

黔铜地 1 井钻井技术及页岩气含气性分析

王 文, 吴纪修, 孙建华, 李 宽, 李小洋, 刘秀美, 王志刚

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:黔铜地 1 井是部署在黔东北铜仁地区铜仁向斜的一口页岩气地质调查井。本文简要阐述了该井的钻探、测井、气测录井施工技术, 并通过钻探取心、地质编录、气测录井、测井、现场解析等工作手段, 验证了铜仁地区区域岩石地层单位, 获取了黔东北铜仁地区牛蹄塘组黑色页岩发育特征、含气性特征等第一手地质参数。分析认为牛蹄塘组海相页岩在黔东北铜仁地区分布广泛, 沉积稳定, 是黔铜地 1 井的主要含气层, 整体上含气量随深度的增大而增加, 气测全烃最高 4%, 现场解析在岩心破碎段出气量 > 2600 mL、现场含气量最高达 1.97 m³/t, 显示了良好的保存条件和含气性, 证实了铜仁地区页岩气勘探开发具有良好的前景。

关键词:黔铜地 1 井; 钻井技术; 页岩气; 测录井; 含气性特征

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)05-0001-10

Analysis on drilling techniques and shale gas compacity of Well QTD-1

WANG Wen, WU Jixiu, SUN Jianhua, LI Kuan, LI Xiaoyang, LIU Xiumei, WANG Zhigang

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Well QTD-1 is a shale gas geological survey well drilled in Tongren, northeast Guizhou Province. A brief description of investigative techniques such as drilling, well logging, gas logging are given in this paper. Through core drilling, gas logging, well logging and field data interpretation, the regional lithologic units have also been verified, with some geological parameters of shale gas within the Niutitang Formation obtained, including the development characteristics of the black shale, the gas bearing capacity. In conclusion, the marine shale of the Niutitang Formation is the main gas-bearing strata, and it is distributed extensively and stable in the investigated area. Generally, the gas content increases with the depth; the maximum value of the total hydrocarbon is 4%, the gas production within the broken zone of the core is over 2600mL, and the maximum value of the field gas bearing capacity is 1.97m³/t. All these characteristics indicate a large gas capacity, and show a good prospect for the exploration and development of the shale gas in Tongren area.

Key words: Well QTD-1; drilling techniques; shale gas; well logging; gas bearing feature

0 引言

2009 年以来我国页岩气产业发展迅速, 先后发现了重庆涪陵焦石坝、四川长宁—威远、云南昭通页岩气区, 实现了页岩气的工业性产能突破, 形成了复杂构造区海相页岩气“沉积是基础、保存是关键”、“二元富集”等页岩气富集规律的理论认识^[1-7]。

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^[8], 该区下古生界泥页岩有机碳含量高, 对页岩气的聚集具有重要影

响^[9-11], 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, 具备良好的页岩气成藏条件, 页岩气资源潜力大^[12-15]。资料显示, 黔东北铜仁地区寒武系牛蹄塘组黑色页岩发育稳定, 厚度较大, 该地层烃源岩条件较好, 脆性矿物组分较高, 具备良好的页岩气生烃条件。在铜仁地区牛蹄塘组之下发育有厚度在 10~50 m 的老堡组硅质岩, 之上为厚度在 5~100 m 的九门冲组泥灰岩, 上下地层均较为致密, 封盖条件较好, 为页

收稿日期: 2019-11-17; 修回日期: 2020-03-05 DOI: 10.12143/j.tkge.2020.05.001

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: 王文, 女, 汉族, 1990 年生, 助理工程师, 地质资源与地质工程专业, 硕士, 从事油气勘查与开发研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, wewang7846@163.com。

通信作者: 吴纪修, 男, 汉族, 1984 年生, 工程师, 博士研究生在读, 地质资源与地质工程专业, 主要从事探矿工艺及非常规油气勘查与开发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, 272139943@qq.com。

引用格式: 王文, 吴纪修, 孙建华, 等. 黔铜地 1 井钻井技术及页岩气含气性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(5): 1-10.

WANG Wen, WU Jixiu, SUN Jianhua, et al. Analysis on drilling techniques and shale gas compacity of Well QTD-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(5): 1-10.

页岩气保存提供了较好的岩石组合条件。在该地区实施的岑页 1 井、黄页 1 井、天星 1 井均获得了不同程度的页岩气显示,说明该地区寒武系牛蹄塘组具有较好的页岩气勘探前景。通过黔铜地 1 井钻井工程的组织实施,对揭露黔东北铜仁地区的地层结构和寒武系牛蹄塘组的岩性、沉积相、黑色页岩发育特征和页岩气含气性特征具有重要意义。同时,本文总结了黔铜地 1 井的钻探、测井、录井施工技术,以期 为小口径页岩气地质调查井的钻井施工提供参考。

1 区域地层

根据岩性组合特征、沉积构造、岩相特征,结合区域地质研究成果(图 1),按照多重地层划分原则,将黔铜地 1 井工作区出露地层划分为 5 个系级、17 个组级填图单位。其中以寒武系地层为主体,出露齐全,岩性主要为碳酸盐局限台地、半局限台地、台地边缘滩、台地斜坡相的白云岩、泥晶灰岩夹炭泥质岩及浅海陆棚的炭泥质岩、砂岩、硅质岩组合。青白口系地层主要为半深海—深海斜坡相含凝灰质的浅变质泥质岩、粉—细粒砂岩等细碎屑岩系。南华系中统为含砾砂岩、浅变质的泥质岩、含砾泥质岩。震旦系为一套混积滨岸—陆棚相的白云岩、泥质岩及硅质岩组合。第四系为冲洪积和坡残积物。(据贵州省区域地质志,2017)。

