

潮页 1 井钻探施工技术

王世炬¹, 刘昕伟¹, 王 烁², 徐明曙³, 纪卫军⁴

(1.甘肃煤田地质局一四五队,甘肃 张掖 734000; 2.湖南大学数学与计量经济学院,湖南 长沙 410012;
3.贵州大学资源与环境工程学院,贵州 贵阳 550025; 4.北京探矿工程研究所,北京 100083)

摘要:潮页 1 井是在潮水盆地布置的第一口页岩气资源调查井,取心质量要求较高,地层有大段泥页岩层段,易水化剥落,施工难度大。本文着重介绍了潮页 1 井取心工艺、钻头选型、冲洗液技术及井斜控制技术等相关的施工经验。潮页 1 井采用大口径绳索取心技术,第四系地层以深全井取心,该技术在甘肃地区鲜有可供参考的施工案例,而该井岩心采取率接近 90%。钻进过程中通过选用合理的钻进参数和护壁性能较强的冲洗液体系,解决了施工中遇到的地层“打滑”、井壁稳定性差等技术难点,保障了潮页 1 井的顺利完工。

关键词:页岩气井;大口径;绳索取心;成膜防塌冲洗液;潮水盆地

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)10-0033-05

Drilling technology for Well Chaoye - 1

WANG Shiju¹, LIU Xinwei¹, WANG Shuo², XU Mingshu³, JI Weijun⁴

(1.145 Brigade, Gansu Bureau of Coal Geology, Zhangye Gansu 734000, China;

2.School of Mathematics and Economics, Hunan University, Changsha Hunan 410012, China;

3.Resource and Environmental Engineering College, Guizhou University, Guiyang Guizhou 550025, China;

4.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The Well Chaoye - 1 is the first shale gas resource survey well deployed in the Chaoshui Basin. It requires high quality coring. There are large sections of shale in the strata, which are easily hydrated and spalled, making drilling difficult. This article focuses on the experience of the coring process, bit selection, drilling fluids technology and well deviation control technology for the Well Chao - 1. Large-diameter wireline coring was used Chaoye - 1, and the full well section below the Quaternary formation was cored. Though there were very few cases with this technology for reference in Gansu, core recovery was achieved close to 90%. During the drilling process, by choosing reasonable drilling parameters and a drilling fluid with strong wall protection performance, the technical difficulties encountered in the formation such as formation slippage and poor wellbore wall stability were solved, and the smooth completion of the well was ensured.

Key words: shale gas well; large diameter; wireline coring; film-forming and anti-collapse drilling fluid; Chaoshui Basin

1 概况

近几年,随着国际能源形势的日益严峻,世界各国加大了对新型油气资源的勘探力度。美国是页岩气勘探与开发的领跑者,已经取得了举世瞩目的成果^[1]。2011 年底,我国将页岩气列为独立矿种之后,国家大力支持页岩气勘探与开发工作^[2-4]。甘肃煤田地质局在甘肃省内多个页岩气发育有利区开展了页岩气勘探工作。潮页 1 井布置在潮水盆地红柳园坳陷上,由甘肃煤田地质局一四五队施钻,设计井深 2600 m,第四系地层以深全井取心。钻探的目的是预探红柳园坳陷,查明富含有机质泥页岩层系的分

布特征、岩性组合、有机地化、岩石矿物学及含气性特征,初步评价调查区内页岩气资源的勘查前景。

2 主要技术难点

(1)取心难度大、岩心采取率要求高。根据设计要求,潮页 1 井岩心直径 ≤ 60 mm,全井泥页岩层段岩心采取率 $\geq 90\%$,目的层岩心采取率 $\geq 90\%$ 。由于该井地层有大段泥页岩层段,地层容易“打滑”,井壁易水化剥落。大口径绳索取心技术在甘肃地区可参考的施工案例较少^[5-7]。

(2)地层复杂、孔壁稳定性差^[8-10]。潮页 1 井

收稿日期:2019-12-27; 修回日期:2020-06-11 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.10.006

作者简介:王世炬,男,汉族,1974 年生,从事钻探技术和生产管理工作,甘肃省张掖市张火公路 145 号,736333230@qq.com。

通信作者:刘昕伟,男,汉族,1986 年生,工程师,从事岩心钻探生产管理工作,甘肃省张掖市张火公路 145 号,851773779@qq.com。

引用格式:王世炬,刘昕伟,王烁,等.潮页 1 井钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):33-37.

