

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2020124

引用格式: 邓钧耀, 刘奕杉, 乔磊, 等. 保德煤层气田黄河压覆区长水平段水平井钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(2): 37-41.

DENG Junyao, LIU Yishan, QIAO Lei, et al. Drilling and completion technology of horizontal wells with long horizontal section in the Yellow River overlay area of the Baode Coalbed Methane Field [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(2): 37-41.

保德煤层气田黄河压覆区长水平段水平井钻井完井技术

邓钧耀¹, 刘奕杉², 乔磊², 王开龙², 胡凯³

(1. 中石油煤层气有限责任公司勘探开发研究院, 北京 100028; 2. 中国石油集团工程技术研究院有限公司, 北京 102206; 3. 中国石油华北油田分公司山西煤层气勘探开发分公司, 山西长治 046000)

摘 要: 保德煤层气田北部优质煤层气藏开发受到城市、黄河压覆等地面复杂情况影响, 为了实现有效动用, 分析了该地区煤层的地质特点, 考虑煤层倾角、垂深和常规钻井工艺等因素, 开展了井身结构优化、井眼轨迹控制、钻井液优选及完井工艺优化研究, 形成了集约化大平台水平井钻井完井技术。通过集成应用新技术, 实现了地表复杂地区煤层气优质储量的经济开采。在煤层垂深 800.00~1 000.00 m、上倾角度 2°~5°条件下, 水平段极限长度可达到 1 700.00~2 000.00 m。在此基础上, 研发了玻璃钢筛管完井系统, 实现了水平井完井筒“可重入、可作业、可维护”的功能, 满足了采煤采气一体化要求, 现场试验取得了较好的开发效果。长水平段水平井钻井完井技术为保德煤层气田黄河压覆区煤层气的开发提供了技术支持。

关键词: 煤层气; 水平井; 轨迹测控; 玻璃钢筛管; 筛管完井; 黄河压覆区; 保德煤层气田

中图分类号: TE243⁺.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-0890(2021)02-0037-05

Drilling and Completion Technology of Horizontal Wells with Long Horizontal Section in the Yellow River Overlay Area of the Baode Coalbed Methane Field

DENG Junyao¹, LIU Yishan², QIAO Lei², WANG Kailong², HU Kai³

(1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Coalbed Methane Company Limited, Beijing, 100028, China; 2. CNPC Engineering Technology R & D Company Limited, Beijing, 102206, China; 3. Shanxi CBM Exploration and Development Branch, PetroChina Huabei Oilfield Company, Changzhi, Shanxi, 046000, China)

Abstract: The high-quality coalbed methane reservoir in the northern part of the Baode coalbed methane field was affected during its development by complex surface conditions including overlays of city and the Yellow River. The in-depth analysis and evaluation of geological characteristics of coal seams in the city and the Yellow River overlay area were carried out, taking into consideration of coal seam dip angles, vertical depth, and conventional drilling technology, so as to effectively exploit the gas reservoir. The optimized design for drilling and completion of intensive horizontal wells has been done through casing program upgrading, well trajectory control, optimization of drilling fluid system and completion technology. By means of the integration of new technologies, the economic production of high-quality CBM reserves in complex surface areas was realized. The ultimate horizontal section length can reach 1 700–2 000 m in coal seams at a vertical depth of 800–1 000 m with an upward inclination angle of 2°–5°. The developed completion system with FRP screen pipe can realize the function of re-entry, operation, and maintenance of the horizontal well, meet the requirement of coal mining and gas production integration. The field test has achieved good development results. The drilling and completion technology of horizontal well with a long horizontal section provides a new way for the exploitation of CBM in the Yellow River overlay area of the Baode Coalbed Methane Field.

Key words: coalbed methane; horizontal well; well trajectory measurement and control; FRP screen pipe; screen pipe completion; Yellow River overlay area; Baode Coalbed Methane Field

收稿日期: 2020-06-12; 改回日期: 2020-10-30。

作者简介: 邓钧耀 (1984—), 男, 河南南阳人, 2007 年毕业于西南石油大学石油工程专业, 2010 年获西南石油大学开发地质学专业硕士学位, 工程师, 主要从事煤层气及致密气井钻井完井工艺及提速研究。E-mail: junyao02@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项子课题“深层煤层气、煤系地层天然气钻完井技术”(编号: 2016ZX05065-002) 部分研究内容。

