

多油层砂岩油田 周期注采调整实例

李时玉 主编

石油工业出版社

多油层砂岩油田 周期注采调整实例

万新德 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了大庆油田萨北开发区周期注采调整技术方法和应用方面的论文近百篇，内容涉及水驱周期注采调整、聚合物驱注采参数调整，以及水驱、聚合物驱各项增产增注措施及其效果。

本书适用油田开发生态分析人员、开发方案编制人员和矿场地质技术人员阅读，也可作为石油院校相关师生参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

多油层砂岩油田周期注采调整实例/万新德主编.

北京:石油工业出版社,2006.11

ISBN 7-5021-5718-2

I. 多…

II. 万…

III. 砂岩油气田-水压驱动-油田开发

IV. TE343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 107000 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:河北天普润印刷厂

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:26

字数:640 千字 印数:1—1000 册

定价:80.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《多油层砂岩油田周期注采调整实例》

编委会成员

主 编：万新德

副主编：张英志 黄金凤 吴 逸 王敬华

委 员：王 武 姜振海 高尔双 徐景钧

杨艳玲 何长虹 郎松梅

前 言

大庆油田萨北开发区是注水开发的多油层砂岩油田，1963年投入开发以来，经过长期的水驱开采，油层中的剩余油分布异常复杂。进入特高含水期以后，控制原油产量递减、减少产水量、提高注入水的有效波及体积、保持一定的措施增油量难度明显增大，如何控制成本、提高经济效益是地质开发人员面临的新的难题。

萨北开发区经过40年的开发，水驱区块早在1999年就进入特高含水期开采，且各套层系的含水迅速逼近，纵向上表现为多层高含水，调整难度很大。聚合物驱虽然整体上开发效果较好，但与水驱一样必须经过精心调整才能达到相对理想的开采效果，只是调整的内容与水驱有所不同。在特高含水条件下，剩余油在油层中分布非常零散，更增加了提高开发效果的难度。近几年在高含水后期及特高含水期的油田开发调整中，开展了水、聚合物驱井的周期注水、周期采油的实践，实施的规模由井组逐渐推广至区块，采用的方式从全井笼统停注到层间交替停注。调整过程中积极应用新的技术手段和技术成果，如硼中子、碳氧比测井技术和分层测压等测试技术以及精细地质研究成果，以确保达到较好的方案效果。

为向大庆油田第三采油厂建厂40周年献礼，我们收集选编了“十五”以来萨北开发区周期注采、综合调整及增产增注措施的成功范例，其中水驱周期注采、聚合物驱周期注采、水聚合物驱其他措施和调整方法，是近几年实际工作的总结，可供对此同行们借鉴。

本书的出版得到了有关业务部门和大庆油田第三采油厂广大技术人员的支持，同时对为本书做出艰辛工作的有关人员一并表示感谢。

由于本书编写仓促，错误和不足在所难免，请各位专家和广大读者批评指正。

编 者
2006. 7

目 录

油藏工程 (水驱)

周期注水的影响因素分析	范景明 (3)
东部过渡带特高含水期周期注水做法及效果分析	寇永双 时广霞 (9)
萨北北部过渡带周期注水技术研究	常树琴 (14)
周期注采技术应用效果及综合治理过渡带萨北开发区北部高渗透层可行性探讨	母建光 (19)
周期注水合理沉没度界线的确定	姜海涛 (23)
运用周期注水改善东部过渡带开发效果	孙旭耀 赵丽玲 (27)
应用间抽方法治理北部过渡带低效井	张 龙 崔红梅 付桂芳 (31)
萨北北部过渡带周期注水效果及分析	闫文霄 (36)
萨北过渡带四条带周期注水实践与认识	苏爱民 (40)
萨北过渡带周期注水在加密井网上的应用	任明杰 (44)
北三区东块合理周期注水方式探究	蔺晓东 张南南 (48)

油藏工程 (聚合物驱)

