

简析低渗透油田开采技术难点与开发对策

毛 瑜

华北油田勘探开发研究院 河北沧州 062552

摘要: 为了提升低渗透及特低渗透油田的开采效率和油井产能, 针对低渗透油田的地质特点并借鉴国内外油田开发经验, 油田技术人员提出了超前注水技术, 即在进行超前注水过程中只注不采, 合理提高地层能量进而达到高效开发的目的。

关键词: 低渗透油田; 超低渗透油藏; 超前注水

Brief analysis on the technical difficulties and Development Countermeasures of low permeability oilfield production

Yu Mao

North China Oilfield Exploration and Development Research Institute Cangzhou 062552

Abstract: To improve the production efficiency and oil well productivity of low permeability and ultra-low permeability oilfields, aiming at the geological characteristics of low permeability oilfields and drawing lessons from the development experience of oilfields at home and abroad, oilfield technicians put forward the advanced water injection technology. That is, in the process of advanced water injection, only injection but no production reasonably improve the formation energy to achieve the purpose of efficient development.

Keywords: low permeability oilfield; Ultra low permeability reservoir; Advance water injection

引言:

近些年, 随着油田勘探开发规模的扩大, 低渗透、超低渗透油藏开发成为我国陆上石油工业发展的重点。由于低渗透油层天然能量不足且存在启动压力梯度, 超前注水成为一种重要的开发方式和途径。超前注水开采可以建立适用性强的驱替压力体系, 有效保证低渗透油田的压力平衡, 从而减少油田地层损害损伤。

1 超前注水的理论机理及作用

1.1 通过开展超前注水, 建立驱替系统。

根据储层流体渗流力学的理论, 在致密储层有限的泄油区域内, 储层中可动原油的水驱动用程度与渗透率、压力梯度的关系为式中

$$F=1-5.5714 K^{-\frac{1}{2}} \left[A/(\Delta P/L)^n \right] + 8.613 K^{-1} \left[A^2 / (\Delta P/L)^{2n} \right]$$

F——水驱储量动用程度; K——有效渗透率; $\Delta p/L$ ——驱替压力梯度。可以看出, 储层的有效动用程度与驱替压力成正比, 油藏驱替压力越大, 则水驱储量动用程度越大。超低渗透油藏低孔、低渗, 且吼道半径更小,

注水开发驱替过程中边界效应显著, 流体在渗流过程中需要克服启动压力梯度。通过开展超前注水, 一方面提高油藏开发初期地层压力, 降低了因应力等敏感造成的伤害, 使储层开发的驱替压力梯度大于储层流体被驱动的启动压力梯度, 建立可以水驱开发的驱替压力系统^[1]。

1.2 减缓储层伤害

根据当前对致密储层的研究可知, 通常情况下, 致密储层都会伴有微裂缝, 油藏在进行开发利用后, 这种微裂缝的导流能力都很强, 快速的导流使得地层的压力迅速下降, 在低压环境下油藏储层的孔隙度会减小, 裂缝逐渐闭合, 油层渗透率快速下降。在开发时, 对比了不同注水时机降压漏斗的现象, 将超前注水的配注量定为 $20\text{m}^3/\text{d}$, 并超前注水3个月。同步注水的配注量为 $20\text{m}^3/\text{d}$, 注水和开采同步进行, 滞后注水的配注量为 $20\text{m}^3/\text{d}$, 滞后注水3个月。在超低渗透油藏开发的前三个月开始注水, 在开发后可以有效的减少应力敏感性对储层的伤害, 而随着注水时间的不断进行, 地层压力随之逐渐下降。超前注水可以有效的提升超低渗透油藏开采

的效率和质量。

1.3 降低开发初期含水量

根据大量的实验和生产经营可知,致密储层中的渗流方式属于一种拟稳态渗流,这种拟稳态渗流的特征与有启动压力梯度的渗流方式较为相似。经研究可知,开发含水率与启动压力梯度之间存在一定的数学联系:

$$f_w = \frac{1 + K_{r0} / K_{rwo}}{1 - (\Phi / 2K) \tau_0^{-1/2} / (\Delta P / L)}$$

