

# 南方地区页岩气基础地质调查黔绥地 1 井 钻井工艺及完井地质

吴纪修<sup>1</sup>, 王志刚<sup>1</sup>, 辛云路<sup>2</sup>, 李 宽<sup>1</sup>, 周东东<sup>3</sup>

(1.中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000; 2.中国地质调查局油气资源调查中心,北京 100029; 3.贵州省地质矿产勘查开发局一一五地质大队,贵州 贵阳 550000)

**摘要:**通过黔绥地 1 井钻井工程实践,从井身结构、取心工艺、护壁堵漏技术措施、井身质量控制等方面分析总结了南方岩溶地区页岩气基础地质调查井施工工艺,并通过黔绥地 1 井钻井岩心地质编录、随钻气测、有机地化、浸水试验,分析总结黔北绥阳地区地层结构和页岩气含气性特征,为该区页岩气勘探开发提供地质依据。

**关键词:**页岩气;钻井工程;含气性特征;完井地质;黔绥地 1 井

**中图分类号:**P634;TE24 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)02-0012-06

**Drilling Technology of Qiansuidi Well - 1 for Basic Geological Survey of Shale Gas in the Southern Area of Guizhou Province and Completion Geologic/WU Ji-xiu<sup>1</sup>, WANG Zhi-gang<sup>1</sup>, XIN Yun-lu<sup>2</sup>, LI Kuan<sup>1</sup>, ZHOU Dong-dong<sup>3</sup>**

(1.The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000,China; 2.Oil & Gas Survey of China Geological Survey, Beijing 100029, China; 3.115 Geological Team of Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang Guizhou 550000, China)

**Abstract:** By the practice of Qiansuidi well - 1 drilling engineering, from the well structure, coring process, wall plugging technology, wellbore quality control and other aspects, the construction technologies of shale gas basic geologic survey well in south karst area are analyzed and summarized, and based on the geological record of borehole core of Qiansuidi well - 1, gas logging while drilling, organic geochemistry and water immersion test, the analysis and summarization are carried out on the stratum structure and gas bearing characteristics of shale gas in Suiyang area of north Guizhou to provide the geological basis for the exploration and development of shale gas in this area.

**Key words:** shale gas; drilling engineering; gas bearing characteristics; completion geologic; Qiansuidi well - 1

## 0 引言

页岩气主要以吸附和游离状态赋存于泥页岩中,吸附气存在于有机质和粘土矿物表面,游离气存在于孔隙和裂隙中<sup>[1]</sup>。页岩气作为一种典型的自生自储非常规天然气<sup>[2-4]</sup>,因其分布范围广,已成为油气勘探的重要领域。随着美国页岩气勘探开发的成功,我国南方海相页岩气勘探有了实质性的进展,如四川威远与长宁等地区相继发现页岩气田,并形成了“沉积是基础、保存是关键”、“二元富集”等志留系龙马溪组页岩气富集规律理论认识<sup>[5-10]</sup>。黔北地区是我国上扬子地区海相页岩气资源调查评价的重点先导试验区之一,该区下古生界泥页岩有机质含量高,有机质类型主要为 I 型,成熟度普遍高(为高一过成熟),且富有机质泥页岩厚度较大,具备页

岩气藏形成的地质条件,页岩气资源潜力巨大<sup>[11-17]</sup>。2016 年,中国地质调查局油气资源调查中心部署在黔北安场向斜的安页 1 井获得了二叠系栖霞组油气、志留系石牛栏组致密气、五峰组-龙马溪组页岩气和奥陶系宝塔组天然气的“四层楼”式油气重大突破。为此,拟通过黔绥地 1 井岩心地质编录、气测录井、目的层有机地化、现场浸水试验等资料,进一步分析总结黔北绥阳地区地层结构和上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩气含气性特征,为该区页岩气的进一步勘探开发提供地质依据。

