

沙特 MTLH-1 井全过程欠平衡钻井技术

赵小祥¹ 邢树宾² 毛 迪² 侯绪田² 张克坚²

(1. 中国石化 国际石油勘探开发有限公司,北京 100083;2. 中国石化 石油工程技术研究院,北京 100101)

摘 要:MTLH-1 井是沙特 B 区块的一口重点探井,为了能及时发现油气层、保护油气层、随钻评价油气产量,该井在钻进 Sarah 组地层时,采用了全过程欠平衡钻井技术。由于 Sarah 组地层存在易坍塌段,因此,在进行欠平衡钻进时,要严格控制井底压力,既要能保证井壁稳定,又要能实现边溢流边钻进。详细介绍了该井钻进、接立柱、起下钻、井下套管阀关闭、测井以及测试时控制井底始终处于欠平衡状态的方法和措施。该井在欠平衡钻井的各个环节以及测井和测试过程中,井底始终处于欠平衡状态,测试结果显示该井表皮系数为-3.44,表明在全过程欠平衡作业过程中很好地保护了油气层,达到了实施全过程欠平衡钻井的目的。

关键词:欠平衡钻井;井底压力;井眼稳定;防止地层损害;沙特 B 区块;MTLH-1 井

中图分类号:TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)05-0060-05

Whole Process Under-Balanced Drilling Technology in Well MTLH-1 in Saudi Arabia

Zhao Xiaoxiang¹ Xing Shubin² Mao Di² Hou Xutian² Zhang Kejian²

(1. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing, 100083, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: Well MTLH-1 is a key exploration well in Block B of Saudi Arabia. In order to discover oil and gas, to protect formation, and to evaluate oil and gas production while drilling, the whole process underbalanced drilling technology was used during drilling Sarah formation. Since part of section is easy to collapse, therefore, the bottomhole pressure has to be strictly controlled to ensure wellbore stability and to achieve overflow while drilling during the underbalanced drilling. This paper details drilling, tripping, downhole valve closing, well logging and methods and measures to maintain the under balanced condition during testing. This well is under-balanced during well logging and well testing, the test results show that the skin is -3.44 which implies that the formation was protected during drilling. The objective of under balanced drilling was achieved.

Key words: underbalanced drilling; bottom hole pressure; hole stabilization; formation damage prevention; Block B in Saudi Arabia; Well MTLH-1

MTLH-1 井是沙特 B 区块的一口重点探井,设计井深为 5 407 m,采用六段制井身结构。为了能及时发现油气层、保护油气层、随钻评价油气产量,该井 $\phi 149.2$ mm 井段应用了全过程欠平衡钻井技术^[1-11]。该井 $\phi 149.2$ mm 井段钻遇 Sarah 组地层,而从邻井的实钻资料可以看出, Sarah 组地层上部 and 下部存在易坍塌井段,因此,在欠平衡钻井过程中应控制井底压力以保证井壁稳定。实施欠平衡钻井时井壁无泥饼保护,一旦过平衡,将会对地层造成严

重污染。因此,井底压力控制是全过程欠平衡钻井过程中保持井壁稳定和有效保护储层的关键。

收稿日期:2010-05-25; **改回日期:**2010-08-06

基金项目:国家科技重大专项“中东中亚富油气区复杂地层深井钻完井技术”(编号:2008ZX05031-004)部分研究内容

作者简介:赵小祥(1965—),男,江苏丹徒人,1986 年毕业于华东石油学院钻井工程专业,高级工程师,主要从事钻井工程技术管理及研究工作。

联系方式:(010)82332778, xiaoxiangzhao@sipc. cn

1 相关参数模拟计算

为了更好地控制欠平衡钻井过程中的井底压力,笔者首先根据地层情况,选择 Sarah 组顶部深度(井深 5 254 m)模拟计算了 MTLH-1 井在欠平衡钻井中的相关参数。

1.1 环空摩阻

根据 MTLH-1 井的实钻井身结构、钻具组合和钻井液性能,模拟计算了该井井深 5 245 m 处的环空摩阻,结果见图 1。

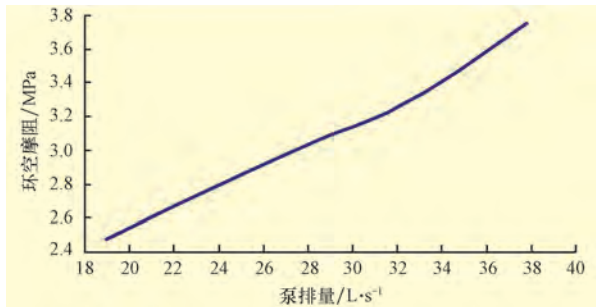


图1 井深5 254 m处环空摩阻随循环流量的变化
Fig.1 Annular friction change with circulation flow rate at depth of 5 254 m

