



东营地区地热回灌井钻井完井技术与试验

李成嵩 王银生

Research and Test of the Drilling and Completion Technologies for Geothermal Reinjection Wells in Dongying Area

LI Chengsong, WANG Yinsheng

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021130>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中低温地热井钻井完井工艺技术研究与实践

Drilling and Completion Technologies for of Geothermal Wells with Medium and Low Temperatures

石油钻探技术. 2017, 45(4): 27-32 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201704005>

杨税务潜山油气藏大位移井钻井完井关键技术

Drilling and Completion Technologies of Extended-Reach Wells in the Yangshuiwu Buried Hill Reservoir

石油钻探技术. 2021, 49(2): 14-19 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021010>

胜利油田钻井完井技术新进展及发展建议

The Latest Progress and Suggestions of Drilling and Completion Techniques in the Shengli Oilfield

石油钻探技术. 2017, 45(1): 1-9 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201701001>

页岩气储层工程地质力学一体化技术进展与探讨

Advances in Shale Gas Reservoir Engineering and Geomechanics Integration Technology and Relevant Discussions

石油钻探技术. 2017, 45(2): 25-31 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201702005>

冀东油田人工端岛大位移井钻井完井技术

Drilling and Completion Technologies of Extended-Reach Wells in the Artificial Island of the Jidong Oilfield

石油钻探技术. 2018, 46(4): 42-46 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018118>

中国石化海外油气田钻井完井技术现状与发展建议

Drilling Completion Technologies of Sinopec Overseas Oilfields: Status Quo of Technology Development Suggestions

石油钻探技术. 2018, 46(5): 1-7 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018128>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021130

引用格式: 李成嵩, 王银生. 东营地区地热回灌井钻井完井技术与试验 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 50-54.

LI Chengsong, WANG Yinsheng. Research and test of the drilling and completion technologies for geothermal reinjection wells in Dongying Area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(6): 50-54.

东营地区地热回灌井钻井完井技术与试验

李成嵩¹, 王银生²

(1. 中国石化新星石油有限责任公司, 北京 100083; 2. 中石化新星山东新能源有限公司, 山东东营 257100)

摘要:为了解决砂岩热储地热水回灌难题, 确保地热资源的持续开发利用, 开展了胜利油田东营地区地热回灌井钻井完井技术研究。在分析热储层地质特点及回灌井钻井完井技术难点的基础上, 将油田油气井的钻井和射孔完井工艺应用到地热回灌井中, 进行了钻具组合、钻井液和完井技术研究, 形成了地热回灌井钻井完井技术, 并在探灌1井进行了现场试验。结果表明, 探灌1井热储层位于沾化凹陷馆陶组, 试水温度68℃, 试水水量90~105 m³/h, 回灌量90~105 m³/h, 实现了完全回灌。东营地区地热回灌井钻井完井技术解决了砂岩地热水回灌技术难题, 保障了该地区地热能产业的健康发展, 具有较好的推广应用价值。

关键词: 地热; 回灌井; 钻井; 完井; 东营地区; 探灌1井

中图分类号: TE242

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)06-0050-05

Research and Test of the Drilling and Completion Technologies for Geothermal Reinjection Wells in Dongying Area

LI Chengsong¹, WANG Yinsheng²

(1. Sinopec Star Petroleum Co., Ltd., Beijing, 100083, China; 2. Sinopec Star Shandong New Energy Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257100, China)

Abstract: For geothermal water reinjection in sandstone thermal storage, the drilling and completion technologies for geothermal reinjection wells in Dongying Area of Shengli Oilfield were studied to ensure the sustainable development and utilization of geothermal resources. Based on the analysis of the geological characteristics of the thermal reservoir and the technical difficulties in drilling and completion of reinjection wells, drilling and perforation completion technologies were applied to a geothermal reinjection well. The technical research on BHA(bottomhole assembly), drilling fluid system and completion technology was carried out. The drilling and completion technologies for the geothermal reinjection wells was formed and successfully tested in the field. The field test showed that the layer of thermal reservoir of Well Tanguan 1 was located in the Guantao Formation in the Zhanhua Sag. The water temperature was 68℃, and the water volume was 90–105 m³/h with a reinjection volume of 90–105 m³/h, which achieved complete reinjection. The technologies have solved the technical problem in geothermal water reinjection in sandstone thermal storage, ensuring the healthy development of the geothermal energy industry in this area, thus possess the potential for widespread popularization and application.