2 区域构造

黔铜地 1 井位于贵州省铜仁市桐木坪乡北部苗坡,总体属于铜仁市周边山村内。井位附近工作区发育的主要断裂构造有西部江口断裂带、中部桐木坪稳定构造带、东部万山—铜仁断裂带(图 2)。发育褶皱构造主要有江口向斜、坝盘背斜、铜仁向斜和下溪背斜。黔铜地 1 井位于最宽缓的向斜构造——铜仁向斜内西翼,距离该向斜核部约 8 km,地层倾角在 5°左右,产状非常平缓(图 3)。在该向斜核部,发育有 2 条北东—南西向逆冲断层,该向斜核部均作为下盘,受到 2 条逆冲断裂的封盖保护(据贵州省区域地质志,2017)。因此,调查井所处位置构造作用较弱,距离断裂构造较远,且不受地表大型节理影响,具有较好的页岩气保存条件。

3 钻井工程概况

黔铜地 1 井位于贵州省铜仁市桐木坪乡,是中

年代地层		岩石地层				
		名称		岩性柱	厚度 (m)	
第四系		冲积 Q ^{al}	残坡积 Q ^{el}		10 ~ 0	10 ~ 0
	寒武系	美蓉统	牛车河阶			
			江山阶			
			排碧阶			
		苗岭统	古丈阶			
			玉村阶			
			石冷水组			
震旦系	第二统	都匀阶	清虚洞组			
			杷榔组			
			变马冲组			
			九门冲组			
	上统	南皋阶	牛蹄塘组			
			梅树村阶			
			曹家阶			
			老堡组			
南华系	下统	陡山沱组				
	上统	南沱组				
青白口系	下江群	隆里组	第二段			
			第一段			
		平略组				
	清水江组		第二段			
			第一段			

图 1 黔铜地 1 井工作区岩石地层单位(据贵州省区域地质志,2017)
Fig.1 Lithologic units of Well QTD-1 (According to Guizhou Province Regional Geology, 2017)

国地质调查局油气资源调查中心在黔东北部部署的一口页岩气地质调查井,由中国地质科学院勘探技术研究所组织实施。该井设计井深 1500 m,完钻井深 1406.63 m,开孔层位寒武系清虚洞组,完钻层位南华系两界河组,达到了地质目的。

4 钻井工程技术

4.1 钻井设备

页岩气地质调查井主要采用岩心钻探工艺与机具,钻井底座进行特别设计加工,以满足井控设备安装的空间要求。选择钻井设备时,充分考虑提高钻探效率、降低钻探成本、缩短施工周期和钻机处理卡、埋钻事故的能力等方面的要求。黔铜地 1 井选用 XY-6B/N 型岩心钻机,该钻机集中了立轴式液压钻机的优点,既可进行金刚石小口径钻进,也可进行大口径钻进,既可以垂直钻孔,也可以钻斜孔,是深孔地质勘探钻孔较理想的设备,满足黔铜地 1 井钻井工程的施工要求,黔铜地 1 井钻井设备及配置见表 1。

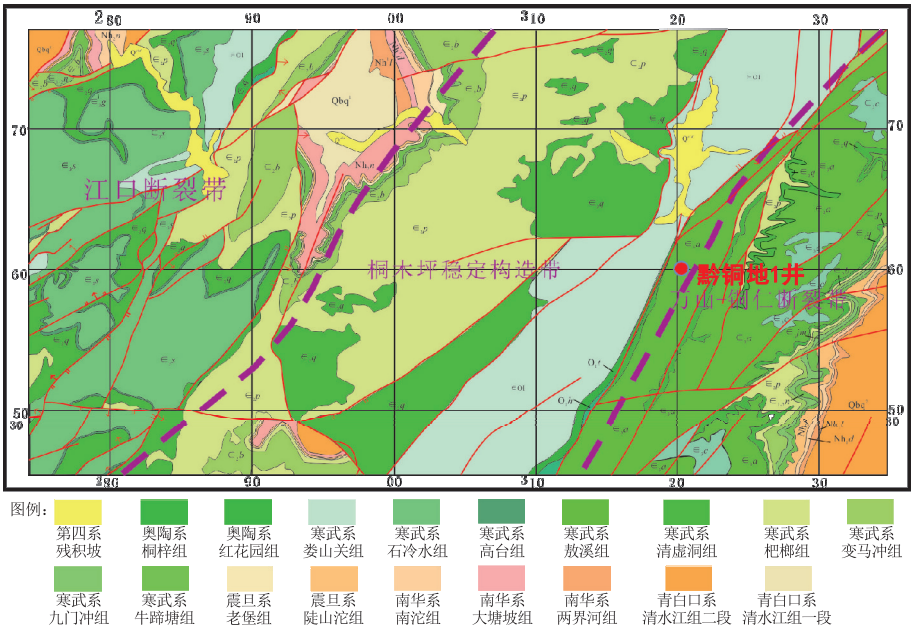


图 2 黔铜地 1 井工作区构造分区图(据贵州省区域地质志,2017)

Fig.2 Structural zoning of Well QTD-1 (According to Guizhou Province Regional Geology, 2017)