## 1 区域地质背景

黔绥地 1 井位于贵州省遵义市绥阳县太白镇,构造位置属于湄潭-宽阔向斜带太白向斜(见图 1)。

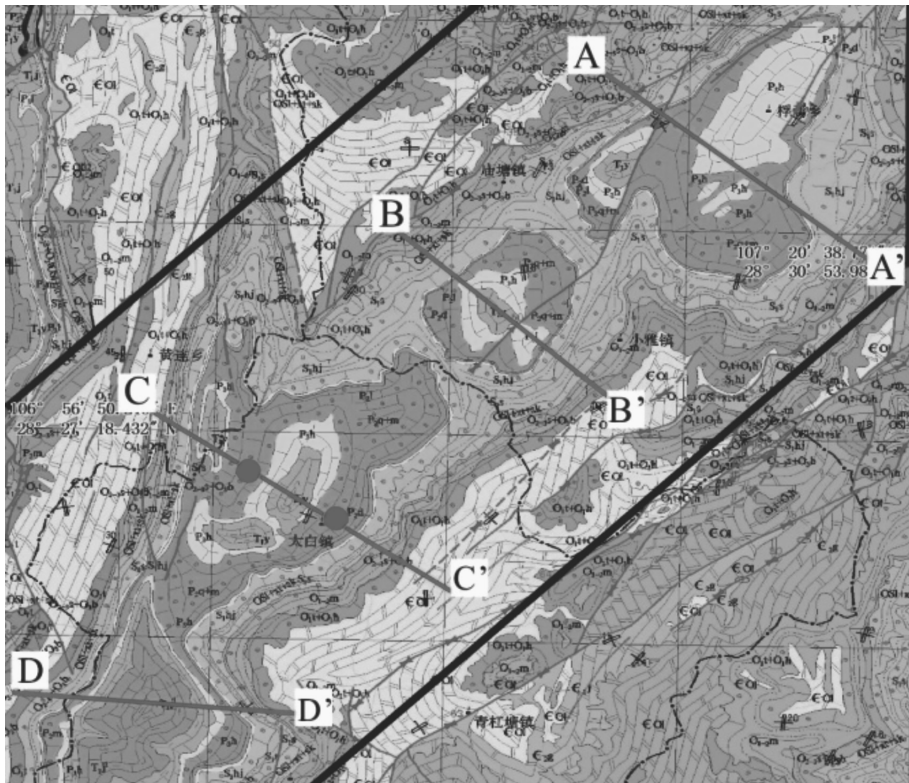
收稿日期:2017-12-04; 修回日期:2018-01-12

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“南方地区 1:5 万页岩气基础地质调查填图试点(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号:DD20179042)

作者简介:吴纪修,男,汉族,1984 年生,地质工程专业,硕士,从事钻探和地质录井工艺技术研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号,wujixiu2008@126.com。

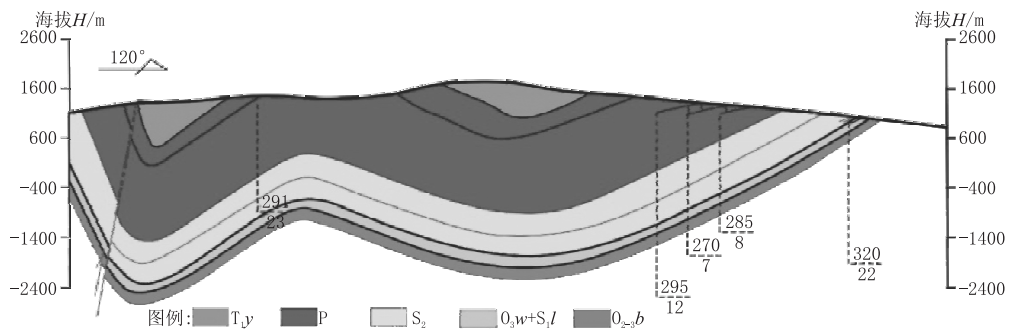
湄潭-宽阔向斜带位于湄潭-宽阔一带,东西两侧受逆冲断裂带夹持,遵义断裂带与正安断裂带在向斜南部交汇,夹角约  $30^\circ$ ,受此影响,向斜总体由南西紧闭向北东撒开,轴迹清晰微呈 S 形弯曲。轴向北北东  $20^\circ \sim 30^\circ$ ,延伸长度约 45 km,核部出露二叠系-三叠系地层,翼部为志留系-奥陶系地层。太白向斜位于宽阔向斜北东侧,轴向为北东南西向(图 2)。剖面显示,该向斜整体较宽缓。核部发育三叠系地

