

四川沐川大口径地质调查井(川沐地2井) 钻探施工技术

樊腊生¹, 刘伟², 张统得¹, 邓伟¹, 陆俊泽²

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081)

摘要:大口径页岩气地质调查井(川沐地2井)部署在四川盆地西南缘五指山—天宫堂构造带建全—龙华复向斜的核部,设计井深2500 m,完钻井深2406.00 m。钻探目的是主探须家河组陆相页岩气,兼探雷口坡组常规气。本文介绍了川沐地2井的钻探施工情况,针对侏罗系易垮塌的泥岩和三叠系可钻性差的砂岩,开展了高效提速复合钻进、复杂地层钻井液、下套管固井工艺等应用研究,解决了垮塌段下套管固井难题,提高了钻探效率,建成了一口可供地层含气性测试的合格井,获取了岩心等实物资料,查明了该井区的地层层序,在三叠系须家河组—雷口坡组钻遇37层油气显示,实现了钻探目的及油气发现,为页岩气地质调查评价奠定了基础,对巩固乌蒙山区脱贫攻坚成果具有重要意义。

关键词:大口径井;地质调查井;川沐地2井;页岩气钻探;复合钻进

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)12-0043-11

Drilling of a large diameter geological survey well (Well Chuanmudi-2) in Muchuan county of Sichuan province

FAN Lasheng¹, LIU Wei², ZHANG Tongde¹, DENG Wei¹, LU Junze²

(1. *The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China;*

2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: The large-diameter shale gas geological survey well (Well Chuanmudi-2) is located in the core of the Jianquan-Longhua synclinorium of the Wuzhishan-Tiangongtang structural belt in Southwestern Sichuan Basin with the design depth of 2500 m and the completion depth 2406.00 m. The drilling purpose is to explore continental shale gas in Xujiahe Formation and conventional gas in Leikoupo Formation. This paper introduces the drilling operations of Well Chuanmudi-2, whereby the application research on high-efficiency speed compound drilling, complex formation drilling fluid and casing cementing technology were carried out for the collapse prone mudstone of Jurassic and the poor drillability sandstone of Triassic. Through the research, the difficulty of casing cementing in the collapse section was resolved, drilling efficiency was improved, a qualified well for formation gas bearing test was built, the physical data such as core, cuttings and other were obtained, the stratigraphic sequence of the well area were identified, and the oil and gas display of layer 37 of Triassic Xujiahe Formation and Leikoupo Formation were hit; thus, achieving the drilling purpose, discovering oil & gas, and laying the foundation for shale gas geological investigation and evaluation which has a great significance to consolidate the poverty alleviation achievements in Wumeng Mountain area.

Key words: large-diameter well; geological survey well; Well Chuanmudi-2; shale gas drilling; compound drilling

收稿日期:2021-04-28; 修回日期:2021-11-20 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.12.008

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“滇东北地区页岩气地质调查(中国地质科学院探矿工艺研究所)”(编号:DD20201167)、“滇东北地区页岩气地质调查”(编号:DD20190080)

作者简介:樊腊生,男,汉族,1964年生,正高级工程师,探矿工程专业,从事深部钻探技术工作,四川省成都市郫都区成都现代工业港(北区)港华路139号,gysflscd@163.com。

引用格式:樊腊生,刘伟,张统得,等.四川沐川大口径地质调查井(川沐地2井)钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(12):43-53.

FAN Lasheng, LIU Wei, ZHANG Tongde, et al. Drilling of a large diameter geological survey well (Well Chuanmudi-2) in Muchuan county of Sichuan province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12):43-53.

1 项目概况

滇东北地区页岩气地质调查项目是中国地质调查局2019年新开二级项目,工作周期2019—2021年,由中国地质调查局成都地质调查中心(简称成都地调中心)承担。为探索评价长江上游新层系、新类型页岩气资源潜力,推进油气矿业权退出区块二次挖潜,支撑服务乌蒙山脱贫攻坚,成都地调中心2020年在四川盆地西南缘五指山—天官堂构造带建全—龙华复向斜核部部署了一口大口径地质调查井(川沐地2井),通过钻探及配套测录井、下套管固井、目的层取心、含气性现场解析等工作,查明三叠系须家河组页岩气基础地质条件,兼探雷口坡组碳酸盐岩储层及油气水分布,评价陆相页岩气及常规天然气资源前景,力争调查发现及突破。

根据工作部署,川沐地2井的钻探、取心、下套管固井、完井等工作由预算分列项目中国地质科学院探矿工艺研究所承担,川沐地2井的录井、测井及地质工作由二级项目成都地调中心承担。

川沐地2井设计为直井,设计井深2500 m、完钻口径215.9 mm,目的层位为须家河组、雷口坡组,完钻层位为雷口坡组一段,目的层取心钻进60 m,完井方式为P110钢级 Φ 139.7 mm油层套管完井。预测侏罗系地层压力系数为1.00、三叠系地层压力系数为1.10~1.20。川沐地2井位于四川省沐川县底堡乡五显村17组(原麻柳村5组)的龙溪河与罗干路(村道)之间的农田。

2 钻井质量要求

(1)井身质量要求。井斜角、全角变化率、井底水平位移、目的层段平均井径扩大率按照钻井井身质量控制规范执行^[1]。井斜数据采集间隔 \geq 200 m,完钻后不要求连续复测,以二开、三开的井斜、方位角测井进行校验,并作为井身质量评定的依据。

(2)井身结构要求。采用三开次的井身结构:一开 Φ 339.7 mm表层套管封闭浮土层及松散基岩,水泥上返至地面;二开 Φ 244.5 mm技术套管封闭侏罗系,避免可能出现的缩径、井壁垮塌等复杂井况,水泥上返至地面;三开 Φ 139.7 mm油层套管下深长度视油气显示情况而定,水泥返至地面。

(3)取心质量要求。稳定地层段岩心采取率 \geq 90%,破碎或松散地层段岩心采取率 \geq 50%。

(4)钻井液要求。满足地质目的和钻井工程需

要,具有经济性和低毒、低腐蚀性,有利于储层和环境保护。钻井液密度安全附加值为0.05~0.10 g/cm³。

(5)固井质量要求。固井作业要求水泥浆上返至地面,候凝时间 \leq 48 h,水泥浆密度1.75~1.95 g/cm³。二开、三开固井候凝后进行固井质量检测测井,再对套管柱进行试压,稳压30 min压降 \geq 0.5 MPa。

