钻进、套管封隔等多种措施进行处理;此外,结合实际工程应用提出了针对该复杂地层的多种钻井液配方,均取得了一定的效果。处理技术难点的过程中所积累的钻探技术和钻井液技术的优化经验能够为日后黔西南复杂构造区页岩气勘探的实施提供一定的参考依据。

**关键词:**页岩气调查;钻探技术;钻井液技术;复杂地层

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)05-0054-06

## Technical difficulties in drilling of Well Qianshuidi-1 and their solutions

SU Zhou<sup>1,2</sup>, ZHANG Shaoh<sup>\*1,2</sup>, WANG Wenbin<sup>3,4</sup>, CAO Han<sup>1,2</sup>,  
LIU Leilei<sup>1,2</sup>, XIAO Jincheng<sup>3,4</sup>, HE Hongsheng<sup>3,4</sup>, GUO Jun<sup>3,4</sup>

(1. *Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring Ministry of Education, Changsha Hunan 410083, China;*

2. *School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China;*

3. *The Coal Geological Exploration Institute of Hunan Province, Changsha Hunan 410014, China;*

4. *Hunan Province Geological New Energy Exploration and Development Engineering Technology Research Center, Changsha Hunan 410014, China)*

**Abstract:** The technical difficulties, including serious leakage, stuck drilling, tripping, obstruction in wellbore clean-up, and the corresponding treatment measures in regard to drilling of the Well Qianshuidi-1 of shale gas exploration in the central Guizhong-Nanpanjiang area are summarized. Due to the complex formations encountered, various measures such as backfilling of clay, commercial concrete plugging, drilling blind against leakage, cuttings bailing, air drilling, drilling with casing, sealing with casing, and other measures had been adopted for treatment. In addition, in view of the actual engineering situation, various drilling fluid formulations were used for this complex formation, and they all achieved certain effects. The drilling technology and drilling fluid technology optimization experience accumulated in this process can provide some reference for the future implementation of shale gas exploration technology in the complex structural area in Southwestern Guizhou.

**Key words:** shale gas exploration; drilling technology; drilling fluid technology; complex formation

收稿日期:2020-11-08; 修回日期:2021-02-10 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.05.008

基金项目:国家自然科学基金面上项目“3D打印栅格状胎体刀刃化唇面对金刚石钻头破碎坚硬岩层的影响机制研究”(编号:41872186);湖南省自然资源科技计划项目“复杂地质条件区页岩气深井钻探施工技术研究”(编号:2020-23)

作者简介:苏舟,男,壮族,1997年生,在读硕士研究生,地质工程专业,研究方向为钻井工程,湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号, suzhou@csu.edu.cn。

通信作者:张绍和,男,汉族,1967年生,教授,博士生导师,地质工程专业,从事钻掘工程的研究及教学工作,湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号, zhangsh@csu.edu.cn。

引用格式:苏舟,张绍和,王文彬,等.黔水地1井钻探施工技术难点及对策[J].钻探工程,2021,48(5):54-59.

SU Zhou, ZHANG Shaoh, WANG Wenbin, et al. Technical difficulties in drilling of Well Qianshuidi-1 and their solutions[J]. Drilling Engineering, 2021,48(5):54-59.

## 1 钻井概况

黔水地1井隶属于“桂中-南盘江页岩气地质调查”子项目,构造位置位于黔西南坳陷与黔中滇东隆起交接处的玉皇洞向斜,地理位置位于贵州省六盘水市钟山区玉皇洞梁子。该井以玉皇洞向斜石炭系打屋坝组为主要目的层段,旨在揭示区域地层层序、构造及目的层段页岩含气性特征<sup>[1-2]</sup>。黔水地1井自2019年5月15日设备进场,至2019年11月27日测完生产套管固井质量完井,完钻井深2500 m,完钻层位为石炭系陆化组。全井取心进尺105.91 m,最大井斜为7.50°(测深2486 m),最大全角变化率为2.20°/30 m,井底闭合距为76.70 m,井径扩大率为4.91%;本井井径扩大率较小,井眼相对规则,各项参数均符合设计要求。