聚合物驱开发后期周期注聚合物实践与认识	刘长明 (55)
周期注聚合物改善聚合物驱开发效果分析	米冬玲 徐文波 卢 洁 (59)
萨北开发区北二东西块分层周期注聚合物实践	高 睿 徐文波 (63)
北二区西部东块后续水驱阶段周期注水实践与认识	宋 健 (68)

油田地质管理

分层注水井合理测试周期探讨	高彦民 (73)
对东部过渡带周期注水井出砂及管理方法的探讨	霍淑芹 黄 新 (78)
分层注水井周期注水测试效果分析	褚 义 (82)

单井水驱周期

北 5-10-丙水 67 井组周期注水效果分析	王海涛 (89)
北 3-2-丙水 70 井组周期注水效果分析	赵政涛 (93)
北 1-2-丙水 61 井组周期注水效果分析	王 颖 (97)
北 4-3-丙水 62 井组周期注入微生物效果分析	林秀萍 (100)
北 3-21-丙水 267 井组周期注水效果分析	韩哲盛 (104)
北 4-6-丙 75 井冬季周期注水效果分析	李春菊 (108)

北 2-30-丙 291 井周期注水效果分析	霍淑芹	(111)
北 5-10-丙 66 井周期注水效果分析	朱启光	(115)
北 3-丁 4-443 井周期注水效果分析	欧亚光	(120)
北 2-346-84 高含水井周期采油效果分析	许 滨	(124)
北 4-70-丙 249 井间抽效果分析	冯光轩 谢晓辉	(128)

水 驱 调 整

北 3-2-丙水 164 井组调整效果分析	王丽丽	刘 琴	(135)
北 1-11-丙水 275 井组综合调整分析	王广宇	李瑞红	(139)
北 2-丁 4-459 井综合调整效果分析		生丽荣	(143)
北 2-5-77 井转聚后综合挖潜效果分析		刘清华	(146)
北 2-4-036 井钻关期含水下降原因分析	孙 静 贾珍珠	曹 辉	(150)
北 2-丁 5-431 井低效成因分析及综合治理		贾珍珠	(154)
北 3-丁 4-48 井综合调整效果分析		焦桂艳	(158)
北 2-5-丙 102 井综合调整效果分析	赵丽玲	胥艳玲	(161)
北 4-10-更丙水 53 井吸水剖面调整分析		单福康	(165)
北 1-10-467 井综合调整效果分析		宁海涛	(169)
北 2-5-471 井组综合调整效果分析	张荣考	贾西平	(174)

水 驱 措 施

北 3-351-63 井压裂效果分析		王庆文	(181)
北 2-丁 6-422 井压裂效果分析		白凤清	(184)
北 2-丁 5-426 井压裂效果分析		王庆杰	(188)
北 2-4-439 井压裂效果分析		赵凤花	(192)
北 3-5-465 井压裂效果分析		赵洪涛	(196)
北 2-丁 5-更 24 井压裂挖潜效果分析	闫 庆	王维安	(200)
喇 177 井措施挖潜压裂效果分析	姜成科	路延刚	(203)
北 3-351-51 井压裂堵水效果分析		郎冰利	(207)
北 2-丁 4-467 井压裂效果分析		韩 冰	(211)
北 3-332-52 井压裂效果分析		张有英	(215)
北 3-351-57 井压裂效果分析		李 苹	(220)
北 2-311-60 井压裂效果分析		刘宏丽	(224)
北 2-丁 5-466 井压裂效果分析		路英秋	(227)
北 2-322-S58 井压裂挖潜效果分析		曹国强	(232)
北 4-100-丙 251 井压裂效果分析		崔连成	(236)
北 1-32-丙 270 井压裂效果分析		潘俊艳	(239)
北 2-2-斜丙 90 井补孔效果分析		齐秀丽	(244)
北 4-80-丙 263 井压裂效果分析	周 琪	徐 洋	(247)
北 4-60-丙 251 井压裂堵水效果分析		任广哲	(250)