WANG Shiju, LIU Xinwei, WANG Shuo, et al. Drilling technology for Well Chaoye - 1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):33-37.

上部地层松散胶结质量差,容易坍塌掉块,漏失层段多。深部钻进施工中,钻具摩阻大,加之地层软硬互层变化频繁,井斜不易掌控。中侏罗统泥页岩层水敏性强,水化现象严重,井壁容易剥落垮塌,进一步增大井内摩阻与扭矩,易造成井下复杂事故。

(3)对冲洗液性能要求高^[11-13]。本井泥页岩地层较为复杂,泥岩水化膨胀、井壁坍塌等情况均有发生;同时,出于储层保护的要求,限制了某些封堵性材料的加入,对冲洗液性能提出更高的要求。

(4)其他难点^[14-16]。在松散层及深井段如何保证岩心采取率和取心质量,深井取心时如何防止打捞器堆绳或放空,如何确定打捞器下入位置的准确性和捞取的可靠性等。

3 钻探施工技术

3.1 潮页1井地层信息及井身结构设计

潮水盆地的侏罗系地层是一套生油、含煤的陆相碎屑沉积,上、中、下三统地层发育较全,其中,中侏罗统青土井群(J_2qn)地层为本次页岩气调查主要目的层段,下侏罗统茆茆沟群(J_1jj)为次目的层。潮页1井实际揭露地层信息如表1所示。

表1 潮页1井地层信息

Table 1 Chaoye-1 geological information

地层名称	底深/m	层厚/m	岩性
第四系	329.37	329.37	浅棕黄色砂土、亚砂土
新近系	432.47	103.10	紫红、灰绿色泥岩为主,夹少量杂色砾岩
白垩系	908.53	476.06	紫红色泥岩、砂岩、含砾砂岩
上侏罗统 沙枣河组	1710.84	802.31	紫褐色大段泥岩、砂岩和少部分含砾砂岩互层
中侏罗统 青土井群	2786.56	1075.72	上部为紫褐色夹灰绿色泥岩、粉砂岩互层,下部以灰绿、灰黑色为主,岩性为砂岩、粉砂岩、泥岩互层

井身结构依据钻井工作区的地质构造特征预想设计,本井在480 m以浅地层存在不稳定松散含水层,下入 $\phi 244.5$ mm套管进行护壁,然后 $\phi 152$ mm钻至完井。施工设计中预想如遇大段坍塌破碎地层,将穿过破碎失稳段,扩大井径后下入 $\phi 194$ mm活动套管,再进行钻进作业。潮页1井实际井身结构如图1所示。

3.2 主要设备

潮页1井钻探作业的主要设备包括TSJ3000/445A型钻机,KS-33-175型井架,F-500型钻井泵。动力采用G128DH-418HP、GV12V135-750HP

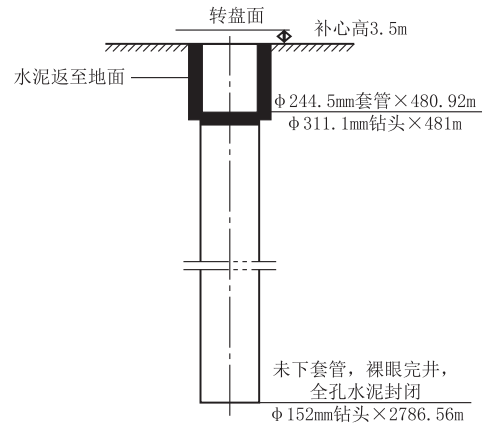


图1 潮页1井井身结构

Fig.1 Well structure of Well Chaoye-1

型柴油机,取心采用JSQ-3000型绞车和WH-B型绳索取心钻具,配备J1/A-2/E48-90F-3TA型高频振动筛和TGLW350-692T型离心机等固控设备,井控采用2FZ35-35型双闸板防喷器。