层,向翼部依次发育二叠系、志留系、奥陶系地层。向斜西翼产状较陡,地层倾角一般在  $60^\circ \sim 75^\circ$ ,发育小型褶皱,构造较复杂;东翼产状平缓,地层倾角一般为  $5^\circ \sim 25^\circ$ 。平面上,太白向斜位于遵义断裂与正安断裂之间(见图 1 C-C')。西侧的遵义断裂对向斜西翼改造作用较强,导致西翼出露地层较局限;东侧的正安断裂距向斜较远,对向斜的控制作用较弱,使得东翼整体较宽缓,地层出露宽阔。



注:据中国地质调查局油气资源调查中心黔绥地 1 井地质设计

图 1 湄潭-宽阔向斜构造地质简图



注:据中国地质调查局油气资源调查中心黔绥地 1 井地质设计

图 2 太白向斜切剖面简图

## 2 井身结构及取心工艺

井身结构设计主要是确定不同直径钻进深度和下套管的规格和深度,既要满足工程要求又要满足

地质要求,依据页岩气地质调查井的气测异常判断和现场解析快速出心的要求,岩心终孔直径  $< 95$  mm,并且需要采取技术成熟、钻进效率高、快速取

心、出心的绳索取心工艺以达到对页岩含气层的准确判断和减小现场损失气量的目的。黔绥地1井实钻井身结构与钻遇地层说明见表1。

表1 钻井井身结构与钻遇地层说明

开孔次序	钻头直径/mm	套管直径/mm	钻进深度/m	地层	备注
一开	152	146	44.00	茅口组	绳索取心钻进,下套管固井,安装套管头,防喷器
二开	122	108	615.60	栖霞区 梁山组	绳索取心钻进,下入技术套管,不固井,钻后起拔
				韩家店组	
				石牛栏组	
三开	95	裸眼	1368.18	新滩组 龙马溪组—五峰组 宝塔组 十字铺组 湄潭组	绳索取心钻进

### 3 护壁堵漏措施

由于黔绥地1井位于南方岩溶发育区,全井漏失共计7段。其中,溶蚀性全孔漏失3段,裂缝性漏失6段。分别为溶蚀性漏失:242.6~289.3、319.6~358.6 m 二叠系栖霞组泥晶灰岩;373.6~392.0 m 二叠系梁山组粘土岩;裂缝性漏失:289.3~296.6、358.6~368.6 m 二叠系栖霞组泥晶灰岩、368.6~372.6 m 二叠系梁山组粘土岩、392.0~398.6 m 二叠系梁山组粘土岩。由此可见该井全孔漏失段集中在二叠系栖霞组,裂缝性漏失主要集中在二叠系梁山组,全井漏失层段均为二叠系地层。为保障页岩气钻井气测资料实时采集、气测异常及时发现,黔绥地1井在二叠系地层茅口组、栖霞组、梁山组主要采取堵漏措施。裂缝性漏失堵漏泥浆配方为:1 m<sup>3</sup>清水+3%膨润土+1%高粘防塌剂+5%单向压力封闭剂+3%堵漏剂,密度控制在1.01~1.03 g/cm<sup>3</sup>、漏斗粘度26~35 s,堵漏后泥浆上返率达到30%。