保德煤层气田位于鄂尔多斯盆地东缘, 8+9号主力煤层渗透率最高达 8.0 mD, 直井平均单井产气量达 2 500 m³/d 以上, 是国内中低阶煤层气效益开发示范区。保德煤层气田北部优质煤层气藏位于府谷县城和黄河下方, 受复杂地表环境的制约, 一直未能进行商业开发。由于煤层地质构造特征的影响, 煤层气水平井与常规油气水平井相比, 存在煤层易坍塌卡钻的钻井风险, 因此需要尽量缩短水平段的钻井时间, 从而缩短钻井液浸泡煤层的时间, 保持井壁稳定, 同时降低钻井液滤液对煤层的损害。长水平段煤层气井钻井面临着煤层埋深浅、水垂比大导致托压和水平段难以达到设计长度等技术难点, 同时存在储层保护和快速钻进方面的钻井难题, 需要研究形成长水平段煤层气井特色技术, 满足煤层气开发需求^[1-3]。

针对黄河压覆区煤层气水平井钻井完井技术难点, 分析了极限水平段长度与煤层垂深、地层倾角等参数的关系, 开展了井身结构优化、井眼轨迹测控和玻璃钢筛管完井新工艺等方面的技术研究, 形成了集约化大平台煤层气长水平段水平井钻井完井技术, 并在保德煤层气田 BP15 平台的水平井进行了现场应用, 钻井过程未发生井下故障, 顺利完井, 实现了黄河压覆区煤层气储量的有效动用。

1 黄河压覆区煤层气水平井钻井完井技术难点

保德煤层气田总体表现为西倾的单斜构造, 南北走向, 断层和褶皱不发育, 同时煤层构造形态简单, 东高西低, 地层平缓, 倾角一般在 1°~5°。气田主力可采煤层为二叠系下统太原组的 8+9 号煤层, 埋深 500.00~1 000.00 m, 渗透率较高, 地层压力系数低, 属于欠压—常压储层。保德煤层气田北部的煤层气藏位于黄河底部, 黄河北部为府谷县城, 人口稠密, 地面无法部署井位进行规模开发。

综合考虑地面及地质情况, 提出采用水平井开发压覆区煤层气, 在黄河南岸部署长水平段水平井井场, 利用水平段 1 000.00~2 000.00 m 长的水平井开发黄河和城市压覆区的优质煤层气藏。但黄河压覆区煤层气水平井钻井完井面临以下技术难点: 1) 黄河边井台可选位置少, 需要采用大平台, 部署长水平段水平井; 2) 大部分储层压力系数为 0.70~0.99, 处于欠压状态, 钻进时垮塌和漏失风险高; 3) 煤层构造复杂, 煤层跟踪与控制难度大, 钻遇率偏低; 4) 前

期完钻水平井均采用裸眼完井方式, 排采期间经常发生煤层垮塌、煤粉堵塞井眼等复杂情况, 造成煤层气水平井单井产量低、井筒寿命短, 需探索满足采煤采气一体化的非金属筛管完井新技术。

2 煤层气水平井钻井完井关键技术

2.1 集约化大平台优化设计

保德煤层气田北部的煤层气藏受黄河边地形条件的限制, 需采用集约化大平台布井, 利用大平台一体化设计、一体化管理和一体化运行的技术优势和成本优势降低钻井完井及后续生产运行成本。因此, 保德煤层气田北部采用一个平台部署 7~10 口水平井的开发方式和工厂化作业模式, 充分发挥集约化大平台的优势。由于平台井场受限, 井口布局难度较大, 井眼轨迹在空间上存在交叉, 井眼防碰风险突出。为此, 优选造斜点位置, 采用双增剖面等井眼轨道设计方法, 增大防碰安全距离, 同平台可实现 4+5 号和 8+9 号 2 套煤层立体开发^[4-5]。

水平段越长, 单井控制面积越大, 产量越高, 但水平井的极限钻进能力是部署长水平段水平井的基础, 因此设计水平段长度时需综合考虑钻机载荷、极限钻进进尺等因素。保德煤层气田极限水平段长度与煤层垂深、井斜角的关系曲线如图 1 所示。从图 1 可以看出, 水平井上倾角度和煤层垂深对水平段极限长度影响非常大, 主要是由于井斜角大于 90°条件下上倾井段钻柱重力抵消了直井段加重钻杆施加的有效钻压, 导致水平段极限长度大幅减少。保德北部黄河压覆区垂深 800.00~1 000.00 m, 水平井轨迹方向煤层上倾角度 2°~5°, 因此水平段煤层极限长度为 1 700.00~2 000.00 m^[6-9]。

