

# 前 34 井充氮气欠平衡钻井设计与施工

陈 勋

(中国石油 辽河油田分公司,辽宁 盘锦 124010)

**摘 要:**为准确评价前进潜山腰部太古界地层的含油气情况,辽河油田在前 34 井应用了充氮气欠平衡钻井技术。该井钻前使用 UBDS Ver. 6. 2 欠平衡钻井多相流动计算软件系统进行了水力参数设计,分析了井口套压及起下钻过程对欠平衡钻井的影响,最终确定了充氮气欠平衡钻井技术方案:采用密度 1. 20 kg/L 的无固相钻井液为充气钻井基液,井底欠压差 $-3. 5\sim-1. 7$  MPa,液相排量 12 L/s,注气量 25 m<sup>3</sup>/min,井口套压控制在 2 MPa 以内,起下钻速度不超过 0. 5 m/s。该井在钻井过程中严格按照设计施工,真正实现了井底欠平衡,避免了井漏等井下复杂情况,有效保护了储层。该井与使用常规钻井技术的同类型井相比,机械钻速提高了 21%。该井充氮气欠平衡钻井的成功,验证了太古界地层深井充氮气欠平衡钻井的可行性,为辽河油田低压潜山深部油层勘探开发过程的油气层保护和储能评价提供了一条新的技术途径。

**关键词:**欠平衡钻井;注气量;欠压值;水力参数设计;防止地层损害;辽河油田;前 34 井

**中图分类号:**TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2010)04-0070-05

## Aerated Nitrogen UBD Design and Drilling in Well Qian-34

Chen Xun

(Liaohe Oilfield Co. ,CNPC,Panjin,Liaoning,124010,China)

**Abstract:** In order to evaluate the reserves in archaeozoic formation in Qianjin,aerated nitrogen UBD was used Well Qian-34. The hydraulics parameters of Well Qian-34 was designed using the under balanced drilling hydraulics calculation software UBDS Ver. 6. 2. The impact of casing pressure and tripping velocity on UBD was discussed. The aerated nitrogen UBD for this well was drilling fluid density of 1. 2 kg/L,the pressure difference of  $-3. 5\sim-1. 7$  MPa,fluid displacement of 12 L/s,gas injection rate of 25 m<sup>3</sup>/min, casing pressure under 2 MPa and tripping velocity less than 0. 5 m/s. The under balanced drilling was applied and the well leaking and other complex conditions were avoided. Compared with other wells,ROP was increased by 21%. The success in this well shows that aerated nitrogen drilling is applicable in archaeozoic formation and provides a new method for formation protection and evaluation in Liaohe Oilfield.

**Key words:** underbalance drilling;injection volume;voltage value;hydraulics design;formation damage prevention;Liaohe Oilfield;Well Qian-34

辽河油田前 34 井的钻探目的层为低压潜山地层,钻井过程中易发生恶性漏失,导致裂缝堵塞,油层污染,产能降低。该井的钻探目的是要预探前进潜山腰部太古界的含油气情况,正确评价地层的储能,而这就要求尽可能减小钻井过程中的油层污染。由于欠平衡钻井技术可以人为地使井眼内的钻井液液柱压力低于产层地层压力,从而达到及时发现和保护油气层的目的<sup>[1-9]</sup>。因此,辽河油田决定在前 34 井应用充氮气欠平衡钻井技术。

前 34 井欠平衡钻井设计及施工过程中存在一些难题。首先,该井设计井深 3 922 m,垂深 3 900 m,是辽河油田第一次在前进潜山地层和深部地层应用充氮气欠平衡钻井,且地层情况复杂,因此,对

**收稿日期:**2010-05-12;**改回日期:**2010-06-30

**作者简介:**陈勋(1963—),1983 年毕业于江汉石油学院钻井专业,钻井工程部副处长,高级工程师,主要从事钻井工程技术管理工作。

**联系方式:**(0427)7298701,chenxun@petrochina. com. cn

水力参数设计及现场施工都提出了较高的要求;其次,欠平衡钻井作业时,为保证井下安全,某些情况下会在钻井过程中对井口施加一定的套压<sup>[10-11]</sup>,以平衡部分地层压力,因此需要根据井场实际数据对井筒压力进行快速计算;再次,在起下钻过程中产生的抽汲和激动压力对井底压力的影响比较大,因此,需要针对该井的实际情况对起下钻所引起的压力变化进行分析,为现场施工提供指导。

