

周期注水提高油藏采收率技术研究

黄 凯

大庆油田有限责任公司第三采油厂, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2024年1月8日; 录用日期: 2024年3月5日; 发布日期: 2024年3月15日

摘 要

周期注水驱油就是在一定的注采井网上, 对注采井采取开注、停注、转注、增注等措施, 在油层中形成变化的压力(势), 不断改变注采井网中压力分布的强度, 使注入水在层间压差作用下发生渗流, 增大毛管渗吸作用; 同时能够改变流体在油层中的流向, 促进地层流体重新分布, 扩大注入水波及系数, 提高原油采收率, 其主要优点是能充分利用现有井网, 通过压力场的调整, 使常规水驱时滞留的原油得到动用, 扩大注入水的波及体积, 提高注入水利用率, 从而提高水驱的采收率。

关键词

周期注水, 提高采收率, 开发效果

Research on Cyclic Water Injection Technology to Improve Reservoir Recovery Rate

Kai Huang

No. 3 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

Received: Jan. 8th, 2024; accepted: Mar. 5th, 2024; published: Mar. 15th, 2024

Abstract

Cyclic water injection for oil recovery refers to taking measures such as starting, stopping, transferring, and increasing injection on a certain injection production well network, forming a changing pressure (potential) in the oil layer, continuously changing the intensity of pressure distribution in the injection production well network, causing the injected water to flow through under the pressure difference between layers, and increasing the capillary suction effect; At the same time, it can change the flow direction of fluids in the reservoir, promote the redistribution of for-

mation fluids, expand the injection water sweep efficiency, and improve crude oil recovery. Its main advantage is that it can fully utilize the existing well network, adjust the pressure field, and utilize the crude oil that is retained during conventional water flooding, expand the swept volume of injected water, improve the injection water utilization rate, and thus improve the water recovery rate of water flooding.

Keywords

Cyclic Water Injection, Improving Oil Recovery Rate, Development Effect

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,我国大部分油田均采用注水开发[1] [2],但是当储层非均质性严重时,注入水会发生指进现象,导致注入水沿高渗透层突进,波及体积变小,而低渗透油层剩余油未被采出,影响最终采收率。周期注水是解决该问题的水动力学调整方法之一,通过周期的改变注入量,可在油层内形成不稳定的压力扰动,促进高低渗透层发生油水交渗,从而扩大了注入水的波及体积,提高采收率,其最大的特点是成本低,不像化学驱那样需要大量额外投资[3] [4]。

2. 周期注水机理

周期注水的机理主要是压力扰动引起弹性效应[5],在非均质性油藏中,通过调整井口配产配注,改变采出端与注入端压力,从而产生一个变化的压力,根据导压系数公式可知,压力变化在储层中不同渗透性和流体性质区域的传递快慢不一样,这样在高低渗层和含水饱和度差异较大的区域产生一定的压差,促使油水间相互交涉,从而提高注水波及区域,改善开采效果[6]。其作用过程主要是依靠地层弹性和强化毛管压力驱油。在周期注水过程中弹性力引起储层流体扰动,随着压力梯度增大,促使部分油相突破一些贾敏效应较大的区域而流动,从而扩大注入水波及体积,提高储层动用程度。但根据数值模拟研究分析,注入端产生的压力梯度影响的范围较小,距井越近,压差越大,距井越远,压差影响越小,因此弹性压力影响范围和时间有限。随着注入端压力梯度增加,粗毛细管力增大,将注入水向细毛细管推进,置换细毛细管中剩余油。根据驱替过程不同,存在吸渗和排驱两条毛细管压力曲线,排驱曲线毛细管压力值高于吸渗曲线的值。亲水岩石水驱油过程采用吸渗曲线,油驱水过程采用排驱曲线。常规注水过程中,以驱动压差为主,毛细管力的作用忽略不计,但周期注水停注期间,仅毛细管力发挥作用,产生自吸渗现象,采用吸渗毛细管力曲线计算。

3. 周期注水作用过程

周期注水过程主要包括注水提压和采油释压两个阶段。弹性力排油和强化毛管压力吸水排油作用[7]。

3.1. 注水提压阶段

强化注水时,根据上式可知,由于地层渗透率差异影响,注入端通过增注提压,压力迅速传导至含水饱和度较高的高渗区域,形成高压区域,而在含水饱和度较低的低渗区域压力传递缓慢,形成暂时的

低压区域，这样在强化注水期间形成从高渗透区域向低渗透区域方向的附加压力梯度，促使注入水从高渗透区域逐渐渗入至低渗区域，置换出低渗区域剩余油，提高水驱波及体积。伴随着长时间注水提压过程，地层压力不断升高，在低渗区域弹性驱油能量逐步积聚，弹性力逐渐升高。

3.2. 采油释压阶段

注入端停注时，压力首先在高渗透区域迅速下降，而低渗区域压力下降缓慢，在高低渗区域间产生反向压力梯度，释放积蓄的弹性能量，一部分油水从低渗区域流向高渗区域。后期随着弹性能量逐渐减弱，弹性力逐渐降低，毛细管力作用渐渐凸显，由于高低渗区域间含水饱和度和渗透率差异较大，产生毛细管压力梯度自吸渗现象，注入水从高渗区域渗流至低渗区域，剩余油从低含水饱和度区域流向高渗区域，直至高低渗区域饱和度趋于一致。再次调整注入端后，排驱至高渗区域的剩余油被采出。