全井井壁坍塌井段共计4段,分别为1072.9~1079.6 m 志留系石牛栏组粉砂质粘土岩、1086.9~1100.8 m 志留系石牛栏组粉砂岩、1125.6~1131.5 m 志留系石牛栏组钙质粘土岩、1132.3~1141.10 m 志留系龙马溪组—奥陶系五峰组炭质粘土岩(页岩),由此可见该井井壁坍塌段主要集中在接近目的层的石牛栏组钙质粘土岩和目的层炭质粘土岩(页岩)。

因此,为保障井壁坍塌破碎地层的岩心采取率,以配合近目的层段和目的层段现场解析、浸水试验、有机地化等页岩气含气性参数的获取,主要采取护壁措施。具体配方为:1 m<sup>3</sup>清水+3%膨润土+0.5%广谱护壁剂Ⅲ型+0.1%高粘防塌剂+4%磺化褐煤树脂+0.3%氯化钾,密度控制在1.01~1.02 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度22~32 s。

### 4 井身质量控制

页岩气基础地质调查井井型以直井为主,以落实地层层序、验证物探地层界面、获取目的层页岩气特征参数为主要目的,并且大多钻遇地层较软,因此钻井防斜尤为重要。黔绥地1井实钻工程参数为:井深0~1368.18 m,井斜角≤4.3°,全角变化率0.46%,终孔直径95 mm,岩心直径68 mm,井底水平位移≤26 m,全井岩心采取率均大于99.5%。本井各项参数均达到设计井身质量要求。

钻井防斜主要技术措施:

(1)钻塔、底座、钻机安装底盘牢固、水平、周正。为防止地下沉降,钻塔四角打水泥墩。钻机在滑轨上不得松晃。钻塔、立轴、井口必须三点一线。

(2)严格按设计钻具组合配备钻具,并选用钢性好、不弯曲、不偏磨的钻具。

(3)开孔时,选用较小的钻压,利用钻具的自重防斜。

(4)选择适宜的钻头和合理的钻进参数,钻压不宜过大。以保证井壁规整、光滑。

(5)每100 m测一次井斜,发现井斜时,及时纠偏。

(6)提下钻具轻提轻放,不得碰撞。下钻遇阻时,不得猛墩强扭钻具,以防钻具弯曲造成井斜。

(7)岩心堵塞无进尺时,立即打捞内管,不得强行加压钻进,以防井斜。

### 5 钻遇地层描述

黔绥地1井终孔深度1368.18 m,开孔层位二叠系茅口组,依次钻遇栖霞组、梁山组、韩家店组、石牛栏组、新滩组、龙马溪组、五峰组、观音桥组、十字铺组、湄潭组,终孔层位奥陶系湄潭组,地层层序正常(见表2)。

