

大孔道非均质油藏调堵封窜参数优化模拟研究

尚朝辉

(中国石化胜利油田分公司 孤东采油厂, 山东 东营 257237)

摘要:注入水沿高渗透大孔道窜流是非均质油藏注水开发后期面临的主要问题之一,多轮次调堵对堵剂注入量、注入位置和剩余油分布的影响缺乏直观描述。为此,设计并加工了不同类型可视化平板模型,系统研究堵剂注入量、注入位置和剩余油分布对规则大孔道地层调堵效果的影响及蚓孔状弯曲大孔道条件下堵剂的最佳注入位置。研究表明:对于规则大孔道模型,当堵剂注入量为0.1倍孔隙体积时,其经济效益最佳;且堵剂注入位置越靠近油藏中部,波及改善效果越好;不同剩余油分布情况下堵剂的最佳注入位置不同,当剩余油富集在油井附近时,应优先选择深部堵水;而当剩余油富集在水井附近时,浅部调堵效果更佳;对于蚓孔状弯曲大孔道模型,封堵拐点后端,能较好地发挥高注入压差(流速)与液流转向的协同机理,波及改善效果最好,最终采收率最高。

关键词:大孔道 可视化模拟 剩余油分布 参数优化 封堵规律

中图分类号:TE341

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2014)03-0062-04

中国油藏多为河流相沉积的非均质疏松砂岩油藏,经过长期的注水开发,油藏中岩石的胶结作用进一步减弱,使储层孔隙结构发生变化,且容易在油藏的平面及纵向上形成高渗流通道,导致注入水沿高渗透通道无效循环^[1-3]。通过调研发现:水驱大孔道比相邻部位地层渗透率高5~20倍,吸水量可达同层注水总量的90%,严重影响了开发效果^[4-5]。调剖堵水作为提高波及系数的一种重要技术,近年来已得到广泛应用,但是随着调堵轮次的增加,常规调剖堵水措施已不能满足经济和生产的需求^[6-9]。

目前,对调剖堵水的研究多集中于堵剂体系的研制和开发,而对其注入工艺和精细调堵规律的研究相对较少。为此,笔者设计并加工了不同类型可视化平板模型,通过室内可视化物理模拟实验,系统研究了堵剂注入量、注入位置和剩余油分布对规则大孔道地层调堵效果的影响,并对蚓孔状弯曲大孔道条件下堵剂的最佳注入位置进行模拟,以期为矿场生产提供依据。

1 实验器材

实验用环氧树脂将一定粒径的石英砂胶结在特定玻璃板上^[10]制得常规大孔道和蚓孔状弯曲大

孔道2种可视化平板模型,模型规格为120 mm×120 mm×10 mm,模拟大孔道内径为1 mm。其中,常规大孔道模型主要用于研究堵剂注入量、注入位置及剩余油分布对调堵效果的影响,在研究剩余油分布影响的同时,为方便模拟不同剩余油富集位置,采取模型背面开孔的方式;蚓孔状弯曲大孔道模型则是为了模拟并探讨真实油藏大孔道情况下堵剂的最佳注入位置。

实验用堵剂为成胶时间短、成胶强度高的无机铬堵剂,模拟油为用苏丹Ⅲ染色的原油,模拟水为生物染色剂(靛蓝)染色过的自来水。可视化平板驱替实验装置主要由驱替系统、监控系统和采收率模拟计算系统3大部分组成。

2 常规大孔道调堵模拟

2.1 堵剂注入量

根据阻力最低原理可知,注入的堵剂会优先进入高渗透大孔道,因此,堵剂注入量越大,越有利于实现对大孔道的封堵,迫使液流发生转向,从而达到改善波及的目的。由于堵剂的注入量存在最优经济值^[11],故在固定堵剂注入位置的条件下,分别注入0.05,0.1,0.15和0.2倍孔隙体积的无机铬堵

收稿日期:2014-03-10。

作者简介:尚朝辉,男,高级工程师,博士,从事油田开发管理工作。联系电话:(0546)8486239,E-mail:shangzhaohui.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“中西部低渗透碎屑岩储层多层结构协同增效保护技术研究”(2011ZX05002-005-004)。

