

欠平衡钻井的应用前景

罗世应* 孟英峰 李 允

(西南石油学院)

罗世应等. 欠平衡钻井的应用前景. 天然气工业, 1999; 19(4): 55 ~ 58

摘 要 文章分析了国内外的石油工业勘探开发形势, 得出欠平衡钻井是适应新形势下的钻井技术; 阐述了实现欠平衡钻井的各种手段, 讨论了欠平衡钻井技术的特点与自身的技术优势, 认识到欠平衡钻井具有减少地层伤害, 提高钻速, 避免漏失, 减少卡钻等优点, 有着广阔的应用前景。总结了国内外欠平衡钻井的应用现状, 结果认为其效果是显著的, 能降低钻井成本和适应特殊油气藏开发的需要。同时, 列举了国内外成功使用欠平衡钻井的实例。文章还分析了欠平衡钻井的水平与不足, 指出开展欠平衡钻井应注意地层是否适合, 钻井液基液的选择以及安全等问题。

主题词 天然气勘探 欠平衡压力钻井 钻井液 技术 应用

目前, 石油工业的特点是, 勘探开发的难度越来越大, 勘探开发投入的成本越来越高, 而原油的价格却在中低价位徘徊。这种勘探开发的新形势产生了两条基本要求: 一是要求技术进步, 以满足越来越高的难度需求; 二是要求降低成本, 以适应目前油价体系的需求。在勘探开发过程中, 钻井投资往往占总投资的三分之一至三分之二, 因此, 提高钻井技术, 降低钻井成本则成了第一位应考虑的问题。欠平衡钻井技术, 正是在这样的背景下应运而生。

欠平衡钻井的优点

在常规过平衡或近平衡钻井中, 钻井液除携带岩屑、稳定井壁、冷却钻头等作用以外, 更为重要的是平衡地层压力, 防止地层流体进入井筒。而欠平衡钻井则有意识地改变井底循环压力, 使其低于产层压力, 当继续钻进时, 这个欠平衡压力使产层流体流入井筒, 从而避免了流体漏失和降低地层伤害

等系列问题。归纳起来, 欠平衡钻井的主要优点是:

1. 减少地层伤害

欠平衡钻井过程中, 驱使钻井液中的固相和液相进入产层的正压差消除了, 因此, 减少了固相与液相侵入产层近井地带造成的地层伤害。尤其在钻水平井井段时, 产层长时间被浸泡在钻井液中, 欠平衡钻井更能较好地保护产层。如果钻遇储层能量较低的衰竭油气藏时, 井筒周围一旦发生伤害, 这些伤害是不易消除的, 而欠平衡钻井技术则是非常好的保护技术。

2. 提高钻速

欠平衡钻井井筒液柱压力降低, 使得井底正在被钻的岩石更容易破碎, 也有助于减少“压持作用”, 使钻头继续切削新岩石而不是碾压已破碎的岩屑, 从而提高了机械钻速, 尤其是水平井更为明显。另外, 人们发现在钻水平井时, 钻速随着水平井段长度的增加而降低, 这主要是因为井眼摩阻的增加, 减少

了极为重要的作用。

(6) 反扣井眼轨迹控制工艺技术在渤海的成功应用, 说明渤海勘探技术有了新的突破, 特别是在提高勘探效率, 节约钻井、勘探成本和资金方面, 在处

理海上钻探工作中的复杂情况方面, 都有着极为重要的应用前景。

(收稿日期 1999 - 01 - 28 编辑 钟水清)

* 罗世应, 1968 年生; 现为西南石油学院博士研究生, 从事欠平衡钻井理论与工艺研究, 曾发表论文数篇。地址: (637001) 四川省南充市。电话: (0817) 2603433 转 3477。

了有效钻压,而欠平衡钻井只需要较低的钻压,就能维持较高的钻速。

3. 避免井漏

井漏可能大大增加钻井工程的成本,若钻井液漏进裂缝、低压油层或高渗透性油藏,就增加了额外的钻井液成本,同时堵漏费工费钱,更不用说漏失的钻井液会造成严重的地层伤害带来的损失。而欠平衡钻井可以减小或避免井漏问题。

4. 减少压差卡钻

常规钻井时,在正压差作用下,钻井液的滤失会在井壁上形成滤饼,若钻柱被挤靠在滤饼上就可能发生压差卡钻。而欠平衡钻井在井壁不会形成滤饼,也没有正压差力的作用,因此不用担心压差卡钻。

