

欠平衡钻井适用地层及钻井效果影响因素分析

刘磊

(大庆钻探工程公司钻井三公司,黑龙江大庆163413)

摘要:国内外应用欠平衡钻井技术提高采收率取得了很大成就,大庆进行了多口井液相欠平衡钻井的现场试验,但提高产量和经济效益效果不明显。针对此问题,从理论上探索影响欠平衡钻井效果的地质因素和工艺因素,提出了欠平衡钻井需要进一步研究的技术和应用方向。

关键词:欠平衡钻井;钻井效果;钻井介质;适用地层;采收率

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)04-0028-03

Stratum Applicable for Underbalanced Drilling and the Analysis on Influence Factors to Drilling Effect/LIU Lei
(The Third Branch Drilling Company of Daqing Drilling & Exploration Engineering Company, CNPC, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: Great achievement has been made in enhanced oil recovery by the application of unbalanced drilling technology both in China and abroad, but the field tests of liquid phase underbalanced drilling were made in several wells without the obvious effects of increasing yield and economic benefit in Daqing. In this case, the geological and technological factors that influence the effects of underbalanced drilling are explored in theory and the technologies and application direction that should be further researched for underbalanced drilling are put forward with suggestions in this paper.

Key words: underbalanced drilling; drilling effect; drilling medium; applicable formation; oil recovery

0 引言

欠平衡钻井技术是开发低压油气田、减少储层污染、提高产量的重要技术手段,目前,在美国和加拿大的陆上油田,接近1/3的井是用欠平衡钻井技术完成的。据不完全统计,全世界欠平衡钻井的总数已达到了约12000口^[1-4]。四川石油管理局在川西、川中和川南等地区共开展140多口井的欠平衡钻井试验与应用,实现了欠平衡钻井技术的重大突破,其中,全过程欠平衡钻井完井的配套应用40口,取得了很好的经济技术效果。在研究方面,国外威德福公司开发一套软件——SURE系统(使用一次5万美元),可对储层欠平衡钻井进行技术和经济评价。西南石油学院开展了欠平衡钻井保护机理的研究。辽河、新疆、长庆等油田也开展了欠平衡钻井工艺技术^[4-8]。大庆进行了多口井的液相欠平衡钻井和气体欠平衡钻井,在及时发现油气和提高钻井速度方面取得了一定的成绩,但没有见到明显的提高产量效果。欠平衡钻井用于什么地层易于获得经济效益,影响欠平衡钻井效果的因素有哪些,本文将对此问题进行讨论。

1 欠平衡钻井适用地层分析

1.1 技术上不适合欠平衡钻井开发的地层

(1) 高压油气层。对于产量特别高的高压油气层,欠平衡下由于地层出气造成欠压值继续增加无法控制,技术上难以实行。

(2) 不稳定地层。如果坍塌压力系数接近孔隙压力,欠平衡会造成井塌,则该类地层不能应用欠平衡钻井。

(3) 含有有害气体地层。如果地层含有有毒有害气体,欠平衡状态下会造成环境的污染,这种情况下不能使用欠平衡钻井。

(4) 地质情况不清楚的地层。如果地质情况不清楚,以上各种情况都可能发生,而且地层压力系数不详,井底压力如何控制无法确定,也不宜使用欠平衡钻井。

1.2 技术上适合欠平衡钻井的地层

当地层坍塌压力系数和孔隙压力系数有一定的差距,可以保证在一定欠压值条件下,不发生井壁坍塌,这时技术上可以应用欠平衡钻井。

1.2.1 技术上适合欠平衡但经济上没有效益的地层

有些地层虽然从技术上可以进行欠平衡钻井,有的也能获得一定的增产效果,但经济上并不划算。

(1)干层。如果地层没有油气,用欠平衡钻井可以提高钻井速度,但对产量不会有贡献。

(2)渗透率极低地层。渗透率极低的地层,由于孔隙很小,即使过平衡钻井泥浆的污染渗透也很有限,欠平衡不能提高太多自然产量,必须要压裂等方式才能获得好的产量。这种情况下虽然可用欠平衡钻井技术,但没有经济效果。

(3)储层太薄地层。虽然可以提高产量,但如果用直井欠平衡提高的产量和投入相比,依然不划算。薄储层可以考虑应用欠平衡水平井。

1.2.2 应用欠平衡钻井可能有经济效益的地层

有些储层可用常规钻井也可以用欠平衡钻井开发,但用常规钻井效果差,低压低渗油气资源、孔隙性裂缝性储层、溶洞性地层、火成岩、碳酸盐、变质岩、煤层气,老油田改造等,都适合应用欠平衡钻井开发。但要取得好的开发效果,还要根据储层特性,选择合适的欠平衡方式、合适的欠平衡介质、合适的配套工艺措施和合适的井型。