Key words: geotherm; reinjection well; drilling; completion; Dongying Area; Well Tanguan 1

地热是一种无污染、可再生的清洁能源, 与统化石能源相比, 具有储量大、分布广和能源利用率高优势, 越来越受到重视^[1-4]。但地热资源过度开采或养护不当会造成资源枯竭, 为确保地热资源

的可持续发展, 同时避免环境污染, 最有效的技术措施就是地热回灌技术^[5-7]。回灌是把经过利用的地热水, 通过地热回灌井重新注回热储层段的方法, 回灌不仅可以解决地热废水问题, 还可以改善

收稿日期: 2021-02-10; 改回日期: 2021-08-22。

作者简介: 李成嵩(1977—), 男, 山东济宁人, 2006年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业, 高级工程师, 主要从事地热工程管理工作。E-mail: lichengsong.xxxy@sinopec.com。

基金项目: 中国石化集团科技攻关项目“地热井关键技术研究”(编号: JP13003)部分研究内容。

或恢复地热储层的产热能力,保持地热储层的流体压力,维持地热田的持续开采和循环利用,使地热能成为一种可持续的清洁能源^[8-10]。回灌过程中,由水中悬浮物、气泡、化学沉淀等导致的回灌井堵塞是造成回灌量有限的主要原因,尤其是孔隙性砂岩热储回灌井堵塞问题一直没有解决,是地热可持续开发利用中公认的技术难题。地热水回灌系统中,回灌井的钻井完井工艺是回灌能否实现的重要技术环节,回灌井井深多为2 000~3 000 m^[11]。

目前,东营地区回灌井钻井完井过程中存在一系列问题,如现有回灌井部分井段未固井、钻井液体系不合适等导致井壁不稳定和回灌率偏低,已经成为制约该地区地热产业规模扩大的瓶颈,严重阻碍了地热能的可持续开发利用^[12-14]。因此,笔者在现有工艺基础上,将油田油气井的钻井和射孔完井工艺应用到地热回灌井中,形成了地热储层钻井完井技术,现场试验取得了较好的效果,提高了单井回灌量,同时全井段固井延长了地热井的使用寿命,具有较好的推广应用价值,保障了该地区地热产业的快速发展。

1 地热储层岩性特征及开发现状

东营地区在大地构造单元上隶属华北拗陷的次级构造单元济阳拗陷的东部,地层自下而上包括太古界泰山岩群,古生界寒武系、奥陶系、石炭系和二叠系,中生界侏罗系、白垩系,新生界新近—古近系、第四系。

该地区自中生代以来,受燕山期地壳运动的影响,区域断裂构造发育,形成了区域温度或热流值普遍升高的背景,区内地温梯度均大于3.0℃/100m,开发利用的主要热储层为古近系东营组热储和新近系馆陶组热储,温度一般为65~72℃,单井出水量70~120 m³/h。目前,东营地区的地热资源开发利用已初具规模,主要用于原油集输加热、洗浴、渔业养殖及居民清洁能源供暖等,热储层位主要是馆陶组和东营组,开采馆陶组热储的地热井主要在沾化凹陷内,取水段一般为1 500~1 950 m井段,地层岩性为灰白色砾状砂岩、细砂岩和灰绿色细砂岩与棕色泥岩互层,底部为含石英、黑色燧石的砾状砂岩、砂砾岩;开采东营组热储的地热井主要在东营凹陷内,取水段一般为1 400~1 900 m井段,地层岩性为灰绿、灰白色砂岩、细砂岩及泥岩互层,以砂岩为主,中部为棕红色泥岩、细砾岩为主,底部为灰绿、

灰白色细砾岩、细砂岩及泥岩。

该地区现有回灌井通常采用二开井身结构,一开表层泵室段全部用水泥封固,二开完钻后采用悬挂器悬挂套管和筛管完井,筛管以上部分用膨胀橡胶止水器止水,环空未用水泥封固(见图1)。