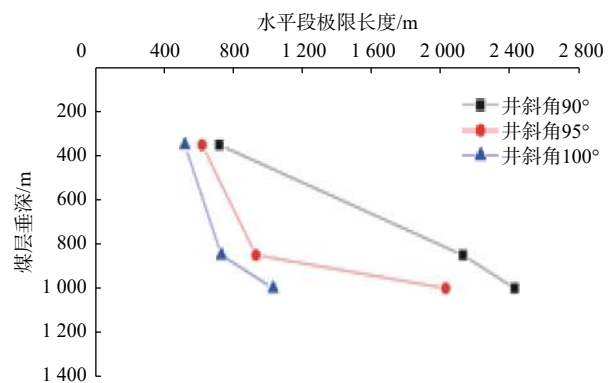


图 1 极限水平段长与煤层垂深、井斜角的关系曲线
Fig.1 Relation of ultimate horizontal section length with vertical depth of coal seams and well inclination

2.2 井身结构优化

为有利于煤层段安全快速钻进, 采用了三开井身结构。一开, 采用 $\phi 311.1$ mm 三牙轮钻头, 进入基岩 10.00 m 后完钻, 下入 $\phi 244.5$ mm 套管, 水泥返至地面, 封固第四系疏松黄土层; 二开, 采用 $\phi 215.9$ mm 牙轮钻头钻入煤层, 下入 $\phi 177.8$ mm 套管, 水泥返至地面, 重点封固刘家沟组和石千峰组易漏失地层; 三开采用 $\phi 152.4$ mm PDC 钻头钻进煤层水平段, 水平段主要部分位于煤层顶部以下 1.00~4.00 m, 下入 $\phi 88.9$ mm 玻璃钢筛管完井, 筛管悬挂器位于二开套管浮箍以上 2.00~5.00 m 处。保德煤层气田北部黄河压覆区水平井的井身结构如图 2 所示^[10-13]。

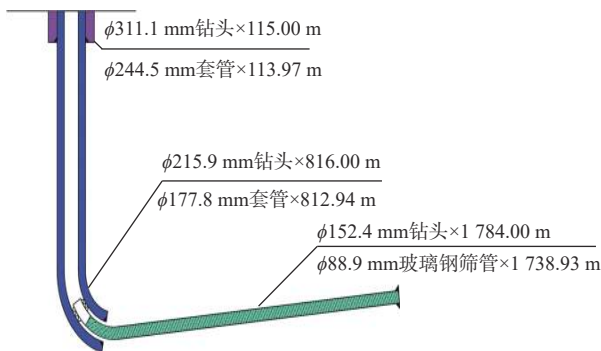


图 2 保德煤层气田黄河压覆区水平井井身结构示意图

Fig.2 Casing program of horizontal well in the Yellow River overlay area of Baode coalbed methane field

2.3 钻井液优选

与常规储层相比, 黄河北部煤层具有低渗透、低压和高吸附的特点, 胶结疏松, 容易发生垮塌等井下复杂情况; 另外, 长水平段容易形成岩屑床, 造成起下钻阻卡, 因此钻井液的选择和性能维护是煤层气长水平段水平井成功的关键因素之一。根据室内试验评价筛选及前期的现场应用情况, 选择使用低密度低固相钻井液, 其配方为清水+0.1%~0.2% PAC-HV(高黏聚阴离子纤维素)+3.0%~5.0% 氯化钾。PAC-HV 可以提高钻井液的黏度和切力, 降低滤失量, 防止井壁坍塌和发生漏失; 氯化钾用于调整密度和提高钻井液体系的抑制性。该钻井液的主要性能参数: 密度 1.05~1.10 kg/L, 漏斗黏度 28~35 s, 塑性黏度小于 35 mPa·s, 滤失量小于 10 mL, 固相含量小于 6%。该钻井液配制简单, 性能稳定, 既能保证井壁稳定, 也能最大程度地降低固相颗粒含量, 降低对煤层的伤害^[14-15]。

