

低渗透油田开发的合理井网

李松泉* 唐曾熊

(中国石油天然气总公司)

摘要 低渗透油田开发往往与裂缝密切相关,因此其井网部署是否合理是低渗透油田开发成败与否的关键。本文在回顾了低渗透油田开发井网形式的演化后,对低渗透油田开发的合理井网进行了认真分析,指出低渗透油田开发的合理注采井网应该是不等井距的沿裂缝(天然的或压裂的)线状注水井网。在此基础上,提出了低渗透油田开发合理井网部署的几个关键问题,即必须要搞清楚裂缝的方向,必须要在压裂优化设计基础上确定出基质渗透率和裂缝渗透率的比值。最后还就利用水平井开发低渗透油田的井网问题进行了探讨。

主题词 低渗透油田 开发 裂缝 井网 合理

1 前言

我国投入开发的油田中,低渗透油田已占有一定的比重,而在未动用储量中,则大部分是低渗透储量。因此,已开发的低渗透油田如何改善开发效果,未动用的低渗透储量如何尽快有效地投入开发,对保持我国石油工业持续稳定发展十分重要。

我国目前已开发的低渗透油田,有些开发效果很不错,也有一些开发效果不够理想。其原因就是因为低渗透油田开发有其特殊性,低渗透油田最大的特点是与裂缝有关,或者是有天然裂缝,或者是水力压裂造成的人工裂缝。由于裂缝的存在,低渗透油田对注水开发井网的部署就极为敏感。如果注采井网布置合理,使注水驱油时的面积扫油系统处于优化的状态,就可以取得好的开发效果。如果注采井网布置不合理,注入水就会沿裂缝系统快速推进,使油井很快见水和水淹。可以说,确定合理的井网部署是低渗透油田开发成败与否的关键。本文将就低渗透油田开发的合理井网部署作一些分析和总结,以便今后对开发好这类油田能有所借鉴。

2 开发井网型式演化的回顾

我国低渗透油田开发井网部署的型式大体上经历过三个阶段^[1]:早期正方形井网,反九点法注采方式。注水井排平行于裂缝(天然的或人工压裂的,下同)方向,如扶余油田,这种方式生产井排见水时间推迟,但注水井排上的油井仍然水淹严重。80年代在早期阶段基础上将注水井排方向与裂缝方向错开 22.5° (见图1),如新立、朝阳沟等油田,这种方式进一步延迟了生产井见水时间,开发状况有所改善,但由于注水井沿裂缝方向与错开两个井位的生产井仍可形成水线,所以水淹速度仍很快,且难以调整。目前阶段则改进为将正方形井网的井排方向与裂缝方向错开 45° ,待角井水淹后转为注水井,形成与裂缝方向平行的五点法或线状注采方式(见图2),如新民油田,这种方式开发效果较好,应该说已基本形成了适应低渗透油田开发的合理井网型式,但仍需予以改进和完善。

3 合理井网的探讨

前已述及,低渗透油田开发往往与裂缝密切相关,尤其是人工压裂裂缝。为了提高低渗透油田开发的单井

* 李松泉,1983年毕业于西南石油学院。现任中国石油天然气总公司开发生产局油藏管理处高级工程师。通讯处:北京市六铺炕。邮政编码:100724。

产量和经济效益,近来常采用大型压裂加大裂缝的长度与宽度,以增大裂缝的导流能力,这样就造成了很低的基质渗透率和大型压裂后很高的裂缝渗透率之间的强烈级差和各向异性。而目前的正方形井网无论方向如何旋转,其井距和排距差异都不大,因此就很难适应这种强烈的渗透率级差和各向异性^[2]。

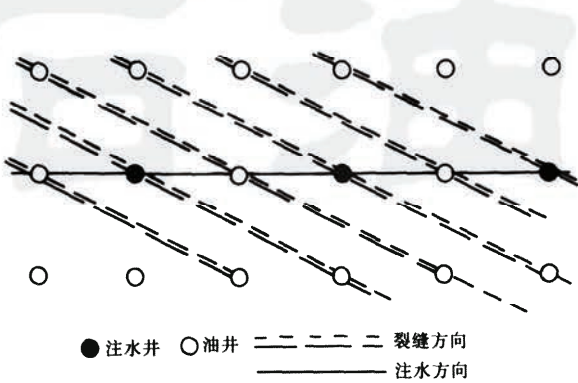


图 1 井排方向与裂缝方向错开 22.5°
Fig. 1 Well rows of an angle of 22.5 degrees with fracture direction