3.3 取心工艺及钻进技术参数

3.3.1 取心工艺

本井采用绳索取心施工工艺,第四系地层以深全井取心。深井段岩心采取率和采取质量决定了生产效率,其中捞心的准确性决定了所用辅助时间的多少。解决打捞器下入的准确性和可靠性是提升钻进效率和保证井内安全的主要技术措施。为解决上述问题,项目组设计制造了可计深计重和自动排绳的取心绞车,该装置能准确确定打捞器下入的位置,准确判别内管抓取是否成功,在最短时间内完成取心作业。

取心工艺上采用一个钻次按顺序使用小号、中号、大号卡簧的采心技术,即新钻头下井使用小号卡簧取心,直到钻头内径磨损变大、捞取的岩心上卡簧槽变深到一定程度时换中号卡簧继续钻进,最后换用大号卡簧取心,这种卡簧顺序使用的方法基本杜绝了掉心和塞心的现象发生,最大限度地减少起下钻次数,增加了单钻次钻进时长。

3.3.2 钻进施工技术参数

一开钻具组合: $\phi 311.1$ mm钻头+ $\phi 295$ mm稳定器+ $\phi 228.6$ mm钻铤+ $\phi 203.2$ mm钻铤+ $\phi 159$ mm钻铤+ $\phi 127$ mm钻杆。330 m开始用 $\phi 216$ mm取心钻具取心,取心钻进至481 m,用 $\phi 311$ mm组合钻具扩井。一开的施工重点是防斜,由于整个第四系、古近一新近系砂砾松散层和泥岩“打滑”层互层较多,极易发生井斜,为了控制井眼轨

迹在设计范围之内,采用粗径导向钻具组合,加密单点跟踪井斜,及时调整钻井参数,在钻井过程中,每钻进 1 个单根划眼 1 次,及时修整井壁,控制划眼速度,确保井眼畅通无阻。冲洗液保持较高的粘切,确保岩粉携带和井壁稳定。

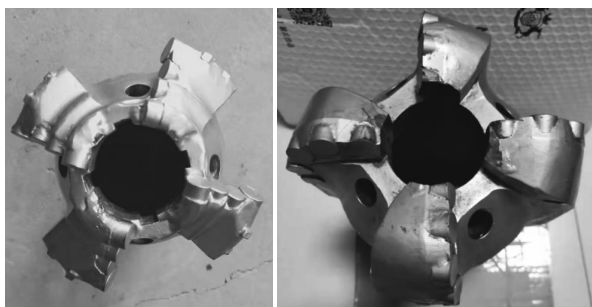
二开钻具组合: $\varnothing 152$ mm 钻头+ $\varnothing 133$ mm 取心钻具+ $\varnothing 102$ mm 加重钻杆+ $\varnothing 114$ mm 钻杆。该井段主要为泥岩、砂岩、粉砂岩、页岩等,软硬互层,部分井段,尤其页岩段容易发生掉块、坍塌现象,需根据钻进情况及时调整钻压、钻速等钻进参数,保证井内安全。各井段对应的钻进参数见表 2。

表 2 钻进参数
Table 2 Drilling parameters

取心井段/ m	取心进 尺/m	钻压/ kN	转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	泵压/ MPa	排量/ ($L \cdot s^{-1}$)
0~329.37	329.37	40~50	66.5	2.0	37.8
329.37~432.47	103.10	40~50	66.5	2.5	37.8
432.47~908.53	476.06	30~50	98.0	3.0	25.7
908.53~1710.84	802.31	30~40	98.0	5.0	25.7
1710.8~2324.45	613.61	30~40	98.0	6.0	22.0
2324.45~2786.56	462.11	30~40	98.0	9.0	22.0

3.4 钻头选型

上部地层选用椎体式取心钻头(见图 2a),钻进效率较高,但取心钻进时,钻具轴向稳定性差,井斜难掌控,岩心易破碎,所以在致密泥岩层更换使用项目组设计的侧喷式平底内凹 PDC 钻头(见图 2b),该钻头的结构特点及主要优点如下:(1)侧喷式钻头偏侧向改变水力方向减少了冲洗液对岩心的冲蚀,能够起到保护岩心、提高取心质量的作用;(2)水眼位置和方向靠近切削刃并且水眼直径较小,对切削刃具有很好的