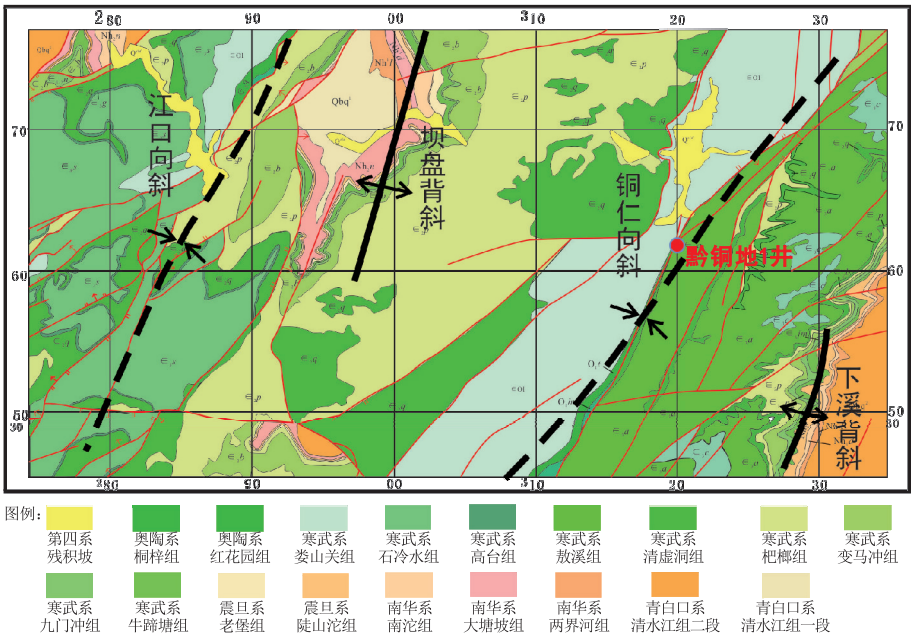


图 3 黔铜地 1 井工作区褶皱分区图(据贵州省区域地质志,2017)

Fig.3 Fold zoning of Well QTD-1 (According to Guizhou Province Regional Geology, 2017)

4.2 井身结构设计

井身结构设计以满足页岩气基础地质调查研究为目的,同时,既要考虑事故预防和处理的合理化安排,又要考虑测录井工作的有序开展。因此,在实际钻井过程中要基于井内实际情况和钻遇地层岩性变化,及时调整井身结构^[16-19],黔铜地 1 井钻井实际井身结构见表 2。

4.3 钻具组合

为查明地层结构、取全取准目的地层岩性、沉积相、黑色页岩发育特征,同时系统获取储层有机地化、含气类型、含气量等页岩气地质参数,减少因钻井深度增加而造成的样品损失气量,缩短井下取样时间^[20-21],黔铜地 1 井采用技术成熟、钻进效率高的绳索取心工艺(表 3)。

表 1 黔铜地 1 井钻井设备配置

Table 1 Drilling equipment for Well QTD-1

设备名称	型 号	主要 技 术 参 数	
钻机	XY-6B/N	钻杆直径/mm	50、60、89、114
		扭矩/(kN·m)	5~6
		单绳最大提升力/kN	60
钻塔	HR-18/25	塔高/m	18
		天车梁最大静荷载/kN	250
泥浆泵	NBB-260/7A	最大工作压力/MPa	8、12
绳索取心绞车	SJ-2000	适用钻孔直径/mm	56~114
		最大钻孔深度/m	2000
液压钳	SQ114/8	应用范围(绳索钻杆接头)/mm	73、92、116、5

表 2 黔铜地 1 井井身结构

Table 2 Structure of Well QTD-1

开次	井径/mm	设计井深/m	实际井深/m	套管直径/mm	备 注
一开	172	0~12	0~7.50	168	
二开	122	12~605	7.50~621.10	114	PQ 钻具
三开	96	605~1500	621.10~1406.63		HQ 钻具

表 3 黔铜地 1 井各开次钻具组合

Table 3 Configuration of drilling tools for each section drilling of Well QTD-1

开次	钻进方法	井深/m	钻 具 组 合	备 注
一开	单管取心	0~7.50	Φ172 mm 牙轮钻头+Φ168 mm 岩心管+Φ114 mm 钻杆+89 mm 方钻杆	Φ168 mm 套管
	绳索取心	621.10	Φ122 mm 金刚石取心钻头+Φ122.5 mm 下扩孔器+绳索取心钻具外管+Φ114 mm 绳索取心钻杆+Φ89 mm 方钻杆	采用 Φ122 mm 绳索取心钻头取心,下入 Φ114 mm 钻杆作为套管封隔孔壁
二开				
三开	绳索取心	1406.63	Φ95 mm 金刚石取心钻头+Φ96.5 mm 下扩孔器+绳索取心钻具外管+Φ96.5 mm 上扩孔器+Φ89 mm 绳索取心钻杆+89 mm 方钻杆	采用 Φ95 mm 绳索取心钻头取心,钻进至完井
				

表 4 有机质页岩储层测井响应特征

Table 4 Logging response characteristics of organic shale reservoirs

测井方法	输出参数	曲 线 特 征	影 响 因 素
自然伽马	自然放射性	高值,局部低值	泥质含量越高,自然伽马值越大,有机质中可能含有高放射性物质
井径	井眼直径	扩径	泥质地层导致扩径,有机质的存在使井眼扩径更加严重
补偿声波	时差曲线	较高,有周波跳跃	有机质丰度高,声波时差大,含气量增大声波值变大,遇裂缝发生周波跳跃
补偿中子	中子孔隙度	高值	束缚水使测量值偏高,含气量增大使测量值偏低,裂缝地区的中子孔隙度变大
补偿密度	地层密度	中低值	含气量大密度值低,有机质使测量值偏低,裂缝底层密度值偏低,井径扩大
双侧向	深、浅双侧向电阻率	总体低值,局部高值,深浅侧向几乎重合	地层渗透率、泥质和束缚水均使电阻率偏低,有机质干酪根电阻率极大,测量值局部为高值

(Pt₃^cn)、大塘坡组(Pt₃^bd)、两界河组(Pt₃^bl),设计地层与实钻地层厚度对比见表 5,各地层岩性、测井

5 测井工程技术

5.1 页岩气地球物理测井响应特征

页岩气的赋存状态多种多样,除极少量溶解状态的天然气外,大部分均以吸附状态赋存于粘土矿物颗粒和有机质表面,或以游离状态赋存于孔隙和裂缝之中。这导致含气页岩测井响应为“四高两低”的基本特征,即高自然伽马、高电阻率、高声波时差、高中子,低密度(相对普通页岩)、低光电效应(相对普通页岩)。我们可以利用测井曲线形态和幅值相对大小快速而直观地识别页岩气储集层,见表 4。