北 1-32-丙 271 井补压结合效果分析	崔丽华 (253)
北 3-丁 4-56 井补孔压裂综合效果分析	王心东 (256)
北 5-10-丙 58 井压裂调参效果分析	付桂芳 (260)
北 4-6-丙 53 井堵水效果分析	谢晓辉 徐宏伟 (265)
北 4-8-丙 54 井堵水效果分析	谢 陆 单福康 (268)
北 3-2-丙 78 井堵水效果分析	李莉莉 成志伟 (273)
北 2-4-449 井综合措施效果分析	王艳婷 (277)
北 2-60-452 井综合措施挖潜效果剖析	褚洪芳 (282)
北 3-4-036 井补孔效果分析	任占平 (287)
北 2-丁 3-472 井补孔效果分析	陶桂元 (290)
北 3-362-53 井补孔效果分析	罗 勇 (293)
北 2-丁 4-465 井补孔效果分析	江应科 (296)
北 1-丁 1-463 井补孔效果分析	刘丽娟 (300)
北 3-361-63 井补孔效果分析	冯 新 (303)
北 3-丁 3-64 井补孔效果分析	于莉萍 曹春波 (306)
北 1-10-471 井补孔换泵效果分析	贾西平 (310)
北 2-丁 6-427 井补孔效果分析	龙 华 陆国庆 (314)
北 2-丁 3-437 井补孔效果分析	苏丹丹 (318)
北 2-20-539 井补孔效果分析	乔利平 苍君英 (322)
北 1-丁 1-256 井补孔完善注采关系效果分析	郭景君 (325)
北 2-60-丙 273 井补孔效果分析	颜景胜 (329)
北 3-30-丙 271 井补孔效果分析	陈国荣 成志伟 (333)
北 2-50-丙 297 井补孔效果分析	于 磊 (337)
北 2-丁 3-461 井补孔调整效果分析	任晓波 (341)
北 3-10-丙 264 井补孔效果分析	路延刚 (344)
北 2-312-59 井措施挖潜效果分析	徐文波 (348)
北 2-322-斜 58 井压裂效果分析	李宇峰 (352)
北 4-60-丙 259 井补孔效果分析	徐 洋 荆 杰 (355)

聚合物驱调整

北 3-丁 4-斜 P40 井周期注聚合物效果分析	吴照辉 (361)
北 1-丁 3-P79 井组分层注聚合物效果分析	高艳红 (364)
北 2-21-P32 井分层注聚合物效果分析	王海霞 (368)
北 2-丁 3-葡 33 井聚合物驱油效果分析	王 鑫 (371)
北 3-5-41 井组注聚合物后期高浓度试验效果分析	刘长明 刘丙云 (375)
北 2-21-葡 31 井综合调整效果分析	周文丽 苍君英 (379)

聚合物驱措施

北 2-丁 5-460 井补孔效果分析	刘淑艳 (385)
---------------------------	-----------

北 2-20-436 井为聚合物驱补孔效果分析.....	王敬红 (389)
北 2-丁 5-P52 井综合措施效果分析.....	刘 钢 (393)
北 2-5-P47 井压裂挖潜效果分析	肖 勇 (397)
北 3-丁 4-P44 井压裂效果分析	杨永纯 (401)

油藏工程（水驱）

周期注水的影响因素分析

范景明

(大庆油田有限责任公司第三采油厂)

摘要 从周期注水的机理入手,采用渗流力学与数值模拟的方法从理论上探讨地层的非均质性、润湿性等油藏因素对周期注水的影响,并根据室内模拟实验与实际应用描述不同的注水参数、方式等因素对周期注水的影响,为多油层高含水油藏后期稳油控水提供了可以借鉴的资料。

关键词 周期注水 非均质性 润湿性

周期注水技术作为稳油控水的一种手段已经在各油田被广泛的应用,然而针对不同的地层的发育条件或采取不同的周期注水方式所取得的效果都是不同的。因此,分析各种因素对周期注水的影响是十分必要的,以便能够在后期的油田开发过程中,选出更加适合周期注水的区块,提高油田开发效果。