1.2 抽汲与激动压力

根据 MTLH-1 井的实钻钻具组合,模拟计算了该井井深 5 254 m 处井底抽汲和激动压力随起下钻速度的变化情况,结果见图 2。

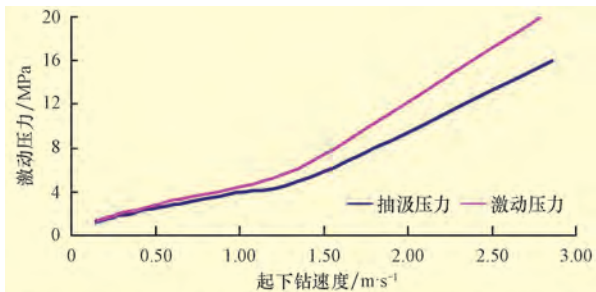


图2 井深5 254 m处抽汲和激动压力随起下钻速度的变化
Fig.2 Swab/Surge pressure change with trip velocity at depth of 5 254 m

2 欠平衡钻井过程及井底 ECD 控制

2.1 正常欠平衡钻进及井壁稳定控制

MTLH-1 井欠平衡钻井过程中的井口回压与排量如图 3 所示。从图 3 可以看出:5 189~5 245 m 井段排量维持在 19 L/s 左右,井口回压开始为

2.76 MPa,钻至井深 5 204 m 时降为 2.07 MPa,从井深 5 221 m 开始调为 0.69 MPa;5 249~5 275 m 井段排量为 20~22 L/s,井口回压为 0.69~1.03 MPa;5 275~5 407 m 井段由于使用了涡轮钻具,排量为 13 L/s,开始井口回压为 2.41 MPa,钻至井深 5 349 m 时井口回压降至 1.38 MPa。