(6)井控要求。配备35 MPa的井控装置,具备远程液压控制及手动紧锁机构。立足初级井控、做好二级井控、杜绝三级井控。

3 地层及钻探施工难点分析

二级项目通过地质调查,根据二维地震解释,结合邻井(川沐地1井、幸福1井)资料,预测的川沐地2井钻遇地层情况见表1。

钻探施工难点分析:

(1)浅层气、油气层。沙溪庙组下段砂体中可能含一定量的常规天然气,须家河组五一六段以煤层气为主,须家河组的四段、三段、二段为致密砂岩气,须家河组的二段、须一段的“腰带子”泥岩为页岩气层,雷口坡组为常规气。应密切关注上述可能的显示层,仔细观察记录,加强井控工作。

(2)可能钻遇断层的位置。距井口350 m的二维地震WZS2019-006测线显示,川沐地2井雷口坡组有亮点异常区。该异常区可能为逆断层造成,因测线稀疏目前尚难判断,应加强随钻地层分析。

(3)易垮塌、缩径的位置。侏罗系以紫红—灰红色泥岩为主,钻井液与地层接触时间长,粘土矿物易膨胀,井壁稳定性差,易发生井壁垮塌、缩径卡钻等复杂井况。要做好防范措施,尤其是要控制钻井液失水,确保钻井液性能持续稳定优质,需要快速钻进、快速通过。

(4)易污染钻井液的位置。雷口坡组二段发育石膏层,易污染钻井液并造成复杂井况。要及时调整钻井液性能,注意观察岩屑及钻井液性能变化,及时补充钻井液材料或更换钻井液。

(5)可钻性差的位置。可钻性差的井段主要位于须家河组的四段、三段、二段,岩性以灰—浅灰色厚层—块状细—中粒长石石英砂岩为主。要及时优化钻具组合。

(6)可能的漏层、涌水层位置。浅层侏罗系蓬莱镇组可能发育开启缝,易发生井漏或涌水。深层须家河组、雷口坡组钻遇裂缝及溶洞可能发生井漏。

表1 川沐地2井地层情况
Table 1 Lithology of Well Chuanmudi-2

地层系统			预测		实钻		实钻地层主要岩性描述
系	组	段	顶深/ m	底深/ m	顶深/ m	底深/ m	
第四系			0	20	0	23.00	浮土,河道砂、砾
	蓬莱镇组		20	137			棕红色泥岩与紫红色泥岩互层,夹数层灰绿色粉砂岩
	遂宁组		137	617	23.00	504.60	暗紫、暗紫红色泥岩、粉砂质泥岩
		上段	617	1295	504.60	1194.00	暗紫红色泥岩、灰色粉砂岩,夹灰绿色细粒长石石英砂岩,底部紫红色泥岩产叶肢介
	沙溪庙组	下段	1295	1400	1194.00	1267.90	灰色、暗紫红色泥岩与灰绿色细粒长石石英砂岩不等厚互层,底部为浅灰绿色细粒长石石英砂岩
侏罗系	凉高山组				1267.90	1312.10	灰紫、灰红色泥岩与灰色细粒长石石英砂岩互层
		大安寨段	1400	1400	1312.10	1320.00	浅灰红、灰红色钙质泥岩为主,夹少量薄层灰白色细粒石英砂岩,顶部为灰色钙质泥岩,底部为一套灰白色细粒石英砂岩
	自流井组	马鞍山段	1400	1504	1320.00	1407.00	
		东岳庙段	1504	1514	1407.00	1412.50	
	珍珠冲组		1514	1607	1412.50	1494.00	浅灰红、灰红色泥岩与灰色细粒长石石英砂岩互层
		五~六段	1607	1822	1494.00	1651.50	灰色、深灰色泥岩为主,夹灰色粉砂岩、细粒长石石英砂岩及煤线
		四段	1822	1924	1651.50	1740.00	灰色细一中粒厚层状长石石英砂岩为主,间夹灰色泥岩及黑色煤线
	须家河组	三段	1924	2019	1740.00	1875.30	顶底以灰、灰黑色泥岩、炭质泥岩为主,中部为灰色粉砂岩、细一中粒长石石英砂岩
		二段	2019	2124	1875.30	2022.40	中上部以浅灰色细一中粒长石石英砂岩为主,下部为灰黑、灰色泥岩,底部为灰色中粒长石石英砂岩
		一段	2124	2159	2022.40	2036.00	灰黑色泥岩为主夹煤线,与下伏地层假整合接触
三叠系		四段	2159	2175			浅灰色云质灰岩、灰色云质泥岩、深灰色泥质灰岩
		三段	2175	2330	2036.00	2183.40	上部为灰色、浅灰色白云质灰岩与泥质灰岩不等厚互层;中下部为灰色膏质灰岩、泥质灰岩互层,间薄层灰黑色泥岩
	雷口坡组	二段	2330	2452	2183.40	2292.60	上部为灰黑色灰质泥岩、浅灰色白云质泥岩夹灰色灰岩;下部为灰白色石膏与灰色泥质灰岩互层
		一段	2452	2500	2292.60	2391.00	上部为浅灰色泥质白云岩与灰色白云质泥岩互层;中部为浅灰色白云岩、灰白色石膏、灰黑色白云质泥岩互层夹灰黑色泥质白云岩;底部为绿豆岩
	嘉陵江组	五段			2391.00	2406.00	未穿。灰白色石膏与灰色泥质白云岩互层

应稳定控制钻井液密度,及时堵漏。

4 井身结构及钻进工艺选择

4.1 井身结构设计

依据井深、完井的井径和地层层序、目的层等要求,川沐地2井采用三开结构^[2-6],一开套管封隔表层易塌的地层和地表水,二开套管封隔易垮塌的侏

罗系泥岩,三开油层套管满足地层含气性测试,设计的井身结构见表2。

4.2 钻探设备选择

根据井身结构、地层条件、负荷情况、环保要求等,川沐地2井采用柴油机组驱动的ZJ40型石油钻机,主要钻探设备见表3。

表2 井身结构

Table 2 Wellbore structure

钻头直径 /mm	井深/m		套管直径×壁厚 /mm	套管下深/m	
	设计	实钻		设计	实际
444.5	100.00	97.00	339.7×9.65	100.00	95.63
311.2	1608.00	1523.88	244.5×10.03	1607.00	1521.12
215.9	2500.00	2406.00	139.7×10.54	2498.00	2287.34