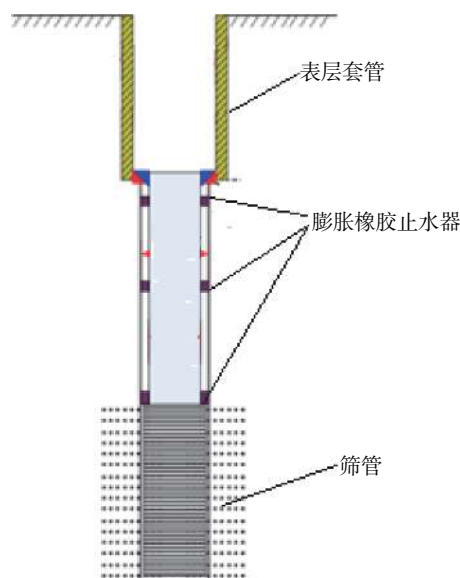


图1 现有回灌井井身结构示意图

Fig.1 Casing program of current reinjection well

现有筛管完井工艺存在以下问题:1)回灌过程中砂泥岩互层在大液量冲刷下,其中的细粉砂容易随着地热水进入地层中,堵塞孔喉,降低回灌量,且泥岩段垮塌后会堵塞回灌井段,进一步降低回灌能力;2)采用膨胀橡胶止水器封隔筛管上部井段,由于橡胶止水器工艺简单,材质易受腐蚀,缩短地热井后期使用寿命;3)钻井过程中钻井液不合适,固相含量过高,密度过大,易使钻井液通过孔隙渗入地层,并在井壁形成滤饼,堵塞渗流通道,导致地层孔隙度和渗透率降低。回灌层段一般选择渗透性比较好的含水层,而这正是钻井液影响最大的层位,钻井液造成水层渗透率降低,进而影响回灌效果。

2 钻井完井关键技术

针对以上问题,从钻具组合、钻井液和完井方式等方面进行了关键技术研究,以最大程度地降低对热储层渗透率的伤害,增大地热水的回灌量。

2.1 优选钻具组合

东营地区馆陶组、东营组砂泥岩互层明显,泥岩占较大比例,由于牙轮钻头破岩方式以研磨为

主,吃入地层有限,导致钻头破岩效率低,严重制约机械钻速。另外,该地区地层存在一定倾角,大钻压钻进时易发生井斜,因此选用“PDC钻头+1.25°单弯螺杆+钻铤+钻杆”钻具组合。该钻具组合能够有效控制井眼轨迹,防斜打直,使井眼轨迹平滑^[15-16]。同时,PDC钻头适应高转速、低钻压的工作环境,螺杆的转速可以保持在200~260 r/min,钻压控制在30~50 kN,PDC钻头在此工作条件下能保持较高的破岩效率,机械钻速高,二开钻进“一趟钻”即可完成进尺,大大缩短了热储层钻井液浸泡时间,最大程度地降低了钻井液对储层的影响,降低了对储层的伤害。

2.2 钻井液体系优选

东营地区钻遇地层主要为平原组、明化镇组、馆陶组和东营组,地层成岩性差,泥岩较软易水化分散,胶结疏松易垮塌,钻井过程中井眼失稳问题严重,钻井液主要以抑制地层造浆、防止泥岩缩径、护壁和保护储层为目标^[17-19],同时全井段禁止使用会堵塞储层孔隙和渗流通道的重晶石、沥青类材料和磺化类材料等。

一开钻遇地层为平原组棕黄色黏土及松散砂层,井眼尺寸较大,环空上返速度低,钻屑携带困难,不利于井眼的清洁,因此采用预水化膨润土钻井液体系,以确保具有足够的携带和悬浮能力。钻井液配方为:清水+5.0%~6.0%膨润土+0.1%~0.2%Na₂CO₃+0.3%HV-CMC。

二开钻遇地层为明化镇组、馆陶组和东营组,砂泥岩互层,采用护壁性、抑制性和携砂性强的聚合物钻井液体系,其配方为清水+5.0%~6.0%膨润土+0.2%~0.5%Na₂CO₃+1.0%~2.0%CaCl₂+1.0%~2.0%铵盐+1.0%降滤失剂+2.0%~3.0%润滑剂。钻井过程中适时补充0.3%~1.0%的聚合物胶液,聚合物胶液以大分子聚合物为主,以维持钻井液性能稳定,并根据钻井液黏切和滤失量变化情况,用不同加量的小分子或大分子胶液处理。

