

文章编号: 1000-0747(2002)06-0078-03

水平井地质优化设计

王振彪

(中国石油勘探开发研究院)

摘要: 随着水平井钻井技术的不断发展, 利用水平井开发油田正越来越受到国内外石油行业的重视。国内水平井数量在逐年增多, 但一些水平井的生产并不理想, 如产量不高、投产时间很短就见水、含水上升快、产油量下降快等。分析利用水平井开发油气田的主要优缺点, 提出成功开发油气田、预防早期见水的关键和基础是水平井优化钻井地质设计, 主要内容为: 优化水平段长度; 优化水平段方位; 选择水平段 A、B 点位置; 选择水平段垂向位置; 静态资料的动态分析。加强现场的钻井跟踪调整是确保钻井成功的又一关键。图 4 参 11(王振彪摘)

关键词: 地质优化设计; 水平井开发

中图分类号: TE 321

文献标识码: A

1 水平井开发油气藏的主要优缺点

用水平井开发油气藏^[1-6]的两大优点是: ①控制储量大, 产量高, 生产压差低。其中生产压差低对开发底水及气顶油气藏最为有利, 可减缓底水及气顶锥进, 开发效果和经济效益好。②井数少, 便于管理, 特别是海域或沙漠等环境的油气藏, 少井高产及便于管理非常必要。用水平井开发油气藏也有不利的方面: ①钻井成本较高; ②一般只能开采 1 个产层; ③见水后难以控制, 对产量影响大; ④水平段测井有难度, 而且由于钻井液向下方渗透, 侵入带与井筒不对称, 电测解释的含油气饱和度不准确, 误差目前尚不明确; ⑤钻井及采油工艺方面尚存在一些问题, 如固井质量不易提高, 难以对储集层实施压裂等。

油田开发中研究水平井的主要流程^[7]见图 1。本文从优化钻井设计而预防早期见水的角度论述。

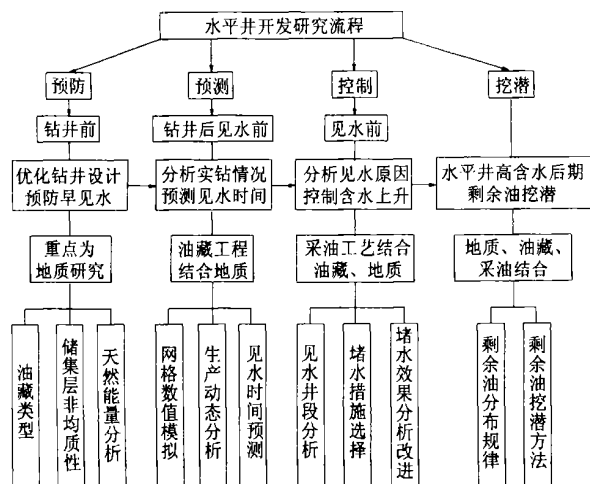


图 1 水平井在油气田开发中的主要研究流程图

2 优化水平井地质设计预防早期见水

水平井早期见水是影响其开发效果的最关键因素, 在钻井前优化水平井地质设计和跟踪实钻调整设计, 这是预防水平井开发早期见水的基础。

2.1 水平段长度和方位的优化

水平段长度直接影响水平井的泄油面积、控制可采储量等^[8-10], 要使水平段对其控制储量有较高的动用能力及采收率, 应重点考虑的地质因素有油层厚度及物性、原油性质(如黏度等)、所控制的经济合理的地质储量和产能需求等。

水平段方位对水平井开发效果也有很大影响。理论分析认为, 水平段的方位应垂直于砂体延伸方向、最大水平渗透率的方向(增加储集层向井筒的渗流能力)、裂缝带和高渗透带延伸方向、边水侵入方向(使边水均匀推进, 提高边水驱替效果)、现今最大水平主应力方向(增加地层流体向井筒的渗流能力), 因此在确定水平段方位之前, 应落实上述地质情况, 并充分考虑油藏形态与水平井泄流面积形态之间的匹配关系和含油面积与已有井网的关系。