## 2 区域地质背景

### 2.1 地形地貌

黔水地1井所处的六盘水市位于贵州省西部、云贵高原一、二级台地斜坡上,地势从西北向东南逐步倾斜下降,地区海拔主要分布在1400~1900 m之间。地面最高点在钟山区大湾镇,海拔2845.7 m;最低点在六枝特区毛口乡北盘江河谷,海拔为586 m,相对高差2259.7 m。地貌景观以山地、丘陵为主,还有盆地、山原、高原、台地等地貌类型<sup>[3-4]</sup>。

区内地形地貌表现为中部高,北部次之,西南部最低的形态,出露地层为沉积岩地层,以中生界为主,第四系零星分布(图1)。

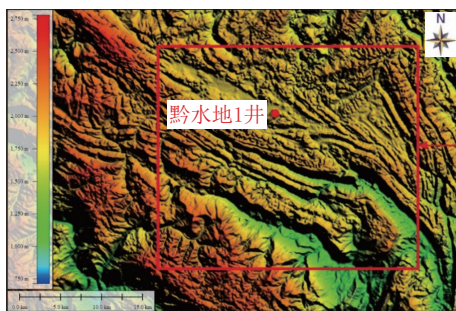


图1 工作区地形地貌

Fig.1 Topographic map of the work area

### 2.2 构造特征

贵州地区整体位于华南板块扬子陆块的上扬子地块之六盘水裂陷槽,属于“垭都-紫云-罗甸”裂陷槽西部<sup>[5-7]</sup>。黔水地1井具体位于黔西南坳陷与黔中

滇东隆起交接处,西邻黔中滇东隆起,东为黔南坳陷,南接南盘江坳陷(图2)。区域地壳主要经历了3个大的构造发展阶段,即中元古代褶皱基底形成阶段,南华纪-侏罗纪沉积盖层与拉张型构造形成阶段以及侏罗纪之后的陆内褶皱造山与叠加改造阶段<sup>[8-10]</sup>。

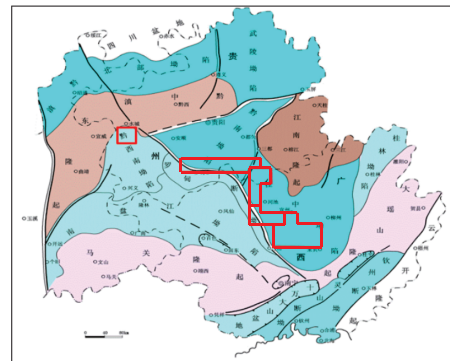


图2 区域大地构造位置

Fig.2 Regional geotectonic location

### 2.3 钻遇地层特点

工作区所处的黔西南地区出露的最老地层为志留系中统马龙群,仅限于威宁地区垭都-蟒洞断裂带附近呈带状零星出露,出露的最新地层为第四系全新统。区内大面积出露的地层主要为三叠系、二叠系和石炭系,其中三叠系出露面积占到黔西南地区面积的1/2左右,其它地层只在局部地区零星出露。火成岩仅在黔西南地区北部零星出露,火成岩主要为上二叠统峨眉山玄武岩组及同源的岩墙、岩床状辉绿岩。区内普遍缺失的地层有上志留统、下泥盆统及白垩系。地质调查和钻井资料显示工作区及周边内主要发育地层有石炭系、二叠系、三叠系。

本井自上而下依次钻遇了以下地层:

第四系:厚度为15.40 m,主要为黄色、棕黄色含砾、泥砾粘土层。

石炭系南丹组:厚度为1227.0 m,主要为灰色、浅灰色、灰白色泥晶—细中晶生屑灰岩,灰黑色硅质灰岩;下部颜色变深,多处裂隙夹碳质泥岩,两层杂色角砾灰岩,底部深灰色泥晶灰岩夹碳质泥岩增多。

石炭系打屋坝组:厚度为1218 m,上部为深灰、灰黑色泥晶灰岩,与上覆南丹组为整合接触;中部为灰黑色灰质页岩夹灰色泥晶灰岩,泥岩质纯,性软,吸水性好,疏松;下部见粉砂质灰岩、中厚层灰质页