表3 主要钻探设备

Table 3 Main drilling equipment

序号	名称	型号	数量	备注
1	石油钻机	ZJ40	1部	225 t
2	底座	DZ225/4.5T	1部	
3	井架	JJ225/41K	1部	225 t
4	泥浆泵	F-1300	2台	956 kW
5	泥浆罐		4个	40 m ³
6	固控系统		1套	
7	柴油机组	G12V190PZL	3台	1000 kW
8	柴油发电机组	WL-400	1台	400 kW
9	井控系统		1套	35 MPa

4.3 钻具组合及钻进参数

根据井深、地层岩性和设计的开钻次序,一开井

段采用全钻铤的塔式钻具轻压吊打防斜,二开井段采用复合钻进技术快速通过易塌的侏罗系泥岩并防止卡钻(不安装稳定器),三开井段采用复合钻进技术提高须家河组砂岩的机械钻速,川沐地2井实钻采用的钻具组合见表4。

川沐地2井实钻采用的钻进参数见表5。

5 钻探施工

5.1 一开钻进(0~97.00 m)

一开于2020年11月17日开钻,采用 $\varnothing 444.5$ mm牙轮钻头及PDC全面钻头钻进至井深97.00 m完钻(11月21日)。下入 $\varnothing 339.7$ mm×9.65 mm套管(J55钢级)至井深95.63 m,内插法固井,注入水泥浆8.70 m³(P.C.42.5R复合硅酸盐水泥12.00 t),水

表4 钻具组合

Table 4 Bottom hole assembly

开次	钻具组合	备注
一开	$\varnothing 444.5$ mm牙轮钻头(或PDC全面钻头)+双母接头+ $\varnothing 203.2$ mm钻铤×2柱(6根)+变径接头+ $\varnothing 177.8$ mm钻铤×1柱	随井深逐步加钻铤
	$\varnothing 311.2$ mm PDC全面钻头+7LZ216×7单弯螺杆马达(弯度0.75°)+定向接头+ $\varnothing 203.2$ mm无磁钻铤×1根(内装无线随钻测斜仪)+ $\varnothing 203.2$ mm钻铤×1柱+变径接头+ $\varnothing 177.8$ mm钻铤×2柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm钻杆	井段97.00~1300.80 m
二开	$\varnothing 311.2$ mm PDC全面钻头+7LZ216×7单弯螺杆马达(弯度0.75°)+定向接头+ $\varnothing 203.2$ mm无磁钻铤×1根(内装无线随钻测斜仪)+ $\varnothing 203.2$ mm钻铤×1根+变径接头+ $\varnothing 177.8$ mm钻铤×2柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm钻杆	井段1300.80~1523.88 m
	$\varnothing 215.9$ mm PDC全面钻头+7LZ172×7单弯螺杆马达(弯度0.75°)+止回阀+ $\varnothing 211$ mm球形稳定器+ $\varnothing 165$ mm定向接头+ $\varnothing 177.8$ mm无磁钻铤×1根(内装无线随钻测斜仪)+ $\varnothing 177.8$ mm钻铤×2柱+ $\varnothing 172.0$ mm钻铤×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm钻杆	井段1523.88~1907.00 m
三开	$\varnothing 215.9$ mm PDC全面钻头+7LZ172×7单弯螺杆马达(弯度为1.25°)+止回阀+ $\varnothing 211$ mm球形稳定器+ $\varnothing 165$ mm定向接头+ $\varnothing 177.8$ mm无磁钻铤×1根(内装无线随钻测斜仪)+ $\varnothing 177.8$ mm钻铤×2柱+ $\varnothing 172.0$ mm钻铤×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm钻杆	井段1907.00~2406.00 m
	$\varnothing 215.9$ mm PDC取心钻头+ $\varnothing 180$ mm双筒川8-4取心工具+ $\varnothing 177.8$ mm钻铤×2柱+ $\varnothing 172.0$ mm钻铤×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm加重钻杆×1柱+变径接头+ $\varnothing 127$ mm钻杆	井段1914.10~2146.10 m

表5 钻进参数
Table 5 Drilling parameters

开次	钻进方法	钻压/ kN	转速/ (r·min ⁻¹)	排量/ (L·s ⁻¹)	立压/ MPa
一开	转盘钻进	40~60	60	32	2
二开	复合钻进	30~70	60+螺杆马达	34~38	5~8
	定向滑动钻进	30~70	螺杆马达	34~38	5~8
三开	复合钻进	40~60	60+螺杆马达	32	7~12
	取心钻进	50	60	32	6~8

泥浆返出地面,水泥浆平均密度 1.85 g/cm³。

候凝期间,保养设备、井场整理,利用连接法兰+双外螺纹短节的简易套管头^[7],安装四通、2FZ35-35型双闸板防喷器及JG35节流管汇、YG35压井管汇、放喷管线、NQF800/1.6型液气分离器、FKQ320-4型防喷器控制台等。采用泥浆泵对 $\Phi 339.7$ mm表层套管试压 10 MPa、稳压 30 min 压力不降;对井控装置(防喷器、四通、节流管汇、压井管汇)试压 10 MPa、稳压 30 min 压力不降。

全面钻进 5 个回次,平均机械钻速为 1.18 m/h,基岩段(井深 23.00~97.00 m)转盘钻进受轻压吊打及单泵排量的影响,牙轮钻头钻进(平均机械钻速 1.03 m/h)效果好于 PDC 钻头钻进(平均机械钻速 0.89 m/h)。一开钻进采用膨润土聚合物钻井液体系^[8],漏斗粘度 30~60 s,密度 1.05~1.07 g/cm³,失水量 5~12 mL/30 min, pH 值 9~10。

5.2 二开钻进(97.00~1523.88 m)

二开于 2020 年 11 月 25 日开钻,采用无线随钻测斜仪(泥浆脉冲 MWD)进行轨迹跟踪监测的 7LZ216×7 单弯螺杆马达(弯度 0.75°)加 $\Phi 311.2$ mm PDC 全面钻头的复合钻进技术^[9-11],配合随钻录井,复合钻进至井深 1523.88 m 进入须家河组顶部,二开完钻(12月21日)。

(1)扫水泥塞及套管附件后,复合钻进至井深 100.00 m,循环处理好钻井液(密度 1.08 g/cm³)后关井做地层破裂试验(以 5 L/s 的排量井口缓慢加压至 1.5 MPa,停泵 15 min 压力不降,计算得套管鞋处当量钻井液密度为 2.68 g/cm³)。