(a) 椎体式取心钻头

(b) 侧喷式平底内凹式取心钻头

图 2 取心钻头

Fig.2 Core bit

冲洗效果,防止钻头泥包,提高了进尺效率;(3)内凹式结构能够有效防止井斜,提高成井质量。

3.5 冲洗液技术

一开地层井径大($\varnothing 311$ mm),冲洗液上返速度低,地层松散、易漏失、易垮塌,为保证岩粉能够有效携带和维护井壁稳定,采用高固相体系;二开泥岩、页岩段较长,下部存在绿泥石化等水敏性较强的地层,采用成膜防塌体系冲洗液。冲洗液体系配方及性能如表 3、表 4 所示。

表 3 冲洗液配方

Table 3 Drilling fluid formula

开钻 次序	井段/ m	体系 名称	参 考 配 方
一开	0~480	高固相 体系	8%~10% 钠土 + 0.1%~0.3% NaOH + 0.2%~0.4% HV-CMC
二开	480~ 2786.56	成膜防 塌冲洗 液体系	2%~4% 膨润土+0.2% 火碱+1%~1.5% 降 失水剂 GPNH+0.5%~1% 防塌减阻剂+1% ~3% 成膜 A 剂+0.5%~1% 广谱护壁剂+ 0.2%~0.5% 包被剂+1%~2% 碳酸钙+2% ~5% 防塌型随钻堵漏剂+0.1%~0.5% 抗 盐共聚物+1% 润滑剂 GLUB+重晶石(按需)

表 4 冲洗液性能

Table 4 Drilling fluids properties

开钻 次序	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	漏斗粘 度/s	API 失水 量/mL	泥饼 厚/mm	pH 值	含砂 量/%
一开	1.10~1.20	40~90	≤ 10	0.5~1	9	≤ 0.5
二开	1.05~1.12	18~40	≤ 10	≤ 0.5	8~10	≤ 0.5

冲洗液性能的维护是钻探作业中的重要工作之一,直接影响钻探工程的施工进度。冲洗液的主要注意事项如下:

(1)上部地层疏松破碎,易发生井壁坍塌,钻进中要求高膨润土含量、高粘切,同时根据钻进情况添加随钻堵漏剂提高冲洗液的防塌防漏能力。

(2)二开扫完水泥塞后冲洗液进罐,加入适量纯碱处理冲洗液;按照配方配制处理剂胶液,慢慢跟入循环浆中,及时将冲洗液体系转化为成膜防塌冲洗液体系。

(3)二开粘土层、泥岩地层造浆导致冲洗液粘度提高较快,补充冲洗液时不加或少加膨润土、增粘类材料,直接加入其他处理剂配制的胶液,补充包被剂胶液时注意补充速度,防止振动筛跑浆。

(4)钻遇绿泥石化等易分散地层时,提高成膜 A 剂的加量,提高体系的抑制分散能力,提高随钻堵漏剂、碳酸钙等材料的加量,加强封堵,强化井壁,同时,根据需要加入重晶石以提高冲洗液防塌能力。

(5)随着井深的增加,按照 1% 的比例加入极压润滑剂 GLUB,减小冲洗液的摩阻系数,提高钻井的润滑防卡能力。电测前,提高极压润滑剂的加量以保证电测顺利。

(6)严控冲洗液固相含量,控制含砂量 $<0.5\%$ 。及时清理沉砂罐中的岩粉,振动筛、除砂器使用效率 100% ,离心机使用效率 $<50\%$ 。固控设备能有效清除冲洗液中粒径 $>10\ \mu\text{m}$ 的低密度固相颗粒,减少冲洗液中亚微米固相颗粒的含量,提高机械钻速。

3.6 井斜控制技术

(1)设备安装需严格校正,井口管要下正、固牢,开井时尽可能使用略小于井径的最大粗径钻具,钻具垂直度要好。

(2)一开钻进做到轻压、慢转,控制钻速,粗径钻具随着井深的延深而加长,保证开井的垂直度,给进钻压不得超过钻铤重力,要使中和点落在钻铤上。正常钻进中采用单点测斜仪进行井身质量监控,每钻进 $50\ \text{m}$ 测量一次井斜,若出现井斜超标趋势,马上采取轻压吊打的方法进行纠斜,缩短测斜间距,避免频繁更换钻进方法,以免造成井壁间隙不均匀。

