

耦合注水在河道砂油藏中的探索与实践

何雪芹

(中国石化西北油田分公司采油一厂,新疆轮台 841600)

摘要:塔河油田河道砂岩性油藏平面非均质性较强,横向分布变化较快,河道中心砂体厚、物性好,向两边减薄尖灭且物性变差。非均质性造成区块采出程度难以进一步提升,井间大量剩余油滞留,虽局部发育小规模边水,但天然能量供给不足,必须注水补充能量。常规连续注水初期有效但容易发生水窜,且水窜后有效治理手段少、治理难度大,为此进行了最优注采方式、合理注采比及合理液量、合理注水周期的研究,并在T5井区三叠系阿四段河道砂油藏进行了耦合注水的实验,效果明显。

关键词:非均质性;油层注水;耦合注水;河道砂油藏;塔河油田

中图分类号:TE357.6

文献标识码:A

Coupling water injection in channel sand reservoirs

He Xueqin

(No.1 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841600, China)

Abstract: Channel sandstone reservoirs in the Tahe oil field have strong plane heterogeneity. Sand bodies are thick and show favorable physical properties in channel center, and become worse to the sides. As a result, oil remains in wells in great quantities. Water injection for energy supply is necessary to enhance production even though small-scale edge water exists locally. Conventional continuous water injection is effective during the early stage; however, it is difficult to govern water breakthrough. Optimized injection way, injection-production ratio, water injection amount and cycle were put forward and proved effective after practicing in channel sand reservoirs in Triassic, T5 well block.

Key words: heterogeneity; water injection in oil layer; coupling water injection; channel sand reservoir; Tahe oil field

塔河油田河道砂岩性油藏为大套泥岩背景下的薄层河道砂体沉积,受沉积环境影响,纵向及平面非均质性均较强。局部发育小规模边水,主要以弹性驱动为主,开采后期地层亏空严重,能量供应不足。塔河油田目前已有7个河道砂油藏投入注水开发,探明储量 793×10^4 t。其中部分区块注水开发初期效果好,受注入水指进的影响含水持续上升,部分区块一线受效井水窜后井组已全面停注。

1 河道砂岩性油藏注水开发矛盾

弱能量油藏非均质性强,早期为了减少注水水窜风险,采用小排量温和注水,注采比在0.6~0.8左右,由于区块地层亏空严重,在注水过程中地层能量未得到有效补充,采油井能量持续下降,造成注水效果评价的周期长,注水效果差。提高注水井注水量及井组注采比后,地层能量确实在短期内得到了有效补充,初期见效明显。但注入水易沿高渗条带指进,一旦形成优势窜流通道,注水波、效率及

扫油面积大幅下降,注水失效快。

2 耦合注水的适用条件

耦合注水也称耦合注水或间歇注水,是在现有井网基础上,通过耦合性的改变注水量和注入压力,使得油层内部压力场发生变化,引起不同渗透率的小层内发生压力及流体交换,动用低渗层中的“死油区”,扩大水驱驱油效率,从而提高整个区块的最终采收率。

结合其他油田的理论及实践经验^[1],具有下列特征的油藏更适合耦合注水。

(1)非均质性强。对于非均质性较强的地层,常规连续注水时,注入水更易沿着渗透性较好的方向渗流,水驱波及效率低;而通过耦合注水,耦合性产生层间压力交替,加剧层间油水交换,可以较好的改善开发效果。塔河油田T5井区三叠系阿四段50个样品的孔、渗资料计算出该目的储层突进系数为2.04,变异系数为0.52,属于非均质性油藏。

(2)油藏相对封闭。T5 区块油面积小,具有明确的油水边界以及断层封隔性界定,油藏相对封闭。

(3)油水黏度比小。油水黏度比越大,注采效果越差。这是由于油水黏度比越小,油水流动比就越小,注入水不易指进,高低渗层的交渗延续时间越充分,耦合注水稳效时间越长。

(4)亲水性油藏。油藏越亲水,注入水越容易附着在岩石上,随着岩石表面含水饱和度的增加,从而驱替井间剩余油的流动。T5 油藏相对润湿指数 0.34,定性为亲水性油藏。

(5)无或短期连续注水历史。常规注水时间越长,注采井组间越容易形成优势窜流通道,越具备稳定的压力场和流场,即使改用耦合注水,效果差且易失效。T5 区块无连续注水历史。

根据各区块井网格局、地面设施、井筒配套等基本情况,结合上述地质条件,本次方案选取 T5 区块作为耦合注水的实验区块。

3 注采参数的研究

3.1 最优注采方式

通过对 T5 井区进行了周期注周期采、周期注连续采以及连续注连续采等 3 种注水方式的模拟(图 1),拟合结果为周期注周期采累产最高,本次方案选取此类对称型耦合注水。

