

精细控压钻井技术在渤海油田 复杂压力体系井的应用

江 鹏, 韩 亮, 耿立军, 王 琛, 刘成杰
(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300450)

摘要:针对渤海油田L井存在异常高压、三压力窗口窄、在高压区域存在断层等作业难点,通过应用精细控压地面设备,控制合理的钻井参数,形成精细控压钻井技术,降低了在L井钻井过程中发生喷漏同层的风险,实现了溢流早预防,早发现,早解决。结合控压钻进、接立柱、起下钻等安全作业措施,成功实施L井侧钻井眼作业,为渤海油田异常高压地层的勘探开发奠定了技术基础。

关键词:精细控压;异常高压;喷漏同层;钻井参数;作业措施;渤海油田

中图分类号:TE242;P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)07-0058-07

Application of fine pressure control drilling technology in the complex pressure system well in Bohai Oilfield

GANG Peng, HAN Liang, GENG Lijun, WANG Chen, LIU Chengjie
(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: In view of abnormal high pressure, the narrow three-pressure window and faults in the high-pressure zone in Well L in Bohai Oilfield, fine pressure-control drilling technology was developed through use of fine pressure control surface equipment and proper control of drilling parameters to reduce the risk of both leakage and blowout in the same layer during well drilling, and achieved early prevention, early discovery and early settlement of overflow. In combination with safe operation measures such as pressure-controlled drilling, connecting drill pipe stands, and tripping of drilling strings, Well L was successfully side-tracked, laying a technical foundation for the exploration and development of the abnormal high-pressure area in Bohai Oilfield.

Key words: fine pressure control; abnormal high pressure; leakage and blowout in the same layer; drilling parameters; operation measures; Bohai Oilfield

1 概述

随着渤海油田开发的快速发展,更多的储量被探明,所遇到的复杂地层和异常压力体系也随之增多,其中中深部地层的异常高压为钻井作业带来更大的挑战及风险。异常高压地层特点是在揭开异常高压层后地层压力迅速升高,三压力剖面窗口变窄,钻井过程中易发生喷漏同层等复杂情况,处理

不及时易导致严重井下事故。

针对异常高压地层特点,需采取精细控压钻井技术,精确控制整个作业井段环空压力。根据地层压力变化精细调控井底压力,避免地层流体连续进入井筒,在偶尔发生油气侵时通过调节环空压力即可控制井底压力和防止地层流体进一步侵入^[1]。通过采用一系列设备和工艺,合理控制钻井参数,人

收稿日期:2020-05-25 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.07.009

作者简介:江鹏,男,满族,1989年生,工程师,船舶与海洋结构物设计制造专业,硕士,从事海上钻井监督工作,天津市滨海新区海川路2121号,510378058@qq.com。

引用格式:江鹏,韩亮,耿立军,等.精细控压钻井技术在渤海油田复杂压力体系井的应用[J].钻探工程,2021,48(7):58-64.

GANG Peng, HAN Liang, GENG Lijun, et al. Application of fine pressure control drilling technology in the complex pressure system well in Bohai Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):58-64.

为地动态控制环空压力,达到快速控制井底压力,避免地层压力窗口窄带来的作业风险和困难,实现异常高压地层安全钻井作业^[2]。

2 精细控压钻井技术应用现状

目前精细控压钻井技术作为一种能够精确控制环空压力剖面,安全钻进窄密度窗口地层的技术手段,已在陆地的塔里木、四川、冀东等地区取得了良好的应用效果,获得了石油勘探开发行业的认可^[3]。其中2014—2017年6月,磨溪—高石梯区块灯影组储层进行精细控压钻井作业12口井,有效解决了该区块压力系数低,密度窗口窄,井底压力高,钻进过程中井漏、气侵频繁交替发生的难题^[4]。在南海莺琼盆地也取得了成功应用,解决了其压力过渡带短、起压快,压力窗口窄,过高的钻井液密度导致地层塑性增强、机械钻速低等难题^[5]。