钻进热储层前,为防止钻井液发生固相侵污,应使用好固控设备,配合高分子聚合物包被剂及时清除固相,严格控制滤失量不大于5 mL,以防止钻井液滤液进入热储层,造成热储层污染。

2.3 完井工艺

油井最常用的完井工艺是水泥固井射孔,环空采用水泥封固,可以最大限度地保证井壁稳定。钻井过程中热储层常被钻井液污染,一般认为距井壁300~400 mm地带的伤害最严重,射孔孔道长度一

般为几厘米至几十厘米,孔道直径一般为几毫米至十几毫米,射孔时可以完全射穿钻井液严重伤害带,使不受污染的产层和井筒连通,可以提高储层渗透率。

该工艺需要根据测井曲线解释结果分析热储层的渗透率、孔隙度、含水层厚度及井温等参数,确定射孔枪和射孔弹的型号和孔密。测井项目包括井径、井温、井斜角、2.5及4.0 m电阻率、自然电位、自然伽马、声幅、声波、双侧向、微电极和微梯度,选择射开渗透率高、孔隙度大的层段,建立渗流通道成井,增大泄流面积,提高回灌能力。

相对于其他完井方式,该完井工艺有以下特点:

1)固井防止泥岩垮塌,封堵细粉砂地层,减少细小颗粒堵塞孔喉;2)射孔形成的渗流通道长、渗透率高,可以最大程度地减少近井壁地带钻井液产生的污染;3)优选大段回灌层,避免层间干扰;4)纵向上增大了透水面积,提高了回灌能力。

2.4 洗井工艺

射孔作业结束后,采用联合方法进行洗井,确保将井筒内残留的钻井液及井壁附着的滤饼清洗干净,抽水试验前达到水清砂净,流体中悬浮物含量小于0.005%。具体洗井工艺如下:

1)首先用清水置换井筒内钻井液,使用旋转喷射洗井工具,水嘴压降不低于2 MPa,从井底向上清洗井壁,利用工具产生的清水扰动作用,清除在井壁上黏附的滤饼;主要含水层井段要增加喷射洗井次数,洗井次数不少于3次。

2)喷射洗井结束后,使用压风机进行气举洗井,直接注入高压气体,实现限气量或者限压力可控井喷,对水层瞬时减压,不断进行减压然后恢复压力,实现地层吞吐清洗效果,进一步疏通地层通道,提高回灌能力。

3 现场试验

探灌1井位于山东省东营市河口区三义和小区,构造上属于渤海湾盆地济阳拗陷车镇凹陷南部斜坡带的中段,完钻井深2 000 m,完钻层位为古近系东营组,热储层段1 700~1 950 m。

该井一开采用 $\phi 444.5$ mm钻头钻至井深350 m, $\phi 339.7$ mm表层套管下至井深349 m,以满足封隔表层松散地层和下入水泵的要求,水泥返至地面;二开采用 $\phi 311.1$ mm钻头钻至井深2 000 m, $\phi 244.5$ mm套管下至井深1 999 m,水泥返至表层套管鞋,采用

射孔完井,射孔井段厚 101 m。探灌 1 井的井身结构如图 2 所示。

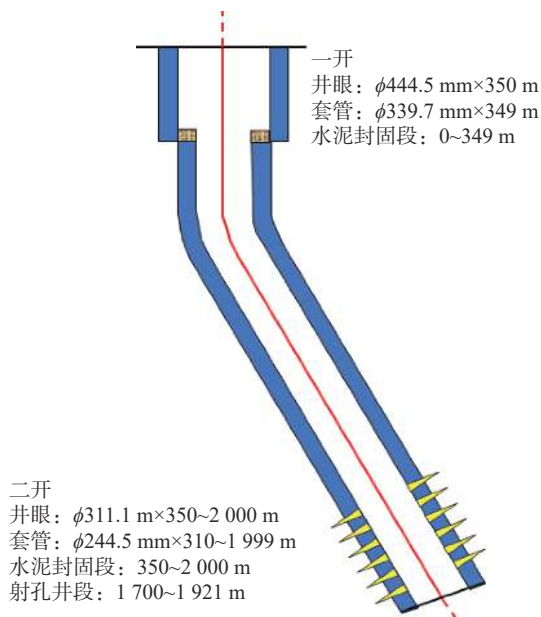


图 2 探灌 1 井井身结构
Fig.2 Casing program of Well Tanguan 1

根据测井解释成果,选取 1 724~1 739, 1 765~1 785, 1 795~1 830 和 1 890~1 921 m 作为射孔层段(见表 1),合计长度 101 m,选取 127 型射孔枪和 127 型射孔弹,射孔密度 20 孔/m。