## 1 水力参数设计

在欠平衡水力参数设计过程中,应综合考虑井筒稳定性、地层压力、井筒内的当量循环密度、井底的欠压值、环空携岩比等因素<sup>[12]</sup>。前 34 井应用中国石油大学(华东)开发的 UBDS Ver. 6.2 欠平衡钻井水力设计与计算软件,对水力参数进行了优化设计,该软件采用了非稳态多相流动计算方法<sup>[13-14]</sup>,并考虑油气相变、油层产出与井筒的连续线性耦合。

合理压差的确定是欠平衡钻井设计的重要内容之一,它首先要考虑井眼安全,因此,井壁稳定和避免井漏是首先要考虑的因素。钻井过程中影响井壁稳定的因素很多,大体可归结为钻井液化学和地层力学因素。由于在井筒压力小于地层孔隙压力的欠平衡条件下,几乎没有钻井液进入地层。因此,应主要从力学角度考虑引起欠平衡钻井过程中井壁失稳的原因。欠平衡条件下,保证井眼安全,不发生剪切破坏的条件为:

$$\tau < [\tau] = C + \mu \sigma \quad (1)$$

式中: $C$  为岩石粘聚力; $\mu$  为岩石的内摩擦系数, $\mu = \tan \phi$ ; $\phi$  为岩石的内摩擦角。

其次,预防井底负压差过大出砂也是设计中要考虑的主要问题之一。另外,还要考虑井口设备的分离能力、套压控制能力等。

邻井沈 235 井在井深 3 739.43 m 处(太古界地层)实测产层压力 32.43 MPa,地层压力系数 0.88,据此计算前 34 井钻至太古界潜山面(井深 3 407 m,垂深 3 400 m)处的地层压力为 29.32 MPa。采用密度为 1.02 kg/L 的无固相钻井液作为充气钻井基液,以充氮气作为降低钻井液体系密度的方法,进行充气欠平衡钻井设计,控制循环时井底动欠压差为 3.5~1.7 MPa。设计所依据的基本数据为:井深 3 900 m,钻井液密度 1.02 kg/L,钻井液  $\phi 600$ 、 $\phi 300$  读数分别为 37、22,设计钻井液排量 12 L/s,目的层段平均机械钻速 2.01 m/h,目的层段地层

压力系数 0.88,地温梯度 2.4 °C/100m,钻具组合为  $\phi 152.4$  mm 钻头+双母+ $\phi 120.7$  mm 回压阀 2 个+ $\phi 120.0$  mm 钻铤 $\times 12$  根+ $\phi 88.9$  mm 加重钻杆+ $\phi 88.9$  mm 18°G-105 斜坡钻杆+ $\phi 120.7$  mm 回压阀 1 个。

在液相排量为 12 L/min,注气量( $Q_g$ )分别为 15、20 和 25 m<sup>3</sup>/min 的条件下,利用 UBDS Ver. 6.2 软件对不同井深处钻井液当量循环密度、欠压值及井眼内气体的体积分数进行了分析,结果见图 1~3。从图 1~3 可以看出,随着注气量的增加,整个井眼内的钻井液当量密度减小(见图 1),欠压值增大(见图 2)。这主要是因为随着注气量增大,井眼内气体的体积分数增大(见图 3),导致钻井液当量循环密度减小,使井眼内静液柱压力降低<sup>[13,15]</sup>,虽然注气量增加会使环空内的循环摩阻增大(如图 4 所示),而减小井眼内的欠压值,但在当前条件下,循环摩阻的增加值与静液压力的降低值相比,相差比较大。因此,欠压值随着注气量增加而增大。