剂,观察波及改善情况。结果(图1)表明,随着堵剂注入量的增加,原油动用程度越来越高。

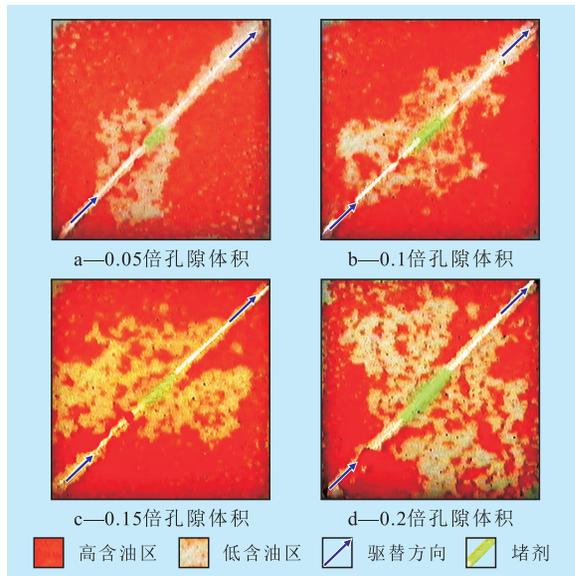


图1 不同堵剂注入量下的波及改善情况

采用数格法对波及系数统计后发现:当堵剂注入量低于0.1倍孔隙体积时,随着堵剂注入量的增加,波及系数迅速增大;当堵剂注入量超过0.1倍孔隙体积后,波及系数虽继续增加,但增幅变缓(图2)。综合考虑经济效益,优选堵剂注入量为0.1倍孔隙体积。

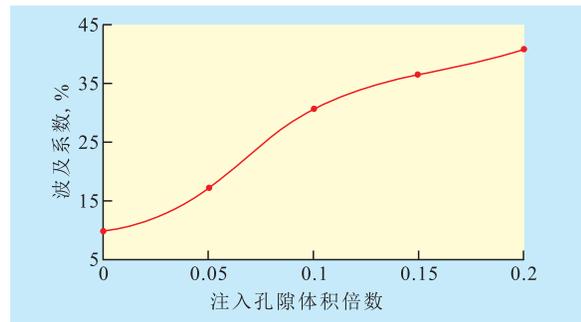


图2 波及系数与堵剂注入量的关系

2.2 堵剂注入位置

固定堵剂注入量为0.1倍孔隙体积,堵剂分别放置在 $1/6L$, $1/3L$, $1/2L$, $2/3L$ 和 $5/6L$ 处(L 为油水井间最短距离),观察波及改善情况。由图3和图4可见:当选择近水井调剖($1/6L$ 和 $1/3L$ 处)时,注入水在堵剂前缘发生绕流,波及系数提高;但由于注水井附近压差较高,一旦注入水绕过堵剂,则会迅速回拢至大孔道;当堵剂注入在 $1/2L$ 位置处时,形成了宽而长的波及带,波及系数达48%;当选择近油井调剖($2/3L$ 和 $5/6L$ 处)时,由于油井附近压差相对较小,与近水井调剖相比, $2/3L$ 处与 $1/3L$ 处的波及系数基本相当,而 $5/6L$ 处的波及系数较 $1/6L$ 处更大。因此,为了获得更大的波及系数,堵剂注入位置应尽可能接近 $1/2L$ 处。