3.2 合理注采比及合理液量

耦合注水的耦合内总注水量必须保持区块的注

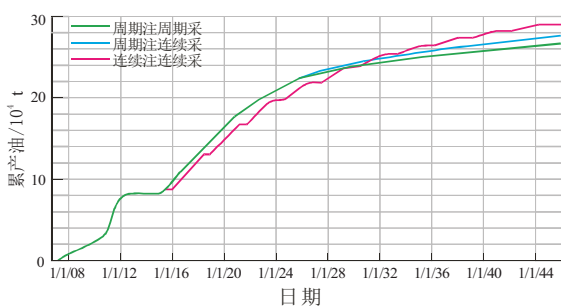


图 1 塔河油田 T5 井区注采方式拟合

Fig.1 Injection-production method of T5 well block, Tahe oil field

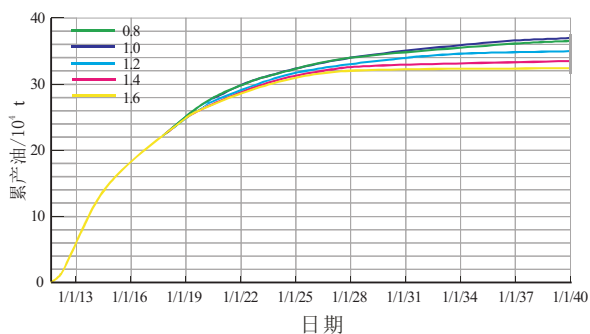


图 2 塔河油田 T5 井区合理注采比拟合

Fig.2 Reasonable injection-production ratio of T5 well block, Tahe oil field

采平衡,以确保油田始终有旺盛的生产能力。由于耦合注水提高了注入水的利用率,根据各油田耦合注水资料显示,在耦合注水期间的年累注水量应为连续注水量的 70%~90%。通过数值模拟显示,注采比在 1 的时候区块的累产最高,开发效果最好(图 2)。

T5 井区块正常生产时日产液 80~100 t,本次耦合注水时 4 口水井平均日注水总量 90 m³,注采比 1:1。

3.3 合理注水周期

(1)方案预测。方案共设计了 1、3、6、9、12 个月等 5 个不同的对称型耦合注采方案。从曲线的拟合情况上看,在相同注水强度、采液强度以及注采比的前提下,周期为 9 个月时注采效果最好,30 年后累产油量 26.4×10⁴ t(图 3,表 1)。

(2)经验公式计算。耦合注水在中国东部试验较早,应用较为广泛^[2-5]。周期计算参考其他油

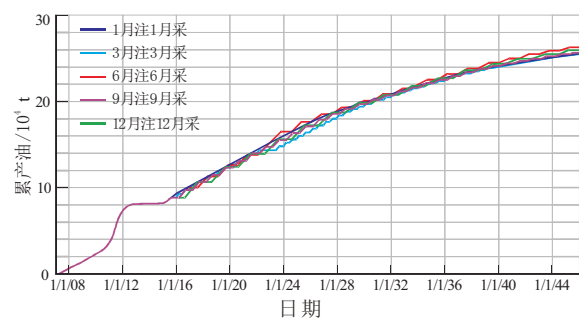


图 3 塔河油田 T5 井区注水周期拟合

Fig.3 Water injection cycle of T5 well block, Tahe oil field

表 1 塔河油田不同注采周期与对应累产油量预测对比

Table 1 Different injection-production cycle compared with corresponding tired oil production prediction

对称型方案	注水强度/ (m ³ · d ⁻¹)	采液强度/ (m ³ · d ⁻¹)	周期产 液量/t	注采比	累产油 量/10 ⁴ t
1月注1月采	80	80	2 400	1	25.68
3月注3月采	80	80	7 200	1	25.59
6月注6月采	80	80	14 400	1	25.77
9月注9月采	80	80	19 200	1	26.40
12月注12月采	80	80	28 800	1	26.11

田耦合注水的经验公式： $T_{\text{半周}} = 0.5L^2/\omega$ 。式中： $T_{\text{半周}}$ 为注水半耦合，d； L 为井距，m； ω 为未注水时综合压缩系数， MPa^{-1} 。

运用上述公式计算出 T5 区块耦合注水周期时间为 98 天，由于上述经验公式是针对均质地层的，但由于地层内部岩性、物性等因素的变化，实际上完成一次流体交渗的周期往往会大于上述计算结果。根据现场实验统计，非均质性油藏通常采用 2~3 倍经验公式的计算结果，取 10 个月作为一个耦合注水所需的周期。