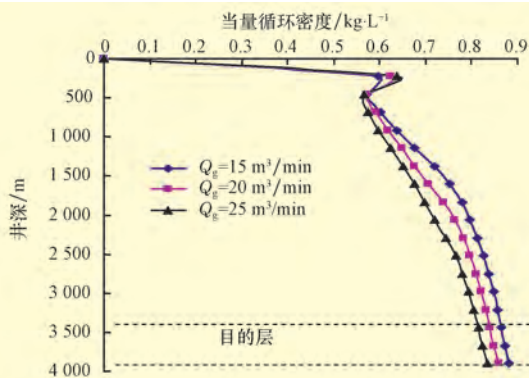


图1 前34井不同注气量时井眼内的钻井液当量循环密度

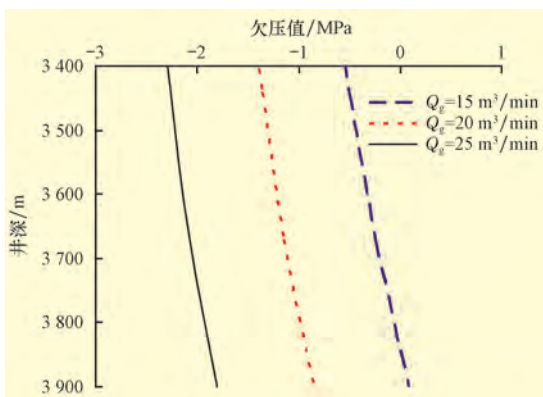


图2 不同注气量时前34井目的层段设计欠压值

图 5 为液相排量为 10 L/min、不同注气量( $Q_g$ )下不同井深处的携岩比。从图 5 可以看出,在 3 种注气量下,携岩比均大于 0.7( $>0.5$ ),满足携岩要求。

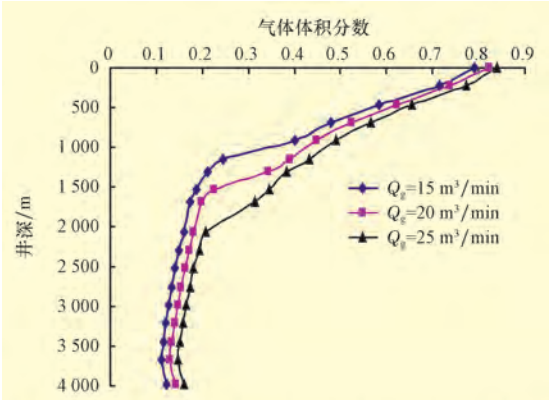


图3 不同注气量下井眼内气体体积分数变化曲线

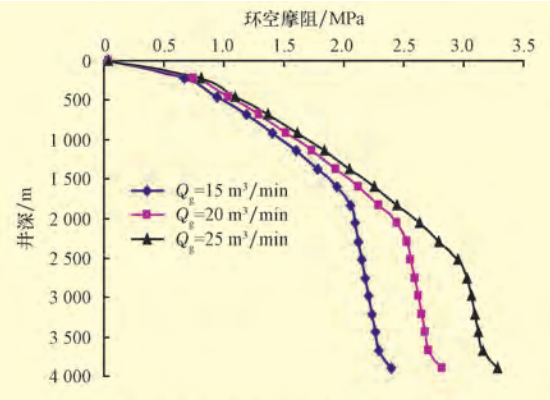


图4 不同注气量下环空摩阻的变化曲线

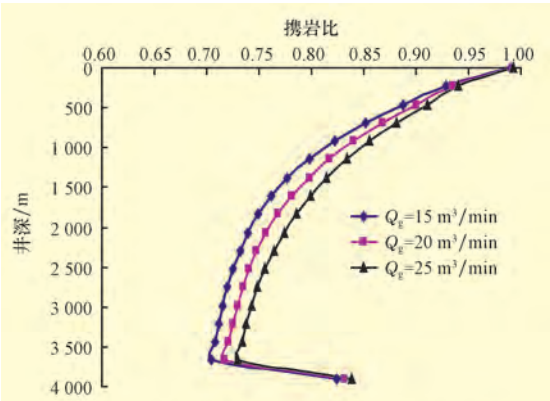


图5 不同注气量下环空携岩比的变化曲线

其中,在井深 3 300 m 处,携岩比降到最低,这是因为该处为钻铤与钻柱连接的地方,环空面积达到最大,循环流速最低,携岩情况也最差。欠平衡设计中考虑携岩时,可参考该处的值进行设计。

通过上述计算分析,依据设计井底动欠压差  $-3.5 \sim -1.7$  MPa,综合考虑井眼内的当量循环密度、环空携岩比等,在液相排量为 12 L/s 时,选择注气量为 25 m³/min。表 1 为在该注气量下,水力参数设计结果与实际钻井参数的对比情况。