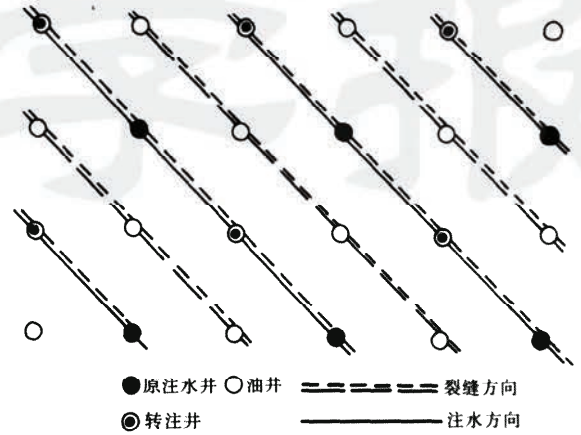


图 2 井排与裂缝方向错开 45°
Fig. 2 Well rows of an angle of 45 degrees with fracture direction

那么究竟什么样的井网才是低渗透油田开发最合理的井网呢? 这要从下列两个方面来分析:

(1)为尽量避免油水井发生水窜,首先必须要考虑沿裂缝线状注水,即井排与裂缝走向一致,这样可不必顾虑因裂缝过长造成注水井之间会很快形成水线。这是因为注水井之间沿裂缝拉成水线后,随着注水量的不断增加,在压力梯度的作用下,注入水会逐渐形成水墙而把基质里的油驱替到油井中去。这样可防止油井发生暴性水淹,并获得较大的波及体积。

(2)注水井井距一般应大于油井井距,也应大于注水井与油井之间的排距。这是因为在线状注水情况下,若注水压力稍高于岩石破裂压力,裂缝可保持开启状态,这样在强烈的渗透率级差和各向异性作用下,注水井排会很快拉成水线,若井距排距差异不大,则注水能力富余而油井见效又不明显。若采用注水井井距大于油井井距和排距的不等距井网,则注水井能充分发挥注水能力,油井可以比较明显地见到注水效果,从而使压裂后所形成的产能得以保持。至于具体的井排距应在压裂优化设计的基础上,根据裂缝与基质渗透率差异的大小,用数值模拟来优化确定,但一般基质渗透率与裂缝渗透率的比值越小,则井距与排距之比应越大。

根据以上分析,低渗透油田开发的合理注采井网应该是不等井距的沿裂缝线状注水井网(见图 3)。采用这种井网(与压裂相结合)不仅可以使低渗透油田获得较高的产量,同时由于注水井距加大可使总的井数比正方形井网减少 25%左右,使低渗透油田开发获得较好的经济效益。

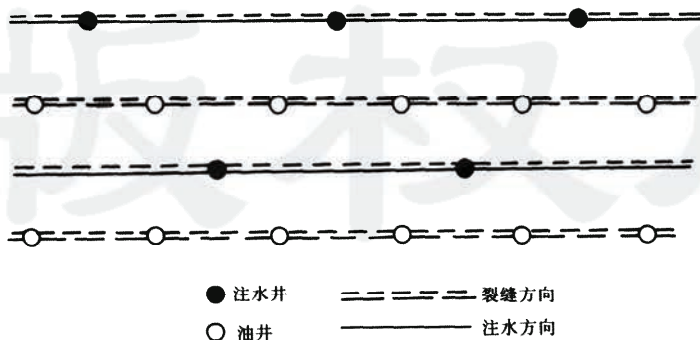


图 3 不等井距线状注水井网

Fig. 3 Linear water injection pattern with different well spacing

以大庆外围头台油田的开发为实例。该油田储层为下白垩统泉三、泉四段地层的扶一、二组,砂体为湖泊—河流三角洲沉积体系。储层平均有效孔隙度 11.2%,平均基质渗透率 $(1.25 \times 10^{-3}) \mu\text{m}^2$,储层虽然发育有近东西向为主的天然裂缝,但天然裂缝在地下是闭合的,因而油井的自然产能极低($<0.5\text{t/d}$),因此需要人工压裂投产。该油田 1993 年 12 月实验区投产,采用 $300\text{m} \times 300\text{m}$ 反九点井网,油井压裂投产初期产量较高,但由于没有及时注水,所以产油、产液、地层压力很快下降。开始

注水后,由于基质渗透率低,所以注入水沿近东西向压裂形成的人工缝和天然缝产生窜流,导致东西向油井暴性水淹井逐渐增多,注入水沿东西向形成短路循环,注水压力上升缓慢,而南北向油井又见不到明显的注水效果,所以油田开发效果很差。为改善开发效果,该油田开展了两个线状注水试验。1995年10月在茂804井区实施线状注水试验,其中有油井12口,注水井4口,实施9个月后,表现为注水量稳定增加(日注水量增加 157m^3),注水压力上升(上升了 1.3MPa),产油量上升(单井日产油由 1.1t 上升到 2.5t),含水下降(由 24% 下降到 16%),取得了较好的开发效果和经济效益。1995年12月在茂11区块中部通过高含水井关井和注水结构调整,形成了一个共17口油井,8口注水井的较完整的线状注水井区,调整实施后日注水增加一百多方,注水压力上升 2.2MPa ,单井日产油由 3.9t 上升到 5.5t ,综合含水下降了30个百分点,开发效果得到了明显改善(见图4)。