1 周期注水的理论依据

前苏联学者苏尔古切夫于20世纪50年代末第一次提出周期注水概念,自1964年先后在国内外50余个油田进行周期注水矿场试验或工业性开采,利用现有的注水设备周期性地改变注水方式,在油层中人为地建立不稳定状态可以强化采油过程。根据这个结论,矿场实践和室内数值模拟计算表明,各种润湿性油层周期注水均能取得较好的效果。

根据数值模拟及核磁共振成像实验结果,周期注水过程中除毛细管力作用外,还通过压力场的调整使油层内产生了附加窜流,在双重作用下使原来滞留状态下的原油得到动用。研究表明交替周期注水和脉冲周期注水对改善水驱效果、提高水驱采收率是有效的。

均质地层中交替周期注水的核磁共振成像实验表明,常规水驱过程油井见水后,随着注水量的增加,两口或两口以上的注水井的压力作用使生产井布井方向上有一明显的剩余油带,即常规水驱残余油。交替周期注水在地层中产生一定的压力扰动,使得死油区的形状、位置和大小发生一系列变化。剩余油带随注水井周期性的开关而缩小,使剩余油被逐步驱出,达到扩大波及系数,提高原油采收率的目的。这是因为:其一,原油中压力扰动的传播速度大于油水的流动速度,这可以使压力扰动很快传到油水前沿,启动原油流动;其二,油水前沿向前推进,而减压一方的油水前沿不易后退,油将沿着纯油区的通道流向生产井底。

2 周期注水的影响因素

2.1 油藏平面非均质性对周期注水的影响

根据对数值模拟的整理结果可知,平面渗透率高的主体部位水淹状况与其他渗透率低的

部位油层水淹状况差异较大,如图1所示。

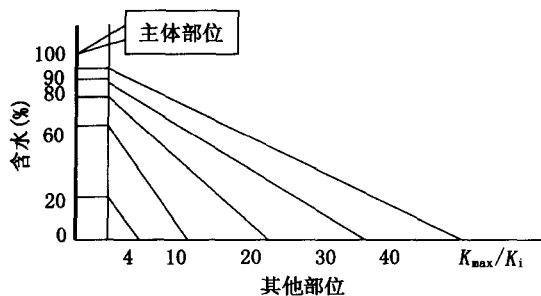


图1 平面非均质油层各部位含水状况对比

从图1中可以看出:①反映了平面非均质油层上最高渗透率 K_{max} 的主体部位达到某一含水时其他渗透率较低的含水状况取决于它们的渗透率 (K_i) 与最高渗透率 (K_{max}) 的比值,即 K_{max}/K_i ; ② K_{max}/K_i 越大的部位,油井含水越低; ③主体部位完全水淹,一些极差部位尚未动用,存在剩余油,因此,平面非均质性越严重,周期注水效果越差。

2.2 纵向非均质性对周期注水的影响

渗流力学分析与数值模拟计算结果表明,稳定注水情况下,由油水密度差产生的重力作用和油水两相的毛管力作用,使油水在纵向上处于相对的力学平稳状态。如不考虑位势能,油层纵向上高、低渗透层段各项压力区域相等。周期注水时,原来的流体力学平衡体系打破。在停注或减少注水量的半个周期内,注采不平衡导致地层压力下降,由于含油饱和度和渗透率的差异,使高渗透层压力下降快,而低渗透层下降慢,这种下降速度的不同步,从而在地层内产生一种除毛细管压力、重力之外的一种压力差,我们称之为附加压力差;相反,在重新注入水或加大注水量的半个周期内,在高低渗透层之间又产生附加压力差。