3 精细控压钻井技术在L井的应用

3.1 L井作业概况

L井为四开井身结构,一开16 in(1 in=25.4 mm,下同)井眼下20 in(一开上部40~50 m松散层因冲蚀井径会增大) $\times 13\frac{3}{8}$ in套管;二开 $12\frac{1}{4}$ in井眼下 $9\frac{5}{8}$ in套管;三开 $8\frac{1}{2}$ in井眼下7 in尾管;四开6 in井眼(参见图1)。

L井目的层为中生界潜山,实钻验证存在异常高压,三压力窗口窄。采用6 in井眼钻进,使用 1.10 g/cm^3 无固相钻井液钻进至3317 m发现溢流,停止钻进,立即硬关井,循环池液面增加 0.75 m^3 ,套压 7.80 MPa ,立压 6.50 MPa 。计算地层孔隙压力当量密度为 1.30 g/cm^3 。工程师法压井,一次压井成功,后续使用密度为 1.33 g/cm^3 钻井液继续钻进。钻进至3368 m发生失返性漏失,最终进行打水水泥塞作业封固漏层,进行回填侧钻作业,侧钻井眼使用精细控压设备控制井底压力。

3.2 精细控压地面设备

精细控压地面设备由自动节流管汇、回压泵系统、液气控制系统、监测及自动控制系统、自动控制及应用软件5部分组成^[6]。见图2。

精细控压地面设备参数与功能:

(1)自动节流系统,额定压力 35 MPa ,节流度压力 0.35 MPa ,工作压力 10 MPa ,包括主节流通道的、备用节流通道的、辅助节流通道的,可以自动切换。具有

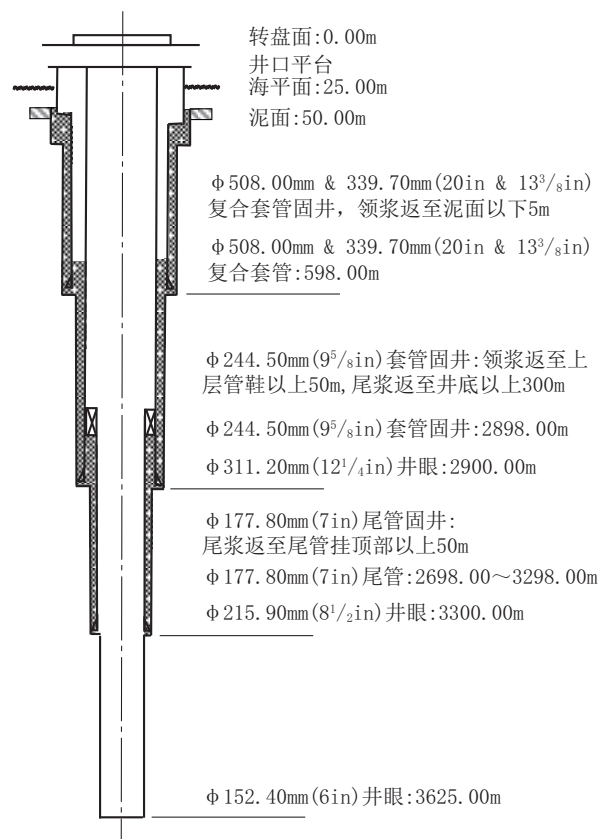


图1 L井井身结构示意图

Fig.1 Well L structure

自动节流、节流切换、安全报警、出口流量监测等功能,能够适应复杂工况的控压钻井作业^[7]。见图3。

(2)回压泵系统,额定压力 35 MPa ,额定流量 7 L/s ,能够进行高精度的入口流量监测,在循环或停泵的作业过程中进行流量补偿,维持节流阀有效的节流功能,适应复杂工况的控压钻井作业中压力补偿要求^[8]。见图4。

(3)液气控制系统,最大工作压力 10.5 MPa ,动态响应时间 $<1\text{ s}$,接收自动控制系统的工作指令并进行处理,同时向下位机发送指令,来实现对各节流阀和平板阀的自动控制。

(4)监测及自动控制系统,控制精度 2% ,动态响应时间 $<1\text{ s}$,由地面压力传感器、温度传感器、泵冲传感器、流量计、录井传感器等构成,采用现场装置、控制器、上位计算机控制的三层递阶控制结构,性能稳定^[9]。