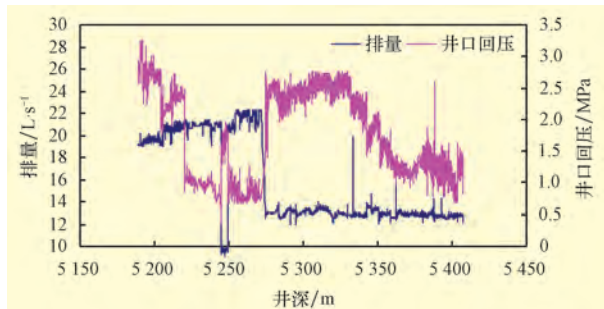


图3 井口回压及排量变化
Fig.3 Changes in wellhead back pressure and flow rate

由于合理控制了井口回压,井底循环当量密度(ECD)变化较小,均在 1.52 kg/L(预测孔隙压力当量密度下限)以下波动,实钻井底 ECD 如图 4 所示。

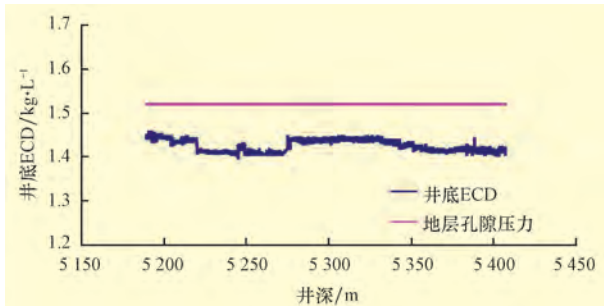


图4 实钻井底ECD
Fig.4 Bottom-hole ECD of actual drilling

图 5 为 MTLH-1 井欠平衡钻进井段的测井井径曲线。经统计,该井段最大井径扩大率为 37%,平均

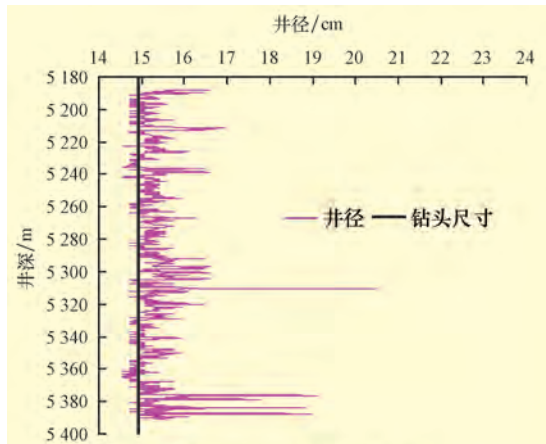


图5 欠平衡钻进井段井径曲线
Fig.5 Wellbore diameter of UBD section

井径扩大率为 2%。可见,欠平衡过程中控制了合适的井底 ECD 和负压值,井壁稳定性较好,钻进过程中没有出现扭矩增大和上提下放遇阻等异常现象。

2.2 井下套管阀关闭期间的欠平衡控制

如果地层有流体涌出,井下套管阀(DDV)^[12]关闭后,其下部压力会增大,压力增大到一定数值(理论计算该井为 5.72 MPa)后会造成井底过压,如果起下钻时间过长,应定期开启 DDV 以释放圈闭压力。参照关井求压数据,2.17 h 圈闭压力上升 0.9 MPa,静态下井底负压值为 5.72 MPa,假设 DDV 关闭后圈闭压力以最快的速度线性增加,经过理论计算至少要经历 14.00 h 圈闭压力才能达到 5.72 MPa。考虑到关井求压时地层能量很低,圈闭压力达到 5.72 MPa 的时间会更长,参照邻井同样压差条件下的压力恢复时间为 20.00 h,可认为在目前的地层条件下,24.00 h 之内无需开启 DDV 释放圈闭压力。

实践证明,这种判断是正确的,DDV 从关闭到开启经历 24.5 h,开启 DDV 时上部压力加了 4.48 MPa,当关闭 DDV 时,套压为 0.34 MPa;由此可知,经历 24.50 h 后形成的圈闭压力为 4.14 MPa,没有造成地层过压。因此,在目前的地层条件下,如果正常施工,起下钻周期不会超过 24.00 h,期间不需开启 DDV 放压。这样可以减少 DDV 的开启次数,延长其使用寿命。

2.3 取心钻进欠平衡控制

取心井段为 5 245 ~ 5 249 m,钻进排量为 9.5 L/s,井口回压为 1.38 ~ 1.93 MPa,其井底 ECD 如图 6 所示。从图 6 可以看出,取心井段的井底 ECD 控制得也较为平稳。

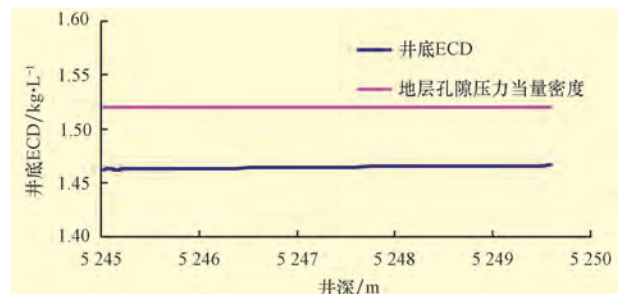


图6 取心井段实钻ECD

Fig.6 Actual drilling ECD of coring section

2.4 起钻过程欠平衡控制

起钻过程中,井底会由于钻具组合快速上提产生抽汲压力,引起井底负压值的增加,为了减小井底

压力波动,需控制起钻速度。该井欠平衡钻井过程中起钻速度应控制在 6~9 m/min,起钻过程中井口加 5.2~5.9 MPa 的回压,实际起钻中井底 ECD 见图 7。由图 7 可知,起钻过程中,井底压力波动较小,且始终小于地层孔隙压力。

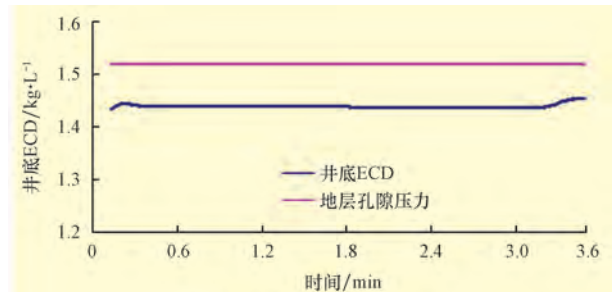


图7 起钻过程井底ECD

Fig.7 Bottom-hole ECD during trip-out

2.5 下钻过程欠平衡控制

由于下钻过程中会产生激动压力,从而增加井底压力。因此,要控制下钻速度。MTLH-1 井欠平衡钻井过程中下钻速度控制在 6~9 m/min,下钻过程中井口加 5.9~6.2 MPa 的回压,实际下钻中的井底 ECD 见图 8。从图 8 可以看出,下钻过程中井底压力的控制较平稳,且始终低于地层孔隙压力。