二叠系茅口组(P<sub>2</sub>m):0~276.80 m,视厚度272.80 m。浅灰色—灰色—深灰色中厚层状泥晶

表 2 黔绥地 1 井钻遇地层综述

界系	地 层 名 称		实钻地层/m		岩 性 综 述
	组	层位代号	底界深度	厚度	
古	茅口组	$P_2m$	276.80	272.80	浅灰色、灰色泥晶灰岩、灰色中厚层状泥晶灰岩与深黑色薄层状炭质粘土岩韵律互层
	栖霞组	$P_2q$	365.05	88.25	上部中—厚层状泥晶灰岩,层间夹有黑色炭质粘土岩薄皮。下部深灰色中厚层状泥晶灰岩与黑色炭质粘土岩韵律互层,局部钙质富集后形成泥灰岩
	梁山组	$P_{1-2}d$	370.65	5.60	灰黑色薄层状炭质粘土岩,下部 0.20 m 为黑色粉煤。灰白色薄—中厚层状铝土质粘土岩,岩层底部分布有结核状黄铁矿
	韩家店组	$S_1h$	731.04	360.39	上部浅灰绿色薄层状泥质粉砂岩夹薄层状生物屑亮晶灰岩。中部紫红色薄层状粉砂质粘土岩与灰绿色薄层状粉砂质粘土岩韵律互层。下部浅灰绿色薄层状含钙质粘土岩,间夹条带状生物屑亮晶灰岩
生	石牛栏组	$S_1sh$	976.73	245.69	上部灰色薄至中厚层状钙质粘土岩。中部深灰色薄至中厚层状泥晶灰岩。下部灰黑色薄层状泥灰岩
	新滩组	$S_1x$	1131.83	155.10	上部深灰色薄层状钙质粉砂岩。下部深灰色薄层状钙质粉砂岩,局部夹灰白至灰绿色薄层状泥岩,富笔石
	龙马溪组—五峰组	$S_{1l} - O_3w$	1141.10	9.27	深灰、灰黑色薄层状炭质泥(页)岩,富笔石
奥陶	宝塔组	$O_{2-3}b$	1193.67	52.57	灰色厚层状泥晶灰岩,龟裂纹灰岩
	十字铺组	$O_2s$	1311.66	117.99	灰黑色薄层状粘土质细砂岩、钙质细—中粒砂岩、粘土质粉砂岩与灰色中厚层状泥晶生物屑灰岩韵律互层
	湄潭组	$O_2m$	1368.18▼	56.52▼	深灰色、灰绿色薄层状粉砂质粘土岩夹灰色薄至中厚层状泥晶生物屑灰岩

注:(1)“▼”代表未钻穿;“…”断层;“...”假整合;(2)地层分组及岩性定名均为野外结论。

灰岩。三段浅灰色中厚层状泥晶灰岩,局部发育溶蚀裂隙,裂隙与岩石斜交,少部分与岩石垂直,充填物为泥质,偶见方解石石脉,发育缝合线构造,缝合线充填泥质。二段灰色中厚层状泥晶灰岩与深黑色薄层状炭质粘土岩韵律互层,泥晶灰岩段多发育裂隙,与岩心高角度相交,发育大量方解石石脉,脉宽多数 1~5 mm,最大 20 mm,局部溶蚀后形成方解石晶簇。岩心局部见深黑色结核状杂基。炭质粘土岩断面多见揉皱镜面,污手。一段浅灰色—灰色中厚层状泥晶灰岩,发育溶蚀裂隙,裂隙充填泥质,发育方解石石脉,脉宽 1~6 mm。

二叠系栖霞组( $P_2q$ ):276.80~365.05 m,视厚度 88.97 m。上部深灰色中—厚层状泥晶灰岩,层间夹有黑色炭质粘土岩薄皮,发育方解石石脉,脉宽 1~20 mm,最大 60 mm,局部见方解石晶簇,炭质粘土岩断面光滑,见揉皱镜面,污手。下部中厚层状泥晶灰岩与黑色炭质粘土岩韵律互层,局部钙质富集后形成泥灰岩。

梁山组( $P_{1-2}d$ ):365.05~370.15 m,视厚度 5.10 m。365.05~366.50 m 灰黑色薄层状炭质粘土岩,下部 0.20 m 为黑色粉煤。366.50~370.15 m 灰白色薄、中厚层状铝土质粘土岩,底部岩层中分布有星点结核状黄铁矿。

韩家店组( $S_1h$ ):370.15~731.04 m,视厚度 360.89 m。三段浅灰绿色薄层状泥质粉砂岩夹薄

层状生物屑亮晶灰岩,生物屑多为介壳类,见大量腕足类生物化石。二段紫红色薄层状粉砂质粘土岩与灰绿色薄层状粉砂质粘土岩韵律互层,间夹薄层状生物屑亮晶灰岩,呈透镜状。一段浅灰绿色薄层状粉砂质粘土岩。