(1) 纵向非均质性使层段间产生3种不同属性的窜流以垂直向下方向为 z 方向建立坐标系,假设油层中只存在油水两相,由达西定律可写出下列油水纵向运动方程:

$$v_{zw} = -\frac{K_z \cdot K_{rw}}{\mu_w} \frac{\partial \phi_w}{\partial z} = -\frac{K_z K_{rw}}{\mu_w} \left(\frac{\partial p_w}{\partial z} - \rho_w g \right) \quad (1)$$

$$v_{zo} = -\frac{K_z \cdot K_{ro}}{\mu_o} \frac{\partial \phi_o}{\partial z} = -\frac{K_z K_{ro}}{\mu_o} \left(\frac{\partial p_o}{\partial z} - \rho_o g \right) \quad (2)$$

式中 v_{zw} —— z 方向水流速;
 v_{zo} —— z 方向油流速;
 ϕ_w, ϕ_o —— 水相和油相的势;
 μ_w, μ_o —— 水相和油相的粘度;
 ρ_w, ρ_o —— 水相、油相的密度;
 K_z —— z 方向的渗透率;
 K_{rw}, K_{ro} —— 水相和油相的渗透率;
 p_w —— 水相压力;
 p_o —— 油相压力。

由于周期注水在层段间产生附加压力差 v_{zi} , 所以有:

$$v_{zi} = v_{zo} + v_{zw} \neq 0 \quad (3)$$

由式(1)、式(2)、式(3)联立,并令 $\lambda_1 = \frac{K_z K_{rw}}{\mu_w}, \lambda_2 = \frac{K_z K_{ro}}{\mu_o}, p_c = p_o - p_w$

则,

$$v_{zw} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{\partial p_c}{\partial z} + (\rho_w - \rho_o)g \right] + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} v_{z1} \quad (4)$$

令 $\frac{\partial p_{wa}}{\partial z}$ 表示由周期注水产生的附加压力梯度，则 $v_{zw} = -(\lambda_1 + \lambda_2) \frac{\partial p_{wa}}{\partial z}$ (5)

进而式 (4) 变为：

$$v_{zw} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{\partial p_c}{\partial z} + (\rho_w - \rho_o)g \right] + \lambda_1 \frac{\partial p_{wa}}{\partial z} \quad (6)$$

假设

$$v_{zww} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} (\rho_w - \rho_o)g \quad (7)$$

$$v_{zwc} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \frac{\partial p_c}{\partial z} \quad (8)$$

$$v_{zwa} = -\lambda_1 \frac{\partial p_{wa}}{\partial z} \quad (9)$$

则式 (6) 可以写成：

$$v_{zw} = v_{zww} + v_{zwc} + v_{zwa} \quad (10)$$

式 (6) 或式 (10) 表明，在垂向非均质油层上，由于重力、毛细管压力和附加压差的作用，将产生 3 种形式的窜流。

(2) 周期注水时毛细管压力和润湿性变化引起水的纵向窜流 J 函数的表达式为：

$$J(S_w) = \frac{p_c}{\delta \cdot \cos\theta} \sqrt{\frac{K}{\phi}} \quad (11)$$

所以，可将毛管力写成：

$$p_c = \left(\frac{\phi}{K}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \delta \cos\theta \cdot J(S_w) \quad (12)$$

再将渗透率与孔隙半径 r_c 的关系式 $K = \frac{\phi r_c^2}{8}$ 代入式 (12) 得：

$$p_c = \frac{2\sqrt{2}}{r_c} \delta \cdot \cos\theta \cdot J(S_w) = p_c(S_w, r_c, \cos\theta) \quad (13)$$

为考察毛管力在纵向上的变化，将式 (13) 对 z 求偏导数，有

$$\frac{\partial p_c}{\partial z} = \frac{\partial p_c}{\partial S_w} \frac{\partial S_w}{\partial z} + \frac{\partial p_c}{\partial r_c} \frac{\partial r_c}{\partial z} + \frac{\partial p_c}{\partial \cos\theta} \frac{\partial \cos\theta}{\partial z} \quad (14)$$