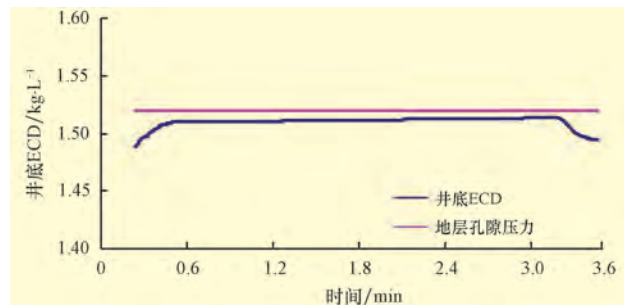


图8 下钻过程井底ECD

Fig.8 Bottom-hole ECD during trip-in

2.6 接立柱过程欠平衡控制

接立柱时,由于受停泵和开泵的影响,井底压力出现波动,对井壁稳定产生一定的影响。因此,要求在接立柱过程中尽量减少井底压力波动,即维持井底压力基本不变,具体的做法是在逐渐降低排量的同时逐渐增加井口回压,以补偿由于循环摩阻减少而造成的井底压力降低。为提高可操作性,设计了阶梯式泵压与排量调节模式,以便给欠平衡钻井工程师调节的时间。该井接立柱过程中的停泵和开泵过程设计见图 9、图 10。

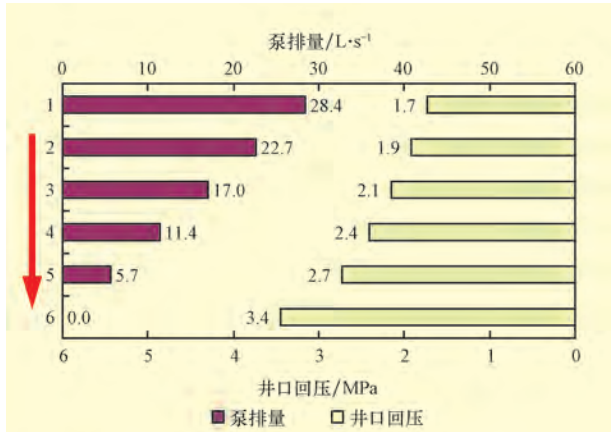


图9 停泵时泵排量与井口回压阶梯变化设计
Fig.9 Design of flow rate and wellhead back pressure during pump off

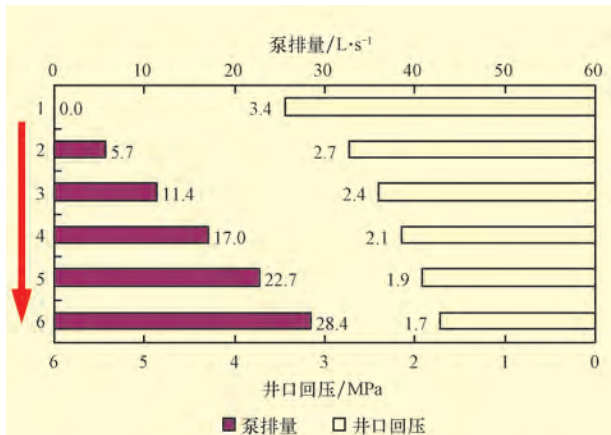


图10 开泵时泵排量与井口回压阶梯变化设计
Fig.10 Design of flow rate and wellhead back pressure during pump on

MTLH-1 井接立柱时井口回压和泵排量的变化如图 11 所示,井底 ECD 如图 12 所示。从图 11、图 12 可以看出,该井接立柱时停泵和开泵操作较为规范,同时井底压力控制得较为平衡,波动较小。

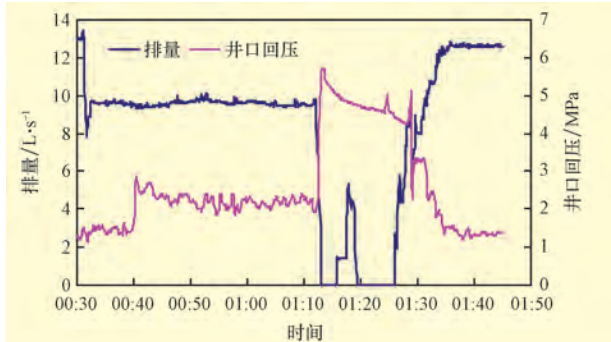


图11 接立柱时井口回压与泵排量变化曲线
Fig.11 Flow rate and wellhead back pressure change during stands connection