(2)复合钻井至井深 231.07 m,因井斜角由 0.79°(测量点井深 159.83 m,方位角 84.3°)增加到 1.36°(测量点井深 208.48 m,方位角 93.2°),在不提钻的情况下由复合钻进转换为定向滑动钻进(降斜)

1 根单根^[12]。后续复合钻进中,MWD 监控井眼轨迹(钻进约 50 m 随钻测斜一次),井斜超标时及时进行定向滑动控斜钻进,二开累计定向滑动控斜钻进 16 个井段,累计进尺 344.15 m、平均机械钻速 2.90 m/h。

(3)复合钻进至井深 699.00、940.00、978.00 m 处因钻速慢分别提大钻,发生钻头泥包现象。针对沙溪庙组上段的暗紫红色泥岩,调整钻井液性能,加大包被剂(主要为聚丙烯酸钾)的使用量,同时降低失水量(提高聚阴离子纤维素及聚丙烯腈铵盐加量),适当提高钻井液密度及泥浆泵排量。

(4)复合钻进至井深 1300.80 m 时泵压由 7.24 MPa 降低至 3.17 MPa,悬重由 562.9 kN 降低至 518.8 kN,起钻后发现 $\Phi 203.2$ mm 钻铤脱扣,“鱼顶”位置 1263.67 m,“落鱼”总长 37.13 m,下入公锥造扣成功打捞出全部“落鱼”。

(5)复合钻进至井深 1494.00 m,钻穿珍珠冲组,于井深 1523.88 m(须家河组顶部)二开完钻。配合测井,第一趟测井探管下至井深 965.00 m 处遇阻,上测后下 $\Phi 311.2$ mm 牙轮钻头+ $\Phi 308$ mm 稳定器通井,划眼井段 960.00~991.00 m 和 1485.00~1523.00 m,注滴流钻井液 15 m³循环携砂^[13],注封闭浆 15 m³后起钻完成二开测井。

(6)测井后,下牙轮钻头通井,划眼井段 1480.00~1523.00 m,注滴流钻井液 30 m³循环携砂(见图 1),注封闭浆 15 m³后短起钻 21 柱至井深 940.00 m(过测井遇阻点),下钻循环测后效,此时差 6.00 m 到底;划眼到底后反复注入滴流钻井液循环携砂,提出方钻杆加 1 根钻杆停泵活动钻具,静止 20 min,下放仅剩 0.30 m 到底;注封闭浆 15 m³短起钻 5 柱,下钻仍差 0.30 m 到底,划眼到底循环携砂,注封闭浆 90 m³,封 400.00~1523.00 m 井段,起钻。下入 $\Phi 244.5$ mm×10.03 mm 套管(下部为 J55 钢级,上部 396.87 m 为 N80 钢级)至井深 1521.12 m(工程阻位 1486.22 m),注入水泥浆 106.00 m³(嘉华 G 级油井水泥 133.00 t,早强剂 3.33 t,降失水剂 2.13 t,减阻剂 0.40 t、缓凝剂 0.67 t),清水替浆,胶塞碰压 18 MPa,水泥浆返出地面约 20 m³,敞压候凝,水泥浆平均密度 1.84 g/cm³。

(7)候凝期间,维护保养设备、安装备用泥浆泵(F-1300 型);通过卡瓦式套管悬挂器安装 TF9-5/8×5-1/2-70 套管头(注入密封脂后,试压 19 MPa);



图1 携带出来的砂

Fig.1 Sand brought out

通过变径法兰连接四通和2FZ35-35型双闸板防喷器,恢复其他井控设备^[14]。固井质量检测测井(测井解释技术套管固井质量评价为合格)后采用GJC40-17固井水泥车对 $\text{O}244.5\text{ mm}$ 技术套管试压12 MPa、稳压30 min,对井控装置的10个部件分别试压28 MPa、稳压30 min。

全面钻进10个回次,平均回次进尺长度142.69 m,平均机械钻速为3.69 m/h,其中复合钻进的平均机械钻速4.05 m/h、定向滑动控斜钻进的平均机械钻速2.90 m/h。二开上部井段采用钾铵基聚合物钻井液体系、下部井段采用有机硅聚合物钻井液体系,漏斗粘度38~53 s,密度1.08~1.20 g/cm³,失水量5~10 mL/30 min,pH值9~10。

5.3 三开钻进(1523.88~2406.00 m)

三开于2021年1月1日开钻,采用无线随钻测斜仪+7LZ172 \times 7单弯螺杆马达+ $\text{O}215.9\text{ mm}$ PDC全面钻头的复合钻进技术,配合随钻录井,复合钻进至井深2391.00 m(绿豆岩标志层)钻穿了设计完钻层位雷口坡组一段进入嘉陵江组五段地层,达到地质目的,于井深2406.00 m三开完钻(1月25日)。

(1)扫水泥塞及套管附件后,复合钻进至井深1527.00 m,循环处理好钻井液(密度1.18 g/cm³)后关井做地层破裂试验(以5 L/s的排量井口缓慢加压至2 MPa,停泵15 min压力不降,计算得套管鞋处当量钻井液密度为1.31 g/cm³)。

(2)复合钻进至井深1914.10 m(须家河组二段),应地质要求进行第一个回次的取心钻进至井深1930.10 m。取心钻进采用PDC取心钻头+川8-4双筒取心工具的转盘钻进^[15]。

(3)复合钻进至井深1980.40 m,气测显示强烈,

槽面有鱼籽状气泡,钻井液气点火着(见图2);复合钻进至井深1982.00 m,显示未完,停钻循环排气、边循环边加重钻井液密度至1.32 g/cm³;复合钻进至井深1995.00 m见气测显示,钻进至井深1997.00 m停钻地质循环1.5 h,短起钻18柱静止观察2 h,下钻到底开泵循环15 min,关井,转液气分离器节流循环40 min,点火未着,开井循环,起大钻。



图2 录井色谱仪气路管线点火

Fig.2 Gas pipeline ignition of the logging chromatograph

(4)换取心钻具下至井深1995.00 m,开泵循环24 min见后效强烈显示,关井,转液气分离器节流循环点火未着,关井循环15 min内不间断测量(测量5次)钻井液密度均为1.33~1.34 g/cm³,开井循环,取心钻进2个回次,分别至井深2013.00、2030.00 m。