(5)自动控制软件,由参数采集与检测、实时水力学计算、远处自动控制3个软件构成,具有压力保护、工况报警等功能,水力模型实时校正,计算误差

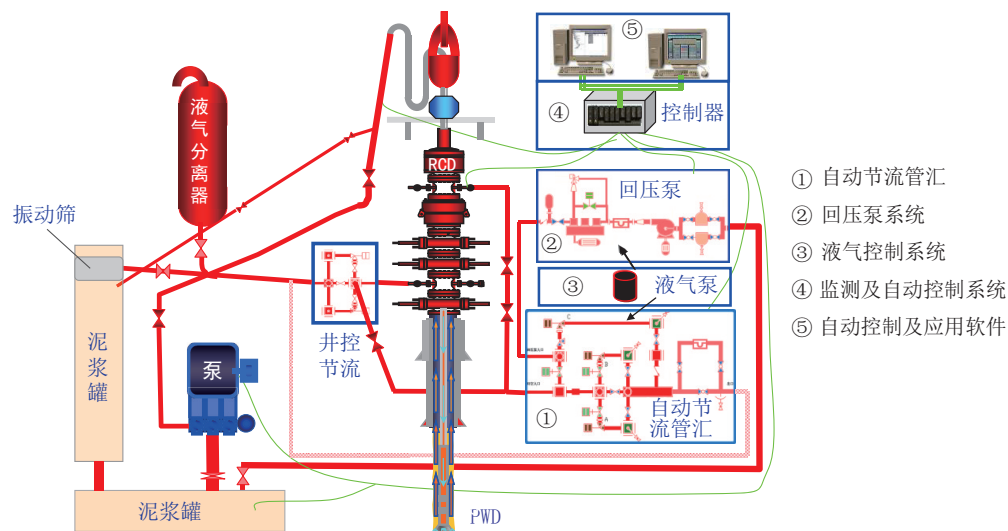


图2 精细控压地面设备流程

Fig.2 Flow chart of fine pressure control surface equipment



图3 自动节流系统

Fig.3 Automatic throttle system



图4 回压泵系统

Fig.4 Back pressure pump system

在0.2 MPa内,完成与其他系统之间的通讯及数据交互,向液气控制系统发出相应的调整指令,监控指令的执行情况,实现阀门的平稳控制^[10]。见图5。

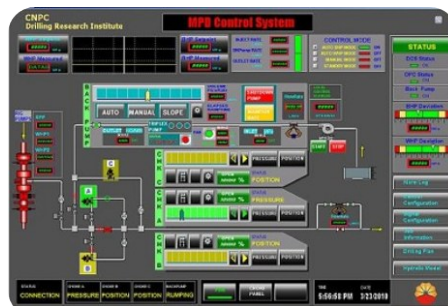


图5 自动控制软件界面

Fig.5 Automatic control software interface

3.3 控压钻井水力参数模拟

3.3.1 水力学模拟^[11]

模拟参数见表1。

表1 模拟参数

Table 1 Simulation parameters

钻头尺寸/ mm	井深/ m	钻井液性能			钻井参数	
		密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	PV/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	YP/ Pa	排量/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	立压/ MPa
Ø152.4 mmPDC,水眼 Ø12.7 mm×5	3318~3625	1.10~1.20	24	8	1000	12~14

(1)模拟状态:钻头位置 3318 m,排量为 1000 L/min,环空压耗为 1.27 MPa,不同密度(1.10~1.20 g/cm³)、井口回压(0~5 MPa)条件下井底ECD(井底钻井液当量密度)区间见图6。

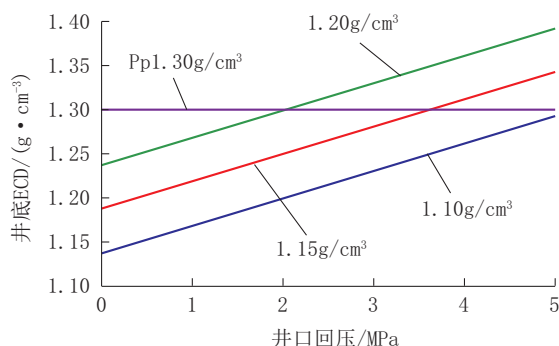


图6 3318 m排量 1000 L/min控压钻井模拟

Fig.6 Pressure control drilling simulation with displacement of 1000L/min at 3318m