岩夹灰色泥晶灰岩,页岩疏松,灰质致密,灰岩石英含量高。

石炭系陆化组:厚度为34 m,主要为深灰色灰质粘土岩。

### 3 井身结构与岩心采取情况

黔水地1井采用二开井身结构,完钻井深2500.00 m,终孔直径215.9 mm,井身结构数据如下(参见图3)。

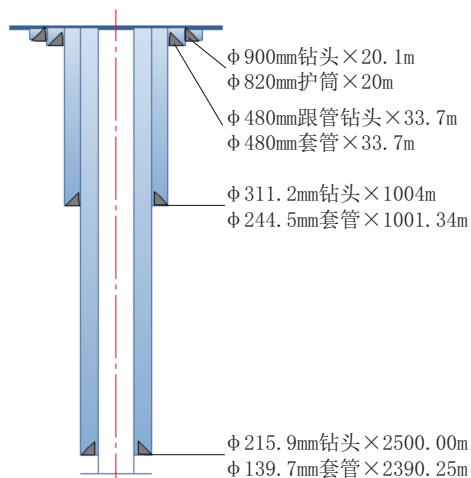


图3 黔水地1井井身结构示意图

Fig.3 Wellbore structure of Well Qianshuidi-1

(1)导管井段:0~33.70 m,钻头直径480 mm,下入 $\varnothing$ 480 mm导管至33.70 m,联入5.60 m;

(2)一开井段:33.70~1004.00 m,钻头直径311.2 mm,下入 $\varnothing$ 244.5 mm技术套管至1001.34 m,联入5.60 m;

(3)二开井段:1004.00~2500.00 m,钻头直径215.9 mm,下入 $\varnothing$ 139.7 mm生产套管至2390.25 m,联入5.00 m。

黔水地1井采用川7-4取心钻具,取心效果好,取心工具参数见表1。根据黔水地1井实钻统计,当取心钻进参数设置为钻压40~100 kN、转速40~90 r/min、排量20~30 L/s时,钻效最高(见表2)。本井全井在石炭系南丹组 and 打屋坝组共取心15筒,总进尺105.91 m,岩心总长96.60 m,平均岩心采取率91.21%。

### 4 钻探施工难点及技术对策

黔水地1井地处云贵高原腹地,地层较为复

表1 黔水地1井取心工具参数

Table 1 Coring tool parameters for Well Qianshuidi-1

| 钻头直<br>径/mm | 取心工<br>具型号 | 外筒直径/mm |     | 内筒直径/mm |     | 岩心直<br>径/mm |
|-------------|------------|---------|-----|---------|-----|-------------|
|             |            | 外径      | 内径  | 外径      | 内径  |             |
| 215.9       | 川7-4       | 172     | 136 | 121     | 108 | 100         |

表2 黔水地1井取心钻进参数

Table 2 Coring drilling parameters for Well Qianshuidi-1

| 地层  | 钻压/kN  | 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 排量/(L·s <sup>-1</sup> ) |
|-----|--------|---------------------------|-------------------------|
| 泥页岩 | 40~100 | 40~70                     | 20~25                   |
| 灰岩  | 40~70  | 40~90                     | 25~30                   |

杂<sup>[11-13]</sup>,其中上部井段地层岩溶发育,下部井段地层含气量高且构造发育。钻井过程中,井内情况较为复杂、技术难点较多<sup>[14]</sup>,均结合实际施工状况给出相应的处理措施,并取得了一定的效果。

#### 4.1 导管段

施工难点:井壁垮塌<sup>[15-16]</sup>和溶洞发育重合、井漏。溶洞为横向贯通溶洞,高约1.5 m,宽长不详。

处理措施:回填粘土、商砼封堵、顶漏钻进、岩屑打捞、空气钻进、跟管钻进、套管封隔等多种措施。

施工概况:开钻后 $\varnothing$ 311.2 mm井径钻进至井深19.60 m时钻井液全漏。井口回填粘土25 m<sup>3</sup>堵漏,用水1000 m<sup>3</sup>,堵漏钻进至20.10 m。 $\varnothing$ 406.4 mm井径扩眼至20.10 m,然后使用 $\varnothing$ 900 mm牙轮钻头扩眼到20.10 m。扩眼期间,共漏失清水约500 m<sup>3</sup>。后下入 $\varnothing$ 820 mm护壁管,下深20.00 m,水泥固井。候凝48 h, $\varnothing$ 444.5 mm气钻扫塞钻进至23.60 m,塌孔,风道截面大,岩粉无法上返,改用 $\varnothing$ 311.2 mm水钻钻进至井深39.22 m,期间钻井液全漏失,共消耗清水约600 m<sup>3</sup>; $\varnothing$ 406.4 mm钻头扩眼到39.22 m,共消耗清水约900 m<sup>3</sup>; $\varnothing$ 660.4 mm钻头扩眼至井深32.01 m,共消耗清水约900 m<sup>3</sup>。