5. 随钻油藏评价

欠平衡钻井流体进入井筒,为我们获得油气藏信息提供了机会,特征数据的获得与分析,使工程及地质人员能够即时识别地层流体的性质,产层大致的地质情况,为即时规划完井方式,确定将来开发井的数量及方位,都是十分重要的。

此外,欠平衡钻井还具有延长钻头寿命,利于发现油气藏和保护环境以及降低增产措施作业成本等优点。能否达到上述要求,则取决于油气藏的性质以及具体的欠平衡设计方案和施工作业。

欠平衡钻井的实现方法

钻井过程中,创造欠平衡条件的常用技术有:边喷边钻;泥浆帽钻井;立管气体注入钻井;环空气体注入钻井;闭循环钻井;连续油管钻井;不压井钻井。

按循环介质的种类,欠平衡钻井可分为:

1. 气基流体欠平衡钻井

气体钻井(空气、氮气、天然气、烟道气);雾化钻井;不稳定泡沫钻井;稳定泡沫钻井;硬胶泡沫钻井;充气钻井。

2. 水基流体欠平衡钻井

常规泥浆;重泥浆;玻璃微珠;塑料微珠。

欠平衡技术在国内外的应用现状及效果分析

目前已有 20 多个国家用欠平衡钻井技术(UBD)施工 3 500 多口井,其中有直井也有水平井。

1. 美国

例 1,1982 年美国埃克森公司在德克萨斯州威尔逊县,玛萨里纳瑞克油田钻了 24 口井。该油田为裂缝性油藏,油层孔隙度为 4%~9%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,井深约 2 500 m 左右。24 口井中,采用两种循环体系钻进,即常规钻井液钻井和低压钻井。其中 21 口采用常规钻井液钻井(19 口井为普通钻井液,2 口为加重盐水钻井液),3 口采用低压钻井(2 口是雾化,1 口是轻质盐水)。据奥斯汀白垩系地层完井的 10 口井统计,其中用普通钻井液完井 6 口,开采 24 个月,占总开采量的 18%,平均每井每月占总开采量的 0.1%;而用雾化钻井 2 口,开采 23 个月,占总开采量的 69%,平均每井每月占总开采量的 1.5%,比前者增加 15 倍。

例 2,在德克萨斯州西南有个开采 20 年的老气田,储层压力降到 11.6 MPa,井深 4 267 m,压力系数为 0.272。这样低的压力,用常规钻井方式(普通钻井液钻井)和修井技术实际上是不可行的。因为水和钻井液会伤害和淹没气井。所以,在原来油井附近又钻了一口补充井,用稳定泡沫钻生产层,泡沫流体防止了明显的地层伤害。在裸眼完井后还未进行酸化压裂,这口井的产气量就达 $70\ 800 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

另外,欠平衡钻井还在美国贝克油田,科罗拉多州的石灰岩和白云岩储层以及加利福尼亚州的裂缝性黑碳页岩储层等获得了成功的应用。

2. 加拿大

例 1,加拿大一个最好的欠平衡钻井例子是在 Rigel Halfway Pool,实现了表皮伤害为零。产层是三叠系 Halfway 砂岩,平均渗透率为 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度为 15%~20%,采用天然气作为欠平衡钻井介质。钻井过程中,采用顶部驱动钻机,井可以连续溢流。岩屑随着油流到地面,岩屑上返速度快,减少了岩屑固相对产层的污染。正式投产时产量为邻井直井的 10 倍。随后,在附近又钻了一口井,取得了类似的产量,验证了欠平衡钻井在这种地层中的增产效果。

例 2,在加拿大的 Weyburn 油田,有 90 多口包括单油层、双油层和三油层的井,因使用欠平衡钻井而大幅度提高了产量,还提高了钻速和钻头进尺。并且四年里没有发生卡钻、井眼不稳定和环境污染事故。

加拿大在其它许多地层中应用欠平衡钻井技术也取得了好的效益。加拿大能源局(ERCB)的研究

结果表明,欠平衡钻井的安全记录比常规钻井也要好。

3. 阿根廷

在阿根廷某地区,因在高压层下有一低压层,所以出现很多诸如卡钻和套管经常损坏等问题。后来使用欠平衡钻井技术连续钻了 3 口井,不仅避免了地层污染,而且解决了原来预计可能出现的钻井问题。成功地进行了取心、测井,并顺利地强行下入了 $\phi 77.8$ mm 套管,属于欠平衡完井。