(3)二开首次钻进轻压慢转,待钻出新井眼后使用正常参数钻进,钻进过程中适当控制钻压,合理选择钻进参数,三班操作一致,送钻均匀,在软硬交错地层采用吊打的方式,增减钻压要适当,确保井眼垂直。在水敏性较强的泥页岩地层中严控冲洗液性能参数,如降低失水量,改善流型,提高抑制性能等,防止钻井超径。

4 应用效果

潮页1井于5月15日开钻,11月25日完钻,共计 $195\ \text{d}$,完钻井深 $2786.56\ \text{m}$,在泥页岩层位探明有气体赋存,有薄层含油层。采用的钻进施工技术在该井应用效果良好。

(1)加装的取心装置能准确打捞内管,捞取岩心采用卡、抓复合簧,全井取心作业没有出现掉心或捞取失败现象,采取的岩心质量好、采取率高,超过了设计要求。本井第四系以下全井取心,在完整地层和破碎层段岩心采取率较高,岩心结构都能保持较完整(见图3)。岩心直径 $60\sim 65\ \text{mm}$,取心总进尺 $2457.19\ \text{m}$,岩心总长 $2194.52\ \text{m}$,总岩心采取率近 90% ,其中侏罗系取心总进尺 $1878.03\ \text{m}$,岩心总长 $1806.62\ \text{m}$,岩心采取率达到了 96.2% 。

(2)井壁稳定性好,全井没有出现井塌现象。本井二开采用成膜护壁冲洗液,该体系具有较强的抑制性能,能够有效抑制泥页岩地层的分散坍塌,图4为 $1838\sim 1843\ \text{m}$ 井段易水化分散的岩心,取一小



图3 深井段取出的完整岩心
Fig.3 Cores from the deep holet

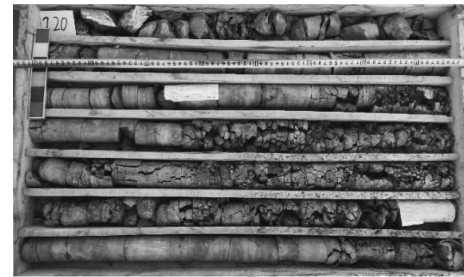


图4 易水化分散泥页岩层段岩心
Fig.4 Cores from easily-hydratable mud shale formation

块该段的岩心在一般分散性冲洗液体系中(配方:4%钠土+0.1% HV-CMC+2%腐植酸钾)做浸泡试验,2 h后的状态见图5,块状岩心已全部分散成粉状,可以看出该处的岩心分散性非常强,冲洗液性能控制不当极易发生坍塌现象。



图5 易分散岩心采用一般分散性体系浸泡2 h后的状态
Fig.5 State of easily dispersible cores after soaking for 2 hours in a general dispersive system

(3)钻进效率高。本井钻头选型得当,冲洗液流动性能、润滑性能好,有效提高了钻进效率,全井平均机械钻速 $1.37\ \text{m/h}$,在底部坚硬致密层位,机械钻速也可达到 $0.83\ \text{m/h}$ 。该地区邻近施工的腊水井ZK-1煤层气井采用常规小口径绳索取心钻进,平均机械钻速也只有 $0.8\ \text{m/h}$;潮水盆地北缘东段煤勘项目覆盖层较浅,顺利完工的施工平均钻速基

本也都只在 0.4~0.6 m/h。

(4) 钻井垂直度较好,井斜低。本井由于采用了严格的井斜控制技术,取得了很好的效果,井斜为 7.5°。

5 结语

(1) 潮页 1 井地层情况十分复杂,大口径绳索取心技术在该工作区域的应用案例极少,对施工队伍是一个非常大的挑战。因此,作业人员在钻探施工前收集矿区地质和水文等资料,以及其他准备工作等,对潮页 1 井顺利施工具有重要的意义。

(2) 在钻进过程中,针对破碎、水敏性等复杂地层,选择合理的冲洗液体系,及时调整冲洗液性能,保持井壁相对稳定对钻探工程至关重要。

(3) 根据实际地质信息,设计符合钻井工作区的井身结构,在实际作业中优化井身结构,选用合适的钻井、取心、固井设备,及时调整钻进参数等措施,保障了潮页 1 井顺利完井。

(4) 潮页 1 井证明,大口径绳索取心技术可以满足该区域地质调查工作的要求,而且取心质量较高,对今后该地区钻探施工具有一定的借鉴意义。

参考文献 (References):