表 1 测井解释结果
Table 1 Logging interpretation results

井段/m	厚度/m	孔隙度, %	渗透率/mD	泥质含量, %	结论
1 724~1 739	15	28.91	723.41	19.21	水层
1 765~1 785	20	31.23	695.43	18.31	水层
1 795~1 830	35	27.69	645.31	20.52	水层
1 890~1 921	31	26.45	598.34	19.56	水层

该井于 2019 年 1 月 17 日完井试水,试水温度 68 ℃,试水水量 90~105 m³/h。1 月 19 日开始投产回灌,历经 2 个采暖季(2019—2020 和 2020—2021 年),回灌量 90~105 m³/h,平均回灌量 95 m³/h 左右,液位稳定在-20 m 左右;且经过 2 个采暖季的运行,回灌率没有衰减,能满足持续回灌要求。

4 结论与建议

1)探灌 1 井将油气井的钻井完井技术应用到地热回灌井中,形成了该地区回灌井钻井完井的特色技术,现场应用效果良好,为进一步探索砂岩地层

回灌奠定了坚实基础。

2)射孔完井工艺在地热开发回灌井中已得到成功应用,与传统地热回灌井钻井完井工艺相比,射孔完井工艺对地层的扰动更小,可以精确打开热储层,在后期的地热资源开发利用中,建议进一步研究该完井工艺是否可以应用于地热开发采水井。

3)为了最大程度地保护热储层,建议今后在回灌井施工过程中尝试应用空气钻井技术或欠平衡钻井技术,使井底处于欠平衡状态,井内压力低于储层压力,钻井流体无法进入储层,从而消除钻井流体对储层造成的伤害,提高单井回灌能力,同时进一步提高机械钻速。

参 考 文 献 References

- [1] 张薇,王贵玲,刘峰,等. 中国沉积盆地型地热资源特征[J]. 中国地质, 2019, 46(2): 255-268.
ZHANG Wei, WANG Guiling, LIU Feng, et al. Characteristics of geothermal resources in sedimentary basins[J]. *Geology in China*, 2019, 46(2): 255-268.
- [2] 庞忠和,罗霖,龚宇烈. 国内外地热产业发展现状与展望[J]. 中国核工业, 2017(12): 47-50.
PANG Zhonghe, LUO Ji, GONG Yulie. State-of-the-art of the geothermal industry[J]. *China Nuclear Industry*, 2017(12): 47-50.
- [3] 宋先知,李嘉成,石宇,等. 多分支井地热系统注采性能室内实验研究[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 81-87.
SONG Xianzhi, LI Jiacheng, SHI Yu, et al. Laboratory-scale experimental study on the injection-production performance of a multilateral-well enhanced geothermal system[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 81-87.
- [4] 李晓益,何汉平,段友智,等. 砂岩孔隙型地热井提高热效率工艺分析[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(4): 484-490.
LI Xiaoyi, HE Hanping, DUAN Youzhi, et al. Analysis on the thermal efficiency improvement process for geothermal well in porous sandstone[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2017, 39(4): 484-490.
- [5] 梅博,郭亮,王鹏,等. 地热井尾水回灌技术及其应用进展[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(1): 167-169.
MEI Bo, GUO Liang, WANG Peng, et al. The technology and application of water recharge in the tail water of geothermal well[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2018, 36(1): 167-169.
- [6] 曹倩,方朝合,李云,等. 国内外地热回灌发展现状及启示[J]. 石油钻采工艺, 2021, 43(2): 203-211.
CAO Qian, FANG Chaohe, LI Yun, et al. Development status of geothermal reinjection at home and abroad and its enlightenment[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2021, 43(2): 203-211.
- [7] 罗天雨. 热采回灌井注水能力研究[J]. 中外能源, 2019, 24(6): 21-25.
LUO Tianyu. Study on water injection capacity of recharge well for thermal recovery[J]. *Sino-Global Energy*, 2019, 24(6): 21-25.