在取得经验的基础上,其它井也在欠平衡条件下完成了取心、测井和固井,减少了作业时间和成本。不仅如此,还省掉了技术套管,这进一步减少了时间与成本,并且可选择更大的井眼以满足高产量的要求。

目前在印度尼西亚、委内瑞拉、墨西哥、哥伦比亚和俄罗斯等也在推广欠平衡钻井技术。

4. 中国

例 1,70 年代在四川有不少人使用“边喷边钻”的方法打开气层,一般是用清水为循环介质,在真正的欠平衡条件下打开气层,这可能是最早的“欠平衡钻井”。具体增产对比结果没有详细记录,但据反映普遍增产,井漏问题也得以缓解。

例 2,新疆低压油气资源非常丰富,地质储量数亿吨,但使用常规的钻井液漏失相当严重。这一方面造成钻井液费用大幅度增加,钻井作业复杂,更重要的是影响勘探开发的成功率和经济效益。新疆石油管理局首先安排了夏子街油田 X1023 和 X1026 井用空气钻井钻开产层。两口井均在钻开产层时发生井喷,气量最大有 $10 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (而该地区所有常规钻井液钻井均未测试到超过 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的产气量),并伴有大量原油产出,边喷边钻 100 多米后完井。这两口空气井不但为夏子街油田 1991 ~ 1992 年的大规模开发提供了极有价值的地质参考资料,而且揭示了新疆石油管理局所属油田有丰富天然气资源,这是几十年水基钻井液钻井所未发现的,此结果为新疆石油管理局油气开发并举的决策提供了直接依据。

应用欠平衡钻井技术应注意的问题

尽管欠平衡钻井可能带来众多的好处,但应用不当,会适得其反。应用欠平衡钻井时应注意以下几个问题:

1. 地层是否适用欠平衡钻井

不是所有的储层都适合欠平衡钻井,经验表明,只有为适合的地区精心制定欠平衡钻井计划,才能获得显著的技术经济效益,与设计合理的常规过平衡钻井相比,设计与施工不当的欠平衡钻井往往反而增加作业费用,加重地层伤害,降低油井产量。要想获得最佳效果,在设计欠平衡钻井之前,必须首先了解储层一些相关特性参数,如地层的压力、渗透率、孔隙度以及孔喉分布尺寸、地层流体物性等参数,然后在室内引进欠平衡钻井评价实验,分析欠平衡钻井可能造成的伤害种类及程度,并以此作为筛选欠平衡钻井是否合理的重要依据。

2. 选择合理的钻井液

在欠平衡钻井作业中,要始终维持欠平衡压力状态是很困难的,有时甚至是不可能的。因为有许多因素可能导致欠平衡状态的丧失。而在欠平衡钻井中,又没有滤饼充当防止伤害性流体和固相颗粒侵入地层的屏障。因此,如果欠平衡状态时不时地遭到破坏,即使是短时间遭到破坏,伤害性流体及其中的固相颗粒也会非常迅速地侵入地层,由此可能造成严重的地层伤害。所以,我们一方面要尽可能维持欠平衡状态,另一方面,钻井液的选择对欠平衡钻井的成败也很重要。

设计欠平衡钻井液时所考虑的因素之一就是同地层流体的相容性。欠平衡钻井中存在的潜在问题包括产出水或循环水同产出油或循环油发生紊流混合,形成极稠的稳定乳状液。这种高粘乳状液将增加泵送钻井液的泵压,使欠平衡状态难以维持,并使气体难以在地面分离,使固控问题变得更加复杂。另一问题是不相容的产出地层水和水基钻井液滤液混合,生成结垢或沉淀物;或者产出油与油基钻井液混合,形成沥青沉积物,还有就是形成气油乳状液或泡沫。

设计欠平衡钻井的基液时所要考虑的第二个因素是产出地层水引起的稀释问题。在任何欠平衡钻井作业中,循环流体可能被地层产出的流体迅速稀释。如有地层水产出,水基钻井液体系也可能受到污染。许多泡沫基体系对油和地层盐水的接触及稀释有不良反应。

腐蚀是需要考虑的第三个因素。如果用空气或氮气来建立欠平衡压力状态,那么盐水(产自地层或用作循环流体)与循环系统中的微量氧接触时,就具

有极强的腐蚀性。如果地层产出气中含有 H_2S , 这一腐蚀问题就会变得更加严重。需要使用腐蚀抑制剂来防止钻柱、连续软管和井下装置过早失效, 应详细分析游离气、溶解气以地层中可能产出的地层气, 以评价它们的可燃性和腐蚀性。