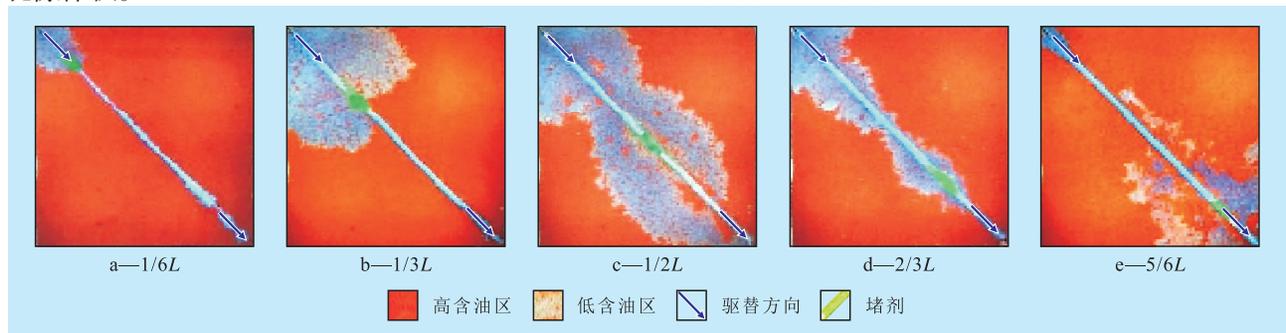


图3 不同堵剂注入位置下的波及改善情况

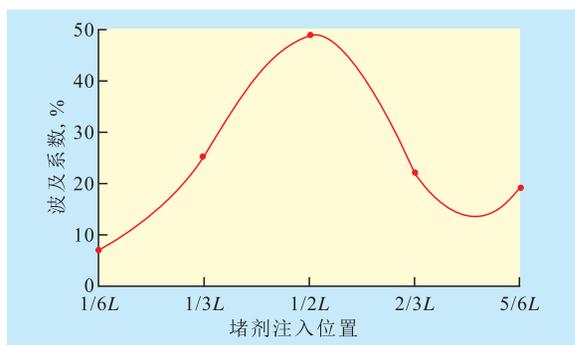


图4 波及系数与堵剂注入位置的关系

2.3 剩余油分布

不同剩余油分布情况下,堵剂最佳注入位置不

同。在研究剩余油分布的影响时,主要考虑剩余油富集在油井附近和富集在水井附近2种情况。

剩余油富集在油井附近 当剩余油富集在油井附近时,分别将堵剂置于油水边界的前端、中部和末端,观察波及改善和最终采收率情况。实验结果(图5)表明:当堵剂置于油水边界前端时,受油井附近压差的影响,注入水迅速绕流,波及改善效果较差(图5b),最终采收率最低(13.1%);增大堵剂注入深度,注入水在更深部区域发生转向,剩余油动用面积增大(图5c),最终采收率较高(23.2%);当堵剂置于油水边界末端时,剩余油动用程度最大(图5d),最终采收率最高,达30.1%。由此可见,堵剂封

堵位置不同,波及改善效果也明显不同。这是因为:当封堵油水边界的末端时,注入水在到达油水边界前即发生液流转向,形成了较宽的波及带,提高了剩余油动用程度,从而实现采收率的大幅提高。因此,当剩余油富集在油井附近时,应优先选择深部堵水,以最大程度动用剩余油。

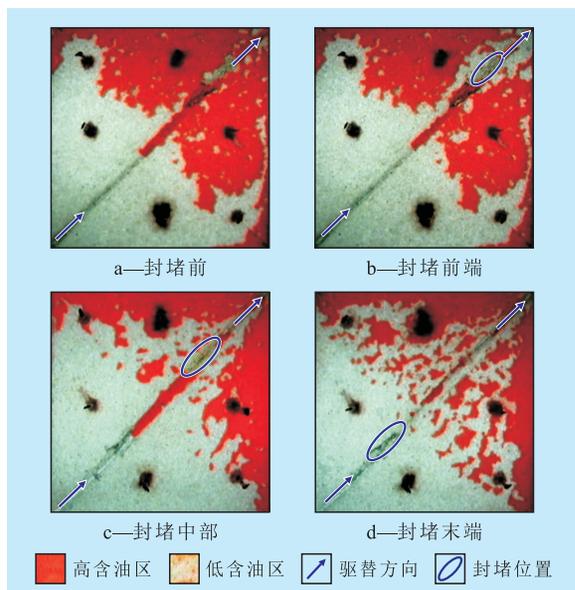


图5 剩余油富集在油井附近时不同堵剂注入位置的波及改善情况

剩余油富集在水井附近 当剩余油富集在水井附近时,封堵剩余油前端,虽然整体动用程度较高,但大量剩余油被推向边际区域而无法被有效驱替(图6),最终采收率较低,仅为6%;而当封堵剩余油中部和末端时,在增大波及体积的同时,还充分发挥了高渗透大孔道高导流能力的作用,最终采收