2.4 井眼轨迹控制技术

为了提高钻井速度, 缩短钻井周期, 全井采用

“PDC 钻头+螺杆”钻具组合。其中, 二开的钻具组合为 $\phi 215.9$ mm PDC 钻头+ $\phi 172.0$ mm $\times 1.50^\circ$ 单弯螺杆+ $\phi 158.7$ mm 无磁钻铤+ $\phi 158.7$ mm 钻铤+ $\phi 127.0$ mm 钻杆。三开水平段采用“随钻伽马测量+螺杆”组合钻具, 具体钻具组合为 $\phi 152.4$ mm PDC 钻头+ $\phi 127.0$ mm $\times 1.25^\circ$ 单弯螺杆+定向接头+ $\phi 88.9$ mm 无磁钻铤+ $\phi 88.9$ mm 加重钻杆 $\times 400$ m 以上+ $\phi 88.9$ mm 钻杆。利用随钻伽马测井数据预测和识别钻头在煤层中的相对位置、地层走向和地层倾角, 根据需要调整井眼轨迹, 引导钻头在煤层中钻进。钻进过程中每根立柱测斜一次, 并密切监测泵压、转矩等参数变化, 根据观测的振动筛返砂情况, 分析判断井下情况^[16]。

近钻头测量技术解决了常规地质导向反应慢、判断准确性差和易钻出煤层的问题, 提高了地质导向的准确性和钻井效率。测量仪器距钻头仅 0.58 m, 可及时判识钻头在地层中的位置, 提高煤层钻遇率。根据自然伽马值在不同方位的变化情况, 可准确判断煤层的上、下边界, 掌握钻头的实际工作状态, 优化钻井参数。

2.5 玻璃钢筛管完井工艺

裸眼完井的煤层气水平井在排采期间经常发生煤层垮塌、井眼灭失, 导致井筒气液产量急剧下降, 甚至停止产出。前期应用的 PE 筛管存在抗压强度低、尺寸小等问题, 不能进行通井洗井作业^[17]。玻璃钢筛管较 PE 筛管对煤层井壁的支撑能力更强, 并能满足井筒重入的要求, 实现“可重入、可作业、可维护”的完井要求, 在一定程度上达到了金属筛管完井的功能, 同时解决了煤炭后期开采的安全问题。

玻璃钢筛管完井工艺包括井眼准备、下筛管、下冲管、坐挂和洗井等流程。下筛管作业前要进行通井洗井作业, 保证井底干净无沉砂和煤粉, 井眼光滑稳定。玻璃钢筛管完井管串结构为: 引鞋+玻璃钢盲管+密封筒+玻璃钢筛管+保护短接+悬挂器+变扣接头+钻杆。冲管末端与悬挂器内管连接, 筛管与悬挂器外管连接, 建立井眼整体循环通道, 如图 3 所示。筛管下至设计井深后, 投球加压, 将玻璃钢筛管悬挂并固定于套管内壁, 完成钻具与筛管本体的分离。成功丢手后, 打开内部通道, 配合冲管及专用喷头可实现水力喷射洗井, 降低钻井液对煤层的伤害。

3 现场应用

针对保德煤层气田黄河压覆区的钻井完井技术

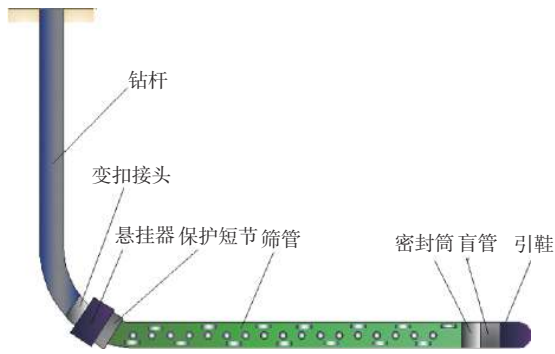


图3 玻璃钢筛管完井管柱结构

Fig.3 Structure of completion string with FRP screen pipe

难点,通过设计合理井身结构、优化井眼轨道、优选钻井液和研究玻璃钢筛管完井工艺,2018年完成了黄河压覆区BP15平台部署的7口长水平段煤层气水平井(见图4)。这7口长水平段水平井的水平段平均长度为1 067.00 m,钻井过程中未发生井下复杂情况,顺利完井,目前该平台平均单井日产气量达4 000 m³。