表 1 水力参数设计结果与实际钻进参数对比

井深/m	设计基液密度/ kg · L <sup>-1</sup>	设计井底循环 压力/MPa	设计当量循环 密度/kg · L <sup>-1</sup>	实钻当量循环 密度/kg · L <sup>-1</sup>
3 407	1.02	27.34	0.804	0.81~0.85
3 500	1.02	28.32	0.809	0.81~0.86
3 600	1.02	29.31	0.814	0.82~0.86
3 700	1.02	30.29	0.818	0.82~0.87
3 800	1.02	31.28	0.823	
3 900	1.02	32.42	0.831	

2 施工方案优化设计

2.1 井口套压对欠平衡钻井的影响

笔者使用 UBDS Ver. 6.2 软件对不同井口套压( $p_t$ )下,井底欠压值的变化情况进行了计算,结果见图 6、表 2。其中注气量为 25 m³/min。

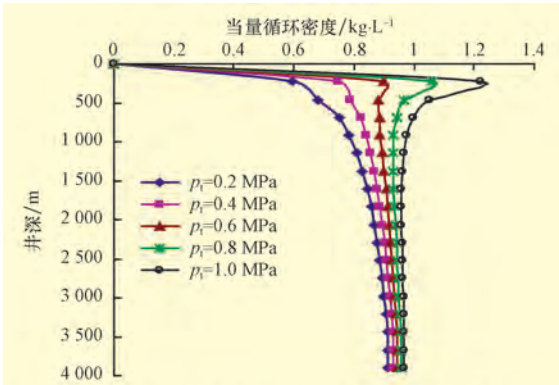


图6 不同井口套压下井眼环空内的当量循环密度

表 2 不同井口套压下的井底欠压值及井底压力增加值

井口套压/MPa	井底欠压值/MPa	井底压力增加值/MPa
0	-1.921 5	0
0.2	-1.455 5	0.31
0.4	-0.695 5	0.58
0.6	0.104 3	0.97
0.8	0.837 2	1.32
1.0	1.452 9	1.56

从图 6 可以看出,随着套压的增大,环空内钻井液当量循环密度增大。由表 2 可知,施加套压后井底欠压值减小,当套压达到 0.6 MPa 时,井底为过平衡。由表 2 还可以知道,施加套压后井底压力的增大值要大于施加的套压值,如施加 1 MPa 的套压后,井底压力的增加值为 1.56 MPa,为所施加套压的 1.5 倍。因为施加套压后,一方面会直接引起井



底压力的增加;另外,施加的套压会使井眼内气体体积分数减小(如图 7 所示),这又使井底压力进一步增大。在现场施工过程中施加套压应该谨慎,前 34 井估计井底最大欠压值为-3.5 MPa,在施工中套压应控制在 2.0 MPa 以内。

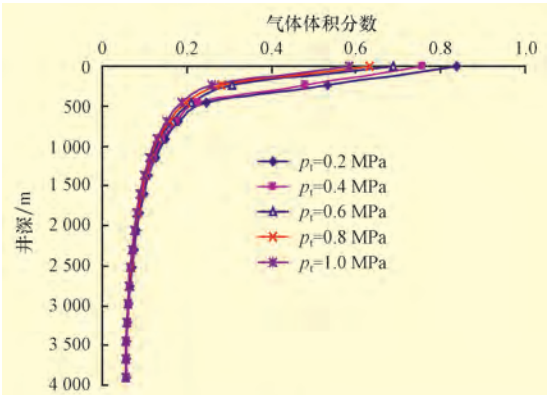


图7 不同井口套压井眼环空内的气体体积分数

2.2 起下钻对欠平衡钻井的影响

前 34 井井深接近 4 000 m,如果起下钻速度过大,会产生较大的抽汲和激动压力,对安全钻进和成功实现欠平衡产生影响<sup>[14]</sup>,因此,需要对起下钻所引起的压力变化进行分析。笔者使用 UBDS Ver. 6.2 软件对不同钻井液黏度时起下钻速度对抽汲压力和激动压力的影响进行了计算,结果见图 8、图 9。