4. 周期注水主要参数确定

4.1. 注水时机的确定

合理时机应该是在这个时间实施后，开发效果最好。大量模拟试验表明中高含水期实施周期注水效果更突出，采收率提高幅度最高，并且对开发年限影响较小。

4.2. 注水周期的确定

合理停注周期是周期注水的关键，影响着地层压力重新分布的时间[8]，根据前人理论分析，注水半周期：相关试验研究表明不同的油藏地质条件，合理的停注周期不同，如果周期太短，蓄积的弹性能量弱，压力变化幅度小，毛细管力作用时间短，层间交渗量小，效果差；如果周期太长，对于饱和压力较高的油田，地饱压差较小，易造成油层脱气，从而影响油田开发效果。因此，周期长度存在一个合理的界限值。根据注采平衡原理，停注期间以饱和压力为下限。以停注前的压力状态为恢复界限，计算停注周期的界限值。此外，注水井停注时间过长，易导致地面管线在冬季出现冻结、电泵井易欠载等管理难度大的问题，因此，停注周期还要综合考虑其他情况，保障油田正常开发。

4.3. 注水方式的确定

根据油水井停产时间不同可分为同步和异步周期注水，按注水周期不同可分为对称型和非对称型周期注水。不同间注方式对周期注水的效果不同，采用何种方式需综合考虑油田储层发育情况、物性情况、累注水量、油井含水、采收率以及经济开发年限的影响。油田实际开发中，为保障采油速度，油井一般长期生产，而注水井选择周期性停注的方式[9]。

4.4. 周期注水量的确定

注水量的确定一方面要保障区块注采平衡，保障完成年度区块注水需求，但考虑到周期注水有效提高了注水利用率，因此可适当低于稳定注水时的年度注水量；另一方面，注水量的变化对地层压力的变化起主导作用，因此在确定注水量时既要保障地层压力有明显波动，又要重视油藏能量的补充。一般情况下，周期注水水量为正常注水的 80%左右。

5. 周期注水选井依据

结合前人相关研究，为确保周期注水能够达到最佳的增产效果[10]，结合地质油藏和油田开发特征，总结了周期注水实施的基本条件：(1) 油藏封闭性，封闭性油藏能避免其他水体影响周期注水压力波动幅度，从而充分发挥弹性力排油作用，提高注水利用率；(2) 储层非均质性、油层的纵向非均质程度直接影

响到层间含水饱和度差异和渗透率差异,进而影响到高低渗透层间的毛管力梯度和层间窜流量:(3) 润湿性,岩石表面润湿性亲水性越强,水滞流系数越大,毛管力的水驱油作用越强,反之储油层亲油性越强,驱油效果越差:(4) 注采完善情况,选择注采完善程度相对较高的区块能有效扩大油层波及体积;地层原油粘度,选取地层原油粘度较低、流度比小的区块,毛管力才能大于原油粘滞力。原油粘度高,高低渗透层间液体渗流阻力增加,提高了启动压力梯度,增大了渗流阻力,导致周期注水效果变差[11];(5) 地层压力,选择地层压力水平相对较高的区块,避免停注期间地层压力低于饱和压力,导致油层脱气,或油井沉没度下降影响油井产液;(6) 含油饱和度分布情况,选择高渗透段水淹严重,常规注水条件下挖潜难度较大,但低渗透段剩余油相对富集的区域。

6. 结语

1) 周期注水过程中,利用毛管力及弹性力,使油滴能够克服阻力继续移动,同时在停注初期使油水从低渗透层向高渗透层窜流,复注时则相反。

2) 油层非均质性越强周期注水提高采收率越高。原油粘度越小,周期注水效果越好。

3) 一般来说周期注水周期在 20 天左右,水量为正常注水的 80%左右时,周期注水效果最好。

参考文献

- [1] 冈秦麟. 高含水期油田改善水驱效果新技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [2] 刘静. 油气田开发地质策略[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [3] 岳湘安. 提高石油采收率基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [4] 郭平. 剩余油分布探讨策略[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [5] 殷代印, 翟云芳, 等. 非均质砂岩油藏周期注水的室内实验研究[J]. 大庆石油勘探与开发, 2000, 24(1): 82-84.
- [6] 张继春, 柏松章. 周期注水实验及增油机理研究[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 76-80.
- [7] 俞启泰, 谢绪权, 罗洪, 等. 周期注水可行性评价公式[J]. 河南石油, 2000(5): 32-34, 61-62.
- [8] 姜泽菊, 安申法, 于彦, 等. 注水油田转周期注水开发影响因素探讨[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(6): 54-56.
- [9] 李颖川. 采油工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [10] 李孟昕, 王阳. 周期注水对提高采收率的影响分析[J]. 石化技术, 2021, 28(10): 25-26.
- [11] 吕迎红, 张俊峰. 周期注水及提高采收率研究[J]. 内蒙古石油化工, 2007, 33(9): 98.