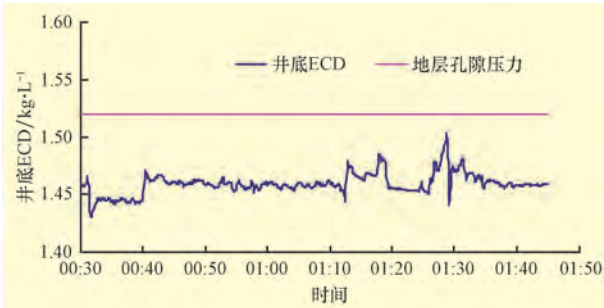


图12 接立柱时井底ECD变化曲线
Fig.12 Bottom-hole ECD change during stands connection

2.7 欠平衡测井

MTLH-1 井使用 LWD 随钻测量工具,配合旋转防喷器设备完成整个欠平衡测井作业。LWD 设备要求井下温度不得超过 149 ℃,而根据该井上部地层电缆测井资料可知,井底温度为 163 ℃,需要连续循环钻井液降低井底温度,以保证井底温度不超过 149 ℃。测井时,为了能采用较高的排量进行循环,井口不加回压。图 13 为测井下钻过程中井眼温度分布曲线。从图 13 可以看出,采用循环钻井液的方法井眼得到了冷却,井眼中最高温度不超过 138 ℃,低于 LWD 设备耐温极限。下钻与测井时的井底压力小于地层孔隙压力。

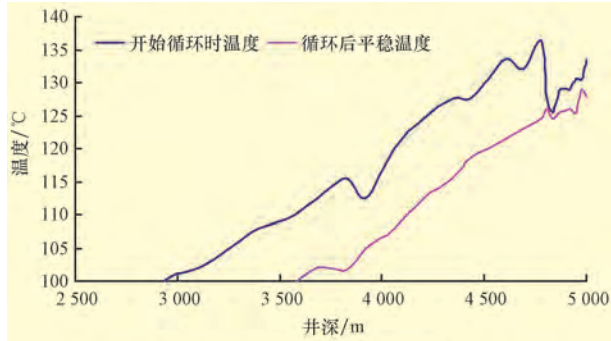


图13 测井下钻过程中的井眼温度分布
Fig.13 Wellbore temperature distribution during log RIH

2.8 欠平衡测试

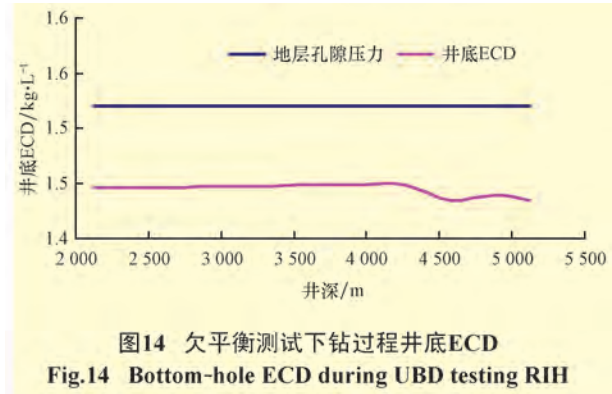
欠平衡测试时,下测试管柱的过程需要控制井口压力,然而测试工具阀是通过环空压力控制的。设计测试管柱,要保证测试工具阀的开启压力高出欠平衡井口控压一定范围,以免在井口控压过程中启动测试管柱阀门,影响测试作业。

测试液为无固相盐水,接近牛顿流体性能,结合实际循环中的泵压排量参数,笔者计算了循环排量为 5 L/s(测试设计要求排量不超过 0.318 m³/mm)时的

下环空摩阻(见表 1),比较接近实际循环泵压。

表 1 不同深度下的循环摩阻				
Table 1 Circulation friction under different depth				
井深/m	环空压耗/MPa	钻杆压耗/MPa	井口回压/MPa	泵压/MPa
2 134	0.11	0.92	4.14	5.17
2 438	0.13	0.98	4.14	5.25
2 743	0.14	1.01	4.14	5.29
3 048	0.17	1.03	4.14	5.33
3 353	0.19	1.05	4.14	5.37
3 658	0.21	1.08	4.14	5.42
3 962	0.23	1.10	4.14	5.46
4 267	0.25	1.12	4.14	5.51
4 572	0.90	1.14	2.76	4.81
4 877	1.17	1.17	2.76	5.09
5 121	1.23	1.19	2.41	4.83