其中, f_w 表示含水率, k_{ro}/k_{rw} 表示油水的相对渗透率, K 表示有效渗透率, Φ 表示有效孔隙度, τ_0 表示极限剪切应力, $\Delta P/L$ 表示启动压力的梯度。从公式中我们可以看出,油藏开发的含水率会受到多方面因素的影响,如果油藏储层的启动压力梯度为零,上述公式就变成了最常见的达西定律,如果油藏储层存在一定的启动压力梯度,那么该公式就能体现出非达西渗流特征,这时含水率就会受到油水粘度比、有效渗透率和原油极限剪切力的影响。在其他渗流条件相同的情况下,油藏的储层密度越大,启动的压力梯度就会越大,油藏中的含水率就会变得很小。相反,油藏储层的密度越小,启动压力梯度就会越小,那么其含水率就会变得相对较大。油藏超前注水就是通过提升地层压力,有效的降低油藏开发过程中地层压力下降对孔隙度和渗透率受到的伤害^[2]。

1.4 超前注水提高了储层原始地层压力,能提高油藏最终采收率。

大量水驱油实验表明,致密储层随着初始地层压力的提高,储层驱替压力的增大,驱油效率亦增大。通过实施超前注水,提高了油藏地层压力,即提高了开发过程的驱替压力,相当于增大了开发需要的驱替生产压力,即可以克服启动压力及其它渗流阻力,将致密储层中细微孔道、吼道及微裂缝中的原油驱替出来。

2 超前注水技术

采用超前注水的开发方式主要是持续提高地层的压力,保证低渗透油田的开采。在采用该技术的过程中,油田地层的压力会逐渐上升且直到达到一定水平后,趋于稳定,但在稳定期内原油产量没有上升趋势。一般来说,当地层压力保持在110%~120%时,产量增幅达到最高值。在使用超前注水技术时,适当的注入压力也是一个关键问题,对于低渗透储层有必要在较高的压力下注入,但也要确保其在地层破裂的压力范围内。通过实验可以得出,注水时的压力最好保持在由于地层破压的85%以下。注水井的注水强度大小也是值得注意的问题,由前期使用注水技术开采油田的实验数据表明,当注水

强度大于 3m^3 时,油井投产后可能会出现见水较快、含水率上升的情况,因此要合理控制注水速度,以提高体积波及系数。在开采油田前期合理的注水时间也至关重要。在采用超前注水技术的过程中,当地层的物性越差,原始地层压力就越高,超前注水所需时间就越长,但若注水强度适当增大,超前注水时间会随之缩短。通过试验得出,为期3个月到6个月的注水是获得高经济效益的最佳时间。^[3]

3 当前低渗透油田开发特点

低渗透油田开发的基本特点是油井供液低,产量递减性大,采油速度低。由于低渗透油田的增产增注效果通常不太理想,因此势必要借助一切提升注水压力的措施来提高低渗透油田的注水量以及注采压差。高压注水能加大注水量,改善注水量过低以及生产井产液量下降的问题,但有关数据表明,低渗透油田开采中由于注水压力过高,注水井套管的损坏率比油井损坏率还高。这就需要控制注水压力,使其在地层破裂压力范围内,但实际低渗透油田开采中,注水压力早已经超出地层破裂压力。因此低渗透油田开采的形式非常严峻,需要结合实际油田地质情况,通过优化储层压裂改造方式及注水方式等措施进行增注。^[4]

4 低渗透油田开采技术难点

4.1 受到层间干扰

低渗透油藏大部分都油层较薄,物性较差,大部分都是砂泥岩互层,油层相对较少,大部分情况都会同时开采多个油层以保证油井有一定产能,但每个层间物性都具有差异性,在这种层间互相干扰的模式下,导致部分小层很难正常发挥基本产能。