4 合理井网部署的关键问题

低渗透油田开发合理的井网应该是不等井距线状注水井网,那么低渗透油田开发的井网部署就必须首先要搞清下面两个关键问题。

4.1 必须要搞清楚裂缝的方向

不等井距线状注水井网由于注水井排与采油井排距比井距小,因而裂缝方向与井排方向即便是相差相当小的角度,也会造成水窜,所以采用这种布井方案的前提是在布井前必须准确地搞清楚裂缝的方向(无论天然的或压裂的)。天然裂缝方向的确定有多种方法,包括地质(构造分析、露头调查、岩心观察等)、测井(成像测井、地层倾角测井、双井径测井等)及动态测试等。压裂裂缝的方向主要是要搞准目前地质条件下的地应力方向。地应力方向的确定目前有多种方法,但都有一定的误差,其精度难以满足不等井距线状注水井网部署的要求。精确的资料应该是来自探井和评价井的定向取心和岩石力学实验室对岩心的准确测定。对于第三系及以上时代比较新的地层,如果没有定向取心资料,利用相同地层的露头用古地磁方法来确定岩心在地层中的方位也是比较准确的。

一般情况下,低渗透油田如果有天然裂缝存在,其绝大多数压裂裂缝方向(最大主应力方向)与天然裂缝方向是一致的。只有极少数情况会出现压裂裂缝方向(最大主应力方向)与天然裂缝方向不一致。

对于压裂裂缝与天然裂缝方向不一致,或天然裂缝方向测不准,裂缝系统比较复杂的天然裂缝油藏,注水要十分慎重。对于这种类型油田,一般可考虑先采用天然能量开采,其井网应该视具体情况灵活布置。

4.2 必须要确定出基质渗透率和裂缝渗透率的比值

不等井距线状注水井网的井距和排距大小主要取决于基质渗透率和裂缝渗透率的比值。因此,应在综合考虑油井产能、油藏埋藏深度、油层和隔层分布及油藏基质渗透率大小(包括天然裂缝渗透率大小)情况下做出压裂优化设计,在压裂优化设计基础上确定出基质渗透率和裂缝渗透率比值。

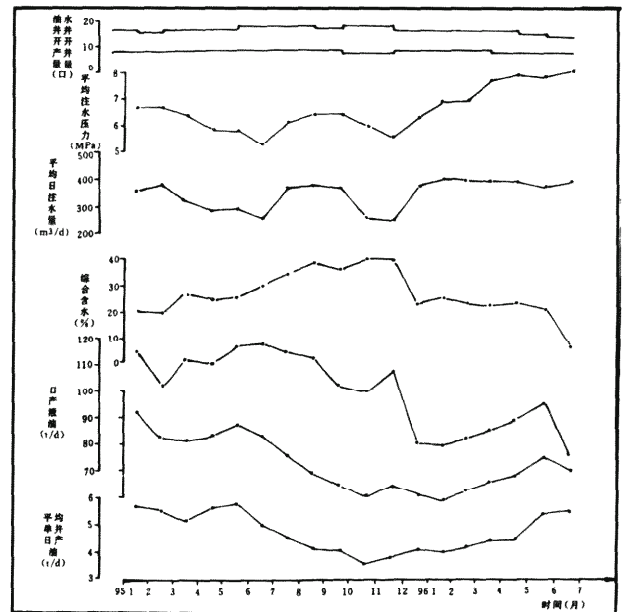


图4 头台油田茂11井区线状注水试验区开采曲线
Fig. 4 Production history curve of linear water injection test site of wellblock Mao well No. 11, Toutai field

5 开发井网的新发展

以上探讨的低渗透油田开发的合理井网是从直井的角度来论证的。随着水平井等钻井工艺技术的发展,为低渗透油田的开发提供了更加有效的手段^[3]。水平井加压裂可大大提高单井产量,使低渗透油田开发取得更好的经济效益^[4]。水平井对于厚度达5~10m以上的单油层最为适合,对于多个单层达到5~10m以上厚度的多油层油藏则可采用多底水平井。目前初步认为合理的井网应该是生产井采用水平井,其水平段应垂直最大地应力方向以与压裂裂缝直交,并以多段压裂形成多条垂直于水平井段的裂缝,以求得最大的产能。注水井可以以直井为主,沿主应力方向布井,压裂投注后形成线状注水。至于这种水平井和直井配合的线状注水井网其井距(生产井井距和注水井井距)及排距大小多少最为合理要比单纯直井井网复杂得多,需要视具体情况(仍主要是基质渗透率与裂缝渗透率大小)用数值模拟手段深入研究。