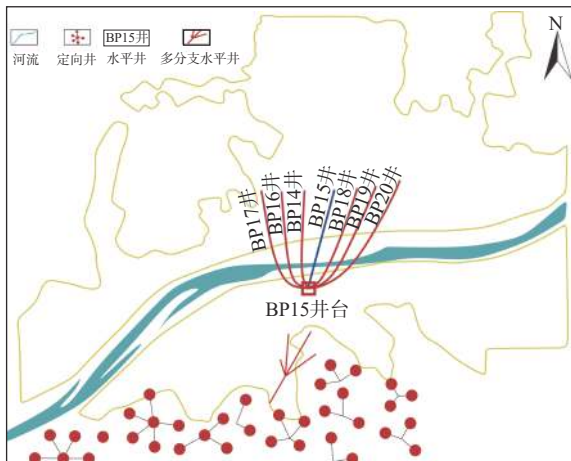


图4 黄河压覆区BP15井台地面部署示意

Fig.4 Surface deployment of Wellbay BP15 in the Yellow River overlay area

BP15井是该平台完钻的第一口水平井,井深1 784.00 m,垂深816.00 m,水平段长968.00 m。该井施工过程中,进行了三压力剖面预测、井眼轨道优化、钻井液优选和玻璃钢筛管完井工艺等钻井完井技术研究与应用,优化了长水平段水平井钻井参数,全井平均机械钻速11.69 m/h,钻井周期37.88 d,为长水平段煤层气水平井的开发提供了依据。完井阶段共下入103根DN80-14MPa筛管和1根盲管,完井管串长度943.00 m,悬挂器顺利坐挂。

目前BP15井已进入采气阶段,生产时间超过700 d,产气效果良好,日产气量超过5 000 m³,累计

产气量295×10⁴ m³,验证了长水平段水平井钻井完井技术的可行性、适用性、有效性和经济性。

4 结论与建议

1)针对保德煤层气田长水平段水平井钻井完井技术难点,研究了煤层气水平井极限水平段长、玻璃钢筛管完井等新技术,形成了煤层气长水平段水平井钻井完井优化设计方法,实现了城市、黄河压覆区煤层气优质储量的有效动用。

2)针对煤层气藏井壁稳定性问题,优化了井身结构和钻井液体系,并采用玻璃钢筛管完井工艺,实现了长水平段井筒的稳定和长期稳定排采。

3)由于水平段极限长度与煤层上倾角度、深度等因素密切联系,同时煤层气排采具有特殊性,因此仅对水平段的极限长度进行理论计算,并不能准确评价水平段的延伸能力,需结合实际煤层条件,进一步研究煤层气水平井水平段长度与经济效益的关系。

4)建议根据现场试验结果进一步完善煤层气长水平段水平井钻井完井技术,持续跟踪和评价长水平段煤层气水平井的现场实施效果,以准确评估地表复杂地区优质煤层气藏的开发效益。

参 考 文 献

References

- [1] 刘立军,陈必武,李宗源,等.华北油田煤层气水平井钻井完井方式优化与应用[J].煤炭工程,2019,51(10):77-81.
LIU Lijun, CHEN Biwu, LI Zongyuan, et al. Optimization of drilling and completion methods for horizontal wells of coalbed methane in Huabei Oilfield[J]. Coal Engineering, 2019, 51(10): 77-81.
- [2] 闫霞,温声明,聂志宏,等.影响煤层气开发效果的地质因素再认识[J].断块油气田,2020,27(3):375-380.
YAN Xia, WEN Shengming, NIE Zhihong, et al. Re-recognition of geological factors affecting coalbed methane development effect[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(3): 375-380.
- [3] 王敏生,光新军,耿黎东.页岩油高效开发钻井完井关键技术及发展方向[J].石油钻探技术,2019,47(5):1-10.
WANG Minsheng, GUANG Xinjun, GENG Lidong. Key drilling/completion technologies and development trends in the efficient development of shale oil[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5): 1-10.
- [4] 王建龙,齐昌利,陈鹏,等.长水平段水平井高效钻井关键技术研究[J].石油化工应用,2018,37(3):95-97,102.
WANG Jianlong, QI Changli, CHEN Peng, et al. Research and application of key techniques for horizontal well drilling in long horizontal section oilfield[J]. Petrochemical Industry Application, 2018,