4.2 弹性能量太低,没有足够的补给能量

由于整个低渗透油田储层的弹性能量比较低,所以其低渗油田的开采效率受到影响,同时整个油田储层递减性逐渐扩大,继而需要通过大量注水方式来补充低层能量。整个注水过程消耗的时间比较长,其驱替性、传导效率低,不能快速的补充能量。另一方面,是由于自带复杂性的储层,导致注水受力不均匀,方向性不对,其注水效果不强。低渗透油田的产油能力以及吸水能力比较低,整体的油井注水效果就不可能高。最后其油井见水后产油指数受到油水黏度以及岩石润湿性因素的影响,导致指数值大幅度下降,尤其是油井见水指数达到60%~70%后,其产液指数达到最低值,大幅度下降的低渗透油井见水后产油指数,会造成不稳定的油井见水提液。

4.3 井网有待完善

油田运用的开发井网大部分都是不规则井网,可能存在井距不配套或注采井网不完善的情况,低渗透油藏具有通性较差的储层和较大阻力的渗流,进而导致无法构建完善的驱动体系。由于注水井能量无法进行扩散,进而导致注水井有着过高的井底压力,致使低渗透油田面临着注不进又采不出的情况,严重影响开采效果^[5]。

5 低渗透油田开发策略

5.1 运用整体压裂

压裂是被广泛使用在低渗透油田开发中的一项技术。低渗透油藏有着较差的物性,因而需要人工进行压裂改造,压裂技术可以有效提升低渗透油藏的产能。主要是运用水力压裂致使地层中出现裂缝,进而加强储层的渗流能力和连通性,提升油井产能。但由于海上油田的平台空间有限,进而导致压裂有较大的风险以及较高的成本,而目前使用单井压裂进行局部改造。单井压裂可以提升油田产能,但其提高的程度具有较大局限性。因此,需要进行整体油田的压裂改造。现阶段JX1-1油田以及WZ11-7油田等以及着手于研究整体压裂的可行性,WZ11-7油田如果完成整体压裂之后,预计采收率将提高1%~2%,进而有效提升了开采量。

5.2 优选开发方式

相关研究显示,低渗透储层有着较强的应力敏感性,岩石空隙间的压力减小时,岩石会被压实,进而导致渗透率和孔隙度下降,若压力恢复后,层次的物性参数无法完全恢复,这种伤害具有永久性。对于这种情况,陆

上油田运用超前注水的方式,进而确保地层压力稳定,但海上钻井有着较高的成本,并且能钻井的数量较少,若不顾实际情况运用超前注水会使生产成本加大。注水情况直接影响低渗透油田开发的实际效果,因而,应根据油田实际情况选择不同的开发方式。对于高压低渗透油田,应在初期最大程度运用天然能量使用衰竭开发,进而将油井无水采油期延长,后期可以再运用注水开发方式,维持地层压力状态。常压低渗透油田则需要早期注水或者超前注水进而保持油藏压力,确保油藏有旺盛产能,进而提升采收率。

6 结束语

总结来说,实施超前注水能够有效提升地层的压力,使超低渗透油藏更易建立起驱替压力系统,进而提高油井的初期产量,降低开发初期递减。因此如何利用现有技术,合理适时的对超低渗透油藏进行开发具有十分重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 闫健, 张宁生. 低渗透油田超前注水增产机理研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2019.
- [2] 胡书勇, 周治平等. 超低渗透油藏超前注水开发效果分析及对策[J]. 特种油气藏, 2012.
- [3] 张祺. 超低渗透油田的开发策略[J]. 石化技术, 2020, 27(2): 163-164.
- [4] 万文胜, 杜军社, 秦旭升, 等. 低渗透注水开发砂岩油藏合理井网井距的确定方法[J]. 新疆石油天然气, 2019, 3(1): 56-59.