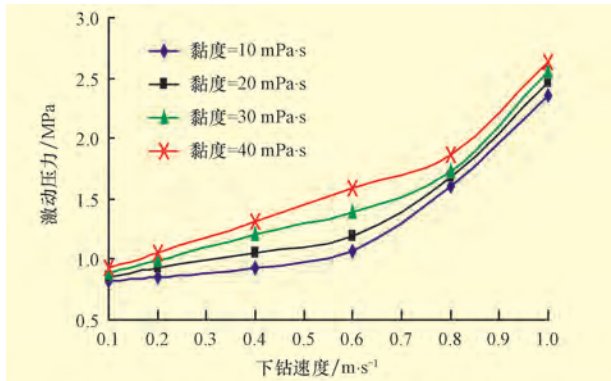


图8 不同钻井液黏度时,激动压力随下钻速度的变化曲线

由图 8 和图 9 可以看出,随着起/下钻速度的加快,激动/抽汲压力增大。其中,当起/下钻速度达到 1 m/s 时,抽汲/激动压力将超过 2 MPa。因此,在起钻过程中应控制起钻速度,并及时补灌钻井液,或施加一定的节流压力(循环压耗+欠压值)以防止井眼内压力失控;在下钻过程中,应控制下钻速度防止井底压力增加过大,产生过平衡,甚至压裂地层。

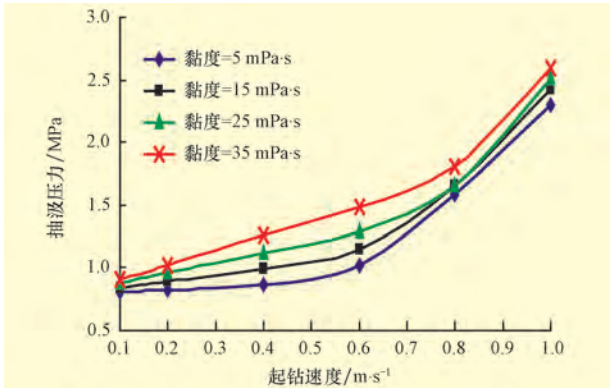


图9 不同钻井液黏度时,抽汲压力随下钻速度的变化曲线

前 34 井所使用的钻井液黏度为 7.5 mPa·s,在目的层段,只要保证起下钻速度不超过 0.5 m/s,所产生的激动或抽汲压力都低于 1.0 MPa,不会影响钻井的安全进行。

2.3 施工准备及注意事项

井口套压大小的控制,应视旋转头承压能力的大小而确定。通过调节地面液压节流阀的开启程度,将井口回压控制在设定的安全工作压力范围内。为了降低施工中的风险,实施欠平衡钻井时井口套压应控制在 2.0 MPa 以内。

欠平衡钻井过程中,现场停泵接单根和换胶芯时井眼环空的欠压值最大,进入环空的气液量大,将造成地面套压迅速升高,有时在几分钟内甚至更短的时间内套压就会高于安全压力,为降低风险,在实施欠平衡钻井时,应注意以下几个方面的问题:

- 1) 密切观察和严格控制井口套压,当套压 $\geq 2.0$  MPa 时,必须停钻节流排气排液,当井口套压恢复至安全压力值时再继续钻进;
- 2) 保持井口防喷器组处于良好的工作状态;
- 3) 保持钻井泵与压井管汇连接完好,随时可以投入工作;
- 4) 开钻前对井口防喷器组进行分段试压,达到设计要求方可开钻;
- 5) 准备 80 m<sup>3</sup> 卤水和 30 t 加重材料,以备调用。

3 现场施工

3.1 施工过程

前 34 井欠平衡钻井及气体钻井设备安装完成后,按照要求从井深 3 304.66 m 开始先钻进 50 m,然后进行地层测试。

完成充氮气钻井设备安装和调试,进行充氮气钻进,注液量 12 L/s,注气量 25.0~32.4 m<sup>3</sup>/min,钻至井深 3 426.11 m,井底当量循环密度 0.81~0.85 kg/L,进尺 70.75 m,纯钻时间 29.7 h,平均机械钻速 2.38 m/h。而后由于 Shaffer 旋转防喷器胶芯不密封,更换胶芯后重新进行充氮气钻井,钻至井深 3 474.86 m,注液量 13 L/s,注气量 22.0~29.4 m<sup>3</sup>/min,井底当量循环密度 0.81~0.86 kg/L,平均机械钻速 1.37 m/h。因为发现 Shaffer 旋转防喷器液压油漏失仍然严重,起钻更换 XK35-17.5/35 型旋转控制头。

继续采用充氮气欠平衡钻进,顺利钻至井深 3 685.13 m,注液量 12 L/s,注气量 21~24 m<sup>3</sup>/min,井底当量循环密度 0.82~0.87,平均机械钻速 1.73 m/h。根据甲方要求,停止充氮气欠平衡钻进,采用无固相钻井液钻至设计井深。