- [8] 张红波. 地热资源可循环利用井网模式评价方法: 以东营凹陷中央隆起带地热田为例 [J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(1): 86-91.
ZHANG Hongbo. A well pattern evaluation method for geothermal resource recycling-a case study of geothermal field in the central uplift belt of Dongying Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(1): 86-91.
- [9] 梁海军, 郭啸峰, 高涛, 等. 河北博野某地热井结垢位置预测及影响因素分析 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(5): 105-110.
LIANG Haijun, GUO Xiaofeng, GAO Tao, et al. Scaling spot prediction and analysis of influencing factors for a geothermal well in Boye County, Hebei Province[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(5): 105-110.
- [10] 付亚荣, 李明磊, 王树义, 等. 干热岩勘探发现状及前景 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(4): 526-540.
FU Yarong, LI Minglei, WANG Shuyi, et al. Present situation and prospect of hot dry rock exploration and development[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(4): 526-540.
- [11] 王培义, 马鹏鹏, 张贤印, 等. 中低温地热井钻井完井工艺技术研究与实践 [J]. 石油钻探技术, 2017, 45(4): 27-32.
WANG Peiyi, MA Pengpeng, ZHANG Xianyin, et al. Drilling and completion technologies for of geothermal wells with medium and low temperatures[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(4): 27-32.
- [12] 马忠平, 王艳宏, 沈健, 等. 天津馆陶组地热回灌井钻井和射孔工艺探讨 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(8): 36-39.
MA Zhongping, WANG Yanhong, SHEN Jian, et al. Discussion on drilling and perforating technologies for geothermal recirculation well in Guantao Formation of Tianjin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(8): 36-39.
- [13] 贺志鹏. 山东东营牛庄镇地热井回灌探讨 [J]. 云南化工, 2020, 47(6): 112-113.
HE Zhipeng. Discussion on geothermal well reinjection in Nizhuang Town, Dongying, Shandong Province[J]. Yunnan Chemical Technology, 2020, 46(6): 112-113.
- [14] 史猛, 张杰, 殷焘, 等. 胶东半岛中低温对流型地热资源水化学特征分析 [J]. 地质学报, 2019, 93(增刊1): 138-148.
SHI Meng, ZHANG Jie, YIN Tao, et al. Hydrochemistry characteristic analysis of low-medium temperature convective geothermal resources in Jiaodong Peninsula[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(supplement 1): 138-148.
- [15] 张平, 贾晓斌, 白彬珍, 等. 塔河油田钻井完井技术进步与展望 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(2): 1-8.
ZHANG Ping, JIA Xiaobin, BAI Binzhen, et al. Progress and outlook on drilling and completion technologies in the Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 1-8.
- [16] 罗恒荣. 临盘油田 PDC 钻头防斜打快钻具组合优化及应用 [J]. 石油钻探技术, 2016, 44(1): 12-17.
LUO Hengrong. Optimization and application of anti-deflect and fast drilling BHA with a PDC bit in the Linpan Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(1): 12-17.
- [17] 李会娟, 鲍卫和, 马忠平. 聚合物防塌钻井液在天津地热定向井的应用 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(6): 53-55.
LI Huijuan, BAO Weihe, MA Zhongping. Application of polymer anti-caving drilling fluid in directional geothermal well in Tianjin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 37(6): 53-55.
- [18] 韩来聚. 胜利油田钻井完井技术新进展及发展建议 [J]. 石油钻探技术, 2017, 45(1): 1-9.
HAN Laiju. The latest progress and suggestions of drilling and completion techniques in the Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(1): 1-9.
- [19] 于雷, 张敬辉, 李公让, 等. 低活度强抑制封堵钻井液研究与应用 [J]. 石油钻探技术, 2018, 46(1): 44-48.
YU Lei, ZHANG Jinghui, LI Gongrang, et al. Research and application of plugging drilling fluid with low-activity and high inhibition properties[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(1): 44-48.

[编辑 滕春鸣]