(2)模拟状态:钻头位置 3318 m,排量为 0 L/min,不同密度(1.10~1.20 g/cm³)、井口回压(0~5 MPa)条件下井底ECD区间见图7。

(3)模拟状态:钻头位置 3625 m,排量为 1000 L/min,环空压耗为 1.85 MPa,不同密度(1.10~

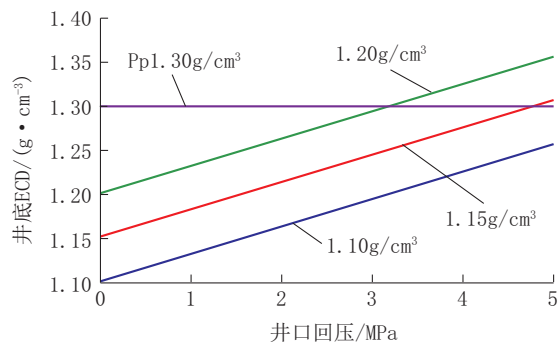


图7 3318 m静止状态控压钻井模拟

Fig.7 Pressure control drilling simulation under the static state at 3318m

1.20 g/cm³)、井口回压(0~5 MPa)条件下井底ECD区间见图8。

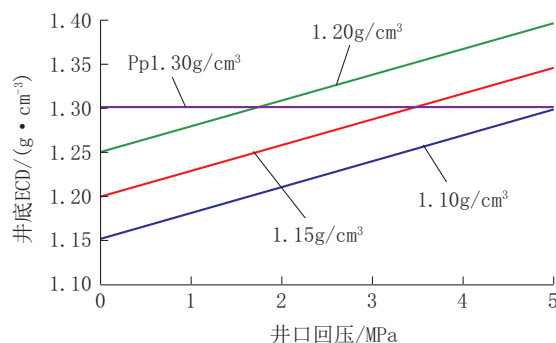


图8 3625 m排量 1000 L/min控压钻井模拟

Fig.8 Pressure control drilling simulation with displacement of 1000L/min at 3625m

(4)模拟状态:钻头位置 3625 m,排量为 0 L/min,不同密度(1.10~1.20 g/cm³)、井口回压(0~5 MPa)条件下井底ECD区间见图9。

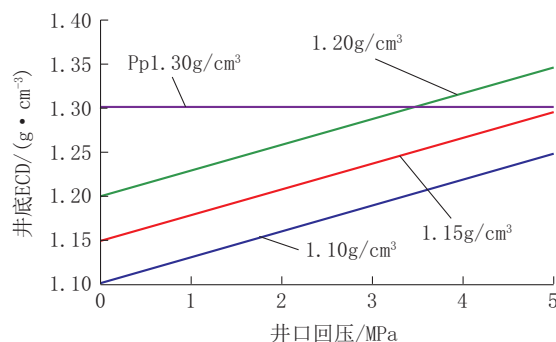


图9 3625 m静止状态控压钻井模拟

Fig.9 Pressure control drilling simulation under the static state at 3625m

3.3.2 钻井液密度与井口控压值

(1)井深 3318~3625 m,计算环空压耗为 1.23~1.25 MPa(见表2)。

表2 钻井液当量密度及控压设计结果

Table 2 Drilling fluid equivalent density and pressure control design results

井深/m	地层压力当量密度/(g·cm ⁻³)	钻井液密度/(g·cm ⁻³)	ECD 区间/(g·cm ⁻³)	循环控压值/MPa	接立柱控压值/MPa
3318~3625	1.30	1.20	1.23~1.25	0~2	0~3.5

(2)本井根据实钻数据,6 in井眼开钻地层孔隙压力当量密度 ≥ 1.30 g/cm³,3368 m之后井段地层

存在漏失,井浆密度 1.33 g/cm³发生漏失。

(3)本井安全窗口极窄(小于 0.03 g/cm³,当前

实钻数据计算),甚至随着钻进可能出现零窗口或负窗口。为保证井口、平台安全,控压策略采取平衡高压油气层,井口施加回压维持井底当量密度 1.30 g/cm^3 钻进,必要时井底微漏钻进^[12]。