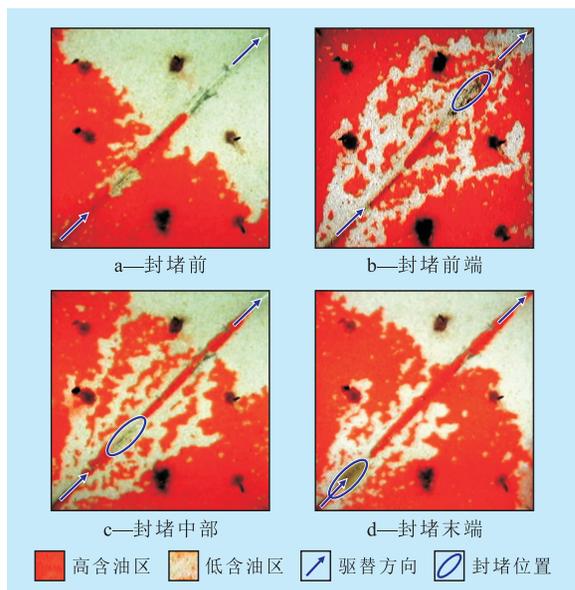


图6 剩余油富集在水井附近时不同堵剂注入位置的波及改善情况

率均较高,分别为7.6%和7.7%;对比封堵中部和封堵末端水驱剩余油分布情况发现,封堵末端时,剩余油被有效采出,而且被推向模型边际而形成的“死油区”面积更小。因此,当剩余油富集在水井附近时,应合理控制堵剂注入深度,不宜进行深部调剖。

3 弯曲大孔道调堵模拟

将弯曲大孔道模型堵剂注入位置分别设置在近水井孔道拐点前、拐点处、拐点后和近油井孔道拐点处,观察各自波及改善及最终采收率情况。由图7可见:当封堵近水井孔道拐点前时,注入水在近井地带发生绕流后绕回高渗透大孔道,在堵剂后缘和模型边际处形成残余油;当封堵近水井孔道拐点处时,由于注入水向更深部转向,波及体积有所增大;而封堵近水井孔道拐点后时,近水井附近区域受高注入压差作用,波及程度较高,注入水在模型深部发生转向,剩余油的整体动用程度较高,形成较好的协同作用;封堵近油井孔道拐点处时,则因前期注入水依然沿大孔道窜流而措施效果有限。不同堵剂注入位置的最终采收率结果表明,封堵近水井孔道拐点前、拐点处、拐点后和近油井孔道拐点的最终采收率分别为29.7%,33.6%,40.0%和31.8%,封堵近水井孔道拐点后的最终采收率最高。因此,在实验条件下,针对蚓孔状弯曲大孔道模型的调剖堵水,应优先选择在近水井孔道拐点后的模型深部设置封堵。

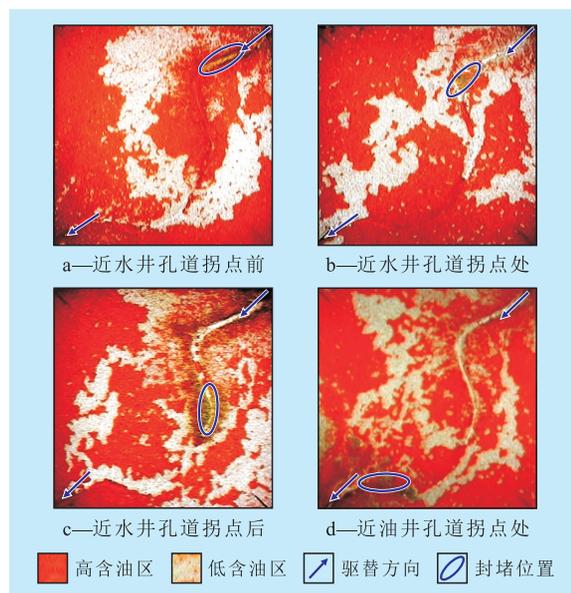


图7 蚓孔状弯曲大孔道模型不同堵剂注入位置的波及改善情况

4 结论

可视化物理模拟实验是室内评价堵剂注入位置的一种行之有效的手段,相对于填砂管而言,能够直观反映不同调堵工艺对改善波及效果的影响。

常规大孔道模型调堵研究表明,堵剂注入量存在最佳范围,当注入量为0.1倍孔隙体积时,经济效益最优;当封堵大孔道 $1/2L$ 处时,波及系数最大;不同剩余油分布会影响调剖堵水工艺的选择,当剩余油富集在油井附近时,应优先采取深部堵水工艺挖潜剩余油;当剩余油富集在水井附近时,应合理控制堵剂注入深度,堵剂注入位置不宜过深。

蚓孔状弯曲大孔道模型调堵结果表明,将堵剂置于近水井孔道拐点后时,能充分发挥近井地带高注入压差和深部液流转向的协同作用,注入水波及范围最大,最终采收率最高。

参考文献:

[1] 毛振强,顾建伟,董平志.疏松砂岩油藏大孔道形成机理与预测

[J].油气地质与采收率,2011,18(1):77-79.