- 37(3): 95–97, 102.
- [5] 张光波, 刘春春, 贾慧敏, 等. 沁水盆地南部煤层气水平井工艺技术优化 [J]. 中国煤层气, 2019, 16(3): 20–23.
ZHANG Guangbo, LIU Chunchun, JIA Huimin, et al. CBM horizontal well technology optimization in South Qinshui Basin[J]. China Coalbed Methane, 2019, 16(3): 20–23.
- [6] 杨刚, 鲜保安, 毕延森, 等. 煤层气超短半径水平井筛管完井技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 175–181.
YANG Gang, XIAN Baoan, BI Yansen, et al. Study on technology of screen completion of CBM ultra-short radius horizontal well[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3): 175–181.
- [7] 林四元, 张杰, 韩成, 等. 东方气田浅部储层大位移水平井钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(5): 17–21.
LIN Siyuan, ZHANG Jie, HAN Cheng, et al. Key technology for horizontal well of extended reach drilling in the shallow reservoirs of the Dongfang Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(5): 17–21.
- [8] 高德利, 黄文君, 李鑫. 大位移井钻井延伸极限研究与工程设计方法 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(3): 1–8.
GAO Deli, HUANG Wenjun, LI Xin. Research on extension limits and engineering design methods for extended reach drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(3): 1–8.
- [9] 杜世涛, 吴斌, 马群, 等. 阜康矿区西部煤层气高产因素追踪 [J]. 断块油气田, 2019, 26(2): 181–186.
DU Shitao, WU Bin, MA Qun, et al. Factors of high-yielding coalbed methane in Western Fukang Mining Area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2019, 26(2): 181–186.
- [10] 郑毅. 中国煤层气钻井完井技术的发展现状及趋势分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(5): 51–52.
ZHENG Yi. Development status and trend of CBM drilling and completion technology in China[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2017, 37(5): 51–52.
- [11] 乔磊, 申瑞臣, 黄洪春, 等. 武 M1-1 煤层气多分支水平井钻井工艺初探 [J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(1): 34–36.
QIAO Lei, SHEN Ruichen, HUANG Hongchun, et al. A preliminary study on drilling technique of Wu M1-1 CBM multi-branched horizontal well[J]. Coal Geology & Exploration, 2007, 35(1): 34–36.
- [12] 申瑞臣, 闫立飞, 乔磊, 等. 煤层气多分支井地质导向技术应用分析 [J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(5): 43–49.
SHEN Ruichen, YAN Lifei, QIAO Lei, et al. Application and analysis on geosteering technology of coalbed methane multi branch wells[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 43–49.
- [13] 郭晓乐, 汪志明. 南海流花超大位移井水力延伸极限研究 [J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(1): 10–13.
GUO Xiaole, WANG Zhiming. The hydraulic extended limit of mega-extended-reach well at Liuhua Field in South China Sea[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(1): 10–13.
- [14] 李建安. 杭锦旗区块防塌防漏钻井液技术 [J]. 钻井液与完井液, 2019, 36(3): 308–314.
LI Jianshan. Drilling fluid technology for borehole wall stabilization and mud loss control in Block Hangjinqi[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(3): 308–314.
- [15] 王力, 孟尚志, 陈万钢, 等. 提高煤层强度的钻井液防塌封堵剂的研制 [J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(5): 46–49.
WANG Li, MENG Shangzhi, CHEN Wangang, et al. Development of and study on an anti-sloughing plugging agent used in drilling fluids to strengthen coal beds[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018, 35(5): 46–49.
- [16] 岳前升, 李贵川, 李东贤, 等. 基于煤层气水平井的可降解聚合物钻井液研制与应用 [J]. 煤炭学报, 2015, 40(增刊 2): 425–429.
YUE Qiansheng, LI Guichuan, LI Dongxian, et al. Development and application of degradable polymer drilling fluid for coalbed methane horizontal well[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(supplement 2): 425–429.
- [17] 乔磊, 申瑞臣, 黄洪春, 等. 煤层气多分支水平井钻井工艺研究 [J]. 石油学报, 2007, 28(3): 112–115.
QIAO Lei, SHEN Ruichen, HUANG Hongchun, et al. Drilling technology of multi-branch horizontal well[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(3): 112–115.

[编辑 滕春鸣]

关于本刊不收取版面费和审稿费的声明

近段时间, 常有作者反映, 有人利用假冒的《石油钻探技术》期刊网站, 诱骗、迷惑作者投稿, 骗取审稿费或版面费, 使广大作者蒙受了较大的经济损失, 也严重损害了《石油钻探技术》的声誉。

现郑重声明: 《石油钻探技术》不收取任何形式的发表费用, 包括审稿费和版面费, 唯一官方网站网址 www.syzt.com.cn, 凡通过其他网站、邮箱或电话与作者联系, 而给作者造成损失的, 本刊编辑部概不负责。请广大作者擦亮眼睛, 谨防上当受骗!

《石油钻探技术》编辑部