令

$$v_{zwc1} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \frac{\partial p_c}{\partial S_w} \frac{\partial S_w}{\partial z} \quad (15)$$

$$v_{zwc2} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \left[-\frac{2\sqrt{2} \cdot \delta \cdot \cos\theta \cdot J(S_w)}{r_c^2} \right] \frac{\partial r_c}{\partial z} \quad (16)$$

$$v_{zwc3} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \left[-\frac{2\sqrt{2} \cdot \delta \cdot J(S_w)}{r_c} \right] \frac{\partial \cos\theta}{\partial z} \quad (17)$$

$$v_{ztc} = v_{zwc1} + v_{zwc2} + v_{zwc3} \quad (18)$$

由此可见，将毛管力引起得纵向窜流分为3部分：

①含水饱和度差异引起水的纵向窜流式(15)表明，不考虑其他因素，含水饱和度在油层纵向上的差异将会产生毛细管压力窜流。由毛细管压力曲线(图2和图3)可知，无论水湿油层还是油湿油层均有 $\frac{\partial p_c}{\partial S_w} < 0$ ，即窜流速度 v_{zwc1} 与梯度 $\frac{\partial S_w}{\partial z}$ 方向相反，说明水总是由高含水饱和度向低含水饱和度窜流，并且窜流量大小与 $\frac{\partial S_w}{\partial z}$ 成正比。即油层纵向小层段饱和差异越大，窜流越大。可见周期注水不管是对水湿油层还是油湿油层，都将产生积极作用。

②孔隙半径变化引起纵向毛管窜流对于水湿油层 $\cos\theta > 0$ ，由式(16)知，窜流速度 v_{zwc2} 与 $\frac{\partial r_c}{\partial z}$ 反向，说明水由大孔隙、高渗透层段流向小孔隙低渗透层段；对于油湿油层， $\cos\theta < 0$ ，窜流速度 v_{zwc2} 与 $\frac{\partial r_c}{\partial z}$ 同向，水由小孔隙低渗透层段流向大孔隙高渗透层段。这种由孔隙大小变化所产生的水窜流量与 $\frac{\partial r_c}{\partial z}$ 成正比。

由于在开发过程中，低渗透层段具有较高的剩余油饱和度，高渗透层段具有较高的含水饱和度，因此孔隙半径差异产生的毛管力窜流对水湿油层将起到积极的作用，对油湿油层正好相反。

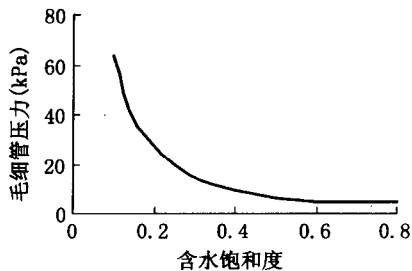


图2 水湿油层毛细管压力曲线

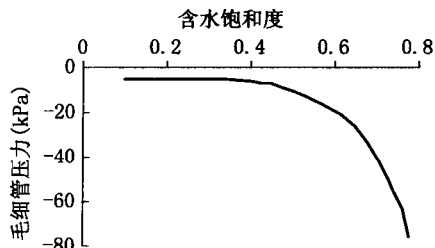


图3 油湿油层毛细管压力曲线

③润湿性变化引起纵向毛管窜流式(17)表明，由润湿性强弱变化所产生的毛管力窜流速度 $v_{zwc3} \frac{\partial \cos\theta}{\partial z}$ 同向，说明水窜向强水湿方向，并且润湿变化越大，这种窜流越强烈。

2.3 执行时机对周期注水的影响

渗流理论计算结果，表明开始周期注水时间越早越好，当前产量更高有效时间更长，累计产油量和采收率越高。大庆长垣南部生产实践表明，早、中、晚期周期注水都有效果，早、中期周期注水效果更好。

2.4 周期注水的压力波动幅度对周期注水的影响

周期注水的压力波动幅度是周期注水采油的关键，既要造成地层压力的明显波动，又要保持油藏有足够的驱油能量。因此，压力波动的幅度是油藏实施周期注水时，开发方案中重

要的设计参数，这些参数因油藏性质而异，并直接影响周期注水见效时间的长短以及达到最佳效果所需的时间。实验表明，周期注水压力波动幅度越大，有效上覆地层压力作用也越强，地层和流体的弹性作用也越明显，从而增加了原油采收率。