由于全漏,岩粉无法上返,下捞砂器捞砂28趟,约7 m<sup>3</sup>。捞砂过程中发现溶洞井段继续大面积坍塌,现场决定扫孔后灌注商品砼(32 m<sup>3</sup>)全井封井,以封闭溶洞及塌孔井段。72 h后钻水泥塞(溶洞处未见水泥塞,商品砼封堵失败)到39.22 m后,继续潜孔锤钻进至50.85 m,溶洞处继续坍塌掉块卡钻,停止钻进。再次灌注商品砼16 m<sup>3</sup>封填溶洞,72 h后扫水泥塞,溶洞处未见水泥塞,商品砼封堵失败。

研究用跟管钻进工艺封闭溶洞及坍塌井段, $\varnothing$

480 mm 钻头跟管钻进至井深 33.70 m, 下入  $\varnothing 480$  mm 套管 33.70 m, 固井候凝, 扫水泥塞至管底部后, 正常返浆, 溶洞及坍塌井段封堵成功。

#### 4.2 一开段

施工难点: 岩溶发育, 井漏(井口失返)。

处理措施: 空气钻井、顶漏钻进、试用气举反循环工艺等。

施工概况: 空气钻进至 217 m 时, 井内开始不返岩屑, 继续空气钻进至 423.31 m, 由于井内水位较高(水位 162 m), 潜孔锤无法正常工作, 改用常规钻井液钻进, 423.31 m 至 1004 m 为顶漏强钻, 钻井液全漏失。

#### 4.3 二开段

施工难点: 井漏、井垮、缩径严重、卡埋钻、起下钻或通井遇阻等。

##### 4.3.1 井漏

本井自二开钻进至井底, 一直存在渗漏现象, 漏速约  $0.2\sim 0.3\text{ m}^3/\text{h}$ ; 处理卡埋钻事故的过程中, 出现大漏, 最大漏速  $180\text{ m}^3/\text{h}$ 。

预防、处理措施: 提前加入裂隙封堵材料提高钻井液封堵性能; 提高钻井液密度时注意控制好加重速度, 并多次逐步提高钻井液密度; 尽可能改善钻井液泥饼质量, 降低钻井液失水量; 将钻井液粘切控制在合适的范围内, 尽可能降低“激动”压力; 调整钻井液性能, 添加地层压力增强剂、高粘堵漏剂、随钻堵漏剂、锯末等堵漏材料。本井研究了地层情况, 结合渗漏处理效果推荐以下堵漏措施和配方:

(1) 渗漏、漏速较小, 漏失速度  $< 5\text{ m}^3/\text{h}$ , 进行全井堵漏。

推荐配方:  $2\%\sim 4\%$  随钻堵漏剂 +  $1\%\sim 3\%$  防塌剂。

(2) 中漏、漏速较大, 漏失速度  $5\sim 30\text{ m}^3/\text{h}$ , 但井口未失返。

立即停止循环, 起钻甩出螺杆, 下钻至套管鞋。采用高浓度桥接堵漏材料浆堵漏, 将堵漏浆替至漏层, 静止  $3\sim 4\text{ h}$  观察堵漏效果, 或采取承压挤堵。堵漏配方以中、细堵漏材料复配, 堵漏浆总浓度  $8\%\sim 15\%$ 。

推荐配方:  $2\%\sim 3\%$  LF-1 +  $1\%\sim 2\%$  SY-1 +  $1\%\sim 2\%$  QS-2 +  $2\%\sim 3\%$  FT-342。

(3) 大漏、漏速很大的情况, 漏失速度  $> 30\text{ m}^3/\text{h}$  甚至井口失返。

立即停止循环, 起钻甩出螺杆, 下钻至套管鞋。起钻吊灌钻井液, 用大颗粒材料配制专项堵漏钻井液。使用高浓度粗颗粒堵漏材料架桥, 再采用高浓度桥接堵漏材料浆堵漏, 将堵浆替至漏层, 静止  $3\sim 4\text{ h}$  观察堵漏效果, 或采取承压挤堵。堵漏配方以粗、中、细堵漏材料复配, 堵漏浆总浓度  $20\%\sim 30\%$ 。