1.2.3 必须用欠平衡钻进的地层

当孔隙压力和破裂压力接近时,应用过平衡钻井会造成严重的井漏,这时只能采用欠平衡钻井。

2 影响欠平衡钻井效果的因素分析

应用国内外其它油田的实例,分析不同的地层条件应用不同的欠平衡方式和不同的欠平衡介质,对欠平衡效果的影响。

2.1 孔隙压力和破裂压力的影响

哈萨克斯坦的肯基亚克油田是一个以盐丘为核心的穹隆短轴背斜隆起构造。石炭系的碳酸盐岩储层是主力储层(底水、块状油藏),平均孔隙度11%,平均渗透率10 md,埋深4150 m,超高压(压力系数1.84)。1971—1990年,在该构造共钻42口井,其中有40口井工程报废或地质报废,从而终止了该油田的开发。有3口井由于后期测试等原因报废,井喷失控事故的有4口井,有7口井盐岩的蠕变缩径造成报废,然而最多的还是非储层井段的高密度泥浆导致了压漏地层,超高的泥浆密度导致了压差卡钻和多发钻具事故。

长城钻井公司采用了高压非储层“欠平衡释放压力钻井”的技术思路,同时非储层段还采用了

优质泥浆、充足水力能力、优选钻头和破岩参数、合理的喷嘴组合、以及制服盐膏层缩径卡钻等配套技术^[2]。在储层段,针对石面料系主力储层裂缝发育、压力高、漏喷同层、储层易伤害的特点,采用了近平衡和欠平衡保护储层的技术,钻直井、水平井、并且先期裸眼完井以求获得高产。这些配套技术在肯基亚克的综合应用取得了明显成效。长城钻井公司钻井25口,成功率100%,过去单井产量为50 t/d,现在都是百吨、数百吨,最高的8010井产量达1143 t/d,创造了肯基亚克盐下油藏开发的奇迹。

该实例说明,当孔隙压力和破裂压力接近,使用过平衡钻井很难钻成井,必须使用欠平衡钻井。

2.2 欠平衡方式的影响

2.2.1 欠平衡钻井过平衡完井的影响

四川盆地陆续地开展了多口井的储层欠平衡钻井试验,取得了一些勘探上的发现,但并未形成提高产能的实用技术^[7]。引起认识上巨大转变的最重要、最典型的一口井是充深1井。充深1井在须四至须二地层采用密度1.05 g/cm³欠平衡钻进,钻至井深2203.16 m储层开始产出油气,火焰最高达20 m,预计产气量在3.70×10⁴ m³/d以上,这是老区新层勘探的重大发现。为得知储层准确产能,压井后进行了中途测试,测得产气量仅有3.70×10⁴ m³/d、产油0.55 t/d,点燃火焰高度远小于欠平衡钻井时的火焰高度。中测后下钻继续过平衡钻进至完钻井深,再也未见油气产出。下尾管固井射孔完井,完井测试产量降为0.30×10⁴ m³/d,产量下降了91.89%,后经解堵酸化产量仅为1.02×10⁴ m³/d,产油0.18 t/d。见图1。

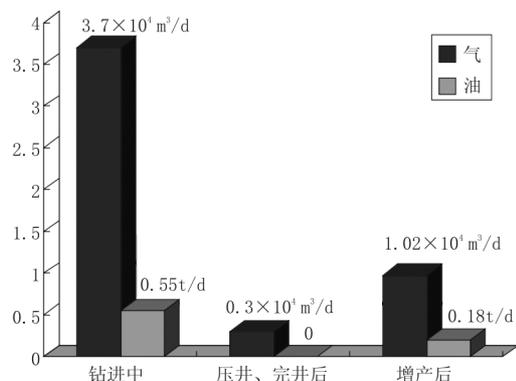


图1 四川充深1井钻进、完井后和增产后的效果

2.2.2 全过程欠平衡的效果

四川邛西构造,该区储层的典型特征如下。

(1) 致密砂体:表现为低孔、低渗、细喉、复杂的孔隙结构和大的比表面积,储层内还发育有自生粘土矿物与其它敏感性充填矿物。孔隙度平均在5%~10%,渗透率平均在0.01~0.85 md。

(2) 微裂缝发育:须家河储层属于三迭系裂缝重组气藏,由于构造作用、成岩作用和超压流体作用使储层砂体普遍发育微裂缝。对裂缝描述资料进行总结发现:须家河组储层是以高角度斜缝为主,缝宽为5~35 μm 范围,少数达上百微米;密度为0.5~4条/m。