6 结 论

1. 低渗透油田开发往往与裂缝有关(天然的或人工压裂的),因此对注水开发的井网部署是低渗透油田开发的关键。

2. 到目前为止,国内低渗透油田开发井网型式的演化虽然大体上经历过三个阶段,但其基础井网型式都是正方形注采井网,只是注水井排方向与裂缝方向错开角度不同(0° 、 22.5° 、 45°)。但这种方形井网不管方向怎样旋转,其井距和排距差异都不大,因此很难适应低渗透油田存在的很低的基质渗透率和大型压裂后很高的裂缝渗透率之间强烈的渗透率级差和各向异性。

3. 低渗透油田开发合理的注采井网应该是不等井距线状注水井网,其注水井井距一般应大于油井井距,也应大于注水井与油井之间的排距。其具体的井排距大小应在压裂优化设计的基础上,根据裂缝与基质渗透率差异的大小确定。

4. 低渗透油田开发合理井网的部署必须首先要搞清楚裂缝的方向和基质渗透率与裂缝渗透率的比值。

5. 水平井、多底水平井为低渗透油田开发提供了更有效的手段,但其合理的注采井网部署尚需要进一步深入研究。

参 考 文 献

- 1 李道品,罗迪强等. 对低渗透油田的特殊规律和改善开发效果的初步认识. 低渗透油田开发技术——全国低渗透油田开发技术座谈会论文集,北京:石油工业出版社,1994.
- 2 唐曾熊. 稳定东部与以经济效益为中心. 中国石油天然气总公司油气田开发工作会议文集. 北京:石油工业出版社,1996.
- 3 Giger F M. Low-permeability reservoirs development using horizontal wells. SPE/DOE 16406,1987.
- 4 Jorgen R. Liboriussen. Horizontal wells with multiple hydraulic fracture. 13th World Petroleum Congr,1992,(2):521~527.

(本文收到日期 1997-12-23 编辑 杨 茁)

stages. Meanwhile, the paleo-geotemperatures were restored and their gradients were also calculated. Based on the measured parameters together with the distributing feature and evolutionary regularity of both salt solution inclusions and organic ones in this area. The oil-gas evolution, migration stage and prospective value were preliminarily discussed.

Key words inclusion homogenization temperature oil-gas geology sedimentary rock Tarim Basin

OIL FIELD DEVELOPMENT

SUMMARY ON IMPROVING THE EFFECT OF DEVELOPING MATURING OILFIELDS AND IOR TECHNIQUES

ACTA 1998, 19(3)

Yue Dengtai (*China National Petroleum Corporation*)

China's maturing oilfields have come into the later development stage. Relations of the water-oil underground are complicated and residual oil are dispersive, more difficulties have met in stable production and adjusting. About 70 percent of productions and reserves are the main production and potential from these oilfields. Most China's oilfield are nonmarine heterogeneous with complex geological structure and high oil viscosity, which determined the uneven of waterflooding and complication of residual oil distribution. This paper describes four correlating techniques for improving development effects and oil recovery based on the developing status of maturing oilfield: 1. Reservoir description correlating technique, which comprising of dynamic monitoring, fine reservoir description and reservoir numerical simulation; 2. Waterflooding correlating technique: structure adjusting for water injection, fluid production and water cut; drilling high effect adjusting wells; improving recovery of low effective units; 3. Thermal recovery technique; 4. Chemical flooding method.

Much progress have been made in IOR techniques for China's maturing oilfields in recently years. According to potential distribution of different reservoirs. Many effective methods and correlating techniques may get better results in increments of reserve and production. The development level and efficiency will improve non marine heterogeneous oil fields only relying on these advanced, practical and economical techniques.

Key words maturing oilfield development adjusting IOR correlating techniques

THE REASONABLE WELL PATTERN FOR DEVELOPING LOW PERMEABILITY OIL FIELDS ACTA 1998, 19(3)

Li Songquan et al. (*China National Petroleum Corporation*)

The reasonable well pattern disposition is a key factor that low permeability oil fields are developed successfully because it is usually relative to fracture. This paper analyze conscientiously reasonable well pattern for developing low permeability oil fields after reviewing the evolution of well patterns for low permeability oil field. It hold that reasonable flooding pattern concerning development of low permeability oil field is linear water injection pattern along fracture direction with differ in well spacing.

Some key questions of reasonable well pattern disposition about development of low permeability oil field were put forward. We must get a clear understanding of fracture direction, the determination ratio of matrix permeability to fracture permeability on the basis of optimisation fracturing.

Simultaneously well patterns that horizontal well to make use of developing low permeability oil fields were also approached.

Key words low permeability oil field development fracture well pattern reasonable

PARALLEL RESERVOIR SIMULATOR ON SHARED MEMORY MACHINE ACTA 1998, 19(3)

Deng Baorong et al. (*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)