石牛栏组( $S_1sh$ ):731.04~976.73 m,视厚度 245.69 m。三段灰色薄—中厚层状钙质粘土岩,岩石中见深灰色泥质条带 737.74~737.82 m 为浅灰绿色薄层状粘土岩,吸水性及可塑性好。二段深灰色薄—中厚层状泥质泥晶灰岩,夹大量顺层展布的灰黑色薄层状泥质条带,从上往下泥质含量增加,局部发育顺层展布的方解石石脉。一段灰黑色薄层状泥灰岩,夹大量薄层状泥质条带,局部夹灰色中厚层状泥质泥晶灰岩。

新滩组( $S_1x$ ):976.73~1131.83 m,视厚度 155.10 m,二段深灰色薄层状钙质粉砂岩,节理较发育,与岩石高角度相交,充填少量方解石薄膜。偶见方解石石脉发育,脉宽 0.5~5 mm,见大量笔石类化石。一段深灰色薄层状钙质粉砂岩,局部夹灰白—灰绿色薄层状泥岩。岩石节理较发育,节理面充填方解石薄膜。

龙马溪组—五峰组( $S_{1l} - O_3w$ ):1131.83~1141.10 m,视厚度 9.27 m。上部深灰、灰黑色薄层状炭质泥(页)岩。岩石含少量粉砂质成分,局部夹褐色、灰黄色薄层状粉砂岩。黑色泥(页)岩质地比

较硬。岩石中含大量笔石,其分布无序,大小不一。下部黑色薄层状炭质泥(页)岩,含少量方解石细脉,其分布无规律。岩层破碎。

宝塔组(O<sub>2-3b</sub>):1141.10~1193.67 m,视厚度52.57 m。灰色厚层状泥晶灰岩,龟裂纹灰岩。岩石面上龟裂纹构造特别发育,其成分为泥质、钙质。岩石局部发育方解石石脉,脉宽1~20 mm,最大40 mm。岩石中见生物化石,为角石类。

十字铺组(O<sub>2s</sub>):1193.67~1311.66 m,视厚度117.99 m。灰黑色薄层状粘土质细砂岩、钙质细一中粒砂岩、粘土质粉砂岩与灰色中厚层状泥晶生物屑灰岩韵律互层。生物屑呈介壳状,杂乱分布。局部砂岩中见水平层理发育,其粒度向下变细。灰岩层面见微波状起伏。

湄潭组(O<sub>1-2m</sub>):1311.66~1368.18 m,未钻穿。深灰色、灰绿色薄层状粉砂质粘土岩夹灰色薄一中厚层状泥晶生物屑灰岩,生物屑为介壳状。粉砂岩中见水平层理发育。灰岩偶发育方解石石脉。岩石局部节理发育,节理面光滑。

### 6 含气性特征

依据现场气测录井解释,共发现气测异常14层,累计267.10 m,微含气11层累计174.83 m,含气层92.27 m。其中含气层为98~173 m二叠系茅口组泥晶灰岩、1095~1101 m志留系新滩组泥质粉砂岩、1131.83~1141.10 m炭质页岩。1095~1101、1131.83~1141.10 m含气性较好,现场气测值甲烷分别为1.152%~5.207%、0.831%~3.893%,甲烷含量较高。