(5)复合钻进至井深2135.00 m(钻井液密度1.35 g/cm³),短起下钻测后效后,起大钻换取心钻具,取心钻进至井深2146.10 m,气测显示强烈,气泡满槽,槽面上涨2 cm,钻井液增长0.5 m³。井口见井涌,钻井液涌出转盘面20~30 cm,立即关井,通过液气分离器节流循环点火,焰高1~3 m(见图3),颜色淡黄色,燃烧持续11 min。循环压井,钻井液密度提高到1.41 g/cm³,短起下钻测后效后起大钻。

(6)复合钻进至井深2406.00 m(嘉陵江组五段),短起下钻测后效后,起大钻三开完钻。

钻进9个回次,平均回次进尺长度98.01 m,平均机械钻速为3.21 m/h。其中,复合钻进5个回次,平均回次进尺164.40 m,平均机械钻速为3.42 m/h;取心钻进4个回次,进尺60.10 m,岩心长度58.37



图3 节流循环点火

Fig.3 Throttle cycle ignition

m, 平均岩心采取率 97.12%, 平均机械钻速 1.73 m/h, 平均回次进尺 15.03 m。三开采用有机硅聚合物钻井液体系, 漏斗粘度 36~56 s, 密度 1.14~1.50 g/cm³, 失水量 4~6 mL/30 min, pH 值 9~10。井深 1982.00 m 后因气测显示强烈, 经审批提高钻井液密度(三开设计钻井液密度 1.10~1.30 g/cm³), 后续钻进中在压住气、不压漏地层的前提下, 逐步提高钻井液密度至 1.47 g/cm³(最高达 1.50 g/cm³)。

5.4 完井

2021年1月25日配合测井后, 下 \varnothing 215.9 mm 牙轮钻头通井循环, 下入完井 \varnothing 139.7 \times 10.54 mm 油层套管(P110 钢级)至井深 2287.34 m(工程阻位 2255.65 m), 油层套管通过芯轴式套管悬挂器(萝卜头)悬挂在套管头内, 注入低密度水泥浆 37.00 m³(嘉华 G 级油井水泥 28.60 t, 粉煤灰 10.22 t, 微硅粉 2.04 t, 早强剂 1.025 t, 降失水剂 0.655 t, 缓凝剂 0.330 t), 再注入常规密度水泥浆 34.00 m³(嘉华 G 级油井水泥 42.57 t, 早强剂 1.065 t, 降失水剂 0.685 t, 减阻剂 0.130 t, 缓凝剂 0.210 t), 清水替浆, 胶塞碰压 23 MPa, 水泥浆返出地面约 6 m³, 敞压候凝, 低密度水泥浆平均密度 1.65 g/cm³、常规密度水泥浆平均密度 1.92 g/cm³。候凝 48 h 后配合固井质量检测测井, 测井解释: 油层套管固井质量评价为合格, 油层套管人工井底井深 2237.50 m, 2 根短套管位置井深分别为 1952.30~1955.20、2113.70~2116.60 m。候凝 72 h 后采用 GJC40-17 固井水泥车对油层套管试压 40 MPa、稳压 30 min, 压降 0.46 MPa, 合格。在井口套管头上安装盖板完井(2021年1月31日)。

6 钻探技术经济效果

川沐地 2 井于 2020 年 11 月 17 日开钻, 经历了

一开(第四系、遂宁组)全面钻进、下表层套管并固井、安装井控系统、试压, 二开(遂宁组、沙溪庙组、凉高山组、自流井组、珍珠冲组、须家河组)全面钻进(复合钻进、定向滑动控斜钻进)、地层破裂试验、防喷演习、随钻录井、测井、下技术套管并固井、安装套管头及井控系统、固井质量检测测井、试压, 三开(须家河组、雷口坡组、嘉陵江组)复合钻进、地层破裂试验、防喷演习、取心钻进、随钻录井, 于 2021 年 1 月 25 日钻达井深 2406.00 m 完钻, 钻井周期 69.08 d, 完钻口径 215.9 mm。完成三开测井、下油层套管并固井、固井质量检测测井、套管试压 40 MPa、安装井口盖板等工作, 于 2021 年 1 月 31 日完井, 施工进展情况见图 4, 完井周期 75.53 d, 建井周期 85.44 d。

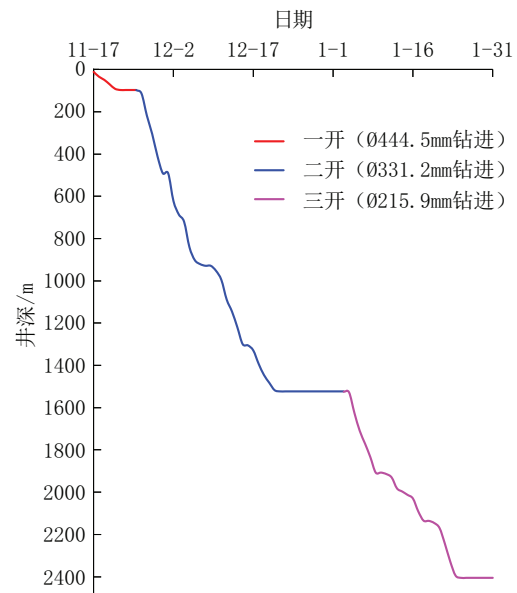


图4 川沐地2井钻探施工进度曲线

Fig.4 Drilling progress curve of Well Chuamudi-2

川沐地 2 井钻进 24 个回次(见表 6), 平均机械钻速 3.24 m/h, 平均回次进尺 100.25 m。其中, 全面钻进 20 个回次, 平均机械钻速 3.31 m/h, 平均回次进尺 117.30 m; 取心钻进 4 个回次、平均机械钻速 1.73 m/h, 平均回次进尺 15.03 m, 平均岩心采取率 97.12%。钻探施工中采取的工艺参数(单根数据采集)见图 5。纯钻进时间 742.92 h(30.95 d), 占完井周期的 40.98%(见图 6)。

川沐地 2 井最大井斜角位于井底, 井底井斜角 3.19°(见图 7)、方位角 54.95°, 最大全角变化率为 1.83°/30 m, 井底水平距 48.17 m、垂深 2405.01 m、