(4)井口设备的最大承压能力:RCD胶芯最大动压 10.5 MPa ,取 30% 的安全余量;确定井口回压最大不超过 7 MPa ,再取 30% 安全余量,井口控压不超过 5 MPa ^[13]。

3.4 精细控压钻井参数控制

3.4.1 3318~3368 m 控制参数

6 in 井眼开钻使用 1.20 g/cm^3 钻井液钻进,井口循环控压 2 MPa ,维持井底当量密度 1.30 g/cm^3 钻进,密切观察泵入、返出流量,实现近平衡控压钻进。

3.4.2 3368~3625 m 不同工况控制参数

3.4.2.1 发生漏失

(1)钻至 3368 m ,密切观察出口流量,如发生漏失时则调低井口回压 0.6 MPa ,井底当量密度维持在 1.28 g/cm^3 ,观测漏速,漏失量 $< 1 \text{ m}^3/\text{h}$,则维持当前工艺参数不变,继续钻进。

(2)漏失量 $1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{h}$,采取随钻堵漏措施,进行1个循环后如果漏失量 $< 1 \text{ m}^3/\text{h}$,则按照(1)步骤参数钻进;如果漏速不改变,则降低泵排量至 $700 \sim 800 \text{ L/min}$,但须维持井底当量密度 $< 1.28 \text{ g/cm}^3$ 钻进。

(3)漏失量 $> 2 \text{ m}^3/\text{h}$,退出控压钻井流程,进行堵漏作业。

3.4.2.2 未发生漏失

钻至 3368 m ,密切观察出口流量,未发现漏失,井口回压 $2 \sim 1.8 \text{ MPa}$ 调节,保持井底当量密度 1.30 g/cm^3 ,继续钻进至设计井深。

4 作业措施及效果

4.1 控压钻进作业措施^[14]

(1)调整钻井液性能至规定值,钻井过程中保持钻井液性能稳定,如有变化及时汇报。

(2)正常钻进保持井底 $\text{ECD} = 1.28 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$,同时进行微流量监测。

(3)控压钻进期间,发现出口流量上升,每 5 min 记录一次液面,发现液面 $\pm 0.2 \text{ m}^3$ 以上,则加密监测。通过微溢流监测装置和数据采集系统与井队、录井三方的联合监测做到及时发现溢流和井漏。

(4)发现溢流,按照一次 0.5 MPa 增加井口压

力,观察 5 min ,观察出入口流量的变化,直至溢流停止。在此过程中,加强观察液面变化情况。若地层对井口压力变化极其敏感,可缩小一次调整压力的值,若井口压力 $> 3 \text{ MPa}$,则考虑提高钻井液密度 $0.01 \sim 0.02 \text{ g/cm}^3$ 。

(5)发现漏失,根据出入口流量差值及钻井液液面变化情况测出钻井液漏速,采取合适的堵漏方式进行堵漏作业。

(6)实施控压钻井作业过程中,密切注意控压设备工作状态,一旦发现设备异常,无法进行正常控压作业,应立即转入常规钻井或者常规井控装备。

4.2 接立柱作业措施

(1)每柱作业结束,按照控压钻井排量循环划眼 $5 \sim 10 \text{ min}$,上提到接立柱位置坐吊卡,准备接立柱。上提钻具要缓慢,避免产生过大的井底压力波动。

(2)根据地层压力预测值或实测值设定合理的井底压力控制目标值,确定停止循环立柱状态下需要补偿的井口压力;按设定排量启动回压补偿装置,进行压力补偿。

(3)司钻缓慢降低泵排量至 0 L/s 。

(4)泄掉钻杆和立管内的圈闭压力,确认立压为 0 MPa 后再卸扣接单根。

(5)立柱接完后缓慢开泵,逐渐增加泥浆泵排量至钻进排量。控压钻井工程师相应调整井口压力,停回压泵。

(6)循环下放钻具,恢复钻进。下放钻具要缓慢,避免产生过大的井底压力波动。

4.3 控压起钻^[15]