- [2] 李本维,赵国忠.多维非均质砂岩油藏聚合物驱后剩余油分布规律[J].大庆石油地质与开发,2006,25(2):45-48.
- [3] 马代鑫,温鸿滨,赵明宸,等.水驱开发油藏流体通道描述及定量封堵技术[J].油气地质与采收率,2012,19(1):104-106.
- [4] 钟大康,朱筱敏,吴胜和,等.注水开发油藏高含水期大孔道发育特征及控制因素[J].石油勘探与开发,2007,34(2):207.
- [5] 王学忠.孤东油田高含水期大孔道特征研究[J].中国西部油气地质,2006,2(1):101-103.
- [6] 冯其红,张安刚,蔡荣薇,等.层间调剖注入参数优化设计[J].油气地质与采收率,2011,18(5):81-84.
- [7] Liu Xiang.Development and application of the water control and profile modification technology in China oil fields[C].SPE 29907,1995.
- [8] Lerma M K, Giuliani M A.Cost-effective methods of profile control in mature water flood injectors[C].SPE 27849,1994.
- [9] 陈东明.调剖堵水剂定点投放技术研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2010.
- [10] 刘景亮.玻璃板填砂模型大孔道形成过程模拟实验[J].油气地质与采收率,2008,15(5):95-97.
- [11] 钱钦,尚朝辉,于发珍,等.水驱油田调剖最佳封堵半径的确定[J].石油天然气学报,2005,27(3):368-369.

编辑 常迎梅

(上接第54页)

分析相邻多井组火驱效果时,常规生产井产气量劈分难以符合真实的情况,示踪剂辅助劈分能够考虑各井见效方向的不同以及各见效方向见气量不同的复杂情况,可以指示出火驱过程中气体连通方向和气体分配量,是火驱动态监测的有效方法,对多井组示踪剂监测结果进行进一步分析可以为计算燃烧前缘位置提供有力依据。

燃烧前缘位置发展的不均匀性是工程和地质因素共同作用的结果,地质因素对燃烧前缘发展方向起到主要控制作用。

参考文献:

- [1] 赵东伟,蒋海岩,张琪.火烧油层干式燃烧物理模拟研究[J].石油钻采工艺,2005,27(1):36-39.
- [2] 关文龙,席长丰,陈亚平.稠油油藏注蒸汽开发后期转火驱技术[J].石油勘探与开发,2011,28(4):452-461.
- [3] 蒋海岩,张琪,袁士宝,等.火烧油层干式燃烧数值模拟及参数敏感性分析[J].石油大学学报:自然科学版,2005,29(5):67-

70.

- [4] 张方礼,刘其成,赵庆辉,等.火烧油层燃烧反应数学模型研究[J].特种油气藏,2012,19(5):55-59.
- [5] 袁士宝,蒋海岩,鲍丙生,等.基于支持向量机的火烧油层效果预测[J].石油勘探与开发,2007,34(1):104-107.
- [6] 蒋海岩,袁士宝,宁奎,等.火烧油层燃烧前缘传播特性的摄动分析[J].系统仿真学报,2009,21(22):7 026-7 028.
- [7] 袁士宝,蒋海岩,宁奎,等.火烧油层点火室内实验分析及现场应用[J].油气地质与采收率,2012,19(4):52-55.
- [8] 宁奎,袁士宝,蒋海岩.火烧油层理论与实践[M].东营:中国石油大学出版社,2010.
- [9] 尹虎,钟守明,刘辉.稠油井火驱开发固井水泥浆性能评价与应用[J].油气地质与采收率,2013,20(4):99-101.
- [10] 王史文,刘东亮,刘艳波,等.应用多种示踪剂监测火烧油层动态特征[J].石油钻采工艺,2003,25(6):75-77.
- [11] 李金宜,姜汉桥,李俊键,等.滞留聚合物对示踪剂扩散特征影响实验研究[J].油气地质与采收率,2011,18(4):78-81.
- [12] 罗晋成,杨良贤.火烧油层过程中火线位置的判断方法[J].石油钻采工艺,1979,1(5):51-58.

编辑 刘北羿