表6 川沐地2井钻进回次统计
Table 6 Drilling trips of Well Chuanmudi-2

开次	回次 编号	钻进方法	井深/m			机械钻速/ (m·h ⁻¹)	备注
			自	至	进尺		
一开	1	牙轮钻头转盘钻进	0.00	34.00	34.00	1.84	起钻换PDC钻头
	2	PDC钻头转盘钻进	34.00	40.00	6.00	1.20	起钻检查PDC钻头
	3	PDC钻头转盘钻进	40.00	49.89	9.89	0.77	起钻换牙轮钻头
	4	牙轮钻头转盘钻进	49.89	91.00	41.11	1.09	起钻检查钻头
	5	牙轮钻头转盘钻进	91.00	97.00	6.00	0.75	一开完钻提钻
		小计			97.00	1.18	
二开	6	PDC钻头复合钻进	97.00	491.00	394.00	4.54	含定向滑动钻进58.22m,水龙带坏提钻
	7	PDC钻头复合钻进	491.00	647.29	156.29	6.95	含定向滑动钻进29.13m,泵压下降提钻
	8	PDC钻头复合钻进	647.29	699.00	51.71	3.25	含定向滑动钻进32.09m,钻头泥包提钻
	9	PDC钻头复合钻进	699.00	902.00	203.00	4.71	含定向滑动钻进31.09m,起钻换螺杆马达
	10	PDC钻头复合钻进	902.00	929.00	27.00	2.13	设备故障提钻
	11	PDC钻头复合钻进	929.00	940.00	11.00	1.91	钻头泥包提钻
	12	PDC钻头复合钻进	940.00	978.00	38.00	3.17	含定向滑动钻进0.74m,钻头泥包提钻
	13	PDC钻头复合钻进	978.00	1300.80	322.80	3.74	含定向滑动钻进134.86m,钻铤脱扣提钻
	14	PDC钻头复合钻进	1300.80	1330.00	29.20	3.61	泵压下降提钻
	15	PDC钻头复合钻进	1330.00	1523.88	193.88	2.09	含定向滑动钻进58.02m,二开完钻提钻
		小计		1426.88	3.69		
三开	16	PDC钻头复合钻进	1523.88	1907.00	383.12	3.51	起钻检查螺杆马达
	17	PDC钻头复合钻进	1907.00	1914.10	7.10	4.73	准备取心提钻
	18	PDC钻头取心钻进	1914.10	1930.10	16.00	2.18	须家河组二段,岩心采取率99.69%
	19	PDC钻头复合钻进	1930.10	1997.00	66.90	6.63	准备取心提钻
	20	PDC钻头取心钻进	1997.00	2013.00	16.00	2.49	须家河组二段,岩心采取率99.81%
	21	PDC钻头取心钻进	2013.00	2030.00	17.00	1.50	须家河组二段~一段,岩心采取率95.29%
	22	PDC钻头复合钻进	2030.00	2135.00	105.00	2.88	准备取心提钻
	23	PDC钻头取心钻进	2135.00	2146.10	11.10	1.16	雷口坡组三段,岩心采取率92.34%
	24	PDC钻头复合钻进	2146.10	2406.00	259.90	3.13	三开完钻提钻
		小计		882.12	3.21		
		合计		2406.00	3.24		

闭合方位角81.64°。二开平均井径365.8 mm,井径扩大率17.54%,三开平均井径237.4 mm,井径扩大率9.96%。井身质量符合设计要求。

7 取得的成果

7.1 查明了该井区地层情况

通过钻探施工及取心,配合录井及测井工作,获取了川沐地2井的原始资料和数据,查明了该井区的地层层序(见表1),为该井区的油气发现奠定了良好基础。

7.2 油气发现

川沐地2井在三叠系须家河组—雷口坡组钻遇37层油气显示(页岩气11层71 m、致密砂岩气17层114 m、碳酸盐岩常规气9层20.5 m)。其中,须家河组二段、雷口坡组三段显示强烈,3个井段气测录井全烃大于90%,累计厚度10 m,气泡满槽。雷口坡组三段实施液气分离器循环获得天然气流,点火焰高1~3 m。为资源评价提供了基础资料。