(1)计算需要的泥浆帽深度、体积、密度、井口压力降低步骤。

(2)充分循环,保证井眼清洁。在此期间活动钻杆时,钻具接头通过旋转控制头的速度 $< 2 \text{ m/min}$ 。

(3)启动自动节流管汇和回压补偿装置在井口压力控制模式下,保持井底压力。

(4)准备停泵,调节井口套压,保持稳定的井底压力。钻具内泄压为 0 MPa 之后,卸顶驱。

(5)通过回压补偿装置控压起钻至预定深度,核实钻井液灌入量,保证实际钻井液灌入量不小于理论灌入量,否则适当提高套压控制值。

(6)连接顶驱,准备打入隔离液。启动泥浆泵,停止回压补偿装置,控压钻井工程师调节井口套压,

保证井底压力大于地层压力。

(7)隔离液顶替至预定深度,启动回压补偿装置,停泵,卸钻具内压力为0 MPa之后卸顶驱,控压起钻至隔离液段顶部。

(8)连接顶驱,准备重浆。启动泥浆泵,停止回压补偿装置,控压钻井工程师确定井口压力降低步骤和顶替排量,保持井底压力连续稳定。

(9)按照顶替方案注入重泥浆返至地面,井口套压降为0 MPa。要求返出的泥浆与设计的重泥浆密度偏差为 0.01 g/cm^3 ,观察30 min井口无外溢之后,拆掉旋转总成,装上防溢管。

(10)按照常规方式起钻钻完,关闭全封闸板。

4.4 控压下钻^[15]

(1)下钻之前,计算所需控压钻井液体积、顶替钻井液时井口压力提高步骤和顶替体积量,准备泥浆罐回收泥浆帽。

(2)确认套压为0 MPa之后,打开全封闸板防喷器。

(3)下钻,对工具进行浅层测试。

(4)常规下钻至隔离液段底部。控制下钻速度,减少“激动”压力。

(5)接上顶驱,准备循环控压钻井液。拆防溢管,安装带压起下钻控制头。

(6)按照顶替方案泵入控压钻井液替出重泥浆。期间按照计算的井口压力提高步骤和顶替体积量的关系,逐渐提高井口套压。

(7)顶替结束后,启动回压补偿装置,停止循环,保持合适的井口压力,泄钻具内压力为0 MPa之后卸顶驱。

(8)通过回压补偿装置及自动节流管汇控压下钻至井底,接顶驱,启动泥浆泵,停止自动回压补偿装置,将自动节流系统转换到井底压力控制模式。

(9)下钻期间,每下入5~10柱,灌满控压钻井液一次,记录钻井液的返出量,要求实际返出量不大于理论返出量。

4.5 L井侧钻井眼作业效果

6 in井眼钻水泥塞至3402.51 m(3403 m进入新地层),控压监测发现溢流,停止钻进,立即硬关井,循环池液面增加 1 m^3 。求取套压6.50 MPa,立压5.50 MPa。计算地层孔隙压力当量密度为 1.31 g/cm^3 。工程师法压井作业,一次压井成功。最终顺利控压钻进至完钻深度3508 m,进行电测及测试

作业。

5 结论

(1)针对异常高压地层,采用精细控压钻井技术,可以精确控制整个作业井段环空压力,根据地层压力变化精细调控井底压力,避免地层流体连续进入井筒,在偶尔发生油气侵时通过调节环空压力即可控制井底压力和防止地层流体进一步侵入。

(2)针对L井上喷下漏的特点,采用精细控压钻井技术,配合精细控压地面设备,通过水力模拟计算,设置合理的控压参数,采取控压钻进、接立柱、起下钻等措施,成功实施L井侧钻井眼作业,为异常高压地层的勘探提供了一定的经验。

参考文献(References):