2.2 水平段 A、B 点位置和垂向位置的选择

在确定水平段方位的基础上, A、B 点位置的选择主要考虑两点的生产压差和波及能力差异。一般 A 点应设计在油层相对较厚的部位, 利于发挥此处生产压差相对较大、波及能力大的优点; 同时 A 点应距注水井远些。在有边水侵入情况下, A 点距边水应较远些, B 点可相对近些。要了解油层厚度分布、边水(如有)的侵入方向、与注水井的距离等地质因素。

水平井对水平段周围油层原油的采出能力受多方面因素的影响^[8-10]; 采出上下油层原油的能力受渗透

率变异系数(水平渗透率与垂向渗透率的比值)、夹层分布及气顶能量、底水能量的影响;采出左右油层的能力一般受渗透率变异系数、边水能量、泄油面积的影响。因此设计水平段垂向位置时,应考虑的地质因素有:油层厚度及油藏类型,储集层物性、韵律性及渗透率变异系数,夹层类型、大小、物性、分布规律,边水、底水、气顶能量大小及相对活跃程度等;如有老井,要考虑液面变化情况。水平段垂向位置可以参考相邻直井的资料来确定。

储集层水平渗透率通常大于垂直渗透率,水平井对左右油层的采出能力一般高于对上下油层的采出能力。当储集层非均质性严重及边底水、气顶能量发挥作用时,水平井的泄油形态将由近椭圆形^[1]变得不规则,对其周围油层的采出程度也会明显不同。例如在气顶底水油气藏的开采过程中,底水能量充足时底水向上推进(见图 2a),水平井主要采出下方油层中的油,油层压力下降很小;当底水能量减弱时,油层压力不断下降造成气顶膨胀,气油界面下推(见图 2b),水平井主要采出上方油层中的油。理想的设计是让气顶、底水同时到达水平井井筒(见图 2c),同时采出井筒上、下油层中的原油。

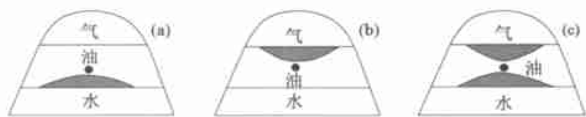


图 2 气锥、水锥与天然能量关系示意图

2.3 分析油气藏地质条件的动态变化

与水平井开发有关的油气藏地质条件主要指油田开发初期的油气界面、油水界面、地质储量等。如果在开发中后期利用水平井增产或挖潜,进行水平井优化设计时,研究这些条件的动态变化非常重要。应查明以下情况:①原始油气界面、油水界面分布;②水平井水平段周围的直井(或已有井)生产情况(累计产油量、产水量,水锥分布,注水井的注入量);③水平井水平段设计层位或区块的地质储量已采出情况;④老井开采造成的边水推进、底水锥进、气顶膨胀等情况,要避免水平井钻入水层、气层,或太靠近水层、气层;⑤系统分析各种天然能量(如边水、底水、气顶)的大小及相对关系。

2.4 分析水平井见气见水的地质原因

开发初期或早期水平井就发生气窜或水窜的原因有以下几种:①油层薄,水平段距油水界面、气油界面近。②夹层不发育,储集层垂向渗透性好。③油水界面、气油界面因储集层非均质性而有起伏(可达数米,其起伏难以确定),气油界面低的位置易发生气窜,油水界面高的位置易发生水窜,因为水平段在这些部位

距气油、油水界面较近。④水平段可能上下波动。向下波动的位置距油水界面近,易发生水窜(见图 3);向上波动的位置距气油界面近,易发生气窜。水平段的波动情况可通过井轨迹确定。⑤有断层、裂缝、高渗透条带与边、底水串通。⑥如果生产速率太快,水体能量充足时易发生水窜;水体能量很弱时地层压力下降快,气顶膨胀、原油脱气,均易造成气窜。