推荐配方:  $2\%\sim 3\%$  LF-1 +  $2\%\sim 4\%$  SY-1 +  $3\%\sim 5\%$  SY-5 +  $3\%\sim 5\%$  SRD-2 +  $1\%\sim 2\%$  QS-2 +  $2\%\sim 3\%$  FT-342。

##### 4.3.2 井垮与卡埋钻

本井目的层打屋坝组主要为泥页岩地层, 具有水敏性强、地层软、破碎、厚度大等特征, 极易产生掉块、缩径、井壁垮落等。施工过程中多次出现起下钻遇阻现象, 并发生一次卡埋钻。

原因分析: 二开钻进过程中, 地层一直存在漏失现象, 造成了泥浆性能的不稳定, 降低了其护壁能力, 进而使得井壁失稳; 另外, 地层水敏性较强、钻井液浸泡时间过长等因素, 也促进了井壁的失稳。

处理措施: 在钻井液中添加防塌防卡剂、广谱护壁剂、高粘防塌剂等防塌材料, 但效果不佳, 最终根据实际情况和现场研究决定填井侧钻。

## 5 钻探技术优化建议

从地表踏勘及区域地质资料来看, 工作区井场及周边附近目的层段上覆石炭系南丹组岩性均以厚—巨厚层状灰岩为主, 由于灰岩长期受地表和地下水的侵蚀, 形成溶沟、溶蚀裂隙、地下暗河及溶洞, 给钻探施工带来了巨大风险。本井所遇到的技术困难源于地下岩溶裂隙发育, 并有溶洞, 泥浆漏失严重, 堵漏困难, 施工难度大。复杂地层钻探施工技术向来需要具体问题具体分析, 针对本井所遇状况给出以下建议以供参考。

### 5.1 钻探工艺优化

(1) 钻探施工前进行电法探溶作业, 尽量避开溶洞发育区; 采用多级井身结构, 尽量降低钻探工程施工工程风险, 为下一步钻进提供技术保障。

(2) 导管段岩溶裂隙发育, 地层垮孔严重, 且钻遇溶洞, 现场采用跟管钻进工艺成功完成导管段施工。施工过程中, 根据补心高的长度进行钻杆改造, 以便能够正常加钻杆; 把握好套管的焊接, 保证跟管钻头能够顺利通过套管。



(3)由于本井钻遇地层倾角变化较大,易造成井斜。取心井段钻进时,钻具组合采用川7-4取心筒+钻铤,保证钻压加至钻头上并能够预防井斜。经测试,钻压控制在40~100 kN、转速40~90 r/min、排量20~30 L/s时进尺效果最佳,保证岩心完整度的同时岩心采取率较高。

(4)下部无心钻进井段采用塔式钻具组合,无线随钻测斜仪配合螺杆,大循环中低压、中低钻速钻进。钻压控制在60 kN左右、转速30~60 r/min、排量30~35 L/s时,进尺效果最佳。

(5)破碎易坍塌地层,采用单动双管取心钻具以保证岩心采取率,少打勤提,避免岩心磨损、脱落等;根据取心情况,及时调节泥浆性能,维护井壁稳定,提高钻进效率。

## 5.2 钻井液技术优化

黔水地1井是该区块的一口地质调查井,周边可参考的资料较少,在钻进过程中需要根据实际情况及时调整钻井液性能<sup>[17-18]</sup>,以压稳不漏、保持近平衡钻进为原则,同时注意保持较低的钻井液固相含量和良好的流变性能。根据本井的地层特征和实际应用效果推荐以下钻井液体系:

导管井段和一开井段均使用清水钻进,二开井段使用聚合物防塌防卡钻井液体系,具体配方为:4%~6%膨润土+0.3%~0.5%PAM+0.2%~0.3%CMC+2%~3%广谱护壁剂+0.1%NaOH+1%~2%防塌防卡剂+1%~1.5%水平井专用剂+1%~2%地层压力增强剂+1%复合堵漏剂+0.5%消泡剂+2%磺化褐煤树脂。

针对钻井液技术优化给出以下建议:

(1)由于螺杆钻具与孔壁之间的环隙较小,在孔内地层条件许可的情况下,应尽量采用低密度低固相泥浆。这有利于气测显示,也可使钻杆的旋转阻力减低。油气储层钻进时所采用的泥浆应具有粘度高、相对密度小、沉砂快、流动性好及有防塌性能等特性,建议采用聚合醇储层保护防塌防卡钻井液体系。