5.2 黔铜地 1 井钻遇地层简述及测井响应特征

黔铜地 1 井终孔孔深 1406.63 m,由上至下依次钻遇 11 个地层单元,分别为第四系(Q)、寒武系清虚洞组(ε₂q)、杷榔组(ε₂p)、变马冲组(ε₂b)、九门冲组(ε₂jm)、牛蹄塘组(ε₁₋₂n)、震旦系老堡组(Pt₃^bε₁l)、陡山沱组(Pt₃^d)、南华系南沱组

响应及页岩气含气性特征情况见图 4、表 6。

表 5 黔铜地 1 井设计地层与实钻地层厚度对比
Table 5 Correlation of the designed and actual formation thickness at Well QTD-1

地 层 名 称		设 计 地 层		实 钻 地 层		底界误差/	单层误差/
界	系	组	层位代号	底界深度/m	单层厚度/m	底界深度/m	单层厚度/m
		第四系	Q	10	10	1.28	1.28
古 生 界	寒武系	清虚洞组	ϵ_{2q}	410	400	239.30	238.02
		杷榔组	ϵ_{2p}	900	490	654.59	415.29
		变马冲组	ϵ_{2b}	1360	460	869.26	214.67
		九门冲组	ϵ_{2jm}	1420	60	879.74	10.48
		牛蹄塘组	ϵ_{1-2n}	1500	80	933.17	53.43
新 元 古 界	震旦系	老堡组	$Pt_3^b \epsilon_{1l}$	1530▼	30	963.62	36.94
		陡山沱组	Pt_3^d		0	1000.19	36.57
	南华系	南沱组	$Pt_3^a n$		0	1267.06	266.87
		大塘坡组	$Pt_3^b d$		0	1366.57	99.13
		两界河组	$Pt_3^b l$		0	1406.63▼	39.91▼

注：“▼”代表未钻穿;实钻较设计深或厚为“+”,实钻较设计浅或薄为“-”。

表 6 黔铜地 1 井钻遇地层岩性及测井响应
Table 6 Lithology and well logging response of the drilled formation

钻遇地层	厚度/m	埋深/m	岩 性	测 井 响 应 特 征
清虚洞组 (ϵ_{2q})	238.02	1.28~ 239.30	灰色、浅灰色中厚层泥晶—微晶灰岩、泥灰岩以及中厚层泥晶—微晶灰质白云岩	自然伽马曲线为低值(平均值 32.18 API),局部泥灰岩自然伽马值较高;侧向电阻率为高值(大部分井段高于 6000 $\Omega \cdot m$),泥灰岩井段显示较低值;声波时差曲线为中低值(平均值 213.14 μs),局部可达到中高值(>300 μs)
杷榔组 (ϵ_{2p})	415.29	239.30~ 654.59	深灰色钙质页岩、灰色页岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,岩层页理发育,见少量节理裂隙,沿节理面充填方解石细脉	自然伽马曲线为中值(平均值 129.01 API,大部分井段为 120~160 API)、侧向电阻率曲线为中值(约 4000 $\Omega \cdot m$)、声波时差曲线为中低值(平均值 237.28 μs)
变马冲组 (ϵ_{2b})	214.67	654.59~ 869.26	灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、钙质页岩,中部夹炭质页岩、灰绿色页岩,解理发育	自然伽马曲线为为中高值(平均值 164.21 API,大部分井段在 150~200 API,底部粉砂岩井段显示较低值(<100 API);侧向电阻率为中值,与上覆杷榔组相近(约 4000 $\Omega \cdot m$);声波时差曲线总体为中高值(平均值 237.28 μs)
九门冲组 (ϵ_{2jm})	10.48	869.26~ 879.74	灰色—浅灰色薄层状泥质粉砂岩、粉砂岩,局部夹薄层状含炭质泥质粉砂岩,岩心完整,可见发育节理裂隙,轴夹角为 20°。该层岩心中可见黄铁矿颗粒呈条带状展布,部分呈星点状	自然伽马曲线为中值(120~180 API),底部为低值(<120 API);侧向电阻率为中值(平均值 4500 $\Omega \cdot m$);声波时差曲线总体为中高值(平均值 324.21 μs),下部粉砂岩井段为较高值(>360 μs)
牛蹄塘组 (ϵ_{1-2n})	53.43	879.74~ 933.17	深灰色薄层状含炭质泥质粉砂岩、含粉砂质炭质页岩、深灰色—黑色炭质页岩,岩心整体完整,层面间可见黄铁矿颗粒呈条带状展布(图 5a)。可见发育节理裂隙(图 5b),轴夹角为 20°	自然伽马曲线为高值(>200 API),下部炭质泥岩、砂质泥岩部分 >300 API,曲线波动大;侧向电阻率总体为中高值(平均值 4200 $\Omega \cdot m$);声波时差曲线总体为高值(平均值 334.56 μs)
老堡组 ($Pt_3^b \epsilon_{1l}$)	36.94	933.17~ 963.62	深灰—灰色中厚层状硅质岩。硅质岩中发育深灰色泥质粉砂岩条带。岩层面可见顺层展布的黄铁矿呈条带状展布。整套岩心发育 2 组节理,一组轴夹角为 20°,一组沿竖直方向展布,被方解石脉充填	自然伽马曲线为中低值(平均值 89.30 API,曲线波动强烈,钙质泥岩部分为高值,侧向电阻率为中值(平均值 4000~6000 $\Omega \cdot m$),曲线波动较大;声波时差曲线总体为中低值(平均值 246.97 μs),曲线变化明显
陡山沱组 (Pt_3^d)	36.57	963.62~ 1000.19	灰色薄层状白云质粉砂岩、白云岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩,岩心中局部含有炭质	自然伽马曲线变化大,上部白云岩部分中低值,底部钙质泥岩部分为中高值;侧向电阻率为中高值(4000~7500 $\Omega \cdot m$),曲线波动大;声波时差曲线为中值,曲线变化明显,上部白云岩部分为中值(平均 238.17 μs),底部钙质泥岩显示较低值(约 150 μs)
南沱组 ($Pt_3^a n$)	266.87	1000.19~ 1267.06	灰色—紫红色冰碛砾岩、含砾砂岩、粉砂岩,岩心完整。上部以砾岩为主,向下砾岩逐渐变少,以砂质占主导地位。岩心中角砾为次圆状、次棱角状,部分角砾为黄铁矿结核,大小 1 mm×(1~10)mm×15 mm,偶见大者为 50 mm×30 mm	自然伽马曲线为中低值(100~150 API);侧向电阻率为中低值(约 4200 $\Omega \cdot m$),下部电阻率值增大(约 5000 $\Omega \cdot m$);声波时差曲线为中高值(平均值 305.22 μs)
大塘坡组 ($Pt_3^b d$)	99.51	1267.06~ 1366.57	灰色—深灰色板岩偶夹薄层状灰岩、白云质灰岩,局部可见浅灰色—灰绿色粉砂质板岩,局部层面间夹黑色炭质粘土岩。岩心整体完整	自然伽马曲线为中低值,且随泥质含量增大而增大;侧向电阻率为中高值,且随泥质含量增大而减小,曲线变化明显;声波时差曲线为中值(平均值 242.41 μs)
两界河组 ($Pt_3^b l$)	40.06	1366.57~ 1406.63	灰绿色变质含砾砂岩及砂质—粉砂质板岩,顶部可见一层冰碛含砾砂岩。岩心整体完整,顶部砾岩呈次棱角状	自然伽马曲线为低值(平均值 85.09 API);侧向电阻率曲线为高值,曲线变化明显(4000~6000 $\Omega \cdot m$);声波时差曲线为中值(平均值 244.51 μs)