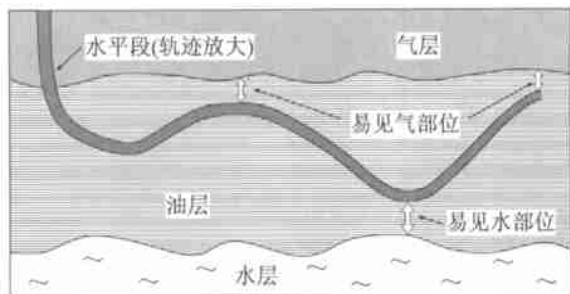


图 3 水平段气水界面、油水界面起伏造成的易见气部位及易见水部位示意图

2.5 现场跟踪调整水平井地质设计

构造的不确定性、储集层的非均质性及钻井过程中的各种工程因素,都使水平井的钻井成功率受到影响,新开发区块更是如此。因此,水平井地质设计人员必须通过钻井现场的随钻测井、岩屑录井以及邻近目的层上方的一些标志层等,跟踪钻井进度,了解目的层构造、储集层变化,及时调整水平井地质设计,这样才能确保水平井钻井成功。

3 实例分析

目前,国内应用水平井技术最好的当属塔里木油田。塔里木油田截至 2001 年底水平井达 87 口,约占总井数的 21%,2001 年 12 月水平井产量约占油田总产量的 46%。塔里木油田充分发挥了水平井高效开发油气田的技术优势,但有一些水平井由于地质设计优化研究不够及油气田的复杂性,开发效果较差。

例如塔里木油田处于同一带气顶底水油气藏的不同位置的 A 井、B 井,水平段所在储集层渗透率不同(A 井大于 $900 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, B 井为 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),水平段与油水界面之间夹层发育不同(A 井有明显夹层,起减缓底水脊进作用, B 井基本没夹层,见图 4),同时两井设计不同(水平段长度 A 井为 360.68 m, B 井为 188.18 m),因此它们的开采效果差异较大。A 井虽受与其相邻的直井影响(直井在相同层位油层已累计产油约 $2 \times 10^4 \text{t}$,含水 94%),但投产时日产油达 300t 以上,累计产油超过 $10 \times 10^4 \text{t}$,产气量后期有所降低,含水上升较慢; B 井的产油量低(最高日产 50 多吨),含水上升快,气油比上升也快,累计采油仅 3367t 时,含水就达 98.1%。A、B 井的地质设

计偏重于考虑避气,水平段设计位置靠下,如果射孔时考虑重点是避水,其开采效果会较好。

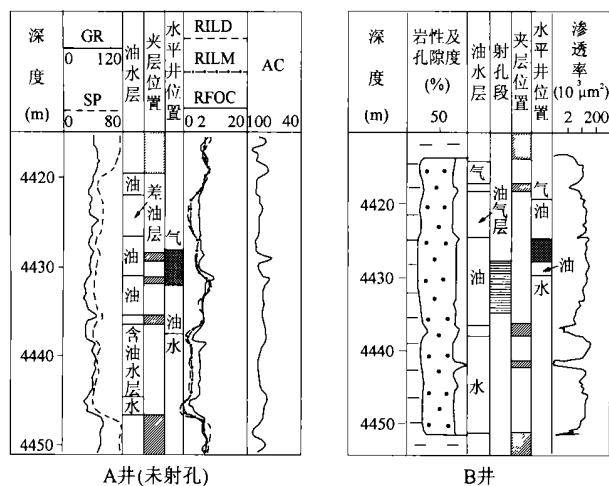


图4 A、B水平井在储集层中的垂向位置示意图

针对水平井开发中遇到的问题,塔里木油田及时开展攻关研究,以优化水平井地质设计为基础,既推进了水平井技术的应用和发展,也逐渐缩短了钻井周期,降低了成本,提高了轨迹控制水平。1m以上薄油层的水平井及双台阶水平井的成功施工,标志着塔里木油田水平井应用技术日趋成熟,已成为高效开发的主导技术之一。塔中16、哈德4等油田采用水平井整体开发,取得了很好的开发效果及经济效益。