(2)泥页岩水敏性地层,胶结性差且易坍塌,为保证钻进过程中的地层稳定以及顺利下放套管,膨润土浆必须使用淡水配制,充分水化24 h以上,提高造浆率,对现场的泥浆用水进行分析,并根据水质情况和土的类型确定泥浆的合理配制方案。

(3)井段地层易漏失、缩径、垮塌,随钻添加防塌

防卡剂、广谱剂、地层压力增强剂、磺化褐煤树脂、复合堵漏剂等材料,尽量保持低密高粘,保持钻井液流变性能的稳定,避免大幅度波动,保证钻进过程中各项性能始终符合保护储层及稳定井壁的要求。控制起、下钻速度,避免压力“激动”,减少孔内裂隙内部粘土颗粒运移,避免导致孔内堵塞。

(4)全井段多水敏性地层,复杂且破碎。为了保证钻进施工的顺利进行,采用低固相细分散泥浆,维护井壁稳定并能够及时携带岩屑上返。钻进过程中,要注意观察井口返浆情况、振动筛上的岩屑返出、岩屑形状的变化,严格控制钻井液性能达到设计要求,提高钻井液悬浮、携带岩屑的能力,确保正常钻进;振动筛、除泥器等与钻井泵同步运转,严格控制钻井液中的固相含量。

## 6 结论

(1)黔地1井地下岩溶裂隙发育、井下情况复杂,所遇技术困难在岩溶地区钻井工程中具有一定的代表性。另外,钻井工程中所得到的地层层序、岩性组合、地层厚度、接触关系等特征与区域地质基本相符。

(2)本井采用多级井身结构,井身质量符合要求。在选择了恰当的钻探工艺和钻井液技术的情况下,全井最大井斜7.50°,测深2486.00 m,最大全角变化率2.20°/30 m,井底闭合距为76.70 m,井径扩大率为4.91%。总体来说,本井井径扩大率较小,井眼相对规则,各项参数均符合设计要求。本井采用川7-4取心钻具,取心效果良好,平均岩心采取率91.21%。

(3)针对施工过程中遇到的井漏、井垮、卡埋钻、起下钻或通井遇阻等各种技术困难,摸索了相应的处理措施,并取得了一定的效果。此外,结合地层特点与实际应用效果给出了钻探工艺和钻井液技术的优化建议。这些都能够为日后黔西南复杂构造区、以及其他具有相似复杂构造地区的页岩气勘探的实施提供一定的参考依据。

## 参考文献(References):

- [1] 沈仲辉,李希建.贵州页岩气勘探开发现状[J].煤炭技术,2017,36(1):104-106.  
SHEN Zhonghui, LI Xijian. Status on shale gas exploration and development in Guizhou province[J]. Coal Technology, 2017,