- [1] 天工.控压钻井技术新进展[J].天然气工业,2019,39(2):83.
TIAN Gong. New development of controlled pressure drilling technology[J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(2): 83.
- [2] 王佑林.国外精确控压钻井技术进展研究[J].江汉石油科技, 2019, 29(3): 49-52.
- [3] 刘永伟,王战卫,颜江,等.控压钻井技术在MHHW1004井的应用[J].新疆石油天然气,2019,15(1):24-27,32,2.
LIU Yongwei, WANG Zhanwei, YAN Jiang, et al. Application of managed pressure drilling in MHHW1004 well[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2019, 15(1): 24-27, 32, 2.
- [4] 邵长春,沈凯,刘文超.精细控压钻井技术在塔里木油田水平井中的应用[J].化工管理,2019(12):207-208.
SHAO Changchun, SHEN Kai, LIU Wenchao. Application of fine controlled pressure drilling technology in horizontal wells in Tarim Oilfield [J]. Chemical Enterprise Management, 2019 (12): 207-208.
- [5] 黄熠,杨进,施山山,等.控压钻井技术在海上超高温高压井中的应用[J].石油钻采工艺,2018,40(6):699-705.
HUANG Yi, YANG Jin, SHI Shanshan, et al. Applications of MPD technology in offshore ultra-HTHP wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(6): 699-705.
- [6] 曾知昊.精细控压钻井技术的应用研究[J].石化技术,2018,25(11):48.
ZENG Zhihao. Research on the application of fine control pressure drilling technology[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(11): 48.
- [7] 王禹杰,付建红,曾知昊,等.控压钻井关键技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(16):167-168.
WANG Yujie, FU Jianhong, ZENG Zhihao, et al. Research on key technologies of controlled pressure drilling[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018, 38 (16) : 167-168.

- [8] 王宏科. 微流量控压钻井技术[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(10): 244-245.
WANG Hongke. Microflow controlled drilling technology [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(10): 244-245.
- [9] 杨博, 陈波, 张力中, 等. 精细控压钻井技术在滨104X1井试验与应用[J]. 科技创新与应用, 2018(30): 183-184.
YANG Bo, CHEN Bo, ZHANG Lizhong, et al. Test and application of fine controlled pressure drilling technology in Bin 104X1 well [J]. Technology Innovation and Application, 2018(30): 183-184.
- [10] 刘伟, 周英操, 石希天, 等. 塔里木油田库车山前超高压盐土层精细控压钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(2): 23-28.
LIU Wei, ZHOU Yingcao, SHI Xitian, et al. Precise managed pressure drilling technology for ultra-high pressure brine layer in the Kuqa Piedmont of the Tarim Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(2): 23-28.
- [11] 史肖燕, 周英操, 赵莉萍, 等. 精细控压钻井过程中溢流的模拟和控制[J]. 石油机械, 2019, 47(5): 24-30.
SHI Xiaoyan, ZHOU Yingcao, ZHAO Liping, et al. Influx simulation and control during managed pressure drilling [J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(5): 24-30.
- [12] 王佑林. 国外精确控压钻井技术进展研究[J]. 江汉石油科技, 2019, 29(3): 49-52.
WANG Youlin. Research on progress of precision controlled pressure drilling technology abroad [J]. Jianghan Petroleum Technology, 2019, 29(3): 49-52.
- [13] 黎凌, 杨梦莹, 鲍学飞, 等. 控压钻井用凝胶隔段工作液性能评价及机理分析[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(6): 82-86.
LI Ling, YANG Mengying, BAO Xuefei, et al. A brittle and drillable gel slug for use in managed pressure drilling [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018, 35(6): 82-86.
- [14] 万夫磊. 精细控压钻井技术在川渝和土库曼地区的应用实践[C]//中国石油学会天然气专业委员会. 2018年全国天然气学术年会论文集(04工程技术). 2018: 676-680.
WAN Fulei. Application practice of fine controlled pressure drilling technology in Sichuan, Chongqing and Turkmenistan [C]// Natural Gas Professional Committee of China Petroleum Institute. Proceedings of the 2018 National Natural Gas Academic Conference (04 Engineering Technology). 2018: 676-680.
- [15] 门明磊, 郭庆丰, 赵丽萍, 等. 控压钻井技术起下钻方式研究[J]. 石化技术, 2018, 25(11): 173-174.
MEN Minglei, GUO Qingfeng, ZHAO Liping, et al. Research on the trip mode of controlled pressure drilling technology [J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(11): 173-174.

(编辑 荐华)