国内其它油田用水平井开发油气藏没有达到应有的效果,关键在于地质设计中考虑因素不够全面,水平井地质设计不够优化,构造的不确定性、油气水分布的复杂性、储集层非均质性等导致实钻情况与设计有差异。应在充分认识油气田和油气藏地质特征的基础上,考虑水平井的开发特点,加强优化水平井地质设计和油气藏地质条件的动态分析,才能充分发挥水平井的技术优势。

4 结语

优化水平井地质设计是用水平井成功开发油气田的关键和基础。应在全面深入细致地分析研究油气藏地质特征的基础上优化设计,还要加强现场的钻井跟踪研究,调整水平井地质设计,这样才能确保钻井成功,充分发挥水平井的开发优势,创造最好的经济效益。

参考文献:

- [1] 张宁生,刘文红.对水平井油气层保护技术的探讨[J].石油勘探与开发,1997,24(4):68-71.
- [2] 宋付权,刘慈群.单一直线边界油藏中水平井渗流压力动态分析[J].石油勘探与开发,1997,24(4):47-50.
- [3] 周生田,张琪.水平井水平段压降的一个分析模型[J].石油勘探与开发,1997,24(3):49-52.
- [4] 李远钦,刘雯林.水平井产量分布反演[J].石油勘探与开发,1999,26(3):66-71.
- [5] 范子菲.底水驱油藏水平井产能公式研究[J].石油勘探与开发,1993,20(1):71-75,81.
- [6] 张望明,韩大匡,闫存章.水平井油藏内三维势分布及精确产能公式[J].石油勘探与开发,1999,26(3):49-52.
- [7] 王振彪,纪淑红,等.水平井油水运动规律及稳油控水方法研究[R].北京:中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院,1997.
- [8] 程林松,李春兰,等.水驱油藏合理水平井段长度的确定方法[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(5):58-60.
- [9] 范子菲,方宏长,等.水平井水平段最优长度设计方法研究[J].石油学报,1997,18(1):55-62.
- [10] 张义堂,阎玉林,张仲宏,等.陆相沉积油层水平井水平段轨迹对产能及采收率影响的研究[J].石油勘探与开发,1999,26(2):68-70.
- [11] 邓英尔,刘慈群.水平井两相椭圆渗流特征线解与差分分解及开发指标计算方法[J].石油勘探与开发,1999,26(3):45-48.

作者简介:王振彪(1963-),男,河北人,硕士,中国石油勘探开发研究院高级工程师,现从事油田开发研究工作。地址:北京市910信箱,油气田开发研究所,邮政编码:100083。

收稿日期:2002-04-26

(编辑、绘图 郭海莉)

Geological design optimization of horizontal well

WANG Zhen-biao

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, P. R. China)

Abstract: With the development of horizontal well drilling techniques, horizontal wells are widely used in the development of oil and gas field and have been paid more attention by the world oil industry. The number of horizontal wells is increased every year. However, some wells are not producing as well as people expected, such as productivity is low, water is breakthrough in a short period of time, and water cut increases quickly, oil production is dropped rapidly, so the production effect of the horizontal wells are reduced. This paper has analyzed the advantage and shortage of horizontal wells in the development of oil and gas field, and pointed out that the optimization of horizontal well geological design is the key point and basis for successfully developing oil and gas field and preventing early water breakthrough, and systematically summarized five aspects of optimization geological design which include: ① horizontal section length optimization; ② orientation optimization of the horizontal section; ③ location optimization of the A and B points; ④ vertical location optimization of the horizontal section; and ⑤ dynamic analysis of the static data. Besides following up and adjustment of the horizontal well drilling at the well site are key points to ensure the success of the horizontal well. This paper has offered a reference for increasing the success ratio and development effect of horizontal wells.

Key words: geological design optimization; horizontal well; development