- 36(1):104-106.
- [2] 田硕夫,杨瑞东.贵州早石炭世岩相古地理演化及页岩气成藏特征[J].成都理工大学学报(自然科学版),2016,43(3):291-299.  
TIAN Shuofu, YANG Ruidong. Lithofacies and paleogeography evolution and characteristics of shale gas accumulation in Lower Carboniferous, Guizhou, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2016,43(3):291-299.
- [3] 岳来群,康永尚,陈清礼,等.贵州地区下寒武统牛蹄塘组页岩气潜力分析[J].新疆石油地质,2013,34(2):123-128.  
YUE Laiqun, KANG Yongshang, CHEN Qingli, et al. Analysis of shale gas potential of Niutitang Formation of Lower Cambrian in Guizhou, China[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(2):123-128.
- [4] 武音茜,金中国,蔡贤德.贵州页岩气资源潜力评价与开发思考[J].矿物学报,2012,32(4):569-575.  
WU Yinxi, JIN Zhongguo, CAI Xiande. Evaluation on resource potential and thoughts on exploitation of shale gas from Guizhou province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2012, 32(4):569-575.
- [5] 杨瑞东,程伟,周汝贤.贵州页岩气源岩特征及页岩气勘探远景分析[J].天然气地球科学,2012,23(2):340-347.  
YANG Ruidong, CHENG Wei, ZHOU Ruxian. Characteristics of organic-rich shale and exploration area of shale gas in Guizhou province[J]. Natural Gas Geoscience, 2012,23(2):340-347.
- [6] 王胜建,高为,郭天旭,等.黔北金沙地区二叠系龙潭组取得页岩气、煤层气和致密砂岩气协同发现[J].中国地质,2020,47(1):249-250.  
WANG Shengjian, GAO Wei, GUO Tianxu, et al. The discovery of shale gas, coalbed gas and tight sandstone gas in Permian Longtan Formation, northern Guizhou province[J]. Geology in China, 2020,47(1):249-250.
- [7] 伍耀文,龚大建,李腾飞,等.黔中隆起及周缘地区牛蹄塘组含氮页岩气分布特征及有利勘探方向[J].地球化学,2019,48(6):613-623.  
WU Yaowen, GONG Dajian, LI Tengfei, et al. Distribution characteristics of nitrogen-bearing shale gas and prospective areas for exploration in the Niutitang Formation in the Qianzhong uplift and adjacent areas[J]. Geochimica, 2019,48(6):613-623.
- [8] 张桂娜,黄宇琪,林琴,等.盘州地区龙潭组页岩气成藏地质条件[J].科技与创新,2019(24):18-19.  
ZHANG Guina, HUANG Yuqi, LIN Qin, et al. Geological conditions of shale gas accumulation in Longtan Formation in Panzhou area[J]. Science and Technology & Innovation, 2019(24):18-19.
- [9] 班金彭,黄明勇,景书渊,等.贵州晴隆地区页岩气基础地质调查黔普地1井施工工艺[J].西部探矿工程,2019,31(11):43-46.  
BAN Jinpeng, HUANG Mingyong, JING Shuyuan, et al. Construction technology of Qianpudi Well 1 in basic geological survey of shale gas in Qinglong district, Guizhou province[J]. West-China Exploration Engineering, 2019,31(11):43-46.
- [10] 李凯,赵凌云,白利娜,等.黔西地区上二叠统龙潭组页岩气成藏条件研究[J].石油化工应用,2019,38(8):76-80,95.  
LI Kai, ZHAO Lingyun, BAI Lina, et al. Study on shale gas accumulation conditions for Longtan Formation of Upper Permian in western Guizhou[J]. Petrochemical Industry Application, 2019,38(8):76-80,95.
- [11] 王祖平,隆威.复杂地层成因分析及钻进技术措施[J].广东建材,2010,26(5):105-106.  
WANG Zuping, LONG Wei. Genetic analysis of complex strata and drilling technical measures[J]. Guangdong Building Materials, 2010,26(5):105-106.
- [12] 武国斌.钻探工程中的复杂地层钻进技术探讨[J].世界有色金属,2017(5):190-191.  
WU Guobin. Exploration of drilling technology in complex strata in drilling engineering[J]. World Nonferrous Metals, 2017(5):190-191.
- [13] 朱泽森.浅谈破碎地层钻探施工[J].科技风,2016(7):198.  
ZHU Zemiao. Discussion on drilling construction in fractured strata[J]. Science and Technology Wind, 2016(7):198.
- [14] 钱书伟,张绍和,李锋,等.软弱易冲蚀地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):29-31.  
QIAN Shuwei, ZHANG Shaohao, LI Feng, et al. Drilling technology in soft erosion stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(10):29-31.
- [15] 石得权,刘刚.钻孔孔壁坍塌掉块现象的分析研究及处理[J].西部探矿工程,2004(7):124-125.  
SHI Dequan, LIU Gang. Analysis, research and treatment of falling block phenomenon of borehole wall[J]. West-China Exploration Engineering, 2004(7):124-125.
- [16] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32,64.  
HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(9):30-32,64.
- [17] 张泽国,王圣勇,张进忠.优质冲洗液配方在复杂地层钻进中的应用探讨[J].中国设备工程,2020(19):13-15.  
ZHANG Zeguo, WANG Shengyong, ZHANG Jinzhong. Application of high quality washing liquid formula in drilling in complex formation[J]. China Equipment Engineering, 2020(19):13-15.
- [18] 杨维琳,彭振斌.复杂地层钻井液选用浅谈[J].科技视界,2016(12):149,177.  
YANG Weilin, PENG Zhenbin. Discussion on drilling fluid selection in complex formation[J]. Science and Technology Horizon, 2016(12):149,177.

(编辑 荐华)