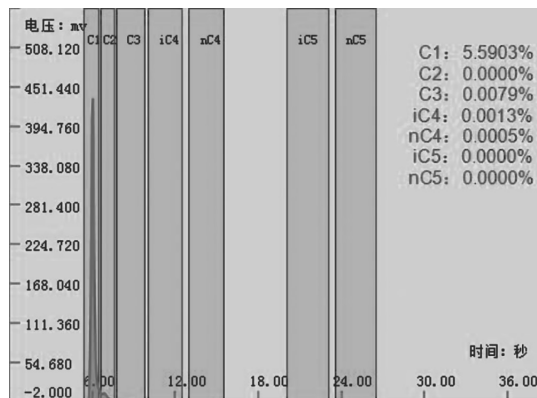


图3 1095~1101 m气测甲烷峰值

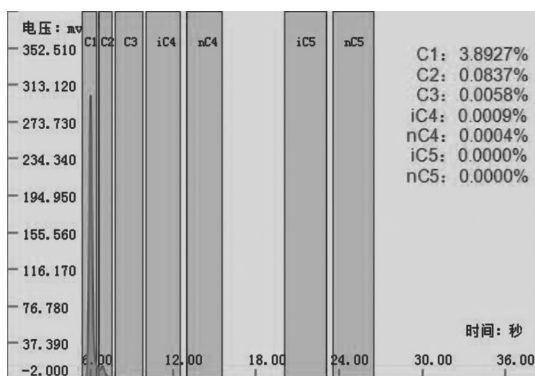


图4 1131.83~1141.10 m气测甲烷峰值

### 7 有机地化特征

黔绥地1井有机质丰度较好段集中在1131.12~1141.10 m下志留统龙马溪组—上奥陶统五峰组,总有机碳(TOC)分布在0.455%~3.165%之间,大部分TOC样品满足最低下限值,TOC大于1%的样品占比约为71%,TOC大于2%的样品占比约为24%,TOC大于3%的样品占比约为5.8%,有机质类型均为II型,烃源岩分级较好。

### 8 裂缝发育特征

根据岩心观察,黔绥地1井1131.12~1141.10 m下志留统龙马溪组—上奥陶统五峰组裂隙较发育,主要表现为横裂缝、纵裂缝,裂缝宽度2~8 mm(参见图5),被白云石、方解石充填。岩心出筒下部部分岩心破碎严重,上部部分岩心较完整,发育微裂隙和裂隙,现场岩心浸水试验有米粒状气泡持续冒出(见图6)。

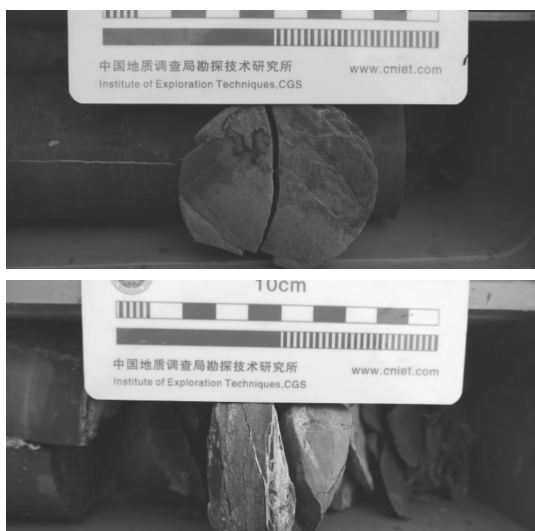


图5 龙马溪组—五峰组岩心裂缝观察

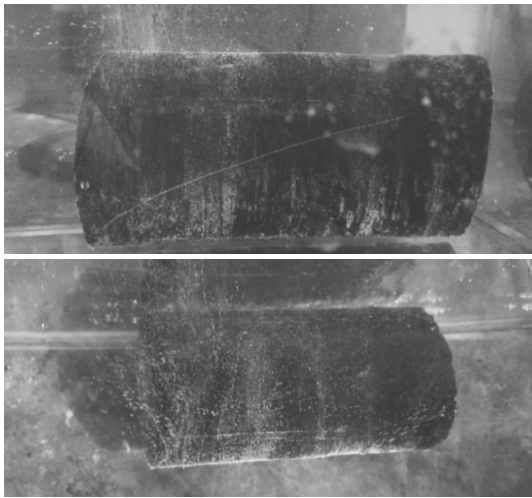


图6 龙马溪组—五峰组现场岩心浸水试验

## 9 结论

(1)通过黔绥地1井钻井工程实践,进一步优化了页岩气基础地质调查井身结构、取心工艺、护壁堵漏措施和井身质量控制措施,可为今后南方岩溶区页岩气钻井工程提供参考经验。

(2)通过黔绥地1井钻井、录井、测井工程的实施,初步探明了黔北绥阳地区地层结构,落实了该区地层层序,标定了物探地层界面,为南方地区页岩气地质调查填图提供了可靠的基础地质资料。