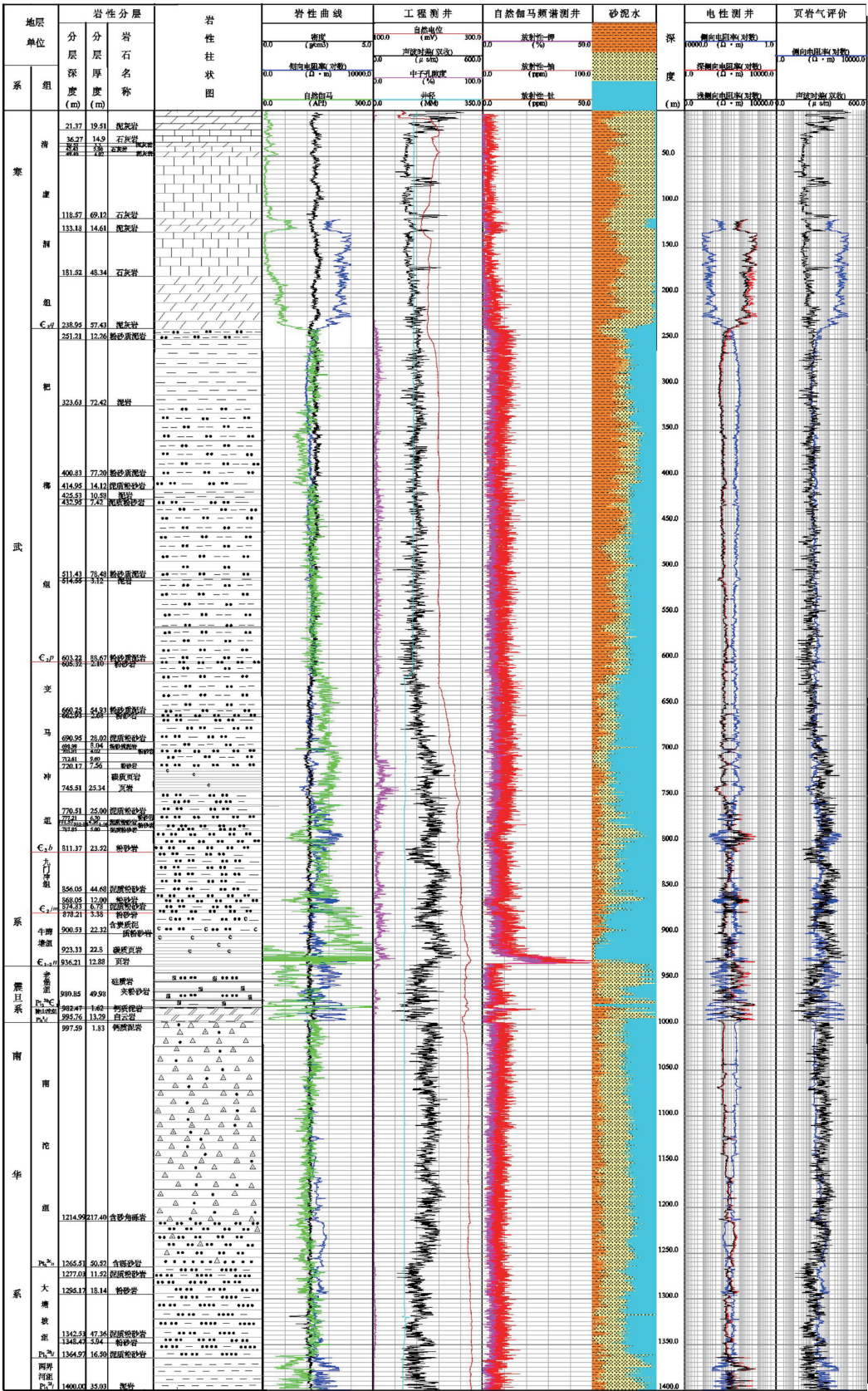


图 4 黔铜地 1 井地层及测井解释成果

Fig.4 Lithological and well log interpretation graphs of Well QTD-1



(a) 泥质粉砂岩层面间见黄铁矿



(b) 灰质页岩发育节理裂隙

图 5 黔铜地 1 井牛蹄塘组岩心

Fig.5 Cores from the Niutitang Formation

综合其岩性及测井响应特征,有机质含量高的黑色页岩段主要表现为高伽马、高铀、高声波时差、高电阻率以及深浅侧向电阻率曲线基本重合等特征。黑色页岩段放射性元素含量很高,自然伽马曲线值偏移明显,最大可达 600 API 以上。深浅侧向电阻率值在页岩含气性较好的井段表现出增大的特征。声波时差显著增大,主要由于气体与其它介质声波差别大。页岩地层中存在有机质或烃类气体,会出现密度值变低、声波和中子曲线增高的现象。自然伽马能谱曲线中,铀元素响应明显,能较好地反应页岩中有机质含量的变化。

根据地层岩性及测井曲线特征可划分出 10 段页岩气有利储层(见表 7、图 6),根据自然伽马曲线以及伽马能谱—铀元素明显增加,判断出寒武系牛蹄塘组的含气性最好。

6 录井工程

气测录井已经在常规油气勘探中得到了广泛应用^[22]。为了及时分析钻遇目的地层的含气性,黔铜

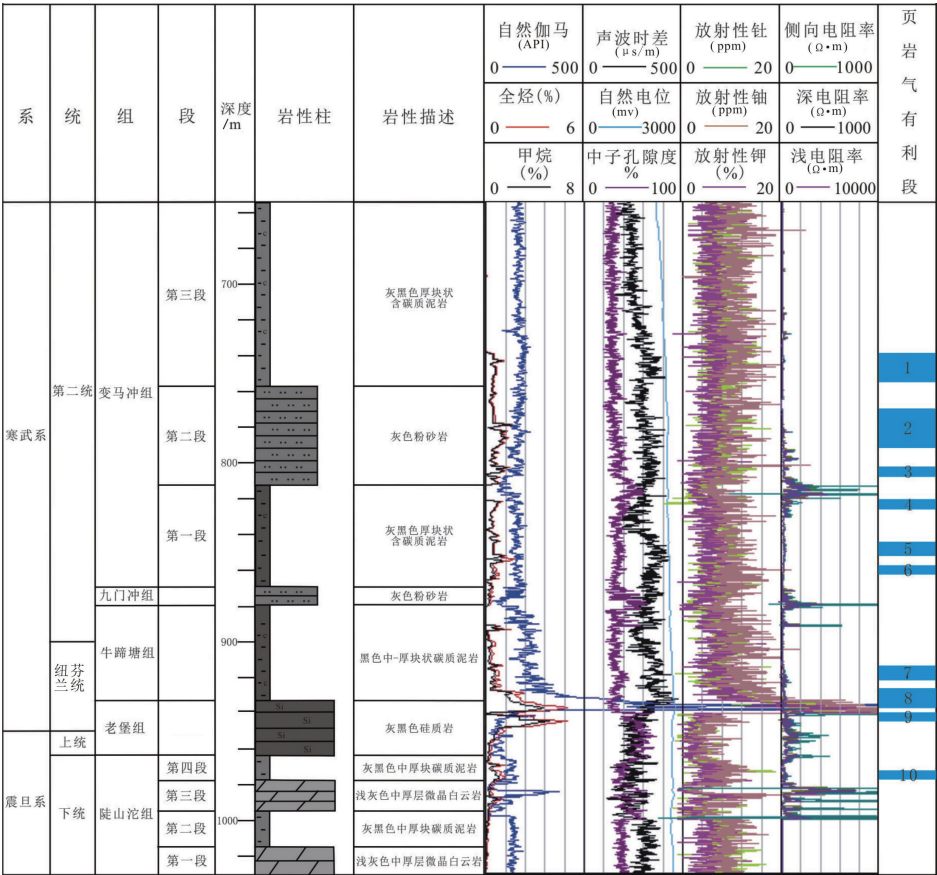


图 6 黔铜地 1 井目标层测录井综合柱状图

Fig.6 Geologic column from survey and logging results of the target formation at Well QTD - 1