下钻至井深 4 800 m 时,考虑到井口回压过大会激活主测试阀,要求井口回压不超过 2.75 MPa。下钻过程中,参照表 1 的压耗数据,井深 4 500 m 以浅井口回压为 4.12 MPa,从井深 4 500 m 开始井口回压降为 2.75 MPa,井深 4 800 m 以深井口回压调整为 2.41 MPa。图 14 为下钻过程的井底 ECD 曲线。从图 14 可以看出,下钻过程中井底压力平稳,且始终低于地层孔隙压力,说明下钻过程中处于欠平衡状态。封隔器坐封成功后,开始环空试压,环空加压至 9.75 MPa 后憋压 10 min,压力为 9.4 MPa;从环空泵入 0.95 m³ 盐水,卸压返出 0.95 m³;环空试压表明,封隔器坐封成功并且密封良好,成功隔断了封隔器上下环空,保证了试压过程中的地层欠平衡状态,可见整个测试管柱的下钻和封隔器坐封都保持了地层的欠平衡状态。



3 结论与认识

1) MTLH-1 井的整个施工过程(包括钻进、立柱、起下钻、井下套管阀关闭过程、测井以及测试等各个环节)中,井底 ECD 都控制在 1.52 kg/L(地层孔隙压力预测当量密度下限)以下,成功实现了全

过程欠平衡施工作业;同时又有效控制了井底负压值,保证了井壁稳定和井下安全。

2) MTLH-1 井测试最终的分析结果显示,该井表皮系数为-3.44,表明全过程欠平衡钻井作业过程中很好地保护了油气层,达到了全过程欠平衡钻进的目的。

参 考 文 献

[1] 侯绪田,曾义金,郭才轩,等. 常压井段负压钻井技术探讨[J]. 石油钻探技术,1999,27(1):15-17.
Hou Xutian, Zeng Yijin, Guo Caixuan, et al. Discussion on under-balanced drilling techniques under conventional pressure formations [J]. Petroleum Drilling Techniques, 1999, 27(1): 15-17.

[2] 刘玉华,唐世春,李江,等. 负压钻井技术在塔北奥陶系地层中的应用[J]. 石油钻探技术,1999,27(6):9-10.
Liu Yuhua, Tang Shichun, Li Jiang, et al. Application of under-balanced drilling technology in Ordovician system in Northern Tarim [J]. Petroleum Drilling Techniques, 1999, 27(6): 9-10.

[3] 宋周成,何世明,安文华,等. 塔中 62-27 井控压钻井实践[J]. 钻采工艺,2009,32(2):104-105.
Song Zhoucheng, He Shiming, An Wenhua, et al. Application of manage pressure drilling technology in Tazhong Well 62-27 [J]. Drilling & Production Technology, 2009, 32(2): 104-105.

[4] Don M Hannegan. Managed pressure drilling in marine environments—case studies[R]. SPE/IADC 92600, 2005.

[5] Saponja J, Adeleye A, Hucik B. Managed pressure drilling (MPD) field trials demonstrate technology value[R]. IADC/SPE 98787, 2006.

[6] Malloy K P. Managed pressure drilling what is it anyway? [J]. World Oil, 2007, 228(3): 27-34.

[7] 严新新,陈永明,燕修良. MPD 技术及其在钻井中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2): 62-66.
Yan Xinxin, Chen Yongming, Yan Xiuliang. MPD and its application to drilling [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2007, 30(2): 62-66.

[8] Børre Fossil, Sigbjørn Sangeslang. Managed pressure drilling for subsea applications; well control challenges in deep waters [R]. SPE/IADC 91633, 2004.

[9] 周英操,崔猛,查永进. 控压钻井技术探讨与展望[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(4): 1-4.
Zhou Yingcao, Cui Meng, Zha Yongjin. Discussion and prospect of managed pressure drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 1-4.

[10] 郑锋辉,韩来聚,杨利,等. 国内外新兴钻井技术发展现状[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(4): 5-11.
Zheng Fenghui, Han Laiju, Yang Li, et al. Development of novel drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 5-11.

[11] 陈思路. 空心玻璃微珠在沈 289 井欠平衡钻井中的应用[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(1): 60-62.
Chen Silu. Applications of hollow glass bubble in underbalanced drilling on Well Shen-289 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 60-62.

[12] 陈永明. 全过程欠平衡钻井中的不压井作业[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(2): 22-25.
Chen Yongming. No-killing operations in whole course under-balanced drilling [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(2): 22-25.