7.3 复合钻进技术的应用

针对沐川地区的地层特点,二开、三开开展了无线随钻测斜仪+单弯螺杆马达(弯度0.75°或

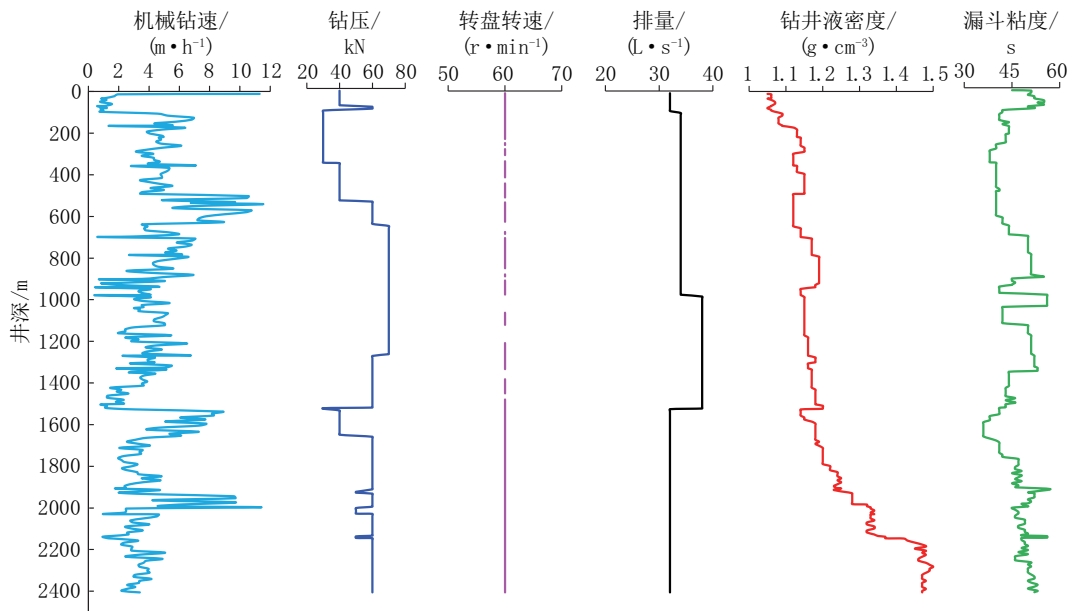


图5 川沐地2井钻探施工主要工艺参数

Fig.5 Main drilling parameters for Well Chuanmudi-2

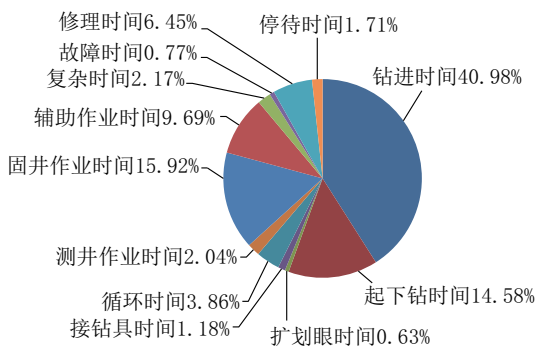


图6 川沐地2井钻探施工时间利用分析

Fig.6 Analysis on drilling time utilization of Well Chuanmudi-2

1.25°)+PDC全面钻头高效提速钻具组合的应用。通过实施该项复合钻进技术,可实现随钻监测井斜变化情况,一旦出现井斜超标或快速增大趋势可实现不提大钻立即定向滑动控斜钻进,降低了辅助工作时间,提高了工作效率。二开 $\varnothing 311.2$ mm全面钻进10个回次,平均回次进尺142.69 m,平均机械钻速3.69 m/h(其中复合钻进的机械钻速4.05 m/h、定向滑动控斜钻进的机械钻速2.90 m/h)。三开 $\varnothing 215.9$ mm复合钻进5个回次,平均回次进尺164.40 m,平均机械钻速3.42 m/h。全井最大井斜角3.19°,最大全角变化率1.83°/30 m,符合规范和设计要求,确保套管顺利下入到位。

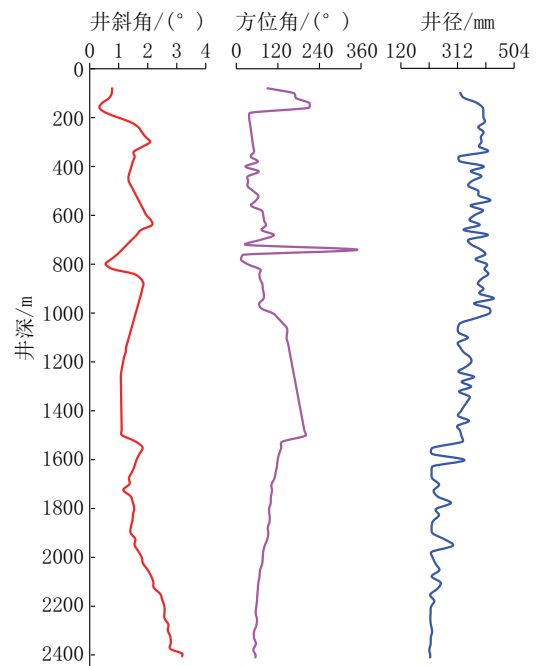


图7 川沐地2井井斜、井径测井数据曲线

Fig.7 Deviation and caliper logging data curve of Well Chuanmudi-2

7.4 有机硅聚合物钻井液体系的应用

在川沐地2井钻进过程中,钻遇深厚沙溪庙组泥岩地层,该类地层粘土矿物含量高,容易水化膨胀缩径,钻井液性能难以控制,易造成井内复杂情况;而在雷口坡组钻遇长段石膏层,钻井液易遭受钙侵

污染。针对此情况,优选了有机硅聚合物钻井液体系,其主要以有机硅聚合物抑制剂、抗污染剂、聚阴离子纤维素、聚丙烯腈铵盐为基础,配合聚丙烯酸钾、无荧光防塌剂等其他处理剂形成具有较强抑制性和优良流变性的钻井液体系。钻探施工中未发生严重的井内复杂情况,全井平均机械钻速达到3.24 m/h,纯钻时间利率为40.98%。

7.5 侏罗系垮塌地层下套管固井工艺

二开测井后,针对侏罗系垮塌地层,下钻通井,通过注滴流钻井液循环携砂,注封闭浆后短起钻过测井遇阻点后,下钻循环测后效,检验循环排砂效果;再划眼到底后反复注入滴流钻井液循环携砂,提出方钻杆加1根钻杆停泵活动钻具,探底。又注封闭浆后短起下钻,下钻探底,划眼到底循环携砂,确保井内干净;再注封闭浆,封闭超径井段后起钻。通过循环携砂、注封闭浆,确保 $\varnothing 244.5$ mm技术套管顺利下入至预定井深1521.12 m并完成固井,为三开目的层钻进提供了安全保障。

7.6 建成了一口可供地层含气性测试的合格井

通过钻探、下套管固井、完井等工作,建成一口可供地层含气性测试的合格井。井身质量满足测试要求,全井下入3层套管,安装了TF244.5 \times 139.7-70套管头, $\varnothing 139.7$ mm油层套管试压40 MPa,人工井底井深2237.50 m,工程阻位2255.65 m。

8 结语

在四川沐川地区完成了大口径地质调查井的钻探、取心、下套管固井、完井等施工任务,配合随钻录井、测井等工作,查明了该井区的地质结构及主要岩性,获取了地层岩性、物性、电性、岩相及含油气水等基础地质特征以及须家河组富有机质页岩厚度,为四川盆地西南缘页岩气新层系资源潜力评价提供了基础资料。开展了高效提速复合钻进、复杂地层钻井液、侏罗系易塌地层下套管固井工艺等应用研究,钻探效率较邻井有较大幅度提高,建成了一口可供地层含气性测试的合格井。在三叠系须家河组一雷口坡组钻遇37层油气显示,证实了该区域具有良好的油气资源前景,为盘活退出区块,服务油气矿权体制改革奠定了坚实基础,有望形成多层位立体勘探开发格局,对巩固乌蒙山区脱贫攻坚成果具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] SY/T 5088—2017, 钻井井身质量控制规范[S].
SY/T 5088—2017, Specification for wellbore quality of drilling[S].
- [2] 迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.黔西地区表层易漏地层钻井工程技术[J].钻探工程,2021,48(4):66-72.
CHI Huanpeng, HU Zhifang, WANG Shengjian, et al. Drilling techniques for thief zones in surface formations in Western Guizhou[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4): 66-72.
- [3] 熊虎林,张飞.新疆吉木萨尔县准页4井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):38-42.
XIONG Hulin, ZHANG Fei. Drilling technology for Zhunye Well-4 in Jimusaer county of Xinjiang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(12): 38-42.
- [4] 彭泉霖.大塔场构造遂宁组—须家河组钻井技术难点及应对措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):32-35.
PENG Quanlin. Technical difficulties and countermeasures for drilling in Suining Formation and Xujiahe Formation of Datachang structure[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(6): 32-35.
- [5] 董海燕,高永进,白忠凯,等.塔里木盆地柯坪地区新苏地1井冲洗液护壁堵漏工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):47-55.
DONG Haiyan, GAO Yongjin, BAI Zhongkai, et al. Wall protection and leak-plugging with drilling fluid for Well Xinsudi-1 in Keping area of Tarim Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(8): 47-55.
- [6] 樊腊生,贾小丰,王贵玲,等.雄安新区D03地热能探井钻探施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):13-22.
FAN Lasheng, JIA Xiaofeng, WANG Guiling, et al. Drilling practice of D03 geothermal exploration well in Xiong' an New Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(10): 13-22.
- [7] SY/T 6789—2010, 套管头使用规范[S].
SY/T 6789—2010, Specifications of operation for casing head[S].
- [8] 战启帅,杨卫东,王天放,等.鲁页参1井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):27-31.
ZHAN Qishuai, YANG Weidong, WANG Tianfang, et al. Drilling fluid technology in shale gas parameter Well-1 of Shandong [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 27-31.
- [9] 王希勇,朱礼平,胡大梁,等.复合钻井技术在川东北地区的应用[J].天然气工业,2008,28(11):77-79.
WANG Xiyong, ZHU Liping, HU Daliang, et al. Application of compound drilling technology in northeast Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(11): 77-79.
- [10] 孙传佳,黎波.螺杆马达复合钻进在川西南幸福1井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):37-39.
SUN Chuanjia, LI Bo. Sliding and rotary PDM drilling of Well Xingfu-1 in southwest Sichuan [J]. Exploration Engineering