表 7 黔铜地 1 井含气有利段划分数据

Table 7 Shale gas potential intervals at Well QTD-1

解释层号	地层名称	井段/m	视厚度/m
有利段 1	变马冲组	712.61~729.35	16.74
有利段 2	变马冲组	745.51~770.51	25.00
有利段 3	变马冲组	781.57~787.85	6.28
有利段 4	变马冲组	804.13~807.51	3.38
有利段 5	变马冲组	827.61~838.10	10.49
有利段 6	变马冲组	841.10~848.80	3.70
有利段 7	牛蹄塘组	903.97~914.90	10.93
有利段 8	牛蹄塘组	919.75~931.81	12.06
有利段 9	老堡组	934.35~937.39	3.04
有利段 10	陡山沱组	968.46~973.22	4.76

地 1 井开展了气测录井、地化录井、现场解析、伽马扫描、元素扫描等工作。自钻井二开至完井进行气测录井,利用地质气测仪随机配置的传感器、二次仪表、联机计算机系统、显示记录系统等设备对井段进行全自动连续监测、采集钻进地层的全烃含量和组分(甲烷、乙烷、丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷、CO₂ 和 H₂S 等)的含量。根据岩心表面的冒泡情况及气测录井中总烃的显示进行重点层段取样,利用含气性解析装置对获取岩心进行现场解析实验,以判断气体类型、含气量,认识暗色泥页岩排烃地质作用,了解页岩气的赋存过程,为计算资源量提供数据参考。