- [1] 赵全民,张金成,刘劲歌.中国页岩气革命现状与发展建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):1-9.
ZHAO Quanmin, ZHANG Jincheng, LIU Jingge. Status of Chinese shale gas revolution and development proposal[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):1-9.
- [2] 周贤海.涪陵焦石坝区块页岩气水平井钻井完井技术[J].石油钻探技术,2013,41(5):26-30.
ZHOU Xianhai. Drilling & completion techniques used in shale gas horizontal wells in Jiaoshiha Block of Fuling Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5):26-30.
- [3] 王文,吴纪修,孙建华,等.黔桐地 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.
- [4] 蒋国盛,王荣璟.页岩气勘探开发关键技术综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):3-8.
JIANG Guosheng, WANG Rongjing. Review of key technology for shale gas exploration and development[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(1):3-8.
- [5] 王稳石,张恒春,闫家.科学超深井硬岩取心关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):9-12.
WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, YAN Jia. Key technology of coring in hard rocks for scientific ultra-deep drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(1):9-12.
- [6] 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 Hulin, 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.
- [7] 吕利强.滇西南钾盐调查 MK-3 大口径超深井绳索取心钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):53-58.
LÜ Liqiang. Application of wireline core drilling technology in the large-diameter and ultra-deep potash survey well MK-3 in southwestern Yunnan [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):53-58.
- [8] 丁乙,刘向君,罗平亚,等.硬脆性泥页岩地层井壁稳定性研究[J].中国海上油气,2018,30(1):142-149.
DING Yi, LIU Xiangjun, LUO Pingya, et al. Research on wellbore stability for hard brittle shale [J]. China Offshore Oil and Gas, 2018,30(1):142-149.
- [9] 孟英峰,刘厚彬,余安然,等.深层脆性页岩水平井裸眼完井井壁稳定性研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2019,41(6):51-59.
MENG Yingfeng, LIU Houbin, YU Anran, et al. Borehole completion stability of deep brittle shale horizontal wells [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2019,41(6):51-59.
- [10] 王波,孙金声,申峰,等.陆相页岩气水平井段井壁失稳机理及水基钻井液对策[J].天然气工业,2020,40(4):104-111.
WANG Bo, SUN Jinsheng, SHEN Feng, et al. Mechanism of wellbore instability in continental shale gas horizontal sections and its water-based drilling fluid countermeasures [J]. Natural Gas Industry, 2020,40(4):104-111.
- [11] 万伟,葛炼.高性能水基钻井液在长宁页岩气区块研究与应用[J].钻采工艺,2019,42(1):83-86,7.
WAN Wei, GE Lian. Research on high performance WBM for Changning Shale Gas reservoir and its application [J]. Drilling & Production Technology, 2019,42(1):83-86,7.
- [12] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲洗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.
SHAN Wenjun, JIANG Rui, TAO Shixian, et al. Research and application of the flushing fluid system for shale gas drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):176-181.
- [13] 王中华.页岩气水平井钻井液技术的难点及选用原则[J].中外能源,2012,17(4):43-47.
WANG Zhonghua. Difficulty and applicable principle of the drilling fluid technology of horizontal wells for shale gas [J]. Sino-Global Energy, 2012,17(4):43-47.
- [14] 龙志平,王彦祺,周玉仓.隆页 1HF 页岩气井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2016,44(2):16-21.
LONG Zhiping, WANG Yanqi, ZHOU Yucang. Key drilling technologies for shale gas well Longye 1HF [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(2):16-21.
- [15] 艾军,张金成,臧艳彬,等.涪陵页岩气田钻井技术难点[J].石油钻探技术,2014,42(5):9-15.
AI Jun, ZHANG Jincheng, ZANG Yanbin, et al. The key drilling technologies in Fuling Shale Gas Field [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(5):9-15.
- [16] 吴景华,王文臣,谢俊革,等.绳索取心钻进工艺在非金属矿产资源勘探中遇到的问题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):43-48.
WU Jinghua, WANG Wenchen, XIE Junge, et al. Problems of wire-line core drilling technique in non metallic mineral resources exploration and the countermeasures [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):43-48.

(编辑 韩丽丽)