粘度是需要考虑的第四个因素。如果欠平衡状态丧失, 基液的固有粘度会明显减缓它向地层的侵入。

自发的逆流吸入是需要考虑的第五个因素。在欠平衡压力状态下钻低渗、亲水、地下残余水饱和度可能异常低的气藏时, 即使存在连续的欠平衡压力梯度, 毛细管压力效应也会导致水基钻井液滤液逆流吸入近井地带, 而且这种逆流吸入具有潜在的伤害性。只有在钻井过程中完全杜绝液体介质(直接用气体钻井), 或者在欠平衡钻井作业中选择非润湿性流体作为基液, 一般才能避免这一问题的发生。总之, 在选择基液时, 应综合考虑储层、流体、作业和经济因素。

3. 安全问题

欠平衡钻井不同于常规钻井, 主要就在于在钻进过程中, 地层流体, 甚至有害气体, 如 H_2S 等进入井筒, 可能造成井下着火爆炸或在地面引起事故, 造成生命财产伤害。欠平衡钻井对井控也提出了特殊的要求, 因此, 人们总是担心钻井的安全性问题。要防止欠平衡钻井意外事故的发生, 首先对地层要有较为完善而准确的了解, 精心进行欠平衡钻井的优化设计, 钻前进行欠平衡钻井数值模拟或仿真, 可以及时发现问题或隐患。这一点对欠平衡钻井尤为重要。第二, 强化施工组织管理, 精心安排, 定岗定责; 其次注意欠平衡钻井过程的监测与预报工作, 尤其地层压力的预测, 因为地层压力是决定是否欠平衡, 欠多少的最重要因素之一, 因此, 随钻地层压力预测是十分必要的。另外, 作好可能发生事故的防范措施。按这样进行欠平衡钻井, 安全应该具有保障。

总结与建议

(1) 目前的石油工业勘探开发形势决定了必须发展新技术以适应低成本地开发特殊油气藏的需要, 欠平衡钻井以其自身独特的技术优势, 展示了良好的应用前景, 从国内外的已有应用来看, 欠平衡钻

井比常规钻井具有更为显著的技术经济效益, 难怪国外如加拿大、美国等如此重视此项技术, 具有专门的技术服务公司 and 培训计划。而在我国, 许多人并不熟悉或了解该项技术。实际上, 这也正是束缚欠平衡技术在我国开展实践的重要因素。因此有必要在我国开展欠平衡作业技术培训班, 讲座或研讨会和编写技术教材, 便于专业人员学习。

(2) 积极开展欠平衡作业技术的研究工作。目前, 尽管国外欠平衡技术应用已相当多, 人们发现这项技术还存在着不足的地方, 使用的效果不稳定。进一步的研究表明, 在这项技术的实施过程中, 使用不当仍然存在一定程度的地层伤害, 而且有时是严重的地层伤害。

事实上, 早在 80 年代末 90 年代初, 我们就着手欠平衡钻井的理论与实验研究, 有些技术已经开始在油田实施, 如辽河油田循环不稳定泡沫钻井、川西南惰性气体循环泡沫修井等。通过我们多年的研究结合国外的研究现状, 总结了必须进一步完善的技术如下: 低压欠平衡钻井配套的完井技术。虽然已有一些简单方法, 但仍然非常欠缺, 是整个配套技术中最薄弱的环节, 极需提高。配套的气基流体测井、地质录井及增产改造技术, 这也是技术改造的重点内容, 但需要更广泛的跨学科攻关。具有良好的保护油气层的能力。分析欠平衡钻井过程中地层伤害的机理, 弄清伤害的可能性与程度, 在非常规压力控制关系(平衡、欠平衡)基础上, 应想办法解决可能的储层伤害问题。开展欠平衡钻井的数值模拟研究。现有的欠平衡钻井设计、施工, 许多基于经验或简单模式的计算, 具有盲目性和不可预见性, 致使施工安全、经济效益等因素都受到影响。欠平衡钻井数模应建立精细的欠平衡钻井多个数学模型组, 以此优化各项钻井参数, 为欠平衡钻井设计与施工提供科学依据和工具。这样才能做到欠平衡钻井的可预见性和科学性。

(3) 积极开展欠平衡实践。科研院所与现场单位密切协作, 选择比较理想的区块, 开展欠平衡钻井, 然后进行分析总结并推广普及, 让此技术早日在我国石油天然气工业的勘探与开发中发挥其应有的作用。

(收稿日期 1999 - 02 - 06 编辑 钟水清)