(3)通过全井段岩心地质编录、气测录井、目的层有机地化、现场浸水试验等,查明了黔绥地1井岩相特征、含气性特征和目的层段下志留统龙马溪组—上奥陶统五峰组炭质页岩有机质丰度和页岩气储层裂缝发育特征,为黔北页岩气基础调查战略选区提供了基础数据支持。

(4)黔绥地1井钻井工程的实施为我国上扬子地区海相页岩气勘探开发进一步提供了地质依据,验证了中国地质调查局油气资源调查中心提出的“逆断向斜控藏模式”,并在黔北新区页岩气地质调查中获得了新发现。

(5)黔地1井顺利达到地质设计目的,进一步验证了小口径金刚石绳索取心钻井工艺配合综合录井技术、井控技术、无固相水基钻井液护壁堵漏技术在南方岩溶区页岩气地质调查应用中的可行性。

## 参考文献:

- [1] CURTIS J B Fractured shale-gas systems[J].AAPG Bulletin, 2002,86(11):1921-1938.
- [2] 聂海宽,张金川.页岩气储层类型和特征研究——以四川盆地及其周缘下古生界为例[J].石油实验地质,2011,33(3):219-225.
- [3] 杨超,张金川,唐玄.鄂尔多斯盆地陆相页岩微观孔隙类型及对页岩气渗储的影响[J].地学前缘,2013,20(4):240-250.
- [4] 于炳松.页岩气储层孔隙分类与表征[J].地学前缘,2013,20(4):211-220.
- [5] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等.四川盆地南缘下志留统龙马溪组页岩气储层矿物成分特征及意义[J].石油学报,2011,32(5):775-782.
- [6] 郭彤楼,张汉荣.四川盆地礁石坝页岩气田形成与富集高产模式[J].石油勘探与开发,2014,41(1):28-36.
- [7] 郭旭升.南海相页岩气“二元富集”规律——四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识[J].地质学报,2014,88(7):1209-1218.
- [8] 蒋成平,雷应全,龚进,等.页岩气成藏条件及我国页岩气分布与前景[J].内蒙古石油化工,2011,(18):133-135.
- [9] 李湘涛,石文睿,郭美瑜,等.涪陵页岩气田焦石坝区海相页岩气层特征研究[J].石油天然气学报,2014,36(11):11-15.
- [10] 邹才能,董大忠,徐青海,等.中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J].石油勘探与开发,2010,37(6):641-653.
- [11] 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.
- [12] 陈波,皮定成.中上扬子地区志留系龙马溪组页岩气资源潜力评价[J].中国石油勘探,2009,(3):15-19.
- [13] 张海全,余谦,李玉喜,等.中上扬子区下志留统页岩气勘探潜力[J].新疆石油地质,2011,32(4):353-355.
- [14] 郭曼,李贤庆,张明扬,等.黔北地区牛蹄塘组页岩气成藏条件及有利区评价[J].煤田地质与勘探,2015,43(2):37-43.
- [15] 王玉芳,翟刚毅,包书景,等.鄂阳页1井陡山沱组页岩储层含气性及可压性评价[J].中国矿业,2017,26(6):167-172.
- [16] 王丽波,久凯,曾维特,等.上扬子黔北地区下寒武统海相黑色页岩特征及页岩气远景区评价[J].岩石学报,2013,29(9):3263-3278.
- [17] 李贤庆,王哲,郭曼,等.黔北地区下古生界页岩气储层孔隙结构特征[J].中国矿业大学学报,2016,45(6):1172-1182.
- [18] 吴纪修,张永勤,梁健,等.羌塘盆地天然气水合物钻探试验井工程井壁稳定性分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):8-13.
- [19] 吴纪修,李宽,薛倩冰,等.羌塘盆地天然气水合物钻探试验井取样技术与施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):6-10.
- [20] 首照兵,章述,向昆明.绳索取心钻进冲洗液的性能控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(4):29-38.