2.5 注水参数对周期注水的影响

周期作用的时间和频率指标说明，周期注水期间注水量增加和减少阶段时间的长短。它决定渗流量和油层压力变化幅度沿油层长度分布的强烈程度，即注入水波及油层范围的大小。周期作用时间的长短和周期更换频率的快慢，应以符合地层压力重新分布（传导）的条件为依据，这无疑取决于地层的导压能力。在地层中完成压力重新分布的时间 t （即半个周期的时间长短，单位 d）由下式确定：

$$t = 5.787L^2/2X \quad (19)$$

式中 L ——前缘推进距离，m；

X ——未注水时地层平均导压系数，其表达式为：

$$X = K/(\mu_0 \phi C_i) \quad (20)$$

式中 K ——地层渗透率， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；

μ_0 ——原油粘度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

C_i ——地层岩石孔隙和流体的综合压缩系数， mPa^{-1} ；

ϕ ——油层岩石的平均孔隙度。

式（20）表明：地层弹性越差，原油粘度越低，周期作用的时间越短，频率越大；随着驱替前缘推进距离的增大，周期时间越长，频率也越小。显然，对任何油藏使用变频率实施周期注水以造成压力波动，都可以扩大注入水波及范围，驱替出更多的原油。由室内模拟实验可得到，对地层弹性较好、原油粘度较高的油藏，宜选择比较低的降压速度和较长的周期作用时间，以使油藏的弹性能量得以充分发挥，达到周期注水的最佳效果；反之，对地层弹性差，原油粘度低，压力传递速度快的油藏，应以较高的降压速度、强压脉冲、短期、快频作用于地层。但随着驱替前缘的推进，频率应逐渐降低。

2.6 注水方式对周期注水的影响

不同的间注方式对地层的扰动程度不同，从而使波及体积也不相同，2005 年对萨北开发区北三东东块执行两种不同的间注方式：一种是层间交替注水；另一种是井间异步交叉注水（图 4）。同步执行了两个周期后，对层间交替注水井组周围的周围 23 口受效油井，平均日降液 27t，日增油 2.8t，含水下降 0.74%。对井间异步交叉注水井组周围的 12 口油井统计平均日产液下降了 29t，日产油上升了 4t，综合含水下降了 1.07%，由此可见，井间异步交叉注水效果要优于简单的层间交替周期注水，为进一步验证其效果，2006 年对北三东东块大面积执行井间异步交叉周期注水。

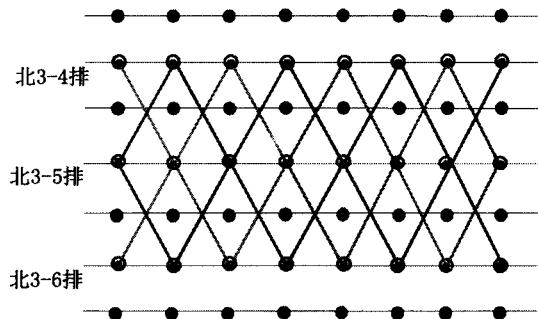


图 4 2006 年北三东周期注水示意图

3 几点认识

- (1) 根据渗流力学的理论计算，纵向非均质性越严重周期注水所取得的效果越明显。
- (2) 周期注水时间越早周期注水的效果越好。
- (3) 在保证充足的地层能量的前提下，水量波动幅度越大周期注水的效果越好。
- (4) 在周期注水过程中应当适当的调整注水参数，从而保证周期注水效果达到最好。
- (5) 良好的周期注水方式有利于提高波及系数。

参 考 文 献

- 刘立支. 2000. 周期注水油藏因素分析胜利油田. 职工大学学报, 14 (4)
- 孟崔萍. 2005. 周期注水提高采收率研究及应用. 内蒙古石油化工, (1)
- 张继春. 2003. 周期注水实验及增油机理研究. 石油学报, 24 (2)