3.2 欠平衡钻井效果分析

表 3 给出了前 34 井测后效记录全烃值监测情况分析。整个钻进过程,全烃值不高,均低于 0.25%。

表 3 前 34 井充氮气钻井过程中测后效记录			
测后效时间	静止时间/ min	最大全烃 值,%	备注
2008-06-12	4 980	31.64	测试 3 d 后下钻到底 测定无气泡、5%油花
2008-06-23	6 045	0.96	等更换 Shaffer 旋转 防喷器密封衬套
2008-06-25	2 490	0.17	下钻到底
2008-06-28	925	0.42	下钻到底
2008-07-01	1 197	4.72	下钻到底
2008-07-03	1 376	3.07	下钻到底

与使用常规钻井技术的同类型井机械钻速(1.61 m/h)相比,前 34 井充氮气欠平衡钻井的平均机械钻速(1.94 m/h)提高了 21%,而且钻井过程中未发生井漏等井下复杂情况,有效保护了油气层,获得了一批珍贵的地层数据,从而为准确评价该地层的储能提供了依据。

4 结论及建议

1) 前 34 井使用 UBDS 6.2 欠平衡钻井多相流动计算软件系统进行了详细的水力参数分析和优化设计,并严格按照设计参数进行施工,成功实现井底

欠平衡,得到很好的油气显示。与使用常规钻井技术的同类型井相比,提高了机械钻速,避免了井漏等井下复杂情况,有效保护了油气层。

2) 前 34 井是辽河油田首次在深井中进行充氮气钻井,它的钻探成功标志着前进潜山腰部太古界含油气情况预探成功,进一步拓展了该区域的探明含油面积,为下一步增储上产奠定了基础。

3) 欠平衡钻井作业时,钻井过程中需在井口施加一定的套压,但其大小应结合具体井的实际情况进行分析,适时通过计算进行调整。

4) 建议推进全过程欠平衡钻井技术的研究,集中力量加快 PWD(随钻压力测量系统)与 DAPC(动态环空压力控制系统)的配套和应用,提高全过程欠平衡钻井的精确性、可控性与安全性。

参 考 文 献

[1] 徐开放. 欠平衡钻井环空多相流压力控制[D]. 四川南充: 西南石油学院石油工程学院,1999.

[2] 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):61-62.

[3] 李相方,刚涛,隋秀香,等. 欠平衡钻井井口回压控制理论与方法[J]. 石油钻探技术,2002,30(6):12-14.

[4] 李静,赵小祥. 欠平衡钻井技术及其应用与发展[J]. 石油钻探技术,2002,30(6):24-25.

[5] 杨虎. 欠平衡压力钻井环空气量对井内各流动参数的影响[J]. 石油钻探技术,2001,29(1):15-16.

[6] 杨春国,侯绪田,曾义金. 欠平衡压力钻井井底压力控制技术探讨[J]. 石油钻探技术,2000,28(5):22-23.

[7] 冯光通,倪益明,张佃宾,等. 应用欠平衡水平井技术开发多层超薄特低渗油藏[J]. 石油钻探技术,2003,31(2):20-21.

[8] 罗世应. 欠平衡钻井理论研究及数模[D]. 四川南充: 西南石油学院石油工程学院,1999.

[9] 范军,王西安,韩松. 油气层渗流与井筒多相流动的耦合及应用[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2000,23(10):154-157.

[10] 都振川,胡文,许瑞玲. 商 741-平 2 井欠平衡压力钻井技术[J]. 石油钻探技术,2001,29(4):27-29.

[11] 杨令瑞,杨波,肖润德. 天然气欠平衡钻井完井技术[J]. 钻采工艺,2005,28(1):4-7.

[12] 周英操,翟洪军. 欠平衡钻井技术与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2003:118-135.

[13] 王志远,孙宝江,高永海. 深水司钻法压井模拟计算[J]. 石油学报,2008,29(5):781-790.

[14] 杨成金,李雅档,孙宝江. 欠平衡钻井中的几个非稳定过程分析[J]. 石油钻探技术,2003,31(5):67-69.

[15] 李相方,庄湘琦,隋秀香,等. 气侵期间环空气液两相流动研究[J]. 工程热物理学报,2004,25(1):73-76.

[审稿 陈永明]