6.1 气测录井及含气性解析

黔铜地 1 井黑色页岩主要分布在变马冲组、牛蹄塘组、陡山沱组 3 套地层(图 6),现场解释含气层 39 m/5 层,其中变马冲组 15 m/2 层,牛蹄塘组 18 m/2 层,陡山沱组 6 m/1 层。现场解析微含气层 81 m/7 层,包括变马冲组 39 m/3 层,九门冲组 21 m/2 层,牛蹄塘组 14 m/1 层,陡山沱组 7 m/1 层。

其中,变马冲组的气测录井显示全烃一般在 0.3%~1.7%之间,甲烷在 0.2%~1.5%之间,现场解析出气量一般<200 mL,总含气量<0.5 m³/t。

牛蹄塘组的气测录井显示全烃一般在 0.5%~5%之间,甲烷在 0.3%~4%之间,现场解析出气量一般<200 mL,在岩心破碎段出气量>2600 mL,现场含气量最高达 1.97 m³/t。

陡山沱组的气测录井显示全烃一般在 0.3%~1.1%之间,甲烷在 0.1%~0.8%之间,现场解析出气量一般<100 mL,总含气量<0.3 m³/t。

气测录井结果与前面所述测井解释结果相吻

合,说明变马冲组和牛蹄塘组是最有利的页岩气含气井段,而牛蹄塘组含气性更优于变马冲组。

6.2 牛蹄塘组含气性及储层特征分析

黔铜地 1 井牛蹄塘组厚度为 53.43 m,沉积环境为斜坡相(据贵州省页岩气资源调查评价),岩性主要为深灰色薄层状含炭质泥质粉砂岩、含粉砂质炭质页岩、深灰色—黑色炭质页岩。黑色页岩段主要发育在下部,裂缝比较发育的页岩段气测值明显升高,现场解析含气量也较高,并具有高自然伽马、高声波时差、高电阻率的测井响应特征。岩心浸水实验见明显的气泡冒出,现场解析收集的气体能够点燃(图 7a),气体组分分析显示甲烷含量>90%。牛蹄塘组中上段岩石较为完整,比较致密,岩心冒泡不明显(图 7b),现场解析含气量微弱,气测录井全烃值一般<1%。



(a) 解析试验



(b) 浸水试验

图 7 牛蹄塘组井段现场解析及浸水试验

Fig.7 Field analysis and immersion test for Niutitang Formation

该井牛蹄塘组孔隙度为 0.26%~1.39%,平均 1%,渗透率为 0.0076~0.01 md,平均 0.09 md,通过岩石薄片观察,牛蹄塘组储层孔隙主要以粒间溶孔、杂基微孔,其次粒内溶孔、生物格架孔,少见有机质孔,孔隙连通性普遍较差,导致渗透率很低。判断该地层成熟度较高,高演化导致岩石微观孔隙多被压实封闭,导致储层条件变差,气体储集空间减少,为超低孔超低渗储层。

7 结语

黔铜地 1 井采用了合理的钻探工艺及技术,获得了真实的地层资料,由上至下共钻遇第四系、寒武系、震旦系以及南华系的 11 组地层,验证了黔东北铜仁地区区域岩石地层单位,揭示了区域黑色页岩发育程度,证实了铜仁地区页岩气勘探开发具有良好的前景。测录井结果显示寒武系变马冲组、牛蹄塘组为页岩气含气有利地层,其中牛蹄塘组要优于变马冲组。牛蹄塘组主要发育海相页岩,沉积稳定,分布广泛,整体上含气量随深度的增大而增加,气测全烃最高 4%,现场解析在岩心破碎段出气量 > 2600 mL,现场含气量最高达 1.97 m³/t,显示了良好的含气性,并且,该地层下覆地层为厚度 36.94 m 的老堡组硅质岩,上覆地层为厚度 10.48 m 的九门冲组粉砂岩、泥质粉砂岩,上下地层均较为致密,封盖条件较好,为页岩气保存提供了较好的岩石组合条件。

参考文献 (References):