(3) 裂缝-孔隙双重介质储层:须家河储层是以致密基块的孔隙为主要存储空间、以天然微缝网络为主要渗流通道的复杂双重介质储层。基块的平均渗透率约为0.05 md、平均孔隙度约为6%;含微缝网络储层的等效渗透率平均约为0.5 md,裂缝孔隙度平均值约为0.5%。

邛西构造井位布置如图2所示。开始应用全过程欠平衡见到效果的是邛西3井。采用传统过平衡钻井完成的邛西1井产量700 m^3/d ,邛西2井产微气,美国德士古公司对邛西2井实施加砂压裂产量5200 m^3/d (1999年)。而采用全过程欠平衡完成的邛西3井产量45.67万 m^3/d ,邛西4井产量89.34万 m^3/d 。之后连续十多口全过程欠平衡钻井,产量都在50~100万 m^3/d 之间。

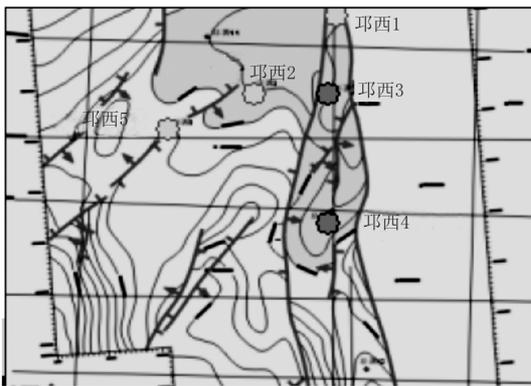


图2 邛西构造井位布置

该实例说明有些裂缝性储层,对过平衡伤害特别敏感,必须用全过程欠平衡才能见到效果。

2.3 欠平衡介质的影响

白马-松花构造位于成都凹陷低缓构造带中部,是典型的侏罗系远源次生气藏。主力产层蓬莱镇组为泥质致密砂岩,孔隙度6%~10%,渗透率0.1~0.5 md。砂岩孔喉内粘土矿物非常发育。储

层裂缝不发育,仅见高角度隐性微缝(微米级缝宽),密度为0.5~2条/m。储层埋深1000 m左右,孔隙压力梯度0.9~1.1之间。储层产状近于水平,而且很薄,砂岩有效厚度只有4 m左右。储层的孔隙性基块属于致密砂岩,低孔、低渗、富含粘土矿物、初始含水饱和度很低,储层强烈的逆流自吸作用将大量吸水。“储层产状近于水平,而且很薄,砂岩有效厚度只有4 m左右”的特点^[7]。分别使用直井欠平衡、水平井过平衡、水平井水基钻井液全过程欠平衡和水平井气体全过程欠平衡,产量对比见表1。

表1 BQ111H井与邻井产量对比

井号	工艺	钻井液密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	产量/ ($10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	压裂后产量/ ($10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
BQ106	直井欠平衡	1.05~1.07	0.379	未压裂
BQ108H	水平井水基钻井液全过程欠平衡	1.07~1.09	0.831	4.563
BQ109H	水平井过平衡	1.17~1.25	0.302	5.344
BQ111H	水平井气体全过程欠平衡	气体	6.850	未压裂

该实例说明全过程欠平衡要根据储层特点,选择合适的介质,如此井选择气体循环介质,与邻井相比产量提高28%以上。

2.4 全过程欠平衡钻井工艺过程的影响

全过程欠平衡也可以有不同的工艺方法,在投资上差异很大,当产量不高的时候,也直接影响经济效益。全过程欠平衡钻井主要可以通过套管阀或不压井起下钻装置实现。不压井起下钻装置安装在钻台上,当地层出气量较大或压力较高的时候,有一定的危险性,但可以重复使用,价格较低,可用于产量较低压力不大的井。气量较大的井可用套管阀。

应用套管阀工艺不当也会造成全过程欠平衡的失败,当钻进气层时,使用液体介质进行欠平衡钻井,如果起钻致套管阀以上关闭套管阀,欠平衡状态下天然气进入井筒,气体不断上升膨胀,在套管阀下面聚集,产生较高的压力,造成井底的过平衡。

3 结论和认识

(1) 高压高产油气层、不稳定地层、坍塌压力与孔隙压力接近地层、含有毒有害气体地层、地层情况不详的地层不宜使用欠平衡钻井。

(下转第35页)

参考文献:

- [1] 王建华. 大直径液动潜孔锤钻进技术探讨[J]. 勘察科学技术, 2009, (6): 22-24, 28.
- [2] 王建华. 对大直径液动冲击回转钻进技术开发的认识和建议[J]. 探矿工程, 1997, (S1): 107-109, 114.
- [3] 谷守卫. SYZX75型绳索取心液动锤在生产应用中常见问题的分析与处理[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2015.
- [4] 任鹏飞, 王四一, 刘勇. 液动潜孔锤在煤矿井下穿层孔钻进中的应用[J]. 石化技术, 2015, (8): 124-126, 133.
- [5] 余桂红, 赵尊亭, 余东山, 等. 绳索取芯液动锤在新疆和静县铁铜多金属矿复杂地层钻探中的应用[J]. 西部探矿工程, 2015, (8): 56-59.
- [6] 刘国经. 蓄能式液动潜孔锤的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(7): 45-49.
- [7] 张元志. 射吸式液动冲击器的优化设计[D]. 陕西西安:西安石油大学, 2015.
- [8] 傅丛群. 绳索取心液动锤在多类型矿区的应用及其效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 24-26.
- [9] 孙强, 杨冬冬, 彭视明, 等. 高能射流式液动锤在花岗岩中的钻进研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(8): 39-43.
- [10] 陈师逊. 液动冲击回转钻进在我队的应用与探讨[J]. 西部探矿工程, 1992, (4): 19-21.
- [11] 王鸿远, 李忠寿, 张庆华, 等. 涪陵页岩气井新工具的应用与经济评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 24-30.
- [12] 柳贡慧, 李玉梅, 李军, 等. 复合冲击破岩钻井新技术[J]. 石油钻探技术, 2016, (5): 10-15.
- [13] 黄雪琴, 孟庆昆, 郑晓峰. 液动冲击器发展现状及在油气钻井应用探讨[J]. 石油矿场机械, 2016, (9): 62-66.
- [14] 李玮, 李卓伦, 刘伟卿, 等. 扭转冲击提速工具在文安区块的现场应用[J]. 特种油气藏, 2016, (4): 144-146, 158.
- [15] 齐列锋, 冯进, 董斌, 等. 回转式扭力冲击器结构设计及碰撞分析[J]. 机械工程师, 2016, (4): 75-77.
- [16] 李欢欢, 王玉玺, 李秋杰. 扭力冲击器在大庆油田肇深17井的试验应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 44-47.
- [17] 张海军, 彭勇. 扭力冲击器在塔河油田托普台的钻井提速试验应用[J]. 西部探矿工程, 2016, (7): 58-59, 62.

致谢: 本文在资料搜集、撰写和修改过程中先后得到了殷琨、苏长寿、杨泽英、陈师逊、卢予北、傅丛群等专家的帮助和指导, 在此表示衷心的感谢。

(上接第30页)

(2) 地层选择不当、欠平衡方式选择不当或介质选择不当, 都可能影响欠平衡钻井效果。

(3) 对于破裂压力和孔隙压力接近的地层, 应用欠平衡钻井是较过平衡钻井更可行的开发方式。

(4) 对于裂缝性储层, 采用全过程欠平衡钻井技术效果更理想。

(5) 对水敏性储层用气体全过程欠平衡钻井开发, 效果更好; 对于较薄的储层, 可以与水平井结合开发。

(6) 应用欠平衡钻井能够获得较好经济效益的必要条件主要有如下几点:

① 合适的地层条件, 有油气资源, 有一定的孔隙度和渗透率, 在孔隙压力系数和坍塌压力系数之间, 有一定的欠平衡当量密度可以选择, 对过平衡钻井伤害敏感;

② 合理的欠压值过程控制, 对于过平衡敏感的地层要确实做到全过程欠平衡;

③ 合适的欠平衡工艺方法;

④ 选择与储层相容性好的欠平衡循环介质;

⑤ 在储层有足够长的接触面积。

参考文献:

- [1] 陶冶, 刘伟, 罗维, 等. 欠平衡钻井技术在夏72井的应用[J]. 钻采工艺, 2005, 28(1): 11-12.
- [2] 法鲁克. 油层伤害——原理、模拟、评价和防治[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [3] 李天相. 钻井手册(甲方)[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [4] 陈若铭, 刘伟, 屈志伟, 等. 气基流体钻井转换技术研究[J]. 石油钻采工艺, 2013, 32(S1): 58-62.
- [5] 杨毅, 齐彬, 马晓伟. 气体钻井注气模型优选及设备优化配置分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7): 53-56.
- [6] 田玉栋. 气体钻井节能减排装置的研制及应用[J]. 石油石化节能, 2016, 6(2): 21-23.
- [7] 侯树刚, 刘新义, 杨玉坤. 气体钻井技术在川东北地区的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 24-28.
- [8] 杨智光, 赵德云, 刘永贵, 等. 大庆外围深层实施气体钻井的可行性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(9): 55-58.