通过数值模拟和经验公式计算，T5 区块耦合注水的周期定为 10 个月。

4 试验效果分析

T5 井区三叠系阿四段河道砂油藏 2006 年投入开发，受天然能量供应不足影响，产量递减速度快，至 2013 年 6 月已进入全面停产状态，全区累计产油 7.14×10^4 t，采出程度 12.3%。目前部署为不规则井网，采用四注四采的注采格局。

(1) 能量情况。2013 年 10 月关井实施耦合注水，注水前油井平均动液面已降至 2 677 m，平均沉没度不足 200 m，地层静压 19 MPa，压力保持程度

39.5%；2014 年 8 月开井评价，油井平均静液面恢复至 684 m，地层静压恢复至 33 MPa，压力保持程度为 70.8% (图 4)。

(2) 增油效果。本轮次耦合注水日共开井评价 2 个井组，周期内日注水 60 m^3 ，累注水量 $9\ 794 \text{ m}^3$ ，开井后井组平均日产油 19.7 t，平均含水 5.9%，本轮耦合注水周期内累产油 8 546 t (图 5)。

5 结论

(1) 耦合注水可以扩大油层中渗流场的流速、流向、压力的不稳定渗流效应，增强了层间压差，使高、低渗透层之间产生了油水交渗效应。非均质严重的油藏，耦合注水效果明显。

(2) 塔河油田河道砂油藏储层具有非均质性严重、油水黏度比小、厚度小、展布范围窄等共性，该类型油藏具有耦合注水的先决条件。

(3) 通过借鉴东部油田实践经验和本次研究区参数模拟总结，认为耦合注水具有普遍适用性，后期在塔河其他区块可以做筛选、推广，提高区块的整体采收率。

参考文献：

- [1] 姜泽菊, 安身法. 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.
- [2] 王辉, 刘国旗, 崔秀敏. 周期注水技术在严重非均质高含水油藏开发中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2006, 8(2): 7-9.
- [3] 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.
- [4] 赵淑霞, 朱环宇, 毛振强, 等. 周期注水的影响因素[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 34(23): 133-134.
- [5] 刘丹. 利用周期注水方法改善后续水驱开发效果[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 34(14): 72-73.

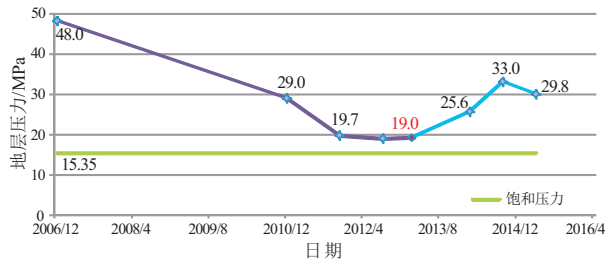


图 4 塔河油田 T5 井区历年静压统计

Fig.4 Static pressure statistics over the years of T5 well block, Tahe oil field

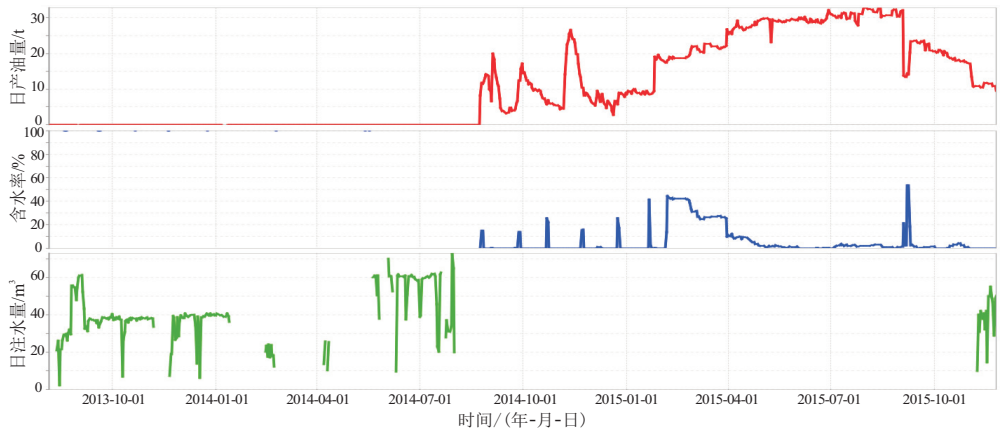


图 5 塔河油田 T5 井区日度生产曲线

Fig.5 Day production curves of T5 well block, Tahe oil field