- (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(11):37-39.
- [11] 秦社,袁明进,张娜. 川南坳陷仁怀区块仁页1井钻井关键技术[J]. 石油机械, 2015, 43(6):16-19.
QIN Du, YUAN Mingjin, ZHANG Na. Key drilling technologies for shale gas exploration Well Renye-1 in Block Huai ren in Southern Sichuan Depression[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(6):16-19.
- [12] 樊腊生,张伟,吴金生,等. 汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4孔定向钻进技术应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9):101-108.
FAN Lasheng, ZHANG Wei, WU Jinsheng, et al. Application of directional drilling technology in WFSD-4 of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9):101-108.
- [13] 马春亮,刘海丽,郭海峰,等. 钻井液段塞技术在渤海油气田的应用[J]. 化工管理, 2014(23):137.
MA Chunliang, LIU Haili, GUO Haifeng, et al. Application of drilling fluid slug technology in Bohai Oil & Gas Field[J]. Chemical Enterprise Management, 2014(23):137.
- [14] GB/T 31033—2014,石油天然气钻井井控技术规范[S].
GB/T 31033—2014, Specification for well control technology of oil & gas drilling[S].
- [15] 熊虎林,张飞,甘辉敏,等. 页岩气调查泉参1井大口径同径取心钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(6):19-25.
XIONG Huilin, ZHANG Fei, GAN Huimin, et al. Coring technique for shale gas survey Quancan Well-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6):19-25.
- (编辑 李艺)

2021年度《钻探工程》期刊高影响力学术论文

本刊讯 基于论文被引用和网络下载数量,编辑部对本刊2019—2021年刊登的论文进行统计打分,评选出了“2021年度《钻探工程》期刊高影响力学术论文”(TOP10),名单如下:

序号	论文题目	作者	年,(卷)期	作者单位
1	油页岩地下原位转化与钻采技术现状及发展趋势	孙友宏,郭威,邓孙华	2021,48(1)	油页岩地下原位转化与钻采技术国家地方联合工程实验室,吉林大学建设工程学院,自然资源部复杂条件钻采技术重点实验室,中国地质大学(北京)工程技术学院
2	中国页岩气革命现状与发展建议	赵全民,张金成,刘劲歌	2019,46(8)	中国石化集团国际石油勘探开发有限公司,中国石化石油工程技术研究院
3	绿色勘查高温环保冲洗液研究	付帆,陶士先,李晓东	2020,47(4)	北京探矿工程研究所
4	我国煤矿坑道钻探装备技术进展与展望	姚宁平,姚亚峰,方鹏,田宏亮,郝世俊,梁春苗,张幼振	2021,48(1)	中煤科工集团西安研究院有限公司,煤炭科学研究总院
5	极地冰钻关键技术研究进展	张楠,王亮,Pavel Talalay,范晓鹏,王如生,杨阳,洪嘉琳,宫达,孙友宏,李院生,李冰	2020,47(2)	吉林大学建设工程学院,吉林大学极地研究中心,吉林大学极地科学与工程研究院,自然资源部复杂条件钻采技术重点实验室,中国地质大学(北京),中国极地研究中心
6	RMR技术在海域天然气水合物钻探中的适应性分析	王偲,谢文卫,张伟,陈靓,陈浩文	2020,47(2)	中国地质调查局广州海洋地质调查局,自然资源部海底矿产资源重点实验室,中国地质科学院勘探技术研究所
7	国内外绳索取心钻具研发应用概况及特深孔钻进问题分析	李鑫淼,李宽,孙建华,梁健,尹浩	2020,47(4)	中国地质科学院勘探技术研究所
8	高速泥浆脉冲传输技术在随钻测井系统的应用研究	张冲,张爽,王智明	2020,47(10)	中海油田服务股份有限公司
9	基于ANSYS/LS-DYNA的岩石爆破结构数值模拟分析	孙西濛,叶春琳,胡燕川,张凯,刘宝林,薛启龙,周鹏	2019,46(10)	北京市政路桥股份有限公司,中国地质大学(北京)工程技术学院,自然资源部深部地质钻探技术重点实验室
10	特深孔地质岩心钻探孔口径及管柱规格研究	梁健,尹浩,孙建华,王志乔,蔡纪雄,李鑫淼	2019,46(8)	中国地质科学院勘探技术研究所,中国地质大学(北京)工程技术学院,无锡钻探工具厂有限公司

此外,本刊有2篇论文入选“2021年度中国地质调查局期刊百篇优秀论文”,不再参与此次评选。名单如下:

序号	论文题目	作者	年,(卷)期	作者单位
1	雄安新区D03地热勘探井钻探施工实践	樊腊生,贾小丰,王贵玲,张统得,张平,吕灿,李俊萍	2020,47(10)	中国地质科学院探矿工艺研究所,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北省地矿局第三水文工程地质大队
2	基于钻进状态监测的智能工况识别	范海鹏,吴敏,曹卫华,赖旭芝,陈略峰,陆承达	2020,47(4)	中国地质大学(武汉),复杂系统先进控制与智能化湖北省重点实验室