- [1] 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.
GUO Xusheng. Rules of two factor enrichment for marine shale gas in Southern China—understanding from the Longmaxi Formation shale gas in Sichuan Basin and its surrounding area [J]. Acta Geologica Sinica, 2014,88(7):1209—1218.
- [2] 郭旭升,郭彤楼,魏志红,等.中国南方页岩气勘探评价的几点思考[J].中国工程科学,2012,14(6):101—105,112.
GUO Xusheng, GUO Tonglou, WEI Zhihong, et al. Thoughts on shale gas exploration in southern China[J]. Engineering Science, 2012,14(6):101—105,112.
- [3] 蒋成平,雷应金,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.
JIANG Chengping, LEI Yingjin, GONG Jin, et al. Accumulation conditions of shale gas and the distribution and prospect of shale gas in China[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2011(18):133—135.
- [4] 聂海宽,唐玄,边瑞康.页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J].石油学报,2009,30(4):484—491.
NIE Haikuan, TANG Xuan, BIAN Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of South China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009,30(4):484—491.
- [5] 王社教,王兰生,黄金亮,等.上扬子区志留系页岩气成藏条件[J].天然气工业,2009,29(5):45—50.
WANG Shejiao, WANG Lansheng, HUANG Jinliang, et al. Accumulation conditions of shale gas reservoirs in Silurian of the Upper Yangtze Region[J]. Natural Gas Industry, 2009,29(5):45—50.
- [6] 王社教,杨涛,张国生,等.页岩气主要富集因素与核心区选择及评价[J].中国工程科学,2012,14(6):94—100.
WANG Shejiao, YANG Tao, ZHANG Guosheng, et al. Shale gas enrichment factors and the selection and evaluation of the core area[J]. Engineering Science, 2012,14(6):94—100.
- [7] 张金川,姜生玲,唐玄,等.我国页岩气富集类型及资源特点[J].天然气工业,2009,29(12):109—114.
ZHANG Jinchuan, JIANG Shengling, TANG Xuan, et al. Accumulation types and resources characteristics of the shale gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2009,29(12):109—114.
- [8] 邹才能,董大忠,王社教,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.
ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010,37(6):641—653.
- [9] 聂海宽,张金川.页岩气聚集条件及含气量计算—以四川盆地及其周缘下古生界为例[J].地质学报,2012,86(2):101—152.
NIE Haikuan, ZHANG Jinchuan. Shale gas accumulation conditions and gas content calculation: A case study of Sichuan Basin and its periphery in the lower paleozoic[J]. Acta Geologica Sinica, 2012,86(2):101—152.
- [10] 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.
CHEN Shangbin, ZHU Yanming, WANG Hongyan, et al. Characteristics and significance of mineral compositions of Lower Silurian Longmaxi Formation shale gas reservoir in the southern margin of Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011,32(5):775—782.
- [11] 郭彤楼,张汉荣.四川盆地焦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.
GUO Tonglou, ZHANG Hanrong. Formation and enrichment model of Jiaoshiba Shale Gas Field, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014,41(1):28—36.
- [12] 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.
- [13] 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,2009,14(3):15—19.
CHEN Bo, PI Dingcheng. Silurian Longmaxi shale gas potential analysis in Middle & Upper Yangtze Region[J]. China Petroleum Exploration, 2009,14(3):15—19.
- [14] 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.
ZHANG Haiquan, YU Qian, LI Yuxi, et al. Explorative prospect of shale gas of Lower Silurian in Middle-Upper Yangtze Area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011,32(4):353—355.
- [15] 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.
- GUO Man, LI Xianqing, ZHANG Mingyang, et al. Reservoir-forming conditions and evaluation of favorable area of shale gas in Niutitang Formation in Northern Guizhou[J]. Coal Geology & Exploration, 2015,43(2):37-43.
- [16] 郝海洋,宋继伟,蒋国盛,等.南方页岩气基础地质调查黔普地1井钻井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):23-29.
- HAO Haiyang, SONG Jiwei, JIANG Guosheng, et al. Drilling technology of Well Qianpudi-1 for basic geological survey of shale gas in Southern China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):23-29.
- [17] 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.
- ZHANG Shu, YIN Liangxian, SHOU Zhaobing. Difficulties of shale gas well drilling construction in Tongren of Guizhou and the countermeasures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):10-13.
- [18] 李宽,吴纪修,王志刚,等.黔绥地1井钻井设计与施工[J].勘察科学技术,2019(1):58-61.
- LI Kuan, WU Jixiu, WANG Zhigang, et al. Design and construction of 1 drilling well in Qiansuidi[J]. Site Investigation Science and Technology, 2019,(1):58-61.
- [19] 吴纪修,王志刚,辛云路,等.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[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):12-17.
- WU Jixiu, WANG Zhigang, XIN Yunlu, et al. Drilling technology of Qiansuidi Well-1 for basic geological survey of shale gas in the southern area of Guizhou Province and completion geologic[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(2):12-17.
- [20] 王香增,范柏江.页岩气解析实验及其地质应用[J].天然气地球科学,2016,27(3):532-538.
- WANG Xiangzeng, FAN Bojiang. The desorbing experiments of shale gas and its geological application[J]. Natural Gas Geoscience, 2016,27(3):532-538.
- [21] 王之跃,彭文泉,宋昭睿,等.页岩气现场解析气量影响因素探讨——以潍北凹陷昌页参1井为例[J].山东国土资源,2015,31(9):22-25.
- WANG Zhiyue, PENG Wenquan, SONG Zhaorui, et al. Study on influence factors of shale gas scene analytical gas quantity——Take Changye Canyi Well as an example[J]. Shandong Land and Resource, 2015,31(9):22-25.
- [22] 王志刚,薛倩冰,吴纪修,等.气测录井在南方页岩气黔绥地1井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):1-5.
- WANG Zhigang, XUE Qianbing, WU Jixiu, et al. Application of gas logging in shale gas Well Qiansuidi-1 in south China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):1-5.

(编辑 韩丽丽)

专题征稿

“干热岩钻探技术与装备”专题

我国干热岩资源潜力巨大,据中国地质调查局2015年调查结果显示,我国干热岩资源量折合856万亿t标准煤。在4月16日召开的2020年全国地质调查工作会议上部署的2020年9方面的重点工作中,第一条就是“加强包括清洁能源在内的战略性矿产资源调查评价,增强支撑服务国家能源资源安全保障能力”。其中地热资源(含干热岩资源)的调查是能源矿产地质调查中的重中之重。

干热岩作为储量巨大的清洁能源,具有广阔的开发前景,也吸引了大量的科研和资金投入。近年来,除中国地质调查局重点部署了多个干热岩勘查与试采项目外,众多大学、科研院所、地勘单位等积极开展相关研究及勘查评价、试采示范工作。

为给下一步的干热岩勘探开发工作提供技术支撑,我刊拟在近期组织“干热岩钻探技术与装备”专题报道,以展示近年来我国在干热岩钻探方面的研究成果和高温高压钻探装备研发进展,总结干热岩钻探施工经验和体会。专题内容包括(但不限于):

- 相关理论研究成果;
- 专用装备与器具的研制;

- 钻井施工技术;
- 高温钻井液;
- 井控技术、压裂技术等

稿件要求:参见《探矿工程(岩土钻掘工程)》投稿指南:

http://jour.tkgc.net/ch/first_menu.aspx?parent_id=20150106042322001

论文提交截止时间:2020年7月31日

投稿网址:www.tkgc.net

投稿流程:探矿工程在线(www.tkgc.net)→作者登录→注册→登录→按提示上传稿件(注:选择栏目时请选“干热岩钻探专题”)。

欢迎广大科研人员和工程技术人员投稿!

联系人:王建华(396981878@qq.com, 13903167926, 0316-2394776)

李艺(617140994@qq.com, 18515466615, 010-68320471)

《探矿工程(岩土钻掘工程)》编辑部

2020年4月